

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA ATM INALÁMBRICA Y SU
APLICACIÓN MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE ÚLTIMA
MILLA LMDS**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

CARLOS ENRIQUE ERAZO MOREIRA

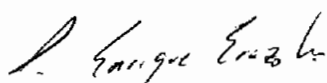
DIRECTOR: ING. MSc. MARÍA SOLEDAD JIMÉNEZ

Quito, Febrero 2002

DECLARACIÓN

Yo Carlos Enrique Erazo Moreira, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley, Reglamento de Propiedad Intelectual y por la normatividad institucional vigente.



C. Enrique Erazo

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Carlos Enrique Erazo Moreira, bajo mi supervisión.



Ing. MSc. María Soledad Jiménez
DIRECTOR DE PROYECTO

DEDICATORIA

A Dios, a mis padres,
a mis hermanos y a
mis amigos

A una persona muy especial,
quien desde el cielo
bendice mi camino.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar deseo agradecer al director del Proyecto de Titulación, Ing. María Soledad Jiménez, cuya guía profesional aportó al desarrollo de esta obra.

También deseo expresar mi agradecimiento a la Escuela Politécnica Nacional, por
su apoyo y colaboración en beneficio de la sociedad.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar deseo agradecer al director del Proyecto de Titulación, Ing. María Soledad Jiménez, cuya guía profesional aportó al desarrollo de esta obra.

También deseo expresar mi agradecimiento a la Escuela Politécnica Nacional, por su noble labor educativa en beneficio de la sociedad.

Así también es para mi de gran satisfacción agradecer a un excelente grupo de profesionales de la rama de telecomunicaciones, quienes con su experiencia y conocimiento, aportaron con opiniones valiosas para la investigación desplegada en este documento.

A mi madre, quien me ha dado los mejores años de mi vida.

A mi padre, por haberme formado con valores de vida.

Gracias...

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: ACCESOS Y REDES DE BANDA ANCHA	4
1.1 Introducción	4
1.2 Medios de Transmisión	4
1.2.1 Medios guiados	5
1.2.2 Medios inalámbricos	13
1.2.3 Propagación y naturaleza de las ondas electromagnéticas	14
1.2.3.1 Propagación por onda terrestre	15
1.2.3.2 Propagación por línea de vista	16
1.2.3.3 Propagación por onda espacial	17
1.2.3.4 Propagación por reflexión a tierra	18
1.2.4 Espectro electromagnético	18
1.3 La plataforma ATM	19
1.3.1 Orígenes del ATM	19
1.3.2 Modelo de referencia ATM	20
1.3.2.1 Capa Física	22
1.3.2.2 Capa ATM	24
1.3.2.3 Capa de Adaptación ATM (AAL)	29
1.3.3 Calidad de servicio en ATM	34
1.3.3.1 Categorías de servicios en ATM	34
1.4 Acceso a los servicios de banda ancha	36
1.4.1 Clasificación de las redes de acceso	37
1.4.1.1 Redes de acceso vía cobre	38
1.4.1.2 Redes de acceso vía radio	41
1.4.1.3 Redes de acceso vía fibra óptica	48
1.5 Tecnología de Acceso LMDS	51
1.5.1 Origen del LMDS	51
1.5.2 Concepto	51
1.5.3 Topología de LMDS	52

1.5.4	Características propias de LMDS	54
1.5.4.1	Desvanecimiento de la señal por lluvia	54
1.5.4.2	Línea de vista	55
1.5.4.3	Reutilización de frecuencias e interferencias	55
1.5.4.4	Balance del enlace de microonda	57
1.5.5	Principales Ventajas del sistema LMDS	61

CAPÍTULO 2: EVOLUCIÓN Y ESTUDIO DEL ATM INALÁMBRICO

		63
2.1	Introducción	63
2.2	Concepto de una red ATM inalámbrica	64
2.2.1	Ambientes para el uso de WATM	66
2.2.2	Aplicaciones de banda estrecha	68
2.2.3	Objetivos de una red ATM inalámbrica	69
2.3	Sistemas inalámbricos	70
2.3.1	Evolución	70
2.3.2	Sistema Móvil Universal de Telecomunicaciones (UMTS)	74
2.3.3	HIPERLAN	76
2.3.4	IEEE 802.11	78
2.4	Perspectivas del WATM	80
2.4.1	El Proyecto WAND	81
2.4.2	El Proyecto WATMNet	83
2.4.3	Proyecto Radio ATM de Olivetti	85
2.5	Especificaciones del ATM Inalámbrico	85
2.5.1	Modelos de referencia Wireless ATM	85
2.5.2	Tópicos de diseño para Wireless ATM	87
2.5.2.1	Arquitectura de protocolos Wireless ATM	88
2.5.2.2	Capa de acceso de radio	89
2.5.2.3	La parte ATM móvil	94
2.5.2.4	Señalización ATM/WATM	106

CAPÍTULO 3: MODELO PRÁCTICO PROPUESTO PARA ATM INALÁMBRICO	109
3.1 Introducción	109
3.2 Aspecto legal del servicio	111
3.2.1 Propuesta de Reglamentación para el Ecuador	112
3.3 Planificación estratégica de la red LMDS/WATM	119
3.3.1 Plan de Acción para el operador de comunicaciones	120
3.3.1.1 Análisis de la red de usuario	120
3.3.1.2 Requerimientos y justificación de la red de acceso	126
3.3.1.3 Aspectos técnicos de LMDS	131
3.3.1.4 Tecnologías disponibles e instalación	133
 CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	 140
4.1 Conclusiones	140
4.2 Recomendaciones	143

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO A: Glosario

ANEXO B: Cálculos

- Cálculo de Probabilidades.
- Proyecciones de Tráfico y de usuarios en la microcélula.
- Modelo de propagación y perfil topográfico para LMDS

ANEXO C: Distribución Probabilística de Poisson

ANEXO D: Equipo de Acceso Alcatel 7390

- Descripción del terminal de red
- Descripción del terminal de radio.
- Descripción de la radio base.

ANEXO E:

- Paper para el control de acceso de llamadas en WATM
- Paper de propuestas para la capa MAC en WATM.

ANEXO F:

- Propuesta experimental de NEC (WATMNet).
- Propuesta experimental WAND.

PRESENTACIÓN

El desarrollo de las comunicaciones inalámbricas en la última década ha tenido un marco de investigación muy amplio, y consecuentemente en el ámbito comercial ha tenido éxito dadas las prestaciones que éstas brindan.

Hasta hoy en día en varios países se ha extendido el servicio de voz a través de los sistemas celulares y el servicio de datos inalámbricos con canales de datos de hasta 19.2Kbps. Así también, algunos sistemas celulares ya se han extendido el servicio de Internet hacia las agendas móviles o PDAs permitiendo al usuario tener acceso al servicio mientras éste desarrolla otra clase de actividades.

Actualmente en el mercado de las comunicaciones móviles de datos se ha extendido una serie de productos para *Wireless LAN*, los cuales prestan el servicio clásico de red LAN pero con la diferencia de que el medio de difusión es un canal inalámbrico de radio. Sin embargo, en el entorno de las aplicaciones multimedios, la calidad de servicio se hace más crítica, y se necesita de redes que provean una conexión con ciertos parámetros de calidad a tratar entre el usuario y su proveedor.

Es ahí, donde la tecnología ATM se puede aplicar, dadas sus características de calidad en conexiones de alta velocidad para cada tipo de servicio. El propósito de tener ATM en el ambiente de usuario tiene en mente la integración de las redes de comunicaciones, en donde los dispositivos de la red tengan una plataforma universal, obteniendo de esta manera una calidad de servicio asociada a cada aplicación que se transmite en el canal inalámbrico.

RESUMEN

En el presente trabajo se detalla en primer lugar una base teórica en la que se mencionan los medios de transmisión con sus características y aplicación en los métodos de acceso como últimas millas, así también como una base teórica del ATM estándar.

Luego, en el segundo capítulo, se estudia la extensión inalámbrica del ATM con una previa historia evolutiva de las generaciones de las comunicaciones móviles, donde se indican las perspectivas para poder implementar esta tecnología a través de proyectos experimentales, para posteriormente pasar al estudio de las características de las nuevas redes ATM inalámbricas (*Wireless* ATM ó WATM).

En el tercer capítulo, se presenta un modelo de aplicación para una red típica de un usuario en donde se ofrece la alternativa de la última milla inalámbrica LMDS, para obtener una red celular multipunto con microcélulas WATM.

Finalmente se obtienen las conclusiones y recomendaciones respectivas respecto al trabajo desarrollado, con una serie de documentos anexos que respaldan diferentes tópicos detallados en el desarrollo del proyecto.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo principal, un estudio de factibilidad y un esquema de diseño de una red inalámbrica de comunicaciones que permita el tráfico universal de datos. El trabajo se sustenta en una base teórica concreta y una planificación adecuada para el modelo práctico, para lo cual se esbozan en los capítulos respectivos la ingeniería que conlleva a su desarrollo. //

El objetivo planteado en este trabajo busca perseguir, según los estándares industriales en el mercado, una alternativa de solución para redes inalámbricas, las cuales hoy en día tienen un mayor desarrollo en lo que a tecnología y manejo de ancho de banda se refiere.

Actualmente, el desarrollo de las aplicaciones que se ejecutan por parte del usuario requiere estándares de calidad más altos, manteniendo la calidad de servicio (QoS)¹ y la rentabilidad. Es por esto que el presente trabajo tiene como objeto el estudio de una red de comunicaciones a nivel de usuario que brinde una amplia gama de servicios, los cuales son cada vez más exigentes en consumo de ancho de banda, con una infraestructura sencilla, segura y económica.

Con estos antecedentes, la plataforma ATM (*Asynchronous Transfer Mode* ó Modo de transferencia asincrónica) apoyada sobre una tecnología de servicio como LMDS (*Local Multipoint Distribution System* ó Sistema de distribución local multipunto) surge como una alternativa de solución para redes de banda ancha inalámbricas, dada su facilidad de instalación y operación, y flexibilidad en su escalabilidad e integración.

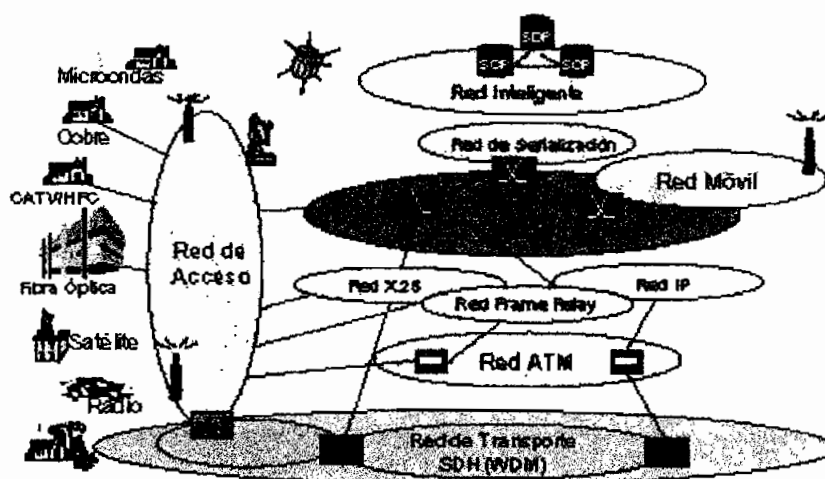
1 QoS Quality of Service, parámetro de desempeño llamado calidad de servicio

La integración de las subredes es una infraestructura de transporte de información que también se puede denominar red universal, siendo Internet una buena aproximación a este concepto.

Un aspecto a destacar en la integración de redes es el de interoperabilidad, cuyo objetivo es maximizar el valor de las tecnologías disponibles en el mercado. Por otra parte, permite a los servicios alcanzar el máximo número de usuarios optimizando la cantidad de plataformas. Con ello, también surgen algunas dificultades a la hora de establecer un entorno de interoperabilidad, entre las que destacan los conflictos que se producen en todos los niveles de la arquitectura de capas. No obstante, para combatir estos conflictos se dispone de dos procesos: la estandarización y las arquitecturas abiertas.

En una red de telecomunicaciones se pueden distinguir cuatro niveles funcionales:

- **Proveedores de servicios:** constituidos por empresas generadoras de servicios de datos, y ofrecen la transmisión de los datos de usuarios finales a través de redes de transporte.
- **Red de transporte:** esta red de transporte se encarga de la transmisión de datos y conmutación, teniendo como misión principal multiplexar o canalizar la información proveniente de diferentes proveedores de servicios o distintos usuarios y a su vez adaptarse a las características específicas del bucle de abonado
- **Red de distribución ó acceso:** a través de la red de distribución deben llevarse a cabo las tareas de llevar los datos o aplicaciones hasta el usuario mediante las tecnologías disponibles de última milla.



Red completa de telecomunicaciones

De esta manera, la red debe ser capaz de gestionar el establecimiento y liberación de las conexiones de banda ancha con las redes de acceso ó últimas millas de abonado, además de transportar la información con diferentes tipos de requerimientos en cuestiones de ancho de banda.

En lo que se refiere al acceso fijo , se utiliza LMDS como tecnología que brinda la capacidad de banda ancha y a su vez brinda prestaciones como la comunicación punto multipunto, en un rango de frecuencias (26 - 40GHz) en el cual se alcanzan tasas de transmisión adecuadas para tener canales de información lo suficientemente capaces de llevar información para demandas grandes.

El presente proyecto tiene como alcance trabajar en todo su conjunto con la tecnología *Wireless ATM* ó ATM inalámbrico, donde los terminales finales de radio pueden ser de naturaleza fija o móvil.

1. ACCESOS Y REDES DE BANDA ANCHA

1.1 INTRODUCCIÓN

El estudio y diseño de una red de comunicaciones de banda ancha, implica una serie de conocimientos generales y específicos, los cuales aportan a la teoría del presente trabajo. A esto se suman los factores preponderantes, como la capacidad de datos, para el desarrollo de una red de banda ancha inalámbrica, que al competir con el cable, sigue siendo una alternativa económica tanto en operación como en mantenimiento. Así también se debe rescatar la interoperabilidad y escalabilidad que debe tener una red que busca tener desarrollo, estimulando de esta manera la competencia y así brindar un buen servicio al usuario final. La terminología "banda ancha" se refiere a que en una red de comunicaciones se provea servicios que demanden una alta velocidad de transmisión en los datos requeridos por un usuario de dicha red.

Por estos motivos a continuación se detallan las bases teóricas que fundamentan este documento.

1.2 MEDIOS DE TRANSMISIÓN

En una red de comunicaciones cabe tomar en cuenta la capa física, la cual hace el transporte de datos mediante señales eléctricas u ópticas desde un dispositivo transmisor hasta un receptor de datos.

Los criterios básicos para el uso adecuado de estos medios de transmisión se hallan en términos de capacidad o ancho de banda de trabajo, costo, retardo de la señal en curso, instalación y su mantenimiento.

En lo que respecta a los medios de transmisión dentro del modelo OSI¹, dicho modelo se ha constituido en la clave principal de desarrollo que ha hecho posible la estratificación de las redes de telecomunicaciones. De esta manera, el modelo OSI clasifica a los medios de transmisión dentro de lo que es la capa física.

La primera capa o la más baja dentro del modelo, tiene la función específica de interconectar físicamente a los equipos participantes en la red, cabe entonces decir que por los medios de transmisión de datos se mueve absolutamente toda la información de las capas superiores del modelo OSI, trátase de una red LAN, MAN o WAN, conexiones remotas, aplicaciones en redes, etc. Adicionalmente en esta capa se contemplan las interfaces físicas, forma de los conectores, voltajes, tarjetas de red, velocidad de transmisión, etc., en resumen todo lo que tiene que ver con hardware y electrónica de comunicaciones.

Dentro del universo de los medios de transmisión, se pueden distinguir dos grupos grandes: medios guiados (cableados) y medios no guiados (inalámbricos).

1.2.1 MEDIOS GUIADOS²

Por medios guiados se entiende a todo medio de transmisión que necesita una ruta física para el trazado de la red. Esta ruta en general puede ser un ducto subterráneo o un tendido aéreo o submarino de cable, implicando la necesidad de tener soporte físico y de mantenimiento durante todo el tramo de tendido del medio. Dentro de los medios guiados se tienen: cable coaxial (de banda base, y de banda ancha); par trenzado y la fibra óptica.

¹ OSI Open System Interconnection , interconexión de sistema abierto creado por la ISO (International Standard Organization)

² Tanenbaum, Andrew; Redes de Computadoras.

1.2.1.1 Cable coaxial

El cable coaxial está compuesto por dos conductores, uno interno o central, y otro exterior que lo rodea totalmente (figura 1.1). Esta disposición provee de un excelente blindaje entre los dos conductores del mismo. El conductor interno está fabricado generalmente de alambre de cobre rojo recocido, mientras que el revestimiento en forma de malla está fabricado de un alambre muy delgado, trenzado de forma helicoidal sobre el dieléctrico o aislante. Entre ambos conductores existe un aislamiento de polietileno compacto o espumoso, denominado dieléctrico. Finalmente, y de forma externa, existe una aislación compuesta por PVC o Policloruro de Vinilo.

El cable coaxial al tener un blindaje de tal naturaleza posee una buena combinación de elevado ancho de banda e inmunidad al ruido externo. El ancho de banda depende de la longitud del cable. De ahí que en alrededor de 1 km. de cable es posible tener tasas de hasta 2Gbps¹. Este medio de transmisión antiguamente era el medio de transmisión para telefonía, sin embargo hoy en día halla competencia con la fibra óptica y el par trenzado.

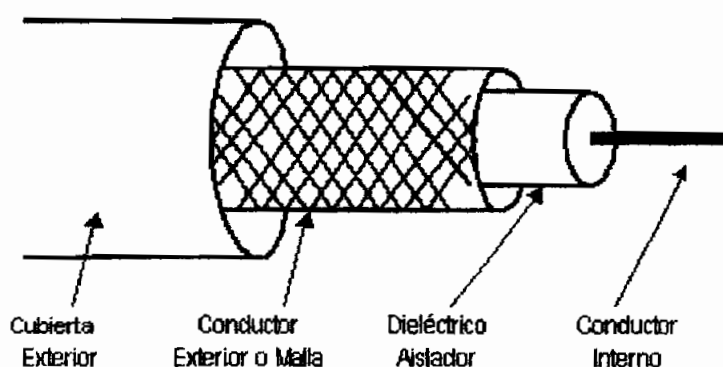


Figura 1.1

El material dieléctrico define de forma importante la capacidad del cable coaxial en cuanto a velocidad de transmisión. Siempre haciendo referencia a la

¹ Tanenbaum, Andrew; Redes de Computadoras.

velocidad de la luz, la tabla 1.1 muestra la velocidad que las señales pueden alcanzar en su interior.

Lo interesante del cable coaxial es su amplia difusión en diferentes tipos de redes de transmisión de datos, no solamente en computación, sino también en telefonía y especialmente en distribución de televisión por cable.

Material Dieléctrico	% Velocidad con respecto a la luz	Velocidad de propagación (km./seg.)
Polietileno sólido	65.9	197700
Polietileno espumoso	80.0	240000
Polietileno	88.0	264000
Teflón sólido	69.4	208200
Elastipar	66.0	198000
Teflón expandido	85.0	255000

Tabla 1.1 Velocidad de propagación del cable coaxial según el dieléctrico

1.2.1.1.1 Cable coaxial de banda base

Es un cable que normalmente es utilizado en redes de computadoras, con una impedancia característica de 50 Ohm, por el que fluyen señales digitales, al contrario que su competidor más cercano, el cable coaxial de banda ancha.

1.2.1.1.2 Cable coaxial de banda ancha

El cable de banda ancha normalmente transmite señales analógicas, posibilitando la transmisión de gran cantidad de información por varias frecuencias, y su uso más común es la televisión por cable. En muchos países del mundo, esta red tendida sobre las ciudades ha permitido a muchos usuarios de Internet tener un nuevo tipo de acceso a la red, para lo cual existe en el mercado una gran cantidad de dispositivos. Su impedancia característica es de 75 Ohm.

1.2.1.2 Par trenzado

Uno de los medios de transmisión de datos más antiguos, pero que a su vez se ha constituido en uno de los más modernos: el cable UTP (*Unshielded Twisted Pair* ó Par trenzado desprotegido). A parte de este cable existe otro medio de transmisión denominado el cable STP (*Shielded Twisted Pair* ó Par trenzado protegido) mencionado en la sección 1.2.1.2.3.

Un par trenzado consiste en dos alambres de cobre aislados, por lo regular de 1mm de grueso. El propósito de trenzar los pares de cobre es el de reducir la interferencia eléctrica de pares cercanos o efecto antena¹.

Los pares trenzados se utilizan tanto en transmisión analógica como digital. El ancho de banda depende del grosor del cable y de la distancia del enlace. Debido a su bajo costo y rendimiento adecuado se los utiliza ampliamente en el diseño de redes de cableado estructurado, en donde se tienen una amplia gama de aplicaciones.

Existen hoy en día hasta 5 categorías del cable UTP y dos en proyecto, es decir la sexta y séptima. La primera categoría responde al cable UTP Categoría 1, especialmente diseñado para redes telefónicas, el clásico cable empleado en teléfonos y dentro de las compañías telefónicas; el cable UTP Categoría 3 es empleado en redes de computadoras con velocidades de hasta 16Mbps a distancias de hasta 100 metros; el cable UTP Categoría 4 tiene la capacidad de soportar comunicaciones en redes de computadoras a velocidades de 20Mbps en distancias de hasta 100 metros. Finalmente el cable UTP categoría 5, un verdadero estándar actual dentro de las redes LAN particularmente, con la capacidad de sostener comunicaciones a 100Mbps a una distancia de hasta 100 metros. Lo interesante de este último modelo es la capacidad de compatibilidad que tiene con los tipos anteriores. En síntesis, los cables UTP se pueden

¹ Tanenbaum, Andrew, Redes de Computadoras

catalogar en una de dos clases básicas: los destinados a comunicaciones de voz, y los dedicados a comunicaciones de datos en redes de computadoras.

1.2.1.2.1 Cable UTP para comunicaciones de voz

Por lo general, la estructura de todos los cables UTP no difieren significativamente, aunque es cierto que cada fabricante introduce algunas tecnologías adicionales mientras los estándares de fabricación lo permitan. Así, la estructura de este cable es por lo general la que se muestra en la figura 1.2. El cable está compuesto internamente por un conductor que es de alambre electrolítico recocido, de tipo circular, aislado por una capa de polietileno coloreado. Debajo de la aislación coloreada existe otra capa de aislación también de polietileno, que contiene en su composición una sustancia antioxidante para evitar la corrosión del cable. El conducto solo tiene un diámetro de aproximadamente medio milímetro, y más la aislación el diámetro puede superar el milímetro.

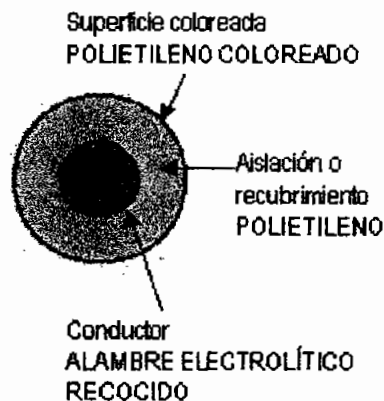


Figura 1.2 Estructura de cable UTP para voz

Todos los cables del multipar están trenzados entre sí con el objeto de mejorar la resistencia de todo el grupo hacia diferentes tipos de interferencia electromagnética externa.

1.2.1.2.2 Cable UTP para datos de alta velocidad

Es muy común encontrar redes con tarjetas de datos que manejan el protocolo Ethernet (típicamente llamado IEEE 802.3), es decir con redes trabajando a 10 Mbps, para lo cual se hace indispensable el uso del cable UTP de categoría 5. De esta manera el cable UTP ha ido ocupando el mercado en forma creciente.

El cable UTP para redes actualmente empleado es el de 8 hilos categoría 5, es decir cuatro partes trenzados formando una sola unidad. Estos cuatro pares vienen recubiertos por una vaina plástica que mantiene el grupo unido, mejorando la resistencia ante interferencias externas. Es importante notar que cada uno de los cuatro pares tiene un color diferente, pero a su vez, cada par tiene un cable de un color específico y otro blanco con algunas franjas del color de su par, tal como se muestra en la figura 1.3.

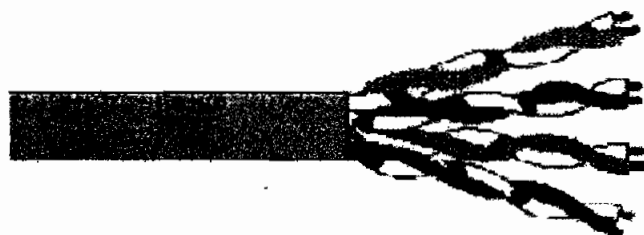


Figura 1.3 Estructura del cable UTP categoría 5 (8 hilos)

1.2.1.2.3 Cable STP

El cable STP es un par de cobre que físicamente está cubierto por una pantalla protectora y una cubierta externa. Naturalmente su costo es mayor al del cable UTP, dado que incluye mayor protección para el conductor de cobre.

1.2.1.3 Fibra óptica

Este es el medio de transmisión de datos inmune a las interferencias por excelencia, con seguridad debido a que por su interior dejan de moverse impulsos eléctricos, proclives a los ruidos del entorno que alteren la información. Al conducir luz por su interior, la fibra óptica no es propensa a ningún tipo de interferencia electromagnética o electrostática. La fibra es un hilo fino de vidrio generalmente o plástico, cuyo grosor puede asemejarse al de un cabello, capaz de conducir la luz por su interior. Generalmente esta luz es de tipo infrarrojo y no es visible al ojo humano. La modulación de esta luz permite transmitir información tal como lo hacen los medios eléctricos.

La estructura de la fibra óptica es relativamente sencilla, aunque la mayor complejidad radica en su fabricación. La fibra óptica está compuesta por dos capas, una denominada Núcleo (*Core*) y la otra denominada Recubrimiento (*Cladding*). La relación de diámetros es de aproximadamente 1 de recubrimiento por 3 de núcleo, como se ilustra en la figura 1.4. El hilo de vidrio extra delgado está cubierto por una capa plástica que le brinda la protección necesaria, aunque normalmente un gran conjunto de fibras se unen entre sí para obtener mayor seguridad.

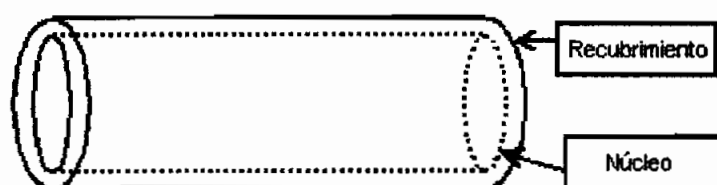


Figura 1.4 Estructura de la fibra óptica

La fibra óptica está compuesta por dos capas de vidrio, cada una con distinto índice de refracción. El índice de refracción del núcleo es mayor que el del revestimiento, razón por la cual, y debido a la diferencia de índices, la luz introducida al interior de la fibra se mantiene y propaga a través del núcleo. Se produce por ende el efecto denominado de Refracción Total.

Los rayos de luz pueden entrar a la fibra óptica si el rayo deben estar contenidos dentro de un cierto ángulo denominado CONO DE ACEPTACIÓN. Un rayo de luz puede perfectamente no ser transportado por la fibra óptica si no cumple con el requisito del cono de aceptación. De esta manera el rayo incidente debe tener un ángulo de inclinación máximo para trabajar en el límite del cono.

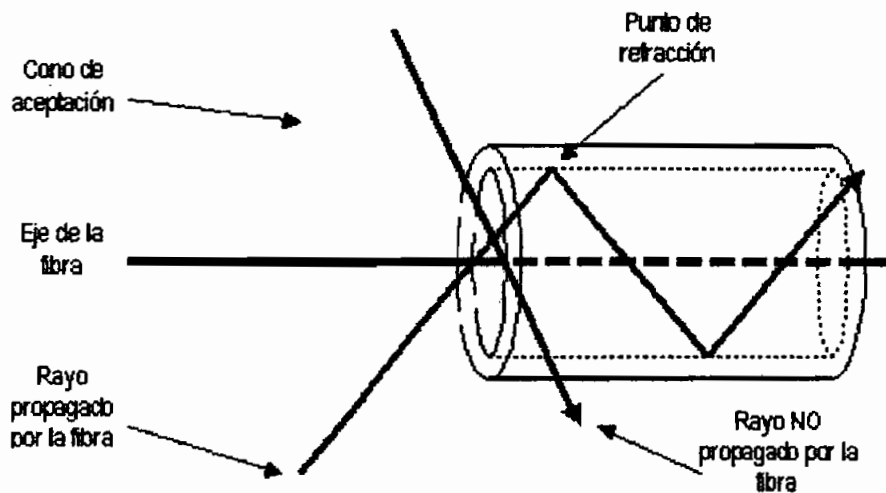


Figura 1.5 Cono de aceptación para la fibra óptica

El cono de aceptación está directamente asociado a los materiales con los cuales la fibra óptica ha sido construida. La figura 1.5 ilustra lo dicho.

1.2.1.3.1 Tipos de fibra óptica¹

Las fibras ópticas se clasifican según el modo de propagación que describen los rayos de luz dentro de la fibra.

- Fibra MONOMODO. Este tipo de fibra tiene un diámetro de núcleo entre 5 y 10µm aproximadamente, y los rayos de luz transmitidos por la fibra viajan en

¹ Apuntes de Comunicaciones Ópticas, Ing. Cristóbal García

línea recta. Su aplicación se tiene en los enlaces submarinos mayores de 1Gbps.

- Fibra MULTIMODO ÍNDICE GRADUAL. Este tipo de fibra tiene un diámetro de núcleo de 50um, y los rayos de luz son transmitidos con reflexiones en forma aproximadamente de una onda senoidal. Esto se da debido a que el índice de refracción del núcleo no es constante, sino que varía gradualmente con un máximo en el eje de la fibra. Normalmente este tipo de fibra se aplica en los enlaces para telefonía urbana, distribución de TV, enlaces de 34 y hasta 140Mbps en general .
- Fibra MULTIMODO ÍNDICE ESCALONADO. Este tipo de fibra posee un diámetro del núcleo de entre 130 y 200um, y los rayos viajan con reflexiones definidas en líneas rectas y no curvas como en el caso anterior. En este tipo de fibra el índice de refracción del núcleo es constante y mayor que el del recubrimiento. Su aplicación se orienta a enlaces de corta distancia, redes LAN.

1.2.2 MEDIOS INALÁMBRICOS

El medio inalámbrico se utiliza para interconexión de redes mediante la utilización de transmisores de radio frecuencia, los cuales unen puntos distantes en donde el tendido de cableado se torna no práctico y costoso.

Por definición, la radiocomunicación es la técnica que permite el intercambio de información entre dos puntos geográficos distantes mediante la transmisión y recepción de ondas electromagnéticas, como se ilustra en la figura 1.6. Estas tienen una velocidad de propagación muy cercana a la velocidad de la luz, es decir 300000km/seg, lo que representa una velocidad por demás aceptable. En todo sistema de transmisión por radio, debe existir un transmisor y una antena asociada al mismo. El transmisor emite su señal de salida a la antena, la que genera una señal hacia el exterior. El proceso contrario se da cuando una antena

receptora captura las señales y las deriva a un equipo capaz de extraer la información contenida en la misma. Entre ambas antenas se propagan las señales electromagnéticas.

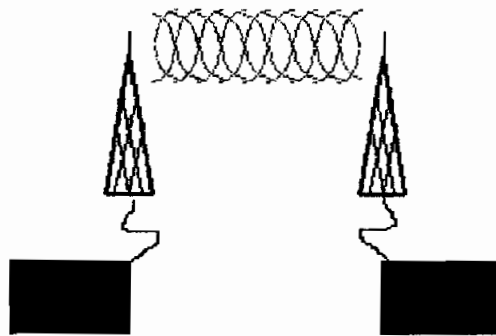


Figura 1.6 Enlace de radio

1.2.3 PROPAGACIÓN Y NATURALEZA DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Las ondas electromagnéticas son literalmente impulsos eléctricos que se desplazan por el medio ambiente. Su descubrimiento se debe al científico Heinrich Hertz, por esta razón, las ondas electromagnéticas se conocen con el nombre de ondas de radio o hertzianas.

En lo que se refiere a su naturaleza, el proceso de transmisión es el siguiente: Se aplica una potencia de radiofrecuencia a una antena (una potencia eléctrica modulada). Los electrones contenidos en el metal de la antena, comienzan a oscilar instantáneamente. El movimiento de estos electrones genera una corriente eléctrica que se manifiesta de dos formas sobre la antena. Mediante un campo magnético concéntrico al conductor de la antena, con líneas de fuerza concéntricas al conductor, y un campo electrostático cuyas líneas de fuerza son perpendiculares a las líneas de fuerza del campo anterior, es decir centrífugas. La fuerza o potencia eléctrica que se aplica a la antena tiene una forma senoidal,

forma que fielmente reproducen tanto las ondas magnéticas como las electrostáticas. La longitud de onda está directamente relacionada al tamaño de la antena, aspecto que debe ser considerado al momento de instalar la misma. La figura 1.7 ilustra lo dicho.

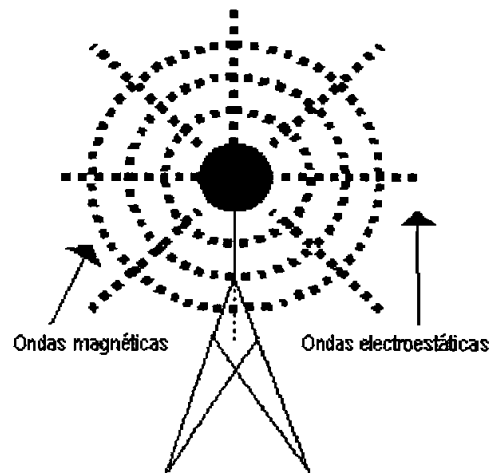


Figura 1.7 Propagación de las ondas de radio

En otro aspecto, las ondas de radio tienen cuatro formas de propagarse. La primera es la denominada propagación por onda terrestre, la segunda es la propagación por línea de vista, la tercera es la propagación por onda espacial y la cuarta es la propagación por reflexión a tierra.

1.2.3.1 Propagación por onda terrestre

En este tipo de propagación, las ondas mantienen un contacto constante con la superficie de la tierra, desde la antena transmisora a la receptora. Este fenómeno suscita la aparición de corrientes eléctricas al nivel de la tierra que llegan a interferir la onda original, introduciéndose a la misma en la forma de ruido. La polarización de esta onda es vertical dado que si es horizontal se puede tener cortocircuitos con las densidades de corriente de la Tierra¹. Adicionalmente, la onda se va debilitando hasta prácticamente desaparecer del alcance de cualquier radioreceptor.

¹ Tomasi, Wayne, Sistemas de Comunicación Electrónicas

1.2.3.2 Propagación por línea de vista

Este tipo de propagación se caracteriza porque la onda emitida desde la antena transmisora, viaja en forma directa hacia la antena receptora, sin tocar la superficie del terreno. Este tipo de transmisión es empleado particularmente para frecuencias más altas como VHF y UHF. Típicamente los servicios de TV y FM emplean este tipo de transmisión. Bajo esta modalidad de propagación, la altura de las antenas es fundamental para lograr una comunicación eficaz entre ambas antenas.

Se deben tener en cuenta dos términos relacionados a este tipo de comunicación: distancia al horizonte y distancia de alcance visual

- *Distancia al horizonte*

Es la distancia que se cubre de forma lineal recta desde la antena transmisora hasta rozar tangencialmente la superficie de la tierra. De esta forma, y entre dos antenas existe dos distancias al horizonte. Este esquema se puede observar en la figura 1.8.

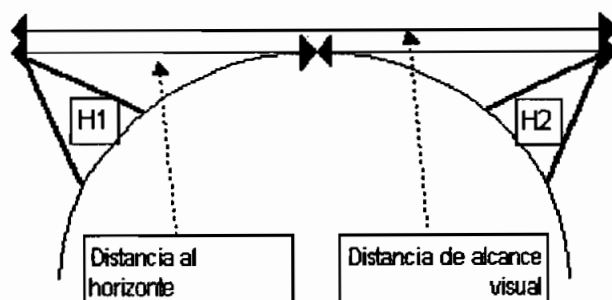


Figura 1.8 Distancia al horizonte

- *Distancia de alcance visual*

Es la distancia máxima a la que pueden instalarse dos antenas de alturas determinadas en puntos geográficos distantes. Entre las dos antenas existe una

sola distancia de alcance visual. Si se considera como H a la altura de cualquiera de las antenas en metros, es posible obtener la distancia al horizonte como D en kilómetros: $D=3.61H$. Sin embargo se ha demostrado que las ondas cercanas a la tierra sufren una inclinación a la misma que permite lograr una distancia de alcance visual mayor, quedando una fórmula como sigue: $D=4.14H$. La figura 1.9 muestra el esquema.

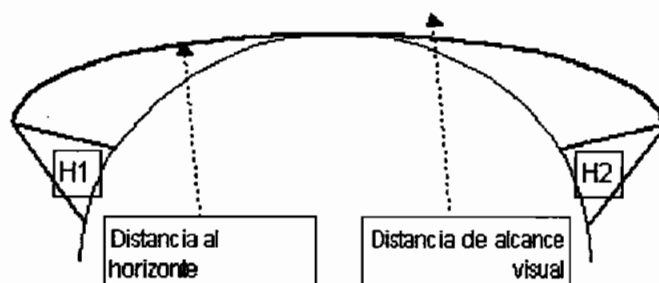


Figura 1.9 Distancia de alcance visual

1.2.3.3 Propagación por onda espacial

La mayoría de las ondas que están dentro de la frecuencia de 3 a 30MHz se propagan mediante onda espacial, excepto las de radioaficionados. Este tipo de onda es lanzada por la antena transmisora hacia la ionosfera, y rebota retornando a la tierra. Lamentablemente este tipo de comunicaciones es delicada ya que dependen del estado climatológico, y es susceptible a la radiación ultravioleta del sol, impurezas, etc. La ionosfera está formada por ondas electromagnéticas provenientes del mismo sol, y está formada por: la región D (59 Km.), la capa E (100Km. desde la tierra), la capa F1 (200Km. desde la tierra), y la capa F2 (340Km. desde la tierra). Como con todo fenómeno de refracción es conveniente tener la precaución de lograr el ángulo de incidencia adecuado a fin de que las ondas "reboten" hacia otra posición de la superficie de la tierra.

1.2.3.4 Propagación por reflexión a tierra

Esta clase de propagación se da normalmente en terrenos lisos, en donde se puede llegar a tener interferencia o suma de señales. Pues, la señal al reflejarse en la tierra puede llegar al destino desfasada e interferir la señal directa. Es muy común denominar a esta clase de propagación, propagación por múltiples trayectorias.

1.2.4 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

El espectro de radiofrecuencias hace referencia a cómo está dividido todo el ancho de banda que se puede emplear para transmitir diversos tipos de señales. La relación completa se muestra en la siguiente tabla 1.3. Existe una reglamentación que asignan determinadas frecuencias a determinados tipos de transmisión de información

Banda de frecuencia	Designación	Longitud de onda	Uso en comunicaciones
300KHz - 3MHz	MF (Middle Frequency)	1Km - 100m	Radiodifusión AM
3MHz - 30MHz	HF (High Frequency)	100m - 10m	Onda corta (radioaficionados)
30MHz - 300MHz	VHF (Very High Frequency)	10m - 1m	TV, radio FM
300MHz - 3GHz	UHF	1m - 10cm	Microondas, TV
3GHz - 30GHz	SHF	10cm - 1cm	Microondas, satélite
30GHz - 300GHz	EHF	1cm - 0.1cm	Microondas
0.3THz - 300THz	Luz infrarroja	Unidades de mm	

Tabla 1.3 Espectro de frecuencias, designación y uso¹.

¹ Wayne, Tomasi; Sistemas de Comunicaciones Electrónicas

1.3 LA PLATAFORMA ATM¹

1.3.1 ORÍGENES DEL ATM

La tecnología ATM (*Asynchronous Transfer Mode*, Modo de Transferencia Asíncrona) desde sus orígenes en la telefonía clásica, ha sido objeto de múltiples desarrollos en sus estándares. De esta manera la tecnología ATM ha sido la base de las redes de alta velocidad y con ello se ha integrado una red con un conjunto de señales como la voz, datos y vídeo, las cuales a su vez se agrupan en paquetes de tamaño fijo denominados celdas.

Así pues, fue durante el periodo de 1984 a 1988, que la ITU-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones Sector de Estándares de Telecomunicaciones) y otros grupos de estandarización, establecieron una serie de recomendaciones para la transmisión, señalización y técnicas de control necesarias para el desarrollo de una red inteligente basada en fibra óptica. Durante este periodo se forjaron las bases para el desarrollo de la red de servicios integrados de banda ancha (BISDN, *Broadband Integrated Service Digital Network*) sobre jerarquía digital síncrona (SDH, *Synchronous Digital Hierarchy*) y ATM. BISDN es un servicio que se desarrolló con la finalidad de tener una red universal, nació a partir de la extensión de ISDN de banda estrecha que solo servía para aplicaciones de voz, fax, con poco ancho de banda. Luego con el uso de la tecnología ATM se halla soporte para tener BISDN y tener servicios de mayor capacidad.

SDH describe el estándar para la transmisión de datos a velocidades múltiplos de 155.2Mbps, (1 canal STM-1 equivale a 155.2Mbps) y con la expectativa de incrementar las velocidades de transmisión en el futuro. El estándar también describe como se han de transmitir datos a baja velocidad o como realizar su mapeo para su posterior multiplexación. En los trabajos de la ITU-T también se incluye las especificaciones para mapear las celdas ATM sobre SDH.

¹ Tanenbaum, Andrew, Redes de Computadoras.

La primera decisión que se debía tomar para el desarrollo de ATM era si las celdas (paquetes en terminología ATM) debían ser de tamaño fijo o variable. La decisión final calificó a las celdas de tamaño fijo puesto que esto permite mayor velocidad de conmutación.

La segunda decisión que se debía tomar era la longitud de las celdas ATM. Esta decisión era muy importante dado que al llegar a un acuerdo en el tamaño de las celdas, se tenía que permitir el desarrollo de servicios de banda ancha. La razón principal por la que había diferentes puntos de vista respecto al tamaño de la celda era que existían diferentes filosofías entre varios países en la aplicación inicial del ATM.

En Estados Unidos de Norte América se pensaba que las aplicaciones para ATM debían soportar celdas relativamente grandes de 64 bytes para datos y una cabecera de 6 bytes. Sin embargo algunos países en Europa eran partidarios de cabeceras entre 2 y 4 bytes y 16 o 32 byte para datos, dado que estos tamaños son más apropiados para tráfico de voz.

Finalmente se llegó a un acuerdo de compromiso en Junio de 1989, consistente en definir el tamaño de la celda en 53 bytes, de los cuales 5 (la media entre 6 y 4) son para la cabecera y 48 (la media entre 64 y 32) para datos.

Así ATM integra las funciones de LAN, WAN, voz, datos y vídeo en un protocolo y diseño único y uniforme. Valiéndose de tecnologías desarrolladas, como son LMDS¹ y SONET².

1.3.2 MODELO DE REFERENCIA ATM

La arquitectura de ATM utiliza un modelo propio diferente, tanto al modelo OSI como al TCP-IP, describiendo así la funcionalidad que soporta. La funcionalidad

¹ LMDS, Local Multipoint Distribution System, sistema de difusión utilizado antiguamente para TV, actualmente se lo está desarrollando para sistemas de comunicaciones de datos.

² SONET, Synchronous Optical Network, red digital óptica sincrónica fue la primera plataforma física para ATM

ATM corresponde a la capa física y parte de la capa de enlace de datos del modelo de referencia OSI.

El modelo de referencia de ATM (figura 1.9) está constituido de los siguientes planos que abarcan todas las capas:

- Plano de Control.- este plano es responsable de generar y administrar solicitudes de señalización.
- Plano de Usuario.- este plano es responsable de la transferencia de datos, corrección de errores, control de flujo y otras funciones de usuario.
- Plano de Gestión.- este plano a su vez tiene dos componentes:
 - Administración de capas, este componente administra funciones específicas de capas como son la detección de fallas y los problemas de protocolo.
 - Administración de Planos, este componente administra y coordina funciones relacionadas con el sistema completo.

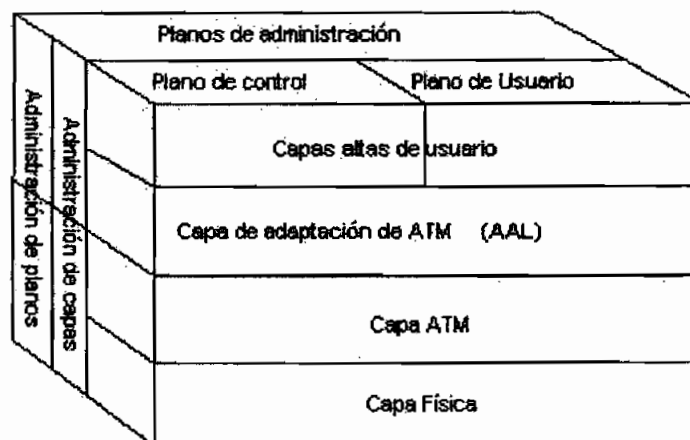


Figura 1.9 Modelo de referencia ATM

El modelo ATM de comunicación define tres capas:

1) Capa Física.

- Varios medios de Transmisión.
- Velocidades de transmisión desde Kbps hasta Gbps.

2) Capa ATM

- Celdas pequeñas de longitud fija. Son de 53 bytes con 48 bytes de carga de datos de adaptación más información del usuario.
- Canales lógicos de multiplexación dentro de un canal físico.
- Hardware de conmutación de celdas a muy altas velocidades.

3) Capa de Adaptación ATM (AAL, *ATM Adaptation Layer*)

- AAL tipo 1. Servicios a tasa de bit constante.
- AAL tipo 2. Servicios a tasa de bit variable.
- ALL tipo 3 /4. Servicios no orientados a conexión / tasa de bits variable.
- ALL tipo 5. Protocolo de datos de alta velocidad.

A continuación se analiza con mayor detalle cada una de las capas ATM.

1.3.2.1 Capa Física

La capa Física de ATM, es parte de su modelo de referencia, presenta las siguientes funciones:

- Convierte bits en celdas.
- Controla la transmisión y recepción de bits en el medio físico.
- Sigue el rastro de límites de celdas ATM.
- Empaqueta la celda dentro del tipo apropiado de *frame* (del inglés, trama) para el medio físico utilizado.

1.3.2.1.1 Subcapas de la capa física.

Existen 2 subcapas en la capa física, la inferior es la que realiza el trabajo propio a cargo de la capa física y la superior es una capa de convergencia que proporciona la interfaz adecuada con la capa del siguiente nivel superior.

➤ *Subcapa dependiente del medio físico (PMD, Physical Medium Dependent)*

En esta capa se observan las siguientes funciones:

- Sincroniza la transmisión y recepción enviando y recibiendo flujos continuos de bits con información de tiempo, a través del bit de sincronización (*timing*).
- Especifica el medio físico y las características de transmisión, incluyendo tipos de conectores y cable.
- Temporización de bits.

Algunos ejemplos de estándares de medios físicos para ATM son los siguientes:

- Red Óptica Síncrona / Jerarquía Digital Síncrona (*Synchronous Optical Network / Synchronous Digital Hierarchy - SONET / SDH*)
- DS-3 / E3
- 155 Mbps sobre fibra óptica multimodo usando el esquema de codificación 8B/10B.¹
- 155 Mbps 8B/10B sobre cable de par trenzado blindado (*Shielded Twisted Pair, STP*).

➤ *Subcapa de convergencia de transmisión (TC, Transmission Convergence)*

- Delineamiento de Celda. Esta función mantiene los límites de las celdas ATM, permitiendo que los dispositivos localicen a las celdas dentro de un flujo de bits.
- Verificación y generación de la secuencia del control de errores de encabezado (*Header Error Control - HEC*). Esta función verifica y genera una suma para el control de errores del encabezado para asegurar datos válidos.

¹ 8B10B es un código de línea que trata a la señal digital en banda base y la prepara a ser transmitida en el canal de comunicación y sirve a su vez para solo la detección de errores en transmisión de banda base.

- Ajuste de la tasa de transmisión de celdas. Esta función mantiene la sincronización e inserta o suprime celdas desocupadas ATM (no asignadas) para adaptar la tasa de celdas válidas a la capacidad de carga del sistema de transmisión.
- Adaptación del *frame* de transmisión. Esta función empaqueta celdas ATM en *frames* definidos por la interfaz física con la que se trabaja.

1.3.2.2 Capa ATM

La capa ATM normalmente trabaja con las estructuras de las celdas¹, definiendo su organización y los campos de encabezado y datos. Así también aporta con el establecimiento y liberación de circuitos virtuales, siendo este el punto de control de congestión².

1.3.2.2.1 Descripción de una celda ATM

ATM transfiere información por medio de unidades de tamaño fijo llamadas celdas. Cada celda contiene 53 bytes (figura 1.10). Los cinco primeros bytes son usados como encabezado de la celda, mientras que los 48 bytes restantes contienen la información del usuario (*Payload*) y otra información que requiera la aplicación, como la información del tipo de adaptación AAL para reensamblado y segmentación de las celdas, y así asignarles un interfaz de acuerdo a la aplicación del usuario que esté corriendo en la red.

Las celdas pequeñas de tamaño fijo son adecuadas para transmitir voz y vídeo. Este tipo de tráfico es intolerante al retraso que puede resultar de la espera de un paquete largo de datos al ser transmitido.

¹ Tanenbaum, Andrew; Redes de Computadoras.

² www.webproforum.com/tutorials

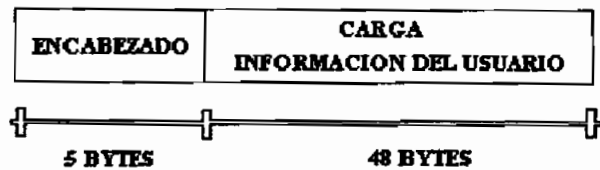


Figura 1.10 Estructura básica de la celda ATM

La conmutación de paquetes, que utiliza el ancho de banda sólo cuando hay tráfico de datos, se desarrolló para gestionar el tráfico a ráfagas de datos. Sin embargo, los sistemas de conmutación de paquetes no se comportan de manera adecuada en el caso de tráfico bidireccional en tiempo real, como el vídeo interactivo. ATM supera esta limitación gracias a la utilización de celdas, que son paquetes de longitud fija, en vez de emplear paquetes de longitud variable.

Las celdas ATM de longitud fija (53 bytes) ofrecen muchas ventajas respecto a los paquetes de longitud variable:

- Posibilidad de Conmutación mediante *Hardware*, puesto que el procesamiento de las celdas de tamaño fijo es sencillo, predecible y fiable, es posible realizar la conmutación ATM a nivel de *hardware* en vez de requerir de un costoso y complejo *software* para gestionar el control de flujo, *buffer* y otros aspectos de administración.
- Nivel de Servicio Garantizado, los retardos de espera en las colas sufridos en la red y en los conmutadores son más predecibles en el caso de las celdas de datos de tamaño fijo. Por tanto, es posible diseñar los conmutadores para que proporcionen niveles de servicio garantizados para todo tipo de tráfico, incluso para servicios sensibles al retardo, como voz y vídeo.
- Procesamiento Paralelo, las celdas de longitud fija permiten a los conmutadores encargados de retransmitir las celdas, procesar en paralelo las celdas, alcanzando velocidades que exceden con mucho las limitaciones de las arquitecturas de conmutación basadas en bus.

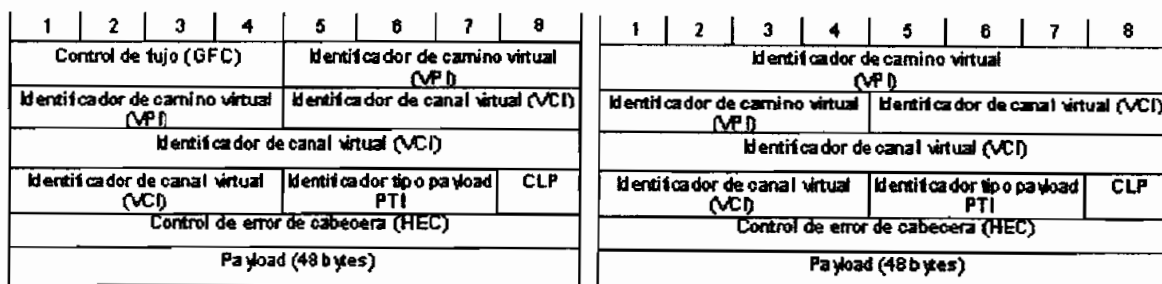
- Posibilidad de Procesar Voz, aunque las celdas ATM únicamente requieren ancho de banda cuando existe tráfico, aun así pueden proporcionar el equivalente de una ranura de tiempo, como la generada por un multiplexor por división de tiempo, para tráfico continuo. De esta manera, ATM es capaz de gestionar igualmente bien tráfico continuo en tiempo real como la voz digitalizada y tráfico a ráfagas como son las transmisiones LAN.

En lo referente a los interfaces de red, se tienen dos clases de encabezado de la interfaz de red del usuario (*User Network Interface - UNI*) que es utilizado para comunicaciones entre puntos terminales de ATM y los switches ATM. El encabezado de la interfaz de nodo de red (*Network Node Interface- NNI*) es utilizado para las comunicaciones entre los switches de una red ATM.

Las interfaces se pueden subdividir en 4 de acuerdo al usuario y ubicación del conmutador (*switch*):

- UNI Privado. Conecta un nodo terminal de ATM a un *switch* privado ATM.
- UNI Público. Conecta un nodo terminal o un *switch* privado ATM con un *switch* público.
- NNI Privado. Conecta dos *switches* ATM que pertenecen a la misma organización privada.
- NNI Público. Conecta dos *switches* ATM que pertenecen a la misma organización pública.

Las estructuras de las celdas de ambas conexiones (UNI / NNI) son idénticas, excepto por los 4 bits de GFC (*Generic Flow Control*; control de flujo genérico) que se utilizan solamente por las conexiones UNI, de este modo existen hasta 12 bits de VPI (*Virtual Path Identifier*, identificador virtual de rutas) para las conexiones NNI.



UNI

NNI

Figura 1.11 Estructura de una celda ATM (UNI / NNI)

1.3.2.2.2 Servicios de la Capa ATM

Existen 3 tipos de servicios en ATM:

a) Conexión Virtual Permanente (Permanent Virtual Connection - PVC)

Una conexión virtual permanente (PVC) permite conexión directa entre los sitios. De este modo, el PVC es similar a líneas privadas, con sus siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Disponibilidad garantizada para conexiones.
- No hay necesidad de un procedimiento de establecimiento de conexión

Desventajas:

- La conexión es constante y estática, y requiere administración manual para su establecimiento.

b) Conexión Virtual Conmutada (Switched Virtual Connection - SVC)

Es creada y liberada dinámicamente y se mantiene en uso solamente durante la duración de la transferencias de los datos. En este sentido es similar a una llamada telefónica en una PSTN (*Public Switched Telephone Network*). El control dinámico de llamadas requiere de un protocolo de señalización entre el punto terminal de ATM y el switch de ATM.

Ventajas:

- Flexibilidad de conexión
- Establecimiento de llamada automático mediante mensajes de red.

Desventajas:

- Tiempo extra requerido para establecimiento de la conexión
- Uso de ancho de banda para mensajes de control

c) *Conexiones Virtuales*

Las redes ATM son fundamentalmente orientadas a conexión por lo que se necesita establecer un canal virtual (VC) antes de que se pueda realizar cualquier transferencia de datos. Las conexiones ATM se establecen, para la duración de la llamada, utilizando VCI's (*Virtual Channel Identifier*- Identificador de conexión virtual) y VPI's (*Virtual Path Identifiers* - Identificador de Ruta Virtual).

Una ruta virtual es un conjunto de canales virtuales que están conmutados a través de la red ATM con un identificador VPI en común.

Todos los VCI y VPI solo tienen importancia local a través de un enlace en particular y pueden ser multiplexados de conmutador a conmutador, y son redireccionados o tabulados como es apropiado en cada conmutador.

La combinación de VPI + VCI determina la dirección de la celda. El VPI identifica un grupo de VCI que comparte la misma conexión virtual. En términos físicos se podría pensar que los VCIs representan un grupo de conductores eléctricos que comparten la misma tubería o VPI, (ver figura 1.12) y que pueden cambiar de un lugar a otro al ser interconectados en puntos intermedios.

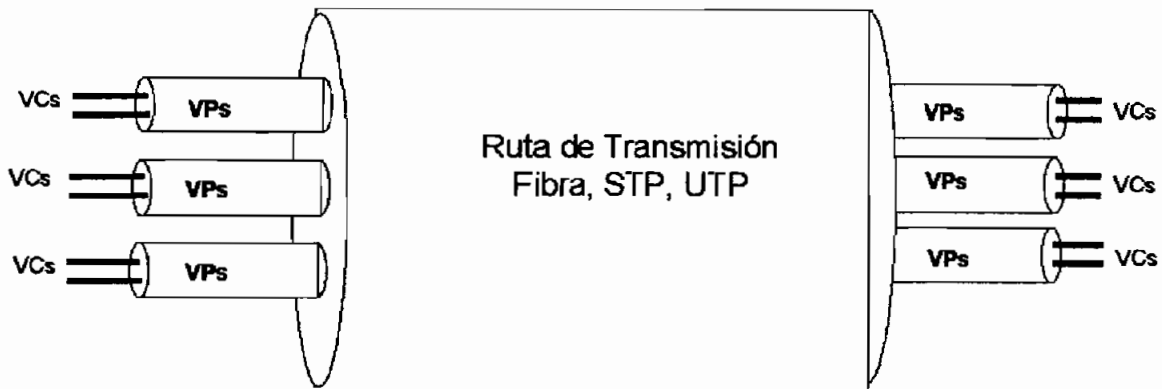


Figura 1.12 Caminos virtuales (VPs) y Canales virtuales (VCs)

d) Operación del conmutador

La operación básica de un conmutador (*switch*) ATM es como se describe a continuación:

1. Recibe la celda a través de una enlace sobre un identificador conocido como canal virtual (VCI) o un identificador de ruta virtual (VPI).
2. Se compara el valor de la conexión en una tabla local de traducción para determinar el puerto(s) de salida y el nuevo valor del VPI / VCI de la conexión en esa salida.
3. Retransmite la celda sobre el puerto de salida con el identificador de conexión apropiado.

1.3.2.3 Capa de Adaptación ATM (AAL)

La capa de adaptación ATM, es una interfaz con aquellas aplicaciones que no manejan celdas (*Apple Talk*, protocolos de Internet (IP) y *Netware*) y la capa ATM.

El AAL hace traducciones entre unidades de servicio de datos (*Service Data Units – SDUs*) (como por ejemplo flujo de vídeo y paquetes de datos) de procesos de capas muy altas y celdas ATM. Específicamente, AAL recibe paquetes de protocolos de nivel más alto y los rompe en segmentos de 48 bytes formando el campo de carga de la celda ATM.

- Subcapa de convergencia (*Convergence sublayer – CS*). Esta subcapa adapta la información en múltiplos de octetos. En caso de ser necesario, se agregaran los bits que se requieran para este fin.
- Subcapa de Segmentación y Reensamble (*Segmentation and Reassembly Sublayer – SAR*) Esta subcapa segmenta la información que recibe de la subcapa CS en unidades de 48 octetos en la fuente y los reensambla en el destino.

Se definen algunas capas de adaptación ATM que posibilitan manejar diferentes tipos de tráfico sobre ATM. Así se tiene:

1.3.2.3.1 CAPA AAL1

Esta capa fue diseñada por ITU-T para transmisión de datos con tasas de bits constantes (*Constant Bit Rate, CBR*)¹ tales como voz y vídeo. AAL1 incluye especificaciones para la segmentación de una señal continua para transportarla en celdas individuales de ATM. El tráfico de voz es muy sensible a variaciones de tiempo muy pequeñas.

El proceso de AAL1 prepara a una celda para su transmisión como sigue:

- Se insertan muestras sincronas dentro del campo de carga.
- Se agregan campos de Números de secuencia (*Sequence Number – SN*) y de protección de números de secuencia (*Sequence Number Protection – SNP*) para proveer información que el receptor AAL1 usa para verificar si ha recibido las celdas en el orden correcto.

¹ CBR, siglas en inglés correspondientes a Constant Bit Rate, ver sección 1.3.3.1

- Lo que queda del campo de carga es llenado con suficientes bytes hasta igualar 48.

1.3.2.3.2 CAPA AAL 2

La capa AAL2 se diseñó para aplicaciones en tiempo real, orientada a conexión y con una tasa de bits variable. A diferencia del AAL1, el AAL2 puede llevar audio o vídeo comprimido en donde la tasa de bits puede variar considerablemente como en el caso de una vista panorámica de vídeo aficionado en movimiento. En la trama AAL2, el estándar no define claramente los tamaños de cada campo de la trama.

Esta capa tiene una trama (figura 1.13) que está formada por los siguientes campos:

- 48 bytes de carga por celda.
- Número de secuencia (NS). Indica el orden de las celdas, incluso sirve para detección de celdas erróneamente insertadas.
- Tipo de información (TI). Usado para indicar el inicio del mensaje, continuación del mensaje o el final del mensaje y también un componente de señal de audio o vídeo.
- Indicador de Longitud (IL). Indica el número de octetos de la subcapa de convergencia, PDU (*Protocol Data Unit*) que está incluido en la carga de la subcapa SAR.
- *Cyclic Redundance Check code* ó CRC. Usado para detectar errores de hasta 2 errores de bits correlacionados en el PDU del SAR.

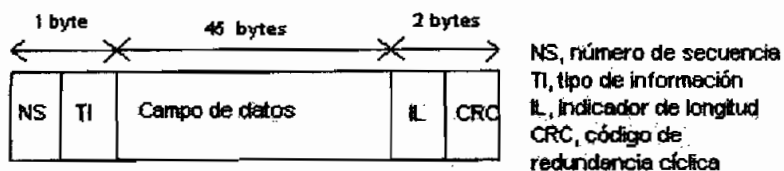


Figura 1.13 Trama AAL2

1.3.2.3.3 CAPA AAL 3/4

La capa AAL 3/4 soporta datos orientados a conexión y no conexión, con tasas variables de datos y para aplicaciones en tiempo no real. Es el único tipo de AAL que utiliza la multiplexación para transporte de circuitos, permitiendo de esta manera manejar varias sesiones por un mismo circuito virtual (VC), y que a diferencia de AAL1 y AAL2 tiene mensajes de protocolo de la subcapa de convergencia y de reensamblaje.

La capa AAL 3/4 prepara una celda (figura 1.14) para su transmisión como sigue:

1. La subcapa de convergencia (CS) crea la unidad de datos de protocolo agregando un encabezado con etiqueta de Inicio / Termina al *frame* (trama), añadiendo un campo adicional o *trailer* (cola).
2. La subcapa de segmentación y reensamble fragmenta el PDU y le agrega un encabezado.
3. La subcapa del SAR también agrega un *trailer* a CRC-10 a cada fragmento de PDU para control de errores.

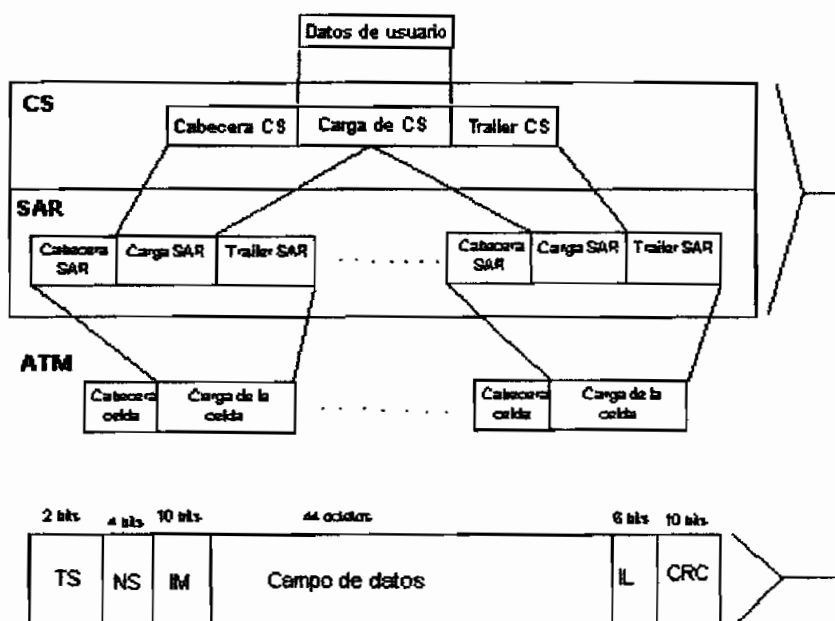


Figura 1.14 Capa AAL 3/4 y su carga respectiva

4. El SAR - PDU se convierte en el campo de carga de una celda ATM en el cual la capa ATM agrega el encabezado estándar de ATM.

Un encabezado del SAR-PDU AAL 3/4 consiste de los siguientes campos:

- Tipo de segmento (TS). Identifica si la celda es el principio o el final del mensaje.
- Número de Secuencia (NS). Identifica el orden en el cual las celdas deberían ser reensambladas.
- Identificador de mensaje (IM). Utilizado para reensamblaje de tráfico en una conexión determinada.

1.3.2.3.4 CAPA AAL 5

AAL 5 es la principal AAL para datos y soporta servicios tanto orientados a conexión como aquellos no orientados a conexión, con tasas de bits variables. Es usada para transferir datos, como IP sobre ATM y emulación de LAN.

AAL5 es también conocida como la capa de adaptación simple y eficiente (*Simple and Efficient Adpatation Layer- SEAL*), porque la subcapa SAR acepta el CS-PDU y lo segmenta en 48 octetos SAR - PDU's, sin agregarle ningún campo adicional.

La capa AAL 5 prepara a una celda para su transmisión como sigue:

1. La subcapa CS añade el número de bits necesarios y un *trailer* de 8 bytes a la trama. Estos bits aseguran que el PDU resultante caiga en el límite de 48 bits de una celda ATM. El *trailer* incluye la longitud de la trama y un CRC de 32 bits computado a través de todo el PDU. Esto permite que el AAL 5 reciba procesos para la detección de errores de bits, celdas perdidas o celdas que están fuera de secuencia.
2. La subcapa SAR divide el CS-PDU en bloques de 48 bits. No se agrega encabezado ni *trailer* (como en AAL 3/4), por lo que los mensajes no pueden ser intercalados.

3. La capa ATM coloca cada bloque dentro del campo de carga de una celda ATM. Para todas las celdas, a excepción de la última, se coloca un cero en un bit en el campo de tipo de carga (PTI), indicando que la celda no es la última en la serie que representa un solo *frame*. Para la última celda, el bit en el campo PTI está colocado en uno.

1.3.3 CALIDAD DE SERVICIO EN ATM

Dentro de la tecnología ATM se concibe la idea de calidad de servicio en una manera única, de manera que la administración de ATM permite a los operadores y usuarios llegar a acuerdos contractuales en lo que respecta a la disponibilidad del servicio y la velocidad de la comunicación. En lo que respecta a la disponibilidad se manejan conceptos de QoS con parámetros que describen el flujo que tendrán las celdas, esto se especifica mediante valores de tasa de bits pico, tasa de bits sostenida, tasa de bits mínima, retardos en la transmisión de celdas, entre otros.

Mientras que para la velocidad, es la forma en la que los bits van a ser transmitidos dentro de la red ATM de acuerdo a una política de tráfico contractual. De esta manera, surgen lo que se denomina las categorías de servicios en ATM. Así para las diferentes categorías de servicios se puede medir la calidad de servicio a través de valores como la tasa de bits mínima, sostenida, retardos, etc.

1.3.3.1 Categorías de servicios en ATM

Dentro de las categorías de servicio se distinguen las siguientes.

- La clase CBR (*Constant Bit Rate*, tasa de bits constante), esta clase de servicio carece de control de flujo, pero garantiza la velocidad de los datos y los bits fluyen como en sistemas sincrónicos constantes tales como los circuitos E1. Hallan su aplicación en sistemas de voz y vídeo.

- La clase VBR-RT (*Variable Bit Rate-Real Time*, tasa de bits variable en tiempo real), se da en servicios que requieren de tasas variables con la necesidad de obtener los datos en tiempo real. Hallan su aplicación en servicios de vídeo comprimido interactivo como videoconferencias. En este servicio se tiene un grado de tolerancia de pérdida de celdas en donde lo mejor es ignorar dicha pérdida.
- La clase VBR-NRT (*Variable Bit Rate-No Real Time*, tasa de bits variable en tiempo no real, este servicio halla aplicación en servicios como solicitudes de servicio a un proveedor, correo electrónico, donde los usuarios ponen su requerimiento y la entidad demandada observa tales requerimientos en un tiempo posterior, sin considerar que sucedió con las variaciones que tuvieron las celdas para llegar a su destino.
- La clase ABR (*Available Bit Rate*, tasa de bits disponible), en esta clase es opcional la garantía de velocidad, dado que tráfico cursado no requiere de que sea en tiempo real, pudiendo incluso solo en esta clase, mediante la red, realimentar al transmisor para que disminuya la velocidad en caso de congestionamiento. Halla su aplicación en servicios como consultas del Internet, catálogos en línea, etc.
- La clase UBR (*Unspecified Bit Rate*, tasa de bits no especificada), esta clase no tiene parámetros de medición de calidad, dado que no garantiza el ancho de banda en la red, lo único que se podría determinar es que se encuentra en aplicaciones a ráfagas como consultas de o transferencias de archivos.

Así estas clases de servicios expuestas tienen un patrón de medida de rapidez, variación de retardos y de las características negociables de la red y que se describen brevemente a continuación en las siguientes variables de calidad de servicio:

- PCR (*Peak Cell Rate*, tasa de celdas pico), es la rapidez máxima con la que el transmisor transmite las celdas.

- SCR (*Sustained Cell Rate*, tasa de celdas sostenible), es la tasa de celdas que se promedia en un intervalo de tiempo largo y que se espera tener por parte del generador de celdas.
- MCR (*Minimum Cell Rate*, tasa de celdas mínima), es la cantidad mínima que el operador debe garantizar al cliente en la transmisión de celdas en la red.
- CVDT (*Cell Variation Delay Tolerance*, tolerancia de variación de retardo de celdas), este valor indica la variación que hay en los tiempos de transmisión de las celdas.

1.4 ACCESO A LOS SERVICIOS DE BANDA ANCHA

Los servicios de banda ancha son aquellos donde el usuario final puede tener acceso a grandes capacidades de datos, pudiendo llegar a tener aplicaciones como vídeo por demanda u otros servicios multimedios.

No hay que dejar de lado que los usuarios son, prácticamente en la totalidad de los casos, absolutamente indiferentes a la tecnología o la infraestructura que se está empleando para facilitarle el servicio. Por ello, en última instancia, el progreso o fracaso de las diferentes redes de acceso no va a depender de la solvencia técnica, empresarial o financiera de las empresas que se constituyan en operadores, sino de su capacidad para dar servicios a los usuarios a mejores precios y con mejores prestaciones y calidad que los que ahora reciben por otros medios o no reciben en absoluto.

Así también se debe tener presente que la convergencia de los distintos servicios a través de la digitalización y las plataformas multimedia han llevado a que técnicamente sea posible ya la construcción y operación de redes multiservicio interactivas de banda ancha. Por otra parte, el proveedor del acceso local va a conservar siempre el contacto con el cliente, por lo que la opción de convertirse en operador de infraestructuras permitirá a las compañías ofrecer a sus clientes una gama de servicios mucho más variada. Así mismo, la enorme capacidad de

transmisión de las redes de banda ancha va a hacer que lo difícil sea conseguir tráfico suficiente para llenarlas y amortizar inversiones de su instalación.

1.4.1 CLASIFICACIÓN DE LAS REDES DE ACCESO

Las redes de acceso son aquellas que permiten al usuario establecer la comunicación desde su terminal hacia la red de servicios del proveedor.

Dentro de las redes de acceso se tienen los siguientes tres grupos a estudiarse:

- Las redes de acceso vía cobre: entre las que destacan las tecnologías xDSL.
- Las redes de acceso vía radio: tales como MMDS (*Multipoint Multichannel Distribution System*), LMDS (*Local Multipoint Distribution System*).
- Las redes de acceso vía fibra óptica: en donde se destacan las redes HFC (Híbrida Fibra Coaxial), las redes PON (Redes Pasivas Ópticas, *Passive Optical Networks*), y las redes HFR (Híbridas Fibra Radio).

Ancho de Banda (Mbps)

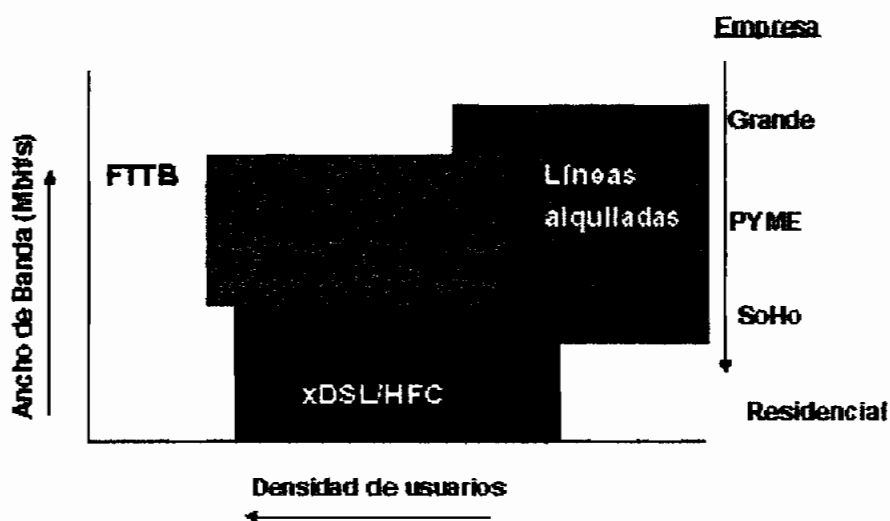


Figura 1.16 Posicionamiento de los sistemas de acceso de banda ancha¹

¹ FTTB, Fiber To The Building, es una topología de una red de fibra óptica. Véase sección 1.4.1.3

1.4.1.1 Redes de acceso vía cobre

Las redes de cobre desde hace mucho tiempo han tenido limitaciones, uno de los clásicos ejemplos son las redes telefónicas y, en particular, su tasa de transmisión en donde se tienen los 14,4Kbps primero, hasta tener los 56Kbps después, utilizando pares de cobre. La RDSI ya dio un importante paso adelante al proporcionar 192Kbps en su acceso básico. Hoy en día se va observado cómo los nuevos módems xDSL se aproximan a velocidades de 10Mbps. Y es que potenciales alternativas al bucle de abonado como las redes de cable o los sistemas inalámbricos de tercera generación, pasan por la instalación de nuevos medios de transmisión de fibra en el primer caso y de notables infraestructuras de antenas y estaciones base en el segundo, ambas empresas muy costosas y no exentas de dificultades.

Las nuevas aplicaciones multimedia, que generan la necesidad de proporcionar velocidades de banda ancha (en Europa son los servicios por encima de E1, el límite de la ISDN de banda estrecha). A pesar de que aún no se han logrado estandarizar por completo, los módems xDSL ofrecen la capacidad necesaria en términos de ancho de banda para acceder a toda clase de servicios multimedia interactivos a través de los accesos telefónicos tradicionales. En otras palabras, permiten convertir el bucle de abonado convencional, hoy utilizado únicamente para conectar el teléfono o un módem de línea, pudiendo llegar con técnicas de compresión de datos teóricamente hasta 64Kbps y en la práctica hasta 56Kbps, en un potente sistema de acceso a los nuevos servicios multimedia o a las redes WAN de banda ancha.

Tecnologías DSL

Las tecnologías DSL (*Digital Subscriber Line*) basan su funcionamiento sobre el par de cobre acompañadas de técnicas de modulación que permiten al usuario final tener tasas de transmisión elevadas acorde con algunos parámetros de configuración y distancia según la tecnología que se maneje. De esta manera las

diferentes tecnologías se caracterizan por la relación entre la distancia alcanzada entre módems, velocidad y simetrías entre el tráfico descendente (el que va desde la central hasta el usuario) y el ascendente (en sentido contrario).

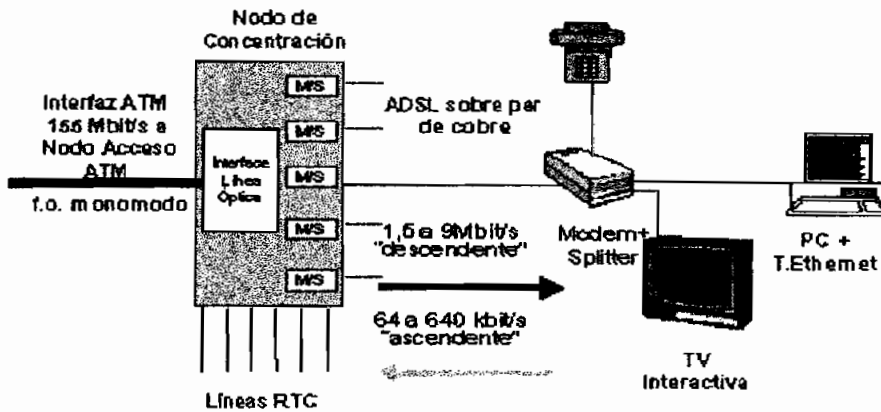


Figura 1.17 ADSL: Datos asimétricos en el bucle de abonado

Dentro de las técnicas de modulación, cabe especificar que para la tecnología DSL se tienen dos técnicas principales que son rivales entre sí. Estos son la modulación CAP (*Carrierless Amplitude Phase*) y DMT (*Modulation and Discrete Multitone*), en donde ambos métodos se basan en la modulación QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*). Utilizando la modulación QAM se puede enviar dos portadoras digitales ocupando el mismo ancho de banda para transmisión, en donde dos señales independientes de la misma frecuencia pero de amplitud y fase diferente se modulan para ser transmitidas.

El tipo de modulación CAP ofrece una solución al problema de generar una onda modulada capaz de transportar cambios de amplitud y fase. La versión CAP de la modulación QAM almacena partes de una señal en una memoria y luego une los fragmentos de la onda modulada. La señal portadora se suprime antes de la transmisión ya que no contiene información y se la regenera en el lado del módem de recepción. Al comienzo de la transmisión, CAP comprueba la calidad

de la línea de acceso y utiliza la versión más eficaz de QAM para obtener el mayor rendimiento¹ de la señal.

Mientras que la modulación DMT divide las frecuencias que viajan por la línea de cobre en 256 subcanales. Estas frecuencias sufren pérdidas en presencia del ruido. También realiza una comprobación al comienzo de la transmisión para determinar la capacidad de la señal portadora. Luego los datos se fragmentan en diversos números de bits y se distribuyen entre una determinada combinación de 256 subcanales creados. Para eliminar el problema del ruido, se transmiten la mayor cantidad de datos en las frecuencias inferiores, y menos datos en las superiores.

La modulación CAP tiene la ventaja de estar disponible para velocidades de 1.544Mbps y su costo es reducido debido a su simplicidad, la desventaja que presenta es que reduce el rendimiento en ADSL y es susceptible de interferencias debido a la utilización de un solo canal. Mientras que la modulación DMT tiene la ventaja de haber sido escogida por ANSI (*American National Standards Institute*) y ETSI (*European Technical Standards Institute*). La desventaja es que al ser 4 veces más rápida que la CAP, su costo es más elevado.

Como consecuencia de estas características, cada tipo de módem DSL se adapta preferentemente a un tipo de aplicaciones:

- HDSL (*High-bit-rate Digital Subscriber Line*): los primeros modems HDSL, fueron diseñados para ofrecer servicios a velocidades de hasta de 2,048 Mbps sobre 2 o 3 pares de cables en anchos de banda que varían entre 8 KHz y 240 KHz, según la técnica de modulación utilizada.

Dentro de las aplicaciones típicas para HDSL se tiene la conexión de centrales PBX, las antenas situadas en las estaciones base de las redes telefónicas

¹ Manual de Equipo Schmid xDSL; Apuntes de Telemática Ing. Pablo Hidalgo, Escuela Politécnica Nacional

celulares, servidores de Internet, interconexión de LANs y redes privadas de datos.

- **SDSL** (*Single line Digital Subscriber Line*): En la práctica tiene el mismo comportamiento que la tecnología HDSL pero utiliza únicamente un par, de allí se desprende que su mercado está destinado estratégicamente hacia el grupo de usuarios residenciales que sólo disponen de una línea telefónica.

- **RADSL/ADSL** (*Rate-Adaptative/Asymmetric Digital Subscriber Line*): esta tecnología ofrece velocidades de acceso al usuario mayores y una mejor adaptación a los requerimientos de los servicios de los usuarios. Dentro de las aplicaciones frecuentes de esta tecnología se encuentran los servicios de TV en modo distribuido, acceso a Internet, vídeo bajo demanda, entre otros, en los cuales se requieren anchos de banda elevados para el recibimiento de la información y bajas tasa de transmisión para su pedido.

- **VDSL** (*Very High Digital Subscriber Line*): esta tecnología coincide básicamente con ADSL y permite velocidades de transmisión de hasta aproximadamente 52Mbps pero teniendo distancias menores para un enlace.

En resumen, las técnicas xDSL ofrecen un aumento en la capacidad del canal de transmisión en el bucle de abonado con equipo y técnicas de modulación avanzadas mencionadas con el serio limitante de la distancia entre equipos.

1.4.1.2 Redes de acceso vía radio

Los sistemas de radio ofrecen un camino alternativo a las redes de cable para la difusión de servicios multimedia con un soporte de canales de retorno asimétricos para su interactividad con el usuario final. Estos sistemas presentan una ventaja clara en lo que se refiere a costos de infraestructura, así también el tiempo para su instalación y puesta en funcionamiento es pequeño teniendo de esta manera un acceso inmediato a los usuarios.

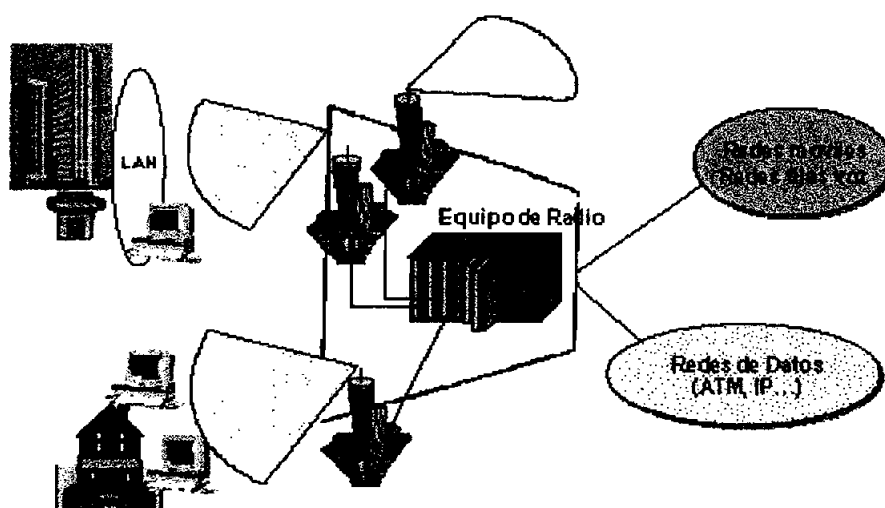


Figura 1.18 Sistema de acceso por radio de Banda Ancha

Las tecnologías que se presentan y desarrollan en la actualidad para el acceso a los servicios de banda ancha vía radio son, fundamentalmente el MMDS (*Multichannel Multipoint Distribution System*) y el LMDS (*Local Multipoint Distribution System*).

Los dos tipos de sistemas fueron inicialmente utilizados exclusivamente para la distribución de múltiples canales de televisión, en ambos casos como una alternativa potencial a los sistemas de televisión por cable.

1.4.1.2.1 Sistemas MMDS (*Multipoint Multichannel Distribution System*)

MMDS ó sistema de distribución multicanal multipunto nacieron a partir de la evolución de los sistemas MDS (*Microwave Distribution System*), los cuales eran servicios pagados en circuitos de TV en la banda de 2GHz. Luego se tuvo una posterior definición de la banda para este servicio multicanalizado ocupando las bandas otorgadas por entes reguladores de los EUA (figura 1.19). Esta asignación puede variar de unos a otros países. Estos sistemas MMDS regularmente tienen su aplicación en la difusión de señales de TV en canales analógicos.

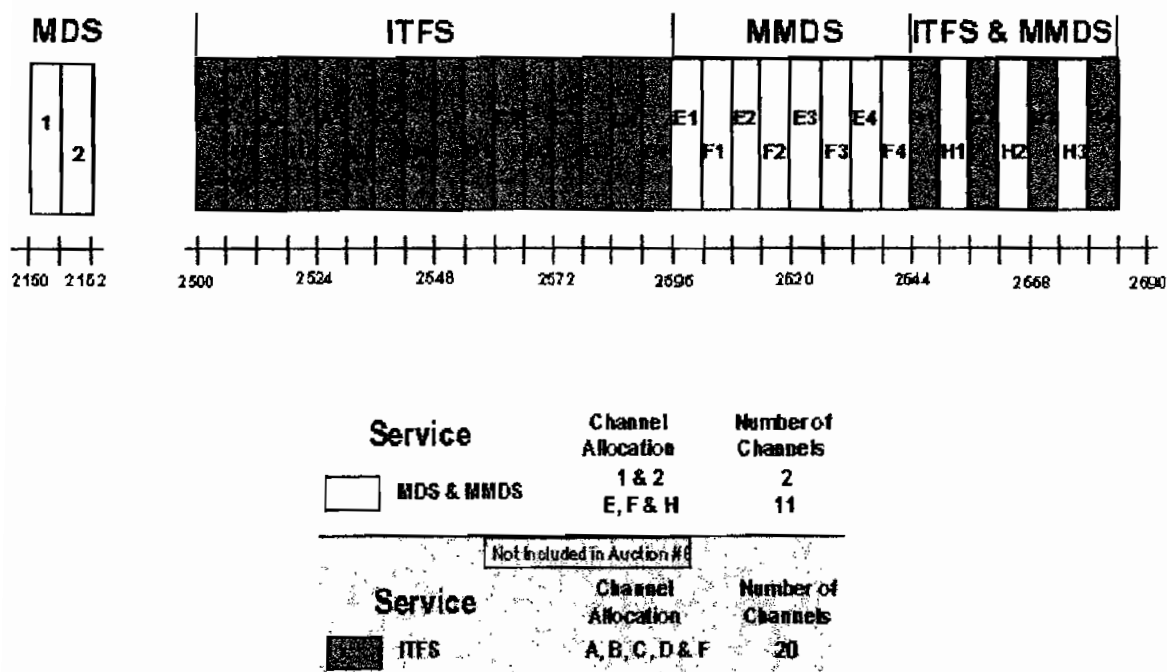


Figura 1.19 Asignación de frecuencias para MMDS

Técnicamente el MMDS es un sistema inalámbrico que consiste (figura 1.20) en un equipo terminal transmisor principal constituido por un equipo receptor de la señal de satélite, equipo de difusión y una antena de transmisión; y un equipo receptor en el lado del usuario constituido por una antena, conversor de frecuencia y un dispositivo de aplicación. Las señales de microonda terrestre son tratadas junto con las aplicaciones para ser entregadas o transportadas por la red de acceso MMDS. Las estaciones repetidoras se utilizan para llegar hacia áreas ocultas donde no se tiene cobertura y se desea abastecer la necesidad de comunicación.

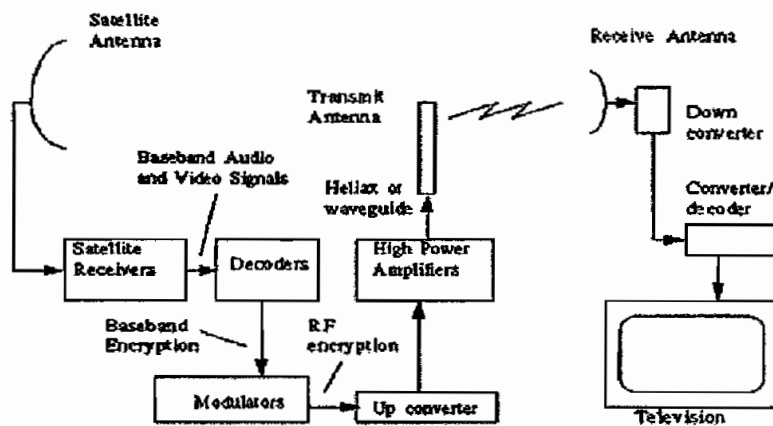


Figura 1.20 Sistema MMDS típico

El alcance que puede tener la señal es de alrededor de unos 50 Km (35 millas) dependiendo de la potencia que entregue la antena para la difusión de la señal. Dicha potencia está en el rango de 1 a 100 Watts, rango que está por debajo de los estándares de potencia de las estaciones de VHF y UHF para difusión. Por lo regular la antena es un arreglo parabólico rectangular que recibe señales del interfaz aire ya sea en polarización vertical u horizontal o ambas en las localidades del usuario. Luego de esto la señal de microonda es convertida a señales con frecuencias estándares VHF y UHF con el fin de tener servicio de televisión.

El ancho de banda de 186 MHz permite manejar unos 30 canales analógicos de 6MHz, que en comparación con otras tecnologías como el cable que llevan alrededor de 80 canales analógicos de 6 MHz, es reducido y su mercado está orientado a zonas de baja densidad de abonados.

Ya en la década de los 90 se tienen mejores técnicas de compresión digital de canales de televisión alcanzando capacidades de multiplexación de alrededor de 5 veces la capacidad original. Los sistemas de acceso son de tipo banda ancha compartido, con protocolo IP. La bajada de datos o *downstream* se realiza mediante TDM con las portadoras moduladas en 64-QAM y la subida es TDMA con portadoras moduladas en QPSK. Así, los servicios más comunes que MMDS

podría ofrecer serían en resumen: televisión, acceso a Internet y la transferencia de datos de alta velocidad.

1.4.1.2.2 Sistemas LMDS (Local Multipoint Distribution System)

Es una tecnología muy similar a MMDS, pero con más potencial para la interactividad con el usuario, debido, sobre todo, a su mayor ancho de banda. El sistema opera alrededor de la banda de los 26 a los 40GHz, siendo ésta la única tecnología de enlaces vía radio que permite un gran ancho de banda tanto en el canal de difusión como en el de retorno. LMDS es capaz de ofrecer una gran variedad de servicios tales como vídeo multicanal digital, telefonía, vídeo bajo demanda, teleconferencia y servicios de datos de alta velocidad. Dada la posibilidad de utilizar un solo medio con alta capacidad para cubrir la "última milla" del bucle local, los modelos de los servicios a ofrecer dependen fundamentalmente de consideraciones locales (tipo de demanda, situación competitiva, densidad de posibles abonados, etc.). LMDS será fundamentado en detalle en la sección 1.5.

Dado el carácter de terminal de red que tienen estos sistemas, no es sorprendente que los sistemas con protocolo ATM sean los preferidos por su capacidad de combinar voz y datos manteniendo al mismo tiempo la calidad de servicio requerida. Sin embargo, los sistemas IP están encontrando aceptación creciente a medida que tecnologías del tipo VoIP mejoran sus prestaciones.

Aparte del protocolo básico, una de las características dominantes de los sistemas punto-multipunto es un sistema de acceso que permita obtener la ganancia estadística basada en el ancho de banda bajo demanda o, al menos, en el ancho de banda compartido.

Los sistemas LDMS son sistemas de estructura celular. El radio de la célula y la topografía del terreno determina el número de células necesarias para obtener la cobertura de una zona determinada. Para disminuir en lo posible la interferencia

entre células adyacentes se utilizan técnicas de reutilización de frecuencia similares a las utilizadas en telefonía móvil celular. Una de las decisiones fundamentales a nivel de diseño es precisamente el número y localización de las células y el método de interconexión entre ellas (fibra o microondas) y a las redes de datos, IP y telefonía.

Dentro de cada célula los parámetros más críticos son la densidad de abonados, las velocidades de datos promedio y las estadísticas del tráfico para cada categoría de abonado. En zonas de alta densidad de abonados se divide la célula en sectores que van desde los 180° hasta los 30°, cada uno de los cuales puede verse desde el punto de vista del sistema como una célula independiente.

Teniendo de esta manera una infraestructura sencilla y económica instalada con las siguientes ventajas:

- Costos iniciales bajos: generalmente la inversión inicial no es alta, y comparada con el tendido costoso del cable se torna en una ventaja operativa, eliminando de esta manera mano de obra extensa y/o máquinas para tendido de cable.
- Costos de mantenimiento bajos: sin la presencia de cable, el sistema es sencillo en el aspecto de mantenimiento dada su facilidad de aislamiento y corrección.
- Agilidad hacia el mercado: los sistemas inalámbricos pueden entrar en servicio en forma inmediata luego del despliegue de un equipo transmisor y un receptor, dependiendo naturalmente del perfil topográfico del terreno.
- Escalabilidad del sistema: el sistema LMDS es sencillo de escalar extendiendo su cobertura y capacidad, lo que permite una pronta respuesta a las necesidades de crecimiento y/o a la demanda de los usuarios. De esta manera los estudios de demanda de servicio se hacen útiles para los operadores de estos servicios que esperan ampliar su mercado a corto plazo.
- Seguridad: la seguridad es implementada en la red inalámbrica mediante la encriptación inherente a la tecnología para transmisión LMDS.
- Fiabilidad: dado que no se tienen problemas físicos del medio de transmisión como discontinuidad, suelda fría u otro fenómeno que altere la electrónica de

transmisión a la intemperie, el interfaz aire ofrece un mejor servicio al usuario y bajos costos de mantenimiento.

Adicionalmente, las desventajas que tiene el sistema LMDS son:

- Necesidad de línea de vista.
- Alcance limitado.

De esta manera el uso de LMDS con plataformas de banda ancha se torna una alternativa económica para servicios inalámbricos fijos y motivo de estudio para su posterior ampliación a servicios inalámbricos móviles, tal como lo ofrece el *Wireless ATM*, lo que en conjunto es el motivo del presente trabajo.

Adicionalmente se tienen otra clase de accesos que compiten en el mercado de las redes inalámbricas, y son los siguientes:

- Lazo local inalámbrico ó *WLL (Wireless Local Loop, lazo local inalámbrico)*.
- Redes de área local inalámbricas ó *Wireless LAN*.
- Celular.
- *ATM Inalámbrica ó Wireless ATM*.

El WLL permite cubrir un área de abonados telefónicos fijo de forma inalámbrica. Desde zonas urbanas muy pobladas, hasta ubicaciones remotas, el sistema suministra alta calidad de voz, privacidad y transparencia para los servicios de las centrales públicas, tales como Internet. La velocidad que soporta el sistema es de 1 a 20Mbps. La arquitectura se basa en microcélulas que trabajan en la banda de 900, 1800 y 1900MHz¹.

Las *Wireless LAN* cubren un área local a una tasa de 2 a 11Mbps². Los servicios que se pueden ofrecer en esta tecnología son datos y voz dentro de un área limitada. Hoy en día se utiliza comercialmente en la Comunidad Europea para comunicación entre oficinas contiguas. Esta tecnología creció con el

^{1, 2} <http://bartok.leon.uia.mx/lectures>

acoplamiento de 2 planteamientos. El primero se planificó con el estándar IEEE 802.11b que estandarizaba el canal de radio a 11Mbps en la banda de 2.4GHz. La segunda idea nació de la Comunidad Europea y se denominaba HIPERLAN, la cual planteaba el uso del canal de radio en la banda de 5GHz con una tasa de 23Mbps, pero que tuvo poca acogida a nivel comercial¹. El último estándar de IEE fue el IEEE 802.11a en donde la velocidad de datos llega hasta 54Mbps.

Los sistemas celulares tienen un mercado actual bastante fuerte y su cobertura se da en áreas metropolitanas con tasas de hasta 19.2Kbps² ofreciendo de esta manera el servicio de voz y datos con aplicaciones limitadas.

El sistema *Wireless ATM* se lo ha dispuesto inicialmente en este grupo de clasificación de redes inalámbricas dada su similar utilización de radio para comunicaciones. Esta tecnología a diferencia de las otras puede ofrecer una amplia gama de servicios como Internet, datos, voz, vídeo bajo demanda, entre otros, con tasas de 1 a 25Mbps en áreas de cobertura amplias con células de hasta unos 80m según el ATM Forum.

1.4.1.3 Redes de acceso vía fibra óptica

La introducción de la fibra óptica en el nodo de acceso va a permitir el disponer de un medio de transmisión de gran ancho de banda para el soporte de servicios de banda ancha, tanto actuales como futuros. En función de la extensión de la fibra en la red de acceso, se pueden distinguir las siguientes topologías:

- FTTH (*Fiber To The Home*): se trata de llegar con fibra óptica hasta el hogar del abonado, directamente desde el nodo de servicio. Es la alternativa más directa, y también la de mayor coste a la hora de proporcionar acceso a banda ancha. Desde el punto de vista del operador, tiene el inconveniente de que requiere una fuerte inversión en obra civil.

^{1, 2} <http://bartok.leon.uia.mx/lectures>

- **FTTB (*Fiber To The Building*)**: en este caso, la fibra llega hasta el interior de un edificio residencial o de negocios, existiendo una terminación de red óptica (**ONT, *Optical Network Termination***) para todo el edificio.
- **FTTC (*Fiber To The Curb*)**: la ONT y el tendido final de fibra son compartidos por varios abonados pertenecientes a una manzana de edificios o un área urbana de extensión reducida.
- **FTTCab (*Fiber To The Cabinet*)**: configuración muy parecida a la anterior, con la diferencia de que la ONT es compartido por un mayor número de usuarios y que la red de cable es de mayor extensión.
- **FTTExch (*Fiber To The Exchange*)**: la fibra termina en el nodo de conmutación.

1.4.1.3.1 *Redes Híbridas Fibra - Coaxial (HFC)*

Una red de acceso HFC está constituida, genéricamente, por tres partes principales:

Elementos de red: dispositivos específicos para cada servicio que el operador conecta tanto en los puntos de origen de servicio como en los puntos de acceso al servicio.

Infraestructura HFC: incluye la fibra óptica y el cable coaxial, los transmisores ópticos, los nodos ópticos, los amplificadores de radiofrecuencia, taps y elementos pasivos.

Terminal de usuario: *set-top-box*, cable modems y unidades para integrar el servicio telefónico.

En la figura siguiente se muestra un esquema típico de este tipo de redes:

Con mayor ancho de banda, los operadores disponen de mayor espectro en el que ofrecer servicios que generen beneficio. El ancho de banda de la red HFC es la clave en la que se fundamentan las ventajas de este tipo de redes, entre las que se incluyen:

- Posibilidad de ofrecer una amplia gama de servicios tanto analógicos como digitales.

- Soporte de servicios conmutados y de difusión.
- Capacidad de adaptación dinámica a los cambios de la demanda y del mercado, debida, en gran parte, a la gran flexibilidad y modularidad de que están dotadas este tipo de redes.

1.4.1.3.2 Redes Ópticas Pasivas (PON)

En el caso de usuarios residenciales se despliega la fibra hasta el domicilio del abonado y, mediante el terminal óptico de la red se le proporciona el servicio de vídeo a través del terminal del usuario conectado al receptor de televisión, y servicio telefónico o de transmisión de datos. En este caso la técnica de transmisión más utilizada es la multiplexación por división en longitud de onda WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) y la configuración punto a punto.

Los usuarios de negocios o comunidades científicas o educativas se suelen conectar a un anillo de distribución SDH que permite velocidades de varios cientos de Mbps. Al ser toda la infraestructura de fibra óptica, se proporciona una transmisión muy segura y libre de errores, con una alta capacidad de transferencia si se emplea, por ejemplo, ATM. El anillo se puede conectar a una LAN a través de un *firewall* para separar la Intranet de la Internet.

1.4.1.3.3 Redes Híbridas Fibra - Radio (HFR)

Las redes híbridas fibra-radio se basan en una estructura de acceso vía radio junto con una estructura de transporte que emplea la fibra óptica como medio de transmisión. En esta línea, se están llevando a cabo importantes investigaciones y avances, entre los cuales merece ser destacado el proyecto FRANS (*Fiber Radio ATM Networks and Services*).

1.5 TECNOLOGÍA DE ACCESO LMDS

1.5.1 ORIGEN DE LMDS

El origen del LMDS (Local Multipoint Distribution System) se sitúa en el año 1986 y es atribuido a Bernard Bossard, quien ideó un proyecto de distribución de señales de vídeo analógico utilizando un esquema de emisión de radio en frecuencia.

En 1998 la Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos abrió el periodo de subasta y asignación de frecuencias LMDS. De este modo se dio un impulso de salida al desarrollo de esta tecnología. La liberalización del mercado de las telecomunicaciones en Europa también contribuyó a la mundialización del LMDS. En 1999 y 2000 se procedió en varios países europeos la adjudicación de licencias para operadores LMDS.

1.5.2 CONCEPTO

El Sistema de Distribución Local Multipunto (LMDS) es un sistema de comunicación punto multipunto inalámbrico para transmisión sobre banda ancha, permite transmitir servicios de voz, datos, Internet y vídeo en el rango de frecuencias de 26 a 40GHz, dependiendo de la licencia del país.

Las iniciales LMDS se derivan de lo siguiente:

- **L (local)**, denota que las características de propagación de las señales en este rango de frecuencias delimita el área potencial de cobertura de una sola celda; El rango de un transmisor LMDS es aproximadamente 5 millas, según pruebas realizadas en áreas metropolitanas.
- **M (multipunto)**, indica que las señales son transmitidas según un método punto multipunto; el enlace inalámbrico entre el suscriptor y la estación es una transmisión punto a punto.

- **D (distribución)**, se refiere a la distribución de las señales, las cuales pueden ser tráfico simultáneo de voz, datos, Internet y vídeo.
- **S (servicio)**, indica la naturaleza del suscriptor en la relación entre operador y consumidor; los servicios ofrecidos en una red LMDS dependen completamente del tipo de negocio del operador.

1.5.3 TOPOLOGÍA DE LMDS

En el diseño de sistemas LMDS son posibles varias topologías de red distintas. La mayoría de los operadores de sistemas utilizarán diseños de acceso inalámbrico punto multipunto, a pesar de que se pueden proveer sistemas punto a punto y sistemas de distribución de TV con el sistema LMDS. Es de esperarse que los servicios del sistema LMDS sean una combinación de voz, datos y vídeo. La arquitectura de red LMDS (figura 1.21) consiste principalmente de cuatro partes: centro de operaciones de la red (*NOC, Network Operation Center*), infraestructura de fibra óptica (*backbone*), estación base, y equipo del cliente (*CPE, Customer Premise Equipment*)

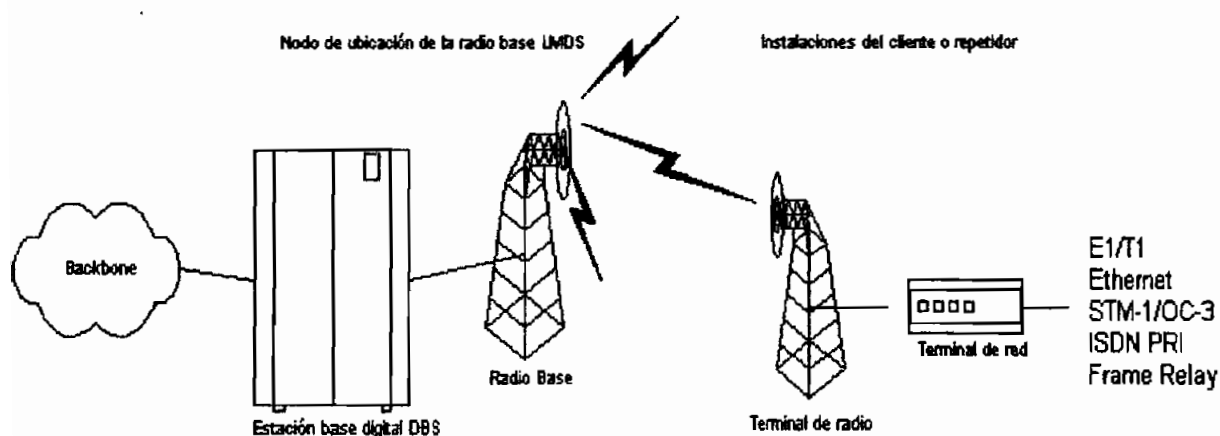


Figura 1.21 Diagrama de red LMDS

El centro de operaciones tiene a cargo las labores de administración, control y monitoreo del sistema, lo cual se puede realizar mediante plataformas de administración de servicios.

La infraestructura de fibra óptica consiste básicamente de una red SONET/SDH con capacidad OC-3 ó a través de enlaces DS-3, ruteadores IP y/o ATM, y las interconexiones con la red pública de teléfonos PSTN y el Internet.

La estación base es el lugar donde la acometida de fibra óptica termina, y las señales de luz son transformadas a señales eléctricas a ser enviadas vía radio. Físicamente debe ir ubicada en un sitio alto con línea de vista hacia los abonados o repetidoras de la señal. La estación base (figura 1.22) consta de los siguientes elementos: la estación base digital, módulo que consta de tarjetas de conmutación, tarjetas correspondientes a cada sector (cobertura), señalización y control; la radio base, que es el equipo de RF exterior (antena, cable, montura de antena)

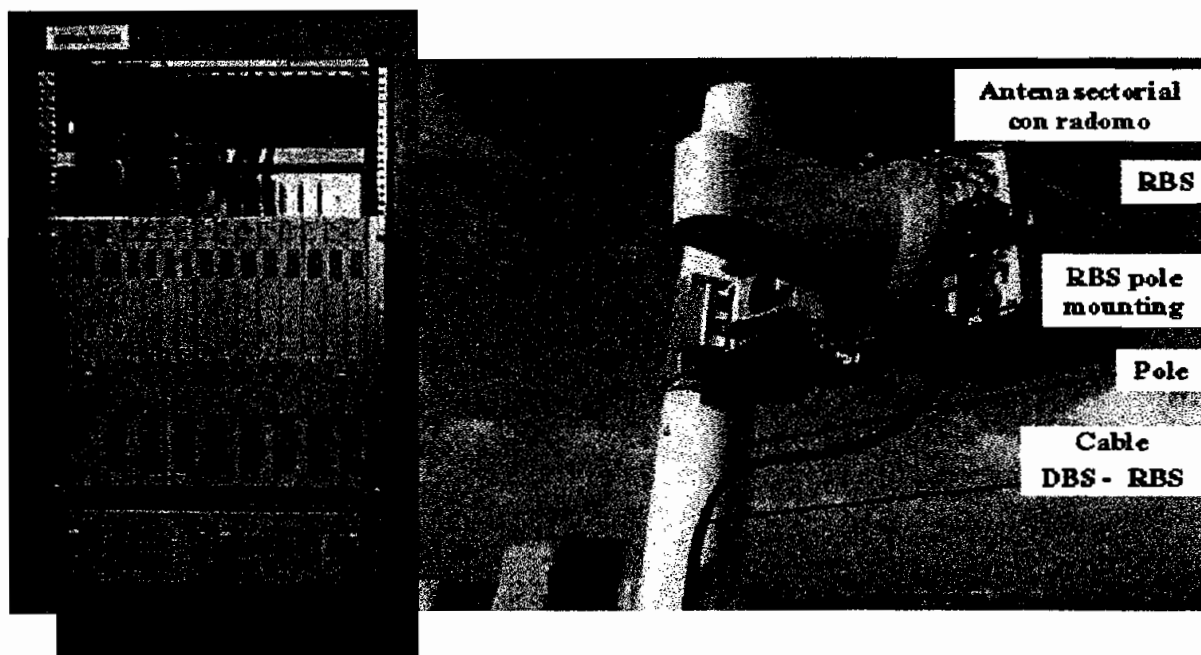


Figura 1.22 Estación base de radio

Finalmente, el equipo de usuario, es aquel que se instala en las inmediaciones del usuario o sitio repetidor para varios usuarios, Normalmente consta de un terminal de radio (figura 1.23) y un terminal de red (figura 1.24).

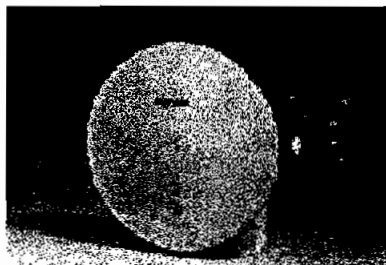


Figura 1.23 Terminal de radio



Figura 1.24 Terminal de red

1.5.4 CARACTERÍSTICAS PROPIAS DE LMDS

En esta sección se destacan algunas consideraciones que llevan a una planificación eficaz de las células y su respectivo diseño para redes inalámbricas de banda ancha. De esta manera se va a tratar aquellas redes en donde se ocupa la banda de 28 y 40GHz, banda que actualmente tiene una serie de productos con tecnología LMDS, de ahí que para la comprensión de estos sistemas se exponen a continuación varias características de las redes inalámbricas.

1.5.4.1 Desvanecimiento de la señal por lluvia

La lluvia y la niebla son causa directa para limitar la distancia a la que pueden propagarse las señales de 28GHz. Los sistemas LMDS pueden operar en zonas geográficas donde se tengan fuertes lluvias, pero el diseño de la red debe tomar en cuenta la degradación que sufre la señal propagada. Esto permite a los

proveedores del servicio escoger el tamaño de la célula acorde a una disponibilidad de los servicios que se requiera.

1.5.4.2 Línea de vista

Para enlaces de microonda que ocupan las bandas de 28GHz se requiere una línea de vista entre las estaciones de radio base y terminal. Sin embargo en un entorno urbano de células múltiples, las estaciones terminales se benefician del solapamiento entre células, lo cual realza el factor de línea de vista.

1.5.4.3 Reutilización de frecuencias e interferencias

Para la implementación urbana de LMDS normalmente se despliegan células contiguas de alta capacidad. El espectro asignado a LMDS suele ser limitado, es dable la reutilización de los canales de radio para ofrecer cobertura de células múltiples ó proveer canales de reserva con cobertura de células múltiples.

El reuso de las mismas frecuencias de RF en células contiguas puede producir interferencias que pueden afectar el uso de la portadora. Por esto la reutilización de las frecuencias está limitada por las interferencias siendo esencial una planificación coherente para los modelos de reuso de frecuencias.

En el entorno de células múltiples, dependiendo de los requisitos de tráfico y superficies admisibles de interferencia son posibles las siguientes opciones de reuso de frecuencias:

- Configuración de reutilización básica (Figura 1.25a): Cuatro frecuencias, una para cada uno de los cuatro sectores a 90°. La capacidad total por estación base corresponde a cuatro portadoras. Esta configuración da la interferencia más baja en una red de celdas múltiples. Utilizando polarización cruzada, se puede añadir otra capa para doblar la capacidad.

• Configuración de reutilización optimizada (Figura 1.25b): Dos frecuencias, cada una de las cuales es reutilizada para cubrir los cuatro sectores. La capacidad total por estación base corresponde de incremento en la capacidad de la red. El principio es añadir capas, mientras utiliza la polarización cruzada: con solamente dos frecuencias, se pueden superponer dos capas para elevar la capacidad a ocho portadoras por célula. El mismo principio puede utilizarse con 4, 6, ... frecuencias. Con cuatro frecuencias se pueden desplegar cuatro capas, dando una capacidad correspondiente a 16 portadoras por célula.

• Configuración de reutilización máxima (Figura 1.25c): Una frecuencia es reutilizada, con polarización cruzada, sobre los cuatro sectores. Esto da un factor de reutilización de frecuencias de 1 con una simple capa, resultando una capacidad de cuatro portadoras por celda. El factor de reuso de frecuencia indica el número de veces que una o más frecuencias se utilizan en la misma célula.

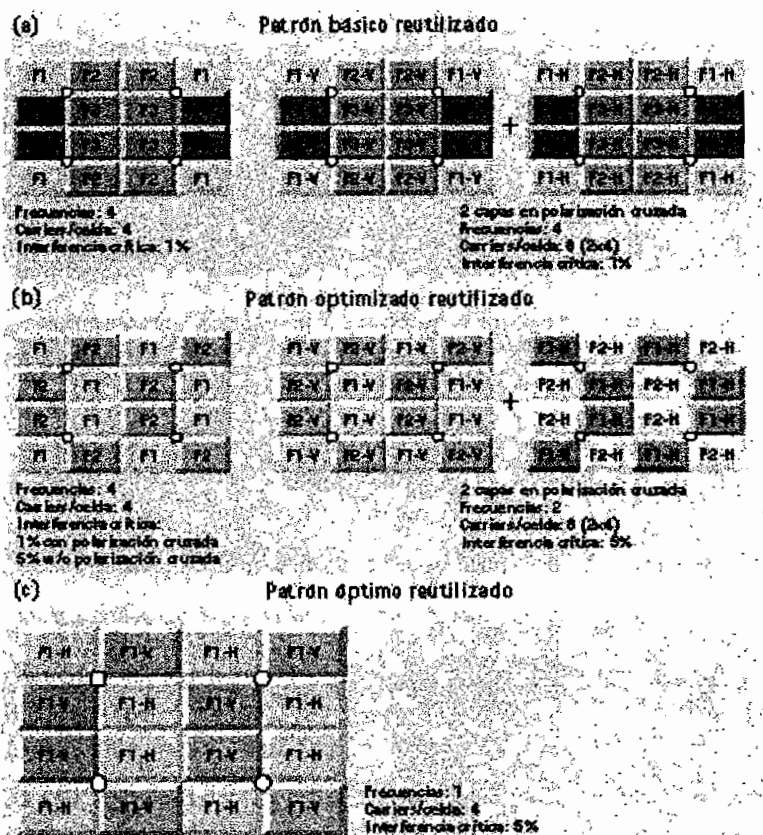


Figura 1.25 Reutilización de frecuencias en entorno de células múltiples.

1.5.4.4 Balances del enlace de microonda¹

En el acceso inalámbrico fijo LMDS se debe establecer la ubicación de los nodos, donde van a ir ubicadas las antenas sectorizadas. Estos lugares deberán tener línea de vista con las antenas ubicadas en las instalaciones del abonado, es por esto que el sitio debe ser bien alto. Con esto se puede proceder a realizar un balance del enlace de radio.

En los enlaces de microonda se deben establecer parámetros de medición importantes para la confiabilidad del sistema. Dentro de estos parámetros se consideran a la ganancia del sistema y las características de trayectoria de la onda viajera.

➤ Ganancia del Sistema

La ganancia del sistema representa la pérdida neta de un sistema de radioenlace, y se la puede definir cuantitativamente como la diferencia nominal de salida de un transmisor y la potencia mínima de entrada requerida por un receptor. La ganancia del sistema debe ser mayor o igual a la suma de todas las ganancias y pérdidas que sufre la señal a través del enlace. Matemáticamente, la ganancia del sistema es:

$$G_s = P_t - C_{\min} > \text{pérdidas} - \text{ganancias}$$

$$G_s = P_t - C_{\min} > F_m + L_p + L_f + L_b - A_t - A_r \quad (1.1)$$

Donde:

- G_s = ganancia del sistema (dB)
- P_t = potencia de salida del transmisor (dB)

¹ Tomasi, Wayne; Sistemas de Comunicaciones Electrónicas

- $C_{\text{mínima}}$ = potencia mínima de entrada del receptor para un objetivo de calidad (dBm)
- A_t = ganancia de la antena transmisora (dBi)
- A_r = ganancia de la antena receptora (dBi)
- L_p = pérdida de trayectoria de espacio libre entre antenas (dB)
- L_f = pérdida por el alimentador de la guía de ondas (dB)
- L_b = pérdida de acoplamiento en circuladores, filtros, etc.
- F_m = margen de desvanecimiento para un determinado objetivo de confiabilidad.

Margen de desvanecimiento

El margen de desvanecimiento es un factor que influye en la ganancia del sistema, que considera las características no ideales y menos predecibles de la propagación de las ondas de radio. Estas características tienen su origen en comportamientos aleatorios de la naturaleza influyendo en las condiciones atmosféricas, lo cual provoca la alteración de las pérdidas por espacio libre y son perjudiciales para el desempeño del radioenlace. La ecuación del margen de desvanecimiento viene dada por las ecuaciones de confiabilidad de Barnett-Vigant y se usa para disponibilidad anual de un sistema de radio:

$$F_m = 30 \log D + 10 \log (6ABf) - 10 \log (1-R) - 70 \quad (1.2)$$

Donde:

- D = distancia
- f = frecuencia
- A = factor de rugosidad
 - 4, agua o terreno muy liso
 - 1, para terreno normal
 - 0.25 para terreno montañoso muy disperejo
- B = factor de conversión de probabilidad del peor mes a una probabilidad anual

- 1, convertir una disponibilidad anual al peor mes
- 0.5, para áreas calientes y húmedas
- 0.25, para áreas normales tierra adentro
- 0.125 para áreas montañosas o muy secas.
- (1-R) = objetivo de confiabilidad para trayectoria de 400Km en un sentido

Pérdida de espacio libre

Se define como la pérdida que sufre una onda electromagnética que viaja en línea recta a través de un espacio vacío sin ninguna absorción o reflexión de energía de materiales cercanos. Esta pérdida se expresa como:

$$L_p := \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot D}{\lambda} \right)^2$$

Ec. 1.3

Y en dB se tiene lo siguiente:

$$L_p \text{ (dB)} = 92.4 + 20 \log f \text{ (GHz)} + 20 \log D \text{ (Km)} \quad (1.4)$$

Donde:

- L_p = pérdida de espacio libre
- D = distancia
- f = frecuencia
- λ = longitud de onda de la señal transmitida

➤ **Perfil del terreno - modelo de propagación**

El perfil es un corte transversal que se realiza para la visualización del enlace entre dos antenas que forman parte del enlace de radio, este perfil incluye las altitudes de objetos intermedios, tales como edificios, torres, etc. El perfil es

trazado utilizando información topográfica de la zona de servicio donde se va a instalar el sistema de radio.

Para el correcto desarrollo del análisis del perfil del terreno, se debe considerar que la Tierra tiene una curvatura que ha sido estudiada por varios científicos y que ha determinado que los enlaces de radio deben tomar en cuenta este parámetro de curvatura de la Tierra. Para ello se poseen planteamientos matemáticos para corregir la trayectoria de la onda, o corregir la curvatura de la Tierra.

El análisis del perfil, en este diseño teórico, va a suponer un sitio con una topografía variable, donde se consideran los cálculos para la disponibilidad del enlace y una supuesta dirección del haz dentro de un modelo de zona de propagación. Esto se adjunta en el anexo B (Cálculos). De esta manera se presenta a continuación el cálculo de la altura de corrección de curvatura de la Tierra:

$$h := \frac{x(d - x)}{2 \cdot K \cdot a}$$

Ec. 1.5

Donde:

- h = altura de corrección en el punto x (m)
- d = distancia del enlace (m)
- K = constante de radio de la Tierra
4/3, valor de la atmósfera estándar
- a = radio de la Tierra (6370 Km)
- x = distancia del un punto de referencia al punto de interés (m)

Ahora para establecer el viaje de la onda, se tiene un modelo de propagación que estudia la zona, donde la onda viajera no debe atenuarse y no provocar caídas del enlace. Esta zona se denomina Zona de Fresnel, y esta zona por definición se define como la zona donde debe haber un 100% de libertad de obstáculos para

obtener un buen enlace de radio. El radio de la primera zona de Fresnel se determina por la siguiente fórmula:

$$r := \sqrt{\frac{\lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d}}$$

Ec. 1.6

Donde:

- r = radio de la primera zona de Fresnel.
- λ = longitud de onda de la señal transmitida.
- d_1 = distancia del punto 1 al punto de interés.
- d_2 = distancia del punto 2 al punto de interés.

1.5.5 PRINCIPALES VENTAJAS DEL SISTEMA LMDS

El sistema LMDS permite ofrecer, con gran fiabilidad y calidad de señal, prácticamente los mismos servicios que las redes de fibra óptica y cable coaxial. Es por ello que se puede ubicar a esta tecnología dentro de las denominadas "aeropistas de la información".

Como con LMDS no es necesario cablear, las grandes ventajas potenciales del sistema saltan a la vista:

- Se puede ofrecer el servicio y generar ingresos mucho antes en todo el área de cobertura (de 6 a 18 meses, frente a 5-7 años para completar una red de cable).
- Se puede ofrecer el servicio de forma económicamente viable, si no al 100% de la población, si a grandes franjas de población dispersa a las que en ningún caso se puede dar servicio con cable de forma rentable (es decir, que lo pagarían el resto de los abonados al cable).
- Por último, pero no menos importante, el operador con LMDS tendría mucho menores costes de reparaciones en planta exterior y mantenimiento, al no haber prácticamente red que mantener (sólo unos pocos repetidores por célula).

Por último, comparando el LMDS con el MMDS, si bien con este último se logra un mayor alcance e inmunidad a la lluvia, el mucho menor ancho de banda disponible en MMDS (sólo 186MHz frente a ~1GHz en LMDS), y la dificultad en MMDS para reutilizar frecuencias entre células adyacentes - que sí es posible con LMDS -, visualizan al LMDS como una tecnología mucho más atractiva para la provisión de servicios de telecomunicación interactivos y en banda ancha

2. EVOLUCIÓN Y ESTUDIO DEL ATM INALÁMBRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las redes de comunicaciones inalámbricas motiva la generación de nuevas redes de conmutación, las cuales deben trabajar en un esquema integrado brindando soporte a conexiones de diferentes servicios con calidad en la comunicación. Dado el amplio rango de tecnologías de acceso inalámbrico que ha sido desplegado en servicios de telefonía y datos de Internet, las nuevas arquitecturas de conmutación móvil son necesarias para una variedad de servicios celulares, PCS y tecnologías de datos inalámbricas. A esto se suma la necesidad de que esta red de datos sea capaz de migrar sin problemas hacia redes de servicio de banda ancha con tecnologías de acceso inalámbrico de alta velocidad, tal como lo es el ATM inalámbrico.

Cabe tomar en cuenta que el ATM clásicamente fue diseñado para ambientes de transmisión ricos en ancho de banda y con diferentes clases de tráfico mencionadas en el capítulo anterior. Pese a aquello, la motivación principal del ATM inalámbrico es la de proveer un *backbone* de alta velocidad que soporte protocolos de acceso al interfaz de radio y las extensiones del protocolo ATM móvil, de forma que se obtenga una infraestructura de red para una diversidad de tecnologías móviles.

Sin embargo, la gran ventaja que presenta el ATM inalámbrico es la de poder dar servicio inalámbrico fijo, utilizando accesos de última milla como por ejemplo mediante LMDS con las ventajas y desventajas que ello conlleva, así también se pueden utilizar los puntos de acceso ATM inalámbrico y brindar los servicios inalámbricos fijo y móvil.

Dentro del aspecto de la movilidad, se debe tener en cuenta que la pila de protocolos ATM clásica se ve renovada por nuevos procesos en la comunicación dentro de la red inalámbrica.

Los procesos a tomarse en cuenta son los siguientes:

- Protocolos de Accesos de radio
 - La capa física de radio
 - Control de acceso al medio para el canal inalámbrico
 - Control del enlace de datos para errores en el canal inalámbrico
 - Protocolo de control inalámbrico para la administración del recurso de radio.

- Extensiones del protocolo ATM móvil
 - Control del *handoff*
 - Administración de la localización para conexiones móviles
 - Consideraciones de ruteo para conexiones móviles
 - Control de tráfico y QoS para conexiones móviles
 - Administración de la red inalámbrica

También se expone en el presente capítulo un estudio de diferentes aplicaciones y sus respectivas metas de servicio dentro de una red ATM inalámbrica.

2.2 CONCEPTO DE UNA RED ATM INALÁMBRICA

La red ATM inalámbrica es sencilla de concebir, dado que se provee un acceso inalámbrico transparente a la red fija. Con ello se va a justificar la existencia de las redes ATM inalámbricas en un estudio en el cual se toman en cuenta las aplicaciones previstas para su utilización dentro de la red ATM.

Cuando se refiere al término ATM inalámbrico, se está diciendo que se debe prestar un acceso tanto a usuarios fijos como a usuarios móviles. De esta forma conociendo el tipo de usuario que accede a la red ATM integrada y las aplicaciones a utilizarse, se pueden resolver las necesidades que debe prestar la red de comunicaciones para un adecuado servicio.

ATM ha tenido un desarrollo en su investigación en el campo de las comunicaciones a larga distancia, principalmente en lo que se refiere a la interconexión de redes LAN. Las soluciones basadas en ATM para redes de área local, cableada o inalámbrica, se beneficia con la compatibilidad del *backbone* ATM de la red. La tecnología ATM, siendo una tecnología de conmutación de servicios de banda ancha, es una de las primeras en ofrecer estándares de calidad y todavía garantizar el QoS. De esta manera, el ancho de banda y la calidad de servicio ó QoS, están disponibles para su demanda.

Los principales argumentos que justifican el desarrollo del ATM inalámbrico son:

- El acceso inalámbrico a redes ATM/BISDN serán requeridos por los usuarios, dado que hoy en día se tiene una marcada tendencia por el uso de terminales inalámbricas que permitan la facilidad de movilización, y así poder acceder a la red fija. El usuario encuentra una nueva forma de acceso a la nube ATM, mientras que la conmutación ATM provee un acceso menos transparente hacia la nube.
- Las aplicaciones del usuario con una plataforma inalámbrica de banda ancha permitirían la introducción de multimedia, en donde diferentes tipos de señales de información se transmiten simultáneamente. Por ejemplo, una teleconferencia en donde la imagen y datos se transmiten a través de fotos sucesivas y caracteres de un procesador de palabras.
- El UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*, ver sección 2.3.2) y las *Wireless LAN* no pueden conocer todas las necesidades que habrá en el futuro para los usuarios. Los sistemas de teléfono móviles no pueden soportar el ancho de banda que demanda un acceso de datos. UMTS ofrecerá anchos de banda de hasta 2 Mbps. Las *Wireless LAN* son basadas en métodos de acceso aleatorios heredadas de las LAN fijas y no pueden soportar el retardo crítico de la transmisión de datos en banda ancha.

Para que un sistema nuevo sea exitoso dentro de un mercado, sus aptitudes y las necesidades de los usuarios deben ser congruentes. De esta manera el comportamiento de las aplicaciones del usuario y el ambiente de operación de la

red son argumentos para definir requerimientos específicos del sistema. El modelo WATM es diseñado para conocer los requerimientos de un uso específico. Así se establece un escenario WATM en donde los requerimientos se van ubicando dentro del sistema. Más tarde se observará dos escenarios para usuarios futuros. Estos escenarios en su mayoría tienen mucho en común con los presentados en el proyecto WAND (*Wireless ATM Network Demonstrator*).

2.2.1 AMBIENTES PARA EL USO DE WATM

En esta sección se despliega una visión aplicativa del modelo WATM, presentando inicialmente aquellos usuarios que serán los primeros en requerir servicio inalámbrico en redes ATM. También se discutirá las aplicaciones y el tipo de terminales a utilizarse.

En primer lugar, se espera que la necesidad de acceso inalámbrico a redes WATM sea materializado en entidades corporativas, las cuales cuentan con sus propias redes y sus propias localidades. Se tienen expectativas que las redes LAN basadas en ATM puedan sustituir a las redes de área local usadas en las mencionadas entidades. De la misma forma, aplicaciones como teléfono, fax o videoconferencia podrían ser trasladadas a una red ATM, mientras que los usuarios requerirán movilidad dentro del sistema, generando de esta manera la necesidad de un acceso inalámbrico a la red ATM. El sistema descrito da una visión de una red que daría soporte a terminales fijos y móviles.

Un típico terminal móvil es una computadora portátil utilizada por un empleado de oficina. El usuario puede usar la computadora portátil en cualquier ubicación dentro de su empresa, pudiendo inclusive tener una comunicación entre edificios sin dejar de tener el acceso a la nube ATM. También el usuario puede tener acceso a la red fija, estando en su puesto de trabajo. Así, el sistema es hábil para manejar el acceso fijo y móvil logrando disminuir la carga del conjunto en el sistema inalámbrico.

Las aplicaciones previstas a ser utilizadas son aplicaciones típicas de una red ISDN de banda ancha que deben soportar el uso de terminales móviles con un QoS aceptable. La QoS esperada para el acceso inalámbrico podría ser algo menor que el acceso fijo, obteniendo a cambio la prestación de movilidad del servicio.

Existen una serie de aplicaciones que pueden ser utilizadas en el ambiente WATM:

- **Computación:** las aplicaciones típicas de uso como aplicaciones cliente servidor, correo electrónico, fax, juegos, entre otras. Una terminal con gran capacidad podría también dar soporte en diseño asistido por computadora (CAD). Las aplicaciones computacionales son asimétricas y ávidas de ancho de banda. El tráfico se asume que es altamente en ráfagas y en tiempo no real. La tasa de transmisión se asume que sea en promedio más grande que 200 Kbps, y la tasa pico alrededor de 1Mbps¹.
- **Bases de datos multimedia:** lo que incluye a enciclopedias en línea, páginas web, diagnósticos médicos, noticias de boletines. Estas aplicaciones también son asimétricas y ávidas de ancho de banda con tráfico a ráfagas y en tiempo no real, pero son menores que las aplicaciones de computadora.
- **Audio:** las aplicaciones de audio incluyen a sistemas de difusión de audio digital y alta calidad de voz.

La codificación PCM (*Pulse Code Modulation*) puede ser utilizada en el servicio de teléfono móvil, la ventaja de no tener transcodificación y compresión es considerada para justificar el derroche del interfaz de radio. Utilizando PCM se pueden requerir 64Kbps en ambas direcciones; mientras que en sistemas de compresión se pueden tener tasas de 384 Kbps² para alta calidad de voz, como lo es en la calidad de un disco compacto.

¹ CEC Deliverable 1996 AC085/NMP/DS/P/006/b1, 1996, Draft Prototype System Specification, ACTS project AC085 Magic WAND.

² Codificación Información Multimedia; Grupo de Sistemas y Comunicaciones Universidad Rey Juan Carlos

- **Vídeo teléfono:** Las computadoras portátiles de alta capacidad son una buena plataforma para aplicaciones de vídeo teléfono. La demanda para mencionadas aplicaciones ha sido prevista. La calidad de imagen no necesita ser excelente, dado que en las computadoras portátiles la resolución está limitada en pantallas de 10 a 12 pulgadas. En este tipo de aplicación las tasas de subida y de bajada son simétricas.

Uno de los estándares para métodos de codificación es el H.320. Este método utiliza típicamente conexiones CBR a 256 Kbps, aunque puede trabajar en una amplia gama de velocidades. El H.320 en promedio utiliza para los canales de audio y vídeo unos 256 Kbps.

Con el uso de MPEG-1 se pueden tener tasas de hasta 1.5 Mbps en conexiones de datos VBR en tiempo real¹.

2.2.2 APLICACIONES DE BANDA ESTRECHA

El tipo de terminales con demanda de ancho de banda estrecha, pueden ser los PDAs (*Personal Digital Assistant*) que incorporen tarjetas de acceso inalámbrico ATM ó teléfonos móviles. Entendiendo como banda estrecha a aquellas tasas de transmisión por debajo de 2Mbps aproximadamente. Las aplicaciones que se manejen en este ambiente deberán soportar una menor QoS que con el acceso fijo, de ahí que con aplicaciones de datos tipo cliente servidor deberán tener un énfasis en su parte inalámbrica de tal manera que exista una tolerancia de QoS debido a la degradación que existe por defecto en el enlace de radio.

En lo concerniente a aplicaciones de audio se puede tener desde la calidad más baja hasta la más alta, lo que requeriría una conexión CBR simétrica. Así se tienen anchos de banda desde 64 Kbps con PCM ó de 384 Kbps² con un codificador.

^{1, 2} Codificación Información Multimedia; Grupo de Sistemas y Comunicaciones Universidad Rey Juan Carlos

Mientras que en aplicaciones como vídeo telefonía, dentro del ambiente de banda estrecha se puede considerar como una conexión asimétrica en tiempo real que puede llegar a demandar alrededor de 1Mbps¹ utilizando MPEG-1².

2.2.3 OBJETIVOS DE UNA RED ATM INALÁMBRICA

La red WATM pretende ser una solución en aplicaciones de banda ancha. En el Ecuador esta clase de demanda no existe todavía, sin embargo queda escrito en el presente documento una serie de nuevos servicios que se pueden ofrecer a través de esta red, de esta manera el usuario tiene un menú de aplicaciones sofisticadas ofreciéndole mayores prestaciones que las *Wireless LAN* y redes móviles de 2da y 3ra generación.

Entre las ventajas más relevantes de WATM se tienen las siguientes:

- Compatibilidad y soporte de servicios ATM estándares definidos ya clásicamente, ofrecidos con determinada calidad de servicio.
- Se garantiza una QoS en servicios de banda ancha. Si bien es cierto, ésta es menor que en el ATM fijo, pero en determinadas aplicaciones se ofrece pérdidas mínimas de datos (ó celdas), retardos de transmisión, entre otros.
- La introducción del ATM inalámbrico en la nube ATM fija deberá ser precisa para evitar mayores tramas de corrección a más de las que la nube introduce para cada celda. Ello conlleva a una reutilización de la nube, ya que en algunos países se reutiliza la infraestructura existente. Esta situación al Ecuador lo pone en ventaja ya que al no tener una infraestructura ATM formal, se deberá tomar en cuenta una optimización de los recursos como conmutadores, terminales y protocolos ISDN. De esta manera el impacto económico para las entidades corporativas ó

¹ Codificación Información Multimedia; Grupo de Sistemas y Comunicaciones Universidad Rey Juan Carlos

² MPEG-1, estándar definido por algoritmos que se usan para la compresión de video y se han convertido en estándares internacionales desde 1993.

usuarios y para los proveedores se hace menor cuando se instalen estos nuevos servicios.

En líneas generales, el acceso inalámbrico a la red ATM ha sido previsto así como su demanda, y para ello se cuenta con un campo de investigación alrededor de la tecnología, como se verá más adelante.

Con esto, la integración de los sistemas móviles y la red fija ISDN de banda ancha tendría mas ventajas que un sistema interrelacionado con la red fija. Entendiendo por integración la introducción de características móviles específicas dentro de los estándares de la red ATM previo a la comercialización del WATM. Sin embargo el aspecto técnico más importante a tratar es la capa física de la red, es decir la parte de radio, y la introducción de terminales móviles ATM.

En lo que se refiere al aspecto de la señalización, más adelante se muestran modificaciones para la habilitación de terminales móviles, mientras que el servicio de localización debe conllevar mecanismos de direcciones para los terminales y de conmutación para los conmutadores de la red con circuitos de sensibilidad de potencia¹ de manera de identificar cuando el terminal cambia de célula hacia otra radio base (también llamado punto de acceso).

2.3 SISTEMAS INALÁMBRICOS

2.3.1 EVOLUCIÓN ²

La tendencia marcada que han ido teniendo las redes de comunicación tanto en crecimiento como en capacidad se ha puesto de manifiesto a lo largo de alrededor de 20 años de desarrollo tecnológico en el ámbito de las

¹ Sensibilidad de potencia, se refiere al sensor de umbral de potencia que posee un equipo de radio base cuando éste interpreta que el dispositivo móvil empieza a comunicarse con dicha estación de radio.

² Foro "Evolución de los sistemas de comunicación inalámbricos, TeleCom Foro Perú, Noviembre 1996.

comunicaciones móviles. Durante este tiempo se han podido observar cambios que han motivado la competencia entre proveedores de servicios de telecomunicaciones.

En primer lugar , los sistemas móviles de primera generación tuvieron servicios con tecnología analógica, con capacidades bajas en la transmisión de datos y voz, y aplicaciones como telefonía móvil ordinaria, entre otras. El primer Sistema de telefonía celular analógico fue desarrollado en 1970 por los laboratorios Bell, y posteriormente estandarizado por la TIA (*Telecommunications Industry Association*) y conocido como AMPS (*Advanced Mobile Phone Service*) o norma TIA-533. En Europa muchos sistemas similares al AMPS fueron desarrollados, entre los cuales esta el TACS (*Total Access Communications Systems*) usado ampliamente en Inglaterra, el NMT (*Nordic Mobile Telephone*) en Suiza, y el NTT (*Nippon Telephone and Telegraph*) en Japon el cual fue el primer sistema de telefonía celular operando comercialmente desde 1979. Siendo el sistema AMPS por naturaleza para el tráfico de señales analógicas de audio.

Luego al tener la electrónica digital, los servicios de segunda generación basaron su funcionamiento en esta línea, obteniendo una gama de servicios que ofrecían mayor capacidad en sus funciones y mayores velocidades de transmisión que sus predecesores, utilizando tecnología TDMA y CDMA. Con la segunda generación surgen una serie de aplicaciones como seguridades, memorias de grabación, autenticación entre las más relevantes.

En lo concerniente a la telefonía celular digital (segunda generación), la norma IS-54 conocido también como D-AMPS fue normalizado por la EIA/TIA (*Electronic Industry Association*), y además fue el primer estándar de telefonía celular digital americano, el IS-54 opera en el mismo espectro usado por los antiguos sistemas AMPS con la opción de operar para ambos sistemas analógico y digital. La tercera versión del IS-54 dio lugar al IS-136, el cual incorpora un control digital de canal, lo que permite al operador de la red una grande eficiencia en la operación del tráfico de servicio y la introducción de mejores características usando la infraestructura ya existente , algunos de estos son *sleep mode*, capacidades para

voz y datos, *roaming* automático internacional, privacidad y autenticación, mayor calidad de transmisión de voz. Mientras tanto en Europa, el GSM (*Global Systems for Mobile Communications*) fue desarrollado en Europa por la ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) para proveer un único estándar que pueda ofrecer una mayor capacidad de usuarios, mejor calidad, facilidades para la transmisión de voz y datos y facilitar el *roaming* continental para cubrir todo el territorio europeo. También se incluyen las tecnologías DECT y MBS.

Por último en servicios de tercera generación se pueden lograr niveles de servicio sofisticados de tal manera que la capacidad del sistema se optimice a través del uso de células de radio con una mayor cantidad de tráfico por célula. Consecuentemente el propósito de los sistemas de tercera generación debe ser el de integrarse hacia sistemas fijos evolucionados, en especial el B-ISDN.

En la figura 2.1 se pueden apreciar las diferentes generaciones en que se han clasificado los servicios de comunicación móvil.

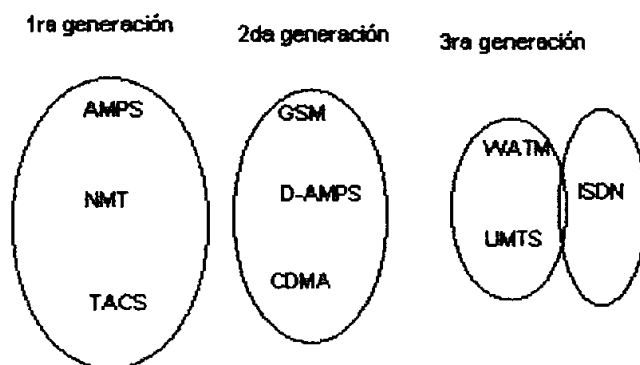


Figura 2.1 Evolución de los sistemas móviles

El sistema WATM apunta a ser un sistema similar al HIPERLAN (*High Performance Radio Local Area Networks*). HIPERLAN es una norma que nace en el Instituto de Estándares Europeos de Telecomunicaciones (ETSI) para las redes de acceso de banda ancha (BRAN, *Broadband Radio Access Network*).

Esta norma apoya principalmente la transferencia de datos asíncrona y aplica un mecanismo de acceso múltiple de la familia de acceso múltiple que evita las colisiones (CSMA/CA).

La asignación actual de espectro de HIPERLAN/2 está dada a 5 GHz. En Europa se ha asignado un ancho de banda de 455 MHz (banda eximida de licencia); en Japón, 100 MHz; y en los Estados Unidos, 300 MHz (banda U-NII)¹. Mientras que WATM garantiza el QoS con otras variables de control en la red, en lugar de detectar la presencia o no de una señal portadora.

De esta manera se puede apreciar en la figura 2.2 la velocidad de transmisión alcanzada contra la rapidez de movilidad del usuario, donde se reitera una vez más que el WATM tiende a parecerse a HIPERLAN, con las diferencias mencionadas anteriormente.

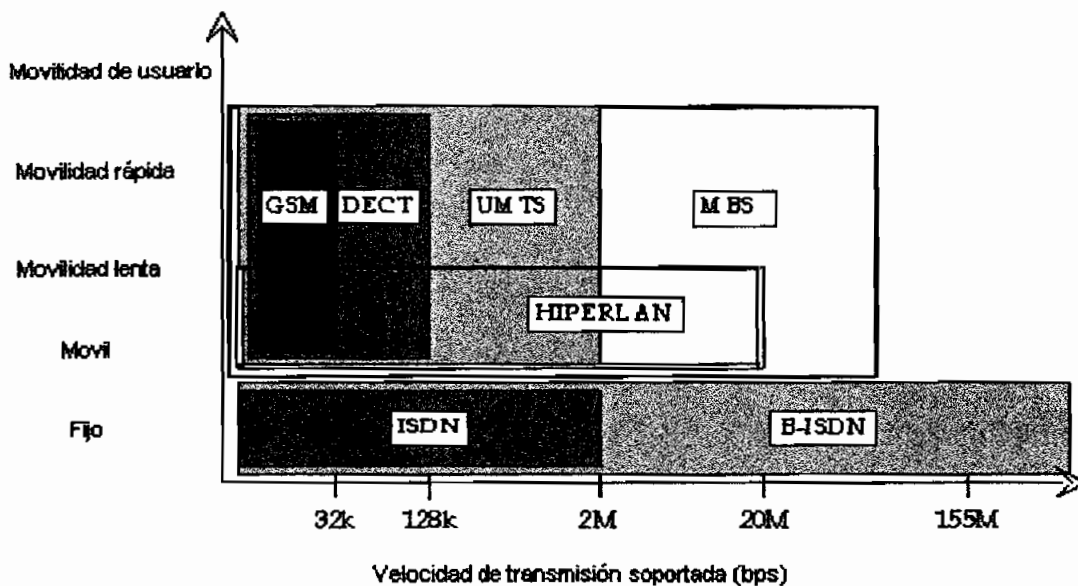


Figura 2.2 Velocidad de transmisión vs movilidad en servicios inalámbricos

En lo que respecta al espectro, el CEPT (Conferencia Europea de Correos y Telecomunicaciones) ha asignado bandas para HIPERLAN en 5 y 17 GHz ,

¹ Jamshid Khun-Jush, Giran Malmgren, Hiperlan tipo 2 para comunicación en banda ancha. Ericsson Review No. 2 2000.

bandas que su contraparte mundial, la WARC (*World Administrative Radio Conference*) ha reservado para las WLAN¹.

Los anchos de banda posibles para WATM podrían estar en el rango de los 5 GHz. En el caso de que las bandas de HIPERLAN estuvieran disponibles se podría empezar a partir de los 5.15 GHz².

2.3.2 SISTEMA MÓVIL UNIVERSAL DE TELECOMUNICACIONES (UMTS)

UMTS es un sistema de comunicaciones móviles de tercera generación en desarrollo en Europa, con la política de ser un servicio transparente, avanzado y completamente operable e integrado a los servicios de comunicaciones personales a lo largo del continente europeo, proveyendo servicios desde una comunicación de voz hasta requerimientos multimedia por parte de usuarios corporativos.

El desarrollo de UMTS ha tenido lugar principalmente en el proyecto RACE (*Research and Technology Development in Advanced Communications Technologies in Europe*) que fue fundada por la Comisión de Comunidades Europeas (CEC), en donde el propósito de RACE es el de promover el concepto de IBCN (*Integrated Broadband Communications Network*). El IBCN es similar al concepto de la B-ISDN.

La estandarización de UMTS está siendo llevada por el ETSI, por su parte la UIT-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones - sector Telecomunicaciones) está trabajando en un sistema similar denominado el IMT-2000 (*International Mobile*

¹ CEC Deliverable R2067/UAWP215/DS/P/051.b1. 1994. Final Version of System Description Document, RACE project 2067 MBS deliverable 51, 149 pages.

² Jamshid Khun-Jush, Giran Malmgren, Hiperlan tipo 2 para comunicación en banda ancha. Ericsson Review No. 2 2000

Telecommunications 2000). De esta manera lo ideal sería lograr una fusión de ambos y establecer una norma mundial, con el fin de establecer sistemas compatibles para beneficio del usuario final.

Los servicios UMTS tendrán aplicaciones que manejen hasta 2Mbps sin considerar la localización del usuario, dado que se puede no tener células de radio sino que se enrutan llamadas a través de enlaces vía satélite, en donde cabe tomar en cuenta que no todos los terminales móviles tienen soporte satelital.

Las dos bandas de frecuencia asignadas a UMTS están ubicadas en la banda de 2000MHz¹ pudiendo de esta manera alcanzar un mejor nivel de servicio con una banda relativamente grande y con células de radio bases. Las células pueden ir desde unos pocos metros de radio hasta unas decenas de kilómetros.

Las dos interfaces de radio en cuestión para el UMTS son el CDMA (*Code Division Multiple Access*) y el TDMA (*Time Division Multiple Access*), en donde el RACE ha previsto que el ancho de banda del interfaz de radio sería asignado dinámicamente a los terminales móviles. Sin embargo el RACE no se ha decidido por uno todavía.

Los elementos que integran una red UMTS se muestran en la figura 2.3. Un terminal UMTS móvil permite ofrecer el acceso a la red UMTS, en donde la parte inalámbrica cobra importancia en lo que concierne al *hand-off* y a la administración del enlace. Las principales funciones de la red UMTS neural (*Core Network*) es el de conmutación y transporte de datos; mientras que la red inteligente (*Intelligent Network*) cumple funciones relacionadas con la movilidad del terminal como por ejemplo la administración de la localización, autenticación, cambio de punto de acceso a la red fija, entre otras.

¹ Hansen Harri, Connection management functions of a private wireless ATM network. Marzo 1996.

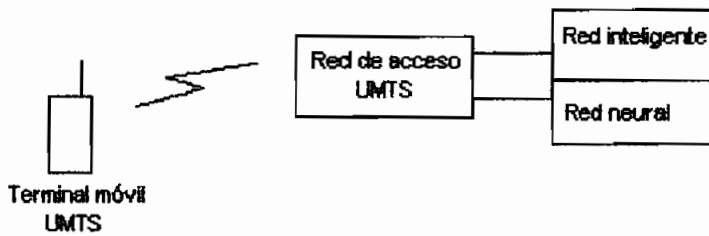


Figura 2.3 Sistema UMTS

- **Integración en redes B-ISDN**

De esta manera se puede observar que el WATM puede estar funcionando similarmente como el UMTS, sin embargo la integración de UMTS en la red B-ISDN ha sido prevista en las investigaciones de proyectos con UMTS. Con ello las funciones de conmutación y multiplexación las lleva a cabo la red neural, la cual puede estar integrada en la red B-ISDN, mientras que las funciones de movilidad se pueden llevar a cabo en la red inteligente y en la red de acceso.

Adicionalmente, la señalización Q.2931¹ tiene que ser modificada, añadiendo características móviles a este protocolo, que son explicadas dentro de las especificaciones del ATM inalámbrico en la sección 2.5.2.4.

2.3.3 HIPERLAN /1 /2²

El objetivo de varios esfuerzos de normalización es el de cumplir con los requisitos que se están poniendo en la comunicación de datos inalámbrica. Estas normas son para servicios de datos inalámbricos de área amplia con movilidad

¹ Q.2931, protocolo usado por el plano de control para el establecimiento, duración y término de una conexión ATM. No es utilizado por la capa ATM.

² Jamshid Khun-Jush, Giran Malmgren, Hiperlan tipo 2 para comunicación en banda ancha. Ericsson Review No. 2 2000

completa de hasta 2Mbps, como el UMTS. Además se están desarrollando normas en Europa, Japón, y los Estados Unidos para comunicación multimedia de red de área local inalámbrica en la banda de 5GHz.

HIPERLAN/2, que está siendo especificada por el proyecto ETSI BRAN, dará tasas de datos de hasta 54 Mbps para comunicaciones de corto alcance (de hasta 150 m) en ambientes de interior y de exterior. Se alcanzó una armonización casi total entre los cuerpos de normalización en Europa (ETSI) Japón (ARIB), donde las partes de núcleo de la especificación fueron finalizadas en 1999.

Antes de empezar con el trabajo de normalización sobre HIPERLAN/2, ha desarrollado ETSI la norma HIPERLAN/1 para la conexión en red *ad hoc* de dispositivos portátiles. Entendiéndose por red *ad hoc* a aquella red donde los terminales móviles se comunican sin necesidad de radio bases o alguna red fija de conmutación y multiplexación. Esta norma apoya principalmente la transferencia de datos asíncrona y aplica un mecanismo de acceso múltiple con (CSMA) con técnica de evitar colisiones (CA). Usando la técnica CSMA/CA comparte el modelo la capacidad de radio disponible entre usuarios activos que tratan de transmitir datos durante un período de tiempo. A pesar de que HIPERLAN/1 da un medio de transportar servicios limitados en tiempo, no controla o garantiza la calidad de servicio QoS en el enlace inalámbrico. Por lo que se considera como un sistema de entrega de datos best effort. Esto es lo que ha motivado a ETSI a desarrollar una nueva generación de normas que apoyan datos asíncronos y servicios críticos en lo que se refiere a tiempo (por ejemplo, voz y vídeo empaquetados) que están limitados por retardos de tiempo específicos.

De esta manera mientras el ETSI trabaja en la norma HIPERLAN/2, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) empezó a especificar una capa física para la banda de Infraestructura de Información Nacional No Autorizada, para extender su norma IEEE 802.11 para aplicaciones de alta velocidad.

Por último la norma HIPERLAN/2 es un complemento a los sistemas de acceso inalámbrico de hoy, que dan altas tasas de datos (capacidad y rendimiento total) a usuarios finales en zonas de tráfico intenso. La movilidad al aire libre de HIPERLAN/2 es limitada, al comparar con otros sistemas celulares. Los ambientes de aplicación típicos son oficinas, hogares, salas de exposiciones, aeropuertos, estaciones de tren, etc.

2.3.4 IEEE 802.11

El estándar IEEE 802.11 ofrece algunas tecnologías para Wireless LAN que utilizan la tecnología de espectro disperso (Spread Spectrum), la cual se halla en las bandas frecuenciales 902-928MHz, 2.400-2.4835GHz y 5.725-5.85GHz. Este conjunto de bandas se denomina ICM (Industria Científica Médica).

Esta asignación de una localización de frecuencias fija propició una mayor actividad del sector industrial. En este punto las redes de área local inalámbrica dejaron de ser meramente experimentales para empezar a introducirse en el mercado. Entre los años 1985 y 1990 se trabajó en el desarrollo de productos WLAN y finalmente, y en mayo de 1991, se publicaron algunos trabajos sobre redes inalámbricas que superaban la velocidad de transferencia de 1Mbps, la cual es la velocidad mínima a partir de la cual el comité IEEE considera que una red es de área local. Hasta ese momento las WLAN habían tenido una aceptación marginal en el mercado por dos razones fundamentales, la falta de un estándar y precios elevados de la solución inalámbrica.

En estos últimos años se ha producido un crecimiento en el mercado de las comunicaciones. Este hecho es atribuible a dos razones principales:

- El desarrollo del mercado de los equipos portátiles y de las comunicaciones móviles que han producido que los usuarios puedan estar en continuo movimiento manteniendo comunicación constante con otros terminales y elementos de la red.

- La conclusión de la definición de la norma IEEE 802.11 para redes de área local inalámbricas en junio de 1997 que ha establecido un punto de referencia y ha mejorado muchos de los aspectos de estas redes.

En 1999 se definió un nuevo estándar del Grupo de Trabajo 802.11, el IEEE 802.11b que da soporte a conexiones a tasas de 5.5 y 11Mbps, fue desde entonces que el mismo grupo de trabajo desarrolló el estándar IEEE 802.11a para velocidades de hasta 54Mbps utilizando modulación OFDM en la banda de 5GHz.

En lo concerniente a la tecnología de espectro disperso , ésta consiste en difundir la señal de información a lo largo del ancho de banda disponible, es decir, en vez de concentrar la energía de las señales alrededor de una portadora concreta lo que se hace es repartirla por toda la banda disponible. Este ancho de banda total se comparte con el resto de usuarios que trabajan en la misma banda.

Existen dos tipos de tecnologías de espectro disperso:

- Espectro Disperso por Secuencia Directa (DSSS)
- Espectro Disperso por Salto en Frecuencia (FHSS)

2.3.4.1 Espectro Disperso por Secuencia Directa (DSSS)

Esta técnica consiste en la generación de patrón de bits redundante llamado *señal de chip* para cada uno de los bits que componen la señal de información y la posterior modulación de la señal resultante mediante una portadora de RF. En recepción es necesario realizar el proceso inverso para obtener la señal información original.

DSSS tiene definidos dos tipos de modulaciones a aplicar a la señal de información una vez se sobrepone la señal de *chip* tal y como especifica el

estándar IEEE 802.11: la modulación DBPSK, *Differential Binary Phase Shift Keying* y la modulación DQPSK, *Differential Quadrature Phase Shift Keying* proporcionando unas velocidades de transferencia de 1 y 2Mbps respectivamente

2.3.4.2 Espectro Disperso por Salto de Frecuencia (FHSS)

La tecnología de espectro disperso por salto en frecuencia consiste en transmitir una parte de la información en una determinada frecuencia durante un intervalo de tiempo que suele ser inferior a 400ms. Pasado este tiempo se cambia la frecuencia de emisión y se sigue transmitiendo a otra frecuencia. De esta manera cada tramo de información se va transmitiendo en una frecuencia distinta durante un intervalo muy corto de tiempo.

Cada una de las transmisiones a una frecuencia concreta se realiza utilizando una portadora de banda estrecha que va cambiando (saltando) a lo largo del tiempo. Este procedimiento equivale a realizar una partición de la información en el dominio temporal. El orden en los saltos en frecuencia que el emisor debe realizar viene determinado según una secuencia pseudoaleatoria que se encuentra definida en unas tablas que tanto el emisor como el receptor deben conocer. La ventaja de estos sistemas frente a los sistemas DSSS es que con esta tecnología podemos tener más de un punto de acceso en la misma zona geográfica sin que existan interferencias si se cumple que dos comunicaciones distintas no utilizan la misma frecuencia portadora en un mismo instante de tiempo. Si se mantiene una correcta sincronización de estos saltos entre los dos extremos de la comunicación el efecto global es que aunque vamos cambiando de canal físico con el tiempo se mantiene un único canal lógico a través del cual se desarrolla la comunicación.

2.4 PERSPECTIVAS DE WATM

El WATM pretende ser una solución de servicios multimedia para terminales móviles, de ahí que es importante saber orientar una perspectiva práctica inicial

de esta tecnología de trabajo en redes de computadoras. Así también el WATM se lo visualiza como una solución a la integración de las redes fijas que ya tienen demanda multimedia actualmente hacia las redes móviles, pudiendo de esta manera obtener una transición gradual hacia esta integración total.

Dentro del ámbito de la investigación, se han desarrollado diversas ideas en lo concerniente a la tecnología *WATM* tanto en la Comunidad Europea como en centros de investigación de fabricantes. Dentro de este grupo de proyectos experimentales se hallan los más relevantes por su adaptabilidad a los estándares del ATM Forum planteados en el capítulo anterior:

- Proyecto Magic WAND (*Wireless ATM Network Demonstrator*).
- WATMNet.
- Radio ATM.

2.4.1 EL PROYECTO WAND^{1,2}

WAND es un proyecto europeo llevado adelante por un consorcio de empresas y universidades que está dentro del programa de investigación de ACTS (*Advanced Communications Technologies & Services*) de la Comunidad Europea. El objetivo básico es extender la tecnología ATM a usuarios móviles cubriendo un amplio rango de funciones incluyendo las aplicaciones multimedia.

El rango de trabajo para la tasa de datos nominal es de 20 Mbps OFDM en la banda de 5GHz donde tendría un alcance entre 50 y los 150 metros¹. Las pruebas que comenzaron en abril de 1998 estaban previstas para ser realizadas en algunos hospitales y ciertas oficinas. Entre los socios industriales se puede destacar a los más conocidos como Lucent Technologies, Ascom y Nokia.

¹ Juha Ala-Laurila, "The Magic WAND Wireless ATM Network Demonstrator System", Berlín, Alemania, 1998.

² Juka Immonen, "Signaling Stack Design for Wireless ATM Access Networks, IEEE noviembre 1999.

La red del proyecto WAND también tiene como objetivo principal mantener una compatibilidad completa con el ATM estándar y sus funciones, tales como la administración dinámica de canales virtuales (VCs) y su calidad de servicio (QoS).

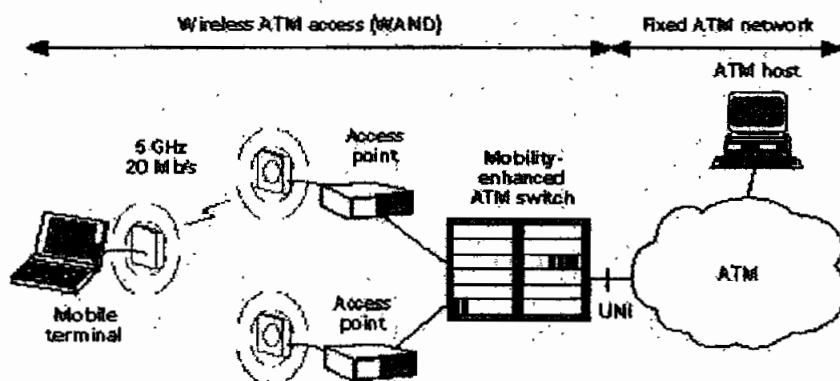


Figura 2.4 Modelo de la red WAND

La red WAND (figura 2.4) está compuesta por las siguientes partes:

- Terminales móviles con tarjetas de radio PCMCIA.
- Puntos de acceso.
- Conmutador ATM con soporte móvil

En la red WAND el terminal móvil se comunica con otro terminal de la nube ATM a través de un canal de radio. Esto lo realiza en base a los procedimientos del plano de control, el cual establece un nuevo canal virtual que viaja a través del canal inalámbrico y de la red fija. Durante el procedimiento de configuración, ésta se da también en el acceso inalámbrico y una vez que se establece la conexión, el punto de acceso transporta celdas ATM sobre el canal de usuario.

En el caso de WAND el acceso múltiple de terminales a la nube ATM se realiza mediante asignación fija de caminos virtuales (VPs) a cada terminal de manera que cada terminal tenga los canales virtuales de señalización al mismo tiempo, con la limitante de obtener hasta 256 terminales en la microcélula debido a que el espacio para definir el camino virtual en la cabecera ATM es solo de 8 bits. Sin

embargo, este método no requiere de multiplexor alguno en el punto de acceso dado que el acceso se lo hace transparentemente mediante VPs. Adicionalmente en el anexo F se puede observar con detalle este aspecto para la red WAND y que la comunidad europea lo definió como MASCARA (*Mobile Access Scheme Based on Contention and Reservation for ATM*, esquema de acceso móvil basado en contención y reservación para ATM).

MASCARA consiste en una estructura de trama que separa dinámicamente los espacios de tiempo asignados a la bajada y subida de datos. Donde ambas partes tienen el periodo de reservación de recursos para enviar datos por el canal, pero al canal de subida se suma un espacio para contención del canal utilizado por los terminales móviles en disputa del canal; mientras que al canal de bajada se suma un espacio para la difusión en donde se llevan los resultados de la contención del canal.

2.4.2 EL PROYECTO WATMNet¹

En el proyecto WATMNet se tiene la participación principal de científicos del Centro de Investigaciones de la NEC en Princeton, New Jersey. La evolución de este proyecto comienza desde que se experimentó con la primera versión de WATM, WATMNet 1.0 la cual trabajaba en la banda de 2.4GHz con tasas de hasta 8Mbps. Fue a finales de 1998 que se realizó la última versión de estos trabajos y que llevaron al WATMNet 1.8 en donde se tiene un interfaz aire que trabaja en la banda de 5GHz y con tasas de hasta 25.6Mbps. La última versión 2.0, tiene pequeñas variaciones y se incluye en el anexo F sus especificaciones así como su planificación de la estructura de red que compone el proyecto WATMNet. La tecnología es muy similar a la de WAND, en donde la estación base brinda acceso transparente (figura 2.5) a la nube ATM estándar.

¹ Cesar Johnston, "25Mbps 5GHz Wireless ATM System Developers" (NEC USA), Berlín, Alemania, 1998

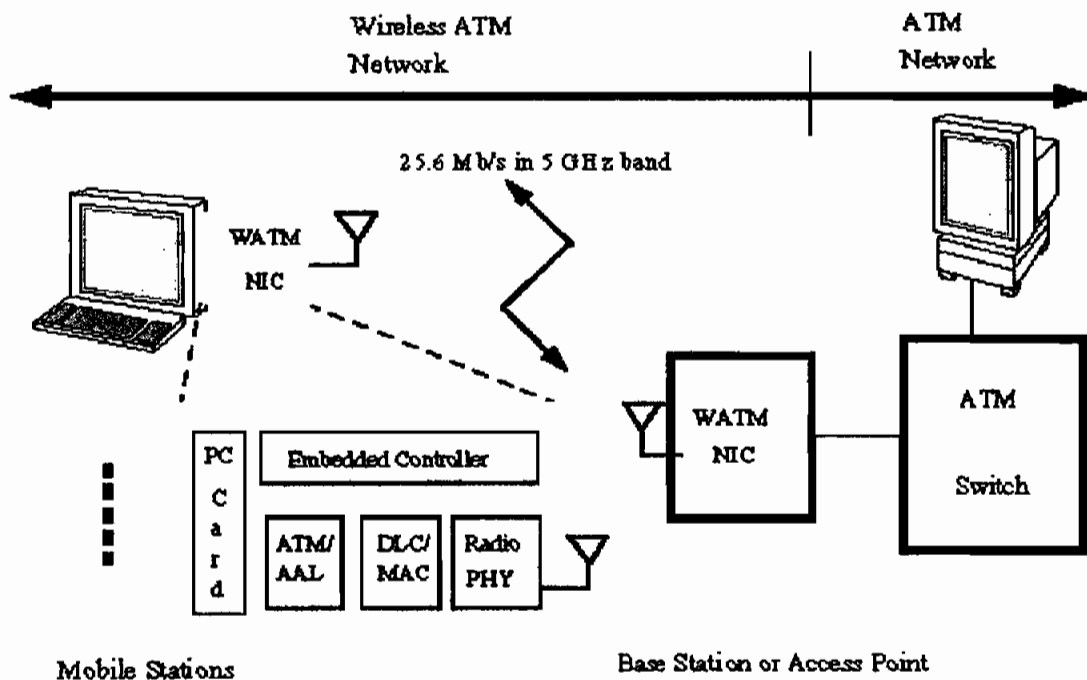


Figura 2.5 Modelo de la red WATMNet 2.0

Entre los componentes (figura 2.5) de este proyecto se citan los siguientes:

- Terminal móvil con tarjeta de red (NIC, *Network Interface Card*).
- Estación base con tarjeta NIC, con software UNI móvil.
- Conmutador con soporte para movilidad.

El sistema representa la segunda generación en prototipos WATM que operan en la banda U-NII de los 5GHz con tasas de 25.6Mbps. La infraestructura de la red consiste en algunas *lap tops* (computadoras móviles) con tarjetas de radio ATM, puntos de acceso con procesador basado en el VME/v851¹ y un conmutador ATM con soporte para movilidad. El método de acceso al medio es dinámico TDMA/TDD el cual brinda soporte para servicios CBR, VBR, ABR sobre el interfaz aire. El soporte móvil de la nube ATM se da a través de conmutadores NEC ATM ATOMIS5 para la interconectar las estaciones base y así manejar también el *hand-off*.

¹ Cesar Johnston, "25Mbps 5GHz Wireless ATM System Developers" (NEC USA), Berlín, Alemania, 1998

2.4.3 EL PROYECTO RADIO ATM DE OLIVETTI ²

Este proyecto tiene su origen en los laboratorios de Investigación de Olivetti y Oracle (recientemente adquiridos por AT&T), que tiene su sede en Cambridge, Inglaterra.

El demo de este proyecto inicialmente trabajó con un interfaz de radio que operaba a 10Mbps en la banda de 2.45GHz, y que tuvo su evolución hasta desarrollar un interfaz que opere a 25Mbps en la banda U-NII de los 5GHz.

El sistema consiste de terminales móviles, puntos de acceso y un conmutador de movilidad, en donde la célula (similar a la macrocélula) provee una conexión ATM a una red de área amplia y posee un radio de entre 3 y 5Km y consta de 6 puntos de acceso², donde cada uno de éstos provee la comunicación a los usuarios finales a una velocidad de 25Mbps en un canal TDM que es compartido dinámicamente. El punto de acceso usa QoS ATM para soportar prioridad de tráfico en el interfaz aire.

2.5 ESPECIFICACIONES DEL ATM INALÁMBRICO

Hasta ahora se han descrito aspectos breves acerca del *Wireless ATM* y un vistazo general de otros sistemas de banda ancha inalámbricos. En esta sección se procederá a analizar con más detalle la tecnología WATM con la finalidad de establecer parámetros específicos que se mencionaron en la introducción del capítulo 2.

2.5.1 MODELOS DE REFERENCIA *WIRELESS ATM*

El modelo de referencia para WATM se distingue del ATM estándar, dado que extiende su capacidad a través de accesos de radio hacia los usuarios inalámbricos fijos y/o móviles.

² Alistair Massarella, "ORL Radio ATM" (Olivetti Research Lab., USA), Berlín, Alemania, 1998.

En la figura 2.6 se pueden apreciar diversos modelos WATM, donde el sistema consiste de una infraestructura de red fija ATM con segmentos de acceso de radio. En la red ATM fija, los conmutadores, que se comunican con la estación inalámbrica o con los terminales finales móviles, son conmutadores ATM con características adicionales de movilidad. Tales conmutadores configuran conexiones en nombre de los dispositivos inalámbricos y sirven de acceso a la red ATM fija. Mientras que los conmutadores ATM de la red fija permanecen sin cambiar sus características de funcionamiento.

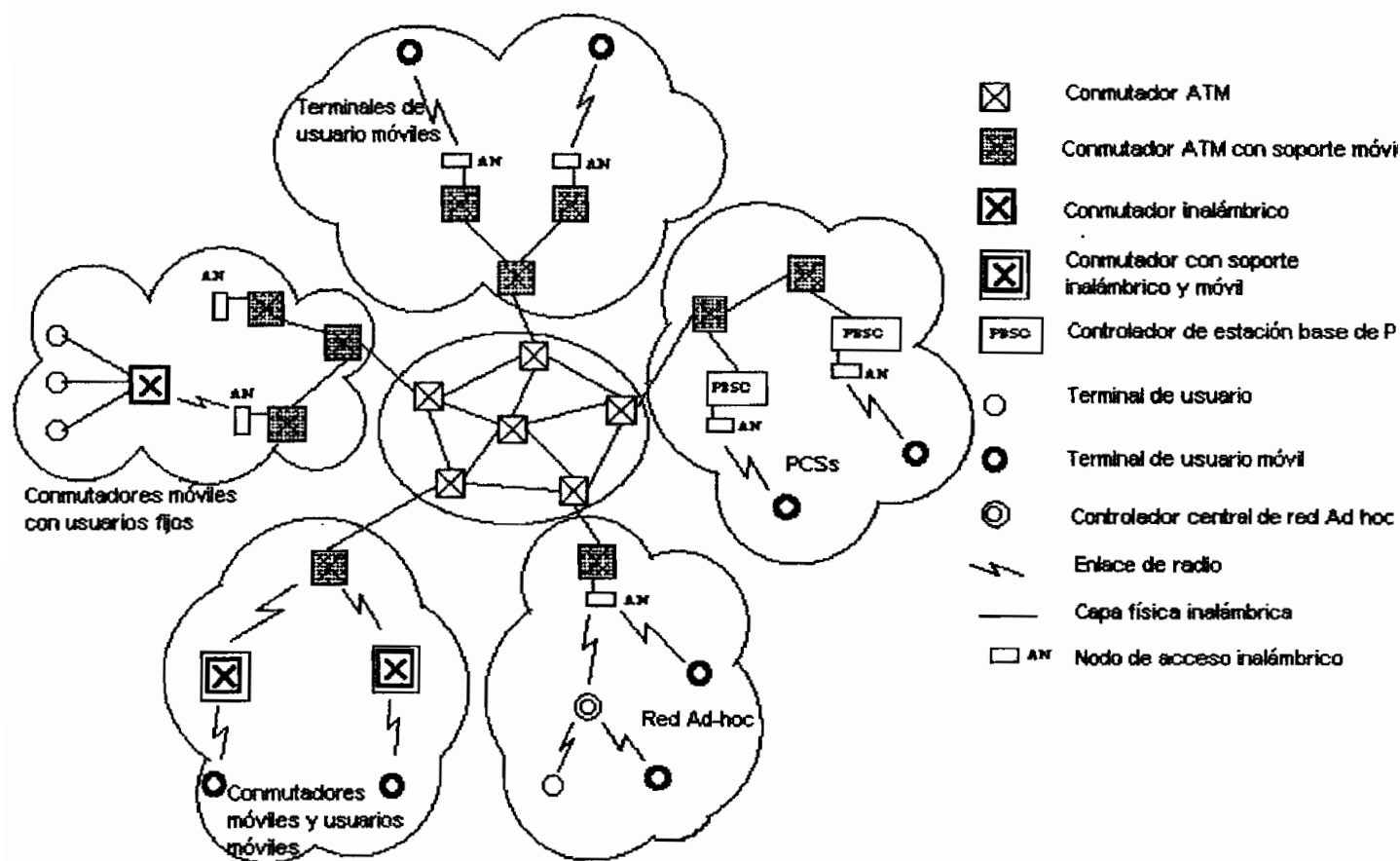


Figura 2.6 Modelos de red WATM

En los dispositivos inalámbricos "fijos" se tienen usuarios con terminales que se comunican entre sí pero que no son terminales móviles. La comunicación de datos se da a través de un canal inalámbrico. De esta manera en este tipo de

diseño no se toman en cuenta factores como la administración de la localización, *hand-off*, enrutamiento de terminales móviles.

Para el soporte de conexiones ATM, los dispositivos terminales de usuario se requieren que estén equipados con un adaptador inalámbrico que se comunica con el punto de acceso inalámbrico hacia la red fija mediante los conmutadores ATM con soporte de características móviles.

En la parte de los conmutadores móviles con usuarios terminales fijos, el usuario y el conmutador, en conjunto, son un solo móvil. Al conmutador se pueden anexar más de un terminal de usuario, en donde los usuarios fijos son aquellos que no cambian de conmutador. El conmutador mientras tanto es el responsable de establecer la comunicación con la red fija, sea a través de un canal de cable o inalámbrico. En este caso, tanto los puntos de acceso inalámbricos como los adaptadores del terminal inalámbrico son necesarios para los conmutadores ATM con soporte móvil.

Por último en las redes *ad-hoc*, los terminales móviles establecen comunicación entre ellos sin la intervención de un punto de acceso centralizado, en donde los terminales ATM inalámbricos requerirían para este tipo de aplicación una configuración automática para no depender del punto de acceso. Pudiendo de esta forma tener terminales de usuario que establezcan comunicación con la red ATM ya sea directamente o mediante un controlador central de la red *ad-hoc*.

2.5.2 TÓPICOS DE DISEÑO PARA WATM

El diseño de WATM adopta como principal aporte a la tecnología ATM, de ahí que la comunicación de datos se basa en conjunto en la pila de protocolos ATM. De esto se desprende una arquitectura de protocolos WATM que se muestra en la figura 2.7 (a) y (b). En donde, para el soporte para servicios de radio inalámbricos, se añaden extensiones a la pila de protocolos ATM estándar.

También el segmento inalámbrico de la red requerirá nuevas funciones de movilidad para el establecimiento y control de la comunicación en la red ATM integrada.

2.5.2.1 Arquitectura de protocolos *Wireless ATM*¹

La arquitectura de protocolos comúnmente propuesta por el ATM Forum se presenta en la siguiente figura:

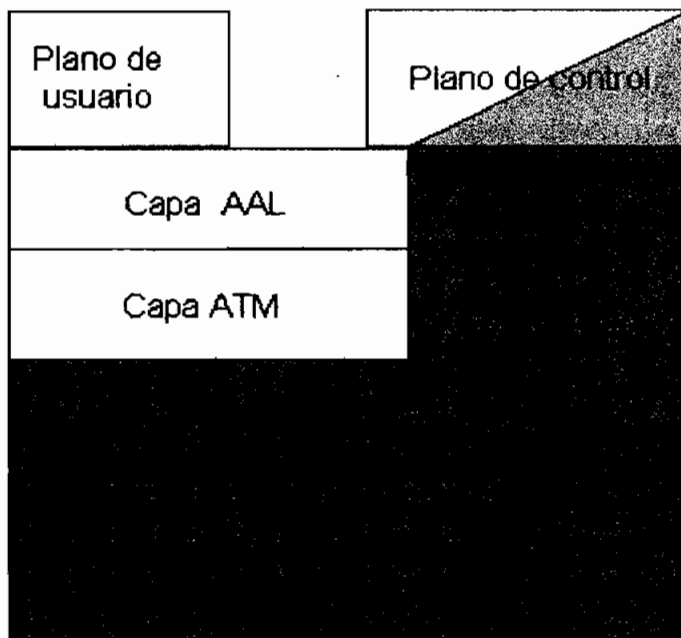


Figura 2.7(a) Arquitectura de Protocolos WATM

Las capas WATM (pintadas en escala de gris) están divididas en dos partes principales: la parte móvil ATM (plano de control), y la capa de acceso de radio (Control inalámbrico).

La parte móvil ATM negocia con las funciones de señalización y control de las capas superiores para dar soporte de movilidad. Esta señalización y control

¹ J. Deane, "WATM PHY requirements," ATM Forum/96-0785, June 1996 This document addresses the specification and design issues in PHY of WATM.

incluye *hand-off*, administración de la localización, ruteo, direccionamiento y administración de tráfico. La capa de acceso de radio tiene la responsabilidad de los protocolos del enlace de radio y de su control para el acceso inalámbrico ATM. La capa de acceso de radio está constituida por: la capa física, la capa de acceso al medio, la capa de enlace de datos y el control de los recursos de radio.

El acceso inalámbrico ofrece un interfaz transparente a las aplicaciones del usuario en la plataforma ATM. En donde el punto de acceso a la red tiene programado un interfaz NNI para el enlace inalámbrico, donde se incluye una cabecera adicional para el enlace de radio. Mientras que los terminales deben incluir un interfaz programado UNI móvil para la extensión de la señalización con la red ATM.

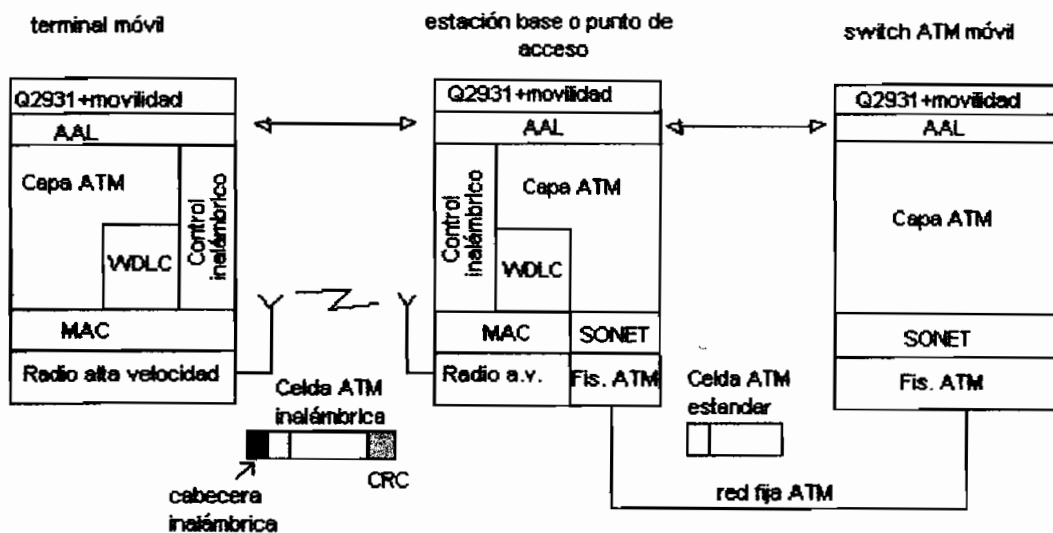


Figura 2.7(b) Arquitectura de la red WATM en sus componentes

2.5.2.2 Capa de acceso de radio

Para tener soporte de comunicación inalámbrica se requiere tener las capas de canal físico inalámbrico, acceso al medio y enlace de datos por debajo de la capa ATM, las cuales se describen a continuación:

➤ **Capa Física (PHY Physical Layer)**

Hoy en día para la capa física de WATM se pueden escoger las bandas de frecuencias designadas, ya sea por ETSI o por la UIT-T. Debido a sus prestaciones en pruebas experimentales. Si bien es cierto el recurso natural de la frecuencia depende de la asignación del espectro se ha propuesto, por parte de algunos fabricantes, el uso de la banda de 5GHz para el trabajo de WATM. Esto porque el tipo de aplicaciones multimedia, tales como fax, vídeo teléfono, correo masivo, entre otros, en el Ecuador no exige un consumo de ancho de banda alto.

En la banda de 5GHz y utilizando una modulación de 16 tonos QPSK diferencial, para la tasa de 25Mbps, se tiene una velocidad de símbolo de:

$$V_t = V_s * n * n_t \quad \text{donde } n_t = \text{número de tonos} \quad \text{y } n = \text{número de niveles}$$

$$V_s = V_t / (n * n_t) = 25\text{Mbps} / (2 * 16) = 0.78125 \text{ Mbaudios/s}$$

La modulación 16 tonos DQPSK , es una técnica que emplea estos tonos espaciados cada $1/V_s$ (segundos), los cuales están modulados en DQPSK. Aunque la tasa de 155Mbps es difícil de obtener en el medio inalámbrico, el ATM Forum ha definido un estándar en la banda de 60GHz para tener tasas de hasta 622Mbps.

	PHY de baja velocidad	PHY de alta velocidad
Banda de frecuencia (GHz)	5.15-5.35 ; 5.725-5.875	59 - 64
Radio de la célula	80 m	10 - 15 m
Potencia de transmisión	100mW	10 - 20mW
Factor reuso frecuencia	< 12	7
Ancho de banda de canal	30MHz	150 / 700MHz
Velocidad de datos	25Mbps	155 / 622Mbps
Modulación	16 tonos DQPSK	32 tonos DQPSK
Longitud de paquete fijo	Cabecera PHY + cabecera MAC + 4* celdas ATM	

Tabla 2.1 Especificaciones PHY del ATM Forum¹

¹ J. Deane, "WATM PHY requirements," ATM Forum/96-0785, June 1996 This document addresses the specification and design issues in PHY of WATM.

➤ Capa de control de acceso al medio (*MAC* , *Medium Access Control*)

La capa MAC se encarga de proveer enlaces punto a punto para los protocolos de las capas superiores. El concepto de las redes inalámbricas ATM en países de alta demanda de capacidad de transmisión de información es un pilar fundamental para las redes de una nueva generación en donde se integren los servicios multimedia con requerimientos de calidad diferentes. Uno de los tópicos que en redes ATM inalámbricas se debe tomar en cuenta es un adecuado desarrollo del protocolo MAC, el cual debe tener la capacidad de realizar la conmutación estadística de la red ATM estándar en un ambiente inalámbrico.

Para WATM la capa MAC debe proveer soporte para los diferentes servicios que presta el ATM estándar, como son los servicios CBR, VBR, ABR y UBR¹; lo que se puede establecer mediante técnicas de acceso múltiple al medio, las cuales a lo largo del desarrollo de las comunicaciones se las puede clasificar en 3 tipos:

- técnicas de acceso fijas,
 - técnicas de acceso aleatorias, y
 - técnicas de acceso por demanda.
- Técnicas de acceso fijas: Dentro de esta clasificación se tiene el TDMA y FDMA que presentan una deficiencia en el uso del recurso del canal de radio para redes inalámbricas. CDMA es un esquema tanto fijo como aleatorio, tiene ventajas como: uso eficiente del ancho de banda, buena multiplexación estadística y un retardo bajo en el acceso al canal; pero tiene desventajas como: la limitación de la tasa de transmisión y la complejidad de la estación base o radio base. Estas características hacen que CDMA no sea eficiente para redes inalámbricas integradas.
 - Técnicas de acceso aleatorias: Estas técnicas son inapropiadas por el largo retardo de acceso al canal debido al proceso de resolución de

¹ C-V-A-U + BR = Constant - Variable-Available-Unspecified + Bit Rate, se refieren a las diferentes clases de servicios ofrecidos por una red ATM, donde a cada uno de ellos se le asigna un protocolo AAL para la adaptación de los datos del usuario en celdas ATM.

contención del canal. Si bien es cierto que en redes cableadas el CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Colission Detect) ofrece tasas de transmisión altas, en cambio en el ambiente de radio se tiene la dificultad de sensar portadoras en la presencia de una transmisión local.

- Técnicas de acceso por demanda: este sistema minimiza el desperdicio de ancho de banda y evita el método de colisiones para el acceso al medio, proveyendo conexiones de contención libre en ancho de banda durante los periodos de transmisión activa del usuario. De esta manera los usuarios de servicios VBR pueden tener un ancho de banda de acuerdo a la longitud de la ráfaga de datos. Por estas características, el acceso por demanda es el más propicio para los requerimientos de las redes inalámbricas integradas.

En general el servicio de acceso por demanda se lo puede concebir como un espacio de tiempo en el que se tiene una trama o canal donde se clasifica la etapa de subida y la de bajada de datos. Donde ambos canales pueden ser transmitidos en diferentes canales de radio o compartidos en una trama utilizando un duplexor por división de tiempo. Esta trama se puede observar en la figura 2.8.

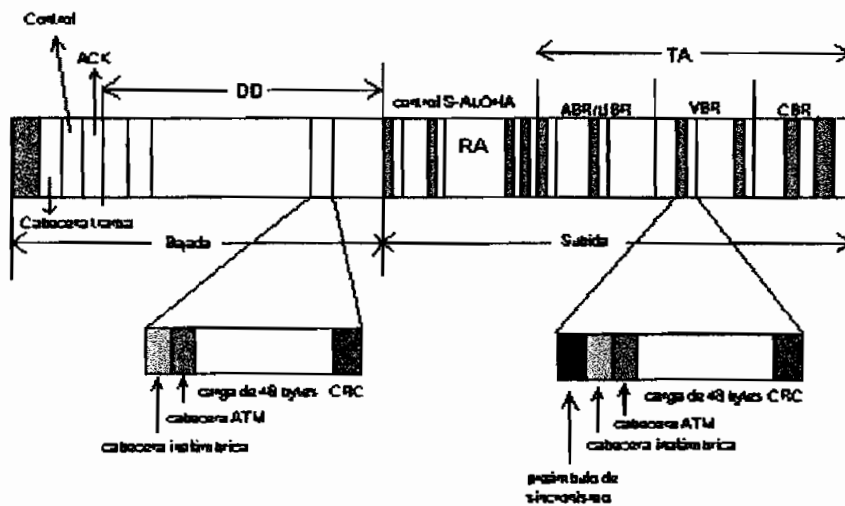


Figura 2.8 Clasificación del canal de radio¹

¹ Kubbar, Osama; Multiple Access control protocols for Wireless ATM, IEEE Noviembre 1997.

El tráfico de subida se dirige desde el terminal remoto hacia la estación base ó punto de acceso, en donde se lleva el requerimiento de acceso (RA, *Request Access*) del terminal y el canal de acceso de transmisión de datos (DA, *Data Access*). En el periodo RA los terminales transmiten sus paquetes RA hacia la estación base para pedir ancho de banda, la estación base identifica a los usuarios y asigna el ancho de banda si está disponible en el periodo TA.

En el periodo de bajada se tiene el periodo de reconocimiento (ACK, *Acknowledgment*) y el de datos de bajada (DD, *Data Downstream*). En donde en la trama ACK la estación base responde a los RA de los terminales; mientras que en el espacio DD viajan los datos de los usuarios.

Ahora bien, dependiendo del estado de los terminales remotos se pueden tener diferentes esquemas de acceso en la misma trama conjunta. Por ejemplo si no todos los terminales están activos simultáneamente, el esquema MAC utilizado en el periodo RA es aleatorio, como sucede con ALOHA. ALOHA es un esquema que nació en los años 70, en el que la idea básica consiste en permitir a los usuarios o terminales que transmitan cuando tengan información que enviar.

De esto se desprende un acuerdo común entre fabricantes de que lo mejor para el diseño de la capa MAC se establezca un esquema de acceso TDMA para servicios CBR, los cuales requieren de garantía de ancho de banda y transmisión de los datos en tiempo real; mientras que para los servicios VBR, ABR y UBR se debe establecer una reservación dinámica del canal.

Esto indica que el diseño de la capa MAC para sistemas inalámbricos integrados debe tomar en cuenta los desafíos de soporte para servicios multimedia de diferentes clases, con una eficiencia en la utilización de los recursos, manteniendo la QoS lo más próxima al ATM estándar y teniendo apertura al aspecto de la movilidad del usuario. Por último en el anexo E se especifican una serie de propuestas, realizadas por diferentes investigaciones, de protocolos para la capa MAC para el ATM inalámbrico.

➤ Capa de control de enlace de datos (*DLC, Data Link Control*)

Esta capa brinda servicios a la capa ATM inmediata superior. Es aquí en donde se debe ocultar o mitigar los errores del canal de radio antes de que las celdas sean enviadas a la capa ATM. Siguiendo esa filosofía, la capa DLC debe tener implementado protocolos de retransmisión, detección de errores y métodos de corrección de errores hacia delante (*FEC, Forward Error Correction*)

2.5.2.3 La parte móvil ATM

Dentro del mercado de las comunicaciones móviles se ha venido en este tiempo dando un importante protagonismo al uso de terminales móviles que acceden a un servicio de comunicación mediante redes que junto con una amplia gama de tecnología de accesos de radio, brindan al usuario final una variedad de servicios inalámbricos, tales como voz, transmisión de datos, multimedia, etc.

El concepto de la red ATM móvil se puede visualizar en la figura 2.9, en donde la idea básica es la de integrar el soporte de movilidad en la arquitectura ATM estándar, otorgando principalmente las facilidades de control de *hand-off* y administración de localización dentro de un ambiente relativamente pequeño.

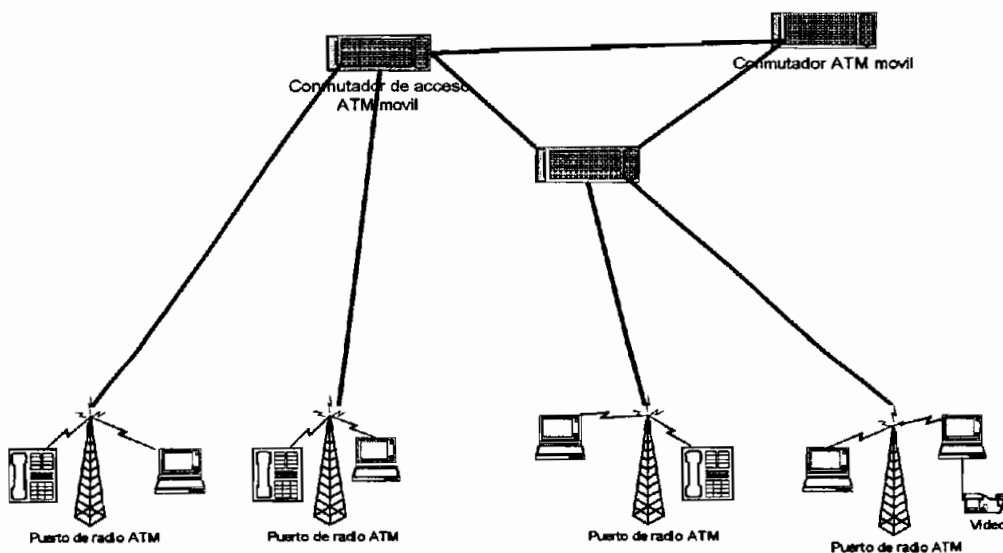


Figura 2.9 Concepto de red ATM móvil

Esto contrasta con las actuales redes móviles, en donde los conmutadores son utilizados en conjunto con componentes externos tales como un controlador de estación base (BSC, *Base Station Controller*), controlador de servicio de movilidad (MSC, *Mobility Service Controller*), etc.

La red integrada ATM tiene la ventaja de actualizar el rendimiento de los conmutadores móviles, reduciendo la cantidad de equipo requerido adicional, y por otra parte el operador de la red no necesita hacer distinciones de prioridad entre los usuarios móviles y fijos. Las partes principales de las que se compone la red ATM móvil se muestran en la figura 2.10, las cuales son: a) Conmutador/multiplexor ATM con actualización de programación (Móvil "M" NNI); b) los puertos de radio ATM ó puntos de acceso, los cuales llegan al usuario y realizan la conversión hacia el formato ATM ("M" UNI) estándar. El puerto de radio ATM es un dispositivo que puede ser visto como un interfaz de procesamiento ATM con múltiples puertos para tarjetas de interfaz de radio, las cuales pueden usar tecnología PCMCIA¹, teniendo de esta manera un aparato compacto modular práctico que se puede utilizar como un punto de acceso interior con el respectivo cableado hacia el módulo de radio.

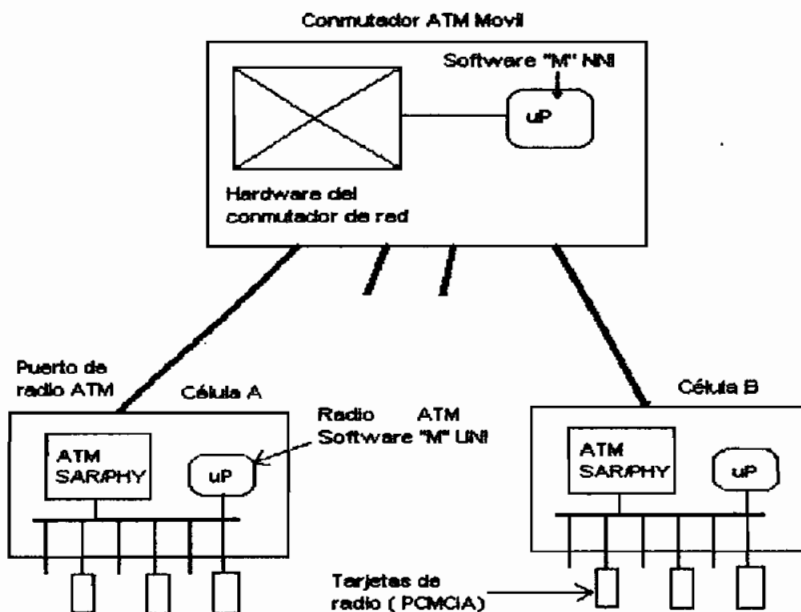


Figura 2.10 Componentes principales en una red WATM móvil

¹PCMCIA, tecnología de fabricación para tarjetas modulares de equipos electrónicos

Para tener soporte de movilidad en ATM se necesita añadir nuevas funciones de señalización y control a las capas superiores y así poder manejar el *hand-off*, la administración de la localización, ruteo, direccionamiento y administración del tráfico. La parte ATM móvil incluye todas estas tareas de diseño de las funciones de control y señalización de la red.

➤ *Hand-off* (conmutación de células)

En una red WATM se tienen terminales que establecen circuitos virtuales con otro terminal sea éste móvil o fijo, sin embargo muchas veces el terminal móvil cambia de punto de acceso (*AP, Access Point*), es ahí donde se requieren protocolos de *hand-off* que permitan este cambio manteniendo el QoS de esa conexión activa. Esto se puede lograr mediante el uso de protocolos eficientes de señalización combinado con el adecuado ruteo y conmutación de los canales virtuales (*VC*) hacia el punto de acceso inalámbrico apropiado.

El modelo de *hand-off* con conmutador de enganche (*AS, Anchor Switch*) utiliza un conmutador de la red para enrutar las conexiones de los terminales inalámbrico móviles hacia una red determinada. Este tipo de modelo usa el concepto de agrupamiento de *VCs* para proveer una administración colectiva de los canales virtuales activos de los terminales móviles ATM en un *AS*. El *AS* podría ser asignado hacia determinado terminal ATM móvil mediante el registro con un *AP* o mediante una entidad administrativa externa.

Dado que no se tiene un protocolo de transporte confiable sobre radio, los programas de señalización incorporan mensajes de reconocimiento (*ACK, acknowledge*) y temporizadores para contabilizar cualquier posible pérdida, esto brinda un control total de los terminales en lo que se refiere a políticas de retransmisión durante el *hand-off*.

El modelo de *hand-off* es muy simple, en donde se da soporte en dos tipos de procedimiento. El *hand-off* puede ser ya sea conectado o desconectado. Como el

terminal ATM móvil se traslada de un punto de acceso hacia otro entonces el terminal debe llevar a cabo un registro con el nuevo punto de acceso antes de iniciar un *hand-off* conectado o desconectado.

- *Hand-off* conectado, esto ocurre cuando el terminal móvil ATM está todavía en contacto con el punto de acceso actual antes de movilizarse hacia otro punto de acceso.
- *Hand-off* desconectado, esto ocurre cuando el terminal móvil ATM ha perdido contacto con el punto de acceso actual, y se reconecta con la red, pero no necesariamente mediante el punto de acceso utilizado antes de que se desconectara.
- Registro, cada vez que un terminal móvil ATM se anexa a un punto de acceso nuevo, el terminal debe registrarse con ese punto de acceso. La fase de registro es también utilizada para asignar un AS hacia un terminal ATM móvil al inicio de un día de operación y para completar chequeos de seguridad y autenticación.

A continuación se pasará a explicar con detalle cada uno de los procedimientos de *hand-off* con ejemplos sencillos, en donde la red consta de conmutadores ATM con soporte de movilidad del terminal de usuario. Esos conmutadores conocidos como conmutadores de enganche (AS) en este modelo de protocolo simplemente llevan las pilas de los programas de administración y señalización que dan soporte a la comunicación entre el AS, AP y el terminal ATM móvil

a) Registro

El terminal móvil ATM (ó *host* móvil, también denominado *WMT Wireless Mobile Terminal*) debe ser reconocido por un punto de acceso. De esta manera se tienen los siguientes pasos propuestos por el ATM Forum para un proceso de registro (Ver figura 2.11):

- Paso 1: El *host1* monitorea la información de identificación del punto de acceso transmitida por cada AP. Con esta información se genera una tabla de disponibilidad en cada canal de radio entre el AP y el *host*.
- Paso 2: La señalización se realiza dentro de una célula para establecer el canal de comunicación a través del interfaz aire entre el *host* y el AP. El *host1* se comunica con el AP1 con un mensaje de *Handover Request* (pedido de cambio) que contiene una identificación para el *host1*. Dicha identificación es ligada con un VPI a través del AP. Este VPI servirá para la transferencia de datos y la señalización desde y hacia el *host1* con mensaje de *Handover Request Reply* (respuesta de pedido). Cada *host* tiene un único VPI registrado en un punto de acceso.

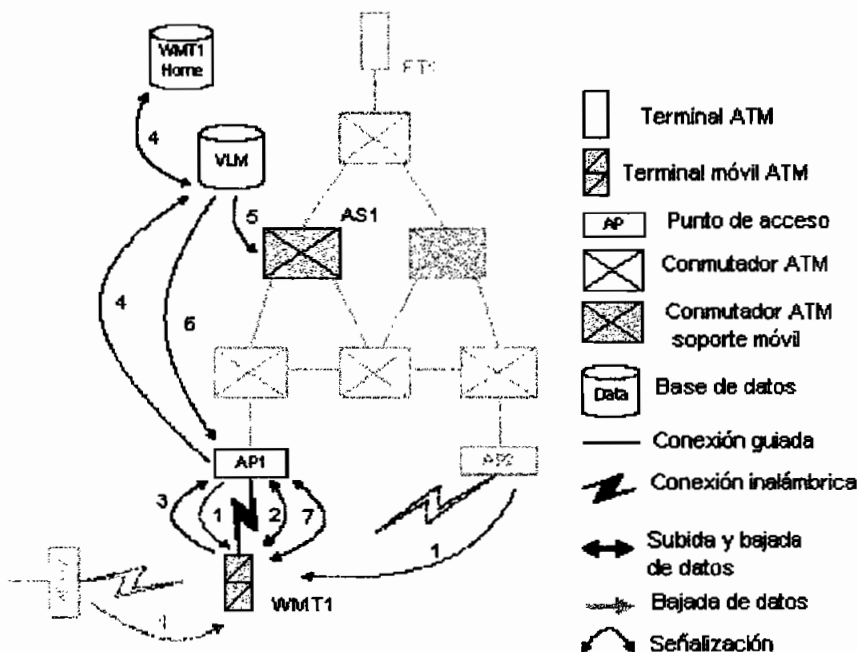


Figura 2.11 Proceso de registro

- Paso 3: El *host1* envía al AP1 toda su dirección fija con *Name Response* (Respuesta de nombre). Así el AP1 puede sustituir la identificación del *host1* utilizada en la señalización con la dirección fija.
- Paso 4: El AP1 trata de registrar el *host1* con el servicio de administración de localización de visitantes (ALV ó VLM en inglés) utilizando el mensaje

Register Mobile (registro del móvil). Si el ALV no tiene información almacenada del host1, entonces el ALV se contacta con la base de datos del host1 para obtener información de autenticación y seguridad.

- Paso 5: Si el host no está registrado entonces un AS es localizado por un ALV, en este caso el AS1. Por el momento todas las llamadas del host1 pasarán por AS1, hasta que el ALV genera una dirección foránea para el host1 y envía al AS1 un detalle de la dirección local/foránea y el AP actual mediante un mensaje *Allocate AS* (Localizar AS).
- Paso 6: Si el registro fue exitoso, entonces el ALV habla con el AP1 y le envía detalles del AS localizado con *Register Mobile Reply* (respuesta de registro del móvil).
- Paso 7: Si todo el procedimiento de seguridad y autenticación está completo, entonces el AP1 envía un *Handover Complete* (Completo cambio), en caso de falla se envía un *Handover Fail* (Falla de cambio). El *host* responderá ya sea con *Handover Complete Ack* (reconocimiento de cambio) ó con *Handover Fail Ack* (reconocimiento de falla), respectivamente.

b) *Hand-off* conectado

El host1 al movilizarse dentro de la red de radio bases (o puntos de acceso AP) es posible que requiera de una nueva conexión a otro AP, para mantener la comunicación. De esta manera, el host1 empieza el cambio de AP midiendo el rendimiento de los canales de radio de cada uno de los AP disponibles. El procedimiento se detalla a continuación (Ver figura 2.12):

- Paso 1: El host1 monitorea la información de identificación del AP transmitida por AP1 y AP2, en donde el host1 selecciona el AP2 como destino del cambio. El host1 sigue conectado al AP1.
- Paso 2: El host1 envía un mensaje al AP1 de *Handover Initiate* (Inicio de cambio) indicando el AP destino deseado, y el AP1 reconoce el pedido con un mensaje *Handover Initiate Ack* (reconocimiento de inicio). AP1 envía el

mismo mensaje al AS1 y éste le responde con un reconocimiento. Lo propio hace AS1 con AP2. Dentro de este mensaje puede ir información de registro del host1 para el nuevo AP. Si el cambio no se pudo dar, la red retorna *Handover Fail* hacia el host1.

- Paso3: Luego de que AS1 recibe el reconocimiento de AP2, entonces el nuevo segmento de cambio hacia AP2 es creado utilizando el mensaje estándar *SETUP* (configuración) creando una conexión virtual desde el AS1 al AP2.
- Paso 4: Una vez configurada la conexión, el AS1 envía un *Path Complete* (Camino completo) al AP2, y éste lo reconoce. Con este mensaje de reconocimiento, entonces el tráfico de datos hacia el usuario (de bajada) se conmuta del AP1 al AP2 mediante el AS1.

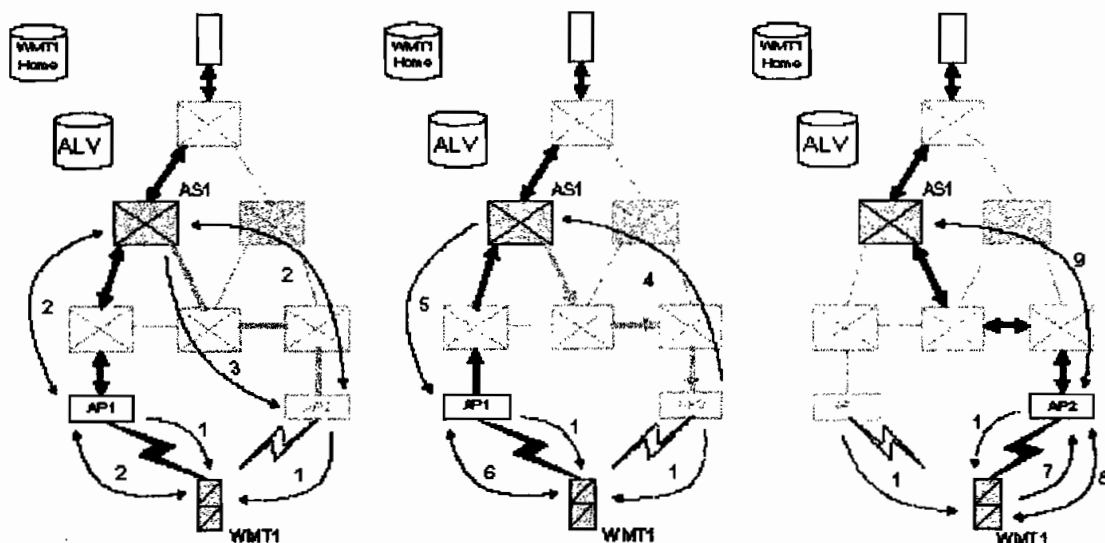


Figura 2.12 *Hand-off* conectado

- Paso 5: AS1 envía un *Handover Ready* (Listo el cambio) al AP1, y éste lo reconoce.
- Paso 6: AP1 envía un *Handover Ready* al host1, éste lo reconoce e inmediatamente cambia de canal hacia el AP2.

- Paso 7: El host1 empieza el proceso de registro con el AP2. La información básica ha sido transferida anteriormente en el mensaje *Handover Initiate* de tal manera que solo se realiza la autenticación del host1.
- Paso 8: Si el proceso de registro fue exitoso, entonces el AP2 responde al host1 con *Handover Complete*, y el host1 lo reconoce.
- Paso 9: Tan pronto como el AP2 recibe el mensaje de reconocimiento, entonces el AP2 envía al AS1 un *Handover Complete*. AS1 reconoce este mensaje y conmuta el tráfico de subida desde el AP1 al AP2.
- Paso 10: El AS1 descarga el segmento de cambio con el AP1.

c) *Hand-off* desconectado

Este tipo de *hand-off* ocurre cuando el *host* móvil pierde contacto con el AP actual, teniendo un tiempo fuera de conexión de la llamada. De esta manera se puede recuperar la conexión con la condición de que el ALV tenga almacenado en memoria, información acerca del *host* desconectado. Así, se tienen los siguientes pasos (ver figura 2.13):

- Paso 1: El host1 ha sido desconectado del AP donde estaba registrado y el AP2 es una alternativa para establecer su conexión.
- Paso 2: El host1 se registra con el AP2.
- Paso 3: El AP2 chequea para ver si el host1 ha sido asignado a un AS interrogando al ALV. Si en el ALV no existe información del host1, entonces el proceso de registro se inicia como cuando se lo hace por primera vez. Explicado en el proceso de registro en el literal a) de esta sección.
- Paso 4: AP2 obtiene el AS asignado, AS1, y envía a AS1 un mensaje SETUP para configurar un nuevo segmento de cambio con AP2.

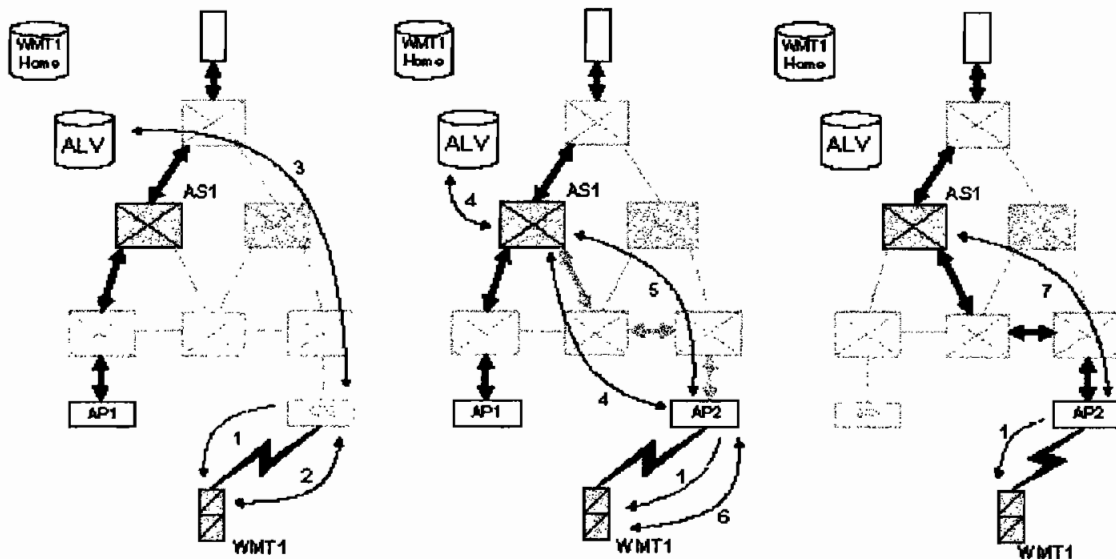


Figura 2.13 *Hand-off* desconectado

- Paso 5: AS1 envía un *Path Complete*, y el AP2 responde *Path Complete Ack*.
- Paso 6: Si el proceso de configuración fue exitoso, se envía un *Handover Complete* al host1 y éste lo reconoce.
- Paso 7: AP2 envía un *Handover Complete* al AS1. AS1 lo reconoce y descarga la conexión con AP1. La conexión es conmutada en el AS1 hacia el AP2 y las llamadas del host1 son reconectadas.

De esta manera se ha discutido un método de *hand-off* en donde se utiliza un conmutador de enganche (AS) para enrutar las conexiones de los terminales o *hosts* móviles en la red fija.

Con esto el proceso de *hand-off* debe cumplir una condición de retardo de tiempo de la conexión, y es así que se han definido los parámetros importantes:

- El tiempo total de un *hand-off* completo debe ser apropiado para el grado de movimiento del terminal móvil dentro de la red móvil ATM.

- El periodo de *hand-off* debe ser tal, de forma que la decisión de cambio sea todavía válida para la nueva posición del terminal móvil luego de un proceso de cambio completo.
- La conmutación de caminos de datos debe ser eficiente con el fin de minimizar las pérdidas en el transporte de las celdas ATM.

➤ Administración de la localización

Los protocolos de configuración de conexiones asumen que la dirección del terminal implícitamente identifica su localización en la red. Sin embargo, en una red de terminales móviles no es suficiente con solo sus direcciones terminales. Se necesitan esquemas de direccionamiento para localizar y rastrear a los terminales móviles. En general, en toda red, cada dispositivo terminal es identificado por una dirección de red. Estas direcciones tienen dos propósitos:

- Identificador de punto terminal para los terminales; los protocolos de transporte usan identificación terminal para establecer conexiones a este nivel.
- Identificador de localización, la dirección frecuentemente identifica las rutas de la red para alcanzar el punto objetivo.

En las redes móviles, los terminales cambian su localización, por lo tanto su identificador de localización cambia en el tiempo. A diferencia de las redes fijas que solo utilizan un solo identificador o dirección.

Existen dos puntos de vista para la administración de la localización de terminales móviles: como servicio externo y como servicio integrado móvil ATM.

En la administración de terminales móviles visto como un servicio externo, el protocolo de señalización no está enterado de la movilidad de los terminales, esto es, el nombre del terminal móvil es resuelto por un servicio externo de administración de la localización. En donde se tiene una ventaja dado que los

conmutadores ATM no necesitan funciones adicionales para terminales móviles. Sin embargo, la red es responsable de enganchar a los terminales a este servicio de administración de localización con mecanismos especiales solo para acceder a este servicio en caso de terminales móviles y saber distinguir la diferencia con uno fijo. En la figura 2.14 se puede apreciar como el punto terminal b1.1 es asignado al dispositivo del usuario mediante el servicio de administración de localización y pasa a la identificación b3.1.

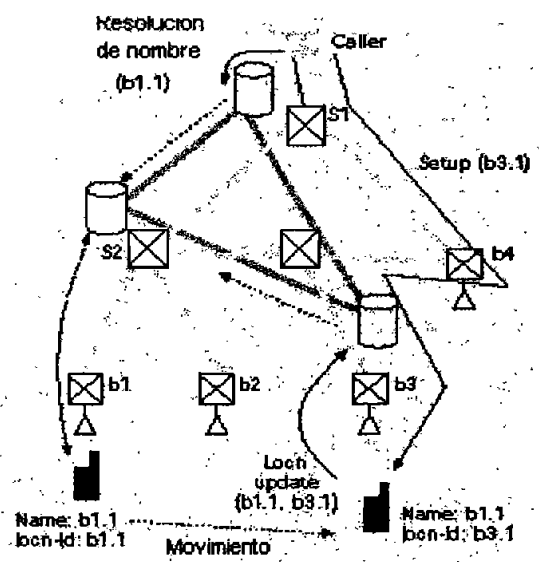


Figura 2.14 Esquema de administración como servicio externo

Por otra parte en la administración de terminales visto como un esquema integrado se extiende la señalización para el trabajo con tramas ATM, mediante mensajes de información adicionales a los ya existentes (*SETUP*, *CONNECT* y *RELEASE*)¹. La localización de un terminal móvil en este segundo esquema (figura 2.15) se da de la siguiente manera: un terminal fijo al realizar una llamada envía una trama *SETUP* hasta el conmutador ATM local con soporte móvil. Una vez que el mensaje *SETUP* llega al primer conmutador de la nube ATM, se retorna un mensaje de *RELEASE* como respuesta. También como respuesta se retorna un mensaje de *CONNECT* (cuando el terminal llamado es fijo ó cuando el terminal es móvil pero está ligado a su conmutador local). En el caso de que el terminal móvil se halle en un proceso de cambio de célula, los mensajes de

respuesta RELEASE/CONNECT deben llevar consigo la nueva dirección "foránea" identificando de esta manera a esta conexión como móvil para los conmutadores intermediarios. Ahora bien, si el dispositivo que llama es móvil, la conexión debe ser identificada como móvil desde el inicio con el mensaje SETUP.

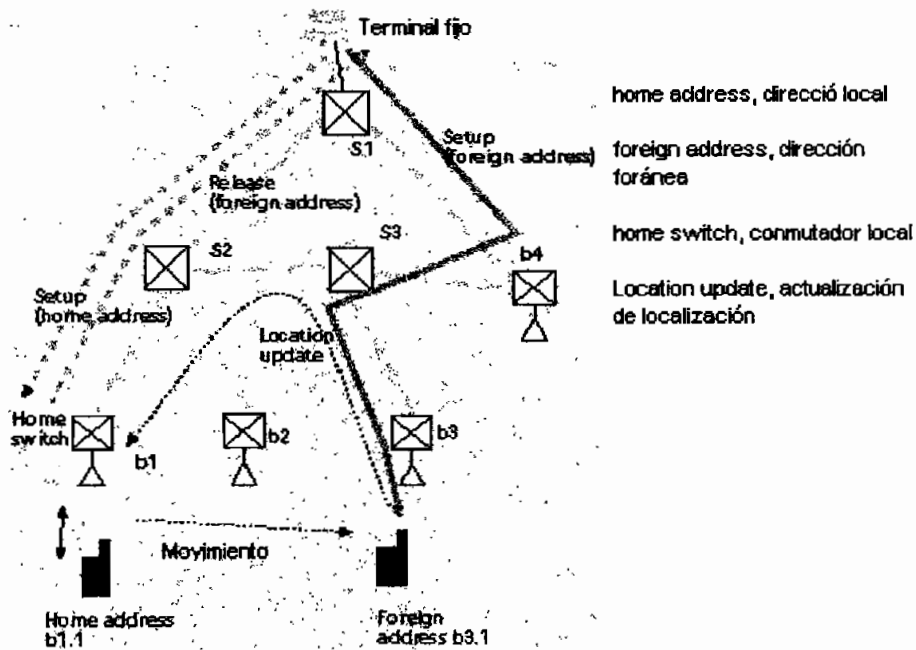


Figura 2.15 Esquema integrado de administración de localización

Comparando ambos esquemas, se puede concluir que si el servicio de administración se lo mira como un servicio externo se distingue una clara clasificación estricta de terminales fijos y móviles, haciendo de esta manera que la red no sea transparente para el usuario final, situación que no sucede en el esquema integrado ATM móvil.

En lo que se refiere al uso de ancho de banda, es eficiente debido a que este esquema de administración reserva los recursos de la conexión para el conmutador móvil local, aunque el terminal móvil no esté en su sitio local. Así, si el terminal móvil no está en su célula local, los recursos de conexión son

¹ SETUP = establecer llamada , CONNECT=conexión, RELEASE = liberación de llamada. Estos mensajes se utilizan en la señalización de conexiones ATM (Véase sección 2.5.2.4)

reservados mediante el pedido SETUP en dirección hacia delante y respondidos con RELEASE en dirección contraria .

2.5.2.4 Señalización ATM/WATM

El plano de control es responsable de establecer y administrar la comunicación en una red ATM, a través de una señalización en la misma. Esta señalización se lleva a cabo con mensajes que pertenecen al Q.2931.¹

La señalización Q.2931 tuvo su nacimiento a partir del Q.931 capa 3 de ISDN, el cual se utiliza para la administración de conexiones B-ISDN en los canales B (64Kbps). Estos mensajes son utilizados, con ciertas modificaciones, por Frame Relay y ATM para la configuración de llamadas en un interfaz UNI (*User to Network Interface*), y proveen servicios entre redes a través del NNI (*Network to Network Interface*).

Las conexiones por demanda, también denominadas SVCs(*Switched Virtual Channels*, canales virtuales conmutados), requiere de procedimientos de establecimiento y desconexión de la comunicación. Con la configuración de la conexión, el usuario debe proveer a la red las direcciones llamante y llamada.

El ATM UNI soporta conexiones punto a punto y punto a multipunto. Una conexión punto a multipunto se define como un conjunto de enlaces con VPs y VCs asociados con puntos terminales. Donde un enlace ATM es designado como un enlace raíz que trabaja como la raíz en una topología tipo árbol. Cuando la raíz recibe la información, ésta envía copias hacia los nodos repartidos en el árbol. Inicialmente la conexión se establece entre el nodo raíz y un nodo ramificado, entonces luego los otros nodos restantes se van uniendo a través de mensajes de *ADD PARTY* (AÑADIR AL GRUPO).

¹ Lenguaje de señalización en redes ATM, que se basa en el Q.931 capa 3 de ISDN.

A continuación se muestra en la tabla 2.2 los mensajes utilizados en Q.2931 para el establecimiento y desconexión para conexiones en redes ATM. Luego para el WATM se harán ciertas aclaraciones en cuanto a la variación del significado del mensaje.

Mensaje	Función
Establecimiento de llamada	
Establecer	Inicia el establecimiento de llamada
Llamada en proceso	Establecimiento de llamada comenzada
Conexión	La llamada ha sido aceptada
Conexión reconocida	La aceptación de la llamada es reconocida
Liberación de la llamada	
Liberación	Inicia la liberación de la llamada
Liberación completa	La llamada ha sido terminada.
Operaciones punto multipunto	
Adición al grupo	Añade a un terminal a un grupo ya conectado existente
Reconocimiento de adición	Reconoce al nuevo terminal
Descartar la adición	Rechaza al nuevo terminal
Eliminar el grupo	Elimina un grupo de terminales a la conexión existente
Reconocimiento de eliminación grupal	Se confirma la eliminación grupal

Tabla 2.2 Mensajes de control en conexiones ATM¹

En las redes WATM se ha establecido que para la administración de localización y cambio de célula se requiere una extensión en el esquema de mensajes para el control de la comunicación del terminal móvil.

¹ Black, Uyless; ATM FOUNDATIONS ON BROADBAND CONNECTIONS

Estos cambios en terminales ATM, tienen implicaciones en la calidad de servicio, debido a la naturaleza intrínseca de los enlaces inalámbricos, de ahí que los tiempos de respuesta del sistema fijo más móvil deben ser los menores posibles para tener comunicación continua del terminal móvil con la red. A esto se añade la necesidad de actualizar los conmutadores ATM con programas que brinden soporte a terminales móviles, tal como se mencionaba en la sección 2.5.2.3.

Así, se obtiene a continuación en la tabla 2.3 la lista de mensajes que se propone en este trabajo, a raíz de las necesidades planteadas por el ATM Forum, las cuales tienen relación con investigaciones¹ por parte de algunos proyectos.

Mensaje	Función
Inicio de cambio	El terminal móvil desea cambio de punto de acceso.
Inicio de cambio reconocido	La red responde al terminal móvil.
Inicio de cambio no reconocido	La red tuvo falla en el cambio.
Camino Completo	El conmutador ATM móvil envía al nuevo punto de acceso para el <i>handoff</i> .
Listo el cambio	La red le dice al terminal que cambie de punto de acceso y conmuta.
Cambio completo	El nuevo punto de acceso transmite información al terminal móvil.
Cambio completo reconocido	El nuevo punto de acceso reconoce al terminal móvil.

Tabla 2.3 Mensajes para WATM

¹ Yuan, R.; Raychaudhri, D.; A Signaling and control Architecture for Mobility Support in Wireless ATM Networks

3. MODELO PRÁCTICO PROPUESTO PARA ATM INALÁMBRICO

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se va a exponer una aplicación práctica relacionada con la teoría expuesta en los capítulos anteriores. Este capítulo para su mejor desarrollo se divide en las siguientes partes:

- Aspecto legal del servicio
- Planificación estratégica para un operador de comunicaciones.

Esto con la finalidad de dar un aporte práctico al WATM y a su vez una opción en la implementación de redes de banda ancha inalámbrica, con una previa visión panorámica del aspecto legal.

Previo al diseño de las redes de acceso y de usuario, se debe tomar en cuenta los nichos de mercado hacia los cuales va dirigido esta clase de servicios. Siendo así, es importante ubicar a los usuarios por grupos, entre los más fuertes se pueden mencionar:

- Usuarios residenciales, ó pequeños dada su necesidad de servicios tales como el acceso a Internet, telefonía, salón virtual.
- Usuarios empresariales, en donde se requieren servicios tales como acceso a Internet, interconexión de PBXs, interconexión de LANs, canales de voz, transporte de datos (bases de datos).

El propósito de este proyecto está orientado básicamente al sector empresarial dado que en el Ecuador se tiene una disposición más real por parte de este sector

a utilizar esta clase de servicios, tanto por su capacidad de inversión como por el pago de tarifas. De ahí que se va a orientar el tema en la parte técnica del servicio hacia el sector empresarial con necesidades a gran escala.

Para esto se va a considerar como aplicaciones para ambientes de usuario, a las siguientes:

- Internet.
- Transporte de datos.
- Videoconferencia.
- Voz.

Estas aplicaciones se van a desarrollar en una empresa tipo, en donde se tienen en un mismo edificio, varios pisos con comunicación intraoficinas, donde se van a ubicar los puntos de acceso (AP) para cubrir el área de servicio de las mismas. Cabe aclarar que estos servicios inalámbricos pueden ser privados o públicos, de ahí que pueden ser utilizados en lugares como hoteles, aeropuertos, centros comerciales y/o de distribución.

También se deberá tomar en cuenta la parte legal concerniente a la explotación de servicios de telecomunicaciones, donde se tiene una serie de obligaciones y requisitos que cumplir por parte del operador para con los organismos reguladores y de control de un país determinado.

En lo concerniente con el aspecto legal, se debe obtener un permiso del CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones) y la autorización por parte de la SENATEL (Secretaría Nacional de Telecomunicaciones), para ofrecer servicios en la banda LMDS y U-NII, que es un punto a tratar en la sección 3.2.

3.2 ASPECTO LEGAL DEL SERVICIO

La realidad del Ecuador en el ámbito de los Sistemas de Distribución Local Multipunto (LMDS) es muy escasa, dado que la naturaleza económica y tecnológica del país no ha permitido el ingreso de tecnología competitiva en comunicación inalámbrica en banda ancha. A esto se suma el hecho de que la banda U-NII (definida en los Estados Unidos por el FCC) para Wireless ATM tampoco es conocida en el Ecuador, dado que la difusión de estas tecnologías ha sido mínima y a su vez el servicio no ha tenido una perspectiva de demanda de servicios móviles de datos de alta velocidad.

Estas son las razones para que en el Ecuador no exista una estructura tecnológica y reglamentaria formal en la tecnología LMDS y Wireless ATM, situación que es motivo de competencia para servicios futuros de telecomunicaciones, en donde deberán intervenir a su debido tiempo empresas que pueden competir en el mercado nacional. Dichas empresas deberán cumplir con ciertas normas y parámetros que deben ser establecidas por el CONATEL.

Actualmente, el CONATEL en su página web dispone de un plan de frecuencias, en donde se asigna una banda al servicio LMDS para el Ecuador. De esta manera en el presente trabajo se considera adecuada la presentación del marco legal que debería seguirse para con la operación de LMDS. En cuanto a la banda de U-NII, no existe todavía por parte del CONATEL una perspectiva del uso de la banda de 5GHz, de ahí que se va a realizar una propuesta de reglamentación para instalación, operación y administración del sistema.

A continuación se presentará el aspecto legal, en donde se citarán a los servicios LMDS y Wireless ATM.

PROPUESTA DE REGLAMENTACIÓN PARA LMDS Y WIRELESS ATM (WATM) EN EL ECUADOR

La propuesta que se va a exponer tiene como objetivo el definir los pasos a seguir para la instalación, operación y administración con la finalidad de prestar servicios integrales de telecomunicaciones. Para ello, la propuesta basa su contenido en definiciones, requisitos, banda de frecuencias, asignación de frecuencias, concesión de servicios LMDS, tarifas de servicios, y control de los servicios prestados a los usuarios finales.

➤ Requerimientos

El operador del servicio LMDS deberá restringirse a los artículos suscritos en la Ley Especial de Telecomunicaciones para poder desempeñar la tarea de proveer servicios de telecomunicaciones en la República del Ecuador.

El Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) es el organismo estatal que está apto para autorizar la instalación, operación y administración del sistema LMDS en el Ecuador, y también tiene autoridad para renovar los contratos de autorización en el caso de plazos vencidos. Por otra parte, la SENATEL (Secretaría Nacional de Telecomunicaciones), es el organismo estatal que debe estudiar y emitir un resultado con los requisitos solicitados para obtener la autorización. De esta manera el CONATEL actuará según un informe presentado por la SENATEL para la emisión o no de la autorización.

El operador del servicio LMDS se compromete a entregar dentro de los pedidos para la autorización un mínimo de características técnicas y económicas para poder obtener el permiso. Dentro de estas características se tienen las siguientes:

- Servicios de telecomunicaciones a ofrecer (concesión posterior).

- Descripción de la red de acceso LMDS.
- Descripción de la red de usuario WATM.
- Estudio de ingeniería.
- Estudio económico exponiendo el costo beneficio del sistema.
- Representación legal de la Compañía con documentos que muestren su RUC, transparencia en sus operaciones, y objetivos de mercado.

Una vez expuestos los requisitos a la empresa que autoriza y estudia los requisitos, en el caso de obtener una respuesta positiva del organismo a cargo, se deberá suscribir un contrato de autorización de acuerdo a los términos que rezan en la ley. En el caso de que la empresa interesada no suscriba dicho contrato en un plazo acordado, la SENATEL podrá cancelar y anular el pedido de autorización.

➤ **Bandas de frecuencias**

El espectro electromagnético es una propiedad de cada área geográfica a la que esté regida, por lo tanto al ser propiedad del Estado, a éste le corresponde la administración, regulación y control del espectro de conformidad con la constitución vigente y la Ley Especial de Telecomunicaciones.

El espectro para servicios de radio de microonda se halla inmerso dentro del espectro electromagnético y es utilizado para servicios de telecomunicaciones.

El plan nacional de frecuencias es el documento práctico para la clasificación del tipo de servicio y la definición de políticas y objetivos técnicos para el uso adecuado del recurso, previa obtención del permiso otorgado por el organismo regulador del Estado, lo que dará lugar al pago de derechos de comercialización de servicios.

**CUADRO NACIONAL DE ATRIBUCIÓN DE BANDAS DE FRECUENCIAS
5003 - 7350 kHz**

REGIÓN 2	ECUADOR	
Banda kHz	Banda kHz	NOTAS
5003 - 5005 FRECUENCIAS PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS Investigación espacial	5003 - 5005 FRECUENCIAS PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS Investigación espacial	
5006 - 5060 FIJO RADIODIFUSIÓN S5.113	5006 - 5060 FIJO RADIODIFUSIÓN S5.113	EQA.10
5060 - 5250 FIJO Móvil salvo móvil aeronáutico	5060 - 5250 FIJO Móvil salvo móvil aeronáutico	
5250 - 5450 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico	5250 - 5450 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico	
5450 - 5480 MÓVIL AERONÁUTICO (R)	5450 - 5480 MÓVIL AERONÁUTICO (R)	
5480 - 5680 MÓVIL AERONÁUTICO (R) S5.111 S5.115	5480 - 5680 MÓVIL AERONÁUTICO (R) S5.111 S5.115	
5680 - 5730 MÓVIL AERONÁUTICO (OR) S5.111 S5.115	5680 - 5730 MÓVIL AERONÁUTICO (OR) S5.111 S5.115	
5730 - 5900 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico (R)	5730 - 5900 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico (R)	
5900 - 5950 RADIODIFUSIÓN S5.134 S5.136	5900 - 5950 RADIODIFUSIÓN S5.134 S5.136	EQA.15
5950 - 6200 RADIODIFUSIÓN	5950 - 6200 RADIODIFUSIÓN	EQA.15
6200 - 6525 MÓVIL MARÍTIMO S5.109 S5.110 S5.130 S5.132 S5.137	6200 - 6525 MÓVIL MARÍTIMO S5.109 S5.110 S5.130 S5.132 S5.137	
6525 - 6685 MÓVIL AERONÁUTICO (R)	6525 - 6685 MÓVIL AERONÁUTICO (R)	
6685 - 6765 MÓVIL AERONÁUTICO (OR)	6685 - 6765 MÓVIL AERONÁUTICO (OR)	

Tabla 3.1a Atribución de frecuencias (CONATEL)¹

¹ Publicación de Internet, www.conatel.gov.ec

**CUADRO NACIONAL DE ATRIBUCIÓN DE BANDAS DE FRECUENCIAS
24,75 - 29,9 GHz**

REGIÓN 2	ECUADOR	
Banda GHz	Banda GHz	NOTAS
24,75 - 25,25 FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) S5.535	24,75 - 25,25 FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) S5.535	
25,25 - 25,5 FIJO ENTRE SATÉLITES S5.536 MÓVIL Frecuencias patrón y señales horarias por satélite (Tierra-espacio)	25,25 - 25,5 FIJO ENTRE SATÉLITES S5.536 MÓVIL Frecuencias patrón y señales horarias por satélite (Tierra-espacio)	
25,5 - 27 EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) S5.536 A S5.536B FIJO ENTRE SATELITES S5.536 MÓVIL Frecuencias patrón y señales horarias por satélite (Tierra-espacio)	25,5 - 27 EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) S5.536 A FIJO ENTRE SATELITES S5.536 MÓVIL Frecuencias patrón y señales horarias por satélite (Tierra-espacio)	
27 - 27,5 FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) ENTRE SATÉLITES S5.536 S5.537 MÓVIL	27 - 27,5 FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) ENTRE SATÉLITES S5.536 S5.537 MÓVIL	
27,5 - 28,5 FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) S5.484A S5.539 MÓVIL S5.538 S5.540	27,5 - 28,5 FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) S5.484A S5.539 MÓVIL S5.538 S5.540	EQA.245
28,5 - 29,1 FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) S5.484A S5.523A S5.539 MÓVIL Exploración de la Tierra por satélite (Tierra -espacio) S5.541 S5 540	28,5 - 29,1 FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) S5.484A S5.523A S5.539 MÓVIL Exploración de la Tierra por satélite (Tierra -espacio) S5.541 S5 540	EQA.40
29,1 - 29,5 FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) S5.523C S5.523E S5.535A S5.539 S5.541A MÓVIL Exploración de la Tierra por satélite (Tierra -espacio) S5.541 S5 540	29,1 - 29,5 FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) S5.523C S5.523E S5.535A S5.539 S5.541A MÓVIL Exploración de la Tierra por satélite (Tierra -espacio) S5.541 S5.540	EQA.245
29,5 - 29,9 FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) S5.484A S5.539 MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio) Exploración de la Tierra por satélite (Tierra-espacio) S5.541 S5.525 S5.526 S5.527 S5.529 S5.540	29,5 - 29,9 FIJO POR SATÉLITE S5.484A S5.539 MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio) Exploración de la Tierra por satélite (Tierra-espacio) S5.541 S5.525 S5.526 S5.527 S5.529 S5.540	EQA.40

Tabla 3.1b Atribución de frecuencias (CONATEL)

Dentro del plan de frecuencias se determina la siguiente distribución de frecuencias en el espectro radioeléctrico que se halla disponible al público. Esta distribución se cita en la tabla 3.1a y b, la banda de 5.003GHz - 7.350GHz, la cual podría otorgarse para WATM y la banda de 24.75GHz - 29.90GHz, la cual podría otorgarse para LMDS emitida por el CONATEL.

El sistema LMDS puede ser compatible entre algunos países o miembros de alguna comunidad, como es el caso de la comunidad Andina, pudiendo expandir el servicio de interconectividad de redes nacionales entre países.

➤ **Asignación de las frecuencias**

El CONATEL emite al público un cuadro de atribución de frecuencias que puede ser gestionado por la SENATEL bajo la venia del organismo regulador. Dicha banda dispondrá de los recursos a los cuales está destinada y que no podrán ser prestados a los usuarios finales mientras la autorización por el uso de frecuencias se encuentra en trámite.

El cuadro de atribución de frecuencias expuesto por el CONATEL deberá estar realizado con el mayor criterio técnico posible de manera que se pueda obtener un espectro utilizado en forma óptima y eficiente.

En el caso de ser necesario se realizarán obligatoriamente cambios en el cuadro de atribución de frecuencias, por parte del organismo regulador con la finalidad de regular y controlar las asignaciones, ya sean por error de los suscritos o por un motivo tecnológico que acoge la comunidad mundial como nuevo estándar.

Los requisitos para el uso de frecuencias se hallan estipulados en los artículos de la Ley Especial de Telecomunicaciones correspondientes a tener un tiempo de

duración según dicte un contrato de autorización, y su renovación podrá ser realizada de conformidad con la ley en mención.

De esta manera, la asignación ordenada y legalizada del espectro determina que los recursos no sean tratados en forma inadecuada, pudiendo de esta forma obtener ingresos para el Estado mediante la oferta de las bandas de frecuencias.

➤ **Concesión de Servicios LMDS y WATM**

El sistema LMDS, luego de ser promocionado y autorizado, debe concesionar los servicios a cursar por dicha red. El CONATEL emitió un reglamento para concesiones de servicios denominado "Reglamento para otorgar concesiones de los servicios de telecomunicaciones que se brindan en un régimen de libre competencia" en la Resolución No. 378-17-Conatel-2000¹.

Mientras que para el sistema WATM, se deberían establecer parámetros para su concesión, tales como los objetivos de mercado que incluyen a la comunicación de datos en esta tecnología y a su vez una real inversión en lugar de un gasto.

Por parte de los organismos reguladores, se deberán estudiar dos métodos para concesionar los servicios en LMDS y WATM, y analizar su proceder con la experiencia de otros países que ya ofrecen el servicio. Los dos métodos son:

- Concesión de servicios en LMDS bajo libre competencia.
- Concesión de servicios en LMDS mediante concurso público.
- Concesión de servicios en WATM bajo libre competencia.
- Concesión de servicios en WATM mediante concurso público.

¹ Reglamento de Telecomunicaciones, Resolución No 459-19-Conatel-2000.

➤ **Tarifas de servicios**

El pago de tarifas por el uso y la autorización de frecuencias se encuentra determinado en el Reglamento de Tarifas por el uso de frecuencias.

Los costos de las concesiones serán variables según el tipo de servicio a ofrecer en el sistema LMDS/WATM. Luego el operador deberá abonar mensualmente a la SENATEL por el concepto de uso de frecuencias, prestación de servicios de valor agregado y/o portadores.

El operador deberá exponer sus tarifas para sus clientes, en donde se podrá debatir en las tarifas en el caso de que el operador del LMDS sea único o si se hallaren irregularidades comprobadas en el operador.

➤ **Control de servicios prestados a la Comunidad Ecuatoriana**

La SUPTEL (Superintendencia de Telecomunicaciones) es el organismo que está a cargo de controlar que se cumplan con los contratos de autorización, concesiones de servicios y, podrá ejercer con su autoridad el control legal y técnico, correspondiéndole actuar con justicia imponiendo sanciones notificadas por escrito.

El valor de las sanciones se fijarán en el Reglamento de Telecomunicaciones o podrá ser fijado a través de acuerdo entre las partes, en cuyo caso se podrán aplicar mecanismos alternos de solución, de conformidad con la ley.

3.3 PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA DE LA RED LMDS/WATM

Se entiende a la planificación como el conjunto de pasos a seguir, con la finalidad de obtener beneficios en el proyecto tanto tecnológicos como económicos.

Así, cuando se desee instalar una red de servicios de banda ancha, se deberán tomar en cuenta los siguientes procedimientos:

1. Análisis de las necesidades de los usuarios (demanda de tráfico, ubicación geográfica, aplicación, necesidad de comunicación con puntos remotos).
2. Estudio de la tecnología para suplir dichas necesidades.
3. Balance de beneficios de la tecnología escogida.
4. Instalación de equipos.
5. Crecimiento de tráfico de células y microcélulas.
6. Análisis y ajuste de tráfico de la red, dado el crecimiento de usuarios.
7. Retorno al análisis de acoplamiento de tecnología vs. necesidades (paso 2).

Sin embargo los pasos del 5 al 7 se proyectan a ser desarrollados por el operador durante el funcionamiento de la red mientras presta sus servicios a los usuarios finales, esto ha motivado que en el paso 1 se tome en cuenta una perspectiva inicial de demanda con su respectiva proyección.

3.3.1 PLAN DE ACCIÓN PARA EL OPERADOR DE COMUNICACIONES

3.3.1.1 Análisis de la red del usuario

Previo al diseño de la red se asumirá que el tipo de aplicaciones del usuario manejaría altos volúmenes de información, es así que en el manejo de aplicaciones se considerarán necesidades a grande escala previo al dimensionamiento de las estaciones base tanto en la red de acceso LMDS como en el punto de acceso WATM en la oficina del usuario(s).

Para el ambiente de usuario se define un rango de frecuencias útiles en la banda de 5GHz. Este ambiente de usuario consta de terminales móviles que se comunican con la nube ATM a través de un canal de radio, en un ambiente de usuario que puede tener las siguientes posibilidades:

- Hospitales.
- Hoteles.
- Aeropuertos.
- Centros de distribución.
- Entre oficinas contiguas.

Esto con la finalidad de ofrecer al usuario una red que le permita realizar actividades que por su naturaleza requieren de movilidad para su desempeño y a su vez poder tener acceso a la comunicación de la red de su empresa.

El modelo de la red de usuario es un modelo sencillo donde los terminales móviles de usuario acceden a un punto de acceso WATM mediante el protocolo ATM extendido, que incluyen Q2931 para la capa más alta, AAL para el diálogo transparente tanto entre el *switch* ATM y el punto de acceso (estación base) como entre el punto de acceso y el terminal móvil. Teniendo luego la inclusión de una capa ATM con control inalámbrico sólo para la parte de radio, al igual que la capa

MAC, y por último la capa física que incluye el medio inalámbrico para el WATM. Esto se puede ver detallado en el siguiente figura 3.3:

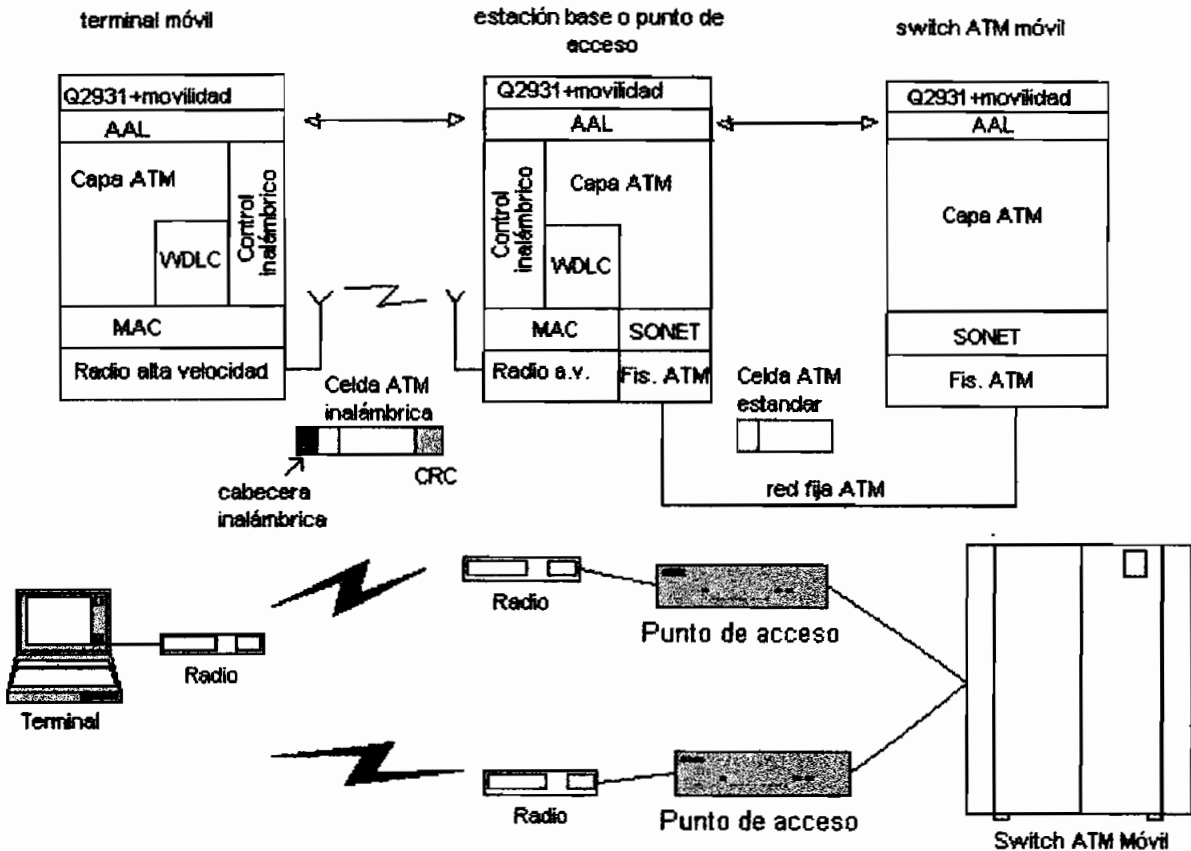


Figura 3.3 Modelo de la red del usuario

En lo que respecta al dimensionamiento de la microcélula, es un tema que será de constante estudio para emitir - con el desarrollo del servicio - futuras proyecciones de demanda. A continuación se muestra una proyección de la demanda del servicio en la microcélula WATM, tomando en cuenta algunos datos de conocimiento público, como son las estadísticas emitidas por el INEC (Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos) y las experiencias en Europa publicadas en el Internet.

Para ello, se asumirá que la cobertura de la microcélula tiene un alcance de 80m de radio, siguiendo la especificación de capa física del ATM Forum, y asumiendo que el número de usuarios por cada microcélula en el caso de mayor demanda puede llegar a alrededor de 200 usuarios (ver anexo B), se puede tener las siguientes proyecciones en donde se detalla el crecimiento de las variables de cantidad de usuarios y su demanda de servicio dentro de la microcélula. Se asumirá que la microcélula corresponde a un ambiente de usuario similar al de un establecimiento público en donde se tiene un área aproximada de alrededor de 20000 m² (~3.14*80²) con personal de oficina distribuido en esta zona privada.

De algunas estadísticas de población, empleo, calidad de vida a nivel urbano que existe en el Ecuador se tomaron los siguientes datos de las tablas publicadas por el INEC¹. El cuadro en cuestión es el correspondiente al NÚMERO DE ESTABLECIMIENTOS, PERSONAL OCUPADO, REMUNERACIONES, PRODUCCIÓN TOTAL, CONSUMO INTERMEDIO, VALOR AGREGADO A PRECIOS PRODUCTOR, DEPRECIACIONES Y FORMACIÓN BRUTA DE CAPITAL, SEGÚN DIVISIONES (CIU) DE ACTIVIDAD ECONÓMICA Y TRAMOS DE PRODUCCIÓN. Así se tiene lo siguiente:

Número de establecimientos (empresas, hospitales, supermercados) urbanos = 714

Número de personas que trabajan en dichos establecimientos = 39488

Esto implica que el número de personas por cada establecimiento es:

Número de personas promedio por cada establecimiento = $39488 / 714 = 55.31$

El número de personas que trabajan con una computadora dentro de cada establecimiento en promedio se ha estimado que puede ser de alrededor de un 65% de la población total de la nómina de dicho establecimiento. Este grupo de personas podrán tener inicialmente acceso a tecnología *wireless*. Luego

¹ Publicación de Internet, www.inec.gov.ec

considerando que el crecimiento de usuarios va a ser de naturaleza exponencial, al igual que el mercado de telefonía celular en el Ecuador, se puede determinar la cantidad de usuarios que habrán en la microcélula, lo cual da un resultado aproximado de 200 usuarios, resultado que bordea lo mencionado anteriormente.

Esto se resume en los siguientes cálculos:

Número inicial de usuarios por microcélula = $55.31 * 0.65 = 35.95$

Factor de crecimiento (anual) = 0.287 (28.7%)

Número de años = 6

Número proyectado de usuarios por microcélula = $35.95 * e^{(0.287*6)} = 201.17$

El dimensionamiento del canal inalámbrico (hasta 25Mbps según el ATM Forum) de acuerdo a los servicios puestos en marcha, se ha dispuesto mediante un modelo de tráfico que sigue la distribución probabilística de Poisson. Se ha escogido esta distribución dado que es aplicable a hechos aleatorio que suceden en el tiempo, tales como llamadas telefónicas, requerimientos de llamadas de datos, accidentes de tráfico, etc. En donde, en la hora cargada, para el servicio de Internet se asume que un 80% de los usuarios acceden a este servicio¹, un 45% para datos a 256Kpbs, un 55% para datos a 512Kbps, un 30% para videoconferencia, un 15% para vídeo bajo demanda, y un 40% para el uso de voz².

En lo que se refiere al tema de asignación de frecuencias para el ambiente de la micro célula, los Estados Unidos han realizado esfuerzos por normalizar el uso de dispositivos sin cable a grandes velocidades, de esto se obtuvo un resultado con el *WinForum (Wireless Information Networks Forum)*, que son empresas agrupadas que buscaban un servicio sin cables para sus respectivas redes, por lo

¹ <http://www.ispiae.edu.cu/gicer/Boletines/2/bol113.htm>

² <http://www.useit.com/alertbox/9710a.html>

que lograron que la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones) asignara una banda de frecuencia de 300MHz como U-NII (Infraestructura Nacional de Información sin Licencia)³.

La banda asignada para U-NII por la FCC se ubica entre 5,15GHz y 5,35GHz, y entre 5.725GHz y 5.825GHz. Los 300MHz totales se dividen en tres subbandas de 100MHz cada una. La banda de frecuencias que usa U-NII, es la misma que en Europa utiliza HIPERLAN. Esta banda está dividida a su vez en tres subbandas, que se manejan con características diferentes en cuanto a potencia y antena de transmisión, aunque pueden dar servicio a sistemas con velocidades de al menos 20Mbps. La primera de estas subbandas está prevista para interconectar computadoras y servidores o impresoras. Su uso es para interiores, dentro de un ambiente o ambientes contiguos. Esto se resume en la siguiente tabla:

Europa	HIPERLAN	5.15-5.30GHz
Japón	Acceso alta velocidad	5.15-5.25GHz
Estados Unidos	U-NII	5.15-5.35GHz + 5.725-5.825GHz
Ecuador	Banda ICM	5.15-5.35GHz + 5.725-5.850GHz

Tabla 3.2 Distribución mundial de frecuencias para WATM

Esta banda deberá ser tomada en cuenta en la sección 3.2 de la reglamentación legal correspondiente a "Asignación de frecuencias" y a la "Concesión de Servicios". Sin embargo, de acuerdo al estudio realizado en el Reglamento de Radiocomunicaciones emitido por el CONATEL, destaca el Artículo 23 (Sistemas que no requieren autorización), el cual se cita a continuación:

³ Boletín Informativo, Agosto 1998, Jebesen & Co.

" Sistemas que no requieren autorización.- los usuarios del espectro radioeléctrico que operen equipos de radiocomunicaciones con potencias menores a 100mW sin antenas directivas y que no corresponden a sistemas de última milla y los que operen al interior de locales, edificios y en general áreas privadas con potencias menores a 300mW sin antenas exteriores, en cualquier tecnología, no requieren autorización del CONATEL."¹

En lo referente a la banda de 5.725GHz - 5.825GHz, ésta se encuentra dentro de la tercera banda asignada en Ecuador para *Spread Spectrum* (5.725 - 5.85GHz). Los servicios de *Spread Spectrum* son servicios de concesión a título secundario, es decir, que si este servicio sufre interferencias el Estado no garantiza ninguna medida de protección, situación que no acontece con servicios a título primario en los cuales el Estado garantiza el servicio y puede actuar a través de sus organismos reguladores y de control.

En el caso de la red WATM, en el presente trabajo se la plantea como una red de área privada, en donde el punto de acceso no es utilizado como nodo de última milla, situación que permite al sistema operar libremente bajo previa homologación del equipo, dadas sus características de emisión de potencia menores a 250mW para redes tipo oficina y de campus, reguladas por la FCC.² Pudiendo instalar la red ATM inalámbrica en el área privada, la cual tiene una menor influencia (interferencia) de los sistemas *Spread Spectrum* externos. De esta manera el costo a tomar en cuenta sería el del equipo a instalarse (equipo bajo pruebas de laboratorio).

¹ Reglamento de Radiocomunicaciones, Enero 2001

² Kaveh, Pahlavan; "Wideband Local Access: Wireless LAN and Wireless ATM", Worcester, MA, 1997

3.3.1.2 Requerimientos y justificación de la red de acceso

Para las redes inalámbricas de gran capacidad es importante tomar en cuenta que la infraestructura de la red, si bien es cierto es rentable, sin embargo tiene limitaciones como: alcance y atenuación por clima. En lo que se refiere al alcance se busca por lo general tener la mayor cobertura posible, pero se obtienen células que al depender de la frecuencia a utilizarse en el nodo de distribución son de diferente tamaño; mientras que la atenuación por lluvia en el tipo de onda que se esté manejando lleva a un compromiso con la disponibilidad del sistema.

Dentro de este marco se debe considerar que el sistema de acceso de radio debe tomar en cuenta la información que le permite subsistir, tal como la información topográfica y demográfica de la zona de cobertura, así como aspectos regulatorios y técnicos en los que se destacan el uso de frecuencias y un plan de la red inalámbrica con un estudio de línea de vista.

Actualmente se dispone de una geografía distribuida mundial¹, la cual lleva a tener una disponibilidad en la zona Sierra (zona N) y Costa (zona P) dependiendo del radio de cobertura que se desea ofrecer. Esto se puede visualizar en la tabla 3.3 (tomada de Alcatel Evolium A9900):

Región climática	N	P
Disponibilidad (%)	[Km]	[Km]
99.900	3.6	3.2
99.995	1.4	1.1

Tabla 3.3 Disponibilidad geográfica

¹ Nota: la UIT-Radiocomunicaciones definió en la recomendación P.837-1 las zonas climáticas mundiales para radioenlaces, donde se indican las "Características de Precipitación para los modelos de propagación"

De este cuadro se observa que para una disponibilidad aceptable según la zona geográfica en la que se halla el Ecuador se pueden tener células (ó macrocélulas) de radio de cobertura de 1.4 km. Pudiendo incluso ampliar este rango, a costa de una menor disponibilidad del enlace.

En lo que se refiere a la existencia de los sistemas de banda ancha inalámbrica y al interfaz aire se debe tomar en cuenta una serie de recomendaciones que propone el grupo de tarea IEEE 802.16.2, las cuales sirven para normar la potencia nominal de transmisión, interferencia co-canal, entre otros parámetros que se aplican a enlaces de microonda en la banda de 10 a 66GHz.

En lo que concierne al acceso, el presente proyecto pretende comparar las diferentes tecnologías de uso y establecer una conclusión acorde con los criterios de flexibilidad y facilidad de instalación, lo cual conlleva al siguiente análisis.

LMDS en los últimos años ha sido motivo de estudio y comercialización para servicios inalámbricos de banda ancha, en donde el sistema utiliza células, y en cada una de éstas se instalan concentradores que puedan tener una cobertura de 360° , con radios que dependen del grado de disponibilidad.

El acceso LMDS al ser una infraestructura celular de microonda punto multipunto, ofrece una flexibilidad en la capacidad de las conexiones tanto para usuarios residenciales como empresariales. Pudiendo de esta manera manejar ráfagas de datos de hasta unos 34Mbps dependiendo del equipo a utilizarse. Esto permite ofrecer servicios de difusión menos costosos que el cobre o la fibra óptica para la última milla.

Las ventajas que presenta LMDS son una fácil operación y despliegue técnico, flexibilidad en servicios de capacidad por demanda y disponibilidad del espectro para una amplia gama de servicios. En comparación con otros medios de acceso de última milla, LMDS ofrece una alternativa inalámbrica a la fibra óptica, cable

coaxial y al xDSL determinando una alta capacidad comparada con otras soluciones de radio tales como el acceso satelital.

Los sistemas satelitales tienen una capacidad individual baja por usuario dentro de una "huella" o área de cobertura, y tienen la ventaja de una cobertura mayor independientemente de la densidad de usuarios del servicio. La capacidad en el medio inalámbrico se puede comparar con la de los satélites LEO cuya capacidad por Km² es de 100Kbps. A continuación se presentan las tablas 3.4 y 3.5 de comparación de LMDS con medios de acceso cableado e inalámbricos respectivamente.

Tipo	Tasa de subida	Tasa de Bajada	Rango máximo (Km)
Módem analógico	14.4 - 33.6 Kbps	14.4 - 33.6 Kbps	No asignado
ISDN	128Kbps		No asignado
ADSL	384Kbps	2 Mbps	6
	640Kbps	6 - 8 Mbps	2 - 3
VDSL	640Kbps	13 Mbps	1.4
	2Mbps	25 Mbps	0.6
Cable módem	0-384 Kpbs	30 Mbps compartido	No asignado
Satélite - DVB	2Mbps	36 Mbps compartido	No límite
LMDS	0-8 Mbps típico ~30Mbps posible	36 Mbps compartido	5

Tabla 3.4 Comparación de tecnologías de acceso cableadas con LMDS¹

Tecnología	Área de célula Km ²	Capacidad por Km ²
LMDS	2 - 20	150 - 1500Mbps
Satélites GEO (geoestacionaria)	Semi global	Baja
Satélites LEO (órbita baja)	3000	100Kbps

Tabla 3.5 Capacidad de tecnologías de accesos basados en radio con LMDS¹

¹ Nordbotten, Agne; LMDS Systems and their Application, IEEE Junio 2000.

Con ello LMDS se postula como una gran alternativa a ofrecer flexibilidad en una amplia gama de servicios pudiendo manejar capacidades bajo demanda ya sea reduciendo el diámetro de la célula de cobertura o incrementando el ángulo de la antena directora para poder ofrecer servicios a una mayor cantidad de usuarios. A esto se suma la capacidad del sistema para su escalamiento y facilidad de instalación y puesta en marcha de servicios.

Finalmente a continuación se presenta un esquema de la red de acceso hacia las instalaciones del usuario, apreciando de esta manera el modelo del sistema LMDS en la figura 3.4, mientras que el modelo del usuario se lo muestra en la sección 3.3.1.1 (figura 3.3).

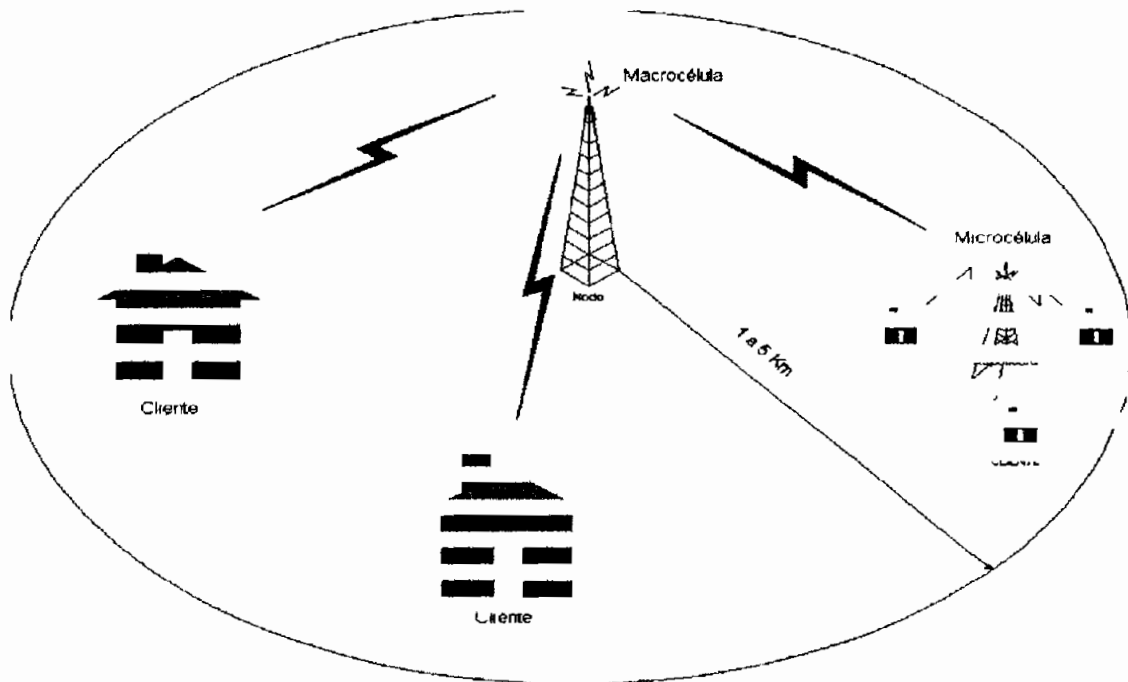


Figura 3.4 Modelo de la red de acceso

Pudiendo tener de esta manera acceso directo al nodo ó a una antena repetidora formando una "subcélula" o microcélula LMDS que puede ser de utilidad en zonas

tales como ambientes de oficinas, áreas especiales de aeropuertos, hoteles, hospitales, etc.

La figura 3.4 muestra la concepción del LMDS que se conoce como de dos niveles, en donde se tiene una macrocélula con alcances de hasta 5Km junto con una microcélula con radios de entre 50 y 500m¹. La microcélula en tecnología WATM se concibe como una zona de cobertura con un radio aproximado de 80m (según el ATM Forum), de ahí que se puede definir a la parte del punto de acceso a los terminales móviles como puntos que poseen tarjetas de radio PCMCIA que trabajen en el rango de los 5GHz en el enlace inalámbrico hacia el usuario final.

La arquitectura de la macrocélula (figura 3.5) presenta la sectorización de 90° , pudiendo cada sector proveer hasta 40Mbps con un ancho de banda de 36MHz².

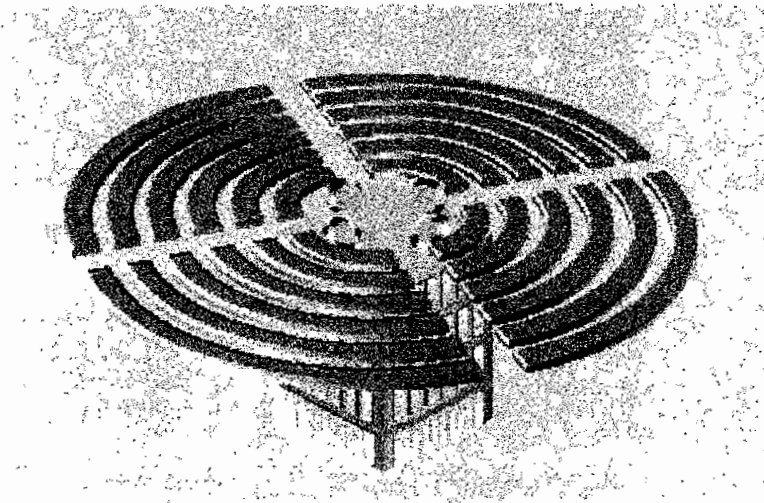


Figura 3.5 Arquitectura de macrocélula LMDS ³

¹ Mahonen, Petri; "Wireless Internet over LMDS: Architecture and Experimental Implementation", Mayo 2001

^{2, 3} Rouvrais, Philippe; Combatir el cuello de botella con tecnología inalámbrica de banda ancha, Revista Comunicaciones Alcatel, Noviembre 2000

La finalidad de tener las microcélulas es la de obtener mas flexibilidad en el enlace y evitar la propagación necesaria con línea de vista en la banda de 5GHz, y obtener un acceso apoyado con un despliegue de estaciones repetidoras o puntos de acceso con soporte ATM para el ingreso de terminales inalámbricos a la red de comunicación.

3.3.1.3 Aspectos técnicos de LMDS

Durante la planificación de células para una red LMDS, hay que tomar en cuenta los siguientes puntos en consideración:

- Penetración de usuarios, el desempeño del sistema de distribución se mide con la penetración de usuarios, el cual es el porcentaje de usuarios que poseen suficiente nivel de señal para lograr una excelente calidad de servicio.
- Calidad de Servicio, la calidad del servicio se encuentra afectada por varios factores como por ejemplo: la obstrucción del camino de transmisión, el solapamiento de celdas (15% es normal¹) y la redundancia del sistema.
- Área de cobertura, el tamaño máximo de célula para servir un área está relacionado al nivel de confiabilidad deseado obtenido a partir del presupuesto del enlace. El tamaño de la célula varia dentro del área de cobertura debido al tipo de electrónica que se esté utilizando. La selección del tamaño de la célula afecta el costo capital total para la cobertura del área requerida
- Balance del enlace, utilizado para tener un estimado de la máxima distancia a la que un usuario puede estar ubicado en una célula teniendo aún

¹ www.iec.org/tutorials/LMDS

aceptables niveles de confiabilidad del servicio. El balance contabiliza todas las pérdidas y ganancias del sistema a través de varios tipos de equipos. El presupuesto del enlace analiza varios parámetros de la red, incluyendo relaciones portadora-a-ruido.

En lo referente a la optimización de reuso de frecuencia, las siguientes técnicas son utilizadas para dicha optimización en redes LMDS:

- Minimización de múltiples caminos y cruce de polarización utilizando antenas altamente direccionales y ubicándolas a grandes alturas.
- Maximización de la direccionalidad de las antenas de las células a través de la sectorización del sistema de distribución; el equipo microondas de la célula es generalmente configurado con múltiples sectores, antenas, transmisores y receptores. Una configuración típica de célula es aquella que consta de cuatro sectores utilizando antenas de 90 grados para cada sector y proveer servicios al conjunto de usuarios. Cada una de estas antenas sectorizadas (transmisores y receptores) puede soportar el ancho de banda total del espectro reservado.
- Maximización del aislamiento entre sectores adyacentes a través de polarización; polarización horizontal y vertical puede ser empleada a lo largo del sistema según un patrón alternado entre los sectores. La polarización horizontal y vertical es reutilizada a lo largo del sistema.

En lo que respecta al entorno del acceso inalámbrico fijo en el Ecuador y a nivel mundial, el LMDS tiene un espectro diverso. Por ejemplo, la banda para el servicio LMDS en varios países se ubica en las siguientes bandas:

País/Comunidad	Nomenclatura	Bandas
Ecuador	LMDS	27.5 - 28.35GHz 29.1 - 29.25GHz
Europa	ETSI 26GHz ETSI 28GHz	24.5-26.5GHz , 1008MHz dúplex 27.5-29.5GHz , 1008MHz dúplex
Asia	Japón 26GHz Corea 25GHz	25.25-27.00GHz , 855MHz dúplex 24.30-26.00GHz , 1480MHz dúplex
América del Norte	Canadá LMCS A - F USA LMDS A USA LMDS A 24GHz USA LMDS B 38GHz	25.35-28.35GHz , 6 bloques de 500MHz 25.35-28.35GHz , 6 bloques de 500MHz 25.35-28.35GHz + 31.075-31.225GHz 24.25-25.25GHz , 800MHz dúplex 31.00-31.075GHz + 31.225-31.300GHz 38.6-40.0GHz , 700MHz dúplex

Tabla 3.6 Distribución mundial de frecuencias para LMDS¹

3.3.1.4 Tecnologías disponibles e instalación

Para la instalación del servicio LMDS con soporte para WATM, se tienen diferentes tecnologías en forma separada. Esto se da debido a que todavía los equipos LMDS no integran funciones de soporte para usuarios ATM móviles con software que agregue campos de bits para tener soporte de calidad de servicio. De esta manera se distinguen tecnologías que ya están en uso en el mercado para LMDS para soportar servicios de voz sobre IP, Internet de alta velocidad, conexiones STM-1, entre otras; mientras que la tecnología para WATM todavía es un tema que se trata en laboratorios de investigación (véase anexo F) y que tiene el desafío de proveer sus servicios dentro un marco regulatorio legal y técnico aprobado por organismos que estandaricen sus prestaciones tecnológicas.

¹ Alcatel LMDS Solution, Product Information 2000.

El equipo a utilizarse para el acceso LMDS ha tenido su desarrollo en conocidas fábricas a nivel mundial, de entre las cuales se distinguen a continuación:

- Alcatel.
- Harris Communications.
- DMC Networks.
- Andrew Corporation.
- Ericsson.
- Nortel Networks.

La selección del equipo para la red de acceso debe ser bien llevada por el operador del servicio, y cumplir con las normas dadas por los organismos regulatorios y de estandarización. De ahí que para escoger un equipo se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Prestaciones técnicas del equipo, acorde a los requerimientos del sistema y a los estándares.
- Precio del equipo a través de ofertas económicas.
- Escalabilidad del sistema.
- Administración del sistema a través de canales de control y monitoreo.
- Flexibilidad, que permite acomodar una amplia variedad de servicios y tipos de conexión
- Garantía
- Soporte técnico.

Si bien es cierto, se especificó que LMDS puede trabajar con capacidades de 36Mbps para tasa de datos de bajada, sin embargo en el aspecto comercial existen dispositivos punto multipunto de microonda en la banda de 23 - 28 GHz que prestan los servicios para la emisión de ráfagas de 40 Mbps con una canalización de 28 MHz con modulación QPSK, como es el caso del equipo

Alcatel 7390 ó el Clear Burst GB de Harris que trabaja en el rango de 25 a 36GHz y puede enviar ráfagas de 180Mbps por sector con modulación 16QAM.

En enlaces inalámbricos LMDS, se trabaja con altas capacidades de datos, utilizando rangos de frecuencias que van desde 10 a 40GHz dependiendo de los modelos de equipos disponibles en el mercado.

La modulación de la señal de datos influye en parámetros como capacidad, interferencia y eficiencia del espectro. Si bien es cierto los sistemas 16QAM son más costosos debido a que pueden ahorrar ancho de banda en dos veces menos que QPSK para la misma tasa de bits de la aplicación, para los sistemas radioeléctricos la modulación 16QAM es más vulnerable a interferencia. En un sistema LMDS se dispone de varias células adyacentes que reutilizan la frecuencia de acuerdo a una legalización y un plan determinado por el operador, un ambiente como este da mayores beneficios a QPSK que a 16QAM. Además QPSK requiere de un cuarto del número de estaciones base (EB) que requeriría 16QAM.

Para un operador es conveniente disponer de un sistema robusto que le brinde la disponibilidad adecuada y buena eficiencia en espectro y costos de instalación de equipos (estaciones base, antenas, *transceivers* de radio, etc). De esta manera la eficiencia en un sistema inalámbrico se puede medir de la siguiente forma:

Eficiencia = T tráfico de datos (Mbps) / F espectro requerido (MHz) / B número de EB

Si bien es cierto que en la teoría la modulación 16QAM tiene solo 2 veces la tasa de transmisión de QPSK, pero en un esquema de células LMDS, se debe tomar en cuenta que se tiene reutilización de frecuencias en células adyacentes.

Los cálculos para comparar ambos métodos se detallan a continuación. El fabricante suele tomar en cuenta que 16QAM en capacidad es un 60%¹ mayor que QPSK debido a los mecanismos necesarios para corrección de errores en el sistema, sin embargo los cálculos se van a realizar sin esta consideración. Adicionalmente la ayuda gráfica de la figura 3.6 permite visualizar lo que se va a exponer en los siguientes párrafos. Las variables a discutir son las siguientes:

E_{QPSK} = Eficiencia QPSK

E_{16QAM} = Eficiencia 16QAM

T_{16QAM} = tasa de transmisión en 16QAM

T_{QPSK} = tasa de transmisión en QPSK

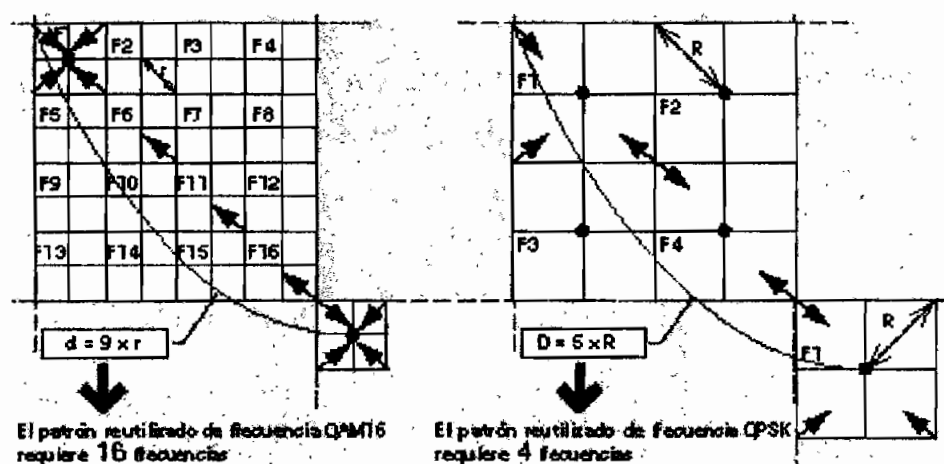


Figura 3.6 Comparación de células con modulación 16QAM y QPSK ¹

En lo concerniente a la tasa de transmisión se considera que para cada célula QPSK con frecuencia F1, se tienen 4 subcélulas LMDS en 16QAM. Ahora si cada célula QPSK maneja 4 sectores de 90° donde cada sector tiene una capacidad aproximada de 40Mbps, entonces se tienen 160Mbps por célula 16QAM; mientras que para 16QAM dentro de la misma área de cobertura se tienen 4 células,

¹ Rouvrais, Philippe; Combatir el cuello de botella con tecnología inalámbrica de banda ancha, Revista Comunicaciones Alcatel, Noviembre 2000

obteniendo en la misma zona geográfica una tasa de 640Mbps con 16QAM. Por lo tanto $T_{16QAM} = 4 T_{QPSK}$.

De esta manera el número de estaciones base en 16QAM es 4 veces lo necesario en QPSK para la misma zona de cobertura, teniendo una economía en la adquisición de equipo para radio bases con QPSK.

Por el ancho de banda requerido se tiene que en el esquema de reutilización de frecuencias, la técnica 16QAM requiere de 16 portadoras, mientras que QPSK requiere de tan solo 4 frecuencias. Por consiguiente $F_{16QAM} = 4 F_{QPSK}$

Por lo tanto, se obtiene los siguientes resultados de eficiencia:

$$EQPSK = (T_{QPSK} / F_{QPSK}) / B_{QPSK} \quad (3.1)$$

$$E_{16QAM} = (T_{16QAM} / F_{16QAM}) / B_{16QAM} = (4T_{QPSK} / 4F_{QPSK}) / 4B_{QPSK}$$

$$E_{16QAM} = 0.25 EQPSK \quad (3.2)$$

Recordando que 16QAM utiliza 16 portadoras, mientras que QPSK utiliza 4 portadoras en un esquema basado en el reuso de frecuencias. Por lo tanto:

$$\text{Se tiene: } EQPSK = 4 E_{16QAM} \quad (3.3)$$

Como resultado de esta comparación de los esquemas de modulación QPSK con 16QAM, se puede determinar las siguientes ventajas para el uso de equipo de acceso LMDS para la última milla del sistema WATM:

- Se optimiza la cobertura de la célula y el número de estaciones base.
- Maximiza el reuso de frecuencias.
- Minimiza las zonas de interferencia.

Otro parámetro importante a considerar en el equipo LMDS es la clase de método de acceso que permite a los usuarios acceder al servicio que ofrece un operador. En lo que se refiere al canal de bajada de datos, el ancho de banda puede ser eficientemente manejado mediante una estación base digital en el nodo de servicio del operador.

El canal de requerimiento o subida de datos es un tema en el que el acceso puede ser ya sea FDMA o TDMA. En donde FDMA consiste en asignar a cada usuario corporativo una frecuencia, de esta manera tendría el limitante de escalar hasta cuando se termine el espectro asignado al operador, e incluso para cada servicio con FDMA se tendría que obtener otro módem de radio solo para determinada aplicación. Mientras que con TDMA se puede utilizar un solo módem de radio que envía la señal de toda la estación base digital, los precios se reducen para el operador debido a que los recursos los está compartiendo en tiempo en el mismo espectro compartido y el flujo de datos puede ser constante.

Suponiendo que se hubiera tomado el 60% que indica el fabricante se tiene que multiplicar la ecuación 3.3 por el factor 1.6. y se obtenía que:

$$EQPSK = 2.5 E16QAM \quad (3.4)$$

De esto se concluye que el dispositivo LMDS a utilizar será el Alcatel 7390 QPSK TDMA/TDM por tener mejores expectativas de rendimiento en la célula LMDS. Un detalle de este equipo escogido se adjunta en el anexo D.

Mientras que para la microcélula WATM, los fabricantes han desarrollado los puntos de acceso con acceso TDMA con interfaces físicos que se acoplan a los estándares de comunicación del resto de *hardware* de la red.

Finalmente el modelo queda estudiado para una demanda proyectada a 6 años, tiempo en el cual se espera que en el Ecuador se obtengan soluciones de última

milla con mayor capacidad y así poner en marcha una nueva generación de servicios para el usuario, y de esta manera el usuario final podrá acceder a estos servicios integrados multimedia inicialmente a través de tarifas empresariales, de modo que la recuperación del costo de inversión se la obtenga en un tiempo menor al del crecimiento proyectado.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

El trabajo presentado en los capítulos anteriores ha dispuesto de conocimientos teóricos ya establecidos en el ATM estándar y nuevos conocimientos para la integración de esta tecnología en ambientes de radio, así como también de métodos de acceso de última milla en donde se hace un énfasis en el acceso LMDS describiendo su definición, características, ventajas y desventajas. En lo referente al *Wireless ATM* se extiende una colección de investigaciones realizadas a nivel mundial en diversos centros de investigación y comercialización de productos de telecomunicaciones móviles.

Por esto se han descrito una serie de documentos anexos que pretenden brindar un vistazo general de cómo podría llevarse a cabo esta integración. En el presente trabajo se ha dejado sentado una estructura inicial en donde el ambiente de trabajo para espacios semi reducidos como las microcélulas pueden llevar a cabo la función de distribuir señales de radio por la vía del LMDS que acoge a estos espacios y los abarca en un nodo concentrador para su posterior tratamiento a través de la red del operador por medio de equipos multiplexores que poseen técnicas de acceso y difusión de señales radio eléctricas.

En *Wireless ATM* se agrega un nuevo concepto al del ATM estándar, la movilidad del terminal final. Esto da al ATM una apertura al mercado de las comunicaciones móviles a nivel mundial, dado que se obtienen prestaciones de calidad de servicio como ofrece el ATM estándar. Claro está que al trabajar con un medio menos confiable que la fibra, como es el interfaz aire, se obtiene a cambio un aumento de libertad de terminal que accede a la nube ATM en forma transparente por medio de mecanismos de administración de los terminales a través de los puntos de acceso o estaciones base en las instalaciones del usuario.

Dentro del aspecto de crecimiento, las redes inalámbricas pueden llegar a tener un alto grado de penetración tanto por su prestación económica como técnica, de ahí que el hecho de tener un crecimiento de redes inalámbricas mayor que la red fija conllevaría a una situación menos eficiente dado que el espectro de radio tiene sus limitaciones, y es por esto que es razonable pensar en una integración de las características de las redes móviles hacia las redes fijas.

A todo esto se suma la demanda de servicios multimedia actuales que se dan en forma paralela, con la creciente necesidad de un elevado ancho de banda, lo que ha dado a B-ISDN una apertura de mercado en donde la tecnología de transporte utilizada es el ATM.

La extensión de servicios multimedia hacia terminales móviles añadido a las prestaciones de la integración de movilidad en la red fija (software, hardware, interfaces, etc.) llevan a ATM como una opción positiva de manera que se pueden lograr buenos fines tanto para el proveedor como para el usuario, esto es, la integración de funciones y prestación de servicios en una red única.

Esta integración viene acompañada de ciertas soluciones que brindan una transición lenta a la integración ATM puramente dicha, es decir, que la integración de ATM para móviles inicialmente puede darse a través de terminales móviles que trabajan con tecnologías actuales como GSM ó DECT, donde el interfaz aire ha demostrado una buena confiabilidad y esa información de radio transformarla en formato ATM. Si bien es cierto se gana eficiencia pero se perderían las facilidades del ATM para la integración de servicios.

La microcélula WATM tiene la libertad de operar en la banda de 5GHz, ya que sus equipos experimentales no emiten potencias mayores a 300mW, situación que deriva en la selección del equipo como tal y someterlo a la homologación local de cada país.

En lo concerniente a LMDS, se debe tomar en cuenta las ventajas y desventajas que esta tecnología aporta frente a otras de su misma naturaleza de aplicación, para lo cual se describe a continuación lo siguiente:

- Costos iniciales bajos e instalación inmediata, la cual comparada con una red de cable tendido, es una ventaja operativa y económica que permite ofrecer un servicio ágil hacia los clientes.
- Escalabilidad del sistema, expandiendo el rango de cobertura y capacidad se puede responder a la demanda de los usuarios.
- Comparado con otros accesos inalámbricos, LMDS tiene un mayor espectro asignado, de manera que se lo puede explotar en servicios de demanda de gran capacidad.

Las desventajas a citarse son las siguientes.

- Limitación del ancho de banda comparado con los medios de comunicación como la fibra óptica.
- Necesidad de línea de vista para la operación en la banda de 26 – 40GHz.
- Rango limitado de cobertura por célula, dado que debe cumplirse con un margen de disponibilidad, como consecuencia de la zona geográfica a cubrirse.

Los servicios LMDS en otros países tienen también su aplicación en servicios de alta capacidad. De esta manera al ser un servicio que utiliza el espectro electromagnético, se ha tomado en cuenta el estudio de la banda a otorgarse. Tal es el caso de México, en donde la segmentación del espectro se basa en la desarrollada en los Estados Unidos. De ahí que en este país se han realizado dos propuestas, cada una compuesta de 4 concesiones, con el afán de proveer servicios de manera eficiente y competitiva. Adicionalmente, se ha considerado que los equipos de los fabricantes no cubren en buena parte la parte alta del espectro, pudiendo reducir de 4 a 3 las concesiones a

realizarse. A su vez, el concesionario administra la canalización en forma libre acorde a las prestaciones del equipo a utilizarse. En el caso del Ecuador, las bandas para LMDS aún no han sido concesionadas, razón por la cual no se puede emitir un valor económico de las mismas.

4.2 RECOMENDACIONES

En lo que se refiere al plan de la red inalámbrica LMDS, se debe tomar en cuenta aspectos como el análisis de línea de vista, y el equipo de RF a utilizarse dependiendo de la disponibilidad que brinde el terreno físico de la localidad, así este sistema sectoriza las zonas de trabajo en células adaptando el número de sectores, según la demanda demográfica, mediante el ángulo radiador de la antena a utilizarse.

En el ámbito de las frecuencias a utilizarse, en el Ecuador se han desarrollado algunos trabajos en cuanto a la generación de una banda para el servicio LMDS, lo cual no persigue a profundidad este trabajo. Básicamente se han propuesto las bandas de 23GHz y 28GHz en donde se han establecido comparaciones con la experiencia de otros países de América del Sur, pudiendo lograr con esto una estandarización de este servicio a nivel nacional.

La reutilización de frecuencias es una herramienta para el desarrollo de redes terrestres celulares, donde se optimizan los recursos de radio tales como la minimización de múltiples caminos a través de antenas muy direccionales y elevadas en su ubicación, así también el hecho de asignar 90 grados a cada sector surge de una densidad demográfica baja con grandes demandas de tráfico y por último la utilización de polarización de la señal de radio para el debido aislamiento de los lóbulos principales y laterales.

En la parte referente al WATM se recomienda que los diferentes servicios tiendan a mantener la calidad de servicio, mediante una capa MAC en donde se establezca un

esquema de acceso TDMA para servicios CBR, los cuales requieren garantía de ancho de banda y transmisión de los datos en tiempo real; mientras que para los servicios VBR, ABR y UBR se debe establecer una reservación dinámica del canal, en donde se tiene una probabilidad de colisiones que es inversamente proporcional al número de tramas existentes en el canal en un tiempo de trama. En conjunto se puede tener un esquema que se denomina de reservación dinámica de multiservicio con modo TDMA.

En el contexto de negocios, se recomienda analizar las diferentes ubicaciones de los nodos, desde el punto de vista de la proyección demográfica y la aplicación que estos manejan, pudiendo de esta manera realizar cálculos de probabilidad eficientes con beneficios potenciales para el proveedor del servicio. Los valores referenciales del equipo como tal se detallan a continuación:

• Sistema de Administración	\$ 10.000
• Equipo de la estación base interior	\$ 35.000
• Equipo para antenas sectorizadas	\$ 150.000
• Equipo de terminal de red (en el cliente)	\$ 10.000
• Equipo para sistema WATM	\$ 15.000

Por último al momento de evaluar el nodo desde el punto de vista económico se debe examinar la información técnica del acceso al nodo, sea este mediante fibra o cobre y la información administrativa para poder realizar el seguimiento mencionado cuando se requiera con facilidad.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Acharya Arup, "Mobility Management in Wireless ATM Networks", IEEE Noviembre 1997.
- [2] CEC deliverable 1996 AC085/NMP/DS/P/066/b1, ACTS project Magic WAND, 1996.
- [3] J. Deane, "WATM PHY Requirements, ATM Forum/96-0785, Junio 1996.
- [4] Hansen, Harri, "Connection management functions of a private WATM Network", Marzo 1996.
- [5] Jamshid, Khun-Jush, " Hiperlan tipo 2 para comunicació en banda ancha", Noviembre 2000.
- [6] Kubbar, Osama, "Multiple Access control Protocol for Wireless ATM: Problems Definition and Design Objectives", IEEE Noviembre 1997.
- [7] Liu, Chunlei, " Wireless ATM Architecture, Design and Prototyping", Diciembre 1997.
- [8] Nordbotten, Agne, "LMDS Systems and their Application", IEEE Junio 2000.
- [9] Rouvrais, Philippe, "Combatir el cuello de botella con tecnología inalámbrica de banda ancha", Alcatel, Noviembre 2000.
- [11] Tomasi, Wayne, "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas", 1997.
- [12] Raychaudhuri, Dipantar, "Mobile ATM: A generic, high performance Infraestructure Network for PCS, Cellular and Wireless data", 1996.

[13] Tanenbaum Andrew, "Redes de Computadoras" , 1997.

[14] Yuan, R, "A Signaling and Control Architecture for Mobility Support in Wireless ATM networks", 1997.

[15] Yonggand Du, "Wireless ATM LAN with and without Infraestructure", IEEE Abril 1998.

Referencias del Internet

[16] gsync.escet.urjc.es/docencia/cursos/fse-mbone/transpas/node11.html (Codiificación Información Multimedia)

[17] <http://bartok.leon.uia.mx/lectures> (Redes inalámbricas)

[18] www.webproforum.com/iec/tutorials (LMDS tutorial)

[19] www.lmdswireless.com

[20] www.conatel.gov.ec (Publicaciones legales y Plan de frecuencias)

[21] www.inec.gov.ec (Publicaciones de estadísticas de servicios)

[22] <http://www.ispjae.edu.cu/gicer/Boletines/2/bol113.htm>

[23] <http://www.useit.com/alertbox/9710a.html>

[24] www.jebesen.com.ar/espanol/Boletin/1998/bolsis08.htm

ANEXOS

A. Glosario.

B. Cálculos.

- Cálculo de Probabilidades
- Proyecciones de Tráfico y de usuarios en la microcélula WATM.
- Modelo de propagación y perfil topográfico para LMDS

C. Distribución Probabilística de Poisson.

D. Equipo de acceso Alcatel 7390.

- Descripción del terminal de red.
- Descripción del terminal de radio.
- Descripción de la radio base.
- Descripción de la estación base de conmutación.

E. Esquemas de acceso al medio y control de admisión de llamadas.

- Paper para el control de acceso de llamadas en WATM.
- Paper de propuestas para la capa MAC en WATM.

F. Proyectos experimentales WATM

- Propuesta experimental de NEC (WATMNet).
- Propuesta experimental WAND.

GLOSARIO

AAL: *ATM Adaption Layer* (Capa de Adaptación ATM)

Colección de protocolos estandarizados que adapta el tráfico de usuario a un formato de celdas. El AAL se divide en la Subcapa de Convergencia (CS) y en la Subcapa de Segmentación y Re-ensamblaje (SAR).

AAL1: AAL de tipo 1

Protocolo estándar utilizado para el transporte de tráfico CBR (Constant Bit Rate) como audio y vídeo y para la emulación de circuitos basados en TDM (por ejemplo E1, T1).

AAL2: AAL de tipo 2

Protocolo estándar para soportar el servicio VBR (Variable Bit Rate) dependiente del tiempo (VBR-RT) de tráfico orientado a conexión como audio y vídeo paquetizado)

ADSL: *Asymmetric Digital Subscriber Line* - Línea de Abonado Digital Asimétrica

Tecnología que permite transmitir información digital a grandes velocidades a través de las líneas telefónicas convencionales (aunque se necesitan unos adaptadores específicos). Si la distancia entre el usuario y la central telefónica es reducida, puede conseguir que un cable tradicional de cobre trenzado transmita información digital a velocidades superiores a 1 megabit por segundo.

Ancho de banda:

Velocidad a la que puede transmitir información un canal de comunicación, con independencia del soporte físico que se utiliza. Por ejemplo, el cable telefónico tradicional puede dar lugar a canales de comunicación con distinto ancho de banda, según la tecnología que emplea (RDSI, ADSL, ...).

ATM: *Asynchronous Transfer Mode* (Modo de Transferencia Asíncrono)

Protocolo de transmisión orientado a conexión basado en celdas de longitud fija (paquetes) de 53 Bytes (incluyendo una cabecera de 5 Bytes). Actualmente se puede decir que ATM más que un simple protocolo es una tecnología que permite compartir eficientemente canales de comunicación entre múltiples usuarios además de ofrecer el concepto de Calidad de Servicios (QoS) para la creación de conexiones óptimas de acuerdo a la aplicación.

B-ISDN: *Broadband Integrated Services Digital Networking* (Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha)

Plataforma de protocolos introducida por la ITU-T para soportar la transmisión de alta velocidad integrada para la transmisión de datos, audio y vídeo de la misma manera. ATM surgió como un estándar de transporte de la plataforma

Celda

Unidad básica de transmisión para ATM. Es un paquete de 53 Bytes compuesto de 5 bytes de encabezado y 48 bytes de datos. En la fuente el tráfico del usuario se segmenta en celdas y en el destino se re-ensamblan.

CODEC: *Coder/Decoder* (Codificador/Decodificador)

El CODEC toma una señal análoga en su entrada y la convierte a una señal digital a su salida. Y también realiza el proceso inverso de señal digital a señal análoga.

E-1: *Señal Digital Europea 1*

Estándar europeo para la interfaz física digital a 2.048Mbps.

E.164

Formato de dirección de 8 bytes definido por la ITU-T. En ATM se usa para redes públicas siendo ofrecido por los operadores de telecomunicaciones.

E-3: *Señal Digital Europea 3*

Estándar europeo para la interfaz física digital a 34.368Mbps. Simultáneamente puede soportar 16 circuitos E-1.

Internet:

Es la mayor Red Mundial de Ordenadores conectados entre sí. Originalmente creada y promovida por los EE.UU. para el intercambio y conexión de Universidades y centros docentes. En sus inicios no estaba permitido el uso comercial de la misma, pero en el momento que el gobierno de los EE.UU. retiró las ayudas económicas, esta norma desapareció. Sobre las mismas fechas apareció el primer Navegador "Mosaic", contribuyendo todo ello al auge y al desarrollo de Internet

ISDN: *Integrates Services Digital Network* (Red Digital de Servicios Integrados)

Modelo de referencia del protocolo adoptado por la ITU-T para brindar un servicio digital extremo a extremo e interactivo para datos, audio y vídeo. ISDN está disponible como BRI, PRI e B-ISDN.

ITU-T: *International Telecommunications Union - Telecommunications Standard Sector* (Unión Internacional de las Telecomunicaciones - Sector de estándares de Telecomunicaciones)

Cuerpo de recomendaciones, especificaciones y estándares internacionales formales, inicialmente conocido como CCITT. La ITU-T hace parte de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) fundado en 1948 y auspiciado por las Naciones Unidas para promover los temas relacionados con Telefonía y telegrafía

MPEG: *Moving Picture Experts Group*

Es una tecnología de vídeo estándar que especifica la compresión digital, transmisión y decodificación de protocolos

MULTIMEDIA

Es una forma de presentación de la información utilizando varios recursos tales como el texto, datos, imágenes, vídeo, audio y gráficos.

Multiplexor: *Multiplexer*

Equipo que transporta información de diferentes fuentes sobre el mismo medio físico.

NNI: *Network Node Interface* (Interface para Nodos de Red)

La ITU-T especifica una interfaz standard entre nodos de la misma red. El ATM Forum tiene dos estándares, uno para redes privadas llamado P-NNI y el otro para redes públicas llamado NNI.

Nodos

puntos en los cuales se ubican equipos de procesamiento en una red, y a los cuales están conectados los enlaces de la misma.

OSI: *Open Systems Interconnection*. (Interconexión de Sistemas Abiertos)

El modelo de referencia OSI introducido por la ISO contiene 7 campos, los cuales especifican los protocolos y funciones requeridos para la comunicación entre dos nodos usando un infraestructura de red.

PCMCIA

Es una nueva tecnología que permite conectar de manera fácil gran número de dispositivos a un ordenador, normalmente portátil o PDA. Para que se

puedan conectar, es necesario que los ordenadores dispongan el mismo tipo de ranura

Punto a multipunto:

Comunicación que se origina en un punto geográfico y que puede estar destinada a muchos receptores en puntos geográficamente distante.

QoS: *Quality of Service* (Calidad de Servicio):

Este término se refiere a los parámetros que caracterizan el tráfico en una conexión virtual

SONET: *Synchronous Optical Network* (Red Óptica Sincrónica)

Un standard definido por la ANSI para velocidades altas y mayor calidad digital en transmisión óptica. En Norteamérica se reconoce como el standard para SDH.

STM: *Synchronous Transfer Mode*.

Donde el tiempo es asignado a cada canal para transmisiones periódicas.

STM-1: *Synchronous Transport Module-1*

La ITU-T define para SDH la interfaz física para la transmisión digital en ATM a una tasa de 155.52 Mbps.

Switch ATM

Es un dispositivo ATM responsable de la conmutación de celdas ATM.

TDM: *Time Division Multiplexing* (Multiplexaje por División de Tiempo)

Es una técnica de asignación de ancho de banda en la que cada canal puede acceder al ancho de banda durante un periodo determinado de tiempo.

TDMA: *Time-Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Tiempo)*

Método de acceso basado en TDM

WATM: *Wireless ATM (ATM Inalámbrico)*

Arquitectura de redes ATM estándar, con la característica adicional de implementación de capas de control de acceso al medio y de la capa física de radio y sus respectivos protocolos.

CÁLCULO DE PROBABILIDADES

Para empezar, se va a redondear los usuarios a 200 para los cálculos siguientes. En el servicio de Internet, en la hora cargada se va a asumir que el 20% de usuarios que demanda el servicio genera alrededor de 25 llamadas/hora, generando 25 erlangs. El 80% usará:

$$\lambda = 25$$

$$t = 1$$

$$P = 25 - \sum_{j=1}^{40} \frac{j \cdot e^{-\lambda \cdot t} \cdot (\lambda \cdot t)^j}{j!}$$

$$P = 0.086$$

En el servicio de datos a 256Kbps, en la hora cargada, se va a asumir que el 55% de usuarios que demanda el servicio genera alrededor de 80 llamadas/hora, generando 80 erlangs. El 45% usará:

$$\lambda = 80$$

$$t = 1$$

$$P = 80 - \sum_{j=1}^{110} \frac{j \cdot e^{-\lambda \cdot t} \cdot (\lambda \cdot t)^j}{j!}$$

$$P = 0.068$$

En el servicio de datos a 512Kbps, en la hora cargada, se va a asumir que el 45% que demanda el servicio genera alrededor de 65 llamadas/hora, generando 65 erlangs. El 55% usará:

$$\lambda = 65$$

$$t = 1$$

$$P = 65 - \sum_{j=1}^{90} \frac{j \cdot e^{-\lambda \cdot t} \cdot (\lambda \cdot t)^j}{j!}$$

$$P = 0.124$$

En el servicio de videoconferencia, en la hora cargada, se va a asumir que el 70% que demanda el servicio genera alrededor de 105 conexiones por cada hora, generando 105 erlangs. El 30% usará:

$$\lambda = 105$$

$$t = 1$$

$$P = 105 - \sum_{j=1}^{140} \frac{j \cdot e^{-\lambda \cdot t} \cdot (\lambda \cdot t)^j}{j!}$$

$$P = 0.067$$

En el servicio de voz, en la hora cargada, se va a asumir que el 60% que demanda el servicio genera alrededor de 90 llamadas/hora, generando 90 erlangs. El 40% usará:

$$\lambda = 90$$

$$t = 1$$

$$P = 90 - \sum_{j=1}^{120} \frac{j \cdot e^{-\lambda \cdot t} \cdot (\lambda \cdot t)^j}{j!}$$

$$P = 0.131$$

PROYECCIONES DE NÚMERO DE USUARIOS Y TRÁFICO POR MICROCÉLULA WATM

USUARIOS

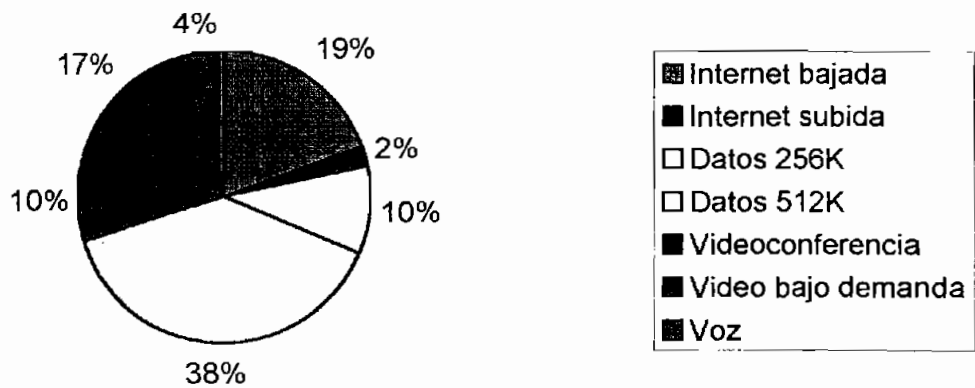
Personas/establecimiento:	55.31		
Personas/microcélula:	35.95	Crecimiento anual (%):	28.70
	6.00		
Proyectado a 10 años microcélula:	201.17		
		No. Usuarios /microcel.	201.17

TRÁFICO

Aplicación	Porcentaje usuarios(%)	Erlangs	Velocidad (Kbps)	Demanda servicio Kbps
Internet bajada	0.80	0.09	256.00	3708.04
Internet subida	0.80	0.09	32.00	463.51
Datos 256K	0.45	0.08	256.00	1854.02
Datos 512K	0.55	0.13	512.00	7364.58
Videoconferencia	0.30	0.08	384.00	1854.02
Video bajo demanda	0.15	0.07	1500.00	3168.49
Voz	0.40	0.14	64.00	721.01

Demanda total Kbps:	19133.67
----------------------------	-----------------

Porcentaje uso del canal de cada servicio

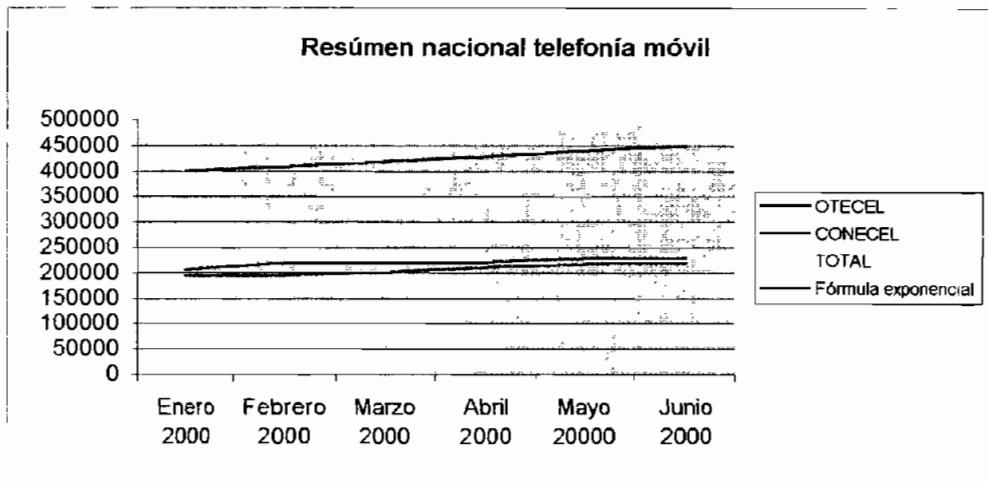


Habitantes con acceso a telefonía móvil (Fuente Suptel)

s tomados de la SUPTTEL (www.suptel.gov.ec)

imiento exponencial: $N(t) = N_0 \cdot e^{(k \cdot t)}$
 os], N [clientes] $446808 = 397941 \cdot e^{(k \cdot 5/12)}$
 actor de crecimiento $k = 0.287$
 Número de usuarios al tiempo $t=t$
 Número de usuarios al tiempo $t=0$

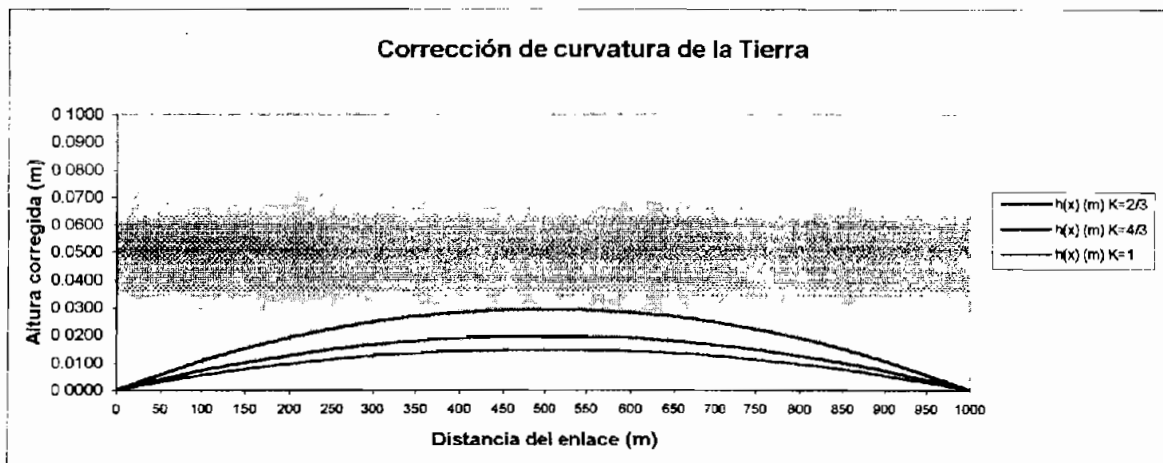
Fecha	OTECEL	CONECEL	TOTAL	Fórmula exponencial
Enero 2000	193484	204457	397941	397941
Febrero 2000	195198	217332	412530	407573
Marzo 2000	199508	218161	417669	417438
Abril 2000	209392	219509	428901	427543
Mayo 2000	216127	227462	443589	437891
Junio 2000	218228	228580	446808	448490



Corrección de la Tierra

Radio de Tierra (m):	6.37E+06		
Distancia enlace (m):	1000		
Constante K:	2/3	1 1/3	1

x(m)	h(x) (m) K=2/3	h(x) (m) K=4/3	h(x) (m) K=1
0	0.0000	0.0000	0.0000
50	0.0056	0.0028	0.0037
100	0.0106	0.0053	0.0071
150	0.0150	0.0075	0.0100
200	0.0188	0.0094	0.0126
250	0.0221	0.0110	0.0147
300	0.0247	0.0124	0.0165
350	0.0268	0.0134	0.0179
400	0.0283	0.0141	0.0188
450	0.0291	0.0146	0.0194
500	0.0294	0.0147	0.0196
550	0.0291	0.0146	0.0194
600	0.0283	0.0141	0.0188
650	0.0268	0.0134	0.0179
700	0.0247	0.0124	0.0165
750	0.0221	0.0110	0.0147
800	0.0188	0.0094	0.0126
850	0.0150	0.0075	0.0100
900	0.0106	0.0053	0.0071
950	0.0056	0.0028	0.0037
1000	0.0000	0.0000	0.0000



de Fresnel

λ (Hz):	2.80E+10
v (m/s):	3.00E+08
h Tierra (m):	6.37E+06
λ onda (m):	1.07E-02
n (m):	15

Luz (m)	d1 (m)	d2 (m)	Perfil corregido			
			k=4/3	L. Vista	R. Fresnel+	R. Fresnel-
2840	0	1000	2840.0000	2855.0000	2855.0000	2855.0000
2815	50	950	2815.0028	2856.2500	2856.9634	2855.5366
2822	100	900	2822.0053	2857.5000	2858.4820	2856.5180
2805	150	850	2805.0075	2858.7500	2859.9188	2857.5812
2833	200	800	2833.0094	2860.0000	2861.3093	2858.6907
2805	250	750	2805.0110	2861.2500	2862.6674	2859.8326
2822	300	700	2822.0124	2862.5000	2864.0000	2861.0000
2816	350	650	2816.0134	2863.7500	2865.3112	2862.1888
2814	400	600	2814.0141	2865.0000	2866.6036	2863.3964
2824	450	550	2824.0146	2866.2500	2867.8784	2864.6216
2825	500	500	2825.0147	2867.5000	2869.1366	2865.8634
2846	550	450	2846.0146	2868.7500	2870.3784	2867.1216
2825	600	400	2825.0141	2870.0000	2871.6036	2868.3964
2831	650	350	2831.0134	2871.2500	2872.8112	2869.6888
2820	700	300	2820.0124	2872.5000	2874.0000	2871.0000
2822	750	250	2822.0110	2873.7500	2875.1674	2872.3326
2840	800	200	2840.0094	2875.0000	2876.3093	2873.6907
2837	850	150	2837.0075	2876.2500	2877.4188	2875.0812
2845	900	100	2845.0053	2877.5000	2878.4820	2876.5180
2846	950	50	2846.0028	2878.7500	2879.4634	2878.0366
2865	1000	0	2865.0000	2880.0000	2880.0000	2880.0000

Tabla de curvas para K=4/3

Curva 2810	Curva 2820	Curva 2830	Curva 2840	Curva 2850	Curva 2860	Curva 2870	Curva 2880
2810.0000	2820.0000	2830.0000	2840.0000	2850.0000	2860.0000	2870.0000	2880.0000
2810.0028	2820.0028	2830.0028	2840.0028	2850.0028	2860.0028	2870.0028	2880.0028
2810.0053	2820.0053	2830.0053	2840.0053	2850.0053	2860.0053	2870.0053	2880.0053
2810.0075	2820.0075	2830.0075	2840.0075	2850.0075	2860.0075	2870.0075	2880.0075
2810.0094	2820.0094	2830.0094	2840.0094	2850.0094	2860.0094	2870.0094	2880.0094
2810.0110	2820.0110	2830.0110	2840.0110	2850.0110	2860.0110	2870.0110	2880.0110
2810.0124	2820.0124	2830.0124	2840.0124	2850.0124	2860.0124	2870.0124	2880.0124
2810.0134	2820.0134	2830.0134	2840.0134	2850.0134	2860.0134	2870.0134	2880.0134
2810.0141	2820.0141	2830.0141	2840.0141	2850.0141	2860.0141	2870.0141	2880.0141
2810.0146	2820.0146	2830.0146	2840.0146	2850.0146	2860.0146	2870.0146	2880.0146
2810.0147	2820.0147	2830.0147	2840.0147	2850.0147	2860.0147	2870.0147	2880.0147
2810.0146	2820.0146	2830.0146	2840.0146	2850.0146	2860.0146	2870.0146	2880.0146
2810.0141	2820.0141	2830.0141	2840.0141	2850.0141	2860.0141	2870.0141	2880.0141
2810.0134	2820.0134	2830.0134	2840.0134	2850.0134	2860.0134	2870.0134	2880.0134
2810.0124	2820.0124	2830.0124	2840.0124	2850.0124	2860.0124	2870.0124	2880.0124
2810.0110	2820.0110	2830.0110	2840.0110	2850.0110	2860.0110	2870.0110	2880.0110
2810.0094	2820.0094	2830.0094	2840.0094	2850.0094	2860.0094	2870.0094	2880.0094
2810.0075	2820.0075	2830.0075	2840.0075	2850.0075	2860.0075	2870.0075	2880.0075
2810.0053	2820.0053	2830.0053	2840.0053	2850.0053	2860.0053	2870.0053	2880.0053
2810.0028	2820.0028	2830.0028	2840.0028	2850.0028	2860.0028	2870.0028	2880.0028
2810.0000	2820.0000	2830.0000	2840.0000	2850.0000	2860.0000	2870.0000	2880.0000

DISTRIBUCIÓN DE POISSON

Se dice que una variable X aleatoria discreta que depende del tiempo puede tomar un número infinito de valores $0, 1, 2, \dots$ sigue la ley de Poisson, si:

$$\Pr(x=k) = \frac{e^{-\lambda t} \cdot (\lambda t)^k}{k!}$$

en donde el valor de λt representa al número promedio de eventos generados en un tiempo. La fórmula anterior describe la probabilidad de que sucedan exactamente k eventos en un intervalo de tiempo de duración t .

Mientras que la probabilidad de que sucedan k eventos o menos está dada por:

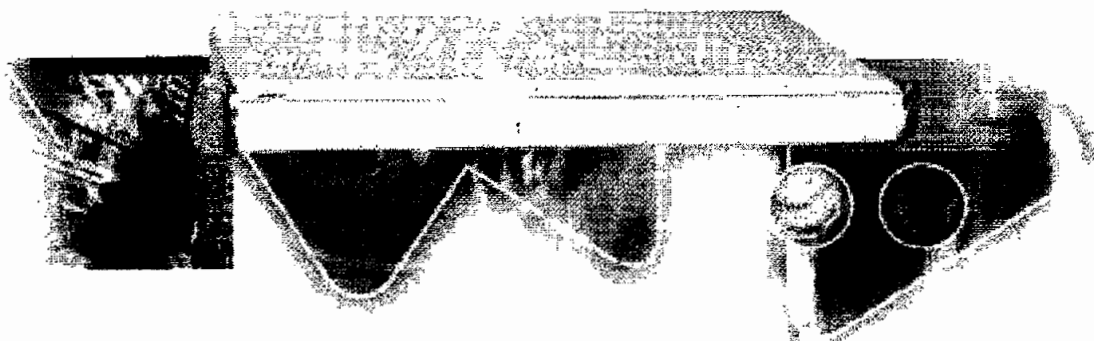
$$\Pr(x \leq k) = \sum_{j=0}^k \frac{e^{-\lambda t} \cdot (\lambda t)^j}{j!}$$

Como se mencionó, esta última fórmula sirve para el cálculo de tráfico en Erlangs de la hora cargada, para identificar el tráfico que demandaría cada servicio. Estos cálculos se hallan detallados en el anexo B.

The Alcatel 7390 LMDS Network Termination (NT) is the digital part of the customer premises equipment also called the Alcatel 7390 LMDS terminal station. It comprises the modem and user interfaces, giving the end user access to a full variety of services.

- ▼ 10/100BT interface: LAN interconnection, virtual private networks (VPNs), high speed Internet/intranet, voice over IP
- ▼ STM-1/OC-3 interface
- ▼ E1/T1 or fractional E1/T1 interface: leased lines, VPNs, voice over PBX, data over leased lines
- ▼ Available in both G.703 and X.21 physical interfaces
- ▼ ISDN BRI interface: voice and data
- ▼ POTS

Highly scalable and fully managed as part of a multiservice solution, Alcatel 7390 LMDS products can be rapidly deployed to provide a powerful, cost-effective access solution for the first mile delivery of a wide range of data, Internet, voice and video services.



A whole bundle
of services, true
broadband
capabilities



ARCHITECTS OF AN INTERNET WORLD

Wide variety of applications

Leased line services provide E1/T1 or fractional E1/T1 transparent connection between the terminal stations and the base station. In the case of fractional E1 or T1 interface, cross-connect capabilities are provided at this level and a grooming function is provided at the base station. Network interfaces are based on n x E1 or T1 connections directly available at the base station. Typical applications are: PBX interconnections and VPNs, data services on leased lines for WANs through concentrators, FRAD (frame relay), bridges or routers, and cellular/PCS/WLL backhaul.

Switched voice services

Switched services provide support to the voice traffic including voice over IP and ISDN communications. These services are provided on the 7390 NT with interfaces such as ISDN PRI and ISDN BRI, POTS or IOBT for VoIP. The Alcatel LMDS network interface is a concentrated interface towards the local exchange directly through multiple E1/T1 connections or indirectly through an ATM interface to the voice over IP gateway. Typical applications are IP telephony, voice over PBX lines and multiple ISDN lines (2B+D).

Bursty data services

The Alcatel 7390 LMDS solution has been designed especially to provide bursty data services with the ability to handle high capacity packet transmission. TDMA and ATM embedded technologies combined with dynamic radio resources allocation make it possible to pack more traffic through available radio spectrum. Each customer uses only the bandwidth required, when needed, with instantaneous bursty rate capabilities up to several Mb/s. Typical applications are Internet, intranet, and LAN-to-LAN interconnections which are especially attractive to customers such as teleworkers, SOHOs and SMEs.

High performance Air interface

The Alcatel 7390 LMDS solution features an outstanding series of technical advantages:

- ▼ Based on TDMA and ATM technologies
- ▼ Patented radio frame optimized for both circuit-oriented and data-oriented applications
- ▼ Data encryption capability to allow confidential communications
- ▼ Reduced round trip delay (less than 8 ms for a single 64 kb/s circuit, less than 4 ms for an E1/T1 circuit)
- ▼ Powerful dynamic bandwidth allocation mechanism, based on a combination of polling, contention and piggy-backing techniques
- ▼ Burst capability of up to 10 Mb/s
- ▼ Efficient Reed-Solomon and convolutional channel FEC (Forward Error Correcting) for quasi error-free transmission: BER 10⁻¹⁴

High reliability

The Alcatel 7390 LMDS NT benefits from automated manufacturing processes, highly qualified components and severe test procedures, providing the highest level of quality and thus limiting maintenance to routine visits, while also reducing the sets of spare parts to a minimum.

Full software control

- ▼ Automatic power control, automatic frequency control, handled by the base station
- ▼ Alarms monitoring, configuration management, performance monitoring
- ▼ Software download from the base station for fast and easy system upgrade
- ▼ SNMP-based management system

Easy installation

In some cases, Alcatel 7390 NTs can be located in common parts of a building where they can be shared between several customers. An NT can be installed in a standard 48 cm (19 in.) or ETSI rack, as a single desktop unit, or on a wall. The Alcatel LMDS terminal station has been designed for rapid installation and switch-on (plug-and-play commissioning through automatic network entry method). A single coaxial cable (up to 200 meters /218 yards between the RT and NT) interconnects the NT to the outdoor unit, transporting all signals: downstream IF (transmitted to the NT), upstream IF (received from the NT) and DC power supply (no need for any external PSU). For cable length compensation, 20dB extra gain in reception and 10dB in transmission are added.

Technical Summary

DBS - Digital Base Station
RBS - Radio Base Station
RT - Radio Termination

IF Interface

- ▼ Tx (DBS to RBS): 400-700 MHz
- ▼ Rx (RBS to DBS): 950-2050 MHz
- ▼ Connector: N female 75Ω
- ▼ Max. NT-RT cable length: 3 x 70 m (9.8 x 230 ft)
- ▼ Upstream channeling: 3.5 to 9 MHz
- ▼ Upstream roll-off factor: 25%
- ▼ Upstream modulation: QPSK
- ▼ Upstream FEC: Reed-Solomon RS (63,53,5)
- ▼ Downstream channeling: 14 to 36 MHz
- ▼ Downstream roll-off factor: 35%
- ▼ Downstream modulation: D-QPSK
- ▼ Downstream FEC
 - inner code: convolutional, 7/8, k=7
 - interleaver: depth=12
 - outer code: Reed-Solomon RS(204,188,8)

Applications/Interfaces

Leased line applications

- ▼ E1: G.703 or X.21
- ▼ T1: G.703
- ▼ N x 64 kb/s (n*32): G.703/G.704 or X.21

Data applications

- ▼ Ethernet: Ethernet 10Base-T, Ethernet 100Base-T
- ▼ Frame relay STM-1/OC-3: G.703 or X.21

Voice applications

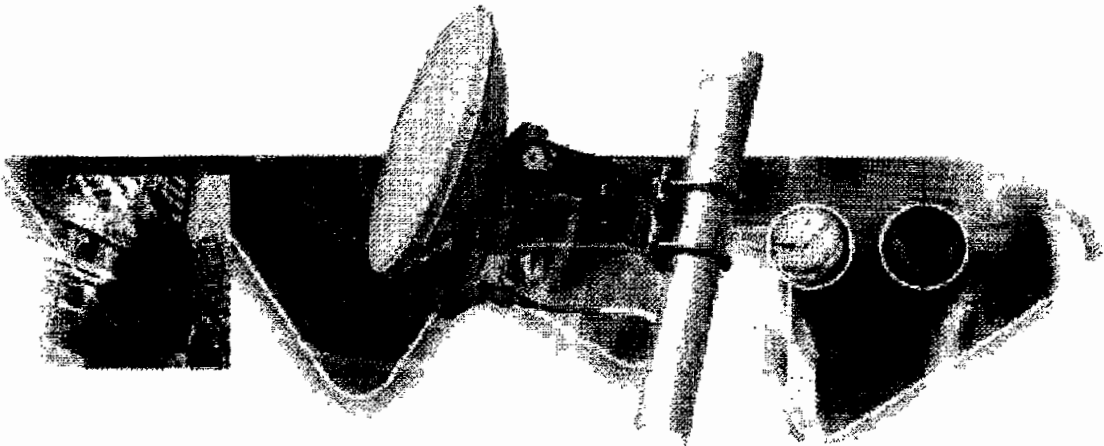
- ▼ ISDN PRI: G.703
- ▼ ISDN BRI: 2B+D, U interface
- ▼ VoIP: Ethernet 10Base-T or POTS

Power/Environment/ Mechanical Data

- ▼ Power: 80 to 264 V AC, 47 to 63 Hz, 65 W (RT included)
- ▼ Environment: -5° to 55° C (29° to 63° F) (in operation), ETS 300 019-1-4 class 3.1 E
- ▼ EMC standards: ETS 300 385 class B
- ▼ Height: 4.5 cm (1.8 in.)
- ▼ Width: 44.5 cm (18 in.)
- ▼ Depth: 24.0 cm (9.6 in.)
- ▼ Weight: 3 kg (6.6 lb.)
- ▼ Installation: 48 cm (19 in.) cabinet, desk, wall fixation

The Alcatel 7390 LMDS Co-Polarized Radio Termination (Co-Pol RT) is the radio part of the customer premises equipment also called the Alcatel LMDS terminal station. The 7390 Co-Pol RT is responsible for transmitting upstream carriers towards the base station and receiving downstream carriers from it. The 7390 Co-Pol RTs have been designed to operate for split-band licensing in the 24 to 30 GHz frequency bands with Tx/Rx duplex separations adapted to a wide range of geographic standards. For example, 500 MHz (Latin and North America), 723 and 1008 MHz (Europe), and 855 MHz (Asia). The 7390 Co-Pol RT covers sub-bands of 280 MHz to provide radio agility. In order to keep cost structure down, the RTs are designed from widely used, field-proven systems such as digital satellite systems. The 7390 Co-Pol RT is DAVIC (Satellite DVB standard)-compliant.

Highly scalable and fully managed as part of a multiservice solution, Alcatel 7390 LMDS products can be rapidly deployed to provide a powerful, cost-effective access solution for the first mile delivery of a wide range of data, Internet, voice and video services.



High performance
Air interface,
easier installation



ARCHITECTS OF AN INTERNET WORLD

Alcatel and the Alcatel logo are registered trademarks of Alcatel. All other trademarks are the property of their respective owners. Alcatel assumes no responsibility for the accuracy of the information presented, which is subject to change without notice.

© 2000 Alcatel. All rights reserved 10306
3CL 00428 0005 TQZZA Ed.03

Outstanding compactness

The 7390 Co-Pol RT is compact, to keep mounting infrastructure costs as low as possible. Using state of the art Monolithic Microwave Integrated Circuits (MMICs) technology, the Co-Pol RT is actually the smallest radio of its kind in the industry with a 15 x 15 x 2.5 cm (5.8 x 5.8 x .97 in.) radio bloc – one bloc corresponds to one transceiver (Tx + Rx), coupled with an integrated 26 cm (10 in.) parabolic antenna. It weighs less than 2 kilograms (4.4 pounds).

High reliability

The Alcatel 7390 LMDS Co-Pol RT benefits from automated manufacturing processes, highly qualified components and severe test procedures, providing the highest level of quality and thus limiting maintenance while minimizing the sets of spare parts. In addition to its compactness, the 7390 Co-Pol RT has been designed to operate in very harsh environments (from -33° to 55°C/13° to 63° F) with very low power consumption (less than 12 W).

Flexibility and adaptability

The 7390 Co-Pol RT benefits from a 30 dB output power adjustment to cover TS-BS distance of up to 5 km (3 m.). A higher gain antenna (60 cm/24 in. diameter) with horizontal or vertical polarization is also available.

Easy installation

The 7390 Co-Pol RT includes a directional transmit/receive antenna and a radio frequency (RF) transceiver unit. The small dish antenna provides system gain and directivity. The RF unit is bi-directional, enabling it to access the Alcatel 7390 LMDS Radio Base Station (RBS). A specific pole/wall mounting allows ± 90° accurate antenna alignment for both azimuth and elevation.

An alignment tool permits fast and easy installation (typically less than one hour) requiring no special skills. A single coaxial cable (up to 200 m/656 ft. between the RT and Alcatel 7390 LMDS Network Termination (NT)) interconnects the Co-Pol RT to the indoor unit, transporting all signals: downstream IF (transmitted

to the NT), upstream IF (received from the NT) and DC power supply (no need for any external PSU). For cable length compensation, 20dB extra gain in reception and 10dB in transmission are added

Multi-NT configuration

One single Alcatel 7390 Co-Pol RT can connect up to eight NTs thus enabling cost sharing between end-users which means only one outdoor installation per building.

Technical Summary

Radio

- ▼ Frequency: 24.25 to 29.5 GHz
- ▼ Tx/Rx duplex separation: 500 to 1480 MHz
- ▼ Maximum bandwidth: 180 to 280 MHz
- ▼ Maximum output power (antenna port): (P 1dB) 15dBm
- ▼ Installation power tuning: 30dB
- ▼ Spurious:
 - 30 MHz - 21.2 GHz: < -50dBm
 - 21.2 GHz - 110 GHz: < -30dBm
- ▼ Phase noise:
 - 77dBc/Hz at 10 kHz
 - 102dBc/Hz at 100 kHz
 - 115dBc/Hz at 1 MHz
- ▼ Frequency accuracy: 10 p.p.m.
- ▼ Rx noise figure: < 7dB

IF

IF interface

- ▼ Tx (NT to RT): 400 - 700 MHz
- ▼ Rx (RT to NT): 950 - 2050 MHz
- ▼ Connector: F female 75Ω, BNO female (for installation)

- ▼ Maximum RT-NT cable length: 3 x 70 m (9.8 x 230 ft.)
- ▼ Cable compensation:
 - Tx (NT to RT): 10dB
 - Rx (RT to NT): 20dB

Antenna

- ▼ 26 cm (10 in.) integrated (3.5 dBi)
- ▼ 60 cm (23 in.) (4.1 dBi)

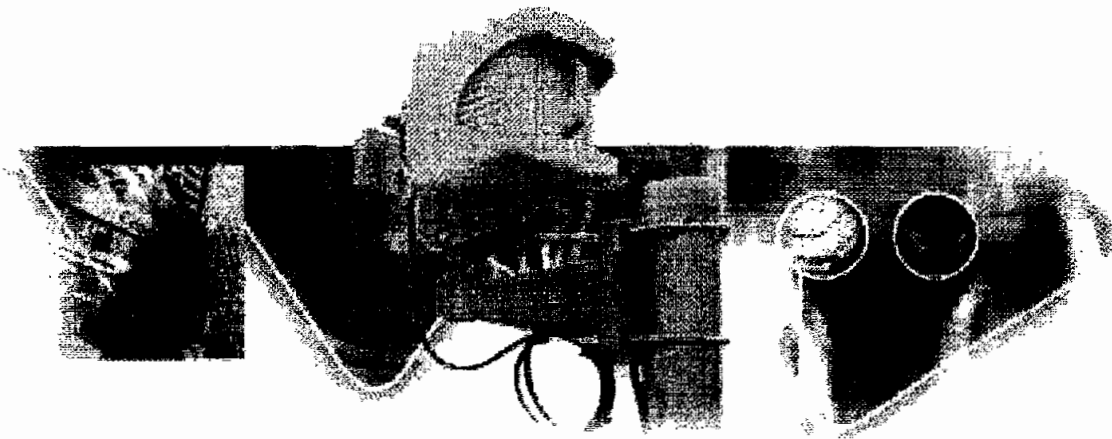
Power/Environment/ Mechanical Data

- ▼ Power: 18 to 34 V DC, 12 W
- ▼ Environment: -33° to 55° C (13° to 63° F) in operation, ETS 300 019-1-4 class 4.1
- ▼ EMC standards: ETS 300 385 class B
- ▼ Wind loading: 55 m/s
- ▼ Weight: 2 kg (4.4 lb.)
- ▼ Mounting: wall, pole 4 to 5 cm (1.5 to 1.9 in.) mast
- ▼ Adjustment: ± 90° azimuth, ± 90° elevation



The Alcatel 7390 LMDS Co-Polarized Radio Base Station (Co-Pol RBS) is the part of the Alcatel 7390 LMDS base station site responsible for receiving and transmitting point-to-multipoint downstream and upstream carriers to and from the end user Alcatel 7390 LMDS Co-Pol Radio Termination (RT). The 7390 Co-Pol RBSs have been designed to operate for split-band licensing in the 24 to 30 GHz frequency bands with Tx/Rx duplex separations adapted to a wide range of geographic standards. For example, 500 MHz (Latin and North America), 723 and 1,008 MHz (Europe), and 855 MHz (Asia). The 7390 RBS covers sub-bands of 280 MHz to provide radio agility.

Highly scalable and fully managed as part of a multiservice solution, Alcatel 7390 LMDS products can be rapidly deployed to provide a powerful, cost-effective access solution for the first mile delivery of a wide range of data, Internet, voice and video services.



High performance
Air interface
with a full range
of frequencies



ARCHITECTS OF AN INTERNET WORLD

Alcatel and the Alcatel logo are registered trademarks of Alcatel. All other trademarks are the property of their respective owners. Alcatel assumes no responsibility for the accuracy of the information presented, which is subject to change without notice.

© 2000 Alcatel. All rights reserved. 10305
3CL 00428 0007 1QZZA Ed 03

Compact and light-weight design

By using state of the art Monolithic Microwave Integrated Circuits (MMICs) technology, Alcatel has created a highly integrated, compact and light-weight 7390 Co-Pol RBS, making it easy to install in all kinds of environments.

High reliability

Like the other components of the Alcatel 7390 LMDS Solution, the Co-Pol RBS benefits from automated manufacturing processes, highly qualified components and severe test procedures, making possible the highest level of quality and thus limiting maintenance and reducing the sets of spare parts to a minimum.

In addition to its compactness, the 7390 Co-Pol RBS has been designed to operate in very harsh environments (from -33° to +55°C/13° to 63° F) with very low power consumption (less than 25 W). For service integrity the 7390 Co-Pol RBS has a 1+1 redundancy capability. Moreover, its radio bloc is replaceable without need for a new antenna adjustment.

Easy monitoring

As part of the overall Alcatel 7390 LMDS Solution, the 7390 Co-Pol RBS is managed by the network's management platform via an SNMP (Simple Network Management Protocol) interface. Alarms monitoring, frequency selection within 280 MHz sub-bands, and power and gain adjustment are ensured through full software control.

Flexibility and adaptability

The 7390 Co-Pol RBS uses a programmable output power adjustment, to cover cells of up to a 5 km (3 mi.) radius. It features a complete set of antennas in order to fit all coverage needs:

- ▼ Standard to ultra high gain
- ▼ 45° to 180° sectorial antennas

The 7390 Co-Pol RBS supports both vertical and horizontal polarization, thus providing flexibility in radio planning and frequency reuse.

Easy installation

Specific pole mounting, provided with an accurate antenna alignment system, permits easy installation. A single co-axial cable (length up to 200 m/18 yd. between the 7390 RBS and the Alcatel 7390 Digital Base Station, or DBS) is needed to interconnect the 7390 Co-Pol RBS to the indoor unit (DBS) and is used for transporting all signals:

- ▼ Downstream IF (received from the DBS)
- ▼ Upstream IF (transmitted to the DBS)
- ▼ DC power supply
- ▼ Monitoring and control

Technical Summary

Radio

- ▼ Frequency: 24.25 to 29.5 GHz
- ▼ Tx/Rx duplex separation: 500 to 1480 MHz
- ▼ Maximum bandwidth: 180 to 280 MHz
- ▼ Maximum power output (P_{1dB}): 20 dBm (antenna port)
- ▼ Installation power tuning: 10 dB
- ▼ Spurious:
 - 30 MHz - 21.2 GHz: < -50 dBm
 - 21.2 GHz - 110 GHz: < -30 dBm
- ▼ Phase noise:
 - 71 dBc/Hz at 10 kHz
 - 93 dBc/Hz at 100 kHz
 - 112 dBc/Hz at 1 MHz
- ▼ Frequency accuracy: 8 p.p.m.
- ▼ Rx noise figure: 7 dB

IF Interface

- ▼ Connector: N female: 50Ω
- ▼ Maximum DBS-RBS cable length: 200 m (18 yd.)

Cable Compensation

- ▼ Tx (DBS to RBS) 10 dB
- ▼ Rx (RBS to DBS) 20 dB

Antenna

- ▼ Sectorial (45° to 180°)
ETSI-compliant

Power/Environment/ Mechanical Data

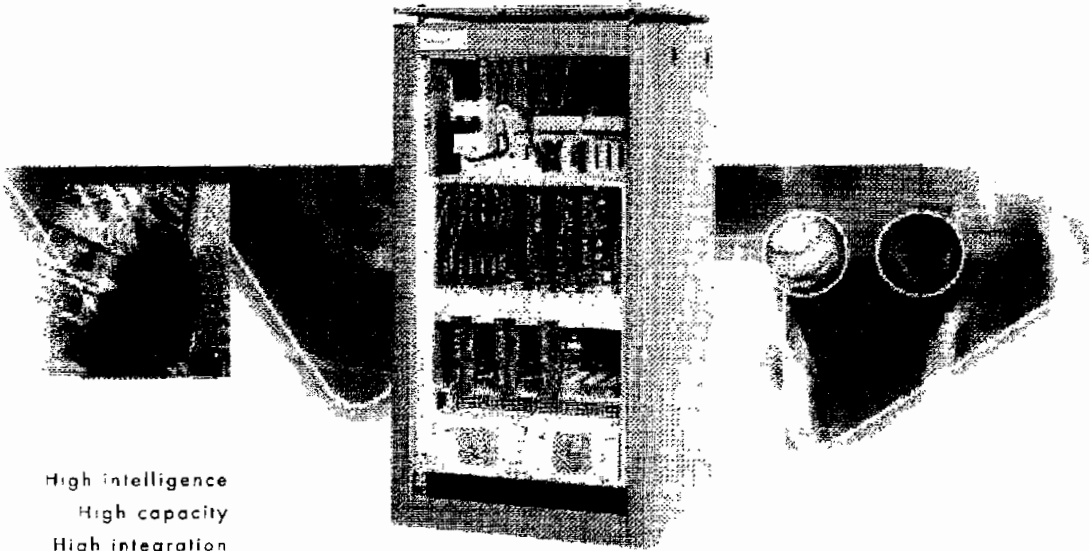
- ▼ Power: 52 - 59 V DC, 22 W
- ▼ Environment: -33° to 55°C
(13° to 63° F) (in operation)
ETS 300 019-1 4 class 4.1
- ▼ EMC standards: ETS 300 385
class B
- ▼ Wind loading: 55 m/s
- ▼ Weight: 15 kg (33 lb.)
(antenna/pole mounting incl.)
- ▼ Mounting: pole 5.0 to 11.4 cm
(1.95 to 4.45 in.) mast
- ▼ Adjustment ± 90° azimuth,
± 25° elevation



ARCHITECTS OF AN INTERNET WORLD

The Alcatel 7390 LMDS Digital Base Station (DBS) is the digital part of the Alcatel 7390 LMDS access system. It comprises network interfaces, radio modems, IF interfaces as well as the centralized intelligence of the whole cell organization. Associated with the Alcatel 7390 LMDS Co-Pol or X-Pol Radio Base Station, the radio part of the base station, it acts as a hub transmitting voice and high speed data services for as many as 4,000 Alcatel 7390 LMDS Network Terminations (NTs) over a line-of-sight connection with a range of up to 5 kilometers (3 miles) (the cell diameter range depends on the system frequency).

Highly scalable and fully managed as part of a multiservice solution, Alcatel 7390 LMDS products can be rapidly deployed to provide a powerful, cost-effective access solution for the first mile delivery of a wide range of data, Internet, voice and video services.



High intelligence
High capacity
High integration



ARCHITECTS OF AN INTERNET WORLD

Tremendous capacity

The 7390 DBS offers a tremendous capacity, providing up to 40 Mb/s throughput per carrier up to eight carriers and serving up to 1,000 NTs per sector. It supports a complete variety of network interfaces, so customers enjoy seamless access to all existing public voice, data and broadband networks. Open interfaces ensure easy interconnections to PSTN, ISDN, leased lines, broadband networks and the Internet. An OC-3c/STM-1 (ATM 155 Mb/s) or T3/E3 (ATM 45/34 Mb/s) network interface provides the connection for data traffic while 64 x E1/T1 network interfaces are dedicated to circuit-oriented traffic.

Make the most out of any spectrum allocation

Four possible Modem Channeling solutions:

- ▼ 36 MHz per carrier, 36 MHz/40 Mb/s downlink, 4 x 9 MHz/10 Mb/s uplink
- ▼ 28 MHz per carrier, 28 MHz/32 Mb/s downlink, 4 x 7 MHz/8 Mb/s uplink
- ▼ 21 MHz per carrier, 21 MHz/24 Mb/s downlink, 2 x 9 MHz/10 Mb/s uplink
- ▼ 14 MHz per carrier allowing frequency reuse with scarce allocation, 14 MHz/17 Mb/s downlink, 2 x 7 MHz/8.5 Mb/s uplink, 14 MHz/17 Mb/s downlink, 4 x 3.5 MHz/4.25 Mb/s uplink

Each channeling can be combined with four Radio Solutions:

- ▼ Single carrier Co-Pol using the 7390 Co-Pol Radio Base Station
- ▼ Single carrier single antenna per sector with 1+1 protection
- ▼ Multicarrier using the 7390 X-Pol Radio Base Station. One transmit and one receive antenna per sector, for a large capacity with up to six carriers per radio sector with n+1 protection
- ▼ Co-Pol: large T-R spacing
- ▼ X-Pol: to cope with small T-R spacing values thanks to polarization isolation

High level of integration

The Alcatel 7390 LMDS DBS has been designed for fast and easy installation. Its 22U (1 meter/1.09 yard high) 48 cm/19 in. cabinet (also available in a full outdoor version) is one of the smallest in the industry.

High flexibility

In order to adapt to any capacity, any redundancy mode, or any kind of traffic mix, the Alcatel 7390 DBS has been designed to offer the most flexible and modular architecture. The base station capacity can be increased by simply adding plug-in modules. The capacity of each sector can also be increased by increasing the number of carriers as well as by increasing the capacity of each carrier. This architecture is built around five main components:

- ▼ **ATM Network Termination (ANT):** The ANT board provides the ATM network interface. It can be secured through a 1+1 hot stand-by additional board. Adapted to any capacity (up to 155 Mb/s), it also offers every kind of interfaces required (optical mono/multimode, electrical). 1+1 protection is made possible through a specific coupling board (CPL).
- ▼ **TDM Network Termination (TNT):** The TNT board provides capacity of up to 16 E1 or T1 circuits with the capability of grooming 64 kb/s circuits originated by several TS. Four TNT boards can be plugged into the DBS chassis, thus providing a total capacity of 64 E1/T1 circuits per base station. These E1/T1 interfaces exist either on G.703 physical interface (several impedance values available) or through the ATM Network Termination interface, using AAL-1 circuit emulation.
- ▼ **ATM Modulator Demodulator (AMD):** The AMD modem board consolidates both modulation and demodulation functions for TDM and TDMA. One single AMD board comprises one TDM modulator (downstream carrier) and four TDMA burst demodulator (upstream carriers). Up to eight AMD boards, one per sector, can be plugged into the same DBS chassis; the redundancy is ensured with 1+1 or n+1 protection. Several channelings are available by software configuration from 14 to 36 MHz for the downlink, and from 4 x 3.5 or 2 x 7 MHz to 4 x 9 MHz for the uplink. The AMD also handles the MAC protocol with a capacity of 40 Mb/s.
- ▼ **IF Base Station (IBS):** The IBS board ensures the conversion into intermediate frequencies of the downstream and upstream channels. Up to eight intermediate frequency interface boards, one per sector, are available in the same DBS; the redundancy is ensured with 1+1 or n+1 protection. The IBS is adapted to any RF frequency band.
- ▼ **Power Supply (PS):** Two 1+1 protected power supply units and a 3-fan sub-rack.

High performance Air interface

The Air interface has been designed to ensure an optimum spectrum utilization. Based on TDMA and ATM technologies, the patented radio frame is optimized for both circuit-oriented and data-oriented applications. The operator is free to mix voice and data according to customer needs. Thanks to a dynamic bandwidth allocation mechanism, based on a combination of polling, contention and piggybacking techniques, full network capacity is always available. In addition, a very efficient Reed-Solomon and convolutional channel FEC (Forward Error Correcting) is used for quasi error-free transmission ($BER < 10^{-14}$).

The overall performance is increased thanks to a reduced round trip delay (less than 8 ms for a single 64 kb/s circuit and less than 4 ms for an E1/T1 circuit). The Alcatel 7390 DBS also features a built-in data encryption capability which makes confidential communications possible. TDMA technology allows system flexibility, cost sharing and powerful dynamic bandwidth allocation capability. Thus, there is one modem board per radio channel regardless of the number of end users that share the bandwidth capacity on a real-time basis.

High reliability

Like the other components of the Alcatel 7390 LMDS system, the 7390 DBS benefits from an automated manufacturing process, field-proven components and severe test procedures, thus providing the highest level of quality and reliability. This reduces the sets of spare parts and limits the need for maintenance. This reliability is increased thanks to 1+1 or n+1 protections at every level, the redundancy of power supply units, the ATM network interfaces and the transmission chains (modem + IF board + 7390 Radio Base Station).

Integrated management

The Alcatel 5620 Network Manager (NM), formerly the 46020 Network Manager*, is based on the simple Network Management Protocol and is integrated with the general Alcatel management platform, to provide carrier-class end-to-end network and service management. It allows full control of network elements: configuration management, alarms monitoring, performance monitoring, and software download for fast and easy system upgrade.

Technical Summary

IF Interface

- ▼ Tx (DBS to RBS): 130 MHz
- ▼ Rx (RBS to DBS): 380 MHz
- ▼ Connector: N female 50Ω
- ▼ Maximum RBS-DBS cable length: 200 m (218 yards)
- ▼ Upstream channeling: 3.5 to 9 MHz
- ▼ Upstream roll-off factor: 25%
- ▼ Upstream modulation: QPSK
- ▼ Upstream FEC: Reed-Solomon RS (63,53,5)
- ▼ Downstream channeling: 14 to 36 MHz
- ▼ Downstream roll-off factor: 35%
- ▼ Downstream modulation: D-QPSK
- ▼ Downstream FEC
 - Inner code: convolutional, 7/8, k=7
 - Interleaver: depth=12
 - Outer code: Reed-Solomon RS (204,188,8)

Network Interfaces

- ▼ ATM STM-1 (155 Mb/s), optical monomode/multimode
- ▼ ATM OC-3 (155 Mb/s): optical monomode/multimode
- ▼ ATM n* E1, n ≤ 16: G.703
- ▼ ATM E3 (34 Mb/s): G.703
- ▼ ATM T3 (45 Mb/s): G.703
- ▼ E1: G.703 (75/120Ω), AAL-1 circuit emulation
- ▼ T1: G.703 (110Ω), AAL-1 circuit emulation
- ▼ Reference Clock: ATM interface, circuit E1/T1 interface, external clock: 2048 MHz (75Ω)

Power/Environment/Mechanical Data

- ▼ Power: 36 to 60 V DC, 960 W (fully loaded, eight 7390 RBSs included)
- ▼ Environment: -5° to 55° C (29° to 63° F) in operation, ETS 300 019-1-4 class 3.1 E
- ▼ EMC standards: ETS 300 385 class B
- ▼ Height: 120 cm (48 in.)
- ▼ Width: 60 cm (24 in.)
- ▼ Depth: 60 cm (24 in.)
- ▼ Weight: 135 kg (297 lb) fully loaded

* This product belonged to the Newbridge family. Newbridge was acquired by Alcatel in May 2000.

Efficient Call Admission Control for Heterogeneous Services in Wireless Mobile ATM Networks

Dongmei Zhao, Xuemin Shen, and Jon W. Mark
University of Waterloo, Canada

ABSTRACT

An efficient call admission control scheme for handling heterogeneous services in wireless ATM networks is proposed. Quality-of-service provisioning of jitter bounds for constant bit rate traffic and delay bounds for variable bit rate traffic is used in the CAC scheme to guarantee predefined QoS levels for all traffic classes. To reduce the forced handoff call dropping rate, the CAC scheme gives handoff calls a higher priority than new calls by reserving an appropriate amount of resources for potential handoff calls. Resource reservation in the CAC scheme makes use of user mobility information to ensure efficient resource utilization. Simulation results show that the proposed CAC scheme can achieve both low handoff call dropping rate and high resource utilization.

INTRODUCTION

Wireless asynchronous transfer mode (ATM) networks are the internetworking of wireline ATM networks and wireless cellular networks. They are broadband wireless networks capable of providing adequate multimedia service support for mobile users anywhere at any time. This implies that wireless networks should provide packet-based transport and bandwidth on demand, as well as support multimedia applications. The integration of wireline and wireless networks poses significant challenges because of user mobility, limited radio frequency spectrum, radio channel impairment, and so on in the wireless segment.

To efficiently utilize the limited radio spectrum and maximize system capacity, the cell size of future wireless ATM networks tends to be small. As a result, a mobile user's connection may have to be handed off from one serving base station (BS) to a neighboring BS several times during the entire connection period.

Handoff calls should be assigned higher priority than new calls, because the interruption of an

ongoing call is much more undesirable than refusing to admit a new call from the users' point of view. To guarantee an uninterrupted connection for a call during its entire lifetime, different resource reservation schemes have been proposed to allocate part of the network resources for potential handoff calls. A virtual connection tree (VCT), consisting of a group of preestablished connections between a fixed switch and a set of BSs, to serve mobile users is proposed in [1]. A mobile can freely hand off to any cell within the VCT without being subject to new admission control. Admission control for homogeneous traffic is considered in [1]. A distributed call admission control (CAC) procedure is proposed in [2], which makes admission decisions for new calls taking into consideration the potential handoff calls in order to keep forced handoff call dropping rate low. It is performed at each BS in a distributed manner, and only homogeneous traffic is considered. A shadow cluster concept is proposed in [3]. A *shadow cluster* is a set of BSs a mobile may influence in the near future and moves along with the mobile. The shadow cluster concept together with user mobility information are used in the CAC scheme in [3] to predict the resource demand in the near future and reserve resources accordingly. The CAC scheme presented in [4] allocates the required resources for a call in its current cell and adaptively reserves resources in all the neighboring cells for it. The amount of reserved resources is determined by the quality of service (QoS) requirements of the call and the current traffic load of the network, and adjusted dynamically.

In general, admission decisions in wireless ATM networks are made to ensure guaranteed QoS for heterogeneous traffic, while maintaining high resource utilization and low handoff call dropping rate. To achieve this, a BS must maintain a balance between the two conflicting requirements: to maximize resource utilization and minimize the forced handoff call dropping rate. In order to maintain the maximum resource

utilization, the maximum number of calls should be admitted into a network, which may result in unacceptably high handoff call dropping rates due to insufficient resources for handoff calls. Therefore, it is very important in wireless ATM networks to develop a dynamic CAC scheme which can estimate future resource demands, reserve the minimum amount of necessary resources to maintain an acceptable handoff call dropping rate, and provide relatively high resource utilization.

User mobility information, which is the probability that a mobile user will reside in a particular cell at future moments, is the key information to obtain accurate estimation of resource demands at future moments. Except for [3], none of the above-mentioned CAC schemes considers individual user movements in wireless networks. Inaccurate knowledge or lack of user mobility information may result in inaccurate resource estimation, which would further lead to underutilizing or overloading the available network resources. In the former case, some calls that otherwise should be admitted may be rejected, while in the latter case, the handoff call dropping rate may be unacceptably high.

In this article a distributed CAC scheme is proposed for wireless ATM networks, which statistically multiplexes user mobility information to estimate future demand and available resources. Resource reservation for potential handoff calls is dynamically adjusted according to the user mobility information to meet the QoS requirements for heterogeneous traffic. With a nonpreemptive priority polling protocol [5], the proposed admission decisions are based on the developed jitter bounds for constant bit rate (CBR) traffic and delay bounds for variable bit rate (VBR) traffic [6].

The remainder of this article is organized as follows. We briefly describe the system model of the nonpreemptive priority polling scheme, followed by improved jitter bounds for CBR traffic and delay bounds for VBR traffic. We then present the proposed CAC scheme in detail. Simulation results are given, followed by conclusions.

THE SYSTEM MODEL

Consider a wireless mobile ATM network where several BSs are connected to an ATM backbone network through a mobile switching center (MSC). The multiple access mode used is time-division multiple access (TDMA). Each BS can support different types of traffic. This work is confined to the coverage area of one MSC. The wireless system is characterized by a broadcast channel in the forward direction (or downlink), where the BS is capable of broadcasting packets to all users, and a multiple access channel in the reverse direction (or uplink), where all users are capable of sending packets to the BS. In the remainder of this article, we focus on the uplink channel and assume that two or more packets sent by different users at the same time will collide and be lost.

We consider three types of ATM traffic: CBR, VBR, and available bit rate (ABR). As shown in Fig. 1, all CBR calls in a system can be divided into N_c CBR classes, indexed by $i = 1, 2, \dots, N_c$; and there are n_i CBR calls with the same parameters (γ_i, δ_i) in the i th CBR class, where γ_i

is the packet generation rate and δ_i is the delay variation (jitter) tolerance. All VBR calls in a system can be divided into M_v VBR classes, indexed by $j = 1, 2, \dots, M_v$, and there are m_j VBR calls with the same parameters (ρ_j, σ_j, d_j) in the j th VBR class, where ρ_j is the average packet generation rate, σ_j is the burst tolerance, and d_j is the maximum tolerable transit delay. An ABR call has no delay or delay variation specification, and its minimum packet rate (MPR) is set to zero.

Each call in the j th VBR class is also regulated by a leaky bucket (LB) with parameters (ρ_j, σ_j) at the BS, where ρ_j corresponds to the BS polling token (PT) generation rate, and σ_j the BS PT buffer size.

Different priorities are given to different traffic classes according to their QoS constraints. CBR traffic is given the highest transmission priority, ABR traffic the lowest. Within the CBR traffic, the classes with smaller jitter tolerance are given higher priority. Within the VBR traffic, the classes with smaller delay tolerance are given higher priority. All the ABR calls share the remaining resources in a fair and efficient manner.

Packet transmission is directed by the BS according to the preset priority. It is assumed that there is a separate control channel for signaling. Each call has one ready-to-transmit (RTT) buffer located at the mobile station. Upon generation, all the packets are temporarily stored in their RTT buffers. The execution of the multiple access scheme adheres to the following rules [5]:

- For a call in the i th CBR class, its PT is generated every $1/\gamma_i$ s at the BS.
- For a call in the j th VBR class, its PT is generated every $1/\rho_j$ s at the BS and is stored in the BS PT buffer.
- Whenever the channel is cleared, the BS scans the PT buffer for CBR classes from the highest priority to the lowest. If a PT is found, the BS removes the PT and polls the CBR class.
- If there is no PT for all CBR classes at this time, the BS continues to scan the PT buffer for VBR calls according to the preset priority. If a PT is found, it removes the PT and polls the VBR class.
- When there is no PT found for CBR and VBR classes, the BS begins to serve ABR calls.
- Within each class, the calls are served by a round-robin scheme.
- Every time a call is polled, it transmits at most one packet from its RTT buffer.

The details of the polling scheme can also be found in [5]. A variant of the polling scheme, with LB control of VBR traffic residing in the mobile station, and in which each CBR and VBR class has only one call, is considered in [6].

QOS PERFORMANCE BOUNDS OF CBR AND VBR CALLS

In this section the QoS performance bounds of CBR and VBR calls will be derived. For simplicity, it is assumed that all the data packets have the same length, and there is no transmission error. Let τ_p and τ_d be the time to poll a call and

Within the CBR traffic, the classes with smaller jitter tolerance are given higher priority. Within the VBR traffic, the classes with smaller delay tolerance are given higher priority. All the ABR calls share the remaining resources in a fair and efficient manner.

Since adding a new call to a BS will impact on the QoS performance of all the admitted calls with the same and lower priorities, the QoS performance bounds of all the same and lower priority admitted calls should be checked before an admission decision could be made.

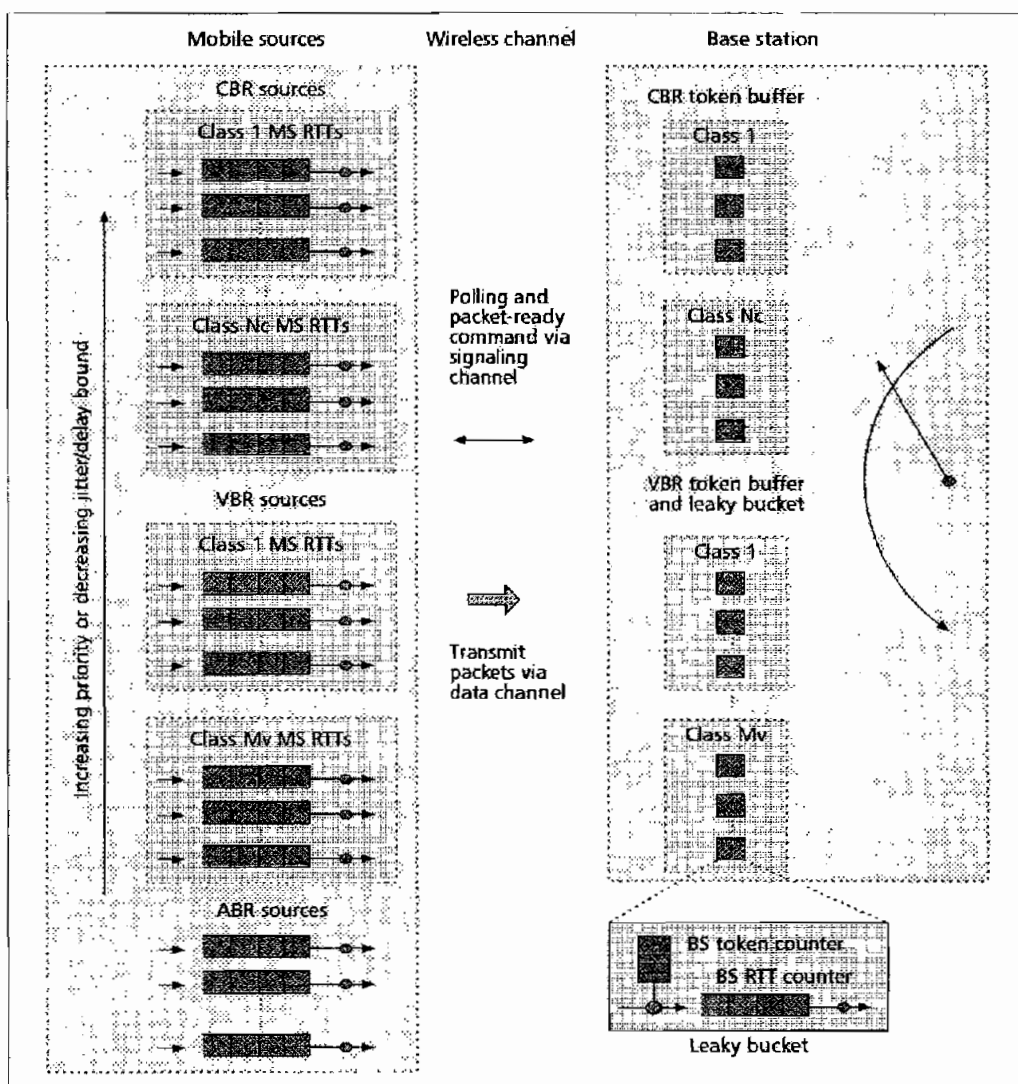


Figure 1. A system model of a polling scheme with nonpreemptive priority.

transmit a data packet, respectively, and $a = \tau_p + \tau_d$. The following theorems provide sufficient conditions to satisfy the performance bounds of all CBR and VBR calls.

Theorem 1: Let

$$\delta'_i = \frac{\sum_{k=1}^i n_k}{\frac{1}{a} - \sum_{k=1}^{i-1} n_k \gamma_k} \quad (1)$$

If $\delta'_i + a < 1/\gamma_i$ holds for all $i = 1, \dots, N_c$, then the jitter of the packets for a call in the i th CBR class is upper bounded by δ'_i . If, furthermore, $\delta'_i \leq \delta_i$ for all $i = 1, \dots, N_c$, then all the packets generated by these $\sum_{k=1}^{N_c} n_k$ CBR calls meet their jitter constraints.

Theorem 2: Define recursively

$$d'_j = \frac{m_j + \sigma_j + 1 + \sum_{k=1}^{j-1} m_k \hat{\sigma}_k + \sum_{k=1}^{N_c} n_k}{\frac{1}{a} - \left(\sum_{k=1}^{N_c} n_k \gamma_k + \sum_{k=1}^{j-1} m_k \rho_k \right)} \quad (2)$$

for $j = 1, \dots, M_v$, where $\hat{\sigma}_j = \rho_j d'_j + \sigma_j + 1$. If

$1/a - (\sum_{k=1}^{N_c} n_k \gamma_k + \sum_{k=1}^{j-1} m_k \rho_k) > 0$, then the delay of the packets for a call in the j th VBR class is upper bounded by d'_j , $j = 1, \dots, M_v$. If, furthermore, $d'_j \leq d_j$, for all $j = 1, \dots, M_v$, then all the packets generated by these $\sum_{k=1}^{M_v} m_k$ VBR calls meet their delay constraints.

The proof of the theorems can be found in [6]. Numerical results of jitter bounds for CBR traffic and delay bounds for VBR traffic are shown in Tables 1 and 2, respectively, where δ'_i is calculated from Eq. 1, δ_i is from [5], d'_j is calculated from Eq. 2, d_j is from [7], and the simulation results are based on the system model above. The VBR traffic is generated in the same way as in [7]. The parameters used to obtain the jitter and delay bounds are listed as follows: the link speed of the wireless channel is 10 Mb/s, all the data packets are 1 kb in length, and the length of a polling message is 50 bits. Time is normalized with respect to the time to transmit a data packet, which is 0.1 ms.

Tables 1 and 2 show that the QoS performance bounds given in Eqs. 1 and 2 are much tighter than those in [5, 7]. The significance of this differ-

ence is that a CAC scheme with QoS provisioning by using the improved bounds may result in lower new call blocking and handoff call dropping rates, and admit more calls into the system.

CALL ADMISSION CONTROL WITH USER MOBILITY INFORMATION

Three aspects are included in the proposed CAC scheme:

- Resource reservation for potential handoff calls, updated periodically at each BS
- New CAC, performed whenever a new call request is received by a BS
- Handoff CAC, performed whenever a handoff event occurs

We focus on CAC for CBR and VBR traffic. For ABR traffic, all new and handoff requests are treated the same. There is no resource reservation for ABR handoff calls. All existing ABR calls will share the remaining resources after serving CBR and VBR calls fairly and efficiently through some well-known schemes, such as GRAP in [7].

To admit a call (new or handoff), two conditions must be satisfied. Guaranteed QoS for the particular call should be provided, and QoS performance of all existing calls should still be guaranteed after the admission. Since adding a new call to a BS will impact the QoS performance of all admitted calls with the same and lower priorities, the QoS performance bounds of all the same and lower priority admitted calls should be checked before an admission decision can be made. The same conditions are required to reserve resources for any CBR or VBR class.

User mobility information is used statistically in resource reservation to improve resource utilization. Divide time into equal intervals of length τ beginning at $t = 0, \tau, 2\tau, \dots$, so that there is at most one handoff event for any active mobile terminal x in each of the intervals. It is assumed that at the beginning of every τ interval, the handoff probabilities, $p_{h_j|b_{2\tau}}$, of each mobile x from cell b_1 to cell b_2 are known to the mobile's current cell b_1 , and all the neighboring BSs can exchange the probabilistic information with each other. Different approaches have been proposed to predict the user mobility information in future moments from its mobility information in current moments [8].

Let cell o (denoted as cell- o) be the reference cell, and define p_i^c and p_j^v , respectively, as the number of equivalent handoff calls in the i th CBR class and j th VBR class, which need cell- o to reserve resources in the next τ interval. The number of equivalent handoff calls for a traffic class is the average number of calls in the class that will hand off to cell- o in the next τ interval and can be calculated as the accumulated handoff probability of all the calls in the class that will hand off from the neighboring cells to cell- o in the next τ interval.

RESOURCE RESERVATION FOR POTENTIAL HANDOFF CALLS

The algorithm for resource reservation is shown as pseudocode 1. At the beginning of every τ

interval, resource reservation is updated at each BS for all classes of the traffic from the highest priority (the first CBR class) to the lowest (the last VBR class).

Pseudocode 1: Resource reservation

```

/* starts from the first CBR class*/
current_reserved = (CBR_1);
/* equivalent number of calls taking the
potential handoff calls into consideration*/
for i = 1 : TOTAL_NUMBER_of_CLASSES
    equivalent_no(i) = existing_no(i);
end
while (current_reserved != LAST_VBR_class)
{
    LAST_flag = 1;
    QoS_guarantee = 1;
    /* treat the handoff equivalent calls as
existing calls */
    equivalent_no(current_reserved) =
existing_no(current_reserved)
- handoff_equivalent_no(current_reserved);
    while (QoS_guarantee & LAST_flag)
    {
        /* QoS bound calculations start from the
class to be reserved resource */
        current_calculated = current_reserved;
        if (current_calculated is (CBR_class))
        ;
        Calculate jitter bound DELTA(current_cal-
culated) using the equivalent_no;
        if (DELTA > delta in current_calculated class)
        {
            /* Cannot reserve resource for the
current_reserved class*/
            QoS_guarantee = 0;
        }
        else
            current_calculated = current_calculated + 1;
            if (current_calculated == LAST_VBR)
                LAST_flag = 0;
            end
        end
    }
}
else
{
    Calculate delay bound D(current_calculated)
using equivalent_no;
    if (D(current_calculated) > d(current_calculated))
    {
        /* Cannot reserve resource for the
current_reserved class */
        QoS_guarantee = 0;
    }
    else
        current_calculated = current_calculated + 1;
        if (current_calculated == LAST_VBR)
            LAST_flag = 0;
        end
        end
    }
}
end
}
}
if (QoS_guarantee != 1)
/* resource reservation failed*/
equivalent_no(current_reserved) =
existing_no(current_reserved);
end
current_reserved = current_reserved + 1;
}

```

The handoff call dropping rate in the full reservation case is zero. For the partial reservation case, the CAC scheme using the improved new jitter bounds can reduce the forced handoff call dropping rate of both CBR and VBR calls.

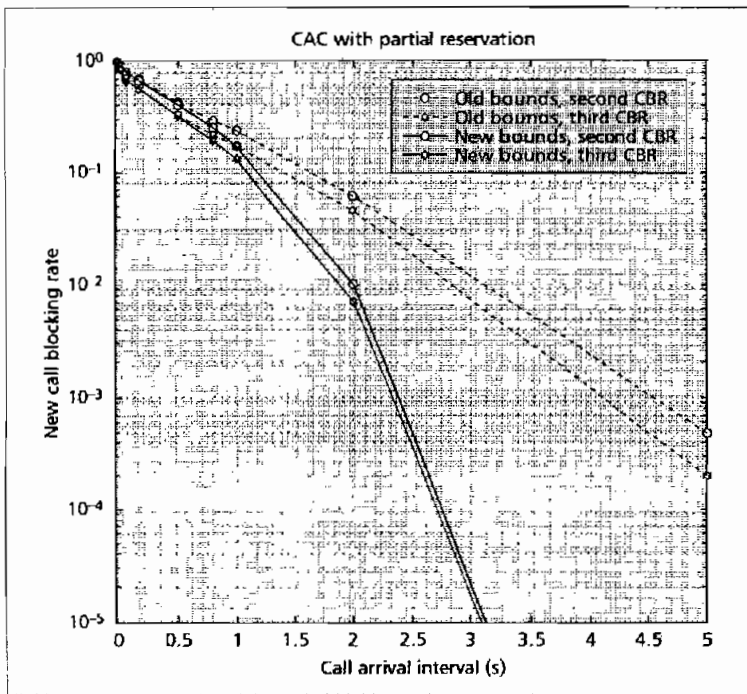


Figure 2. New call blocking rate vs. call arrival interval.

ADMISSION DECISION FOR A NEW/HANDOFF CALL

The algorithm for admission control is shown as pseudocode 2. When a new CBR or VBR call request is received, new CAC is performed. The resources used by all existing calls and those reserved for all potential handoff calls cannot be used by the new call. On the other hand, a hand-

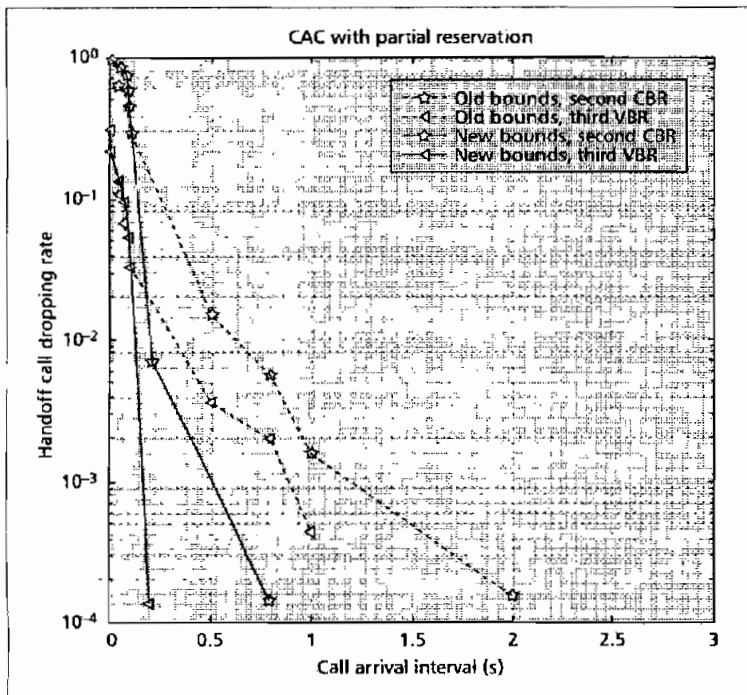


Figure 3. Handoff call dropping rate vs. call arrival interval.

off call admission decision is made whenever a handoff event occurs. A handoff call can use all the resources unused by the existing calls.

Pseudocode 2: Admission control

```

LAST_flag = 1;
QoS_guarantee = 1;
/* treating the new call as an existing one */
existing_no(its_class) = existing_no(its_class) + 1;
if (the requesting call is a new call)
/* Reserving resources for potential handoff calls */
for i = 1 : TOTAL_NUMBER_of_CLASSES
    equivalent_no(i) = existing_no(i) + hand-
        off_equivalent_no(i);
end
end
while(QoS_guarantee & LAST_flag)
{
/* Bound calculations start from its class */
current_calculated = its_class;
if (its_class is a CBR class)
{
Calculate jitter bound DELTA(current_cal-
    culated) using equivalent_no;
if(DELTA(current_calculated) > delta(cur-
    rent_calculated))
/* Cannot admit the new call */
    QoS_guarantee = 0;
else
    current_calculated = current_calculated - 1;
    if (current_calculated == LAST_VBR)
        LAST_flag = 0;
    end
end
}
else
{
Calculate delay bound D(current_calculated)
using equivalent_no;
if(D(current_calculated) > d(current_calculated))
/* Cannot admit the new call */
    QoS_guarantee = 0;
else
    current_calculated = current_calculated + 1;
    if (current_calculated == LAST_VBR)
        LAST_flag = 0;
    end
end
}
}
if (QoS_guarantee != 1)
/* new call blocking */
existing_no(its_class) = existing_no(its_class) - 1;
end

```

SIMULATION RESULTS

Without loss of generality, consider one-dimensional (1D) cellular arrays. The simulated system has five radio cells arranged in a circle to avoid the boundary effect. Mobile x can be in any one of the cells with equal probability. Let the initial location where mobile x originates its call request be uniformly distributed in the 1D region of its current cell, where D is equal to 1500 m. The mobile can move in either direction of the 1D region with equal probability, and its velocity is uniformly distributed between 5 and 20 m/s. The

time interval used to update the resource reservation is $\tau = 60$ s. The handoff probabilities of x from cell-0 to its two neighboring cells, cell- r and cell- l , p_{orx} and p_{olx} , respectively, are given by

$$p_{orx} = D'/D$$

$$p_{olx} = 1 - D'/D, \quad (3)$$

where D' is the distance between the current location of mobile x and the left edge of its current cell.

The traffic classes in the system are the first three CBR classes in Table 1 and the first three VBR classes in Table 2. Assume that the call arrival process follows a Poisson distribution with parameters λ , where $1/\lambda$ is varied within the range of (0,10) s, and the call duration is exponentially distributed with the average call duration $1/\mu = 50$ s. For any particular call, it can be any of the six traffic classes (three CBR and three VBR classes) with equal probability.

In the simulation, we compare the new call blocking rate and handoff call dropping rate using our improved bounds from above with that using the bounds in [5], shown as *old bounds* in Figs. 2 and 3. The effects of different resource reservation schemes on new call blocking and handoff call dropping are compared. The schemes include *full reservation* in which 100 percent of resources is reserved for a call in all of its neighboring cells, and *partial reservation* in which a resource is reserved only for potential handoff calls. Figure 2 shows the new call blocking rate for CBR classes in the partial reservation case. It can be seen that the CAC scheme, using the improved jitter bounds for QoS provisioning, can admit more new CBR calls. Similar results can be obtained for the full reservation case. The handoff call dropping rate in the full reservation case is zero. For the partial reservation case, the CAC scheme using the improved new jitter bounds can reduce the forced handoff call dropping rate of both CBR and VBR calls, as shown in Fig. 3. The CAC scheme using user mobility information for resource reservation can achieve a much lower new call blocking rate and higher resource utilization while keeping the handoff call dropping rate at a very low level. Figure 4 shows the case using our developed bound. Similar results can be obtained using the bounds in [5].

In order to evaluate the performance of the proposed CAC scheme, we compare the proposed CAC scheme (scheme 1) with two variants, schemes 2 and 3, which use the improved bounds to do the QoS provisioning and resource reservation in the same way as the proposed CAC scheme. The difference is that when a handoff occurs, a handoff call in the proposed scheme can use all the resources the BS has reserved for the potential handoff calls in all classes; for scheme 2, the handoff call can only use the resources the BS has reserved for the particular class; and for scheme 3, the handoff call can use the resources the BS has reserved for the particular class and all lower-priority classes. Simulation results show that the proposed scheme can achieve a much lower handoff call dropping rate than the other two because of the statistical use of all the reserved resources, while the new call blocking rates are almost the

CBR classes	Parameters (η_i, δ_i)	Bounds in [5] (δ_i)	Bounds (δ_i)	Simulation results
1	(0.05, 12)	5.25	5.25	4.20
2	(0.01, 60)	30.25	14.24	9.45
3	(0.0075, 80)	50.25	22.99	10.50
4	(0.0064, 100)	65.25	32.53	15.75
5	(0.0032, 200)	130.25	42.89	21.00

Table 1. Jitter bounds of CBR calls when $n_i = 5$, where $i = 1, \dots, 5$.

VBR classes	Parameters (ρ_j, σ_j, d_j)	Bounds in [6] (d_j)	Bounds (d_j)	Simulation results
1	(0.00196, 7, 1200)	646.52	59.98	31.50
2	(0.00183, 6, 1200)	665.36	72.79	32.55
3	(0.00177, 6, 1200)	684.23	85.69	33.60
4	(0.00177, 6, 1200)	703.25	98.77	34.65
5	(0.00168, 5, 1200)	720.25	109.71	35.70

Table 2. Delay bounds of VBR calls when $m_j = 1$, where $j = 1, \dots, 5$.

same for all three schemes, because the amount of reserved resources is almost the same for the three schemes.

CONCLUSIONS

Mobility information is likely to be very useful in CAC for wireless ATM networks, since it can be used to estimate the available and demanded resources in future moments. The accuracy of

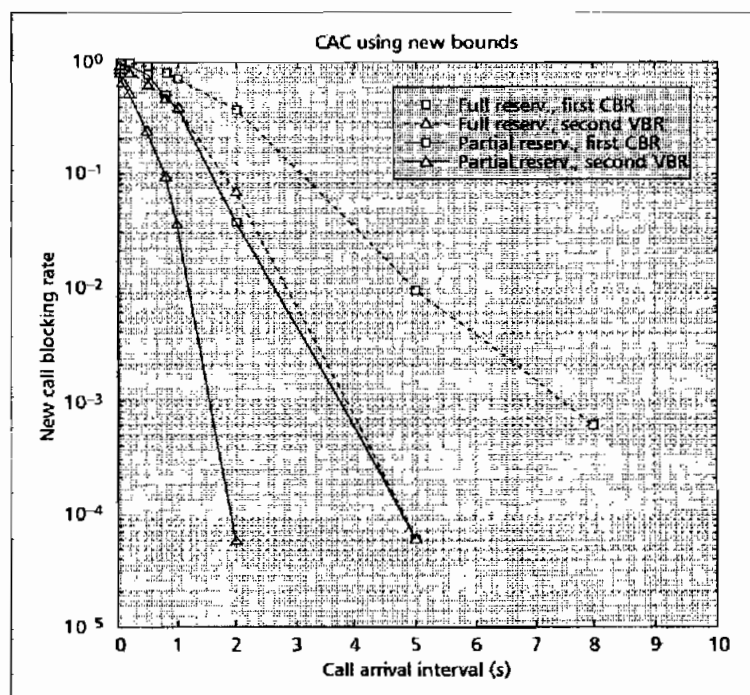


Figure 4. New call blocking rate vs. call arrival interval.

The CAC scheme using user mobility information for resource reservation can achieve much lower new call blocking rate and higher resource utilization while keeping the handoff call dropping rate at a very low level.

resource estimation, which is essential to the CAC scheme, is determined by the available mobility information and the update time (τ). With higher velocity of mobile users and smaller size of radio cells, reduced update time should be used to obtain more accurate mobility information. The deterministic bounds based on the nonpreemptive polling process have been used for QoS provisioning in the proposed CAC scheme. It is anticipated that the performance of the CAC scheme could be further improved with stochastic bounds. Research to find stochastic bounds is underway. Although the nonpreemptive priority polling scheme is more suitable for TDMA systems, the proposed CAC scheme with QoS provisioning is applicable to future 3G wireless networks.

ACKNOWLEDGMENTS

This article is based on our previously published material from 3Gwireless 2000 (ISSN No. 1529-2592) by DELSON GROUP. The work has been supported by a grant from the Communications and Information Technology of Ontario (CITO), Canada.

REFERENCES

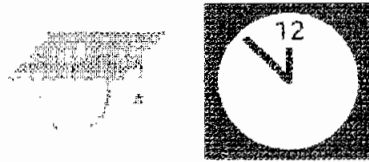
- [1] A. S. Acampora and M. Naghshineh, "An Architecture and Methodology for Mobile-Executed Handoff in Cellular ATM Networks," *IEEE JSAC*, vol. 12, no. 8, Oct. 1994, pp. 1365-74.
- [2] M. Naghshineh and M. Schwartz, "Distributed Call Admission Control in Mobile/Wireless Networks," *IEEE JSAC*, vol. 14, no. 4, May 1996, pp. 711-17.
- [3] D. A. Levine, I. F. Akyildiz, and M. Naghshineh, "A Resource Estimation and Call Admission Algorithm for Wireless multimedia Networks Using the Shadow Cluster Concept," *IEEE/ACM Trans. Net.*, vol. 5, no. 1, Feb. 1997, pp. 1-12.
- [4] C. Oliveira, J. B. Kim, and T. Suda, "An Adaptive Bandwidth Reservation Scheme for High-Speed Multimedia Wireless Networks," *IEEE JSAC*, vol. 16, no. 6, Aug. 1998, pp. 858-73.
- [5] J. X. Qiu, and J. W. Mark, "Service Scheduling and CAC for QoS Guarantee in Future PCS," *IEEE GLOBECOM '98*, Sydney, Australia, Nov. 1998, pp. 2039-44.
- [6] D. Zhao, X. Shen, and J. W. Mark, "Improved QoS Performance Bounds for a Wireless ATM Network," *5th Asia-Pacific Conf. Commun.*, Beijing, China, Oct. 1999, CD-ROM file (173)APOC_1.ps.
- [7] C. S. Chang et al., "Guaranteed Quality-of-Service Wireless Access to ATM Networks," *IEEE JSAC*, vol. 15, no. 1, Jan. 1997, pp. 106-17.
- [8] X. Shen and J. W. Mark, "Mobility Information for Resource Management in Wireless ATM Networks," *Comp. Networks*, vol. 31, 1999, pp. 1049-62.

BIOGRAPHIES

DONGMEI ZHAO received a B.S. degree in electrical engineering from Northern Jiaotong University, Beijing, China, in 1992. Since 1999 she has been a Ph.D. student in the Department of Electrical and Computer Engineering at the University of Waterloo, Ontario, Canada. Her research interests include QoS performance for heterogeneous services and radio resource management in wireless cellular networks.

XUEMIN SHEN (xshen@bbcr.uwaterloo.ca) received a B.Sc. (1982) degree from Dalian Marine University, China, and M.Sc. (1987) and Ph.D. degrees (1990) from Rutgers University, New Jersey, all in electrical engineering. From September 1990 to September 1993, he was first with Howard University, Washington, D.C., and then the University of Alberta, Edmonton, Canada. Since October 1993 he has been with the Department of Electrical and Computer Engineering, University of Waterloo, where he is an associate professor. His research focuses on control algorithm development for mobility and resource management in interconnected wireless/wireline networks. In specific, his interests are traffic flow control, connection admission and access control, handoff, user location estimation, end-to-end performance modeling and evaluation, voice over mobile IP, stochastic process, and filtering. He is coauthor of the books *Singular Perturbed and Weakly Coupled Linear Systems-A Recursive Approach* (Springer-Verlag, 1990) and *Parallel Algorithms for Optimal Control of Large Scale Linear Systems* (Springer-Verlag, 1993).

JON W. MARK [F] received a B.S. degree from the University of Toronto, Ontario, Canada, in 1962, and M. Eng. and Ph.D. degrees from McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada, in 1968 and 1970, respectively, all in electrical engineering. From 1962 to 1970 he was with Canadian Westinghouse Co. Ltd. in Hamilton, Ontario, Canada, where he was an engineer and then a senior engineer. He took a leave of absence from Westinghouse in October 1968 to pursue Ph.D. studies at McMaster University under the auspices of an NRC PIER Fellowship. Since September 1970 he has been with the Department of Electrical and Computer Engineering, University of Waterloo, Ontario, Canada, where he is currently a professor. He was the department chair from July 1984 to June 1990. He has been on sabbatical leaves at the IBM T. J. Watson Research Center, Yorktown Heights, New York (1976-1977), as a visiting research scientist; AT&T Bell Laboratories, Murray Hill, New Jersey (1982-1983), as a resident consultant; Laboratoire MASI, Université Pierre et Marie Curie, Paris, France (1990-1991), as an invited professor; and the National University of Singapore (1994-1995 and 1999), as a visiting professor. In 1996 he established the Centre for Wireless Communications at the University of Waterloo where he is currently serving as founding director. He previously worked in the areas of sonar signal processing, adaptive equalization, image and video coding, spread spectrum communications, computer communication networks, ATM switch design, and traffic management. His current research interests are in broadband communications, wireless communications, and wireless/wireline interworking. He is currently a member of the Inter-Society Steering Committee of *IEEE/ACM Transactions on Networking*, an Editor of *Wireless Networks*.



A Survey of MAC Protocols Proposed for Wireless ATM

Jaime Sánchez, Ralph Martinez, and Michael W. Marcellin, University of Arizona

Abstract

Wireless ATM (W-ATM) networks have been studied extensively in recent years. Extension of ATM network services to the wireless environment faces many interesting problems. The original ATM network was designed for high-speed, noiseless, reliable channels. None of these characteristics are applicable to the wireless channel. One of the most critical aspects of a W-ATM network is the medium access control (MAC) protocol used by mobile terminals (MTs) to request service from the base station (BS), which has to consider the quality of service (QoS) of the specific application. In this article the authors analyze some recently proposed MAC protocols, particularly those for TDMA systems, and discuss their advantages and disadvantages.

synchronous transfer mode (ATM) has been adopted as the switching and transport infrastructure for the future broadband integrated services digital network (B-ISDN). The extension of broadband

services to the wireless environment is being driven mainly by the proliferation of multimedia portable computers, personal digital assistants, and personal information assistants [1]. Although there are various competing technologies that may provide these services, such as third-generation cellular networks (e.g., personal communications services, PCS) and wireless local area networks (WLANs), wireless ATM (W-ATM) has the advantage of offering end-to-end multimedia capabilities with guaranteed quality of service (QoS). Furthermore, ATM can handle both packet mode and synchronous services.

Several issues have to be resolved in order to arrive at a W-ATM network; one of the most important is the MAC protocol, which is tightly related to the actual physical layer (PHY) adopted.

Generally, the radio link presents problems such as noise, interference, and limited channel bandwidth (BW). The interference depends greatly on the cell size covered by the base station (BS), and the mobility of the mobile terminals (MTs).

The basic wireless architecture considered in this article is the classical cell,¹ with a BS serving a finite set of MTs by means of a shared radio channel. The BS is connected to an ATM switch by means of cable or fiber optics so that it can access the wired ATM network.

In general, the proposals for the PHY of the W-ATM network can be divided in two broad types:

- Spread spectrum (SS) techniques, where all MTs in a cell transmit at will using the whole spectrum of the channel simultaneously. SS techniques may use frequency hopping or direct sequence; the natural access technique for SS is code-division multiple access (CDMA).
- Time-division multiplex (TDM), where MTs transmit at specific times using the total available radio frequency (RF) spectrum. The access technique in this case is time-division multiple access (TDMA).

Even though SS techniques have been shown to be very robust to interference and frequency reuse [2], and are very appropriate for the digital cellular network, they have a severe disadvantage at high bit rates. In the case of direct sequence SS [3] the robustness is directly proportional to the spreading gain (SG), and the number of MTs that can communicate simultaneously with the BS increases with the SG. However, an increase in SG implies the need for more BW.

For example, an SG of 100 at a bit rate of 100 Mb/s would require at least 10 GHz of BW (assuming a modulation scheme of 1 b/Hz); this makes CDMA unattractive for broadband W-ATM, at least with currently available radio technologies. On the other hand, if SS is used the MAC protocol is greatly simplified, since there is no contention involved (all terminals in a cell may transmit simultaneously). An example of a W-ATM network prototype that uses frequency-hopping SS is the SWAN network described by Agrawal *et al.* in [4]. Since there is no need to handle access contention, the MAC protocol focuses mainly on higher-level functions such as

¹ In this article, we use the term "cell" to refer to the area served by a BS.

packet scheduling, admission control, and handoff mechanism.

Since we are interested in future broadband ATM networks, which may offer services up to 150 Mb/s (when technology advances allow it), we will focus on the analysis of proposed TDMA techniques. Actually, some research projects are already considering bit rates of 20 Mb/s [5] and even 150 Mb/s [6] using TDMA.

Most TDMA proposals use the random access technique called slotted ALOHA (or a variant of this protocol) for the dialup process and reservation of slots for transmission from the MTs to the BS.

This transmission is done in what is known as an *uplink* (UL) channel, usually in contention among the MTs. Consequently, most proposals do not analyze the communication from the BS to the MTs, called *downlink* (DL), which is realized by a TDM technique, since the BS has total control (except for the noise) of the channel through a scheduler.

Within the TDMA proposals, we will make a further distinction according to the number of carrier frequencies used between the BS and the MTs: frequency-division duplex (FDD), which uses two frequencies, and time-division duplex (TDD), which uses only one frequency carrier.

The organization of this article is as follows. In the second section we describe MAC protocols that use the FDD method, while protocols that use the TDD method are presented in the third section. After the description of each protocol we highlight its advantages and disadvantages. In the fourth section we present a comparison of the main characteristics of each protocol, and end the article with some conclusions.

FDD-Based MAC Proposals

The idea behind FDD is to have two channels per BS coverage area, one for the UL and the other for the DL. Usually, the UL is used by the MTs for sending request and information packets, according to some reservation and contention algorithm, while the DL is used by the BS in a scheduled mode, for sending acknowledgments (ACKs) and information packets. Due to the availability of these two channels, it is possible to have an almost immediate (depending on distance and bit rate, as discussed later) feedback from the BS in order to know (at the MT) if a request was successful or if a collision occurred.

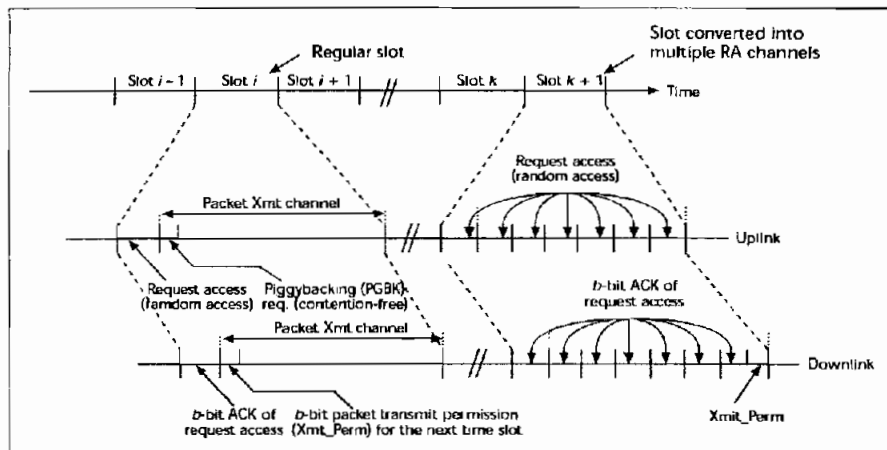


Figure 1. DQRUMA timing diagram.

The MAC protocol proposals (listed according to publication date) considered in this section are: DQRUMA, PRMA/DA, DSA++, and DTDMA/PR.

Distributed Queuing Request Update Multiple Access (DQRUMA)

The DQRUMA protocol was proposed by Karol *et al.* [7].

Description of the Protocol — This protocol considers a time-slotted system with no frame reference, where the request access (RA) and packet transmission (Xmt) channels are formed on a slot-by-slot basis. The UL stream is divided in a series of minislots used for requesting access (RA channel), each one followed by a slot for packet transmission (Xmt channel). If needed, the BS can convert a Xmt channel into M RA channels, where M depends on the round-trip propagation delay for a transmission from a remote MT. Figure 1 shows the basic timing structure of the DQRUMA protocol.

The downlink (DL) channel consists of a series of minislots for acknowledgment of request accesses, each followed by a slot for packet transmission. Whenever the BS receives a successful request from an MT, it immediately sends the corresponding ACK in the appropriate DL minislots.

The channel model considers the MTs to be in one of three states: "empty," "request," and "wait to transmit." When a mobile registers with a BS, because of a call setup or handoff, it is assigned a local ID, called a "b-bit access ID." As soon as a packet arrives at a MT with its buffer empty, the mobile sends a Xmt_Req (including its b-bit access ID) to the BS using the UL request channel (possibly in contention with other MTs) and changes its state to "request."

After receiving the Xmt_Req from a MT, the BS updates the corresponding entry in a request table (RT), which has an entry for each of the N mobiles contained in the cell, and sends an ACK to the MT. Each entry in the RT contains the b-bit access ID and information about whether the MT has more packets to transmit.

After the reception of the positive ACK to its Xmt_Req, the MT switches to the wait-to-transmit state and keeps listening to the DL Xmt_Perm channel, waiting for permission to transmit from the BS.

When the BS decides to allow transmission by a particular MT from the RT (according to the current traffic load and a round-robin policy), it sends a transmit permission (Xmt_Perm) through the DL Xmt_Perm channel. The corresponding MT, after detecting its own b-bit ID, transmits a packet in the next slot and switches to either the empty state

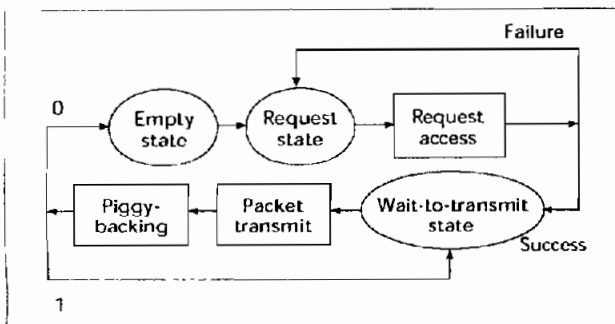


Figure 2. DQRUMA channel model.

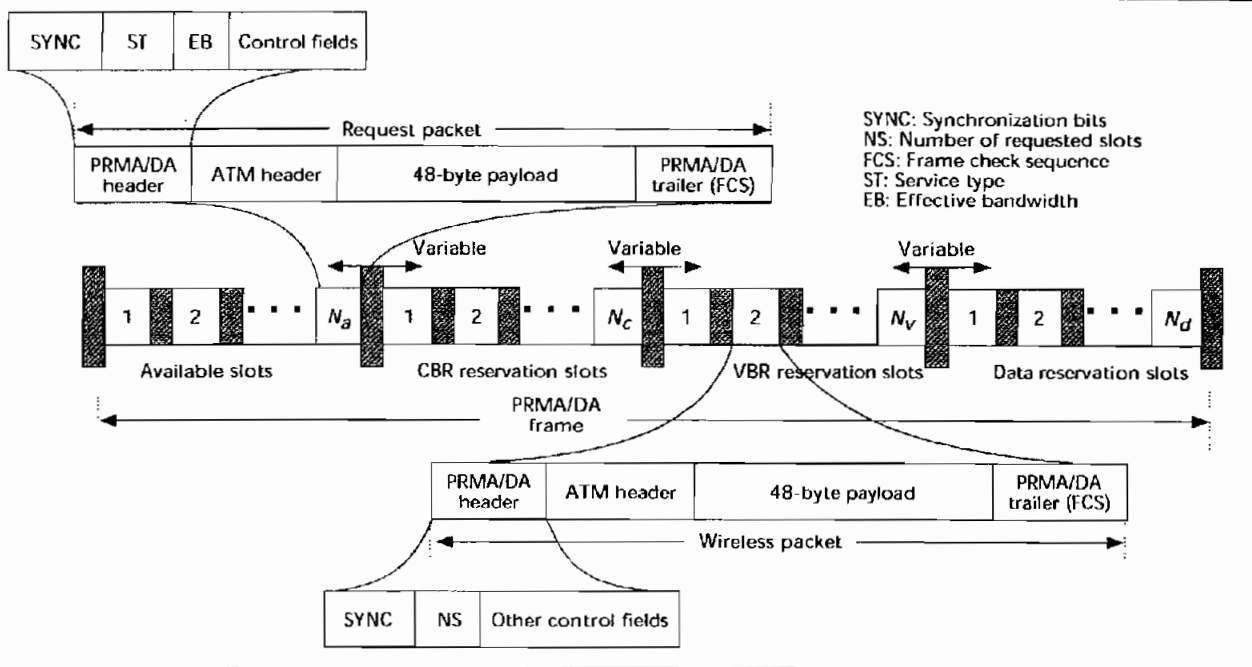


Figure 3. PRMA/DA frame format.

(if it has no more packets in the queue) or the wait-to-transmit state (if it has more packets). Figure 2 shows the channel model for the MT.

Each time an MT transmits an ATM packet, it includes a piggyback message in case it has more packets to transmit. In this way, the MT does not have to make a reservation while its buffer is not empty. This simplifies the protocol and saves BW.

The authors analyze two possible methods for random access to the RA channel:

- Dynamic Access Channel Slotted ALOHA with Harmonic Backoff algorithm (attempt probabilities: 1, 1/2, 1/3, 1/4, ...)
- Dynamic Access Channel Binary Stack algorithm, which takes into account the time-varying number of RA channels in the DQRUMA protocol

Several results for the normalized delay vs. throughput (from simulations with both random access algorithms) are given in the article.

Remarks This protocol has the advantage that the MT is able to receive the ACK to its request packet (from the BS) almost immediately on a slot-by-slot basis. In case of a collision, the involved MTs are (quickly) aware of their failure in getting UL access, and may try retransmission earlier than with a framing scheme. A nice contribution of this protocol is the inclusion of a piggyback reservation field, which saves BW by avoiding further requests when the MT has more packets to transmit in its queue. This is especially useful for variable bit rate (VBR) connections.

Another advantage is that DQRUMA uses a minislot packet for access contention. In this way, the probability of receiving a packet in good shape is larger than when a longer packet is employed. Furthermore, since the length of a WATM packet is on the order of six times the length of a contention packet, the loss of contention packets does not affect the channel utilization as much as the loss of a regular packet.

A disadvantage is that DQRUMA does not make any distinction between VBR and available bit rate (ABR) services,

it treats both as "bursty" traffic. Consequently, it does not consider any priority handling mechanism.

Although the authors claim that the number of minislots can be up to 25, it is worth mentioning that they are omitting the overhead needed at the PHY layer. Considering the average PHY overhead used by the IS-54, JDC, and Global System for Mobile Communications (GSM) [8] wireless systems, we get 48 bits of preamble (or synchronization) and 24 bits of guard time (9 bytes total). Thus, the length of a regular packet would be $(53 + 9) = 62$ bytes, while the minimum length of the access packet would be $(1 + 9) = 10$ bytes, resulting in a maximum of 6 minislots ($62/10$).

Packet Reservation Multiple Access with Dynamic Allocation (PRMA/DA)

This protocol was proposed by Kim and Widjaja in [9], and is an enhanced version of the PRMA protocol originally proposed by Goodman *et al.* in [10]. PRMA was designed for voice and data traffic only, while PRMA/DA considers constant bit rate (CBR), VBR, and data traffic.

Description of the Protocol — PRMA/DA considers a fixed length for the UL frame, which is divided into a fixed number of slots. All slots are the same size. There are four types of slots (resulting in four subframes), namely, data reservation slots, VBR reservation slots, CBR reservation slots, and available slots. The BS is responsible for determining the number of slots allotted to each type, as well as the number of slots assigned to each reserving terminal (MT). The DL frame works in the contention-free TDM format, under total control of the BS. Figure 3 shows the frame format of PRMA/DA.

After some registration procedure, when an MT has just become active (i.e., has packets to transmit), it randomly selects one of the available slots in the UL frame, and transmits one W-ATM packet (possibly in contention with other MTs). The contention method considered is slotted ALOHA. The header of the contending packet carries information about the service type (ST), a statistical parameter called the effective BW (EB), and other control fields.

Depending on the type of traffic (CBR, VBR, or data), the EB, and the current availability of slots, the MAC (at the BS) will assign certain slot(s) to the succeeding MT in one of the reservation subframes for subsequent transmission. The successful MT may keep transmitting W-ATM packets until the end of the active session without any contention.

For CBR and VBR (real-time) calls, which have strict timing constraints, the unlimited repetition of contention procedures is worthless, so the protocol considers a parameter called maximum setup time (W_{max}). If a contention procedure lasts for more than W_{max} , the call will be discarded. The setup time for data calls not has no limitation.

As soon as the contention procedure ends, the BS notifies the contending terminals whether or not the channel access was successful. According to the results of the contention procedure, the BS increases or decreases (to a minimum of one) the number of available slots for the next UL frame, according to a particular algorithm. This is where the protocol receives its "dynamic allocation" (DA) name.

At the end of each frame, the BS transmits (in broadcast mode) information about the number of slots in each subframe as well as the number of reservation slots assigned to each (successful) reserving terminal. Also included is the exact location of the assigned slots. The header of the UL reserved slot packet contains synchronization (SYN) bits, a field called NS that indicates the current number of slots in the MT buffer, and other control bits. The NS field is used by the MAC at the BS (along with the statistical traffic parameters, EB, transmitted by the terminal) to adjust the number of reservation slots assigned to a particular MT for subsequent transmissions.

PRMA/DA considers a model with three states to represent the status of a MT. The states are *INACTIVE*, *CONTENDING*, and *RESERVING*. An MT is initially in the *INACTIVE* state. When a packet is generated, the MT switches to the *CONTENDING* state and tries to transmit a W-ATM packet according to the slotted ALOHA procedure. If the network access procedure is successful, the MT switches to the *RESERVING* state.

The DA algorithm uses four variables for its operation: the number of available slots (N_a); the number of slots where collisions occurred (N_c); the number of successful access slots (N_s); and the number of unused slots (N_u). The basic operation of the DA algorithm is as follows: assume $N_a = 1$, and assume that after a contention period the BS detects one collision. At this stage, the BS knows that at least two MTs tried to access the channel. The BS then assigns two available slots ($N_a = 2$) for the contention in the next UL frame. Having $N_a = 2$, if the BS detects two collisions (one in each slot), the BS knows that at least four MTs tried to request service and assigns $N_a = 4$ for the next UL frame.

Now let us assume that after the next contention period the BS detected one successful access ($N_s = 1$), one collision ($N_c = 1$), and one unused slot ($N_u = 1$). The BS can conclude that there may be three MTs involved in a collision and assigns $N_a = 3$. In general, if the number of collisions increase, the BS increases N_a , while each time a successful access occurs, the BS decreases N_a . The operation of the DA algorithm is illustrated in Fig. 4.

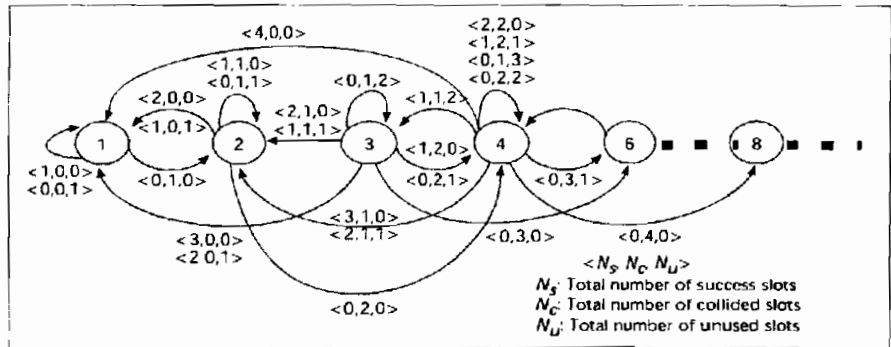


Figure 4. State transition diagram for the number of available slots (at a BS) in PRMA/DA.

Remarks — This protocol allows the MT to receive the ACK to its request packet (from the BS) relatively early (at the end of the access contention period). On the other hand, in case of a collision the involved MTs must wait until the BS announces how many available slots will be assigned for the next UL frame before the MTs can try to gain access again. This takes more time than for the DQRUMA protocol.

The main contribution of this protocol is the DA algorithm which helps resolve the contention situation quickly, and avoids the waste of BW that may occur when there are several unneeded request slots. However, one drawback is that this protocol does not use minislots for the access request. Instead, the first time an MT needs service it transmits a request message along with an information packet; so if a collision occurs, the effect on the throughput may be greater than if a small request packet had been used. This may not be important in low-traffic situations, where there may be room for several available slots, but is definitely a problem for high-traffic situations.

It is important to point out that the authors do not consider the overhead of the PHY layer (SYN and guard time) for the simulation reported in their article. They only consider the regular (5 bytes) ATM overhead.

Dynamic Slot Assignment (DSA++) Protocol

This protocol was proposed by Petras and Krämling [11]. The DSA++ protocol relies on a BS that acts as a central MAC coordinator, giving service to MTs according to the QoS and instantaneous capacity requirement of each virtual channel (VC).

Description of the Protocol — DSA++ uses (for both DL and UL channels) a variable-length frame structure called a *signaling burst*. The DL signaling burst (DSB), transmitted in broadcast mode, opens a signaling period (frame) of specific length, which may range from 8 to 15 slots. The DSB contains the following information:

- A reservation message for each UL slot of the signaling period
- An announcement message for each DL slot of the signaling period
- A feedback message for each random access slot of the previous signaling period
- Additional signaling messages (e.g., collision resolution, paging channel, etc.)

To each DL signaling period corresponds a UL signaling period of the same length. There is an offset between the starting point of each period to compensate for the round-trip propagation delay. Figure 5 shows the signaling technique used by DSA++.

The feedback messages, which are of the ternary type (empty, success, collision), are used by a fast collision resolution algorithm for capacity requests transmitted in contention

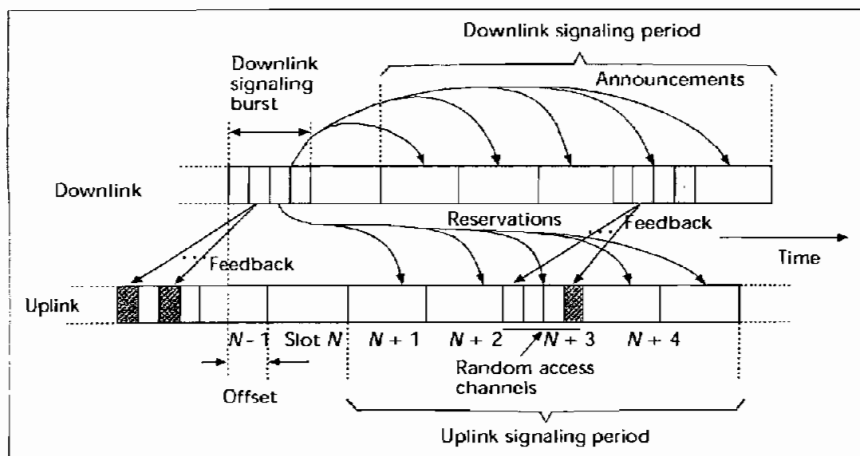


Figure 5. The signaling scheme of the DSA++ protocol.

This advantage must be weighed against the risk of losing the broadcast packet, which means that a whole signaling period would be lost. Otherwise, the loss of a control packet addressed to a specific MT would not affect the throughput as much. Even though there are no collisions in the DL channel, since the BS is the only one that transmits in the relevant cell, a packet may be lost due to interference from other cells (co-channel interference) or a deep fade.

Another advantage of this protocol is that it allows a UL slot to be divided into up to four short slots to be used for access request in contention mode. This feature, along

with the use of the *Priority Splitting algorithm*, helps to resolve the access contention quickly and efficiently.

Dynamic TDMA with Piggybacked Reservation (DTDMA/PR)

This protocol was proposed by Qiu *et al.* [12]. DTDMA/PR is an extension of the DTDMA protocol originally proposed by Raychaudhuri and Wilson to be used in an ATM-based wireless personal communications network (PCN) [13].

Description of the Protocol DTDMA/PR considers a fixed-length frame, with minislots for reservation (in the UL channel) and ATM-packet-size slots for transmission of user information. The UL frame is divided into three subframes, the first for reservation minislots, the second for long-term reservable slots, and the third for short-term reservable slots. The boundary between the long-term and short-term reservable subframes is movable according to the traffic volume being handled.

This protocol considers three types of traffic, with all packets having the same length:

- CBR packets, generated periodically during the active period (the protocol considers some sort of voice activation detector).
- VBR packets, which are also generated periodically during the active period, but in groups of different size. The number of packets in each group is a random variable with certain probability distribution function.
- ABR packets, generated in bursts.

The frame length is chosen according to the voice encoder/decoder (codec) characteristics, with the intention of

slots. After the initial registration procedure, the BS allocates transmission capacity to the MTs (for both the UL and DL channels) on a slot-by-slot basis. Each slot is the size of an ATM packet plus SYN overhead.

The assignment of capacity by the scheduler is based on a priority calculation for each MT (or VC) being served. The priority is determined according to a set of dynamic parameters (DPs), which includes the number of waiting ATM packets and their due dates. The DPs are transmitted by each MT along with each ATM packet (included in the header). The BS can ask an MT to update the DPs by either polling or random access, using shorter-length slots (1/4 or 1/8 the normal size). For this purpose, the BS uses an algorithm which calculates the number of short slots that must be available in the next signaling period according to the following parameters:

- Probability of a new packet arrival at each MT in contention mode since the last transmission of their DPs
- Number of MTs in contention mode
- Throughput of the random access procedure

The priorities assigned to the ATM classes of services are as follows: CBR > VBR > ABR > UBR. For CBR and VBR classes, the protocol considers a factor called *relative urgency* to decide which MT will transmit or receive in the next signaling period.

An important parameter of this protocol is the delay experienced by the MT in receiving a feedback signal to its request through a UL random access slot, since the MT needs to know if its request was successful or not, to try retransmitting later in the case of collision. To reduce this delay, Petras proposes the use of a short signaling period. Each signaling period can provide from one to several random access slots, the maximum given by the size of the DSB. To further reduce the delay in getting the feedback, the DSA++ protocol uses a splitting algorithm for the backlogged MTs. The authors analyze both binary and ternary splitting algorithms.

Remarks — An advantage of this protocol is broadcast of the information that defines the next signaling period in a single DL burst (UL slot assignment, DL slot assignment, and ACKs for previous packets or access requests). This releases all other slots in the DL signaling period, allowing the BS to implement an MT power control algorithm if needed.

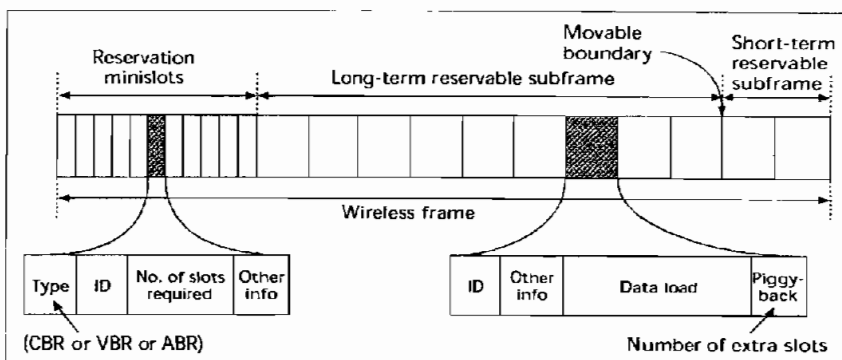


Figure 6. The frame structure of the DTDMA/PR protocol.

facilitating the provision of CBR services. Otherwise, the slot size is considered equal to the size of an ATM packet ($53 \times 8 + \text{overhead bits}$).

The operation of the DTDMA/PR protocol is as follows (assuming the MTs have already been registered at the BS): when a CBR (VBR or ABR) source generates a new active period, it will randomly choose a mini-slot at the beginning of the next frame and will transmit a reservation packet (perhaps in contention with other MTs). At the end of the reservation period, the BS will send a broadcast message containing the IDs of the MTs that were successful in making a reservation, the number of slots assigned to each MT, and the slot positions assigned (in either the long-term or short-term reservable subframe). Figure 6 shows the frame structure for the DTDMA/PR protocol.

Reservations for CBR and VBR can happen only in the long-term subframe, while reservations for ABR can happen only in the short-term one. The CBR and VBR terminals that were successful in accessing the BS can keep using the same time slots as long as they have more packets to send (within the same active period), while ABR terminals have to release the assigned slot as soon as they finish transmitting a packet.

Both CBR and VBR services are considered delay-sensitive, so the corresponding packets must be discarded if they exceed some time limit. Meanwhile, the ABR traffic is considered delay-insensitive, and the ABR packets can be buffered until the BS assigns a slot for their transmission.

Since the authors assume no channel errors, the reasons for reservation failures are either reservation packet collisions or excessive traffic. They also assume that there is no propagation delay involved in the reception of the ACKs to the reservation requests, and no processing time is required by the BS in responding to those requests.

A mechanism to guarantee service to VBR traffic is included. This consists of sending a piggyback reservation message along with the VBR packet when the number of assigned slots is less than the number of packets generated in the current slot. The slots eventually assigned by the BS in response to a piggyback request must be released at the end of the current frame. To keep the unused slots at the end of the frame, a mechanism of slot reordering and reassignment has been implemented.

Remarks — One advantage of this protocol is that it considers the use of a piggyback reservation (previously proposed in the DQRUMA protocol), which is especially useful for VBR VCs. Another advantage is the use of minislots for reservation so that if an access packet collides, there is not much waste of BW.

A contribution of this protocol is the consideration of two types of reservable subframes with movable boundary: the long-term subframe, meant to be used by CBR and VBR connections, and the short-term subframe (whose slots have to be released after a one-packet transmission), aimed at ABR connections. This may be used to provide more BW to CBR and VBR services according to the current needs.

A drawback of this protocol is that it does not take into account the different constraints of the QoS involved in each VC. Therefore, in case of two request packets colliding from MTs with different delay constraints, the probability of retransmission in the next frame is the same for both. Hence, the probability of successfully accessing the BS is the same for all MTs since there are no priorities involved.

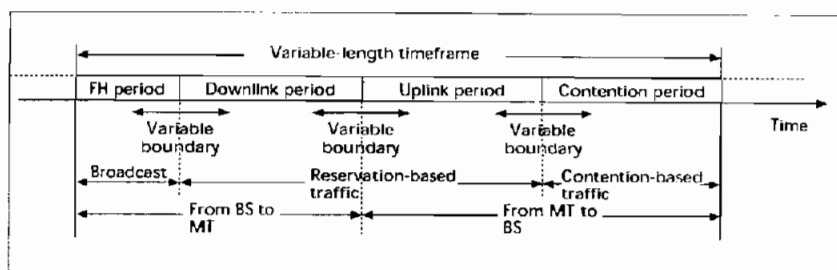


Figure 7. MASCARA timeframe structure.

TDD Protocols

These protocols use only one carrier frequency to communicate both ways, from the BS to MTs and from MTs to the BS. They save some hardware in the MTs since both the transmitter and receiver operate at the same frequency, but generally add extra delay due to the turnover between transmitter and receiver modes. The protocols analyzed in this category, again in order of publication, are MASCARA, PRMA/ATDD, and DTDMA/TDD.

Mobile Access Scheme Based on Contention and Reservation for ATM (MASCARA)

This protocol was proposed by Bauchot *et al.* [14] as the MAC protocol for the W-ATM Network Demonstrator (WAND) project being developed with the support of the European Community (EC).

Description of the Protocol — The MASCARA protocol operates in a hierarchical mode by means of a master scheduler (MS) in the BS (called *access point*) and a slave scheduler at each MT. The DL traffic is transmitted in TDM mode, while the UL packets are transmitted in a mix of reservation and contention modes.

MASCARA is based on a variable-length timeframe (TF), which consists of two subframes, one for the UL channels and the other for the DL channels. The DL subframe is divided into two periods, the frame header (FH) and down periods. The UL subframe is also divided into two periods, up period and contention. All the periods are of variable length, and all are further subdivided into a variable number of time slots. The structure of the MASCARA frame is shown in Fig. 7.

The TF always begins with an FH, which is used by the BS to broadcast to all MTs a descriptor of the current TF (including the lengths of each period), the results of the contention procedures from the previous frame, and the slot allocation for each active MT. The MTs use the UL contention slots to transmit reservation requests (for subsequent frames) or some control information. Since most of the traffic can be predicted by the BS, use of the contention-based slots is reduced to a minimum.

Each of the periods within a frame has a variable length that depends on the instantaneous traffic in the wireless link. The periods that operate in reservation mode may collapse to zero slots. The contention period is always maintained to at least some minimum number of slots, since an MT may ask for registration at any time by sending a control packet.

For handling the transmission process, MASCARA defines the concept of a "cell train," which is a sequence of ATM packets belonging to one MT, ranging from 1 to n , with a common header. The length of a time slot as well as the length of the MPDU header are defined as the length of an ATM packet (53 bytes). The MPDU header includes the

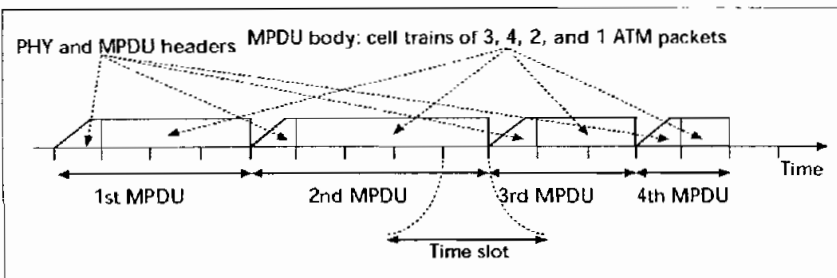


Figure 8. MPDU structure relative to time slots in MASCARA.

SYN bits needed at the PHY and the specific bits of the header. The payload of a cell train is called a *MASCARA protocol data unit* (MPDU). Figure 8 shows the structure of the "cell train."

The MS takes into account the service class of the current ATM VCs, the negotiated QoS, the amount of traffic, and the number of reservation requests to determine the type and volume of traffic that will be transmitted in the following frame. This latter information is kept in a slot map which specifies the size of the three periods (downlink, uplink, and contention), as well as the assignment of time slots (in the current TF) to each involved MT.

The BS broadcasts the slot map within the FH at the beginning of each TF. With the aid of this slot map, each MT can determine if it will be allowed to either receive or transmit MPDUs in the current frame. This mechanism allows the MTs to perform some power-saving procedure, such as entering a "sleeping" mode when there is no traffic scheduled for it.

The MS uses an algorithm called Priority Regulated Allocation Delay-Oriented Scheduling (PRADOS) to schedule transmissions over the radio interface. This algorithm is based on the priority class, the agreed characteristics, and the delay constraints of each active connection. Passas *et al.* describe this algorithm [15].

PRADOS introduces priorities for each connection according to its service class as specified in Table 1 (a higher number indicates higher priority).

PRADOS combines priorities with a leaky bucket traffic regulator (LBTR). The LBTR uses a token pool that is introduced for each connection. The generation of tokens happens at a fixed rate equal to the mean ATM packet rate of each VC. The size of the pool is equal to the maximum number of ATM packets that can be transmitted with a rate greater than the declared mean. Starting from priority 5 and ending with priority 2, the scheduler satisfies requests for UL and DL as long as tokens are available. For every slot allocated to a connection, a token is removed from the corresponding pool.

Remarks — The introduction of the concept of a *cell train* is a good contribution of this article, since it provides variable capacity to MTs in multiples of slots that have the standard size of one ATM packet (53 bytes). Although not totally defined, the authors consider a wireless data link control (WDL) sublayer to take care of erroneous or lost ATM packets. The WDL technique will depend on the constraints imposed by the QoS parameters of the different services. Another important contribution of this protocol is the proposed PRADOS algorithm for the master scheduler, since by deciding on the allocation of slots on a frame-by-frame basis helps in the fulfillment of the negotiated QoS parameters for each connection.

A disadvantage of this protocol is that the size of the access request packet, which may be in contention with other MTs, is large (equivalent to two ATM packets, one for SYN and over-

head, the other for control information). In the case of high traffic, where the probability of collision increases, this could result in an important reduction of throughput.

Another drawback of this proposal is that the authors have not yet decided on the contention procedure (they are investigating slotted ALOHA and the Stack algorithm). However, they do not mention anything about the optimization of the time it will take to access the UL channel, which is critical for CBR services.

Last but not least important is that a variable-length frame introduces an extra difficulty in assigning capacity to MTs with CBR services. Assuming the case of a voice (64 kb/s) call, if the frame length (in milliseconds) is less than the time to fill an ATM packet (~6 ms), there may be frames where no slots need be assigned. Otherwise, if the frame length is longer than 6 ms, it might be necessary to assign more than one slot in a frame for this call.

Packet Reservation Multiple Access with Adaptive Time-Division Duplex (PRMA/ATDD) Protocol

Packet Reservation Multiple Access with Adaptive Time-Division Duplex (PRMA/ATDD) Protocol

This protocol was proposed by Priscoli for the MEDIAN system [16]. The MEDIAN system is a project being developed in Europe as part of the ACTS program, with partial support of the EC. The aim of the project is to develop a high-speed (~150 Mb/s) wireless network compatible with the B-ISDN ATM network, to operate in an indoor environment using the 60 GHz band.

Description of the Protocol — The PHY of the MEDIAN system is based on the orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) technique combined with a TDD scheme. Implementation of the protocol relies mostly on software which is concentrated in the BS.

The TDD frame is of constant length equal to 64 slots, although the UL and DL subframes are of variable length. The DL subframe (DLS) occupies the first part of the frame, and the UL subframe (ULS) occupies the second portion. The basic information unit in PRMA/ATDD is called an *extended cell* (or *slot* for simplicity), which consists of an ATM packet (53 bytes) plus the overhead needed for wireless transmission, resulting in a total of 1024 bits. Figure 9 shows the frame structure of this protocol.

The first slot of the frame is used for synchronization, while the second slot is intended to carry broadcast information. The other 62 slots are used to carry information packets from the BS to MTs in the DLS, and from MTs to the BS in the ULS. The broadcast information includes:

- The number of slots in the DLS (which defines the number of slots in the ULS)

5	CBR (constant bit rate)
4	rt-VBR (real-time variable bit rate)
3	nrt-VBR (non-real-time variable bit rate)
2	ABR (available bit rate)
1	UBR (unspecified bit rate)

Table 1. Priority numbers assigned to the services in MASCARA.

- The assignment of each slot for the MTs
- Signaling related to PRMA parameters and call setup or termination

A radio virtual call identifier (RVCI) is used to relate the slots with their associated calls in the broadcast packet. This way, there is a unique mapping between the RVCI and the VC identifier (VCI)/virtual path identifier (VPI) inside the wireless system. The RVCI field needs only 5 bits to address the maximum number of calls (30) handled by a BS.

The BS functional architecture consists of uplink and downlink buffers, serial-to-parallel and parallel-to-serial converters, and several network entities (NE). There are four NEs that are directly related to the MAC layer.

Static List Handler — The SLH determines the call static parameters to be stored in the static list (SL), which is updated only at call setup. Each record of the SL refers to a call in progress, and includes the next four fields: RVCI, $\Delta_{\max, \text{up}}$, $\Delta_{\max, \text{down}}$, and $R_{\max, \text{up}}$. RVCI is the identifier of the call to which the record refers. $\Delta_{\max, \text{up}}$ and $\Delta_{\max, \text{down}}$ are the UL and DL maximum delays allowed by the VC, and $R_{\max, \text{up}}$ is the UL maximum bit rate.

Dynamic List Handler — The DLH controls a list of records, each one containing information about a specific ATM packet waiting in the BS buffer (or in an MT buffer), to be transmitted in the air interface. Each record has the following fields: UD, RVCI, and t_{\max} . UD is a bit that indicates whether the ATM packet to which the record refers is a UL or DL packet. The parameter t_{\max} defines the last time at which the packet must be transmitted in order to avoid its loss due to excessive waiting time.

When a DL packet arrives at the BS, it is stored in the DL buffer. The BS deduces the RVCI value from the VCI/VPI field in the header, and records this value in the DLH. The DLH uses the information contained in the SLH to compute t_{\max} . After this, the BS inserts the corresponding new DL record in the dynamic list (the DL in DLH).

When a UL packet arrives at the BS, it is momentarily placed in the UL buffer in order to deduce the VCI/VPI from the RVCI field. After the DLH receives this VCI/VPI, it uses the information stored in the SLH to construct the appropriate record that will be added to the DL. The DLH receives from the PRMA parameter computer (PPC) the number of slots that will be available, termed $S_{\text{av}}(i)$, for contention in the next UL frame. The DLH then assigns the remaining $S_{\text{av}}(i)-62$ useful slots to the packets that occupy the corresponding records in the DL, as long as they have not expired.

Broadcast Packet Generator — This entity generates the broadcast packets, according to the information received from the DLH (DL frame duration, UL/DL slot assignments, and PRMA state transitions), from the PPC, and from the BS signaling handler (call setup/termination related signaling).

PPC — This entity uses the data provided by the DLH to compute, at each frame, the most appropriate values for the permission probabilities related to the various transport ser-

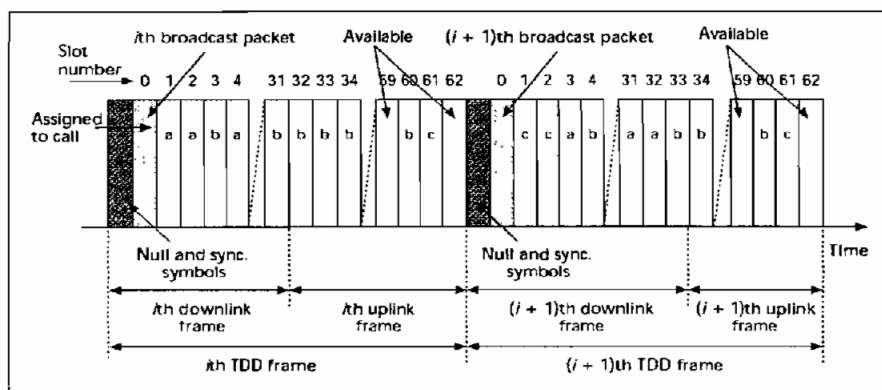


Figure 9. PRMA/ATDD frame format.

vices (CBR, VBR or ABR), and to the number of available slots per frame. These computations take into account both the instantaneous traffic level and the QoS requirements of currently active connections.

Figure 10 shows the functional architecture of the PRMA/ATDD protocol that runs in the BS; the figure also includes a brief description of the signals handled.

Remarks — A contribution of this protocol is the idea of using two list handlers (LHs) for the MAC protocol in the BS: the static LH (with parameters related to the whole duration of the call) and the dynamic LH (with parameters related to the current packets in the buffer). The DLH helps decide which MTs will be served in the next frame according to the expiration time of the buffered packets. These lists are used to assign priorities to ATM packets according to their expiration risks.

An advantage of this protocol is the use of a fixed-length frame, which facilitates the provision of CBR services by assigning a fixed number of slots in each frame. Nevertheless, the UL (and correspondingly, the DL) subframe varies dynamically, in response to the traffic demand.

Similar to PRMA/DA, a disadvantage of this protocol is the use of full-size slots instead of minislots for access request. This is inherited from the original PRMA protocol, which was not designed for the W-ATM network.

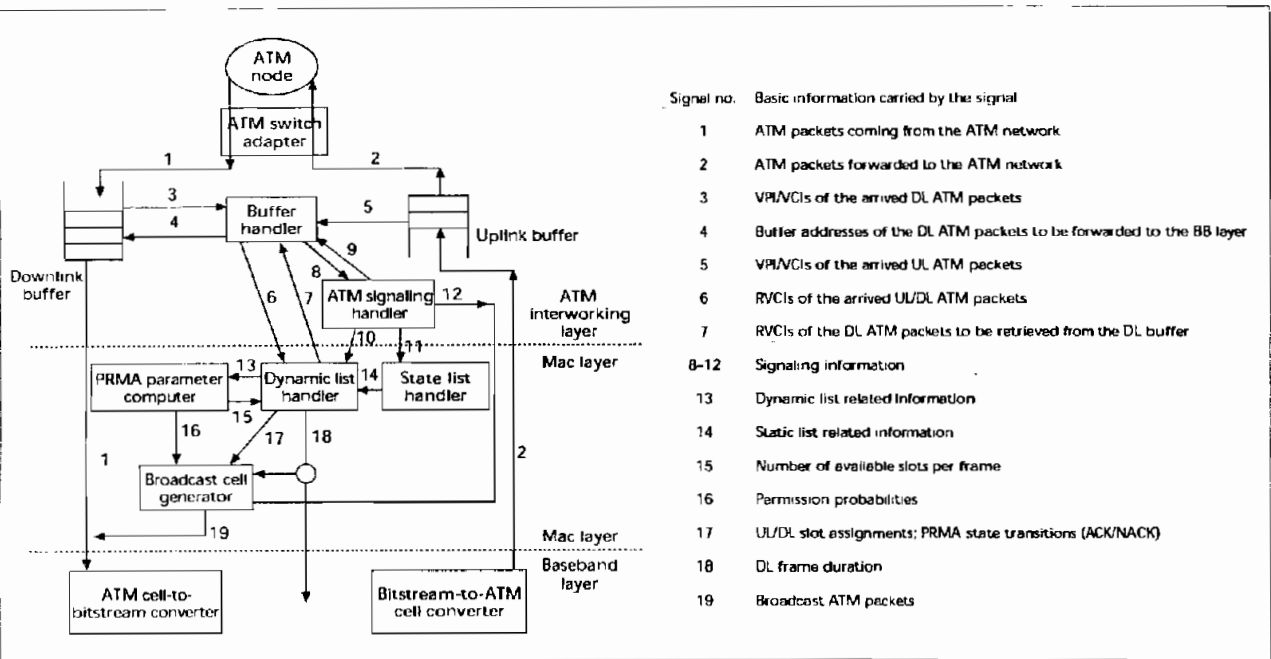
Dynamic TDMA with Time-Division Duplex Protocol (DTDMA/TDD)

Dynamic TDMA was proposed by Raychaudhuri *et al.* [17], as part of the WATMnet prototype system developed at C&C Research in NJ. More detail on the MAC protocol parameters is given by Xie *et al.* in [18].

Description of the Protocol — This protocol is based on a TDMA/TDD structure with a fixed-length frame. The DL subframe is handled in simple TDM format, transmitted in a single burst. It consists of two parts. The first part contains control and feedback (ACK) signals, while the second part is used for data transmission from BS to MTs.

The UL subframe is handled in a dynamic format and divided into four slot groups: a group for request (mini) slots, which uses slotted ALOHA; a dynamic allocation group, which carries ABR and/or UBR traffic; a fixed and shared allocation group, which carries VBR traffic; and a fixed allocation group for CBR traffic. Figure 11 shows the dynamic TDMA/TDD frame format.

Even though the total frame length is fixed, the boundary between DL and UL subframes varies gradually, according to



- | Signal no. | Basic information carried by the signal |
|------------|--|
| 1 | ATM packets coming from the ATM network |
| 2 | ATM packets forwarded to the ATM network |
| 3 | VPI/VCI of the arrived DL ATM packets |
| 4 | Buffer addresses of the DL ATM packets to be forwarded to the BB layer |
| 5 | VPI/VCI of the arrived UL ATM packets |
| 6 | RVCIs of the arrived UL/DL ATM packets |
| 7 | RVCIs of the DL ATM packets to be retrieved from the DL buffer |
| 8-12 | Signaling information |
| 13 | Dynamic list related information |
| 14 | Static list related information |
| 15 | Number of available slots per frame |
| 16 | Permission probabilities |
| 17 | UL/DL slot assignments; PRMA state transitions (ACK/NACK) |
| 18 | DL frame duration |
| 19 | Broadcast ATM packets |

Figure 10. BS functional architecture in PRMA/ATDD.

the traffic experienced by the network. Inside the subframes, the boundaries between the different slot groups are also movable.

For the UL subframe, the R-B control packets contain 5 bytes of information plus 2 bytes of CRC. The data packets contain the original 53 byte ATM packet with 2 bytes from the Header substituted by a wireless Header, plus 2 bytes for CRC. Each one of the two types of packets needs an additional modem preamble of 16 bytes for synchronization and equalization purposes.

For the DL subframe, only one modem preamble is needed at the beginning of the subframe, since the transmission is done only by the BS in a broadcast mode. A single W-ATM ACK message can acknowledge up to 20 packets.

When an MT has packets to transmit, it sends a request through a control slot, possibly in contention with other MTs. At the beginning of the next DL subframe, the BS transmits the slot allocation information along with the ACKs and other control information.

For the case of CBR VCs, the allocation is done once per session. For the case of ABR/UBR VCs, it is performed on a burst-by-burst basis with dynamic reservation of slots from the

ABR/UBR group and from the unused CBR or VBR slots. For VBR VCs, the allocation is accomplished on a fixed shared basis, with some slots assigned for the duration of an active period, plus some extra slot(s) assigned according to a usage parameter control (UPC)-based statistical multiplexing algorithm.

In case more than one slot is needed for ABR/UBR VCs, contiguous slots are assigned to reduce overhead. VBR and CBR calls can be blocked, while ABR/UBR calls are always accepted subject to appropriate rate flow control.

Functionally, the MAC protocol can be divided into two components: supervisory MAC (S-MAC), and core MAC (C-MAC). The S-MAC at the BS performs channel scheduling for both the UL and DL channels for all services (CBR, VBR, and ABR). Also, the S-MAC builds a schedule table based on the relevant QoS parameters. Finally, the S-MAC takes care of call admission control.

The C-MAC serves as the interface between the data link control and PHY. According to the schedule table supplied by the S-MAC, the C-MAC multiplexes and demultiplexes the packets for transmission into the wireless channel for each VC.

Remarks — One advantage of this protocol is the division of a frame into small (8-byte) slots, which allows it to use one slot for random access transmission of control packets (from MT to BS), and to assign several slots (seven for an ATM packet) to the different services (CBR, VBR, ABR), according to the traffic demand and QoS involved.

Another advantage is that it includes a data link control (DLC) layer which handles some functions that complement the tasks of the MAC protocol. For example, to resolve the delay constraint imposed by the CBR services, the DLC uses a

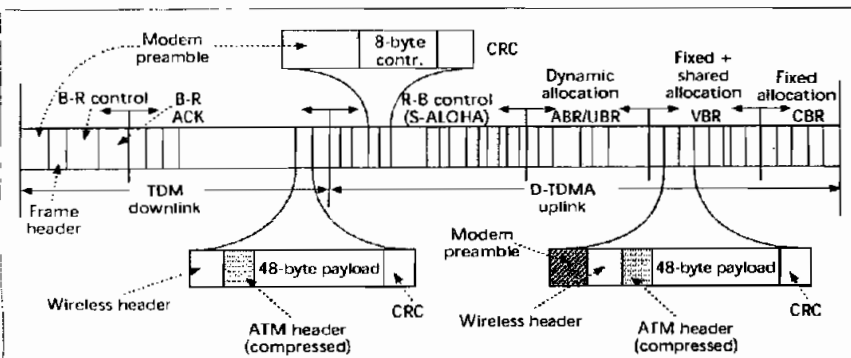


Figure 11. Dynamic TDMA/TDD MAC frame format.

Physical layer type	FDD	FDD	FDD	FDD	TDD	TDD	TDD
Frame type	No frame	Fixed	Variable	Fixed	Variable	Fixed	Fixed
Frame size	—	6 ms	8-15 slots	16 ms	—	64 slots	2 ms
Size of access contention slot	Fraction of ATM pkt.	Same as ATM pkt.	1/4 of ATM packet	Fraction of ATM pkt.	2 ATM packets	128 bytes	1/7 of ATM packet
QoS support	VBR	BW-related: voice, video, data	CBR, VBR, ABR	CBR, VBR, ABR	CBR, rt-VBR nrt-VBR, ABR, UBR	Delay-related	CBR, VBR, ABR
Relative algorithm complexity	Low	Medium	Medium	Low	High	High	High
Relative communication complexity	High	Low	Medium	Low	High	Medium	Medium
Channel utilization efficiency	High	Medium	High	High	Medium	Medium	High
Channel impairments analysis	Not considered	Not considered	Not considered	Not considered	Not considered	Not considered	Log-normal fading
Control overhead	Low	Medium	High	Medium	High	High	Medium
Random access technique	S-ALOHA, bin. stack	S-ALOHA	Splitting alg. (2 and 3)	S-ALOHA	Not defined yet	S-ALOHA ($p_{\text{prob}} = q$)	S-ALOHA
Relative complexity of providing CBR services	High	Low	Medium	Low	Medium	Low	Low
Call admission control	No	Yes	No	No	Yes	No	No

Table 2. Comparison of the protocols.

First-in first-out (FIFO) buffer to ensure that ATM packet jitter will be kept under acceptable limits. Another useful idea introduced is to let the DLC handle retransmission of erroneous CBR packets by using ABR channels without disturbing continuous transmission in the CBR reserved channel.

This protocol may be upgraded by adding an algorithm to handle retransmission of reservation packets (which are handled with the traditional slotted-ALOHA protocol), to give priority to MTs requesting service for CBR or rt-VBR traffic.

Conclusions

Several recently proposed MAC protocols for W-ATM were reviewed. It appears that the protocols which use FDD in the PHY can deal with the access contention procedures more quickly. However, the use of only one carrier frequency (as in the protocols that use TDD) can be advantageous in some situations where frequencies are scarce.

When considering the noise, fading, and high interference characteristics of most wireless environments, it is important to contemplate a method for fast collision resolution in the random access stage. In this context it is convenient to use small slots (minislots) for the random access channel(s) so that collisions do not produce significant throughput degradation.

It also appears to be convenient to handle the ACKs to the access requests (from the BS to the MTs) on a slot-by-slot basis. For the protocols where the BS sends the result of the contention procedure on a frame-by-frame basis, the MTs involved in a random access process have to wait until the next frame to know the result of the contention process; after that (in case of failure) they may try another access. This may

represent a waste of BW, especially in medium traffic situations (where there may be some free slots). It may also represent a waste of time, which may be critical in the case of an MT that just handed off and is using a CBR (or VBR) delay-sensitive service.

The handling of ACKs on a slot-by-slot basis is easier to implement in an FDD system than in a TDD one, which may indicate an advantage of FDD over TDD. However, this advantage must be weighed against the disadvantage that FDD requires two carrier frequencies.

An advantage of TDD over FDD is that when the DL traffic is bigger than the UL traffic, TDD uses BW more efficiently by allocating most of the slots to the DL subframe. DL traffic can be larger than UL traffic when several MTs are downloading huge files or receiving video on demand.

It is also important to consider the QoS constraints for the different services (CBR, rt-VBR, nrt-VBR, ABR, and UBR), which must be reflected in different priorities assigned to the request packets in the collision resolution algorithm.

To summarize the advantages and disadvantages, in Table 2 we present an overall comparison of some of the characteristics of the protocols reviewed. Some of the entries are based on subjective judgments rather than formal analysis. Relative communication complexity is based on the load imposed on the MT radio equipment in order to get synchronized and keep track of the slots. Channel utilization efficiency takes into account the size of the access contention slot.

Finally, a more realistic evaluation of the performance of the proposed MACs would need to take into account the specific impairments of the RF channel, which to our knowledge has only been done in the DTDMA/TDD protocol. To partially compensate for these impairments, some form of for-

ward error correction should be used, at least in the access and control signals.

References

- 1] D. Raychaudhuri, "Wireless ATM Networks: Architecture, System Design and Prototyping," *IEEE Pers. Commun.*, Aug. 1996, pp. 42-49.
- 2] A. J. Viterbi, "The Orthogonal-Random Waveform Dichotomy for Digital Mobile Personal Communication," *IEEE Pers. Commun.*, 1st qr., 1994, pp. 18-24.
- 3] T. S. Rappaport, *Wireless Communications Principles and Practice*, Prentice Hall, 1996, pp. 274-84.
- 4] P. Agrawal et al., "SWAN: A Mobile Multimedia Wireless Network," *IEEE Pers. Commun.*, Apr. 1996, pp. 18-33.
- 5] J. Mikkonen and J. Kruys, "The Magic WAND: A Wireless ATM Access System," *Proc. ACTS Mobile Summit '96*, Granada, Spain, Nov. 1996, pp. 535-42.
- 6] S. Zeisberg et al., "Channel Coding for Wireless ATM using OFDM," *Proc. ACTS Mobile Summit '96*, Granada, Spain, Nov. 1996, pp. 23-29.
- 7] M. J. Karol, Z. Liu, and K. Y. Eng, "Distributed-Queueing Request Update Multiple Access (DQRUMA) for Wireless Packet (ATM) Networks," *Proc. IEEE INFOCOM '95*, pp. 1224-31.
- 8] R. C. V. Macario, *Cellular Radio, Principles and Design*, 2nd ed., London: Macmillan, 1997, pp. 190-240.
- 9] J. G. Kim and I. Widjaja, "PRMA/DA: A New Media Access Control Protocol for Wireless ATM," *Proc. ICC '96*, Dallas, TX, June 1996, pp. 1-19.
- 10] D. J. Goodman et al., "Packet Reservation Multiple Access for Local Wireless Communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 37, no. 8, Aug. 1989, pp. 885-90.
- 11] D. Petras and A. Kramling, "MAC Protocol with Polling and Fast Collision Resolution for an ATM Air Interface," *IEEE ATM Wksp.*, San Francisco, CA, Aug. 1996.
- 12] X. Qiu, V. O. K. Li, and J.-H. Ju, "A Multiple Access Scheme for Multimedia Traffic in Wireless ATM," *J. Special Topics in Mobile Networks and Apps. (MONET)*, vol. 1, no. 3, Dec. 1996, pp. 259-72.
- 13] D. Raychaudhuri and N. D. Wilson, "ATM-Based Transport Architecture for Multiservices Wireless Personal Communication Network," *IEEE JSAC*, vol. 12, no. 8, Oct. 1994, pp. 1401-14.
- 14] F. Bauchot et al., "MASCARA, a MAC Protocol for Wireless ATM," *Proc. ACTS Mobile Summit '96*, Granada, Spain, Nov. 1996, pp. 17-22.
- 15] N. Passas et al., "MAC Protocol and Traffic Scheduling for Wireless ATM Networks," proposed for publication in *ACM Mobile Networks and Apps. J.*, 1996.
- 16] F. D. Priscoti, "Medium Access Control for the MEDIAN System," *Proc. ACTS Mobile Summit '96*, Granada, Spain, Nov. 1996, pp. 1-8.
- 17] D. Raychaudhuri et al., "WATMnet: A Prototype Wireless ATM System for Multimedia Personal Communication," *IEEE JSAC*, vol. 15, no. 1, Jan. 1997, pp. 83-95.

- [18] H. Xie et al., "Data Link Control Protocols for Wireless ATM Access Channels," *Proc. of ICUPC '95*, Tokyo, Japan, Nov. 1995, pp. 1-5.

Biographies

JAIME SÁNCHEZ [A] (jsanchez@ece.arizona.edu) received a M.Sc. in telecommunications and electronics from CICESE Research Center in Ensenada, Mexico, in 1979, and a B.Sc. in communications and electronics from the National Polytechnic Institute (IPN) at Mexico D.F. in 1976. Since 1979, Mr. Sánchez has been at CICESE Research Center as an associate researcher, teaching graduate courses and leading projects related to digital telephony and ISDN. He led the group that won first place in the Third Annual National Contest in Telecommunications sponsored by Ericsson-México in 1988, with the project "Prototype of a Digital PABX." He is pursuing his doctoral degree in EE, major in communications, at George Washington University's Virginia campus. He is currently in the ECE Department at the University of Arizona as a visiting scholar. His research interests include broadband networks, wireless communications, and ATM protocols.

RALPH MARTINEZ (martinez@ece.arizona.edu) is an associate professor in the Electrical and Computer Engineering Department with joint appointments in the Radiology and Biomedical Engineering Departments. He has been at the University of Arizona since 1982. Before then, he spent 14 years in industry as a researcher in computer system design and applications, specializing in distributed processing architectures and internet gateways for computer networks. At the Naval Ocean Systems Center (1974-1979), he was responsible for applications of new VLSI devices to naval systems. At General Dynamics Electronics Division (1979-1982), he was the system architect for the design of the Global Positioning System, Phase II, and was branch head for an R&D group in local area network protocol development and applications to new business areas. Since joining the Electrical and Computer Engineering Department, he has been involved in research in interoperable global information systems, internetworking, picture archiving and communications systems, and multimedia telemedicine systems.

MICHAEL W. MARCELLIN (mwm@ece.arizona.edu) graduated summa cum laude with the B.Sc. degree in electrical engineering from San Diego State University in 1983, where he was named the most outstanding student in the College of Engineering. He received the M.S. and Ph.D. degrees in electrical engineering from Texas A&M University in 1985 and 1987, respectively. He joined the Department of Electrical and Computer Engineering at the University of Arizona in 1988, where he is currently an associate professor. His research interests include digital communication and data storage systems, data compression, and signal processing. He is a member of Tau Beta Pi, Eta Kappa Nu, and Phi Kappa Phi. He is a 1992 recipient of the National Science Foundation Young Investigator Award, and a corecipient of the 1993 IEEE Signal Processing Society Senior Award.

" WATMnet : A 25.6 Mb/s, 5GHz ISM, Wireless ATM System "

Cesar A. Johnston

NEC USA - C&C Research Laboratories

e-mail: cesar@ccrl.nj.nec.com

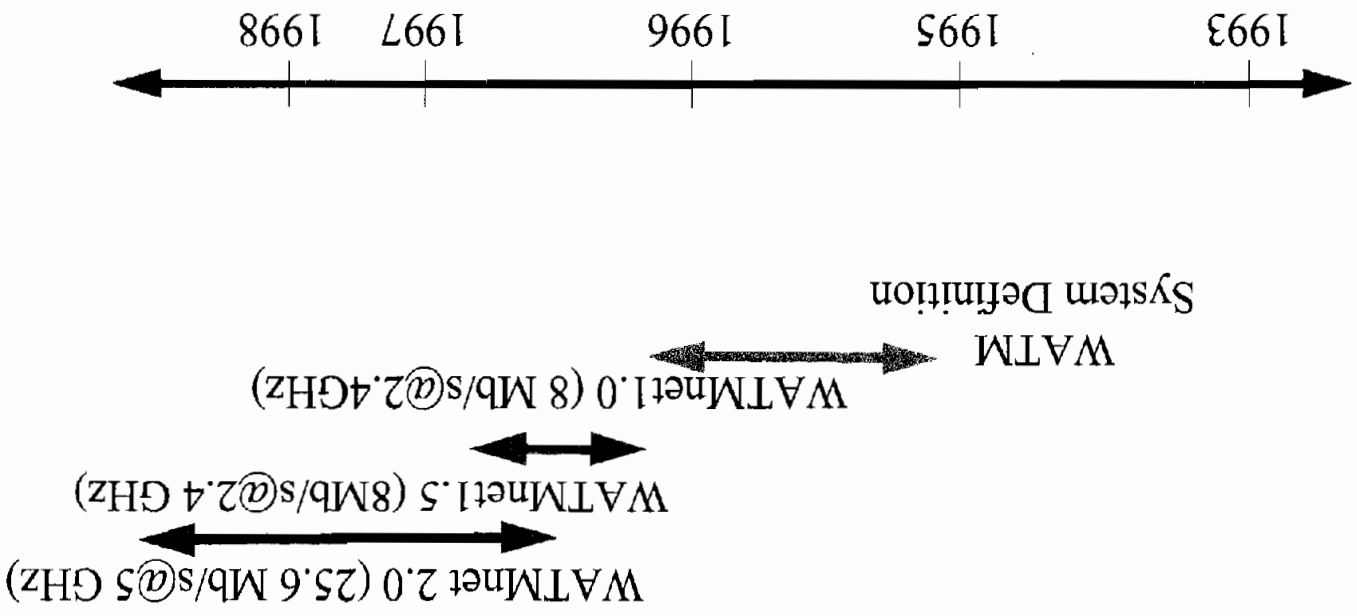
NEC

Arup Acharya
Furquan Ansari
Cesar A. Johnston
Khanh Le
Jun Li
Hang Liu
Partha Narasimhan
Masahiro Ohki
Max Ott
Dipankar Raychaudhuri
Daniel Reiningger
Shigeru Sakuma
Robert Siracusa
Eldar Yuzbashev

WATMnet Team Members

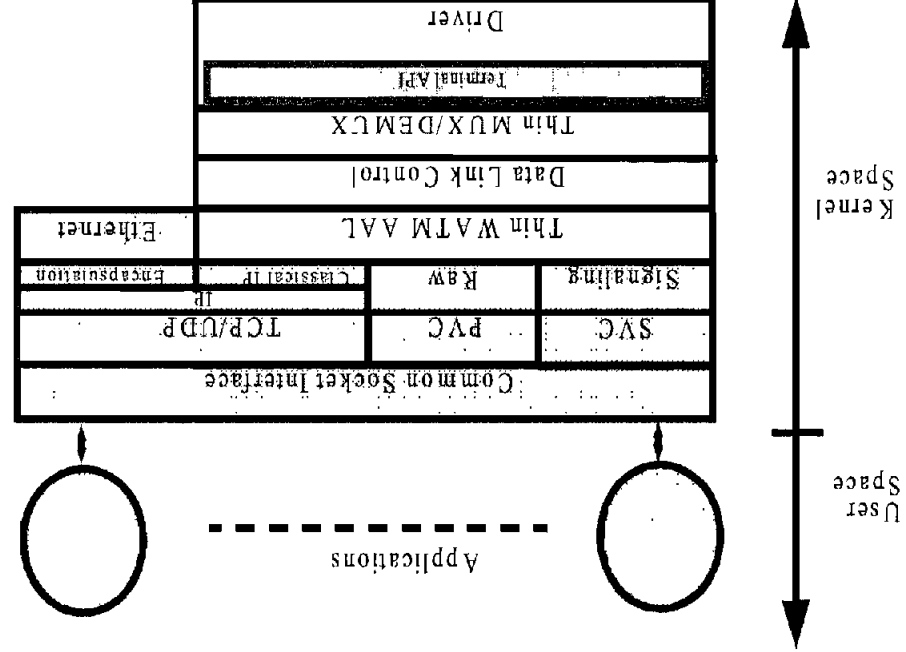
- Introduction to WATMnet.
- WATMnet Architecture.
- WATMnet Technology Demonstrator.
- Conclusions.

Talk Overview



WATMnet Evolution

WATMnet 1.5 - 8 Mb/s, 2.4 GHz ISM

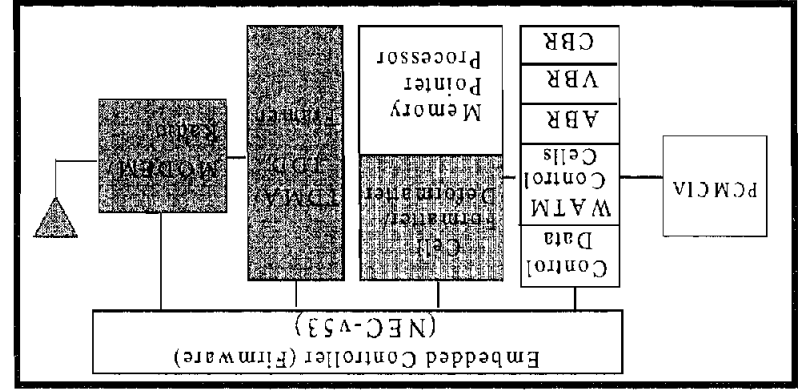


Software:

Kernel Space

User Space

Hardware and Firmware:

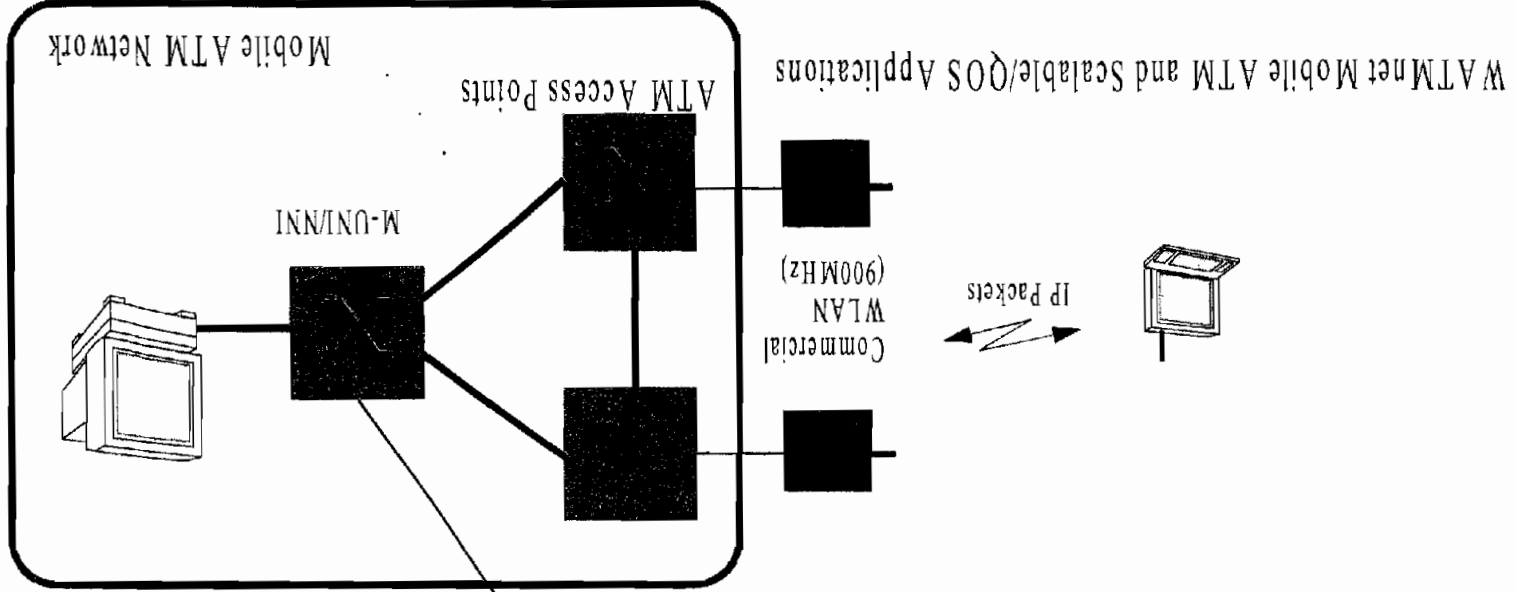
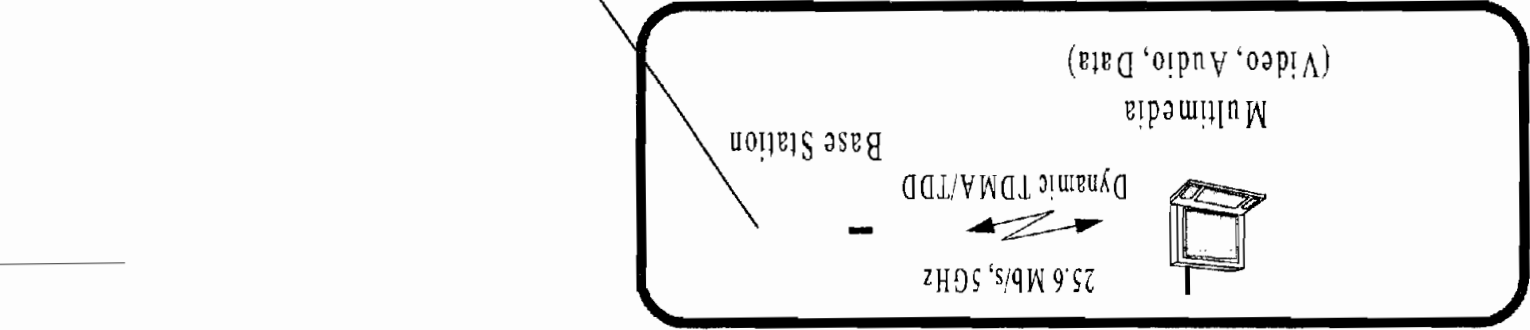


WATMnet 1.5 WNIC

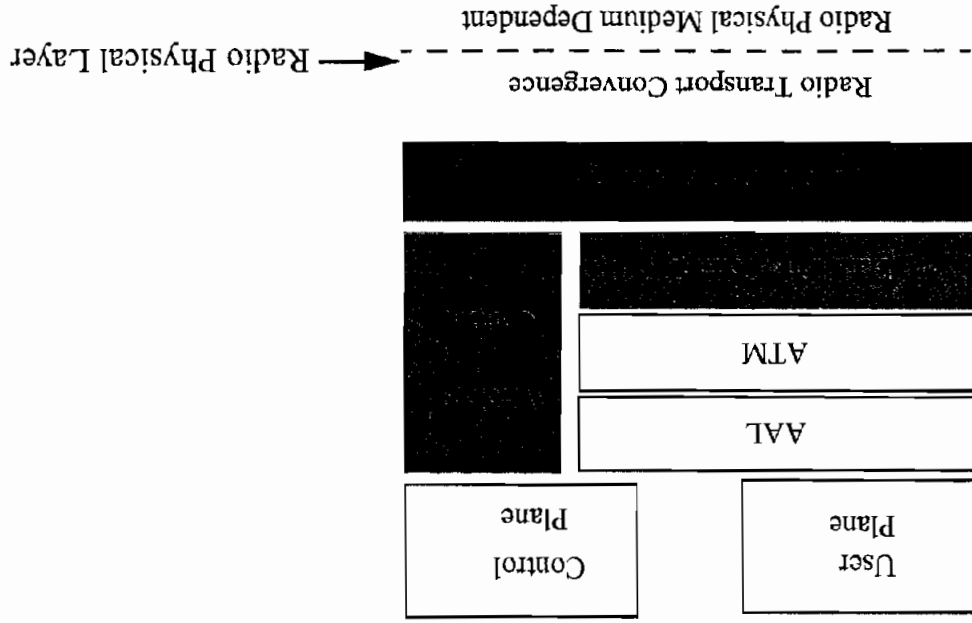


WATMnet 1.5 Mobile Station

DEMO '98 - WATMnet Demonstrator



WAMTnet Protocol Reference Architecture



WATMnet2.0 Radio Physical Medium Dependent Sub-Layer

- Data Rate: 25.6Mb/s

- Frequencies: 7 channels at:

Ch1: 5171.98 MHz

Ch2: 5197.90 MHz

Ch3: 5223.82 MHz

Ch4: 5249.74 MHz

Ch5: 5275.66 MHz

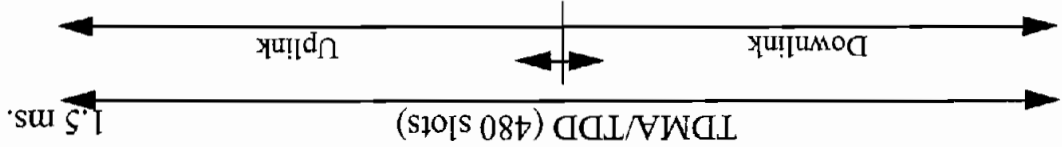
Ch6: 5301.58 MHz

Ch7: 5327.50 MHz

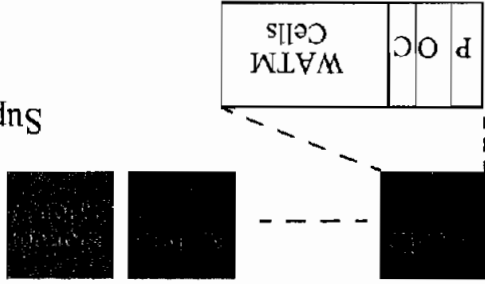
- Transmit Power: 10 mw.

- Channelization: 25.6 MHz Channels using GMSK.

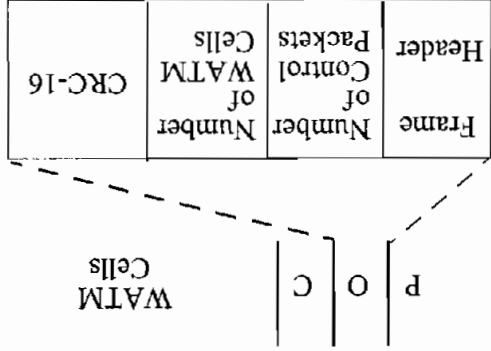
WATMnet Radio Transport Convergence Sub-Layer



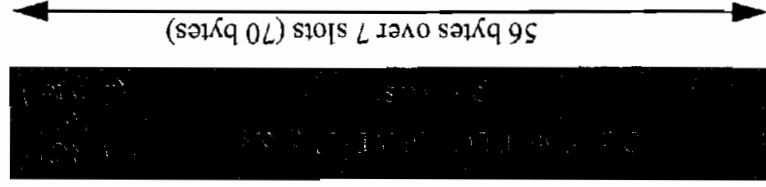
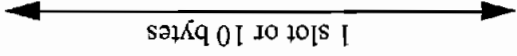
Superframe = 8 Frames



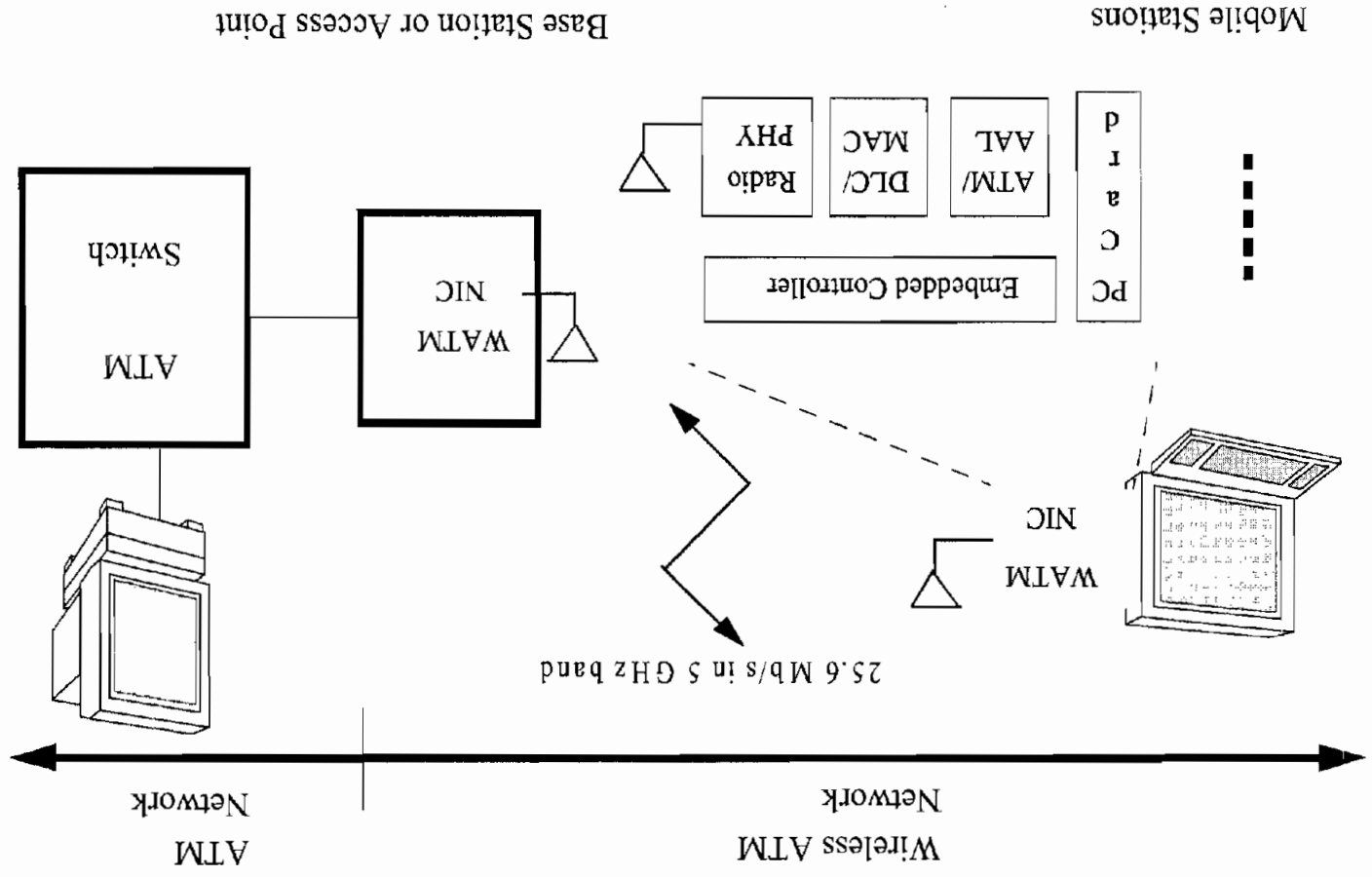
P = Preamble
 O = Sub-Frame Delineation Overhead
 C = Control Region



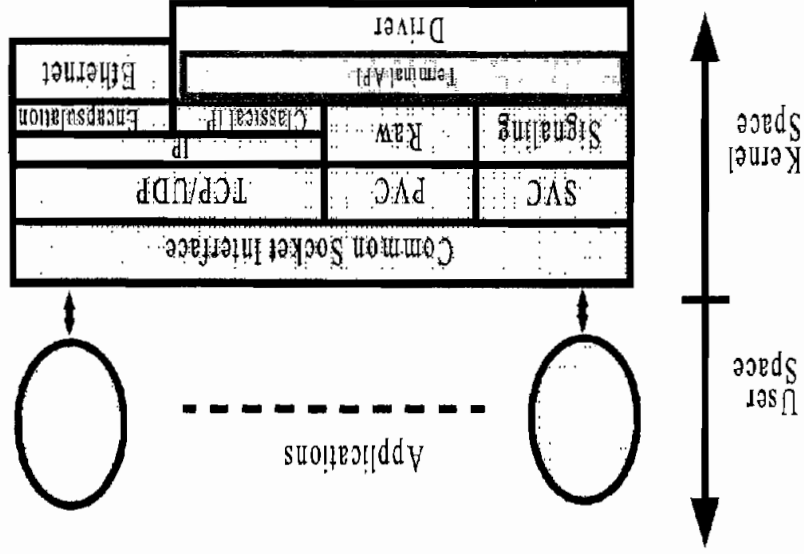
Slot:
 WATMnet Control Packet



WATMnet Technology (25.6 Mb/s/5GHz)



WATMnet2.0 WNIC Hardware Architecture

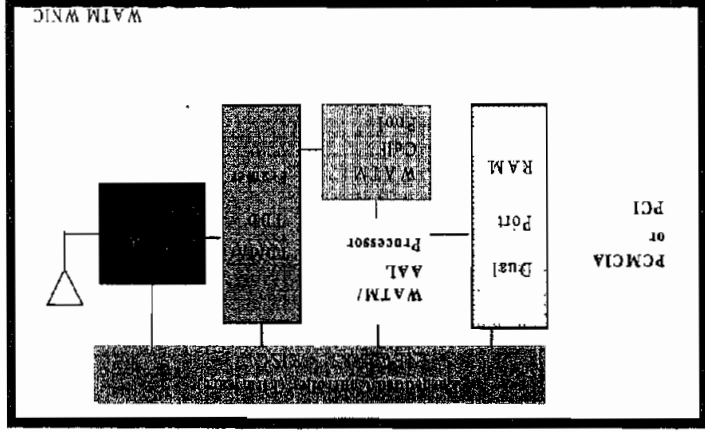


Software:

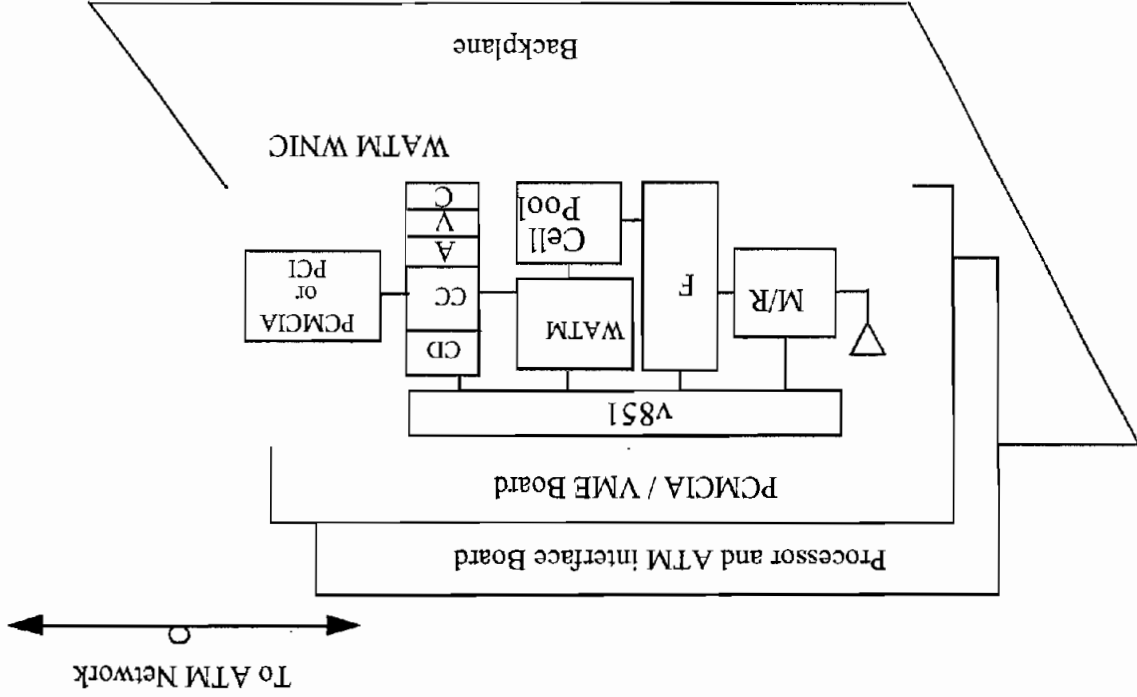
Kernel Space

User Space

Hardware and Firmware:



WATMnet Universal ATM Base Station Hardware



- Introduced the WATMnet Concept - Multimedia in a Wireless Environment.
- Described WATMnet Architecture.
- Presented WATMnet Implementation and Status.
- Field Trials end of '98.
- Please visit demonstration for questions.

Conclusions

Signaling Stack Design for Wireless ATM Access Networks

Jukka Immonen, Nokia Research Center

ABSTRACT One of the challenges in designing a wireless ATM network is to specify control functions capable of managing data and signaling connections of moving mobile terminals. The challenge is tough, due to the facts that such control functions neither exist in the current state-of-the-art wireless networks nor are included in the existing ATM specifications and implementations. This article describes the design principles of a wireless ATM signaling stack created in the WAND project. The article identifies some common problems and presents possible solutions to the problems. To justify the feasibility of the ideas presented, some details of a reference implementation, the WAND demonstrator signaling stack, will be revealed.

Like any sophisticated telecommunications network, wireless asynchronous transfer mode (ATM) networks need a mechanism to carry signaling information between the different network elements. This information is required to control the *dynamic* network operation during different connection management procedures: terminal registration, call setup, and so on. It is the responsibility of the wireless ATM signaling stack to provide these vital control functions. The design of a wireless ATM signaling stack needs to take into account wireless-specific functions since ATM was not originally designed for wireless networks.

This article gives an overview of the main features of the mobility-enhanced Wireless ATM Network Demonstrator (WAND) ATM signaling stack implementation and analyzes the performance of a prototype signaling stack software implementation [1]. The article concentrates on the network side control plane functions; the terminal side implementation aspects [2] are not covered here. The intention of the article is to give the reader a picture of the implementation process resulting in a working wireless ATM signaling stack.

The article is structured as follows. The following section presents the basic assumptions and design objectives for a wireless ATM access network design. Following these guidelines, the article next describes the WAND control plane architecture. The dynamic operation of the control plane protocols are described and the performance measurement data collected during system testing presented. The performance measurements were used to determine the latency of the control plane implementation with regard to mobility operation. This performance analysis is needed to ensure that the delays introduced by the WAND control plane procedures are small enough to guarantee satisfactory operation; it is not sufficient that the software just works, it has to work fast enough; that is, in real time. Finally, some possible improvements are identified and conclusions drawn.

WIRELESS ATM ACCESS SIGNALING: DESIGN OBJECTIVES

The main design objective followed in this article is to maintain full ATM compatibility. The standard ATM functions, like dynamic ATM virtual channel (VC) management and per-VC quality of service (QoS) management, are to be fully supported. The scope is limited to the radio access network connecting mobile users to an ATM backbone. Figure 1 shows the architecture of a wireless ATM access network, as defined in the WAND project [3].

The WAND network consists of the following entities: mobile terminals (MTs), access points (APs), and a mobility-enhanced ATM switch connecting the WAND users to the fixed ATM network. The WAND access network is connected to the ATM backbone

over a standard ATM user-network interface (UNI). All the functions specified in the ATM UNI are supported in the WAND network.

The MT hosts both the user applications and the control plane processes, including the ATM signaling stack. The network-side control plane processes are located in the mobility-enhanced ATM switch. The task of the control plane functions is to manage the user plane connections carrying application data between the moving terminals and the network. When the terminal wants to communicate with another network entity, it uses the control plane processes (ATM signaling) to create a new end-to-end ATM VC over the interconnecting wireless access and ATM networks. During connection setup, the connection is also created at the radio interface. After creating the new ATM connection, the AP carries the user ATM cells transparently over the radio interface, just mapping the ATM VCs to the radio connections. The system supports ATM QoS principles by allocating the radio resources according to the QoS and bandwidth requirements requested in the ATM connection setup.

Using the wireless ATM access reference model defined above, the following design challenges can be identified:

- Identification of the mobility-specific functions and division of the functions in the ATM signaling stack implementation. This task includes definition of the functional blocks and the interfaces between the blocks.
- Provision of different QoS for different types of applications (real-time vs. non-real-time applications).
- Routing of signaling messages between different network elements and from/to the external ATM networks.
- Management of data and signaling channels during terminal mobility (dynamic rerouting). ATM specifications do not inherently support dynamic virtual connection rerouting.

The rest of the article concentrates on describing the details of the WAND prototype implementation. It will be shown how the challenges mentioned above were successfully handled in the WAND demonstrator.

THE WAND CONTROL PLANE ARCHITECTURE

The first task is to define the parts of the mobility-enhanced ATM signaling stack. In WAND, the control plane implementation is based on ATM Forum UNI 3.1. In addition to UNI 3.1 signaling, the control plane of the WAND network consists of call control (CC), mobility management and control (MMC), radio resource management (RRM), and network management (NM) protocols. The UNI signaling protocol is used for ATM connection control, that is, establishing and releasing of ATM connections, while the MMC

protocol takes care of all the mobile-specific procedures. The advantage of this approach is that standard ATM signaling, for which implementations already existed, could be used as the basis of the WAND signaling stack. For WAND demonstrator purposes, commercial signaling implementations for both the MT and the switch control were deployed. Thus, the implementation could focus on modifications and extensions for mobility support.

Figure 2 presents the WAND control plane functional model and the internal control interfaces. The standard ATM adaptation layer type 5 (AAL5) is used for message segmentation and reassembly. In addition to AAL5, the signaling ATM adaptation layer (SAAL) is used for reliable message transmission between the MT and the switch control.

UNI 3.1 signaling is controlled by the CC protocol. CC is the central control plane entity; its most important tasks are the management of the ATM resources and control of the user connections and the ATM switch. For switch control, CC uses the services of the switch application programming interface (API). The API defines a set of commands used by the CC protocol to control the switching matrix, that is, to create and release ATM connections between the switch ports. In addition to creating and releasing ATM connections, the CC has to dynamically reroute the existing connections from one switch port to another during terminal handoff.

The mobility extensions are implemented in a separate MMC protocol. CC has an interface to MMC through which CC can control the wireless resources. MMC takes care of the mobile-specific functions such as wireless terminal registration, management of the signaling connections of moving terminals, location management, and handoffs. MMC can be thought of as a mobile extension to ATM call control and signaling.

Another mobile-specific ATM signaling stack extension is implemented in the form of the RRM protocol. Each AP has an RRM entity managing the resources of that AP. However, in the demonstrator implementation the RRM was located in the switch control to ease the control plane software implementation and integration. RRM has a control interface to the APs through which RRM can create and remove radio connections. Radio resource usage is controlled by a function called *wireless connection admission control* (WCAC). Accord-

ing to the availability of radio resources, WCAC decides if new connection requests can be accepted.

The control interface implementation between the control plane protocols and the radio link medium access control (MAC) is based on a WAND proprietary retransmission protocol, Layer Control Protocol (LCP). LCP is run on top of the AAL5 layer and provides a means for reliable transmission of radio control messages. LCP messages are transmitted on a permanent ATM VC, which is created during system configuration.

The WAND network is controlled by a centralized network management entity located in the switch control stack. Network management takes care of the initial system configuration, including tasks like initialization of the control plane processes, configuration of the APs, and setup of the permanent ATM VCs used for system control. It also monitors the system during runtime, by collecting statistics information and providing tools for presenting the information in a usable format.

MANAGEMENT OF THE SIGNALING CHANNELS

As depicted in Fig. 2, MMC and CC signaling protocols use separate SAAL connections between the terminal and the switch control. The reason for using separate signaling channels is to avoid synchronization and multiplexing problems between the CC and MMC protocols running in the different MTs. Another wireless-access-specific problem needed to be solved, however: the problem of managing the signaling channels with regard to terminal mobility.

As in any ATM system, the default ATM signaling channel (VC = 5) is used for CC signaling, while the MMC uses a WAND-specific ATM VC (= 30). The problem with manage-

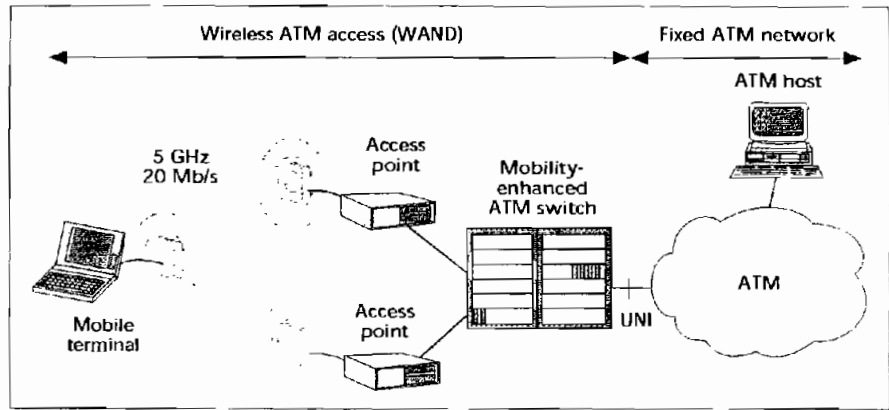


Figure 1. The wireless ATM access network architecture.

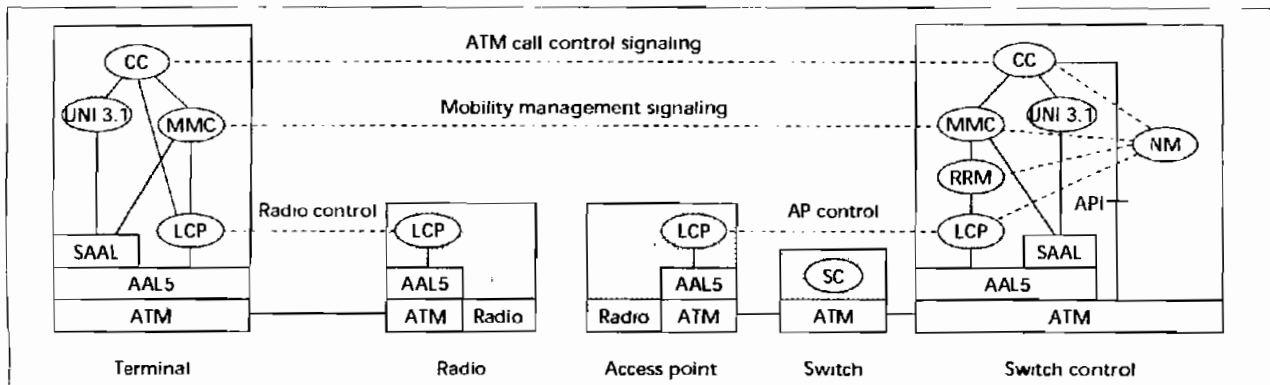


Figure 2. The WAND control plane functional model and logical control interfaces.

ment of the signaling channels is how to identify the signaling channels of different MTs connected to the same AP. The standard ATM signaling channel management, where virtual path (VP)/VC = 0/5 is used for signaling in every interface, does not work in the wireless environment.

The problem is caused by the n -to-1 relationship of the incoming ATM VCs in the AP (n terminals attached to one AP). If every terminal wants to use the default ATM signaling channel, VP/VC = 0/5, the channels are mixed at the AP-switch interface. Implementing a VC multiplexer in the AP can solve the problem. The multiplexer needs to reassemble all the signaling messages received from the terminals and to forward the messages over the default signaling channel to the ATM switch control.

The multiplexing approach introduces extra processing load and complexity in the AP. Therefore, a simpler solution was selected in WAND: dedicated ATM VPs are used to identify the terminals at the AP-switch interface. The default signaling channels, VCs 5 and 30, are then used inside the dedicated VPs. This means that one terminal is using VP = 1, another terminal VP = 2, and so on. The dedicated VPs are reserved from the whole WAND network so that the connection identifiers remain constant even during handoff (i.e., when the serving AP changes). This approach obviously wastes VP values, and limits the maximum number of terminals in the network to 256 (the length of the VP field is 8 bits). On the other hand, dedicating a VP for each terminal

makes the implementation easy and straightforward. The APs can remain fully transparent on the user plane, and signaling channel management, especially during terminal handoff, is easy. Figure 3 clarifies the difference between the VC multiplexing and VP-per-MT ideas.

Other, more efficient management mechanisms were studied and identified during system specification, but due to the implementation aspects, the VP-per-MT approach was selected for the prototype implementation. As an example, ATM metasignaling could be used for allocating unique signaling channels during each new terminal association. A study of the identified mechanisms can be found in [4].

CONTROL PLANE PROTOCOLS: DYNAMIC OPERATION

This section describes the dynamic operation of the WAND signaling stack and presents the performance of the control plane protocols during dynamic operations. The scenarios described include terminal registration, ATM connection setup and terminal handoff. The control plane protocol delays were measured from the network side (switch control station, CS) where each control plane process includes timestamps in the traces they produce. The latencies could then be calculated from the process traces. The traces also showed the amount of delays introduced by different processes and events. This proved to be an important feature when analyzing and trying to improve system performance.

TERMINAL REGISTRATION

When a WAND terminal is turned on, it automatically tries to connect to an AP and register to the network. Registration is used for verifying that the MT is permitted to connect to and use the resources of the network. During the registration procedure, both the CC and mobility management signaling channels (Q/M) are created to establish communication links between the MT and the WAND network. Once the signaling channels are created, they remain active until the mobile deregisters from the network; there is no optimization in resource usage of the signaling channel. Actually, it is not even required since the signaling channels are defined as variable bit rate (VBR) ATM connections, and no static resource reservations are thus needed.

The phases of the terminal registration procedure are described in Fig. 4. The main phases are numbered in both the figure and the clarifying text below. The registration phase starts with the terminal associating to an AP (1). After being turned on, the terminal keeps on scanning the radio channels/frequencies to find an AP. Once the terminal hears an AP beacon signal or a random frame header, it associates to the AP. The radio connection between the terminal and the AP is created, and the AP sends an association indication message to the CS control stack (2).

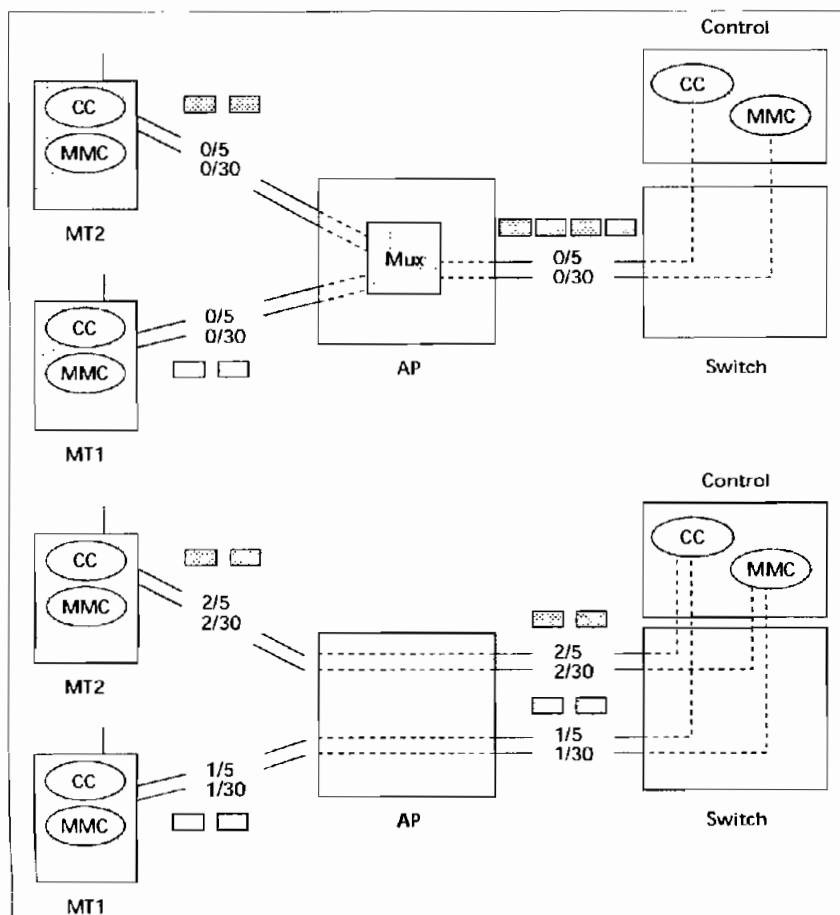


Figure 3. Multiplexing vs. VP-per-MT control channel management mechanisms.

This message tells the CS that a new terminal has associated to the network and a mobility management signaling channel has to be created for the terminal. The CS looks for the terminal ATM address received in the association indication message, and selects the correct VP identifier (VPI) value to be used for the M-channel at the AP-switch interface (VC identifier, VCI = 30 is used for every terminal inside the individual VPI). The VPI value is hardcoded in the 19th byte of the terminal ATM addresses. Then the CS creates the corresponding ATM virtual connection by configuring at both the AP and the CS ports, and creating the ATM cross-connection between the ports (3).

Note that the signaling channels are automatically configured in the AP during the association, so there is no need to explicitly activate them from the CS control stack. The terminal stack also automatically configures the signaling channels, the CS thus being the only network element dynamically configuring the ATM virtual connections for the signaling channels.

After the ATM virtual connection for the M-channel is created, the CS asks the MT to open the end-to-end SAAL connection. The terminal SAAL process listens to the M-channel (VC = 30), and since the ATM connection was created, the SAAL connection setup message is routed to the correct destination. Once the terminal acknowledges the SAAL connection creation, the CS informs the MT control stack of the availability of the mobility control signaling channel (4). The terminal MMC protocol then sends a registration request signal to the CS (5). This message is carried over the just created M-channel.

The registration request is processed, and if the registration is approved, the terminal is registered internally to the CS call control process. The call control signaling channel between the CS and the terminal call control processes is then created for ATM signaling purposes. As in the mobility management signaling channel creation procedure, the correct VP value is selected and the default VC = 5 inside that VP is activated (6). Finally, the CS acknowledges the registration procedure to the terminal (7).

The registration delay caused by the WAND-specific mobility operations was on average 630 ms (the time elapsed between ASSOCIATION_ind and REGISTRATION_ACK signals). This delay includes checking the identity of the terminal and creation of the signaling channels. Although some optimizations in the CS internal implementation could have been done, the control plane performance during terminal registration was considered sufficient.

ATM VIRTUAL CHANNEL SETUP

After the MT has successfully registered to the network, it can start transmitting and receiving data. This requires ATM VCs to be set up. The connection setup signaling is routed through the CS, which manages the ATM and radio resources, and controls the ATM switch.

In a mobile-originated call setup, shown in Fig. 5, the MT first sends a SETUP signaling message to the CS (1). The SETUP message is a standard ATM Forum UNI 3.1 message

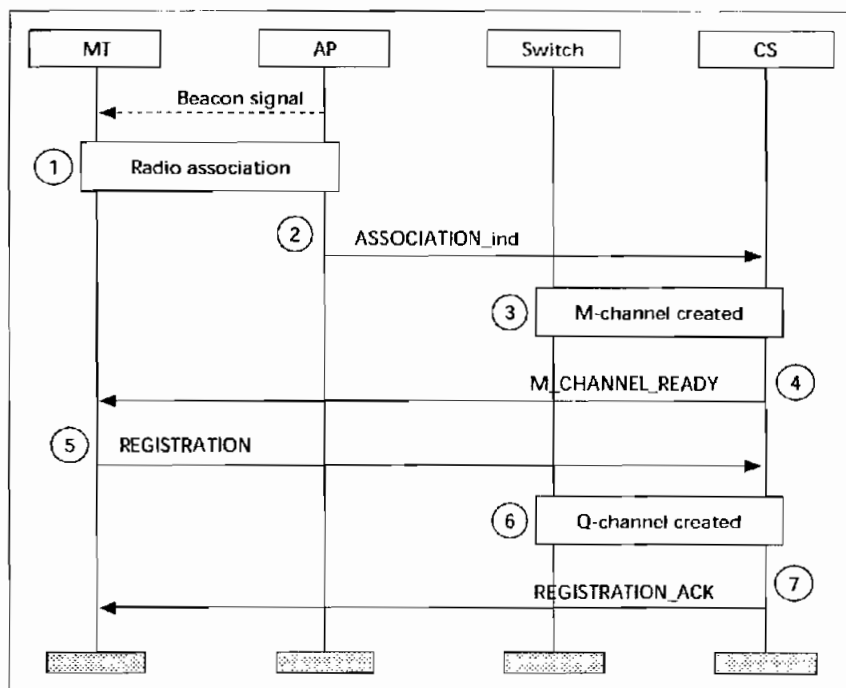


Figure 4. The terminal registration procedure.

carried over the call control signaling connection (VC = 5). It defines the characteristics of the requested connection, especially the requested QoS class and the traffic parameters.

When the CS receives the SETUP message, it first selects a new ATM VCI for the connection. The static VPI is also used for the data channels. The CS then determines that the connection setup request is for a wireless terminal and that, in addition to the fixed ATM resources, the availability of the radio resources must also be checked (2). The radio resource manager in the CS is responsible for checking the availability of the radio resources in order to maintain the QoS of the already accepted connection requests. If the required radio resources exist, the new connection is reserved from the AP (3), and the CS informs the called terminal (B-SUB) of the incoming call setup request by forwarding the SETUP message to it (4). If the called terminal accepts the call setup request, it sends a CONNECT message back to the CS (5). This message tells the CS to proceed with the setup procedure, and the ATM VC is configured in the ATM switch (6). Finally, a CONNECT message acknowledging the connection setup is sent to the terminal (7). The terminal can then start sending and receiving ATM cells to the called terminal.

Note that this example only describes a simple intranetwork connection setup controlled totally by the CS; it does not apply to interswitch ATM connection setup, requiring complex ATM network-network interface (NNI) signaling procedures. In fact, the WAND scope does not even cover internetwork connection setup procedures.

On average, the connection setup delay introduced by the mobility operation was 80 ms. This latency includes the radio resource checking (wireless connection admission control, step 2 in Fig. 5) and reservation delays (step 3). In addition to this WAND-specific processing, the normal connection switching delay (step 6) is added to the total connection setup delay. The average switching delay (i.e., programming the ATM cell-switching matrix) in the tests was 100 ms. Summing up, the total connection setup delay was around 180 ms (time elapsed between SETUP and CONNECT messages, steps 1-7), which is a good result.

HANDOFF

When a terminal moves inside the WAND network, the existing data connections are automatically handed off from one AP to another. The WAND network supports two types of handoff: forward and backward. Forward handoff takes place as a result of an unexpected loss of the radio link between the MT and the AP to which it is attached. A new suitable AP is determined before the existing data connections are re-routed. Backward handoff assumes that the terminal finds a better AP before losing the current radio link, that is, the existing ATM connections are rerouted *before* the terminal associates to the new AP. It is clear that the proactive backward handoff results in better performance, in terms of ATM cell loss and delay. Forward handoff is used only as a last resort in trying to salvage existing connections. Therefore, backward handoff was used in the integration tests to measure the control plane performance.

Handoff in WAND is a mobile-initiated network-controlled hard handoff [5]. The handoff rerouting operation itself is done at the ATM layer transparently to the control plane processes. Once the handoff is decided, all the user data connections are rerouted from the "old" switch port to the "new" one. During each rerouting, the resources on the target AP are checked and reserved, and only if the required resources are available does the rerouting take place. Subsequently, the resources from the old AP are released. The elapsed time from the handoff invocation until all connections are rerouted is a measure of the control plane performance. The handoff delay is of special significance since it has a major impact on the QoS of the data connections.

The different phases of a backward handoff are presented in Fig. 6. When the MT notices a need for a handoff, it asks for handoff permission from the network by sending a handoff request message (1). This message is carried over the mobility

management signaling channel (VC = 30). The handoff request is received by the CS MMC process, which asks the RRM to check the availability of resources from the "new" AP for each existing user plane connection (2). If the resources of the new AP are sufficient, the RRM reserves the existing connections from the new AP. Furthermore, the data connections are physically switched from the switch port of the old AP to the port of the new AP (3). The terminal and the signaling channels are still routed to the old AP. The resource checking, reservation, and switching are performed separately for each connection. After completion, a confirmation is sent back to the MT via the old AP (4), and the radio resources from the old AP are released (5). The handoff confirmation immediately triggers terminal deassociation from the old AP (6) and association to the new AP (7). Once the MT is associated with the new AP, the resources are activated in the new AP (8). Finally, the call control and mobility management signaling channels are rerouted to the new AP (i.e., released from the old AP and switched to the new) (9).

An interesting feature of this rerouting model is that it enables lossless handoff operation. Lossless handoff means that no ATM cells are lost during handoff rerouting. Lossless operation is achieved by buffering the downlink ATM cells in the new AP between the time of connection rerouting and terminal reassociation. The cells buffered in the new AP are transmitted to the terminal as soon as the terminal associates to the new AP and the data connections are activated. Thus, no ATM cells are lost due to connection rerouting. A more detailed description of the lossless handoff algorithm is given in [6]. Due to the implementation aspects, the lossless handoff algorithm was not implemented in the WAND demonstrator.

The handoff operation performance was measured in terms of the number of active user plane connections. Both the connection rerouting delay and the time taken for connection activation in the new AP were measured. The time for

rerouting a single connection consists of the time for checking the resources for the connection from the new AP, the switching delay, and the overhead for processing within the CS.

The measurement results showed that radio resource checking introduces 7 ms, switching around 90 ms, and the processing overhead 21 ms, resulting in total rerouting delay of 118 ms/connection. The connection activation delay (after terminal reassociation) was around 140 ms/connection. It can be concluded that from the total rerouting delay, resource checking within the AP and processing overhead can be considered minimal compared to the delay introduced by the switch hardware. This result shows that CS control plane implementation is very efficient and has only a minor impact on the total rerouting latency. The connection activation delay in the new AP, on the other hand, was considered too long. 140 ms/connection results in long brake during the handoff procedure, and therefore some optimizations in the connection activation procedure are desirable.

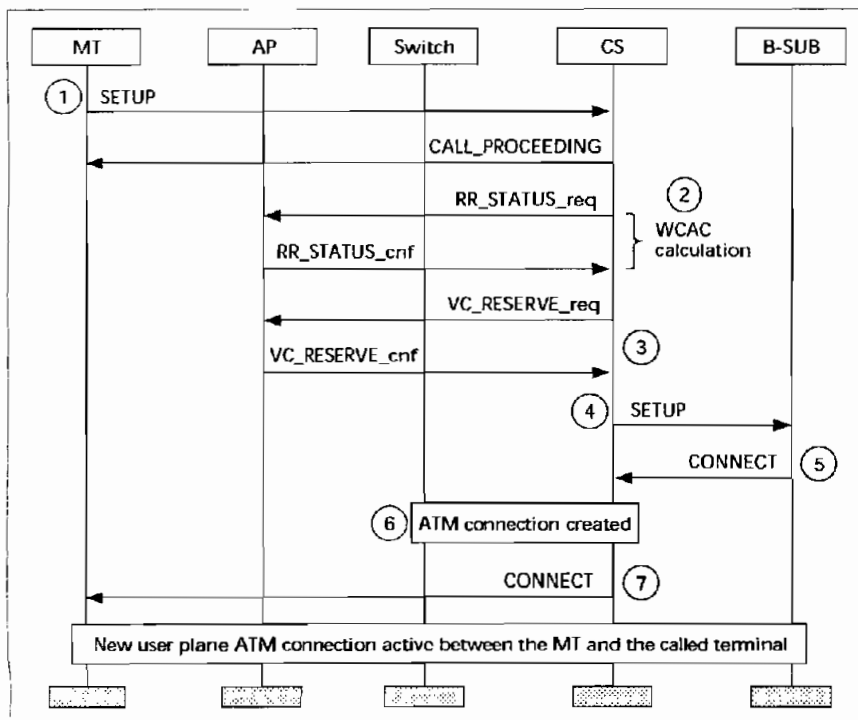


Figure 5. The mobile-originated connection setup procedure.

CONCLUSIONS

The control plane protocols play a very important role in multimedia-capable wireless ATM networks. They establish and maintain the communication link between the moving wireless terminals and the fixed ATM networks. This article describes the design principles of a wireless ATM access network, and presents the WAND prototype implementation following these principles. The main guidelines followed in the WAND prototype implementation were dynamic ATM VC and signaling channel management, and dynamic radio resource management to maintain and guarantee different QoS levels for different applications. The resulting wireless ATM control plane protocol implementation is fully ATM-compatible, which was the most important goal of the design. In addition to the implementation details, the performance of the reference protocol implementation is analyzed.

The performance of the WAND control stack is looked at in terms of the additions that had to be made to support mobility. The modular protocol design made it possible to evaluate the overhead of the mobility-specific protocols. The measurement results show that the WAND wireless ATM signaling stack is performing well; the protocol delays and processing loads are considered small enough for a working WAND prototype system. Moreover, the signaling stack implementation proved to be robust, thanks to careful protocol design and specification.

The main attention in the design of the control plane software was to designing a system which could be quickly implemented to demonstrate our ideas. Therefore, the resulting implementation is not the most efficient, and there is some room for improvement. However, it was concluded that the control plane implementation, although not the most optimal, provides a good basis for demonstrating the ideas required for a wireless ATM system. Some optimizations could be made to the architecture to reduce the number of control messages passed, thus reducing remote procedure call overheads. Similarly, some operations which consist of a number of consecutive steps (repetition) could be combined into one single operation to reduce protocol overhead. Even so, the system performs very well and forms a fundamental part of the WAND demonstrator.

ACKNOWLEDGMENTS

This article is based on our previously published material from *wmATM '99*, organized by the Wireless Mobile ATM Task Force of the Delson Group.

The article is based on the work performed in the framework of ACTS project AC085, Magic WAND, which is partly funded by the European Community and the Swiss Bundesamt für Bildung und Wissenschaft (BBW). The author would like to acknowledge the contributions of his colleagues from Nokia Mobile Phones, Tampere University of Technology,

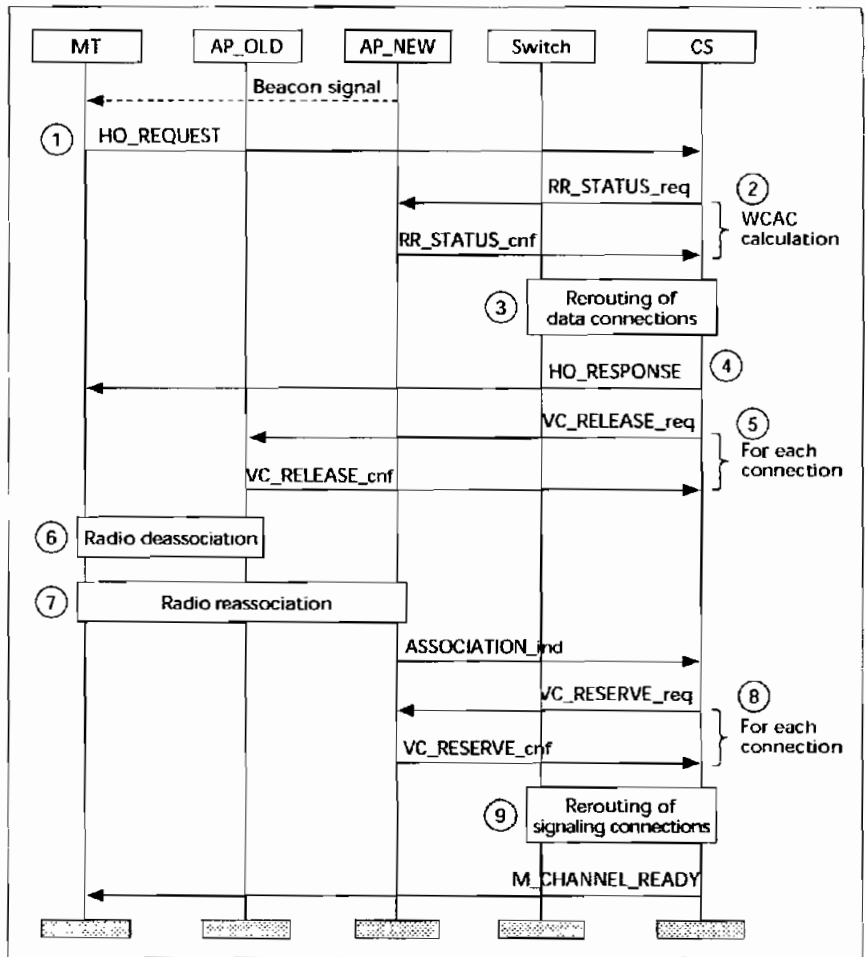


Figure 6. The backward handoff procedure.

Technical Research Centre of Finland, Ascom Systec AG, Lucent Technologies WCND, University of Lancaster, Robert BOSCH GmbH, University of Ulm, Compagnie IBM France, IBM Zurich Research Laboratory, Eurecom Institute, ETH Zurich, INTRACOM Hellenic Telecommunications, and the University of Athens.

REFERENCES

- [1] J. Immonen, "Implementation and Performance of the WAND Wireless ATM Signaling Stack," *Proc. IEEE WmATM '99*, San Jose, CA, June 1999.
- [2] J. Lemilainen and J. Ala-Laurila, "Implementation of the Wireless ATM Terminal," *Proc. WmATM '98*, Hangzhou, China, Apr. 1998.
- [3] J. Mikkonen et al., "The Magic WAND - Functional Overview," *IEEE JSAC*, vol. 16, no. 6, Aug. 1998.
- [4] T. Kuehnel et al., "Alternatives of Signaling Channel Allocation In Wireless ATM Networks," *Proc. Int'l. Wksp. Mobile Commun.*, Thessalonica, Greece, Sept. 1996.
- [5] H. Hansen et al., "Description of the Handover Function in the WAND Demonstrator," *Proc. ACTS Mobile Summit 1996*, Granada, Spain.
- [6] H. Mitts et al., "Lossless Handover for Wireless ATM," *Mobile Networks and Apps.*, vol. 1, no. 3, Dec. 1996.

BIOGRAPHY

JUKKA IMMONEN (jukka.k.immonen@nokia.com) received his M.Sc. degree in telecommunications technology from Tampere University of Technology, Finland, in 1995. Before joining Nokia Research Center Boston in 1998, he worked with Nokia Telecommunications, Technical Research Centre of Finland, and Siemens Corporation. His duties have included research and development of wireless broadband networks, especially radio resource and mobility management algorithms for wireless ATM networks. His current research interests include next-generation IP-based mobile networks and wireless LANs.