



A. PROPUESTA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN INTERNO SIN FINANCIAMIENTO

1. TIPO DE INVESTIGACIÓN:

Básica	X	Aplicada	
--------	---	----------	--

2. UNIDAD EJECUTORA (Departamento, Instituto o Estructura de Investigación):

1. DETRI
- 2.

3. LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:

1. DETRI –A1 –L2
- 2.

4. TÍTULO DEL PROYECTO (mínimo 10 palabras):

Implementación de un algoritmo para generar señales de handshake RTS y CTS en el estándar 802.15.4 para redes inalámbricas con topología lineal a gran escala.

5. RESUMEN (máximo 200 palabras)

En el presente proyecto se propone desarrollar un algoritmo para generar señales de handshake RTS y CTS en el estándar 802.15.4 para estructuras lineales a gran escala. El algoritmo utiliza confirmación implícita iACK con el estándar 802.15.4 para minimizar los tiempos de retardo y consumo de energía en los nodos. El algoritmo es comparado con el protocolo utilizado en redes inalámbricas 802.11, en el cual se utiliza RTS y CTS para solucionar el problema de los nodos ocultos. Se realiza un modelo matemático que permite evaluar los tiempos de retardo y de esta manera comprobar las ventajas del algoritmo propuesto. En una red con nodos sensores, se implementa el algoritmo propuesto y el 802.11 con RTS y CTS, para evaluar los resultados y determinar la validez del modelo matemático propuesto.

6. PALABRAS CLAVE (4-6)

LWSN, 802.15.4, RTS, CTS

7. OBJETIVOS

7.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar un algoritmo para generar las señales de handshake RTS y CTS en el estándar 802.15.4 para una red inalámbrica de sensores lineales a gran escala.

7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Desarrollar el algoritmo permita implementar el mecanismo RTS y CTS en el estándar 802.15.4 para estructuras lineales a gran escala.



- b. Proponer el modelo matemático para generar las señales de handshake RTS y CTS en el estándar 802.15.4
- c. Implementar un prototipo en base a una red inalámbrica de sensores para evaluar el algoritmo propuesto.

8. HIPÓTESIS (opcional)

- a. La utilización de RTS, CTS e iACK permite solucionar el problema de nodos ocultos en estructuras lineales a gran escala.

9. DETALLE DE LOS RESULTADOS ESPERADOS (con relación a los objetivos)

- a. Un algoritmo funcionando que permita generar las señales de handshake RTS y CTS en el estándar 802.15.4 para mejorar el rendimiento.
- b. Un modelo matemático que permita calcular los retardos de RTS y CTS tanto del algoritmo propuesto como del estándar 802.11
- c. Prototipo de red que permita evaluar los tiempos calculados y medidos de las señales RTS y CTS.

10. IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN (científico, social, económico u otros (máximo una carilla))

El algoritmo propuesto pretende resolver el problema de nodos ocultos, optimizando el consumo de energía de los nodos sensores, disminuir los retardos y la pérdida de paquetes en redes inalámbricas con topologías lineales y ofrece ventajas para la implementación de sistemas de monitoreo de infraestructuras lineales a gran escala como oleoductos y tuberías que transportan gasolina. El algoritmo propuesto aporta principalmente en el área de las redes inalámbricas de sensores con topología lineal en base al estándar IEEE 802.15.4, ya que en el mencionado estándar no adopta mecanismos de RTS/CTS, para resolver el problema de nodos ocultos. Facilita el desarrollo de nuevas aplicaciones para el área de las comunicaciones y el IoT y también para generar temas de trabajos de titulación para pregrado y postgrado y para aplicaciones de actualidad.

11. ESTADO DEL ARTE, E INVESTIGACIONES PREVIAS DEL EQUIPO (máximo tres carillas)

En las WSN (Redes Inalámbricas de Sensores) que utilizan el estándar IEEE 802.15.4, el objetivo de la investigación está enfocado a crear redes que tengan una comunicación de extremo a extremo con un mínimo retardo, menos pérdidas de paquetes y mínimo consumo de energía debido a las limitaciones de energía y cálculo que tienen los nodos sensores. En las LWSN con topología lineal (Linear Wireless Sensor Networks), es más complicado cumplir con este objetivo, ya que, en una topología lineal el número de vecinos de un nodo es limitado y existe una sola ruta física de transmisión, lo que hace que la pérdida de datos sea más probable que en redes inalámbricas de sensores que operan con otras topologías. Normalmente, las LWSN tienen un patrón de tráfico especial entre nodos, ya que los nodos más cercanos al nodo frontera suelen estar más congestionados que los nodos que están al interior de la infraestructura lineal. Esto se debe a que los mensajes de los nodos internos siempre tienen que pasar por nodos intermedios para llegar al nodo frontera. Los nodos sensores tienen tres modos de operación, el modo transmisión y modo recepción que forman parte del estado activo del nodo y el modo dormido que forma parte del estado inactivo del nodo. Cuando un nodo tiene datos que transmitir debido a que el nodo sensa un evento, genera una trama que transporta datos y los envía al nodo frontera, los nodos intermedios tienen que estar activos para poder retransmitir la trama y esta pueda llegar al nodo frontera. Esto es un problema debido a que los nodos intermedios no pueden estar activos todo el tiempo esperando que un nodo transmita, porque al operar con baterías su tiempo de vida disminuye. En base a los antecedentes expuestos, es importante evitar retardos y pérdida de datos en las redes inalámbricas de sensores con



topologías lineales, para lo cual se propone implementar un mecanismo que permita resolver el problema de los nodos ocultos y así optimizar el rendimiento de la red. En este proyecto de investigación para resolver el problema de los nodos ocultos, se propone un algoritmo que se ejecute en cada uno de los nodos sensores y utilice señales de handshake RTS y CTS en redes inalámbricas de sensores con topología lineal basadas en el estándar IEEE 802.15.4. El problema de nodos ocultos en redes inalámbricas afectan considerablemente al rendimiento de la red, ya que cuando ocurre una colisión entre nodos ocultos, las retransmisiones de datos tienen más probabilidad de fallar y la sobrecarga es mayor en comparación con la sobrecarga que representa utilizar mecanismos de RTS y CTS, por lo cual es viable su implementación para topologías lineales a gran escala. El Grupo de Investigación de IoT del DETRI (GI-IoT) está trabajando en la definición de protocolos para redes inalámbricas de sensores con topología lineal, considerando que no se ha podido definir una arquitectura estándar para trabajar con las redes inalámbricas de sensores (Kumar S. et al., 2014) y que los protocolos han sido creados de acuerdo al problema a resolver (Suhonen, 2012). Dentro de este objetivo, se han identificado retos a ser resueltos en la LWSN, uno de ellos es el problema de los nodos ocultos que forman parte de la infraestructura lineal. Por lo cual el Grupo el GI-IoT necesita investigar este tema. Solucionar el problema planteado permitirá entre otras cosas, la propuesta de nuevos protocolos para redes inalámbricas de sensores con topología lineal, la propuesta de trabajos de titulación y proyectos de investigación en esta área, implementación de nuevas aplicaciones en este campo lo cual es de vital importancia para que el GI-IoT cumpla con sus objetivos. De lo antes planteado surge como problema científico de la investigación la necesidad de sincronizar cientos de nodos en infraestructuras lineales a gran escala que utilicen el protocolo IEEE 802.15.4. De este problema científico se desprende que el área de la investigación son los protocolos MAC para LWSN, siendo el campo de acción específico de la investigación la propuesta de mecanismos para resolver el problema de los nodos ocultos que forman parte de una LWSN. Mecanismos que son representados por un algoritmo a ser ejecutado en cada nodo. El análisis del algoritmo propuesto requiere la modelación matemática del algoritmo, así como su validación de funcionamiento en un prototipo de red.

- **Publicaciones previas relacionadas con el proyecto**

“Movilidad en el Internet de las Cosas (MIoT)”, PIS 16-16, EPN. Director de Proyecto.

Las publicaciones previas relacionadas con Redes Inalámbricas de Sensores relacionadas con el proyecto son las siguientes:

- Herrera Carlos, Egas Carlos. (2020). Redes inalámbricas de sensores. una gran oportunidad para generar entornos de investigación, docencia y desarrollo. TICEC 2020 aceptado para su publicación.
- Herrera C, Egas C, Ontaneda I, (2019). Evaluación del tiempo de operación de un nodo inalámbrico en la transmisión de video sobre Ipv6. MASKAY, TICec
- Herrera C, Egas C, Pereira V, Sá Silva J, (2016). RELIABILITY IN WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR ENVIRONMENT MONITORING.. Revista Politécnica.
- Raposo, D., Rodrigues, A., Silva, J. S., Boavida, F., Oliveira, J., Herrera, C., & Egas, C. (2016). An autonomous diagnostic tool for the WirelessHART industrial standard. WoWMoM 2016 - 17th International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks. <https://doi.org/10.1109/WoWMoM.2016.7523536>
- Herrera C, González F, Sá Silva J, (2014). ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE UNA SOLUCIÓN BASADA EN IPV6 PARA MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL EN BASE A REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES.. Revista Politécnica.
- Thanh-Dien Tran, Nunes D, Sá Silva J, Herrera C, (2014) AN ADAPTABLE FRAMEWORK FOR INTEROPERATING BETWEEN WIRELESS SENSOR NETWORKS AND EXTERNAL APPLICATIONS, IEEE
- Custodio R, Sá Silva J, Nunes D, Boavida F, Herrera C, (2013) uMobile IPv6 in wireless sensor networks. IEEE, 2013 Seventh International Conference on Sensing Technology (ICTS).

Se ha dirigido 5 Trabajos de Titulación en las carreras de Electrónica y Telecomunicaciones y Redes de Información del DETRI relacionadas con WSN.

La investigación está dirigida para personas dedicadas al diseño, desarrollo e implementación de aplicaciones redes inalámbricas de sensores a gran escala con topología lineal, para ser aplicadas en el desarrollo de tuberías inteligentes, sensado de oleoductos, monitoreo de fronteras, carreteras, túneles.



Este trabajo ayudará a los diseñadores a superar posibles obstáculos para optimizar implementaciones como por ejemplo aumentar la vida útil de la red y facilitar la creación de aplicaciones que utilicen las WSN para topologías lineales.

12. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO, INCLUIDO METODOLOGÍA (máximo tres carillas)

Para la realización de este proyecto, se plantea un desarrollo basado en etapas, ya que durante la ejecución se requiera realizar cambios o modificaciones, característica propia de los procesos de investigación. Las etapas propuestas son las siguientes:

1. Revisión de la situación actual y caracterización del problema:

Iniciaremos con la recopilación de información sobre el tema, para posteriormente hacer un análisis de la situación actual, específicamente se realizará la revisión de la literatura relacionada con el mecanismo RTS y CTS utilizado en redes inalámbricas 802.11 y la propuesta planteada de incluir este mecanismo en el estándar 802.15.4 para redes inalámbricas con topologías lineales a gran escala. Esto nos permitirá caracterizar el problema para definirlo, enmarcarlo teóricamente y sugerir una propuesta de solución considerando que los nodos para su conexión a nivel de enlace utilizan el estándar 802.15.4, ampliamente utilizado en las redes inalámbricas de sensores. Por lo cual el análisis y entendimiento al detalle de este estándar se considera importante para alcanzar los objetivos propuestos debido a que se pretende utilizar las propiedades de este protocolo o realizar modificaciones al mismo, para incorporar los mecanismos de RTS y CTS que permitan solucionar el problema de nodo oculto y mejora el desempeño de las LWSN. El problema del nodo oculto en redes inalámbricas ocasiona una cantidad considerable de colisiones, pérdida de paquetes y sobrecarga de reenvío, por lo cual se ve necesario el desarrollo del algoritmo que permita incorporar al estándar 802.15.4 los mecanismos de RTS y CTS, que por default no está incluido en el estándar original, aclarando que solo se aplicará a topologías lineales a gran escala. La validación de la propuesta realizada será realizada en un prototipo de red que utilizará el nodo RCB256RFR2 y del microcontrolador ATMEGA256RFR2 el cual permite trabajar directamente con el protocolo IEEE 802.15.4. Es por esta razón que se realizará una revisión de las principales características del nodo.

2. Definición del marco de trabajo.

La red con topología lineal, se caracteriza porque existe un solo camino para que la información llegue a su destino, existen pocos nodos dentro de la cobertura de un nodo, y las tramas para llegar al nodo de borde de la topología lineal tienen que ser retransmitidas por cientos de nodos, como consecuencia de esto, el problema de los nodos ocultos requieren una especial atención para que no afecte el funcionamiento normal de este tipo de redes, mediante la implementación de mecanismos RTS y CTS en redes 802.15.4. Este es el problema a resolver. Para solucionar el problema de nodos ocultos en topologías lineales se desarrollará un algoritmo que permita incluir las señales de handshake RTS y CTS en la operación normal del estándar 802.15.4 y así evitar las colisiones, pérdida de paquetes y sobrecarga de reenvío.

3. Diseño implementación y validación de la propuesta.

La propuesta considera que existe un problema técnico, cuando se desea solucionar el problema de nodo oculto en una red de topología lineal con una longitud de cientos de kilómetros y que utiliza el estándar IEEE 802.15.4. Con estas condiciones es necesario crear una solución para evitar los nodos ocultos que puedan existir en la red, considerando que el estándar 802.15.4 tiene un área de cobertura en ambientes despejados de alrededor de 60 metros. La característica importante a considerar es la distancia máxima entre los nodos que forman parte de la red con topología lineal multisalto, para realizar el análisis se propone un escenario en el cual la ubicación de los nodos sensores es cada 30 metros, de esta manera la señal radioeléctrica que emite de cada nodo sensor es recibida por dos nodos a su derecha y dos nodos a su izquierda, es por esta razón que los cientos de nodos no están la misma zona de cobertura, reduciendo a unos pocos nodos el problema de nodo oculto. Los nodos operarán en el modo no ranurado utilizando CSMA/CA para el control de acceso al canal, considerando que dentro de la zona de cobertura de un nodo sensor estarán máximo cuatro nodos. La propuesta consiste en utilizar el protocolo IEEE 802.15.4 en los nodos que forman parte de la infraestructura lineal para crear un mecanismo basado en la utilización de señales RTS y CTS que permitan reducir o eliminar el problema de nodos ocultos. Cuando un nodo desea transmitir datos, envía un RTS al nodo destino. La trama RTS contiene la indicación de la cantidad de datos que desea transmitir. Cualquier nodo diferente al nodo destino de la trama RTS que la reciba, retrasa su transmisión durante un tiempo igual al que tarda la recepción de la correspondiente trama CTS. El nodo destinatario devuelve una trama CTS, si está dispuesto a recibir datos (García X. et al., 2015). La trama CTS contiene la indicación de la cantidad de datos que el nodo transmisor original desea transmitir. Cualquier nodo diferente al nodo



emisor de la trama RTS que lo reciba, retrasa su transmisión durante el tiempo igual al necesario para transmitir los datos indicados, y de esta manera resolver el problema de nodo oculto. En base a la utilización de las señales de RTS y CTS antes de enviar paquetes de datos, se obtiene una mejora en el consumo de energía, paquetes perdidos y un buen rendimiento extremo a extremo. El propósito de RTS y CST, es indicar a los nodos vecinos, que el canal estará ocupado el período contenido tanto en RTS como en CTS. La descripción de la solución mencionadas anteriormente será la base para el diseño del algoritmo que nos permita obtener un diagrama de flujo de la solución, para luego implementar el programa en los nodos sensores.

El diseño del algoritmo, será uno de los insumos necesario para definir un modelo matemático para determinar los tiempos que utilizan las señales RTS y CTS para cumplir con el objetivo de reservar recursos de red y así evitar los nodos ocultos en topologías lineales y conseguir las ventajas descritas anteriormente.

Definido el marco de desarrollo de la solución propuesta, y considerando de que se dispone de los nodos para implementar el prototipo en el cual se validará la propuesta, se seleccionará las herramientas de hardware y software, lenguajes de programación, y otros elementos que sean necesarios que permitan continuar con la investigación, implementando y validando los algoritmos propuestos en el prototipo a implementar con los nodos sensores RCB 256RFR2 (ATMEL, 2013). El prototipo de la red de sensores inalámbricos tendrá como máximo de 5 nodos sensores debidamente conectados en topología lineal. Mediante la utilización de un sniffer se procederá a medir los tiempos utilizados por las señales RTS y CTS. Para comprobar el correcto funcionamiento de los algoritmos y validar su funcionamiento, los resultados obtenidos en el prototipo, se compararán con los resultados teóricos obtenidos del modelo matemático.

4. Presentación de conclusiones

Durante esta etapa se presentan los resultados de la investigación con un artículo que se considera va a tener una propuesta de alto impacto.

García X, García R, Vallejo J: Redes y servicios móviles – 2015 Universidad de Oviedo.
ATMEL. (2013). Atmel AVR10004: RCB256RFR2 – Hardware User ManualL.

Fang, C., Liu, H., & Qian, L. (2011). LC-MAC: An efficient MAC protocol for the long-chain wireless sensor networks. Proceedings - 2011 3rd International Conference on Communications and Mobile Computing, CMC 2011. <https://doi.org/10.1109/CMC.2011.65>

Kumar S., A. A., Ovsthus, K., & Kristensen., L. M. (2014). An industrial perspective on wireless sensor networks-a survey of requirements, protocols, and challenges. IEEE Communications Surveys and Tutorials. <https://doi.org/10.1109/SURV.2014.012114.00058>

Suhonen, J. (2012). Designs for the Quality of Service Support in Low-Energy Wireless Sensor Network Protocols. In ... teknillinen yliopisto. Julkaisu-Tampere University of ...

13. INFRAESTRUCTURA Y EQUIPOS

Los elementos de hardware que se utilizarán en este proyecto, son los elementos que se dispone en el Laboratorio de Maestría-FIEE.

Infraestructura	Equipos	
	Nombre del Equipo	Ubicación del Equipo
Laboratorio ZZ		
Laboratorio de Maestría	Nodos RCB256RFR2	Laboratorio Maestría
Laboratorio de Maestría	Programador Nodos ICE	Laboratorio Maestría
Laboratorio de Maestría	Computador	Laboratorio Maestría



B. DATOS INFORMATIVOS

1. INFORMACIÓN DEL DIRECTOR, COLABORADOR (EPN o EXTERNO) Y COLABORADORES TÉCNICOS

Apellidos y nombres	No. de Cédula	HSS*	Departamento	Rol	Título de mayor nivel y mención.
Herrera Muñoz Carlos Alfonso	1707328488	8	DETRI	Director	Máster
Egas Acosta Carlos Roberto	1706733167	4	DETRI	Colaborador	Máster
A definirse	N/A	3		Colaborador	Estudiante



C. DECLARACIÓN FINAL
DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DEL PROYECTO

El equipo de investigadores, representado por el Director del Proyecto declara lo siguiente:

- Que el presente proyecto es una creación original de mi autoría y del equipo de investigadores, y por tanto asumimos la completa responsabilidad legal en caso de que un tercero alegue la titularidad de los derechos intelectuales del proyecto, exonerando a la EPN de cualquier acción legal que se derive por esta causa.
- Que el presente proyecto no ha sido presentado en ninguna convocatoria de otra institución pública o privada. El incumplimiento será causal para que el proyecto no sea tomado en consideración.
- Que si el proyecto genera algún producto o procedimiento susceptible de obtener derechos de propiedad intelectual, de los cuales se deriven beneficios, aceptamos que éstos serán compartidos entre los investigadores y la institución o las instituciones participantes en el proyecto, conforme a lo establecido en el COESC.
- Que el equipo de investigadores y/o instituciones participantes se comprometen a mantener la confidencialidad de la información si ésta podría ser susceptible de protección por patentes, y solicitar la valoración de propiedad intelectual respectiva previa a cualquier publicación o difusión.
- Que para el caso de derechos de autor otorgamos una licencia de uso exclusivo con fines académicos para la o las instituciones participantes en el proyecto.
- Que aceptamos conocer y cumplir con la normativa vigente para la gestión de proyectos.

Firma del Director del Proyecto
Nombre: Carlos Alfonso Herrera Muñoz
C.I.: 1707328488



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN
Proyecto de Investigación Interno sin Financiamiento
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO



Título del Proyecto: Implementación de un algoritmo para generar señales de handshake RTS y CTS en el estándar 802.15.4 para redes inalámbricas con topología lineal a gran escala.

		AÑO 1																																																						
Nº	Actividad	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8				Mes 9				Mes 10				Mes 11				Mes 12										
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4							
1	Desarrollar el algoritmo permita implementar el mecanismo RTS y CTS en el estándar 802.15.4 para estructuras lineales a gran escala.																																																							
1,1	Revisar literatura CSMA/CA RTS y CTS																																																							
1,2	Revisar manejo de señales de handshake RTS y CTS																																																							
1,3	Caracterizar el problema																																																							
1,4	Diseñar el algoritmo utilizando las tramas RTS y CTS																																																							
1,5	Implementar el algoritmo en el prototipo																																																							
1,6	Validar el algoritmo en el prototipo																																																							
1,7	Analizar resultados																																																							
1,8	Presentación resultados. Artículo.																																																							
2	Proponer el modelo matemático para generar las señales de handshake RTS y CTS en el estándar 802.15.4																																																							
2,1	Analizar protocolo 802.15.4																																																							
2,2	Crear modelo matemático																																																							
2,3	Evaluar modelo matemático																																																							
3	Implementar un prototipo en base a una red inalámbrica de sensores para evaluar el algoritmo propuesto.																																																							
3,1	Revisar características del nodo RCB256RFR2																																																							
3,2	Implementar Prototipo																																																							