

PROYECTO JUNIOR PIJ-16-01

"Modelamiento de la Packet Error Rate (PER) incluyendo condiciones de Peak-to-Average Power Ratio (PAPR) para transmisiones Ad-Hoc"

En la ciudad de Quito D.M., a los veinte días del mes de octubre del año dos mil veinte y uno, comparecen a la celebración de la presente Acta de Finalización del Proyecto Junior **PIJ-16-01 "Modelamiento de la Packet Error Rate (PER) incluyendo condiciones de Peak-to-Average Power Ratio (PAPR) para transmisiones Ad-Hoc"**, por una parte, la **Dra. Alexandra Patricia Alvarado Cevallos** en calidad de **Vicerrectora de Investigación, Innovación y Vinculación** de la Escuela Politécnica Nacional, y por otra el **Dra. Martha Cecilia Paredes Paredes** en calidad de **Directora del Proyecto Junior PIJ-16-01**, al tenor de lo siguiente:

1. ANTECEDENTES:

- a) El 09 de mayo de 2016, el Consejo de Investigación y Proyección Social mediante Resolución 036/16, aprueba el Cronograma para el lanzamiento de la Convocatoria para la presentación de Proyectos de Investigación Internos, Semilla, Junior y Multi e Interdisciplinarios 2016.
- b) El 09 de febrero de 2017, al amparo de lo dispuesto por Consejo de Investigación y Proyección Social, mediante Resolución 012/17, se aprobaron los proyectos Junior 2016, entre ellos el denominado: *"Modelamiento de la Packet Error Rate (PER) incluyendo condiciones de Peak-to-Average Power Ratio (PAPR) para transmisiones Ad-Hoc"*, presentado por la Dra. Cecilia Paredes.
- c) Mediante Memorando EPN-VIPS-2017-0747-M del 10 de abril del 2017, se informa a los Directores de los proyectos Junior 2016 que la fecha de inicio de los proyectos es el 17 de abril del 2017.
- d) Mediante Memorando EPN-CIYPS-2019-0082-M del 28 de marzo de 2019, Consejo de Investigación y Proyección Social, notifica a la Dra. Cecilia Paredes, directora del proyecto de investigación junior PIJ-16-01 la resolución RCIPS-060-2019 donde se aprueba la prórroga ordinaria por seis meses hasta el 16 de octubre de 2019.

2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO:

Código del proyecto	PIJ-16-01
Título del proyecto	Modelamiento de la Packet Error Rate (PER) incluyendo condiciones de Peak-to-Average Power Ratio (PAPR) para transmisiones Ad-Hoc
Director	-PAREDES PAREDES MARTHA CECILIA
Codirector	-REINOSO CHISAGUANO DIEGO JAVIER
Colaborador	-VEGA SANCHEZ JOSE DAVID -URQUIZA AGUIAR LUIS FELIPE
Colaborador externo	-ESCU德罗 GARZÁS JOSÉ JOAQUIN
Unidad ejecutora	Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información
Líneas de investigación	-Sistemas de comunicaciones inalámbricas
Objetivo	Formular una nueva ecuación para el cálculo de la PER que incluya aspectos de PAPR para redes inalámbricas en escenarios de ad-hoc

Duración del proyecto	-Fecha de Inicio: 2017-04-17 -Fecha de Fin Planeada: 2019-04-16 -Fecha de Fin Prórroga Ordinaria: 2019-10-16 -Fecha de Fin Real: 2019-10-16 -Duración total: 30 meses
Presupuesto aprobado	78.703,65 USD
Presupuesto ejecutado	39.722,27 USD
Entrega de informe final	8 de febrero de 2021

3. INFORME FINAL:

Mediante Memorando EPN-PIJ-16-01-2021-0001-M del 8 de febrero de 2021 la Dra. Cecilia Paredes, Directora del Proyecto PIJ-16-01, presenta el Informe Final del Proyecto Junior, mismo que es revisado por la Dirección de Investigación, y que se anexa y forma parte integrante de la presente Acta de Finalización, cuyas conclusiones y productos generados son:

CONCLUSIONES:

- a) Se realizaron todas las etapas detalladas en el alcance y se obtuvo una formulación de la PER que considere aspectos de la PAPR en una red adhoc. Esta formulación se basa en un modelo paramétrico encontrado en la literatura que es de fácil implementación y se adapta a la variabilidad que presenta la PER dependiendo de parámetros como su tasa de transmisión. Para obtener los parámetros del modelo se desarrolló un algoritmo que dio buenos resultados y facilitó la implementación del modelo en un simulador de red.
- b) Se encontró que la implementación de la PHY del estándar 802.11p en el simulador de red NS-3 usa un modelo teórico simple que no se asemeja al resultado obtenido en la simulación detallada de la PHY en Matlab. Esto implica que NS-3 se basa en un modelo simple de la PHY que no es cercano a la realidad y disminuye el realismo de este simulador de red.
- c) Se realizaron simulaciones de la técnica OPS-SAP para los diferentes estándares IEEE 802.11a/g/p y se pudo observar que el rendimiento de esta técnica es similar para estos estándares cuando se considera la señal en bandabase ya que solo cambia el canal de frecuencia usado para la transmisión y el ancho de banda. Adicionalmente, se evidenció que la PER se ve más afectada por la alta PAPR en las tasas más elevadas ya que utilizan modulaciones menos robustas como 16QAM y 64QAM.
- d) Se revisó la literatura y se encontraron varios modelos teóricos del cálculo de la PER. Se seleccionaron los modelos más representativos y se implementó una simulación donde se encontró que ninguno obtiene una PER similar a la obtenida con la simulación detallada de la PHY en Matlab. Se concluye que dependiendo de la tasa de transmisión que se desee obtener se puede seleccionar diferentes modelos o introducirles offsets para que se apeguen más a la PER real.
- e) Se encontró que la alta PAPR causa bastante variabilidad de la PER y depende de parámetros como el HPA, tasa de transmisión y técnica de reducción de la PAPR. Los resultados indicaron que era posible usar el modelo paramétrico de Abrate et. Al. para recoger las variaciones que produce

la PAPR sobre la PER; además, este modelo tiene una formulación sencilla que facilita su implementación en un simulador de red.

- f) Para determinar los coeficientes del modelo paramétrico se desarrolló un algoritmo que permite obtener los mismos a partir de los resultados de las simulaciones en Matlab para cada tasa de transmisión. El modelo paramétrico obtenido se comparó con los resultados de la simulación de la PHY en Matlab encontrando que la PER es muy similar salvo pequeñas diferencias para tasas de transmisión altas o tamaños de paquetes grandes.
- g) Se implementó la nueva formulación de la PER en el simulador de red NS-3. Primero se pudo validar su correcta implementación al comparar los resultados con los de la simulación de Matlab. Luego, se implementó una simulación con nodos móviles en una red ad-hoc dando también los resultados esperados. De esta forma, NS-3 incrementó su nivel de realismo al considerar en el cálculo de la PER los efectos de la PAPR.
- h) Debido a limitaciones en la asignación de horas para la ejecución del proyecto, no se pudieron realizar más pruebas en el simulador de red NS-3 para analizar el impacto de la nueva formulación de la PER sobre otros parámetros como paquetes perdidos, paquetes retransmitidos y su variación dependiendo del tamaño del paquete utilizado.

PRODUCTOS:

- Artículo publicado: *Comparison of propagation and packet error models in vehicular networks performance*; Carolina Tripp-Barba, Luis Urquiza-Aguilar, Aníbal Zaldívar-Colado, José Estrada-Jiménez, José Alfonso Aguilar-Calderón, Mónica Aguilar Igartua; Vehicular Communications (Scimago Journal Rank - Q1); febrero 2018.
- Artículo publicado: *Aligning the Light without Channel State Information for Visible Light Communications*; Máximo Morales-Céspedes; Martha Cecilia Paredes Paredes; Ana García Armada; Luc Vandendorpe; IEEE Journal on Selected Areas in Communications (Scimago Journal Rank - Q1); Enero 2018.
- Artículo publicado: *On the Statistics of the Ratio of Non-Constrained Arbitrary alpha-mu Random Variables: a General Framework and Applications*; José David Vega Sánchez, Diana Pamela Moya Osorio, Edgar Eduardo Benítez Olivo Hirley Alves, Martha Cecilia Paredes Paredes and Luis Urquiza Aguilar; Transaction on Emerging Telecommunications Technologies (Scimago Journal Rank - Q2); Diciembre 2019.
- Artículo publicado: *Simulation model for IEEE 802.11p physical layer in MATLAB*; Alejandro Flores, Diego Reinoso, Luis Urquiza, Martha Cecilia Paredes Paredes, SoftwareX (Scimago Journal Rank - Q2), Agosto 2020
- Artículo en congreso: *Performance Metrics for Diversity-Combining Techniques over Nakagami-m Fading*; J. David Vega Sánchez, L. Urquiza-Aguilar and M. C. Paredes Paredes; 2017 IEEE Second Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM) indexado Scopus; Agosto 2017. Ponente: D. Vega.
- Artículo en congreso: *A Simple Approximation for the Sum of Fading Random Variables via a Nakagami-m Distribution*; J. D. Vega Sanchez, L. Urquiza-Aguilar, M. C. Paredes and D. J. Reinoso

Chisaguano; 2019 IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall) indexado Scopus; Julio 2019. Poster

- Artículo en congreso: *Effect of Constellation-shaping-based PAPR Reduction Methods Over the Capacity of OFDM Systems*; D. J. Reinoso Chisaguano, L. Urquiza-Aguilar, and M. C. Paredes Paredes; 2019 IEEE Fourth Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM) indexado Scopus; Noviembre 2019. Ponente: D. Reinoso
- Artículo en congreso: *Physical Layer Security for 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey*; J.D. Vega Sánchez, L. Urquiza-Aguilar, and M. C. Paredes Paredes; 2019 IEEE Fourth Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM) indexado Scopus; Noviembre 2019. Ponente: D. Vega.
- Artículo en congreso (posters): *A Simple Approximation for the Sum of Fading Random Variables via a Nakagami- m Distribution*; J.D. Vega Sánchez, L. Urquiza-Aguilar, and M. C. Paredes Paredes, D.J. Reinoso; 2019 IEEE 90th Vehicular Technology conference (VTC2019-Fall); Septiembre 2019 Ponente: D. Vega
- Presentaciones a la comunidad politécnica: "Introducción a la optimización de asignación de recursos en redes inalámbricas" – Seminario del 12-16 de agosto de 2019 – presentación José Escudero, Colaborador Externo.
- Presentaciones a la comunidad politécnica: "A Simple Approximation for the Sum of Fading Random Variables via a Nakagami- m Distribution" – Difusión de resultados 17 octubre de 2019 – presentación José Vega, Colaborador del proyecto.
- Presentaciones a la comunidad politécnica: "Difusión de resultados del proyecto PIJ-16-01" - 7 de enero de 2020 presentación Luis Urquiza (Colaborador), Cecilia Paredes (Directora) y Diego Reinoso (Codirector).
- Proyecto de titulación: *Análisis y Documentación de la implementación de la capa física IEEE 802.11p en un simulador de red NS-3*; Llerena Camacho, Ángel David; Tesis Electrónica y Redes de Información; agosto 2018. URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19661>
- Proyecto de titulación: *Análisis y documentación de la implementación de la capa física IEEE 802.11a y 802.11p para redes ad hoc en el simulador OMNeT++*; Alobuela Loachamín, Gissela Katherine; Padilla Olivo, Christian André; Tesis Electrónica y Redes de Información; julio 2019; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20404>
- Proyecto de titulación: *Análisis cualitativo y cuantitativo de modelos para el cálculo del PER (Packet Error Rate) para comunicaciones IEEE 802.11p*; Flores Cabezas, Xavier Alejandro; Tesis Electrónica y Redes de Información; enero 2020; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20711>
- Proyecto de titulación: *Simulación y análisis de los modelos de propagación para un canal implementado bajo el estándar IEEE 802.11p*; Logro Lema, Yolanda Belén, Mayanquer Méndez, Grace Alexandra; Tesis Electrónica y Redes de Información; enero 2020; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20711>

- Proyecto de titulación: *Evaluación del rendimiento de la técnica OPS-SAP para la reducción de la PAPR en estándares de redes ad-hoc*; Acero Arias, Alexander Xavier; Tesis Electrónica y Redes de Información; enero 2020; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21266>

LIQUIDACIÓN ECONÓMICA:

El monto asignado al Proyecto Junior PIJ-16-01 fue de \$ 78.703,65 USD (*Setenta y ocho mil setecientos tres con 65/100*), y se ejecutaron \$ 39.722,27 USD (*treinta y nueve mil setecientos veinte y dos 27/100*), conforme al detalle emitido por la Unidad de Gestión de Investigación y Proyección Social del Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, que se adjunta a la presente Acta y forma parte integrante de la misma.

4. FINALIZACIÓN:

Con la presente Acta se declara finalizado y cerrado el Proyecto de Investigación Junior PIJ-16-01: "*Modelamiento de la Packet Error Rate (PER) incluyendo condiciones de Peak-to-Average Power Ratio (PAPR) para transmisiones Ad-Hoc*".

Para constancia de lo ejecutado y por estar de acuerdo con el contenido de la presente Acta, las partes libre y voluntariamente suscriben la misma, en tres ejemplares de igual contenido, tenor y valor legal.

Dado en la ciudad de Quito, D.M. a los veinte días del mes de octubre del año dos mil veinte y uno.



Dra. Alexandra Alvarado
Vicerrectora de Investigación,
Innovación y Vinculación

cc/np



Dra. Cecilia Paredes
Director del Proyecto
PIJ-16-01

