

Universidad Politécnica de Cartagena
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de
Telecomunicaciones



Proyecto Final de Carrera
Algoritmos De Asignación De Recursos En Redes
Inalámbricas Con Relays



Alumno: Jose Manuel Soria Moreno
D.N.I.: 23038155-K
Director: Juan José Alcaraz Espín

SEPTIEMBRE / 2009



Autor	Jose Manuel Soria Moreno
E-mail del Autor	er_soria83@hotmail.com
Director(es)	Juan José Alcaraz Espín
E-mail del Director	juan.alcaraz@upct.es
Codirector(es)	
Título del PFC	Algoritmos de Asignación de Recursos en Redes Inalámbricas con Relays
Descriptores	
<p>Resumen</p> <p>En el presente proyecto se pretende crear un algoritmo de asignación de recursos, para gestionar los recursos de una red inalámbrica con relays cooperativos ARQ de una forma más eficiente, este algoritmo se encargará de repartir los recursos libres entre el emisor y el nodo relay según los vayan necesitando, mejorando la eficiencia de la red, con respecto a algoritmos de asignación de recursos ya existentes como es el algoritmo Round Robin.</p> <p>Otro aspecto que se estudiará en este proyecto será el cálculo óptimo de la probabilidad de retransmisión del emisor con respecto a la probabilidad de error de trama de los enlaces de acceso, llevando a cabo un estudio, y una serie de simulaciones para demostrar su eficiencia.</p>	
Titulación	Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones, Especialidad en Telemática
Intensificación	
Departamento	Tecnologías de la Información y Comunicaciones
Fecha de Presentación	Septiembre - 2009

ÍNDICE

1	Introducción	8
1.1.	Aspectos Tecnológicos.....	8
1.2.	Tecnología Wimax	8
1.2.1.	<i>Topologías de Redes WIMAX</i>	9
1.2.2.	<i>Estándares WIMAX</i>	9
1.3.	Transmisión Cooperativa con Relay	10
1.4.	Asignación de Recursos	11
1.5.	Objetivos	11
1.6.	Resumen de Contenidos	12
2	Evolución hacia Tecnologías 4G y Estándar IEEE 802.16j	13
2.1.	Introducción	13
2.2.	Las Generaciones de la Telefonía Inalámbrica	13
2.2.1.	<i>La Primera Generación 1G</i>	13
2.2.2.	<i>La Segunda Generación 2G</i>	13
2.2.3.	<i>La Tercera Generación 3G</i>	14
2.2.4.	<i>La Cuarta Generación 4G</i>	14
2.3.	Ventajas de la Red 4G.....	15
2.4.	Arquitectura de Red 4G.....	15
2.4.1.	<i>Objetivos Relay</i>	16
2.5.	Estándar IEEE 802.16j, Redes de Acceso Inalámbrico.....	16
2.5.1.	<i>Estandarización del IEEE 802.16j</i>	17
2.5.2.	<i>Contexto de la Iniciativa del 802.16j</i>	17
2.5.3.	<i>Motivación para el 802.16j</i>	18
2.5.4.	<i>Especificaciones del IEEE 802.16j</i>	19
2.5.5.	<i>Consideraciones de Diseño para Sistemas 802.16j</i>	25
2.6.	Conclusiones	27
3	Estrategia de Probabilidad de Retransmisión para un Relay Cooperativo ARQ.....	28
3.1.	Introducción	28
3.2.	Modelo del Sistema.....	29
3.3.	Análisis de Rendimiento	32
3.3.1.	<i>Función del Rendimiento</i>	32
3.3.2.	<i>Tasa de Retransmisión de la Fuente</i>	33
3.4.	Estrategia de Optimización del Múltiple Objetivo.....	34

3.5.	Resultados	35
3.6.	CONCLUSIONES	40
4	Simulador y Algoritmo de Asignación de Recursos	41
4.1.	Introducción	41
4.2.	Módulo Común	44
	DESTINO.....	44
4.3.	Módulos Round Robin	46
	EMISOR.....	46
	CAPA FÍSICA – PHYSICAL LAYER.....	51
	CONTROLADOR DEL CANAL – CHANNEL CONTROLLER.....	51
	RELAY	54
4.4.	Algoritmo de Asignación de Recursos.....	56
4.5.	Módulos Cola más Larga Aplicando Algoritmo Asignación de Recursos.....	58
	EMISOR.....	58
	CAPA FÍSICA – PHYSICAL LAYER	62
	CONTROLADOR DEL CANAL – CHANNEL CONTROLLER.....	62
	RELAY	63
5	Escenarios de Simulación y Resultados	67
5.1.	Introducción	67
5.2.	Simulaciones Relacionadas con el Rendimiento del Sistema	70
	SIMULACIÓN 1.....	70
	SIMULACIÓN 2.....	71
	SIMULACIÓN 3.....	72
	SIMULACIÓN 4.....	72
	SIMULACIÓN 5.....	73
	SIMULACIÓN 6.....	74
	CONCLUSIÓN DE LAS GRÁFICAS.....	74
5.3.	Simulaciones Relacionadas con el Retardo del Sistema	75
	SIMULACIÓN 1.....	75
	SIMULACIÓN 2.....	76
	CONCLUSIÓN DE LAS GRÁFICAS.....	76
5.4.	Simulaciones Relacionadas con el Rendimiento del Sistema según la Probabilidad de Retransmisión.....	77
	SIMULACIÓN 1.....	77

SIMULACIÓN 2.....	78
SIMULACIÓN 3.....	78
SIMULACIÓN 4.....	79
CONCLUSIÓN DE LAS GRÁFICAS.....	80
5.5. Simulaciones Relacionadas con el Retardo del Sistema según la Probabilidad de Retransmisión.....	80
SIMULACIÓN 1.....	80
SIMULACIÓN 2.....	81
SIMULACIÓN 3.....	82
CONCLUSIÓN DE LAS GRÁFICAS.....	82
6 Conclusión.....	83
BLIBLIOGRAFÍA	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Casos de uso para el 802.16j.....	19
Figura 2. Estructura de la trama en modo transparente	22
Figura 3. Estructura de la trama en modo no transparente	22
Figura 4. Sistema C-ARQ.....	29
Figura 5. Rendimiento C-ARQ vs. pA.....	36
Figura 6. Óptimo pS vs. pA.....	36
Figura 7. Rendimiento C-ARQ vs. α^2	37
Figura 8. Óptimo pS vs. α^2	38
Figura 9. Óptimo pS vs. pA y pC.....	39
Figura 10. RM – RO vs. pA y pC.....	39
Figura 11. TM – TO vs. pA y pC.....	40
Figura 12. Topología de una red inalámbrica.....	42
Figura 13. Estado 1 del módulo destino.....	44
Figura 14. Estado 2 del módulo destino.....	45
Figura 15. Estado 3 del módulo destino.....	45
Figura 16. Estado 1 del módulo emisor. Simulador Round Robin.....	48
Figura 17. Estado 2 del módulo emisor. Simulador Round Robin.....	48
Figura 18. Estado 3 del módulo emisor. Simulador Round Robin.....	49
Figura 19. Estado 4-1 del módulo emisor. Simulador Round Robin	49
Figura 20. Estado 4-2 del módulo emisor. Simulador Round Robin	50
Figura 21. Estado 5 del módulo emisor. Simulador Round Robin.....	50
Figura 22. Estado 1 del módulo controlador del canal. Simulador Round Robin	52
Figura 23. Estado 2 del módulo controlador del canal. Simulador Round Robin	52
Figura 24. Estado 3 del módulo controlador del canal. Simulador Round Robin	53
Figura 25. Estado 4 del módulo controlador del canal. Simulador Round Robin	53
Figura 26. Estado 1 del módulo relay. Simulador Round Robin.....	54
Figura 27. Estado 2 del módulo relay. Simulador Round Robin.....	55
Figura 28. Estado 3 del módulo relay. Simulador Round Robin.....	55
Figura 29. Estado 4 del módulo relay. Simulador Round Robin.....	56
Figura 30. Estado 1 del módulo emisor. Simulador Cola más larga.....	59
Figura 31. Estado 2 del módulo emisor. Simulador Cola más larga.....	59
Figura 32. Estado 3 del módulo emisor. Simulador Cola más larga.....	60
Figura 33. Estado 4-1 del módulo emisor. Simulador Cola más larga.....	60
Figura 34. Estado 4-2 del módulo emisor. Simulador Cola más larga.....	61
Figura 35. Estado 5 del módulo emisor. Simulador Cola más larga.....	61
Figura 36. Estado 1 del módulo controlador del canal. Simulador Cola más larga.....	63
Figura 37. Estado 1 del módulo relay. Simulador Cola más larga	64
Figura 38. Estado 2 del módulo relay. Simulador Cola más larga	65
Figura 39. Estado 3 del módulo relay. Simulador Cola más larga	65
Figura 40. Estado 4 del módulo relay. Simulador Cola más larga	66
Figura 41. Estado 5 del módulo relay. Simulador Cola más larga	66
Figura 42. Probabilidad óptima de retransmisión del emisor.....	68
Figura 43. Probabilidad óptima de retransmisión del emisor adaptada al simulador.....	68

Figura 44. Troughput del sistema primera simulación.....	71
Figura 45. Troughput del sistema segunda simulación.....	71
Figura 46. Troughput del sistema tercera simulación.....	72
Figura 47. Troughput del sistema cuarta simulación	73
Figura 48. Troughput del sistema quinta simulación	73
Figura 49. Troughput del sistema sexta simulación	74
Figura 50. Retardo de trama de los dos sistemas primera simulación	75
Figura 51. Retardo de trama de los dos sistemas segunda simulación	76
Figura 52. Troughput del sistema variando la probabilidad de retransmisión del emisor primera simulación	77
Figura 53. Troughput del sistema variando la probabilidad de retransmisión del emisor segunda simulación	78
Figura 54. Troughput del sistema variando la probabilidad de retransmisión del emisor tercera simulación	79
Figura 55. Troughput del sistema variando la probabilidad de retransmisión del emisor cuarta simulación	79
Figura 56. Retardo de trama del sistema variando la probabilidad de retransmisión del emisor primera simulación.....	81
Figura 57. Retardo de trama del sistema variando la probabilidad de retransmisión del emisor segunda simulación.....	81
Figura 58. Retardo de trama del sistema variando la probabilidad de retransmisión del emisor tercera simulación.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de las capacidades del 802.16j y el 802.16e-2005.....	19
Tabla 2. Comparación entre modo de operación transparente y no transparente.....	21
Tabla 3. Diseño de opciones de los sistemas 802.16j	27

1 Introducción

1.1. Aspectos Tecnológicos

La evolución de las redes de acceso de radio hacia tecnología 4G implica un aumento considerable en los anchos de banda, ya que las velocidades esperadas son mayores que la de los sistemas 3G. Por lo que surgen dos problemas fundamentales en cuanto a la nueva demanda, puesto que por un lado la energía se decrementa linealmente con el incremento de la tasa binaria creando serios problemas relacionados con la cobertura, y por otro lado la porción del espectro utilizado estará aproximadamente sobre los 2GHz por encima de la usada por 3G, en cuya banda la propagación es más vulnerable a condiciones de NLOS(non-line-of-sigth), es decir de no visión directa entre emisor y receptor.

Debido a este aumento de las velocidades binarias, las tasas de error en la transmisión serán cada vez mayores, por lo que se opta por la integración de la capacidad multisalto, junto con la colocación de nodos intermedios o nodos relays como una de las soluciones propuestas de los nuevos sistemas de cuarta generación.

Estos nodos cubrirán regiones de 200-500m por lo tanto sus requisitos de potencia serán menores en relación a los de las estaciones base, de manera que los nodos relay serán más baratos ya que el diseño de los amplificadores será más económico. Otro aspecto de los nodos relay es que no estarán conectados con el núcleo de red, sino que almacenarán los datos recibidos por la estación base y los reenvían hacia los usuarios o hacia la estación base. También cabe destacar que si la densidad de los nodos relay es considerablemente alta la mayoría de los usuarios estarán más cerca de un nodo que de la estación base, por lo que se mejora las condiciones de propagación, dando como resultado altas velocidades de datos en el enlace entre nodo relay y el usuario resolviendo los problemas de cobertura.

En redes de acceso basadas en relays, la asignación de recursos es un aspecto muy innovador. Esta asignación de recursos consiste en determinar, en cada momento, que canales se asignarán a cada comunicación (estación base – usuario, relay usuario). Los canales pueden ser TDM, CDMA, OFDM, o de cualquier tipo, en general. Con esta asignación de recurso se pretende aumentar el rendimiento del sistema y mejorar la velocidad de transmisión de los mensajes. Esta asignación de recursos podría tener aplicación en la tecnología Wimax, más concretamente el estándar IEEE 802.16j.

1.2. Tecnología Wimax

La tecnología estandarizada por el IEEE bajo el apelativo 802.16, por lo común conocida como WIMAX, es considerada el hermano mayor del Wi-Fi. Eso responde al hecho que el WIMAX promete más alcance, más anchura de banda y más potencia que el Wi-Fi, acompañada de más funcionalidad en términos, especialmente, de calidad de servicio y seguridad.

El WIMAX fue diseñado como alternativo para dos grandes aplicaciones, las dos propias de operadores de telecomunicaciones, y no de usuarios finales. Por una parte, el WIMAX está destinado a ser la evolución del LMDS y MMDS para la implementación de radioenlaces punto a punto. De la otra, el WIMAX es una tecnología adecuada para dar un

servicio de acceso fijo; es decir, puede utilizarse como competidor o sustituto de la red de acceso fija (DSL y cable) en determinados entornos, especialmente en entornos rurales, donde el despliegue de soluciones de cable es muy costoso y los radioenlaces punto-multipunto se presenta como una alternativa flexible y más barata.

1.2.1. Topologías de Redes WIMAX

Las topologías propias de una red WIMAX pueden ser:

- De distribución: análogo a las redes de infraestructura Wi-Fi. La estación base ocupa un rol de punto de acceso, y centralizado el acceso de los usuarios distribuidos por la celda en la red fija y a la salida hacia internet. Además, se ocupa de gestionar el canal y distribuir los recursos en función de las necesidades de la calidad de cada usuario.
- Malladas: análogo a las redes ad hoc, permite la comunicación directamente entre estaciones móviles sin necesidad de pasar por una estación base. La gestión de los recursos es entonces distribuida. Un inconveniente de esta última característica es que, por razones de compatibilidad en los sistemas de gestión, a menudo todos los equipos han de ser del mismo fabricante.

1.2.2. Estándares WIMAX

Originalmente, el estándar 802.16 se finalizó en el año 2001 y comprendía las funcionalidades básicas del WiMAX. Trabajaba en la banda de los 10 a los 66 GHz, que exigía visibilidad directa para la comunicación. Con canales muy anchos (hasta 28 MHz) y modulaciones eficientes, el estándar permitía capacidades teóricas de hasta 134 Mbps. En el año 2003 se publicó un estándar complementario, el 802.16a, que básicamente extendía el estándar original para bandas de frecuencias más bajas, que permitían la comunicación sin visibilidad directa, mejoraba la cobertura dentro de edificios y permitía establecer redes donde los mismos terminales WiMAX actúan como repetidores (mesh networks). El estándar 802.16d, más conocido como en 802.16-2004, unificaba ambos estándares en uno solo, y además, incorporaba algunas correcciones sobre los estándares originales. Éste es el estándar de referencia actualmente, y para el cual empiezan a aparecer los primeros equipos. Con posterioridad se diseñó el estándar 802.16e, que incluía soporte para la movilidad con velocidades de hasta 120 km/h, así como soporte para la itinerancia, en la banda de frecuencias más inferior de las utilizadas por WiMAX. Este estándar ha pasado a ser conocido como 802.16e-2005.

Tenemos también el estándar 802.16g que se ocupa de los procedimientos y servicios de gestión de una red WIMAX. El 802.16k estudia mecanismos de bridging y 802.16j, mecanismos de repetidores múltiples, ambos como complemento a las topologías de malla ya introducidas en 802.16a. Por último comentar que los trabajos hacia el estándar 802.16h buscan facilitar la coexistencia de diversas redes WIMAX en una misma área geográfica utilizando espectro libre, donde por lo tanto ha posibilitado de interferencias entre diferentes redes.

1.3. Transmisión Cooperativa con Relay

Los protocolos de solicitud de repetición cooperativa automática, C-ARQ, están atrayendo la atención de los investigadores. Este tipo de protocolos aplican los conceptos de comunicación cooperativa para mejorar el rendimiento de los protocolos de la capa de enlace en redes inalámbricas. En las comunicaciones cooperativas, cada nodo no sólo transmite y recibe datos para su propia aplicación, sino que también puede actuar como nodo relay proporcionando una vía alternativa para otros pares de nodos de comunicación (Nosratinia A., 2004). Esta idea es conocida como la diversidad cooperativa y se presenta como una extensión del concepto de diversidad espacial múltiple de múltiples-entradas múltiples-salidas (MIMO), donde cada una de las múltiples antenas están ubicadas en cada nodo cooperativo en lugar de en un solo nodo. Las futuras evoluciones de las redes de acceso móvil se espera que hagan uso de la diversidad cooperativa mediante nodos relays para mejorar la conectividad de los nodos terminal, consulte (R. Pabst, 2004), (F. Fitzek, 2006) o (K. Doppler, 2007).

El protocolo ARQ clásico (no cooperativo) es ampliamente utilizado en los enlaces inalámbricos para aumentar la fiabilidad en el proceso de entrega de los datos de las tramas entre un nodo emisor y un nodo destino. Varios factores del canal inalámbrico, por ejemplo, pérdida en el camino, desaparición y el ruido, puede degradar la calidad de la señal recibida a fin de que reciba las tramas por lo que no pueden ser decodificados correctamente en el nodo de destino. Los protocolos ARQ especifican cómo retransmitir los datos de las tramas cuando se detectan pérdidas de tramas. El C-ARQ explota la naturaleza de los canales inalámbricos, con la participación de otros nodos (nodos relay) en el proceso de retransmisión. Un nodo relay se encuentra dentro de los rangos de transmisión tanto del nodo emisor como del nodo destino. Si el nodo relay contiene una trama que el destino no es capaz de descifrar, puede ayudar al emisor retransmitiendo la misma copia de la trama perdida. Trabajos anteriores (Dianati M., 2006), (L. Xiong, 2008), (I. Cerutti, 2007) han demostrado que el C-ARQ aumenta la probabilidad de éxito de la retransmisión, lo que conlleva un mayor rendimiento entre los nodos emisor y receptor.

En general, los protocolos C-ARQ son evaluados en un slot del canal de radio, donde el nodo destino puede recibir simultáneamente desde el emisor y los nodos relay. Estos nodos utilizan diferentes canales físicos para comunicarse con el nodo destino, y, por tanto, las señales no colisionan. En las redes basadas en CDMA, esto requiere el uso de diferentes códigos de codificación; en redes OFDM, diferentes frecuencias ortogonales y, en TDMA, slots de tiempo diferentes. C-ARQ se las aplica a este tipo de redes para ofrece una mayor fiabilidad, a costa de un uso más extensivo de los recursos inalámbricos, en el supuesto de que tanto el emisor como el nodo relay retransmitan la trama perdida.

1.4. Asignación de Recursos

Otro aspecto considerado es la asignación de recursos (resource allocation) para cada fase de la comunicación, la cual puede estar fijada de antemano o puede ser ajustada dinámicamente en función de los canales de los diferentes enlaces. En el caso de que todos los coeficientes del canal se conocieran perfectamente, los terminales podrían transmitir síncronamente, mejorando la comunicación gracias a la ganancia debida a técnicas de precodificación por medio de los autovectores de canal (con antenas distribuidas).

Las fuentes y los relays están limitados en potencia y el acceso de ellos en cada fase de la comunicación puede hacerse por medio de TDMA (time division multiple access), FDMA (frequency division multiple access) or SC (superposition coding multiple access). La asignación de recursos puede ser formulada como un problema convexo en algunos casos y la solución óptima puede ser encontrada.

Los protocolos de retransmisión de mensajes (ARQ automatic repeat request) son los encargados de asegurarse la correcta recepción y son redefinidos para la transmisión asistida por relay. Cuando la fuente conoce los parámetros del canal, investiga la predicción del error en las transmisiones asistidas por relay, y con ello es posible diseñar un algoritmo para que maximice la cantidad de información transmitida para una probabilidad de pérdida de paquete o que maximice el rendimiento.

1.5. Objetivos

Los principales objetivos de este proyecto son los que vamos a enumerar a continuación:

1. Crear un algoritmo de asignación de recursos para redes inalámbricas con relays cooperativos ARQ, el cual se encargará de gestionar los recursos de la red para mejorar la eficiencia de la misma.
2. Estudiar las estrategias que se pueden llevar a cabo para calcular las probabilidades de retransmisión del emisor, ya que el sistema que vamos a crear estará compuesto por relays cooperativos ARQ, por lo que es interesante calcular la probabilidad de retransmisión del emisor para mejorar la eficiencia en el uso del ancho de banda.
3. Crear dos simuladores de redes inalámbricas con relays cooperativos ARQ, el primero simulador va a estar compuesto por un algoritmo asignación de recursos, dándole preferencia a las colas más largas, el segundo simulador utilizará el algoritmo Round Robin, se crearán estos dos simuladores para poder comparar el nuevo algoritmo con uno ya existente.
4. Realizar pruebas para los dos sistemas creados, para así poder determinar la efectividad de este nuevo algoritmo que se pretende crear.

1.6. Resumen de Contenidos

A continuación vamos a enumerar los contenidos que se van a exponer a lo largo de este proyecto:

- Puesto que el estudio del algoritmo de asignación de recursos que se va a llevar a cabo a lo largo de este proyecto, tiene aplicaciones en el ámbito de las futuras redes inalámbricas 4G y las nuevas redes inalámbricas basadas en el estándar IEEE 802.16j, a lo largo del apartado 2 se da una visión de los aspectos más relativos de cómo han evolucionado las redes inalámbricas hacia tecnologías 4G, así como también se exponen los aspectos más relevantes del estándar 802.16j.
- En el apartado 3 se hace un estudio de las estrategias que se han llevado a cabo para el cálculo de las probabilidades de retransmisión de un sistema con relays cooperativos ARQ. En este apartado se comenta la importancia de realizar estos cálculos, y como se llevan a cabo.
- En el apartado 4 se explica cómo se ha realizado el simulador de la red inalámbrica, por lo que se detallan los elementos que componen el simulador, el lenguaje de programación y el compilador utilizado. En este apartado también se comenta cómo funciona el algoritmo que se encarga de repartir los recursos de la red.
- En el apartado 5 se lleva a cabo las simulaciones para comprobar el funcionamiento del simulador, así como el estudio de estas simulaciones.

2 Evolución hacia Tecnologías 4G y Estándar IEEE 802.16j

2.1. Introducción

Como hemos comentado anteriormente, el estudio realizado en este proyecto sobre los algoritmos de asignación de recursos en redes inalámbricas con relay cooperativos ARQ, tiene aplicaciones en el ámbito de las futuras redes inalámbricas 4G y las nuevas redes inalámbricas basadas en el estándar IEEE 802.16j.

Debido a esta posible aplicación del algoritmo, el principal objetivo de este apartado es dar una visión general de cómo han evolucionado las redes inalámbricas hacia tecnologías 4G, que ventajas presenta esta nueva tecnología y de que elementos esta compuestos, así como también el de exponer cómo surgió la iniciativa del estándar 802.16j y cuál es su funcionamiento.

A continuación se expone cómo han ido evolucionando las redes inalámbricas.

2.2. Las Generaciones de la Telefonía Inalámbrica

Las tecnologías inalámbricas están teniendo mucho auge y desarrollo en estos últimos años, una de las que ha tenido un gran desarrollo ha sido la telefonía celular, desde sus comienzos a finales de los 70 ha revolucionado enormemente las actividades que realizamos diariamente.

A pesar que la telefonía celular fue concebida para la voz únicamente, debido a las limitaciones tecnológicas de esa época, la tecnología celular de hoy en día es capaz de brindar otro tipo de servicios tales como datos, audio y video con algunas limitaciones, pero la telefonía inalámbrica del mañana hará posible aplicaciones que requieran un mayor consumo de ancho de banda.

2.2.1. La Primera Generación 1G

La 1G de la telefonía móvil hizo su aparición en 1979, se caracterizó por ser analógica y estrictamente para voz. La calidad de los enlaces de voz era muy baja, baja velocidad (2400 baudios), la transferencia entre celdas era muy imprecisa, tenía baja capacidad (basada en FDMA, Frequency Division Multiple Access) y la seguridad no existía. La tecnología predominante de esta generación es AMPS (Advance Mobile Phone System).

2.2.2. La Segunda Generación 2G

La 2G no llegó hasta 1990 y a diferencia de la primera se caracterizó por ser digital. El sistema 2G utiliza protocolos de codificación más sofisticados y son los sistemas de telefonía celular usados en la actualidad. Las tecnologías predominantes son: GSM (Global System for Mobile Communications); IS-136 (conocido también como TIA/EIA-136 o

ANSI-136) y CMDA (Code Division Multiple Access) y PDC (Personal Digital Communications), éste último utilizado en Japón.

Los protocolos empleados en los sistemas 2G soportan velocidades de información más altas para voz pero limitados en comunicaciones de datos. Se pueden ofrecer servicios auxiliares tales como datos, fax y SMS [Short Message Service]. La mayoría de los protocolos de 2G ofrecen diferentes niveles de encriptación. En los Estados Unidos y otros países se le conoce a 2G como PCS (Personal Communications Services).

2.2.3. La Tercera Generación 3G

Aunque los sistemas de 2.5G ya soportan mejoras considerables con respecto a los sistemas de 2G, éstas resultan insuficientes para satisfacer las necesidades de ancho de banda requeridas para servicios multimedia como audio, voz y datos. Con el fin de satisfacer dichas necesidades surgen los sistemas de 3G cuyo punto de partida es la aplicación de una interfaz radio de mayor capacidad. Los sistemas 3G fundamentales son UMTS y CDMA 2000 promovidos por la ITU (Unión Internacional de telecomunicaciones).

UMTS (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles) ofrece un nuevo interfaz radio denominado UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access), dicho interfaz está basado en tecnología CDMA (Code Division Multiple Access) cuyo fundamento es el empleo de códigos ortogonales para compartir la energía transmitida durante una comunicación en todo el rango de frecuencias disponible. Los códigos son conocidos tanto por la estación móvil como por la estación base.

Las redes UMTS están compuestas por dos grandes subredes, una de ellas es la red de telecomunicaciones encargada de la transmisión de información entre origen y destino, y la segunda se encarga de la provisión de medios para la facturación, tarificación, registro, definición de los perfiles de servicio, la gestión y seguridad en el manejo de datos, asegurar el correcto funcionamiento de la red detectando y resolviendo las posibles averías llevadas a cabo así como la recuperación del funcionamiento tras largos períodos de apagón o desconexión.

Actualmente se ha incorporado a las redes 3G la tecnología HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) la cual ofrece un ancho de banda máximo al usuario de 14 Mbps, el objetivo de ésta tecnología es permitir los servicios multimedia a través de una red de conmutación de paquetes.

2.2.4. La Cuarta Generación 4G

La red 4G es similar a la tecnología de la red 3G, con la diferencia, de que en la red 4G se utilizan nodos intermedios (nodos relay) conectados a la estación base, terminal de usuario u otro nodo relay. Además estas redes ofrecen una mayor fiabilidad puesto que la estación base es capaz de conectarse a varias GW (GateWay), de manera que si una de ellas falla, la red no quede fuera de servicio. La GW realiza funciones para asegurar la integridad y confidencialidad de los datos así como funciones de compresión de la cabecera antes del cifrado. Cuando un usuario se conecta a la red se le asigna un conjunto

de GWs, así dos o más usuarios conectados a la misma estación base pueden ser conectados a su vez a diferentes GWs. Si el usuario se mueve entre diferentes estaciones base dentro del conjunto de GWs éste no requiere un cambio de GW.

Además de los nodos obligatorios es posible definir un elemento opcional denominado RRM server que podría emplearlo el operador y que realizaría funciones de RRM(Radio Resource Management).

2.3. Ventajas de la Red 4G

Las principales ventajas de la red 4G son las siguientes:

- Mayores velocidades de datos alcanzado tasas de 100 Mbps en movimiento y de hasta 1 Gbps en reposo haciendo posible aprovechar al máximo los servicios multimedia de los que dispone la red y mejorando el servicio de cara al usuario, ya que en la red UMTS las velocidades de datos son de unos 384 Kbps pudiendo alcanzar como mucho tasas de 2 Mbps incluso la tecnología HSDPA que pretende optimizar la red UMTS está muy por debajo de la velocidad de la red 4G disponiendo de velocidades de 3.6 Mbps siendo su máxima teórica de 14.4 Mbps.
- Incrementa la cobertura de red a través del empleo de nodos intermedios.
- No se necesita una excesiva inversión para su desarrollo puesto que los relays son dispositivos de menor coste que las estaciones base.

2.4. Arquitectura de Red 4G

En este punto se explica cada uno de los elementos que componen la red de nueva generación, básicamente los nodos son los mismo que en 3GPP salvo en que aquí se introduce un nuevo elemento denominado relay.

Los componentes fundamentales se pueden clasificar en:

- **BS** (Base Station): La estación base es un elemento físico que sirve a un nodo relay o un usuario en un área geográfica determinada. Varias estaciones base se interconectan entre sí a través del núcleo de red.
- **UT** (User Terminal): es el dispositivo final por el que un usuario puede acceder a un conjunto de servicios de red.
- **RN** (Relay Node): Es un elemento que da servicio a un UT u otro RN que se encuentren bajo su área de cobertura. Está inalámbricamente conectado a una estación base, otro nodo relay o un terminal de usuario y permite la comunicación entre éstos elementos.

- **RAP** (Radio Access Point): Componente responsable de la transmisión o recepción hacia o desde un usuario. Puede ser tanto un nodo relay como una estación base.

2.4.1. *Objetivos Relay*

Los nodos relay incluidos en una REC (radio Enhanced Cell) pueden ser usados para mejorar la cobertura radio de una estación base.

Una REC es una celda que está formada además de por una estación base que le da servicio y una serie de usuarios que demandan la comunicación con otros usuarios, por un conjunto de nodos relay mejorando las prestaciones de la citada celda.

Los Relay pueden servir a un usuario del mismo modo que una estación base, sin que el usuario necesite configuración.

Además otro objetivo fundamental es la reducción de transmisión de potencia requisito imprescindible en los dispositivos alimentados por baterías como el UT y en otros dispositivos como la BS o el RN reduciendo el coste del Hardware. Esto es debido por ejemplo a que el usuario ya no tiene que conectarse directamente a la BS sino que puede hacerlo a través de un nodo intermedio con la consiguiente reducción de potencia que esto conlleva.

2.5. **Estándar IEEE 802.16j, Redes de Acceso Inalámbrico**

Los sistemas inalámbricos multisalto tienen el potencial para ofrecer la cobertura y mejorar la capacidad de los sistemas de acceso de radio unisalto. La organización del desarrollo de normas está estudiando el modo de incorporar estas técnicas en las nuevas normas.

Una de las iniciativas es la estandarización del IEEE 802.16j, agregando la capacidad de retransmitir de los sistemas IEEE 802.16.

Las redes de acceso inalámbrico multisalto son objetos de mucho interés en la actualidad. En los últimos años se han desplazado desde el ámbito de un interesante tema de investigación a un ámbito con un importante impacto en el mundo comercial. Dos de las manifestaciones más visibles de ello son el aumento de las actividades relativas a la normalización de la creación de redes multisalto y el crecimiento de las empresas con carteras de productos basados en esa tecnología.

Hay una serie de diferentes tipos de redes inalámbricas multisalto, en particular las redes ad hoc, redes de sensores, inalámbricas y de redes de malla. Cada uno de estos tipos de red tienen diferentes características (las tasas de movilidad, la escala, factor de forma, y así sucesivamente) que se traducen en el diseño de sistemas diferentes (por ejemplo protocolos de enrutamiento, mecanismos del control del medio de acceso).

Otro tipo de red inalámbrica multisalto que es objeto de cierta atención es la relacionada con la arquitectura basada en relays. Los sistemas basados en relays

generalmente compuestos por relays de bajo coste, que se asocian con la estación base. Los relays pueden ser utilizados para ampliar el área de cobertura de una estación base y/o aumentar la capacidad de un sistema de acceso inalámbrico. Se prevé que podría ser utilizado en las primeras etapas de despliegue de red para dar cobertura a un gran área a un bajo coste con una estación base como única solución, pero también puede ser utilizado para proporcionar un aumento en la capacidad de cobertura de las redes, así como proporcionar cobertura de las zonas en las sombras de los edificios.

Una de las iniciativas más importantes dentro del contexto de arquitecturas de redes basadas en relays es la iniciativa de la estandarización del IEEE 802.16j. Esta iniciativa, que se encuentra actualmente en su fase final, fue desarrollada para dar soluciones a las redes basadas en relays para que puedan funcionar con el legado final del 802.16e-2005. Se está trabajando en el desarrollo de BS y nuevas estaciones (RS), para que tenga la capacidad de permitir que las redes basadas en relays puedan realizar y proporcionar apoyo para el acceso de los dispositivos. Una de las claves para este trabajo es el hecho de que hay muchas partes del mundo en el que las tecnologías basadas en el IEEE 802.16 no se han desplegado (por una serie de razones): un primer despliegue de las arquitecturas basadas en relays podría facilitar una mayor cobertura a menor coste.

Como la mayoría de las normas, hay un gran número de opciones posibles, y no está claro que son las más apropiadas. Además, el proyecto aun esta en evolución, aunque la mayoría de las principales decisiones se han hecho en su punto. Por lo tanto, la descripción que se relata aquí son los intentos de capturar los aspectos más esenciales del proyecto actual.

2.5.1. Estandarización del IEEE 802.16j

Antes de describir el estándar del actual proyecto en detalle, es útil dar algún contexto. Aquí, se discutirá la actividad del estándar 802.16j: en primer lugar, se hará una breve descripción de los trabajos relacionados con 802,16; se presenta el ámbito de la normalización de la actividad 802.16j.

2.5.2. Contexto de la Iniciativa del 802.16j

El estándar 802.16 original se publicó en 2001 como una solución inalámbrica de acceso de banda ancha fija (FBWA), el estándar describe una solución de multiplexado ortogonal por división de frecuencia (OFDM) basado en punto a multipunto (PMP). Fue reemplazado por el 802.16-2004, que incorpora una operación de menor frecuencia, y la mayoría de los sistemas de envío de hoy que no tienen apoyo para la movilidad son compatibles con este estándar. Este apoyo a la movilidad fue añadido con el estándar 802.16e-2005, y los sistemas 802.16e se encuentran actualmente en la implantación (por ejemplo, el servicio XOHM de Sprint).

En la actualidad, el grupo de tareas de mantenimiento del IEEE 802.16 está trabajando en una versión actualizada de estas dos normas que se fusionarán en una sola norma, probablemente se conocerá como IEEE 802.16-2008. Una de las principales modificaciones es la eliminación de la malla definida en el IEEE 802.16-2004 como modo de multisalto para permitir la comunicación entre las estaciones de abonado y la BS . Su

eliminación es incompleta debido a sus especificaciones, lo cual era poco probable que se completará, y su falta de apoyo a la movilidad y PMP.

El otro gran esfuerzo con el 802.16 es el desarrollo de una solución basada en 802.16 para la entrada a la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) conocida como la iniciática avanzada IMT. Esta es la regla del grupo 802.16m que está trabajando en nuevas interfaces de radio y arquitecturas de sistemas de apoyo para una gran movilidad de datos a alta tasa de comunicaciones hasta 100 Mb / s para móvil y 1 Gb / s para fijos. Una diferencia clave entre 802.16m y 802.16j es que el primero no está limitado por cuestiones de herencia y, por tanto, tiene libertad para diseñar un nuevo sistema de acceso de radio.

2.5.3. Motivación para el 802.16j

802.16j está elaborando un estándar para apoyar la operación en modo relay de los sistemas 802.16. Se han previsto una serie de casos de uso, según se muestra en la Fig. 1. Los dos principales casos de uso puede dividirse en términos generales en el aumento de la cobertura y el mejoramiento de la capacidad. La primera pueden ser subdividida en dos casos de uso ligeramente diferente: Uno sería ampliar el rango de cobertura de una BS utilizando técnicas multisalto y el tratamiento de los agujeros en la cobertura (por ejemplo, las sombras de los edificios). El Aumento de la capacidad del sistema se puede lograr mediante el uso de múltiples vínculos con una mayor eficiencia, a diferencia de un solo salto aparte de la mala calidad de los canales, también, comunicaciones espaciales de multisalto pueden apoyar la reutilización, lo cual puede dar como resultado un aumento de la capacidad general del sistema.

El grupo de trabajo del 802.16j espera definir los RSs con significativamente menor complejidad que las BSs del 802.16e-2005. Por lo tanto, mediante el uso de un operador RSs se podría desplegar una red a un menor costo que utilizando más BSs para ofrecer una amplia cobertura al mismo tiempo que proporciona un nivel requerido de servicio a los usuarios. Este bajo costo y la facilidad de implementación son la clave para el uso del 802.16j. A fin de apreciar más claramente las diferencias entre un despliegue 802.16e-2005 y un despliegue 802.16j, la tabla 1 presenta las principales diferencias entre las dos tecnologías.

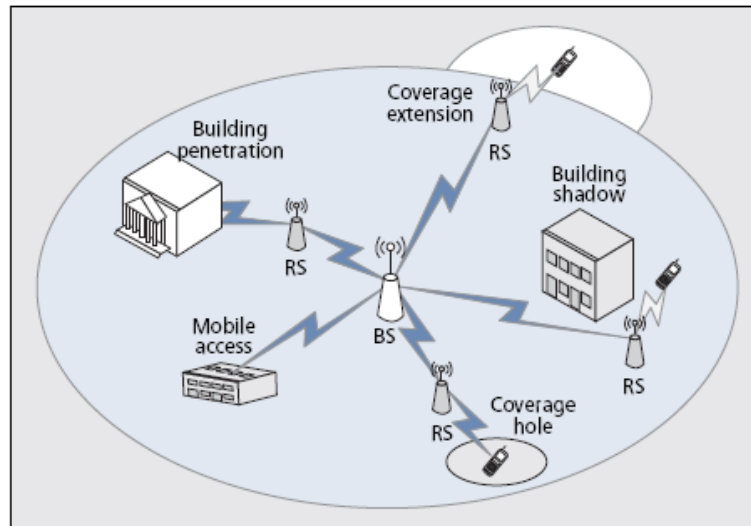


Figura 1. Casos de uso para el 802.16j

	802.16e-2005	802.16j
Topology	PMP only	Tree structure (PMP compatible, not ad hoc nor mesh)
Hops	Single hop	Multihop
Traffic aggregation	No	Yes over multihop path
System capacity	Lower	Higher within BS coverage area
Coverage	Lower	Higher
Cost	Higher	Lower
Legacy 802.16e-2005 stations	—	Backward compatible
Mobility support	Yes	Yes
PHY support	OFDMA	OFDMA extension

Tabla 1. Comparación de las capacidades del 802.16j y el 802.16e-2005

2.5.4. Especificaciones del IEEE 802.16j

El actual proyecto del 802.16j es un documento sustantivo, detallando muchos aspectos del funcionamiento de un sistema basado en el 802.16j. Es difícil capturar todos los aspectos de este amplio documento, nosotros nos centraremos en los aspectos del estándar que se diferencian significativamente de los anteriores estándares. En los aspectos específicos del estándar se detallan los diferentes modos de relay, las diferencias en el PHY, centrándose sólo en el marco de la estructura, así como una serie de diferencias en el control de acceso al medio de la capa MAC.

MODOS DE RELAY

El estándar define dos relays con diferentes modos de funcionamiento: transparentes y no transparentes. La diferencia clave entre estos dos modos de operación de relay es la forma de la transmisión de la información: en el modo de funcionamiento transparente, los relays no transmiten la información de la trama de cabecera, pero en el modo no transparente, los relays transmiten información sobre la trama de cabecera. La trama con la cabecera contiene información esencial con el uso de los nodos cuando ellos pueden transmitir información y recibirla. Esta diferencia en el tratamiento de la elaboración de la información dará lugar a características muy diferentes entre los dos modos de funcionamiento.

Relacionados con el modo de relay tiene dos diferentes opciones de programación: centralizada y distribuida. En el primer caso, todos los horarios para todos los nodos en el sistema se lleva a cabo en el BS, en el segundo, la RSs tienen cierta autonomía y pueden tomar las decisiones de los nodos con los que comunicarse.

Los dos modos de relay diferentes:

Modo transparente: En este modo, los RSs no transmiten la información de trama y, por tanto, no se incrementa el área de cobertura del sistema de acceso inalámbrico, consecuentemente, el uso principal para el modo de relay transparente es facilitar el aumento de la capacidad en el área de cobertura de la BS. Este tipo de relay es de menor complejidad, y sólo opera en un modo de programación centralizado y para topología de un máximo de dos saltos.

Modo no transparente: los RSs generan su propia información o los servicios prestados por la BS en función del enfoque de la programación (es decir, distribuido o centralizado). Ellos pueden soportar grandes áreas de cobertura y, por tanto, se utilizan principalmente para proporcionar una mayor cobertura. Por otro lado, la transmisión de la trama de información puede ocasionar altas interferencias entre RSs vecinos, por lo que el aumento de la capacidad que puede conseguirse utilizando estos enlaces es limitado. La falta de transparencia puede funcionar en las topologías de relays de más de dos saltos, ya sea en modo de programación centralizada o distribuida, lo que lleva a diferentes niveles de complejidad en el RS.

Como relays transparentes (T_RS) y relays no transparentes (NT_RS) tienen diferentes ventajas, puede haber situaciones en las que tiene sentido asociar a ambos con una sola BS. El estándar, sin embargo, da pocos detalles sobre cómo esto se puede llevar a cabo. En la tabla 2 se ilustra la diferencia entre ambos modos de relay.

	Transparent RS	Non-transparent RS
Coverage extension	No	Yes
Number of hops	2	2 or more
Inter RS cell interference	None	High
Performance	In BS coverage: high Outer BS coverage: —	In BS coverage: same as 16e Outer BS coverage: medium
RS Cost	Low	High
Scheduling	Centralized scheduling only	Centralized/distributed scheduling

Tabla 2. Comparación entre modo de operación transparente y no transparente

ESPECIFICACIONES DE LA CAPA PHY: ESTRUCTURA DE LA TRAMA

La estructura de la trama definida en el primer estándar 802.16 fue diseñada para redes inalámbricas de un solo salto, posteriormente fueron requeridas unas modificaciones para soportar las arquitecturas de redes con relay. Al igual que con la antigua estructura de trama del 802.16, la trama se divide en dos subtramas: enlace descendente (DL) y el enlace ascendente (UL). Sin embargo, a diferencia de la anterior estructura de trama, estas subtramas se dividen en zonas de apoyo para las comunicaciones BS-RS y comunicaciones RS-estación móvil (MS): las diferentes zonas facilitan las comunicaciones entre las diferentes partes del sistema. En ambos modos, transparentes y no transparentes, las llamadas zonas de acceso se definen para dar apoyo a la comunicación BS / NT_RS con el MS / T_RS. En el modo transparente lo que se denomina zona transparente se definen para comunicación de T_RS con MS, en modo relay no transparente se definen para comunicaciones de BS / NT_RS con NT_RS. Estas son las diferencias entre las estructuras de trama en los diferentes modos de relay, que se describen por separado más adelante.

Estructura de la trama en el modo de relay transparente (Figura 2): El modo transparente sólo admite topologías de dos saltos, sólo es necesario con tener una única zona de acceso y una zona transparente tanto en el DL y como en el UL. Los RSs cambian del modo de transmitir a recibir y viceversa, cuando el sistema cambia de zona, es necesario contar con una transición entre las dos zonas. La programación se realiza a través de MAPs que se transmiten por la BS, siempre compatible con los MAPs del 802.16e. Hay que tener en cuenta que los RSs tienen algunas pequeñas capacidad de buffer, de manera que a través de múltiples salto vía relay puede ser programado en diferentes tramas. Por ejemplo, los datos pueden transmitirse de la BS al RS en una trama, y los mismos datos pueden ser transmitidos a partir de la RS al MS en la siguiente trama.

Estructura de la trama en el modo relay no transparente (figura 3): La estructura de trama del modo no transparente es considerada más compleja. Tanto el BS como RS pueden transmitir tramas de cabecera, por lo que surgen algunos problemas de sincronización: el estándar establece que ambos deben estar sincronizados para transmitir el preámbulo de la trama al mismo tiempo; además, tanto las subtramas del DL como de UL deben estar sincronizados en la BS y el RS. La subtrama DL debe incluir por lo menos una zona de acceso DL y puede incluir una o más zonas de relay. La subtrama UL, por otro

lado, puede incluir una o más zonas de acceso UL y una o más zonas de relay. El comportamiento del sistema es ligeramente diferente dependiendo de si el modo de operación que está siendo usado es centralizado o distribuido. En ambos modos la BS transmite tres mapas: dos para la programación de las transmisiones hacia y desde los MSs con los que se comunica directamente, y otra para la programación de las comunicaciones entre BS-RS, llamado R-MAP. En el modo centralizado la BS genera MAPs que son utilizados por los RSs para programar las transmisiones desde o hacia sus subordinados. En este caso un RS_ACCESS-MAP es un mensaje enviado por la BS al RS que contiene el mapa que el RS debe transmitir al comienzo de su zona de acceso al DL en la siguiente trama. La programación centralizada se utiliza para topologías más grandes de dos saltos, un MAP debe ser generado por la BS para ser transmitida por los RSs como un R-MAP: esto se hace utilizando el mensaje RS_RELAY-MAP. En la programación distribuida los RSs puede realizar su propia programación, por lo que no necesita estos mensajes.

El modo no transparente proporciona soporte para RSs tanto de radio simple como doble. En el primer caso es necesario introducir diferencias entre las zonas de transición dentro de las subtramas, que no son necesarios para el segundo caso. En el caso de radio doble el RS se comunica con su padre a través una radio, y la otra radio se utiliza para la comunicación con sus subordinados; normalmente, estas radios operan en distintos canales.

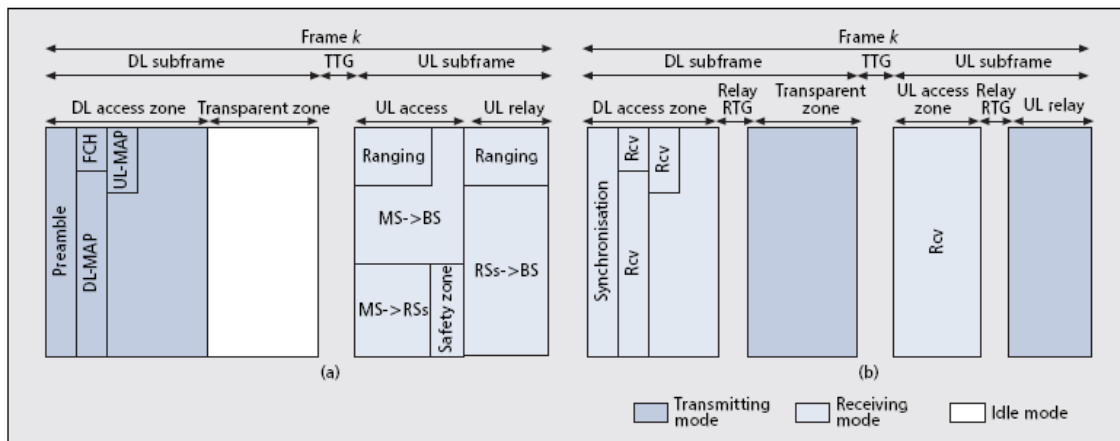


Figura 2. Estructura de la trama en modo transparente: a) Estructura de la trama vista de la BS; b) Estructura de la trama vista desde el RS

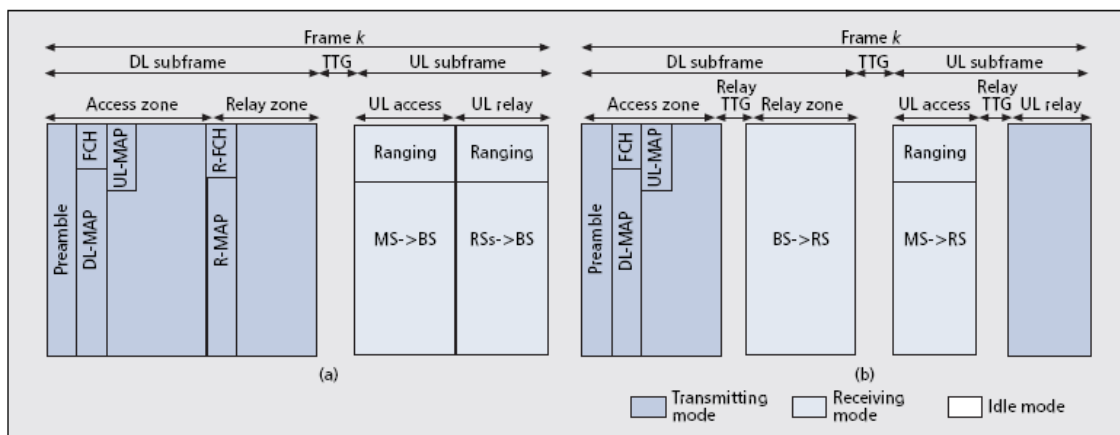


Figura 3. Estructura de la trama en modo no transparente: a) Estructura de la trama vista desde la BS; b) Estructura de la trama vista desde el RS

ESPECIFICACIONES DE LA CAPA MAC

Tres aspectos diferentes de la capa MAC se presentan aquí: el sistema de transmisión, las rutas y los mecanismos de gestión de ruta, y llamada inicial y los mecanismos de entrada de red.

Plan de Transmisión: Se definen dos sistemas de transmisión diferentes, ambos están destinados a maximizar la eficiencia del sistema por el aumento de tráfico, siempre que sea posible: el diseño basado en el túnel y el diseño basado en la conexión ID (CID). Este aumento de tráfico tiene dos ventajas principales: que puede traducirse en ganancias de la eficiencia del sistema con una menor información de señalización enviada. El diseño basado en el túnel proporciona soporte para explícitos túneles caracterizados por una única CID, dos puntos finales específicos, y la calidad de las necesidades del servicio (QoS). El diseño basado en el CID no es parecido al de los túneles y no soporta la agregación explícita de tráfico, pero requiere menos complejidad. En el diseño basado en los túneles, estos túneles se utilizan para agregar el tráfico procedente de diferentes MSs sobre la conexión BS-RS para cada gestión o conexión de transporte con requisitos similares de QoS. El diseño basado en el CID, por otra parte, sólo soporta la gestión y las conexiones de transporte definidas en el estándar 802.16e-2005. Estos regímenes pueden ser diferenciados en términos de gestión de QoS, gestión de errores, y cabeceras:

Diseño basado en el túnel: En este modo, la estación a la entrada del túnel añade una cabecera llamada MAC relay a un paquete o grupo de paquetes que indica el CID del paquete(s) que debe recorrer el túnel. Esta cabecera se quita cuando el paquete llega al destino RS. El uso del túnel requiere que el RSs sea inteligente, junto con la distribución de los distintos flujos de servicios, los parámetros del RSs en ambos modos de programación centralizados y distribuidos.

Diseño basado en el CID: Los paquetes son enviados basándose en el CID de la estación destino. En la programación centralizada de la BS se envía un mensaje a los RSs describiendo las características del canal de enlace del relay, incluyendo un campo adicional que especifique el retraso asociado con cada paquete, ya sea en el DL o UL. Así, el RS sabe que trama debe ser transmitida con cada paquete. Esto es necesario a fin de satisfacer las necesidades de cada conexión QoS. En el caso distribuido el RS tiene conocimiento de los requisitos de QoS de cada conexión y por lo tanto puede tomar sus propias decisiones de programación.

Enrutamiento y ruta de gestión: Para que el 802.16j comprenda las rutas multisalto entre BS y MS, se plantean las cuestiones de enrutamiento y de gestión de ruta. Aunque el enrutamiento está basado en sistemas árbol, aquí puede haber decisiones para crear con respecto a un RS un particular MS asociado. La gestión de ruta se refiere a las cuestiones relativas al establecimiento de la ruta, mantenimiento y liberación del camino para las diferentes técnicas de gestión se han propuesto.

Enrutamiento / selección de ruta: El estándar establece para las decisiones de encaminamiento basadas en indicadores, como la disponibilidad de recursos de radio, calidad del enlace de radio, y la carga en los RSs, pero no indica la forma en la que se debe tomar la decisión, los detalles de la decisión de selección de la ruta se deja a los vendedores. Las decisiones se toman en la BS tomando como base la información proporcionada por los RSs. Los mecanismos de gestión de la ruta de acceso se utilizan para crear una ruta de acceso de la forma más apropiada.

El estándar define dos enfoques para la gestión de ruta: embebidos y explícitos. La diferencia clave entre los dos enfoques es la forma de gestionar la información de señalización de ruta.

Enfoque embebido de gestión del camino: En este enfoque jerárquico la asignación del diseño CID se utiliza para el sistema. La BS asigna las CIDS a sus estaciones subordinadas de tal forma que los CIDS asignados a todos los RSs subordinados de cualquier estación son un subconjunto de los CIDS asignado para esa estación. De esta manera, no hay ninguna tabla de enrutamiento en cada RS, y se produce una reducción de la necesidad de señalización para actualizar la información sobre la ruta. Este es un enfoque muy simple para la gestión de ruta.

Enfoque explícito de gestión del camino: Este modo utiliza un mecanismo señalización extremo a extremo para distribuir la tabla de enrutamiento a lo largo del camino. La BS envía la información necesaria a los RSs que participan en una ruta cuando se crea, elimina o actualiza un camino. Cada ruta está identificada por el identificador que está asociado a cada CIDS. Esto lleva a una pequeña tabla de enrutamiento en los RSs y una reducción en los gastos generales de actualización de estas tablas. Opcionalmente, la BS puede incluir el requisito de QoS asociados a cada CID para que el RSs pueda tomar una decisión independiente sobre la manera de programar el paquete en el modo de programación distribuida.

Rango inicial y entrada de red: Hay dos aspectos muy diferentes para las entradas de red en el 802.16j, estas diferencias están relacionadas con la entrada de red para el MS y procedimientos de redes de entrada para el RSs. Estos están considerados aquí.

Como el 802.16j debe mantener la compatibilidad con terminales de los que hereda, los procedimientos de entrada de la red como se puede ver en el terminal debe permanecer sin cambios. Sin embargo, existen algunas diferencias en cuanto a la forma en que la BS y los RSs tratan con este procedimiento derivado del hecho de que la red debe determinar qué nodo debe ser el nodo de acceso para el MS.

El proceso inicial de los sistemas 802.16j varía en función del modo de programación y el modo de relay: los diferentes procesos se pueden distinguir de la siguiente manera:

Tono inicial del MS en modo relay transparente: Los RSs monitorizan los tonos del canal de acceso del UL, y devolverán los tonos de los códigos recibidos por la BS. La BS espera un tiempo determinado para otros mensajes con el mismo código de tono, de otros RSs, y a continuación, determina la ruta más apropiado para la estación (es decir, directamente o a través de un RS). Si se elige la ruta directa, la BS envía una respuesta directa al MS. En caso contrario, la respuesta se enviará al RS, que a su vez lo remite al MS.

Tono inicial del MS en modo relay no transparente: Debido a las limitaciones de la herencia, el MS elige la BS o NT_RS con mayor preámbulo detectado. Esto significa que aquí esencialmente no hay decisión de ruta para hacer en este caso, ya que el MS se está comunicando con un solo RS. La BS como paso final decide la red de entrada, el RS debe comunicarse con la BS para asegurar que el MS está permitido en la red de entrada. En el caso centralizado se trata de comunicar todos los datos que van hacia la BS, pero

distribuirlo en el caso de RS se encuentre en el rango de la función y simplemente hace una entrada de red que consulte la BS.

El proceso de entrada de red para los RSs incorpora pasos adicionales y define un proceso específico de tono. Más concretamente, la red de entrada se ve aumentada con el descubrimiento de un barrio y los procesos de medición seguidos por algoritmos de selección de ruta para determinar el acceso a la estación más adecuado para el RS.

RS Tono inicial: Durante el proceso, la BS (o NT_RS) puede determinar si un nodo es un tono ejecutante, un RS basado en el código de tono utilizado, un conjunto de códigos de tonos específicos se reservan para las RSs. De esta manera el modo transparente de RSs puede ignorar fácilmente los tonos realizados por otros RSs. Asíque, esto permite que se dé prioridad a la realización de tonos para los RSs. El resto de los procesos de tonos iniciales para los RSs es similar a la de los MSs en modo de relay no transparente.

RS red de entrada: Después del tono inicial, la autenticación y los procesos de registro, la BS puede solicitar al RS que determine la intensidad de la señal de cada uno de sus vecinos RSs y lo remitirá a la BS. La BS puede entonces determinar el acceso a la estación más adecuado con la que asociar el RS basándose en la carga de tráfico, la fuerza de la señal, y así sucesivamente. La fase final de la red de entrada es la configuración de los parámetros del RS, incluido su modo de funcionamiento (por ejemplo, transparente o no transparente) y el modo de programación.

2.5.5. Consideraciones de Diseño para Sistemas 802.16j

El estándar 802.16j especifica una amplia variedad de opciones. Para la implementación, es necesario considerar qué subconjunto de estas opciones es la más adecuada para usar en los diferentes casos. Algunas de estas opciones se enumeran en la tabla 3. El WiMAX Forum definirá los perfiles específicos, y la implementación se registrará por su labor, sin embargo, hay muchas cuestiones todavía poco claras, y el WiMAX Forum tendrá mucho trabajo por hacer para determinar los perfiles adecuados para los diferentes escenarios. A continuación expondremos las cuestiones que merecen mayor estudio en este contexto.

Modo centralizado o distribuido: Evidentemente, la elección de un sistema centralizado o distribuido tiene profundas ramificaciones en todo el sistema. Para sistemas más grandes en los que hay más de dos saltos para las BSs, los beneficios de los sistemas distribuidos son probablemente mayores. Sin embargo, muchas de las implementaciones son como las topologías en las que las comunicaciones serán a través de uno o dos saltos, en estos casos, el modo de funcionamiento centralizado es preferible, ya que se traducirá en una menor complejidad para los RSs, lo que reducirá los costos generales.

Modos de relay: La diferencia esencial entre los modos de relay es muy clara, y la elección de modos de relay se basa principalmente en si el objetivo es proporcionar el aumento de la cobertura o la capacidad. Sin embargo, hay una necesidad de que los sistemas pueden soportar ambos modos de relay, y este estándar recientemente está considerando esto.

Esquema de transmisión: En el 802.16e-2005 las cabeceras MAC aumentan conforme aumentan el número de conexiones, y esto se agrava en los sistemas 802.16j. Una ventaja clave para el modo del túnel sobre el modo basado en CID es la agregación de paquetes de datos a través de la concatenación, el embalaje, y mecanismos de fragmentación. Sin embargo, la creación y la gestión del túnel conduce a una mayor complejidad en los RSs y la sobrecarga asociada con la gestión del túnel en el sistema. El enfoque basado en CID debe ser utilizado en modo relay transparente, tal como se especifica en el estándar, mientras que en modo no transparente ambos sistemas pueden ser utilizados en función de la configuración del sistema. La diferencia en términos de eficiencia MAC proporcionada por estos sistemas se acentúa ya que el número de saltos en el sistema aumenta. Así pues, el modo de túnel eventualmente lleva a una mayor eficiencia del sistema cuando el número de saltos en el sistema aumenta.

Validez de la información sobre la calidad del canal: La información sobre la calidad del canal es ampliamente utilizado en todo el sistema. Sin embargo, esta información podría variar muy rápidamente, especialmente en el contexto de una gran cantidad de usuarios móviles. Mientras el estándar hace algunas optimizaciones de tráfico de señalización en el sistema, todavía hay potencialmente una gran cantidad de señales de tráfico que necesitan comunicarse con el sistema para asegurar la ruta apropiada y la toma de decisiones. Es necesario encontrar el justo equilibrio minimizar la señalización de tráfico y garantizar que las buenas decisiones se pueden realizar en la BS de forma oportuna.

Gestión de rutas: La diferencia clave de los dos mecanismos de gestión de ruta definidos es el mensaje de señalización necesaria. El sistema embebido simplifica la operación del RS sin la tabla de rutas, permitiendo la transmisión rápida de datos, y genera menos cabeceras y retardos en la actualización de la ruta que el diseño explícito. Por lo tanto, el sistema embebido proporciona suficiente información para la gestión de la ruta de acceso en la programación centralizada. El diseño explícito debe utilizarse en la programación distribuida, ya que permite la distribución de la tabla de enrutamiento y servicio a los parámetros de flujo del RSs a lo largo de la ruta.

Gestión de los recursos de radio: La asignación de recursos en redes multisalto exige del diseño de nuevas políticas de programación, en determinadas QoS, tales como la fiabilidad, la equidad, y la latencia. Hay muchos aspectos de esta cuestión, todos los cuales requieren una mayor investigación, incluyendo los métodos para realizar los sistemas distribuidos, las maneras de maximizar la reutilización espacial, y mecanismos dinámicos para controlar la cantidad de recursos asignados a cada una de las zonas tanto en el modo transparente como el no transparente.

Por lo que, con la cantidad sustancial de elecciones, junto con una falta general de comprensión de los efectos de las diferentes decisiones de diseño hacen que el diseño del sistema sea difícil. Si bien algunos trabajos iniciales sobre el rendimiento de los sistemas basados en el 802.16j comienza a aparecer, sigue siendo gran parte de la investigación que se lleven a cabo la de entender cómo realizar sistemas basados en el 802.16j bajo diferentes configuraciones y cuál es el costo en comparación con los sistemas basados en el 802.16e.

	Transparent mode relay	Non-transparent mode relay
Scheduling	Centralized	Centralized/distributed
Hops	2	2 or more
Forwarding scheme	CID-based	Tunnel-based/CID-based
Channels	1	1 or 2
Path management	Embedded/explicit mode	Embedded/explicit mode
Routing	Left to vendor design	Left to vendor design
RRM	Less complex	More complex

Tabla 3. Diseño de opciones de los sistemas 802.16j

2.6. Conclusiones

El IEEE 802.16j ofrece una posible solución a algunos de los problemas clásicos en el despliegue de las redes de acceso de radio. Compuesto de enlaces de bajo costo relacionados con BSs, que puede utilizarse tanto para lograr mayor cobertura de áreas de BSs y para aumentar la capacidad de las zonas congestionadas. Aquí, algunos de los aspectos esenciales del estándar se han presentado, incluyendo los diferentes modos de funcionamiento, el marco de las estructuras utilizadas, los procedimientos de entrada de la red, etc... Esto fue seguido por una discusión de los diferentes aspectos que deben tenerse en cuenta al pensar en cómo diseñar tales sistemas. La arquitectura de red de relay, sin embargo, es relativamente un diseño nuevo e introduce muchas complejidades en el entorno de las redes de acceso de radio, con apoyo a la movilidad.

3 Estrategia de Probabilidad de Retransmisión para un Relay Cooperativo ARQ

3.1. Introducción

Durante el estudio de una red inalámbrica con un relay cooperativo ARQ, no hemos percatado de que tiene un problema de pérdida de recursos, debido a que esta red posee un nodo relay que se encarga de retransmitir las tramas del emisor que no han llegado a su destino, por lo que en determinados slot de tiempo tanto el nodo relay como el emisor pueden retransmitir la misma trama hacia el mismo destino, o no retransmitirla ninguno de los dos, produciendo una pérdida de recursos y de eficacia en la red. Con esto queremos decir que en determinadas circunstancias, puede ser beneficioso que el emisor no retransmita en cada slot de tiempo, tras la notificación de una trama perdida. De esta manera, en un slot de tiempo que no se haya asignado a la retransmisión, se asignará recursos de radio entre el nodo emisor o el nodo receptor dependiendo de cual este libre. Por lo tanto, el nodo emisor puede volver a asignar los recursos de este temporalmente a otros enlaces, la introducción de nuevos datos en la red y hacer un uso más eficiente de los recursos de radio. En muchas de las redes de acceso de radio actuales y futuras esto es posible porque la asignación de recursos se hace de slot en slot.

Existe un claro compromiso entre la probabilidad de retransmisión y la eficiencia en el uso del ancho de banda. Nuestro enfoque consiste en ajustar la probabilidad de retransmisión del nodo emisor, a fin de reducir su tasa de retransmisión, mientras se trata de mantener el rendimiento cerca de su máximo. Los recursos que esta estrategia es capaz de liberar compensa la ligera reducción del rendimiento en comparación con la estrategia determinista, sobre todo cuando la relación entre el emisor y el destino es muy mala.

Este apartado se muestra cómo encontrar un punto óptimo de trabajo que equilibre el rendimiento y la eficiencia de los recursos de acuerdo a los parámetros que caracterizan a la red. La estrategia propuesta establece una nueva visión de la diversidad cooperativa, en la que el nodo relay no sólo ayuda al nodo emisor en el proceso de retransmisión, sino que también permite que el emisor libere los recursos de radio para aumentar la utilización del ancho de banda.

La probabilidad de retransmisión se ha examinado anteriormente en un trabajo reciente (L. Xiong, 2008) como una estrategia para la cooperación y el equilibrio de la probabilidad de colisión con el fin de lograr una menor latencia. Por el contrario, nuestro trabajo se centra en las redes libres de colisión, y por lo tanto sus resultados son aplicables a las redes de acceso móvil. Otros trabajos similares (Dianati M., 2006), (I. Cerutti, 2007) y (I. Cerutti, 2006) consideran un sistema determinista de retransmisión en nodo fuente.

Las contribuciones de este apartado son:

- El desarrollo de un modelo analítico basado en una cadena de Markov de tiempo discreto (DTMC), útil para calcular el rendimiento. La simplicidad de este modelo permite una solución de forma cerrada, que es de gran utilidad para el análisis de optimización.
- El modelo de Markov se complementa con un modelo de recompensa para la obtención de la nueva tasa del nodo emisor.

- Se propondrá un enfoque de optimización multi-objetivo para ajustar la eficiencia y el rendimiento del ancho de banda mediante la probabilidad de retransmisión.
- Se demuestra que es posible lograr una reducción notable de la tasa de retransmisión del nodo emisor mientras se mantiene el rendimiento muy cerca del régimen determinista.

El resto del apartado está organizado de la siguiente manera. En el punto 3.2 se describen el sistema en estudio y su modelo como una DTMC. Este modelo se utiliza en el punto 3.3, para analizar el desempeño del sistema en términos de rendimiento y tasa de retransmisión. El enfoque de optimización multi-objetivo, se presenta en el punto 3.4, los resultados numéricos y se discuten en el punto 3.5. Por último, las implicaciones y futuras líneas de investigación derivadas de este trabajo se describen en el punto 3.6.

Todos los datos y cálculos recogidos a continuación se han obtenido en base al artículo Probabilistic Retransmission Strategy for Single-Relay Cooperative ARQ [1].

3.2. Modelo del Sistema

El sistema en estudio, se ilustra en la Figura 1, consiste en un nodo emisor (S) que transmite tramas de datos a un nodo destino (D), y un nodo relay (N), que recibe las tramas de datos dirigidos a D, por lo que puede ayudar a S en las retransmisiones de la pérdida de tramas. La capa física se compone de rejillas de interfaz de radio. Una slot de tiempo se define como el tiempo de transmisión de una trama a la realización de su ACK / NACK. Los slots de tiempo son de duración determinada y sincronizada en todos los nodos. Este tipo de interfaz de radio móvil es una característica de las redes de acceso.

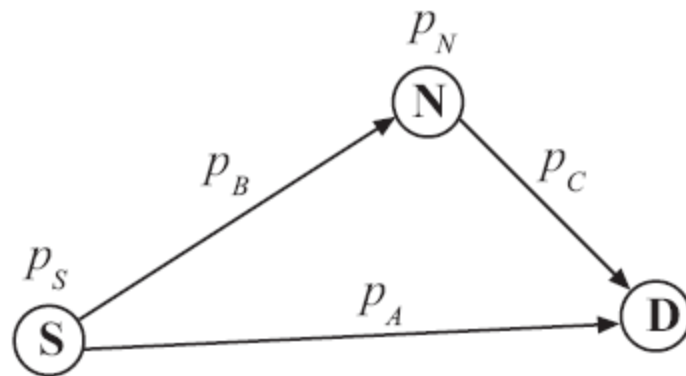


Figura 4. Sistema C-ARQ

Supongamos un modelo sencillo, similar a (L. Xiong, 2008), donde el canal puede estar en uno de dos estados: o bien "on", donde las señales transmitidas llegan con suficiente poder para ser decodificada sin error, o "off", donde una señal transmitida no puede ser decodificada. La probabilidad de que el canal esté "on" u "off" en un

determinado slot de tiempo es independiente de su estado en el anterior slot de tiempo, y el canal es independiente de los estados de diferentes pares de nodos. La probabilidad de estar en el estado "off" es identificado por el canal p_A entre S y D (enlace directo), por el canal p_B entre S y N, y por el canal p_C entre N y D (canal relay).

Se asume que los ACK / NACKs no se pierdan en ningún canal, por lo tanto, ambos S y N son informados de la situación de recepción de la trama en D. Este supuesto es común en la evaluación del desempeño de las redes inalámbricas, ya que la menor duración de los mensajes de control hace posible protegerlos con códigos de corrección de errores. En el momento posterior, después del slot de tiempo de la transmisión original, si el nodo relay posee una copia del paquete, el puede decidir hacer una retransmisión cooperativa sobre sus canales relay.

La probabilidad de que el nodo relay realice una retransmisión en un slot de tiempo, se denota por p_N . Esta probabilidad depende de la cantidad de recursos que N puede asignar a la comunicación entre S y D, teniendo en cuenta su carga de tráfico, su política de planificación y sus limitaciones de procesamiento. En los ejemplos numéricos de la sección 5, establecemos $p_N = 1$, en el supuesto de un nodo relay plenamente dedicado a la cooperación, en consonancia con las recientes propuestas de redes de acceso móvil donde los nodos relays se despliegan como parte de la infraestructura de radio celular. Sin embargo, el análisis es válido para $p_N < 1$, y las conclusiones pueden generalizarse a este caso. El modelo incluye una probabilidad de retransmisión en el nodo emisor, identificado por p_S . El análisis de la influencia de este parámetro en el rendimiento global y su optimización es uno de los principales objetivos de este apartado. Tenga en cuenta que esto implica que el nodo de computación óptimo p_S (en general, el nodo emisor) debe ser informado de las cualidades del enlace y la probabilidad de retransmisión del nodo relay.

Para el éxito de la recepción, el nodo de destino debe decodificar sin errores, al menos, una trama ya sea enviada por S o N. La interfaz de radio está libre de colisiones, tal como se explica en la introducción. Asumimos un protocolo de funcionamiento stop-and-wait, al igual que (Dianati M., 2006). Sin embargo, debido a la probabilidad de retransmisión en el diseño del emisor, debe transmitir nuevas tramas al receptor en los slots de tiempo que no se hayan asignado a las retransmisiones. Cada una de las tramas transmitidas están entonces en medio de procesos paralelos independientes de una manera similar a HSDPA, (H. Holma, 2006).

Los estados de la cadena de Markov que describen el funcionamiento del sistema son combinaciones de los distintos Estados de N y D. Tenemos a N_f que representa el estado del nodo relay. $N_f = \text{true}$ (o simplemente N_f) si el nodo relay ha decodificado la trama, y $N_f = \text{false}$ (o simplemente $\overline{N_f}$) otra cosa. Debido a que el nodo relay se supone que no descarta tramas, $N_f = \text{true}$ en cada slot de tiempo, entre el éxito de la recepción de una trama en el N y la recepción de esta trama en D. Los estados del nodo destino son: D_f , si la trama se decodifica correctamente y, $\overline{D_f}$ en otro caso.

El DTMC comprende los siguientes tres estados:

- Estado 0: $\overline{N_f}, \overline{D_f}$
- Estado 1: $N_f, \overline{D_f}$
- Estado 2: D_f

El diagrama de transición del DTMC se representa en la Figura 2. Con el fin de describir analíticamente las probabilidades de transición le vamos a definir los siguientes eventos:

- S: S retransmite una trama.
- N: N retransmite una trama.
- N_S : N descodifica correctamente una trama enviada por S.
- D_N : D descodifica correctamente una trama enviada por N.
- D_S : D descodifica correctamente una trama enviada por S.
- $\bar{S}, \bar{N}, \bar{N}_S, \bar{D}_N, \bar{D}_S$: Son los estados complementarios correspondientes.

Haciendo uso de la descripción del protocolo C-ARQ y la definición de los eventos, las probabilidades de transición del estado 0 son dados por:

$$p_{00} = P\{(S \wedge \bar{D}_S \wedge \bar{N}_S) \vee \bar{S}\}$$

$$p_{01} = P\{S \wedge \bar{D}_S \wedge N_S\}$$

$$p_{03} = P\{S \wedge D_S\}$$

Aplicando el estado del canal y las probabilidades de retransmisión del modelo obtenemos los siguientes valores:

$$p_{00} = p_S p_A p_B + (1 - p_S)$$

$$p_{01} = p_S p_A (1 - p_B) \quad (1)$$

$$p_{02} = p_S (1 - p_A)$$

Cuando el sistema está en estado 1, no puede entrar en estado 0, ya que el nodo relay no descarta tramas ($p_{01} = 0$). El sistema permanece en el mismo estado con las siguientes probabilidades:

$$\begin{aligned} p_{11} &= P\left\{\left((N \wedge \bar{D}_N) \vee \bar{N}\right) \wedge \left((S \wedge \bar{D}_S) \vee \bar{S}\right)\right\} = \\ &= (p_N p_C + (1 - p_N))(p_S p_A + (1 - p_S)) \end{aligned} \quad (2)$$

El sistema realiza la transición del estado 1 al estado 2 con probabilidad $p_{12} = 1 - p_{11}$. Por último, si el sistema está en estado 2, es decir, el destino ha decodificado la trama,

la fuente transmite una nueva trama, lo que resulta en una nueva transición a cualquiera de los tres estados. Las probabilidades de transición del estado 2 son:

$$\begin{aligned}
p_{20} &= P\{\overline{N}_S \wedge \overline{D}_S\} = p_A p_B \\
p_{21} &= P\{N_S \wedge \overline{D}_S\} = p_A p_S \\
p_{22} &= P\{N_S\} = 1 - p_A
\end{aligned} \tag{3}$$

La transición de la matriz está dada por DTMC

$$P = \begin{pmatrix} p_{00} & p_{01} & p_{02} \\ 0 & p_{11} & p_{12} \\ p_{20} & p_{21} & p_{22} \end{pmatrix} \tag{4}$$

3.3. Análisis de Rendimiento

En esta sección se utiliza el modelo propuesto para obtener dos importantes parámetros de rendimiento del diseño CARQ: el rendimiento y la tasa de retransmisión de la fuente. El rendimiento se define como el número medio de tramas con éxito recibido en el nodo destino por cada slot de tiempo. Según el modelo, el rendimiento es el número medio de ranuras de tiempo que el DTMC está en el estado 2. La tasa de retransmisión se define como el número de retransmisiones de la fuente, normalizado por el número total de ranuras de tiempo. Esta medida refleja la cantidad de recursos asignados a las retransmisiones. Por lo tanto, para un uso eficiente del ancho de banda, el objetivo es reducir esta tasa. Para el cálculo de la tasa de retransmisión, se construye un modelo de recompensa.

3.3.1. Función del Rendimiento

$\overline{\pi} = \{\pi_0, \pi_1, \pi_2\}$ será el estado de equilibrio de la distribución DTMC, donde π_i es la probabilidad de estado estable del estado $i \in \{0,1,2\}$. $\overline{\pi}$ se obtiene resolviendo los siguientes sistemas de ecuaciones lineales:

$$\begin{aligned}
\overline{\pi} &= \overline{\pi}P \\
\sum_{i \in \Omega} \pi_i &= 1
\end{aligned} \tag{5}$$

Donde $\Omega = \{0,1,2\}$, y P es dado por (4). La solución (5) para $\overline{\pi}$ obtenemos la siguiente solución:

$$\begin{aligned}
\pi_2 &= \left[1 + \frac{p_{20}}{1-p_{00}} + \frac{p_{01}p_{21}}{(1-p_{00})(1-p_{11})} + \frac{p_{21}}{1-p_{11}} \right]^{-1} \\
\pi_1 &= \left[\frac{p_{01}p_{21}}{(1-p_{00})(1-p_{11})} + \frac{p_{21}}{1-p_{11}} \right] \pi_2 \\
\pi_0 &= \frac{p_{20}}{1-p_{00}} \pi_2
\end{aligned} \tag{6}$$

De las probabilidades de transición obtenidas en la sección 2 se puede calcular $\bar{\pi}$ como $\bar{\pi}(p_A, p_B, p_C, p_S, p_N)$. Porque nos centramos en la búsqueda del óptimo p_S , usamos, por conveniencia, una notación sencilla: $\bar{\pi}(p_S)$. El rendimiento del sistema se denota por $T(p_S) = \pi_2(p_S)$. Es evidente que, para un determinado conjunto de valores $\{p_A, p_B, p_C, p_N\}$, el máximo rendimiento se obtiene cuando la fuente retransmite en cada franja horaria, tras la pérdida de una trama de notificación ($p_S = 1$). Por lo tanto, definir el máximo rendimiento en $T_M = T(1)$. T_M se toma como referencia para evaluar los diferentes valores de p_S .

3.3.2. Tasa de Retransmisión de la Fuente

En esta sección desarrollamos un modelo de retribución para calcular la tasa media de la retransmisión en el nodo fuente. Este enfoque se ha aplicado anteriormente al análisis de los protocolos ARQ. Ver (M. Zorzi, 1996) para una descripción de esta técnica.

En el DTMC se considera, que $X_i \rightarrow X_j$ representa una transición de estado i a estado j . R_{ij} dejar ser la recompensa asociado a esta transición. En nuestro contexto, R_{ij} representa el número medio de retransmisiones de S , en las ranuras de tiempo donde $X_i \rightarrow X_j$. Analíticamente, se expresa como $R_{ij} = rP\{S|X_i \rightarrow X_j\}$, donde r es el número tramas en una ranura de tiempo de retransmisión. Para este sistema se estudio, $r = 1$, porque sólo una trama se puede transmitir en una ranura de tiempo.

La recompensa asociado a una transición es 1 si la transición sólo puede tener lugar cuando la fuente retransmite la trama. Por lo tanto, cualquier transición de estado de 0 a un estado diferente implica una sola recompensa:

$$R_{01} = R_{02} = 1 \quad (7)$$

La primera transmisión de una trama no se considera una retransmisión, por lo tanto, las transiciones de estado 2 conllevan una recompensa nula:

$$R_{20} = R_{21} = R_{22} = 0 \quad (8)$$

La recompensa asociada a $X_0 \rightarrow X_0$ está dada por:

$$R_{00} = P\{S|X_0 \rightarrow X_0\}$$

El cual, haciendo uso de la definición de probabilidad condicional puede ser expresado como:

$$P\{S|X_0 \rightarrow X_0\} = \frac{P\{S \wedge \overline{D_N} \wedge \overline{D_S}\}}{P\{X_0 \rightarrow X_0\}}$$

La aplicación de las probabilidades de cada evento, se obtiene el siguiente valor:

$$R_{00} = \frac{p_S p_A p_B}{p_{00}} \quad (9)$$

Del mismo modo, R_{11} es igual a la probabilidad condicional siguiente:

$$P\{S|X_1 \rightarrow X_1\} = \frac{P\{(S \wedge \overline{D_N}) \wedge ((N \wedge \overline{D_N}) \vee \overline{N_S})\}}{P\{X_1 \rightarrow X_1\}}$$

El cual, según los resultados del modelo en:

$$R_{11} = \frac{p_S p_A (p_N p_C + 1 - p_N)}{p_{11}} \quad (10)$$

Por último, se da por R_{12} :

$$P\{S|X_1 \rightarrow X_2\} = \frac{P\{(S \wedge \overline{D_S}) \wedge ((S \wedge \overline{D_S}) \vee (N \vee D_N))\}}{P\{X_1 \rightarrow X_2\}}$$

Lo que se traduce en:

$$R_{12} = \frac{p_S(1-p_A) + p_S p_A p_N(1-p_C)}{p_{12}} \quad (11)$$

La tasa de retransmisión asociado a un estado de referencia, i , se calcula con la siguiente expresión:

$$R_i = \sum_{j \in \Omega} p_{ij} R_{ij} \quad (12)$$

La tasa media de la retransmisión de S está dada por una suma ponderada de las tasas obtenidas en (12), donde los factores de ponderación son las probabilidades de alcanzar el estado de equilibrio de la cadena de Markov:

$$R = \sum_{i \in \Omega} \pi_i R_i \quad (13)$$

La aplicación de los beneficios (7), (8), (9), (10) y (11) en (12), puede ser fácilmente comprobado para $R_0 = R_1 = p_S$ y $R_2 = 0$. Por conveniencia, podemos escribir R en términos de p_S como $R(p_S) = p_S(1 - \pi_2(p_S))$. EL máximo rendimiento, obtenido con $p_S = 1$, la tasa de retransmisión de $R_M = R(1)$.

3.4. Estrategia de Optimización del Múltiple Objetivo

Existe una clara desventaja entre las dos mediciones de rendimiento obtenidos en la sección anterior. El máximo rendimiento, T_M , se logra al establecer $p_S = 1$. Sin embargo, esto puede llevar a una alta tasa de retransmisión, sobre todo si el enlace directo tiene una pérdida alta. Por otro lado, si $p_S = 0$, entonces la tasa de retransmisión se reduce a 0. Con el fin de encontrar un equilibrio óptimo entre ambos objetivos, proponemos un enfoque basado la técnica de optimización multi-objetivo, conocida como método del criterio global (Rao, 1996). Este método consiste en minimizar la función de un criterio global, que se define como:

$$G(p_S) = \sum_{k=1}^n \alpha_k \left(\frac{O_k - f_k(p_S)}{O_k} \right)^2 \quad (14)$$

Donde n es el número de las funciones objetivo, $f_k(p_S)$ son las funciones objetivo, O_k son los valores óptimos para cada función objetivo y α_k son los factores de ponderación de la importancia relativa asignada a cada objetivo. En el sistema analizado, estamos equilibrando dos objetivos. En primer lugar, es conveniente que el rendimiento se aproxime a su máximo, T_M , en la medida de lo posible, es decir, $f_1(p_S) = T(p_S)$ y $O_1 = T_M$. En segundo lugar, también es conveniente reducir la tasa de retransmisión de S , por lo tanto, $f_2(p_S) = R(p_S) + C$, y $O_2 = C$, donde C es un número real auxiliar que no sea cero necesario para evitar una división por 0 en el objetivo global. En nuestro modelo elegimos $C = 1$, porque la importancia relativa de $R(p_S)$ acercándose a 0 está controlada por α_2 . Haciendo uso de estas definiciones en (14) obtenemos:

$$G(p_S) = \alpha_1 \left(\frac{T_M - T(p_S)}{T_M} \right)^2 + \alpha_2 R(p_S)^2 \quad (15)$$

Encontramos que p_S^* denota la solución al problema de optimización multi-objetivo. Debido a que p_S^* es una probabilidad, el problema está sujeto a la restricción $0 \leq p_S \leq 1$. Por lo tanto, tenemos:

$$p_S^* = \arg \min_{0 \leq p_S \leq 1} \{G(p_S)\} \quad (16)$$

Tenemos que $T_0 = T(p_S^*)$ es el óptimo rendimiento en términos de la multi-objetivo de problema de optimización. Del mismo modo, tenemos que $R_0 = R(p_S^*)$ denotan la tasa óptima de la retransmisión. En la siguiente sección se compara T_0 y R_0 con T_M y R_M en varios escenarios. Los factores de ponderación elegidos son $\alpha_1 = 1$ y $\alpha_2 = 0.2$. Además, el efecto de α_2 es también discutido en la siguiente sección.

3.5. Resultados

En esta sección se investiga la actuación de la probabilidad de retransmisión desde un enfoque numérico. Se demuestra que, con la probabilidad calculada, el sistema consigue una notable reducción en la tasa de retransmisión de la fuente con una relativamente pequeña reducción del rendimiento. Además, muestran que los dos objetivos están bien equilibrados en diferentes combinaciones de condiciones de calidad de enlace.

En el marco de cooperación de las redes de acceso móviles, los nodos relay se consideran parte de la célula de infraestructura, específicamente desplegadas para mejorar la conectividad de los usuarios móviles. En este escenario, un nodo relay siempre está dispuesto a cooperar. Suponiendo que hay suficientes recursos disponibles, $p_N = 1$. La probabilidad de error de trama entre fuente-relay puede ser un parámetro de diseño de red, y por lo tanto, su valor puede ser relativamente pequeño. En la evaluación numérica de esta sección los pondremos $p_B = 0.2$.

En primer lugar, se estudiara el efecto de p_A en la ejecución de la estrategia propuesta, y se comparara con el máximo rendimiento de configuración ($p_S = 1$). Para esta evaluación, la situación típica de un buen canal relay se supone: $p_C = 0.1$.

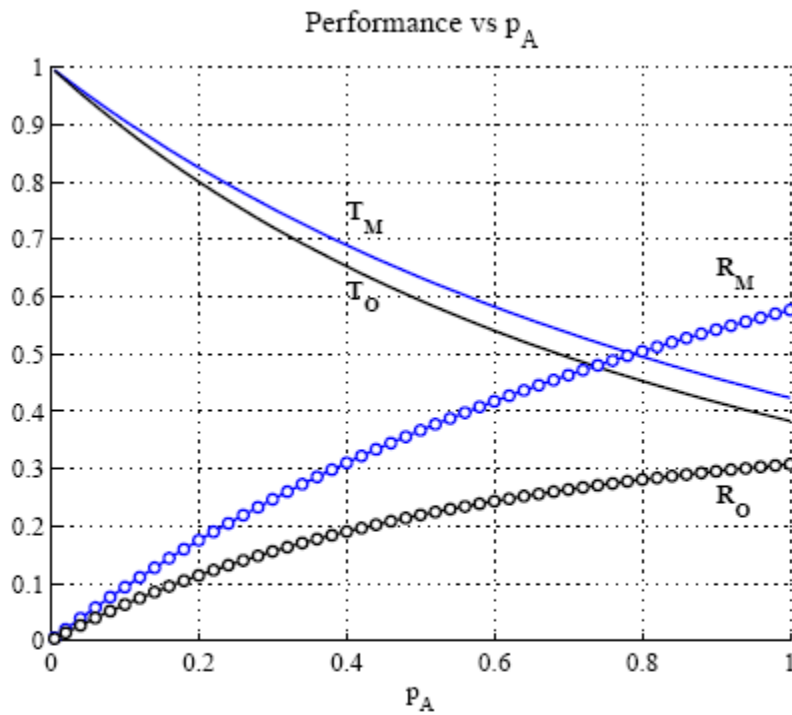


Figura 5. Rendimiento C-ARQ vs. p_A

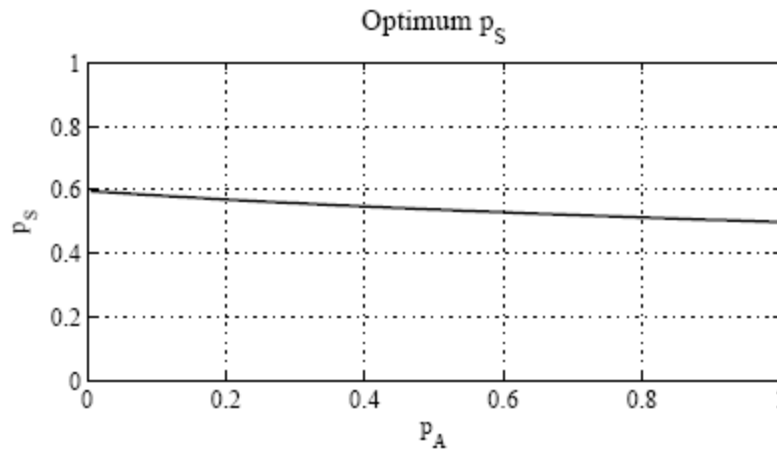


Figura 6. Óptimo p_S vs. p_A

Los resultados se muestran en la Figura 3. Es evidente que, como la calidad del canal fuente-destino empeora, la tasa de retransmisión de la fuente con la estrategia propuesta, R_O , se reduce considerablemente en comparación con el régimen de máximo rendimiento, R_M . El resultado más interesante es que el costo de esta reducción en términos de rendimiento es muy pequeño. La Figura 4 muestra los valores correspondientes de p_S^* en este escenario.

Con el fin de evaluar el efecto de los factores de ponderación, podemos establecer $\alpha_1 = 1$ y calcular el rendimiento en un rango de valores de α_2 . Considerando la configuración anterior del sistema, con $p_A = 0.4$. La Figura 5 muestra el rendimiento obtenido con α_2 en el rango $10^{-2} \leq \alpha_2 \leq 10$. Como era de suponer tanto T_0 como R_0 disminuyen cuando α_2 se establece en valores más altos, es sorprendente comprobar que el rendimiento no decae dramáticamente cuando $\alpha_2 = 1$ o incluso a valores más altos. A partir de los valores de p_S^* mostrados en la Figura 6, se observa una reducción de p_S de 0.9 a 0.4 (más del 50%), provocando una reducción de alrededor del 10% en el rendimiento. Este hecho sugiere que, en la práctica, el sistema tolera ciertas inexactitudes en el cálculo de la p_S , sin mucho impacto en el rendimiento.

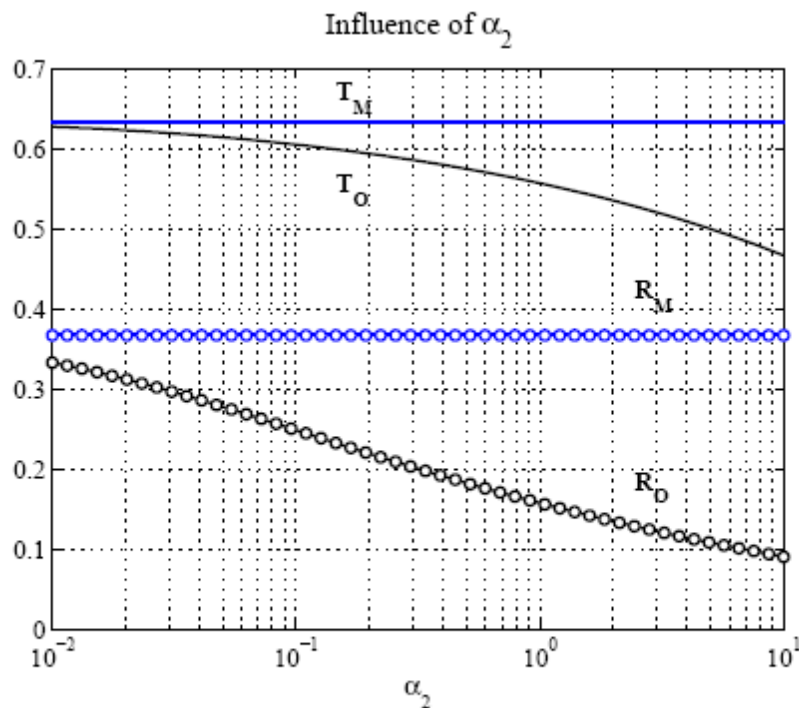


Figura 7. Rendimiento C-ARQ vs. α_2

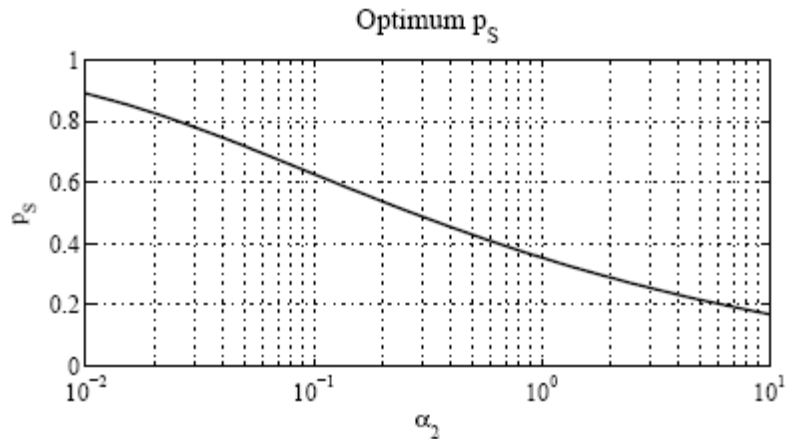


Figura 8. Óptimo p_s vs. α_2

Con estos resultados se quiere demostrar, que debido a la movilidad de los terminales de los usuarios, es más eficiente calcular la probabilidad de retransmisión del emisor a partir de las probabilidades de error de trama en los enlaces de accesos, que utilizar una probabilidad de retransmisión alta, pues son muchas las combinaciones diferentes de p_A y p_C , y no siempre una alta probabilidad de retransmisión en el emisor mejora el rendimiento del sistema.

Los resultados con mayor influencia para nuestro proyecto son los que vamos a mostrar a continuación, pues gracias a estos cálculos que hemos realizado para la obtención de la probabilidad de retransmisión óptima, mejoraremos la eficacia de nuestro sistema, a continuación vamos a mostrar las diferentes probabilidades óptimas de retransmisión frente a las diferentes probabilidades de error de trama en los enlaces directos y como afectan este cálculo de la probabilidad al rendimiento.

La Figura 7 muestra la p_s^* calculada para diferentes configuraciones de ambos parámetros. Con el fin de centrarse en la mejora del rendimiento obtenido con p_s^* en comparación con $p_s = 1$, la Figura 8, muestra las diferencias entre las parcelas R_M y R_O , y la Figura 9 muestra la diferencia entre T_M y T_O . Estas cifras muestran que, mientras que la tasa de retransmisión es muy reducida, especialmente en malas condiciones de canal, el rendimiento nunca decae por debajo del máximo. Podemos observar que el algoritmo propuesto ofrece un buen equilibrio entre los dos objetivos que se persiguen, incluso en diferentes combinaciones de cualidades de enlace.

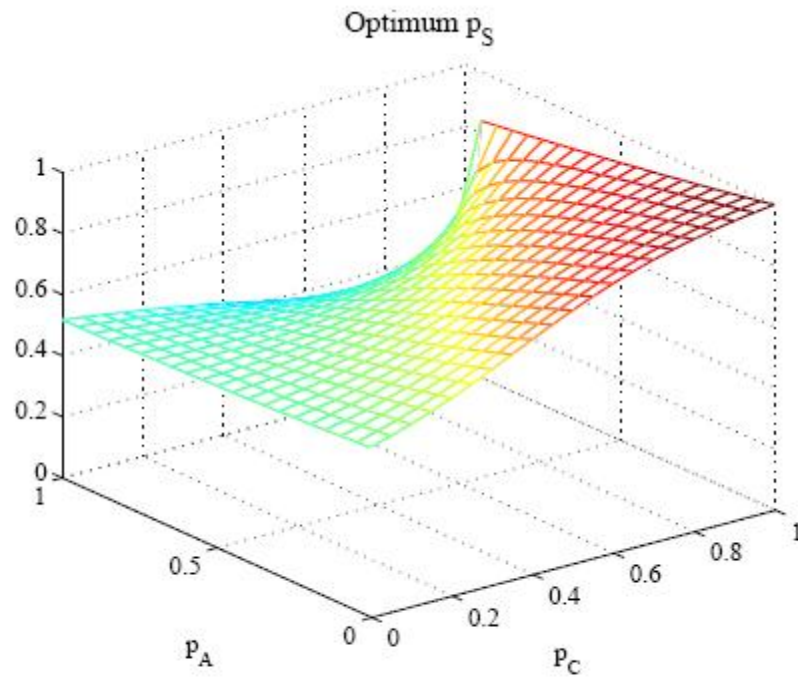


Figura 9. Óptimo p_S vs. p_A y p_C

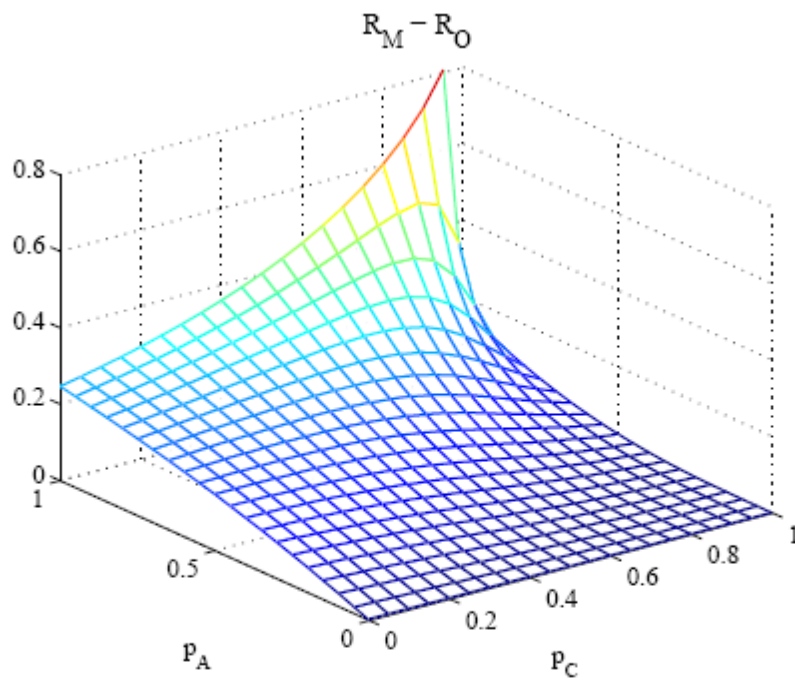


Figura 10. $R_M - R_O$ vs. p_A y p_C

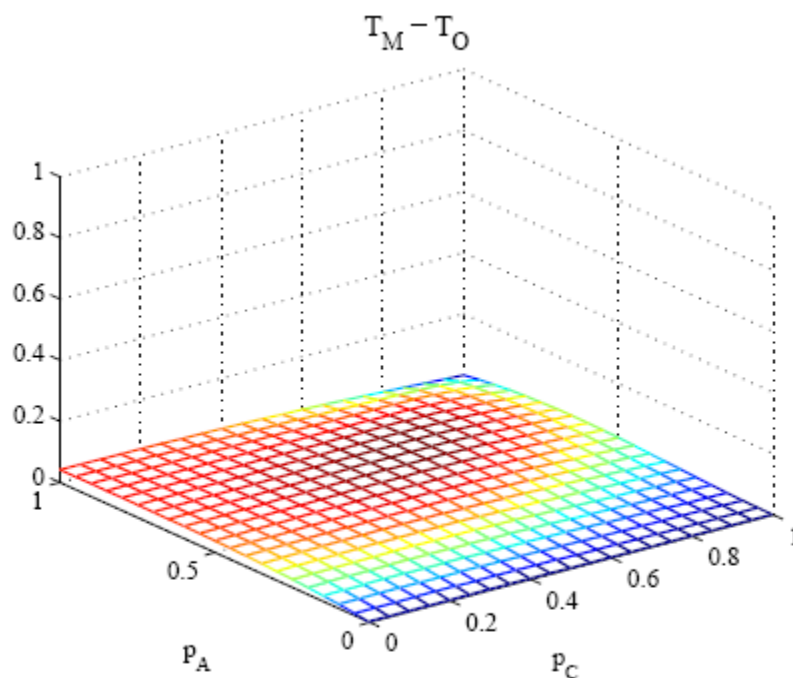


Figura 11. $T_M - T_O$ vs. P_A y P_C

3.6. CONCLUSIONES

El análisis realizado en este apartado muestra que, en cooperación con las redes inalámbricas ARQ, una política de probabilidad de retransmisión en los nodos fuente proporciona notables beneficios en términos de eficiencia en el uso de recursos de radio, especialmente en situaciones de malas condiciones de propagación en el enlace directo. La probabilidad de retransmisión óptima en el nodo fuente se obtiene por medio de una técnica de optimización multi-objetivo, conocida como criterio del método global. Se demuestra que esta estrategia reduce la tasa de retransmisión del nodo fuente con la reducción insignificante del rendimiento.

4 Simulador y Algoritmo de Asignación de Recursos

4.1. Introducción

En este apartado se van a detallar como se han realizado los dos simuladores de los sistemas que queremos estudiar, el primer simulador es una red inalámbrica con relays cooperativos ARQ, con el algoritmo Round Robin como algoritmo de asignación de recursos. El segundo simulador es también una red inalámbrica con relays cooperativos ARQ, pero este simulador utiliza un nuevo algoritmo de asignación de recurso, el cual se encarga de reasignar los recursos libres que hayan tanto en el emisor como del nodo relay. Estos simuladores se crean para poder realizar un estudio del comportamiento del sistema que incorpora el nuevo algoritmo de asignación de recursos, por ello se crea un simulador con un algoritmo ya existente, como es el Round Robin, para así poder comparar los resultados de los dos simuladores, y establecer si el nuevo algoritmo mejora o no la eficacia del sistema.

Para realizar estos simuladores vamos a utilizar un simulador modular de eventos discretos de redes orientado a objetos llamado OMNET++. OMNET++ se utiliza habitualmente para modelar el tráfico de redes de telecomunicaciones, protocolos, sistemas multiprocesadores y distribuidos, evaluación del rendimiento de sistemas software y, en general modelar cualquier sistema que pueda simularse con eventos discretos.

El sistema de simulación de OMNeT++ provee un núcleo de simulación que contiene las rutinas que controlan las simulaciones y las bibliotecas de simulación, e interfaces de usuario que son usadas para la construcción de modelos y ejecución de simulaciones. Un modelo en OMNeT++ consiste básicamente de la descripción de la topología del modelo en el lenguaje NED, la definición de mensajes y el código de los módulos simples. Los modelos en OMNET++ tienen una estructura modular. Existen objetos básicos con una funcionalidad básica a partir de los cuales se componen módulos complejos formando una estructura jerárquica anidada.

La construcción de un modelo de simulación en OMNET++ se resume en los siguientes pasos:

1. Descripción de la arquitectura del sistema mediante lenguaje NED. En este paso se describen cada uno de los módulos que definen el sistema así como las conexiones entre los diferentes módulos.
2. Implementación de módulos simples en C++ con lo que se pretende definir la funcionalidad de cada módulo.
3. Generación del modelo. Se compilan los módulos y se enlazan con la librería de simulación de modo que se obtenga un ejecutable.
4. Configuración de la simulación. Se especifican los parámetros adecuados para la ejecución de la simulación.

Los módulos simples contienen los algoritmos como funciones en el lenguaje C++. Un módulo simple permite manejar los eventos y definir los estilos de procesos haciendo uso

de los diferentes conceptos de la programación orientada a objetos. Los objetos usados en la simulación son representados mediante clases escritas en el lenguaje C++. Los siguientes elementos son parte de la biblioteca de simulación de OMNeT++:

- Módulos, puertas y conexiones.
- Parámetros y mensajes.
- Clases contenedoras.
- Colecciones de datos.
- Clases estadísticas.
- Clases de detección de transiciones y detección de precisiones.

La topología de un modelo es definida usando el lenguaje NED. Éste facilita una descripción modular de una red. Así, una red puede estar compuesta por la descripción de varios componentes. Los canales, módulos simples y compuestos definidos para una red pueden ser reutilizados en la descripción de otra red. Los archivos que contienen el código NED pueden ser generados utilizando un editor de textos o el editor gráfico incorporado. Este editor es la interfaz gráfica que permite crear, programar, configurar y simular redes de comunicaciones, sin necesidad de codificar en lenguaje NED, haciendo uso de diseños gráficos.

La topología de la red inalámbrica que queremos simular quedaría de la siguiente forma:

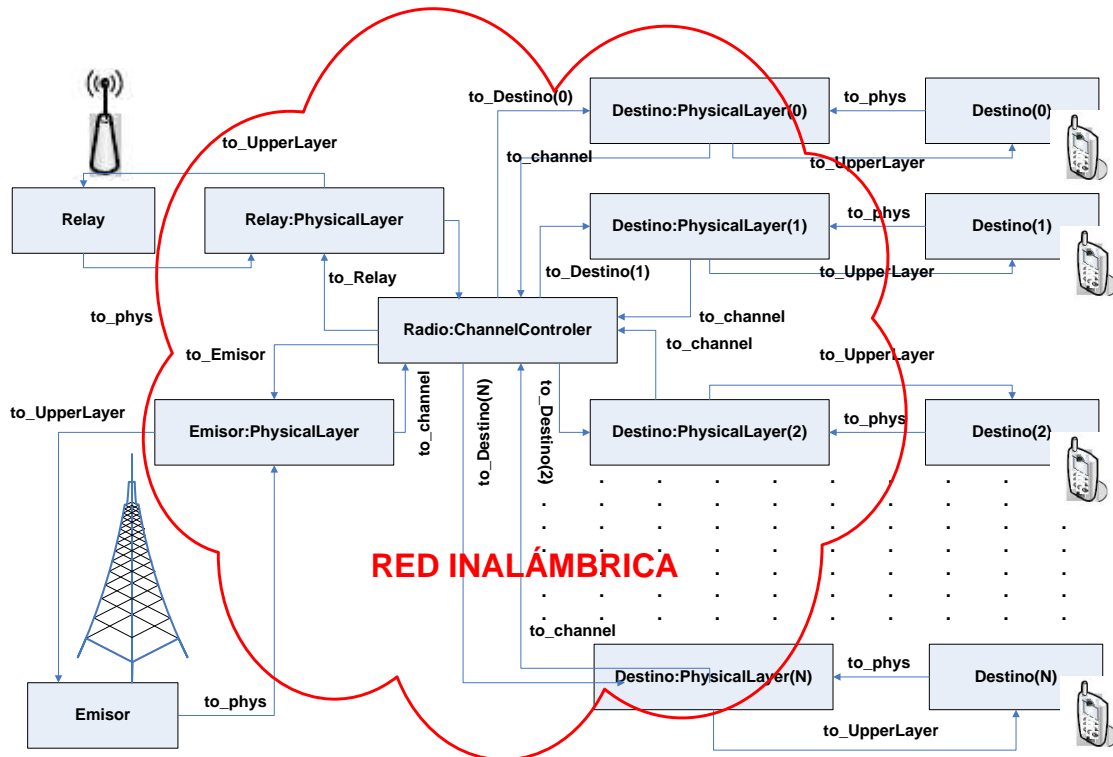


Figura 12. Topología de una red inalámbrica

Para llevar a cabo la creación de los dos simuladores, se ha partido de un código inicial, programado en código C++ y NED, que simula la topología de red de la figura 12. Los módulos simples de este código inicial, contienen las bases desde donde se van a crear los módulos simples de los dos simuladores. El funcionamiento de esta red es el siguiente:

- El módulo simple del emisor contiene un array con información de todos los destinos, este array siempre contiene una trama para transmitir a cada destino en cada slot de tiempo. La asignación de los canales se harán según el algoritmo Round Robin. La probabilidad de retransmisión del emisor se le pasa manualmente en la configuración del sistema. El emisor solamente borra la trama que contiene en el array y genera una nueva cuando recibe un ACK por parte del destino.
- El módulo simple del destino solamente es capaz de almacenar una trama a la vez, por lo que si recibe una trama con un SN igual a 3 y espera recibir una trama con un SN igual a 2, la descarta. El destino envía en cada slot de tiempo un ACK con la trama recibida en caso de haberla recibido.
- El módulo simple del relay contiene un array en el que se va almacenando las tramas que recibe del emisor, pudiendo almacenar solamente una trama para cada destino a la vez, si la trama que recibe tienen un SN superior al que ya tiene almacenada, sustituye la que tiene almacenada por la nueva. El relay transmite las tramas almacenadas en el array según el algoritmo Round Robin y una determinada probabilidad de retransmisión que se le pasa manualmente en la configuración del sistema. Si el array recibe un ACK por parte del emisor o el destino borra del array la trama relacionada con el ACK.
- El módulo simple de la capa física se encarga de convertir una trama en una trama de radio y asignarle todos los parámetros necesarios para que llegue a un destino en el caso de recibirse de un relay, un destino o el emisor. En caso de que se reciba del controlador del canal se convierte la trama de radio en una trama y llegará al bloque correspondiente siempre y cuando disponga de una potencia mayor que el umbral.
- El módulo simple del controlador del canal se encarga de controlar los recursos radio de manera que envíe las tramas hacia los módulos adecuados. Así, si se recibe una trama del emisor ésta es enviada tanto hacia el nodo relay, como hacia el destino y si por el contrario se recibe del nodo relay entonces es únicamente transmitida hacia el destino. En caso de llegue un ACK al controlador ya sea del nodo relay o del destino, éste es encaminado hacia el emisor, de manera que sepa que la trama que ha enviado ha sido recibida con éxito. Si el ACK procede del destino, entonces éste es enviado también hacia el relay.

Nuestro objetivo es crear dos simuladores, uno basado en el algoritmo Round Robin capaz de transmitir más de un mensaje a un mismo destino y otro basado en la cola más larga con un algoritmo de asignación de recursos, que emulen la topología de la figura 12 con el simulador OMNET++ a partir del código inicial dado, el proceso de construcción de estos dos simuladores se divide en cuatro partes: la primera relacionada con los módulos simples comunes a los dos simuladores, la segunda explica los módulos simples necesarios para la creación del simulador Round Robin, la tercera explica el algoritmo de asignación de recursos que se utiliza para el segundo simulador, y por último se explica los módulos simples del simulador basado en la cola más larga.

Los módulos simples que configuran los simuladores son los siguientes: emisor, capa física (physicalLayer), controlador de canal (channelController), relay y destino. El único módulo común a los dos simuladores es el módulo del destino, ya que los otros módulos se comportan de forma distinta.

4.2. Módulo Común

DESTINO

El destino va recibiendo tramas tanto del emisor como del nodo relay. Conforme vaya recibiendo estas tramas, las irá almacenando en una memoria temporal, para llevar un control de las tramas que ya ha recibido, y así evitar conflictos en caso de recibir duplicados o pérdidas de trama. A cada trama almacenada en memoria se le da un tiempo de vida de 40 milisegundos, por lo que una vez transcurrido este tiempo la trama se eliminará de la memoria, en caso de que se reciba una ACK proveniente del emisor o del relay, afirmando que no se va a volver a transmitir esa trama, esta trama se borrará de memoria inmediatamente a pesar de que aún no haya vencido su tiempo de vida. Por último el destino envía un ACK de las últimas tramas recibidas en cada time-slot.

A continuación vamos a exponer a modo de ejemplo gráfico como funcionaría básicamente el módulo del destino:

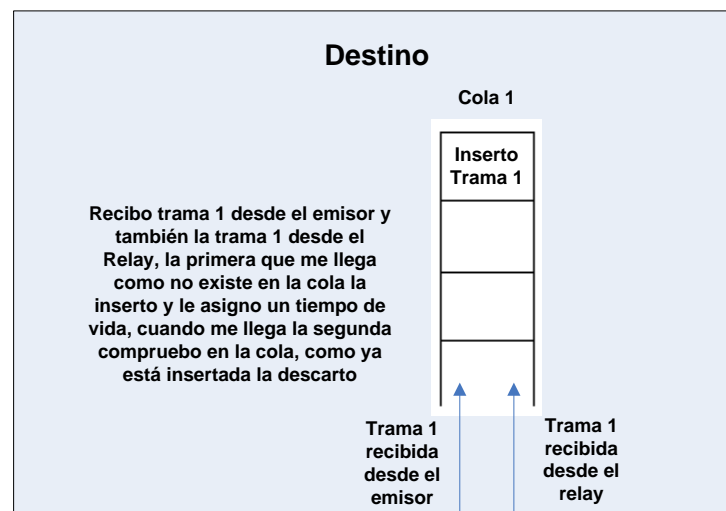


Figura 13. Estado 1 del módulo destino

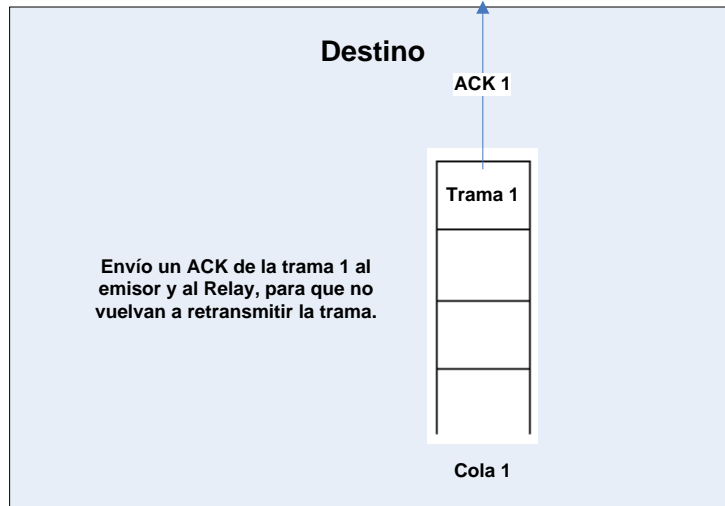


Figura 14. Estado 2 del módulo destino

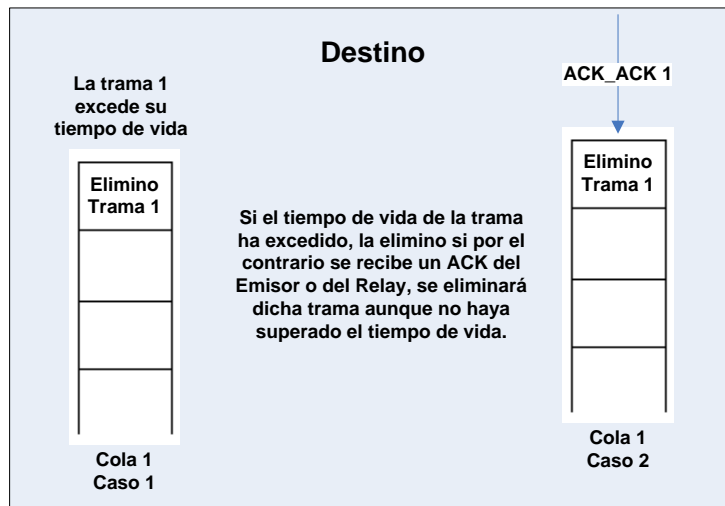


Figura 15. Estado 3 del módulo destino

4.3. Módulos Round Robin

Los módulos creados para el simulador Round Robin son los siguientes, para cada módulo mostraremos a modo de ejemplo gráfico como funcionaría cada uno de ellos:

EMISOR

El emisor dispone de un vector de enlaces con información detallada sobre cada canal, de modo que a cada destino se le va asignando un canal mediante el algoritmo round robin, una vez conocida la información del canal se puede llevar a cabo el cálculo de la probabilidad de retransmisión del emisor.

Este algoritmo es un método para seleccionar todos los elementos en un grupo de manera equitativa y en un orden racional, normalmente comenzando por el primer elemento de la lista hasta llegar al último y empezando de nuevo desde el primer elemento. De este modo se asignarán los canales a los destinos de una forma creciente, es decir como el número de canales en una celda de telefonía móvil es menor que el número de usuarios, se van recorriendo todos los destinos y se van asignando ordenadamente los canales. Posteriormente si un canal queda libre se asignará al siguiente destino que tenga algo para transmitir de modo que el emisor tenga la posibilidad de transmitir información hacia todos los destinos. En cada time-slot el emisor irá recorriendo el vector de enlaces e irá transmitiendo las tramas según el siguiente orden:

1. El primer paso que sigue el emisor, es el de comprobar que usuarios tienen un canal asignado y que no hayan recibido confirmación del nodo relay, con lo cual es necesario retransmitir la trama, ya que el nodo relay no tiene posibilidad de retransmisión, al no haberla recibido.
2. El segundo paso es el de enviar las tramas de los usuarios que tienen un canal asignado y que hayan recibido confirmación del nodo relay. En este caso, tanto el nodo relay como el emisor tienen la posibilidad de retransmisión por lo tanto cada uno retransmite con una cierta probabilidad, de modo que no los dos retransmitan siempre.
3. El tercer paso consiste en comprobar si aún quedan canales si asignar, se asignan los canales que queden libres a los usuarios que no tienen un canal asignado y se transmite hacia ellos.
4. Si una vez hechos estos tres pasos aún quedan canales libres, entonces transmitirán el resto de usuarios.

El emisor también contiene una función generadora de mensajes, para que el sistema se asemeje a los sistemas de comunicación reales. Esta función se encarga de ir generando tramas cada cierto tiempo hacia el emisor. El tiempo entre llegadas de los mensajes se puede variar, para llevar a cabo simulaciones en diferentes escenarios. El emisor ante la recepción de una trama por parte del generador, tiene que comprobar si la posición del array destinado a almacenar las tramas para cada destino se encuentra vacía, en este caso la trama recibida se almacena en esa posición y se envía al usuario hacia el que vaya destinado.

Puede ocurrir por el contrario que esa posición del array se encuentre ocupada por otra trama que llegó antes y de la que aún no se ha recibido un ACK por parte del destino, en este caso el emisor dispone de una cola para cada destino de manera que se vayan almacenando las tramas que llegan del generador.

Por tanto el emisor a la hora de transmitir una trama únicamente tiene que transmitir la trama almacenada en la posición del array correspondiente, y una vez que llegue un ACK del destino, elimina esa trama del array y pasa a ocupar esa posición una trama de la cola en caso de que ésta no esté vacía.

En resumen, el algoritmo empleado es el siguiente:

- El generador crea una trama cada cierto intervalo de tiempo y la envía hacia el emisor.
- El emisor comprueba si el Carray donde almacena las tramas a enviar está ocupado.
- Si no está ocupado almacena la trama en ese Carray, y enviará la trama en el siguiente time slot.
- Si está ocupado, almacena la trama en la siguiente posición disponible de la cola.
- Una vez que el emisor recibe un ACK del usuario destino, eliminará la trama almacenada en el Carray.
- En este punto, si hay tramas almacenadas en la cola, una de ellas pasará a ocupar la posición del Carray.
- Si no hay tramas encoladas, no se enviará nada hasta que llegue una nueva trama del generador.

Por último hay que decir, que si el emisor recibe un ACK de un destino en concreto comprueba si contiene esa trama en la cola de transmisión de dicho destino, en caso de contenerla la elimina y responde con un ACK al destino y al relay para que sepan que la trama ha llegado correctamente, después de esto se libera el canal asignado a ese destino para dejarlo libre para otra posible transmisión, además si se recibe un ACK de relay y la probabilidad de retransmisión del emisor para ese enlace es del 0%, también se libera el canal asignado para ese destino.

Una vez explicado el funcionamiento del módulo emisor, vamos a poner un ejemplo sobre su funcionamiento para que quede más claro:

Partimos de que el emisor solo tiene dos canales asignados y que puede tratar a la vez cuatro destinos, por lo que tiene cuatro colas una para cada destino, cada una de estas colas ya contiene tramas almacenadas, por lo que se procede a la asignación de los canales a las colas mediante el método Round Robin.

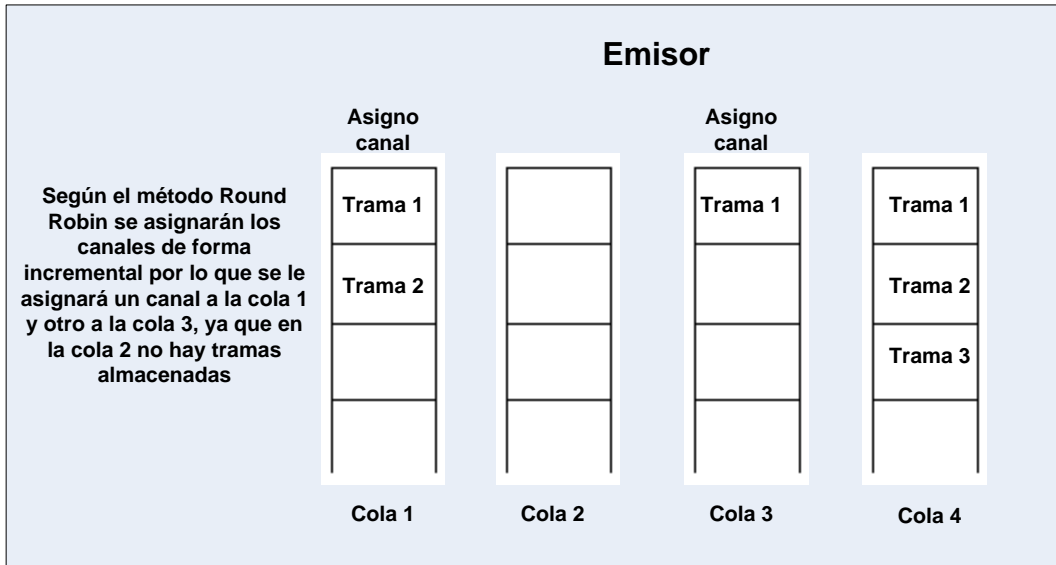


Figura 16. Estado 1 del módulo emisor. Simulador Round Robin

Una vez asignado los canales se procede a la transmisión de las tramas hacia el nodo Relay y los destinos asociados.

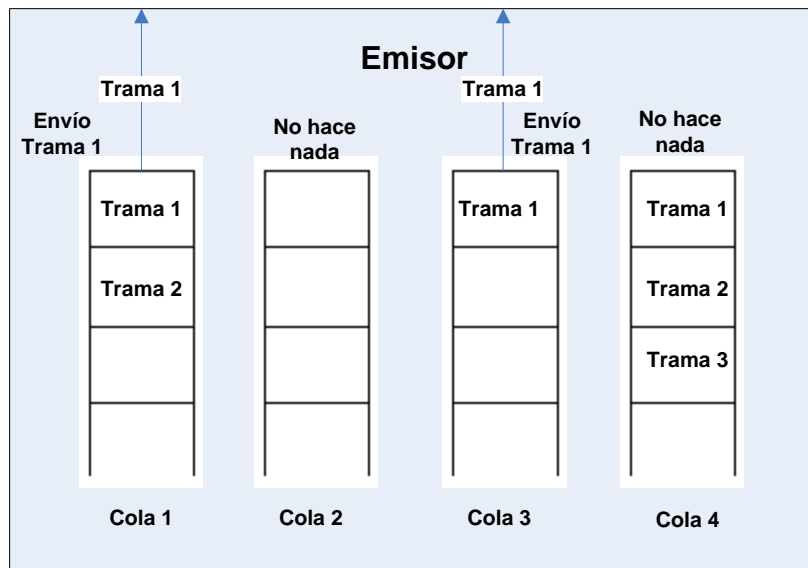


Figura 17. Estado 2 del módulo emisor. Simulador Round Robin

Ya transmitidas las tramas el emisor espera a la recepción de los ACKs por parte del nodo relay y de los destinos, si se recibe desde el destino ocurriré lo siguiente:

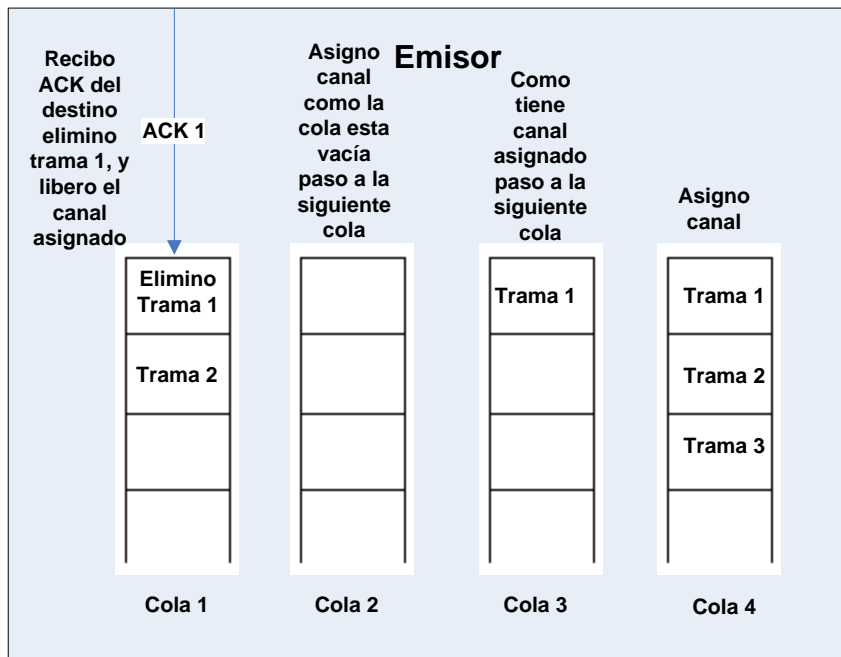


Figura 18. Estado 3 del módulo emisor. Simulador Round Robin

Si en vez de llegar desde el destino llega desde el nodo relay, ese ACK se trata de dos formas distintas, todo ello depende de la probabilidad de retransmisión del emisor, si esta es igual a cero, el emisor lo trata de la siguiente forma:

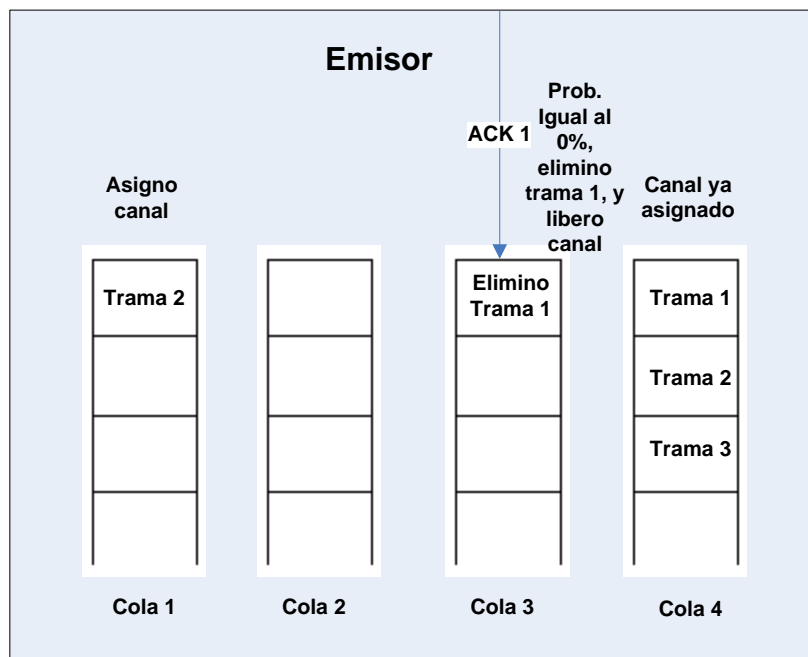


Figura 19. Estado 4-1 del módulo emisor. Simulador Round Robin

Pero si la probabilidad de retransmisión es mayor del 0% entonces el tratamiento del ACK es el siguiente:

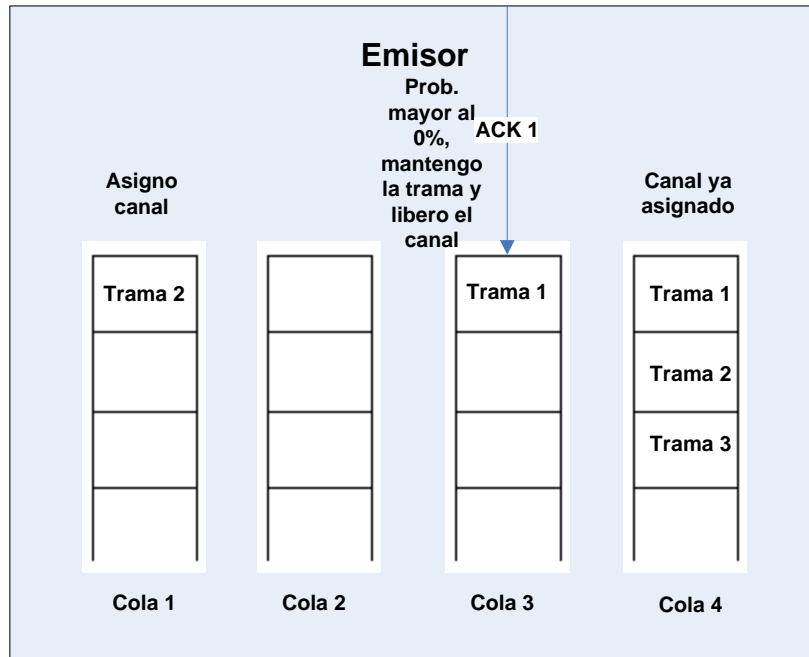


Figura 20. Estado 4-2 del módulo emisor. Simulador Round Robin

Por último, el emisor procede a la recepción de nuevas tramas para la transmisión hacia los destinos, se produjera o no esta recepción de tramas el emisor volvería de nuevo al estado 2, y repetiría de nuevo este proceso:

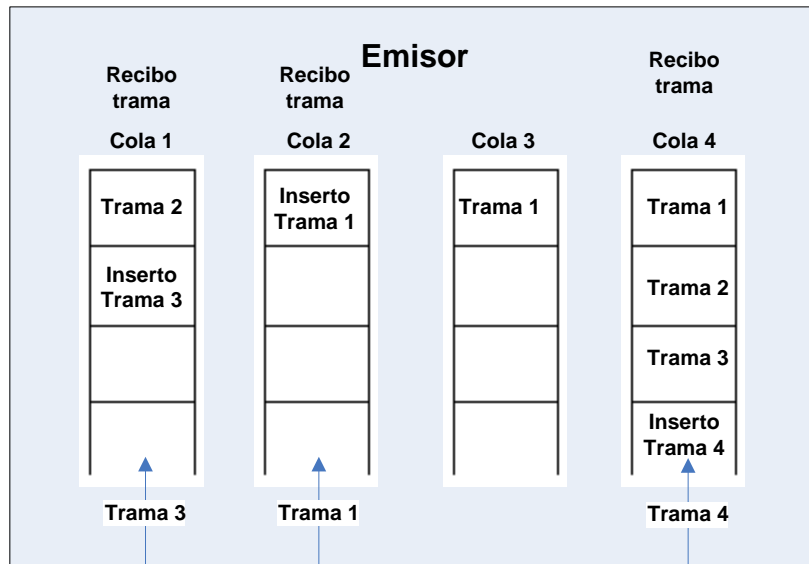


Figura 21. Estado 5 del módulo emisor. Simulador Round Robin

CAPA FÍSICA – PHYSICAL LAYER

Para la simulación del sistema se crea una capa física para el emisor, otra para el nodo relay y otra para cada uno de los destinos de la red. La capa física actúa como una interfaz entre el radio enlace y los módulos emisor, relay y destino.

La funcionalidad básica de este módulo es convertir una trama en una trama de radio y asignarle todos los parámetros necesarios para que llegue a un destino en el caso de recibirse de un relay, un destino o el emisor. En caso de que se reciba del controlador del canal se convierte la trama de radio en una trama y llegará al bloque correspondiente siempre y cuando disponga de una potencia mayor que el umbral.

CONTROLADOR DEL CANAL – CHANNEL CONTROLLER

Es el encargado de controlar los recursos radio de manera que envíe las tramas hacia los módulos adecuados. Así, si se recibe una trama del emisor ésta es enviada tanto hacia el nodo relay, como hacia el destino y si por el contrario se recibe del nodo relay entonces es únicamente transmitida hacia el destino.

En caso de llegue un ACK al controlador ya sea del nodo relay o del destino, éste es encaminado hacia el emisor, de manera que sepa que la trama que ha enviado ha sido recibida con éxito. Si el ACK procede del destino, entonces éste es enviado también hacia el relay.

La capa física y el controlador del canal son los encargados de la propagación de los mensajes de los módulos emisor, destino, relay, a continuación se muestra como se propagarían los distintos mensajes:

Transmisión de tramas por parte del emisor:

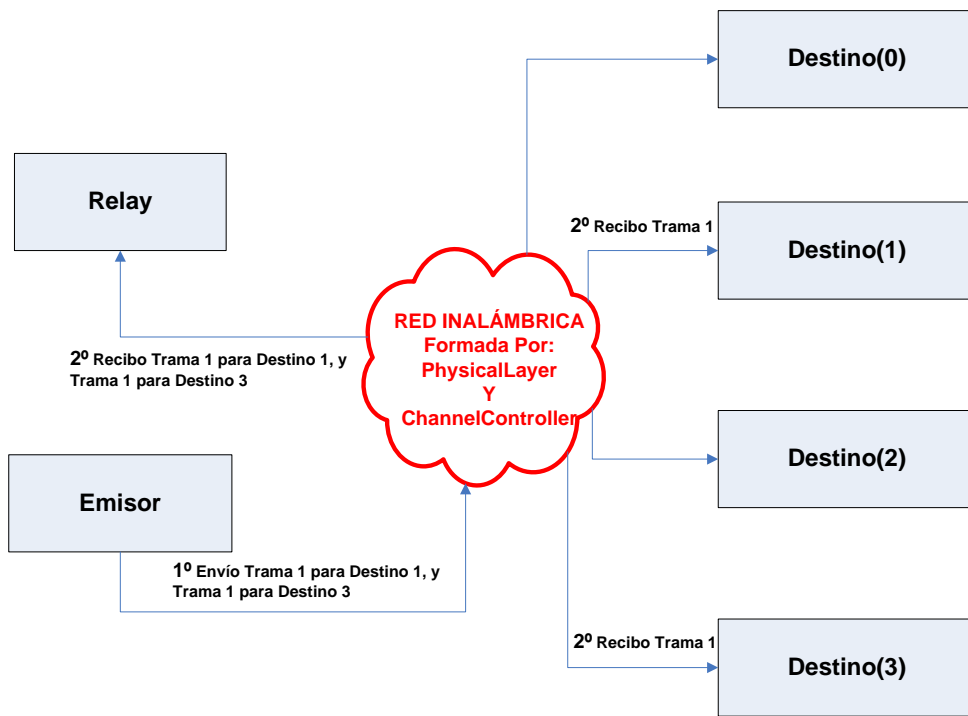


Figura 22. Estado 1 del módulo controlador del canal. Simulador Round Robin

Transmisión de tramas por parte del nodo relay:

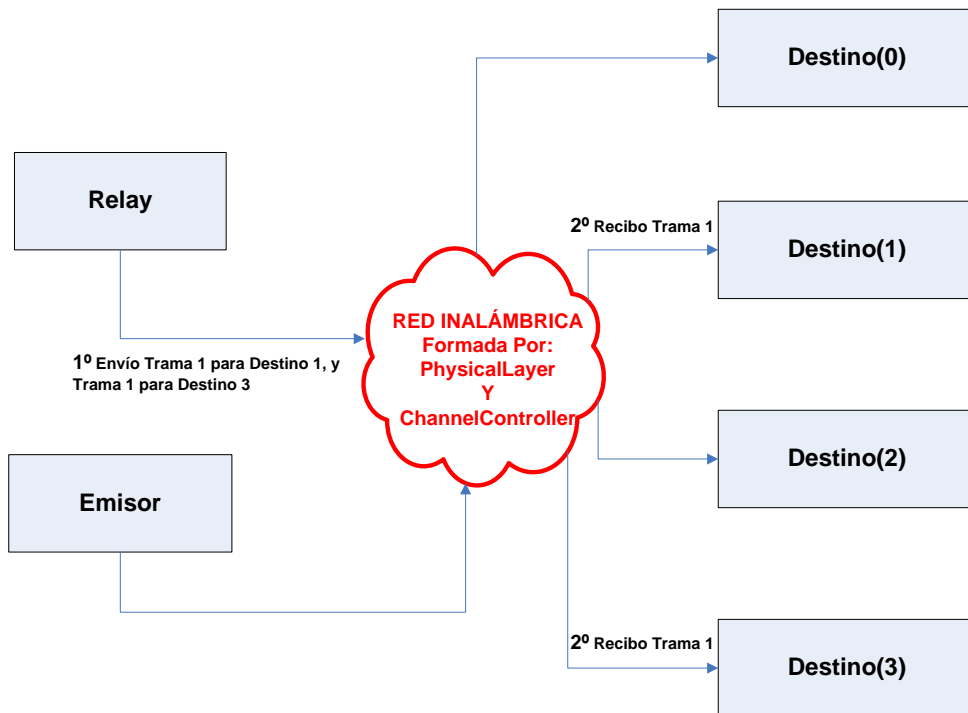


Figura 23. Estado 2 del módulo controlador del canal. Simulador Round Robin

Transmisión de ACK por parte del nodo relay y de los destinos:

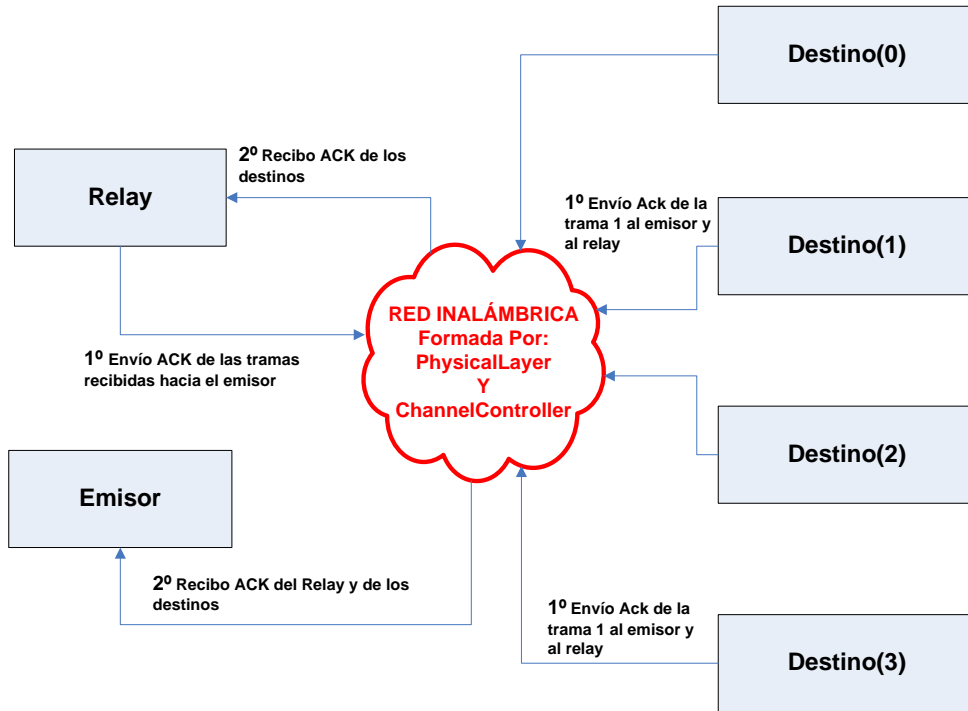


Figura 24. Estado 3 del módulo controlador del canal. Simulador Round Robin

Transmisión de ACK_ACK por parte del emisor y del nodo relay:

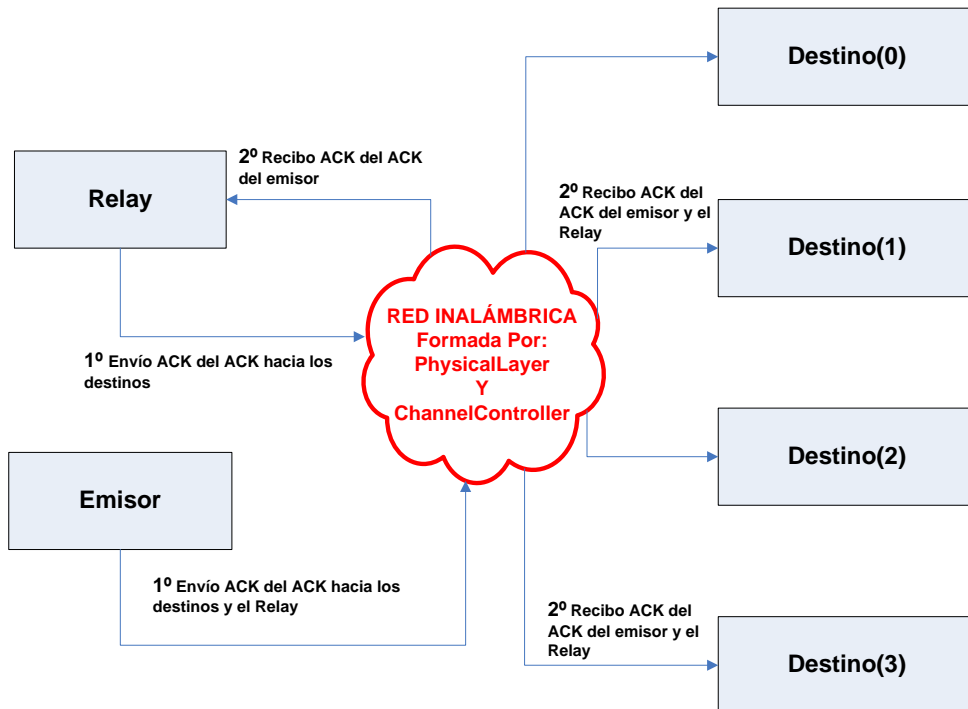


Figura 25. Estado 4 del módulo controlador del canal. Simulador Round Robin

RELAY

El nodo relay se encarga de recibir las tramas del emisor e ir comparándolas con la que ya ha recibido, en caso de que ya la hubiera recibido la descarta, por el contrario si es una trama nueva, la almacena en cola para su posterior retransmisión. En cada time slot el nodo relay transmite las tramas almacenadas en las colas de cada destino de forma ascendente con una cierta probabilidad, siguiendo el método Round Robin.

Cuando el nodo relay reciba un ACK del destino, comprueba en la cola de dicho destino si contiene esa trama, en caso afirmativo la elimina y le responde al destino con un ACK para que sepa que ya no se va a volver a retransmitir esa trama. Si en vez de llegar el ACK del destino llega desde el emisor, solamente se busca en las colas de nodo relay a que trama pertenece el ACK para eliminarla.

Por último en cada time slot el nodo relay envía al emisor la última trama recibida para que el emisor pueda pasar a transmitir otra trama.

A continuación vamos a exponer de forma gráfica un ejemplo de modo de funcionamiento básico de nodo relay, el primer estado desde donde vamos a partir para este ejemplo es el de la recepción de tramas desde el emisor, para este caso tendremos cuatro destinos, por lo que tendremos en el nodo relay cuatro colas, y dos canales reservados para el nodo relay:

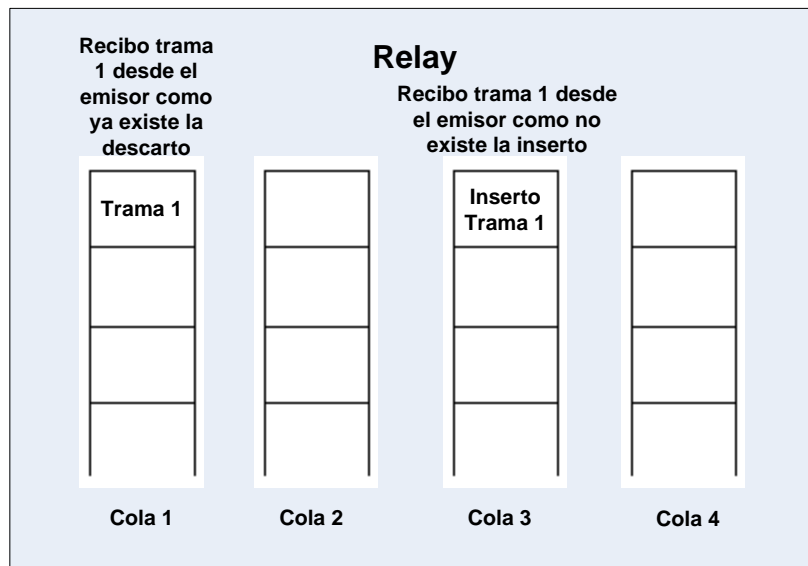


Figura 26. Estado 1 del módulo relay. Simulador Round Robin

Una vez obtenidas las tramas pasamos a la asignación de los canales mediante el método Round Robin, por lo que le asignaremos una canal a la cola 1 y otro a la cola 3:

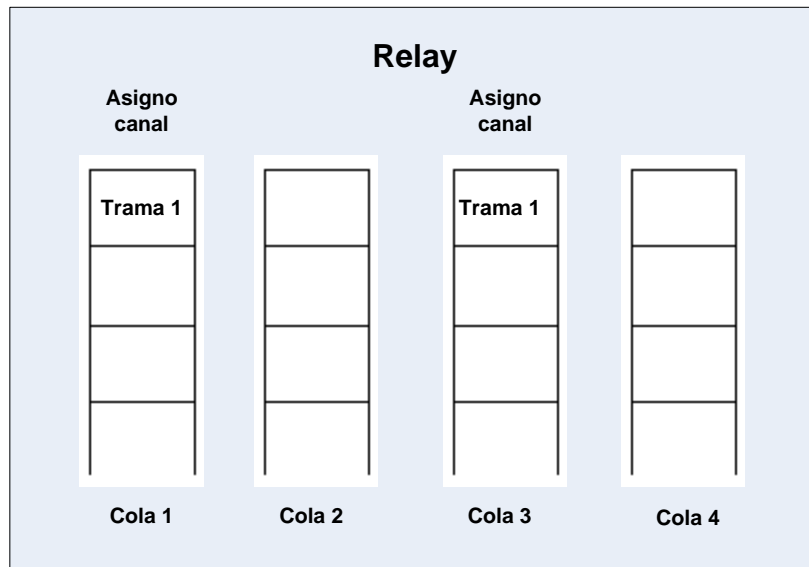


Figura 27. Estado 2 del módulo relay. Simulador Round Robin

Ya asignado los canales se procede a la transmisión de las tramas hacia los destinos:

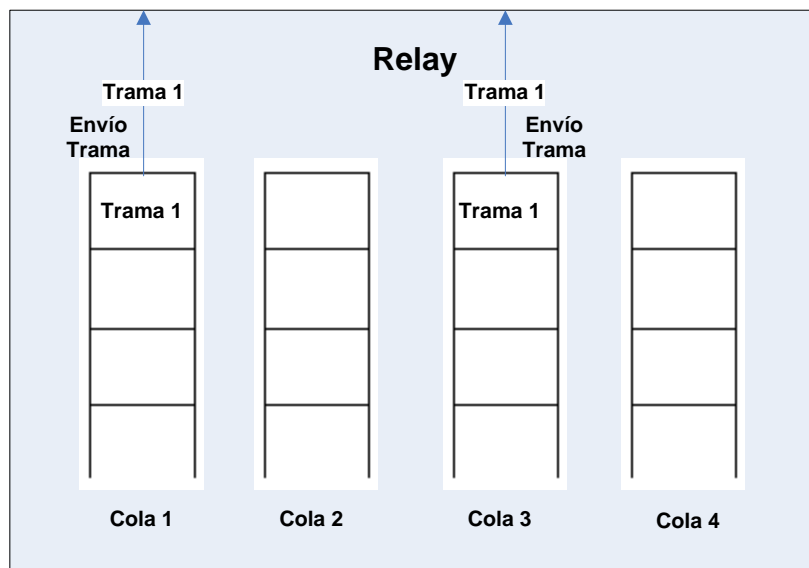


Figura 28. Estado 3 del módulo relay. Simulador Round Robin

En este punto se pueden recibir ACKs desde el emisor o de los destinos, para ambos casos se procede a la eliminación de la trama, y a la transmisión de un ACK_ACK hacia el destino si los ACKs procedían de los destinos:

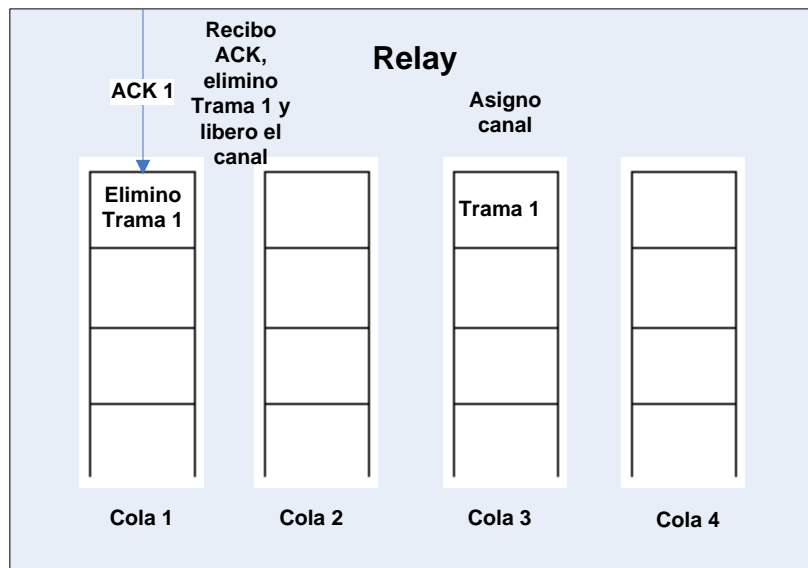


Figura 29. Estado 4 del módulo relay. Simulador Round Robin

Una vez realizado este proceso se vuelve al estado uno a la espera de nuevas tramas enviadas por el emisor, si no se recibe ninguna trama desde el emisor y no hay ninguna trama en las colas para ser retransmitidas, el nodo relay se mantiene en el estado 1, en cualquier otro caso pasa al estado 2, continuando así el bucle.

4.4. Algoritmo de Asignación de Recursos

El principal objetivo del algoritmo de asignación de recurso es la mejora del rendimiento del sistema, llevando a cabo un reparto equilibrado de los canales, asignando más canales a las colas con mayor carga de tráfico. Por los que si disponemos de diez canales, estos se van a ir asignando de forma distinta en cada slot de tiempo, al emisor o al nodo relay, dependiendo de la carga de tráfico de cada uno de ellos.

Para realizar esta asignación de recursos el primer aspecto que se debe de tener en cuenta, es que los canales del emisor y del nodo relay ya están predeterminados, y lo que se pretende con este algoritmo es redirigir los canales al nodo relay o al emisor según estos estén libres, por ejemplo si de partida el emisor tiene asignados 5 canales y el nodo relay tiene asignado 3, y en ese momento el emisor quiere transmitir 3 tramas y el nodo relay 5, los canales de partida se reasignan para que se pueda llevar a cabo la transmisión de todas las tramas, pero si en vez de tener el emisor 3 tramas para transmitir tiene 5 y el nodo relay tiene 6, entonces se mantienen los canales que se tenían asignados desde un comienzo, transmitiendo 5 tramas el emisor y 3 el nodo relay.

Una vez dejado claro que los canales están predeterminados desde un comienzo, para una carga de tráfico elevada en el emisor y el nodo relay, hay que decir que el algoritmo no deja de funcionar por ello, ya que este algoritmo, aparte de reutilizar los canales libres, también se encarga de repartir equitativamente los canales de los que dispone dándole

prioridad a las colas con mayor carga de tráfico incluso asignándole varios canales a un mismo destino si fuera necesario. Con esto se quiere dejar claro que el principal objetivo del algoritmo, es el reparto equitativo de los canales, teniendo en cuenta las tramas que se volverán a retransmitir y las colas de los destinos con unas cargas de tráfico elevadas. A continuación vamos a explicar detalladamente el funcionamiento del algoritmo:

1. El primer paso, es la recopilación de la información sobre el estado de las colas de nodo relay y el emisor, así como las tramas que están pendientes de ser retransmitidas, quien se encarga de darle esta información es el emisor, dándole datos como cuantos canales le pertenecen al emisor y cuantos al nodo relay, cuantas tramas hay encoladas para cada destino y cuantas tramas están a la espera de volver a ser retransmitidas.
2. Con toda esta información, se procede a asignar los canales pertenecientes al emisor, dándole prioridad a las tramas en espera de retransmisión y seguidamente a las tramas de las colas con mayor carga de tráfico. Para llevar a cabo este proceso, primero se calcula una probabilidad de retransmisión a partir de la calidad de los enlaces entre emisor-destino, emisor-relay y relay-destino, con esta probabilidad se obtienen las tramas que se van a volver a retransmitir, asignándole los canales necesarios.
3. El tercer paso consiste en asignar los canales que quedan libres entre nodo relay y al emisor. Para ello se comprueba las tramas que hay a la espera de transmisión el nodo relay y el emisor, en el caso de que el número de tramas en el nodo relay sea inferior al de número de canales que tiene asignado, le presta canales al emisor, y si fuera al contrario sería el emisor quien le presta canales al nodo relay. Una vez definidos cuantos canales le corresponde al emisor y al nodo relay se procede a asignar los canales, para ello se comprueba que colas tienen un mayor número de tramas encoladas, y una vez realizado ese estudio se le asigna un mayor número de canales a esas colas para disminuir rápidamente el tamaño de las colas.
4. Una vez que el algoritmo ha asignado todos los canales se lo comunica al emisor para que este, a su vez se lo comunique al nodo relay.

Con todo este procedimiento lo que se pretende es mejorar la eficiencia del sistema reutilizando los canales libres, y disminuir los retardos en la transmisión de las tramas en las colas con mayor carga de tráfico, repartiendo equitativamente los canales.

4.5. Módulos Cola más Larga Aplicando Algoritmo Asignación de Recursos

Para crear un simulador de una red inalámbrica 4G basado en la cola más larga, se han creado cinco módulos y un algoritmo de asignación de recursos ya explicado en el punto 4.4. Uno de los módulos sería el destino también explicado en el punto 4.3 y los otros cuatro módulos se explicarán a continuación:

EMISOR

El emisor dispone de un vector de enlaces con información detallada sobre cada canal, según las probabilidades de pérdidas entre el emisor-relay, emisor-destino, destino-emisor y relay-destino, se obtiene una probabilidad de retransmisión para las tramas ya transmitidas por el emisor. A diferencia del modelo Round Robin, en el que los canales de transmisión eran siempre los mismos para el emisor y el nodo relay, aquí los canales se van asignando según las necesidades, siguiendo el algoritmo de asignación de recursos. El emisor de este simulador también contiene la función generadora de mensajes ya explicada en el módulo emisor del punto anterior.

Los pasos que sigue el emisor en un slot de tiempo son los siguientes:

1. El primer paso que lleva a cabo el emisor es la recepción de un mensaje enviado por el nodo relay, que contiene la información del número de tramas hay almacenadas en las colas del nodo relay para que destinos están relacionadas.
2. El segundo paso es recopilar información sobre el estado del emisor, como el número de tramas que tiene encoladas, el número de tramas a la espera de ser retransmitidas, y las tramas encoladas con un tiempo de espera muy alto. Una vez obtenidos todos estos datos, junto con los datos obtenidos del nodo relay se lleva a cabo la asignación de los canales.
3. Una vez obtenidos los canales se le informa al nodo relay de los canales que le corresponde, para realizar la retransmisión de las tramas encoladas.
4. Después de haber informado de los canales que le corresponde al nodo relay, se procede a la transmisión de las tramas a los destinos por parte del emisor. Esto se lleva a cabo en dos pasos: primero se retransmiten las tramas ya enviadas por el emisor y que han recibido un ACK por parte del nodo relay y por último se transmiten las tramas que aún no han sido enviadas, todo este proceso ha sido seleccionado por el algoritmo de selección de recursos.
5. Antes de que todo vuelva a empezar desde el punto uno, el emisor espera recibir un ACK por parte del emisor o el nodo relay. En caso de que sea del destino, se eliminan las tramas que han sido recibidas correctamente y responde con un ACK al destino para que sepa que no va a volver a retransmitir esas tramas, y otro ACK al relay para que elimine esas tramas de sus colas en caso de tenerlas. En caso de que el ACK venga desde el nodo relay, el emisor elimina de su cola la trama seleccionada si la probabilidad de retransmisión es del 0% o la retransmite en el caso de que la probabilidad de retransmisión sea superior al 0%.

Para nuestro nuevo modelo de simulación, el módulo del emisor funciona de forma distinta al modelo de simulación basado en el Round Robin, para ello vamos a exponer un ejemplo gráfico de su funcionamiento, los parámetros de configuración son los siguientes: tendremos tres canales reservados para el emisor y dos canales para el nodo relay, el nodo relay a su vez tiene dos tramas para transmitir, y el sistema está compuesto por cuatro destinos, por lo que en el emisor hay cuatro colas con tramas para ser transmitidas, el primer paso que lleva a cabo el emisor es el de la recopilación de información sobre el estado de sus colas, y la recepción de la información del nodo relay, para transmitírselo al su algoritmo de asignación de recursos:

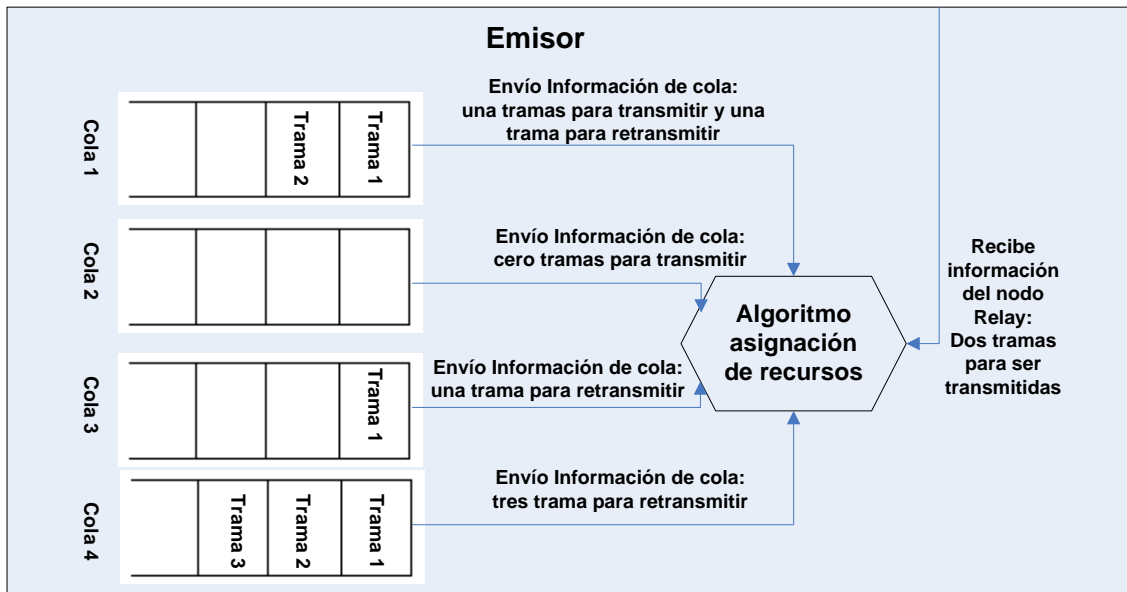


Figura 30. Estado 1 del módulo emisor. Simulador Cola más larga

El algoritmo de asignación de recursos obtiene los resultados y se lo comunica al emisor y al nodo relay:

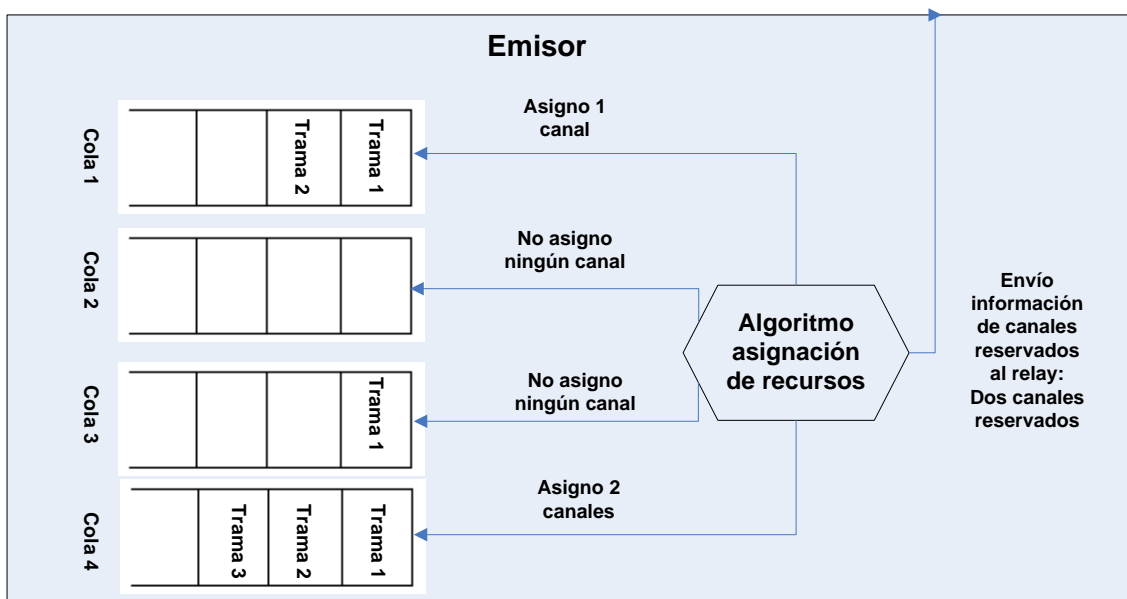


Figura 31. Estado 2 del módulo emisor. Simulador Cola más larga

El nodo emisor procede a la transmisión de las tramas:

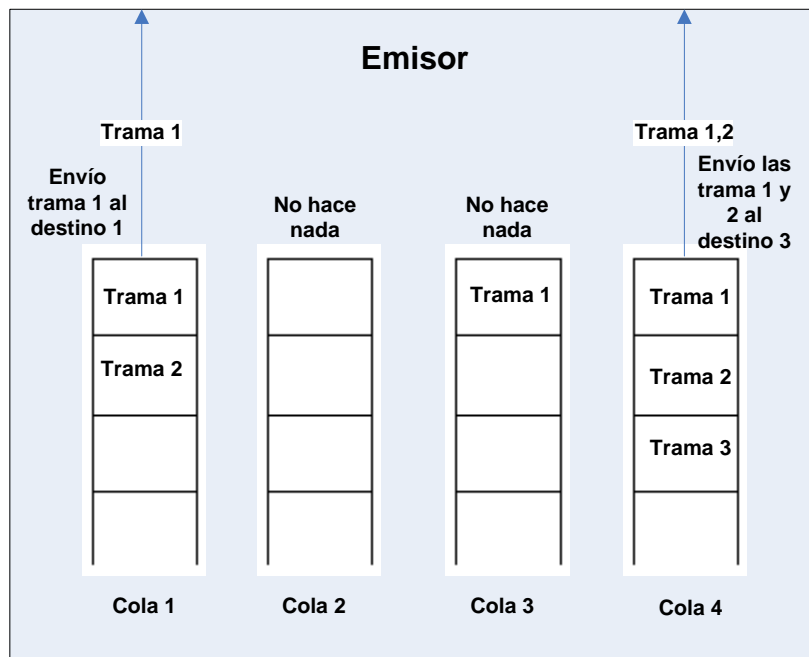


Figura 32. Estado 3 del módulo emisor. Simulador Cola más larga

A continuación el emisor recibe ACKs por parte de los destinos y del nodo relay, para este segundo caso se producen dos situaciones, una cuando la probabilidad de retransmisión del emisor sea igual al 0%:

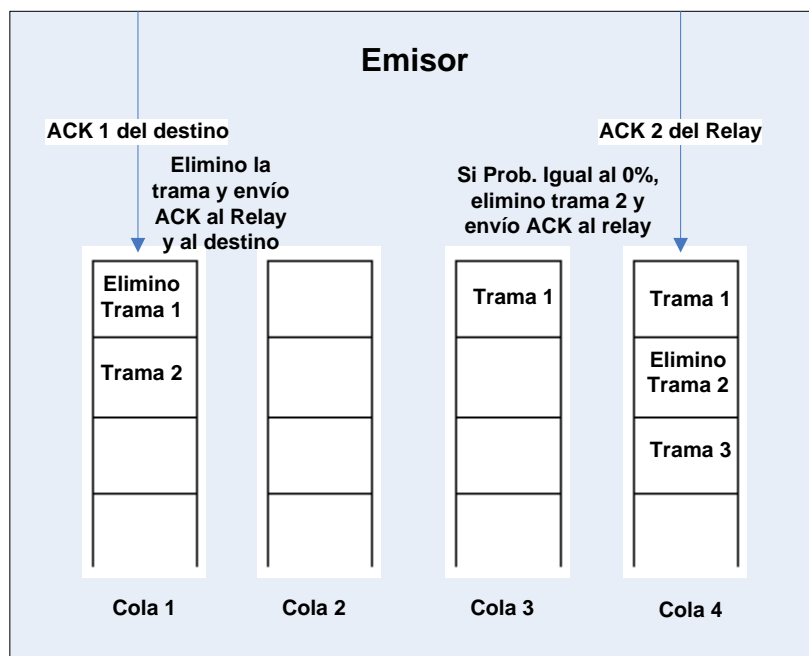


Figura 33. Estado 4-1 del módulo emisor. Simulador Cola más larga

Y otro cuando la probabilidad de retransmisión del emisor sea superior al 0%:

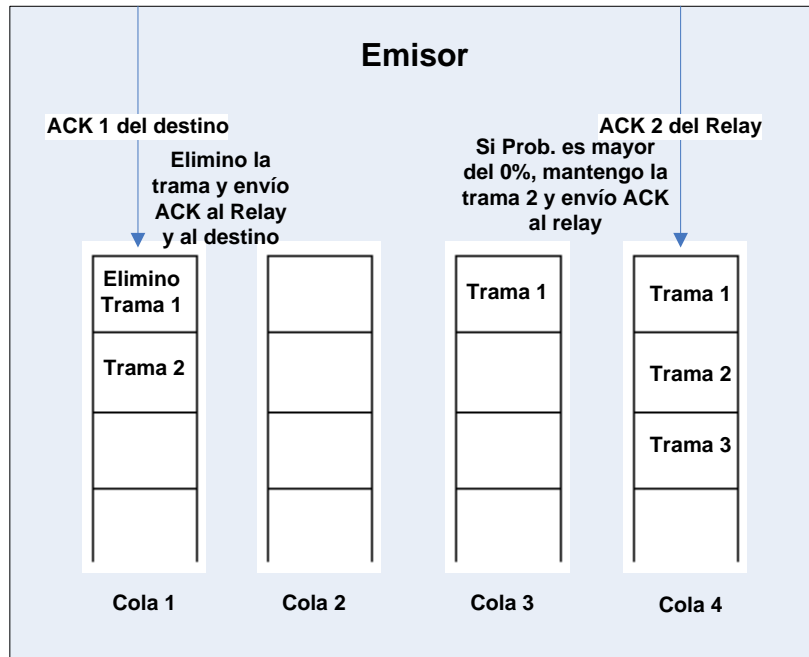


Figura 34. Estado 4-2 del módulo emisor. Simulador Cola más larga

Por último el emisor espera recibir nuevas tramas, en el caso de no recibir ninguna y no haber ninguna trama a la espera de ser transmitida, el emisor se mantiene en el estado 5, en cualquier otro caso se vuelve al estado 1 para repetir el proceso indefinidamente:

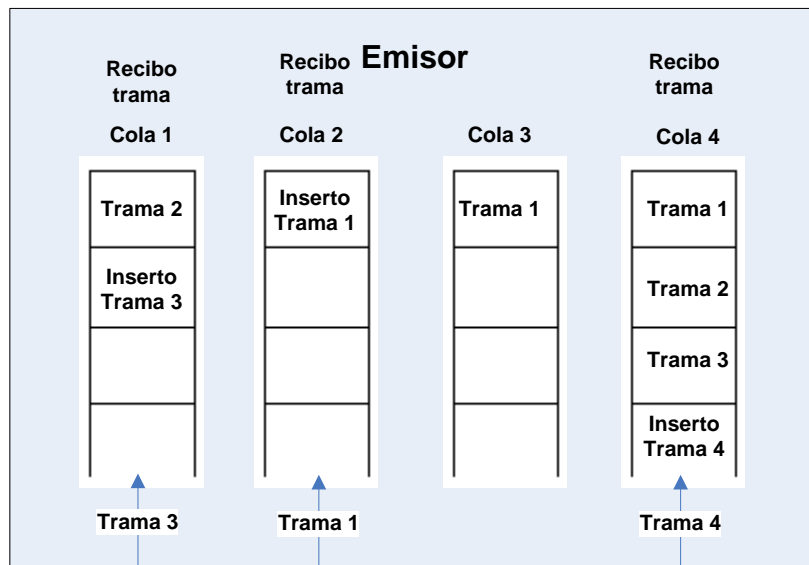


Figura 35. Estado 5 del módulo emisor. Simulador Cola más larga

CAPA FÍSICA – PHYSICAL LAYER

Para la simulación del sistema se crea una capa física para el emisor, otra para el nodo relay y otra para cada uno de los destinos de la red. La capa física actúa como una interfaz entre el radio enlace y los módulos emisor, relay y destino.

La funcionalidad de este módulo es la de convertir una trama en una trama de radio y asignarle todos los parámetros necesarios para que llegue a un destino en el caso de recibirse de un relay, un destino o el emisor. En caso de que se reciba del controlador del canal se convertirá la trama de radio en una trama y llegará al bloque correspondiente siempre y cuando disponga de una potencia mayor que el umbral. Otra funcionalidad que se le añade es la de transmitir correctamente el mensaje de información del estado del nodo relay al emisor, y la transmisión de los canales reservados del relay al nodo relay.

CONTROLADOR DEL CANAL – CHANNEL CONTROLLER

Es el encargado de controlar los recursos radio de manera que envíe las tramas hacia los módulos adecuados. Así, si se recibe una trama del emisor ésta es enviada tanto hacia el nodo relay, como hacia el destino y si por el contrario se recibe del nodo relay entonces es únicamente transmitida hacia el destino.

En caso de llegue un ACK al controlador ya sea del nodo relay o del destino, éste es encaminado hacia el emisor, de manera que sepa que la trama que envió ha sido recibida con éxito. Si el ACK procede del destino, entonces el ACK es enviado también hacia el relay.

También es el encargado de encaminar los mensajes de información de estado de las colas del nodo relay y los mensajes con la información de los canales reservados para el nodo relay. En el primer caso se encamina hacia el emisor, cuando ocurra el segundo caso se encamina hacia el nodo relay.

El funcionamiento de la capa física y del controlador del canal, es el mismo que para el caso anterior, con la salvedad que se produce la transmisión de dos nuevos mensajes, para ello vamos a mostrar como funcionaría gráficamente estos módulos para este caso:

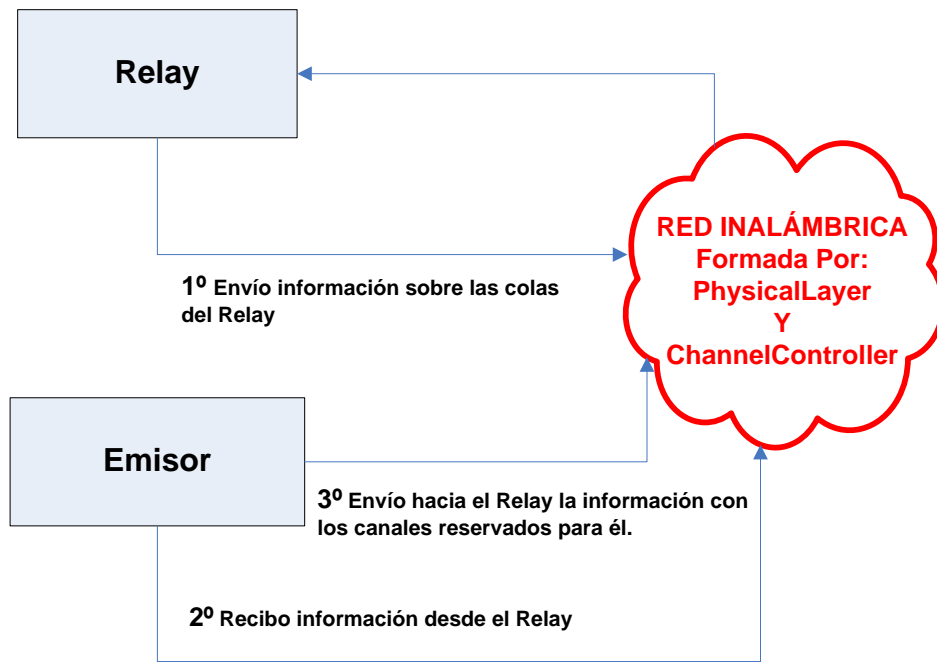


Figura 36. Estado 1 del módulo controlador del canal. Simulador Cola más larga

RELAY

El nodo relay se encarga de recibir las tramas del emisor y de la retransmisión de las mismas según la información que le llegue desde el emisor, ya que el emisor se encarga de darle las ordenes de retransmisión al nodo relay. Los pasos que sigue el nodo relay en un slot de tiempo son los siguientes:

1. El primer paso que lleva a cabo es la recopilación de información sobre el estado de las colas, para enviárselo al emisor.
2. Después de haber enviado la información al emisor, el nodo relay espera las instrucciones que le envía el emisor, estas instrucciones contienen los canales que tiene reservados y para que destinos.
3. El tercer paso que lleva a cabo el relay, es el de la ejecución de las instrucciones recibidas por parte del emisor, enviado las tramas de los destinos con canales asignados.
4. Una vez transmitidas estas tramas el nodo relay espera las nuevas tramas transmitidas por el emisor, comparándolas con las que ya ha recibido en los anteriores slots de tiempo, en caso de que ya las hubiera recibido las descarta, por el contrario si es una nueva trama, la encola para su posterior retransmisión.
5. El cuarto paso es el de la transmisión de un ACK hacia el emisor avisándole de la última trama recibida, para que este puede transmitir una nueva trama.

6. Por último antes de que comience de nuevo todo el proceso desde el primer punto, el nodo relay puede recibir un ACK por parte del destino o del emisor. En caso de ser del destino, se comprueba en la cola de dicho destino si contiene esa trama, en caso afirmativo la elimina y le responde al destino con un ACK para que sepa que ya no se va a volver a retransmitir esa trama. Cuando el ACK es proveniente del emisor, solamente se busca en las colas del nodo relay a que trama pertenece el ACK para eliminarla.

Para una comprensión más clara de su funcionamiento, vamos a mostrar un ejemplo gráfico, partiremos de los parámetros de configuración que seguimos para el módulo del emisor, con dos canales reservados para el nodo relay, tres canales para el emisor y cuatro destinos, el primer paso que lleva a cabo el relay es la recopilación de información sobre el estado de sus colas y la transmisión de esta información al emisor:

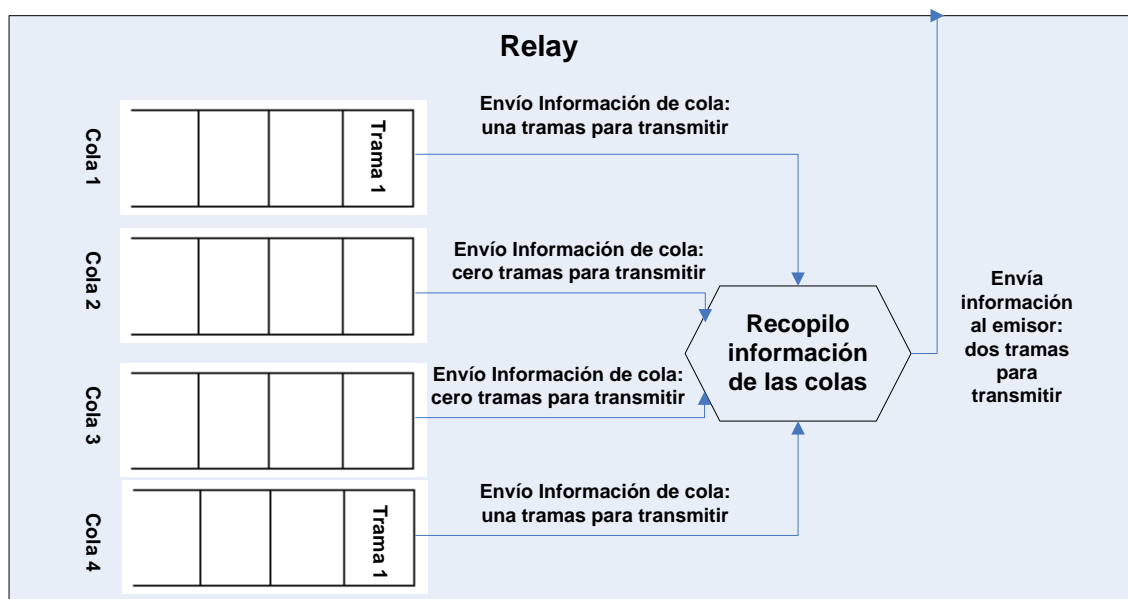


Figura 37. Estado 1 del módulo relay. Simulador Cola más larga

El segundo paso es la espera del mensaje por parte del emisor, con la información de los canales en los que puedo transmitir:

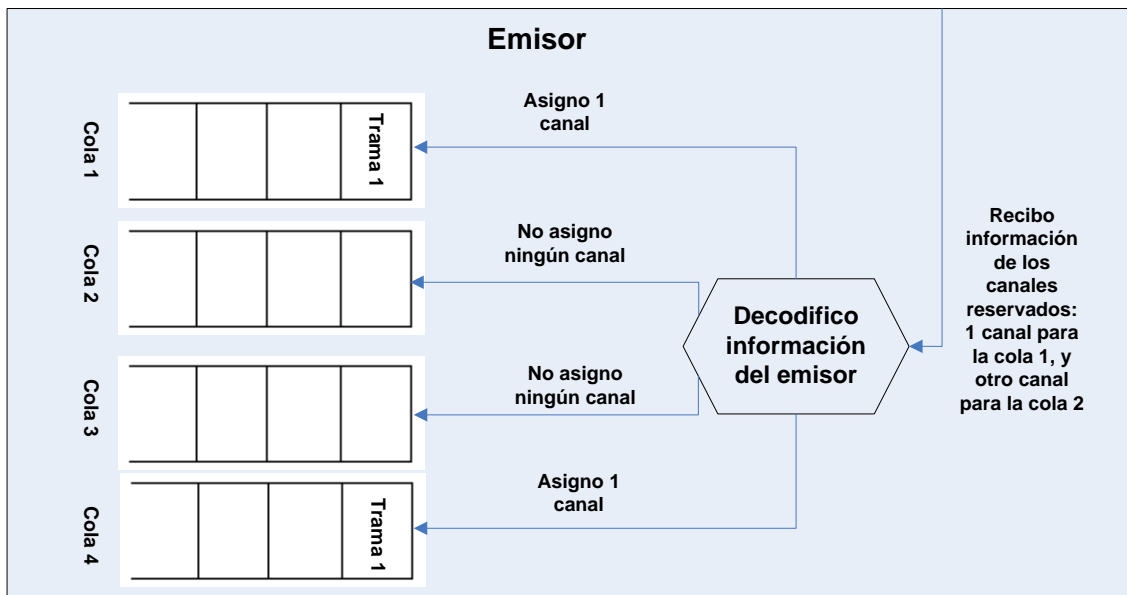


Figura 38. Estado 2 del módulo relay. Simulador Cola más larga

Una vez conocidos que colas pueden transmitir, se produce la transmisión de las tramas hacia los destinos:

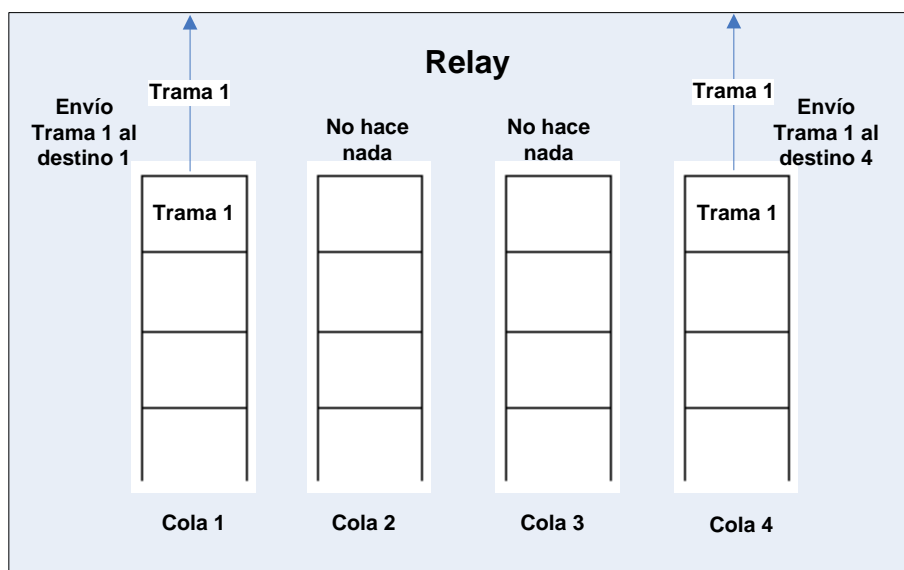


Figura 39. Estado 3 del módulo relay. Simulador Cola más larga

A partir de aquí se puede recibir ACKs por parte del destino o del emisor, en los dos casos se eliminan las tramas relacionadas con los ACKs, y solo para el caso de que se reciban los ACKs desde el destino, el relay manda un ACK_ACK hacia el destino.

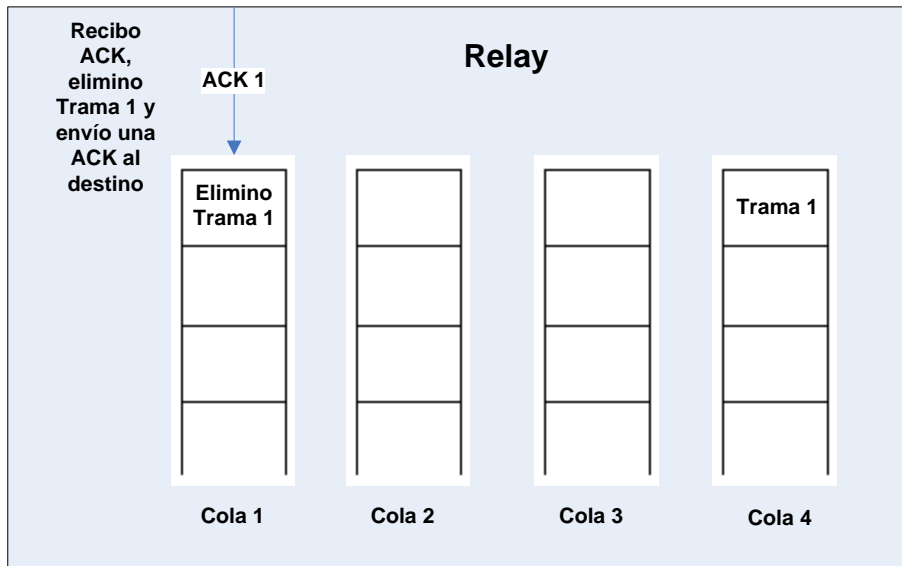


Figura 40. Estado 4 del módulo relay. Simulador Cola más larga

Por último el nodo Relay puede recibir nuevas tramas desde el emisor, en cuyo caso conforme las vaya recibiendo, las compara con las que ya tiene almacenadas en cola, para insertarlas en caso de que sean tramas nuevas.

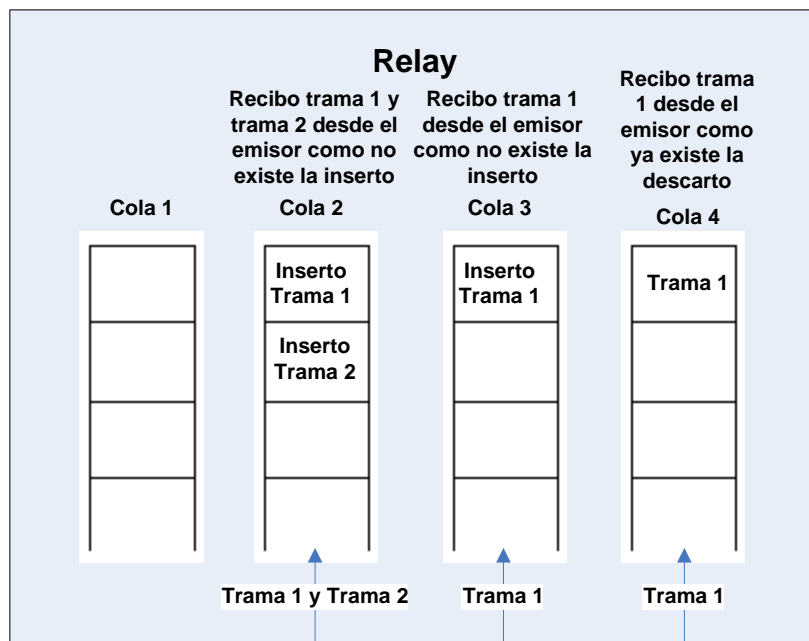


Figura 41. Estado 5 del módulo relay. Simulador Cola más larga

El nodo relay mantiene un bucle infinito en estos cinco estados.

5 Escenarios de Simulación y Resultados

5.1. Introducción

Para la conclusión de proyecto, se van a llevar a cabo una serie de simulaciones para tres escenarios diferentes, formados por distintos número de canales así como de usuarios, para poder analizar el comportamiento de una red formada por nodos relay basada en el método Round Robin y el comportamiento de una red formada por nodos relay basada en el método de la cola más larga con una algoritmo de asignación de recursos.

El primer escenario está compuesto por diez destinos y ocho canales cuatro para el emisor y cuatro para el nodo relay, el segundo escenario está compuesto por treinta destinos y veinte canales, diez para el emisor y diez para el nodo relay, y un tercer escenario con noventa destinos y sesenta canales, treinta para el emisor y treinta para el nodo relay. Para cada uno de los escenarios se han tomado como parámetros de medida el rendimiento del sistema y el retardo de las tramas, teniendo en cuenta la probabilidad de retransmisión de la estación origen, las tasas de error de trama de cada uno de los enlaces que componen la red, denominados probabilidad de error del enlace relay, probabilidad de error del enlace directo, y probabilidad de error del enlace de acceso, siendo el enlace relay el formado entre el nodo relay y el emisor, el enlace de acceso el formado por el relay y el destino, y el enlace directo el creado entre el emisor y el destino.

La probabilidad de retransmisión del emisor se obtiene a partir de las fórmulas calculadas en el apartado 3, teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

1. La probabilidad de error en el enlace relay es del 20%.
2. La probabilidad de error del enlace directo de subida es diez veces mayor que la probabilidad de error del enlace directo de bajada.

Con estos parámetros se han realizado los cálculos necesarios y se ha obtenido la siguiente gráfica, que representa la probabilidad de retransmisión del emisor dependiendo de la probabilidad de error entre el nodo emisor y el destino, y la probabilidad de error entre el nodo relay y el destino.

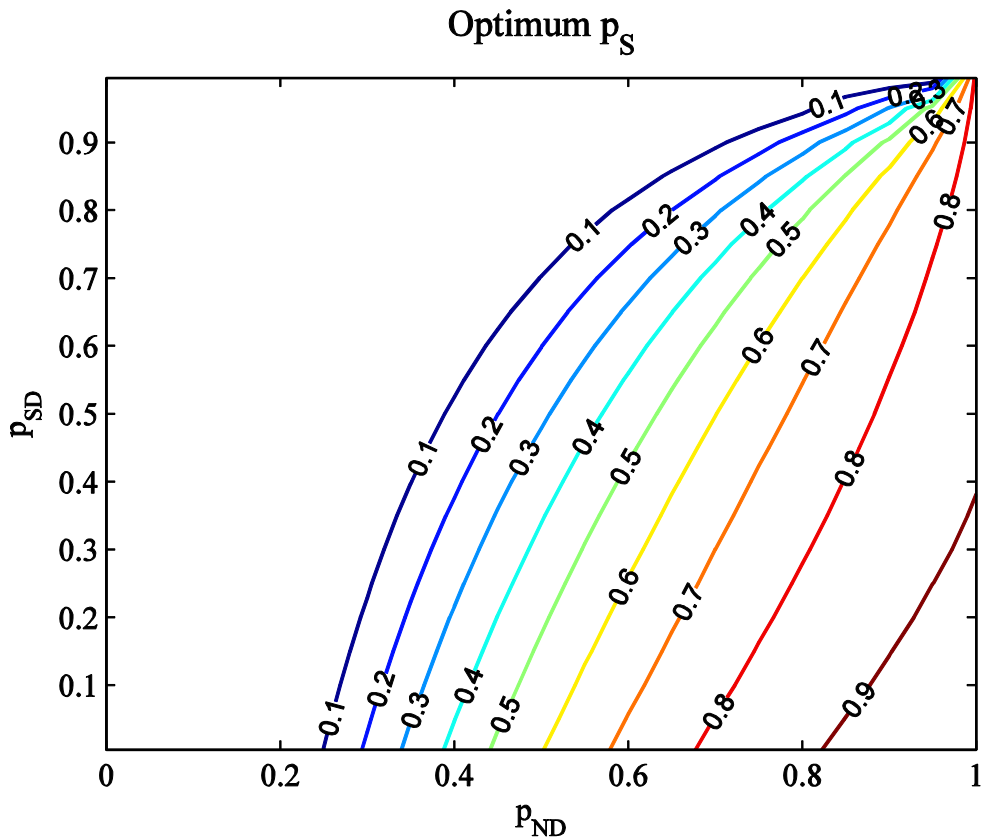


Figura 42. Probabilidad óptima de retransmisión del emisor

Para introducir estas probabilidades en nuestro simulador de una forma sencilla, hemos dividido esta gráfica en diferentes rangos, representados por rectas, quedando de la siguiente forma:

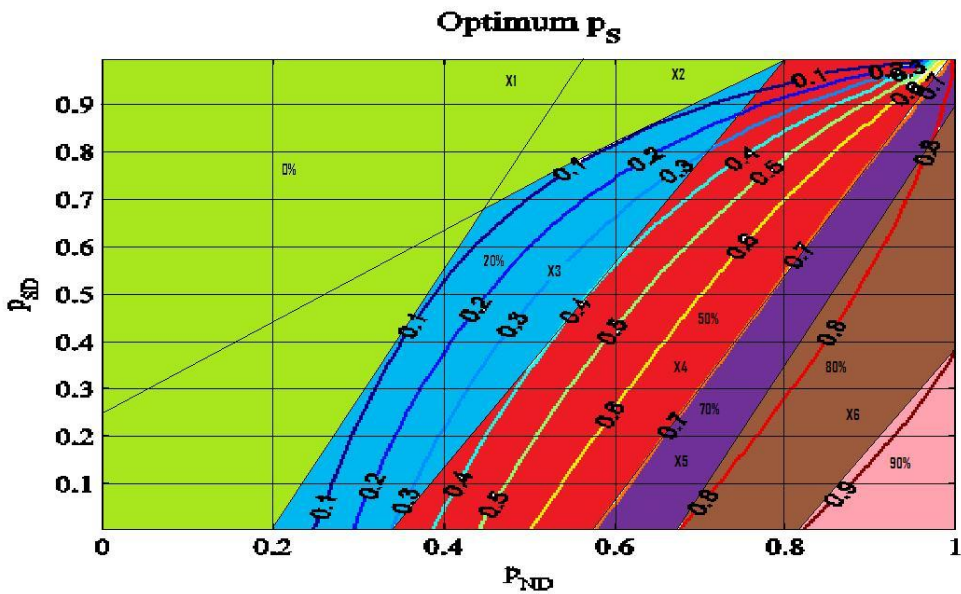


Figura 43. Probabilidad óptima de retransmisión del emisor adaptada al simulador

Las formulas de estas rectas son las siguientes:

1. Recta X1: $2.75 \times (P_{ND} - 0.2)$
2. Recta X2: $(0.9375 \times P_{ND}) + 0.25$
3. Recta X3: $2.22 \times (P_{ND} - 0.35)$
4. Recta X4: $((2.4 \times P_{ND}) - 0.6) + 0.07$
5. Recta X5: $((2 \times P_{ND}) - 0.7) + 0.1$
6. Recta X6: $2.236 \times (P_{ND} - 0.83)$

Y las probabilidades de retransmisión se obtienen a partir de estas formulas, siguiendo las siguientes reglas:

1. Si P_{SD} es mayor que el valor obtenido de las rectas X1 y X2, la probabilidad de retransmisión es del 0%.
2. Si P_{SD} es menor que el valor obtenido de las rectas X1 y X2, y a su vez es mayor que el valor obtenido de la recta X3, la probabilidad de retransmisión es del 20%.
3. Si P_{SD} es menor que el valor obtenido de la recta X3 y a su vez es mayor que el valor obtenido de la recta X4, la probabilidad de retransmisión es del 50%.
4. Si P_{SD} es menor que el valor obtenido de la recta X4 y a su vez es mayor que el valor obtenido de la recta X5, la probabilidad de retransmisión es del 70%.
5. Si P_{SD} es menor que el valor obtenido de la recta X5 y a su vez es mayor que el valor obtenido de la recta X6, la probabilidad de retransmisión es del 80%.
6. Si P_{SD} es menor que el valor obtenido de la recta X6, la probabilidad de retransmisión es del 90%.

Con las probabilidades de retransmisión del emisor ya calculada se ha procedido a la simulación del sistema en los tres escenarios anteriormente mencionados y las gráficas que mejor muestran cómo se comporta el sistema son las del segundo escenario, por tanto todas las simulaciones serán obtenidas para el segundo escenario. Nuestro objetivo al realizar las simulaciones es comprobar cómo se comportan las redes inalámbricas, que hemos creado con los simuladores, ante modificaciones de las probabilidades de retransmisión del emisor, diferentes cargas de tráfico y de usuarios, y diferentes probabilidades de error de tramas en los enlaces de acceso. Para ello seguiremos los siguientes pasos para obtener las gráficas correspondientes a los dos simuladores:

1) El primer paso es obtener las gráficas relacionadas con el comportamiento del rendimiento de las dos redes, para ello se va variando la probabilidad de error de trama del enlace directo (fuente-destino), la probabilidad de error de trama del canal de acceso (relay-destino) y el tiempo entre llegadas de los mensajes al emisor.

2) El segundo paso es obtener las gráficas relacionadas con los retardos de las tramas de las dos redes, variando los parámetros anteriormente mencionados.

3) El tercer paso es la obtención de las gráficas relacionadas con el rendimiento de la red basada en la cola más larga, utilizando la probabilidad de retransmisión del emisor ya calculada frente a una ya fijada, para así poder comprobar la efectividad de este cálculo.

4) El cuarto y último paso es la obtención de las gráficas relacionadas con el retardo de la red basada en la cola más larga, utilizando la probabilidad de retransmisión del emisor ya calculada frente a una ya fija, ya que un mejor rendimiento no implica una disminución en el retardo de transmisión de las tramas.

5.2. Simulaciones Relacionadas con el Rendimiento del Sistema

Para esta obtener las gráficas relacionadas con el rendimiento se han realizado seis simulaciones variando los parámetros de configuración, a continuación se exponen los valores de configuración que se han usado para cada simulación y el resultado obtenido.

SIMULACIÓN 1

En esta simulación se pretende ver como se mejora el sistema con el nuevo algoritmo frente a un aumento en la probabilidad de error de trama del canal de acceso, por tanto se irá variando la probabilidad de error de 0 a 1 con incrementos de 0.1. El resto de parámetros de configuración son los siguientes:

Probabilidad de error de trama del enlace directo = 0.1;

Probabilidad de error de trama del enlace relay = 0.2;

Probabilidad de error de trama del enlace de acceso =
{0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1};

Destinos = 30;

Canales = 20;

Probabilidad de generación de mensajes = 0.5;

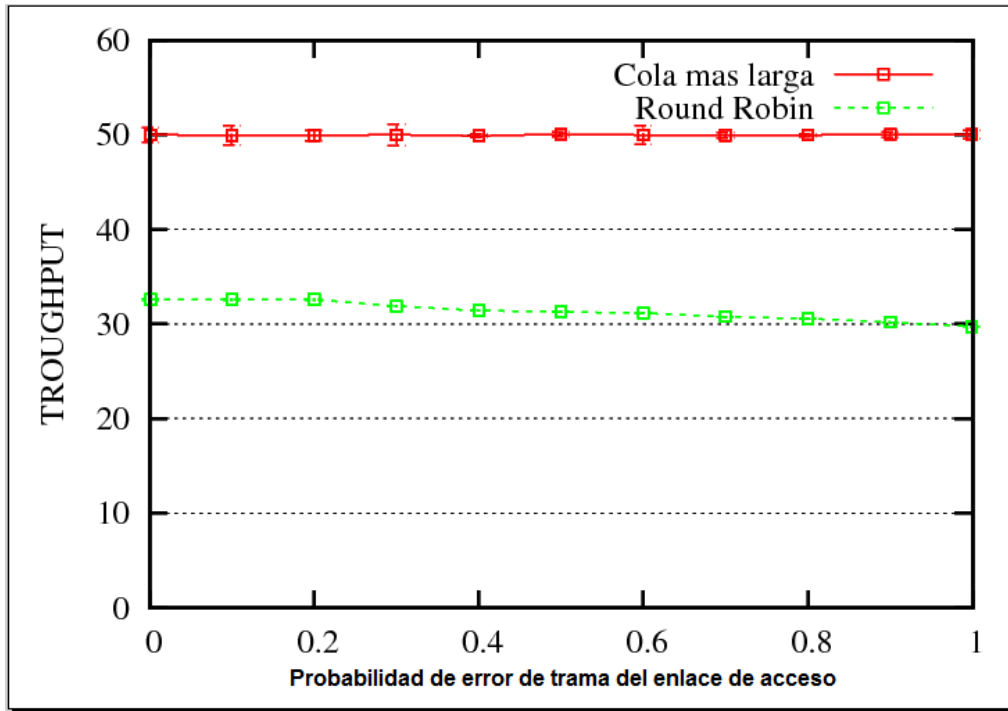


Figura 44. Troughput del sistema primera simulación

SIMULACIÓN 2

En esta simulación procederemos igual que en el caso anterior con la salvedad de que la probabilidad de error de trama del enlace directo es del 0.3, los demás parámetros de configuración son los mismos.

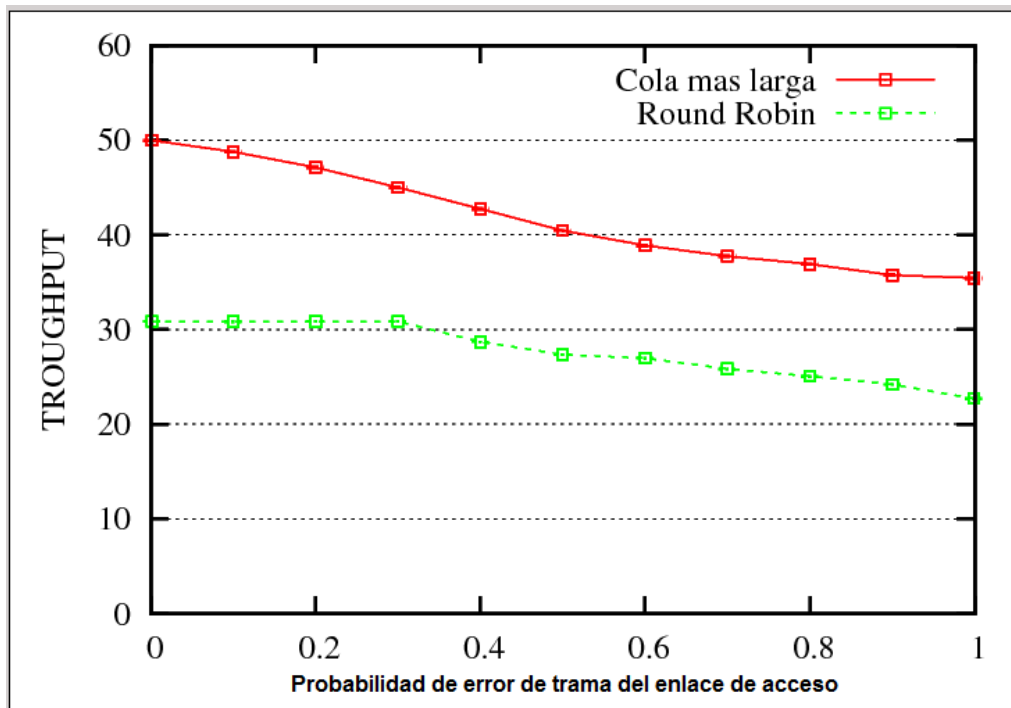


Figura 45. Troughput del sistema segunda simulación

SIMULACIÓN 3

Para esta simulación hemos aumentado la probabilidad de error de trama de enlace directo a 0.6 para comprobar el rendimiento de los dos sistemas en los casos extremos, para ello dejaremos los demás parámetros de configuración con el mismo valor.

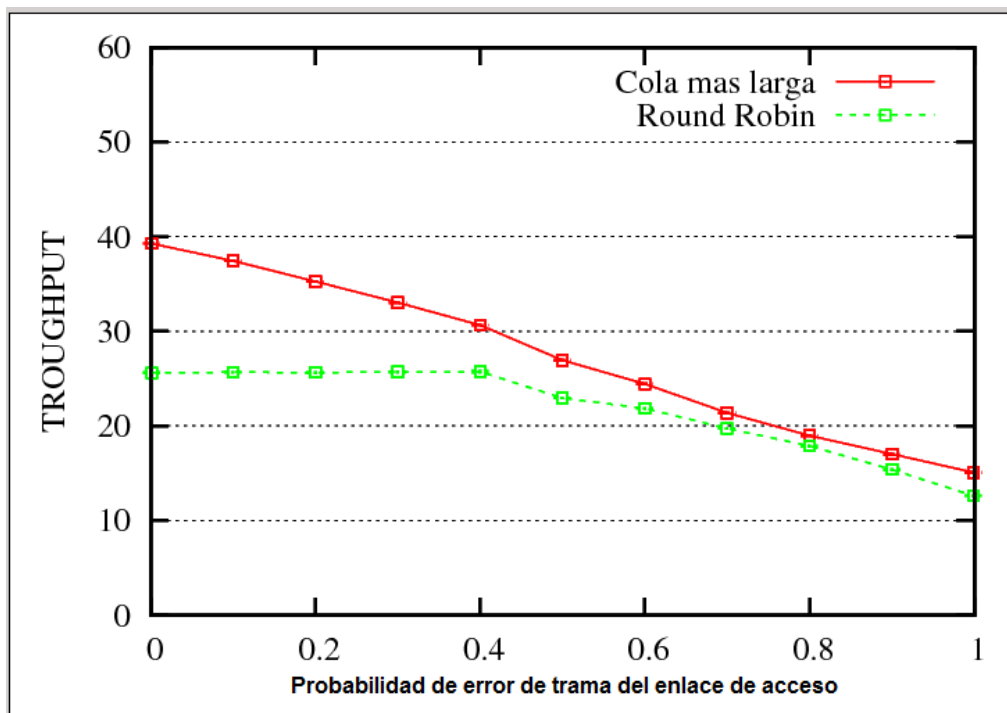


Figura 46. Troughput del sistema tercera simulación

SIMULACIÓN 4

Una vez demostrado que el rendimiento del sistema para el algoritmo de la cola más larga, para una probabilidad uniforme de generación de mensajes del 0.5, es mejor que el rendimiento del algoritmo Round Robin, vamos a comprobar el rendimiento de ambos sistemas, en el caso de tener diferentes probabilidades de generación de mensajes para cada destino. Por lo que ahora tendremos cinco grupos con probabilidades de generación de mensajes distintos, cada grupo constará de seis destinos, y sus probabilidades van desde 0.1 hasta 0.5 inclusive con incrementos de 0.1.

La siguiente simulación contiene los siguientes parámetros de configuración:

Probabilidad de error de trama del enlace directo = 0.1;

Probabilidad de error de trama del enlace relay = 0.2;

Probabilidad de error de trama del enlace de acceso =
{0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1};

Destinos = 30;

Canales = 20;

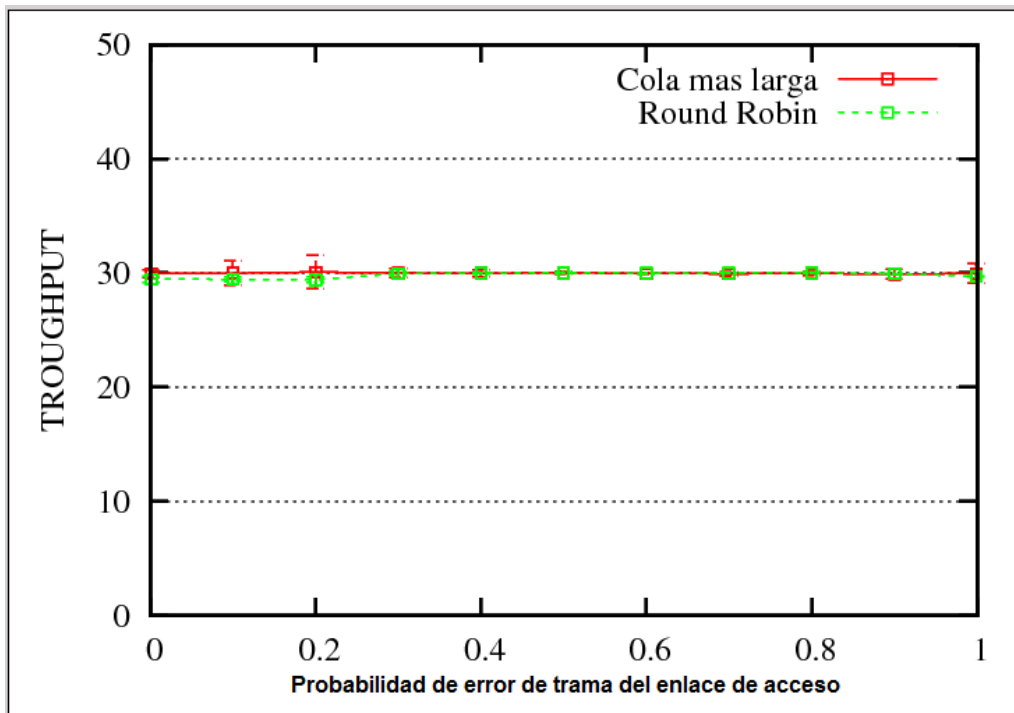


Figura 47. Troughput del sistema cuarta simulación

SIMULACIÓN 5

Para esta simulación se han dejado los mismos parámetros de configuración que en la simulación 4, con la diferencia de que para esta simulación hemos aumentado la probabilidad de error de trama de enlace directo a 0.3

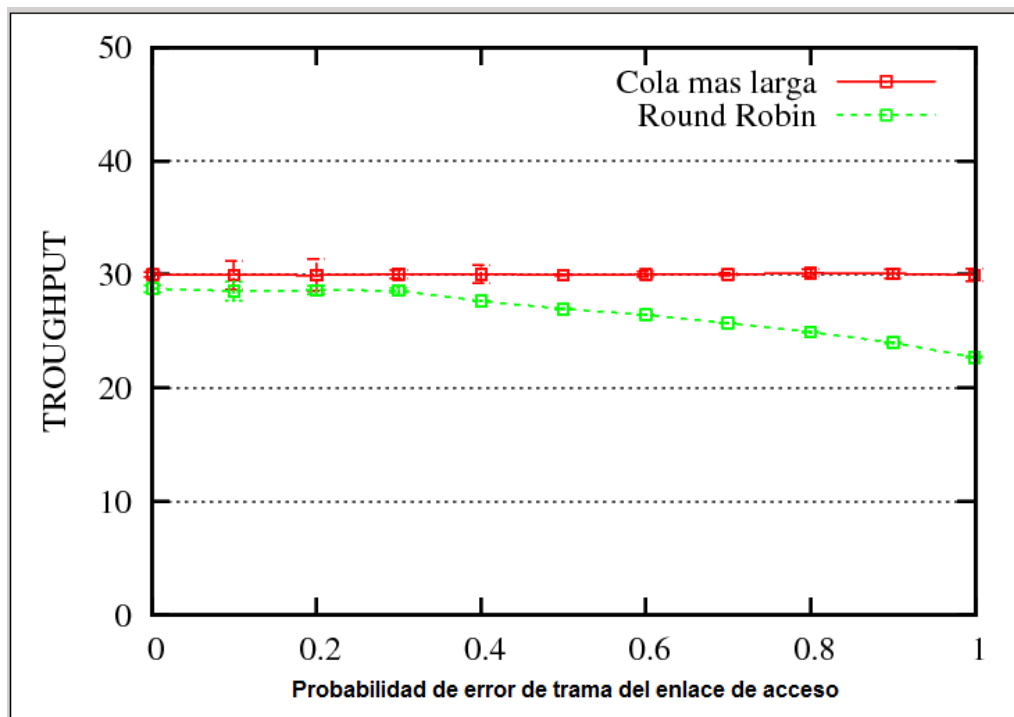


Figura 48. Troughput del sistema quinta simulación

SIMULACIÓN 6

Para esta última simulación hemos querido comprobar de qué forma se vería afectados los dos simuladores si se aumenta la probabilidad de error de trama del enlace directo a 0.6, manteniendo los demás parámetros de configuración iguales a la simulación anterior.

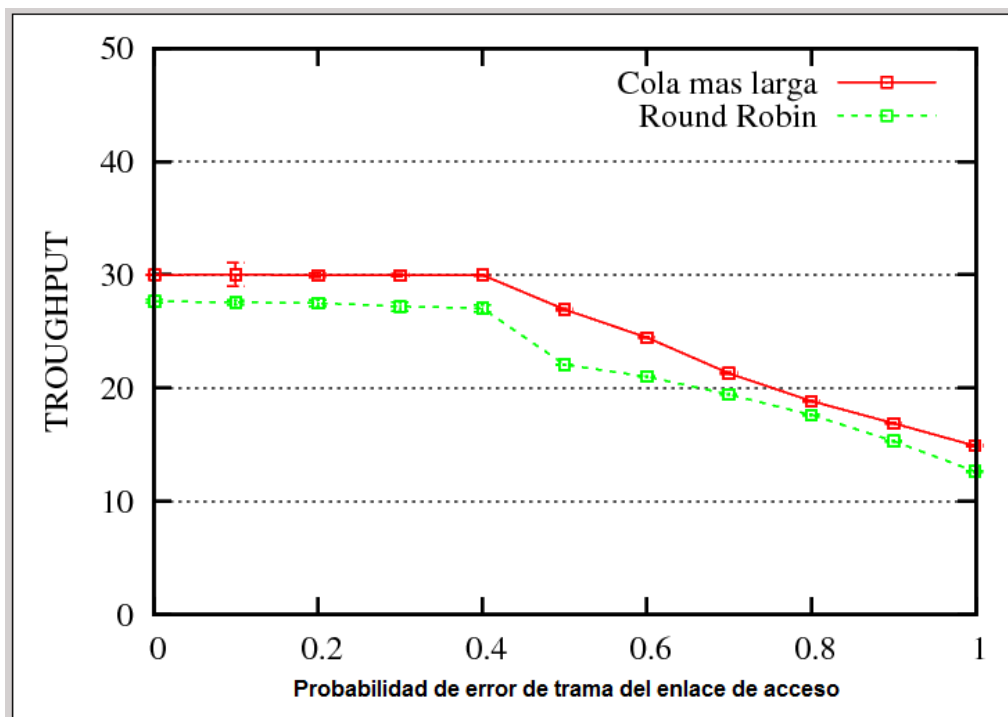


Figura 49. Troughput del sistema sexta simulación

CONCLUSIÓN DE LAS GRÁFICAS

De estas seis simulaciones, se puede observar que el rendimiento del simulador basado en el método de la cola más larga con el algoritmo de asignación de recursos, es superior al simulador basado en el método Round Robin, ya que a diferencia del método Round Robin, que los canales son fijos para el emisor y el nodo relay, el primer simulador reparte los canales que están libres entre el emisor o el nodo relay según los vayan requiriendo, aumentando así el número de tramas que se pueden enviar en un slot de tiempo.

Este aspecto queda reflejado en la primera simulación, ya que en ella se puede ver como a probabilidades de error bajas, el simulador Round Robin no puede alcanzar el rendimiento del simulador de la cola más larga, ya que al no reasignar canales dispone de menos canales para transmitir tramas.

También cabe destacar que estas simulaciones se han realizado para un caso óptimo del simulador basado en el método de la cola más larga con el algoritmo de asignación de recursos, en el que la recepción de ACKs por parte del destino se lleva a cabo antes de la asignación de los recursos. En el caso de que estos ACKs lleguen después de la asignación

de recursos, se asignarían recursos a tramas que se han recibido correctamente en el destino, lo que conllevaría una pérdida en la eficacia de esta red decayendo incluso por debajo de la eficacia de la red basada en el algoritmo Round Robin.

5.3. Simulaciones Relacionadas con el Retardo del Sistema

Con las simulaciones anteriores hemos demostrado que el nuevo algoritmo de asignación de recursos dándole prioridad a las colas más largas, posee un mayor rendimiento que el algoritmo Round Robin, una vez demostrado eso ahora queremos demostrar que el retardo medio de las trama también es inferior, para comprobarlo vamos a realizar dos simulaciones con los siguientes parámetros:

SIMULACIÓN 1

Parar esta simulación utilizaremos los siguientes parámetros de configuración:

Cinco grupos con probabilidades de generación de mensajes distintos, cada grupo esta formado por seis destinos, y sus probabilidades van desde 0.1 hasta 0.5 inclusive con incrementos de 0.1.

Probabilidad de error de trama del enlace directo = 0.1;

Probabilidad de error de trama del enlace relay = 0.2;

Probabilidad de error de trama del enlace de acceso = {0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1};

Destinos = 30;

Canales = 20;

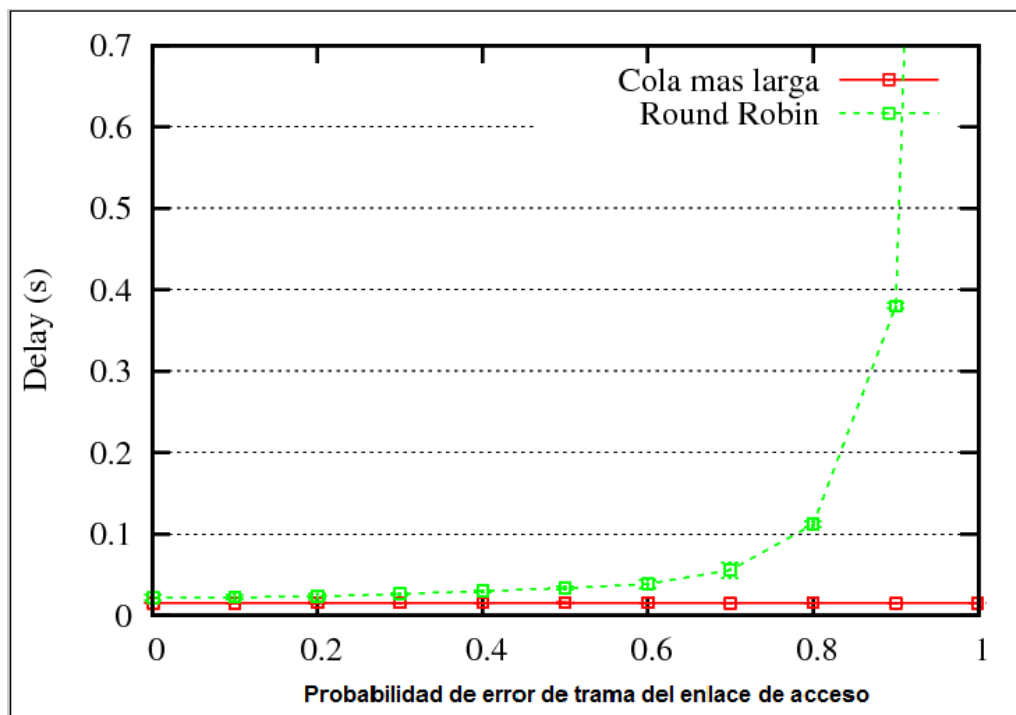


Figura 50. Retardo de trama de los dos sistemas primera simulación

SIMULACIÓN 2

A continuación se ha realizado una segunda simulación, en la que se aumenta la probabilidad de error de trama del enlace directo a 0.3, manteniendo iguales a la simulación 1 los demás parámetros.

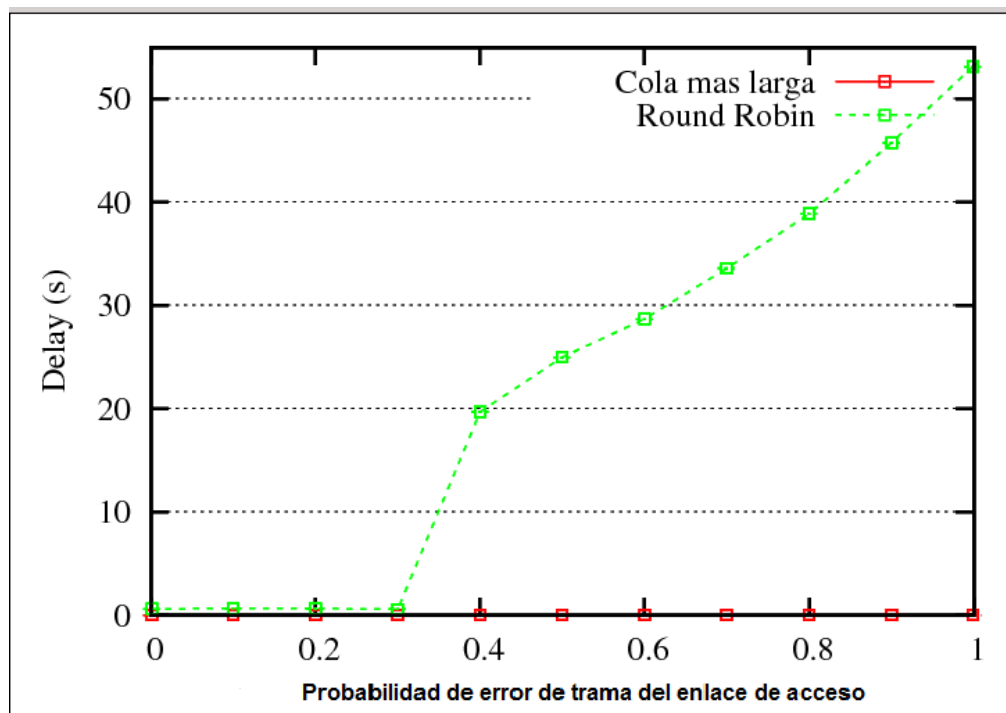


Figura 51. Retardo de trama de los dos sistemas segunda simulación

CONCLUSIÓN DE LAS GRÁFICAS

Con estas dos simulaciones se pretende demostrar que el retardo medio de las tramas es menor en el simulador de la cola más larga, ya que gracias a la reasignación de los recursos dispone de mayor número de canales para transmitir. Otro aspecto importante que se puede apreciar en estas dos simulaciones, es que a pesar de que los dos sistemas posean un rendimiento similar, como se muestran las simulaciones 4 y 5 del punto 5.2, el retardo medio de trama no es el mismo. Hay que destacar que estas simulaciones están realizadas para un caso óptimo en el que los ACKs de los destinos se reciben antes de la asignación de recursos, por lo que si se recibieran después de la asignación de recursos, el retardo medio de trama de simulador basado en la cola más larga, podría ser superior al del simulador del Round Robin.

Otro aspecto negativo del simulador basado en la cola más larga, es que se centra en dar prioridad a las colas con mayor carga de tráfico, dejando a un lado las colas que tengan menor tráfico, por lo que aunque el retardo medio del sistema se bajo, si nos centramos en el retardo de trama por cola, se observa que para colas con tráficos muy bajos este retardo es superior a las colas con mayor tráfico. Con esto queremos llegar a la conclusión de que este sistema mejora la eficacia en el tratamiento de las colas con mayor tráfico, sacrificando la eficacia en el tratamiento de las colas con menor tráfico.

5.4. Simulaciones Relacionadas con el Rendimiento del Sistema según la Probabilidad de Retransmisión

Una vez obtenido y comentadas las gráficas relacionadas con los dos simuladores, vamos a comprobar cómo afecta el cálculo óptimo de la probabilidad de retransmisión del emisor, a partir de los cálculos realizado en el apartado 3, al rendimiento del simulador basado en la cola más larga con el algoritmo de asignación de recursos. Para ello vamos a realizar cuatro simulaciones, comparando este cálculo óptimo de la probabilidad de retransmisión, con probabilidades fijas que no varían según va variando las probabilidades de error de trama en los enlaces. Se van a realizar cuatro simulaciones comparando el comportamiento del sistema en cada uno de ellos.

SIMULACIÓN 1

La primera simulación tiene los siguientes parámetros de configuración:

Cinco grupos con probabilidades de generación de mensajes distintos, cada grupo consta de seis destinos, y sus probabilidades van desde 0.1 hasta 0.5 inclusive con incrementos de 0.1.

Probabilidad de error de trama del enlace directo = 0.1;

Probabilidad de error de trama del enlace relay = 0.2;

Probabilidad de error de trama del enlace de acceso = {0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1};

Destinos = 30;

Canales = 20;

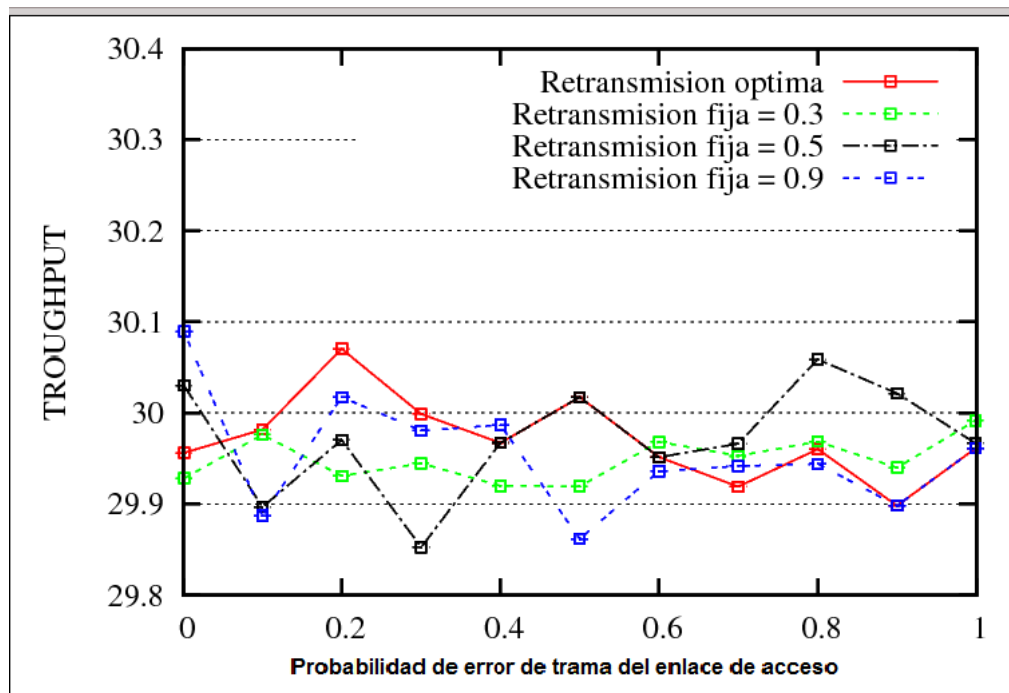


Figura 52. Troughput del sistema variando la probabilidad de retransmisión del emisor primera simulación

SIMULACIÓN 2

Para la segunda simulación se cambia la probabilidad de error de trama del enlace directo de 0.1 a 0.3.

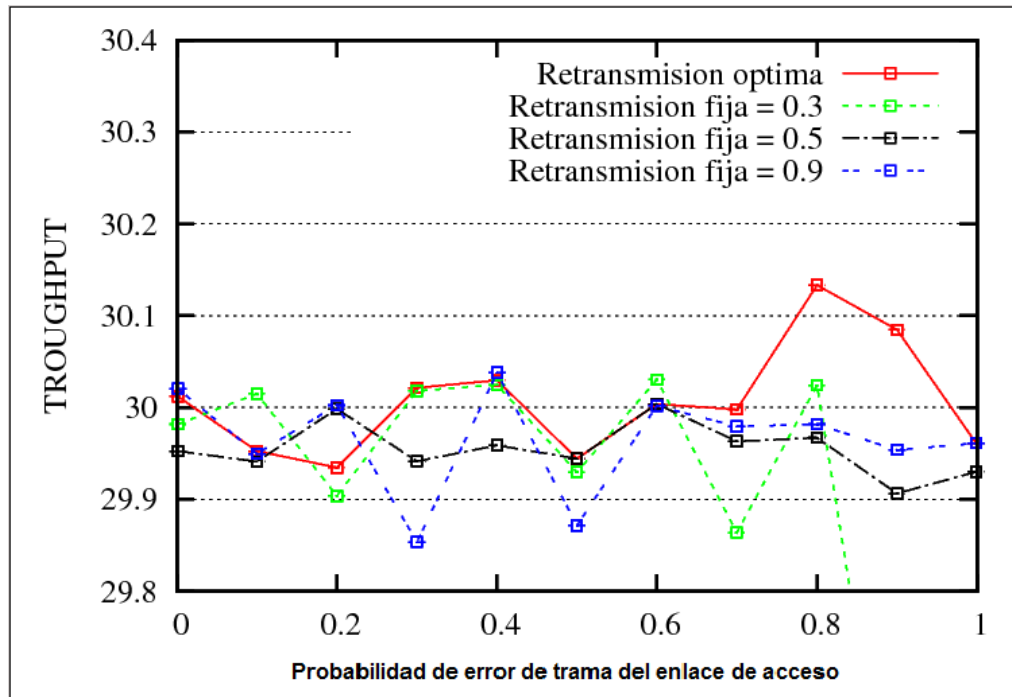


Figura 53. Troughput del sistema variando la probabilidad de retransmisión del emisor segunda simulación

SIMULACIÓN 3

Para la tercera simulación se incrementa la carga de tráfico para ver cómo afecta esto al rendimiento del sistema, para ello todos los destinos tienen una probabilidad de generación de mensajes del 0.5.

Los demás parámetros de configuración serán los siguientes:

Probabilidad de error de trama del enlace directo = 0.1;

Probabilidad de error de trama del enlace relay = 0.2;

Probabilidad de error de trama del enlace de acceso =
{0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1};

Destinos = 30;

Canales = 20;

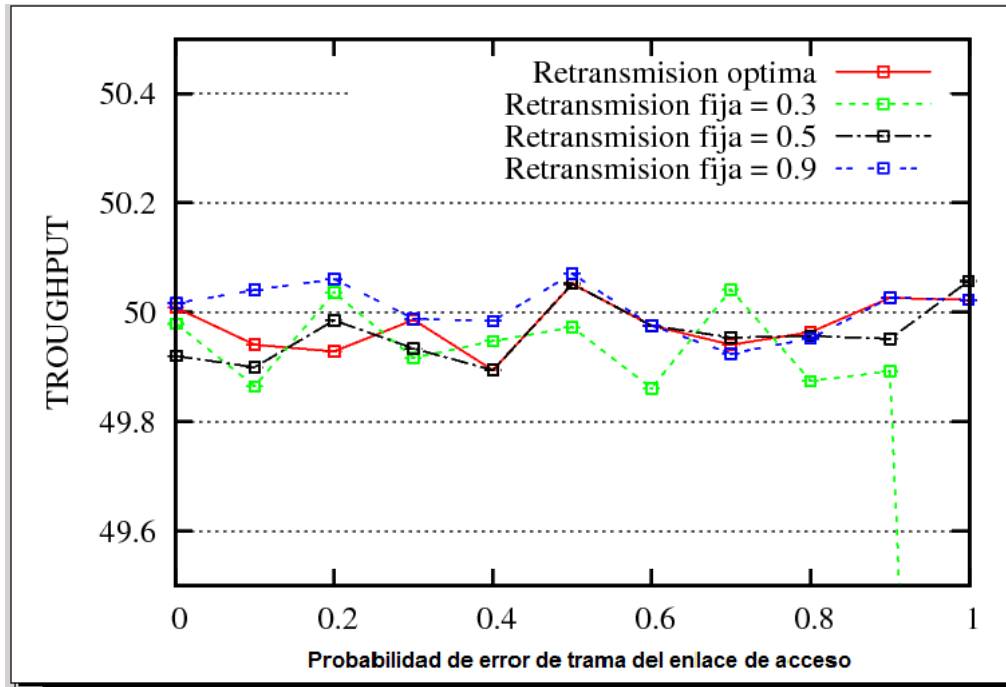


Figura 54. Troughput del sistema variando la probabilidad de retransmisi3n del emisor tercera simulaci3n

SIMULACI3N 4

Por 3ltimo se aumenta la probabilidad de error de trama del enlace directo de 0.1 a 0.3, dejando los dem3s par3metros igual que la simulaci3n anterior.

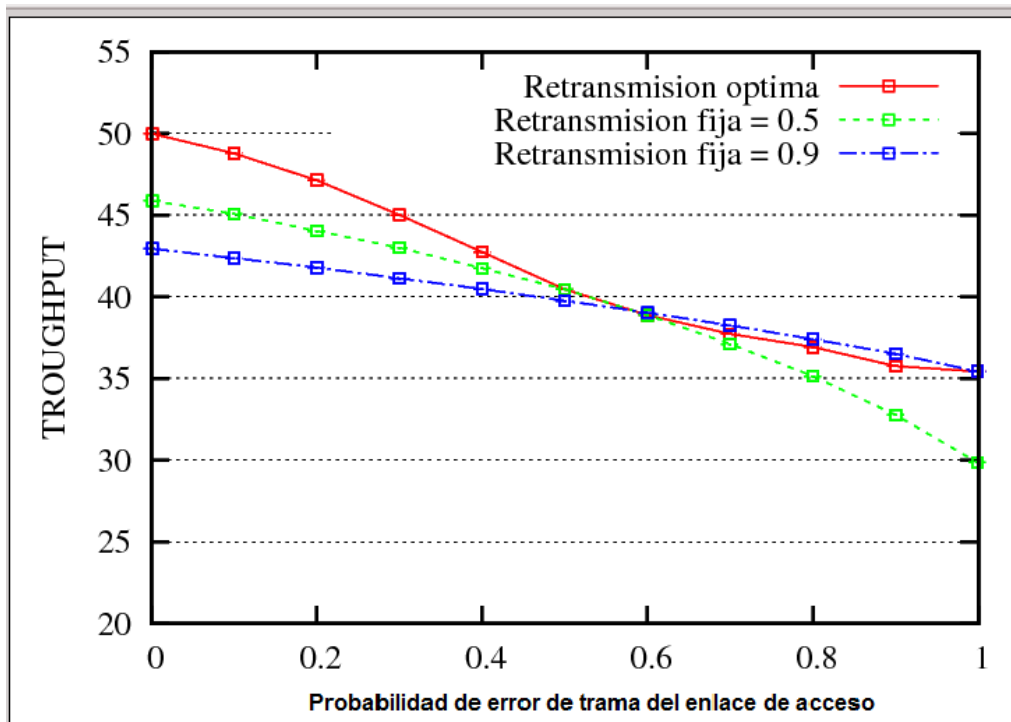


Figura 55. Troughput del sistema variando la probabilidad de retransmisi3n del emisor cuarta simulaci3n

CONCLUSIÓN DE LAS GRÁFICAS

Observando las cuatro simulaciones se puede observar que el comportamiento del sistema, para cargas de tráfico pequeñas y probabilidades pequeñas de error en trama del enlace directo, es relativamente parecido para el cálculo óptimo de la probabilidad de retransmisión y para una probabilidad de retransmisión fijada al 90%. Pero cuando la probabilidad de error en tramas del enlace directo aumenta, se puede observar que el comportamiento del sistema es mejor cuando se calcula la probabilidad de retransmisión de una forma óptima.

Por lo que deducimos que ir variando la probabilidad de retransmisión del emisor según las necesidades del sistema y no estableciendo la misma probabilidad de retransmisión para todos los casos, conlleva un mejor rendimiento del sistema.

5.5. Simulaciones Relacionadas con el Retardo del Sistema según la Probabilidad de Retransmisión

Por último vamos a comprobar cómo afecta la probabilidad de retransmisión del emisor al retardo de las tramas. Lo que se pretende con estas tres simulaciones es ver como evoluciona el retardo de las tramas si la probabilidad de retransmisión del emisor se establece según las probabilidades de error en las tramas de los enlaces de acceso, o si esta probabilidad de retransmisión siempre es la misma independientemente de las probabilidades de error en las tramas de los enlaces de acceso.

SIMULACIÓN 1

La primera simulación se hace para cuatro probabilidades de retransmisión diferentes, una se ha calculado según las probabilidades de error de trama de los enlaces, y las otras tres son del 0.3, 0.5, 0.9, respectivamente, los demás parámetros de configuración son los siguientes:

Cinco grupos con probabilidades de generación de mensajes distintos, cada grupo contiene de seis destinos, y sus probabilidades van desde 0.1 hasta 0.5 inclusive con incrementos de 0.1.

Probabilidad de error de trama del enlace directo = 0.1;

Probabilidad de error de trama del enlace relay = 0.2;

Probabilidad de error de trama del enlace de acceso =
{0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1};

Destinos = 30;

Canales = 20;

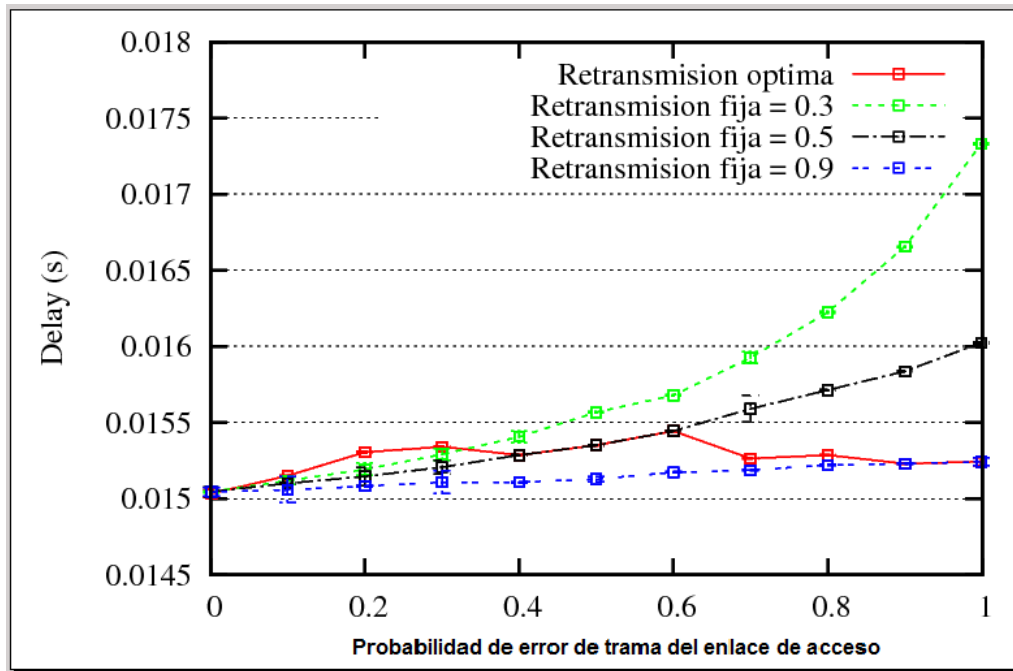


Figura 56. Retardo de trama del sistema variando la probabilidad de retransmisi3n del emisor primera simulaci3n

SIMULACI3N 2

La segunda simulaci3n mantiene los mismos par3metros de configuraci3n que se han establecido para la primera simulaci3n, con la salvedad de que la probabilidad de error de trama del enlace directo se aumenta de 0.1 a 0.3.

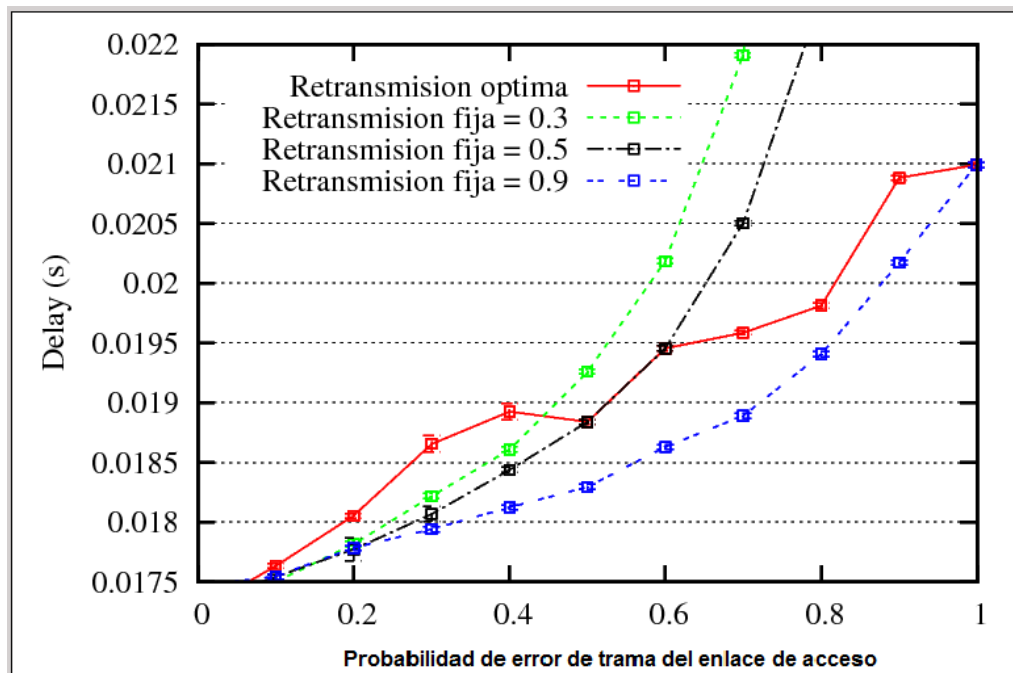


Figura 57. Retardo de trama del sistema variando la probabilidad de retransmisi3n del emisor segunda simulaci3n

SIMULACIÓN 3

Para esta tercera simulación se aumenta la carga de tráfico del sistema para ver cómo se comporta, por lo que se la generación de mensajes de todos los destinos es de 0.5, para los demás parámetros utilizaremos los mismo que se han usado en la primera simulación.

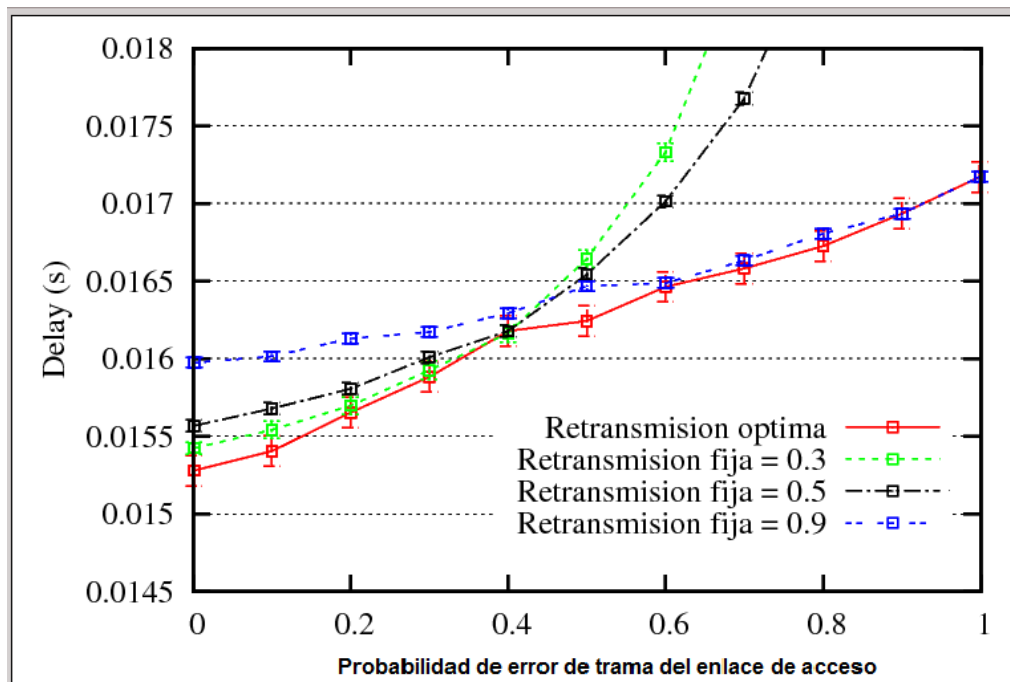


Figura 58. Retardo de trama del sistema variando la probabilidad de retransmisión del emisor tercera simulación

CONCLUSIÓN DE LAS GRÁFICAS

De estas tres simulaciones, se puede observar que con cargas de tráfico bajas y probabilidades de error de trama en el enlace directo, el retardo del sistema es aproximadamente igual para una probabilidad de retransmisión alta que para el cálculo óptimo de esta probabilidad, siendo incluso para el primer caso un poco mejor, lo que es lógico, pues para carga de tráfico pequeñas quedan más canales libres, por lo que se retransmiten más tramas. Pero si se incrementa la carga de tráfico, se puede observar que el retardo es menor cuando la probabilidad de retransmisión se calcula de forma óptima.

Con todo esto llegamos a la conclusión que para cargas de tráfico pequeñas, el retardo y el rendimiento sería mejor si el emisor tuviera una alta probabilidad de retransmisión, independientemente de las probabilidades de error de trama de los enlaces de acceso, pero si de repente el sistema recibe una carga de tráfico elevada, el rendimiento del sistema y el retardo se vería perjudicado gravemente. Mientras que el cálculo óptimo de la probabilidad de retransmisión proporciona unos rendimientos y retardos parecidos al caso anterior para carga de tráfico pequeños, y mejora el rendimiento y el retardo de la trama cuando la carga de tráfico aumenta con respecto al caso anterior.

6 Conclusión

La evolución de las redes de acceso de radio hacia tecnología 4G implica un aumento considerable en los anchos de banda y fiabilidad, que requieren de mejoras en las redes inalámbricas actuales. Se estima que el 4G ofrecerá velocidades de hasta 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en reposo, permitiendo una mejor calidad de servicio de cara al usuario, que reducirá el tiempo de descarga mejorando así la utilización de aplicaciones multimedia.

El estándar IEEE 802.16j ofrece una posible solución a algunos de los problemas clásicos en el despliegue de las redes de acceso de radio. Estas redes estarán compuestas por enlaces de bajo coste relacionados con las estaciones base, y podrán utilizarse tanto para una mayor cobertura de áreas de las estaciones base como para aumentar la capacidad de las zonas congestionadas. Estas redes se utilizarán relays cooperativos ARQ, por lo que se utilizarán protocolos de solicitud de repetición cooperativa automática (C-ARQ), estos protocolos aplican los conceptos de comunicación cooperativa para mejorar el rendimiento de los protocolos de la capa de enlace en redes inalámbricas.

A lo largo del proyecto se pretende explicar que para estas redes de acceso basadas en relay cooperativos ARQ, la incorporación tanto de un algoritmo de asignación de recursos como el cálculo óptimo de la probabilidad de retransmisión del emisor, aumentan el rendimiento del sistema y mejoran las velocidades de transmisión de los mensajes.

En el apartado 3 se lleva a cabo un análisis que demuestra que en las redes cooperativas inalámbricas ARQ, una política de probabilidad de retransmisión en los nodos fuente proporciona notables beneficios en términos de eficiencia en el uso de recursos de radio, especialmente en situaciones de malas condiciones de propagación en el enlace directo. Este nuevo concepto rompe con la clásica y ampliamente adoptada política de dar la máxima prioridad a las retransmisiones en enlaces inalámbricos. Considere, por ejemplo, el protocolo de radio enlace de acceso a redes 3G (Holma H., 2004). Como consecuencia, los resultados de este trabajo pueden ser útiles en el diseño de mecanismos de cooperación para la programación de las redes inalámbricas. La idea es considerar la probabilidad de retransmisión calculada, p_s^* , como un límite inferior para la cantidad de ranuras de tiempo (es decir, el ancho de banda) reservado para las retransmisiones en la estación base. El resto del ancho de banda puede ser asignado a otros procesos de comunicación siempre y cuando tengan los datos disponibles.

El modelo descrito puede ser ampliado para incluir el concepto de cooperación definidos en el grupo (Dianati M., 2006). Con esta mejora, la cooperación implica un número indefinido de relays.

En el apartado 4 se describe cómo funciona el algoritmo de asignación de recursos, y como se crea el simulador en OMNET++ del sistema con este algoritmo ya incorporado.

En el apartado 5 se han realizado una serie de simulaciones sobre los simuladores programados en OMNET++, comparando el comportamiento de ambos simuladores, midiendo el rendimiento y retardo de trama de un simulador que utiliza un algoritmo de asignación de recursos basado en el Round Robin, y otro simulador que incorpora el algoritmo de asignación de recursos explicado en el apartado 4.3, en el cual se le da prioridad a las colas con mayor carga de tráfico. Se han llevado a cabo una serie de simulaciones en la que se ha variado las probabilidades de error de trama en los enlaces de

acceso, así como la carga de tráfico de los usuarios. Una vez realizadas estas simulaciones se ha llegado a la conclusión que el algoritmo de asignación de recursos del segundo simulador mejora el rendimiento del sistema y disminuye el retardo de las tramas, con respecto al algoritmo Round Robin, para un caso óptimo de recepción de los ACKs por parte de los destinos. Siendo la eficacia de este algoritmo peor que la del algoritmo Round Robin en el caso de que estos ACKs llegasen después de la asignación de recursos. Otro problema que presenta este algoritmo es que se centra en dar prioridad a las colas con mayor carga de tráfico, dejando a un lado las colas con menor carga de tráfico.

En este apartado también se ha realizado una serie de simulaciones que demuestran, que utilizando un cálculo óptimo de una probabilidad de retransmisión del emisor, dependiendo de las probabilidades de error de trama del enlace de acceso, mejora la eficacia del sistema. Gracias a la incorporación del cálculo óptimo de la probabilidad de retransmisión del emisor se ha podido crear una red totalmente cooperativa, dejándole el emisor al nodo relay la responsabilidad de retransmitir las tramas perdidas mientras que el emisor se centra en transmitir nuevas tramas, en el caso de probabilidades bajas de retransmisión en el emisor.

Una de las implicaciones más importantes de este proyecto, está relacionada con las futuras redes inalámbricas 4G y las nuevas redes inalámbricas basadas en el estándar IEEE 802.16j, ya que estas redes estarán compuestas por relays cooperativos, por lo que un algoritmo de asignación de recursos podrían mejorar la eficacia de estas redes.

BLIBLIOGRAFÍA

- [1] "Probabilistic Retransmission Strategy for Single-Relay Cooperative ARQ" Juan J. Alcaraz, Fernando Cerdán, Joan García-Haro. International Conference on Wireless Information Networks and Systems (WINSYS'08), Oporto, Portugal, 2008
- [2] R. Pabst, B. Walke, and D. Schultz, "Relay-Based Deployment Concepts for Wireless and Mobile Broadband Radio," IEEE Commun. Mag., Sept. 2005.
- [3] N. Esseling, B. Walke, and R. Pabst, "Fixed Relays For Next Generation Wireless Systems," Ch. 5, Emerging Location Aware Broadband Wireless Ad Hoc Networks, R. Ganesh, S. Kota, and K. Pahlavan, Eds., Springer Science and Business Media, 2005, pp. 71-91.
- [4] IEEE 802.16-2004, "Local and Metropolitan Area Networks, Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems," Oct. 2004.
- [5] IEEE 802.16e-2005, "Local and Metropolitan Area Networks, Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems: Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands," Feb. 2006.
- [6] C. Eklund et al., "IEEE Standard 802.16: A Technical Overview of the WirelessMAN Air Interface for Broadband Wireless Access," IEEE Commun. Mag., June 2002.
- [7] IEEE Draft Standard P802.16j/D5, "Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems — Multihop Relay Specification," May 2008.
- [8] V. Genc, S. Murphy, and J. Murphy, "Performance Analysis of Transparent Relays in 802.16j MMR Networks," WiOpt, Berlin, Germany, Apr. 2008.
- [9] E. Visotsky et al., "On the Uplink Capacity of an 802.16j System," WCNC, Las Vegas, NV, Apr. 2008.
- [10] A. Nosratinia, e. a. (2004). Cooperative communication in wireless networks. IEEE Communications Magazine, 42(10).
- [11] F. Fitzek, M. K. (2006). Cooperation in Wireless Networks: Principles and Applications. Springer.
- [12] H. Holma, A. T. (2004). WCDMA for UMTS. Radio Access for Third Generation Mobile Communications. Third Edition. Wiley.
- [13] H. Holma, A. T. (2006). HSDPA/HSUPA for UMTS: High Speed Radio Access for Mobile Communications. Wiley.
- [14] I. Cerutti, A. Fumagalli, G. H. (2006). Saturation throughput gain in fixed multiplexing radio networks with cooperative retransmission protocols. In IEEE International Conference on Communications (ICC), volume 10. IEEE.

- [15] I. Cerutti, A. Fumagalli, P. G. (2007). Delay model of single-relay cooperative arq protocols in slotted radio networks with non-instantaneous feedback and poisson frame arrivals. In INFOCOM 2007. IEEE.
- [16] K. Doppler, e. a. (2007). On the integration of cooperative relaying into the winner system concept. In 16th IST Mobile and Wireless Communications Summit. IEEE.
- [17] L. Xiong, L. Libman, G. M. (2008). Optimal strategies for cooperative mac-layer retransmission in wireless networks. In WCNC'08, IEEE Wireless Communications and Networking Conference. IEEE.
- [18] M. Dianati, e. a. (2006). A node-cooperative arq scheme for wireless ad hoc networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 55(3).
- [19] M. Zorzi, R. R. (1996). On the use of renewal theory in the analysis of arq protocols. IEEE Transactions on Communications, 44(9).
- [20] R. Pabst, e. a. (2004). Relay-based deployment concepts for wireless and mobile broadband radio. IEEE Communications Magazine, 42(9).
- [21] Rao, S. (1996). Engineering Optimization: Theory and Practice. Third Edition. Wiley.
- [22] Página web: www.omnetpp.org