

Universidad Politécnica de Cartagena
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de
Telecomunicaciones



PROYECTO FINAL DE CARRERA

Avances recientes en telefonía móvil de cuarta generación

Alumno: M^a Carmen Matencio Hernández

DNI: 48423945-K

Titulación: Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones, esp. Telemática

Director: Juan José Alcaraz Espín

Departamento: Tecnologías de la Información y Comunicaciones

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL

1.1 INTRODUCCIÓN, 9

1.2. COMPARACIÓN 3G-4G, 10

1.2.1 VENTAJAS DE LA RED 4G, 13

1.3 WINNER y LTE, 13

1.4 ARQUITECTURA DE RED 4G, 16

1.4.1 RN, 17

1.4.2 OBJETIVOS RN, 17

1.4.3 TIPOS DE NODOS RELAY EN FUNCIÓN DEL PRÉAMBULO BROADCAST Y LOS RECURSOS RELACIONADOS., 18

1.4.4 COMUNICACIÓN ENTRE NODOS, 19

1.4.5 CRITERIO DE SELECCIÓN DE UN RAP EN UNA REC, 20

1.5 CONCLUSIONES, 21

CAPÍTULO 2 PILA DE PROTOCOLOS DE LA RED 4G

2.1 INTRODUCCIÓN, 23

2.2 ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS, 23

2.2.1 RADIO RESOURCE CONTROL, 25

2.2.2 RADIO LINK CONTROL, 25

2.2.3 MEDIUM ACCESS CONTROL, 25

2.2.4 PHY, 25

2.2.5 RSC, 26

CAPÍTULO 3 RADIO RESOURCE CONTROL

3.1 INTRODUCCIÓN, 27

3.2 RRM, 27

3.2.1 REPARTO DE RECURSOS CENTRALIZADO, 28

3.2.2	REPARTO DE RECURSOS JERÁRQUICO,	30
3.2.3	REPARTO DE RECURSOS DISTRIBUIDO,	30
3.2.4	PARTICIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO DENTRO DE UNA CELDA,	31
3.2.5	ADAPTATIVE SOFT RESOURCE PARTITIONING,	32
3.3	HANDOVER,	35
3.3.1	ACTIVE MODE,	35
3.3.1.1	TOMA DE DECISIÓN DE HANDOVER.,	37
3.3.1.1.1	VENTAJAS DE CADA MECANISMO DE DECISIÓN DE HANDOVER,	37
3.3.1.2	TIPOS DE HANDOVER,	38
3.3.1.2.1	BS-TO-BS HANDOVER,	39
3.3.1.2.2	BSi RNx-to-BSi RNy (Intra REC Handover),	41
3.3.1.2.3	BSi RNx-to-BSjRNy (Inter-REC handover),	42
3.3.2	IDLE MODE,	43
3.3.2.1	PAGING,	44
3.4	CONTROL DE FLUJO,	44
3.4.1	STOP AND GO (CONTROL DE FLUJO SIMPLE),	45
3.4.2	CONTROL DE FLUJO AVANZADO,	46
3.5	CONCLUSIÓN,	46

CAPITULO 4 RADIO LINK CONTROL

4.1	INTRODUCCIÓN,	47
4.2	FUNCIONAMIENTO DE LA CAPA RLC,	47
4.3	SEGMENTACIÓN Y REENSAMBLADO,	49
4.3.1	CAMPOS DE CABECERA RLC/MAC,	50
4.4	PROTOCOLO ARQ,	52
4.4.1	LAYERED ARQ,	52
4.4.1.1	INNER & OUTER ARQ,	53

- 4.4.2 RELAY-ARQ, 56
- 4.4.3 MULTI-HOP ARQ, 56
 - 4.4.3.1 VENTAJAS DEL PROTOCOLO ARQ MULTISALTO, 58
 - 4.4.3.2 PROPUESTAS DEL PROTOCOLO ARQ MULTISALTO EN WINNER, 59
 - 4.4.3.3 SOPORTE DE MOVILIDAD EN EL MARCO DE ARQ, 61
 - 4.4.3.3.1 HANDOVER DESDE UN RN A UNA BS, 61
 - 4.4.3.3.2 HANDOVER DESDE UN RN A UNA NUEVA BS, 62
 - 4.4.3.3.3 HANDOVER DE UN BS A UN RN, 62
 - 4.4.3.3.4 HANDOVER ENTRE RNs, 62
- 4.5 CONCLUSIÓN, 63

CAPÍTULO 5 MEDIUM ACCESS CONTROL

- 5.1 INTRODUCCIÓN, 65
- 5.2 FUNCIONES MAC, 65
- 5.3 CANALES DE TRANSPORTE, 66
 - 5.3.1 BCH, 67
 - 5.3.2 RANDOM ACCESS CHANNEL, 67
- 5.4 SUPER TRAMA WINNER MAC, 68
 - 5.4.1 PREÁMBULO DE LA SUPER TRAMA, 70
- 5.5 CONCLUSIÓN, 71

CAPÍTULO 6 SIMULADOR

- 6.1 INTRODUCCIÓN, 73
- 6.2 MÓDULOS, 74
- 6.3 SIMULACIONES, 78
 - 6.3.1 SIMULACIÓN 1, 79
 - 6.3.2 SIMULACIÓN 2, 80
 - 6.3.3 SIMULACIÓN 3, 82

- 6.3.4SIMULACIÓN 4, 83
- 6.3.5SIMULACIÓN 5, 84
- 6.3.6SIMULACIÓN 6, 85
- 6.3.7SIMULACIÓN 7, 87
- 6.4 MODIFICACIÓN, 89
 - 6.4.1SIMULACIÓN 1, 91
 - 6.4.2 SIMULACIÓN 2, 92
 - 6.4.3 SIMULACIÓN 3, 93
 - 6.4.4 SIMULACIÓN 4, 95
 - 6.4.5 SIMULACIÓN 5, 96

CAPÍTULO 7 CONCLUSIÓN

- 7.CONCLUSIÓN, 97

ÍNDICE FIGURAS

CAPÍTULO 1 EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL

Figura 1.2.1 Arquitectura de red 3G, 1

Figura 1.2.2 Arquitectura de red 4G, 2

Figura 1.3.1 Actual Arquitectura 3GPP y su posible evolución, 14

Figura 1.4.2.1 Comparación de una celda convencional con una REC formada por varios nodos relay, 17

Figura 1.4.2.2 Nodo relay cubriendo un área de sombra, 18

CAPÍTULO 2 PILA DE PROTOCOLOS DE LA RED 4G

Figura 2.2.1 Arquitectura de protocolos, 23

CAPÍTULO 3 RADIO RESOURCE CONTROL

Figura 3.2.1 Esquema de partición de recursos (TDD), 28

Figura 3.2.1.1 Nodos relay dentro de la arquitectura WINNER, plano de control, 29

Figura 3.2.1.2 Esquema de asignación de recursos centralizado, 29

Figura 3.2.3.1 Reparto de recursos distribuido, 31

Figura 3.2.1.1.1 Canales creados en una celda, 31

Figura 3.2.4.1 Comparativa entre un reuso flexible y un reuso fijo, 32

Figura 3.2.4.2 Esquema de reparto de recursos flexible, 34

Figura 3.3.1.1 Ejemplos de tipos de handover, 35

Figura 3.3.1.2.1.1 Secuencia de mensajes enviados en un handover entre BSs, 39

Figura 3.3.1.2.2.1 Handover intra REC, 41

Figura 3.3.1.2.3.1 Handover inter REC, 42

Figura 3.4.1 Mecanismo control de flujo, 44

CAPITULO 4 RADIO LINK CONTROL

Figura 4.2.1 Modelo capa RLC, 48

Figura 4.3.1 Segmentación, reensamblado y multiplexado desde las capas más altas a los bloques de transporte, 49

- Figura 4.2.1.1 Cabecera RLC/MAC, 51
- Figura 4.4.1.1 Layered ARQ, 53
 - Figura 4.4.1.1.1 Detección de un ACK en lugar de un NACK, 55
- Figura 4.4.2.1 Relay ARQ, 56
- Figura 4.4.3.1 Multi-Hop ARQ para el enlace descendente, 57
- Figura 4.4.3.2 Multi-Hop ARQ para el enlace ascendente, 57
 - Figura 4.4.3.1.1 Protocolo SH-ARQ2, 59
 - Figura 4.4.3.1.2 Modelo por capas del protocolo ARQ en una red multisalto, 59
 - Figura 4.4.3.2.1 Outer-ARQ sólo entre BS y UT, 60
 - Figura 4.4.3.2.2 Outer-ARQ con Relay-ARQ en el RN, 60
 - Figura 4.4.3.2.1.1 Handover de un RN a una BS, 61
 - Figura 4.4.3.2.1 Handover desde un RN a una nueva BS, 62
 - Figura 4.4.3.3.1 Handover producido desde una BS a un RN, 62

CAPÍTULO 5 MEDIUM ACCESS CONTROL

- Figura 5.3.2 Preámbulo de la super trama en el caso TDD, 68
- Figura 5.4.1 Super trama WINNER MAC en el caso TDD, 69
- Figura 5.4.2 Caso FDD, 70

CAPÍTULO 6 SIMULADOR

- Figura 6.2.1 Esquema de red simulada, 77
- Figura 6.3.1 Throughput variando probabilidad retransmisión relay, 79
- Figura 6.3.2 Throughput variando probabilidad retransmisión emisor, 80
- Figura 6.3.3 Throughput variando probabilidad error trama enlace directo, 82
- Figura 6.3.4 Throughput frente a probabilidad de error de trama del enlace relay, 83
- Figura 6.3.5 Throughput frente a probabilidad error trama enlace de acceso, 84
- Figura 6.3.6 Throughput frente a probabilidad de retransmisión emisor variando la probabilidad de error de enlace directo, 85
- Figura 6.3.7 Throughput frente a FER de canal directo variando la probabilidad de retransmisión del relay, 87

Figura 6.4.1 Retardo frente a probabilidad de retransmisión emisor, 91

Figura 6.4.2 Retardo frente a probabilidad de retransmisión relay, 92

Figura 6.4.3 Retardo frente a FER del enlace directo variando la probabilidad de retransmisión del relay, 93

Figura 6.4.4 Retardo frente a probabilidad de retransmisión del emisor variando FER del enlace directo, 95

Figura 6.4.5 Retardo variando FER del enlace de acceso, 96

CAPÍTULO 7 CONCLUSIÓN

Capítulo 1

Evolución de los sistemas de telefonía móvil

1.1 INTRODUCCIÓN

Las altas velocidades de datos demandadas para la próxima generación de móviles no parece ser alcanzable con los actuales sistemas de telefonía móvil. Las velocidades esperadas son mucho mayores que las de los sistemas 3G. Surgen dos problemas fundamentales en cuanto a la nueva demanda, puesto que por un lado la energía se decrecienta linealmente con el incremento de la tasa binaria creando serios problemas relativos a la cobertura, y por otro lado la porción del espectro utilizado estará aproximadamente 2GHz por encima de la usada por 3G, en cuya banda la propagación es más vulnerable a condiciones de NLOS(non-line-of-sight), es decir de no visión directa entre emisor y receptor.

Una posible solución adoptada a estos problemas es el incremento de estaciones base lo cual incurriría en un incremento de costes de la nueva arquitectura, pero es obvio que son necesarias ciertas modificaciones de la red actual como técnicas de transmisión avanzadas, nuevos tipos de antena, etc.

La integración de la capacidad multisalto junto con la colocación de nodos intermedios o nodos relays es una de las soluciones propuestas de los nuevos sistemas de cuarta generación que serán abordadas a lo largo de todo el proyecto.

Éstos nuevos 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. Además los mástiles tampoco tendrán que ser tan altos reduciendo los costes de mantenimiento.

Por otro lado los nodos relay no están conectados directamente al backhaul (núcleo de red) sino que almacenan los datos recibidos de la BS (estación base) y los reenvían hacia los usuarios o viceversa, con lo cual el coste de la interfaz entre la estación base y el núcleo de red de la que deberían disponer los RN puede eliminarse.

Por último si la densidad de nodos relays es considerablemente alta la mayoría de los usuarios estarán más cerca de un nodo que de la BS, por lo tanto se mejorarán las

condiciones de propagación, resultando en altas velocidades de datos en el enlace entre el nodo relay y el usuario resolviendo los problemas de cobertura.

En esta sección se trata de dar una visión global de los nuevos sistemas de telefonía móvil haciendo una comparación con los sistemas actuales (3G).

Además se explican los dos proyectos fundamentales de estudio de las redes móviles 4G, el LTE (long-term Evolution) y el proyecto WINNER, intentando ver las diferencias más significativas entre ellos.

Por último se estudia la arquitectura de red 4G de manera más exhaustiva, explicando cada uno de los componentes de la red, prestando mayor atención a los RN (Relay Node) y su interconexión.

1.2 COMPARACIÓN 3G-4G

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.

En la figura 1.2.1 se muestra un esquema de una red UMTS, ésta está compuesta por los siguientes elementos explicados en [27]:

Núcleo de red: Incorpora diversas funciones como pueden ser el transporte de la información de tráfico y señalización incluida en la conmutación o el encaminamiento. A través de este núcleo de red UMTS se conecta con otras redes de telecomunicaciones para permitir que los usuarios conectados a distintas redes puedan comunicarse.

Red de acceso radio (UTRAN): proporciona la conexión entre los terminales móviles y el núcleo de red. Está compuesta de una serie de controladores de red radio (RNC) y una serie de nodos B que dependen del RNC. Los nodos B se corresponden con las estaciones base.

RNC: Realizan funciones tales como manejo del tráfico de los canales comunes, división de tramas de datos transferidas sobre muchos nodos B, control de potencia tanto en el enlace de subida como en el de bajada y control de admisión.

Nodo B: Este nodo puede dar servicio a una o más células, sin embargo generalmente da servicio a una única célula. Dentro de las funciones ejecutadas por el Nodo B están aquellas concernientes a la capa física, la transmisión de mensajes de información de sistema de acuerdo con el horario determinado por el RNC, división de tramas de datos internas al nodo B, control de potencia del enlace de subida en modo FDD (Frequency división dúplex) y reportar las mediciones de interferencia en el enlace de subida y la información de potencia en el de bajada.

Equipo de usuario (UE): También denominado móvil tiene como finalidad establecer comunicación con la estación base en lugares donde exista cobertura, con la finalidad de comunicarse con otro usuario de la red.

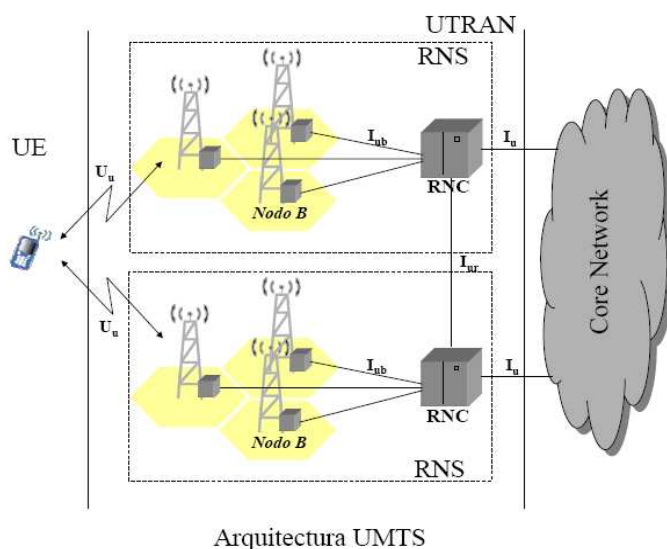


Figura 1.2.1: Arquitectura de red 3G

La figura 1.2.2 es un esquema de la futura red 4G expuesta en [1] cuya diferencia básica con respecto a la red 3G es el empleo de 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).

Estas funciones se estudian en la sección 4.2 y son las encargadas de gestionar todos los recursos radio puesto que el espectro electromagnético es un bien escaso y es necesario repartirlo adecuadamente entre todos los nodos de la red para evitar que se produzcan interferencias.

El estudio en profundidad de la arquitectura 4G será abordado en la sección 1.4 del proyecto, puesto que aquí se trata de dar una visión global del sistema.

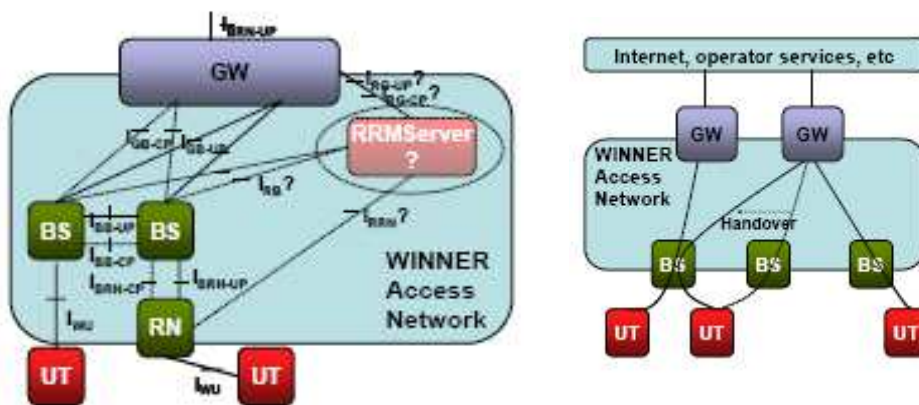


Figura 1.2.2: Arquitectura de red 4G

1.2.1 VENTAJAS DE LA RED 4G

Llegados a este punto explicaremos cuáles son las ventajas de las que dispone la red 4G y que hace necesario este cambio de los actuales sistemas celulares.

Podríamos mencionar entre otras las siguientes ventajas:

- Mayores velocidades de datos alcanzando 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 2Mbps 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.

1.3 WINNER y LTE

En esta sección se realiza una comparativa entre las dos líneas de investigación fundamentales es torno a 4G, una de ellas es el proyecto LTE y otra el proyecto WINNER en cuyo estudio estará centrado el proyecto.

LTE también conocido como super-3G explicado en [12] se encarga del estudio de los medios para lograr mejoras en términos de servicio y reducción de costes. Todos los servicios estarán basados en el protocolo IP.

Los objetivos básicos de LTE son:

- Mejorar las tasas binarias intentando conseguir velocidades de datos sobre los 100Mbps para el enlace descendente y de 50 Mbps para el ascendente.
- Mejorar la eficiencia espectral.
- Reducción de la latencia tanto en el plano de control como en el plano de usuario, con una meta de unos 10ms en el plano de usuario (RTT: Round Trip Time) y menos de 100 ms en el canal de configuración.

- Reducción de costes tanto en el lado de usuario como del operador.
- Flexibilidad espectral, con el despliegue en diferentes bandas de frecuencia, incluyendo las usadas por 2G (GSM)
- Evolución de la tecnología de acceso radio que proporcione una reducción de coste en comparación con las tecnologías actuales.
- Coexistencia con las actuales tecnologías de acceso radio 3G

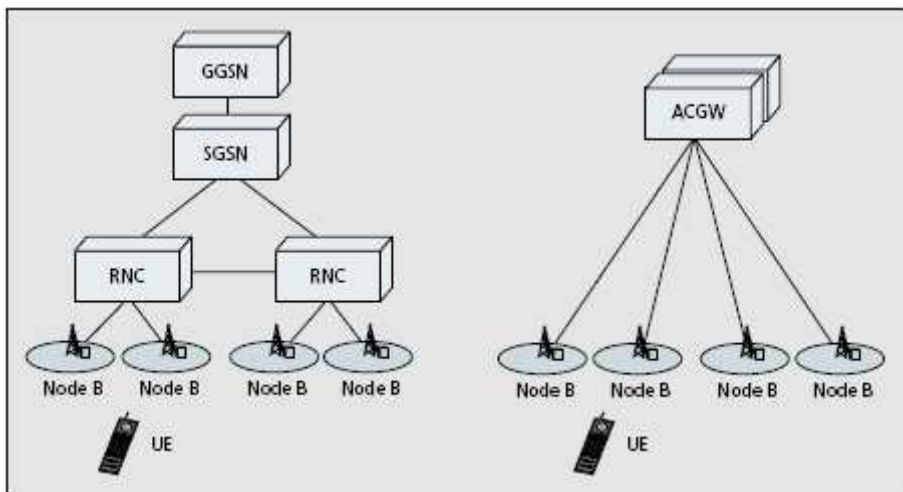


Figura 1.3.1: Actual arquitectura 3GPP y su posible evolución

Para conseguir una reducción de la latencia y de costes se reduce el número de nodos de red lo cual puede generar una reducción del tiempo de establecimiento de llamada.

En la figura 1.3.1 se compara la actual arquitectura 3G ya vista en la sección 1.2 con una posible evolución de la misma hacia un sistema de 4G, que como puede observarse está formada por un número menor de nodos para cumplir con los objetivos citados al inicio de este apartado.

Los nodos SGSN, GGSN y RNC se unirán en un único nodo denominada ACGW.

Entre algunas de las funciones de SGSN destacan el encaminamiento de paquetes, gestión de la movilidad y cifrado de aquellos abonados que se encuentren bajo su área de servicio.

Por otro lado GGSN es un servidor que posee las direcciones IP de los abonados a los que presta servicio.

Los nodos que conforman la arquitectura de red 4G de LTE son el nodo B y el ACGW. El nodo ACGW se encarga del plano de control y de usuario para el equipo de usuario (UE), y del núcleo de red (core network), funciones realizadas por los nodos GGSN y SGSN en las redes 3GPP (Third Generation Partnership Project).

El plano de control de UE será similar al RRC (Radio Resource Control) de la red 3GPP con funciones tales como gestión de la movilidad y configuración de la portadora radio. En el plano de usuario el ACGW mantendrá funciones como la compresión de la cabecera, cifrado y automatic repeat request (ARQ).

La arquitectura propuesta tiene una serie de ventajas como son:

- Reducción del retardo en el plano de usuario ya que hay menor número de nodos y por lo tanto se reduce la pila de protocolos.
- Reducción del tiempo de configuración de portadora y de llamada.
- Menor complejidad puesto que hay menos interfaces a implementar y testear.
- La colocación del protocolo ARQ en el nodo ACGW proporcionará robustez contra las pérdidas de las capas bajas y reducción de pérdidas de movilidad.
- No es necesaria una interfaz directa entre nodos B para la movilidad, ya que tal interfaz aumentaría la carga operativa para el operador, con una adicional configuración y planificación.

El proyecto WINNER desarrollado por empresas como Vodafone, nokia, siemens, Ericsson y telefónica entre otras pretende también al igual que el LTE mejorar las actuales redes celulares hacia una mejora de velocidades y prestación de servicios.

Uno de los aspectos fundamentales es la integración de un nuevo nodo denominado relay que actuará de nodo intermedio entre la estación base y el usuario permitiendo así mejorar la cobertura sin un excesivo incremento de costes, por tanto este proyecto (WINNER) se centra en el diseño de un sistema y sus protocolos relacionados para soportar la adición de estos nodos, a diferencia del LTE que pretende una disminución de nodos como ya se ha mencionado anteriormente.

Algunos de los objetivos de WINNER son:

- .Elaboración de un nuevo sistema de acceso radio omnipresente cuyos parámetros pueden ser escalables o adaptarse a una amplia gama de escenarios de comunicación. El sistema será escalable en términos de requisitos de servicio, capacidad por unidad de área y gradual aumento de la complejidad.

- .El concepto de sistema de acceso radio omnipresente permitirá a WINNER alcanzar sus requisitos sin necesidad de interconectarse con otros sistemas.
- .En lugares donde se dispone de otros sistemas de comunicación como puede ser 3G, la cooperación, la interconexión y el reuso de infraestructura puede generar beneficios mutuos.
- .WINNER se basa en una estructura multiacceso por ello siempre proporcionará la mejor solución de conexión.
- .Se espera que los primeros despliegues sean en torno al año 2010.
- .La red de acceso radio WINNER debe generar beneficios tanto a los usuarios como fabricantes y proveedores con mejoras en términos de costo, rendimiento o facilidad de uso.
- .La RAN (Radio Access Network) de WINNER está basada en más de una tecnología de acceso radio .La RAT (Radio Access Technology) puede proporcionar diferentes modos según el escenario de comunicación y las condiciones de propagación.

Este apartado tiene como propósito hacer una comparación de manera general de las principales características de LTE y WINNER explicando brevemente en qué consiste cada uno de ellos y que objetivos pretenden conseguir. El presente proyecto se centra en el estudio del sistema WINNER tanto de su topología como de las capas de red necesarias y la funcionalidad de cada una de ellas que será abordado en secciones posteriores para tener así una visión más concreta de la arquitectura.

Puede encontrarse información más detallada acerca de los requisitos del sistema WINNER en [16].

1.4 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.

Así 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.

1.4.1 RN

La inclusión de nodos intermedios es uno de los aspectos a tratar en la nueva generación de móviles por ello aquí se intentan plasmar algunas de las ventajas de incluir estos nodos en la red, que como ya se vio al inicio del proyecto son más baratos que las estaciones base, describiendo además los tres tipos de nodos que pueden formar el sistema.

1.4.2 OBJETIVOS RN

Los nodos relay incluidos en una REC (Radio Enhanced Cell) pueden ser usados para mejorar la cobertura radio de una estación base, como muestra la figura 1.4.2.1.

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 RN pueden servir a un usuario del mismo modo que una BS, sin que el usuario necesite una reconfiguración.

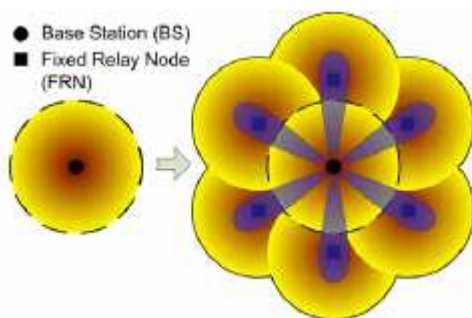


Figura 1.4.2.1: Comparación de una celda convencional con una REC formada por varios nodos relay

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 éste conlleva.

Finalmente la figura 1.4.2.2 es una ilustración de cómo un nodo relay puede cubrir ciertas zonas sombreadas que una BS no puede cubrir, objetivo también de importancia relacionado con la ampliación del área de cobertura.

Para más información acerca de las mejoras que puede introducir la integración de nodos relay referirse a [20].

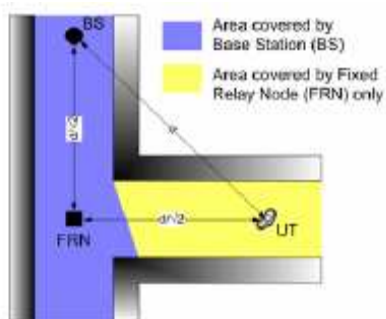


Figura 1.4.2.2: Nodo relay cubriendo un área de sombra.

1.4.3 TIPOS DE NODOS RELAY EN FUNCIÓN DEL PRÉAMBULO BROADCAST Y LOS RECURSOS RELACIONADOS.

Todo usuario perteneciente a un área de cobertura determinada tiene que ser capaz de escuchar el preámbulo transmitido al inicio de cada trama MAC para la sincronización, y la información relacionada con la gestión de recursos. Del mismo modo un RAP necesita escuchar información de señalización procedente de un usuario. Por todo esto en esta sección se describe cada uno de los tres tipos de nodos relay que pueden existir en función de este preámbulo y los recursos que utilicen para enviarlo a través del canal broadcast que incluye información acerca de la celda, como el identificador de RAP o el código de operador.

RN Tipo 1

Cada RN transmite su propio preámbulo usando sus propios recursos de manera que actúan como una BS, ya que algunos de los usuarios de la celda no pueden escuchar a la estación base. Cada RN será capaz de controlar una o más células y uno o más preámbulos usando diferentes recursos durante la fase de preámbulo. Además la información de señalización puede relacionarse con una célula específica.

RN Tipo 2

Todos los RNs en una REC transmiten el mismo preámbulo usando los mismos recursos, éste es el caso de redes con una única portadora para la transmisión del preámbulo. Por tanto un usuario no será capaz de identificar un RN específico a través del preámbulo.

Éstos dos tipos de nodos son útiles para cubrir zonas que una estación base no puede cubrir.

RN Tipo 3

La BS es la única dentro de una REC que transmite el preámbulo, el cual debe ser recibido por todos los usuarios de la celda. Estos tipos de nodos relays están limitados a usarse para mejorar la capacidad del sistema pero son los menos complejos de todos ya que no necesitan ser tan fiables como los otros dos tipos porque el UT siempre es capaz de conectarse a la BS aunque la velocidad de conexión sea muy baja.

1.4.4 COMUNICACIÓN ENTRE NODOS

Un aspecto fundamental en la redes de cuarta generación es como se produce el intercambio de mensajes entre nodos relay vecinos, lo cual depende, de si estos nodos vecinos se encuentran en la misma celda u en otra distinta.

En el caso de tratarse de nodos que se encuentren en la misma celda, si existe comunicación directa entre ellos éstos se conectarán directamente, pero si esta comunicación no es posible entonces será la BS de la celda a la que pertenecen los RNs, la encargada de interconectarlos entre sí. Otra opción es usar la ruta más corta de RNs pertenecientes a la misma REC.

Como se ha mencionado anteriormente los RNs pueden encontrarse en RECs distintas de modo que para comunicarse usarán el camino directo si existe, igual que en el caso anterior o si no es posible esta opción entonces se comunicarán a través de las BSs de la celdas vecinas o usarán la ruta más corta de RNs de las diferentes RECs.

La comunicación directa ofrece el medio de comunicación más rápido y requiere menor cantidad de recursos, por lo tanto será el mejor modo de conexión siempre que sea posible.

A parte de estos modos de comunicación directamente o a través de BS el proyecto WINNER estudia otro modo posible que es el realizado a través de terminales de usuario lo cual puede generar muchas ventajas en muchos escenarios, el problema de este método son los requisitos de potencia que debería tener el UT haciendo estos dispositivos más caros. Aspectos referidos a esto se encuentran recogidos con más detalle en [8]

1.4.5 CRITERIO DE SELECCIÓN DE UN RAP EN UNA REC

Para el procedimiento de selección de un RAP para cada UT el criterio de selección tradicional no es eficiente ya que en redes inalámbricas tradicionales sin capacidad relaying la afiliación de un usuario a un RAP se realiza en función de la calidad del canal, así cada usuario será conectado a la BS cuyas transmisiones se reciban con mayor calidad de señal. Medidas tradicionales que pueden realizarse son, la distancia a la citada BS, la eficiencia espectral en el canal, la carga de tráfico u otras estimaciones.

Podemos distinguir en las redes con capacidad relaying dos tipos de enlace para la comprensión de este apartado. Por un lado el enlace de acceso es aquel establecido entre el nodo relay y el terminal de usuario y por otro lado el enlace relay es el que se crea entre el nodo relay y la estación base.

El método descrito anteriormente para la selección de una BS en un sistema tradicional no puede emplearse en la nueva arquitectura de red ya que la información sobre el canal entre el usuario y el RN que le da servicio no es suficiente para tomar la decisión. Si un usuario se une a un RN en función de la calidad del enlace de acceso, la necesidad de enviar datos por este enlace y la sobrecarga que ésto conllevaría podría hacer que una comunicación directa con la BS fuese más eficiente que a través de un RN. Evidentemente la calidad del enlace de acceso debe tomarse en cuenta a la hora de elegir un RN para cada UT pero WINNER está estudiando cómo se debe hacer ésto para eliminar los inconvenientes explicados.

Otro aspecto fundamental a tratar aquí es qué entidad será la responsable de tomar la decisión de la unión a un RN, evidentemente ésto dependerá de la información de la que disponga cada nodo.

El usuario tiene información del enlace de acceso pero no sobre el enlace relay y el estado de toda la red, la estación base tiene información sobre el estado del enlace relay y sobre la carga de red y el RN que está en una situación intermedia entre la BS y el UT dispone de información de ambos canales pero no sobre toda la celda. La información que falta en cada nodo tiene que ser enviada al respectivo nodo para la toma de decisiones.

Por tanto según esto ningún nodo parece adecuado para tomar la decisión de asignación de RNs pero no obstante la BS puede disponer ya de información acerca del enlace de acceso para la planificación, por tanto una razonable candidata para la toma de esta decisión será la BS la cual podrá acceder a toda la información necesaria sin causar una sobrecarga de la red. Más información acerca de cómo se realiza la selección puede encontrarse en [2]

1.5 CONCLUSIONES

En resumen todo lo explicado en este capítulo pretende dar una visión de los objetivos que intenta cumplir la red de cuarta generación, distinguiéndola de la red UMTS explicando en detalle qué es un nodo relay y qué mejoras introduce en la red, además de ver cómo se pueden comunicar estos nodos y que entidad es la responsable de la asignación de RAPs para los usuarios.

La nueva red estará caracterizada por mayores velocidades de datos alcanzando tasas de hasta 1 Gbps junto con un mayor despliegue de cobertura sin incurrir en excesivos costes de infraestructura logrando así una mayor calidad de servicio. Con frecuencias empleadas entre 2 y 8 GHz y modulación del tipo OFDM (Ortogonal Frequency Division Multiplexing) que consiste en modular la información en múltiples portadoras equiespaciadas siendo más tolerable al multitrayecto.

Por último hay que destacar que las redes 4G intentan dar servicio a los usuarios en todas partes por tanto debido a los múltiples escenarios de comunicación no es posible crear una única interfaz radio que de solución a todas las comunicaciones de red sino que es necesaria una interfaz radio flexible que permita el acceso a la red usando diferentes tecnologías de acceso radio haciendo necesaria la creación de una arquitectura de protocolos donde cada capa disponga de funciones tanto genéricas, las cuales son comunes a muchos modos de comunicación, como específicas las cuales son características de un solo modo. El estudio de esta arquitectura de protocolos así como de estos múltiples modos no es el objetivo del proyecto y se encuentra detallada en [1].

Capítulo 2

Pila de protocolos de la red 4G

2.1 INTRODUCCIÓN

En el estudio de toda red de comunicaciones es imprescindible prestar una especial atención al diseño de las capas de red y sus protocolos asociados, pues de esto dependerá en gran medida el tipo de servicios que esa red es capaz de soportar.

Por ello el proyecto WINNER centra gran parte de su investigación en el diseño de una pila de protocolos que tenga como patrón el modelo de referencia OSI (Open System Interconnection). En este punto se describe en que se basa cada una de las capas de la futura red móvil de cuarta generación y que protocolos rigen cada una de éstas.

En [17] puede verse una mayor descripción del modelo de capas propuesto en WINNER.

2.2 ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS

Como ya se ha mencionado en la introducción de este apartado, la arquitectura de protocolos radio de la red de nueva generación está basada en el modelo de referencia OSI. La principal propiedad de este modelo de referencia es su fácil comprensión y el soporte de una amplia gama de servicios.

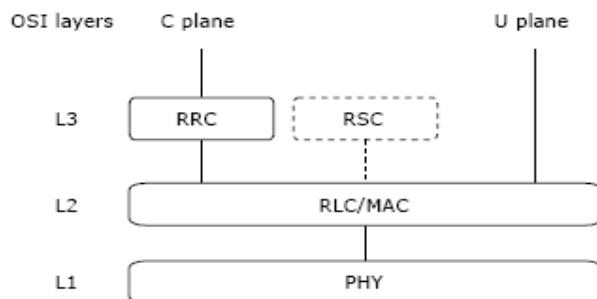


Figura 2.2.1: Arquitectura de protocolos

La figura 2.2.1 ilustra la nueva arquitectura de red explicada en [2], la cual consiste en las tres capas más bajas del modelo de referencia OSI que son: capa de red (L3), capa de enlace de datos (L2) y capa física (L1). Todas estas capas están disponibles en la BS y el UT.

Siguiendo las convenciones actuales, la arquitectura se subdivide a su vez en plano de usuario (U) y plano de control (C). El plano de usuario se encarga de todos los protocolos que son responsables de la transferencia de datos de usuario y el plano de control se encarga de controlar las transferencias de datos en la red y las conexiones de los UTs con la red de acceso.

La capa tres pertenece al plano de control y es manejada por el protocolo RRC (Radio Resource Control) la cual realiza funciones de radiodifusión, radio búsqueda, control dedicado y control común.

La capa dos por su lado es la capa de enlace de datos que da servicio al plano de control y al plano de usuario. La información del plano de usuario consiste tanto en tráfico dedicado como en tráfico común hacia múltiples usuarios. Ésta capa está dividida a su vez en el protocolo RLC (Radio Link Control) y en el protocolo MAC (Medium Access Control) por tanto podrán ser consideradas en realidad como dos subcapas diferentes lo que facilitará su estudio.

El protocolo RLC asegura que se produzca una transferencia fiable de información sobre la trama MAC, mientras que la capa MAC coordina el acceso a un medio compartido.

Por otro lado la capa física es la encargada final de la transferencia de información sobre el enlace radio.

Es de notar que entre todas las capas explicadas anteriormente ninguna de ellas comprende el control y la configuración de los RN, por tanto es necesario introducir una nueva capa denominada RSC (Radio Subsystem Control). Al igual que el RRC, el protocolo RSC envía su información de señalización hacia una instancia RLC propia, para la transferencia fiable de datos. La capa RSC está disponible en la BS y los RNs ya que no se necesita disponer de ésta funcionalidad en el UT.

Una propiedad muy atractiva de la arquitectura descrita anteriormente es, que el hecho de que haya más de un salto en la red es transparente de cara al usuario, GWs, capas más altas y redes externas.

2.2.1 RADIO RESOURCE CONTROL

La capa RRC es una capa del plano de control, la cual es responsable del control de todos los recursos radio asignados al sistema WINNER. Éste control de recursos puede ser visto desde diferentes niveles:

1. Entre WINNER y otros sistemas
2. Entre diferentes operadores
3. Entre diferentes modos WINNER
4. Entre diferentes RAPs de un único sistema WINNER

RRC se encarga de las funciones relacionadas con el reparto de recursos y control de la movilidad entre otras.

2.2.2 RADIO LINK CONTROL

El plano de usuario de RLC proporciona transferencia de paquetes confiable sobre la interfaz radio, funciones de confidencialidad y priorización de paquetes con el fin de alcanzar los objetivos de QOS (Quality of service).

2.2.3 MEDIUM ACCESS CONTROL

El plano de usuario de esta capa permite la transmisión y recepción de paquetes pertenecientes a los canales de transporte sobre la interfaz radio. El estudio en detalle de estos canales es abordado en la sección de MAC.

Por otro lado el plano de control de la capa MAC acepta y ejecuta mensajes de control procedentes de las capas más altas que requieren de una serie de parámetros y condiciones de transmisión. Además proporciona mensajes para el control de flujo, control de la QOS, asignación del espectro, y otras funciones proporcionadas a las capas RLC y RRC.

2.2.4 PHY

La capa física es la encargada de la transmisión física de los chunks (unidad mínima de transmisión en una trama), de la información de control de señalización e información de medidas sobre la interfaz radio.

2.2.5 RSC

Capa encargada de la configuración y control de los RNs con funciones similares a RRC.

Capítulo 3

Radio Resource Control

3.1 INTRODUCCIÓN

En el apartado previo ya se ha definido que es la capa RRC y que funciones básicas proporciona al sistema, pero es necesario un estudio en profundidad de la citada capa para entender cuál es su importancia.

Sobre todo es fundamental abordar las funciones de RRM (Radio Resource Management) que serán las encargadas de gestionar los recursos radio disponibles, de manera que sean repartidos entre todos los dispositivos de la red de la manera más eficiente posible. También trataremos el tema del handover pues ahora se dispone de un número mayor de nodos y gestionar la movilidad será de vital importancia para mantener la comunicación sin pérdidas.

Por último se habla de un mecanismo de control de flujo, ya que el simple hecho de un reparto eficiente de recursos no garantiza la no congestión de la red.

3.2 RRM

La función de RRM es básicamente especificar y evaluar funciones y algoritmos que consigan minimizar la interferencia en los sistemas basados en nodos relay coordinando la utilización de los recursos radio a través de los RAPs que pueden ser una estación base o un nodo relay.

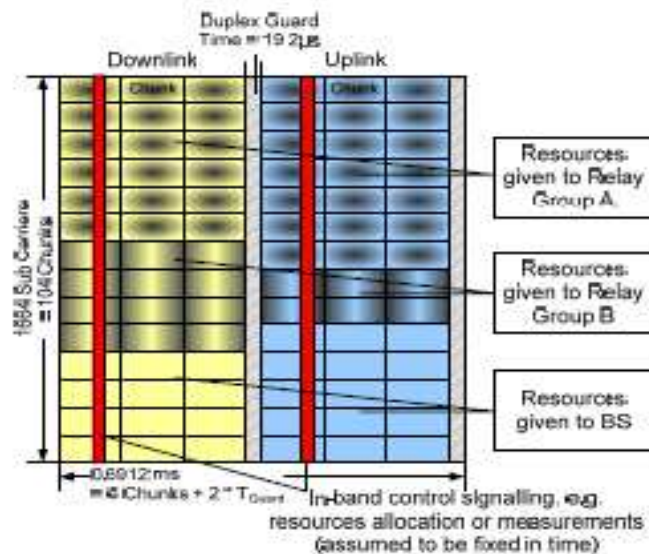


Figura 3.2.1: Esquema de partición de recursos (TDD)

La figura 3.2.1 muestra el esquema general empleado para la partición del espectro radioeléctrico en el caso TDD. Como puede observarse en cada trama se emplean 1664 subportadoras que dan lugar a 104 chunks (porción mínima espectral) en el eje de la frecuencia y 6 chunks en el eje temporal. Así en cada chunk del eje temporal podrán transmitir simultáneamente nodos del grupo A, nodos del grupo B o la estación base, aumentando la eficiencia espectral.

En [21] y [22] puede encontrarse información más concisa acerca de las funciones de RRM.

Este esquema de partición de recursos que permite disminuir las interferencias entre nodos puede ser centralizado, jerárquico o distribuido como se explica a continuación.

3.2.1 REPARTO DE RECURSOS CENTRALIZADO

En el algoritmo de reparto de recursos centralizado, hay un nodo central conectado a varias RECs el cual es el encargado de calcular la distribución de recursos entre todos los RAPs bajo su control, enviando un mensaje RRC mediante una conexión punto a multipunto a los citados RAPs.

Como puede observarse en la figura 3.2.1.2 dentro de una celda será la estación base la encargada de gestionar todos los recursos. Así ésta recibirá la petición de recursos e informes de medidas desde el nodo relay y basándose en la información recibida la estación base decidirá el nuevo reparto de recursos y se lo enviará al nodo relay dentro de la REC. El particionamiento de recursos y su asociada señalización es

realizada por la capa RRC2 la cual se encarga de las funciones RRC que no involucran a los UTs. Esta capa se corresponde con la capa RSC explicada en 2.2 y es mostrada en la figura 3.2.1.1. Finalmente la información de reparto calculada por la BS será enviada a los usuarios a través del canal broadcast que se explica en la sección 6.3 referida a los canales de transporte que conforman el sistema.

La estación base de la figura 3.2.1.2 puede ser reemplazada por un servidor RRM que realice este reparto y que como ya vimos en 1.2 era un elemento opcional de la arquitectura 4G.

Una desventaja de este algoritmo centralizado es la sobrecarga de señalización necesaria, ya que la información acerca del reparto de recursos debe ser enviada dos veces, una vez a los RNs y otra vez a los UTs.

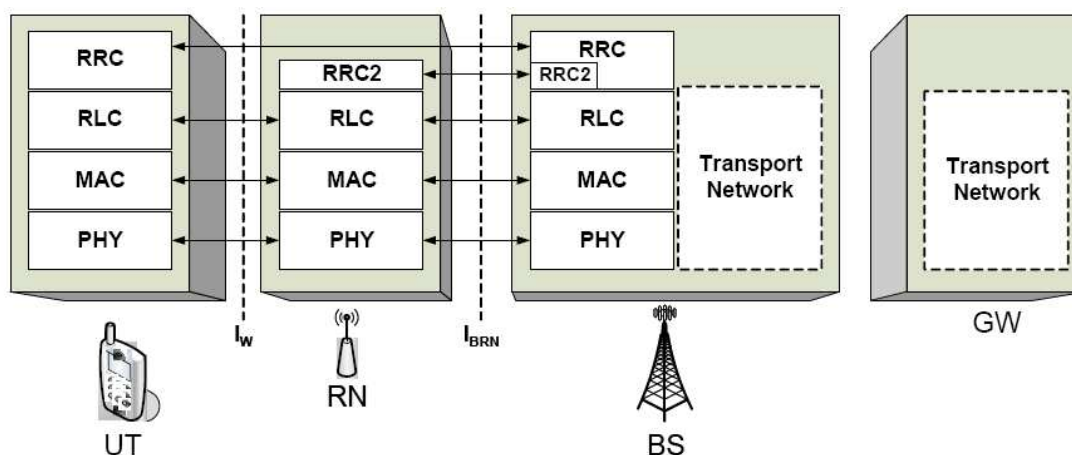


Figura 3.2.1.1 Nodos relay dentro de la arquitectura WINNER, plano de control

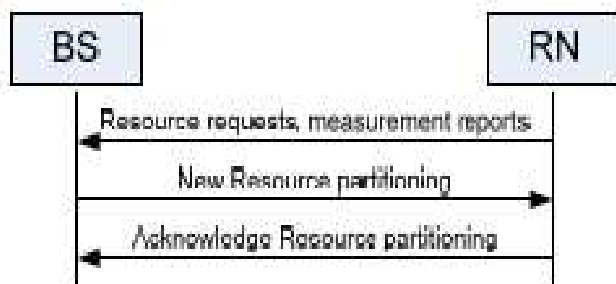


Figura 3.2.1.2 Esquema de asignación de recursos centralizado

3.2.2 REPARTO DE RECURSOS JERÁRQUICO

En este caso la estación base dispone de todos los recursos necesarios para la REC a la que da servicio. Los nodos relays se organizan de manera jerárquica de modo que cada relay debe obtener de la estación base recursos para sí mismo y para los nodos que estén por debajo de él en la jerarquía.

Debido a esta jerarquía la red dispone de una alta flexibilidad a la hora de reaccionar a la petición de recursos locales ya que cada nodo pedirá los recursos al nodo que esté por encima de él jerárquicamente y no a la BS directamente. Destacar que en este caso los nodos dispondrán de una mayor complejidad computacional ya que ahora serán ellos los encargados de calcular el reparto de recursos individualmente.

Finalmente, si en el caso centralizado el número de saltos tiene un impacto significativo sobre el protocolo ARQ, en este algoritmo jerárquico el protocolo ARQ de un salto será suficiente para la protección de los mensajes de RP (Resource Partitioning) ya que estos mensajes son calculados individualmente en cada salto.

3.2.3 REPARTO DE RECURSOS DISTRIBUIDO

Otro tipo de esquema de reparto, es el de tipo distribuido en el cual no habrá ninguna unidad central encargada de la gestión de los recursos ni tampoco se establecerá ninguna jerarquía entre nodos, sino que serán los propios RAPs lo que negociarán entre ellos la manera de repartir los recursos disponibles.

La figura 3.2.3.1 es una representación gráfica del funcionamiento básico de este algoritmo en el cual si el número de paquetes encolados en el RAP exceden el máximo umbral permitido, éste envía un mensaje a sus RAPs vecinos consultando sobre el uso de sus recursos radio asignados, después de esto, el RAP decidirá a quien pedir esos recursos necesarios en función de la respuesta recibida.

Los RAP pueden ser tanto una estación base como un nodo relay, de manera que si dos nodos relay quieren comunicarse para esta petición de recursos si no tienen comunicación directa lo harán a través de la estación base.

La desventaja con respecto al caso centralizado es que la información de la que se dispone para por ejemplo evitar interferencias es más limitada.

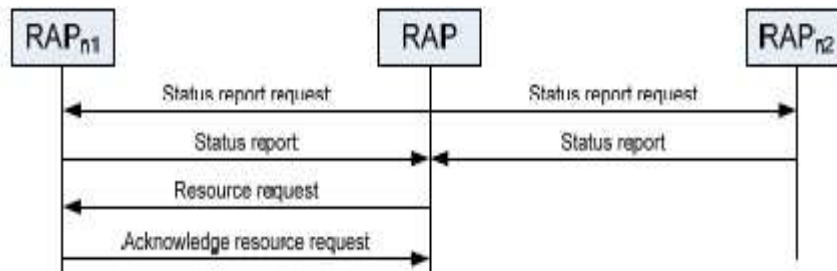


Figura 3.2.3.1 Reparto de recursos distribuido

3.2.4 PARTICIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO DENTRO DE UNA CELDA

Uno de los aspectos fundamentales a tratar en los nuevos sistemas 4G será dividir el espectro radioeléctrico disponible para una celda entre los diferentes enlaces que serán necesarios establecer.

En [2] se propone particionar el espectro radioeléctrico de cada celda en dos partes, una de ellas será asignada a los terminales de usuario que se comunican en un único salto, y la segunda parte la usarán los terminales para comunicarse en dos saltos. Esta segunda parte es a su vez subdividida en dos subpartes, la primera subparte será asignada a los enlaces entre nodos relay y terminales de usuario y la segunda a los enlaces BS y nodos relay.

Ambos tipos de canales (los formados entre UTs y RNs y entre BS y RNs) se dividen en tres subcanales a su vez que serán compartidos por los nodos relay. Uno será compartido por el nodo uno y dos, otro por el tres y el cuatro y otro por el cinco y el seis según el esquema de la figura mostrada abajo.

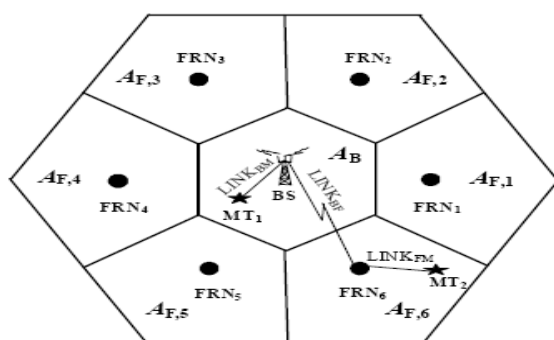


Figura 3.2.1.1.1: Canales creados en una celda.

3.2.5 ADAPTATIVE SOFT RESOURCE PARTITIONING

En este subapartado se describe un mecanismo de reparto de recursos flexible, el cual permite el reuso de frecuencias evitando la interferencia entre nodos. La idea básica de este esquema es que a cada RAP se le asigna una máscara de potencia que determina la potencia de su señal portadora. Como una REC tiene muchos nodos relay que aportan diferente carga de tráfico a la red debido al tamaño de la celda y a la variación de densidad de usuarios, es necesaria una adaptación de esta máscara de potencia según el escenario al que sirve un nodo.

El particionamiento de recursos flexible como ya se mencionó al inicio, permite reusar frecuencias haciendo además que cada RAP tenga altos recursos de potencia con baja interferencia para servir a terminales de usuario en áreas que limitan con otros RAPs. Esto se consigue gracias a que los RAPs son capaces de aumentar o disminuir su potencia según sea necesario de modo que si en un instante de tiempo o a una frecuencia determinada un RAP tiene un nivel de potencia muy alto el otro disminuya su valor para evitar interferencias entre ellos.

En la figura 3.2.4.1 puede observarse la diferencia existente entre un reuso de frecuencias flexible donde cada RAP será capaz de adaptar su máscara de potencia en función de los usuarios a los que de servicio de manera que no se produzcan interferencias entre RAPs ya que cada RAP usará la misma frecuencia pero con nivel de potencia diferente y entre un reuso fijo donde cada RAP dispone de una máscara de potencia fija y no podrá variarla en función de la carga.

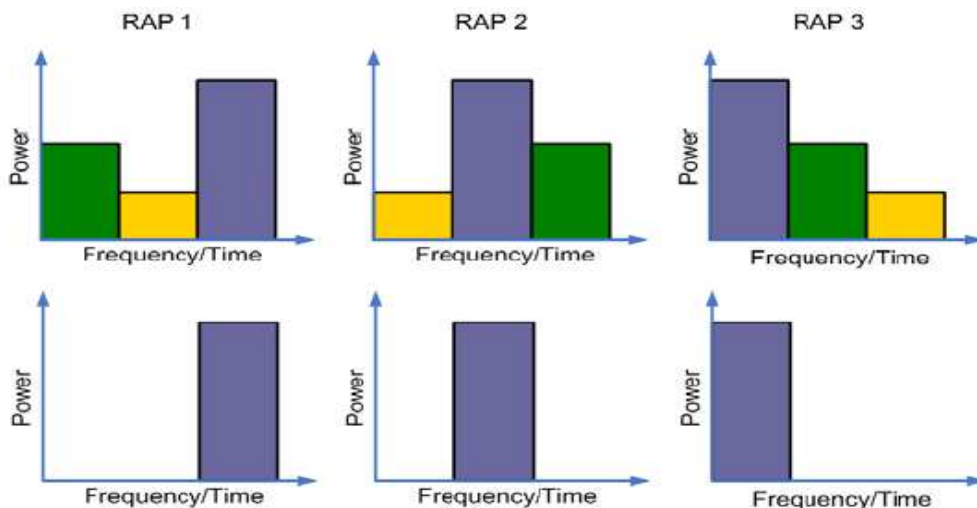


Figura 3.2.4.1 Comparativa entre un reuso flexible y un reuso fijo

Así el algoritmo empleado para la partición de potencia queda ilustrado en la figura 3.2.4.2 y explicado de la siguiente forma:

Un nodo mira su estado actual de operación si su carga es demasiado alta envía una petición de recursos de potencia a todos sus nodos vecinos, esta comunicación puede ser directa, siguiendo la ruta más corta o a través de la estación base. Los nodos vecinos a su vez enviarán un mensaje con su estado de operación y su actual máscara de potencia, después de recibir respuesta de todos sus vecinos el nodo transmisor elige a uno de ellos para hacerle una petición de potencia debiendo informar al nodo vecino de que recursos van a ser empleados, en caso de no disponer de recursos suficientes para llevar a cabo la comunicación, alguno de los flujos de datos deberá ser abortado. Pero en caso de que si se dispongan de los recursos necesarios el nodo que hace la petición incrementará su nivel de potencia mientras que el otro la disminuirá.

Una vez que se vuelva al estado de actuación inicial, es decir que la carga del RAP vuelva a su estado normal se deben liberar los recursos empleados informando al nodo vecino de qué recursos se han liberado.

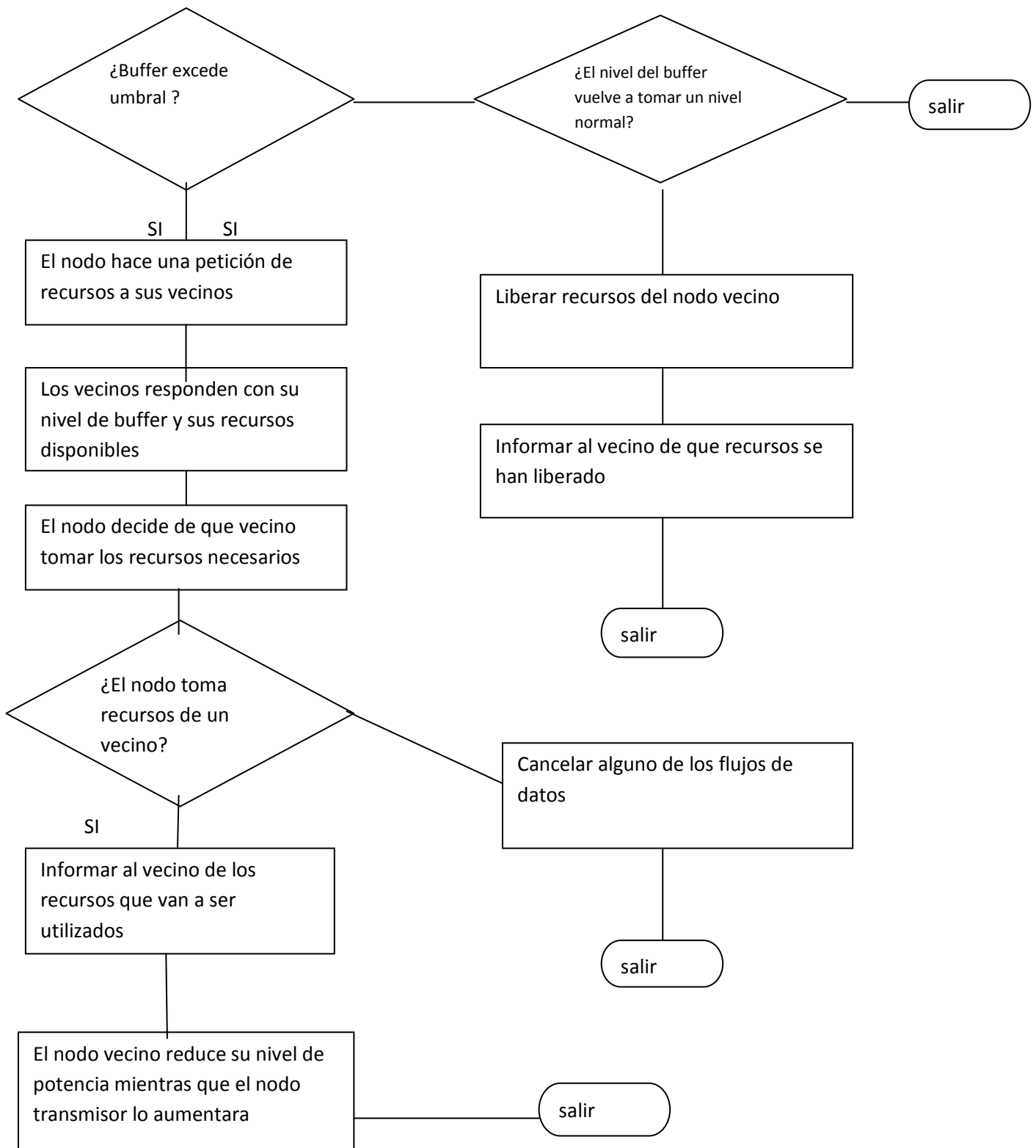


Figura 3.2.4.2 Esquema de reparto de recursos flexible

3.3 HANDOVER

El handover es una función imprescindible dentro de las comunicaciones móviles. Gracias a esta función es posible mantener la comunicación aunque un usuario cambie de celda. En el sistema 4G, donde hay varios nodos relay por celda, el handover se hace aún más imprescindible, ya que los usuarios continuamente pueden estar cambiando de nodo.

Un handover se puede producir por varios motivos, entre ellos destacan:

- . La movilidad
- .Cambios en el entorno radio
- .Mantener los objetivos de calidad de servicio

El manejo de la movilidad dentro de la red 4G es normalmente separado en dos esquemas diferentes, por un lado el modo activo y por otro lado el inactivo.

A continuación se describe cada una de los dos esquemas propuestos para la movilidad descritos en [2].

3.3.1 ACTIVE MODE

El objetivo fundamental del modo activo es mantener la conectividad y soportar la calidad de servicio requerida de una manera eficiente.

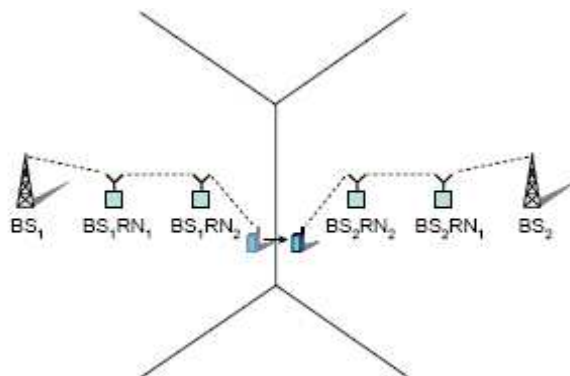


Figura 3.3.1.1: Ejemplo de tipos de Handover

En la figura de arriba se muestran dos celdas de una red, cada una de ellas formada por dos nodos relay de modo que pueden distinguirse siete casos de handover:

- .BSi-to-BSj
- .BSi-to-BSi RNx

- .BSi RNx-to BSi
- .BSi RNx-to-BSi RNy
- .BSi-to-BSj RNx
- .BSi RNx-to-BSj
- .BSi RNx-to-BSj RNy

Para simplificar, en el proyecto se explicarán con más detalle únicamente los tipos BSi-BSj, el BSi RNx-to-BSi RNy y el BSi RNx-to-BSj RNy , es decir que el handover se produzca entre estaciones base, entre nodos de la misma celda o entre nodos pertenecientes a celdas distintas.

En [2] se asumen una serie de requisitos esenciales en función de los cuales se explica todo lo referente a la movilidad, entre ellos destacan:

- .Un único modo de trabajo. Como se comentó en 1.5 la interfaz radio WINNER puede disponer de múltiples modos que son cada una de las tecnologías de acceso radio a las que puede conmutar, sin embargo aquí se asume un único modo.
- .Dentro de una REC, todos los IDs son asignados y gestionados por la BS, así cuando un usuario realiza un handover dentro de una celda no necesita actualizar su ID.
- .Las BSs vecinas intercambian información periódicamente
- .No se consideran los handovers entre GW, asumiendo que serán muy poco frecuentes.
- .La estación base destino realiza control de admisión
- .Cualquier medida tomada por el usuario tiene que ser autorizada, ya que éste no es un dispositivo de confianza.
- .Uso de la misma ruta para el enlace ascendente y descendente.

Antes de comenzar a explicar cada tipo de handover debemos conocer quién será el encargado de tomar la decisión de traspaso. Las dos opciones propuestas son que sea el UT o que sea un nodo de la red, por ello en el siguiente apartado se explican las ventajas e inconvenientes de cada propuesta así como quién sería ese nodo de red encargado de tomar esta decisión.

3.3.1.1 TOMA DE DECISIÓN DE HANDOVER.

En este apartado se analiza cada una de las opciones de toma de decisión de handover. Como se mencionó previamente puede ser un nodo de red el que gestione esta decisión o bien el propio usuario de la red.

En el caso de que sea un nodo de red (Network-centric) se precisa de información de estado del canal entre los usuarios y los RAPs además de información de estado de las RECs vecinas para facilitar la compartición de la carga.

Si por otro lado es el usuario el encargado de la decisión de handover, éste también se basará en la información de estado del canal entre los usuarios y los RAPs para tomar esta decisión, además de la información de coste del enlace que es enviada por los RAPs en su canal broadcast. Esta información de coste refleja la utilización de cada nodo a parte del coste en el enlace RN-BS. Todas las decisiones tomadas por el UT deben ser confirmadas por la BS ya que no es un dispositivo fiable.

Ahora se analizan las ventajas de cada método para finalmente justificar la propuesta final hecha por [2] en cuanto a la decisión del handover.

3.3.1.1.1 VENTAJAS DE CADA MECANISMO DE DECISIÓN DE HANDOVER

En el caso de que haya un nodo de red encargado de la gestión del handover las ventajas son:

- .Menor retardo en la toma de decisión. El usuario no es un dispositivo fiable y cualquier decisión tomada por el mismo tendrá que ser autorizada por la BS prolongando demasiado el proceso de handover.
- .Mayor facilidad para soportar la compartición de carga.
- .Menos señalización en el enlace descendente ya que no son necesarios parámetros de coste del enlace lo cual si es importante en el caso de ser el UT el que tome la decisión.
- .Se necesita enviar menos información en el canal broadcast, ya que es en este canal donde se envía la información de coste.

Si es el UT el que toma la decisión entonces las ventajas serán:

- .El UT dispone de la mayoría de información de la calidad del enlace.
- .Aunque sea la red la que tome la decisión de handover, el usuario siempre tendrá que disponer de la capacidad de re-selección de celda para el caso en que falle el handover. En caso de que ocurra un error en el handover, es decir que el UT no pueda sincronizarse correctamente con la estación base destino,

éste intenta regresar a la BS origen, en este caso no se necesita restablecer la conexión RRC ya que la estación base origen aún dispone de información del UT además de guardar una copia de sus paquetes enviados hasta algún tiempo después de comenzar el handover. Si el usuario no consigue volver a conectarse a la estación base origen con éxito, tendrá que realizar una re-selección de celda, basada en su propia elección. El usuario comunica a la estación base elegida su decisión, en la cual ha identificado también a la estación base origen y esta BS destino se comunicará con la BS origen para obtener la información necesaria del usuario como puede ser el contexto RRC y sus paquetes enviados en el enlace ascendente.

- .Menor número de mensajes de medidas, lo cual puede ser importante si el número de saltos de red crece.

Una vez presentadas las ventajas de cada alternativa en [2] se propone que sea la red la que tome la decisión de handover en caso de operación normal, y el UT en caso de fallo ya que la re-selección tendrá que ser soportada por el usuario de todas formas.

Si es la red la que toma la decisión entonces se propone que sea la BS la que tome la decisión, ya que la BS dispone de todos los recursos de la celda y se reduce el retardo en la toma de decisión.

3.3.1.2 TIPOS DE HANDOVER

En esta sección se describen tres de los siete tipos de handover posibles mencionados en 4.3.1 junto con sus gráficas relacionadas que ayudan a la comprensión de cada uno.

3.3.1.2.1 BS-TO-BS HANDOVER

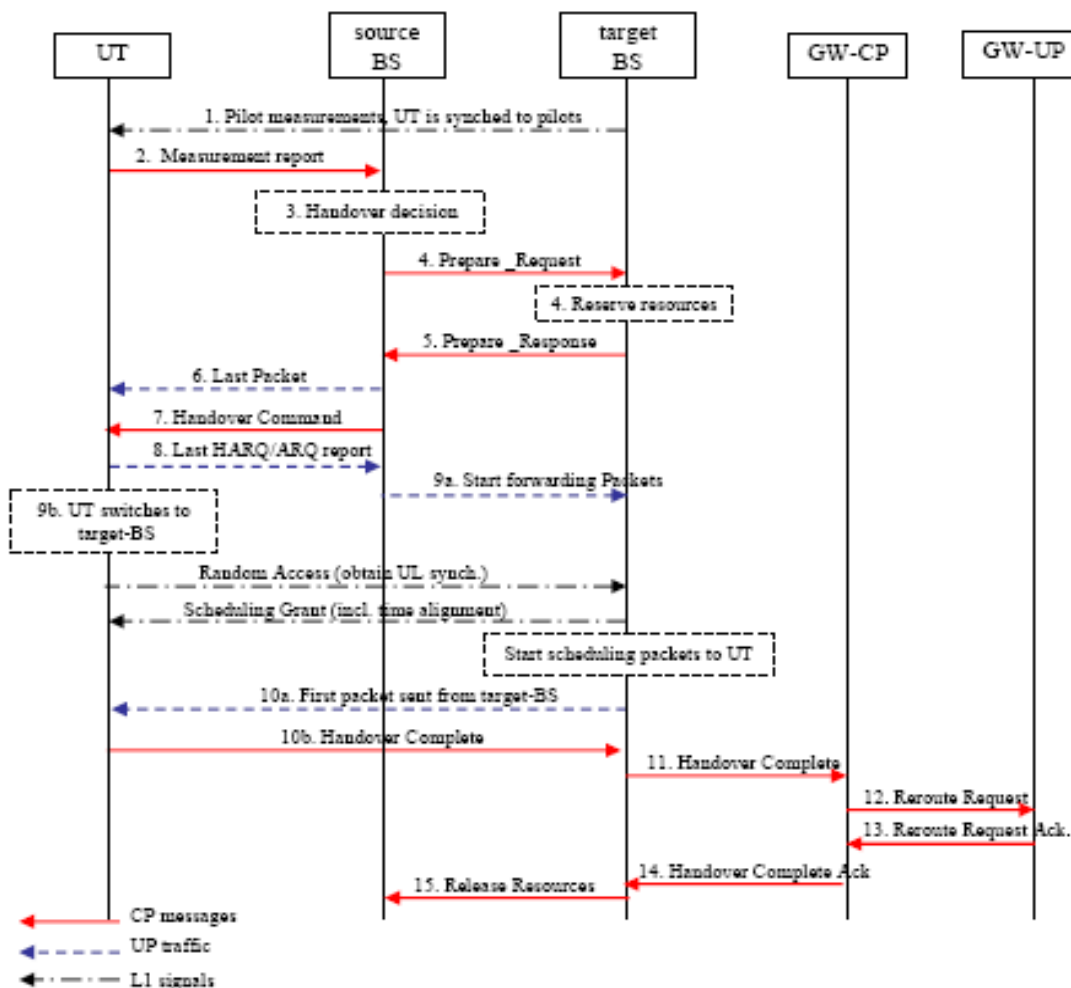


Figura 3.3.1.2.1 1 Secuencia de mensajes enviados en un handover entre BSs

En la figura 3.3.1.2.1.1 se muestra el diagrama de flujo de un proceso de handover entre dos estaciones base, suponiendo que éste no falla. Seguidamente se explica cada paso detalladamente, en el cual como puede observarse es la BS la encargada de tomar la decisión de traspaso.

1. El usuario realiza una serie de medidas basadas en las señales de control denominadas pilots, usadas en el proceso de handover, enviadas por las celdas vecinas. Mientras realiza estas medidas debe obtener también, tanto la sincronización del enlace descendente con las celdas vecinas como el ID de la celda.

2 y 3. El usuario envía informes de medidas realizadas a la BS origen. En función de estas medidas y de otros factores de las capas superiores la BS fuente decide realizar

el handover. Antes de tomar la decisión de handover, la BS fuente pregunta a la BS destino sobre el estado de la celda, esta encuesta puede ser también realizada de manera periódica.

4 y 5. La estación base fuente envía la información referente a la capa RRC del UT a la BS destino y hace una petición de reserva de recursos a la misma (así como por ejemplo el identificador de usuario). En este punto la estación base destino realiza el control de admisión, es decir decide si el nuevo usuario será admitido o no, en el caso de que sea admitido enviará toda la información necesaria para que el UT inicie la comunicación, esta información puede ser por ejemplo el nuevo ID de usuario. En caso contrario (el usuario no es admitido), la BS fuente seleccionará otra celda y enviará una nueva petición a esa nueva BS destino.

6 y 7. La estación base fuente termina el proceso HARQ (Hybrid ARQ), el cual es tratado en el capítulo de RLC y consiste básicamente en ir almacenando los paquetes que llegan incorrectos en lugar de descartarlos y crear un paquete de datos útil a partir de la recomposición de estos paquetes incorrectos almacenados. La BS fuente también envía el comando de Handover al usuario.

8. El usuario confirma que le ha llegado el mensaje de handover mediante el protocolo HARQ/ARQ, una vez que esto ocurre la BS fuente ya no envía más datos al usuario, ya que asume que éste ha comenzado la ejecución del proceso de handover.

9. La BS fuente comienza el envío de paquetes con la BS destino mientras que al mismo tiempo el usuario se sincroniza con la BS destino a través del canal RAC.

10. La BS puede comenzar ya a enviar datos en el enlace descendente al UT. El usuario envía un mensaje indicando que se ha completado el handover (handover complete) y puede empezar ya a transmitir mensajes en el enlace ascendente.

11-14. La nueva BS envía un mensaje de handover completado a la GW, y ésta actualiza la nueva ruta del usuario.

15. Finalmente la BS destino notifica a la BS origen que el UT tiene recursos asignados.

3.3.1.2.2 BSi RNx-to-BSi RNy (Intra REC Handover)

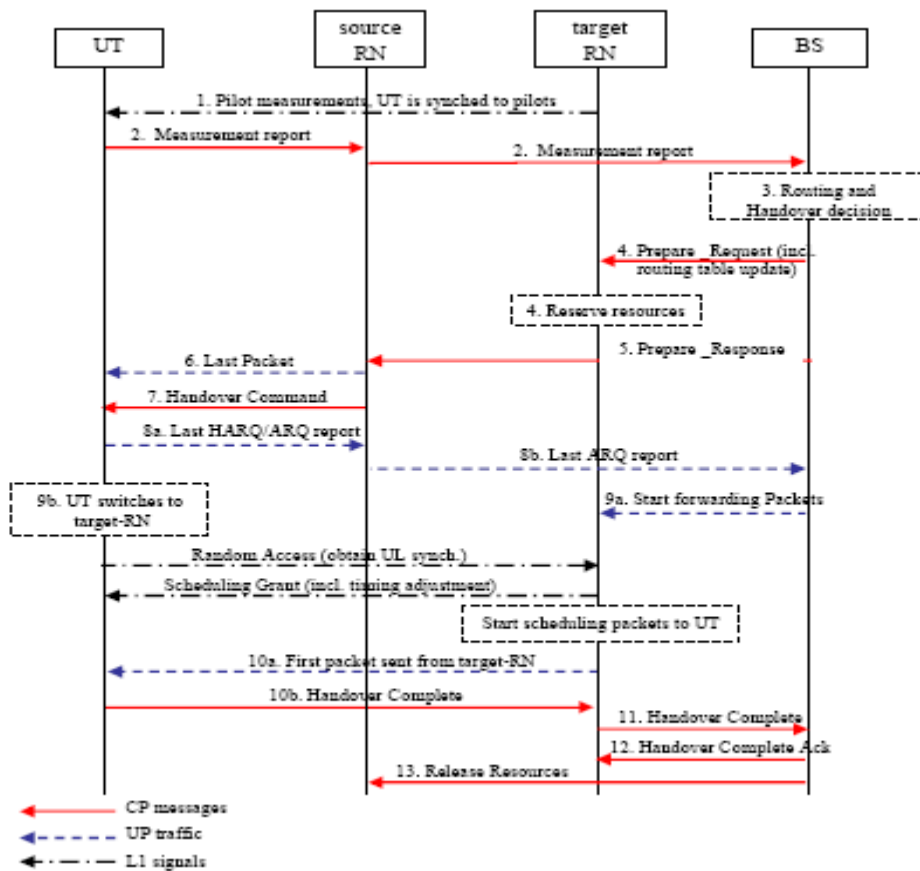


Figura 3.3.1.2.2 1Handover Intra REC

En la figura de arriba puede observarse como se realiza un proceso de handover entre nodos relay pertenecientes a la misma celda. Es de notar que el proceso es muy similar al caso de un handover entre BSs explicado previamente, siendo los mensajes empleados los mismos.

Básicamente el usuario realiza una serie de medidas de los relays vecinos que enviará al RN fuente y éste a su vez a la estación base de la celda, que será la encargada de tomar la decisión de handover. La BS hace una petición de recursos al nodo destino y éste enviará al nodo fuente la información indispensable para que el UT pueda conectarse a él. Seguidamente finaliza el proceso ARQ entre el UT y el nodo al que estaba conectado y el UT se sincroniza con el nodo relay de destino para poder comenzar con la transferencia de paquetes.

Finalmente es necesario que el usuario comunique al nodo destino que el proceso de handover se ha completado, para que éste se lo comunique a la BS que es la encargada de gestionar todos los recursos de la red y que asegure al nodo fuente que el UT dispone de recursos para el envío de datos en el nodo destino.

3.3.1.2.3 BSi RNx-to-BSjRNy (Inter-REC handover)

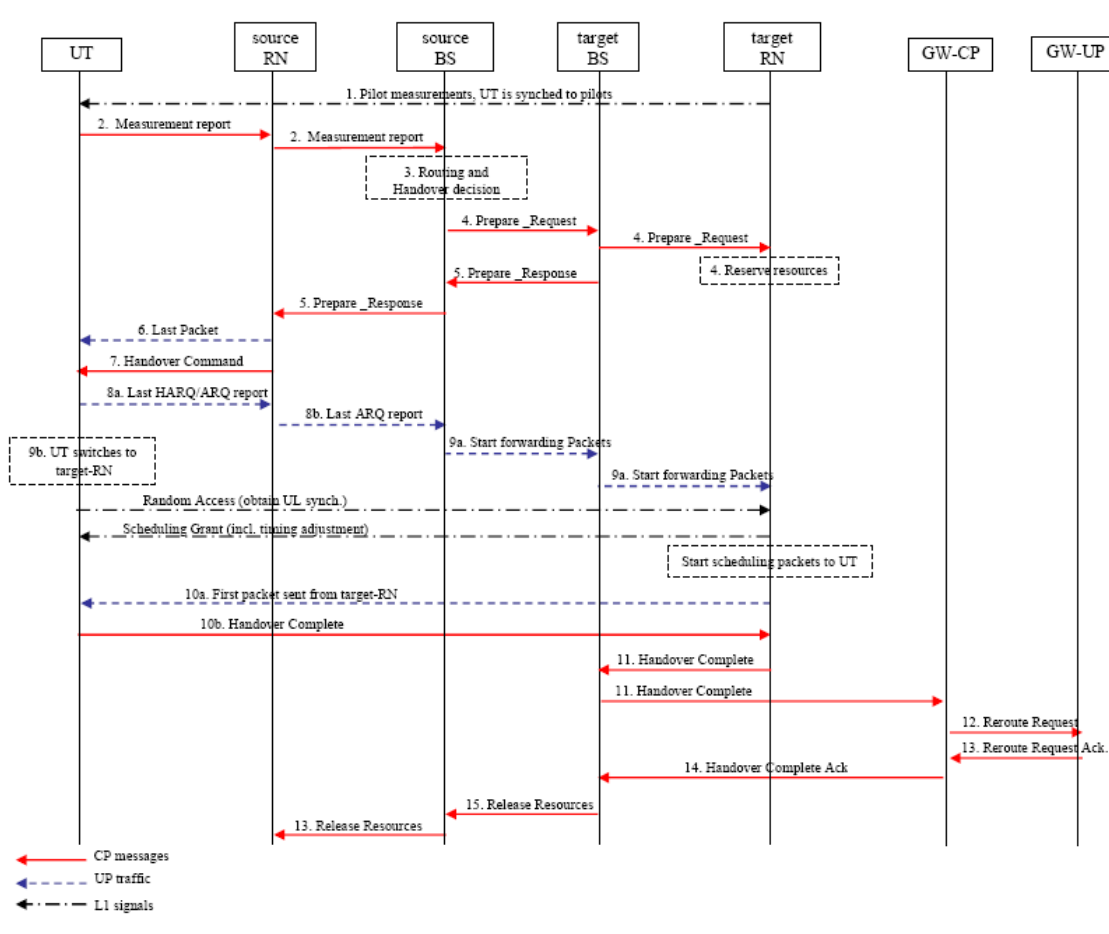


Figura 3.3.1.2.3.1 Handover Inter-REC

En el caso del handover inter-REC son los nodos de diferentes celdas lo que se ven implicados en el proceso, y por tanto será necesaria la comunicación entre las BSs de cada celda ya que serán ellas las que manejen los recursos de la red.

Así según el diagrama de intercambio de mensajes mostrado en la figura 3.3.1.2.3.1 los mensajes empleados siguen siendo los mismos que en los dos casos explicados anteriormente, es decir handover entre BSs y handover intra-REC, únicamente que la petición de reserva de recursos (Prepare-Request) será enviada desde la BS origen a la BS destino y ésta a su vez la mandará al nodo relay destino ya que la BS destino tiene que estar informada de todo lo referente a la gestión de recursos en su celda y del mismo modo la información de usuario (Prepare-response) será enviada a la BS fuente y ésta a su vez la enviará al nodo fuente.

Seguidamente al igual que en los otros dos casos se termina en envío de mensajes ARQ con el nodo antiguo, se envían los paquetes enviados por el UT en la celda anterior al nodo destino a través de la BS destino, se procede al proceso de sincronización y se comienza con el envío de paquetes.

3.3.2 IDLE MODE

Ya hemos visto como se realizaría un handover en el modo denominado activo (active mode), y a continuación se explica la otra propuesta estudiada por el proyecto WINNER en [2], denominada modo inactivo (idle mode).

En este caso los terminales no son conocidos por una celda a la que pertenecen como es el caso del modo activo, sino por un área mayor denominada paging. Cuando se configura un área paging en la red siempre se debe llegar a un compromiso entre la carga y el tamaño del área, ya que áreas paging pequeñas conducen a cargas paging pequeñas en el sistema, es decir menos mensajes paging de localización de usuario, pero más mensajes de actualización necesarios puesto que el UT cambiará más de área. Por el contrario áreas paging grandes generan más carga paging pero menos mensajes de actualización. Además es deseable que exista flexibilidad a la hora de la asignación de las áreas paging a los usuarios de modo que un UT estacionario sea asignado a un área pequeña, mientras que un usuario en movimiento constante, se asigne a un área mayor.

Para intentar llegar a éste compromiso entre carga paging y tamaño del área, el proyecto WINNER en [2] propone dos soluciones:

- .Múltiples áreas paging asignadas a un UT de manera que si el UT se mueve de un área a otra en la que está registrado, no tendrá que generar ningún mensaje de actualización.
- .Permitir que las celdas pertenezcan a más de un área paging. Así pueden enviarse dentro de una misma celda varios identificadores de áreas paging a los UTs de modo que un UT que se mueva dentro de las áreas paging asignadas a su celda no tendrá que enviar mensajes de actualización (salvo los de actualización periódica como en el caso anterior) generando menos carga en la red.

El modo inactivo se basa en realizar un seguimiento de los terminales de una manera eficiente de modo que se produzca un ahorro considerable de potencia en el UT. Por ello a continuación se explica el concepto de paging y como se realiza ese ahorro de potencia.

3.3.2.1 PAGING

El paging consiste básicamente en la localización del usuario a través del GW, el cual buscará al UT en todas las celdas del área paging a la que pertenece, de modo que el usuario responderá a los mensajes paging de búsqueda mediante un mensaje de actualización de celda y pasará al modo activo para realizar el handover tal y como se explicó en la sección 4.3.2

Para permitir este ahorro de potencia, el UT en un modo inactivo sólo despertará ocasionalmente y escuchará el canal paging, para ver si está siendo localizado dentro de esta área, el canal de broadcast, y el canal pilot a través del cual recibirá las señales de control necesarias para evaluar si debe realizar una re-selección de celda. En el caso de que esta nueva celda elegida se encuentre en un área paging diferente el UT informará a la red mediante un mensaje paging de actualización.

3.4 CONTROL DE FLUJO

Una de las funciones imprescindibles en toda red de comunicaciones es el control de flujo que consigue evitar la saturación de los nodos de la red los cuales no pueden procesar la información tan rápidamente como les llega.

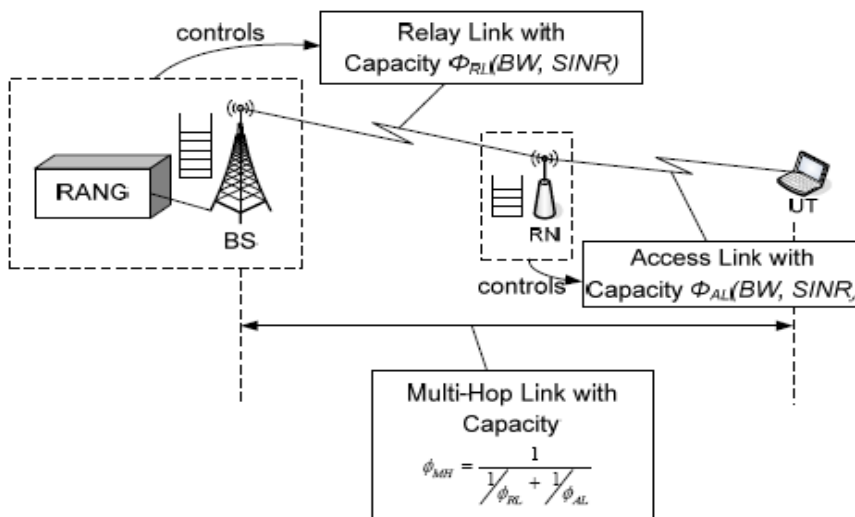


Figura 3.4.1 Mecanismo de control de flujo

Tal y como muestra la figura 3.4.1 la velocidad de transmisión en una red multisalto está compuesta por la contribución de dos enlaces inalámbricos con diferentes calidades de enlace que en el caso de la red 4G se denominan enlace de acceso y enlace relay. La capacidad de cada enlace depende tanto del ancho de banda disponible como de la señal a ruido. La capacidad total será restringida por el enlace más lento el cual suele ser el enlace de acceso mostrado en la figura superior.

Los nodos intermedios al contrario que los usuarios no consumen los paquetes recibidos sino que los encolan en sus colas de salida en caso de que el enlace esté ocupado para después reenviarlos. Por ésto un mecanismo adecuado de control de flujo permitirá que las colas de salida de los nodos sean menores reduciendo por tanto su coste.

En cuanto al mecanismo de control de flujo surge una cuestión en cuanto a si es necesaria una función de control de flujo en los RAPs o si con un mecanismo adecuado de partición de recursos es suficiente. Para llegar a ver cuál de las dos opciones es más conveniente es necesario ver qué posibilidades aparecen en relación al control de flujo para evitar la congestión. Por un lado puesto que como ya hemos mencionado la capacidad del enlace de acceso es menor que la del enlace relay, se puede optar por incrementar esta capacidad requiriendo un mayor ancho de banda que puede ser proporcionado por el mecanismo de RRM, pero si no se dispone de recursos suficientes como para mejorar la capacidad, entonces la solución a adoptar será reducir la velocidad del enlace relay de modo que las tasas de los dos enlaces queden adaptadas. Así puede llegarse a la conclusión de que un mecanismo eficiente de reparto no es suficiente para el control de flujo.

Por tanto si lo que se pretende es reducir la tasa binaria del enlace relay se debe informar al RAP de tal reducción y esta información puede ser transmitida al RN mediante un mecanismo de stop and go o un mecanismo avanzado como se explicará a continuación.

3.4.1 STOP AND GO (CONTROL DE FLUJO SIMPLE)

Este mecanismo consiste en enviar mensajes pequeños de 1 bit para avisar a un nodo de la red de que se hay congestión y pare por tanto la transmisión. Así por ejemplo en el esquema de la figura 4.4.1 el nodo relay puede enviar un mensaje de parada a la BS para que pare la transmisión de datos hasta que la cola del RN vuelva a su estado normal.

3.4.2 CONTROL DE FLUJO AVANZADO

El RN transmite a la BS información acerca del estado actual de su buffer de transmisión, esta señalización del estado del RN puede hacerse observando los mensajes ARQ de modo que la BS actúe parando o reanudando la transmisión.

3.5 CONCLUSIÓN

Las funciones de gestión de recursos de una red de comunicaciones móviles permiten una utilización óptima de los mismos, algo imprescindible puesto que el espectro electromagnético es un bien limitado.

En este capítulo se han explicado los tres tipos de algoritmos de reparto estudiados en WINNER, el centralizado, el jerárquico y el distribuido según sea un nodo central el que tome la decisión de reparto, según se establezca una jerarquía entre nodos, o según haya una negociación entre RAPs.

Un tema fundamental también tratado aquí es el del handover, a través del cual se puede gestionar un traspaso no sólo entre celdas sino también entre nodos relay de la misma celda, concluyendo que será la BS la encargada de tomar la decisión de Handover y únicamente en caso de fallo será el usuario el que tome esta decisión.

También es importante mencionar que hay siete tipos de handover posibles, de los cuales han sido explicado tres de ellos. El que se produce entre estaciones base de celdas distintas, el que se genera entre nodos de la misma celda y el producido entre nodos de celdas distintas.

Mencionar por último que las funciones de control de flujo también son necesarias, de manera que se evite la congestión de la red, usando un protocolo de stop and go o un mecanismo de control de flujo avanzado.

Capítulo 4

Radio Link Control

4.1 INTRODUCCIÓN

En general las redes de comunicaciones introducen incertidumbres que afectan a la fiabilidad de transmisión de información. Funciones de scheduling, protocolos de retransmisión y esquemas de encaminamiento son algunas técnicas que pueden alterar la secuencia de transmisión o recepción de paquetes generando incertidumbre.

Por lo tanto trataremos en profundidad la capa RLC (Radio Link Control) que será la encargada de proveer a las capas más altas de la transferencia de paquetes fiable para evitar que se produzcan, entregas fuera de orden, retransmisiones ambiguas o paquetes duplicados entre otras.

En este capítulo se explica el funcionamiento de la capa RLC, así como algunas de sus funciones más importantes. Entre estas funciones destaca la segmentación de aquellos paquetes que tengan una longitud mayor que la permitida por el bloque de transporte (chunk) puede encontrarse información acerca de la segmentación y reensamblado en [4].

Por último se explica en qué consiste el protocolo ARQ y que novedades debe introducir con respecto a las redes convencionales, ya que ahora se producirán handovers con más asiduidad haciendo necesario un protocolo más fiable de corrección de errores. La realización del handover en el marco de ARQ se encuentra detallada en [4].

4.2 FUNCIONAMIENTO DE LA CAPA RLC

Antes de comenzar con la explicación del funcionamiento de la capa RLC es necesario conocer la terminología empleada. Así los RLC SDUs (Service Data Units) son las unidades que conforman un PDU RLC (Protocol Data Unit RLC) como resultado del proceso de segmentación y reensamblado tratado en la siguiente sección.

La capa RLC consiste en entidades que están compuestas por un lado transmisor y un lado receptor como puede observarse en la figura 4.2.1. Las capas más altas entregan SDUs al lado emisor y el lado receptor entrega SDUs a las capas superiores. Por otro lado el lado emisor de la entidad transmite RLC PDUs y el lado receptor recibe PDUs, ya que como se ha comentado los RLC SDUs se encapsulan en un RLC PDU.

La capa RLC además puede realizar funciones de protección de confidencialidad de modo que los PDUs transferidos no estén disponibles para individuos no autorizados, entidades o procesos. Pero cada usuario puede tener unos requisitos diferentes de confidencialidad de manera que la capa RLC sea configurable y tome acciones distintas en función de los errores observados ya que ciertos usuarios pueden tolerar cierto tipo de errores que otro no, como es el caso de TCP por ejemplo, que tolera la llegada de paquetes fuera de orden mientras que para el caso de redes con funciones de control esto no es así. En definitiva no todos los errores deben concluir en el mismo tipo de acciones ya que cada usuario tendrá sus requisitos de confidencialidad y seguridad.

La operación de la capa RLC expuesta en la figura de abajo, puede ser ejemplificada con una implementación que asegure la entrega de paquetes en secuencia, sin duplicados ni errores residuales. El lado emisor de la entidad transmisora asigna un número de secuencia único a los SDUs entrantes, y los PDUs resultantes, son almacenados en el buffer de retransmisión. Estos paquetes además son cifrados antes de ser incorporados en un MAC SDU. Por otro lado el lado receptor de la entidad receptora descifra los PDUs que le llegan y los duplicados son eliminados. Además estos paquetes que van llegando serán almacenados en el buffer de recepción para su entrega en orden a las capas más altas. A continuación el lado receptor de la entidad receptora envía información de estado de los paquetes recibidos a su lado emisor (usando 'send ACKs como se muestra en la figura inferior) para que éste envíe el correspondiente ACK a la entidad transmisora.

Una vez que el emisor recibe la información de estado de sus PDUs enviados, su lado receptor envía esta información al buffer de retransmisión ('received ACK en figura 4.2.1). Finalmente los paquetes asentidos mediante un ACK son eliminados del buffer de retransmisión mientras que el resto serán retransmitidos por el lado emisor de la entidad transmisora.

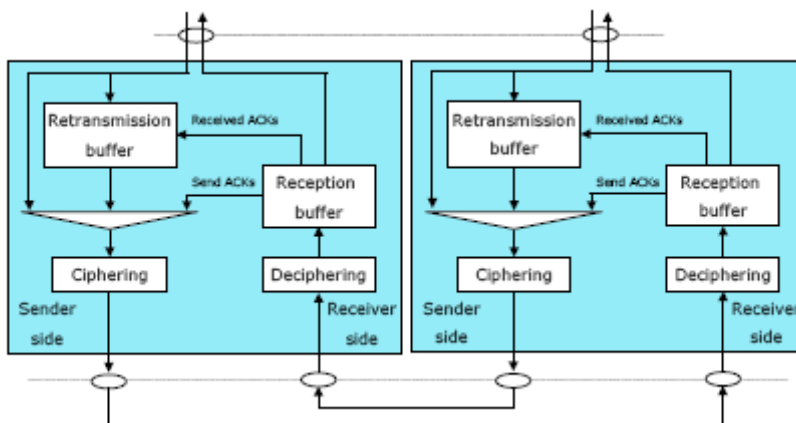


Figura 4.2.1: Modelo capa RLC

Para una mejor comprensión de este apartado es necesario referirse a la función de segmentación y reensamblado de la capa RLC, que es explicado a continuación.

4.3 SEGMENTACIÓN Y REENSAMBLADO

La unidad física de transmisión asignada por el esquema de reparto de recursos empleado es denominada chunk y es explicada en el capítulo 6. El flujo de datos manejado por la red móvil es de tamaño variable, lo cual causa un problema a la hora de adaptar ese flujo a la unidad de transmisión (chunk), surgiendo la necesidad de un esquema de segmentación y reensamblado.

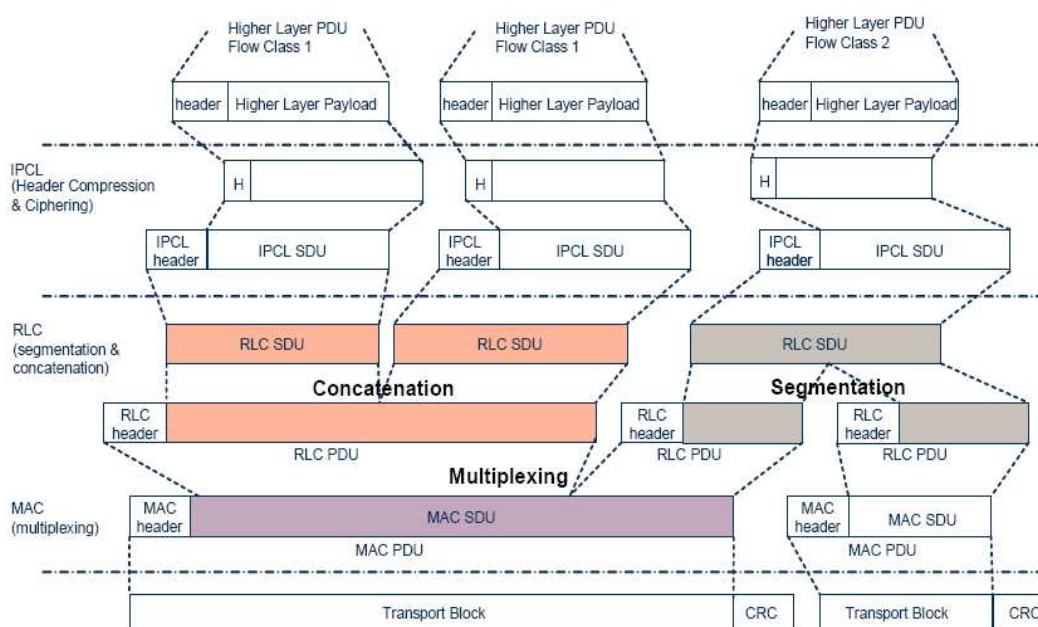


Figura 4.3.1 Segmentación, reensamblado y multiplexado desde las capas más altas a los bloques de transporte

En la figura 4.3.1 se muestra el esquema de segmentación y reensamblado empleado en [3], donde la finalidad es adaptar el tamaño del RLC PDU al tamaño del bloque de transporte. Basado en la decisión del planificador una cierta cantidad de datos se selecciona del RLC SDU y se divide en partes más pequeñas o se concatena dependiendo de su tamaño y añadiendo un número de secuencia que formará parte de la cabecera. Los bits que componen la cabecera de un paquete RLC son explicados en la siguiente sección. Se propone además que se puedan concatenar RLC SDUs de diferentes flujos de datos pero de la misma clase de flujo, es decir de un flujo identificado por los mismos atributos (máxima velocidad de bit, retardo...), así

un bloque de transporte sólo contiene un PDU RLC por clase de flujo salvo en dos excepciones que son, la retransmisión de un PDU y la re-segmentación de un RLC-PDU porque es más grande que el bloque de transporte.

Para minimizar la cantidad de señalización requerida RLC PDUs procedentes de varios flujos pero destinados al mismo UT pueden ser multiplexados en la capa MAC incluyendo entonces información de la multiplexación en la cabecera. Del mismo modo PDUs de varios usuarios destinados al mismo nodo relay pueden también multiplexarse.

Finalmente en la capa física cada MAC PDU se corresponde con un bloque de transporte el cual es transmitido dentro de una trama, añadiendo unos bits de CRC a este bloque de transporte para detectar en recepción si se ha producido algún error en la transmisión.

A continuación se explican cada uno de los campos de la cabecera RLC y MAC que permitirán tanto una mejor comprensión de la función de segmentación y reensamblado, así como ver que campos son necesarios para llevar a cabo esta función.

4.3.1 CAMPOS DE CABECERA RLC/MAC

La cabecera RLC incluye: un número de secuencia e información de concatenación y segmentación para permitir el reensamblado de RLC PDUs. Esta cabecera no incluye bits de CRC

La cabecera MAC incluye información de multiplexado necesaria para poder demultiplexar la trama MAC en el destino. Esta cabecera no contiene números de secuencia ya que están disponibles a un nivel superior.

En la figura de abajo puede observarse como es la cabecera RLC/MAC y de que campos se compone.

	MAC MUX Header				RLC PDU Identification Header				RLC Re-segmentation Header		RLC SDU Reassembly Header					Payload
Short name	FC	LF	EX	...	T	SN	P	RF	SO	LS	SF	EF	EB	LI	...	
Length (bit)			1		1		1	1		1	1	1	1			
Long name	Flow Class ID	Length Field	Extension Flag	Further FC, LF, EX	Type Field	Sequence Number	Poll Bit	Resegmentation Flag	Resegmentation offset	Last Segment Flag	Start Flag	End Flag	Extension Bit	Length Indicator	Further E, LI	

Figura 4.2.1.1 Cabecera RLC/MAC

MAC MUX HEADER

Indica el número de RLC PDUs multiplexados, la clase de flujo a al que pertenece un paquete y la longitud de su campo de datos en bytes.

RLC PDU IDENTIFICACION HEADER

Campo de tamaño constante identificador de cada RLC PDU

RLC RE_SEGMENTATION HEADER

Sólo aparece si el flag de re-segmentacion esta activado.

Indica la posición del segmento de datos del RLC-PDU dentro del paquete original.

RLC SDU REASSEMBLY HEADER

Contiene información para el reensamblado de RLC SDUs El tamaño de este campo dependerá del numero de SDUs. En caso de resegmentacion este campo es sólo requerido en el primer segmento.

MAC UT MUX HEADER

Este campo lo añade el usuario y es requerido para multiplexar datos de varios usuarios en el enlace BS-RN.

4.4 PROTOCOLO ARQ

En las redes celulares tradicionales un protocolo ARQ de un único salto (SH ARQ protocol) es suficiente para alcanzar una alta fiabilidad en el transporte de información, sin embargo las redes multisalto para garantizar una tasa de error residual (PER) requerida, soportar la movilidad y disponer de la misma fiabilidad de las redes de un solo salto deben incorporar un protocolo ARQ extremo a extremo (e2e ARQ protocol) en adición al protocolo ARQ de un solo salto.

La capa responsable de la ejecución del protocolo ARQ, es la capa RLC y será la capa MAC la encargada de transportar los mensajes ARQ sobre el medio físico.

En [1] se proponen tres posibles soluciones en cuanto a protocolos ARQ e2e una de ellas llamada layered ARQ, otra denominada relay-ARQ y por último el Multi-hop ARQ. Todos ellos son explicados a continuación y detallados en [4] y [9].

4.4.1 LAYERED ARQ

Esta solución se basa en disponer de dos capas de recuperación de errores que en la figura 5.4.1.1 se denotan como L2 y L2' de manera que la capa más baja provea al sistema de un protocolo de recuperación de errores por salto y la capa superior lo haga extremo a extremo. Sin embargo este modelo en capas del protocolo ARQ puede causar algunos problemas:

- Primeramente este modelo puede causar interferencias perjudiciales puesto que hay dos capas diferentes que pueden retransmitir datos que no hayan llegado o hayan llegado incorrectos al destino. De modo que los datos puedan retransmitirse por duplicado, es decir, una vez por la capa superior y otra vez por la inferior desaprovechando por tanto recursos radio. Configurando la capa L2' de una manera muy conservativa, podemos reducir este efecto, pero como consecuencia la pérdida de paquetes debida al cambio de ruta, es recuperada muy lentamente.
- El protocolo ARQ en capas produce una mayor sobrecarga en la red debido a que las dos capas necesitan recibir y transmitir información de control (por ejemplo dos números de secuencia diferentes).

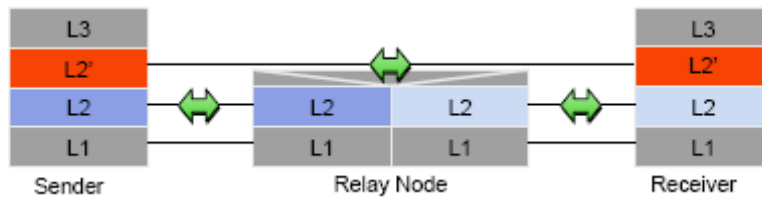


Figura 4.4.1.1 Layered ARQ

4.4.1.1 INNER & OUTER ARQ

Llegados a este punto, es necesario explicar una de las propuestas de WINNER, expuestas en [3] en cuanto a un protocolo en capas.

En las redes multsalto un único protocolo HARQ (Hybrid ARQ) por salto no es suficiente para alcanzar la fiabilidad deseada ya que, aunque WINNER esté diseñado para un bajo RTT, aunque se transmitan mensajes ARQ de manera muy frecuente más en concreto en cada trama con el mínimo tamaño y en recursos preasignados, o incluso en los propios mensajes de datos para no generar mucha sobrecarga a la red, resulta aún muy costoso alcanzar la citada fiabilidad de la que debe disponer la red.

Por ello en WINNER se propone la utilización de un protocolo ARQ formado por dos capas, denominado Outer-ARQ (para la capa más alta, el cual termina en la capa RLC) e Inner-ARQ (se asume que emplea el protocolo HARQ y acaba en la capa MAC). Otra motivación para el empleo de esta aproximación en capas es su fácil soporte del handover entre RECs.

Antes de continuar explicando el funcionamiento del protocolo en capas es necesario aclarar que es HARQ y en que se basa su funcionamiento. HARQ permite una rápida recuperación de errores en redes celulares, almacenando los paquetes que hayan sido recibidos incorrectamente en lugar de descartarlos incluso si los paquetes retransmitidos tienen errores, ya que un paquete bueno puede ser derivado de la combinación de varios paquetes incorrectos. La idea de este protocolo ARQ mejorado es añadir a los datos, además de bits de detección de error (ED) un bloque de corrección de errores (FEC, Forward error correction), como consecuencia el protocolo HARQ funcionará mejor que el ARQ en condiciones de baja señal.

Pueden distinguirse dos tipos de HARQ el tipo uno y el tipo dos, en el tipo uno se añaden a los mensajes de datos tanto el bloque FEC como los bits ED de manera que se intente corregir en el destino los errores, pero si no pueden corregirse todos ese paquete se descarta y se pide retransmisión. En el tipo dos puedo enviar o sólo los bits ED o los bits ED junto con el bloque FEC, en el caso de que el receptor sólo reciba los bits ED si detecta errores en el paquete pedirá el bloque FEC en la siguiente retransmisión además de los bits ED, si esta retransmisión es correcta se toma ese paquete correcto y si por el contrario llega también con errores crea un paquete correcto a partir de los paquetes incorrectos que le han llegado.

Aunque tanto el protocolo Inner como el Outer son protocolos ARQ, éstos tienen objetivos muy distintos. Mientras que el Inner-ARQ provee de una serie de medios al sistema para la corrección de la mayoría de errores rápidamente y para proporcionar una transmisión eficiente empleando técnicas tales como el protocolo HARQ, el Outer-ARQ debe ser mucho más fiable (incorporando números de secuencia en la información de estado, la cual es protegida mediante un CRC) tratando los errores residuales del protocolo Inner pero sin la necesidad de disponer de tanta velocidad puesto que las retransmisiones serán realizadas con menos frecuencia y por lo tanto no tendrán mucho impacto sobre el retardo total de la red.

Como se ha comentado el protocolo Outer-ARQ puede tratar los errores residuales del Inner-ARQ y pueden distinguirse varias causas de que se den este tipo de errores. Una de ellas es que en lugar de llegar un NACK ante una transmisión errónea, llegue un ACK de modo que el protocolo Inner pierda datos ya que creerá que la transmisión ha llegado al destino correctamente. Otra causa de un tipo de error residual es que se alcance el máximo número de retransmisiones permitidas por Inner.

Una posible solución al problema de la llegada de un ACK en lugar de un NACK, es que la entidad receptora lo detecte mediante el número de secuencia del siguiente paquete que le llega, en caso de que el paquete sea el último de la secuencia el receptor Outer-ARQ puede preguntar a la entidad transmisora por ese paquete perdido mediante un mensaje RLC.

Es importante destacar que la señalización del protocolo ARQ es diferente en el enlace ascendente y descendente, por tanto trataremos ambos por separado.

Transmisión en el enlace descendente

En la figura de abajo se muestra la secuencia de mensajes iniciada en el enlace descendente al producirse un NACK->ACK error, es decir ante la detección de un ACK por parte del receptor en lugar de un NACK, como ya se ha mencionado. A continuación se explica cómo procede el protocolo ARQ ante un error de este tipo.

- .Si el receptor Inner-ARQ detecta que los datos que le llegan son erróneos, éste responde con un NACK, si este NACK llega correctamente al emisor, éste retransmitirá el bloque de datos que no haya llegado al destino. En caso de que el transmisor interprete que lo que le ha llegado es un ACK en lugar de un NACK se produce un error residual que debe ser tratado por el protocolo Outer-ARQ.
- .Si ocurre un error NACK->ACK el emisor no tiene medios para detectar este tipo de error y de acuerdo al protocolo ya no transmitirá más veces ese bloque de transporte y además podría asignar ese chunk a una nueva transmisión ya sea para el mismo u otro usuario. Por lo tanto se necesita de un mensaje dedicado desde el receptor al emisor para informar de este error.

- .En la capa Inner-ARQ este tipo de error puede detectarse por ejemplo si el tiempo de retransmisión ha expirado sin recibir ninguna retransmisión o mediante la recepción de una nueva transmisión. De manera que llegados a este punto es la capa Outer la que actúa, enviando un mensaje NACK e informando a la BS que la transmisión anterior no se ha recibido correctamente.
- .Para que se pueda recuperar este tipo de error es necesaria la interacción del protocolo Inner y Outer, de manera que el Inner informe al Outer mediante un PDU de control acerca de que datos son los que han llegado erróneamente y el Outer envíe el mencionado NACK (feedback) al transmisor y éste sea capaz de interpretar que paquetes son los afectados. Así la capa Outer del transmisor realizará la retransmisión de un PDU o un segmento de él.
- .Finalmente para mejorar la recuperación de errores es posible usar polling Outer-ARQ, es decir si un receptor detecta que el último paquete de la secuencia no le ha llegado, porque ha expirado el tiempo de retransmisión, puede hacer una petición explícita de retransmisión.

Transmisión en el enlace ascendente

En el caso de que la comunicación sea en sentido ascendente y ocurra un error NACK->ACK, el usuario no tiene medios para detectarlo y simplemente dejará de transmitir ese bloque de transporte, sin embargo la BS está esperando una retransmisión, de modo que tal y como ocurriría en el enlace descendente puede generarse un mensaje de control que se envíe desde la capa Inner a la Outer y éste envíe un mensaje feedback como el mostrado en la figura de abajo

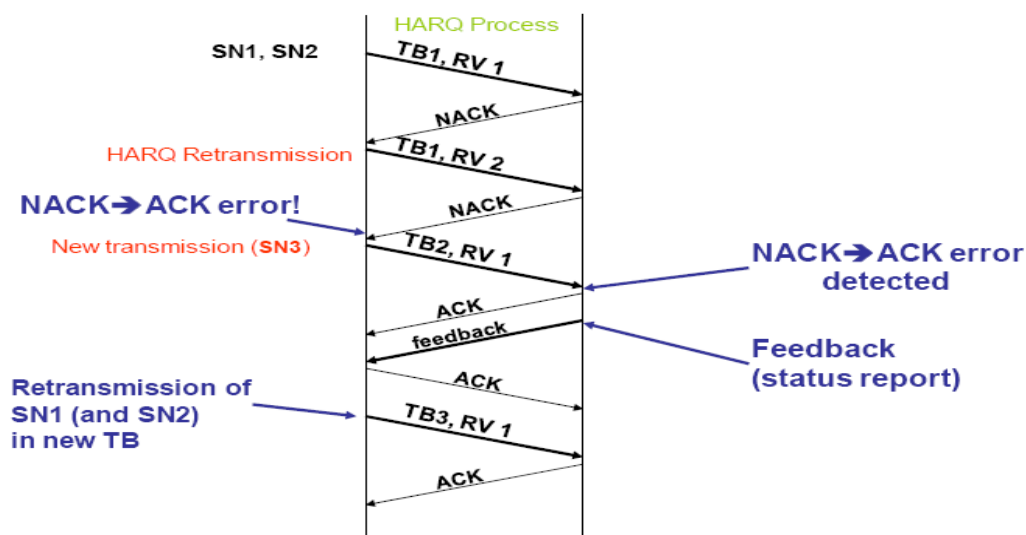


Figura 4.4.1.1.1: Detección de un ACK en lugar de un NACK

4.4.2 RELAY-ARQ

El principio básico de este esquema es definir un único protocolo de recuperación de errores que se extienda sobre toda la ruta multisalto, en lugar de disponer de un protocolo de capa dos diferente en cada salto como ocurría en el caso anterior. Esto puede llevarse a cabo haciendo que las transmisiones a lo largo de la cadena de enlaces de la red multisalto estén basadas en los mismos PDUs de capa L2, incluyendo el uso del mismo número de secuencia.

Cuando un nodo intermedio recibe los datos satisfactoriamente contesta mediante un mensaje denominado RACK (relay Acknowledgement). Este mensaje (RACK, correspondiente a los ACKs por cada salto en el protocolo por capas) indica al nodo previo que los paquetes de datos han sido recibidos con éxito en el siguiente salto. Por lo tanto el nodo previo delega la responsabilidad de la retransmisión en caso necesario al nodo siguiente. Además los datos enviados no han sido aun eliminados del buffer de transmisión, éstos serán únicamente eliminados cuando el paquete de datos sea recibido por el receptor final y un final ACK (correspondiente al e2e ACK en la aproximación por capas) sea enviado de vuelta para que todos los nodos en la ruta borren los datos de la ventana ARQ.

En caso de que un nodo deba retransmitir un paquete no habrá posibilidad de una retransmisión duplicada, puesto que ahora sólo se dispone de una capa de nivel dos tal y como muestra la figura de abajo.

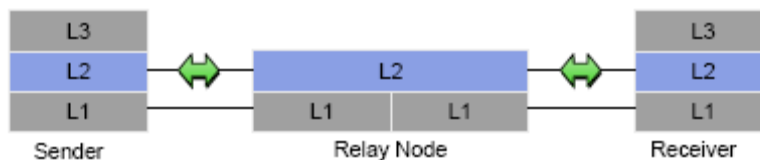


Figura 4.4.2.1: Relay ARQ

4.4.3 MULTI-HOP ARQ

Como ya hemos visto en las redes multisalto es necesario incorporar un nuevo protocolo ARQ para una transferencia de información fiable. Así es necesario incluir además del protocolo ARQ por salto, un protocolo extremo a extremo que nos asegure la citada fiabilidad en caso por ejemplo de producirse un handover y que se estudiará a continuación.

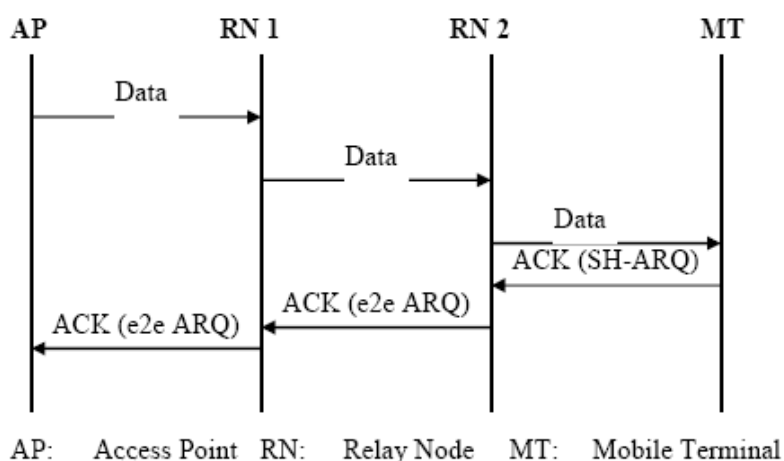


Figura 4.4.3.1 Multi-Hop ARQ para el enlace descendente.

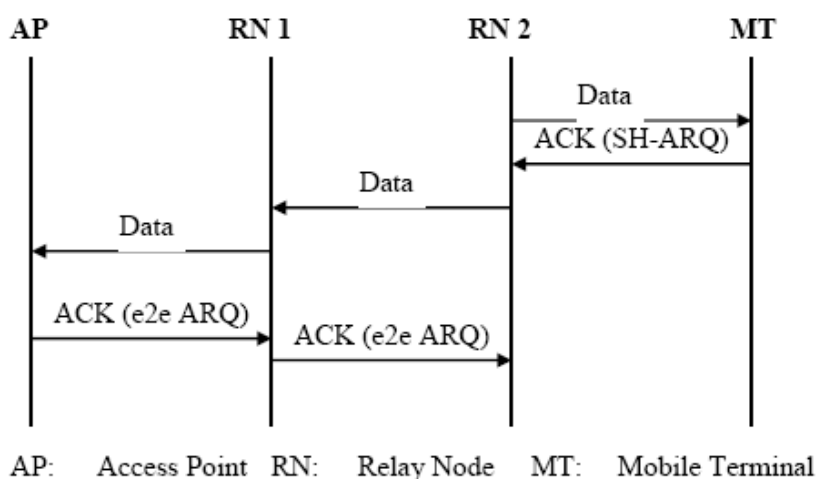


Figura 4.4.3.2: Multi-Hop ARQ para el enlace ascendente

En las figuras 4.4.3.1 y 4.4.3.2 se muestra el intercambio de mensajes producido en este protocolo ARQ multisalto en el supuesto de una ruta multisalto formada por dos nodos, un usuario y una estación base.

En el caso del enlace descendente los datos enviados por la BS al nodo uno, son reenviados por éste hacia el nodo dos y éste a su vez hacia el usuario. El usuario, como respuesta a una recepción exitosa genera un mensaje ACK por el protocolo SH-ARQ, este ACK provoca a su vez en el nodo dos la generación de un mensaje ACK producido por el protocolo e2e ARQ, el cual llegará a la BS para confirmar la recepción de sus mensajes enviados.

En el caso del enlace ascendente (figura 4.4.3.2) el flujo de mensajes transmitidos es bastante similar, pero en este caso el nodo 2 irá almacenando los datos recibidos del usuario y únicamente los borrará del buffer de transmisión cuando reciba un ACK e2e generado por la BS.

4.4.3.1 VENTAJAS DEL PROTOCOLO ARQ MULTISALTO

La nueva aproximación empleada en cuanto al protocolo ARQ es necesaria en redes multisalto para asegurar tanto una transmisión de información fiable salto a salto como extremo a extremo, además de cómo ya se ha comentado soportar eficientemente el handover.

El protocolo M-ARQ (multi-hop ARQ) ofrece las siguientes características y ventajas:

1) Transparencia para los terminales móviles:

La incorporación de un protocolo e2e es transparente al usuario, ya que éste no encontrará ninguna diferencia entre conectarse a la BS directamente o a el RN.

2) Soporte de QOS en redes Multisalto:

Garantizar una determinada QOS, específicamente una tasa de error de paquete residual, es muy importante en los futuros sistemas que soporten ARQ.

3) Bajo coste y complejidad de los terminales móviles:

Los buffers del e2e ARQ están localizados en la BS y los RNs pero no en los usuarios de manera que esto reducirá los costes hardware de los mismos, ya que el protocolo e2e ARQ requiere mayores colas que el protocolo SH-ARQ que si es incorporado en el usuario, debido a que las colas del e2e ARQ dependen del tiempo de ida y vuelta (RTT) el cual aumenta en redes multisalto.

4) Integración flexible de terminales móviles que usan protocolos ARQ diferentes:

La nueva propuesta permite una integración flexible de diferentes usuarios que empleen diferentes protocolos ARQ. Debido a la separación del protocolo ARQ en un protocolo SH-ARQ y en un protocolo e2e ARQ, la integración de un nuevo protocolo ARQ es bastante fácil. Sólo es necesaria la integración de una función que interprete la entrega de paquetes correctos en el último salto entre BS/RN y usuario. De cara al usuario no se necesita hacer ninguna modificación para operar en la red multisalto.

5) Optimización independiente del protocolo e2e ARQ y el SH-ARQ:

Debido a la poca fiabilidad de los enlaces inalámbricos WINNER propone en [1] como una característica opcional del sistema la incorporación de un segundo protocolo ARQ entre nodos y entre la BS y el último nodo denominado SH-ARQ2 el cual puede ser empleado en ambos sentidos de la comunicación.

El protocolo SH-ARQ empleado entre el RN2 y el UT puede ser diferente del protocolo ARQ entre RNs y entre la BS y el RN1, de manera que se diseñe el protocolo ARQ más conveniente en cada caso, optimizando cada uno de ellos para las condiciones en las que vaya a funcionar.

Además como puede observarse en la figura 4.4.3.2 el protocolo SH-ARQ2 puede solaparse con el e2e de modo que éstos intercambien información de estado para mejorar el rendimiento del sistema.

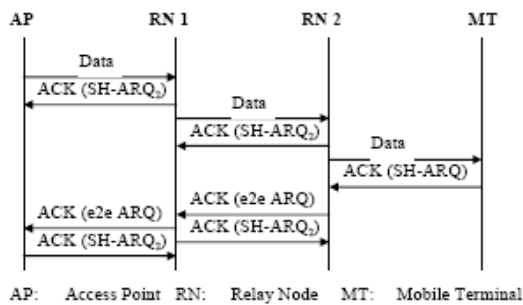


Figura 4.4.3.1.1: Protocolo SH-ARQ2

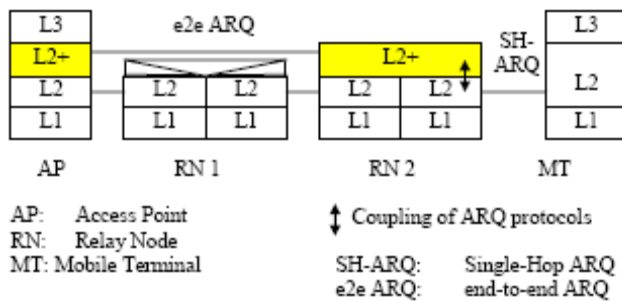


Figura 4.4.3.1.2: Modelo por capas del protocolo ARQ en una red multisalto

4.4.3.2 PROPUESTAS DEL PROTOCOLO ARQ MULTISALTO EN WINNER

Después de todo lo visto acerca del protocolo ARQ y de las nuevas posibilidades que éste debe ofrecer, es necesario estudiar las propuestas de WINNER en cuanto a mecanismos de retransmisión se refiere.

Como comentamos anteriormente, las redes multisalto deben ser igual de fiables que las redes de un salto, por tanto son necesarias dos capas de retransmisión que como ya hemos visto se denominan Inner y Outer y que deben permitir entre otras cosas la gestión eficiente de los handovers.

En [3] se explican dos posibilidades en cuanto al mecanismo de recuperación de errores en redes multisalto.

Propuesta 1

En este caso el protocolo Outer ARQ no varía con respecto a lo explicado anteriormente en la sección 4.4.1.1 y estará disponible tanto en el UT como en la BS tal y como se muestra en la figura. Una de las ventajas de este esquema es que no se

incurre en una sobrecarga para las conexiones de un único salto ya que seguirán empleando un protocolo ARQ de un solo salto. Sin embargo este mecanismo presenta un inconveniente, y es que si se produce un error en el segundo enlace la información debe ser retransmitida sobre toda la ruta multisalto, generando retransmisiones innecesarias en el primer salto. Además los mensajes feedback necesitarán atravesar ambos enlaces también.

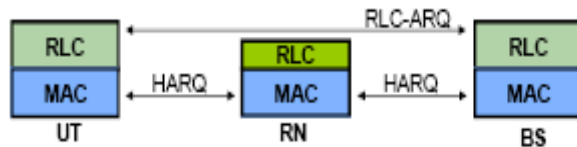


Figura 4.4.3.2.1: Outer-ARQ sólo entre BS y UT

Propuesta 2

En este caso se mejora Outer-ARQ incorporando relay-ARQ en el nodo intermedio. Así el nodo intermedio puede responder al transmisor con tres tipos de mensajes ARQ:

- Nack : mensaje no recibido por el RN
- RACK: mensaje recibido por el nodo pero no por el receptor final
- ACK: mensaje recibido por RN

Este caso esquematizado en la figura inferior, tiene una serie de beneficios con respecto al caso anterior, y es que ahora los errores en el segundo salto sólo conducirán a retransmisiones en el segundo salto y no sobre toda la ruta multisalto, además la BS, en caso de que se produzca algún error en el segundo enlace (NACK->ACK error), podrá pedir retransmisión al RN directamente sobre un solo salto. Por otro lado durante el proceso de handover la BS puede preguntar al RN sobre información de estado del UT (si fuese necesario el RN preguntaría al UT por su estado).

El inconveniente principal es que se necesita un bit más para los mensajes ARQ, pero se asume que el efecto de éstos es muy pequeño.



Figura 4.4.3.2.2: Outer-ARQ con relay-ARQ en el RN

4.4.3.3 SOPORTE DE MOVILIDAD EN EL MARCO DE ARQ

En el capítulo 3 dedicado a RRM se explica en detalle el mecanismo empleado para la gestión del handover. Esta función es fundamental para que no se produzcan pérdidas de paquetes durante el traspaso de una celda a otra, pero para que éste sea posible, es necesario un protocolo de retransmisiones adecuado tal y como se vio anteriormente.

Por tanto en esta sección estudiaremos los tipos de Handover referidos al protocolo ARQ multisalto estudiados en [4] y explicado previamente.

Un handover requiere un intercambio de información de estado del protocolo ARQ. La información de estado (número de secuencia de los últimos paquetes recibidos correctamente) del protocolo SH-ARQ pasará de la vieja entidad (RN o BS) a la nueva, para continuar la transmisión de paquetes y evitar la retransmisión de paquetes que hayan sido satisfactoriamente recibidos en la vieja entidad pero aún no hayan sido reconocidos.

A continuación se explica cada caso de handover posible por separado.

4.4.3.3.1 HANDOVER DESDE UN RN A UNA BS

En el caso de producirse un handover desde un RN a una BS se distinguen dos casos en el marco del protocolo ARQ multisalto. En el primer caso si hay todavía paquetes perdidos que no han sido correctamente transmitidos en el enlace descendente al usuario, la estación base puede retransmitirlos ya que ellos han sido almacenados en su cola dedicada al protocolo e2e ARQ y no le ha llegado un e2e ACK para que los borre. El segundo caso si los paquetes en el enlace ascendente no han sido recibidos por la BS todavía, éstos serán retransmitidos por el RN hasta que sean reconocidos positivamente con un ACK de la BS.

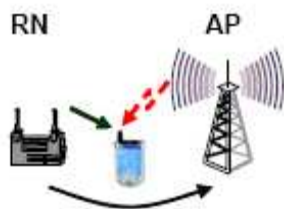


Figura 4.4.3.2.1.1 Handover de un RN a una BS

4.4.3.3.2 HANDOVER DESDE UN RN A UNA NUEVA BS

Este tipo de handover, es muy similar al caso anterior. En este caso para el enlace descendente, todos los paquetes que no hayan sido confirmados (de los que no se haya recibido un ACK) se reenvían a la nueva estación base a la cual el UT estará conectado tras el handover. Sin embargo en el caso ascendente, los paquetes perdidos deben enviarse primero a la estación base fuente y luego a la destino.

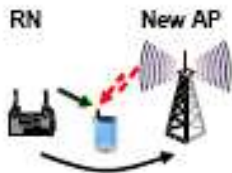


Figura 4.4.3.2.1 Handover desde un RN a una nueva BS

4.4.3.3.3 HANDOVER DE UN BS A UN RN

Antes de que este tipo de handover tenga lugar es necesario que todos los paquetes transmitidos sean almacenados en el buffer e2e ARQ a menos que éstos hayan sido confirmados por el protocolo SH-ARQ ejecutado en el enlace entre la BS y el UT. En el enlace descendente los paquetes que no hayan sido asentidos por el protocolo e2e ARQ, serán retransmitidos hacia el correspondiente nodo al cual se va a conmutar, mientras que en el enlace ascendente el UT retransmite al nodo todos los paquetes que la BS aún no ha reconocido a través del protocolo SH-ARQ.

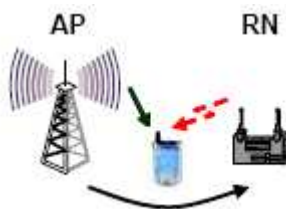


Figura 4.4.3.3.3.1: Handover producido desde una BS a un RN

4.4.3.3.4 HANDOVER ENTRE RNs

Para el enlace ascendente y descendente se aplica el mismo procedimiento que en el caso del handover de una BS a un RN, sólo que en este caso el nodo antiguo toma el papel de la BS transfiriendo la información de estado del protocolo e2e ARQ a el nuevo nodo. Los paquetes que han sido transmitidos en el enlace descendente y que no han sido confirmados en el momento del handover, serán retransmitidos por la BS. Además de esto el nodo antiguo podría enviar todos los paquetes e2e ARQ al nodo

nuevo de modo que se evite la retransmisión de los mismos paquetes que la BS. Este proceso de envío de los paquetes e2e ARQ al nuevo nodo, sólo será iniciado si el nuevo nodo está a más saltos de la BS que del nodo antiguo.

En caso de una transmisión ascendente, es decir del UT al RN, el UT retransmitirá todos aquellos paquetes que no hayan sido confirmados al nodo nuevo, el cual los reenviará a su vez hacia la BS.

4.5 CONCLUSIÓN

Las funciones de la capa RLC son muy importantes para evitar la pérdida de paquetes y la sobrecarga de la red al producirse por ejemplo retransmisiones innecesarias, por tanto es muy importante el diseño de un protocolo de retransmisiones adecuado.

La idea básica del proyecto WINNER en cuanto a ARQ, es el empleo de un protocolo formado por varias capas de manera que permita una menor tasa de error en la red.

En este capítulo se ha estudiado en qué consiste este protocolo en capas denominado Inner-ARQ and Outer-ARQ y que mejoras introduce en la red, al no tratarse de un único protocolo monosalto sino que asegura la transmisión fiable de información extremo a extremo.

Por otro lado cuando se produce un handover en la red es necesario un intercambio de mensajes ARQ para evitar la pérdida de paquetes. De ahí la importancia de este protocolo. Así, también hemos tratado en este capítulo los tipos de handover en el marco de RLC para ver en cada caso que mensajes ARQ son necesarios para una gestión eficiente.

En definitiva la capa RLC resulta imprescindible para asegurar una determinada calidad de servicio en la red evitando que se produzcan pérdidas de mensajes.

Capítulo 5

MEDIUM ACCESS CONTROL

5.1 INTRODUCCIÓN

La capa MAC descrita en [4] es la encargada de permitir el acceso a un medio compartido por varios usuarios de manera que no se produzcan interferencias.

El diseño de la capa MAC presenta ciertas características innovadoras como técnicas avanzadas de multiplexado para el acceso al medio y rápida retransmisión para aquellos flujos que sean muy sensibles al retardo.

El objetivo básico en este punto, es dar a conocer como es una trama MAC tanto si se emplea el mecanismo de TDD (Time Division Duplex) o FDD (Frequency Division Duplex), es decir si se usa la misma frecuencia para el enlace ascendente y descendente dividiendo el tiempo en pequeños instantes denominados slots de manera que cada usuario transmita únicamente en su slot asignado (TDD), o si por otro lado se emplea una frecuencia portadora para el enlace ascendente y otra para el descendente (FDD). Además también es importante conocer que funciones tiene esta capa ,y de que canales de transporte se dispone así como su funcionalidad lo cual será abordado a continuación.

5.2 FUNCIONES MAC

El comportamiento del sistema WINNER es descrito en base a la división de sus funciones en plano de control y plano de usuario, por ésto, es posible construir sistemas con adaptabilidad independiente a las funciones de control y a las de transporte de datos a los usuarios, terminando las funciones del plano de control y de usuario en nodos diferentes.

La capa MAC provee al sistema de funciones tanto pertenecientes al plano de control como al plano de usuario como ya se vio en la sección 3.2.

Las funciones básicas que proporciona esta capa a la capa RLC son cuatro y se describen a continuación.

- .Transferencia de paquetes: Transmisión y recepción sobre la interfaz radio de paquetes pertenecientes a algún canal de transporte que serán explicados en el siguiente apartado.

- .Control de recursos radio MAC: Aceptación y ejecución de mensajes de control procedentes de las capas más altas, que requieren una serie de parámetros de transmisión.
- .Control feedback: Mensajes MAC que soporten el control de flujo, el control de la QOS, la asignación del espectro y otras funciones de las capas más altas.
- .Forwarding: Éste es el principal trabajo de los RN. Convencionalmente todos los paquetes recibidos correctamente en la capa MAC son entregados a los protocolos de capa superior, pero al incluir la funcionalidad de forwarding en los RN los paquetes recibidos correctamente son en su lugar encolados y entregados a la capa física. Por tanto es necesario mejorar la capa MAC para que pueda intercambiar paquetes de entrada directamente con un canal de transporte de salida.

5.3 CANALES DE TRANSPORTE

Los canales de transporte pueden definirse como la interfaz entre la capa RLC y la capa MAC, estos canales definen a su vez los tipos básicos de paquetes radio que pueden ser generados por la capa MAC.

Los canales de transporte que conforman el sistema y que servirán para entender el funcionamiento de la capa MAC son:

.Canal Broadcast (BCH, Broadcast Channel): Canal que permite la difusión de información desde las capas más altas a todos los terminales dentro del área de cobertura de la celda.

.Canal de acceso aleatorio (RACH, Random Access Channel): Sirve tanto para el acceso inicial a un dispositivo maestro como para la señalización entre estaciones base en sistemas TDD. El estudio de este canal será retomado en la subsección 6.3.2

.Canal de acceso directo (DACH, Direct Access Channel): Para discusiones basadas en la transferencia de datos en el enlace ascendente.

.Canal de datos común (CDCH, Common Data Channel) para la planificación de la comunicación punto a multipunto.

.Canal para datos (TDCH, Targeted data Channel) usado en la planificación de la comunicación punto a punto.

.Canal de control (TCC, Targeted Control Channel) este canal soporta mensajes de control pertenecientes al plano de control.

De todos ellos los canales más importantes y que serán mencionados a lo largo del proyecto son el BCH y el RAC y por tanto serán explicados con más detalle a continuación.

5.3.1 BCH

En el canal de broadcast por el cual cada RAP envía información de control relevante a sus usuarios como es por ejemplo:

- .El identificador de celda (ID).
- .Ubicación de los recursos usados por cada RAP en una trama MAC de la super trama.
- .Partición de los recursos entre el enlace ascendente y descendente.

Por lo tanto el usuario tras haber recibido el BCH correctamente sabe que ha recibido y decodificado el correcto BCH basándose en el identificador de celda. Además el usuario también conoce cuál de las tramas MAC debe recibir y decodificar en la siguiente super trama, esta información permite al usuario permanecer inactivo durante la duración de las otras tramas MAC para ahorrar potencia.

Es necesaria información adicional sobre el número de saltos y la calidad del enlace para permitir al usuario elegir el mejor RAP si éste puede conectarse con más de uno, ya que en algunos casos podría ser más conveniente conectarse a través del enlace directo a la BS que a un RN debido por ejemplo a las restricciones de retardo u la mejora del caudal sobre el enlace directo.

5.3.2 RANDOM ACCESS CHANNEL

Al comienzo de cada super-trama hay dos slots de sincronización como puede observarse en la figura 6.3.2 Entre éstos slots de sincronización un pequeño período de tiempo sobre el total es reservado al canal RAC que como ya se vio permite el acceso inicial a un dispositivo maestro.

La colocación de este canal y su tiempo de guarda entre los slots de sincronización da a cada RAP el suficiente tiempo para procesar la señal de sincronización del enlace ascendente antes de transmitir la señal de sincronismo del enlace descendente. El RAC en sistemas TDD puede ser usado también para señalización entre estaciones base u entre nodos relay y estación base. Por supuesto la comunicación principal entre RN y BS y entre RNs se realiza en los canales regulares y no en el RAC. Por otro lado las BSs se comunican por el núcleo de red para ahorrar recursos radio.

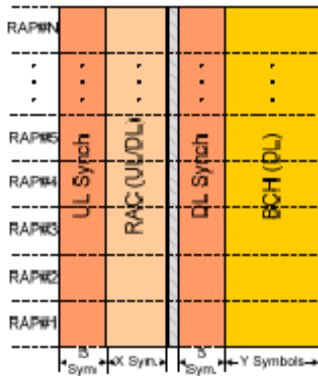


Figura 5.3.2: Preámbulo de la super-trama en el caso TDD

5.4 SUPER TRAMA WINNER MAC

La super-frame (SF) es una unidad en tiempo y frecuencia que dispone de recursos preasignados para cada canal de transporte.

Esta super trama es diseñada para:

- .Sincronización propia de todas las estaciones base involucradas así como de los RNs y los UTs. Ésto permite una mayor eficiencia espectral haciendo innecesarias grandes bandas de guarda y evitando interferencias entre celdas y nodos relay.
- .Permitir la partición de recursos para trabajar eficientemente en conjunto con esquemas de eliminación de interferencia entre celdas, de manera que las estaciones base o un juego de RNs puedan compartir el espectro radioeléctrico sin interferirse entre sí.
- .Permitir el reparto de recursos adaptativo, de modo que este reparto pueda adaptarse a la demanda de tráfico de los diferentes nodos sobre los canales de transporte de una REC.

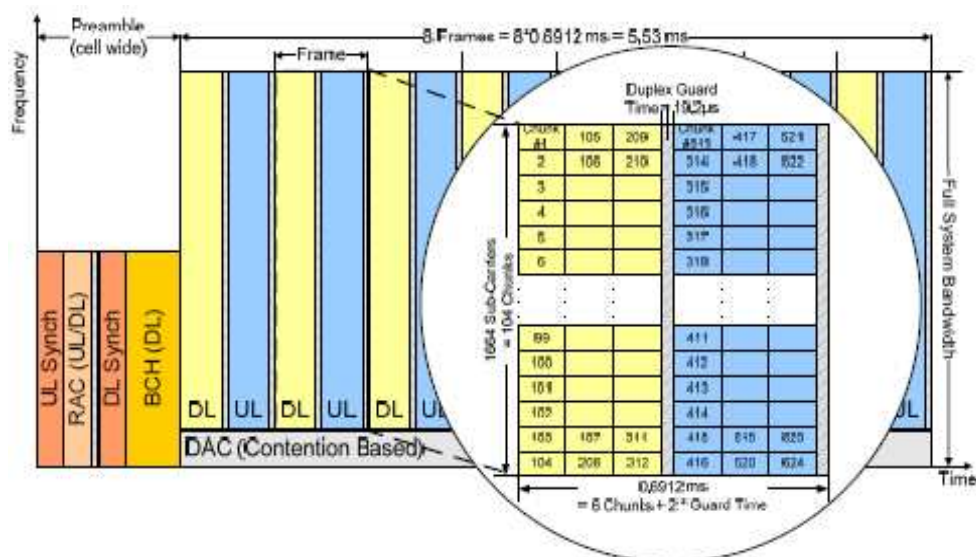
En las dos figuras de abajo se muestran los dos esquemas básicos de una trama MAC, una para el caso TDD y otra en el caso FDD.

La principal parte de la super trama es compartida por el canal DAC, el CDC y el TDC y su señalización relacionada. El canal DAC está formado por un juego de frecuencias sobre el total de la super trama. El inicio de la super trama es el preámbulo, el cual será seguido por un número determinado de tramas MAC que en el caso de la figura de abajo serán ocho dando lugar a super tramas de una duración de 5.6 ms.

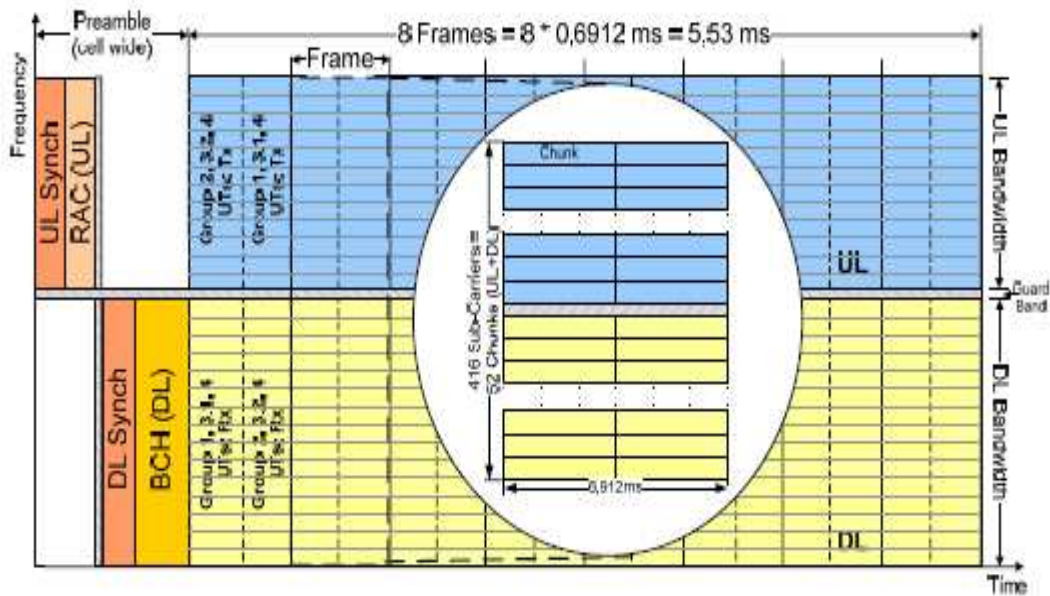
La figura 5.4.1 ilustra cómo es una super trama MAC que emplea el mecanismo de TDD. Como puede observarse cada trama está formada por 6 chunks en el eje temporal. El número de chunks disponibles en el eje de la frecuencia puede variar en función del área geográfica y el espectro disponible. Los tiempos de guarda intentan reducirse al máximo para no desaprovechar recursos.

En el caso FDD (figura 5.4.2) cada trama dispone únicamente de dos chunks por trama en el eje temporal, pero la duración de la super trama es la misma que en el caso TDD. En el modo FDD los flujos de datos hacia/desde terminales half-dúplex (no pueden transmitir y recibir a la vez) se asignan a uno de estos grupos: el grupo 1 transmite en el enlace descendente durante la primera mitad de la trama y en el ascendente durante la segunda mitad. El grupo 2 es el opuesto al grupo 1, es decir cuando el grupo 1 está transmitiendo en el enlace descendente el grupo 2 lo hace en el ascendente y viceversa. El grupo 3 lo forman aquellos terminales half-dúplex que tienen períodos de transmisión flexibles en el enlace ascendente y descendente. Finalmente el grupo 4 lo conforman los terminales full-dúplex.

Lo explicado en el párrafo anterior puede verse reflejado en la primera trama de la figura 5.4.2 y como es de notar los usuarios del grupo 3 son divididos a su vez en el subgrupo 3.1 y el subgrupo 3.2 de manera que uno de ellos transmita en el enlace ascendente en la primera mitad de la trama y el otro lo haga en la segunda mitad pudiendo intercambiarse entre ellos adaptativamente.



5.4.1. Super trama WINNER MAC en el caso TDD



5.4.2. Caso FDD

5.4.1 PREÁMBULO DE LA SUPER TRAMA

El comienzo de una super trama MAC lo conforman los slots encargados de la transmisión del preámbulo. Éstos, están localizados en una banda de frecuencias disponible en todas las celdas al contrario que el resto de la trama que puede usar frecuencias que únicamente estén disponibles en algunas ubicaciones o puedan ser recibidas por algún tipo de usuarios.

WINNER asume un sistema completamente sincronizado, es decir todos los RAPs deben transmitir su preámbulo al mismo tiempo como muestra la figura 5.3.2. Para distinguir entre los preámbulos de varios RAPs es necesario que cada RAP transmita el suyo a una frecuencia diferente. Por tanto cada RAP en el caso TDD trasmite su sincronización a una portadora diferente, es decir transmitirá a esa frecuencia tanto la información de sincronización del enlace ascendente como la del descendente como la del canal RAC como la del canal BCH. De manera que un RN no puede recibir el canal BCH de la BS u otro RN al mismo tiempo que está transmitiendo su canal BCH ya que como se ha mencionado todos los RAPs transmiten su preámbulo al mismo tiempo.

5.5 CONCLUSIÓN

La capa MAC es la encargada de coordinar el acceso al medio de los diferentes usuarios del sistema a través de la asignación de recursos en la supertrama MAC. Las supertramas MAC pueden emplear un esquema TDD, donde cada usuario transmitirá en su slot asignado de manera que no se produzcan interferencias, o un esquema FDD dónde mediante el empleo de frecuencias distintas para el enlace ascendente y descendente se consigue el mismo fin.

La supertrama MAC propuesta en WINNER está formada por 8 tramas MAC dando una duración total de 5.6 ms tanto en el caso TDD como FDD, la única diferencia entre ambas es que en TDD cada trama da lugar a seis chunks en el eje temporal, mientras que las tramas FDD están formadas por dos chunks únicamente.

Por último decir que el preámbulo juega un papel fundamental en la sincronización del sistema. Este preámbulo cuenta de dos slots de transmisión y permite un sistema completamente sincronizado haciendo que todos los RAPs transmitan su preámbulo al mismo tiempo.

Capítulo 6

Simulador

6.1 Introducción

Para la conclusión del proyecto se ha partido de un simulador ya programado en OMNET++ que demuestre todo lo explicado concerniente al protocolo ARQ. OMNET es una librería de simulación que permite implementar un sistema sin preocuparse de la implementación del núcleo de simulación.

Como ya se vio en la sección 4.4 en las nuevas redes de telefonía móvil no es suficiente con disponer de un único protocolo monosalto para conseguir un alto grado de fiabilidad, sino que se debe disponer de un protocolo multisalto donde el nodo relay se vea involucrado en las acciones de retransmisión. La capa responsable de la ejecución del protocolo ARQ, es la capa RLC y será la capa MAC la encargada de transportar los mensajes ARQ sobre el medio físico.

Existen tres posibles soluciones al problema de la fiabilidad en redes de más de un salto que como ya vimos son layered ARQ, relay-ARQ y Multi-hop ARQ. Sin embargo el protocolo de retransmisión ARQ simulado tiene algunas particularidades con respecto a los esquemas propuestos en el capítulo 4 y es que en este caso tanto el nodo relay como el emisor pueden ser capaces de retransmitir en caso de error, pero cada uno de ellos lo hará con una determinada probabilidad, de manera que no se sobrecargue el sistema con retransmisiones innecesarias.

A continuación explicaremos cómo funciona el simulador propuesto detallando que hace cada uno de los módulos que lo componen.

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

- 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) Se compilan los módulos y se enlazan con la librería de simulación de modo que se obtenga un ejecutable.
- 4) Configuración de la simulación.

6.2 MÓDULOS

El simulador empleado está compuesto por una serie de módulos simples que emulan el comportamiento de una red 4G. Los módulos empleados son los siguientes:

- **.Emisor**
- **.Capa física**
- **.Controlador de canal**
- **.Relay**
- **.Destino**

Para la comprensión del simulador a continuación se explica la funcionalidad de cada módulo por separado con la finalidad de obtener una visión global del sistema.

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.

Este algoritmo se basa en que los canales se van asignando en un orden 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) Primeramente el emisor comprobará que usuarios tienen un canal asignado pero no se ha recibido confirmación del nodo relay, con lo cual es necesario retransmitir la trama, ya que el nodo relay no tendrá posibilidad de retransmisión, al no haberla recibido.

2) Seguidamente se envían las tramas de los usuarios con un canal asignado y con sus tramas recibidas en el nodo relay. En este caso, tanto el nodo relay como el emisor tienen la posibilidad de retransmisión por lo tanto como se ha mencionado anteriormente cada uno retransmitirá con una cierta probabilidad, de modo que no los dos retransmitan siempre.

3) Se asigna un canal a los usuarios que no tienen un canal asignado y se transmite hacia ellos.

4) Resto de usuarios.

Además cuando el emisor recibe un ACK de un destino en concreto liberará el canal asignado a ese destino para dejarlo libre para otra posible transmisión.

PHYSICAL LAYER

Existe 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 radio trama 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 radio se convertirá la radio trama en una trama y llegará al bloque correspondiente siempre y cuando disponga de una potencia mayor que la umbral.

CHANNEL CONTROLER

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 será enviada tanto hacia el nodo relay, como hacia el destino y si por el contrario se recibe del nodo relay entonces será únicamente transmitida hacia el destino.

En caso de que llegue un ACK al controlador ya sea del nodo relay o del destino, éste será 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 éste será enviado también hacia el relay.

RELAY

El nodo relay va recibiendo tramas del emisor y va eliminando las tramas antiguas, basándose en el número de secuencia. El nodo relay en cada time slot transmite las tramas almacenadas hacia el destino con una cierta probabilidad.

En caso de que el relay reciba un ACK del destino, tendrá que comprobar si el número de secuencia de éste coincide con el de la trama almacenada en su buffer para poder eliminarla de la cola de transmisión.

Por tanto el nodo irá enviando ACKs en cada time-slot hacia el origen mientras tenga la trama almacenada en su buffer.

DESTINO

El destino va recibiendo tramas bien del emisor o bien del nodo relay como ya se ha comentado. El destino tiene que ir incrementando el número de secuencia por cada trama recibida de manera que lleve un control de que tramas ya ha recibido y cuales espera recibir para evitar conflictos en caso de recibir duplicados o pérdidas de tramas. Finalmente el destino envía un ACK de la última trama recibida en cada time-slot.

En la figura inferior se muestra el esquema del simulador empleado, donde se indica que tipo de módulo es cada bloque.

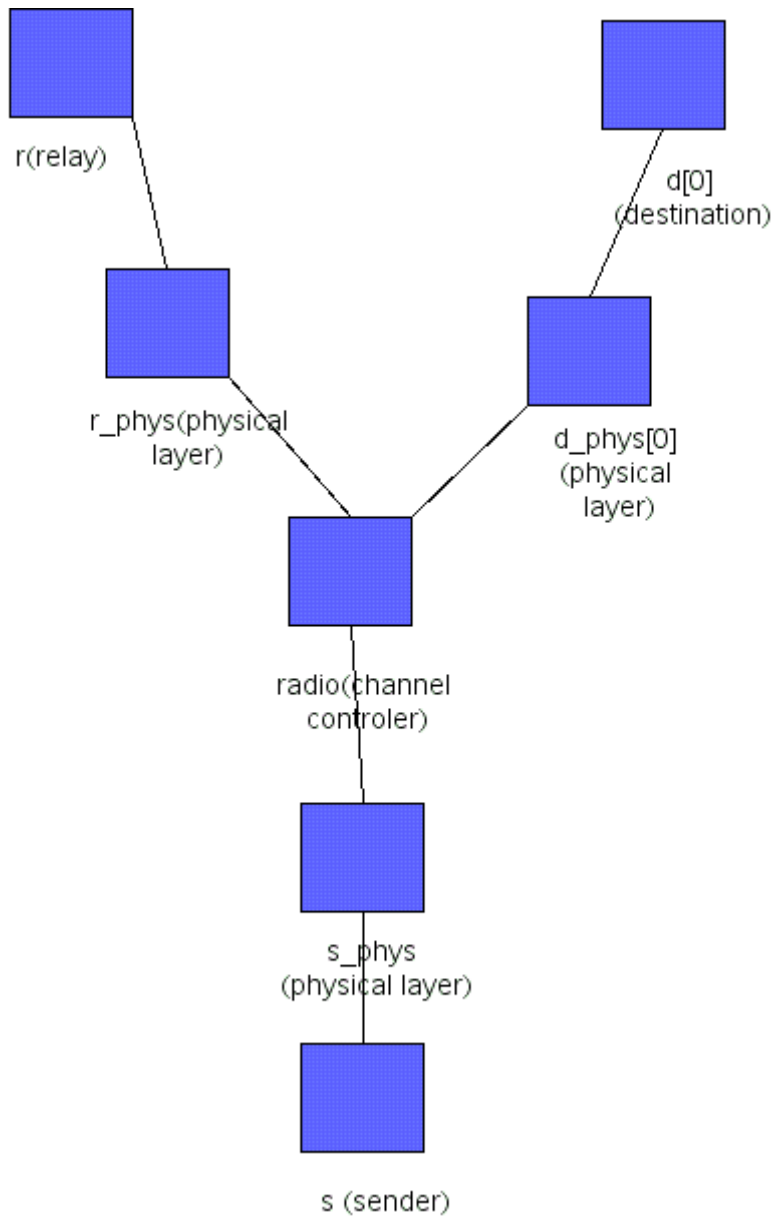


Figura 6.2.1: Esquema de red simulada

6.3 SIMULACIONES

En el simulador empleado, para analizar el comportamiento de una red formada por nodos relay en cuanto al protocolo de retransmisión ARQ, se han realizado una serie de simulaciones para tres escenarios diferentes, formados por distinto número de canales así como de usuarios.

El primer escenario está compuesto por diez destinos y cuatro canales, el segundo por veinte destinos y ocho canales y el tercero por ciento cincuenta destinos y treinta canales.

Para cada uno de los escenarios se han tomado como parámetros de medida la probabilidad de retransmisión de la estación origen, la probabilidad de retransmisión del nodo relay, y la tasas de error de trama de cada uno de los enlaces que componen la red que como ya se ha explicado en el estudio teórico de las redes 4G se denominan enlace relay, enlace directo, y 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 .

Las gráficas que mejor muestran cómo se comporta el sistema son las del escenario 1, por tanto todas las simulaciones serán obtenidas para el primer escenario.

Las gráficas del comportamiento del sistema frente al protocolo ARQ se han obtenido a partir de las siguientes simulaciones:

- 1) Variando la probabilidad de retransmisión del emisor, manteniendo el resto de parámetros constantes.
- 2) Variando la probabilidad de retransmisión del nodo relay, manteniendo constantes los demás parámetros.
- 3) Variando la probabilidad de error de trama del enlace directo (fuente-destino).
- 4) Variando la probabilidad de error de trama del canal de acceso (relay-destino).
- 5) Variando la probabilidad de error del enlace relay (emisor-relay).

Así observando estas curvas de comportamiento para cada uno de los escenarios puede comprobarse como aumenta el rendimiento del sistema al incorporar los nodos relay capacidad de retransmisión. Seguidamente se detallan cada una de las simulaciones realizadas y los resultados obtenidos.

6.3.1 SIMULACIÓN 1

En esta primera simulación se pretende ver cómo se comporta la red frente a una variación de la probabilidad de retransmisión del nodo relay. Por tanto se ha ido variando la probabilidad de retransmisión del relay entre 0 y 1 con incrementos de 0.1. El resto de parámetros a fijar toman los siguientes valores:

probabilidad de retransmisión del emisor= 1;

probabilidad de error de trama del enlace directo=0.6;

probabilidad de error de trama del enlace de acceso=0.4;

probabilidad de error de trama del enlace relay=0.2;

destinos=10;

canales=4;

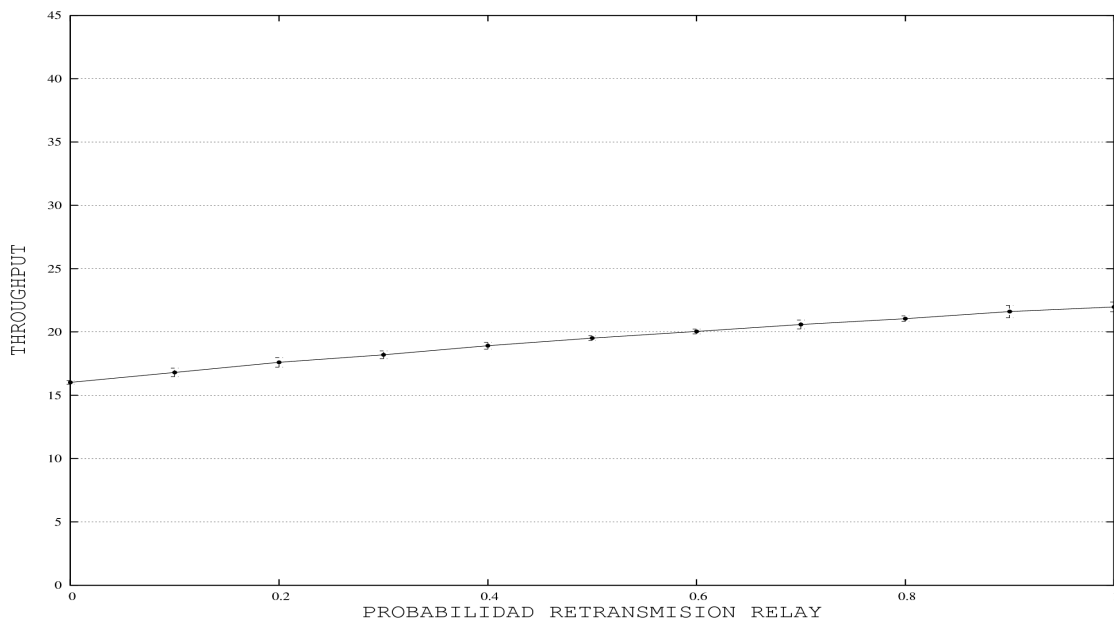


Figura 6.3.1 Throughput variando probabilidad retransmisión relay

CONCLUSIÓN

Como puede observarse el rendimiento del sistema va mejorando a medida que la probabilidad de retransmisión del nodo relay va aumentando ya que como vimos este simulador tiene la particularidad de que tanto emisor como relay retransmiten con cierta probabilidad. Por tanto la incorporación de nodos intermedios en las redes 4G mejora la fiabilidad en la entrega de paquetes.

6.3.2 SIMULACIÓN 2

En este caso procederemos igual que en el caso anterior, con la diferencia de que ahora queremos observar cómo afecta la probabilidad de retransmisión del emisor en el rendimiento del sistema.

Parámetros de simulación:

probabilidad retransmisión emisor={0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1};

probabilidad de retransmisión del relay= 1;

probabilidad de error de trama del enlace directo=0.6;

probabilidad de error de trama del enlace de acceso=0.4;

probabilidad de error de trama del enlace relay=0.2;

destinos=10;

canales=4;

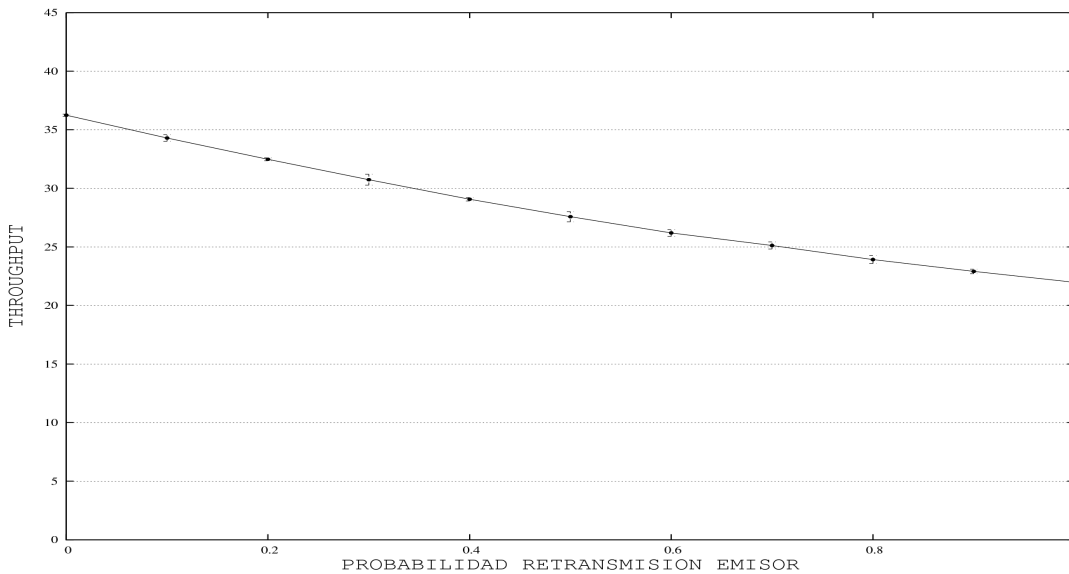


Figura 6.3.2: Throughput variando probabilidad retransmisión emisor

CONCLUSIÓN

Los resultados demuestran que aun manteniendo los parámetros de la simulación con los mismos valores, en este caso cuanto más probabilísticamente retransmita el emisor, el throughput disminuye considerablemente, es decir se obtienen mejores

resultados en redes donde los relays retransmitan con mayor probabilidad que el propio emisor.

6.3.3 SIMULACIÓN 3

Obtención del throughput frente a una probabilidad de error del enlace directo variable.

Parámetros de simulación:

probabilidad de retransmisión del emisor=1;

probabilidad de retransmisión del relay= 1;

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

probabilidad de error de trama del enlace de acceso=0.4;

probabilidad de error de trama del enlace relay=0.2;

destinos=10;

canales=4;

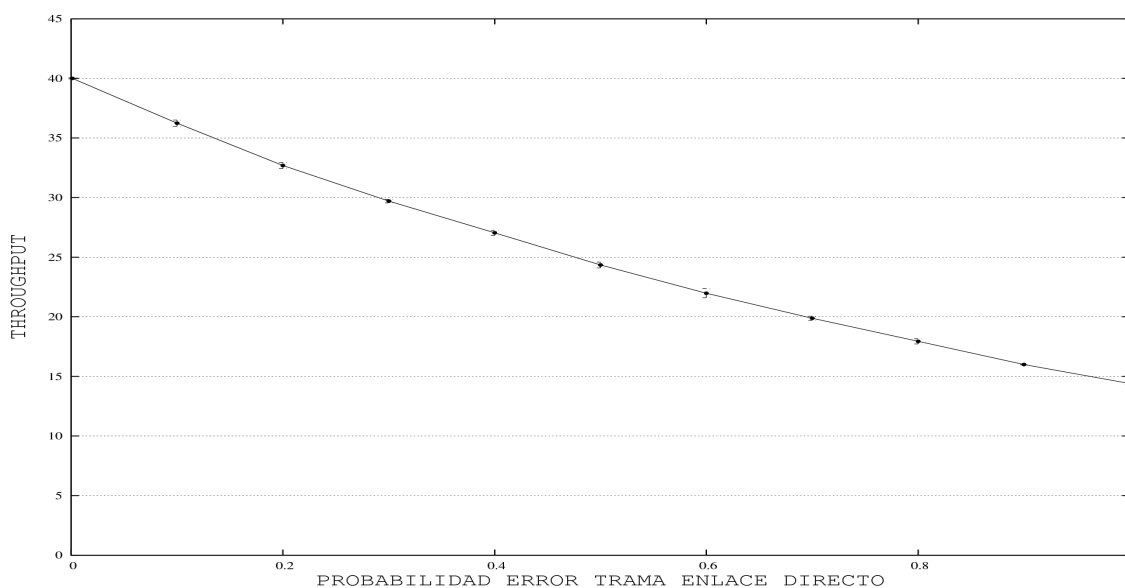


Figura 6.3.3: Throughput variando probabilidad error trama enlace directo

CONCLUSIÓN

La probabilidad de error asociada al enlace directo afecta mucho al rendimiento de la red, ya que como se observa en la gráfica de arriba al aumentar esta tasa de error, el throughput disminuye bruscamente, sin embargo no influyen tanto las propiedades del enlace relay y el de acceso como veremos a continuación.

6.3.4 SIMULACIÓN 4

En esta cuarta simulación realizada se trata de comprobar cómo afecta la tasa de error del enlace relay al throughput global.

Parámetros de simulación:

probabilidad de retransmisión del emisor=1;

probabilidad de retransmisión del relay= 1;

probabilidad de error de trama del enlace directo=0.6;

probabilidad de error de trama del enlace de acceso=0.4;

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

destinos=10;

canales=4;

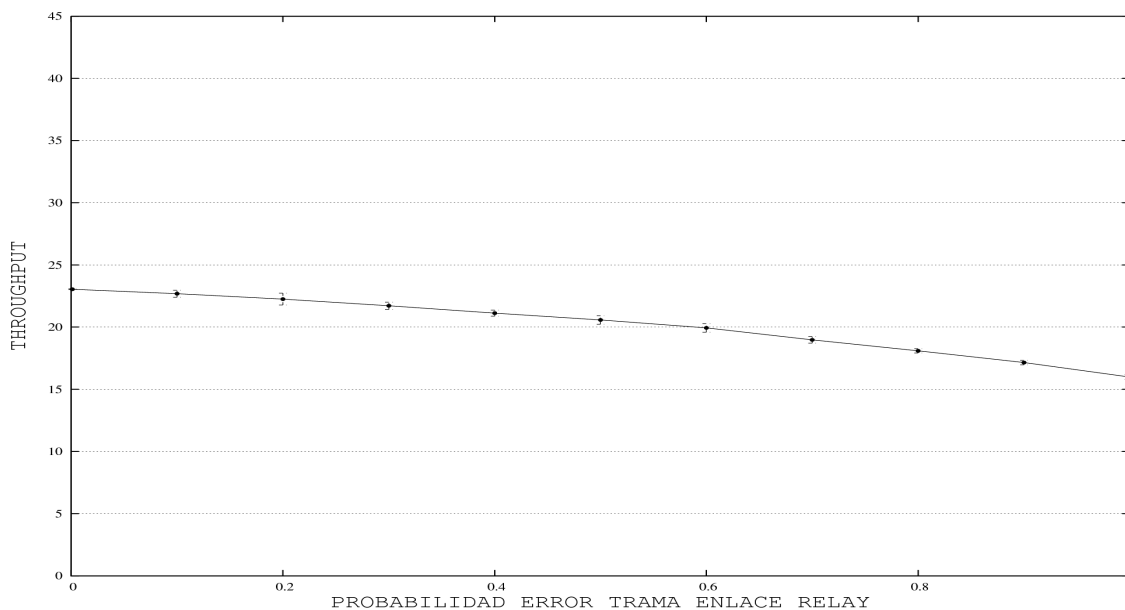


Figura 6.3.4: Throughput frente a probabilidad de error de trama del enlace relay

CONCLUSIÓN

Como ya se ha mencionado la probabilidad de error de trama del enlace relay no genera una reducción tan brusca del throughput como la del enlace directo.

6.3.5 SIMULACIÓN 5

Obtención del throughput frente a una tasa de error variable del enlace de acceso.

Parámetros de simulación:

probabilidad de retransmisión del emisor=1;

probabilidad de retransmisión del relay= 1;

probabilidad de error de trama del enlace directo=0.6;

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};

probabilidad de error de trama del enlace relay=0.2;

destinos=10;

canales=4;

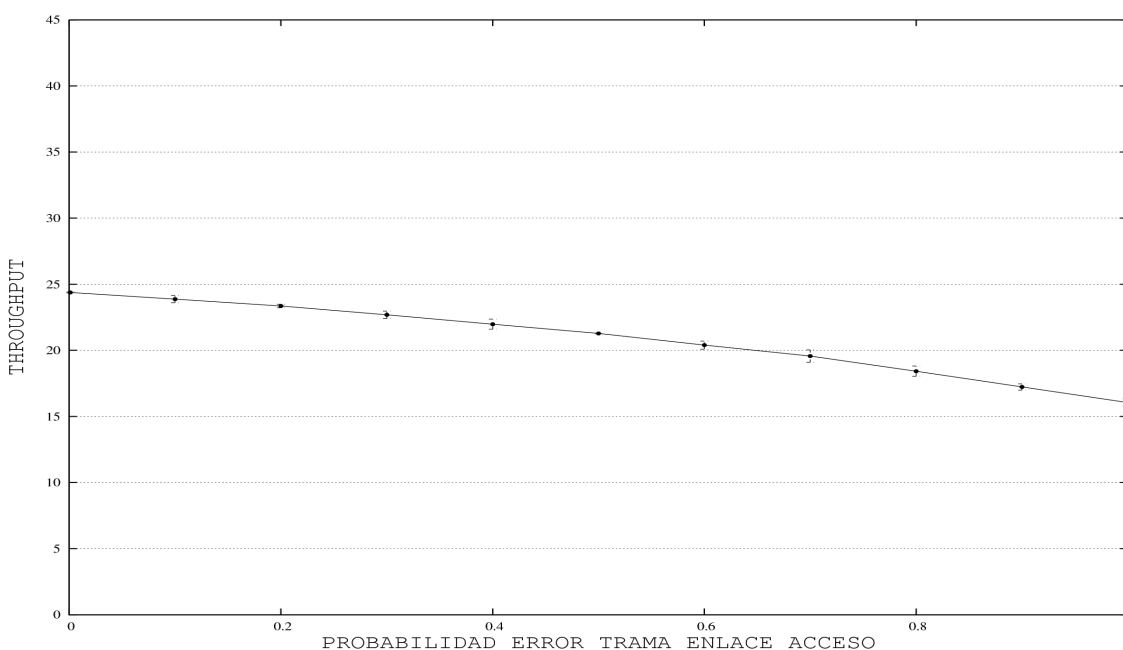


Figura 6.3.5: Throughput frente a probabilidad error trama enlace de acceso

CONCLUSIÓN

Al igual que en el caso anterior el rendimiento no cae tan bruscamente ante un incremento de tasa de error del enlace de acceso ya que los nodos intermedios están destinados a mejorar la fiabilidad de la red.

6.3.6 SIMULACIÓN 6

En esta simulación se ha obtenido una gráfica comparativa del throughput frente a la probabilidad de retransmisión del emisor para cada valor de probabilidad de error del enlace directo.

Parámetros de simulación:

probabilidad de retransmisión del emisor={0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1};

probabilidad de retransmisión del relay= 1;

probabilidad de error de trama del enlace directo=(0.0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.0);

probabilidad de error de trama del enlace de acceso=0.4;

probabilidad de error de trama del enlace relay=0.2;

destinos=10;

canales=4;

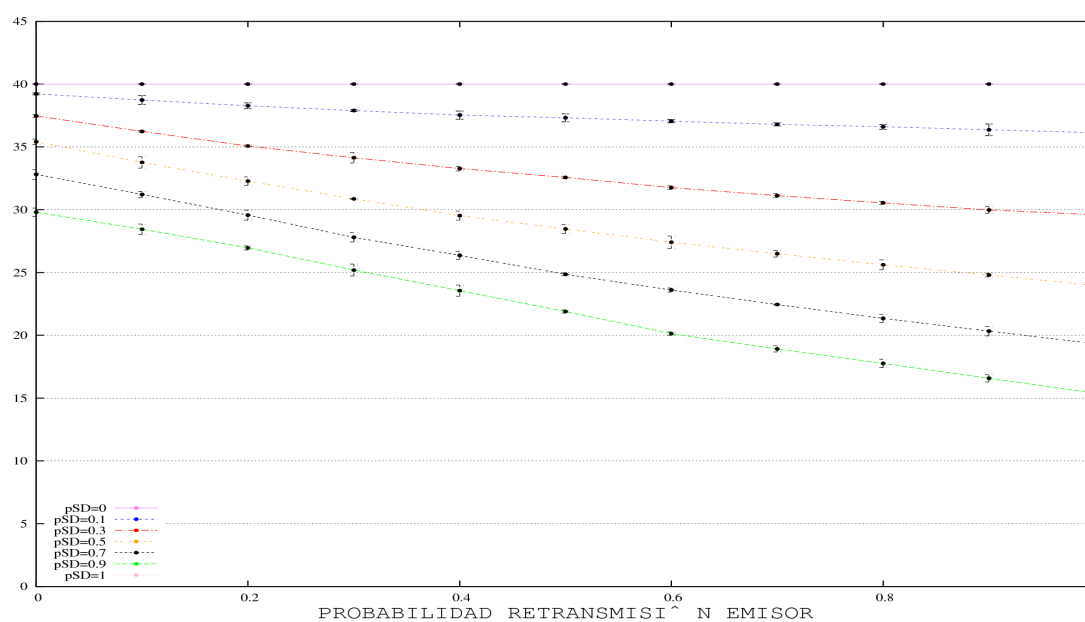


Figura 6.3.6: Throughput frente a probabilidad de retransmisión de emisor variando la probabilidad de error del enlace directo

CONCLUSIÓN

En este caso se confirma que efectivamente conforme el emisor retransmite con una mayor probabilidad el rendimiento va decreciendo para cada valor de probabilidad de error del enlace directo.

Es decir ante una tasa de error del enlace directo muy elevada (0.9) se observa que la curva del throughput se encuentra por debajo de cualquier otra curva con menor tasa de error independientemente de la probabilidad de retransmisión del emisor. Así por ejemplo se observa que si la tasa de error del enlace directo es cero, el throughput se hace máximo.

6.3.7 SIMULACIÓN 7

Finalmente en la gráfica inferior se representa el throughput frente a la FER (Frame Error Rate) del enlace directo variando la probabilidad de retransmisión del relay.

Los parámetros de simulación empleados son:

probabilidad de retransmisión del emisor=1;

probabilidad de retransmisión del relay= {0.0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.0};

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

probabilidad de error de trama del enlace de acceso=0.4;

probabilidad de error de trama del enlace relay=0.2;

destinos=10;

canales=4;

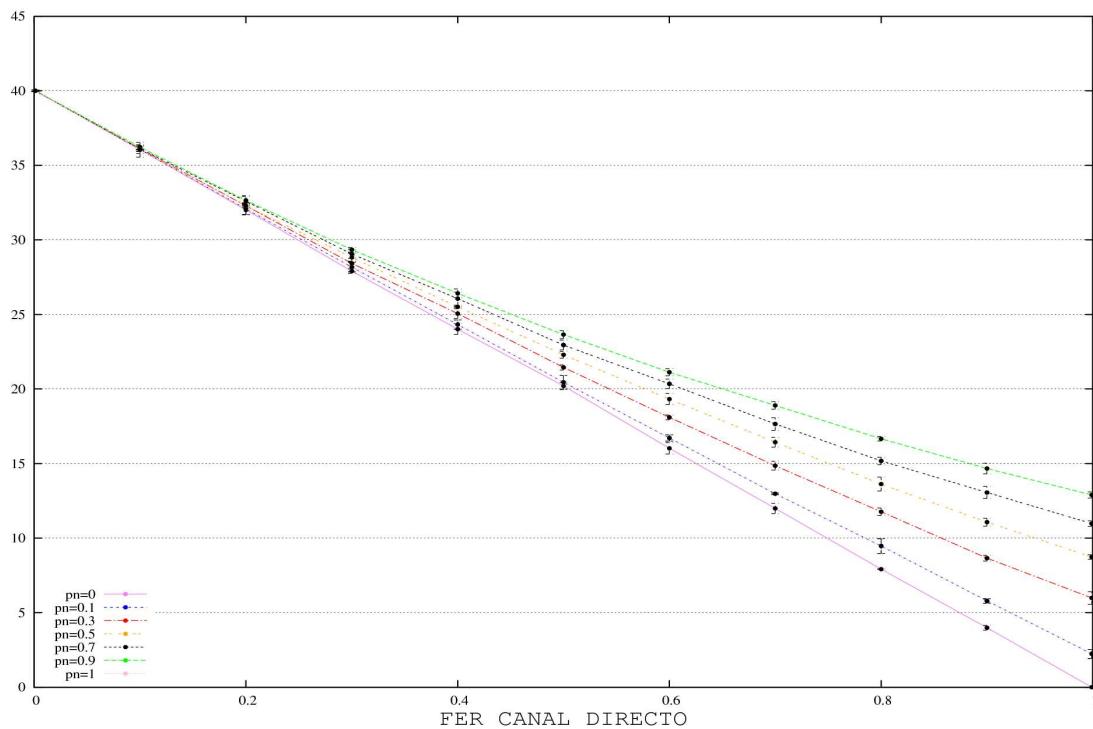


Figura 6.3.7: Throughput frente a FER de canal directo, variando la probabilidad de retransmisión del relay.

CONCLUSIÓN

Como ya se ha mencionado el rendimiento va a ser mejor para valores más altos de retransmisión del nodo pese a que aumente el número de tramas erróneas en el enlace directo.

En definitiva los resultados obtenidos de cada simulación y para cada escenario nos llevan a concluir que la incorporación de nodos relay en una celda de telefonía móvil no sólo mejora la cobertura radio ofreciendo una mayor calidad de servicio al usuario sino que también mejora el protocolo de retransmisión de errores, incrementando el throughput considerablemente.

Por tanto otro de los beneficios de los nodos intermedios es la mejora del rendimiento de la red, ya que permiten que las estaciones base en ciertos instantes puedan dedicar sus recursos a otras tareas en lugar de a la retransmisión de tramas.

6.4 MODIFICACION

Para concluir se ha realizado una modificación sobre el simulador de partida. En el simulador inicial el emisor, disponía siempre de una trama para cada destino almacenadas en un Carray, de manera que en cualquier instante de tiempo el emisor podía enviar una trama hacia cualquier destino.

El problema es que esta aproximación no se asemeja a los sistemas de comunicación reales, puesto que en éstos el emisor no siempre tendrá algo que enviar a un destino en concreto, sino que habrá veces en las que no dispondrá de tramas almacenadas para su envío.

Así en la modificación realizada se ha creado un nuevo módulo generador, que será el encargado de ir generando tramas cada cierto tiempo hacia el emisor. Se ha escogido un tiempo entre llegadas dado por una distribución uniforme entre 0 y 0.2. El emisor ante la recepción de una trama por parte del generador, tendrá que comprobar si la posición del Carray destinado a almacenar tramas para cada destino se encuentra vacía, en este caso la trama recibida se almacenará en esa posición y se enviará al usuario hacia el que vaya destinado.

Puede ocurrir por el contrario que esa posición del Carray 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 dispondrá 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 tendrá que transmitir la trama almacenada en la posición del Carray correspondiente, y una vez que llegue un ACK del destino, eliminará esa trama del Carray y pasará 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.

Partiendo de este nuevo escenario se ha realizado la medida del retardo del sistema a través de una variable `cStDdev`. El retardo será medido desde que el emisor recibe una trama ya sea almacenada en el Carray de tramas para su próximo envío o sea encolada en su cola correspondiente de entrada, hasta que el emisor recibe el ACK correspondiente a dicha trama.

A continuación se detallan cada uno de los parámetros de la nueva simulación con los valores asignados a cada variable.

6.4.1 SIMULACIÓN 1

En esta primera simulación se ha medido el retardo del sistema variando la probabilidad de retransmisión de la fuente. Los valores de cada una de las variables son:

probabilidad retransmisión emisor={0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1};

probabilidad de retransmisión del relay=0.5 ;

probabilidad de error de trama del enlace directo=0.6;

probabilidad de error de trama del enlace de acceso=0.6;

probabilidad de error de trama del enlace relay=0.4;

destinos=10;

canales=4;

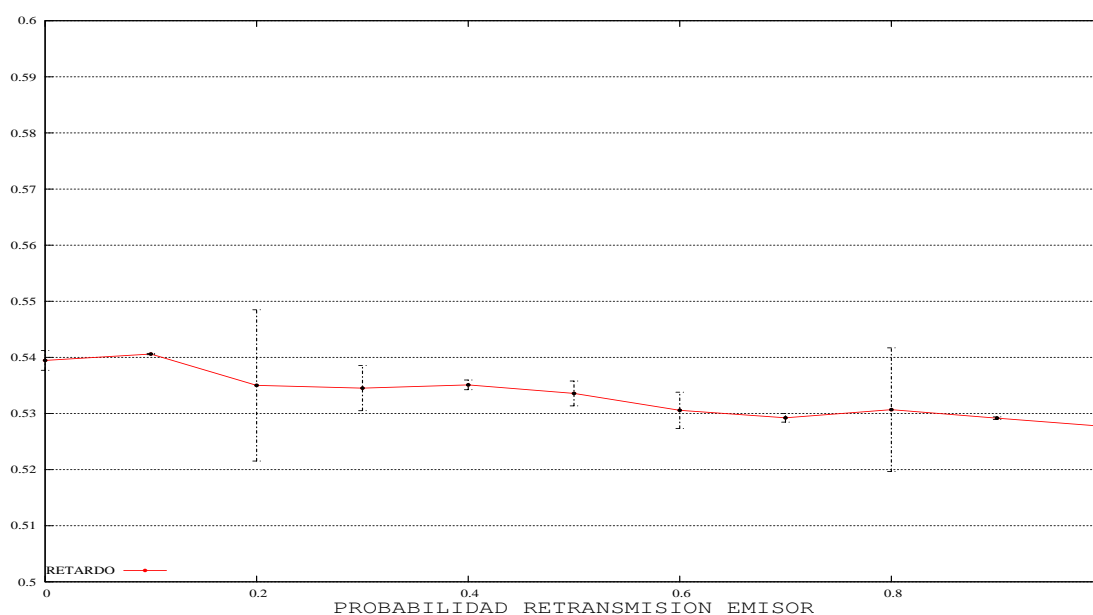


Figura 6.4.1: Retardo frente a probabilidad de retransmisión emisor

CONCLUSIÓN

En una celda formada por nodos relay el que la estación base retransmita con más probabilidad no afecta mucho al retardo de la red, esto es debido a que como vimos en 6.3.2 el throughput de la red decrecía a medida que la BS retransmitía con más probabilidad y por tanto no se aprecia un decremento considerable del retardo.

6.4.2 SIMULACIÓN 2

En esta simulación se realiza la medida del retardo de la red, variando la probabilidad de retransmisión del relay con los siguientes parámetros:

probabilidad retransmisión emisor=0.4;

probabilidad de retransmisión del relay={0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1};

probabilidad de error de trama del enlace directo=0.6;

probabilidad de error de trama del enlace de acceso=0.6;

probabilidad de error de trama del enlace relay=0.4;

destinos=10;

canales=4;

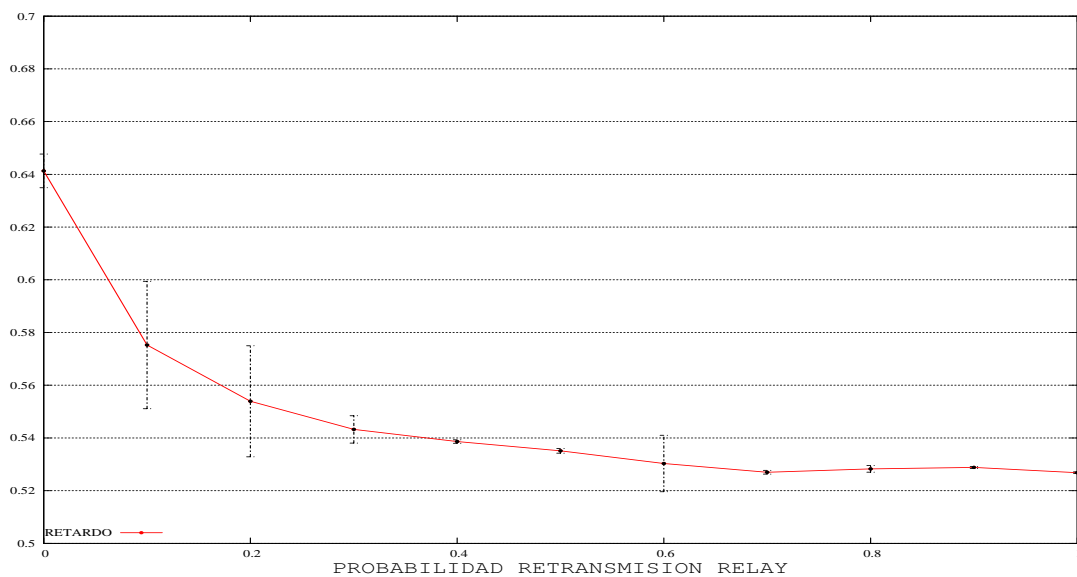


Figura 6.4.2: Retardo frente a probabilidad de retransmisión del relay

CONCLUSIÓN

A diferencia de en 6.4.1 en esta gráfica sí que puede apreciarse un decremento considerable del retardo al variar la probabilidad de retransmisión del relay, esto es debido a que los nodos intermedios tienen una influencia positiva en las prestaciones de la red mejorando como ya vimos el throughput de la misma. De manera que la inclusión de nodos relays no sólo hace que haya más tramas exitosas por segundo sino que además éstas tardan menos tiempo en llegar correctamente a su destino.

6.4.3 SIMULACIÓN 3

En este caso se varía la probabilidad de retransmisión del relay con los valores {0.0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.0} y para cada uno de estos valores se varía la probabilidad de error del enlace directo entre cero y uno para ver qué impacto tiene sobre el retardo. Los parámetros de simulación se fijan con los valores:

probabilidad retransmisión emisor=0.4;

probabilidad de retransmisión del relay={0.0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.0};

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

probabilidad de error de trama del enlace de acceso=0.4;

probabilidad de error de trama del enlace relay=0.3;

destinos=10;

canales=4;

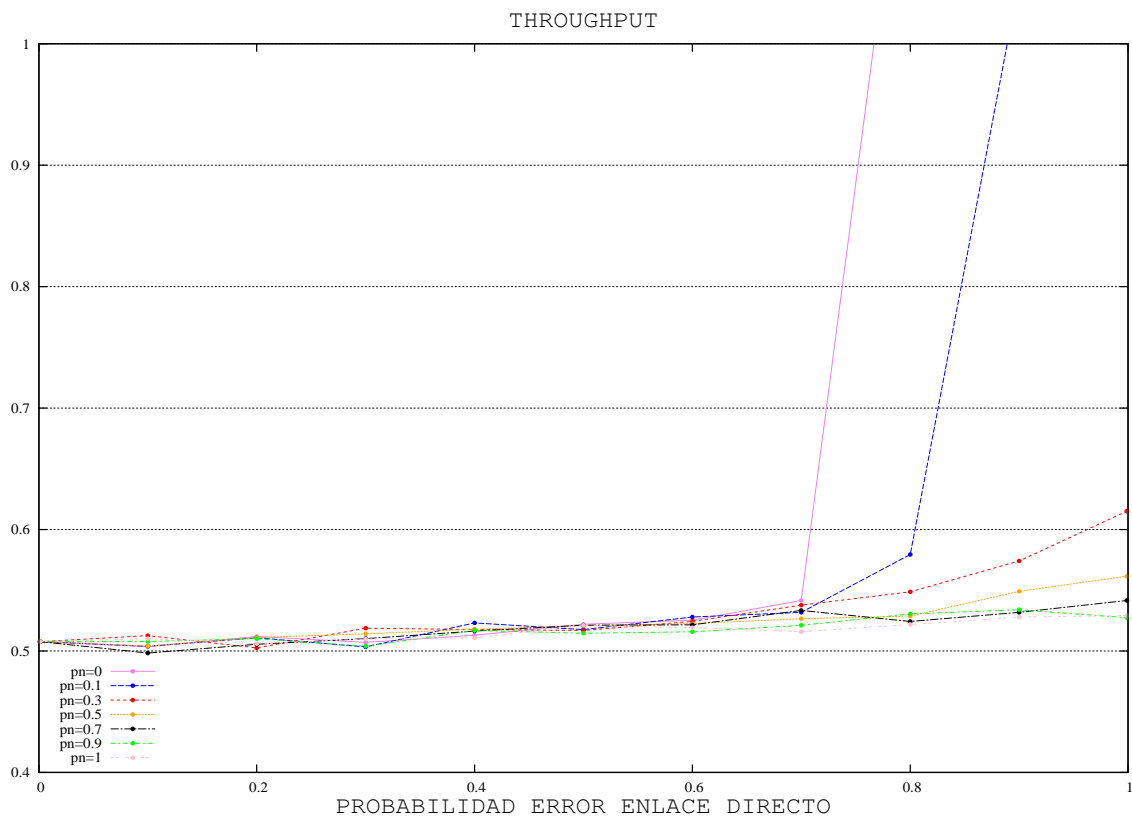


Figura 6.4.3: Retardo frente a FER del enlace directo variando la probabilidad de retransmisión del relay

CONCLUSIÓN

Puede apreciarse cómo en la gráfica obtenida hay ciertos valores de probabilidad de error del enlace directo donde todas las curvas están muy próximas, pero cuando el enlace directo comienza a tener probabilidades de error muy altas, si el nodo relay no retransmite, es decir, p_n vale cero, se alcanza el retardo máximo y conforme el relay comienza a retransmitir con más probabilidad el retardo de la red se va reduciendo.

6.4.4 SIMULACIÓN 4

Obtención del retardo del sistema para cada probabilidad de error del enlace directo, variando la probabilidad de retransmisión de emisor entre cero y uno y con los siguientes parámetros de simulación:

probabilidad retransmisión emisor={0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1};

probabilidad de retransmisión del relay=0.4;

probabilidad de error de trama del enlace directo={0.0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.0};

probabilidad de error de trama del enlace de acceso=0.4;

probabilidad de error de trama del enlace relay=0.3;

destinos=10;

canales=4;

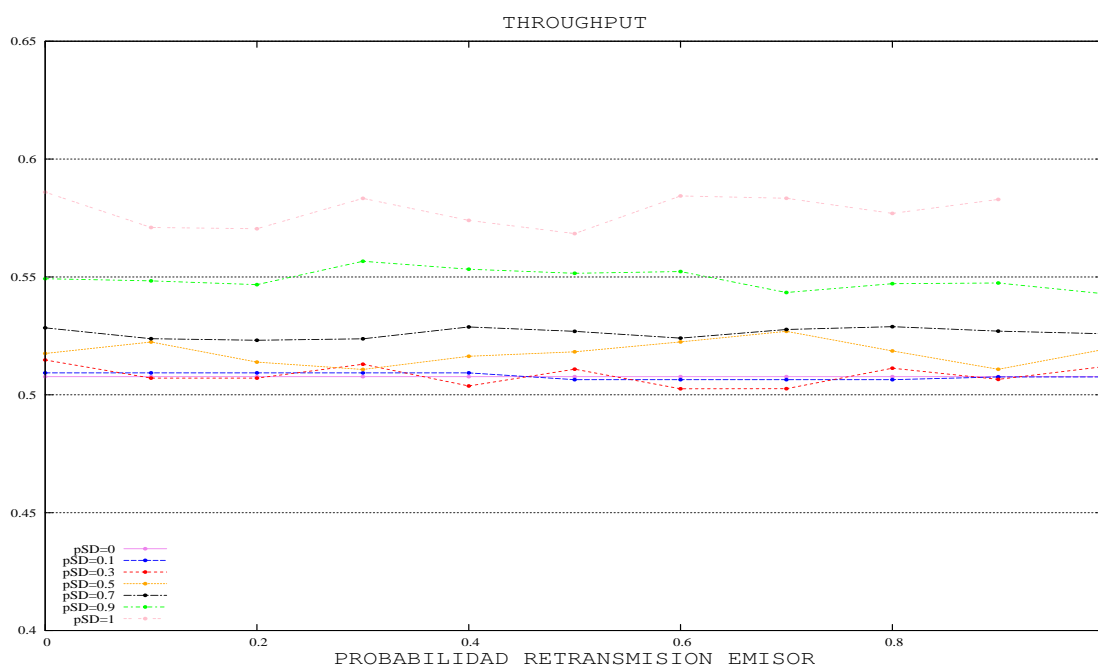


Figura 6.4.4: Retardo frente a probabilidad de retransmisión del emisor variando FER del enlace directo

CONCLUSIÓN

El retardo se va incrementando a medida que el enlace directo tiene una mayor probabilidad de error, manteniéndose sin mucha variación a lo largo de todo el rango de probabilidades de retransmisión de emisor, ya que como hemos comentado en 6.4.1 si la BS retransmite con mucha probabilidad no se aprecia una reducción significativa del retardo, ya que el caudal empeora.

6.4.5 SIMULACIÓN 5

Medida del efecto que tiene el enlace de acceso sobre el retardo de la red, variando la probabilidad de error de trama del enlace de acceso entre cero y uno y manteniendo el resto de parámetros con los valores:

probabilidad retransmisión emisor=0.4;

probabilidad de retransmisión del relay=0.3;

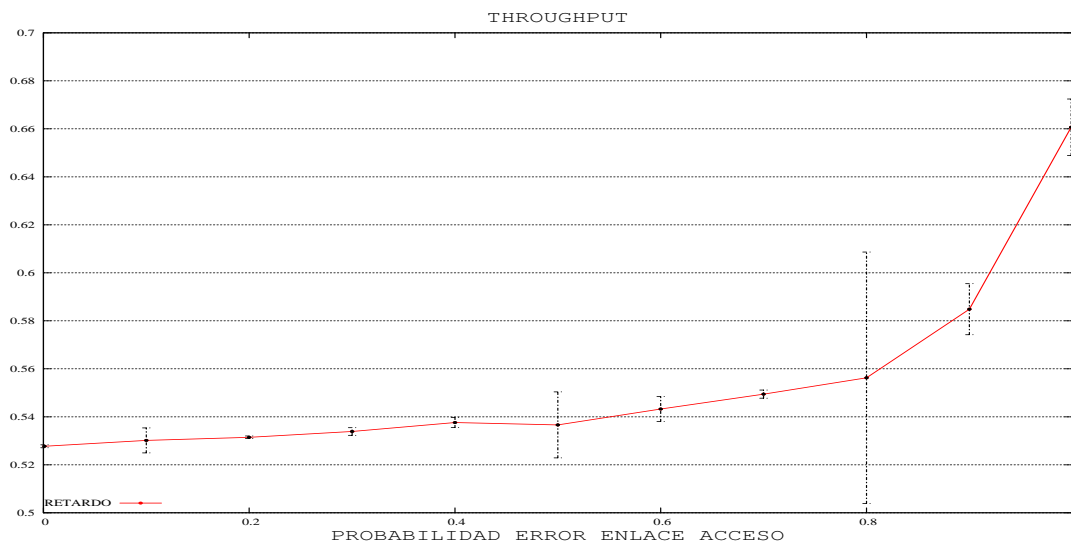
probabilidad de error de trama del enlace directo=0.6;

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};

probabilidad de error de trama del enlace relay=0.4;

destinos=10;

canales=4;



6.4.5: Retardo variando FER del enlace acceso.

CONCLUSIÓN

En esta última simulación se observa un incremento del retardo a medida que el enlace entre el relay y el destino se hace peor, algo lógico ya que si un canal tiene más probabilidad de que las tramas no sean enviadas correctamente a través de él, éstas tendrán que ser reenviadas un mayor número de veces permaneciendo por tanto más tiempo en el sistema.

Capítulo 7

Conclusión

7CONCLUSIÓN

El desarrollo de la telefonía móvil 4G implica nuevas necesidades de los usuarios en términos de ancho de banda y fiabilidad, que requieren mejoras en las redes celulares actuales. Se estima que 4G ofrecerá velocidades de hasta 100 Mbps en movimiento y 1Gbps 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.

En el presente proyecto se explica fundamentalmente cómo la incorporación de nodos intermedios o relays conlleva a la mejora en las prestaciones de la red aumentando la cobertura radio de modo que sirvan a usuarios que no pueden conectarse a la BS. Por otro lado los requisitos de estos nodos en términos de potencia son menores ya que sus radios de cobertura están entre los 200 y 500m reduciendo así su coste. Por tanto, un usuario perteneciente a una celda, puede tener un RN más cercano a él que la propia estación base, mejorando las condiciones de propagación y aumentando la velocidad en el enlace entre el usuario y el relay.

Además en el capítulo 2 se han explicado cada una de las capas de red de la nueva arquitectura. Estas capas son RRC, RSC, RLC, MAC y capa física y tienen funciones muy diferenciadas que son enumeradas a continuación:

- La capa RRC se encarga de realizar funciones de gestión de recursos para un uso eficiente de los mismos, así como funciones de handover, las cuales son muy importantes en una red formada por varios nodos.
- La capa RSC por su lado se encarga de la configuración y control de los relays, con funciones similares a RRC.
- La capa RLC es la responsable de la fiabilidad de la red, empleando un protocolo ARQ extremo a extremo que permita alcanzar los objetivos de QOS (Quality of service) en una red multisalto.
- La capa MAC acepta y ejecuta mensajes de control procedentes de las capas más altas que requieren de una serie de parámetros y condiciones de transmisión. Además proporciona mensajes para el control de flujo, control de la QOS, asignación del espectro, y otras funciones proporcionadas a las capas RLC y RRC.
- Por último la capa física es la responsable final de la transmisión de mensajes sobre el canal radio.

En el capítulo 6 se han realizado una serie de simulaciones sobre un simulador programado en omnet++ acerca del protocolo ARQ empleando nodos relays. Los resultados obtenidos nos llevan a concluir que efectivamente la implantación de nodos intermedios mejora considerablemente el throughput de la red. Así por ejemplo en la simulación 3 de la sección 6.3 podemos observar como el caudal de la red disminuye conforme la BS retransmite con más probabilidad, lo cual parece un resultado sorprendente, ya que en un protocolo ARQ, el hecho de que haya retransmisiones debe servir para mejorar el número de tramas correctas, pero es que como puede verse en la simulación 4 de 6.3 el hecho de que el nodo relay retransmita es lo que hace que se mejore el caudal de la red, concluyendo por tanto que es mejor que sea el relay el encargado de las retransmisiones siempre que sea posible, pues en este caso la BS podrá estar dedicando sus recursos a otras tareas.

Actualmente hay muchos aspectos de las redes 4G que están siendo investigados. Una de las líneas de investigación futuras, es el empleo de la cooperación entre usuarios móviles. La idea es que los usuarios compartan sus antenas para crear una antena virtual múltiple que permita alcanzar la diversidad, ya que debido al tamaño de los teléfonos móviles no sería factible la colocación de varias antenas en cada terminal.

Por tanto mediante la cooperación un usuario sería capaz de conectarse a la BS bien por el camino directo, o bien a través de otro usuario móvil que en este caso haría la función de relay.

Una cuestión que surge en el ámbito de la cooperación, es cómo se asignarán las parejas, es decir, cómo se determina qué usuario coopera con que otro. En [23] pueden encontrarse algunas propuestas relativas a esta problemática, abordando además la posibilidad de la unión a varias parejas. El estudio de la cooperación se sale del ámbito del proyecto y se encuentra detallada en [11], [23], y [24].

Todavía hay muchos ámbitos de 4G que están por definir, y su implantación no parece que vaya a ser inmediata debido a la gran inversión económica realizada en la 3G, por tanto tendremos que esperar unos años para poder disfrutar de mayores anchos de banda y mejoras en términos de cobertura.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Lars Berlemann, Ralf Pabst, and Bernhard Walke, Faculty 6, RWTH AACHEN UNIVERSITY: *“Efficient Multimode Protocol Interfaces in relay-based 4G Networks”*, June 2006.

[2] Daniel Schultz, Luca Coletti, Keivan Navaie, Michal Wodczak, Peter Rost: *“Relaying Concepts and Supporting actions in the context of CGs”*, IST-4-027756 WINNER II D3.5.1 V1.0, October 2006.

[3] Klaus Doppler, Simone Redana, Daniel Schultz, Niklas Johansson, Michal Wodczak, Peter Rost, Quiliano Pérez, Halim Yanikomeroglu, Afif Osseiran, Mark Naden, Peter Moberg, Ralf Pabst, Antonio Frediani, Lino Moretti, Martin Fuchs: *“Assessment of relay based deployment concepts and detailed description of multi-hop capable RAN protocols as input for the concept group work”*, IST-4-027756 WINNER II D 3.5.2 V1.0, June 2007.

[4] D. Schultz, R. Pabst, N. Johansson, M. Schmidt, L. Coletti, S. Brunazzi, A. Adinoyi, B. Bakaimis, A. Florea, K. Navaie, A. Osseiran, P. Rost, H. Yanikomeroglu, M. Abaii, Y. Liu, T. Svensson, M. Sternad, A. Wennström, M. Wódczak, M. Głabowski, M. Rahman, D. Falconer, Q. Perez, P. Herhold, P. Rost, O. Klein, J. Ojala, A. Sorri, M. Konegger, E. Murray, L. Moretti, K.-E. Sunell, M. Schinnenburg: *“Proporsal of the best suited Deployment Concept for the identified scenarios and relates RAN protocols”*, IST-2003-507581 WINNER D 3.5 V1.0, January 2006.

[5] Aria Nosratinia, University of Texas, Dallas, Todd E. Hunter, Nortel Networks, Ahmadreza Hedayat, University of Texas, Dallas: *“Cooperative Communication in Wireless Networks”*, IEEE Communications Magazine, October 2004.

[6] Daniel C. Schultz, Bernhard Walke, Ralf Pabst, Niklas Johansson, Kai-Erik Sunell, Wolfgang Zirwas: *“White Paper on Multi-hop Protocols for Relay based Deployment Concepts”*, Wireless Worl Research Forum, April 2005.

[

7] J. Paradells, M. Catalán, J. L. Ferrer, M. Catalán-Cid, X. Sánchez, V. Beltrán, C. Gómez, P. Plans, E. García, J. Rubio, D. Almodóvar: *“Red Mallada Asistida por UMTS/GPRS”*

[8] John Boyer, David D. Falconer, Halim Yanikomeroglu, *“Cooperative Connectivity Models for Wireless Relay Networks”*, IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol 6, NO.5, May 2007.

[9] Daniel C. Schultz, Bernhard Walke, Ralf Pabst, Niklas Johansson, Kai-Erik Sunell, Wolfgang Zirwas: *“White Paper on Multi-hop Protocols for Relay based Deployment Concepts”*, Wireless Worl Research Forum, April 2005.

[10] Ralf Pabst, Bernhard H. Walke, Daniel C. Schultz, Patrick Herhold, Halim Yanikomeroglu, Sayandev Mukherjee, Harish Viswanathan, Matthias Lott, Wolfgang Zirwas, Mischa Dohler, Hamid Aghvami, David D. Falconer, Gerhard P. Fettweis: *“Relay-Based Deployment Concepts for Wireless and Mobile Broadband Radio”*, Wireless World Research Forum, September 2004.

[11] Klaus Doppler, Afif Osseiran, Michał Wódczak, and Peter Rost: *“On the Integration of Cooperative Relaying into the WINNER System Concept”*

[12] Hannes Ekström, Anders Furuskär, Jonas Karlsson, Michael Meyer, Stefan Parkvall, Johan Torsner, and Mattias Wahlqvist: *“Technical Solutions for the 3G Long-Term Evolution”*, IEEE Communications Magazine, March 2006.

[13] IST-2003-507581 WINNER WP3 D3.1: *“Description of identified new relay based deployment concepts and first assessments by comparison against benchmarks of well known deployment concepts using enhanced radio interface technologies”*, October 2004.

[14] IST-2003-507581 WINNER WP3 D3.2: *“Description of deployment concepts for future radio scenarios integrating different relaying technologies in a cellular infrastructure including definition, assessment and performance comparison of RAN protocols for relay based systems”*, February 2005.

[15] IST-2003-507581 WINNER WP3 D3.4: *“Definition and assessment of relay based cellular deployment concepts for future radio scenarios considering 1st protocol characteristics”*, July 2005.

[16] IST-2003-507581 WINNER WP7 D7.1

[17] IST-2003-507581 WINNER WP7 D7.6

[18] IST-2003-507581 WINNER WP2 D2.3, *“Assessment of Radio-link Technologies”*, February 2005.

[19] IST-2003-507581 WINNER WP2 D2.10

[20] B. Walke, H. Wijaya, D.C. Schultz: *“The Application of Relays in Infrastructure based Future Mobile Radio Network Deployment Concepts Submitted”*, VTC 2006 Spring, Melbourne, Australia.

[21] WINNER I Deliverable. D3.5: *“Proposal of the best Suited Deployment Concepts for the identified Scenarios and Related RAN Protocols”*, D3.5. IST-2003-507581 WINNER (WWI New Radio). Available from: <https://www.ist-winner.org>

[22] D. Schultz, R. Pabst, O. Klein, B. Walke: "On the Integration of Relaying in the WINNER MAC:" *In: Proceedings of 16th Wireless World Research Forum - WWRF 16*, Shanghai, China, 26.-28. April 2006, 6.

[23] J.N.Laneman and G.W. Wornell, "Distributed Space Time-Coded Protocols for Exploiting Cooperative Diversity in Wireless Networks", *IEEE Trans.Info.Theory* Vol.49,no.10 October 2003, pp.2415-25.

[24] A.Sendonaris, E.Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation Diversity Part I and Part II", *IEEE Trans.Commun*,vol.51, no.11,Nov 2003, pp. 1927-48.

[25] Página web: www.omnetpp.org

[26] Tomas Williams & Collin Kelleys, Gnuplot an interactive plotting program,Version 4.2.

[27] Página web:
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/fajardo_p_d/capitulo1.pdf

[28] 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network;
UTRA High Speed Downlink Packet Access: Overall description; State 2 3GPP TS 25.308

[29] 3rd Generation Partnership Project; "Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN) (Release 7)", 3GPP TR 25.913 V7.3.0, March 2006

[30] 3rd Generation Partnership Project; "Tdoc R2-052429 Comparison between single and two-layer ARQ for LTE", 3GPP TSG-RAN WG2 #48bis, Cannes, France, 10th – 14th October

[31] 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; UTRA Radio Resource Control (RRC); Protocol specification