

LTE-Advanced

Alberto Ballesteros^{#1}, Adrián Petit^{#2}

[#]Universitat de les Illes Balears

Cra. de Valdemossa km 7.5. Palma (Illes Balears)

¹ballesteros.alberto@gmail.com

²adrian.petit@gmail.com

Abstract—En las últimas décadas hemos vivido la expansión y desarrollo de las redes de telefonía móvil, desde los sistemas analógicos, hasta las actuales redes 3G, que permiten el intercambio de datos a grandes velocidades. Este documento explica, de manera general, el contexto y la evolución de la telefonía móvil, para luego centrarse en LTE-Advanced, el estándar de cuarta generación más relevante en la actualidad.

I. INTRODUCCIÓN

La ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo, creado por la ONU, que se encarga de regular las telecomunicaciones a nivel internacional. Una de sus secciones, la ITU-R, es la responsable de las comunicaciones radioeléctricas. Principalmente, gestiona el espectro de frecuencias radioeléctricas y las órbitas de los satélites. De la misma manera, es el organismo encargado de especificar las características de las diferentes generaciones de telefonía móvil.

En base a estas especificaciones, se definen diferentes estándares de telecomunicación. Una de las entidades encargadas de ello es el 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Se trata de un consorcio de varios organismos internacionales, que tiene como objetivo unificar criterios en materia de telefonía móvil. Lo forman: ETSI (Europa), ARIB/TTC (Japón), CCSA (China), ATIS (América del Norte) y TTA (Corea del Sur). Este acuerdo de colaboración ha definido varias de las tecnologías de telefonía móvil más extendidas en el mundo, algunas de las más conocidas son: GSM, GPRS o UMTS. En la tabla I se muestran las generaciones de telefonía móvil, las entidades creadoras y sus diferentes tecnologías [9].

TABLA I

EVOLUCIÓN DE LA TELEFONÍA MÓVIL

Generación	Organización	Tecnología
2G	GSM/3GPP	GSM
	3GPP2	CdmaOne
	AMPS	D-AMPS
2G Transición	GSM/3GPP	GPRS, EDGE/EGPRS
	3GPP2	CDMA2000
3G	3GPP	UMTS
	3GPP2	EV-DO
3G Transición	3GPP	HSDPA, LTE
	3GPP2	EV-DO
4G	3GPP	LTE Advanced
	WiMAX	IEEE 802.16m

Actualmente, en España, las tecnologías más usadas son GSM (2G) y UMTS (3G). La primera se usa para voz, ya que es un estándar muy robusto y barato, tecnológicamente. La segunda se utiliza, además, para datos, pero a diferencia de GSM, tiene unos requerimientos de calidad de señal elevados y un gasto energético mayor.

Con el rápido crecimiento del número de terminales móviles, es necesario contar con estándares capaces de proporcionar grandes velocidades de transmisión, a un número mayor de usuarios y con un coste tecnológico reducido. Bajo estas directrices, la ITU-R define las características que debe cumplir un estándar para auto-denominarse 4G.

En ese momento varios organismos empiezan a trabajar en nuevos estándares para esta generación. 3GPP ha desarrollado LTE a partir de UMTS, y aunque dispone de características muy avanzadas, no alcanza todos los requisitos 4G. Por esta razón se le considera 3.9G o pre-4G.

LTE-Advanced (LTE-A) surge como una evolución de LTE y pretende ser el estándar global válido para 4G, ya que cumple sobradamente los requerimientos mínimos impuestos por la ITU-R. Sin embargo, no se puede considerar, actualmente, un estándar válido, ya que todavía se encuentra en fase de desarrollo.

En este documento, primero, se explica el impacto que van a tener las tecnologías de cuarta generación, para luego introducir LTE. Finalmente se pondrán de manifiesto las principales características que convierten a LTE-A en el estándar 4G más importante, en la actualidad. Después de las conclusiones se definen varios conceptos básicos para facilitar la comprensión del presente artículo.

II. DE 3G A 4G

Esta nueva generación pretende ser un nuevo paso en las telecomunicaciones hacia la movilidad y accesibilidad universal. Para superar a 3G, 4G incorpora las siguientes características:

- Unificación de las distintas tecnologías de red bajo el protocolo IP.
- Velocidades de descarga desde los 100 Mbps hasta los 1 Gbps, dependiendo de la velocidad a la que se desplace el terminal.
- Asignación dinámica de recursos de red, para conseguir un mayor número de usuarios por celda.
- Plena compatibilidad con los estándares actuales, lo que incluye *handover*.
- Servicios en red de alta velocidad como: vozIP, juegos en línea o streaming de video.

Todo esto plantea una serie de retos técnicos difíciles de superar. Sin embargo, en los últimos años se han hecho grandes avances, en varios frentes, que propician el cambio a esta nueva generación. Por ejemplo, en el canal radio, el multiplexado OFDMA y los esquemas MIMO.

III. LTE

Este estándar de telefonía móvil fue creado a partir de UMTS (3G), y pretendía ser el primer estándar válido para 4G. Sin embargo, aunque implementa la mayoría de requisitos de 4G, no los cumple todos. Por ejemplo, no consigue la velocidad de bajada de 1 Gbps. Por lo tanto, es un estándar entre dos generaciones (3.9G). Sus principales características son:

- Velocidades de 300 Mb/s de bajada y 75 Mb/s de subida.
- Ancho de banda regulable de hasta 20 MHz.
- Multiplexado OFDMA para el canal de bajada y SC-FDMA para el canal de subida.
- Tamaños de celda de 5 a 100 km, dependiendo del número de usuarios y la velocidad de transmisión.
- El *handover* con las tecnologías actuales, 2G y 3G, se realiza de manera transparente
- Posibilidad de usar técnicas MIMO.

Uno de los pilares de las tecnologías de telefonía móvil es la manera en que los datos son transmitidos al medio. LTE utiliza OFDMA, un tipo de multiplexado por frecuencia que permite aprovechar al máximo el ancho de banda disponible.

A. OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access

Esta tecnología divide el ancho de banda en múltiples bandas de frecuencia equiespaciadas. Cada banda tiene una sub-portadora que transporta una porción de la información. Cada una de estas sub-portadoras es ortogonal al resto, con lo que se consigue que, aunque estén traslapadas, como se observa en la figura 1, no exista interferencia entre ellas.

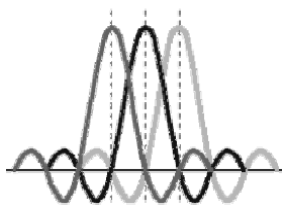


Fig. 1 Sub-portadoras ortogonales

El flujo de datos se divide en N (el número de sub-portadoras asignadas) flujos paralelos que transmiten a una tasa N veces menor. De esta manera, se consigue transmitir a la misma velocidad, pero con flujos de información más lentos, lo que hace más improbable que se produzcan errores de transmisión. Cuanto mayor es el número de sub-portadoras del que dispone un usuario, mayor es la velocidad o la calidad de la transmisión.

El hecho de poder asignar fácilmente sub-portadoras a los usuarios, permite repartir el ancho de banda de manera óptima, consiguiendo una buena relación velocidad/calidad de transmisión, global.

B. MIMO

Multiple-Input Multiple-Output engloba todas aquellas técnicas de procesamiento de señal que utilizan varias antenas en el receptor y/o en el transmisor. Estas técnicas permiten aprovechar los diferentes flujos de datos que aparecen, debido al efecto multi-camino. La figura 2 muestra una comunicación con dos antenas en el nodo transmisor y dos en el nodo receptor. Las flechas que aparecen entre estas, simulan los diferentes caminos que toma la información.

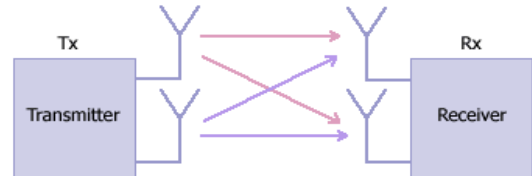


Fig. 2 Esquema de transmisión MIMO 2x2

La principal ventaja de utilizar MIMO es que aumenta el rendimiento y la fiabilidad sin necesidad de incrementar el ancho de banda o la potencia de transmisión.

En LTE se permiten esquema de transmisión MIMO de hasta 4 antenas en el transmisor y 4 en el receptor.

IV. LTE-ADVANCED

LTE-Advanced es una ampliación de LTE, es por ello que posee todas sus características, además de varias mejoras. Las principales novedades que incluye este estándar respecto a su versión anterior son:

- Mayor velocidad: 1 Gb/s de bajada y 500 Mb/s de subida.
- Mayor ancho de banda para transmitir datos.
- Mejor cobertura y/o rendimiento con la transmisión multipunto coordinada.
- Aumento del rendimiento gracias a la tecnología MIMO.

Como se ha comentado, la ITU-R establece las características para que un protocolo pueda autodenominarse 4G. En concreto, establece varios requerimientos de eficiencia y capacidad. La tabla II resume estos requerimientos así como los valores obtenidos de LTE y LTE-A [1-3]. Es fácil ver que LTE no cumple la mayoría de ellos. Sin embargo, LTE-A no solo iguala sino que supera con creces los valores mínimos requeridos.

Son 4 los pilares sobre los que se apoya LTE-A para superar a su predecesor y colocarse en la cabeza de las tecnologías 4G. Para poder obtener una tasa de transmisión de 1 Gbps, se implementa agregado de portadora, que permite aumentar el ancho de banda hasta los 100 MHz. Para mejorar la eficiencia espectral se estudian optimizaciones de las técnicas MIMO. Debido a la reutilización de frecuencias, LTE sufre una gran interferencia inter-celda. Para mitigar este efecto, y así aumentar el rendimiento, se adopta la técnica de transmisión/recepción coordinada multipunto. Finalmente, la posibilidad de poder desplegar nodos de comunicación, dentro de las celdas, permite extender la cobertura y/o aumentar el rendimiento en zonas determinadas.

TABLA II
REQUISITOS PARA 4G Y COMPARATIVA ENTRE LTE Y LTE-A

	DL/ UL	Conf. antena	LTE	LTE-A	Req. 4G
Tasa trans.	DL	-	300 Mbps	1 Gbps	1 Gbps
	UL	-	75 Mbps	500 Mbps	500 Mbps
Eficiencia espectral [bps/Hz/celda]	DL	-	15	30	15
	UL	-	3,75	15	6,75
Capacidad [bps/Hz/celda]	DL	2x2	1,69	2,4	-
		4x2	1,87	2,6	2,2 ^(*)
		4x4	2,67	3,7	-
	UL	1x2	0,74	1,2	-
		2x4	-	2	1,4 ^(*)
		-	-	-	-

(*) Valores requeridos para entornos urbanos

A. Agregado de portadora

Para llegar hasta el 1 Gbps LTE-A permite aumentar el ancho de banda hasta 100 MHz [1-3] frente a los 20MHz de LTE. Para ello divide este espectro en 5 bloques básicos de 20 MHz, pudiendo asignar de manera dinámica a los usuarios el bloque que mejor se adapte a sus necesidades y a las de la red, soportando así asignaciones contiguas y no contiguas tal y como muestra la Figura 3.

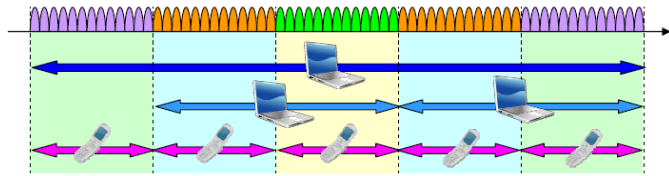


Fig. 3 Asignación dinámica del espectro

Cada uno de los bloques básicos, llamados componente de portadora (CC), se añade como se muestra en la Figura 4. Los parámetros de radio que se incluyen en cada bloque se basan en los de LTE, así, estos usuarios pueden acceder a ellos. De esta manera un usuario con un equipo con tecnología LTE puede incorporarse a una red LTE-A sin necesidad de cambiar su dispositivo o realizar modificaciones en él.

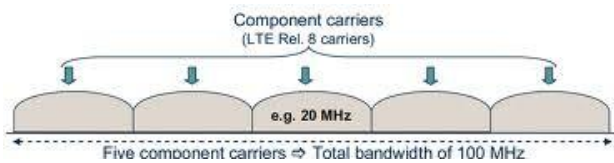


Fig. 4 Agregado de portadora

B. Multiplexado espacial avanzado

LTE-A estudia mejoras sobre los esquemas MIMO usados por LTE, tanto para el canal de bajada como para el canal de subida [7]. De hecho, permite el uso de un número mayor de antenas: 8 en la estación base y 4 en el terminal móvil.

En el canal de bajada se tiene especial interés en los esquemas multi-usuario para proporcionar, por ejemplo, mejoras en la supresión de interferencias entre usuarios.

En el canal de subida, el estudio de la transmisión mono-usuario está considerado como uno de los puntos clave a mejorar con respecto a LTE.

Las especificaciones y requisitos del sistema para todas las mejoras MIMO son aún objeto de debate para el 3GPP.

C. Coordinación multipunto de transmisión y recepción

El objetivo de la coordinación multipunto, o CoMP, es aumentar el rendimiento del sistema, con un incremento mínimo de la complejidad [4-6]. Aunque un terminal móvil está siempre ligado a una estación base, que es la encargada de enviar información de sincronización y control, las estaciones base cercanas pueden aliarse para enviar o recibir, hasta o desde el terminal. El funcionamiento interno de esta técnica se basa en MIMO, en su manera de aprovechar el efecto multi-camino, pero en este caso las antenas se encuentran distribuidas en zonas alejadas [8].

La figura 5 muestra un ejemplo de CoMP en el canal de bajada con dos usuarios, UE1 y UE2. eNB1 es la estación base principal de UE1 y las otras dos cooperan con esta para crear una transmisión multipunto [7].

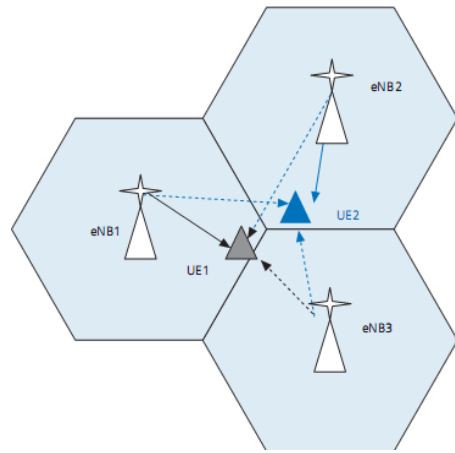


Fig. 5 Esquema CoMP en el canal de bajada

Se distinguen dos puntos de vista a la hora de implementar CoMP en el canal de bajada:

- Coordinación de sincronización y/o *beamforming*: La transmisión la realiza la estación base principal. Sin embargo, la sincronización, incluyendo el *beamforming*, se coordina entre las estaciones base para controlar y/o reducir la interferencia entre las transmisiones.
- Procesamiento y transmisión conjunta: Varias estaciones base transmiten a la vez a un terminal. Este esquema tiene un mayor rendimiento, pero depende de una buena comunicación entre estaciones base, a fin de simular una única transmisión.

CoMP, en el canal de subida, implica la recepción en múltiples puntos geográficamente separados. Las decisiones de sincronización se toman de manera coordinada a fin de controlar la interferencia.

D. Redes heterogéneas

Debido a los obstáculos del entorno y al uso de altas frecuencias, que implica mayor atenuación, para conseguir tasas de transmisión elevadas las estaciones base deben encontrarse cerca de los usuarios. La idea de las redes heterogéneas consiste en distribuir nodos de comunicación, más simples y baratos, dentro de las celdas. Estos nodos se comportan como puentes, entre los terminales móviles y las estaciones base.

Se definen varias clases de estos nodos: Pico-estación base, femto-estación base, nodo *relay* y DAS (sistemas distribuidos de antena). Sin embargo, LTE-A se centra en los nodos *relay*, que son dispositivos similares a las estaciones base, pero mucho más sencillos [10]:

- Tipo 1: Permite extender la cobertura de la celda a la que está ligada. Se comporta como una estación base, y de hecho tiene su propio identificador de celda, por lo que no es transparente para el usuario.
- Tipo 2: Permite aumentar la calidad y capacidad de una zona, gracias a su colocación y al aprovechamiento del efecto multi-camino. A pesar de ello, se trata de un dispositivo transparente para el usuario.

La utilización de este tipo de nodos, como puede observarse en la figura 6, permite extender la cobertura y/o aumentar el rendimiento en zonas determinadas.

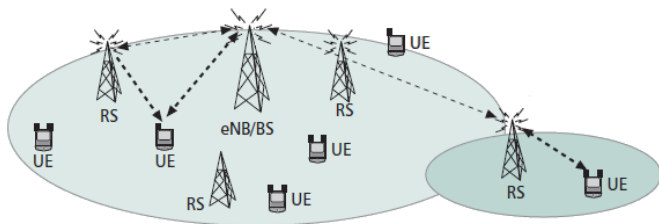


Fig. 6 Esquema de una celda con nodos *relay*

Esta técnica utiliza estrategias colaborativas (como CoMP) que permitan cooperar a todos los nodos y estaciones base, entre sí.

V. CONCLUSIONES

LTE-A, que actualmente es el único estándar válido para 4G en el mundo, es una evolución del estándar LTE, mejorando la velocidad de transmisión de datos, la cobertura de la red, el rendimiento y la latencia en el envío de paquetes.

Sus características permiten velocidades de transmisión de datos superiores a muchas conexiones cableadas domésticas, demostrando que las redes móviles son tan o más importantes que las conexiones cableadas. Este estándar está respaldado por el organismo 3GPP que es un acuerdo de colaboración sobre telefonía móvil entre numerosos países.

Finalmente, LTE-A es el estándar 4G más importante en la actualidad, dado que es el único que ha demostrado superar, con creces, los requisitos impuestos por la ITU-R.

VI. VOCABULARIO

Celda: Área de cobertura que proporciona una estación base.

Handover: Sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra. Este mecanismo garantiza la calidad del servicio cuando un móvil se traslada a lo largo de su zona de cobertura.

Ancho de banda: Es el rango de frecuencias en la que se concentra la mayor parte de la potencia de la señal. Se mide en Hz.

Efecto multi-camino: En las transmisiones inalámbricas es corriente que la información encuentre obstáculos. En estos casos la señal se dispersa, lo que provoca, no sólo que ésta se degrade, sino que varias copias de la misma información lleguen al receptor, en instantes de tiempo diferentes. Esto puede provocar una disminución general de rendimiento y fiabilidad.

Beamforming: Técnica de procesamiento de señal, con múltiples antenas, que incrementa la ganancia y inmunidad a interferencias de una transmisión.

REFERENCIAS

- [1] 3GPP, TR36.814 (V1.0.0), Feb. 2009.
- [2] 3GPP, TR36.913 (V8.0.1), Mar. 2009.
- [3] 3GPP, TS36.104 (V9.0.0), May 2009.
- [4] 3GPP TSG-RAN WG1, "R1-090914 Downlink CoMP", Meeting #56, Athens, Greece, 9 – 13 February, 2009.
- [5] 3GPP TSG-RAN WG1, "R1-090725 Setup of CoMP cooperation areas", Meeting #56, Athens, Greece, 9 – 13 February, 2009.
- [6] 3GPP TSG-RAN WG1, "R1-091064 Way forward of CoMP Clustering & Active Set", Meeting #56, Athens, Greece, 9 – 13 February, 2009.
- [7] LTE-Advanced: The Path towards Gigabit/s in Wireless Mobile Communications.
- [8] 3G and 4G Wireless Blog: Coordinated Multi-Point (CoMP) transmission and reception.
- [9] Cellular networks, artículo de Wikipedia.
- [10] Relay Technologies for WiMAX and LTE-Advanced Mobile Systems, IEEE Communications Magazine – October 2009

Asignatura: Xarxes de comunicacions mòbils

Profesor: Jaume Ramis Bibiloni



Adrián Petit es Ingeniero Técnico en Informática de Gestión y actualmente está realizando su proyecto de final de carrera de Ingeniería Informática.
adrian.petit@gmail.com



Alberto Ballesteros es Ingeniero Técnico en Informática de Sistemas y actualmente está realizando su proyecto de final de carrera de Ingeniería Informática.
ballesteros.alberto@gmail.com