

Long Term Evolution (LTE)

Comunicaciones digitales

Javier Montiel González 159216
Alexis Arcadio Calvillo Madrid 159702

Instituto Tecnológico Autónomo de México

Otño 2019

Abstract—El propósito de este proyecto fue evaluar el rendimiento del enlace descendente de la capa física de una red LTE. Para ello se utilizó el software de Matlab para simular la transmisión de subtramas en una transmisión punto a punto. Los resultados obtenidos se analizaron con las graficas de Rendimiento-SNR y BER-SNR. El simulador fue configurado de acuerdo a los estándares de 3GPP.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las redes móviles en los últimos años junto con el desarrollo de los teléfonos inteligentes ha provocado que cada vez más personas accedan a internet desde su celular. La Evolución a Largo Plazo (Long Term Evolution o LTE por su nombre y siglas en inglés) es un estándar para la comunicación inalámbrica de alta velocidad que nació con el objetivo de lograr comunicaciones globales con un gran ancho de banda. Sin embargo, no es el único requerimiento, algunos otros son:

- Baja latencia
- Costos de operación reducidos
- Soporte multi antena
- Ancho de banda flexible
- Amplia cobertura y capacidad

Con el fin de dar modularidad se divide la tecnología LTE (Fig. 1) en dos *enlaces*: enlace descendente (downlink) y enlace ascendente (uplink). El primero consta del camino de la radio base al celular mientras que el segundo va en sentido contrario. Para poder separar las señales se utilizan estructuras específicas para la trama en LTE.



Fig. 1. Uplink y downlink en LTE

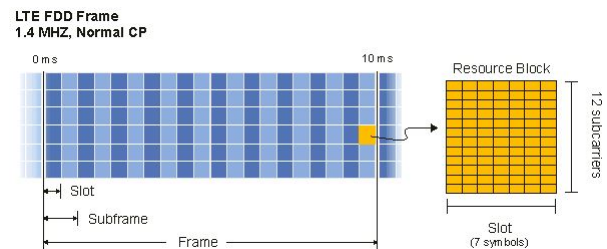
Hay dos tipos de estructuras de trama en LTE. La primera utiliza FDD (enlace ascendente y descendente separados en frecuencia) y la segunda utiliza TDD (enlace ascendente y descendente separados en tiempo). Hay 6 unidades de

tiempo: trama, media trama, subtrama, ranura, símbolo y la unidad básica de tiempo (T_s).

Unidad de Tiempo	Valor
Trama	10 ms
Media Trama	5 ms
Subtrama	1 ms
Ranura	0.5 ms
Símbolo	$(0.5 \text{ ms})/7$
T_s	$1/(15000 \cdot 2048) \text{ s}$

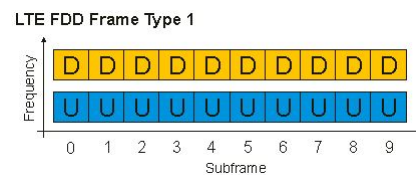
Tabla I: Unidades de tiempo para trama en LTE

A continuación se presenta una ilustración de una trama FDD.



Un bloque fuente (Resource Block) es la unidad más pequeña de recursos que puede ser asignada a un usuario. El bloque fuente tiene un ancho de 180 KHz en frecuencia y una ranura de longitud en tiempo.

En el modo FDD, las tramas en el enlace ascendente y descendente ambas son de 10 ms de longitud y están separadas en frecuencia.



Para un FDD full-duplex, las tramas de enlace ascendente y descendente son separadas en frecuencia y transmitidas continua y sincronizadamente. Para un FDD half-duplex, la única diferencia es que un equipo de usuario no puede recibir mientras transmite.

La trama de enlace descendente contiene la información que se desea transmitir a los usuarios que están conectados a la estación base. La trama también contiene señales físicas para la sincronización, compensación de canal y control de canales para la administración de asignaciones a usuarios y otras tareas.

II. DIAGRAMA

En el modelo de comunicaciones de una conexión punto a punto existen prácticamente 3 elementos: transmisor, canal y receptor (Fig. 2). En el transmisor tenemos una serie de

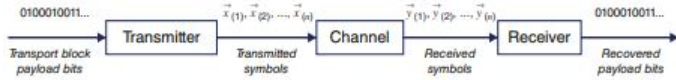


Fig. 2. Diagrama transmisor-receptor

bloques y pasos (Fig. 3) por los que pasar antes de mandar la señal al canal y que el receptor la reciba.

- Codificación de canal
- Interleaver
- Modulación
- Layer Mapping
- Precodificación
- OFDM
- Canal

Los pasos que lleva a cabo el receptor son los "mismos" pero de forma inversa, es decir, decodifica, demodula, etcétera.

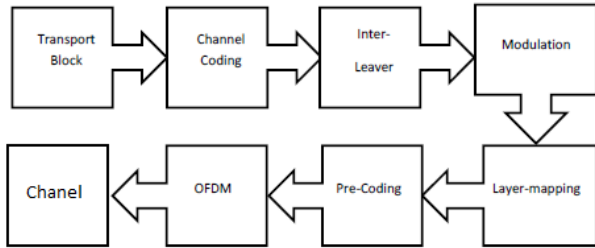


Fig. 3. Diagrama transmisor. Imagen tomada de [4]

A. Codificación de canal

La codificación de canal se encarga de proteger los datos de los errores. Se mapean n bits de entrada en k bits de salida. A esto se le conoce como *tasa de codificación*. La codificación fue implementada con *Turbocódigos* y la tasa de codificación $r = \frac{1}{2}$

B. Interleaver

Frecuentemente durante la transmisión ocurren errores en ráfagas lo que hace imposible que la corrección de errores funcione de manera correcta.

El "entrelazamiento" o interleaver es un proceso mediante el cual se dota al sistema de una capacidad de responder frente a errores en ráfaga, lo cual lo hace permutando los datos.

C. Modulación

Dentro de LTE se usan diferentes esquemas de modulación dependiendo de las características del sistema. Las modulaciones que se utilizan en el canal de bajada son las siguientes:

- QPSK
- 16QAM
- 64QAM

D. Layer Mapping

Mapea las etiquetas SM (Spatial Multiplexing) de una arquitectura MIMO. En nuestro caso este bloque no existe ya que es punto a punto. Sin embargo, es un elemento importante

E. Precodificación

Este proceso se encarga de alojar lo múltiples puertos de la antena. Toma una conjunto de entrada $x(i) = [x^0(i), x^1(i) \dots x^{v-1}(i)]^T$ y genera vectores $y(j) = [\dots y^b(j) \dots]^T$. $i \in \{1, 2, 3 \dots M_{sim}^{layer} - 1\}$ y $j \in \{1, 2, 3 \dots M_{sim}^{ap} - 1\}$. Esto lo hace siguiendo la relación Como

$$\begin{bmatrix} y^{(0)}(2i) \\ y^{(1)}(2i) \\ y^{(0)}(2i+1) \\ y^{(1)}(2i+1) \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & j & 0 \\ 0 & -1 & 0 & j \\ 0 & 1 & 0 & j \\ 1 & 0 & -j & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{Re}(x^{(0)}(i)) \\ \text{Re}(x^{(1)}(i)) \\ \text{Im}(x^{(0)}(i)) \\ \text{Im}(x^{(1)}(i)) \end{bmatrix}$$

Fig. 4. Matriz de precodificación. Imagen tomada de [4]

en el caso anterior, este bloque no se utiliza ya que es una conexión punto a punto

F. OFDM

Es una multiplexación que usa un conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias donde cada una transporta información. Los datos son mapeados en subportadoras OFDM para su transmisión a través del canal.

G. Canal

Representa la parte física por donde se van a transmitir los datos. Existen múltiples modelos para un canal de comunicaciones. Para efectos de la simulación el canal se modeló como un canal con desvanecimiento de *Rayleigh* y ruido *AWGN*

III. ESCENARIO

Utilizamos Matlab para realizar la simulación. En particular, usamos la paquetería *LTEToolBox* y tomamos del ejemplo *PDSCHThroughputConformanceExample* de Matlab varias de las funciones para desplegar los resultados de las simulaciones.

Se simula una transmisión punto a punto en el enlace descendente de la capa física de una red móvil LTE. La simulación se realiza por medio de la transmisión de sub-tramas. Por simplicidad se utilizó un ancho de banda de 50 bloques fuente (9 MHz) con asignación completa y una

tasa de código de 0.5. El transmisor se configuró de acuerdo a los estándares de LTE. Para el canal de transmisión se simuló un canal con ruido AWGN y un desvanecimiento de Rayleigh. Se utilizaron distintos valores de SNR para las modulaciones QPSK, 16QAM y 64QAM. Por último, el receptor realiza el procesamiento inverso al receptor para decodificar las subtramas.

IV. RESULTADOS

Los resultados de la simulación (Tabla 2 y 3) muestran en cada modulación una tendencia decreciente entre la SNR y la probabilidad de bit en error. Por otro lado, observamos una tendencia creciente entre la SNR y el rendimiento del canal.

SNR[dB]	16QAM[BER]	64QAM[BER]	QPSK[BER]
1	0.893	0.973	0.546
6	0.5702	0.814	0.138
10	0.305	0.595	0.010
15	0.032	0.219	0.000
19	0.000	0.055	0.000

Tabla 2. BER vs SNR para modulaciones en LTE

SNR[dB]	16QAM[%]	64QAM[%]	QPSK[%]
1	10.68	02.70	45.40
6	42.97	18.60	86.20
10	69.45	40.50	99.00
15	95.38	73.00	100.0
19	100.0	96.00	100.0

Tabla 3. Troughput vs SNR para modulaciones en LTE

Los resultados de la simulación estiman que la tasa de cambio entre el BER y la SNR es predominantemente negativa en cada una de la modulaciones. Para valores grandes de SNR la probabilidad de bit en error tiende a cero en cada caso. En cambio, la tasa de cambio entre el rendimiento y la SNR es predominantemente positiva. El rendimiento de cada modulación parece converger a un valor constante para valores grandes de SNR. Los datos que obtuvimos de la simulación nos indican que la modulación que converge a un mayor rendimiento es 64QAM, seguida de 16QAM y QPSK.

V. CONCLUSIONES

Nuestra conclusión principal es que el uso de las diferentes modulaciones digitales depende de las condiciones de medio de transmisión. Aproximadamente en un SNR de 0 a 6 dB es preferible una modulación QPSK, ya que muestra el mejor rendimiento (Fig. 6) y la menor probabilidad de bit en error (Fig. 5). Entre 8 y 15-16 dB de SNR, muestra un mejor rendimiento la modulación 16 QAM. Por último, en niveles superiores a 15-16 dB es mucho mejor una modulación 64QAM.

Otro de los puntos importantes es que en términos porcentuales la máxima capacidad se alcanza por la modulación QPSK (Tabla 3), luego por 16QAM y por último por 64QAM. Que en esta simulación no alcanzamos la capacidad máxima del canal, sin embargo, se estuvo muy cerca.

Todas estas consideraciones son para una conexión down-link punto a punto. Así pues, no podemos afirmar con certeza si cada modulación seguirá el comportamiento que muestran las simulaciones. Sin embargo, dados estos resultados podríamos sugerir que el comportamiento en otros casos es similar. Entonces, el orden de uso de las modulaciones se mantiene conforme a los resultados que obtuvimos.

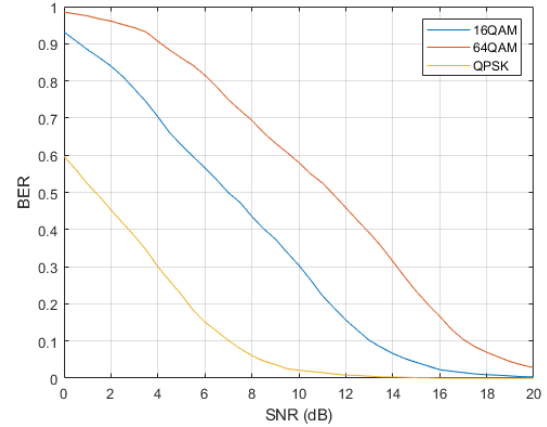


Fig. 5. BER vs SNR para un canal DL LTE

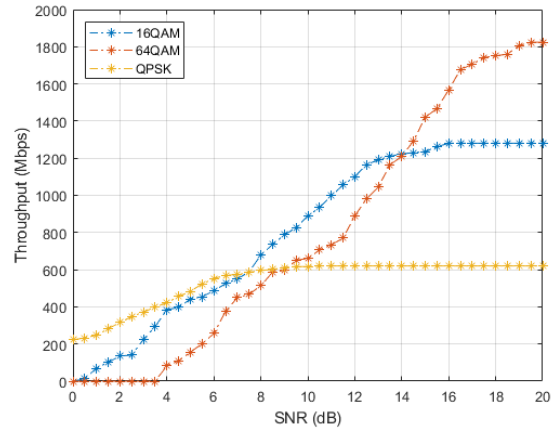


Fig. 6. Throughput (Mbps) vs SNR para un canal DL LTE

REFERENCES

- [1] D. Pfister. A Short Introduction to Channel Coding. 2014.
- [2] PDSCH Throughput Conformance Test for Single Antenna (TM1), Transmit Diversity (TM2), Open Loop (TM3) and Closed Loop (TM4/6) Spatial Multiplexing. MathWorks. Recuperado de <https://la.mathworks.com/help/lte/examples/pdsch-throughput-conformance-test-for-single-antenna-tm1-transmit-diversity-tm2-open-loop-tm3-and-closed-loop-tm4-6-spatial-multiplexing.html>
- [3] Zarrinkoub, H., (2014). Understanding LTE with Mathlab. MathWorks, Massachusetts, USA. Editorial Wiley.
- [4] Saquib, M., (2013). Designing of LTE-Advanced downlink transeiver on a physical layer, Blekinge.