

PROJETO II – UNIDADE II

Execução:

1. Trabalho individual
2. Pontuação final dependerá de todas as etapas do projeto
 - a. Código bem comentado e atendendo os requisitos deste documento;
 - b. Relatório em LaTeX (no *template* fornecido pelo professor) contendo os gráficos seguidos de discussões e questionamentos endereçados neste documento. Referencie o documento com todo material usado (isso é muito importante);
3. A entrega deve conter: um arquivo zip com duas pastas: (i) **code**, com os códigos separados por pastas distintas para cada experimento; (ii) **report**, com o relatório em LaTeX (**arquivos fontes e pdf**);
4. Na pasta de cada experimento deve ter um arquivo chamado **README.txt**. Lendo as instruções desse arquivo, um usuário conseguirá rodar seu código e obter os gráficos do seu relatório. Isso precisa ser feito sem consulta ao projetista do código (você) e é um item muito importante da avaliação final do projeto.

Objeto da avaliação:

Sistemas de comunicações móveis são padronizados por meio de respostas advindas de protótipos dos sistemas. Como os padrões ainda estão sem concebidos, a maioria das vezes os protótipos são baseados em artefatos de software, conhecidos como simuladores. A modelagem por simulação pode ser tão completa como se deseje, com precisão diretamente proporcional a complexidade do simulador. De forma simplista, uma simulação sistêmica pode se usada para avaliar a capacidade de um sistema existente, comparar sistemas distintos ou testar funcionalidades na fase de concepção (prova de conceito). Este projeto tem como objetivo a avaliação de um sistema de comunicações sem fio quando especificidades das camadas MAC/PHY são modeladas.

Experimento 01: Modelagem da Taxa de Pico de Sistemas Modernos de Comunicação

O sistema LTE foi introduzido no Release 8 do 3GPP em dezembro de 2008, sua evolução, no Release 10 trouxe as funcionalidades para o atendimento dos requisitos dos sistemas 4G (IMT-Advanced). Seguindo as especificações do Release 8, as seguintes características se destacam no LTE:

- Largura de banda flexível: 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz e 20 MHz;
- Pico de taxa de transmissão: 300 Mbps no downlink ao usar o MIMO 4x4 e 20 MHz de largura de banda e 64-QAM;
- Rede all-IP com baixo RTT (round trip time): 5 ms de latência de pacotes IP (em condições ideais de rádio)

Para o Release 10 (LTE-Advanced), as seguintes funcionalidades foram adicionadas:

- Densification (uso de small cells, resultando em um deployment denso em termos de eNBs);
- Relaying;
- MIMO (Downlink 8 x 8 MIMO e Uplink 4 x 4 MIMO);
- Carrier Aggregation (até 100 MHz de banda - 5 portadoras de 20 MHz).

Essas melhorias, principalmente o Carrier Aggregation, possibilitam taxas de transmissão teóricas de 1,5 Gbps (em 100 MHz no Uplink) e 3 Gbps (em 100 MHz no Downlink). Calcular as diversas taxas de transmissão do LTE (Release 8) e LTE-Advanced (Release 10) é o objetivo desse experimento, assim, uma das funcionalidades importantes é o Carrier Aggregation.

Um frame LTE de 10 ms é dividido em 10 subframes de 1 ms cada, com cada subframe sendo formado por 2 slots de 0,5 ms cada. O subframe facilita a alocação de recursos, enquanto o slot é útil para sincronização e estimação de canal. O frame é a unidade de envio de informação do sistema. Cada slot contém 6 ou 7 símbolos OFDM, dependendo do tamanho do prefixo cíclico. Na frequência, múltiplos de 12 subportadoras de 15 kHz cada são agrupados em blocos de 180 kHz, denominados Physical Resource Blocks (PRBs). O número de PRBs existentes depende diretamente da banda disponível no sistema. Por exemplo, em 20 MHz de banda, existem 100 PRBs disponíveis para alocação. A mínima unidade de alocação de recurso se chama Resource Block (RB), o qual corresponde a meio subframe no tempo (1 slot) e um PRB na frequência. Assim, a cada TTI (Time Transmission Interval, igual a 1ms), a eNodeB escalona RBs para os UEs do sistema. Este projeto estimula o aluno a entender com mais detalhes a alocação de recursos do LTE e sua capacidade máxima teórica.

Para tal, o objetivo é entender a formulação de capacidade máxima do downlink (peak throughput) do LTE e do LTE-Advanced e prototipar uma função que calcule a taxa de transmissão máxima (teórica) para a variação dos parâmetros importantes da camada PHY. Para o LTE Release 8, tais parâmetros são:

- Banda disponível: 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz e 20 MHz;
- Tamanho do prefixo cíclico (CP): CP normal ou CP estendido;
- Valor da MCS: 0 a 28
- Esquema MIMO: Sem MIMO, MIMO2X2 e MIMO 4X4

Um dos grandes objetivos desse projeto é também identificar quais os parâmetros de camada PHY influenciam no cálculo da taxa de transmissão de pico do LTE-Advanced. Isso está bem mapeado para o Release 8, ficando como desafio o mapeamento para o Release 10.

Para release 8, o Downlink throughput é calculado baseado na especificação 3GPP 36.213, principalmente pelas tabelas 7.1.7.1-1 e 7.1.7.2.1-1. Outro desafio importante é mapear a norma que tem as tabelas do LTE-Advanced, e usá-las para a sua calculadora. Será a mesma normal, em sua versão mais atualizada?

Faça uma função chamada *calcTput*, que receba os parâmetros de entrada do LTE (podem ser diferentes para os Releases 8 e 10), qual o Release (se 8 ou 10), e devolva o valor da taxa de transmissão de pico do DL. Um parâmetro de entrada da função deve ser a SNR.

Existem duas maneiras de calcular a taxa de pico: (i) Pelas tabelas da norma (que incluem valores mais precisos em relação ao overhead); e (ii) Via equações que relacionam a capacidade do PRB e a disponibilidade de PRBs dependendo da banda escolhida. **Este projeto requisita os cálculos pelas duas formas!!!**

Construa, apresente e discuta a seguinte tabela para o Release 8 usando o menor prefixo cíclico:

MCS	Número de streams (MIMO)	Taxa de transmissão de pico (Mbps)					
		1,4 MHz		5 MHz		20 MHz	
		Equação	Tabela	Equação	Tabela	Equação	Tabela
1	1x1						
1	2x2						
1	4x4						
2	1x1						
2	2x2						
2	4x4						
...							
N	1x1						
N	2x2						
N	4x4						

Construa, apresente e discuta uma tabela similar para o Release 10. Inclua colunas para *Carrier Aggregation* e aumente o número de esquemas MIMO, se necessário.

Compare os resultados entre os Releases 8 e 10. Especule sobre os motivos técnicos que mais influência na diferença de taxa de pico entre os dois Releases.

Algumas referências interessantes:

<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>
<http://www.simpletechpost.com/p/throughput-calculator.html>
<https://www.aglmediagroup.com/wp-content/uploads/2015/03/Understanding-Carrier-Aggregation-150303.pdf>
<http://www.techplayon.com/lte-fdd-system-capacity-and-throughput-calculation/>
http://anisimoff.org/eng/lte_throughput_calculator.html
http://anisimoff.org/eng/lte_throughput.html
<http://www.techtrained.com/what-downlink-throughput-theoretical-can-you-achieve-in-lte-advanced-tdd/>

Tabela comparativa de algumas taxas do LTE e LTE-A:

LTE User Equipment Categories including LTE-A

	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Class 8
Peake rate DL/UL	10/5 Mbps	50/25 Mbps	100/50 Mbps	150/50 Mbps	300/75 Mbps	300/50 Mbps	300/100 Mbps	3000/1500Mbps
RF Bandwidth	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20 MHz	40 MHz	40 MHz	100 MHz
Modulation DL	64 QAM	64 QAM	64 QAM	64 QAM	64 QAM	64 QAM	64 QAM	64 QAM
Modulation UL	16 QAM	16 QAM	16 QAM	16 QAM	64 QAM	16 QAM	16 QAM	64 QAM
MIMO DL	optional	2 x 2	2 x 2	2 x 2	4 x 4	2 x 2 or 4 x 4	2 x 2 or 4 x 4	8 x 8
MIMO UL	no	no	no	no	no	no	2 x 2	4 x 4

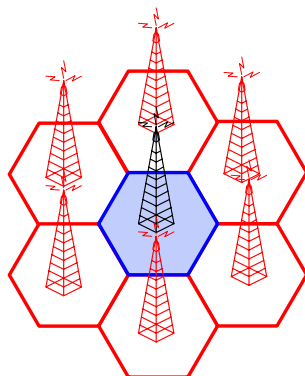
Commercial LTE devices now and near future (Classes 3, 4, 5)
 LTE-Advanced devices will be based on these User Equipment categories (Classes 6, 7, 8)

Defined in initial LTE release (3GPP Release 8) Defined in initial LTE-A release (3GPP Rel. 10)

Fonte: Bong Youl, NSN, LTE Advanced Overview, May 10, 20

Experimento 02: Modelagem do Throughput de Sistemas Modernos de Comunicações Sujeitos a Interferência Co-canal

1. Crie uma função para calcular do nível de sinal recebido em uma área de cobertura (mapa em duas dimensões). Considere:
 - a. Que todas as estações bases estão transmitindo em uma mesma frequência;
 - b. Que a área é coberta por 7 antenas de acordo com o disposto na figura a seguir. Deixe o valor de raio de hexágono e da frequência da portadora como parâmetro de entrada do seu código. Faça o grid com resolução espacial de 50 m (i.e., distribua pontos equidistantes de 50m um dos outros para montar o grid).

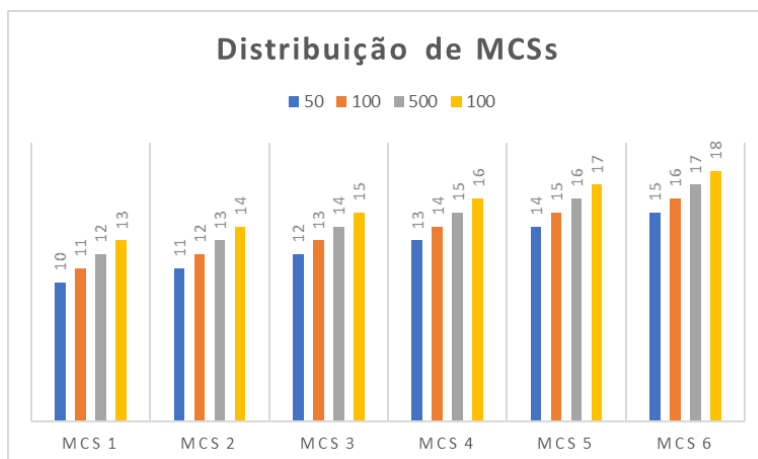


- c. Que a antena é centralizada no meio de cada hexágono. Considere uma área urbana de uma cidade grande. Despreze os ganhos das antenas (transmissora e receptora).
 - d. A potência recebida de cada ponto de medição (pontos do grid) é determinada pelo maior nível de potência recebida em relação a todas ERBs simuladas.
 - e. A perda de percurso regida pelo modelo COST231 Hata urban. Considere somente a atenuação devido à perda de percurso, $f=1900$ MHz, $h_t = 32$ m, potência de transmissão de 20W e $h_r = 1,5$ m;
2. Além da potência mínima de operação, a SINR é um fator de suma importância para garantir a Qualidade de Serviço (QoS) do sistema. Se o usuário estiver com SINR menor que uma mínima especificada, a Taxa de Erro de Bit (BER) é muito alta. Nessa situação, uma importante parcela do que é transmitido poderá ser perdido devido a BER alta.
 3. Assim, crie uma função para calcular a SINR em uma área de cobertura (mapa em duas dimensões). Considere:
 - a. Suponha que as estações base estão transmitindo por todo tempo e com potência máxima (similar a um sistema com reuso 1).
 - b. Considere a potência do ruído igual a -106,98 dBm.
 4. Uma terceira função deve ser criada para calcular a vazão útil recebida (*throughput*), levando em conta as seguintes premissas de modelagem:
 - a. A função chamada ***calcTput*** (construída no experimento 1) deve ser usada para calcular a taxa de transmissão dos pontos do grid;
 - b. Geralmente, um mapeamento link-to-system é usado para mapear os níveis de SINR em um SNR efetiva (SNRe), a qual pode ser usada para calcular a BER da transmissão. Neste trabalho, considere que a $SNRe = \beta \cdot SINR$, com $\beta = 0.9$ (se quiser ler sobre o assunto, consulte <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6008103>);
 - c. De posse da SNRe, use a formulação teórica da probabilidade de erro da modulação específica da MCS escolhida pela função ***calcTput*** para estimar a BER do enlace (BERe). Sugestão: modifique a função ***calcTput*** para que a BERe seja calculada e retornada como saída;
 - d. Sendo R_{TX} a taxa de transmissão e BERe a taxa de erro de bits calculada pela função ***calcTput***, a vazão útil do sistema pode ser estimada para cada ponto do grid como:

$$T_{put} = R_{TX}(1 - BER_e)$$

5. Os seguintes gráficos devem ser feitos, apresentados e discutidos no relatório:

1. REM (*Radio Environment Map*) de SINR para o grid com raio de 500 m;
2. Considerando a melhor situação de taxa de transmissão do sistema LTE, e raios de cobertura iguais a 50, 100, 500, 1000 metros, plotar as seguintes CDFs (3 gráficos de 4 linhas cada): da taxa de transmissão; da SINR; e do *throughput*. Discutir os seguintes pontos:
 - a. Qual o comportamento da CDF da taxa de transmissão? O que pode explicar o formato da curva? Quais observações podem ser feitas com a comparação das curvas traçadas para vários raios?
 - b. Qual o comportamento da CDF da SINR? O que pode explicar o formato da curva? Quais observações podem ser feitas com a comparação das curvas traçadas para vários raios?
 - c. Qual o comportamento da CDF do *throughput*? O que pode explicar o formato da curva? Quais observações podem ser feitas com a comparação das curvas traçadas para vários raios?
3. Considerando os raios de cobertura iguais a 50, 100, 500, 1000 metros, faça dois gráficos de distribuição de MCSs (número de pontos do grid com uma dada MCS): Um gráfico para a melhor situação de taxa de transmissão LTE, e outro para a melhor situação de taxa de transmissão LTE-advanced. O gráfico deve ficar similar a figura a seguir:



- a. Sugestão: modifique a função *calcTput* para que a *BER_e* seja calculada e retornada como saída.
- b. O valor do raio de cobertura influencia na distribuição de MCSs? Se sim ou não, qual a razão?
- c. O comportamento é o mesmo no LTE e no LTE-Advanced?

4. Escolha um raio que apresenta uma distribuição mais ampla de MCS e plote as seguintes CDFs (1 gráfico com 4 linhas): melhor situação de taxa de transmissão LTE, melhor situação de taxa de transmissão LTE-advanced, pior situação de taxa de transmissão LTE, pior situação de taxa de transmissão LTE-advanced.
 - a. Quais observações podem ser feitas com a comparação das curvas traçadas para vários raios? O que pode explicar esse comportamento?
5. Escolha um raio que apresenta uma distribuição mais ampla de MCS e plote um gráfico com as CDFs para cada modo de *carrier aggregation* do LTE-Advanced e melhor modo do LTE (considere MIMO 1x1, e prefixo cíclico normal para todas as CDFs).
 - a. Quais observações podem ser feitas com a comparação das curvas traçadas para vários raios? O que pode explicar esse comportamento?