



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ  
CAMPUS SOBRAL

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação (PPGEEC)**

**Sistemas de Comunicações Móveis - 2018.2**

**Prof. Dr. Rafael Lima**

**Exercícios de Simulações em Comunicações Móveis**

Equipe 1: Jair, Rafael e Brena

Questão: 1

Data prevista para entrega: penúltima semana do semestre

Equipe 2: Syllas, Leonardo e Arthur

Questão: 1

Data prevista para entrega: penúltima semana do semestre

Outras informações:

- Trabalho deve ser feito em MATLAB
- Apresentação por *slides* com teorias, metodologias empregadas, resultados e conclusões, além do código do MATLAB
- 1 aula para apresentação do trabalho por equipe.

**Questão 1** - Considere um sistema heterogêneo formado por uma macrocélula cuja ERB está localizada no centro dos eixos cartesianos em uma área circular de raio 2 km. Dentro desta mesma área, há uma picocélula de raio 300 m localizada ao longo do eixo das abscissas a uma distância de 1,7 km da ERB da macrocélula. Assuma que há dois usuários posicionados aleatoriamente (distribuição uniforme) sendo o primeiro (usuário 1) localizado dentro da área de cobertura da picocélula e o outro (usuário 2) fora dela. Considere os seguintes esquemas de transmissão:

- 1) Tanto a ERB macro como a pico transmitem para seus usuários ao mesmo tempo e no mesmo recurso em frequência. Portanto, durante um intervalo de tempo  $T$  as duas ERBs realizam transmissão simultaneamente.
- 2) A ERB macro e pico utilizam o mesmo recurso na frequência mas em tempos diferentes. Portanto, em um intervalo  $T$ , a ERB macro transmite durante o tempo  $\epsilon \leq T$  e a ERB pico transmite durante o próximo intervalo de tempo  $T - \epsilon$ .
- 3) Assuma que a ERB macro e pico são equipadas com múltiplas antenas e são capazes de realizar formatação de feixe (*beamforming*) no azimute. O feixe que parte da ERB macro e pico tem um ângulo de  $\theta$  (em graus) e ganho linear de  $\min(20, 360/\theta)$ . Tanto a ERB macro como a pico reusam os mesmos recursos de frequência durante todo intervalo de tempo  $T$ .
- 4) As ERBs macro e pico colaboram entre si para realizar a transmissão para seus terminais. Assim durante o tempo  $\epsilon \leq T$  as duas ERBs transmitem coerentemente para o terminal macro e durante o próximo intervalo de tempo  $T - \epsilon$  as duas ERBs transmitem coerentemente para o terminal pico. Assuma que devido a transmissão coerente, as potências recebidas por um dado terminal advinda das ERBs macro e pico podem ser somadas em uma única potência desejada.

Assuma que o modelo de perda de percurso é o lognormal dado por  $L(d) = L(d_0) + 10 \cdot n \cdot \log_{10}(d/d_0)$  em que  $d_0$  é a distância de referência,  $n$  é o coeficiente de perda de percurso, e  $L(d_0)$  é a perda de percurso em dB para distância de referência. Esta medida pode ser calculada utilizando o modelo do espaço livre. Assuma que a potência do ruído é  $P_N$ . O ganho do canal é considerado estático dentro do intervalo de tempo  $T$ . A potência de transmissão da ERB macro é  $P_{tx}^{macro}$  e da ERB pico é  $P_{tx}^{pico}$ . Assuma que a capacidade de um enlace em bits/s pode ser calculada pela expressão de Shannon modificada dada por:  $C = \min\left(\frac{\mu}{T} \cdot \alpha \cdot B \cdot \log_2\left(1 + \frac{SINR}{\beta}\right), 10^7\right)$ , em que  $\mu$  corresponde ao tempo em que o recurso de frequência é alocado dentro do intervalo de transmissão  $T$ ,  $\alpha$  corresponde a eficiência do uso da banda de transmissão,  $B$  é a banda de transmissão, SINR é razão sinal sobre o ruído somado a interferência, e por fim,  $\beta$  corresponde ao nível de redundância inserida pela codificação de canal.

Realize simulações de Monte Carlo seguindo o seguinte fluxo: posicione dois usuários no sistema de acordo com o modelo apresentado; assumo que as ERBs macro e pico transmitem informações durante um intervalo  $T$  de acordo com os 4 esquemas apresentados no enunciado; calcule suas respectivas taxas obtidas e as armazene; repita esse processo  $N$  vezes; por fim, plote CDFs das taxas dos obtidas pelo usuário macro e pico para cada um dos 4 esquemas propostos.

Realize simulações seguindo esse modelo e apresente resultados que auxiliam a responder as seguintes perguntas:

- Qual o impacto da variável  $\epsilon$  no desempenho dos terminais macro e pico para os esquemas 2 e 4?
- Qual o impacto da variável  $\theta$  no desempenho dos terminais macro e pico para o esquema 3?

- Qual a frequência das repetições de Monte Carlo em que há interferência no esquema 3 em função da variável  $\theta$ ?
- Faça uma discussão sobre o desempenho relativo dos 4 esquemas de transmissão. Discuta também sobre a complexidade necessária pensando em termos práticos para que estes esquemas sejam colocados em prática.

| Parâmetro                            | Valor | Unidade |
|--------------------------------------|-------|---------|
| Potência de transmissão da ERB macro | 40    | dBm     |
| Potência de transmissão da ERB pico  | 7     | dBm     |
| $T$                                  | 1     | ms      |
| $n$                                  | 4     | -       |
| $d_0$                                | 1     | M       |
| $L(d_0)$                             | 38,4  | dB      |
| $P_N$                                | -115  | dBm     |
| $\alpha$                             | 0,9   |         |
| $\beta$                              | 1,1   |         |
| $B$                                  | 5     | MHz     |

**Questão 2** – Assuma que existe uma única célula de cobertura circular de raio 2 km com uma ERB localizada no seu centro (origem dos eixos cartesianos). Dentro da área de cobertura existem  $J$  usuários uniformemente distribuídos que desejam receber informações da ERB no *downlink*. Para tal, a ERB recebe as informações que devem ser encaminhadas a cada terminal e as armazena em um *buffer* individual para cada terminal. Considere duas políticas para o comportamento do tráfego:

- 1) Assuma que o *buffer* de transmissão na ERB para cada terminal sempre está cheio com informações a serem transmitidas. Esse esquema é denominado *full buffer*; ou
- 2) Os pacotes de informações a serem transmitidos a cada usuário chegam na ERB aleatoriamente. O tempo entre chegadas de pacotes para um dado usuário deve seguir a distribuição estatística exponencial com média  $\mu$ . Cada pacote possui um tamanho fixo igual a  $b$  bits. Assuma que a capacidade de armazenamento do buffer é ilimitada.

Realize uma simulação dinâmica que emula o avanço temporal do sistema durante  $N$  intervalos de transmissão. Cada intervalo de transmissão tem uma duração  $T$ . A cada intervalo de transmissão, a ERB deve decidir qual terminal irá transmitir durante o intervalo de duração  $T$  seguindo alguma política de escalonamento de pacotes. O ganho de canal dos enlaces de rádio são considerados estáticos durante o intervalo  $T$ . Assuma que a quantidade de bits transmitidos para um dado terminal escalonado durante o período  $T$  é dado pelo inteiro mais próximo de  $b_{tx} = \min\left(T \cdot \alpha \cdot B \cdot \log_2\left(1 + \frac{SNR}{\beta}\right), 10^4\right)$ , em que  $\alpha$  corresponde a eficiência do uso da banda de transmissão,  $B$  é a banda de transmissão, SNR é razão sinal sobre o ruído, e por fim,  $\beta$  corresponde ao nível de redundância inserida pela codificação de canal. Note que a taxa experimentada por este dado usuário é de  $\frac{b_{tx}}{T}$ . Assuma que a chegada de pacotes ocorre sempre no início de um intervalo de transmissão, sempre que for o caso. Após a transmissão

de um certo usuário, a quantidade de bits em seu *buffer* correspondente deve ser atualizada descontando o total de bits transmitidos.

Assuma que o modelo de perda de percurso é o lognormal dado por  $L(d) = L(d_0) + 10.n.\log_{10}(d/d_0)$  em que  $d_0$  é a distância de referência,  $n$  é o coeficiente de perda de percurso, e  $L(d_0)$  é a perda de percurso em dB para distância de referência. Esta medida pode ser calculada utilizando o modelo do espaço livre. Assuma que a potência do ruído é  $P_N$ . A potência de transmissão da ERB é  $P_{tx}$ . Modele o desvanecimento lognormal com desvio padrão  $\sigma$  e um desvanecimento de curto prazo do tipo Rayleigh com ganho dado por  $|x + j.y|^2$  em que  $x$  e  $y$  são variáveis aleatórias Normais com média zero e desvio padrão  $1/\sqrt{2}$ . Note que a perda de percurso e desvanecimento de larga escala são mantidas fixas durante os  $N$  intervalos de transmissão simulados, enquanto que o desvanecimento de curto prazo deve ser sorteado a cada intervalo de transmissão.

Considere as seguintes políticas de escalonamento de pacotes:

- 1) *Round-Robin*: Nesta estratégia, os usuários são servidos de forma cíclica a fim de prover uma justiça máxima quanto ao número de oportunidades de transmissão.
- 2) *Máxima taxa*: Em cada intervalo de transmissão será escolhido o usuário que possui o melhor ganho de canal para ERB calculado através dos modelos de perda de percurso e desvanecimento de longo e curto prazo assumidos.
- 3) *Fair throughput*: Em um dado intervalo de transmissão será escolhido o usuário que possui a menor taxa média filtrada dada por  $\bar{R}_j(t) = \tau.\bar{R}_j(t-1) + (1-\tau).R_j(t-1)$  em que  $R_j(t-1)$  é a taxa de dados efetivamente transmitida ao terminal  $j$  no tempo  $t-1$  e  $\tau$  é o fator de esquecimento usado na filtragem temporal. Note que  $0 \leq \tau \leq 1$ . A taxa filtrada deve ser atualizada para todos terminais ao final de cada intervalo de transmissão independente se ele transmitiu ou não.
- 4) *Proportional Fair*: Em um dado intervalo de transmissão será escolhido o usuário que possui a maior razão entre a possível taxa de transmissão de dados atual e a taxa média filtrada dada por  $\bar{R}_j(t)$ . A taxa de transmissão de dados atual é calculada através da expressão da capacidade aplicada a SNR experimentada caso o usuário fosse escalonado no intervalo de transmissão  $t$ .

Importante observar que no caso em que a chegada de pacotes é modelada, caso o usuário com maior prioridade nos escalonadores acima não tenha nenhuma informação para receber, o próximo usuário com maior prioridade deve ser escolhido. Realize  $S$  repetições de Monte Carlo de simulações dinâmicas com duração de  $N$  intervalos de transmissão empregando cada uma das políticas de comportamento de tráfego e cada um dos escalonadores mencionados. Cada uma das simulações deve ser realizada assumindo  $J$  usuários no sistema. Para cada das repetições dinâmicas, armazene a taxa média experimentada por cada usuário que é dada pelo total de bits transmitidos dividido pelo tempo total de simulação. Armazene também o número total de bits transmitido pela ERB durante o período de simulação. Outra informação relevante é o número de dados retidos no buffer dos usuários ao final da simulação.

Realize simulações seguindo esse modelo e apresente resultados que auxiliam a responder às seguintes perguntas:

- Para o caso *full buffer* e um número de usuários fixo, o que podemos comentar a respeito do compromisso entre taxa total transmitida pelo sistema e a justiça (distribuição igualitária de taxa média entre os usuários) para os 4 escalonadores?
- Para o caso com chegada de pacotes e um número de usuários fixo, o que podemos comentar a respeito do compromisso entre taxa total transmitida pelo sistema e a justiça (distribuição igualitária de taxa média entre os usuários) para os 4 escalonadores?
- Como a taxa total transmitida pela ERB se comporta com o aumento do número de usuários no sistema para os 4 escalonadores para os casos *full buffer* e com chegada de pacotes?
- Como a CDF das taxas médias dos usuários se comporta com o aumento do número de usuários no sistema para os 4 escalonadores para os casos *full buffer* e com chegada de pacotes?

| Parâmetro | Valor       | Unidade |
|-----------|-------------|---------|
| $J$       | 10 (padrão) | -       |
| $\mu$     | 10          | ms      |
| $b$       | 3000        | bits    |
| $N$       | 200         | -       |
| $T$       | 1           | ms      |
| $n$       | 4           | -       |
| $d_0$     | 1           | m       |
| $L(d_0)$  | 38,4        | dB      |
| $P_N$     | -115        | dBm     |
| $\alpha$  | 0,9         |         |
| $\beta$   | 1,1         |         |
| $B$       | 5           | MHz     |
| $P_{tx}$  | 40          | dBm     |
| $\sigma$  | 8           | dB      |
| $\tau$    | 0,9         | -       |
| $S$       | 20          | -       |

