

**Trabalho de Simulação de MAB-515**  
**Primeiro Semestre de 2018 - Prof. Paulo Aguiar**  
**Grupo de 3 alunos máximo**  
**V2.0 (26/06/2018)**

**Entrega sem penalização até o meio-dia de 11/07/2018**  
**Data máxima de entrega: meio dia de 13/07/2018**

Os trabalhos entregues até ao meio-dia de 04/07/2018, quarta-feira, serão corrigidos até o dia da prova substitutiva.

O grupo deverá estar formado até a aula de quarta-feira, 02/05/2018.  
Mande a formação do grupo por e-mail para [aguiar@ufri.br](mailto:aguiar@ufri.br), com o assunto Grupo MAB515. Caso algum aluno não esteja em um grupo, ele terá que fazer o trabalho de forma individual.

### **Objetivo do trabalho**

Este trabalho visa avaliar o desempenho de um roteador, servindo a tráfego de dados e voz e transmitindo num canal de comunicação de 2 Mbps.

Como o tráfego de voz é sensível a atraso, este tráfego terá prioridade sobre o tráfego de dados. Simularemos o comportamento do roteador como um servidor único e duas filas de espera, atendendo a dois grupos de fregueses: dados e voz. O tempo de serviço do pacote de dados será a variável aleatória  $X_1$  e o tempo de serviço do pacote de voz será a variável aleatória  $X_2$ . A voz será prioritária em relação a dados.

Obteremos medidas estatísticas para serviço prioritário preemptivo (interrupção de transmissão de pacote de dados pela chegada de pacote de voz e retorno do pacote para a fila de espera para aguardar nova transmissão de todo o pacote) e serviço prioritário não preemptivo (pacote de dados em transmissão não sendo interrompido pela chegada de pacote de voz).

Em ambas as disciplinas, a fila de espera de pacotes de dados só volta a ser servida, quando a fila de espera de pacotes de voz se esvaziar. Pacotes em cada fila são servidos na ordem de chegada (FIFO).

### **Grupo 1 : Tráfego de Dados**

O tráfego de dados é um fluxo Poisson típico de uma rede local, com pacotes variando de 64 bytes a 1500 bytes. Para este tráfego, o tamanho do pacote de dados  $L$ , número inteiro de bytes, será obtido a partir de uma distribuição mista com pdf (ao obter a amostra de  $L$  terá que arredondar para valor inteiro):

- $f_L(x) = p_1 * u_0(x-64) + p_2 * u_0(x-512) + p_3 * u_0(x-1500) +$

$$(p/1436)[u_{-1}(x-64) - u_{-1}(x-1500)]$$

com  $p_1=30\%$ ,  $p_2=10\%$ ,  $p_3 = 30\%$ ,  $p = 1 - p_1 - p_2 - p_3 = 30\%$ .

A probabilidade  $p$  está uniformemente distribuída entre 64 e 1500.  
Verifique que o tamanho médio do pacote  $E[L]$  é de **755 bytes**.

Observe que o tempo de serviço  $X_1$  será obtido dividindo o tamanho de pacote em bits por 2 MBps, que é a taxa de transmissão no enlace físico.

A taxa de chegada  $\lambda_1$  deste grupo (em pacotes/segundo) irá variar de modo a que a utilização  $\rho_1 = \lambda_1$ .  $E[X_1]$  varie de 10% a 70%, em incrementos de 0,10. Isto significa que a simulação irá obter resultados para 7 diferentes valores de taxa  $\lambda_1$ .

Este incremento do tráfego de dados irá contribuir para um aumento da utilização do canal, forçando o aparecimento de filas de espera que aumentarão com o aumento do tráfego, de forma exponencial.

Iremos mensurar o impacto do aumento do tráfego de dados na qualidade de transmissão do tráfego de voz, para as duas variações de atendimento prioritário.

## Grupo 2: Tráfego de Voz

O segundo grupo, de maior prioridade, corresponde à emulação de 30 canais de voz, **independentes**. Cada canal de voz será modelado com períodos de atividade e silêncio.

Durante o período de atividade de um canal de voz, as chegadas dos pacotes de voz neste canal ocorrerão com intervalos determinísticos de 16 ms, cada chegada correspondendo a um pacote de voz com tamanho fixo de 512 bits (64 bytes).

A duração do período de atividade de um canal de voz será determinada pelo número de pacotes de voz a ser gerado durante o intervalo de atividade. O número  $N$  de pacotes de voz durante o período de atividade será tirado de uma distribuição geométrica com média de 22 pacotes, isto é:

- $P(N=n) = (1-p)^{(n-1)}p$ ,  $p > 0$  e  $E[N] = 1/p = 22$

**O período de atividade médio será então de  $22 \cdot 16 \text{ ms} = 352 \text{ ms}$ .**

**Observe que o período de silêncio somente se inicia 16 ms após a chegada do último pacote do período de atividade.** Neste instante, a simulação irá gerar um período de silêncio com distribuição exponencial e média igual a **650 ms**. O final do período de silêncio deve coincidir com a chegada do primeiro pacote de voz do período de atividade subsequente. Este comportamento deverá ser observado para cada um dos 30 canais de voz.

Considerando os períodos de atividade e de silêncio, cada canal de voz corresponderá a uma taxa  $= (352 \text{ ms}/1002 \text{ ms}) \cdot (512 \text{ bits}/16 \text{ ms}) = 11,24 \text{ Kbps}$ .

Os 30 canais de voz corresponderão a uma taxa de 337,24 Kbps no canal de 2 Mbps, ou seja, 16,86% de utilização.

Nossa simulação irá, no caso não preemptivo, exercitar o canal de comunicação na faixa de utilização de 26,86% a 86,86%, dado que a utilização do tráfego de dados irá variar entre 10% e 70%. Para o caso preemptivo, a faixa de utilização será maior, já que transmissões serão abortadas e terão que ser retransmitidas.

Pode até acontecer que a fila de espera para dados fique instável para tráfegos mais intensos (grupo 1 poderá vivenciar atrasos extremamente grandes). Neste caso, obtenha os ICs para as estatísticas do grupo 2 da forma estabelecida, não se preocupando com a precisão dos ICs do grupo 1. Este comportamento deverá ser comprovado na simulação. Faça as observações pertinentes em seu relatório.

No instante  $t=0$  do simulador, gere um período de silêncio (da amostra exponencial) inicialmente para cada um dos 30 canais de voz, o que servirá para dessincronizar naturalmente as chamadas. Também em  $t=0$  pode ser programado um evento do tráfego de dados.

## Estatísticas

As estatísticas básicas deverão ser plotadas com intervalo de confiança de 90%. O tamanho do intervalo (limite superior menos limite inferior) não deverá ser maior que 10% do valor central do intervalo, para os casos de estabilidade. Caso haja algum caso de instabilidade no grupo 1 como já comentado, esta restrição não se aplica, e deverá ser plotado o intervalo que for computado, independentemente do seu tamanho. Observe que neste caso, a qualidade da simulação (escolha da fase transiente, número de rodadas e número de fregueses por rodada) será garantida pelas estatísticas do grupo 2, que deverão atender à restrição do tamanho do intervalo de confiança.

Deveremos obter o conjunto de estatísticas para os dois casos: preemptivo e não preemptivo.

### As estatísticas básicas a serem obtidas são:

- **E[T1]** – tempo médio no sistema para pacotes de dados, medido do instante de chegada até o final da transmissão;
- **E[W1]** - tempo médio na fila de espera para pacotes de dados. Caso o pacote seja abortado e retorne à fila de espera, este novo retorno contribui para o tempo de espera em fila;
- **E[X1]** – tempo médio gasto no serviço. Caso o pacote seja abortado, os tempos gastos no servidor com transmissão parcial são somados ao tempo da transmissão com sucesso do pacote para cálculo do tempo de serviço do pacote de dados, que será maior do que seria se não houvesse interrupção;
- **E[Nq1]** – número médio de pacotes de dados na fila de espera
- **E[T2]** - tempo médio no sistema para pacotes de voz, medido do instante de chegada até o final da transmissão;
- **E[W2]** - tempo médio na fila de espera para pacotes de voz;

- **E[Nq2]**- número médio de pacotes de voz na fila de espera

Na obtenção das estatísticas do número de pacotes na fila de espera, use o método das áreas, como descrito na apostila e em sala. **Não use o resultado de Little para obter estas estatísticas.** Você pode usar Little para ter uma ideia da correção de seus resultados.

### Estatísticas específicas para o tráfego de voz:

O tempo entre chegadas de pacotes de voz num canal é determinístico e igual a 16 ms. Em média, em cada intervalo ativo, observaremos 21 destes intervalos, que correspondem à chegada de 22 pacotes.

Para analisar a qualidade do serviço experimentado pelo tráfego de voz, queremos observar o tempo correspondente entre os inícios das transmissões de pacotes de voz pertencentes a um mesmo período ativo e determinar a média e a variância destes tempos, considerando o que aconteceu em todos os 30 canais. Além de sofrer as interferências do tráfego de dados, pacotes de voz poderão interferir entre si, já que são transmitidos com prioridade, mas em fila FIFO.

Deveremos computar, então, os intervalos entre inícios de transmissão de pacotes de voz de um mesmo período de atividade, para todos os canais de voz. Observe que um pacote de voz poderá influir no tempo no sistema de outro pacote de voz, já que a fila de pacotes de voz é servida FCFS.

Para cada rodada da simulação (iniciada com uma determinada semente), computaremos a variância destes intervalos de transmissão de voz, digamos  $\Delta_j$ , para o j-ésimo intervalo, assumindo todos os canais neste cálculo. Seja  $n_k$  o número

$$E[\Delta_k] = \frac{\sum_{j=1}^{n_k} \Delta_j}{n_k}, \quad E[\Delta] = \frac{\sum_{k=1}^n E[\Delta_k]}{n}, \quad V(\Delta_k) = \frac{\sum_{j=1}^{n_k} (\Delta_j - E[\Delta_k])^2}{n_k - 1}, \quad V(\Delta) = \frac{\sum_{k=1}^n V(\Delta_k)}{n}$$

de intervalos considerados na k-ésima rodada de simulação. Seja  $n$  o número de rodadas de simulação. Obtenha as seguintes estatísticas:

Plotaremos os ICs de 90% de t-Student considerando como objetivo: o estimador da média dos intervalos entre pacotes de voz  $E[\Delta]$  e o estimador da variância destes intervalos  $V(\Delta)$ .

Observe que a qualidade da simulação (fase transiente, número de rodadas, número de fregueses por rodada) será determinada pelas outras estatísticas, cujo intervalo de confiança deverá ter um tamanho total não superior a 10% do valor médio do intervalo. O tamanho do intervalo de confiança de 90% para estas duas estatísticas específicas para a voz será o que for medido e constatado, sem necessidade de terem precisão prévia.

O programa de simulação deverá fornecer o intervalo de confiança de 90% para:  $E[T1]$ ,  $E[W1]$ ,  $E[X1]$ ,  $E[Nq1]$ ,  $E[T2]$ ,  $E[W2]$ ,  $E[Nq2]$ ,  $E[\Delta]$  e  $V(\Delta)$  para  $\rho_1=0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50; 0,60$  e  $0,70$ .

Os resultados deverão ser fornecidos em forma de tabela, para facilitar a comparação entre os trabalhos:

$\rho_1$	$E[T1]$			$E[W1]$			$E[X1]$			$E[Nq1]$			$E[T2]$			$E[W2]$			$E[Nq2]$			$E[\Delta]$			$V(\Delta)$		
.1																											
.2																											
.3																											
.4																											
.5																											
.6																											
.7																											

Alternativamente, você poderá plotar os resultados em gráficos que apresentem os intervalos de confiança para cada utilização e métrica. Veja o texto sobre resultados no relatório.

Para uma dada utilização e um dado parâmetro temos 3 valores: o limite inferior do intervalo de confiança, o valor médio estimado, e o limite superior do intervalo de confiança. O intervalo de confiança não deve ter uma largura superior a 10% do valor médio do intervalo, para qualquer das 7 primeiras estatísticas. Você poderá sempre melhorar seus intervalos através de uma escolha adequada de parâmetros. As duas últimas estatísticas terão o intervalo de confiança sem restrições, exceto que ele terá que ser obtido nas mesmas condições dos resultados das outras estatísticas. Teremos duas tabelas, uma para cada condição de prioridade.

Para o cálculo do intervalo de confiança, você rodará o simulador um certo número  $n$  de vezes, usando o método batch ou o método replicativo (leia o capítulo 16). Para cada rodada você calculará os 9 parâmetros, que serão as amostras da grandeza que você quer estimar. Você terá  $n$  amostras de cada grandeza e a partir delas você calculará o intervalo de confiança de 90% correspondente.

## Relatório

O relatório deverá conter necessariamente as seções abaixo, na sequência apresentada:

### 1) Introdução (10 pontos)

Descreva com detalhes a implementação do simulador, explicando:

- funcionamento geral do simulador
- linguagem utilizada e razão pela escolha
- estruturas internas utilizadas, eventos utilizados e explicação detalhada de como foi implementada a lista de eventos

- a forma de geração das variáveis aleatórias envolvidas (facilidades de geração de número aleatório da linguagem utilizada)
- método de simulação: batch ou replicativo, indicando como as sementes foram definidas e como se garantiu que as rodadas são independentes;
- indicar claramente como o final de rodada é determinado;
- explicação da escolha dos parâmetros utilizados (número de fregueses coletados por rodada, número de rodadas, etc) para atingir o tamanho requerido do IC, grau de dificuldade para se chegar aos valores, etc.
- máquina que usou para rodar a simulação e tempo gasto na execução completa da simulação
- outras informações pertinentes.

**Seu simulador terá que ter uma fila de eventos única.**

## **2) Teste de Correção (10 pontos)**

Nesta seção você descreverá os testes de correção que foram efetuados para garantir o funcionamento perfeito do simulador. Cuidados especiais você deverá ter em verificar se a obtenção das estatísticas dos pacotes de voz está correta. Como sugestão, faça testes com intervalos de silêncio determinísticos, sem tráfego de dados, com tráfego de dados determinístico, de forma a verificar para poucos pacotes a obtenção correta de estatísticas que você pode antecipar quais sejam. Descreva e anexe estes procedimentos de teste. Apenas citar não é suficiente. Você tem que coletar dados e incorporá-los no relatório.

Os testes de correção são importantíssimos, pois determinam a confiança que você terá nos resultados. Veja, por Little, se a obtenção das estatísticas de tempo de espera na fila e número médio na fila de espera estão de acordo.

De uma maneira geral, procure ter plena certeza de que o programa está executando o que você quer simular. Inserção de eventos na fila de controle pode ser fonte de erro. Tenha certeza de que a geração das amostras está correta.

## **3) Estimativa da fase transiente (10 pontos)**

Nesta seção você descreverá como a fase transiente foi estimada para os diversos valores de  $\rho_1$  (obviamente existem situações mais críticas que outras e você deve analisar isso). Apresente resultados quantitativos que justificam sua escolha.

Lembre-se que a fase transiente poderá ser diferente para valores diferentes de utilização. Será preciso demonstrar isso e indicar quais valores de fase transiente são necessários para cada métrica e utilização. A partir desta discussão, você pode concluir quais valores você utilizou no seu simulador.

Muitas simulações calculam o fim da fase transiente de forma automática, mas será preciso coletar a informação que foi usada pelo programa para determinar o fim desta fase. O método para obtenção do final da fase transiente deve ser explicado. É preciso deixar bem claro onde e como se determina o final da fase transiente. Computar um número de eventos de chegada é errado e não será aceito, como já visado em sala de aula.

#### **4) Listagem documentada do programa (10 pontos).**

A documentação do código fonte deverá ser feita com rigor, explicando cada subrotina ou passo da programação. Os comentários são fundamentais. Lembre-se que terei que ler todos os programas dos alunos e um programa mal documentado receberá avaliação baixa.

#### **5) Tabelas com os resultados e comentários pertinentes (50 pontos)**

Não deixe de comentar os resultados e sua interpretação para eles. Além da tabela ou gráfico dos resultados, para cada utilização, as escolhas de fase transiente, tamanho de rodada e número de rodadas devem ser também indicadas. Tem que ficar claro qual a escolha que levou à obtenção de cada resultado.

Nesta seção, você deve demonstrar que as escolhas são robustas, selecionando novas sementes e mostrando que os tamanhos dos ICs continuam a ser atingidos.

Procure interpretar o resultado, pois o aumento do tráfego de dados irá afetar a qualidade do tráfego de voz. Tráfego de voz perde qualidade quando o atraso absoluto fim a fim cresce acima de 200 ms (contando tudo mesmo, desde a digitalização da voz até a reprodução no destino, passando pelos inúmeros hops entre os dois interlocutores de uma chamada), pois impacta na interatividade. Por outro lado, quanto maior for a variância na chegada de pacotes, maior é o tamanho do buffer local usado antes da reprodução da voz, o que irá impactar no atraso total fim a fim. Neste trabalho, estamos simulando o uso de um codificador gera no período ativo 32 Kbps, típico de uma chamada VoIP Skype ou Whatsapp. Estes codificadores compactam a voz e em geral possuem um atraso intrínseco de dezenas de ms adicionalmente, tanto na geração quanto na recepção. Este atraso do codec é adicionado a tudo mais e tem que ser levado em consideração.

#### **6) Conclusões (10 pontos)**

Coloque aqui seus comentários e conclusões.

Descreva dificuldades encontradas, otimizações feitas, e outras conclusões que você tirou do trabalho. Comente o que poderia ser melhor, tempo de execução do seu programa, e outros comentários que você julgar relevante.

Procure identificar opções que foram escolhidas pelo grupo e justificativas. Não economize em reflexões, pois elas são importantes.

Cada uma das seções terá seu peso na avaliação. Portanto, não deixe que falte nenhuma seção no seu relatório.

Embora tenha que entregar a listagem do programa e sua documentação, você não precisa entregar a priori o executável, mas ele poderá ser exigido posteriormente. Mantenha-o com você até a nota final do curso.

### Bônus (10 pontos)

Procure otimizar o seu simulador, procurando minimizar o número de rodadas, tamanho de fase transiente e número de eventos por rodada. Computando o total de eventos de chegada gerados entre todas as rodadas e fases transientes como fator indicativo do desempenho do simulador, determine este fator.

Procure relacionar o fator com o tempo para rodar a simulação.

Para utilizações diferentes, você deve procurar determinar parâmetros mínimos.

Mas só faça isso se tiver completado todo o trabalho de forma rigorosa.

Bônus só serão computados para trabalhos que tenham nota pelo menos 9.