

Modelagem e Avaliação de Desempenho

Pós Graduação em Engenharia Elétrica - PPGEE

Prof. Carlos Marcelo Pedroso

2011

Simulação de Sistemas

- Simulação é a técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema utilizando um computador digital
- Metodologia:
 - Construção de um modelo da situação atual e reproduzir computacionalmente
 - Inclusão de alterações para o estudo de otimizações desejadas

Simulação de Sistemas

- O método de Monte Carlo
 - Deveu-se a revisão de uma técnica matemática utilizada por cientistas do projeto Manhattan, em Los Alamos, década de 1940, publicada em 1949
 - Na aplicação desta técnica, os dados são gerados empregando-se um gerador de número aleatórios e uma distribuição de probabilidade que descreve a variável aleatória de interesse

Simulação de Sistemas

- O método de Monte Carlo
 - 1 Definir o domínio de entradas possíveis
 - 2 Gerar as entradas de acordo com uma distribuição de probabilidade que descreve a entrada
 - 3 Realizar o processamento determinístico das entrada
 - 4 Agregar os resultados e retornar ao passo 2.

Geração de Variáveis Aleatórias

- Método da inversa
 - Toma-se a distribuição acumulada da variável aleatória, da por $P(X \leq x) = F(x)$
 - Atribui-se um valor randômico entre 0 e 1 para $F(x)$.
 - Calcula-se o valor de x
 - Desta forma, para cada valor randômico entre 0 e 1 R_i será obtido um valor de x_i .
- Exemplo: Distribuição Exponencial.

Geração de Variáveis Aleatórias

□ Exercícios:

- Calcule a expressão para obter uma variável aleatória que segue a distribuição uniforme
- Calcule a expressão para obter uma variável aleatória que segue a distribuição triangular
- Determine como utilizar o método para uma distribuição empírica

Geração de Números Randômicos

- Um dos problemas a serem resolvidos é como gerar números randômicos, uniformemente distribuídos entre 0 e 1.
- Gerador Congruente Linear (“LCG”)
 - Definido pela equação linear $x_{n+1} = (ax_n + b) \text{ mod } m$
 - Produz uma sequência entre $\{0, 1, \dots, m-1\}$
 - Pode-se chamar $LCG(m, a, b, x_0)$
 - x_0 é a semente (valor inicial)

Geração de Números Randômicos

□ Método Tausworthe

- $$x_n = \theta_1 x_{n-1} \oplus \theta_2 x_{n-2} \oplus \dots \oplus \theta_q x_{n-q}$$

O método é chamado gerador auto regressivo de ordem q (AR(q)). Este método é utilizado em sistemas criptográficos.

Geração de Variáveis aleatórias

- Algumas distribuições podem não possuir expressão analítica para distribuição acumulada (é o caso da distribuição normal).
- Neste caso, é necessário aplicar outros métodos.
- Um dos métodos é o método “acceptance-rejection”
- Para gerar uma VA X com distribuição $F(x)$:
 - = Toma-se uma distribuição $G(y)$ com método

Geração de Variáveis aleatórias

Acceptance-Rejection Algorithm for continuous random variables

1. Generate a rv Y distributed as G .
2. Generate U (independent from Y).
3. If

$$U \leq \frac{f(Y)}{cg(Y)},$$

then set $X = Y$ (“accept”) ; otherwise go back to 1 (“reject”).

Acceptance-Rejection Method

Example 1: Generating a random variable from

$$f_X(x) = 3x^2, \quad 0 \leq x \leq 1.$$

Assume

$$g_X(x) = 1, \quad 0 \leq x \leq 1.$$

Thus

$$\max\left(\frac{f_X(x)}{g_X(x)}\right) = 3 = c.$$

$$\frac{f_X(x)}{cg_X(x)} = x^2.$$

Algorithm:

- 1) Generate two uniform random variables U_1 and U_2 from $U(0, 1)$.
- 2) If $U_2 \leq U_1^2$ accept U_1 as the random variable from $f_X(x)$, otherwise go to step 1).

Distribuição Normal

□ Aproximação:

$$x_i = F^{-1}(R_i) = [R_i^{0,135} - (1-R_i)^{0,135}] / 0,1975$$

– Média 0, desvio padrão 1 [N(0, 1)]

É possível transformar para qualquer outra média μ e desvio padrão σ , fazendo:

- $y_i = \mu + \sigma x_i$

Distribuição Normal

□ *Método acceptance-rejection:*

- 1. Gere duas variáveis randômicas com distr. Uniforme $U(0,1)$, R_1 e R_2*
- 2. Seja $x = -\ln R_1$*
- 3. Se $R_2 > e^{-(1/2)(x-1)^2}$, volte ao passo 1*
- 4. Gere R_3*
- 5. Se $R_3 > 0.5$, retorne $\mu + \sigma x$, caso contrário retorne $\mu - \sigma x$*

Exercício

- 1- Utilize o Método de Monte Carlo para realizar a simulação de uma fila com um servidor, onde o intervalo entre chegadas segue a distribuição exponencial e o tempo de atendimento também segue a distribuição exponencial. Compare o tempo médio na fila com os resultados obtidos com a teoria de filas, modelo M/M/1.
- 2- Utilize o Método de Monte Carlo para realizar uma simulação de forma a determinar o valor do número π através de uma simulação.

Análise de resultados

- A análise de resultados de uma simulação deve ser feita de maneira muito cuidadosa
 - Especialmente, não cometa o erro de generalizar resultados específicos
 - Para fazer qualquer tipo de inferência sobre os resultados, é necessário realizar uma análise estatística

Confiança estatística

- Um intervalo de confiança compreende um intervalo numérico que possui uma probabilidade igual a $(1-\alpha)$ de incluir o verdadeiro valor da medida de desempenho sob análise, com um nível de confiança.
 - $(1-\alpha)$ representa o intervalo de confiança.
 - α representa o erro admitido ao se concluir sobre a presença do verdadeiro valor da variável no intervalo calculado.

Confiança estatística

- Suponha que foi simulado o tempo médio na fila em um sistema.
 - Assumindo que a variável aleatória X representa o tempo médio na fila.
 - A simulação foi realizada 5 vezes, tomando-se o cuidado de iniciar a simulação com valores de sementes diferentes

Confiança estatística

□ Os resultados obtidos foram:

□ O semi-intervalo h é calculado por

$$h = t_{n-1, 1-\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

- n é o número de rodadas
- σ é o desvio padrão
- t indica os valores críticos para distr. t student

Rodada	X
1	63,2
2	69,7
3	67,3
4	64,8
5	72

Valores críticos – t student

Valores de t para v graus de liberdade

v	0,995	0,99	0,975	0,95	0,90
1	63,66	31,82	12,71	6,31	3,08
2	9,92	6,96	4,30	2,92	1,89
3	5,84	4,54	3,18	2,35	1,64
4	4,60	3,75	2,78	2,13	1,53
5	4,03	3,36	2,57	2,02	1,48
6	3,71	3,14	2,45	1,94	1,44
7	3,50	3,00	2,36	1,90	1,42
8	3,36	2,90	2,31	1,86	1,40
9	3,25	2,82	2,26	1,83	1,38
10	3,17	2,76	2,23	1,81	1,37
11	3,11	2,72	2,20	1,80	1,36
12	3,06	2,68	2,18	1,78	1,36
13	3,01	2,65	2,16	1,77	1,35
14	2,98	2,62	2,14	1,76	1,34
15	2,95	2,60	2,13	1,75	1,34
16	2,92	2,58	2,12	1,75	1,34
17	2,90	2,57	2,11	1,74	1,33
18	2,88	2,55	2,10	1,73	1,33
19	2,86	2,54	2,09	1,73	1,33
20	2,84	2,53	2,09	1,72	1,32
21	2,83	2,52	2,08	1,72	1,32
22	2,82	2,51	2,07	1,72	1,32
23	2,81	2,50	2,07	1,71	1,32
24	2,80	2,49	2,06	1,71	1,32
25	2,79	2,48	2,06	1,71	1,32
26	2,78	2,48	2,06	1,71	1,32
27	2,77	2,47	2,05	1,70	1,31
28	2,76	2,47	2,05	1,70	1,31
29	2,76	2,46	2,04	1,70	1,31
30	2,75	2,46	2,04	1,70	1,31
40	2,70	2,42	2,02	1,68	1,30
60	2,66	2,39	2,00	1,67	1,30
120	2,62	2,36	1,98	1,66	1,29
> 120	2,58	2,33	1,96	1,65	1,28

Confiança estatística

- No caso anterior, a média calculada é 67,74 e o desvio padrão σ é igual a 3,57;
- Para 99% de confiança, $\alpha=0,05$ e $t_{4, 0.995}=4,6$
- O valor de h calculado é de 7,34
- Os limites para 99% de confiança serão [60,06 ; 74,74]

Exercícios

- Utilize a simulação de fila realizada anteriormente, para chegadas exponenciais e atendimentos exponenciais.
 - Calcule o semi intervalo h para um nível de confiança de 99%
 - O que fazer para melhorar a resposta? (melhorar a resposta implica em reduzir ao mínimo o valor de h).

Exercícios

- Suponha novamente o sistema com uma fila. No entanto, desta vez, suponha que a chegada é modelada por uma distribuição normal $N(5, 10)$ e o atendimento é modelado também por uma distribuição normal $N(4, 20)$.
 - Determine o tempo médio de fila e tempo médio no sistema.
 - Realize a simulação de forma a obter uma boa resposta para para o nível de confiança de 99%.
 - Interprete os resultados.

Exercícios

- Suponha novamente o sistema com uma fila. No entanto, desta vez, suponha que a chegada é modelada por uma distribuição exponencial com média 4 e o atendimento é modelado também por uma distribuição de Pareto com parâmetros $\alpha=2,5$ e $\beta=2$. A distribuição de Pareto é uma distribuição de cauda pesada.
 - Determine o tempo médio de fila e tempo médio no sistema.
 - Realize a simulação de forma a obter uma boa resposta para para o nível de confiança de 99%.
 - Interprete os resultados.

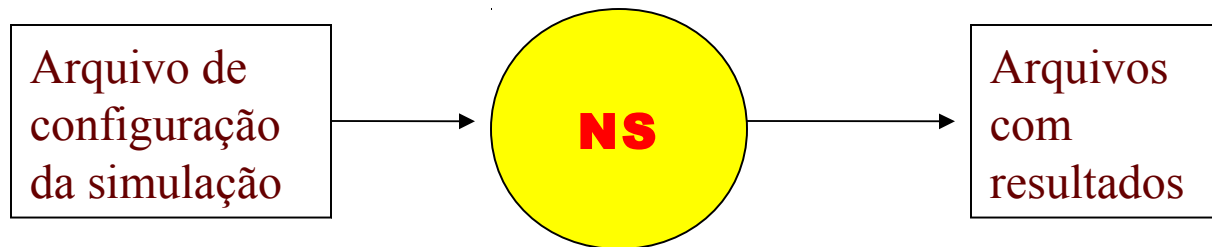
Distribuição de Pareto	
Parâmetros	α, β $\alpha > 0$, parâmetro de forma $\beta > 0$, parâmetro de escala
Limites	$b \leq x < +\infty$
Densidade de Probabilidade	$f(x) = \frac{\alpha\beta^\alpha}{x^{\alpha+1}}$
Distribuição Acumulada	$F(x) = 1 - \left(\frac{\beta}{x}\right)^\alpha$
Esperança ($E[X]$)	$\frac{\alpha\beta}{\alpha-1}, \alpha > 1$
Variança ($Var[X]$)	$\frac{\alpha\beta^2}{(\alpha-1)^2(\alpha-2)}, \alpha > 2$

Simuladores

- O desempenho de redes de comunicação pode ser estudado através de simulações;
- O simulador pode apresentar resultados muito próximos do que se obteria na realidade;
- Os resultados devem ser tratados com rigor estatístico.

Network Simulator

- O NS é um simulador escrito em C++ com interpretador OTcl como frontend.



NS – Exemplo 1

```
#Create a simulator object
set ns [new Simulator]

#Open the nam trace file
set nf [open out.nam w]
$ns namtrace-all $nf

#Create two nodes
set n0 [$ns node]
set n1 [$ns node]

#Create a duplex link between the nodes
$ns duplex-link $n0 $n1 1Mb 10ms DropTail
```

NS – Exemplo 1

```
#Create a UDP agent and attach it to node n0
set udp0 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $n0 $udp0
```

```
# Create a CBR traffic source and attach it to udp0
set cbr0 [new Application/Traffic/CBR]
$cbr0 set packetSize_ 500
$cbr0 set interval_ 0.005
$cbr0 attach-agent $udp0
```

```
#Create a Null agent (a traffic sink) and attach it to node
set null0 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $n1 $null0
```

NS – Exemplo 1

```
#Connect the traffic source with the traffic sink
$ns connect $udp0 $null0

#Schedule events for the CBR agent
$ns at 0.5 "$cbr0 start"
$ns at 4.5 "$cbr0 stop"
#Call the finish procedure after 5 seconds of simulation time
$ns at 5.0 "finish"

#Run the simulation
$ns run
```

NS – Exemplo 1

```
#Define a 'finish' procedure
proc finish {} {
    global ns nf
    $ns flush-trace
    #Close the trace file
    close $nf
    #Execute nam on the trace file
    exec nam out.nam &
    exit 0
}
```

NS – Exemplo 1

```
E:\ns>ns exemplo1.tcl
```

```
E:\ns>dir
```

```
Volume in drive E is DADOS
```

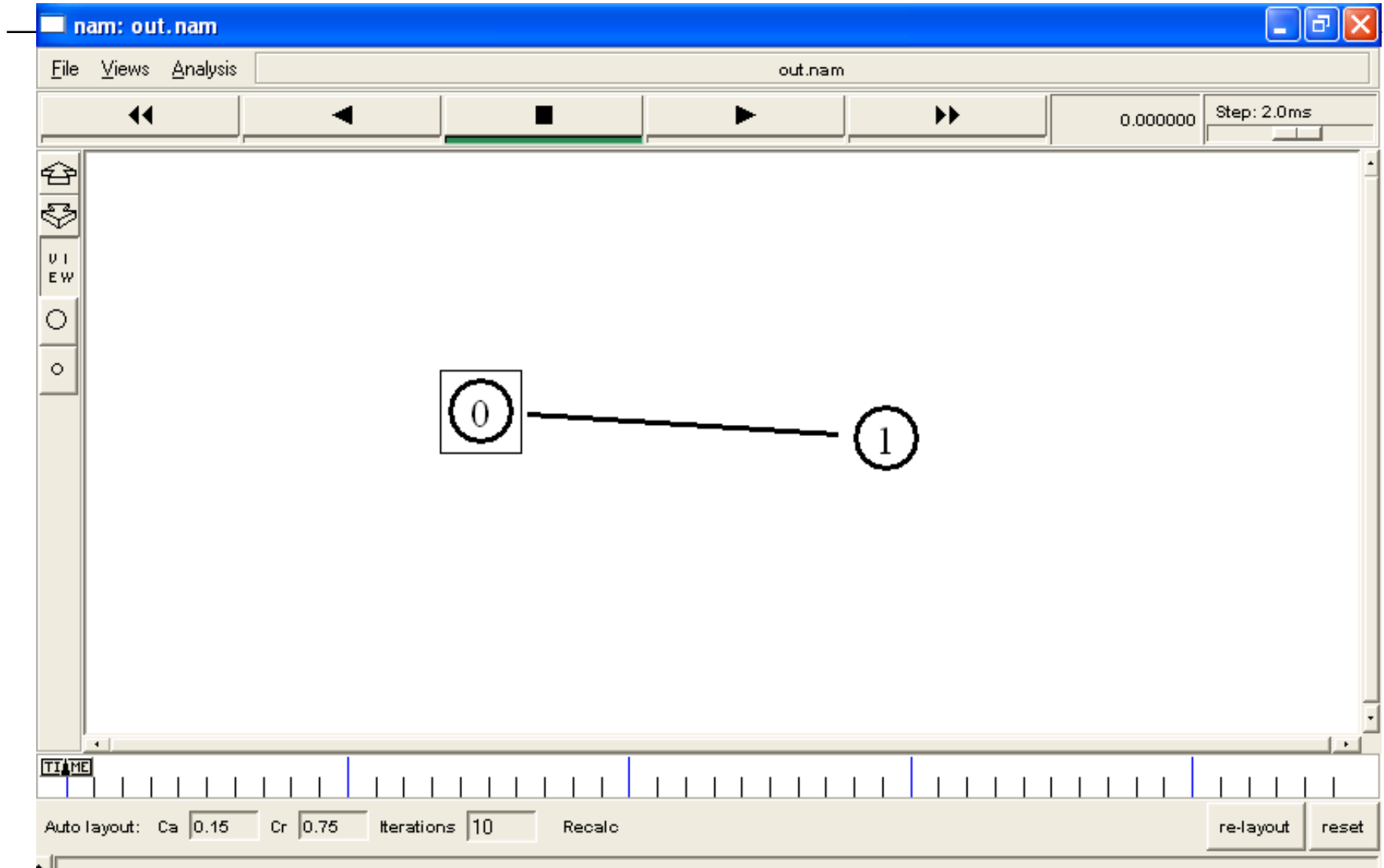
```
Volume Serial Number is 0862-F827
```

```
Directory of E:\ns
```

```
10/06/2003  07:11 PM    <DIR>          .
10/06/2003  07:11 PM    <DIR>          ..
10/06/2003  07:36 PM              1,378 exemplo1.tcl
09/11/2003  01:51 PM          1,531,904 NS.exe
10/06/2003  07:29 PM          1,871,899 NAM.exe
10/06/2003  09:20 PM           292,916 out.nam
10/06/2003  07:36 PM              1,128 exemplo2.tcl
12 File(s)          15,000,772 bytes
                4 Dir(s)    1,362,657,280 bytes free
```

```
E:\ns>nam out.nam
```

NAM - Network Animator



NS – Exemplo2

```
#Create a simulator object
set ns [new Simulator]
#Define different colors for data flows
$ns color 1 Blue
$ns color 2 Red
#Open the nam trace file
set nf [open out.nam w]
$ns namtrace-all $nf
```


NS – Exemplo2

```
#Create four nodes
```

```
set n0 [$ns node]
```

```
set n1 [$ns node]
```

```
set n2 [$ns node]
```

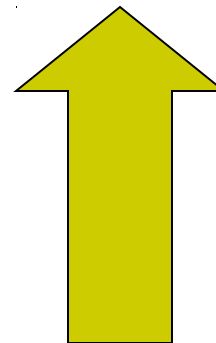
```
set n3 [$ns node]
```

```
#Create links between the nodes
```

```
$ns duplex-link $n0 $n2 1Mb 10ms DropTail
```

```
$ns duplex-link $n1 $n2 1Mb 10ms DropTail
```

```
$ns duplex-link $n3 $n2 1Mb 10ms SFQ
```



NS – Exemplo2

```
#Monitor the queue for the link between node 2  
and node 3
```

```
$ns duplex-link-op $n2 $n3 queuePos 0.5
```

```
#Create a UDP agent and attach it to node n0
```

```
set udp0 [new Agent/UDP]
```

```
$udp0 set class_ 1
```

```
$ns attach-agent $n0 $udp0
```

```
# Create a CBR traffic source and attach it to  
udp0
```

```
set cbr0 [new Application/Traffic/CBR]
```

```
$cbr0 set packetSize_ 500
```

```
$cbr0 set interval_ 0.005
```

```
$cbr0 attach-agent $udp0
```



800Kb/s

NS – Exemplo2

```
#Create a UDP agent and attach it to node n1  
set udp1 [new Agent/UDP]  
$ns attach-agent $n1 $udp1
```

```
# Create a CBR traffic source and attach it to udp1  
set cbr1 [new Application/Traffic/CBR]  
$cbr1 set packetSize_ 500  
$cbr1 set interval_ 0.005  
$cbr1 attach-agent $udp1
```



800Kb/s

NS – Exemplo2

```
#Create a Null agent (a traffic sink) and attach it to node n3
set null0 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $n3 $null0
```

```
#Connect the traffic sources with the traffic sink
$ns connect $udp0 $null0
$ns connect $udp1 $null0
```

NS – Exemplo2

```
#Schedule events for the CBR agents
$ns at 0.5 "$cbr0 start"
$ns at 1.0 "$cbr1 start"
$ns at 4.0 "$cbr1 stop"
$ns at 4.5 "$cbr0 stop"
#Call the finish procedure after 5 seconds of
simulation time
$ns at 5.0 "finish"

#Run the simulation
$ns run
```

NS – Exemplo2

```
#Schedule events for the CBR agents
```

```
$ns at 0.5 "$cbr0 start"
```

```
$ns at 1.0 "$cbr1 start"
```

```
$ns at 4.0 "$cbr1 stop"
```

```
$ns at 4.5 "$cbr0 stop"
```

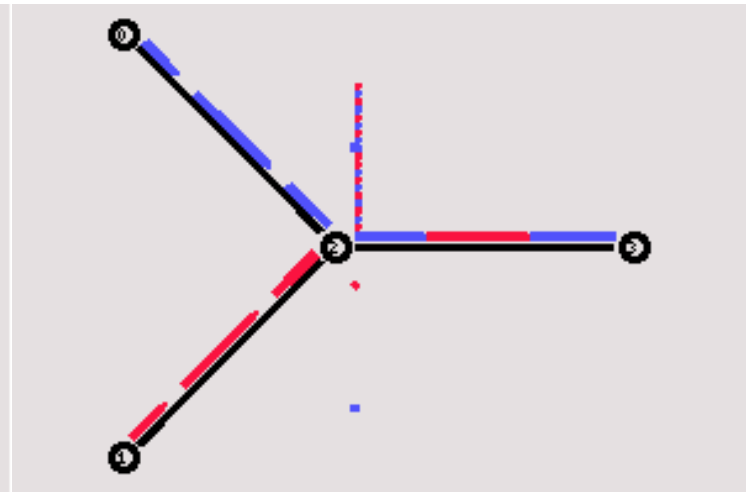
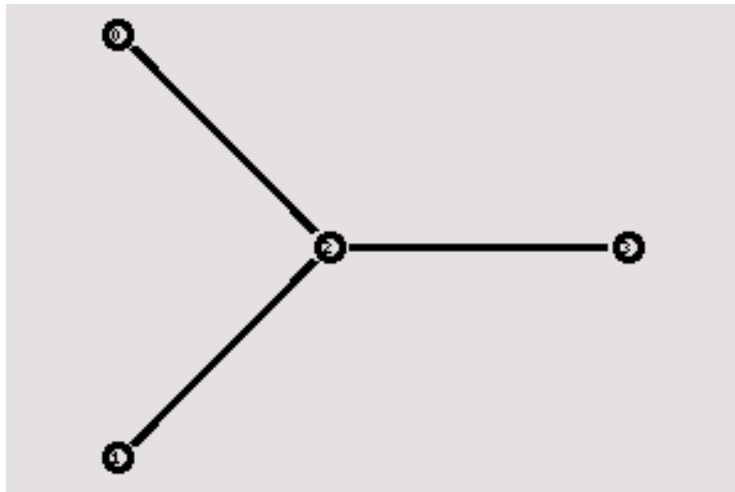
```
#Call the finish procedure after 5 seconds of simulation time
```

```
$ns at 5.0 "finish"
```

```
#Run the simulation
```

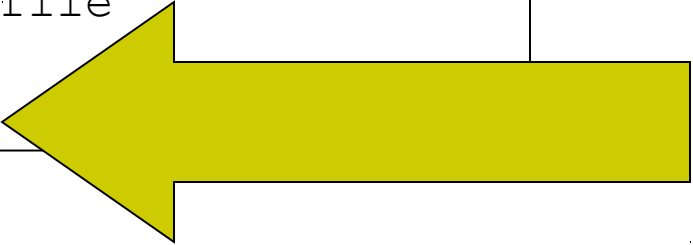
```
$ns run
```

NS – Exemplo2



NS – Exemplo4

```
#Open the NAM trace file
set nam_file [open out.nam w]
$ns namtrace-all $nam_file
set tf [open out.tr w]
$ns trace-all $tf
```



```
#Simulation time
set SimTime 3.0
#Bottleneck link
Bandwidth
set bw 10Mb
#Bottleneck link delay
set delay 20ms
#Bottleneck link
queuetype
set queuetype DropTail
```

```
#Buffer Size
set BufferSize 50
#TCP packet size
set packetsize 1000
#TCP window size
set window size 80
#Initialize a variable
set old_data 0
```


NS – Exemplo4

```
#Set Queue size of the bottleneck link (n2-n3) to 20
$ns queue-limit $n2 $n3 $BufferSize
```

```
#Create four nodes
set n0 [$ns node]
set n1 [$ns node]
set n2 [$ns node]
set n3 [$ns node]
#Connect the nodes - Create links between the nodes
$ns duplex-link $n0 $n2 100Mb 2ms DropTail
$ns duplex-link $n1 $n2 100Mb 2ms DropTail
$ns duplex-link $n2 $n3 $bw $delay $queuetype
```

NS – Exemplo4

```
#Setup a TCP connection
set agent_tcp [new Agent/TCP]

#Attach TCP Agent to source node n0
$ns attach-agent $n0 $agent_tcp
set agent_sink [new Agent/TCPSink]

#Attach a TCPSink Agent to destination node n3
$ns attach-agent $n3 $agent_sink

#Connect TCP Agent with TCPSink Agent
$ns connect $agent_tcp $agent_sink

#Flow Identity for TCP
$agent_tcp set fid_ 1
```

NS – Exemplo4

```
#TCP parameters
$agent_tcp set packet_size_ $packet_size
$agent_tcp set window_ $window_size
#Setup a FTP traffic over TCP connection
set traf_ftp [new Application/FTP]
$traf_ftp attach-agent $agent_tcp
```

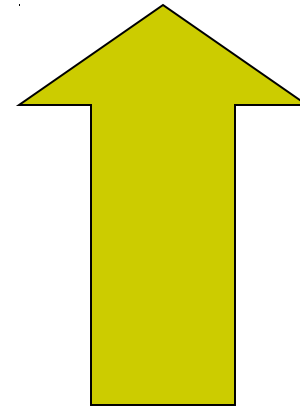
NS – Exemplo4

```
#Setup a UDP connection
set agent_udp [new Agent/UDP]
#Attach UDP Agent to source node n1
$ns attach-agent $n1 $agent_udp
set agent_null [new Agent/Null]
#Attach a Null Agent to destination node n3
$ns attach-agent $n3 $agent_null
#Connect UDP Agent with NULL Agent
$ns connect $agent_udp $agent_null
#Flow Identity for UDP
$agent_udp set fid_ 2
#Setup a CBR traffic over UDP connection
set traf_cbr [new Application/Traffic/CBR]
$traf_cbr attach-agent $agent_udp
```

NS – Exemplo4

```
#CBR parameters
$traf_cbr set packet_size_ 1000
$traf_cbr set rate_ 4Mb
$ns at 0.0 "$ns trace-queue $n2 $n3 $trace_file"
```

- Verifique o algoritmo *slow start* do TCP utilizando o NAM



Transmitindo sobre o UDP

□ UDP

- `set udp [new Agent/UDP]`
- `set null [new Agent/Null]`
- `$ns attach-agent $n0 $udp`
- `$ns attach-agent $n1 $null`
- `$ns connect $udp $null`

Geradores de tráfego sobre o UDP

□ CBR

- set src [new Application/Traffic/CBR]
- \$src attach-agent \$udp
- \$ns at 3.0 "\$src start"

□ Exponential

- set src [new Application/Traffic/Exponential]

□ Pareto on/off

- set src [new Application/Traffic/Pareto]

Criando uma conexão TCP

□ TCP

- `set tcp [new Agent/TCP]`
- `set tcpsink [new Agent/TCPSink]`
- `$ns attach-agent $n0 $tcp`
- `$ns attach-agent $n1 $tcpsink`
- `$ns connect $tcp $tcpsink`

Aplicações sobre o TCP

□ FTP

- set ftp [new Application/FTP]
- \$ftp attach-agent \$tcp
- \$ns at 3.0 "\$ftp start"

□ Telnet

- set telnet [new Application/Telnet]
- \$telnet attach-agent \$tcp
- \$ns at 3.0 "\$telnet start"

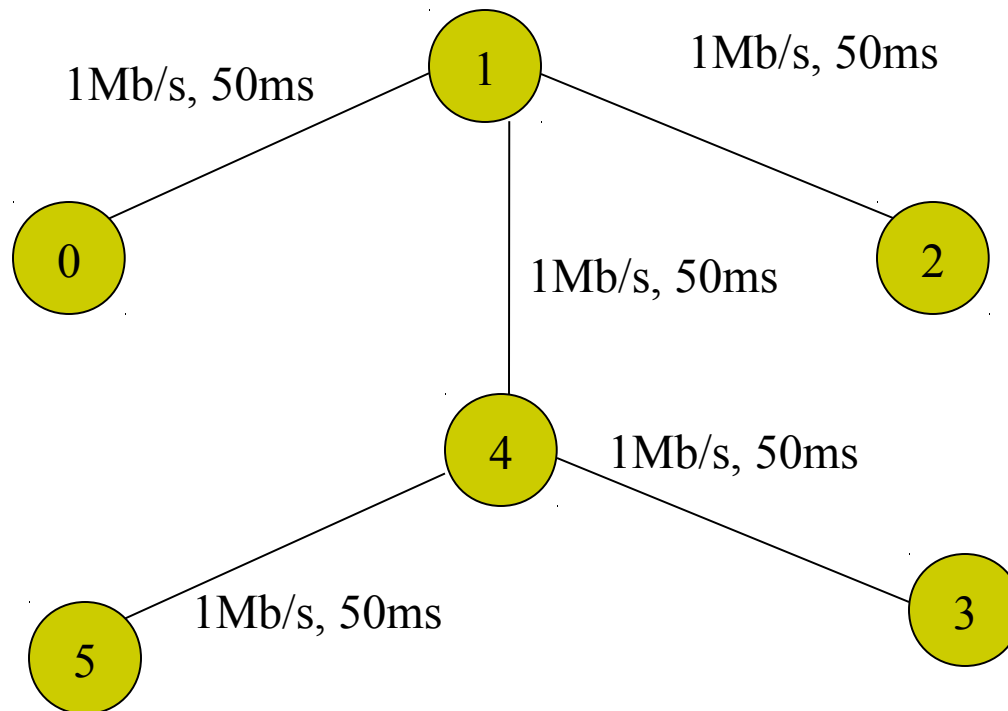
Aplicações sobre o TCP

□ Web

- set session [new httpSession \$ns <numPages>
<clientNode>]
- Exemplo

Exercícios

- Escreva uma simulação para a topologia abaixo:



Exercício

- Adicione aplicativos CBR transmitindo de 0 para 2, de 3 para 2 e de 5 para 2 sobre o protocolo UDP;
- Aumente progressivamente a taxa de geração de tráfego e determine o ponto de saturação da rede. Compare com o máximo teórico;
- Repita a operação utilizando como gerador de tráfego uma aplicação do tipo FTP e verifique como o algoritmo de gerência de janela ativa reduziu a taxa de transmissão. A divisão de banda é justa?
- Troque o algoritmo de descarte para SFQ e verifique se a justiça melhorou
- Adicione um gerador de tráfego UDP anote o efeito sobre os aplicativos TCP