



AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE TRÁFEGO EM REDES DE COMUNICAÇÃO

Palavras-Chave: Tempos de atraso, Volume de tráfego de pacotes, Redes IOT, Simulação por eventos discretos

Autores:

Caíque Gomes Guerreiro, FT – UNICAMP

Prof. Dr. Edson Luiz Ursini (orientador), FT - UNICAMP

Resumo

1. Introdução

O objetivo deste trabalho de Iniciação Científica também é didático e, portanto, vamos construir a rede em várias etapas. Inicialmente, um único nó M/M/1 será avaliado e sua fila será descrita e estudada. Depois será realizado o estudo para a rede completa e sua análise será feita por meio dos conceitos de rede de Jackson, [6]. A utilização da rede de Jackson permitirá a valdção do modelo de Simulação por Eventos Discretos. Uma vez obtidos os valores da rede de Jackson, ela será utilizada para validar o modelo de Simulação por Eventos Discretos, feito com a ferramenta SimEvents do Simulink (Matlab)

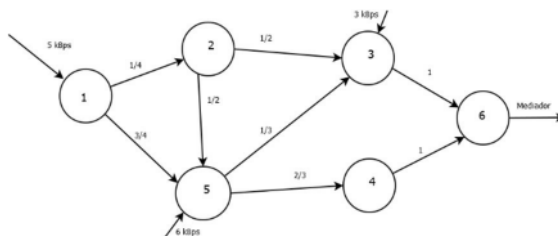


Figura 1: Rede básica para estudo

Na rede da Fig.1, uma rede típica para sensores IoT, cada nó tem probabilidades diferentes de encaminhamento. O nó 1, por exemplo, tem $\frac{1}{4}$ de probabilidade de enviar ao nó 2 e $\frac{3}{4}$ de probabilidade de enviar ao nó 5. O nó 6 (mediador) é o nó que vai receber todos os pacotes trafegados pela rede. Apenas três nós são os que originam pacotes: O nó 1 que gera $\lambda_1 = 5$ kbytes/s (kBps), o nó 3, que gera $\lambda_3 = 3$ kbytes/s, e o nó 5 que gera $\lambda_5 = 6$ kbytes/s. Os demais nós funcionam apenas como passagem dos dados da rede. Ou seja, os nós 4 e 2 podem ser classificados apenas como gateways. Por outro lado, as taxas com que os nós processam os pacotes são as seguintes: para os nós 2 e 4 utilizaremos $\mu_2 = \mu_4 = 6$ kbytes/s, para os nós 1 e 3 de $\mu_1 = \mu_3 = 3$ kbytes/s e para o nó 5 serão trabalhadas as

taxas de $\mu_{51} = 2,5$ kbytes/s com probabilidade $1/3$, e $\mu_{52} = 3$ kbytes/s. Observar que os nós 3 e 4 enviam tudo que recebem para o nó 6 (mediador), que processa com taxa $\mu_6 = 20$ kbytes/s.

2. Um nó básico: a fila M/M/1

A fila MM1 pode ser descrita como um sistema de servidor único, chegada Poissoniana, fila e população infinitas e atendimento por ordem de chegada (FIFO-primeiro a chegar, primeiro a ser atendido). A Fig. 2 mostra uma fila M/M/1 genérica que representa um nó da rede estudada.



Fila 2: Nó da rede – fila M/M/1

O modelo pode ser descrito como uma Cadeia de Markov de tempo contínuo com matriz de taxa de transição no espaço de estados $\{0,1,2,3, \dots\}$. Esta é igual à cadeia de Markov de tempo contínuo no processo de nascimento e morte. O diagrama do espaço de estados para esta cadeia é como o seguinte (Fig. 3), [8]:

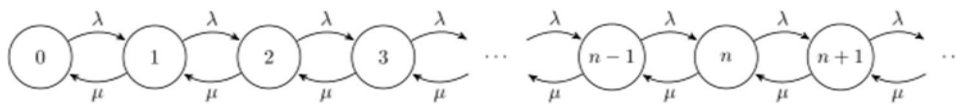


Figura 3: Diagrama de espaço de estados do M/M/1

No estado estacionário, as seguintes fórmulas podem ser utilizadas, [1], [2], [3], [4]:

$$L = \frac{\rho}{1-\rho} = \text{número de usuários (jobs ou pacotes) no sistema}$$

$$L_q = \rho L = \text{número de usuários (jobs ou pacotes) na fila}$$

$$T = \frac{1}{\mu - \rho} = \text{tempo médio no sistema (fila + serviço)}$$

$$W_q = \rho T = \text{tempo médio esperando na fila}$$

$P_n = (1 - \rho)\rho^n =$ probabilidade de que n usuários (jobs ou pacotes) estejam no sistema em um dado instante do tempo.

O modelo de simulação de um nó único:

Para efeito de efetuar a simulação escolhemos o nó 1, pois ele é o único que gera e processa os pacotes, podendo ser tratado como uma fila independente. A Fig. 4 mostra esse nó como simulado no SimEvents do Simulink, ou no ARENA, [7]:

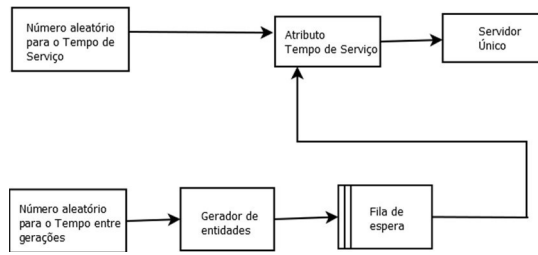


Figura 4: Um nó M/M/1

A simulação desse nó é o primeiro passo para a simulação da rede completa. A interligação com os demais nós será feita em seguida, usando os conceitos da Rede de Jackson, [6].

3. A rede de Jackson

Pelo fato de que temos as taxas oferecidas à rede (valores que podem ter sido obtidos por medições), podemos calcular as taxas em cada um dos nós. A matriz R, Tabela I, mostra as probabilidades entre cada um dos nós da rede da Fig. 1:

Tabela I - Matriz R:

Nó	1	2	3	4	5
1	-	0,25	-	-	0,75
2	-	-	0,5	-	0,5
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	0,33	0,67	-

Por sua vez, apenas três nós têm geração de taxas (1, 3 e 5) e os demais nós são apenas para passagem dos pacotes. A matriz Λ , Tabela II, mostra as taxas geradas em cada nó (kbytes/s, ou kbps):

Tabela II - matriz Λ

Nó	1	2	3	4	5
Taxa (λ) - kbytes/s	5	-	3	-	6

Sabe-se, de [6], que $\Gamma = \Lambda(I - R)^{-1}$. Portanto, usando o Matlab para representar ambas as tabelas, temos:

R =

```

0 0.2500 0 0 0.7500
0 0 0.5000 0 0.5000
0 0 0 0 0
0 0 0 0 0
0 0 0.3333 0.6667 0
  
```

>> lambda=[5 0 3 0 6];

Em seguida, calculamos gamma. A matriz eye(5) é a identidade de quinta ordem.

>> gamma=lambda*(eye(5)-R)^(-1)

gamma =

5.0000 1.2500 7.0833 6.9167 10.3750

O resultado analítico mostra as taxas em cada um dos nós, mas não mostra ainda os atrasos a partir de cada origem. Esses atrasos são função também das taxas praticadas em cada enlace.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

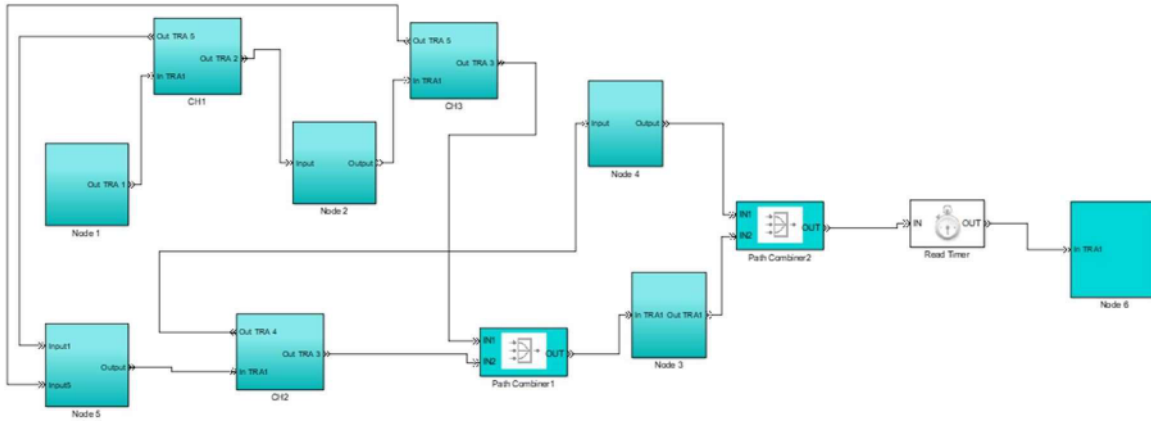


Figura 5: Rede Utilizada

PRIMEIRA CONSTATAÇÃO: As taxas de transmissão de cada nó eram incompatíveis, o que pôde ser constatado pelo próprio modelo analítico.

Dessa maneira, as taxas de transmissão (de serviço) em cada nó passaram para:

Nó 1 = 8kbytes/s; Nó 2 = 6 kbytes/s; Nó 3 = 12 kbytes/s; Nó 4 = 10 kbytes/s; Nó 5 = 15 kbytes/s; Nó 6 = 20 kbytes/s. Podemos notar que são maiores do que os cálculos analíticos, o que deixa a rede sem atraso.

Dessa maneira, tivemos diferenças ao usar exponencial, constante ou lognormal para as chegadas nos nós 1, 3 e 5, mas as diferenças foram pequenas (veja o valor de A = média). A fórmula utilizada para os intervalos de confiança foi a que aparece a seguir. Onde $\bar{x} = A$ é a média e B é o desvio-padrão amostral, $B = \frac{s}{\sqrt{n}}$.

$$IC = \bar{x} \pm 3 \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} = A \pm 3 \cdot B$$

Taxa de transmissão exponencial em todos os nós (exemplo do Nó 1, que gera chamadas como os nós 3 e 5 também geram).

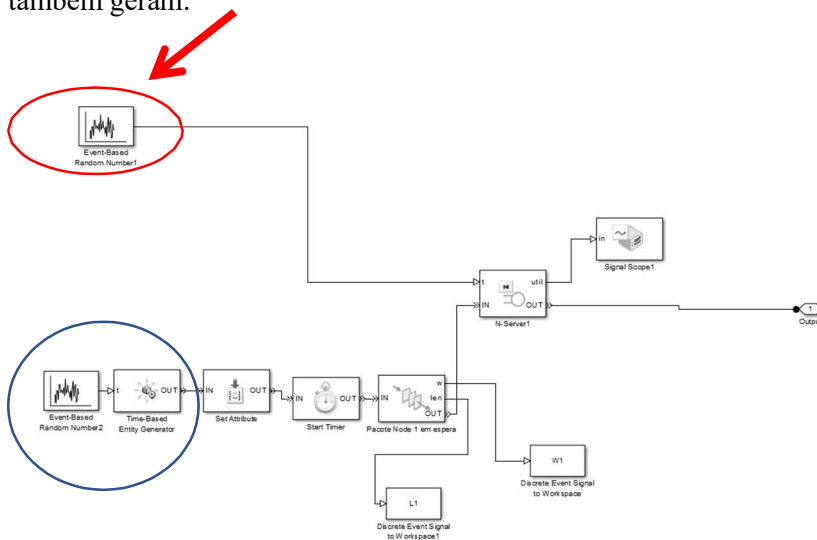


Figura 6: Nó 1

A Figura a seguir mostra as taxas observadas em cada nó. Cabe ressaltar que essa figura foi feita com apenas 6000 observações e, por isso, não ficou tão precisa como os valores mostrados no cálculo com o Matlab (vide valor “gamma”, antes das conclusões. Observa-se que os valores utilizados para exemplificar o trabalho, com o Nó 5, tiveram em torno de 500 mil observações, ou seja, quase cem 85 vezes mais.

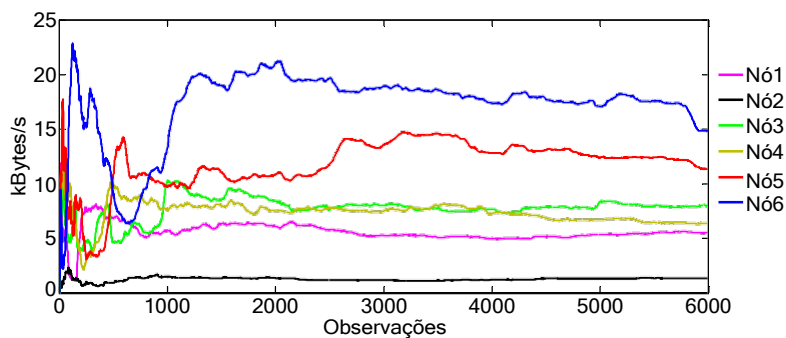


Figura 7: Resultados em cada Nó

CONCLUSÃO:

Concluimos, portanto, que a análise de desempenho de tráfego em redes é fundamental para identificar possíveis gargalos, incompatibilidades de taxas de transmissão e determinar parâmetros adequados para uma operação eficiente da rede. O uso de modelos analíticos e o Teorema de Little se mostraram ferramentas valiosas para realizar essas análises. É importante ressaltar que, em ambientes reais, é necessário continuar monitorando e ajustando a rede conforme necessário para garantir o melhor desempenho possível e atender às necessidades dos usuários e aplicações.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Fernandes de Araújo, Jéssica, **Estudo da Teoria de Filas com Aplicações**, TCC - Universidade de Brasília, Depto. De Estatística, 2015
- [1] UNICAMP, IMECC. **Apostila de introdução a teoria das filas**. Disponível em: Acesso em: 17 de Outubro de 2021
- [3] COSTA, Luciano Cajado, **Teoria das Filas**. Universidade Federal do Maranhão – UFMA
- [4] UERJ, Faculdade de Engenharia. FEN/UERJ. **Descrição do professor Gil Pinheiro**. Disponível em: . Acesso em: 17, Agosto de 2021
- [6] Tipper, David, Associate Professor, **Graduate Telecommunications and Networking Program** University of Pittsburgh.
- [7] FREITAS Filho, P. J., **Introdução à modelagem e simulação de redes**. Visual Books, 2008.
- [8] Fila M/M/1, Wikipedia, https://pt.wikipedia.org/wiki/Fila_M/M/1, acesso em 12 de março de 2023.