

Estudo comparativo do desempenho da transferência de dados nas arquiteturas RINA e TCP/IP

Djalma A. Lima Filho, José A. Suruagy Monteiro

Centro de Informática – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Recife - PE - Brasil

dalf@cin.ufpe.br, suruagy@cin.ufpe.br

Abstract. *The current Internet architecture has limitations that interfere with its development. Due to the accentuated growth of new applications demands, the TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) model presents limitations making it complex. The Recursive InterNetwork Architecture (RINA) is an architecture proposal for the Internet of the future based on inter process communication that proposes solutions to solve the main limitations in the conventional Internet structure. This paper presents a comparative study of data transfer performances in RINA and TCP/IP architectures. The results obtained with the experiments lead to the conclusion that RINA presents a better performance in relation to the TCP/IP architecture when the delays are insufficient to interfere in the transmission of the data. Moreover, through the exploratory analysis of the data, when the large delays, RINA, through its control mechanisms, solves the congestion problem more effectively due to its recursive nature in relation to the TCP / IP model.*

Resumo. *A arquitetura atual da Internet apresenta limitações que interferem no seu desenvolvimento. Devido ao crescimento acentuado de novas demandas de aplicações, o modelo TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) apresenta limitações tornando-o complexo. A Arquitetura Recursiva Interredes (RINA) é uma proposta de arquitetura para a Internet do futuro baseada na comunicação entre processos que propõe soluções para resolver as principais limitações na estrutura da Internet convencional. Este artigo apresenta um estudo comparativo do desempenho da transferência de dados nas arquiteturas RINA e TCP/IP. Os resultados obtidos levam à conclusão de que a arquitetura RINA apresenta um desempenho melhor em relação à arquitetura TCP/IP quando os atrasos de propagação são insuficientes para interferir na transmissão dos dados. Além do mais, através da análise exploratória dos dados, quando observados grandes atrasos, RINA, através dos mecanismos de controle, resolve com mais eficácia o problema do congestionamento devido à sua natureza recursiva em relação ao modelo TCP/IP.*

1. Introdução

A Internet, até o momento, tem evoluído através de “remendos” e essas modificações realizadas na arquitetura têm como finalidade atender as necessidades das aplicações. A criação de mecanismos de serviços integrados (IntServ) como também os serviços diferenciados (DiffServ) que têm como características oferecer qualidade de serviço para as aplicações, além da inserção de *caches* no interior da rede com intuito de reduzir o volume de tráfego e os atrasos são alguns dos exemplos de “remendos” realizados na

arquitetura tradicional. Um dos problemas não solucionados na Internet é o endereçamento IP, pois de acordo com a semântica atual não há uma separação entre identificação e localização dos pontos de conexão [Moreira, 2009].

De acordo com Pan, Paul e Jain (2011), devido aos problemas reportados e às dificuldades para atender novas demandas das aplicações, novas arquiteturas de redes, direcionadas para o que está sendo chamado de Internet do Futuro, estão sendo propostas com a finalidade de resolver esses problemas não solucionados. Dentre elas, encontra-se a arquitetura RINA (*Recursive InterNetwork Architecture*) cujo princípio básico é a comunicação entre processos IPC (*InterProcess Communication*). Cada processo IPC consiste em conjuntos distintos de tarefas que estão associadas à transmissão e gerenciamento dos dados. Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo comparativo do desempenho do serviço de transferência de dados nas arquitetura RINA e TCP/IP. Dessa forma, pretende-se analisar do ponto de vista dos usuários da rede, a eficiência no tempo da entrega da informação de maneira confiável através das mensagens de tamanhos diferentes e estabelecimento da conexão para a transferência dos dados. Na análise são considerados métodos de controle de dados e processos de comunicação para transferência de dados.

O restante deste artigo está organizado da seguinte maneira: na Seção 2 é abordada a arquitetura RINA expondo suas características. Na Seção 3 apresentamos o estado da arte da arquitetura RINA indicando os trabalhos relacionados que serviram como base de pesquisa para o presente artigo, enquanto que na Seção 4 descrevemos a metodologia de avaliação, cuja descrição e avaliação dos resultados são apresentados na Seção 5. Por fim, na Seção 6, apresentamos nossas conclusões e trabalhos futuros.

2. A arquitetura RINA

Os princípios da arquitetura RINA foram apresentados em [Day,2008]. RINA defende o uso de uma única camada chamada DIF (*Distributed IPC Facility*) que fornece serviço de comunicação entre processos, IPC, de maneira distribuída, cobrindo um dado escopo. Outras camadas de DIF com as mesmas funcionalidades podem ser aplicadas de forma recursiva cobrindo diferentes escopos. Segundo Day (2008) cada processo IPC que precisa estabelecer um fluxo de comunicação, tem que fazê-lo através de um outro processo subjacente através de uma DIF. Cada processo consiste em três conjuntos distintos de tarefas que lidam com aspectos diferentes. Estes conjuntos de tarefas são armazenadas em uma base de dados conhecida como RIB (*Resource Information Base*). A transferência de dados IPC utiliza o módulo RMT (*Relaying and Multiplexing Task*) que gerencia o encaminhamento e a multiplexação de todas as PDUs (*Protocol Data Units*). O controle de transferência IPC implementa o controle de erro e de fluxo, além de monitorar os parâmetros de transferência de dados por fluxo que é realizado pelo protocolo EFCP (*Error and Flow Control Protocol*). A gerência IPC implementa o protocolo de aplicação distribuído comum para consultar e atualizar a RIB.

Os protocolos na RINA utilizam mecanismos cujos comportamentos são definidos por políticas. Por exemplo, um mecanismo utilizado pelo protocolo EFCP é o controle de fluxos e congestionamento. Por outro lado, a alocação desses fluxos é uma política implementada pelo mesmo protocolo. Neste contexto, o mecanismo se refere à parte invariável, enquanto que a política pode ser alterada de acordo com a necessidade. Diante disso, a arquitetura se torna menos complexa em relação ao modelo convencional por utilizar um conjunto básico de mecanismos para diversos escopos [Day, 2008].

De acordo com Day (2008), RINA apresenta simplicidade em sua estrutura devido a atuação dos mecanismos e políticas trabalharem de maneira isoladas.

3. Trabalhos relacionados

Trabalhos de avaliação direcionados com a RINA têm sido realizados e um deles se refere ao trabalho de [Vrijders, 2014] o qual propõe uma avaliação de desempenho no protótipo IRATI, direcionado à plataforma GNU/Linux. O trabalho analisou cenários em relação ao empilhamento de camadas DIFs na arquitetura RINA. O resultado dessa avaliação demonstrou que é possível empilhar várias DIFs na estrutura da RINA para trabalhar com datacenter distribuído, além disso a possibilidade de implementar diversas funcionalidades tais como segurança, *multihoming* e roteamento nas DIFs. Outro trabalho relacionado é o de [Maffione, 2016] que concerne à programabilidade de uma API para desenvolvimento de políticas e avaliação de desempenho dos algoritmos de controle de congestionamento, especificamente, TCP-RED¹ e Jain-PS² também direcionado para o protótipo. Porém, o foco maior é na avaliação dos algoritmos de controle de congestionamento os quais foram implementados no *framework* RINA-SDK. Os resultados das avaliações foram semelhantes no que se refere às propriedades do tamanho de fila. No trabalho de [Vesely, 2015] é demonstrado apenas as funcionalidades no simulador RINASim, porém serviu como base para a pesquisa atual. O presente trabalho se diferencia dos demais por realizar avaliação de desempenho do serviço de transferência de dados através de um ambiente de simulação com objetivo de avaliar o comportamento das arquiteturas de redes RINA e TCP/IP.

4. Metodologia de Avaliação

Nesta seção é aplicada a abordagem sistemática proposta por Raj Jain (1991). Conforme mencionado anteriormente, o **objetivo** deste estudo é comparar o desempenho da transferência confiável de dados nas arquiteturas RINA e TCP/IP, no cenário de uma rede de longa distância (WAN – *Wide Area Network*). Para garantir a confiabilidade na transmissão dos dados foi adotada a variação TCP Tahoe [Fall; Floyd, 1996], pois trata a congestão da rede com prevenção e retransmissão dos pacotes. Neste cenário, todos os enlaces possuem a mesma capacidade de transmissão de 100 *Mbps* e as mesmas frações dos retardos de propagação. Assim, os pacotes saem do *host1* e vão sendo transferidos passando pelos saltos intermediários representados pelos roteadores até chegar no *host2* conforme visto na Figura 1. Para este serviço de transferência, a **métrica** avaliada refere-se aos tempos de ida e volta em segundos (s), conhecida como RTT (*Round Trip Time*).

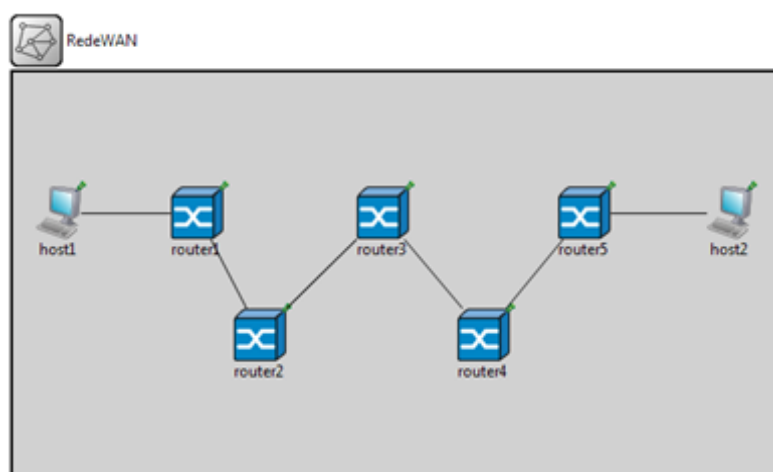


Figura 1. Topologia de avaliação – Rede WAN

¹ *Random Early Detection + TCP congestion avoidance algorithm*

² Jain-PS: Política de notificação de congestionamento explícito. Disponível em: http://ict-pristine.eu/wp-content/uploads/2013/12/pristine_d62-use-case-trials-and-business-impact_draft.pdf.

Dentre os parâmetros que impactam nos RTTs foram escolhidos os **fatores e níveis** apresentados na Tabela 1. O primeiro fator, refere-se à escolha da arquitetura dado que se pretende efetuar um estudo comparativo entre as mesmas. Foram escolhidos ainda como fatores o tamanho das mensagens e o atraso de propagação entre a origem e o destino para contemplar a variedade de tamanhos de mensagens para diferentes aplicações e diferentes escopos de redes WAN.

Tabela 1. Fatores e níveis avaliados nas arquiteturas.

#	Fatores	Níveis
1	Arquitetura de Rede	RINA, TCP/IP
2	Tamanho das Mensagens (<i>SDU Size</i>)	512, 1470 Bytes
3	Atraso de Propagação (<i>Delay</i>)	0, 32, 64, 128 e 256 ms

Para a realização deste estudo foi escolhida como **técnica de avaliação**, a simulação. O cenário da Figura 1 foi implementado no OMNet++, versão 5.0, utilizando *frameworks* diferentes. Para avaliação da arquitetura convencional (TCP/IP) foi utilizado o *framework* Inet³, versão 3.4.0, enquanto que para a RINA foi utilizado o *framework* RINASim⁴, versão do mês de fevereiro de 2017. Foi realizado um **projeto experimental** fatorial completo onde cada experimento de simulação teve duração de 5min coletando 56 amostras para as arquiteturas RINA e TCP/IP. Os **resultados** foram analisados utilizando análise exploratória conforme descrito na próxima seção.

5. Descrição e avaliação dos resultados

Para checar a normalidade dos dados coletados neste trabalho foi aplicado o teste de aderência *Kolmogorov-Smirnov* [Lilliefors, 1967]. Com a aplicação do teste de aderência observou-se que os dados não apresentavam uma distribuição normal e, portanto, sendo necessário aplicar o tipo de teste não paramétrico da estatística inferencial. Diante dessa análise foi aplicado o teste não paramétrico de *Wilcoxon Signed Rank* [Wilcoxon, 1945]. A finalidade desse teste é analisar as medianas em detrimento das médias. Portanto, para analisar as medianas foi necessário constituir uma análise exploratória dos dados tais como intervalos de confiança (IC), médias e medianas os quais estão apresentados nas Tabelas 2 e 3 para ambas as arquiteturas.

Tabela 2. Análise exploratória - mensagens de 512 Bytes – RINA & TCP/IP

Delay	Média (RINA)	IC (95%) (RINA)	Mediana (RINA)		Média (TCP/IP)	IC (95%) (TCP/IP)	Mediana (TCP/IP)
0ms	0,2668	(0,0324; 0,2886)	0,0432		0,2757	(0,0593; 0,3225)	0,0489
32ms	0,3074	(0,1376; 0,3272)	0,0593		0,2966	(0,0872; 0,3699)	0,0575
64ms	0,3450	(0,1952; 0,3648)	0,1386		0,3338	(0,1786; 0,4589)	0,1256
128ms	0,4709	(0,3104; 0,5101)	0,1614		0,4782	(0,2765; 0,5988)	0,1634
256ms	0,5107	(0,4408; 0,5405)	0,2007		0,5186	(0,2967; 0,7984)	0,2043

³ Framework Inet disponível em <https://inet.omnetpp.org/Download.html>

⁴ Framework RINASim disponível em <https://github.com/kvetak/RINA/zipball/master>

Tabela 3. Análise exploratória - mensagens de 1470 Bytes – RINA & TCP/IP

Delay	Média (RINA)	IC (95%) (RINA)	Mediana (RINA)		Média (TCP/IP)	IC (95%) (TCP/IP)	Mediana (TCP/IP)
0ms	0,3222	(0,2889; 0,3845)	0,0702		0,3144	(0,0444; 0,3538)	0,0708
32ms	0,3595	(0,2946; 0,4088)	0,1354		0,3344	(0,0537; 0,4239)	0,1394
64ms	0,4117	(0,3224; 0,4787)	0,1897		0,4204	(0,1335; 0,4653)	0,1887
128ms	0,5137	(0,3299; 0,5987)	0,2543		0,5211	(0,2342; 0,6224)	0,2555
256ms	0,6201	(0,3843; 0,8233)	0,3966		0,6222	(0,5673; 0,8245)	0,3988

Para análise dos dados foram formuladas as seguintes hipóteses:

Hipótese Nula (H_0) = A arquitetura RINA apresenta desempenho igual ou superior do que a arquitetura TCP/IP referente aos tempos de ida e volta dos fluxos de dados.

Hipótese Alternativa (H_1) = A arquitetura RINA apresenta desempenho inferior do que arquitetura TCP/IP referente aos tempos de ida e volta dos fluxos de dados.

$$\text{Hipóteses} = \begin{cases} H_0 : \Delta \geq 0 \\ H_1 : \Delta < 0 \end{cases}$$

$$\Delta = \{\text{Diferença entre as medianas das arquiteturas RINA e TCP/IP}\}$$

O *p-value* é o menor nível de significância que conduz à rejeição da hipótese nula [Montgomery, 2012]. O resultado do *p-value* do teste de *Wilcoxon* apresentou valor do *p-value* = **0,1562**. Em vista disso, como o *p-value* é maior do que o nível de significância aplicado (0,05) concluímos com 95% de confiança que a arquitetura RINA apresentou um desempenho superior ou igual a arquitetura TCP/IP para os tempos de ida e volta dos fluxos de dados com 512 *bytes* em diferentes atrasos de propagação no modo fim-a-fim. Para mensagens com tamanho de 1470 *bytes* o resultado do *p-value* do teste de *Wilcoxon* aplicado apresentou *p-value* = **0,0625**, o que significa dizer que para tamanho de mensagens maiores, a arquitetura RINA apresentou também um desempenho melhor ou igual do que arquitetura TCP/IP. Para concluir a análise, é possível observar na coluna “Mediana” (RTTs) que os tempos de ida e volta dos fluxos de dados da arquitetura RINA se aproximam dos tempos de ida e volta dos fluxos de dados em relação a arquitetura tradicional, porém quando os atrasos nos links são insignificantes, a arquitetura RINA transfere com mais rapidez os dados apresentando RTTs melhores que arquitetura convencional. Por outro lado, quando esses atrasos começam a aumentar, a arquitetura RINA através do protocolo EFCP aciona mecanismos de controle para tratar o congestionamento e garantir a confiabilidade na entrega dos pacotes até o destino. Desta maneira, é possível observar nas Tabelas 2 e 3 que com atrasos de 128 e 256ms, a arquitetura RINA apresentou desempenho melhor devido à sua característica recursiva de resolver os problemas de congestão, pois na RINA, o controle é realizado pelo protocolo EFCP, enquanto que as políticas do RMT detectam a congestão devido a grandes atrasos e, em seguida, marca as PDUs transmitindo-as com o indicador de congestionamento. Por conseguinte, o EFCP aciona o mecanismo de redução da taxa de transmissão de fluxo que

em seguida aciona o processo IPC nas DIFs superiores com finalidade de aplicar suas próprias políticas de controle de prevenção do congestionamento. Por fim, esse processo continua de maneira recursiva na arquitetura até resolver todo o problema em cada uma das DIFs e não apenas na comunicação fim-a-fim.

6. Conclusões

Neste artigo realizamos um estudo comparativo do desempenho de transferência de dados nas arquiteturas de redes RINA e TCP/IP. O objetivo desse trabalho foi mensurar o desempenho nas arquiteturas de redes mencionadas analisando a métrica RTT de acordo com os fatores que representam o serviço de transferência de dados no cenário que caracteriza uma rede de longa distância. Os resultados dos testes de hipóteses permitiram inferir que a RINA apresenta um desempenho melhor para grandes atrasos. Como trabalhos futuros, pretendemos trabalhar com múltiplos fluxos e utilizar outros mecanismos de controle de congestionamento como a variação TCP Reno, pois a mesma apresenta mecanismos de inicialização lenta, prevenção de congestionamento, além de retransmissão e recuperação rápida, enquanto que a variação utilizada, TCP Tahoe, consta apenas com os mecanismos de inicialização, prevenção e retransmissão.

Referências

- Day, J. (2008). *Patterns in network architecture: a return to fundamentals*. Pearson Education.
- Fall, Kevin; Floyd, Sally. Simulation-based comparisons of Tahoe, Reno and SACK TCP. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, v. 26, n. 3, p. 5-21, 1996.
- Lilliefors, Hubert W. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association*, v. 62, n. 318, p. 399-402, 1967.
- Maffione, Vincenzo et al. A Software Development Kit to exploit RINA programmability. In: *Communications (ICC), 2016 IEEE International Conference on*. IEEE, 2016. p. 1-7.
- Montgomery, D. C., and G. C. Runger. "Estatística e Probabilidade para Engenheiros." (2012). Grupo Gen-LTC.
- Moreira, M. D., Fernandes, N. C., Costa, L. H. M. K., & Duarte, O. C. M. B. (2009). *Internet do futuro: Um novo horizonte*. Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores-SBRC, 2009, p. 1-59.
- Pan, J.; Paul, S.; Jain, R. A Survey of the Research on Future Internet Architectures. *Communications Magazine, IEEE*, v. 49, , p. 26–36, July 2011.
- Raj Jain. *The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurements, Simulation, and Modeling*. Wiley Computer Publishing, John Wiley & Sons, Inc., 1991.
- Vesely, V. et al. Skip This Paper - RINASim: Your Recursive InterNetwork Architecture Simulator. *Proceedings of the "OMNeT++ Community Summit 2015*, p. 1–5, 2015.
- Vrijders et al., Experimental evaluation of a Recursive InterNetwork Architecture prototype, 2014 IEEE Global Communications Conference, Austin, TX, 2014, pp. 2017-2022. doi: 10.1109/GLOCOM.2014.7037104
- Wilcoxon, Frank. Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics bulletin*, v. 1, n. 6, p. 80-83, 1945.