

Métricas para Avaliação de Desempenho de Redes Tolerantes a Atrasos

Fernando Luís Dotti*

¹Faculdade de Informática
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS)
Av. Ipiranga, 6681 – Porto Alegre – RS – Brasil

fernando.dotti@pucrs.br

Resumo. *Com o estudo de redes de computadores aplicados a ambientes dinâmicos e hostis surgem as redes denominadas "Redes Tolerantes a Atrasos (DTN - Delay Tolerant Network)". Este tipo de rede se baseia em pressupostos diferentes dos tradicionais, acerca da densidade e comportamento dos nodos de uma rede de computadores. O problema do roteamento de pacotes em DTN, devido aos novos pressupostos, é revisitado, sendo que diferentes soluções de roteamento tem surgido.*

Devido aos novos pressupostos sobre a rede e às novas soluções de roteamento, observa-se que as métricas de avaliação de desempenho de protocolos de roteamento para redes tradicionais não atende às necessidades de análise quando aplicadas a redes DTN. Assim, este projeto tem como objetivos a propositura de um conjunto de métricas de avaliação de desempenho para redes DTN bem como sua implementação em um ambiente de simulação voltado a DTN. A partir de tais métricas, e de sua implementação em um ambiente de simulação, deve-se analisar o comportamento de um conjunto de protocolos existentes para redes DTN, avaliando e justificando seu comportamento quantitativo, e permitindo de forma mais acurada a proposta de melhorias aos mesmos.

1. Caracterização do Problema

O problema do roteamento de pacotes em redes de computadores consiste em inferir um caminho para que um pacote de dados possa fluir de um nodo origem para um nodo destino na rede. Tipicamente, assume-se que a rede tem estabilidade de enlaces e nodos, admitindo algumas falhas. Entretanto, o estudo de redes de computadores aplicadas a ambientes dinâmicos ou hostis revela que muitas vezes as técnicas tradicionais não são efetivas. Neste contexto surgem as redes chamadas "Redes Tolerantes a Atrasos (DTN - Delay Tolerant Network)" abrindo uma linha de investigações com diferentes pressupostos sobre a densidade e comportamento dos nodos de uma rede.

Redes Tolerantes a Atrasos (DTN - Delay Tolerant Network) são redes sem fio onde desconexões são tão frequentes que na maioria do tempo não existe um caminho completo entre uma origem e um destino. As principais razões mencionadas na literatura para as desconexões são a mobilidade dos nodos e a operação em ambientes hostis [Zhang 2006].

*Agradecimentos à colaboração da colega Cristina M. Nunes e ex-aluno Eduardo Link.

Em redes sem fio onde há movimentação dos nodos, a comunicação entre um par de nodos em um determinado instante somente é possível quando a distância entre eles é menor do que o alcance da transmissão. Isso significa que, mesmo que as mensagens sejam roteadas através de nodos que fazem o papel de roteadores, não há garantia de encontrar um caminho de comunicação viável até o destino. Já em ambientes hostis a desconexão acontece devido a interferência no sinal, impossibilitando a comunicação [Zhang 2006].

De acordo com [Spyropoulos et al. 2008], há muitos casos de aplicação para redes DTN. A seguir são listados alguns exemplos.

- **Redes militares:** cada nodo pode ser representado por uma unidade militar física, como soldados, aviões e tanques de guerra. Em uma rede desta natureza os nodos estão sujeitos a destruição completa. O comportamento dos nodos tende a ser concentrado e possuir diversos encontros dentro de determinados grupos.
- **Rede inter-planetária (Inter-planetary Network - IPN) [Burleigh et al. 2003]:** nesta rede existem nodos fixos na atmosfera e outros na terra. Com os movimentos de translação e rotação da Terra, estes nodos possuem apenas uma janela de comunicação por dia, porém sempre se encontram.
- **Rastreamento de animais selvagens:** os nodos são instalados em animais selvagens para análise do comportamento dos mesmos. Os nodos trocam informações ao se encontrarem. Existem pontos fixos e móveis (por exemplo, em carros) que coletam as informações dos nodos dos animais. Um exemplo real é a Zebrant [Juang et al. 2002], onde os nodos são instalados em zebras, e os pesquisadores coletam os dados se movendo pela floresta.
- **Ambientes públicos:** diversos trabalhos na literatura trazem como exemplo uma rede baseada em uma comunidade (por exemplo, uma universidade) ou porção de uma cidade. Considerando uma rede implantada em um ambiente civil, como uma universidade ou cidade, existirá a possibilidade de uma rotina. Com a existência de uma rotina, é possível prever muitos encontros baseados nos históricos de comunicação dos nodos, visto que as pessoas se encontram diariamente. Dentre alguns exemplos, Burgess *et al* [Burgess et al. 2006a] e Balasubramanian *et al* [Balasubramanian et al. 2007a] implantam uma rede veicular (nodos em vários ônibus) que percorrem caminhos entre universidades.

A possibilidade de desconexão devido a mobilidade ou fatores ambientais também é considerada em redes *ad hoc*, em estudo há mais tempo. Entretanto, há uma nítida diferença na abordagem de tratamento pois assume-se, para resolver o roteamento em redes *ad hoc*, que um caminho válido entre origem e destino pode ser estabelecido. Assim, diversas variações de protocolos de roteamento tradicionais foram criadas para tais redes [Liu and Kaiser 2005], [Rajaraman 2002], [Abolhasan et al. 2004].

Diferentemente, em redes DTN, como já mencionado, parte-se do pressuposto que não é possível construir um caminho fim a fim composto de enlaces contemporâneos válidos. Neste contexto, surge a técnica de repasse denominada *store-carry-forward* [Zhang 2006], segundo a qual um nodo pode armazenar uma mensagem até encontrar outro nodo propício para o roteamento em direção ao destinatário. A decisão de para qual(is) nodo(s) e quando repassar uma mensagem, de forma a aumentar sua probabilidade de alcançar o destino, é uma das principais questões no projeto de um protocolo de roteamento para DTNs.

Essas decisões não são simples e a literatura apresenta diversos trabalhos que propõem formas de roteamento para redes DTN, como em [Abdulla and Simon 2007], [Lindgren et al. 2004], [Spyropoulos et al. 2008] e [Vahdat and Becker 2000]. Em trabalho prévio envolvendo o proponente do presente projeto de pesquisa, o protocolo APRP (*Adaptive Potential Routing Protocol*) foi desenvolvido [Nunes and Dotti 2009], cuja decisão de repasse de pacotes utiliza uma medida do número de encontros de um nodo com os demais (chamado potencial). Este protocolo foi posteriormente estendido para utilizar mensagens de confirmação [Nunes et al. 2009] e para utilizar a característica de agrupamento em níveis de potenciais [Nunes et al. 2010] segundo os padrões de movimentação dos nodos.

Apesar de haver uma significativa quantidade de trabalho e de consenso sobre a arquitetura geral de DTN [Cerf et al. 2007], ainda não há um acordo sobre os algoritmos de roteamento usados nessas redes. O problema de roteamento em redes DTN ainda está em aberto e formas mais eficientes têm sido investigadas. Neste contexto observa-se uma lacuna quanto à propositura e adequação de métricas de desempenho para avaliar protocolos de roteamento para redes DTN. A literatura reporta o uso de métricas para avaliar e comparar protocolos para redes DTN, entretanto observa-se que (i) as métricas comumente empregadas (taxa de entrega, atraso e *overhead*¹) oferecem poucos elementos para a compreensão do comportamento na rede DTN e que (ii) algumas comparações utilizam métricas específicas aos protocolos em discussão, tornando árdua ou inválida a comparação entre diferentes trabalhos da literatura.

2. Objetivos

Considerando o exposto acima, este projeto de Iniciação Científica tem como objetivos:

- a propositura de um conjunto de métricas de avaliação de desempenho para redes DTN;
- sua implementação em um ambiente de simulação específico para tais redes;
- a análise do comportamento de um conjunto de protocolos existentes para redes DTN, utilizando estas métricas, avaliando e justificando seu comportamento quantitativo. Em especial deve-se observar, utilizando as métricas propostas, a maior compreensão do funcionamento distribuído dos protocolos de roteamento.

Além dos objetivos técnicos acima, menciona-se também a vinculação de aluno de graduação em tema de pesquisa, com vistas à pós-graduação, e sua participação em submissões de artigos a veículos de publicação.

3. Método

Para alcançar os objetivos acima colocados, o bolsista será orientado regularmente pelo proponente. A discussão de um conjunto de métricas de avaliação de desempenho para redes DTN, no grupo de pesquisa, se iniciou com o artigo [Nunes et al. 2009], tendo sido levantados vários aspectos de análise que merecem atenção. Estes são brevemente discutidos na Seção 3.1. A partir destas idéias iniciais, caberá ao bolsista, em discussão com o orientador, definir exatamente as métricas a serem propostas, sua relação, e como deve auxiliar na compreensão do desempenho de uma classe de algoritmos de roteamento para DTN.

¹Número de cópias de uma mensagem na rede.

A partir disso, o bolsista deverá projetar e implementar suporte para a obtenção destas métricas em um ambiente de simulação de redes DTN. Referente a este objetivo, há simuladores de rede disponíveis e em utilização na comunidade acadêmica. Especialmente para o caso de redes DTN, o simulador [Keränen and Ott 2007] tem sido crescentemente utilizado pela comunidade acadêmica, sendo de código aberto e de simples utilização. Além disso, o grupo de trabalho conta com certa experiência com este ambiente.

Tendo-se um conjunto de métricas definido e seu suporte oferecido, caberá uma fase significativa de avaliação de diversos protocolos de roteamento para redes DTN. Um aspecto interessante é que vários protocolos propostos para redes DTN tem modelos de simulação disponíveis para o simulador referenciado. Assim, será possível realizar a análise de diversos protocolos disponíveis segundo as métricas propostas. Durante esta fase, a interpretação do funcionamento quantitativo do protocolo, a partir dos valores obtidos para as diversas métricas, será crucial. Idealmente, para o sucesso do trabalho, deve ser possível afirmar que o conjunto de métricas proposto permite explicar de forma detalhada os níveis gerais de desempenho obtidos com o protocolo.

3.1. Métricas para o Roteamento em DTN - noções preliminares

A avaliação de protocolos de roteamento para redes DTN já acontece utilizando um conjunto de métricas. Propostas de novos protocolos, como por exemplo [Song and Kotz 2007] e [Balasubramanian et al. 2007a], utilizam-se de tais métricas para argumentar sobre o desempenho de suas propostas. Identifica-se o suporte a métricas em ambientes para avaliação de redes DTN, como [Keränen and Ott 2007]. Entretanto, conforme anteriormente mencionado, as métricas em uso se reduzem a: taxa de entrega, atraso e *overhead*.

Enquanto tais métricas permitem um entendimento geral e comparação primária entre protocolos, argumenta-se aqui que para a compreensão dos fenômenos envolvidos no resultado de desempenho de um protocolo são necessárias avaliações sobre aspectos mais detalhados. A seguir, listamos alguns aspectos a serem considerados durante o decorrer do trabalho do bolsista:

- **Tempo de vida da mensagem:** medida do tempo de vida desde a criação da mensagem até sua última cópia ser descartada. Aliada com a medida de atraso para entrega, é possível verificar se as mensagens estão sendo descartadas muito cedo, muito tarde ou na medida esperada pelo protocolo.
- **Identificação de nodos sobrecarregados:** esta medida visa prover uma análise da concentração do tráfego nos nodos da rede. O tráfego pode concentrar-se em alguns nodos devido a diferentes razões: suponha um nodo que possua uma grande mobilidade e encontre diversos nodos. Ou ainda, um nodo fixo por onde passa um grande fluxo de nodos móveis. Este tipo de nodo pode sofrer uma sobrecarga de mensagens.
- **Mensagens descartadas em cada nodo:** o espaço para armazenamento das mensagens em cada nodo é bastante limitado, o que provoca a perda de mensagens uma vez que o *buffer* esteja cheio. Com uma análise do número de mensagens descartadas pode-se ter uma noção melhor das causas de uma taxa baixa de entrega de mensagens. Ainda devem ser considerados três motivos para o descarte de mensagens:

1. *Buffer overflow*: mensagem descartada por falta de espaço no buffer;
 2. *Time to live*: tempo que a mensagem pode permanecer na rede;
 3. *Ack*: mensagem de confirmação de entrega da mensagem.
- **Taxa de dados de controle (meta-dados)**: quantidade de meta-dados transmitidos em função do número de mensagens que passam pelo nodo. Esta medida identifica o *overhead* gerado pelos dados de controle de alguns protocolos.
 - **Taxa de cópias extras entregues**: uma mesma mensagem pode atingir o destino através de vários nodos. Neste caso, algumas duplicatas foram desnecessárias, apesar de terem atingido o seu objetivo. Se um protocolo possui uma alta taxa de cópias entregues, seu possível bom desempenho pode causar um grande *overhead* na rede e ajustes podem ser necessários.
 - **Tempo de contato entre dois nodos**: esta medida identifica se o tempo de conexão entre dois nodos é suficiente para manter o fluxo da rede. Pode-se descobrir se o tempo de contato entre os nodos é suficiente para a troca de mensagens necessárias.
 - **Tamanho e formação do caminho de sucesso**: avalia-se o conjunto de todos os caminhos percorridos pelas mensagens que atingiram (sucesso) e que não atingiram (insucesso) o destino. Com as medidas de sucesso e insucesso pode-se quantificar uma média da profundidade necessária para atingir o destino. Além disso, pode-se analisar se um conjunto específico de nodos pode contribuir mais para a entrega de mensagens.

4. Resultados Esperados

Como resultados deste projeto de Iniciação Científica, espera-se:

- envolvimento de um acadêmico na área de pesquisa Redes de Computadores, preparando-o para pós-graduação;
- submissão de um artigo a conferência nacional e um artigo a conferência internacional;
- um conjunto de métricas para avaliação de desempenho de algoritmos de roteamento em redes DTN;
- a implantação deste conjunto de métricas em um ambiente de simulação;
- a avaliação de diversos algoritmos disponíveis, para roteamento em DTN, usando tais métricas;
- avaliação da efetividade do uso das métricas propostas.

5. Cronograma de Execução

As seguintes atividades foram identificadas:

1. Estudo de redes DTN e roteamento em redes DTN;
2. Estudo de métricas de avaliação de desempenho para redes de computadores;
3. Estudo e utilização do ambiente de simulação para redes DTN;
4. Propositura de métricas de avaliação de desempenho para redes DTN;
5. Identificação de requisitos, das métricas propostas, ao ambiente de simulação, e projeto de extensões necessárias ao ambiente;
6. Implementação das extensões;
7. Testes finais e eventuais melhorias na implementação;

8. Identificação de protocolos a serem analisados;
9. Execução de experimentos de simulação para avaliação de protocolos segundo novas métricas;
10. Interpretação de resultados;
11. Redação de artigos científicos.

O Cronograma proposto é de agosto de 2010 a julho de 2010.

Ativ.	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
1	xx	xx										
2	xx	xx										
3		x	xx									
4				xx								
5				xx								
6					x	xx	xx					
7								x	x			
8			x									
9							xx	xx	xx	xx	x	
10								x	x	x	x	
11								xx			xx	xx

Referências

- Abdulla, M. and Simon, R. (2007). The impact of the mobility model on delay tolerant networking performance analysis. In *ANSS '07: Proceedings of the 40th Annual Simulation Symposium*, pages 177–184, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Abolhasan, M., Wysocki, T., and Dutkiewicz, E. (2004). A review of routing protocols for mobile ad hoc networks. *Ad Hoc Networks*, 2(1):1–22.
- Balasubramanian, A., Levine, B., and Venkataramani, A. (2007a). Dtn routing as a resource allocation problem. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 37(4):373–384.
- Balasubramanian, A., Levine, B., and Venkataramani, A. (2007b). DTN routing as a resource allocation problem. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 37(4):373–384.
- Bettstetter, C., Resta, G., and Santi, P. (2003). The node distribution of the random waypoint mobility model for wireless ad hoc networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2(3):257–269.
- Burgess, J., Gallagher, B., Jensen, D., and Levine, B. N. (2006b). MaxProp: Routing for Vehicle-Based Disruption-Tolerant Networks. In *Proc. IEEE INFOCOM*.
- Burgess, J., Gallagher, B., Jensen, D., and Levine, B. N. (April 2006a). Maxprop: Routing for vehicle-based disruption-tolerant networks. *INFOCOM 2006. 25th IEEE International Conference on Computer Communications. Proceedings*, pages 1–11.
- Burleigh, S., Hooke, A., Torgerson, L., Fall, K., Cerf, V., Durst, B., Scott, K., and Weiss, H. (June 2003). Delay-tolerant networking: an approach to interplanetary internet. *Communications Magazine, IEEE*, 41(6):128–136.
- Burns, B., Brock, O., and Levine, B. N. (2005). Mv routing and capacity building in disruption tolerant networks. In *Proceedings of IEEE INFOCOM*, pages 398–408.

- Cerf, V., Burleigh, S., Hooke, A., Torgerson, L., Durst, R., Scott, K., Fall, K., and Weiss, H. (2007). Delay-tolerant networking architecture. Request for Comments 4838.
- de Oliveira, E. C. R. and de Albuquerque, C. V. N. (2009). NECTAR: a DTN routing protocol based on neighborhood contact history. In *SAC '09: Proceedings of the 2009 ACM symposium on Applied Computing*, pages 40–46, New York, NY, USA. ACM.
- Ekman, F., Keränen, A., Karvo, J., and Ott, J. (2008). Working day movement model. In *MobilityModels '08: Proceeding of the 1st ACM SIGMOBILE workshop on Mobility models*.
- Juang, P., Oki, H., Wang, Y., Martonosi, M., Peh, L. S., and Rubenstein, D. (2002). Energy-efficient computing for wildlife tracking: design tradeoffs and early experiences with zebranet. *SIGPLAN Not.*, 37(10):96–107.
- Karvo, J. and Ott, J. (2008). Time scales and delay-tolerant routing protocols. In *CHANTS'08: Proceedings of the third ACM workshop on Challenged networks*, pages 33–40, New York, NY, USA. ACM.
- Keränen, A. and Ott, J. (2007). Increasing reality for DTN protocol simulations. Technical report, Helsinki University of Technology.
- Keränen, A. and Ott, J. (Technical Report, Helsinki University of Technology, Networking Laboratory, 2007). Increasing reality for dtn protocol simulations. Technical report, Helsinki University of Technology, Networking Laboratory.
- Lindgren, A. and Doria, A. (2007). Probabilistic routing protocol for intermittently connected networks. Internet-Draft.
- Lindgren, A., Doria, A., and Schelén, O. (2004). Probabilistic routing in intermittently connected networks. In *In Proceedings of the First International Workshop on Service Assurance with Partial and Intermittent Resources (SAPIR 2004)*.
- Liu, C. and Kaiser, J. (2005). A survey of mobile ad hoc network routing protocols. Technical report, University of Magdeburg.
- Musolesi, M., Hailes, S., and Mascolo, C. (2005). Adaptive routing for intermittently connected mobile ad hoc networks. In *WOWMOM '05: Proceedings of the Sixth IEEE International Symposium on World of Wireless Mobile and Multimedia Networks*, pages 183–189, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Nunes, C. M. and Dotti, F. L. (2009). Uma nova estratégia de roteamento para redes tolerantes a atrasos. In *XXVII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, pages 757–770, Recife, Brazil.
- Nunes, C. M., Dotti, F. L., and Oliveira, J. B. S. d. (2010). Aprp-group: Roteamento para redes dtn com repasse baseado em agrupamento de nodos por potencial de entrega. In *XXVIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, pages 451–464, Gramado, Brazil.

- Nunes, C. M., Link, E., and Dotti, F. L. (2009). Evaluating the impact of an acknowledgment strategy for APRP. In *5th International Latin American Networking Conference*, pages 77–86, Pelotas, Brazil. ACM.
- Perkins, C. E. and Bhagwat, P. (1994). Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (dsdv) for mobile computers. In *Proceedings of the conference on Communications architectures, protocols and applications*, pages 234–244.
- Pitkänen, M., Keränen, A., and Ott, J. (2008). Message fragmentation in opportunistic DTNs. In *Proceedings of the Second WoWMoM Workshop on Autonomic and Opportunistic Communications (AOC) 2008*.
- Rajaraman, R. (2002). Topology control and routing in ad hoc networks: A survey. *SI-GACT News*, 33:60–73.
- Song, L. and Kotz, D. F. (2007). Evaluating opportunistic routing protocols with large realistic contact traces. In *CHANTS '07: Proceedings of the second workshop on Challenged networks CHANTS*, pages 35–42, New York, NY, USA. ACM.
- Spyropoulos, T., Psounis, K., and Raghavendra, C. (2007). Spray and focus: Efficient mobility-assisted routing for heterogeneous and correlated mobility. In *IEEE PerCom, on the International Workshop on Intermittently Connected Mobile Ad hoc Networks (ICMAN)*.
- Spyropoulos, T., Psounis, K., and Raghavendra, C. (2008). Efficient routing in intermittently connected mobile networks: the multiple-copy case. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 16(1):77–90.
- Spyropoulos, T., Psounis, K., and Raghavendra, C. S. (2005). Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks. In *WDTN '05: Proceeding of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking*, pages 252–259, New York, NY, USA. ACM Press.
- Tan, K., Zhang, Q., and Zhu, W. (2003). Shortest path routing in partially connected ad hoc networks. pages 1038–1042 Vol.2.
- Tournoux, P. U., Leguay, J., Benbadis, F., Conan, V., de Amorim, M. D., and Whitbeck, J. (2009). The accordion phenomenon: Analysis, characterization, and impact on DTN routing. In *Proceedings of the 28rd Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM)*, Rio de Janeiro, Brazil. IEEE.
- Vahdat, A. and Becker, D. (2000). Epidemic routing for partially-connected ad hoc networks. Technical report, Duke University.
- Zhang, Z. (2006). Routing in intermittently connected mobile ad hoc networks and delay tolerant networks: overview and challenges. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, 8(1):24–37.