

Análise de Desempenho do Protocolo M-DART

Bruno Nieto
Centro Universitário La Salle
Canoas, Brasil
brunogueto@gmail.com

Andrea Krob
Centro Universitário La Salle
Canoas, Brasil
andrea.krob@unilasalle.edu.br

Resumo - Os protocolos de roteamento vêm sendo alvo de pesquisas há muitos anos, principalmente no âmbito das redes *Ad Hoc*, onde os ambientes descentralizados tornam o desafio das redes sem fio ainda maior. Este artigo tem o objetivo de avaliar o desempenho do protocolo de roteamento M-DART através de diferentes *flavors* TCP e identificar o melhor cenário em relação ao desempenho da rede.

Palavras-Chave: *Flavors TCP, Protocolo M-DART, Protocolos de Roteamento, Redes Ad Hoc, Redes sem fio.*

I. INTRODUÇÃO

Para o bom funcionamento das redes *ad hoc* é indispensável a escolha de um protocolo de roteamento adequado e que o mesmo possua um bom desempenho. Os protocolos de roteamento possuem um papel muito importante, pois eles permitem que cada dispositivo saiba para qual nó ele deve enviar seus pacotes.

O objetivo geral deste artigo consiste em estudar o protocolo M-DART (*Multi-Path Dynamic Address Routing*) [5], avaliando o seu desempenho por meio de simulações com diversos protocolos da camada de transporte. Para que o desempenho do protocolo M-DART seja analisado serão usadas três métricas para avaliação do mesmo: perdas, vazão e atraso. O foco da comparação será abordar quatro tipos de *flavors* do protocolo de transporte TCP, buscando resultados que satisfaçam o foco de cada aplicação, algumas tendo como prioridade a vazão e outras a confiabilidade na entrega, ou seja, menos perdas. Com isso, serão apresentados os resultados obtidos com o intuito de contribuir cientificamente para os estudos futuros e como alternativa de melhoria para as redes *ad hoc*.

Com o desenvolvimento deste projeto será possível conhecer alternativas que melhor se adaptem as redes *ad hoc*, especificamente com relação ao protocolo de roteamento M-DART.

II. REDES AD HOC

Em muitos casos torna-se difícil ou até mesmo inviável a instalação de redes cabeadas ou redes sem fio infraestruturadas, o que fez com que as redes *ad hoc* fossem cada vez mais exploradas. As redes *ad hoc* [6] são redes que não necessitam de infraestruturas para efetivar o enlace de comunicação, sendo assim, este tipo de rede permite que os dispositivos móveis possam trocar informações entre si ou através de roteamento entre os mesmos sem a necessidade de um ponto de acesso.

Sendo assim, os dispositivos tornam-se capazes de

prover o serviço de roteador e de terminal ou prover os dois serviços concomitantes.

O papel dos protocolos de roteamento é fazer a descoberta e o mapeamento da topologia da rede [1], utilizando tabelas de roteamento como forma de armazenamento das informações coletadas. Com isso eles são capazes de enviar requisições a qualquer dispositivo que estiver dentro da área de cobertura da conexão.

Os protocolos de roteamento para redes *ad hoc* possuem duas grandes categorias: *Unicast* e *Multicast* [2].

Os protocolos *unicast* podem transmitir pacotes de um nó de origem a um único nó de destino, através de nós intermediários. Estes protocolos podem ser classificados conforme a construção de suas rotas nas seguintes modalidades: Reativos, Pró-Ativos e Híbridos. Já os protocolos *multicast* são capazes de transmitir pacotes de um determinado nó de origem para múltiplos nós de destino [3] [4], identificados por um único endereço. Eles são divididos em dois tipos: *Tree-based* e *Mesh-based*.

III. PROTOCOLO M-DART

O M-DART [5], é um protocolo *unicast* que pertence ao grupo dos pró-ativos. Este protocolo baseia-se em tabelas *hash* distribuídas (*Distributed Hash Table* - DHTs) que consiste em utilizar chaves para o mapeamento, localização e remoção de nós em uma rede. O funcionamento destas tabelas consiste no mapeamento de nós conectados a uma rede através de um código que identifica cada nó.

Com esse código, cada nó tem a capacidade de localizar e identificar seus vizinhos, fazendo com que seja desnecessário o conhecimento de todos os nós da rede. Para o bom entendimento deste protocolo é necessário conhecer um pouco melhor o seu antecessor, o protocolo DART (*Dynamic Address Routing*) [7].

O protocolo DART utiliza um vetor de distância para o descobrimento de rotas, assim como o protocolo AODV. Através de endereçamento dinâmico, é capaz de realizar o encaminhamento hierárquico de pacotes na rede de maneira viável, reduzindo significativamente as informações mantidas por cada nó.

Uma vez que o processo de encaminhamento tem como base os endereços da rede, os nós são distribuídos de maneira eficiente. Os endereços de rede são sequências de bits que podem ser estruturados em forma de árvore, sendo que cada folha da árvore está associada a um destes endereços, contendo internamente um prefixo de endereço binário que representa a

sua localização dentro de um conjunto de folhas, conforme demonstrado na figura 1.

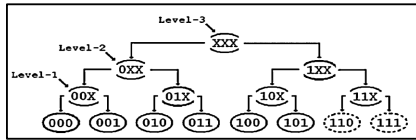


Figura 1: Endereços de rede em formato de árvore

Porém, o maior problema deste protocolo é a possibilidade de haver rotas falsas, conforme mostrado na figura 2, pois se algum dos nós por algum motivo falhar haverá uma quebra na hierarquia da árvore, fazendo com que todos os nós ligados a este com problema tenham de interromper a sua comunicação até que seja concluído o processo de redescoberta de rotas.

Com isso, foi constatado que apenas se baseando no custo das rotas não seria o suficiente para descobrir o melhor caminho.

A principal diferença entre os protocolos está no fato de que o M-DART possui a funcionalidade de obter diversas rotas entre o nó de origem e destino utilizando DHT, tornando o mapeamento e o roteamento mais ágil, assim melhorando o desempenho da rede devido a topologia ser dinâmica.

Uma das grandes vantagens e avanço conquistado com o desenvolvimento do protocolo M-DART é a capacidade de resolver o problema das rotas falsas. Como ele possui diversas rotas disponíveis em sua tabela de roteamento, em caso de falha de um dos nós o protocolo tem a disposição outras rotas pré-calculadas, fazendo com que seja evitada a interrupção de comunicação, até que ao menos exista um caminho disponível, conforme mostrado na figura 3.

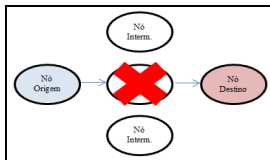


Figura 2: Rotas Falsas

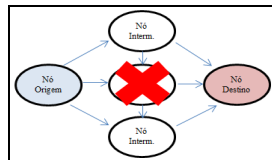


Figura 3: Solução das Rotas Falsas

Para o bom entendimento do funcionamento do protocolo M-DART é necessário conhecer dois conceitos bem importantes sobre endereçamento: o endereço de roteamento e o identificador de nó. O endereço de roteamento de um nó é dinâmico, sendo que o mesmo é alterado conforme o nó se movimenta na rede. O identificador do nó é um número estático, ou seja, permanece o mesmo durante o tempo de vida do nó na rede.

Quando um novo nó começa a fazer parte da rede o mesmo começa a escutar as atualizações periódicas de roteamento dos seus vizinhos, de maneira a identificar um endereço desocupado. Encontrando um endereço vago o nó registra seu identificador e o endereço de roteamento obtido. Devido a mobilidade, o endereço de roteamento pode ser posteriormente alterado, sendo que a tabela de roteamento precisa ser atualizada.

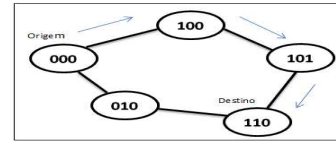


Figura 4: Exemplo de Topologia

Como observado na figura 3, o custo não é um parâmetro suficiente para definir a escolha de um melhor caminho. Sendo assim, o M-DART, levando em conta o recurso hierárquico de endereçamento dinâmico, define como próximo salto o nó que contém o prefixo de endereço mais próximo do destino.

No caso de haver diversos nós com prefixo igual ou próximo do destino, será levado em consideração o de menor custo de rota. Um exemplo seria o demonstrado na figura 4, onde o nó com endereço "000" procura o melhor caminho para "110". Como o protocolo M-DART não tem como prioridade o custo da rota e sim o prefixo de endereço, a rota passará pelos nós "100" e "101", pois compartilham o mesmo prefixo "1XX", correspondente ao prefixo do nó destino. Por este motivo principalmente é que o M-DART obteve grande avanço em relação ao protocolo DART.

IV. PROTOCOLOS DE TRANSPORTE

Os protocolos de transporte possuem um papel muito importante, tendo como principais metas lidar com controle de erros, com a definição de sequências e com o controle de fluxo [6]. Um dos objetivos deste artigo é analisar o protocolo de transporte TCP e alguns de seus *flavors*, buscando o que possui o melhor desempenho em redes *ad hoc*, identificando características e possíveis melhorias nestes cenários.

Com o intuito de buscar melhorias pesquisadores desenvolveram algumas variações no protocolo TCP [8], abordando questões desde como o protocolo deve tratar uma falha de transmissão ou um congestionamento do canal de comunicação.

Essas variações, conhecidas como *flavors*, buscam corrigir problemas existentes em outras versões. O Tahoe é um exemplo, sendo o primeiro *flavor* a desenvolver o mecanismo de controle de congestionamento [8], assim evitando que sejam enviados mais pacotes para a rede do que a mesma pode suportar [9].

O TCP New Reno foca principalmente a melhoria de múltiplas perdas de pacote que acontecem em uma única janela de transmissão.

Diferentemente das outras variações que utilizam perdas de pacotes para detectar o congestionamento da rede, o TCP Vegas analisa o tráfego nos roteadores [8], entre a origem e o destino, antes de ocorrer alguma perda. Com isso, ele tenta evitar o congestionamento, observando a redução da taxa de envio em relação a taxa esperada.

O TCP Sack (*Selective Acknowledgment*) aumenta o desempenho do TCP em redes de alta velocidade e com maior atraso através do reconhecimento seletivo, fazendo com que o receptor possa informar ao transmissor sobre todos os segmentos que chegaram corretamente, de modo que o transmissor saiba quais os pacotes que necessitam ser retransmitidos devido a perda.

V. METODOLOGIA

Para que o objetivo deste trabalho fosse atingido optou-se pela utilização da ferramenta de simulação NS-2 (Network Simulator 2) [12] e consequentemente o sistema operacional Linux, devido a alta compatibilidade com o software.

O aspecto mais forte na escolha do NS-2 foi que a ferramenta possui o protocolo de roteamento em pesquisa, o M-DART em sua versão 2.35, sendo que este trabalho visa analisar o comportamento deste protocolo de roteamento. Para isso, será usado o protocolo de transporte TCP e os *flavors*: Tahoe, New Reno, Vegas e Sack.

Para que fossem definidos os *flavors* para este estudo foram analisados alguns critérios: o Tahoe foi escolhido por ser o principal *flavor* utilizado nas transmissões simuladas pelo NS-2. Já o New Reno e o Vegas por apresentarem melhores resultados em outros trabalhos em relação aos demais protocolos [9] [10]. O TCP Sack, comparado com os mesmos *flavors* deste trabalho, só que voltado para redes de satélite obteve melhores resultado sobre os demais [11]. Outro fator relevante foi a questão de não terem sido encontrados, na pesquisa bibliográfica realizada para este trabalho, estudos em relação ao protocolo M-DART, por ser um protocolo ainda recente e pouco estudo em relação as redes *ad hoc*.

Um dos fatores mais importantes dentro de uma simulação é a quantidade de nós utilizados, pois fatores como vazão e perda de pacotes são diretamente afetados. As simulações deste projeto utilizaram três variações na quantidade de nós: 10, 50 e 100 nós em movimento, configurados no script TCL, tanto o caminho de origem ao destino como o tráfego dos nós.

Foi determinado apenas um fluxo de dados fim-a-fim durante as simulações, pois o intuito deste projeto não é estudar engenharia de tráfego, sobrecarregando os nós, mas sim analisar o comportamento do roteamento dinâmico durante a movimentação dos nós na rede, conforme pode ser observado na figura 5, onde é demonstrado o cenário de 10 nós móveis (NM).

Neste projeto não há um intervalo de confiança, pois nas simulações utilizando a ferramenta NS-2 os resultados sempre se mostrarão os mesmos, ao menos que haja alguma mudança de parâmetro. Isto se torna um ponto negativo da ferramenta, pois a simulação acaba não tendo uma maior proximidade da realidade.

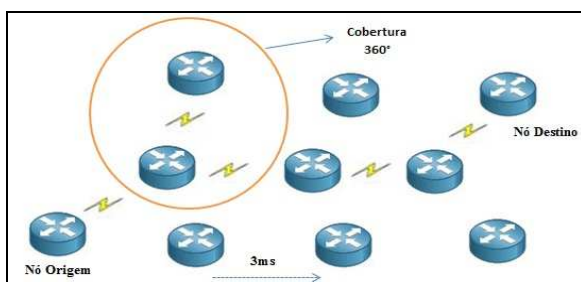


Figura 5: Topologia com 10 NM

O deslocamento dos nós é realizado a uma velocidade de 3 m/s e a cobertura do sinal de cada nó é de 360°. Para a avaliação do protocolo M-DART foram estabelecidas as

seguintes métricas: *delay* (atraso), *throughput* (vazão) e taxa de perdas.

VI. RESULTADOS

Em relação ao percentual de perda de pacotes, conforme pode ser observado na figura 6, o *flavor* que obteve melhor resultado foi o TCP Vegas em todas as simulações, pois sua característica forte é a de ser pró-ativo em relação ao tráfego da rede, ou seja, o mesmo examina o tráfego nos roteadores, evitando o congestionamento na rede. Com isso, o mesmo reduz o número de pacotes enviados, evitando também a perda de pacotes.

O *flavor* que obteve o pior resultado com relação às perdas no protocolo M-DART foi o New Reno. Isto se justifica devido a sua deficiência nos múltiplos descartes. Este problema, como demonstrado na simulação, fez com que houvesse um grande número de retransmissões de segmento a cada RTT, provocando atrasos no envio dos segmentos seguintes.

O TCP Tahoe, diante do cenário de maior número de nós, apresentou um resultado bastante satisfatório. Isto ocorreu porque o controle de congestionamento deste *flavor* é menos rígido, permitindo que o mesmo envie mais pacotes para a rede. Ao contrário, o TCP Sack obteve melhores resultados com um número menor de nós, pois o mesmo possui um controle muito rigoroso em relação a retransmissão de pacotes que não chegaram corretamente ao destino.

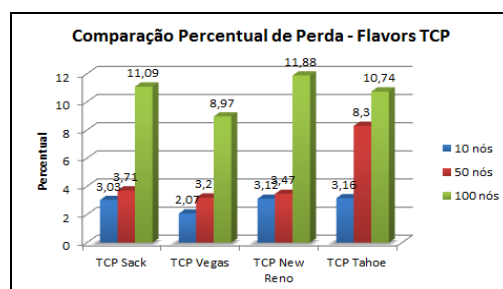


Figura 6: Comparação % de Perdas

Em relação ao *throughput*, conforme pode ser observado na figura 7, o TCP Vegas, em todas as simulações, foi inferior aos demais *flavors*, pois em análise conjunta com a métrica de pacotes perdidos, observa-se que segundo sua característica o mesmo evita o congestionamento da rede reduzindo a vazão de dados.

O TCP Sack obteve excelentes resultados com os cenários de 10 e 50 nós, mas com o aumento para 100 acabou sendo o segundo pior na análise de resultados. Isso ocorreu porque o *flavor*, devido ao alto índice de perdas se preocupou em reenviar os pacotes perdidos segundo suas características, reduzindo significativamente sua vazão.

O TCP New Reno foi o segundo melhor *flavor* em relação a esta métrica, pois assim como o Tahoe, não possui um controle muito rigoroso em relação ao congestionamento da rede, enviando muitos pacotes, não se preocupando tanto com a questão da perda.

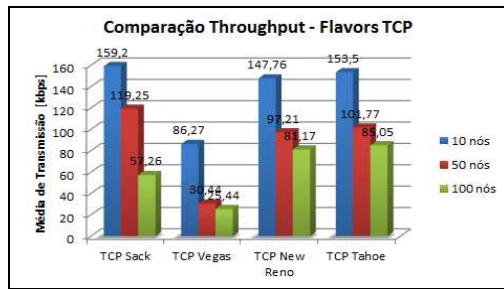


Figura 7: Comparação Throughput

Em relação ao *delay*, conforme pode ser observado na figura 8, o TCP New Reno obteve a média mais alta com o aumento dos nós. Levando em consideração que os *flavors* com maior média de *throughput* foram o Tahoe e o New Reno, observa-se que o Tahoe, por possuir um controle de congestionamento menos rígido, fez com que os pacotes fossem enviados com mais intensidade. O New Reno, com o aumento dos nós, enviou uma taxa alta de pacotes, sendo que o problema de retransmissão de muitos segmentos provocou atrasos no envio dos próximos.

O TCP Sack reduziu significativamente sua média no cenário com maior número de nós, pois com a queda na média de *throughput* na alteração dos NM na rede, fez com que menos pacotes fossem enviados, gerando menos pacotes perdidos e menor atraso na rede.

O TCP Vegas obteve o melhor resultado em todas as simulações, pois conforme sua característica o mesmo evita congestionamentos, evitando a perda de pacotes.

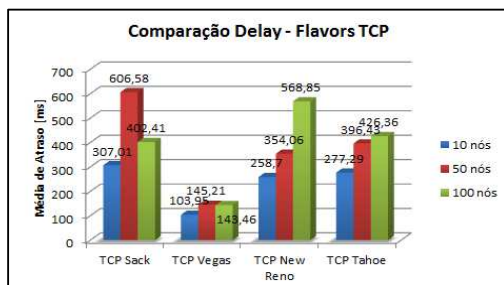


Figura 8: Comparação Delay

VII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após este estudo é possível concluir que há dois resultados satisfatórios, sendo que os mesmos deverão ser levados em consideração de acordo com a aplicação desejada, o grau de importância da mesma e o tamanho da rede *ad hoc* que se deseja construir. Conclui-se com isto que o Tahoe obteve melhor desempenho voltado a clientes e aplicações que não levam em consideração como prioridade o atraso na entrega de alguns pacotes, pois este *flavor*, como observado no decorrer do trabalho e nas simulações, possui um controle não muito rigoroso quanto à prevenção ao congestionamento da rede, fazendo com que a vazão deste *flavor* atinja altos índices de pacotes transmitidos.

Aplicações voltadas para fins civis, como redes de táxi, fazendo com que haja comunicação entre os veículos, e salas

de reuniões são exemplos que não haveria necessidade levar tanto em consideração o problema do atraso na entrega dos pacotes, pois são aplicações que não são extremamente críticas. É importante ressaltar que o Tahoe somente é a melhor alternativa se o número de nós for de aproximadamente 100NM, pois conforme mostrado nas simulações, em cenários com números menores de nós a diferença em relação ao Vegas em relação ao percentual de perda se torna bem significativa.

Outro resultado considerado satisfatório neste trabalho é o desempenho do TCP Vegas, voltado a clientes e aplicações que possuem como preocupação obter uma garantia maior na entrega dos pacotes; a final, todas as versões TCP não precisam garantir a entrega dos pacotes, mas sim os *bytes* transmitidos. Exemplos de aplicações seriam para fins militares e operações de emergência. O TCP Vegas é um *flavor* diferentemente de todos os outros, pois se preocupa primeiramente em analisar o tráfego nos roteadores para evitar possíveis congestionamentos, fazendo com que seja reduzido o número de pacotes enviados para a rede.

Este tipo de *flavor* é recomendado, segundo as simulações realizadas, para redes menores que não ultrapassem a quantidade de 50 NM, pois a partir desta quantidade o Vegas começa aumentar a perda de pacotes significativamente.

VIII. REFERÊNCIAS

- [1] M.D.Ortiz, Incentivando a cooperação em redes *Ad Hoc*, http://www.teses.ufc.br/tde_busca/arquivo.php?cod_Arquivo=1365 - Acessado em set/2011.
- [2] V.M.Assis et al, Redes Sem Fio em Malha, http://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/malha/ - Acessado em out/2011.
- [3] A.C.Fontoura, Análise de Protocolos de Roteamento em uma Rede Mesh baseada em um Backbone Universitário, http://www.upf.br/computacao/images/stories/TCs/arquivos_20072/antonio_fontoura.pdf - Acessado em fev/2012.
- [4] C.J.A.Vicentini, Uma nova Métrica de Roteamento para Redes Wireless Mesh com Tráfego Voip, http://www.ppgia.pucpr.br/lib/exe/fetch.php?me_dia=dissertacoes:cleverton_juliano.pdf - Acessado em fev/2012.
- [5] M.Caleffi, L.Paura, M-DART: multi-path dynamic address routing, <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1967234> - Acessado em jan/2012.
- [6] A. S. Tanenbaum, Redes de computadores. 5th ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2011.
- [7] J. Eriksson, M.Faloutsos, S. Krishnamurthy, DART: Dynamic Address Routing for Scalable *Ad Hoc* and Mesh Networks, http://nms.csail.mit.edu/~jakob/pubs/dart_ton_2006.pdf - Acessado em fev/2012.
- [8] P.R.N.Martins, Análise do Desempenho de diferentes versões do Protocolo TCP: Um experimento através de simulação, http://tc.online.feevale.br/tc/files/0002_1722.pdf - Acessado em mar/2012.
- [9] A.J.O.Abd, Comparative Study on the Performance of different TCP *flavors*, http://etd.uum.edu.my/1618/1/Abdulaziz_Jama_Omar_Ab_di.pdf - Acessado em mar/2012.
- [10] L.E.P.Bueno, Estudo do Desempenho do Protocolo TCP em Redes Sem Fio, <http://www.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/26.pdf> - Acessado em mar/2012.
- [11] H.Zattar, Avaliação Comparativa dos Mecanismos Congestion Avoidance TCP Sack e Vegas operando sobre uma Rede ATM via Satélite, sites.uol.com.br/hzattar/ArtigoSBRTcolunadupla.zi - Acessado em mar/2012.
- [12] R. G. Araujo. A ferramenta de Simulação NS (Network Simulator). Universidade Salvador UNIFACS, Salvador, 2003. Disponível em: <http://www.harpia.eng.br/pesquisa/tfc_EngElet_Rafael.pdf>. Acesso em: 26out. 2011.