

Uma Métrica Baseada em Reconhecimento de Padrões para Redes sem Fio

Roberson Cesar Alves de Araujo, Cleverton Juliano Alves Vicentini, Mauro Fonseca, Fabrício Enembreck e Anelise Munaretto

Resumo—Este artigo apresenta uma nova abordagem para calcular o custo dos enlaces de redes em malha sem fio usando uma técnica de reconhecimento de padrões em substituição das métricas de funções contínuas usadas normalmente. Em redes em malha podemos muitas vezes ter a ocorrência do fenômeno conhecido como formação de vales, levando ao congestionamento dos enlaces nesses vales. Isso resulta em uma elevação na taxa de bloqueio com perda de pacotes pelo aumento excessivo da fila de dados nestas rotas. A percepção das perdas de pacotes e o redirecionamento de tráfego através da utilização de outros enlaces periféricos apresentam-se como possível solução para o problema. O presente trabalho propõe o uso de técnicas de inteligência artificial para reconhecimento de padrões com o objetivo de mitigar a formação de vales e perdas por filas cheias. O desempenho desta proposta foi avaliado e comparado com as métricas ML (*Minimum Loss*) e ETX (*Expected Transmission Count*) amplamente utilizadas. Através das simulações realizadas foi observado que a proposta apresentou melhor desempenho no modelo de rede utilizado.

Palavras-Chave—Redes em malha, Roteamento, Métricas, Reconhecimento de padrões.

Abstract—This paper presents a novel metric to routing protocols in wireless mesh networks based on pattern recognition. In mesh networks a routing protocol may avoid the valley formation in some routes that can result in links congestion. Such a problem results in an increase of the blocking rate with packets loss due to the growing increase of the data queueing in these routes. The packet loss indication and the traffic redirecting through the use of others secondaries links can be the solution of this problem. This approach proposes the use of artificial intelligence techniques to the pattern recognition to mitigate the valleys formation and packet loss due to overflow queueing. The performance of the proposed technique is evaluated under simulations and compared to well-known routing metrics (ML (*Minimum Loss*) and ETX (*Expected Transmission Count*)). Through the simulations, it is possible to observe that the proposal technique presented a better performance in the used network model.

Keywords—Mesh networks, Routing, Metrics, Pattern recognition.

I. INTRODUÇÃO

Cada vez mais novos computadores e telefones portáteis são equipados com adaptadores de redes móveis, o que mostra a necessidade de investimentos em redes de acesso sem fio. Neste modelo de redes, um tipo muito difundido, devido a sua simplicidade de implementação, é a rede em malha sem

fio (redes *mesh*)[4] onde é formada uma topologia em malha entre os pontos de acesso. Para que essas redes sejam viáveis, é necessário que os pontos de acesso/roteadores possam encaminhar os dados para outros pontos de acesso/roteadores, através da criação de rotas e formação da topologia em malha.

De forma geral as redes em malha utilizam protocolos de roteamento para criar rotas e tornar possível a comunicação entre os nós da rede. Para criar essas rotas, os protocolos de roteamento utilizam métricas para calcular o custo de cada uma delas e assim selecionar a melhor rota entre as rotas possíveis. Na maioria das propostas encontradas na literatura essas métricas são baseadas em funções contínuas [5][6][8]. Além disso, normalmente elas avaliam a qualidade dos enlaces de transmissão, sem a percepção de congestionamento e descarte de pacotes por sobrecarga na fila de dados.

Este trabalho tem como objetivo apresentar um mecanismo utilizado em reconhecimento de padrões para aprendizado baseado em instância que substitui métricas de funções contínuas utilizadas pelos protocolos de roteamento. A idéia seria utilizar esta técnica de reconhecimento de padrões, para assim redirecionar o tráfego de maneira inteligente, resultando na redução da taxa de bloqueio de pacotes e no aumento da vazão do tráfego total da rede de acesso. O redirecionamento para enlaces secundários ou periféricos, apesar de muitas vezes apresentarem uma qualidade de transmissão inferior ao enlace mais utilizado, pode evitar o descarte por fila e servir como alternativa de rota. Para esse redirecionamento ser bem sucedido é necessário que o descarte por fila somado ao descarte por qualidade do enlace seja inferior a soma destes no enlace primário.

O artigo está dividido em cinco seções. Uma apresentação dos principais trabalhos relacionados está listada na seção 2. Em seguida, a seção 3 apresenta o mecanismo proposto incluindo uma descrição da técnica k-NN utilizada[10]. A seção 4 apresenta a avaliação de desempenho do mecanismo proposto com uma análise dos resultados obtidos. Finalmente, a seção 5 conclui o trabalho e indica possíveis trabalhos futuros.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

A rede em malha sem fio tem se tornado uma boa alternativa para as redes de acesso. Este tipo de rede possui a vantagem de ser uma rede de baixo custo, fácil implantação e tolerante à falhas [7]. Os roteadores sem fio são tipicamente instalados no topo de edifícios e comunicam-se entre si usando protocolos de roteamento, como por exemplo, o OLSR (Optimized Link State Routing Protocol) [1].

Roberson Cesar Alves de Araujo, Instituto de Tecnologia do Paraná - (TECPAR). Cleverton Juliano Alves Vicentini, Mauro Fonseca e Fabrício Enembreck, Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada - (PPGIA) - PUCPR. Anelise Munaretto, CPGEI/UTFPR, Emails: roberson@tecpar.br, {cleverton,mauro.fonseca,fabricio}@ppgia.pucpr.br, anelise@utfpr.br

Este trabalho consiste na formulação de uma nova métrica para o protocolo de roteamento OLSR. A escolha desse protocolo foi devido ao fato deste ter o tamanho das mensagens de controle reduzidas e o *overhead* proveniente da inundação de tráfego de controle minimizada pela utilização de MPRs *Multipoint relay* [2]. Além disso, a utilização de nós fixos tem melhor desempenho com protocolos de roteamento pró-ativo.

A. Métricas de Protocolo de Roteamento para Redes em Malha sem Fio

Protocolos de roteamento utilizam-se de métricas para escolha de um melhor caminho para um destino em uma rede. Uma das primeiras métricas utilizadas em redes de computadores, devido a sua simplicidade, é a métrica de menor número de saltos entre a origem e o destino. Porém em redes sem fio esta abordagem não pode ser tomada como o melhor parâmetro, pois segundo [3] esta métrica pode levar a escolha de rotas ruins, e a qualidade dos enlaces pertencentes a rota com menor número de saltos pode ser inferior.

Visando contornar este inconveniente, surgiram novas métricas de roteamento para redes em malha sem fio, que visam considerar algum fator do enlace que possa melhorar o desempenho da rede. Como exemplo pode-se citar as métricas: ETX (Expected Transmission Count) [3], ML (Minimum Loss) [5] e AP (Alternative Path) [6].

1) *Perda mínima (ML - Minimum Loss)*: A métrica de perda mínima é uma métrica multiplicativa e tem como base a probabilidade de sucesso na transmissão de pacotes no enlace. Seu objetivo é encontrar rotas que minimizem a probabilidade de perda de pacotes.

O peso atribuído a cada enlace $x \rightarrow y$ será a probabilidade P_{xy} de que um pacote seja transmitido com sucesso de x para y . Uma interpretação para este evento é a inserção de dois sub-eventos, onde um pacote enviado por x é recebido corretamente por y , e a confirmação (ACK) referente ao pacote de dados é recebida corretamente por x . Sendo então o cálculo do produto das probabilidades dos sub-eventos igual a probabilidade P_{xy} .

Ao se atribuir pesos ao número total de enlaces da rede, obtém-se como melhor rota entre dois nós aquela com probabilidade maior de sucesso na transmissão de um pacote fim a fim. Ou seja, em transmissões de um pacote pelos enlaces de uma rota como eventos independentes, a melhor rota entre dois pontos da rede será aquela que apresente o maior produto dos pesos dos enlaces.

Com isto, pode-se apresentar o valor ML na equação 1, que representa o custo total de uma rota composta por n enlaces como:

$$ML_n = \prod_{i=0}^{n-1} P_{x_i x_{i+1}} \quad (1)$$

2) *ETX (Expected Transmission Count)*: A métrica ETX [8] atua na medição contínua da taxa de perda entre cada nó de uma rede e seus respectivos vizinhos, através de um monitoramento das taxas de perda dos enlaces nas trocas de mensagens periódicas, assim como em enlaces alternativos. O objetivo é de apresentar os melhores caminhos para realizar

a entrega de um pacote para seu destino [7]. O custo de uma rota é obtido através do cálculo das taxas de entregas de pacotes de ida (*forward delivery ratio*(df)) e de volta (*reverse delivery ratio* (dr)). O enlace de ida é responsável pelo envio de dados e o enlace de volta é responsável pelos reconhecimentos positivos (ACKs). A probabilidade de uma transmissão de dados e seu respectivo ACK é apresentada por: $df * dr$. A métrica ETX utiliza o inverso desta probabilidade [9], e é representada na equação 2:

$$ETX = \frac{1}{df \times dr} \quad (2)$$

Quando ocorre a situação de caminhos com múltiplos saltos, o valor de ETX total da rota é obtido através da soma do valor de ETX de cada salto [7]. Em uma rota do nó A até o nó C, passando por B, o valor final de ETX é demonstrado na equação 3.

$$ETX_{ac} = ETX_{ab} + ETX_{bc} \quad (3)$$

O protocolo que faz o uso da métrica ETX seleciona como melhor rota entre uma origem a um destino específico, aquela que apresente o menor valor de ETX.

III. MECANISMO PROPOSTO: TDE (*Traffic Definition Element*)

O mecanismo proposto TDE (Elemento de Definição de Tráfego) é um elemento dotado de técnica de inteligência artificial para reconhecimento de padrões, que retorna o custo dos enlaces para o protocolo de roteamento. Para calcular o custo do enlace, o TDE utiliza o algoritmo de classificação k-NN [10], possibilitando ao protocolo de roteamento calcular a melhor rota. Para melhor entendimento do funcionamento do k-NN, ele será detalhado na próxima seção (III-A).

A. *k-NN (k-Nearest Neighbors)*

O k-NN é um algoritmo que tem como centro de seu funcionamento o descobrimento do valor vizinho mais próximo de uma dada instância de tupla. Este algoritmo está contido em um grupo de técnicas denominado de *Instance-based Learning* [19] onde são encontrados os k vizinhos mais próximos da tupla de consulta, ao invés de apenas o vizinho mais próximo.

O k-NN é definido como um método de classificação supervisionado e não paramétrico, onde um padrão é dado como pertencente a uma classe de acordo com a quantidade de vizinhos que pertençam a essa mesma classe, através de um critério de distância, que podem ser a distância de Manhattan, Minkowski e Euclidiana [10], sendo esta última mais adotada pela comunidade científica [17].

B. *Funcionamento do TDE*

O funcionamento do TDE baseia-se na utilização de uma tabela inicial de aprendizado para o funcionamento do algoritmo k-NN encontrar o melhor resultado. A tabela inicial foi treinada com quatro características, que podem ser visualizadas na figura 1. As características são relativas a qualidade

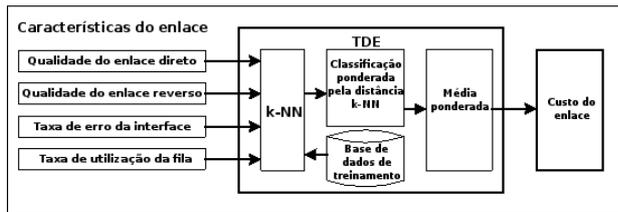


Fig. 1. Características utilizadas pelo TDE para definição de custo de enlace.

do enlace direto, qualidade do enlace reverso, taxa de erros e utilização de fila.

A grande vantagem do modelo proposto é que podemos treinar novas tabelas de aprendizado com características do enlace ou do nó para verificar se estas informações são relevantes. Para os estudos apresentados nesse artigo, começamos usando como tabela de aprendizado valores da fórmula do ETX. Para representarmos o ETX montamos uma tabela com 3 colunas. Na primeira coluna variamos o valor do enlace direto, na segunda coluna variamos o valor do enlace reverso e na terceira colocamos o custo ETX. Com esse experimento conseguimos que o TDE tivesse o mesmo comportamento que a métrica ETX que tem um bom resultado.

A partir deste experimento geramos uma nova tabela de aprendizado, onde mantemos as colunas anteriores, mas inserimos mais duas colunas com características consideradas relevantes. Na terceira coluna colocamos valores da taxa de erro da interface do nó e a quarta coluna colocamos a porcentagem ocupada da fila da interface. A quinta coluna ficou com os resultados da terceira coluna anterior. Para retirar as características linear inserimos estas regras para alterar a tabela de aprendizado:

- 1) Em todas as linhas que o valor na coluna porcentagem da fila ocupada for maior que 85% o valor da coluna resultado foi alterado para 100, que é o valor máximo.
- 2) Em todas as linhas que o valor na coluna taxa de erro da interface for maior que 90% o valor da coluna resultado foi alterado para 100, que é o valor máximo.
- 3) Em todas as linhas que o valor na coluna taxa de erro da interface for maior que 60% o valor da coluna resultado será acrescentado de 10% limitado ao valor máximo de 100.

Para evitar grandes oscilações nos resultados obtidos pelo TDE, que poderiam causar oscilações de rotas, foi realizada a média móvel ponderada exponencialmente do resultado do k-NN. Com esta média móvel ponderada exponencialmente conseguimos reduzir o número de bloqueio por falta rota.

Para implementar a média móvel ponderada exponencialmente, foram realizados diversos testes, respeitando o intervalo de confiança, com diferentes coeficientes de memória α , que é quem determina o peso do valor instantâneo e o peso do valor histórico no custos dos enlaces. Esta técnica segue os princípios apresentados em [11]. Foram feitos vários testes respeitando o intervalo de confiança para alcançar o valor de α para a média móvel ponderada exponencialmente, a qual foi fixada em 0,1, mas por limitação de espaço o estudo não foi apresentado.

A fórmula utilizada para determinar o custo é apresentada na equação 4, onde CI é o valor do custo instantâneo, C representa o custo que será usado pelo protocolo de roteamento, CM como o custo médio que é inicializado com valor 0 (zero), e α como coeficiente de ponderação da variação do custo.

$$C = (CM * \alpha) + (1 - \alpha) * CI \quad (4)$$

IV. RESULTADOS

Para avaliação da proposta foram utilizados fluxos VoIP e FTP. Ao avaliar o impacto das métricas de roteamento em uma rede em malha sem fio com esses fluxos é importante avaliar principalmente a perda de pacotes, o atraso e a variação do atraso (jitter).

A fim de perceber a influência dos fluxos na rede de acesso sem fio usamos cenários de simulação criados de forma incremental onde começamos a simulação com um par de fluxos VoIP e aumentamos estes fluxos até 12 fluxos VoIP, que representam 6 chamadas VoIP. Apesar de termos feito os testes para até 60 fluxos VoIP juntamente com tráfego de *background* FTP para propositalmente provocar ocorrência de congestionamento, por motivos de simplificação, apresentaremos o resultado para os 12 fluxos.

Este cenário com 12 fluxos tem como objetivo criar um ambiente de congestionamento quase completo na rede e assim observar o comportamento do TDE junto com o protocolo de roteamento. O protocolo de roteamento utilizado nas simulações foi o OLSR, que é amplamente utilizado em redes em malha sem fio. Para comparar o desempenho da nossa proposta (TDE) foram implementadas as métricas *Expected Transmission Count* e *Minimum Loss* [12] no mesmo cenário de simulação. Esta escolha se dá devido ao fato de serem duas métricas amplamente utilizadas em redes sem fio em malha [13] e de apresentarem resultados melhores em cenários alternados, algumas vezes o ETX tem melhores resultados e em outras o ML.

As chamadas VoIP são sempre compostas por dois fluxos, pois a aplicação tem fluxo bidirecional e os fluxos de ida e volta não necessariamente trafegam pelas mesmas rotas. O tráfego de *background* (FTP) foi gerado através do Modelo de Pareto para ser melhor caracterizado [14] [18], para alcançarmos as características de tráfego em rajadas usamos os valores *default*. O *codec* utilizado nas simulações foi o G.729, pois seu consumo de banda é de 8 Kbps, desta forma é o mais utilizado nas redes sem fio de acordo com [15]. A tabela I demonstra os parâmetros de simulação.

O intervalo de confiança que foi usado para a análise dos resultados foi de 90%, e foi calculado conforme [16]. As características de qualidade de serviço usadas para avaliação dos resultados foram: *jitter*, atraso, vazão e probabilidade de bloqueio.

A. Resultados da simulação

A Figura 2 apresenta a variação do *jitter* obtido nas simulações. O *jitter* refere-se a variação do atraso. Para gerar o gráfico, foram utilizados os módulos dos valores obtidos.

TABELA I
PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO

Parâmetros	Valores
Protocolo de roteamento	OLSR
Métricas aplicadas / elemento	ETX / ML / TDE
Tempo de simulação	60 segundos
Padrão utilizado	IEEE 802.11 g
Modelo de propagação	Shadowing
Modelo das antenas	Omnidirecional, 12dB de ganho
Path loss exponent	2,7
Shadowing deviation	4,0 dB
Área de simulação	1000m x 1000m
No. de nós	10
Bandwidth	54 Mb
BasicRate	24Mb

Como podemos verificar na Figura 2 o *jitter* resultante da rede com o TDE teve valores com pouca variação, apresentando assim uma estabilidade que pode ser benéfica aos fluxos VoIP. Esta estabilidade foi alcançada com a introdução da média móvel ponderada exponencialmente retornada do TDE, que teve como reflexo uma grande estabilidade das rotas escolhidas pelo protocolo de roteamento OLSR. Esta estabilidade deve se repetir com outros protocolos de roteamento, pois ela é devida a estabilidade do custo retornada pelo TDE.

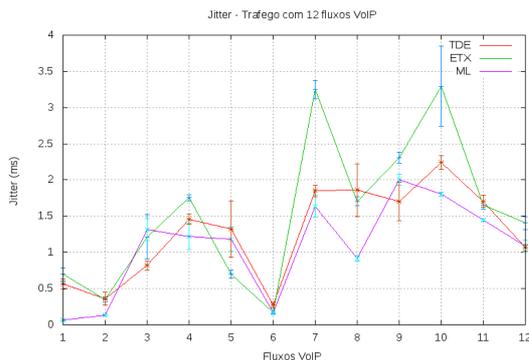


Fig. 2. Jitter encontrado no tráfego VoIP - comportamento por fluxo VoIP.

É importante salientar que os valores da Figura 2 difere para fluxos da mesma chamada pelo motivo de que as rotas diferem de acordo com a carga da rede. Sendo assim os fluxos de mesma origem e destino podem usar diferentes rotas. Podemos observar que o TDE consegue manter as rotas mais estáveis mesmo em redes mais carregadas.

A Figura 3 apresenta o resultado do atraso obtido nas simulações por fluxo enviado. O atraso é fim a fim, referente ao tempo gasto do envio do nó de origem até o recebimento do pacote no nó destino. Com o uso do TDE, pode ser observada uma redução considerável no atraso fim a fim em relação às métricas ETX e ML, este ganho se mantém perceptível em todos os cenários. Ainda podemos ver que os fluxos 3 e 4 com uso das métricas comparativas, atingiu valores superiores a 400ms, valor este que é considerado inaceitável para tráfego VoIP, enquanto para os mesmos cenários, o TDE mostrou-se mais eficaz, baixando este valor.

A vazão é a medida da quantidade de tráfego de dados movidos de um nó da rede para outro dentro em um determinado

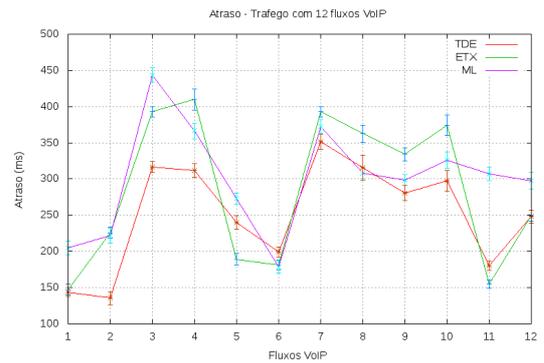


Fig. 3. Atraso verificado no tráfego VoIP - comportamento por fluxo VoIP.

intervalo de tempo. Observando a Figura 4, verifica-se que, a vazão manteve-se maior na maioria dos fluxos usando o TDE, e essa vazão aumenta a medida que o número de fluxos aumenta.

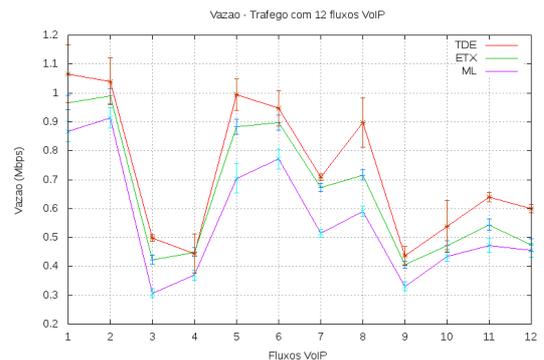


Fig. 4. Vazão do tráfego VoIP - comportamento por fluxo VoIP.

Analisando estes gráficos pode se perceber que as rotas obtidas com o TDE obtêm melhores resultados. É importante salientar que nenhum mecanismo de QoS foi utilizado para priorização de tráfego ou controle de banda em nenhum cenário. Como o cenário de simulação foi sempre o mesmo para as 3 métricas utilizadas, o TDE destacou-se principalmente pelo aumento da vazão.

A Figura 5 apresenta o resultado do bloqueio obtido nas simulações. O bloqueio apresenta o percentual de pacotes perdidos durante a transmissão. Os principais fatores que levam ao bloqueio podem ser fila cheia ou não existência de rota para transmissão de dados. Como apresentado na Figura 4, os dados referentes ao bloqueio do TDE destacam-se das outras métricas comparadas, apresentando um menor valor de bloqueio, fato que reforça a vantagem do TDE para evitar descarte de pacotes quando do envio de dados com a rede com grande carga de dados, forçando o descarte de dados e consequentemente a retransmissão devido a filas cheias.

Através do uso da tabela de aprendizado para o k-NN aliado a média ponderada para reduzir as grandes variações das características usadas do enlace, obteve-se valores estáveis

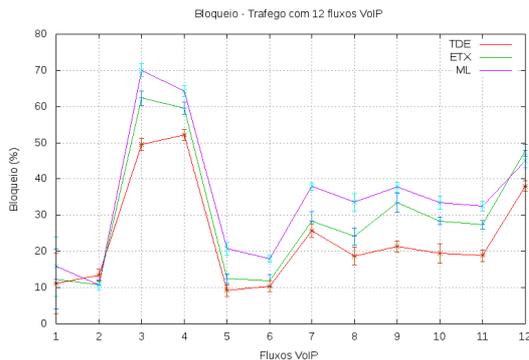


Fig. 5. Bloqueio no tráfego VoIP - comportamento por fluxo VoIP.

e confiáveis, onde os valores de bloqueio relativos a fila cheia foi menor no TDE em relação as outras métricas usadas no cálculo do custo dos enlaces. Isto pode ser verificado facilmente através da Figura 6, que apresenta em percentual, a quantidade de pacotes bloqueados nas simulações por motivo de não existência de rota ou por fila cheia.

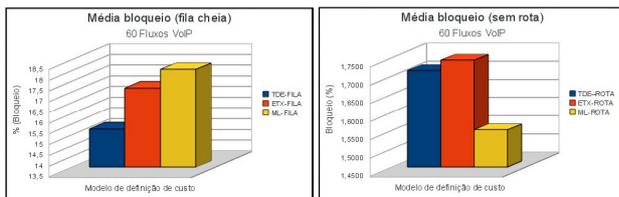


Fig. 6. Comparativo de bloqueio por tipo usando VoIP e TCP.

Para a construção da Figura 6 foi considerado todo o tráfego simulado (60 fluxos) de VoIP e FTP e foi possível verificar uma redução considerável no bloqueio por motivo de fila cheia, fato que destaca o sucesso do TDE com relação a detecção de filas cheias promovendo assim uma maior distribuição das rotas e evitando os vales de concentração de rotas que causam enchimento de filas de forma rápida.

V. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o mecanismo TDE utilizado em reconhecimento de padrões para aprendizado baseado em instância, k-NN, que substitui as métricas de funções contínuas utilizadas pelos protocolos de roteamento. O TDE utiliza o custo do enlace para redirecionar o tráfego de maneira inteligente, e não contínua, a fim de reduzir a taxa de bloqueio de pacotes e aumentar a vazão do tráfego total da rede. O redirecionamento das rotas para enlaces secundários tem como objetivo reduzir o descarte total de pacotes, que é composto pelo descarte por fila somado ao descarte pela qualidade do enlace.

O TDE utiliza quatro características conhecidas na comunicação de rede sem fio (Qualidade de transmissão, Qualidade de recepção, Tamanho da fila de transmissão, Taxa de erro) para criar a tabela de aprendizado. Para calcular o custo foi utilizado o k-NN para detectar quais são as instâncias da tabela de aprendizado que estão mais próximas

das características do enlace para assim retornar o custo do enlace. Com o intuito de estabilizar o custo do enlace foi adicionada ao TDE a média ponderada do custo do enlace. O TDE mostrou bons resultados em uma rede em malha sem fio sem mobilidade, para as principais métricas de QoS usada em redes em fio, mostrando assim ser uma alternativa viável e promissora.

A principal contribuição do trabalho é que o TDE é expansível, isto significa que podemos adicionar outras características na tabela de aprendizado, sem tornar a métrica um problema NP completo. Como trabalho futuro sugere-se o treinamento de tabelas de aprendizado com outras composições de características de redes sem fio.

REFERÊNCIAS

- [1] Clausen, T. and Jacquet, P., *RFC3626: Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)*, IETF, 2003.
- [2] Munaretto, A. and Fonseca, M., *Routing and quality of service support for mobile ad hoc networks*, Computer Networks, vol.51, pp.3142-3156, 2007.
- [3] Couto, D.S.J.D. and Aguayo, D. and Bicket, J. and Morris, R. *A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing*, Wireless Networks, V11, n4, pp. 419-434, Springer, 2005.
- [4] Draves, R. and Padhye, J. and Zill, B. *Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh networks*, Proceedings of the 10th annual international conference on Mobile computing and networking, pp. 114-128, ACM New York, NY, USA, 2004
- [5] Passos, D. and de Albuquerque, C.V.N. *Proposta, implementação e análise de uma métrica de roteamento multiplicativa para redes em malha sem fio*, Revista Eletrônica de Iniciação Científica (REIC), 2007.
- [6] Mascarenhas, D. and Rubinstein, M. and Sztajnberg, A. *Uma nova métrica para protocolos de roteamento em redes em malha sem fio*, XXVI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações - SBRT 08, 02-05 de setembro de 2008, Rio de Janeiro, RJ, 2008.
- [7] Albuquerque, C.V.N. and Saade, D.C.M. and Passos, D.G. and Teixeira, D.V. and Leite, J. and Neves, L.E. and Magalhães, L.C.S., *GT-Mesh - Rede Mesh de Acesso Universitário Faixa Farga Sem Fio - Relatório Técnico 3*, Universidade Federal Fluminense, RT-3 pp. 1-118, August, 2006.
- [8] Campista, M.E.M. and Esposito, P.M. and Moraes, I.M. and Costa, L. and Duarte, O. and Passos, D.G. and de Albuquerque, C.V.N. and Saade, D.C.M. and Rubinstein, M.G., *Routing metrics and protocols for wireless mesh networks*, IEEE Network, V22 n1 pp.6, 2008.
- [9] Esposito, P.M. and Schiller, F.O.S.B. and Campista, M.E.M. and Moraes, I.M. and Rubinstein, M.G. and Costa, L.H.M.K. and Duarte, O.C.M.B., *Implementação da Métrica de Roteamento Tempo Esperado de Transmissão em Redes em Malha Sem Fio*, XXV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRT, 2007.
- [10] Khan, M. and Ding, Q. and Perrizo, W., *K-nearest neighbor classification on spatial data streams using p-trees*, Lecture Notes in Computer Science, pp.517-528, 2002.
- [11] Jensen, C.S. and others, *Persistent Views-A Mechanism for Managing Aging Data*, 2001.
- [12] Passos, D. and Albuquerque, C., *Proposta, Implementação e Análise de uma Métrica de Roteamento Multiplicativa para Redes em Malha Sem Fio*, Anais do XXVII Congresso da SBC, pp.1935-1944, 2007.
- [13] ReMesh, *Universidade Federal de Fluminense. 2005. Disponível em: http://mesh.ic.uff.br*, 2005.
- [14] McCanne, S. and Floyd, S. and Fall, K., *ns2 (network simulator 2)*, V23, last accessed: February, 2010.
- [15] Cordeiro, W. and Aguiar, E. and Moreira, W. and Abelem, A. and Stanton, M. *Providing quality of service for mesh networks using link delay measurements*, Proceedings of 16th International Conference on Computer Communications and Networks, 2007. ICCCN 2007, pp.991-996, 2007.
- [16] Jain R., *The art of computer systems performance analysis: techniques for experimental design, measurement, simulation, and modeling*, Wiley New York, 1991.
- [17] Witten I.H., Frank E., *Data mining: practical machine learning tools and techniques*, 2nd ed., Elsevier, Morgan Kaufmann, p.5, USA, 2005.
- [18] *The Network Simulator - NS-2. Disponível em: jwww.isi.edu/nsnam/ns/*, NS-2, www.isi.edu/nsnam/ns/, 2010.
- [19] Mitchell, T., *Learning sets of rules*, Machine Learning, pp.230-248, 1997.