

Seleção de Gateways Móveis em Redes Heterogêneas Sem Fio com Múltiplos Saltos

Fabício Lobato¹, Otávio Rodrigues Jr¹, Kelvin Lopes Dias^{1,2}

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação – UFPA
Caixa Postal 66.075 – 110 – Belém – PA – Brasil

²Faculdade de Engenharia da Computação
Universidade Federal do Pará (UFPA) – Belém, PA – Brasil

{frl,kld,orj}@ufpa.br

Abstract. *One of the research challenges for 4G wireless is the development of mobile gateway selection mechanisms for Heterogeneous Multi-hop Wireless Networks (HMWN). Currently, there are only fixed gateway selection mechanisms for HMWN. In this paper we proposed an improvement to an existing HMWN architecture by including a new index based on the gateway mobility prediction in order to select the best connectivity. We compare the modified architecture with the original one considering mobile gateways with various velocities. Simulations results demonstrate that our proposal outperforms the original scheme in terms of the evaluated metrics.*

Resumo. *Um dos desafios de pesquisa para as redes 4G é o desenvolvimento de mecanismos de seleção de gateways móveis para redes heterogêneas sem fio com múltiplos saltos (HMWN). Atualmente, existem somente mecanismos de seleção de gateways fixos para HMWN. Neste artigo propõem-se uma contribuição em relação a uma arquitetura integrada existente para HMWN através da inclusão de um novo índice baseado na previsão de mobilidade do gateway a fim de selecionar a melhor conectividade. Ao comparar a arquitetura modificada com a arquitetura original, considerando gateways móveis, com diversas velocidades, demonstrou-se que a nossa proposta melhora o desempenho em termos das métricas analisadas.*

1. Introdução

Com o advento da integração e interoperabilidade entre tecnologias de acesso sem fio, novos desafios vêm se apresentando na elaboração de protocolos, algoritmos e mecanismos que viabilizem transparência e otimizem o uso de recursos nestes cenários compostos por redes celulares 3G, redes locais sem fio e MANETs [Cavalcanti 2005a], também denominadas de redes 4G (*Fourth Generation*) [Frattasi 2006][Dias 2006].

Este ambiente futurista de redes heterogêneas tem recebido bastante atenção e importância nas pesquisas em redes móveis. Alguns dos objetivos contemplados pela próxima geração de sistemas de comunicação de redes sem fio podem ser resumidos a seguir:

- ✓ Acesso móvel transparente e ubíquo para uma classe ampla de serviços, incluindo serviços de dados e multimídia, com o mínimo de impacto para os usuários enquanto estes trocam de ambiente de rede;
- ✓ Interações entre sistemas de acesso para viabilizar uma melhor utilização dos escassos recursos de rádio;
- ✓ Suporte a qualidade de serviço (QoS) fim-a-fim para as aplicações; e
- ✓ Coexistência e convergência de sistemas legados (ex: celular e WLANs – *Wireless Local Area Networks*) e novos paradigmas de rede, como as redes móveis ad hoc -MANETs (*Mobile Ad Hoc Networks*) e as redes em movimento (NEMO – Network Mobility)[NEMO 2007] .

De uma maneira geral, os gateways desempenham um papel integrador em redes heterogêneas. Entretanto, o termo gateway pode assumir diferentes significados e um maior número de funcionalidades, dependendo do contexto. Os *gateways* nas redes ad hoc homogêneas têm como objetivo ser uma interface para prover o acesso à Internet em MANETs, podendo ser fixos [Ghassemian 2004] ou móveis [Zhao 2005]. No âmbito das redes heterogêneas, os gateways, além de prover acesso à Internet viabilizam, por exemplo, que clientes que possuam apenas um tipo de interface sem fio (e.g. WLAN), utilizem recursos de outra rede (e.g., WiMax - *Worldwide Interoperability for Microwave Access*). Dessa forma, os gateways devem possuir interfaces sem fio para todas as tecnologias presentes no ambiente heterogêneo. O termo gateway pode ainda ser usado para designar nós que estendam a cobertura de uma rede/tecnologia. Assim, nessa concepção, o gateway permite que um cliente fora do alcance de uma determinada rede/tecnologia, use os recursos da mesma através de múltiplos saltos.

A mobilidade é uma característica intrínseca dos nós da rede 4G, inclusive nos gateways, e pode gerar instabilidade nas conexões entre os nós através de sucessivas quebras de enlaces ao longo da rota. Alguns artigos abordaram a mobilidade em redes ad hoc [Ratanchandani 2003][Zhao 2005] e em redes em movimento [Setiwan 2006]. Portanto, os gateways nas arquiteturas 4G podem também ser móveis, como tradicionalmente já o são em redes ad hoc homogêneas ou podem ser gateways que pertençam a “Redes em Movimento” (NEMO - Network Mobility) que, além de servirem seus clientes (que do ponto de vista do gateway são fixos), podem também servir a clientes fora da rede em movimento, sendo assim gateways móveis na perspectiva desses clientes externos. Porém, não é do conhecimento dos autores que a mobilidade tenha sido abordada em artigos envolvendo redes heterogêneas de forma a minimizar a seleção de gateways que tenham uma maior probabilidade de quebra de enlace durante a sessão em andamento do usuário, evitando assim que todos os procedimentos ligados ao roteamento sejam novamente executados para restabelecer a sessão interrompida.

Neste artigo, propomos um mecanismo para seleção de gateways móveis, estendendo uma arquitetura HMWN [Cavalcanti 2006] que utiliza apenas estimativas da qualidade de enlaces para a seleção de gateway. A seleção é baseada na predição de mobilidade de gateways, com o intuito de minimizar as quebras de enlaces e demais procedimentos relacionados à descoberta de rota, descoberta de gateway, que gerarão novo overhead na rede em virtude da necessidade do cliente restabelecer a sessão para o fluxo interrompido.

Este artigo é organizado da seguinte maneira. Na Seção 2 apresentamos os trabalhos relacionados. Em seguida, na Seção 3 descrevemos a técnica de predição de velocidade adotada e o mecanismo de seleção de gateways móveis para redes heterogêneas. Resultados de simulações da proposta são apresentados na Seção 5. Finalmente, na seção 6 apresentaremos as conclusões e os trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

O termo *gateway* pode assumir diferentes definições, dependendo do contexto onde é empregado e da funcionalidade que o mesmo desempenha. Os *gateways* nas redes ad hoc homogêneas têm como objetivo ser uma interface para prover o acesso à Internet em MANETs podendo ser fixo [Ghassemian 2004] ou móvel [Zhao 2005]. Os gateways dispõem também de mecanismo de descoberta pró-ativo, reativo e híbrido [Ghassemian 2004]. Nestas redes, algumas métricas adotadas para a escolha de gateway são: número de saltos [Ghassemian 2004] ou/e balanceamento de carga e distância euclidiana [Ammari 2004].

No âmbito das redes heterogêneas, os gateways, além de prover acesso à Internet viabilizam, por exemplo, que clientes que possuam apenas um tipo de interface sem fio (e.g. WLAN), utilizem recursos de outra rede (e.g., WiMax). Dessa forma, o gateway deve possuir interfaces sem fio para todas as tecnologias presentes no ambiente heterogêneo. O termo gateway pode ainda ser usado para designar nós que estendam a cobertura de uma rede/tecnologia. Assim, nessa concepção, o gateway permite que um cliente fora do alcance de uma determinada rede/tecnologia, use os recursos da mesma através de múltiplos saltos.

2.1 Seleção de Gateways em Arquiteturas Heterogêneas

Apesar da existência de várias arquiteturas heterogêneas [Bhargava 2004] [Wei 2004], optamos por explorar a arquitetura integrada apresentada em [Cavalcanti 2006] por apresentar características mais genéricas para ambientes heterogêneos se comparada às demais, como discutido em [Cavalcanti 2007]. Nesta arquitetura, a seleção de *gateway* está relacionada às estimativas da qualidade dos enlaces heterogêneos que podem conectar uma fonte ao destino. Descreveremos a seguir os principais componentes da arquitetura que são utilizados na seleção de gateway. Esses elementos são inerentes ao protocolo de roteamento IRP (*Integrated Routing Protocol*) [Cavalcanti 2005b] proposto pela arquitetura e que possui as fases de descoberta de topologia, de rota e de *gateway*.

O protocolo IRP, considera um ambiente heterogêneo genérico e provê conectividade para os usuários da rede celular, WLAN e/ou MANETs. A Figura 1 apresenta um cenário de rede heterogênea proposta em [Cavalcanti 2005b]. A arquitetura é composta por duas tecnologias (CDMA/HDR e 802.11b) que são integradas através dos *gateways* (Dual-Mode MSs) que terão duas interfaces, sendo uma a tecnologia CDMA/HDR [1xEV 2001] utilizada entre a antena e os gateways e outra corresponde ao IEEE 802.11b [IEEE 802.11 Standard 2003] utilizada entre o AP e as estações móveis (MSs), ou entre os gateways e as MSs ou, ainda, entre as próprias MSs em modo MANETs. Os clientes podem ter acesso à Internet via BS ou através de um AP. Além disso, por exemplo, os nós L e I poderiam comunicar-se através da rede ad hoc formada pelos dois saltos M e J, ao invés de utilizar a BS.

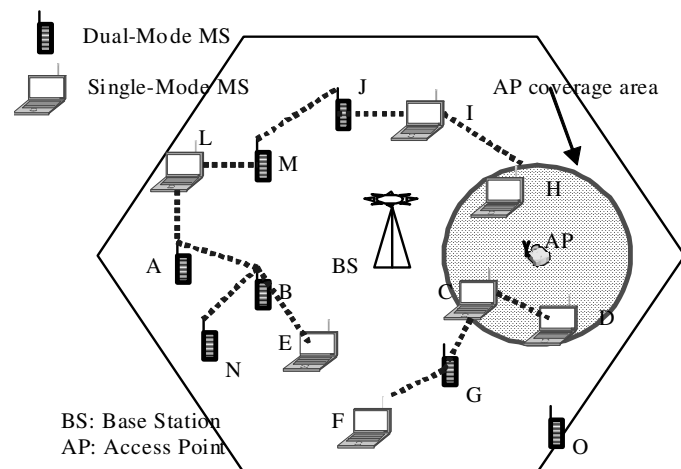


Figura 1: Rede Heterogênea Sem Fio Múltiplos Saltos [Cavalcanti 2005b].

Foram propostos dois métodos diferentes para a descoberta de gateways (*Gateways Nodes*), denominados: IRP-RD (*Reactive Discovery*) e IRP-PD (*Proactive Discovery*). Note que estes métodos pró-ativos e reativos referem-se a métodos de descoberta de gateways e não a métodos de roteamento *ad hoc*. Em [Cavalcanti 2005b], um novo método de roteamento integrado baseado no protocolo IRP-PD foi considerado com uma nova métrica de roteamento para redes heterogêneas. A nova métrica proposta em [Cavalcanti 2005b] não considera apenas a taxa de transmissão mas, também, atrasos e retransmissões em enlaces heterogêneos.

Essa métrica é uma adaptação para cenários heterogêneos da métrica ETT (*Expected Transmission Time*) em [Draves 2004]. O ETT de um enlace WLAN é definido em [Draves 2004] como:

$$ETT = ETX * (S/B) \quad (1)$$

onde S é o tamanho do pacote, o ETX é o número de transmissões esperadas para enviar pacote através de um enlace e B é a largura de banda do enlace. O método para estimar o ETX utilizado em [Draves 2004] aumenta o overhead e não pode ser aplicado para enlaces heterogêneos. Propõe-se em [Cavalcanti 2005b] uma nova definição e método de estimação para o ETT com a finalidade de adaptá-lo para uma rede heterogênea.

Como definido em [Cavalcanti 2006], o ETT_{ij} em um enlace direcional WLAN de i para j é computado com em (1), sendo adicionado AVG_Qdelay_i (atraso médio na fila do nó i) como em (3), porém para estimar o ETX_{ij} precisa-se de uma média da razão entre o número de colisões detectadas e o número de bytes recebidos em uma interface WLAN. Esta informação é incluída em pacotes de sinalização trocados periodicamente pela rede. Sempre que um nó i recebe um pacote de sinalização de j , o nó i extrairá a média de colisões por bytes ($AVG_Coll_bytes_j$) e computará o ETX_{ij} como em (2).

$$ETX_{ij} = (1 + AVG_Coll_bytes_j * S) \quad (2)$$

$$ETT_{ij} = ETX_{ij} * (S/B) + AVG_Qdelay \quad (3)$$

No caso de enlaces CDMA/HDR, defini-se o ETT_{i-BS} em um canal *uplink* entre MS_i e a BS como:

$$ETT_{i-BS} = S/B_{up} \quad (4)$$

onde B_{up} é a largura de banda total do *uplink* dividida pelo número de usuários que compartilham o canal *uplink*.

No canal do *downlink*, o nível do serviço captado por cada usuário varia em cada *slot* de tempo t de acordo com a taxa de dados instantânea $R_i(t)$ e o atraso da fila (*queuing delay*). Portanto, permite-se à BS manter uma média do atraso da fila (AVG_qdelay_i) e uma taxa de dados no *downlink* ($R_{Dwi}(t)$) para cada MS dentro de cobertura da BS. Computando o ETT_{BS-i} para o *downlink* das MS_i para cada *slot* de tempo t como:

$$ETT_{BS-i}(t) = AVG_qdelay + S/R_{Dwi}(t) \quad (5)$$

Em geral, o protocolo IRP inclui um mecanismo para a descoberta de topologia de BSs e APs, além de um procedimento de descoberta de gateways (GN) através dos quais nós fora da cobertura de BSs e APs podem se conectar utilizando o paradigma *multi-hop*. O processo de descoberta de topologia é implementado em conjunto por MS, BSs e APs. Cada MS, equipada com uma interface WLAN, transmite mensagens de sinalização e, conseqüentemente, descobre os nós vizinhos e associa custo aos enlaces que a conecta aos vizinhos. Dessa forma, cada MS mantém uma tabela de vizinhos com os respectivos custos que são definidos de acordo com a métrica de roteamento utilizada. As MSs transmitem suas tabelas de vizinhos para as BSs/APs cada vez que a tabela é atualizada. Por sua vez, BSs e APs usam as tabelas obtidas de vizinhos para construir a topologia da rede interligando as MSs com interfaces WLAN. Quando uma MS precisa encontrar uma rota fim-a-fim e está dentro da cobertura de uma BS e/ou AP, a MS envia uma mensagem RREQ (*Route Request*) diretamente à respectiva BS e/ou AP, os quais utilizam um algoritmo de descoberta de caminhos (por exemplo, Dijkstra) para encontrar uma rota sobre a topologia da rede atual. No entanto, caso a BS/AP não responda, a MS pode utilizar a rede ad hoc para descobrir a rota, ou seja, a MS envia um *broadcast* RREQ pela interface WLAN.

No caso em que a MS está fora da cobertura de uma BS/AP, usará um GN para descobrir uma rota. As mesmas mensagens de sinalização usadas no processo de descoberta de topologia também são usadas para propagar o endereço de nós que atuam como GNs, de forma que os nós fora de cobertura podem manter uma rota para pelo menos um GN. Esse processo é usado na versão pró-ativa do protocolo IRP-PD, mas na versão reativa (IRP RD) não há associação entre nós e gateways, ao contrário, os nós fora de cobertura apenas propagam o RREQ em sua interface WLAN, como em uma rede ad hoc.

Na arquitetura integrada HMWN, que utiliza o protocolo IRP [Cavalcanti 2005b][Cavalcanti 2006][Cavalcanti 2007], a seleção do gateway é definida exclusivamente pelas estimativas das qualidades dos enlaces heterogêneos e, além disso, considera apenas gateways fixos. Entretanto, os gateways nas arquiteturas genéricas 4G também podem ser móveis, como tradicionalmente já o são em redes ad hoc homogêneas ou, ainda, podem ser gateways que pertençam a “Redes em Movimento”

(NEMO - *Network Mobility*) que além de servirem seus clientes (que do ponto de vista do gateway são fixos) podem também servir a clientes fora da rede, sendo assim gateways móveis na perspectiva desses clientes externos.

3. Mecanismo Proposto para a Seleção de Gateways Móveis em HMWN

Nesta seção apresentamos o método utilizado na predição de mobilidade de gateways, a política adotada para a seleção e como o esquema original proposto em [Cavalcanti 2006] foi estendido para considerar mobilidade de gateways na seleção dos mesmos.

3.1 Alisamento Exponencial Adaptativo: *Trigg & Leach*

Um dos métodos de alisamento exponencial mais representativos é o método adaptativo, também chamado Trigg & Leach (TL) [Morettin 1981][Taylor 2004]. Sua principal vantagem recai no fato de que não há necessidade de uma especificação prévia do parâmetro de alisamento. O procedimento TL pode regular o parâmetro de alisamento α sempre que uma mudança ocorrer na estrutura básica da série temporal. Seja α_{t+1} o parâmetro de alisamento um passo à frente, então, a previsão em $t+1$ para o nível da série é dada por:

$$\hat{a}_{t+1} = \alpha_t Y_t + (1 - \alpha_t) \hat{Y}_t \quad (6)$$

$$\text{onde: } \alpha_{t+1} = \frac{|E_t|}{M_t},$$

$$E_t = \beta \varepsilon_t + (1 - \beta) E_{t-1},$$

$$M_t = \beta |\varepsilon_t| + (1 - \beta) M_{t-1},$$

$$\text{e } \varepsilon_t = Y_t - \hat{Y}_t \text{ (erro de predição em } t \text{)}.$$

Valores próximos de zero, apontam para um sistema de predição bem controlado com pequenos erros de predição, entretanto, valores próximos do valor unitário indicam um sistema de predição fora de controle com grandes erros de predição. É importante enfatizar que α_{t+1} permite que o sistema se reconcilie, não sendo tão reativo às mudanças. Ainda mais importante, α_t sofrerá modificações com base nas variações no padrão dos dados. O valor sugerido para β é igual a 0,1 [Morettin 1981][Taylor 2004].

3.2 O Índice de Mobilidade e Seleção de Gateway

Utilizou-se a técnica TL para prever a velocidade do gateway. Periodicamente, o gateway realiza estimativas sobre sua velocidade instantânea através da utilização de dados coletados a partir de sistema GPS embarcado, por exemplo. O valor da velocidade instantânea é utilizado juntamente com o valor predito da janela anterior para prever a próxima velocidade que será divulgada em pacotes de anúncio *Hello*. É importante ressaltar que esses pacotes já eram utilizados pela arquitetura integrada [Cavalcanti 2006] para divulgar as estimativas da qualidade do enlace divulgada pelo gateway.

De forma a contemplar cenários realistas constituídos tanto por gateways móveis com velocidades variadas quanto estáticos, nossa proposta sugere o uso classes de mobilidade para definir um índice (IM – Índice de Mobilidade) que estenderá a proposta original em [Cavalcanti2006]. O índice dependerá da velocidade predita e da cobertura celular proporcionada pelo gateway, de acordo com a equação (7):

$$\text{Indice_Mobilidade (IM)} = \text{Vel}^{\text{Predita}} / \text{área de cobertura do gateway} \quad (7)$$

onde o índice de mobilidade corresponde velocidade predita ($\text{Vel}^{\text{Predita}}$) pelo método de alisamento exponencial adaptativo em intervalos regulares sobre a área de cobertura do gateway.

Originalmente, a arquitetura integrada apresentada em [Cavalcanti2006] baseia-se apenas nas estimativas da qualidade de enlaces heterogêneos para realizar a seleção de gateway. No momento da seleção, a MS de origem recebe pacotes de todos os gateways que podem servi-la. Estes pacotes carregam informações sobre as estimativas de enlaces heterogêneos destes gateways e um índice de mobilidade que os mesmos atualizam internamente, em intervalos regulares.

Dessa forma, o novo custo de um gateway (Cost_Gateway) para um determinado cliente é definido pela equação (8).

$$\text{Cost_Gateway} = \text{ETT}_{ij} + \text{Indice_Mobilidade} \quad (8)$$

Em resumo, a seleção do melhor gateway corresponderá àquela cujo somatório da estimativa da qualidade do enlace com o índice de mobilidade resultar no menor valor. Caso o gateway selecionado se desloque, assim, deixando de cobrir a MS que origina o tráfego, um novo procedimento de descoberta de rota e seleção de gateway será realizado pela arquitetura. Dessa forma, o impacto de uma seleção de gateway incorreta poderá acarretar descontinuidade na transmissão, perda de pacotes e um novo overhead para descoberta de rota e seleção de um novo gateway.

3.3 Funcionamento da Proposta

Para ilustrar o mecanismo de seleção proposto utilizaremos um cenário base apresentado na Figura 2. Este cenário é composto por uma BS (nó A), três nós com dupla interface (sendo os nós B e C fixos e o nó D móvel) e 2 nós fixos (nós E e F) que possuem uma única interface WLAN. Utilizaremos as siglas SM e DM para indicar que os nós possuem uma única interface (*Single Mode*) ou duas interfaces (*Dual Mode - WLAN e CDMA*), respectivamente. No cenário apresentado, o SM de origem (nó F) transmitirá dados para o SM de destino (nó E). Consideramos também que o nó F tem dois gateways disponíveis (nó C e D) tendo que selecionar um dos dois gateways a fim de transmitir seus dados através da antena, que por sua vez, encaminhará através do gateway disponível (nó B) para o nó destino E.

Ao utilizar a arquitetura em sua forma original, o nó F selecionará o gateway baseando-se apenas na métrica ETT. Supondo que o valor do ETT anunciado pelo nó D seja menor que o anunciado por C, então F selecionará o nó móvel D como gateway para alcançar a rede celular. Ao se movimentar, D poderá sair da cobertura de F, causando a quebra do enlace, recálculo de rota para um novo gateway (nó C), diminuição gradativa da vazão, aumento no atraso e maior *overhead* de sinalização na rede.

No entanto, ao utilizarmos a arquitetura modificada, o nó F selecionará o gateway disponível através de um custo calculado a partir da soma da métrica ETT e do índice de mobilidade. Em nosso cenário o nó F selecionará o nó C, pois o seu custo é menor, por ele ser um nó fixo, enquanto D é um nó móvel. Portanto no custo anunciado por C, o valor do índice de mobilidade será zero (ou proporcional à relação entre a velocidade e a área coberta, para nós que se movimentam).

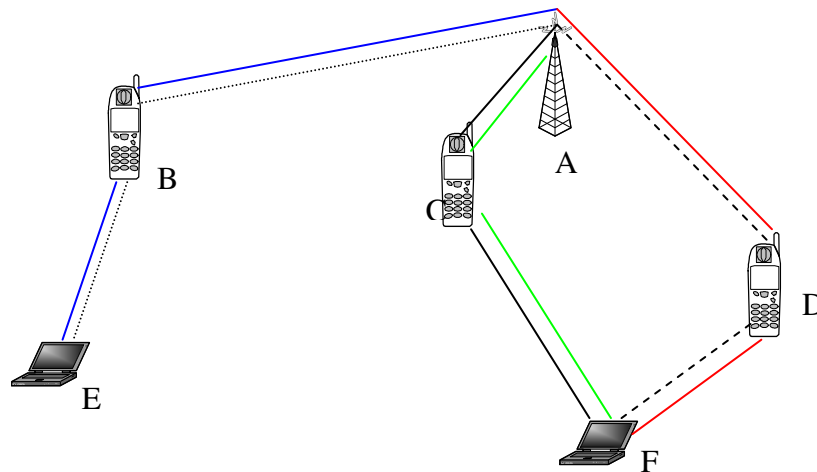


Figura 2. Seleção de Gateway para o Nó F.

4. Análise da Simulação

Nesta seção, apresentaremos e discutiremos a configuração e resultados da simulação a fim de demonstrar a melhora proporcionada pelo mecanismo proposto em uma HMWN.

4.1. Configuração da Simulação

Utilizando o simulador *ns-2* [ns-2 2007], comparamos o esquema original, proposto em [Cavalcanti 2006], para seleção de gateways em redes heterogêneas com nossa proposta que inclui predição de velocidade para definir um índice de mobilidade para a realização da seleção do gateway mais apropriado. As simulações realizadas consideraram cenários com várias velocidades. A topologia da simulação consiste em uma única BS com tecnologia celular CDMA/HDR, compreendendo uma célula com área de 886 x 886 m². Além disso, foram inseridas também na célula, seis estações fixas SM com uma única interface, segundo o padrão IEEE 802.11b operando em modo DCF e 12 estações móveis DM equipadas com duas interfaces: interface IEEE 802.11b operando em modo DCF e a interface CDMA/HDR. As estações SM são usadas apenas para gerar tráfego de dados a 64kbps e formam três pares (origem e destino do tráfego) dispostos de modo a não compartilharem os mesmos gateways. As estações DM poderão desempenhar o papel de gateway para que clientes SM, que só possuem a interface 802.11b, possam acessar a BS da rede celular CDMA/HDR ou para que a comunicação seja via MANET, formada por DMs que, em modo ad hoc, possuam uma rota entre um par de estações

SM. Com relação ao tráfego, foram gerados três fluxos CBR/UDP entre pares independentes de MSs. O resultado coletado corresponde ao valor médio obtido para as métricas apresentadas nos gráficos para os três fluxos. Como modelo de mobilidade utilizou-se o *Random Way Point* com um intervalo de tempo fixo de 5 segundos e com simulações onde a velocidade máxima poderia chegar a 5, 10 e 15m/s. As velocidades dos nós DM simulados poderiam variar entre 0 e a velocidade máxima do eixo X do gráfico. Todos os resultados apresentados são uma média sobre 20 execuções com as disposições iniciais aleatórias dos gateways dentro da cobertura da BS CDMA/HDR. As barras verticais para os valores médios apresentados nos gráficos consideram um intervalo de confiança de 95%.

Outros parâmetros utilizados na simulação são resumidos na Tabela I [Cavalcanti 2006].

Tabela I - Parâmetros e Valores utilizados nas Simulações.

Parâmetros do Sistema		
Área		886 m x 886 m
Tempo de Simulação		200 s
Sistema Celular	Taxa downlink do canal	2.4 Mbps (taxa máxima)
	Scheduling	Proportional Fairness
	Largura de Banda do canal <i>Uplink</i>	153 Kbps (shared)
	MAC (TDMA)	slot = 1.67 ms
	Efeitos de Propagação	Slow and fast fading
Interfaces WLAN	Largura de Banda	11 Mbps
	Alcance da comunicação	150 m
	MAC	802.11 DCF
Modelos de Propagação/Recepção	Modelo de Propagação	Two-Ray ground
	Recepção baseada em SINR	threshold = 10 dB
Parâmetros de Roteamento	Intervalo dos pacotes de sinalização	1 s
	Estimativa ETT	S=512 bytes

4.1. Resultados da Simulação

Nossa proposta será rotulada nos gráficos como “*proposta*” e o esquema sem predição de mobilidade dos gateways, utilizando apenas as estimativas de qualidade dos enlaces heterogêneos, como “*original*”. As seguintes métricas foram utilizadas nas simulações:

- Vazão: taxa em bits por segundo (bps);
- Atraso fim-a-fim por pacote: atraso total da transmissão sobre o número de pacotes recebidos;
- Overhead: número de requisições (RREQs) sobre o número de pacotes recebidos; e

- Latência de aquisição de rota: unidade de tempo relativa à descoberta de rota.

Os valores das métricas são obtidos em função da variação da velocidade dos nós duais que desempenham o papel de gateways.

O gráfico da Figura 3 apresenta a vazão em função da velocidade dos gateways. Quando a velocidade dos nós com dupla interface é configurada de forma a torná-los estáticos (0 m/s), nossa proposta e a original obtêm a mesma vazão. Entretanto, à medida que a velocidade aumenta, a vazão do cliente, em nossa proposta, se mantém constante e maior do que na arquitetura original. Por outro lado, a proposta original tem a vazão deteriorada à medida que a velocidade dos gateways aumenta. O mecanismo proposto selecionará o gateway com o menor valor do somatório entre a estimativa da qualidade do enlace e o índice de mobilidade, gerado através da previsão de velocidade do gateway. Podemos afirmar que nossa proposta reduz o número de desconexões causadas por quebra de rota ocasionada pela seleção de um gateway que não cobrirá o cliente durante toda sua sessão. Ao contrário do que acontece na arquitetura original, que considera somente o ETT e não a mobilidade, selecionando assim gateways móveis mais próximos da BS (por isso com um melhor *downlink*), entretanto, com alta mobilidade. Note que o gateway móvel selecionado pela proposta original pode até proporcionar um melhor ETT que um gateway menos móvel, selecionado por nossa proposta, mas à medida que este gateway se desloca, sua antiga estimativa do ETT poderá se deteriorar (aumentar), no entanto, a seleção já havia sido feita incorretamente. Nossa proposta, ao adicionar um índice de mobilidade ao ETT, tenta antecipar o conhecimento da piora do enlace decorrente da mobilidade do gateway.

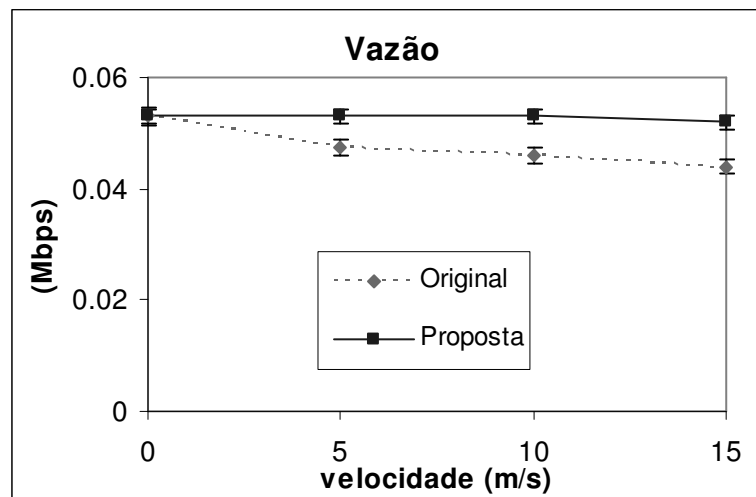


Figura 3: Vazão.

A Figura 4 mostra o gráfico de atraso fim-a-fim por pacote. Apresentando que nossa proposta tem um menor atraso fim-a-fim por pacote quando os gateways se deslocam do que a proposta original. Pois a proposta original não prevê mobilidade e devido a isso ocorrerão diversas quebras de enlaces assim aumentando o atraso total na transmissão e diminuindo o número de pacotes recebidos. Resultando em um aumento no atraso fim-a-fim por pacote com relação a nossa proposta.

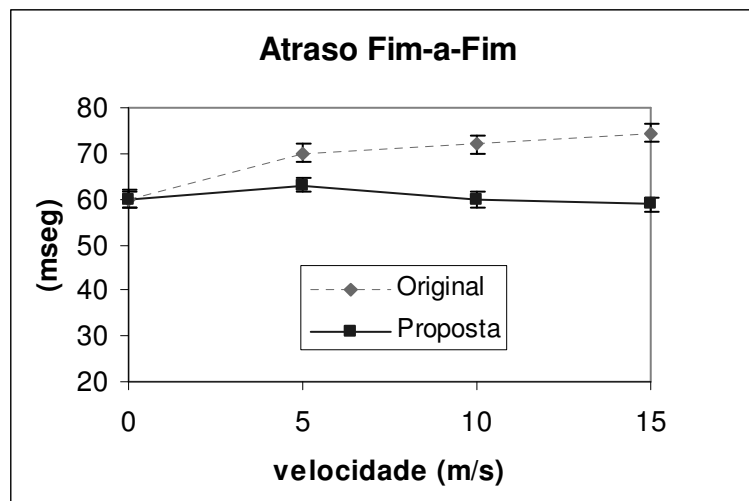


Figura 4: Atraso fim-a-fim.

A Figura 5 mostra o gráfico da latência de aquisição de rota. Novamente, nossa proposta apresenta a menor latência de aquisição de rota quando os gateways se deslocam. A queda do enlace anteriormente utilizado (decorrente da seleção do gateway) obriga o sistema a encontrar uma nova rota até o destino. Esta rota pode ser via BS ou através de uma MANET, sem inclusão da BS na rota, até o destino.

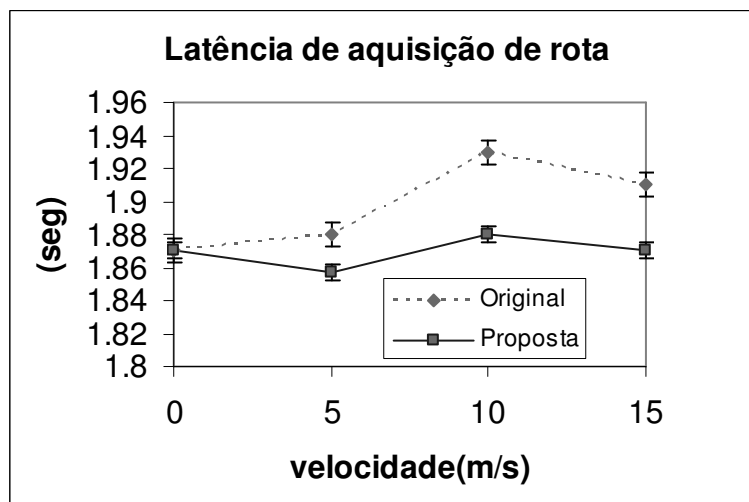


Figura 5: Latência de aquisição de rota.

Na Figura , observa-se o gráfico de overhead em termos de requisições de rotas (RREQs) sobre o número de pacotes recebidos. Na proposta original ocorre o aumento das quebras de conexões ao longo da rota, aumentando consideravelmente o número de requisições (RREQs) a fim de descobrir novas rotas e diminuindo o número de pacotes recebidos através das perdas desses pacotes. Resultando um maior overhead na rede do que a nossa proposta.

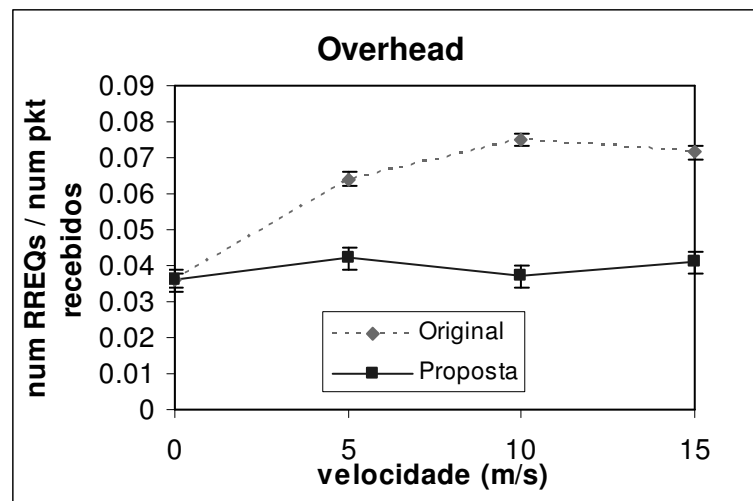


Figura 6: Overhead

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Propomos neste artigo um mecanismo para a seleção de gateways móveis em HMWN, estendendo uma arquitetura proposta em [Cavalcanti 2005b][Cavalcanti 2006]. A proposta combina a estimativa de qualidade de enlaces heterogêneos com um índice que indica o nível de mobilidade do gateway. O índice considera valores preditos da velocidade. Os resultados de simulações, considerando vários cenários de mobilidade para os gateways, mostraram que nossa proposta melhora o desempenho da arquitetura original, evitando desconexões devido à seleção de gateways que tenham maior probabilidade de se deslocar e deixar de cobrir os clientes.

Neste trabalho abordamos apenas os procedimentos relacionados ao roteamento. Como trabalhos futuros pretendemos melhorar a acurácia do índice de mobilidade através da inclusão da direção como parâmetro do mesmo, além de estender a solução em um arcabouço com gerenciamento de mobilidade e assim avaliar o emprego de protocolos como o IP Móvel nesta arquitetura integrada. Apesar dos protocolos e do mecanismo proposto terem demonstrado sua eficácia no ambiente heterogêneo (WLAN e CDMA/HDR) simulado, já temos em andamento um trabalho de substituição das tecnologias utilizadas neste artigo para que o simulador avalie integração de tecnologias mais recentes, como: WiMAX e UMTS.

Referências

- Frattasi S., et al.(2006). Defining 4G technology from the user's perspective. *IEEE Network* 20(1): 35-41, 2006
- Dias, K. L., Cavalcanti, D. A. T., Cordeiro, C. M., Costa, J. C. W. A. (2006) "Gerenciamento de Mobilidade e Arquiteturas para Redes 4G", Minicurso SBRC 2006.
- Cavalcanti, D., Cordeiro C. M., Agrawal, D. P., Xie, B. e Kumar, A. (2005a), "Issues in Integrating Cellular Networks, WLANs, and MANETs: A Futuristic Heterogeneous Wireless Network", in *IEEE Wireless Communications Magazine, Special Issue on Toward Seamless Internetworking of Wireless LAN and Cellular Networks*.

- Cavalcanti, D., Cordeiro C. M., Agrawal, D. P., Xie, B. e Kumar, A. (2007) Self-adaptive routing protocols for integrating cellular networks, WLANs, and MANETs. *Wireless Communications & Mobile Computing*, Volume 7, Issue 3 Pages: 375 – 397.
- Ghassemian, M., Hofmann, P., Prehofer, C., Friderikos, V. e Aghvami, H. (2004) “Performance Analysis of Internet Gateway Discovery Protocols in Ad Hoc Networks”, IEEE Communications Society WCNC04.
- IETF Network Mobility (NEMO) Working Group, <http://www.ietf.org/html.charters/nemo-charter.html>, Junho.
- Ratanchandani et al, P. (2003) “A Hybrid Approach to Internet Connectivity for Mobile Ad Hoc Networks”, in *Proceedings of WCNC03*.
- Bhargava, B., Wu, X., Lu Y. e Wang, W. (2004) “Integrating Heterogeneous Wireless Technologies: A Cellular Aided Mobile Ad Hoc Network (CAMA)”, *Mobile Networks and Applications*, Kluwer Academic Publishers, p. 393-408, September.
- 1xEV: 1x Evolution IS-856 TIA/EIA Standard (2001) – Airlink Overview. QUALCOMM Inc. White Paper, November.
- Wei, H-Y. e Gitlin, R. (2004) “Two-Hop-Relay Architecture for Next-Generation WWAN/WLAN Integration”, *IEEE Wireless Communications*, April.
- Cavalcanti, D. (2006) “Integrated Architecture and Routing Protocols for Heterogeneous Wireless Networks”. Ph.D. thesis – *University of Cincinnati, Department of Electrical and Computer Engineering & Computer Science of the College of Engineering, Cincinnati, 2006*.
- Cavalcanti, D., Cordeiro, C. M., Kumar A. e Agrawal, D. P. (2005b) “A New Routing Mechanism for Integrating Cellular Networks, WLAN Hot spots and MANETs”, in *Proceeding of the IEEE PIMRC*.
- Zhao, J. H., Yang, X. Z. e Liu, H. W. (2005) “Load-balancing Strategy of Multi-gateway for Ad hoc Internet Connectivity”, in *Proceedings of the International Conference on Information Technology: Coding and Computing*.
- Xie, B., Kumar, A., Cavalcanti, D., Agrawal, D.P., e Srinivasan, S., (2005) “Mobility and Routing Management for Heterogeneous Multi-hop Wireless Networks,” in *International Workshop on Heterogeneous Multi-Hop Wireless and Mobile Networks 2005 (MHWMN'05) in conjunction with IEEE MASS*, November.
- Draves, R., Padhye, J. e Zill, B. (2004) “Routing in Multi-radio, Multi-hop Wireless Mesh Networks”, in *Proceedings of ACM MobiCom*.
- Morettin, P.A. e Toloi, C.M.C. (1981) “Modelos para previsão de series temporais”, Instituto de Matemática Pura e Aplicada (IMPA), Rio de Janeiro.
- IEEE 802.11 Standard (2003), “Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications”.
- Ammari, H. e El-Rewini, H. (2004) “Using Hybrid Selection Schemes to Support QoS when Providing Multi-hop Wireless Internet Access to Mobile Ad Hoc Networks”, in *Proceedings of the IEEE QSHINE'04*.

UCB/LBNL/VINT Network Simulator (ns-2), “ns nam,” (visitado em dezembro, 2007).
http://nslam.isi.edu/nslam/index.php/Main_Page.

Taylor, James W., “Smooth transition exponential smoothing”, Journal of Forecasting, John Wiley & Sons Ltd., Vol. 23, Issue 6, pp. 385-404, 2004.

Icomera, <http://www.icomera.com>, (visitado em dezembro, 2007).

Setiwan et al, G. (2006) “Feasibility Study of Using Mobile Gateways for Providing Internet Connectivity in Public Transportation Vehicles”, IWCMC’06