

Análise de desempenho do protocolo *Mobile IP*

Andréa Collin Krob¹, Gaspare Giuliano E. Bruno¹

¹ Ciência da Computação - Centro Universitário LaSalle - UNILASALLE
Av. Victor Barreto, 2288 - 91.501-970 - Canoas - RS - Brasil

deakrob@sisconnect.com.br, gaspare.bruno@gmail.com

Abstract. *Several proposals are being implemented in order to reduce problems related to management of mobility in wireless networks. Mobile IP protocol is the standard applied currently on the Internet, supplying a global solution to mobility problem. It allows to change device localization without lost the communication or restarting applications. In this work, an analysis of performance of the protocol Mobile IP is carried through networks IEEE 802.11, verifying its functioning concerning scalability, performance and overhead.*

Keywords: *Mobile IP. Macro-Mobility. Mobility.*

Resumo. Diversas propostas estão sendo implementadas para reduzir os problemas do gerenciamento da mobilidade em redes sem fio. O protocolo *Mobile IP* é o padrão utilizado atualmente na Internet, fornecendo uma solução global para os problemas da mobilidade. Através dele, é possível alterar a localização dos dispositivos sem perder a conexão ou recomeçar as aplicações. Neste trabalho é realizada uma análise de desempenho deste protocolo em redes do padrão IEEE 802.11, verificando seu funcionamento com relação a escalabilidade, performance e *overhead*.

Palavras-chave: *Mobile IP. Macro-Mobilidade. Mobilidade.*

1. Introdução

A mobilidade é uma das principais características das redes sem fio. Tornar a mobilidade transparente para o usuário e as aplicações é um grande desafio na computação móvel.

O objetivo principal da computação móvel é fornecer acesso permanente a uma rede, independente da localização física do dispositivo. Desta forma, é possível acessar informações e utilizar serviços em qualquer hora e lugar.

Um dos principais desafios da mobilidade refere-se ao gerenciamento de *handoff* de seus dispositivos. Este procedimento é responsável por manter a comunicação e o fornecimento dos serviços durante a migração de um ponto de acesso para outro.

O gerenciamento do *handoff* é a chave para tratar os problemas de transparência no deslocamento dos dispositivos, pois impacta diretamente na qualidade, confiabilidade e segurança da comunicação. Por este motivo, deve ser realizado de forma suave, ou seja, com baixa latência e mínima perda de dados [1].

Em ambientes de macro-mobilidade, principal foco deste trabalho, sempre que um terminal deixa uma rede e entra em outra ocorrem dois tipos de *handoff*. O primeiro é na camada de enlace, gerenciando a conectividade do *link*. O principal propósito deste processo é re-associar o dispositivo com a entidade que fornece conectividade na nova rede. O segundo é na camada de rede, gerenciando o acesso à rede.

Durante o processo de *handoff* nas redes do padrão 802.11 infra-estruturadas, os dispositivos ficam incomunicáveis até que a conexão seja completamente estabelecida na nova rede. Enquanto isto, os pacotes continuam sendo encaminhados e perdidos na antiga localização [2].

Isto ocorre porque os dispositivos podem estar associados apenas com uma estação base por vez, realizando sempre um *hard handoff* na camada de enlace. Ou seja, o *link* é totalmente perdido antes de ser restabelecido.

As aplicações com requerimentos de QoS exigem que o tempo de interrupção seja o menor possível, considerando que o atraso dos pacotes afeta diretamente as aplicações multimídia como videoconferência e VoIP [3].

Atualmente, a principal solução para o gerenciamento da mobilidade na camada de rede é o protocolo *Mobile IP*. Este protocolo é uma extensão do IPv4 tradicional, proposto pelo IETF para tratar a mobilidade independente do meio físico através do qual um dispositivo móvel se comunica.

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise de desempenho do protocolo *Mobile IP* em redes do padrão 802.11, utilizando um ambiente de macro-mobilidade. Para isto, foram realizadas diversas simulações, verificando seu funcionamento nos aspectos escalabilidade, desempenho e *overhead* causado pela sinalização dispensada pelo protocolo na rede.

O texto apresenta-se organizado da seguinte maneira: a seção 2 apresenta o protocolo *Mobile IP*, descrevendo seu funcionamento. A metodologia de desenvolvimento, reunindo a topologia de rede utilizada e a descrição dos ambientes simulados é abordada na seção 3. Os resultados obtidos são apresentados na seção 4. Em seguida, a seção 5 descreve as considerações finais deste trabalho.

2. Mobile IP (MIP)

O protocolo *Mobile IP* é uma extensão do protocolo IPv4 tradicional, proposta pelo IETF para tratar a mobilidade na camada de rede, independente do meio físico através do qual um dispositivo móvel se comunica.

Fornece uma solução global para o problema da macro-mobilidade, permitindo que um terminal, antes fixo, visite uma nova rede mantendo seu endereço IP e suas conexões ativas [1]. Esta seção irá descrever as características do protocolo *Mobile IP*, bem como seu funcionamento.

2.1 Funcionamento

No MIP, um NM é identificado e localizado através de seu endereço IP, conhecido como *home address*. Este endereço é estático e corresponde ao endereço local do dispositivo. Durante a migração para outras redes, o NM recebe um endereço IP temporário, chamado *care-of-address* (CoA) relativo à rede externa que está visitando. Este endereço é dinâmico e muda a cada novo ponto de conexão.

O gerenciamento de *paging* e *handoff* é executado pelos agentes de mobilidade HA e FA, que cooperam para que os dispositivos móveis tenham uma conectividade constante.

Quando um pacote é enviado ao NM, sempre é roteado para sua rede de origem, independente de sua localização [4]. O funcionamento do MIP pode ser observado na figura 1.

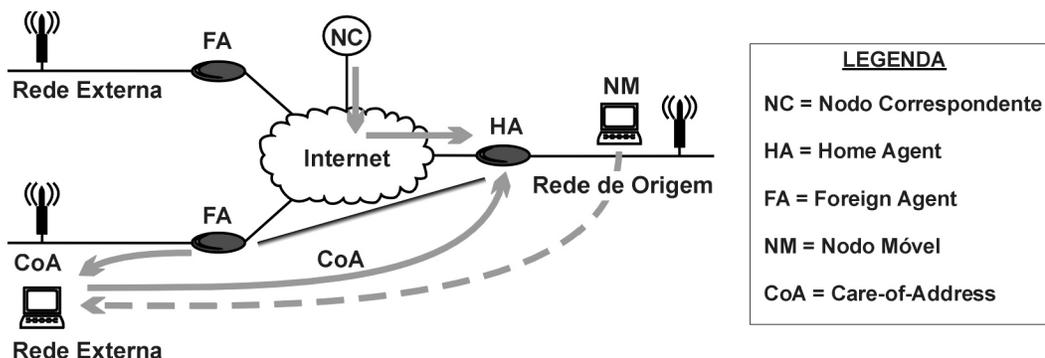


Figura 1. Funcionamento do Mobile IP

Se o NM estiver dentro da sua rede original, recebe os pacotes normalmente e responde como um terminal fixo. Caso esteja distante, o HA captura os pacotes destinados a ele e encaminha para sua nova localização. Para que isto seja possível, o NM precisa efetuar um registro com sua rede original e informar sua localização.

Através dos mecanismos de mobilidade, o NM consegue detectar sua migração para outras redes (fase de localização), necessitando obter um endereço CoA para utilizar no ambiente. O CoA pode ser obtido através do FA responsável pela rede ou por um processo de endereçamento dinâmico, como o DHCP.

Uma vez obtido este endereço, o NM envia através do FA uma solicitação de registro para sua rede original, requisitando o redirecionamento de seus pacotes (fase de registro). O NM pode solicitar diretamente este registro, caso tenha um *co-located* CoA. O HA recebe a solicitação e envia uma resposta, aceitando ou rejeitando o registro.

Se o registro for completado com sucesso, o HA saberá a localização exata do NM. Após inseri-lo em sua tabela de rotas, iniciará o encapsulamento de todos os pacotes endereçados a ele e transmitirá através de um túnel sua nova localização (fase de execução) [5]. O FA responsável pelo endereço na rede externa irá receber, desencapsular e encaminhar os pacotes ao NM.

Enquanto o NM estiver fora da sua rede original, usará o HA para receber os pacotes e o FA para responder diretamente os mesmos. Esta forma de roteamento é conhecida como rota triangular e pode ser visualizada na figura 2.

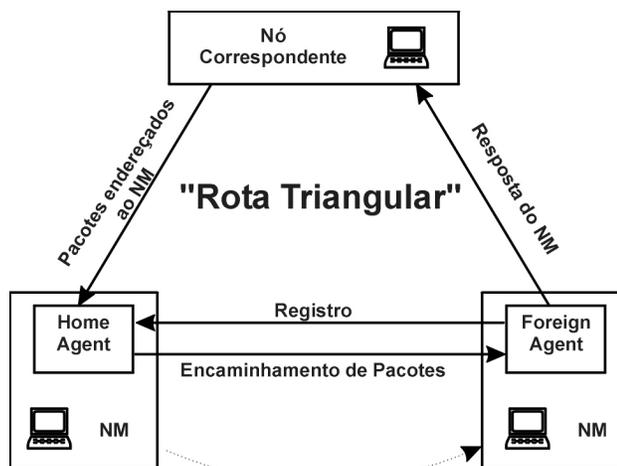


Figura 2. Rota triangular.

Em redes do padrão 802.11 infra-estruturadas, quando o NM se desloca de uma rede externa para outra, não é possível notificar os agentes de mobilidade com antecedência. Todos os pacotes em trânsito, antes de efetuar o novo registro, serão recebidos na antiga localização e descartados. A perda destes pacotes deve ser assegurada por um protocolo de nível mais alto, como o TCP [6].

No momento que o NM retorna para sua rede de origem, envia uma requisição de cancelamento do registro ao HA e volta a receber normalmente seus pacotes. O FA remove o NM de sua rede após um tempo de vida sem renovação de registro [4].

3. Metodologia

Conforme mencionado anteriormente, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise de desempenho do protocolo *Mobile IP* no gerenciamento da macro-mobilidade em redes sem fio.

A ferramenta de simulação utilizada foi o *Network Simulator (NS-2)*, um software de código aberto e distribuído gratuitamente. O NS-2 é um simulador discreto, orientado a eventos e voltado para a área de pesquisa em redes de computadores [7].

O sistema operacional utilizado nas simulações foi o Linux, distribuição Suse 9.2, com GCC versão 3.3.5. A versão do simulador é a mais recente até o momento, a 2.29. A arquitetura *Mobile IP* foi implementada utilizando o módulo desenvolvido pela *Sun Microsystems*, também presente nesta versão do NS-2.

A topologia de rede apresentada na figura 3 foi utilizada em todas as simulações realizadas neste trabalho. Os parâmetros que diferenciam os ambientes de simulação são a quantidade de dispositivos móveis, as velocidades de movimentação dos nós e os protocolos de transporte utilizados nas comunicações.

Os ambientes de simulação contêm dez nós fixos, além dos dispositivos móveis, que se movimentam entre as redes com velocidades de 1, 5, 10 e 20 m/s. O NC é o responsável por gerar o tráfego de dados com o NM, utilizando para isto os protocolos TCP e UDP.

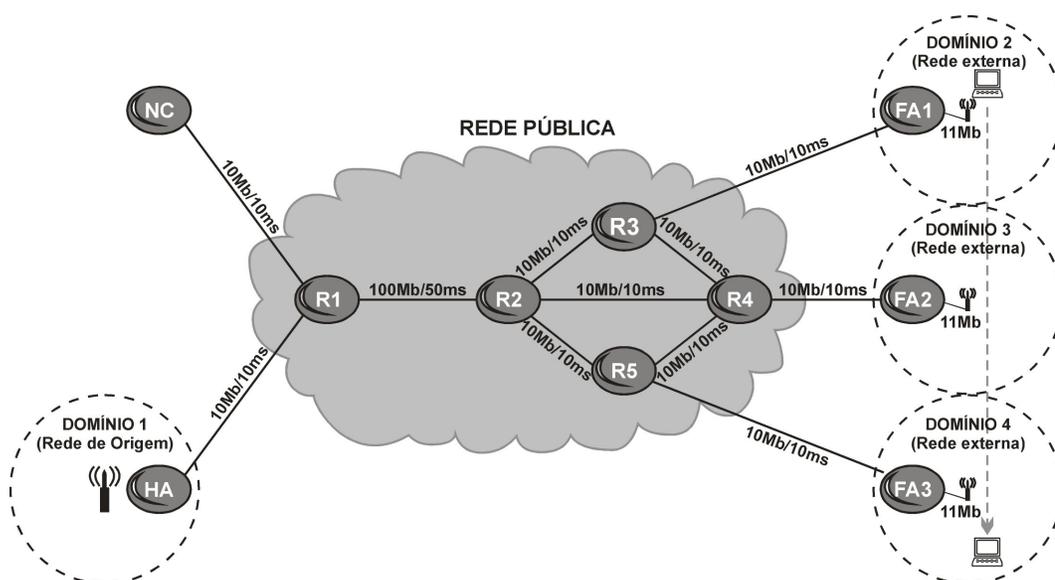


Figura 3. Topologia de rede utilizada.

No interior da rede pública foram utilizados cinco roteadores, configurados com *link* de transmissão com capacidade para 10Mb e tempo de propagação de 10ms, com exceção do roteador R1, que foi configurado propositalmente com 100Mb e 50ms, visando simular a macro-mobilidade na Internet.

A simulação abrange uma área total de 1500 x 800 metros, sendo que cada estação base possui um raio de comunicação de 250 metros. A velocidade de transmissão dos enlaces sem fio foi modificada para 11Mbps, com o propósito de impedir a perda de pacotes devido ao excesso de carga dos *links*.

3.1 Descrição das Métricas

Para analisar o protocolo *Mobile IP*, foram utilizadas métricas de desempenho, escalabilidade e *overhead*. As métricas analisadas para o desempenho foram:

- Tempo de *handoff* entre as redes externas;
- Quantidade de pacotes perdidos;
- *Throughput* da comunicação;

O tempo de *handoff* será considerado como a diferença entre o tempo em que o último pacote de dados foi recebido em uma rede e o tempo em que o primeiro pacote de dados foi recebido na rede seguinte.

Esta métrica foi escolhida devido a sua importância para o gerenciamento da mobilidade, já que a chave para tratar os problemas de transparência durante o deslocamento dos dispositivos depende diretamente do tempo de *handoff*.

Para analisar a quantidade de pacotes perdidos, foi utilizado um tráfego CBR durante toda a simulação. Esta métrica foi escolhida com o objetivo de analisar o comportamento do protocolo UDP sobre o MIP, bem como as consequências para a aplicação em andamento.

A taxa de *throughput* foi analisada considerando a quantidade de pacotes recebidos pelo dispositivo móvel em cada instante da simulação. O objetivo desta métrica é verificar o comportamento do protocolo TCP sobre o MIP e as possíveis influências da velocidade de movimentação do dispositivo sobre a comunicação.

A métrica analisada para a escalabilidade foi a quantidade de sinalização dispensada pelo protocolo *Mobile IP* na rede, variando a quantidade de dispositivos móveis. Para realizar esta simulação, foi alterada a quantidade de nós entre 1, 10 e 100.

A métrica analisada para o *overhead* foi a quantidade de sinalização dispensada pelo protocolo em diferentes velocidades. Para isto, foi alterada a velocidade de deslocamento do nó móvel em 1, 5, 10 e 20 m/s. Os resultados obtidos serão apresentados na forma de gráficos na próxima seção.

4. Resultados

Nesta seção serão apresentadas as avaliações dos resultados obtidos durante todas as simulações. Para isto, será realizada uma breve explicação de como estes resultados foram extraídos, seguido pelos gráficos e análise dos mesmos.

4.1 Tempo de *handoff*

Devido à topologia de rede utilizada, foi possível medir o processo de *handoff* na camada de enlace e na camada de rede.

Para analisar o *handoff* na camada de enlace, foi calculado o tempo gasto para o NM mudar de rede e receber o primeiro anúncio na nova localização. Corresponde à troca física das estações base e é independente do protocolo de rede ou de transporte utilizado.

Para analisar o *handoff* na camada de rede, foi calculado o tempo gasto para o NM mudar de rede e receber o primeiro pacote de dados na rede externa. Para isto, foram utilizados os protocolos TCP e UDP durante a migração dos dispositivos.

Na figura 4 é apresentado o resultado do *handoff* na camada de enlace. As simulações foram realizadas variando a velocidade de movimentação do NM em 1, 5, 10 e 20 m/s, além do tamanho dos pacotes em 32, 64, 128, 256, 512 e 1000 bytes.

Conforme pode ser observado, a alteração na velocidade de movimentação e no tamanho dos pacotes não influenciou significativamente no tempo de *handoff* na camada de enlace, gerando sempre resultados em torno de poucos milissegundos.

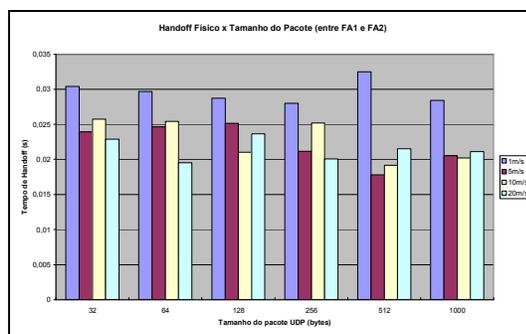


Figura 4. Handoff físico.

Nota-se com isto que a principal responsável pela latência no processo de *handoff* não é a camada de enlace, pois o sinal da nova EB é recebido pelo NM muito rapidamente, estabelecendo a conectividade do link logo após a entrada do dispositivo na nova rede.

As figuras 4 e 5 representam o comportamento do protocolo UDP durante o processo de *handoff* na camada de rede. Nesta simulação, o NM realiza seu deslocamento entre as redes com velocidade de 1m/s.

Conforme pode ser observado na figura 5, o primeiro *handoff* inicia aproximadamente no tempo 401 e se estende até o tempo 409, representando uma interrupção de 8 segundos na transmissão dos dados. Neste período, foram perdidos mais de 1.800 pacotes de dados.

Este tempo de interrupção na comunicação não é desejado e pode causar sérios problemas para as aplicações, principalmente as multimídia ou de tempo real, pois pode degradar ou até mesmo inviabilizar as mesmas.

Um resultado semelhante pode ser visualizado na figura 6, durante o segundo *handoff* na camada de rede, que inicia aproximadamente no tempo 901 e termina no tempo 910, totalizando 9 segundos de interrupção.

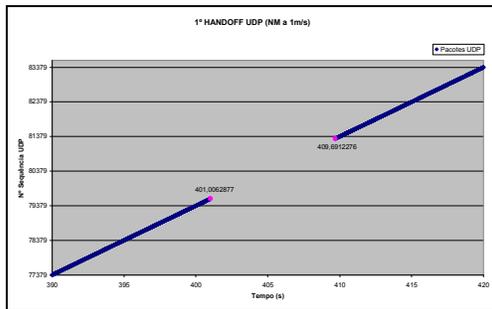


Figura 5. Primeiro handoff UDP.

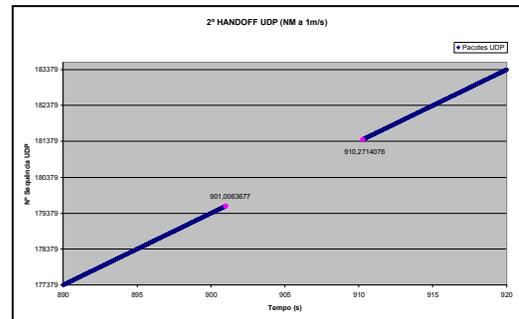


Figura 6. Segundo handoff UDP.

Uma das principais causas que contribuem para a latência do *handoff* na camada de rede é o algoritmo de detecção de movimentação utilizado.

Todos os algoritmos sugeridos na especificação atual do *Mobile IP* se baseiam nos anúncios recebidos dos agentes de mobilidade para determinar a localização atual do dispositivo. Levando em consideração que a maioria dos algoritmos esperam a ausência de três anúncios seguidos para iniciar o processo de registro, o intervalo de envio dos mesmos não deve ser longo.

Para as figuras 7 e 8 valem as mesmas considerações feitas para as anteriores, com a diferença que o protocolo utilizado durante a comunicação foi o TCP.

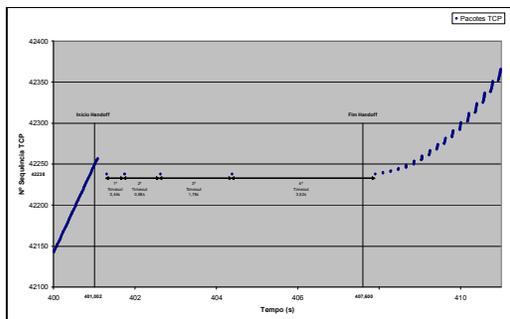


Figura 7. Primeiro handoff TCP.

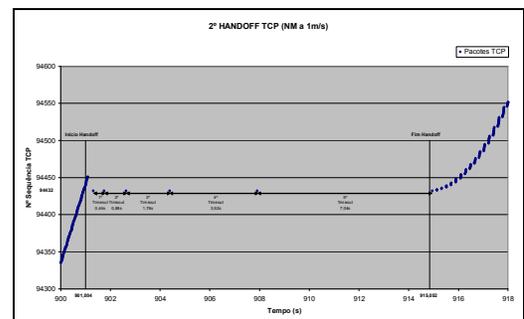


Figura 8. Segundo handoff TCP.

Na primeira migração (figura 7), o MIP demorou aproximadamente 5 segundos para completar o *handoff* na camada de rede, enquanto na segunda (figura 8) foram necessários 14 segundos para realizar todo o processo.

Uma das possíveis causas para esta diferença de tempo no processo de *handoff* é o mecanismo de *timeout* utilizado pelo protocolo TCP. Devido ao mecanismo de *timeout*, a cada tentativa de retransmissão feita durante o período de *handoff* o tempo de espera dobra antes do pacote ser enviado novamente.

Outro mecanismo que pode prejudicar o desempenho do protocolo TCP é o *HA Tunnel MTU (Maximum Transmission Unit)* [8]. O objetivo deste mecanismo é impedir que os pacotes tunelados pelo HA até o NM comecem fragmentados dentro do túnel.

Com isto, pode-se concluir que o protocolo TCP é o mais prejudicado quando a mobilidade é introduzida, podendo sofrer um período de interrupção além do *handoff* devido aos mecanismos de *timeout* e MTU.

4.2 Pacotes Perdidos

Para analisar a quantidade de pacotes perdidos durante a simulação, foi verificado a quantidade de pacotes de dados UDP perdidos em cada segundo da simulação, possibilitando verificar o momento em que houve as maiores perdas.

Conforme pode ser observado na figura 9, a perda de pacotes de dados ocorre somente durante o período de *handoff*. Nesta simulação, foram perdidos 1.831 pacotes no primeiro *handoff* e 1.933 pacotes no segundo, totalizando quase 4.000 pacotes de dados perdidos durante toda a simulação.

Da mesma forma que o protocolo IP, o MIP deixa o tratamento dos pacotes perdidos para as camadas superiores do protocolo. Como esta é uma comunicação UDP, os pacotes não são retransmitidos, sendo simplesmente descartados.

A figura 10 apresenta o resultado de várias simulações, onde o NM se movimenta com velocidades de 1, 5, 10 e 20 m/s entre as redes externas. Pode-se observar que a maior quantidade de pacotes de dados perdidos ocorre nas velocidades mais baixas.

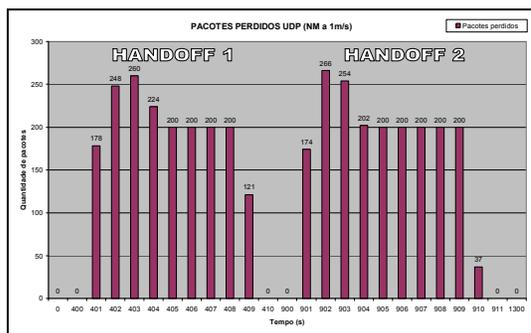


Figura 9. Pacotes Perdidos a 1m/s.

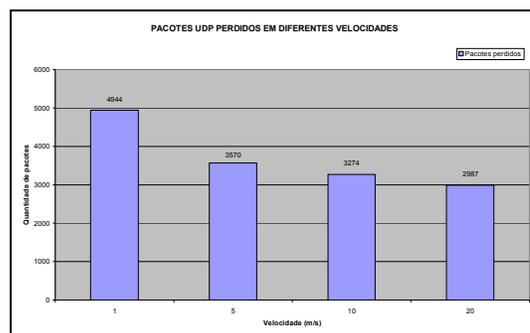


Figura 10. Pacotes Perdidos.

Percebe-se com isto que a migração de um dispositivo móvel em áreas de macro-mobilidade através de uma rede sem fio do padrão 802.11 está longe de ser um processo totalmente transparente para o usuário.

4.3 Throughput

Para analisar o desempenho da comunicação entre o NC e o NM foi verificada a quantidade de *bytes* recebidos pelo nó móvel em cada segundo da simulação. Somente os pacotes de dados foram utilizados, descontando o tamanho dos cabeçalhos TCP.

A figura 11 apresenta o resultado da simulação onde o NM se movimenta com velocidade de 1 m/s entre as redes externas. Da mesma forma que nos pacotes perdidos, o *throughput* é reduzido somente durante o processo de *handoff*, no restante da simulação permaneceu sempre estável.

Na figura 12 é visualizado o resultado de várias simulações, onde o NM se movimenta com velocidades de 1, 5, 10 e 20 m/s entre as redes externas. Conforme pode ser observado, o protocolo TCP tem um melhor desempenho nas velocidades mais baixas, conseguindo receber uma quantidade maior de pacotes de dados.

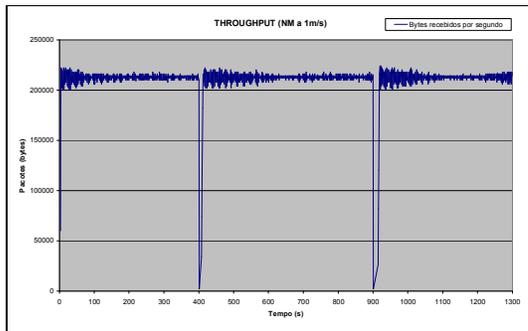


Figura 11. Desempenho TCP a 1 m/s.

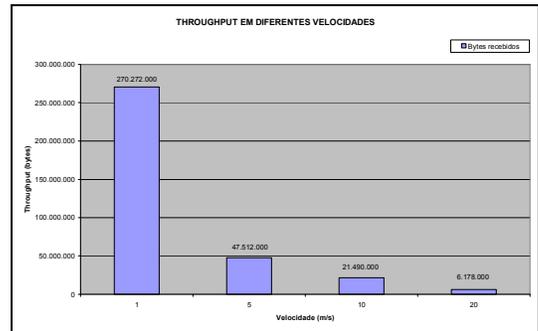


Figura 12. Desempenho TCP.

Percebe-se que quanto maior a velocidade de movimentação do dispositivo móvel, menor será a quantidade de pacotes que ele poderá receber. Isto se deve também pelo seu tempo de permanência na rede.

A velocidade de 20 m/s, por exemplo, corresponde a uma movimentação de 72 km/h. Nesta situação, o dispositivo permanece apenas 32.5 segundos em cada rede. Descontando o período de *handoff*, sobram apenas 18 segundos para a recepção dos dados.

4.4 Overhead

Para analisar o *overhead*, foi verificada a quantidade total de pacotes de sinalização dispensada pelo protocolo *Mobile IP* sobre a rede. As simulações foram realizadas com o protocolo TCP e UDP, variando a velocidade de deslocamento dos dispositivos entre 1, 5, 10 e 20 m/s.

A figura 13 apresenta o resultado da simulação com o protocolo UDP, em um cenário onde um NM se movimenta na velocidade de 1 m/s entre as redes externas.

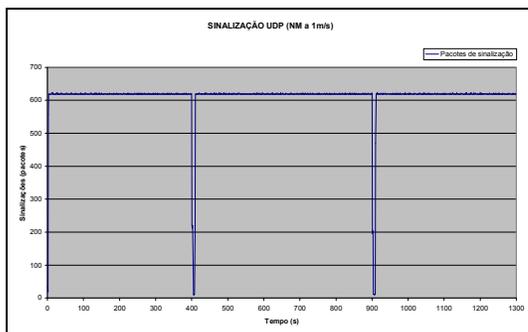


Figura 13. Sinalização UDP a 1 m/s.

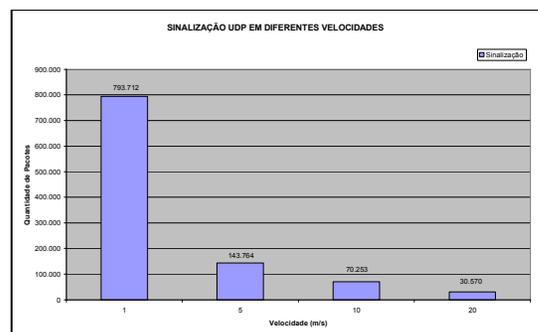


Figura 14. Sinalização UDP.

A quantidade de pacotes de sinalização dispensada na rede se manteve estável, em torno de seiscentos pacotes a cada instante, reduzindo apenas durante os processos de *handoff*.

A figura 14 apresenta o impacto da velocidade de deslocamento do dispositivo sobre a sinalização. Neste cenário, o nó móvel se movimenta nas velocidades de 1, 5, 10 e 20 m/s. Conforme pode-se observar, a maior quantidade de pacotes de sinalização é dispensada quando o dispositivo se desloca em baixas velocidades.

Um dos motivos que justificam este resultado é que quanto maior o tempo de permanência do dispositivo na rede, maior a quantidade de pacotes de sinalização necessários para gerenciar sua localização.

A figura 15 mostra o resultado da simulação com o protocolo TCP, em um cenário onde o NM se movimenta na velocidade de 1 m/s.

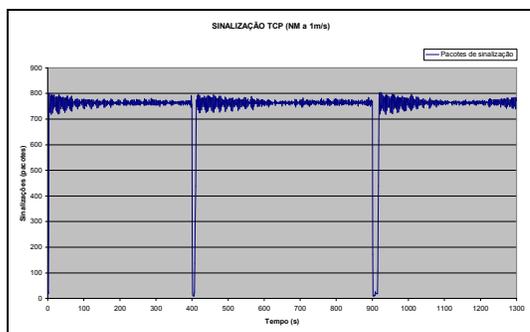


Figura 15. Sinalização TCP a 1 m/s.

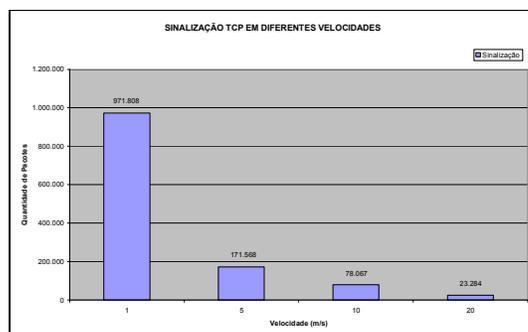


Figura 16. Sinalização TCP.

A quantidade de sinalização dispensada pelo protocolo TCP teve uma oscilação maior que no UDP, reduzindo apenas durante os processos de *handoff*.

A figura 16 apresenta o resultado da simulação com o protocolo TCP, em um cenário onde o dispositivo móvel se movimenta em diferentes velocidades, que variam em 1, 5, 10 e 20 m/s.

Verificou-se que a maior quantidade de pacotes de sinalização também foi dispensada quando o dispositivo móvel se desloca em baixas velocidades. Contudo, o protocolo TCP dispensou uma quantidade consideravelmente maior de pacotes de sinalização.

4.5 Escalabilidade

Para verificar a escalabilidade, foram utilizados os mesmos parâmetros da seção anterior, contudo foi modificada a quantidade de nós móveis em 1, 10 e 100. A velocidade de deslocamento dos dispositivos também foi variada entre 1, 5, 10 e 20 m/s.

A figura 17 representa o impacto da quantidade de dispositivos móveis sobre a quantidade de sinalização dispensada pelo protocolo na rede.

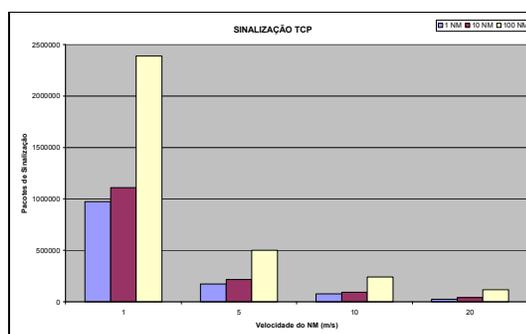


Figura 17. Sinalização TCP x Quantidade de dispositivos.

Conforme pode ser observado, a quantidade de dispositivos móveis influenciou diretamente na sinalização, aumentando consideravelmente o número de pacotes dispensados na rede.

Com isto, pode-se concluir que o protocolo *Mobile IP* apresenta problemas em relação a escalabilidade, visto que o número de dispositivos afeta o funcionamento do sistema, prejudicando assim seu uso em redes de próxima geração.

5. Conclusão

Por trabalhar na camada de rede, o *Mobile IP* resolve o problema da mobilidade na Internet de forma simples, através da introdução de agentes que implementam o protocolo sem precisar alterar as outras entidades já existentes nas redes IP. Contudo, apresentou várias deficiências, conforme foi descrito na seção 4.

Um dos principais problemas se refere à latência do processo de *handoff*, que sempre apresentou resultados na ordem de segundos. Verificou-se que o *handoff* na camada de enlace tem pouca interferência no processo total, pois os resultados demonstram que a conectividade é detectada e estabelecida em poucos milissegundos.

O *handoff* na camada de rede é o responsável pela interrupção dos serviços. Isto ocorre devido a forma como o protocolo implementa os mecanismos de mobilidade. Uma das formas de melhorar o processo de *handoff* é otimizar o algoritmo de detecção de movimentação utilizado pelos dispositivos móveis.

Descobriu-se que o protocolo perde pacotes apenas durante as migrações entre áreas de macro-mobilidade, ou seja, durante o período de *handoff*. Conforme pode ser observado na seção 4.2, esta quantidade de pacotes perdidos pode ocasionar sérios problemas para as aplicações ou até mesmo inviabilizá-las.

Analisando o *throughput* da comunicação, foi possível verificar o melhor desempenho ocorreu quando o dispositivo se movimentou com velocidades mais baixas, recebendo assim um maior número de pacotes. Por outro lado, foi nas velocidades mais baixas que o protocolo dispensou na rede o maior número de pacotes de sinalização, conforme pode ser visualizado na seção 4.4.

Descobriu-se também que conforme aumenta a quantidade de dispositivos móveis na rede, maior é a quantidade de sinalização dispensada pelo protocolo para gerenciá-los.

Desta forma, pode-se verificar que o protocolo *Mobile IP* apresenta deficiências com relação a escalabilidade, visto que na medida que a quantidade de dispositivos aumenta, o protocolo perde desempenho, limitando assim o seu uso nas redes de próxima geração.

Referências

- [1] FENGPING, Li Helsinki. **A Study of mobility in WLAN**. In: Seminar on Internetworking, 9., 2004, Finland. Peer-to-peer technologies, networks and systems. Espoo: Helsinki University of Technology, 2004. p. 1 – 6.
- [2] ALBUQUERQUE, Luciano Renovato de. **Um mecanismo de suporte a conectividade durante transições de estações móveis em redes 802.11**. 2005. 108 f. Tese (Mestrado) - Curso de Ciências em Engenharia de Sistemas e Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

- [3] SHARMA, A e ANANDA, A. L. **A Protocol for Micromobility Management in Next Generation Ipv6 Networks**. In: 2th International Workshop on Mobility Management & Wireless Access Protocols, Philadelphia, ACM Press, p. 72-78. Dez. 2004.
- [4] ABRAS, Gustavo E. e SANCHES, Jayme C. G. **Wireless Lan**. 2002. 67 f. Monografia (Bacharelado) - Curso de Redes e Sistemas Distribuídos, Pontificia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2002
- [5] PERKINS, C. **Mobility Support for IPv4**. IETF RFC 2002 (1996).
- [6] ALBANO, Wellington Araújo. **Um elemento de rede para registro de localização de dispositivos móveis entre redes Cellular IP**. 2004. 112 f. Tese (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004
- [7] NS-2, **The Network Simulator Project**. Disponível em <<http://www.isi.edu/nsnam/ns>>.
- [8] FIKOURAS, N. A et al. **Performance of TCP and UDP during Mobile IP handoffs in Single-Agent Subnetworks**. In: Proceedings IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC'99), New Orleans, Louisiana, U.S.A, set. 1999