Comunicação Multiponto Confiável para Estações Móveis em Redes Ativas

Flavio Paiva Junqueira — flavio@gta.ufrj.br

Otto Carlos M. B. Duarte * — otto@gta.ufrj.br

Grupo de Teleinformática e Automação - GTA
COPPE/EE - Programa de Engenharia Elétrica
Universidade Federal do Rio de Janeiro
C. P. 68504 - CEP 21945-970 - Rio de Janeiro - Brasil

Resumo

Este artigo propõe um serviço de comunicação multiponto confiável e escalável para estações móveis em redes celulares baseado em redes ativas. O serviço utiliza facilidades disponíveis em nós ativos para compensar problemas específicos tanto da comunicação móvel, como as altas taxas de erro nos enlaces sem fio, as perdas devido à troca de células e a localização das estações para o roteamento, como também da comunicação multiponto, como a implosão de reconhecimentos negativos (NAKs). Entre as funções realizadas pelos nós ativos têm-se a marcação de caminhos por *soft-state*, a filtragem de NAKs e a utilização de *caches* para retransmissões. Os resultados obtidos por simulação demonstram um bom desempenho deste serviço para um grande número de usuários e para altas freqüências de troca de células.

Palavras-chave: redes ativas, mobilidade, confiabilidade, escalabilidade

Abstract

This paper proposes a scalable and reliable multicast service for mobile hosts in cellular environments based on active networking. This service uses some facilities provided by active nodes to compensate specific mobile communication problems, as high bit-error rates, losses due to handoffs, and host localization for routing service, and also multicast communication problems, as negative acknowledgement (NAK) implosion. Among active node fuctions are path indication using soft-state, NAK filtering and cached retransmissions. Simulation results of this service show a good performance for a large number of users, and high handoff frequency.

Keywords: active networks, mobility, reliability, scalability

*Este trabalho foi realizado com apoio financeiro de: UFRJ, FUJB, REENGE, CNPq, CAPES e COFECUB.

1 Introdução

Devido ao grande sucesso das redes celulares e ao uso difundido dos computadores portáteis, vem crescendo a demanda por aplicações adaptadas a ambientes móveis. Estes ambientes possuem características peculiares, tais como: altas taxas de erro nos enlaces sem fio causadas por interferências esporádicas, perdas devido à troca de células (*handoff*) e a dificuldade de atualização das informações referentes à localização das estações móveis necessárias para o roteamento [1]. Esta atualização de informações de localização deve ser feita o mais rápido possível para permitir altas freqüências de *handoff*. Entre as aplicações da Internet que são passíveis de serem usadas em redes móveis encontram-se aquelas envolvendo vários usuários e que necessitam de confiabilidade, tais como *whiteboard* compartilhado e simulação interativa distribuída [2, 3]. Para estas aplicações, o aumento do número de usuários não deve corresponder à um aumento equivalente no uso de recursos da rede e nem numa sobrecarga no transmissor.

Um problema importante das comunicações multidestinatárias confiáveis é conhecido como implosão de reconhecimentos [2, 3]. Este problema ocorre quando múltiplos receptores enviam reconhecimentos de uma mesma mensagem, resultando em sobrecarga de processamento no transmissor e inundação da rede. Para estações móveis, a comunicação multiponto deve atender a alguns requisitos particulares. A recuperação de perdas deve ser feita o mais rápido possível, para compensar interferências nos enlaces sem fio e perdas por *handoff*. Outro requisito importante é a atualização dinâmica da árvore de distribuição multiponto, que deve permitir uma adaptação rápida ao movimento das estações móveis. Estes requisitos sugerem que a adaptação da topologia e a recuperação de erros devem ser realizadas o mais próximo possível da localização das estações móveis. Por isto, seria imporante que as computações necessárias para atender a estes requisitos fossem realizadas nos nós próximos dos receptores.

Recentemente, pesquisadores vêm propondo um novo paradigma para as redes, denominado redes ativas [4, 5]. Estes tipos de redes permitem a inserção de computações específicas das aplicações nos nós da rede. A execução de computações específicas de uma aplicação possibilita não só que o serviço de rede seja adequado aos seus requisitos, mas também que seja dinâmico e se adapte às condições correntes da aplicação e da rede. Assim, novos serviços conferindo ganhos de desempenho às aplicações podem ser rapidamente desenvolvidos e implantados [6]. A inserção de computações é feita através da programação de procedimentos que são executados nos nós ativos utilizando uma linguagem de programação própria. Além da linguagem de programação, devem estar disponíveis para o usuário facilidades fornecidas pelos nós ativos como recursos de armazenamento, consultas, controle de pacotes etc. Estas facilidades devem ser disponibilizadas para a programação dos procedimentos sob a forma de um conjunto de primitivas. A execução destes procedimentos nos nós ocorre por pacote, isto é, cada pacote recebido em um nó ativo dispara a execução de um procedimento específico. O resultado desta execução define o que será feito do pacote. Com isso, diversas novas alternativas são sugeridas ao simples roteamento. Por exemplo, pacotes podem ser descartados, replicados, ou podem esperar por outros pacotes para sincronização.

Existem algumas diferenças entre as abordagens propostas para redes ativas, principalmente no que diz respeito à expressividade da linguagem de programação, às facilidades disponíveis nos nós ativos, e ao escopo atingido pelo programa de um pacote [4]. O conjunto de ferramentas ANTS (*Active Network Toolkit System*), desenvolvido por Tennenhouse *et al.* no MIT [7], utiliza a linguagem Java para programação dos pacotes, denominados de cápsulas neste sistema. As cápsulas são classificadas em tipos e cada tipo possui um procedimento associado. No ANTS, um conjunto de tipos de cápsulas define um protocolo. O carregamento dos procedimentos dos tipos de cápsulas é feito sob demanda, isto é, quando uma cápsula chega a um nó e o seu procedimento não está presente, uma requisição é feita para o último nó ativo de onde esta cápsula veio. Entre as diversas facilidade propostas para os nós, a principal oferecida é a criação e a atualização de estados. Estes estados são normalmente conhecidos como *soft-state*. Neste contexto, a manipulação do *soft-state* é feita por fluxo, onde fluxo corresponde a uma seqüência de cápsulas que seguem o mesmo caminho e exigem o mesmo processamento. O projeto *Switchware* [8] da Universidade da Pensilvânia utiliza a linguagem chamada PLAN (*Programming Language for Active Networks*) para a programação de pacotes. Neste projeto, *switchlets* são elementos de interface carregados separadamente nos nós ativos da rede e podem ser invocados por *scripts* PLAN. Neste sistema não é permitida a criação de estados nos nós. Quanto ao escopo atingido, o *script* PLAN de um pacote atinge somente a ele mesmo, enquanto que a instalação de um *switchlet* o faz disponível para todos os pacotes em um nó.

Este artigo propõe o uso da facilidade de inserção de computações específicas em nós ativos em um serviço multiponto confiável para estações móveis. Foi seguida a abordagem de redes ativas proposta por Tennenhouse *et al.*, utilizando cápsulas no lugar de pacotes e o *soft-state* disponível nos nós, com o objetivo de comportar um grande número de usuários em movimento em redes celulares. Simulações foram realizadas para algumas topologias de rede visando demonstrar o bom desempenho deste serviço para um grande número de usuários e para altas freqüências de *handoff*.

O restante deste deste artigo está dividido da seguinte forma. Nas seções 2 e 3 são apresentados os principais problemas e algumas propostas que motivaram e serviram de base para este trabalho envolvendo mobilidade na Internet e comunicação multiponto em redes ativas. Na seção 4 o serviço proposto é descrito, seguido pelo protocolo proposto apresentado na seção 5. Os resultados obtidos por simulações são apresentados na seção 6. As conclusões deste trabalho são apresentadas na seção 7.

2 Mobilidade na Internet

Algumas características importantes diferenciam a comunicação com estações móveis: perda de dados em trânsito e desconexão momentânea devido à troca de células (*handoff*); a necessidade de localizar as estações móveis para o serviço de roteamento de pacotes devido ao movimento e as altas taxas de erro nos enlaces sem fio [9].

Algumas propostas foram feitas para contornar os efeitos da perda de dados dos enlaces sem fio. O Snoop TCP [1] propõe o armazenamento temporário de pacotes na estação rádio-base (roteador entre a rede fixa e a rede sem fio) para a retransmissão local dos pacotes perdidos devido às perdas por *handoffs* e aos erros nos enlaces sem fio. Desta forma, o tempo de recuperação é diminuido, e evita-se o acionamento das políticas de controle de fluxo do TCP. O I-TCP (*Indirect-TCP*) [10] divide uma conexão TCP em duas: uma conexão entre o transmissor e a estação rádio-base e outra entre a estação rádio-base e a estação móvel. Assim, consegue-se uma separação entre os controles de fluxo e congestionamento da rede fixa e os da rede sem fio.

Uma proposta para o roteamento de datagramas IP (*Internet Protocol*) para estações móveis é dada por Perkins [11]. A proposta para IP móvel (*Mobile IP*) considera o uso de agentes intermediários para a comunicação de dados com estações móveis. Um agente localizado na rede de origem da estação móvel, denominado agente de origem (*home agent*), tem como responsabilidade o envio de datagramas IP destinados à estação móvel através de um túnel IP para um agente localizado na rede em que a estação está visitando no momento, denominado agente estrangeiro (*foreign agent*). O agente estrangeiro recebe os datagramas IP através do túnel e os remete para o terminal móvel. Outra função do agente de origem é manter a localização do terminal móvel, que deve ser atualizada sempre que houver a passagem do domínio de um agente estrangeiro para o domínio de outro agente estrangeiro. Entretanto, esta proposta não permite frequências elevadas de *handoffs*, pois a ocorrência de um *handoff* implica na atualização das informações no agente de origem. Como o agente de origem pode estar distante da localização corrente da estação móvel, o tempo para atualização pode ser elevado. Se o período médio entre *handoffs* for maior que o tempo para atualização do agente de origem, a troca de agentes estrangeiros ocorrerá antes da atualização do agente de origem. Assim, para esta proposta, os usuários estão limitados a baixas frequências de *handoff*.

Mais recentemente, Campbell *et al.* [12] propuseram o uso de nós especias, denominados nós celulares, para redes IP celulares. Uma rede IP celular consiste de vários nós celulares interconectados e um *gateway* que interliga a rede celular com o restante da Internet. Os nós celulares realizam o roteamento dos pacotes IP dentro da rede celular e comunicam-se com as estações móveis através de interfaces sem fio. Os nós celulares com interfaces aéreas são denominadas estações rádio-base e enviam periodicamente um sinal de orientação (*beacon signals*) para permitir que as estações móveis localizem a estação rádio-base mais próxima, a fim de realizar a troca de células. Com o objetivo de realizar o roteamento para as estações móveis, os nós celulares possuem *caches* para armazenar o caminho temporário para os terminais móveis. O uso de *cache* permite que a atualização do caminho para uma estação móvel seja feita nos nós celulares próximos de sua localização, e desta forma a rede se adapta rapidamente ao movimento das estações móveis, possibilitando altas freqüências de *handoff*. A proposta para IP celular atua em conjunto com a proposta para IP móvel, sendo que o *gateway* da rede celular faz o papel do agente estrangeiro de uma estação móvel enquanto estiver no domínio de sua rede celular. Uma troca de agente estrangeiro ocorre somente quando uma estação móvel muda de uma rede celular para outra.

3 Comunicação Multiponto em Redes Ativas

A possibilidade do armazenamento não-transiente de estados nos nós ativos é um recurso poderoso para as computações na rede. A criação e a manutenção de estados nos nós permite a tomada de decisões nos nós ativos, muitas vezes economizando recursos de banda passante e recursos de processamento das entidades finais da comunicação [4]. Estas características são especialmente importantes para a comunicação multiponto confiável, pois se é desejado um grande número de usuários, o consumo de recursos deve ser distribuído o máximo possível para não sobrecarregar nenhuma entidade final envolvida na comunicação e nenhum nó ou enlace em particular da rede de comunicação.

Tennenhouse *et al.* [7] propõem um protocolo multiponto composto por dois tipos de cápsulas cooperantes. Uma cápsula, denominada cápsula de inscrição, utilizada por todos os receptores interessados no grupo multiponto, e outra, denominada cápsula de dados multiponto, que carrega as mensagens para o grupo multiponto. Aplicações interessadas em receber as mensagens de um grupo em particular devem enviar periodicamente cápsulas para o transmissor. Estas cápsulas instalam apontadores no *soft-state* dos nós ativos para marcar os caminhos do transmissor para os receptores. As cápsulas de dados multipontos simplesmente percorrem o caminho guardado no *soft-state* dos nós ativos. Esta situação está ilustrada na figura 1.

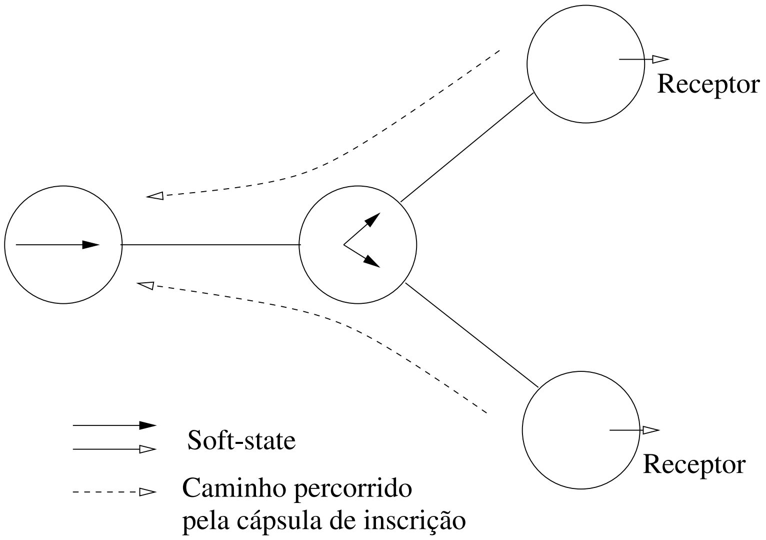


Figura 1: Formação de um grupo multiponto.

No entanto, nem todas as cápsulas de inscrição enviadas precisam percorrer o caminho completo até o transmissor. Se parte do caminho for compartilhada por dois ou mais receptores, somente uma cápsula de inscrição precisa percorrer o caminho até o transmissor entre períodos de expiração do *soft-state*, sendo que o restante das cápsulas pode ser descartado. O objetivo deste mecanismo de descarte do excesso de cápsulas de inscrição é consumir o mínimo de banda passante para a manutenção da árvore multiponto, sendo bastante robusto com relação à mudanças de topologia. Outra característica importante deste mecanismo é a distinção entre transmissores e receptores. Para uma árvore formada, existe apenas um transmissor e se vários transmissores forem necessários, ou várias árvores devem ser formadas, ou o transmissor pode ser considerado a raiz de uma árvore CBT (*Core-based tree*) [13], com as mensagens sendo roteadas primeiro para a raiz e depois enviadas para os receptores.

Lehman *et al.* [14] propõem um esquema para a recuperação de perdas em comunicação multiponto denominado ARM (*Active Reliable Multicast*). O protocolo proposto para este esquema é orientado ao receptor, isto é, reconhecimentos negativos (NAKs) são enviados pelo receptor para o transmissor quando perdas são detectadas [2]. Um problema em potencial com esta abordagem é a implosão de NAKs, que ocorre quando vários pedidos simultâneos são feitos para uma mesma mensagem em um grupo multiponto com muitos usuários, sobrecarregando o transmissor [3]. Para isto, o ARM propõe o uso do *soft-state* para registrar a passagem de reconhecimentos negativos, com o objetivo de descartar as mensagens duplicadas. Além disto, pacotes de dados enviados para o grupo são mantidos temporariamente no *soft-state* dos nós ativos. Pedidos de retransmissão enviados para o transmissor consultam os nós ativos intermediários buscando a mensagem perdida. Caso a mensagem perdida seja encontrada em algum nó intermediário, a retransmissão é feita e o pedido de retransmissão é descartado. Assim, diminui-se a latência fim-a-fim das retransmissões e as mantêm dentro do escopo das perdas. Esta abordagem de retransmissões localizadas é similar à abordagem hierárquica adotada pelo

RMTP [15]. No entanto, o ARM é mais robusto com relação à mudanças na topologia, pois não depende de nenhum nó em especial ou receptor para realizar as retransmissões.

4 O Serviço Proposto

Esta seção descreve o serviço proposto de comunicação multiponto para estações móveis. O serviço baseia-se na execução de computações específicas em nós ativos. Supõe-se que todos os nós são nós ativos, incluindo as estações móveis que se movimentam em redes celulares. As estações rádio-base são nós ativos, denominados nós ativos celulares, com interfaces aéreas para a comunicação sem fio com as estações móveis.

O serviço possui a mesma função do mecanismo proposto por Tennenhouse *et al.* para a formação e manutenção de árvores multipontos através do envio de cápsulas de inscrição enviadas pelos receptores e o uso do *soft-state* nos nós ativos para guardar o caminho do transmissor aos receptores. A escolha deste mecanismo deve-se ao seu dinamismo e tolerância a falhas de nós, uma vez que a reconfiguração dos caminhos pode ser facilmente realizada. Esta característica é particularmente importante no serviço proposto, pois destina-se a estações móveis e como conseqüência o caminho transmissor-receptores deverá ser alterado a cada mudança de célula na rede de comunicações móveis. A cápsula de inscrição deve percorrer o caminho até o transmissor, verificando nos nós ativos a existência de marcações referentes ao grupo multiponto de interesse. Ao encontrar, a adesão ao grupo está completa e este receptor passa a receber as mensagens multipontos, mesmo que a cápsula de inscrição precise percorrer o restante do caminho até o transmissor para atualizar o tempo de expiração do *soft-state* dos próximos nós ativos.

As cápsulas de dados multipontos são enviadas para os receptores seguindo o caminho deixado pelas cápsulas de inscrição. Assim, o destino das cápsulas de dados multipontos não é determinado pelo endereço da máquina e sim pelo caminho marcado no *soft-state*.

A confiabilidade do serviço é conseguida através de retransmissões realizadas pelo transmissor e pelos nós ativos intermediários, como é proposto no ARM. *Caches* de cápsulas de dados multipontos devem existir nos nós ativos intermediários para a recuperação mais rápida de perdas e dentro do escopo das perdas. Neste contexto, os nós ativos mais próximos das redes celulares desempenham um papel fundamental. Supondo que a maior parte das perdas ocorre devido aos *handoffs* e às altas taxas de erro dos enlaces sem fio, estes nós ativos mais próximos realizarão a maior parte das retransmissões para as estações móveis. Isto é necessário porque o tempo de recuperação de perdas causadas pela mobilidade deve ser menor que o período médio entre *handoffs*, senão ocorreria um acumulo de perdas e a eficiência do serviço seria baixa.

5 O Protocolo Proposto

O protocolo ativo proposto para este serviço é composto de quatro cápsulas: cápsula de inscrição, cápsula de dados multiponto, cápsula de pedido de retransmissão e cápsula de fim de sessão.

As cápsulas de inscrição são enviadas periodicamente para o transmissor de um grupo multiponto por todas as estações móveis interessadas em receber os dados deste grupo. Além disto, uma nova cápsula de inscrição deve ser enviada toda a vez que houver um *handoff*, para atualizar a topologia da árvore multiponto, como está ilustrado na figura 2. Para que ocorra este envio a cada *handoff*, deve haver algum tipo de sinalização a nível de enlace indicando a troca de célula. Supõe-se um mecanismo semelhante ao utilizado para o IP celular, em que as estações móveis decidem pela troca de célula a partir da intensidade dos sinais de orientação enviados periodicamente pelos nós ativos celulares. O período de envio de cápsulas de inscrição depende do tempo de expiração do *soft-state* nos nós ativos. Estas cápsulas devem ser enviadas dentro de um período de tempo que permita manter a continuidade da comunicação, mas mantendo o compromisso de não inundar a rede com cápsulas de inscrição. Assim, o período de envio (T_e) deve ser menor que o período de expiração do *soft-state* (T_s) para compensar atrasos em filas. A figura 3 ilustra duas situações onde $T_e < T_s$. Para o caso 1, tem-se que $T_s > T_e > 0.5T_s$. Neste caso, se a cápsula de inscrição for perdida no seu percurso haverá perda de continuidade da comunicação. Para o caso 2, tem-se que $0.5T_s > T_e$. Neste caso, a ocorrência de uma perda não acarreta em descontinuidade da comunicação, pois a segunda cápsula de inscrição enviada percorreu o caminho a tempo de atualizar o *soft-state*. Só haveria descontinuidade na comunicação para a situação 2 em caso de congestionamento no caminho do receptor para a fonte. O valor percentual de T_s utilizado como período de envio pode ser calculado supondo um número maior de perdas de cápsulas de inscrição. No entanto, o tempo extra conferido para permitir a perda de uma cápsula confere uma alta robustez ao mecanismo, principalmente considerando-se que outros usuários que compõem o grupo também estão enviando cápsulas de inscrição.

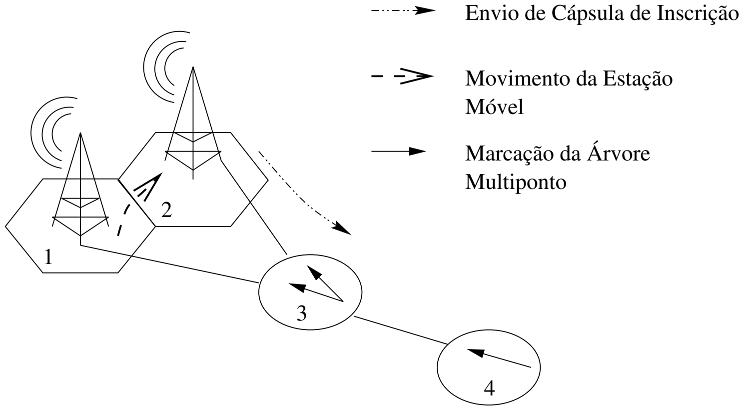
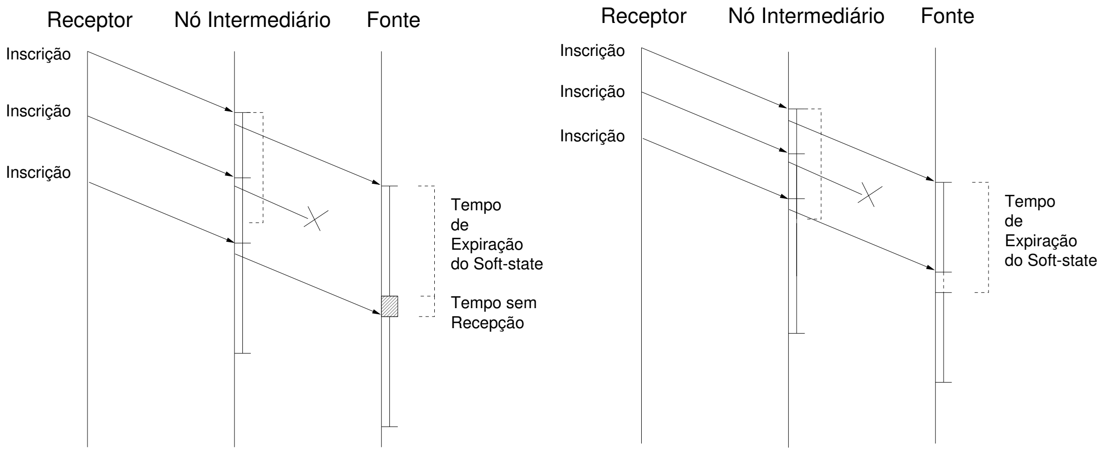


Figura 2: Envio de inscrição após troca de célula.

O procedimento de inscrição utiliza o valor de T_e para filtrar as cápsulas de inscrição em excesso, ou seja, somente as inscrições necessárias para manter os *soft-states* dos nós ativos atualizados devem passar. Isto é verificado através da estampa de tempo colocada pelo nó ativo a cada vez que o *soft-state* é atualizado. Além desta estampa para o controle do *sof-state* como um todo, cada entrada no *soft-state* do grupo deve conter uma estampa de tempo. Uma das funções do procedimento de inscrição é verificar as entradas expiradas e removê-las. Se isto não fosse feito no *soft-state* de um grupo em que existem várias indicações, não seria possível a remoção de indicações para enlaces que não participam mais do grupo. Cápsulas de dados multipontos seriam enviadas desnecessariamente.

As cápsulas de dados multipontos seguem as marcações deixadas pelas cápsulas de inscrição até atingirem os receptores. Assim, a função principal destas cápsulas é ler as indicações contidas no *soft-state* do grupo multiponto e replicar a cápsula de dados para cada uma. Outra função das cápsulas de dados multipontos é verificar a cada nó ativo se existe um *cache* para o seu grupo multiponto. Caso exista, o nó ativo ao executar uma



(a) Caso 1 (b) Caso 2

Figura 3: Envio de inscrição.

cápsula de dados multiponto deve copiar o seu conteúdo da cápsula de dados multiponto para o *cache*.

Cápsulas de pedido de retransmissão são enviadas sempre que perdas forem detectadas. Isto é feito através da verificação dos números de seqüência das cápsulas de dados multipontos. Qualquer salto no seqüenciamento é encarado como uma perda e cápsulas de pedido de retransmissão são enviadas requisitando o reenvio dos números de seqüência perdidos. Para este serviço, uma cápsula de pedido de retransmissão é enviada por número de seqüência perdido para minimizar a quantidade de processamento necessária por pedido de retransmissão nós ativos. Ao passar por um nó ativo, o procedimento desta cápsula deve verificar se existe o número de seqüência desejado no *cache* do grupo. Caso exista, o pedido de retransmissão é feito e a cápsula é descartada. Caso contrário, o procedimento deve marcar no *soft-state* do grupo o número de seqüência requisitado e prosseguir na direção do transmissor. As próximas cápsulas de pedido de retransmissão requisitando o mesmo número de seqüência serão descartadas. No entanto, a indicação de números de seqüência deve existir por um tempo limitado para que novos pedidos de retransmissão para novas perdas relacionadas ao mesmo número de seqüência não sejam impedidos de serem feitos.

A cápsula de fim de sessão existe para indicar o término de uma sessão para um grupo multiponto, o que significa o fim da comunicação para aquele grupo. Como o transmissor de um grupo multiponto não possui informações de controle sobre os usuários do seu grupo e nem do que foi recebido por eles, esta mensagem envia o último número de seqüência que foi transmitido. Desta forma, os receptores que não receberam as últimas cápsulas de dados multipontos podem requisitar a sua retransmissão. Para evitar que algum receptor não receba a cápsula de fim de sessão, cada receptor possui um temporizador de silêncio. Após um determinado tempo sem receber nenhuma cápsula do transmissor, o receptor envia um pedido de retransmissão para o último número de seqüência esperado. Ao receber este pedido, se o número de seqüência requisitado for maior do que o último enviado, o transmissor interpreta como sendo um pedido para a cápsula de fim de sessão e a retransmite.

6 Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos por simulações do serviço proposto. Primeiro, são apresentadas medidas realizadas para avaliar o tempo extra gasto nos nós ativos com a execução dos procedimentos de cápsulas. Estas medidas obtidas foram utilizadas nas simulações realizadas para avaliar o comportamento do serviço diante do aumento do número de usuários, da dispersão destes usuários e da variação da freqüência média de troca de células.

6.1 Avaliação do Tempo de Processamento dos Procedimentos

As cápsulas de inscrição e pedido de retransmissão do serviço proposto neste artigo necessitam de uma consulta a tabela de roteamento para decidir a interface de saída. Já as cápsulas de dados multipontos e de fim de sessão seguem as marcações deixadas pelas cápsulas de inscrição no *soft-state* e, portanto, não realizam consultas às tabelas de rotas. Para avaliar o tempo de processamento dos procedimentos de cápsulas do serviço proposto, estes procedimentos foram implementados utilizando linguagem C. Para diminuir o tempo de acesso às tabelas foi utilizada uma técnica de compressão por nível (*Level-Compression*) [16] que diminui o número de acessos médio à memória.

Tabelas de rotas de roteadores contendo endereços de 32 bits IPv4 foram utilizadas para simular as consultas. Os endereços utilizados foram escolhidos aleatoriamente na própria tabela, sem priorizar nenhum. Para um microcomputador Pentium MMX 233 MHz com 128 Mbytes de memória RAM, o tempo médio de processamento das cápsulas de dados multipontos e das cápsulas de fim de sessão foram de 0.71 μs. O tempo médio de processamento das cápsulas de inscrição foi de 6.92 μs e das cápsulas de pedido de retransmissão foi de 1.94 μs, onde 1.71 μs foi o tempo gasto somente com a consulta à tabela de rotas.

6.2 Simulação

Para a obtenção das medidas foi utilizado o simulador de redes de computadores *ns* (*Network Simulator*) que foi desenvolvido por pesquisadores do projeto VINT (*Virtual Internetwork Testbed*) [17]. Todo o suporte à redes ativas foi desenvolvido como extensão ao *ns*. Assim, nós ativos foram implementados para permitir a execução de procedimentos específicos das aplicações e um conjunto de primitivas foi disponibilizado para estes procedimentos. Os nós ativos foram implementados para considerar o tempo de processamento das cápsulas, utilizando os valores apresentados na seção 6.1. Para avaliar o serviço proposto, dois tipos de topologias foram utilizadas: topologias em árvore e topologias *transit-stub*.

6.2.1 Topologias em Árvore

Topologias em árvore foram utilizadas para verificar o eficiência do mecanismo de filtros embutidos nos procedimentos de inscrição e pedidos de retransmissão conforme varia a dispersão dos usuários. Foram utilizadas árvore cheias, com o grau (número de filhos máximo de um nó da árvore) variando entre um e quatro e o número de níveis fixo em três. Em cada folha destas árvore foram ligados quatro nós ativos celulares, cada um representando uma célula de uma rede celular. Cada conjunto deste de quatro nós celulares formam uma rede celular independente. Assim, o movimento simulado de cada

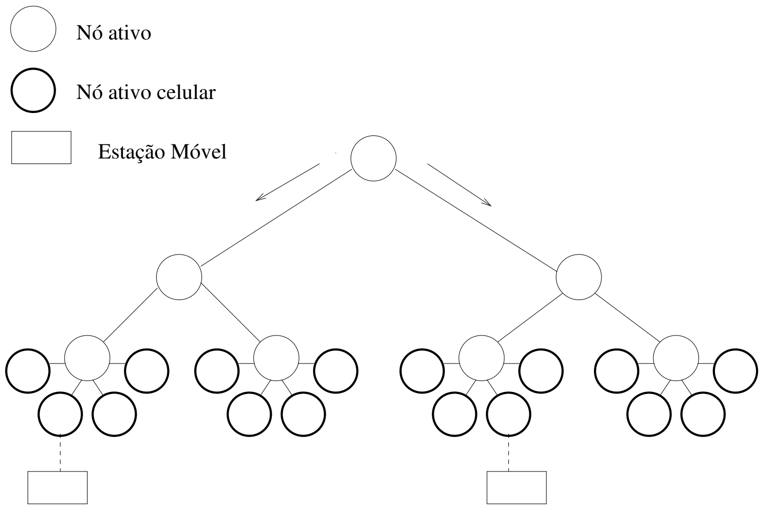
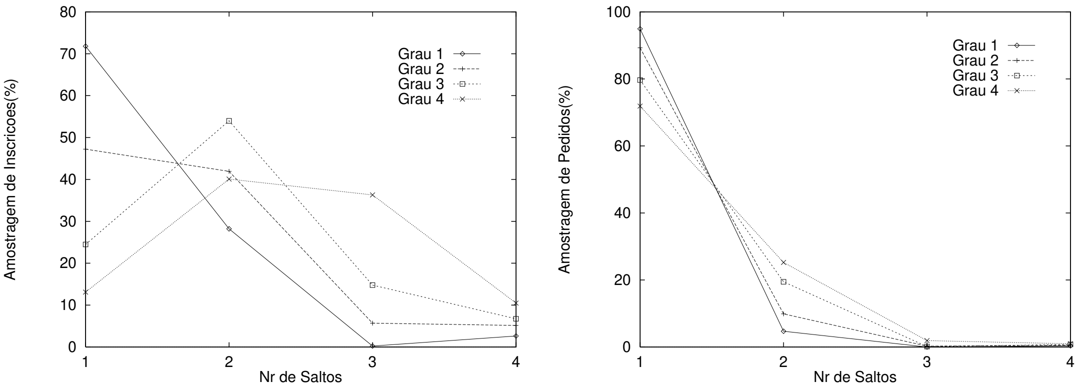


Figura 4: Exemplo da Topologia em Árvore Utilizada. Grau = 2.



(a) Inscrição.

(b) Pedido de Retransmissão.

Figura 5: Filtragem de Cápsulas.

estação móvel está restrito a uma rede celular. Para cada árvore o número de usuários foi fixado em 32, sendo este número distribuído igualmente entre as redes celulares existentes na árvore. Conforme o grau da árvore aumenta, o número de usuários do grupo multiponto por rede celular diminui. Um exemplo da árvore utilizada com grau 2 é apresentada na figura 4. O transmissor do grupo multiponto é a raíz da árvore. Foi utilizada para este transmissor uma fonte de tráfego CBR (*Constant Bit Rate*) com uma taxa de 50 cápsulas de 1000 bytes por segundo (200kbps). A banda passante dos enlaces sem fio é de 2Mbps e o restante dos enlaces fixos de 1Mbps. As taxas de erro utilizadas foram de 10% de cápsulas perdidas nos enlaces sem fio e 1% nos enlaces da rede fixa. Períodos entre *handoffs* foram gerados aleatoriamente com uma média de 600ms.

A figura 5 mostra medidas feitas para a quantidade de cápsulas de inscrição e pedidos de retransmissão que atingem cada nível dos receptores para o transmissor, medido em número de saltos. A figura 5.a mostra as medidas feitas para cápsulas de inscrição. Observa-se o efeito da filtragem de acordo com a dispersão dos usuários. Quanto menos dispersos estiverem os usuários maior será o efeito da filtragem, ou seja, quanto menor for o grau da árvore, existirão mais usuários por rede celular e mais os nós ativos intermediários serão capazes de filtrar. Isto ocorre porque o nível de compartilhamento do caminho na árvore multiponto é maior para as árvore de menor grau.

A figura 5.b mostra as mesmas medidas feitas para cápsulas de pedidos de retransmissão. Como a maior parte das perdas ocorre devido às taxas de erro nos enlaces sem fio e à movimentação das estações móveis, a maior parte da amostragem realizada percorre somente até o segundo nível da árvore, ou seja, realiza dois saltos. A diferença que aparece entre os as curvas de árvores com grau diferente existe devido a dispersão dos usuários. Ao trocar de célula, uma estação móvel pode perder as cápsulas de dados em trânsito. Ao detectar a perda, um pedido de retransmissão é realizado. Se outra estação já estiver presente na nova célula, o pedido será prontamente respondido pelo pelo nó ativo celular responsável pela célula. Portanto, para as árvores de menor grau, com menor dispersão dos usuários, a maior parte dos pedidos de retransmissão já é atendido no primeiro nível da árvore que corresponde aos nós ativos celulares.

6.2.2 Topologias *Transit-Stub*

O objetivo de realizar simulações utilizando topologias do tipo *transit-stub* é observar o comportamento do serviço proposto perante topologias semelhantes às que encontramos atualmente na Internet. Cada domínio na Internet pode ser classificado como sendo do tipo *stub* ou *transit* [18]. Em um domínio *stub* trafegam somente pacotes originados ou destinados aos nós do próprio domínio. Domínios do tipo *transit* não possuem esta restrição. O gerador de topologias GT-ITM (*Georgia Tech Internetwork Topology Models*) permite a geração de topologias aleatórias, mas que mantém o formato *transit-stub*. Um exemplo de uma topologia do tipo *transit-stub* gerada pelo GT-ITM é apresentada na figura 6. Estas topologias são geradas a partir de parâmetros passados pelo usuário relativos a probabilidade de nós, de enlaces e a quantidade de redes *Transit* e *Stub*. Os parâmetros utilizados nas topologias geradas para estas simulações são apresentados na tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros utilizados para topologias *Transit-Stub*

Média de Nós por *Transit*	9
Média de Nós por *Stub*	4
Probabilidade de Enlace entre Nós de um *Transit*	60%
Probabilidade de Enlace entre Nós de um *Stub*	60%
Número de *Stubs* por Nó de *Transit*	1
Número de *Transits*	1
Número de Enlaces entre *Transits*	0

Nos experimentos realizados, as redes *stub* representaram as redes celulares. Assim, cada nó de uma rede *stub* correspondeu à um nó celular, tendo sido considerado que todos os nós celulares de uma mesma rede *stub* são vizinhos entre si, mesmo com as ligações entre os nós da rede tendo sido geradas aleatoriamente pelo GT-ITM. Desta forma, o período entre *handoffs* de uma estação móvel e o caminho percorrido por elas durante as simulações foram escolhidos aleatoriamente. As taxas de erro utilizadas nos enlaces sem fio foram mantidas em 10% de cápsulas perdidas e nos enlaces fixos em 1%.

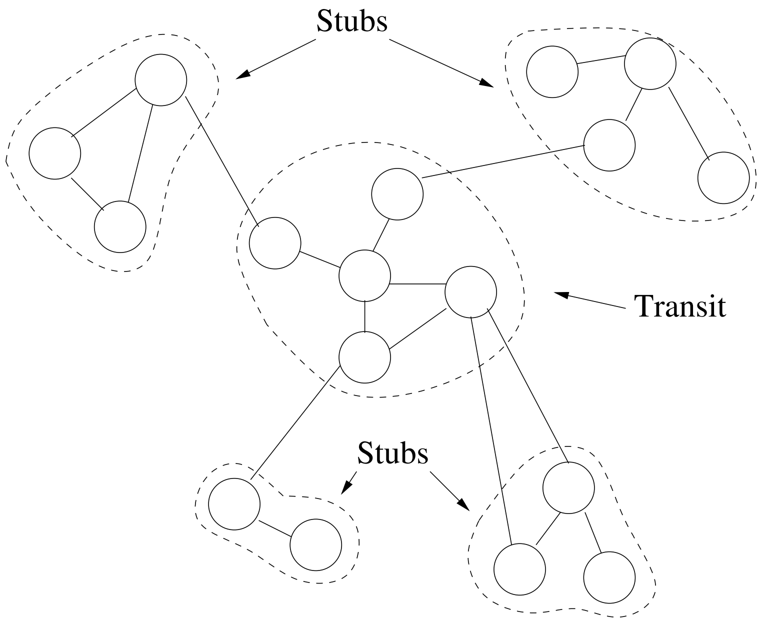


Figura 6: Um exemplo de topologia *transit-stub*.

A figura 7 mostra um gráfico da variação da vazão com o aumento do número de usuários em uma sessão. Para este experimento, foram geradas cinco (5) topologias, sendo que para cada tamanho de sessão foram executadas três medidas em cada topologia. Alguns parâmetros que foram mantidos fixos para todas as medidas foram o período médio entre *handoffs* de 500ms para cada estação móvel e o tráfego CBR gerado pelo transmissor com uma taxa de 50 cápsulas de dados de 1000 bytes por segundo. Observa-se que a vazão se mantém aproximadamente constante devido à ação dos filtros de cápsulas de inscrição e pedidos de retransmissão, e também às retransmissões localizadas. O número de cápsulas de inscrição que é recebido pelo transmissor não aumenta com o número de usuários, pois somente chega ao transmissor a quantidade de cápsulas de inscrição necessária para manter as indicações nos *soft-state* dos nós ativos. Situação semelhante ocorre com as cápsulas de pedido de retransmissão, pois os pedidos de retransmissão duplicados são descartados, não aumentando com o número de usuários. Além disto, como a maior parte das retransmissões é feita localmente, as perdas de um único usuário do grupo não exerce influência em todo o grupo multiponto.

Outro experimento foi realizado visando observar a vazão média obtida pelas estações móveis conforme a variação da freqüência de *handoffs*. A figura 8 mostra os gráficos obtidos com este experimento. Foram geradas cinco (5) topologias aleatórias e foram feitas duas medidas para cada freqüência em cada topologia. A figura 8.a apresenta o gráfico obtido de vazão por período médio entre *handoff*. Neste gráfico, observa-se que para períodos entre 0.2 e 2 segundos a vazão se mantém aproximadamente constante. A queda ocorrida para períodos menores do que 0.2s deve-se ao tempo de recuperação de perdas que se aproxima do período entre *handoffs*, o que pode ser observado pelo gráfico de distribuição do atraso das cápsulas de dados multipontos apresentado na figura 8.b. Quando o perído médio começa a se aproximar do tempo de recuperação, as perdas devido às cápsulas de dados em trânsito se acumulam e a vazão por conseqüência cai. No entanto, observa-se que um período médio de 0.2s, que corresponde a uma freqüência de 5 *handoffs* por segundo, considerando células pequenas com diâmetro de 100m, equivale

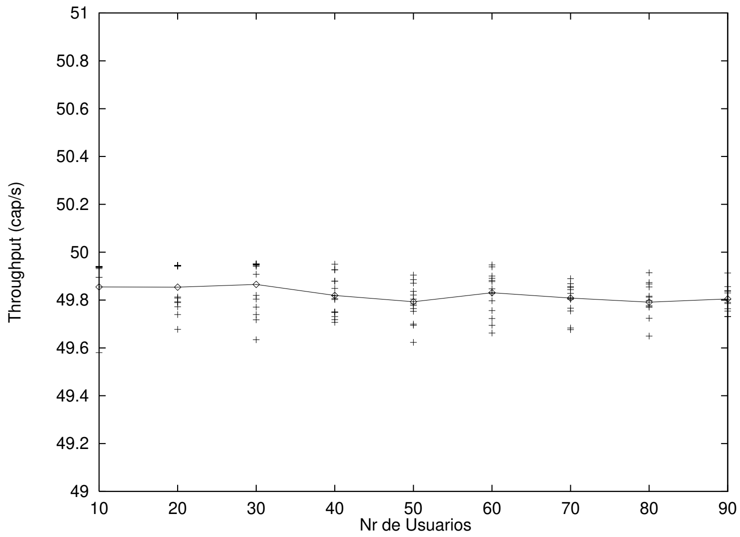
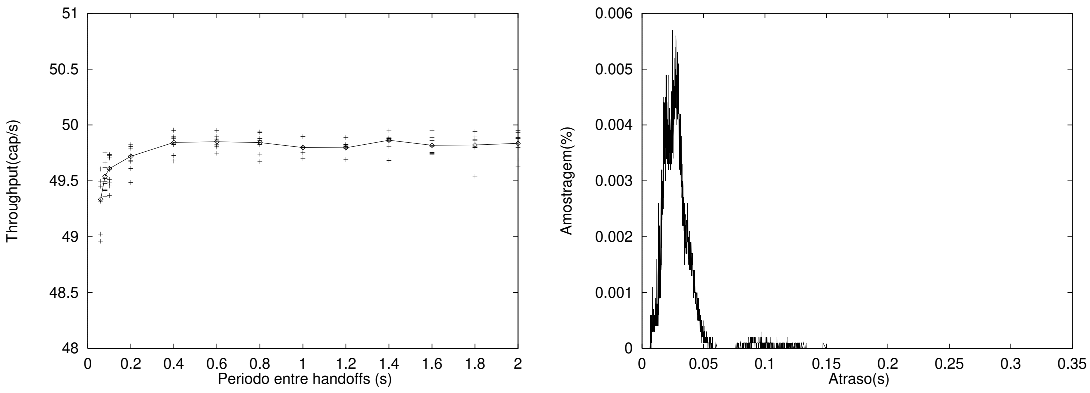


Figura 7: Número de usuários por Sessão.



(a) Freqüência de *handoffs* (b) Atraso de cápsulas de dados

Figura 8: Vazão x Período médio entre *handoffs*.

a uma velocidade de locomoção de 500m/s ou 1800km/h. Assim, conclui-se que o serviço é adaptado à altas freqüências de *handoff*.

7 Conclusões

Neste artigo foi proposto um serviço de comunicação multiponto confiável para estações móveis baseado em redes ativas. Os nós ativos têm como objetivo atualizar as árvores de distribuição para grupos multipontos com receptores móveis, realizar retransmissões localizadas e também filtrar cápsulas em excesso. Foram utilizados *soft-states* para armazenar indicações dos caminhos entre o transmissor e os receptores, o que permite rápidas adaptações ao movimento das estações móveis e altas freqüências de *handoff*. O armazenamento temporário de cápsulas de dados permitiu uma maior agilidade na recuperação de perdas e, como conseqüência, uma maior eficiência da comunicação mesmo em condições de alta freqüência de *handoff*. A filtragem de cápsulas permitiu a diminuição do tráfego das cápsulas de inscrição e evitou o efeito de implosão de cápsulas de pedido de retransmissão.

Os resultados obtidos por simulação demonstraram a eficiência do serviço proposto com relação: à filtragem de cápsulas, ao aumento no número de usuários de um grupo e às altas freqüências de *handoff*.

Nas topologias em árvore, os resultados mostraram que o efeito da filtragem depende da dispersão dos usuários. Quanto menos dispersos os receptores estiverem maior será o efeito da filtragem, ou seja, menor será a quantidade de cápsulas de inscrição e de pedido de retransmissão que precisará percorrer todo o caminho até o transmissor. Mostrou-se ainda que devido ao uso do armazenamento temporário de cápsulas de dados nos nós ativos intermediários, a maior parte dos pedidos de retransmissão já é atendida nos primeiros nós no caminho para o transmissor.

Para topologias do tipo *transit-stub*, verificou-se que aumentando o número de usuários em uma sessão, com uma freqüência de *handoff* por estação de 2 *handoffs* por segundo, a vazão média conseguida manteve-se aproximadamente constante. Medidas realizadas variando a freqüência média de *handoff* e mantendo o número de usuários constante, verificaram que a vazão se mantém constante até a freqüência de 5 *handoffs* por segundo. A partir deste valor a vazão cai pois o tempo de recuperação da perda de uma cápsula de dados começa a se aproximar do período médio entre *handoffs*.

Os resultados indicam que a realização de computações específicas na rede permitida pelo paradigma de redes ativas, possibilitou alterações dinâmicas que garantiram a eficiência e o bom desempenho do serviço proposto.

Referências

[1] H. Balakrishnan, S. Seshan e R. Katz, "Improving Reliable Transport and Handoff Performance in Cellular Wireless Networks", *ACM Wireless Networks*, vol. 1, no. 4, dezembro de 1995.

[2] D. Towsley, J. Kurose e S. Pingali, "A Comparison of Sender-Initiated and Receiver-Initiated Reliable Multicast Protocols", *Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 15, no. 3, abril de 1997.

[3] S. Floyd, V. Jacobson, C. Liu, S. McCanne e L. Zhang, "A Reliable Multicast Framework for Light-weight Sessions and Application Level Framing", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 5, no. 6, pp. 784–805, dezembro de 1997.

[4] K. Calvert, E. W. Zegura, S. Bhattacharjee e J. Sterbenz, "Directions in Active Networks", *IEEE Communications Magazine*, vol. 36, no. 10, pp. 72–78, outubro de 1998.

[5] F. Junqueira, L. H. K. Costa e O. C. M. B. Duarte, "Uma Arquitetura de Roteamento com Qualidade de Serviço baseada em Redes Ativas", in *II Seminário Franco-Brasileiro de Sistemas Informáticos Distribuídos*, Fortaleza, Ceará, pp. 257–268, novembro de 1997.

[6] M. Calderon, M. Sedano, A. Azcorra e C. Alonso, "Active Network Support for Multicast Applications", *IEEE Network*, pp. 46–52, junho de 1998.

[7] D. J. Wetherall, J. V. Guttag e D. L. Tennenhouse, “ANTS: A Toolkit for Building and Dynamically Deploying Network Protocols”, in *IEEE OPENARCH'98*, San Francisco CA, EUA, abril de 1998.

[8] D. Alexander, W. Arbaugh, M. Hicks, P. Kakkar e J. Smith, “The SwitchWare Active Network Architecture”, *IEEE Network*, pp. 29–36, junho de 1998.

[9] P. Manzoni, D. Ghosal e G. Serazzi, “Impact of Mobility on TCP/IP: An Integrated Performance Study”, *Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 13, no. 5, pp. 858–867, junho de 1995.

[10] A. V. Bakre e B. R. Bradrinath, “Implementation and Performance Evaluation of Indirect TCP”, *IEEE Transactions on Computers*, vol. 46, no. 3, pp. 260–278, março de 1997.

[11] C. Perkins, “IP Mobility Support”. Request For Comments 2002, outubro de 1996.

[12] A. Valko, A. Campbell e J. Gomez, “Cellular IP”. draft-valko-cellularip-00.txt Internet Draft, novembro de 1998.

[13] T. Ballardie, P. Francis e J. Crowcroft, “Core-based Trees (CBT) in a Architecture for Scalable Inter-Domain Multicast Routing”, in *SIGCOMM'93*, São Francisco, CA, pp. 13–17, setembro de 1993.

[14] L. H. Lehman, S. J. Garland e D. L. Tennenhouse, “Active Reliable Multicast”, in *IEEE INFOCOM'98*, San Francisco CA, EUA, abril de 1998.

[15] P. Sanjoy, S. Krishan e S. Bhattacharyya, “Reliable Multicast Transport Protocol (RMTP)”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 15, pp. 407–421, abril de 1997.

[16] S. Nilsson e G. Karlson, “IP-Address Lookup Using LC-Tries”, in *IV IFIP Conference on Broadband Communications*, Stuttgart, Alemanha, abril de 1998.

[17] K. Fall e K. Varadhan, *NS Notes and Documentation.* The VINT Project, novembro de 1997.

[18] E. W. Zegura, K. L. Calvert e M. J. Donahoo, “A Quantitative Comparison of Graph-Based Models for Internet Topologies”, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 5, no. 6, pp. 770–783, dezembro de 1997.