

Reserva Antecipada de Recursos em Cenários de Mobilidade Simultânea de Terminais

Eraldo Silveira e Silva¹, Jean-Marie Farines², Michel Diaz^{3,4}

¹Área de Telecomunicações
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC)

²Departamento de Automação e Sistemas
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

³CNRS ; LAAS ; 7 avenue du colonel Roche, F-31077 Toulouse, France

⁴Université de Toulouse ; UPS, INSA, INP, ISAE ; LAAS ; F-31077 Toulouse, France

eraldo@sj.ifsc.edu.br, farines@das.ufsc.br, diaz@laas.fr

Abstract. *In this paper we describe a scheme to anticipate resource reservation for terminals under simultaneous mobility. It encompasses the future path selection, the signaling along these paths and an efficient resource reservation function. The path computation is based on semi-Markov chains generated from the historic access to networks and a binary programming formulation that takes into account the access path probability and costs. We explore the predictions through extensions to the NSIS protocol and we discuss a resource management function to make an efficient passive reservation. The prediction procedure is validated by simulation.*

Resumo. *Neste artigo¹ descrevemos um esquema de reserva antecipada de recursos para terminais que se movimentam simultaneamente. Este esquema envolve a seleção de caminhos futuros, a sinalização sobre estes caminhos e uma função de reserva de recursos eficiente. A computação de caminhos é baseada em cadeias de semi-Markov geradas a partir do registro histórico de acesso à rede e na formulação de um problema em programação binária levando em conta as probabilidades de acesso às redes e os custos dos caminhos. Exploramos o uso destas previsões através de extensões ao protocolo de sinalização NSIS e discutimos o uso de uma função eficiente de gerenciamento de recursos para as reservas passivas. O procedimento de previsão é validado por simulação.*

1. Introdução

Uma das abordagens para garantir a manutenção de níveis aceitáveis da QoS em ambientes de mobilidade em redes IP é a antecipação de reserva de recursos ao longo de um caminho futuro de comunicação entre dois terminais. Esta reserva em avanço permite reduzir, ou mesmo eliminar, o tempo de sinalização sobre um novo caminho entre os terminais móveis, além de assegurar a existência destes recursos para a comunicação em andamento.

¹Apoio do CNPq, parte pelo projeto #478572/2007-7, parte por apoio individual aos autores.

Neste sentido, os protocolos de sinalização da QoS devem possuir mecanismos para viabilizar este tipo de reserva, especialmente no caso de aplicações críticas. O conjunto de protocolos NSIS [Fu et al. 2005], em fase de discussão no âmbito da IETF e tido como sucessor do RSVP [Zhang et al. 1993], incorpora algumas facilidades para a mobilidade e flexibiliza a definição de novos procedimentos de encaminhamento de mensagens de sinalização. Tais procedimentos podem contemplar a visita à entidades que se posicionam fora do caminho de dados. Em consequência, eles podem ser explorados para a reserva antecipada, embora não exista explicitamente uma proposição definitiva para a solução do problema na IETF.

De forma geral, a reserva de recursos é sinalizada entre dois pontos: a fonte e o destino da comunicação, podendo a reserva ser realizada pelo emissor ou pelo receptor do fluxo. Uma mensagem de sinalização enviada da fonte para o destino segue, inicialmente, o caminho determinado pelos protocolos de roteamento subjacentes. Esta mensagem estabelece estados nos roteadores ao longo do caminho, de forma que as próximas mensagens de sinalização possam ser realizadas no sentido e contra o sentido do fluxo de dados.

Se ambos os terminais se movimentam, então o problema de antecipação de reserva se apresenta com uma complexidade adicional. Neste caso, a sinalização deve ser realizada sobre um caminho no qual nenhum dos terminais móveis está presente. Segundo nosso ponto de vista, três pontos devem ser tratados para viabilizar uma solução de reserva antecipada desta natureza:

- a determinação dos caminhos futuros entre os terminais móveis, e por consequência, os endereços IP que devem ser utilizados nesta operação. Incluímos neste ponto o suporte necessário a consecução desta tarefa;
- a forma como o protocolo de sinalização deve ser acionado, visto que entidades adicionais aos pontos finais da comunicação deverão participar do processo. Dependendo da natureza do protocolo de mobilidade envolvido ou do modelo de QoS, os pontos finais da reserva podem não ser necessariamente os terminais;
- uma função de gerenciamento de recursos que evite uma reserva passiva agressiva baseada em previsões que eventualmente possam falhar. Tal função deve permitir a implementação de controles de admissão que levem em conta a reserva de recursos em avanço.

Neste artigo descrevemos de forma geral um esquema que visa tratar os três problemas apontados acima, mas focamos, em particular, nos dois primeiros pontos: a determinação de caminhos e a solução de sinalização antecipada fundamentada sobre o protocolo NSIS. Embora não seja o foco deste trabalho, analisaremos brevemente uma função de gerenciamento de recursos eficiente que possibilite a multiplexação das reservas passivas (futuras) de forma a evitar uma agressividade no processo.

A determinação de caminhos futuros entre terminais móveis é baseada no registro histórico de acesso às redes e em cadeias de semi-Markov, onde distribuições arbitrárias de tempo de residência sobre um caminho são permitidas. Este modelo permite a determinação das probabilidades dos terminais se posicionarem sobre um caminho futuro, em um tempo discretizado a partir do momento de acesso ao caminho corrente. A partir do modelo semi-Markoviano formulamos um problema de programação binária para computar os caminhos entre dois terminais móveis. Os aspectos teóricos da seleção de caminhos foram por nós expostos em Silva [Silva et al. 2009] e no presente artigo su-

gerimos melhorias no procedimento de seleção bem como uma formulação adicional para maximização da experiência de QoS por parte do usuário.

Como contribuição adicional discutimos como os caminhos selecionados podem ser usados em uma reserva antecipada através do protocolo NSIS. Propomos alguns objetos adicionais de sinalização que permitem conduzir as informações de probabilidades de acesso e de tempos para a reserva. Além disto, sugerimos a extensão de um método previamente proposto para viabilizar sinalizações a partir de roteadores de acesso futuros.

O artigo é organizado da seguinte forma. Na seção 2 revemos a literatura. O procedimento geral para a seleção dos caminhos futuros é discutido na seção 3. Na seção 4 discutimos a realização destas reservas no âmbito do protocolo NSIS e, brevemente, uma possível função eficiente de reserva de recursos. Apresentamos na seção 5 os resultados de uma simulação e, então, finalizamos com as perspectivas e conclusões.

2. Trabalhos Relacionados

2.1. Trabalhos de Reserva em Avanço e de Predição de Localização

O trabalho de Talukdar [Talukdar et al. 2001] é pioneiro na reserva de recursos utilizando o protocolo MRSVP, uma extensão do protocolo RSVP. O protocolo permite a reserva em múltiplas localizações, sendo que estas reservas podem ser ativas e passivas. Um objeto MSPEC especifica os roteadores de acesso que podem ser visitados por um nó móvel. É prevista também uma infraestrutura de “proxies” que permite realizar a reserva em nome dos nós móveis. O trabalho não aborda a forma de como computar os caminhos futuros a serem reservados.

O HMRSVP [Tseng et al. 2002] integra o RSVP com o protocolo IP Móvel regional e realiza a reserva em avanço somente em potenciais localidades onde existem mudanças de pontos âncora.

Bless [Bless et al. 2003] apresenta uma arquitetura de sinalização para QoS que integra gerenciamento de recursos com gerenciamento de mobilidade. Ela suporta antecipação da sinalização com pré-reserva de recursos. Este trabalho resultou em uma proposição recente para a IETF usando o protocolo NSIS [Bless 2008a].

Benmammar [Benmammar and Krief 2006] propõe o uso do object MSPEC, tal como usado no MRSVP, no contexto do protocolo HMIPv6 e do protocolo de sinalização NSIS. O MSPEC é computado através do registro histórico de acesso através do uso de cadeias de Markov discretas e se aplica a mobilidade em torno de um ponto fixo que é o MAP, ponto âncora do HMIPv6.

Mais recentemente, Lee [Lee et al. 2008] apresenta um esquema de antecipação de reservas com o protocolo NSIS, no âmbito do IP móvel. A antecipação é disparada pela análise de potência dos “beacons” das rede Wifi e a determinação dos endereços IP futuros é realizada pelo roteador de acesso corrente, que, presume-se conhecer a relação endereço MAC - endereço IP.

No que se refere aos procedimentos e algoritmos para a predição de localização, vários trabalhos vêm sendo propostos. Destacamos o algoritmo HPP [Liu et al. 1998] e a predição por cadeias de semi-Markov, de Lee [Lee and Hou 2006]. O HPP modela o movimento em duas camadas: o modelo global (GMM), usado para descrever movimen-

tos inter células ATM baseando-se em padrões de movimentos do terminal e o modelo local (LMM), através de um modelo estocástico que leva em conta velocidade, direção e posição. Os dois modelos interagem para criar uma trajetória de movimento semi-randômico.

Lee [Lee and Hou 2006] modela o comportamento transitório e em regime permanente de usuários móveis em uma rede WLAN usando processos de semi-Markov. Um resultado interessante é a predição no tempo das localizações futuras de usuários baseando-se essencialmente em registro de tempos de residência em pontos de acesso. Esta abordagem foi escolhida como base para o nosso modelo de mobilidade combinada com o modelo global apresentado por Liu [Liu et al. 1998].

3. O Procedimento de Predição e Seleção de Caminhos

Em Silva [Silva et al. 2009] detalhamos um procedimento para predição e seleção de caminhos futuros entre nós móveis através de cadeias de semi-Markov. Nesta seção, com fins de entendimento do artigo, proporcionamos uma visão resumida desta proposta e incluímos uma formulação adicional no sentido de aumentar a experiência da QoS dos usuários. Também são propostas melhorias no procedimento de predição baseando-se no protocolo SIP.

3.1. A Predição por cadeias semi-Markov

No trabalho de Lee [Lee and Hou 2006] foi apresentado um procedimento para predição de pontos de acessos futuros por parte de um terminal móvel baseando-se em uma equação de evolução (equação 1) de cadeias de semi-Markov desenvolvida por Corradi [Corradi et al. 2004].

$$\phi_{ij}(kh) = d_{ij}(kh) + \sum_{l=1}^M \sum_{\tau=1}^{kh} \nu_{il}(\tau) \phi_{lj}((k - \tau)h) \quad (1)$$

$d_{ij}(kh) = (1 - H_i(kh))\delta_{ij}$ onde δ é a função Kronecker

$H_i(kh) = \sum_{j=1}^M Q_{ij}(kh)$ onde M é a cardinalidade do espaço de estados

$\nu_{il}(kh) = \begin{cases} Q_{il}(h) & \text{for } k = 1; \\ Q_{il}(kh) - Q_{il}((k - 1)h) & \text{for } k > 1. \end{cases}$

$Q_{ij}(kh) = P_{ij}F_{ij}(kh)$

A função $\phi_{ij}(kh)$ fornece a probabilidade de estar em um estado j em um tempo kh contado a partir do momento que foi realizada uma transição para i . A variável h é um passo de computação e k assume valores inteiros positivos. A primeira parte da equação 1 é a probabilidade de permanecer em i até o tempo kh sem que nenhuma mudança ocorra de estado neste ínterim. A segunda parte representa a probabilidade de mudar de estado durante kh e de alguma forma atingir o estado j , permanecendo nele em kh .

Olhando cuidadosamente para os componentes da equação observamos que a computação da mesma é obtida a partir da dupla (P, F) (para um estado inicial conhecido). A probabilidade P_{ij} reflete a probabilidade de ir de um estado i para um estado j de forma similar a uma cadeia de Markov a tempo discreto e $F_{ij}(kh)$ é a distribuição cumulativa do tempo de espera em cada estado i dado que o próximo estado ocupado é j . Estes dois componentes são facilmente obtidos em termos práticos.

A matriz $Q = [Q_{ij}]$ é chamada de kernel da cadeia de semi-Markov. O elemento $Q_{ij}(kh)$ é basicamente a probabilidade de se ter uma transição para um estado j , em um tempo menor ou igual a kh , dado que o estado ocupado era i . Esta matriz é diretamente gerada a partir de (P, F) . Finalmente, H_i modela o tempo de residência em um estado i independentemente do próximo estado.

Na prática, torna-se relativamente simples transportar esta solução para a aplicação em predição de pontos de acesso para nó móveis. Coleta-se dados para se obter a dupla (P, F) . Isto pode ser realizado assumindo um passo de coleta h e um número máximo K de “bins”. A partir de (P, F) constrói-se Q , H e ϕ .

Baseado-se na equação 1, Lee [Lee and Hou 2006] propôs um procedimento para a computação de ϕ no contexto de predição de pontos de acesso. Adicionalmente, ele desenvolveu uma equação que permite calcular $\phi_{ij}(k', s)$ para o caso de predições serem realizadas após um tempo s de associação com um ponto de acesso. Esta formulação é necessária pois agora assume-se que o tempo de residência não possui distribuição exponencial.

3.2. A Predição de Caminhos entre terminais móveis

Partindo do modelo de predição de [Lee and Hou 2006] e considerando a independência dos processos de mobilidade, nós construímos a equação 2 para predição de caminhos (omitindo o passo h) entre dois nós móveis $M1$ e $M2$, com as respectivas equações de evolução $\phi_{ij}^1(k', s)$ e $\phi_{ij}^2(k', s)$:

$$\psi_{iijj'}(k', s, s') = \phi_{ij}^1(k', s)\phi_{i'j'}^2(k', s') \text{ para } k' = 1, \dots, \min(T, K - s, K - s') \quad (2)$$

A função $\psi_{iijj'}(k', s, s')$ permite realizar uma predição para o caminho jj' entre $M1$ e $M2$, dado que o caminho atual é ii' . Esta predição é realizada em tempos discretos k' e considera que uma sessão de duração esperada T é requisitada em um tempo de associação s após a associação de $M1$ com o nó i e de um tempo de associação s' após $M2$ ter se associado com o nó i' . A limitação de $k' = 1, \dots, \min(T, K - s, K - s')$ é devido ao número máximo K de bins e, chamaremos $\min(T, K - s, K - s')$ de T_{sup} .

A função $\psi_{iijj'}(k', s, s')$ nos servirá como referência para a seleção de caminhos entre $M1$ e $M2$. Inicialmente assumimos que as reservas serão realizadas no estabelecimento de uma sessão e para todo o tempo de vida da mesma. Esta consideração permite garantir os recursos durante as movimentações ao longo das trajetórias dos terminais. Para evitar desnecessária complexidade da notação nós vamos referenciar $\psi_{iijj'}(k', s, s')$ simplesmente como $\psi_{jj'}(k)$ assumindo que o caminho inicial é ii' e que os tempos s e s' devem ser considerados.

Para a seleção dos caminhos, construiremos um problema formulado em programação binária levando em conta que é possível ter um mínimo aceitável de falta de recursos durante a comunicação colocado na forma de probabilidade de falta de recursos PLR. Isto nos permitirá eliminar caminhos de baixa probabilidade. Em adição, assumiremos que temos a informação sobre os custos destes caminhos representada por $C_{jj'}$. Este custo é uma métrica sobre o caminho que pode ser, por exemplo, de ordem econômica ou um custo de sinalização. As probabilidades de acesso no tempo k' podem ser tomadas na média sobre o tempo T_{sup} e indicamos isto por $\psi_{jj'}^T$. Este tempo pode ser interpretado

como um percentual do tempo T_{sup} que será ocupado por um dado caminho em relação aos demais.

Podemos agora formular o problema, mas modificando mais uma vez a notação de um caminho jj' para simplesmente l , de $\psi_{jj'}^T$ para ψ_l^T e de $C_{jj'}$ para C_l da seguinte forma:

$$\min \sum_{l=1}^{M \times N} C_l x_l \quad (3)$$

$$\text{sujeito a } \sum_{l=1}^{M \times N} \hat{\psi}_l^T x_l > 1 - PLR, \text{ e } x_l = 0 \text{ ou } 1 \text{ e } M = |\mathcal{A}_1|, N = |\mathcal{A}_2|$$

\mathcal{A}_1 e \mathcal{A}_2 são, respectivamente, os espaços de estados das cadeias de $M1$ e $M2$. A formulação apresentada permite selecionar através da variável binária x_l um conjunto de caminhos entre os nós móveis, de forma que a soma de todas as probabilidades destes caminhos, computadas na média, minimizem o custo total da comunicação. Esta formulação permite, por exemplo, eliminar um caminho em prol de dois ou mais cuja soma das probabilidades médias destes sejam menores que a do primeiro.

Alternativamente a esta formulação, podemos levar em conta a maximização da experiência de QoS do usuário limitada a um teto máximo P_{max} de custo que ele está disposto a pagar:

$$\max \sum_{l=1}^{M \times N} \hat{\psi}_l^T x_l \quad (4)$$

$$\text{sujeito a } \sum_{l=1}^{M \times N} C_l x_l \leq P_{max}, x_l = 0 \text{ ou } 1$$

Podemos agora enunciar um procedimento geral para a computação da seleção de caminhos. Assumiremos que os terminais móveis continuamente alimentam servidores de localização a cada movimento, de forma que o peso do processamento possa ser concentrado dentro da rede de infraestrutura e não no terminal móvel, conforme havíamos inicialmente proposto em Silva [Silva et al. 2009]. Também supomos adicionalmente o uso do protocolo SIP para sinalização fim-a-fim. O procedimento é indicado na Figura 2.

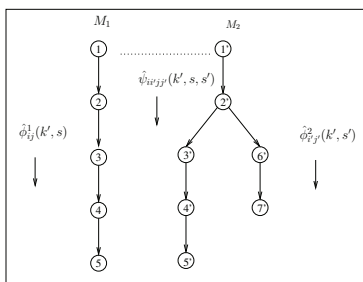


Figura 1. Um cenário de comunicação simultânea

- I No momento em que dois terminais decidem estabelecer um fluxo com QoS de $M1$ para $M2$, então $M1$ envia um SIP INVITE para $M2$. Nesta mensagem deve ser incluído o tempo T estimado de duração de sessão;
- II Um proxy SIP "stateful" local intercepta a mensagem e consulta um servidor de localização obtendo o registro de acessos de $M1$; a mensagem é encaminhada para o destino $M2$. Paralelamente o proxy computa $\phi_{ij}^1(k', s)$, via aplicação SIP;
- III A mensagem é interceptada pelo proxy na rede de destino que encaminha ao terminal e ao mesmo tempo consulta os registros de acesso em um servidor de localização e computa, via aplicação SIP, $\phi_{ij}^2(k', s)$;
- IV A resposta de $M2$ é interceptada pelo "proxy" de $M2$ que responde ao "proxy" de $M1$ fornecendo $\phi_{ij}^2(k', s')$. Este por sua vez computa $\psi_{i'j'}^2(k', s, s')$ segundo a equação 2. O "proxy" seleciona então os caminhos, conforme as formulações (3) ou (4);
- V O proxy de $M1$ responde finalmente ao terminal;
- VI A sinalização de reserva pode ser iniciada, por exemplo, usando o processo descrito na próxima seção.

Figura 2. Procedimento para a Computação de Caminhos

4. A Reserva Antecipada com o Protocolo de Sinalização NSIS

O modelo de predição de caminhos discutido anteriormente permite obter no tempo discretizado k , segundo um passo h , as probabilidades de acesso a caminhos futuros entre dois terminais móveis. Com esta informação podemos nos utilizar do protocolo de sinalização NSIS, com algumas modificações aqui propostas, para que possa sinalizar, de forma eficiente, a reserva sobre estes caminhos.

4.1. O protocolo NSIS

Tendo em vista que parte do trabalho aqui descrito se utiliza do protocolo NSIS, apresentamos na sequência um breve resumo sobre o mesmo.

O grupo de trabalho NSIS da IETF está elaborando um conjunto de protocolos [Fu et al. 2005] para acomodar as necessidades de sinalização da nova geração de redes IP cujos requisitos foram previstos na RFC3726 [Brunner 2004]. A proposta do NSIS contorna alguns problemas do RSVP e é apresentada como um paradigma de duas camadas. A camada inferior é o protocolo de transporte de sinalização (GIST) e tem por objetivo serviços genéricos de transporte de mensagens de sinalização. Ele gerencia associações entre entidades pares NSIS, usando mensagens UDP ou conexões TCP. Estas associações permitirão sinalizar em direção ou em contramão ao fluxo de dados.

As aplicações da sinalização são implementadas como um protocolo da camada superior (NSLP). Hoje existem algumas propostas de protocolos NSLP, dentre os quais podemos destacar o QoS NSLP[Manner et al. 2007] que é voltado à sinalização de qualidade de serviço. Este protocolo estabelece e mantém estados em nós ao longo de um caminho de um fluxo de dados com o propósito de obter recursos sobre o mesmo. As mensagens QoS NSLP são enviadas entre as entidades pares do NSLP, chamadas QNE. Em princípio, o QoS NSLP pode ser aplicado a qualquer modelo de QoS permitindo a integração de domínios com diferentes modelos. Os parâmetros de QoS são transportados por um objeto QSPEC.

O QoS NSLP NSIS permite que as reservas de recursos sejam iniciadas tanto do lado do emissor de um fluxo quanto pelo lado receptor, ao contrário do RSVP. Além disto o protocolo permite: (a) a detecção de mudança de rota, através do uso de “soft-state”; (b) o suporte para operação com estado reduzido ou mesmo sem estado algum; (c) a ligação de sessões, forçando uma relação entre sessões para o caso de reservas agregadas ou bidirecionais e, finalmente; (d) o uso de empilhamentos de QSPEC que facilita a operação interdomínio.

O QoS NSLP se utiliza de 4 tipos de mensagens:

- RESERVE: utilizada para criar, refrescar, modificar e remover um estado de reserva. Em uma cadeia de nós QNE por onde deve ser realizada uma reserva, o primeiro nó que envia a mensagem RESERVE é chamado de QNI e último de QNR;
- QUERY: usada para requisitar informação a cerca de caminhos de dados sem que se faça uma reserva. A informação obtida pode ser usada, por exemplo, em um controle de admissão;
- RESPONSE: fornece informação em resposta a uma mensagem prévia do NSLP;

- NOTIFY: envia uma informação de forma assíncrona diretamente a um QNE, sem a necessidade de se referenciar à mensagens prévias. Normalmente está relacionada a situações de erro.

Em cada roteador com capacidade NSIS, a entidade QoS NSLP interage com uma função de gerenciamento de recurso (RMF). Um modelo de QoS define o comportamento de uma RMF e como esta deve interpretar um QSPEC para realizar uma reserva de recurso de forma adequada.

4.2. O protocolo NSIS e a Mobilidade

Um fluxo sinalizado no contexto do protocolo NSIS é unicamente identificado por uma 3-upla constituído de um identificador de sessão (SID), um identificador de protocolo NSLP (NSLPID) e de uma Informação para Roteamento de Mensagem (MRI). Esta forma de identificação permite desacoplar a informação de estado do protocolo dos endereçamentos IP envolvidos na comunicação, uma vez que uma sessão pode conter vários fluxos de dados.

Em situação de mobilidade, onde pode acontecer a mudança de endereços IP, o estado relacionado a um determinado fluxo necessita somente de uma atualização e, com o uso da 3-upla para a identificação de um fluxo, é possível fazer várias reservas para uma mesma sessão [T.Sanda et al. 2008]. Desta forma, reservas em avanço podem ser encaminhadas antes da realização de um procedimento de mudança de ponto de acesso, desde que se conheça os pontos futuros da reserva. Entretanto, o mecanismo para viabilizar esta reserva ainda não está completamente definido.

No padrão de operação do protocolo GIST é definido somente um método de roteamento de mensagem de sinalização. Este método é acoplado ao caminho de dados (PC-MRM-“Path Coupled Message Routing Method”), ou seja, permite que a mensagem de sinalização siga o caminho dos dados, encontrando nós capacitados de implementar a reserva. Um método define um tipo de MRI, que no caso do PC-MRM é basicamente a descrição dos endereços finais do fluxo sinalizado. Um pacote IP que encapsula esta mensagem recebe como destino o endereço IP final do fluxo. Na primeira sinalização, o NSIS prevê o uso de mecanismos para que os roteadores do caminho possam interceptar a mensagem de sinalização e estabelecer os estados necessários para sinalização a favor e contra o fluxo de dados.

Bless [Bless 2008a] propôs a criação de um método de roteamento adicional que permite que a sinalização seja acionada a partir de um nó fora do caminho (EST_MRM-“Explicit Signaling Target-MRM”). Neste método, um terminal móvel, que inicia uma sinalização, pode repassar um endereço de um roteador de acesso futuro e uma descrição do fluxo futuro na forma de um PC_MRM. Na prática, o EST_MRM incorpora o MRI do PC_MRM e acrescenta a informação do nó fora do caminho. Este nó, ao receber uma sinalização com EST-MRM atua como um “proxy”, sinalizando com o PC_MRM informado no EST_MRM. Adicionalmente a esta proposta, o projeto EuQoS [Masip-Bruin et al. 2007] propôs o HYPATH, uma extensão ao NSIS, na forma de uma camada intermediária para sinalização fora do caminho.

Uma ilustração do funcionamento do NSIS, em condições de mobilidade, é mostrada na Figura 3. Inicialmente o terminal móvel M1 sinaliza ao longo de um caminho

em direção ao terminal correspondente CN, usando o método PC-MRM. Ao se movimentar para um outro roteador de acesso, M1 forma um novo endereço IP e, dada a sua nova posição topológica, sinaliza novamente em direção ao CN. Novas reservas são estabelecidas no novo segmento e uma atualização de estados é realizada no segmento comum. Com o apoio da API do GIST, que informa o nó antecessor da sinalização (“handler” SII), a entidade QoS NSLP do roteador R3 se identifica como ponto de cruzamento (“crossover”) entre os caminhos antigo e novo. Neste momento, R3 pode, através de uma mensagem NOTIFY, em direção ao caminho antigo, dar início a remoção de recursos não mais utilizados (mensagem RESERVE com bit T).

É interessante salientar neste processo que a sinalização para atualizar ou estabelecer estados sobre o novo caminho é realizada após o movimento de $M1$ para um novo roteador de acesso. Durante o tempo de sinalização não haverá recursos reservados para o fluxo em andamento e existe uma possibilidade de não se obter estes recursos se estes estiverem exauridos. É dentro deste contexto que se enquadra a nossa proposta.

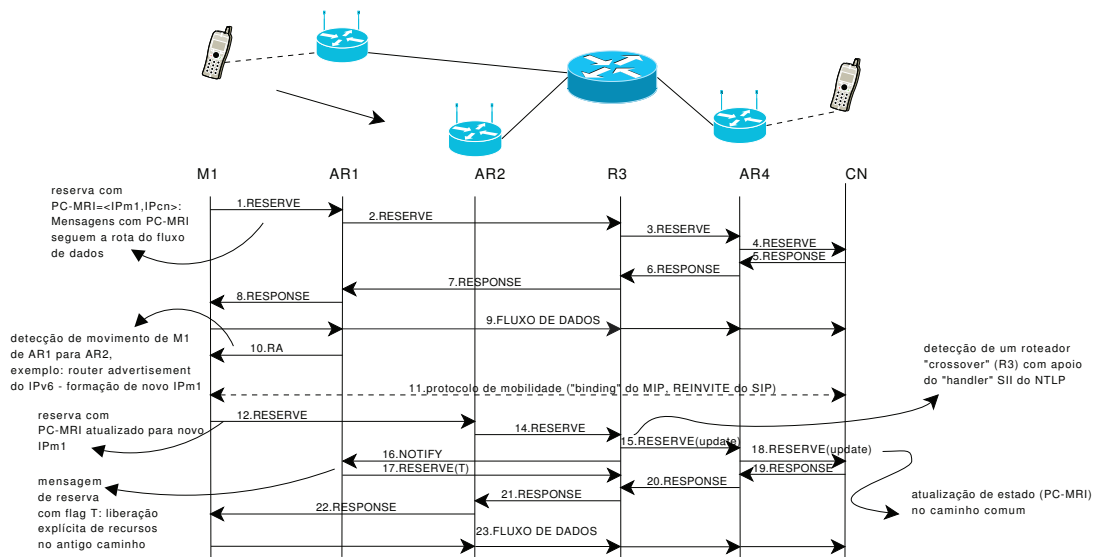


Figura 3. Mobilidade no protocolo NSIS

4.3. Considerações sobre o Esquema Proposto

Para exposição do esquema proposto vamos considerar o cenário ilustrado na Fig.4. Neste cenário, dois terminais móveis $M1$ e $M2$ se encontram associados aos roteadores de acesso $AR1$ e $AR4$ e decidem estabelecer um fluxo com reserva de recursos, de $M1$ para $M2$. Usando um protocolo de sinalização fim-a-fim (mensagem 1 no diagrama), $M1$ e $M2$ trocam registros de mobilidade, negociam capacidades e determinam os requisitos de QoS do fluxo. O terminal $M1$ pode então computar (diretamente ou via aplicações SIP) a função $\psi_{i'j'j'}(k, s, s')$ para caminhos futuros, e selecionar, digamos, o conjunto de caminhos $\{(AR1, AR5), (AR2, AR4), (AR2, AR4)\}$, dado o caminho presente $(AR1, AR4)$. Note que irá existir uma função ψ para cada caminho, por exemplo, $\psi_{1415}(k)$ que indica a probabilidade de estar em 1-5 dado o caminho atual 1-4, no tempo k contado a partir do estabelecimento do fluxo. O problema passa a ser como sinalizar em avanço, a partir de $M1$ (o emissor do fluxo) sobre os caminhos futuros computados. Os seguintes pontos serão assumidos para a proposta:

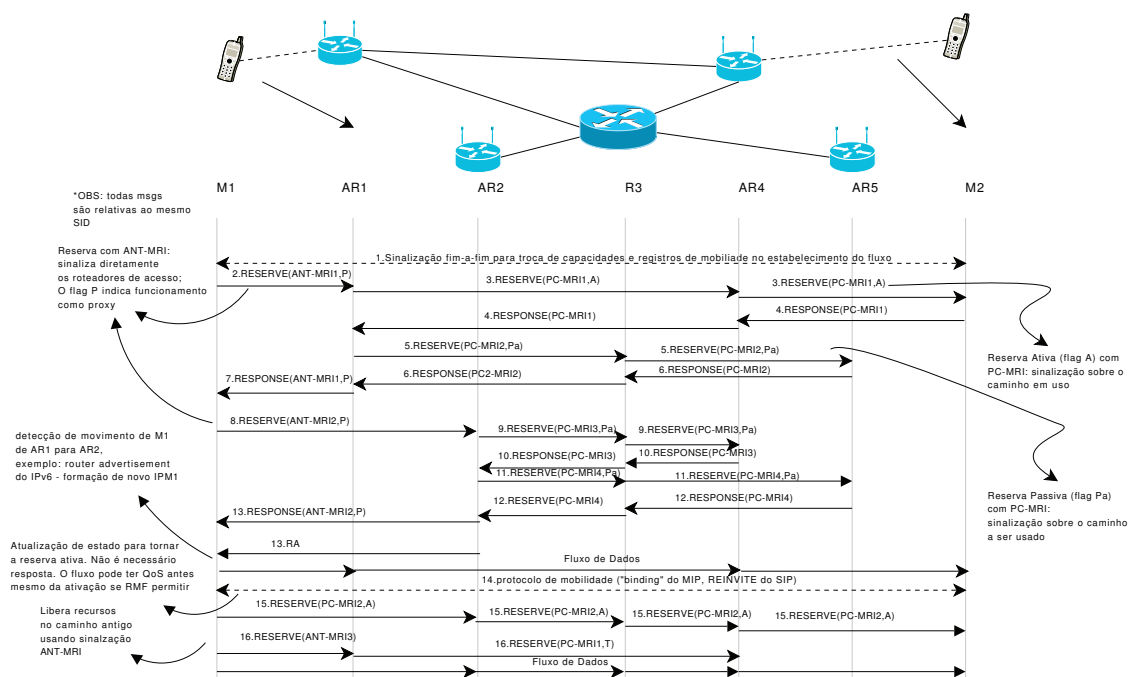


Figura 4. Sinalização Antecipada com NSIS

- ela pode ser aplicada a diferentes protocolos de mobilidade;
- para o esquema proposto decidimos utilizar a plenitude de mecanismos oferecidos pelo projeto do protocolo NSIS no sentido de realizar o mínimo de extensões possíveis;
- os endereços IP dos roteadores de acesso futuro serão considerados conhecidos, registrados no histórico de acesso, bem como os endereços IP futuros dos terminais móveis (formados, por exemplo, em avanço com mecanismo de configuração “stateless” do IPv6);
- a predição será unicamente realizada com base no registro histórico, e por ora, não consideraremos apoio da camada 2;
- todas as reservas são realizadas no início da sessão, e não vamos atualizar a reserva no momento do movimento. Este procedimento ainda está em estudo e demanda uma carga de sinalização e processamento adicional. Na falha de predição a reserva deve ser desfeita;
- cada roteador ao longo do caminho deve reservar totalmente os recursos para o caso da reserva ativa. Para a reserva passiva, podem ser utilizadas estratégias inteligentes de reserva.

4.4. A Sinalização Antecipada

Vamos nos reportar ao diagrama da Figura 4. Após a sinalização fim-a-fim e computação de caminhos (mensagem 1), *M1* passa a fazer as reservas em avanço usando o protocolo QoS NSLP da pilha NSIS. Para que as mensagens de sinalização pudessem ser encaminhadas para os roteadores de acesso corrente e futuros de *M1*, e, a partir destes sinalizar sobre os caminhos em direção a *M2*, estendemos o objeto EST-MRI, chamando-o de ANT-MRI (MRI antecipado). ANT-MRI possui a mesma estrutura de EST-MRI mas

comporta vários PC-MRI. Desta forma $M1$ constrói dois objetos ANT_MRI compostos da forma:

$$\begin{aligned}
 ANT_MRI_1 &= \langle TARGET = IP_{AR1}, \\
 &PC_MRI_1 = \langle src = IP_{M1}, dst = IP_{M2} \rangle, \\
 &PC_MRI_2 = \langle src = IP_{M1}, dst = IP_{M2}^{AR5} \rangle \\
 &\rangle \\
 ANT_MRI_2 &= \langle TARGET = IP_{AR2}, \\
 &PC_MRI_1 = \langle src = IP_{M1}^{AR2}, dst = IP_{M2}^{AR3} \rangle, \\
 &PC_MRI_2 = \langle src = IP_{M1}^{AR2}, dst = IP_{M2}^{AR5} \rangle \\
 &\rangle
 \end{aligned}$$

A representação do tipo IP_{M1}^{AR2} refere-se ao IP de $M1$ na rede de $AR2$. Cabe observar que cada ANT_MRI tem como alvo (“tag” TARGET) um roteador de acesso, atual ou futuro, de $M1$. Isto permitirá que o NSIS entregue diretamente esta mensagem para estes roteadores que atuarão como “proxies” (mensagens 2 e 8), sem que sejam interceptadas pelo protocolo NSIS. Estes roteadores extraem os PC_MRI contidos no ANT_MRI e passam a sinalizar a reserva sobre o caminho indicado por estes (mensagens 3 e 5, para os PC_MRI_1 e PC_MRI_2, e mensagens 9 e 11 para os PC_MRI_3 e PC_MRI_4). As respostas de confirmação para $M1$ somente são enviadas após a reserva sobre estes caminhos (mensagens 7 e 13).

É necessário especificar um QSPEC para cada caminho uma vez que incluímos na estrutura de QSPEC, que possui tamanho variável, as probabilidades de acesso (função *psi*) ao caminho, de forma que ela possa ser usada pela função RMF. Um problema que surge é como distribuir diferentes QSPEC para os diferentes caminhos de uma mesma sessão sinalizada com uma informação de roteamento ANT_MRI. A solução por ora encontrada é incluir na mensagem do QoS NSLP, os vários QSPEC na ordem que os PC_MRI são dispostos sobre o ANT_MRI. Desta forma, o “proxy” (roteador de acesso) constrói as mensagens de sinalização PC_MRI com os devidos QSPECs. É conveniente lembrar que o objeto QSPEC especifica os requisitos do fluxo e é opaco ao protocolo de sinalização NSLP, sendo simplesmente transportado para a função RMF dos roteadores sinalizados. Como consequência, temos que introduzir nas mensagens do QoS NSLP um indicador de reserva passiva ou ativa, tal como indicado nos diagrama de mensagens da Figura 4.

4.5. A Função RMF e as Reservas Passivas e Ativas

O comportamento da RMF define o modelo QoS utilizado em um domínio. Através dela pode-se coordenar o processo de concessão de recursos bem como configurá-los de forma adequada. O processo de concessão envolve políticas e controle de admissão. Não é objeto principal deste artigo a definição de uma RMF, mas, visto que podemos transportar um objeto QSPEC até uma RMF em um roteador, sendo que este objeto contém informações de probabilidades de acesso ao recurso no tempo, é possível sugerir possíveis formas de multiplexação no uso destes recursos.

Suponhamos que existem C unidades de banda disponíveis para o tráfego de um determinado serviço em um enlace e Ca é a banda atual em uso. Um possível controle de acesso, na visão clássica de controle de admissão por recursos, é, para uma requisição de x unidades, se $x \leq C - Ca$ então o tráfego é aceito e $Ca = Ca + x$. Em um sistema com

reserva passiva agressiva, as reservas seriam contabilizadas em Ca . Na nossa proposta, usando a informação de probabilidades de acesso a caminhos, é possível pensar em uma formulação para o controle de admissão de novos fluxos com reserva ativa e passiva. Um pedido de reserva ativa de x unidades de banda durante um tempo T poderia ser aceito se $x < C - Ca - Cp(k)$, $k = 0, \dots, T$, e então $Ca = Ca + x$. Um pedido x de banda passiva poderia ser aceito se $\psi(k) * x + Cp(k) + Ca \leq C$, $k = 0, \dots, T$ e então $Cp(k) = Cp(k) + \psi(k) * x$, onde $Cp(k)$ são as unidades de banda passivas reservadas a partir de um tempo kh do tempo da solicitação da reserva no enlace. A função ψ é a probabilidade de acesso ao caminho contada a partir da requisição.

Desta forma, os recursos $Cp(k)$ constituem-se em uma forma de multiplexação estatística dos vários pedidos de reserva passiva. Esta formulação é uma primeira sugestão, porém estudos mais aprofundados devem ser elaborados nesta área.

5. Simulação e Análise dos Resultados

Uma simulação do procedimento de seleção de caminhos foi realizada com o MATLAB. Apresentamos a seguir alguns resultados para a simulação do cenário indicado na Figura 1. Por questões de simplicidade assumimos que os dois terminais realizam um movimento para os pontos de acesso iniciais, exatamente no momento em que uma sessão é requisitada (s e s' iguais a 0). Os resultados de uma seleção de caminhos são mostrados na forma de uma tabela 1 onde as linhas e colunas representam os pontos de acesso para os terminais $M1$ e $M2$, respectivamente. Os valores binários indicam a alocação ou não de recursos no caminho.

Na simulações, fixamos as probabilidades $p_{2'3'} = 0.3$ e $p_{2'6'} = 0.7$ e geramos $[H_{ij}]$ usando distribuições gama com parâmetro de escala fixados ($= 1$). O parâmetro de forma (α) foi alterado para produzir diferentes perfis de tempo de residência em um roteador de acesso: quanto menor α , menor o perfil dos tempos, o que corresponde a um terminal se movimentando mais rapidamente. Para tornar a análise mais simples, aplicamos simultaneamente o mesmo α para todos os nós de uma cadeia de forma que podemos nos referenciar a um móvel com perfil de maior velocidade ($\alpha = 1$), médio ($\alpha = 2$) e baixo ($\alpha = 3$). A duração de uma sessão é referenciada em T minutos.

A tabela 1 mostra uma saída de simulação para seleção de caminhos considerando sessões com tempo $T = 6$. Na simulação referente a tabela 1.a usamos perfis de velocidade médio para ambos terminais e, na tabela 1.b, $M2$ possui um perfil mais rápido. Nestes cenários todos os caminhos possuem custo unitário e usamos a formulação (3) com $PLR = 0.05$. Para $M2$ mais rápido, podemos observar mais um caminho alocado ($11'$) e os efeitos das probabilidades $p_{2'3'} = 0.3$ e $p_{2'6'} = 0.7$.

Na simulação referente a tabela 1.c usamos a formulação (4) com custo $P_{max} = 5$. Como todos custos de caminhos são considerados unitários então a alocação contempla 5 caminhos de maior probabilidade. Na simulação referente a tabela 1.d forçamos um custo 2 no caminho $16'$. A alocação mantém 5 caminhos mas considerando $26'$ no lugar de $16'$.

No momento estamos migrando as simulações para o simulador OMNET e pretendemos simular cenários mais ricos. Acrescentamos algumas funcionalidades ao modelo de mobilidade “turtle” para flexibilizar nossos testes e construímos um modelo de registro de associações da camada 2 e de mudança de endereço da camada 3, de forma a computar ϕ . Um módulo de aplicação acessa o módulo de registro para a computação de ψ .

Tabela 1. Saída da Simulação de Seleção de Caminhos

T=6	Roteador de Acesso j'	T=6	Roteador de Acesso j'	T=6	Roteador de Acesso j'	T=6	Roteador de Acesso j'
j	1' 2' 3' 4' 5' 6' 7'	j	1' 2' 3' 4' 5' 6' 7'	j	1' 2' 3' 4' 5' 6' 7'	j	1' 2' 3' 4' 5' 6' 7'
1	1 1 0 0 0 0 0	1	1 1 1 0 0 1 0	1	1 1 0 0 0 1 0	1	1 1 0 0 0 0 0
2	1 1 0 0 0 0 0	2	1 1 0 0 0 1 0	2	1 1 0 0 0 0 0	2	1 1 0 0 0 1 0
3	0 0 0 0 0 0 0	3	0 0 0 0 0 0 0	3	0 0 0 0 0 0 0	3	0 0 0 0 0 0 0
4	0 0 0 0 0 0 0	4	0 0 0 0 0 0 0	4	0 0 0 0 0 0 0	4	0 0 0 0 0 0 0
5	0 0 0 0 0 0 0	5	0 0 0 0 0 0 0	5	0 0 0 0 0 0 0	5	0 0 0 0 0 0 0

(a)

(b)

(c)

(d)

Os aspectos funcionais do protocolo NSIS estão sendo avaliados através da versão do GIST da Universidade de Karlsruhe [Bless 2008b], onde foi implementado o método EST-MRM para sinalização fora do caminho. A plataforma de teste é baseada em máquinas virtuais onde modificamos um `uml.switch` (“switch” virtual) para simular mobilidade, sem a necessidade de um arranjo de pontos de acesso sem fio.

6. Conclusão e Perspectivas

Neste artigo apresentamos um esquema geral para a reserva antecipada de recursos em redes IP, onde dois terminais se movimentam simultaneamente. O esquema é direcionado especialmente para aplicações críticas a QoS. Ele é composto de três componentes: (a) um procedimento de seleção de caminhos futuros baseado no registro histórico de acesso às redes, modelado através de cadeias semi-Markovianas; (b) uma sinalização sobre estes caminhos baseada no protocolo de sinalização NSIS; e (c) uma função de gerenciamento de recursos que interpreta os objetos de especificação de QoS transportados pelo protocolo de sinalização.

No que tange a sinalização, focamos essencialmente o procedimento para a reserva por fluxo. Exploramos os mecanismos do NSIS e mostramos a necessidade de extensão de alguns objetos para permitir a implementação da reserva, o que vem a contribuir com a construção do protocolo NSIS, ainda em fase de discussão no âmbito da IETF. Na sequência de nossos estudos, pretendemos utilizar os resultados deste trabalho para melhorias de um modelo de QoS com maior escalabilidade, que é o modelo RM diffserv, proposto como uma possível solução para redes de acesso de rádio (RANs), baseadas em IP no contexto do sistema UMTS [Bader et al. 2005].

Referências

- Bader, A., Karagiannis, G., Westberg, L., Kappler, C., Phelan, T., Tschofenig, H., and Heijenk, G. (2005). Qos signaling across heterogeneous wired/wireless networks: Resource management in diffserv using the nsis protocol suite. In *Proceedings of the Second International Conference on Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks*, page 51, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Benmammar, B. and Krief, F. (2006). Resource Management for End-to-End QoS in a Mobile Environment. *2nd IEEE Int. Conf On Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications*.
- Bless, R. (2008a). An Explicit Signaling Target Message Routing Method (EST-MRM) for the General Internet Signaling Transport (GIST) Protocol. Internet Draft.
- Bless, R. (2008b). Nsis-ka - a free c++ implementation of nsis protocols. <https://i72projekte.tm.uka.de/trac/nsis/> acessado em julho de 2008.

- Bless, R., Zitterbart, M., Hillebrand, J., and Prehofer, C. (2003). Quality of Service Signaling in Wireless IP-based Mobile Networks. In *in Proceedings of VTC Fall 2003. IEEE*.
- Brunner, M. (2004). Requirements for Signaling Protocols. RFC 3726 (Informational).
- Corradi, G., Janssen, J., and Manca, R. (2004). Numerical Treatment of Homogeneous semi Markov Processes in Transient Case—a straightforward approach. *Methodology and Computing in Applied Probability*, (3):233–246.
- Fu, X., Schulzrinne, H., Bader, A., Hogrefe, D., Kappler, C., Karagiannis, G., Tschofenig, H., and den Bosch, S. V. (2005). NSIS:A New Extensible IP Signaling Protocol Suite. *IEEE Comm. Mag.*, pages 133–141.
- Lee, J.-K. and Hou, J. C. (2006). Modeling steady-state and transient behaviors of user mobility: formulation, analysis, and application. In *MobiHoc '06: Proceedings of the 7th ACM intern. symp. on Mobile ad hoc netw. and comp.*, pages 85–96, New York, NY, USA. ACM.
- Lee, S., Kim, M., Lee, K., Seol, S., and Lee, G. (2008). Seamless qos guarantees in mobile internet using nsis with advance resource reservation. In *AINA*, pages 464–471.
- Liu, T., Bahl, P., Member, S., and Chlamtac, I. (1998). Mobility modeling, location tracking, and trajectory prediction in wireless ATM networks. *IEEE Journal on Sel. Areas in Comm.*, 16:922–936.
- Manner, J., Karagiannis, G., and McDonald, A. (2007). Nslp for quality-of-service signaling. *Internet draft, draft-ietf-nsis-qos-nslp-15.txt*.
- Masip-Bruin, X., Yannuzzi, M., Serral-Gracia, R., Domingo-Pascual, J., Enriquez-Gabeiras, J., Callejo, M. A., M.Diaz, F.Racaru, Stea, G., Mingozzi, E., Beben, A., Burakowski, W., Monteiro, E., and Cordeiro, L. (2007). The EuQoS System: A Solution for QoS Routing in Heterogeneous Networks. *IEEE Communications Magazine*, pages 96–103.
- Silva, E. S., Farines, J.-M., and Diaz, M. (2009). Path prediction for resource reservation between mobile nodes. In *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Budapest,Hungria.
- Talukdar, A. K., Badrinath, B. R., and Acharya, A. (2001). Mrrsvp: a resource reservation protocol for an integrated services network with mobile hosts. *Wireless Networks*, 7(1):5–19.
- T.Sanda, X.Fu, S.Jeong, Manner, J., and Tschofenig, H. (2008). Applicability Statement of NSIS Protocols in Mobile Environments. *Internet draft, draft-ietf-nsis-applicability-mobility-signaling-10.txt*.
- Tseng, C.-C., Lee, G.-C., and Liu, R.-S. (2002). Hmrrsvp: A hierarchical mobile rsvp protocol. In *Proc. Intl. Conf. Distrib. Comp. Sys. Wksp.*
- Zhang, L., Deering, S., and Estrin, D. (1993). RSVP: A new resource ReSerVation protocol. *IEEE network*, 7(5):8–17.