

Uma Estratégia de Tentativas de *Handover* Vertical em Grupo

Nivia Cruz Quental, Paulo André da S. Gonçalves

Centro de Informática (CIn)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
50.740-540 – Recife – PE – Brasil

{ncq, pasg}@cin.ufpe.br

Abstract. *Interoperability has been a keyword in the context of applications running over wireless networks in order to guarantee good user experience. From voice calls to real-time conferences, mobility management makes possible service continuity in case of changing the coverage area. The rising of heterogeneous networks brings vertical handover as the key process in related research. Current challenges include proposing new handover schemes or adapting the classic existing ones. In this paper, we present a handover try strategy for the scheme described in [Lee and Cho 2011]. That scheme intends to handle vertical group handovers based on a given threshold for the handover block probability. Results show that the proposed strategy reduces the total handover latency, when compared with the referred scheme while maintains equivalent handover block probability.*

Resumo. *No contexto de aplicativos executados sobre arquiteturas de redes sem fio, interoperabilidade tem sido a palavra-chave para a garantia de uma boa experiência de usuário. Desde chamadas de voz até conferências em tempo real, a continuidade do serviço diante da mudança de área de cobertura de uma tecnologia é garantida por mecanismos de gerência de mobilidade. Com o crescimento das arquiteturas heterogêneas, o handover vertical é o processo chave dentro das pesquisas relacionadas à área. Os desafios relacionados consistem em adaptar esquemas de handover já conhecidos na literatura ou na criação de novas técnicas. Neste trabalho, é apresentada uma estratégia de tentativas de handover para o esquema proposto em [Lee and Cho 2011]. O referido esquema foi projetado para lidar com handovers verticais em grupo com base em uma probabilidade de bloqueio máxima estabelecida. Os resultados mostram que a estratégia proposta reduz a latência total de handover do esquema de referência enquanto mantém uma probabilidade equivalente de bloqueio de handover.*

1. Introdução

Handover (ou *handoff*) é um processo de transferência de uma estação móvel (*Mobile Station* - MS) de um canal para outro atribuído a uma estação-base (*Base Station* - BS) alvo [Zekri et al. 2012]. Na maioria das tecnologias sem fio, esse processo ocorre quando a potência recebida pela MS decai abaixo de um limiar ou quando a MS se distancia excessivamente da sua BS atual. Dependendo da implementação, o *handover* pode ser iniciado pela própria MS ou pela rede onde se encontra. O principal objetivo do *handover* é manter a continuidade do serviço ao mesmo tempo que efetua mudanças de rede de maneira

transparente para o usuário. Recentemente, o conceito de *handover* não tem sido mais apenas ligado à continuidade de uma chamada telefônica, mas também à continuidade de sessões de *streaming*, à manutenção de QoS e do acesso à Internet.

Essa extensão do conceito de *handover* ocorre devido à popularização dos *tablets* e *smartphones*, os quais têm permitido a experiência coletiva de usuários que compartilham uma mesma área de cobertura. Recentemente, o cenário de mobilidade em variadas velocidades com aplicativos em uso tem sido cada vez mais comum. Assim, cenários como trens e ônibus com pessoas utilizando os seus dispositivos levam à reflexão quanto ao problema do *handover* em grupo (*Group Handover* - GHO) [Jeong et al. 2012]. O GHO se faz necessário quando várias MSs entram em uma mesma nova área de cobertura simultaneamente, sem necessariamente estarem cientes das demais. A escolha de uma BS-alvo em um esquema de GHO precisa garantir o balanceamento de carga e pode considerar adicionalmente outros critérios, como economia de energia, classes de serviço, entre outros [Lee and Cho 2011].

A chegada dos *tablets* e *smartphones* ao mercado também trouxe ao usuário o suporte a diversas tecnologias sem fio como 3G, WiMax, Wi-Fi e LTE em um mesmo aparelho. Isso permite extrapolar o conceito de transferência de um canal para outro em uma mesma tecnologia para a transferência entre tecnologias diferentes. Nesse novo cenário, a necessidade de se manter a sessão do usuário permanece, encorajando novas pesquisas na área de *handover* vertical (*Vertical Handover* - VHO)[Shen and Zeng 2008] [Stevens-Navarro et al. 2008] [Lee et al. 2009] [Taniuchi et al. 2009] [Cicconetti et al. 2010] [Andersson et al. 2010] [Kim and Kim 2011] [Zekri et al. 2012]. Quando se alia a esse contexto um cenário de múltiplos usuários em uma mesma área de cobertura, define-se o problema de *handover* vertical em grupo (*Group Vertical Handover* - GVHO) [Cai and Liu 2008]. Em geral, o processo de *handover* se divide em três etapas: descoberta, decisão e execução [Zekri et al. 2012]. O presente artigo está particularmente interessado no processo de decisão, pois ele exerce maior influência sobre o desempenho do GVHO. Diversas soluções tem sido propostas nesse âmbito, entre as quais, as baseadas em entidades centralizadoras [Niyato and Hossain 2009], algoritmos distribuídos [Lei et al. 2010], atrasos aleatórios [Cai and Liu 2008], aprendizado por reforço [Niyato and Hossain 2009], teoria de jogos [Cai and Liu 2008] e problemas de otimização [Lee and Cho 2011].

Dentre os trabalhos previamente citados, em [Lee and Cho 2011], o objetivo é o de modelar a decisão de GVHO como um problema de otimização por meio da minimização da equação da latência sob a condição de se manter a probabilidade de bloqueio igual ou abaixo de um limiar. A probabilidade de bloqueio neste contexto é a probabilidade com que uma MS tem a sua requisição de *handover* rejeitada pela BS-alvo. Entretanto, apesar do referido esquema utilizar uma abordagem adequada, ele prevê uma estratégia de tentativas de *handover* bastante rudimentar, que não permite maiores variações na ocupação de *slots* de tempo por parte das MSs que precisam tentar o *handover* mais de uma vez. Adicionalmente, a estratégia de tentativas de *handover* adotada no referido trabalho faz com que a latência cresça de forma cada vez mais acentuada à medida que se fazem necessárias mais tentativas. Dessa forma, a estratégia de tentativas de *handover* usada em [Lee and Cho 2011] não tira proveito do potencial do próprio esquema.

Este artigo propõe uma estratégia de tentativas de *handover* baseada em *backoff exponencial* para reduzir a latência média em relação aos resultados obtidos em [Lee and Cho 2011]. Adicionalmente, a estratégia proposta permite suavizar a curva de crescimento da latência com o número de MSs, conseguindo ainda manter o critério de limitação da probabilidade de bloqueio. Assim, é possível melhorar os resultados, alocando as tentativas de *handover* de forma otimizada e explorando as informações providas pelo referido esquema.

Este artigo está organizado como segue. A Seção 2 apresenta os conceitos relacionados ao *handover* vertical em grupo. Os trabalhos relacionados são apresentados na Seção 3. A Seção 4 mostra o esquema de referência descrito em [Lee and Cho 2011], bem como uma análise crítica. A estratégia proposta e os resultados da avaliação de desempenho comparando as implementações são apresentados na Seção 5. Finalmente, a Seção 6 apresenta as conclusões do artigo.

2. *Handover* Vertical em Grupo (Group Vertical Handover - GVHO)

A evolução tecnológica e o barateamento dos *gadgets* recentemente têm sido uma das forças motrizes para a pesquisa em gerência de mobilidade. O cenário de dezenas de pessoas manuseando dispositivos capazes de se conectar a diferentes tecnologias em um mesmo espaço público cria um novo desafio para a manutenção de conexões. As tecnologias sem fio precisam agora considerar dois novos aspectos: o alto número de usuários entrando em uma mesma área de cobertura e a variedade de tecnologias disponíveis. O primeiro aspecto é a principal preocupação das pesquisas de GHO [Jeong et al. 2012]. No segundo aspecto, a continuidade de serviço e a manutenção de contexto são obtidas por meio do VHO [Zekri et al. 2012]. A forma de se tratar as decisões coletivas, levando em consideração as diferentes tecnologias disponíveis, constitui objeto de estudo do GVHO [Lee et al. 2009].

A Figura 1 ilustra um cenário onde dispositivos móveis de diferentes plataformas se aproximam de uma mesma rede com uma tecnologia diferente da atual enquanto se movem simultaneamente. Os critérios utilizados para realização de mudança de área podem ser os mais diversos, como a largura de banda disponível nas redes candidatas, Qualidade de Serviço esperada, consumo de bateria, entre outros. O tipo de tráfego (voz ou dados) utilizado no momento é um fator determinante na adoção desses critérios.

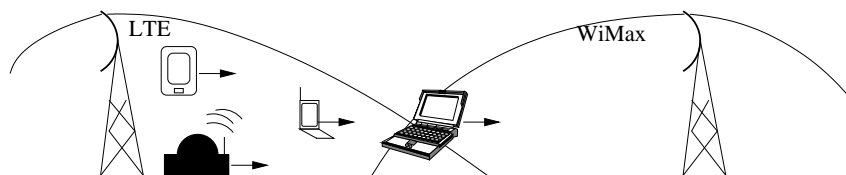


Figura 1. Um cenário de GVHO.

Quando não são consideradas as consequências advindas da escolha de uma tecnologia em favor de outra ou quando se restringe a decisão de *handover* à preferência individual, os resultados podem ser desastrosos do ponto de vista de desempenho. Decisões equivocadas podem levar várias estações móveis a optar pela mesma rede ou uma rede que não seja adequada às suas necessidades, causando uma alocação ineficiente de recursos,

além de prejudicar o desempenho dos demais usuários. Assim, é atualmente uma necessidade crítica a proposta de algoritmos eficientes e eficazes para gerenciamento de conexão, decisões de *handover* e alocação ótima de recursos [Lee et al. 2009]. Essas propostas podem envolver as três etapas do *handover* enumeradas a seguir [Zekri et al. 2012]:

- *Descoberta* - Momento em que se faz a descoberta de serviços e a coleta de informações do estado da rede. Nessa etapa também se utiliza um critério específico para se detectar a necessidade de *handover*, como potência, taxa de transmissão, carga sobre uma BS, nível de bateria, entre outros. O padrão IEEE 802.21 [Taniuchi et al. 2009], o qual descreve o *handover* independente de mídia (*Media Independent Handover* - MIH), determina os principais requisitos nessa etapa de descoberta. Os detalhes das demais etapas devem ser providos pelos grupos de interesse que adotarem o padrão;
- *Decisão* - Durante o processo de decisão, as redes disponíveis são avaliadas com base nos dados coletados na etapa anterior. Esta é a etapa de maior interesse deste artigo, uma vez que a escolha por uma técnica de decisão que utilize os dados coletados de forma ótima e a estratégia adotada para verificação da necessidade de adiamento do *handover* têm consequências diretas no desempenho de toda a operação;
- *Execução* - Nessa etapa, mensagens de controle são trocadas entre MS, BS-alvo e BS atual para realizar a mudança de canal. A execução deve causar o mínimo de interrupção possível na comunicação, de modo a parecer imperceptível ao usuário. Essa etapa é fortemente dependente das tecnologias envolvidas.

As principais abordagens de decisão de *handover* adotadas nas pesquisas de GVHO envolvem:

- *Uso de uma entidade centralizadora* [Niyato and Hossain 2009] - A gerência do GVHO é responsabilidade de uma *relay station*, retirando a complexidade das estações móveis, além de diminuir o grau de incerteza e garantir um desempenho melhor que a abordagem descentralizada. Um ponto negativo é a pouca tolerância a falhas;
- *Algoritmos distribuídos* [Lei et al. 2010] - Utiliza técnicas conhecidas de paralelismo e sincronização. São geralmente de fácil compreensão, porém limitados quanto à adaptabilidade a novos cenários;
- *Atrasos aleatórios* [Cai and Liu 2008] - Estações móveis optam por tentar o *handover* após um intervalo de tempo aleatório, evitando que tentativas simultâneas de *handover* ocorram. Trata-se de um subtipo de algoritmo distribuído muito empregado nas pesquisas da área;
- *Aprendizado por reforço* [Niyato and Hossain 2009] - O emprego de técnicas de Inteligência Artificial (IA) permite que as estações móveis aprendam mais sobre a rede à medida que realizam tentativas de *handover*. Esta abordagem não requer interação com outros usuários, porém pode gerar problemas de desempenho;
- *Teoria de jogos* [Cai and Liu 2008] [Niyato and Hossain 2009] - Mapeia os cenários de *handover* em jogos cooperativos ou não-cooperativos, onde as estações móveis são jogadores interessados em obter o seu *payoff*. Este pode ser uma maior largura de banda, um gasto menor de energia ou maior segurança. O equilíbrio de Nash é a situação desejada, onde todas as estações móveis não

possuem mais estratégias para obter um melhor *payoff*, garantindo o equilíbrio. A principal vantagem é o mapeamento quase perfeito de um cenário de GVHO em modelos competitivos da Teoria de Jogos. Por outro lado, nem sempre é possível a consideração de parâmetros adicionais no modelo;

- *Derivação de problemas de otimização* [Lee and Cho 2011] - A decisão é modelada com equações matemáticas acompanhadas de uma condição pré-determinada. A partir daí, o problema é solucionado para encontrar o valor ideal para as variáveis dessas equações. Requerendo uma modelagem mais complexa, a derivação para problemas de otimização é mais flexível que a abordagem de Teoria de Jogos.

Em qualquer abordagem para decisão de GVHO, a MS ou sua BS atual podem determinar se é possível requisitar o *handover* em um dado instante ou se essa requisição deve ser adiada para evitar o bloqueio de *handover* dada as condições da rede. Essa determinação é a estratégia de tentativas de *handover*, a qual tem influência direta no desempenho total do esquema adotado. Assim, para se obter melhores resultados, a estratégia de tentativas deve se utilizar das informações providas pelo próprio esquema e pela rede-alvo.

3. Trabalhos Relacionados

Em [Shan et al. 2008] é proposto o uso de uma *relay station* como entidade centralizadora que coordena o GVHO de usuários dentro de um trem levando em conta a localização e a direção na qual as MSs seguem. São avaliadas a probabilidade de bloqueio e a de interrupção do *handover* em função do número de chamadas por minuto. Os resultados são comparados a um esquema sem a inteligência na *relay station* e o trabalho conclui que há uma redução significativa nas probabilidades de bloqueio e de interrupção de *handover* com a adoção do esquema. A estratégia de tentativas é totalmente coordenada pela *relay station*. Nesse caso, fica clara a necessidade de uma entidade centralizadora e de condições especiais para que a mesma opere, o que limita os cenários de aplicação desse esquema.

Em [Cai and Liu 2008] são propostos três algoritmos descentralizados de GVHO: o primeiro é baseado em equilíbrio de Nash, onde a lógica de tentativas reside na estratégia de cada jogador; o segundo se baseia em atrasos aleatórios com variação em um intervalo constante ao se fazer requisições de *handover*, tendo nesse caso uma estratégia de tentativas mais simples; o terceiro é uma versão modificada do anterior considerando a latência do *handover* como base do cálculo, o que torna a estratégia de tentativas mais refinada. As avaliações de desempenho mostram resultados semelhantes entre as abordagens em relação à latência. Apesar da contribuição apresentada nos resultados, não foi levado em consideração que implicações o esquema teria em relação à probabilidade de bloqueio, não sendo possível garantir um limiar tolerável.

Em [Niyato and Hossain 2009], um modelo baseado em jogos evolucionários é proposto. São consideradas duas abordagens: a primeira com o uso de uma entidade central para fornecer informações de vizinhança, sendo essa entidade quem controla a estratégia de tentativas; a segunda é uma abordagem descentralizada que utiliza aprendizado por reforço, permitindo que as MSs infiram o estado da rede para escolha de BSs. Na segunda abordagem, a estratégia de tentativas de *handover* é gerenciada pela

experiência adquirida pela própria MS. A porcentagem de MSs que escolhem a mesma BS foi a métrica escolhida. Conclui-se que cada abordagem possui vantagens dependendo do cenário onde é empregada. Apesar da contribuição com a avaliação do balanceamento de carga, a implicação na latência como consequência da escolha entre uma das abordagens propostas não é apresentada.

Em [Lei et al. 2010], três esquemas para resolver o problema de GVHO são comparados: o primeiro procura dividir as requisições simultâneas por meio de atrasos aleatórios, tendo assim uma estratégia de tentativas bastante simples; no segundo esquema, as MSs selecionam as BSs de acordo com uma probabilidade pré-definida, sendo a estratégia de tentativas baseada nesta probabilidade; no terceiro, a rede coleta informações do estado da rede e gerencia o *handover*, sendo a mesma a responsável pela estratégia de tentativas. As métricas avaliadas foram a latência, a taxa de perda de pacotes e a taxa de rejeição. Os resultados mostraram que a terceira abordagem obteve os melhores resultados na maioria dos cenários avaliados. Entretanto, observa-se que essa solução mais eficiente depende da implementação em uma infraestrutura da tecnologia de rede de acesso.

Em [Lee and Cho 2011], o foco é a proposta de um esquema de GVHO baseado na solução de um problema de otimização com o objetivo de minimizar a latência limitando a probabilidade de bloqueio de *handover*. Além da avaliação da latência, o destaque do referido trabalho é a proposta de uma solução que não requer a presença de uma *relay station* para coordenar o GVHO. A solução também provê balanceamento de carga e prevê a convivência com dispositivos que não suportem o esquema. Contudo, a estratégia de tentativas de *handover* adotada é bastante rudimentar, baseada em atraso constante, o que prejudica o desempenho quando se aumenta o número de MSs envolvidas. Os detalhes são apresentados na Seção 4.

O diferencial do presente artigo consiste em apresentar uma estratégia de tentativas de *handover* para redução da latência da abordagem descrita em [Lee and Cho 2011], usada como referência. Ao mesmo tempo, objetiva-se manter baixos valores mesmo com o aumento do número de MSs. Neste artigo, é apresentado como a abordagem de atrasos aleatórios baseada em *backoff exponencial* pode ser usada em conjunto com a abordagem de derivação do problema de otimização, melhorando o desempenho e mantendo as condições de probabilidade de bloqueio dentro de um limiar pré-determinado.

4. Esquema de GVHO de Referência

Esta seção descreve o esquema de GVHO tomado como referência neste artigo e faz uma avaliação crítica de seu desempenho.

4.1. Descrição do Esquema

O principal objetivo do esquema de GVHO proposto em [Lee and Cho 2011] consiste em evitar que as MSs em uma mesma área sofram bloqueio de requisições de *handover*, ou seja, que essas requisições sejam recusadas pela BS-alvo. Com essa premissa, os usuários realizam inferências para avaliar se devem requisitar o *handover* imediatamente ou se devem tentar posteriormente dependendo da probabilidade de bloqueio calculada. Esta decisão influencia na quantidade de tentativas de *handover*, aumentando ou reduzindo a latência. Assim, é estabelecido o seguinte problema de otimização para a latência total,

representada por L :

Minimizar L

Sujeito a $P_{HoBlock}(t) \leq P_{HoBlockThreshold}$,

onde $P_{HoBlock}(t)$ é a probabilidade de bloqueio calculada em um dado instante t e $P_{HoBlockThreshold}$ é o seu valor máximo tolerável. A latência é calculada de acordo com a seguinte equação:

$$L = N_{HO} \cdot \Delta t, \quad (1)$$

onde N_{HO} é o número de tentativas até que o usuário decida requisitar o *handover* e Δt é o tempo entre tentativas. No caso da MS decidir requisitar o *handover* na primeira tentativa, a latência total seria Δt , pois no referido trabalho é considerado que o tempo de execução de *handover* é equivalente ao valor de Δt .

A Equação (2) apresenta o cálculo de $P_{HoBlock}(t)$. Essa probabilidade está relacionada à quantidade de BSs, a largura de banda disponível em cada uma e o número de MSs que requisitam o *handover* simultaneamente. Considera-se que as informações sobre o estado das BSs podem ser obtidas por meio de um protocolo que implemente o padrão IEEE 802.21.

$$P_{HoBlock}(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{i=C_k(t)}^{M-1} \frac{(i+1 - C_k(t)) \cdot (M-1)!}{(i+1)! \cdot (M-1-i)!} \times ((P_{sel}^k)^{i+1} \cdot (1 - P_{sel}^k)^{M-1-i}), \quad (2)$$

onde:

- M : é o número de MSs interessadas;
- K : é o número de BSs envolvidas e com áreas de coberturas sobrepostas;
- $C_k(t)$: a largura de banda disponível na BS _{k} no instante t , considerado no modelo um valor inteiro; cada MS requer uma unidade (1) para realizar o *handover*;
- P_{sel}^k : é a probabilidade de se selecionar a BS _{k} .

Utilizando a Equação (2), aplica-se a condição de KKT (Karush-Kuhn-Tucker), utilizada em problemas de otimização para determinar o valor de P_{sel}^k . Contudo, o valor de P_{sel}^k pode ser obtido de forma simplificada, através da Equação (3):

$$P_{sel}^k(t) = C_k(t) / \sum_{k=1}^K C_k(t). \quad (3)$$

Uma vez estabelecidos esses valores, pode-se encontrar um valor máximo para M no tempo t que garanta a condição do problema de otimização. Esse valor, denominado $M_{ótimo}(t)$, é obtido incrementando-se o seu valor em uma unidade a partir de 1, observando se o $P_{HoBlock}(t)$ permanece menor ou igual a $P_{HoBlockThreshold}$. Baseado no $M_{ótimo}(t)$, uma MS pode isoladamente decidir enviar a requisição com probabilidade $P_{HO}(t)$, dada por:

$$P_{HO}(t) = M_{ótimo}(t) / M. \quad (4)$$

Caso opte por não requisitar o *handover*, uma nova tentativa pode ser realizada após um intervalo de tempo. Assim, a MS requer um número de tentativas necessário para garantir que, quando enviar a requisição, só

terá seu *handover* bloqueado com uma probabilidade igual ou inferior a $P_{HoBlockThreshold}$. O Algoritmo (1) resume o funcionamento do esquema de referência:

Algoritmo 1: Esquema de referência de GVHO.

```

latencia = 0;
c_tentativas = 1;
Mtotal = número de nós participando do GVHO;
Mrestante = Mtotal;
while Mrestante ≤ 0 do
    escolher Mótimo em função de PHOBlock(Equação(2));
    calcular PHO de acordo com a Equação(4);
    if decisao(PHO) then
        escolher BSk com probabilidade Pselk (Equação(3));
        NHO = c_tentativas;
        break ;
    else
        latencia += t_tentativas(c_tentativas);
        c_tentativas++;
    end
    Mrestante = Mrestante - Mótimo
end
latencia += LHOexec;

```

onde:

- M_{total} - Número total de MSs envolvidas no GVHO. Essa informação pode ser obtida por meio de comunicação *ad hoc* entre vizinhos ou informações da BS atual, caso suporte envio de informações sobre vizinhança;
- $M_{restante}$ - Contador utilizado para verificação da finalização do algoritmo;
- $decisao()$ - Função que retorna true com probabilidade $P_{HO}(t)$;
- L_{HOexec} - Tempo de execução do *handover*, o que equivale a Δt ;
- $t_{tentativas}()$ - Função de tempo entre tentativas. Depende do número de tentativas já realizadas. No esquema de referência, o valor é sempre igual a Δt ;
- $c_{tentativas}$ - Contador de tentativas realizadas. Quando se decide requisitar o *handover* na primeira tentativa, N_{HO} é igual a 1. Nesse caso, a latência total é L_{HOexec} , mantendo-se a fidelidade à Equação (1).

4.2. Avaliação do Esquema

As métricas avaliadas são as mesmas de [Lee and Cho 2011]: latência e probabilidade de bloqueio em função do número de MSs. O número de MSs varia entre 20 e 100, diferentemente de [Lee and Cho 2011] que varia até 65. O valor de Δt é fixado em 0,1s. Os limiares adotados para $P_{HoBlockThreshold}$ permanecem iguais, em 0,02 e 0,05. O número de BSs, assim como em [Lee and Cho 2011] é 3. Considera-se dois cenários:

- **Cenário 1** - todas as BSs possuem a mesma capacidade de 18 unidades de largura de banda;
- **Cenário 2** - as BSs possuem as capacidades de 5, 13 e 18 unidades, respectivamente.

Em [Lee and Cho 2011], a possibilidade de se trabalhar com diferentes disponibilidades de largura de banda por parte das BSs é usada como forma de caracterizar a rede como heterogênea. Apesar disso, em [Lee and Cho 2011] o Cenário 2, heterogêneo, é apenas utilizado na validação do simulador. O Cenário 2 também é usado no caso em que é avaliada a interferência de um *handover* individual no GVHO. A análise dessa situação está fora do escopo do presente artigo. Na presente avaliação, o Cenário 2 é incluído na situação do *handover* em grupo.

O esquema de referência é reimplementado em um simulador próprio, onde é possível estudar melhor o seu comportamento. O simulador foi escrito na linguagem C++. Os valores dos gráficos representam a média de 120 execuções calculando intervalo de confiança com nível de 99%. Nos gráficos, os intervalos de confiança aparecem imperceptíveis.

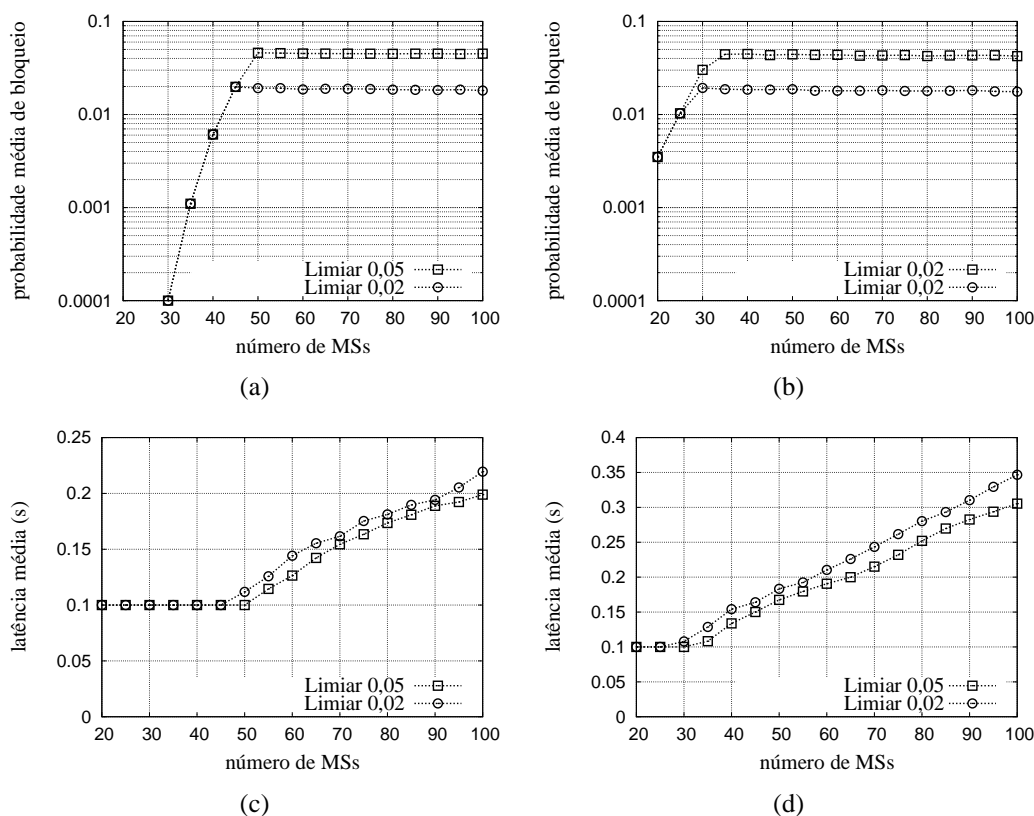


Figura 2. Avaliação do esquema de GVHO de referência em função do número de MSs: (a) Probabilidade de bloqueio no Cenário 1 (b) Probabilidade de bloqueio no Cenário 2 (c) Latência no Cenário 1 (d) Latência no Cenário 2.

A Figura 2(a) apresenta os resultados para a probabilidade de bloqueio no Cenário 1. A probabilidade de bloqueio aumenta até 45 MSs para o limiar de $0,02$ e 50 MSs, para o limiar de $0,05$. A partir desses valores, o gráfico se estabiliza. Isso ocorre porque a probabilidade se aproxima dos limiares e é mantida com valor igual ou inferior a $P_{HoBlockThreshold}$ devido à condição do problema de otimização.

A Figura 2(b) apresenta os resultados para a probabilidade de bloqueio no Cenário 2. Aqui a curva da probabilidade de bloqueio se estabiliza mais antecipadamente,

a partir de 30 MSs para o limiar de $0,02$ e 35 MSs, para o limiar de $0,05$. Esta antecipação se deve à quantidade de largura de banda total disponível, a qual é menor do que no Cenário 1. Com menos largura de banda, a probabilidade de bloqueio aumenta de forma mais acentuada, porém não deixa de se estabilizar, respeitando a condição estabelecida pelo problema de otimização.

A Figura 2(c) apresenta os resultados para a latência média no Cenário 1. Observa-se que para o limiar $0,02$, a latência começa a crescer a partir de 45 MSs, permanecendo maior do que no caso do limiar $0,05$, onde a latência cresce a partir de 50 MSs. Isso se deve ao fato de haver um número maior de tentativas de *handover* quando se estabelece um limiar mais baixo. Isso significa que as MSs, no caso do limiar $0,02$, tendem a esperar mais antes da requisição de *handover*, uma vez que o critério de probabilidade de bloqueio é mais rigoroso. Assim, observa-se que quanto menor o limiar, maior será o número de tentativas e, por conseguinte, maior será a latência média.

A Figura 2(d) apresenta os resultados para a latência média no Cenário 2. Da mesma forma que no Cenário 1, a curva do limiar $0,02$ apresenta maiores valores na latência. Nesse caso, ela começa a aumentar a partir de 25 MSs para o limiar de $0,02$ e 30 MSs para o limiar de $0,05$. Nesse cenário, onde a largura de banda disponível é menor, observa-se um crescimento acentuado da latência à medida que se aumenta o número de MSs. O aumento em si é esperado, uma vez que está associado à disputa cada vez maior por recursos. Porém, a inclinação da curva chama a atenção, mostrando que a latência dobra em torno de 60 MSs no caso do limiar $0,02$. Nessa mesma curva, em 100 MSs, tem-se uma latência de 350 ms, onde menos de um terço desse tempo é causado pela execução do *handover*. O tempo gasto em decisão é, em média, de 250 ms.

A função $t_tentativas()$, referenciada no Algoritmo (1), caracteriza a estratégia de tentativas de *handover* adotada. Em [Lee and Cho 2011], ela é constante e seu valor é igual à latência de execução L_{HOexec} . Percebe-se que o crescimento da latência possui uma relação direta com o número de tentativas, fazendo com que a latência sempre cresça em um fator constante. Conclui-se que esta função não está tirando proveito das informações providas pelo próprio esquema, perdendo a oportunidade de se obter uma latência menor mantendo a condição estabelecida no problema de otimização. Assim, observa-se uma oportunidade de se melhorar a estratégia de tentativas de *handover* de modo a otimizar o desempenho, fazendo com que o crescimento da latência em função do número de MSs seja menos acentuado.

5. Estratégia de Tentativas de *Handover* para Melhoria do Desempenho

Nesta seção, é descrita uma estratégia de tentativas de *handover* para reduzir a latência no esquema de GVHO de referência e uma comparação dos resultados é apresentada.

5.1. Estratégia de Tentativas de *Handover* Proposta

Para se ter uma melhor estratégia de tentativas de *handover*, é necessário propor uma forma mais adequada de se calcular o tempo entre tentativas, representado pela função $t_tentativas()$ do Algoritmo(1). Assim, o algoritmo de *backoff exponencial* [Kwak et al. 2005] pode ser empregado na estimativa desse tempo. Assim, o tempo entre tentativas é calculado em função do contador $c_tentativas$ e de um valor de

referência para *slot* de tempo. A Equação (5) descreve a proposta para esta nova função:

$$t_tentativas(c_tentativas) = \begin{cases} \text{random}[0..2^{c_tentativas} - 1] \cdot \text{slotTempo}, & \text{se } c_tentativas \leq \text{FatorLimBack} \\ \text{random}[0..2^{\text{FatorLimBack}} - 1] \cdot \text{slotTempo}, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (5)$$

onde *FatorLimBack* é um fator de limite de *backoff*, e *slotTempo* é o *slot* de tempo de referência, cuja duração é dependente da tecnologia da BS para a qual a MS pretende migrar. Esse valor pode ser obtido por meio da descoberta da tecnologia da BS, informação que pode ser recebida via MIH do padrão IEEE 802.21. A função *random* define a escolha aleatória em um intervalo seguindo a distribuição uniforme.

A latência depende diretamente do número de tentativas realizadas que, por sua vez, depende do retorno de `decisao()`. Quando se usa o *backoff* exponencial em `t_tentativas()`, é dada uma oportunidade à MS de realizar uma nova tentativa em um tempo menor que Δt , inclusive de realizar a nova tentativa imediatamente. Quando uma MS escolhe não requisitar o *handover*, outras MSs podem realizá-lo, diminuindo a concorrência e aumentando a probabilidade de sucesso da MS que deixou de fazer a requisição antes, mas que a fará em uma próxima tentativa. Assim, a técnica de atrasos aleatórios pode ser associada à abordagem de derivação de problema de otimização de [Lee and Cho 2011], tirando maior proveito de seus recursos e reduzindo a latência.

5.2. Avaliação de Desempenho e Comparação das Estratégias

A estratégia de tentativas de *handover* proposta foi implementada no mesmo simulador utilizado na avaliação do esquema de referência. Os parâmetros de simulação são os mesmos utilizados na Seção 4.2. Os parâmetro *FatorLimBack* é fixado em 10. Este valor foi escolhido por meio de observações preliminares. O parâmetro *slotTempo* é fixado em $9 \cdot 10^{-6}$ s. Este valor é equivalente ao tempo SIFS do padrão IEEE 802.11, o qual é usado para definir intervalos entre mensagens da camada enlace. Nesta simulação considera-se que as MSs estão prestes a entrar em uma área de cobertura seguindo o padrão IEEE 802.11.

A Figura 3(a) apresenta os resultados de probabilidade de bloqueio para o Cenário 1. Observa-se que os resultados são semelhantes entre o esquema de referência e a estratégia proposta, uma vez que esta mantém a condição de otimização.

A equivalência entre os resultados também é observada na Figura 3(b), a qual apresenta a probabilidade de bloqueio no Cenário 2. Igualmente ao esquema de referência, a estabilização da curva ocorre mais antecipadamente, uma vez que a largura de banda total disponível é menor que no Cenário 1. Mais uma vez observa-se que, em ambos os casos, a condição de otimização é respeitada.

A Figura 3(c) apresenta os resultados de latência para o Cenário 1, onde o impacto da estratégia de tentativas de *handover* pode ser observado. A curva de crescimento torna-se mais suave com a adoção da estratégia. No limiar 0,05 observa-se uma redução de 20% no caso de 65 MSs e uma redução de 28% para 100 MSs. No caso do limiar 0,02, as curvas apresentam latência maior, tanto no esquema de referência quanto na estratégia proposta. Isso ocorre porque, dada a imposição de um limiar menor, mais tentativas são necessárias para que as MSs finalizem o *handover*, aumentando a latência média. A redução obtida

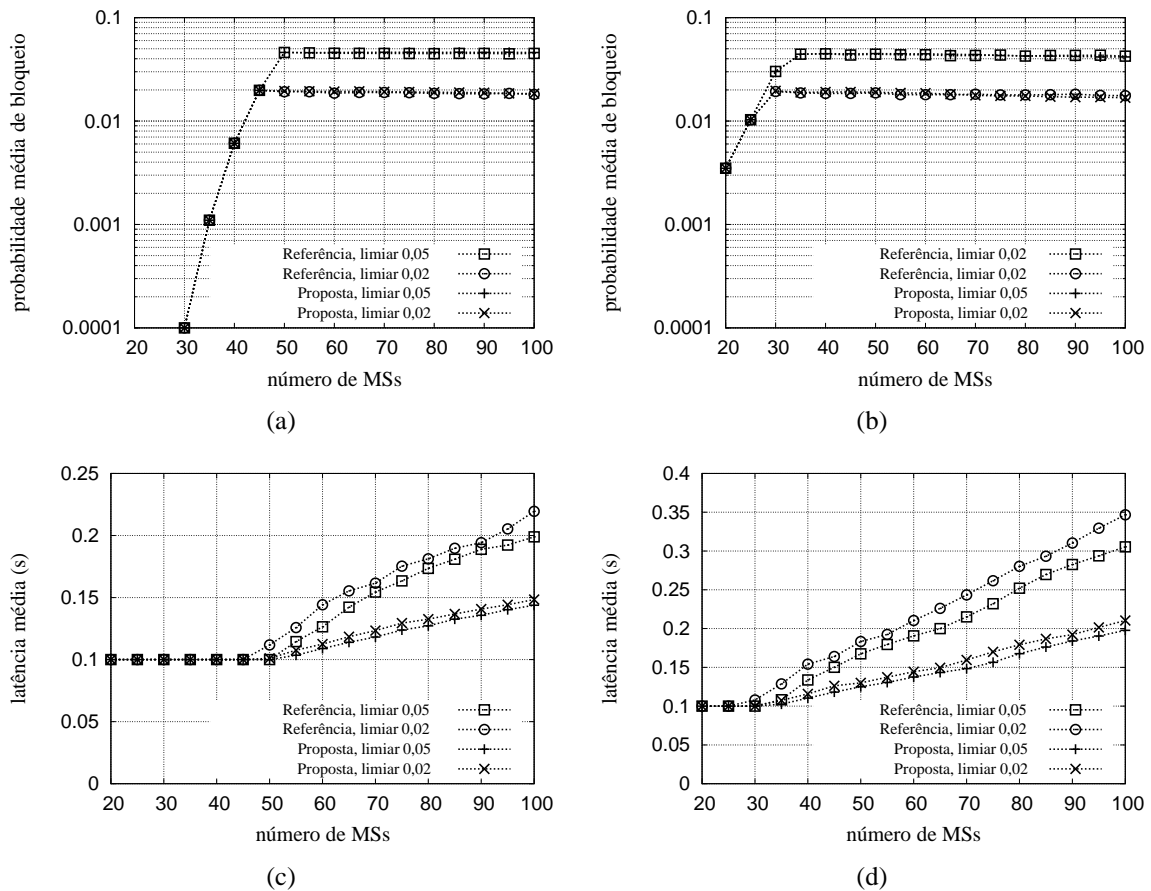


Figura 3. Avaliação do esquema de referência e da adição da estratégia de tentativas de *handover* proposta em função do número de MSs: (a) Probabilidade de bloqueio no Cenário 1 (b) Probabilidade de bloqueio no Cenário 2 (c) Latência no Cenário 1 (d) Latência no Cenário 2.

com a estratégia neste caso foi de 24% para 65 MSs e 33% para 100 MSs. Essa queda da latência se deve à estratégia de tentativas de *handover* proposta, a qual não limita o tempo de espera para um valor igual a latência de execução. A randomização também garantiu que não houvesse necessidade de se realizar mais tentativas de requisição, uma vez que se conseguiu distribuir as MSs em *slots* de tempo separados.

Os resultados da latência para o Cenário 2 são mostrados na Figura 3(d). A redução na largura de banda total disponível se reflete no aumento da latência para ambas as abordagens e a diferença entre os limiares de 0,05 para 0,02 também influencia na obtenção de uma latência maior, assim como ocorre na Figura 3(c). Mais uma vez, a estratégia de tentativas de *handover* proposta causou um efeito de suavizar a curva da latência, trazendo com o limiar 0,05 uma diminuição de 29% para 65 MSs e de 36% no caso de 100 MSs. Com o limiar 0,02 ocorre uma diminuição de 24% para 65 MSs e de 40% no caso de 100 MSs.

6. Conclusões

Este trabalho propôs uma estratégia de tentativas de *handover* sobre um esquema de *handover* vertical em grupo tomado como referência com o objetivo de reduzir a latência

total de *handover* e suavizar o seu perfil de crescimento diante do aumento do número de estações móveis. Observou-se que a utilização de um esquema de *backoff* exponencial contribuiu para a melhor distribuição de estações móveis em *slots* de tempo. Foi possível obter reduções de até 40% dentro dos cenários estudados.

A necessidade de se propor e aperfeiçoar novos esquemas de *handover* adaptáveis aos cenários de transferência de grupos para diferentes tecnologias é imediata, uma vez que a popularização cada vez maior dos *tablets* e *smartphones* tem trazido requisitos de qualidade de serviço, segurança e manutenção de contexto antes não demandadas pelos clássicos sistemas celulares.

Os resultados do presente trabalho encorajam a avaliar mais cenários, como por exemplo utilizar um maior número de BSs, simulações com tráfego de dados, mudança de parâmetros, diferentes infraestruturas, além de novas métricas de avaliação. Outros esquemas podem ser adaptados para utilizar a estratégia proposta e ter seus resultados analisados. Adicionalmente, os mecanismos de MIH podem ser integrados à implementação a fim de se incluir o processo de obtenção de dados da rede na avaliação de desempenho.

7. Agradecimentos

Aos autores de [Lee and Cho 2011] pelas informações complementares sobre a implementação do esquema de GVHO de referência, além de validarem sua reimplementação.

Referências

- Andersson, K., Forte, A., and Schulzrinne, H. (2010). Enhanced Mobility Support for Roaming Users: Extending the IEEE 802.21 Information Service. In *Proc. of the 8th International Conference on Wired/Wireless Internet Communications*, pages 52–63, Berlin.
- Cai, X. and Liu, F. (2008). Network Selection for Group Handover in Multi-access Networks. In *Proc. of the IEEE International Conference on Communications*, pages 2164–2168, Beijing.
- Ciconetti, C., Galeassi, F., and Mambrini, R. (2010). Network-assisted Handover for Heterogeneous Wireless Networks. In *Proc. of the IEEE GLOBECOM Workshops*, pages 1–5, Miami.
- Jeong, H., Choi, J., Kang, H., and Youn, H. (2012). An Efficient Group-Based Channel Scanning Scheme for Handover with IEEE 802.16e. In *Proc. of the 26th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, pages 639–644, Fukuoka.
- Kim, I. and Kim, Y. (2011). Performance Evaluation and Improvement of TCP Throughput over PFIPv6 with MIH. In *Proc. of the 12th IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management*, pages 997–1004, Dublin.
- Kwak, B., Song, N., and Miller, L. (2005). Performance Analysis of Exponential Backoff. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 13(2):343–355.
- Lee, S., Sriram, K., Kim, K., Kim, Y., and Golmie, N. (2009). Vertical Handoff Decision Algorithms for Providing Optimized Performance in Heterogeneous Wireless Networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 58(2):865–881.

- Lee, W. and Cho, D. (2011). Enhanced Group Handover Scheme in Multi-Access Networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 60(5):2389–2395.
- Lei, S., Hui, T., and Zheng, H. (2010). Group Vertical Handover in Heterogeneous Radio Access Networks. In *Proc. of the 72nd IEEE Vehicular Technology Conference Fall*, pages 1–5, Ottawa.
- Niyato, D. and Hossain, E. (2009). Dynamics of Network Selection in Heterogeneous Wireless Networks: an Evolutionary Game Approach. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 58(4):2008–2017.
- Shan, L., Liu, F., Wang, L., and Ji, Y. (2008). Predictive Group Handover Scheme with Channel Borrowing for Mobile Relay Systems. In *Proc. of the International Wireless Communications and Mobile Computing Conference*, pages 153–158, Crete Island.
- Shen, W. and Zeng, Q. (2008). Cost-function-based network selection strategy in integrated wireless and mobile networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 57(6):3778–3788.
- Stevens-Navarro, E., Lin, Y., and Wong, V. (2008). An MDP-Based Vertical Handoff Decision Algorithm for Heterogeneous Wireless Networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 57(2):1243–1254.
- Taniuchi, K., Ohba, Y., Fajardo, V., Das, S., Tauil, M., Cheng, Y., Dutta, A., Baker, D., Yajnik, M., and Famolari, D. (2009). IEEE 802.21: Media Independent Handover: Features, Applicability, and Realization. *IEEE Communications Magazine*, 47(1):112–120.
- Zekri, M., Jouaber, B., and Zeghlache, D. (2012). A Review on Mobility Management and Vertical Handover Solutions over Heterogeneous Wireless Networks. *Computer Communications*, 35(17):2055–2068.