

# Reserva Pró-ativa de Recursos Assistida por Perfil para Redes WiMAX

Jaime C. Jr.<sup>1</sup>, Luci Pirmez<sup>1</sup>, Flávia C. Delicato<sup>2</sup>, Aline M. Souza<sup>1</sup>, Paulo F. Pires<sup>2</sup>

<sup>1</sup>NCE/IM – Universidade Federal do Rio de Janeiro - Caixa Postal 2324, Rio de Janeiro, RJ, 20001-970 – Brasil

<sup>2</sup>DIMAp – Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Caixa Postal 1524, Natal, RN, 59.072-970 – Brasil

{luci, amacedo}@nce.ufrj.br;  
{paulo.pires, flavia.delicato}@dimap.ufrn.br; jaimecesarjr@gmail.com

**Abstract.** *This work exploits the behavior profile of the mobile user to maximize the network efficiency while meeting QoS requirements for different classes of users in a scenario that supports the integration of wireless broadband networks such as WiMAX. We propose an algorithm that makes use of the user profile in real time for (i) refining the set of cells foreseen for the next handover, taking into account the class of user as well as both the service and the network contexts, and (ii) making a proactive resource reservation for the cell chosen for the next handover.*

**Resumo.** *Esse trabalho explora o perfil do comportamento do usuário em movimento para maximizar a eficiência da rede e prover melhor QoS para diferentes classes de usuários em um cenário que permite a integração de redes como a WiMAX. É proposto um algoritmo que faz uso do perfil do usuário em tempo real para (i) refinar o conjunto de células previstas para o próximo handover, levando em conta o tipo de usuário, o contexto do serviço e o da rede, e (ii) fazer uma reserva pró-ativa de recurso para a célula escolhida para o próximo handover.*

## 1. Introdução

O avanço recente das tecnologias de redes sem fio fez surgir um cenário no qual usuários acessam a *Internet* a partir de dispositivos portáteis, a qualquer hora e em qualquer lugar, tornando a computação ubíqua uma realidade. Tais usuários fazem uso da rede para executar serviços que demandam altos requisitos de largura banda e de qualidade (QoS). Para atender a esses usuários, as redes sem fio devem prover suporte a várias classes de serviços. Os serviços demandados podem depender de informações de contexto como localização e preferências do usuário, características do dispositivo, e políticas de segurança.

Apesar do sucesso das redes sem fio baseadas nas tecnologias da família IEEE 802.11 (também conhecida como WiFi) [IEEE Std 802.11 1999], estas sofrem de duas principais limitações: cobertura limitada e escalabilidade restrita [CHANG 2005]. Por outro lado, as redes celulares de terceira geração (3G) fornecem grande cobertura,

porém com limitações na largura de banda e com altos custos de infra-estrutura. A introdução da tecnologia WiMAX, baseada no padrão IEEE 802.16 [IEEE Std 802.16 2004], alia flexibilidade, comum nas redes sem fio, com a capacidade de realizar transmissões que atendam os requisitos das atuais aplicações multimídia, tais como maior largura de banda, restrições de atraso e atendimento de um grande número de usuários. Adicionalmente, a especificação 802.16e [IEEE P802.16e/D9 2005] estende o padrão 802.16 [IEEE Std 802.16 2004], incluindo a capacidade de suportar usuários móveis.

Em geral, uma rede metropolitana sem fio é composta por diversas células, isto é, possui diversas estações bases (BSs) conectadas entre si por um *backbone*, fornecendo conectividade para usuários, fixos ou móveis. Um usuário móvel, ao se distanciar de uma BS e ao se aproximar de uma outra BS, termina sua conexão com a BS mais distante e estabelece uma nova conexão com a BS mais próxima. A transição da estação móvel (MS) de uma BS para outra é um processo denominado *handoff* ou *handover*. Idealmente, o processo de *handover* deve (i) ser completamente transparente para os usuários móveis e (ii) garantir que os serviços multimídia não sejam interrompidos durante o processo.

O processo de *handover* pode ser classificado segundo dois aspectos principais. Do ponto de vista da camada onde o mesmo é executado, existem dois tipos de *handover*: ao nível da camada dois e da camada três. O *handover* ao nível da camada 2 ocorre quando o movimento de estações móveis se dá entre estações bases pertencentes a uma mesma sub-rede. Por outro lado, *handover* ao nível da camada 3 ocorre quando uma estação móvel pertencente a uma sub-rede se conecta a uma outra sub-rede, de forma que o endereço IP dessa estação móvel não é mais válido. Conseqüentemente, este tipo de movimento tem que ser controlado por um protocolo específico da camada 3. Já quanto à natureza das redes envolvidas, o processo de *handover* pode ser classificado em horizontal e vertical. No vertical, o *handover* ocorre entre redes heterogêneas, ou seja, redes baseadas em tecnologias sem fio diferentes redes IEEE 802.16, [IEEE Std 802.16 2004] e 802.11 [IEEE Std 802.11 1999]. Já no horizontal, o *handover* ocorre entre redes homogêneas, ou seja, de mesma tecnologia.

Com relação à garantia do fornecimento de QoS em uma rede móvel, um dos grandes desafios tecnológicos é conseguir uma utilização eficiente da rede, provendo serviços com qualidade para seus usuários, principalmente em presença de *handover*. Tais desafios são gerados a partir das próprias limitações do meio sem fio, resultando em flutuações na disponibilidade de recursos. Adicionalmente, com o surgimento de novas aplicações, cada vez mais exigentes em termos de largura de banda, é importante averiguar a influência da mobilidade dos usuários sobre a QoS em uma rede sem fio, frente ao uso da técnica de alocação pró-ativa de canais na célula destino, de forma a garantir níveis de QoS compatíveis com cada aplicação.

O emprego da técnica de alocação pró-ativa de canais só é possível quando o comportamento do usuário móvel em relação à utilização dos serviços durante um determinado trajeto for conhecido. Tal comportamento é definido em um perfil do usuário. Assim, graças ao conhecimento do perfil de comportamento do usuário móvel, é possível acionar de forma pró-ativa o processo de geração de requisições de alocação de canal de uma célula destino, uma vez que um futuro procedimento de *handover*

"conhecido" necessitará que tal processo seja efetuado. Se não houver canal disponível na célula destino para um serviço com um dado conjunto de requisitos, a ligação será terminada, o que caracteriza uma falha no *handover*. A probabilidade de ocorrência dessa falha de *handover* é um dos parâmetros que medem a QoS da rede sem fio.

Nesse trabalho é apresentada uma proposta de um algoritmo de Reserva Pró-ativa de Recurso Assistido por Perfil para solucionar o problema de manter a mesma qualidade de serviço para os usuários móveis quando eles se deslocam entre redes homogêneas, no caso redes WiMAX. Para tal, é aprimorado o algoritmo *Fast handover* da camada 2 do IEEE 802.16 [IEEE Std 802.16 2004], refinando-se o processo de escolha das BS vizinhas candidatas ao *handover* com o auxílio do perfil de comportamento do usuário móvel, isto é, considerando aspectos da trajetória, requisitos da aplicação e de rede. Uma vez efetuada a escolha da BS candidata ao *handover*, são divulgados previamente os fluxos de serviços, para, a partir de uma dada distância da BS candidata ao *handover*, tais fluxos serem de fato alocados, concretizando, portanto, a operação do *Fast handover*.

Assim, esse trabalho explora o perfil do comportamento do usuário em movimento para maximizar a eficiência da rede e prover melhor QoS para diferentes classes de usuários em um cenário que integra redes WiMAX. Em suma, o ponto-chave dessa proposta é que o algoritmo faz uso do perfil do comportamento do usuário em tempo real para (i) refinar o conjunto de células previstas para o próximo *handover*, levando em conta não apenas o tipo de usuário envolvido (**Premium** ou **Normal**) como também o contexto do serviço e o da rede, e (ii) fazer uma reserva pró-ativa de recurso para a célula escolhida, pelo processo de refinamento, para o próximo *handover*.

O trabalho está organizado da seguinte forma: nas Seções 2 e 3 são apresentados, respectivamente, os conceitos relacionados com o processo de *handover* e com a qualidade de serviço do padrão 802.16 [IEEE Std 802.16 2004], necessários para o entendimento do algoritmo proposto. Na Seção 4 são descritos os trabalhos relacionados e apontadas as similaridades e diferenças em relação ao presente trabalho. Na Seção 5, o algoritmo de Reserva Pró-ativa de Recurso Assistida por Perfil e aspectos relacionados a sua implementação são descritos. Na Seção 6 são descritas as simulações realizadas para sua avaliação. Finalmente, a Seção 7 apresenta as conclusões e direções futuras do trabalho.

## 2. Processo de Handover do padrão IEEE 802.16

O padrão IEEE 802.16e (*Mobile WiMAX*) [IEEE P802.16e/D9 2005] descreve três tipos de *handover*: (i) *Handover* (HO), denominado nesse trabalho como *handover* tradicional; (ii) *Macro Diversity Handover* (MDHO); e (iii) *Fast Base Station Switching* (FBSS). Destes, o tradicional (HO) é obrigatório enquanto que o FBSS e o MDHO são opcionais. O *Handover* tradicional consiste das etapas: Re-seleção de células, Decisão e iniciação do *handover*; Sincronização com canal *downlink* da BS Alvo, *Ranging*, Término do Contexto da MS e Cancelamento do *Handover*. Uma descrição de tais etapas se encontra em [IEEE P802.16e/D9 2005]. Durante o processo de *handover* tradicional (HO), a estação móvel não é capaz de transmitir/receber dados e, portanto, esses dados podem chegar ao seu destino atrasados. Dependendo do tipo de aplicação, os pacotes recebidos com atraso são descartados e, conseqüentemente, o processo de

*handover* aumenta a probabilidade de perda de pacotes. O *Handover* tradicional está fora do escopo dessa proposta.

O conjunto de estações bases (BSs) envolvidas em um *handover* do tipo MDHO ou do FBSS com uma MS é denominado de conjunto de vizinhas. Dentre as BSs do conjunto de vizinhas, uma é selecionada para ser a BS âncora. A BS âncora é a BS na qual a MS pretende se registrar ao final de um processo de *handover*. Um caso particular é quando esse conjunto é formado por uma única BS, que nesse caso será a BS âncora.

O processo de tomada de decisão no *handover* MDHO é realizado pela MS, enquanto no FBSS é realizado pela BS. Assim, o MDHO é iniciado quando uma MS decide transmitir/receber mensagens para/de todas as BSs do conjunto de vizinhas no mesmo intervalo de tempo. Já no *handover* FBSS, a MS se comunica somente com a BS âncora para o envio/recepção de mensagens de *uplink* e *downlink*. A transição de uma BS âncora para outra ocorre sem a invocação de mensagens explícitas de *Handover*, isto é, são eliminadas as etapas do processo de *handover* do tipo tradicional.

### 3. Qualidade de Serviços

O mecanismo mais importante de fornecimento de QoS em redes sem fio está associado à transferência de quadros da subcamada MAC através de um fluxo de serviço. Um fluxo de serviço, identificado unicamente por um identificador de fluxo de serviço (SFID - *Service Flow Identifier*), é um fluxo unidirecional de quadros que está caracterizado por um conjunto de parâmetros de QoS definidos para o fluxo, tais como: latência, retardo e garantias de vazão. Graças a esses parâmetros de QoS, é possível especificar a ordem de transmissão e o escalonamento dos fluxos de serviço na rede sem fio. Um fluxo de serviço, por sua vez, está associado a uma única conexão. Uma conexão é identificada de forma única por um identificador de conexão (CID - *Connection Identifier*).

Quanto aos fluxos de serviço, o padrão [IEEE Std 802.16 2004] possui três tipos: Ativo, Admitido e o Provisionado. O Ativo é caracterizado por parâmetros de QoS que definem o serviço sendo atualmente provido para o fluxo. Somente um fluxo de serviço ativo pode encaminhar pacotes. Já o Admitido é caracterizado por parâmetros de QoS para os quais a BS (e possivelmente a MS) reserva recursos. O principal recurso reservado é largura de banda, mas outros também podem ser reservados para viabilizar a ativação do fluxo. Por fim, o Provisionado caracteriza-se por parâmetros de QoS fornecidos por mecanismos externos aos do padrão, por exemplo, o sistema de gerenciamento de rede.

### 4. Trabalhos relacionados

Nos últimos anos, alguns trabalhos apresentaram propostas de processos de *handover* (HO) de forma a viabilizar a mobilidade dos dispositivos e, ao mesmo tempo, garantir a redução do atraso no tráfego e das perdas de pacote ocasionados pelo próprio processo de *handover*, resultando na não garantia da QoS nas aplicações multimídias. Os trabalhos descrevem soluções tanto na camada dois [LEE 2006] e [CHOI 2005] como na camada três [KIM 2005] e [CHANG 2005]. .

Em [LEE 2006] é apresentada uma proposta de um algoritmo de *Fast Handover* para o padrão [IEEE P802.16e/D9 2005], buscando reduzir o atraso do processo de HO, evitar o desperdício de recursos e reduzir a redundância na execução das fases do HO proposto no *draft* IEEE802.16e/D8-2005. A redução do desperdício de recurso é alcançada graças ao algoritmo proposto, que avalia as BSs alvos, usando a diferença entre o tempo de chegada do sinal, de forma a escolher apenas uma das BSs disponíveis. Já a redução do atraso do processo de HO é obtida graças aos processos de sincronização e associação e de transmissão de dados serem realizados simultaneamente. Por fim, nesse trabalho investiga-se qual seria a distância em relação a BS alvo candidata na qual deve ser iniciado o processo de *handoff* para um nó se movendo em uma dada velocidade.

Em [CHOI 2005], é proposto um algoritmo de *Fast Handover* para o *draft* IEEE 802.16e/D5-2004 [IEEE P802.16-REVd/D5 2004], de forma a reduzir o atraso e a taxa de perda de pacotes para tráfegos *downlink* oriundos de serviços em tempo real. Nesse algoritmo, uma MS pode receber dados do canal de *downlink* da futura BS, através de uma nova mensagem de gerenciamento proveniente dessa mesma BS durante o processo de *handover*, ou seja, após a sincronização com o novo canal de *downlink*, mas antes que haja a sincronização com o canal *uplink*. Essa nova mensagem de gerenciamento, denominada de *Fast DL-MAP-IE*, permite receber tráfego *downlink* durante o processo de *handover* e, por conseguinte, reduzir o atraso de transmissão de quadros *downlink*. A mensagem de *Fast DL-MAP-IE* nada mais é que um elemento de informação que foi especialmente criado para esse fim.

Uma proposta de uma arquitetura é apresentada em [KIM 2005] para integrar redes 3G com 802.16, focando nos aspectos de QoS, enquanto permite a mobilidade das estações. Essa arquitetura incorpora procedimentos para (i) ativar sessão de QoS, mapeando os requisitos da aplicação em parâmetros de QoS específicos para a rede em questão; (ii) mapear as classificações específicas de uma rede para outra; (iii) suportar QoS ao nível de rede usando Serviço Diferenciados (*DiffServ*); e (iv) suportar QoS ao nível de sessão, usando protocolo SIP [KIM 2005], para atender serviço de tempo real, evitando o atraso devido ao roteamento triangular presente em IP móvel. A idéia é oferecer QoS adequada na rede de destino de acordo com o perfil de QoS do usuário e requisitos da aplicação

Em [CHANG 2005], foi apresentado um esquema de gerência de mobilidade hierárquica para redes WiMAX. Esse esquema é baseado na proposta do IETF do IP-Móvel e modifica a proposta original, de forma a minimizar suas desvantagens em uma rede metropolitana, oferecendo *Fast handoff*, micro-mobilidade (mobilidade de uma estação dentro de um mesmo domínio) e *handoff* vertical.

Em [PANDEY 2004] é apresentada uma proposta que dinamicamente aloca recursos para as aplicações de usuários considerados **Premium** naquelas células alvos prevista para o próximo *handoff* da rede celular, obtendo alta utilização de recursos. Usuários da categoria **Premium** são aqueles que possuem requisitos mais altos de QoS, por exemplo, maior largura de banda, sendo tal categoria definida em um acordo de prestação de serviço (SLA). Os pontos chave da reserva dinâmica adotados no trabalho são a utilização do algoritmo proposto PARMA, que é baseado em caminho, e a predição de serviços usando o perfil de usuários.

A proposta apresentada no presente trabalho é baseada no trabalho de [PANDEY 2004] com os seguintes diferenciais: (i) nessa versão o cenário utilizado integra diferentes redes WiMAX; (ii) o perfil do usuário é incrementado com o acréscimo de variáveis temporais e espaciais (por exemplo, a hora, data, localização, velocidade) e com características de recursos de um usuário móvel; (iii) um novo algoritmo de reserva de canal específica para as redes WiMAX é proposto; (iv) o conjunto de células previstas para o próximo *handover* será refinado, levando em conta o perfil de comportamento do usuário como também o contexto do serviço e o da rede.

## 5. Algoritmo de Reserva Pró-ativa de Recurso Assistida por Perfil (ARPRAP)

O algoritmo de Reserva Pró-ativa de Recurso Assistida por Perfil (ARPRAP) busca garantir melhor qualidade de serviço para diferentes classes de usuários em um cenário que permite a integração de redes WiMAX. Para tal, esse algoritmo faz uso do perfil do usuário em movimento para dinamicamente reservar recursos de forma pró-ativa apenas naquelas áreas previstas para o próximo *handover* da rede sem fio. O ARPRAP procura selecionar a “melhor” BS (BS alvo) a partir do conjunto de BSs vizinhas, baseado na trajetória do usuário móvel, nos requisitos da aplicação em execução no dispositivo móvel e nos requisitos de redes (recursos disponíveis na rede gerenciada pela BS Alvo). O ARPRAP faz uso: (i) do *handover* do tipo *Fast* (FBSS), (ii) do protocolo SNMP (*Simple Network Management Protocol*) v2 [HARRINGTON D. 2002] para o gerenciamento de recursos dos dispositivos da rede sem fio, inclusive os pré-provisionados; e (iii) da MIB proposta para o IEEE 802.16 para MAC e PHY [CHOU 2004].

Através do mecanismo de predição de áreas alvos usando o perfil de comportamento do usuário móvel, é obtida uma lista mais apurada de BSs a ser usada no *FAST handover*, resultando, conseqüentemente, em menos transmissões entre BSs e em um atendimento personalizado quanto ao quesito de QoS. Assim, as estações de usuários da categoria **Premium** teriam previamente alocados os fluxos de serviços de acordo com seu perfil de uso, permitindo um processo de *handover* rápido pela assertividade ao escolher a BS Alvo.

Nas subseções a seguir, são descritas as estruturas de dados e mensagens usadas pelo algoritmo, bem como o seu procedimento detalhado.

### 5.1. Estruturas de dados usadas pelo ARPRAP

A **Tabela de Perfil** do usuário contém informações de perfil específicas de usuários em movimento e que estão registrados em sua rede/célula de origem (*home*) tais como: identidade do usuário, tipo do usuário (**Premium**, **Normal**), serviços acordados, ponteiro para a tabela de trajetos, ponteiro para a tabela de recursos. A Tabela de Perfil é uma estrutura armazenada na *Internet*, ficando acessível de qualquer ponto da rede.

A **Tabela de Trajetos** contém uma lista de trajetos usados por um período do dia (início da manhã, manhã, almoço, início da tarde, tarde, noite) por um usuário móvel e a sua respectiva frequência de uso. Um trajeto individual é composto por uma lista de áreas quadradas de lado “L”, por exemplo, <a1, a2, a3, a4>, e cada área é composta por várias células sobrepostas. Alguns trajetos são definidos através de acordo (SLA) entre o

usuário e o provedor do serviço informando que o usuário é cliente **Premium**. Outros trajetos são inseridos na lista conforme o mesmo passa a ser utilizado pelo usuário.

Já a **Tabela de Recursos** contém uma lista de recursos, tais como a banda, usados por trajeto e por período por um usuário móvel e a respectiva frequência quanto ao uso do recurso. Alguns recursos são definidos através de um acordo (SLA) entre o usuário e o provedor do serviço informando que o usuário é cliente **Premium**. Outros recursos são inseridos na lista conforme o mesmo passa a ser utilizado pelo usuário.

Na MIB (*Management Information Base*) **wmanIfMib**, definida por [CHOU 2004], para o padrão IEEE 802.16, são armazenadas informações coletadas pelas MSs e BSs sobre os objetos gerenciados. Essa MIB contém três tabelas que fornecem suporte à provisão do fluxo de serviço. A tabela de Fluxos pré-provisionados, **wmanIfBsProvisionedSfTable**, contém informações sobre o fluxo de serviço pré-provisionado, usado na criação de conexões quando um usuário entra na rede. Na presente proposta, foram adicionadas a essa tabela as necessidades de recursos (fluxos de serviços) futuras de um usuário móvel baseadas no seu perfil de utilização para cada faixa de horário e trajeto. Já a tabela **wmanIfBsServiceClassTable** contém parâmetros de QoS (prioridade do tráfego, taxa de pico, latência máxima, jitter, atraso e etc) associados aos fluxos de serviço. Por fim, a tabela **wmanBsClassifierRuleTable** possui as regras para que o classificador possa mapear os pacotes de *downlink* e *uplink* para o fluxo de serviço. Além dessas 3 tabelas, toda vez que uma estação, móvel ou não se registra em uma BS é criada uma entrada em outra tabela, denominada **wmanIfBsregisteredTable**, a qual é indexada por endereço MAC da estação. Assim, uma BS, com base no endereço MAC da estação, pode verificar as outras três tabelas e verificar se a MS tem fluxos pré-provisionados. É importante destacar que a tabela **wmanIfCmnSsChmeasurementTable** contém dados de utilização do canal pela SS/MS e que o gerenciador de perfil, embora não faça parte do escopo desse trabalho, consulta esses dados para montar a Tabela de Perfil.

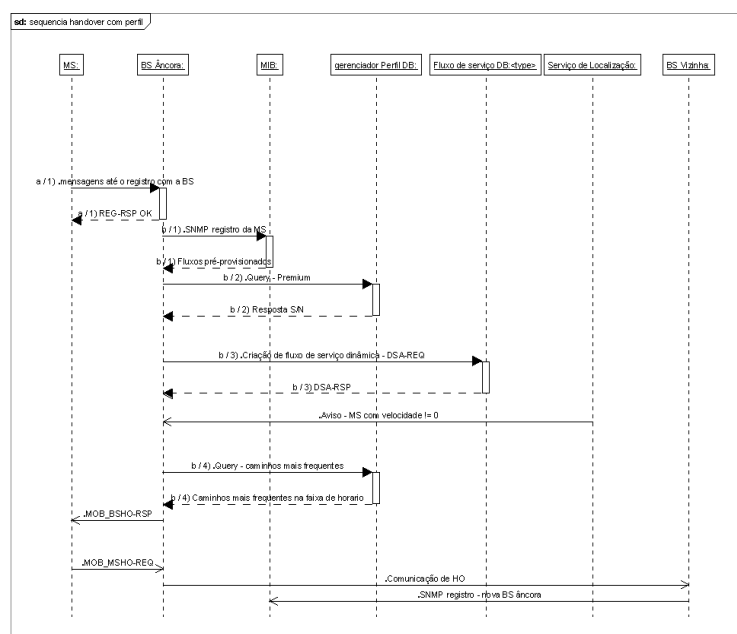


Figura 1. Diagrama de Sequência descrevendo o funcionamento do ARPRAP

## 5.2. Descrição do Algoritmo ARPRAP

Embora o algoritmo proposto seja genérico quanto ao número de classes de usuários, com o intuito de garantir uma descrição simplificada do mesmo, no presente trabalho serão consideradas em um acordo SLA apenas duas classes de serviços, uma para usuário **Premium** e outra para usuário **Normal**. O algoritmo proposto é executado na BS âncora e os procedimentos descritos a seguir detalham o seu funcionamento. Esses procedimentos são realizados apenas no caso da MS estar em movimento, informação essa obtida pela BS através de consultas regulares feitas ao Serviço de Localização. A Figura 1 apresenta o diagrama de seqüência ilustrando tais procedimentos.

1. Determinar se a estação móvel (MS) é do tipo cliente **Premium** ou **Normal**. Tal informação é obtida através de consulta a Tabela de Perfil do Usuário.
2. Se a MS é do tipo **Normal**, essa estação seguirá os procedimentos normais de *handover*, isto é, nenhuma reserva será feita de forma pró-ativa.
3. Se a MS é do tipo **Premium**, verificar se o usuário tem trajetos freqüentes para o horário em questão, e se nesses trajetos alguns recursos são usados comumente. Os procedimentos desse passo são descritos a seguir.
  - a. A BS âncora verifica os trajetos usados com freqüência na faixa de horário em questão, consultando a **Tabela de Trajetos** do Usuário. Nesse trabalho é escolhido o trajeto mais utilizado nessa faixa de horário.
  - b. A BS âncora verifica, para o trajeto selecionado, os recursos a serem usados com freqüência na faixa de horário em questão, consultando a **Tabela de Recursos do Usuário**. De posse das informações de recursos, é alterada a tabela na MIB (**wmanIfBsServiceClassTable**) que contém os parâmetros de QoS associados ao fluxo a ser provisionado. Assim, em um futuro próximo, quando o processo de *handover* for iniciado, a nova BS âncora ativará estes fluxos.
  - c. A BS âncora atualiza a Tabela de Fluxos pré-provisionados (**wmanIfBsProvisionedSfTable**) de forma que a mesma contenha os fluxos que atenderão a predição de recursos obtida no passo anterior.
  - d. A BS âncora busca prever para o dado trajeto a área alvo a partir da localização da MS obtida através do Serviço de Localização, e dos trajetos obtidos no passo (a). Vale ressaltar que a determinação da área alvo é obtida através da respectiva função, sendo dados a localização atual do usuário, a área atual do usuário e o trajeto mais freqüentemente usado no dado período.
  - e. É criada uma lista das BSs contidas na área alvo prevista. Nesse passo, a BS âncora usa as informações de MOB\_NBR-ADV recebidas das BSs vizinhas, para prever quais são as melhores BSs, do ponto de vista dos requisitos de QoS, na área alvo escolhida. De posse da lista das melhores BSs da área prevista, a BS âncora escolhe a BS alvo que melhor atende aos requisitos de QoS sugeridos pelo perfil do usuário, envia uma das mensagens, MOB\_BSHO-RSP ou MOB\_BSHO-REQ, sugerindo reduzir a lista de BSs à BS alvo escolhida. Caso várias BSs atendam aos requisitos do usuário, é escolhida a que tem mais recursos disponíveis. Se houver empate, escolhe-se a primeira BS da lista que atende ao perfil. As informações dos recursos obtidas da Tabela de Recursos são armazenadas na tabela de fluxo-provisionado e em uma cache na BS âncora para consulta rápida posterior.
  - f. Deve ser repassado via *backbone* para todas BSs pertencentes a lista, o contexto



- da BS âncora, incluindo informações da Tabela de Fluxos pré-provisionados,
4. A seguir, a partir de uma determinada distância da BS alvo, valor fornecido pelo serviço de localização, verifica-se se a predição está correta, isto é, se o usuário móvel permaneceu na trajetória prevista até alcançar a dada distância. Em caso positivo, a BS alvo passará a ser a nova BS âncora. Nesse trabalho, a BS informa à MS da mudança de BS âncora passando o tempo estimado para a troca enviando a mensagem MOB\_BSHO-REQ ou MOB\_BSHO-RSP. A MS pode aceitar/rejeitar a troca de BS através da mensagem MOB\_HO-IND (campo MDHOFBSS\_IND\_type).
  5. Na nova BS âncora, os fluxos pré-provisionados passarão a ser fluxos ativos, isto é, a nova BS âncora alocará dinamicamente estes recursos enviando a mensagem DAS (*Dynamic Service Addition*), disponibilizando esses fluxos de serviço a MS.

### 5.3. Mensagens Trocadas no ARPRAP

Em uma rede sem fio WiMAX, uma MS é capaz de receber de tempos em tempos mensagens do tipo MOB\_NBR\_ADV, contendo a intensidade do sinal de um conjunto de BSs vizinhas que estejam na sua área de alcance e o tempo de propagação entre a MS e cada uma dessas BSs vizinhas. A MS faz uma avaliação das medidas de intensidade de sinal e de tempo de propagação recebidas e repassa para sua BS âncora, via mensagem MOB\_MSHO-REQ, um conjunto de possíveis BSs alvos. O conjunto dessas BSs é denominado de *Diversity Set* (conjunto de BS's vizinhas). Deve-se destacar também que as capacidades de cada BS integrante de um *backbone* são conhecidas pela BS âncora, pois as mesmas são difundidas por cada uma dessas BSs via mensagem MOB\_NBR\_ADV. Capacidade da BS refere-se a requisitos de redes, tais como a largura de banda e o atraso, os quais dependem dos serviços de agendamento suportados - UGS, rtPS, nrtPS e ertPS.

Como mencionado, este trabalho faz uso do *handover* do tipo *Fast* (FBSS). No FBSS, a MS somente se comunica com a BS âncora para mensagens dos canais *Uplink* (UL) e *Downlink* (DL). A troca de BS âncora é efetuada sem invocar o HO tradicional. A MS envia a mensagem MOB\_MSHO-REQ para adicionar/retirar BSs da lista (*Diversity*) ou para solicitar a troca de BS âncora, e esta responde com MOB\_BSHO-RSP. A mensagem MOB\_BSHO-REQ é usada com a mesma finalidade da MOB\_MSHO-REQ, só que por iniciativa da BS âncora.

É importante salientar que, ao se usar o *handover* do tipo *Fast*, o contexto da BS âncora é repassado periodicamente, via *backbone*, para as BSs vizinhas. Embora tal procedimento seja considerado fora do escopo da norma, no presente trabalho foi necessário criar a mensagem **BBONE\_CONTEXT** para esse fim. Essa mensagem possui os seguintes campos: Tipo da mensagem de gerenciamento, Identificador da estação base, Identificadores das estações bases vizinhas e Contexto MAC.

No algoritmo proposto, foram acrescentadas novas informações a mensagem de MOB\_NBR-ADV tais como: data e hora dos trajetos usados com mais frequência, e o(s) recurso(s) usado(s) nesse(s) trajeto(s).

## 6. Simulação e Análises

Os benefícios da utilização do algoritmo proposto (ARPRAP) foram verificados através de simulações realizadas no JIST, um simulador de eventos discretos em Java. As

bibliotecas do JIST, mais especificamente de seu pacote SWANS, foram usadas na implementação da mobilidade, comunicação sem fio e posicionamento geográfico de nós.

Esta seção apresenta os resultados das simulações para dois diferentes cenários. O primeiro faz uso do ARPRAP para escolher, para uma dada trajetória e a partir do conjunto de BSs vizinhas candidatas ao *handover*, a BS alvo que melhor atende aos requisitos de QoS sugeridos pelo perfil do usuário móvel, isto é, considerando aspectos da trajetória, requisitos da aplicação e de rede. O segundo cenário não utiliza o algoritmo ARPRAP e, dentre todas as BSs vizinhas à BS âncora, a BS selecionada é aquela cuja distância entre a MS e a BS for inferior a um dado limiar.

Em ambos os cenários, a área de simulação (região) é definida como um retângulo de 6km x 6km, dividida em 16 áreas retangulares de 1,5km x 1,5km. Em cada área, coexistem 4 redes WiMAX, isto é, estão posicionadas 4 BSs. Quanto ao critério de posicionamento das BS estabeleceu-se que cada área é dividida em 4 sub-áreas e cada BS é posicionada no centro de cada sub-área. Logo, o número total de células (raio da célula = 1,5 km), ou BSs, é igual a 64 (16x4). Cada célula é composta por uma BS e o número total de canais disponíveis por BS é dado por uma variável C. Como o objetivo das simulações é mostrar o quão eficiente é o algoritmo de predição de áreas alvos usando o perfil de comportamento do usuário móvel, foi adotado o valor de  $C = 1$ , sem perda de generalidade para as simulações realizadas. Nesse trabalho, define-se eficiência como sendo a capacidade do algoritmo de escolher a BS alvo a ser usado no *FAST handover*, resultando, conseqüentemente, em menos transmissões entre BSs, em um atendimento personalizado quanto ao quesito de QoS e, permitindo um processo de *handover* rápido pela assertividade ao escolher a BS Alvo.

O valor de banda atribuído para cada BS é selecionado forma aleatória a partir do intervalo de 0 a 64kbps. Como se tem apenas um canal por BS, esse canal terá banda igual a sua BS. Dessa forma, quando é usado o algoritmo de predição proposto, é possível simular uma situação futura de não existência de BS que atenda aos requisitos da aplicação, ocasionando falha de *handover*.

No presente trabalho, as simulações foram realizadas usando-se uma única MS na região de simulação, impedindo assim que o tráfego de outras MSs mascarasse os resultados. Essa única MS, no cenário 1 é controlada por um usuário **Premium** enquanto que no cenário 2 é controlada por um usuário normal. Os requisitos de QoS das aplicações acordadas por um usuário **Premium** correspondem aos da classe UGS e os de um usuário normal correspondem aos da classe *best effort*. O objetivo das simulações foi validar e comprovar a corretude do algoritmo proposto em um ambiente controlado. Futuramente, outras simulações serão realizadas de forma a variar o número de MSs, verificando o quanto uma alta carga de tráfego afeta o algoritmo proposto. A distância entre a estação móvel e a BS alvo para iniciar o *Fast handover* foi um dos parâmetros variado nas simulações. As distâncias avaliadas foram de 600m, 700m e 800m.

É importante destacar que os parâmetros de configuração da camada física não influenciam nos resultados da simulação para ambos os cenários avaliados nesse trabalho, já que o algoritmo proposto foi definido para atender uma necessidade da camada de enlace e sua lógica não está atrelada a como as mensagens são transmitidas

no meio. Por outro lado, parâmetros como as distâncias mínimas de HO citados acima poderiam ser ajustados para melhor desempenho em meios físicos diferentes.

A trajetória de uma MS é definida como sendo uma seqüência de áreas. A seqüência (A1, A6, A11, A15) é um exemplo de trajetória da MS. O modelo de mobilidade adotado seguiu a abordagem apresentada em [PALCHAUDHURI 2005]. Tal abordagem procura modelar uma situação do mundo real, onde pessoas se deslocam de formas previsíveis na ida ao trabalho e na volta aos seus lares, usando uma das grandes vias que cortam as cidades e que levam das suas residências localizadas na periferia da cidade ao centro e vice-versa. Assim, durante a semana, pela manhã, haverá um grande fluxo de pessoas no sentido periferia-centro e, ao final da tarde, um grande fluxo de pessoas no sentido contrário, centro-periferia. Da mesma forma que pode ser modelado o perfil de comportamento das pessoas durante os dias da semana, é possível também fazer o mesmo nos finais de semana. O modelo de mobilidade baseado em perfil é ideal para rede WiMAX, que prevê cobertura sem fio em áreas livres, de periferia, rurais e cidades. Segundo o modelo adotado, a MS percorre o trajeto arbitrado em velocidades veiculares (40 a 65 Km/h). As trajetórias da MS são guardadas na Tabela de perfil do usuário de forma que seja possível prever o trajeto do usuário nesta mesma faixa de horário em outra oportunidade. Sabendo a área para a qual a MS vai se mover, o mecanismo de predição proposto nesse trabalho deve escolher uma BS que possui a melhor oferta de QoS dentre as BS existente na respectiva área.

Em cada cenário de simulação, as métricas de desempenho avaliadas são: a Probabilidade de Falha de HO, Melhoria na Probabilidade de Falha de HO, e a Eficiência de alocação de recursos. Foram realizadas 10 rodadas de simulações para cada cenário, ao final das quais a probabilidade de falha do HO e o número total de *handovers* no trajeto são obtidos.

A Probabilidade de Falha de Handover devido ao não atendimento pela BS da QoS solicitada (PFH) é um dos parâmetros da camada de enlace que mede a QoS de uma rede móvel sem fio e pode ser calculada segundo a equação 1 abaixo.

$$PFH = \frac{NFHO}{NFHO + NOHOE} * 100\% \quad (1)$$

onde:  $NOHOE$  = N<sup>o</sup> total de ocorrências de *handover* efetivadas e  $NFHO$  = N<sup>o</sup> de falhas de handover devido ao não atendimento pela BS da QoS solicitada.

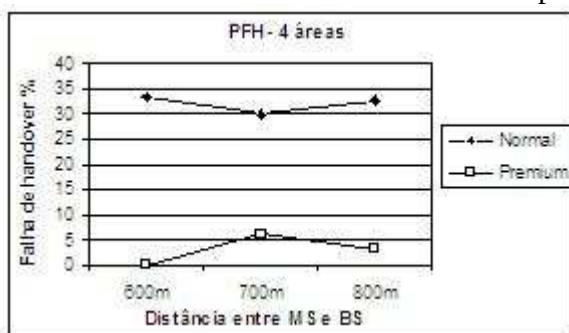


Figura 2. PFH em 4 áreas

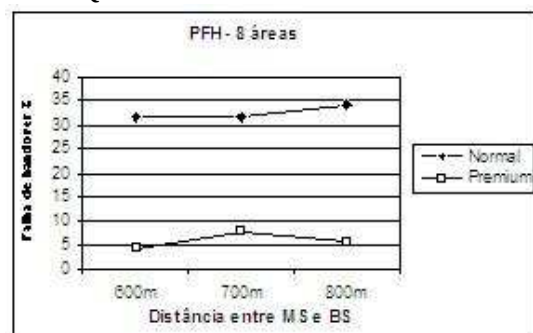


Figura 3. PFH em 8 áreas

Foram simulados trajetos com 4 e 8 áreas de extensão. As figuras 2 e 3 apresentam gráficos que mostram a evolução das probabilidades de falha de *handover* quando se usam trajetos curtos e longos no perfil. Conforme esperado, os resultados das simulações provaram que a probabilidade de falha de *handover* quando é usado o algoritmo ARPRAP (usuário **Premium**) é significativamente menor do que quando não é utilizado o algoritmo (usuário **Normal**), indicando que, caso haja uma BS com requisitos de QoS desejado pela aplicação dentre as BS vizinhas da âncora, o algoritmo proposto escolherá essa BS, ou seja, só haverá falha de *handover* no ARPRAP se não existir BS com tais requisitos. Observa-se ainda nos gráficos que, enquanto o FBSS normal falha entre 31%-33%, com ARPRAP são conseguidos valores entre 0%-7,9% devido a predição de trajetória e de recursos futuros. O tamanho do trajeto do perfil do usuário a ser armazenado depende do comportamento do usuário, da região onde se usa o ARPRAP, e de se há usuários que se movimentam por grandes distâncias ininterruptamente e/ou região com longas vias.

A Melhoria na Probabilidade de Falha de *handover* (MPF) é definida como sendo a redução da probabilidade de falha de *handover* (PFH) de um usuário **Premium** quando comparado com um usuário normal e é calculada segundo a equação 2.

$$MPF = \frac{PFHN - PFHP}{PFHN} * 100\% \quad (2)$$

onde: PFHP é a probabilidade de falha de *handover* de um usuário **Premium** e PFHN é a probabilidade de falha de *handover* de um usuário **Normal**.

Pode-se observar na Figura 4 que o algoritmo proposto realmente reduz a probabilidade de falha de *handover* de um usuário **Premium** quando comparado com a probabilidade de falha de *handover* de um usuário **Normal**. Isso ocorre pois o ARPRAP consegue, através do uso do perfil, predizer as necessidades futuras de recursos e do trajeto. Um FBSS normal não tem como saber o trajeto a ser seguido, nem as necessidades de recursos futuras e faz *handover* para BSs que não são necessariamente a melhor escolha para o trajeto.

Quanto à eficiência da alocação de recursos feita pelo ARPRAP, ela foi avaliada em função de uma métrica Eficiência na Alocação de Recursos (EAR) que compara o número total de solicitação de *handovers* (NSHO) quando se usa ou não o algoritmo. A métrica foi definida como sendo, para uma mesma MS e uma mesma trajetória, a diferença entre o número total de solicitações de *handovers* (efetivados e os não) obtidas usando o FBSS - valor denominado *NSHON* - e número total de solicitação de *handovers* obtidos usando o ARPRAP (usuário **Premium**) – denominado *NSHOP* - dividida pelo número total de solicitação de *handover* usando o FBSS (equação 3). É importante mencionar que essa métrica mostra o quão eficiente (valores próximos a 100) é o algoritmo proposto no presente trabalho em relação ao desperdício de recursos.

$$EAR = \frac{NSHON - NSHOP}{NSHON} * 100\% \quad (3)$$

Ao analisar a Figura 5, constata-se que os valores obtidos para a métrica EAR para as distâncias 600m, 700m, e 800m são 71%; 68% e 70% para trajetos envolvendo 4 regiões, e 64%, 63% e 65% para trajetos envolvendo 8 regiões. Tais valores indicam que o algoritmo proposto nesse trabalho foi capaz de reduzir entre 63% e 71% o número de *handovers* necessários para completar o percurso se comparado ao FBSS normal,

escolhendo as melhores BSs em função da QoS e do trajeto preditos. Esta redução se reflete no desperdício de recursos: quanto menor o número de solicitação de *handovers* menor será o número de trocas de mensagens e de contexto (portanto menos dados trocados).

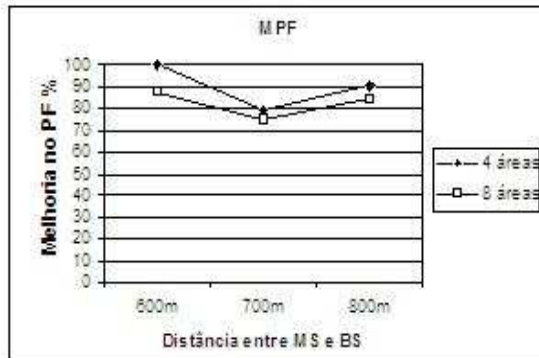


Figura 4. Melhoria Prob. de Falha

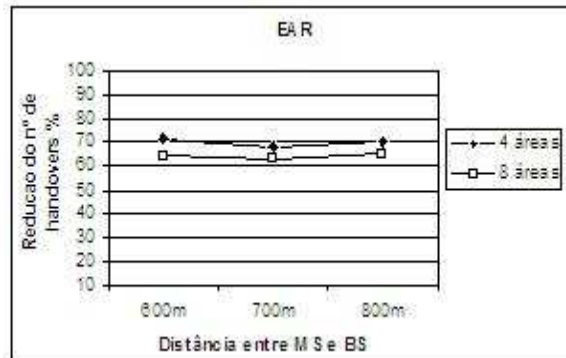


Figura 5. E. Alocação de Recursos

## 7. Conclusão

Um dos grandes desafios tecnológicos na área de redes sem fio é conseguir uma utilização eficiente da rede, provendo serviços com qualidade para seus usuários, principalmente em presença de *handover*. O presente trabalho busca prover uma possível solução para lidar com tal desafio. Nesse sentido, esse trabalho explora o perfil do comportamento do usuário em movimento para maximizar a eficiência da rede e prover melhor qualidade de serviço para diferentes classes de usuários em um cenário que permite a integração de redes sem fio de banda larga como a WiMAX.

Para tal foi proposto um algoritmo de predição de área alvo que leva em conta o perfil de comportamento do usuário, além do contexto do serviço e o da rede, para obter uma lista mais apurada de BSs a ser usada no *FAST handover*. A utilização do algoritmo resulta, conseqüentemente, em (i) um menor número de transmissões entre BSs; (ii) um atendimento personalizado quanto ao quesito de QoS; (iii) um processo de *handover* rápido pela assertividade ao escolher a BS Alvo; (iv) uma redução do número de interrupções de conexões; e (v) uma redução de perdas na qualidade referente a serviço de tempo real, como o de voz sobre IP. Uma aplicação útil de tal algoritmo seria efetuar a reserva de recursos em trajetos previamente estabelecidos, por exemplo, de serviços considerados de emergência como os efetuados dentro de ambulâncias, viaturas policiais e bombeiros.

Em suma, nesse trabalho é apresentada uma proposta de um algoritmo que dinamicamente aloca recursos para as aplicações de usuários considerados **Premium** na célula alvo, escolhida pelo mecanismo de predição, obtendo alta utilização de recursos de forma a garantir níveis de QoS compatíveis com cada aplicação. Para tal, é aprimorado o algoritmo *FAST handover* da camada 2 do IEEE 802.16, refinando-se o processo de escolha das BS vizinhas candidatas ao *handover* (HO) com o auxílio do perfil de comportamento do usuário móvel, isto é, considerando aspectos da trajetória, requisitos da aplicação e de rede. A proposta apresentada nesse trabalho foi avaliada através da execução de simulações, nas quais foi analisado o impacto de vários parâmetros sobre o desempenho do algoritmo proposto. Os resultados dos testes

realizados em ambiente simulado foram promissores, comprovaram a eficácia do mecanismo proposto bem como os benefícios que podem ser obtidos com sua utilização.

Direções futuras do trabalho incluem investigar a integração de redes heterogêneas tanto ao nível de camada 2 como de camada 3, bem como analisar o impacto de outros parâmetros, tais como a perda de pacotes e o atraso, sobre o desempenho do algoritmo.

## **8. Referências**

- CHANG, CHUNG-KUO, "A Mobile-IP Based Mobility System for Wireless Metropolitan Area Networks", School of Informatics, Indianapolis, 2005 IEEE.
- CHOI, S., "Fast handover scheme for real-time downlink services in IEEE 802.16e BWA systems," in Proc. IEEE Vehicular Technology Conference 2005, May 2005.
- CHOU, J., MAC and PHY MIB for WirelessMAN and WirelessHUMAN BS and SS. IEEE S802.16mgt-04-04. May 13, 2004.
- HARRINGTON D., PRESUHN R., WIJNEN B. An architecture for Describing Simple Network Management Protocol (SNMP) Management Frameworks. IETF RFC 3411, Dezembro 2002
- IEEE P802.16e/D9 - 2005, "Draft IEEE standard for local and metropolitan area networks - Part 16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems," June 2005.
- IEEE P802.16-REVd/D5-2004, "Draft IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems," Maio, 2004
- IEEE Std 802.11 – 1999, "Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications".
- IEEE Std 802.16 - 2004, "IEEE standard for local and metropolitan area networks - Parte 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems", Outubro 2004.
- JIST – Java in Simulation Time. Disponível em: <http://jist.ece.cornell.edu/>. Último acesso em 10/12/2006
- KIM, D. e GANZ, A., "Architecture for 3G and 802.16 Wireless Networks Integration with QoS Support", Department of Electrical and Computer Engineering, University of Massachusetts, Amherst, 2005 IEEE
- LEE, D., KYAMAKYA, K. e UMONDI, J., "Fast Handover Algorithm for IEEE 80.16e Broadband Wireless Access System", School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University, Korea, 2006 IEEE.
- PANDEY, V., GHOSAL, D. e MUKHERJEE, B., "Exploiting User Profiles to Support Differentiated Services in Next-Generation Wireless Networks", Nortel Networks e University of California, IEEE Network September/October 2004
- PALCHAUDHURI, S., BOUDEC, J. e VOJNOVIĆ, M., "Perfect Simulations for Random Trip Mobility Models", IEEE Computer Society/2005