

## Um modelo eficiente de mobilidade centrada no usuário para Internet do Futuro

Obionor Nóbrega<sup>1,2</sup>, Eduardo Vasconcelos<sup>1</sup>, Marco Domingues<sup>1</sup>, Paulo Cunha<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Informática – Universidade Federal de Pernambuco - UFPE  
CEP: 50740-540 – Recife – PE – Brasil

<sup>2</sup>UA-EADTEC - Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE  
CEP: 52171-900 – Recife – PE – Brasil  
{oon, emv2, maod, prfc}@cin.ufpe.br

**Abstract.** *In recent years many researches have been developed in order to improve the use of wireless communication technology by the End-User. The development of fourth-generation wireless networks based in user-centric approach has challenges for the Future Internet (FI). One of them is the seamless vertical handover, which influences directly in user perception features like quality of experience (QoE) and quality of service (QoS). This paper proposes an efficient mobility user-centric model reducing the data stored in a user profile and path prediction, anticipating the handover phase and resulting in an efficient seamless for Future Internet.*

**Resumo.** *Atualmente diversas pesquisas têm sido elaboradas para melhorar o uso da tecnologia móvel pelo usuário final. O desenvolvimento da quarta geração de sistemas móveis centrada no usuário possui grandes desafios para a Internet do Futuro (FI). Dentre estes desafios está a transparências de handover vertical, pois esta ação influencia diretamente na percepção do usuário quanto à qualidade de experiência e serviço (QoE e QoS). Neste artigo é proposto um modelo eficiente de mobilidade centrado no usuário que reduz a quantidade de dados necessários de armazenamento em perfil e predição de caminho, antecipando a fase de inicialização de handover, resultando em uma transparência eficiente para a Internet do Futuro.*

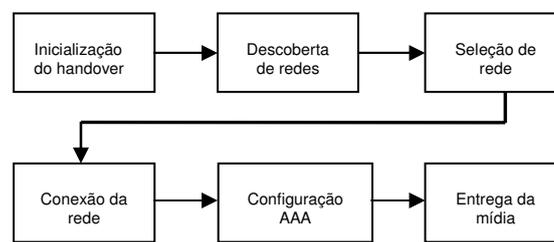
### 1. Introdução

Atualmente as tecnologias de comunicação sem fio têm adicionado novos conceitos, adaptando novas aplicações de Internet e novos requisitos de sistemas aos atuais cenários de computação móvel. Cada nova geração tecnológica traz consigo novos requisitos e soluções, como as conexões *on-line* (1G), qualidade de serviço (2G) e comutação por pacotes (3G). A quarta geração de sistemas de computação móvel (4G), por sua vez, tem sido desenvolvida para solucionar problemas pertinentes às gerações passadas [Choi 2006], [Govil and Govil, 2007], assim como prover uma grande variedade de novos serviços, como voz, vídeo e dados com enlaces de alta qualidade, sem fio, com alta definição e elevadas taxas de transferência de dados, características essenciais para a Internet do Futuro (FI – *Future Internet*) [Söllner, 2008].

Como princípio básico, esta nova arquitetura tem como motivação a integração de redes heterogêneas de maneira transparente para o usuário final, tendo como pressuposto a tendência de integração dessas redes, chamadas *All-IP-Based Networks* [Sabella, 2007], através do protocolo da Internet (*IP-Internet Protocol*). Além disso, as

redes 4G também devem prover convergência tecnológica e transparência na interoperabilidade de *handover*. Essa característica deve ser alcançada por terminais móveis, permitindo realizar a transferência de dados sem descontinuidades (*seamless handover*) através de diferentes redes de acesso e tecnologias heterogêneas durante o deslocamento de um usuário [Choi 2007].

Nesse contexto, a Figura 1 ilustra o processo de *handover*, que pode ser dividido em seis fases [Dutta *et al.*, 2009]. Reduzir o tempo em qualquer uma destas fases terá um impacto positivo no atraso total do *handover*, e por conseqüência na transparência do processo, reduzindo a percepção do usuário na comutação entre redes e tecnologias distintas. Essa abordagem resulta em um impacto direto na qualidade de serviços (QoS) ofertado para aplicações em tempo real e na satisfação do usuário mensurado pela qualidade da experiência (QoE) [Aguilar *et al.*, 2009].



**Figura 1: Principais fases do handover**

Esses requisitos apresentados para transparência de *handover* são a base para a abordagem centrada no usuário (*user-centric*), constituindo um dos cenários propostos para a Internet do Futuro [Bolla *et al.*, 2009]. Nesse cenário deve ocorrer uma alta interatividade do usuário com a rede através de uma ampla variedade de interfaces auto-configuráveis, pela personalização e adequação dos conteúdos e serviços às preferências de uso e contexto do usuário de forma transparente.

Este trabalho apresenta um modelo de perfil de mobilidade com predição de caminho centrado no usuário, tendo como objetivo principal a eficiência no armazenamento do perfil, na qualidade da predição e na minimização do atraso no *handover*, proporcionando a transparência de *handover* vertical.

O trabalho está organizado em 6 seções. A seção 2 apresenta as principais propostas relacionadas a mobilidade com perfil de usuários e predição de caminhos. São apresentados na seção 3 os conceitos do modelo proposto. Na seção 4 são apresentadas as simulações, e seus resultados analisados na seção 5. A seção 6 conclui o trabalho, destacando as principais contribuições e apresenta questões para investigações futuras.

## 2. Trabalhos Relacionados

A fase de inicialização de *handover* ocorre com a redução da potência do sinal recebido pelo EM (equipamento móvel) até um determinado limite mínimo. Apenas nesse momento é iniciada a procura por novas redes. Neste contexto, caso o EM possa prever o caminho que o usuário irá percorrer, poderá antecipar as fases do *handover*. Para isto, faz-se necessário um modelo de mobilidade eficiente que possibilite a predição dos caminhos percorridos por um usuário específico.

Muitos modelos de mobilidades baseados em trajetos coletados por movimentos dos usuários são propostos na literatura. Tais modelos são usados para prever o próximo

ponto de acesso a ser visitado por um EM, sendo classificados em duas diferentes áreas de pesquisas de mobilidade: a) Perfil de mobilidade de usuário, que utiliza informações do usuário armazenadas no passado para prever os movimentos futuros; e b) mobilidade na predição de caminho (*Path Prediction Mobility*), que prevê a próxima célula ou caminho em tempo real.

### 2.1. Perfil de Mobilidade do Usuário

Em [Markoulidakis *et al.*, 1997], a população é dividida em classes e zonas de tempo usando a localização geográfica e organizando em regiões com padrões de mobilidades específicas. Esse trabalho propõe um modelo de mobilidade que provê a probabilidade da futura posição de um usuário de um específico grupo usando um conjunto de localizações possíveis em um horário específico. Outro modelo de mobilidade baseado em perfis é apresentado em [Dias *et al.*, 2000]. O autor demonstra a complexidade da modelagem da mobilidade de um usuário em uma rede celular, uma vez que é necessário levar em consideração fatores como: geografia, rede de transporte urbano, distribuição sócio-econômico da população, hora do dia e período do ano. Esse modelo propõe que o perfil seja uma combinação temporal, espacial e pessoal.

Nessa mesma linha, [Silva *et al.*, 2002] apresenta uma ferramenta de simulação que utiliza modelos de perfis com quatro categorias de usuários: entregador, trabalhador comum, governanta e taxista; e cinco regiões de interesses: tráfego, residencial, negócios, compras e parques; e uma zona temporal com divisões por hora. Porém, esse modelo utiliza uma rede celular com infraestrutura homogênea e não demonstra onde estas informações são coletadas, armazenadas e/ou acessadas.

Em [Quintero *et al.*, 2006] é proposto um modelo de transparência de mobilidade para IPv6, melhorando o handover por predição de localização baseado em perfis de mobilidade de usuários. Estes perfis são classificados em três categorias: usuários que tem uma alta probabilidade de estar onde o sistema espera que esteja, usuários que possuem uma média probabilidade de estar onde o sistema espera que estejam, e usuário cuja posição em um dado momento é imprevisível. No entanto, este modelo foi baseado em redes homogêneas sem fio, não explicando como e onde as informações de perfil são armazenadas. O parâmetro de localização é baseado em topologia celular, o que resulta em dados com baixa acurácia.

No trabalho apresentado por [Silva *et al.*, 2009] é utilizado um sistema para predição de mobilidade. Esse trabalho utiliza um modelo determinístico para descrever o movimento de células ATM sem fio baseadas em padrões regulares de usuários e um modelo estocástico baseado na velocidade, direção e posição para modelar movimentos intra-células, não utiliza classes de usuários ou classes de zona temporais, mas utiliza o tempo de permanência como um novo parâmetro. Em [Härri *et al.*, 2007] é apresentado um estudo comparando modelos de mobilidade. Tais modelos não utilizam abordagem em perfil centrado no usuário, não adotam nenhum movimento padrão do usuário e não demonstram a eficiência no armazenamento destes dados.

### 2.2. Predição de Caminhos

Diversas pesquisas descritas na literatura buscam antecipar a ocorrência de *handovers* através de uma série de mecanismos e algoritmos. Em [Liu and Maguire, 1995] foi proposto um algoritmo que permite modelar o movimento diário dos usuários em duas

partes: movimento regular e movimento randômico. Na parte regular do movimento, foi proposta uma modelagem baseada em MC (*Movement Circle*) e MT (*Movement Track*) modelando os movimentos rotineiros do usuário. Essa abordagem não se adapta a ambientes onde existem redes heterogêneas, pois existe a necessidade de armazenar os estados mais comumente visitados e, devido à variedade de tamanhos de células, nesse esquema apenas as células de menor tamanho são armazenadas.

Em [Levine *et al.*, 1997] foi desenvolvido o conceito de *Shadow Cluster Concept*, onde a “escuridão da sombra” que o usuário possui determina a quantidade de recursos que devem ser reservados nas células que recebem influência do terminal ativo para suportar o nível de QoS contratado por este usuário. Em [Liu *et al.*, 1998] é apresentado um modelo em dois níveis de hierarquia, onde o nível mais alto é um modelo determinístico que descreve o movimento intercelular enquanto o nível mais baixo é um modelo estocástico que determina a mudança de estados.

[Shen *et al.*, 2000] apresenta um trabalho onde a probabilidade de um usuário estar em uma determinada célula no próximo movimento depende da distância, da velocidade e da direção do movimento. Esse trabalho utiliza uma base de conhecimento expressa em termos de regras de inferência fuzzy. Embora a idéia de utilizar técnicas de inteligência artificial para prever a próxima localização do EM seja importante para a redução do atraso gerado pelo handover, a complexidade deste tipo de técnica pode gerar um atraso adicional, principalmente quando a ocorrência de handover for freqüente, como se espera de ambientes heterogêneos de alta velocidade.

Em [Hadjiefthymiades *et al.*, 2002] é proposto o uso de predição baseado em autômatos de aprendizagem para determinar a quantidade de recursos a serem reservados e a quantidade de tráfego que deveria ser realocada para cada uma das células mais prováveis de serem visitadas. Em [Kyriakakos *et al.*, 2003] é apresentado uma abordagem que utiliza autômatos de aprendizagem, onde as probabilidades de transição de estados são armazenadas em uma matriz. Este modelo não é adequado devido à grande quantidade de registros necessários para a modelagem de um padrão de mobilidade de um usuário em redes heterogêneas.

Ainda em [Quintero *et al.*, 2006] é proposto um modelo que utiliza o perfil de mobilidade para melhorar o processo de *handover*. Este modelo propõe o SMIPv6 (*Seamless Mobile IPv6*) na predição de caminhos para permitir a antecipação dos recursos e a diminuição da latência do *handover*. Essa abordagem é uma boa alternativa para a predição de caminhos baseado em perfil de mobilidade quando consideradas tecnologias que possuem um raio celular consideravelmente grande (ex:1000m). Porém, esse modelo utiliza o mesmo conceito de armazenagem de células mais comumente visitadas, o que torna inadequada a sua utilização em redes heterogêneas, onde existem células com tamanho reduzido (ex.:100m).

Em [Chew *et al.*, 2007] é avaliado o uso de modelos de gravidade utilizados em modelagem de fluxo de transporte em planejamento urbano, para prever a movimentação dos usuários em redes celulares. O modelo de gravidade utiliza o conceito de pólos de gravidade, onde usuários que saem de uma região são atraídos para alguns destes pólos, sendo assim, sempre serão considerados os pares origem e destino dos usuários. Este modelo é utilizado basicamente para modelar o comportamento das massas. O modelo analisado por Chew para redes celulares é bastante válido, porém quando se trata de usuários que pagam por níveis de QoS, existe a necessidade de uma

modelagem individual, uma vez que o uso de generalização pode levar a erros de predição levando ao usuário o sentimento de perda de qualidade.

[Bellavista *et al.*, 2009] apresenta uma arquitetura primária e um guia para a implementação de um *middleware* que permite facilitar a seleção de redes em um ambiente heterogêneo, ajudando a lógica da aplicação a escolher a rede mais adequada para uma dada aplicação utilizada.

### 3. Modelo Proposto

Para minimizar o atraso de *handover* e aumentar a eficiência no acesso e armazenamento dos dados relacionado ao perfil e preferências do usuário, nesta seção é proposto o modelo de perfil de mobilidade e predição de caminho para ambientes heterogêneos. Este modelo considera que as preferências do usuário são inseridas e armazenadas no Equipamento Móvel (EM) pelo próprio usuário. O perfil de mobilidade é armazenado na memória do EM e uma cópia armazenada em uma base de dados na infraestrutura de comunicação. A Figura 2 apresenta o modelo proposto, que será detalhado nas seções 3.1 e 3.2.

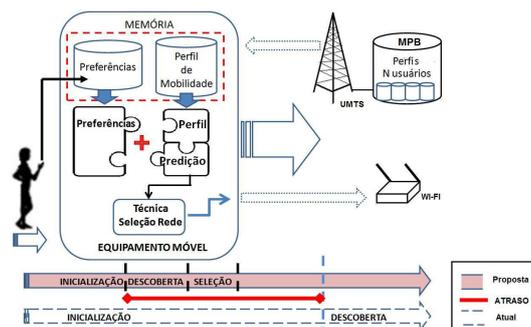


Figura 2: Modelo Proposto

#### 3.1. Perfil de Mobilidade

O perfil de mobilidade (Pu) é utilizado por usuários móveis que possuem um padrão de comportamento. O processo para que um perfil de mobilidade seja determinado para um dado usuário pode ser descrito através dos seguintes procedimentos:

1. Registro inicial dos parâmetros do usuário: O equipamento móvel (EM) do usuário (User\_id) registra as informações da Tabela 1 durante um ciclo de uma semana através da variável dia={"1=domingo", "2=segunda", ..., "7=sábado"};

Tabela 1. Criação do perfil de mobilidade

i	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	
	dia	net_id	H	To	Ti	Ia	Ld	Lg	
1	1	Id_net_75	0	10:00:00	08:00:00	0,083	-8.051794	-34.950643	Y1 Dia da semana
2	1	Id_WMX_02	1	17:00:00	11:00:00	0,25	-8.075963	-34.632541	Y2 Identificador da rede
3	1	Id_UMT_05	1	21:00:00	18:00:00	0,125	-8.165352	-34.754865	Y3 Área de interesse
4	1	Id_net_01	0	22:00:00	21:00:00	0,041	-8.012564	-34.950652	Y4 Hora de saída na área
.	.	.	.	.	.	.	.	.	Y5 Hora de chegada na área
.	.	.	.	.	.	.	.	.	Y6 Índice de atratividade
.	.	.	.	.	.	.	.	.	Y7 Latitude informada pelo EM
n	7	Id_net_01	1	18:00:00	14:00:00	0,16	-8.265352	-34.754865	Y8 Longitude informada pelo EM

2. Cálculo do Índice de atratividade (Ia): Este índice representa o percentual de horas que um usuário permaneceu em uma área de interesse (H) em um determinado dia;

$$Ia = \Delta T/24 = (To_i - Ti_i)/24 \quad (1)$$

3. Atualização do rótulo da Área(H): Uma área visitada por um usuário é designada como área de interesse se o respectivo índice de atratividade ( $Ia$ ) for maior que 0,1.

$$H=\{0,1\}, \text{ onde } H=1 \text{ para } Ia \geq 0,1 \text{ e } H=0 \text{ para } Ia < 0,1 \quad (2)$$

Após um ciclo de registros, o EM do usuário pode definir se o usuário tem perfil de mobilidade. Este perfil contém informações sobre as áreas de interesse (H) do usuário e indicam as áreas mais frequentadas por ele em um dia da semana específico. A partir dos dados da Tabela 1, será verificado se o usuário tem perfil de mobilidade. O usuário terá perfil de mobilidade se tiver pelo menos 2 (duas) e no máximo 5 (cinco) áreas de interesse em um determinado dia, e a soma dos dois maiores índices de atratividade for maior ou igual a 0,6. O perfil do usuário ( $Pu$ ) será igual a 1 (um) se o usuário for considerado com perfil de mobilidade e 0 (zero) caso contrário. A variável QH representa a quantidade de áreas de interesse daquele dia específico. Seja a variável  $Ia\_ordenado = \{Ia_1, Ia_2, Ia_3, \dots, Ia_m\}$ , um vetor ordenado tal que ( $Ia_1 \geq Ia_2 \geq Ia_3 \geq \dots, Ia_m$ ), então:  $QH = \sum(H | H=1)$ . Logo, teremos:

$$Pu=\{0,1\}, \text{ onde } Pu=1 \text{ para } ((2 < QH \leq 5) \wedge ((Ia_1 + Ia_2) > 0,6)) \quad (3)$$

A Equação 4 é utilizada para determinar se um EM está em uma área de interesse :

$$(Ld-L_a)^2 + (Lg-L_o)^2 \leq r^2 \quad (4)$$

Onde:

$Ld$  = Latitude informada pelo EM atual;

$Lg$  = Longitude informada pelo EM atual;

$La$  = Latitude conhecida da H do perfil do usuário (em radiano);

$Lo$  = Longitude conhecida da H do perfil do usuário (em radiano);

$r$  = O raio padrão da atual tecnologia;

Dessa forma, um perfil de mobilidade será composto pela tupla: {Dia, net\_id, Ti, Ld, Lg}, como ilustra a Tabela 2. Uma vez que um determinado usuário foi verificado como tendo perfil de mobilidade, essas informações são armazenadas na base de dados na memória do EM e deve ser também armazenada em uma Base de Perfis Móveis (MPB) localizada na infraestrutura do operador de preferência do usuário. Essa transferência é feita nos pacotes de sinalização de *power-off* através de *piggybacking* ou por mensagem de sincronização SMS. Outra forma de sincronizar esta base ocorre a cada sete dias a partir da última transmissão de sinalização *power-on*, caso ocorram mudanças na base.

**Tabela 2. Um exemplo da base de dados de perfil**

Dia	net_id	Ti	Ld	Lg
2	Id_net_75	08:00:00	-8.051794	-34.950643
2	Id_WMN_02	11:00:00	-8.075963	-34.632541
3	Id_UMT_05	18:00:00	-8.165352	-34.754865
3	Id_net_01	21:00:00	-8.012564	-34.950652
7	Id_net_01	14:00:00	-8.265352	-34.754865

Dia da semana	dia={"1=domingo","2=segunda",..., "7=sábado"}
Identificador da rede	net_id: descritor numérico
Hora de chegada na H	Ti=(hh:mm:ss)
Latitude informada pelo EM	Ld(EM)
Longitude informada pelo EM	Lg(EM)

### 3.2. Mecanismo de Predição de Caminho

A base dessa abordagem consiste em modelar a mobilidade de um EM em uma lista de vetores, onde esta lista contém a coleção de pontos com  $p = \{x, y\}$ , ou seja o movimento de um EM pode ser descrito por uma coleção de vetores, isto devido a

topologia das ruas das cidades. A coleção de pontos pode ser representada por uma lista de posições denotada por:  $L = [H|X]$ , onde H é a primeira posição e X correspondo ao corpo da lista, este corpo pode ser vazio ou pode conter uma outra lista. A posição inicial do EM e a posição final, que é representada pelo primeiro elemento da lista H, formam o vetor de gravidade, ou seja, a abordagem consiste em modelar os movimentos do EM através de vetores que exercem uma pseudo-força gravitacional no movimento do EM. Quando um EM em determinado dia da semana  $\delta$  e em um determinado intervalo do dia  $\beta$  segue em direção a um ponto H, e ele repete pelo menos uma vez este caminho, diz-se que H possui uma força de atração sobre o EM, e que o vetor formado pelo ponto inicial da locomoção e H exerce uma força sobre o EM. Assim, a probabilidade de o EM ir em direção a H seguindo o vetor de gravidade será uma probabilidade considerada.

### 3.2.1. Funcionamento

Quando o EM passa por um caminho pela primeira vez, este ponto final é anotado e é dado um valor  $\gamma$  que representa o valor de acerto, o valor que é dado inicialmente a  $\gamma$  é 1. Se o EM na hora  $\beta$  do dia da semana  $\delta$  inicia uma nova trajetória, os pontos de mudança de direção são armazenados, e é verificada a força exercida pelo ponto H previamente anotado. Se o EM estiver indo em direção a H, significa que ele tem uma probabilidade de estar indo para o centro de atração de H, e todos os pontos devem ser armazenados na lista L com H sendo o primeiro elemento. Caso o EM não tenha ido para H, a lista é apagada, e o novo ponto é armazenado em H, com o valor  $\gamma$  ajustado para 1. Caso o EM desloque-se para H, a lista deve ser armazenada, e  $\gamma$  deve receber um incremento de uma unidade.

A lista de pontos é descrita da seguinte forma:  $L = \{H, x_n, x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_1, x\}$  (5)

Onde L é a lista propriamente dita, H é o ponto de chegada,  $x_n$  é a curva mais próxima de H, e x é a próxima curva na trajetória do dispositivo. A topologia em curvas é utilizada devido ao formato das ruas, uma vez que, se o EM entra numa curva, ele irá seguir em linha reta até a próxima curva.

Quaisquer dois pontos dentro da lista formarão um vetor, ou seja,  $L' = \{x_{n-j}, x_{n-k}\}$  sendo  $j > k$ , forma um vetor na direção de  $x_{n-j}$  sujeito ao mesmo princípio de gravidade. Desta forma, se um vetor entre  $x_n$  e  $x_{n-i}$  com  $i > 0$  for formado e o caminho entre eles for uma linha reta, então a gravidade deste vetor terá um valor máximo. Se um determinado EM percorre cotidianamente um modelo de movimentação que possa ser representado por L, então L pode ter uma alta probabilidade de ser repetido. Se L é um modelo de movimentação ótimo ou semi-ótimo, então é possível calcular um termo de aderência ou de gravidade, que indica o grau de proximidade na movimentação do EM do vetor fundamental.

Este princípio permite retirar alguns elementos da lista L, ou seja, se existirem três elementos de forma que  $L' = \{x_{n-j}, x_{n-i}, x_{n-k}\}$  com  $k < i < j$ , e a lista L tiver um alto valor de acerto  $\gamma$ , então  $x_{n-i}$  pode ser eliminado da lista da seguinte forma: se existe um vetor entre  $x_{n-j}$  e  $x_{n-k}$ , e  $x_{n-i}$  for o estado mais próximo de H e do vetor formado por  $x_{n-j}$  e  $x_{n-k}$  entre todos os próximos estados, então a aderência da trajetória L' deve indicar que se o dispositivo sai de  $x_{n-k}$  e vai para  $x_{n-j}$  ele provavelmente passará por  $x_{n-i}$ , o que

Ihe permitira diminuir um elemento da lista. Caso  $L$  tenha um alto valor  $\gamma$ ,  $L$  só precisará ter o valor de  $H$ , e o caminho restante será o caminho mais próximo entre a primeira posição e a posição  $H$ .

O valor de acerto  $\gamma$  servirá como entrada para a função taxa de aderência:

$$t = \left| \left( \frac{1}{\gamma} \right) - 1 + \left( \frac{1}{(\gamma+2)^2} \right) \right| \quad (6)$$

onde  $t$  é a taxa de aderência, e  $\gamma$  é o valor de acerto. A taxa de aderência, indica a pseudo-probabilidade de acerto do próximo estado do usuário móvel. O valor de acerto é anexado junto a um vetor de gravidade.

### 3.2.2. O Esquema de Mobilidade

O esquema de mobilidade deve ser armazenado em uma t pula de forma  $E(L, \gamma)$  onde  $L$    o esquema de mobilidade disposto em lista e  $\gamma$    a quantidade de acertos de  $L$ . Se  $L$  tiver posi es que estejam muito distantes do vetor principal, então  $E(L, \gamma)$  pode ser decomposto e assumir a forma da equa o 7. Sendo  $E'$  uma lista de esquemas de mobilidade. A Figura 3 mostra a forma do modelo composto:

$$E' = \{E_n(L_n, \gamma_n), E_{n-1}(L_{n-1}, \gamma_{n-1}), \dots, E_1(L_1, \gamma_1)\} \quad (7)$$



**Figura 3: Composi o de vetores**

Desta forma   possível descrever a mobilidade de um usuário em uma cole o de esquemas de mobilidade, onde cada esquema  $E_i$  representa um vetor de gravidade  $L_i$  sujeito a todos os fen menos descritos sobre vetor de gravidade.

Dessa forma, mesmo que um único vetor contenha uma grande quantidade de estados, se acontecer um erro em algum destes estados, o valor de acerto  $\gamma$  será penalizado. Nesse caso, se ocorrer um erro na predi o, o valor  $\gamma$    dividido por dois, e se a taxa resultante for menor que um limiar  $\lambda$ , o vetor de gravidade   quebrado. A parte do vetor anterior ao erro   mantida até o atual estado, ou seja, do ponto inicial até o estado atual, e do estado atual até o estado final. Uma nova cole o de vetores   produzida com um novo vetor de gravidade entre o ponto atual e o ponto final do trajeto.

A idéia   que mesmo com a ocorrência de erros em um determinado estado, o EM manter  a tendência de atra o pelo vetor de gravidade. Caso o EM continue a se mover em estados mais afastados do vetor, há fortes indícios de que o centro de atra o está sendo substituído, e que o EM está mudando sua trajetória. Neste caso, a rede deve criar uma lista paralela de pontos iniciando do ponto de deser o até o ponto de chegada

da nova trajetória. O algoritmo de predição neste momento a ser usado deve ser modelado por outras técnicas tais como Cadeias Semi-Markovianas, ou outros modelos de gravidade.

A partir de uma quantidade limite de erros, o valor de acerto  $\gamma$  do vetor de gravidade não deve mais ser penalizado, uma vez que podem ocorrer mudanças eventuais de caminhos. Quando ocorrem tais mudanças pode-se optar por criar vetores paralelos como medida preventiva. Caso o EM surja com outra trajetória, a trajetória de menor acerto deve ser descartada.

Sendo  $\mathcal{E}$  um conjunto de pontos que representa o próximo estado, com  $\mathcal{E} = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ , então o ponto mais provável será aquele em que a distância  $D$  e  $D'$  forem as menores, onde  $D$  é a distância entre o ponto  $p_i$  e o centro de atração do vetor, e  $D'$  é a distância entre o ponto  $p_i$  e o vetor de gravidade, como demonstra a equação 8.

$$D' = \frac{\left| \left( \frac{\delta y}{\delta x} \right) x_0 - y_0 + \left( -y_a + \left( \frac{\delta y}{\delta x} \right) x_a \right) \right|}{\sqrt{\left( \frac{\delta y}{\delta x} \right)^2 + 1}} \quad (8)$$

Onde  $\left( \frac{\delta y}{\delta x} \right)$  será igual a reta tangente do vetor de gravidade,  $X_a$  e  $Y_a$  o ponto de atração e,  $X_0$  e  $Y_0$  o valor do ponto no próximo estado.

Para exemplificar, quando o usuário começa a se locomover, o sistema procura na base do perfil de mobilidade para aquele dia, qual será o próximo ponto de atratividade, que no caso será o primeiro valor do esquema de mobilidade  $E'$  mencionado nesta seção. Quando o sistema descobre o próximo ponto de atratividade, ele recupera o esquema de mobilidade  $E'$  e em seguida utiliza o modelo proposto para desenhar o caminho no qual o usuário estará mais propenso a percorrer. O caminho é desenhado do ponto de atração onde o usuário está até o ponto de atração onde o usuário tem maior chance de ir (H) através do conceito de *back track*.

### 3.2.3. O Método de Composição dos Vetores

Observado o conceito da técnica proposta, percebe-se que se existir um vetor modelando um caminho em linha reta, significa que todos os pontos neste caminho podem ser excluídos, ficando apenas o estado onde o terminal móvel irá mudar a sua direção. Baseado nesta suposição é possível criar um método para a composição de vetores onde é possível estabelecer uma quantidade mínima de estados necessários para o armazenamento.

Sendo assim, classifica-se um estado como “mudança de direção” se, dado a lista de estados  $L' = \{x_2, x_1, x\}$ , os vetores formados por  $(x_2, x_1)$  e  $(x_1, x)$  possuírem um ângulo  $\theta \geq 45^\circ$ , então  $x_1$  é considerado um estado de mudança de direção. Tomando  $Q_c$  como a quantidade de estados de mudança de direção, temos a seguinte equação:

$$C_c = \frac{Q_c}{T_E - 2} \quad (9)$$

Onde  $C_c$  representa o coeficiente de curvas,  $Q_c$  é a quantidade de curvas existente na movimentação dos usuários, e  $T_E$  é a quantidade total de estados existentes

na movimentação subtraído em duas unidades, por existirem dois estados que não podem ser de mudança, neste caso o primeiro estado e o último. A partir da equação 9 é possível encontrar a quantidade esperada de pontos a serem armazenados ( $QE_{esp}$ ), como demonstra equação 10:

$$QE_{esp} = T_E * C_C \quad (10)$$

Baseado nestes cálculos é possível observar que a quantidade de pontos reais armazenados será  $QE_{reais} \leq QE_{esp}$ , uma vez que outros pontos podem ser retirados utilizando as regras propostas neste trabalho.

#### 4. Simulações

Para avaliar a eficiência desta abordagem, foram feitas 100 simulações com 1000 EM em um ambiente controlado contendo 101 células, executando 100 *handovers*, resultando em uma amostragem com distribuição normal. Com a observação da normalidade das amostras é possível extrair intervalos de confiança com nível de significância de 95%. Foi utilizado para a simulação o framework *Discrete-Event Modelling and Simulation* [Desmoj, 2006], com o propósito de avaliar a taxa de acertos com relação à predição de *handovers* e a quantidade de registros armazenados para a representação do caminho de cada EM. Os resultados são comparados com o algoritmo proposto em [Liu e Maguire, 1995]. Nesse ambiente de simulação foi utilizado um parâmetro modelado por uma distribuição de Poisson representando o grau de repetição do movimento, ou seja, a quantidade de acertos  $\gamma$  descrita na seção 3.2.1.

Para avaliar o modelo proposto integrado com o SMIPv6, é utilizada para a modelagem e simulação as Redes de Petri Estocásticas Generalizadas, através da ferramenta de modelagem TimeNET versão 4.0 [TimeNet, 2007]. Nas simulações estacionárias foi feita uma comparação entre o protocolo MIPv6 padrão e o SMIPv6 com o modelo proposto incluso. Para avaliar a eficiência de armazenamento do perfil do usuário em comparação com o proposto em [Quintero *et al.*, 2006], foi utilizada como parâmetro a quantidade de informações registradas pelo EM durante cinco dias em um percurso diário de 50km, variando o tamanho das células em 0,1 km<sup>2</sup>, 1 km<sup>2</sup> e 9 km<sup>2</sup>. Os modelos criados no TimeNet para o MIPv6 é apresentado na Figura 4(a), assim como, o modelo proposto na Figura 4(b). Os principais parâmetros adotados como tecnologia, diâmetro das células, velocidade e tempo de transição são baseados em [Quintero *et al.*, 2006] acrescidos de velocidades do usuário com valores de 18, 36, 64, 72, 90 e 108 Km/h, valores da transição( $\gamma$ ) 3, 4, 6, 8, 10, 20, considerando as tecnologias IEEE 802.11 e UMTS.

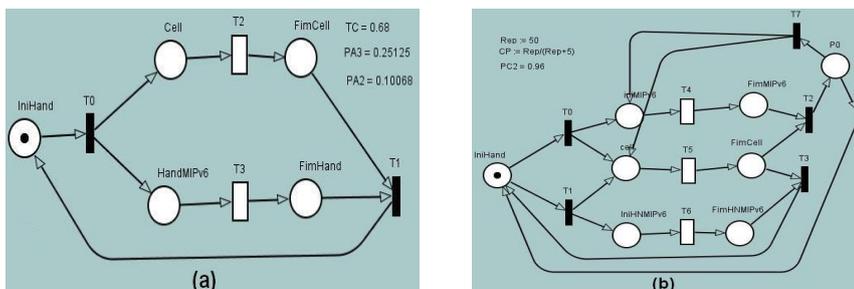


Figura 4. Modelagem do MIPv6 (a) e SMIPv6 (b)

## 5. Análise dos Resultados

Como resultado dos primeiros testes de armazenamento de perfil de usuário móvel para o período de uma semana útil (5 dias), a Figura 5 apresenta que o modelo SMIPv6 original [Quintero *et al.*, 2006], já no primeiro quilômetro percorrido, é melhor adaptado para tecnologias com células com área maior, no caso  $9\text{km}^2$ , armazenando 200bytes, visto que células com  $100\text{m}^2$  ou  $1\text{km}^2$  armazenam 3Kbytes e 400bytes respectivamente.

Pode-se também verificar que o modelo proposto é mais eficiente quando o usuário possui no mínimo duas áreas de atratividade e percorre mais de 10 km diários, assim como, para os que possuem o máximo de 5H, e percorram mais de 20 km diários. No caso de um percurso diário de 50 km, a eficiência de armazenamento chega a 400% caso o usuário só possua 2H e 100% para o caso de 5H.

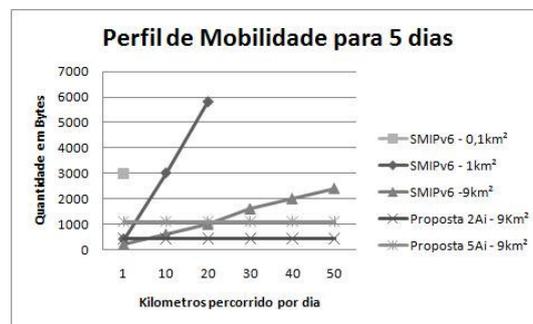


Figura 5: Perfil armazenado em 5 dias

Para a capacidade de predição, ao analisar a Figura 6(a), verifica-se que o modelo proposto possui uma média de acerto crescente superior ao modelo de [Liu e Maguire, 1995], chegando a 100% de acerto para os casos em que o usuário possui maior regularidade ao utilizar o modelo. Verifica-se também que com a utilização do sistema, aumenta o grau de certeza do modelo, e a quantidade de células guardadas para predição diminui comparado ao modelo que armazena todas as células percorridas pelo usuário, como se verifica na Figura 6(b).

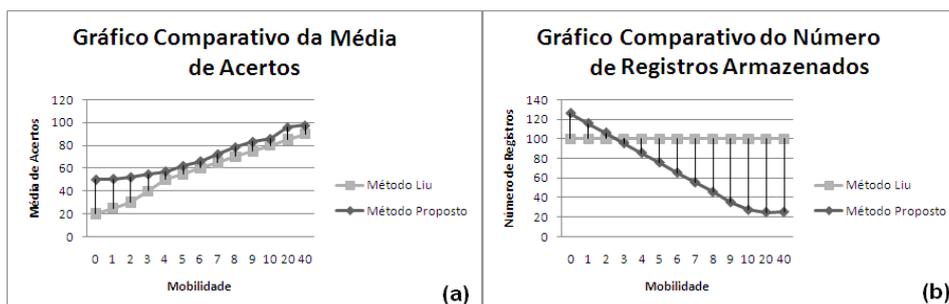


Figura 6 – média de acertos (a) e número de registros (b)

Embora os gráficos obtidos demonstrem uma melhora tanto para o aumento da taxa de predição de caminho, como para a diminuição da quantidade de registros necessários, apenas os valores não são suficientes para afirmar o grau de eficiência do modelo proposto. Para este fim foi elaborado um teste de hipótese sobre os dados colhidos para avaliar a existência ou não de diferença de eficiência.

O teste utilizado para a análise foi o teste de Wilcoxon [Siegel, 1995] para amostras independentes. Na primeira avaliação, testou-se a existência de igualdade entre a mediana da taxa de acerto dos dois métodos:  $H_0: M_1 - M_2 = 0$ ;  $H_a: M_1 - M_2 < 0$ .

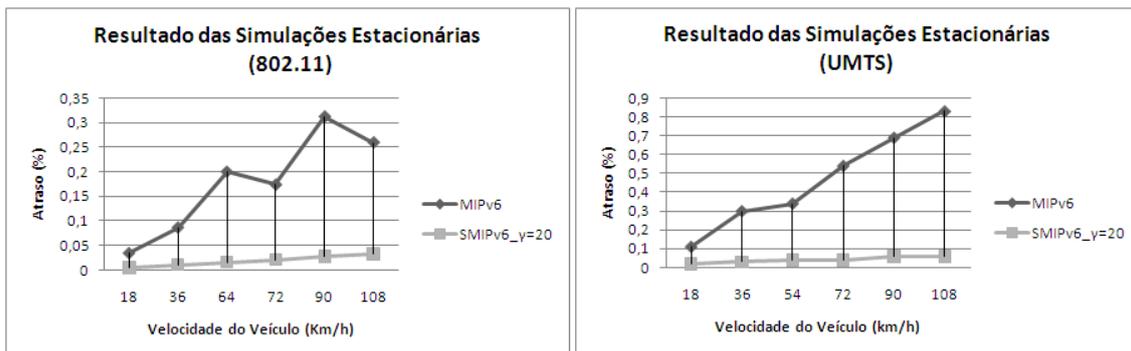
Com  $H_0$  sendo a hipótese nula,  $H_a$  como a hipótese alternativa, e  $M_1$  e  $M_2$  sendo as medianas do método proposto e o método proposto por [Liu e Maguire, 1995]. Com um grau de confiança de 95%, encontrou-se o valor de  $Z = 1,25641$ , valor este que está dentro da região de aceitação, o que indica que não rejeita-se a hipótese nula  $H_0$  sobre a igualdade das medianas. O resultado obtido por este teste de hipótese demonstra que o modelo possui uma taxa de acerto em previsão de caminho comparável ao método proposto por [Liu e Maguire, 1995].

O segundo Teste realizado levou em consideração a quantidade de registros armazenados necessários para montar a movimentação do usuário. Neste teste temos as seguintes hipóteses:  $H_0: M_1 - M_2 = 0$ ;  $H_a: M_1 - M_2 < 0$ .

Onde  $H_0$  representa a hipótese de que os dois métodos armazenam a mesma quantidade de registros para descrever a movimentação do usuário, e  $H_a$  representa a hipótese de que o método proposto por este trabalho necessita de uma quantidade menor de registros. Com um grau de confiança de 95%, encontrou-se o valor de  $Z = -2.179$ , valor que está fora da região de aceitação, o que permite rejeitar a hipótese nula, mostrando que o método proposto necessita de uma quantidade menor de registros.

Um teste de hipótese de Wilcoxon para amostras pareadas foi realizado para estimar a diferença entre as medianas, e obteve-se o resultado de  $-33,29$ , o que permite observar que este modelo necessitou de uma quantidade média aproximada de  $33,29$  registros a menos que o método de [Liu e Maguire, 1995].

A Figura 7 demonstra que, utilizando o SMIPv6 com o modelo de mobilidade e com o método de previsão de caminho proposto, obtém-se um atraso menor em relação ao MIPv6. Este aumenta o atraso em até 11 vezes para a velocidade média de  $90\text{Km/h}$ .



**Figura 7: Relação atraso por velocidade em redes 802.11 (a) e UMTS (b)**

Se for considerado que o usuário passa um período de 1000 segundos em deslocamento e conectado à rede de acesso, é possível observar que o MIPv6 consegue gerar atraso abaixo de 5% (50s do tempo total) quando o usuário está trafegando a uma velocidade média de  $18\text{Km/h}$ . Acima desta velocidade o atraso total pode chegar a 32% (320s do tempo total). Por outro lado, o SMIPv6, utilizando o método de previsão de caminhos proposto juntamente com o modelo de mobilidade, permite um atraso sempre abaixo de 5% (menor do que 50s do tempo total) mesmo em um ambiente com células

de pequeno diâmetro, como as células IEEE802.11, onde em baixa velocidade o atraso é cerca de 0,48% (4,8s do tempo total), e em alta velocidade chega a 3,24% (32,4s do tempo total).

## 6. Conclusões

Neste trabalho foi proposto um modelo eficiente para criação e armazenamento de perfis de mobilidade e predição de caminho para uma arquitetura centrada no usuário com padrão de comportamento. Este modelo foi adicionado ao protocolo SMIPv6, resultando em uma eficiência de 100% no armazenamento de perfil do usuário, assim como, no percentual de acertos na predição do caminho. Quanto ao atraso no *handover* vertical, verificou-se a diminuição de no mínimo 27% para o pior cenário, que possui velocidades médias de 18km/h na tecnologia IEEE802.11. Dessa forma, verifica-se que o modelo permite uma melhor transparência de *handover* vertical, contribuindo para os desafios da Internet do Futuro.

Como trabalho futuro pretende-se desenvolver uma técnica de seleção de redes que utilize o modelo proposto em conjunto com a qualidade de experiência do usuário (QoE).

## 7. Referências

- Aguiar, R., Einsiedler, H, Moreno, J. (2009) "A Requirements analysis for the Protocol Stack of the Future Internet", Proc. Future Networks 2009 workshop of IEEE International Conference on Communications, ICC09, Germany.
- Bellavista, P., Corradi, A. and Giannelli, C. (2009) "Mobility-aware management of internet connectivity in always best served wireless scenarios", Mobile Networks and Applications. pp. 18-34.
- Bolla, R., Rapuzzi, R., and Repetto, M. (2009) "Handling Mobility over the Network". Proc. 4<sup>th</sup> International Conference on Future Internet Technologies- CFI'09 , Korea.
- Chew, C., Nanba, S., Tham, P., Yeo, B. and Nakamura, H. (2007) "On the Verification of the Gravity Model Used for Mobility Modeling". IEEE International Conference on Communications. Scotland. p. 5642-5647.
- Choi, J. (2006) "4G, Solution for Convergence". Microwave Symposium Digest. IEEE MTT-S International. IEEE Press:843 – 846
- Choi, Y., Lee, K. and Bahk, S. (2007) All-IP 4G Network Architecture for Efficient Mobility and Resource Management. IEEE Wireless Communications. April 2007.
- Desmo-J (2006) Discrete-Event Modelling and Simulation. URL:<http://desmoj.sourceforge.net/home.html>
- Dias, K., Oliveira, J., and Sadok, D. (2000) "Uma arquitetura para Análise de Carga de Sinalização em Redes de Comunicação Móvel Celular". Congresso da Sociedade Brasileira de Redes de Computadores – SBRC.
- Dutta, A., Lyles, B., Schulzrinne, H. and Wang, J. (2009) "System Modeling for IP-based handoff Using Timed Petri Nets". In Proceedings of the 42nd Hawaii International Conference on System Science, USA.

- Govil, J. and Govil, J.(2007) "4G Mobile Communication Systems: Turns, Trends and Transition". 2007 International Conference on Convergence Information Technology ICCIT'07 Cairo, Egypt.
- Hadjiefthymiades, S., Papayiannis, S. and Merakos, L. (2002) "Using Path Prediction to Improve TCP Performance in Wireless/Mobile Communications". IEEE Communication Magazine.
- Härri, J., Filali, F. and Bonnet, C. (2007) "Mobility Models for Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey and Taxonomy". <http://www.eurecom.fr>, December.
- Kyriakakos, M., Hadjiefthymiades, S., Frangiadakis, N. and Merakos, L.(2003) "Multi-user Driven Path Prediction Algorithm for Mobile Computing", proceedings of 14th Database and Expert Systems Applications (DEXA), Czech Republic, pp. 191-195
- Levine, D., Akyildiz, I. and Naghshineh, M. (1997)"A Resource Estimation and Call Admission Algorithm for Wireless Multimedia Networks Using the Shadow Cluster Concept", IEEE/ACM Trans. on Networking, Feb. 1997, pp. 1-12.
- Liu, G. and Maguire. G. (1995) "A Predictive Mobility Management Algorithm for Wireless Mobile Computing and Communications". Universal Personal Communications. Nov 1995. Pages:268 – 272.
- Liu, T., Bahl, P and Chlamtac, I. (1998) "Mobility Modeling, Location Tracking, and Trajectory Prediction in Wireless ATM Networks," In IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 16 p. 922-936.
- Markoulidakis, J., Lyberopoulos, G., Tsirkas D., Sykas, E.(1997) "Mobility Modelling in Third Generation Mobile Telecommunication Systems", IEEE Personal Communications, Vol. 4, No.4, pp. 41-56.
- Quintero, A., Pierre, S. and Alaoui, L. (2006). "A mobility management model based on users' mobility profiles for IPv6 networks". Computer Communications archive volume 30 , Issue 1 p. 66-80.
- Sabella, Roberto (2007) "Network Architecture Evolution: towards "All-IP" Next Generation Internet Networks, 3rd EuroNGI Conference on; p. xviii-xix
- Siegel, S. (1995), Estatística Não Paramétrica para as ciências do comportamento. Makron Books do Brasil Editora Ltda.
- Silva, S., Rocha, M.,ateus,G.(2002) "Simulation and analysis of a new mobility model for mobile communication networks". Annals of Operation Research 116:57–69.
- Silva, E., Farines, J. , Diaz, M. (2009) "Path Prediction for Resource Reservation between Mobile Nodes". Proceedings in WCNC 2009, Budapest. v. 1. p. 1-6.
- Shen, X., Mark, J. and Ye, J. (2000) "User mobility profile prediction: An adaptative fuzzy inference approach". Wireless Networks, v.6 n.5, p.363-374
- Söllner, M., Görg, C., Pentikousis, K., Lopez, J., Leon, M. and Bertin, P. (2008) "Mobility scenarios for the Future Internet: The 4WARD approach", in Proc. 11th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), Saariselkä, Finland.
- TimeNET (2007). Timed NetEvaluationTool.URL: <http://www.tuilmnau.de/TimeNET>.