

Modelo de Mobilidade para Representação de Cenários de Ambientes Fechados

Alexandre Mendes da Silva^{1*}, Luis Felipe M. de Moraes¹

¹Laboratório de Redes de Alta Velocidade – RAVEL
Programa de Engenharia de Sistemas e Computação – COPPE/UFRJ
Caixa Postal: 68.511 – 21941-972 Rio de Janeiro, RJ

alexandre@ravel.ufrj.br, moraes@ravel.ufrj.br

Abstract. *The proliferation of wireless network technologies motivate several studies about mobility. The models have been used for scenarios representations. These scenarios allow to get important characteristics of simulated environments and to simulate new handoff technics, mobility prediction, capacity increase, latency reduction and others. The goal of this paper is to propose a mobility model for indoor environments including its special characteristics. Comparisons with other models by means of adopted metrics had been presented. The proposed model supplies a better representation of existing standards of movement in indoor environment.*

Resumo. *A crescente utilização de dispositivos sem fio tem sido motivação para estudos relacionados com a mobilidade. Os modelos vem sendo utilizados para a representação de cenários com a finalidade de obter características importantes do ambiente, assim como simular novas técnicas de handoffs, predição de mobilidade, aumento de capacidade, redução de latência, entre outras. Este presente trabalho tem o objetivo de propor um modelo de mobilidade para a representação de ambientes fechados, tratando de características inerentes a este tipo de ambiente. Foram apresentadas comparações com outros modelos mediante métricas adotadas. Este modelo proposto fornece uma melhor representação de padrões de movimentação existentes em ambiente fechado*

1. Introdução e Motivação

A mobilidade é uma importante característica das redes sem fio, pois permite ao usuário permanecer conectado à rede, mesmo enquanto se move. Um usuário pode utilizar seu dispositivo, por exemplo um *notebook* ou PDA(Personal Digital Assistant), e permanecer conectado durante sua locomoção entre diferentes locais. Esta facilidade, no entanto, ocasiona problemas no projeto destas redes. Quando se trata de rede infra-estruturada, a disposição do usuário no interior da área de cobertura de um ponto de acesso é que garante a manutenção da conexão à rede, e a mobilidade pode fornecer uma indesejável latência no momento de transição de um ponto de acesso para outro. Em redes não infra-estruturadas (*ad hoc*), a mobilidade traz problemas no estabelecimento de rotas e na capacidade da rede [Su et al., 2001] [Gupta and Das, 2001].

Um conjunto de protocolos existente permite que o Protocolo de Internet (IP) suporte a mobilidade [Perkins, 1996], possibilitando que um dispositivo móvel passe de

*Este trabalho teve o apoio da CAPES/MEC (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior / Ministério da Educação)

uma rede para outra sem que as conexões estabelecidas sejam interrompidas. A predição da mobilidade ajuda a resolver problemas em redes sem fio, pois permite, por exemplo, a pré-alocação de recursos [Bharghavan and Mysore, 1997] [Hsieh et al., 2003] em outro ponto de acesso, visando evitar a perda de conexão e a latência em ocasiões de *handoff* [L. Perato, 2002]. Em redes ad hoc, técnicas de predição podem ajudar a calcular o tempo esperado de uma conexão e facilitar o estabelecimento de rotas mais estáveis.

O artigo [Song et al., 2004] exibiu resultados de uma pesquisa envolvendo predição de mobilidade em um ambiente real de redes sem fio. Este trabalho foi realizado utilizando dados empíricos obtidos no campus de Dartmouth College e revelou uma precisão de 65 a 72 % na predição utilizando a técnica de Markov ordem k , entre outras.

Estudos vem sendo realizados com a finalidade de minimizar os problemas ocasionados e garantir a eficiência da rede conhecendo características do cenário de mobilidade. Com este objetivo, a modelagem do movimento dos nós em uma rede móvel é de extrema importância para o projeto e a simulação de novas técnicas desenvolvidas para redes sem fio.

A proliferação de dispositivos de redes sem fio trouxe a necessidade de estudos da mobilidade em ambientes fechados, que apresentam a particularidade de possuírem obstáculos que guiam a movimentação do usuário. A literatura apresenta modelos [Kammann et al., 2003] que permitem a obtenção de trajetórias seguidas pelos usuários em um ambiente com obstáculos.

Neste artigo, estamos propondo um modelo para a representação da mobilidade de nós em um ambiente fechado. O modelo possui características inerentes ao ambiente em questão e tem o objetivo de facilitar a construção de cenários que refletem padrões de mobilidade próximos aos padrões existentes em situações reais e que podem ser explorados por mecanismos de predição de mobilidade.

Este trabalho está dividido da seguinte forma: na seção 2, breves descrições dos modelos de mobilidade utilizados nas simulações. Na seção 3, são apresentadas algumas técnicas utilizadas para predição de mobilidade. Na seção 4, descreve-se o modelo proposto. Na seção 5, descrevemos os parâmetros e métricas utilizados nas simulações. A seção 6 apresenta os resultados obtidos e suas correspondentes análises. Por fim, conclusões e trabalhos futuros são apresentados na seção 7.

2. Modelos de Mobilidade

Os estudos desenvolvidos na área de redes sem fio necessitam envolver informações sobre a mobilidade dos usuários. O estudo da mobilidade permite conhecer características inerentes ao ambiente que será suportado. Com essa finalidade, a captura de registros de movimentação possibilita uma observação do comportamento dos dispositivos móveis. Estes registros de mobilidade podem ser obtidos em ambientes reais, o que necessita da existência de uma infra-estrutura disponível, ou através de modelos de mobilidade determinísticos ou não-determinísticos.

Os modelos de mobilidades têm sido muito utilizados na execução de simulações para avaliações [Alexandrosz Burulitiz and dr. Sándor Imre, 2002] de algoritmos de *handoff*, predição de mobilidade, vazão máxima, algoritmos de roteamento, etc.

Nesta seção, serão apresentados, de forma sucinta, alguns dos modelos de mobilidade já existentes e utilizados em simulações para este artigo. Neste trabalho, foi proposto um modelo de mobilidade para estudo do comportamento de movimentação dos

nós móveis em um ambiente fechado.

2.1. Random Waypoint (RWP)

Neste modelo, um nó móvel é posicionado, a princípio, em um local escolhido aleatoriamente, segundo uma distribuição uniforme. Este nó móvel permanece no mesmo local por um certo período de tempo (tempo de pausa). Ao fim deste período, o nó escolhe um destino, também de forma aleatória e segundo uma distribuição uniforme, na área de simulação. A velocidade do nó móvel também encontra-se uniformemente distribuída entre: $[V_{min}, V_{max}]$. O nó móvel então percorre o caminho até o novo destino com a velocidade escolhida. Uma vez que o destino é alcançado, o nó móvel pára por um período de tempo (tempo de pausa) específico antes de reiniciar o processo. Um estudo [Yoon et al., 2003] revelou que o modelo falha em fornecer resposta em regime permanente para a velocidade média. A solução sugerida para este problema é atribuir para V_{min} um valor positivo não nulo. Este modelo está implementado pela ferramenta ScenGen [Qiming, 2003] utilizada nas simulações deste presente trabalho.

2.2. Smooth

Este modelo implementa dois processos estocásticos que guiam as mudanças de velocidade e direção. Além disso, as alterações na velocidade ocorrem baseadas em uma aceleração/desaceleração que suaviza o movimento do nó. Este modelo foi implementado em um algoritmo na linguagem C++ segundo interfaces e padrões da ferramenta ScenGen. Utilizou-se como referência, para a implementação com tempo discreto, o artigo [Bettstetter, 2001b].

O algoritmo utiliza duas probabilidades que definem o comportamento da mobilidade:

- Probabilidade de Mudança de Direção - A cada movimentação do nó, um processo estocástico, em função de uma probabilidade p_d , determina se haverá alterações de direção. Se ocorrer alteração de direção, um valor definido no intervalo $[0, 2\pi]$ é escolhido aleatoriamente segundo uma distribuição uniforme;
- Probabilidade de Mudança de Velocidade - A cada movimentação do nó, um processo estocástico, em função de uma probabilidade p_v , determina se haverá alterações de velocidade. Se ocorrer alteração de velocidade, um valor dentro de um conjunto de velocidades preferenciais é escolhido respeitando as respectivas probabilidades de cada velocidade.

As alterações na velocidade não são submetidas bruscamente ao nó. Uma aceleração definida no intervalo $[a_{Min}, a_{Max}]$ é escolhida aleatoriamente segundo uma distribuição uniforme. Deste modo, as alterações de velocidade são gradativamente realizadas até que se atinja a velocidade final. Vale observar que a velocidade final só será atingida se não ocorrer outra alteração de velocidade durante esta fase de alteração gradativa.

2.3. Modelo Markoviano de Mobilidade Individual Genérico (MMIG)

Neste modelo [Campos et al., 2003], a alteração da posição do nó é governada por uma cadeia de Markov discreta. Cada estado da cadeia representa um valor de deslocamento. Sendo que o estado central representa pausa no deslocamento e os estados da direita e da esquerda representam deslocamentos com orientação positiva e negativa, respectivamente. Este modelo também foi implementado em um algoritmo na linguagem C++ segundo interfaces e padrões da ferramenta ScenGen.

No MMIG, é atribuído um conjunto de valores de incremento na posição atual, que variará no intervalo $[1, n]$, ou seja, o incremento corresponde à velocidade que o nó usa para mudar da posição atual para a próxima posição. A velocidade é dada por uma progressão geométrica definida no intervalo $[1, n]$.

A cadeia de Markov que rege o comportamento de movimentação neste modelo possui probabilidade m de mudança para os estados à direita e m para os estados à esquerda, conseqüentemente a probabilidade de permanência no estado é $(1 - 2m)$. A implementação realizada para este modelo parte de uma probabilidade ' m ' (probabilidade de incremento da posição do nó para esquerda e para direita) e distribui ' m ' para a esquerda e ' m ' para a direita) essa probabilidade segundo uma progressão geométrica de ordem $1/2$. A cada movimentação do nó, é gerado um valor aleatório que, obedecendo as probabilidades da cadeia de Markov, vai determinar o novo estado ao qual o nó vai pertencer. Se este estiver no segundo estado à direita do zero, por exemplo, o nó vai deslocar-se de dois em dois passos no sentido positivo. Deste modo, o estado da cadeia informa o número de passos que devem ser dados pelo nó, além do sentido de movimentação, e, com este valor, calcula-se a velocidade que ele atinge.

2.4. Regras de Borda em Simulações com Área Limitada

Na simulação de certos modelos de mobilidade, os nós podem sair da área de simulação. Quando esta situação ocorre, deve existir uma regra que defina o trajeto que este nó deve seguir. Esta regra é chamada regra de borda. Podemos citar como principais regras de borda: *bounce*, *delete and replace*, e *wrap around* [Bettstetter, 2001a]. A influência destas regras de borda na simulação de cenários de mobilidade foi alvo de estudo em [Mendes et al., 2004].

A regra de borda *bounce* realiza a reflexão do movimento do nó móvel na borda da área de simulação, fazendo com que sua trajetória permaneça dentro desta área. Nesse novo movimento, o ângulo de reflexão ("definido com relação à normal da borda") permanece o mesmo que o ângulo de incidência e a velocidade permanece o mesmo valor anterior à reflexão.

Na regra *delete and replace*, quando um nó móvel atinge a borda, este é retirado da área de simulação e inserido novamente em uma posição de coordenadas (x, y) aleatoriamente escolhidas. Essa regra tem a característica de representar a saída do nó móvel da área de cobertura da rede, o que, às vezes, é uma característica realista. Entretanto, uma característica não realista, é colocar o mesmo nó móvel aleatoriamente numa posição qualquer da área, simplesmente para garantir que o número de nós do cenário simulado permaneça constante.

A regra de borda *wrap around* "espelha" o movimento do nó móvel na borda oposta. O nó preserva a mesma direção, sentido e velocidade que possuía antes de alcançar a borda.

3. Predição de Mobilidade

Conforme citado anteriormente, técnicas de predição de mobilidade possuem grande importância para a diminuição de problemas ocasionados pela mobilidade. Entre estes problemas, podemos citar a latência ocasionada pelo *handoff*. A mobilidade dos nós móveis muitas vezes obedece um certo padrão. Muitos usuários de telefonia celular, por exemplo, obedecem o trajeto casa-trabalho-casa. São estes padrões que devem ser considerados para obter a informação de qual será o próximo ponto de acesso ao qual o terminal móvel irá se conectar. Se este tipo de informação puder ser obtido, uma reserva de recursos

pode ser realizada no próximo ponto de acesso a ser utilizado, e os dados referentes à autenticação de um usuário podem ser transferidos previamente.

Dentro deste contexto, surgem alguns critérios que podem ser utilizados para predição de mobilidade [Chain et al., 1998]:

- Critério da Localização - É mantido um histórico sobre o número de vezes que cada ponto de acesso é utilizado por um terminal móvel. Este histórico fornece uma distribuição de probabilidade para o próximo ponto de acesso que será utilizado pelo terminal móvel
- Critério da Direção - Neste caso, além do histórico do número de vezes que um ponto de acesso foi utilizado, também possui importância a direção que vem sendo seguida pelo nó. Para efetuar a predição, é necessário saber qual foi o último ponto de acesso pelo qual o usuário passou.
- Critério da Segmentação - Este critério é uma extensão do critério de direção. Neste caso, a seqüência exata de pontos de acesso pelos quais o terminal móvel passou é armazenada. Deste modo, se o terminal seguir pela mesma seqüência de pontos de acesso, podemos prever a movimentação no terminal.
- Regra de Bayes - Ao invés de considerar uma rota que já foi tomada, podemos traçar todas as possíveis rotas que o nó poderia tomar a partir da posição atual e, com isso, verificar qual o ponto de acesso mais provável de ser utilizado pelo terminal móvel nos próximos passos.
- Critério do Tempo - Explora o movimento dos usuários que sempre passam pelos mesmos locais em um determinado horário ou dia.
- Critério da Correlação - Se nenhuma informação individual do nó está disponível, a predição pode ser realizada com base nos padrões de mobilidade seguidos pelos outros usuários. Como cada usuário pode ter um padrão diferente do outro, este não é um bom critério.

3.1. Predição Utilizando Markov de Ordem K

O método da predição utilizando cadeia de Markov de ordem k está baseado no critério de direção. Para a descrição deste modelo, necessitamos introduzir duas definições importantes:

- Histórico - Conjunto de todos os pontos de acesso já utilizados pelo nó;
- Contexto do Nó - K últimos pontos de acesso utilizados pelo nó.

Esse método utiliza o histórico e o contexto do nó para realizar a predição do próximo ponto de acesso a ser utilizado. O método é guiado por uma cadeia de Markov em que os estados são pontos de acesso. A predição é definida por uma matriz de probabilidades de transição de estado que são fornecidas pela Equação 1.

$$P(X_{n+1} = a|L) = \frac{N(ca, L)}{N(c, L)} \quad (1)$$

sendo:

- $N(s',s)$ = Número de vezes que a seqüência s' é encontrado em s
- L = Conjunto de todos os pontos de acesso já utilizados pelo usuário
- X_{n+1} = Próximo ponto de acesso
- c = Seqüência dos k últimos pontos de acesso

Utilizamos este critério de Markov para obter resultados comparativos entre os modelos. Nas simulações realizadas, em caso de empate entre as probabilidades de transição de estado, consideramos o critério de desempate baseado no último ponto de acesso exibido no histórico. Ou seja, dentre os pontos de acesso que estão com igual probabilidade de predição, escolhemos aquele que foi mais recentemente utilizado pelo nó.

4. Modelo de Mobilidade Proposto

O modelo que estamos propondo utiliza um mapa que define o ambiente fechado a ser simulado. Um ambiente fechado é composto de divisórias e portas que permitem passagens para diferentes locais. Esse mapa do cenário é dividido em regiões chamadas de células. Cada célula pode ter atribuída uma probabilidade que representa a possibilidade de um nó passar pela posição. Esse tipo de configuração permite que sejam criados ambientes nos quais existem locais de maior concentração de nós. Em alguns cenários reais, existem locais que apresentam probabilidades diferentes de serem visitados por algum nó. Por isso, este modelo de mobilidade proposto apresenta diferentes probabilidades para cada célula do mapa. Entretanto, nas simulações realizadas para este artigo, a probabilidade de visitação de cada célula do mapa foi uniformemente distribuída. Optamos por uma distribuição uniforme para manter características semelhantes em todos os modelos simulados.

Seguindo a distribuição de probabilidades dada para cada célula do mapa, é escolhido um destino a ser atingido a cada movimentação de um nó. No entanto, para atingir tal objetivo é necessário descobrir o trajeto a ser seguido a fim de contornar os obstáculos existentes no cenário. Diante dos obstáculos existentes, o modelo informa o trajeto que deve ser seguido para encontrar o objetivo.

4.1. O Mapa Fornecido

O cenário deve ser definido através de um mapa dividido em células. Para as simulações desenvolvidas neste trabalho, realizamos uma implementação que utiliza um mapa em duas dimensões. Como no exemplo exibido pela Figura 1, cada obstáculo é definido como 'X', e cada célula livre de obstáculos, como '.'. A comunicação entre diferentes regiões do mapa é definida por '#' ("portas"). Na implementação realizada para as simulações deste trabalho, a entrada é fornecida através de um mapa semelhante ao da Figura 1, e este mapa é utilizado para o encontro de trajetos, conforme seção abaixo.

4.2. O Encontro do Trajeto

Para encontrar este trajeto, utilizamos um algoritmo baseado no mapa do cenário fornecido, considerando que cada nó busca sempre o caminho mais curto para atingir o destino. Realizamos as definições de regiões convexas (Figura 1) no mapa de modo que células de uma mesma região possam ser mutuamente atingidas através de uma trajetória retilínea. Encontramos as regiões convexas acrescentando '#' nas linhas do mapa em que existem arestas. A comunicação entre duas regiões ocorre sempre através de células demonstradas na Figura 1 por '#' e denominadas de células de comunicação ("portas").

Cada região convexa é representada por um vértice em um grafo. Os vértices vizinhos representam regiões convexas diretamente comunicáveis, conforme demonstrado na Figura 2. Utilizando este grafo e a distância entre as portas, podemos localizar o trajeto de menor custo a ser seguido por um nó da rede para que o destino seja atingido. A determinação do menor caminho é efetuado através do conhecido algoritmo de Dijkstra.

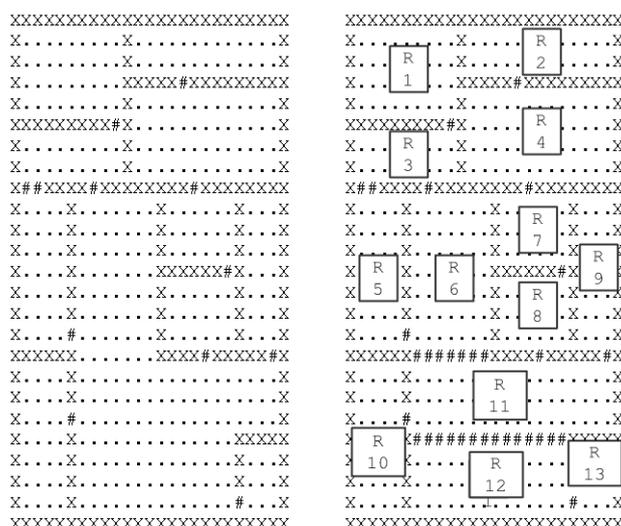


Figura 1: Mapa do Cénario e Mapa Convexo Gerado para Estabelecimento de Trajetos

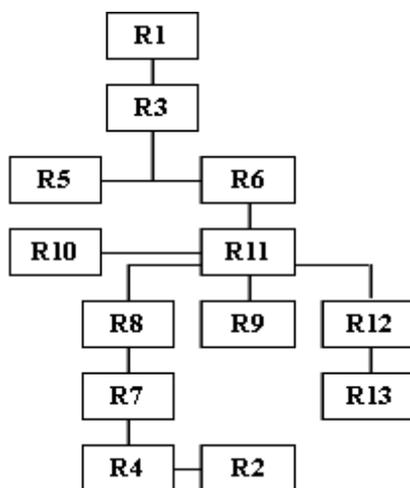


Figura 2: Grafo Representando as Regiões Convexas Diretamente Comunicáveis Ilustradas na Figura 1

Dado o destino do nó, verificamos se o destino se encontra na mesma região de origem. Caso esteja na mesma região, o nó pode atingir o destino através de uma trajetória retilínea. Caso contrário, utilizamos o algoritmo de Dijkstra para descobrir qual é a seqüência de células de comunicação que devem estar no trajeto para se atingir o destino com menor custo. Neste último caso, o tamanho do trajeto é definido pela distância do ponto de origem até a primeira célula de comunicação somada à distância percorrida no acesso às demais células de comunicação necessárias e à distância da última célula de comunicação existente no trajeto até o ponto de destino.

4.3. Utilização Algoritmo de Dijkstra para Caminhos Mínimos

O algoritmo de Dijkstra é um algoritmo utilizado para calcular o caminho de menor custo entre vértices de um grafo. Para o modelo proposto, os nós do grafo são as regiões convexas. Para cada célula de comunicação entre regiões (portas do cenário), executamos o algoritmo de Dijkstra considerando-a como raiz da busca. Deste modo, obtemos o trajeto de custo mínimo desta célula para todas as demais células de comunicação do grafo.

4.4. A Velocidade

A velocidade dos nós é limitada ao intervalo $[V_{min}, V_{max}]$. Para a escolha da velocidade inicial a ser imposta ao nó, obedecemos às seguintes regras:

- Se o nó não possuir nós vizinhos, em uma distância de até 30 metros, a velocidade é atribuída segundo uma distribuição uniforme dentro do intervalo possível;
- Se o nó possuir nós vizinhos, em uma distância de até 30 metros, a velocidade é atribuída como a média da velocidade dos nós vizinhos.

A cada intervalo de Δt segundos de simulação, a velocidade do nó pode ser alterada segundo uma probabilidade p_v . O novo valor também será escolhido segundo as duas regras citadas acima. Desconsideramos os primeiros 3000 segundos de simulação para reduzir a influência de características da fase transiente na velocidade.

5. Simulações

Neste trabalho, realizamos simulações com os modelos descritos anteriormente para estabelecer comparações com o modelo proposto. Para realizar tais simulações foi utilizado o simulador Scengen. As implementações do modelo proposto e dos modelos Smooth e MMIG foram realizadas em C++ utilizando a interface do simulador. Utilizamos a regra de borda *bounce* nos modelos Smooth e MMIG. Como procuramos modelar um modelo de ambiente fechado, consideramos que, quando o nó atinge o limite do cenário, existe uma probabilidade muito pequena de ocorrer um efeito delete and replace (sugimento em outro local escolhido aleatoriamente) ou a regra wrap-around (continuação do movimento na borda oposta). O modelo proposto e o Waypoint não permitem a saída da área de simulação e, portanto, não necessitam de regra de borda. Para obter a métrica da predição do próximo ponto de acesso utilizamos o critério de Markov ordem 2, ou seja, a predição foi baseada no histórico de mobilidade e nos dois últimos pontos de acesso utilizados pelo nó. Foram executadas 30 rodadas de simulação para cada modelo de mobilidade. Configurações específicas dos modelos:

- Waypoint
Tempo de pausa = 0
- MMIG
Probabilidade m de mudança para os estados = 0.4
- Smooth
Probabilidade de mudança de direção p_d = 0.5
Probabilidade de mudança de velocidade p_v = 0.5
Número de velocidades preferenciais = 3
Valores de velocidade = 1m/s, 2m/s e 3m/s
Probabilidade dos valores de velocidade = distribuição uniforme
- Modelo Proposto
Probabilidade de mudança de direção p_d = 0.5
Probabilidade de mudança de velocidade p_v = 0.5
Tempo mínimo entre mudanças de velocidade Δt = 1 segundo
Probabilidade de posicionamento em cada célula = distribuição uniforme

5.1. O Cenário de Mobilidade

As simulações foram desenvolvidas em uma área de 250 metros de largura por 250 metros de comprimento. Os eixos x e y desta área foram divididos em 25 seções de 10 metros cada, resultando em 625 subáreas de 10m x 10m. Estas subáreas serão chamadas de células. Diversos nós foram dispostos inicialmente na área de simulação seguindo uma distribuição uniforme. Foram dispostos 36 pontos de acesso nesta área posicionados de forma equidistante. Dessa forma, todas as células do mapa estão sob a cobertura de pelo menos um ponto de acesso. Para o modelo proposto, utilizamos o mapa exibido na Figura 1.

Esses nós são colocados em movimento de acordo com o modelo de mobilidade escolhido, durante o tempo de 50000 segundos. Os 3000 segundos iniciais foram descartados por pertencerem à fase transiente da simulação. O término da fase transiente foi estimado pelo momento em que a diferença entre a média amostral da velocidade dos nós, de dois intervalos consecutivos de 1 segundo do tempo de simulação, convergiu para um valor menor que 0.001. As velocidades escolhidas pelos nós foram distribuídas dentro do intervalo [1,3]m/s, para todas as simulações executadas. Estes limites para a velocidade foram escolhidos baseados na consideração de que um usuário em um ambiente fechado executa sua movimentação normalmente a 1 m/s e, com probabilidade menor, a 3 m/s quando executa um movimento mais rápido. Por estarmos lidando com uma métrica baseada na predição de mobilidade, a definição desta velocidade em um intervalo uniformemente distribuído entre [1,3] m/s permite a configuração de um ambiente mais dinâmico e dentro dos limites de um ambiente real. Estes parâmetros de simulação foram os mesmos para todas as simulações realizadas com os quatro modelos estudados nas avaliações das métricas.

5.2. Métricas de Avaliação dos Cenários Gerados

Para uma comparação entre os modelos adotamos algumas métricas importantes:

- **Média da Velocidade** - Representa o valor médio amostral da velocidade atingida por todos os nós envolvidos na simulação.
- **Mudanças bruscas de direção** - Representa o número médio de mudanças bruscas de direção em cada segundo de simulação. Esta métrica avalia a suavidade de uma mudança de direção de um nó. Foi definido que uma mudança de direção é brusca quando o ângulo, entre o vetor referente à direção anterior e o vetor referente à direção atual, é maior que 90° .
- **Mudanças bruscas de velocidade** - Representa o número médio de mudanças bruscas de velocidade em cada segundo de simulação. Esta métrica é calculada a partir da diferença de velocidade entre dois instantes de tempo consecutivos. A variação é considerada brusca se seu valor for maior ou igual a 50% da velocidade máxima simulada.
- **Distribuição espacial dos nós na área de simulação** - Esta métrica vem sendo abordada em diversos trabalhos recentes [Yu and Li, 2003], [Navidi and Camp, 2001] e [Bettstetter et al., 2001]. Reflete o número médio de nós encontrados em cada célula da área de simulação a cada segundo. Esta métrica reflete o número médio de nós encontrados em cada célula da área de simulação, portanto permite avaliar se os nós estão executando um padrão incomum na mobilidade. Por exemplo, uma concentração muito grande nas bordas pode representar um comportamento muito incomum e, até mesmo, irreal.
- **Índice de acerto da predição do próximo ponto de acesso** - Em redes infra-estruturadas o nó móvel necessita de um ponto de acesso ao seu alcance para se conectar à rede. Consideramos que cada ponto de acesso tem raio de alcance de

30 metros, portanto, quando um nó ultrapassa esta área de cobertura, ocorre uma transição para outro ponto de acesso. Esta métrica refere-se ao índice de acerto obtido ao se determinar o próximo ponto de acesso pelo qual o nó irá ter conexão. A predição do próximo ponto de acesso utiliza o método Markov ordem k. O índice de acerto é definido como número de predições corretas, para o próximo ponto de acesso, sobre o número total de transições. Os casos em que o algoritmo não consegue determinar uma predição para o próximo ponto de acesso são tratados como erros.

- **Entropia do histórico de mobilidade** - Esta métrica avalia o grau de previsibilidade de um nó, baseado em seu histórico. A entropia de uma variável aleatória X é definida, de forma geral, pela Equação 2:

$$H(X) = - \sum_{x \in X} P(x) \log_2(x) \quad (2)$$

Para este trabalho, utilizamos a equação definida em [Song et al., 2004] para calcular a entropia com a utilização da predição por Markov ordem k, conforme pode ser visualizado na Equação 3.

$$H(X|C) = - \sum_{c \in C} \frac{N(c, L)}{n - k + 1} \sum_{a \in A} P(x = a|c) \log_2(x = a|c) \quad (3)$$

sendo:

- $N(s', s)$ = Número de vezes que a sequência s' é encontrado em s
- k = Número de elementos no contexto
- L = Conjunto de todos os pontos de acesso já utilizados pelo nó
- X = Predição para próximo ponto de acesso
- c = Sequência dos k últimos pontos de acesso
- n = Número de pontos de acesso já utilizados
- A = Conjunto dos pontos de acesso da área de simulação
- C = Conjunto de todos os contextos encontrados no conjunto L

Esta equação de entropia revela características inerentes ao histórico de mobilidade, baseando-se no número de vezes que diferentes sequências de k pontos de acesso são encontradas no histórico de pontos de acesso utilizados. Cenários com maior valor de entropia revelam maior número de sequências diferentes de pontos de acesso, indicando uma mobilidade mais dinâmica.

6. Resultados

As Tabelas 1 e 2 resumem os resultado obtidos pelas simulações realizadas com os modelos de mobilidade utilizados. Com relação à predição, podemos observar que o modelo proposto apresentou o melhor resultado. O modelo Smooth foi o que mais se aproximou do resultado obtido pelo modelo proposto, no entanto, a entropia obtida para o Smooth é menor. Como a entropia reflete características inerentes ao histórico de mobilidade, o Smooth não refletiu um ambiente tão dinâmico quanto o modelo proposto. Desta forma, podemos afirmar que, para o modelo proposto, conseguimos maior índice de acerto na predição, mesmo em um ambiente de maior mobilidade. A Figura 3 exibe os resultados obtidos para a predição do próximo ponto de acesso utilizando o modelo proposto.

O gráfico da Figura 4 exibe a distribuição de nós em cada célula da área de simulação utilizando o modelo proposto. Este gráfico permite visualizar uma maior concentração de nós nas regiões em que existem células de comunicação ("portas"). É esta distribuição diferenciada que tem a possibilidade de ser explorada na predição de mobilidade. A existência de regiões com maior probabilidade de concentração de nós,

Tabela 1: Valores Obtidos para as Métricas Utilizadas

| | Waypoint | MMIG | Smooth | Modelo Proposto |
|--------------------------------|-----------|--------|--------|-----------------|
| Mudanças Bruscas de Direção | 0,99148 | 0,85 | 0,7711 | 0,98779 |
| Mudanças Bruscas de Velocidade | 0,0007526 | 0,0462 | 0,0467 | 0,031 |
| Velocidade Média | 1,8195 | 2,0967 | 1,9484 | 1,9946 |

Tabela 2: Resultados para Métricas de Predição de Mobilidade

| | Waypoint | MMIG | Smooth | Modelo Proposto |
|------------------------------|----------|---------|---------|-----------------|
| Entropia | 32,7756 | 31,8746 | 27,4695 | 47,1252 |
| Índice de Acerto da Predição | 0,3803 | 0,4684 | 0,6754 | 0,73324 |

garante a existência de padrões de mobilidade mais evidentes conforme podemos observar na comparação com os gráficos obtidos para o modelo Waypoint (Figura 5) e MMIG (Figura 6) .

Dos quatro modelos simulados, apenas o Waypoint revelou velocidade média mais abaixo do valor esperado. Este comportamento pode ser justificado pelo fato dos nós que se movimentam segundo o modelo Waypoint tenderem a estar percorrendo uma longa distância a uma velocidade baixa, conforme observado em [Yoon et al., 2003]. Este mesmo motivo influenciou a métrica da média de mudanças bruscas de velocidade. Como no Waypoint os nós tendem a ficar em velocidades baixas, seu número de mudanças bruscas de velocidade foi reduzido. A média da velocidade, considerando seu intervalo de confiança exibido na Tabela 3, para o modelo proposto ficou próximo da média esperada de 2m/s.

No modelo proposto, a média de mudanças bruscas de velocidade foi mais baixa que a dos modelos MMIG e Smooth, só não foi mais baixa que a do Waypoint, pois neste os nós tendem a permanecer em velocidades baixas, fugindo um pouco do realismo do cenário. Deste modo, o resultado obtido para essa métrica pode ser considerado como mais um fator positivo para o modelo proposto.

Quanto à média de mudanças bruscas de direção, podemos observar que o modelo proposto apresentou média tão alta quanto o do Waypoint. Esse fato pode ser justificado pelas mudanças de direção que devem ser executadas para contornar obstáculos.

7. Conclusão e Trabalhos Futuros

A grande utilização de dispositivos de redes sem fio tem despertado grande interesse no estudo da mobilidade devido aos problemas e desafios existentes. O estudo de cenários de mobilidade permite conhecer características inerentes ao ambiente que será suportado e possibilita a pesquisa de novas soluções. Em ambientes fechados, a existência de obstáculos representados por paredes, corredores e portas limitam a mobilidade de um usuário. Para este trabalho, foi desenvolvido um novo modelo de mobilidade, baseado em mapa, que permite, além da inclusão de obstáculos, a determinação de locais nos quais há

Tabela 3: Intervalo de Confiança para os Resultados (Utilizando Nível de Confiança de 95%)

| | Waypoint | MMIG | Smooth | Modelo Proposto |
|------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|
| Velocidade Média | [1,63;1,99] | [1,91;2,28] | [1,70;2,19] | [1,81;2,18] |
| Entropia | [32,72;32,82] | [31,72;32,02] | [27,15;27,78] | [47,01;47,23] |
| Predição | [0,34;0,42] | [0,44;0,48] | [0,65;0,69] | [0,70;0,76] |

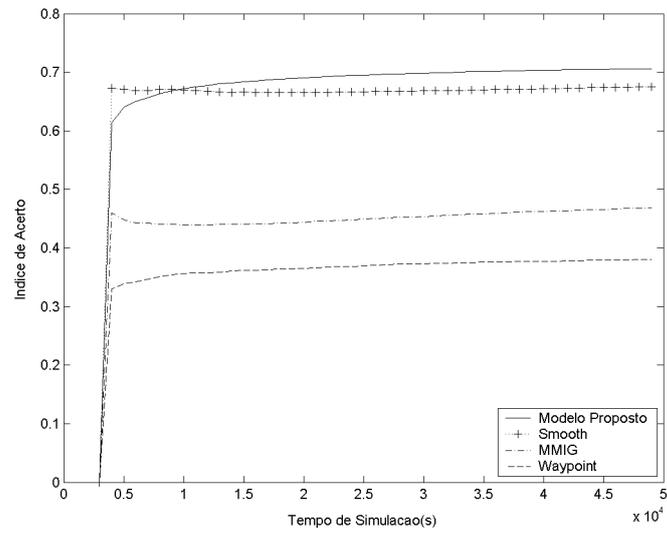


Figura 3: Índice de Acerto na Predição para o Próximo Ponto de Acesso Utilizando o Modelo Proposto

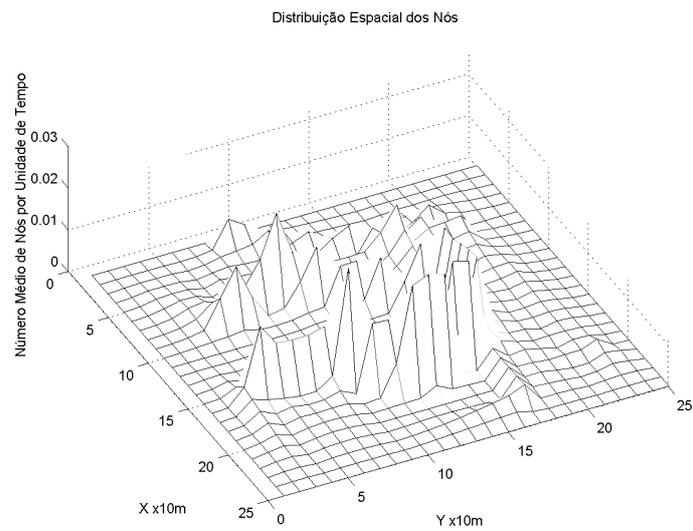


Figura 4: Distribuição de Nós por Célula - Modelo Proposto

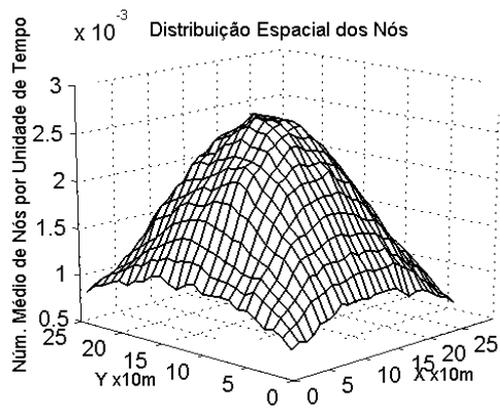


Figura 5: Distribuição de Nós por Célula - Modelo Waypoint

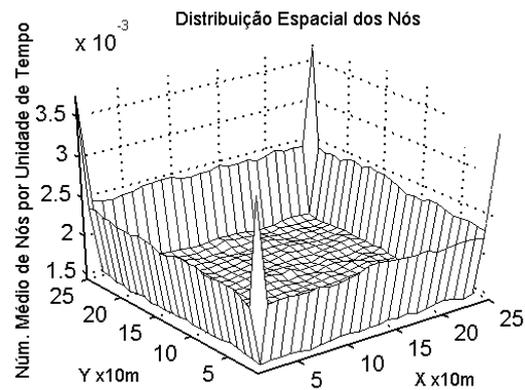


Figura 6: Distribuição de Nós por Célula - Modelo MMIG

uma maior probabilidade de serem visitados por um usuário e a atribuição de velocidade correlacionada com a dos nós vizinhos.

As técnicas de predição de mobilidade em ambientes fechados envolvendo o histórico de movimentação devem ser simulados em ambientes com obstáculos, pois estes guiam a mobilidade de um usuário, ocasionando a existência de um padrão de movimentação e uma maior concentração espacial dos nós em certos locais do ambiente.

O modelo de mobilidade para ambientes fechados, que estamos propondo neste artigo, tem o objetivo de obter uma melhor representação dos padrões de mobilidade que são explorados em algoritmos de predição de mobilidade. O modelo foi construído para permitir a simulação de um cenário de ambiente fechado, no qual os usuários encontram obstáculos. A comparação deste modelo com outros já existentes na literatura foi realizada com base na predição utilizando Markov ordem k baseado no histórico de pontos de acesso utilizados pelo nó móvel. Os resultados atingidos revelam uma melhor representação de padrões de movimentação existentes em ambiente fechado.

Segundo a distribuição obtida dos nós no cenário simulado, os obstáculos determinam caminhos de maior incidência de utilização e permitem a obtenção de padrões de mobilidade mais constantes. Modelos sem obstáculos não permitem explorar esta particularidade dos ambientes fechados.

A característica mais importante de um modelo é o nível de realismo apresentado com o cenário simulado. Estudos em ambientes reais de redes sem fio [Song et al., 2004] apresentaram o índice de 65-72% de acerto para predição utilizando histórico. Este estudo demonstra que um ambiente real tem grande presença de padrões de mobilidade. Entre os modelos simulados para esse artigo, o modelo proposto apresentou maior índice de acerto na predição, o que permite concluir que conseguimos chegar a um cenário que apresenta mais padrões de movimentação.

Como trabalho futuro, pretendemos realizar estudos baseados em diferentes algoritmos de predição de mobilidade, utilizando o modelo de mobilidade proposto neste artigo, com a finalidade de minimizar o impacto do handoff em ambientes fechados de rede sem fio.

Referências

Alexandrosz Burulitisz, Balázs Róssás, S. S. and dr. Sándor Imre (2002). On the accuracy of mobility modelling in wireless networks. *in Proc. 10th SoftCOM2002 (Proceedings of 10th SoftCOM2002)*, pages 481–485.

- Bettstetter, C. (2001a). Mobility modeling in wireless networks: Categorization, smooth movement and border effects. *ACM Mobile Comp. And Comm. Ver. vol 5 no. 3*, pages 55–66.
- Bettstetter, C. (2001b). Smooth is better than sharp: A random mobility model for simulation on wireless networks. *Proceeding ACM MSWIN'01*, pages 19–27.
- Bettstetter, C., Resta, G., and Santi, P. (2001). The node distribution of the random waypoint mobility model for wireless ad hoc networks. *Proceedings of the Local and Metropolitan Area Networks Workshop*, pages 257–269.
- Bharghavan, V. and Mysore, J. (1997). Profile based next-cell prediction in indoor wireless lans. in *Proc. IEEE SICON'97*.
- Campos, C., Otero, D., and de Moraes, L. (2003). Realistic individual mobility markovian models for mobile ad hoc networks. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference, WCNC*, pages 1980–1985.
- Chain, J., Zhou, S., and Seneviratne, A. (1998). A qos adaptive mobility prediction scheme for wireless networks. *GLOBECOM*, pages 1414–1419.
- Gupta, N. and Das, S. R. (2001). A capacity and utilization study of mobile ad hoc networks. In *26th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks - LCN*, pages 576–583.
- Hsieh, R., Zhou, Z., and Seneviratne, A. (2003). S-mip: a seamless handoff architecture for mobile ip. *INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. IEEE , Volume: 3*, pages 1774 – 1784.
- Kammann, J., Angermann, M., and Lami, B. (2003). A new mobility model based on maps. *58th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference*, pages 3045–3049.
- L. Perato, K. A. A. (2002). Handover prediction: User approach versus cell approach. *4th International Workshop on Mobile and Wireless Communications Network*, pages 492–496.
- Mendes, A., Astuto, B., and de Moraes, L. F. M. (2004). Uma avaliação dos efeitos das regras de borda e dos modelos de mobilidade no comportamento dos nós em redes ad hoc. *WCSF*.
- Navidi, W. and Camp, T. (2001). Stationary distributions for the random waypoint model. *journal*, pages 99 – 108.
- Perkins, C. (1996). Rfc2002: Ip mobility support. *IETF - The Internet Engineering Task Force*. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2002.txt?number=2002>.
- Qiming, L. (Página Visitada em 2003). The scenario generator: a tool to generate manet mobility scenarios for ns-2. <http://www.comp.nus.edu.sg/liqm/scengen/>.
- Song, L., Kotz, D., Jain, R., and He, X. (2004). Evaluating location predictors with extensive wi-fi mobility data. *INFOCOM*, pages 1414–1424.
- Su, W., Lee, S.-J., and Gerla, M. (2001). Mobility prediction and routing in ad hoc wireless networks. *International Journal of Network Management archive Volume 11 Issue 1*, pages 3–30.
- Yoon, J., Liu, M., and Noble, B. (2003). Random waypoint considered harmful. *INFOCOM*, pages 1312–1321.
- Yu, D. and Li, H. (2003). Influence of mobility models on node distribution in ad hoc networks. *Proceedings of International Conference on Communication Technology(ICCT)*.