

MODELAGEM E PROPOSTA PARA PREDIÇÃO DE MOBILIDADE EM
AMBIENTES FECHADOS

Alexandre Mendes da Silva

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA
COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE
ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO
DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE
SISTEMAS E COMPUTAÇÃO.

Aprovada por:

Prof. Luis Felipe Magalhães de Moraes, Ph. D.

Prof. Felipe Maia Galvão França, Ph. D.

Prof. Edison Ishikawa, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2006

SILVA, ALEXANDRE MENDES

Modelagem e Proposta para Predição de Mobilidade em Ambientes Fechados [Rio de Janeiro] 2006

XIV, 83 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia de Sistemas e Computação, 2006)

Dissertação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Redes Sem Fio
2. Predição de Mobilidade
3. Modelo de Mobilidade
4. Latência em Handoff

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Dedicatória

*Dedico este trabalho à memória de meu pai, à minha mãe, a toda minha família e
ao grande amor de minha vida, Jussara*

Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Luis Felipe, pela oportunidade de trabalho, pela confiança que depositou em mim, pela sua orientação, ensinamentos, apoio e amizade.

Aos professores da banca por participarem da avaliação do trabalho, contribuindo com correções e sugestões.

A toda equipe do Laboratório RAVEL, pelas intensas discussões, pelo apoio, convivência e amizade.

Ao PESC/COPPE pelo suporte operacional e equipamentos utilizados.

À CAPES pelo suporte financeiro e pela oportunidade para a elaboração deste trabalho.

A minha equipe de trabalho no Serviço Federal de Processamento de Dados (SERPRO) pelo apoio indispensável à conclusão deste trabalho.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

MODELAGEM DA MOBILIDADE E PROPOSTA PARA PREDIÇÃO DE
MOBILIDADE EM AMBIENTES FECHADOS

Alexandre Mendes da Silva

Março/2006

Orientador: Luis Felipe Magalhães de Moraes

Programa: Engenharia de Sistemas e Computação

A grande utilização de aplicações em ambientes de redes sem fio motiva o desenvolvimento de estudos para solucionar problemas inerentes à mobilidade. O estudo da mobilidade permite caracterizar e desenvolver soluções para problemas tais como latência em *handoff* e garantia da qualidade de serviço. O presente trabalho tem o objetivo de propor um modelo para caracterização da mobilidade em ambientes fechados e uma metodologia de tratamento da predição de movimentação com a utilização do histórico de deslocamento e o valor de qualidade de sinal obtido pela interface de rede.

A proposta de metodologia de predição utiliza o valor de qualidade de sinal como um parâmetro adicional para efetuar a localização do dispositivo móvel. Para efetuar essa localização utiliza-se um modelo de propagação baseado em *ray tracing* que estima as atenuações de sinal decorrentes de reflexões e refrações sofridas no ambiente.

Os resultados obtidos com o modelo de mobilidade proposto apresentam uma melhor caracterização dos padrões de movimentação existentes em cenários de ambientes fechados. As simulações realizadas com a proposta de metodologia de predição apresentam maior precisão para a estimativa de trajetória percorrida pelo dispositivo móvel.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

MODELLING AND PROPOSAL FOR MOBILITY PREDICTION IN INDOOR
ENVIRONMENTS

Alexandre Mendes da Silva

March/2006

Advisor: Luis Felipe Magalhães de Moraes

Department: Computer and System Engineering

The widespread use of applications in wireless network environments motivates the development of studies to solve problems inherent to mobility. The mobility study allows to characterize and to develop solutions for problems such as the handoff latency and the guarantee of the quality of service. The goal of this work is to propose a model for mobility characterization in indoor environments and a methodology for treatment of the movement prediction using the mobility historical and the signal quality received by the network card.

The proposed movement prediction methodology uses signal quality as an additional parameter to localize a mobile node. The localization system is based on ray tracing model that estimates signal reflections and refractions on the environment.

The proposed mobility model results present a better movement patterns characterization in indoor environment scenarios. The simulations of proposed movement prediction methodology present a better estimate of mobile device trajectory.

Lista de Acrônimos

| | |
|----------|--|
| AP : | Ponto de Acesso (<i>Access Point</i>); |
| BSS : | Conjunto Básico de Serviço (<i>Basic Service Set</i>); |
| DS : | Sistema de Distribuição (<i>Distribution System</i>); |
| EM : | Estação Móvel; |
| ESS : | Conjunto Estendido de Serviço (<i>Extended Service Set</i>); |
| GPS : | Sistema de Posicionamento Global (<i>Global Positioning System</i>); |
| IEEE : | <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> ; |
| IETF : | <i>Internet Engineering Task Force</i> ; |
| IP : | <i>Internet Protocol</i> ; |
| NM : | Nó Móvel; |
| PDA : | <i>Personal Digital Assistant</i> ; |
| RFC : | <i>Request-for-Comments</i> ; |
| SNR : | Relação Sinal-Ruído (<i>Sinal-to-Noise Ratio</i>); |
| STA : | Estação (<i>Station</i>); |
| TCP/IP : | <i>Transmission Control Protocol / Internet Protocol</i> ; |
| WLAN : | Rede Local sem Fio (<i>Wireless Local Area Network</i>); |

Sumário

| | |
|---|------------|
| Resumo | v |
| Abstract | vi |
| Lista de Acrônimos | vii |
| 1 Introdução e Motivação | 1 |
| 1.1 Problemas da Mobilidade | 1 |
| 1.2 Trabalhos Relacionados | 5 |
| 1.3 Contribuições do Trabalho | 10 |
| 1.4 Organização do Texto | 11 |
| 2 Redes Locais Sem Fio | 12 |
| 2.1 Visão Geral | 12 |
| 2.2 IEEE 802.11 - Camada Física e de Enlace | 13 |
| 2.3 Operação no Modo Infra-estruturado | 15 |
| 2.4 Aspectos Relevantes do 802.11 | 15 |
| 2.4.1 Sistema de Distribuição | 16 |
| 2.4.2 Modos de Rastreamento | 17 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3 | Modelos de Mobilidade | 19 |
| 3.1 | Visão Geral | 19 |
| 3.2 | <i>Random Waypoint</i> (RWP) | 20 |
| 3.3 | <i>Smooth</i> | 21 |
| 3.4 | Modelo Markoviano de Mobilidade Individual Genérico (MMIG) . . . | 22 |
| 3.4.1 | Regras de Borda em Simulações com Área Limitada | 23 |
| 4 | Predição de Mobilidade | 25 |
| 4.1 | Critérios de Predição de Mobilidade | 25 |
| 4.2 | Predição Utilizando Markov de Ordem K | 29 |
| 4.3 | Predição da Mobilidade com Localização | 30 |
| 4.4 | A Medição da Qualidade do Sinal | 31 |
| 4.5 | Propagação de Sinais | 32 |
| 4.6 | Predição da Propagação de Sinal | 34 |
| 4.6.1 | Modelo de Predição da Propagação de Sinal para o Trabalho . | 35 |
| 5 | Modelo de Mobilidade Proposto | 41 |
| 5.1 | Descrição do Modelo de Mobilidade Proposto | 41 |
| 5.2 | O Mapa Fornecido | 42 |
| 5.3 | O Encontro do Trajeto | 42 |
| 5.4 | A Velocidade | 43 |
| 5.5 | Simulações | 45 |
| 5.6 | O Cenário de Mobilidade | 46 |
| 5.7 | Métricas de Avaliação dos Cenários Gerados | 47 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.8 | Resultados | 49 |
| 6 | Modelo de Predição de Mobilidade Proposto | 56 |
| 6.1 | Descrição do Modelo de Predição de Mobilidade | 56 |
| 6.2 | Resultados de Simulação para o Modelo de Predição | 58 |
| 6.2.1 | Cenário A de Mobilidade | 58 |
| 6.2.2 | Cenário B de Mobilidade | 59 |
| 6.2.3 | Resultados | 60 |
| 7 | Conclusão e Trabalhos Futuros | 74 |

Lista de Figuras

| | | |
|------|---|----|
| 1.1 | Impacto da predição no algoritmo de controle de admissão [1] | 7 |
| 1.2 | Menor caminho no <i>History Based Algorithm</i> [2] | 8 |
| 2.1 | <i>Basic Service Set</i> (BSS) do 802.11 | 16 |
| 2.2 | <i>Extended Service Set</i> (ESS) do 802.11 | 17 |
| 3.1 | Principais regras de borda | 23 |
| 4.1 | Critério da localização | 26 |
| 4.2 | Critério da direção | 26 |
| 4.3 | Critério da segmentação | 27 |
| 4.4 | Critério da regra de Bayes | 29 |
| 4.5 | Histórico de um dispositivo | 30 |
| 4.6 | Múltiplos caminhos | 33 |
| 4.7 | Descrição de um ambiente para o código de <i>ray tracing</i> | 36 |
| 4.8 | Ferramenta I-Prop | 37 |
| 4.9 | Reflexões e refrações sofridas pelo sinal | 38 |
| 4.10 | Distribuição obtida para o ambiente (X=dimensão X, Y= dimensão Y, Z=qualidade do sinal em dBm) | 40 |

| | | |
|------|---|----|
| 4.11 | Distribuição obtida para o ambiente - gráfico 2D | 40 |
| 5.1 | Mapa do cenário e mapa convexo gerado para estabelecimento de trajetos | 44 |
| 5.2 | Grafo representando as regiões comunicáveis ilustradas na Figura 5.1 | 44 |
| 5.3 | Índice de acerto na predição para o próximo ponto de acesso utilizando o modelo proposto | 51 |
| 5.4 | Distribuição de nós por célula - modelo proposto | 53 |
| 5.5 | Distribuição de nós por célula - modelo <i>Waypoint</i> | 54 |
| 5.6 | Distribuição de nós por célula - modelo MMIG | 55 |
| 6.1 | Precisão na predição variando o intervalo de <i>probing</i> - cenário A . . . | 61 |
| 6.2 | Precisão na predição variando o intervalo de <i>probing</i> - cenário B . . . | 61 |
| 6.3 | Precisão na predição variando o ruído na medição - cenário A | 64 |
| 6.4 | Precisão na predição variando o ruído na medição - cenário B | 67 |
| 6.5 | Precisão na predição variando o ruído na medição com intervalo de 3 segundos entre medições - cenário A | 67 |
| 6.6 | Precisão na predição variando o ruído na medição com intervalo de 3 segundos entre medições - cenário B | 69 |
| 6.7 | Precisão na predição utilizando o modelo proposto - cenário A | 69 |
| 6.8 | Precisão na predição utilizando o modelo proposto com ruído de média 5 dBm - cenário A | 71 |
| 6.9 | Precisão na predição utilizando o modelo proposto - cenário B | 71 |
| 6.10 | Precisão na predição utilizando o modelo proposto com ruído de média 5 dBm - cenário B | 72 |

Lista de Tabelas

| | | |
|-----|--|----|
| 1.1 | Precisão utilizando o RADAR [2] | 9 |
| 5.1 | Valores obtidos para as métricas utilizadas | 50 |
| 5.2 | Intervalo de confiança para a velocidade média (utilizando nível de confiança de 95%) | 50 |
| 5.3 | Resultados para métricas de predição de mobilidade | 51 |
| 6.1 | Coefficientes utilizados no <i>ray tracing</i> | 60 |
| 6.2 | Índices de acerto considerando apenas a localização com o modelo de propagação e variando o tempo de <i>probing</i> - cenário A | 62 |
| 6.3 | Índices de acerto considerando apenas a localização com o modelo de propagação e variando o tempo de <i>probing</i> - cenário B | 63 |
| 6.4 | Índices de acerto considerando apenas a localização com o modelo de propagação e ruído médio de 5 dBm - cenário A | 63 |
| 6.5 | Índices de acerto considerando apenas a localização com o modelo de propagação e ruído médio de 5 dBm - cenário B | 64 |
| 6.6 | Índices de acerto variando o ruído na medição - cenário A | 65 |
| 6.7 | Índices de acerto variando o ruído na medição - cenário B | 65 |
| 6.8 | Índices de acerto variando o ruído na medição com intervalo de 3 segundos entre medições - cenário A | 66 |

| | | |
|------|--|----|
| 6.9 | Índices de acerto variando o ruído na medição com intervalo de 3 segundos entre medições - cenário B | 66 |
| 6.10 | Índices de acerto considerando apenas o histórico de movimentações - cenário A | 68 |
| 6.11 | Índices de acerto considerando apenas o histórico de movimentações - cenário B | 68 |
| 6.12 | Índices de acerto para o modelo proposto - cenário A | 70 |
| 6.13 | Índices de acerto para o modelo proposto com ruído médio de 5 dBm - cenário A | 70 |
| 6.14 | Índices de acerto para o modelo proposto - cenário B | 73 |
| 6.15 | Índices de acerto para o modelo proposto com ruído médio de 5 dBm - cenário B | 73 |

Capítulo 1

Introdução e Motivação

“Toda a nossa ciência, comparada com a realidade, é primitiva e infantil - e, no entanto, é a coisa mais preciosa que temos” - Albert Einstein

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. Essa facilidade, no entanto, ocasiona problemas no projeto dessas redes.

1.1 Problemas da Mobilidade

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. Para esse tipo de rede 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 [3, 4].

A versão 4 do protocolo de camada de rede utilizado como padrão pela Internet e conhecido por IP (Internet Protocol) identifica unicamente um nó através de um endereço (endereço IP) e o relaciona com sua posição física ao indicar a sub-rede em

que o nó está situado. Um pacote enviado pela Internet consegue atingir o seu destino se o endereço IP do destinatário for conhecido. Essa entrega é possível devido às informações que estão agregadas nesse endereço, ou melhor, o conhecimento da sub-rede na qual se pode encontrar um nó da rede torna possível encontrar o roteamento necessário para atingir esse nó. Um conjunto de protocolos existente permite que o IP suporte a mobilidade [5], possibilitando que um dispositivo móvel passe de uma rede para outra sem que as conexões estabelecidas sejam interrompidas.

No contexto de uma rede sem fio, um nó pode assumir diferentes localizações físicas e pertencer a diferentes sub-redes em um curto espaço de tempo. Dentro desse contexto, torna-se impossível localizar um nó móvel apenas por um endereço IP. Surge então o problema de como identificar um nó de uma rede sem fio em ambientes de grande mobilidade. Os estudos destinados a diminuir o impacto da mobilidade nas conexões são concentrados na camada de transporte ou na camada de rede. A predição da mobilidade ajuda a resolver problemas em redes sem fio, pois permite, por exemplo, a pré-alocação de recursos [6, 7] em outro ponto de acesso, visando evitar a perda de conexão e a latência em ocasiões de *handoff* [8]. 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.

Atualmente são desenvolvidos muitos estudos relacionados com a utilização de pontos de acesso visando prover conexão à Internet através de redes sem fio baseadas no padrão 802.11 do IEEE. Esses pontos de acesso são chamados de *hotspots* e atuam como “porta de entrada” para uma rede cabeada interligada à Internet. Dessa forma, qualquer pessoa que possua um dispositivo sem fio no padrão IEEE 802.11 pode se conectar à Internet e utilizar as mais variadas aplicações tais como acesso a e-mail, visualização de vídeos, etc.

Dentro desse contexto, surgiram artigos [9, 10] que apresentam uma arquitetura para possibilitar a disponibilização de acesso à Internet via IEEE 802.11 e citam vários problemas envolvidos nesse tipo de serviço. Conforme citado anteriormente, entre os problemas existentes nesse tipo de arquitetura, existe a sustentação de

mobilidade. Em redes infra-estruturadas baseadas no padrão IEEE 802.11, com a mobilidade dos usuários o dispositivo utilizado pode sair da zona de cobertura do ponto de acesso no qual estava conectado e entrar na zona de cobertura de outro ponto de acesso. Esse processo de troca de ponto de acesso é chamado de *handoff*. Desse modo, um usuário que estiver se movimentando pode sofrer *handoff* e perder as conexões abertas. Existem muitas técnicas que podem ser utilizadas para evitar a perda das conexões e minimizar a latência existente para restaurar a conexão com o novo ponto de acesso. Além disso, é importante garantir a disponibilidade de recursos no próximo ponto de acesso a ser utilizado.

Uma alternativa para minimizar os problemas citados anteriormente é a utilização de reserva de recursos. Ao se determinar qual o caminho a ser percorrido por um usuário, podem ser reservados recursos nos pontos de acesso que serão utilizados. Entre as diversas técnicas de predição de mobilidade em um ambiente fechado, existe uma que é baseada na medida da qualidade de sinal recebida pelo dispositivo. Através da medida da qualidade de sinal é possível obter uma estimativa da posição do dispositivo e detectar um padrão de mobilidade que o mesmo esteja seguindo.

O presente trabalho faz um estudo baseado em simulações de uma arquitetura para a predição de mobilidade de dispositivos do padrão IEEE 802.11, em um ambiente fechado, utilizando a medição de sinal e o histórico de movimentações executadas por um nó móvel. Caso exista uma distribuição da qualidade de sinal obtida em regiões de um ambiente, é possível estabelecer uma estimativa da posição de um determinado dispositivo. São essas estimativas que são utilizadas conjuntamente com o histórico de movimentações. Para se obter a distribuição da qualidade de sinal, foi desenvolvido um algoritmo baseado na técnica de *ray tracing* [11, 12] e a simulação de mobilidade foi obtida através de um novo modelo, proposto em [13], para ambientes com obstáculos.

Com relação à detecção de padrões utilizando o histórico de movimentações, estudos vêm sendo realizados com a finalidade de minimizar o impacto de problemas e garantir a eficiência da rede conhecendo características do cenário de mobili-

dade. Com esse objetivo, a modelagem do movimento dos nós em uma rede móvel é extremamente importante 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 [14] que permitem a obtenção de trajetórias seguidas pelos usuários em um ambiente com obstáculos.

O artigo [15] exibiu resultados de uma pesquisa envolvendo predição de mobilidade em um ambiente real de redes sem fio. Esses resultados foram obtidos utilizando dados empíricos coletados no campus de Dartmouth College e revelou uma precisão de 65 a 72 % na predição utilizando a técnica de Markov de ordem k , entre outras. Os resultados comprovam a viabilidade da utilização de detecção de padrões na predição de mobilidade.

Na área de localização envolvendo a qualidade de sinal também existem muitos trabalhos que utilizam diferentes modelos de propagação de sinal [16, 17] para estimar a posição de um dispositivo móvel através de aproximações do valor indicado pelo modelo com o valor obtido pela interface de rede. Resultados publicados [2] demonstram a considerável eficiência que pode ser obtida através de modelos que utilizam aspectos envolvidos na propagação de sinais. Em ambientes fechados, a utilização de sistemas baseados em GPS (*Global Positioning System*) [18] para localização torna-se inviável, sendo assim é crescente o número de trabalhos, disponíveis na literatura, que utilizam o valor de qualidade do sinal.

Neste trabalho, para realizar os estudos envolvendo a localização em ambientes fechados também foi efetuada uma caracterização da mobilidade. Apresentou-se [13] um modelo para melhor caracterização do padrão existente na trajetória percorrida por um dispositivo móvel em ambientes fechados. No modelo de mobilidade proposto no trabalho [13], apresentou-se uma precisão de 73% para a predição de mobilidade envolvendo apenas o histórico das movimentações executadas pelos dispositivos móveis nos cenários simulados. No entanto, a utilização de predição

baseada em histórico não é muito eficiente em cenários nos quais o dispositivo móvel não segue um padrão de movimentação ou quando esse padrão sofre alterações constantes

Para aprimorar a predição de movimentação surge a proposta de trabalho visando a utilização de um método para a localização de dispositivos móveis em um ambiente fechado. Diante da literatura disponível, verificou-se que a localização pode ser determinada com uma precisão média de 3,6 metros [2] através da medida da qualidade de sinal recebida por um dispositivo. A utilização da localização conjuntamente com o histórico de movimentação surge então como uma forma de obter melhor predição da trajetória de um dispositivo móvel.

Para o desenvolvimento desse mecanismo de localização se deve obter uma distribuição da qualidade de sinal para as diversas partes do ambiente. Com essa distribuição da qualidade do sinal, pode-se estimar a posição do dispositivo ao se comparar o valor real do sinal recebido com os valores obtidos na distribuição.

Nesta seção se procurou motivar a proposta deste trabalho apresentando os problemas existentes. O objetivo é melhorar a precisão da predição de mobilidade em ambientes fechados para evitar problemas de queda de qualidade de serviço (QoS - *Quality of Service*) em redes sem fio, lembrando que a proposta tem foco na utilização de modelo de propagação de sinal e do histórico de mobilidade para uma estimativa do próximo ponto de acesso a ser utilizado pelo dispositivo móvel.

1.2 Trabalhos Relacionados

A grande utilização de ambientes de redes sem fio infra-estruturadas, principalmente as baseadas no IEEE 802.11, motivou a elaboração de estudos referentes à manutenção da qualidade de serviço nesses ambientes. Serão descritos nesta seção alguns trabalhos relacionados a propostas de soluções para o processo de *handoff* em redes IEEE 802.11. As propostas de solução presentes na literatura baseiam-se na utilização de predição de mobilidade com a finalidade de pré-alocar recursos e

garantir o acesso da estação móvel ao novo ponto de acesso.

Nos últimos anos, a predição de mobilidade em ambientes fechados ganhou muita atenção devido à crescente utilização de dispositivos portáteis. O artigo [19] propõe um *framework* para predição de mobilidade considerando vários aspectos da movimentação tais como direção, velocidade, tempo de permanência na célula e histórico. O *framework* propõe uma partição do ambiente em grupos de pontos de acesso, dessa forma a predição determina o grupo com maior probabilidade do dispositivo móvel se associar. Segundo os autores do trabalho, há um aumento no índice de acerto na predição com relação a outros trabalhos devido à utilização de uma maior quantidade de fatores inerentes à mobilidade, além disso a predição aponta para um grupo e não para apenas um ponto de acesso. Os resultados do artigo são baseados em simulações utilizando modelo de mobilidade.

O trabalho [1] exhibe resultados de simulação sobre o impacto da predição no algoritmo de controle de admissão em uma célula de comunicação (BSS do IEEE 802.11, definido na Seção 2.4). A Figura 1.1 exhibe os resultados encontrados no trabalho [1], sendo “PI” o índice de acerto no histórico e “Sigma” a variância do índice de acerto. O trabalho [20] discute sobre a utilização da predição para controle de qualidade de serviço com a utilização do modelo de mobilidade de Gauss-Markov.

Na área de localização envolvendo a qualidade de sinal, pode-se citar o trabalho exibido no artigo [21] que apresenta uma solução com a utilização de filtro de Kalman para estimar a localização em redes ATM sem fio. O artigo formula o sinal recebido em uma célula “*i*” utilizando a Equação 1.1:

$$p_i = p_{0i} - 10 \times \tau \times \log_{10} d_i - \epsilon_i, \quad (1.1)$$

sendo:

τ = índice referente ao meio de transmissão,

p_{0i} = potência de transmissão do sinal,

d_i = distância entre o dispositivo móvel e o ponto de acesso,

ϵ_i = logaritmo da componente de *shadowing* (sombreamento).

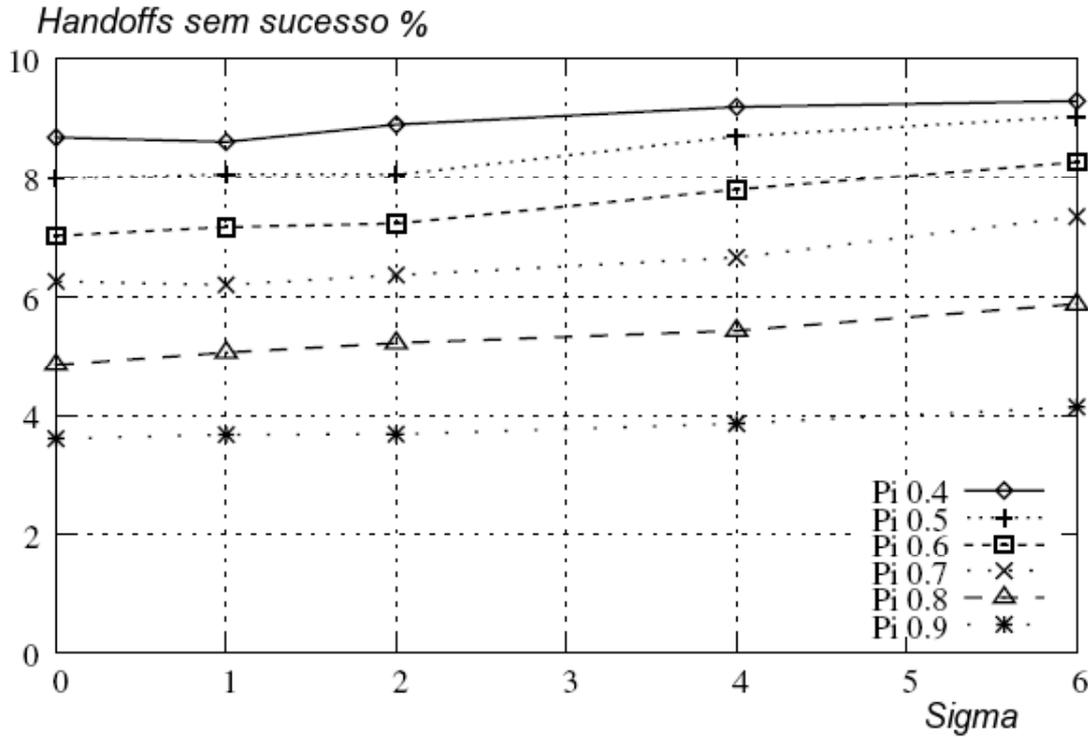


Figura 1.1: Impacto da previsão no algoritmo de controle de admissão [1]

A Equação 1.1 informa a potência do sinal que deve ser obtida a uma distância “ d_i ” do ponto de acesso. Vale observar que o ambiente fechado apresenta muitos ruídos no sinal recebido, devido ao grande número de reflexões e refrações em cada parede.

Também existem outros trabalhos [22, 17] que utilizam diferentes modelos de propagação de sinal para estimar a posição de um dispositivo móvel. A diferença entre as diversas abordagens concentra-se na forma de obter o mapa de propagação do sinal, que pode ser derivado de um modelo matemático ou de medições empíricas realizadas no ambiente em estudo.

Na área de previsão utilizando o histórico de movimentação, os trabalhos são concentrados na tentativa de estimar o próximo ponto de acesso para o qual o *handoff* pode ocorrer. Trabalhando-se com o histórico, a diferença entre as técnicas disponíveis na literatura está nos critérios utilizados para encontrar padrões na

movimentação dos usuários, conforme será exibido na Seção 4.1.

Entre as soluções que utilizam medições de sinal para estimar a posição de um dispositivo móvel, uma das mais referenciadas na literatura é o sistema RADAR [22]. No RADAR, há uma fase inicial de coleta de dados, através de medições empíricas ou de modelo de propagação, utilizada para construir um mapa da propagação do sinal. Essas medições são utilizadas para correlacionar uma medida de qualidade de sinal com uma posição da área de mobilidade do nó. O RADAR utiliza três algoritmos para estabelecimento da posição de um dispositivo móvel. O primeiro algoritmo, conhecido como NNSS (*Nearest Neighbor in Signal Space*), calcula a distância euclidiana (no espaço dos sinais) entre os valores existentes no banco de dados (contendo dados de medição de sinal) e os valores informados pelo dispositivo móvel. A equação utilizada é $\sqrt{((ss_1 - ss'_1)^2 + (ss_2 - ss'_2)^2 + (ss_3 - ss'_3)^2)}$, sendo que (ss_1, ss_2, ss_3) corresponde aos valores existentes no banco de dados e (ss'_1, ss'_2, ss'_3) corresponde aos valores medidos a partir da posição do dispositivo a ser localizado.

Outro algoritmo utilizado pelo RADAR é o NNSS-AVG. Esse algoritmo seleciona as regiões do mapa de sinais que possuem valores próximos aos medidos na posição atual do dispositivo móvel. A posição estimada será então a média dos valores encontrados. O terceiro algoritmo é o HBA (*History Based Algorithm*). No HBA, a cada medição do sinal são estimadas “ k ” possíveis localizações. Um histórico dos “ h ” últimos conjuntos de “ k ” possíveis posições é armazenado. A estimativa final da posição do dispositivo é calculada através do ponto médio do menor caminho possível entre as posições armazenadas no histórico (Figura 1.2).

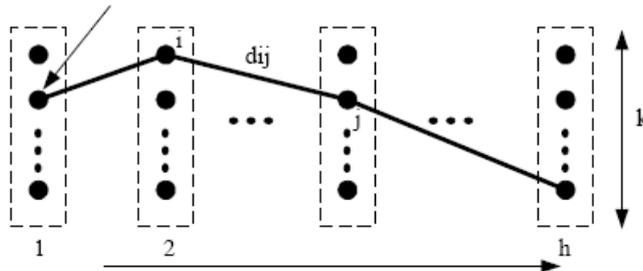


Figura 1.2: Menor caminho no *History Based Algorithm* [2]

Tabela 1.1: Precisão utilizando o RADAR [2]

| Algoritmo | Precisão (metros) |
|-----------|-------------------|
| NNSS | 3.59 |
| NSS-AVG | 3.32 |
| HBA | 2.37 |

Os autores do RADAR indicam que a utilização da potência do sinal foi escolhida pois a utilização de outros valores, tais como relação sinal-ruído (*signal-to-noise ratio* - SNR), poderia comprometer a estimativa de localização devido às flutuações de valores. As precisões das estimativas de localização obtidas para os cenários simulados são exibidos na Tabela 1.1.

Outro trabalho sobre localização é o WiPS, Sistema de Posicionamento em Ambientes Fechados para Redes Locais sem Fio (*Wireless LAN based Indoor Positioning System*), [23]. Trata-se de um sistema que utiliza, além das medições do sinal recebido dos pontos de acesso, a medição dos sinais recebidos de outros dispositivos vizinhos. Os autores indicam como ponto forte, da solução, o aumento da precisão com o aumento da quantidade de dispositivos móveis existentes. Além disso, em cenários com poucos pontos fixos (pontos de acesso) de referência a precisão é maior que em outros sistemas. Os resultados obtidos demonstram uma precisão de 18.5 metros, 10.9 metros e 5.5 metros para cenários com 4, 5 e 9 pontos de acesso, respectivamente. Com o aumento da densidade de dispositivos esses valores passaram para 3.4 metros, 3.2 metros e 2.8 metros respectivamente.

WLAN *Tracker* é uma ferramenta com interface gráfica na qual são exibidas as posições dos dispositivos móveis. A ferramenta exige uma fase de mapeamento, em que são realizadas repetidas medições em diferentes pontos do ambiente. Calcula-se a média da qualidade do sinal para cada um destes pontos e os valores são armazenados. Após o mapeamento, o sistema é capaz de efetuar localizações utilizando as

informações de qualidade de sinal fornecidas pelas estações móveis. Com esses valores de qualidade de sinal, é realizada uma pesquisa na base de dados, que foi obtida durante a fase de mapeamento. Apenas as 20 ocorrências, que mais se aproximam do valor enviado pela estação móvel, são utilizadas no decorrer do processo. Esses 20 resultados passam por dois filtros: de sinal e de histórico. Surge aqui uma abordagem utilizando histórico com medições de sinal. No entanto, essa abordagem utiliza histórico apenas para eliminar opções que estão muito distantes da atual posição. O filtro de sinal apenas elimina os valores de força de sinal mais fracos (abaixo de um limite mínimo).

Ao final do processo de localização do WLAN Tracker, se houver mais de uma posição possível após a aplicação dos filtros, a opção com menor distância, com relação à última posição do dispositivo móvel, será escolhida. O desempenho do WLAN Tracker foi avaliado [24], em um cenário real de ambiente fechado apresentando a média de erros de 2.244 m para três pontos de acesso.

1.3 Contribuições do Trabalho

Uma das contribuições deste trabalho é a apresentação de um novo modelo de mobilidade para ambientes com obstáculos. Simulações realizadas com diferentes modelos de mobilidade exibiram resultados favoráveis ao modelo proposto. Esse modelo é descrito no Capítulo 5. Outra contribuição é a apresentação de uma metodologia para predição da mobilidade utilizando o histórico de movimentações e o valor de qualidade de sinal obtido pela interface de rede. As simulações realizadas, com o modelo de predição de mobilidade proposto, indicam uma estimativa aprimorada do próximo ponto de acesso a ser utilizado pelo dispositivo móvel, conforme descrito no Capítulo 6.

1.4 Organização do Texto

No Capítulo 1 é apresentada uma introdução da mobilidade, indicando trabalhos relacionados existentes na literatura. O Capítulo 2 fornece uma visão geral das redes sem fio, apresentando aspectos do IEEE 802.11. Informações sobre modelos de mobilidade, utilizados nas simulações realizadas, são apresentadas no Capítulo 3. No Capítulo 4 são exibidos métodos de predição de mobilidade.

O modelo de mobilidade proposto neste trabalho é descrito no Capítulo 5, com a apresentação de resultados obtidos em simulações. O Capítulo 6 exhibe o modelo proposto para predição de mobilidade, indicando resultados das simulações realizadas. No Capítulo 7 são apresentadas as conclusões obtidas com o trabalho e as propostas para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Redes Locais Sem Fio

REDE local sem fio (*Wireless Local Area Network* - WLAN) é um termo geral utilizado para redes que utilizam portadoras de rádio de curto alcance e alta velocidade.

2.1 Visão Geral

Através da utilização de portadoras de rádio, as WLANs estabelecem a comunicação de dados entre os pontos da rede. Os dados são modulados na portadora de rádio e transmitidos através de ondas eletromagnéticas. São redes que permitem a qualquer dispositivo móvel, dentro do alcance da transmissão, o acesso aos dados sendo enviados. Por esse motivo, é facilmente alvo de acessos indevidos e requer a utilização de alguma técnica de criptografia para garantir o acesso legítimo aos dados.

Normalmente, as redes sem fio funcionam como “porta de entrada” para redes locais cabeadas. Trata-se de redes infra-estruturadas nas quais os dispositivos móveis utilizam pontos fixo da rede (pontos de acesso) para se conectarem à rede sem fio. Os dispositivos móveis podem se movimentar pela área de cobertura da rede sem fio livremente, permanecendo conectados. No entanto, o suporte a essa mobilidade

pode fornecer uma indesejável latência no momento de transição entre pontos de acesso.

Múltiplas portadoras de rádio podem coexistir num mesmo meio (no caso do IEEE 802.11, com frequências de 2.400 a 2.483 MHz), sem que uma interfira na outra. Para extrair os dados, o receptor sintoniza numa frequência específica e rejeita as outras portadoras de frequências diferentes.

Os fabricantes criaram o padrão Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) para o desenvolvimento de hardware para WLANs. O Wi-Fi é baseado no padrão IEEE 802.11, um padrão formal que define a interoperabilidade entre dispositivos sem fio. O termo Wi-Fi é utilizado genericamente para se referir a qualquer tipo de rede IEEE 802.11.

2.2 IEEE 802.11 - Camada Física e de Enlace

O grupo de trabalho IEEE 802.11 é responsável pela definição de um padrão para as redes locais sem fio WLANs [25]. O padrão proposto especifica três camadas físicas (PHY) e apenas uma subcamada MAC (*Medium Access Control*). O IEEE 802.11 provê duas especificações de camadas físicas com opção para rádio, operando na faixa de 2.400 a 2.483 MHz (dependendo da regulamentação de cada país), e uma especificação com opção para infravermelho.

- **Frequency Hopping Spread Spectrum Radio PHY:** essa camada opera com 1 ou 2 Mbps. A versão de 1 Mbps utiliza 2 níveis da modulação GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*) e a de 2 Mbps utiliza 4 níveis também da GFSK;
- **Direct Sequence Spread Spectrum Radio PHY:** essa camada provê operação nas velocidades de 1 e 2 Mbps. A versão de 1 Mbps utiliza a modulação DBPSK (*Differential Binary Phase Shift Keying*) e a de 2 Mbps utiliza a modulação DQPSK (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*);

- **Infrared PHY:** essa camada fornece operação a 1 ou 2 Mbps. A versão de 1 Mbps usa modulação 16-PPM (*Pulse Position Modulation* com 16 posições), e a versão de 2 Mbps utiliza modulação 4-PPM.

As estações podem operar em dois modos distintos:

- **Configuração independente (*ad hoc*):** cada estação se comunica diretamente entre si, sem a necessidade de estação intermediária. A operação dessa rede é fácil, mas a desvantagem é que a área de cobertura é limitada. Estações com essa configuração estão em um BSS (*Basic Service Set*) independente;
- **Configuração de infra-estrutura:** um dispositivo chamado de ponto de acesso (*access point* - AP) atua como o distribuidor de dados para os dispositivos sem fio. O ponto de acesso é conectado a uma rede local convencional (com fio) e não apenas fornece a comunicação à rede convencional como também intermedeia o tráfego com os pontos de acesso vizinhos, em um esquema de micro células com possibilidade de *roaming*, semelhante a um sistema de telefonia celular. Um ponto de acesso provê acesso a estações em um BSS e o conjunto de BSS é chamado de ESS (*Extended Service Set*);

A subcamada MAC, na estação, é responsável por fornecer os seguintes serviços: autenticação, desautenticação, privacidade e transmissão da MADU (*MAC Sublayer Data Unit*), e, no lado do Sistema de Distribuição (descrito na Seção 2.4.1): associação, desassociação, distribuição, integração e reassociação. Além dos serviços acima descritos, o padrão ainda oferece as funcionalidades de *roaming* dentro de um ESS e gerenciamento de força elétrica (as estações podem desligar seus transceivers para economizar energia). O protocolo da subcamada MAC é o CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*).

2.3 Operação no Modo Infra-estruturado

Quando ativo, o ponto de acesso transmite pacotes de informações (*beacons*) pela rede sem fio divulgando sua presença. Essas transmissões ocorrem em uma frequência de 10 pacotes por segundo. Os *beacons* contém informações tais como as funcionalidades suportadas pelo ponto de acesso (por exemplo, habilitação de segurança nas transmissões) e o nome de rede. As estações móveis (STA), quando ativas, podem procurar por um ponto de acesso específico (conforme previamente configurado) ou efetuar uma busca (*scanning*) procurando por *beacons* nas diversas frequências (canais) utilizadas pelo padrão IEEE 802.11. Após o resultado da operação de detecção de ponto de acesso, é necessário enviar um pedido de autenticação ao AP ao qual a estação deseja se associar. Se o AP responder ao pedido de autenticação, a estação envia um pedido de associação. Se o AP reponder ao pedido de associação, a estação já pode iniciar a transmissão de dados.

Na existência de múltiplos pontos de acesso dentro da mesma rede, a estação móvel poderá necessitar da troca da associação em um AP para outro. Caso isso seja necessário, será gerada uma mensagem de desassociação e uma posterior para reassociação que contém informações importantes para migrar de ponto de acesso (*handover*).

2.4 Aspectos Relevantes do 802.11

O conjunto básico de serviços (*Basic Service Set* - BSS) é o bloco fundamental de construção da arquitetura do padrão IEEE 802.11. Um BSS é definido como um grupo de estações que estão sobre o controle direto de uma única função de coordenação, que determina quando uma estação pode transmitir e receber dados. Ou seja, trata-se do ponto de acesso e dos respectivos dispositivos móveis que estão associados e dentro da área de alcance.

Em uma rede *ad hoc*, composta somente por estações dentro de um mesmo BSS

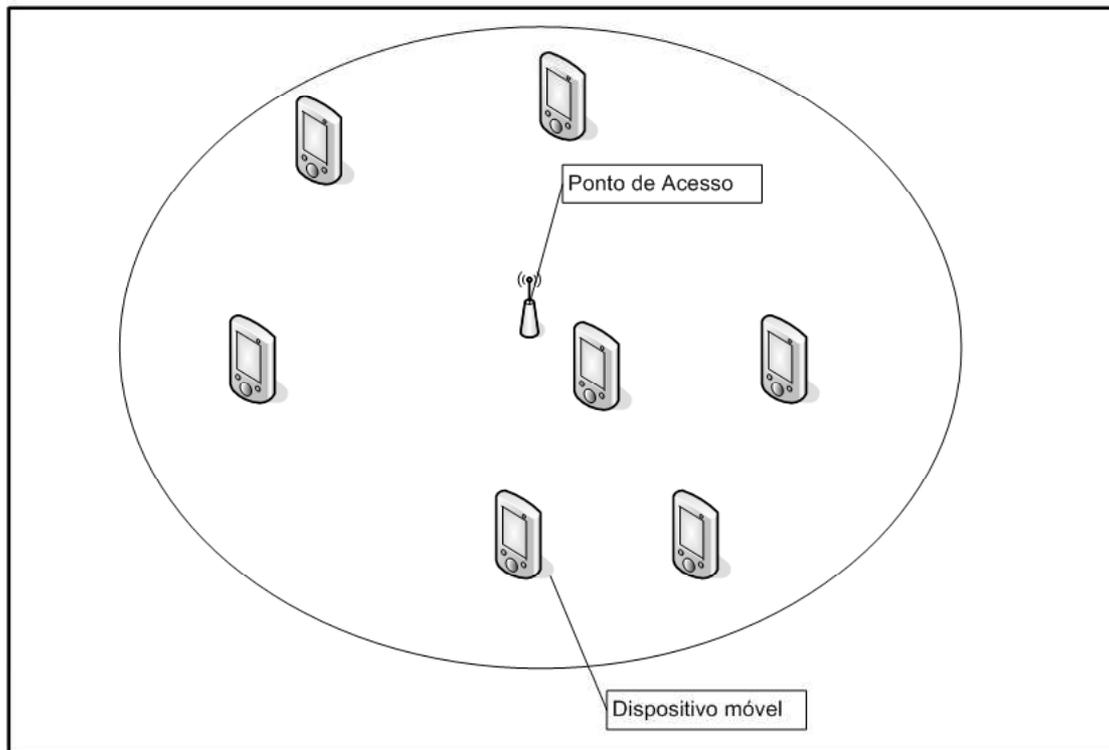


Figura 2.1: *Basic Service Set* (BSS) do 802.11

que se comunicam entre si, qualquer estação pode estabelecer uma comunicação direta com outra estação no BSS sem a necessidade de um ponto de acesso. O padrão IEEE 802.11 refere-se a uma rede *ad hoc* como um BSS independente.

2.4.1 Sistema de Distribuição

No caso de uma rede infra-estruturada, para ampliar a cobertura é necessário um Sistema de Distribuição (*Distribution System* - DS) no qual pontos de acesso são interligados. O DS permite que diversos BSSs sejam integrados para suportar a mobilidade de dispositivos móveis em uma escala maior. Além de se movimentarem dentro da área de cobertura de um único BSS, os dispositivos móveis podem transitar entre áreas de diferentes BSS de forma transparente. A integração de diversos BSSs dá origem ao que o padrão define como Conjunto Estendido de Serviços, ou *Extended Service Set* (ESS). Quando o dispositivo móvel se move dentro de um

mesmo ESS, transitando entre diferentes BSSs, tudo ocorre de forma transparente para a subcamada *Logical Link Control* (LLC).

O padrão IEEE 802.11 não define detalhes da implementação de um DS, porém define os serviços que devem estar disponíveis para a comunicação entre os dispositivos da rede sem fio e a integração entre seus componentes. Esses serviços podem ser divididos em dois grupos, o primeiro com os serviços oferecidos pelas estações e o segundo com aqueles oferecidos pelo DS, conforme citado na Seção 2.2.

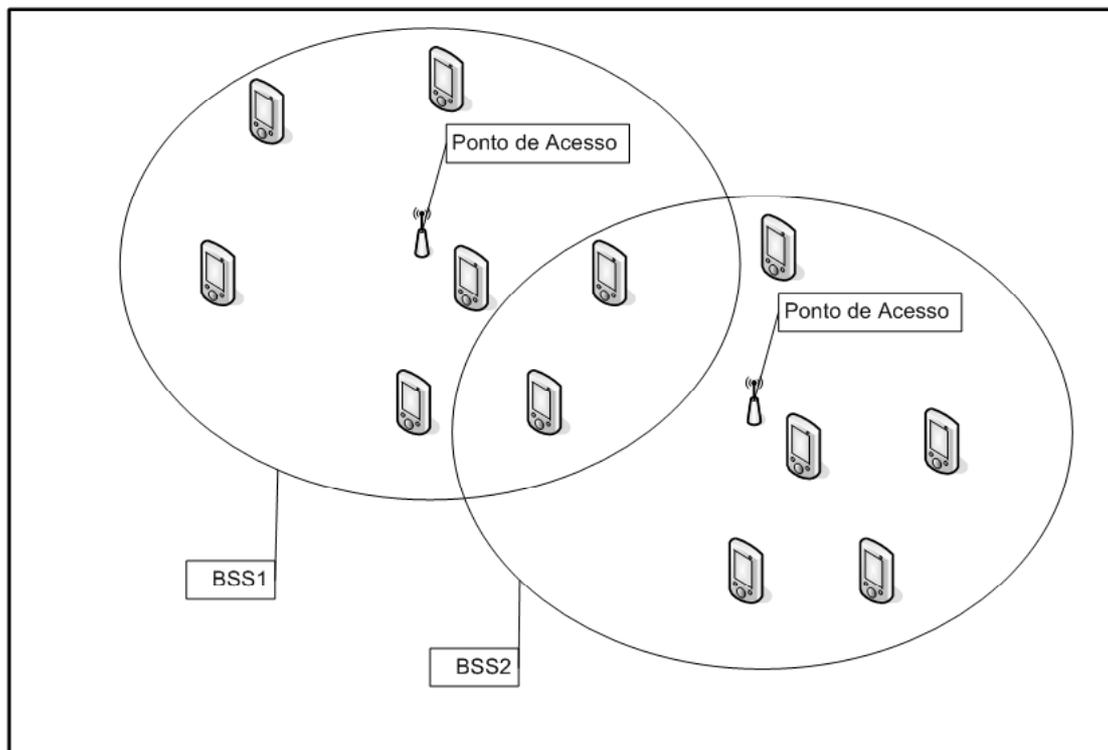


Figura 2.2: *Extended Service Set (ESS)* do 802.11

2.4.2 Modos de Rastreamento

As estações podem obter informações a respeito dos pontos de acesso, dentro do alcance de transmissão, de duas maneiras diferentes segundo o padrão IEEE 802.11: passivamente ou ativamente. Essas informações são necessárias para que as estações encontrem o ponto de acesso ao qual desejam se associar. No rastreamento passivo,

a estação espera por pacotes transmitidos (*beacons*) pelos pontos de acesso periodicamente, sem a necessidade de realizar uma requisição. Através desses pacotes, a estação identifica o ponto de acesso e o ESS correspondente. No rastreamento ativo, uma estação envia pacotes requisitando informações sobre pontos de acesso. Esses pacotes podem ser endereçados a um ESS específico ou para todos os que estiverem no alcance, através de *broadcast*. Todos os pontos de acesso que receberem o pacote de requisição endereçado ao ESS, ao qual pertencem, respondem diretamente à estação na qual o pacote teve origem.

Como tipicamente são enviados 10 *beacons* por segundo, para cada canal a estação deve fazer o *scanning* por 0.1 segundo. Para agilizar o processo, a estação pode enviar um pacote de requisição (*probe request*), realizando um rastreamento ativo. O rastreamento ativo (*probing*) é muito utilizado em ocasiões nas quais o dispositivo móvel já está associado a um ponto de acesso, mas o sinal está ficando cada vez mais fraco e é necessário descobrir urgentemente outro AP.

Capítulo 3

Modelos de Mobilidade

NESTE capítulo, serão apresentados alguns modelos de mobilidade existentes na literatura. O estudo dos modelos de mobilidade permitiu a caracterização de cenários de mobilidade utilizados em simulações realizadas para o presente trabalho.

3.1 Visão Geral

Os estudos desenvolvidos na área de redes sem fio necessitam envolver informações sobre a mobilidade dos usuários, com a finalidade de se 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. Esses 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, que simulam a mobilidade de nós (dispositivos) móveis.

Os modelos de mobilidades têm sido muito utilizados na execução de simulações para avaliações [26] de algoritmos para *handoff*, de predição de mobilidade, de vazão máxima, de algoritmos de roteamento, etc. O trabalho [27] apresenta um *framework*

de representação da mobilidade para simulações de redes sem fio. Nesse *framework* a mobilidade é representada através dos componentes: nível de aleatoriedade (determinística, híbrida ou aleatória), nível de detalhamento (micromobilidade, macromobilidade, movimentação individual ou em grupo), representação por simulação ou por modelagem analítica, quantidade de dimensões do cenário (1D, 2D ou 3D) e utilização de regras para tratamento os movimentos que ultrapassam as bordas do cenário (regra de borda).

Visando a validação do modelo de predição, foi proposto um modelo de mobilidade, descrito na Seção 5.1, para estudo do comportamento de movimentação dos nós móveis em um ambiente fechado. A seguir serão descritos alguns importantes modelos de mobilidade existentes na literatura.

3.2 *Random Waypoint (RWP)*

Nesse modelo, um nó móvel é posicionado, a princípio, em um local escolhido aleatoriamente, segundo uma distribuição uniforme. Esse nó móvel permanece no mesmo local por um certo período de tempo (tempo de pausa) e, ao fim desse período, o nó escolhe um destino, segundo uma distribuição uniforme, dentro da área de simulação. A velocidade com a qual o nó realiza o movimento também se encontra uniformemente distribuída no intervalo $[v_{min}, v_{max}]$. 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.

Trata-se de um modelo bem simplificado e, por isso, apresenta problemas. Um estudo [28] revelou que o modelo falha em fornecer resposta em regime permanente para a velocidade média. A solução sugerida para esse problema é atribuir para v_{min} um valor positivo não nulo. Esse modelo é implementado pela ferramenta ScenGen [29] utilizada nas simulações, comparativas entre modelos de mobilidade, do presente trabalho.

3.3 *Smooth*

Esse 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. Esse modelo foi implementado, para efetuar as simulações necessárias, em um algoritmo na linguagem C++ segundo interfaces e padrões da ferramenta ScenGen [29]. Utilizou-se como referência, para a implementação com tempo discreto, o artigo [30].

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. Desse 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 mudança de velocidade durante essa fase de alteração gradativa.

3.4 Modelo Markoviano de Mobilidade Individual Genérico (MMIG)

Nesse modelo [31], a alteração da posição do nó é governada por duas cadeias de Markov discretas, uma para o deslocamento no eixo x e outra para o eixo y. 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 movimentos com orientação positiva e negativa, respectivamente. Esse modelo também foi implementado em um algoritmo na linguagem C++ segundo interfaces e padrões da ferramenta ScenGen.

A cadeia de Markov que rege o comportamento de movimentação nesse 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 cada intervalo de 1 segundo de simulação, é gerado um valor aleatório que, obedecendo as probabilidades da cadeia de Markov, determina o novo estado ao qual o nó pertencerá. Se o nó estiver no segundo estado à direita do zero, por exemplo, o deslocamento será de dois passos no sentido positivo. Desse modo, o estado da cadeia informa o número de passos correspondentes ao deslocamento do nó, além do sentido de movimentação. Sendo que cada passo representa um valor pré-determinado de deslocamento, o estado determina a velocidade do nó.

A vantagem desse modelo é a redução nas mudanças bruscas de movimentação, visando representações mais realistas de cenários. As mudanças bruscas são reduzidas, pois a cadeia de Markov garante uma dependência do estado atual com o próximo estado. Além disso, o modelo não permite as alterações de sentido sem passar pelo estado central da cadeia, ou seja o nó móvel atinge velocidade zero antes de alterar de sentido.

3.4.1 Regras de Borda em Simulações com Área Limitada

Na simulação de certos modelos de mobilidade, os nós podem sair da área de simulação. Quando essa situação ocorre, deve existir uma regra (regra de borda) que defina o trajeto que esse nó deve seguir. Pode-se citar como principais regras de borda [27] (Figura 3.1): *bounce*, *delete and replace* e *wrap around*. A influência destas regras de borda na simulação de cenários de mobilidade foi alvo de estudo em [32].

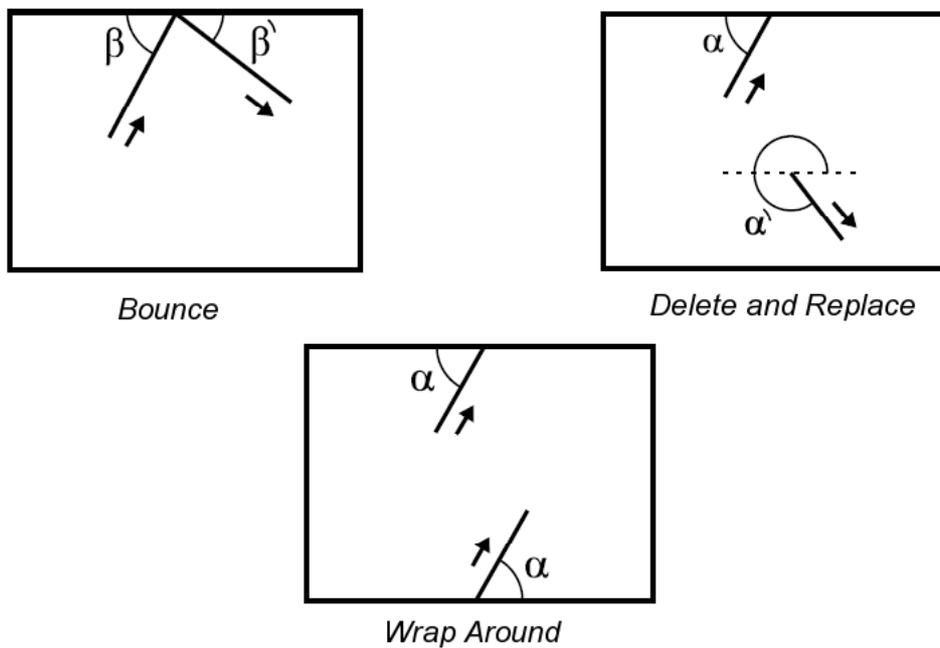


Figura 3.1: Principais regras de borda

A regra de borda *bounce* realiza a reflexão do movimento do nó móvel na borda do cenário de simulação, fazendo com que sua trajetória permaneça dentro da área determinada. 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 com o mesmo valor anterior à reflexão. Existe uma variação para essa regra, na qual o novo valor do ângulo de saída é uniformemente distribuído entre $[0^\circ, 180^\circ]$ nas bordas superior, inferior e laterais, e $[0^\circ, 90^\circ]$ nos vértices da área de simulação. O valor da velocidade na reflexão também pode seguir uma distribuição

uniforme entre $[v_{min}, v_{max}]$. Essa variação do *bounce* é chamada de *modified bounce*.

Na regra *delete and replace*, quando atinge a borda, o nó móvel 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.

Com o estudo apresentado em [32], foi realizada uma avaliação de como os modelos de mobilidade e as regras de borda influenciam na distribuição espacial dos nós, em uma rede móvel. No estudo [32], os modelos de mobilidade foram analisados segundo métricas tais como: média da velocidade, mudanças bruscas de direção, mudanças bruscas de velocidade, tempo médio de duração de conexões com nós vizinhos e distribuição espacial dos nós na área de simulação. Um resultado obtido foi que, com algumas regras de borda, a distribuição espacial dos dispositivos móveis sofre grandes alterações ao longo da simulação. Esse resultado é muito importante, uma vez que a avaliação de desempenho de redes móveis, utilizando modelos de mobilidade, pode resultar em conclusões equivocadas devido ao fato das análises serem realizadas antes que o sistema se torne estável.

Capítulo 4

Predição de Mobilidade

A predição de mobilidade possui grande importância para a solução de problemas ocasionados pela mobilidade. A possibilidade de antever a próxima posição a ser ocupada por um nó móvel permite a pre-alocação de recursos e evita problemas tais como latência em *handoff* e perdas de conexão.

4.1 Critérios de Predição de Mobilidade

Técnicas de predição de mobilidade atuam na probabilidade de antever a próxima posição a ser ocupada por um nó. Entre as técnicas existentes se pode citar a detecção de padrões de mobilidade dos nós móveis. Muitos usuários de telefonia celular, por exemplo, obedecem o trajeto casa-trabalho-casa. São esses padrões que devem ser considerados para obtenção da informação de qual será o próximo ponto de acesso ao qual o terminal móvel irá se associar. Se esse 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 desse contexto, surgem alguns critérios que podem ser utilizados para predição de mobilidade [33]:

- **Critério da localização:** são armazenadas todas as transições, entre pontos de acesso, realizadas pelos dispositivos móveis (Figura 4.1). Dessa forma, é possível calcular a probabilidade do dispositivo móvel se dirigir à área de cobertura de determinado ponto de acesso, a partir da posição atual;

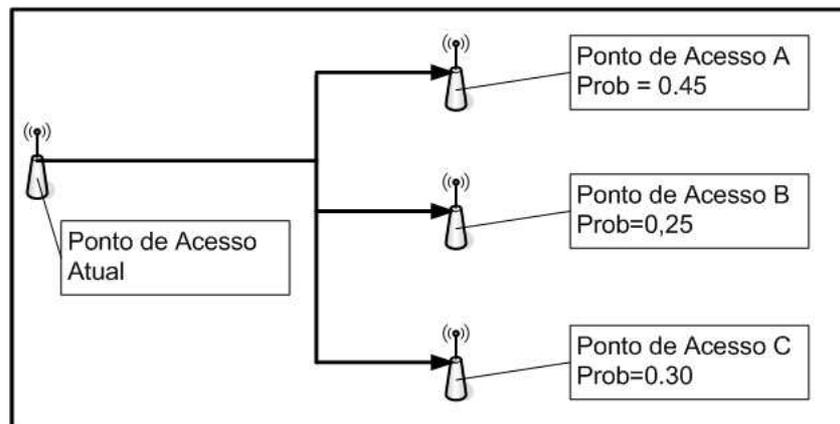


Figura 4.1: Critério da localização

- **Critério da direção:** tendo como referência o último ponto de acesso ao qual o dispositivo móvel esteve associado, antes do atual, o algoritmo determina a direção que está sendo seguida (Figura 4.2). Essa direção e o histórico de transições são utilizados para estimar o próximo ponto de acesso ao qual o dispositivo se associará;

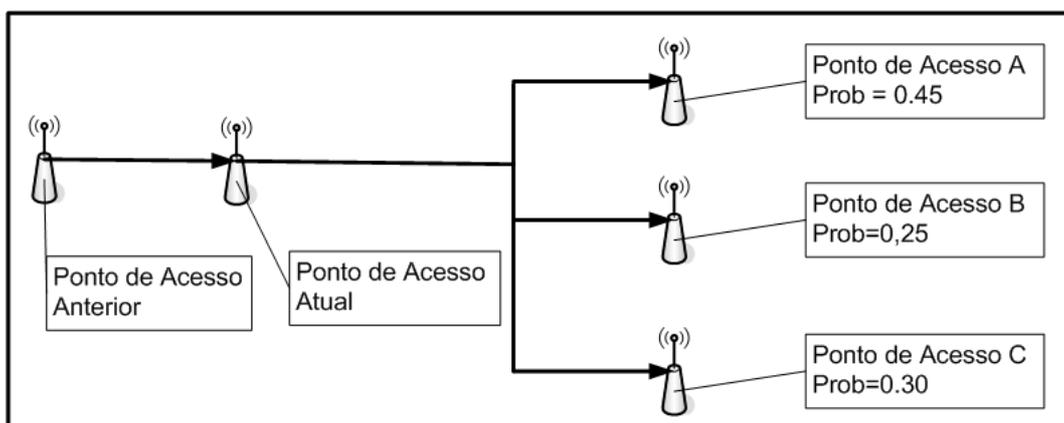


Figura 4.2: Critério da direção

- Critério da segmentação:** esse critério é uma extensão do critério de direção. A seqüência de pontos de acesso, aos quais o dispositivo móvel se associou, é armazenada. O algoritmo compara o segmento (seqüência) que está em construção com os que estão armazenados no histórico. Se a parte inicial de um segmento do histórico for igual ao segmento atual (em construção), então a predição aponta para o próximo ponto de acesso após a parte inicial da seqüência do histórico (Figura 4.3). Caso exista mais de um segmento com a parte inicial igual ao do atual, a predição aponta para o ponto de acesso com maior incidência, como próximo da seqüência, nesses segmentos;

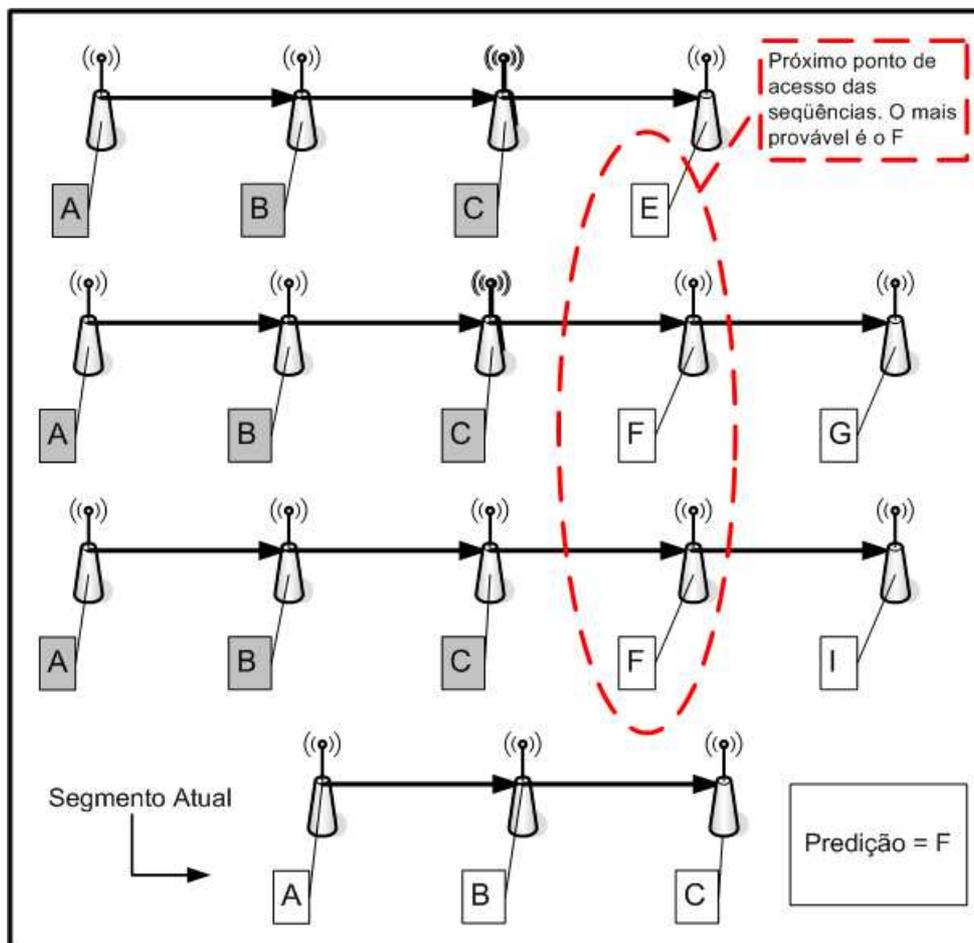


Figura 4.3: Critério da segmentação

- Regra de Bayes:** ao invés de considerar uma rota que já foi tomada, pode-se traçar todas as possíveis rotas que o nó poderia tomar a partir da posição

atual e, com isso, verificar, baseado nos próximos passos, qual o ponto de acesso mais provável de ser utilizado pelo dispositivo móvel. Ou seja, dado o ponto de acesso mais provável a ser utilizado em uma n -ésima transição, calcula-se a probabilidade, de próxima transição, para cada ponto de acesso utilizando-se a regra de Bayes (Equação 4.1). O exemplo da Figura 4.4 exibe que o ponto de acesso mais provável de ser utilizado na segunda transição (após o AP atual) é o “ c_2 ”. Dessa forma, calculando-se as probabilidades $P((A_{i-1} \cap A_i \cap B = b_1)|c_2)$ e $P((A_{i-1} \cap A_i \cap B = b_2)|c_2)$ verifica-se que o ponto de acesso mais provável na próxima transição é o b_2 ;

$$\begin{aligned} P((A_{i-1} \cap A_i \cap B = b_x)|C_n) &= & (4.1) \\ &= \frac{P((A_{i-1} \cap A_i \cap B = b_x)) \times P(C_n|(A_{i-1} \cap A_i \cap B = b_x))}{\sum_{j=1}^m P((A_{i-1} \cap A_i \cap B = b_j)) \times P(C_n|(A_{i-1} \cap A_i \cap B = b_j))}, \end{aligned}$$

sendo:

A_i = ponto de acesso atual,

A_{i-1} = ponto de acesso anterior ao atual,

B = ponto de acesso indicado na predição,

C_n = ponto de acesso utilizado na n -ésima transição,

m = número de pontos de acesso no ambiente.

- **Critério do tempo:** explora o movimento dos usuários que sempre passam pelos mesmos locais em um determinado horário ou dia;
- **Critério da correlação:** se não há disponibilidade de informações individuais sobre o deslocamento de um nó, a predição pode ser realizada com base nos padrões de mobilidade seguidos pelos outros usuários. Como cada usuário pode ter um padrão diferente dos demais, esse não é um bom critério.

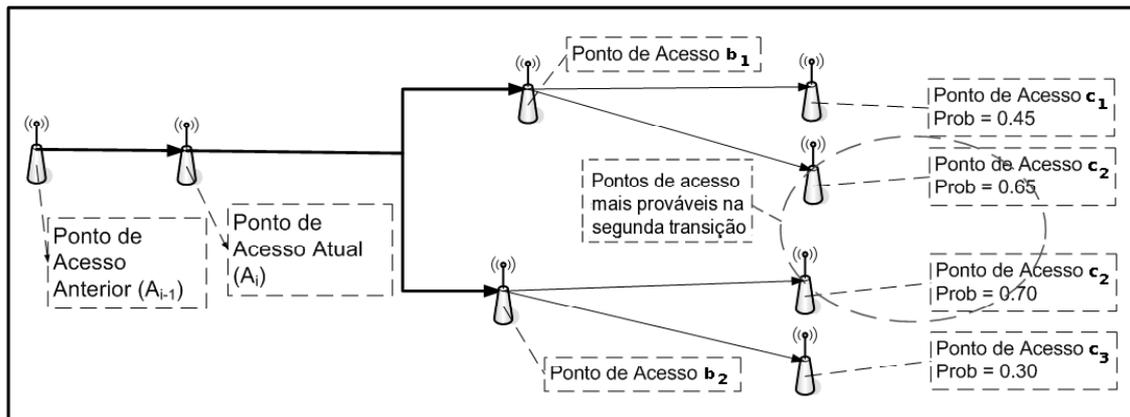


Figura 4.4: Critério da regra de Bayes

4.2 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 desse método é necessário introduzir duas definições importantes:

- **Histórico:** seqüência de todos os pontos de acesso aos quais o dispositivo móvel se associou;
- **Contexto do Nó:** seqüência dos " k " últimos pontos de acesso aos quais o dispositivo móvel se associou. Por exemplo, na Figura 4.5 o histórico é a seqüência "ABCFG" e o contexto seria "CFG" para " k " com o valor 3.

Esse método de predição 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 pelas probabilidades de transição de estado que são fornecidas pela Equação 4.2.

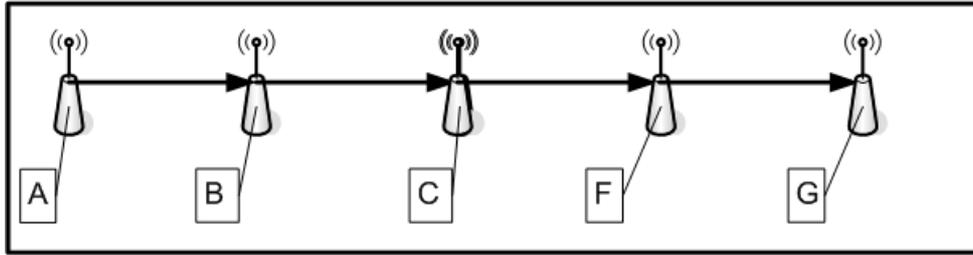


Figura 4.5: Histórico de um dispositivo

$$P(X_{n+1} = a|L) = \frac{N(ca, L)}{N(c, L)}, \quad (4.2)$$

sendo:

$N(s', s)$ = número de vezes que a seqüência s' é encontrado em s ,

L = histórico,

X_{n+1} = próximo ponto de acesso,

c = contexto,

ca = concatenação do contexto “ c ” com o próximo ponto de acesso “ a ”.

4.3 Predição da Mobilidade com Localização

Os algoritmos de predição de mobilidade citados anteriormente levam em consideração os pontos de acesso que foram percorridos pelo nó móvel com a finalidade de gerar um histórico de mobilidade. Esse tipo de abordagem, no entanto, não consegue prever a localização que o nó possui dentro da área de cobertura de um ponto de acesso. Essa informação mais apurada sobre a posição de um nó pode auxiliar na descoberta da direção que ele está tomando e realizar uma predição mais correta dos próximos pontos de acesso que serão utilizados.

Estudos mais atuais sobre localização abordam a técnica de triangulação, que utiliza as propriedades geométricas de triângulos para estimar a localização do objeto. A triangulação calcula a posição de um objeto pela medição de sua distância a múltiplos pontos de referência. O cálculo da posição de um objeto em duas dimen-

sões requer medidas de distância de três pontos não-colineares. Em três dimensões, são requeridas medidas de distância de quatro pontos não-colineares [34].

O artigo [35] exhibe as atuais técnicas de localização utilizando medidas de qualidade do sinal, baseado no fato da intensidade de um sinal emitido diminuir na medida que a distância até a fonte aumenta. Com uma função que relaciona atenuação e distância para um tipo de emissão é possível estimar a distância do receptor até o emissor.

O artigo [36] propõe um sistema de localização usando triangulação em redes Wi-Fi que, segundo simulações, consegue estimar a posição de um nó com a precisão de 3 metros. O grande problema dessa abordagem é que o sinal emitido sofre grandes variações ao longo do caminho até o receptor em um ambiente fechado. Como proposta de trabalho futuro do artigo [36] surge a idéia de utilizar um histórico de movimentações para aprimorar a localização.

A Microsoft também tem um projeto de pesquisa na área de localização. Esse projeto recebe o nome de RADAR [22] e utiliza medição de sinal para efetuar a localização, conforme descrito na Seção 1.2.

O presente trabalho tem o objetivo de apresentar uma nova abordagem para a predição de mobilidade utilizando informações obtidas pelo histórico de movimentações do dispositivo e pelas medições coletadas referentes ao nível de qualidade de sinal fornecido pela interface de rede.

4.4 A Medição da Qualidade do Sinal

Existem duas formas de se obter a distribuição da qualidade de sinal em um ambiente fechado: medições reais efetuadas em diversos pontos pelos quais um dispositivo móvel pode passar e simulações através de um modelo de propagação de sinais. As medições reais fornecem um valor mais preciso para a distribuição, mas possuem a desvantagem de ser onerosa a execução da ação de caminhar por todo o

campo de mobilidade medindo o sinal obtido. Para minimizar esse ônus, podem ser utilizados algoritmos de interpolação para que não seja necessário que se caminhe por todos os pontos de um ambiente fechado. A segunda alternativa refere-se à utilização de um modelo de propagação de sinal. Essa técnica fornece estimativas para a qualidade do sinal em um ambiente segundo um modelo matemático, no entanto a precisão não é tão eficiente quanto as medidas reais.

Como não havia a disponibilidade de um ambiente com grande densidade de dispositivos móveis, para realização de medições reais, o presente trabalho foi desenvolvido com a utilização de um modelo para estimar a distribuição da qualidade de sinal.

4.5 Propagação de Sinais

O nível de potência de sinal pode ser estimado por modelos matemáticos que representam os fenômenos causadores das atenuações que afetam uma transmissão. Entre os fenômenos sofridos pelos sinais podem ser citados:

- **Atenuação no caminho de propagação:** representa o valor da atenuação sofrida pelo sinal no caminho entre o transmissor e o receptor. Um modelo conhecido como *Free Space Path Loss* modela esse valor segundo a Equação 4.3:

$$PL_{fs}(d)[dB] = 20 \log_{10} \frac{4\pi d}{\lambda}, \quad (4.3)$$

sendo:

$\lambda =$ comprimento da onda de propagação,

$d =$ distância entre o transmissor e o receptor.

Quando o valor de “ d ” se aproxima a zero a Equação 4.3 não poderá ser

utilizada. Para resolver esse problema, a Equação 4.4 é adotada:

$$PL(d)[dB] = 2PL_{fs}(d_0)[dB] + 10n \log_{10} \frac{d}{d_0}, \quad (4.4)$$

sendo:

d_0 = valor de referência para distância. Esse valor é menor do que qualquer distância possível para “ d ”,

n = expoente de atenuação sofrida com a distância,

d = distância entre o transmissor e o receptor.

- **Múltiplos caminhos:** em um ambiente fechado existe o problema dos múltiplos caminhos que podem ser seguidos por um sinal devido aos fenômenos de refração, reflexão e difusão. Estes fenômenos criam caminhos adicionais para a propagação do sinal, além do caminho direto entre transmissor e receptor (Figura 4.6). A interseção destes caminhos pode ocasionar um aumento ou diminuição do sinal.

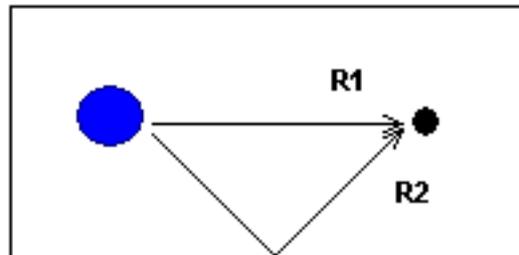


Figura 4.6: Múltiplos caminhos

- **Reflexão e difração:** o modelo *Free Space Path Loss* citado anteriormente só pode ser utilizado em ambientes nos quais só exista comunicação direta entre o transmissor e o receptor. Na existência de obstáculos os fenômenos de reflexão e refração devem ser considerados para se estimar a potência do sinal

4.6 Predição da Propagação de Sinal

Com base nos fenômenos que podem alterar a intensidade do sinal, alguns modelos de predição da propagação do sinal foram construídos e estão disponibilizados na literatura:

- **Modelo empírico:** baseado na medição do sinal obtido em diversas partes de um ambiente de mobilidade. Após as medições, procura-se adaptar o valor obtido com a fórmula do *Free Space Path Loss* (Equação 4.5). Para isto, deve-se incluir uma constante (“ χ_i ”) para perda de potência devido a obstruções sofridas pelo sinal.

$$PL(d)[dB] = 2PL_{fs}(d_0)[dB] + 10n \log_{10} \frac{d}{d_0} + \sum_i \chi_i [dB]. \quad (4.5)$$

- **Ray tracing:** o *ray tracing* [11, 12] é uma técnica de detecção de colisão, com base na traçagem de diversos raios partindo de uma origem até o destino desejado, utilizada em computação gráfica para transformar uma representação simples de dados em uma projeção 3D. Essa técnica tem sido utilizada para a predição da propagação do sinal e atinge uma boa precisão [37]. No entanto, a complexidade computacional é muito alta.
- **Algoritmos Genéticos e Redes Neurais:** A utilização de inteligência artificial foi realizada no artigo [38]. As redes neurais foram utilizadas para corrigir o erro na predição ocasionado pelo efeito dos múltiplos caminhos.
- **Modelo probabilístico:** Alguns artigos disponíveis na literatura propõem modelos de predição baseados em um modelo probabilístico. O artigo [16] propõe um modelo baseado na probabilidade de um raio encontrar um obstáculo. Nesse artigo os coeficientes de reflexão e refração são calculados segundo

a geometria do ambiente a ser estudado e a potência de sinal é obtida segundo a Equação 4.6:

$$P(l) = P_0 l^{-2} \sum_{u=0}^{\infty} \sum_{v=0}^n f(u, v|l) R^{2v} T^{2(u-v)}, \quad (4.6)$$

sendo:

l = distância percorrida pelo sinal,

u = número de objetos que são atingidos pelo sinal,

v = número de reflexões,

$u - v$ = número de transmissões (refrações sofridas),

R = coeficiente de reflexão,

T = coeficiente de transmissão,

P_0 = potência a uma distância de 1 metro,

n = número máximo de reflexões,

$f(u, v|l)$ = função de distribuição de probabilidade para o caminho de um sinal que intercepta u obstáculos após percorrer uma distância l com v reflexões e $u-v$ transmissões.

4.6.1 Modelo de Predição da Propagação de Sinal para o Trabalho

Existem diversas ferramentas para estimar a predição de sinal. A ferramenta WiSE do Bell-Labs [37] (Wireless System Engineering Tool), o I-Prop [39] (Figura 4.8) e o RPS (RadioWave Propagation Simulator) [40] são exemplos de implementações existentes para a realização dessa predição. No entanto, todas as que foram encontradas só eram disponibilizadas gratuitamente em versões de demonstração. Essas versões de demonstração são limitadas quanto às funcionalidades e não apresentavam maneiras de obter as informações necessárias para o desenvolvimento do presente trabalho.

Desse modo, para a realização do presente trabalho foi necessário implementar um modelo para a predição da propagação de sinal. O modelo escolhido para im-

plementação é o baseado em *ray tracing*. A escolha do modelo é justificada pela precisão demonstrada nos artigos da literatura disponível referentes à utilização de *ray tracing* para estimativa de propagação de sinal. Foi desenvolvido um algoritmo para a leitura de um mapa do ambiente a ser estudado e para a detecção de colisões que o sinal pode sofrer no caminho até o receptor. As detecções são realizadas através do processo de traçagem de raios desde o ponto de acesso até os diversos pontos do ambiente. O mapa representado na Figura 4.7 exibe um exemplo de um mapa a ser tratado pelo código.

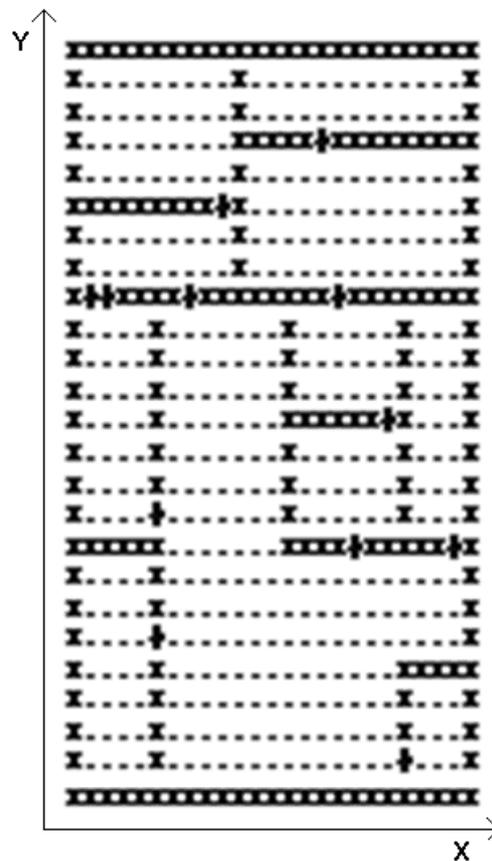


Figura 4.7: Descrição de um ambiente para o código de *ray tracing*

Através do *ray tracing*, com base no mapa fornecido, é possível descobrir quais são os obstáculos atingidos por um sinal. No modelo de propagação implementado, dividiu-se o mapa com os obstáculos em regiões e para gerar a estimativa da potência, de um raio que atinge uma região do mapa e sofre reflexões e refrações (Figura 4.9),

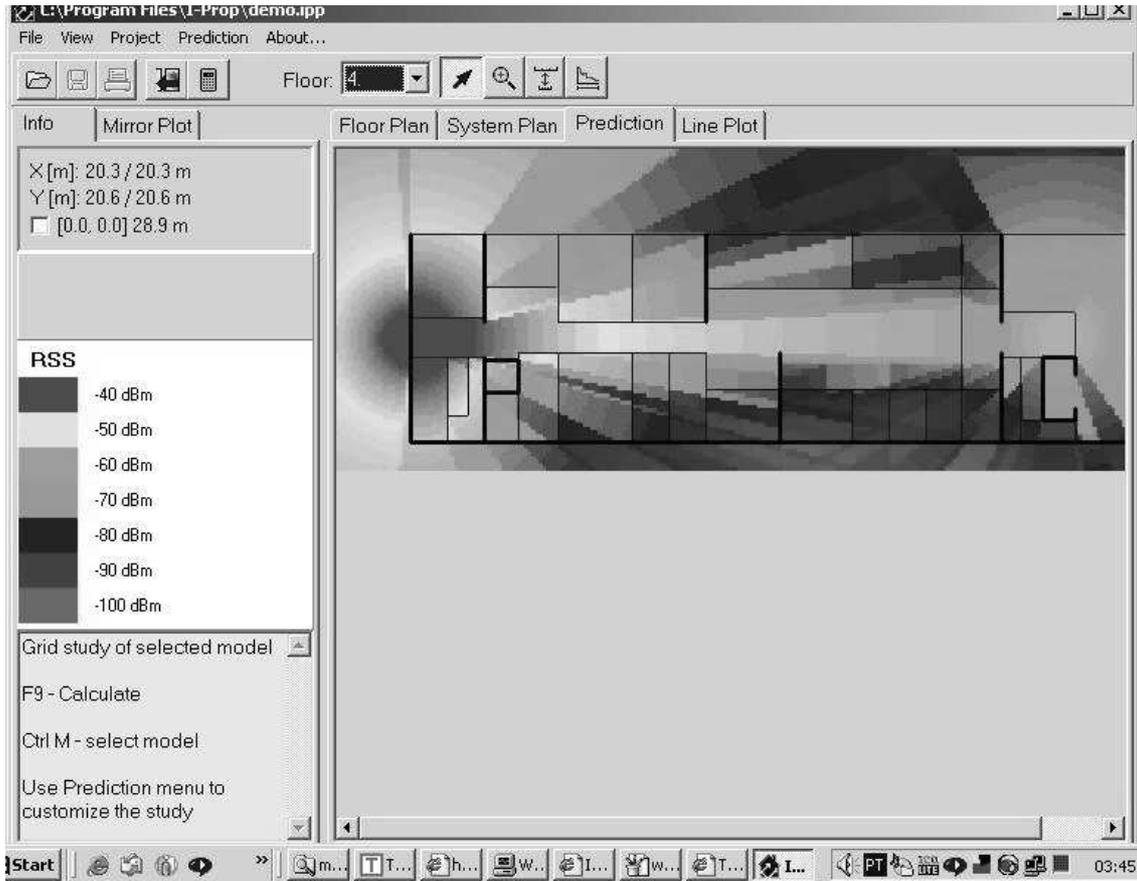


Figura 4.8: Ferramenta I-Prop

utilizou-se a Equação 4.7 [41, 42].

$$P(l) = P_0 l^{-2} \prod_{i=1}^v R_i^2 \prod_{j=1}^u T_j^2, \quad (4.7)$$

$$R_i(\epsilon_i, \theta) = \frac{\epsilon_i \sin(\theta) - \sqrt{\epsilon_i - \cos^2(\theta)}}{\epsilon_i \sin(\theta) + \sqrt{\epsilon_i - \cos^2(\theta)}}, \quad (4.8)$$

$$T_i(\epsilon, \theta) = \sqrt{\chi(1 - R_i^2)}, \quad (4.9)$$

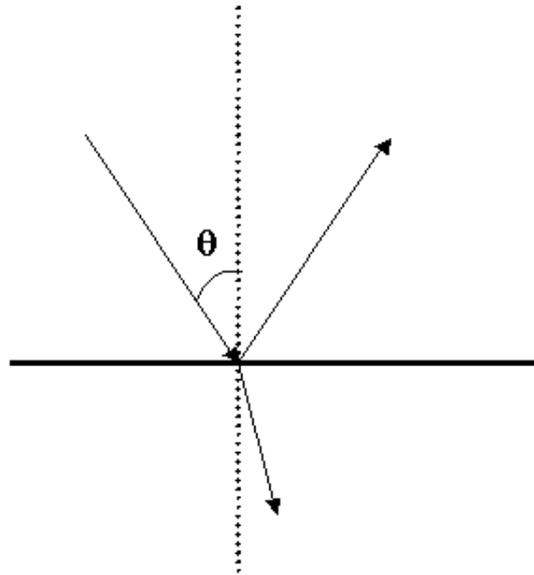


Figura 4.9: Reflexões e refrações sofridas pelo sinal

$$\epsilon = \frac{\epsilon_{sup} - \frac{j\sigma}{w}}{\epsilon_0}, \quad (4.10)$$

sendo:

- v = número de reflexões,
- u = número de transmissões (refrações),
- R_i = coeficiente de reflexão da superfície “ i ”,
- T_j = coeficiente de transmissão da superfície “ j ”,
- P_0 = potência a uma distância de 1 metro (para o padrão IEEE 802.11),
- χ = perda ocasionada pela transmissão,
- ϵ_{sup} = permissividade elétrica da superfície,
- ϵ_0 = $8,854 \times 10^{-12}$ pF/m (permissividade elétrica no vácuo) ,
- σ = condutividade da superfície,
- w = frequência angular.

Para o mapa fornecido (Figura 4.7), situou-se cada ponto de acesso no mapa e cada obstáculo existente no ambiente foi modelado com seus respectivos coeficientes de condutividade e permeabilidade elétrica. Traçou-se raios com origem no ponto

de acesso e calculou-se a potência a cada região atingida. Considerou-se as antenas como isotrópicas, que tem como característica a capacidade de irradiar igualmente em todas as direções, e a potência das interfaces de rede de 100 mW.

O código desenvolvido fornece uma distribuição do sinal obtido em diversos pontos do ambiente. Esses valores obtidos são utilizados como base para a localização do dispositivo sem fio. Para os resultados obtidos (Figuras 4.10 e 4.11), foi submetido um mapa (Figura 4.7) de 100 metros de largura e 100 metros de comprimento, com os obstáculos (paredes e divisórias) existentes no ambiente. Para cada obstáculo foi fornecida uma constante que representa o índice de refração e reflexão do objeto.

As Figuras 4.10 e 4.11 representam a distribuição obtida para o sinal no ambiente da Figura 4.7 em que todos os obstáculos apresentam um índice de refração igual a 0.3 e de reflexão igual a 0.7. Como o ponto de acesso está situado no ponto (X=80;Y=20), há uma concentração de sinal nessa região do mapa. O sinal vai sendo atenuado à medida que a distância, com relação ao ponto de acesso, aumenta.

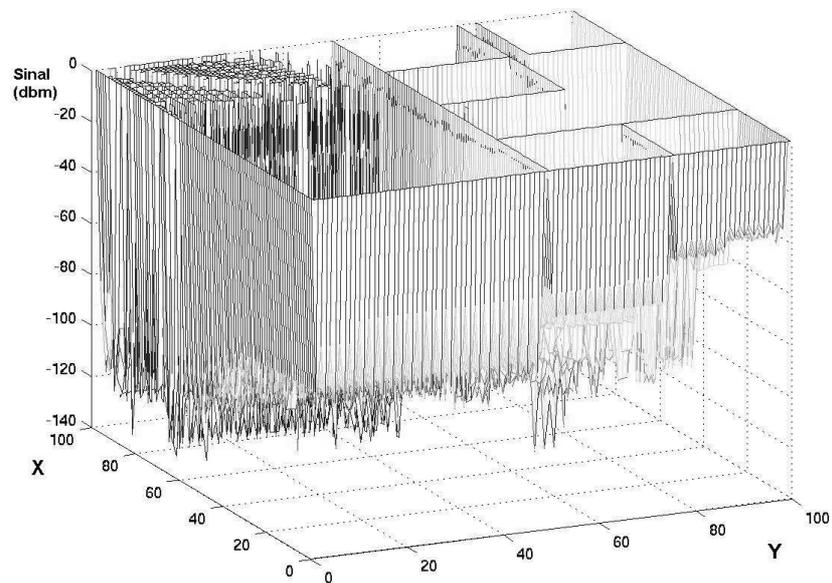


Figura 4.10: Distribuição obtida para o ambiente (X=dimensão X, Y= dimensão Y, Z=qualidade do sinal em dBm)

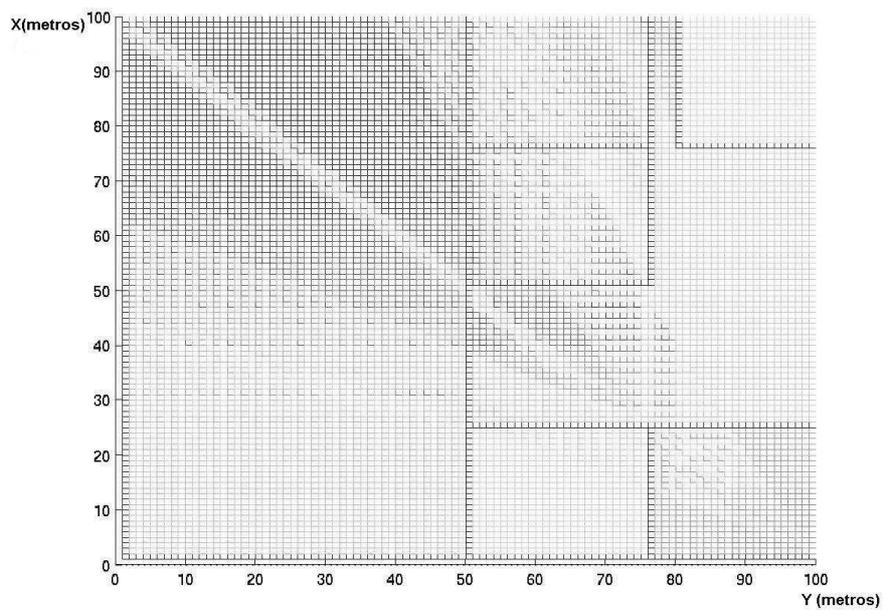


Figura 4.11: Distribuição obtida para o ambiente - gráfico 2D

Capítulo 5

Modelo de Mobilidade Proposto

SURGIU a necessidade de representar cenários com obstáculos para caracterizar um ambiente fechado. Essa necessidade motivou a proposta de um novo modelo de mobilidade

5.1 Descrição do Modelo de Mobilidade Proposto

Um ambiente fechado é composto de obstáculos que limitam a movimentação do usuário. O modelo de mobilidade proposto utiliza um mapa que define o ambiente fechado a ser simulado. Esse mapa do cenário é dividido em regiões chamadas de células. Cada célula pode ter uma probabilidade atribuída que representa a possibilidade de um nó escolhê-la como destino. Esse tipo de configuração permite que sejam criados cenários de 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 esse modelo de mobilidade proposto apresenta a possibilidade de atribuir diferentes probabilidades para cada posição do mapa. Entretanto, nas simulações realizadas para este trabalho, a probabilidade de visitação de cada local do mapa foi uniformemente distribuída. Optou-se por uma distribuição uniforme para manter características semelhantes em todos os

modelos simulados e utilizados para comparação.

De acordo com a distribuição de probabilidades de visitação das células do mapa, é escolhido um destino a cada movimentação de um nó. No entanto, para atingir o destino 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 atingir o destino.

5.2 O Mapa Fornecido

O cenário deve ser definido através de um mapa dividido em células. Para as simulações desenvolvidas neste trabalho, realizou-se uma implementação que utiliza um mapa em duas dimensões. Como no exemplo exibido pela Figura 5.1, 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 4.7. Esse mapa é utilizado para o encontro de trajetos, conforme seção abaixo.

5.3 O Encontro do Trajeto

Para encontrar o trajeto a ser percorrido por um nó, utilizou-se um algoritmo baseado no mapa do cenário fornecido, considerando que cada nó busca sempre o caminho mais curto para atingir o destino. Primeiramente, define-se regiões convexas (Figura 5.1) no mapa, de modo que células de uma mesma região possam ser mutuamente atingidas através de uma trajetória retilínea. As regiões convexas são encontradas acrescentando-se “#” nas linhas do mapa em que existem arestas. A comunicação entre duas regiões ocorre sempre através de células demonstradas na Figura 5.1 por “#” e denominadas de células de comunicação (“portas”).

Cada região convexa é cadastrada em um grafo (conjunto de pontos ou vértices conectados por linhas ou arestas) cujos vértices vizinhos são regiões convexas diretamente comunicáveis, conforme demonstrado na Figura 5.2. Utilizando esse grafo e a distância entre as portas, pode-se 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 efetuada através do conhecido algoritmo de Dijkstra.

Dado o destino do nó, é verificado se a correspondente posição 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, utiliza-se 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.

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), executou-se o algoritmo de Dijkstra considerando-a como raiz da busca. Desse modo, foi obtido o trajeto de custo mínimo entre células de comunicação do grafo.

5.4 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, são obedecidas as 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.

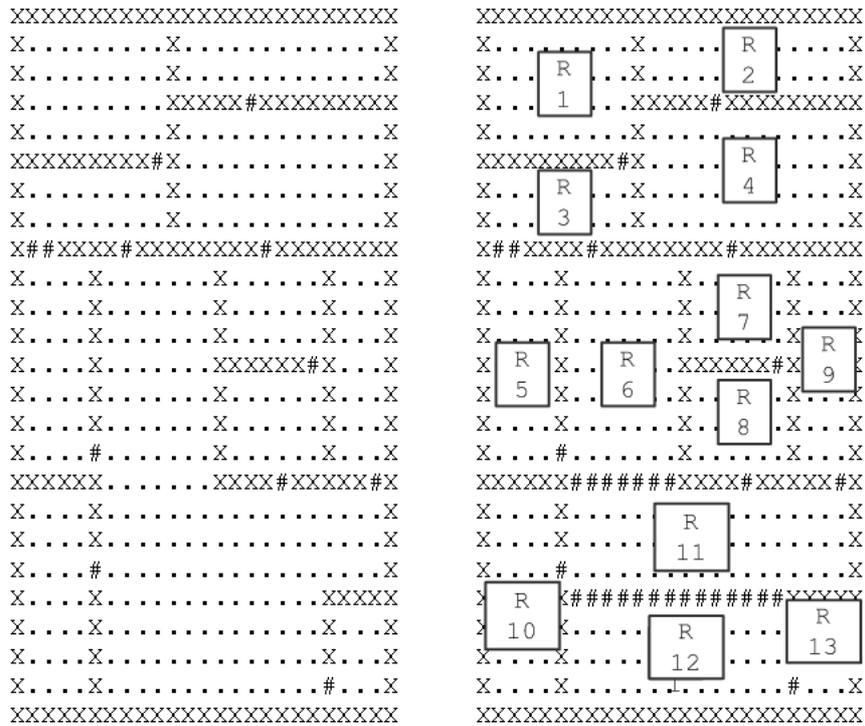


Figura 5.1: Mapa do cenário e mapa convexo gerado para estabelecimento de trajetos

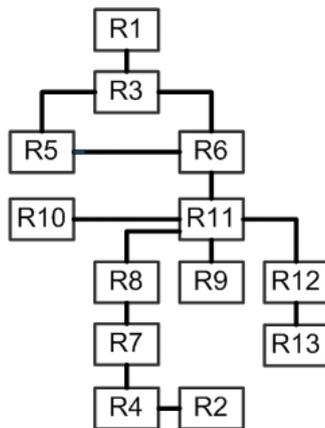


Figura 5.2: Grafo representando as regiões comunicáveis ilustradas na Figura 5.1

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.

5.5 Simulações

Neste trabalho, realizou-se simulações, com o modelo de mobilidade proposto e os descritos na Seção 3.1, para estabelecer comparações. Para realizar tais simulações foi utilizado o simulador ScenGen [29]. As implementações do modelo proposto e dos modelos *Smooth* e MMIG foram realizadas em C++ utilizando a interface de programação do simulador. Utilizou-se a regra de borda *bounce* nos modelos *Smooth* e MMIG. 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 utilizou-se 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.

Abaixo estão descritas as configurações específicas dos modelos utilizados nas simulações.

- ***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 |

5.6 O Cenário de Mobilidade

Os resultados das simulações apresentadas nesta seção foram desenvolvidas em uma área de 250 metros de largura por 250 metros de comprimento. Os eixos x e y dessa área foram divididos em 25 seções de 10 metros cada, resultando em 625 subáreas quadradas com lateral de 10 metros. Essas subáreas serão chamadas de células. Diversos nós foram dispostos inicialmente na área de simulação seguindo uma distribuição uniforme. Foram dispostos 36 pontos de acesso nessa 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, utilizou-se o mapa exibido na Figura 4.7.

Esses nós são colocados em movimento de acordo com os modelo de mobilidades simulados, durante o tempo de 50.000 segundos. Os 3.000 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 de que 0.001. As velocidades escolhidas pelos nós foram distribuídas dentro do intervalo [1,3] m/s, para todas as simulações exe-

cutadas. A escolha desse intervalo justifica-se pela necessidade de se obter cenários com movimentações rápidas, dentro dos limites de velocidade encontrados em ambientes fechados. Visto que o objetivo principal é avaliar a capacidade de detectar padrões de mobilidade, um cenário com movimentações em menores velocidades iria diminuir o número de transições entre pontos de acesso (*handoff*) por unidade de tempo. Esses parâmetros de simulação foram os mesmos para todas as simulações realizadas com os quatro modelos estudados nas avaliações das métricas.

5.7 Métricas de Avaliação dos Cenários Gerados

Para uma comparação entre os modelos se adotou 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. Essa 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. Essa 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:** essa métrica que vem sendo abordada em diversos trabalhos recentes [43, 44, 45]. Reflete o número médio de nós encontrado em cada célula do cenário a cada segundo de simulação.

- **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. Considerou-se que cada ponto de acesso tem raio de alcance de 30 metros, portanto, quando um nó ultrapassa essa área de cobertura, ocorre uma transição para outro ponto de acesso. Essa 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 é baseada no histórico dos pontos de acesso já utilizados pelo nó (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:** essa métrica avalia o grau de previsibilidade de um nó, baseado em seu histórico (ver definição de histórico e entropia na Seção 4.2). A entropia de uma variável aleatória “ X ” é definida, de forma geral, pela Equação 5.1:

$$H(X) = - \sum_i P(x_i) \log_2 P(x_i). \quad (5.1)$$

Para este trabalho, utilizou-se a equação definida em [15] para calcular a entropia com a utilização da predição por Markov ordem k , conforme pode ser visualizado na Equação 5.2.

$$H(A|C) = - \sum_i \frac{N(c_i, L)}{g - k + 1} \sum_j P(A = a_j | C = c_i) \log_2 P(A = a_j | C = c_i), \quad (5.2)$$

sendo:

- $N(s',s)$ = número de vezes que a sequência s' é encontrado em s ,
 a = ponto de acesso,
 k = número de elementos no contexto,
 L = seqüência de todos os pontos de acesso aos quais o dispositivo se associou (histórico),
 X = próximo ponto de acesso segundo a predição,
 c = seqüência dos “ k ” últimos pontos de acessos quais o dispositivo se associou,
 g = número de pontos de acesso já utilizados,
 A = variável aleatória que representa o ponto de acesso indicado como predição,
 C = variável aleatória que representa os contextos (seqüência de “ k ” pontos de acesso) encontrados na seqüência L .

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

5.8 Resultados

As Tabelas 5.1 e 5.3 resumem os resultados obtidos pelas simulações realizadas com os modelos de mobilidade utilizados. Com relação à predição, pode-se observar que o modelo de mobilidade 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. Dessa forma, pode-se afirmar que, para o

Tabela 5.1: Valores obtidos para as métricas utilizadas

| | <i>Waypoint</i> | MMIG | <i>Smooth</i> | 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 5.2: Intervalo de confiança para a velocidade média (utilizando nível de confiança de 95%)

| | <i>Waypoint</i> | <i>MMIG</i> | Smooth | Modelo Proposto |
|------------------------|-----------------|-------------|-------------|-----------------|
| Intervalo de Confiança | [1,63;1,99] | [1,91;2,28] | [1,70;2,19] | [1,81;2,18] |

modelo proposto, conseguimos maior índice de acerto na predição, mesmo em um ambiente de maior mobilidade. A Figura 5.3 exibe os resultados obtidos para a predição do próximo ponto de acesso utilizando o modelo proposto.

O gráfico da Figura 5.4 exibe a distribuição de nós em cada célula da área de simulação utilizando o modelo proposto. Esse gráfico permite visualizar uma maior concentração de nós nas regiões em que existem células de comunicação (“portas”). É essa distribuição diferenciada que tem a possibilidade de ser explorada na predição de mobilidade. A existência de regiões com maior probabilidade de concentração de nós garante a existência de padrões de mobilidade mais evidentes conforme se pode observar na comparação com os gráficos obtidos para o modelo *Waypoint* (Figura 5.5) e MMIG (Figura 5.6) .

Dos quatro modelos simulados, apenas o *Waypoint* revelou velocidade média abaixo do valor esperado, que é 2 m/s. Esse comportamento pode ser justificado devido ao fato dos nós, que se movimentam segundo o modelo *Waypoint*, tenderem

Tabela 5.3: Resultados para métricas de predição de mobilidade

| | <i>Waypoint</i> | MMIG | <i>Smooth</i> | Modelo Proposto |
|------------------------------|-----------------|---------|---------------|-----------------|
| Entropia | 32,7756 | 31,8746 | 27,4695 | 47,1252 |
| Índice de Acerto da Predição | 0.3803 | 0.4684 | 0.6754 | 0.73324 |

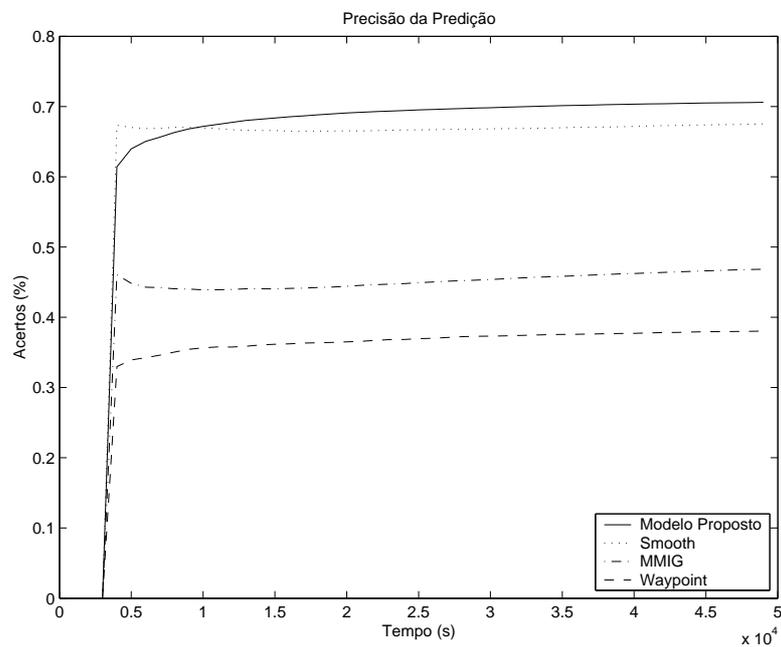


Figura 5.3: Índice de acerto na predição para o próximo ponto de acesso utilizando o modelo proposto

a percorrer uma longa distância a uma velocidade baixa, conforme observado em [28]. Esse mesmo motivo influenciou a métrica da média de mudanças bruscas de velocidade. Como no *Waypoint* os nós tendem a permanecer em velocidades baixas, o número de mudanças bruscas de velocidade foi reduzido. A média da velocidade, considerando seu intervalo de confiança exibido na Tabela 5.2, para o modelo proposto ficou próxima da média esperada de 2m/s.

Para o 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*. Como no *Waypoint* o resultado foi influenciado pelo fato dos nós tenderem a permanecer em velocidades baixas, fugindo um pouco do realismo do cenário, o resultado obtido para essa métrica pode ser considerado como mais um ponto positivo para o modelo proposto, em comparação com os demais modelos.

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

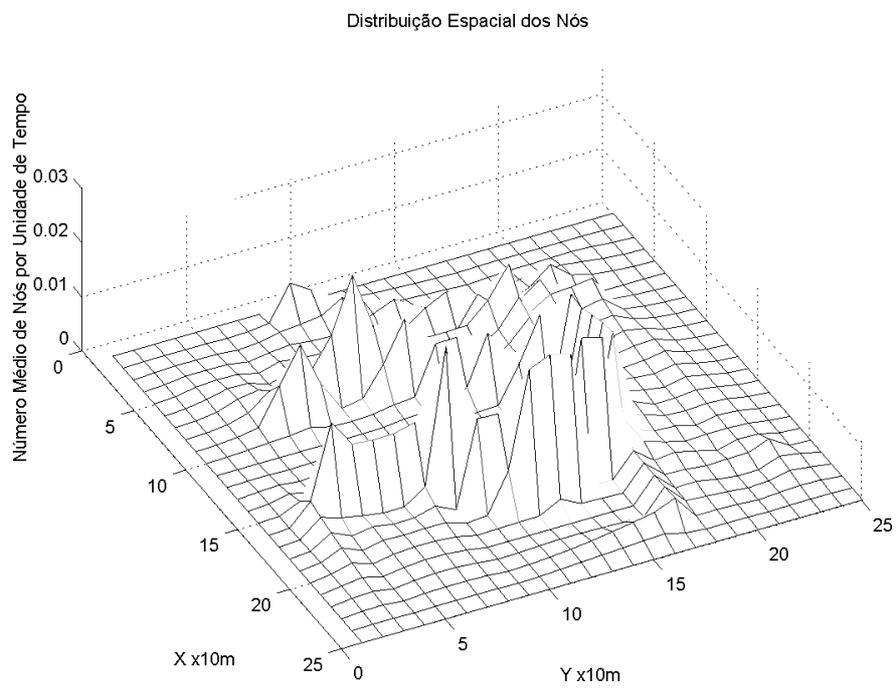


Figura 5.4: Distribuição de nós por célula - modelo proposto

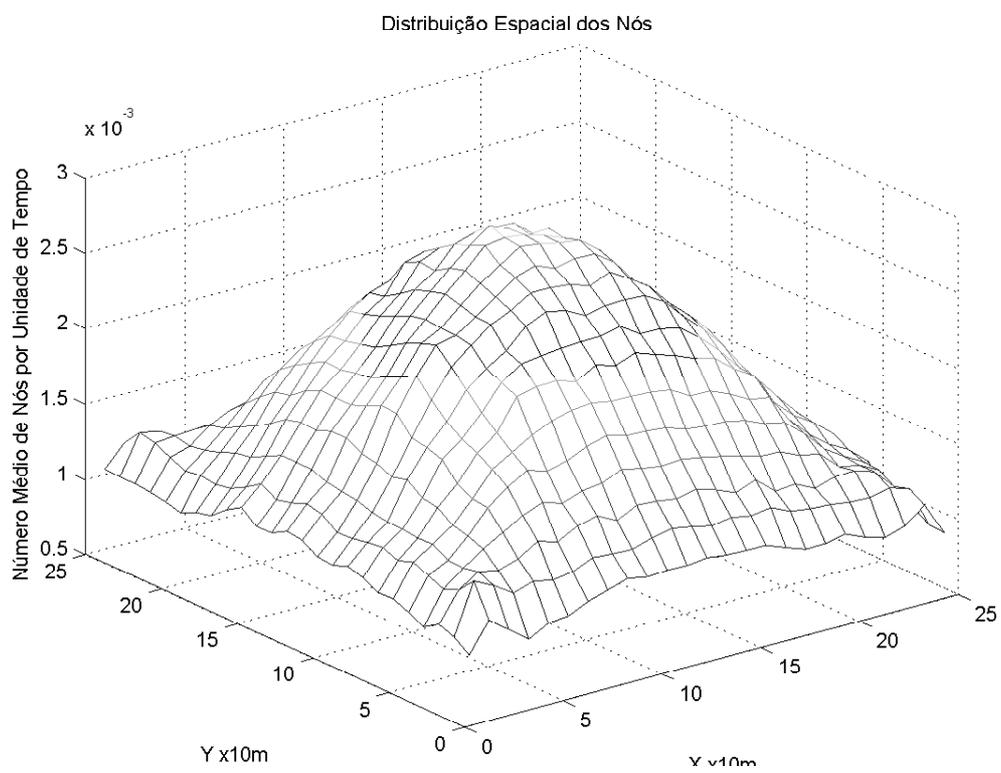


Figura 5.5: Distribuição de nós por célula - modelo *Waypoint*

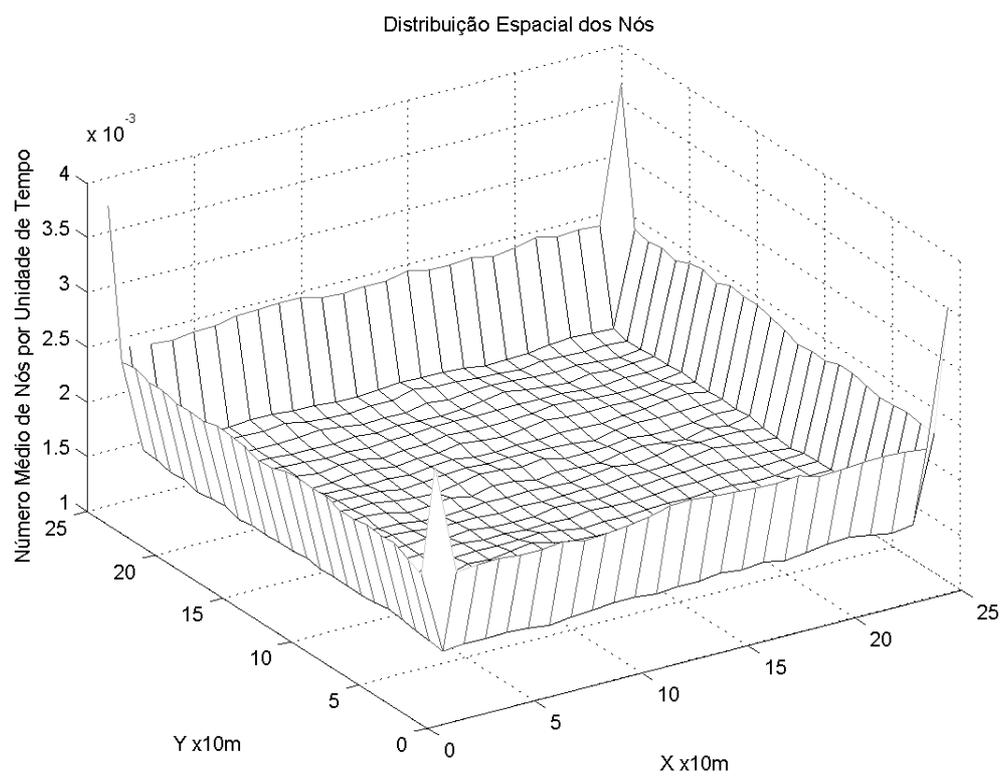


Figura 5.6: Distribuição de nós por célula - modelo MMIG

Capítulo 6

Modelo de Predição de Mobilidade Proposto

A utilização apenas do histórico de movimentações se mostrou não muito eficiente para a predição da mobilidade em determinados cenários. Movimentos em discordância com o histórico, alterações freqüentes no padrão de mobilidade ou movimentações com grande aleatoriedade, de forma a ocasionar uma distribuição uniforme da utilização dos possíveis pontos de acesso, ocasionam problemas na estimativa do próximo ponto de acesso a ser utilizado. Isso motivou a proposta de um novo modelo de predição da mobilidade.

6.1 Descrição do Modelo de Predição de Mobilidade

A utilização do valor de nível de sinal agrega informação útil para localizar o dispositivo e permite refinar as estimativas. O modelo proposto para predição utiliza o histórico de movimentação, sendo que entre os pontos de acesso mais prováveis é escolhido o que está mais próximo da posição estimada, utilizando o modelo de propagação, para o dispositivo móvel. Visando minimizar o erro ocasionado por um ruído na medição de sinal, a predição sempre irá apontar para um dos pontos de

acesso mais prováveis segundo o histórico.

O modelo proposto utiliza a medição da qualidade de sinal em intervalos de “ t ” segundos. Como a atividade de efetuar medições de sinal retira tempo útil da interface de rede, o valor configurado para “ t ” não deve ser muito baixo. Os resultados obtidos nas simulações demonstram o valor da precisão da predição variando o tempo entre medições de sinal (*probing*). Para as simulações de predição que foram realizadas, utilizou-se um intervalo “ t ” de 3 segundos.

Para gerar os resultados de simulação, utilizou-se o modelo de mobilidade proposto [13] para a simulação de dois cenários, um de 50 por 50 metros com a disposição de quatro pontos de acesso e outro de 200 por 200 metros com a disposição de trinta e cinco pontos de acesso. Cada ponto de acesso tem uma área de cobertura de 30 metros. Utilizou-se um modelo de propagação de sinal baseado no *ray tracing* de duas dimensões. Como o modelo de propagação apresentou um erro médio de 5 dBm com relação a valores coletados empiricamente, para obter valores de medição de sinal para cada nó da simulação utilizou-se os valores do modelo de predição de sinal baseado em *ray tracing* acrescentando um ruído branco de média 5 dBm. Esse ruído foi acrescentado em cada um dos valores de sinal referentes aos pontos de acesso dentro da área de cobertura do dispositivo móvel. Realizou-se 30 rodadas de simulação, sendo que em cada cenário havia 30 dispositivos móveis.

Passos executados pelo modelo de predição de mobilidade:

- **Criação de matriz de distribuição do sinal:** nessa etapa se utilizou o modelo de propagação do sinal para obter uma distribuição do sinal dentro de um ambiente. Esses valores são utilizados durante a localização dos dispositivos móveis;
- **Armazenamento do histórico de pontos de acesso visitados:** a cada transição de ponto de acesso, armazenou-se os pontos de acesso de origem e destino para obter um histórico de movimentações do dispositivo móvel;
- **Medições de qualidade de sinal:** a cada intervalo de “ t ” segundos os dis-

positivos móveis realizam medições de qualidade de sinal dos pontos de acesso que estão dentro de suas áreas de alcance. As medições são centralizadas em uma base de dados única;

- **Predição de mobilidade:** a cada intervalo de “ t ” segundos se efetuou o processo de predição de mobilidade baseada no histórico de movimentações. Entre os pontos de acesso mais prováveis é escolhido o que está mais próximo da posição estimada com o modelo de propagação. Se o histórico não indica um ponto de acesso com maior probabilidade de destino para o dispositivo, então utiliza-se apenas o critério da localização, ou seja, o ponto de acesso mais próximo será o resultado da predição. Vale observar que o histórico pode não indicar um ponto de acesso com maior probabilidade de destino nos momentos iniciais de movimentação ou nos momentos em que o nó realiza um movimento com uma direção ou sentido ainda não existentes na base de dados.

6.2 Resultados de Simulação para o Modelo de Predição

As simulações para avaliação do modelo de predição foram desenvolvidas em dois cenários, conforme descritos abaixo. Foram executadas 30 rodadas de simulação, com o modelo de mobilidade proposto, para cada um dos cenários envolvidos.

As configurações específicas para o modelo de mobilidade utilizado nas simulações são as mesmas descritas na Seção 5.5.

6.2.1 Cenário A de Mobilidade

As simulações do primeiro cenário foram desenvolvidas em uma área de 200 metros de largura por 200 metros de comprimento, utilizando-se o mapa da Figura 4.7 em maiores proporções. Os eixos x e y dessa área foram divididos em 200 seções de 1 metro cada, resultando em 40.000 subáreas quadradas com arestas de 1 metro. Essas subáreas são chamadas de células. Trinta nós foram dispostos inicialmente na

área de simulação seguindo uma distribuição uniforme. Foram dispostos 35 pontos de acesso nessa área posicionados de forma equidistante. Dessa forma, todas as células do mapa estão sob a cobertura de pelo menos um ponto de acesso.

Os nós do cenário são colocados em movimento de acordo com o modelo de mobilidade escolhido [13], durante o tempo de 50.000 segundos. Os 3.000 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 estabelecidas dentro do intervalo $[1,3]$ m/s, conforme a simulações do modelo de mobilidade proposto descritas na Seção 5.6).

6.2.2 Cenário B de Mobilidade

As simulações do segundo cenário foram desenvolvidas em uma área de 50 metros de largura por 50 metros de comprimento. Os eixos x e y dessa área foram divididos em 50 seções de 1 metro cada, resultando em 2.500 subáreas quadradas com arestas de 1 metro. Trinta nós foram dispostos na área de simulação seguindo uma distribuição uniforme. Foram dispostos 4 pontos de acesso nessa área posicionados de forma equidistante. Dessa forma, todas as células do mapa estão sob a cobertura de pelo menos um ponto de acesso. Para esse cenário foi considerado o mesmo mapa do cenário A só que as dimensões foram reduzidas.

Os nós do cenário são colocados em movimento de acordo com o modelo de mobilidade escolhido, durante o tempo de 5.000 segundos. Os 1.000 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. Repetindo os valores utilizados no cenário A, as velocidades escolhidas pelos nós foram estabelecidas dentro do intervalo $[1,3]$ m/s.

Tabela 6.1: Coeficientes utilizados no *ray tracing*

| Material | Condutividade | Permissividade Elétrica |
|----------|---------------|-------------------------|
| Concreto | 4.5 | 0.11 |
| Madeira | 2.02 | 0.00 |

6.2.3 Resultados

Para gerar a distribuição do sinal no cenário foi utilizado o código desenvolvido (*ray tracing*) com base na Equação 4.7 e os coeficientes encontrados em [46], exibidos na Tabela 6.1. Os obstáculos das bordas do cenário foram classificados com o coeficiente do material concreto e os obstáculos internos, com o coeficiente do material madeira. Foi considerada uma perda ocasionada pela transmissão, ao encontrar um obstáculo, de 30% (valor de χ). Utilizou-se o nível de confiança de 95% para cálculo dos resultados.

A escolha dos cenários foi devido à necessidade de se comparar as técnicas de predição de mobilidade em ambientes com diferentes probabilidades dos movimentos seguirem padrões de movimentação. O cenário A, por ser maior e possuir regiões fechadas mais amplas, não apresenta grande padrão de mobilidade, pois dentro de uma região convexa do mapa surgem inúmeros movimentos que podem ser executados sem a necessidade de passar por obstáculos. Além disso, cada região do mapa pode conter mais de um ponto de acesso. O cenário B é um cenário menor e o padrão de mobilidade é mais evidenciado, pois cada movimentação possui maior probabilidade de encontrar obstáculos.

Em redes infra-estruturadas o nó móvel necessita de um ponto de acesso ao seu alcance para se conectar à rede. Considerou-se que cada ponto de acesso tem raio de alcance de 30 metros, portanto, quando um nó ultrapassa essa área de cobertura, ocorre uma transição para outro ponto de acesso. As comparações entre os modelos

de predição foram realizadas com base em índice de acerto da predição do próximo ponto de acesso. Essa métrica refere-se ao índice de acerto obtido ao se estimar 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 e 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.

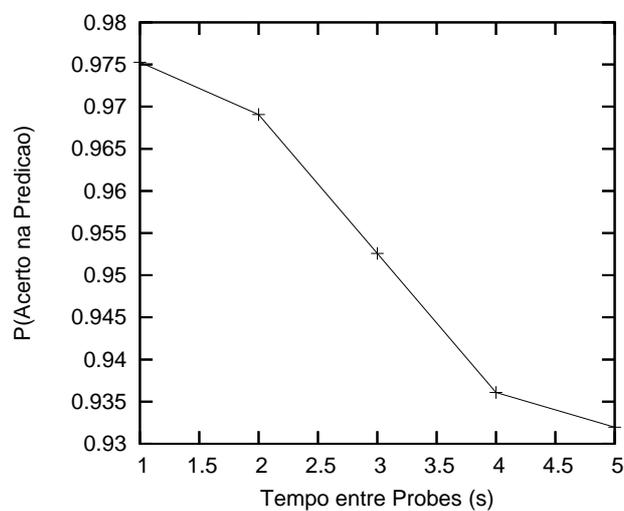


Figura 6.1: Precisão na predição variando o intervalo de *probing* - cenário A

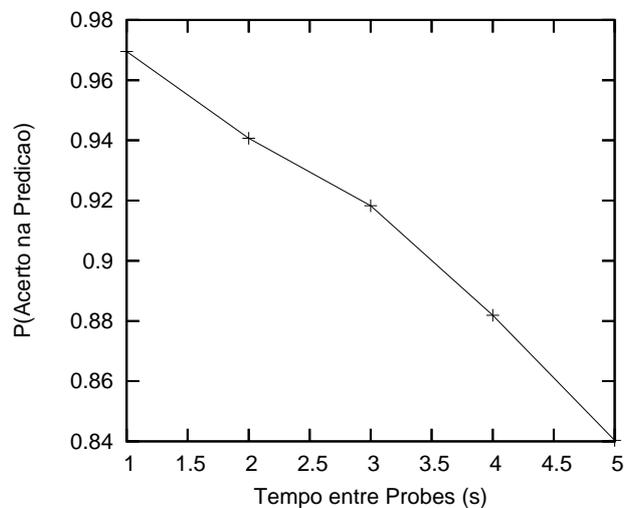


Figura 6.2: Precisão na predição variando o intervalo de *probing* - cenário B

Tabela 6.2: Índices de acerto considerando apenas a localização com o modelo de propagação e variando o tempo de *probing* - cenário A

| Intervalo entre Medições | Índice de Acerto | Variância | Intervalo de Confiança (Nível de Confiança de 95%) |
|--------------------------|------------------|-----------|--|
| 1 | 0.975258 | 0.000648 | [0.97061042;0.97990558] |
| 2 | 0.969072 | 0.00067 | [0.96434618;0.97379782] |
| 3 | 0.952577 | 0.000818 | [0.94735525;0.95779875] |
| 4 | 0.936082 | 0.00072 | [0.93118302;0.94098098] |
| 5 | 0.931959 | 0.0007 | [0.92712854;0.93678946] |

Utilizou-se o critério de Markov ordem 2 para realizar a predição com o histórico de mobilidade. Nas simulações realizadas, em caso de empate entre as probabilidades de transição de estado, foi considerado 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, escolheu-se aquele que foi mais recentemente utilizado pelo nó.

Um importante resultado obtido é exibido na Figura 6.1 (Tabela 6.2), para o cenário A, e na Figura 6.2 (Tabela 6.3), para o cenário B. Esse resultado indica o relacionamento entre o intervalo entre medições e a probabilidade de acerto para os cenários A e B, respectivamente. Para esse resultado, foi utilizado apenas o modelo de propagação do sinal para efetuar a predição e foi ignorada a presença de ruído nas medições. Ou seja, está sendo avaliada a capacidade de se efetuar a predição apenas com o critério de localização. As Tabelas 6.4 e 6.5 exibem valores obtidos para probabilidade de acerto com a presença de ruído médio de 5 dBm para os cenários A e B, respectivamente.

Conforme foi descrito anteriormente, nas simulações envolvendo o modelo de propagação de sinal foi incluído um ruído branco. O resultado das Figuras 6.3

Tabela 6.3: Índices de acerto considerando apenas a localização com o modelo de propagação e variando o tempo de *probing* - cenário B

| Intervalo entre Medições | Índice de Acerto | Variância | Intervalo de Confiança (Nível de Confiança de 95%) |
|--------------------------|------------------|-----------|--|
| 1 | 0.969501 | 0.000103 | [0.96586927;0.97313273] |
| 2 | 0.940705 | 0.000106 | [0.93702076;0.94438924] |
| 3 | 0.9183 | 0.000318 | [0.9119187;0.9246813] |
| 4 | 0.881922 | 0.000625 | [0.87297586;0.89086814] |
| 5 | 0.840348 | 0.000548 | [0.83197105;0.84872495] |

Tabela 6.4: Índices de acerto considerando apenas a localização com o modelo de propagação e ruído médio de 5 dBm - cenário A

| Intervalo entre Medições | Índice de Acerto | Variância | Intervalo de Confiança (Nível de Confiança de 95%) |
|--------------------------|------------------|-----------|--|
| 1 | 0.934021 | 0.000697 | [0.929200903;0.938841097] |
| 2 | 0.927835 | 0.000687 | [0.923049606;0.932620394] |
| 3 | 0.894845 | 0.001439 | [0.887919203;0.901770797] |
| 4 | 0.892784 | 0.000715 | [0.88790206;0.89766594] |
| 5 | 0.880412 | 0.000885 | [0.87498061;0.88584339] |

Tabela 6.5: Índices de acerto considerando apenas a localização com o modelo de propagação e ruído médio de 5 dBm - cenário B

| Intervalo entre Medições | Índice de Acerto | Variância | Intervalo de Confiança (Nível de Confiança de 95%) |
|--------------------------|------------------|-----------|--|
| 1 | 0.640228 | 0.000098 | [0.638420608;0.642035392] |
| 2 | 0.673672 | 0.000129 | [0.671598356;0.675745644] |
| 3 | 0.670138 | 0.000153 | [0.667879682;0.672396318] |
| 4 | 0.660144 | 0.000324 | [0.656857665;0.663430335] |
| 5 | 0.657071 | 0.000034 | [0.656006419;0.658135581] |

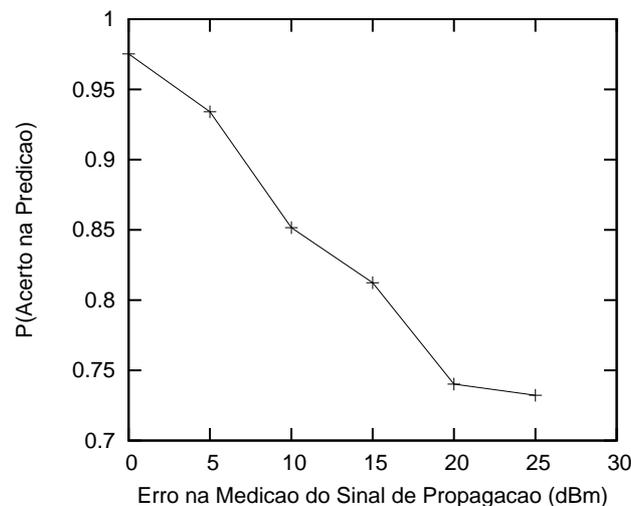


Figura 6.3: Precisão na predição variando o ruído na medição - cenário A

(Tabela 6.6) e 6.4 (Tabela 6.7) exibe o índice de acerto obtido variando-se a média de ruído na medição e, novamente, utilizando apenas o modelo de propagação do sinal para efetuar a predição de mobilidade. Para a obtenção desses resultados se trabalhou com intervalo entre medições de 1 segundo. Para o resultado das Figuras 6.5 (Tabela 6.8) e 6.6 (Tabela 6.9) foi utilizado o intervalo de 3 segundos.

Para avaliar o critério do histórico de movimentação, efetuou-se simulações en-

Tabela 6.6: Índices de acerto variando o ruído na medição - cenário A

| Ruído na Medição | Índice de Acerto | Variância | Intervalo de Confiança (Nível de Confiança de 95%) |
|------------------|------------------|-----------|---|
| 0 | 0.975258 | 0.000648 | [0.97061042;0.97990558] |
| 5 | 0.934021 | 0.000697 | [0.9292009;0.9388411] |
| 10 | 0.851546 | 0.000735 | [0.84659625;0.85649575] |
| 15 | 0.812371 | 0.000834 | [0.80709843;0.81764357] |
| 20 | 0.740206 | 0.002492 | [0.73109191;0.74932009] |
| 25 | 0.732213 | 0.0001096 | [0.73030163;0.73412437] |

Tabela 6.7: Índices de acerto variando o ruído na medição - cenário B

| Ruído na Medição | Índice de Acerto | Variância | Intervalo de Confiança (Nível de Confiança de 95%) |
|------------------|------------------|-----------|---|
| 0 | 0.960501 | 0.000103 | [0.958648;0.962354] |
| 5 | 0.698044 | 0.000126 | [0.6940272;0.7020608] |
| 10 | 0.552022 | 0.00007 | [0.54902805;0.55501595] |
| 15 | 0.503888 | 0.00009 | [0.50049318;0.50728282] |
| 20 | 0.480034 | 0.00008 | [0.47683333;0.48323467] |
| 25 | 0.474667 | 0.00004 | [0.47240379;0.47693021] |

Tabela 6.8: Índices de acerto variando o ruído na medição com intervalo de 3 segundos entre medições - cenário A

| Ruído na Medição | Índice de Acerto | Variância | Intervalo de Confiança (Nível de Confiança de 95%) |
|------------------|------------------|-----------|---|
| 0 | 0.952577 | 0.000818 | [0.947355251;0.957798749] |
| 5 | 0.92154 | 0.00215 | [0.913074383;0.930005617] |
| 10 | 0.811234 | 0.000854 | [0.805898584;0.816569416] |
| 15 | 0.80546 | 0.000819 | [0.80023506;0.81068494] |
| 20 | 0.7321 | 0.000525 | [0.7279167;0.7362833] |
| 25 | 0.70561 | 0.000235 | [0.702811191;0.708408809] |

Tabela 6.9: Índices de acerto variando o ruído na medição com intervalo de 3 segundos entre medições - cenário B

| Ruído na Medição | Índice de Acerto | Variância | Intervalo de Confiança (Nível de Confiança de 95%) |
|------------------|------------------|-----------|---|
| 0 | 0.9183 | 0.000318 | [0.915044236;0.921555764] |
| 5 | 0.67231 | 0.0005415 | [0.668061471;0.676558529] |
| 10 | 0.54224 | 0.000212 | [0.53958168;0.54489832] |
| 15 | 0.50213 | 0.0005321 | [0.497918508;0.506341492] |
| 20 | 0.45872 | 0.000184 | [0.456243443;0.461196557] |
| 25 | 0.430125 | 0.000395 | [0.42649641;0.43375359] |

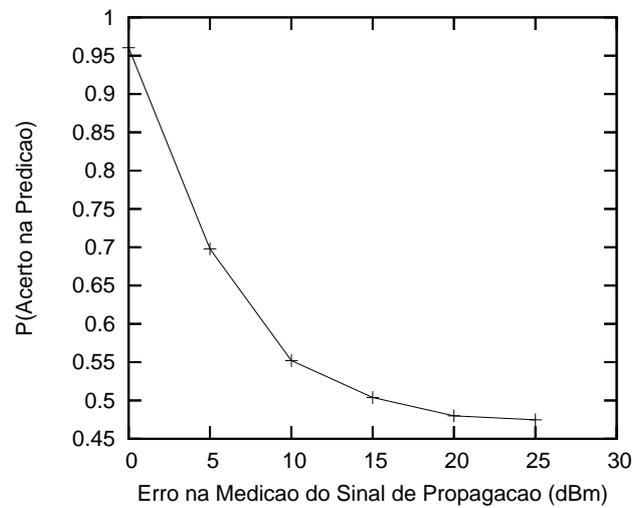


Figura 6.4: Precisão na predição variando o ruído na medição - cenário B

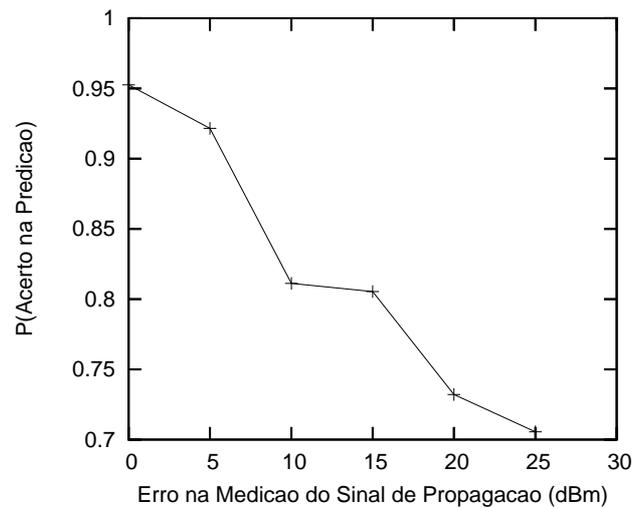


Figura 6.5: Precisão na predição variando o ruído na medição com intervalo de 3 segundos entre medições - cenário A

volvendo apenas o histórico. Encontrou-se valores entre 73% a 77% para o acerto na estimativa do próximo ponto de acesso no cenário B e entre 58% a 60%, para o cenário A, conforme as Tabelas 6.10 e 6.11.

Para avaliar o modelo proposto, realizou-se simulações envolvendo o modelo de mobilidade e o modelo de propagação baseado em *ray tracing*. Essas simulações

Tabela 6.10: Índices de acerto considerando apenas o histórico de movimentações - cenário A

| K de Markov | Índice de Acerto | Variância | Intervalo de Confiança (Nível de Confiança de 95%) |
|-------------|------------------|-----------|---|
| 1 | 0.583505 | 0.000966 | [0.5778305;0.5891795] |
| 2 | 0.590412 | 0.0028763 | [0.58062034;0.60020366] |
| 3 | 0.340206 | 0.0019857 | [0.33207028;0.34834172] |

Tabela 6.11: Índices de acerto considerando apenas o histórico de movimentações - cenário B

| K de Markov | Índice de Acerto | Variância | Intervalo de Confiança (Nível de Confiança de 95%) |
|-------------|------------------|-----------|---|
| 1 | 0.749446 | 0.002176 | [0.73275337;0.76613863] |
| 2 | 0.755495 | 0.003455 | [0.73446112;0.77652888] |
| 3 | 0.737264 | 0.006585 | [0.70822556;0.76630244] |

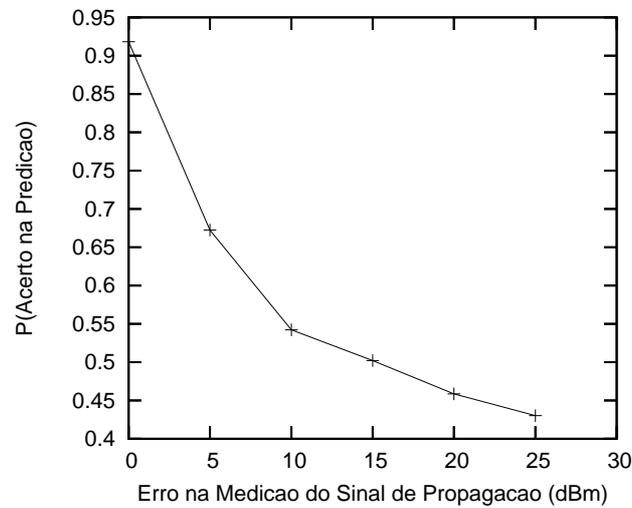


Figura 6.6: Precisão na predição variando o ruído na medição com intervalo de 3 segundos entre medições - cenário B

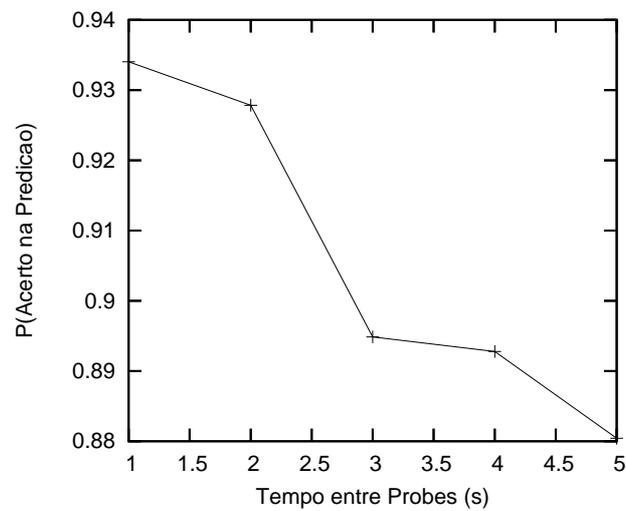


Figura 6.7: Precisão na predição utilizando o modelo proposto - cenário A

de predição foram efetuadas com tempo entre medições (*probing*) de 3 segundos. Simulou-se os modelos ignorando o ruído (Tabela 6.12) e com ruído de média 5 dBm (Tabela 6.13).

Como pode ser observado na Figura 6.8 e na Tabela 6.13 (Figura 6.7 e Tabela 6.12 exibem os resultados desconsiderando o erro de medição), para o cenário A que

Tabela 6.12: Índices de acerto para o modelo proposto - cenário A

| Intervalo entre Medições | Índice de Acerto | Variância | Intervalo de Confiança (Nível de Confiança de 95%) |
|--------------------------|------------------|-----------|--|
| 1 | 0.934021 | 0.0002364 | [0.93121387;0.93682813] |
| 2 | 0.927835 | 0.000435 | [0.92402711;0.93164289] |
| 3 | 0.894845 | 0.000534 | [0.890626;0.899064] |
| 4 | 0.892784 | 0.001844 | [0.88494393;0.90062407] |
| 5 | 0.87305 | 0.003211 | [0.862704;0.883396] |

Tabela 6.13: Índices de acerto para o modelo proposto com ruído médio de 5 dBm - cenário A

| Intervalo entre Medições | Índice de Acerto | Variância | Intervalo de Confiança (Nível de Confiança de 95%) |
|--------------------------|------------------|-----------|--|
| 1 | 0.880412 | 0.000412 | [0.876706149;0.884117851] |
| 2 | 0.874227 | 0.003213 | [0.863878087;0.884575913] |
| 3 | 0.85567 | 0.006418 | [0.84104354;0.87029646] |
| 4 | 0.83567 | 0.000893 | [0.830214116;0.841125884] |
| 5 | 0.83241 | 0.000543 | [0.828155591;0.836664409] |

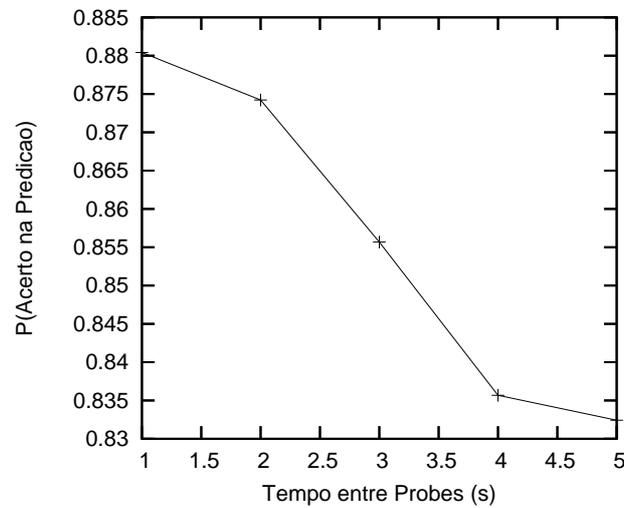


Figura 6.8: Precisão na predição utilizando o modelo proposto com ruído de média 5 dBm - cenário A

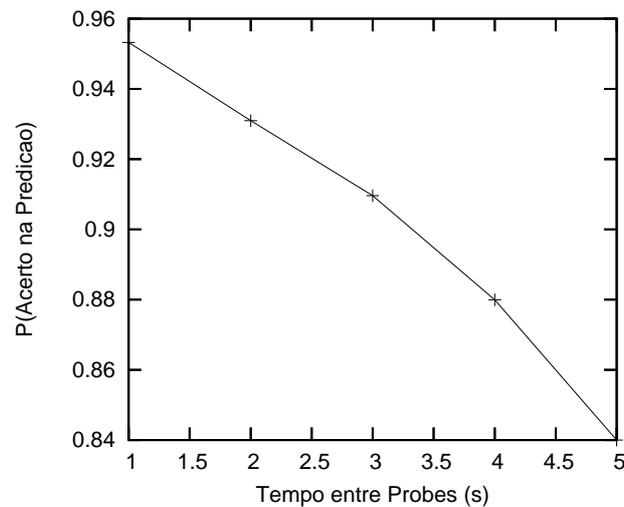


Figura 6.9: Precisão na predição utilizando o modelo proposto - cenário B

apresenta um índice de precisão com o histórico mais baixo do que o cenário B, o modelo proposto melhorou a estimativa de movimentação com a utilização do nível de sinal. O índice apenas com o histórico variava entre 58% e 60% e com o modelo proposto variou entre 84% e 87%, com intervalo de 3 segundos entre as medições. Para o cenário B, Figura 6.10 e Tabela 6.15 (Figura 6.9 e Tabela 6.14 exibem os resultados desconsiderando o erro de medição), que apresenta um índice de precisão

com o histórico mais alto e, com a localização, mais baixo (devido ao menor número de pontos de acesso), os resultados utilizando o modelo proposto ficaram próximos aos encontrados apenas com o histórico.

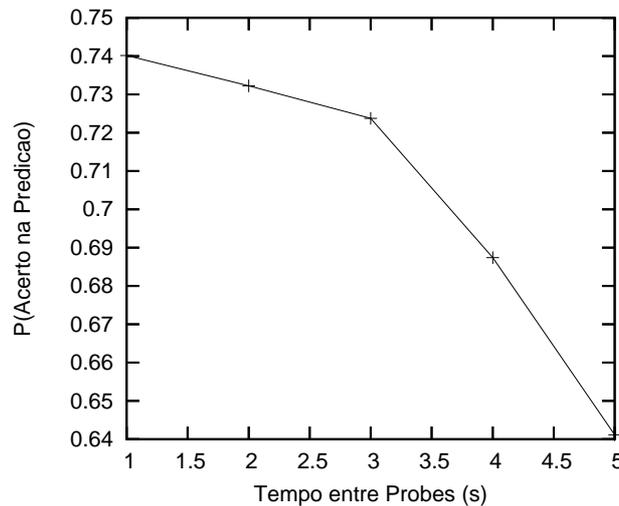


Figura 6.10: Precisão na predição utilizando o modelo proposto com ruído de média 5 dBm - cenário B

Vale observar que o modelo proposto se adaptou às características do ambiente e a predição apresentou precisão sempre próxima ao resultado obtido com a técnica mais adequada ao cenário: a estimativa de posição utilizando sinal ou a baseada no histórico. No cenário A, como a utilização do sinal apresentou uma precisão maior, o uso do modelo de propagação aumentou a precisão. No cenário B, como a utilização do histórico apresentou uma maior precisão, o uso da base de dados de movimentações agregou informação útil para a predição. Diante do exposto, pode-se observar que a abordagem híbrida com medição da qualidade de sinal e utilização do histórico de mobilidade ampliou a precisão de predição de mobilidade para os cenários simulados.

Tabela 6.14: Índices de acerto para o modelo proposto - cenário B

| Intervalo entre Medições | Índice de Acerto | Variância | Intervalo de Confiança (Nível de Confiança de 95%) |
|--------------------------|------------------|-----------|--|
| 1 | 0.953229 | 0.002705 | [0.9346176;0.9718404] |
| 2 | 0.930993 | 0.002688 | [0.91244017;0.94954583] |
| 3 | 0.90961 | 0.002725 | [0.89092992;0.92829008] |
| 4 | 0.879963 | 0.002099 | [0.86356837; 0.89635763] |
| 5 | 0.840007 | 0.001983 | [0.82407183; 0.85594217] |

Tabela 6.15: Índices de acerto para o modelo proposto com ruído médio de 5 dBm - cenário B

| Intervalo entre Medições | Índice de Acerto | Variância | Intervalo de Confiança (Nível de Confiança de 95%) |
|--------------------------|------------------|-----------|--|
| 1 | 0.74016 | 0.001123 | [0.72816817;0.75215183] |
| 2 | 0.732249 | 0.000856 | [0.72177935;0.74271865] |
| 3 | 0.72373 | 0.000891 | [0.71304845;0.73441155] |
| 4 | 0.687405 | 0.001001 | [0.67608328;0.69872672] |
| 5 | 0.641165 | 0.000911 | [0.63036423;0.65196577] |

Capítulo 7

Conclusão e Trabalhos Futuros

O presente trabalho apresenta a proposta de um modelo para tratar a predição de mobilidade em ambientes fechados utilizando o histórico de movimentações e o valor de qualidade de sinal obtido pela interface de rede. A motivação para este trabalho surge devido ao crescente uso de sistemas em ambientes sem fio e aos problemas existentes para suporte da mobilidade em ambientes fechados.

Para este trabalho, também foi desenvolvido um novo modelo de mobilidade, baseado em mapa, que permite, além da inclusão de obstáculos, a determinação de locais nos quais há 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 simuladas em ambientes com obstáculos, pois esses limitam a mobilidade de um usuário, ocasionando a existência de padrões de movimentação e uma maior concentração espacial dos nós em certos locais do ambiente.

O modelo de mobilidade para ambientes fechados, proposto neste trabalho, tem o objetivo de obter uma melhor representação dos padrões de movimentações 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 desse modelo com outros já existentes na

literatura foi realizada com base na predição utilizando Markov ordem k 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. Estudos em ambientes reais de redes sem fio [15] apresentaram o índice de 65-72% de acerto para predição utilizando histórico. Esse estudo demonstra que um ambiente real tem grande presença de padrões de mobilidade. Como a característica mais importante de um modelo é o nível de realismo apresentado com o cenário simulado, vale observar que os resultados encontrados revelaram que o modelo de mobilidade proposto possibilita uma melhor caracterização de um ambiente real.

Segundo a distribuição obtida dos nós no cenário simulado com o modelo de mobilidade proposto, 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 essa particularidade dos ambientes fechados. Entre os modelos de mobilidade simulados para este trabalho, 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.

A proposta para predição de mobilidade deste trabalho utiliza, além do histórico de movimentações, um modelo de propagação de sinal para a obtenção da estimativa de qualidade de sinal dentro de um ambiente fechado. Os valores obtidos pelo modelo de propagação são utilizados no modelo de predição de mobilidade proposto para aumentar a precisão do próximo ponto de acesso a ser utilizado. Para os resultados obtidos nesse trabalho se utilizou um modelo de propagação baseado em *ray tracing*.

Foram realizadas comparações com o modelo que utiliza apenas o histórico de movimentação e com o que utiliza apenas a localização com a medição de sinal. A vantagem do modelo proposto é a adaptação da predição com as informações mais corretas obtidas do ambiente. Se o histórico for mais correto do que a localização obtida com o modelo de propagação, o índice de acerto será próximo ao do modelo que utiliza apenas o histórico. Se a localização obtida com o modelo de propagação for mais correta do que o histórico, o índice de acerto será próximo ao do modelo

que utiliza apenas a localização. Dessa forma, o modelo proposto se adapta melhor às condições do ambiente.

O presente trabalho tem como contribuição a apresentação de um modelo de mobilidade, que permite uma melhor caracterização dos padrões de movimentação existentes em cenários de ambientes fechados, e de uma metodologia para a predição de mobilidade, que oferece resultados mais precisos para a estimativa de trajetória percorrida pelo dispositivo móvel. As simulações realizadas apresentam dados importantes para mensurar a eficiência da proposta de predição, que pode ser utilizada para a solução de problemas inerentes à mobilidade em ambientes fechados, como, por exemplo, na obtenção da garantia de qualidade de serviço e redução no impacto ocasionado pelo *handoff* em redes infra-estruturadas. Os modelos apresentados contribuem para estudos, referentes à caracterização da mobilidade, que permitem uma melhor compreensão dos problemas existentes e para o desenvolvimento de novas soluções.

Como registro para a comunidade científica, este trabalho resultou na publicação de dois artigos: um referente ao estudo dos modelos de mobilidade e outro propondo o modelo de mobilidade para ambientes fechados. Os artigos foram publicados no Workshop de Comunicação sem Fio e Computação Móvel de 2004 (WCSF 2004) e no Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores de 2005 (SBRC 2005), respectivamente.

Como trabalho futuro se propõe a extensão, dos modelos propostos, para a simulação de ambientes em 3 dimensões. Também se propõe a implementação do modelo de predição de mobilidade em um cenário de grande mobilidade para que se possa validar a proposta em um ambiente real. Outra proposta de trabalho seria a utilização de novos modelos de predição de propagação de sinal para aumentar a precisão na estimativa de posição do dispositivo móvel.

A utilização da predição para minimizar o tempo de *handoff* também é um importante resultado a ser obtido, mas as análises devem ser efetuadas em ambientes de grande mobilidade para mensurar a viabilidade de utilização dos algoritmos de

predição. Essa redução do tempo de *handoff* é muito importante sobretudo para aplicações multimídia utilizando redes no padrão IEEE 802.11.

Referências Bibliográficas

- [1] J. Francois and G. Leduc, “Mobility prediction’s influence on QoS in wireless networks: a study on a call admission algorithm,” in *Third International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks (WIOPT)*, vol. 16, no. 6, Trentino, Italy, Apr. 2005, pp. 238–247.
- [2] P. Bahl, V. N. Padmanabhan, and A. Calachandran, “Enhancements to the RADAR user location and tracking system,” Microsoft Research, Tech. Rep., Feb. 2000.
- [3] W. Su, S.-J. Lee, and M. Gerla, “Mobility prediction and routing in ad hoc wireless networks,” *International Journal of Network Management*, vol. 11, pp. 3–30, Jan.-Feb. 2001.
- [4] N. Gupta and S. R. Das, “A capacity and utilization study of mobile ad hoc networks,” in *26th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN)*, Tampa, Florida, USA, Nov. 2001, pp. 576–583.
- [5] C. Perkins, “RFC2002: IP mobility support,” 1996, accessed Feb., 2006. [Online]. Available: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2002.txt>
- [6] V. Bharghavan and J. Mysore, “Profile based next-cell prediction in indoor wireless LANs,” in *IEEE Singapore International Conference on Networking*, Singapore, Apr. 1997.
- [7] R. Hsieh, Z. Zhou, and A. Seneviratne, “S-MIP: a seamless handoff architecture for mobile IP,” in *Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE*

Computer and Communications Societies (INFOCOM), Volume 3, vol. 3, San Francisco, California, USA, Apr. 2003, pp. 1774–1784.

- [8] K. A. A. L. Perato, “Handover prediction: user approach versus cell approach,” in *4th International Workshop on Mobile and Wireless Communications Network*, Stockholm, Sweden, Sept. 2002, pp. 492–496.
- [9] J. Li, S. B. Weinstein, J. Zhang, and N. Tu., “Public access mobility LAN: extending the wireless internet into the LAN environment,” *IEEE Wireless Communications*, vol. 9, no. 3, pp. 22–30, June 2002.
- [10] J. Zhang, J. Li, S. Weinstein, and N. Tu, “Virtual operator based AAA in wireless LAN hot spots with ad-hoc networking support,” *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, vol. 6, no. 3, pp. 10–21, July 2002.
- [11] J. McKown and J. Hamilton, R.L., “Ray tracing as a design tool for radio networks,” *Network, IEEE*, vol. 5, no. 6, pp. 27–30, Nov. 1991.
- [12] R. Valenzuela, O. Landron, and D. Jacobs, “Estimating local mean signal strength of indoor multipath propagation,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 46, no. 1, pp. 203–212, Feb. 1997.
- [13] A. Mendes and L. F. de Moraes, “Modelo de mobilidade para a representação de cenários de ambientes fechados,” in *SBRC - Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, Fortaleza, Brasil, May 2005.
- [14] J. Kammann, M. Angermann, and B. Lami, “A new mobility model based on maps,” in *IEEE 58th Vehicular Technology Conference*, vol. 5, Orlando, Florida, USA, Oct. 2003, pp. 3045–3049.
- [15] L. Song, D. Kotz, R. Jain, and X. He, “Evaluating location predictors with extensive Wi-Fi mobility data,” in *Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications (INFOCOM)*, vol. 2, Hong Kong, China, Mar. 2004, pp. 1414–1424.

- [16] M. Hassan-Ahli and K. Pahlavan, "A new statistical model for site-specific indoor radio propagation prediction based on geometric optics and geometric probability," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 1, no. 1, pp. 112–124, Jan. 2002.
- [17] A. Saleh and R. Valenzuela, "A statistical model for indoor multipath propagation," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 5, no. 2, pp. 128–137, Feb. 1987.
- [18] M. Wright, D. Stallings, and D. Dunn, "The effectiveness of global positioning system electronic navigation," in *IEEE SoutheastCon*, Ocho Rios, Jamaica, Apr. 2003, pp. 62–67.
- [19] I. F. Akyildiz and W. Wang, "The predictive user mobility profile framework for wireless multimedia networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 12, no. 6, pp. 1021–1035, Dec. 2004.
- [20] C. Cho, J. Mi, and P. S., "Rate control for streaming services based on mobility prediction in wireless mobile networks," in *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, vol. 4, New Orleans, USA, Mar. 2005, pp. 2534–2539.
- [21] T. Liu, P. Bahl, and I. Chlamtac, "Mobility modeling, location tracking and trajectory prediction in wireless ATM networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications (JSAC)*, vol. 16, no. 6, pp. 922–936, Aug. 1998.
- [22] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system," in *Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM)*, Tel-Aviv, Israel, 2000, pp. 775–784.
- [23] T. N. Teruaki Kitasuka and A. Fukuda, "Design of WiPS: WLAN-based indoor positioning system," *Korea Multimedia Society*, vol. 7, no. 4, pp. 15–29, Dec. 2003.

- [24] C. Komar and C. Ersoy, "Location tracking and location based service using IEEE 802.11 WLAN infrastructure," in *European Wireless Conference*, Barcelona, Espanha, Feb. 2004.
- [25] *ANSI/IEEE std 802.11. Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) Specification*. USA: IEEE, 1999.
- [26] S. S. Alexandrosz Burulitisz, Balázs Rózsás and dr. Sándor Imre, "On the accuracy of mobility modelling in wireless networks," in *IEEE International Conference on Communications*, vol. 4, Paris, France, June 2004, pp. 2302–2306.
- [27] C. Bettstetter, "Mobility modeling in wireless networks: categorization, smooth movement and border effects," *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, vol. 5, no. 3, pp. 55–66, July 2001.
- [28] J. Yoon, M. Liu, and B. Noble, "Random Waypoint considered harmful," in *Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications (INFOCOM)*, vol. 2, California, USA, Mar. 2003, pp. 1312–1321.
- [29] L. Qiming, "The scenario generator: a tool to generate MANET mobility scenarios for NS-2," accessed Feb., 2006. [Online]. Available: <http://www.comp.nus.edu.sg/~liqm/scengen/>
- [30] C. Bettstetter, "Smooth is better than sharp: a random mobility model for simulation on wireless networks," in *4th ACM International Workshop on Modeling, Analysis, and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM)*, Rome, Italy, July 2001, pp. 19–27.
- [31] C. Campos, D. Otero, and L. de Moraes, "Realistic individual mobility markovian models for mobile ad hoc networks," in *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, vol. 4, Atlanta, USA, Mar. 2004, pp. 1980–1985.

- [32] A. Mendes, B. Astuto, and L. F. M. de Moraes, “Uma avaliação dos efeitos das regras de borda e dos modelos de mobilidade no comportamento dos nós em redes ad hoc,” in *6o. Workshop de Comunicação sem Fio e Computação Móvel (WCSF)*, Fortaleza, Brasil, Oct. 2004.
- [33] J. Chain, S. Zhou, and A. Seneviratne, “A QoS adaptive mobility prediction scheme for wireless networks,” in *Global Telecommunications Conference (GLOBECOM)*, vol. 3, Sydney, Australia, Nov. 1998, pp. 1414–1419.
- [34] A. P. da Silva, A. A. F. Loureiro, G. R. Mateus, L. E. F. de Oliveira, and R. O. da Cunha, “Minicurso de tecnologia de localização de unidades móveis,” in *IV Workshop de Comunicação Sem Fio e Computação Móvel WCSF*, São Paulo, Brasil, Oct. 2002.
- [35] M. Hazas, J. Scott, and J. Krumm, “Location-aware computing comes of age,” *IEEE Computer*, vol. 37, no. 2, pp. 95–97, Feb. 2004.
- [36] R. C. Zhe Guang Zhou, Aruna Seneviratne and P. Chumchu, “A software based indoor relative location management system,” in *Wireless and Optical Communications*, Banff, Alberta, Canada, July 2002.
- [37] S. Fortune, D. Gay, B. Kernighan, O. Landron, R. Valenzuela, and M. Wright, “WiSE design of indoor wireless systems: practical computation and optimization,” *IEEE Computational Science and Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 58–68, Mar. 1995.
- [38] L. Qiu, D. Jiang, and L. Hanlen, “Neural network prediction of radio propagation,” in *6th Australian Communications Theory Workshop*, Brisbane, Australia, Feb. 2005, pp. 272–277.
- [39] “I-prop, coverage plannig software tool for indoor wireless systems,” accessed Feb., 2006. [Online]. Available: <http://i-prop.cz/main.php>
- [40] “Radiowave Propagation Simulator,” accessed Feb., 2006. [Online]. Available: <http://www.radioplan.com/products/rps/index.html>

- [41] W. Honcharenko, H. L. Bertoni, J. L. Dailing, J. Qian, and H. D. Yee, "Mechanisms governing UHF propagation on single floors in modern office buildings," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 41, no. 4, pp. 496–504, Nov. 1992.
- [42] H. L. Bertoni, W. Honcharenko, L. R. Maciel, and H. H. Xia, "UHF propagation prediction for wireless personal communications," in *Proceedings of IEEE*, vol. 82, no. 9, Sept. 1994, pp. 1333–1359.
- [43] D. Yu and H. Li, "Influence of mobility models on node distribution in ad hoc networks," in *Proceedings of International Conference on Communication Technology (ICCT)*, vol. 2, Beijing, China, Apr. 2003, pp. 985–989.
- [44] W. Navidi and T. Camp, "Stationary distributions for the random waypoint mobility model," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 3, no. 1, pp. 99–108, Jan.-Feb 2004.
- [45] C. Bettstetter, G. Resta, and P. Santi, "The node distribution of the random waypoint mobility model for wireless ad hoc networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 2, no. 3, pp. 257–269, July-Sept. 2003.
- [46] M. Lott and I. Forkel, "A multi-wall-and-floor model for indoor radio propagation," in *Vehicular Technology Conference*, vol. 1, May 2001, pp. 464–468.