



Renata Braz Falcão da Costa

**Estudo e Simulação de Técnicas de
Localização de Terminais em Ambientes
Microcelulares**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Luiz Alencar dos Reis Silva Mello

**Rio de Janeiro
25 de Abril de 2003**

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Renata Braz Falcão da Costa

Graduou-se em Engenharia de Telecomunicações pela UFF
(Universidade Federal Fluminense) em 2000.

Ficha Catalográfica

da Costa, Renata Braz Falcão

Estudo e Simulação de Técnicas de Localização de Estações Móveis em Ambientes Microcelulares / Renata Braz Falcão da Costa; orientador: Luis Alencar dos Reis Silva Mello. – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Elétrica, 2003.

xiii., 108 f.: il. ; 29,7 cm

1. Dissertação (mestrado) Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica.

Inclui referências bibliográficas.

1. Telecomunicações – Teses 2. Localização de Terminais Móveis. 3. Diferença de Tempo de Chegada. 4. Traçado de Raios. Silva Mello, Luiz Alencar dos Reis (Luiz Silva Mello). II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Renata Braz Falcão da Costa

Estudo de Técnicas e Sistemas de Localização em Terminais Móveis em ambiente NLOS

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do grau de mestre pelo
Programa
de Pós-graduação em ciências do Departamento
de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da PUC-Rio.
Aprovada pela comissão examinadora abaixo assinada.

Prof. Luiz Alencar dos Reis Silva Mello

Orientador
Departamento de Engenharia Elétrica-PUC-Rio

Prof. Erasmus Couto Brazil de Miranda

Departamento de Engenharia Elétrica -PUC-Rio

Prof. Gláucio Lima Siqueira

Departamento de Engenharia Elétrica -PUC-Rio

Prof. Marco Antônio Grivet Mattoso Maia

Departamento de Engenharia Elétrica -PUC-Rio

Prof. Ney Augusto Drumont

Coordenador dos Programas de Pós-Graduação
e Pesquisa do Centro Técnico e Científico

Para meus pais, Elizabeth e Frederico,
para meu marido Sandro e minha filha Maria Luiza,
pelo apoio e confiança.

Agradecimentos

Ao meu Orientador Professor Luiz Alencar dos Reis Silva Mello pelo estímulo e parceria para a realização deste trabalho.

Aos meus colegas da PUC-Rio.

Aos meus pais, pela educação, atenção e carinho de todas as horas.

Ao meu marido Sandro pela paciência e estímulo ao meu trabalho.

A todos os amigos e familiares que de uma forma ou de outra me estimularam ou me ajudaram.

Resumo

Costa, Renata Braz Falcão da; Silva Mello, Luiz Alencar Reis. **Estudo e simulação de técnicas de localização de terminais em ambientes microcelulares.** Rio de Janeiro, 2003. 95p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O problema de localização de estações móveis pessoais em sistemas celulares de comunicações vem recebendo grande atenção nos últimos anos, tanto por questões ligadas à segurança como por suas amplas aplicações comerciais no desenvolvimento de novos serviços e aplicações. Nesta dissertação foi desenvolvido um ambiente de simulação de localização de estações móveis em ambiente micro celulares empregando um programa de traçado de raios pelo método da força bruta (lançamento de raios), já disponível, para estimar os comprimentos de percursos e tempos de chegada entre diversas estações rádio base e a estação móvel em cenários urbanos modelados por sólidos multifacetados. Os perfis de retardo gerados por este programa são usados como dados de entrada para um programa desenvolvido nesta dissertação que estima a localização dos móveis utilizando os métodos de Taylor e de Chan. O processo desenvolvido foi testado em ambientes de geometria simples fornecendo resultados bastante consistentes e mostrando que a técnica de traçado de raios é uma ferramenta útil para a simulação e desenvolvimento de algoritmos de localização, cujo teste em situações reais exige grande volume de medidas de alta complexidade cujos exemplos na literatura técnica são escassos. Com base nas simulações foi investigada a influência do número de estações rádio base na precisão das estimativas de localização e realizada uma comparação do desempenho dos métodos em situações com visibilidade (LOS) e sem visibilidade (NLOS). Foi analisado ainda o efeito da altura das estações na precisão dos resultados de localização.

Palavras-chave

Telecomunicações; sistemas móveis celulares; localização de terminais móveis; diferença de tempos de chegada (TDoA); traçado de raios.

Abstract

Costa, Renata Braz Falcão da; Silva Mello, Luiz Alencar Reis da (Advisor). **Investigation and simulation of terminal location techniques in microcellular systems.** Rio de Janeiro, 2003. 95p. MSc Dissertation – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The location of mobile terminals in mobile cellular systems has been receiving increasing attention in the last few years. This interest is focused not only in security aspects but also in the development of new services for commercial application. In this Dissertation a simulation environment for mobile stations location in microcellular systems was developed. The simulation tools include a ray tracing software, previously implemented using the ray launching technique, to estimate the path lengths and time of arrival of signals from the mobile station to several radio base stations, and new software implementing terminal location methods using the Taylor linearization and the Chan methods. The simulation tools were tested in scenarios of simple geometry producing consistent results and showing that ray tracing can be a useful tool for simulation and development of location algorithms. The simulations allowed the investigation of location precision dependence on the number of radio bases employed and the evaluation of the estimation methods in visibility (LOS) and non-visibility (NLOS) conditions. The influence of base station antennas heights was also investigated.

Keywords

Telecommunications; mobile cellular systems; mobile terminal location; time difference of arrival (TDoA); ray tracing.

Sumário

1.Introdução	14
1.1 Métodos baseados em terminais	16
1.1.1 Sistemas de posicionamento global (GPS)	17
1.1.2 Sistemas GPS assistidos pela rede (A-GPS)	17
1.1.3 Triangulação avançada pelo enlace direto (AFLT)	17
1.1.4 Observação de tempos de (E-OTD)	17
1.2 Métodos baseados na rede	18
1.2.1 Medidas de intensidade do sinal	18
1.2.2 Medidas de ângulos de chegada	20
1.2.3 Medidas de tempos de chegada	20
1.2.4 Comparação entre os Métodos baseados na rede	22
1.3 Fontes de erros de localização	23
1.3.1 Propagação por multipercurso	23
1.3.2 Propagação sem linha de visada direta (NLOS)	24
1.3.3 Interferência múltiplo acesso (MAI)	24
1.4 Visão Geral da Dissertação	25
1.5.1 Objetivo do trabalho	25
1.5.2 Estrutura da Dissertação	26
2. Métodos hiperbólicos de localização	27
2.1 Revisão bibliográfica	27
2.2 Estimação da diferença de tempo de chegada (TDoA)	28
2.3 Solução das equações hiperbólicas	29
2.3.1 Formulação geral do problema	29
2.3.2 Métodos para a solução de Equações Hiperbólicas	30
2.4 Medidas de Precisão	39
2.3.1 O erro RMS	39
2.4.2 Probabilidade de erro circular (CEP)	40
2.4.3 Diluição de precisão geométrica (GDOP)	41
2.5 Resumo do capítulo	42

3. Caracterização do canal de propagação	43
3.1 O sinal no canal rádio móvel	43
3.1.1 Desvanecimento em larga escala	44
3.1.2 Desvanecimento em pequena escala	44
3.1.3 Efeitos de Multipercurso	45
3.1.4 Perfil de Retardo	46
3.1.5 Comportamento do sinal em micro e picocélulas	47
3.1.6 Efeito da altura da rádio base	49
3.2 Técnicas de traçado de raio	50
3.2.1 Método das imagens	51
3.2.2 Método da Força bruta	51
3.2.3 Métodos de recepção	53
3.3 Resumo do capítulo	55
4. Simulações da localização em microcélulas	56
4.1 Geração das Estimativas de TDoA	56
4.2 Implementação dos métodos TDoA	59
4.3 Cenários das simulações	60
4.3.1. Cenários utilizados	60
4.3.2 Posicionamento das ERBs	62
4.3.3 Posicionamento da fonte	65
4.4 Resultados das simulações	65
4.4.1 Simulações no ambiente corredor	66
4.4.2 Simulações no ambiente cruzamento – situação LOS	72
4.4.3 Simulações no ambiente cruzamento – situações LOS e NLOS	75
4.4.4 Efeito da altura das ERBs	83
4.5 Resumo do capítulo	86
5. Conclusões e sugestões	87
5.1 Localização de estações móveis em ambientes microcelulares	87
5.2 Contribuições deste trabalho	89
5.3 Sugestões para trabalhos futuros	90

6. Referências Bibliográficas	92
Apêndices	97

Lista de Figuras

Figura 1.1 Geometria para o método de localização baseado em intensidade do sinal	19
Figura 1.2 Método de localização do MS baseado em ângulo de chegada	20
Figura 1.3 Método de localização do MS baseado em ângulo de chegada	22
Figura 1.4 Cenário para macrocélulas em ambiente CDMA com interferência multiusuário	25
Figura 2.1 Geometria para medidas de precisão usando CEP	41
Figura 3.1 Comportamento típico do sinal recebido em ambientes Celulares	43
Figura 3.2 Cenário de multipercurso	45
Figura 3.3 Exemplo típico de perfil de retardos	47
Figura 3.4 Comportamento típico do sinal em microcélulas	48
Figura 3.5 Modelo de 10 raios	49
Figura 3.6 Determinação dos percursos de propagação	51
Figura 3.7 Lançamento de raios pelo método da força bruta com 4 Reflexões	52
Figura 3.8 Mudança de tamanhos da esfera de recepção	53
Figura 3.9 Determinação da esfera de recepção	54
Figura 3.10 Ajuste das esferas de recepção para sinal LOS e ondas refletidas	54
Figura 4.1 Entrada de dados no transmissor	58
Figura 4.2 Entrada de dados no receptor	58
Figura 4.3 Exemplo de saída do software cálculo de microerbs	59
Figura 4.4 Saída do programa para estimativa da posição do móvel	60
Figura 4.5 Ambiente corredor	61
Figura 4.6 Ambiente cruzamento	62
Figura 4.7 Disposição das ERBs no ambiente corredor	63

Figura 4.8 Disposição das ERBs no ambiente cruzamento situação - LOS	64
Figura 4.9 Disposição das ERBs no ambiente cruzamento situação - LOS /NLOS	64
Figura 4.10 Erro RMS em função da distância (3ERBs)	67
Figura 4.11 Erro RMS em função da distância (4ERBs)	67
Figura 4.12 Erro RMS em função da distância (6ERBs)	67
Figura 4.13 Erro RMS em função da distância (Método de Taylor)	68
Figura 4.14 Erro RMS em função da distância (Método de Chan)	68
Figura 4.15 CEP em função da distância (3 ERBs)	70
Figura 4.16 CEP em função da distância (4 ERBs)	70
Figura 4.17 CEP em função da distância (6 ERBS)	70
Figura 4.18 GDOP em função da distância (3 ERBS)	71
Figura 4.19 GDOP em função da distância (4 ERBS)	71
Figura 4.20 GDOP em função da distância (6 ERBS)	71
Figura 4.21 Erro RMS em função da distância (3ERBs)	73
Figura 4.22 Erro RMS em função da distância (4ERBs)	73
Figura 4.23 Erro RMS em função da distância (6ERBs)	73
Figura 4.24 Erro RMS em função da distância (Método de Taylor)	74
Figura 4.25 Erro RMS em função da distância (Método de Chan)	74
Figura 4.26 Erro RMS em função da distância (3 ERBs)	76
Figura 4.27 Erro RMS em função da distância (3 ERBs)	76
Figura 4.28 Erro RMS em função da distância (4 ERBs)	77
Figura 4.29 Erro RMS em função da distância (4 ERBs)	77
Figura 4.30 Erro RMS em função da distância (Método de Taylor)	78
Figura 4.31 Erro RMS em função da distância (Método de Taylor)	78
Figura 4.32 Erro RMS em função da distância (Método de Chan)	79
Figura 4.33 Erro RMS em função da distância (Método de Chan)	79
Figura 4.34 Erro RMS em função da distância (3 ERBS)	81
Figura 4.35 Erro RMS em função da distância (4ERBs)	81
Figura 4.36 Erro RMS em função da distância (3ERBs)	82
Figura 4.37 Erro RMS em função da distância (4ERBs)	82
Figura 4.38 Erro RMS em função da distância altura das ERBs = 30m	84

Figura 4.39 Erro RMS em função da distância altura das ERBs = 10m	84
Figura 4.40 Erro RMS em função da distância altura das ERBs = 5m	84
Figura 4.41 Erro RMS para diferentes alturas da ERB (método de Taylor)	85
Figura 4.42 Erro RMS para diferentes alturas da ERB (método de Chan)	85