

ALESSANDRO BARLEZE

**FUSÃO DE DADOS EM ESQUEMAS
HÍBRIDOS ENVOLVENDO AGPS PARA
LOCALIZAÇÃO DE POSICIONAMENTO**

Dissertação apresentada à
Pontifícia Universidade Católica do Paraná
para a obtenção do título de Mestre em
Informática Aplicada.

Área de Concentração:
Comunicações

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Eduardo
Pellenz
Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Nelcy Keffer
Camiña

Curitiba
2003

Barleze, Alessandro

Fusão de Dados em Esquemas Híbridos envolvendo AGPS para Localização de Posicionamento. Curitiba, 2003.

91p.

Dissertação – Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada.

1. Geolocalização 2. Geoposicionamento 3. Fusão de Dados 4. AGPS. I. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada II-t

Dedico esta obra a meus Pais,
Sem os quais eu jamais poderia
Contemplar toda a beleza deste
Explêndido Mundo Azul.

Agradecimentos

Muitas pessoas contribuíram e direcionaram seus esforços para a finalização deste trabalho de pesquisa. Eu gostaria de agradecer a cada uma delas.

Estou em grande débito com meu Orientador Dr. Marcelo Eduardo Pellenz e minha Co-orientadora Dr^a Nelcy Keffer Camiña, por me permitirem escolher e trabalhar neste projeto. Suas valorosas sugestões e generoso apoio me forneceram o rumo necessário para terminar este trabalho de pesquisa, não consigo imaginar ninguém melhor do que eles para me aconselhar, encorajar e auxiliar neste projeto.

Eu agradeço a meu grande amigo Nelson Shimakawa pelas longas conversas e troca de idéias para o início deste projeto.

Minha mais sincera gratidão a minha irmã Analu Barleze Tauille e meu cunhado Alexandre Tauille, pelas palavras alegres que sempre me ajudaram nos momentos de dificuldade.

Não tenho palavras para expressar minha gratidão a minha amada esposa Meri Diamantopoulos, por sua paciência, encorajamento e auxílio durante a realização deste trabalho de pesquisa.

Finalmente, gostaria de expressar minha mais profunda gratidão a meus pais Carlos Rogério Barleze e Leopoldina Barleze, pelo grande apoio, infinita paciência, amor e compreensão, que tem dedicado durante toda minha vida.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO 1

1.1 OBJETIVO DESTA PESQUISA 3

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 3

CAPÍTULO 2

TÉCNICAS FUNDAMENTAIS DE LOCALIZAÇÃO 5

2.1 TRIANGULAÇÃO 5

2.2 LATERAÇÃO 5

 2.2.1 *Lateração Direta* 6

 2.2.2 *Tempo de Propagação*..... 6

 2.2.3 *Atenuação* 7

2.3 ANGULAÇÃO..... 7

2.4 ANÁLISE DE CENÁRIO..... 8

2.4 SUMÁRIO DO CAPÍTULO..... 8

CAPÍTULO 3

TECNOLOGIAS DE LOCALIZAÇÃO PARA TELEFONIA CELULAR 9

3.1 TECNOLOGIAS DE POSICIONAMENTO 9

3.2 TECNOLOGIA POSICIONADA NO MECANISMO MÓVEL 10

3.3 TECNOLOGIA CENTRADA NA REDE..... 11

3.4 SUMÁRIO DO CAPÍTULO..... 17

CAPÍTULO 4

TÉCNICA DE LOCALIZAÇÃO NO MECANISMO MÓVEL..... 18

4.1 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL - GPS 18

4.2 FUNCIONAMENTO DO GPS..... 19

4.3 MEDINDO A DISTÂNCIA DO SATÉLITE..... 20

4.4 CÓDIGO 21

4.5 SINCRONIZAÇÃO 23

4.6 POSIÇÃO DO SATÉLITE..... 23

 4.6.1 *Medidas de Pseudo Distância* 24

 4.6.2 *Medida de Fase da Portadora*..... 24

4.7 ERROS DE ÓRBITA 25

4.8 GPS DIFERENCIAL - DGPS	26
4.9 GPS ASSISTIDO	27
4.10 SUMÁRIO DO CAPÍTULO	29

CAPÍTULO 5

TÉCNICAS DE LOCALIZAÇÃO CENTRADAS NA REDE 30

5.1 TEMPO DE CHEGADA - ToA	30
5.2 TEMPO DIFERENCIAL DE CHEGADA - TDOA	31
5.3 ÂNGULO DE CHEGADA - AOA	33
5.4 CÁLCULO DAS ESTIMATIVAS DE ToA E TDOA	35
5.5 SUMÁRIO DO CAPÍTULO	38

CAPÍTULO 6

FUSÃO DE DADOS 39

6.1 PRINCÍPIOS	39
6.2 ARQUITETURA JDL	40
6.3 MODELO DE FUSÃO DE DADOS PARA ESQUEMA HÍBRIDO ENTRE AGPS E TDOA. 42	
6.3.1 Primeiro nível da fusão de dados	43
6.3.2 Segundo nível da fusão de dados.....	44
6.3.3 Quarto nível da fusão de dados.....	45
6.4 SUMÁRIO DO CAPÍTULO.....	45

CAPÍTULO 7

MODELOS DE SIMULAÇÃO PARA FUSÃO DE DADOS 46

7.1 FUSÃO DE DADOS EM ÁREA NÃO SOMBREADA COM MÓVEL ESTACIONÁRIO.....	47
7.1.1 Modelo de Simulação	47
7.1.2 Estimativa da Trajetória do Móvel.....	48
7.1.3 Amostragem e Erro nas Distâncias.....	49
7.2 FUSÃO DE DADOS EM ÁREA NÃO SOMBREADA COM MÓVEL EM MOVIMENTO A BAIXA VELOCIDADE.....	50
7.2.1 Modelo de Simulação	51
7.2.2 Estimativa da Trajetória do Móvel.....	51
7.2.3 Amostragem e Erro nas Distâncias.....	53

7.3 FUSÃO DE DADOS EM ÁREA COM REGIÃO SOMBREADA COM MÓVEL EM MOVIMENTO A BAIXA VELOCIDADE.....	54
7.3.1 <i>Modelo de Simulação</i>	55
7.3.2 <i>Estimativa da Trajetória do Móvel</i>	55
7.3.3 <i>Amostragem e Erro nas Distâncias</i>	57
7.4 FUSÃO DE DADOS EM ÁREA COM REGIÃO DENSAMENTE SOMBREADA COM MÓVEL EM MOVIMENTO A BAIXA VELOCIDADE	59
7.4.1 <i>Modelo de Simulação</i>	59
7.4.2 <i>Estimativa da Trajetória do Móvel</i>	60
7.4.3 <i>Amostragem e Erro nas Distâncias</i>	61
7.5 FUSÃO DE DADOS EM ÁREA COM REGIÃO DENSAMENTE SOMBREADA COM MÓVEL EM MOVIMENTO A ALTA VELOCIDADE	64
7.5.1 <i>Modelo de Simulação</i>	64
7.5.2 <i>Estimativa da Trajetória do Móvel</i>	64
7.5.3 <i>Amostragem e Erro nas Distâncias</i>	66
7.5.4 <i>Sumário do Capítulo</i>	68
CAPÍTULO 8	
CONCLUSÃO	69
Referências Bibliográficas	74

Lista de Figuras

Figura 2-1: <i>Determinando a localização bidimensional (2D) utilizando a lateração.</i> <i>Faz-se necessário medidas de distância entre o objeto X e 3 pontos não-colineares....</i>	6
Figura 2-2: <i>Este exemplo de angulação bidimensional (2D), ilustra a localização de um objeto X utilizando-se ângulos relativos a um vetor de referência de 0° e a distância conhecida entre dois pontos de referência. Sempre é necessário pelo menos o valor de dois ângulos e uma medida de distância para localizar um objeto nesta técnica.</i>	7
Figura 4-3: <i>Constelação de Satélites, sendo 24 satélites em 6 planos de órbitas.</i>	19
Figura 4-4: <i>Sinais de Satélite GPS, P.H.Dana 4/98.</i>	21
Figura 4-5: <i>Composição da Estrutura do DGPS, com as três estações; referência, móvel e dados.</i>	27
Figura 4-6: <i>Conceito de GPS-Assistido. Os principais componentes do Sistema são um aparelho sem fio com receptor GPS parcial, um servidor AGPS um receptor GPS referencial, e uma estrutura de rede sem fio consistindo de Estações Rádio Bases e um Centro de Comutação e Controle.</i>	28
Figura 5-7: <i>Técnica de trilateração circular.</i>	31
Figura 5-8: <i>Técnica TDoA. Necessário um mínimo de três células para medir o tempo de chegada do sinal proveniente do Aparelho Móvel as Estações Rádio Base. A solução de localização é baseada no tempo diferencial de chegada do sinal em pares de células.</i>	32
Figura 5-9: <i>Técnica de trilateração hiperbólica.</i>	32
Figura 5-10: <i>Técnica AoA. Necessário um mínimo de duas células para medir o ângulo de chegada do sinal proveniente do Aparelho Móvel as Estações Rádio Base. A solução de localização é baseada no ângulo de chegada do sinal.</i>	33
Figura 5-11: <i>Técnica de angulação.</i>	34
Figura 5-12: <i>Geometria MS (estação móvel) – BS (estação base).</i>	35
Figura 5-13: <i>Região de localização para ToA. A localização da estação móvel fica dentro da área sombreada dos círculos de raio $c(\tau_i - \tau)$ centrado na estação base genérica i (BS_i).</i>	36
Figura 6-1: <i>Modelo Fusão JDL.</i>	40
Figura 6-2: <i>Modelo Proposto de Fusão de Dados para Estimativa da Posição.</i>	42

Figura 7-1: <i>Configuração das Estações Base e Percurso</i>	47
Figura 7-2: <i>Configuração das Estações Base e Percurso</i>	51
Figura 7-3: <i>Configuração das Estações Base e Percurso</i>	55
Figura 7-4: <i>Configuração das Estações Base e Percurso</i>	60

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 – <i>Tecnologias de Geolocalização</i>	13
Tabela 3.2 – <i>Tecnologias de Geolocalização (padronização Wireless)</i>	14
Tabela 3.3 - <i>Comparativo entre as tecnologia de localizações atuais</i>	16
Tabela 7.1 – <i>Fusão de Dados em Área não Sombreada com Móvel Estacionário</i>	48
Tabela 7.2: <i>Erros das técnicas de localização, com medidas de distância em metros</i>	50
Tabela 7.3: <i>Fusão de Dados em Área não sombreada com móvel em movimento</i>	52
Tabela 7.4: <i>Erros das técnicas de localização, com medidas de distância em metros</i>	54
Tabela 7.5: <i>Fusão de Dados em Área com pequena região Sombreada com Móvel em Movimento a baixa velocidade</i>	56
Tabela 7.6: <i>Erros das técnicas de localização, com medidas de distância em metros</i>	58
Tabela 7.7: <i>Fusão de Dados em Área com ampla região Sombreada com Móvel em Movimento a baixa velocidade</i>	61
Tabela 7.8: <i>Erros das técnicas de localização, com medidas de distância em metros</i>	63
Tabela 7.9: <i>Fusão de Dados em Área com ampla região Sombreada com Móvel em Movimento a alta velocidade</i>	65
Tabela 7.10: <i>Erros das técnicas de localização, com medidas de distância em metros</i>	67

Lista de Abreviaturas

AGPS	Assisted Global Position System
AFLT	Advanced Forward Link Triangulation
AMPS	Advanced Mobile Phone Service
AoA	Angle of Arrival
BS	Base Station
C/A	Coarse Acquisition
CCC	Central de Comutação e Controle
CDMA	Code Division Multiple Access
Cell-ID	Endereço de Localização da Célula
DGPS	Diferencial Global Position System
EDP	Equipamento de Determinação da Posição
EFLT	Enhanced Forward Link Triangulation
EOTD	Enhanced Observed Time Difference
ERB	Estação Rádio Base
GPS	Global Position System
GSM	Global System for Mobile Communication
JDL	Joint Director of Laboratories
MS	Mobile Handset
OTD	Observed Time Difference
SMS	Short Message Service
TDMA	Time Division Multiple Access
TdoA	Diferencial Time of Arrival
ToA	Time of Arrival
TTF	Time-to-first-fix
WAP	Wireless Application Protocol
WBS	Wireless Base Station

Lista de Símbolos

$\rho(\theta)$	Distribuição do ângulo de Chegada
Υ	Ângulo do anel de espalhamento em relação a estação móvel
θ	Ângulo de captação do espalhamento do sinal proveniente da estação móvel em direção a estação base
β	Ângulo entre o sinal proveniente diretamente da estação móvel a estação base
α	Raio do anel de espalhamento sobre a estação móvel
f_0	Frequência padrão de 10,23 MHz
σ_0^2	Variância da estimativa de TdoA
$\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$	Tempo 1 até n
σ_c^2	Variância da distribuição gaussiana
$f_i(x) F(x)$	Estimativa da posição de ToA
$\lambda_i s$	Confiabilidade do sinal na estação base i
ρ_j	Pseudomedida da posição do satélite j
σ_m^2	Variância da estimativa de AGPS
$AGPS_{ma}$	AGPS médio no instante anterior a medição atual
c	Velocidade da luz
$C_{a,b}(\tau)$	Função de Correlação Cruzada
d	Distância entre a estação móvel e a estação base
$d(t-D)$	Sinal t com atraso D
L1	Sinal da portadora 1
L2	Sinal da portadora 2
n	Total de medições
$n_i(t)$	Ruído i no tempo t
$R_{i,1}$	Distância do móvel a Estação Base de controle R_1
$s_i(t)$	Sinal da ERB_i no tempo t
T	Tempo
$TdoA_i$	Valor TdoA no instante da medição atual
t_u	Compensação do relógio GPS do usuário u
V	Velocidade
$X x$	Posição relativa ao eixo de coordenadas cartesianas X
x_0	Média da estimativa de TdoA
x_c	Centro de massa da distribuição gaussiana
x_j, y_j, z_j	Coordenadas cartesianas do satélite j

x_m	Média da estimativa de AGPS
x_u, y_u, z_u	Coordenadas cartesianas do usuário u com GPS
$Y y$	Posição relativa ao eixo de coordenadas cartesianas Y

RESUMO

Algumas idéias consideradas como ficção científica há anos atrás agora surgem como produtos à disposição do consumidor. Atualmente, graças aos esforços de pesquisa em todo o mundo, diversas tecnologias emergentes na área de comunicação sem fio possibilitam a localização de objetos, equipamentos e pessoas. A função básica de um sistema de localização é obter a posição de uma estação móvel operando em uma determinada área geográfica e processar esta informação para compor uma estimativa de sua posição.

Dentre os métodos de geolocalização disponíveis atualmente, destacamos aqueles que utilizam técnicas centradas na rede, onde o processamento da informação ocorre na mesma; ou, em contrapartida, técnicas posicionadas no mecanismo móvel, onde o processamento ocorre especificamente neste caso, no telefone celular.

O presente trabalho busca apresentar uma solução híbrida, a partir da análise de três técnicas centradas na rede, ângulo de chegada (Angle of Arrival - AoA), tempo de chegada (Time of Arrival - ToA) e sua variante, tempo diferencial de chegada (Differential Time of Arrival - DToA), com uma técnica posicionada no mecanismo móvel denominada sistema de posicionamento global assistido (Assisted Global Positioning System -AGPS). Esta solução mista visa oferecer uma metodologia de maior desempenho na localização de telefones celulares.

A potencialidade de tal aplicação é muito grande, como a detecção de fraudes ou roubos de aparelhos celulares; gerenciar frotas e informar ao usuário sobre o tráfego local e direções geográficas detalhadas; determinar a localização de pessoas em serviços de emergência; possibilitar a criação de aplicações computacionais que modifiquem seus parâmetros e sua interface com o usuário de acordo com o local, sendo estas apenas uma breve delimitação dos inúmeros benefícios que a geolocalização proporciona aos seus utilizadores.

Palavras-Chaves: 1. Geolocalização; 2. Geoposicionamento; 3. Fusão de Dados; 4. AGPS.

ABSTRACT

Some ideas considered as science fiction years ago, now have appeared as products for the consumer's disposal. Nowadays, due to the research efforts all over the world, several emergent technologies in the wireless communication, make possible the location of objects, equipments and people. The basic function of a location system is to obtain the position of a mobile station operating in a certain geographical area and to process this information to compose an estimate of its position.

Among the methods of geolocation available now, it is possible to highlight those that use techniques centered in the network, where the processing of the information occurs in the same; or, techniques positioned in the mobile mechanism, where the computing specifically occurs in this case, in the cellular telephone.

The follow work searches to present an hybrid solution, starting from the analysis of three techniques centered in the network, angle of arrival (AoA), time of arrival (ToA) and differential time of arrival (DToA), with a technique positioned in the mobile mechanism denominated assisted global positioning system GPS (AGPS). This mixed solution seeks to offer a methodology of larger acting in the location of cellular telephones.

The potentiality of such application has a wide field, like the detection of frauds or robberies of cellular devices; to manage fleets and to inform the user about the local traffic and detailed geographical directions; to determine the people's location in emergency services; to make possible the development of computational applications that modify their parameters and interface with the user according to the place, being just an abbreviation of the countless benefits that the geolocation provides.

Keywords: 1.Geolocation; 2.Geoposition; 3 Data Fusion; 4 AGPS.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

A tecnologia de geolocalização em telefonia celular vem atraindo grande atenção da comunidade científica e empresarial nos últimos anos. Inicialmente, esta tecnologia era tida como vantajosa para propósitos de gerenciamento de sistemas, uma vez que, como a capacidade de um sistema aumenta em resposta à demanda de consumidores, as células diminuem geograficamente em tamanho. Conhecer com precisão relativa a localização de aparelhos celulares pode ser de grande valia para auxiliar os sistemas a disponibilizar recursos mais efetivamente.

Mais recentemente, contudo, o foco de geolocalização em telefonia celular mudou das necessidades do sistema, para necessidades humanas. Uma maioria significativa de usuários de telefonia celular procura um aparato que possibilite segurança como um dos principais motivos para assinarem contratos com as prestadoras de serviço nesta área.

Países como os Estados Unidos da América, Canadá, França, Alemanha, Inglaterra, Espanha, Portugal, Itália, Japão, entre outros, estão criando ou já implementaram leis, obrigando as empresas de telefonia celular a fornecerem serviços que permitam a localização de telefones celulares em chamadas de emergência.

Entre os serviços disponibilizados por tal aplicação poderíamos citar as seguintes categorias:

Rastreamento de veículos e pessoas: - Detecção de fraude ou roubo de aparelhos onde o aparelho seria facilmente localizável; - apresenta vantagem sobre o GPS por ser mais sensível e funcionar mesmo em locais subterrâneos, apesar de limitado à área de cobertura da operadora;[KLU97]

Serviços de Informação: - O gerenciamento de frota e sistemas de transporte inteligente permitindo ao usuário receber informações sobre o tráfego local assim como

direções detalhadas para um posto de gasolina, restaurantes, lojas, prestadoras de serviços, órgãos públicos ou outros serviços;[ADD01],[DAV01],[HIG014].

Serviços de emergência, públicos ou privados: - À localização de pessoas em serviços de emergência como um chamado policial ou incêndio, ou ainda em situações em que o usuário esteja desorientado, impedido de falar, inválido ou simplesmente perdido [DRA98];

Comércio móvel: - Aplicações computacionais que percebem sua localização e modificam seus parâmetros e sua interface com o usuário de acordo com o local [STU98].

Tarifas baseadas na localização – permitindo descontos ou tarifas diferenciadas por localização; - A partir do conhecimento da distribuição espacial dos usuários de telefonia móvel o projeto de sistemas celulares irá ser facilitado;[ADD01],[DAV01],[HIG014].

Entretenimento e relacionamento – permitirão localizar pessoas conhecidas que estejam próximas e disputar jogos, solitários e em grupo.

Segundo estimativas da IDC (International Data Corporation), em 2004, os serviços de localização devem gerar um faturamento superior a US\$5 bilhões.[BER02]

Tomando como princípio a capacidade de identificar a movimentação do assinante pelas células criadas em torno das ERBs (Estações Rádio Base) que compõem a rede de telefonia móvel, o LBS (Sistema Básico de Localização) propõe que tais informações sejam utilizadas para rastreamento de lugares, pessoas, frotas de veículos, redes de caixas eletrônicas e o que mais a imaginação procurar.

Nos bastidores das operadoras, o LBS baseia-se em um software que rastreia os dados dos assinantes e os traduz para as aplicações disponíveis, utilizando um serviço dedicado. O grande diferencial, segundo os fornecedores, está na oferta de informações mais precisas e personalizadas pelos sistemas de localização.

Entre os métodos de localização está o Cell-ID [BER02], por meio do qual os terminais móveis e locais cadastrados são localizados dentro do raio de atuação de cada célula, que pode variar de 100 metros a 10 quilômetros. Por meio da triangulação dos terminais identificados em duas ou três células, podem ser determinadas as distâncias em relação aos pontos de referência conhecidos que são as Estações Rádio Base.

Um segundo método seria a localização usando o GPS (Global Positioning System) [DJU01], que utiliza comunicação via satélite, mas de forma unidirecional, ou seja, os terminais podem se localizar, mas não podem ser rastreados diretamente pelo

sinal do GPS, embora já existam terminais que trabalham com um dispositivo de GPS acoplado, transmitindo as coordenadas pela rede celular. Dessa forma sim eles podem ser rastreados pelas operadoras das redes públicas.

Interessantes aplicações envolvem plataformas de software que retiram as informações da central da operadora e trabalham de acordo com as aplicações e serviços programados, como localização de assinantes, restaurantes ou lojas cadastradas, frotas de veículos ou mesmo mapeamento de ruas em grandes cidades. A apresentação das informações para os clientes pode ser via SMS (serviço de mensagens curtas) ou WAP (wireless application protocol).[BER02]

1.1 Objetivo desta Pesquisa

Esta dissertação tem por objetivos:

-Proposta de uma técnica híbrida que possibilite a localização de aparelhos celulares, incluindo melhora significativa na precisão das coordenadas calculadas, incremento no alcance da localização na área de cobertura, ampliação da vida útil da bateria, redução dos custos de implementação de tecnologia e otimização dos dados a serem processados tanto no aparelho quanto na rede e definir uma proposta de fusão de dados para implementação de uma técnica híbrida de geolocalização correlacionando a técnica centrada na rede de TDoA com a técnica de AGPS.

-Comparar isoladamente as principais técnicas de geolocalização centradas na rede, e uma técnica posicionada no mecanismo móvel. Estas análises têm por objetivo avaliar a performance destes métodos em macrocélulas considerando-se áreas urbanas densamente povoadas.

-Analisar o desempenho da técnica híbrida proposta comparando-a com as técnicas operando isoladamente.

1.2 Estrutura da Dissertação

No Capítulo 1, é realizada uma introdução sobre o estudo de localização de posição, caracterizado as diversas áreas de aplicação da geolocalização em aparelhos celulares e apresentado os objetivos a que se propõe o presente trabalho.

No Capítulo 2, são descritas as técnicas fundamentais empregadas em localização de pessoas ou objetos.

O Capítulo 3 aborda uma discussão inicial sobre as principais tecnologias envolvidas na localização de aparelhos celulares, a padronização que empregam e um comparativo entre elas.

O Capítulo 4 descreve detalhadamente a técnica de localização denominada GPS, além das técnicas de DGPS (GPS Diferencial) e AGPS (GPS Assistido).

No Capítulo 5 são descritas detalhadamente as técnicas de localização conhecidas como ToA (Tempo de Chegada do Sinal), AoA (Ângulo de Chegada do Sinal) e TDoA (Tempo Diferencial de Chegada do Sinal).

O Capítulo 6 descreve o Modelo Geral utilizado para a técnica de Fusão de Dados, e o Modelo Proposto neste trabalho, para a técnica híbrida de Geolocalização de Posicionamento.

No Capítulo 7 são apresentados os resultados obtidos com a simulação do modelo híbrido de geolocalização em diversas situações.

No Capítulo 8 são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

TÉCNICAS FUNDAMENTAIS DE LOCALIZAÇÃO

Existem diversas técnicas para se determinar a posição de um objeto ou pessoa, entre elas as mais empregadas são: Triangulação a qual trabalha com as propriedades geométricas dos triângulos e subdivide-se em *lateração* e *angulação*; Medidas de Proximidade e Análise de Cenário a quais baseiam-se na observação de localidades. Estas técnicas podem ser utilizadas em conjunto ou individualmente [HIG01].

O presente capítulo tem por objetivo apresentar e descrever a técnica de triangulação utilizada na localização de pessoas ou objetos, as quais são pré-requisitos para as técnicas de Geolocalização envolvendo aparelhos celulares.

2.1 Triangulação

Esta técnica esta baseada nas propriedades geométricas dos triângulos, e podemos dividi-la em *lateração* utilizando-se de medidas de distância ou *angulação* partindo-se de medidas de ângulos[HIG01].

2.2 Lateração

A *lateração* calcula a distância de um objeto em relação a múltiplos pontos de referência. Em duas dimensões equivale à medida de distância entre três pontos não-colineares, já em um sistema tridimensional seria necessário à medida entre quatro pontos não-coplanares. Para descobrirmos a distância do objeto, podemos recorrer a três técnicas de lateração:

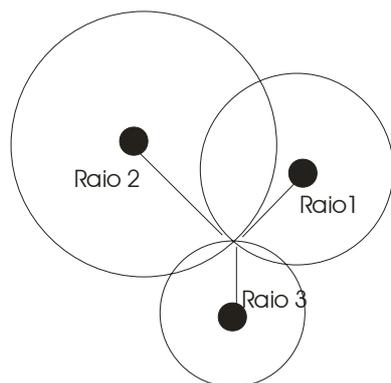


Figura 2-1: *Determinando a localização bidimensional (2D) utilizando a lateração. Faz-se necessário medidas de distância entre o objeto X e 3 pontos não-colineares.*

2.2.1 Lateração Direta

Medindo-se uma distância fisicamente, como exemplo, podemos citar uma medida realizada entre duas extremidades utilizando-se uma régua;

2.2.2 Tempo de Propagação

Neste caso observamos o tempo necessário para que um sinal percorra a distância de um objeto até um determinado ponto a uma velocidade conhecida. Este método é aplicável tanto para um objeto em movimento quanto para um objeto estacionário. Para efetuarmos os cálculos faz-se necessário conhecermos a diferença entre o tempo de transmissão e recepção de um sinal emitido, ou seja o tempo que este levou para se propagar da fonte emissora até o receptor.

Considerando-se que um pulso de luz emitido por um objeto possui uma velocidade de 299.792.458 metros por segundo, medidas do tempo de propagação de ondas de luz ou rádio nos levariam a distância do objeto em análise. Por exemplo, um sinal de rádio percorreu uma determinada distância “Y” em 35 nanosegundos, utilizando-se de uma equação matemática simples, onde o espaço percorrido é igual ao produto da velocidade “V” pelo tempo “T” onde “ $Y=V.T$ ”, poderemos calcular a distância “Y” como sendo; $Y = 35.10^9(s) \times 299.792.458(m/s)$, onde, neste exemplo, o resultado indica que o sinal percorreu uma distância de aproximadamente 10 metros. Dependendo do tipo de objeto e transmissor, talvez fosse necessário calcular um intervalo de ida e volta do sinal, equivalente ao dobro da distância.

Para efetuamos um cálculo com maior exatidão, devemos levar em conta os diversos problemas que ocorrem durante a trajetória do sinal, entre eles podemos citar a

reflexão, refração, multipercurso e sincronismo, resultando em estimativas imprecisas de distância [HIG01].

2.2.3 Atenuação

A intensidade de um sinal emitido diminui a medida que a distância da fonte emissora aumenta. A atenuação corresponde justamente a esta diferença entre o sinal original emitido e seu decréscimo. Podemos efetuar o cálculo da distância, partindo-se de uma função matemática que correlacione a atenuação de um sinal ao se propagar em determinado meio, ou seja, o quanto decai a potência de um sinal original ao percorrer determinada distância.

Em um ambiente com muitos anteparos tal como o espaço no interior de um escritório, medir a distância utilizando-se a atenuação, é menos preciso do que o utilizar o tempo de propagação [HIG01].

2.3 Angulação

A angulação é semelhante à lateração, com exceção de que ao invés de distância, ângulos são utilizados para determinar a posição de um objeto. Geralmente, angulação bi-dimensional requer a medida de dois ângulos e uma medida de comprimento tal como a distância entre pontos de referência. Num modelo tridimensional, uma medida de comprimento, uma medida de azimuth, e a medida de dois ângulos são necessárias para especificar uma posição precisa.

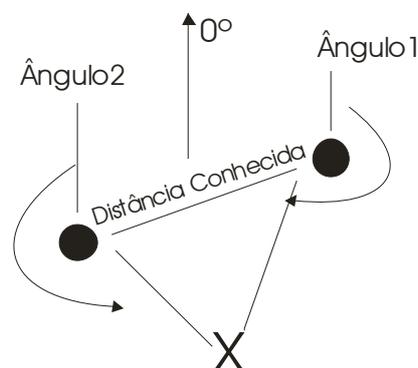


Figura 2-2: Exemplo de angulação bidimensional (2D). Ilustra a localização de um objeto X utilizando-se ângulos relativos a um vetor de referência de 0° e a distância conhecida entre dois pontos de referência. Sempre é necessário pelo menos o valor de dois ângulos e uma medida de distância para localizar um objeto nesta técnica.

2.4 Análise de Cenário

Esta técnica procura estudar as características de um determinado local e sua influência sob o observador ou determinados objetos. Normalmente os cenários observados são simplificados para obterem-se características que sejam fáceis de representar e comparar (ex: o formato do horizonte em uma região montanhosa). Este tipo de análise pode ser dividido em *estática*, onde as características observadas são montadas em um banco de dados, classificando-as em tipos de objetos, ou *diferencial*, onde o observador procura por diferenças entre cenas sucessivas para efetuar a localização.

2.4 Sumário do Capítulo

Este capítulo apresentou a técnica de Triangulação conforme descrito em literatura, a qual tem por fundamentos as propriedades geométricas dos triângulos e será utilizada no processamento das técnicas de localização deste trabalho.

Capítulo 3

TECNOLOGIAS DE LOCALIZAÇÃO PARA TELEFONIA CELULAR

O presente capítulo apresentará um breve resumo das técnicas empregadas em localização de posicionamento baseando-se na implantação das mesmas na rede de telefonia (centradas na rede) ou no próprio aparelho celular (centradas no terminal móvel).

3.1 Tecnologias de Posicionamento

Atualmente em desenvolvimento, diversas tecnologias de geolocalização permitem definir aproximadamente a posição de uma determinada pessoa ou objeto na Terra. A Comissão Federal de Comunicação Norte Americana (US Federal Communications Commission - FCC) tem sido a força direcionadora para o desenvolvimento destas tecnologias. Em outubro de 2001 todas as companhias Norte Americanas deveriam fornecer a localização do cliente no caso de uma chamada 911 - Lei E911. Os métodos devem determinar a latitude e longitude da chamada com precisão entre 50 metros para 67% das chamadas de emergência, e dentro de 150 metros para 95% das chamadas [FCC96].

Existem técnicas baseadas em rádio frequência que podem ser utilizadas para localização de posicionamento sem fio. A dúvida é, quão efetivamente e eficientemente uma técnica pode ser implementada para que seja facilmente incorporada no sistema existente sem necessitar de grandes modificações, tanto no lado do usuário como no do provedor de serviços. Ondas eletromagnéticas em rádio frequência têm a propriedade única de viajar através da maioria dos objetos. A localização utilizando rádio frequência é obtida por medidas diretas dos sinais de rádio trafegando entre a estação base e a unidade móvel.

A reflexão do sinal assim como a obstrução da linha de visada introduzem erros na posição estimada. Contudo, somente os sistemas de estimativa por rádio frequência oferecem baixo custo, fácil integração e a disponibilidade para operar em árduas condições ambientais. As Tecnologias de Posicionamento de telefones celulares enquadram-se em dois grupos:

Tecnologia posicionada no mecanismo móvel (celular), denominada como centrada no terminal móvel, onde é necessário modificar o telefone. Temos como exemplo mais conhecido o GPS.

Tecnologia centrada na rede. Nestes sistemas a tecnologia reside na rede e não no telefone, onde não é necessária a modificação deste. Temos como exemplo as técnicas de Tempo de Chegada (ToA) , Tempo Diferencial de Chegada (TDoA) e Ângulo de chegada (AoA).

3.2 Tecnologia posicionada no mecanismo móvel

Considerando-se o aspecto técnico, esta tecnologia é fácil de ser implementada e é precisa para determinar a localização do objeto móvel. As técnicas de localização baseadas em GPS, TOA assistida e TDOA assistida, estão nesta categoria. A localização por GPS necessita da instalação do receptor GPS no terminal móvel além de transmitir os dados recebidos pelo GPS para estação rádio base (ERB) para posterior processamento e determinação da posição. As desvantagens desta técnica incluem o aumento no tamanho e peso dos aparelhos móveis e o dreno adicional na bateria dos telefones móveis. Ainda, um receptor GPS precisa de no mínimo quatro satélites constantemente visíveis. Em um ambiente urbano densamente coberto e sombreado, a linha de visada entre os satélites e a estação móvel fica muito prejudicada. Contudo, a solução baseada em GPS é uma excelente opção para unidades móveis em ambientes externos, mas não para unidades em ambientes internos ou dentro de ambientes urbanos densos.

Na técnica de ToA assistida, este adiciona o tempo atual em qualquer sinal de saída no canal reverso. A estação base calcula o tempo necessário para o sinal chegar a ela, e a partir deste, determina a distância entre a estação base e o terminal móvel. Se pelo menos três estações bases fizerem parte do processo, então os métodos de triangulação podem ser utilizados para determinar a posição do móvel. Para que isto aconteça é necessário que a estação móvel e a estação base estejam precisamente

sincronizadas. Embora este não seja um fator impossível de realizar, não seria economicamente viável. O método TDoA modificado para o sistema CDMA utiliza sinais pilotos transmitidos por diferentes estações bases. Uma potência alta de transmissão do sinal piloto fornece uma precisão muito elevada de rastreamento do sinal recebido. Como cada célula transmite um pseudo-código com uma seqüência única, o aparelho móvel pode diferenciar os sinais piloto de cada célula. Este fator nos fornece uma série de equações hiperbólicas e a intersecção das hipérboles, uma estimativa da posição do aparato móvel. A estimativa pode então ser retransmitida a estação base através do canal reverso. Como todo o processo deverá ocorrer no aparelho, este deve sofrer modificações em termos de hardware [RAH01].

3.3 Tecnologia centrada na rede

Nestes sistemas a tecnologia reside na rede e não no telefone, onde não é necessária a modificação do aparelho. Como exemplo, apresentamos as técnicas de Tempo de Chegada (**ToA**) , Tempo Diferencial de Chegada (**TDoA**) e Ângulo de chegada (**AoA**).

A técnica de AoA é utilizada para estimar a localização da base móvel (celular) por medidas do ângulo de captação de um sinal da estação móvel a diversas estações bases, medidas estas realizadas em suas antenas, ou seja, esta técnica visa determinar a direção de chegada do sinal em uma célula. A diferença de fase dos elementos que compõem o sinal atingindo um conjunto de antenas fornece o ângulo de chegada, e o ponto de intersecção calculado por triangulação, fornece a localização.

O espalhamento do sinal nas proximidades e em volta da base móvel e da estação base irá afetar as medidas do ângulo de chegada. Na ausência de um componente de visada, a antena irá se fixar no sinal refletido, o qual pode não estar vindo da estação móvel. Mesmo que um componente de visada esteja presente, o multipercurso ainda irá interferir com a medida do ângulo. A precisão do método de AoA diminui com o aumento da distância entre a estação rádio base e a estação móvel, devido a limitações nos periféricos utilizados para medir o ângulo de chegada assim como para medir as mudanças no espalhamento.

Outra técnica empregadas na geolocalização é o tempo de chegada do sinal proveniente da estação móvel (celular) a estação rádio base. A distância entre a estação móvel e a estação rádio base é medida através do tempo de propagação do sinal entre a

estação móvel e a estação rádio base, ou seja, quando esta detecta um usuário, ela transmite um sinal ou um comando particular para o usuário e pede a este para que envie uma resposta ao comando. O tempo total entre a transmissão deste sinal e a recepção do sinal retornado pelo usuário é gravada na estação rádio base. A medida do tempo de ida e volta incluem o tempo de propagação do sinal viajando em ambas as direções, mais o tempo de processamento da resposta do comando efetuado pelo terminal móvel. Geometricamente, obtemos um círculo, centrado na estação base, no qual a estação móvel deve estar localizada. Utilizando-se pelo menos de três estações bases para resolver as ambigüidades geradas, a posição da estação móvel é calculada por trilateração circular na intersecção dos círculos.

Este método é conhecido como ToA e possui a desvantagem de requerer que a estação móvel atue como um transponder no qual processos com atraso e propagação com linha de visada obstruída podem introduzir um erro. Para sobrepor estas limitações, medidas diferenciais de tempo ao invés de medidas absolutas de tempo podem ser utilizadas.

A técnica de TDoA tem uma vantagem relativa sobre a técnica de ToA no sentido de que TDoA não necessita de uma referência temporal para calcular o tempo de ida e volta do sinal. Esta técnica estima a diferença de tempo de chegada do sinal da fonte em múltiplas estações base. Dois tipos de sinais recebidos em pares de estações rádio base são cruzados e correlacionados. Do pico de saída desta correlação, a diferença de tempo do sinal chegando nas duas estações base é determinada. Esta diferença de tempo dá origem a uma hipérbole entre os dois receptores. Se a estação base e o aparelho móvel estão no mesmo plano, então o móvel estará numa linha desta hipérbole. Se outra estação base fizer parte desse processo, outras hipérbolas serão definidas, e a intersecção das duas hipérbolas resultará na estimativa da posição da fonte. O método de TDoA é também conhecido como método da localização da posição hiperbólica. A vantagem desta técnica é que todo esse processo acontece ao nível de infra-estrutura da estação rádio base e outras vantagens incluem: baixo custo, não se faz necessária uma referência de tempo absoluto, é operacional com antenas simples, e imune a erros de sincronização. Como resultado, o método de TDoA funciona melhor que o método de ToA na ausência de uma linha de visada entre as estações base e a unidade móvel [RAH01].

Em uma técnica híbrida, duas ou mais das técnicas discutidas anteriormente são combinadas para criar um serviço de localização mais preciso. Este tipo de técnica

resulta em determinações de posição altamente precisas. Contudo cuidados devem ser tomados no sentido de que os erros pertinentes a cada método não afetem a estimativa de posição.

A Tabela 3.1 apresenta um sumário das tecnologias de localização existentes, sua classificação é realizada conforme a posição onde os sinais são medidos. (Na Tabela, WBS denota estação base sem fio, MS (mobile handset) um aparelho móvel, EDP é o equipamento de determinação de posição, DTR é a diferença em tempo real, e UML representa unidade de medida de localização).

Tabela 3.1 – Tecnologias de Geolocalização.[DJU01]

Geolocalização baseada no Aparelho Móvel	GPS	O receptor GPS é embutido no aparelho móvel
	A-GPS (GPS assistido)	Um receptor GPS parcial embutido no MS é auxiliado pela WBS
	Diferença de tempo observada (OTD)	MS monitora sinais de pelo menos três WBS e observa a diferença de tempo de chegada
Geolocalização baseada na Rede	ToA	O sinal do MS é recebido por 3 ERBs, as quais medem TOA independentemente e enviam os dados ao EDP onde o processamento é realizado.
	TDoA	O sinal do MS é monitorado por 3 ERBs utilizando receptores locais dedicados. A estimativa de localização é baseada entre os diferentes tempos de chegada em pares de bases.
	AoA	Antenas especiais e receptores de localização na ERB determinam o AoA do sinal do MS. Localização ocorre na intersecção das direções de chegada.
	Impressão digital do sinal	Baseada no emparelhamento da impressão do sinal recebido por uma ou mais BS com um banco de dados de impressões.
	Tempo de adiantamento(TA)	Durante o estabelecimento do link o MS alinha seus slots de tempo com a ERB, e utiliza este para medir a distância a BS. Utiliza técnica de triangulação, sendo necessário 3 ERBs.
Geolocalização baseada em Rede/AM	Triangulação do link de avanço melhorada (EFLT)	Solução apenas para CDMA, baseado em TDoA utilizando o link de envio dos sinais recebidos pelo MS.
Geolocalização de Tipos Híbridos	TDoA & Força do Sinal Recebido	Combina alta precisão com métodos robustos, e utiliza múltiplas entradas para melhorar a cobertura. Ex: em TDoA/AoA, AoA permite a operação mesmo quando somente 2 ERBs podem receber o sinal do MS.
	TDoA & AoA	
	AFLT & A-GPS	
	EOTD & A-GPS	

Na Tabela 3.2, é mostrado o estado das tecnologias de localização atuais no processo de padronização que irão especificar mensagens e parâmetros necessários para a interoperabilidade entre as propostas. Note que A-GPS está sendo padronizado para todas as interfaces: primeira geração analógica (AMPS), segunda geração digital (GSM, CDMA, TDMA), assim como para 3GPP (terceira geração de parcerias de projeto para sistemas móveis baseado ou envolvendo redes GSM) e 3GPP2 (para sistemas envolvendo as redes TIA/EIA-41).

AFLT e EFLT (da tabela 3.1) apresentam algoritmos similares. A diferença é o fato de que o primeiro utiliza a padronização de mensagens IS-801, e o segundo utiliza a medida de potência da mensagem piloto de TIA/EIA-95. OTDoA segue a mesma idéia que OTD (da tabela 3.1), um melhoramento nesta idéia e o IPDL (período de downlink inativo), onde as estações base são periodicamente desligadas para que o aparelho móvel possa medir com maior precisão o tempo de chegada dos sinais pilotos das estações vizinhas.

Tabela 3.2 – Tecnologias de Geolocalização (padronização Wireless). [DJU01]

Padronização Wireless	Corpo Padrão	Tecnologia Utilizada	Documentação	Data Publicação
GSM	ETSI SMG30	TOA AOA M-DTO A-GPS	GSM 03.71 GSM 04.71 GSM 09.31	Janeiro 2000
GMS (EUA)	T1P1.5 ETSI SMG31	TOA AOA M-DTO A-GPS	GSM 04.35	Janeiro 2000
CDMA: TIA/EIA-95 cdma2000	TR45.5	A-GPS A-FLT	IS-801	Novembro 1999 Dezembro 2000
TDMA: TIA/EIA-136	TR45.3	A-GPS	TIA/EIA-136 Rev. C parte 740	Junho 2000 Dezembro 2000
AMPS	TR45.1	A-GPS	IS817	Junho 2000 Dezembro 2000
3GPP	3GPP	A-GPS OTDoA IPDL	TS25.305/331/215/133/171	Abril 2001
3GPP2	3GPP2	A-GPS A-FLT	IS-801 IS-801A	Novembro 1999 Dezembro 2000 Fevereiro 2002

A Tabela 3.3 fornece uma idéia de comparação das diversas tecnologias disponíveis em termos de:

- Área de cobertura: A solução deverá produzir um alto rendimento de localizações (75% - 99% dependendo da aplicação e das condições nas quais as tomadas de posição são feitas) em ambientes como:

- Áreas urbanas densas (representando áreas com alta obstrução de sinal e multipercurso)
- Estradas longas e retas (representando uma configuração de rede linear)
- Cenários rurais (representando ampla cobertura da estação base)

- Consistência: A solução deverá produzir resultados consistentes em ambientes diferentes e através de uma variedade de redes. Por exemplo, uma solução que produza 100 metros de precisão em algumas localizações e 2000 metros de precisão em outras localizações, não atuam consistentemente, o que pode gerar dúvida no usuário sobre a totalidade da informação e ainda tornar o serviço de localização difícil ou impossível de ser realizado.

- Precisão: Varia por aplicação. A maioria dos serviços de localização requerem uma precisão de 10 a 100 metros de distância para permitir uma ampla gama de serviços comerciais. A precisão é tipicamente medida em relação a um erro a um ponto conhecido – uma precisão de 50 metros especifica que a localização irá estar dentro de um círculo com raio de 50 metros do ponto real.

- Tempo de início: A solução deverá fornecer dados de localização rapidamente (também conhecidos como tempo de início, time-to-first-fix ou TTFF). Este parâmetro é tipicamente medido em segundos e deverá encontrar-se na faixa de 5 a 20 segundos para a maioria das tecnologias. Este parâmetro pode ser afetado pela latência da rede, sendo importante diferenciar esta latência e o tempo que leva para que a tecnologia realmente calcule a posição.

- Modificações no MS: Novos circuitos ou softwares devem minimizar o impacto sobre o aparelho e apresentar pouco consumo de bateria (normalmente menos do que 5% da carga da bateria).

Roaming: A solução deverá facilmente suportar roaming através de amplas áreas geográficas, em outras redes (e.g. GSM para GSM) e em diferentes redes (e.g., GSM para UMTS).

- Eficiência da rede: A solução deverá utilizar o mínimo de banda para reportar posições individuais assim como reportar dados contínuos sobre a posição.

- Expansão da rede: A solução deverá suportar a expansão da rede e ser escalonável, ou seja, a medida que a rede se expande, deverá ser fácil para expandir a solução de localização.

- Custos do aparelho: A solução não deverá aumentar significativamente o custo do aparelho relativo ao serviço oferecido.

- Custos da rede: A solução não deverá aumentar significativamente os custos da rede relativos ao serviço oferecido.

- Custos de expansão: A solução não deverá aumentar significativamente os custos de expansão relativos ao serviço oferecido.

Tabela 3.3 - Comparativo entre as tecnologia de localização atuais [SNA02]

	CELL-ID	EOTD	OTDoA	GPS	AGPS	ToA
Cobertura	Excelente	Média	Ruim	Média	Muito Boa	Ruim
Consistência	Ruim	Média	Média	Média	Muito Boa	Média
Precisão	Ruim 100-20km	Média 100-500m	Média 100-300m	Boa 5-100m	Excelente 5-50m	Média 100-500m
Time-To-First-Fix	Excelente 1s	Muito Boa 5s	Muito Boa 5s	Ruim 30s-15min	Muito Boa 5-10s	Muito Boa 5s
Modificações no Aparelho	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Roaming	Excelente	Ruim	Ruim	Excelente	Excelente	Ruim
Eficiência Rede	Excelente	Ruim	Ruim	Excelente	Excelente	Ruim
Expansão Rede	Excelente	Ruim	Ruim	Excelente	Excelente	Ruim
Média Custos	Baixo	Alto	Alto	Moderado	Baixo	Alto

A tecnologia de CELL-ID é a maneira mais simples de descrever a localização genérica de um aparelho móvel, pois somente requer a ERB com a qual a célula esta se comunicando e a localização desta. O CELL-ID identifica o aparelho móvel como estando na localização da ERB.

3.4 Sumário do Capítulo

Neste capítulo foi apresentado um breve resumo das tecnologias utilizadas em telefonia celular enquadradas em duas categorias, centradas na rede e centradas no aparelho móvel, que serão utilizadas no decorrer desta dissertação. Também foram apresentadas tabelas comparativas entre as atuais tecnologias em desenvolvimento.

Capítulo 4

TÉCNICA DE LOCALIZAÇÃO NO MECANISMO MÓVEL

Neste capítulo será apresentada a tecnologia centrada no mecanismo móvel denominado GPS, abordando aspectos como fundamentos, funcionamento, código, posicionamento e erros, assim as tecnologias derivadas de GPS Diferencial e GPS Assistido a qual é tema primordial da presente dissertação.

4.1 Sistema de Posicionamento Global - GPS

O GPS é um sistema de navegação via satélite desenvolvido para fornecer o tempo, a velocidade e a posição instantânea em praticamente qualquer lugar do globo a qualquer hora, em quaisquer condições climáticas. Ele pode fornecer com precisão a posição (latitude e longitude) de 100 metros (95% do tempo) até 5 a 10 metros, com precisão relativa até milímetros. O departamento de defesa Norte Americano desenvolveu, controla e mantém o Sistema de Posicionamento Global. O nome oficial é NAVSTAR (NAVigation Satellite Timing and Ranging). O sistema consiste de três segmentos:

O segmento espacial que consiste em uma constelação de satélites em órbitas quase circulares a 20.183km acima da superfície da terra e com um período de 12 horas, Fig.4-3. A constelação original era de 24 satélites em 3 planos de órbita e inclinados para o equador (Spilker, 1980), mas estes planos foram modificados e os satélites foram posicionados em 6 planos de órbita, com quatro satélites em cada plano a uma distância de 20.200 km acima da superfície da terra, com 55° graus de inclinação, e um período orbital de 11h 58min, visíveis aproximadamente 5 horas acima do horizonte.

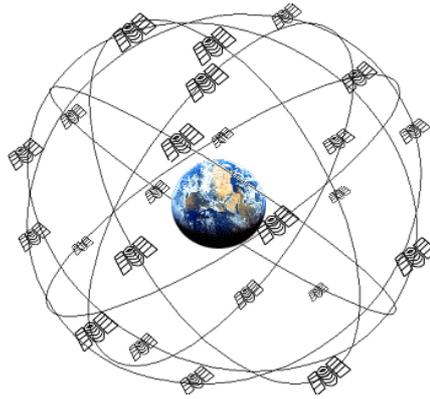


Figura 4-3: Constelação de Satélites, sendo 24 satélites em 6 planos de órbitas.

O segmento de controle, que são estações na terra de monitoramento e controle. Estas estações são os olhos e ouvidos do GPS, monitorando os satélites enquanto orbitam sobre elas cada 1,5 segundos. Os dados são então tratados utilizando-se de informações meteorológicas e ionosféricas. Estes dados voltam para a estação de controle mestre onde os parâmetros, descrevendo a órbita dos satélites e as performances de seus relógios são estimadas, assim como o estado dos satélites e a necessidade de um re-posicionamento. Estas informações retornam as estações de monitoramento que repassam estes dados aos satélites.

O segmento de usuários envolve os receptores que foram desenhados para decodificar os sinais transmitidos pelos satélites com o propósito de determinar a posição, velocidade e tempo [DAN00].

4.2 Funcionamento do GPS

A base de operação do GPS é a triangulação a partir dos seus satélites. Para triangular, um receptor GPS mede a distância entre ele à diversos satélites, utilizando o tempo de percurso dos sinais de rádio. Para efetuar a medida deste tempo, o GPS precisa de uma sincronização extremamente precisa. Além da distância é necessário saber a posição do satélite no espaço e finalmente faz-se necessário corrigir todos os atrasos do sinal ao viajar pelo espaço. A idéia do GPS é utilizar seus satélites em órbita como ponto de referência para o receptor na terra. Com três satélites é possível triangular a posição do receptor, e um quarto satélite melhora significativamente a precisão desta medida.

Os satélites transmitem dois sinais de portadoras: frequência L1 (1575.42 MHz) a qual contém mensagens de navegação e o Serviço de Posicionamento Padrão (SPS), e uma

freqüência L2 (1227.60 MHz) usada para medir o atraso ionosférico pelo serviço de posicionamento de precisão (PPS). Três seqüências binárias modulam as portadoras L1 e/ou L2. O código de aquisição (C/A) é um sinal pseudorandômico (PRN) repetitivo de 1023 bit (1 ms) que modula a portadora L1, “espalhando” este a 1.023 Mchip/s. Uma seqüência PRN diferente é utilizada para cada satélite GPS, fornecendo ao mesmo uma identidade única utilizado nas medidas de distância. O código-P (Precisão) que modulas as fases das portadoras L1 e L2 é uma seqüência PRN com período de 7 dias e uma taxa de 10MHz. Finalmente, a seqüência de mensagem de navegação que também modula o código do sinal L1-C/A, é um sinal de 50bit/s contendo dados que descrevem a órbita dos satélites GPS, suas correções de sincronismo, e outros parâmetros do sistema.

A distância de um usuário ao satélite é determinada pelo tempo de propagação do sinal. Nominalmente, a réplica do código C/A gerado no receptor é deslocado no tempo até que atinja uma correlação com o código C/A do sinal do satélite. Caso os relógios do satélite e do receptor estiverem perfeitamente sincronizados, o resultado poderia equivaler ao verdadeiro tempo de propagação. Como geralmente este não é o caso, a distância medida é denominada como pseudomedida ρ . Partindo-se de quatro sinais de satélites ($j=1$ a 4), poderíamos determinar as coordenadas do usuário (x_u, y_u e z_u) e t_u , a compensação do relógio do usuário para o tempo do GPS, da seguinte equação não-linear:

$$\rho_j = \sqrt{(x_j - x_u)^2 + (y_j - y_u)^2 + (z_j - z_u)^2} + \alpha_u \quad (1)$$

Onde (x_j, y_j e z_j) são as posições dos satélites (recebidos na mensagem da efêmeris) e c é a velocidade da luz. A solução pode ser encontrada em sua forma fechada, através de técnicas de iteração, ou pela filtragem de Kalman.[ASH98],[AXI01],[DAN00].

4.3 Medindo a distância do satélite

Nós observamos que a distância é medida a partir de 3 satélites. Esta distância é calculada cronometrando-se quanto tempo leva para o sinal do satélite chegar ao receptor, onde matematicamente teríamos uma equação com velocidade e tempo:

A velocidade de um sinal de rádio é a velocidade da luz (299792458m/s).

O problema é medir o tempo de viagem do sinal. Um satélite acima de nós, teria um tempo de viagem do sinal de 0,06s, ou seja, precisaríamos de relógios de altíssima precisão.

Imagine que fosse possível ambos satélite e receptor tocarem uma determinada música, como Marcha Soldado, exatamente ao meio dia. Caso o som do satélite pudesse alcançar o receptor, este escutaria duas versões de Marcha Soldado, uma do receptor e outra do Satélite, elas estariam fora de sincronia. Para saber o atraso no satélite começaríamos a atrasar a música no receptor até que esta entre em sincronia com a do satélite, a quantia verificada de atraso no tempo do receptor seria equivalente ao tempo de viagem do sinal proveniente do satélite. Esta é uma simples exemplificação do método de operação do GPS, mas, ao invés de uma música, é enviado um Código Pseudo Randômico.[TRI02]

4.4 Código

Cada satélite possui seu código próprio e a montagem dos sinais deste faz-se de forma complexa a fim de que o receptor tenha condições suficientes de análise para que não venha a confundir sinais de satélites diferentes, Fig.4-4. Portanto os satélites podem usar a mesma frequência sem causar interferência aos outros, e também impede que uma força externa interfira no sinal dos satélites. A outra razão crucial para a existência do código, e o que torna o GPS tão econômico, é de que este permite amplificar o sinal do GPS, o que possibilita operarmos com receptores mais simples.

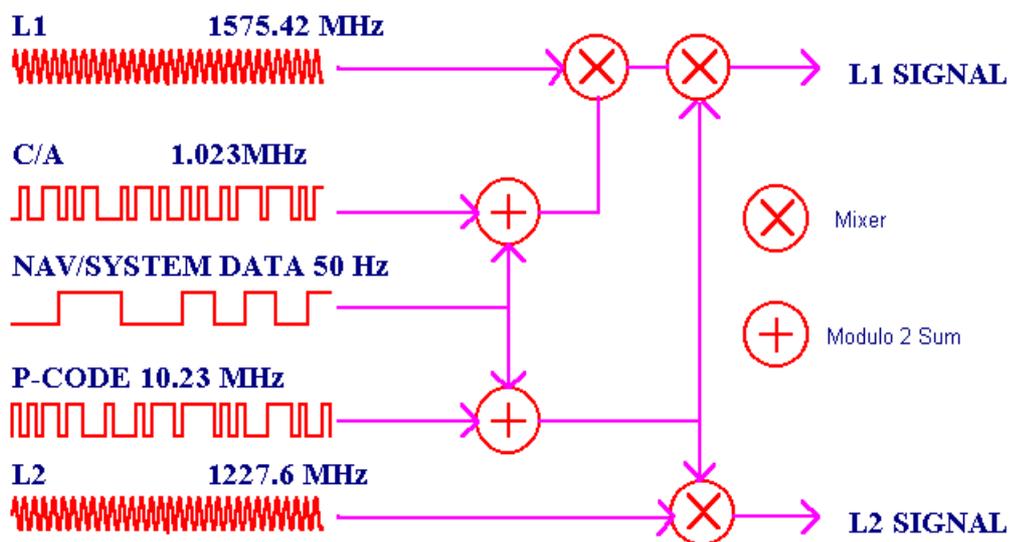


Figura 4-4: Sinais de Satélite GPS, P.H.Dana 4/98

Os satélites GPS transmitem dois sinais da Banda-L que podem ser utilizados para propósitos de posicionament. São utilizados dois sinais de frequências diferentes para que erros devido à refração ionosférica possam ser eliminados.

Os sinais que são gerados de uma frequência padrão $f_0=10,23\text{MHz}$, são:

$$L1=154*f_0=1575,42 \text{ MHz} \quad (2.1)$$

E

$$L2=120*f_0=1227,60 \text{ MHz} \quad (2.2)$$

e são comumente chamados de portadoras. Como as portadoras são senoidais puras, elas não podem ser utilizadas facilmente para posicionamento, portanto temos dois códigos binários modulados nelas: o C/A (Código de Aquisição) e o código P (Precisão). Adicionados a estes códigos também temos mensagem de dados da posição do Satélite.

O código C/A é um código binário pseudo-randômico que consiste de 1023 elementos, ou “fatias” que se repetem a cada milissegundo. O termo pseudo-randômico é utilizado já que o código é aparentemente randômico embora ele seja gerado por meios de um processo conhecido, por isso a repetibilidade. Devido à taxa de “chip” (chirate), a taxa na qual cada elemento é modulado na portadora, de 1023Mbps, o comprimento de cada fatia corresponde a aproximadamente 300 metros e devido ao comprimento total deste código, o padrão completo do código C/A se repete a cada 300km entre o receptor e o satélite. As seqüências que são utilizadas são denominadas códigos de Gold, as quais, apresentam excelentes propriedades de autocorrelação e correlação cruzada. As propriedades de correlação cruzada são tais que as funções de correlação entre duas seqüências diferentes são pequenas – isto representa a maneira pela qual os receptores GPS distinguem entre sinais transmitidos por satélites diferentes.

O código P, ou código preciso, é um código binário longo que pode se repetir somente a cada 38 semanas. Apesar de o código ser abreviado a uma repetição semanal, porque cada satélite transmite uma seção do código semanalmente, não existe ambigüidade entre o satélite e o receptor.

A mensagem de dados adicionada a estes códigos inclui informações completas de sua órbita e dados do relógio (dentro da informação da efemeris) e um guia aproximado das órbitas dos outros satélites. Os dados são modulados a uma taxa de 50 bps e levam 12,5 minutos para transmitir toda a informação. Para reduzir o tempo necessário a se obter uma posição inicial, os dados da efemeris e do relógio são transmitidos a cada 30 segundos. Parâmetros representando o atraso de propagação do sinal através da ionosfera também estão inclusos na mensagem de dados [DAN00].

4.5 Sincronização

Um erro na medida de sincronização em um milésimo de segundo corresponde a um erro de 322km. Os satélites possuem relógios atômicos, para manter sua precisão, e os receptores utilizam um pequeno truque para atingir esta precisão. Eles fazem a leitura de um quarto satélite. Se três medidas perfeitas nos fornecem um ponto no espaço tridimensional, uma quarta medida nos fornece um parâmetro de correção, o qual pode ser empregado para verificar se este ponto é realmente preciso, e caso este não corresponda à posição esperada, corrigi-lo [QUA02].

4.6 Posição do Satélite

Os satélites são constantemente monitorados pelo Departamento de Defesa, o qual utiliza radares altamente precisos para saber a posição, velocidade e altitude de cada satélite no espaço. Os erros que eles estão checando denominam-se de erros de efemeris (ephemeris) porque eles afetam a órbita do satélite ou efemeris. Estes erros são gerados por forças gravitacionais da lua e do sol, e pela pressão de radiações solares nos satélites. Assim que o Departamento de Defesa calcula a posição exata do satélite ele retransmite estes dados para o satélite, o qual vai incluí-la no sinal que está transmitindo.

Existem essencialmente duas categorias gerais de posicionamento por GPS, as quais podem ser descritas como navegação em tempo real e posicionamento de alta precisão com a portadora de fase. Navegação utiliza no mínimo quatro pseudomedidas de distância de quatro satélites os quais são utilizados para fornecer as três coordenadas dimensionais do receptor e a compensação do relógio entre oscilações do receptor e o sistema de tempo do GPS. Uma extensão para este método é o GPS diferencial (DGPS) o qual também utiliza as pseudodistâncias para posicionamento, mas incorpora

correções em tempo real para os erros inerentes das medidas. A segunda categoria utiliza observações muito mais precisas da portadora de fase para calcular a distância entre duas localidades. Desde que as duas portadoras apresentam comprimentos de ondas curtas (19 e 24cm para L1 e L2 respectivamente), elas não podem ser utilizadas da mesma maneira que a pseudodistância. Os números totais de comprimentos de onda completos entre o satélite e o receptor devem ser determinados primeiro e isto é feito por um processo fixo (estático) ou em tempo real, utilizando a combinação linear de duas frequências e técnicas diferenciais.

Distância entre os satélites GPS e o receptor não são medidas diretamente e portanto devem ser derivadas. Tipicamente estas distâncias são derivadas de duas medidas fundamentais do GPS .[ASH98],[AXI01],[DAN00].

4.6.1 Medidas de Pseudo Distância

Utiliza os códigos P e C/A modulados na portadora. Esta medida grava o tempo de viagem do código do satélite até o receptor. Este tempo é então multiplicado pela velocidade da luz para convertê-lo em distância. O processo ocorre similarmente desta forma: Em um certo instante de tempo códigos (O código C/A, por exemplo) são gerados dentro do satélite e do receptor. O código do satélite é então transmitido e apanhado pelo receptor. O receptor então compara o estado do código que esta chegando com o seu próprio código – a diferença é o tempo de percurso do código. Contudo existem dois problemas neste método: O satélite e o receptor raramente estão perfeitamente sincronizados. Isto introduz uma compensação no relógio, o qual atua como um erro na distância para o satélite – daí o termo pseudo distância. Este erro precisa ser calculado e isto é feito muito facilmente, já que todas as pseudo distâncias a satélites diferentes tem a mesma compensação de relógio durante uma medida. Este é o porque da necessidade de 4 satélites para fixar uma posição – para determinar 3 coordenadas (latitude, longitude e altura ou X, Y e Z) + 1 para compensação do relógio.

4.6.2 Medida de Fase da Portadora

Ela pode ser interpretada como a mesma medida de pseudo distância, na qual é medido o tempo que demora para o sinal viajar do satélite ao receptor, mas desta vez ambas portadoras L1 e L2 são utilizadas. Como elas têm comprimento de onda de 19 e 24cm respectivamente, a distância total é portanto algum múltiplo de 19 e 24cm mais a

quantia observada. Normalmente são realizadas quatro medidas diferentes de cada satélite.

O receptor, contudo, auxilia o usuário permitindo que as ambigüidades sejam calculadas. Quando o receptor fixa em um sinal de satélite ele assume um determinado valor para ambigüidade. A partir disto, o receptor conta quantos ciclos completos se passaram. Em outras palavras, a ambigüidade precisa ser calculada somente a partir do momento em que o receptor fixa no sinal do satélite – conseqüentemente as medidas são relativamente corretas as iniciais [QUA02].

4.7 Erros de Órbita

Existem diversos modelos matemáticos para atenuar as medidas recebidas. Os modelos matemáticos levam em conta as partículas carregadas da ionosfera assim como os diversos tipos de gases presentes na troposfera. Outro modelo opera com as medidas L1 e L2 de freqüência dos satélites, considerando-se que quando a luz move-se por um determinado meio, sinais de baixa freqüência sofrem maior refração do que sinais de alta freqüência. Comparando-se o atraso entre estes sinais, é possível sabermos qual o meio, e então empregar as correções necessárias.

Os sinais de satélite se propagam através de camadas atmosféricas enquanto trafegam do satélite ao receptor. Normalmente consideramos duas camadas em se tratando de GPS: A camada ionosférica a qual se estende de uma altura de 70 a 1000km acima da superfície da terra, e a troposfera a qual vai do chão até cerca de 70km. A medida que o sinal se propaga pela ionosfera, a portadora sofre um avanço de fase e o código sofre um atraso de grupo. Em outras palavras, o código do GPS sofre um atraso resultando em medidas de pseudo distâncias muito longas quando comparadas a distância geométrica até o satélite. O quanto estas medidas sofrem atraso depende do Total da Contagem de Elétrons (TEC) no meio do percurso do sinal, a qual é uma medida de densidade de elétrons. Isto é dependente de três fatores: a latitude geomagnética do receptor, a hora do dia, e a elevação do satélite. Atrasos significativamente maiores ocorrem para sinais emitidos satélites a baixas elevações (já que eles trafegam em uma grande parte da ionosfera), atingindo seu pico durante o dia e diminuindo durante a noite (devido a radiação solar). Em regiões próximas ao equador geomagnético ou perto dos pólos, os atrasos também são grandes.

O atraso ionosférico é dependente da frequência e pode portanto ser eliminado utilizando duas frequências do GPS, ou seja, as duas frequências de portadora do GPS. A troposfera causa um atraso em ambos códigos e portadoras. Como ele não é dependente da frequência ele não pode ser cancelado utilizando-se duas frequências, mas pode ser modelado. A troposfera é dividida em duas partes: o componente seco que constitui aproximadamente 90% da refração total, juntamente com o ângulo de elevação do satélite o qual é utilizado em uma função de mapeamento e o componente úmido, no caso o vapor d'água.

Erros de multipercurso estão relacionados ao fenômeno pelo qual o sinal de GPS é refletido por algum objeto ou superfície antes de ser detectado pela antena.

Erros os quais ocorrem devido aos processos de medidas utilizados dentro do receptor são denominados ruídos do receptor. Eles são dependentes da arquitetura da antena, do método utilizado para conversão analógico digital, do processo de correlação, e da largura de banda. [ASH98],[AXI01],[DAN00].

4.8 GPS Diferencial - DGPS

O GPS diferencial (DGPS) consiste no conceito de que os erros da posição de uma localização são similares aqueles em todas as localizações dentro de uma área. Armazenando-se as medidas de GPS em um ponto com as coordenadas conhecidas, estes erros podem ser quantificados e correções podem ser aplicadas a outras localizações. A estrutura do DGPS consiste em três componentes principais, Fig.4-5:

Estação de referência: ela é estabelecida em uma posição conhecida e sua função é gerar correções que irão ser aplicadas às estações desconhecidas. A estação de referência consiste em um receptor GPS, uma antena e um link de dados (modulador e antena). As correções que serão geradas podem ser de dois tipos diferentes: erros de posicionamento tridimensionais ou erros individuais de pseudo medidas.

Estação móvel: consiste de um receptor GPS e antena, um receptor de link de dados e um demodulador e normalmente um microcomputador funcionando como um processador central.

Enlace de Dados: provê a conexão entre o referencial e a estação móvel, e o meio utilizado deve ser tal que possa transmitir para ambas estações. [DAN00], [QUA02].

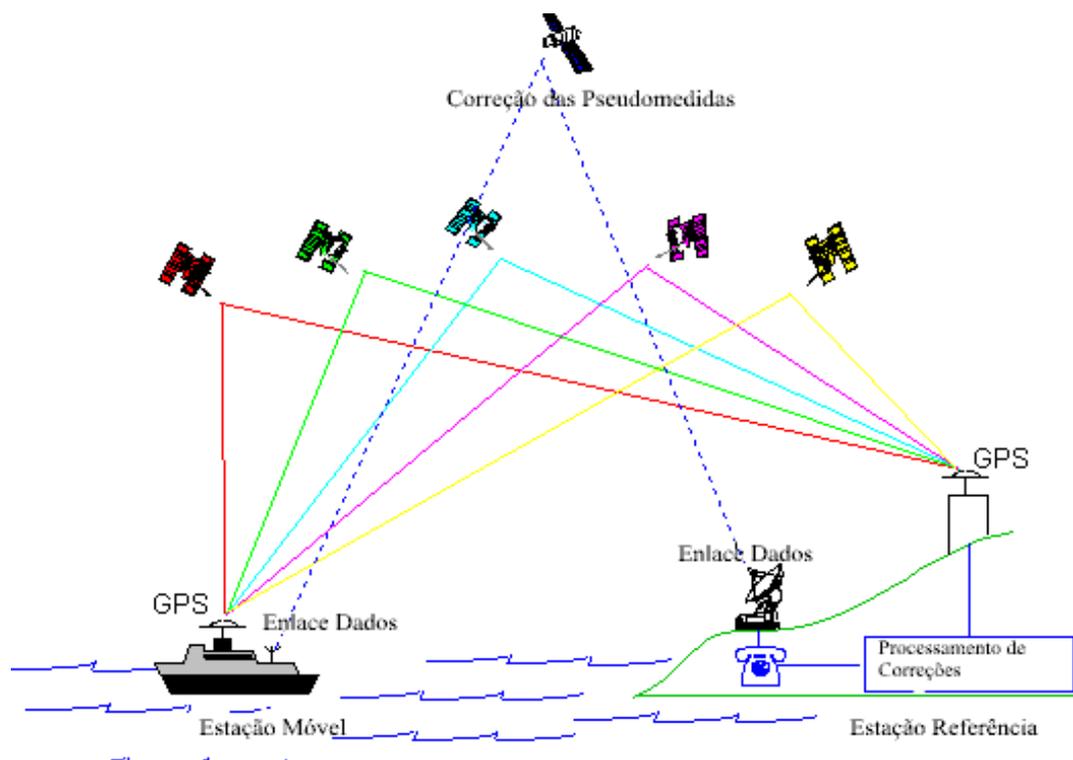


Figura 4-5: *Composição da Estrutura do DGPS, com as três estações; referência, móvel e dados.*

4.9 GPS Assistido

A tecnologia de A-GPS (GPS Assistido), comparada com outras tecnologias de geolocalização centradas na rede ou no terminal móvel, oferece uma precisão superior, assim como disponibilidade e área de cobertura a um custo considerável. Os principais componentes que fazem parte do sistema são um aparelho sem fio com um receptor GPS parcial, um servidor A-GPS com um receptor GPS diferencial que simultaneamente possam “ver” os mesmos satélites que o aparelho (Serviço DGPS também pode ser utilizado), e uma infra-estrutura de rede sem fio, Fig.4-6. Esta última, por sua vez, consiste na estação rádio base e na central de comutação e controle celular (CCC).

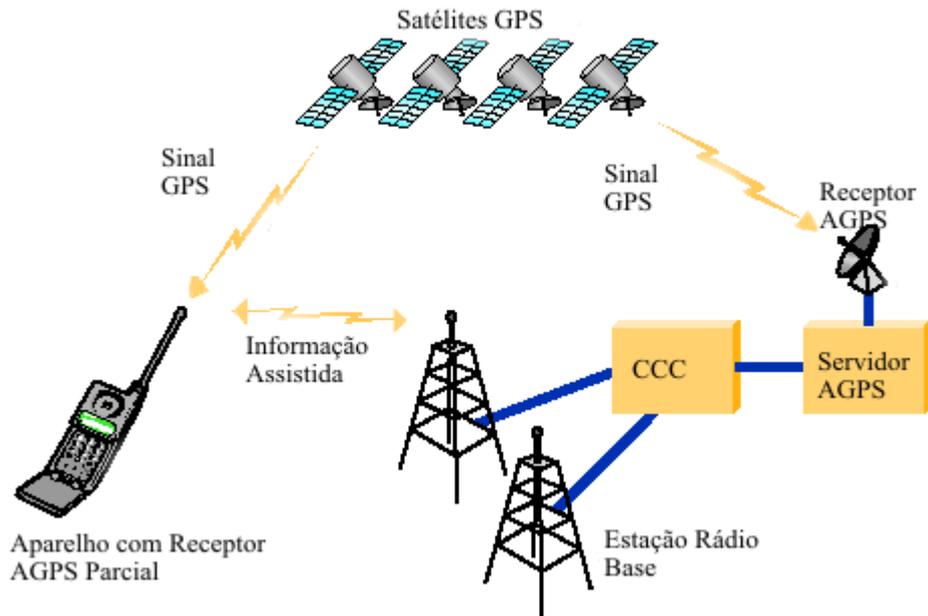


Figura 4-6: *Conceito de GPS-Assistido. Os principais componentes do Sistema são um aparelho sem fio com receptor GPS parcial, um servidor AGPS um receptor GPS referencial, e uma estrutura de rede sem fio consistindo de Estações Rádio Bases e um Centro de Comutação e Controle*

A propriedade do servidor A-GPS em obter da CCC a posição do aparelho (no nível de célula e setor), e ao mesmo tempo, monitorar sinais de satélites GPS observados pelo equipamento móvel, permitiria a este prever os sinais recebidos pelo aparelho para qualquer instante. Especificamente, poderia prever o efeito Doppler (devido a movimentação do satélite) dos sinais do GPS no aparelho receptor, assim como outros parâmetros que representam uma função da localização do móvel. Em um setor típico, a incerteza em antever o tempo de chegada do sinal do satélite é de cerca de $\pm 5\mu s$, o qual corresponde a ± 5 chips (fragmentos) do espalhamento do código de C/A. Contudo, um servidor A-GPS pode prever dentro de ± 5 chips a fase da seqüência PRN que o receptor deverá utilizar para remontar o sinal C/A de um determinado satélite, e comunicá-la ao móvel. Com isso, a procura espacial para o efeito doppler assim como para a fase PRN é muito reduzida, e o receptor A-GPS poderá completar esta tarefa em uma pequena fração de tempo em comparação com os receptores GPS convencionais. Ainda, o servidor A-GPS mantém uma conexão com o aparelho receptor através do link sem fio, solicitando ao mesmo, medidas específicas, coleta destes resultados, e o retorno destes ao servidor.

Depois de remontar o sinal, o receptor A-GPS poderia retornar a informação da fase PRN ao servidor A-GPS, tornando-o apto a calcular as coordenadas de localização do móvel. Para reduzir a quantidade de informação enviada pela interface aérea, uma

outra solução seria realizar um processamento adicional no aparelho móvel e retornar apenas pseudomedidas. Na publicação das padronizações IS-801(CDMA) e TIA/EIA-136 Rev.C (TDMA), é permitido que o móvel complete o dilema de localização sem retornar dados ao servidor.[DJU01]

4.10 Sumário do Capítulo

Neste capítulo foi descrita a técnica denominada de GPS, assim como seus fundamentos, envolvendo o princípio de funcionamento, posicionamento no espaço, formação dos códigos e possíveis erros que o sinal incorpora ao se propagar pela atmosfera até alcançar seu receptor. Também foram descritas as duas novas tecnologias envolvendo os princípios básicos de GPS, sendo estas o GPS Diferencial e o GPS Assistido.

Capítulo 5

TÉCNICAS DE LOCALIZAÇÃO CENTRADAS NA REDE

Neste capítulo serão descritas as técnicas de localização onde o processamento da informação é realizado na rede de telefonia e não no aparelho. As técnicas a serem apresentadas são a de Tempo de Chegada, Tempo Diferencial de Chegada e Ângulo de Chegada.

5.1 Tempo de Chegada - ToA

Uma das técnicas empregadas na localização é a do tempo de chegada do sinal proveniente do aparelho móvel à estação base. A distância entre a estação base e o aparelho móvel é medida através do tempo de propagação do sinal entre estes. Geometricamente, obtemos um círculo, centrado na estação base, no qual a estação móvel deverá ser encontrada, Fig 5-7. Utilizando-se pelo menos de três estações bases para resolver as ambigüidades geradas, a posição da estação móvel é calculada por trilateração circular na intersecção dos círculos.

Este método é conhecido como ToA e possui a desvantagem de requerer que a estação móvel atue como um transponder no qual processos de atraso e propagação com linha de visada obstruída podem introduzir um erro. Para sobrepor estas limitações, medidas diferenciais de tempo ao invés de medidas absolutas de tempo podem ser utilizadas [KLU97].

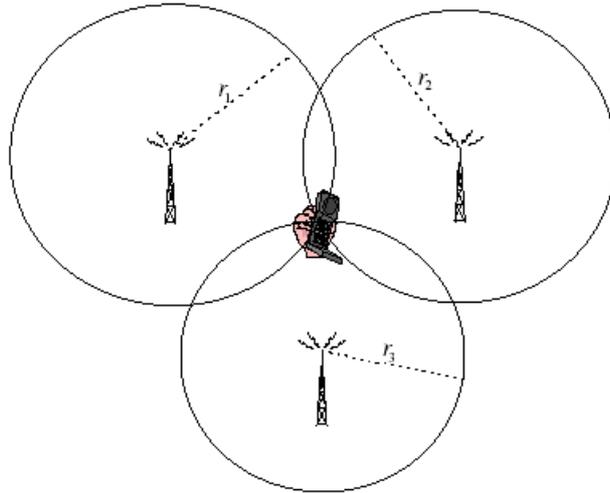


Figura 5-7: *Técnica de trilateração circular.*

5.2 Tempo Diferencial de Chegada - TDoA

Um telefone celular pode “escutar” a uma série de estações de rádio base e medir a diferença de tempo de chegada para cada par. Se, por exemplo, existirem três estações base, duas medidas independentes de TDoA podem ser realizadas, Fig 5-8. Cada medida define um campo hiperbólico no qual o telefone móvel deve estar. A intersecção de dois campos hiperbólicos irá definir a posição do telefone móvel. Se cada estação base escutar as transmissões do telefone móvel, gravar o tempo de chegada do sinal (ToA), e então enviá-lo para uma estação central, medidas de TDoA podem ser derivadas na estação central e o campo hiperbólico derivado fornecerá a localização da estação móvel, Fig 5-9. Em algumas circunstâncias é possível que as hipérboles se interceptem em duas localizações gerando ambigüidade, esta pode ser resolvida por uma terceira medida de TDoA ou alguma outra informação disponível.

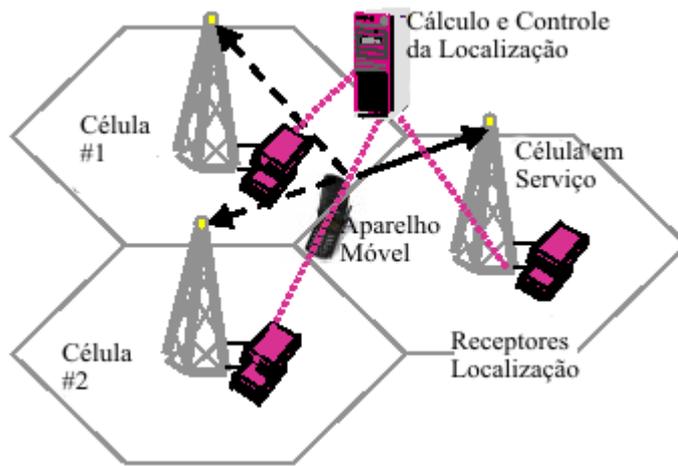


Figura 5-8: Técnica TDoA. *Necessário um mínimo de três células para medir o tempo de chegada do sinal proveniente do Aparelho Móvel as Estações Rádio Base. A solução de localização é baseada no tempo diferencial de chegada do sinal em pares de células.*

Um requisito importante para os sistemas de TDoA é a necessidade de existir algum meio de estabelecer a sincronização das estações base, porque a transmissão originária do telefone móvel é detectada em diversas estações base, portanto deve existir uma relação de tempo entre o relógio do receptor e as estações base, com a penalidade de ocorrem erros se não houver sincronização.

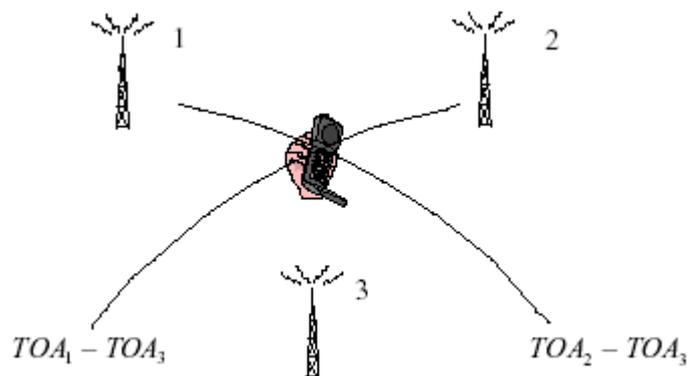


Figura 5-9: Técnica de trilateração hiperbólica.

Em resumo, esta técnica procura obter o tempo exato de chegada do sinal de rádio em três ou mais células separadas. Devido às ondas de rádio trafegarem a uma velocidade constante e conhecida (velocidade da luz), calculando o tempo de chegada em pares de células, é possível calcular hipérbolas de onde provém o sinal. Por

trilateração hiperbólica podemos calcular o ponto de intersecção que será correspondente ao ponto de localização da estação móvel [CAF98],[SAK92].

5.3 Ângulo de Chegada - AoA

Esta técnica é utilizada para estimar a localização da base móvel (celular) por medidas do ângulo de captação de um sinal da estação móvel a diversas estações bases, Fig 5-10, medidas estas realizadas em suas antenas, em resumo, esta técnica visa determinar a direção de chegada do sinal em uma célula. A diferença de fase dos elementos que compõem o sinal atingindo um conjunto de antenas fornecem o ângulo de chegada, e o ponto de intersecção calculado por triangulação fornece a localização, Fig 5-11.

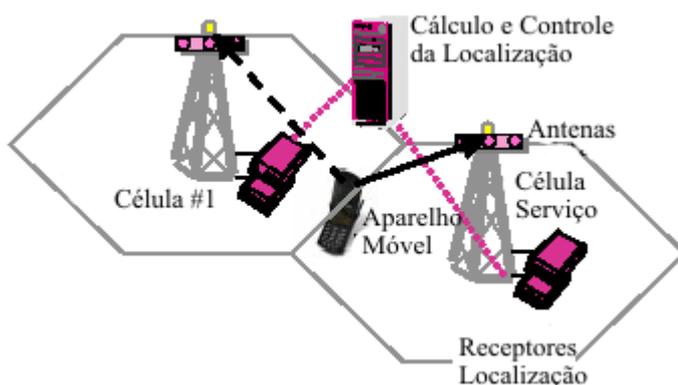


Figura 5-10: Técnica AoA. Necessário um mínimo de duas células para medir o ângulo de chegada do sinal proveniente do Aparelho Móvel as Estações Rádio Base. A solução de localização é baseada no ângulo de chegada do sinal.

O espalhamento do sinal nas proximidades e em volta da base móvel e da estação base irão afetar as medidas do ângulo de chegada. Na ausência de um componente de visada, a antena irá se fixar no sinal refletido, o qual, pode não estar vindo da estação móvel. Mesmo que um componente de visada esteja presente, o multipercurso ainda irá interferir com a medida do ângulo. A precisão do método de AoA diminui com o aumento da distância entre a estação base e a estação móvel, devido a limitações nos periféricos utilizados para medir o ângulo de chegada assim como para medir as mudanças no espalhamento.

Para macrocélulas, objetos que possam causar espalhamento encontram-se a uma distância relativamente próxima da base móvel, já que freqüentemente as estações base estão elevadas em relação ao terreno. Isto resulta em uma recepção dos sinais

provenientes de todas as direções em uma base móvel enquanto que na estação base a recepção do sinal será proveniente de um pequeno espalhamento.

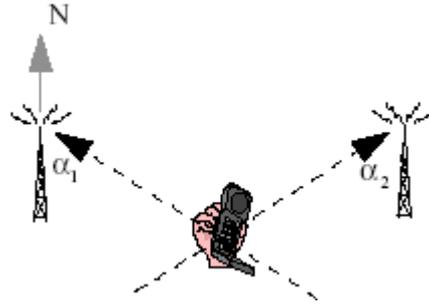


Figura 5-11: Técnica de angulação.

Um modelo muito aceito de propagação em macrocélulas considera um ambiente como sendo um anel de espalhamento sobre a estação móvel, com a estação base completamente fora deste anel. Neste o espalhamento primário está num anel de raio “ α ” sobre a estação móvel, a distância entre a estação base e a estação móvel, “ d ”, é considerada como sendo muito maior do que “ α ”. Assumindo que a estação móvel utilize uma antena omnidirecional, tal que:

$$p(\gamma) = \frac{1}{2\pi}, \rightarrow 0 \leq \gamma \leq 2\pi \quad (3)$$

A distribuição do AoA na estação base, “ θ ”, é dado por:

$$\frac{\partial \gamma}{\partial \theta} p(\theta) = 2p(\gamma) \quad (4)$$

tal que da geometria:

$$\partial \gamma \cong \left[\left(\frac{\alpha}{d} \right)^2 - (\beta - \theta)^2 \right]^{-1/2} \partial \theta \quad (5)$$

e:

$$p(\theta) = \int_0^K \left[\left(\frac{\alpha}{d} \right)^2 - (\beta - \theta)^2 \right]^{-1/2} \rightarrow \beta - \theta_m \leq \theta \leq \beta + \theta_m \quad (6)$$

onde:

$$\theta_m = \arctan (\alpha/d) \quad (7)$$

$$K = \frac{1}{2 \arcsin\left(\frac{d\theta_m}{\alpha}\right)} \quad (8)$$

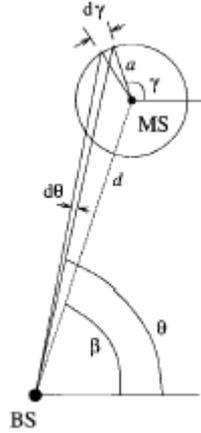


Figura 5-12: Geometria MS (estação móvel) – BS (estação base).

É importante notar que para $d \gg \alpha$, é possível utilizar uma pequena aproximação de ângulo, com o resultado de $\theta_m \approx \alpha/d$ e $K \approx 1/\pi$. [GAN72][JAK94].

O modelo $p(\theta)$ provê a distribuição de AoA para sinais chegando na estação base. Com três estações base, as posições das linhas se interceptam em três pontos: (x_1, y_1) , (x_2, y_2) e (x_3, y_3) . A estimativa de localização (x, y) é obtida pela média das coordenadas dos pontos na intersecção, i.e., $x = (x_1 + x_2 + x_3)/3$ e $y = (y_1 + y_2 + y_3)/3$. [CAF98]

5.4 Cálculo das estimativas de ToA e TDoA

Os métodos baseados em tempo necessitam de estimativas precisas dos ToAs e TDoAs que chegam nas estações base. Os métodos convencionais para calcular estas estimativas de tempo utilizam técnicas de correlação. Um método direto de se estimar o TDoA é formar uma correlação cruzada entre os sinais recebidos em pares de estações bases. Supondo que o sinal $d(t)$ seja recebido na ERB_a, corrompido por ruídos do tipo $n_a(t)$ de modo que $s_a(t) = n_a(t) + d(t)$. O mesmo sinal é recebido em um ERB_b com um atraso de “D” e também é corrompido por um ruído $n_b(t)$, sendo que $s_b(t) = n_b(t) + d(t-D)$. A função de correlação cruzada destes sinais é:

$$C_{A,B}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T s_a(t) s_b(t + \tau) dt \quad (9)$$

A estimativa TDoA é o valor τ que maximiza $C_{A,B}(\tau)$. Esta aproximação requer que os sinais analógicos $s_a(t)$ e $s_b(t)$ sejam digitalizados e transmitidos a um centro de processamento comum. Ainda, uma referência de tempo específica é requerida de cada estação base.

A estimativa de ToA pode ser derivada do código de aquisição de pseudo ruído e algoritmos de rastreamento empregados em receptores de espalhamento espectral. A estimativa do tempo de atraso normalmente acontece em duas fases, uma estimativa grosseira e uma estimativa fina.

Outro método para se calcular a estimativa de ToA é o método dos mínimos quadrados, minimizando-se a soma dos quadrados em uma função não-linear. Este algoritmo assume que a estação móvel, localizada em (x_0, y_0) , transmite uma forma de onda no tempo t_0 . Os n receptores de estações bases localizadas nas coordenadas (x_1, y_1) , $(x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ recebem esta onda nos tempos $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$. Para fins de cálculo consideramos a função:

$$f_i(x) = c(\tau_i - \tau) - \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \quad (10)$$

onde c é a velocidade da luz e $x=(x,y,\tau)^T$.

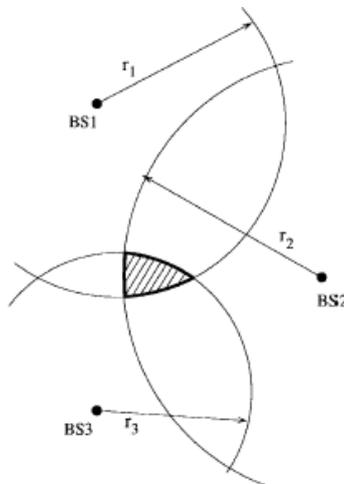


Figura 5-13: Região de localização para ToA. A localização da estação móvel fica dentro da área sombreada dos círculos de raio $c(\tau_i - \tau)$ centrado na estação base genérica i (BS _{i}).

Para obter a estimativa da localização dos dados ToA, a seguinte função é gerada:

$$F(x) = \sum_{i=1}^N \lambda_i^2 f_i^2(x) \quad (11)$$

onde λ_{2S} pode ser escolhido para refletir a confiabilidade do sinal recebido na estação base i . A estimativa da localização é determinada minimizando-se a função $F(x)$.

Podemos observar que TDoA envolve dois estágios distintos na técnica de estimativa de posição hiperbólica. No primeiro estágio, uma estimativa do tempo de atraso é utilizado para descobrir a diferença do tempo de chegada (TDoA), e com ele podemos calcular as diferenças de medidas diferenciais entre as estações bases. Em um segundo estágio, um algoritmo é utilizado para determinar a estimativa de localização de posição resolvendo-se as equações hiperbólicas lineares resultantes do primeiro estágio.

Portanto, TDoA pode ser estimado por dois métodos:

1. Subtraindo as medidas de ToA de duas estações rádio base.
2. Correlacionando duas versões de sinais de confirmação em duas erbs.

O segundo método, conhecido como método de Correlação-cruzada generalizada (CCG) é o mais robusto.

Partindo-se da equação 10, a diferença de medidas entre as estações base com respeito a BS1 é dada por:

$$R_{i,1} = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} - \sqrt{(X_1 - x)^2 + (Y_1 - y)^2} \quad (12)$$

Nós sabemos que,

$$R_{i,1} = R_i - R_1$$

Então,

$$R_{i,1}^2 + 2R_{i,1}R_1 = X_i^2 + Y_i^2 - 2X_{i,1}x - 2Y_{i,1}y + x^2 + y^2 \quad (13)$$

$$\text{sendo que: } \begin{pmatrix} X_1, Y_1 = (0, 0) \\ X_{i,1} = X_i - X_1 \\ Y_{i,1} = Y_i - Y_1 \end{pmatrix}$$

A equação acima é linear com a origem de localização (x,y) e a distância do móvel da estação base de controle R_1 como a variável desconhecida. Se x e y puderem ser expressos em termos de R_1 então a solução para R_1 pode ser obtida da equação

$$R_1^2 = x^2 + y^2 \quad [\text{já que } (X_1, Y_1) = (0, 0)] \quad (14)$$

Conhecendo-se R_1 , nós podemos estimar a localização de posição do móvel [CAF98],[DRA98],[STU98].

Em um sistema celular, a técnica acima poderia ser empregada segundo os seguintes passos:

1. O móvel requisita um serviço de localização.
2. A estação base de controle detecta o usuário e pelo menos duas estações rádios base adicionais tomam parte no processo.
3. Cada estação base analisa o sinal recebido em um período de tempo sincronizado.
4. O TDoA dos sinais é determinado pelo método de correlação-cruzada de duas versões do sinal em pares de estações bases.
5. O valor de pico da correlação-cruzada nos fornece uma estimativa de TDoA para os sinais chegando em duas estações base.
6. Os TDoAs estimados são transformados em medidas de diferenças de distância entre as estações base utilizando-se a equação 11.
7. A transformação resulta em um conjunto de equações diferenciais.
8. Para pelo menos $i=2,3$, a equação 12 pode ser utilizada para expressar x e y em termos de R_1 .
9. A equação 13 é utilizada para encontrar a solução de R_1 .

5.5 Sumário do Capítulo

Neste capítulo foram descritas as técnicas de localização centradas na rede descrevendo seus fundamentos e metodologia de cálculo conforme encontrado em literatura. As técnicas apresentadas foram as de Ângulo de Chegada (AoA), Tempo Diferencial de Chegada (TDoA) e Tempo de Chegada (TDoA).

Capítulo 6

FUSÃO DE DADOS

Neste capítulo será descrita a técnica de fusão de dados, a qual implica em combinar os dados obtidos de diferentes sensores, e relacionar as informações acessando bancos de dados significativos, para alcançar uma maior precisão, ao invés de utilizarmos um único sensor. Ainda, neste capítulo será proposto um modelo de fusão de dados para ser utilizado em esquemas híbridos de localização envolvendo GPS Assistido com a técnica de Tempo Diferencial de Chegada, e dentro deste modelo será proposto duas metodologias na hierarquia de primeiro e quarto nível da fusão.

6.1 Princípios

O advento de sensores sofisticados, técnicas de processamento avançadas, e equipamentos de processamento rápido estão tornando a implementação da fusão de dados uma opção viável de se pôr em prática.

É intuitivo que quando uma mesma fonte de dados é reunida utilizando-se sensores múltiplos e independentes, estes dados devem resultar em um ganho estatístico sobre uma única fonte de dados. Na arquitetura de fusão de dados, decisões ou inferências são feitas em níveis hierárquicos diferentes. Identificar características de uma entidade e sua localização representam a base de decisão ou inferência do processo. Contudo, transformações hierárquicas entre os dados observados e uma inferência ou decisão correspondente é a característica básica da tecnologia de fusão de dados.

A fusão de dados é amplamente utilizada em aplicações civil e militar. A determinação da posição e velocidade de um objeto em movimento a partir de uma série de medidas de tempo é um problema clássico de estimativa estatística. Métodos de estimativas e detecções clássicas são tipicamente utilizadas para as técnicas de fusão de dados.

Nos últimos anos a tecnologia de fusão de dados avançou rapidamente de uma coleção de técnicas perdidas a uma disciplina emergente de engenharia com uma terminologia padrão. A falta de uma terminologia unificadora impedia a transferência de tecnologia de um grupo para outro nesta área. Com um o intuito de melhorar as comunicações entre os pesquisadores militares e civis e os desenvolvedores de sistema, a JDL (Joint Director of Laboratories), estabeleceu um grupo de trabalho de fusão de dados que desenvolveu uma arquitetura genérica para fusão de dados em 1972.[RAH01]

6.2 Arquitetura JDL

Arquitetura de fusão de dados JDL constitui um modelo conceitual. Ela identifica e categoriza o processo, funções, e técnicas aplicáveis a fusão de dados. Quando desenvolvido, esse processo de modelagem tinha o intuito de ser genérico para utilização em múltiplas aplicações em diversas áreas. Por esta razão é considerado um modelo orientado funcional de fusão de dados.

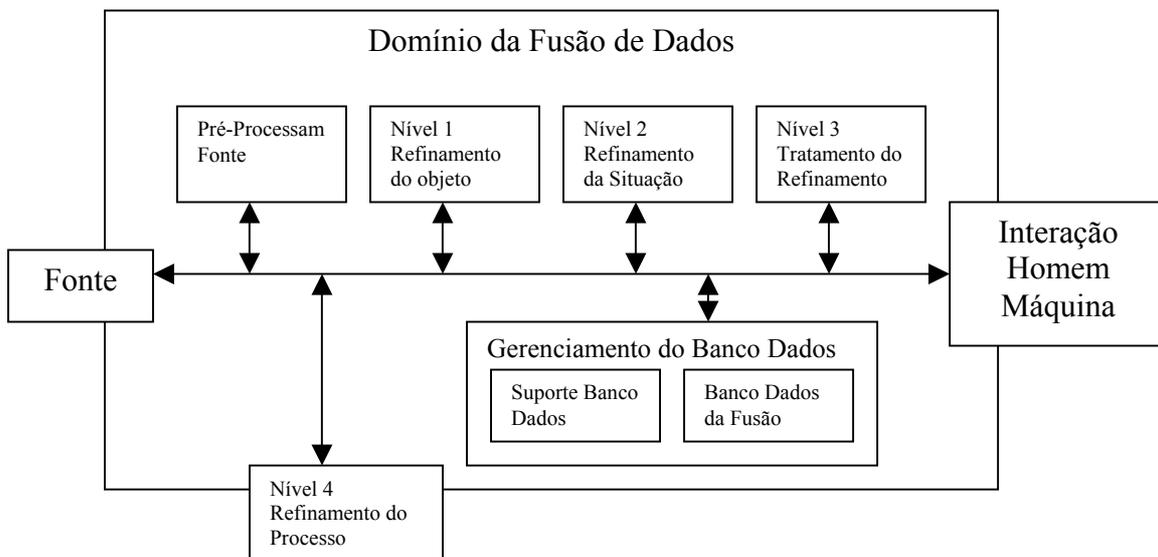


Figura 6-1: Modelo Fusão JDL

O modelo que é conceitualizado pelas fontes de informação, interação homem-máquina, processamento da fonte, processamento Nível 1, processamento Nível 2, processamento Nível 3, e processamento Nível 4. A separação dos processos em níveis diferentes é um parcelamento artificial. Sistemas reais de fusão de dados são

implementados integrando-se e inter-relacionando as funções em um processo como um todo.

As fontes de informação, do lado esquerdo da fig.6.1 provêem informações em uma variedade de níveis. A informação pode conter dados de um sensor ou a *priori*, informações de um banco de dados. Os sensores podem ser sensores locais associados com um sistema de fusão de dados ou sensores distribuídos com enlace eletrônico em um sistema de fusão. A *priori*, a informação pode constituir informação de referência, informação geográfica ou qualquer outro tipo de informação relevante.

O processo de fusão de dados deve trabalhar com os dados que são mais pertinentes às condições existentes e ao mesmo tempo reduzir o carregamento do processo. Esta função é realizada no bloco de pré-processamento da fonte. Um caso especial de pré-processamento é a síntese de múltiplos dados que compõem um conjunto de sensores para estimar a localização e velocidade de um alvo, onde se faz necessário que todos os dados sejam previamente visualizados e alocados em processos apropriados.

O Nível 1 opera sobre dados puros e realiza múltiplas funções. Primeiramente ele transforma os dados para um conjunto definido de unidades e coordenadas, então estima os atributos do objeto, e refina a predição baseada em estimativas estatísticas. Em resumo, o processamento no Nível 1 é responsável por combinar, parametrizar e identificar informações locais para obter representações refinadas de objetos individuais.

O Nível 2 tem seu foco em relacionar informações para determinar o significado de um número de entidades colecionadas separadamente. Este nível tenta melhorar a descrição entre as relações atuais dos objetos e eventos no contexto de seu ambiente.

O Nível 3 utiliza modelos rápidos de agregamento de estimativas assim como predizer uma projeção da situação atual baseado em múltiplas perspectivas de avaliação. Se necessário o Nível 3 deduzirá hipóteses alternativas das entradas de dados no processo.

O Nível 4 funciona como um cão-de-guarda dos outros processos, é também conhecido como *meta-processo*, significando que é o processo interessado nos outros processos. Ela monitora a performance da fusão de dados e identifica informações que permitam melhorar a saída de dados dos diversos níveis.

Gerenciamento do banco de dados atua como o coração deste modelo. Ele realiza recuperação de dados, armazenamento, arquivamento, pesquisa, e proteção dos dados de maneira que possa dar suporte a todo processo em todos os seus níveis.

Interação homem-computador incorpora métodos multimídia para interações humanas. Comunicação dos resultados dos sistemas de fusão pode ocorrer através de diferentes tipos de mídia, como via monitores de vídeo, notificações por alerta ou textos impressos.

Este modelo de fusão de dados é útil para entendimento, mas deve ser reestruturado para desenvolver uma arquitetura para sistemas reais .[HAL97], [KLE00]

6.3 Modelo de Fusão de Dados para Esquema Híbrido entre AGPS e TDoA.

A sessão 6.1 discutiu o modelo genérico JDL, o qual é útil para compreensão dos conceitos básicos do processo. Como o modelo JDL é um modelo funcionalmente orientado, para tornar este aplicável a localização de posição, este trabalho propõe uma arquitetura utilizando o primeiro, segundo e quarto nível da fusão. A figura 6-2 demonstra o modelo proposto.

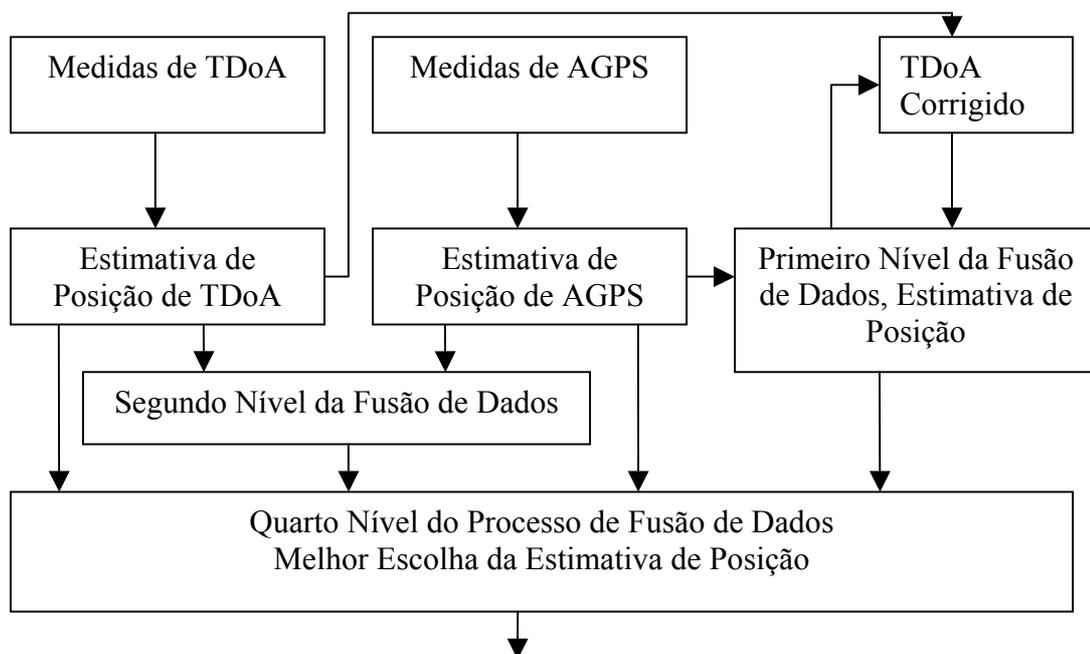


Figura 6-2: Modelo Proposto de Fusão de Dados para Estimativa da Posição.

O principal objetivo desta técnica é realizar a fusão dos dados de TDoA com AGPS, obtidos independentemente, para obter uma estimativa melhor do que as estimativas individuais. É necessário salientar que, na arquitetura proposta, a fusão é realizada com dados de TDoA/AGPS sendo que a estimativa final de posição é gerada utilizando-se dois métodos diferentes. É importante mencionar que dois métodos diferentes apresentam propensão a erros e variações diferenciados. A estrutura proposta de estimativa de posição utiliza quatro aproximações diferentes antes de fazer a escolha final. A primeira estimativa é feita somente com medidas de TDoA utilizando o algoritmo descrito na secção 5.5 Logo após a estimativa é realizada utilizando-se somente medidas de AGPS segundo o algoritmos descrito na secção 4.3. O primeiro nível da fusão de dados é alcançado combinando-se os dados de TDoA e AGPS. De acordo com os padrões de fusão de dados, somente tipos similares de dados podem ser utilizados na fusão. Portanto, os dados de TDoA devem ser convertidos para seus correspondentes em AGPS anteriormente a fusão do primeiro nível. Neste nível é utilizado um fator de correção, baseado nas medidas tomadas pelo Sistema DGPS situado em uma estação rádio base. A quarta estimativa de posição acontece no segundo nível da hierarquia. Neste nível a inferência Bayesiana é utilizada para produzir novas estimativas ao combinar as estimativas de TDoA e AGPS. Todas estas estimativas são então alimentadas em um processador nível-4, que tomara a decisão de qual das quatro estimativas de posição, oferece a melhor precisão.

6.3.1 Primeiro nível da fusão de dados

No primeiro nível do processo de fusão de dados, este trabalho propõe um modelo onde será gerado um grupo de medidas aleatórias que serão transformadas em medidas independentes de TDoA e de AGPS, este processo será realizado baseado no percentual de erro de cada método, conforme a secção 3.3. As medidas de TDoA serão corrigidas neste nível, baseando-se em um fator de correção, gerado pelas medidas tomadas pelo Sistema DGPS.

Sendo, $AGPS_{ma}$ = média obtida para os valores de AGPS no instante de tempo anterior a atual medição,

Para a avaliação de primeiro nível corrigiremos TDoA pela seguinte equação proposta:

$$\text{TDoA corrigido} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{TDoA}_i - \text{AGPS}_{ma})}{n} \quad (14)$$

Sendo este aplicado individualmente para as posições X e Y de um sistema de coordenadas.

6.3.2 Segundo nível da fusão de dados

O segundo nível da fusão utiliza a Inferência Bayesiana [IVE84] para melhorar a estimativa através de um processo estatístico. Se x_0 e σ_0^2 correspondem a média e a variância respectivamente da estimativa de TDoA, e x_m e σ_m^2 a média e variância respectivas da estimativa de AGPS, então x_c e σ_c^2 corresponderia a uma única estimativa utilizando a inferência bayesiana. A probabilidade de distribuição da estimativa antiga é atualizada dependendo da probabilidade de distribuição dos novos dados e do total de dados disponíveis. Segundo princípio da inferência bayesiana o centro de massa x_c serve como uma estimativa melhorada de x_0 e x_m , e a variância da nova distribuição indica a confiança da estimativa aprimorada.

Como as medidas de TDoA e AGPS apresentam uma distribuição Gaussiana, o centro de massa da nova distribuição, ou em outras palavras, a posição fusionada torna-se,

$$x_c = \frac{\frac{x_0}{\sigma_0^2} + \frac{x_m}{\sigma_m^2}}{\frac{1}{\sigma_0^2} + \frac{1}{\sigma_m^2}} = x_0 + \frac{\sigma_0^2}{\sigma_0^2 + \sigma_m^2} (x_m - x_0) \quad (15)$$

A variância é dada por,

$$\sigma_c^2 = \frac{1}{\frac{1}{\sigma_0^2} + \frac{1}{\sigma_m^2}} \quad (16)$$

Os resultados utilizando-se este tipo de simulação serão apresentados no próximo capítulo.

6.3.3 Quarto nível da fusão de dados

O Nível 4 é o processo onde a decisão é tomada, no qual uma de todas as estimativas representa a melhor escolha. Para auxiliar na decisão, este nível utilizará as seguintes considerações propostas:

- A medida de AGPS prevalece para todos os casos em que não exista obstrução na linha de visada para com os satélites;
- Caso o aparelho móvel encontre-se em baixa velocidade ou estacionário, até no máximo 20km/h, como exemplo podemos citar um indivíduo andando a 7 km/h, a opção recairá sobre a medida de AGPS;
- Caso o aparelho móvel encontre-se em alta velocidade, como estando dentro de um veículo a 90 km/h, a opção recairá sobre o segundo nível da fusão;
- Caso o aparelho encontre-se em uma área sombreada, em que não seja possível a captação do sinal de GPS, irá ser verificado a diferença da medida de distância para a última medida de AGPS
 - sendo esta menor do que 100m, será escolhido o primeiro nível da fusão,
 - sendo esta maior do que 100m, será testada a condição para apenas TDoA ou TDoA corrigido, recaindo no primeiro nível da fusão de dados.
- Caso o aparelho se encontre muito próximo a estação rádio base, a avaliação será feita levando-se em conta as características supra citadas, pois, a técnica de TDoA apresenta baixa performance quando próxima a BS.

6.4 Sumário do Capítulo

Neste capítulo foi descrito o modelo de fusão de dados JDL e também ficou evidenciado os diferentes níveis de fusão de dados que estão disponíveis para combinar dados de fontes diferentes. Ainda, neste capítulo foi proposto um modelo para fusão de dados, e dentro deste modelo, proposto um primeiro nível na hierarquia da fusão onde ocorre a correção do Tempo Diferencial de Chegada do Sinal, foi demonstrado um segundo nível utilizando-se a técnica de Inferência Bayesiana conforme literatura e proposto um quarto nível para avaliar qual a melhor medida de posicionamento em esquemas híbrido de localização envolvendo GPS Assistido com a técnica de Tempo Diferencial de Chegada.

Capítulo 7

MODELOS DE SIMULAÇÃO PARA FUSÃO DE DADOS

Neste capítulo, serão mostrados os resultados obtidos para fusão de dados. Para tal serão simulados cinco condições diferenciadas, Fusão com Móvel Estacionário em Área não Sombreada, Fusão Com Móvel em Movimento a Baixa Velocidade em Área não Sombreada, Fusão com Móvel em Movimento a Baixa Velocidade em Área com Sombreamento para AGPS, Fusão com Móvel em Movimento a Baixa Velocidade em Área com Sombreamento para AGPS e para TDoA, e Fusão com Móvel em Movimento a Alta Velocidade em Área com Sombreamento para AGPS e para TDoA.

Para esta simulação, foi desenvolvido um programa em linguagem Java, para o processamento dos dados de AGPS e TDoA, e geração de dados de saída para TDoA Corrigido, Centro de Massa calculado pela Inferência Bayesiana e Avaliação do Quarto Nível da Fusão conforme modelo da Figura 6.2. Os dados de AGPS e TDoA são simulados utilizando-se uma distribuição probabilística uniforme de erros conforme cada caso, e margem de erro encontrada em literatura. Foi acrescida uma porcentagem extra de 10% na margem de erro como fator de segurança, e a partir destes dados são efetuados os cálculos do primeiro, segundo e quarto nível da fusão.

7.1 Fusão de Dados em Área não Sombreada com Móvel estacionário

Nesta secção são apresentados os resultados para uma simulação onde o aparelho móvel estaria parado em uma área de superfície quadrada. Este caso reflete a situação de um carro quebrado em uma via na periferia de uma cidade, ou em ambiente rural, com o usuário solicitado um serviço de reparos, ou a situação de um usuário sentado em um parque ou simplesmente perdido em uma determinada região rural. A área ao redor não apresenta anteparos obstruindo o sinal.

7.1.1 Modelo de Simulação

As estações base configuradas para esta simulação estão demonstradas na figura 7-1. Estão participando três estações base, e todas estão dispostas nos vértices de um quadrado. O céu apresenta-se limpo, com condição de visada de 4 satélites para o aparelho móvel, e o mesmo encontra-se parado em uma área sem quaisquer tipos de obstrução, ou seja com perfeita linha de visada com as ERBs.

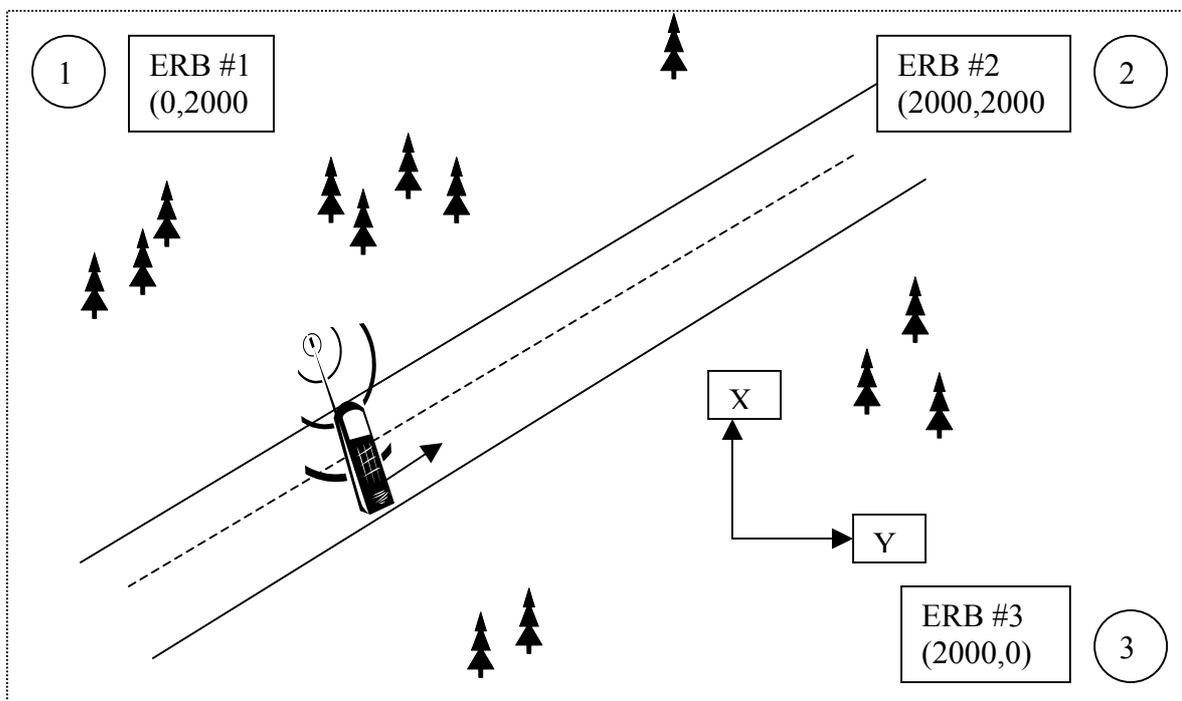


Figura 7-14: Configuração das Estações Base e Percorso.

A estação base 1 é a estação de controle, o que significa que o móvel encontra-se na célula em que a ERB #1 atua como estação base.

7.1.2 Estimativa da Trajetória do Móvel

Nesta simulação está sendo considerado que o móvel encontra-se estacionário em diversos pontos distintos da equação de reta $Y = aX + b$, onde $b=0$ e $a=1$. As medidas tomadas em pontos aleatórios desta reta encontram-se na Tabela 7.1. Nesta simulação o Erro de AGPS apresenta média aproximada de 30metros conforme literatura e Tabela 3-3 do Capítulo 3 e Erro de TDOA com média aproximada de 80metros [Kennedy et Al.1995].

Posição Real (x,y)	Posição AGPS (x _m ,y _m)	Posição TDoA (x ₀ ,y ₀)	Posição TDoA corrigido (x ₀ ,y ₀) 1º nível fusão	Centro Massa (x _c ,y _c) 2º nível fusão
(1,1)	(30,33)	(81;80)	(36,37)	(42,41)
(56,56)	(77,80)	(127,131)	(65,69)	(93,95)
(211,211)	(230,232)	(296,299)	(240,245)	(258,255)
(529,529)	(554,556)	(613,614)	(563,564)	(575,574)
(991,991)	(1020,1015)	(1069,1072)	(1010,1009)	(1033,1039)
(1541,1541)	(1570,1568)	(1628,1620)	(1567,1566)	(1583,1581)

Tabela 7.1 – Fusão de Dados em Área não Sombreada com Móvel Estacionário

Nestas condições, observa-se a precisão das médias coletadas de AGPS em relação ao Centro de Massa (2º nível da fusão) e as médias coletadas de TDoA, sendo que em algumas situações o modelo proposto para correção (1º nível da fusão) obtém melhores resultados, sendo os mesmos muito aproximados aos dados encontrados para AGPS.

A escolha pela medida a ser transmitida pela ERB (4º nível da fusão) corresponderá a de AGPS para móvel estacionário em área não sombreada.

7.1.3 Amostragem e Erro nas Distâncias

O gráfico 1, demonstra a variação das medidas ao longo do percurso, sendo que o comportamento dos dados para AGPS, é o que se situa mais próximo do posicionamento real do aparelho móvel.

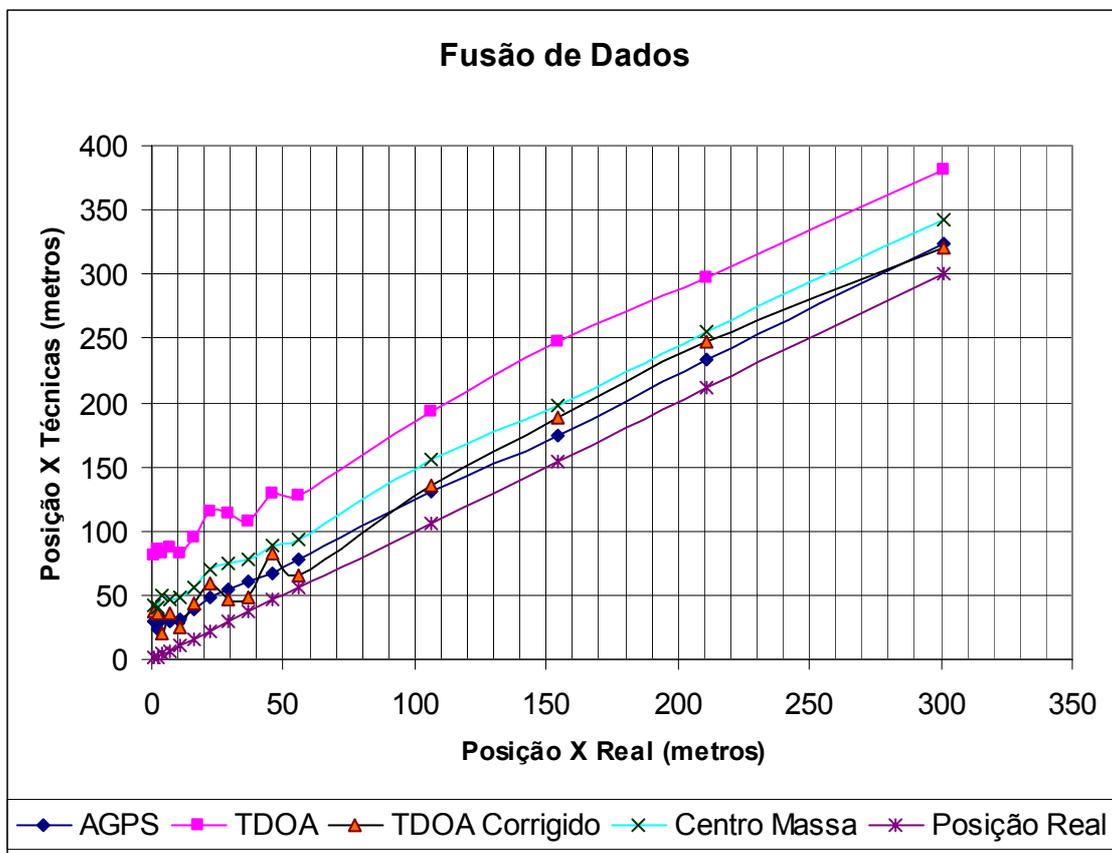


Gráfico 1: Gráfico de Dispersão para Móvel Estacionário

Foram simuladas 20 amostras durante o intervalo de 1 segundo para cada uma das posições de AGPS e TDoA, e utilizados os valores médios correspondentes para plotagem no gráfico e cálculos na Tabela 7.2, sendo que esta apresenta o erro de distância obtido para as diferentes medidas.

X,Y Real	erro AGPS	Erro TDoA	Erro TDoA Corrigido 1º nível fusão	Erro Centro Massa 2º nível fusão
(1,1)	(29,32)	(80,79)	(34,35)	(40,39)
(56,56)	(21,24)	(71,75)	(19,13)	(37,39)
(211,211)	(19,21)	(85,88)	(29,34)	(47,44)
(529,529)	(25,27)	(84,85)	(34,35)	(46,45)
(991,991)	(29,24)	(78,81)	(19,18)	(42,48)
(1541,1541)	(29,27)	(87,79)	(26,25)	(42,40)

Tabela 7.2: *Erros das técnicas de localização, com medidas de distância em metros.*

Verificamos nesta tabela, que o modelo proposto para nível 1 da Fusão de Dados, fornece medidas muito próximas das esperadas pelo método de AGPS.

7.2 Fusão de Dados em Área não Sombreada com Móvel em Movimento a baixa velocidade.

Nesta secção é apresentado os resultados para uma simulação onde o aparelho móvel esta se movimentando em uma área de superfície quadrada, a baixa velocidade, este caso reflete a situação de um pedestre em movimento dentro de um parque ou em um bairro pouco populoso na periferia da cidade, com o usuário solicitado um serviço de reconhecimento, a área ao redor não apresenta anteparos obstruindo o sinal, ou seja o aparelho apresenta linha de visada com as ERBs assim como para com os satélites.

7.2.1 Modelo de Simulação

As estações base configuradas para esta simulação estão demonstradas na figura 7.2. Estão participando três estações base, e todas estão dispostas nos vértices de um quadrado. O céu apresenta-se limpo, com condição de visada de 4 satélites para o aparelho móvel, e o mesmo está se deslocando por uma área sem quaisquer tipos de obstrução.

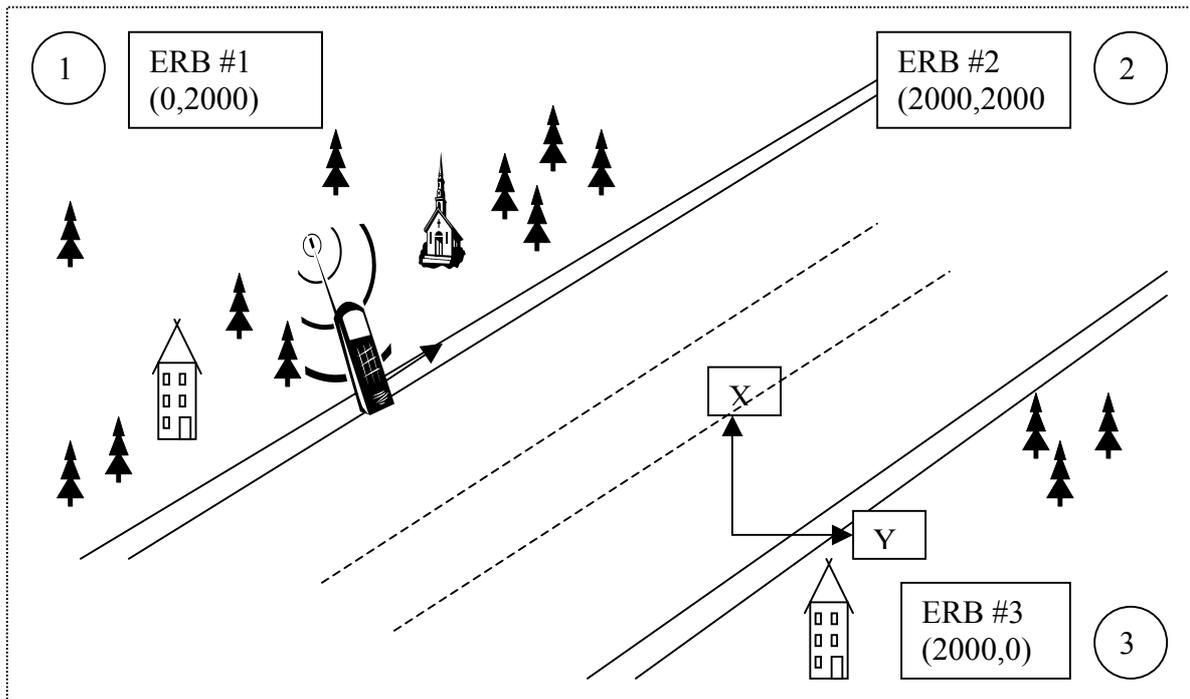


Figura 7-2: *Configuração das Estações Base e Percurso*

Tal modelo é semelhante ao apresentado na Fig.7.1, onde a estação base 1 é a estação de controle, o que significa que o móvel encontra-se na célula em que a ERB #1 atua como estação base.

7.2.2 Estimativa da Trajetória do Móvel

Nesta simulação o móvel encontra-se em movimento a uma velocidade inicial de 3,6km/h, seguindo a equação de uma linha reta $Y = aX + b$, onde $b=0$ e $a=1$ e “X” varia conforme a equação $X = X_0 + v_0 t$, onde X_0 é baseado na medida anterior da última localização e v_0 a velocidade inicial. Podemos observar as medidas coletadas na Tabela 7.3. Nesta simulação o Erro de AGPS tem média aproximada de 30metros conforme

literatura e tabela 3.3 do Capítulo 3 e Erro de TDoA com média aproximada de 80metros [Kennedy et Al.1995].

Posição Real (x,y)	Posição AGPS (x_m,y_m)	Posição TDoA (x₀,y₀)	Posição TDoA corrigido (x₀,y₀) 1º nível fusão	Centro Massa (x_c,y_c) 2º nível fusão
(1,1)	(33,31)	(90,93)	(39,40)	(45,46)
(56,56)	(75,71)	(131,126)	(68,70)	(94,96)
(211,211)	(230,228)	(290,283)	(245,240)	(251,247)
(529,529)	(560,549)	(620,611)	(566,558)	(577,570)
(991,991)	(1024,1032)	(1079,1075)	(1014,1021)	(1041,1048)
(1541,1541)	(1570,1561)	(1621,1609)	(1568,1558)	(1584,1574)

Tabela 7.3: *Fusão de Dados em Área não sombreada com móvel em movimento*

Neste modelo, assim como no anterior, observa-se a precisão da medida de AGPS em relação ao Centro de Massa (2º nível da fusão) e a medida de TDoA, e em algumas situações o modelo proposto para correção (1º nível da fusão) obtém melhores resultados, sendo os mesmos muito aproximados aos dados encontrados para AGPS.

A preferência nesta situação, irá recair sobre as medidas de AGPS, e em baixa velocidade, mais especificamente até 20km/h, ou em condição estacionária, observa-se uma pequena variação na localização comparando-se o erro entre as medidas deste modelo com o da seção 7.1.

7.2.3 Amostragem e Erro nas Distâncias

O gráfico 7.2, demonstra a variação das medidas ao longo do percurso, sendo que o comportamento dos dados para AGPS, é o que se situa mais próximo do posicionamento real do aparelho móvel.

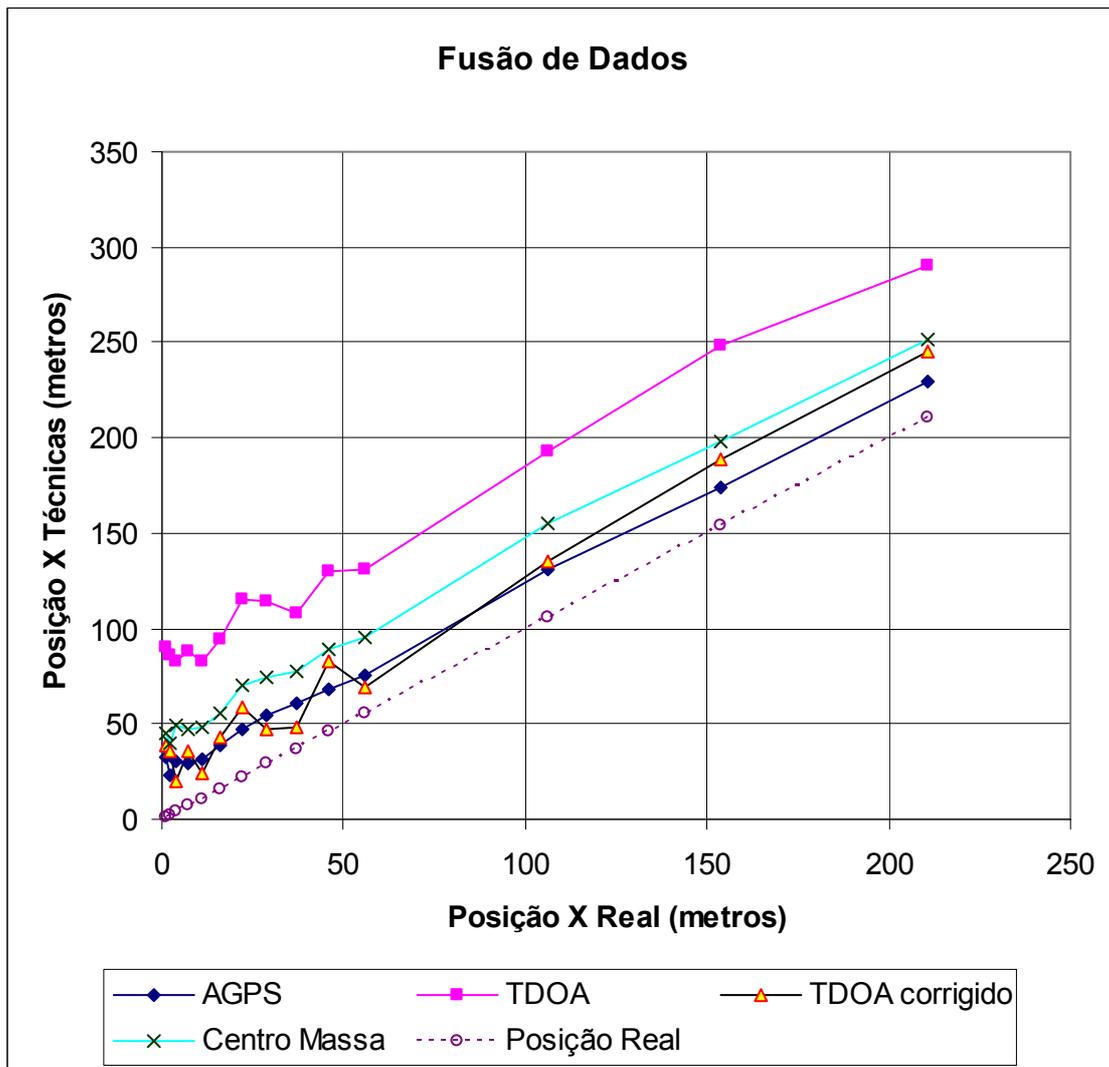


Gráfico 2: Gráfico de Dispersão para Móvel em Baixa Velocidade

Foram simuladas 20 amostras durante o intervalo de 1 segundo para cada uma das posições de AGPS e TDoA, e utilizados os valores médios correspondentes para plotagem no gráfico e finalidades de cálculo na Tabela 7.4, sendo que esta apresenta o erro de distância obtido para as diferentes medidas.

X,Y Real	erro AGPS	erro TDoA	Erro TDoA Corrigido 1º nível fusão	Erro Centro Massa 2º nível fusão
(1,1)	(29,32)	(80,79)	(34,35)	(40,39)
(56,56)	(21,24)	(71,75)	(19,13)	(37,39)
(211,211)	(19,21)	(85,88)	(29,34)	(47,44)
(529,529)	(25,27)	(84,85)	(34,35)	(46,45)
(991,991)	(29,24)	(78,81)	(19,18)	(42,48)
(1541,1541)	(29,27)	(87,79)	(26,25)	(42,40)

Tabela 7.4: *Erros das técnicas de localização, com medidas de distância em metros.*

Nesta tabela, verifica-se que o modelo proposto para nível 1 da Fusão de Dados, fornece medidas muito próximas das esperadas pelo método de AGPS.

7.3 Fusão de Dados em Área com região Sombreada com Móvel em Movimento a baixa velocidade.

Nesta secção é apresentado os resultados para uma simulação onde o aparelho móvel esta se movimentando em uma área de superfície quadrada, a baixa velocidade, sendo que uma parcela desta área corresponde a uma região sombreada, este caso reflete a situação de um pedestre em movimento em uma região de baixa densidade urbana ou se deslocando através da periferia para um centro comercial , com o usuário solicitado um serviço de informação (como chegar a um determinado destino) ou recebendo um serviço comercial móvel (oferta de determinada loja da região). Durante este percurso o usuário ira atravessar uma região em que ocorre a perda do sinal do satélite (um estabelecimento comercial com área de 50m x 50m), ou seja o aparelho apresenta linha

de visada com as ERBs mas em determinado momento perde o sinal proveniente dos satélites.

7.3.1 Modelo de Simulação

As estações base configuradas para esta simulação estão demonstradas na figura 7-3. Estão participando três estações base, e todas estão dispostas nos vértices de um quadrado. O céu apresenta-se limpo, com condição de visada de 4 satélites para o aparelho móvel, e o mesmo está se deslocando por uma área onde irá perder a condição de visada com o satélite durante alguns instantes, entrada na construção em nosso exemplo, para depois retornar a condição inicial, quando o móvel sai da construção e o link com o satélite é restabelecido.

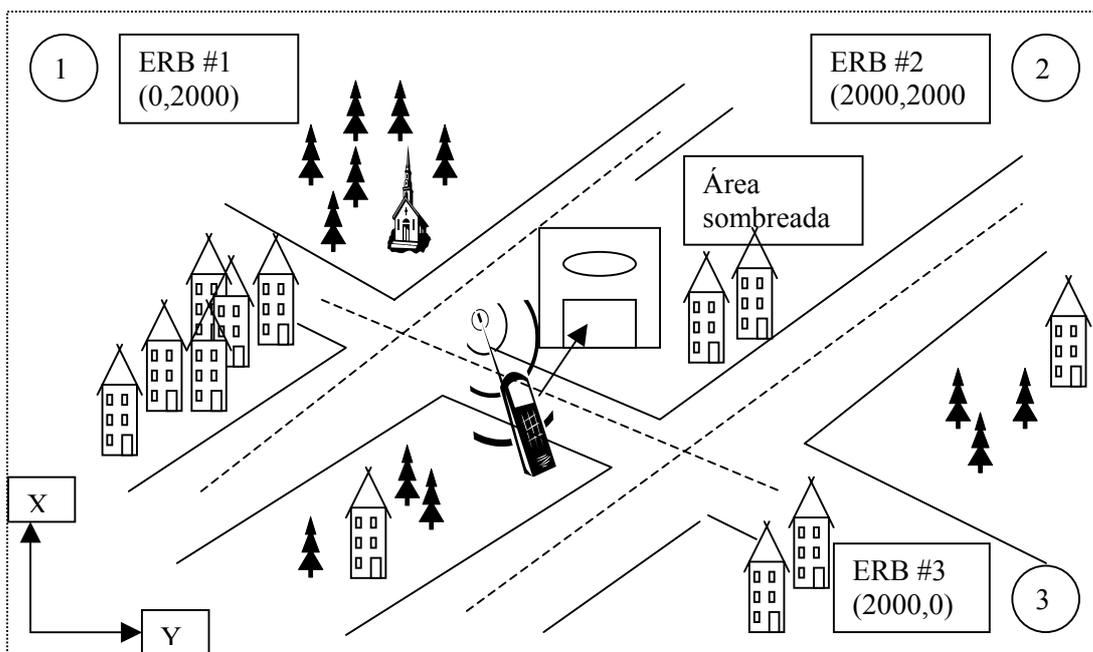


Figura 7-3: Configuração das Estações Base e Percurso

Tal modelo difere dos anteriores, devido ao móvel encontrar anteparo durante alguns instantes. Neste, o móvel situa-se em área onde estação base 1 é a estação de controle, o que significa que o móvel encontra-se na célula em que a ERB #1 atua como estação base.

7.3.2 Estimativa da Trajetória do Móvel

Nesta simulação o móvel encontra-se em movimento a uma velocidade inicial de 3,6km/h, seguindo a equação de uma linha reta $Y = aX + b$, onde $b=0$ e $a=1$ e "X" varia

conforme a equação $X = X_0 + v_0 t$, onde X_0 é baseado na medida anterior e v_0 a velocidade inicial. Podemos observar as posições encontradas na Tabela 7.5. Nesta simulação o Erro de AGPS apresenta média aproximada de 30 metros conforme literatura e tabela 3.3 do Capítulo 3 e Erro de TDoA com média aproximada de 80 metros [Kennedy et Al.1995].

Posição Real (x,y)	Posição AGPS (x_m,y_m)	Posição TDoA (x₀,y₀)	Posição TDoA corrigido (x₀,y₀) 1º nível fusão	Centro Massa (x_c,y_c) 2º nível fusão
(1,1)	(24,28)	(88,91)	(32,33)	(43,44)
(46,46)	(66,60)	(130,121)	(68,62)	(87,81)
(56,56)	(0,0)	(133,119)	(63,60)	(0,0)
(79,79)	(0,0)	(163,155)	(63,60)	(0,0)
(92,92)	(0,0)	(177,180)	(63,60)	(0,0)
(106,106)	(128,135)	(186,180)	(123,124)	(150,153)
(211,211)	(234,240)	(281,288)	(217,221)	(251,254)
(529,529)	(545,560)	(610,617)	(559,563)	(568,571)
(991,991)	(1014,1010)	(1068,1056)	(1015,1010)	(1029,1024)
(1541,)	(1562,1575)	(1616,1601)	(1563,1573)	(1580,1582)

Tabela 7.5: Fusão de Dados em Área com pequena região Sombreada com Móvel em Movimento a baixa velocidade

A área sombreada, neste caso a construção, ocupa as posições (50,50) a (100,100) metros, no interior desta notamos a perda do sinal AGPS, nesta condição o valor de TDoA corrigido é calculado e mantido fixo, baseado na última medida de AGPS obtida.

É possível observar que na região sem sombreado, a melhor opção recai sobre a medida de AGPS. No interior da pequena área sombreada, a melhor opção recairá sobre TDOA corrigido, conforme os parâmetros estabelecidos para o 4º nível da fusão de dados.

7.3.3 Amostragem e Erro nas Distâncias

O gráfico 3, demonstra a variação das medidas ao longo do percurso.

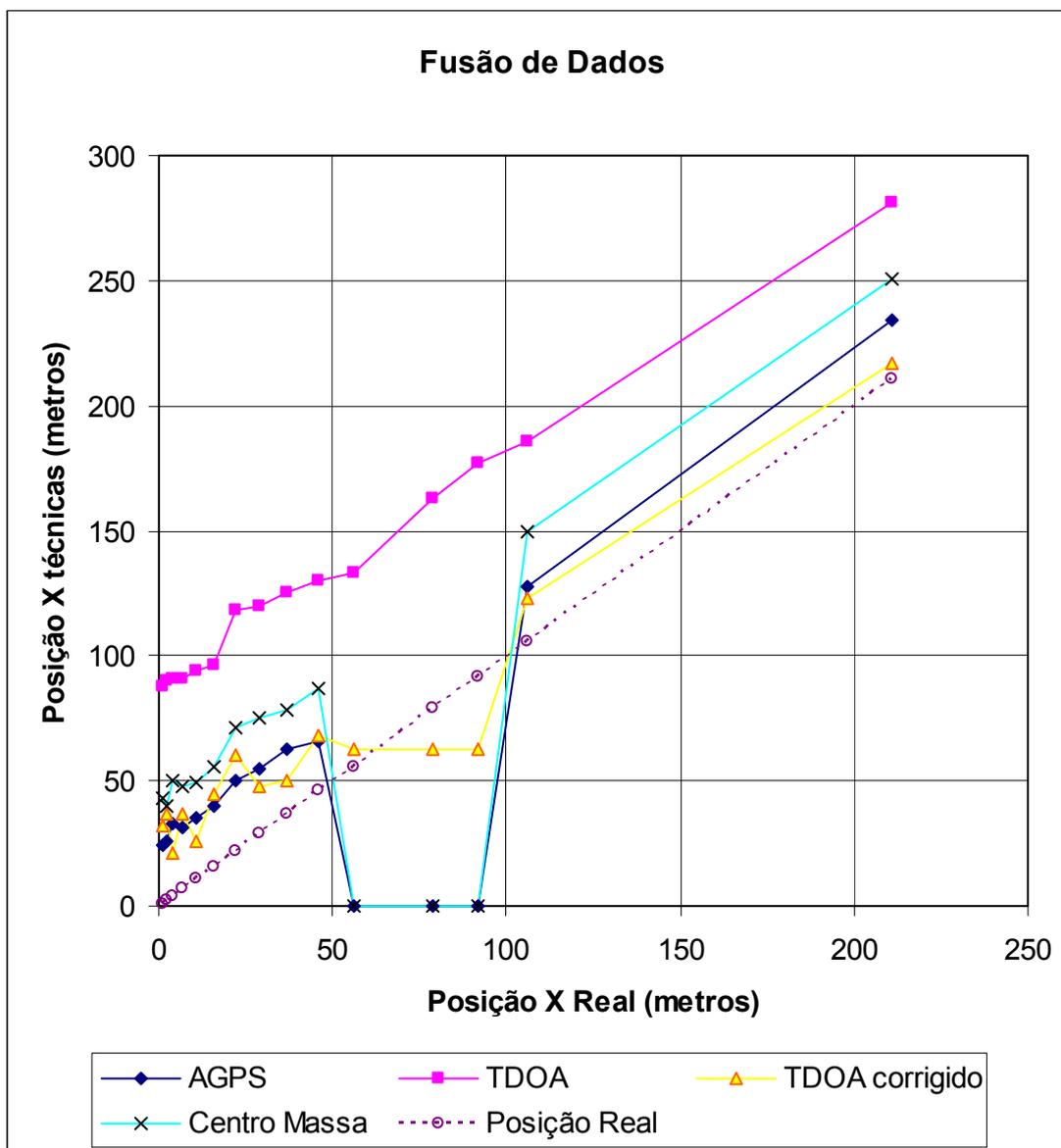


Gráfico 3: Gráfico de Dispersão para Móvel em Baixa Velocidade em Área com pequena região Sombreada

Durante o período em que o móvel estiver em área não sombreada, a melhor escolha para a posição de localização, recai sobre a técnica de AGPS, mas a partir do

momento em que o mesmo adentra em região sombreada a melhor escolha recairá sobre o 1º nível de fusão, conforme as condições do Capítulo 6.

Foram simuladas 20 amostras durante o intervalo de 1 segundo para cada uma das posições de AGPS e TDoA, e utilizados os valores médios correspondentes para plotagem no gráfico e cálculos da Tabela 7.6, sendo que esta apresenta o erro de distância obtido para as diferentes medidas.

X,Y Real	erro AGPS	erro TDoA	Erro TDoA Corrigido 1º nível fusão	Erro Centro Massa 2º nível fusão
(1,1)	(23,27)	(87,90)	(31,32)	(42,43)
(46,46)	(20,14)	(84,75)	(22,16)	(41,35)
(56,56)	---	(77,63)	(07,04)	---
(79,79)	---	(84,76)	(16,19)	---
(92,92)	---	(85,88)	(29,32)	---
(106,106)	(22,29)	(80,74)	(17,18)	(44,47)
(211,211)	(23,29)	(70,77)	(6,10)	(40,43)
(529,529)	(16,31)	(81,88)	(30,34)	(39,42)
(991,991)	(23,19)	(77,65)	(24,19)	(38,33)
(1541,1541)	(21,34)	(75,60)	(22,32)	(39,41)

Tabela 7.6: Erros das técnicas de localização, com medidas de distância em metros.

Nesta tabela, verifica-se que o modelo proposto para nível 1 da Fusão de Dados, fornece medidas muito próximas das esperadas pelo método de AGPS, sendo em alguns casos, mais precisas do que o mesmo, e que quando adentra a área sombreada para AGPS, a precisão deste nível continua superior a técnica de TDoA durante o percurso de 50 metros.

7.4 Fusão de Dados em Área com Região Densamente Sombreada com Móvel em Movimento a baixa velocidade

Nesta secção é apresentado os resultados para uma simulação onde o aparelho móvel esta se movimentando em uma área de superfície quadrada, a baixa velocidade, sendo que uma grande parcela desta área corresponde a uma região sombreada, este caso reflete a situação de um pedestre em movimento em uma região de alta densidade urbana atravessando o interior de um shopping, e com o usuário solicitado um serviço de informação (como chegar a um determinado destino) ou recebendo um serviço comercial móvel (oferta de determinada loja da região). Durante este percurso o usuário irá atravessar uma região em que ocorre a perda do sinal do satélite (como entrando no interior de um shopping center), e o aparelho em determinados momentos perde sua linha de visada com as ERBs.

7.4.1 Modelo de Simulação

As estações base configuradas para esta simulação estão demonstradas na figura 7.4. Estão participando três estações base, e todas estão dispostas nos vértices de um quadrado. O céu apresenta-se limpo, com condição de visada de 4 satélites para o aparelho móvel, e o mesmo esta se deslocando por uma área onde em determinado ponto, irá perder a condição de visada com o satélite durante alguns instantes, entrada na construção em nosso exemplo, assim como irá perder a linha de visada com as Estações Rádio Base, para depois retornar a condição inicial, quando o móvel sai da construção e a linha de visada e o link com o satélite são restabelecidos.

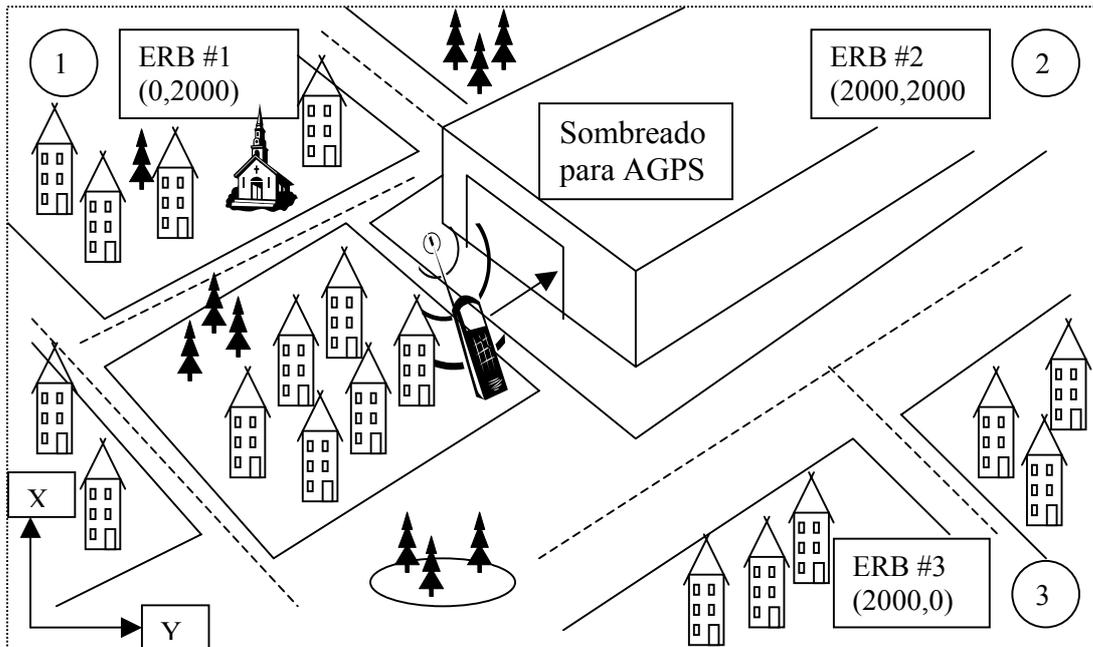


Figura 7-4: Configuração das Estações Base e Percurso

7.4.2 Estimativa da Trajetória do Móvel

Nesta simulação o móvel encontra-se em movimento a uma velocidade inicial de 3,6km/h, seguindo a equação de uma linha reta $Y = aX + b$, onde $b=0$ e $a=1$ e “X” varia conforme a equação $X = X_0 + v_0 t$, onde X_0 é baseado na medida anterior e v_0 a velocidade inicial. Estamos supondo que o móvel necessite atravessar uma área sombreada com raio superior a 70 metros, neste caso um shopping ocupando a posição (50,50) até (200,200), quando se perde o sinal dos satélites e a correção de TDoA começa a perder confiabilidade em relação ao sinal de TDoA.

Nesta simulação, o Erro de AGPS tem média aproximada de 50metros conforme literatura e tabela 3.3 do Capítulo 3 e Erro de TDoA com média aproximada de 120metros [ASS97].

Nesta situação iremos obter as seguintes localizações:

Posição Real (x,y)	Posição AGPS (x_m,y_m)	Posição TDoA (x₀,y₀)	Posição TDoA corrigido (x₀,y₀) 1º nível fusão	Centro Massa (x_c,y_c) 2º nível fusão
(1,1)	(44,48)	(127,135)	(54,58)	(62,65)
(46,46)	(86,80)	(166,160)	(91,86)	(106,115)
(56,56)	(0,0)	(167,170)	(80,78)	(0,0)
(79,79)	(0,0)	(200,210)	(80,78)	(0,0)
(92,92)	(0,0)	(214,205)	(80,78)	(0,0)
(106,106)	(0,0)	(222,218)	(80,78)	(0,0)
(137,137)	(0,0)	(260,280)	(80,78)	(0,0)
(172,172)	(0,0)	(271,265)	(80,78)	(0,0)
(211,211)	(255,245)	(311,320)	(231,237)	(270,272)
(529,529)	(565,563)	(646,660)	(581,587)	(586,590)
(991,991)	(1014,1020)	(1068,1054)	(1015,1018)	(1029,1025)
(1541,)	(1582,1571))	(1648,1637)	(1583,1578)	(1599,1590)

Tabela 7.7: *Fusão de Dados em Área com ampla região Sombreada com Móvel em Movimento a baixa velocidade*

7.4.3 Amostragem e Erro nas Distâncias

O gráfico 4, demonstra a variação das medidas ao longo do percurso, sendo que os dados obtidos de AGPS situam-se mais próximo do posicionamento real do aparelho móvel enquanto este não adentra a região sombreada, a partir do momento em que o móvel perde o link com o satélite a melhor medida de localização de posicionamento

recai sobre o 1º nível de fusão sendo este escolhido durante 100 metros dentro da região sombreada, a partir desta distância a escolha efetuada no 4º nível da fusão irá recair sobre a técnica de TDoA, conforme modelagem no capítulo 6.

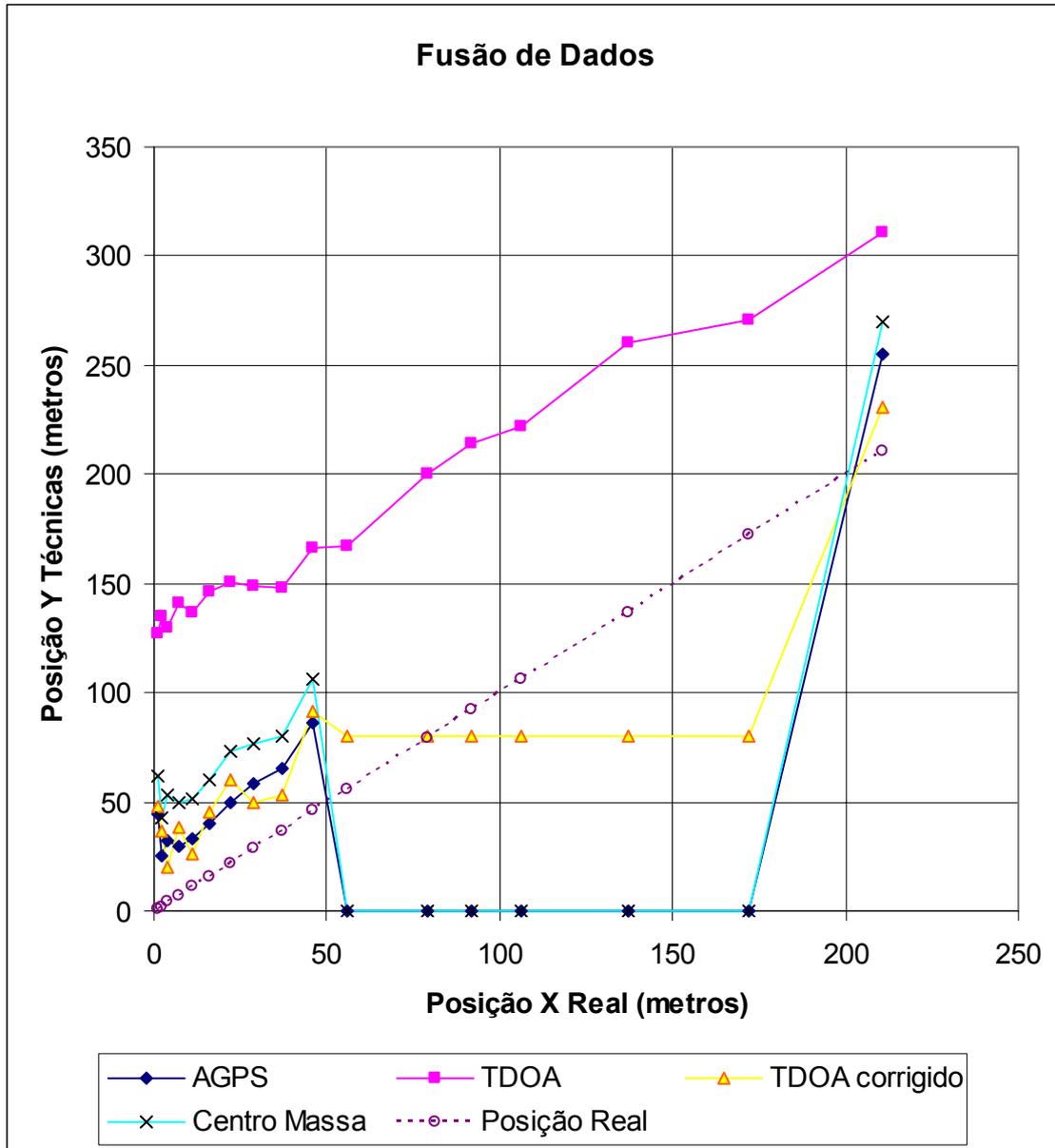


Gráfico 4: Gráfico de Dispersão para Móvel em Baixa Velocidade em Área com ampla região Sombreada

Foram simuladas 20 amostras durante o intervalo de 1 segundo para cada uma das posições de AGPS e TDoA, e utilizados os valores médios correspondentes para

plotagem no gráfico e cálculos na Tabela 7.8, sendo que esta apresenta o erro de distância obtido para as diferentes medidas.

X,Y Real	erro AGPS	erro TDoA	Erro TDoA Corrigido 1º nível fusão	Erro Centro Massa 2º nível fusão
(1,1)	(44,48)	(126,134)	(55,57)	(61,64)
(46,46)	(40,34)	(74,68)	(45,40)	(66,69)
(56,56)	---	(55,58)	(24,22)	---
(79,79)	---	(42,52)	(1,2)	---
(92,92)	---	(122,113)	(12,14)	---
(106,106)	---	(116,112)	(26,28)	---
(137,137)	---	(123,143)	(57,59)	---
(172,172)	---	(99,93)	(92,94)	---
(211,211)	(44,34)	(100,109)	(20,26)	(59,61)
(529,529)	(36,34)	(117,131)	(52,58)	(57,61)
(991,991)	(23,29)	(77,63)	(24,27)	(38,34)
(1541,1541)	(41,30))	(107,96)	(42,37)	(58,49)

Tabela 7.8: *Erros das técnicas de localização, com medidas de distância em metros.*

Nesta tabela, observa-se que o modelo proposto para nível 1 da Fusão de Dados, fornece medidas muito próximas das esperadas pelo método de AGPS, sendo em alguns casos, mais precisas do que o mesmo, e no momento em que o móvel adentra a área sombreada para AGPS, a precisão deste nível continua superior a técnica de TDoA durante o percurso de 100 metros.

7.5 Fusão de Dados em Área com Região Densamente Sombreada com Móvel em Movimento a Alta velocidade

Nesta secção é apresentado os resultados para uma simulação onde o aparelho móvel esta se movimentando em uma área de superfície quadrada, a alta velocidade, sendo que uma grande parcela desta área corresponde a uma região sombreada, este caso reflete a situação de um pedestre em movimento em uma região de alta densidade urbana, onde as construções impossibilitem a linha de visada com os satélites assim como com as estações base, e com o usuário solicitado um serviço de informação (como chegar a um determinado destino) ou recebendo um serviço comercial móvel (oferta de determinada loja da região).

7.5.1 Modelo de Simulação

O modelo de simulação utilizado nesta secção é idêntico ao modelo utilizado na secção 7.4.1, apenas estamos considerando uma área maior, que corresponde a uma região de (50,50) até (500,500) metros.

7.5.2 Estimativa da Trajetória do Móvel

Nesta secção estamos assumindo que o móvel encontra-se em movimento a uma velocidade inicial de 90km/h, seguindo a equação de uma linha reta $Y = aX + b$, onde $b=0$ e $a=1$ e “X” varia conforme a equação $X = X_0 + v_0t$, onde X_0 é baseado na medida anterior e v_0 a velocidade inicial. Estamos supondo que o móvel necessite atravessar uma área sombreada com raio superior a 100 metros, neste caso uma região densamente populosa de uma grande cidade ocupando a posição (50,50) até (500,500), quando se perde o sinal dos satélites e a correção de TDoA, correspondente ao 1º nível da fusão de

dados, começa a perder confiabilidade em relação ao sinal de TDoA após uma determinada distância.

Nesta simulação o Erro de AGPS apresenta média aproximada de 110metros conforme literatura e tabela 3.3 do Capítulo 3 e Erro de TDoA com média aproximada de 120metros [ASS97].

Nesta situação é obtida as seguintes localizações:

Posição Real (x,y)	Posição AGPS (x_m,y_m)	Posição TDoA (x₀,y₀)	Posição TDoA corrigido (x₀,y₀) 1º nível fusão	Centro Massa (x_c,y_c) 2º nível fusão
1,1	112,116	121,125	114,117	116,120
26,26	150,145	133,150	124,120	142,148
76,76	0,0	195,187	107,99	0,0
151,151	0,0	262,270	107,99	0,0
251,251	0,0	378,386	107,99	0,0
376,376	0,0	502,495	107,99	0,0
526,526	643,630	648,655	665,670	645,640
701,701	816,800	818,840	813,815	817,819
901,901	1024,1001	1038,1047	1036,1034	1029,1020
1126,1126	1255,1247	1251,1237	1238,1240	1253,1240

Tabela 7.9: Fusão de Dados em Área com ampla região Sombreada com Móvel em Movimento a alta velocidade

7.5.3 Amostragem e Erro nas Distâncias

O gráfico 5, demonstra a variação das medidas ao longo do percurso, sendo que o comportamento dos dados para AGPS, é o que se situa mais próximo do posicionamento real do aparelho móvel enquanto este não adentra a região sombreada, a partir do momento em que o móvel perde o link com o satélite a melhor medida de localização de posicionamento recai sobre o 1º nível de fusão sendo este escolhido durante 100 metros dentro da região sombreada, a partir desta distância a escolha efetuada no 4º nível da fusão irá recair sobre a técnica de TDoA, conforme modelagem no capítulo 6.

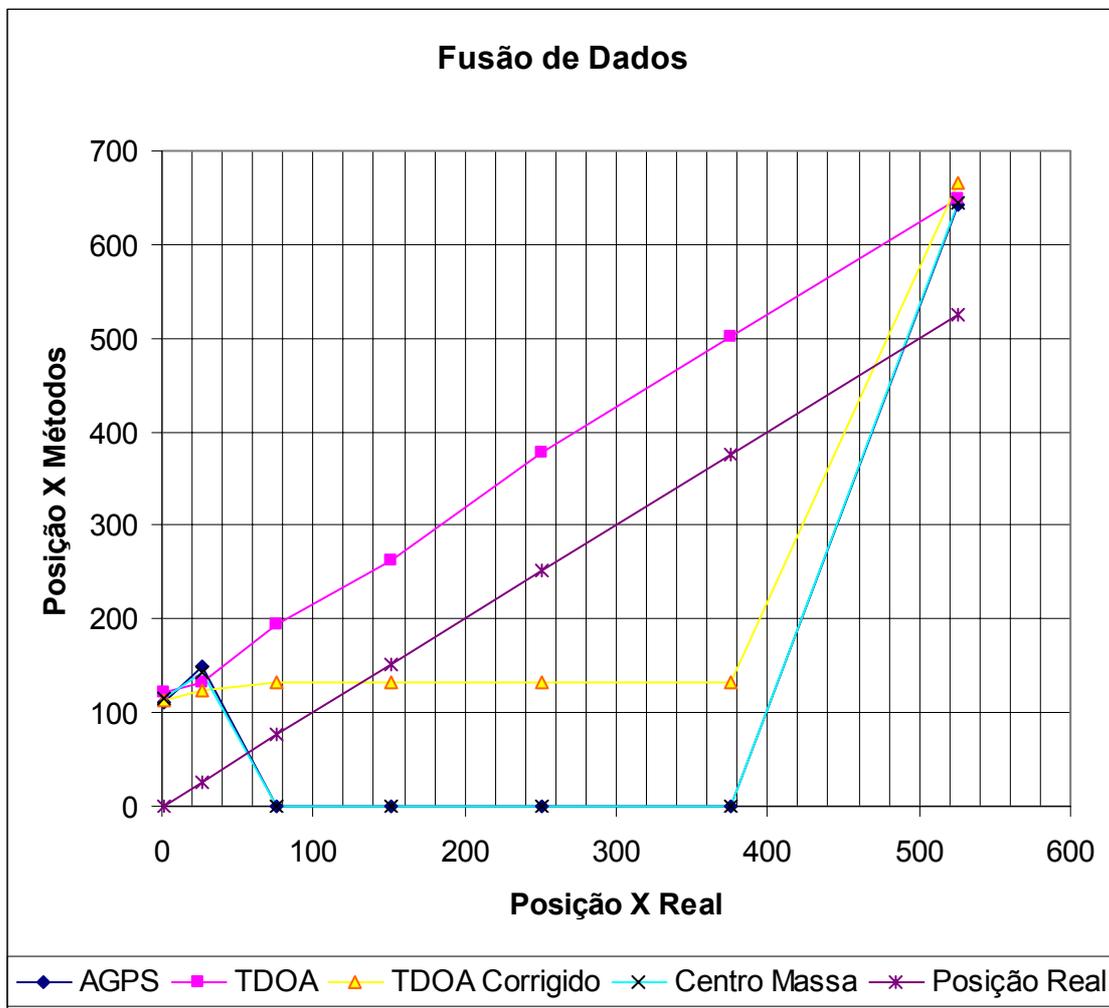


Gráfico 5: Gráfico de Dispersão para Móvel em Baixa Velocidade em Área com ampla região Sombreada

Foram simuladas 20 amostras durante o intervalo de 1 segundo para cada uma das posições de AGPS e TDoA, e utilizados os valores médios correspondentes para plotagem no gráfico e finalidades de cálculo na Tabela 7.10, sendo que esta apresenta o erro de distância obtido para as diferentes medidas.

X,Y Real	erro AGPS	erro TDoA	Erro TDoA Corrigido 1º nível fusão	Erro Centro Massa 2º nível fusão
1,1	111,115	120,124	113,116	115,119
26,26	124,119	107,124	98,94	116,122
76,76	-----	119,111	31,23	-----
151,151	-----	111,119	44,52	-----
251,251	-----	127,135	144,152	-----
376,376	-----	126,119	269,277	-----
526,526	117,104	122,129	139,144	119,114
701,701	115,99	117,139	112,114	116,118
901,901	123,100	137,146	135,133	128,119
1126,1126	129,121	125,111	112,114	127,114

Tabela 7.10: *Erros das técnicas de localização, com medidas de distância em metros.*

Nesta tabela, observa-se que o modelo utilizado no 2º nível de fusão, ou seja a técnica de Inferência Bayesiana, fornece medidas muito próximas das esperadas pelo

método de AGPS, e mais próximas da posição real quando existe linha de visada com as ERBs e com os Satélites, quando existe a perda de visada com ambos, ou seja, quando no interior da região de área sombreada, observamos que a técnica de TDoA corrigido apresenta menor erro de distância até um percurso de 100 metros de raio, mas no momento em que passamos deste limite, a melhor escolha recai sobre a técnica de TDoA, de acordo com modelo proposto para 4º nível da fusão com móvel em alta velocidade.

7.5.4 Sumário do Capítulo

Neste capítulo, foi demonstrado os resultado obtidos na simulação para fusão de dados, sendo que esta foi realizada para cinco casos de estudos diferenciados, tentando aproximar as modelagens para situações presenciáveis no mundo real. As condições estudadas foram: Fusão com Móvel Estacionário em Área não Sombreada, Fusão Com Móvel em Movimento a Baixa Velocidade em Área não Sombreada, Fusão com Móvel em Movimento a Baixa Velocidade em Área com Sombreamento para AGPS, Fusão com Móvel em Movimento a Baixa Velocidade em Área com Sombreamento para AGPS e para TDoA, e Fusão com Móvel em Movimento a Alta Velocidade em Área com Sombreamento para AGPS e para TDoA.

Capítulo 8

CONCLUSÃO

Estimativas de posição de usuários portando aparelhos móveis em redes de telefonia celular esta se tornando um fator importante para as operadoras que pretendem oferecer novos serviços para permanecerem competitivas. Uma estimativa de posição precisa irá agradar aos usuários do serviço, além de satisfazer as novas necessidades deste mercado. Este estudo fornece um ponto de vista diferenciado englobando as técnicas de localização utilizadas atualmente, oferecendo um modelo híbrido para Fusão de Dados.

Em um sumário de cada capítulo, conclui-se que:

No capítulo 1, foi apresentado um breve resumo sobre o assunto, assim como as principais categorias nas quais este serviço pode ser enquadrado e os investimentos que estão sendo feitos nesta área.

No capítulo 2, foram demonstradas as técnicas fundamentais encontradas em literatura para a localização de pessoas e objetos, estas são utilizadas no capítulo 5 para finalidades de cálculos das técnicas de localização centradas na rede. Podemos observar no presente estudo que a técnica de Tempo Diferencial de Chegada e Tempo de Chegada do sinal utilizam-se dos métodos de lateração para efetuarem suas estimativas de posição e que a técnica de Ângulo de Chegada utiliza-se dos princípios fundamentais da técnica de angulação para sua estimativa de posição.

O capítulo 3 apresentou as principais tecnologias de localização para aparelhos móveis, sendo que estas são diferenciadas em dois grupos. O primeiro com as tecnologias centradas no aparelho móvel, onde o mesmo fica responsável pela sua estimativa de posição, e em consequência toda sobrecarga de hardware para efetuar a captação e tratamento do sinal além dos processamentos necessários. O segundo com as

tecnologias centradas na rede, onde esta sofre a modificação estrutural necessária e torna-se responsável pelo processamento para estimativa de posição. Neste capítulo foram discutidos os principais tópicos a serem analisados para comparar as diferentes tecnologias, procurando observar quão efetivamente e eficientemente uma técnica pode ser implementada para que seja facilmente incorporada no sistema existente sem necessitar de grandes modificações, tanto no lado do usuário como no do provedor de serviços.

O capítulo 4, demonstrou mais detalhadamente os pormenores da técnica de localização centrada no aparelho móvel conhecida como Sistema de Posicionamento Global (GPS) conforme literatura, foram apresentados os princípios, funcionamento, código , posicionamento e os erros aos quais está sujeita esta técnica. Ainda neste capítulo foram apresentadas duas técnicas modernas de estimativa de posição baseadas nos princípios de GPS, a técnica de GPS Assistido, a qual, comparada com outras tecnologias de geolocalização centradas na rede ou no terminal móvel, oferece uma precisão superior, assim como disponibilidade e área de cobertura a um custo considerável, e a de GPS Diferencial muito empregada em sistemas de navegação marítimo.

No capítulo 5, foram descritas as técnicas de localização onde o processamento da informação é realizado na rede de telefonia e não no aparelho. As técnicas apresentadas conforme encontrado em literatura foram as de Tempo de Chegada, a qual calcula a distância através do tempo de propagação do sinal entre a estação móvel e a estação rádio base, Tempo Diferencial de Chegada, a qual estima a diferença de tempo de chegada do sinal da fonte em múltiplas estações base onde dois tipos de sinais recebidos são cruzados e correlacionados, e por fim a técnica de Ângulo de Chegada, a qual estima a localização da base móvel (celular) por medidas do ângulo de captação de um sinal da estação móvel a diversas estações bases. Foi apresentado um modelo de cálculo para estimativa de posição para cada uma destas técnicas, e uma proposta de operação para a técnica de TDoA.

No capítulo 6, foi apresentado o modelo geral para Fusão de Dados, o qual implica em combinar os dados obtidos de diferentes sensores, e relacionar as informações acessando bancos de dados significativos, para alcançar uma maior precisão, ao invés de utilizarmos um único sensor. Foi apresentada a arquitetura JDL a qual é um modelo conceitual que identifica e categoriza os processos, funções e técnicas aplicáveis a fusão de dados. A principal característica da arquitetura de Fusão de Dados

é que, as decisões, são feitas em diferentes níveis hierárquicos, estes são classificados de acordo com o tipo de dados utilizados na entrada do processamento das decisões; um maior número de níveis não indica um melhor estágio de decisão. Em geral, a fonte de informação, a interação homem-máquina, o processamento da fonte, e os processamentos de nível 1, 2, 3 e 4 conceituam o modelo JDL. O processo de fusão de dados deve operar com os dados que são mais pertinentes as condições existentes e que ao mesmo tempo reduzam a carga de processamento.

Foi proposto um modelo para Fusão de Dados envolvendo esquemas híbridos de AGPS e TDoA para estimativa de posição. Neste, o nível 2 da fusão de dados utiliza a técnica de inferência bayesiana para melhorar as estimativas com tratamento estatístico sobre os dados disponíveis. Foi proposto um modelo nível 1 de fusão para cálculo de correção de TDoA, baseado nos dados provenientes do AGPS, e foi proposto um modelo nível 4 de fusão para escolha da melhor medida de posicionamento.

Finalmente, o capítulo 7 apresentou simulações utilizando-se as técnicas de AGPS, TDoA e o modelo proposto de fusão de dados no capítulo 6. Os resultados obtidos foram analisados para cinco condições distintas:

-Fusão com Móvel Estacionário em Área não Sombreada, sendo que nesta simulação a melhor precisão nas medidas recaiu sobre a técnica de AGPS e sobre o 1º nível da fusão. Neste caso a opção foi feita pela medida de posição de AGPS conforme a projeção do 4º nível da fusão de dados;

-Fusão Com Móvel em Movimento a Baixa Velocidade em Área não Sombreada. Nesta simulação, assim como no descrito anteriormente, a margem de erro da medida de AGPS é muito pequena em relação às demais técnicas, sendo que o 1º nível da fusão também nos oferece medidas bem aproximadas da posição real. Neste caso, conforme o 4º nível da fusão, optou-se pela medida de AGPS;

-Fusão com Móvel em Movimento a Baixa Velocidade em Área com Sombreamento para AGPS. Nesta simulação conforme 4º nível da fusão, optou-se pela técnica de AGPS enquanto fora do perímetro da área sombreada, ou seja, enquanto captar os sinais necessários para processamento de AGPS, no momento em que adentrar a área sombreada, a escolha recai na medida do 1º nível de fusão, sendo que este será utilizado, até o momento que o móvel se desloque mais do que 100 metros a partir do instante em que perdeu o sinal de AGPS. Este monitoramento de distância é realizado baseando-se no deslocamento da medida de TDoA;

-Fusão com Móvel em Movimento a Baixa Velocidade em Ampla Área com Sombreamento para AGPS e para TDoA. Nesta simulação, onde o móvel, em determinado instante irá adentrar uma área sombreada para AGPS de 22.500 m², utilizou-se o mesmo princípio de escolha que para simulação anterior, sendo que no momento em que móvel se deslocar mais de 100 metros do ponto de perda do sinal de AGPS, a opção estará sendo feita pela medida de TDoA.

-Fusão com Móvel em Movimento a Alta Velocidade em Ampla Área com Sombreamento para AGPS e para TDoA. Nesta simulação, a escolha conforme 4º nível da fusão recai sobre a medida do Centro de Massa durante percurso sem sombreamento, e no interior da área sombreada utiliza o mesmo princípio que para a simulação anterior.

Como principais contribuições deste estudo podemos citar:

- Apresentação de uma revisão bibliográfica das técnicas de ToA, TDoA, AoA e GPS;
- Proposta de um modelo híbrido de fusão de dados para localização de posição envolvendo AGPS e TDoA;
- Proposta de um modelo de Correção de TDoA (1 nível da fusão de dados);
- Proposta de melhor escolha de estimativa de posição em um modelo híbrido envolvendo AGPS e TDoA (4 nível da fusão de dados);
- Apresentação de uma proposta híbrida para estimativa de localização que ofereça excelente cobertura em áreas urbanas densas, estradas longas e retas e cenários rurais;
- Consistência muito boa e excelente precisão em quaisquer localizações;
- Poucas modificações na rede e no aparelho móvel, sendo que estas podem ser graduais, de acordo com a expansão da rede e modificações na tecnologia do móvel, ou seja, não é necessária a implantação de um receptor GPS parcial no móvel para se oferecer o serviço, pois o mesmo estará disponível utilizando-se a tecnologia de TDoA;
- Precisão *Excelente: 5-80m*.

Os resultados das simulações demonstraram que a fusão de dados em esquemas híbridos envolvendo AGPS para estimativa de localização apresenta uma excelente precisão nas soluções. Contudo, os algoritmos devem ser testados em condições no mundo real. Os dados devem ser obtidos em diferentes terrenos para que as estatísticas

possam ser devidamente avaliadas. Os algoritmos de correção dependem muito de parâmetros estatísticos, configurados em diferentes condições ambientais.

O trabalho desenvolvido nesta pesquisa pode ser estendido em diferentes caminhos.

- O erro foi simulado baseado em dados encontrados em literatura. Seria interessante desenvolver uma pesquisa com um modelo específico ou dados obtidos da própria leitura de aparelhos utilizando AGPS e TDoA separadamente.

- Neste trabalho foi apresentado um mecanismo híbrido envolvendo AGPS e TDoA. Seria interessante apresentar novas soluções híbridas envolvendo a técnica de AGPS com ToA ou AoA, ou qualquer outro método centrado na rede;

- O modelo de fusão de dados foi simulado com uma configuração de estações base ideais, a com um modelo simples de canais. Seria interessante verificar o comportamento deste modelo em situações não ideais.

- Todas as simulações foram feitas considerando-se o tempo bom, ou seja, com céu aberto, seria interessante verificar os resultados de AGPS, em dia nublados ou chuvosos, ou com alta umidade do ar.

- A velocidade foi mantida constante durante as simulações. Seria interessante observar o comportamento do móvel em situações de variação de velocidade.

- O modelo de TDoA Corrigido proposto não varia conforme a variação de posição de TDoA. Seria interessante propor um novo modelo de TDoA Corrigido onde este acompanhe a curva de variação de TDoA, o que poderia resultar em uma melhor escolha de posição utilizando-se o 1 nível de fusão em distancias superiores a 100 metros;

- O modelo proposto foi simulado em uma única máquina adequado à necessidade do usuário. Seria interessante avaliar a simulação realizada com implementação do software em uma rede em condições reais para se averiguar o tempo necessário ao processamento;

Referências Bibliográficas

- [ADD01] Adlesee M., Curwen R., Hodges S., Newman J., Steggles P., Ward A., Hopper A., *Implementing a Sentient Computing System*, IEEE Computer, 0018-9162/01, pp. 50-56, Agosto 2001.
- [ASH98]. Ashjaee J., (1998), *A GPS Tutorial*, na web page da TopCon, <http://www.topconps.com/gpstutorial/TOC.html>
- [ASS97] Associated Group, Inc., (1997), *Time Difference of Arrival Technology for Locating Narrowband Cellular Signal*, na web page de TruePosition™, <http://www.trueposition.com>.
- [AXI01] Axiom® Navigation Incorporated, (2001), *GPS in a NutShell*, na web page da Axiomnav, <http://www.axiomnav.com>
- [BER02] Bernal, Paulo Sérgio Milano, *Comunicações Móveis: Tecnologias e Aplicações*, pp 139-141, Érica Ltda, 2002.
- [CAF98] Caffery J., Stuber G, *Overview of Radiolocation in CDMA Cellular System*, IEEE Communications Magazine, pp 38-45, Fevereiro (1998).
- [COU97] Couch Leon W., *Digital and Analog Communication Systems*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1997.
- [DAN00] Dana P. H. (2000), *Global Positioning System Overview*, na web page do Departamento de Geografia da Universidade do Colorado, USA, <http://www.colorado.edu/geography/>
- [DAV01] Davies N., Cheverst K., Mitchell K., Efrat A., *Using and Determining Location in a Context-Sensitive Tour Guide*, IEEE Computer, 0018-9162/01, pp. 35-41, Agosto 2001.
- [DJU01] Djuknic G. M., Richton R. E., *Geolocation and Assisted GPS*, IEEE Communications Magazine, pp 123-125, Fevereiro 2001.
- [DRA98] Drane C, MacNaughtan M, Scott C, *Positioning GSM Telephones*, IEEE Communications Magazine, pp 46-59, Abril 1998.
- [FCC96] *FCC Report and Order and Further Notice of Proposed Rule Making*, FCC Docket 96-264, Junho 1996.
- [GAN72] Gans, M. *A Powerful Spectral Theory of Propagation in the Mobile-Radio Environment*, IEEE Trans. Vehic Tech., Vol VT-21, pp 27-38, Fevereiro 1972.

- [GEO01] Geometrix[®] Wireless Location System., (2001). *Wireless E911 Solution*, na web page de Geometrix[®], <http://www.geometrix911.com/index.html>.
- [HAL97] Hall, D.L., Linas, J. , *An Introduction to Multisensor Data Fusion*, IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System, vol. AES-21, pp.56-59, Janeiro 1995.
- [HAT90] Hata M., Nagatsu T., *Mobile location using signal strength measurements in a cellular system*, IEEE Transactions on Vehicular Technology., vol. VT-29,pp. 245–251, Maio 1990.
- [HIG01] Hightower J., Borriello G., *Location Systems for Ubiquitous Computing*, IEEE Computer, 0018-9162/01, pp. 57-66, Agosto 2001.
- [IVE84] Iverson, G. R., *Bayesian Statistical Inference*, Sage, Berverly Hills, CA 1984.
- [JAK94] Jakes, W.C., *Microwave Mobile Commun.*, IEEE Press, 1994
- [KLE00] Kleine-Ostmann, T e Bell,A, *A Data Fusion Architecture for Enhanced Position Estimation in Wireless Network*, submetido a GLOBECOM 2000.
- [KLU97] Klukas R.W, *A Superresolution Based Cellular Positioning System Using GPS Time Synchronization*, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada, Dezembro 1997.
- [QUA02] Quality Engineering and Survey Technology LTD (2002), *The GPS Tutor*, na web page da Mercator GPS System Inc,<http://www.mercat.com/QUEST/gpstutor.htm>
- [RAH01] Rahman J.Reza, *Data Fusion for Improved TOA/TDOA Position Determination in Wireless System*, Março 2001
- [RAP98] Rappaport T.S., *Wireless Communications Principles and Practices*, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ 07458, 1998.
- [SAK92] Sakagami, S., Aoyama, S., Kuboi, K., Shirota, S., Akeyama, A, *Vehicle Position Estimates by Multibeam Antennas in Multipath Environments*, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 41, No. 1, pp. 63-68, Fevereiro (1992).
- [SON94] Song H. L., *Automatic vehicle location in cellular communications systems*, IEEE Transacions on. Vehicular Technology., vol. 43, pp. 902–908, Novembro. 1994.
- [SNA02] Snaptrack, *Hybrid Wireless Assisted GPS Provides for 9-1-1 Public Safety*, APCO/NENA E9-1-1 Symposium, Janeiro 2002.
- [STU98]. Caffery J., Stuber G, *Subscriber Location in CDMA Cellular Network*, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 47, No. 2, pp. 406-416, Maio (1998).

[TRI02] Trimble™ (2002), *Global Position Systems GPS*, na web page da Trimble™, <http://www.trimble.com/gps/>

[WAN01] Want R., Schilit B, *Expanding The Horizons of Location-Aware Computing*, IEEE Computer, 0018-9162/01, pp.31-34, Agosto 2001.