

1

Introdução

O problema de localização de estações móveis pessoais em sistemas celulares de comunicações vem recebendo grande atenção nos últimos anos, tanto por questões ligadas à segurança como por suas amplas aplicações comerciais no desenvolvimento de novos serviços e aplicações.

Nos Estados Unidos da América do Norte, a Federal Communications Commission (FCC) adotou [1], a partir de junho de 1996 e após o estabelecimento de um Consensus Agreement entre operadoras e agências de segurança pública, uma série de normas relativas à disponibilidade de serviços de emergência denominados *911 services* e à implementação de um serviço para sistemas móveis denominado E911 (*Enhanced 911 for wireless services*). Estas regras aplicam-se a todas as operadoras de sistemas celulares, de sistemas de comunicações pessoais e de sistemas móveis especializados. Pela regulamentação as operadoras devem transmitir as chamadas de emergência (*chamadas 911*) e informações sobre a localização do usuário que origina a chamada a centrais públicas de atendimento de segurança - *Public Safety Answering Points (PSAP)*. As regras prevêem a implementação do sistema em duas fases:

E911 Phase I – A partir de 1º. de abril de 1998, ou até seis meses após a solicitação pelo *PSAP* da região (o que ocorrer mais tarde), o operador deve fornecer ao *PSAP* o número do telefone que origina a chamada 911 e a localização da estação rádio base que está recebendo a chamada.

E911 Phase II – Esta fase prevê a implementação pelas operadoras, com início em 1º. de outubro de 2001 e conclusão em 31 de dezembro de 2005, de um sistema de identificação automática de localização – Automatic Location Identification (ALI) – capaz de informar automaticamente ao *PSAP* a latitude e longitude aproximadas da estação móvel originadora da chamada 911.

A regulamentação prevê a possibilidade de utilização de dois tipos de tecnologia, com diferentes cronogramas de implementação: as tecnologias baseadas na rede e as tecnologias baseadas nos terminais.

Os sistemas celulares de 3ª geração já prevêm a facilidade de localização em sua especificação. Os sistemas de 1ª e 2ª Gerações não possuem esta facilidade, mas recentemente tem havido grande interesse no desenvolvimento de técnicas de rede que permitam a localização de terminais D-AMPS e GSM, tanto pela necessidade de atendimento dos requisitos no FCC como pelas possibilidades comerciais associadas aos chamados Location Based Services. A solução para o problema requer tecnologias sofisticadas, com significativo impacto nos custos das operadoras e dos fabricantes de terminais, com eventual impacto no custo final dos serviços. Por outro lado, parte destes custos poderia ser recuperada pelo lançamento de novos serviços baseados em localização (LBS). Algumas das possíveis aplicações para sistemas de posicionamento de MSs, como as descritas a seguir.

Aplicações governamentais: Em muitos países há planos de legislar sobre exigências de precisão para o posicionamento de MS por razões de segurança. Os sistemas poderiam também ser usados para localizar propriedades roubadas ou criminosos. Essas aplicações exigem que somente uns poucos MSs sejam localizados simultaneamente.

Aplicações para as operadoras: as empresas operadoras podem usar o posicionamento da MS para prover novos serviços e também para planejamento e monitoração de qualidade e desempenho de sua rede, tornando-a mais eficientemente. Com base em medidas precisas de utilização geográfica as operadoras poderiam, por exemplo, oferecer chamadas com um menor custo em certas regiões para poder competir com a operadora fixa local.

Aplicações Comerciais: As operadoras ou provedores de serviços a elas associados poderiam oferecer ao assinante serviços de comércio eletrônico móvel (m-Commerce) e serviços de informação, como por exemplo, a localização do restaurante mais próximo e a rota para chegar a ele.

É interessante notar que as muitas operadoras norte-americanas estão optando pelas tecnologias baseadas em terminais as quais, na prática, implicam também em melhorias na rede. É possível que isto seja resultado dos estritos requisitos de precisão e cobertura estabelecidos pela FCC. Uma possível alternativa para possibilitar o uso de tecnologias baseadas em rede seria o relaxamento dos requisitos de precisão ou ainda a limitação da possibilidade de

localização a regiões geográficas restritas, escolhidas em função de sua importância, seja por questões de segurança seja por possibilidades comerciais para a implantação de novos serviços.

Estudos de tecnologias de localização baseadas em rede concentram-se, atualmente, nos métodos de medida de intensidade do sinal, de ângulos de chegada (AoA), de tempos de chegada (ToA) e diferença de tempos de chegada (TDoA).

Uma das maiores fontes de erro nos algoritmos de localização é a condição de ausência de visada direta (non-line-of-sight ou NLOS) entre as estações rádio base e os terminais móveis [2]. Os diversos métodos assumem, na estimativa dos parâmetros de entrada dos algoritmos, que há uma linha de visada direta (line-of-sight ou LOS) entre as MSs e as ERBs usadas para a localização. Entretanto, uma linha de visada direta (LOS) raramente existe entre o MS e sua ERB servidora em macrocélulas em regiões urbanas. Em microcélulas devido ao pequeno tamanho normalmente existe a condição LOS entre a MS e sua ERB servidora, mas não com as demais ERBs. Conseqüentemente, estas ERBs em volta recebem o sinal desejado após reflexões e refrações, que alteram a potência, ângulos e tempos de chegada do sinal.

Neste capítulo é apresentada uma descrição dos principais métodos de localização, das fontes de erro associadas a estes métodos, uma revisão bibliográfica e uma descrição da organização deste trabalho.

1.1

Métodos baseados nos terminais

Como já mencionado, os métodos de localização baseados nos terminais são os que apresentam maior precisão, permitindo tanto o atendimento rigoroso dos requisitos de localização para serviços de segurança, como as normas da FCC, como o oferecimento de sofisticados serviços baseados em localização. Em contrapartida, sua implementação envolve grandes custos associados à maior complexidade dos terminais e sua implementação é gradual, pois requer a substituição dos mesmos. Os principais métodos de localização baseados em terminais que estão sendo utilizados ou considerados no momento são sucintamente descritos a seguir.

1.1.1. Sistemas de posicionamento global – Global Positioning System (GPS)

Esta solução envolve, basicamente, a inclusão de receptores GPS nos terminais e a transmissão da posição, uma vez obtida, para a rádio base. Seu uso, entretanto, é muito limitado, devido ao longo tempo necessário para aquisição dos sinais dos satélites ou à própria impossibilidade desta aquisição em ambientes fechados ou fortemente obstruídos.

1.1.2. Sistemas GPS assistidos pela rede – Network Assisted GPS (A-GPS)

Esta solução envolve, além da inclusão de receptores GPS nos terminais, a construção de uma rede de servidores GPS estacionários que se comunica com os terminais móveis fornecendo informações que permitem tanto reduzir em muito o tempo de aquisição como a aquisição de sinais mais fracos do que no sistema GPS tradicional. Esta solução está sendo adotada por algumas operadoras nacionais Norte-Americanas para atendimento dos regulamentos do FCC (Nextel, Sprint PCS e Verizon).

1.1.3. Triangulação Avançada pelo Enlace Direto – Advanced Forward Link Trilateration (AFLT)

Esta solução utiliza a técnica de medida de tempos de chegada no terminal do receptor. Requer novos terminais com relógios precisos e software especial, além de sincronização das estações rádio base de toda a rede. Está sendo adotada pela Verizon Wireless em combinação com a tecnologia de GPS assistido (A-GPS/AFLT).

1.1.4. Observação de Tempos de Chegada – Enhanced Observed Time Difference (E-OTD)

Esta solução utiliza a técnica de medida de tempos de chegada no terminal do receptor combinada com a recepção em estações de referência fixas na rede. Requerem novos terminais com software especial, além da inclusão na rede destas estações de referência. Está sendo adotada pela AT&T Wireless e pela Cingular Wireless.

1.2 Métodos baseados na rede

Sistemas de radio localização baseados na rede procuram estimar a posição da MS a partir do sinal por ela transmitido e recebido em um conjunto de estações radio bases (ERBs), ou a partir dos sinais recebidos de uma MS em várias ERBs. No primeiro caso a MS estima sua própria posição e informa a um centro de controle de posicionamento. Essa forma de localização é conhecida como *self positioning* e requer receptores especiais nas estações móveis. Na segunda opção, as ERBs transmitem as informações relativas aos sinais recebidos das MSs ao centro de controle de posicionamento que realiza a estimativa de posição. Essa forma de localização é conhecida como *remote positioning* e apresenta a vantagem de não necessitar de qualquer modificação ou especialização na MS.

Há 3 tipos fundamentais de sistemas de radio localização baseados em rede[3,4,5,6,7,8,9,10]: sistemas baseados na intensidade dos sinais, nos seus ângulos de chegada (Angle-of-Arrival - AoA) ou nos seus tempos de chegada (Time-of-Arrival - ToA ou Time-Difference-of-Arrival - TDoA). O sinal medido usado para determinar as distâncias ou direções de propagação entre a MS e as múltiplas ERBs que são usadas para determinar a localização. Para alcançar uma boa precisão nas estimativas de localização é necessário haja linha de visada direta (LOS) entre o MS e as ERBs utilizadas no processo de localização. Em geral, a localização do MS em duas dimensões necessita no mínimo de três ERBs para resolver ambigüidades.

1.2.1. Medidas de intensidade do sinal

Este método utiliza um modelo matemático que descreva a perda de propagação do sinal com a distância. Esta perda é chamada de atenuação entre o transmissor e o receptor. Conhecidos os níveis de sinal transmitido e recebido é possível determinar a perda de propagação e, através do modelo estimar as distâncias entre a MSs e diversas ERBs. Este conceito é ilustrado na figura 1.1, onde as faixas r_1 , r_2 , r_3 são determinadas a partir da medida de intensidade do sinal recebido. O conhecimento das distâncias a três ERBs permite estimar a posição do móvel.

Para sistemas de localização baseados na intensidade do sinal, as principais fontes de erros são o desvanecimento multipercurso e o

sombreamento. O sombreamento provoca reduções na intensidade do sinal, associado ao mecanismo de difração, que levam a subestimar a distância entre a MS e a ERB. Já o multipercurso pode provocar variações do sinal de até 30-40 dB sobre distâncias da ordem de meio comprimento de onda.

Uma dificuldade adicional é que os sistemas móveis, a partir da 2ª geração, utilizam mecanismos sofisticados de controle de potência que mascaram a atenuação sofrida pelo sinal no percurso. Nos sistemas CDMA, a potência do MS é controlada para combater o chamado efeito do perto-distante já que, nestes sistemas, a separação dos sinais dos diversos terminais móveis em uma ERB requer que todos estes sinais sejam recebidos, idealmente, no mesmo nível de potência. Os sistemas TDMA, embora não apresentem este requisito, utilizam o controle de potência para conservar a bateria e reduzir o nível de interferência na área de cobertura. Em sistemas de localização baseados na intensidade do sinal usando enlace reverso é necessário que a potência de transmissão da MS seja conhecida e controlada com razoável precisão.

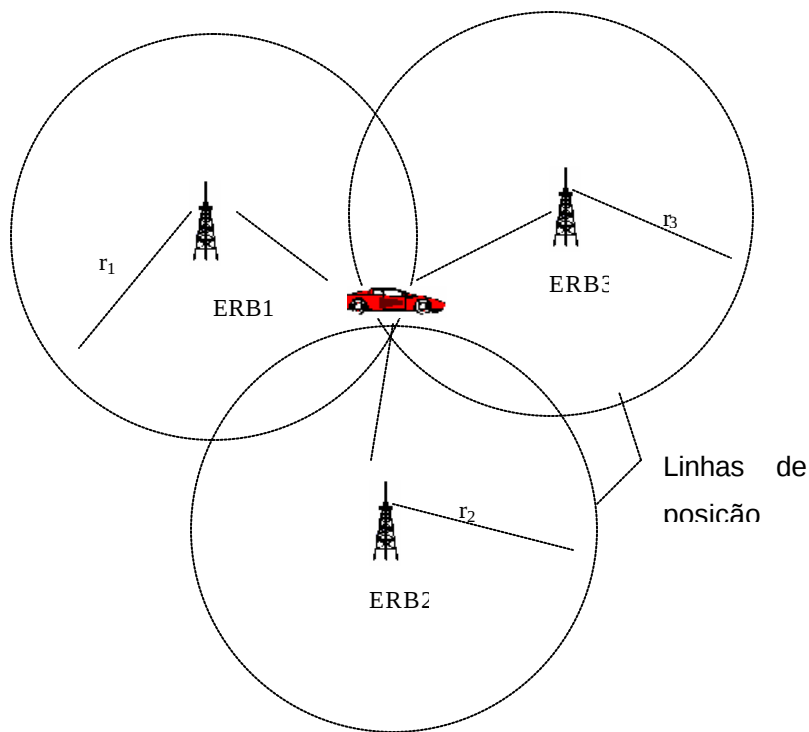


Figura 1.1: Geometria para a localização baseada na intensidade do sinal

1.2.2. Medidas de ângulos de chegada

Métodos de localização baseados no ângulo de chegada (AoA) estimam a localização do MS pela medida dos ângulos de chegada dos sinais das MS nas ERBs usando antenas diretivas ou conjuntos de antenas (arrays). O método usado para determinar a localização da MS está ilustrado na figura 1.2.

O desempenho dos métodos de localização baseados nos ângulos de chegada é limitado pela precisão com qual o ângulo de chegada pode ser medido, sendo estas características do hardware e do algoritmo de estimação usados, além do ambiente de propagação. As reflexões de sinais próximas e em torno do MS e da ERB afetam significativamente as medidas dos ângulos de chegada. Estas reflexões causam o aparecimento de múltiplos sinais que introduzem erros de estimação dos ângulos de chegada, mesmo na condição LOS. Caso não exista linha de visada direta (NLOS), o sinal captado pela antena pode não ser o da direção da MS. A precisão do método diminui com a distância entre o MS e a ERB devido ao espalhamento e às limitações nos equipamentos usados para as medidas dos ângulos de chegada.

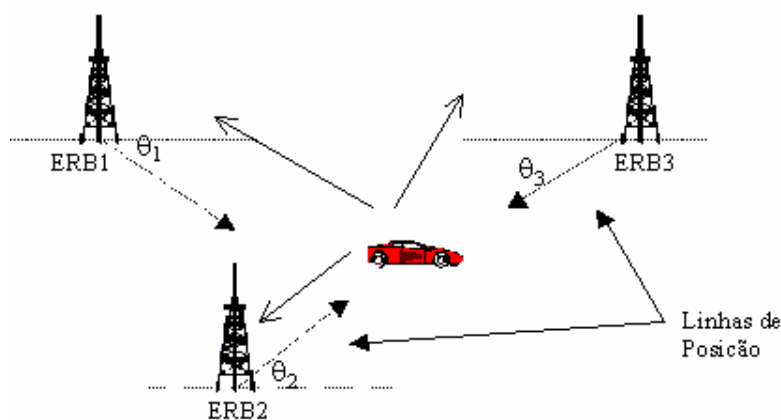


Figura 1.2: Método de localização do MS baseado no ângulo de chegada

1.2.3. Medidas de tempos de chegada

As técnicas de radio localização mais utilizadas atualmente são aquelas baseadas na estimação dos tempos de chegada do sinal transmitido pela MS e recebido em múltiplas ERBs ou pela diferença dos tempos de chegada do sinal recebido por múltiplos pares de ERBs.

Nos métodos baseados em tempos de chegada a distância entre o MS e a ERB é estimada através da medida do tempo de propagação do sinal entre elas. Geometricamente representa um círculo centrado na ERB, assim como no método de intensidade do sinal (figura. 1.1). Usando no mínimo 3 ERBs se resolve o problema de ambigüidade. A localização do MS é dada pela interseção dos círculos.

No método TDoA as diferenças do tempo de chegada do sinal em pares de ERBs são usadas para estimar a posição do móvel. Este método apresenta como vantagem a não necessidade de uma referência absoluta de tempo, eliminando erros de sincronização. O lugar geométrico dos pontos cuja diferença de distância às ERBs é constante corresponde a uma hipérbole, se desprezarmos as diferenças de altura entre as ERBs e a MS. Cada duas ERBs define uma hipérbole de tal forma que, a partir do sinal recebido em três ERBs é possível determinar geometricamente a interseção das hipérboles e a localização do móvel. A figura 1.3 indica a situação mais comum, em que as hipérboles interceptam-se em dois pontos. Para resolver esta ambigüidade é necessário utilizar alguma informação adicional ou as diferenças de tempo de chegada a uma quarta ERB.

Estes métodos têm um grande potencial para prover alta precisão na estimação de localização. Diferentemente do método AoA, os métodos baseados no tempo de chegada não se degradam fortemente com o aumento da distância entre a MS e as ERBs e não é necessário instalar um novo conjunto de antenas em cada estação. Ainda assim, a propagação em visada direta (LOS) é necessária para obter alta precisão.

Vários métodos têm sido propostos para estimar o tempo de chegada nos sistemas sem fio (wireless). Estes incluem técnicas de alinhamento de fase, alinhamento de pulsos e espalhamento espectral [2].

- Medidas de Fase: em sistemas de alinhamento de fase um tom de baixa frequência é transmitido e, uma vez recebido, é aplicado a um detector de fase do qual o tempo de chegada é obtido. Um mínimo de três ERBs é necessário para o posicionamento. Este sistema necessita que os detectores de fase sejam sincronizados. Ambigüidades podem ser resolvidas usando diferentes frequências. Ocorrem erros significativos devido ao multipercurso, já que o sinal resultante terá um erro de fase relativo ao sinal direto afetando o resultado da localização.

- Transmissão de Pulso: sistemas de alinhamento de pulso usam a transmissão de um único pulso, cujo tempo de chegada é medido de vários receptores. Esta técnica pode ajudar a resolver o problema do multipercurso desde haja condição LOS e o primeiro pulso que chega possa ser considerado como correspondente ao caminho direto. Infelizmente, pulsos muito estreitos que são necessários para se ter alta resolução, o que implica em uma grande largura de banda.
- Técnicas de Espalhamento Espectral: em sistemas com espalhamento espectral (*spread spectrum*) os tempos de chegada podem ser determinados através do uso de técnicas de correlação. Devido à natureza dos sinais de espectro espalhado, os efeitos do multipercurso podem ser reduzidos uma vez que a função autocorrelação de seqüências de espalhamento periódicas é tipicamente pequena para retardos maiores que o período do chip.

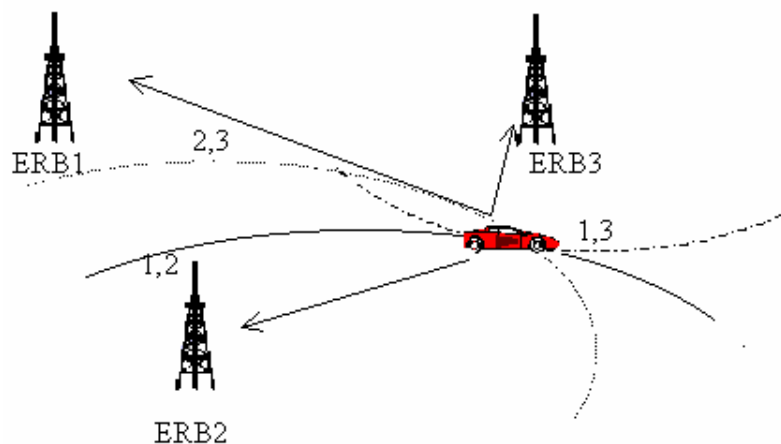


Figura 1.3: Método de localização baseado nas diferenças de tempo de chegada

1.2.4. Comparação entre os métodos baseados na rede

Nesta seção será feita uma comparação entre os métodos de localização baseados na rede em termos de viabilidade econômica, facilidade de implementação e robustez às características do canal rádio móvel.

A técnica baseada em tempo de chegada (ToA) não exige alterações significativas na infra-estrutura da rede celular porém necessita do conhecimento do instante em que a fonte a ser localizada transmitiu o sinal, o que é uma

importante desvantagem, pois implica em alterações no equipamento do usuário móvel. Esta técnica é sensível a imperfeições no canal de rádio, principalmente quando não há linha de visada direta, ou seja, em ambientes NLOS.

Os sistemas baseados em medidas de ângulo de chegada (AoA) exigem que um conjunto de antenas seja instalado nas ERBs, implicando assim em um alto investimento em infra-estrutura. Como vantagem apresentam, teoricamente, a necessidade da recepção do sinal em apenas duas EBR's para localização do móvel mas também apresentam sensibilidade elevada quanto às características do canal rádio, necessitando de um ambiente LOS para se ter uma melhor precisão. Além disto, mesmo em áreas suburbanas e rurais apresentam baixa precisão em situações nas quais os ângulos de chegada apresentam valores próximos, o que é bastante comum no caso da cobertura ao longo de rodovias.

Os sistemas baseados em diferença de tempo de chegada (TDoA), também conhecidos como sistemas hiperbólicos são os sistemas baseados em rede mais indicados para obter a localização do MS. Não necessita de alterações no equipamento móvel já que a estimação depende da diferença de tempos de chegada e não do instante de transmissão do sinal pela fonte, embora seja necessária a sincronização entre as ERBs para que a estimação possa ser efetuada. No caso das ERBs, todavia, essa sincronização pode ser efetuada utilizando receptores GPS. Embora, idealmente, requeiram a condição de visibilidade para alcançar alta precisão, estes sistemas são capazes de reduzir ou eliminar erros introduzidos pelo canal que sejam comuns aos dois receptores envolvidos nas medidas de um TDoA. Finalmente, os algoritmos utilizados para estimação de TDoA's e para a solução das equações hiperbólicas não são excessivamente complexos, implicando em baixos tempos de computação.

1.3

Fontes de erros de localização

1.3.1. Propagação por multipercurso

A propagação por multipercurso provoca a recepção de múltiplos sinais no MS ou na ERB. Os sinais podem se combinar construtivamente ou destrutivamente em função de pequenos deslocamentos do móvel, o que resulta

no fenômeno conhecido com desvanecimento de pequena escala. Os múltiplos sinais recebidos reduzem a precisão na determinação da intensidade do sinal, ângulos de chegada, tempos de chegada e diferenças de tempos de chegada. É possível estimar os múltiplos ângulos de chegada do sinal sujeito à propagação por multipercurso utilizando um conjunto de elementos de antenas (array) e técnicas de processamento adequado, mas isto aumenta a complexidade e custo do equipamento na estação rádio base.

1.3.2. Propagação sem linha de visada direta (NLOS)

Na propagação sem linha de visada direta (NLOS), o sinal que chega às ERBs sofreu reflexões ou difrações, fazendo com que o percurso de propagação seja mais longo e o ângulo de chegada distinto daqueles que se teria na condição de visada direta, gerando erros de localização qualquer que seja o método empregado. Infelizmente, esta é a situação mais comum em regiões urbanas densas, onde a ausência de visibilidade se combina com o efeito de multipercurso reduzindo sensivelmente a precisão das estimativas ainda que nestas regiões as distâncias dos móveis às ERBs sejam reduzidas e haja maior probabilidade do sinal de um móvel ser recebido em um maior número de ERBs devido à superposição de células.

1.3.3. Interferência múltiplo acesso (MAI)

Todo sistema celular sofre de interferência co-canal, mas ela é particularmente acentuada nos sistemas CDMA, onde os usuários dividem a mesma banda com códigos de espalhamento diferentes. No enlace reverso, para que o ganho de processamento seja efetivo, permitindo separar os sinais das diversas estações móveis, é necessário um rígido controle de potência para garantir que os sinais dos diversos usuários sejam recebidos com igual potência na ERB evitando o chamado efeito perto-distante.

Por exemplo, considere a localização no enlace reverso em uma macrocélula como indicado na figura 1.4, onde o MS no qual deseja-se localizar está sendo servido pela ERB BS_0 . Para determinar sua localização as ERBs BS_0 , BS_1 e BS_2 são usadas. Se o controle de potência é efetivo, então, os sinais de todos os MSs servidos pela BS_0 chegaram a BS_0 com mesma potência. Para estimar a localização BS_1 e BS_2 detecta o sinal transmitido pela MS e calcula-se o tempo de chegada e a diferença de tempos de chegada. Entretanto, o sinal da

MS experimenta muitas interferências múltiplo acesso (MAI) de MSs servidos por BS_1 e BS_2 , já que o MS não tem seu controle de potência realizado por essas ERBs. Este problema é particularmente quando a MS está próxima a sua ERB servidora transmitindo com menos potência e fazendo que seja difícil detectá-lo em outras ERBs, onde sofre a interferência de outros usuários. Esse fenômeno é conhecido como “hearability” [11].

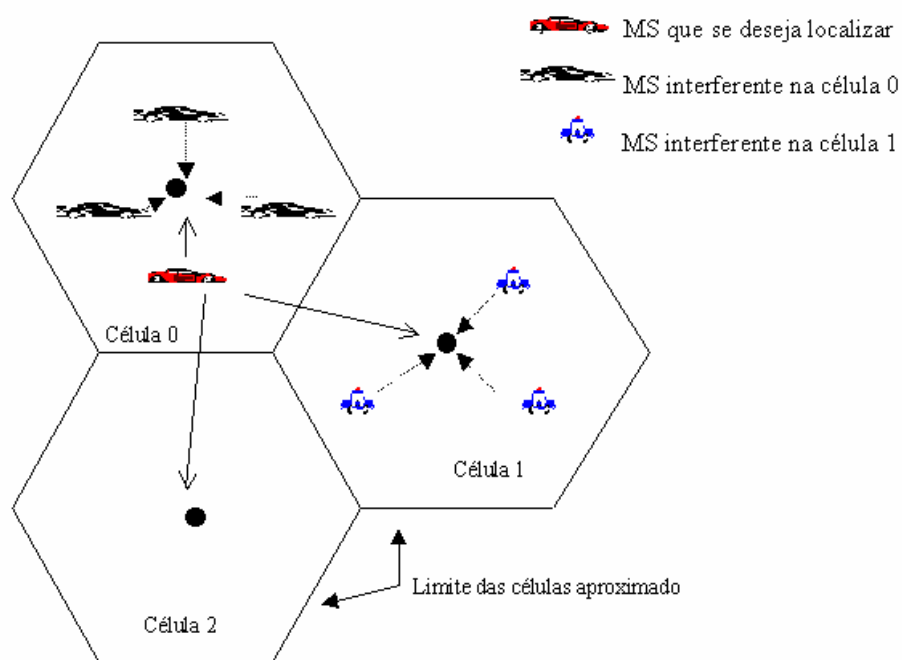


Figura 1.4: Cenário em ambiente CDMA com interferência multiusuário

1.4 Visão geral da dissertação

1.4.1. Objetivo do trabalho

O método TDoA foi escolhido como objetivo de estudo dessa dissertação, por apresentar um conjunto de vantagens que o torna mais atrativo para a localização de estações móveis em redes celulares. A localização através do método TDoA compreende duas etapas. Inicialmente um conjunto de ERBs é utilizado para a obtenção de estimativas TDoA. Em seguida, essas estimativas

são utilizadas para formar um conjunto de equações hiperbólicas cuja solução fornece uma estimativa para a posição da fonte. O objetivo desta dissertação é criar um ambiente de simulação para teste dos algoritmos utilizados para a obtenção da estimativa da posição da fonte que funcionam em ambientes microcelulares, tanto em condição LOS como em condição NLOS. Para a estimativa dos tempos de chegada será utilizado um programa de traçado de raios que permite obter perfis de retardo simulados em ambientes básicos de propagação em micro-células, especificamente ruas ou corredores retilíneos cercados de prédios e cruzamentos ortogonais de ruas ou corredores com estas características. A seguir, os retardos obtidos nas simulações serão utilizados para estimar a posição do móvel pelos métodos de Taylor e Chan realizando uma comparação dos erros resultantes considerando diferentes posições do móvel no cenário tanto em condição LOS como NLOS, diferentes números de ERBs utilizadas nas estimativas de posição e diferentes alturas de antena das estações radio base.

1.4.2. Estrutura da dissertação

O restante da dissertação está organizado em mais 4 capítulos.

O capítulo 2 apresenta os algoritmos propostos na literatura para a solução das equações hiperbólicas com ênfase nos que foram utilizados neste trabalho e discute os problemas inerentes a cada algoritmo.

O capítulo 3 apresenta os aspectos de propagação, incluindo as características do canal rádio e o método de traçado de raios para cálculo do nível de sinal recebido dos perfis de retardo de propagação, fundamentais neste trabalho.

No capítulo 4 são apresentadas as ferramentas computacionais e simulação e os resultados obtidos através de simulações realizadas com o objetivo de verificar o desempenho desses algoritmos em função dos erros de medidas de TDoA's em ambientes microcelulares LOS e NLOS.

Finalmente, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões obtidas e propostas de trabalhos futuros inspirados nesta dissertação.