

5 Conclusões e sugestões

5.1 Localização de estações móveis em ambientes microcelulares

O problema da localização de estações móveis em sistemas celulares de comunicações tem recebido crescente atenção, tanto pela necessidade de atendimento de normas relativas a aspectos de segurança pública, como pelo grande potencial de aplicações em novos serviços, os chamados serviços baseados em localização ou *Location Based Services (LBS)*.

As técnicas de localização atualmente utilizadas ou em estudo dividem-se em duas grandes categorias: as técnicas baseadas nos terminais e as técnicas baseadas em rede. Embora, em longo prazo, as primeiras sejam as mais promissoras em termos de prover resultados de alta precisão, elas requerem modificações custosas nos terminais, bem como a progressiva substituição dos mesmos. Assim, no curto e médio prazo, técnicas baseadas na rede são os mais utilizados atualmente e os mais promissores a curto e médio prazo.

As principais técnicas baseadas em rede utilizam medidas de sinais recebidos em diversa ERBs para estimar a posição do móvel, como por exemplo medidas de potência, de tempos de chegada ou de ângulo de chegada dos sinais. transmitidos pelo móvel. Dentre estas técnicas, a que tem apresentados melhores resultados é a que emprega a medida da diferença entre os tempos de chegada dos sinais entre pares de ERBs para estimar a posição do móvel.

A estimativa da posição do móvel com base nas diferenças de tempo de chegada envolve a solução de um sistema de equações hiperbólicas. Dos diversos métodos propostos na literatura para a solução deste problema, a linearização por série de Taylor e o método de Chan são os que apresentam melhores resultados para distribuições genéricas de ERBs.

Nesta dissertação, técnicas de traçado de raios foram combinadas com estes métodos simular a localização de móveis em dois ambientes simples: uma rua em formato de um corredor e um cruzamento de duas ruas com a mesma característica.

As simulações no ambiente corredor, onde sempre existe a condição de visibilidade entre o móvel e as ERBs, mostraram uma significativa melhora de precisão na localização quando se utilizam 4 ERBs em lugar de 3 ERBs, e

alguma melhora adicional, embora não tão significativa, quando se utilizam 6 ERBs. A precisão é também maior quando as ERBs estão mais uniformemente distribuídas em relação ao móvel, como seria de esperar. Estes resultados confirmam que medidas redundantes de TdoA's podem melhorar o desempenho da localização. Contudo, ERBs adicionais podem não oferecer grandes contribuições ao desempenho se não forem posicionadas adequadamente em relação às demais.

As simulações no ambiente cruzamento foram utilizadas para avaliar o efeito da falta de visibilidade entre o móvel e as ERBs no desempenho dos métodos de localização. O impacto negativo foi significativo sobre os resultados quando comparados com configuração semelhante na situação de visibilidade. Para certas posições do móvel foi possível observar que em geometrias de reflexão semelhantes o uso da diferença de tempos de chegada permite compensar os efeitos da falta de visibilidade, produzindo estimativas com pequeno erro, mesmo nesta condição.

Nas simulações realizadas, o método de Chan mostrou menor degradação na condição NLOS, mas este ponto deve ser mais bem investigado com simulações adicionais e requer uma justificativa teórica. De uma forma geral, este método apresentou resultados ligeiramente superiores ao método de linearização por série de Taylor.

Em uma situação real, o sinal emitido por um terminal móvel não é, normalmente, captado por mais de 3 ERBs, pois a potência do sinal transmitido é controlada para evitar interferência em outras estações rádio base e aumentar a autonomia das baterias. Além disso, em sistemas celulares as posições das ERBs são determinadas através de planejamento cujo objetivo principal é atender a requisitos de capacidade. Essas estações podem não estar convenientemente posicionadas para atender os requisitos de desempenho desejados para a localização de estações móveis. Entretanto, estações receptoras adicionais podem ser incluídas no sistema com o objetivo de aumentar a precisão das estimativas. A determinação da melhor posição dessas ERBs pode ser obtida através de simulações utilizando-se um indicador de precisão como o GDOP.

Nestes ambientes de geometria simples os métodos apresentaram resultados bastante satisfatórios localização de estações móveis. O erro RMS esteve sempre abaixo dos 100 metros, chegando a valores consistentemente entre 20 e 40 metros para o método de Chan com 4 ou mais ERBs. Esta precisão atende os requisitos da FCC para chamadas de emergência e é

também adequado para a maioria dos serviços baseados em localização em planejamento atualmente.

Por outro lado, deve-se ressaltar que os métodos utilizados foram analisados em condições ideais. Para se medir o desempenho no método de Chan, a posição real da fonte foi utilizada como informação à priori para resolver problemas de ambigüidade na solução. Para o método de linearização por série de Taylor, a posição real da fonte foi utilizada como aproximação inicial no processo iterativo.

5.2 Contribuições deste trabalho

Neste trabalho, foi desenvolvido um ambiente de simulação de localização de estações móveis em ambientes micro celulares empregando um programa de traçado de raios pelo método da força bruta (lançamento de raios) para estimar os comprimentos de percursos e tempos de chegada entre diversas ERBs e a estação móvel em cenários urbanos modelados por sólidos multifacetados. Os perfis de retardo gerados por este programa, resultado de uma dissertação de mestrado desenvolvida anteriormente no CETUC, são usados como dados de entrada para um programa desenvolvido nesta dissertação que estima a localização dos móveis utilizando os métodos de Taylor e de Chan.

O processo desenvolvido foi testado em ambientes de geometria simples fornecendo resultados bastante consistentes, mostrando que a técnica de traçado de raios pode ser uma ferramenta útil para a simulação e desenvolvimento de algoritmos de localização cujo teste em situações reais, exige grande volume de medidas de alta complexidade cujos exemplos na literatura técnica são escassos.

Com base nas simulações foi investigada a influência do número de ERBs na precisão das estimativas de localização e realizada uma comparação do desempenho dos métodos em situações LOS e NLOS. Foi analisado ainda o efeito da altura das ERBs na precisão dos resultados de localização.

O processo desenvolvido poderá ser aperfeiçoado e refinado em trabalhos futuros, além de adaptado à simulação de outros métodos de localização.

5.3

Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestões para trabalhos futuros podem ser indicadas, em primeiro lugar, melhorias necessárias e evoluções possíveis da ferramenta de simulação. Neste sentido, o programa de traçado de raios precisa ser refinado, particularmente no sentido de minimizar o efeito de múltipla captura de raios em certas geometrias, que dificulta a determinação dos retardos exatos. Isto permitirá a integração desta ferramenta com os programas de estimativa de localização, criando uma ferramenta única de simulação. Com esta ferramenta integrada serão possíveis a análise de configurações mais complexas e testes com maior número de localizações da fonte, levando a resultados mais confiáveis do ponto estatístico. Outro ponto relevante é a introdução na ferramenta da consideração de características específicas de diferentes tecnologias de comunicação celular. Com pequenas modificações o programa de traçado de raios pode fornecer ainda ângulos de chegada..

Como sugestões de aplicações das ferramentas desenvolvidas podem ser citadas as análises de cenários mais complexos, uma investigação mais detalhada e aprofundada da precisão da localização na situação NLOS, o estudo da distribuição geométrica de ERBs mais conveniente para de ERBs e a simulação de outras técnicas de localização como a AoA.

Cenários mais complexos, incluindo arruamentos edificações descontínuas e de alturas distintas podem, com algum esforço, ser modelados como conjuntos de sólidos multifacetados. O programa de traçado de raios permite o cálculo de retardos nestes cenários, já que inclui não apenas o mecanismo de reflexão como o de difração. A simulação deste tipo de cenário permitiria caracterizar e quantificar melhor a precisão dos métodos de localização na situação NLOS.

Como já mencionado, a simulação pode ser uma ferramenta poderosa para a determinação de geometrias de configurações de receptores auxiliares para melhoria da precisão da localização utilizando a diluição geométrica de precisão (GDOP) como indicador de qualidade.

Também o efeito da altura das antenas das ERBs merece um estudo mais detalhado, sendo necessária uma quantificação de seus efeitos na precisão dos métodos de localização.

Finalmente, um tópico de grande interesse que pode ser estudado utilizando este tipo de ferramenta é o desempenho de métodos de localização

mistos, utilizando técnicas de TdoA e AoA, ou ainda a combinação de TdoA com identificação de células (*Cell ID*) e avanço de tempo (*Timing Advance*).