

LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÃO SEM FIO UTILIZANDO TRILATERAÇÃO

Ana Paula Bisatto, André Peres

¹Departamento de Sistemas e Computação - Universidade Luterana do Brasil –
(ULBRA)

Caixa Postal: 92.425-900 – Canoas – RS - Brazil

anabisatto@gmail.com, andre.peres@ulbra.br

Abstract. *The possibility to identify the wireless stations physical location allows the development of a series of new functions, such as user closest resource location or even network mechanisms for access restriction to certain resource. There are several techniques to locate a wireless station in a given geographical area, been indoor or outdoor. This paper proposes the implementation of a wireless station mechanism based on the trilateration technique.*

Resumo. *A possibilidade de identificar a posição física de uma estação permite o desenvolvimento de uma série de novas funções, tais como identificação de recursos próximos ao usuário, ou até mesmo de mecanismos de restrição de acesso a determinados recursos, de acordo com esta informação. Existem diversas técnicas para que se possa localizar uma estação sem fios em uma determinada área geográfica, seja ela limitada a alguns metros quadrados ou ambientes abertos. Este artigo propõe a implantação de algoritmos para obtenção de localização de estações sem fio, baseada na técnica de trilateração.*

1. Introdução

As redes locais sem fio, WLAN (*Wireless Lan*) constituem uma alternativa às redes locais Ethernet, fornecendo as mesmas funcionalidades, porém de forma mais flexível, de fácil configuração, conectividade em organizações e ambientes domésticos. Utilizando tecnologia de rádio-frequência através de ondas eletromagnéticas, as estações estabelecem a comunicação de dados entre os pontos de acesso de rede e os dispositivos móveis. A necessidade de conexão de diferentes pontos na rede sem o uso de cabos denomina-se wireless (*sem fio*), combinando conectividade de dados e mobilidade do usuário. O padrão que define a conexão estabelecida entre os dispositivos móveis é definida através da (IEEE Std 802.11b1999 R2003).

A mobilidade garante que uma estação estará conectada, podendo movimentar-se livremente desde que esteja dentro da área de abrangência. A flexibilidade de poder adicionar novos usuários, através da configuração dos computadores conectados à rede não necessitando de uma nova estrutura com cabeamento. A facilidade e praticidade de não possuir cabeamento e poder-se conectar em prédios afastados, podendo ser configuradas de acordo com as suas necessidades.

Ao se comparar uma estrutura de rede baseada em fios, e uma estrutura sem fios nota-se, que esta última possui características que podem ser consideradas prejudiciais a gerência e segurança da rede, em função de usar ondas eletromagnéticas como meio de transmissão, onde há o aumento da possibilidade de acessos não autorizados. Os limites físicos são de difícil definição, já que os sinais ultrapassam barreiras físicas como paredes. A segregação de redes é feita através da configuração de diferentes canais de frequência. Nada impede que um determinado usuário conecte-se em qualquer um dos canais; não existe nenhum mecanismo definido no padrão IEEE 802.11 que especifique a localização das estações móveis dentro da área de abrangência da rede.

Através das comparações mencionadas acima, destaca-se a localização de estações, a qual é foco deste trabalho utilizando a técnica de trilateração.

2. Referencial Teórico

Para que se obtenha a localização de estações em um ambiente sem fios, é necessária a existência de pontos de referência conhecidos (fixos) e a utilização de uma técnica para inferir a posição física da estação. As diversas técnicas existentes baseiam-se na obtenção da distância entre os pontos conhecidos e a estação móvel através da medida do tempo necessário para a transmissão de dados entre eles, da potência do sinal, ou ângulo (direção) existente entre esses pontos.

Em relação à obtenção das informações mencionadas acima, existem dois modelos para realizar a localização de uma estação móvel *Mobile Based* onde a estação móvel obtém sua localização, através da obtenção de dados da infra-estrutura de rede onde os pontos de acesso possuem a localização conhecida e a *Network Based* a infra-estrutura da rede obtém informações de distância e ponto de referência de cada estação para a localização. Com a distância definida, é possível realizar a trilateração de pontos e a definição da localização da estação móvel. Existem várias técnicas e métodos para determinar a localização de dispositivos móveis, a mais conhecida é a com utilização de GPS em conjunto com satélites torna-se precisa em ambientes abertos. Para o trabalho aqui proposto não é necessário em função de limitações sofridas pelos dispositivos que são instalados em locais fechados.

Os métodos tecnológicos existentes para determinar a posição de uma estação envolvem medir a diferença do tempo de chegada do sinal, potência do sinal, ou o ângulo de chegada do sinal.

2.1 Método Tempo de Chegada (TOA- *Time off arrival*)

Alguns modelos, como de (Capkun 2005), realizam a localização de estações de TOA medindo o tempo de voo do sinal desde sua transmissão até o recebimento, sabendo que a velocidade de propagação das microondas é constante (velocidade da luz), é possível determinar a distância entre dois pontos. Para que a TOA funcione é necessário que exista sincronização entre os relógios das estações e dos pontos de acesso, e que estes possuam precisão para identificar diferenças de tempo e distância, onde será detalhado a seguir. Com essas informações é realizada a trilateração das distâncias conforme figura 1:

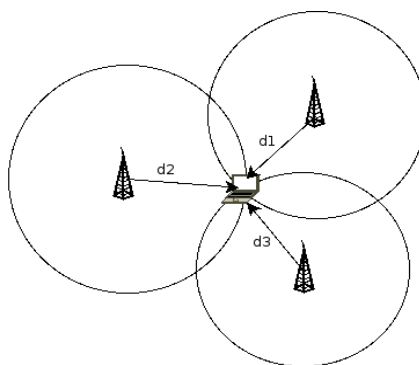


Figura 1. Método Tempo de Chegada -TOA

2.2 Métodos Tempo de Chegada e Diferença de Tempo de Chegada

A distância do transmissor à antena base pode ser calculada sobre a análise do tempo de chegada da propagação de um sinal de microondas, que trafegam em velocidades próximas da luz. Pode ser calculada a distância entre transmissores e um receptor de sinal.

A medida da TOA resulta em dois problemas, o primeiro é que existam relógios sincronizados precisamente em todos os transmissores e receptores (por exemplo, a imprecisão de apenas 1ms pode causar um erro de localização de 300m); segundo é que o sinal transmitido deve ser marcado por um rótulo de tempo para que o receptor calcule a distância percorrida pelo sinal.

No método de Diferença de Tempo de Chegada (TDOA) utiliza-se um sistema transmissor de rádio frequência (TRF) no dispositivo móvel e receptores em várias antenas utilizadas com estação base. O TRF emite sinais que são modulados com largura de banda suficiente a fornecer uma precisão alta (inversamente proporcional a largura da banda), com isso obtém uma precisão na estimativa da localização desejada.

2.3 Método Ângulo de Chegada (AOA – *Angle off arrival*)

Exige que o ambiente em estudo possua um conjunto de antenas direcionais (cobrindo 360° graus) em cada ponto de acesso. Ao receber um sinal de uma estação móvel o ponto de acesso determina qual antena recebe o sinal com maior amplitude, dessa forma indica a direção de onde o sinal foi gerado, este procedimento é feito com outro ponto de acesso e nesse caso têm-se duas linhas onde é possível identificar a localização da estação através da intersecção das linhas. (Taheri, 2004). Esta técnica é apresentada na figura 2.

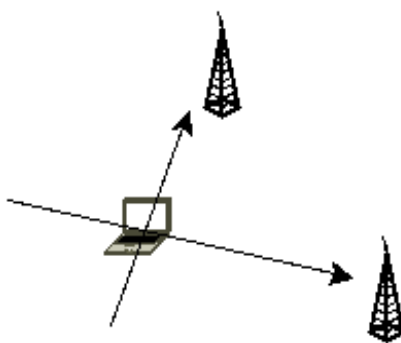


Figura 2. Ângulo de Chegada -AOA

2.4 Amplitude de chegada (AmpOA- *Amplitude Of Arrival*)

Essa técnica utiliza a amplitude do sinal recebido pela estação móvel para determinar sua localização. No modelo proposto em (Bahl 2000) e (Taheri 2004) é realizado um mapeamento em todo perímetro físico onde se pretende localizar. Esta técnica também é denominada de técnica de *fingerprinting*. A área física é dividida em quadrantes e um conjunto de amostragens das potências de recepção de sinal dos pontos de acesso é armazenado para cada quadrante, criando uma tabela. Quando um cliente informa a potência de sinal entre eles e os pontos de acesso, a tabela é consultada e os valores mais próximos da situação são utilizados para localizá-lo.

Em (Kitasuka 2003), além de identificar a potência do sinal entre estação e pontos de acesso, o cliente utiliza a potência entre ele e os vizinhos para definir a localização.

O modelo proposto por (Pandey 2005), propõe uma tabela de amostragem que é criada através da utilização de diversos *sniffers* onde capturam as informações de potência entre os pontos de acesso e as diversas estações espalhados pelo ambiente físico.

Técnicas alternativas que utilizam a potência do sinal entre a estação e o ponto de acesso utilizam esta informação para realização de cálculos de triangulação ou trilateração de pontos para obtenção da localização física da estação móvel.

As técnicas mencionadas anteriormente, TOA (*Time off arrival*) e o AOA (*Angle off arrival*), apresentam uma maior complexidade aos mecanismos de localização de estações, quando comparados com AmpOA (*Amplitude of arrival*). A técnica de tempo de chegada necessita de relógios precisos (na ordem de nanossegundos) e sincronizados para trabalhar em ambientes *indoor*.

O AOA (*Angle off arrival*) necessita da adição de antenas direcionais nos pontos de acesso, o que não é comum em ambientes comerciais.

Pelos motivos mencionados acima, optou-se pela utilização dos valores de amplitude de sinal para a determinação da distância entre a estação móvel e diferentes APs. Após a determinação da distância, define-se um círculo para cada AP, tendo como raio este valor. A partir da identificação dos pontos de intersecção dos círculos, obtém-

se a identificação da região de localização da estação e posteriormente o ponto inferido como sendo sua localização física no ambiente.

No próximo item, será apresentado o estado da arte em sistemas de localização de estações e posteriormente os modelos matemáticos utilizados para compor o sistema proposto.

3. Estado da Arte

Para a localização de uma estação sem fio não se deve apenas desconsiderar sua mobilidade e aplicar algoritmos diretos obtidos na primeira leitura dados, deve-se levar em consideração outras técnicas para construir um sistema de localização mais eficiente. A seguir será apresentada proposta deste artigo e suas considerações.

Os sistemas de localização apresentados a seguir identificam a eficiência na localização de dispositivos móveis, diversidade e técnicas.

3.1 Shoran

Este sistema utiliza um método de localização envolvendo a medida de distâncias ao invés de ângulos e, conseqüentemente utiliza a técnica da trilateração. O Shoran (*Short Range Navigation*) é um sistema que foi criado na 2ª Guerra mundial para objetivos militares seu objetivo é navegação de pequeno alcance. Consiste em descrever um círculo de raio pre-estabelecido em torno de uma estação de radar, o raio tem comprimento igual à distância do alvo (Manso, 1976).

3.2 Ekahau

O Ekahau *Real-Time Location System* (RTLS) foi desenvolvido na Finlândia, no ano de 2000 (Ekahau, 2007). Atualmente é um dos sistemas de localização mais precisos, possuindo um erro médio da localização de dispositivos móveis abaixo de 1 metro. Conforme segue figura 3.

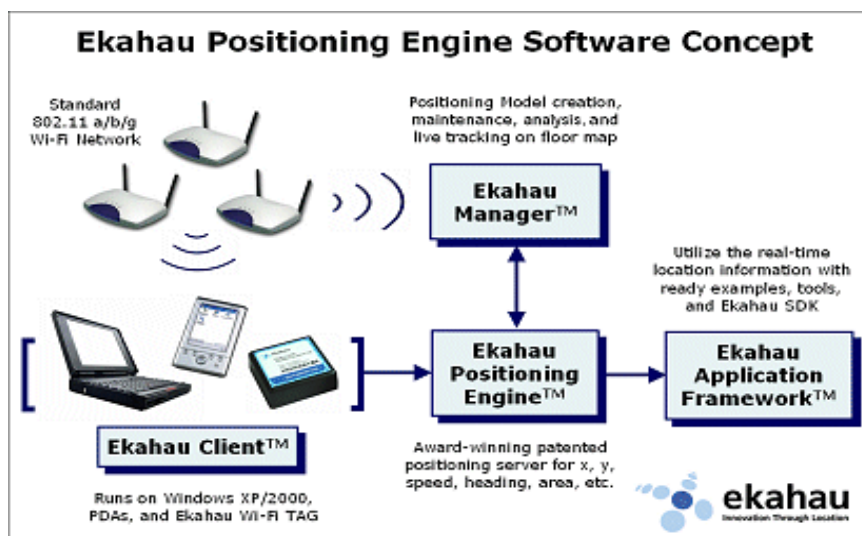


Figura 3. Software Ekahau

3.3 Easy Wifi Radar

É um software gratuito que serve para facilitar conexões a redes sem fio (*Wi-fi*). Funciona como um radar, localizando um dispositivo móvel utilizando uma rede sem fio normal, sem qualquer equipamento especial. O ponto forte desse sistema é necessitar de pouca calibração e fácil aplicação em diferentes ambientes, sem necessidade de alterações nas configurações dos APs. Sua precisão de erro é aproximada de 2,37 m (Carvalho, 2007). Conforme segue figura 4.

3.4 PlaceLab

É um *framework* criado com a intenção de facilitar o desenvolvimento de aplicações de localização de variados dispositivos móveis e funcionar com a tecnologia *Wi-Fi*. Contém um conjunto de algoritmos de localização adaptados para GSM, Bluetooth e *Wi-Fi*. Sabendo a área de cobertura de cada AP e tendo as coordenadas espaciais de cada AP, é possível determinar uma área onde o dispositivo móvel possa estar. Este método funciona analisando a posição de todos os APs ao alcance da estação. Quanto maior for o número de APs menor será o erro na localização (PlaceLab, 2006). Conforme segue figura 5.

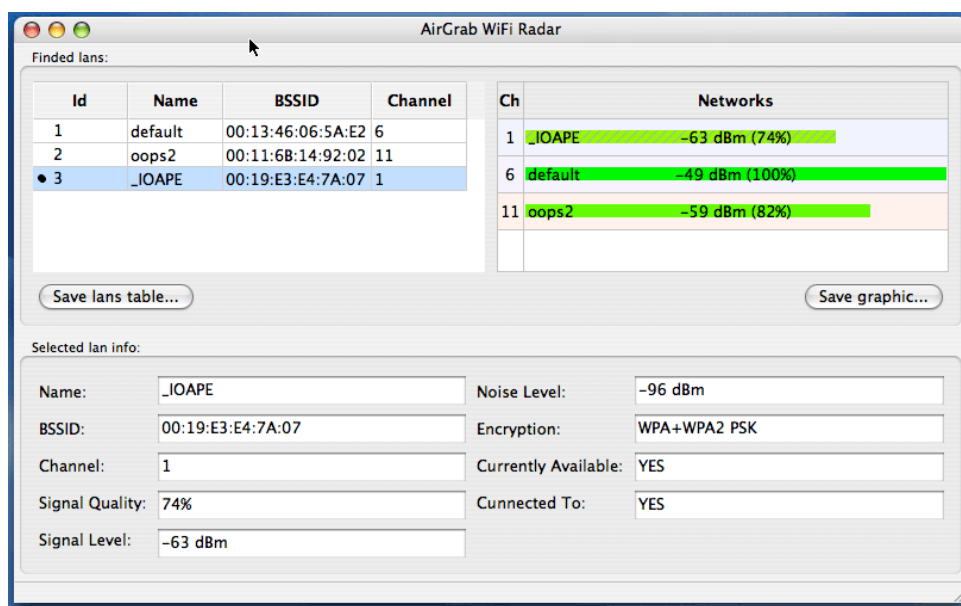


Figura 4. Software Easy Wifi Radar

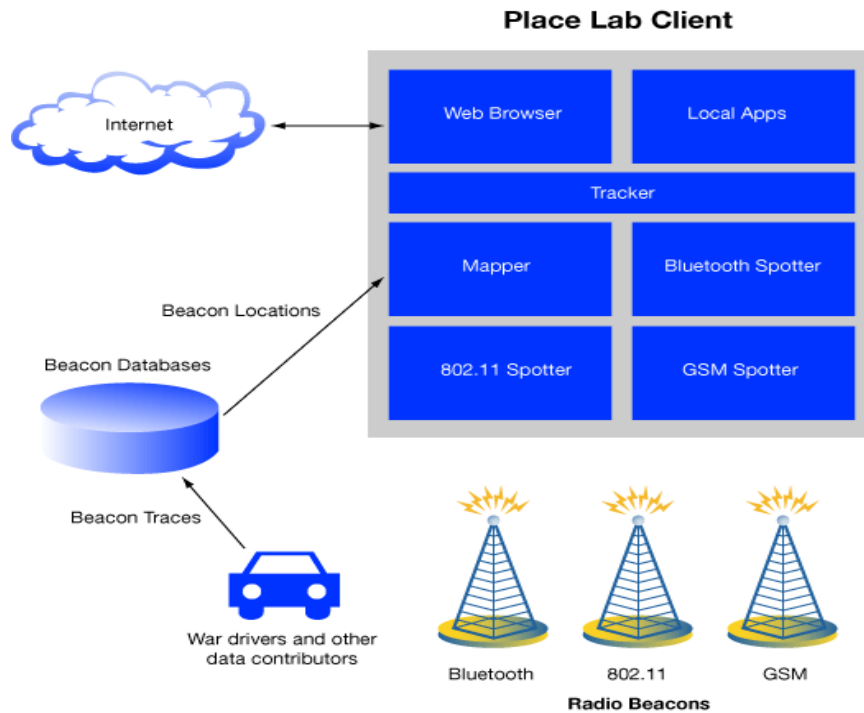


Figura 5. Place Lab

4. Características da Atenuação

Como o sistema proposto baseia-se na utilização dos valores de potência de sinal para identificação da distância entre a estação móvel e os APs, é necessário que se apresente alguns conceitos sobre a forma de propagação dos sinais de microondas no ar, e os fatores que acarretam em alteração da potência recebida pela estação móvel.

Dentre as diferentes interferências capazes de alterar a potência de um sinal, destaca-se a atenuação como sendo o fator mais considerável no sistema proposto, pois é baseada neste efeito que se identifica a distância percorrida pelo sinal.

Para qualquer sinal enviado em um meio de comunicação existe um fator de atenuação para a transmissão de microondas, ou seja, perda do sinal devido ao meio de transmissão.

A obtenção da atenuação de sinal entre a estação e o ponto de acesso é a através da fórmula de atenuação das microondas no ar, conforme passo (1).

$$A_{ar} = 20 \log \frac{4 \cdot \pi \cdot D}{\lambda} \quad (1)$$

Onde A_{ar} é atenuação em dB, D é distância em metros, λ é o tamanho do período da onda em metros.

Em redes IEEE 802.11b e 802.11g (2,4 GHz) o valor do comprimento de onda é de 0,125m e para ondas de 5,7 GHz (802,11a) de aproximadamente 0,06m.

Com estas informações, é possível então isolar o valor de distância como sendo uma variável a ser determinada, a partir da potência do sinal transmitido. No passo (2) e (3) será apresentado o desenvolvimento da equação isolando o D (distância).

$$\frac{10^{(A_{ar}/20)}}{(4.\pi)} = 4.\pi.D \quad (2)$$

$$D = \frac{10^{(A_{ar}/20)} . 0,125}{(4.\pi)} \quad (3)$$

Além da atenuação causada pelo meio de propagação, quando um sinal de microondas encontrar um obstáculo, poderá também sofrer diferentes graus de atenuação. A atenuação causada por alguns tipos de obstáculos pode ser obtida através da tabela 1:

Tabela 1. Atenuação de Obstáculos em Microondas de 2.4 GHz [3COM 2005]

Obstáculo	Atenuação
Parede de madeira sólida	6 dB
Divisória de escritório com janela de vidro	4 dB
Porta corta-fogo 25"	19 dB
Tijolo 3,5"	6 dB
Parede de concreto 18"	18 dB
Divisória de vidro 0,5"	12 dB
Corpo humano	3 dB

Conclui-se que o sinal transmitido por uma placa IEEE 802.11 operando a 2,4 GHz, será recebido com a potência definida na fórmula $R_x = P_t + G_{ar} - A_{ar}$, onde R_x é a potencia do sinal em dB, P_t a potência de transmissão da placa de rede origem em dBm, G_{ar} ganho da antena de transmissão em dBi e A_{ar} atenuação do ar em dB.

Apesar da influência dos obstáculos na determinação da distância a ser utilizada para a localização, os mesmos não serão considerados no presente trabalho.

5. Conceitos Matemáticos

Na técnica de trilateração é necessário que existam no mínimo três pontos de referência para ter sua localização. A figura 6 apresenta seis pontos de intersecção e três pontos de referência (APs).

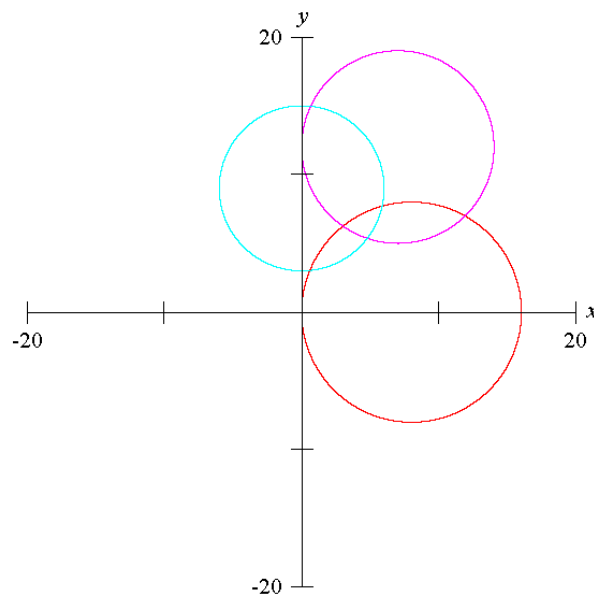


Figura 6. Trilateração dos pontos

Analisando os conceitos de trilateração e considerando-se que dado um ponto C , pertencente a um plano ∞ , e uma distância r não nula, chama-se circunferência o conjunto dos pontos de ∞ que estão à distância r do ponto C . (Iezzi, 2002) Conforme segue figura 7.

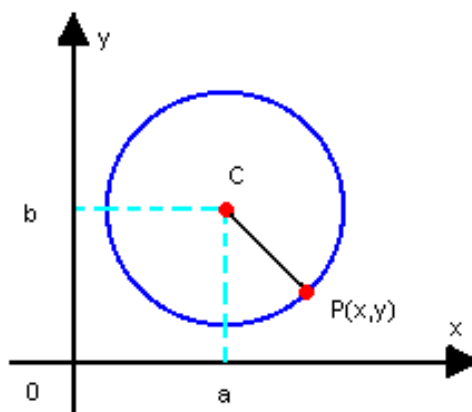


Figura 7. Características da circunferência

Onde: $CP = r$ (raio da circunferência)

Cálculo da circunferência utiliza-se a fórmula abaixo:

$$C_1 = (X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2 = R_1^2$$

Onde se têm:

X e Y variável; X_1 vértice X do plano cartesiano; Y_1 vértice Y do plano cartesiano.

Para a localização de estações deve-se ter três (3) pontos de referência, sendo criada através de três (3) circunferências, tendo os pontos fixos e a posição dos pontos de acesso. Têm-se a definição a seguir; conforme a figura 8.

- X_1 e Y_1 localização do ponto de acesso 1, com o R_1 igual à distância.
- X_2 e Y_2 localização do ponto de acesso 2, com o R_2 igual à distância.
- X_3 e Y_3 localização do ponto de acesso 3, com o R_3 igual à distância.

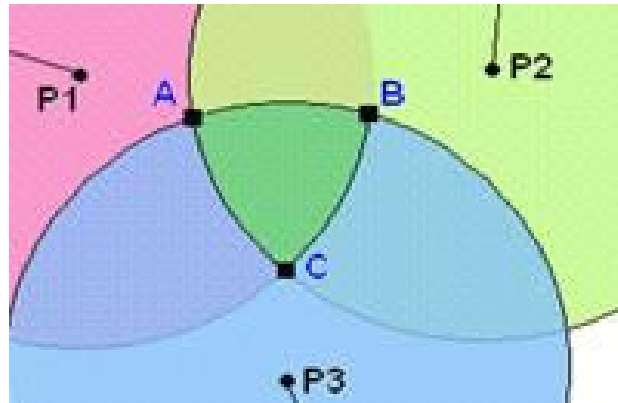


Figura 8. Pontos de intersecção

Através da aplicação da fórmula da circunferência pode-se encontrar a intersecção dos pontos, após será feita a substituição na terceira circunferência, localizando assim a estação móvel.

A seguir será abordado o funcionamento do sistema e o algoritmo proposto, o qual deve:

- Determinar a distância entre os pontos de referência;
- Encontrar a intersecção das circunferências.
- Comparar a distância e localizar o ponto mais próximo.

Dadas duas circunferências:

$$(\lambda_1) (X-X_1)^2 + (Y-Y_1)^2 = R_1^2$$

e

$$(\lambda_2) (X-X_2)^2 + (Y-Y_2)^2 = R_2^2$$

Achar a intersecção de λ_1 e λ_2 é determinar os pontos $P(x,y)$ que pertencem às duas curvas.

Se $P(x,y)$ pertence a λ_1 e λ_2 , então P satisfaz o sistema:

$$\begin{cases} (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 = r_1^2 \\ (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 = r_2^2 \end{cases}$$

Pode-se resolver da seguinte forma:

- I) Subtraem-se membro a membro as equações;
- II) Isola-se uma das incógnitas da equação do 1º grau obtida e substitui-se em uma das equações do sistema.

Considerando que os pontos (x_1, y_1) representam o centro de r_1 e os pontos (x_2, y_2) o centro do r_2 , através do sistema proposto acima é aplicada a distributiva e após a subtração e simplificação, conforme apresentado abaixo:

$$\begin{array}{r}
 - \left\{ \begin{array}{l} x^2 + y^2 - 2x.x_1 + x_1^2 - 2.y.y_1 + y_1^2 = r_1^2 \\ x^2 + y^2 - 2x.x_2 + x_2^2 + y^2 - 2.y.y_2 + y_2^2 = r_2^2 \end{array} \right. \\
 \hline
 - 2x. + 2x.x_2 - 2.y.y_1 + 2.y.y_2 + x_1^2 + y_1^2 - x_2^2 - y_2^2 = r_1^2 - r_2^2
 \end{array}$$

Agrupando os termos em comum:

$$x.(2 x_1 + 2 x_2) + y(2 y_1 + 2 y_2) + x_1^2 + y_1^2 - x_2^2 - y_2^2 = r_1^2 - r_2^2$$

A seguir isola-se a variável y

$$y = \frac{r_1^2 - r_2^2 - x_1^2 - y_1^2 + x_2^2 + y_2^2 - x.(-2 x_1 + 2 x_2)}{(-2 y_1 + 2 y_2)}$$

Para facilitar o cálculo será dividida a equação acima em blocos e atribuídos da seguinte forma:

$$A = r_1^2 - r_2^2 - x_1^2 - y_1^2 + x_2^2 + y_2^2; B = (-2 x_1 + 2 x_2) \text{ e } C = (-2 y_1 + 2 y_2).$$

Através da representação acima podemos calcular y' e y'' de forma simplificada a seguir:

$$y = \frac{A - (x.B)}{C}$$

Com os valores de y, é possível determinar a equação de segundo grau para cálculo das raízes (pontos de intersecção), $x^2 + y^2 - 2x.x_1 - 2.y.y_1 + x_1^2 + y_1^2 = r_1^2$, onde os termos a,b,c (para aplicação da fórmula de Báskara) serão representados pelas letras D, E e F. Substituindo o y na equação obtém-se:

$$x^2 + \left(\frac{A - (x.B)}{C} \right)^2 - 2x.x_1 - 2.y_1. + \left(\frac{A - (x.B)}{C} \right) + x_1^2 + y_1^2 - r_1^2 = 0$$

$$x_1^2 + \underbrace{\left(\frac{1+B^2}{C^2}\right)}_D + x_1 \cdot \underbrace{\left(-\frac{2A \cdot B}{C^2} - 2x + \frac{2 \cdot y_1 \cdot B}{C}\right)}_E + \underbrace{\left(\frac{A^2}{C^2} - \frac{2 \cdot y_1 \cdot A}{C} + x_1^2 + y_1^2 - R_1^2\right)}_F = 0$$

$$x^2 \cdot D + E \cdot x + F = 0$$

Substituir na fórmula de báskara os termos D, E e F.

$$\frac{-E \pm \sqrt{E^2 - 4 \cdot D \cdot F}}{2D}$$

A partir da equação acima é possível encontrar os pontos x' e x'' . Com os valores de x pode-se substituir na equação abaixo para obter o valor de y :

$$y' = \frac{A - (x' \cdot B)}{C} \quad \text{e} \quad y'' = \frac{A - (x'' \cdot B)}{C}$$

Com os valores dos pontos de intersecção localizados, o próximo passo será o cálculo da distância entre esses pontos através da fórmula da distância:

$$(D_{1,2})^2 = (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2$$

Para obter os pontos que possuem a menor distância entre si; formando assim uma semelhança de triângulo nos pontos de intersecção mais próximos. Conforme a figura 9.

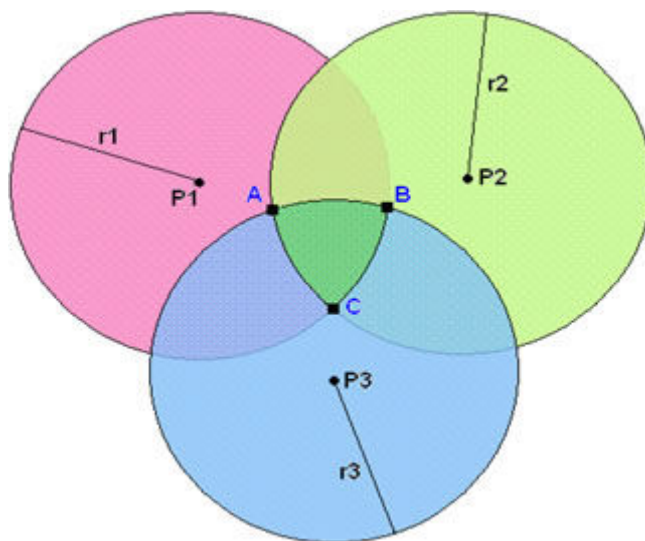


Figura 9. Pontos próximos de intersecção

Com os três pontos localizados, tem-se uma semelhança de triângulos onde esse possui três medianas que se encontram no mesmo ponto G, denominado Baricentro, que pode ser obtido através das fórmulas a seguir, (Iezzi, 2002) e representadas pela figura 10:

$$Gx = \left[\frac{(x_a + x_b + x_c)}{3} \right] \quad \text{e} \quad Gy = \left[\frac{(y_a + y_b + y_c)}{3} \right]$$

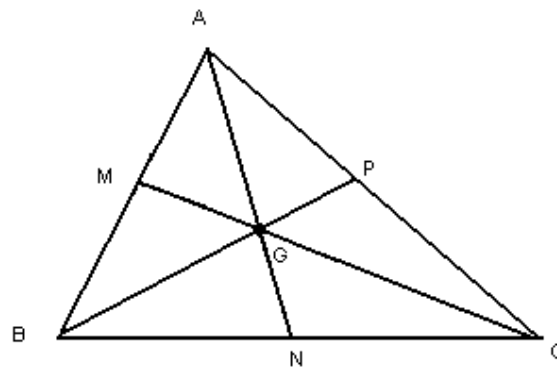


Figura 10. Ponto do Baricentro de um triângulo

O ponto definido como sendo o baricentro do triângulo formado pelos pontos de intersecção mais próximos, identifica a posição física da estação inferida pelo sistema.

6. Cenário de testes

O sistema proposto foi implementado utilizando um sistema de localização de estações já operacional na ULBRA campus Guaíba. Este sistema utiliza atualmente a técnica de *fingerprinting* e durante a escrita deste trabalho estava iniciando testes com esta técnica.

Como este sistema já encontra-se implementado, obteve-se um parâmetro de comparação para validar a precisão da atual proposta. Compara-se então a técnica de *fingerprinting* já implementada com a trilateração proposta neste trabalho.

A figura 11 apresenta a planta baixa do laboratório de informática da Ulbra Campus Guaíba, onde foram levantadas algumas medidas relevantes, os testes do protótipo e comparação de precisão com as técnicas mencionadas.

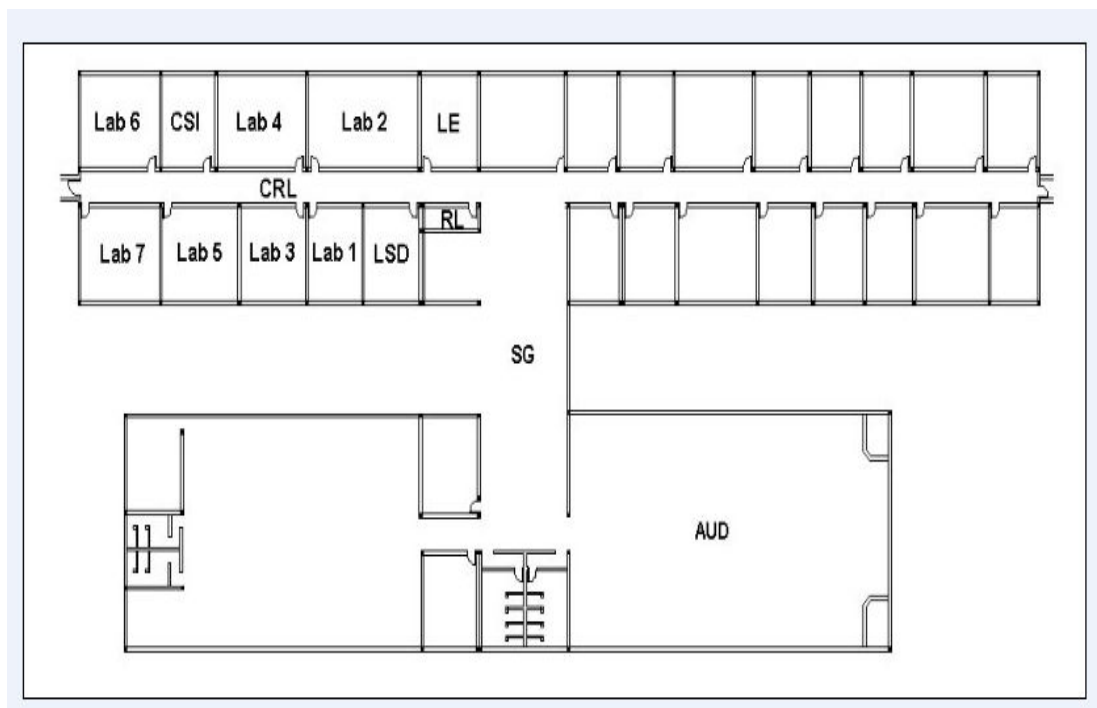


Figura 11. Labin Ulbra Guaíba

7. Testes Realizados

Para validação do protótipo implementado, foram feitos testes de localização de uma estação móvel no ambiente descrito.

Os testes foram realizados posicionando um *notebook* na sala de aula Labin 6. O ambiente foi mapeado em um plano cartesiano, ficando a posição da estação no ponto (3,13) e 3 APs nas posições: (15,0); (7.5,15) e (0,10).

Em (Bahl, 2000) a técnica de *fingerprinting*, é utilizada em ambientes *indoor* e a figura 12 apresenta o mapeamento realizado. Têm-se as amostras coletadas e os triângulos são representados pelos APs.

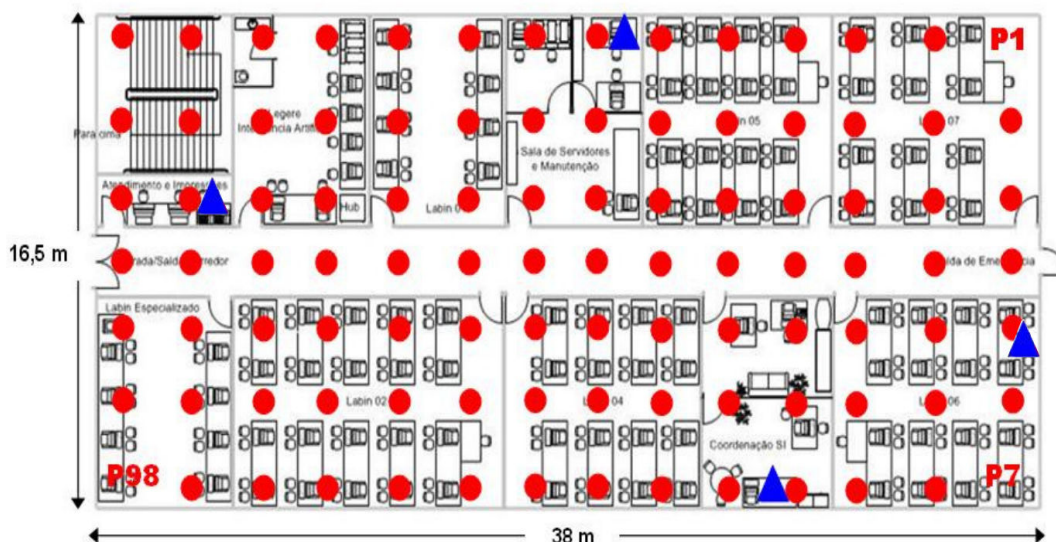


Figura 12. Amostras coletadas para técnica de *fingerprinting*

Foram realizadas 80 localizações onde, em cada localização coletou-se 50 amostras de potência para determinar a distância entre a estação móvel e os APs na área de abrangência da mesma.

Estes valores serviram como entrada para a localização da estação tanto pela técnica de *fingerprinting*, quanto pela técnica de trilateração, ou seja, foi possível com este método validar com os mesmos valores os erros em cada processo de localização.

A figura 13 apresenta os resultados de potência convertidos em raios de três círculos, um para cada AP. São representadas nessa figura todas as 80 localizações.

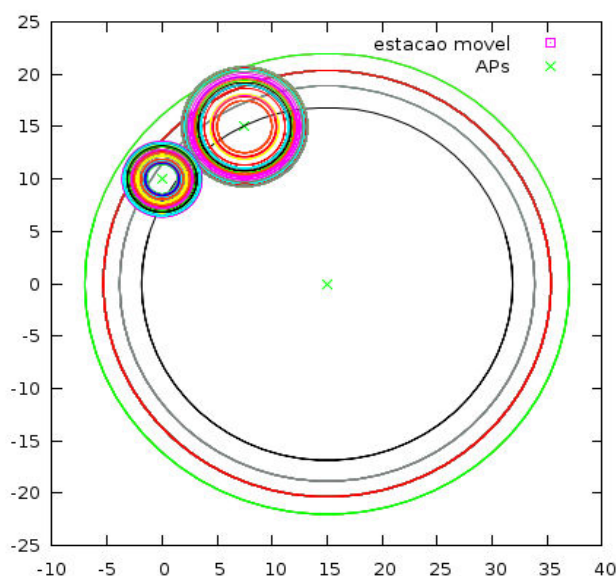


Figura 13. Circunferências amostras geral

Na figura 14 também apresenta os resultados de potência convertidos em raios de três círculos, um para cada AP. São representados nessa figura o menor raio, raio médio e maior raio das 80 localizações.

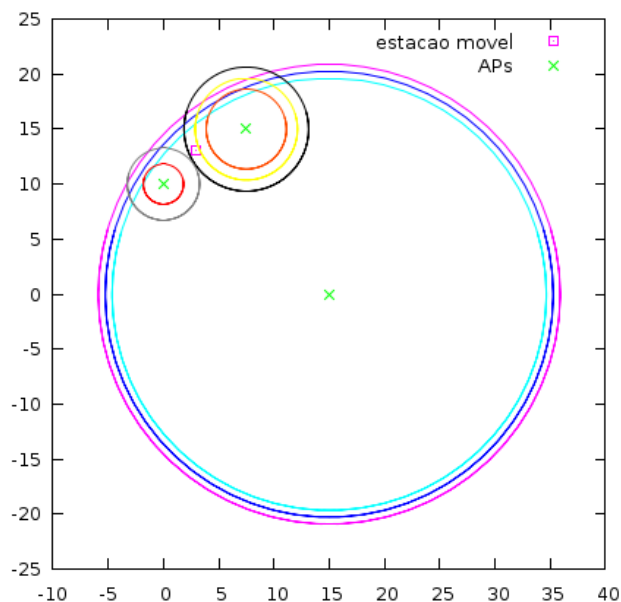


Figura 14. Circunferências contendo o menor raio, raio médio e maior raio

Na técnica de *fingerprinting* a média de erro ficou em aproximadamente 2,71 metros, conforme a figura 15:

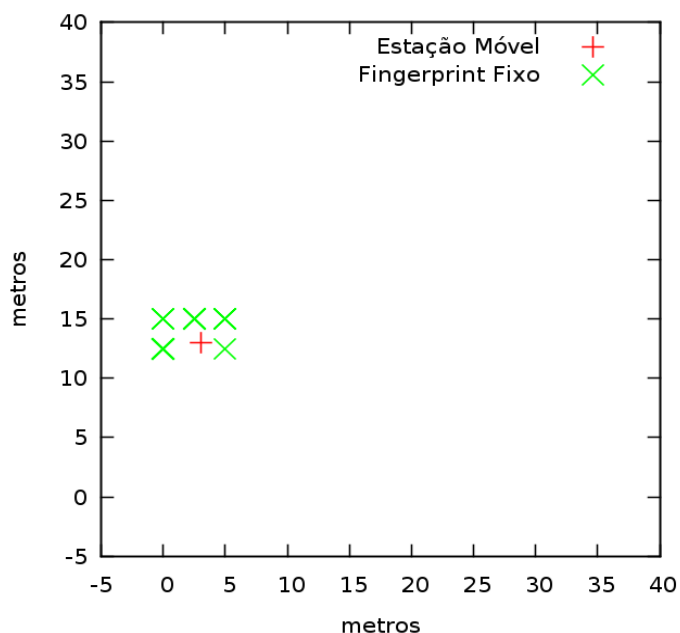


Figura 15. Técnica de *fingerprinting*

As mesmas amostras foram aplicadas ao algoritmo descrito anteriormente na técnica de trilateração e podemos constatar que a média de erro ficou aproximadamente em 3,44 metros. Conforme figura 16.

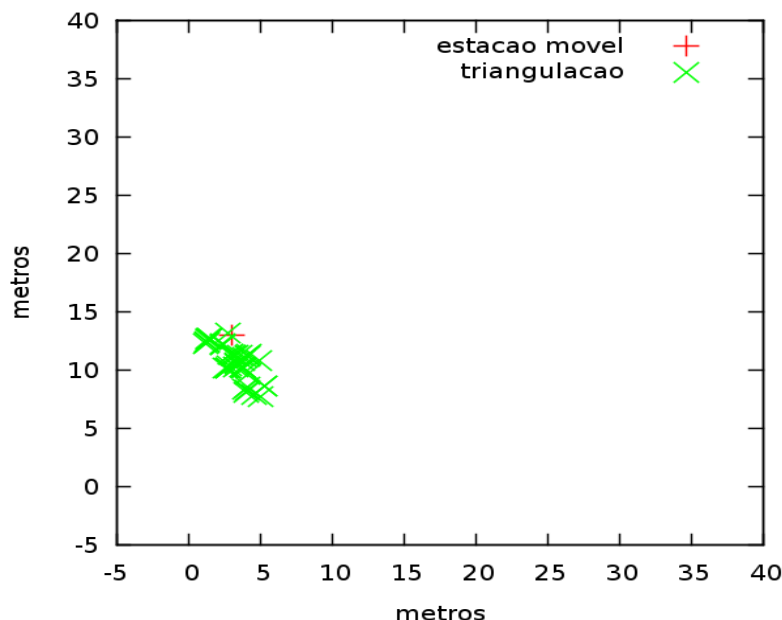


Figura 16. Técnica de Trilateração

8. Conclusão

A trilateração apresenta-se, como uma alternativa aos modelos de localização de estações atualmente em uso no projeto ao qual esta proposta se enquadra.

Esta técnica demonstra uma forma de localização baseando-se, na obtenção de informações de potência entre estações móveis, pontos de acesso fixos e com localização conhecida.

Foram aplicados os cálculos matemáticos da trilateração em código computacional (o protótipo atual no ULBRA campus Guaíba foi desenvolvido em linguagem PHP) e a aplicação dessa técnica no laboratório do campus da Ulbra Guaíba, com isso podendo chegar a valores reais de precisão da localização, conforme mencionados acima.

Através das técnicas mencionadas ao longo desse artigo, foram feitas comparações entre os resultados do processo de localização utilizando, *fingerprinting* e trilateração. Com os resultados dos testes práticos, podemos constatar que o processo de *fingerprinting* possui uma diminuição de erro no processo de localização do sistema menor que a técnica de trilateração.

Pode-se concluir que com a técnica de trilateração obteve-se um aumento de erro de aproximadamente 1 metro no resultado final. Entretanto este método pode ser implementado de maneira mais ágil, não sendo necessária a coleta de dados, quando comparado com a técnica de *fingerprinting*.

Na trilateração não é necessário que o administrador da rede realize a etapa de coleta de amostras de potência do ambiente, obrigatória no *fingerprinting*. Isto significa que pode ser considerada mais adequada então, em ambientes onde os pontos de acesso possuem alteração de posição física freqüente (necessitando apenas a entrada da nova posição no sistema). Também pode ser rapidamente implementado em ambientes novos, ou facilmente incorporado em sistemas de localização.

Apesar de se ter obtido resultados que comprovam a eficácia da técnica, não se considera que este trabalho esgotou o tema de localização de estações, tendo em vista, a possibilidade de acréscimo de resultados e pesquisas tendo o mesmo como ponto de partida. Sugere-se como trabalhos futuros, a utilização da técnica de trilateração em conjunto com outras técnicas de localização, permitindo a verificação da diminuição de erro.

Também pode ser considerada como trabalho futuro a realização da localização de estações considerando obstáculos do ambiente.

9. Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a minha família pela paciência e pelo apoio durante todo o curso; agradeço especialmente ao meu orientador André Peres que sempre esteve presente, com incentivo e acompanhamento desde o início desse trabalho, a professora de matemática Carine Loureiro Boeira pela atenção e ajuda a desenvolver os cálculos matemáticos.

E todos os amigos que de uma forma ou outra sempre acreditaram em mim dando idéias, opiniões e conselhos.

10. Referência Bibliográfica

3COM (2005) “3Com Wireless Antennas Product Guide”, http://www.3com.com/other/pdfs/products/en_US/101900.pdf, Maio 2007;

Bahl, P.; Padmanabhan, V.N.; Balachandran, A. (2000) “Enhancements to the RADAR User Location and Tracking System,” Microsoft Research Technical Report, 2000.

Capkun, Srdjan; Hubaux, Jean Pierre (2005) “Secure Positioning in Wireless Networks”, in IEEE Infocom 2005, Miami.

Carvalho, Joel Filipe Machado (2007), Localização de Dispositivos Móveis em Redes Wi-Fi; Departamento de Engenharias, Universidade Vila Real. (Mestrado em Informática)

Costa, Moisés Ferreira & Silva, Antônio Simões. (1995) Determinação de Coordenadas Planas: Uma Metodologia de Cálculos pelo Processo de Ressecção Linear.

Ekahau, Inc; *Ekahau Positioning Engine 4.1*; Consultado a 10 de Outubro de 2007; <http://www.ekahau.com/>

IEEE Std 802.11b1999 R2003. Disponível em: <http://standards.ieee.org/getieee802/>

Iezzi Gelson (2002), Fundamentos de Matemática Elementar, p. 140-150; Atual Editora 4º Ed.

Kitasuka, T.; Nakanishi, T.; Fukuda, A., (2003). Wireless LAN Based Indoor Positioning System WiPS and Its Simulation.

Pandey, S.; Byungsuk Kim; Anjum, F.; Agrawal, F. (2005). Wireless Communications and Networking Conference, 2005 IEEE Volume 2, 13-17 March 2005 Page (s): 1174-1179 Vol.2

Manso, Fritz Azevedo, (1976) Triangulação e Trilateração Geodésicos, Manual Técnico Ministério do Exército, p 9-1 – 16-1.

Moraes, Milton Roberto (2008), Mecanismos de Identificação Dinâmica da Atenuação de Obstáculos para Localização de estações em redes sem fio IEEE 802.11; Universidade Luterana do Brasil – ULBRA, bacharelado em Sistemas de Informação, Canoas. (monografia)

Nadal, Marco Aurélio Debus, (2008) Controle e Operação Remota de Estações Total Robotizado voltado à Auscultação Geodésica; Universidade Federal do Paraná, Paraná.

Nadal, Marco Aurélio Debus, (2008) Estabelecimento de uma rede geodésica para o monitoramento de estruturas: estudo de caso na usina Hidrelétrica Salto Caxias; Universidade Federal Paraná.

PlaceLab (2006). Disponível em: <http://www.placelab.org/>

Suris, Henrique Araripe, (2007) Localização de estação sem fio IEEE 802.11; Universidade Luterana do Brasil – ULBRA, bacharelado em Sistemas de Informação, Canoas. (monografia)

Taheri, A.; Singh, A.; Emmanuel, A. (2004). “Location fingerprinting on infrastructure 802.11 wireless local area networks (WLANs) using Locus”. Local Computer Networks, 2004. 29th Annual IEEE International Conference on 1618 Nov. 2004 Page(s):676- 683.

Torres, Paulo André Reis, (2008) Localização de Clientes Sem Fio em Redes 802.11(b/g) com Triangulação; Universidade Luterana do Brasil, p 9-11, bacharelado em Sistemas de Informação, Canoas. (trabalho de conclusão de curso)

Volpato, Daniel Pereira & Ecco Leonardo Luiz, (2007) Multiterarion IP, Universidade Federal de Santa Catarina Departamento de Informatica e Estatística Disciplina de Integração Software e Hardware.

Xiang Z. ET. AL. A Wireless LAN- based Indoor Positioning Technology 2004.