

Sistema Mobile para Localização Indoor usando Tratamento de Posição e Correção de Rota

César D. Silva¹, Karin S. Komati¹, Daniel R. Trindade¹

¹Coordenação de Informática – Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes) Campus Serra
Rodovia ES-010 – Km 6,5 – Manguinhos – CEP: 91.501-970 – Serra – ES – Brazil

cesardickdasilva@gmail.com, {kkomati, danielrt}@ifes.edu.br

Abstract. *Indoor positioning systems aims to indicate the location of a device indoors, where the GPS signal is weak or even non-existent. This work presents a system capable of determining the position and trajectory of a user in indoor environments using the magnetometer and step sensors. The system also corrects the position and trajectory originally obtained. Two strategies were used to determine the position: the first using only the GPS signal and the second using a combination of sensors of a cell phone. Also, the original data from the sensors were compared with the data after the correction of position and trajectory were made. The tests were performed in the first floor of a building composed by open and closed areas. The best results were achieved when using the magnetometer and step sensors.*

Resumo. *Sistemas de localização indoor tem como objetivo indicar a localização de um dispositivo em locais fechados, onde o sinal de GPS é fraco ou inexistente. Esse trabalho apresenta uma implementação de sistema de localização indoor capaz de determinar a posição e trajetória de um usuário em ambientes indoor usando uma combinação do sensor magnetômetro e do contador de passos de um celular. Também é feito um tratamento de posição e correção de rota dos dados dos sensores. Nos experimentos, comparou-se uma versão do sistema usando apenas o sensor GPS e uma versão com o uso dos sensores. Além disso, foram comparados os dados brutos dos sensores com a posição e trajetória tratadas. O estudo de caso foi feito no primeiro andar de um prédio com partes externas e internas. Os resultados mais próximos do percurso dos usuários foram obtidos com o uso dos sensores.*

1. Introdução

Um aplicativo de geolocalização projetado para ser utilizado em ambientes abertos é classificado como sistema de posicionamento outdoor, ou seja, aplicações de geolocalização para serem utilizadas fora de construções [Carrasco-Letelier, 2015], cujo sensor mais popular é o GPS (*Global Positioning System*).

Já nos sistemas de posicionamento indoor, o objetivo é conhecer a localização ou trajetória do usuário quando este se encontra em um ambiente fechado, por exemplo, dentro de uma construção. Velasco (2014) cita vários exemplos de aplicações de sistemas de localização indoor. Um desses é determinar a posição exata de todos os médicos dentro do hospital e com isso, acelerar o atendimento em uma emergência médica.

Para as aplicações indoor o sensor GPS não é tão adequado, uma vez que o sinal é atenuado e disperso por telhados, paredes e outros objetos. Dessa forma, são utilizadas outras técnicas, que vão desde o uso de ondas de rádio a campos magnéticos e sinais acústicos [Curran et al., 2011]. Uma possível solução seria o uso de antenas Bluetooth, como apresentado por Bekkelien (2012): várias antenas são espalhadas por um edifício e a posição exata de cada uma deve ser registrada para que o sistema utilize esta posição como referência. A força do sinal é usada para calcular a distância do dispositivo para a antena Bluetooth, inferindo assim a posição do usuário. Um obstáculo na solução descrita é a necessidade de dispositivos externos espalhados, que elevam o custo de implantação de acordo com o tamanho da área a ser coberta.

Outras abordagens são encontradas como a utilização de antenas de wi-fi apresentadas por Hu (2013) e Liu e colegas (2007), e a utilização de transmissores de rádio frequência (RFID - *Radio-Frequency IDentification*) defendidas por Fabini, Russ e Wallentin (2013), e Randell e Muller (2001). Porém essas técnicas também apresentam os problemas levantados quanto à aquisição de equipamentos. Uma solução para este problema é o uso de sensores presentes em dispositivos móveis como celulares, como proposto por Stockx, Hecht e Schöning (2014).

Este trabalho apresenta uma implementação para o problema de posicionamento indoor, capaz de fornecer tanto a posição de um usuário quanto sua trajetória em ambientes internos. Para isso são usados o sensor magnetômetro e o contador de passos disponíveis em celulares no mercado. O sistema permite o cadastro de informações do ambiente a ser considerado, necessárias para as estratégias posicionamento desenvolvidas.

2. Desenvolvimento

O sistema desenvolvido possui dois módulos (Figura 1): o Módulo Servidor, composto pelo servidor web que permite o monitoramento do deslocamento dos celulares, a edição de elementos do mapa e o gerenciamento dos usuários; o Módulo Mobile é uma aplicação para dispositivos móveis desenvolvida para Android, responsável por obter a posição do usuário e enviar esta posição para o servidor. No Módulo Mobile é possível escolher a estratégia de captura de posição: GPS ou conjunto de sensores.

A edição dos elementos do mapa inclui telas para Cadastro de Salas, Corredores e Visualizador de Posições, e utiliza a biblioteca do Google Maps para exibição [Google, 2016]. Através dessa biblioteca, o sistema cria pontos e linhas no mapa baseado em coordenadas de latitude e longitude. Isso permite a correta projeção das posições, independentemente de tamanho ou resolução. Além disso, a biblioteca permite a projeção de imagens georreferenciadas sobre o mapa. Esse recurso é utilizado para exibição da planta do edifício, de modo que um usuário consiga identificar o local onde outros usuários estão.

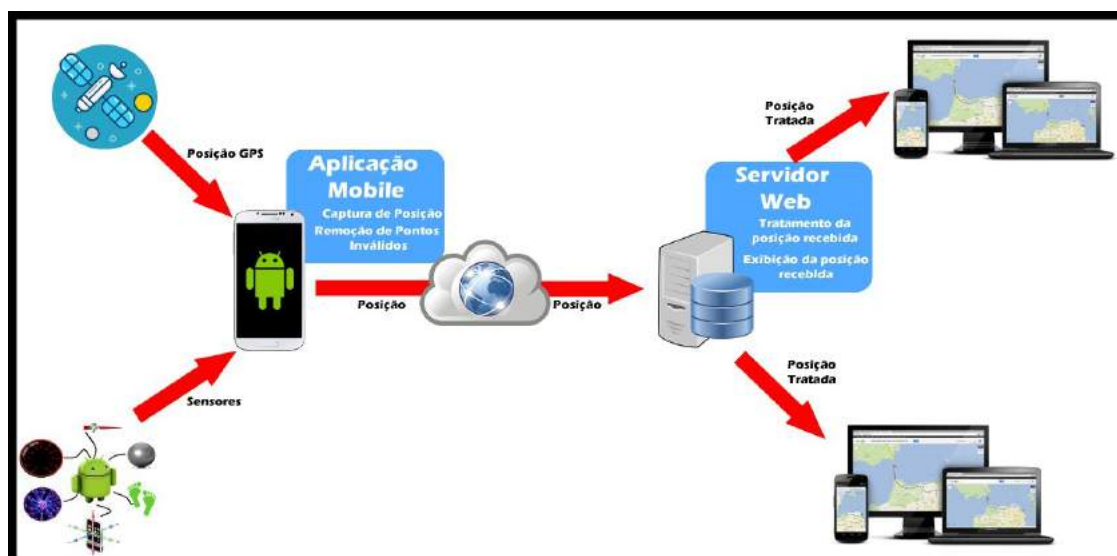


Figura 1. Arquitetura do sistema.

Na tela Cadastro de Corredores foi desenvolvido ainda um editor de grafos baseado no Google Maps. Este editor permite informar vértices e arestas que, quando conectados, criam uma representação em grafo dos corredores de um edifício. É possível mover estes vértices livremente e excluí-los. A Figura 2 apresenta o primeiro andar de um edifício, o qual foi utilizado como ambiente de testes neste trabalho, com as salas, corredores e o grafo resultante. As áreas verdes são jardins sem cobertura (área aberta) e apenas uma parte dos corredores possui cobertura do tipo telhado colonial.



Figura 2. Prédio do ambiente de testes com os corredores e salas mapeados.

1.1 Tratamento de Posição e Rota

O sistema permite que a posição seja obtida tanto através do sinal GPS quanto dos sensores do celular e é possível escolher entre essas duas opções na aplicação móvel. Quando utilizado o GPS, a aplicação envia ao servidor a posição obtida diretamente pelo sinal GPS. No caso de uso dos sensores, a posição é calculada antes de ser enviada ao servidor através dos sensores de passos e magnetômetro. Isso é feito da seguinte forma:

1. Primeiramente é estabelecida uma posição inicial, que será usada como referência. Essa posição é configurada pelo usuário manualmente. Portanto, assume-se que, ao menos no início, o usuário deve ser capaz de informar corretamente sua posição;
2. Através do sensor de passos é calculada a distância percorrida pelo usuário, tomando a posição inicial como referência. O sensor de passos está presente em celulares mais recentes e fornece o número de passos dados pelo usuário. A aplicação mobile permite que o tamanho do passo seja configurado. Assim, a distância percorrida é igual ao número de passos multiplicado pelo tamanho do passo.
3. A direção é calculada através do sensor de magnetômetro. Neste trabalho considerou-se que a orientação do celular é fixa. Dessa forma, a orientação pode ser calculada tomando como referência o norte magnético.

Nos dois métodos utilizados foram detectados problemas em relação aos dados da posição e trajetória obtidos. A Figura 3 ilustra esses problemas: na região A, por imprecisão dos sensores, as posições detectadas não são válidas uma vez que o usuário está andando e a trajetória resultante indica que ele teria atravessado paredes. Já a região B indica outro problema, no qual o servidor ficou um tempo considerável sem receber atualizações de posição por parte do cliente mobile. Neste caso, uma trajetória inválida é traçada entre os pontos. Para tratar esses problemas foram usadas duas estratégias, ambas implementadas no servidor: a primeira para corrigir possíveis posições inválidas e a segunda para tratamento da trajetória.



Figura 3. Problemas decorrentes da obtenção de posições (A) e de cálculo de trajetória (B).

A Figura 4 ilustra como é feita correção de posição. Ao detectar uma posição inválida, é calculado o ponto mais próximo da posição fornecida e que esteja localizado sobre um dos vértices ou arestas do grafo correspondente ao ambiente.

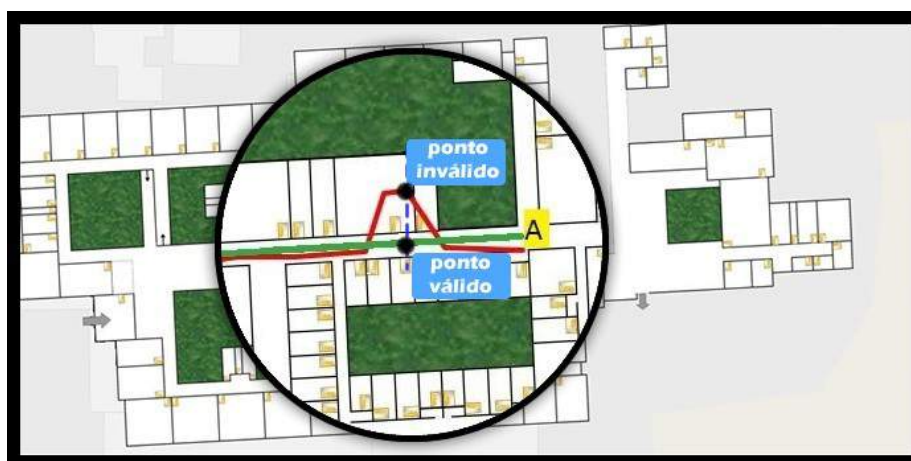


Figura 4. Correção de posição, mostrando o ponto inválido e a correção para um ponto válido, no corredor.

O tratamento da trajetória é realizado após as correções de posições. Para isso é utilizado o algoritmo de Dijkstra [Dijkstra, 1959]. Tomando como entrada o grafo que corresponde ao mapeamento de corredores do ambiente e os pontos inicial e final, o algoritmo calcula o menor caminho entre esses pontos. No exemplo mostrado aqui (Figura 5), o algoritmo é usado para calcular o menor caminho entre os vértices B e C. O resultado é a trajetória que vai do vértice B até o A e depois de A até C, resultando na trajetória corrigida. A trajetória inicial é mostrada em vermelho e a trajetória corrigida é alterada para a reta em verde.

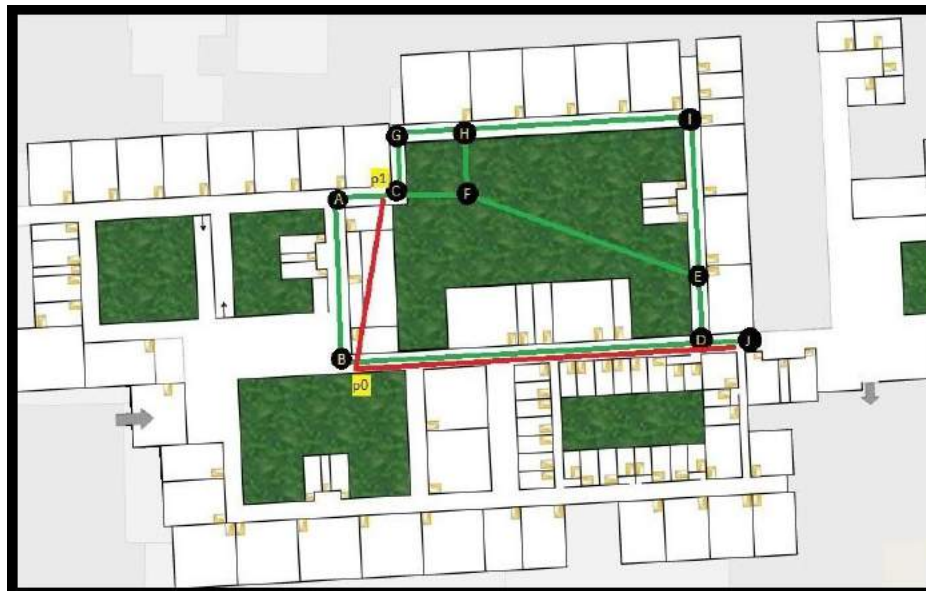


Figura 5. Grafo do mapeamento dos corredores em verde e trajetória inicial em vermelho.

3. Experimentos, Resultados e Discussão

Para os experimentos, utilizou-se o aparelho telefônico da marca Samsung Galaxy S4. Foram traçadas 3 (três) diferentes rotas (Figura 6), e para cada rota armazenou-se o resultado do sistema (rota traçada) usando apenas o GPS ou o uso dos sensores, totalizando 6 (seis) diferentes resultados.

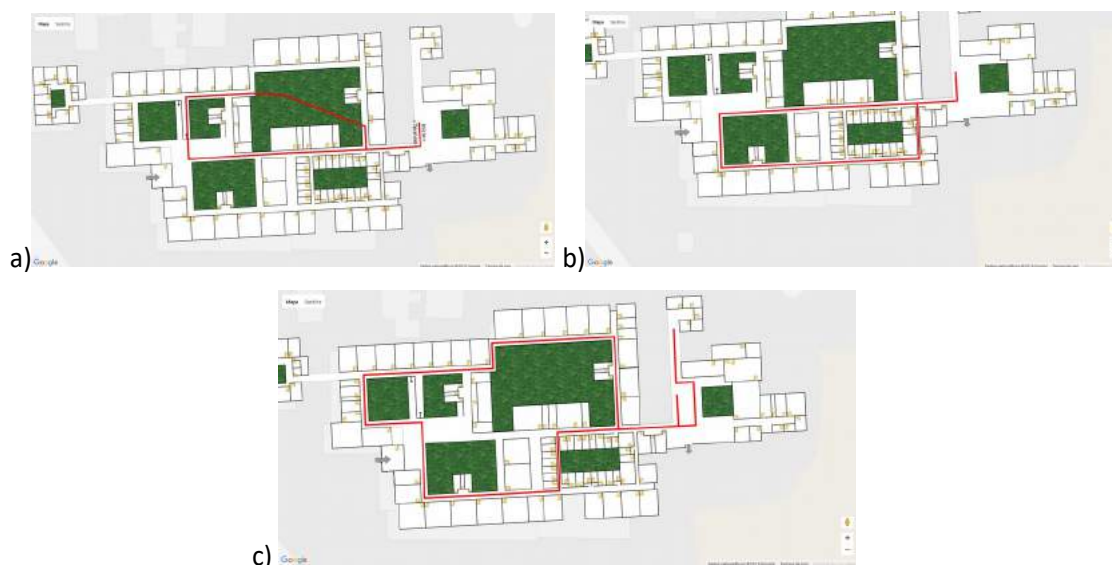


Figura 6. Rotas utilizadas nos testes, na ordem: a) rota 1, b) rota 2 e c) rota 3.

A rota 1 foi planejada para que uma parte do caminho atravessasse uma grande área de jardim (área verde), que oferece ao dispositivo uma visão clara do céu e permite que o dispositivo obtenha um bom sinal de GPS durante sua travessia; em seguida o caminho avança para uma área fechada e que possui andar superior. A rota 2 foi selecionada para atravessar uma área com vários corredores se cruzando. A rota 3 foi planejada para que apresentasse o maior trajeto.

Cada uma dessas rotas foi percorrida 3 (três) vezes, e cada repetição feita em um dia diferente com condição climática diferente. Isso serviu para avaliar se haveria mudança nos resultados com apenas o uso do GPS. No entanto, não ocorreram diferenças significativas.

3.1 Resultados da Rota 1

As Figuras 7 e 8 apresentam respectivamente os resultados com a correção de posição e trajetória para a Rota 1. Em cada figura, a trajetória na cor azul representa o resultado sem a aplicação de nenhuma correção, enquanto que as trajetórias vermelhas (GPS) e pretas (Sensores) indicam os resultados com correção.

Como se pode observar na Figura 7, o sinal GPS apresenta bons resultados nas áreas abertas de jardins (em verde), mas piora quando o usuário caminha pelos ambientes internos. Através da correção de posição foi possível melhorar esse resultado, mas ainda assim não houve melhora significativa para as áreas internas. Já a posição obtida através dos sensores forneceu um resultado melhor, se aproximando bastante do traçado real.

A Figura 8 mostra o resultado com a correção de trajetória. Percebe-se que foi possível, tanto com o GPS ou sensores, obter uma trajetória muito próxima do real, independente de possíveis falhas de obtenção do sinal GPS ou perda de comunicação entre a aplicação mobile e o servidor.



Figura 7. Rota 1 com a aplicação da correção de posição. À esquerda foi utilizado o sinal GPS para obter a posição. À direita foram usados os sensores de passo e magnetômetro.



Figura 8. Rota 1 com a aplicação da correção de trajetória. À esquerda foi utilizado o sinal GPS para obter a posição. À direita foram usados os sensores de passo e magnetômetro.

3.2 Resultados da Rota 2

As Figuras 9 e 10 apresentam respectivamente os resultados com a correção de posição e trajetória para a Rota 2. Em cada figura, a trajetória na cor azul representa o resultado sem a aplicação de nenhuma correção, enquanto que as trajetórias vermelhas (GPS) e pretas (Sensores) indicam os resultados com correção.

Os resultados são similares aos obtidos na Rota 1. Aqui cabe destacar que a Rota 2, diferente da Rota 1, passa por poucos lugares abertos e, devido a isso, o sinal de GPS é mais fraco. Isso contribui para que, mesmo após a correção da posição, a trajetória resultante para o GPS contenha mais erros do a trajetória obtida através dos sensores.

Como mostra a Figura 10, após a aplicação da correção da trajetória foi possível chegar a resultados próximos do real. Entretanto, na trajetória final referente ao sinal GPS há alguns momentos em que o sistema indica, erroneamente, que o usuário entrou por um momento em um corredor.



Figura 9. Rota 2 com a aplicação da correção de posição. À esquerda foi utilizado o sinal GPS para obter a posição. À direita foram usados os sensores de passo e magnetômetro.



Figura 10. Rota 2 com a aplicação da correção da trajetória. À esquerda foi utilizado o sinal GPS para obter a posição. À direita foram usados os sensores de passo e magnetômetro.

3.3 Resultados da Rota 3

As Figuras 11 e 12 apresentam respectivamente os resultados com a correção de posição e trajetória para a rota 3. Em cada figura, a trajetória na cor azul representa o resultado sem a aplicação de nenhuma correção, enquanto que as trajetórias vermelhas (GPS) e pretas (Sensores) indicam os resultados com correção.

Na Rota 3 o sinal do GPS teve um desempenho melhor em relação às Rotas 1 e 2. Já a posição obtida com a combinação de sensores apresentou um erro maior em relação à rota original. Isso ocorre devido ao erro acumulado pelo sensor de passos. Como mencionado antes, o sensor de passos depende da correta configuração do tamanho do passo do usuário. Portanto, se o usuário tiver passos mais longos (ou mais curtos), a tendência é que o erro aumente para caminhos mais longos.

No geral, em todas as três rotas, o resultado medido com o conjunto de sensores obteve uma precisão superior ao GPS. Após a correção da trajetória foi possível obter resultados similares tanto com o GPS quanto com o uso de sensores. Entretanto, o uso de sensores se mostra uma solução mais promissora, tanto pela maior precisão na obtenção da posição quanto pelo fato de consumir menos bateria, este último um aspecto muito relevante quando são usados dispositivos móveis.



Figura 11. Rota 3 com a aplicação da correção de posição. À esquerda foi utilizado o sinal GPS para obter a posição. À direita foram usados os sensores de passo e magnetômetro.



Figura 12. Rota 3 com a aplicação da correção da trajetória. À esquerda foi utilizado o sinal GPS para obter a posição. À direita foram usados os sensores de passo e magnetômetro.

4. Considerações Finais

Os resultados mostraram que a combinação de sensores conseguiu gerar resultados mais precisos que as posições obtidas apenas com a utilização do GPS no ambiente analisado. Também foi possível verificar que o resultado com sensores do celular se mostrou uma solução promissora com baixo custo, além do fato de que o consumo de bateria da combinação de sensores se mostrou muito inferior ao consumo registrado na utilização do GPS. Entretanto, o uso do sensor de passos depende da correta configuração do tamanho do passo do usuário.

Como trabalhos futuros, espera-se desenvolver uma estratégia híbrida de captura de posição que utilize o sinal GPS quando disponível e os sensores quando o sinal dos satélites não possuir uma precisão adequada, aproveitando a qualidade das duas estratégias. Pretende-se ainda incluir técnicas para correção de posição usando informações referentes à planta baixa do prédio, por exemplo, o uso de regras para impedir que uma pessoa atravessasse paredes que não tenham portas. É preciso também modificar o cálculo da direção para que funcione no caso em que a orientação do celular muda com frequência. E por último, implementar técnicas para determinar

automaticamente o tamanho do passo do usuário, com o objetivo de eliminar o erro cumulativo do sensor de passos.

Referências

- Bekkelien, Anja. (2012) “Bluetooth Indoor Positioning”. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Computação, University Of Geneva, Geneva.
- Carrasco-Letelier, Leonidas. (2015) Smart phones and Tablets as Scientific Tools for Geo referencing Measurements. Em: International Journal Of Engineering Trends and Technology (IJETT). Colonia, pag. 5–11, junho.
- Curran, K., Furey, E., Lunney, T., Santos, J., Woods, D. and McCaughey, A. (2011) An Evaluation of Indoor Location Determination Technologies. Em: Journal of Location Based Services. Vol. 5, no. 2, pag. 61-78, junho.
- Dijkstra, E. W. (1959) A note on two problems in connexion with graphs. Numerische Mathematik, [s.l.], v. 1, n. 1, pag. 269–271, dez. Em: Springer Nature.
- Fabini, Joachim; Rus, Reinhard; Wallentin, Lukas. (2013) “Architecture and Prototypical Realization of NFC-based Indoor Positioning with Android and Google Maps”. 17 f. Institute Of Telecommunications, Vienna.
- GOOGLE. (2016) “Getting Started With Maps”. Disponível em: <<https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/?hl=pt-br>>. Acesso em: 12 mar. 2017.
- Hu, Bin. (2013) “Wi-Fi Based Indoor Positioning System Using Smartphones”. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência Aplicada, Royal Melbourne Institute Of Technology, Melbourne.
- Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P., Liu, J. (2007). Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems, Em: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), vol. 37, no. 6, pp. 1067-1080, novembro.
- Randell, C., Muller, H. (2001) “Low Cost Indoor Positioning System”. Em: Abowd G.D., Brumitt B., Shafer S. (eds) Ubicomp 2001: Ubiquitous Computing. UbiComp 2001. Lecture Notes in Computer Science, vol 2201. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Stockx, T., Hecht, B., and Schöning, J. (2014). “SubwayPS: Towards Smartphone Positioning in Underground Public Transportation Systems”. Em: Proceedings of the 22nd ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, pag. 93–102, novembro.
- Velasco, Alberto Díaz. (2014) “Indoor Positioning using Android Platform”. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Sistemas de Informação, Blekinge Tekniska Högskola (BTH), Karlskrona, Suécia.