

UMA METODOLOGIA DE LOCALIZAÇÃO *INDOOR* HÍBRIDA PARA SISTEMAS MÓVEIS

HILÁRIO JOSÉ SILVEIRA CASTRO*, IVANOVITCH MEDEIROS DANTAS DA SILVA†, SILVIO COSTA SAMPAIO†

**Universidade Federal do Rio Grande do Norte*
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação
Natal, Rio Grande do Norte, Brasil

†*Universidade Federal do Rio Grande do Norte*
Instituto MetrÓpole Digital
Natal, Rio Grande do Norte, Brasil

Emails: hilariojscastro@gmail.com, ivan@imd.ufrn.br, silviocs@imd.ufrn.br

Abstract— Indoor location systems have been explored in a wide range of applications, from museum and airport navigation to proximity marketing. Many of the proposed solutions use wireless signaling to determine the coordinate of the target. One of the main challenges is still related to the imprecision of the coordinate, due to the behavior of the propagation and interaction of the signals in wireless devices as well as to the noise present in indoor environments. This paper presents a proposal of a hybrid indoor localization methodology, capable of generating coordinates and mitigating misrepresentations through a variety of sources. Briefly, the solution uses as reference coordinates estimated through signals from WiFi and BLE stations, as well as inertial sensors; and then the location is extracted by applying a data fusion technique based on Kalman Filters. The results indicated a better precision when compared to results presented by solutions typically found in the literature.

Keywords— Indoor Location, Application, Wireless Network, Automation, Security.

Resumo— Sistemas de localização *indoor* têm sido explorados em uma ampla gama de aplicações, da navegação em museus e aeroportos até o marketing de proximidade. Muitas das soluções propostas utilizam a sinalização de redes sem fio para determinar a coordenada do alvo. Um dos principais desafios está relacionado com a imprecisão da coordenada, devido ao comportamento da propagação e interação dos sinais em dispositivos sem fios e ruídos presentes nos ambientes *indoor*. Este trabalho apresenta uma proposta de metodologia de localização *indoor* híbrida, capaz de gerar coordenadas e mitigar deturpações por meio de uma diversidade de fontes. Resumidamente, a solução utiliza como referência coordenadas estimadas por meio de sinalizações de estações *Wi-Fi* e *BLE*, assim como sensores inerciais; e, em seguida, uma técnica de fusão de dados baseada em Filtros de Kalman é utilizada para extrair a localização. Os resultados indicaram uma maior precisão quando comparado com soluções tipicamente encontradas na literatura.

Palavras-chave— Localização *Indoor*, Aplicação, Redes Sem Fio, Automação, Segurança.

1 Introdução

Coordenadas espaciais são dados que atraem interesse das mais variadas áreas para automação de seus serviços. Aplicações de *Marketing* utilizam coordenadas em práticas de *Localized Businesses* para alertar o usuário de sua proximidade de negócios de seu interesse (Ydop, 2017). Outro exemplo está em serviços de segurança, com rastreamento de usuários e ativos, gerando agilidade e otimização dos serviços. Como pode ser observado em Lymberopoulos et al. (2015), muitas propostas trabalham para encontrar a coordenada local de um usuário com a menor margem de erro.

Na geração das coordenadas *indoor*, muitas propostas sugerem a utilização de informações de redes de sensores sem fio, câmeras ou pontos de acesso (*Access Point* - AP), interagindo com uma tabela de dados ou formulação geométrica (Junsheng, 2017). Dentre as propostas, é comum que um conjunto de equipamentos de um mesmo padrão seja tomado como âncoras ou referências, possibilitando determinar a posição de um dispositivo em relação à sua proximidade com uma ou

mais âncoras.

Com uso de um equipamento móvel, é possível coletar diferentes informações de outros dispositivos próximos, como: indicações da potência dos sinais recebidos (*Received Signal Strength Indicator* - RSSI); tempo de transmissão; proximidade de equipamentos, etc (Correa et al., 2017). Estas informações formam um volume contínuo de dados úteis para uma localização.

Entretanto, sistemas de localização com uso de parâmetros de transmissão possuem seus dados deturpados, em consequência a interação dos sinais com estruturas e equipamento do ambiente, resultando em coordenadas afastadas das suas reais posições (Junsheng, 2017).

Uma forma de aprimorar resultados de localização *indoor* está relacionado a hibridização do sistema, combinando diversas técnicas de localização e recursos (Correa et al., 2017). Entre as combinações, uma forma de otimizar uma localização está na interação de sistemas baseados em redes (âncoras) com rastreamento da movimentação de um usuário.

Baseado no relato, este artigo contribui com

uma proposta de metodologia de localização *indoor* para dispositivos móveis, munidos de sensores inerciais e capacidade de comunicação sem fio, como Smartphones ou Tablets, utilizando múltiplos recursos para geração das coordenadas. O método estima coordenadas pela formulação da trilateração com base em um sistema com âncoras dos grupos tecnológicos *Wi-Fi* e *Bluetooth Low Energy (BLE)*, combinados com um sistema de navegação por meio de um Filtro de Kalman.

O restante do trabalho é dividido em: seção 2 descreve os trabalhos relacionados; seção 3 será descrita a metodologia proposta e detalhes quanto a propagação de sinais, localização por trilateração, rastreamento de movimentação e fusão de dados por Filtro de Kalman; na seção 4 apresentará análise de alguns resultados; por fim, a seção 5 descreve uma conclusão do trabalho e indicações de estudos futuros.

2 Trabalhos Relacionados

Nesta seção, são abordados alguns trabalhos relacionados a sistemas híbridos encontrados na literatura. Este tipo de sistema utiliza da combinação de técnicas e/ou tecnologias no intuito de aferir melhores resultados (Correa et al., 2017).

Um dos primeiros sistemas híbridos de localização foi desenvolvido para aprimorar o GPS. Neste desenvolvimento ocorre o rastreamento da movimentação de pedestres para ser utilizado em casos quando o GPS não estivesse ativo (Tarrío et al., 2013). Entretanto, o uso de GPS não se mostra confiável em ambientes internos, o que leva a inviabilidade da aplicação para ambientes internos de construções (Makki et al., 2015).

Para a proposta de localização *indoor*, muitos trabalhos projetam uma mescla entre técnicas e aparatos tecnológicos. Mas entre as diversas combinações propostas, uma que se sobressai é a localização por base da RSSI de redes de transmissores com uso de sensores inerciais. Tal ponto está relacionado com a popularização do uso de transmissores em ambientes e a propagação de dispositivos como *smartphones*, que possuem sensores inerciais como acelerômetros e giroscópios (Correa et al., 2017).

Em Korbinian et al. (2009), os autores propõem a combinação das coordenadas estimadas por um sistema de mapeamento de RSSI de estações *Wi-Fi*, conhecido como *fingerprint*, com um rastreamento da movimentação do usuário por meio de um giroscópio em sua cintura. Na proposta, é utilizado um banco de dados de RSSIs das coordenadas, utilizando de métodos probabilísticos para associar a coordenada do alvo. Em sequência a estimação é corrigida pelas informações de um giroscópio em uma fusão de dados por uma versão estendida do Filtro de Kalman.

No trabalho de Ramón et al. (2012), é ras-

treado a movimentação por meio do uso de acelerômetro e giroscópio, com rastreamento corrigido por informações geradas por dispositivos para identificação por radio frequência (*Radio-Frequency Identification*) (RFID) indicando a proximidade com os dispositivos, onde os dados são combinados por uso de versão estendida do Filtro de Kalman.

Na proposta de Zou et al. (2017), é utilizado a hibridização de âncoras, com uso das âncoras *Wi-Fi* para processo *fingerprinting*, enquanto as âncoras *BLE* são utilizadas para corrigir erros dos rastreamento do movimento. Neste trabalho, os métodos de rastreamento da movimentação e *fingerprinting* foram combinados por filtro de partículas.

Como pode ser observado nos trabalhos mencionados, um sistema de localização *indoor* híbrido admite diferentes combinações de métodos e tecnologias, permitindo uma multiplicidade de novas abordagens. Entre as possíveis, está o uso de sistemas inerciais com o uso simultâneo de âncoras *Wi-Fi* e *BLE*. Outros métodos de geração de coordenadas podem ser selecionados para a tarefa, como a trilateração, que consiste em determinar uma coordenada desconhecida por sua distância a três outras coordenadas de posição conhecida (Makki et al., 2015). Entretanto, a interação de âncoras no método ocasionará na necessidade de padronização da métrica de distância entre estações.

Neste trabalho será introduzida uma nova metodologia de localização *indoor* híbrida para uso em sistemas móveis. Nesta abordagem será utilizado um sistema pertencente aos grupos tecnológicos *Wi-Fi* e *BLE*, acompanhado de uma metodologia para a definição do desvanecimento de sinais para cada referência do sistema, para ser aplicado a trilateração. Em paralelo, será rastreado o deslocamento do usuário por acelerômetro para gerar um novo parâmetro de coordenadas por movimentos inerciais. Finalizando, a interpolação das coordenadas por Filtro de Kalman.

3 Metodologia

Em um cenário moderno, muitos ambientes são instrumentados com sensores e dispositivos transmissores de sinais, pertencentes a vários padrões de comunicação. Dois dos padrões tecnológicos possivelmente instalados são os grupos tecnológicos *Wi-Fi* e *BLE*, por sua popularidade no mercado, fornecendo acesso e informações pelo conceito de sinalização (*Beacon*) (Newman., 2014).

Neste cenário, a posição do usuário será requisitada na planta. O posicionamento do alvo será definido como uma coordenada de um eixo cartesiano. A estimação da coordenada ocorrerá pela movimentação do usuário e sua posição em relação as âncoras do ambiente, composta por transmissores *Wi-Fi* e *BLE* em posições pré-estabelecidas.

Com uso de um dispositivo portado pelo usuá-

rio, neste artigo consideramos um smartphone, serão coletadas uma diversidade de dados durante um certo período de tempo. Os primeiros dados estão relacionados ao rastreamento da movimentação do portador, por meio de unidades de medição inercial, utilizados para estimar as coordenadas baseadas em seu trajeto pela planta.

Em paralelo, o sistema detecta as redes próximas, coletando as RSSIs durante o período de tempo estipulado. Com uso da média das RSSI coletadas junto a um arquivo com dados de transmissão conhecidos das redes, é estimado uma coordenada do usuário utilizando a trilateração. Ao fim das estimativas, os dados serão combinados por meio de um Filtro de Kalman, gerando uma coordenada entre as duas estimativas. O fluxograma do método segue como na orientação da Figura 1.

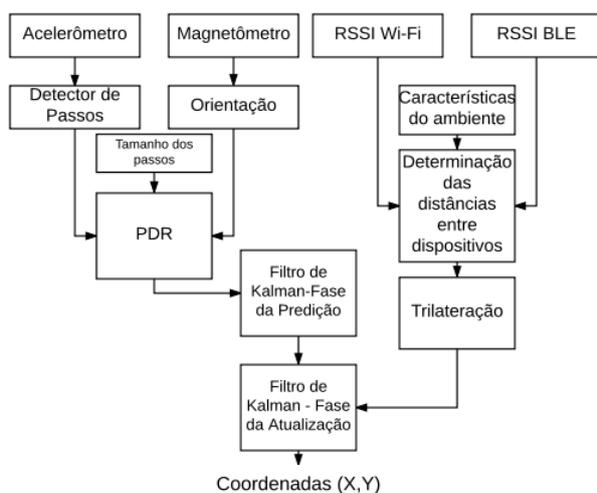


Figura 1: Diagrama de fluxo da metodologia.

3.1 Estimação da distância entre estações e Propagação de sinais.

Para geração de uma coordenada, serão necessárias as distâncias entre estações. Para normalização de estações transmissoras com padrões diferentes e a determinação da distância entre estações, será utilizado uma formulação (1), baseada no modelo de propagação Log-Distância (Gomes et al., 2014).

$$d = d_0 \cdot 10^{(Pr(d_0) - Pr(d))/10 \cdot \eta} \quad (1)$$

Para determinar a distância d entre estações serão necessários: $Pr(d)$, sendo a RSSI do sinal recebido por um receptor; a Potência do sinal de referência ($Pr(d_0)$) em uma distância de referência (d_0) de 1 metro; η a intensidade de desvanecimento do sinal no ambiente. Entretanto, com a variação das características de transmissão e recepção dos equipamentos e diferenças em suas instalações, será necessário estimar um η para cada estação. A definição pode ser estimado pela equação (2) e a metodologia a seguir:

$$\eta = \frac{Pr(d_0) - Pr(d)}{10 \log_{10}(\frac{d}{d_0})} \quad (2)$$

Na definição de η de cada estação, serão necessárias: 50 coletas de RSSI de cada estação metro a metro, em um total de 10 metros. A cada metro (d) devem ser coletadas 50 amostras de RSSI da estação, com descarte das 5 maiores e 5 menores amostras. $Pr(d_0)$ é a média das leituras restantes do primeiro metro, enquanto $Pr(d)$ é a média dos registros restantes em cada metro subsequente. Serão gerados 9 valores de η seguindo a equação (2), definindo uma intensidade η total como a média das 9 estimativas para cada estação.

Entretanto, durante a propagação, os sinais interagem com barreiras estruturais, mudando a direção de seu sentido. Os chamados múltiplos percursos descrevem a mudança na intensidade de um sinal recebido por seguir diferentes direções até alcançar o receptor (Gomes et al., 2014). Tal efeito pode ser visualizado na Figura 2. O múltiplos percursos e mudanças de η introduzem os erro na estimativa da distância entre estações.

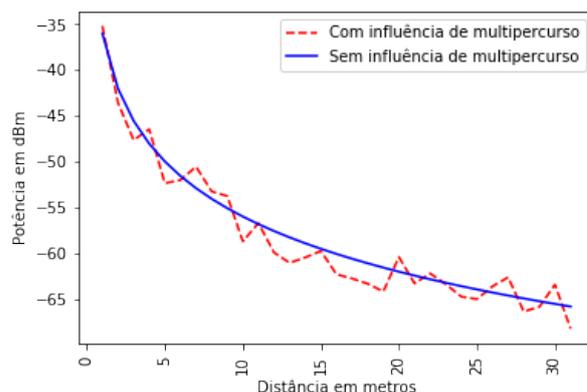


Figura 2: Em consequência dos múltiplos percursos, a intensidade de um sinal pode aumentar ou diminuir ao longo do deslocamento.

3.2 Trilateração e a geração de coordenadas.

Com a distância entre dispositivos estimada, é possível encontrar as coordenadas de um usuário por meio do princípio da Trilateração. Nesta solução é computada uma posição desconhecida baseada na distância de pelo menos três outros pontos de coordenadas conhecidas (Makki et al., 2015).

No sistema, é formada uma circunferência em torno de cada ponto de coordenada conhecida, com raio igual a distância euclidiana do ponto conhecido para o ponto P desconhecido. A intersecção entre as três circunferências corresponde a posição do ponto desconhecido, como exemplificado na Figura 3.

As distâncias euclidianas entre ponto central e os três pontos de referência podem ser computadas pelo sistema de Equações (3):

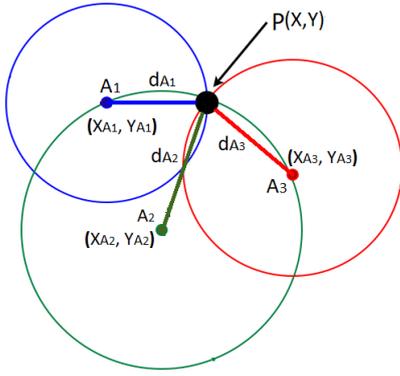


Figura 3: Localização da coordenada esta na interseção dos três raios.

$$\begin{aligned} d_{A_1}^2 &= (X - X_{A_1})^2 + (Y - Y_{A_1})^2 \\ d_{A_2}^2 &= (X - X_{A_2})^2 + (Y - Y_{A_2})^2 \\ d_{A_3}^2 &= (X - X_{A_3})^2 + (Y - Y_{A_3})^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Na Equação (3): X e Y correspondem as coordenadas desconhecidas do ponto móvel; d_{A_n} (com n correspondendo aos pontos 1, 2 e 3) como a distância entre dispositivo móvel e ponto fixo n e X_{A_n} e Y_{A_n} são as coordenadas das estações fixas. Entretanto, os erros na estimação da distância entre estações implicam na não interseção entre as três circunferências em um ponto central, gerando a possibilidade de várias coordenadas como resposta (Boukerche et al., 2008).

Uma solução que generalize a equação (3) é o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) (Anton and Busby, 2011). O método otimiza parâmetros de equações baseados em múltiplas leituras, indicando uma resposta otimizada as coordenadas desconhecidas (X, Y) como variáveis do sistema. Com a possibilidade de resultar em diversas âncoras em uma coleta de dados, será aplicada a trilateração entre todas as estações fixas, formando M grupos de 3 âncoras, resultando em várias coordenadas (X, Y) diferentes. A coordenada desconhecida será então atrelada a média da soma das coordenadas dos grupos de 3 estações.

3.3 Sensores inerciais e PDR

O rastreo da movimentação do usuário é realizado pelo método *Pedestrian Dead Reckoning* (PDR) (Ojeda and Borenstein, 2007). O método determina a posição atual utilizando como base uma posição anterior e no deslocamento realizado. O método estima as coordenadas atuais (K) de um usuário em referência as coordenadas (X, Y) anteriores ($K - 1$) do usuário acrescidas do produto da direção tomada em cada eixo (θ_K) e na quantidade de movimento realizado (d_K) pelo usuário. Como demonstradas pela Equação (4):

$$\begin{bmatrix} X_K \\ Y_K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{K-1} \\ Y_{K-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos(\theta_K) \\ \sin(\theta_K) \end{bmatrix} d_K \quad (4)$$

A quantidade de movimento e mudança de angulação são rastreadas com uso de um Acelerômetro e magnetômetro. Por meio da oscilação da aceleração, é rastreada a ocorrência da movimentação do usuário e com uso dos dois sensores e da matriz de rotação, é gerada a direção (θ_K) (Milette and Stroud, 2012). d_K corresponde a 70 cm, que é relativo a média de um passo humano (Kent, 2017).

3.4 Filtro de Kalman e a Fusão de técnicas

A interpolação dos dados das metodologias ocorrerá por Filtro de Kalman (FK). O FK é um algoritmo de filtro Bayesiano recursivo que utiliza medições ruidosas ao longo do tempo para gerar resultados que tendem a se aproximar dos valores reais das grandezas medidas. O FK é regido por dois grupos de equações: Grupo de Predição e Grupo de Atualização.

No grupo de Predição, é utilizado o estado anterior para obter uma estimativa do estado atual, conhecido por estimativa a priori, proporcionado pelas coordenadas do método PDR. Enquanto ao grupo de Atualização, ocorre a combinação da predição a priori com a observação atual, fornecida como coordenadas da trilateração, refinando assim estimativa do estado a posteriori.

O FK correlaciona as medições (coordenadas) dos métodos PDR e da trilateração por meio do ganho do filtro de Kalman. O ganho determina a contribuição de cada formulação na interpolação, onde o controle do ganho é regido pelos ruídos gaussianos de média zero associado as coordenadas de cada método. Quanto maior um ruído em relação ao outro, indica uma relação mais confiável para o método, com a aferição dos ruídos ocorrendo de forma empírica.

4 Testes e Análise de resultados

Nesta seção, serão demonstrados alguns resultados preliminares da abordagem aqui proposta. Os dados dos sensores inerciais e das redes foram coletados e armazenados por meio de um aplicativo desenvolvido pelo grupo de pesquisa. Os dados armazenados foram aferidos por meio da linguagem de programação *Python*.

A interação com o aplicativo ocorreu através da plataforma Smartphone Samsung Galaxy S4. As âncoras utilizadas foram 2 estações *Wi-Fi* Cisco Aironet 1040 e 4 Sensor Tag CC1350 como estações BLE. Os testes ocorreram em uma área com 300 m^2 de extensão, com existência de cadeiras, mesas e passagem de pessoas, buscando criar um ambiente mais realista.

Inicialmente, foram coletadas RSSI para aferimento de η de cada estação, seguindo como indicado na seção 3.1. Na Tabela 1, estão exemplificados registros de RSSI e η para cada metro de uma estação. Com uso dos dados coletados de cada estação, a intensidade final de η pode ser definida como a média das 9 estimações, como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 1: Definição de η de uma estação BLE, com RSSI de referência de -57,55 dBm, a um metro de distância. η média final 1,71.

Distância	2º m	3º m	4º m
RSSI (dBm)	-67,45	-66,88	-68,23
η	3,29	1,96	1,77
Distância	5º m	6º m	7º m
RSSI (dBm)	-68,77	-68,37	-68,35
η	1,61	1,39	1,28
Distância	8º m	9º m	10º m
RSSI (dBm)	-68,85	-72,07	-70,44
η	1,25	1,52	1,28

Tabela 2: Definição de η de todas as estações e suas coordenadas cartesianas.

	Est.01	Est.02	Est.03
Padrão	WIFI	WIFI	BLE
η	2,43	2,12	1,71
X,Y	23,1 , 1,5	1,5 , 6,9	3,9 , 1,5
	Est.04	Est.05	Est.06
Padrão	BLE	BLE	BLE
η	1,21	1,23	1,56
X,Y	8,1 , 5,7	18,3 , 6,3	17,7 , 0,9

Uma outra avaliação segue como um comparativo de desempenho entre os métodos da trilateração, PDR e metodologia proposta. Nesta avaliação, um usuário trafega pelo ambiente por um certo percurso e por meio do dispositivo portado em sua mão, serão coletados dados inerciais e das redes durante 5 segundos. Com uso dos dados, cada método irá gerar uma coordenada a cada 5 segundos, como exemplificado nas pelas Figuras 4, 5 e 6.

Em uma análise inicial, a partir das Figuras 4, 5 e 6 é possível observar uma aproximação do método da fusão em comparação com a trilateração e o PDR durante parte do percurso. Para uma análise complementar, foi comparado o desempenho de cada método em relação a sua precisão em relação a distância euclidiana entre a coordenada real e a coordenada estimada. Para esta avaliação, foram repetidos e levantados dados de 20 trajetos iguais aos representados nas Figuras 4, 5 e 6. Com uso da posição final como referência, foram levantados os erros máximo, mínimo e médio de precisão (em metros) de cada método.

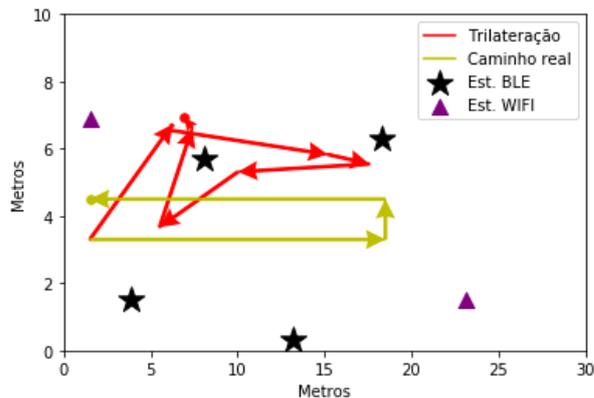


Figura 4: Caminho real X Trilateração.

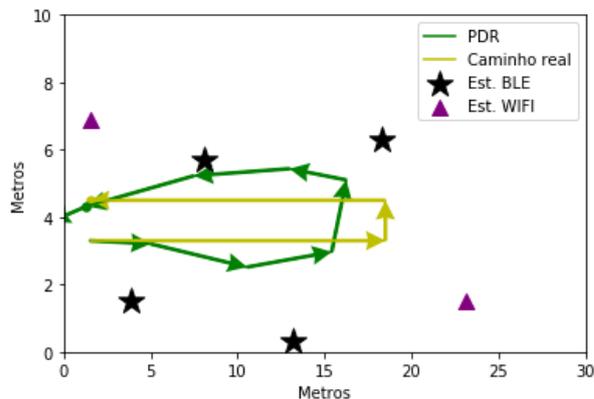


Figura 5: Caminho real X PDR.

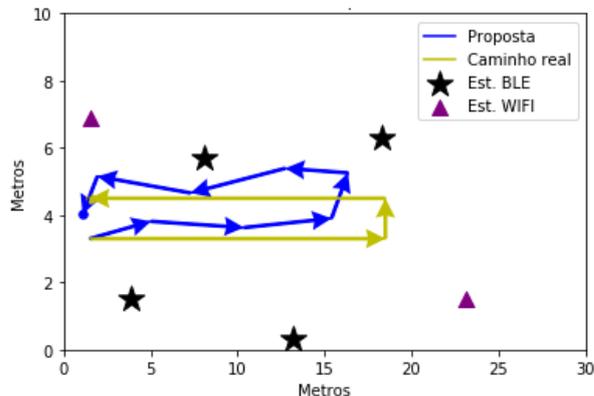


Figura 6: Caminho real X Metodologia proposta.

Como pode ser observado a partir da análise dos resultados mostrados na Tabela 3, o método proposto demonstra uma melhor aproximação das coordenadas geradas em comparação aos outros métodos. O método PDR possui um menor erro a curto prazo, entretanto os ruídos de seus sensores ocasionam em um erro cumulativo, distanciando o rastreamento da posição real do alvo. Enquanto a trilateração, embora forneça novos referenciais, apresenta baixa precisão, resultando em coordenadas

com os maiores erros. O método proposto, ao fundir dados de diferentes fontes, reorienta o sentido do PDR, onde o rastreamento do movimento tende a perder precisão ao longo da coleta de dados, ocasionado pelos ruídos existentes nos sensores. Como resultado, o método proposto reduz significativamente o erro na determinação da coordenada.

Tabela 3: Erros de estimação (em metros) de cada metodologia.

Método	Máximo	Mínimo	Média
Trilateração	7,586 m	3,372 m	5,114 m
PDR	5,108 m	0,952 m	2,834 m
Proposto	3,691 m	0,323 m	1,667 m

5 Conclusões

Ao longo do trabalho, foram relatados os requisitos para a metodologia de localização *indoor* híbrida para sistemas móveis.

Em meio aos experimentos, foram observadas as indicações de bom desempenho da metodologia, demonstrando uma média de erro menor em comparação aos outros métodos isolados, para a maioria dos casos. Entretanto, em alguns casos, o método proposto demonstrou menor desempenho em poucas resoluções, indicando uma necessidade de refino do projeto. Parte dos futuros esforços do projeto estarão voltados a um aprimoramento da sintonia do Filtro de Kalman para uma diversidade maior de casos, por meio do controle dos ruídos associados aos métodos.

Outros trabalhos estão atrelados ao aprimoramento da trilateração com corretor de parâmetro de distância de âncora e PDR com adição de filtro de ruídos. Serão realizadas outras fusões dos dados por outras versões do Filtro de Kalman, com intuito de aprimorar resultado em novos cenários.

Referências

- Anton, H. and Busby, R. (2011). *Álgebra Linear Contemporânea*, Bookman.
- Boukerche, A., A B F Oliveira, H., Nakamura, E. and Loureiro, A. (2008). Localization systems for wireless sensor networks, **14**: 6 – 12.
- Correa, A., Barcelo, M., Morell, A. and Vicario, J. L. (2017). A review of pedestrian indoor positioning systems for mass market applications, *Sensors*.
- Gomes, R. D., Alencar, M. S., Fonseca, I. E. and Filho, A. C. L. (2014). Desafios de redes de sensores sem fio industriais, *Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação* **4**: 1–12.
- Junsheng, H. (2017). Wireless industrial indoor localization and its application. The Artistic University of Norway.
- Kent, L. T. (2017). Distância média do passo de corrida, http://www.ehow.com.br/distancia-media-passo-corrida-info_8070/.
- Korbinian, F., Bernhard, K., Noel, C. and Patrick, R. (2009). Development and evaluation of a combined wlan & inertial indoor pedestrian positioning system, *Proceedings of the 22nd International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2009)*.
- Lymberopoulos, D., Liu, J., Yang, X., Choudhury, R. R., Handziski, V. and Sen, S. (2015). A realistic evaluation and comparison of indoor location technologies: Experiences and lessons learned, pp. 178–189.
- Makki, A., Siddig, A., Saad, M. and Bleakley, C. (2015). *Survey of WiFi positioning using time-based techniques*, Vol. 88.
- Milette, G. and Stroud, A. (2012). *Professional Android Sensor Programming*, Wrox.
- Newman, N. (2014). Apple ibeacon technology briefing, *Journal of Direct, Data and Digital Marketing Practice* **15**: 222–225.
- Ojeda, L. and Borenstein, J. (2007). Personal dead-reckoning system for gps-denied environments, *SSRR 2007. IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics* pp. 1–6.
- Ramón, J. A., Fernando, S., Prieto, H. J. C. and Guevara, R. J. I. (2012). Accurate pedestrian indoor navigation by tightly coupling foot-mounted imu and rfid measurements, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*.
- Tarrío, P., Besada, J. A. and Casar, J. R. (2013). Fusion of rss and inertial measurements for calibration-free indoor pedestrian tracking, *Proceedings of the 16th International Conference on Information Fusion* pp. 1458–1464.
- Ydop (2017). What is a ‘localized business’? <https://www.ydop.com/near-user/localized-business/>.
- Zou, H., Chen, Z., Jiang, H., Xie, L. and Spanos, C. (2017). Accurate indoor localization and tracking using mobile phone inertial sensors, wifi and ibeacon, pp. 1–4.