

Desenvolvimento de um Sistema de Localização Indoor com Beacons Ultrassônicos de Baixo Consumo

Gabriel B. Pinheiro, Carlos W. C. Vieira e Francisco J. A. de Aquino.

Resumo—O processo de localização em ambientes fechados ou com espaço físico limitado tem ganhado destaque no período contemporâneo. Tal fator se dá em razão de novas tecnologias que exigem um controle preciso de posição, como é o caso da tecnologia de IoT (Internet of Things), que se popularizou amplamente na atualidade. Como tais dispositivos podem ser integrados tanto em ambientes residenciais quanto no contexto industrial, torna-se evidente que um controle preciso de posição pode favorecer a implementação de robôs autônomos em ambos os cenários, seja com funções relativas à manutenção do lar (como no caso de robôs assistentes), seja no processo de automação industrial, no qual essa tecnologia pode assegurar um trânsito seguro por parte dos robôs autônomos na linha de produção (com ênfase na aplicação relativa a robôs de carga e descarga). Ademais, o processo de localização indoor pode também favorecer a circulação de pessoas em ambientes com grande estrutura física e facilitar a locomoção de indivíduos com algum grau de deficiência visual, em locais nos quais o GPS pode não ser suficiente. Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema de localização indoor baseado em beacons ultrassônicos com baixo consumo energético. O projeto abrange desde a eletrônica até o enclausuramento do dispositivo, propondo uma alternativa à utilização de sinais RSSI via BLE, e destacando as vantagens da abordagem proprietária com controle total de hardware.

Palavras-Chave—Localização indoor, beacons ultrassônicos, baixo consumo, RSSI, BLE.

Abstract—The process of localization in indoor environments or in areas with limited physical space has gained prominence in the contemporary period. This trend is driven by emerging technologies that require precise position control, such as the Internet of Things (IoT), which has become widely popular in recent years. Since these devices can be integrated both in residential settings and industrial contexts, it becomes evident that accurate position control can facilitate the implementation of autonomous robots in both environments—whether for home maintenance tasks (such as assistive robots) or for industrial automation processes, where such technology can ensure safe navigation of autonomous robots along production lines (with emphasis on applications related to loading and unloading robots). Moreover, indoor localization systems can also support the movement of people in large physical structures and assist individuals with visual impairments in navigating spaces where GPS signals may not be sufficient. This paper presents the development of an indoor localization system based on low-power ultrasonic beacons. The project encompasses both the electronic design and physical enclosure of the device, proposing

an alternative to RSSI-based BLE signals, and highlighting the advantages of a proprietary approach with full hardware control.

Keywords—Indoor localization, ultrasonic beacons, low power consumption, RSSI, BLE

I. INTRODUÇÃO

O crescente interesse científico na produção de beacons decorre da necessidade de soluções eficientes para localização em ambientes internos, onde tecnologias como o GPS se mostram ineficazes devido à ausência de visada direta com satélites [1]. Nesse contexto, os beacons surgem como uma alternativa viável para aplicações em acessibilidade, como o auxílio à mobilidade de pessoas com deficiência visual [2], e também em setores como automação industrial, rastreamento de ativos e sistemas inteligentes de navegação. Além disso, o avanço da Internet das Coisas (IoT) intensifica a demanda por dispositivos de localização de baixo custo e baixo consumo energético, que possam operar de forma autônoma em ambientes complexos.

A produção de beacons também permite maior controle sobre o hardware, possibilitando personalizações em frequência, potência e protocolos de comunicação, o que é especialmente valioso em contextos acadêmicos e industriais com requisitos específicos [3]. Do ponto de vista da pesquisa, esses dispositivos oferecem um campo fértil para o desenvolvimento de algoritmos de localização robustos, desafiados por fatores como reflexões, interferências e variabilidade dos sinais — especialmente no caso de tecnologias baseadas em BLE [4], [5]. Como resposta a essas limitações, abordagens proprietárias com beacons ultrassônicos vêm ganhando destaque por apresentarem maior previsibilidade e menor sensibilidade a ruídos ambientais, reforçando seu potencial como base para sistemas de localização indoor de alta precisão.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de localização indoor, inicialmente baseado em Bluetooth Low Energy (BLE) e técnicas de estimativa via RSSI. Porém, limitações práticas motivaram a substituição da tecnologia por uma solução baseada em sinais ultrassônicos, proporcionando maior controle sobre o hardware e redução no consumo de energia.

II. METODOLOGIA

O desenvolvimento do sistema seguiu as seguintes etapas:

- 1) Processo de simulação dos componentes;

Gabriel Barbosa Pinheiro, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Fortaleza-CE. E-mail: gabriel.barbosa.pinheiro62@aluno.ifce.edu.br. Trabalho financiado pelo IFCE por meio do Programa de Iniciação Científica (PIBIC).

Prof. Me. Carlos Wagner Costa Vieira, IFCE, Fortaleza-CE. E-mail: carlos.wagner@ifce.edu.br.

Prof. Dr. Francisco José Alves de Aquino, ProfEPT, IFCE, Fortaleza-CE. E-mail: fcoalves_aq@ifce.edu.br.

- 2) Escolha e aquisição dos componentes;
- 3) Desenvolvimento do protótipo;
- 4) Virtualização do protótipo e criação da placa eletrônica;
- 5) Criação de um enclausuramento com base no modelo eletrônico.

Inicialmente, foram realizados testes e simulações dos principais componentes eletrônicos que compõem o sistema, como o microcontrolador, o *driver* de saída e o transdutor ultrassônico. Essa etapa teve como objetivo validar o funcionamento teórico do circuito, analisar os parâmetros elétricos envolvidos e prever o comportamento do sistema antes da montagem prática. As simulações foram conduzidas com o auxílio de *softwares* como LTspice e Proteus, ver Fig. 1.

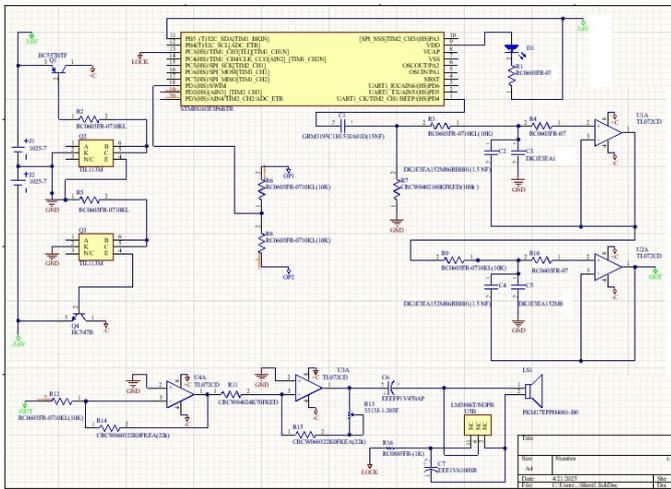


Fig. 1. Esquemático do circuito eletrônico do beacon ultrassônico.

Com os componentes em mãos, iniciou-se a montagem do protótipo em um *protoboard*. Durante os testes práticos, observou-se que a tecnologia BLE apresentava instabilidade no sinal RSSI, dificultando a estimativa precisa de distância em ambientes internos, principalmente devido à interferência e reflexões [4], [5]. Diante disso, adotou-se como alternativa a utilização de beacons ultrassônicos, os quais apresentaram medições mais estáveis e previsíveis. Com isso, desenvolveu-se um beacon próprio, capaz de emitir sinais em faixas ultrassônicas potencialmente detectáveis por microfones de dispositivos móveis convencionais. A localização seria, então, estimada por meio da triangulação dos sinais recebidos.

Além do melhor desempenho, os beacons ultrassônicos apresentaram vantagens em termos de consumo energético, permitindo maior autonomia de funcionamento e reduzindo a necessidade de manutenção. Essa característica os torna atrativos do ponto de vista mercadológico, especialmente quando comparados a soluções baseadas em *Bluetooth*.

Após a validação funcional do circuito em *protoboard* (ver Fig. 2), foi realizada a virtualização do sistema por meio de ferramentas de modelagem eletrônica do Altium 365 (por uso de uma licença educacional fornecida pela empresa proprietária do software). Essa etapa teve como objetivo transformar o circuito em um layout de placa de circuito impresso (PCI), promovendo maior organização, robustez e melhor integração entre os componentes. A criação da PCI também é funda-

mental para a futura replicação e possível industrialização do projeto, ver Fig. 3.

Com a PCI virtualizada, iniciou-se o desenvolvimento de um enclausuramento físico que abrigasse o dispositivo de forma segura e ergonômica. O projeto foi inicialmente modelado em ambiente virtual utilizando o software Fusion 360, com o apoio de uma licença educacional fornecida pela Autodesk, ver Fig. 4. O modelo 3D foi projetado considerando os limites dimensionais da placa e os pontos de fixação necessários, além de prever aberturas para alimentação, dissipação térmica e propagação do sinal ultrassônico. A Fig. 5 mostra o beacon ultrassônico. O sinal ultrassônico pode ser visto na Fig. 6.

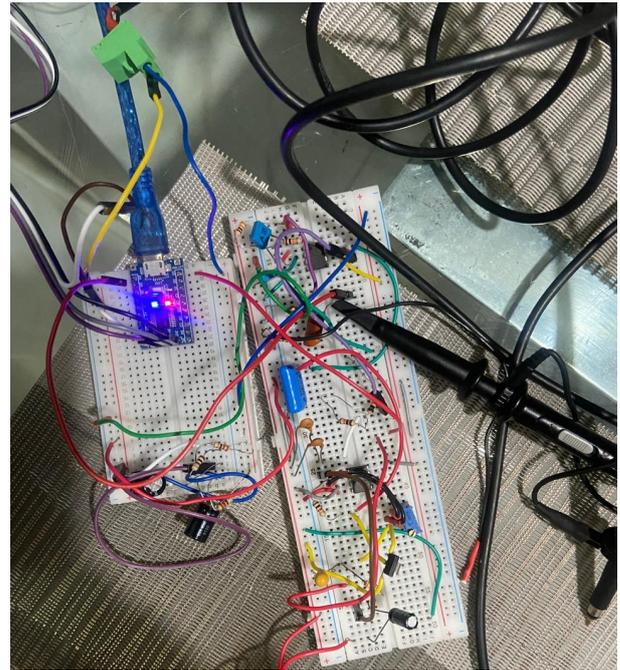


Fig. 2. Prototipação eletrônica do projeto com uso de *protoboard*.

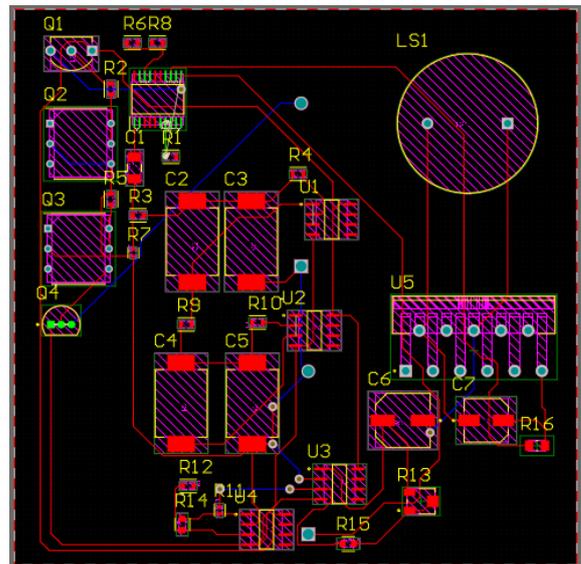


Fig. 3. Layout da placa de circuito impresso (PCI).

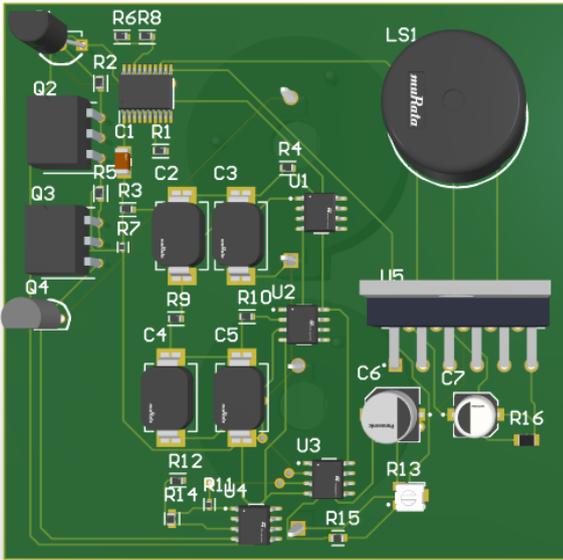


Fig. 4. Visualização 3D da PCI com os componentes montados.

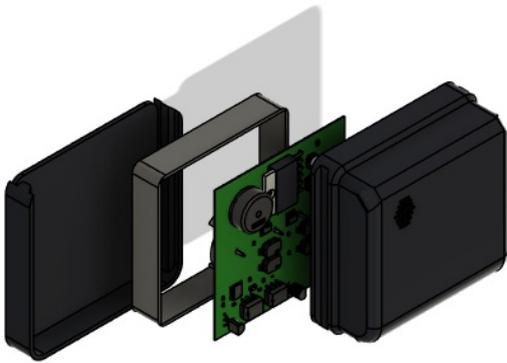


Fig. 5. Explosão do modelo 3D do beacon com enclausuramento.

III. PROJETO DO BEACON ULTRASSÔNICO

Foi utilizado o microcontrolador STM8S103 devido ao seu baixo custo e à sua eficiência energética. O circuito, projetado no Altium Designer (com o uso da licença educacional fornecida), inclui osciladores ultrassônicos, amplificadores operacionais modelo TL072 e circuitos de controle responsáveis pela emissão dos pulsos [6].

A placa de circuito impresso (PCI) foi otimizada para montagem compacta, mas também atentou-se para a questão de solda dos componentes de forma manual. Portanto, há uma distância relativamente considerável entre os componentes para auxiliar no processo de fabricação da placa de forma manual. Modelos 3D auxiliaram na validação visual do projeto antes da fabricação, ver Fig. 4.

IV. RESULTADOS PARCIAIS

As etapas concluídas incluem:

- Redefinição da abordagem tecnológica;
- Projeto da PCI e desenvolvimento do firmware inicial;
- Modelagem do enclausuramento e impressão do primeiro protótipo;



Fig. 6. Análise do Sinal Ultrassônico com Osciloscópio.

- Testes funcionais básicos do beacon.
- As próximas etapas incluem:
- Medidas de alcance do sinal;
 - Testes de consumo energético;
 - Integração com receptores ESP32;
 - Desenvolvimento de algoritmo de triangulação e visualização em tempo real.

V. CONCLUSÕES

A substituição do BLE por uma solução ultrassônica mostrou-se eficaz, proporcionando maior controle e previsibilidade no desenvolvimento de um sistema de localização indoor. O beacon desenvolvido é de baixo custo, eficiente e facilmente integrável a outras plataformas. Entretanto, mais etapas devem se seguir antes da conclusão geral do projeto, uma vez que a placa desenvolvida ainda necessita de materialização e teste para determinar se há a necessidade de ajustes ou já é passível de implementação e uso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao IFCE e ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) pelo apoio à realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] Zhuang, Y. et al. "Smartphone-based indoor localization with Bluetooth low energy beacons." *Sensors*, vol. 16, no. 5, p. 596, 2016.
- [2] Monte, V. M.; Soares Júnior, T. C.; Aquino, F. J. A.; Girão, A. M. "Blindnavind: Sistema de Localização Indoor para Auxiliar Pessoas com Deficiência Visual." *XLII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais (SBRT2024)*, DOI: 10.14209/sbrt.2024.1571036476.
- [3] Lindh, J. "Application Report: Bluetooth Low Energy Beacons." *Texas Instruments*, 2015.
- [4] Sadowski, S.; Spachos, P. "RSSI-Based Indoor Localization With the Internet of Things." *IEEE Access*, vol. 6, pp. 30149–30161, 2018.
- [5] Ramirez, R. et al. "A Practice of BLE RSSI Measurement for Indoor Positioning." *Sensors (Basel)*, vol. 21, no. 15, p. 5181, 2021.
- [6] Diniz, P. S. R.; Silva, E. A. B.; Lima Netto, S. "Processamento digital de sinais: projeto e análise de sistemas." *Bookman*, 2014.
- [7] Aquino, F. J. A.; Soares Júnior, T. C.; Silva Jr., E. T.; Girão, A. M. "Localização Indoor Utilizando Bluetooth LE e Processamento Digital de Sinais com Baixo Esforço Computacional." *XLII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais (SBRT2024)*, DOI: 10.14209/sbrt.2024.1571036481.