



# Detecção de âncoras LASER em imagens para aplicação de localização por luz visível em ambientes internos

## LASER beacon detection by image for indoor visible light positioning application

Luciano Massaneiro Junior<sup>1</sup>, Luis Carlos Mathias<sup>2</sup>

### RESUMO

A localização de dispositivos móveis em ambientes fechados (*indoor*) ainda é um desafio devido aos problemas de forte atenuação e de reflexão dos sinais de radiofrequência em obstáculos da infraestrutura predial. De forma paralela, cada vez é mais comum a presença de câmeras em dispositivos móveis. Diante deste cenário, o presente trabalho propõe um novo esquema para a geração de sinais LASER no intento de servirem como âncoras (*beacons*) em imagens. Também propõe e avalia esquemas de processamento que permite localizá-los e identificá-los em imagens de câmera. Os resultados obtidos demonstram que tanto o método proposto de detecção buscando regiões de saturação quanto os esquemas de identificação dos códigos de âncoras na imagem são adequados e promissores para a aplicação em sistemas de localização *indoor*.

**PALAVRAS-CHAVE:** localização interna; âncoras LASER; processamento de imagens.

### ABSTRACT

Locating mobile devices indoors is still a challenge due to the strong attenuation and reflection of waves from obstacles and buildings. At the same time, the presence of cameras on mobile devices is increasingly common. Given this scenario, this work proposes a new scheme for generating LASER signals as anchors (*beacons*) in images. It also proposes and analyzes processing schemes that allow locating and identifying them in camera images. The results obtained demonstrate that both the proposed detection method searching for saturation regions and the anchor code identification schemes in the image are suitable and promising for application in indoor location systems.

**KEYWORDS:** *indoor localization; LASER beacons; image processing*

### INTRODUÇÃO

Sistemas de localização por satélite como o GPS (*Global Positioning System*), usualmente apresentam perda de precisão no interior de construções por conta da baixa potência do sinal ao atingir a superfície terrestre. Em função disso, faz-se necessário a utilização de outros métodos de localização para aplicações que necessitem uma precisão maior em ambientes internos ou com obstruções (KIM GEOK et al., 2021; KUNHOTH et al., 2020; WANG et al., 2013). Esse problema pode ser contornado com a utilização de receptores GPS de alta precisão ou *pseudolites*, entretanto, o alto custo de implementação pode ser um obstáculo para a sua execução (KUNHOTH et al., 2020). Ainda assim, a demanda por sistemas de posicionamento *indoor* está crescendo tanto para fins militares

<sup>1</sup> Bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil. E-mail: burt\_m@hotmail.com. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0511062439505632>.

<sup>2</sup> Docente no Curso de Engenharia de Computação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil. E-mail: mathias@utfpr.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6470151313764121>.



quanto comerciais, alavancada pela utilização de sensores em *smartphones*, sistemas embarcados e infraestrutura de redes de comunicação sem fio (GUO et al., 2020; KUNHOTH et al., 2020).

Entretanto, o posicionamento baseado em radiofrequências, além da atenuação do sinal em relação à distância entre o dispositivo transmissor e o receptor, apresenta o problema da interferência de multicaminho, que implica na complexidade em obter-se uma solução precisa, de baixo consumo energético e baixo custo (WANG et al., 2013).

Já câmeras são utilizadas em sistemas de posicionamento, localização e navegação por conta do baixo custo, da grande quantidade de informações que podem ser extraídas de imagens, por serem um tipo de sensor que não emite sinais e pelo avanço em tecnologias de análise e processamento de imagens. Em contrapartida, a câmera é mais suscetível à problemas relacionados com a iluminação e condições climáticas do ambiente, além de gerar quantidades grandes de dados que podem demandar maior armazenagem, transmissão e processamento. As principais técnicas de posicionamento baseiam-se na geometria de posição ao utilizar objetos (*beacons*) como âncoras dos quais as características de interesse são conhecidas para calcular a posição de outro objeto desconhecido, como na multilateração, multiangulação e multiangulateração (EL-SHEIMY; LI, 2021).

Uma das técnicas já estudadas para VLP (*Visible Light Positioning*) com câmeras é conhecida por *Luxapose* (KUO et al., 2014) e consiste na exploração do efeito de *rolling shutter* presente na captura de imagens em câmeras com sensores CMOS (*Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*). Nessa abordagem, os autores utilizam LEDs (*Light-Emitting Diodes*) modulados em frequências específicas muito acima da taxa de amostragem da câmera para a transmissão da identificação ou posição dos objetos conhecidos. A modulação é realizada por microcontroladores em cada uma das âncoras LEDs, o que requer a modificação da infraestrutura de iluminação com a interceptação do sinal elétrico para os LEDs.

Neste cenário, o presente trabalho analisa a utilização de âncoras LASERs (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) e câmeras para métodos de VLP com uma esquemática semelhante à Figura 1a. Nessa configuração, os LASERs são projetados no teto por um transmissor que é responsável pela modulação e a câmera encontra-se direcionada para cima. A modulação constrói uma "impressão digital" no sinal que permite a identificação da âncora nas imagens de câmera capturadas. Para isto, serão analisadas duas possíveis formas de se obter a localização dos pontos de LASER: por subtração de *frames* e por agrupamento de *pixels* saturados. Além disto, também propõe e avalia duas formas de identificação do ponto LASER: por modulação em frequência e por codificação binária. Já a Figura 1b apresenta a detecção de 3 âncoras e a Figura 1c exibe o esquema elétrico do transmissor.

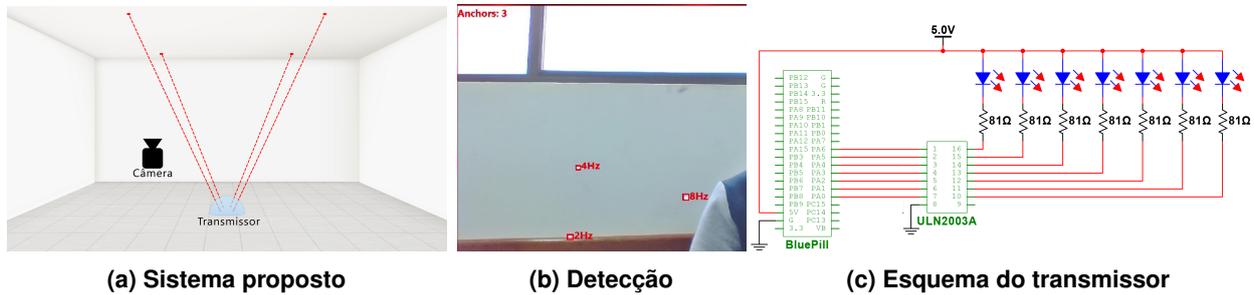
## MATERIAIS E MÉTODOS

O teorema de amostragem de Nyquist–Shannon, conhecido no campo de processamento de sinais, estabelece parâmetros para que um sinal contínuo no tempo possa ter toda a sua informação capturada por amostragem discreta conforme:

$$T_a \leq \frac{1}{2f} = \frac{T}{2}; \quad (1)$$



Figura 1 – Proposta de sistema de localização



Fonte: Autoria própria

sendo  $T_a$  o período de amostragem,  $f$  a máxima frequência do sinal que deseja-se capturar e  $T$  o período da máxima frequência desse sinal (SHANNON, 1949).

No receptor foi utilizada uma câmera do modelo WB-71BK da fabricante C3Tech, limitada à 30 FPS (*Frames Per Second*), conectada à um computador e o processamento da imagem foi implementado na linguagem C++ com a API (*Application Programming Interface*) do QT, principalmente em questões de interface gráfica, obtenção de *frames* da câmera e intervalo de captura.

Para a construção do transmissor, foi utilizado um CI (Circuito Integrado) ULN2003A para proteger o microcontrolador de correntes maiores e uma placa de desenvolvimento STM32F103C8T6, comumente denominada de placa *bluepill*, para o controle da modulação, conforme diagrama da Figura 1c, com seu *firmware* codificado em linguagem C, através da IDE (*Integrated Development Environment*) do VSCode com a extensão PlatformIO.

A primeira abordagem para identificação da posição das âncoras foi através da subtração de um *frame* de referência, na escala de cinza, com os demais, no intervalo de 1 segundo. Com isso, forma-se uma imagem destacando regiões em que mudanças foram mais acentuadas em 1 segundo. A Figura 4b, que será apresentada posteriormente, ilustra tal resultado quando estabelece-se um limiar em que diferenças acentuadas estão destacadas em vermelho e o restante em preto.

Já a segunda forma de localização baseia-se na busca de regiões da imagem com alta luminosidade em todos os canais do seu RGB (*Red, Green e Blue*) ou na escala de cinza. Apesar do LASER utilizado emitir predominantemente o comprimento de onda vermelho, o feixe encontra-se extremamente focado, ocasionando o saturamento em todos os canais do sensor óptico da câmera como pode ser observado na Figura 2.

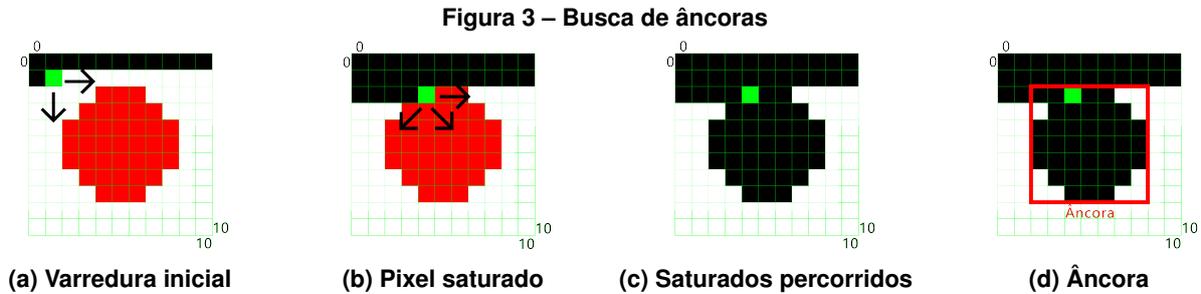
Figura 2 – Componentes em vermelho, verde e azul da imagem de um LASER



Fonte: Autoria própria

Tanto para o processamento da imagem do movimento em 1 segundo, quanto para a obtenção da região saturada na imagem, é utilizado o algoritmo representado pela Figura 3, que é responsável

pela busca de âncoras. Esta figura de demonstração corresponde a uma matriz de  $11 \times 11$  *pixels*. Considere que na matriz de uma imagem, a origem  $[0;0]$  encontra-se no canto superior esquerdo e as coordenadas incrementam à direita e abaixo. Nela, os *pixels* saturados (com as componentes RGB acima de um limiar que pode ser arbitrado) estão representados em vermelho.



Fonte: Autoria própria

O algoritmo percorre todas as linhas da esquerda para a direita, zerando todas as camadas dos *pixels* visitados (modificando-os para preto), de forma a evitar que seja reavaliado pelo algoritmo. Ao encontrar um *pixel* saturado, o algoritmo entra no modo de agrupamento e percorre todos os vizinhos também saturados buscando as coordenadas dos *pixels* nas extremidades. Isso pode ser feito de forma recursiva ou iterativa enquanto existir um vizinho saturado. No caso representado, a âncora é determinada na área entre os *pixels*  $[2;2]$  e  $[8;8]$ . Após esse processo, o algoritmo volta a percorrer a matriz de *pixels* do ponto em que o primeiro *pixel* saturado foi encontrado, até o último *pixel* da imagem.

Além da identificação da posição dos pontos de LASER, precisa-se identificá-los. Seguindo as limitações de frequência descritas na Equação 1, um período de captura de 1 segundo e o máximo de *frames* da câmera utilizada, a frequência do transmissor deve ser inferior ou igual a 15 Hz.

Caso cada âncora seja identificada pela frequência, em um sistema ideal, seria possível identificar até 14 (desconsiderando 0 Hz) âncoras diferentes. Entretanto, existe um certo indeterminismo, verificado experimentalmente, no intervalo de obtenção de *frames* da câmera e na velocidade de processamento, podendo levar à leituras incorretas caso existam frequências muito próximas.

Pode-se também identificar as âncoras por um código binário modulado em uma frequência específica (menor ou igual a 15 Hz). A vantagem é que mais âncoras podem ser representadas de acordo com a maior frequência do transmissor. Por exemplo, com 10 *bits* por segundo, são possíveis 1024 combinações de *bits* em 1 segundo. A desvantagem dessa abordagem é que o identificador necessita um cabeçalho para que seu código seja interpretado corretamente, tendo em vista que o receptor não tem informação de fase do transmissor. Por exemplo, um código 1100 pode ser também interpretado como 1001, 0011 ou 0110.

Ainda assim, a escolha do cabeçalho precisa levar em consideração que a sua posição pode ser interpretada incorretamente dependendo da sequência de *bits* escolhida e da fase. Por exemplo, o código **0101**1101 com cabeçalho de 4 *bits* pode ser interpretado como 01**0101**11 se analisado a partir do segundo *bit* menos significativo.

Nesse cenário, foram analisados identificadores de 8 *bits*, com cabeçalho de 4 *bits* e transmissor à uma frequência de 8 Hz, permitindo assim 16 identificadores de âncoras possíveis quando

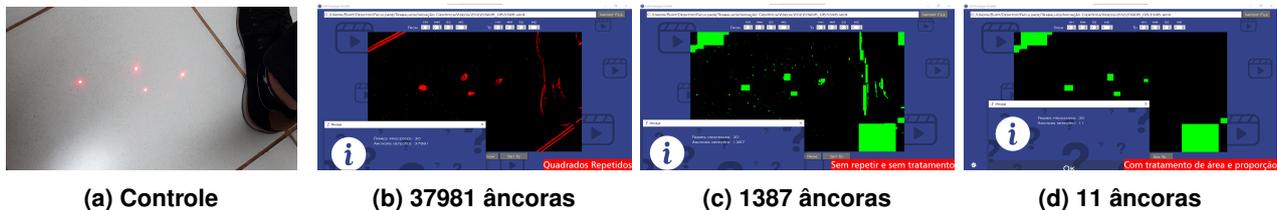


o tempo de identificação é de 1 segundo. Com o auxílio de um algoritmo computacional foram testadas todas as 16 combinações de cabeçalhos buscando identificar quais podem representar uma quantidade maior de códigos sem que haja uma interpretação incorreta da posição do cabeçalho. As sequências 1110xxxx, 1100xxxx, 1000xxxx, 0111xxxx, 0011xxxx, 0001xxxx são os únicos cabeçalhos que possibilitam todas as 16 codificações sem interpretações incorretas, entretanto, visando uma maior exposição da âncora, recomenda-se cabeçalhos que permitam o LASER aceso por mais tempo, nesse caso, 1110 e 0111.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da abordagem por subtração de *frames* indicam que a metodologia é inadequada para determinação da posição das âncoras tendo em vista a sua alta sensibilidade à movimento e vibrações. A quantidade de falsos positivos detectados podem ser reduzidos considerando as características geométricas dos pontos de LASER nas imagens, como por exemplo, a área normalmente é pequena e o aspecto (largura sobre altura) é próximo de 1. A Figura 4 ilustra a redução em falsos positivos decorrentes de tratamentos, sendo a Figura 4a um dos 30 *frames* em 1 segundo, a Figura 4b o resultado da subtração de *frames* considerando uma sobreposição de âncoras (cada *pixel* vermelho pode gerar uma nova âncora), a Figura 4c o resultado sem a sobreposição de áreas (*pixels* visitados são descartados) e por fim, a Figura 4d que além de não repetir *pixels* visitados, considera que âncoras tem área em *pixels* dentro de uma faixa arbitrada e aspecto próximo de 1.

Figura 4 – Tratamentos sobre a geometria



Fonte: Autoria própria

Já a abordagem que busca regiões saturadas na imagem mostrou-se mais promissora. Nota-se na Figura 5a que a região da imagem que deve ser verificada está mais relacionada com o objeto de interesse (a luz), e não com o movimento de objetos e bordas. No entanto, a luminosidade do ambiente e lâmpadas podem interferir por conta da forma como as regiões de saturação são selecionadas (por retângulos). Falsos positivos podem surgir no tratamento que considera aspectos próximos de 1 como na Figura 5b e no tratamento de área, pontos isolados de luminosidade podem aparecer como na Figura 5c.

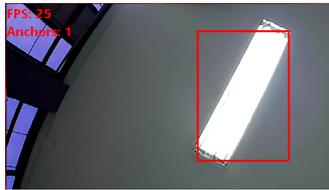
Com a falha dos tratamentos anteriores ainda é possível fazer uma eliminatória utilizando os identificadores. Sabendo o conjunto de identificadores disponíveis no sistema, pode-se eliminar pontos que não têm seu código corretamente interpretado. A Figura 1b ilustra a implementação por agrupamento de *pixels* saturados com tratamentos, em que as âncoras foram codificadas por frequências de 2, 4 e 8 Hz. Observa-se que a região saturada na parte superior da imagem (janela com luz natural) não foi identificada como âncora.



Figura 5 – Falsos positivos



(a) Região saturada em vermelho



(b) Falso positivo quadrado



(c) Falsos positivos pequenos

Fonte: Autoria própria

## CONCLUSÕES

Por conseguinte, dado as características das âncoras propostas, a abordagem que busca regiões na imagem que apresentam todos os canais próximos da saturação é adequada, sendo possível remover falsos positivos através de tratamentos no código. Além disso, visando assegurar uma maior quantidade de âncoras, entende-se que utilizar a codificação por *bits* é mais conveniente entretanto exige um cabeçalho.

Recomenda-se para trabalhos futuros a aplicação de filtros e redes neurais convolucionais para a determinação da posição das âncoras visando a otimização do algoritmo de busca e também a implementação do sistema de posicionamento *indoor* utilizando LASERs e câmera.

## REFERÊNCIAS

- GUO, Xiansheng et al. A Survey on Fusion-Based Indoor Positioning. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 22, n. 1, p. 566–594, 2020. DOI: [10.1109/COMST.2019.2951036](https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2951036).
- KIM GEOK, Tan et al. Review of Indoor Positioning: Radio Wave Technology. **Applied Sciences**, v. 11, n. 1, 2021. ISSN 2076-3417. DOI: [10.3390/app11010279](https://doi.org/10.3390/app11010279).
- KUNHOTH, Jayakanth et al. Indoor positioning and wayfinding systems: a survey. **Human-centric Computing and Information Sciences**, v. 10, n. 18, 2020. DOI: [10.1186/s13673-020-00222-0](https://doi.org/10.1186/s13673-020-00222-0).
- KUO, Ye-Sheng et al. Luxapose: Indoor Positioning with Mobile Phones and Visible Light. In: PROCEEDINGS of the 20th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. Maui, Hawaii, USA: Association for Computing Machinery, 2014. (MobiCom '14), p. 447–458. ISBN 9781450327831. DOI: [10.1145/2639108.2639109](https://doi.org/10.1145/2639108.2639109).
- SHANNON, C.E. Communication in the Presence of Noise. **Proceedings of the IRE**, v. 37, n. 1, p. 10–21, 1949. DOI: [10.1109/JRPROC.1949.232969](https://doi.org/10.1109/JRPROC.1949.232969).
- EL-SHEIMY, Naser; LI, You. Indoor navigation: state of the art and future trends. **Satellite Navigation**, v. 2, n. 7, 2021. DOI: [10.1186/s43020-021-00041-3](https://doi.org/10.1186/s43020-021-00041-3).
- WANG, Thomas Q. et al. Position Accuracy of Time-of-Arrival Based Ranging Using Visible Light With Application in Indoor Localization Systems. **Journal of Lightwave Technology**, v. 31, n. 20, p. 3302–3308, 2013. DOI: [10.1109/JLT.2013.2281592](https://doi.org/10.1109/JLT.2013.2281592).