

Estacionamento inteligente: uma comparação entre sensores ultrassônicos e visão computacional

Hudson Guilherme V. Assumpção, Caio de Souza de Medeiros, Gabriel dos Santos Perrota Duarte, Henrique Barbosa Dantas Rolan e Rigel P. Fernandes

Resumo—Neste artigo de iniciação científica, examinamos e comparamos a implementação de dois sistemas diferentes para detecção de disponibilidade das vagas de um estacionamento. O primeiro usa sensores ultrassônicos HC-SR04 e o segundo usa um algoritmo de visão computacional utilizando Python com as bibliotecas OpenCV e YOLO. O objetivo deste artigo é realizar uma comparação dos sistemas em relação a suas aplicabilidades, benefícios e limitações. A partir de tal comparação, é possível ter melhor perspectiva sobre as diferentes alternativas de resolução de problemas urbanos utilizando tecnologias emergentes, como a visão computacional.

Palavras-Chave—Detecção de Vagas, Visão Computacional, HC-SR04, MQTT.

Abstract—In this undergraduate paper, we examine and compare the implementation of two different systems for detecting the availability of parking spaces. The first system uses HC-SR04 ultrasonic sensors, and the second employs a computer vision algorithm using Python with the OpenCV and YOLO libraries. The objective of this article is to compare the systems in terms of their applicability, benefits, and limitations. From this comparison, it is possible to gain a better perspective on the different alternatives for solving urban problems using emerging technologies, such as computer vision.

Keywords—Parking Space Detection, Computer Vision, HC-SR04, MQTT.

I. INTRODUÇÃO

A gestão eficaz de estacionamentos urbanos é um campo relevante no contexto de IoT [1]. Pesquisas recentes mostram que motoristas gastam cerca de 7,8 minutos procurando vagas, indicando que sistemas inteligentes de estacionamento podem reduzir o congestionamento [2], [3], [4]. Identificar vagas de estacionamento com precisão é essencial para otimizar o uso do espaço e melhorar a experiência dos motoristas.

Sensores ultrassônicos são amplamente utilizados para detectar veículos em ambientes cobertos. No entanto, a visão computacional tem emergido como uma alternativa promissora, permitindo detecção mais versátil e análise detalhada. Os métodos baseados nessa tecnologia podem ser mais flexíveis e com melhor custo-benefício [5].

Este estudo compara vantagens e desvantagens de ambas as abordagens, com o objetivo oferecer uma compreensão clara de suas aplicações em diferentes contextos urbanos. A

comparação abrange aspectos tecnológicos e condições de teste de sensores ultrassônicos e visão computacional.

Na Seção II, examinamos os sistemas de detecção de veículos baseados em sensores ultrassônicos e na visão computacional. Na Seção III, detalhamos a implementação de protótipos para ambos os sistemas. Na Seção IV, apresentamos os resultados dos testes e analisamos o desempenho de cada sistema na detecção de vagas e discutindo problemas encontrados. Na Seção V, concluímos o trabalho.

II. SISTEMAS DE DETECÇÃO DE VEÍCULOS

A. Sensores ultrassônicos

Os sensores ultrassônicos, como o HC-SR04, medem a disponibilidade de vagas através do tempo de reflexão de sinais. Este método é confiável, de fácil implementação e possui baixo custo de implantação. Contudo, possui limitações de alcance, especialmente em grandes estacionamentos, e cada vaga necessita de um sensor individual, aumentando os custos e dificultando a escalabilidade.

B. Visão Computacional

Por outro lado, a visão computacional utiliza câmeras e algoritmos de processamento de imagem para identificar vagas livres e ocupadas. Este método oferece uma visão abrangente do estacionamento, permitindo funções adicionais, como contagem de veículos e reconhecimento de placas, o que pode facilitar o gerenciamento de estacionamentos e melhorar a segurança. Apesar de ser eficiente na detecção e oferecer possibilidades de integração de outros algoritmos, a visão computacional requer um investimento inicial maior em equipamentos e uma equipe qualificada para implementação e manutenção, o que pode dificultar sua adoção. Ambos os métodos apresentam vantagens e desafios específicos, e a escolha entre eles deve considerar fatores como tamanho do estacionamento, orçamento disponível e necessidade de funcionalidades adicionais (como vigilância, identificação dos veículos por placas).

III. OS MÉTODOS IMPLEMENTADOS

A Figura 1 apresenta os protótipos implementados, i.e., sistema de detecção de vagas por visão computacional, software para mostrar as vagas ocupadas e disponíveis e protótipo com sensores ultrassônicos.

Para o sistema de detecção ultrassônico, um protótipo foi criado com sensores HC-SR04, que podem ser posicionados

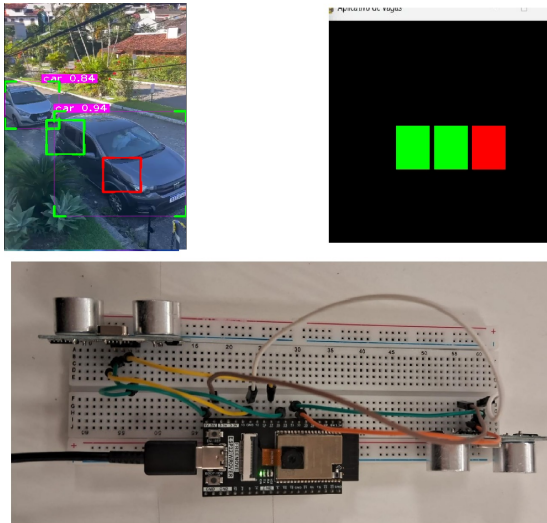


Fig. 1. Protótipo de visão computacional (acima, à direita); Resultado do teste de visão computacional (acima, à esquerda); Protótipo do sistema ultrassônico (abaixo).

no teto ou paredes de um ambiente fechado. Esses sensores emitem pulsos ultrassônicos e calculam o tempo que os pulsos levam para retornar. Com essas medidas de tempo é possível calcular a distância até o veículo, para determinar se a vaga está livre ou ocupada. O protocolo de comunicação Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) [6] foi escolhido para enviar o estado das vagas. Esse protocolo foi criado com a proposta de enviar mensagens com cabeçalhos reduzidos o que contribui para uma boa eficiência energética, portanto é uma escolha para tratar o envio dessas mensagens de estado de vagas e outras aplicações de telemetria. Cada sensor, ligado a uma vaga específica, envia mensagens apenas quando o estado da vaga muda, economizando recursos de rede. No sistema que utiliza visão computacional, uma câmera capturou vídeos de dois ambientes: um estacionamento no campus Barra da Tijuca da Ibmec à noite e uma rua pública durante o dia. As vagas foram demarcadas utilizando a biblioteca OpenCV e os carros foram identificados com a biblioteca YOLO. A câmera filma uma área ampla e publica um vetor de bits no tópico MQTT, mostrando o estado de cada vaga. Todo o processamento foi implementado em Python. Para a integração, usou-se a placa ESP32 [7] devido à sua conectividade Wi-Fi. Para visualizar o estado das vagas, desenvolveu-se um código em Python que captura as mensagens MQTT e desenha quadrados na tela: verdes para vagas disponíveis e vermelhos para ocupadas.

IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O protótipo que utiliza sensores ultrassônicos mostrou-se capaz de ser usado em ambientes cobertos, enquanto que a visão computacional seria melhor aproveitada em ambientes abertos. Percebeu-se que a luminosidade afeta a detecção dos carros pela biblioteca YOLO. Outro fator que dificultou a detecção foi o ângulo de filmagem. Evidenciou-se, a partir disso, a necessidade de otimização do posicionamento da câmera. O ângulo de elevação ideal (carro-câmera) seria entre 60° e 90°. A detecção da mudança do estado das vagas

usando visão computacional foi publicada em tempo real em um tópico MQTT e um software cliente desenvolvido em Python permitiu uma representação visual simples para que um usuário possa conhecer o status das vagas de estacionamento em tempo real.

O método de sensores ultrassônicos se apresenta como uma solução interessante para ambientes internos, como estacionamentos de shoppings, com certa frequência o número de vagas em cada pavimento é disponibilizado. Contudo, o motorista não tem o mapeamento de cada vaga de estacionamento em cada pavimento, ou seja, o motorista tem que ficar procurando por vagas disponíveis em cada pavimento. Por outro lado, o protótipo de visão computacional parece ser uma solução promissora para ambientes externos. Ao contrário dos sensores ultrassônicos, que apenas podem detectar o estado de uma vaga por sensor, sua capacidade de cobrir uma área ampla com uma única câmera oferece uma vantagem significativa apesar das limitações de posicionamento.

V. CONCLUSÃO

Finalmente, a escolha entre os dois sistemas depende de vários fatores, como: o ambiente do estacionamento, o orçamento disponível e capacidade de gestão de recursos tecnológicos para implementação e manutenção do sistema. Ambos os tipos de tecnologias contribuem significativamente para o aprimoramento e eficiência dos sistemas de estacionamento. Por fim, é importante ressaltar que, embora cada sistema tenha vantagens únicas, uma abordagem híbrida para mapeamento para estacionamentos que são *indoor* e *outdoor* seria oportuna por fornecer uma solução mais completa. Ao combinar a visão computacional (para ambiente *outdoor*) e sensores ultrassônicos (para ambiente *indoor*) é possível atualizar tópicos MQTT remotos para que usuários do sistema possam obter informação sobre todas as vagas de qualquer tipo de estacionamento.

REFERÊNCIAS

- [1] P. Marwedel, "Embedded systems foundations of cyber-physical systems, and the internet of things," *Embedded System Design; Springer Nature: Cham, Switzerland*, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-60910-8>
- [2] H. Zulfiqar, H. M. Ul Haque, F. Tariq, and R. M. Khan, "A survey on smart parking systems in urban cities," *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, vol. 35, no. 15, p. e6511, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1002/cpe.6511>
- [3] R. Arnott, T. Rave, and R. Schöb, "Alleviating urban traffic congestion," *MIT Press Books*, vol. 1, 2005.
- [4] T. Perković, P. Šolić, H. Zargariasl, D. Čoko, and J. J. Rodrigues, "Smart parking sensors: State of the art and performance evaluation," *Journal of Cleaner Production*, vol. 262, p. 121181, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121181>
- [5] P. Almeida, J. Alves, R. Parpinelli, and J. P. Barddal, "A systematic review on computer vision-based parking lot management applied on public datasets," *Expert Systems with Applications*, vol. 198, p. 116731, 03 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.116731>
- [6] A. J. Hintaw, S. Manickam, M. F. Aboalmaalay, and S. Karuppayah, "MQTT vulnerabilities, attack vectors and solutions in the internet of things (IoT)," *IETE Journal of Research*, vol. 69, no. 6, pp. 3368–3397, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/03772063.2021.1912651>
- [7] A. Maier, A. Sharp, and Y. Vagapov, "Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things," in *2017 Internet Technologies and Applications (ITA)*. IEEE, 2017, pp. 143–148. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ITECHA.2017.8101926>