

Desenvolvimento de módulo de estimação de demanda de passageiros em veículos usados no transporte urbano

Palavras-Chave: Coleta de dados em tempo-real, Sistemas de transporte, Mobilidade urbana

Autores:

MATEUS ALVES SILVA, FEEC, UNICAMP

Prof. Dr. MADSON CORTES DE ALMEIDA, FEEC, UNICAMP

INTRODUÇÃO:

O crescimento acelerado da urbanização no Brasil tem ampliado a demanda por soluções eficazes de mobilidade. Segundo o IBGE (2022), 57% da população brasileira vive em centros urbanos [2], e o transporte coletivo por ônibus permanece como o principal meio de locomoção, atendendo cerca de metade dos municípios e correspondendo a 87,5% do transporte público nacional [1].

A alta concentração populacional e a dependência de veículos individuais movidos a combustíveis fósseis contribuem significativamente para as emissões de gases de efeito estufa [3]. Incentivar o transporte coletivo, aliado à eletrificação das frotas, é estratégico para reduzir essas emissões e promover a descarbonização [4], [5].

Para otimizar esse sistema, é essencial dispor de dados precisos sobre a demanda — quantos passageiros utilizam o transporte, em quais horários e locais — informações que apoiam o planejamento de rotas, o dimensionamento da frota e a melhoria do serviço [7], [8]. Apesar dos avanços em tecnologias de contagem automática, ainda não há solução consolidada que combine precisão, robustez, baixo custo e fácil instalação [9].

Nesse contexto, este projeto propõe o desenvolvimento de um módulo de estimação e contagem de passageiros integrado a um sistema inteligente de monitoramento embarcado, utilizando o ônibus elétrico da Unicamp como plataforma de testes para validação em ambiente real.

METODOLOGIA:

Para o projeto foi adotado uma abordagem prática baseada em engenharia de sistemas embarcados, combinando hardware, firmware e análise de dados em tempo real. Um diferencial metodológico importante está na estrutura modular e distribuída do sistema proposto, com funções bem definidas entre sensores, microcontrolador, módulo central e servidor remoto. Esse fluxo — representado na Figura 1 — favorece a escalabilidade da solução, possibilitando sua adaptação futura a diferentes modelos de ônibus ou ambientes urbanos.

Outro aspecto relevante é a capacidade de tratamento local e remoto dos dados. O microcontrolador não apenas transmite os dados brutos, mas também realiza processamento inicial (como filtragem de ruído, detecção de picos e armazenamento em buffer), o que aumenta a confiabilidade do envio mesmo em casos de falhas temporárias na rede. O uso de buffers de memória

em diferentes estágios do fluxo de dados garante resiliência e evita perdas de informação em cenários de conexão instável.

Do ponto de vista do desenvolvimento, o projeto foi confeccionado com o uso de ferramentas profissionais tanto para o design eletrônico (Altium) quanto para o design mecânico (Fusion360), o que proporciona maior qualidade ao protótipo final e maior fidelidade entre projeto e aplicação. Para a integração com plataformas de visualização o Grafana foi selecionada, por permitir uma análise contínua e amigável dos dados operacionais.

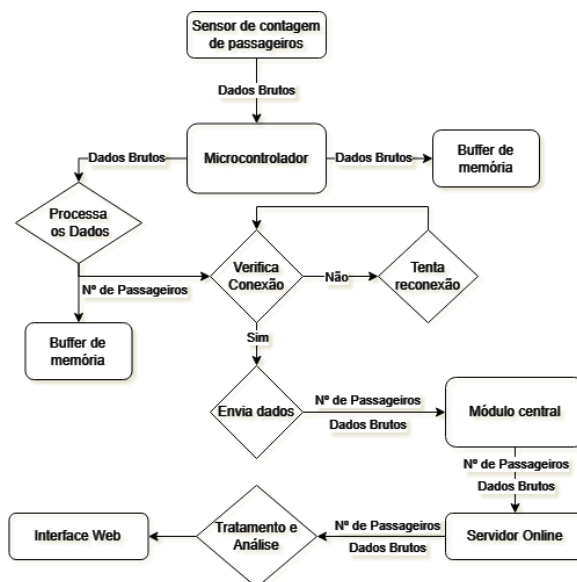


Figura 1: Diagrama de blocos representando os segmentos do projeto e suas funções.

Devido a sua maior simplicidade de configuração e menor custo computacional para a análise dos dados foi selecionado o sensor Time of Flight VLX53 que possui tecnologia I2C permitindo o uso de diversos dispositivos simultaneamente. O conceito do módulo se dá a partir da utilização de um vetor de sensores que irão medir diferentes distâncias na porta do veículo fazendo com que um microcontrolador identifique perfis de pessoas com base nos valores medidos. E com isso, contabilize o número de pessoas que entraram e saíram do transporte com a utilização de um sensor adicional que indicará o sentido de locomoção da pessoa.

Para realização da prova do conceito foram realizadas diversas simulações usando o software CoppeliaSim e o Matlab a fim de encontrar a configuração de sensores com melhor relação custo-benefício e resolução de sensoriamento. Para a simulação foi usado o ângulo de sensoriamento 25° nominal para o VLX53. Onde a configuração escolhida foi a com 10 sensores equidistantes em 10 cm com largura total de 1 metro, que apresentou melhores desempenho em relação a custo, complexidade e resolução da imagem obtida.

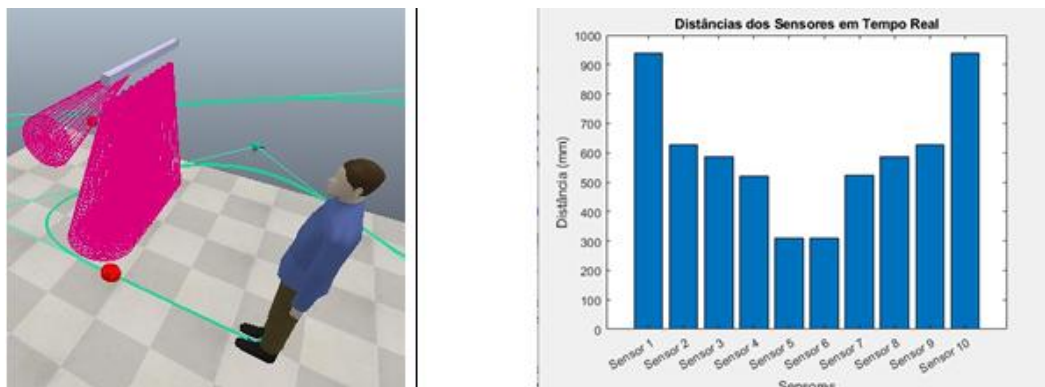


Figura 2: Imagem da simulação a esquerda e o resultado obtido a direita.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

O desenho foi modelado em 3D para que seja utilizado tecnologias de corte a laser e impressão 3D o que acelera o processo de desenvolvimento e prototipagem. A base será cortada em acrílico que garante firmeza na fixação e também uma certa flexibilidade que garante durabilidade do material mesmo em um ambiente com alta vibração como um ônibus. Para garantir a proteção do sistema eletrônico uma caixa foi desenvolvida para ser impressa em 3D e ser parafusada na base de acrílico. O conjunto será fixado no teto acima da porta do ônibus.

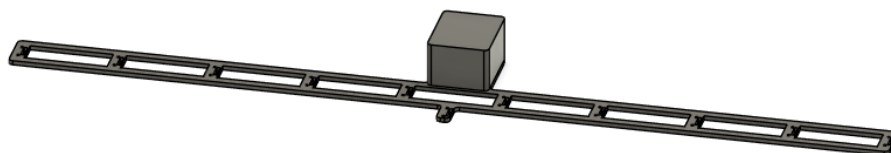


Figura 4: Modelo 3D do módulo de contagem de passageiros

Como resultado da etapa de projeto eletrônico, foi desenvolvida uma placa de circuito impresso (PCI) dedicada ao funcionamento do módulo de contagem de passageiros. Essa placa integra uma devboard baseada no microcontrolador ESP32, responsável pela leitura e gerenciamento dos sensores, bem como pelo envio dos dados coletados a um servidor remoto por meio de conexão à rede Wi-Fi do veículo. Para possibilitar a alimentação adequada do sistema, foi implementado um circuito de regulação linear de tensão, que reduz a tensão de 24 V, proveniente da alimentação do ônibus, para 3,3 V — tensão compatível com o funcionamento do ESP32 e dos sensores embarcados.

A placa também inclui circuitos dedicados à configuração do barramento I²C, permitindo a comunicação adequada entre o microcontrolador e múltiplos sensores conectados. Foi adicionado ainda um LED indicador de status, que fornece feedback visual sobre o funcionamento do sistema, e um header de depuração, projetado para facilitar a comunicação serial e o diagnóstico durante o processo de desenvolvimento, testes e manutenção.

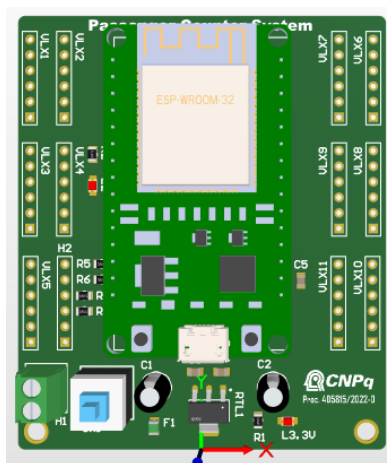


Figura 5: Layout da PCI projetada no Altium Designer

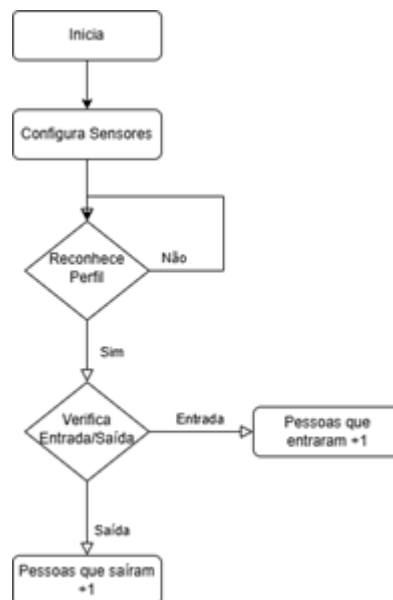


Figura 6: Fluxograma do processamento de dados da primeira versão do módulo de contagem.

O software embarcado foi desenvolvido para controlar o processo de contagem de passageiros a partir da leitura contínua dos sensores conectados ao sistema. Sua lógica segue a estrutura representada no fluxograma acima, permitindo a identificação de perfis de pessoas, a distinção entre embarques e desembarques e o consequente registro da demanda de passageiros em tempo real.

Ao ser iniciado, o sistema executa uma rotina de inicialização e configuração dos sensores, preparando o barramento I²C e ajustando os parâmetros necessários para a leitura confiável dos dados. Em seguida, o sistema entra em um modo de monitoramento contínuo, no qual analisa os sinais capturados pelos sensores para reconhecer perfis compatíveis com a passagem de uma pessoa. Caso nenhum padrão seja identificado, o sistema retorna à escuta passiva, aguardando novos dados. Quando um perfil válido é detectado, o algoritmo realiza uma análise de direção do movimento para verificar se o evento corresponde a uma entrada ou a uma saída do veículo e incrementa a respectiva variável. Essa distinção é feita com base em critérios definidos pelo posicionamento e ordem de ativação dos sensores.

A cada evento registrado, o sistema também armazena localmente os dados e, periodicamente ou sob determinadas condições de conectividade, realiza o envio das informações ao servidor por meio da rede Wi-Fi do ônibus. Essa abordagem garante tolerância a falhas de conexão temporárias, preservando os dados até que possam ser transmitidos. Além disso, um LED de status indica visualmente o estado atual do sistema (ativo, em espera ou em erro).

CONCLUSÕES:

O desenvolvimento deste módulo de contagem de passageiros resultou em uma solução robusta e adaptada às exigências do ambiente operacional do transporte coletivo. A concepção da placa eletrônica dedicada, incorporando um microcontrolador ESP32 e circuitos específicos para comunicação, alimentação e diagnóstico, garante confiabilidade na aquisição e transmissão dos dados, além de facilitar a manutenção por meio de recursos de depuração.

Na parte mecânica, a adoção de tecnologias como corte a laser e manufatura aditiva permitiu acelerar o processo de prototipagem e otimizar o design para resistência, precisão dimensional e flexibilidade estrutural. A base em acrílico proporciona firmeza e absorção parcial de vibrações, enquanto a caixa polimérica, produzida por impressão 3D, assegura a proteção física dos componentes eletrônicos em operação contínua.

O uso de um vetor de sensores, configurado para detectar eventos de embarque e desembarque sem a necessidade de identificação individual, representa uma abordagem inovadora que alia eficiência na contagem à preservação da privacidade dos passageiros. Essa característica reforça a aplicabilidade da solução em diferentes contextos, inclusive em cenários com restrições legais ou éticas quanto ao uso de imagens e dados pessoais.

Assim, o conjunto integrado de hardware, firmware e estrutura mecânica não apenas atende aos requisitos técnicos do projeto, mas também estabelece uma base sólida para a expansão e adaptação futura da tecnologia, contribuindo para o aprimoramento da mobilidade urbana e para a geração de dados confiáveis que apoiem decisões estratégicas no transporte público.

BIBLIOGRAFIA

- [1] “Grandes Números da Mobilidade Urbana,” NTU - Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos, Fevereiro 2024. [Online]. Available: <https://ntu.org.br/novo/AreasInternas.aspx?idArea=7>
- [2] U. Cabral, “De 2010 a 2022, população brasileira cresce 6,5% e chega a 203,1 milhões,” IBGE, 27 10 2023. [Online]. [Acesso em 07 05 2024].
- [3] F. Barcellos, “Instituto de Energia e Meio Ambiente IEMA,” Dezembro 2020. [Online]. Available: <https://energiaeambiente.org.br/as-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufa-nos-setores-de-energia-e-de-processos-industriais-em-2019-20201201>
- [4] R. L. d. Santos, *Otimização de rotas para transporte público utilizando dados multitemporais de volume de passageiros obtidos por sistema de baixo custo* [recurso eletrônico], Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2021.
- [5] T. Abergel, T. Bunsen, M. Gorner e P. Leduc, “Global EV Outlook 2020 - Entering the decade of electric drive?,” IEA/OECD, 2020.
- [7] Å. Jevinger e J. A. Persson, “Exploring the potential of using real-time traveler data in public transport disturbance management,” *Public Transport*, vol. 11, pp. 413-441, 05 ago. 2019.
- [8] F. T. Mariotto, L. F. Ugarte, E. L. Jr. e M. C. d. Almeida, “A Visual Analytics Approach for Inferring Passenger Demand in Public Transport System based on Bus Trajectory,” em *2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference-Latin America (ISGT Latin America)*, Gramado, Brasil, 2019, pp. 1-6.
- [9] R. L. Santos, H. C. Oliveira, M. C. Almeida, D. F. Vieira, E. P. Lacusta Junior e T. A. Ji, “A Low-Cost Bidirectional People Counter Device for Assisting Social Distancing Monitoring for COVID-19,” *Journal of Control Automation and Electrical Systems*, p. 1148–1160, 11 abr. 2022.