

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE ESTACIONAMENTO UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO BARE-METAL EM AVR

Chrystian Bohnert, Eberton Ieque, Gabriel Altenhofen, Matias Riffel, Angelo Dalzotto

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de estacionamento automatizado, elaborado na disciplina de Microcontroladores. O sistema foi projetado para simular o controle da quantidade de vagas disponíveis em um estacionamento, utilizando sensores infravermelhos (IR) para detectar a entrada e saída de veículos, um display de 7 segmentos para exibir o número de vagas restantes, LEDs indicadores para sinalizar disponibilidade e um servomotor representando a cancela de acesso. A motivação principal foi atender às exigências didáticas da disciplina, explorando a integração de múltiplos sensores e atuadores. O protótipo foi testado em bancada e demonstrou funcionamento satisfatório, embora com limitações quanto à precisão dos sensores e à capacidade máxima representada pelo display.

Palavras-chave: Estacionamento automatizado. Microcontroladores. Sensores IR. Display de 7 segmentos.

INTRODUÇÃO

O presente estudo tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de estacionamento automatizado com foco em fins didáticos, aplicando os conhecimentos adquiridos na disciplina de Microcontroladores. O problema identificado foi a ausência de um controle automático da quantidade de vagas disponíveis, o que poderia ser simulado por meio de um protótipo em bancada. O sistema permite identificar quando o estacionamento atinge sua lotação máxima, impedindo a entrada de novos veículos. Embora não tenha sido implementado em um cenário real, o protótipo serve como prova de conceito, evidenciando o potencial de soluções semelhantes para estacionamentos inteligentes.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O desenvolvimento de sistemas embarcados para controle de processos físicos, como o gerenciamento de vagas em estacionamentos, exige a integração entre hardware e software, envolvendo sensores, atuadores e controladores. No contexto deste trabalho, optou-se pela utilização de um microcontrolador ATmega328P, pertencente à família AVR, conhecido por sua arquitetura de 8 bits, baixo consumo de energia e flexibilidade na programação em linguagem C. [Barrett; Pack, 2019].

A detecção de veículos foi realizada por meio de sensores infravermelhos (IR), que operam pela emissão e recepção de feixes de luz não visível. Quando um objeto interrompe o feixe, há uma mudança de estado no sinal mostrado pelo microcontrolador [Matarić, 2014]. Essa tecnologia é amplamente utilizada em sistemas de detecção de obstáculos devido ao baixo custo e à fácil integração, mas apresenta limitações sob intensa luz ambiente, o que pode comprometer a precisão.

Para a exibição das informações, foi adotado um display de 7 segmentos, componente eletrônico que permite representar dígitos de 0 a 9, que mostra a quantidade de vagas disponíveis no estacionamento. Sua simplicidade e baixo custo justificam a escolha, embora limite a escala máxima de contagem [Boxall, 2022].

O acionamento da cancela foi simulado com um servomotor SG90, capaz de realizar movimentos precisos de rotação, controlado por sinais PWM (Pulse Width Modulation) modulados pelo microcontrolador [Matarić, 2014]. LEDs indicadores complementam a sinalização visual, fornecendo feedback imediato ao usuário sobre a disponibilidade de vagas.

Soluções semelhantes têm sido exploradas no campo da Internet das Coisas (IoT) e da automação predial, integrando sensores, sistemas de controle e plataformas de monitoramento remoto. A relevância deste estudo reside no caráter didático e na possibilidade de expansão para aplicações reais, incorporando tecnologias de comunicação sem fio e integração com sistemas de pagamento automático.

METODOLOGIA

O projeto foi desenvolvido em ambiente laboratorial, adotando uma abordagem **experimental e aplicada**, com caráter **exploratório e didático**, voltado à validação de um protótipo funcional de controle de estacionamento. O método baseou-se em prototipagem incremental, permitindo evoluir o sistema por etapas até alcançar os objetivos definidos.

Definição dos requisitos funcionais

Inicialmente, foram estabelecidos os requisitos essenciais para o protótipo:

- Contagem automática das vagas disponíveis;
- Bloqueio de entrada quando a capacidade máxima fosse atingida;
- Sinalização visual por LEDs;
- Controle da cancela por meio de servomotor.

Seleção e justificativa dos componentes

Os componentes foram escolhidos considerando custo, disponibilidade e adequação didática:

- **Microcontrolador ATmega328P (arquitetura AVR)**: selecionado por sua ampla documentação, baixo custo, baixo consumo energético e flexibilidade para programação bare-metal.
- **Sensores infravermelhos (IR)**: utilizados para detectar entradas e saídas de veículos devido ao baixo custo e facilidade de integração, embora sujeitos a interferência luminosa.
- **Display de 7 segmentos (um dígito)**: escolhido pela simplicidade e clareza na exibição da quantidade de vagas, ainda que limitado a nove unidades.
- **Servomotor SG90**: empregado como atuador da cancela, pela precisão de movimentos e compatibilidade com sinais PWM.
- **LEDs verde e vermelho**: adotados como sinalizadores visuais imediatos de disponibilidade ou lotação do estacionamento.

Desenvolvimento do firmware

O firmware foi escrito em **linguagem C**, explorando diretamente os registradores do microcontrolador, sem bibliotecas de alto nível, caracterizando a programação bare-metal. Foram implementadas as seguintes rotinas:

- **Interrupções externas** para captura dos sinais dos sensores IR;
- **Geração de PWM** para o controle do servomotor;
- **Atualização dinâmica do display de 7 segmentos e LEDs**;
- **Lógica de contagem e bloqueio**, garantindo que a cancela permanecesse fechada em caso de lotação.

Montagem e integração do protótipo

O circuito foi montado em protoboard, com alimentação regulada para 5V a fim de evitar danos aos componentes. Foram realizados testes de integração entre microcontrolador, sensores e atuadores, ajustando parâmetros de temporização e filtragem de sinais.

Testes funcionais

Os testes foram conduzidos em bancada, com simulação de entradas e saídas de veículos. Os seguintes critérios foram avaliados:

- **Precisão da contagem**: conferência do número de vagas após 20 ciclos de entrada/saída simulados;
- **Tempo de resposta**: medição aproximada do intervalo entre detecção do sensor e atualização no display/servo;
- **Clareza da sinalização**: observação da resposta dos LEDs em condições de diferentes luminosidades;
- **Confiabilidade geral**: avaliação da consistência do sistema em funcionamento contínuo durante sessões de teste.

Limitações metodológicas

O protótipo apresentou algumas restrições, como a limitação do display a nove vagas, a sensibilidade dos sensores IR à iluminação ambiente e a ausência de testes em ambiente real de estacionamento. Tais limitações foram consideradas inerentes ao caráter didático do projeto, mas apontam para melhorias futuras com uso de displays de múltiplos dígitos, sensores mais robustos e integração com IoT.

APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após a implementação do protótipo, foram realizados diversos testes em bancada para validar o funcionamento do sistema de estacionamento automatizado. O sistema foi avaliado em relação à precisão da contagem de veículos, ao tempo de resposta dos sensores, à clareza das informações exibidas no display de 7 segmentos e ao acionamento da cancela por meio do servomotor.

Durante os testes, verificou-se que o sistema conseguiu atender aos requisitos propostos:

Figura 1 - Protótipo montado em bancada

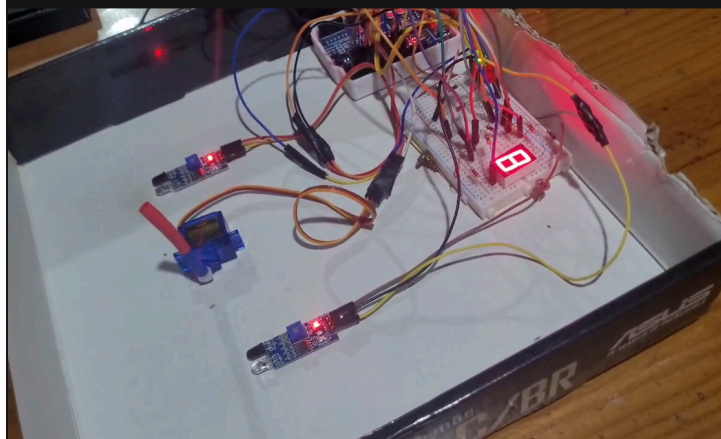
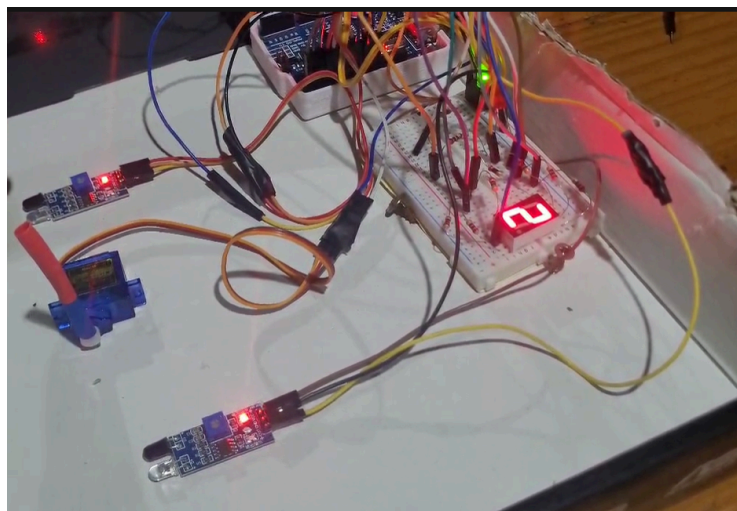


Figura 2 - Sistema em funcionamento, exibindo número de vagas



A contagem de veículos foi realizada de forma precisa, distinguindo corretamente entradas e saídas. A cada detecção, o número de vagas disponíveis era atualizado no display de 7 segmentos. O componente mostrou-se eficiente para a simulação, ainda que limitado a nove vagas em razão da utilização de apenas um dígito.

Os LEDs indicadores funcionaram de forma satisfatória, garantindo uma visualização rápida do estado do estacionamento. O LED verde permanecia aceso quando havia vagas disponíveis, enquanto o LED vermelho era acionado quando o estacionamento atingia sua capacidade máxima, impedindo a entrada de novos veículos.

O servomotor desempenhou adequadamente o papel de cancela, realizando movimentos de abertura e fechamento de acordo com o fluxo de veículos. Entretanto, em alguns momentos foi observada uma pequena latência na resposta, ocasionada pelo tempo de acionamento e pela lógica de sincronização entre os sensores.

Apesar dos resultados positivos, algumas limitações foram identificadas. A primeira refere-se à precisão dos sensores infravermelhos, que se mostrou sensível a condições de iluminação ambiente, podendo ocasionar falhas pontuais na detecção. Além disso, a restrição do número de vagas a nove é uma limitação prática do protótipo, mas pode ser superada em trabalhos futuros com o uso de displays de dois ou mais dígitos ou módulos LCD/OLED. Também se identificou que o sistema não possui interface de monitoramento remoto, o que limita sua aplicação apenas ao protótipo físico, sem integração com plataformas externas.

De modo geral, o protótipo atingiu plenamente os objetivos didáticos propostos, comprovando a viabilidade da automação de estacionamentos utilizando microcontroladores. O projeto demonstrou como a integração entre sensores, atuadores e lógica de programação permite simular com eficiência um sistema de controle de vagas e acesso de veículos.

CONCLUSÃO

A implementação do protótipo de estacionamento automatizado atingiu os objetivos propostos, demonstrando a viabilidade do uso de microcontroladores AVR em programação bare-metal para integrar sensores, atuadores e sistemas de sinalização. O sistema funcionou de forma satisfatória, realizando a contagem de veículos, acionando a cancela e sinalizando a disponibilidade de vagas.

Foram observadas limitações, como a restrição do display a nove vagas e a sensibilidade dos sensores infravermelhos à iluminação ambiente, mas estas não comprometeram o caráter didático do projeto. Pelo contrário, evidenciaram pontos de melhoria para versões futuras.

Trabalhos posteriores podem explorar a expansão do sistema com displays de múltiplos dígitos, comunicação sem fio e integração com plataformas de IoT, ampliando seu potencial de aplicação em cenários reais de estacionamentos inteligentes.

REFERÊNCIAS

BARRETT, Steven F.; PACK, Daniel J. **Microchip AVR Microcontroller Primer: Programming and Interfacing**. 3. ed. Morgan & Claypool, 2019.

MATARIĆ, Maja J. **Introdução à Robótica**. Blucher, 2014.

BOXALL, John. **AVR Workshop: A Hands-On Introduction with 60 Projects**. No Starch Press, 2022.

MICROCHIP. **AVR Instruction Set Manual**. 2023. Disponível em: <https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers-and-microprocessors/8-bit-mcus>. Acesso em: 19 jun. 2024.