CONSTRUÇÃO DE ROBÔS PARA COMPETIÇÃO SSL

Davi Giraldi Michels, Lucas Alexandre Zick, Dieisson Martinelli, Vivian Cremer Kalempa

INTRODUÇÃO

A integração entre a robótica e os sistemas autônomos tem se consolidado como um pilar de grande impacto tecnológico, impulsionando o desenvolvimento de sistemas capazes de atuar e tomar decisões em ambientes dinâmicos de forma autônoma (Siciliano; Khatib, 2016). O avanço da robótica autônoma exige a integração entre *design* estrutural, eletrônica e ciência da computação (Siegwart; Nourbakhsh; Scaramuzza, 2011). Contudo, validar se todos esses subsistemas funcionam perfeitamente em conjunto requer testes em cenários reais e imprevisíveis. Para suprir essa necessidade de validação prática e estimular a pesquisa, as competições acadêmicas foram criadas e se estabeleceram como excelentes laboratórios de inovação (Ferrein; Steinbauer, 2016).

Nesse cenário, destaca-se a RoboCup, uma iniciativa global que utiliza o futebol de robôs como ambiente de testes para impulsionar a cooperação científica e a inovação (Freiberger; Maximo; Loubach, 2024). A competição desafia pesquisadores a resolverem problemas práticos em situações dinâmicas e imprevisíveis. Entre suas diversas categorias está a SSL (Small Size League), que exige o desenvolvimento de agentes físicos capazes de atuar no jogo de forma totalmente autônoma (Neunert et al., 2017).

Inserido neste contexto, o objetivo central deste trabalho é projetar e construir a estrutura de um robô compatível com os regulamentos da SSL. Para alcançar essa meta, o projeto foca na integração fluida entre o *design* mecânico, a eletrônica embarcada e a comunicação sem fio, estabelecendo assim uma plataforma de *hardware* robusta e funcional.

DESENVOLVIMENTO

O projeto foi delimitado pelas restrições, como diâmetro e altura máxima, e pelas regras de posse de bola estabelecidas pela SSL (Robocup Small Size League, 2024). A partir destas especificações, realizou-se o dimensionamento estrutural e a seleção dos componentes para a construção do protótipo.

Em paralelo, a estrutura mecânica do robô foi desenvolvida por meio do *software* CAD Autodesk Fusion. Nessa fase, foram projetadas as peças fundamentais do robô. Destacam-se o *design* das rodas omnidirecionais, elemento crucial para garantir a locomoção holonômica e a agilidade exigidas no futebol robótico, permitindo que a plataforma se desloque em qualquer direção sem a necessidade de rotacionar seu próprio eixo (Siegwart; Nourbakhsh; Scaramuzza, 2011). Além das rodas, desenvolveu-se a base estrutural, desenhada com suportes dimensionados para garantir o alinhamento e a fixação dos motores, e a carcaça externa para a proteção dos componentes. Após a validação virtual do modelo, a fabricação dessas peças foi realizada por manufatura aditiva baseada na tecnologia FDM (*Fused Deposition Modeling*), utilizando as impressoras 3D Bambu Lab X1 Carbon. Na produção da base estrutural e das rodas, utilizou-se o polímero PLA. Essa escolha fundamenta-se nas propriedades mecânicas do material, que possui elevada rigidez e maior massa (Banjanin et al., 2018). Na prática, esse incremento de peso aumenta a aderência ao solo e seu equilíbrio (Dudek; Jenkin, 2010). Por outro lado, o chassi foi confeccionado em ABS para garantir maior resistência mecânica contra impactos durante as partidas (NGO et al., 2018).

Para a arquitetura de controle e comunicação, foi implementado um sistema de transmissão de dados via radiofrequência utilizando módulos nRF24. Essa tecnologia foi selecionada devido à sua baixa latência, baixo consumo e alta estabilidade, características essenciais para aplicações

robóticas que exigem respostas em tempo real (Cavalcanti; Joaquim; Barros, 2022). O fluxo de informação foi estruturado de modo que a camada superior é operada por um computador central, encarregado de processar a lógica de jogo e encaminhar as decisões estratégicas para um microcontrolador Elegoo UNO R3, baseado na plataforma Arduino UNO, acoplado a um módulo de rádio. O sinal emitido por essa base é captado por um segundo módulo nRF24, configurado como receptor. Este componente foi integrado a um microcontrolador STM32F401RE posicionado no chassi do robô. O microcontrolador decodifica os dados estratégicos, os traduz para sinais PWM e envia as instruções de velocidade e direção diretamente para os ESCs (Controladores Eletrônicos de Velocidade), que realizam o acionamento dos motores.

RESULTADOS

Os resultados preliminares indicam que a impressão 3D aliada à montagem eletromecânica possibilitou a construção de uma plataforma funcional, capaz de realizar locomoção omnidirecional, conforme ilustrado na Figura 1.

Para validar a eficácia da arquitetura de controle e comunicação, estruturou-se uma rotina de testes quantitativos baseada na medição de RTT (Round-Trip Time). Os ensaios foram conduzidos em laboratório, com o computador central transmitindo dados operacionais para o microcontrolador STM32. Em um cenário sem obstáculos, a uma distância de aproximadamente 6 metros, foram disparados 10.000 pacotes de teste. Um *script* de monitoramento em Python foi desenvolvido para registrar o tempo de resposta e a integridade de cada pacote recebido. Os resultados demonstraram uma taxa de sucesso de 99,97%, com apenas três pacotes perdidos durante toda a bateria de testes. A latência média registrada foi de 0,83 milissegundos (ms), indicando desempenho adequado para a comunicação do sistema de controle nas condições avaliadas. Além disso, o acionamento direto dos motores foi validado com sucesso: os controladores de velocidades ESCs, atuaram em sincronia com os sinais PWM gerados pelo STM32. Essa integração permitiu reversões no sentido de rotação dos motores, um comportamento dinâmico necessário para a mobilidade holonômica exigida pela liga SSL.

No entanto, os ensaios de comunicação não levaram em consideração a interferência típica de competições oficiais. Em eventos reais, o volume de pessoas e a alta densidade de dispositivos operando na mesma faixa de frequência geram saturação de espectro e ruído, fatores que podem impactar a latência e precisarão ser mitigados em testes futuros sob condições mais próximas às encontradas em competições. Contudo, a plataforma física e eletrônica atual consolida a base fundamental necessária para as próximas etapas do projeto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho cumpriu seu objetivo ao entregar a estrutura física e a base de *hardware* funcional para um robô da categoria SSL. A metodologia de construção do protótipo demonstrou ser eficaz, validando com sucesso o acionamento dos motores e o funcionamento da arquitetura de comunicação. Ensaios práticos demonstraram o desempenho do sistema de transmissão de dados nas condições avaliadas, com taxa de sucesso de 99,97% e latência média de 0,83 ms.

Essa arquitetura validada abre caminho para futuras inovações, como a implementação de um sistema de chute e o desenvolvimento de lógicas de controle em malha fechada, ampliando a complexidade e a eficácia das estratégias colaborativas da equipe em ambiente real.

Palavras-chave: Small Size League; robótica autônoma; modelagem 3D; futebol robótico; RoboCup.

ANEXOS



Figura 1. *Protótipo estrutural do robô para a liga SSL, fabricado por impressão 3D.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANJANIN, Bojan. *et al*. Consistency analysis of mechanical properties of elements produced by FDM additive manufacturing technology. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 23, n. 4, p. e12250, 2018.

CAVALCANTI, Lucas; JOAQUIM, Riei; BARROS, Edna. Optimized wireless control and telemetry network for mobile soccer robots. *Lecture Notes in Computer Science*, Springer, p. 177-188, 2022. DOI: 10.1007/978-3-030-98682-7_15.

DUDEK, Gregory.; JENKIN, Michael. **Computational principles of mobile robotics**. 2. ed. Nova York: Cambridge University Press, 2010.

FERREIN, Alexander; STEINBAUER, Gerald. 20 years of RoboCup: a subjective retrospection. KI - Künstliche Intelligenz, v. 30, n. 3, p. 225-232, 2016. DOI: 10.1007/s13218-016-0442-4.

FREIBERGER, Andrei; MAXIMO, Marcos R. O. A.; LOUBACH, Denis. Implementation of Firmware Based on Real-Time Operating System for Small Size League Robot. In: 2024 Brazilian

Symposium on Robotics (SBR) and 2024 Workshop on Robotics in Education (WRE). [S. l.: s. n.], 2024. p. 133–138. DOI: 10.1109/SBR/WRE63066.2024.10837771.

NEUNERT, Michael et al. Open source RoboCup small size league framework. In: **RoboCup 2016: Robot World Cup XX**. Springer International Publishing, p. 508-519, 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-68792-6_42.

NGO, Tuan D. et al. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. **Composites Part B: Engineering**, v. 143, p. 172-196, 2018. DOI: 10.1016/j.compositesb.2018.02.012.

ROBOCUP SMALL SIZE LEAGUE. **RoboCup Small Size League Rules 2024**. [S. l.: s. n.], 2024. Disponível em: https://robocup-ssl.github.io/ssl-rules/sslrules.html.

SICILIANO, Bruno; KHATIB, Oussama (Ed.). Springer handbook of robotics. 2. ed. Berlim: Springer, 2016.

SIEGWART, Roland; NOURBAKHSH, Illah Reza; SCARAMUZZA, Davide. Introduction to autonomous mobile robots. 2. ed. Cambridge: MIT press, 2011.