

Projeto de um time futebol de robôs autônomos para a categoria IEEE Very Small Size Soccer da Competição Latino-Americana e Brasileira de Robótica

Murilo Gonçalves¹, João Pedro de M. Bonucci¹, Matheus R. da Silva¹, Guilherme T. Bakaukas¹, Pedro Antônio F. Borges¹, Rafael Antonio Chinelatto², Bruno C. Holanda³, Bruno M. Bonetti³

Abstract—Este *Team Descripton Paper* (TDP) tem como objetivo apresentar o desenvolvimento do projeto futebol da categoria IEEE *Very Small Size Soccer*, pelo Grupo Estudos em Robótica (GER) da Unicamp, com o intuito de participar da Competição Latino-Americana e Brasileira de Robótica (LARC) de 2022. O projeto consiste na criação do sistema para que um time de três jogadores dispute uma partida de futebol, conforme as regras estabelecidas. Para tal, a todo instante, uma câmera posicionada acima do campo capta e envia imagens do campo para um computador que realiza seu processamento, identifica objetos em campo, define uma estratégia a ser seguida e envia para cada jogador informações sobre as ações que estes devem executar.

I. INTRODUÇÃO

Há mais de uma década, o futebol de robôs tem sido utilizado como ferramenta para o estudo da robótica, graças à sua complexidade e abrangência de diversos assuntos dentro da robótica. Lund e Pagliarini in Asada e Kitano (1999) [1] explicam a importância do desenvolvimento de projetos como este.

O futebol de robôs tem sido definido como um novo marco para a inteligência artificial (...). Em contraste com desafios anteriores de inteligência artificial, a exemplo do xadrez, o futebol de robôs é um jogo dinâmico e físico, em que o controle em tempo real é essencial. (...) Em geral, acredita-se que a participação no futebol de robôs proporciona a ambos estudantes e pesquisadores conhecimento sobre a importância da concretização e sobre os problemas a que abstrações infundadas podem levar.

Nesse sentido, a Competição Latino-Americana e Brasileira de Robótica (LARC) permite a estudantes e pesquisadores participar em diversas categorias de competição. Dentre elas, a categoria IEEE Very Small Size Soccer propõe a disputa de uma partida de futebol entre dois times de três jogadores autônomos, cada um com até 7,5cm x 7,5cm x 7,5cm.

Para o desenvolvimento do projeto, a equipe utiliza três robôs, um computador e uma câmera. A câmera, posicionada

acima do campo, capta as imagens e as envia a um computador, para que este realize seu processamento, reconhecimento de objetos no campo (limites do campo, posição e direção de cada jogador, posição da bola) e definição de uma estratégia a ser seguida, enviando para cada robô informações da ação que deve tomar através de comunicação por radiofrequência. Dessa forma, a partida é disputada autonomamente, isto é, sem intervenção humana. Um esquema do sistema geral de jogo e a arquitetura utilizada pela equipe são apresentados nas Fig.1 e Fig. 2.

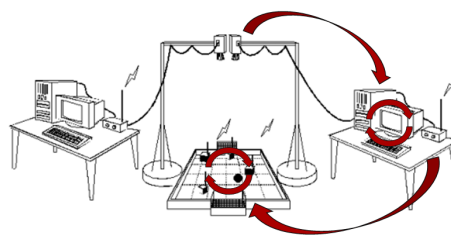


Fig. 1. Esquema do sistema geral do jogo (adaptado de [2]).

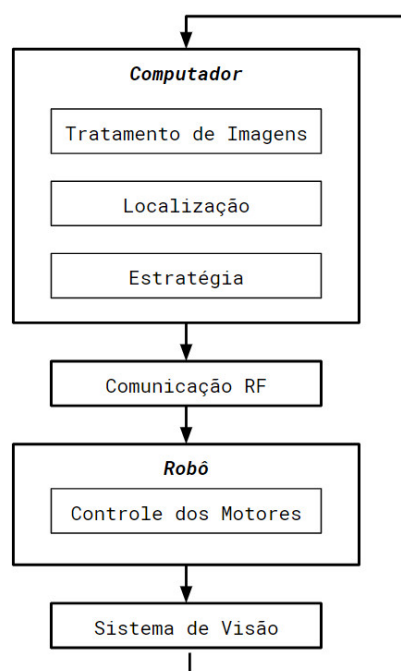


Fig. 2. Arquitetura utilizada pelo GER.

¹M. Gonçalves, J. P. M. Bonucci, M. R. Silva, P. A. F. Borges e G. T. Bakaukas são do Instituto de Computação (IC) da Unicamp, Av. Albert Einstein, 1251, Cidade Universitária, Campinas, SP.

²R. A. Chinelatto é da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC) da Unicamp, Av. Albert Einstein, 400, Cidade Universitária, Campinas, SP.

³B. C. Holanda e B. M. Bonetti são da Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM) da Unicamp, Rua Mendeleyev, 200 Cidade Universitária, Campinas - SP CEP 13083-860

Email: contato@gerunicamp.com.br

O objetivo do projeto é desenvolver um sistema, uma estratégia e um time de robôs capazes de jogar futebol de forma cooperativa e autônoma. A cooperação entre robôs em um sistema multiagente é de grande importância para a robótica inteligente, pois permite que ações coordenadas sejam tomadas em prol da resolução de um problema em comum - no caso, marcar gols e impedir que o adversário o faça.

O Grupo de Estudos em Robótica (GER) é formado por alunos da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), uma entidade extracurricular associada à Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM) e que conta com membros de diversos cursos de graduação da universidade. No projeto de futebol de robôs IEEE-VSSS participam, atualmente, alunos de Engenharia de Computação, de Controle e Automação, e Elétrica.

Nas seções seguintes são apresentadas as estratégias de visão computacional adotadas, os sistemas físicos, isto é, jogadores e sistema de comunicação e estratégias de jogo.

II. ESTRATÉGIAS DE VISÃO COMPUTACIONAL

Nesta seção, são apresentadas as estratégias usadas para extrair informações sobre a situação de jogo a partir da imagem recebida da câmera. Esse processo foi dividido nas etapas de calibração, aquisição, processamento e identificação. Para isso, foi utilizado o OpenCV (*Open Source Computer Vision Library*) [3], uma biblioteca *open source* voltada para processamento de imagens, visão computacional e aprendizado de máquina. Foi utilizado a versão OpenCV para linguagem C/C++.

A. CALIBRAÇÃO

A calibração, feita antes de cada partida, é separada em duas partes: de borda e de cor. A calibração de borda consiste em aplicar uma transformação na matriz de pixels do frame da câmera para torná-la um retângulo com os quatro vértices coincidentes com os do campo. Já na calibração de cor, é utilizado o processo de clusterização: em cada um dos frames da imagem são escolhidos um número limitado de cores possíveis para as cores da imagem. O algoritmo utilizado é o de agrupamento K-Means [10]. Deste modo, são obtidos intervalos RGB para as cores utilizadas no jogo, posteriormente selecionadas conforme as cores das "camisas" dos robôs e da bola.

B. AQUISIÇÃO

A aquisição de imagem consiste no processo de obter a imagem capturada pela câmera. Foi utilizada a câmera Logitech C922 [9]. Na inicialização, foi desabilitado o seu autoajuste interno e foram ajustados manualmente parâmetros como brilho, luminosidade, contraste e exposição, realizando um pré-processamento. Assim, as imagens são enviadas para o algoritmo de processamento da melhor forma possível, permitindo que o programa execute com maior facilidade o reconhecimento dos objetos na imagem.

C. PROCESSAMENTO

O processamento da imagem é feito em sua grande maioria com as funções já existentes do OpenCV. O primeiro passo consiste na conversão da componente de cor de RGB (vermelho, verde, azul) para CIELAB (ou $L^*a^*b^*$). Isso é feito porque na visão computacional é útil a separação das componentes que identificam as cores e suas intensidades. No caso do $L^*a^*b^*$, L^* indica a intensidade, enquanto a^* e b^* identificam a cor, em um intervalo de verde a vermelho e azul a amarelo, respectivamente.

Em seguida, é feita a delimitação do campo. Com os quatro pontos obtidos no processo de calibração, é possível usar as funções `getPerspectiveTransform` e `warpPerspective` para cortar e transformar a imagem, a fim de ignorar tudo que não é de interesse do algoritmo de identificação. As imagens a seguir mostram o campo inteiro capturado pela câmera e o campo é ajustado para a região de interesse.

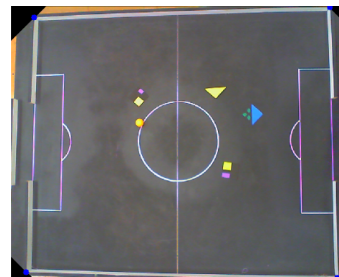


Fig. 3. Campo inteiro com bordas destacadas

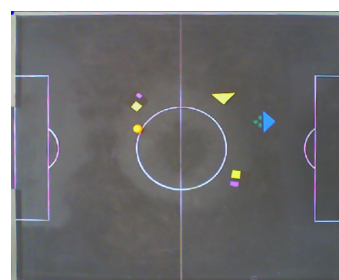


Fig. 4. Imagem do campo com perspectiva ajustada

Nessa imagem, as coordenadas de posição dos objetos podem ser muito próximas em relação ao campo real. Isso permite que o algoritmo de estratégia saiba a posição precisa de cada objeto identificado.

D. IDENTIFICAÇÃO

Para o trabalho de identificação dos objetos capturados pela câmera e processados, a cor é o elemento principal. Essa abordagem permite maior dinamicidade na identificação dos elementos, tornando-os menos dependentes da forma como ocorrem - a bola, por exemplo, é identificada independentemente de uma possível oclusão parcial feita pelos jogadores.

Para os jogadores, foi elaborado um padrão de imagem como indicado na figura a seguir.

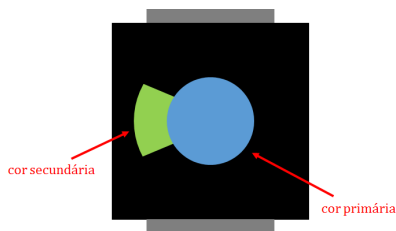


Fig. 5. Esquema de cores elaborado para identificação dos robôs.

A cor primária indica o time (azul ou amarelo), enquanto a secundária identifica individualmente cada jogador. A disposição do elemento de cor secundária é tal que ele também indica a direção do robô: a posição média esquerda na figura representa a frente do robô. Ademais, esse formato facilita a ação de verificação do algoritmo, que trabalha uma área de raio específico.

Para encontrar os jogadores no campo, são geradas imagens que filtram cada uma das cores de interesse. O OpenCV permite encontrar contornos em imagens, e com essa função, `findContours`, identificamos os possíveis marcadores. Para simplificar o tratamento, cada contorno encontrado é aproximado pelo seu menor círculo envolvente com a função `minEnclosingCircle`. Por fim, os marcadores encontrados são comparados para encontrar a posição e a direção de cada robô, por meio dos dois marcadores que os compõem e as suas características esperadas, como tamanho e proximidade.

III. SISTEMAS FÍSICOS

Os sistemas físicos do projeto estão divididos em: jogadores (estrutura mecânica e dos componentes eletrônicos) e sistema de comunicação.

A. JOGADORES

1) *ESTRUTURA MECÂNICA*: A estrutura mecânica dos robôs foi modelada em um programa de desenho assistido por computador para ser impressa em impressora 3D. A modelagem foi feita de modo que os componentes internos possam ser posicionados sem dificuldade, de forma a modularizar o robô e visando à otimização do espaço interno e à fácil reposição dos componentes caso necessário.

A estrutura é dividida em camadas:

- Na camada inferior, são posicionados os motores e encoders.
- Na camada superior fica a bateria.
- Acima da bateria, ficam os demais componentes eletrônicos (microcontrolador, driver de ponte H, receptor de radiofrequência) e o circuito que os integra.

Essa divisão modular pode ser vista nas figuras a seguir, em que também estão representados motor, bateria, rodas e discos do encoder.

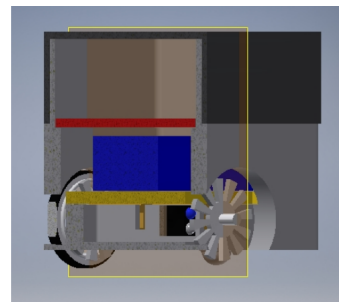


Fig. 6. Vista em perspectiva com corte transversal do modelo da estrutura.

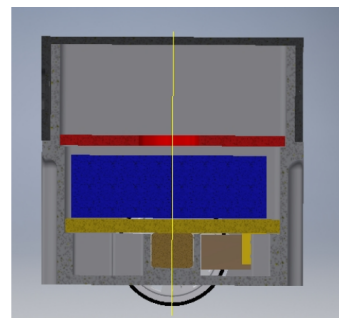


Fig. 7. Vista perpendicular com corte transversal do modelo da estrutura.



Fig. 8. Vista em perspectiva do protótipo do robô.



Fig. 9. Vista do protótipo aberto, mostrando o circuito integrador dos componentes eletrônicos.

2) **COMPONENTES ELETRÔNICOS:** Nesta seção, são descritos os componentes eletrônicos usados na construção de cada jogador.

O microcontrolador utilizado é um Arduino Micro, com controlador ATmega32U4 [4]. Sua função é interpretar os comandos recebidos pelo módulo de radiofrequência e gerar os sinais de controle da velocidade dos motores, além de obter a resposta dos sensores de velocidade. Esse modelo foi escolhido pelo tamanho reduzido, visto que o espaço interno disponível na estrutura mecânica do robô é bastante limitado.



Fig. 10. Arduino Micro [4].

Para comunicação entre cada robô e o computador, é utilizado um módulo transceptor de radiofrequência de 2,4GHz, modelo NRF24L01 [5]. O sistema de comunicação é detalhado na Seção Sistema de Comunicação.



Fig. 11. Transceptor de radiofrequência NRF24L01 [5].

Para movimentação, são usados dois motores com escovas de corrente contínua, modelo 50:1 Micro Metal Gearmotor HP 6V da Pololu. Eles têm tensão nominal de 6 V e velocidade de rotação livre 630 rpm [6].



Fig. 12. Motor Pololu 50:1 [6].

A alimentação do sistema é realizada por uma bateria LiPo de 7,4 V de tensão e 850 mAh de capacidade de carga [8]. A escolha do modelo foi motivada principalmente pela limitação de dimensão do robô.



Fig. 13. Bateria LiPo 7,4 V [8].

Para controle dos motores, é utilizada a ponte H L298N [7], que regula tanto a direção quanto a velocidade de motores com tensão entre 5 V e 35 V e até 2 A de corrente.

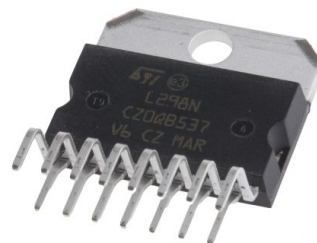


Fig. 14. Ponte H L298N [7].

Para realizar a integração de todos os componentes com o Arduino Micro, foi projetada uma placa de circuito impresso. Ela funciona como um *shield* para o microcontrolador, de forma que este é encaixado direto à placa, e os demais componentes são ligados a ela.

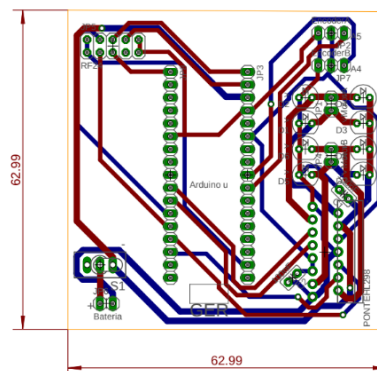


Fig. 15. Diagrama do circuito de integração dos componentes.

B. SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

Para a comunicação entre computador e jogadores, é utilizado o protocolo de radiofrequência Enhanced ShockBurst (ESB) da Nordic, com o módulo transceptor NRF24L01 [5]. Essa tecnologia representa uma boa solução de compromisso entre consumo energético, custo e alcance.

A comunicação entre o computador e os robôs é feita a partir de um módulo emissor, que é composto por um Arduino UNO conectado a um módulo NRF24L01. O código da estratégia que roda no computador envia os comandos referentes a cada robô através de protocolo serial para o microcontrolador, que envia essas informações por radiofrequência para os jogadores. Utiliza-se um protocolo de comunicação simples que envia informações para todos os robôs ao mesmo tempo.

Em cada jogador, o módulo NRF24L01 recebe as informações e as processa, de forma a identificar apenas os comandos relativo àquele jogador em específico.

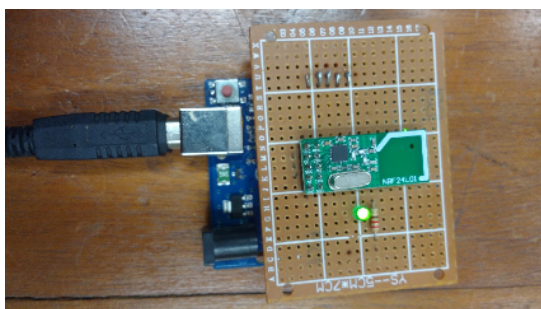


Fig. 16. Módulo emissor de dados por radiofrequência, que é conectado ao computador.

IV. ESTRATÉGIAS DE JOGO

Nesta seção, são apresentadas ideias de estratégias de jogo a serem adotadas. Este ainda é um tema em desenvolvimento e pode ser alterado. A estratégia deve ser simples, pois o novo time e as estratégias de visão ainda estão em teste.

Dos três jogadores, um deve ser o goleiro e se posicionar sempre na frente do gol, apenas seguindo a direção da bola, de forma a tentar bloquear uma ofensiva adversária.

Os outros dois devem se alternar nos papéis defensivo e ofensivo. O que estiver mais próximo à bola deve buscá-la e conduzi-la ao gol adversário (posição ofensiva), enquanto o outro jogador deve se posicionar em um estado de espera em uma posição próxima do centro do campo (posição defensiva). Dessa maneira, estará pronto tanto para uma segunda tentativa ofensiva em caso de falha da primeira, quanto para iniciar um processo de defesa, em caso de ofensiva adversária.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto futebol vem sendo desenvolvido para participar da Competição Latino-Americana e Brasileira de Robótica 2022. As estratégias e técnicas adotadas são simples e objetivas e acredita-se que, dessa forma, o sistema geral da equipe execute corretamente o que foi planejado e possa competir. Apesar de o projeto ainda estar em desenvolvimento, espera-se que esse documento possa contribuir para a categoria.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio dado pela Unicamp, pela FEEC (Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação), pela FEM (Faculdade de Engenharia Mecânica) e pelo IC (Instituto de Computação). Agradecemos também ao nosso professor orientador Rodrigo Moreira Bacurau.

REFERENCES

- [1] H. H. Lund; L. Pagliarini. Robot Soccer with LEGO Mindstorms. In: M. Asada; H. Kitano (Eds.). Robo Cup-98: Robot Soccer World Cup II. Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Hong Kong; London; Milian; Paris; Singapore; Tokyo: Springer, 1999. p. 141-151.
- [2] Regras IEEE Very Small Size Soccer (VSSS) - Série B. Disponível em: <https://www.cbrobotica.org/wp-content/uploads/2022/05/vssRules.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2022.
- [3] OpenCV. Disponível em: <http://opencv.org/>. Acesso em: 30 jun. 2017.
- [4] Arduino. Arduino Micro. Disponível em: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-micro?selectedStore=us>. Acesso em: 29 jun. 2022.
- [5] Nordic Semiconductor. nRF24L01+. Disponível em: <http://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01P>. Acesso em: 30 jun. 2017.
- [6] Pololu. 50:1 Micro Metal Gearmotor HP 6V. Disponível em: <https://www.pololu.com/product/998>. Acesso em: 6 jul. 2017.
- [7] Sparkfun. L298. Disponível em: https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298_H_Bridge.pdf. Acesso em: 7 jul. 2018.
- [8] HobbyKing. ZIPPY Compact 850mAh 2S 25C Lipo Pack. Disponível em: https://hobbyking.com/en_us/zippy-compact-850mah-2s-25c-lipo-pack.html. Acesso em: 29 jun. 2018.
- [9] Webcam Pro Stream 1080p Logitech C922. Disponível em: <https://www.logitechstore.com.br/webcam-pro-stream-1080p-logitech-c922?q=1>. Acesso em: 28 jun. 2018.
- [10] OpenCV: Understanding K-Means Clustering. Disponível em: https://docs.opencv.org/3.4.3/de/d4d/tutorial_py_kmeans_understanding.html. Acesso em: 14 jun. 2019.