

LAMBE SUJO: Artigo de Descrição do Time de Futebol de Robôs da Universidade Federal de Sergipe na Categoria VSSS

Raphael Cardoso de Oliveira Jesus¹, Matheus Cardoso Santos¹, Wesley Alves Farias², Lázaro Alberto de Araújo Menezes¹, Lavínia Beatriz Souza Silva Caldas¹, Petersson Matos Cardoso Santana¹, Matheus Marques de Oliveira Goes Cunha¹, Rodrigo Passos Souza¹, Thiago Vinícios Menezes Assunção¹, David Oliveira Santos¹, José Gilmar Nunes de Carvalho¹, Lucas Molina¹, Elyson Ádan Nunes Carvalho¹ e Eduardo Oliveira Freire¹

Resumo - Este artigo descreve os aspectos básicos do time LAMBE SUJO do Grupo de Pesquisa em Robótica do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Sergipe (GPR-UFS). Nele é apresentada uma visão geral a respeito do *hardware* e do sistema de controle do time que irá participar da categoria IEEE *Very Small Size Soccer* (VSSS).

I. INTRODUÇÃO

A cada dia aumentam os investimentos realizados em pesquisa na área de robótica. Algumas empresas de grande porte já realizam grandes investimentos no desenvolvimento de novas tecnologias. Isso indica que, no futuro, o papel da robótica no cotidiano será cada vez mais importante.

Nesse contexto, uma importante área de pesquisa na robótica é a de sistemas com múltiplos robôs (do inglês, *Multi Robot Systems* – MRS), área emergente nas últimas três décadas. Nesta linha de pesquisa, é possível destacar os sistemas de robôs cooperativos [1] que interagem e compartilham um mesmo ambiente, tendo como finalidade atingir um objetivo global [2].

A importância do estudo de sistemas de múltiplos robôs móveis decorre do fato de que o uso de robôs cooperativos permite uma maior capacidade de trabalho, viabilizando tarefas que não podem ser executadas por um único robô, além de aumentar a confiabilidade do sistema e reduzir o tempo de execução de uma tarefa [3].

O futebol de robôs é um domínio muito popular da área de sistemas com múltiplos robôs e tornou-se recentemente um meio para o estudo de tecnologias multiagentes, como cooperação, colaboração e coordenação [4]. O futebol, um dos esportes mais praticados no mundo, é um típico jogo em equipe, no qual cada jogador deve atuar de forma cooperativa realizando decisões precisas e oportunas em um ambiente dinâmico [5].

Em jogos, um sistema de tomada de decisão deve lidar com uma variedade de situações de confronto e ser capaz de ajustar suas estratégias de forma a atingir os objetivos de coordenação [5]. Por causa dessas características, o futebol é considerado um problema padrão de sistemas com múltiplos agentes e algoritmos cooperativos. A ideia por trás dos campeonatos de futebol de robôs é estabelecer um problema comum, para o qual os pesquisadores possam concentrar seus esforços no desenvolvimento de soluções inovadoras que, eventualmente, levarão ao surgimento de novas tecnologias.

Espera-se que o futebol de robôs possa beneficiar diversas áreas da atividade humana, desde aplicações industriais, equipamentos médicos e o ramo de entretenimento. A construção de um time de futebol de robôs envolve o desenvolvimento e testes de sistemas em ambientes dinâmicos, uma atividade que integra vários segmentos de pesquisa como visão computacional, redes de comunicação, teoria de controle, sistemas multi-agentes e eletrônica.

Por conta disso, o futebol de robôs é uma ferramenta extremamente poderosa para motivar estudantes a aplicar conceitos multidisciplinares na robótica. Além de propiciar diversos desafios divertidos, visto que o objetivo final é vencer o oponente.

Este artigo tem por finalidade apresentar os aspectos básicos do time LAMBE SUJO, do Grupo de Pesquisa em Robótica vinculado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Sergipe – GPR-UFS (<http://www.gprufs.org/>), e está estruturado da seguinte forma: na próxima seção apresentam-se algumas informações gerais sobre a categoria que o time LAMBE SUJO irá competir, a IEEE *Very Small Size Soccer* (VSSS). Na Seção III apresenta-se uma descrição geral dos aspectos de hardware e eletrônica do time. Na Seção IV, uma descrição geral dos aspectos do sistema de visão do time. Na Seção V são descritos aspectos a respeito de modelagem, controle e estratégia de jogo dos robôs que formam o time. Finalmente, na Seção VI são apresentadas as conclusões.

¹Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-SE, Brasil

²Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, Brasil

Todos os autores possuem vínculo com o Grupo de Pesquisa em Robótica (<http://www.gprufs.org/>) (e-mail: gprufs@gmail.com).

II. CATEGORIA IEEE *VERY SMALL SIZE* SOCCER (VSSS)

A IEEE *Very Small Size* é uma liga de competição de robótica, na qual equipes compostas por três pequenos robôs disputam partidas de futebol comandados por um computador. Este torneio acontece no Brasil desde 2003 [6] e atualmente é disputado durante a Competição Latino-Americana de Robótica (LARC) e a Competição Brasileira de Robótica (CBR), que acontecem simultâneas ao Simpósio Latino-Americano de Robótica/Simpósio Brasileiro de Robótica (LARS/SBR).

De acordo as regras da categoria [7], as partidas são disputadas entre dois times, cada um formado por três robôs que devem caber em um cubo com arestas de 7,5 cm. Os robôs devem ser controlados remotamente por um único computador, sem intervenção humana. Os jogos ocorrem em um campo medindo 150 cm x 130 cm, de cor preta fosca (Fig. 1), posicionado em um local fechado com intensidade luminosa constante, com valores próximos de 1.000 Lux. Os times são identificados por meio de cores, sendo um time azul e outro amarelo. Devem ser usadas etiquetas de identificação coloridas que podem ter qualquer forma, mas com dimensões tais que seja possível inscrever na mesma um quadrado com lado de 3,5 cm ou um círculo com raio de 4 cm (Fig. 2). Para a identificação dos robôs e da bola no campo é utilizado um sistema de visão. A câmera deve ser fixada acima do campo em uma posição tal que não necessite ser movida depois da troca de lado, que ocorre na transição de tempos de jogo. A câmera deverá estar suspensa acima do campo a uma altura não inferior a 2 metros. O processamento das imagens adquiridas pela câmera deve ser realizado pelo mesmo computador utilizado para controlar remotamente os robôs.

A seguir, é apresentada uma descrição geral do *hardware* desenvolvido para a competição.

III. DESCRIÇÃO GERAL DOS ASPECTOS DE *HARDWARE* DO TIME LAMBE SUJO

O robô do time foi desenvolvido por meio de um chassi construído a partir de impressão 3D, além de componentes eletrônicos, motores e peças mecânicas que podem ser obtidas facilmente em lojas virtuais de eletrônicos.

A estrutura do robô pode ser visualizada na Fig. 3. Os corpos intermediário e de base possuem o objetivo de acomodar e fixar os componentes eletromecânicos do robô. A criação dessas estruturas partiu da ideia de manufatura aditiva para garantir mais liberdade do designer. Isto permitiu moldar facilmente o corpo do robô de acordo com as peças que ele acomoda. Esta abordagem elimina possíveis vibrações, desgastes e outros eventos e situações que prejudicariam a eficiência do robô.

Acomodada na estrutura, se localiza a eletrônica do robô, responsável pela comunicação e controle. O

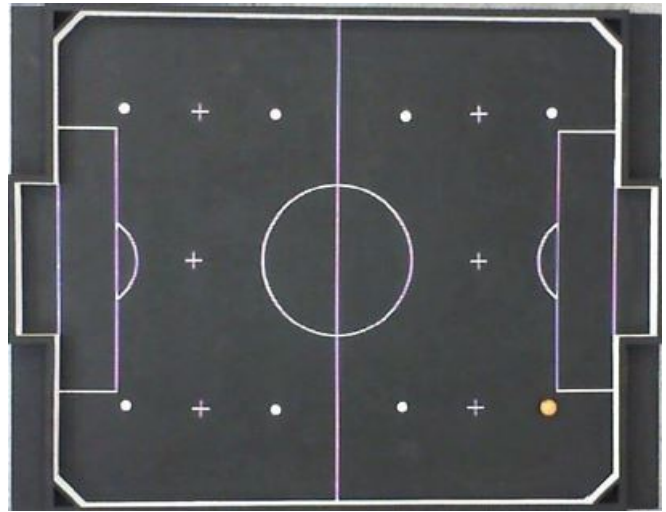


Fig. 1: Campo de futebol de robôs construído para treinos.



Fig. 2: Camisa usada para identificação do robô pelo sistema de visão computacional.



Fig. 3: Estrutura física do robô.

componente principal é o módulo de comunicação e processamento, porém existem outros componentes que auxiliam na localização e movimentação. Esses pontos são apresentados com a descrição da placa de circuito impresso (PCI).

A PCI do robô, com *layout* apresentado na Fig. 4, é fixada sobre o corpo intermediário e abaixo do corpo superior que se refere a camisa do robô. A placa eletrônica é o componente responsável por receber os comandos de ações via rádio Nordic (modelo NRF24L01) transmitidos por um computador externo que realiza o processamento de imagem e execução da estratégia. A mensagem, que é enviada em *broadcast*, contempla as velocidades das rodas direita e esquerda e identificadores dos robôs (configurados por um DIP SWITCH). O microcontrolador utilizado foi o STM32-F103C8T6, que processa o pacote recebido identificando o robô, suas velocidades e comanda a ponte H, modelo DRV8833, responsável pelo comando de direção e fornecimento de corrente aos motores. Após a execução, os robôs retornam uma mensagem também em *broadcast* com as velocidades executadas. Para que o sistema opere de maneira autônoma, a placa eletrônica do robô recebe alimentação por bateria, com tensão nominal de 7,4 V, sendo 3,7 V por célula (Fig. 5) e são reguladas por um conversor *BUCK* para níveis tensão de operação (6V). Além disso, utilizou-se um regulador AMS1117, com saída nominal de 3,3 V, que é responsável por alimentar o rádio e o microcontrolador.

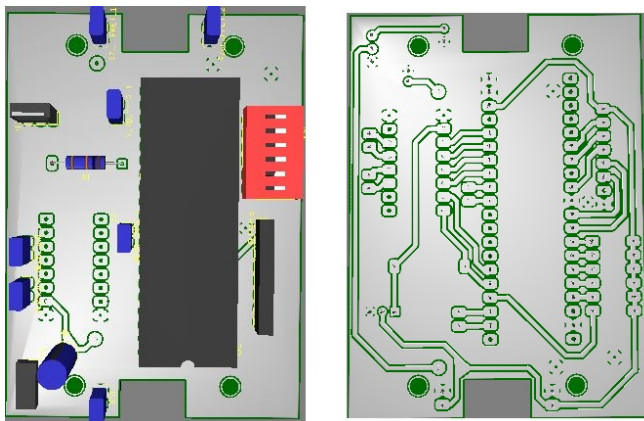


Fig. 4: Visão 3D do *layout* da placa eletrônica.

Esta versão também conta com *encoders* acoplados aos motores, o que permitem um melhor controle da velocidade do robô e, conseqüentemente, do seu comportamento em jogo.

IV. DESCRIÇÃO GERAL DOS ASPECTOS DA VISÃO DO TIME LAMBE SUJO

O sistema de visão é responsável por extrair informações relevantes das imagens capturadas pela câmera. No LAMBE SUJO é usada uma Razer Stargazer, com conexão USB 3.0 e uma taxa de captura de 60 FPS (Fig. 6).

Foi desenvolvida uma interface gráfica através do Qt Creator em que são manipuladas todas as funcionalidades de calibração, corte e segmentação de imagem. Através das cores das camisas dos jogadores,



Fig. 5: Bateria utilizada para alimentação do robô.



Fig. 6: Câmera Razer Stargazer utilizada pelo sistema de visão computacional.

Fig. 2, e da bola é possível extrair suas posições no campo, Fig. 1. Para isso, é necessário tratar as imagens recebidas, de modo a reduzir interferência de ruído e limitar a região de interesse através do corte. Em seguida, é feito o processo de segmentação para extrair as cores que identificam cada um dos jogadores e a bola. Logo após, é aplicado o processo de agrupamento de cores da camisa para determinar os centros e extrair a posição da bola, além da posição e orientação de cada robô.

Outras constantes importantes são as linhas do campo e do gol, que devem ser definidas manualmente pelo usuário e são utilizadas como referência para maioria das ações dos jogadores. Todas estas informações são transferidas para a estratégia e, conseqüentemente, para o controlador, componente responsável por definir as ações de cada jogador.

V. MODELAGEM, CONTROLE E ESTRATÉGIA DE JOGO

Neste capítulo, serão descritas as características de modelagem cinemática para entendimento do comportamento mecânico do robô, a definição da estratégia de controle adotada e a definição da estratégia de jogo.

A. Modelagem

Em robótica móvel, é necessário entender o comportamento mecânico do robô para que seja possível criar um sistema de controle apropriado [8].

O processo de compreender os movimentos de um robô começa descrevendo qual a contribuição que cada roda proporciona para o movimento [8]. O robô construído utiliza um sistema de locomoção do tipo tração diferencial, modelado pela seguinte equação:

$$\dot{\varphi} = R(\theta)J_aJ_b\dot{\xi}_I \quad (1)$$

em que:

- $\dot{\varphi}$ é um vetor dado por:

$$\dot{\varphi} = \begin{bmatrix} \dot{\varphi}_D \\ \dot{\varphi}_E \end{bmatrix} \quad (2)$$

que contém as velocidades angulares das rodas do robô, sendo $\dot{\varphi}_D$ a velocidade angular da roda direita e $\dot{\varphi}_E$ a velocidade angular da roda esquerda.

- $R(\theta)$ é a matriz de rotação utilizada para mapear o movimento do robô no sistema de coordenadas do ambiente em relação ao sistema de coordenadas do próprio robô, sendo dada por:

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

em que θ é o ângulo de rotação do robô em relação ao sistema de coordenadas do ambiente.

- J_a é a matriz de projeções para movimentos de todas as rodas ao longo de seus próprios eixos, sendo dada por:

$$J_a = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -l \\ 1 & 0 & l \end{bmatrix} \quad (4)$$

em que a última coluna denota a distância l entre cada roda e o centro do robô.

- J_b é a matriz diagonal constante, cujas entradas são os raios r de todas as rodas do robô, sendo dada por:

$$J_b = \begin{bmatrix} r & 0 \\ 0 & r \end{bmatrix} \quad (5)$$

- $\dot{\xi}_I$ é um vetor dado por

$$\dot{\xi}_I = \begin{bmatrix} \dot{x}_R \\ \dot{y}_R \\ \dot{\theta}_R \end{bmatrix} \quad (6)$$

que contém as velocidades do robô no sistema de coordenadas do ambiente, sendo \dot{x}_R a velocidade linear no eixo x , \dot{y}_R a velocidade linear no eixo y e $\dot{\theta}_R$ a velocidade angular.

Os valores de \dot{x}_R , \dot{y}_R e $\dot{\theta}_R$ são definidos através do sistema de controle, então as velocidades necessárias de cada roda são obtidas através da resolução da Eq. (1).

B. Sistema de Controle

O sistema de controle é responsável por determinar as velocidades (linear e angular) que cada robô deve executar para que possa cumprir a sua função no jogo.

Para descrever o movimento do robô, foi escolhido um controle não linear através das equações (7), (8) e (9):

$$u = \dot{x}_R = K_u \tanh(\rho) \quad (7)$$

$$z = \dot{y}_R = K_z \tanh(\rho) \quad (8)$$

$$\omega = \dot{\theta} = K_\omega \alpha \quad (9)$$

em que K_u , K_z e K_ω são as constantes de proporcionalidade, u e z são as velocidades linear do robô em relação aos eixos x' e y' , respectivamente. A velocidade angular é denotada por ω , e ρ é a distância entre o robô e seu destino, conforme a Fig. 7.

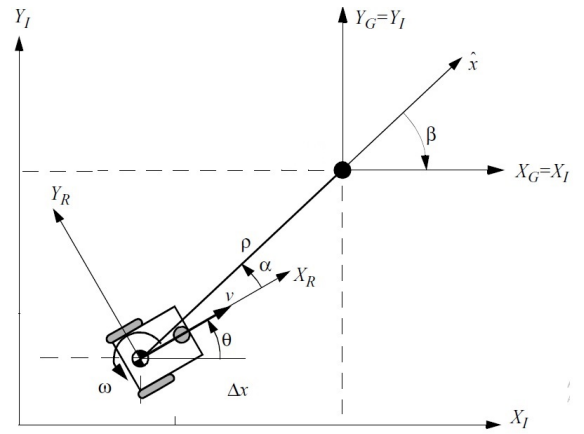


Fig. 7: Posição e orientação de um robô tipo tração diferencial em seu ambiente de operação [8].

C. Estratégia de Jogo

A estratégia de jogo é resultado de ideias e experiências dos membros da equipe sobre os comportamentos requeridos pelos robôs em condições normais de jogo. Posteriormente, as sugestões dadas foram convertidas em comportamentos para o goleiro, zagueiro e atacante.

De acordo com a estratégia de jogo, as funções de cada jogador variam de acordo com a posição dos mesmos em campo. O goleiro deve permanecer na pequena área para evitar o gol inimigo. O zagueiro tem a função de evitar que algum jogador adversário se aproxime da pequena área com posse de bola. Já o atacante tem a função de recuperar a bola e conduzi-la até o gol adversário.

O sistema responsável por implementar a estratégia de jogo decide, a cada momento, para onde deve enviar cada jogador do time a fim de que ele cumpra a sua função na estratégia. Uma vez decidida a posição de destino de cada jogador, o movimento é executado a partir do sistema de controle descrito na seção anterior.

VI. CONCLUSÃO

A LARC/CBR é uma importante competição no calendário nacional pois, além de reunir diversos pesquisadores na área da robótica, trata de vários problemas de engenharia e computação de uma forma mais interativa e dinâmica. Essas características atraem a atenção de muitos jovens talentos para ciência e tecnologia.

O trabalho de desenvolvimento do time LAMBE SUJO, além de fortalecer os laços entre os integrantes da equipe, colaborou de forma decisiva para a formação acadêmica dos alunos, bem como os preparou para trabalhos em equipe.

Finalmente, a estratégia de jogo foi resultado da combinação de diversas ideias e trocas de experiências dos membros da equipe relacionadas ao campeonato interno futebol de robôs por simulação e às edições anteriores do LARC.

REFERÊNCIA

- [1] A. Khan, B. Rinner, and A. Cavallaro, "Cooperative robots to observe moving targets," *IEEE transactions on cybernetics*, vol. 48, no. 1, pp. 187–198, 2016.
- [2] G. Faria *et al.*, "Uma arquitetura de controle inteligente para múltiplos robôs," *São Carlos-SP*, 2006.
- [3] R. C. Arkin, R. C. Arkin, *et al.*, *Behavior-based robotics*. MIT press, 1998.
- [4] A. J. Neves, J. L. Azevedo, B. Cunha, N. Lau, J. Silva, F. Santos, G. Corrente, D. A. Martins, N. Figueiredo, A. Pereira, *et al.*, "Cambada soccer team: from robot architecture to multiagent coordination," in *Robot Soccer*. IntechOpen, 2010.
- [5] H. Shi, Z. Lin, K.-S. Hwang, S. Yang, and J. Chen, "An adaptive strategy selection method with reinforcement learning for robotic soccer games," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 8376–8386, 2018.
- [6] I. RULES, "Survey on ieev very small league robots."
- [7] Regras. (2020) Ieee very small size soccer (vsss) rules. [Online]. Available: http://200.145.27.208/cbr/wp-content/uploads/2020/07/vssRules_English_.pdf
- [8] R. Siegwart, I. R. Nourbakhsh, and D. Scaramuzza, *Introduction to autonomous mobile robots*. MIT press, 2011.