

# Aspectos construtivos de robôs da categoria Very Small Size Soccer - IEEE

Juliano de Almeida Monte-Mor, Ana Márcia Fontes De Almeida Silva, Arthur Lopes Saraiva, Guilherme Augusto Almeida Silva, Jaimes Ferreira dos Santos ,  
Leticia Rodrigues Godoi, Lorraine Lorena Ramos Maia, Lucas Cândido Barcelos,  
Maria Paula Moreira Rocha, Mateus Gomes Miquelanti, Pedro Henrique Fehlauer, Samuel Gomes Costa,  
Victor Tulio Aparecido Correa, Walquiria das Graças Mafado, Wellerson Henrique Araújo Oliveira,  
Dean Bicudo Karolak, Luiz Felipe Pugliese, Tiago Gaiba de Oliveira, Waner Wodson Aparecido Gonçalves Silva,  
Dair José de Oliveira

**Abstract**—This work discusses the development of a Very Small Size Category Robot Soccer Team - IEEE, which is part of the Drumonsters Robotics Team at the Federal University of Itajubá - Campus Itabira. This is a multidisciplinary system, composed by a vision module, microelectronics, mechanics and control.

## I. INTRODUÇÃO

Este artigo tem como objetivo apresentar as principais dificuldades na busca pelo melhor robô através da apresentação detalhada dos trabalhos realizados na área de eletrônica, mecânica, visão, controle, estratégia e escolha dos materiais, respectivamente.

O início dos estudos deu-se pela eletrônica, essencial para o funcionamento e controle dos robôs, que são guiados por duas rodas e controlados via bluetooth. Todos os componentes dependem de uma estrutura, um chassi. A identificação da posição de cada um dos robôs e bola no campo é feita por um sistema de visão, através uma câmera localizada acima do campo. As imagens são processadas pelo computador e logo a estratégia toma as decisões e as transmite aos jogadores.

## II. O PROJETO

No primeiro ano deste projeto, encontraram-se algumas dificuldades para o desenvolvimento do time. A falta de material de eletrônica e mão-de-obra para a produção dos chassis foram percebidas de início. Para o desenvolvimento e testes do circuito são necessários alguns equipamentos eletrônicos, como fonte, multímetro, osciloscópio e outros. Os chassis exigiram material resistente, produzido em um torno CNC.

O campo, a iluminação adequada, a câmera e os computadores como dispostos na Figura 1 são essenciais, destacando que a qualidade desses produtos pode definir parte do sucesso do projeto.

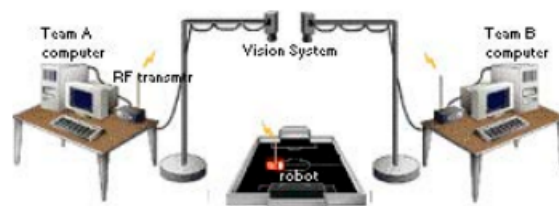


Fig. 1. Esquema de Funcionamento

## III. ELETRÔNICA

O tamanho limitado do robô exige um trabalho maior em eletrônica. Neste projeto, usou-se o micro controlador ESP32-DEVKIT V1 de 30 pinos, com processador Dual-Core 32-bit, memória Flash programável com 4 MB, memória RAM com 520 KBytes, memória ROM de 448 KBytes, clock máximo de 240 MHz, apresenta 11 pinos Digitais GPIO todos com PWM, resolução do PWM de até 16 bits (ajustável via código), wireless 802.11 b/g/n – 2.4GHz (antena integrada), modos de operação: Access Point / Estação / Access Point + Estação, Bluetooth Low Energy padrão 4.2 integrado, tensão de alimentação externa: 4,5 V a 9 V (o módulo possui regulador integrado para 3,3 V), capacitores, resistores, diodos, encoders (para identificação da velocidade e sentido de rotação) e chave ON/OFF.

O ESP pode ser regravado via USB ou via OTA (Over-The-Air), um modo de programação onde se utiliza a rede wireless para transferir remotamente o *sketch* (programa) para a sua placa. A ponte H, usada para o controle de direção dos motores, foi projetada separadamente, como uma *shield*.

Em relação à comunicação entre computador e robôs foi utilizado o padrão *Bluetooth Low Energy* (BLE) do ESP a fim de se obter uma economia de consumo da bateria em comparação ao modelo clássico de conexão via *bluetooth*.

O projeto de eletrônica foi implementado conforme esquemático da Figura 2.

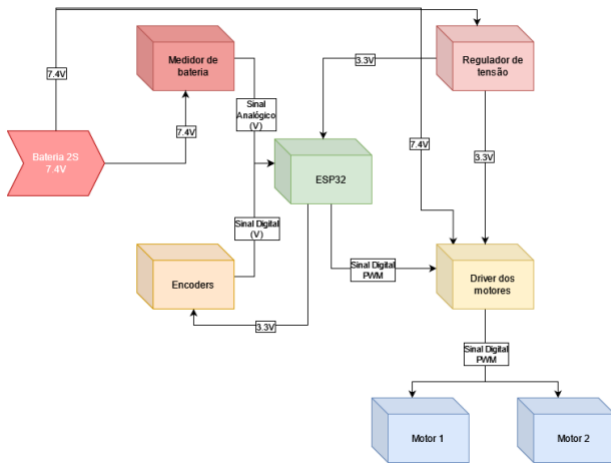


Fig. 2. Projeto Eletrônico do robô

#### IV. MECÂNICA

A fim de melhorar o desempenho, foi construído um robô com o objetivo de proporcionar tração com o campo, dessa forma, obtendo uma maior aceleração e um menor deslizamento do pneu com o solo. Nesse sentido, para atender essa expectativa, optou-se por ter um centro de gravidade o mais baixo possível. Para isso, a base foi construída em alumínio com o restante da estrutura em impressão 3D. Além disso, a bateria foi posicionada logo acima do motor, o ponto mais baixo do robô, conforme pode ser visto pela Figura 3.

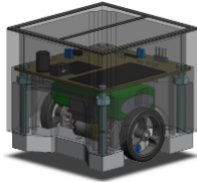


Fig. 3. Protótipo do robô e seus componentes eletro-mecânicos.

Considerando o motor POLOLU HPCB 6V e o tamanho máximo do robô, construiu-se uma caixa de transferência por engrenagens, tirando os motores da linha de centro da roda, permitindo o uso desse motor. Somado a isso, a caixa de transferência possui um par de engrenagens de dente reto, e no eixo da roda foram usados dois rolamentos com o intuito de reduzir as perdas na transmissão.

#### V. CONTROLE

A estratégia de controle caracteriza-se na transformação do modelo cinemático para coordenadas polares, como ilustra a Figura 4, onde:

- $\Delta l$  representa a distância entre a posição do robô e a posição desejada;
- $\Delta \lambda$  a distância entre o robô e o ponto R, sendo esse mais próximo da referência seguindo a orientação do robô;

- $\phi$  é a orientação que o robô deve seguir em direção ao ponto desejado;
- $\Delta \phi$  é a diferença entre a orientação do robô e  $\Delta \lambda$ .

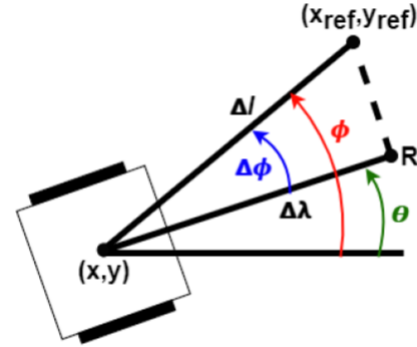


Fig. 4. Variáveis utilizadas na estratégia de controle

Dessa forma, é possível estabelecer os erros linear e angular, tratados pelos controladores, com a função de fornecer os sinais de controle, que serão transmitidos para os respectivos modelos. Da Figura 4, tem-se:

$$\Delta \lambda = \frac{\Delta \phi}{\cos(\Delta \phi)} \quad (1)$$

Em se tratando de um problema de controle de posição, o erro angular ( $e_\Theta$ ) é definido por:

$$e_\Theta = \phi - \Theta = \Delta \phi, \quad (2)$$

em que:

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{Y_{ref} - Y}{X_{ref} - X} \right). \quad (3)$$

Definindo o ponto R como referência para o controlador linear é possível obter o cálculo do erro linear ( $e_S$ ), dado por:

$$e_S = \Delta \lambda = \Delta l * \cos(\Delta \phi), \quad (4)$$

em que:

$$\Delta l = \sqrt{(X_{ref} - X)^2 + (Y_{ref} - Y)^2}. \quad (5)$$

Para que o robô seja capaz de realizar os movimentos frontal e traseiro é necessário modificar o erro angular. Para isso, um novo erro angular é encontrado:

$$e_\Theta = \Delta \phi, \quad [\Delta \phi] < \pi/2 \quad (6)$$

$$e_\Theta = \Delta \phi - \pi/2 * \text{sgn}(\Delta \phi), \quad [\Delta \phi] \geq \pi/2 \quad (7)$$

Por meio da técnica do lugar das raízes foi possível definir os ganhos dos controladores. Com um tempo de acomodação ( $T_a$ ) e máximo pico ( $M_p$ ) desejados, foram projetados polos para o sistema de forma que sua resposta em malha fechada para uma excitação do tipo degrau unitário seja capaz de atingir as especificações do projeto.

#### VI. PROGRAMAÇÃO

A programação dos robôs consiste em duas subcategorias, sendo elas: o baixo nível e o alto nível.

### A. Baixo Nível

A programação de baixo nível é responsável pela comunicação direta entre homem-máquina que visa o ganho de desempenho, a saber: uma resposta mais rápida nas funcionalidades do robô.

Foi aplicado o padrão *Generic Attribute Profile* (GATT) no qual é possível trabalhar hierarquicamente com serviços e características, conforme Figura 5. Dessa forma, facilitando a interdependência entre os níveis baixo-alto de programação.

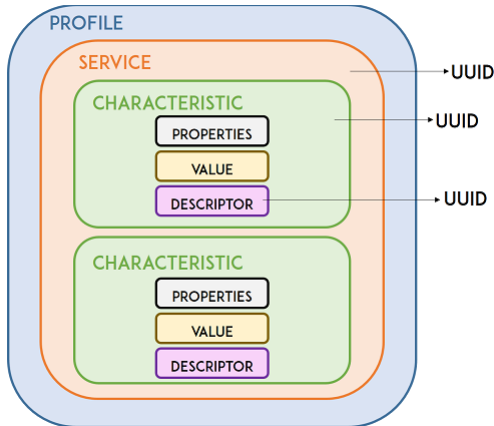


Fig. 5. Padrão *Generic Attribute Profile*.

Nessa versão do robô desenvolveu-se três parâmetros, sendo eles: segurança, bateria e velocidade (Figura 6). A segurança é responsável pelo monitoramento do nível da bateria, retornando de forma periódica a porcentagem de carga restante. O sentido, a distância do alvo e a potência de cada motor são responsáveis pela determinação da velocidade.

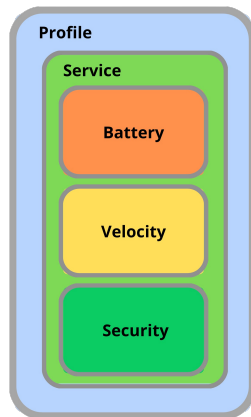


Fig. 6. *Generic Attribute Profile* implementado.

### B. Alto Nível

A programação de alto nível é a responsável pelo padrão comportamental do robô frente às diferentes situações do jogo, em que se fazem necessárias técnicas de visão computacional em conjunto com uma análise crítica para a definição da

estratégia que tende a mudar de adversário para adversário.

1) *Visão*: No processamento de imagem digital, recorreu-se ao uso da biblioteca gráfica OpenCV, desenvolvida pela Intel.

Por meio dessa biblioteca gráfica foi possível acessar diversas ferramentas otimizadas e de fácil manuseio e, além disso, ela apresenta algumas vantagens, como a compatibilidade com linguagens de alto desempenho, por exemplo, C/C++ (que foram adotadas pela equipe) e python, oferecendo recursos *Graphical User Interface* (GUI), que são nativos.

A operação da imagem oriunda da câmera foi dividida em duas etapas. A primeira foi o pré-processamento de imagem, uma adequação das propriedades para melhor aproveitamento estratégico. Nesta, foram regulados o contraste, o brilho, os ruídos, entre outras modificações, utilizando filtros desenvolvidos dentro das propriedades do OpenCV.

Na sequência trabalhou-se na detecção de objetos utilizando métodos de *tracking*, de tal forma que se objetivou um processamento em tempo real buscando a diminuição do *delay*, melhorando, assim, a detecção dos robôs da equipe e, consequentemente, seu tempo de resposta. Utilizar o método mais apropriado para *tracking* é essencial para se obter uma dinâmica mais adequada dentro do campo, que consiste em um mapeamento do campo visual em busca de parâmetros físicos como as linhas do campo, o gol, os robôs da equipe e também do time adversário, que posteriormente serão repassados para o algoritmo de estratégia, para as tomadas de decisões autônomas do time.

2) *Estratégia*: A estratégia está dividida em três áreas principais:

- (i) Estratégia de controle de velocidade das rodas;
- (ii) Estratégia de comportamento individual do robô;
- (iii) Estratégia de comportamento coletivo do time futebol de robôs.

Para a área *i*, considerando-se que um robô está em um ponto P e que deseja-se movê-lo para um ponto Q do mesmo ambiente, uma possível alternativa seria rotacioná-lo  $\alpha$  graus para deixá-lo no sentido correto e, somente então, acionar ambas as rodas na mesma velocidade. A alternativa utilizada neste projeto prevê a realização de curvas durante o movimento retilíneo, ajustes de direção, aceleração e desaceleração para realizar as curvas, além de maximizar a velocidade do robô a fim de atingir o ponto desejado em um menor tempo. Todos esses comportamentos são obtidos utilizando-se as velocidades das rodas proporcionalmente às funções trigonométricas  $\sin(\alpha)$  e  $\cos(\alpha)$  para a velocidade de rotação e velocidade linear, respectivamente. A área *ii* constitui-se de estratégias para criar comportamentos individuais dos robôs, utilizando-se do conceito de campos potenciais [2], no qual um ponto de destino, seja a bola ou um ponto qualquer do ambiente, é considerado atrativo com carga constante K e obstáculos são considerados como pontos repulsivos com carga inversamente proporcional à distância,  $C/(d*d)$ . Contudo, existe a necessidade de se considerar vários tipos de comportamentos: robôs ofensivos que não são repelidos por adversários para poder defender, robôs

atraídos pela bola para atacar, robôs que equilibram atração e repulsão para driblar os oponentes. Os vários comportamentos implementados são escolhidos em tempo de execução por um sistema baseado em regras, compondo assim a área *iii*, ou estratégia de comportamento coletivo do time de futebol.

## VII. MATERIAIS

Para desenvolver o projeto foi utilizado o laboratório de eletrônica da universidade, no qual foram usados, dentre outros, fonte geradora de função, osciloscópio, multímetro, protoboard e tacômetro; usou-se, ainda, a máquina de prototipagem, por meio da qual foram produzidas as placas dos circuitos eletrônicos dos robôs, bem como o Proteus. Para a área de mecânica, na produção do chassi, utilizou-se o torno CNC.

Com isso, toda a parte eletrônica e mecânica foram produzidas, o que possibilitou os testes, desenvolvimento de estratégia e processamento de imagem, realizados no laboratório da equipe de robótica Drumonsters, da qual o projeto do futebol de robôs faz parte.

Nesta etapa, foram necessários dois computadores com placa de captura, responsáveis por todo o processamento de estratégia e imagens, captadas por uma câmera posicionada a 2 metros de altura do campo. Para a melhoria das imagens, são utilizados 4 refletores com lâmpadas de 1000 lux, instaladas ao redor do campo, diminuindo assim as sombras dos robôs.

O campo, de madeira compensada na cor preta fosca, foi produzido em uma empresa especializada na fabricação de móveis.

Especificações dos equipamentos:

- câmera – deve captar, em média, 60fps para identificar com clareza a situação do campo;
- campo – deve estar dentro das especificações para que a estratégia possa ser testada e avaliada sem alterações para a competição;
- iluminação – devem ser de 1000 lux para que não haja sombras que atrapalhem o funcionamento da identificação pela câmera;
- computadores – multicore para um processamento adequado dos dados.

## VIII. CONCLUSÃO

O presente projeto desenvolveu a estrutura necessária ao pleno funcionamento do futebol de robôs da categoria *Very Small Size* - IEEE.

Na parte de microeletrônica, desenvolveu-se um circuito capaz de receber e interpretar sinais de rádio, os quais são repassados à *shield* de ponte H como comandos de direção para os motores. Tais comandos são resultados do processamento da estratégia baseada em CPLO, a qual obtêm seus dados através da análise das imagens coletadas pela câmera.

## REFERENCES

- [1] G. Faria, R. A. F. Romero, E. P. e Silva Jr, Integrating Planning and a Rule-Based System for Controlling a Robot Soccer Team, SBRN 2006, The Ninth Brazilian Symposium on Neural Networks, Ribeirão Preto, SP, Brazil, October 23-27, 2006. pages 102-107, IEEE Computer Society, 2006.

- [2] ARKIN, R. C. (1989), Motor Schema-Based Mobile Robot Navigation. The International Journal of Robotics Research, 4(8), 92-112