

Team Description Paper Equipe Rodetas Robô Clube

Universidade Federal de Ouro Preto

Wagner Ferreira Andrade^{1,2}, Alexandre Magno de S. Thiago Filho^{1,2}, Manoel Victor Stilpen Moreira de Sá^{1,3},
Marlon Martins Cunha^{1,2}, Hamilton Tonidandel Júnior^{1,2}, Paulo Henrique dos Santos^{1,2},
Júlia Gherardi Maia de Souza^{1,2}, João Vitor Freiria Yeda Macedo^{1,2}, José Lucas Mendes Pereira Júnior^{1,2},
Nilton Costa Pereira de S. Thiago Neto^{1,4}, Aline Maria Milagres^{1,2}, Ana Paula da Silva Chagas Ferreira^{1,4},
Anderson Martins^{1,2}, Douglas Augusto Faria de Oliveira^{1,6}, Letícia Siqueira Garzedin^{1,2},
Lucas de Paula Moreira^{1,2}, Pedro Henrique Rodrigues Procópio Corrêa^{1,2}, Thallys Augusto Clemente^{1,2},
Wesley José Santana Oliveira^{1,2}, Ângelo César Bosada Júnior^{1,2}, Douglas Xavier de Souza^{1,2},
Samuel de Magalhães Pedroza^{1,2}, Jadson Braz Muniz^{1,2}, Sara Gonçalves Ferreira Pereira^{1,2},
Marlon de Oliveira Nunes Vieira^{1,2}, Otávio Freitas Bernardo^{1,2}, Dauberson Mol^{1,2},
Richard Stanley Mota de Oliveira^{1,2}, Mateus Jorge Martins Gonçalves^{1,2},
Profa. Karla Boaventura Pimenta Palmieri^{1,2}, Prof. Alan Kardek Rêgo Segundo^{1,2},
Prof. Elias José de Rezende Freitas⁵

Abstract—This paper contemplates the Team Description Paper for 2020, developed by Rodetas from Federal University of Ouro Preto. The team competes with its robots in IEEE Very Small Size category. The project includes features from older projects and presents modifications, such as new simulation software (FIRASim) including graphical interface, simulator, new movement algorithm and strategies.

I. INTRODUÇÃO

Construir robôs capazes de disputar uma partida de futebol, tomar decisões em tempo real e ter uma inteligência artificial requer uma pesquisa multidisciplinar que combina percepção, tomada de decisão dinâmica e interação entre o sistema robótico e o subsistema de controle cinemático[1].

Por trás de uma partida de futebol de robôs ocorre um algoritmo complexo que envolve processamento de imagens em tempo real, cálculos de movimentos dos robôs, comunicação sem-fio e gerenciamento de múltiplos robôs[2], além de ser necessário projetar um sistema eletrônico robusto e capaz de executar todos os comandos com velocidade e precisão.

A categoria IEEE *Very Small Size* consiste no desenvolvimento de robôs autônomos capazes de disputar partidas de futebol, controlados remotamente por um computador ou utilizando um processamento embarcado. De acordo com as regras, duas equipes disputam uma partida, em que cada uma

possui três robôs, que não ultrapassem 75x75x75[mm] em suas dimensões[3].

Neste documento é exibida as principais características desenvolvidas pelos membros da equipe Rodetas Robô Clube para participação na Latin American and Brazilian Robot Competition 2020. As principais mudanças são a utilização de um novo software para simulação de jogos junto com a modificação do código para participação da competição virtual que será adotada no Ano de 2020.

II. HARDWARE

Esta seção dedica-se à descrição dos componentes físicos do time de futebol de robôs desenvolvido pela equipe Rodetas.

A. Estrutura mecânica

Os excelentes resultados obtidos com a impressão 3D da estrutura mecânica fizeram com que essa forma de confecção continuasse sendo utilizada na nova versão dos robôs. Devido a sua eficiência e seu fácil manuseio, é uma das melhores opções na tecnologia de fabricação de protótipos, onde através de modelos digitais é criado um objeto com alta qualidade e resistência.

O projeto da estrutura foi desenvolvido utilizando o software SolidWorks. Através dele foi feito todo o dimensionamento do projeto em suas três dimensões, pois fornece todas as ferramentas necessárias para simulação, desenho e montagem de modelos 3D para a confecção do robô. Realizando a análise do protótipo final de maneira virtual, evitam-se erros, aumenta-se a produtividade e reduzem-se os custos.

Baseado nas versões anteriores já testadas e validadas, o chanfro, parte frontal e traseira que mantém contato com

¹ Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP
Ouro Preto, Campus Morro do Cruzeiro, Minas Gerais, CEP 35400-000, Brasil. rodetas.ufop@gmail.com

² Departamento de Engenharia de Controle e Automação — DECAT

³ Departamento de Computação — DECOM

⁴ Departamento de Engenharia Mecânica — DMEC

⁵ Instituto Federal de Minas Gerais — IFMG, Campus Itabirito, Minas Gerais, CEP 35450-000, Brasil.

⁶ Departamento de Jornalismo — DEJOR

a bola, permanece com suas características construtivas em forma de “w”, o que assegura uma maior aderência da bola com a superfície do chanfro, garantindo também uma melhor condução da bola e se adequando às estratégias da equipe. Visando uma movimentação mais precisa dos novos robôs, foi realizada uma mudança estrutural em relação à versão anterior. O deslocamento dos motores para se tornar possível a utilização de *encoders*, melhorou consideravelmente o controle da nova versão. A nova estrutura confeccionada em impressão 3D pode ser observada na Figura 1.

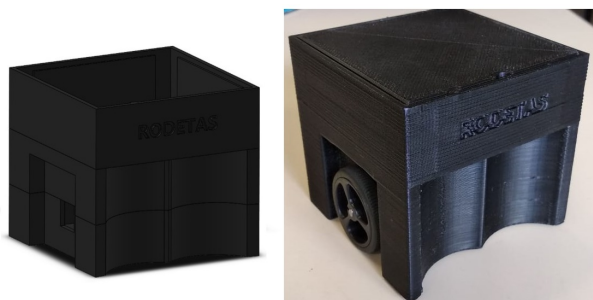


Fig. 1: Modelo e Impressão 3D Robô - Equipe Rodetas
Fonte: Arquivo pessoal

Baseado na modelagem da versão anterior, já testada e validada, o chanfro da parte frontal e traseira que mantém contato com a bola, permanece com suas características construtivas em forma de “W”. Tem-se observado que este assegura maior aderência da bola com a superfície do robô, garantindo, conseqüentemente, uma melhor condução, adequando-se às estratégias da equipe.

B. Dispositivos eletrônicos

Para completar a descrição da estrutura dos robôs desenvolvidos, faz-se uma breve abordagem dos componentes eletrônicos que os compõem.

1) *Bateria LiPoly*: Trata-se de uma versão da bateria lítio-íon mais moderna e mais barata. Sua composição química é similar às células de lítio-íon, em termos de densidade de energia. Por ser fabricada com pequena geometria e permitir embalagem simplificada, suas aplicações principais incluem telefones celulares e aeromodelos[4]. Como fonte de alimentação dos robôs foram utilizadas baterias de polímero de lítio (LiPoly). Optou-se pela escolha de baterias recarregáveis de duas células, com tensão nominal de 7,4V, capacidade de 1000mAh e regime de descarga de 25C. Levou-se em consideração, no momento da escolha, a limitação das dimensões do robô e a tensão nominal fornecida, de forma que atendessem aos requisitos do projeto. A bateria utilizada neste trabalho pode ser visualizada na Figura 2.



Fig. 2: Bateria LiPoly 7,4V
Fonte: Arquivo pessoal

Com o intuito de otimizar a duração das baterias, implementou-se técnicas de economia de consumo via hardware e software, aprofundadas em seções posteriores.

2) *Arduino Nano*: O Arduino Nano é um sistema embarcado de baixo custo baseado no microcontrolador de alto desempenho Atmega328p[5]. Este microcontrolador recebe o algoritmo que permite o controle cinemático da velocidade dos robôs, incorporando também o papel de unidade central de processamento destes. A Figura 3 apresenta o Arduino Nano utilizado pela equipe Rodetas.



Fig. 3: Arduino Nano V3.0
Fonte: Arquivo pessoal

A utilização do recurso *Sleep Mode*, presente no microcontrolador, diminui consideravelmente seu consumo de bateria, em relação ao *chip* sob operação normal. Com o intuito de melhorar o desempenho e garantir um gerenciamento inteligente de memória, destaca-se a implementação da programação do microcontrolador em linguagem C nativa, universalizando o código e eliminando a necessidade de estruturas de compilação próprias para a plataforma Arduino.

3) *Driver Ponte H*: O TB6612FNG é um driver que possibilita o interfaceamento de até dois motores DC com microcontroladores[6]. A utilização dos transistores de efeito de campo de semicondutor de óxido metálico (MOSFET) na ponte H garante maior eficiência do que transistores bipolares de junção (BJT) usados em outros drivers, como o L298N. Os MOSFETs possibilitam a entrega de mais energia para os motores com menores perdas nas chaves estáticas[7]. Na Figura 4 é apresentado o driver utilizado pela equipe Rodetas.

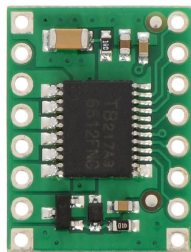


Fig. 4: Ponte H TB6612FNG
Fonte: Arquivo pessoal

4) *XBee*: Os módulos XBee e Xbee-Pró RF foram projetados para atender aos padrões IEEE802.15.4 e suprir as necessidades únicas das redes de sensores sem fio, com custo razoável e baixo consumo de energia. Os dispositivos trabalham com tensão de 3,3[V] e garantem entrega confiável de dados entre eles, operando dentro da faixa de frequência *ISM (Industrial Scientific and Medical)* 2,4 GHz e sendo compatíveis pino a pino entre si[8]. Através do Xbee, o computador se comunica com o sistema embarcado, controlando cada robô. Na Figura 5 é apresentado o módulo Xbee.

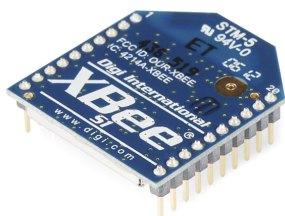


Fig. 5: Xbee S1
Fonte: Arquivo pessoal

Para configuração, utiliza-se uma rede API com endereçamento embutido, de forma a possibilitar o reenvio de mensagens e o tratamento de perda de pacotes. Devido à diferença de alimentação entre o microcontrolador Atmega328p (5[V]) e o Xbee (3,3[V]) torna-se necessária uma conversão de nível lógico. Tal conversão é realizada utilizando um circuito adaptador composto de resistências e MOSFET.

5) *Conversor CC-CC*: A fim de proporcionar tensão constante para PWM (para controle de velocidade do motor), a PCI conta com circuito buck, step-down, de conversão CC-CC. De forma a ajustar a tensão nominal da bateria de 7,4[V] (que pode atingir 8,4[V] com carga completa e 6,5[V] quando quase totalmente descarregada) para 6[V] fixos (tensão nominal do motor), utiliza-se tal conversor. A Figura 6 exhibe o módulo conversor CC-CC.

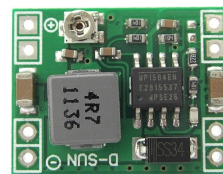


Fig. 6: Conversor CC/CC MP1584
Fonte: Arquivo pessoal

O chip MP1584 consiste de um regulador chaveado step-down de alta frequência utilizando MOSFET de potência interno integrado[9]. O dispositivo permite ajuste da tensão de saída e atende as necessidades do circuito (de até 3,2A para corrente de rotor travado nos motores).

6) *Motor CC*: Para movimentação dos robôs utiliza-se dois motores CC com caixa de redução, que apresentam rotação nominal de 400[rpm]. Com tensão de alimentação nominal de 6[V], este equipamento desenvolve até 1,6[kgf.cm] de torque[10]. Em virtude da limitação de dimensões da categoria, utiliza-se motores sem eixo estendido. Tal consequência implica na inviabilidade de *encoder* acoplado ao eixo para desenvolvimento de controle de velocidade embarcado. O conjunto motor/roda pode ser visualizado na Figura 7. Ressalta-se ainda que a roda alojada no eixo do motor apresenta 32[mm] de diâmetro.



Fig. 7: Motor 400rpm 75:1
Fonte: Pololu Robotics&Eletronic

C. PCI (Placa de circuito impresso)

A placa de circuito impresso (PCI) desenvolvida tem como objetivo integrar todos dispositivos em uma única plataforma, de forma compacta e confiável. Sua confecção se dá pela combinação de método mecânico (fresa CNC), óptico (transferência por luz UV) e químico (corrosão por percloroeto de ferro). O esquema elétrico e layout, elaborados com a ferramenta Autodesk EAGLE®, pode ser visualizado na Figura 8, juntamente com a placa e os componentes soldados.

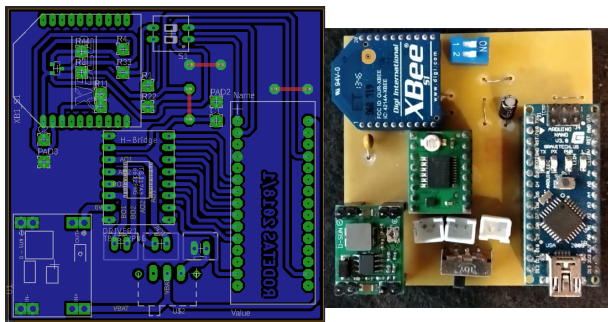


Fig. 8: Placa de circuito impresso e *Layout*

Fonte: Arquivo pessoal

III. SOFTWARE

Em virtude do cenário atual, estando todos as equipes trabalhando de casa e sem a possibilidade de um evento presencial, o antigo software, VSS-SDK[11], foi substituído por um novo que será utilizado para realização da LARC 2020 de forma online. Apesar de atender as necessidades, o VSS-SDK foi preterido devido a algumas dificuldades e limitações que o mesmo apresentava, como a dificuldade de utilizá-lo com dois clientes remotos. Assim, o escolhido para substituí-lo foi o FIRASim[12], mostrado na 9 software de simulação de jogos para categoria Very Small Size Soccer, desenvolvido com base no GrSim, que é utilizado na categoria Small Size Soccer.



Fig. 9: FIRASim simulando uma partida de futebol de robôs 5x5

Fonte: Arquivo pessoal

Portanto, o FiraSim, juntamente com o FIRA Referee, um software desenvolvido para ser utilizado como árbitro nas partidas da competição, permitirá que a LARC 2020 seja realizada de forma completamente remota.

A. Adaptações de código

Como um novo simulador passou a ser utilizado, a programação precisou ser adaptada a fim de receber um novo pacote de informações. Inicialmente foi levantada a

possibilidade de refatorar todo o código a fim de remover todas as bibliotecas utilizadas pelo software VSS-SDK, porém esse procedimento se mostrou muito trabalhoso já que as dependências estão por todo código. Sendo assim, foi iniciado um projeto de conversão do pacote recebido pelo FiraSim, transformando-o em um objeto idêntico ao recebido pelo VSS-SDK. Assim, cada propriedade da mensagem passada pelo FiraSim foi interligada com o seu correspondente e transformada no tipo e formato correto. Como resultado, pode-se reaproveitar a grande maioria do código sem ser necessário nenhum tipo de alteração, facilitando assim a adaptação das estratégias e a implementação do posicionamento automático que o novo árbitro solicita.

B. Programação embarcada

O código embarcado é composto por 2 camadas, a saber: comunicação (recepção de dados) e execução de comandos para controle cinemático, provenientes do transmissor. O computador, responsável por decidir qual ação deve ser tomada por cada robô, agrega uma mensagem que posteriormente é enviada pela rede sem fio do Xbee. Cada robô recebe uma mensagem específica e, através de seu código de identificação, as mensagens são decodificadas e o microcontrolador atualiza o valor de PWM de suas saídas, alterando a velocidade dos motores. A comunicação, entre o computador e o sistema embarcado, é realizada a uma taxa de 60 vezes por segundo.

C. Controle embarcado

Como proposto em trabalhos anteriores[13][14], verifica-se a viabilidade de implementação de controle embarcado. Novamente, em virtude das dimensões estabelecidas pela categoria, observa-se a necessidade de adaptações para uso de motores com eixo estendido, ou da utilização de sensor óptico em conjunto com uma unidade de medição inercial (IMU). Para trabalhos futuros propõe-se estudos para comparação entre tais tecnologias, avaliando seus resultados.

D. Controle

A movimentação dos robôs é dividida em duas partes. A primeira trata do problema do planejamento do caminho que cada robô deve seguir. Esse caminho é calculado a todo instante e leva em consideração os demais robôs no campo como obstáculos. O caminho é gerado por meio de um campo vetorial baseado no artigo “Evolutionary Univector Field-based Navigation with Collision Avoidance for Mobile Robot” publicado em 2008 na IFAC. Portanto, para uma dada posição do robô existe um vetor que aponta para a direção que o robô deve seguir. A segunda parte é o controle do robô. Este é responsável por permitir que o robô execute o caminho planejado. A entrada do controlador é o vetor de direção que aponta para a direção que o robô deve ir. Assim, baseado na orientação desejada e na orientação do robô medida pelo sistema de visão, calcula-se o erro de orientação. As saídas do controlador são as velocidades de

cada roda do robô. As velocidades são calculadas por meio de um controle proporcional, integral e derivativo (PID) do erro de orientação. Posteriormente, as velocidades são transformadas em sinais de PWM (Modulação por Largura de Pulso) e são transmitidas para cada robô.

E. Estratégia de jogo

O objetivo da estratégia é realizar a maior quantidade de gols, além de se defender dos ataques adversários. De acordo com a posição do time, da bola e dos adversários, o computador decide qual robô acompanhará a bola, qual ajudará o atacante e qual será o goleiro. A estratégia também analisa a melhor trajetória para carregar a bola até o gol e considera a orientação (ângulo) do robô para determinar o sentido de rotação dos motores. Métodos diferentes são aplicados ao atacante e ao defensor, de acordo com a situação de cada um para obter o melhor resultado. A estratégia decide também o sentido de movimento de cada robô (“andar de costas” ou “andar de frente”) de forma que o tempo de chegada até o objetivo seja o menor possível. Diversas condições são analisadas constantemente para que o movimento do robô seja o mais suave e preciso possível. Condições que infringem as regras de jogo também são sempre analisadas, evitando, assim, faltas e pênaltis durante o jogo. O robô definido como goleiro pela estratégia acompanha, dentro da área, a direção da bola em relação ao gol. O simulador, a cada instante, fornece a velocidade vetorial da bola e com base neste parâmetro, calcula-se sua projeção - futura posição - no tempo. Para posicionamento, o goleiro considera esta previsão para tomada de decisões.

IV. CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu apresentar as principais características do projeto de futebol de robôs desenvolvido pela equipe Rodetas para participação nas Competições Latino Americana e Brasileira de Robótica (LARC e CBR) de 2020. A utilização do FIRASim, software de simulação de jogos para categoria Very Small Size Soccer, foi a característica mais relevante introduzida no projeto atual, visto o cenário de isolamento em que todos nós nos encontramos.

REFERENCES

- [1] Gregor Novak and Richard Springer. An introduction to a vision system used for a MiroSOT robot soccer system. In *Computational Cybernetics, 2004. ICCN 2004. Second IEEE International Conference on*, pages 101–108. IEEE, 2004.
- [2] Kyung-Hoon Kim, Kuk-Won Ko, Joo-Gon Kim, Su-Ho Lee, and Hyung-Suck Cho. The development of a micro robot system for robot soccer game. In *Robotics and Automation, 1997. Proceedings., 1997 IEEE International Conference on*, volume 1, pages 644–649. IEEE, 1997.
- [3] IEEE. Rules for the IEEE Very Small Competition. http://www.cbrobotica.org/wp-content/uploads/2014/03/VerySmall2008_en.pdf, 2008. [Online; acesso em 25-Junho-2018].
- [4] Rafael Heleno Ladeira Trindade. Estudo das características de baterias recarregáveis possíveis de serem utilizadas no projeto Satélite Universitário, ITASAT. *12º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA-XII ENCITA*, 2006.
- [5] Edson Bernardes Ferreira Filho. Desenvolvimento de um Time de Futebol de Robôs Categoria IEEE Very Small Size. 2013. Monografia, Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil.
- [6] Pololu Robotics&Eletronic. TB6612FNG Dual Motor Driver Carrier. <https://www.pololu.com/product/713>, 2018. [Online; acesso em 25-Junho-2018].
- [7] Toshiba. TB6612FNG Driver IC for Dual DC motor Datasheet. <https://www.pololu.com/file/0J86/TB6612FNG.pdf>, 2008. [Online; acesso em 25-Junho-2018].
- [8] Digi International Inc. ©. XBee/XBee-PRO S1 802.15.4 (Legacy). <https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/PDFs/90000982.pdf>, 2018. [Online; acessado em 27-Junho-2018].
- [9] Monolithic Power. MP1584 Step-Down Converter Datasheet. https://www.monolithicpower.com/pub/media/document/MP1584_r1.0.pdf, 2011. [Online; acesso em 20-Junho-2018].
- [10] Pololu Robotics&Eletronic. Micro Metal Gearmotor HP 6V 75:1. <https://www.pololu.com/product/2361>, 2018. [Online; acesso em 25-Junho-2018].
- [11] SIRLab - *OpenSource*. VSS-SDK. <https://vss-sdk.github.io/>, 2018. [Online; acesso em 26-Junho-2018].
- [12] robocin - *OpenSource*. IEEEVSS- FIRASim. <https://github.com/IEEEVSS/FIRASim>, 2020. [Online; acesso em 20-Setembro-2020].
- [13] Rodetas. TDP Rodetas 2016. <http://www.cbrobotica.org/mostravirtual/interna.php?id=14987>, 2016. [Online; acesso em 26-Junho-2018].
- [14] Rodetas. TDP Rodetas 2017. <http://www.cbrobotica.org/mostravirtual/interna.php?id=17634>, 2017. [Online; acesso em 26-Junho-2018].