

# Descrição da Equipe SirSoccerVSS-A para a Categoria IEEE Very Small Size Soccer

Oscar Neiva<sup>1</sup>, Lucas Borsatto<sup>2</sup>, Hebert Luiz<sup>3</sup>, Johnathan Fercher<sup>4</sup>  
Alberto Angonese<sup>5</sup>, Eduardo Krempser<sup>6</sup>

**Abstract**—Neste artigo são apresentados os resultados do trabalho realizado em 2015 pela equipe SirSoccerVSS-A de futebol de robôs, categoria *Very Small Size Soccer - VSSS*, para participação na XIII Competição Brasileira de Robótica - CBR e na XIV Competição Latino Americana de Robótica - LARC. Aqui estão descritos os trabalhos de todas as etapas de construção do time de futebol. Uma descrição mais detalhada é apresentada nas seções: Sistema e Controle e Sistema Eletrônico, uma vez que essas foram as partes com maior evolução desde a participação na LARC de 2014. Além disso, ao final deste trabalho é descrito um pouco do simulador usado para os testes da estratégia.

## I. INTRODUÇÃO

A Faculdade de Educação Tecnológica do Estado do Rio de Janeiro - FAETERJ/Petrópolis, possui o curso superior de Tecnologia da Informação e de Comunicação, em que além das disciplinas tecnológicas previstas no currículo, os alunos também participam de outras atividades, de forma a contribuir para a formação acadêmica. O Laboratório de Sistemas Inteligentes e Robótica - SIRLab, surge com a ideia de proporcionar um ambiente para prática e estudo em computação, robótica e inteligência computacional.

A IEEE *Very Small Size Soccer - VSSS* é uma categoria de futebol de robôs [11] que proporciona o estudo em diversas áreas. O time de robôs que jogam futebol trata-se de um sistema autônomo com um servidor e três agentes que executam

\*Este trabalho é apoiado pelo Laboratório de Sistemas Inteligentes e Robótica - SIRLab e pela Faculdade de Educação Tecnológica do Estado do Rio de Janeiro - FAETERJ

<sup>1</sup> Oscar Neiva é aluno do curso de Tecnologia da Informação e da Comunicação na Faculdade de Educação Tecnológica do Estado do Rio de Janeiro - FAETERJ Petrópolis (RJ). oscarneivaeneto@gmail.com

<sup>2</sup> Lucas Borsatto é aluno do curso de Tecnologia da Informação e da Comunicação na Faculdade de Educação Tecnológica do Estado do Rio de Janeiro - FAETERJ Petrópolis (RJ). lucasborsattosimao@gmail.com

<sup>3</sup> Hebert Luiz é aluno do curso de Tecnologia da Informação e da Comunicação na Faculdade de Educação Tecnológica do Estado do Rio de Janeiro - FAETERJ Petrópolis (RJ). hebert.luiz.hb@gmail.com

<sup>4</sup> Johnathan Fercher é aluno do curso de Tecnologia da Informação e da Comunicação na Faculdade de Educação Tecnológica do Estado do Rio de Janeiro - FAETERJ Petrópolis (RJ). johnathanfercher22@gmail.com

<sup>5</sup> Alberto Angonese é orientador dos projetos do SIRLab, professor do curso de Tecnologia da Informação e da Comunicação na Faculdade de Educação Tecnológica do Estado do Rio de Janeiro - FAETERJ Petrópolis (RJ), e doutorando em Engenharia de Defesa pelo Instituto Militar de Engenharia - IME. angonesealberto@gmail.com

<sup>6</sup> Eduardo Krempser é orientador dos projetos do SIRLab e professor do curso de Tecnologia da Informação e da Comunicação na Faculdade de Educação Tecnológica do Estado do Rio de Janeiro - FAETERJ Petrópolis (RJ), e pesquisador da Fundação Oswaldo Cruz - FIOCRUZ (RJ). krempser@gmail.com

ações determinadas por este servidor. As informações de jogo chegam ao servidor por meio de imagens, estas fornecidas por uma câmera que fica instalada a 2m ou mais da base do campo. As informações são processadas pelo servidor e em seguida um comando é enviado aos robôs por rádio frequência.

O sistema de um time de futebol de robôs IEEE VSSS é cooperativo e atua em um ambiente altamente dinâmico, o que faz do seu desenvolvimento algo muito complexo. As seções deste artigo estão divididas conforme as linhas de estudo necessárias para o desenvolvimento do trabalho. No desenvolvimento do projeto foram necessários estudos em visão computacional, sistemas e controle, redes e eletrônica.

O trabalho feito será apresentado partindo da visão computacional até o *hardware* do robô. Uma descrição um pouco mais detalhada pode ser encontrada nas seções III (Sistemas e Controle) e V (Sistema Eletrônico), devido aos avanços que foram obtidos este ano no desenvolvimento dessas partes do projeto. Ao final (seção VI) descreve-se também o simulador criado pela equipe para testes de técnicas de movimentação e estratégia.

## II. VISÃO COMPUTACIONAL

Um das partes fundamentais no desenvolvimento de um sistema autônomo de um time de futebol de robôs é a visão computacional [2], pois é a responsável pelo sensoriamento de todos os objetos de interesse. A visão computacional é talvez a parte mais importante para o funcionamento de todo o sistema, por ser o início de toda uma cadeia de processos que devem estar bem integrados.

O sistema de visão computacional da SirSoccerVSS-A utiliza a biblioteca OpenCV [13] e faz uso do padrão de cores HSV para captação e filtragem de imagens. A OpenCV é uma biblioteca livre, sob a licença de código aberto BSD (*Berkeley Software Distribution*). A biblioteca pode ser implementada em Python, C++ e outras linguagens, porém, dado que todo o restante do sistema está implementado em C++, optou-se por essa linguagem [1].

O programa localiza na imagem as cores desejadas (Figura 1), e faz a distinção dos objetos do jogo. E para o tratamento das imagens captadas são usados alguns filtros da biblioteca [3]. O sistema obteve avanços em relação ao ano de 2014, uma vez que com o uso do HSV ao invés do RGB, os problemas relacionados ao gradiente de luminosidade foram resolvidos. Pode ser visto em [12], um estudo comparativo de diversos sistemas de cores aplicados à segmentação por cor, onde o modelo HSV apresentou

informações de cor e luminância mais descorrelacionadas que no modelo RGB. Com isso, o modelo HSV mostra-se mais adequado para segmentação baseada em cores. E após a mudança no programa, o sistema está mais robusto a variações luminosas.

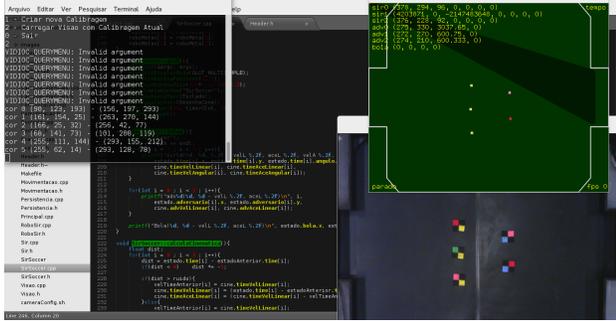


Fig. 1. Visão computacional em execução

Quanto ao equipamento usado para captação de imagens, a equipe faz uso de uma câmera Life Cam HD5000 da Microsoft, com retorno de 30 quadros por segundo.

### III. SISTEMA E CONTROLE

O robô da categoria IEEE *Very Small Size Soccer* (VSSS) é do tipo não holonômico e seu modelo é conhecido como *Differential Driver* (Figura V). Ser não holonômico significa que o sistema não pode ser expresso por um número finito de equações, e o termo *Differential Driver* faz referência ao modelo de robôs com duas rodas [7]. Feita a descrição do modelo do sistema, foi implementado um controle proporcional, integral e derivativo - PID, sendo a implementação dessa técnica necessária devido a existência de ruídos no sistema. A seguir é descrito o modelo matemático do sistema, e o modelo matemático do controle.

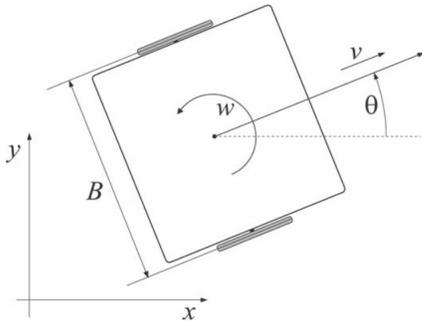


Fig. 2. Modelo *Differential Driver*

As equações cinemáticas de um robô da categoria VSSS são equivalentes ao modelo de um uni ciclo. Robôs com tal arquitetura tem uma descrição não holonômica e cinemática de forma [6]:

$$q' = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ \omega \end{pmatrix} \quad (1)$$

Sendo  $q'$  a pose atual do sistema,  $x'$  e  $y'$  as componentes da velocidade tangencial em  $x$  e  $y$ ,  $\theta$  a angulação do robô e  $v$  e  $\omega$  as velocidades tangencial e angular, respectivamente. Através da velocidade tangencial calculada no modelo (1), é feita a estimativa das velocidades tangenciais para cada uma das rodas pelas equações (2,3).

$$v_e = v - \frac{\omega B}{2} \quad (2)$$

$$v_d = v + \frac{\omega B}{2} \quad (3)$$

Para concluir-se que o sistema se comporta como deveria é necessário que este alcance a chamada referência. Sendo assim, enquanto uma ou mais variáveis de saída não conseguem alcançar a referência, ao longo do tempo, um controlador manipula as entradas do sistema para obter o efeito desejado nas saídas. Esse controlador é aqui representado por  $u(t)$ , e o erro a ser corrigido para chegar-se convergência do sistema por  $e(t)$ . O controle PID é dado então pela equação (4).

$$u(t) = k_p \cdot e(t) + k_d \cdot \frac{de(t)}{dt} + k_i \cdot \int_0^t e(t) dt \quad (4)$$

Sendo  $k_p$ ,  $k_d$  e  $k_i$  parâmetros de ajuste do controle.

### IV. REDE DE TRANSMISSÃO

A topologia de rede de um time de futebol de robôs da *Very Small Size Soccer* é uma topologia do tipo estrela. Sendo o coordenador configurado em modo broadcast, e os pacotes transmitidos em massa para os três robôs, que fazem a interpretação do pacote e executam apenas o trecho da mensagem destinado a cada um deles.

Devido a equipe deixar de usar o *shield* de Xbee [10] na nova plataforma, mudança essa discutida na seção Sistema Eletrônico (seção V), o controle da transmissão passa a ser feito diretamente no microcontrolador. Para isso, foram necessárias mudanças na principal biblioteca de transmissão serial do Arduino, a *Hardware Serial*.

A rede atual consiste de três receptores configurados como *end-point*, e um transmissor principal configurado como coordenador [19]. A frequência utilizada pelos rádios podem ser definidas de 902Mhz (IEEE 802.15.4) até 928Mhz (IEEE 802.15.4) (Figura 3), diferente da versão anterior que utiliza 2.4Ghz (IEEE 802.11.x) como frequência padrão.

### V. SISTEMA ELETRÔNICO

Dentre os trabalhos realizados este ano, a equipe construiu um novo robô. Uma nova plataforma foi desenvolvida visando adaptá-la ao novo *hardware* criado, além disso, com a criação de uma nova arquitetura robótica, foi possível criar uma ergonomia aprimorada (Figura 4) para que o robô tivesse mais posse de bola.

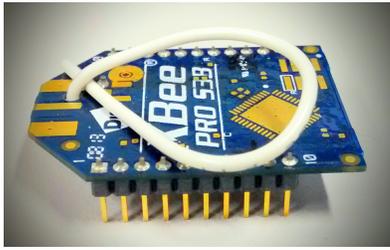


Fig. 3. Xbee Pro S3B



Fig. 6. Motor de relação 1:50 com encoder

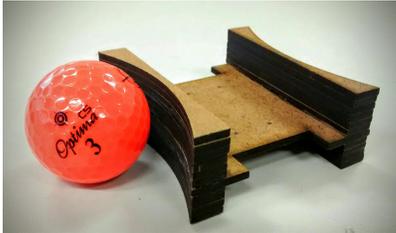


Fig. 4. Protótipo da estrutura do robô

Os componentes base para o desenvolvimento da nova plataforma foram o rádio Digi Xbee S3B [10], o microcontrolador Arduino Micro [4], o circuito integrado da Toshiba TB6612FNG [18], os micro-motores da pololu [17] e seus *encoders* [15] ópticos para micro motores. Foi então projetada uma placa (Figura 5) dedicada a interconexão dos componentes básicos da plataforma, de modo a poupar espaço e a proporcionar melhor aproveitamento de baterias evitando que componentes que não estão sendo usados promovam gastos excessivos no sistema eletrônico.

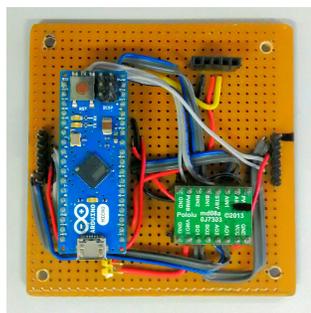


Fig. 5. Protótipo do *hardware* do robô

Para receber as informações do servidor, o sistema robótico dispõe de um rádio RF Xbee S3B, circuito este responsável por transpor a comunicação de baixo nível lógico do Xbee para o nível lógico do microcontrolador. A decodificação da informação recebida é feita pelo microcontrolador Arduino Micro, que vai enviar os comandos de movimentação para uma ponte-h [16] dupla da Toshiba, modelo TB6612FNG. Por fim, esta será responsável por transformar os comandos básicos de movimentação em pulsos para os motores [5].

Assim, com o espaço poupado pela utilização de uma placa única, foi possível a expansão das baterias, que agora somam um total de 2000mAh, mas continuam operando em uma voltagem de 7,4V como na plataforma anterior. E ainda foi possível utilizar *encoders* (Figura 6) nos micro motores para que através das leituras de velocidade de rotação fossem melhoradas questões de controle.

A motivação para criação desta placa advém de experiências da equipe em competições anteriores. O uso de *shields* [9] pré-moldados com pinagens de fácil integração entre *drivers* de motor, dispositivos de rádio frequência e microcontroladores foram essenciais para que a equipe pudesse em um primeiro momento ter outras preocupações. No entanto, com o desenvolver do projeto, a busca por uma melhor desempenho dos robôs tem se mostrado essencial, e por isso, foi construída essa nova plataforma (Figura 7). Mais detalhes sobre a placa e seus componentes encontram-se no Apêndice.

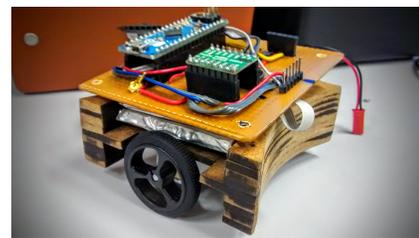


Fig. 7. Robô SirSoccerVSS-A

## VI. SIMULADOR VERY SMALL SIZE SOCCER

O simulador criado pela equipe do laboratório SIRLab para a categoria VSSS tem o objetivo de facilitar a criação de estratégias que podem ser implementadas pelos robôs. O padrão de projeto utilizado garante que, mesmo que o código seja feito pelo simulador, ele irá funcionar também para a plataforma física da categoria, de forma que é possível que os integrantes realizem seus progressos na estratégia e apenas tenham que migrar o código para que possa ser executado nos robôs.

Isso é possível devido a modulação do projeto, que é dividido em partes físicas, gráficas e de estratégia. A parte física fornece os mesmos dados que a plataforma com a câmera, de modo que, garantido que os dados vão abastecer as outras partes da mesma maneira, é possível o desenvolvimento independente.

O simulador é desenvolvido com o apoio das bibliotecas de OpenGL[14], responsáveis pela parte gráfica, e com a versão 2.83 da Bullet Physics [8], que tem a função de simular toda a física da plataforma.

A Bullet funciona com base nos intervalos de tempo que um ciclo do OpenGL leva para poder ser processado, fazendo com que o processamento físico seja sincronizado com o processamento gráfico, sendo realizado logo depois.

Os robôs são criados via Bullet, que então fica responsável pela sua movimentação. Essa parte é executada com base nos dados que a estratégia do simulador define, determinando a velocidade que as rodas do robô devem atingir para que possa alcançar o ponto de destino desejado, de forma que fica a critério do desenvolvedor determinar qual a rota que o robô irá adotar.

O desenvolvimento da plataforma de simulação requer alguns cuidados, pois a própria Bullet possui um sistema de veículos próprios, mas que teve que ser modificado pela equipe para que pudesse ser compatível ao modelo da categoria VSSS.

Um exemplo técnico disso é o sistema de movimentação dos veículos dentro da biblioteca, que ocorre com base em um sistema de coordenadas relativa ao sistema cartesiano externo, e não relativo ao próprio veículo. Como a velocidade do veículo é sempre incrementada de um valor baseado em um determinado impulso (proveniente dos intervalos do ciclo), isso causa alguns problemas, como quando se acrescenta velocidade ao veículo, mas o vetor unitário que determina sua parte frontal tem as suas duas componentes X e Y negativas, fazendo com que, ao invés de a velocidade seja incrementada, ela acabe diminuindo.

Assim, testes vêm sendo feitos na parte da estratégia. Comparações são feitas entre os resultados obtidos no simulador e no sistema físico e, logo em seguida, são feitas modificações no sistema físico, ou um novo método é testado no simulador.

## CONCLUSÃO

Durante os trabalhos em 2015, a equipe SirSoccerVSS-A estudou técnicas e modelos para aperfeiçoar seu time de futebol de robôs *Very Small Size Soccer*. Dentre os avanços obtidos este ano, destaca-se o início de estudos mais aprofundados em sistemas e controle, a criação de uma placa e término do desenvolvimento do simulador. Planos já estão sendo traçados para as futuras participações da equipe na LARC, e este ano espera-se obter resultados ainda mais satisfatórios que nas edições anteriores.

## APÊNDICE

### A. Placa Eletrônica

A placa eletrônica do SirSoccerVSS-A e seus componentes possuem a pinagem apresentada em (Figura 8), e os componentes estão intercalados pela trilha em (Figura 9).

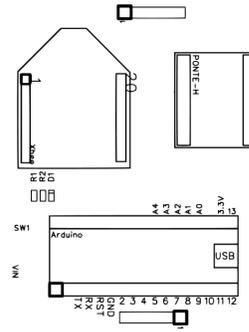


Fig. 8. Pinagem dos componentes da placa

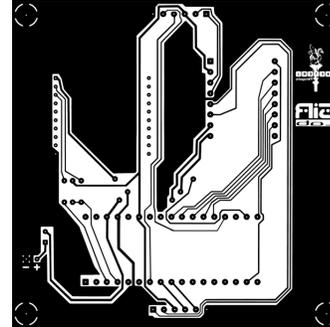


Fig. 9. Trilhas da placa

## AGRADECIMENTOS

A equipe SirSoccerVSS-A agradece a Faculdade de Educação Tecnológica do Estado do Rio de Janeiro (FAETERJ - Petrópolis) pelo apoio.

## REFERENCES

- [1] Stroustrup, b. why c++ is not just an object-oriented programming language. disponível em: <http://www.stroustrup.com/oopsla.pdf>.
- [2] Machine vision fundamentals: How to make robots see. 2011.
- [3] Construção de um time de futebol de robôs para a categoria iecce very small size soccer. 2015.
- [4] ARDUINO: Arduino HomePage. Disponível em: "http://www.arduino.cc". acessado em: 20 de maio de 2013.
- [5] ARDUINO: Arduino Learning. <http://arduino.cc/en/Tutorial/PWM>.
- [6] Saso Blasic. On periodic control laws for mobile robots. *IEEE Transaction on Industrial Eletronics*, 61, 2014.
- [7] Frans Groen Bruno Siciliano, Oussama Khatib. Springer tracts in advanced robotics. In *Soccer Robotics*, pages 138–161. Springer, 2004.
- [8] Bullet. <http://bulletphysics.org/wordpress/>.
- [9] DFRobots HomePage. Disponível em: <http://www.dfrobot.com/index.php>. acessado em: 22 de junho de 2013.
- [10] Digi. *XBee/XBee-PRO RF Modules*, 2011.
- [11] E. B. Ferreira Filho. Desenvolvimento de um time de futebol de robôs categoria iecce very small size. 2013.
- [12] Minami Miyauchi Hajime Takata Akira Sonoda Hiroki Ohta, Shinji Ozawa and Hisami Iri. Computer classification of rosette-forming cells from microscope images. 2011.
- [13] OpenCV. <http://docs.opencv.org/>.
- [14] OpenGL. <https://www.opengl.org/>.
- [15] Pololu HomePage. Disponível em: <https://www.pololu.com/product/2591>. acessado em: 13 de abril de 2015.
- [16] Pololu HomePage. Disponível em: <https://www.pololu.com/product/713>. acessado em: 13 de abril de 2015.

- [17] Pololu: Robotics & Eletronics. Disponivel em:  
<http://www.pololu.com/catalog/product/2361>. acessado em: 22  
de junho de 2013.
- [18] Toshiba. *Toshiba Bi-CD Integrated Circuit*, 2012.
- [19] ZigBee Alliance. [www.zigbee.org](http://www.zigbee.org).