

# O Time Carrossel Caipira de Futebol de Robôs

André N. C. Silva<sup>3</sup>, Danilo W. Nunes<sup>1</sup>, Frederico G. P. Azzolini<sup>1</sup>, Jorge V. O. Gonçalves<sup>2</sup>, Mário Bordon<sup>5</sup>,  
Matheus A. S. Viana<sup>3</sup>, Rafael T. Takagi<sup>1</sup>, Rene Pegoraro<sup>4</sup>, Thiago M. Mochetti<sup>3</sup>

**Resumo**— Este artigo apresenta aspectos de hardware e software do time Carrossel Caipira, que representa o Departamento de Computação e o Departamento de Engenharia Elétrica da UNESP, campus de Bauru, na modalidade IEEE Very Small Size de futebol de robôs. O Hardware é composto por três robôs que utilizam Arduino para controle dos motores e recebimento de sinais de rádio, que são enviados por um computador pessoal. O Software, executado neste computador, é composto por um conjunto de módulos que inclui: Visão, Estratégia e Controle.

## I. INTRODUÇÃO

O Departamento de Computação da Faculdade de Ciências da UNESP, campus de Bauru, participa de competições de futebol de robôs, na modalidade Very Small Size (atualmente IEEE Very Small), desde 1998, com a realização do 1º Campeonato Brasileiro de Futebol de Robôs – CBFR 98. A pesquisa e o desenvolvimento em futebol de robôs mantém o objetivo de incentivar o uso de inovações tecnológicas, no campo da robótica, de baixo custo e com componentes encontrados no mercado nacional. O time de futebol da UNESP de Bauru é conhecido, desde a primeira edição desta competição no Brasil, como Carrossel Caipira devido sua estratégia de jogo. O projeto atual é a sexta versão, de robôs desenvolvidos para futebol de robôs, com aprimoramentos em relação ao time de 2017.

No ambiente do futebol de robôs, nesta categoria, os robôs e a bola são identificados através de uma câmera utilizada como visão global, posicionada a 2m sobre o campo e alinhada ao seu centro, que captura imagens da arena. Estas imagens são processadas digitalmente obtendo as coordenadas dos robôs e da bola. A partir dessas coordenadas, uma estratégia escolhida e transformada em comandos que são enviados aos robôs por rádio. Os robôs recebem estes comandos e realizam as ações correspondentes, modificando a posição dos elementos presentes no ambiente real, que será capturado novamente pela câmera. A Fig. 1 apresenta uma ilustração do ambiente do futebol de robôs.

O futebol robótico abrange diversas áreas do conhecimento. Na construção do robô são aplicados conceitos de

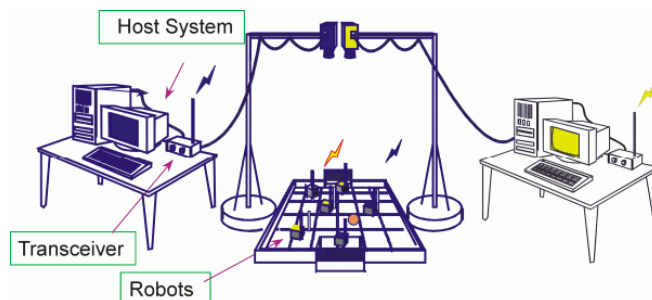


Fig. 1: Ambiente para futebol de robôs.  
Fonte: [www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/950](http://www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/950) (2013)

mecânica, eletrônica e sistemas embarcados. Do ponto de vista do software, executado no computador pessoal, estão envolvidos elementos de processamento de imagens, inteligência artificial e teoria de controle. Essa abrangência faz desta modalidade de futebol uma ferramenta pedagógica com possíveis aplicações na graduação. Esse projeto busca incentivar e facilitar o desenvolvimento da robótica, para isso o artigo faz uma apresentação das tarefas realizadas, enfatizando a melhoria aplicada recentemente na arquitetura do software como um todo e no novo sistema de controle.

## II. SISTEMA DE SOFTWARE DO FUTEBOL DE ROBÔS

O sistema deste time pode ser representado simplificada-mente através do diagrama apresentado na Fig. 2 que indica as partes principais do processamento. Estas partes são descritas, juntamente com as interações entre elas, na sequência. A CÂMERA captura uma imagem do campo, esta imagem é então processada pelo módulo de VISÃO que determinará as posições atuais dos robôs a partir de suas etiquetas coloridas e a da bola que possui cor alaranjada. A PREVISÃO, com base das informações recebidas do módulo da VISÃO, define as posições mais prováveis que os objetos em campo irão assumir alguns instantes a frente. Com estas posições (presente e futura). O módulo de ESTRATÉGIA calcula os locais do campo que os robôs do time controlado deverão se posicionar. Para realizar estes cálculos, este módulo faz uso de roteiros, que são específicos para cada robô. Basicamente, um roteiro é um conjunto de comportamentos específicos para cada robô que faz com que este assuma uma postura defensiva ou ofensiva durante uma partida. O módulo de CONTROLE, fazendo uso das posições atuais de cada robô (VISÃO) e de seus objetivos (ESTRATÉGIA), determina maior velocidade possível que um robô pode assumir para que este consiga chegar ao seu

<sup>1</sup>Danilo W. Nunes (e-mail: [daniownunes@gmail.com](mailto:daniownunes@gmail.com)), Frederico G. P. Azzolini (e-mail: [fred\\_gpa@hotmail.com](mailto:fred_gpa@hotmail.com)) e Rafael T. Takagi (e-mail: [rafaelttakagi@hotmail.com](mailto:rafaelttakagi@hotmail.com)) são alunos de Bacharelado em Ciência da Computação.

<sup>2</sup>Jorge V. O. Gonçalves (e-mail: [meunomeejorgevicente@gmail.com](mailto:meunomeejorgevicente@gmail.com)) é aluno de Licenciatura em Matemática.

<sup>3</sup>André N. C. Silva (e-mail: [neves.andre27@gmail.com](mailto:neves.andre27@gmail.com)), Matheus A. S. Viana (e-mail: [mathvna@gmail.com](mailto:mathvna@gmail.com)) e Thiago M. Mochetti (e-mail: [thiagomochetti@gmail.com](mailto:thiagomochetti@gmail.com)) são alunos de Engenharia Elétrica.

<sup>4</sup>Rene Pegoraro (e-mail: [pegoraro@fc.unesp.br](mailto:pegoraro@fc.unesp.br)) é professor do Departamento de Computação.

<sup>5</sup>Mário Bordon (e-mail: [mebordon@feb.unesp.br](mailto:mebordon@feb.unesp.br)) é professor do Departamento de Engenharia Elétrica.

objetivo e parar, definindo os valores de cada roda a serem enviados aos robôs pelo módulo de RÁDIO, fazendo os robôs se moverem para concluir a estratégia. Todos estes módulos são executados no computador pessoal.

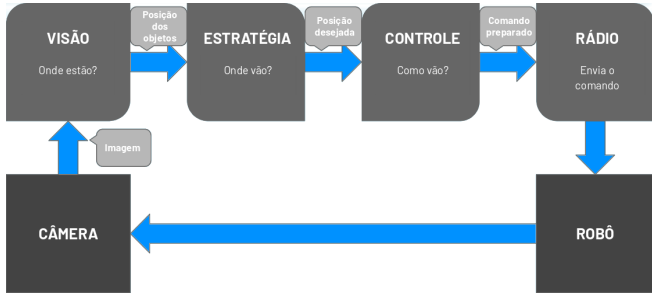


Fig. 2: Diagrama simplificado dos módulos do time Carrossel Caipira.

#### A. Módulo da Visão

No ambiente de futebol de robôs toda a estratégia e o controle, tanto de baixo nível quanto de alto nível, são baseados na interpretação das imagens captadas pela câmera. Para que isso seja realizado, etiquetas de cores em destaque localizadas no topo dos robôs identificam cada um deles, em relação a seu time e possivelmente sua função, conforme demonstra a Fig. 3.

O tempo de execução do ciclo de controle do sistema foi definido pela taxa de aquisição de imagens. Como o time Carrossel Caipira usa câmeras de vídeo convencionais, a taxa é limitada a 30 quadros por segundo. Portanto, a cada período de 33 ms, uma nova imagem refletindo o estado atual do campo torna-se disponível ao computador para processamento. Cada uma dessas imagens é capturada e digitalizada por uma placa de captura, que disponibiliza, na forma de uma matriz com dimensões 640x480 pixels com três canais (componentes Red, Green, Blue - RGB). Cada um desses pixels deve ser analisado, quanto a sua cor, para identificar se é uma cor de importância ao sistema, esta técnica é chamada de segmentação de cor.

O processamento da imagem é realizado em um software baseado em um projeto de código aberto denominado VSS-SDK<sup>1</sup>, que já realiza todo o pré tratamento dos quadros e envia as informações de posição e orientação dos robôs e da bola aos módulos de estratégia e controle.

#### B. Módulo de Estratégia

A estratégia é o módulo responsável por definir a meta de cada robô. Utilizando as coordenadas da bola, dos robôs do time e dos adversários este módulo decide qual é a posição mais indicada para cada robô do time através dos roteiros. Os roteiros são basicamente conjuntos de regras que ditam o comportamento do robô em cada situação. Com as posições pré-determinadas no módulo de posicionamentos e com os comportamentos padronizados no módulo de comportamentos, os roteiros são montados pensando nas situações de jogo. A vantagem deste modelo em relação aos antigos é

<sup>1</sup>O código do VSS-SDK está disponível em: <https://github.com/VSS-SDK/VSS-Vision>



Fig. 3: Etiqueta de identificação do robô

que através da padronização dos elementos mais básicos da estratégia através destes dois novos módulos é possível montar facilmente novos roteiros, o que permite que o time possua diversas posturas às mais diversas situações de jogo, sendo mais ofensivo quando estiver atrás no placar ou mais defensivo quando se deseja tentar manter o resultado, por exemplo.

#### C. Módulo de Controle

A partir das coordenadas detectadas pelo módulo de Visão e das coordenadas atribuídas pelos resultados do módulo de Estratégia, o módulo de Controle deve determinar as melhores trajetórias e comandos a ser enviados aos robôs. O cálculo de uma trajetória deve levar em conta o desvio de obstáculos, evitando os outros robôs na arena. Este cálculo é necessário para levar o robô da sua posição atual até a determinada pela estratégia. No caso do time Carrossel Caipira, é empregado um método chamado de campo potencial. Os campos potenciais partem da ideia de forças imaginárias atuando sobre o robô, ideia proposta por Khatib [4], na qual a "força causada" pelos obstáculos é de caráter repulsivo e pela meta, de caráter atrativo. Porém a interferência das "forças" geradas a partir de vários obstáculos podem produzir locais ótimos que atrapalham o desempenho do sistema para encontrar um caminho até a meta para o robô.

Para evitar esta situação, Connolly et al. [5] solucionaram o problema utilizando funções harmônicas para o cálculo do campo potencial de ambientes nos quais as posições das paredes, objetos e metas sejam conhecidas, que é o caso do ambiente de futebol de robôs. As funções harmônicas utilizadas são soluções para a equação de Laplace (1).

$$\nabla = 0 \text{ para } P : R \rightarrow R. \quad (1)$$

Assim é definido um Problema de Valor de Contorno na região de atuação do robô utilizando a condição de Dirichlet<sup>2</sup> com potencial alto para obstáculos e potencial

<sup>2</sup>A condição de contorno de Dirichlet (ou de primeiro tipo) é um tipo de condição de contorno, nomeada em homenagem a Johann Peter Gustav Lejeune Dirichlet (1805-1859). Quando aplicada sobre uma equação diferencial ordinária ou parcial, especifica os valores que uma solução necessita para tomar-se sobre o contorno do domínio

baixo para a meta. Então, são extraídas as linhas de força, com base no gradiente descendente [5][6] do potencial, que direcionam o robô para sua meta, desviando-o de obstáculos, uma representação do campo com os campos potenciais se encontra da Fig. 4.

Uma vez obtido o campo potencial, tem-se o ângulo ideal que o robô deve atingir para se deslocar até a meta, que chamamos de ângulo objetivo, basta agora calcular a direção e velocidade de cada motor.

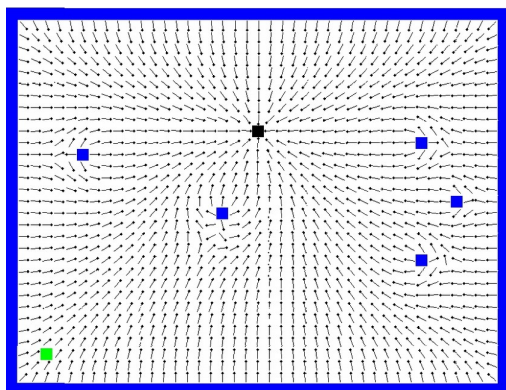


Fig. 4: Representação do campo potencial no qual os quadrados preto, verde e azul representam respectivamente meta, robô e obstáculo.

#### D. Módulo de Rádio

Para garantir melhor eficiência e velocidade de resposta dos robôs foi decidido a criação de um módulo próprio para as funcionalidades de comunicação.

Esse módulo opera de modo paralelo aos outros módulos, enviando as instruções aos robôs apenas quando necessário de modo a evitar o sobrecarregamento tanto do transmissor conectado ao computador quanto dos receptores acoplados nos robôs. Ao operar em paralelo também evita-se que o software principal precise arcar com uma quantidade elevada de entrada e saída, o que compromete o desempenho deste, que já é responsável por realizar todos os cálculos.

#### E. Interface

Para comportar toda essas mudanças feitas em diversos módulos da equipe foi também desenvolvida uma nova interface, tendo em mente praticidade e as necessidades de comportar novas funcionalidades. A nova interface foi feita utilizando abas para as principais seções, entre a principal, configurações, outros e ajuda, como pode ser observado na Fig. 5.

Na aba principal o foco foi deixar de fácil acesso as funções indispensáveis durante o jogo, entre uma tela para mostrar o q está sendo captado pela câmera, uma tabela para logs e botões para iniciar o software além de situação em que o jogo está, como jogo normal, disputa de bola, w.o., entre outros.

Na aba de configurações se encontram as principais configurações indispensáveis para setup do software, entre escolha dos roteiros, calibração da visão entre outras.

Na aba outros, foram colocadas configurações que geralmente não são usadas, porém podem vir a ser necessárias

em situações inesperadas, entre uma opção para gravação em buffer de alguns frames de jogo, uma opção para capturar uma imagem do campo vazio, entre outras.

Finalmente a aba ajuda tem por finalidade explicar as mais diversas funcionalidades do programa, através de uma estrutura separada em seções, pessoas que não conhecem o software podem aprender sobre como utilizá-lo.

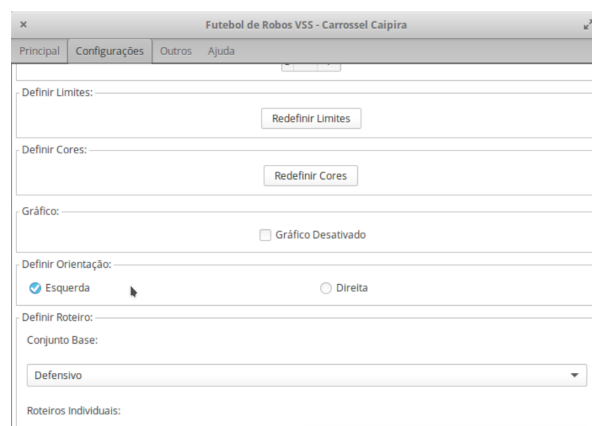


Fig. 5: Nova interface na aba de configurações.

### III. O HARDWARE DO ROBÔ

Tendo em vista as propostas para hardware na versão anterior do Robô, para este ano o setor de hardware teve como objetivo a manutenção e atualização dos módulos propostos no ano passado para que ocorra um funcionamento estável, evitando assim mal contato, curtos e possíveis interferências. Ainda tendo em vista a modularidade e praticidade de manutenção do projeto, o robô continuou sendo dividido em três módulos (motores, bateria, e placa de circuito impresso), com algumas alterações e uso de outros componentes.

Placa de Circuito Impresso: Como objetivo de aprimorar a versão anterior, houve uma revisão da placa de circuito impresso dos robôs, tendo em vista otimizar o espaço e a possível utilização de outros componentes como forma de atualização e melhorias no desempenho do robô.



Fig. 6: Esquema de funcionamento do robô.

Seguindo o diagrama representado na Fig. 6, os componentes do robô são: um módulo de rádio, NRF24I01, um Arduino Nano, um *Driver* para motores, TB6612FNG, e micro motores DC com redução de 50:1. O funcionamento do robô se baseia na transmissão das velocidades através do rádio. Estas informações são transmitidas e armazenadas em um vetor, onde cada par de posições possui a informação de velocidade e sentido que os robôs deverão seguir. O Arduino presente em cada robô recebe as informações via rádio, e envia o equivalente em sinais de PWM para a ponte H, que aciona os motores. A Fig. 7 exemplifica um vetor onde são

armazenadas as informações de velocidade de cada roda de cada robô.

Carac. Inicial	Rb0	Rb0	Rb1	Rb1	Rb2	Rb2
-------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Fig. 7: Exemplo do vetor de transmissão.

**Rádio NRF24L01:** O módulo NRF24L01, ilustrado na Fig. 8 opera com frequência em torno de 2.4GHz (faixa de frequência e permite a configuração e construção de um canal de comunicação através da seleção de uma entre 125 frequências (canais) disponíveis, e taxa de transmissão ajustável.



Fig. 8: Módulo de Rádio NRF24L01.

**Ponte H (Driver) TB6612FNG:** Havendo a necessidade de melhoria no comportamento e controle dos robôs, o *Driver* TB6612FNG, ilustrado na Fig. 9 foi escolhido por melhorar a vida útil do circuito e eliminação de problemas como da força contra eletromotriz e o consumo excessivo, deteriorando precocemente as células de alimentação, impedindo seu pleno funcionamento. Robustez, tamanho reduzido e tecnologia mais atual, essa ponte H possui transistores MOSFETs permitindo atingir frequências de chaveamento em torno de 100KHz, são mais recentes e mais eficientes em relação aos modelos com BJTs.



Fig. 9: TB6612FNG da Pololu.

**Micromotor DC:** Os motores utilizados são Micromotores DC com redução 50:1 de 6V de tensão nominal, apresentam bom torque. Visto que em versões anteriores já era utilizado e durante algumas simulações se mostrou um ótimo motor, robusto e compacto.

**Bateria 18650 (4.2V):** Com grande versatilidade em sua aplicabilidade e facilidade de ser encontrada em dispositivos eletrônicos, a bateria 18650 (Fig. 10) é uma excelente opção de alimentação ao VSS devido ao seu tamanho compatível e fidelidade na entrega de energia aos circuitos envolvendo motores com grandes quantidades de picos no consumo.



Fig. 10: Célula Li-ion 18650.

Apesar de valor relativamente alto, compensa com sua vida útil e espaço que ocupa, se comparado com as células AA com capacidades inferiores e rápida perda no ciclo de vida útil, por conta do perfil que os robôs possuem. Seguindo o que foi proposto, além da utilização da bateria de Li-íon 18650, dois componentes eletrônicos foram incluídos no projeto, um módulo TP4056 (Fig. 11), que consiste em um circuito carregador de baterias bem pequeno e compatível com micro-USB, que possibilita uma carga segura e estável das baterias no próprio robô, além de oferecer proteção contra sobrecarga e LEDs que indicam o estado de carga das baterias.

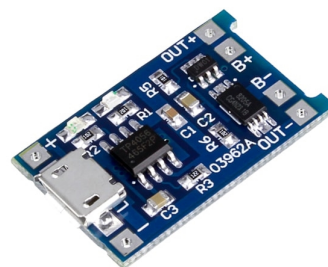


Fig. 11: Módulo TP4056.

É um circuito regulador de tensão *Step-Up* MT3608 (Fig. 12) também de pequenas dimensões e facilidade no uso, com eficiência de cerca de 91, grande faixa de operação (2,5 a 28V) e saída de no máximo 2A. A aplicação de ambos no robô foi motivada pela premissa de montar um robô independente de alterações para recarga, estável, e padronizar a tensão de alimentação dos circuitos de controle (Arduino) e dos motores.

A rotação das rodas, e consequentemente o deslocamento do robô, são determinados por sensores ópticos TCRT5000, que codificam o movimento de dentes reflexivos fixados às rodas em pulsos enviados ao Arduino. Esses pulsos são contados e servem de realimentação ao acionamento direcionado a cada motor, permitindo a aplicação de controle de velocidade aos motores.

Do lado do computador pessoal, o envio dos comandos também ocorre através de um circuito controlado por um Arduino Nano conectado a uma interface USB. Este Ar-



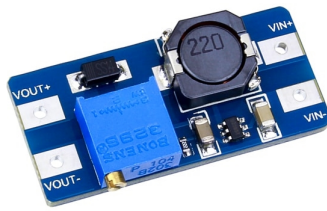


Fig. 12: Regulador de Tensão DC Step-Up MT3608.

duino recebe os comandos a serem enviados aos robôs e os transmite por meio de um transceptor de rádio NRF24L01 idêntico ao utilizados nos robôs.

#### REFERÊNCIAS

- [1] UMBAUGH, S. E.; Digital Image Processing and Analysis: Human and Computer Vision Applications with CVIptools, Second Edition, CRC Press, November 19, 2010
- [2] ALVES, S. F. R.; FERASOLI FILHO, H.; PEGORARO, R.; CALDEIRA, M. A. C.; ROSARIO, J. M.; YONEZAWA, W. M.; Proposal of educational environments with mobile robots; Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM), 2011.
- [3] COSTA, A. H. R. ; PEGORARO, R. . Construindo robôs autônomos para partidas de futebol: o time GUARANÁ. Controle & Automação, Campinas, SP, v. 11, n. 2, p. 141-149, 2000.
- [4] KHATIB, O.; Command Dynamic dans l'Espace Opérationnel des Robots Manipulateurs en Présence d'Obstacles. PhD thesis, Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace, Toulouse. em Francês. 1980.
- [5] CONNOLLY, C. I., BURNS, J. B.; WEISS, R. Path planning using laplaces equation. In IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1990.
- [6] CONNOLLY, C. I.; GRUPEN, R. A. On the application of harmonic functions to robotics. Journal of Robotic Systems, 10:931-946, 1993. Placa Arduino Nano 3.0. Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>> Acesso em 3 de agosto de 2014.
- [7] SANTOS, Rafael, Mecanismo de Previsão de Posição para o Time de Futebol de Robôs da UNESP, Trabalho de Conclusão de Curso do Curso, UNESP - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, Brasil, Fev. 2017.