

O Sistema do Time de Futebol de Robôs USPDroids VSS - Versão 2010

Marcelo O. da Silva, Marcos V. F. Ribeiro, Leandro de Souza Gaspar, Willian C. da Silva, Roseli A. F. Romero

Abstract—Este trabalho descreve o sistema integrado do time de futebol de robôs USPDroids, categoria IEEE Very Small Size, proposto e desenvolvido no Laboratório de Aprendizado de Robôs, no Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo. Este sistema integra um módulo de visão baseado em cores, microeletrônica, micromecânica e estratégia baseada em campos potenciais orientados.

I. INTRODUÇÃO

Para desenvolver um time de robôs móveis autônomos capazes de disputar partidas de futebol robótico, é necessário uma abordagem multidisciplinar, combinando o conhecimento de diversas áreas, como mecânica, eletrônica, controle, visão computacional, fusão de sensores em tempo real, sistemas multi-agentes, decisão estratégica e outras.

Nesta linha de pesquisa, o time de futebol de robôs USPDroids vem sendo desenvolvido ao longo de 5 anos no LAR-ICMC-USP, para a categoria *IEEE Very Small Size*. O time é composto por quatro módulos:

- Visão: responsável pela localização dos robôs aliados e adversários;
- Estratégia: responsável pelas tomadas de decisão e pela definição de trajetórias para os robôs;
- Eletrônica: responsável por transformar as mensagens recebidas via rádio em acionamento controlado dos motores;
- Mecânica: responsável pela parte física do robô (rodas, engrenagens, carenagem).

Este artigo é organizado como segue. Na Seção I é dada uma abordagem geral do sistema. Nas Seções II até V são descritos os módulos de Visão, Estratégia, Eletrônica e Mecânica, respectivamente. Na Seção VI são apresentadas conclusões sobre o estado atual do sistema.

II. VISÃO

No módulo da visão são detectadas, usando crescimento de regiões [1], as posições de todos os objetos presentes no campo, e no caso dos robôs são obtidas também as orientações. O processo se inicia na captura das imagens do campo, que é feita por uma câmera fixada acima deste.

A identificação dos robôs e da bola é feita por cores, por isso é essencial que o sistema tenha percepção destas. Como computacionalmente a variação de luminosidade influencia a referência dos valores dos canais RGB das cores, foi

Laboratório de Aprendizado de Robôs – LAR Universidade de São Paulo, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, SP, Brasil
msilva@icmc.usp.br, marcosvfr@eesc.usp.br, leandro.gaspar@usp.br, willianconsta@grad.icmc.usp.br, rafrance@icmc.usp.br

desenvolvido um calibrador que ajusta o classificador de cores à iluminação do ambiente.

O classificador de cores utilizado é baseado no algoritmo K-Means, particionando o espaço RGB. A grande vantagem na utilização deste algoritmo é o nosso prévio conhecimento dos centróides iniciais (Figura 1), que são obtidos a partir de uma amostragem das cores usadas na identificação dos elementos motores no jogo. Através do algoritmo são obtidos também raios para os canais do espaço. No fim do procedimento obtemos clusters de cores que são limitados por distâncias (raios) ao centróide.

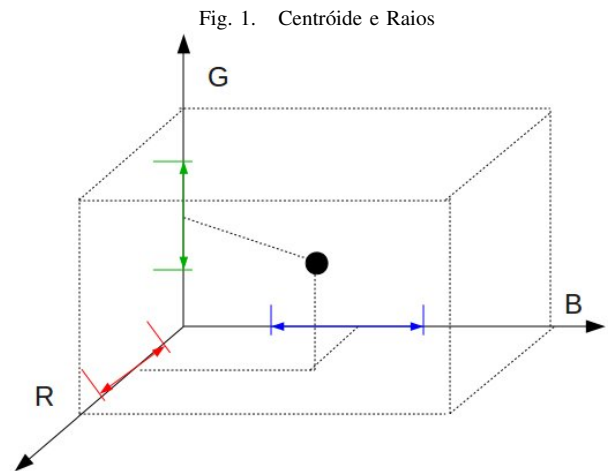


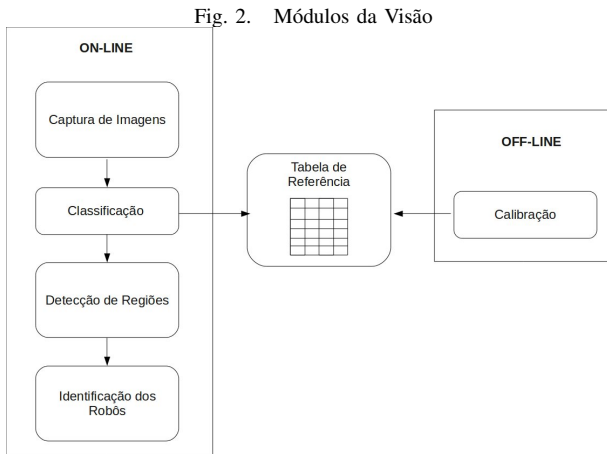
Fig. 1. Centróide e Raios

A partir dos clusters obtidos, uma matriz tridimensional é criada; nesta matriz os índices indicam os valores dos canais RGB, e o valor do campo indica a que cor esta combinação pertence. Conforme mostrado na Figura 2 a criação desta matriz é feita off-line.

Os valores RGB de um pixel indicam a posição na tabela tridimensional, criada na calibração, que contém a classe deste mesmo pixel. Assim, através de uma consulta direta à tabela é possível classificar os pixels por suas cores.

Todos os pixels da imagem que estejam presentes na região delimitada pelo campo são classificados. E isto se faz necessário durante a detecção de regiões. Neste módulo da visão, regiões que apresentam as cores de identificação dos robôs e da bola são buscadas na imagem. Utilizando um algoritmo de expansão de regiões coloridas que avaliam se pixels vizinhos são da mesma cor. E assim é possível obter-se o centro de cada região colorida contida no campo.

As posições e direções dos robôs são calculadas a partir dos centros das etiquetas coloridas que os identificam. Essas são as informações de importância para o Módulo de



Estratégia do time. O tempo de processamento da imagem obtido foi de 4 a 7 ms.

III. ESTRATÉGIA

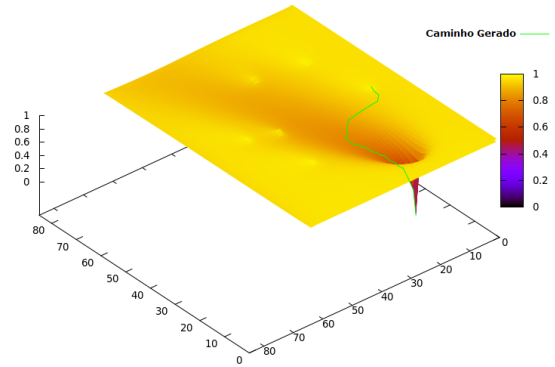
A estratégia é responsável por atribuir comportamentos aos robôs e realizar o planejamento de caminhos. Foram estabelecidos três comportamentos para os robôs: goleiro, zagueiro e atacante. O comportamento *goleiro* apenas permanece na frente do próprio gol, a fim de protegê-lo. O *zagueiro*, por sua vez, permanece no campo de defesa, interceptando a bola e a lançando em direção ao campo de ataque. O *atacante* fica em uma posição avançada e chuta a bola em direção ao gol adversário sempre que possível. A atribuição de comportamentos é feita pela estratégia de forma estática, isto é, define-se previamente o comportamento que cada robô executará.

No planejamento de caminhos foi utilizada a técnica de Campos Potenciais Orientados [2]. Esta técnica utiliza soluções de problemas de valor de contorno de equações diferenciais parciais elípticas (Equação 1) para a criação dos Campos Potenciais. Foi utilizada a condição de contorno de Dirichlet [4], onde pontos-meta tem potencial 0 e pontos-obstaculo tem potencial 1. Esta técnica representa uma evolução ao sistema anterior [3], pois permite a definição de comportamentos nas trajetórias geradas para os robôs. Isso é possível devido à definição de um vetor de influência para o Campo Potencial, como pode ser visto na Figura 3. A utilização deste tipo de equações também soluciona outro problema de técnicas de Campos Potenciais convencionais, a existência de mínimos locais, pelo fato de não existirem mínimos locais espúrios.

$$\nabla^2 p + \epsilon \langle \nabla p \times v \rangle = 0 \quad (1)$$

As desvantagens do uso da técnica citada são seu alto custo computacional e a necessidade do uso de tantas grades quantos forem os robôs controlados. Para amenizar tais desvantagens foram utilizadas várias threads, uma para cada robô, melhorando a performance geral do sistema e aproveitando-se da arquitetura multi-core disponível.

Fig. 3. Campo Potencial gerado pela técnica dos Campos Potenciais Orientados



A estratégia, por fim, converte o caminho planejado em velocidades para as rodas do robô e as envia para o rádio.

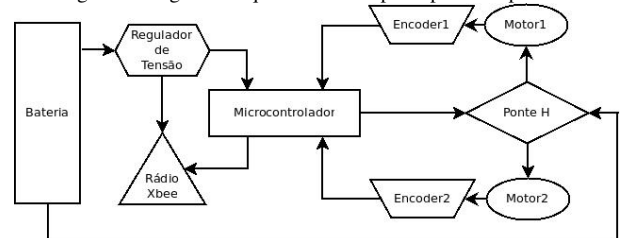
Para validação inicial da estratégia foi utilizado o Simulador USPDroidsSS [5], [6], que permitiu uma desenvolvimento mais rápido da estratégia por fornecer um ambiente controlado para testes.

IV. ELETRÔNICA

A eletrônica embarcada deste robô realiza basicamente três tarefas. Recepção dos comandos enviados pelo computador remoto, acionamento elétrico dos motores e controle de velocidade das rodas através de encoders.

Um diagrama esquemático dos principais componentes necessários para o controle do robô pode ser visto na Figura 4. O rádio utilizado para recepção dos comandos enviados pelo computador remoto é um módulo Xbee (Zigbee IEEE 802.15.4) que realiza uma conexão serial (RS232) com o microcontrolador. Para o acionamento elétrico dos motores foi utilizado duas pontes H encapsuladas em um único chip (L298), que recebe sinais de PWM para controle de velocidade e sinais digitais para inversão de sentido dos motores. Um controlador PID digital [8] foi implementado para que o robô desenvolva velocidades bem específicas durante o jogo, portanto, para realimentar o controlador foram necessários dois encoders digitais para realizar medidas das velocidades instantâneas dos motores. Todo o processamento digital embarcado (leitura do rádio, controle PID, PWM do motores, leitura dos encoders) é realizado por um único microcontrolador (PIC18F4431) com clock de 40Mhz, programado via linguagem C através do software(MPLAB) do próprio fabricante (Microchip).

Fig. 4. Diagrama esquemático dos principais componentes



A alimentação de todo o circuito elétrico/eletrônico embarcado é realizado através de duas células de baterias do tipo Li-ion, que são baterias que oferecem boa relação peso/rendimento e menor risco de explosão em relação as baterias LiPo.

A maior parte dos componentes utilizados na montagem da placa eletrônica são do tipo SMD, assim foi possível reduzir drasticamente as dimensões desta placa, tornando possível a utilização de baterias maiores e permitindo um maior tempo útil de uso do robô.

V. MECÂNICA

O módulo da mecânica tem por objetivo servir de base para os outros módulos, sendo esta a parte física do modelo robótico. Mantendo a filosofia de 2009 [3], [7], o robô continua dividido em módulos, que foram reduzidos, aumentando o espaço útil interno, mantendo os limites impostos pelas regras da categoria IEEE Very-Small Size. A mecânica é, basicamente, composta por uma estrutura externa (Figura 5), que serve de proteção contra colisões e, uma interna (Figura 6), que suporta os motores, as rodas, as baterias e eletrônica. A diferença este ano, está na existência de uma caixa de redução entre o pinhão do motor e a coroa da roda.

Fig. 5. Vista da estrutura externa do robô

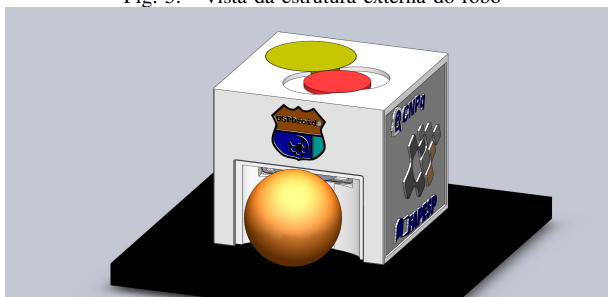
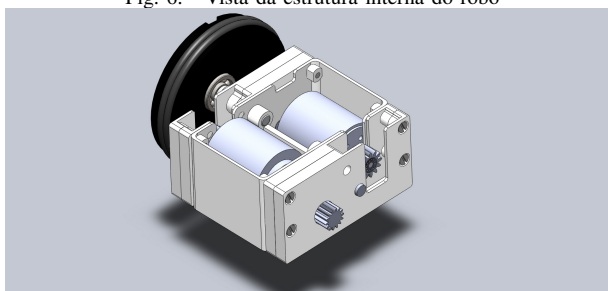


Fig. 6. Vista da estrutura interna do robô



Os robôs foram construídos em ABS e Náilon [7], [9], utilizando-se de técnicas de Prototipagem Rápida. O baixo peso específico e a facilidade de produção de peças com formatos não convencionais foram os fatores determinantes para escolha deste processo. Peças de gesso, fabricadas por Impressão 3D, foram utilizadas para fazer o sistema de cores do time, possibilitando melhor ajuste do sistema de visão. Foram utilizados dois motores Faulhaber 2224 006 SR [10], acoplados a uma caixa de redução de 2.5 : 1, e esta acoplada a uma engrenagem interna à própria roda, garantindo uma

TABLE I
DADOS DOS MOTORES E DA REDUÇÃO

Voltagem[V]	6
Torque[mN . m]	5
RPM	8000
Potência[W]	4.55
Rendimento[%]	82
Redução	13.4:1
Torque Ampliado[mN . m]	67
RPM Reduzida	597

redução final de 13.4:1, diminuindo a velocidade de rotação dos motores, que podem atingir 8000rpm. Os dados do motor, com e sem redução, estão na Tabela I.

As estruturas possuem paredes entre 1mm e 2mm, testadas para resistir a colisões decorrentes de partidas de futebol de robôs. A roda possui 50mm de diâmetro e 10mm de espessura, sendo 4 destes ocupados pela coroa da redução. A roda foi colocada diretamente sobre o externo do rolamento, e o interno ligado a um eixo fixo, evitando assim problemas de fadiga ou erro de batida no eixo.

VI. CONCLUSÃO

Nesta versão, o sistema mecânico é bastante semelhante ao de 2009, modificando apenas o sistema de redução, bem como o sistema eletrônico, que traz modificações apenas no sistema de controle, que agora garante uma maior estabilidade do robô. Em relação a visão, um novo sistema foi implementado, fazendo uso das características e vantagens da câmera utilizada, com uma calibração mais simples e eficaz, e maior estabilidade quanto à variações de luminosidade.

O sistema de estratégia passou a utilizar algoritmos de CPO ao invés de CP, melhorando o sistema de geração de trajetórias, e utilizando um código paralelizado, todo o sistema passou a funcionar em menor tempo, executando algoritmos complexos em tempo real.

Em suma, o sistema está mais rápido e mais estável, permitindo que o ambiente varie, moldando-se às suas necessidades.

VII. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao suporte financeiro dado pela FAPESP, pelo CNPq e pelo ICMC/USP e pelo apoio da Divisão de Tecnologias Tridimensionais (DT3D) do Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer – CTI/Campinas – na fabricação dos modelos.

REFERENCES

- [1] Gonzalez, R. C. and Woods, R. E., *Digital Image Processing*. Prentice-Hall, Inc, 2002, ISBN: 0201180758.
- [2] E. Prestes, *Navegação Exploratória Baseada em Problemas de Valores de Contorno*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2003, Porto Alegre, RS.
- [3] Marcelo O. Silva e Marcos V. F. Ribeiro e Leandro S. Gaspar e Willian C. Silva e Rafael Montanari e Roseli A. F. Romero, *O Sistema do Time de Futebol de Robôs USP Droids*, 2009, Team Description Paper on CBR2009.
- [4] G. D. Smith, *Numerical Solution of partial differential equations: finite difference methods*, Oxford University, 1992.

- [5] Willian C. Silva e Marcelo O. Silva e Raphael Montanari e Danilo Doi e Roseli Francelin Romero, *The USPDroidsSS simulator for robot football*, LARS/EnRI 2010, 2010.
- [6] Danilo Doi e Marcelo O. Silva e Raphael Montanari e Willian C. da Silva e Roseli A. F. Romero, *USPDroidsSS: Ambiente de simulação para futebol de robôs da categoria IEEE Very Small Size – Versão 2010.A*, RT/ICMC/USP no. 357, 2010, ISSN: 0103-2569.
- [7] Marcos V. F. Ribeiro e Marcelo O. Silva e Roseli A. F. Romero, *Desenvolvimento de uma Arquitetura Mecânica para o Time de Futebol de Robôs USPDroids - versão 2009*, RT/ICMC/USP no. 358, 2010, ISSN: 0103-2569.
- [8] Microchip, *Implementing a PID Controller Using a PIC18MCU*, 2004.
- [9] Marcos V. F. Ribeiro e Marcelo O. Silva e Roseli A. F. Romero e Marcelo F. Oliveira e Jorge V. L. da Silva, *Development Of Functional Micro Mobile Robots Using Rapid Manufacturing Techniques With Application In Soccer Robots*, Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Automática (CBA'10), 2010.
- [10] Faulhaber, *DC-Micromotors*, 2004.