

# A Versão 2007 da equipe POTI de Futebol de Robôs

Daniel L. Martins<sup>1</sup>, Ellon P. Mendes<sup>1</sup>,  
Filipe C. A. Lins<sup>1</sup>, Márcio V. de Araújo<sup>1</sup>  
Adelardo A. D. Medeiros<sup>1</sup>, Pablo J. Alsina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)  
UFRN-CT-DCA – Campus Universitário  
59078-900 – Natal – RN

## ABSTRACT

This paper presents POTI, the robot soccer team developed by DCA-UFRN. We present some construction aspects of the overall structure, the robots and the transmitters, as well as some implementation characteristics of the perception, strategy definition and robot control modules.

**KEYWORDS:** Robot soccer, Poti.

## RESUMO

Este artigo apresenta a equipe POTI, desenvolvida pelo DCA-UFRN para disputa de jogos de futebol de robôs. São apresentados alguns aspectos de construção da estrutura do jogo, dos robôs e dos transmissores, além de algumas características de implementação dos módulos de percepção, definição de estratégia e controle dos robôs.

**PALAVRAS CHAVES:** Futebol de robôs, Poti.

## 1 INTRODUÇÃO

A equipe POTI de futebol de robôs foi desenvolvida no DCA-UFRN, sendo composta de três robôs principais e três robôs reservas. O futebol é composto por vários sistemas, que são o sistema de visão, que consiste em uma câmera que capta imagens do campo com os robôs e bola, o sistema de localização que nós fornece a posição dos robôs e da bola no campo através de marcas coloridas colocadas nos mesmos, o sistema de estratégia, que gera a posição futura dos robôs a partir das posições atuais adquiridas, o sistema de controle, que gera o sinal que vai efetivamente deslocar o robô, de forma que ele chegue à posição definida pela estratégia e finalmente pelo sistema de transmissão, que envia os sinais de controle para o robô. Este esquema pode ser visto na figura 1.

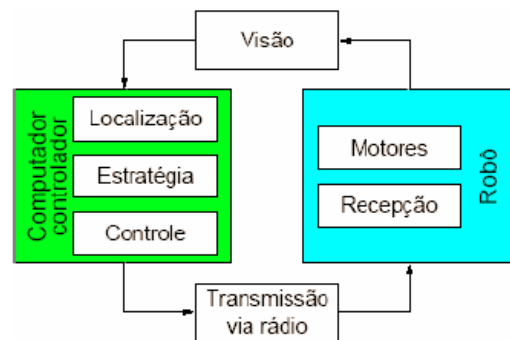


Figura 1 - Arquitetura do sistema de futebol de robôs.

Os aprimoramentos realizados na equipe POTI 2007 se concentraram essencialmente na estrutura mecânica e eletrônica dos robôs e na visão.

## 2 O ROBÔ

Os robôs da equipe foram construídos em PVC expandido de modo a não ultrapassar as dimensões de um cubo com aresta de 7,5cm.

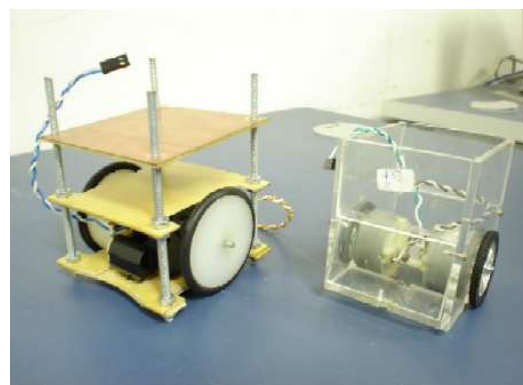


Figura 2 – Estruturas antigas dos robôs: a de 2005 (direita) e de 2006 (esquerda).

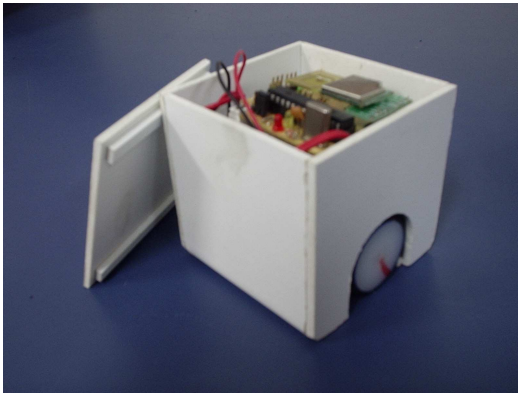


Figura 3 – Estrutura atual dos robôs.

Foram utilizados motores *GM18 - 30:1 Mini Metal Gear Motor* da Solarbotics (figura 4), que utilizam 6V, aproximadamente 1000RPM acoplado a rodas de tecnol de aproximadamente 3.5 centímetros de diâmetro. Para bateria, utilizamos seis pilhas de tamanho AA (figura 5). Devido ao tamanho reduzido do robô, foram feitas placas dispostas em duas camadas: uma placa de inferior de acionamento dos motores e uma superior contendo a unidade de processamento embarcado e o modulo de comunicação, utilizando-se de conectores para fazer a comunicação entre as mesmas (figura 7).

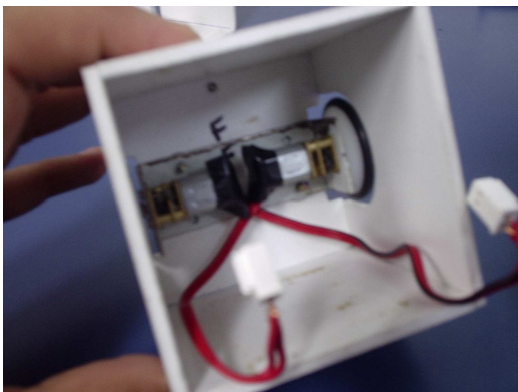


Figura 4 – Motores dos robôs.

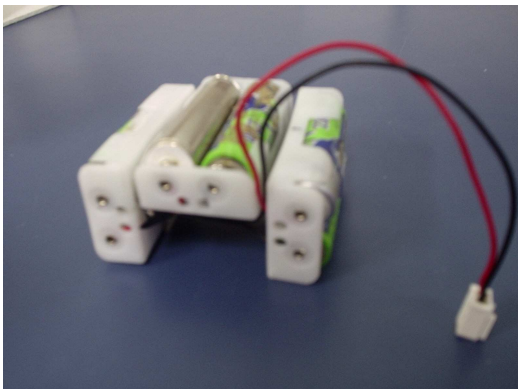


Figura 5 – Esquema do suporte das baterias.

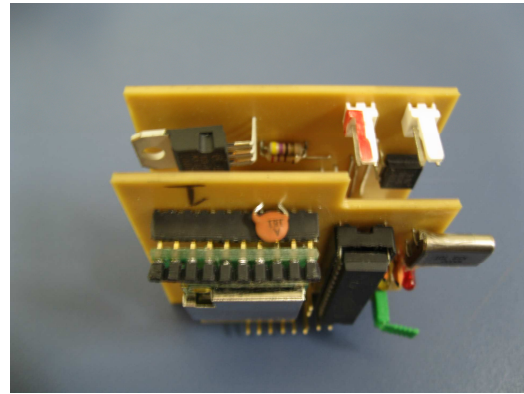


Figura 6 – Eletrônica do robô. Placa feita em duas camadas.

A comunicação é feita por um Transceiver TRW-2.4G da Laipac Technology, composto por 128 canais, com uma taxa de transmissão de 250Kbps ou 1Mbps e CRC. O processamento é efetuado por um microcontrolador PIC16F876 da Microchip e para o acionamento dos motores foi utilizada uma ponte H L298HN. O transceiver recebe serialmente as informações vindas do computador, que representam o sentido e a velocidade desejados para cada motor. O microcontrolador calcula e envia aos motores os valores das velocidades em PWM (*Pulse Width Modulation*), o que permite, através da ponte H, o acionamento dos motores das rodas nos dois sentidos.

Com a finalidade de melhorar o desempenho do robô, foram adicionados apoios esféricos nas extremidades da estrutura, de forma que a região inferior permaneça o máximo de tempo paralelo ao campo (figura 7).



Figura 7 – Esferas de apoio colocadas nas extremidades dos robôs.

Com a utilização do transceiver, é possível obter informações referentes ao estado interno do robô, como por exemplo, estado da bateria e valores de variáveis internas para depuração em tempo real.

### 3 A VISÃO

O sistema de visão é fisicamente composto de uma estrutura de iluminação e uma câmera colocada acima do campo de jogo, a qual é conectada a uma placa de aquisição de imagens. No caso da equipe POTI, foi utilizada a placa PCI 1411 da National Instruments, a qual fornece uma imagem a cada 33 ms.



Figura 8 – Iluminação do campo.

O objetivo deste sistema é capturar imagens do jogo e, através de técnicas de processamento digital de imagens, informar ao módulo da estratégia as localizações de cada robô (tanto os do próprio time quanto os do adversário) e da bola.



Figura 9 – Marcas dos robôs.

A distinção entre os jogadores e a bola em uma partida de futebol de robôs é feita com o auxílio de cores e formas. De acordo com as regras, a superfície do campo é preta, as linhas e o círculo central brancos, a bola da cor laranja e cada jogador devem possuir obrigatoriamente um rótulo azul ou amarelo identificando seu time (figura 9). A equipe, a seu critério, pode decidir acrescentar um rótulo extra a cada robô, com uma cor alternativa, para facilitar o cálculo da orientação dos robôs e/ou diferenciar os jogadores da mesma equipe.

A tarefa do sistema de visão, portanto, pode ser dividida em três fases:

1. Na primeira fase, o sistema deve localizar as regiões coloridas que existem na imagem e calcular a posição central e a etiqueta de cor para cada uma.
2. Uma vez definidas as posições e as etiquetas de cores das regiões, a segunda fase envolve a identificação dos robôs e da bola.
3. Na terceira fase é feita a individualização de cada um dos três robôs da equipe.

#### 3.1 Detecção e Etiquetagem de Cor de Regiões

Para resolver o problema da detecção e etiquetagem das cores, foi proposto um novo modelo de espaço de cores. O modelo, denominado “Hue, Purity and Grayness” (HPG) ou “Matiz, Pureza e Cinzeamento”, parte do princípio que as cores podem ser definidas como sendo uma mistura de cor pura e tom de cinza, definidas pelos parâmetros P e G respectivamente. A cor em questão é definida por a componente H.

As componentes são definidas como a seguir.

Seja  $[R \ G \ B]^T$  as componentes vermelho, verde e azul de um pixel, têm-se que:

$$\begin{aligned} \text{MAX} &\leftarrow \max(R,G,B); \\ \text{MED} &\leftarrow \text{med}(R,G,B); \\ \text{MIN} &\leftarrow \min(R,G,B); \end{aligned}$$

A fórmula do HPG é a seguinte:

$$\begin{bmatrix} \text{MAX} & \text{MED} & \text{MIN} \end{bmatrix}^T = P * \begin{bmatrix} 1 & c & 0 \end{bmatrix}^T + (1 - P) * \begin{bmatrix} G & G & G \end{bmatrix}^T$$

Da equação temos que

$$P = \text{MAX} - \text{MIN}$$

$$G = \text{MIN} / (1 - (\text{MAX} - \text{MIN}))$$

$$c = (\text{MED} - \text{MIN}) / (\text{MAX} - \text{MIN})$$

A componente  $c$  é o valor médio normalizado entre 0 e 1, e é usado no cálculo do H. Porém, percebe-se que essa componente é calculada da mesma forma que o H do modelo HSV. A componente representa uma cor pura disposta em um círculo de cores (figura 10), e pode ser calculada da seguinte forma:

- H =
- INDEFINIDO se MAX = MIN
  - $60^\circ * (G-B) / (MAX - MIN) + 0^\circ$   
se MAX = R e  $G \geq B$
  - $60^\circ * (G-B) / (MAX - MIN) + 360^\circ$   
se MAX = R e  $G < B$
  - $60^\circ * (B-R) / (MAX - MIN) + 120^\circ$   
se MAX = G
  - $60^\circ * (R-G) / (MAX - MIN) + 240^\circ$   
se MAX = B

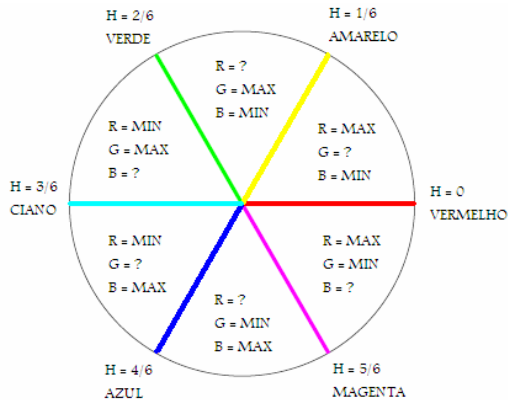


Figura 10 – Círculo de Cores.

Pelo modelo proposto, notam-se duas indeterminações nas componentes que ocorrem dependendo do valor de P. Com P igual a 1, não podemos determinar o valor de G. Com P igual a 0, não podemos determinar o valor de H. Porém, esta indeterminação condiz com a realidade, já que uma cor totalmente pura (P = 1) não possui componentes cinza, e uma cor totalmente não-pura (P = 0) possui somente componentes cinza. Para efeitos computacionais, considera-se que a componente indeterminada contém o valor zero.

São utilizadas faixas de HPG e RGB para cada cor que se deseja filtrar da imagem adquirida pela câmera, de forma que um *pixel* não seja enquadrado em duas cores ao mesmo tempo, não sendo necessário utilizar todos os parâmetros HPG e RGB para determinar uma cor. Nos nossos testes, a componente P era suficiente para diferenciar as cores dos rótulos dos robôs e da bola do restante do campo. Em geral, a componente H nos permite distinguir entre as cores restantes no campo. Caso essa componente não seja suficiente, pode-se tentar um ajuste fino nas componentes restantes. Para determinar as faixas de valores para cada cor desejada, é feito uma calibração offline, utilizando uma imagem adquirida do campo com os robôs e bola antes da partida.

Para cada imagem adquirida pela câmera, faz-se a análise de seus *pixels* a cada N linhas e a cada N colunas. O valor de N é determinado levando-se em conta a dimensão dos objetos, de forma

que se tenha a garantia de que ao menos um *pixel* de cada objeto será incluído na varredura. Caso o *pixel* analisado seja caracterizado como uma cor desejada, usa-se um algoritmo de preenchimento de região (no caso, o algoritmo *Seed Fill* clássico) para encontrar todos os *pixels* vizinhos com a mesma etiqueta de cor; caso seja encontrado um número mínimo de *pixels*, uma nova região terá sido encontrada. O centro da região será a média das coordenadas (x, y) de todos os seus *pixels*.

### 3.2 Detecção dos Objetos

Uma vez definidas as posições e etiquetas de cores das regiões, pode-se determinar a posição dos robôs e da bola (segunda fase do sistema de visão). A bola é uma região de etiqueta laranja e com as dimensões (ou seja, número de *pixels*) apropriadas. A identificação dos robôs depende da rotulação utilizada pela equipe.

Na equipe POTI, são utilizados três rótulos auxiliares, de cores ciano, rosa e verde. Associando esses rótulos com o rótulo da cor do time mais próximo, que pode ser o azul ou o amarelo, pode-se adquirir a orientação dos nossos robôs. A posição dos nossos robôs é calculada a partir da média do rótulo principal e do auxiliar para cada robô. Os robôs adversários são reconhecidos apenas pela cor do rótulo principal, e a sua posição é a posição do centro desse rótulo.

## 4 ESTRATÉGIA

A estratégia desenvolvida baseia-se no conceito de papéis. Determinamos um conjunto pré-definido de papéis, como goleiro, atacante e defensor, e atribuímos de forma estática estes papéis aos jogadores.

O robô definido como goleiro deverá ficar próximo do gol, orientado com a linha de fundo de campo, e tentando se orientar com a posição y da previsão de posição da bola. O robô atacante tentará alinhar com a bola e chutar ou conduzir a bola dependendo da situação, buscando sempre realizar um gol. O robô defensor deverá permanecer a maior parte no campo de defesa, tentando avançar as bolas que vão para o campo de defesa e evitando ao máximo se aproximar do atacante, de forma a não colidir com o mesmo e prejudicar o desempenho do time.

Durante os testes da estratégia, percebeu-se que uma abordagem simplesmente reativa na estratégia limita consideravelmente o desempenho do time em campo. Devido a isso,

optou-se por uma estratégia provida de memória. Dessa maneira, tem-se como saber qual ação o robô estava executando no passo anterior, e assim verificar se é viável mudar ação no momento corrente ou se é melhor continuar a realizar a mesma ação.

## 5 CONTROLE

A partir das referências geradas pelo módulo de estratégia, o controle calcula as tensões a serem enviadas aos motores. A estratégia adotada se baseia em uma modelagem linear dos robôs, o que permite a adoção de técnicas clássicas de controle.

De forma resumida, a abordagem adotada se baseia na separação do controle de posição em dois controladores independentes: um controlador angular e um controlador linear. O controlador angular se preocupa em apontar o robô para a referência desejada, enquanto o controlador linear procura posicioná-lo, ao longo da reta que coincide com sua orientação atual, no ponto mais próximo da referência desejada (figura 11).

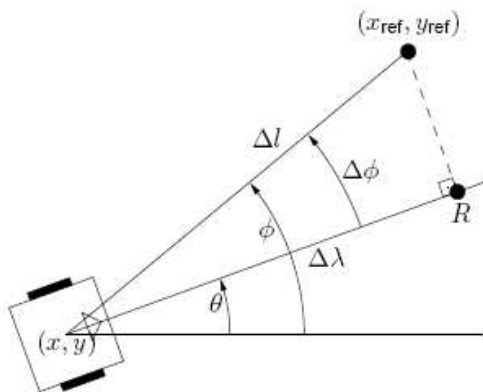


Figura 11 – Controladores linear e angular do robô.

## 6 SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

O sistema é composto por placa com PIC16F870, um conversor USB-RS232 (DLP-USB232M-G) e um Transceiver TRW-2.4G.

O sinal é enviado a placa de transmissão através da porta USB e convertido no protocolo RS232 pelo conversor USB-RS232, em seguida o dado é enviado ao PIC que conforma o sinal e envia o dado de acordo com o exigido pelo transmissor.

São enviados oito bytes por vez, onde o primeiro e último são preâmbulos e os seis bytes restantes são informações de direção e velocidade dos motores de todos os robôs.

Em cada byte de informação é utilizado um bit para direção e sete bits para velocidade (127 velocidades possíveis).

## 7 CONCLUSÃO

As modificações introduzidas na equipe POTI de futebol de robôs busca aprimorar o rendimento do time, contornando alguns problemas existentes, principalmente na questão da estrutura física dos robôs e da variação de iluminação durante o jogo, utilizando o HPG proposto.

Algumas novas propostas apresentadas no artigo não foram plenamente testadas, podendo ocorrer mudanças durante a fase de testes.

## 8 REFERÊNCIAS

- Cerqueira, A. C. T., Lins, F. C. A., Pereira, J. P. P., Medeiros, A. A. D., and Alsina, P. J. (2005). O time POTI de futebol de robôs da UFRN. In *ENRI - Encontro Nacional de Robótica Inteligente*, São Luiz, MA. <http://www.dca.ufrn.br/~adelardo>
- Yamamoto, M. M., Araújo Jr., A. P., Alsina, P. J., and Medeiros, A. A. D. d. (2004). A equipe POTI de futebol de robôs. In *ENRI – Encontro Nacional de Robótica Inteligente*, Salvador, BA. <http://www.dca.ufrn.br/~adelardo>
- Vieira, F. C., Medeiros, A. A. D., Alsina, P. J., and Araújo Jr., A. P. (2004). *Position and orientation control of a two-wheeled differentially driven nonholonomic mobile robot*. In Submitted to ICINCO – International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, Setúbal, Portugal.
- Gonzalez, R. C. and Woodes, R. E. (2000). *Processamento de Imagens Digitais*. Edgard Blucher. ISBN: 8521202644.
- Ogata, K. (2003). *Engenharia de Controle Moderno*. Pearson Brasil, 4a edition. ISBN: 8587918230.