

# O SISTEMA DE VISÃO COMPUTACIONAL DO TIME FUTEPOLI DE FUTEBOL DE ROBÔS.

REINALDO A. C. BIANCHI, ANNA H. REALI-COSTA

*Laboratório de Técnicas Inteligentes, Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais,  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*

*Av. Prof. Luciano Gualberto, Travessa. 3, 158. CEP: 05508-900 São Paulo, SP, BRASIL*

*E-mails: rbianchi@pcs.usp.br, anna@pcs.usp.br*

**Resumo** — Partidas de futebol entre robôs constituem uma atividade que possibilita a realização de experimentos reais para o desenvolvimento e testes de robôs que apresentam comportamento inteligente e que cooperam entre si para a execução de uma tarefa, formando um time. Este artigo descreve o projeto e a implementação do sistema de visão computacional utilizado no time de futebol de robôs FUTEPOLI, que participou da 1ª Copa Brasil de Futebol de Robôs. Para tanto, é apresentado o domínio do Futebol de Robôs, a arquitetura básica do time e o sistema implementado, bem como a descrição dos algoritmos adotados para tratar os problemas específicos do domínio estudado. Como contribuição específica na área de Visão Computacional é apresentado um algoritmo simples e eficiente para a localização e a identificação dos robôs do time, visando uma atuação em tempo real, baseado no rastreamento das cores dos objetos no espaço de cores durante o jogo e no uso de um algoritmo eficiente para localização de centros de objetos circulares. Finalmente, é realizada uma comparação da eficiência do sistema implementado com dois algoritmos clássicos de segmentação de imagens, além da apresentação dos resultados do funcionamento do sistema durante os jogos.

**Abstract** — Soccer games between robots constitutes real experimentation and testing activities for the development of intelligent robots, which cooperate among each one to achieve a goal, originating a team. This paper describes the design and implementation of the computational vision system used by FUTEPOLI robotic soccer team, which took part on the 1st Brazilian Robotic Soccer Championship. In this paper, first is presented the Robotic Soccer domain, then the basic architecture of the team and finally the implemented system, describing the algorithms used to deal with domain specific problems. As a specific contribution in the Computer Vision area a simple and efficient algorithm for the location and identification of the team robots is presented. This algorithm is based on the tracking of the colors of objects in the color space during the game and in the use of an efficient algorithm for location of circular object centers. The efficiency of the proposed system is compared to two classic image segmentation algorithms and finally, results of the system behavior during the games are presented.

**Keywords** — Computer Vision; Robotics; Artificial Intelligence; Autonomous Mobile Robots

## 1 Introdução

Atualmente Inteligência Artificial tem sido apresentada a partir de uma visão integrada (Russell e Norvig, 1995). Isto não só permite que se trate os problemas desta área de pesquisa a partir de diversas abordagens, como é o resultado da compreensão, por parte dos pesquisadores, que IA não deve ser vista como segmentada.

Na área de visão computacional estas mudanças se deram na forma do surgimento de novos paradigmas. Dentro destas novas abordagens, visão não é mais vista como um problema contido em si mesmo, mas sim como um sistema que interage com o ambiente através de percepção e ação. Um exemplo destes paradigmas é o da visão propositada (Aloimonos, 1994), que considera a visão dentro de um contexto de tarefas que um agente deve realizar, retirando dos propósitos do agente as restrições para solucionar o problema de visão.

Seguindo esta tendência, os domínios de aplicação pesquisados também começaram a mudar. Na área dos jogos, clássica em IA, criar programas eficientes para jogos de tabuleiro deixou de ser um objetivo distante: no xadrez os computadores já conseguem vencer os campeões humanos. Novos domínios fizeram-se necessários.

O futebol de robôs foi proposto por diversos pesquisadores (Kitano et al, 1997; Sanderson, 1997) para criar para IA um novo desafio a longo prazo. O desenvolvimento de times de robôs envolve muito

mais que integração de técnicas de IA. Segundo Kraetzchmar et al. (1998), “Dispositivos mecatrônicos, hardware especializado para o controle de sensores e atuadores, teoria de controle, interpretação e fusão sensorial, redes neuronais, computação evolutiva, visão, e sistemas multi-agentes são exemplos de campos envolvidos nesse desafio”.

Este artigo descreve o projeto e implementação do sistema de visão computacional utilizado no time de futebol de robôs FUTEPOLI, que participou da 1ª Copa Brasil de Futebol de Robôs. Para tanto, foram estudados diversos algoritmos clássicos de segmentação de imagens e foi proposto um algoritmo específico para o domínio estudado, baseado em limiares adaptativos. Este algoritmo realiza a localização e a identificação dos robôs do time de maneira rápida e simples, visando uma atuação em tempo real, através do rastreamento das cores dos objetos no espaço de cores durante o jogo e do uso de um algoritmo eficiente para localização de centros de objetos circulares.

Este trabalho é organizado da seguinte maneira: a seção 2 descreve o domínio do futebol de robôs; a seção 3 apresenta uma visão geral da arquitetura do time; a seção 4 descreve o sistema de visão desenvolvido e a seção 5 realiza análises sobre o desempenho do sistema de visão, comparando seus resultados com dois algoritmos clássicos de segmentação de imagens, além da apresentação dos resultados do funcionamento do sistema durante os jogos; finalmente, a seção 6 apresenta conclusões.

## 2 O Domínio do Futebol de Robôs

Partidas de futebol entre robôs constituem uma atividade que possibilita a realização de experimentos reais para o desenvolvimento e testes de robôs que apresentam comportamento inteligente e que cooperam entre si para a execução de uma tarefa, formando um time, além de serem extremamente motivantes para possibilitar o surgimento de um espírito de ciência e tecnologia nas jovens gerações.

A Primeira Copa Brasil de Futebol de Robôs foi realizada na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, entre 23 e 25 de março de 1998, contando com a participação de seis times de universidades e institutos de pesquisas brasileiros.

Fisicamente a plataforma deste projeto é constituída por um campo para o jogo, plano, com as dimensões de 150 x 90 cm e, para cada time, uma câmara de vídeo CCD e respectivo sistema de aquisição de imagens, um computador, sistema de transmissão de dados e 3 robôs. Estes têm as dimensões máximas de 7.5x7.5x7.5 centímetros e, no nosso caso, são compostos por 2 motores controlados por um microprocessador, bateria própria e sistema de comunicação sem fio. A Figura 1 apresenta o esquema básico do sistema. A bola utilizada é padronizada: uma bola de golfe laranja.

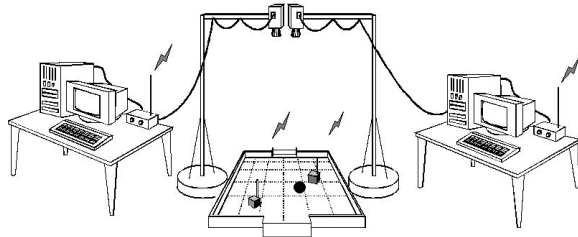


Figura 1 - O esquema básico de um jogo apresentado em FIRA (1998).

O funcionamento de cada time segue uma mesma fórmula básica: cada time realiza a aquisição da imagem através da sua câmera, processa a imagem usando técnicas de Visão Computacional para descobrir a posição de todos os robôs e da bola. Com esta imagem, um sistema de decisão define a melhor tática a aplicar e os movimentos instantâneos de cada robô. Todo este processamento é realizado em um único computador. Com a decisão de movimentação tomada, um sistema comunicação por rádio envia para os robôs uma mensagem com o movimento a ser realizado.

Entre os desafios e problemas a serem estudados, Shen (1998) afirma que “Jogadores Robóticos precisam realizar processos de reconhecimento visuais em tempo real, navegar em um espaço dinâmico, rastrear objetos em movimento, colaborar com outros robôs e ter controle para acertar a bola na direção correta”. Para atingir este objetivo os robôs devem ser autônomos, eficientes, cooperativos, com capacidades de planejamento, raciocínio e aprendi-

zado, além atuarem sob restrições de tempo real. (Veloso et al., 1998 e Tambe, 1998).

## 3 A arquitetura do time FUTEPOLI

O projeto FUTEPOLI envolveu a construção dos robôs, do sistema de comunicação, do sistema de visão, do sistema de controle e das estratégias usadas. A Figura 2 mostra o time em um jogo da 1ª Copa Brasil de Futebol de Robôs.

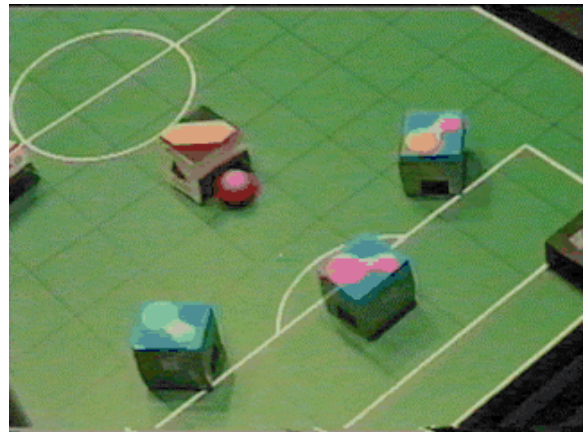


Figura 2 - O time FUTEPOLI em posição defensiva.

O sistema está dividido em quatro módulos principais (Figura 3):

*Sistema de Visão Computacional* - responsável por obter, a partir da imagem adquirida da câmera disposta sobre o campo de jogo, a posição dos robôs e a posição da bola em coordenadas do plano (X,Y). No caso dos robôs do time, o algoritmo de visão determinará também a orientação e identificação do jogador, através do reconhecimento de identificadores coloridos colocados sobre o robô. A realização da identificação de cada robô torna o sistema independente da sequência de resultados do rastreamento dos objetos nas imagens. Assim, um objeto não ser encontrado em uma imagem não afeta o resultado para a imagem seguinte. Além disso, não usar rastreamento elimina problemas como a troca de identificação dos objetos quando estes se encontram ou cruzam suas trajetórias. A construção deste sistema será descrita em maior profundidade na próxima seção;

*Sistema Tático* - utilizando-se das informações fornecidas pelo sistema de visão computacional, um algoritmo de decisão de jogadas é responsável pelas decisões quanto aos objetivos dos movimentos dos robôs: ataque, defesa, etc. Este módulo produz como saída informações instantâneas de velocidade e ângulo desejados para cada um dos jogadores do time. Este algoritmo é implementado como uma máquina de estados simples, um tipo de modelo comportamental, baseado em reflexos pré-estabelecidos de situações x reações. A vantagem do uso da máquina de estados finita está na garantia de cobertura com-

pleta de todas as situações, evitando-se, assim, estados não previstos ou situações de impasse.

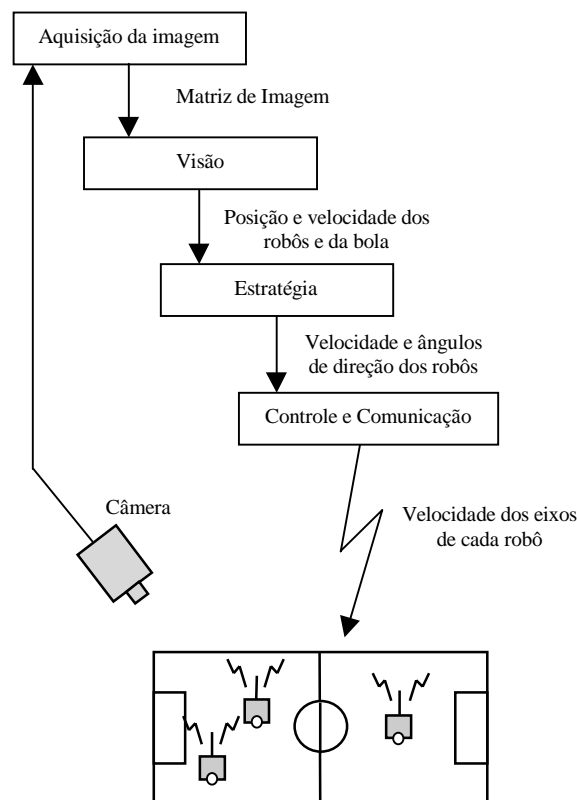


Figura 3 - O esquema de controle básico do time FUTEPOLI.

*Sistema de Comando e Comunicação* - atua diretamente sobre os robôs, enviando informações através de um transmissor de rádio conectado à porta serial do computador, programada para o envio de caracteres a 1200 b.p.s. É responsável pelo cálculo das velocidades dos motores dos robôs a partir das informações de trajetória fornecidas pelo módulo anterior. Produz como saída informação instantânea de velocidade para os motores de cada jogador, traduzida em número de passos do motor;

*Sistema embutido nos robôs* - recebe informação de velocidade através de sinal de rádio, e controla motores de corrente contínua através de tacômetros. O módulo final de controle trata diretamente os sinais de rádio emitidos pelo transmissor conectado ao computador central, controlando os motores de corrente contínua, cuja posição e velocidade de rotação são aferidas por tacômetros ópticos.

O sistema, conforme descrito, apresenta um conjunto de processos, seguindo uma seqüência de controle definida, fechado em um "loop". O tempo de ciclo deste sistema é aproximadamente 33 milissegundos. O sistema foi instalado em um microcomputador padrão IBM-PC Pentium II 266, com o Sistema Operacional Windows NT 3.51 e desenvolvido com a ferramenta Microsoft Visual C++ 4.2.

## 4 O Sistema de Visão Computacional Desenvolvido

Os elementos principais da visão computacional do time FUTEPOLI consiste em:: aquisição da imagem, calibração do sistema, rastreamento das cores dos objetos no espaço de cores e localização dos robôs e da bola na cena.

### 4.1 O sistema de aquisição de imagens

A aquisição da imagem é feita através de uma placa digitalizadora padrão (marca Imaging) e uma câmera de vídeo padrão RGB (marca JVC). As imagens são adquiridas a uma taxa de 30 quadros por segundo e guardadas em uma posição da memória onde pode ser acessada pelo módulo de visão. O tamanho das imagens é de 640 x 480 x 24 bits de cores. Um exemplo de imagem típica trabalhada pode ser vista na figura 4.

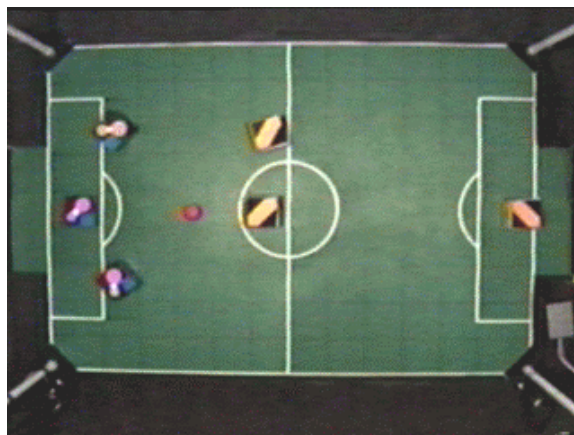


Figura 4 - Uma imagem capturada pelo sistema de aquisição, com vista do campo com a bola e 2 times de 3 robôs.

Vale a pena ressaltar que não foi construído ou adquirido nenhum hardware específico para o tratamento das imagens, sendo que este foi feito integralmente em software.

### 4.2 Calibração

Para que o sistema possa conhecer a posição real dos objetos a partir da imagem capturada é necessário realizar uma calibração do sistema. Para tanto, basta descobrir a localização do campo na imagem, o que é feito com 2 "clicks" de mouse, um no canto superior esquerdo do campo na imagem e outro no canto inferior direito. A calibração das cores é realizada ao início de uma partida, quando o usuário utiliza o mouse para, a partir das imagens capturadas em tempo real, definir as cores que serão utilizadas. Por exemplo, para calibrar a cor da bola o usuário seleciona a ação "calibrar - cor da bola" em um menu e depois clica com o mouse sobre a bola.

### 4.3 Rastreamento no espaço de cores

O maior problema de um sistema de visão computacional para o jogo de futebol de robôs, é que as cores utilizadas na competição não permanecem iguais durante toda uma partida. Por exemplo, a cor da bola muda quando ela se desloca do centro da imagem para a borda, e o mesmo acontece com a cor de qualquer outro objeto. Isto ocorre pois a luminosidade no campo não é homogênea, como pode ser visto na Figura 5, que mostra uma imagem após ter seu histograma equalizado.

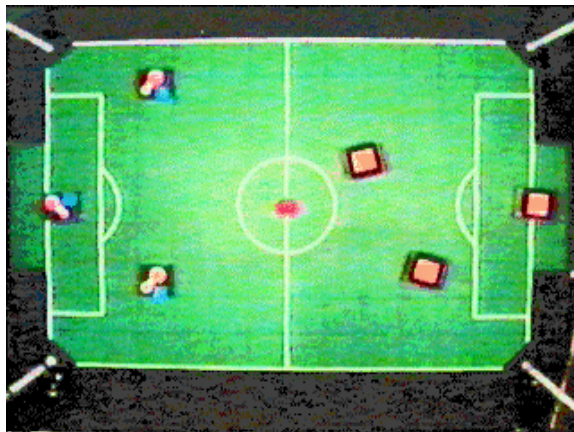


Figura 5 – Imagem com histograma equalizado.

A maioria das técnicas de segmentação baseadas em limiarização estática (definida como aquela cujo limiar não se altera) tentam separar as cores dos objetos criando regiões cúbicas no espaço de cores (com os planos do cubo ortogonais aos eixos). Como pode ser visto na Figura 6, o espaço de cores utilizado durante uma partida não possui regiões linearmente separáveis. Por este motivo, estas técnicas não apresentam bons resultados, perdendo os objetos durante o jogo.

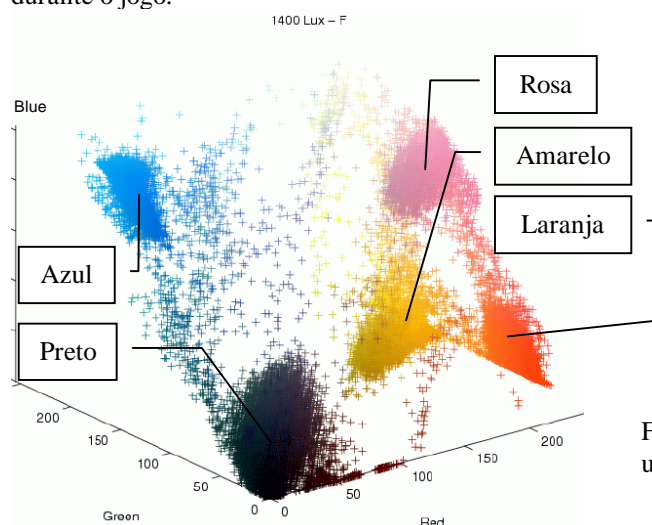


Figura 6 - O Espaço de Cores utilizado pelo Futebol de Robôs (Simões, 2000).

Para solucionar este problema foi proposto um sistema que realiza o rastreamento das cores dos objetos no espaço de cores durante o jogo, visto que ao longo de uma partida completa as cores podem se

misturar, mas em um determinado instante elas são facilmente separáveis. Assim, este sistema inicializa a cor da bola, dos 3 robôs do time e a cor do time adversário durante a calibração e atualiza o valor da cor destes objetos a cada quadro com a média das 3 últimas medidas. Com isto, a todo momento tem-se um valor de cor próximo ao real, o que permite separar cores próximas no espectro e encontrar objetos cuja cor percorre, durante a partida, um caminho no espaço de cores.

### 4.4 Localização dos robôs e da bola

Sabendo a cor de um objeto com precisão, é muito fácil determinar a sua localização durante a partida. Basta realizar uma varredura na imagem à procura da cor desejada, com passos menores que o metade do tamanho do menor objeto. Assim, a cada nova imagem o sistema inicia uma varredura à procura da bola e dos robôs: ao encontrar um ponto com a cor da bola, seu centro é determinado; ao encontrar um ponto da cor de um dos robôs, o sistema inicia uma algoritmo para determinar sua posição e orientação; ao encontrar um ponto da cor do time opo- nente, ele encontra o centro deste objeto.

Para calcular a posição da bola foi implementa- do um algoritmo simples e eficiente: a partir do ponto inicialmente encontrado ( $P_{ini}$ ) com a cor dese- jada, trace uma reta horizontal e encontre o ponto de cruzamento desta reta com as bordas do círculo ( $P_1$  e  $P_2$ ). O ponto médio desta reta ( $P_{cx}$ ) define a posição x do centro do círculo. Trace outra reta a partir do ponto médio encontrado, na vertical, e encontre as bordas do círculo ( $P_3$  e  $P_4$ ). O ponto médio desta segunda reta é o centro do círculo ( $P_{central}$ ). A Figura 7 ilustra este algoritmo.

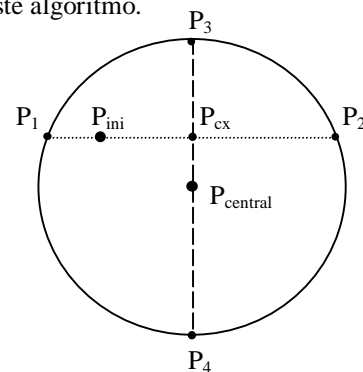


Figura 7 – Cálculo do centro da bola.

Para identificar e localizar os robôs do time FUTEPOLI cada robô possui em sua parte superior uma identificação colorida, mostrada na Figura 8.

Como pode ser visto, esta identificação é com- posta por dois círculos de tamanhos e cores diferen- tes ligados por um retângulo de cor preta. Cada robô do time é identificado pela combinação das cores dos seus círculos. A cor de fundo é a cor identificadora do time. Foi utilizado um sistema de identificação baseado em cores por ser mais simples e rápido que um baseada em formas.



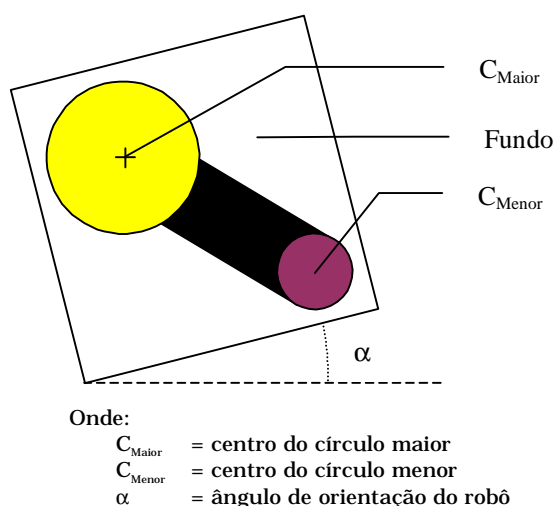


Figura 8 – Identificação dos robôs do time FUTEPOLI.

Para encontrar a posição e orientação de um robô utilizamos o seguinte algoritmo:

1. Encontre o centro do círculo maior (Figura 7).
2. Procure o círculo menor, que está a uma distância conhecida do círculo maior: andando com passos de  $\frac{1}{2}$  do diâmetro do círculo menor, encontra-se um ponto da cor do círculo menor.
3. Usando o mesmo algoritmo, encontra-se o centro do círculo.
4. Considerando a distância entre os centros dos círculos maiores e menores nos robôs, definir pares como pertencentes a um único robô.
5. Caso haja mais de uma combinação possível entre pares (círculo maior, círculo menor), verifique se existe a conexão (cor preta) entre eles, definindo um par para cada robô do time.
6. Trace a reta entre os 2 centros: O seu ponto médio é o centro do robô e sua inclinação, a orientação do robô.

A cor do retângulo entre os 2 círculos é utilizada para se verificar se os dois círculos que foram encontrados pertencem ao mesmo robô. Isto é necessário pois ocorrem configurações durante a partida onde dois robôs ficam encostados e na qual, sem esta verificação, pode-se identificar o círculo maior de um robô com o círculo menor de outro como sendo um único robô, que teria posição e orientação calculadas de maneira errônea.

## 5 Análise do desempenho do sistema proposto

Segundo Ballard e Brown (1982), existem duas maneiras básicas de realizar a segmentação de uma imagem:

- A análise baseada em similaridades das regiões da imagem: regiões são definidas normalmente como áreas 2D conectadas,

sem superposição (um pixel só pode fazer parte de uma única região).

- A análise baseada em descontinuidades na imagem: utiliza variações bruscas nos valores de intensidade dos pixels para particionar uma imagem.

Para avaliar o desempenho do sistema do time FUTEPOLI, foram utilizados dois algoritmos que implementam estas abordagens diferentes para segmentação de imagens.

O primeiro é um algoritmo de rotulação de regiões em uma imagem do tipo *Blob Coloring*, descrito em Ballard e Brown (1982), com adaptação para imagens coloridas. Este algoritmo trabalha em 3 etapas: primeiro rotula uma região; depois agrupa regiões segundo cor e proximidade em objetos; finalmente objetos desconhecidos (como sombras nos cantos da imagem) são retirados. Ele é capaz de segmentar áreas tão pequenas como um único pixel, sendo que no domínio estudado os objetos têm em média 50 pixels.

O segundo algoritmo utilizado é do tipo *chain code* baseado no descrito em (Rillo, 1989). Dada uma imagem, este algoritmo inicialmente filtra a imagem utilizando um limiar de cor, gerando uma imagem binária. Depois, encontra os contornos da imagem filtrada, utilizando um operador de Robert para encontrar as descontinuidades. A partir da imagem de descontinuidades, este algoritmo encontra todas as regiões da imagem que possuem um contorno fechado. Ele gera uma lista com a área, o tamanho do contorno mínimo (*chain size*), a posição do centro de área para todas as regiões fechadas da imagem. Ainda, ele verifica se cada região possui uma forma circular ou não, utilizando a razão entre a área e o contorno calculado. O resultado deste algoritmo aplicado à área onde se encontra a bola é mostrado na figura 9.

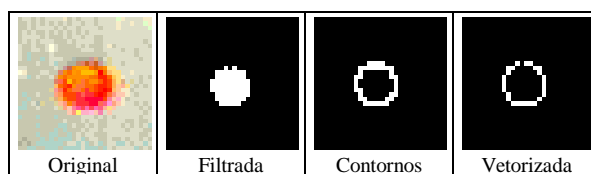


Figura 9 - Segmentação de uma imagem com o *Chain-Code* na procura da bola.

A Tabela 1 apresenta os resultados da performance dos três sistemas atuando em laboratório, com o hardware já especificado. Podemos notar que o sistema usado no time FUTEPOLI é extremamente mais eficiente que os métodos tradicionais, na implementação realizada.

| Método               | Tempo (em milisegundos) |
|----------------------|-------------------------|
| <i>Blob-Coloring</i> | 4 480                   |
| <i>Chain-Code</i>    | 1 170                   |
| <i>FUTEPOLI</i>      | < 33                    |

Tabela 1 – Comparação de eficiência dos sistemas implementados

Em relação à qualidade dos resultados, o método *Blob-Coloring* não apresentou bons resultados, pois encontrou regiões que não representam objetos conhecidos. Já o *Chain-Code* encontra a bola com boa precisão, mas não apresentou bons resultados na procura de objetos de diversas cores. O método usado pelo time FUTEPOLI não deixou de encontrar um objeto, durante todos os jogos, desde que as mudanças de iluminação no campo fossem suaves.

## 6 Conclusão

A avaliação do time FUTEPOLI durante a 1ª Copa Brasil de Futebol de Robôs permitiu concluir que o sistema de visão computacional utilizado possui as seguintes características:

- Facilidade de calibração: o FUTEPOLI foi um dos poucos times que sempre conseguia realizar a calibração no tempo estabelecido pelo regulamento.
- Robustez: o sistema foi robusto às mudanças de luminosidade, desde que não fossem bruscas. Ainda, o sistema foi capaz de separar cores que outros times não faziam distinção, por exemplo, rosa e laranja.
- Velocidade: o sistema de visão foi capaz de trabalhar em tempo real, permitindo uma atualização da localização dos objetos a uma taxa de 30 quadros por segundo.
- Confiabilidade: por realizar a identificação dos robôs e não utilizar rastreamento, o sistema tornou-se independente dos resultados anteriores. Assim, não localizar um objeto em uma imagem não afeta o resultado para a imagem seguinte. Além disso, a não utilização de rastreamento eliminou problemas como a troca de identificação dos objetos quando estes se encontravam ou cruzavam trajetórias.

A comparação da eficiência do sistema implementado com dois algoritmos clássicos de segmentação de imagens mostrou que o sistema desenvolvido apresenta melhores resultados devido a sua simplicidade.

Um dos problemas desta abordagem é que o crescimento do número de robôs em um time causa dificuldades na discriminação das cores que os identificam.

Os trabalhos futuros incluem: a implementação do sistema em plataforma Linux, que resolveria problemas de comunicação com os robôs e aumentaria o desempenho, a utilização de paralelismo em partes do sistema – toda implementação realizada neste trabalho é sequencial – e a utilização de redes neurais para a classificação de cores e localização dos objetos na cena.

## Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a participação de todos que direta ou indiretamente ajudaram no projeto e desenvolvimento deste time: Felipe Pait, Guido Stolfi, Jaime Sichman, Márcio Rillo, Tsen Chung Kang, Renê Pegoraro, Marcelo Franchin, Humberto Ferasoli, Bruno Basseto, João Kogler Jr., Renato Mikio Nakagomi, Fernando Goulart, Guido Chagas, Júlio Monteiro e Ricardo Teixeira.

Trabalho parcialmente financiado pela Escola Politécnica da USP, pelo Departamento de Engenharia da Computação e Sistemas Digitais da Escola Politécnica e pela FINEP, através do projeto RECOPE – Rede de Automação Industrial.

## Referências Bibliográficas

- Aloimonos, Y. (1994). What I have learned. *CVGIP: Image Understanding*, v.60, n.1, pp.74-85.
- Ballard, D. e Brown, C. (1982). *Computer Vision*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
- Federation of International Robot-Soccer Association (1998). *The rules of MiroSot*. <http://www.fira.net/fira/98fira/rules.html>.
- Kitano, H. et al. (1997). RoboCup: A Challenge Problem for AI. *AI Magazine*, v. 18, n. 1, pp. 73-85.
- Kraetzschmar, G. et al. (1998). The ULM Sparrows: Research into Sensorimotor Integration, Agency, Learning, and Multiagent Cooperation. In: ROBOCUP WORKSHOP, 2, Paris, 1998. *Proceedings*. FIRA, 1998. pp. 459- 465
- Rillo, A.H.R.C. (1989). *Sistema de Visão Binária com Reconhecimento de Peças Parcialmente Oclusas*. São Bernardo do Campo, Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Industrial.
- Russell, S. e Norvig, P. (1995) *Artificial Intelligence: a Modern Approach*. New Jersey, Prentice Hall.
- Sanderson, A. (1997). Micro-Robot World Cup Soccer Tournament (MiroSot). *IEEE Robotics and Automation Magazine*, p.15, December 1997.
- Simões, A. (2000). *Segmentação de imagens por classificação de cores: uma abordagem neural*. São Paulo, Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- Shen, W. et al. (1998). Integrated Reactive Soccer Agents. In: ROBOCUP WORKSHOP, 2, Paris, 1998. *Proceedings*. FIRA, 1998, pp. 251-264.
- Tambe, M. (1998). Implementing Agent Teams in Dynamic Multi-Agent Environments. *Applied Artificial Intelligence*, v.12, March 1998.
- Veloso, M., Stone, P. e Han, K. (1998). The CMUnited-97 Robotic Soccer Team: Perception and Multiagent Control. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTONOMOUS AGENTS, 2, Minneapolis, 1998. *Proceedings*. AAAI, 1998.