

DESENVOLVIMENTO DE ROBÔ HUMANÓIDE AUTÔNOMO DE BAIXO CUSTO

JACKSON P. MATSUURA, ESTHER L. COLOMBINE, ALEXANDRE DA S. SIMÕES

*Programa de Pós Graduação em Engenharia Eletrônica e Computação
Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA)
Pça Mal-do-Ar Eduardo Gomes, 50
São José dos Campos – SP – Brasil CEP: 12228-900*

*Laboratório de Automação e Processamento de Imagens
Universidade do Estado de São Paulo (UNESP)
Avenida Três de Março, 511
Sorocaba – SP - Brasil CEP:18087-180*

E-mails: jackson@ita.br, esther@ita.br, assimoes@sorocaba.unesp.br

Abstract— Although most people imagine the robots in the humanoid form, most robots under development and research does not resemble the human form. This is due mainly for two issues. The first issue is the difficulty associated with the equilibrium of the humanoid robots and with their programming. The second issue is the high cost commonly associated with the development of humanoid robots. This work describes how to develop an autonomous humanoid from a low cost humanoid robot kit. The humanoid robot became capable of performing a penalty kick autonomously. The robot is still under development and will receive more sensors and a new processor, but the results with the addition of a camera were enough to qualify the robot for the RoboCup World Championship.

Keywords— Humanoid Robot, Autonomous Robots, Low cost robot.

Resumo— Apesar do imaginário coletivo vislumbrar os robôs na forma humanóide a grande maioria dos robôs sendo desenvolvidos e pesquisados não lembram a forma humana. Isso se deve principalmente a dois fatores. O primeiro é a dificuldade associada ao equilíbrio dos robôs humanóides e conseqüentemente a toda sua programação. O segundo é o alto custo normalmente associado ao desenvolvimento de robôs humanóides. Este artigo descreve como, a partir de um kit humanóide de baixo custo, desenvolver um robô humanóide autônomo capaz de efetuar a cobrança de um pênalti de maneira autônoma. O robô ainda está sendo aprimorado para agir de maneira ainda mais autônoma e receberá mais sensores e um novo processador, mas os resultados obtidos apenas com a adição de uma câmera já foram suficientes para classificar o robô para o mundial da RoboCup.

Palavras-chave— Robôs Humanóides, Robôs Autônomos, Robôs de baixo custo.

1 – Introdução

Os robôs autônomos já são uma realidade e a cada dia mais e mais robôs invadem nossos lares e ambientes de trabalho para realizar vários tipos de tarefas. Em alguns anos os robôs autônomos serão tão comuns quanto os computadores pessoais.

Apesar do imaginário comum vislumbrar os robôs autônomos na forma antropomórfica, ou seja, com aparência que lembra a dos seres humanos, mais corriqueiramente denominados de humanóides, a grande maioria dos robôs autônomos não lembra a forma de um ser humano. Isso se deve principalmente à dificuldade de determinar um caminhar bípede eficiente, que é diferente para cada modelo específico de robô humanóide e aos custos para o desenvolvimento de um robô humanóide autônomo.

A RoboCup (The RoboCup Federation, 2007) é uma iniciativa internacional para incentivar as pesquisas com robôs móveis autônomos, em particular com robôs humanóides. O objetivo da RoboCup é desenvolver até o ano de 2050 uma equipe de robôs

humanóides autônomos capaz de vencer a equipe campeã mundial em um jogo de futebol.

Entre as atividades da RoboCup para incentivar as pesquisas em robótica autônoma cooperativa está o Campeonato Mundial RoboCup, com várias ligas e sub-ligas de competições de robótica móvel autônoma cooperativa. Uma dessas ligas é justamente a de futebol humanóide (Robocup, 2006), onde duplas de robôs humanóides devem se enfrentar em uma partida de futebol com regras simplificadas.

Algumas equipes projetam e constroem seus próprios robôs humanóides para participar da liga Humanóide da RoboCup (Faconti et. al., 2006; Behnke et. al., 2006; Santos et. al. 2006), outras modificam robôs humanóides não autônomos, adicionando sensores e às vezes atuadores a robôs comerciais. Essas alternativas, no entanto são normalmente custosas e as adaptações não tem se demonstrado muito eficientes.

Esse trabalho apresenta uma alternativa de baixo custo para viabilizar pesquisas com robôs humanóides autônomos. Nela um kit comercial de robô humanóide não autônomo (acionado por controle remoto) é melhorado para agir de maneira autônoma com componentes de baixo custo. O custo total do robô humanóide autônomo fica abaixo de US\$2.000,00 e

seu desempenho foi suficiente para classificá-lo para a competição de robôs autônomos mais importante do mundo, o Campeonato Mundial da RoboCup.

Na seção 2 é descrito o kit ROBONOVA-I, na seção 3 é descrito de forma sucinta o funcionamento da câmera utilizada para dar percepção do ambiente ao ROBONOVA, na seção 4 é descrito como o robô usa a informação proveniente da câmera para andar até uma bola e posicionar-se para chutá-la. Na seção 5 são apresentados os resultados obtidos com o ROBONOVA melhorado e na seção 6 são apresentadas as conclusões e o trabalho ainda em andamento.

2- O Kit ROBONOVA-I

Como base para o robô humanóide autônomo foi escolhido o Kit ROBONOVA-I da Hitec Robotics (Hitec Robotics, 2006). O custo do Kit com o robô desmontado é de US\$900,00. O ROBONOVA-I, mostrado na Figura 1, é formado por 16 servos da Hitachi HSR-8498HB1, HSR-8498HB2 e HSR-8498HB3. Estes servos são responsáveis pela movimentação dos pés, dos joelhos, pernas, ombros, cotovelo, braços e a pélvis.



Figura 1. ROBONOVA-I

A diferença entre os servos consiste apenas na posição dos parafusos de fixação e no comprimento de seus cabos de conexão, adequados à posição específica de cada servo na montagem do robô. A Tabela 1 apresenta as especificações dos servos.

Tabela 1. Especificações dos servos do Rononova-I

Dimensão	40x20x47mm
Tensão	6V
Velocidade máxima	5,2 rad/s
Torque	0,98 Nm
Peso	55g

Todos os servos são conectados a uma placa de controle MR-C3024, instalada nas costas do robô,

esta placa é mostrada na Figura 2. O ROBONOVA-I pode ser controlado por um conector serial diretamente de um PC ou através de um controle remoto infravermelho.

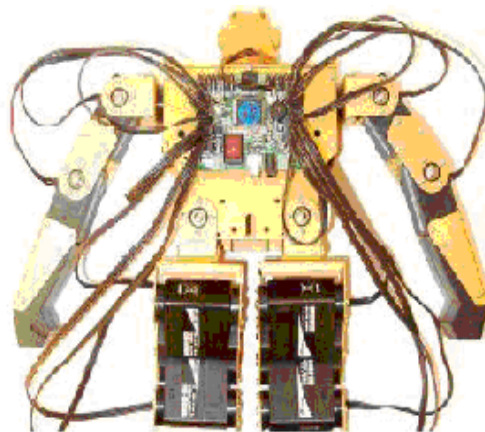


Figura 2 . Vista da placa controladora.

A programação do ROBONOVA-I é desenvolvida através de um programa que vem com o robô que utiliza uma linguagem derivada do Basic, o RoboBasic. O programa é passado para o robô através da interface serial e normalmente é acionado através do uso do controle remoto infravermelho.

A única percepção do mundo que o robô tem é essa comunicação infravermelho com o controle remoto, desse modo o ROBONOVA-I não está apto a agir de maneira autônoma.

O MR-C3024 possui, além da interface para o controle dos servos (consegue gerenciar até 24 servos), entradas e saídas para LCD e entradas para até 8 sinais analógicos, o que torna possível a adição de sensores e a comunicação com outros dispositivos. A Figura 3 mostra em detalhes o MR-C3024 e a Figura 4 seu diagrama.

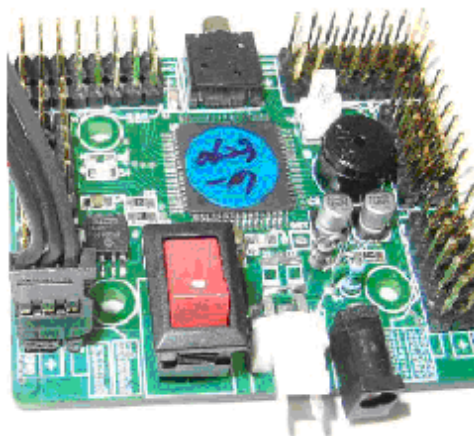


Figura 3. Detalhes da placa controladora.

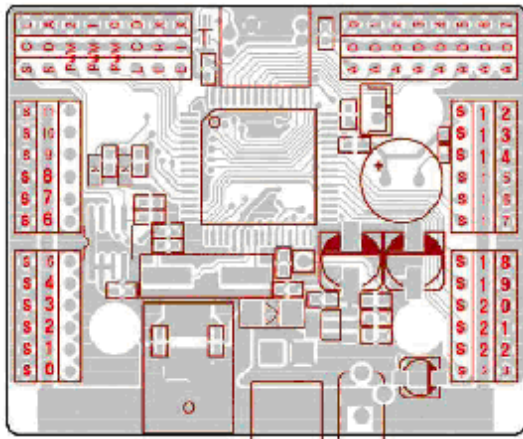


Figura 4. Diagrama da MR-C3024.

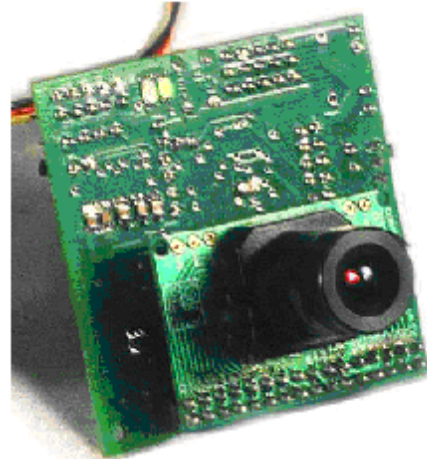


Figura 6. Detalhe da CMUCam2

3 – Componentes Adicionais

Para conferir ao ROBONOVA-I um certo grau de autonomia em suas decisões e movimentos é necessário dar-lhe a capacidade de perceber o mundo a sua volta. Para tanto foi escolhida inicialmente a câmera especialmente desenvolvida para aplicações robóticas CMUCam2 (Carnegie Mellon University,2006) , mostrada na Figura 5 já montada no ROBONOVA-I e na Figura 6 em detalhes, seu sistema é composto por uma câmera OV6620 ou OV7620 Omnivision CMOS (Omnivision,2006), integrado ao microcontrolador SX52 (Ubicom,2006).

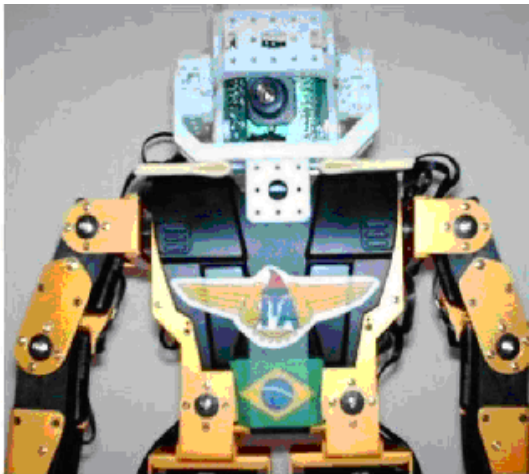


Figura 5. A CMUCam2 instalada no ROBONOVA-I

A CMUCam2 é capaz de controlar diretamente até cinco servos e também de se comunicar com outros dispositivos, na Figura 7 é mostrado um diagrama de algumas opções de entrada e saída da CMUCam2.

A CMUCam2 é dotada de um modo de rastreamento de cores que retorna o centróide de uma determinada cor. Basta definir valores máximos e mínimos para cada um dos três canais de cores (RGB) e o próprio hardware da CMUCam2 processa a imagem retornando o centróide da cor especificada.

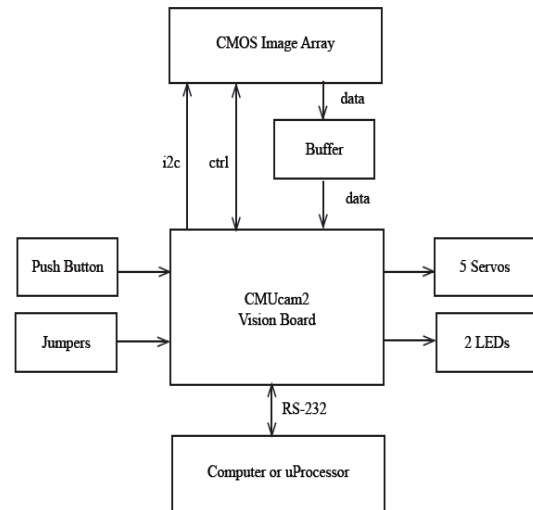


Figura 7. Dispositivos que podem ser acoplados na CMUCam2.

A CMUCam2 pode ser configurada também para controlar diretamente dois servomecanismos para rastrear um objeto de uma determinada cor. É essa capacidade que foi utilizada inicialmente para dar autonomia ao ROBONOVA.

A Figura 8 mostra um exemplo do rastreamento da cor vermelha, que nesse caso é a cor de uma bola. A CMUCam2 varre todos os pixels da imagem capturada armazenando os que contêm os valores dos três canais de cor entre os valores máximos e mínimos especificados, determinando assim quais pixels contêm a cor a ser rastreada. Em seguida os valores médios dos pixels com a cor são calculados e a câmera tem então o centróide da cor específica. Caso apenas um objeto possua essa cor na imagem o valor retornado pela câmera estará próximo ao centro do objeto.



Figura 8. Rastreamento da cor vermelha, realizado pela CMUCam2 (Carnegie Mellon University, 2006)

Apesar do rastreamento de cores não ser muito útil em aplicações reais, onde não é possível garantir que diferentes objetos tenham cores diferentes e mutuamente exclusivas, em várias aplicações robóticas um padrão de cores é adotado para simplificar as tarefas a serem realizadas por robôs autônomos. Esse é o caso também da RoboCup, onde robôs humanóides autônomos devem jogar futebol em um ambiente onde todas as marcações do campo e a bola tem cores pré-definidas e mutuamente exclusivas. A figura 9 apresenta a visão da câmera montada em um robô humanóide em um típico campo da RoboCup Humanoid League.



Figura 9. Visão de uma câmera acoplada na cabeça de um robô (Sven et al, 2006).

4 –Processando a Informação e Tomando as Decisões

Para o controle do robô humanóide autônomo foi definida uma arquitetura genérica de duas camadas que facilita tanto a implementação quanto a reuti-

lização de algoritmos de decisão e controle dos servos propriamente dito.

A camada de controle tem as ações do robô pré-programadas, como dar um passo para frente, dar um passo para o lado, virar para a direita. A camada de controle é responsável apenas por executar os movimentos do robô.

A camada de decisão por sua vez é responsável por processar as informações do meio ambiente, nesse caso específico as informações provenientes da CMUCam2, e decidir qual ação o robô deve executar para cumprir sua tarefa.

A figura 10 apresenta um diagrama de blocos dessa arquitetura. A grande vantagem dessa abordagem é que o algoritmo de decisão e a execução das ações podem ser desenvolvidas de maneira independente. Além disso, o algoritmo de decisão pode ser facilmente transportado de um robô humanóide para outro. Aprimoramentos tanto no algoritmo de controle quanto no algoritmo de decisão também pode ser efetuados de maneira independente, permitindo uma melhoria constante no desempenho do robô.

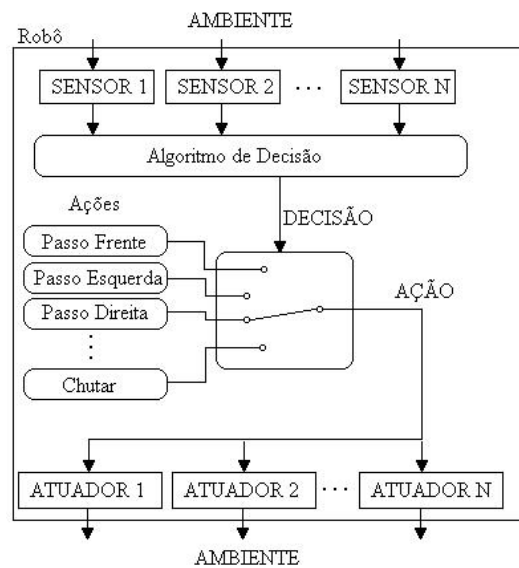


Figura 10. Diagrama de controle.

Para os testes iniciais e para participar das eliminatórias para o Mundial 2007 da RoboCup foram definidas 8 possíveis ações:

- Passo para Frente
- Passo para a Esquerda
- Passo para a Direita
- Olhar para Baixo
- Passo Pequeno para Frente
- Passo Pequeno para a Esquerda
- Passo Pequeno para Direita
- Chutar Bola com Pé Direito

O Algoritmo de Decisão usa a informação do centróide da cor vermelha para definir qual ação deve ser executada pelo robô. Primeiro o robô deve se

alinhadas com a bola vermelha, executando passos para direita e esquerda até que o centróide da cor vermelha esteja próximo ao centro da imagem. Em seguida o robô deve executar passos para frente até que o centróide da cor vermelha esteja próximo ao limite inferior da visão da câmera. Nesse momento o robô estará alinhado com a bola e próximo à ela, não tendo uma visão muito boa da mesma.

O robô deve executar então a ação de olhar para baixo, como ilustrado na figura 11. Inclinando a câmera para frente, desse modo poderá localizar objetos próximos a seus pés. Nesse instante o algoritmo de decisão já calcula quantos passos pequenos para o lado e quantos passos pequenos para frente o robô deve executar para se posicionar próximo à bola. O algoritmo de decisão comanda as ações em seqüência, finalizando com a ação de Chutar a Bola.

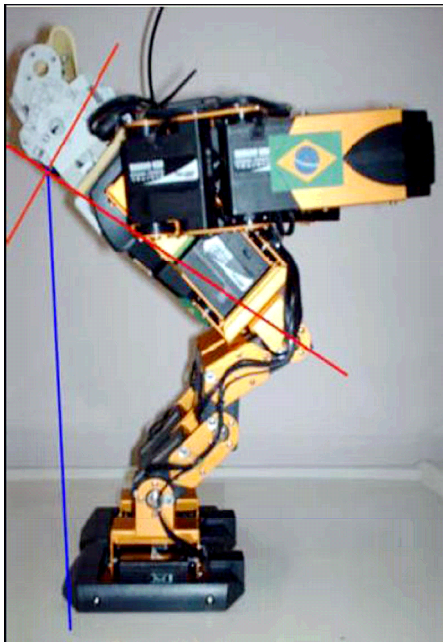


Figura 11. Vendo objetos perto.

As ações executadas pelo algoritmo de controle foram definidas empiricamente tendo com base ações de exemplo que já vieram programadas no ROBO NOVA.

5 – Resultados

O ROBO NOVA com a câmera CMUCam2 e o algoritmo de duas camadas foi utilizado para efetuar a cobrança de um pênalti, como parte do processo de classificação para o Mundial 2007 da RoboCup.

Para se classificar para o mundial, o robô humanoide precisa demonstrar capacidade de localizar a bola, ir até a bola e chutar a mesma, não importando a direção do chute.

A adição da câmera na cabeça do ROBO NOVA fez com que as ações de exemplo que acompanham o robô ficassem instáveis. Em particular as ações de passos para o lado faziam com que o robô pendulasse bastante e acabasse caindo devido à elevação de seu centro de massa. Essas ações foram então programadas novamente mantendo-se o robô o mais estável possível. As ações de passos Pequenos foram totalmente desenvolvidas e a ação de Chutar foi completamente remodelada.

Os valores da posição do centróide da bola para a definição das decisões foram também definidas empiricamente.

Após ajustados o controle das ações e os valores do centróide para a tomada de decisões o ROBO NOVA foi testado várias vezes, sendo capaz de chutar a bola em mais de 90% dos testes. Nas vezes em que o robô não foi capaz de chutar a bola, o erro na execução dos movimentos relativos aos passos pequenos fez com ele ficasse afastado demais da bola para conseguir chutá-la.

A figura 12 apresenta uma seqüência de imagens do robô efetuando a cobrança de um pênalti. Essa seqüência de imagens foi extraída do vídeo enviado para a RoboCup para a qualificação para o Mundial e foi considerado aprovado.



Figura 8. ROBO NOVA cobrando um pênalti.

Na seqüência de imagens o robô efetua dois passos para a direita para se alinhar com a bola, depois dá três passos para frente e inclina-se para melhorar seu campo de visão. Ele efetua então dois passos pequenos para a direita e mais um para frente e finalmente executa a ação de chute.

6 – Conclusão e Trabalhos Futuros

O trabalho inicial para transformar um robô rádio controlado em um robô autônomo capaz de perceber o ambiente a sua volta e reagir adequadamente a esse ambiente foi relatado nesse trabalho. O desafio inicial foi tornar o robô capaz de efetuar a cobrança de um pênalti, visando a classificação para o mundial 2007 da RoboCup.

O custo do kit robótico mais a CMUCam2 foi de menos de US\$1.100,00, mas para tornar o robô ainda mais autônomo e capaz de jogar uma partida de futebol e não apenas de bater um pênalti é necessária a adição de mais sensores e de um processador novo.

Já foi adquirido um novo processador e serão adicionados ao ROBONOVA sensores de toque e giroscópios. A utilização de uma segunda câmera também está sendo estudada. O Custo final do robô humanoíde autônomo deve ficar abaixo dos US\$2.000,00.

Serão ainda criadas mais ações como andar em diagonal, levanta-se, correr, entre outros. Esses novos movimentos e os já existentes serão ainda aprimorados com algoritmos de aprendizagem, principalmente aprendizagem por reforço (Sutton, 1984) ao invés de empiricamente.

O algoritmo de tomada de decisão também será aprimorado, adicionando-se a ele a capacidade de estimar velocidades dos objetos em cena, por exemplo com o uso de filtro de partículas (Dellaert et. al., 1999) e antecipar ações de robôs adversários. Outro desenvolvimento muito importante será fazer com que dois robôs atuem de maneira cooperativa e não competitiva.

Além de ser possível classificar o ROBONOVA para o mundial da RoboCup com pequenas modificações ele ainda serve como plataforma de pesquisa onde inúmeras técnicas de inteligência artificial e robótica móvel podem ser aplicadas.

Técnicas avançadas de controle inteligente também podem ser estudadas para garantir estabilidade aos movimentos do robô.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e a Universidade do Estado de São Paulo (UNESP) pelo apoio dado durante a realização desse trabalho. O primeiro autor agradece ainda à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP.

REFERÊNCIAS

Behnke, S. et al. NimbRo KidSize 2006 Team Description. In Proceedings of the RoboCup 2006 Symposium CDROM, TDP, 2006.

Carnegie Mellon University. CMUCam vision sensor user guide. <http://www.cs.cmu.edu/cmcam2/downloads.html>, 2006.

Faconti, D. et al. Technical description: Pal Technology. In Proceedings of the RoboCup 2006 Symposium CDROM, TDP, 2006.

Dellaert, F et. al. Monte Carlo localization for mobile robots. In Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation, 1999.

Hitec Robotics. ROBONOVA-I: 16 servo edutainment robot box kit instruction manual. <http://www.hitecrobotics.com>, 2006.

Omnivision. Omnivision cameras. <http://www.ovt.com>, 2006.

RoboCup. Humanoid league 2006. <http://www.humanoidsoccer.org/index.html>, 2006.

Santos, V. et al. RoboCup 2006 Humanoid League: UA Team Description. In Proceedings of the RoboCup 2006 Symposium CDROM, TDP, 2006.

Sutton, R.S. Temporal Credit Assignment in Reinforcement Learning. PhD thesis, University of Massachusetts, 1984.

Sven et al. NimbRo KidSize 2006 Team Description, 2006

The RoboCup Federation. <http://www.robocup.org>, 2007.

Ubicom. SX52 microcontroller. <http://www.ubicom.com/products/sx/sx.html>, 2006.