

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE CAPTURA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS PARA ROBÔS AUTÔNOMOS

Nícolas Carnizello Accarini ¹; Wânderson de Oliveira Assis ²; Alessandra Dutra Coelho ²

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM-CEUN-IMT);

² Professor(a) da Escola de Engenharia Mauá (EEM-CEUN-IMT).

Resumo. *Este projeto propõe o desenvolvimento de um sistema embarcado para captura e processamento de imagens que seja capaz de fazer a identificação de marcos naturais pela cor. A proposta inclui o desenvolvimento de um protótipo que será aplicado na definição das ações que devem ser realizadas por um robô humanóide autônomo. O resultado da identificação pela cor é também informado para o usuário utilizando comunicação por rádio freqüência, utilizando módulos com tecnologia ZigBee, por meio dos quais os dados podem ser transmitidos para um computador.*

Introdução

Sistemas de visão computacional baseados em técnicas de processamento de imagem vêm sendo utilizadas em uma grande diversidade de aplicações na indústria e na sociedade (Gonzales e Woods, 2000). Podemos citar, por exemplo, em aplicações de identificação de objetos ou imagens humanas (Fernandes e Gomes, 2002), reconstrução 3D de cenas reais e no controle e automação de processos de manufatura ou sistemas industriais (Denis e Assis, 2007). Em sistemas embarcados em veículos aéreos não tripulados bem como na robótica autônoma (Rowe et al., 2002), a utilização de sistemas de visão computacional permite desenvolver aplicações como o mapeamento de regiões e detecção de obstáculos (Crawford e Downing, 2004) (Martins et al., 2006), o controle de incêndios florestais, o monitoramento ambiental, a inspeção em sistemas de segurança (Reineri, e Ribeiro, 2005), ou mesmo a participação em competições estudantis de robótica (Assis et al., 2007).

Dentro deste contexto, este projeto de pesquisa consiste na elaboração de um sistema de captura e processamento de imagens e, também, na automação da resposta dada pelo robô. Para tal será utilizado um sistema de captação de imagem simples e barato, aplicável a um sistema embarcado, onde a câmera encontra-se “embarcada”, ou seja, instalada em um robô móvel (*embedded system*). No robô humanóide escolhido deve ser introduzido um sistema eletrônico programável que permita a interação com o sistema de captura. O sistema de automação embarcado deve, além disso, permitir a interação com o meio a partir do processamento das imagens de forma a controlar o movimento do robô.

Sistema de Captura de Imagens

O sistema de captura e processamento de imagens deve possuir as seguintes características: a) uma câmera colorida com uma resolução suficiente para o reconhecimento de objetos tanto pela forma quanto pela cor; b) um processador capaz de capturar a imagem da câmera e fazer o reconhecimento dos objetos; c) um meio de transmissão do sistema de captura para o robô autônomo de forma rápida e eficiente.

O sistema escolhido foi a CMUcam2 ilustrada na Figura 1 devido ao seu baixo custo, por já possuir toda a estrutura projetada e também a forma de comunicação utilizando o padrão RS-232 ou TTL, presente na maioria dos microcontroladores existentes no mercado, portanto facilitando a elaboração da placa de controle do robô (Rowe et al., 2002).

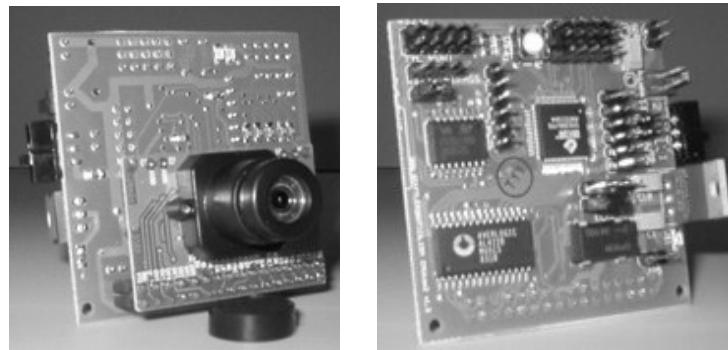


Figura 1 – CMUcam2
 a) Vista frontal da CMUcam2, com câmera
 b) Vista posterior da CMUcam2.

As principais características presentes na CMUcam2 são:

- programável utilizando microcontrolador SX52;
- inclui câmera OV6620;
- apresenta resoluções de 88x143 e 176x255;
- conexão serial RS232 ou TTL com taxa de transferência de 1.200 bps a 115.200 bps;
- alimentação: 6 a 15V, 200 mA;
- suporta o controle de até 5 servomotores.

O diagrama esquemático da placa CMUcam2 é apresentado na Figura 2.

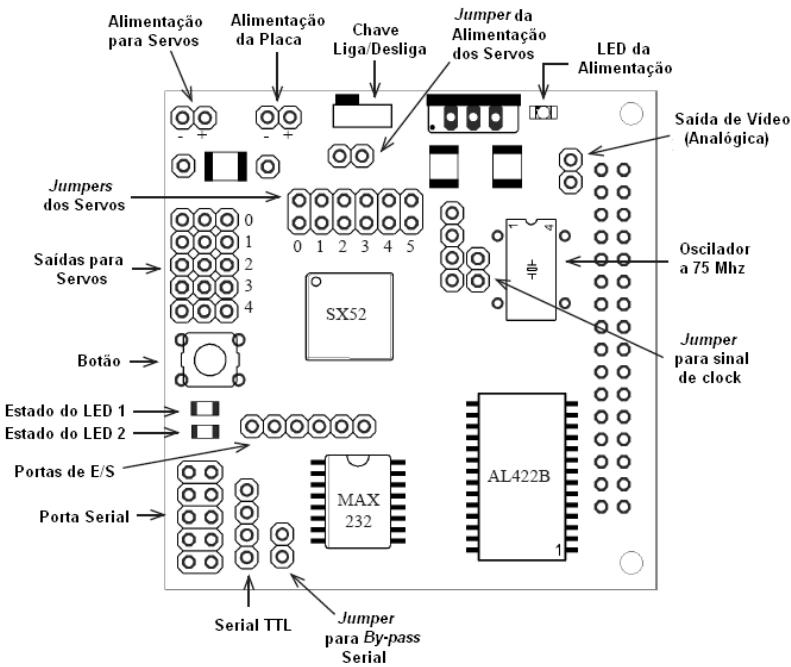


Figura 2 – Diagrama esquemático da placa de controle da CMUcam2

A câmera, situada na placa menor, utiliza-se da lente para capturar a imagem e digitalizá-la, enviando-a, através de um barramento de 32 bits ao controlador.

O controle da CMUcam2 é efetuado por comandos próprios enviados serialmente através do padrão TTL e as respostas são enviadas da mesma forma. A resposta pode ser

referente às coordenadas de um quadrado contendo o objeto e o valor do centro de gravidade (centróide) determinado para o objeto localizado. Outra opção é a transmissão da imagem capturada, porém com uma velocidade inferior devido à grande massa de dados a ser transmitida. Nesse caso, dados referentes aos valores de R, G e B de cada pixel existente na imagem são transmitidos. Pelo padrão RGB, as cores produzidas em cada pixel da imagem são resultantes da combinação entre as cores vermelho (R), verde (G) e azul (B), cada uma delas representadas por variável com valor de 0 a 255.

Para a fixação da CMUCam2 ao corpo do Robonova-I foi necessário o projeto e usinagem de um suporte. Utilizando-se o software SolidWorks® foi efetuado o desenho do suporte conforme ilustrado nas Figuras 3 e 4. A Figura 5 ilustra a visão tridimensional do desenho do suporte desenvolvido.

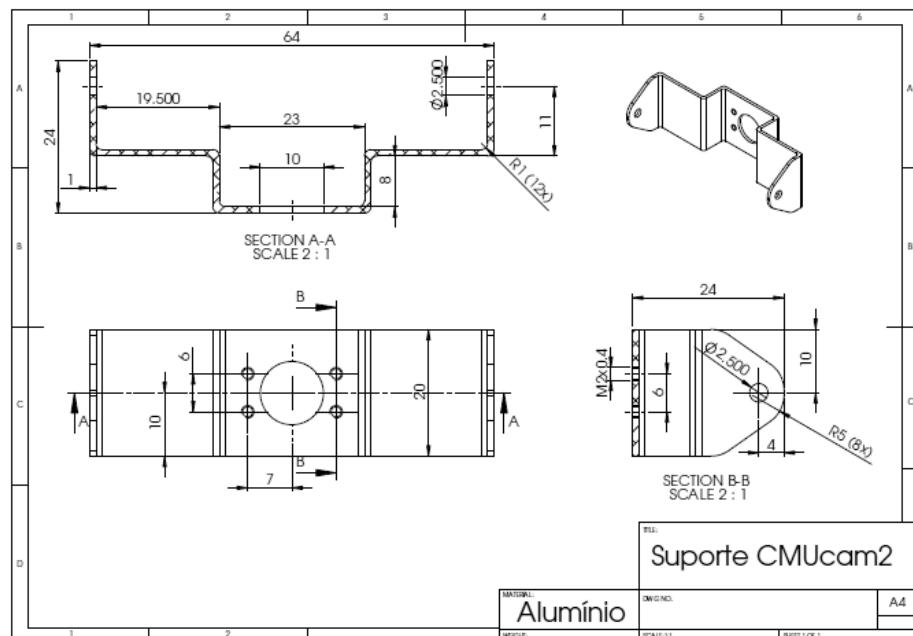


Figura 3 – Desenho do suporte da CMUCam2

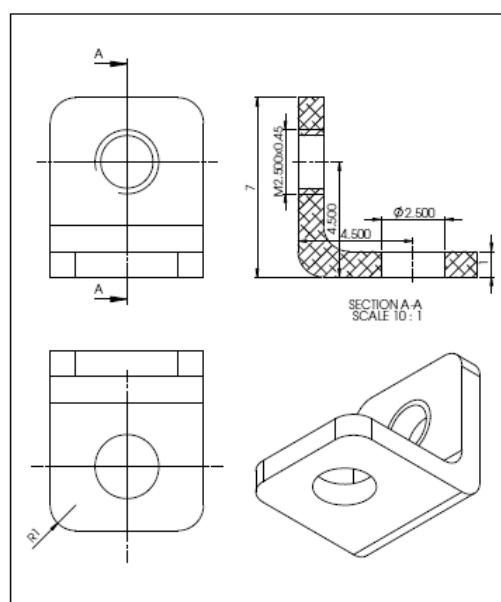


Figura 4 – Abas de fixação do suporte da CMUCam2

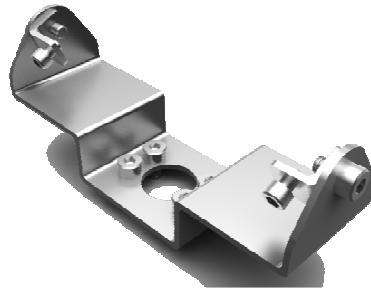


Figura 5 – Visão 3D do suporte da CMUcam2

Robô Humanóide

O robô humanóide utilizado é o modelo Robonova-I, ilustrado na Figura 6, produzido pela HiTec, e que apresenta estrutura construída com 16 servomotores e sistema eletrônico com placa de controle MRC-3024 (Figura 7).



Figura 6 – Robonova I

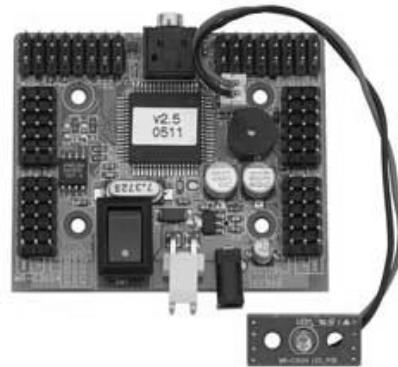


Figura 7 – Placa de controle MR-C3024

As principais características do Robonova-I são:

- 16 servomotores utilizados para a movimentação (porém a placa de controle permite o controle de até 24 servomotores);
- 24 portas de entrada/saída digitais;
- comunicação serial RS-232 para a programação do mesmo e TTL para a comunicação com outros sistemas embarcados;

- alimentação constituída de *pack* de bateria com 5 células de 6 V com carga de até 1000 mAh podendo ser recarregada conectada à placa, ligando a essa o recarregador próprio para tal finalidade (Figura 8).



Figura 8 – Bateria e recarregador

Estas características são importantes pois garantem a comunicação entre o Robonova-I e a CMUCam2 através do padrão TTL.

A programação do Robonova-I pode ser feita através de um programa proprietário da HiTec, o ROBOBASIC utilizando uma variante bastante simplificada da linguagem de programação Basic, porém com funções específicas no controle do Robonova-I que podem ser encontradas no manual do mesmo (Rowe, 2003). Conectando o robô a um computador pela porta serial RS-232 é possível escrever o código do programa, compilá-lo e gravá-lo na memória do robô.

Sistema Embarcado

No desenvolvimento do sistema embarcado foram definidas duas etapas:

- desenvolvimento do sistema embarcado para a captura de imagens;
- desenvolvimento do sistema de identificação baseado no processamento de imagens.

A primeira etapa consiste basicamente na integração entre CMUCam2 ao Robonova-I e na troca de informações entre eles. Nesta etapa a integração foi desenvolvida por meio de um programa elaborado na linguagem própria do Robonova-I de forma a permitir a detecção de um objeto escolhido pela cor. Foi utilizada uma esfera de cor laranja (bola de golfe) sendo a detecção bem sucedida. Para fazer a identificação os parâmetros associados à cor foram enviados para a CMU-CAM. Após o recebimento destas informações, a CMU-CAM envia, para o humanóide, comandos relativos às coordenadas de localização do objeto na imagem capturada. O reconhecimento pelo robô humanóide é sinalizado através de uma movimentação característica programada, ou seja, o robô executa um procedimento padronizado, como por exemplo, levantamento da mão-direita seguido da emissão de um alerta sonoro indicando o reconhecimento do objeto.

Apesar do sucesso no reconhecimento do objeto em algumas situações nas quais o robô demorava mais tempo para encontrar o objeto, observou-se um comportamento inadequado, com o surgimento de movimentos involutários, não previamente programados, exigindo sua reinicialização para o correto funcionamento. Para tentar solucionar o problema a programação foi totalmente refeita e vários testes foram efetuados. Concluiu-se que, certas vezes, com a adição de apenas uma linha de programação com comandos básicos que não comprometiam o funcionamento do robô, como por exemplo, um alerta sonoro emitido em uma situação aleatória do processamento, acarretava em diversos erros, incluindo o não reconhecimento do objeto mesmo quando este estava presente à sua frente.

Inúmeras tentativas de solução do problema foram implementadas incluindo a reprogramação do microcontrolador Atmel ATMEGA 128 8bit RISC, presente na placa de

controle do robô, através de utilitários como WinAVR e PonyProg, programas de código aberto que permitem respectivamente a elaboração de programas utilizando a linguagem C e a gravação no microcontrolador. Foram também efetuados testes com o programa CodeVisionAVR, programa proprietário, porém utilizado em sua versão de avaliação distribuída gratuitamente, que permite tanto a elaboração da programação em C quanto sua gravação. Todavia nenhum dos programas citados obteve sucesso na reprogramação do microcontrolador, pois a placa de controle MR-C3024 é comercial e, portanto, não possui esquemas elétricos nem tão pouco utilitários para a reprogramação da mesma.

Esta situação reforçou a necessidade de elaboração de uma nova placa de controle para o Robonova-I, sendo esta a solução encontrada e proposta na segunda etapa do projeto. A nova placa desenvolvida utiliza novos microcontroladores e incorpora as seguintes vantagens:

- solução versátil e de baixo custo devido ao projeto ser criado desde o início utilizando componentes facilmente disponibilizados no mercado;
- utilização da linguagem de programação C, extremamente poderosa, permitindo uma otimização do projeto e também a possibilidade da criação de novas funções para o robô;
- fácil reprogramação *in-circuit*;
- proposta com fácil expansibilidade pois disponibiliza o acesso aos pinos do microcontrolador permitindo a inclusão futura de vários dispositivos adicionais tais como sensores, atuadores, módulos de comunicação, etc..

O microcontrolador escolhido foi o dsPIC33FJ64GP706-I/PT de 16 bits da Microchip® devido à possibilidade de sua programação em C utilizando os programas fornecidos gratuitamente pela Microchip® e também pela sua disponibilidade no almoxarifado junto com o kit de desenvolvimento McBoard dsPIC1.0 (33FJ64) da LabTools®.

Comunicação Sem Fio

O módulo escolhido para a comunicação sem fio entre o robô humanoíde e o microcomputador é o módulo com tecnologia ZigBee® (Figura 9) que utiliza o padrão IEEE 802.15.4 e opera na faixa de frequência de 2,4 Ghz, sendo esta a mesma utilizada no padrão Bluetooth®, sendo porém incompatíveis entre si.



Figura 9 – Módulo XBee com padrão IEEE 802.15.4

As principais características deste módulo, que justificam a escolha do mesmo estão a seguir compiladas:

- baixíssimo consumo de energia, permitindo longa duração da bateria;
- permite diferentes formas de conexão, como por exemplo: ponto-a-ponto e por rede *mesh*;
- permite a interconexão de até 65000 módulos;
- pode-se utilizar criptografia a 128-bit no padrão AES (*Advanced Encryption Standard*), garantindo a segurança dos dados transmitidos.

Em vista destes fatores este módulo foi escolhido por também permitir uma comunicação tida como transparente, ou seja, os elementos interconectados pelos módulos não precisam de nenhuma exigência em sua programação. Esta praticidade permite que a

programação da saída serial do microcontrolador seja a mesma feita tanto para a comunicação sem fio quanto para com fio, restando aos módulos todo o processamento necessário para a troca de dados, geração de protocolo de comunicação e criptografia.

Desenvolvimento do Novo Sistema Embarcado

O desenvolvimento do novo sistema embarcado foi dividido nas seguintes etapas, descritas posteriormente:

- desenvolvimento da programação do microcontrolador;
- realização de testes utilizando-se o kit de desenvolvimento;
- desenvolvimento da placa de circuito impresso do novo sistema.

Programação

A programação do microcontrolador foi realizada utilizando-se a linguagem de programação C e como ferramenta de desenvolvimento o MPLAB IDE, da Microchip®. Para a realização das tarefas propostas fez-se necessário a criação de funções geradoras de sinal PWM, comunicação serial entre CMUcam2 e microcontrolador e entre módulo X-Bee e microcontrolador.

Os servomotores utilizados no Robonova-I, como descritos anteriormente, necessitam de um sinal PWM com período variável (dependendo do ângulo requisitado). Os períodos que devem ser ajustados para definir o posicionamento angular dos servomotores são mostrados na Figura 10.

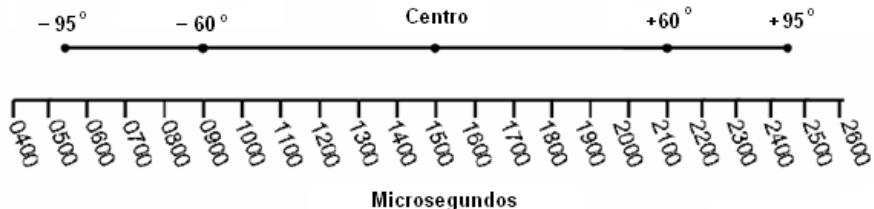


Figura 10 – Períodos necessários para o controle do servomotor

Portanto para se posicionar o servomotor na posição central é necessário aplicar um pulso com duração de 1500 μ s. A largura de pulso pode ser calculada pela seguinte equação:

$$\text{Largura de Pulso} = \text{Ângulo [graus]} * 10 + 1500$$

Entretanto este pulso precisa ser enviado intermitentemente ao servomotor com uma taxa de atualização de 12 ms para a posição desejada ser mantida.

A função criada gera pulsos independentes e simultâneos para N motores (sendo N=16 para o Robonova-I) a partir da entrada de um vetor com os ângulos desejados (em graus) de cada servomotor e reenvia automaticamente a cada 12 ms com o último valor de ângulo fornecido.

Para a comunicação tanto com a CMUcam2 quanto com o módulo com tecnologia ZigBee foram utilizados as duas conexões seriais (UART1 e UART2, respectivamente) existentes no microcontrolador. A função gerada envia uma *string* com os comandos para a câmera e recebe os valores emitidos pela mesma. Na comunicação com o X-Bee, o princípio de funcionamento é semelhante ao da comunicação com a câmera.

Realização dos Testes

Com as funções criadas, é necessária a verificação do resultado das mesmas na prática, isto é, utilizando-se o kit de desenvolvimento para monitorá-las. O kit possui as conexões seriais fornecidas pelo microcontrolador convertidas para o padrão RS-232 e, portanto, foi possível realizar a ligação com a CMUCam2 (UART1) e com o módulo de comunicação sem fio (UART2), sendo este último formado por dois módulos Zig-Bee, um conectado ao kit e o outro conectado ao PC e a monitoração feita pelo utilitário Telnet do próprio Windows XP.

Todos os testes entre os módulos ZigBee foram bem sucedidos, tornando todo o protocolo de comunicação sem-fio utilizada por ele transparente ao microcontrolador, portanto a programação feita pode ser utilizada tanto para conexões com e sem fio sem a necessidade da modificação do código.

Os testes envolvendo a comunicação entre a CMUcam2 e o microcontrolador também foram bem sucedidos. Como teste, foi criado um programa que envia todos os comandos necessários para a configuração da mesma, isto é, valores RGB da cor escolhida e outros comandos exigidos para o correto funcionamento. Após configurá-la o programa recebe os dados da câmera e os exibe na tela do utilitário Telnet, para o monitoramento, e caso o objeto da cor programada fosse encontrado uma mensagem é exibida na tela. Ao aproximar o objeto da câmera, este é reconhecido e a mensagem programada em caso de sucesso na busca é exibida. Portanto a comunicação com a CMUcam2 foi efetuada com sucesso.

Desenvolvimento da Placa de Circuito Impresso

Outro fator importante para a conclusão do projeto é a elaboração da placa de circuito impresso do sistema embarcado, pois o kit de desenvolvimento utilizado não permite a conexão dos 16 servomotores para controlá-los. A placa elaborada deve possuir as mesmas dimensões da placa original presente no Robonova-I, devido às limitações de espaço dentro do robô. As dimensões resultantes são de 50mm x 60 mm com 4 furos com diâmetro de 3,0 mm para sua fixação.

Os programas utilizados no projeto foram o Multisim® onde se desenvolveu o circuito esquemático da aplicação e o Ultiboard®, utilizado para a confecção do *layout* da placa de circuito impresso para prototipagem, sendo ambos os softwares da National Instruments® e disponíveis nos computadores dos laboratórios da instituição.

Partes dos esquemas do kit de desenvolvimento e da placa do microcontrolador específico (“bandeira”) foram utilizados para a elaboração do circuito da nova placa. A visualização 3D da placa e o circuito, realizados pelo Ultiboard®, podem ser vistos nas Figuras 11 e 12.

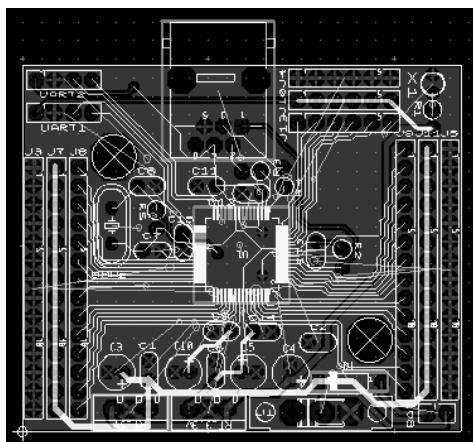


Figura 11 – Placa de circuito impresso

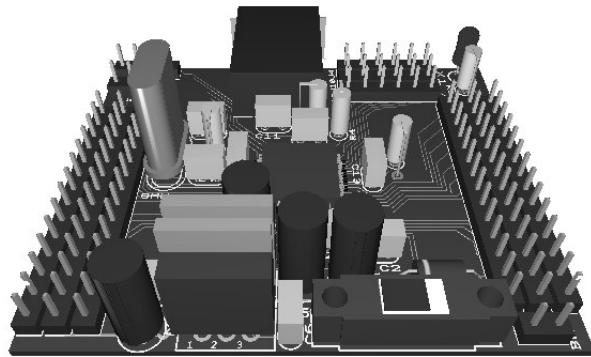


Figura 12 – Visualização 3D da placa de circuito impresso

Conclusões

A proposta de desenvolvimento de sistema embarcado para captura e processamento de imagens destinado a aplicação em um robô humanóide autônomo foi concluída com sucesso. As imagens obtidas não são armazenadas em memória, mas são processadas *on-line* no robô humanóide. Para isto, o protótipo desenvolvido permite a comunicação entre o sistema de captura (CMUcam2) e o microcontrolador utilizado no sistema embarcado. A programação elaborada foi capaz de reconhecer as respostas enviadas pela câmera indicando tanto a presença quanto a ausência do objeto; a partir destes dados definiu-se a ação desejada, definida de forma autônoma no robô.

A comunicação sem fio entre o sistema embarcado criado e o microcomputador através do módulo com tecnologia ZigBee® pôde ser estabelecida, exibindo no utilitário Telnet todos os dados recebidos pelo sistema embarcado e também as ações tomadas. Nos testes quando o objeto era encontrado uma mensagem de sucesso era enviada e recebida no microcomputador.

O microcontrolador escolhido possui disponibilidade apenas em encapsulamento tipo SMD (*Surface Mount Device*). Esta opção é vantajosa pois resulta numa placa com reduzidas dimensões. Contudo, para a elaboração da placa de circuito impresso tornou-se necessário requisitar a fabricação da mesma por alguma empresa especializada, a partir do *layout* da placa desenvolvida. A adoção deste procedimento resulta numa placa com acabamento profissional, mas com custo de fabricação relativamente alto, principalmente se o número de unidades a serem produzidas for reduzido.

Todos os objetivos propostos foram alcançados, porém apenas em ambiente de testes. Para a completa conclusão do projeto seria necessário aguardar a entrega da placa de circuito impresso desenvolvida para o sistema embarcado de forma a permitir a realização da integração de todos os elementos. Esta etapa será efetuada em um futuro trabalho de continuidade.

Referências Bibliográficas

- Assis, W. O.; Genova, W. J.; Gomes, M. M.; Coelho, A. D. (2007) Aplicação de Tecnologias de Controle de Processos Contínuos e Processamento de Imagens no Futebol de Robôs. *Anais do SBAI 2007 – Simpósio Brasileiro de Automação Inteligentes*, Florianópolis, SC, Brasil.
- Crawford, B. G.; Downing, D. R. (2004) Design and Evaluation of a Autonomous, Obstacle Avoiding, Flight Control System Using Simulated Visual Sensors. *Proceedings of AIAA 2nd Unmanned Unlimited Technical Conference*, Chicago, Illinois, USA.

- Denis, C.; Assis, W. O. (2007) Seleção de Tomates para Processamento Industrial por Meio de Redes Neurais Aplicadas em Sistema de Visão Computacional. *Anais do VIII Congresso Brasileiro de Redes Neurais*, Florianópolis, SC, Brasil.
- Fernandes, L. A.; Gomes, P. C. R. (2002) Remoção do Fundo da Cena e Identificação da Silhueta Humana para a Captura Óptica de Movimento. *Anais do IX SEMINCO - Seminário de Computação*, Blumenau, SC, Brasil, pp. 77-82.
- Gonzales, R. C.; Woods, R. E. (2000) Processamento de Imagens Digitais. Edgard Blücher Ltda.
- Martins, M. P.; Medeiros, F. L. L.; Monteiro, M. V.; Shiguemori, E. H.; Ferreira, L. C. A.; Domiciano, M. A. P. (2006) Navegação Aérea Autônoma por Imagens. *Anais do VIII Simpósio de Guerra Eletrônica*, São José dos Campos, SP, Brasil.
- Reineri, S.; Ribeiro, C. H. C. (2005) Implementação e Análise de Algoritmos de Tempo Real para Detecção de Bordas em Navegação Utilizando Robô Móvel de Vigilância. *Anais do XI ENCITA – Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA*, São José dos Campos, SP, Brasil.
- Rowe, A.; Rosenberg, C.; Nourbakhsh, I. (2002) A Low Cost Embedded Color Vision System. *Proceedings of IROS 2002 – IEEE / RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Switzerland, September / October, 2002.
- Rowe, A. (2003) ROBONOVA I – 16 Servo Edutainment Robot Box Kit – Instruction Manual. Edited by Charles Rosenberg and Illah Nourbakhsh, Carnegie Mellon University.