

JEMS: WTICG 2005: Home (Elyson Carvalho) - Mozilla Firefox

Arquivo Editar Exibir Histórico Favoritos Ferramentas Ajuda

https://submissoes.sbc.org.br/home.cgi?c=135

MercadoLivre Brasil - deh 3050 - Onde c... Gmail - Resultados da pesquisa - elyson... JEMS: WTICG 2005: Home (Elyso...

WTICG 2005 (WTICG 2005)

You are logged in as Elyson Carvalho and can edit your profile. [profile](#)

Paper registration closed for all tracks in this conference.

Track name	Submit from	Register by	Submit by
(no name)	Mar 14, 2005 (BRT)	10:00 - Mar 16, 2005 (BRT)	10:00 - Mar 14, 2005 (BRT)
IC	Jan 15, 2005 (BRST)	23:55 - Mar 16, 2005 (BRT)	23:55 - Feb 04, 2005 (BRST)
Monografia	Jan 15, 2005 (BRST)	23:55 - Mar 16, 2005 (BRT)	23:55 - Feb 04, 2005 (BRST)
Ferramenta	Jan 15, 2005 (BRST)	23:55 - Mar 16, 2005 (BRT)	23:55 - Feb 04, 2005 (BRST)
(no name)	Mar 15, 2005 (BRT)	17:00 - Mar 15, 2005 (BRT)	17:00 - Mar 15, 2005 (BRT)

Papers Authored

# (Edit)	Conference / Track	Authors	Title (link to paper)	Status	Files
7959	WTICG 2005 / IC	Elyson Carvalho, Bruno Costa, Danilo Silva, Marcelli Santana, Eduardo Freire	Navegação de Robôs Móveis por Fusão de Sinais de Controle e Realimentação Visual		Paper manuscript 0.2 MB

Legend: pending (no manuscript uploaded) active (under review) withdrawn rejected accepted

JEMS portal WTICG 2005 Logout

[Conference chair] [Conference administrator]

A service of Maintained by

Concluído

submissoes.sbc.org.br

Iniciar

JEMS: WTICG 2005: ...

12:55

Iniciação Científica

NAVEGAÇÃO DE ROBÔS MÓVEIS POR FUSÃO DE SINAIS DE CONTROLE E REALIMENTAÇÃO VISUAL

Bruno B. Costa^{1,2}, Danilo D. Silva^{1,2}, Elyson A. N. Carvalho^{1,2}, Marcelli J. da C. Santana^{1,2}, Eduardo O. Freire^{1,2}

¹Grupo de Pesquisa em Inteligência Artificial do Curso de Engenharia Elétrica

²Departamento de Física

Universidade Federal de Sergipe – Cidade Universitária “Professor Aloisio de Campos”, Av. Marechal Rondon, S/N, Jardim Rosa Else, São Cristovão – SE, 49100-000.

dddsilva@hotmail.com, efreire@fisica.ufs.br, elyson@emsergipe.com, marcelli_jcs@yahoo.com.br

Resumo: *Esse artigo visa descrever o desenvolvimento, implementação e teste de um robô móvel e de um sistema de controle para o mesmo. Um pequeno robô móvel a rodas movido a tração diferencial por motores DC foi construído. O robô é controlado por um microcontrolador 68HC11 e pode receber comandos de um computador pessoal. Um sistema de visão computacional utiliza uma câmera para capturar imagens do ambiente de operação do robô. Tais imagens são processadas por este sistema, que envia os dados extraídos para o sistema de controle do robô. Este, por sua vez, é composto por um controlador de evitar obstáculos e um controlador de posição final. As saídas dos controladores passam por um processo de fusão e o resultado é enviado para o robô.*

Palavras-Chave: *Robôs Móveis, Sistema de Controle, Realimentação Visual.*

Abstract: *This article aims to describe the development and the implementation of a mobile robot and a control system for it. A little mobile robot moved by differential traction was built. This robot is controlled by a microcontroller M68HC11 and it's able to receive commands from a personal computer. The images from the robot's environment are captured by a webcam for posterior use of the system. Such images are processed by the visual system, that sends the extracted data to the robot's control system which, in turns, is composed by an obstacle avoiding controller and a final position controller. The controller's outputs get into a fusion process and the result is sent to the robot.*

Keywords: *Mobile Robots; Control System; Visual feedback.*

NAVEGAÇÃO DE ROBÔS MÓVEIS POR FUSÃO DE SINAIS DE CONTROLE E REALIMENTAÇÃO VISUAL

Bruno B. Costa^{1,2}, Danilo D. Silva^{1,2}, Elyson A. N. Carvalho^{1,2}, Marcelli J. da C. Santana^{1,2},
Eduardo O. Freire^{1,2}

¹Grupo de Pesquisa em Inteligência Artificial do Curso de Engenharia Elétrica

²Departamento de Física

Universidade Federal de Sergipe – Cidade Universitária “Professor Aloisio de Campos”, Av. Marechal Rondon, S/N, Jardim Rosa Else, São Cristovão – SE, 49100-000.

dddasilva@hotmail.com, efreire@fisica.ufs.br, elyson@emsergipe.com,
marcelli_jcs@yahoo.com.br

Resumo: *Esse artigo visa descrever o desenvolvimento, implementação e teste de um robô móvel e de um sistema de controle para o mesmo. Um pequeno robô móvel a rodas movido a tração diferencial por motores DC foi construído. O robô é controlado por um microcontrolador 68HC11 e pode receber comandos de um computador pessoal. Um sistema de visão computacional utiliza uma câmera para capturar imagens do ambiente de operação do robô. Tais imagens são processadas por este sistema, que envia os dados extraídos para o sistema de controle do robô. Este, por sua vez, é composto por um controlador de evitar obstáculos e um controlador de posição final. As saídas dos controladores passam por um processo de fusão e o resultado é enviado para o robô.*

Palavras-Chave: *Robôs Móveis, Sistema de Controle, Realimentação Visual.*

Abstract: *This article aims to describe the development and the implementation of a mobile robot and a control system for it. A little mobile robot moved by differential traction was built. This robot is controlled by a microcontroller M68HC11 and it's able to receive commands from a personal computer. The images from the robot's environment are captured by a webcam for posterior use of the system. Such images are processed by the visual system, that sends the extracted data to the robot's control system which, in turns, is composed by an obstacle avoiding controller and a final position controller. The controller's outputs get into a fusion process and the result is sent to the robot.*

Keywords: *Mobile Robots; Control System; Visual feedback.*

1. Introdução

Atualmente observamos que a robótica se torna cada vez mais importante e mais presente no cotidiano da sociedade; vemos robôs manipuladores sendo muito utilizados na indústria e também já começam a serem utilizados para realização de operações cirúrgicas em seres humanos; vemos robôs móveis sendo utilizados em situações de risco para o homem, como, por exemplo, desarmar bombas, e em locais de difícil acesso ao homem, como no fundo do mar ou na exploração de outros planetas. Além dessas, existem várias outras possíveis aplicações para os robôs, por isso nota-se um crescente interesse na realização de pesquisas na área de robótica.

Dentro da robótica, um dos focos de pesquisa consiste no desenvolvimento de melhores sistemas de navegação para o controle de robôs móveis. Como não estão presos

num único local de operação, tais robôs são potencialmente mais úteis do que os atuais robôs manipuladores utilizados na indústria. No entanto, para que as suas potencialidades possam ser aproveitadas, os robôs móveis necessitam de sistemas de sensoriamento e controle muito mais complexos do que os robôs manipuladores.

O sistema de navegação descrito neste artigo permite que o robô aqui apresentado navegue de forma segura e eficiente em ambientes fechados e planos, semelhantes aos encontrados em escritórios e residências.

Como mostrado na figura 1, o sistema de navegação é constituído por: um sistema de visão computacional, que recebe informações sobre o ambiente de uma webcam, um controlador que é responsável por levar o robô do seu ponto de origem ao ponto de destino, um outro controlador que é responsável por evitar que o robô colida com obstáculos e um sistema que realiza a fusão de dados dos controladores. Esse sistema está esquematizado na figura 2, e será detalhado mais adiante (seção 3).

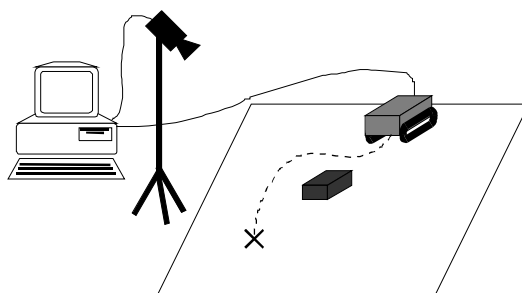


Figura 1. Sistema de controle com realimentação visual

O sistema de visão computacional extrai imagens do ambiente de operação de um robô móvel e as processa, a fim de obter suas características, como posição e orientação do robô móvel, e a detecção de possíveis obstáculos. Essas características são enviadas ao sistema de controle, onde são avaliadas. Com base nelas, serão tomadas as decisões sobre o caminho que o robô deverá percorrer para chegar ao ponto de destino.

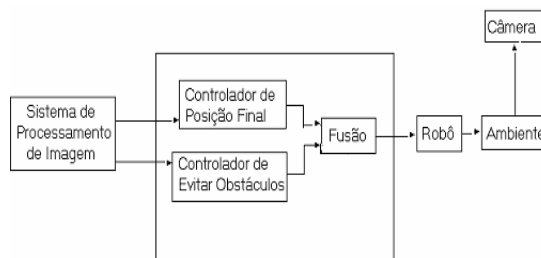


Figura 2. Esquema do sistema de controle para navegação.

Na seqüência do artigo, a seção 2 aborda outros trabalhos que têm relação com o projeto aqui apresentado. Na seção 3 são apresentados a descrição, o desenvolvimento e a implementação dos controladores. Na seção 4, será detalhado o desenvolvimento do robô móvel. Os resultados obtidos são mostrados na seção 5, Na seção 6 são apresentadas as conclusões deste trabalho e sugerem-se alguns trabalhos futuros. Na seção 6 estão os agradecimentos e, finalmente, têm-se as referências bibliográficas.

2. Trabalhos Correlatos

2.1. Sistema de Controle

No controle de robôs móveis, um aspecto interessante consiste em decidir qual ação deve ser executada no instante seguinte. Este tipo de problema é conhecido como Action Selection Problem – ASP, ou Behavior Co-ordination Problem [Pirjanian 1999]. As arquiteturas de controle que são utilizadas para solucionar esse tipo de problema são conhecidas como ASM's (Action Selection Mechanisms), e podem ser agrupadas em duas categorias: ASM's baseados em arbitração e ASM's baseados em fusão de comandos. A figura 3 mostra a taxonomia dessas arquiteturas.

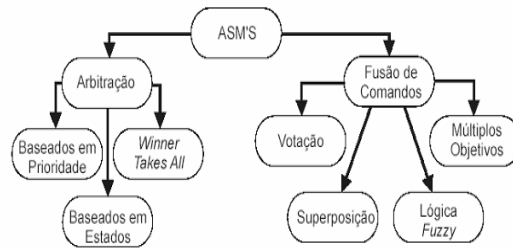


Figura 3. Taxonomia dos ASM's [Pirjanian 1999]

Aquelas baseadas em arbitração são adequadas para seleção de comportamentos (um único comportamento tem o controle total do sistema num determinado momento). Estas estão sub-divididas nas seguintes categorias: mecanismos baseados em prioridades, mecanismos tipo Winner-takes-all e mecanismos baseados em estados. Exemplos de arquiteturas baseadas em arbitração incluem a arquitetura de Subsunção de Brooks [Brooks 1986].

Por sua vez, as arquiteturas baseadas em fusão de comandos permitem que um conjunto de comportamentos compartilhe o controle do sistema em cada momento. Estas podem ser divididas em quatro categorias: Votação (e.g. DAMN [Rosenblatt 1997]), Superposição (e.g. AuRA [Arkin e Balch 1997]), Múltiplos Objetivos (e.g. Multiple Objective Decision-Making Control [Pirjanian 2000]) e Lógica Nebulosa (e.g. Multivaluated Logic Approach [Saffiotti et al 1995]). Outro exemplo de uma arquitetura baseada na fusão de comandos é a abordagem dinâmica para robôs baseados em comportamentos [Bicho 1999][Schöner e Dose 1992].

2.2. Robô Móvel

Como inspiração para a construção do robô deste trabalho foram estudados dois projetos de robôs móveis a rodas descritos em [Jones et al, 1999]. O primeiro chama-se Tutebot e consiste meramente de uma aglomeração de chaves, relés, motores e componentes eletrônicos discretos. Este robô é capaz de circular por um ambiente plano desviando de obstáculos. Desta forma, Tutebot é capaz de evitar obstáculos e seguir paredes. O segundo, Rug Warrior, é controlado por um microcontrolador. Neste robô, em lugar de alterar a configuração de seus componentes, é possível modificar seus os comportamentos através de programação, tornando a sua construção mais dinâmica e flexível.

Em [McComb, 1987], são apresentados também vários projetos de robôs móveis de baixo custo que também serviram de inspiração no desenvolvimento deste trabalho.

3. O Sistema de Controle Proposto

No sistema de controle proposto, foram utilizados dois controladores: um controlador de posição final, descrito no tópico 3.1, e um controlador para evitar obstáculos, descrito no tópico 3.2.

Os resultados de cada controlador são fusionados, determinando as velocidades linear e angular que são enviadas para o robô, como explicado no tópico 3.3.

3.1. Controlador de posição final

Este é o controlador desenvolvido para conduzir o robô de um ponto inicial até um ponto final desejado, baseando-se em realimentação visual, usando uma câmera de baixo custo (como uma webcam) que monitora o ambiente de operação do robô. Ele é o principal controlador quando não existe nenhum obstáculo no trajeto do robô.

Para facilitar o entendimento das equações cinemáticas que descrevem o movimento do robô em um determinado ambiente, observe a ilustração da figura 4 e suponha o robô posicionado a uma distância diferente de zero do sistema de coordenadas de destino $\langle g \rangle$, conforme é mostrado nesta mesma figura.

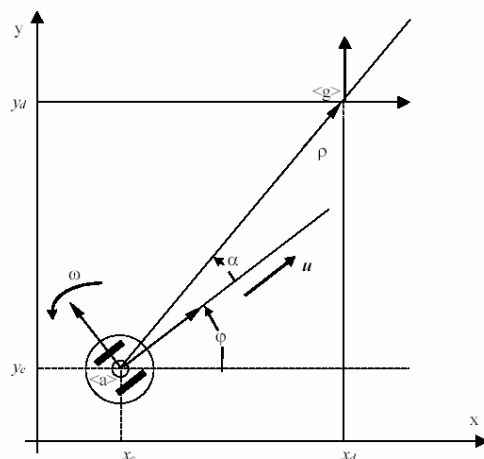


Figura 4. Posição e orientação do robô[Freire 2002].

O conjunto de equações cinemáticas que representam a posição em coordenadas cartesianas (x,y) do robô e seu ângulo de orientação φ são :

$$\dot{x} = u \cos \varphi \quad (3.1)$$

$$\dot{y} = u \sin \varphi \quad (3.2)$$

$$\dot{\varphi} = \omega \quad (3.3)$$

em que u é a magnitude do vetor de velocidade linear, as variáveis x e y são medidas com relação ao sistema de coordenadas de destino $\langle g \rangle$, e φ é medido com relação à orientação do eixo x .

Seu movimento em direção a $\langle g \rangle$ é governado pela ação combinada tanto da velocidade angular ω quanto do vetor velocidade linear u , que está sempre na direção de um dos eixos do sistema de coordenadas $\langle a \rangle$ associado ao robô [Brooks 1986],[Secchi 1999].

As variáveis de estado do sistema são: ρ e α , onde ρ é a distância entre o robô e a posição final desejada, e α , o ângulo formado entre a direção de orientação do robô e a direção do ponto de destino. Assim, o sistema de equações que irá descrever o movimento do robô em termos dessas variáveis é:

$$\dot{\rho} = -u \cos \alpha \quad (3.4)$$

$$\dot{\alpha} = -\omega + \frac{u \sin \alpha}{\rho} \quad (3.5)$$

Este sistema de controle é estável no sentido de Lyapunov, conforme demonstrado em [Secchi 1999].

3.2. Controlador de evitar obstáculos

Este controlador é responsável por orientar o robô a desviar de obstáculos que se encontrem perturbando a sua rota. Ele faz com que o robô modifique momentaneamente o seu ponto de destino a fim de evitar a colisão do robô com esses obstáculos. Ele também se baseará nas informações disponibilizadas pela câmera webcam posicionada no teto do ambiente de operação do robô.

O algoritmo desse controlador baseia-se no controle através da impedância aplicada à robôs móveis [Brooks 1986][Secchi 1999][Secchi at All 2001]. Para evitar os obstáculos, uma força de interação fictícia F é gerada como sendo uma função da distância entre o robô e os obstáculos detectados [Secchi 1999], como mostrado na figura 5. A força F é composta por duas componentes: a componente perpendicular F_r e a componente longitudinal à direção de deslocamento do robô F_t .

A magnitude da força F é calculada como em [Souza 2003]:

$$F = a - b \cdot [d - d_{\min}]^2 \quad (3.6)$$

em que a e b são constantes positivas, e tais que

$$a - b \cdot [d_{\max} - d_{\min}]^2 = 0 \quad (3.7)$$

O valor d_{\max} é a distância máxima entre o robô e um obstáculo detectado, o valor de d_{\min} é a mínima distância que o sistema de sensoriamento é capaz de medir, e d é a distância medida entre o robô e o obstáculo detectado.

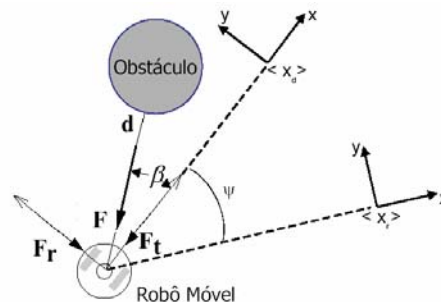


Figura 5. Diagrama de representação da força fictícia F [Freire 2002].

A impedância é definida como em [Brooks 1986], [Secchi 1999]:

$$Z(s) = Bs + K \quad (3.8)$$

$$x_a = Z(s)^{-1} \cdot F_r \quad (3.9)$$

em que B e K são constantes positivas. A constante B representa a amortização, e K a elasticidade na interação entre o robô móvel e o obstáculo detectado. Uma variável auxiliar x_a é então utilizada para gerar o ângulo de rotação ψ do ponto de destino com relação ao centro do robô, ou seja:

$$\psi = x_a \cdot \text{sign}(F_r) \quad (3.10)$$

Então é aplicada a seguinte transformação para calcular o novo ponto de destino x_r :

$$x_r = \begin{bmatrix} \cos\psi & \sin\psi & 0 \\ -\sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} x_d$$

Então, um novo erro de posição é definido com relação ao novo ponto de destino, e é igual a:

$$\tilde{x}_n = x_r - x_c \quad (3.11)$$

sendo que $x_c^T = [x_c \ y_c \ \phi]$ é o vetor de coordenadas cartesianas do robô. Quando a força fictícia é igual a zero $x_r = x_d$, e o objetivo do laço de controle de movimento é atingido, significando que $\tilde{x} = (x_d - x_c) \rightarrow 0$ quando $t \rightarrow \infty$. É representado na figura 6 o diagrama de blocos do sistema de controle baseado em impedância.

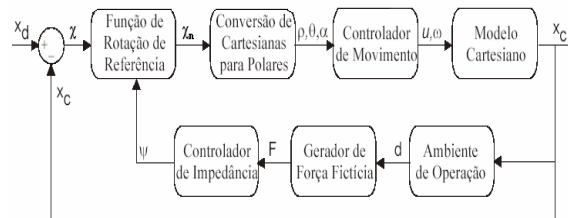


Figura 6. Diagrama de blocos do sistema de controle baseado em impedância [Brooks 1986][Secchi 1999]

Assim, quando um ou mais obstáculos são detectados, uma força fictícia é calculada para cada obstáculo detectado, então se calcula uma força resultante por meio de soma vetorial. De acordo com essa força fictícia, o ponto de destino do robô é sofre uma rotação, permitindo evitar os obstáculos detectados.

3.3. Fusão de Sinais de Controle

Considerando que são utilizados dois contro-ladores, e que cada um deles produz como saída uma velocidade linear e uma velocidade angular como resposta a uma dada situação, é necessário decidir que comandos de velocidade linear e angular serão enviados ao robô, observando que peso terá cada controlador naquela situação. Assim, as velocidades lineares e angulares produzidas por cada controlador devem sofrer um processo de fusão.

Como os controladores são heterogêneos e o projeto ainda não avançou a ponto de determinar um método de fusão otimizado para fusão desses tipos de dados, utilizou-se o método de fusão por média ponderada, onde os pesos atribuídos às saídas produzidas por cada controlador são calculados de forma determinística.

O método utilizado para a determinação do peso usa o valor da menor distância calculada entre o robô e os obstáculos, assim quanto menor for a distância (d_{obst}), maior será o peso do controlador de evitar obstáculo e menor será o peso do controlador de posição final.

$$P_{eo} = \frac{(d_{m\acute{a}x} - d_{obst})}{d_{m\acute{a}x}} \quad (3.12)$$

$$P_{pd} = \frac{d_{obst}}{d_{m\acute{a}x}} \quad (3.13)$$

onde, P_{eo} e P_{pd} são os pesos de evitar obstáculos e posição final respectivamente, e $d_{m\acute{a}x}$ representa a distância mínima em que o controlador de evitar obstáculos atua.

4. O Robô Móvel

É possível dividir o projeto do robô em cinco partes: a plataforma de locomoção, o sistema de comunicação, a placa do microcontrolador, a programação do microcontrolador e o sistema de controle pelo computador.

A plataforma de locomoção foi construída utilizando uma placa de acrílico e nela foram fixados dois motores da LEGO® que possuem caixa de redução embutida. Os motores são acionados pelo circuito integrado SN754410 que é constituído de duas pontes H

A comunicação entre o computador e o robô é feita duas maneiras, via cabo ou infravermelho. A comunicação via infravermelho do robô foi implementada usando um transmissor e um receptor de infravermelho, sendo esta unidirecional, do computador para o robô. O transmissor é constituído de duas partes básicas: o modulador, que utiliza o sinal proveniente do computador para modular a portadora de 40kHz gerada pelo oscilador (555); e a interface com a porta serial. Para o receptor foi usado um circuito integrado (PNA4601) que realiza as funções de recepção, tratamento e demodulação do sinal.

A comunicação via cabo é feita diretamente e é bidirecional. O sinal é adaptado utilizando o circuito integrado MAX232 que converte o sinal que está no padrão RS232 para TTL e vice-versa. O sinal é combinado com o sinal que vem do receptor infravermelho numa operação de “ou” e é enviado ao microcontrolador. Este, por sua vez, já possui uma porta de comunicação serial assíncrona que recebe os dados automaticamente gerando uma interrupção.

A placa do microcontrolador é constituída pelo microcontrolador M68HC11 da Motorola; 32 KB de memória EPROM onde é armazenado o sistema operacional BUFFALO que serve de interface entre o programador e a placa; 32 KB de memória RAM onde é carregado o programa de teste (não sendo necessário gravar o programa no microcontrolador a cada alteração); e várias portas de entrada e saída. O leiaute da placa é visto na Figura 4.

Apresentam-se aqui fluxogramas ilustrando o algoritmo desenvolvido para a programação do M68HC11. Na figura 5 encontra-se uma representação de aspecto mais geral do programa, descrevendo a ordem dos passos a serem executados pelo microcontrolador. Os dois primeiros quadros fazem parte da inicialização do programa, os seguintes estão dentro do laço que é executado em aproximadamente 0,3 ms e são responsáveis pelo funcionamento do robô enquanto que o da na figura 6, mais específico, descreve os dois últimos passos do fluxograma anterior. Está dentro de um laço atualizado a cada 8ms em que o microcontrolador atualiza os dois PWM's que controlam o motor.

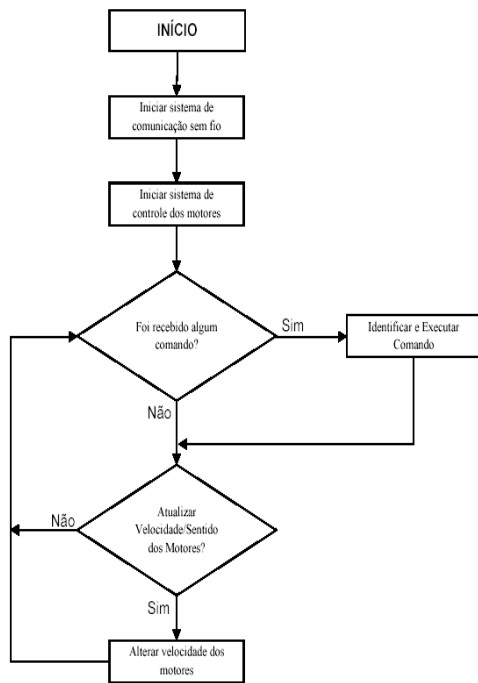


Figura 1. Fluxograma do laço de controle dos motores

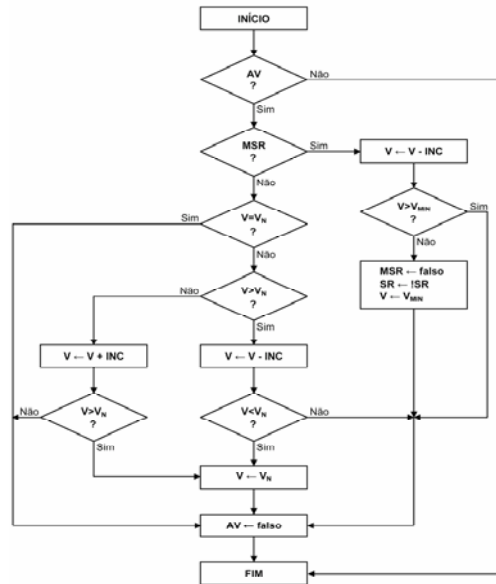


Figura 2. Fluxograma geral da programação do microcontrolador

Legenda para o fluxograma da figura 6:

AV – Atualizar velocidade

MSR – Mudança de sentido da roda

V – Velocidade da roda

INC – Valor do incremento

VN – Nova velocidade

Vmin – Velocidade mínima

SR – Variável que indica o sentido

5. Resultados Obtidos

5.1. Sistema de Controle

Os controladores foram implementados na linguagem C, que produz um código eficiente e portátil. Como o sistema completo, que envolve além desse sistema de controle, um robô móvel e um sistema de visão computacional (todos operacionais, mas ainda não foram integrados), ainda não está completamente operacional, foram realizadas simulações para que se possa verificar o correto funcionamento do sistema de controle desenvolvido neste trabalho. Com base em odometria, o programa armazena todos os valores das velocidades e da posição do robô em cada instante.

Os valores das posições armazenados pelo programa foram usados para traçar gráficos em Matlab® juntamente com a posição e do obstáculo. Também foram feitos gráficos que mostram a variação das velocidades e dos pesos ao longo do tempo.

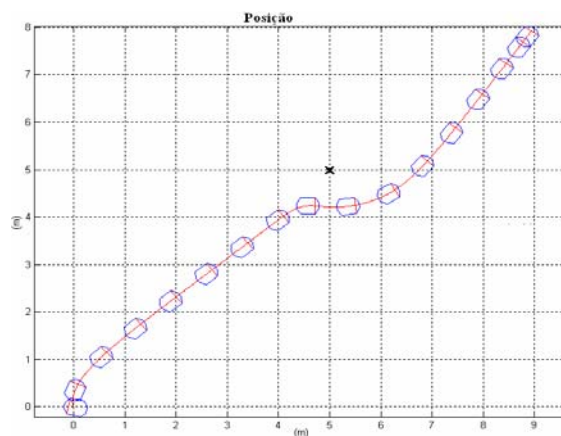


Figura 7. Trajetória do robô do ponto de origem ao ponto de destino, evitando um obstáculo.

A figura 7 mostra a trajetória do robô saindo do ponto (0,0), com ângulo de aproximadamente 3 radianos, em direção ao ponto (8,9), tendo um obstáculo no ponto (5,5), representado por um x.

Pode-se observar que o robô faz uma curva para desviar desse obstáculo, evitando uma colisão.

Nas figuras 8 e 9, vê-se as velocidades angulares e lineares fornecidas por cada controlador.

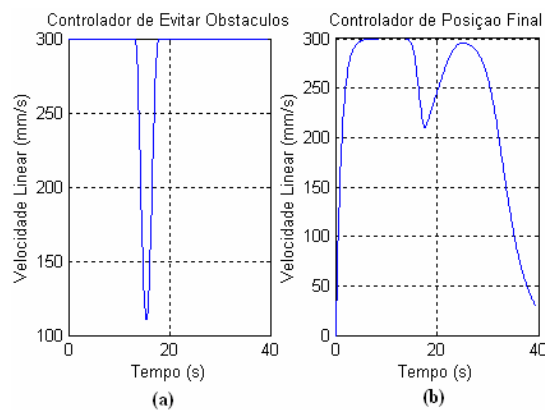


Figura 8. Velocidades lineares fornecidas pelo controlador de evitar obstáculos (a) e pelo controlador de posição final (b).

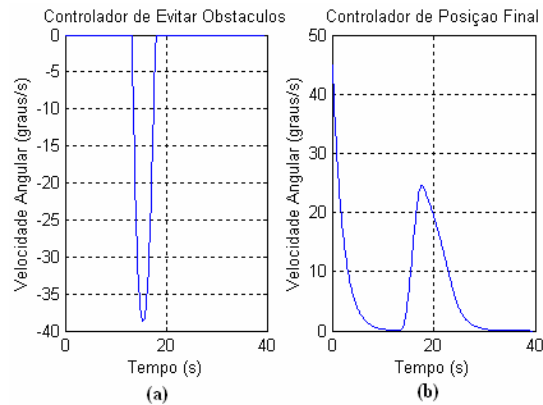


Figura 9. Velocidades angulares fornecidas pelo controlador de evitar obstáculos (a) e pelo controlador de posição final (b).

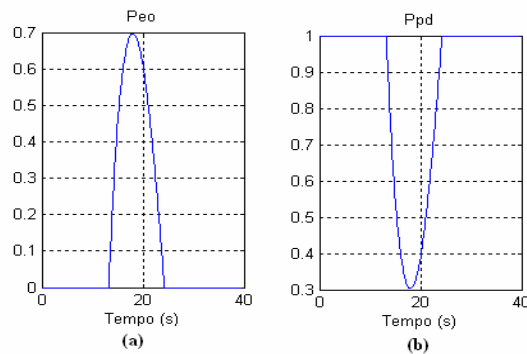


Figura 10. Gráficos dos valores dos pesos dos controladores.

Os gráficos obtidos com o peso do controlador de evitar obstáculo (Peo) e com o peso do controlador de posição final (Ppd), mostrados na figura 10 também confirmam o bom funcionamento do sistema de controle, pois a medida que o robô aproxima-se do obstáculo o valor do Ppd diminui e o do Peo aumenta. Depois, quando o obstáculo já foi evitado e o robô passa a buscar o ponto de destino novamente, o valor de Ppd aumenta e o do Peo diminui.

Na figura 11, vê-se as velocidades linear e angular finais resultantes da fusão, observa-se que quando o obstáculo é detectado, a velocidade linear do robô diminui para que ele possa manobrar com maior segurança e a velocidade angular varia, fazendo com que o robô desvie do obstáculo. Em seguida, a velocidade angular é alterada até que o robô se encontre novamente na direção do ponto de destino e então a velocidade linear torna a aumentar.

Por fim, quando o robô já está próximo do ponto de destino, a velocidade linear diminui.

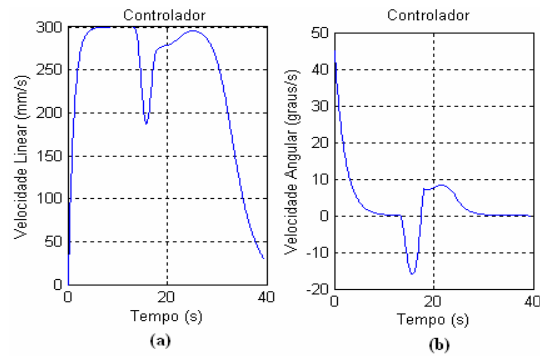


Figura 11. Velocidades linear (a) e angular (b) fornecidas pelo controlador.

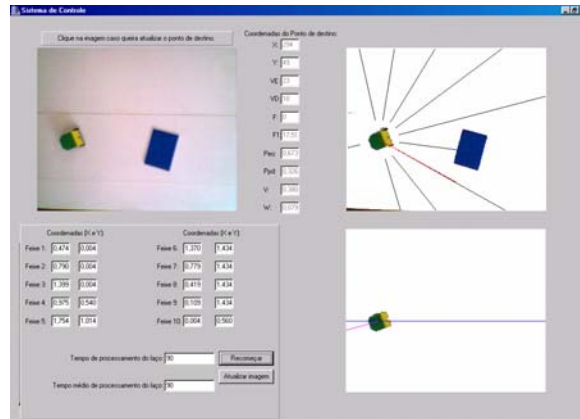


Figura 12. Tela de execução do sistema de controle integrado com o sistema de visão computacional e com a interface de comunicação com o robô.

Para que o controle fosse realizado com base nas características do ambiente de operação extraídas pelo sistema de visão computacional, eliminou-se a odometria.

Foi desenvolvido em C++ Builder® um programa para testar os controladores a partir dos dados provenientes do sistema de processamento de imagens, enviando os dados para um robô construído como plataforma de teste. A figura 12 mostra a tela de execução desse programa.

5.2. Robô Móvel

Como resultado foi construído um robô móvel a rodas com tração diferencial utilizando sobras de outros equipamentos e componentes de baixo custo, baseado no microcontrolador M68HC11.



Figura 3. Foto do robô construído.

6. Conclusões

6.1. Sistema de Controle

Os resultados obtidos mostram que os controladores utilizados funcionam bem, e que de fato as ASM's baseadas em fusão de comandos constituem uma excelente alternativa para o desenvolvimento de sistemas de navegação para robôs móveis.

Como trabalhos futuros, se propõe o acréscimo de mais uma segunda câmera para captura de imagens, para que se possa ter uma visão de profundidade do ambiente de operação do robô, bem como, a aplicação de um novo método de fusão em que se obtenha uma fusão otimizada de dados homogêneos e heterogêneos.

6.2. Robô Móvel

Apesar de passar por constantes mudanças para adequar-se às necessidades do projeto, o robô aqui apresentado mostra funcionamento bastante satisfatório servindo atualmente de plataforma de testes para outros projetos de iniciação científica.

O próximo passo é aproveitar todas as técnicas utilizadas na construção deste robô e construir robôs menores e mais ágeis para o desenvolvimento de um time de futebol de robôs substituindo o enlace de infravermelho por um de rádio e também a possibilidade de teleoperação utilizando um joystick.

7. Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido com o apoio do CNPq, através do programa de bolsas de iniciação científica PIBIC.

Referências Bibliográficas

Arkin, R. C. e Balch, T., AuRA: principles and practice in review, *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, 9(2), pp. 175-189, 1997.

Bicho, E., *The dynamic approach to behavior-based robotics*. Tese de Doutorado, Universidade do Minho, Portugal, 1999.

Brooks, R. A., *Achieving artificial intelligence through building robots*, MIT A. I. Memo 899, Massachusetts, EUA, 1986.

Freire, Eduardo Oliveira. *Controle de Robôs Móveis por Fusão de Sinais de Controle Usando Filtro de Informação Descentralizado*. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Espírito Santo – Vitória, 2002.

Jones, J. L. Seiger, B. A.; Flynn, A. M. *Mobile Robots: Inspiration to Implementation*. Massachusetts, A K Peters, 1999.

Mccomb, G. *The Robot Builder's Bonanza: 99 Inexpensive Robotics Projects*. USA: McGraw-Hill, 1987.

Pirjanian, P. , *Behavior Coordination Mechanisms – State-of-the-art*, Technical Report IRIS-99-375, Institute of Robotics and Intelligent Systems, School of Engineering, University of Southern California, EUA, 1999.

Pirjaniam, P. , Multiple objective behavior-based control, *Robotics and Autonomous Systems*, 31, pp. 53-60, 2000.

Rosenblatt, J. , DAMN: A distributed architecture for mobile navigation. Tese de Doutorado, Carnegie Melon University, EUA, 1997.

Saffiotti, A. , Konolige, K. e Ruspini, E., A multivaluated logic approach to integrating planning and control, *Artificial Intelligence*, 76, pp. 481-526, 1995.

Schöner, G. e Dose, M. , A Dynamics System Approach to Task Level System Integration Used to Plan and Control Autonomous Vehicle Motion, *Robotics and Automation Systems*, 10:253-267, 1992.

Secchi, H., Control de Vehículos Autoguiados con Realimentación Sensorial. Dissertação de Mestrado – Universidad Nacional de San Juan – Argentina, 1999.

Secchi, H. , Carelli, R. e Mut, V. , Discrete Stable Control of Mobile Robots with Obstacles Avoidance, *International Conference on Advanced Robotics, ICAR '01*, Budapeste, Hungria, 2001.

Souza, C. A. B. de. Desenvolvimento de um Sistema de Visão Computacional para Aplicações de Controle Servo-Visual de Robôs Móveis. Monografia. Universidade Tiradentes, Aracaju, 2003.