

# UM EXEMPLO DE NAVEGAÇÃO DE ROBÔS MÓVEIS COM BASE NO RECONHECIMENTO DE REFERÊNCIAS EM SEU AMBIENTE

MÁRIO SARCINELLI-FILHO, ROGER A. C. FREITAS, RENATO S. DÂMASO, TEODIANO F. BASTOS FILHO

*Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo*

*Av. Fernando Ferrari, s/n*

*29060-900 Vitória, ES, BRAZIL*

*E-mail: mario.sarcinelli@ele.ufes.br*

**Resumo**— Este artigo apresenta uma experiência de navegação de um robô móvel com base no reconhecimento de referências no seu ambiente de trabalho. Especificamente, é mostrado um exemplo em que o robô tem que reconhecer uma porta aberta e atravessar por ela para atingir um espaço aberto. O sistema sensorial usado para tal experimento é descrito, incluindo o sistema de reconhecimento das referências a partir de imagens adquiridas por uma câmara CCD a bordo do robô. O sistema de controle distribuído implementado para lograr conduzir o robô durante o experimento é também discutido.

**Abstract**— This paper presents an experiment on mobile robot navigation based on the recognition of references in the robot working-environment. It is discussed an example in which the mobile robot should recognize an opened door and go through it to go out the lab. The sensorial system used in the experiment is described, including the subsystem in charge of recognizing the references from images acquired by a CCD camera onboard the robot. The distributed control system implemented to accomplish the experiment is also addressed.

**Keywords**— Obstacle Recognition; Mobile Robots; Computer Vision; Sensor Integration.

## 1 Introdução

Em muitas aplicações um robô móvel deve navegar até algum ponto em seu ambiente de trabalho e estacionar em algum local apropriado. É o caso de veículos de transporte em ambientes de manufatura automatizados, em que o veículo deve estacionar em um local próximo a uma máquina para apanhar peças por ela produzidas, ou o caso em que o robô deve estacionar próximo a uma tomada para recarregar suas baterias.

Robôs com capacidade de navegação autônoma necessitam sensores adequados para obter informação precisa sobre o ambiente ao seu redor para permitir o controle de sua navegação e o seu estacionamento no local adequado. Assim é que eles precisam, muitas vezes, reconhecer alguns marcadores, chamados *landmarks* na literatura em inglês, como etapa prévia a alguma tomada de decisão ou ao estabelecimento de algum comportamento.

Dentre os sensores mais sofisticados estão os sistemas de visão instalados a bordo dos robôs móveis, os quais permitem obter informação muito rica sobre o ambiente. No caso do uso de marcadores, por exemplo, o uso de visão para localizar de forma inequívoca um dado marcador é fundamental (Betke and Gurvits, 1997; Gaspar et al., 2000). Por exemplo, em (Asensio et al., 1998) é usado um sistema de visão estéreo à base de três câmaras para que o robô possa localizar uma porta e sair por ela. A construção de um modelo 3D do ambiente é implementada, a partir das imagens das três câmaras, de forma que o robô possa planejar sua trajetória até a porta.

Entretanto, sistemas de visão estéreo são extremamente caros, assim como computacionalmente intensivos, tornando-os inadequados para muitas aplicações. Assim, a grande maioria dos sistemas de visão a bordo dos robôs móveis são sistemas monoculares, ou seja, usam apenas uma câmara CCD.

Em alguns casos, porém, quando os marcadores a serem localizados são maiores (corredores, por exemplo)

pode-se adotar sistemas com visão omnidirecional, em que a câmara CCD é voltada para cima, apontando para um espelho (Gaspar et al., 2000). Neste caso, entretanto, o custo ainda é elevado, pois o espelho usado deve ter uma geometria muito particular para se obter uma imagem do tipo visão de pássaro sem distorção (Hicks and Bajcsy, 1999). Usar um espelho esférico, por exemplo, e uma transformação para eliminar a distorção na imagem omnidirecional (Gaspar et al., 2000), constituiria uma simplificação. Porém, a taxa de aquisição de imagens não poderia ser muito alta, neste caso, dada a computação de tal transformação.

Assim é que a configuração básica do sistema de visão monocular a bordo é uma câmara apontando para a frente do robô, em geral fixa, como ocorre com o robô usado neste trabalho, que é a plataforma Pioneer 2-DX da ActivMedia Robotics, o que pode ser visto na Figura 1. Deste modo, somente imagens 2D da parte do ambiente localizada em um certo ângulo à frente do robô podem ser adquiridas. Isto, obviamente, limita a capacidade de controlar a navegação do robô com base na informação visual obtida, pois a informação de profundidade é perdida, além da limitação do campo



Figura 1. O robô Pioneer 2-DX usado neste trabalho.

visual. Para complementar a informação, introduzindo a noção de profundidade, sensores adicionais à base de ultra-som, luz infravermelha ou *laser* são usados.

No caso deste artigo, como se pode notar na Figura 1, o robô possui sensores ultra-sônicos que serão usados em associação com a câmara CCD, num processo de integração sensorial conhecido como guiagem (Hong, 1999). Foi implementado um sistema em que a câmara só é ativada se os sensores ultra-sônicos detectarem algum obstáculo próximo ao robô. Tal associação entre sensores ultra-sônicos e câmara, apesar do pequeno campo visual, é suficiente para aplicações de reconhecimento de marcadores, como é o caso presente.

Técnicas de controle da navegação do robô baseadas somente na informação 2D do sistema de visão monocular também podem ser implementadas, as quais se baseiam no fluxo óptico (Dev et al., 1997; Soria et al., 2001), mas persiste o problema do grande volume de computação necessário, o que limita sobremaneira a velocidade do robô. Ainda mais, nestes casos não é possível reconhecer marcadores com facilidade.

Assim é que, no caso presente, é utilizado um sistema de visão que se convencionou chamar de 2 ½ D (Bastos-Filho et al., 1999), o qual é caracterizado pelo uso de sensores ultra-sônicos que guiarão o acionamento da câmara, como será visto a seguir.

Para melhor entendimento, o artigo foi estruturado em quatro seções, além desta seção introdutória. A Seção 2 trata exatamente do sistema sensorial utilizado a bordo do robô, e como ele é integrado para implementar o sistema de visão 2 ½ D. A Seção 3 trata do sistema implementado para o reconhecimento das referências (no caso, pés de mesa, pés de cadeira, paredes, quinas ou cantos e portas, podendo estas estarem abertas ou fechadas). Já a Seção 4 trata do problema aqui implementado, que consiste em fazer o robô atravessar uma porta aberta para sair do laboratório. A estrutura de controle adotada, baseada em agentes (Xavier and Schneebeli, 1998), é também discutida. Finalmente, a Seção 5 assinala as principais conclusões do trabalho.

## 2 Descrição do Sistema Sensorial Usado

Para a realização do experimento abordado neste artigo, foi empregado o robô Pioneer 2-DX, que possui um sistema de sensores externos de navegação composto por uma matriz de oito sensores ultra-sônicos e uma câmara

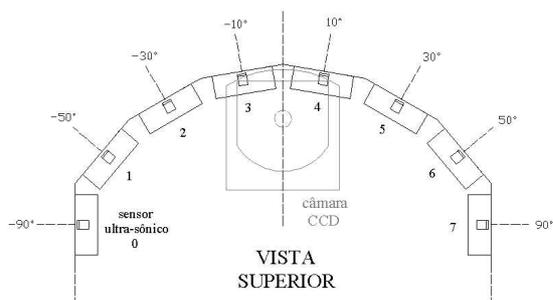


Figura 2. Esboço da disposição dos sensores no robô Pioneer 2-DX.

CCD. Como pode ser visto na Figura 2, seis sensores ultra-sônicos encontram-se na parte frontal do robô em diferentes orientações em relação à direção de movimentação (considerada como 0°). Os outros dois sensores ultra-sônicos estão posicionados nas laterais.

Este arranjo de sensores ultra-sônicos é capaz de detectar a presença de obstáculos próximos, sua distância e sua orientação em relação à direção de movimento do robô (Bastos-Filho et al., 1999). No caso presente, a distância mínima para que o robô considere algum obstáculo como presente é de 60 cm, em relação a qualquer um dos seus sensores ultra-sônicos, exceto os dois laterais (ângulos de  $\pm 90^\circ$ ), para os quais é considerada a distância de 45 cm. Operações de recuo devem ser evitadas devido à ausência de transdutores na parte traseira, muito embora sejam usados neste trabalho pequenos deslocamentos para trás, para posicionamento do robô quando é detectado algum obstáculo.

A câmara CCD encontra-se na parte superior frontal do robô. Trata-se de uma câmara modelo Sony D31 (colorida, com *zoom* 12X) através da qual são adquiridas imagens coloridas em formato Bitmap com 24 bits por pixel, com tamanho 640x480 pixels (para este trabalho, entretanto, as imagens adquiridas são convertidas para 256 tons de cinza). Esta câmara encontra-se acoplada a um sistema de movimentação (PTZ) que permite um deslocamento angular de  $\pm 100^\circ$  na horizontal e de  $\pm 25^\circ$  na vertical. Porém, no que se refere a este trabalho, ela estará sempre fixa nos ângulos de zero graus na horizontal e na vertical, com *zoom* ajustado para 1X (ver Figura 2).

O esquema de integração entre os sensores ultra-sônicos e a câmara CCD para o reconhecimento das referências é muito similar àquele proposto em (Bastos-Filho et al., 1999). Uma diferença é que no presente caso o robô utilizado possui apenas oito sensores ultra-sônicos, correspondentes a um semicírculo na sua parte frontal, ao invés do anel completo usado em (Bastos-Filho et al., 1999) como pode ser visto na Figura 2. Uma outra diferença é que ao invés de a câmara ser girada para alinhar-se com o obstáculo, ela fica fixa e o robô é que gira para direcionar a câmara corretamente. Deve ser mencionado que tal alinhamento é necessário para que imagens frontais dos obstáculos detectados sejam capturadas, para fins de reconhecimento do objeto presente na cena. O funcionamento do sistema sensorial ocorre da seguinte forma: sempre que um objeto é detectado por um sensor ultra-sônico, o robô gira até que a câmara seja alinhada com o objeto, e então se posiciona a uma distância de 50 cm do objeto, movendo-se em linha reta para a frente ou para trás. Neste momento, uma imagem do objeto é capturada, e a partir dela é identificado o objeto que está em frente ao robô. O sistema implementado está preparado para identificar pés de cadeira, pés de mesa, paredes, quinas, cantos, portas abertas e portas fechadas. Qualquer outro obstáculo é considerado desconhecido, e o comportamento desviar do obstáculo é acionado. Porém, ao ser detectado um dentre os objetos mencionados, dois comportamentos são previstos: atravessar a porta quando for detectada uma porta aberta e desviar do obstáculo quando qualquer outro obstáculo for detectado. Maiores detalhes sobre o

sistema de controle implementado para tal objetivo são descritos na Seção 4.

### 3 Reconhecimento das Referências

O programa gerado para fazer o reconhecimento de objetos foi implementado através da construção de um projeto em linguagem C compilado como biblioteca de carregamento dinâmico (DLL). Esta função é chamada por um outro programa feito em linguagem Colbert, que é uma linguagem dedicada para programação do robô (ActivMedia Robotics, 1998 e 2000).

O procedimento de identificação de obstáculos implementado usa descritores bastante simples para identificar os objetos previamente mencionados, os quais são obtidos por um processo de segmentação da imagem adquirida pela câmara. O primeiro descritor para identificar os objetos desejados é o número  $N$  de linhas verticais presentes na imagem, após sua binarização usando os mesmos filtros de pré processamento usados em (Bastos-Filho et al., 1999). Por exemplo, uma parede não resultará em nenhuma linha vertical, um pé de mesa resultará em duas linhas verticais (assim como marcos de porta) e uma quina ou canto resultará em uma única linha vertical. Assim, o primeiro passo é segmentar a imagem a fim de selecionar as linhas verticais significativas, aqui consideradas como as linhas verticais que ocupam mais de 60% da altura das imagens. A razão para considerar somente linhas verticais significativas é eliminar objetos em planos secundários da imagem.

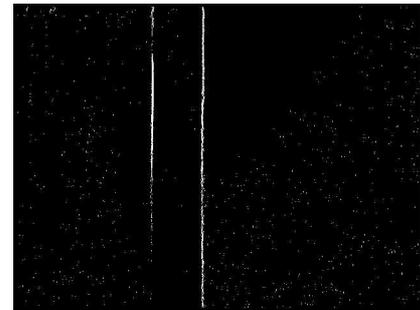
Além da altura das linhas verticais em si, linhas verticais muito próximas também são consideradas como uma única linha vertical (a distância mínima usada é de 20 *pixels*). Por outro lado, para distinguir objetos como marcos de porta, pés de cadeira ou pés de mesa, é necessário considerar a distância  $D$  em *pixels* entre duas linhas verticais adjacentes (é possível usar esta distância como um descritor válido porque as imagens são tomadas sempre da mesma distância, caracterizando o sistema  $2 \frac{1}{2} D$ ).

A Figura 3 ilustra o caso do robô se aproximando de uma porta aberta. A imagem original, a imagem binária obtida e a imagem binária resultante da seleção das linhas verticais significativas são mostradas. Neste caso, o obstáculo foi corretamente identificado como uma porta aberta. O número de linhas verticais significativas e a distância entre elas permitiu determinar que o obstáculo era uma porta. A fim de distinguir a porta aberta da porta fechada, um terceiro descritor de imagem é usado: o nível médio de cinza em ambos os lados das linhas verticais mais externas, medido a partir da imagem original. Estes valores são calculados considerando uma linha horizontal em torno do terço inferior da altura das linhas verticais significativas. São considerados os níveis de cinza de cada pixel sobre tal linha em cada uma das duas regiões da imagem mencionadas acima, resultando nos valores médios  $T1$  e  $T2$ .

Antes da segmentação, para detectar as linhas verticais significativas, a imagem original deve ser pré processada a fim de reforçar as características a serem



(a) Imagem original



(b) Imagem binária mostrando as linhas verticais detectadas



(c) Imagem final mostrando somente as linhas verticais significativas

Figura 3. Exemplo de reconhecimento de uma porta aberta.

extraídas, o que é feito como descrito em (Bastos-Filho et al., 1999), resultando na imagem binária da Figura 3-b, sobre a qual a busca pelas linhas verticais significativas é implementada.

Para o exemplo da Figura 3, pode-se notar que o nível médio de cinza no lado direito e no lado esquerdo da imagem original não são muito diferentes. No caso da porta estar fechada, porém, eles seriam muito diferentes, uma vez que a porta é bem mais escura que o fundo no lado esquerdo da Figura 3-a.

Após detectar as linhas verticais significativas presentes na imagem sob análise, o robô deve agora determinar qual é este objeto. A variável básica usada para implementar o sistema de reconhecimento é o número de linhas verticais significativas detectado ( $N$ ). Adicionalmente, a distância entre duas linhas verticais diferentes ( $D$ ) e os níveis médios de cinza nas duas regiões da imagem original antes e após as linhas verticais mais externas ( $T1$  e  $T2$ ) são também usadas. Um outro descritor usado é a diferença entre os dois níveis médios de cinza ( $DT$ ). Tais variáveis são usadas para montar uma espécie de "base de regras" (Bastos-Filho et al., 1999), baseada tanto no conhecimento prévio dos objetos que se quer que o robô reconheça quanto nas suas principais características (larguras relativas, níveis de cinza, etc.). Tal base de regras foi construída após

análise de diversas fotos dos objetos a serem reconhecidos e diversas situações envolvendo iluminação, padrão de piso, objetos ao fundo, etc. (uma observação importante, então, é que tal base de regras deve ser "recalibrada" sempre que o robô for levado para um novo ambiente).

#### 4 Um Exemplo de Navegação

A fim de ilustrar a operacionalidade do sistema 2 ½ D de visão artificial representado pela integração entre os oito sensores ultra-sônicos e o sistema de visão monocular do robô utilizado para reconhecer referências no ambiente, esta seção mostra a implementação de uma estrutura de controle baseada em agentes para conduzir o robô através de uma porta aberta. O robô é programado para navegar para a frente, desviando-se de quaisquer obstáculos que encontre em seu caminho, a não ser no caso da porta aberta. Quando ele reconhecer a porta aberta, ele então deve alterar sua ação no sentido de atravessar o umbral da porta, saindo do laboratório.

##### 4.1 A Estrutura de Controle Adotada

No caso ilustrativo acima descrito é utilizada a abordagem de controle baseada em comportamentos, implementada como uma arquitetura de subsunção (Brooks, 1986). Aqui, o comportamento básico é navegar para frente, com uma dada velocidade linear e ângulo zero em relação ao eixo de movimento do robô. Outros comportamentos também presentes, de maior prioridade, são evitar os obstáculos que não correspondem à referência procurada, posicionar o robô perante o obstáculo e atravessar pelo umbral da porta aberta.

A informação sensorial é que será responsável por disparar um desses comportamentos de maior prioridade, o qual subjugará o comportamento básico (Brooks, 1986). Para tratar a informação sensorial, na forma descrita nas Seções 2 e 3, é implementada uma estrutura baseada em agentes conforme descrito em (Xavier and Schneebeli, 1998). Tal estrutura está ilustrada na Figura 4 abaixo, onde é mostrado o esquema de ativação dos agentes.

No caso do tratamento da informação sensorial, são usados oito agentes sensores primitivos (Xavier and Schneebeli, 1998) S0, S1, ..., S7, associados aos sensores ultra-sônicos (já disponíveis a bordo do robô). Os oito agentes S0, S1, ..., S7 passam a informação da distância ao obstáculo medida por cada sensor ultra-sônico do robô a um agente sensor virtual (Xavier and Schneebeli, 1998) chamado Ultra\_Som, que será o árbitro que decidirá qual sensor detectou o obstáculo mais próximo, e qual é a distância deste sensor ao obstáculo. Sempre que um obstáculo for detectado o robô girará no sentido de apontar a câmara na direção do objeto detectado e se posicionará parando à distância de 50 cm dele, o que é implementado pelo agente comportamento Posicionar\_Robô. Com o robô na posição adequada, o agente sensor virtual Sensor\_Câmara, associado à câmara CCD, é ativado (é usado um retardo de tempo na sua ativação, em relação à ativação do agente

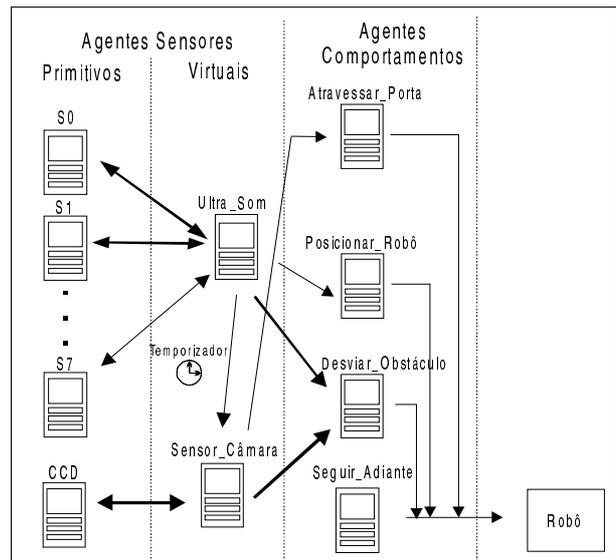


Figura 4. A estrutura de controle adotada.

Posicionar\_Robô, onde este tempo é suficiente para assegurar o posicionamento correto do robô), o qual captura uma imagem do obstáculo e a processa conforme descrito na Seção 3, definindo qual o obstáculo encontrado. Se o obstáculo detectado for uma porta aberta, o agente comportamento Atravessar\_Porta é ativado, o qual conduzirá o robô através do umbral da porta. Caso contrário, é acionado o agente comportamento Desviar\_Obstáculo, para que o robô desvie do obstáculo e prossiga sua navegação.

Caso nenhum obstáculo seja detectado próximo ao robô (abaixo da distância de 60 cm) o comportamento ativado é seguir em frente, o mesmo que é ativado quando os agentes Desviar\_Obstáculo, Posicionar\_Robô e Atravessar\_Porta são desativados. Ele corresponde ao agente comportamento Seguir\_Adiante, mostrado na Figura 4.

##### 4.2 A Estratégia para a Travessia da Porta

Após a identificação da porta aberta, através do algoritmo de reconhecimento de referências descrito na Seção 3, a ação de controle de movimentação do robô passa a tratar a tarefa de conduzi-lo através da porta. O comportamento durante esta travessia foi implementado através de comandos diretos de controle de movimentação do ambiente de programação dedicado ao robô Pioneer 2-DX (ActivMedia Robotics, 1998). Sua ação baseia-se na orientação, alinhamento e monitoramento dos limites mínimos de distância do robô em relação aos marcos da porta e demais obstáculos. Sendo o limite mínimo de distância um parâmetro de segurança para o robô, ele possui maior prioridade.

Para a orientação das ações de rotação do robô sobre seu eixo central e sua translação são empregados os oito sensores ultra-sônicos mostrados na Figura 2. Os sensores 3 e 4 são utilizados para a orientação do robô, quando necessário, na direção da abertura da porta. Como a distância mínima continua sendo monitorada, estes sensores são capazes de evitar colisões frontais. Após o correto alinhamento do robô na direção da porta,

os sensores 2 e 5 são utilizados para pequenas correções na trajetória do robô, objetivando evitar colisões laterais. À medida que o robô se aproxima da porta, os sensores 2 e/ou 5 passarão também a atravessar a abertura da porta, alterando sua medida de distância de algumas dezenas de centímetros para a ordem de metros. A ação destes sensores no programa é transferida para os sensores ultra-sônicos colaterais seguintes de  $\pm 50^\circ$ , e em seguida para os de  $\pm 90^\circ$ , até que o robô conclua a transposição. Os limites mínimos dos sensores 0 a 2 e 5 a 7 continuam sendo monitorados, evitando-se assim colisões laterais. A seqüência assim descrita é ilustrada na Figura 5 abaixo.

Finalmente, a Figura 6 mostra uma seqüência de quadros de imagem tomados em uma das vezes em que o experimento foi executado, a qual ilustra a travessia da porta pelo robô. Como mostrado, o sistema implementado foi de fato capaz de controlar o robô para realizar a tarefa proposta. Entretanto, vale destacar que a trajetória final executada pelo robô desde seu ponto de saída até localizar a porta aberta e sair por ela não é otimizada. Isto se deve à abordagem baseada em comportamentos utilizada, na qual o robô não tem um planejamento de trajetória nem conhece um mapa do ambiente. Sua navegação é totalmente reativa, sendo as decisões locais tomadas em função da informação sensorial disponível.

## 5 Conclusões

O presente trabalho ilustrou uma aplicação em que uma estrutura de controle baseada em agentes é utilizada para conduzir o robô desde um ponto qualquer dentro do laboratório (no caso o Laboratório de Automação Inteligente - LAI/UFES) até sair do mesmo por uma

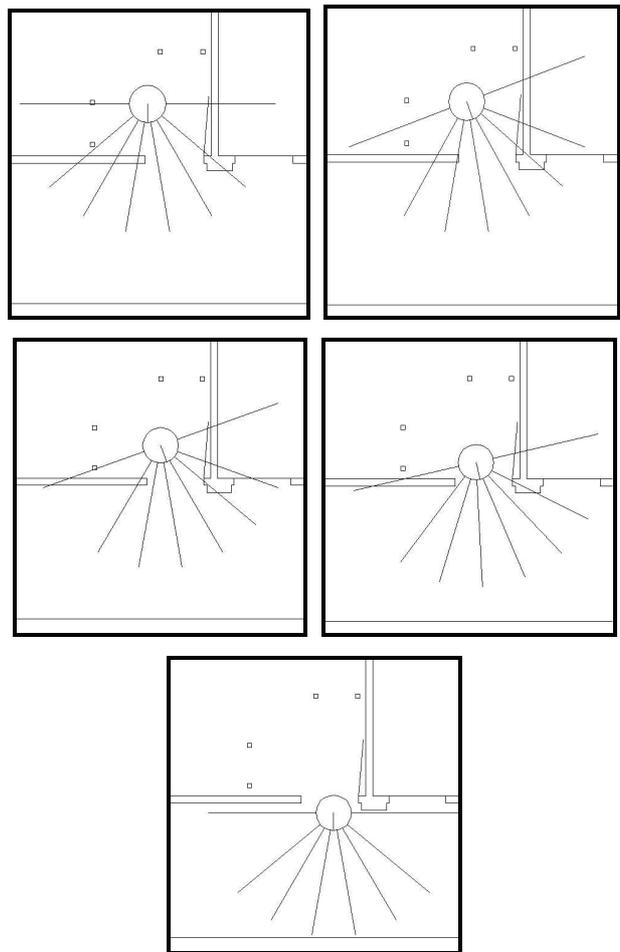


Figura 5. Seqüência de imagens mostrando a estratégia para atravessar a porta (os ângulos representado as posições dos sensores ultra-sônicos são também mostrados).

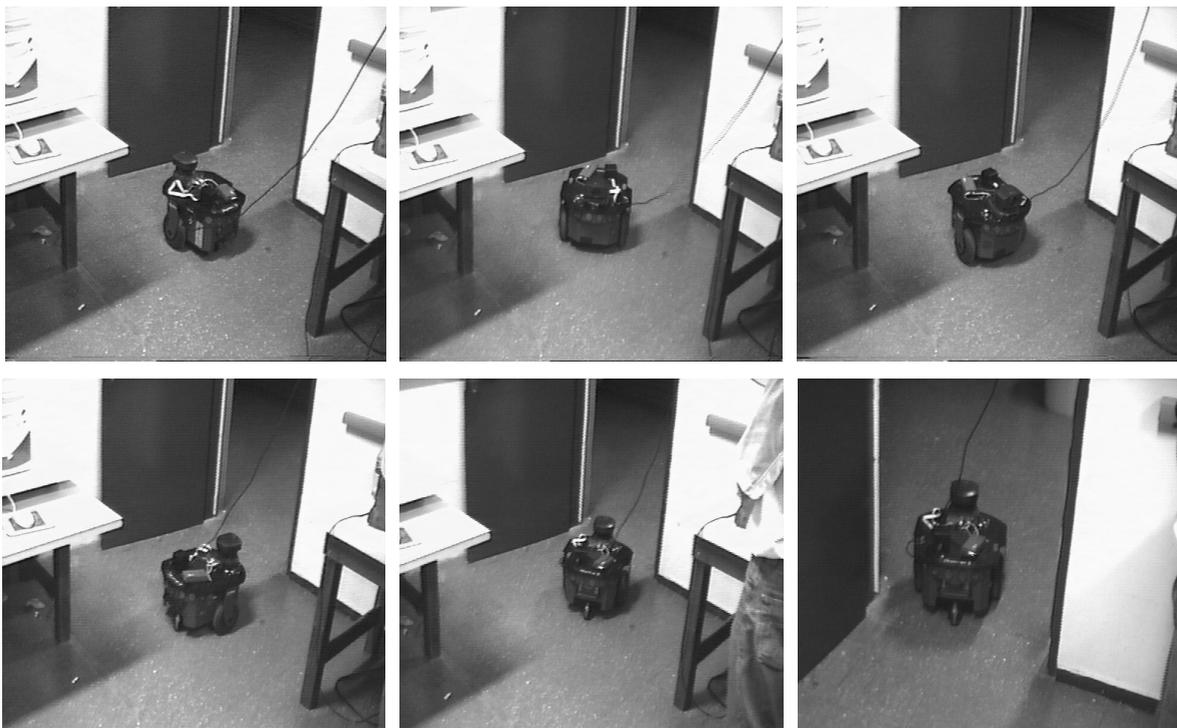


Figura 6. A travessia da porta aberta.

porta aberta. O robô navega dentro do laboratório, sempre seguindo em frente, até encontrar um obstáculo. Um sistema de reconhecimento de objetos é também implementado, o qual confere ao robô a capacidade de identificar alguns objetos presentes no laboratório, incluindo a porta aberta. Uma vez localizada a porta aberta, ele navega através da mesma, a partir de uma estratégia específica de navegação fina estabelecida.

A estrutura montada foi de fato capaz de conduzir o robô para fora do laboratório, ainda que seguindo uma trajetória nada otimizada, o que era esperado em função da abordagem de controle utilizada (controle por comportamentos), na qual o robô age apenas de forma reativa, em função da informação sensorial disponível, uma vez que não há nenhum planejador de trajetória ou mapa do ambiente disponível para o robô.

### Agradecimentos

Este trabalho foi em parte financiado pelo CNPq, através de um auxílio à pesquisa aprovado dentro do Edital 001/2000, correspondente ao Processo número 462.882/2000-4.

### Referências Bibliográficas

- ActivMedia Robotics (1998). *Saphira Software Manual Version 6.1e*, Peterborough, NH, EUA.
- ActivMedia Robotics (2000). *Pioneer 2 mobile robots operations manual*, Peterborough, NH, EUA.
- Asensio, J. R., Montiel, J. M. M. and Montano, L. (1998). Navigation among obstacles by the cooperation of a trinocular stereo vision system and laser range finder, *Anais do 3rd IFAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles*, Madrid, Espanha, volume 2, pp. 456-461.
- Bastos-Filho, T. F., Sarcinelli-Filho, M. and Freitas, R. A. C. (1999). A multi-sensorial integration scheme to help mobile robot navigation through obstacle recognition, *Anais do 7th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation - ETFA'99*, Barcelona, Espanha, Vol. 1, pp. 549-558.
- Betke, M. and Gurvits, L. (1997). Mobile robot localization using landmarks, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 13, no. 2, pp. 251-263.
- Brooks, R. A. (1986). A robust layered control system for a mobile robot, *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. RA-2, no. 1, pp. 14-23.
- Dev, A., Krose, B. J. A. and Groen, F. C. A. (1997). Heading direction for a mobile robot from optical flow, *Anais do IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Leuven, Bélgica, pp. 558-563.
- Gaspar, J., Winters, N. and Santos-Victor, J. (2000). Vision-based navigation and environmental representations with an omnidirectional camera, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol 16, no. 6, pp. 890 -898.
- Hicks, A. and Bajcsy, R. (1999). Reflective surfaces as computational sensors, *Anais do IEEE Workshop on Perception for Mobile Agents, IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 82-86.
- Hong, L (1999). Sense your world better: multi-sensor/Information fusion, *IEEE Journal of Circuits and Systems*, Vol. 10, no. 3, pp. 7-8, 12-15, 28.
- Soria, C. M., Sarcinelli-Filho, M., Bastos-Filho, T. F., Carelli, R. and Nasisi, O. (2001). Obstacle detection and avoidance using optic flow, *Anais do 5th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics - SCI2001*, Orlando, FL, USA, CD-ROM.
- Xavier, J. E. M. and Schneebeli, H. A. (1998). A framework based on concurrent object-oriented programming for building behavior-based control systems for mobile robots, *Journal of the Brazilian Computer Society*, Vol. 4, pp. 27-34.