

Integração de Comportamentos Visuais em Robótica Móvel

Vitor Costa

Instituto de Sistemas e Robótica, Centro de Estudos e
Desenvolvimento de Electrónica e Telecomunicações,
Instituto de Engenharia de Lisboa / DEEC
Rua Conselheiro Emídio Navarro nº1 1900 Lisboa
Tel.: 351-1-8317238
Email: vsc@isel.pt

José Santos Victor

Instituto de Sistemas e Robótica, Instituto Superior
Técnico
Av. Rovisco Pais nº1, Torre Norte 7º piso
1096 Lisboa Codex
Tel.: 351-1-8418294
Email: jasv@isr.ist.utl.pt

RESUMO

A utilização da percepção permite a um sistema robótico uma maior autonomia e flexibilidade de funcionamento em ambientes dinâmicos. Estas capacidades possibilitam a realização de tarefas em meios adversos ao ser humano ou simplificar as funções de teleoperação. Este trabalho descreve o projecto de um sistema robótico móvel autónomo para ambientes interiores.

É desenvolvida uma arquitectura baseada em comportamentos (evitar obstáculos, navegação e acostagem) que utilizam a visão para a percepção do meio envolvente. A decomposição do sistema em comportamentos facilita o projecto, assim como futuros melhoramentos em cada comportamento ou a inclusão de novos comportamentos.

São utilizados os conceitos da Visão Activa e Visão por Objectivos na implementação dos comportamentos. Estes conceitos consistem no processamento só da informação relevante para o objectivo corrente, sendo a interacção do sistema com o meio envolvente um comportamento visual que associa a percepção e a acção com um objectivo concreto. Os paradigmas da Visão Activa e Visão por Objectivos têm como inspiração a observação de sistemas biológicos de visão e, particularmente, a maneira como estes interagem com o meio ambiente. Estes sistemas, além de interpretarem os dados do mundo visual, mostraram a importância do envolvimento de um observador activo na percepção do mundo.

Todos os comportamentos implementados utilizam como informação de entrada o movimento observado no plano de imagem (fluxo óptico). Esta informação é retirada de diferentes zonas do campo visual em conformidade com as características de cada comportamento. É efectuada a integração utilizando teoria dos sistemas dinâmicos, definindo-se as contribuições de cada comportamento como funções no espaço de fase, que dão origem a estados de atracção ou de repulsão que variam dinamicamente durante a navegação. São apresentados resultados com o sistema a funcionar em tempo real.

INTRODUÇÃO

A crescente utilização de sistemas robóticos na realização das mais diversas tarefas tem resultado na procura de

sistemas cada vez mais genéricos e flexíveis. Embora a utilização de sistemas deste tipo seja bastante bem sucedida em ambientes controlados (como sejam certas indústrias), a sua robustez e flexibilidade face a ambientes desconhecidos ou variáveis nem sempre tem os resultados desejáveis. Os sistemas exibem normalmente falta de robustez, flexibilidade e dificuldades de funcionamento em tempo real.

Vários grupos de investigação têm apresentado propostas para a construção de sistemas robóticos autónomos capazes de desempenhar tarefas em ambientes pouco estruturados ou desconhecidos. A maior parte dessas propostas seguem duas abordagens diferentes:

- A primeira abordagem considera o sistema como um todo, dividindo-o por módulos funcionais interdependentes, distribuídos por camadas entre os sensores e os actuadores [2]. A introdução de uma nova capacidade no sistema implica normalmente a modificação de todo o sistema.
- A segunda abordagem concebe o sistema como um conjunto de módulos ou comportamentos que não dependem entre si [2]. O sistema é constituído por subsistemas capazes de operar sozinhos realizando tarefas específicas. Estes subsistemas executam as tarefas utilizando recursos de informação e actuação limitados, o que facilita a sua implementação. O sistema global é obtido através da integração, de forma hierárquica, dos subsistemas divididos por níveis de comportamento.

Do ponto de vista da percepção e, em particular, da visão podemos encontrar linhas de trabalho bastante análogas [6]. Uma dessas linhas relaciona-se com a segunda abordagem atrás referida e deu origem aos conceitos de Visão Activa e Visão por Objectivos [6]. Só a informação relevante é processada para o objectivo corrente, sendo a interacção do sistema com o meio envolvente um comportamento visual que junta a percepção e acção com um objectivo concreto.

Muitos investigadores têm desenvolvido comportamentos visuais reactivos [2, 6], tendo como inspiração sistemas biológicos. No entanto uma questão não totalmente resolvida é a de como coordenar e integrar os diferentes comportamentos visuais reactivos, por forma a obter comportamentos mais complexos. Neste contexto vários têm sido os investigadores a abordar este problema [4].

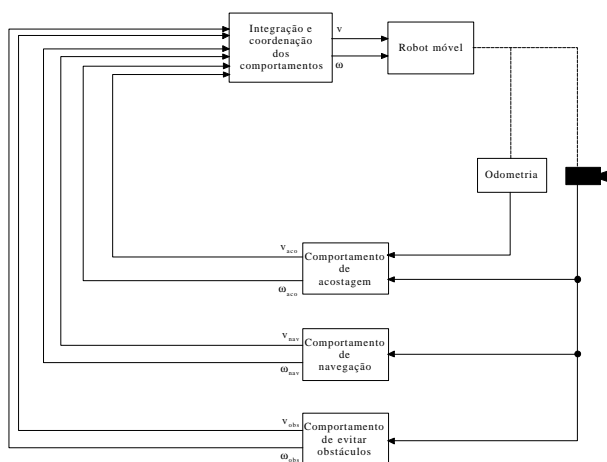


Figura 1: Diagrama do sistema robótico móvel autónomo.

Neste trabalho três comportamentos visuais reactivos são desenvolvidos e integrados, formando um sistema robótico móvel autónomo. Podemos ver o diagrama do sistema implementado na Figura 1.

Este artigo foca o desenvolvimento e a integração dos comportamentos. A fase de desenvolvimento inclui aspectos de percepção e controlo, mas é dada especial atenção à percepção. Na integração é utilizada a teoria de Dinâmica dos Comportamentos [4], motivada em grande parte pela observação de sistemas biológicos.

COMPORTAMENTOS

A utilização do movimento para perceber o mundo através da visão é comum a alguns sistemas biológicos, como é o caso dos insectos [3, 5]. Tendo como inspiração tal facto, os três comportamentos visuais reactivos implementados neste trabalho utilizam como informação de entrada o movimento observado no plano de imagem (fluxo óptico [2]). Estes comportamentos são particularmente inspirados no trabalho previamente realizado em [6, 2] e descritos da seguinte forma:

- Evitar Obstáculos – Tem como objectivo atribuir ao sistema robótico a capacidade de evitar obstáculos que se encontrem à sua frente.
- Navegação – Confere ao robot a capacidade de navegar num corredor, mantendo-o centrado em relação às paredes e reduzindo a velocidade linear do robot quando o corredor fica mais estreito.
- Acostagem – Tem como objectivo permitir ao robot aproximar-se duma superfície (por exemplo, uma estação de acostagem), perpendicularmente a esta, reduzindo a sua velocidade linear até parar junto da superfície desejada.

A utilização de diferentes zonas do campo visual está associada ao tipo de comportamentos ou tarefas que se pretende efectuar com o robot. Nos sistemas biológicos a localização e tipologia dos olhos varia de espécie para espécie, estando associadas à importância que as diferentes zonas do campo visual têm para a sobrevivência dessa espécie.



Figura 2: Imagem do sensor óptico utilizado.

Considerando o ser humano ou os primatas, os olhos assumem uma posição frontal, originando um campo visual binocular frontal bastante alargado, motivado pelo desempenho em tarefas de manipulação [6]. Para seres como as moscas, abelhas e outros insectos voadores, o controlo da navegação é mais importante, resultando assim num posicionamento dos sensores ópticos apontando lateralmente, atribuindo desta forma maior importância às zonas periféricas do campo visual e alargando o campo visual total através da união dos campos visuais dos dois sensores.

A implementação e integração de comportamentos inspirados em sistemas biológicos simples (como os insectos) implica a utilização de um campo visual alargado [2]. Para os comportamentos de evitar obstáculos e acostagem a informação é extraída da zona central do campo visual; para o comportamento de navegação a informação é extraída das zonas periféricas do campo visual.

A solução utilizada para a obtenção das zonas central e periféricas dum campo visual alargado baseia-se num sistema de espelhos planos adicionado a uma câmara [2] (Figura 2).

Evitar Obstáculos

Para a implementação deste comportamento é extraída informação parcial do fluxo óptico (fluxo normal, ver [2]) da zona central do campo visual. Considerando que o robot se move sobre um plano [2] é desenvolvido um algoritmo de detecção de obstáculos dividido em duas fases:

- Fase inicial – Parametriza-se o fluxo normal para o plano do chão na ausência de obstáculos.
- Fase de operação – São testados os resíduos da restrição de primeira ordem do fluxo óptico na procura de pontos que não pertençam ao plano do chão (identificados como obstáculos).

Pondo a hipótese de movimento planar existe um modelo global que descreve o campo de fluxo óptico (ver equação (1)). Os parâmetros deste modelo podem ser estimados numa fase inicial, utilizando as derivadas espaço/temporais de primeira ordem da imagem (equivalente ao fluxo normal), que inclui informação tanto do movimento do robot como da posição e orientação do plano.

$$\begin{aligned} u &= u_0 + u_x \cdot x + u_y \cdot y + u_{xy} \cdot x \cdot y + u_{xx} \cdot x^2 \\ v &= v_0 + v_x \cdot x + v_y \cdot y + v_{xy} \cdot x \cdot y + v_{yy} \cdot y^2 \end{aligned} \quad (1)$$

A estimação directa dos parâmetros do modelo representado na equação (1) não é normalmente robusta. É de conhecimento geral que a estimação de parâmetros de segunda ordem pode ser afectada pelo ruído de uma forma muito mais sensível do que a estimação de parâmetros de primeira ordem. Por outro lado, para um ângulo de visão pequeno e uma profundidade reduzida do campo de visão, os parâmetros de segunda ordem podem ser desprezados [6], sendo possível aproximar o campo de fluxo por um *modelo afim* que apenas contém os parâmetros de primeira ordem:

$$\begin{aligned} u &= u_0 + u_x \cdot x + u_y \cdot y \\ v &= v_0 + v_x \cdot x + v_y \cdot y \end{aligned} \quad (2)$$

Estimando os seis parâmetros da equação (2), utilizando o método dos mínimos quadrados, é possível obter o fluxo padrão independente dos parâmetros intrínsecos da câmara [2].

Durante a fase de operação é possível, usando os resíduos da restrição de primeira ordem do fluxo óptico com as derivadas da imagem estimadas, detectar os pontos que não pertencem ao plano do chão [2].

Suponha-se que para um movimento específico do robot sabemos o fluxo padrão obtido com a câmara apontada para o chão. Se o movimento do robot se manter é possível saber se algum ponto da imagem pertence ou não ao plano, testando apenas os resíduos da restrição de primeira ordem do fluxo óptico [2]:

$$E_x \cdot u + E_y \cdot v + E_t = 0 \quad (3)$$

É apenas necessário substituir na equação (3), as derivadas de primeira ordem calculadas nesse instante e o fluxo padrão obtido na fase inicial.

Pode-se observar na Figura 3 um exemplo de fluxo padrão obtido na fase inicial. Na Figura 4 mostra-se o fluxo normal obtido na presença de obstáculo e a segmentação do obstáculo detectado, respectivamente, para o mesmo tipo de movimento.

Baseado no algoritmo de detecção de obstáculos é elaborado um sistema de controlo. O comportamento exibido pelo robot consiste em navegar livremente até ser detectado um obstáculo no campo visual. Nessa altura, o robot inicia uma manobra de evasão rodando sobre si mesmo até que não seja visível qualquer obstáculo no seu campo de visão, continuando então a navegar livremente.

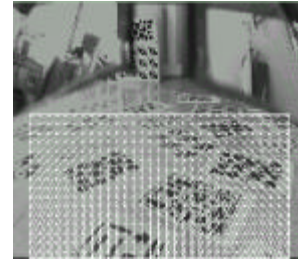


Figura 3: Exemplo do fluxo padrão obtido na fase inicial.

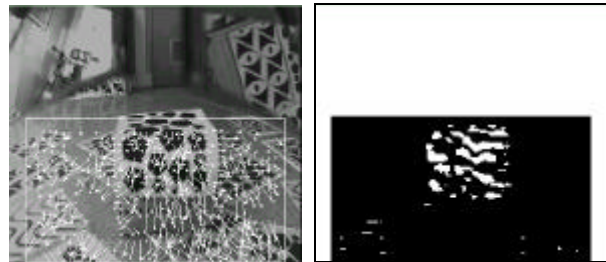


Figura 4 : Esquerda: Fluxo normal obtido na presença de obstáculo. Direita: Segmentação da imagem central mostrando os pontos considerados obstáculo a branco.

Navegação

A inclusão de um comportamento de “navegação” num sistema robótico assume particular importância, no intuito de dotar o sistema de alguma objectividade. Várias soluções têm sido apresentadas pela comunidade científica, algumas delas baseadas em visão [2, 6].

A solução proposta aqui assenta no trabalho de investigação sobre o comportamento das abelhas realizado por Srinivasan [5], quando estas percorrem um corredor em direcção a uma fonte de alimento. Concluiu-se que as abelhas utilizam a informação da velocidade obtida através dos olhos esquerdo e direito para se manterem, durante o voo, no meio do corredor. Foi ainda possível concluir que as abelhas necessitam de textura para conseguirem obter informação acerca da velocidade (utilização do fluxo óptico), dado que na ausência de textura elas não conseguiam exibir o mesmo comportamento (voar em linha recta em direcção ao lugar onde se encontrava o alimento).

Baseada no trabalho de Srinivasan é apresentada uma solução para a implementação de um comportamento idêntico num robot móvel. São utilizadas as zonas periféricas do campo visual obtidas pelo sensor óptico, simulando a visão das abelhas, como fonte de informação para o controlo da navegação do robot (utilização do Estéreo Divergente). O controlo do robot é realizado através da diferença entre os fluxos ópticos obtidos para a câmara esquerda e para a câmara direita.

Para comparar as velocidades das imagens observadas para as zonas periféricas do campo visual, é determinado o fluxo óptico médio nas janelas de imagem correspondentes. A solução adoptada considera que as “paredes” dum corredor podem ser localmente aproximadas por um plano. Pode-se assim utilizar o modelo afim representado na equação (2).



Figura 5: Fluxo óptico típico obtido para as zonas periféricas do campo visual.

Utilizando um processo de estimação idêntico ao anterior, para o comportamento evitar obstáculos, determina-se a média do fluxo horizontal, para cada uma das janelas, sem ser necessária a determinação explícita do fluxo óptico:

$$\bar{u} = \frac{1}{(x_M - x_m) \cdot (y_M - y_m)} \cdot \int_{y_m}^{y_M} \int_{x_m}^{x_M} (u_0 + u_x \cdot x + u_y \cdot y) dx dy \quad (4)$$

onde x_m e x_M representam respectivamente as colunas de início e fim da janela e, y_m e y_M , as linhas de início e de fim da janela. Para a componente vertical do fluxo, obtém-se um resultado idêntico. Podemos observar na Figura 5 o fluxo óptico obtido.

Para a geração do comportamento de navegação são implementadas duas cadeias de controlo, uma para a velocidade angular e outra para o controlo da velocidade linear do robot [2, 6]:

- Velocidade angular – O controlo é efectuado mantendo os fluxos ópticos esquerdo e direito com valores idênticos em módulo.
- Velocidade linear – O controlo é efectuado em função do valor médio da amplitude dos fluxos obtidos para as zonas periféricas do campo visual. O robot móvel acelera quando o fluxo médio é pequeno (indicando que as paredes se encontram afastadas) e abranda sempre que o fluxo médio é maior (indicando paredes mais próximas).

É, ainda, introduzido um mecanismo de sustentação, nas cadeias de controlo, por forma a evitar comportamentos menos correctos por parte do robot móvel, consequência das ausências unilaterais ou bilaterais de informação de fluxo, localizadas no espaço de trabalho do sistema robótico. O controlo da velocidade angular é realizado através da implementação de um controlador PID discreto, descrito pela seguinte equação:

$$u(k) = K_p \cdot \left[e(k) + K_i \cdot \sum_n e(k-n) + K_d \cdot (e(k) - e(k-1)) \right] \quad (5)$$

onde $u(k)$ representa a variável de controlo e $e(k)$ o sinal de erro que é dado pela soma dos fluxos médios periféricos. Uma análise do comportamento do sistema face à variação dos parâmetros K é feita em [6].

Na Figura 6 pode-se observar a trajectória efectuada pelo robot para um possível cenário.

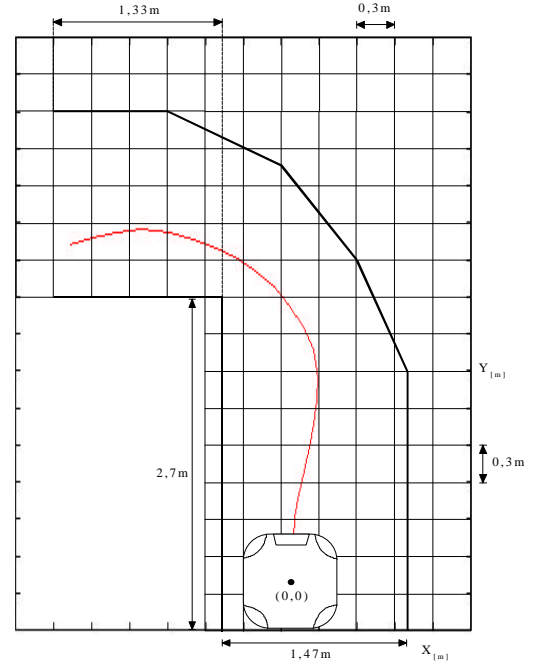


Figura 6: Trajectória do robot efectuada para o cenário observado.

Acostagem

Frequentemente é necessário deslocar um robot móvel para um ponto específico do meio ambiente, por exemplo, para o transporte e manipulação de objectos, para atracar a uma estação para execução de tarefas várias, etc. A inclusão de um comportamento que exiba esta capacidade é importante, com o objectivo de aumentar as capacidades do robot móvel na execução de tarefas.

A utilização da informação visual, para a estimação da posição corrente ou controlo de aproximações a superfícies, tem origem no estudo do comportamento de certos seres vivos.

Em [1], Collet apresenta um estudo sobre o comportamento de uma espécie de formigas quando estas se deslocam do ninho a uma fonte de alimento. Nesse estudo observa-se que as formigas utilizam pontos de referência para se localizarem em relação ao objectivo (a fonte de alimento) e, desta forma conseguem regressar ao ninho. Noutro estudo, efectuado por Lehrer em [3], as abelhas utilizam também a informação visual no processo de aproximação e aterragem numa superfície, utilizando nomeadamente a informação sobre a velocidade (fluxo óptico). Tendo como inspiração estes comportamentos por parte dos animais, alguns trabalhos têm sido desenvolvidos no sentido de implementar comportamentos robóticos semelhantes [6].

Neste artigo é apresentado um comportamento de “acostagem” resultante da integração de um comportamentos de “acostagem” baseado em visão com um sistema de aproximação baseado em odometria.

O comportamento de “acostagem” baseado na informação visual consiste no controlo da aproximação do robot móvel a uma superfície utilizando apenas a

informação do fluxo normal (tal como nos comportamentos anteriores). Este comportamento consiste na implementação de duas cadeias de controlo:

- Controlo da orientação – Controla a orientação do robot por forma a que este se aproxime perpendicularmente da superfície desejada.
- Controlo da velocidade linear – A velocidade linear do robot é controlada de maneira a que este vá reduzindo a sua velocidade até parar próximo da superfície desejada.

Considerando novamente o movimento planar é possível associar a alteração dos parâmetros do modelo afim com o movimento do robot [6, 2].

$$\begin{aligned} u_0 &= C \cdot T_x - w_y & v_0 &= C \cdot T_y + w_x \\ u_x &= A \cdot T_x - C \cdot T_z & v_x &= A \cdot T_y - w_z \\ u_y &= B \cdot T_x + w_z & v_y &= B \cdot T_y - C \cdot T_z \end{aligned} \quad (6)$$

onde A , B e C representam os parâmetros do plano e os vectores \mathbf{T} e \mathbf{w} representam as velocidades linear e angular respectivamente.

$$A \cdot X + B \cdot Y + C \cdot Z + 1 = 0 \quad (7)$$

Descrevendo os parâmetros das equações (6) em função das velocidades expressas no referencial do robot e relacionando estas com a equação do plano (equação (7)) é possível obter as duas leis de controlo, para as velocidades linear e angular [6, 2] (ver Figura 7).

Contudo, este comportamento apenas permite controlar uma acostagem próxima da superfície em questão. Com o objectivo de alargar o espaço de trabalho deste comportamento é implementado um sistema de aproximação baseado em odometria [2]. A integração deste sistema com o comportamento de “acostagem” visual permite obter um comportamento de “acostagem” global que funciona num espaço mais alargado.

Sistema de Aproximação

É implementada uma estratégia simples de controlo, por forma a conduzir o robot ao ponto do espaço desejado. Esta estratégia consiste em orientar o robot em direcção ao ponto para onde este se deve deslocar, controlando a sua velocidade linear em função da distância entre a posição corrente e o ponto de destino especificado.

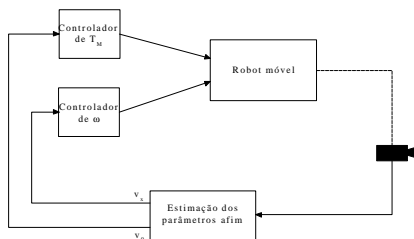


Figura 7: Estrutura do comportamento de “acostagem”.

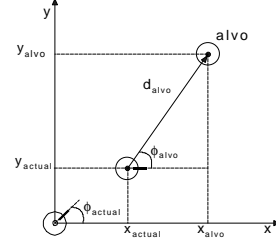


Figura 8: Gráfico mostrando as posições do robot e alvo definidas no referencial do mundo.

Para a implementação deste sistema define-se um ponto de destino no espaço de trabalho do robot móvel (o alvo), descrito no referencial fixo no mundo. Através da leitura em cada instante de tempo da estimativa corrente da posição e orientação do robot definidas no referencial fixo, dadas pelo valor das variáveis x_{actual} , y_{actual} e θ_{actual} , é possível determinar a distância do robot ao ponto de destino, bem como a sua orientação em relação à recta que passa pela posição corrente e o ponto de destino (ver Figura 8). Utilizando esta informação são implementados dois sistemas de controlo para as velocidades linear e angular do robot móvel [2] (equações (8)).

$$w_{od}(t) = \frac{f_{alvo}(t)}{K_w} \quad v_{od}(t) = \frac{d_{alvo}(t)}{K_v} \quad (8)$$

INTEGRAÇÃO DE COMPORTAMENTOS

Depois de desenvolvidos os comportamentos é necessário efectuar a sua integração e coordenação utilizando a teoria de Dinâmica dos Comportamentos [4, 2].

A teoria de Dinâmica dos Comportamentos é baseada na teoria de sistemas dinâmicos. As contribuições dos diferentes comportamentos são definidas como funções no espaço de fase, com pontos de equilíbrio que assumem a forma de atractores ou repulsores consoante se tratem de estados a evitar ou não pelo sistema. A integração e coordenação do sistema robótico é efectuada através da soma das diferentes contribuições no espaço de fase. Estas contribuições variam dinamicamente gerando desta forma a dinâmica do sistema robótico (para melhor compreensão ver [2, 4]).

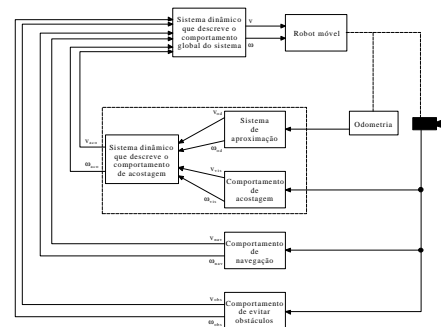


Figura 9: Diagrama do sistema robótico.

No diagrama da Figura 9 pode observar-se que o comportamento de “acostagem” é integrado previamente com o sistema de aproximação. O comportamento de “acostagem” obtido é, posteriormente, integrado com os comportamentos de “evitar obstáculos” e “navegação”.

Para a obtenção do comportamento de “acostagem” global é construído um sistema dinâmico (equações (9)), utilizando a teoria de Dinâmica dos Comportamentos [2, 4], que integra as contribuições provenientes do comportamento de “acostagem” visual com as do sistema de aproximação. São definidas como variáveis de comportamento as velocidades linear e angular do robot móvel (ver equações (10)).

$$\dot{v} = f_v(v) \quad \dot{w} = f_w(w) \quad (9)$$

$$\dot{v} = \frac{1}{t_v} \cdot [s_{v, od}(v, t) + s_{v, vis}(v, t)] \quad (10)$$

$$\dot{w} = \frac{1}{t_w} \cdot [s_{w, od}(w, t) + s_{w, vis}(w, t)]$$

As contribuições assumem tipicamente a seguinte forma:

$$s_{v, od}(v, t) = \overbrace{h_{v, od}(v_{od}, d)}^{\text{potência}} \cdot \overbrace{(v - v_{od})}^{\text{função linear}} \cdot \overbrace{\exp\left(-\frac{(v - v_{od})^2}{c_v^2}\right)}^{\text{intervalo de influência}} \quad (11)$$

As funções que caracterizam as potências das contribuições irão definir qual o comportamento qualitativo do robot durante a integração (ver [2, 4]).

Para o comportamento global do sistema robótico é construído um sistema dinâmico que integra as contribuições dos três comportamentos. Novamente as variáveis de comportamento comuns aos três comportamentos são as velocidades linear e angular (ver equações (12)).

$$\dot{v} = \frac{1}{t_{v, geral}} \cdot [s_{v, obs}(v, t) + s_{v, nav}(v, t) + s_{v, aco}(v, t)] \quad (12)$$

$$\dot{w} = \frac{1}{t_{w, geral}} \cdot [s_{w, obs}(w, t) + s_{w, nav}(w, t) + s_{w, aco}(w, t)]$$

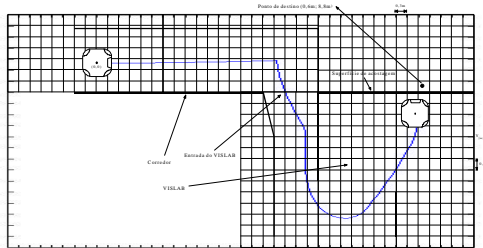


Figura 10: Trajectória obtida numa das experiências.

RESULTADOS

O aparato experimental utilizado é composto pela plataforma móvel TRC Labmate ligada a um PC Pentium 150, que se encontra sobre a sua estrutura, que adquire imagens através de uma placa de aquisição (DT3852) ligada ao sensor óptico antes descrito, constituído por uma câmara a preto e branco e um sistema de espelhos. O sensor óptico está colocado na frente da plataforma, a cerca de 35cm de altura em relação ao chão, fazendo um ângulo de aproximadamente 30° com a horizontal.

Em todas as experiências realizadas a frequência de trabalho foi aproximadamente de 0.5Hz.

Na Figura 10 mostra-se uma experiência realizada com o sistema, onde o robot é colocado inicialmente no corredor do ISR, tendo como objectivo deslocar-se para dentro do laboratório realizando a acostagem numa superfície definida pelo ponto de destino. Como se pode observar a trajectória foi a esperada (ver [2]).

CONCLUSÕES

Neste artigo é abordado o problema da construção de sistemas robóticos autónomos. O trabalho realizado é motivado biologicamente pelo estudo do comportamento e da utilização do sistema visual por parte de alguns insectos e enquadra-se nos paradigmas da Visão Activa e da Visão Objectiva. Os aspectos fundamentais são:

- Utilização de diferentes campos visuais, processando-se diferentes áreas de interesse de acordo com o objectivo.
- É utilizada informação visual específica, de rápida e fácil extracção, informação do fluxo óptico.
- É feita a decomposição de um problema global em problemas mais pequenos com um único objectivo.

As opções tomadas mostraram-se adequadas face ao objectivo final.

REFERÊNCIAS

- [1] T S Collet, E Dillmann, A Giger, and R Wehner. “Visual landmarks and route following in desert ants”. Journal of Comparative Physiology A, 170:435-442, Springer-Verlag 1992.
- [2] V Costa. “Integração de Comportamentos Visuais para Robótica Móvel”. Master thesis in Engenharia Electrotécnica e de Computadores, IST, 1998.
- [3] M Lehrer and M Srinivasan. “Active vision in honeybees: Task-Oriented suppression of an innate behaviour”. Visual Research, 34(4):511-516, GB, 1994.
- [4] G Schöner, M Dose, and C Engels. “Dynamic of behavior: Theory and applications for autonomous robot architectures”. Robotics and Autonomous Systems, 16:213-245, 1995.
- [5] M Srinivasan, M Lehrer, W Kirchner and S Zhang. “Range perception through apparent image speed in freely flying honeybees”. Vis. Neuroscience, 6:519-535, 1991.
- [6] J Santos Victor. “Visual Perception For Mobile Robots : From Percepts to Behaviours”. PhD thesis in Engenharia Electrotécnica e de Computadores, IST, 1994.