

Sistema de Atravessamento de Passagens Estreitas para um Robot Móvel

Emanuel A. Oliveira, Paulo M. Dias, Vítor M. Santos*, Luís Almeida

* Sec. Aut. de Engenharia Mecânica da UA

Resumo - Neste artigo são apresentadas algumas soluções para a navegação de um robot móvel que usam exclusivamente informação obtida a partir do próprio robot.

Com base nesse tipo de informação, foram desenvolvidos dois métodos para localização e movimentação. Num dos métodos, dito de “localização natural”, o robot utiliza os sensores para se calibrar numa zona do percurso previamente estipulada, permitindo desse modo compensar eventuais erros de odometria. O outro método é um modo de atravessamento de passagens estreitas em que o robot utiliza dois sensores adicionais colocados numa zona adequada, de modo a poder, por exemplo, detectar e atravessar uma porta.

Abstract - In this article, some solutions that have been developed for the navigation of a mobile robot are presented. These solutions use information perceived by sensors located on the robot, only.

Using such information, two methods for localisation and navigation were developed. In the first method, called “natural localisation”, the robot uses its sensors to calibrate its position in a previously defined region allowing it to compensate for odometry errors. Another method has been developed to allow the robot to cross narrow passageways using two additional sensors mounted on an appropriately positioned rotating device. This method allowed the robot to detect and cross doors, for example.

I. INTRODUÇÃO E ENQUADRAMENTO

No seguimento de uma colaboração entre o Departamento de Electrónica e Telecomunicações e a Secção Autónoma de Engenharia Mecânica da UA, foi proposto um projecto de quinto ano da Licenciatura em



Figura 1 - O robot, Robuter III da Robosoft

Engenharia de Electrónica e Telecomunicações com o objectivo de desenvolver ferramentas para suportar a navegação e o controlo remoto de um robot móvel. O projecto desenvolveu-se em torno de uma plataforma móvel Robuter III fabricada pela Robosoft. Esta unidade vem basicamente equipada com um processador da motorola 68040 a 25 MHz, um sistema operativo de tempo real, Albatros, desenvolvido pela própria Robosoft, 24 sensores ultra-sónicos, e um PC cujas funções principais são as de facilitar a comunicação com o robot via radio.

O movimento do robot faz-se através da utilização de duas rodas motrizes independentes. O robot tem um peso de 150 kg (com baterias) e uma capacidade de carga próxima dos 100 kg.

II. FERRAMENTAS BÁSICAS

A primeira parte do trabalho tinha como objectivo a construção das ferramentas básicas para o controlo do robot. Esta parte era particularmente importante dado que todo o trabalho a desenvolver depois iria utilizar estas ferramentas.

Um dos aspectos tidos em conta ao longo do desenvolvimento deste nível foi a modularidade. Desenvolveu-se um programa constituído por vários módulos distintos ao qual é possível adicionar ou remover módulos com relativa facilidade. Cada módulo é executado pelo sistema operativo Albatros como um processo independente. A comunicação entre os vários módulos é efectuada com recurso a seis variáveis globais. A escolha de variáveis globais deve-se ao facto daquele sistema operativo não oferecer alternativas para a comunicação entre processos.

Os vários módulos e as comunicações entre estes aparecem no esquema da figura 2. Por baixo do nome de cada módulo são apresentadas as variáveis globais que estão sob a sua responsabilidade.

Globalmente, os cinco módulos desenvolvidos têm as seguintes funções:

US: É o módulo responsável pela leitura dos sensores ultra-sónicos. Cabe a este módulo o disparo dos sensores activos.

Serial: Módulo responsável pela gestão das comunicações. Só este módulo tem acesso às

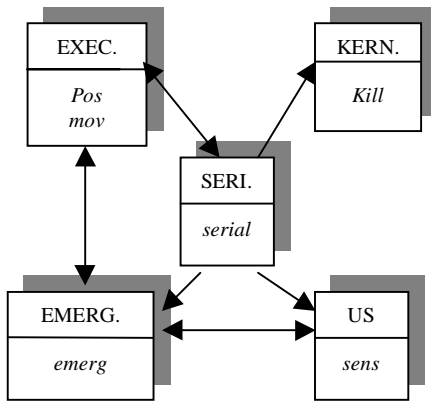


Figura 2 - Os módulos do sistema

linhas série e recebe as mensagens, realizando, depois, o encaminhamento da informação para os respectivos módulos destino.

Executor: É o único módulo com possibilidade de actuar nos motores. Este utiliza a informação proveniente dos outros módulos para decidir qual o movimento a impor ao robot.

Emergency: Módulo responsável pela detecção de situações de emergência que levam a uma paragem imediata do robot. São considerados três tipos de emergência:

- Proximidade de um obstáculo detectada pelos sensores ultra-sónicos. Esta detecção só utiliza alguns sensores dependentes do movimento do robot (não teria sentido parar devido a um obstáculo posicionado atrás do robot quando este está a deslocar-se para a frente);
- Detecção dum obstáculo com os sensores de contacto existentes à frente e atrás do robot;
- Perda de comunicações. Se o robot não recebe nenhuma mensagem durante um intervalo de tempo definido pelo utilizador, é considerada uma perda de comunicações e o robot pára.

Kernel: Módulo responsável pelo lançamento dos processos relativos aos restantes módulos, definindo os períodos de activação e prioridades de cada um.

O programa global é constituído por quatro processos mais o *kernel*, que executam concorrentemente e permitem controlar o robot duma forma simples e intuitiva.

É ainda de notar o uso, para as mensagens entre robot e estação remota (PC acima referido), de um formato já existente [1-3] permitindo assim compatibilizar o trabalho agora realizado com trabalhos anteriores (por exemplo, programas em X-windows para controlo e visualização dos dados do robot).

III. LOCALIZAÇÃO NATURAL

Realizadas as ferramentas básicas desenvolveu-se uma demonstração cujo objectivo era levar o robot a percorrer repetidamente um dado percurso fechado, usando odometria. A odometria é um processo que permite

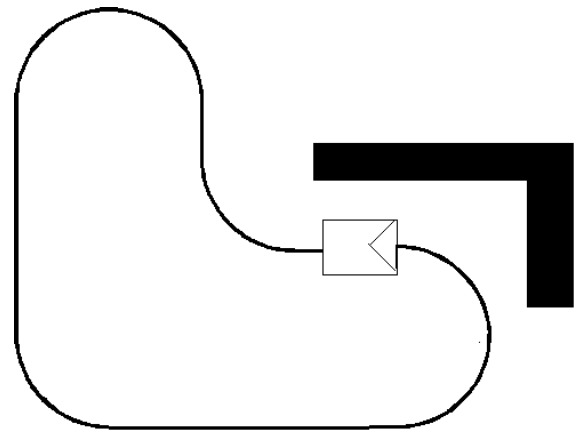


Figura 3 - Localização natural

conhecer a posição e orientação correntes do robot com base nos deslocamentos de cada roda. Associado à odometria existe um problema de erros cumulativos de tal forma grave que o robot rapidamente se pode desviar de uma trajectória pré-programada, caso apenas se tenha em conta este método.

Para resolver esse problema foi colocada uma zona de calibração no percurso realizado pelo robot. Assim, ao chegar a essa região o robot compara as distâncias reais aos obstáculos, medidas pelos sensores de ultra-sons, e as distâncias a que deveria estar dos mesmos obstáculos se não ocorressem erros. Seguidamente, o robot corrige os erros através de um movimento de calibração que o leva a um ponto fixo pré-determinado. A partir desse ponto recomeça o seu movimento, guiado pela odometria, até voltar a entrar na zona de calibração. A dimensão desta zona tem de ser suficiente para acomodar os erros esperados.

Usando este método, o robot foi programado para realizar o percurso que aparece na figura 3 e onde estão representadas a cheio as referências usadas na zona de calibração. Neste caso, os desvios da trajectória devidos à odometria apenas se acumulam entre duas passagens sucessivas pela zona de calibração, onde são corrigidos.

IV. ATRAVESSAMENTO DE PASSAGENS ESTREITAS

Após a utilização do método de localização natural para correcção de erros de odometria iniciou-se o desenvolvimento de módulos adicionais que pudessem ser integrados na navegação do robot. A meta a atingir era conseguir levar o robot a passar por portas ou passagens estreitas.

Uma das limitações dos sensores utilizados, ultra-sons, é a sua incapacidade de medir distâncias abaixo dos 20cm. Sendo a largura do robot de 70cm e estando os sensores de ultra-sons colocados ao longo do seu perímetro externo, este não poderia, portanto, passar com segurança por passagens com menos de 1,10m de largura.

A solução encontrada para ultrapassar a limitação da distância mínima medida pelos ultra-sons foi a colocação de dois sensores suplementares em cima duma unidade Pan & Tilt (PTU) colocada no centro do robot. Assim, é

possível dispor da distância que vai do centro do robot até à respectiva extremidade lateral (35cm) para obter medidas de distância de objectos tão próximos do robot quanto se desejar.

A PTU permite movimentos de rotação em volta de dois eixos e é usada em geral para montar uma câmara. Neste caso foi usada como um “radar” para permitir mapear o espaço em torno do robot. O controlo da PTU, movimento, posição e disparo dos sensores, é feito pelo robot através de uma linha série. Com uma resolução angular de 5 graus é possível cobrir todo o espaço em torno do robot com 72 medidas, obtendo assim informação suficiente para a orientação do robot durante o atravessamento de passagens estreitas.

Na maioria das soluções existentes para navegação de robots (incluindo atravessamento de passagens estreitas) são usadas referências especiais ao ambiente ou mesmo com recurso a GPS. Pelo contrário, a solução implementada utiliza apenas a informação on_board, i.e., toda a localização e navegação é feita utilizando apenas sensores existentes no robot.

Os diagramas da figura 4 apresentam os resultados medidos com o robot em frente de uma passagem estreita (neste caso, feita com caixotes) com várias orientações.

Resolvida a questão das distâncias mínimas dos sensores

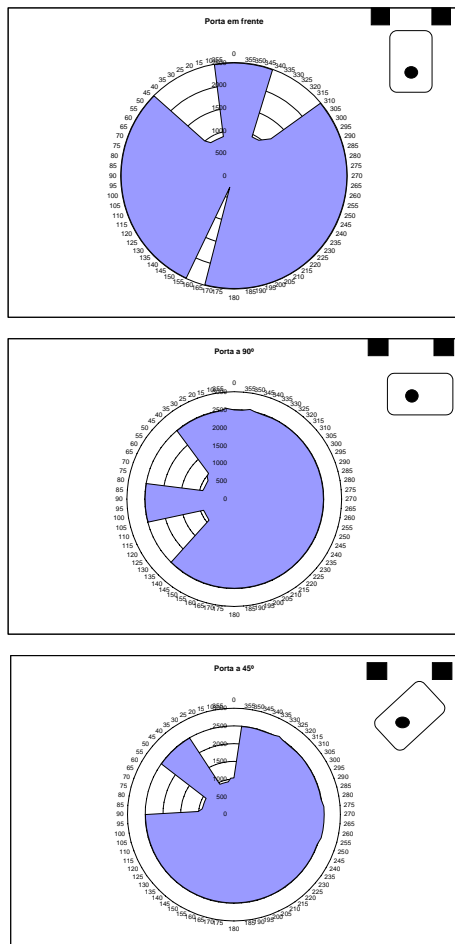


Figura 4 - Dados sensoriais da PTU para três situações diferentes

de ultra-sons desenvolveram-se algoritmos para permitir ao robot centrar-se perante uma passagem estreita e atravessá-la sem colisão. A abordagem seguida consistiu em considerar três etapas para permitir o atravessamento: a detecção da passagem, o alinhamento com esta e, por fim, o atravessamento propriamente dito.

A. Detecção

A detecção de uma passagem estreita é feita usando a derivada (aproximada com diferenças) dos valores medidos pelos sensores da PTU. Optou-se pela utilização das derivadas porque estas facilitam a detecção dos cantos, que aparecem como picos, os quais são depois utilizados no algoritmo de alinhamento.

São analisadas as transições positivas e negativas da derivada e contados os valores entre duas transições consecutivas. Se existirem menos de 8 valores entre duas delas o algoritmo considera que existe uma passagem estreita. O número de 8 amostras corresponde a um ângulo de 40° o que, para uma detecção efectuada a aproximadamente 2.5m, indica a existência de uma passagem com menos de 2m de largura. Na figura 5 estão apresentados os valores da derivada para uma passagem orientada a 45°.

B. Alinhamento

O algoritmo de alinhamento é usado para orientar o robot favoravelmente com a porta após a respectiva detecção. Para isso o robot vai movimentar-se na direcção do canto mais afastado até que as distância aos dois cantos da porta sejam iguais e finalmente alinha-se por rotação na direcção da porta (figura 6).

C. Atravessamento

Para a passagem da porta o algoritmo que foi desenvolvido é simples, mas revelou-se relativamente robusto como se descreve nos resultados. Os sensores ultra-sónicos da Polaroid não dão uma informação muita precisa sobre a posição exacta dos obstáculos devido ao largo lóbulos do seu padrão de radiação, impedindo assim a utilização de algoritmos de centragem muito precisos.

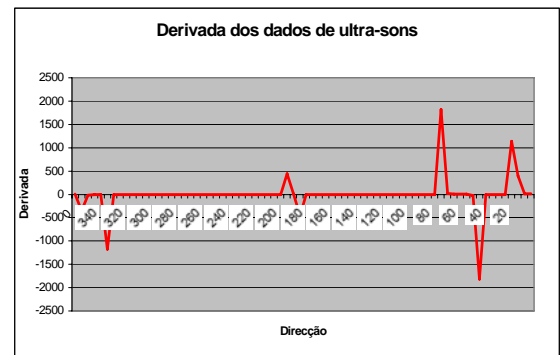


Figura 5 - Exemplo da variação dos dados de ultra-som

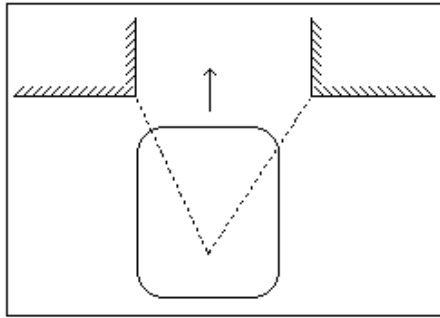


Figura 6 - Orientação face a uma passagem estreita

O algoritmo começa por calcular uma zona de segurança em volta do robô em função dos parâmetros programados (posição da PTU, tamanho do robô, distância de segurança desejada) como mostra a figura 7.

Quando o robô está junto à porta, compara as medidas em cada direcção com as distâncias de segurança nessas direcções. Em função desses resultados, o robô vira para um lado ou outro por forma a evitar a colisão, ou parará caso o atravessamento não seja possível.

O algoritmo ainda diferencia a entrada da porta e o deslocamento dentro da porta. Quando o robô está dentro da porta, o movimento é ligeiramente mais rápido já que a parte que exige mais cuidados é a entrada na zona estreita.

A figura 8 ilustra o algoritmo usado para o atravessamento da porta.

V. RESULTADOS

Para ilustrar o trabalho desenvolvido realizou-se uma demonstração em que se aplicaram todos os módulos concebidos. Utilizou-se como base a demonstração da localização natural (figura 3).

O programa desenvolvido pergunta ao utilizador até qual gabinete, localizado no corredor, o robô se deve deslocar. O robô inicia então um movimento a partir duma posição

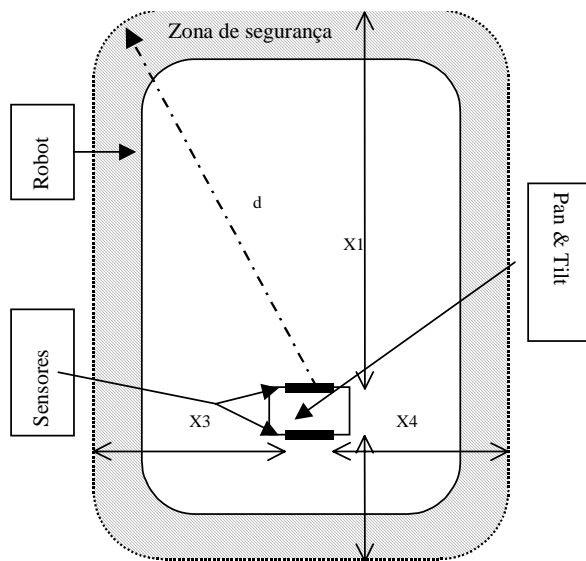


Figura 7 - Configuração da PTU

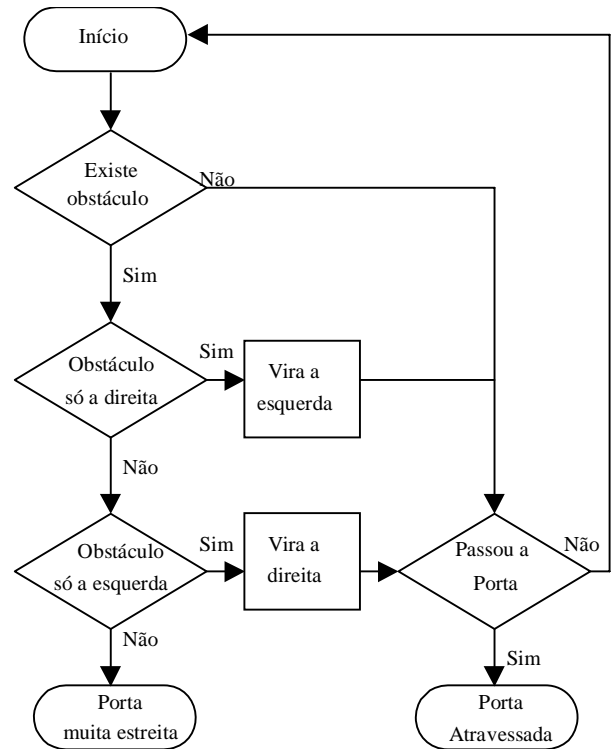


Figura 8 - Algoritmo para atravessamento

conhecida no interior de um laboratório, atravessa a porta que dá para o corredor, e depois desloca-se até ao gabinete desejado. Chegado ao gabinete pára e espera até os sensores de contacto serem pressionados após o que regressa ao ponto de partida.

O movimento é todo feito com um mínimo de uso de odometria: a detecção dos pontos de viragem é feita usando os sensores de ultra-sons e o conhecimento prévio da sala, bem como o deslocamento no corredor que usa a distância à parede lateral. Desta forma obteve-se uma demonstração bastante robusta, já que a odometria só é usada para alguns movimentos simples (avançar ou virar duma dada distância - uso incremental). O robô acaba por se calibrar a partir dos sensores de ultra-sons e do conhecimento da sala em que se desloca. A figura 9 ilustra a essência desta missão de navegação.

VI. CONCLUSÃO

O trabalho realizado no âmbito deste projecto de fim-de-curso cumpriu os respectivos objectivos. Em particular, o conjunto de ferramentas básicas que foi desenvolvido para a navegação e controlo remoto do robô constitui uma peça muito importante para a realização de trabalhos futuros. A utilização destas ferramentas permitirá programar o robô a um nível de abstracção mais elevado e, consequentemente, facilitará a implementação de algoritmos de navegação mais complexos.

É, ainda, de salientar a realização de dois métodos de navegação baseados exclusivamente na informação obtida a partir dos sensores presentes a bordo. Note-se que os

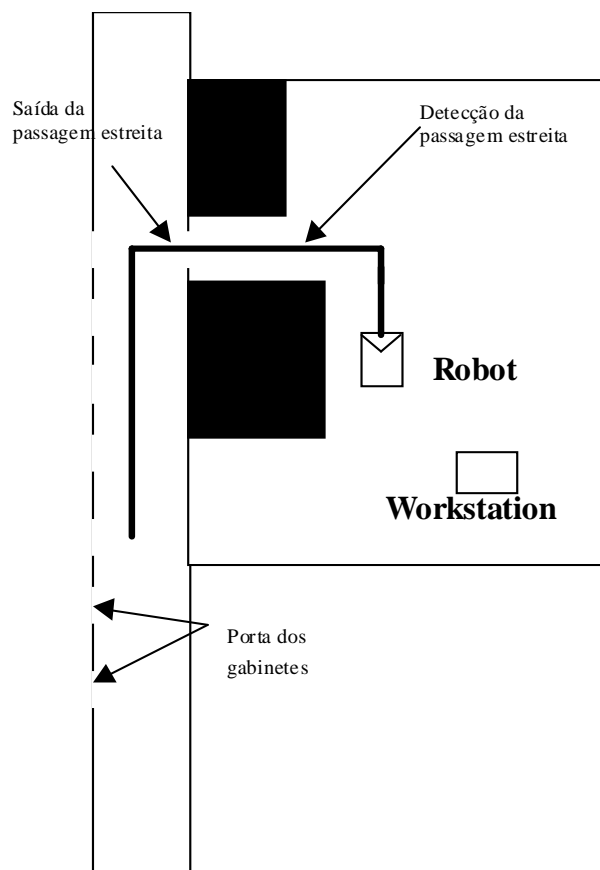


Figura 9 - Trajecto da demonstração final

métodos tradicionais usados neste tipo de navegação são normalmente baseados em referências específicas ao ambiente em que o robô se desloca ou em referências espaciais absolutas.

Como trabalhos futuros seria interessante, também, testar a utilização de outros tipos de sensores. De facto, os sensores de ultra-sons apresentam algumas limitações que, por exemplo no âmbito deste trabalho, impossibilitaram uma medida exacta da largura de uma porta à distância. A utilização de sensores que não tenham esse tipo de limitação, como os lasers, permitiria utilizar métodos para atravessamento de passagens estreitas com maior segurança e velocidade.

REFERÊNCIAS

- [1] J. Nunes, V. Sequeira, J. Gonçalves – *Communications Server for a Mobile Robot System, Part II: Command Reference Guide*, JRC Technical Note No. I.96.46, March 1996.
- [2] V. Sequeira, J. Gonçalves – *Communications Server for a Mobile Robotic System*, JRC Technical Note No. I.93.131, October 1993.
- [3] V. Santos - *Mobile Robot Programming and Messaging v2.0*, RESOLV Technical Document, IST, Lisbon, February 1997.