

SISTEMA DE NAVEGAÇÃO E CONTROLO DE UM AGV POR VISÃO ARTIFICIAL

José Luis Lima, Paulo Costa, António Paulo Moreira

FEUP-Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Resumo: Os veículos auto-guiados têm apresentado um crescimento elevado no número de aplicações. A visão artificial embebida num AGV, substitui o uso de sensores por vezes caros e permite um controlo eficaz. A aquisição de imagem a cores permite a distinção de diversos marcadores, semáforos ou controladores de tráfego. O veículo segue, em tempo real, um trajecto definido por linhas delimitadoras.

1. INTRODUÇÃO

A navegação de um robot móvel é dos sistemas mais importantes que consiste em “guiar” o veículo usando a informação recebida de sensores.

A visão artificial, como sensor, aliada ao controlo de um AGV permite obter um melhor conhecimento odométrico garantindo assim uma maior precisão do veículo e uma maior liberdade de movimento.

Na maior parte das aplicações de veículos autónomos, a localização e a orientação (postura) são critérios importantes e decisivos.

Uma vez “conhecida” a postura do robot, este pode seguir um caminho planeado ou desenhado. Tipicamente, é usado um modelo do mundo através dos sensores que equipam o veículo. Através do modelo e de equações que definem a dinâmica do robot, é possível controlar o movimento deste segundo um trajecto planeado.

A existência de linhas delimitadoras do trajecto a seguir no chão, facilita qualquer alteração pretendida de um possível utilizador.

A constituição do veículo de duas rodas motrizes independentes (Figura 1) permite movimentos lineares ou circulares que fornecem um bom desempenho e um controlo simples.

O uso de uma câmara de CCD a cores permite, em tempo real, a detecção de marcadores coloridos no percurso os quais garantem uma localização absoluta no espaço, o que consequentemente acarreta uma

maior precisão global na localização, e o controlo do percurso dependente de factores externos, como por exemplo semáforos ou seleccionadores luminosos de trajecto.

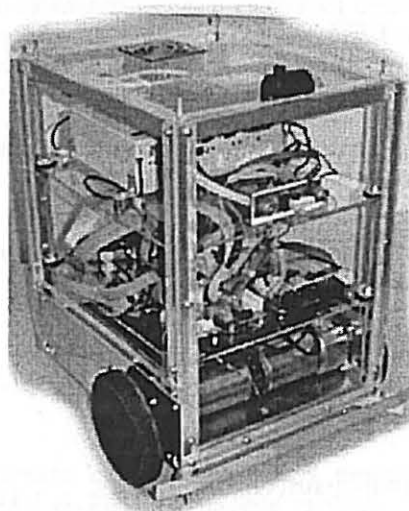


Figura 1

2. CONSTITUIÇÃO MECÂNICA

Mecanicamente, o AGV possui duas rodas motrizes localizadas nas partes laterais do robot que permitem um movimento linear ou circular em função da relação de velocidades da roda esquerda e direita. O raio das rodas permite determinar a relação velocidade/ binário actuado. O sistema de accionamento é constituído por dois motores CC com

caixa redutora integrada, que efectuam uma tracção directa às rodas. Para o controlo de velocidade de cada roda (ω_R, ω_L) é usada a modulação de largura de impulso (PWM) distinta para cada roda permitindo um controlo independente entre motores.

A câmara, colocada no topo do veículo, permite conhecer o trajecto a seguir assim como eventuais objectos ou marcadores existentes na pista. A distância desta ao chão e o ângulo deverão ser considerados podendo assim ser estimado o mapeamento pixel-mundo.

3. ODOMETRIA

O facto de cada roda possuir um *encoder* capaz de efectuar a leitura da sua velocidade e sentido permite, em tempo real, conhecer o espaço percorrido e a velocidade associadas a cada roda.

Cada *encoder* debita dois sinais (ch1 e ch2) desfasados no tempo com uma frequência proporcional à velocidade angular de cada roda. Os dois sinais desfasados permitem determinar o sentido de rotação da roda como ilustrado na Figura 2.

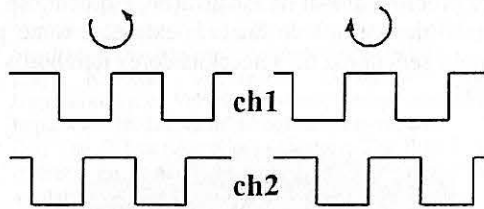


Figura 2

Assim, os *encoders* permitem estimar a velocidade, a posição e o ângulo com que o veículo se desloca.

$$\|\tilde{v}\| = \|\tilde{\omega}_R + \tilde{\omega}_L\| \cdot K_1 \quad (1)$$

$$\|\vec{v}_{x[i]}\| = \|\tilde{v}\| \cdot \cos(\theta_{[i]}) \quad (2)$$

$$\|\vec{v}_{y[i]}\| = \|\tilde{v}\| \cdot \sin(\theta_{[i]}) \quad (3)$$

$$s_{x[i+1]} = s_{x[i]} + K_2 \cdot v_{x[i]} \cdot \Delta t \quad (4)$$

$$s_{y[i+1]} = s_{y[i]} + K_3 \cdot v_{y[i]} \cdot \Delta t \quad (5)$$

$$\theta_{[i+1]} = (\tilde{\omega}_R - \tilde{\omega}_L) \cdot K_4 \cdot \Delta t + \theta_{[i]} \quad (6)$$

A equação (1) indica o módulo da velocidade de deslocação do veículo. As equações (2) e (3) indicam o módulo das velocidades segundo os eixos ortogonais x e y . As equações (4) e (5) indicam a posição absoluta do veículo no mesmo sistema de eixos. Finalmente, a equação (6) indica o ângulo que o veículo faz com o eixo x (Figura 3).

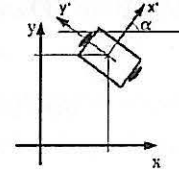


Figura 3

É certo que o deslizamento entre roda e chão poderá ser uma fonte de incerteza embora se possa minimizar usando materiais o mais aderentes possíveis e evitando variações bruscas das velocidades das rodas motrizes.

4. DINÂMICA DO SISTEMA

Sob o ponto de vista do controlo do sistema, pretende-se actuar essencialmente duas velocidades (ω_R, ω_L) que irão garantir movimento ao sistema. De facto, e de um nível mais elevado, o controlo baseia-se em determinar as velocidades de deslocamento v e de rotação ω . Estas velocidades permitem calcular as velocidades de accionamento da roda direita ω_R e da roda esquerda ω_L , como indicado nas Equações 7 e 8.

$$\omega_R = K_5 \cdot v + K_6 \cdot \omega \quad (7)$$

$$\omega_L = K_5 \cdot v - K_6 \cdot \omega \quad (8)$$

Para cada roda está implementado um controlo em malha fechada, PID (Figura 4).

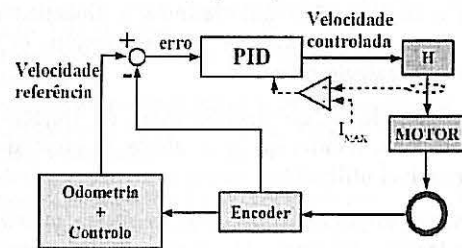


Figura 4

Um sensor de medida da corrente que percorre cada motor está implementado para prevenir correntes elevadas, por exemplo aquando de uma colisão com outros objectos que por lapso não foram detectados. Neste caso, como indica a Figura 4, a alimentação do motor é cortada evitando assim que o motor se danifique ou que a energia, tipicamente limitada, se

esgote rapidamente.

5. PROCESSAMENTO DE IMAGEM E CONTROLO DO VEÍCULO

Existem vários métodos de colocar câmaras num robot:

- Câmara fixa num determinada posição
- Câmara motorizada (associada a um motor)
- Múltiplas câmaras
- Câmara fixa e apontada para um ou mais espelhos

O método utilizado, corresponde ao primeiro apresentado e garante, neste caso, os requisitos pretendidos que são seguir uma pista delimitada por linhas. Sendo esta a finalidade, não se torna necessário adquirir imagens de outras zonas senão a parte dianteira do veículo onde decorre a imagem importante.

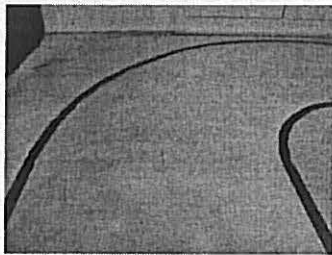


Figura 5

A imagem adquirida (Figura 5) é processada localmente através de um PC a bordo que garante o controlo do sistema em tempo real. A aquisição das imagens é efectuada a 25 frames/s. A cada chegada de uma frame, esta é processada localmente e determinada a velocidade linear e de rotação pretendida remotamente através de uma comunicação wireless, como ilustrado na Figura 6.

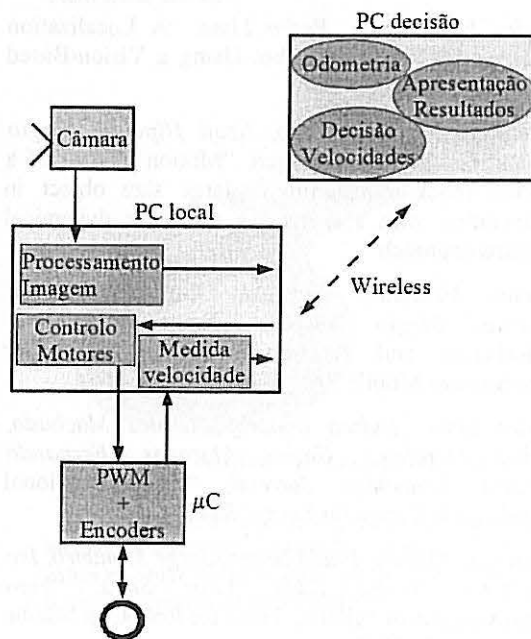


Figura 6

Existem diferentes câmaras que fornecem diversos formatos de imagem. Os mais conhecidos são o formato RGB e o formato YUV. O formato RGB com um resolução de 16 bits de cor foi o adoptado.

Pretende-se portanto, controlar o movimento do veículo de forma a que este siga autonomamente o trajecto desenhado. Assim, o algoritmo desenvolvido varre três linhas horizontais, estrategicamente colocadas, e determina os seis pontos de transição de tons (linha delimitadora da pista) que permitem a localização e controlo do AGV no interior da pista.

As velocidades dos motores direito e esquerdo (ω_r, ω_l) são determinadas de tal forma que, para cada linha horizontal, o ponto situado a meio das transições coincida com o meio do ecrã.

Na realidade, as linhas horizontais não terão todas peso idêntico. A linha mais afastada do robot será menos importante para o controlo do movimento deste e a linha mais perto será a que possui maior importância, caso contrário o sistema pode apresentar uma certa instabilidade. Poder-se-á afirmar que a linha mais afastada do veículo serve para prever ou estimar a alteração da direcção à qual o robot irá ser sujeito dentro de um curto intervalo de tempo, ou num futuro próximo. No caso de uma linha não detectar a transição da pista, esta é ignorada e apenas são consideradas as outras duas visíveis. Na impossibilidade de se verificarem todas as transições o sistema adapta-se. Por exemplo, no caso de só ser visível uma transição (das seis disponíveis) o sistema tenta manter a distância que existia desse ponto ao centro da imagem, que tem vindo a ser determinado e memorizado. Assim garante-se que o sistema é bem comportado quando um eventual reflexo de luz torne impossível visualizar uma zona da imagem.

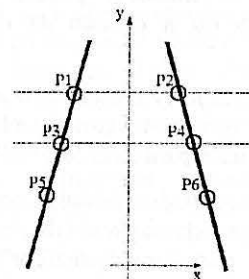


Figura 7

Conhecendo as coordenadas dos pontos 1 a 6 indicados na Figura 7, pode-se escrever a equação (10) que permite determinar a velocidade angular desejada.

$$\begin{aligned} \omega_1 &= P_{1x} - P_{2x} \\ \omega_2 &= P_{3x} - P_{4x} \\ \omega_3 &= P_{5x} - P_{6x} \end{aligned} \tag{9}$$

$$\omega = -k_7 \cdot \omega_1 - k_8 \cdot \omega_2 - k_9 \cdot \omega_3 \tag{10}$$

A velocidade de deslocamento linear poderá ser escrita como função da velocidade de rotação, uma vez que em curva o veículo deve-se deslocar mais lentamente do que em linha recta, à semelhança de uma situação real. Assim, a velocidade de deslocamento poderá ser calculada como se indica em (11).

$$v = A - \omega \cdot B \quad (11)$$

No instante em que começa a aparecer uma curva, a linha mais afastada dá o seu contributo e o veículo começa a rodar ligeiramente para o centro da curva de forma a conseguir efectuar a curva com uma velocidade maior. Caso este processo não seja efectuado, a curva não poderá ser descrita com a velocidade pretendida mas mais lenta. Um outro processo, menos eficiente e com aparência mais brusca, é atribuir vários níveis de velocidade linear dependendo da velocidade angular. Ora, este processo apresenta-se como pequenos arranques e travagens do veículo que acarretam desvios na odometria, uma vez que o deslizamento da roda no chão é pior no caso dos referidos "solavancos". Assim torna-se preferível o uso de uma variação da velocidade linear (aceleração) dentro de certos valores que faz parecer um arranque e uma travagem suaves.

Por outro lado, o uso de marcadores coloridos em zonas específicas da pista permitem identificar zonas definidas (posições absolutas) assim como controlar trajectórias através de semáforos colocados na berma da trajectória. Os semáforos podem permitir o arranque, paragem ou a decisão da direcção do movimento.

Um sistema de lógica *fuzzy* é usado para classificar a cor de cada pixel fazendo-os corresponder a grupos previamente calibrados para cada cor.

As cores dos marcadores, calibradas no AGV, são posteriormente detectadas aquando da sua passagem. Estes marcadores permitem "actualizar" a posição actual. O mapeamento pixel-mundo torna-se imprescindível, assim como as correcções da degradação da imagem adquirida, como por exemplo a distorção em barril.

Uma vez conhecido o trajecto a seguir, ou pela experiência adquirida pelo robot durante percursos anteriores, ou por coordenadas introduzidas, poderá ser aumentada a velocidade. Este facto é conseguido se o trajecto for aproximado a equações de rectas e curvas, que devidamente parametrizadas conferem ao robot uma dinâmica muito melhor, eficiente, mais rápida e imune ao ruído.

6. CONCLUSÕES

A navegação automática do veículo foi bem sucedida efectuando um correcto seguimento do trajecto. Para velocidades elevadas, o veículo perde o controlo, embora a sua postura continue a ser conhecida, podendo ser útil para um novo controlo. O facto de a velocidades elevadas o sistema perder o controlo deve-se ao sistema de processamento não possuir poder de cálculo suficiente. Mas, e na realidade, a velocidade de deslocamento, superior a 0.5m/s, é bastante satisfatória e supera o idealizado. O controlo por cor (semáforos), nomeadamente decisão de trajecto a seguir, arranque e paragem foram verificados com sucesso. Alguns pedaços da delimitação da pista foram apagados para verificar o comportamento do sistema aquando da detecção apenas de alguns pontos. O teste ao comportamento foi muito bem sucedido, e nos casos de serem escondidos todos os pontos, o veículo mantém, por breves instantes, o movimento que possuía, vindo a parar mais tarde por motivos de segurança.

BIBLIOGRAFIA

Paulo José Cerqueira Gomes da Costa, "Localização em Tempo Real de Múltiplos Robots num Ambiente Dinâmico", Tese Doutoramento, FEUP, 1999.

Carlos Machado, Sérgio Sampaio, Fernando Ribeiro, "Image Processing Applied to a Robotic Football Team".

Paulo Costa, Armando Sousa, Paulo Marques, Pedro Costa, Susana Gaio, António Moreira, "5dpo Robotic Soccer Team for Year 2003".

Carlos F. Marques, Pedro Lima, "A Localization Method for a Soccer Robot Using a Vision-Based Omni-Directional Sensor".

Estela Bicho, Luís Louro, Nzoji Hipólito, Sérgio Monteiro, Wolfram Erlhagen, "Motion control of a mobile robot transporting a large size object in cooperation with a human: a nonlinear dynamical systems approach".

Carlos Machado, Fernando Campos, Manuel Martins, Sérgio Sampaio, Fernando Ribeiro, "Mechanics and Electronics of the Footballer Autonomous Mobile Robot".

Pedro Lima, Andrea Bonarini, Carlos Machado, Fabio Marchese, Carlos Marques, Fernando Ribeiro, Domenico Sorrenti, "Omni-Directional Catadioptric Vision for Soccer Robots".

Fernando Ribeiro, Paulo Braga, Jorge Monteiro, Ivo Moutinho, Pedro Silva, Vitor Silva, "New improvements of MINHO Team for RoboCup Middle size League in 2003".