

# COMANDO DE UM SERVOMECHANISMO USANDO VISÃO COMPUTACIONAL

## RESUMO:

Neste artigo é apresentada uma metodologia para controlar um servomecanismo usando visão computacional. As imagens de controlo, baseadas na linguagem gestual, são obtidas por intermédio de uma *webcam* genérica e processadas praticamente em tempo real. A ordem de comando em causa é reconhecida por diferença dos histogramas de orientação da imagem associada e das imagens de ordens preestabelecidas. Estas imagens de ordens são guardadas durante o processo de aprendizagem do sistema de controlo.

## PALAVRAS CHAVE:

**Visão Computacional, Momentos, Histograma de Orientação, Servomecanismo, Controlo.**

## ABSTRACT

In this paper a methodology to control a servomechanism using computational vision is presented. The control images, based in hand language, are acquired by a generic *webcam* and processed in quasi real time. The command order in cause is recognized by the difference of the orientation histograms for the associated and preset orders images. These preset orders images are acquired in the learning process of the control system.

## KEY-WORDS:

**Computer Vision, Moments, Orientation histograms, Servomechanism, Control.**

## I. INTRODUÇÃO

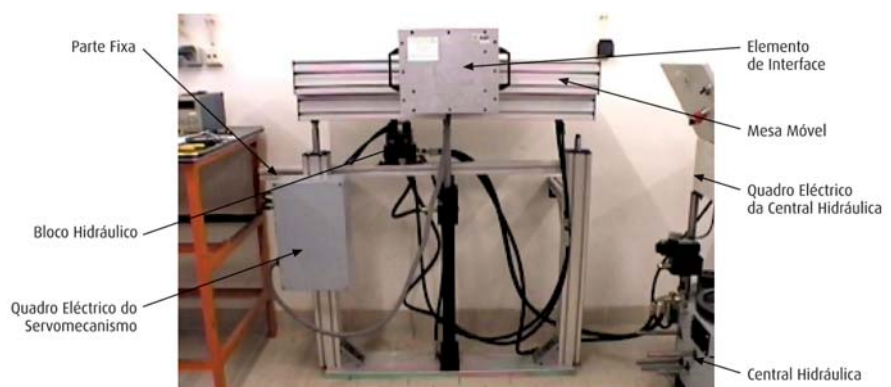
O objectivo principal do presente trabalho, a descrever resumidamente neste artigo, foi o da implementação de um sistema de controlo de um servomecanismo, dotado de dois eixos lineares, baseado em visão computacional. Para tal, optou-se pela utilização de uma *webcam* genérica para a aquisição das imagens, baseadas na linguagem gestual, e pela seguinte filosofia de controlo: o sistema deveria, numa primeira fase, a de aprendizagem, associar ordens de controlo a determinadas imagens e, na conseqüente fase de trabalho (ou de execução), reconhecer a ordem em causa, por comparação da imagem respectiva com as imagens previamente utilizadas na aprendizagem.

Na primeira abordagem para o sistema de controlo, optou-se por identificar as imagens de controlo através do cálculo dos momentos, [1], associados ao objecto em causa. Esta abordagem, apesar de simples, não permitia distinguir um número elevado de imagens de ordem. Assim, passamos a utilizar uma nova abordagem, [2 - 5], baseada em histogramas de orientação. Esta, apesar de mais complexa que anterior, tem também uma implementação bastante simples, execução pouco exigente em termos computacionais (condição necessária para o processamento ser rápido) e permite considerar um número razoável de imagens de ordem. Estas duas abordagens serão resumidamente descritas neste

artigo. Este artigo está dividido da seguinte forma: na secção seguinte é sumariamente descrito o servomecanismo utilizado neste trabalho; na terceira secção, é apresentada a interface desenvolvida para controlo do servomecanismo por intermédio de um computador; seguidamente são descritas as duas abordagens consideradas para o controlo usando visão computacional: a baseada em momentos e a baseada em histogramas de orientação; e por último apresenta-se um conjunto de imagens de ordem que funciona satisfatoriamente; na quarta e última secção, são apresentadas algumas conclusões e indicadas perspectivas de trabalhos futuros.

## II. DESCRIÇÃO DO SERVOMECHANISMO

O servomecanismo utilizado neste trabalho, Figura 1, é constituído por uma parte estrutural base, realizada em perfil *BOSCH*, e por uma parte móvel, a mesa. Este elemento móvel é manipulado por dois cilindros hidráulicos, um vertical de 600 mm e um horizontal de 350 mm.



**Figure 1** Servomechanismo utilizado neste trabalho.

O servomecanismo está dotado de quatro fins de curso cuja função é a de verificar as posições limite de cada actuador.

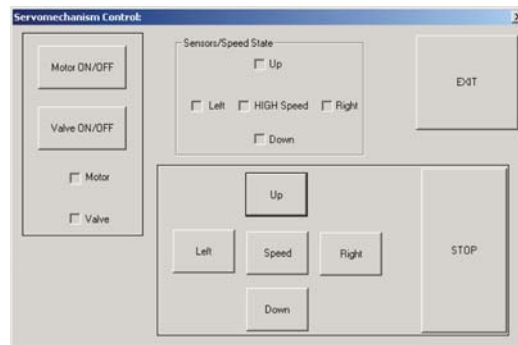
Para fazer a interface entre a placa do computador de controlo e o sistema de comando eléctrico foi utilizada a placa AX757, que possui oito monitorizações de sinais digitais e oito relés. No presente trabalho, as entradas de sinal digital foram utilizadas para monitorização, no computador, dos quatro fins de curso já referidos e dois dos contactos inversores no comando pelo computador do servomecanismo. A utilização da placa AX757 sugere o envio e recepção de sinais eléctricos por intermédio de um computador, do motor e da válvula de carga da central hidráulica, referindo os procedimentos considerados neste trabalho. A carta utilizada para enviar o comando a partir do computador foi a AX5411, da qual só foram utilizadas as suas potencialidades digitais visto não serem necessárias variações de velocidade mas unicamente a movimentação nos sentidos impostos.

Conforme é possível verificar na Figura 1, o mecanismo estava já dotado de um elemento de interface com o utilizador, que permite o comando manual do mesmo. Este elemento de interface é dotado de quatro sensores, responsáveis pela detecção das direcções e das intensidades das forças impostas, fazendo com que o sistema de controlo previamente desenvolvido o copie através da movimentação adequada dos actuadores. O objectivo principal deste trabalho era o da adição a este sistema de controlo de um outro usando visão computacional.

### III. CONTROLO DO SERVOMECANISMO

A primeira tarefa desenvolvida durante este trabalho consistiu no desenvolvimento de uma interface amigável que permitisse todo o controlo e monitorização do servomecanismo por intermédio de um computador. Essa interface foi desenvolvida numa plataforma *Microsoft Windows* [6], utilizando o ambiente de programação *Microsoft Visual C++* [7], e usando como base de desenvolvimento um sistema genérico de processamento e análise de imagem previamente existente [8, 9].

Na Figura 2 está representada a interface desenvolvida para controlo do servomecanismo através de um computador. Como se pode observar na referida figura, através desta é possível verificar os estados de cada fim de curso, ligar o motor da central hidráulica, actuar a válvula de carga da mesma, movimentar cada actuador em ambos os sentidos, segundo dois níveis de velocidade, e realizar uma paragem de emergência.



**Figure 2** Interface desenvolvida para o controlo do servomecanismo por intermédio de um computador.

Após o desenvolvimento desta interface de controlo, a tarefa seguinte foi a do desenvolvimento do sistema de controlo baseado em visão computacional. Essa tarefa está descrita nas subsecções seguintes.

#### 3.1 Controlo baseado em momentos

No domínio da análise de imagem, é muito comum a utilização dos momentos associados aos objectos representados, [1], para os caracterizar (localização, tamanho e orientação) e assim realizar o seu reconhecimento. Como o problema em causa era essencialmente um problema de reconhecimento de objectos, e também devido à grande utilização deste método no domínio da visão computacional, foi este o utilizado na primeira abordagem para a obtenção do sistema de controlo utilizando visão computacional.

A formulação do método dos momentos é, resumidamente, a seguinte: A área  $A$  (momento de ordem zero), as coordenadas do centróide  $(\bar{x}, \bar{y})$  (momentos de ordem um) e a orientação do eixo de alongamento  $\theta$  (eixo do segundo momento), do objecto presente numa imagem binária de dimensões  $(n, m)$ , são dadas por:

$$A = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m B[i, j], \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m jB[i, j]}{A}, \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m iB[i, j]}{A} \quad \text{e} \quad \tan(2\theta) = \pm \frac{b}{a-c},$$

onde  $a$ ,  $b$  e  $c$  (os momentos de segunda ordem) são:

$$a = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x'_{ij})^2 B[i, j], \quad b = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x'_{ij} y'_{ij} B[i, j] \quad \text{e} \quad c = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (y'_{ij})^2 B[i, j],$$

com  $x' = x - \bar{x}$ ,  $y' = y - \bar{y}$  e  $B[i, j]$  igual a 1 (um), se o *pixel* pertence ao objecto, ou a 0 (zero), caso contrário.

Na Figura 3 estão representados dois exemplos da obtenção das propriedades geométricas de objectos, com orientações distintas, pela implementação realizada. Como se pode verificar na referida figura, os resultados obtidos são satisfatórios.

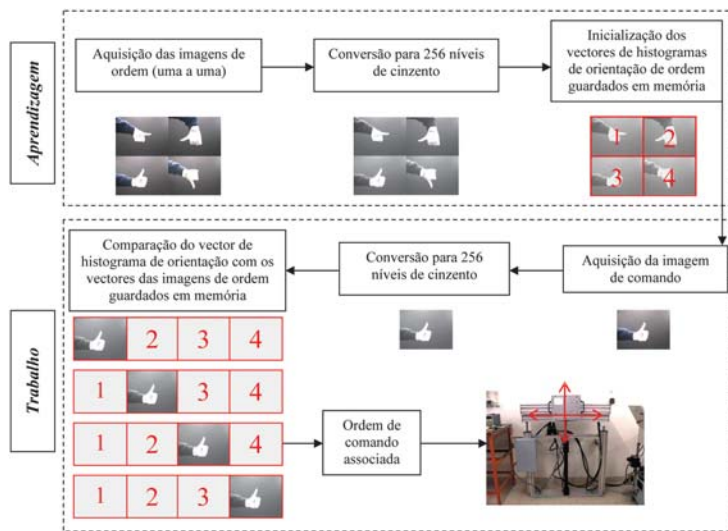
No entanto, apesar da sua simplicidade, este método apresenta as seguintes desvantagens: o objecto de controlo deve estar representado por uma única região com forma, preferencialmente rectangular, a imagem tem de ser binária e o número de ordens de controlo possíveis tem que ser reduzido, pois a orientação obtida está sempre entre 0 e 180°. Para tentar ultrapassar estas desvantagens, foi realizada a implementação da metodologia, baseada em histogramas de orientação, descrita na subsecção seguinte.



**Figure 3** Determinação da área, das coordenadas do centróide e da orientação de dois objectos através do método dos momentos.

### 3.2 Controlo baseado em histogramas de orientação

Para ultrapassar os problemas associados ao método dos momentos, anteriormente apresentado, foi implementada, para o sistema de controlo usando visão computacional, uma metodologia baseada em histogramas de orientação [2-5]. Basicamente, essa metodologia consiste em calcular o histograma de orientação de cada imagem adquirida e compará-lo com os histogramas guardados na fase de aprendizagem, determinados a partir das imagens correspondentes às ordens desejadas, Figura 4.



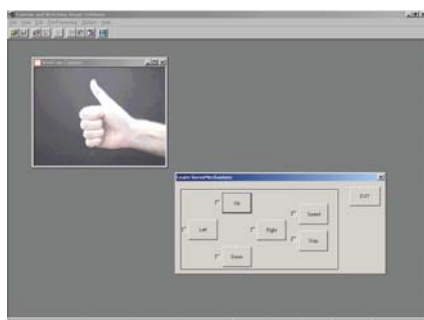
**Figure 4** Esquema do funcionamento do controlo do servomecanismo por intermédio do método de histogramas de orientação.

Assim, para cada imagem de controlo de 256 níveis de cinzento, é calculado o seu histograma e guardado num vector constituído, na implementação realizada, por 16 componentes. Este vector é posteriormente suavizado de forma a uniformizar as suas componentes. A comparação da imagem em causa, com as imagens consideradas na fase de aprendizagem, é conseguida pela diferença entre os vetores dos histogramas. A orientação de um *pixel*, de coordenadas  $(i, j)$ , é calculada do seguinte modo:

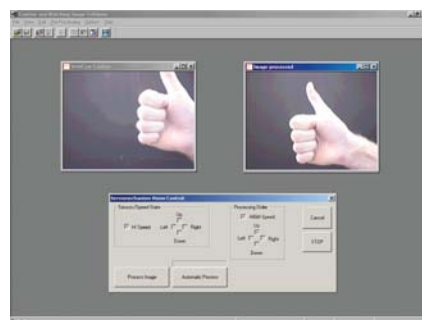
$$\theta[i, j] = \arctan(d_i, d_j) \text{ com } d_i = B[i, j] - B[i-1, j], d_j = B[i, j] - B[i, j-1] \text{ e } B[i, j] \text{ igual ao nível de cinzento do } \textit{pixel} \text{ em causa (entre 0 e 255).}$$

No cálculo dos histogramas de orientação, só são considerados os *pixels* que tenham, por um lado, um nível de intensidade superior a um dado valor (desprezam-se assim *pixels* considerados como ruído), e por outro, um valor de contraste,  $\sqrt{d_i^2 + d_j^2}$ , superior a um dado limiar (desprezam-se deste modo *pixels* em áreas sem grande significado).

Nas Figuras 5 e 6 é possível observar-se as interfaces da implementação, realizada para o sistema de controlo, nas suas fases de aprendizagem e de trabalho. As ordens de controlo consideradas foram as seguintes: paragem; movimentação para a esquerda, para a direita, para cima, para baixo; e alternar a velocidade de movimentação (rápida/lenta).

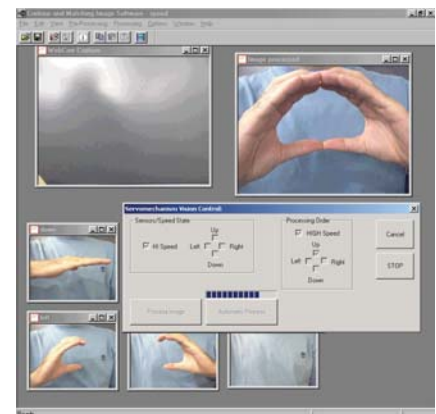


**Figure 5** Interface do sistema de controlo do servomecanismo para a fase de aprendizagem. À imagem visível será associada a uma determinada ordem de comando clicando-se no botão respectivo.



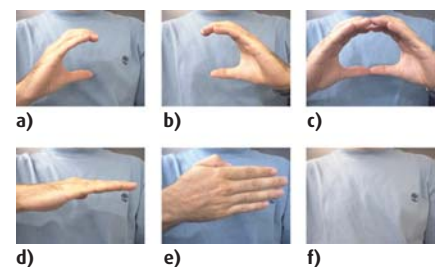
**Figure 6** Interface do sistema de controlo do servomecanismo para a fase de trabalho (ou de execução). Na janela à esquerda está visível a imagem que a webcam está a adquirir, na da direita a imagem que foi processada em modo manual.

Na implementação realizada, o sistema, quando em funcionamento em modo automático, está constantemente a adquirir imagens a partir da *webcam*, e, ciclicamente, em intervalos de tempo especificados, faz a interpretação da imagem activa e executa a ordem associada, Figura 7. Quando há uma grande diferença entre o vector da imagem em causa, e os vetores das imagens consideradas na fase de aprendizagem, o sistema rejeita a ordem. Os quatro fins de curso do servomecanismo são também monitorizados ciclicamente, segundo intervalos de tempo especificados pelo utilizador, e inibem ou não o movimento no sentido respectivo.



**Figure 7** Funcionamento em modo automático do sistema de controlo do servomecanismo baseado em visão computacional.

Na Figura 8 é possível verificar um conjunto de seis imagens de ordem, correspondente ao considerado na Figura 7, que funciona satisfatoriamente no controlo do servomecanismo utilizado.



- a) Movimento para a esquerda.
- b) Movimento para a direita.
- c) Mudança de velocidade.
- d) Movimento para baixo.
- e) Movimento para cima.
- f) Paragem.

**Figure 8** Exemplo de um conjunto de imagens de ordem que funciona satisfatoriamente no controlo do servomecanismo utilizado.

#### IV. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE TRABALHO FUTURO

Neste artigo foi apresentado um sistema de controlo, de um servomecanismo, baseado em visão computacional. Assim, foi descrito o servomecanismo considerado, apresentada uma interface para o controlo do mesmo por intermédio de um computador e duas abordagens utilizadas para o seu controlo, baseado em visão computacional. A primeira, baseada nos momentos associados ao objecto de comando, é de implementação simples e rápida, mas apresenta algumas desvantagens, nomeadamente o número reduzido de possíveis ordens de comando. A segunda, baseada em histogramas de orientação, ultrapassou satisfatoriamente esta desvantagem. Na Tabela 1 estão apresentadas algumas propriedades das duas abordagens implementadas para o controlo baseado em visão computacional.

**Tabela 1** – Propriedades das duas abordagens, uma baseada em momentos e outra em histogramas de orientação, utilizadas para o controlo baseado em visão computacional.

Momentos:	Histogramas de orientação:
✓ Comum no domínio da visão computacional para descrever e comparar objectos;	✓ Simplicidade (mais complexo que o anterior);
✓ Simplicidade;	✓ Custo computacional reduzido (mais pesado que o anterior);
✓ Custo computacional reduzido;	✓ Utilização de toda a imagem;
✗ Única região com forma (preferencialmente rectangular);	✓ Imagem em níveis de cinzento;
✗ Imagem binária;	✓ Maior número de ordens de controlo possíveis;
✗ Número de ordens de controlo possíveis reduzido.	✓ Metodologia ajustável ao ambiente de utilização (vários parâmetros de controlo).

Ao longo dos vários ensaios experimentais desenvolvidos, conclui-se que a abordagem proposta neste trabalho, baseada em histogramas de orientação, para controlo de um servomecanismo usando visão computacional, apresenta duas grandes vantagens: simplicidade de implementação e rapidez de execução. A referida abordagem funciona de forma satisfatória no controlo do servomecanismo utilizado e poderá ser considerada em outros tipos de interface amigáveis: jogos, aplicações computadorizadas, electrodomésticos, sistemas robóticos, controlos remotos, etc.

No entanto, também foi possível concluir que a abordagem baseada em histogramas de orientação apresenta ainda algumas limitações. Como a câmara utilizada não compensa as variações de iluminação, se estas forem acentuadas, o sistema de controlo não reage da mesma forma. Outro problema que a versão actual do sistema de controlo apresenta, está relacionado com o tamanho do objecto de controlo na imagem. Assim, para a metodologia funcionar satisfatoriamente, o objecto de controlo tem de dominar a imagem. Este problema é ainda mais acentuado no sistema em causa, pois a câmara não dispõe de mecanismo de autofocagem.

Como trabalhos futuros, para tornar o sistema de controlo baseado em histogramas de imagem mais robusto aos problemas anteriormente referidos, poderão ser considerados: a diminuição da sensibilidade às variações de iluminação e o seguimento do objecto de controlo ao longo da sequência de imagens utilizando, por exemplo, filtragem de *Kalman*, [10, 11], com contornos activos [8, 9, 12], tal como é sugerido em [13]. Obviamente que este procedimento de seguimento será mais custoso computacionalmente, mas, com os actuais recursos, sê-lo-á conseguido rapidamente. Outra tarefa futura, deverá ser a utilização de uma câmara mais sofisticada e a comparação do controlo resultante com o conseguido por intermédio da *webcam*. Esta alteração, por si só, deverá tornar a metodologia proposta mais robusta e eficiente.

#### REFERÊNCIAS

- [1] R. Jain, R. Kasturi, B. G. Schunk, Brian G, "Machine Vision", McGraw-Hill International Editions, Computer Science Series, 1995.
- [2] W.T. Freeman, D.B. Anderson, P.A. Beardsley, C.N. Dodge, M. Roth, C.D. Weissman, W.S. Yerazunis, H. Kage, K. Kyuma, Y. Miyake, K. Tanaka, "Computer Vision for Interactive Computer Graphics", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 18, No. 3, pp. 42-53, May-June 1998.
- [3] W.T. Freeman, P.A. Beardsley, H. Kage, K. Tanaka, K. Kyuma, C.D. Weissman, "Computer Vision for Computer Interaction", SIGGRAPH Computer Graphics magazine, November 1999.
- [4] W.T. Freeman, K. Tanaka, J. Ohta, K. Kyuma, "Computer Vision for Computer Games", In 2<sup>nd</sup> International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, Killington, VT, USA. IEEE, 1996.
- [5] W.T. Freeman, M. Roth, "Orientation histograms for hand gesture recognition", IEEE Intl. Workshp. on Automatic Face and Gesture Recognition, Zurich, June, 1995.
- [6] J. Richter, "Advanced Windows", Microsoft Press, 1998.
- [7] M.J. Young, "Mastering Microsoft Visual C++ 6", Sybex, 1998.
- [8] J. Tavares, J. Barbosa, A. Padilha, "Apresentação de um Banco de Desenvolvimento e Ensaio para Objectos Deformáveis", RESI – Revista Electrónica de Sistemas de Informação – ISSN: 1677 – 3071, 2002. ([http://www.fe.up.pt/~tavares/downloads/publications/artigos/banco\\_resi.pdf](http://www.fe.up.pt/~tavares/downloads/publications/artigos/banco_resi.pdf))
- [9] J. Tavares, Tese de Doutoramento: "Análise de Movimento de Corpos Deformáveis usando Visão Computacional", FEUP, 2000. (<http://www.fe.up.pt/~tavares/downloads/publications/teses/tese%20phd.zip>)
- [10] P.S. Maybeck, "Stochastic Models, Estimation, and Control", Mathematics In Science and Engineering, Vol. 141. Vol. I., Academic Press, 1979.
- [11] J. Tavares, Dissertação de Mestrado: "Obtenção de Estrutura Tridimensional a Partir de Movimento de Câmara", Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1995. (<http://www.fe.up.pt/~tavares/downloads/publications/teses/tese%20msc.zip>)
- [12] A. Blake, M. Isard, "Active Contours", Springer-Verlag, 1998.
- [13] A. Blake, R. Curwen, A. Zisserman, "A Framework for Spatiotemporal Control in the Tracking of Visual Contours", International Journal of Computer Vision, 11(2), p. 127/145, 1993.