

# UM SISTEMA DE MEDIÇÃO DE VOLUME POR VISÃO COMPUTACIONAL

DANIEL C. MARQUES, RICARDO A. FELICIANO, ALESSANDRO L. RANGEL, RAFAEL L. MARTIN, DENIS ASSADA,  
REINALDO A. C. BIANCHI

*Departamento de Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia Industrial - FEI  
Av. Humberto de A. Castelo Branco, 3972, 09850-901 São Bernardo do Campo, SP, BRAZIL  
E-mails: rbianchi@cci.fei.br*

**Resumo**— Sistemas de visão computacional têm encontrado variadas aplicações industriais, que vão desde a inspeção de peças até a montagem robotizada. Este artigo descreve o projeto e implementação de um sistema de medição de volumes de objetos baseado em visão computacional para ser utilizado por empresas de transporte e armazenagem de cargas. O sistema utiliza uma câmera de vídeo, um espelho posicionado em ângulo definido e pastilhas de identificação eletrônicas. A função da câmera é obter uma imagem dos objetos tão logo os mesmos acionem o sensor das pastilhas de identificação. A partir da imagem original é realizada uma extração de bordas utilizando o operador Sobel e, a partir das bordas, a altura e a área superior do objeto são encontradas. A partir destas medidas o volume do objeto é calculado. Os objetos podem ser de qualquer formato, desde que tenham altura constante. O sistema foi montado sobre uma esteira industrial leve controlada por um CLP, que se comunica com os sensores e atuadores usando o padrão Fieldbus e com o computador através de uma porta serial. Os resultados mostraram que o sistema possui boa precisão e pode ser construído com baixo custo.

**Abstract**— Computer Vision Systems have been used in several industrial applications, ranging from inspection to robotic assembly. This article describes the design and implementation of a system for measurement of object volume based on computer vision, using a video camera, a mirror and identification tags. The camera acquires the image in the moment the tag sensor indicates that an object is in the position. From this image the edges image is obtained using the Sobel edge detector and, from the edges image, the height and the area of the object are found. From these data the volume of the object it is calculated. The objects can be of any format, but with constant height. The system was tested on a light industrial conveyor belt controlled by a logic programmable controller that communicates with the sensors and actuators using the Fieldbus standard, and with the computer through a serial port. The results had shown that the system have good accuracy and low construction cost.

**Keywords**— Computer Vision; Artificial Intelligence; Automatic Measurement.

## 1 Introdução

Sistemas de visão computacional têm encontrado variadas aplicações industriais, que vão desde a inspeção de peças até a montagem robotizada. Entre estas aplicações está a medida das características físicas de um objeto, como altura, largura, comprimento, volume, cor, forma, entre outras.

Empresas de transporte e armazenagem de cargas necessitam saber o volume dos objetos para poder calcular o custo de suas operações. Atualmente, estas empresas utilizam sistemas de medição de volume baseados em conjuntos de sensores fotoelétricos montados em portões, que, apesar de serem os mais usados, são caros e imprecisos.

Para substituir este tipo de sistema foi projetado e implementado um sistema de medição de volumes de objetos baseado em visão computacional, utilizando uma câmera de vídeo posicionada estaticamente, um espelho posicionado em ângulo definido e pastilhas de identificação eletrônicas (Marques et al., 1999).

A função da câmera é obter uma imagem dos objetos tão logo os mesmos acionem um sensor que se comunica com as pastilhas de identificação (tags). A partir da imagem original é realizada uma extração de bordas utilizando o operador Sobel e, a partir das bordas, a altura e a área superior do objeto são encontradas. A área superior é encontrada no centro da imagem enquanto a altura é encontrada indiretamente através do espelho (que permite à câmera capturar na

mesma imagem a altura do objeto, substituindo uma segunda câmera).

Capturando as três dimensões do objeto e integrando-as o volume final é obtido. A integração utilizada apenas multiplica a superfície superior pela altura, permitindo obter o volume de objetos de qualquer formato, desde que tenham altura constante. Finalmente, a informação de volume cada objeto é armazenada em uma pastilha de identificação eletrônica, que pode conter diversos dados como origem, destino, proprietário, etc.

O sistema foi montado sobre uma esteira industrial leve controlada por um CLP, que se comunica com os sensores e atuadores usando o padrão Fieldbus e com o computador através de uma porta serial.

Levando-se em conta que os sistemas similares existentes no mercado apresentam alto custo e implementação complexa, consideramos os resultados obtidos por este sistema muito satisfatórios.

A próxima seção apresenta conceito básicos de visão computacional utilizados pelo sistema. A terceira seção apresenta o algoritmo utilizado e a quarta descreve o sistema implementado. A quinta seção descreve a montagem experimental, a sexta os resultados obtidos. A última seção apresenta as conclusões deste trabalho

## 2 Detecção de bordas usando Visão Computacional

Para encontrar as três dimensões do objeto primeiro se fez necessário encontrar as bordas do mesmo. Para tanto, foi utilizado um dos algoritmos de detecção de bordas mais conhecidos, o detector de bordas Sobel.

Os filtros 3x3 do operador Sobel estimam a derivada através do cálculo da diferença de cruzamento entre a área de imagem 3x3 e os filtros. Este arranjo da máscara de Sobel não é somente intuitivo; segue a simples construção da representação do gradiente de posição. O detector de bordas Sobel pode ser resumido seguintes equações:

$$B(i, j) = [(B_x^2 + B_y^2)]^{1/2}$$

Onde:

$B(i, j)$  = matriz de bordas;

$A(i, j)$  = matriz de imagem;

$$B_x(i, j) = a(i+1, j-1) + 2.a(i+1, j) + a(i+1, j+1) - a(i-1, j-1) - 2.a(i-1, j) - a(i-1, j+1);$$

$$B_y(i, j) = a(i-1, j+1) + 2.a(i, j+1) + a(i+1, j+1) - a(i-1, j-1) - 2.a(i, j-1) - a(i+1, j-1);$$

Para minimizar problemas causados por ruídos provenientes das variações no nível de cinza do fundo e por regiões de baixa iluminação com bordas fracas, Shu [Shu, 1989] sugere que, após a aplicação de Sobel, seja aplicado um filtro limiar para detecção de bordas de um pixel.

$$T = \{ \max [E(i, j)] - \min [E(i, j)] \} / 2$$

$E(i, j) \neq 0$ , onde:

$$E(i, j) = [(E_x^2 + E_y^2)]^{1/2}$$

- Se  $B(i, j) \Rightarrow B(i+1, j) : E_x(i, j) = B(i-1, j) + B(i, j) + B(i+1, j)$

Caso contrário:  $E_x(i, j) = 0$

- Se  $B(i, j) \Rightarrow B(i, j+1) : E_y(i, j) = B(i, j-1) + B(i, j) + B(i, j+1)$

Caso contrário:  $E_y(i, j) = 0$

O algoritmo de Sobel com limiarização proposto por Shu foi o escolhido para este projeto por se adaptar melhor às questões abordadas de nível de ruído, contraste e regiões de pouca iluminação.

## 3 Cálculo do volume dos objetos

A extração do volume dos objetos a partir de uma imagem (figura 6, por exemplo) é realizada em cinco passos, descritos a seguir:

1. Conversão da imagem adquirida para um bitmap monocromático, já que imagem original colorida deve ser convertida para 256 níveis de cinza para a passagem do filtro;
2. Detecção das descontinuidades na imagem, utilizando o filtro Sobel modificado;
3. O cálculo da área superior do objeto: feito com a contagem de todos os pixels que se encontram dentro do contorno fechado encontrado;
4. Cálculo da altura: a partir da imagem refletida no espelho, se encontra a altura do objeto;
5. Cálculo do volume final, com a simples multiplicação da área superior pela altura.

## 4 Descrição do sistema

O sistema implementado é composto por diversos módulos (fig. 1). A seguir é descrito o funcionamento dos principais blocos funcionais e a sua respectiva função dentro do sistema.

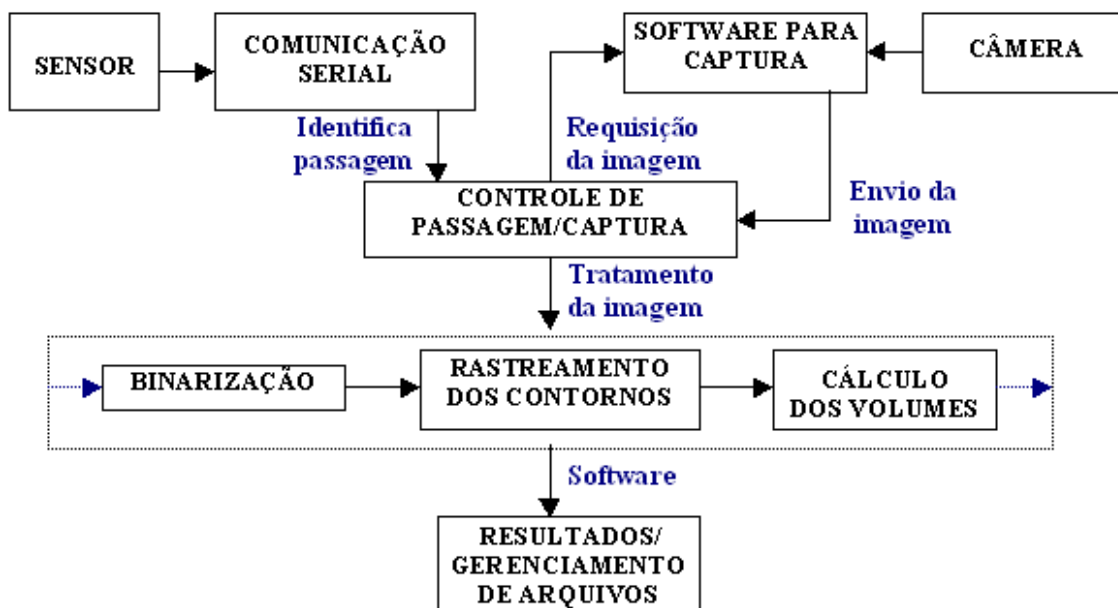


Figura 1: esquema básico do sistema implementado.

## Sistemas de Identificação Pepperl+Fuchs

O sistema de identificação indutivo Pepperl+Fuchs é baseado em uma técnica caracterizada pela alta velocidade e baixo consumo de energia e distância de leituras elevadas. A pastilha de identificação colocada no objeto para identificação é alimentada indutivamente e, obviamente, sem contato, transmitindo o código para a cabeça de leitura e escrita.

<i>Característica</i>	<i>IDENT-I</i>
Princípio de Funcionamento	Indutivo
Frequência	250 KHz
Distância Máxima de Leitura	10 cm
Distância Máxima de Escrita	8 cm
Memória (byte)	32K
Taxa de Transmissão de Dados	7.8 Kbaud

Tabela 1: características das pastilhas de identificação IDENT-I.



Figura 2: pastilhas de identificação utilizadas e cabeça leitora.

A pastilha de identificação é constituída por um circuito integrado simples e uma bobina que permite o recebimento de energia externa e a transferência de dados. Dados podem ser escritos ou lidos da pastilha de identificação. O circuito contém uma memória na qual o dado é armazenado, cujos componentes são uma unidade lógica de controle e dois capacitores. Um dos capacitores está permanentemente conectado em paralelo com a bobina e o outro pode ser chaveado com a unidade lógica de controle.

A pastilha de identificação é alimentada por pulsos eletromagnéticos gerados pela cabeça de leitura e escrita. Os pulsos excitam um circuito oscilador LC, que é composto da indutância da bobina e capacitores. Através do chaveamento do segundo capacitor, a frequência de oscilação usada pode assumir dois valores: 260KHz e 300KHz.

O sinal senoidal recebido é filtrado e então convertido para uma onda quadrada através do comparador que tem a função de mudar o status da saída a cada “ponto zero volts” presente na entrada. Posteriormente, um divisor de frequência conta 16 ciclos de onda quadrada e produz um pulso em sua saída. Este

pulso é enviado para a bobina emissora através de um estágio final.

### Leitura da Porta Serial

A varredura da imagem gerada pela câmera e a da leitura da porta serial (tempo de espera para acionamento do sensor) não são feitos simultaneamente no mesmo programa.

Recursos de “multithread” foram utilizados para chavear no mesmo programa parcelas de execução ora de uma varredura, ora de outra.

### Controle de Captura da Imagem e Sistema de Identificação

O controle de captura da imagem é feito com o Sistema de Identificação P+F que funciona como um elemento sensor e ao mesmo tempo identificador do produto.

Uma Cabeça de Leitura/Escrita identifica a presença do TAG através de um bit no “telegrama” enviado para a porta serial do computador, acionando a captura da imagem. No instante seguinte, com os cálculos das dimensões efetuados, estes são enviados via porta serial para a Interface de Identificação, para gravar a informação no TAG.

Assim, as informações de ALTURA, ÁREA e VOLUME são gravadas na própria pastilha de identificação.

Para se ler/escrever nas TAGs é utilizada uma unidade de interface de controle, que é o vínculo (interface serial) entre a cabeça e o computador ou um PLC. As linhas de sinal da cabeça leitora são interconectadas com o microprocessador através da interface serial de um CI da família 8051.

No estado normal, a unidade de interface de controle aguarda as instruções enviadas pela interface serial. Seguindo as instruções de leitura, a Interface está então preparada para a leitura do dado na pastilha de dados. Se a pastilha estiver presente e com o “range” de detecção compatível com as especificações, a análise dos dados é iniciada.

### Aquisição da imagem

Para realizar a aquisição da imagem foi utilizada uma câmera de vídeo composto e uma interface de aquisição de imagens baseada no padrão Video For Windows. A câmera de baixo custo possibilita a captura de imagens com 330 linhas com uma saída efetiva de 512 x 492 píxeis, com iluminação mínima de 10 lux (fig. 3). A interface de aquisição de imagens é baseada no processador de vídeo BT-848 e foi escolhida devido a seu reduzido custo e boa qualidade de imagem.

## 5 Montagem Experimental

O sistema foi montado sobre uma esteira industrial leve controlada por um CLP, que se comunica com os sensores e atuadores usando o padrão Fieldbus e com o computador através de uma porta serial (fig. 4).

A esteira rolante utilizada neste sistema é do tipo correia plana horizontal, com um motor trifásico de 0,16 cavalos e capacidade máxima para 50 kilogramas. A velocidade máxima da esteira é de 0,18 m/s e seu comprimento de 1,8 m.



Figura 3: câmera utilizada



Figura 4: sistema montado na esteira rolante.



Figura 5: Interface do sistema.

Pode-se ver na imagem que a câmera para detecção da imagem do objeto está instalada sobre a esteira, o que lhe garante uma vista superior do processo.

A câmera se encontra a uma altura calculada para reduzir as distorções da imagem (causadas pela projeção perspectiva) e para conseguir capturar uma imagem por completo (toda a superfície de cima do objeto e sua altura). A iluminação foi regulada para impedir que o contraste flutuante interfira na extração das bordas e posterior obtenção do volume.

A caixa abaixo da esteira é o CLP, que controla a aquisição de dados dos sensores e a velocidade da esteira, além de se comunicar com o microcomputador.

## 6 Resultados Obtidos

A figura 5 apresenta a interface gráfica do programa. Nela pode-se ver a imagem do objeto capturado, incluindo campos com os valores das dimensões do objeto e as condições do sistema (interface, sensor de

identificação e câmera). A interface inclui menus para interface com o usuário ou operador do sistema. Permite, ainda, a visualização da imagem do objeto em níveis de cinza, da imagem de descontinuidades e das bordas.

A figura 6 mostra um objeto de referência passando pelo sensor responsável pela captura da imagem na esteira em movimento. A imagem original é composta pela área tomada por cima pela câmera e a área lateral tomada pelo espelho (com a altura). A segunda imagem mostra o resultado do operador Sobel e a terceira a imagem de bordas utilizada para o cálculo da área.

Pelos resultados de medidas obtidos para este objeto de referência (tabela 2) pode-se notar que o cálculo da área superior do objeto é realizada com boa precisão. Nota-se ainda que o maior fator que introduz erro é o cálculo da altura, que reflete no resultado final.



Figura 6: Imagens utilizadas pelo sistema.

	<i>Medida aferida com paquímetro (0,1 mm de resolução)</i>	<i>Valor obtido pelo sistema</i>	<i>Diferença</i>
<b>Área</b>	197,6 ± 0,3 (cm <sup>2</sup> )	198,77 (cm <sup>2</sup> )	1,13 (0,56%)
<b>Altura</b>	9,50 ± 0,01 (cm)	10,01 (cm)	0,51 (5,09%)
<b>Volume</b>	1990 ± 5 (cm <sup>3</sup> )	1877,58 (cm <sup>3</sup> )	113,07 (6,02%)

Tabela 2: Resultados obtidos para um objeto de referência.

## 7 Conclusão

Este artigo descreveu o projeto e implementação de um sistema de medição de volumes de objetos baseado em visão computacional, utilizando uma câmera de vídeo, um espelho posicionado em ângulo definido e pastilhas de identificação eletrônicas.

Os algoritmos de segmentação de imagens utilizados são bastante conhecidos e eficazes e trouxeram boa precisão ao sistema. Apesar dos erros médios no cálculo do volume se encontrarem perto dos 5%, este valor é considerado um bom resultado, visto que é

melhor que o obtido com o uso de arrays de sensores fotovoltaicos montados em portões, que é o sistema de medida de volume mais usado pelas empresas de transporte e armazenagem de cargas.

O fato individual que mais introduz erro no cálculo do volume é o uso do espelho para permitir que se utilize apenas uma câmera. Para que o sistema atenda melhor as exigências reais desta área propõe-se a eliminação do espelho e a utilização de duas câmeras independentes, o que também permitiria o cálculo do volume para objetos com alturas variáveis.

### Referências Bibliográficas

- Ballard, D. H.; Brown, C. M. *Computer Vision*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1982.
- Low, A - *Introductory Computer Vision and Image Processing*, McGraw-Hill Book Co., London, 1991.
- Marques, D. C.; Feliciano, R., Rangel, A.; Assada, D.; Martin, R. *Um Sistema de Medição de Volume por Visão Computacional*. Projeto de Conclusão de Curso, Faculdade de Engenharia Industrial – FEI, São Bernardo do Campo, 1999.
- Nalwa, V. S.;Binford, T. O. On detecting edges, *IEEE Trans, Pattern Analysis Mach Intell.* PAMI-8 699-714, 1986.
- Shu,J.S.P – One-Pixel-Wide Edge Detection, *Pattern Recognition* 22(6),665-673, 1989.