

I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE

RIO CLARO - SP - 8 A 10 DE SETEMBRO DE 1993



unesp 
Rio Claro

GIA GRUPO DE
INTELIGÊNCIA
ARTIFICIAL


SOCIEDADE BRASILEIRA DE AUTOMÁTICA

ESRASE - SISTEMA ESPECIALISTA PARA RESTABELECIMENTO AUTOMÁTICO DE SUBESTAÇÕES	115
G.M.Ribeiro (EFEI)	
C.I.A.Costa (EFEI)	
G.Lambert-Torres (EFEI)	
A.P.A.da Silva (EFEI)	
MONITOR - SISTEMA ESPECIALISTA PARA MONITORAMENTO DA CORROSÃO EM PROCESSO QUÍMICO INDÚSTRIAL	125
C.M.Pedroso (PUC-PR)	
P.Funayama (PUC-PR)	
M.P.Ramos (PUC-PR)	
C.A.A.Kaestner (PUC-PR)	
CONTROLE ROBUSTO DE POSIÇÃO DE MANIPULADORES MECÂNICOS	135
M.Bergerman (EPUSP)	
J.J.da Cruz (EPUSP)	
FICÇÃO, REALIDADE E EXPECTATIVA DE ROBÔS INTELIGENTES BASEADOS EM COMPORTAMENTO	145
J.B.M.Alves (UFU)	
M.F.Resende (UFU)	
A.Leite (UFRO)	
K.Yamanaka (UFU)	
GERAÇÃO DE TRAJETÓRIAS EFICIENTES PARA MANIPULADORES ROBÓTICOS	155
W.F.Lages (ITA)	
E.M.Hemerly (ITA)	
CONTROLE DE UM VEÍCULO UTILIZANDO A TEORIA DOS CONJUNTOS NEBULOSOS	165
A.Laprade (Canadá)	
G.Lambert-Torres (EFEI)	
SISTEMA PARA DEPURAÇÃO DE UM ROBÔ MÓVEL AUTÔNOMO INTELIGENTE	175
A.Leite (UFRO)	
J.B.M.Alves (UFU)	
M.F.Resende (UFU)	
SISTEMA DE RECONHECIMENTO VISUAL DE OBJETOS POLIÉDRICOS	185
A.Gonzaga (EESC-USP)	
V.O.Roda (IFQSC-USP)	
MATCHING DEFORMABLE CONTOURS FOR MEDICAL IMAGING	195
L.A.R.Costa (EPUSP)	
D.Geiger (USA)	
PROJETO DE UM SISTEMA DE INSPEÇÃO AUTOMÁTICA DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO UTILIZANDO MORFOLOGIA MATEMÁTICA	203
J.F.Borba (CEFET-PR)	
J.Facon (CEFET-PR)	
A COMPLETE COMPUTER VISION SYSTEM FOR POLYHEDRON RECOGNITION	209
M.B.Sandler (University of London)	
L.F.Costa (IFQSC-USP)	
D.A.Fraser (University of London)	
W. Lin (National University of Singapore)	
SEGMENTAÇÃO E REPRESENTAÇÃO DE CONTORNOS POR B-SPLINES PARA APLICAÇÕES EM VISÃO COMPUTACIONAL	223
R.M.Cesar Junior (UNICAMP)	
R.A.Lotufo (UNICAMP)	

SISTEMA DE RECONHECIMENTO VISUAL DE OBJETOS POLIÉDRICOS

Adilson Gonzaga¹
Valentin Obac Roda²

¹EESC-USP - Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia Elétrica
Av. Dr. Carlos Botelho, 1465
São Carlos, SP, Brasil

²IFQSC-USP - Instituto de Física e Química de São Carlos
Depto. de Física e Ciência dos Materiais
Av. Dr. Carlos Botelho, 1465

Abstract. We present in this work a system for Three dimensional Shape Recognition. Traditional Computer Vision systems use bi-dimensional TV camera images. In most of the industrial Robotic applications, the excess of detail obtained by the TV camera, is needless. Traditional classification algorithms spend much time to process the excess of information. For the present work we developed a dedicated recognition system, which deflects a Laser beam over an object and digitizes the Reflected beam point by point over the surface. The intensity of the reflected beam is proportional to the observer distance. Using this technique it was possible to establish features to classify various objects. These features are the slope of the polyhedral surfaces, the boundary type and the inner edges. The recognition system used a He-Ne Laser and the reflected signal was captured by a photo-transistor. The object to be recognized is placed over a rotating table that can be rotated, supplying a new view for the classification. A microcomputer controls the system operation and the object is recognized in real time.

1. Introdução.

Com a necessidade cada vez maior de automação do processo de produção industrial e também dos sistemas de distribuição física envolvendo manipulação mecânica, os equipamentos de Visão Computacional estão se tornando dia a dia mais importantes.

O assunto tem sido estudado por um grande número de pesquisadores, ao longo de vários anos, e diversos sistemas propostos são implementados quase sempre de modo dedicado.[Yoda et all. 1973]

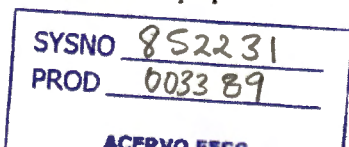
De uma maneira geral, as soluções são geradas através da aplicação de técnicas definidas em Reconhecimento de Padrões sobre uma imagem processada da cena. Isto requer normalmente uma quantidade de memória elevada disponível para o armazenamento e o processamento dos "pixels", consumindo também um tempo considerável. Por essa razão, são utilizados na maioria destes trabalhos, computadores de grande porte.

Denominamos aqui de sistema alternativo, um método que não empregue imagens digitalizadas para o reconhecimento de objetos. Os mais conhecidos são os medidores de distância ("range finder") que podem utilizar Laser [Jarvis 1983][Rioux 1984][Stuvinaga et all. 1989] ou ultrason [Monchaud 1989]. A literatura sobre Visão Computacional está repleta de propostas que usando uma câmera de TV captam imagens de cenas tri-dimensionais e a partir de planificações destas categorizam os elementos espaciais.

Acreditamos que os métodos tradicionais empregando uma câmera de TV possuam maior número de adeptos devido ao fato que os pesquisadores em Visão Computacional estão em geral envolvidos com processamento de imagens.

Um fato porém leva-nos a crer que sistemas alternativos possam ser de grande valia em aplicações industriais: uma imagem de TV transporta uma quantidade de informação superior à necessidade da maioria das aplicações de Visão de Máquina na indústria. Em outras palavras, um Robô em grande parte das situações não precisa "ver" com a mesma precisão de detalhes da visão humana. Esta informação "em excesso" é eliminada através do processamento da imagem, consumindo-se grande quantidade de tempo e custo computacional.

O sistema que propomos neste trabalho visa obter dados suficientes para que um manipulador mecânico possa ser acionado no menor tempo possível. Não nos preocupamos aqui com este acionamento, mas somente com a aquisição



do sinal e do algoritmo necessário ao reconhecimento do formato do objeto considerado na cena.
Dentre as técnicas alternativas possíveis, fizemos opção pela utilização de um feixe de Laser que pode ser convenientemente controlado e dirigido sobre o objeto a ser reconhecido, através de um Microcomputador.

2. Configuração geral do sistema.

A Fig.1 mostra um esquema geral de distribuição dos componentes para implementação do sistema de reconhecimento do formato de objetos tri-dimensionais aqui proposto.

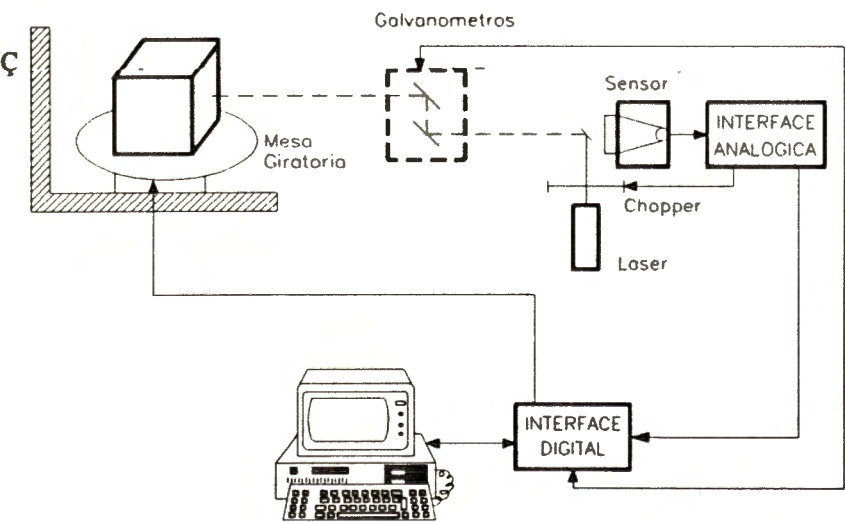


Fig.1 - Sistema de reconhecimento do formato de objetos tri-dimensionais, utilizando varredura a Laser.

O feixe incidente é desviado por um primeiro espelho de reduzido diâmetro, colocado formando um ângulo de 45° com o plano da lente e bem no centro desta. O feixe refletido pelo objeto que carrega a informação de luminância necessária para o reconhecimento, retorna através dos dois espelhos defletores (x,y) e atinge o foto-transistor como um feixe de luz paralela convergido pela lente.

A interface analógica retira o sinal, filtra-o e adapta-o a nível suficiente de ser convertido pela interface digital do Microcomputador. Esta possui então a capacidade de gerenciamento da posição do objeto, de varredura do feixe de Laser e de conversão analógica/digital do sinal refletido. O sistema é representado em diagrama em blocos conforme a Fig.2.

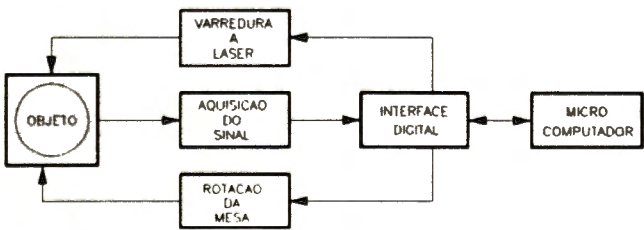


Fig.2 - Diagrama em blocos do sistema de reconhecimento do formato de objetos tri-dimensionais.

implementado neste trabalho. Evidentemente este tamanho (l_x ou l_y) depende apenas da distância (d) se mantivermos constante o ângulo de deflexão (δ), conforme mostra a Eq.1. Este parâmetro é calibrado na placa de interface digital através do ajuste de ganho do amplificador operacional de saída de cada conversor D/A.

Estes ganhos são regulados, para este trabalho, tal que os ângulos de deflexão sejam $\delta_x = \delta_y = 20^\circ$. Isto gera um campo de aproximadamente 30 cm X 30 cm a uma distância média de 85 cm dos espelhos.

Uma mesa giratória suporta um objeto, considerado triédrico e difusor perfeito. Esta mesa permite através de controle do Microcomputador, girar e expor o sólido da cena em 360° a seu observador. Este por sua vez é formado por um foto-transistor, localizado no foco de uma lente, dentro de uma câmera escura. Este dispositivo transforma a intensidade luminosa, do feixe de Laser refletido sobre o objeto, em um sinal eletrônico condicionado pela interface analógica. O eixo de visão é considerado o eixo Cartesiano z.

Um feixe de Laser é dirigido sobre o objeto através de dois espelhos ligados a galvanômetros que realizam a varredura no plano (x,y) de acordo com o programa no Microcomputador.

Na Fig.3 podemos ver o campo definido pela deflexão dos dois galvanômetros, medido no fundo contra o qual é colocado o objeto a ser reconhecido. Este campo é limitado em aproximadamente 30 cm em cada eixo, para o protótipo

O circuito de controle dos galvanômetros é formado por uma fonte de tensão constante, ajustável para cada eixo, cujo valor de saída é proporcional ao fornecido pelo conversor D/A correspondente. Este circuito fornece a corrente necessária à operação de deflexão com excelente grau de

$$d = \frac{l_x \cdot \cos(\delta_x / 2)}{2 \cdot \sqrt{1 - \cos^2(\delta_x / 2)}} \quad (1)$$

estabilidade e repetibilidade.

Praticamente, para o protótipo implementado podemos ter com o conversor de 12 bits utilizado, 4096 (quatro mil e noventa e seis) pontos no eixo x e 4096 pontos no eixo y. Isto equivale dizer que a variação de um bit na entrada do conversor D/A produz um deslocamento de $30 \text{ cm} / 4096 = 7,3 \times 10^{-3} \text{ cm}$ em um dos eixos, medido sobre o fundo da cena. Este valor é evidentemente muito

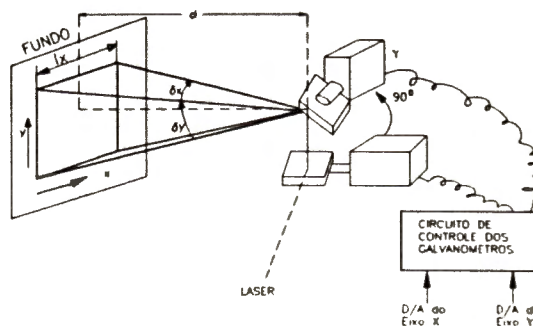


Fig.3 - Campo de deflexão dos galvanômetros.

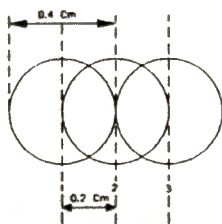


Fig.4 - Diâmetro do ponto projetado do feixe de Laser.

pequeno e uma varredura considerando todos os pontos em qualquer um dos dois eixos seria muito lenta e desnecessária. Se observarmos a Fig.4 podemos ver que o ponto projetado pelo feixe de Laser no fundo da cena é, para esta implementação, de aproximadamente 0,4 cm de diâmetro.

Se fizermos a varredura conforme mostra esta figura, intercalando cada ponto de 0,2 cm em 0,2 cm, no mínimo $0,2 \text{ cm} / 7,3 \times 10^{-3} \text{ cm} = 27$ variações de valores digitais são necessários para cada ponto. Logo, para completar os 30 cm em cada eixo, $4096 / 27 = 151$ códigos binários devem ser gerados.

Para esta distância e este campo definido, um conversor D/A de 8 bits seria suficiente. A adoção de um conversor de 12 bits foi realizada porque para campos um pouco maiores (por exemplo 60 cm) o conversor de 8 bits não permitiria este tipo de varredura com a mesma precisão e repetibilidade.

2.1 Rotação da mesa que suporta o objeto.

Para que o programa de reconhecimento tenha acesso às diversas faces que compõe um objeto, o sistema é dotado de uma mesa giratória que o suporta. Outros autores utilizam também este recurso para a visão múltipla da cena [Connolly & Stenstrom 1986]. Esta mesa é acionada por um motor de passo ligado a ela por uma correia de transmissão dentada, e comandado por um circuito de "driver".

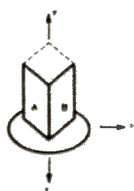


Fig.5 - Dois planos e uma aresta convexa.

Outra característica importante da mesa giratória é que ela é indexada. Um foto-acoplador, registra a passagem de um traço escuro em um aro transparente informando quando a mesa encontra-se na sua posição inicial.

Como o acionamento é realizado através de um motor de passo, apenas um índice é suficiente pois o motor trabalha em malha aberta e outras posições são obtidas enviando-se um número exato de pulsos ao circuito acionador. Desta forma, o objeto é exposto em quatro quadrantes facilitando o reconhecimento de suas superfícies dentro do programa.

Por exemplo, as duas superfícies A e B da Fig.5 tendo sido classificadas como convexas na primeira análise, podem ser formantes de um objeto sólido triédrico ou podem ser apenas dois planos unidos por uma aresta e apoiados sobre a mesa. Um giro de 180° mostrará outra face deste objeto. Se o mesmo for um sólido triédrico perfeito suas arestas serão sempre convexas. A concavidade mostrará, por exemplo, que o objeto em questão pode ser apenas dois semi-planos. Como o eixo de visão é paralelo ao eixo Cartesiano z, apenas um lado do objeto poderia causar informação insuficiente para se decidir a respeito de sua classificação.

Por isso, o programa de controle realiza quatro giros de 90° cada, tomando decisão em cada um deles. A coerência destes resultados permite o reconhecimento do formato do objeto visualizado.

2.2 Interface analógica para aquisição do sinal.

A maior dificuldade de recepção da parcela de luz refletida do feixe de Laser incidente sobre o objeto é sua baixa intensidade e conseqüentemente o alto nível do ruído. Quando sinais da ordem de microvolts encontram-se na presença de ruídos na casa de volts, uma solução de medida é a utilização de um amplificador "lock-in". Este tipo

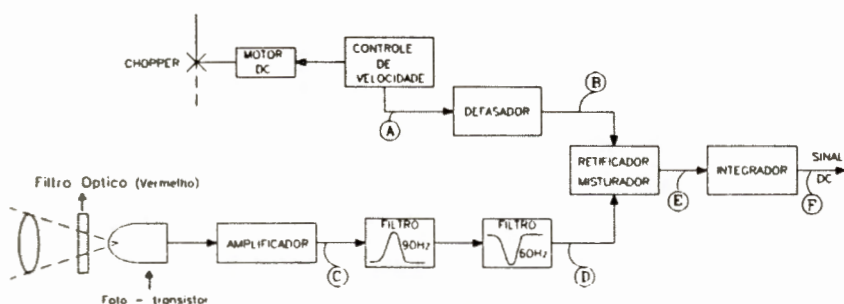


Fig.6 - Diagrama do amplificador "lock-in" da interface analógica.

Ele rejeita o ruído aleatório, transientes, interferência de frequências discretas e harmônicas. O circuito produz uma saída dc proporcional ao valor rms da forma de onda senoidal da frequência fundamental do sinal medido.

2.3 Controle de velocidade do motor de "chopper".

Para que possamos ter um sinal de referência em uma frequência constante que faça o chaveamento do amplificador "lock-in" em sincronismo com o sinal proveniente do foto-detector, um motor dc é usado em

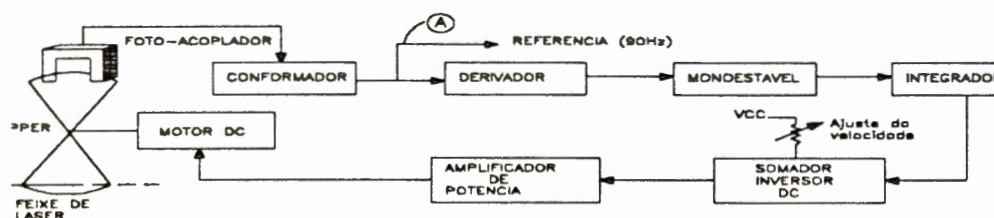


Fig.7 - Diagrama do circuito de controle de velocidade do motor de "chopper".

seu eixo uma pá dupla balanceada que também interrompe um foto-acoplador sincronamente. O sinal deste foto-acoplador passa por um conformador que nada mais é do que um disparador saturado que transforma seu sinal em uma onda quadrada de frequência constante igual a 90 Hz. A saída do conformador fornece então a referência para o amplificador "lock-in" sincronizar a recepção.

A onda quadrada na saída do conformador é aplicada em um circuito derivador que por sua vez disparará um monoestável de largura de pulso constante. A integração deste trem de pulsos fornece um valor dc de referência ao circuito de ajuste de velocidade. Sua saída é então amplificada em potência para acionamento do motor. Portanto, a forma de onda no ponto A das figuras 6 e 7 é uma onda quadrada de frequência constante igual a 90 Hz .

2.4 Detecção e filtragem do sinal refletido sobre o objeto.

O feixe incidente de Laser é seccionado a uma frequência constante de 90 Hz e a parte refletida na direção do eixo de visão é captada por um foto-transistor colocado no foco de uma lente convergente. Como o Laser utilizado é de HeNe, um pequeno filtro de vidro na faixa do vermelho, realiza a primeira filtragem ótica para reduzir a interferência de luz ambiental. Este filtro é aplicado diretamente sobre o foto-transistor dentro da câmara escura, no caminho ótico do feixe de Laser refletido. No ponto C da Fig.6, o sinal é extremamente ruidoso, mas este ruído está sobreposto a uma onda quadrada na frequência de 90 Hz resultante da detecção da parcela refletida do feixe

de circuito é um voltímetro ac extremamente seletivo usado para medir sinais de frequência única obscurecidos por ruído. A interface analógica do sistema de reconhecimento do formato de objetos tridimensionais é basicamente um amplificador "lock-in" conforme mostra o diagrama da Fig.6.

velocidade constante interrompendo o feixe de Laser. O circuito de controle é mostrado de forma esquemática na Fig.7.

O motor dc que secciona o feixe de Laser é do tipo "cup motor" de baixa inércia possuindo em

de laser sobre o objeto de forma "chopperizada". O primeiro filtro é um passa banda de estado variável projetado com amplificadores operacionais e que reforça a frequência fundamental do sinal ruidoso captado, reduzindo enormemente as restantes. O segundo filtro, também ativo, é um rejeita banda duplo-T com a frequência de corte em 60 Hz.

O resultado da detecção e da filtragem do sinal, mostrado pelas formas de onda da Fig.8 nos pontos C e D, é a geração de uma senóide na frequência de 90 Hz cuja amplitude é proporcional à parte refletida do feixe de Laser sobre o objeto. Podemos afirmar então que a amplitude equivale à Luminância do ponto sobre a superfície Lambertiana visualizada segundo o eixo z.

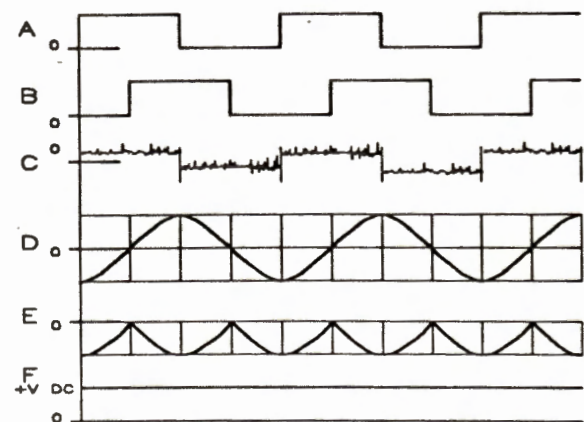


Fig.8 - Formas de onda equivalentes ao circuito da interface analógica.

2.5 Retificação e integração do sinal.

Após ter sido filtrado, o sinal agora é retificado sincronamente com a referência de 90 Hz gerada pelo circuito de controle do motor de "chopper".

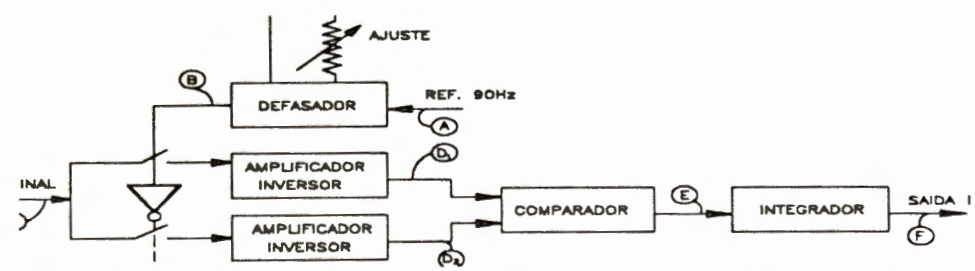


Fig.9 - Esquema do retificador/misturador do circuito do amplificador "lock-in".

Através do esquema da Fig.9 podemos ver que isto é realizado através do chaveamento das partes positivas e negativas do sinal, alternadamente na entrada de dois amplificadores inversores. Observando

também a Fig.10 podemos ver as diversas formas de onda em cada ponto dentro do retificador/misturador.

Assim, a senóide aplicada na entrada do circuito, no ponto D, é retificada sob controle da referência de 90 Hz. Esta é ajustada na sua fase para que coincida o pico positivo do sinal com o seu patamar positivo. O resultado da comparação dos dois semi-ciclos obtidos é igual à soma com um dos semi-ciclos invertido. A saída do comparador é então aplicada em um circuito integrador que produz um nível de tensão contínua igual ao valor rms da forma de onda de entrada. Este valor dc equivale proporcionalmente ao valor da Luminância do ponto sobre o objeto de superfícies difusoras observado segundo um eixo de visão paralelo ao eixo z Cartesiano.

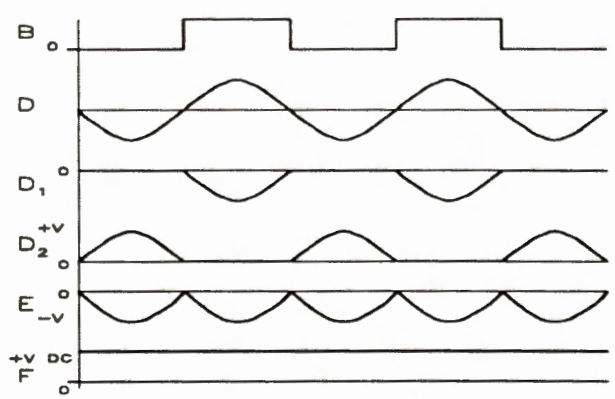


Fig.10 - Retificação do sinal controlado pela referência de 90 Hz.

3. Determinação de características do objeto através da variação da luminância.

Quando o feixe de Laser varre um objeto da esquerda para a direita, os valores digitalizados das luminâncias em cada ponto são armazenados em um "arranjo de intensidades". Este nome identifica-se com "intensidades de nível de cinza", utilizado pelos métodos de reconhecimento tradicionais para designar as graduações dos "pixels" das imagens a serem processadas.[Shirai 1975] Os conceitos são semelhantes apesar das diferenças básicas estruturais.

Analisemos a Fig.11 como sendo o "plano de imagem" de um objeto colocado no espaço Cartesiano, cujo eixo de visão coincide com o eixo z. Seja o plano (x,z) horizontal e o plano (x,y) vertical. O feixe de Laser pode realizar varreduras no plano (x,y) da esquerda para a direita, ou seja, varreduras horizontais, gerando um arranjo de intensidades na forma da Eq.2. O sistema pode

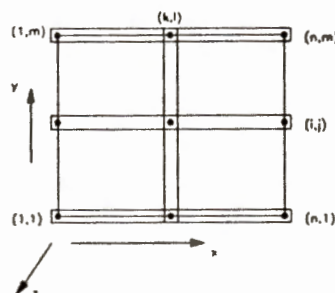


Fig.11 - "Plano de Imagem".

$$A_{x_i, y_j} = [I_{x_i, y_1}, I_{x_i, y_2}, \dots, I_{x_i, y_m}] \quad (2)$$

realizar também varreduras no vertical, de baixo para cima no mesmo plano (x,y), sendo o arranjo de intensidades descrito como na Eq. 3.

$$A_{x_i, y_j} = [I_{x_1, y_j}, I_{x_2, y_j}, \dots, I_{x_n, y_j}] \quad (3)$$

Cada elemento do arranjo representa a iluminância do ponto medida diretamente sobre o objeto. Um deslocamento realizado pelo feixe de Laser no eixo x ou y, corresponde a uma modificação nesta grandeza, que pode ser entendida como variações proporcionais no eixo z. Logo, podemos inferir daí que o vetor (p,q) que define um ponto no espaço-gradiante pode ser obtido derivando-se a Eq.2 em relação a "x" e a Eq.3 em relação a "y".

$$p = - \left(\frac{I_{x_i, y_j} - I_{x_{i-1}, y_j}}{x_i - x_{i-1}} \right) \quad (4) \quad q = - \left(\frac{I_{x_i, y_j} - I_{x_i, y_{j-1}}}{y_j - y_{j-1}} \right) \quad (5)$$

O sinal de menos é utilizado para se manter a coerência geométrica pois o plano $z = 0$ coincide com o plano de imagem, e qualquer superfície do objeto apresenta então variações na direção negativa do eixo z.

Podemos tecer agora várias considerações que estabeleçam parâmetros para descrever as inclinações e as arestas de um poliedro. Para uma melhor avaliação destas características observemos a Fig.12; nela, três possíveis inclinações de dois planos que interceptam-se no espaço são mostradas.

A Fig.12-a) apresenta estes dois planos inclinados em relação ao eixo x e ambos paralelos ao eixo y. Quando o "arranjo de intensidades" em x for determinado, duas situações podem ocorrer, analisando-se as componentes (p) para os planos P_1 e P_2 , denominadas aqui de p_1 e p_2 respectivamente:

- a) se p_1 é negativo e p_2 positivo implica que a aresta que os une é convexa, independentemente da obtenção do "arranjo de intensidades" em y.
- b) se p_1 é positivo e p_2 negativo implica que a aresta que os une é côncava, independentemente da obtenção do "arranjo de intensidades" em y. Isto equivale a dizer que o "arranjo de intensidades" em x presta-se a determinação de arestas não paralelas ao eixo x.

Na Fig.12-b) temos os dois planos, P_1 e P_2 inclinados relativamente ao eixo y, com a aresta que os une paralela ao eixo x. Isto determina que a componente p do vetor (p,q) de inclinação das duas superfícies p_1 e p_2 são ambos nulos. A componente q será obtida através do "arranjo de intensidades" em y e, novamente, duas situações podem ser avaliadas:

- a) se q_1 é negativo e q_2 positivo está estabelecida a existência de uma aresta convexa unindo os dois planos.
- b) se q_1 é positivo e q_2 negativo está estabelecida a existência de uma aresta côncava unindo os dois planos.

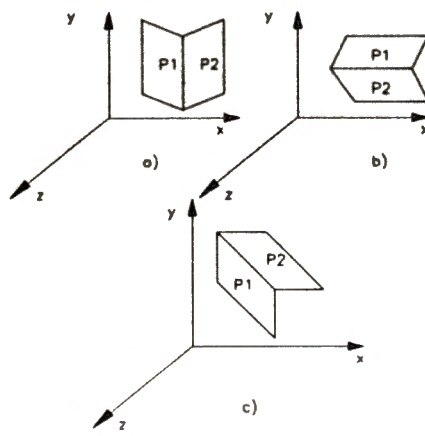


Fig.12 - Análise de três possibilidades de inclinação no espaço de dois planos unidos por uma aresta e projetados em z.

Considerando, como exemplo, o sólido mostrado na Fig.13, e três varreduras com o feixe de Laser realizadas sobre ele e designadas por $f(x,y_1)$, $f(x,y_2)$ ao longo do eixo x, e $f(x_1,y)$ ao longo do eixo y. Considerando o eixo de visão na direção de z (perpendicular à aresta frontal do desenho), podemos verificar

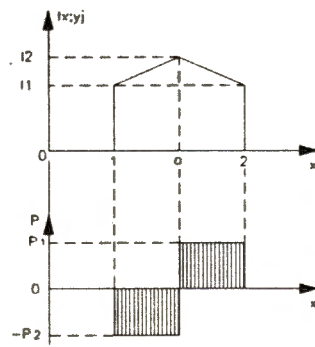


Fig.14 - Comportamento do "arranjo de intensidades".

corresponde à aresta formada pela duas superfícies observadas. Neste ponto, a componente (p) muda de direção. Assim, tanto a fronteira do objeto (pontos 1 e 2) como a aresta formada pelos dois planos (ponto a) são identificados através da análise do comportamento de apenas uma varredura horizontal. Para se checar a coerência realizamos outras varreduras, como por exemplo a $f(x,y_2)$ e para verificação da inclinação das superfícies com relação ao eixo y, varreduras verticais como a $f(x_1,y)$ são requeridas.

4. Extração das características dos objetos.

Dentre todas as características que podem ser utilizadas para o reconhecimento de um objeto polidédrico, algumas são imediatas e tem sido usadas exaustivamente pelos métodos tradicionais. São elas as arestas e os vértices que devidamente rotulados fornecem a descrição necessária à sua classificação .

O arranjo de intensidades obtido pela varredura do feixe de Laser contém a informação necessária para a extração destas características. Seja, então, o arranjo obtido por uma varredura horizontal para $y = y_1$:

$$A_{x_1,y_1} = [I_{x_1,y_1}, I_{x_2,y_1}, \dots, I_{x_n,y_1}]$$

A Fig.12-c) apresenta o caso geral onde os dois planos P_1 e P_2 possuem sua intersecção inclinada tanto em relação ao eixo x como ao eixo y. Neste caso o vetor de inclinação (p,q) que define cada plano é calculado, cada componente através do "arranjo de intensidades" correspondente. A convexidade ou concavidade da aresta pode ser obtida tanto pela componente p como pela componente q, e devem ser coerentes, ou seja, se o "arranjo de intensidades" em x determinar que a aresta é convexa, o realizado em y deverá ter o mesmo resultado. Uma discrepância significará que houve erro no cálculo das componentes do vetor de inclinação.

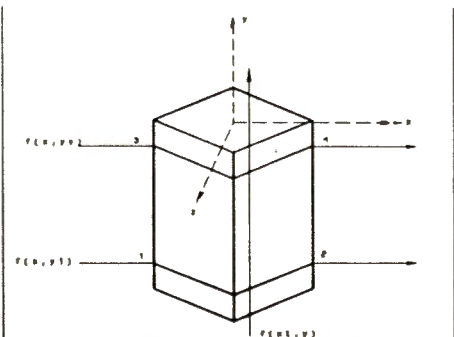


Fig.13 - Varredura do feixe de Laser em um sólido.

através da Fig.14 o comportamento do "arranjo de intensidades" e das componentes p e q do vetor de inclinação das superfícies. Nesta figura, considerada para a varredura $f(x,y_1)$ mostrada na Fig.13 podemos ver que o perfil de intensidades acompanha o perfil das superfícies do objeto. Da origem ao ponto 1 e do ponto 2 em diante, temos o fundo de alto contraste e perpendicular ao eixo de visão.

Consideramos portanto, sua luminância igual a zero. O ponto identificado com a letra (a)

A primeira derivada deste arranjo em relação a x fornece, as inclinações das superfícies em relação ao plano (x,y) , ou seja:

$$p = - \left(\frac{I_{x_i, y_i} - I_{x_{i-1}, y_i}}{x_i - x_{i-1}} \right)$$

Isto significa que se calcular-mos a inclinação da superfície em cada ponto (x_i, y_i) obtemos o arranjo de inclinações, escrito da seguinte forma:

$$P_{x_i, y_i} = [p_{x_1, y_1}, p_{x_2, y_1}, \dots, p_{x_n, y_1}]$$

A derivada deste arranjo de inclinações, ou seja, a segunda derivada do arranjo de intensidades em relação a x , fornece a informação da existência ou não de arestas nesta varredura e sua eventual localização. Dessa maneira, temos:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{p_{x_i, y_i} - p_{x_{i-1}, y_i}}{x_i - x_{i-1}}$$

A Fig.15 mostra o conceito geométrico empregado. O arranjo de intensidades transporta a informação sobre o perfil do objeto durante a varredura do feixe de Laser. A primeira derivada deste arranjo gera o arranjo de inclinações definindo o comportamento das inclinações das superfícies. A segunda derivada é responsável pela geração do arranjo de arestas. Isto é interpretado pelo algoritmo de reconhecimento, levando-se em conta as restrições estabelecidas, da seguinte forma:

- o fundo contra o qual o objeto é visto é calibrado para apresentar valor zero no arranjo de intensidades, logo, a primeira e a segunda derivadas são também zero.
- A varredura horizontal é realizada sempre da esquerda para a direita.
- O primeiro valor não zero encontrado ou no arranjo de intensidades, ou no arranjo de inclinações ou no arranjo de arestas, define a posição da

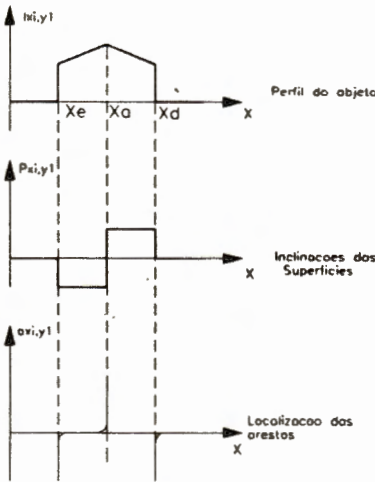


Fig.15 - Determinação das arestas e das inclinações das superfícies.

- fronteira do objeto à esquerda (x_e, y_i) . Retrocedendo-se do último elemento do arranjo, no sentido da direita para a esquerda, determina-se a posição da fronteira direita do objeto (x_d, y_i) , através da localização do primeiro elemento não zero.
- se entre as duas arestas representativas da fronteira do objeto o valor dos elementos do arranjo de arestas for zero (ou próximo de zero) não existe aresta interna e o arranjo de inclinações deve ser analisado.
- caso um valor diferente de zero e de módulo elevado seja encontrado no arranjo de arestas, o local no arranjo onde ele se encontra (x_a, y_i) representa uma aresta interna detectada pela varredura horizontal. A aresta é então rotulada como convexa.
- se o valor dos elementos do arranjo de inclinações for constante, dentro de uma certa tolerância, entre as fronteiras do objeto, então não existe aresta interna. A varredura detectou um plano inclinado e sua inclinação em relação ao plano (x,y) é dada pelo sinal positivo ou negativo dos elementos do arranjo ($p = +$ ou $p = -$).

Resumindo, o arranjo de intensidades obtido com a primeira varredura horizontal é utilizado para extrair as seguintes características do objeto:

- fronteira do objeto: posição dentro do arranjo onde começa e termina o objeto em observação.
- aresta interna: posição dentro do arranjo onde duas faces mudam de inclinação.
- inclinação da superfície: quando não existe aresta interna na vista do objeto em observação.

5. Suavização dos dados de entrada.

Apesar de todos os recursos utilizados para redução de ruído na aquisição do sinal, o arranjo de intensidades vem associado a ruídos muito difíceis de serem eliminados na entrada dos dados, causando variações indesejáveis. Para

que uma função unidimensional como o arranjo de intensidades, ou bidimensional como uma imagem possa aproximar suas características originais, uma filtragem é necessária. Esta filtragem realiza uma suavização da função e é conseguida através da convolução entre a entrada e um pulso retangular. Este pulso move-se da esquerda para a direita, sobre a função, produzindo um resultado que é em cada ponto, uma média local da função de entrada.

Podemos então, suavizar uma imagem ou uma função unidimensional através da substituição de seu valor em cada ponto pela média de valores em torno da vizinhança do ponto. A média local tem o efeito de suprimir as variações de alta frequência enquanto preserva o formato básico da função de entrada.

$$\tilde{I}_{x_i, y_j} = \frac{1}{3} \cdot \sum_{k=i-1}^{i+1} I_{x_k, y_j}$$

p/ $i=2, \dots, n-1$

$$\tilde{I}_{x_1, y_j} = \tilde{I}_{x_2, y_j}$$

$$\tilde{I}_{x_n, y_j} = \tilde{I}_{x_{n-1}, y_j}$$

Se tomarmos o arranjo de intensidade e o convoluirmos com um pulso de largura de três pontos vizinhos podemos escrever a equação da média local obtida, como:

O novo arranjo de intensidade suavizado é formado então, pelos pontos \tilde{I}_{x_i, y_j} sendo que o primeiro elemento é estabelecido igual ao segundo e o último igual ao penúltimo. Isto porque a vizinhança é escolhida à esquerda e à direita do ponto para o cálculo da média, e dessa forma o primeiro e último dos elementos ficam prejudicados. Como a tentativa é eliminar saltos na continuidade da função de entrada, a repetição dos valores médios calculados próximos aos pontos terminais contribui nesse sentido.

6. Resultados e conclusões.

Graficamente, podemos denominar o "arranjo de intensidades" como o perfil do objeto na varredura. A Fig.16 mostra os dados referentes a um cubo colocado no campo de visão com uma aresta interna visível ao observador e localizada aproximadamente no meio da varredura.

O programa procede, então, a uma suavização para a eliminação de eventuais discontinuidades.

O resultado é a curva mostrada na Fig.17 onde as características do perfil são acentuadas e a redução da inclinação da aresta não é significativa, a ponto de não permitir sua identificação.

Derivando-se este perfil em relação ao eixo x (eixo I nas figuras), obtemos a curva da Fig.18. Os pontos de máximo desta função determinam as bordas do objeto e a aresta pode ser observada pela mudança de sinal que ocorre no ponto equivalente (aproximadamente no centro do gráfico).

A segunda derivada do perfil, ou seja, do arranjo de intensidades,

pode ser obtida derivando-se a curva da Fig.18, que é a curva mostrada na Fig.19. Podemos ver então, que uma pequena deformação ocorrida no perfil gera uma falsa aresta próximo à verdadeira.

O conhecimento prévio dos objetos reconhecíveis, pode no

entanto, fornecer subsídios para um tratamento matemático mais dedicado.

Assim, em nosso caso, como estamos lidando com superfícies planas de sólidos polédricos, é de se supor que teoricamente os perfis possam ser aproximados por linhas retas.

Se tomarmos a primeira derivada mostrada na Fig.18, determinamos as bordas do objeto pelo máximo e mínimo da função. Calculando então, o ponto de máximo do perfil suavizado do objeto podemos interpolar linearmente cada parte do perfil entre cada borda do objeto e este ponto de máximo.

A primeira derivada deste perfil linearizado é isenta de ruídos. A segunda derivada, localiza o ponto onde ocorre a inversão de sentido na inclinação das duas superfícies, ou seja, o local da aresta interna. É importante salientar que sua amplitude é proporcional ao ângulo entre elas. Logo, uma verificação do valor máximo da segunda derivada permite concluir sobre a existência ou não de aresta interna na superfície em observação.

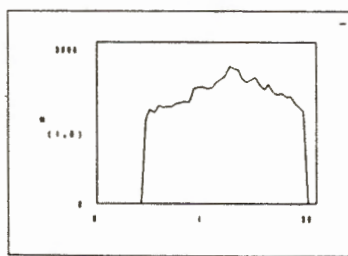


Fig.16 - Perfil da superfície de um cubo com aresta visível.

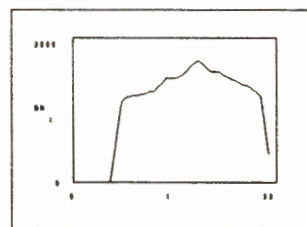


Fig.17 - Perfil suavizado do cubo com aresta visível.

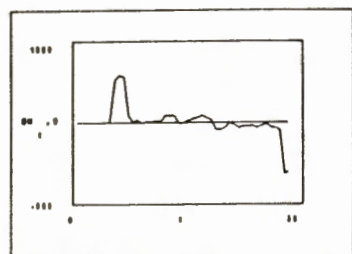


Fig.18 - Primeira derivada do perfil.

A primeira e a segunda derivadas, vem confirmar o cálculo onde a variação da Luminância em uma superfície perpendicular ao eixo de visão não é constante em toda a sua extensão,[Gonzaga 1991] mas apresenta uma pequena variação. Esta variação não é significativa para o programa de reconhecimento que procura por amplitudes da segunda derivada superiores a 80 pontos digitais, valor mínimo estimado para representação de uma aresta interna visível. O que podemos concluir

deste processo é que apesar do sinal captado pelo sistema, apresentar ruídos inerentes ao meio de aquisição, o pequeno tratamento matemático realizado fornece subsídios suficientes para a determinação das características necessárias à classificação do objeto.

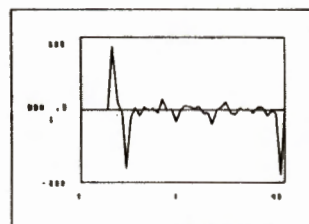


Fig.19 - Segunda derivada. Detecção de aresta interna.

Referências Bibliográficas.

[Connolly & Stenstrom 1986]

Connolly,C.I. and Stenstrom,J.R. - "Construction of Polyedral Models from Multiple Range Views.", Eighth International Conference on Pattern Recognition, Paris-France, October 27-31, 1986, pp.85-87.

[Gonzaga 1991]

Gonzaga,A. - "Tecnologia para o reconhecimento do formato de objetos tri-dimensionais", Tese de Doutorado, IFQSC-USP, Departamento de Física e Ciência dos Materiais, São Carlos, 1991.

[Jarvis 1983]

Jarvis,R.A. - "A Perspective on Range Finding Techniques for Computer Vision.", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.PAMI-5, N° 2, March 1983, pp.122-139.

[Monchaud 1989]

Monchaud,S. - "3-D Vision and Range Finding Techniques.", Optics and Lasers in Engineering, Vol.10, N° 3-4, 1989, pp.161-178.

[Rioux 1984]

Rioux,M. - "Laser Range Finder based on Synchronized Scanners.", Applied Optics, Vol.23, N° 21, 1 November 1984, pp.3837-3844.

[Stuivinga et all. 1989]

Stuivinga,M. - Nobel,J. - Verbeek,P.W. - Steenvoorden,G.K. and Joon,M.M. - "Range-Finding Camera based on a Position-Sensitive Device Array.", Sensors and Actuators, Vol.17, 1989, pp.255-258.

[Yoda et all. 1973]

Yoda,H. - Ikeda,S. and Ejiri,M. - "A New Attempt of Selecting Objects Using a Hand-eye System.", Hitachi Review, Vol.22, N° 9, 1973, pp.362-365.