

UM SISTEMA PARA CLASSIFICAÇÃO  
SUPERVISIONADA DE SILHUETAS  
EM IMAGENS BINARIAS

*Jacob Scharcanski*

*Rômulo Silva de Oliveira*

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre - Brasil

RESUMO:

O presente trabalho apresenta um sistema de classificação supervisionada de silhuetas em imagens binárias, desenvolvido na UFRGS no quadro de uma pesquisa em reconhecimento de padrões aplicado à controle de processos. São apresentadas as características relevantes da estrutura e funcionamento do sistema, e por fim, são propostas algumas aplicações.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente existe um grande interesse sobre a área de Análise de Imagens para fins Industriais e Militares. Nas próximas décadas, espera-se que esta área adquira ainda maior importância, conforme indicam algumas aplicações listadas abaixo /BRAD 82/ :

- reconhecimento e aquisição de objetos automaticamente;
- direcionamento automático para ferramentas de corte e soldagem;
- processos relacionados com VLSI (Very Large Scale Integration), tais como, conectar pinos ou encapsular pastilhas;
- prover realimentação visual para a montagem e manutenção automática;
- inspeção de circuitos impressos quanto a curtos, erros ou más conexões;
- checagem dos resultados em processos de fundição, quanto a fraturas e impurezas.

O Sistema de Reconhecimento e Aprendizado de Silhuetas em Imagens Binárias proposto, enquadra-se na área de Processos Industriais, mais especificamente, no reconhecimento e aquisição automática de objetos diferenciáveis por suas silhuetas.

## 2. RECONHECIMENTO DE PADRÕES E ANÁLISE DE CENAS

Existe uma diversidade considerável de abordagens à análise de informações visuais por computador, portanto as fronteiras entre as diferentes visões tornam-se frequentemente vagas. Antes de detalhar o sistema proposto, vamos localizá-lo em um contexto, sem no entanto seguir um rigor formal, como não é nossa preocupação neste trabalho.

No âmbito da Análise de Cenas, a preocupação básica é a interpretação ou compreensão de imagens; existe uma intersecção de interesses com o Reconhecimento de Padrões, mas diferentes abrangências (ou abordagens). Exemplifiquemos:

- Sistemas de Reconhecimento de Padrões tipicamente reconhecem uma entrada dentro de um conjunto limitado (geralmente pequeno) de possibilidades. Na Análise de Cenas tenta-se construir descrições ricas para cada imagem individualmente, é o caso quando deseja-se computar objetos tridimensionais, e não reconhecê-los como instâncias de um certo número de protótipos armazenados;
- Sistemas de Reconhecimento de Padrões estão mais relacionados à imagens bidimensionais, tais como símbolos gráficos. A abordagem a objetos tridimensionais, como é o caso de peças mecânicas, é feita efetivamente tratando-os como bidimensionais, considerando cada posição estável do mesmo como um objeto separado. Já a Análise de Cenas trata extensivamente de objetos tridimensionais (stereo, representação);
- de uma forma geral, Sistemas de Reconhecimento de Padrões tipicamente operam diretamente sobre a imagem. Os processos visuais da análise de cenas operam, não sobre a imagem, mas sobre representações simbólicas computadas anteriormente a partir da imagem, como por exemplo visão stereo, análise de textura ou inferência de forma a partir do sombreamento.

O presente Sistema de Reconhecimento e Aprendizado de Silhuetas em Imagens Binárias enquadra-se na área de Reconhecimento de Padrões.

## 3. O SISTEMA PARA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE SILHUETAS EM IMAGENS BINÁRIAS

### 3.1 O OBJETIVO DO SISTEMA

O presente sistema tem por objetivo dar uma solução ao problema de reconhecer vários objetos através de suas silhuetas, utilizando a configuração mostrada na figura 3.1.

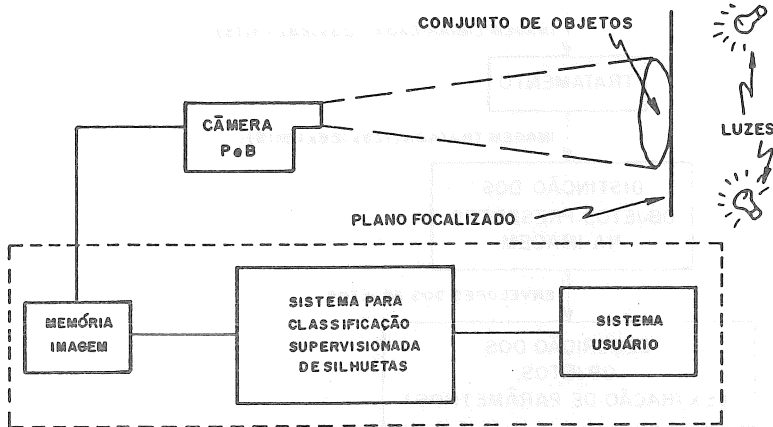


Figura 3.1

O sistema proposto interage com um "sistema usuário", que precisa da informação tipo do objeto submetido para tomar decisões.

As imagens dos objetos a reconhecer são adquiridas por uma câmera de tv, em preto e branco. Os objetos desfilam sobre um plano iluminado conforme mostra a figura 3.1, e a distância focal da câmera está ajustada para este plano. Quando o conjunto de objetos atinge o centro do plano focalizado, é obtida uma "fotografia" (imagem estática) do mesmo.

A imagem assim obtida é então submetida ao sistema de classificação supervisionada para que classifique-a e entregue a informação TIPO DO OBJETO ao "sistema usuário".

### 3.2 A DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Para melhor descrevermos o sistema e seu funcionamento, vamos separar seu aspecto "organização" da "forma de operação".

#### 3.2.1 ORGANIZAÇÃO

O sistema é composto por módulos que operam sobre a imagem, visando reduzir a quantidade de informação a processar, ou sobre a representação da imagem, para identificar, segundo critérios estabelecidos, a silhueta de um objeto, ou a classe a que pertence. A figura 3.2 apresenta os módulos e seu relacionamento, definindo a organização do sistema.

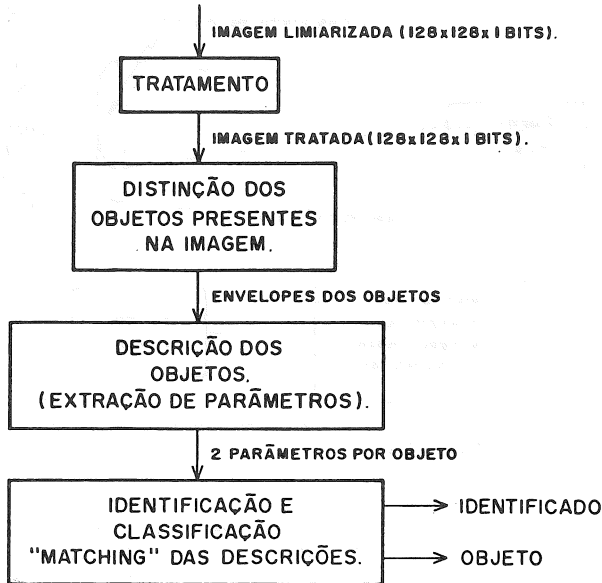


Figura 3.2

### 3.2.2 FORMA DE OPERAÇÃO

A imagem obtida pela câmera de tv, digitalizada no formato 128 x 128 elementos de imagem, com 1 bit cada, deve ser submetida a um tratamento para que a informação apresentada seja consistente, ou seja, procura-se eliminar da imagem possíveis ruídos (informações não significativas), restando apenas regiões homogêneas em um dos dois níveis: regiões escuras-0, ou regiões claras-1. Para a redução do ruído presente na imagem, existem vários métodos e algoritmos propostos, como por exemplo, os métodos apresentados em /HALL 79/.

Uma vez obtidas as regiões homogêneas que compõe a imagem, é realizada a distinção das silhuetas dos objetos através do módulo de segmentação, permitindo assim classificar as silhuetas individualmente "a posteriori". O método utilizado na segmentação é concorrente e será apresentado na seção 3.3. O produto final da segmentação é uma lista de envelopes que determinam a localização dos objetos na imagem. A figura 3.3 apresenta o módulo de segmentação e seu relacionamento com o módulo de descrição.

Nesta etapa do processamento, a silhueta a identificar está bem definida, vamos reduzir a quantidade de informação

presente, descrevendo-a por dois parâmetros, que consideramos suficientes para diferenciar imagens em um conjunto limitado de formas. Estes parâmetros são:

- a) a relação envelope/área da silhueta;
- b) o desvio padrão em relação ao ponto médio da silhueta.

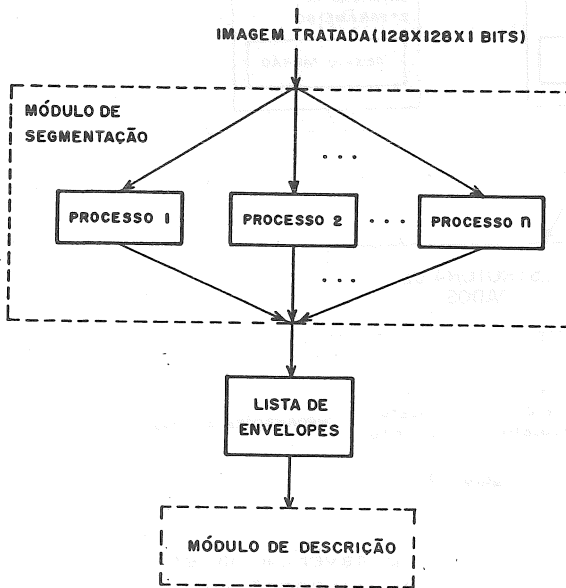


Figura 3.3

Observa-se que os critérios escolhidos são independentes da posição, orientação e escala dos objetos. Nesta etapa, houve uma "tradução" da imagem em dois números, resultantes da avaliação dos parâmetros acima definidos sobre a imagem. A figura 3.4 apresenta o módulo de descrição e seu relacionamento com o módulo de identificação e classificação.

A identificação do TIPO DO OBJETO é feita no MÓDULO DE IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO, como mostra a figura 3.4, por algoritmos que utilizam os dois parâmetros citados para tentar encontrar na estrutura de dados algum objeto que se enquadre nesta descrição. Se o objeto "fotografado" for NÃO IDENTIFICADO, não foi encontrada na estrutura de dados nenhuma descrição que se adapte a este objeto, o "sistema usuário" pode solicitar que o NOVO OBJETO seja classificado e sua descrição armazenada na estrutura de dados, para ser reconhecido posteriormente.

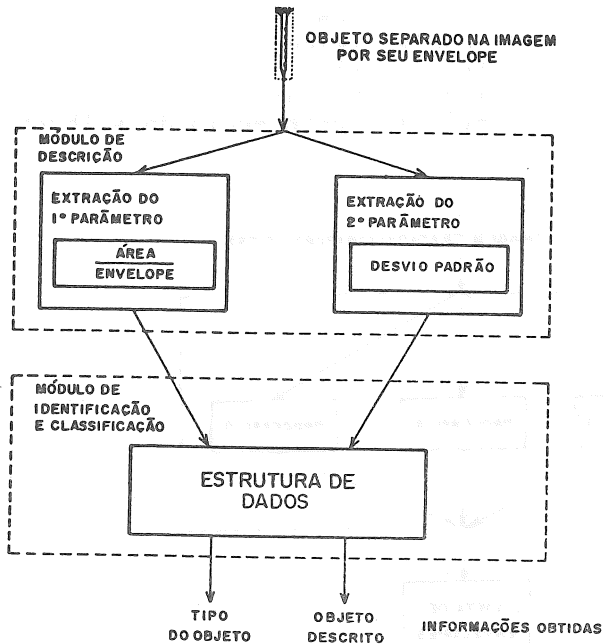


Figura 3.4

Pode ocorrer o caso de haverem objetos "semelhantes", como será mostrado quando for apresentada a estrutura de dados, no momento basta dizer que dois objetos serão "semelhantes" quando o primeiro parâmetro de ambos for igual (dentro de uma certa tolerância), e houver apenas um objeto, cujo primeiro parâmetro tenha este valor. Outro objeto submetido ao sistema durante a fase de "aprendizado" ou treinamento, que tenha a mesma relação área/envelope, será identificado inicialmente por semelhança, podendo o usuário recusar esta identificação e optar por classificá-lo e armazená-lo como um NOVO OBJETO na estrutura de dados; então será usado como critério de diferenciação entre ambos o segundo parâmetro. Se este objeto for novamente apresentado ao sistema, este "lembrará" do objeto e saberá diferenciá-lo do seu semelhante (pelo segundo parâmetro).

Tendo em vista o que foi apresentado, o sistema deve operar em dois modos distintos:

- treinamento: etapa em que são apresentados os objetos a serem reconhecidos "a posteriori". O sistema

os classificará e armazenará na estrutura de dados se isto lhe for solicitado;

- utilização: etapa em que o sistema está sendo solicitado pelo "sistema usuário" a fornecer a informação TIPOS DOS OBJETOS que lhe são submetidos. Os objetos foram previamente classificados e armazenados na estrutura de dados (na etapa de aprendizado). Neste modo, o sistema, ou reconhecerá o objeto e entregará a informação TIPO DO OBJETO, ou não o reconhecerá e o considerará NÃO IDENTIFICADO.

### 3.3 O MÉTODO CONCORRENTE DE SEGMENTAÇÃO

Entendemos por segmentação, a extração ou identificação dos objetos contidos em uma imagem, onde objeto é toda característica com conteúdo semântico relevante para a aplicação desejada. Em nosso caso, os objetos são regiões homogêneas (silhuetas), e consideramos segmentado o objeto que tem seu envelope (menor retângulo que o contém) determinado na imagem binária. Assumimos que os objetos tem envelopes não sobrepostos. Vamos apresentar o método concorrente de segmentação de uma maneira introdutória, maiores detalhes podem ser encontrados em /OLIV 86/.

Inicialmente, a matriz binária que representa a imagem, é percorrida segundo a varredura até que seja encontrado um primeiro elemento de imagem pertencente a um objeto, o contorno de sua silhueta é determinado, assim como o seu envelope.

Uma vez conhecido o envelope deste primeiro objeto, a matriz é subdividida logicamente em cinco áreas, como mostra a figura 3.5. A área 1 é aquela que foi percorrida inicialmente e sabe-se que nela não existe objeto algum, pode ser ignorada. A área 2 compreende o envelope do objeto determinado, como os envelopes são disjuntos, ou seja, não há sobreposição, esta área também pode ser ignorada. Portanto, a existência de objetos ainda não determinados é possível apenas nas áreas 3,4 e 5, onde irá prosseguir a pesquisa. A cada uma das três áreas por pesquisar, agora menores que a área inicial, os procedimentos acima descritos são reaplicados de forma independente entre si. É da reaplicação simultânea do método que provém a natureza concorrente do mesmo. Existem situações específicas em que algumas áreas, ou mesmo todas, podem não existir, que não serão tratadas nesta apresentação introdutória. No caso de existirem outros objetos, outras áreas serão delimitadas, ocorre então áreas divididas em áreas menores, e estas por sua vez também divididas, até que toda a matriz seja pesquisada.

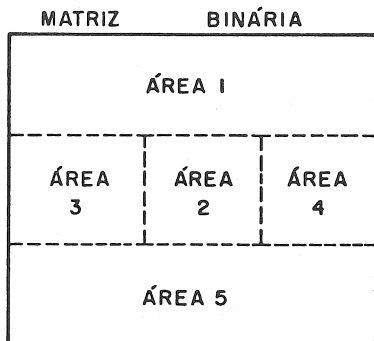


Figura 3.5

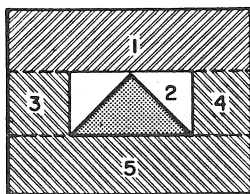
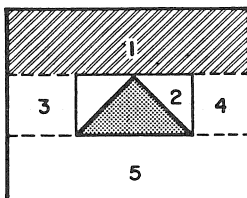
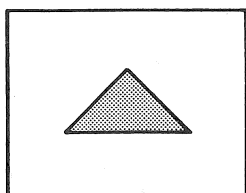


Figura 3.6

O processo da divisão da imagem em áreas, e em áreas



ainda menores, não considera a existência de outros objetos além daquele que causa a divisão. Podem ocorrer situações em que objetos são particionados por divisões feitas na imagem, fazendo parte de duas ou mais áreas distintas; estas e outras situações são tratadas com detalhe em /OLIV 86/.

Ao término da pesquisa completa da matriz obtém-se uma lista contendo os envelopes de todos os objetos encontrados, para serem identificados e/ou classificados "a posteriori".

Tipicamente, as funções realizadas pelo método descrito encontrarão aplicação em sistemas de tempo real. Isto significa que o método terá valor efetivamente se for possível implementá-lo de forma eficiente em termos de tempo de execução. A figura 3.6 apresenta a aplicação do método apresentado a uma imagem binária composta de um único objeto, por simplicidade.

### 3.4 A ESTRUTURA DE DADOS

Neste sistema a estrutura de dados é de importância fundamental, por isto dedicaremos atenção a ela. Para suportar as especificações do sistema quanto a diferenciação dos objetos, organizamos a estrutura de dados de forma hierárquica, permitindo assim o armazenamento das descrições dos objetos e posterior identificação utilizando um número mínimo de parâmetros, reduzindo, por consequência, o "overhead" de pesquisa. Para isto foram utilizadas como chaves de acesso os dois parâmetros obtidos na descrição da imagem, conforme ilustra a figura 3.7.

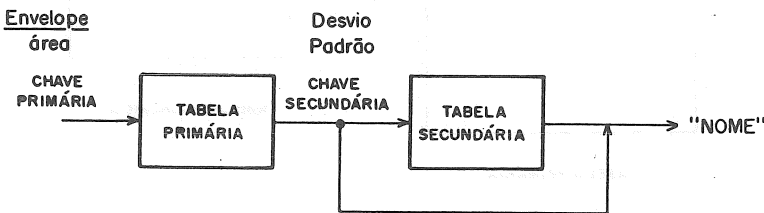


Figura 3.7

O conjunto de informações armazenado nas tabelas é o necessário para relacionar a descrição de um objeto com o seu "nome" (a sua identificação). Pode-se ter descrições mais "ricas" do objeto utilizando mais parâmetros, mas neste sistema, como já foi salientado, utilizamos dois parâmetros para descrevê-lo, por este motivo temos duas tabelas compondo a estrutura de dados, para N parâmetros teríamos N tabelas. O

conteúdo destas tabelas está representado na figura 3.8.

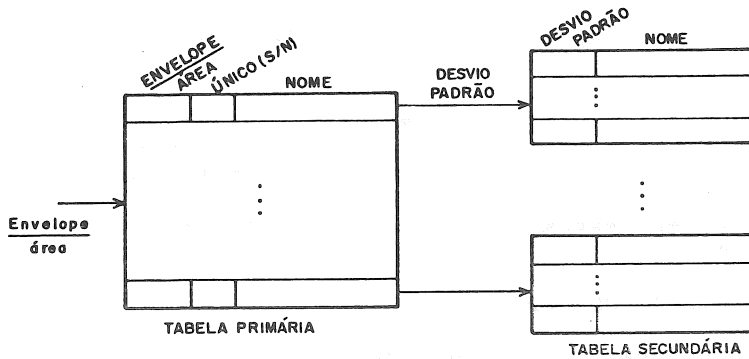


Figura 3.8

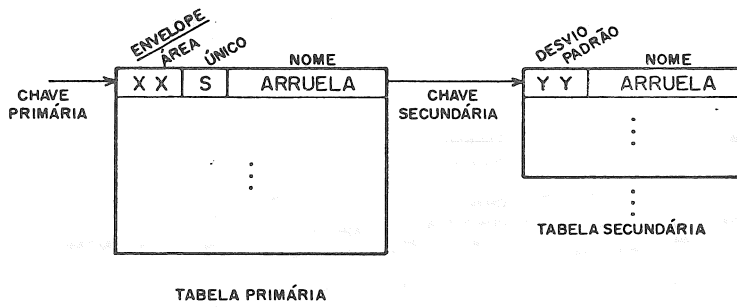


Figura 3.9

O ideal seria organizar a estrutura de dados para uma busca otimizada, mas por simplicidade preferiu-se organizá-la colocando as chaves por ordem de inserção e fazer busca sequencial.

3.4.1 ACESSO NO MODO TREINAMENTO

Para cada objeto submetido ao sistema é verificado se a sua descrição está presente na estrutura de dados, então existem duas hipóteses:

- objeto não presente:

O NOVO OBJETO é armazenado na estrutura de dados como mostra a figura 3.9 .

- objeto presente:

Neste caso, pode ocorrer de haver objetos "semelhantes", ou seja, objetos cujo primeiro parâmetro está dentro de uma faixa de tolerância, especificada pela descrição do objeto (presente na estrutura de dados). Esta faixa de tolerância é determinada empiricamente, como função da aplicação que se tem em vista para o sistema, e do conjunto de formas que compreende cada classe de objetos. A "semelhança" de objetos refere-se à semelhança que há entre o primeiro parâmetro de uma descrição, presente na estrutura de dados e que é única, e o primeiro parâmetro de um objeto submetido ao sistema. O sistema apresenta o "nome" do objeto presente na estrutura de dados como identificação, caso o usuário não aceite esta resposta, o "nome" do NOVO OBJETO será armazenado na TABELA SECUNDÁRIA juntamente com a sua CHAVE SECUNDÁRIA de acesso, diferenciando os dois objetos, já que a CHAVE PRIMÁRIA permanece a mesma para ambos e o primeiro objeto já não é único. A figura 3.10 ilustra o estado final da transação.

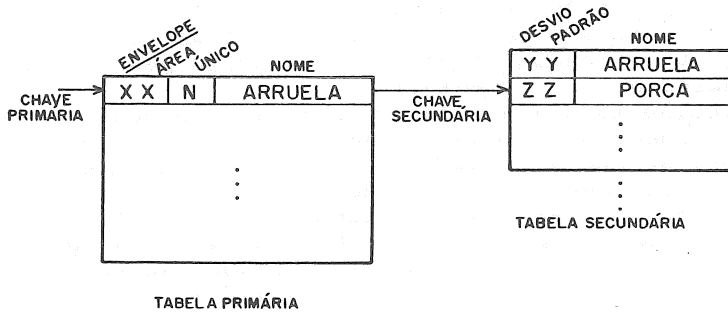


Figura 3.10

Para alterar o nome de um objeto já submetido e clas-

sificado, então basta submetê-lo novamente ao sistema e alterar o seu nome.

### 3.4.2 ACESSO NO MODO UTILIZAÇÃO

Neste modo, cada objeto submetido ao sistema será considerado:

- "IDENTIFICADO": Se a sua descrição "fecha" com a de algum objeto classificado presente na estrutura de dados. Neste caso, retorna o "nome" do objeto encontrado como a identificação para o objeto submetido;
- "NÃO IDENTIFICADO": Se a sua descrição não "fecha" com a de nenhum objeto classificado presente na estrutura de dados. Esta situação é notificada ao "sistema usuário", constituindo uma exceção ou falha do sistema, pois todos os objetos submetidos a esta altura deveriam ter sido classificados no modo "aprendizagem".

## 4. APLICAÇÕES

Como já foi salientado, o presente sistema aplica-se à classificação das formas de silhuetas em um contexto definido, ou seja, é capaz de identificar um objeto que lhe seja submetido utilizando um conhecimento, um conjunto de formas pré-classificadas; dentro deste âmbito existem varias aplicações. Para ilustrar podemos apresentar duas:

- pode-se utilizá-lo para reconhecer o código associado a um dado objeto, e informar o sistema de controle da identidade deste objeto e outras informações relevantes relacionadas a este código, como é o caso no controle automático dos itens produzidos ou estocados. Neste caso o código pode ser complexo (alfanumérico, por exemplo);
- uma aplicação mais avançada seria o emprego deste sistema, com um refinamento na aquisição de imagens, para orientar o deslocamento de robôs no ambiente industrial através de "imagens-código" reconhecidas visualmente, dispostas ao longo de um caminho a ser seguido /SCHA 85a/. Esta técnica proposta para alterar a posição de robôs em uma área de trabalho, permite reconfigurar o ambiente de uma indústria dinamicamente. Basta alterar os códigos para que a indústria passe a operar de maneira diferente.

Sem dúvida que a implementação do sistema em uma máquina sequencial é limitada em velocidade para o reconhecimento em tempo real; uma solução seria a utilização de uma configuração composta de diversos pontos de aquisição de imagens e uma máquina central especializada em processamento de

imagens para processá-las /SCHA 85a/; ou ainda, emular os algoritmos em "hardware".

## 5. CONCLUSÕES

O Sistema de Classificação Supervisionada de Silhuetas em Imagens Binárias apresentado oferece uma solução ao problema proposto, dentro de um contexto definido, como é característico dos sistemas de reconhecimento de padrões.

Se por um lado a dependência de contexto é um fator limitante, por outro simplifica a construção de um sistema especializado eficiente, facilitando a emulação dos algoritmos em hardware, o que viabiliza a operação em tempo real.

Devido a modularidade do sistema, é possível a sua expansão, aumentando a estrutura de dados e o vetor de parâmetros que descrevem uma imagem.

A experiência adquirida no projeto deste sistema de classificação permite fazer certas recomendações, que serão de utilidade em seu aperfeiçoamento posterior, tais como:

- a) O conjunto de  $N$  atributos de forma determina um espaço  $N$  dimensional, e as classes que compreendem os objetos são regiões deste espaço. Para descrever efetivamente objetos de forma mais complexa, é necessário um conjunto maior de atributos de forma, ou seja, descrever classes ou regiões num espaço com mais dimensões;
- b) Para que a classificação seja eficiente, os atributos de forma devem ser escolhidos especificamente em função do conjunto de objetos que serão submetidos ao sistema;
- c) Os atributos devem ser independentes entre si, para que não seja reduzida a separação entre as classes, inclusive, deve-se escolhê-los de maneira a maximizar a separação entre classes;
- d) Ajustar a faixa de tolerância para cada atributo de uma classe por treinamento, utilizando os objetos pertencentes a esta classe;
- e) Pode-se reduzir o tamanho da estrutura de dados descrevendo cada classe por um vetor de atributos, onde cada atributo tem sua faixa de tolerância especificada assim como o valor médio, obtidos na fase de treinamento; este conjunto de informações é suficiente para a classificação na fase de operação.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- /BRAD 82/ - "Computational Approaches to Image Understanding"  
Michael Brady  
Computer Surveys, vol.14, nº1, march, 1982.
- /CAST 80/ - "Digital Image Processing"  
Kenneth R. Castleman  
Prentice-Hall, Inc., 1980.
- /FU 77/ - "Data Structures, Computer Graphics and Pattern Recognition"  
K.S.Fu, A.Klinger, T.L.Kunii  
Academic Press, Inc., 1977.
- /HALL 79/ - "Computer Image Processing and Recognition"  
Ernest L. Hall  
Academic Press, Inc., 1979.
- /MASC 84/ - "Processamento Digital de Imagens"  
Nelson D.A. Mascarenhas, Flavio R.D. Velasco  
IV Escola de Computação, São Paulo, 1984.
- /OLIV 86/ - "Um Sistema Concorrente Para Distinguir Objetos em Imagens Binárias"  
Rômulo S. de Oliveira, Jacob Scharcanski  
1ª Semana de Informática da Universidade Federal da Bahia, 1986.
- /SCHA 85a/- "SMP - Sistema Maciçamente Paralelo, Definição e Aplicações"  
Jacob Scharcanski, Philippe Navaux  
XVIII Congresso Nacional de Informática, 1985.
- /SCHA 85b/- "Um Sistema de Reconhecimento e Aprendizado de Silhuetas em Imagens Binárias"  
Jacob Scharcanski, Rômulo S. de Oliveira  
2º Congresso Nacional de Automação Industrial, 1985.