

B.B. SOTOMAYOR *

C.L. TOZZI **

SUMÁRIO

Este trabalho apresenta uma solução para o problema da entrada de dados gráficos em sistemas de PAC, utilizando técnicas de reconhecimento de padrões. São discutidos, de modo geral, os passos necessários para reconhecimento dos elementos de uma figura e descrita uma aplicação onde são identificadas portas lógicas e conexões entre as mesmas.

ABSTRACT

This paper presents a solution to the problem of inputting graphical data into CAD systems. The steps for recognition of the elements of a figure are discussed and applied to the identification of logical gates and their connection.

* Universidad de Tarapaca - Deptº de Eletrônica
Casilla 287 - Arica - Chile

**UNICAMP - Deptº Engenharia Elétrica - FEC
Cidade Universitária - 13.100 Campinas, SP

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos vem sendo observado o emprego em escala cada vez maior do computador como ferramenta de auxílio a projetos nos mais diversos campos da engenharia, dando origem aos denominados sistemas de Projeto Auxiliado por Computador - PAC. Porém, em algumas aplicações, o ganho advindo da utilização do computador no auxílio ao projeto é prejudicado pela dificuldade de comunicação do usuário com o computador, podendo ser citadas as aplicações cujos dados se encontram na forma gráfica, por exemplo, desenhos feitos a mão pelo projetista, cuja descrição demandaria a definição de uma linguagem apropriada, e consequentemente, maior esforço para realização da entrada de dados.

Uma alternativa ao procedimento citado é dotar o sistema de auxílio a projetos com a capacidade de visão, de modo a se realizar a entrada dos dados diretamente do desenho. Dispor o computador da capacidade de visão, significa, na verdade, dispor de meios de digitalização da imagem (realizável através de câmeras de TV) e de programas, baseados nas técnicas de reconhecimento de padrões, que a partir da imagem digitalizada realize o mapeamento dos elementos da imagem num conjunto, previamente definido, de elementos permitidos.

Este trabalho, resultado de um programa de pesquisa desenvolvido no Departamento de Engenharia Elétrica da FEC - UNICAMP, discute de modo geral os passos necessários para o reconhecimento dos elementos de uma figura, descreve uma aplicação onde são identificadas portas lógicas e as conexões entre elas, e apresenta resultados e conclusões obtidas desta aplicação.

2. ETAPAS DE UM SISTEMA DE RECONHECIMENTO

O processo de reconhecimento tem início com a digitalização da imagem ou desenho, através de uma câmera de televisão, matriz de dados ou mesmo um tablet. Através da câmera de televisão obtém-se a discretização da imagem em diferentes níveis de cinza, enquanto que para os outros dois dispositivos a discretização é obtida com apenas dois valores. Ao processo de digitalização segue-se normalmente uma etapa de filtragem ou melhoramento da imagem, com aplicação, por exemplo, de técnicas de realçamento, redução de ruído, etc.

A etapa seguinte consiste na segmentação da imagem, isto é, a separação da figura em elementos isolados. Esta segmentação, de acordo com as ca-

racterísticas da figura, pode ser realizada através de métodos de detecção de bordas ou métodos de limiar ou thresholding. Ainda na etapa de segmentação pode ocorrer a aplicação de técnicas de enfraquecimento (thinning) com o objetivo de reduzir as dimensões da linha de contorno do objeto, numa preparação para a etapa de extração de atributo.

A fase de extração de atributos consiste na medida dos atributos dos elementos separados, os quais são usados na fase seguinte (fase de classificação) juntamente com regras de decisão, para se obter a associação do elemento à classe que o contém.

A seleção dos atributos e a definição das regras de decisão são realizadas previamente durante a fase de aprendizado. Nesta fase são estudados os atributos dos elementos de aplicação e selecionado o conjunto de atributos que permite uma discriminação real entre os diferentes objetos. O conjunto selecionado deve possuir baixa dimensionalidade e os atributos selecionados devem ser invariantes para posição, rotação e tamanho do objeto. Como atributos mais comumente usados podem ser citados: área, perímetro, circularidade, relação da distância do pixel ao contorno (fator G), coordenadas do centro de gravidade, número de Euler, ângulo de orientação, momentos, etc.

A definição das regras de decisão, que podem ser determinísticas ou estatísticas, é geralmente realizada de modo interativo. Uma amostra de objetos de uma classe é submetida ao extrator de atributos, sendo determinados o valor médio e a variancia de cada um dos atributos. O processo é repetido para todas as classes da aplicação, obtendo-se deste modo subsídios para a escolha das regras de decisão. Definidas as regras de decisão, uma amostra de teste é submetida ao sistema de reconhecimento e determinado o erro na classificação. Se o desempenho do classificador não é o desejado, novas regras deverão ser geradas ou mesmo novos atributos selecionados, de modo a obter-se o desempenho procurado.

Dentre os métodos mais usados para classificação através de regras determinísticas podem ser citados o classificador por distância mínima, que usa como critério de classificação a distância entre o vetor definido pelos valores dos atributos extraídos do padrão a ser reconhecido e o conjunto de vetores (um vetor associado a cada classe) obtidos da fase de aprendizado, e o classificador por função de discriminação linear, que tem como filosofia a definição de uma superfície de separação entre as diversas classes de aplicação.

A aplicação desenvolvida consiste no reconhecimento de portas lógicas e as conexões entre elas. Os resultados obtidos podem ser utilizados como entrada de dados para um simulador de circuitos digitais, ou como entrada de dados em um sistema de produção automática de documentação a partir de desenhos manuais. Na Figura 1 estão expressas as características dos dados de entrada para o sistema de reconhecimento e dos resultados obtidos.

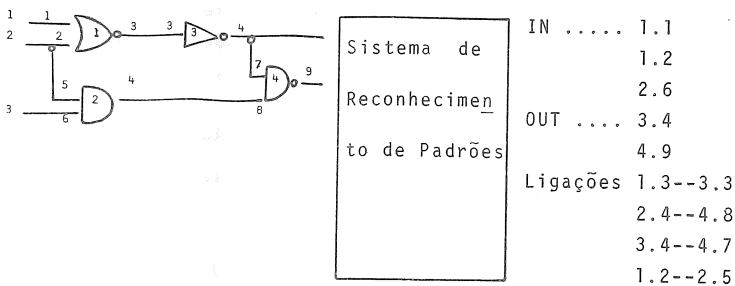


Fig. 1 Aplicação do sistema de reconhecimento de padrões para entrada de dados nos exemplos citados.

As classes definidas para a aplicação consistem no conjunto de figuras de uso comum em projeto de circuitos digitais:

- Classe 1 : AND
- Classe 2 : OR
- Classe 3 : N-INV
- Classe 4 : N $\bar{O}$
- Classe 5 : NAND
- Classe 6 : NOR
- Classe 7 : INV

Para esta aplicação, o problema do reconhecimento é dividido em duas partes. Primeiro é feito o reconhecimento das portas lógicas e nós; a seguir, utilizando-se de dados obtidos na primeira fase, é feita a determinação das conexões de entrada e saída e das conexões entre portas lógicas.

3.1. AQUISIÇÃO E SEPARAÇÃO DAS CENAS

As cenas são obtidas através de uma mesa digitalizadora, com armazenamen

to em arquivos diferentes dos dados relativos aos elementos lógicos e conexões. Este procedimento adotado para aquisição de dados foi escolhido em função dos recursos disponíveis no laboratório; a aquisição de dados pode ser feita, também, através de uma câmera de TV, com utilização de características diferentes para os elementos lógicos e conexões (por ex. cor), sendo então os dados separados e armazenados em arquivos distintos, pela utilização de métodos de segmentação por limiar.

Os dados obtidos são tratados de modo a garantir o fechamento dos contornos dos elementos lógicos, a continuidade das conexões e demais características necessárias à correta extração de atributos.

3.2. DEFINIÇÃO DE ATRIBUTOS E REGRAS DE CLASSIFICAÇÃO (APRENDIZADO)

A partir de uma amostra padrão de cada uma das classes definidas para a

CLASSE 1	Variancia	Valor Médio	Val.Max.	Val.Min.
Circul.	.144770	1.52450	1.89700	1.46300
FatorG	87.1300	478.500	608.000	302.000
F.Mom1	1908E-6	1656E-4	1687E-4	1628E-4
F.Mom2	4221E-7	4497E-7	1438E-7	7120E-8
F.Mom3	2266E-7	3174E-7	8237E-7	1795E-7
F.Mom4	2065E-6	3007E-7	6834E-6	1962E-7
CLASSE 2	Variancia	Valor Médio	Val.Max.	Val.Min.
Circul.	.250760	2.47200	2.95410	1.97710
FatorG	213.970	507.500	812.000	225.000
F.Mom1	9855E-6	1932E-4	2143E-4	1836E-4
F.Mom2	9307E-7	1090E-6	3127E-6	9940E-8
F.Mom3	7730E-7	2691E-6	3904E-6	1694E-6
F.Mom4	7699E-5	1105E-5	2553E-4	2972E-6
CLASSE 3	Variancia	Valor Médio	Val.Max.	Val.Min.
Circul.	.405020	2.28080	3.14460	1.58220
FatorG	40.2020	105.500	186.000	64.0000
F.Mom1	9018E-6	1950E-4	2047E-4	1781E-4
F.Mom2	4794E-7	1067E-6	1496E-6	2449E-7
F.Mom3	1294E-6	4582E-6	6204E-6	2390E-7
F.Mom4	1582E-6	8604E-7	5130E-6	1488E-7

Tab.1 Valores de variancia, valor médio, valor máximo e mínimo para cada atributo da Classe 1 (AND), Classe 2 (OR), Classe 3 (INV).

aplicação são determinados os valores médios de circularidade, fator G, e funções de momentos, conforme apresentado na Tabela 1.

Verifica-se dos resultados da Tabela 1 que existe uma boa separação das classes a partir dos atributos tomados, sendo possível a definição das regras de decisão a partir destes atributos.

Para a classificação num primeiro nível utiliza-se o método da árvore binária, deste modo, a separação entre as classes 1, 2, 3, 4 e 5, 6, 7, é obtida através da determinação da existência de cruzamentos nos contornos da figura.

Obtidos os dois primeiros grupos, a separação das classes de cada grupo é obtida através da utilização dos demais atributos, e usando como função de classificação a mínima distância. A Figura 2 mostra o esquema de classificação.

Deve-se ressaltar, que optou-se aqui pelo uso do classificador por mínima distância, porém, o processo completo de classificação poderia ser executado através do uso de uma árvore binária de decisões.

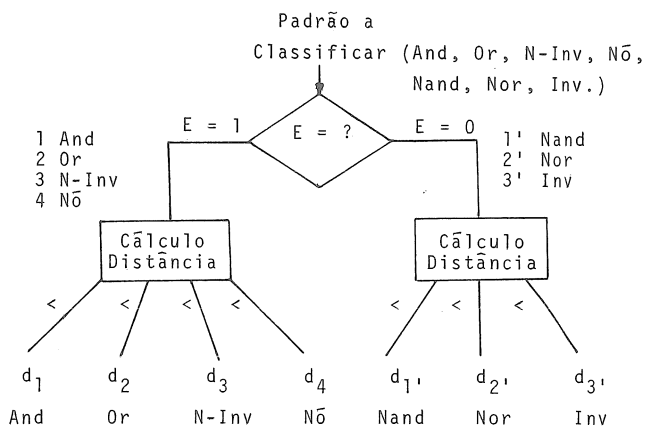


Fig. 2 Representação do esquema de classificação.

3.3. DETERMINAÇÃO DAS LIGAÇÕES ENTRE PORTAS

Para a determinação das ligações entre as portas são utilizados os seguintes atributos:

- coordenadas do centro de gravidade da figura (CG)

- distância maior que existe do centro de gravidade ao contorno do objeto
- orientação da figura

Para cada elemento determinado na fase anterior, são medidos os dois primeiros atributos citados, e contruída uma tabela denominada Tabela de Elementos. Do arquivo de conexões são obtidas as coordenadas de início e fim de cada conexão, construída uma lista denominada Lista de Conexões e executado o seguinte algoritmo:

1. É realizada uma busca na Tabela de Elementos até a identificação de um nó:
 - 1.1. Com a coordenada do CG do nó é determinada na Tabela de Conexões a conexão correspondente ao nó.
 - 1.2. Na Tabela de Elementos e usando a Tabela 2 é verificada se a outra extremidade da conexão corresponde a uma ligação de saída ou entrada da porta.
 - 1.3. Se a ligação corresponde à saída da porta o nó é associado à porta e o par de coordenadas do nó é eliminado da Tabela de Conexões. Caso contrário, isto é, se a ligação corresponde à entrada da porta volte ao ponto 1.1.
 - 1.4. Retorne ao ponto 1, até que todos os nós tenham sido associados às portas.
2. Tomando um par de coordenadas da Tabela de Ligações são determinadas as portas associadas a esta ligação, considerando que a porta está contida num círculo definido pelo raio igual a maior distância que existe entre o centro de gravidade e o contorno da porta e pelo centro igual a coordenada do centro de gravidade da porta:
 - 2.1. Usando a Tabela 2 é determinado o tipo de ligação (entrada ou saída) para cada extremidade e definida a ligação entre portas. Se foi possível apenas a associação de uma das coordenadas à porta, então a outra extremidade corresponde à entrada ou saída externa do circuito, e sua característica é determinada pela outra extremidade.
 - 2.2. Volte ao ponto 2, enquanto ainda existem elementos a serem processados na Tabela de Ligações.

Orientação	$X_L > X_G$	$X_L < X_G$	$Y_L > Y_G$	$Y_L < Y_G$
0°	Out	In		
90°			In	Out
180°	In	Out		
270°		Out	In	

Tabela 2 Determinação para entrada e saída de portas.

X_G Y_G - coordenadas do centro de gravidade

X_L Y_L - Coordenadas extremas da conexão.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para esta aplicação mostram que a entrada de dados em Sistemas de Auxílio a Projeto pode ser facilitada através do uso de técnicas de reconhecimento de padrões.

Para uma maior abrangência da aplicação discutida, devem ser incluídas novas classes para descrição de outros símbolos lógicos, tais como flip-flop, contadores, etc. bem como a possibilidade de reconhecimento de caracteres alfanuméricos para permitir a identificação de portas e ligações.

O trabalho desenvolvido pode ser usado em outras aplicações, dado que qualquer reconhecimento baseia-se nos mesmos princípios, variando apenas os atributos tomados para definição das regras de decisão. Uma área potencial para aplicação do estudo desenvolvido é a de visão de robôs.

5. BIBLIOGRAFIA

- Barraza, S.B., "Reconhecimento de Padrões para Aplicações em CAD/CAM". Tese de Mestrado, UNICAMP, Dez.1984.
- Gonzalez, R.C. & Safabakhsh, R., "Computer Vision Techniques for Industrial Applications and Robot Control". Computer, December 1982, 17-32.
- Rosenfeld, A. & Kak, A.C., Digital Picture Processing. Academic Press, N.Y., 1976.
- Weska, J.S., "A Survey of Threshold Selection Techniques". CGIP, 7, 259-265 (1978).
- Stefanelli, R. & Rosenfeld, R., "Some Parallel Thinning Algorithms for Digital Pictures". JACM, 18, 255-264 (1971).

- Castleman, K., Digital Image Processing. Prentice-Hall, N.J., 1979.
- Duda, R.O. & Hart, P.E., Pattern Classification and Scene Analysis. John Wiley & Sons, Inc., N.Y., 1973.
- Mascarenhas, N.D.A., "Processamento de Imagens, Classificação de Padrões e Visão Robótica". Tutoriais CONAI, 1983.
- Kulpa, Z., "Area and Perimeter Measurement of Blobs in Discrete Binary Pictures". CGIP, 6, 434-451 (1977).
- Wechsler, H., "An new and Fast Algorithm for Estimating the Perimeter of Objects for Industrial Vision Tasks". CGIP, 17, 375-385 (1985).
- Wong, R.Y., "Scene Matching with Invariant Moments". CGIP, 8, 16-24 (1978).
- Ballard, D.H. & Brown, C.M., Computer Vision. Prentice-Hall, 1982.
- Meisel, W., Computer-Oriented Approaches to Pattern Recognition. Academic Press, N.Y., 1972.
- Tou, J.T. & Gonzalez, R.C., Pattern Recognition Principles. Addison-Wesley, Mass., 1974.