

論文 96-33B-3-21

전자회로 도면관리를 위한 벡터화와 회로 기호의 인식

(The Vectorization and Recognition of Circuit Symbols for Electronic Circuit Drawing Management)

白永穆*, 石鍾源*, 秦成一*, 黃燦植*

(Yung Mok Baek, Jong Won Seok, Sung Il Chien, and Chan Sik Hwang)

요 약

기존의 방대한 분량의 도면을 CAD시스템에 적합하게 바꾸어 주는 것과 그 내용을 인식하는 것은 공학 도면 자동해석에 있어서 주요 관심사이다. 본 논문에서는 전자회로 도면을 대상으로 하여 문자와 그래픽 영역 분리, 심볼 분리, 벡터화 및 인식을 하는 방법을 제안한다. 도면에서 문자영역은 MBR(Minimum Bounding Rectangle)과 고립영역의 크기를 이용하여 도면에서 문자영역을 분리하였고, 루프심볼은 화소수, 원주길이, 원형도 등의 특징 파라미터를 이용하여 추출하였고, 비 루프심볼은 그들이 가지는 기하학적 특징을 이용하여 분리하였다. 심볼을 인식하기 위해서 추출된 심볼의 FD(Fourier Descriptor)와 데이터 베이스화된 심볼의 FD 사이에 Nearest Neighbor 방법을 이용하여 인식을 수행하였다. 실험결과로, 추출된 심볼의 간결한 벡터 표현이 가능하였고 이를 이용한 심볼의 크기변환과 회전이 가능하였다. 그리고, 분리된 심볼의 정확한 위치가 얻어지면 FD를 이용해서 안정적인 심볼인식을 할 수 있었다.

Abstract

Transforming the huge size of drawings into a suitable format for CAD system and recognizing the contents of drawings are the major concerns in the automated analysis of engineering drawings. This paper proposes some methods for text/graphics separation, symbol extraction, vectorization and symbol recognition with the object of applying them to electronic circuit drawings. We use MBR(Minimum Bounding Rectangle) and size of isolated region on the drawings for separating text and graphic regions. Characteristic parameters such as the number of pixels, the length of circular constant and the degree of round shape are used for extracting loop symbols and geometric structures for non-loop symbols. To recognize symbols, nearest neighbor between FD(Fourier Descriptor) of extracted symbols and these of classification reference symbols is used. Experimental results show that the proposed method can generate compact vector representation of extracted symbols and perform the scale change and rotation of extracted symbol using symbol vectorization. Also we achieve an efficient searching of circuit drawings.

I. 서 론

* 正會員, 慶北大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)

※ 이 논문은 1993년도 한국학술진흥재단의 대학 부설 연구소 연구과제의 연구비에 의하여 연구되었음

接受日字: 1995년 2월 8일, 수정완료일:

최근 들어 공학 설계 분야에서 핵심적인 한 분야로서 많이 이용되는 CAD시스템은 설계분야의 생산성 향상에 많은 도움이 되고 있다. 연구소 및 디자인 부서에서 다양한 설계도면이 대량으로 양산되고 있으므로 이

를 효율적이고 체계적으로 관리하기 위해 수작업에 의해 작성된 기존의 설계 도면들을 자동화하는 작업이 필요하게 되었다. 이러한 설계 데이터는 분량이 방대하고 설계 각 부분 데이터가 복잡하며 각 부분별 다양한 연관성이 있는 특징을 갖는다. Karima^[11] 등은 도면 입력 시스템의 가능성에 관한 연구에서 공학환경내에서는 어떠한 시스템도 도면의 입력 작업을 완전히 자동화하기는 어렵고, 또한 CAD시스템에 의해 사용되기 위한 지능적인 데이터 베이스도 자동적으로 구성하기가 힘들다고 보았다. 도면의 자동 입력을 어렵게 만드는 요인들로 첫째는 도면 제작 시에 설계자의 취향에 따라 기호와 문자가 각기 다른 형태와 크기를 가지고 있으며, 연결 부분이 불분명하며, 문자가 기호나 연결선에 붙을 수 있기 때문에 이들을 별도로 분리하는 일반적인 규칙이나 알고리즘을 찾기가 어렵다는 점이다. 둘째는 스캐너와 카메라 같은 물리적 입력 장치에 의하여 발생하는 오류인데, 잡영에 의해서 선분이 끊어지거나 원의 내부가 채워질 수 있으며, 왜곡에 의해서 부적합하게 돌출, 팽창, 수축되며, 전이에 의해서 영상이 전체 또는 일부가 이동하고, 회전에 의하여 영상이 기울어질 수 있다는 점이다. 셋째는 골격화 등 몇 가지 영상처리 알고리즘의 부작용으로서 원하지 않는 영상 데이터를 얻을 수 있으며, 마지막으로 문자와 기호의 분리 과정에서 분리 오류로 인하여 주위에 연결된 요소들로부터 영향을 받을 수 있다는 점이다. 따라서, 논리도 및 전자회로도, 프로그램의 흐름도 등과 같이 주로 위상(topology)관계가 중요하며 도형요소의 추출 시에 기하학적인 정밀도가 심각하게 요구되지 않는 도면 등, 특정 대상 도면에 대해서만 컴퓨터가 인식할 수 있는 알고리즘들을 개발함으로써 인식이 가능하고, 이에 대한 실용화 제품들이 만들어지고 있다. 도면 인식 시스템은 1970년 전반부터 기초적인 연구가 이루어졌으며 화상 처리 기술과 패턴인식 기술의 발달과 더불어 많은 발전이 있어왔다. 특히 1980년대에 들어와서는 몇 개의 제품들이 시장에 출현하였다. 최근에 발표된 주요 연구로는 Fahn^[12] 등이 제안한 위상에 기반을 둔 도면 인식 시스템과 Okazaki^[13] 등이 제안한 루프 구조에 기반한 도면 인식 시스템 등이 있다. 전자의 방법은 선분을 순회하며 기호, 문자열, 연결선의 3요소를 분리하게 된다. 후자의 방법은 논리회로 도면에서 심볼들을 폐곡선 부류와 폐곡선 이외의 부류로 나눈 다음 미리 정의된 원형(template)을 사용하여 정합을 하게

된다. 이때 후보 영역을 정의하기 위해서 최소 영역(MRA: Minimum Region for Analysis)과 특징 윈도우(Characteristic Window)를 이용하게 된다. 하지만 이 방법은 미리 정해진 크기와 모양의 지정된 원형에 따라야 하고 심볼의 모양이 수직, 수평으로만 고려되어야 하는 제약점이 있다. 한편 국내에서 설계도면 처리, 이해 및 관리에 관한 연구는 쌍용 전자 및 KIST 시스템 공학 연구소^[14]의 공동연구, 변시우^[15]가 제안한 손으로 그린 전자회로 도면의 기본요소 추출에 관한 연구 등이 있다. 기존의 연구들에서는 문자 영역을 제외한 도형영역으로부터 도면요소들을 구하기 위해서 먼저 도형영역을 선분벡터로 변환한다. 그리고 추출된 선분 벡터들의 연결 형태를 살펴봄으로써 원호를 인식하고 원호정보들을 서로 결합함으로써 원을 인식하고 이들을 CAD시스템에 자동 입력한다. 하지만 현재까지 개발된 도면인식 시스템들의 대부분은 단순한 도면의 저장 및 복원의 기능 즉, CAD시스템에 자동 입력만이 가능하게 구성되어 있다. 설계자의 다양하고 복잡한 정보에 대한 요구를 충족시켜 주기 위해서는 도면에 어떠한 내용이 들어있는지 알 수 있어야 하고 설계자가 특정 부품이 존재하는 도면을 원할 때 데이터 베이스화된 도면을 검색하여 이를 찾을 수 있어야 한다.

본 논문은 전자회로 도면을 대상으로 문자영역의 분리와 심볼의 추출 및 벡터화 그리고 추출된 심볼의 인식을 다루고자 한다. 문자영역은 시드(seed)를 이용한 영역 레이블링 방법^[16]을 도입함으로써 고속으로 각 영역의 MBR(Minimum Bounding Rectangle)과 면적 등의 정보를 추출하여 분리한다. 문자가 분리된 영상에서 두꺼운 영역을 분리시킨 다음 심볼추출을 위해서 반전 고립도형 방식을 제안하였다. 고립 영역으로 분리된 루프구조에 영역 레이블링 방식을 사용하여 특징 파라미터를 구하여 루프구조의 심볼을 분리하였고 비루프구조의 심볼들은 이들이 가진 기하학적 특성을 이용하여 분리하였다. 분리된 심볼들은 벡터화하여 저장하였다. 또한 본 논문은 심볼인식을 위해 분리된 심볼들의 위치로부터 심볼 영상만을 추출하여 회전, 크기 및 이동에 불변 특징을 가지는 FD^[17]를 사용하여 표현할 것을 제안하였다. 추출된 심볼의 인식은 기존의 데이터 베이스화된 표준심볼들의 FD와의 Nearest Neighbor Distance^[18]를 이용하여 인식을 수행하였다. 실험대상은 뚜렷한 심볼이 존재하는 전자회로 도면

을 대상으로 하여 실험을 하였다. 심볼추출의 경우 기존의 원형정합 방식을 이용했을 경우 수직, 수평 위치에 있는 경우에만 적용 가능하여서 심볼이 기울어져 있을 경우는 심볼의 인식이 불가능하였으나, 본 논문에서 제안한 반전 고립도형 방식과 특징 파라미터를 사용하여 기울어져 있는 심볼과 같이 임의의 위치에 존재하는 심볼성분의 추출도 가능하다. 그리고 이렇게 분리된 심볼을 효율적으로 저장하기 위해서 비트 맵 방식으로 심볼을 저장하지 않고 심볼을 벡터화 한다. 즉 추출된 심볼 영상에서 직선부분과 곡선부분을 인식하여 얻은 정보와 심볼의 좌표만을 저장함으로써 효율적인 지장이 이루어지도록 한다. 이렇게 벡터화 되어 저장된 심볼은 크기 변환과 회전등을 통해 원하는 심볼 형태로 재구성이 가능하게 된다. 심볼인식의 경우에도 심볼의 위치가 추출되었을 때 FID를 사용하여 안정적인 인식이 가능하다. 이와 같이 추출된 심볼을 벡터화 하고 이를 인식함으로써 도면의 자동 입력뿐 아니라 효율적인 검색이 가능하므로 설계자가 원하는 도면을 찾을 수 있는 등 다양한 분야에 응용이 가능하다.

본 논문의 구성은 2장에서 도면영상으로부터 문자분리에 대해 살펴보고, 3장에서는 심볼성분의 추출 및 벡터화에 대해 설명한다. FID를 이용한 심볼인식은 4장에서 설명한다. 5장에서는 실험결과에 대해서 설명하고, 6장에서 결론을 맺는다.

II. 문자분리

도면에서의 문자 분리는 그림1에서 나타나 있는 전체 과정에서 알 수 있듯이 도면의 벡터화와 심볼의 분리를 위해 가장 선행되어야 할 과제이다. 도면 이미지에는 문자들이 규격화된 크기로 존재한다. 그러므로 그 외의 도면요소들은 대부분 문자보다 크다는 조건으로써 쉽게 분리가 가능하다. 도면에 존재하는 모든 영역에 대한 정보는 영역레이블링 방식을 이용하여 영역의 연결요소를 추출하면 쉽게 구해지고 문자 분리가 가능하다.

시드를 이용한 영역레이블링 방식¹⁶⁾은 도면을 스캔하다가 검은 화소를 만나게 되면 그 화소를 최초의 시드(seed)로 하여 시드와 연결된 모든 검은 화소를 추적하여 효율적으로 영역들을 구분하는 알고리즘이다. 영역레이블링 방식을 이용하여 도면 내에 존재하는 모든 영역들을 추적하여 각 영역의 최소 외접 사각형 즉,

MBR과 면적 등의 정보를 구한다.

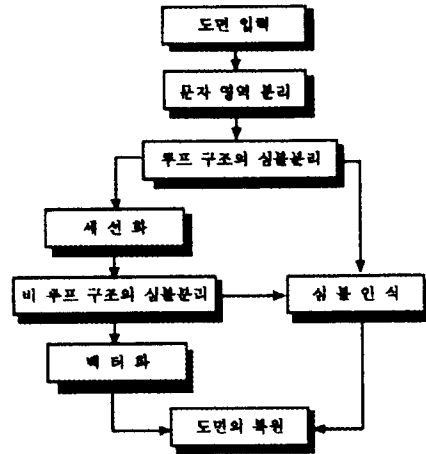


그림 1. 도면 인식시스템의 전체 과정
Fig. 1. The procedures of circuit drawings recognition system.

이렇게 추출된 각 영역들의 정보로부터 문자분리가 쉽게 이루어진다. 본 실험에서는 간단히 50×50이하의 크기를 가지는 영역을 문자성분으로 판단한다. 50×50 이하로 판단된 영역에 대해서는 다른 도면 요소들과 구별하기 위해 다른 색깔로 레이블링하고 그 윤곽을 보여준다. 5×5이하영역에 대해서는 잡영이라고 간주한다. 그림 2는 실제 도면에 대해서 문자 분리를 실시한 결과 예이다. 분리된 문자 영상들이 그림 2-(b)에 회색으로 표시되어 있다.

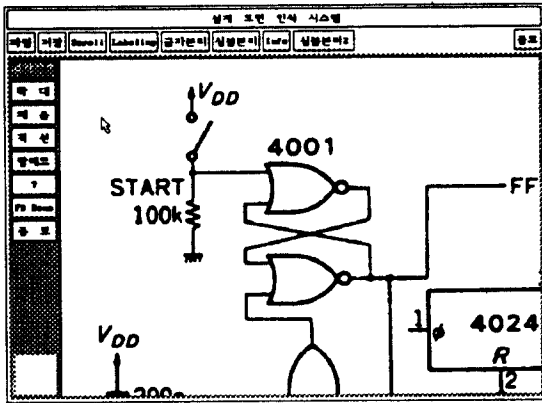
III. 심볼의 추출과 벡터화

1. 두꺼운 영역의 분리

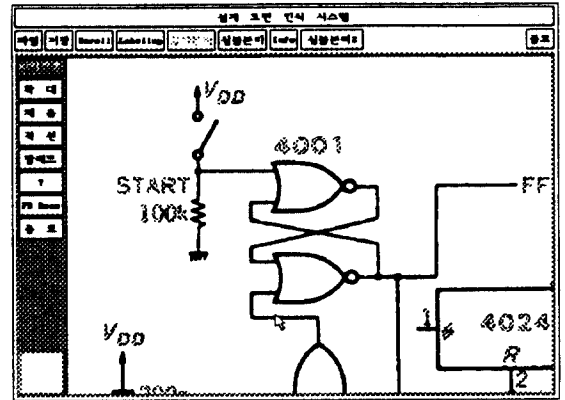
세선화 과정 중에 두꺼운 영역은 사라져 버리기 때문에 다이오드나 화살표 등과 같이 두꺼운 영역을 미리 분리시켜 놓아야 한다. 이를 위해 기본적인 형태학적 연산(Morphological filtering)이 이루어진다. 먼저 입력된 영상을 2차원 화소의 집합으로 표시한다. 이때 각 화소 값은 배경인 경우는 0, 물체인 경우는 1의 값을 가진다. 그리고 각 화소 p를 중심으로 한 NxN neighborhood code 값 NC를 다음과 같이 정의한다.

$$NC = \sum_{i=0}^{M-1} N_i(p), \quad \text{where } M = N \times N - 1 \quad (1)$$

$N_i(p)$: Number of black(white) pixel



(a)



(b)

그림 2. 도면에서 문자 분리 과정

(a) 문자 분리전의 도면 (b) 문자 분리후의 도면

Fig. 2. The procedure of character segmentation in circuit drawing.

(a) The drawing before segmenting characters. (b) The drawing after segmenting characters.

먼저 영상을 차례로 스캐닝하면서 각 흑화소에 대해 $N_i(p)$ 가 $N \times N - 1$ 이 아니면 해당 흑화소를 백화소로 바꾸어 준다. 다음 영상을 차례로 한번 더 스캐닝하면서 각 백화소에 대해 $N_i(p)$ 가 $N \times N - 1$ 이 아니면 해당 백화소를 흑화소로 바꾸어 준다. 첫 번째 스캐닝을 거치게 되면 $N \times N$ 굵기가 되지 않는 모든 성분은 지워지게 되고, 다음 팽창 과정에서 평활화된 형태의 두꺼운 영역만이 남게 되어 이를 다시 원 영상과 LOGICAL AND 연산을 시키면 두꺼운 영역을 얻을 수 있다. 실험에서는 N 은 5이고 M 은 24이다. 즉, 도면영상에서 5×5 의 영역을 취한 다음 5×5 영역에서 중심 화소를 제외하고 나머지 화소가 흑화소가 아니면 백화소로 바꾸게 된다. 그리고 다시 도면영상에서 5×5 영역에서 중심 화소를 제외하고 나머지 화소가 백화소가 아니면 흑화소로 바꾸게 된다. 이러한 과정을 거치게 되면 도면영상에서 선의 굵기가 5 화소 이상이 되는 성분들은 두꺼운 부분으로 인식되고, 그 이하의 굵기를 가지는 부분은 제거되는 효과를 가져온다.

2. 루프구조의 심볼분리

일반적인 회로도면에서 기호를 추출하는데 있어서 대체로 안정되어 있고 정확한 추출을 유도하는 특징 중의 하나는 대부분의 기호는 루프 구조를 가진다는 사실이다. 따라서 루프구조를 찾으면 쉽게 기호를 추출할 수 있다. 루프구조 기호의 추출 후에 이들을 제거하

면 도면상에는 선분으로 이루어진 기호들만이 남게 되며 계속해서 선분 구조의 기호를 제거하면 도면상에는 모든 기호들이 제거되어 연결선만이 남게 된다. 회로도면에서 논리회로 심볼이나 그 밖에 원 등의 루프구조의 심볼을 추출하기 위해서 본 연구에서는 반전 고립 도형 방식을 사용하였다. 먼저 화상의 0/1의 반전 도형을 만들면, 페루프 안은 고립도형이 된다. 그런 다음 영역 레이블링을 이용하여 고립도형 영역이 심볼성분의 후보영역이 되게 한다. 그리고 레이블링된 각 후보영역의 특징 파라미터를 조사하여 심볼을 분리해 낸다. 특징 파라미터로서는 면적, 주위길이, 원형도 및 특징점등을 사용하였다. 한편 도면상에 존재하는 모든 루프구조의 영역을 루프 구조 기호의 후보로 남겨주기에는 도면상에는 상당히 많은 루프 구조의 영역이 존재한다. 심볼이 아니면서 루프 구조인 영역을 가질 수 있는데, 이 영역은 대부분 연결선들이 루프 구조를 형성하는 경우에 생성된다. 이런 후보 영역 역시 특징 파라미터를 사용하여 제거시킨다.

- 면 적 : 물체에 포함된 화소수를 계산한다.
- 원주 길이 : 물체를 Contour Following하여 윤곽선의 화소수를 계산하는데 경사 방향은 디지털 도형 특유의 오차를 일으키므로 $\sqrt{2}$ 배 하여 계산하는 등의 보정이 필요하다.
- 원 형 도 : 면적, 원주 길이를 토대로 형상의 복잡한

정도를 측정하는 특징량이다. 예를 들어, 원과 별모양을 생각해 보면 별모양은 원 보다 동일 면적에서는 긴 원주 길이를 갖게 된다. 따라서, 원형도를 아래 수식으로 정의한다. 이 식에 의하면 원의 경우, 원주길이 $2\pi r$, 면적 πr^2 이므로 원형도는 1.0이 된다.

$$e = 4\pi(\text{면적})/(\text{원주 길이})^2 \quad (2)$$

- 특징점 : 분리된 고립도형의 윤곽선에 3x3 윈도우를 씌워서 이웃 여덟 화소 중 흑화소의 개수가 3개 이상인 점을 특징점으로 한다. 그리고 일정 거리 이내에 불려있는 특징점들을 하나로 통합한다.

전자회로도에서 루프구조를 가지는 심볼들의 원형도는 대략 0.6을 문턱 치로 해서 그 이하는 연결선 성분이 루프구조를 가져서 분리된 것들이었다. 또 특징점의 개수가 3개이상인 후보를 대상으로 하여 특징점 사이의 각도를 구하여 $\theta = 85^\circ$ 에서 $\theta = 95^\circ$ 사이의 각이 5개 이상인 후보는 비기호영역으로 간주하여 제외시킨다.

3. 세선화

패턴을 세선화하여 표현하는 이유는 형태 분석을 쉽게 할 수 있다는 사실뿐만 아니라 데이터 량을 최소화시켜야 할 필요성 때문이다. 영상을 핵심적인 요소로 감축시킴으로써 중요한 위상적, 기하학적 특성을 유지하면서 윤곽선의 변형을 제거할 수 있다. 보다 실제적인 면에서 본다면, 가늘고 긴 패턴의 세선화된 표현은 끝점(end point), 접합점(junction point) 그리고 성분간의 연결과 같은 중요한 특징들의 추출을 보다 용이하게 해준다. 본 연구에서는 선분 벡터 추출을 위한 세선화 과정에 Chen-Hsu^[9]의 세선화 기법을 사용한다. Chen-Hsu의 세선화 알고리즘은 2개의 부루프(sub-loop)를 가지는 병렬 알고리즘으로, 완벽한 8-방향 세선화 결과를 보인다. 이 기법은 경계 잡음에 강하고, 심각한 선의 잡식과 선 연결성 문제를 해결한 알고리즘이다.

4. 비 루프구조의 심볼분리

루프구조 심볼이 분리된 세선화 된 영상에서 3x3 윈도우를 씌워서 이웃 여덟 화소중 흑화소의 갯수가 1개인 점을 끝점(end point), 흑화소의 갯수가 3개인 점을 분기점(break point) 그리고 흑화소의 갯수가 4개인 점을 교차점(cross point)으로 표시 해준다. 그런

다음 위에서 표시해둔 끝점, 분기점 그리고 교차점 사 이들을 연결하는 직선을 만든다. 이 직선과 가장 멀리 떨어져 있는 점을 찾아내고 그 점에서 2개의 선분으로 분할한다. 다시, 분할한 각각의 선분에 대해 가장 떨어져 있는 점을 1개씩 찾고 그곳에서 다시 분할한다. 이 조작을 되풀이해서 거리가 어떤 정해진 오차 내에 들어갈 때까지 분할을 계속한다. 이렇게 해서 찾아진 각 점을 특징점으로 기록해 둔다. 끝점, 분기점, 교차점 그리고 특징점이 표시된 영상을 주사해가며 심볼들을 분리해 낸다. 비 루프구조의 심볼에는 저항기, 콘덴서, 접지, 인덕터, 트랜지스터 등이 있다. 예를 들어, 저항기나 인덕터의 추출을 위해서는 특징점을 추적하여 임계치 이상의 구부러짐이 반복되는 특성을 사용하고, 접지나 콘덴서 등도 이들이 가진 끝점, 분기점 그리고 특징점을 살펴봄으로써 분리가 가능하였다.

5. 벡터화된 심볼의 변환

분리한 심볼을 비트맵 형태로 저장할 수도 있지만 0과 1로 나타나는 디지털 데이터의 특성상 확대나 축소, 회전, 기울임등의 기하학적 변형이 힘들다는 단점이 있다. 물론 비트맵 형태로도 확대, 축소, 회전이 불가능한 것은 아니지만, 확대할 경우 점의 크기도 커져 계단 현상이 나타나며, 정수배의 확대가 아니면 획 굵기가 들쭉날쭉해서 보기가 좋지 않다. 먼저 벡터화 하기의해 분리된 심볼의 선형성과 각도 등을 조사하여 직선부분과 곡선부분으로 분리한다. 그리고 심볼추출 전에 분리한 두꺼운 영역은 채우기 과정을 거치게 된다. 연결선과 직선부분은 시작점과 끝점만 있으면 복원할 수 있고, 곡선부분은 원호의 중심좌표, 반지름, 시작각도 그리고 종료각도를 구하여 벡터화 한다. 벡터화된 심볼의 변형은 행렬을 이용한 좌표계 변환을 응용한 것이다. 따라서 어떤점 (x,y)에 변환을 적용한 점(x',y')은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & t_x \\ c & d & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ax+by+t_x \\ cx+dy+t_y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

식(3)에서 a, b, c, d 는 회전, 기울임, 확대, 축소에 영향을 주는 인자이고 t_x 와 t_y 는 좌표를 평행이동 하는데 영향을 주는 인자이다. (x,y)라는 점을 원점에 대해 θ 도만큼 기울인 점의 좌표는 다음 행렬로 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \theta & -\cos \theta & 0 \\ \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \sin \theta - y \cos \theta \\ x \cos \theta + y \sin \theta \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

(x,y)점을 원점을 기준으로 x축으로 θ 도만큼 기울인 점의 좌표는 다음 행렬로 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\tan \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x - y \tan \theta \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

아래 그림3에서는 추출된 심볼을 벡터화하여 확대와 회전을 실험해본 결과이다. 그림3-(a)는 도면상에서 분리된 심볼을 벡터화시킨 원래의 심볼이다. 그림3-(b)는 3-(a)를 x축과 y축으로 각각 2배씩 확대한 결과이고 그림3-(c)는 x축만 2배 확대하였고 그림3-(d)는 y축으로 2배 확대하여 70도 회전시킨 결과이다.

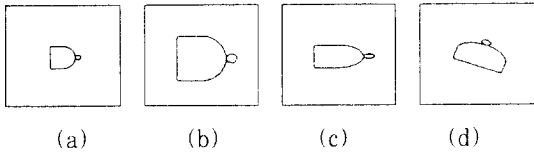


그림 3. 추출된 심볼의 회전 및 크기 변화
Fig. 3. Rotation and scale change of extracted symbol.

IV. 심볼인식

전자회로 도면에는 저항, 콘덴서, 트랜지스터, 등등의 많은 심볼들이 존재한다. 이러한 심볼들을 인식할 수 있으면 단순히 이러한 심볼들을 비트맵으로 저장하는 것보다 훨씬 작은 메모리를 요구할 뿐만이 아니라 이 도면이 어떠한 부품들로 이루어진 무슨 기능을 하는 회로 도면인가를 판단할 수 있으므로 광범위한 도면 관리 시스템을 구축하는 기반이 될 수 있다.

전자회로 도면에 존재하는 심볼들은 대부분 그 윤곽의 모양만으로도 인식이 가능하다. 그러므로 심볼의 윤곽을 추적하여 FD를 추출하여 인식에 사용하게 된다. FD는 패턴인식에서 많이 사용되는 특징으로 문자인식¹⁷⁾이나 항공기 인식¹⁹⁾ 등에서 적용예를 찾아 볼 수 있다. 특히 FD는 크기나 회전등에 강한 특성을 가지기 때문에 도면속에 임의의 방향과 크기로 배치된 심볼인식에 적합한 특징으로 동작함을 알 수 있었다.

1. FD의 개요

대부분의 심볼들은 그 심볼의 윤곽모양으로부터 인식 정보를 얻을 수 있다. 심볼들의 윤곽은 다음 식으로 표시될 수 있다.

$$s(k) = [x(k), y(k)], k = 0, 1, 2, \dots, N-1. \quad (6)$$

각 좌표쌍들은 다음과 같은 복소수로 취급될 수도 있다.

$$s(k) = x(k) + jy(k), k = 0, 1, 2, \dots, N-1. \quad (7)$$

$s(k)$ 의 DFT(Discrete Fourier transform)을 구하면

$$a(u) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} s(k) \exp(-j2\pi \frac{uk}{N}) \quad u=0, 1, 2, \dots, N-1. \quad (8)$$

여기서 복소계수 $a(u)$ 를 FD라 한다. $s(k)$ 의 역 푸리에 변환을 하면 $s(k)$ 를 그대로 복원시킬 수 있다.

$$s(k) = \sum_{u=0}^{N-1} a(u) \exp(j2\pi \frac{uk}{N}) \quad k=0, 1, 2, \dots, N-1. \quad (9)$$

이제 여기서는 N개의 FD를 모두 사용하지 않고 저주파 영역의 M개의 FD만을 사용하여서도 N개의 $s(k)$ 를 얻을 수 있다. 즉 $u > M-1$ 에 대해 $a(u)$ 를 0으로 만들면,

$$s(k) = \sum_{u=0}^{M-1} a(u) \exp(j2\pi \frac{uk}{N}) \quad k=0, 1, 2, \dots, N-1. \quad (10)$$

128개로 샘플링한 심볼 영상의 FD로부터 원래 영상에 대한 복원 실험을 해본 결과, 대체적으로 약 20~30개 정도의 FD만으로도 원 영상의 윤곽을 거의 복원할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 그러므로 실제 인식시에도 모든 FD를 사용하지 않고 저주파 영역의 20~30개의 FD만을 가지고서 인식할 수 있다는 것을 알 수 있다.

2. FD의 추출 및 인식

FD를 추출하기 위해서 먼저 심볼의 가장자리를 contour following을 이용하여 왼쪽방향으로 따라가면서 모든 가장자리 윤곽점들을 추출한다. 그리고 추출된 심볼의 윤곽점들로부터 윤곽모양을 잘 표현할 수 있도록 128개의 좌표를 샘플링하였다. 샘플링 좌표가 부족한 경우는 윤곽점들 사이에 중간점들을 삽입하여 윤곽 좌표가 128개가 되도록 하여 샘플링하였다. FD를 얻기 위한 방법으로는 Cooley-Turkey의 FFT방법을 사용하였다. 먼저 인식을 위해 모든 표준 심볼에 대하여 노이즈에 둔감하도록 저주파 영역의 20개의 FD를 추출하고 그 중에서 크기 정보만을 파일에 저장하여 둔다. 실제로 인식하고자하는 도면에 대해서는 전처리과정에서 추출한 심볼의 위치로부터 해당되는 영상에 대해서 윤곽점들을 추출하고 이들 윤곽점들을 일정

한 간격으로 샘플링한다. 그리고 FFT를 이용하여 20개의 FD를 추출한 다음 전체 표준 심볼들과의 Euclidean distance를 계산하여 거리가 가장 가까운 심볼로 인식을 행한다. 또한 콘덴서와 같이 분리되어있는 심볼들의 경우, 그들의 2차원적 공간 특성에 대한 사전적 지식을 이용한 후처리 과정이 수반된다.

V. 실험결과 및 고찰

본 실험에서 사용한 도면은 전자회로도 와 논리회로도 가 조합된 도면을 사용하였다. 영상 입력 장치는 인치당 300화소 해상도를 가지는 스캐너를 사용하였다. 기본 요소 추출의 첫 단계로서 문자열 추출 과정을 거치게 된다. 비교적 높은 추출율을 보였으나 문자가 기호에 접촉된 경우 추출이 불가능하였다.

그리고 대부분의 기호들은 연결선에 연결되어 회로를 구성하므로 기호를 문자로 추출하는 경우는 없었다. 만일 문자가 기호나 연결선에 붙어있을 경우는 문자열 분리 알고리즘이 문자 인식의 능력을 가지지 않고는 불가능한 것이다. 문자열 추출후 도면에서 두꺼운 영역을 제거하기 위해 형태학적 연산을 이용하였다. 그리고 영역 레이블링과 구조적 특징을 이용하여 심볼을 분리하였다. 분리된 심볼은 벡터화 하여 크기변환, 회전등이 가능하게 하였다. 이렇게 심볼이 다 추출된 영상은 연결선 성분만 남게 된다. 이 연결선 성분은 선 벡터화(line vectorization)과정을 거쳐 저장되게 된다. 이때 각 연결 성분 벡터는 처음 시작점과 끝점만으로 이루어 지게된다. 그림 4, 그림 5는 실험에서 사용한 도면 영상으로써 각각 1425x1173, 1475x1697의 해상도를 가진다. 그림 4-(b)에서는 루프구조의 심볼을 추출

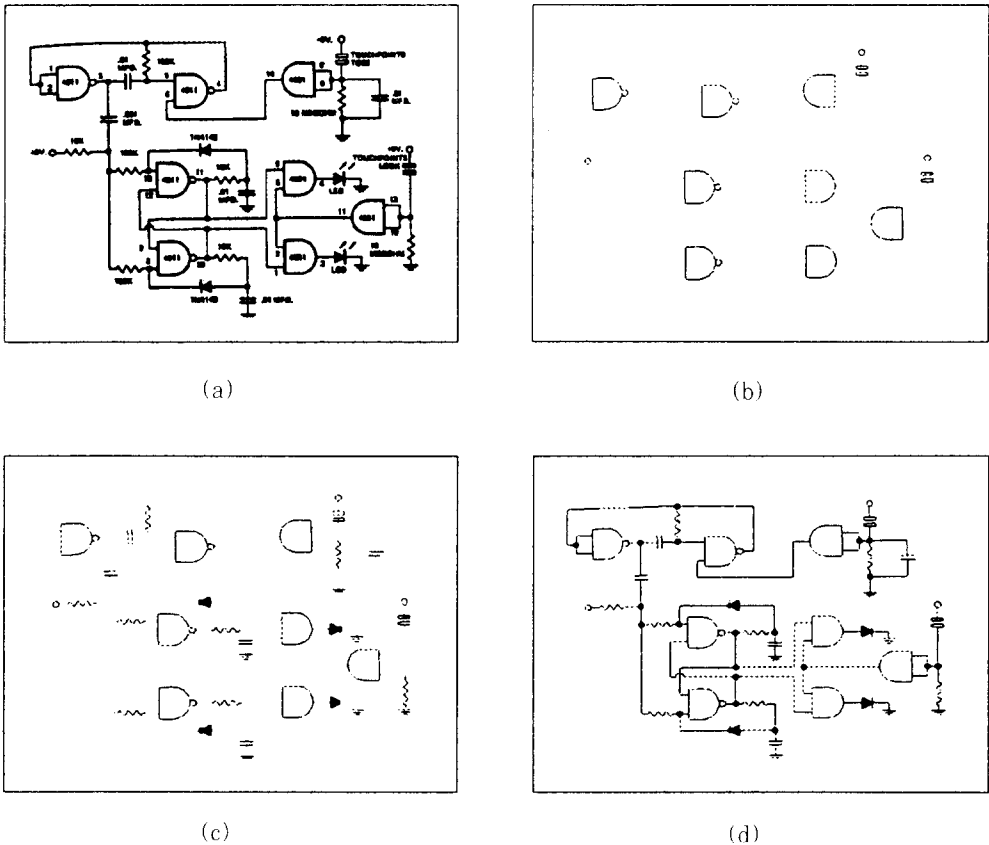


그림 4. 실험에 사용된 전자회로도면 예(1425x1173 화소)
 (a) 입력된 도면 (b) 루프구조의 심볼 (c) 분리된 모든 심볼들 (d) 복원된 도면

Fig. 4. An example of electronic circuit drawing(1425x1173 pixels).
 (a) Original circuit drawing. (b) Extracted loop symbol. (c) All extracted symbols. (d) Reconstructed electronic circuit drawin.

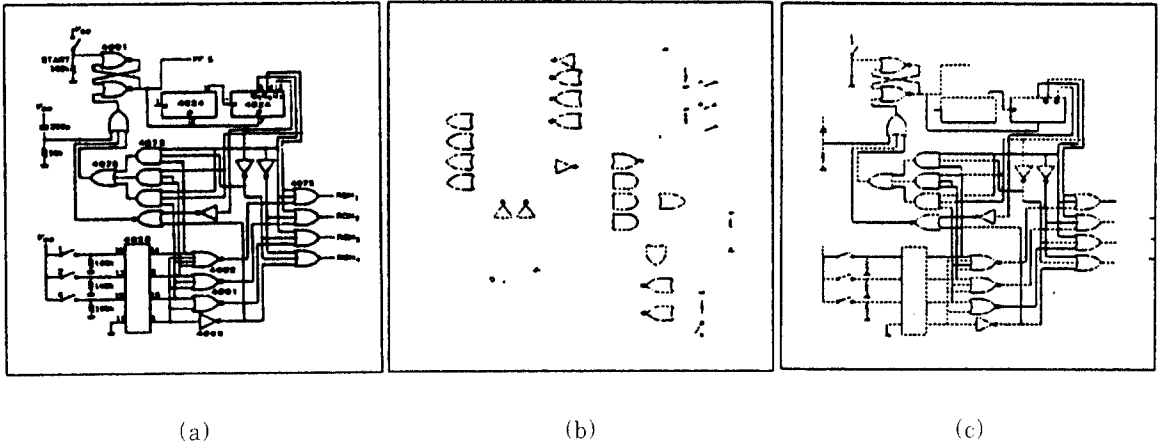


그림 5. 실험에 사용된 전자회로도면 예(1475×1697화소)

(a) 입력된 도면(b) 분리된 모든 심볼들 (c) 복원된 도면

Fig. 5. An example of electronic circuit drawing(1475×1697pixels).

(a) Original circuit drawing. (b) All extracted symbols. (c) Reconstructed electronic circuit drawing.

한 결과이고 그림 4-(c)에서는 분리된 모든 심볼을 나타내었다. 그림4-(d), 그림 5-(c)는 각각 원 영상을 복원한 결과를 나타낸다. 심볼의 인식을 위하여서는 여러 가지 도면으로부터 각종 심볼들의 FID를 추출하여 데이터 베이스화하여 둔다. 표준 심볼의 종류는 저항, 콘덴서, 트랜지스터, OP앰프, 스위치, 논리게이트(AND, NAND, OR, NOR, NOT), 다이오드 등이다. 실험은 전처리 과정으로 벡터화된 세 가지 도면과 기타 여러가지 도면에 대해 실시하였다. 심볼인식의 경우는 정확하게 심볼을 분리하여 인식을 행하였을 경우 거의 정확한 인식률을 보이고 추출된 좌표 영역이 작거나 하나의 심볼이 둘로 나누어진 경우 윤곽선의 심한 변화로 잘못된 결과를 나타냈다. 실제로 저항의 경우 연결선 부분을 정확히 제거하지 못하여 인식이 낮았다. 또한 두 심볼이 너무 가깝게 위치한 경우는 심볼 분리가 어려워 하나의 심볼로 합쳐지는 경우도 있다. FID의 특성상 하나의 윤곽만으로 인식을 행하기 때문에 콘덴서나 접지와 같이 하나의 심볼이 여러 개로 분리된 영역으로 이루어진 경우는 각각의 인식결과를 하나로 합쳐주는 후처리 과정이 따라주어야 한다. 전처리 과정에서 붙어있는 하나의 심볼이 두개의 영역으로 나뉘어져 심볼 위치가 추출된 경우도 마찬가지로 합쳐주어야 한다. 그리고 단순한 인식만으로는 심볼의 명칭만을 알 수 있을 뿐 심볼의 다양한 특성은 확실히 알

기 어렵다. 그러므로 심볼 인식을 한 후 그 심볼에 해당하는 여러가지 특징들 즉, 연결선의 위치 및 갯수, 심볼의 방향, 심볼 내부의 상태 등을 추출하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

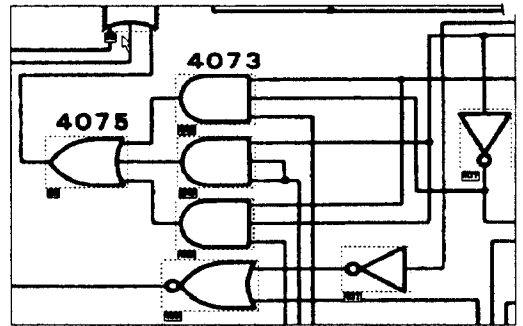


그림 6. 심볼 인식 결과 예

Fig. 6. The example of the symbol recognition result.

전처리 단계에서 추출된 심볼의 위치와 인식 결과 예가 그림 6에 나타나 있다. 추출된 심볼의 좌표는 심볼을 둘러싸고 있는 사각형으로 표시되어 있고 인식 결과는 심볼 사각형 좌측하단에 심볼의 명칭을 기록하였다. 심볼이 원으로 둘러싸인 경우는 지금까지는 단순히 원으로만 인식을 행하였다. 앞으로는 이러한 원으로 둘러싸인 심볼에 대해서 둘러싸고 있는 원을 제거하고

실제적인 심볼을 인식할 계획이다. 세가지 도면에 대한 인식결과가 표 1에 나와 있다.

표 1. 세가지 전자회로 도면에 대한 심볼 인식 결과

Table 1. The result of symbol recognition of over 3 electronic circuit drawings.

심볼명	정인식수/추출 심볼수	심볼명	정인식수/추출 심볼수
콘덴서	25 / 28	저 항	21 / 26
접 지	9 / 11	스위치	3 / 4
원	10 / 10	접 점	5 / 5
AND	7 / 7	NAND	4 / 4
OR	5 / 6	NOR	6 / 6
NOT	4 / 4	다이오드	3 / 4
OP amp	6 / 6		
총 인식율 : 89 % (108/121)			

VI. 결 론

본 연구에서는 전문가들 사이의 효율적인 의사 소통의 수단인 공학 도면의 자동 인식을 위한 기본 요소 추출, 추출된 성분의 벡터화 및 인식을 해보았다. 본 연구가 도면상에서 기호들이 대부분 루프구조를 가진다는 사실에 근거하여 기본 요소를 추출한 점은 Okazaki 등의 방법과 유사하나, Okazaki의 그것이 수직과 수평 방향의 기호성분에 대해서만 적용 가능한 것에 비해 모든 방향의 기호 성분에서도 적용이 가능하였다. 그리고 도면 성분을 선 성분으로만 처리하지 않고 심볼들과 연결성분들로 따로 처리하였다. 이렇게 분리된 심볼의 벡터화로 다양한 응용이 가능할 것이다. 향후 연구 방향은 처리 과정에서 발생된 복원된 영상의 부분적인 끊어짐과 복원된 영상의 비화에 대한 연구가 필요하리라 생각된다. 그리고 여러가지 도면에 대해서 FD의 추출과 심볼인식에 관한 실험을 행하였다. 심볼 인식에 있어서는 FD만으로도 가능하지만 심볼의 자세한 규격등의 특징들을 알기 위해서는 추가적인 특징이 더 필요하다고 간주된다.

참 고 문 헌

- [1] M.Karima, K.S. Sadhal and T.O. McNeil, "From Paper Drawings to Computer-aided Design," *IEEE Computer Graphics and Application*, Vol. 5, No. 2, 1985, pp. 27-39.
- [2] C.S. Fahn, J.F. Wang and J.Y. Lee, "A Topology-based Component Extracter for Understanding Electronic Circuit Diagrams," *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, Vol. 44, No 2, 1988, pp. 910-918.
- [3] A. Okazaki, T. Kondo, K. Mori, S. Tsunckawa and E. Kawamoto, "An Automatic Circuit Diagram Reader with Loop-structure-based Symbol Recognition," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 10, No. 3, 1988, pp. 331-341.
- [4] 과학기술처, "VIP 공동 연구 환경 기반 구축 (III)," 시스템공학센터 연구보고서, 1993
- [5] 변시우, "손으로 그린 도면을 위한 기본 요소 추출에 관한 연구", 한국과학기술원 석사학위논문, 1991
- [6] 백영복, 임길택, 김우태, 진성일, "영역 레이블링 방식을 이용한 일반문서의 Layout Understanding", 제6회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵, 1994
- [7] E.Persoon and K.Fu, "Shape Discrimination Using Fourier Descriptors", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-7, No. 3, March, 1977.
- [8] Duda and Hatt, "Pattern Recognition and Scene Analysis", John Wiley and Sons Inc., New York, 1973.
- [9] Y.S.Chen, W.H.Hsu, "A Modified Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns," *Pattern Recognition Letters*, Vol. 7, No. 2, 1988, pp. 99-106.
- [10] C.W. Richard, Jr, and H. Hemami, "Identification of Three-Dimensional Objects Using Fourier Descriptors of the Boundary Curve", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-4, No. 4, July, 1974.

— 저 자 소 개 —



白 永 穆(正會員)

1968년10월26일생. 1993년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1995년 2월 경북대학교 전자공학과 대학원 졸업(공학석사). 1995년 3월 ~ 경북대학교 전자공학과 대학원 박사과정 재학중.

주관심 분야는 영상처리, 패턴인식, 문자인식 등임.

秦 成 一(正會員) 第 32卷 B編 第 9號 參照.

현재 경북대학교 전자공학과 부교수



石 鍾 源(正會員)

1968년9월26일생. 1993년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1995년 2월 경북대학교 전자공학과 대학원 졸업(공학석사). 1995년 3월 ~ 경북대학교 전자공학과 대학원 박사과정 재

학중. 주관심 분야는 디지털 신호처리 등임.

黃 燦 植(正會員) 第 32卷 B編 第 2號 參照.

현재 경북대학교 전자공학과 정교수