

論文94-31B-6-11

문자영역의 분리와 기하학적 도면요소의 인식에 의한 도면 자동입력 (Automatic Drawing Input by Segmentation of Text Region and Recognition of Geometric Drawing Element)

裴 昶 奭* , 閔 丙 雨*

(Chang Seok Bae and Byung Woo Min)

要 約

공학설계 분야에 CAD 시스템이 도입됨에 따라 도면의 자동입력에 대한 필요성이 점차 증대되고 있다. 본 논문에서는 도면영상 내의 문자영역과 도형영역을 분리하고 도형영역으로 부터 선분벡터를 추출한 후 원호와 원을 인식함으로써 도면의 자동입력을 구현하는 방법을 제안한다. 문자영역과 도형영역의 분리에는 도면 상의 고립영역의 크기 정보를 이용하며, 선분벡터의 추출에는 세선화와 최대 허용오차법을 이용한다. 또 원호와 원의 인식을 위해서는 선분벡터의 기하학적 구성을 분석한다. 도면영상을 문자영역과 도형영역으로 분리하여 처리함으로써 벡터정보의 양을 약 30~40 % 정도 감소시킬 수 있었으며, 원호와 원을 인식함으로써 도면 자동입력 기능의 효율성을 높일 수 있었다.

Abstract

As CAD systems are introduced in the field of engineering design, the necessities for automatic drawing input are increased. In this paper, we propose a method for realizing automatic drawing input by separation of text regions and graphic regions, extraction of line vectors from graphic regions, and recognition of circular arcs and circles from line vectors. Sizes of isolated regions on a drawing are used for separating text regions and graphic regions. Thinning and maximum allowable error method are used to extract line vectors. And geometric structures of line vectors are analyzed to recognize circular arcs and circles. By processing text regions and graphic regions separately, 30~40 % of vector information can be reduced. Recognition of circular arcs and circles can increase the utilization of automatic drawing input function.

I. 서 론

* 正會員, 韓國科學技術研究院
시스템工學研究所 人工知能研究部
(A.I. Division, Systems Engineering
Research Institute/KIST)

※ 본 연구는 과학기술처 첨단연구비 지원으로
이루어 졌음.

接受日字 : 1993年 9月 14日

공학설계 분야에서 CAD(Computer Aided Design) 시스템의 도입은 제도판 위에서 제도기구를 이용하여 설계도면을 작성하던 작업방법에 일대 변혁을 가져왔다. 컴퓨터 및 CAD에 관련된 각종 하드웨어 성능과 관련 소프트웨어 기술의 급속한 발전으로 공학분야의 설계 및 제조에 있어 컴퓨터의 응용은 필

수적인 수단이 되었다. 컴퓨터의 이용이 초기의 단순한 정보처리의 단계에서 지식기반 이용 및 인공지능적인 기법들의 활용으로 변화됨에 따라 CAD 분야에서도 기존의 입력 및 처리 방식으로 부터 진일보된 새로운 연구가 시도되었다. 즉, 입력의 자동화 및 CAD 정보처리의 지능화에 관한 시도이다. 입력의 자동화는 패턴인식 기술에 기반을 두고 있으며, 우수한 성능의 하드웨어가 이 기술을 뒷받침하고 있다.

CAD 정보 입력의 자동화는 기존의 도면 및 손으로 작성한 도면의 영상정보를 입력기구인 스캐너를 통하여 입력받아 도면의 속성들을 분리 및 인식함으로써 CAD 정보를 자동으로 추출하려는 기술이다. 이러한 기술은 패턴인식 기술이 성숙된 80년대 부터 본격적으로 개발되기 시작하였다. 도면의 자동입력을 위한 패턴인식 기술은 주로 선분인식을 기본으로 하여 몇몇의 기본적인 기하학적 도형의 인식 및 문자인식 등을 수행함으로써 CAD 정보를 추출해 나가는 방식으로 발전되고 있으며, 이를 통해 기존 도면의 정확하고 신속한 입력과 효율적인 도면의 저장 및 검색을 가능하게 한다. 따라서, 설계시간과 비용의 감소로 설계능률과 생산성의 향상을 기할 수 있다. 그러나, 도면영상으로 부터 CAD 정보의 완전한 추출은 매우 난이하며 영원히 풀리지 않는 문제일 수도 있다.²¹ 도면의 자동입력을 어렵게 만드는 요인들은 도면의 종류가 다양하여 도면의 해독을 일반화할 수 있는 규칙을 만들 수 없으며, 활용기술들의 한계성에 기인한다. 따라서, 최근의 도면 자동입력 기술은 사용자가 개입하여 도면을 재생하는 반자동화의 방법으로 개발되어, 각 활용분야 별로 편리한 목적 지향적인 툴(tool)의 개발과 강력한 데이터 베이스 구축이 강조되고 있다.²³

Bow¹⁴⁾ 은 전자회로 도면을 대상으로 하는 인식과정에서 입력된 도면영상으로 부터 문자열을 분리하고, 남은 영상을 대상으로 하여 구조적 명세(structural description)를 작성하는 기법을 사용하였다. 그러나, 대부분의 공학도면들은 형태가 너무 다양하여 구조적 명세를 얻기가 불가능할 뿐만 아니라, 구조적 명세가 얻어진다고 가정하여도 이를 해석할 수 있는 일반적인 규칙을 발견하기가 힘들다. Kabuyama 등¹⁵⁾ 은 기계도면을 대상으로 하여 도면영상을 선분벡터화하고, 선분벡터로 부터 문자, 기하학적 및 비기하학적 기호들을 처리하는 기법을 제안하였다. 이들은 처리속도의 개선을 위해 전용 하드웨어를 이용하여 시스템을 구성하였다. 따라서 이들이 제안한 시스템은 상당히 고가이며, 다른 기종의 컴퓨터로의 이식성에 문제를 가진다. Okazaki 등¹⁶⁾ 은

고리구조에 기초한 회로도 자동인식기를 제안하였고, Fahn 등¹⁷⁾ 은 위상에 기초한 회로도 인식기를 제안하였다. 이들은 문자열의 방향이 수평 또는 수직 방향이어야 한다는 등의 제한된 환경 하에서 좋은 인식 결과를 보이는 도면 자동입력기를 제안하였으나, 이들이 제안한 시스템은 전자회로도만을 그 대상으로 한다. 변시우⁸⁾ 는 연결요소 탐색, 틀정합 그리고 선분분석에 의해 문자, 기호 그리고 연결선을 추출하는 도면의 기본요소 추출기를 제안하였다. A4의 절반 크기의 소형 전자회로 도면을 100 DPI(dots per inch)의 저해상도로 입력한 도면영상을 대상으로 한 실험결과 기본요소 추출에 좋은 성능을 보였다. 앞에서 살펴본 바와 같이 대부분의 도면 자동입력 관련 연구는 특정한 분야의 공학도면 또는 저해상도로 입력한 소형도면을 적용 대상으로 하고 있다. 따라서, 다양한 분야와 크기를 갖는 공학도면을 처리하기 위한 방법의 연구가 필요하다.

본 논문에서는 문자영역의 분리와 기하학적 도형요소의 인식에 의해 공학도면을 CAD 시스템에 자동으로 입력하기 위한 기법을 제안한다. 본 연구에서는 도면 영상으로 부터 문자영역과 도형영역을 분리하기 위해 고립영역의 크기 정보를 이용하였고, 선분벡터의 추출을 위해 세선화와 최대 허용오차를 사용하였다. 그리고 원호 및 원을 인식하기 위해 선분벡터의 기하학적 구성에 관한 정보를 이용하였다. 추출되는 문자영역의 정보에는 문자의 크기와 문자열의 기울기 등이 포함된다. 선분, 원호 그리고 원 등의 선분정보 또한 추출이 가능하다. A1에서 A4 크기의 다양한 종류의 공학도면을 대상으로 실험한 결과 본 연구에서 제안한 기법이 문자열 분리, 선분 벡터의 추출 그리고 원호 및 원의 인식을 효율적으로 수행하여 CAD 데이터를 구축하는 것을 확인하였다. 이와 같이 구축된 CAD 데이터는 CAD 시스템에서 용이하게 수정할 수 있으므로, 도면의 재활용성을 증대시킬 수 있다. 제안된 기법은 전자회로도 및 기계도면 등을 포함하는 일반 공학도면을 대상으로 하며, A1에서 A4 크기의 다양한 크기의 도면을 고속으로 처리할 수 있다. 또한 도면 자동입력의 전과정이 X-원도우 환경을 기초로한 소프트웨어 만으로 구현되어 있으므로 여타 기종의 컴퓨터로의 이식이 용이하다.

본 논문의 구성은 2 장에서 제안한 도면 자동입력의 전체과정에 대해 살펴보고, 3 장에서 도면영상으로 부터 문자영역을 분리하는 과정을 설명한다. 선분, 원호 그리고 원들의 기하학적 도면요소를 추출 및 인식하는 과정을 4 장에서 설명한다. 그리고, 5 장에서는 제안한 방법의 구현 및 실험결과를 설명하

며, 6 장에서 결론을 맺는다.

II. 도면 자동입력의 전과정

본 논문에서는 도면영상으로부터 각종 문자영역의 자동추출과 선분, 원호 및 원의 인식을 수행하는 도면 자동입력 방법을 제안한다. 본 연구에서 구현한 도면 자동입력의 전체과정은 다음과 같은 7 개의 단계로 구성되며, 이를 그림 1에서 보여주고 있다.

첫 째, 도면영상 내에 존재하는 각 고립영역의 크기 정보를 이용하여 도형영역과 문자영역을 분리한다. 둘째, 분리된 문자영역을 문자열 정보로 변환한다. 셋 째, 문자영역을 제외한 도형영역에 세선화 기법을 적용하여 골격선을 구한 후 최대 허용오차법을 이용하여 선분벡터를 구한다. 네 째, 추출된 선분벡터로부터 선분정보를 구한다. 다섯 째, 선분벡터의 기하학적 구성의 분석에 의해 원호정보를 추출한다. 여섯 째, 추출된 원호정보들을 결합함으로써 원의 정보를 구한다. 마지막으로 이상의 과정을 거쳐 구해진 문자열, 선분, 원호 및 원의 정보들을 통합하여 최종 CAD 정보를 구축함으로써 도면의 자동입력을 종료한다. 그리고 출력 CAD 정보의 형식으로는 개인용 컴퓨터 상의 CAD 시스템으로서 널리 사용되고 있는 AutoCAD의 DXF^[9] 구조가 지원되도록 하였다.

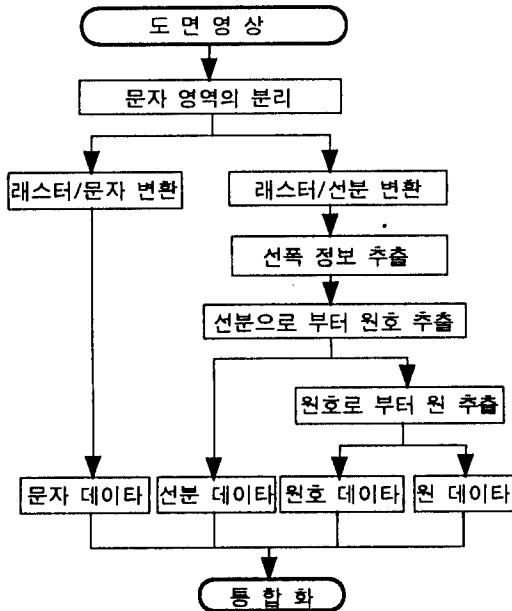


그림 1. 도면 자동입력 시스템의 전체 흐름도
Fig. 1. The overall flow-chart of automatic drawing input system.

III. 문자영역과 도형영역의 분리

일반적으로 도면은 선분과 기호를 포함하는 도형영역과 문자영역으로 구성된다. 이들 두 영역은 기하학적 특성에 의해 쉽게 분리될 수 있다. 문자영역의 크기가 상대적으로 작은 반면 도형영역의 크기는 크다. 따라서, 도면 상에 존재하는 고립영역의 크기 정보를 이용하여 문자영역의 후보를 분리할 수 있다.

도면영상에 존재하는 문자열을 처리하기 위한 과정은 그림 2와 같다. 도면영상으로부터 문자영역을 추출하는 과정은 크게 고립문자 영역을 분리하고, 분리된 고립문자를 결합하여 문자열을 형성하는 두 단계로 구성된다. 문자영역은 도면 상의 다양한 위치에 다양한 크기로 존재하기 때문에, 이들을 분리하기 위해서는 이들이 갖는 특성을 알아야 한다. 문자영역이 갖는 특성은 크게 두 가지로 고려될 수 있다. 첫 째, 문자영역은 상대적으로 작은 크기의 고립영역으로 구성된다. KS 기계제도 규격^[10]에 의하면, 기계도면에서 사용되는 문자의 최대높이와 최소높이는 각각 10mm와 2mm로 정의되어 있다. 본 논문에서는 다양한 종류의 도면에 공통적으로 적용하기 위해 이들을 각각 25.4mm와 1mm 범위 내에서 설정할 수 있도록 하였다. 둘째, 고립문자 영역은 정방형에 가까운 직사각형 형태를 가진다. 이 두 개의 특성으로부터 다음과 같은 두 가지 조건을 구할 수 있다.

- 조건 1) $L_{min} \leq L_{ver} \leq L_{max}$ or $L_{min} \leq L_{hor} \leq L_{max}$
- 조건 2) $T_1 \leq (L_{ver}/L_{hor}) \leq T_2$

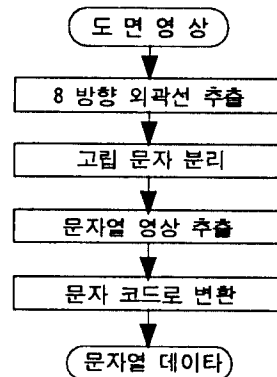


그림 2. 문자정보 추출 및 변환
Fig. 2. Extraction and conversion of text string.

여기서, L_{min} , L_{max} 는 각각 미리 설정된 고립문자 영역의 최대 높이와 최소 높이이고, L_{ver} , L_{hor} 는 각각 구해진 고립영역의 수직 길이와 수평 길이이다. L_{min} 과 L_{max} 는 전자회로도의 경우 각각 0.04 인치와 0.133 인치, 기계도면의 경우 각각 0.04 인치와 0.3 인치를 사용하면 적절하였다. 또, T_1 , T_2 는 고립문자 영역의 가로, 세로비의 임계값이다. 정사각형의 가로, 세로비가 1이므로 구해진 고립영역이 문자영역이기 위해서 T_1 , T_2 는 1에 가까운 실수가 되어야 한다.

도면영상에서 고립문자 영역을 구하는 과정은 다음과 같다. 먼저, 각 도형요소의 8 방향 외곽선을 추적하면서 고립영역 별로 분리한다. 분리된 각 고립영역의 가로와 세로의 크기를 구하여 이 중 어느 하나가 L_{min} 과 L_{max} 사이인 것들을 고립문자의 후보로 고려한다. 다음에는 각 고립문자 후보의 가로, 세로 비를 구하여 이 비가 T_1 과 T_2 사이에 포함되면 이를 하나의 고립문자로 선택한다.

다음은 이렇게 추출한 각 고립문자를 결합하여 문자열 영역을 구하는 과정이다. 문자열을 구하기 위한 조건에는 글자 간의 간격, 즉, 자간거리가 중요한 요소이다. 본 논문에서 자간거리는 그림 3과 같이 한 고립문자 영역의 중심에서 인접하는 고립문자 영역의 중심까지의 거리로 정의한다. 이 자간거리가 특정한 임계값 범위에 포함되는 고립문자 영역들을 결합함으로써 문자열을 구할 수 있다. 일반적인 도면에서의 자간거리의 임계값은 문자 폭의 1.7 배 정도가 적당하였다. 이는 문자열의 중간에 존재하는 여백문자(space)를 고려한 결과이다.

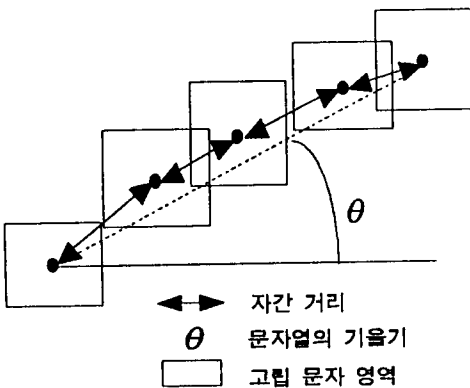


그림 3. 고립문자의 자간거리와 문자열의 기울기
 Fig. 3. Distance between adjacent characters and slope of text string.
 도면 상의 문자열은 수평방향, 수직방향 또는 임의

의 방향으로 위치한다. 따라서 문자열의 기울기 정보를 구하는 것은 매우 중요하다. 그림 3에서와 같이 문자열의 기울기는 추출된 문자열의 첫 번째 고립문자 영역의 중심에서 마지막 고립문자 영역의 중심을 잇는 직선의 기울기로 구해 질 수 있다. 일반적인 기계도면에서 대부분의 문자열은 수평 또는 수직방향으로 위치하므로 문자열의 방향이 수직에 가까운 것은 수직방향으로 수평에 가까운 것은 수평방향으로 정형화(alignment) 한다.

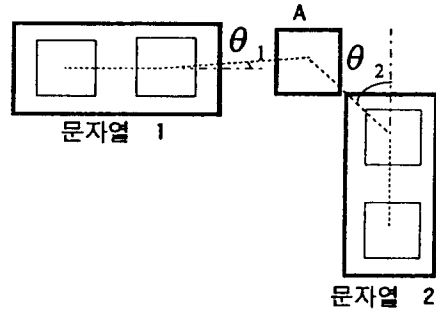


그림 4. 문자열 형성
 Fig. 4. Formation of a text string.

그림 4와 같이 문자열 1과 문자열 2가 있고, 고립문자 영역 A를 문자열에 결합하는 경우를 고려하자. 여기서, 문자열 1과 A 사이의 거리와 문자열 2와 A 사이의 거리 모두가 A를 각 문자열에 결합할 수 있는 임계거리(문자 폭의 1.7 배)보다 작다고 가정하자. 그림에서 문자열 2와 A 사이의 거리가 문자열 1과 A 사이의 거리보다 가깝다. 그러나, 문자열 2의 기울기와 문자열 2와 A를 결합한 문자열의 기울기 차(θ_2)가 매우 큰 데 반하여 문자열 1과 A에 대한 기울기 차(θ_1)는 그렇게 크지 않다. 이러한 경우 고립문자 영역 A는 문자열 1에 결합시킨다.

이와 같은 과정을 통해 도면 상에 존재하는 모든 방향의 문자열을 추출할 수 있다. 또한, 문자열 내에 포함되는 문자의 내용, 크기 및 기울기를 통합함으로써 문자열에 대한 정보를 구할 수 있다.

IV. 기하학적 도형요소의 인식

도면 상에서 문자영역을 제외한 도형영역은 선분, 원호 및 원을 포함하는 기하학적 기호 그리고 도면의 특성에 따라 사용되는 비기하학적 기호 등의 다양한 도면요소들로 구성된다. 본 연구에서는 문자영역을 제외한 도형영역으로부터 도면요소들을 구하기 위해

먼저 도형영역을 선분벡터로 변환한다. 추출된 선분 벡터들의 연결형태를 분석함으로써 원호를 인식하고 원호정보들을 서로 결합함으로써 원을 인식한다.

도면영상으로 부터 선분을 인식하는 기법에는 Hough 변환법^{11, 12}, 심선화법¹³ 그리고 세선화법 등이 있다. Hough 변환법과 심선화법은 영상정보를 변형시키지 않고 선분을 추출하는 방법으로서 선폭이 크고 도면의 내용이 단순할 때 좋은 처리결과를 보여 준다. 그러나, 선분과 선분 사이의 간격이 좁을 때 선분추출의 정확도가 떨어지고, 수행 시 많은 저장영역을 필요로 한다. 세선화법은 수행시간이 선폭에 의존하며, 영상정보의 변형을 가져올 수 있다는 단점이 있다. 그러나, 일반적인 도면영상에서 선폭은 그다지 크지 않고 이 후의 처리과정인 선성분 추출 알고리즘의 적용이 간편하다는 장점을 가진다. 본 연구에서는 지금까지 개발된 수 많은 세선화 알고리즘¹⁴ 중에서 고속으로 수행되며 도면영상에 대해 비교적 우수한 처리결과를 보이는 Chen-Hsu의 세선화 기법^{15, 16}을 사용하여 선성분을 추출하였다.

영상의 골격선으로 부터 선분벡터를 추출하는 방법에는 체인코드¹⁷에 의한 방법과 최대 허용오차법¹⁸ 등이 있다. 체인코드에 의한 방법은 도면의 크기가 작고 그 형태가 단순한 경우 좋은 처리결과를 보인다. 그러나, 이 방법은 골격선이 매끄럽지 못하고 복잡하게 연결된 대형 공학도면에 대해서는 많은 저장영역과 처리시간을 필요로 한다. 최대 허용오차법은 구축이 비교적 용이하며 빠른 처리속도를 가진다.

도면의 영상정보로 부터 원호 및 원을 인식하는 방법에는 극좌표 특징의 이용법¹⁹과 기하학적 구조의 해석법이 있다. 극좌표 특징법은 다양한 형태의 도형을 찾을 수 있으나, 수행시간이 매우 많이 소요되는 단점을 가진다. 기하학적 구조 해석법은 알고리즘이 간단하며, 수행속도가 매우 빠르다.

본 장에서는 먼저 Chen-Hsu의 세선화와 최대 허용오차법에 의한 선분벡터 추출과정을 살펴보고, 추출된 선분벡터로 부터 원호정보를 추출하는 과정을 알아본 후, 마지막으로 원호정보로 부터 원을 인식하기 위한 과정에 대해 논의하고자 한다.

1. 최대 허용오차법에 의한 선분인식

최대 허용오차법을 이용하여 도면영상 내의 도형영역으로 부터 선분벡터를 구하기 위해서는 먼저 영상의 골격선을 구하는 전처리 과정인 세선화가 필요하다. 본 연구에서는 2 개의 부 루프(loop)를 가지는 병렬 알고리즘으로서 완전한 8-방향 세선화 결과를 보이는 Chen-Hsu의 알고리즘을 사용하였다. 이 기

법은 경계잡음에 강하고, 심각한 선의 잠식과 선 연결성 문제를 해결한 알고리즘이다.

최대 허용오차법은 곡선의 선분근사화 알고리즘으로 이해하기 쉽고, 그 적용이 용이하다. 이 방법을 이용하여 선분벡터를 추출하기 위한 알고리즘은 다음과 같다.

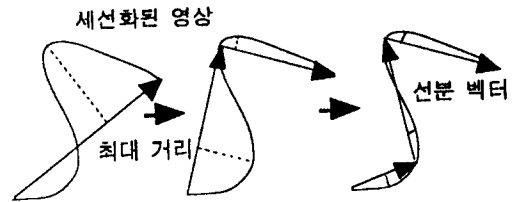


그림 5. 반복적인 선분근사화 과정
Fig. 5. Recursive processes for line approximation.

먼저, 세선화된 영상으로 부터 최종점 또는 분기점과 다른 최종점 또는 분기점 사이의 흑화소들의 리스트를 구한다. 그 다음, 리스트의 시작과 끝을 연결하는 벡터를 생성한다. 두 번째로 리스트 상의 각 점과 벡터 사이의 거리를 계산하여 벡터로 부터 가장 멀리 떨어져 있는 점을 구한다. 세 번째로 그 거리가 미리 정해진 임계값보다 크면, 벡터는 그 점에서 두 개로 분리된다. 만약 거리가 임계값보다 작거나 같으면, 벡터는 세선화된 영상을 근사화한 결과로 간주한다. 모든 흑화소들의 리스트에 대해 위의 과정을 반복함으로써 선분벡터의 추출을 종료한다. 그림 5는 이러한 반복적인 선분근사화 과정을 보여주고 있다.

사용된 허용오차의 임계값의 크기가 감소하면 선분 벡터의 수는 증가하지만 원영상에 있는 도형의 보다

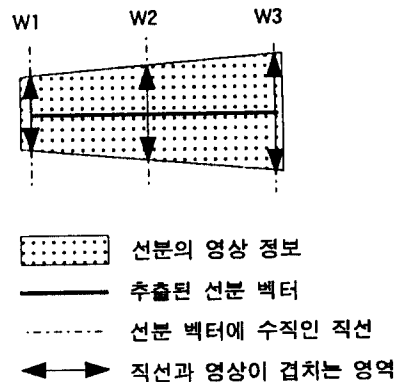


그림 6. 선폭정보 추출 과정
Fig. 6. Extraction of line width.

정밀한 묘사가 용이해 진다. 반대로 임계값의 크기가 증가하면 선분벡터의 수는 감소하지만 원도형의 정밀한 묘사가 힘들어 진다. 본 연구의 목적인 도면의 재 활용성에 기초한 여러 번의 실험에서 구한 허용오차의 적절한 임계값은 약 0.01 인치 정도였다.

추출된 선분벡터의 선폭을 구하기 위해서는 구해진 선분벡터와 원래의 영상정보를 그림 6과 같이 중첩하여 고려해야 한다. 그림 6에서 보여주는 바와 같이 구해진 선분벡터의 양끝점과 중간점에서 선분벡터의 방향에 수직인 직선을 각각 생성한다. 이 직선과 선분의 영상정보가 중복되는 길이(W1, W2, W3)를 각각 구한 후 이들의 산술평균을 구해진 선분벡터의 선폭으로 결정한다. 이상의 과정을 통해 도면영상 내의 도형영역으로 부터 선폭을 갖는 선분벡터를 구할 수 있다.

2. 선분벡터로 부터 원호의 인식

본 절에서는 추출된 선분벡터의 연결형태를 분석함으로써 원호를 추출하는 방법에 대해 살펴보고자 한다. 이 방법은 유연성이 뛰어나며 추출된 선분벡터를 대상으로 하므로 수행속도가 빠르다.

선분벡터로 부터 원호를 추출하기 위한 과정은 원호의 후보가 되는 선분벡터를 발견하고, 후보벡터로 부터 원호정보를 구하는 두 가지 단계로 구성된다. 추출되는 원호의 정보는 원호의 중심좌표, 반지름, 시작각도 및 종료각도이다.

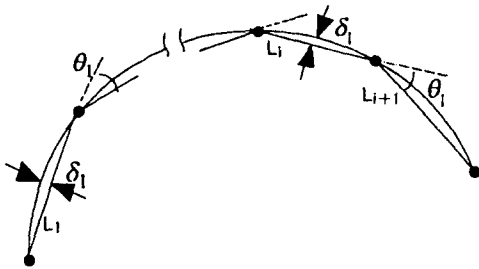


그림 7. 원호의 추출을 위한 매개변수
Fig. 7. Parameters for finding an arc.

원호의 후보가 되는 선분벡터들을 발견하기 위해서는 그림 7에 나타나 있는 바와 같은 몇 가지 매개변수를 이용한다. 이들 매개변수에는 그림에서 보듯이 생성되는 원호와 선분사이의 거리(δ_i), 선분과 선분이 만나는 각도(θ_i) 그리고 선분의 길이(L_i) 등이 있다.

선분벡터가 원호의 후보벡터로 선택되기 위해서는 선분벡터들의 기하학적 형태가 원호의 형태와 유사해

야 한다. 원호는 두 개 이상의 선분으로 구성되며, 이들 선분에 근사화되는 원호와 각 선분 사이의 거리가 임계값 δ_T 이내이어야 한다. 그리고 선분과 선분이 만나는 각도가 예각이어야 하며, 인접하는 선분의 길이의 비가 2 배 이내이어야 한다. 앞에서 설명한 내용을 정리하면 다음과 같은 4 가지 조건을 구할 수 있다.

- i) 원호의 후보는 두 개 이상 연속된 선분 벡터이어야 한다.
- ii) δ_i 가 임계값 δ_T 보다 적고 0보다 커야 한다.
- iii) θ_i 가 임계값 θ_T 보다 적고 0보다 커야 한다.
- iv) 인접 선분의 길이 비가 2 배 이내이어야 한다.

다양한 종류의 도면에 대해 실험적으로 구한 결과, 원호와 선분 사이의 거리의 임계값인 δ_T 는 약 0.02 인치 정도였으며, 선분과 선분이 만나는 각도의 임계값 θ_T 는 약 65° 정도였다. 앞의 4 가지 조건을 이용하여 선분벡터로 부터 원호를 인식하기 위한 과정은 다음과 같다.

- 1) 선분벡터들 중에서 2 개 이상의 선분이 연속하는 선분벡터를 찾는다.
- 2) 연속하는 선분벡터의 처음 두 개의 연속선분을 구한다.
- 3) 2 개의 연속선분의 세 연결점을 지나는 원호를 생성한다.
- 4) 첫 번째 선분과 원호사이의 거리(δ_i)와 두 개의 선분이 만나는 각도(θ_i)를 구한다.
- 5) δ_i 가 0이 아니면서 δ_T 보다 적고, θ_i 가 0이 아니면서 θ_T 보다 적으면 두 선분의 길이의 비를 구한다.
- 6) 길이의 비가 2 배 이내이면, 연속된 두 개의 선분벡터는 원호의 후보로 고려된다.
- 7) 연속되는 선분벡터가 존재하면 다음 두 개의 선분벡터를 구하고 단계 3)으로 간다.
- 8) 연속하는 선분벡터 내의 모든 선분이 원호의 후보로 고려되면, 추출된 원호의 후보 벡터로 부터 원호의 정보(중심, 반지름, 시작각도 및 종료각도)를 구하여 원호의 CAD 데이터를 생성한다.
- 9) 모든 선분벡터에 대해 단계 1)에서 8)을 반복한다. 이상의 과정을 통해 선분벡터로 부터 원호를 추출할 수 있다.

3. 원호로 부터 원의 인식

원호가 인식되면 원의 인식은 비교적 용이하게 수행될 수 있다. 원의 인식은 추출된 원호들을 서로 결합하여 분석함으로써 수행된다. 원호로부터 원을 인식하기 위한 매개변수로는 그림 8에서와 같이 중심좌표의 변위(d_{ci})와 반지름의 편차(d_{ri})가 있다.

원호가 원의 후보로 선택되기 위해서는 1 개 또는 그 이상의 원호가 결합하여 원의 형태를 이루어야 한다. 이를 위해서는 중심좌표가 매우 근접해 있고 반지름이 유사한 원호들을 모은 후 이들의 시작각도와 종료각도를 살펴보아야 한다. 이를 정리하면 다음과 같은 3 가지 조건을 구할 수 있다.

- i) d_{ci} 가 d_{cr} 보다 적어야 한다.
- ii) d_{ri} 가 d_{rr} 보다 적어야 한다.
- iii) 선택된 원호들을 결합한 원호의 각도가 360° 에 가까워야 한다.

다양한 종류의 공학도면을 대상으로 실험한 결과, 중심좌표 변위의 임계값인 d_{cr} 는 약 0.05 인치 정도이며 반지름 변위의 임계값 d_{rr} 는 약 0.017 인치 정도이다.

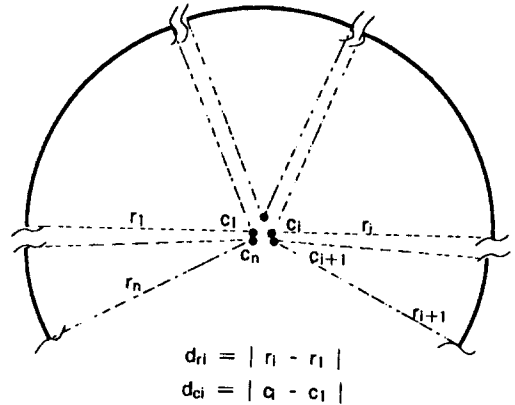


그림 8. 원의 추출을 위한 매개변수
Fig. 8. Parameters for finding a circle.

이상의 조건들을 이용하여 원호로부터 원을 인식하기 위한 과정을 살펴보면 다음과 같다.

- 1) 대상 원호에 인접한 원호들의 중심좌표의 변위

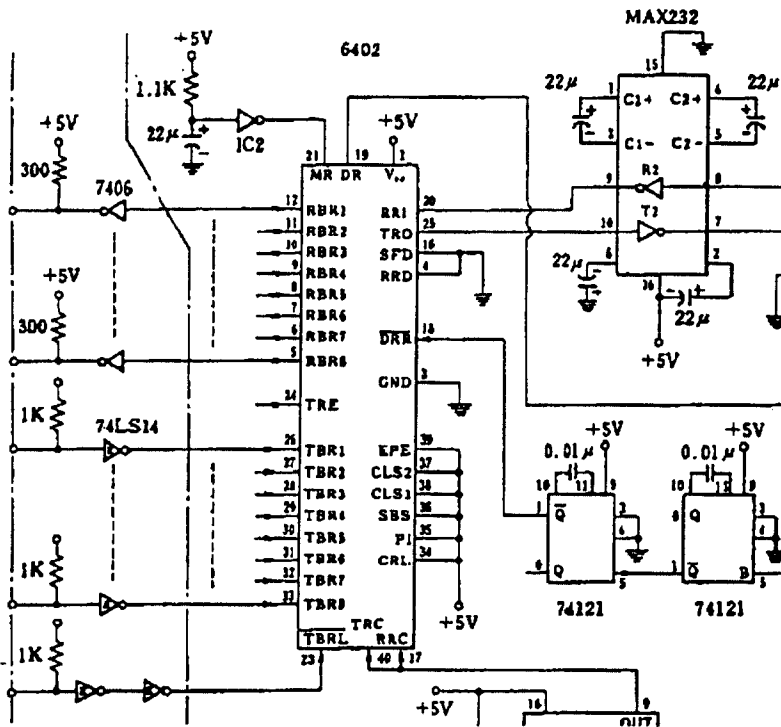


그림 9. (a) 전자회로도면(2544 x 3200 화소)
Fig. 9. (a) An electronic circuit drawing (2544 x 3200 pixels).

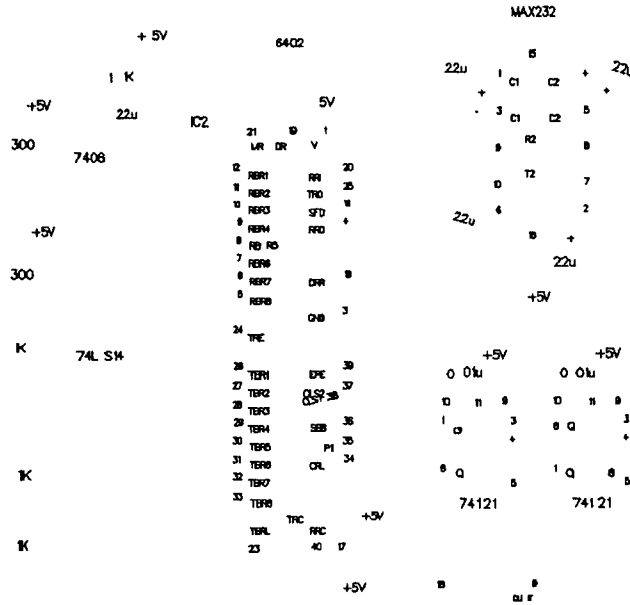


그림 9.(b) 도면(a)로부터 문자영역과 문자열 정보 추출 결과

Fig. 9. (b) Result of finding text regions and text strings from drawing(a).

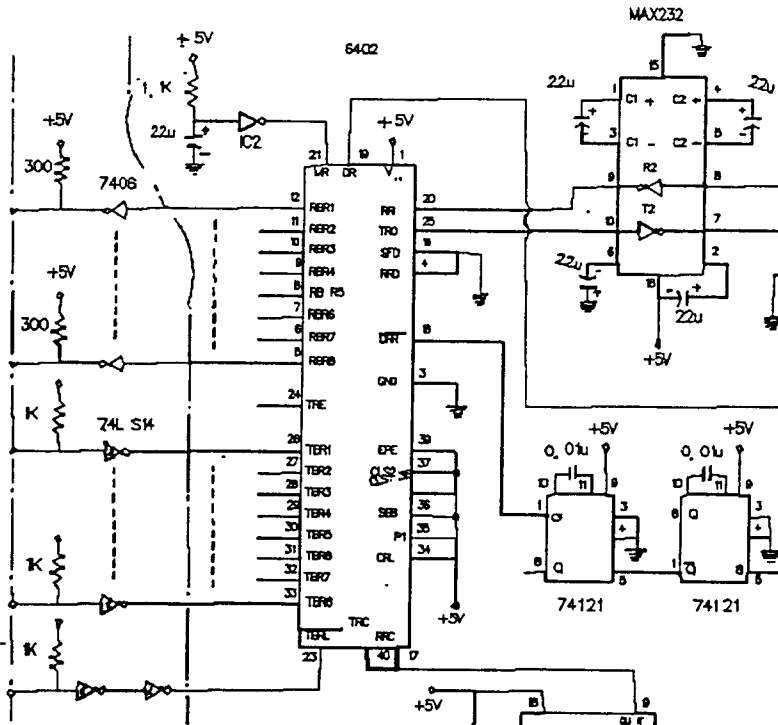


그림 9.(c) 최종 추출된 CAD 정보

Fig. 9. (c) Final Result of extracted CAD information.

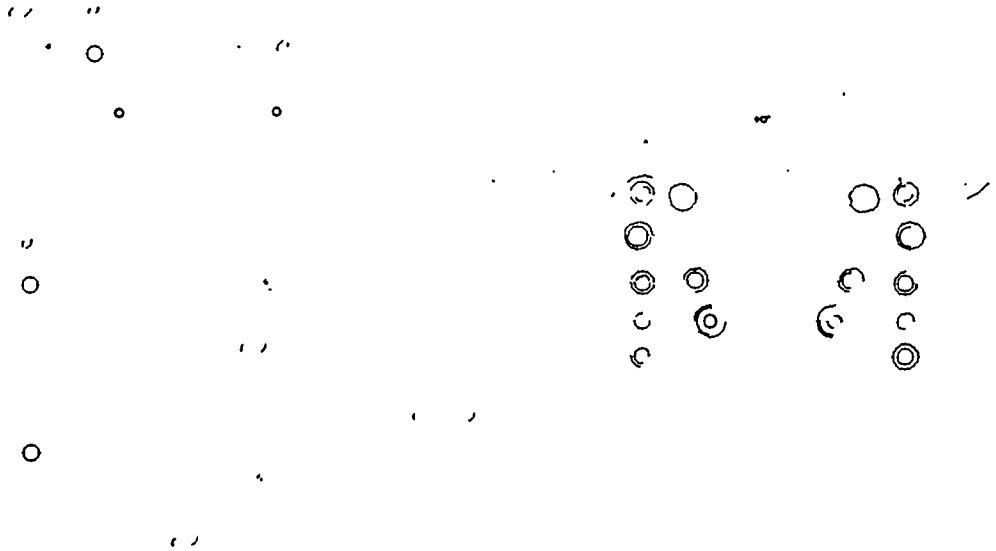


그림 10. (c) 도면 (a)의 도형영역으로 부터 원호와 원을 인식한 결과
 Fig. 10. (c) Recognition result of circular arcs and circles from drawing (a).

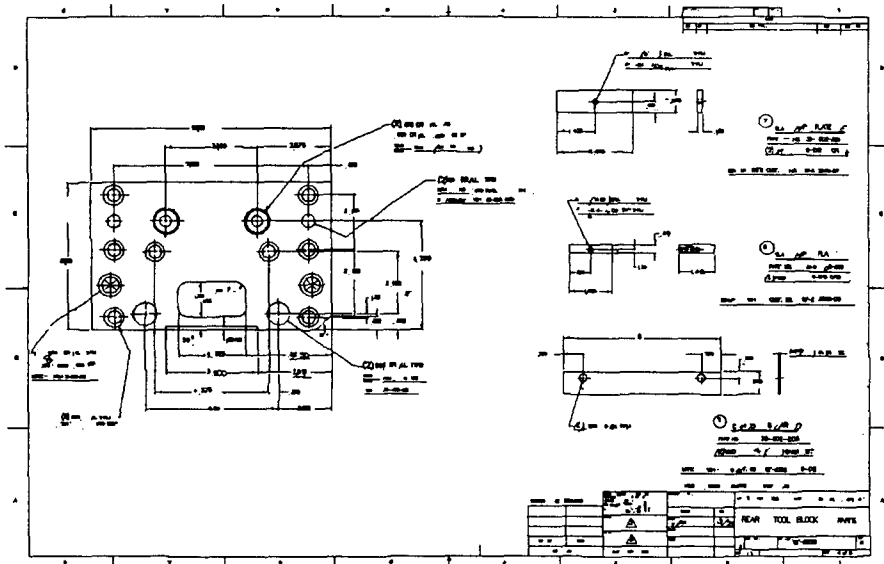


그림 10. (d) 최종 추출된 CAD 정보
 Fig. 10. (d) Final Result of extracted CAD information.

4) 모든 원호에 대해 단계 1)에서 3)을 반복한다.

이상의 과정을 통해 원호로부터 원을 인식할 수 있다.

V. 구현 및 실험 결과

본 연구의 하드웨어로는 SUN4 Sparc 호환인 삼보의 SDT-400 워크스테이션(workstation)을 사용하며 32 MBytes의 주기억장치를 가진다. 그래픽 화면의 해상도는 1152x900 화소를 가지며 256 개의 색상표현이 가능하다.

본 연구의 소프트웨어는 C 언어를 사용하였으며, 기본 그래픽 라이브러리(graphic library)로는 사용자 인터페이스(user interface)의 편의성을 위하여 여타 컴퓨터로의 이식의 편의성을 보장하기 위하여 워크스테이션의 표준 그래픽 라이브러리인 X11R4와 OSF/Motif 라이브러리를 사용하였다.

본 연구에서는 다양한 크기와 분야의 공학도면을 대상으로 실험을 수행하였다. 본 장에서는 문자영역의 분리와 문자정보의 변환, 원호 및 원의 인식 그리고 이들 정보를 통합한 실험결과를 보여준다. 그 밖에 문자분리와 원 및 원호의 인식의 효과를 알아보기 위한 실험도 수행하였다.

그림 9(a)의 전자회로도면은 300 DPI로 입력한 A4 크기의 영상으로서 2544 x 3200 화소의 해상도를 가진다. 그림 9(b)는 9(a)의 도면으로 부터 문자영역을 분리하여 문자 데이터로 변환한 결과이다. 그림 9(c)는 최종 추출된 CAD 데이터이다. 그림 10(a)의 기계도면은 200 DPI로 입력한 A1 크기의 영상으로서 6920 x 4544 화소의 해상도를 가진다. 그림 10(b)는 10(a)의 도면으로 부터 문자영역을 분리하여 문자 데이터로 변환한 결과이다. 그림 10(c)는 도면영상에서 문자영역을 제외한 도형영역으로 부터 원호 및 원을 인식한 결과이고, 그림 10(d)는 그림 10(b)의 문자열 정보, 그림 10(c)의 원호 및 원의 정보 그리고 추출된 선분정보를 통합한 최종 추출된 CAD 데이터이다. 그림 9의 전자회로도에 대해 문자영역의 추출에 약 13 초, 선분벡터의 추출에 약 35 초가 소요되었다. 그림 10의 기계도면에 대해서는 문자영역의 추출에 약 1 분 35 초, 선분벡터의 추출에 약 7 분 20 초, 그리고 원호 및 원의 추출에는 약 2 초가 소요되었다.

문자영역의 분리에서 발생하는 오류는 주로 2 개의 고립문자가 하나의 고립문자 영역으로 추출되거나, 하나의 고립문자가 2 개의 고립문자 영역으로 분리되

어 추출되는 경우와 도형영역이 문자영역으로 잘 못 분리되는 경우이다. 그러나, 실험 결과, 약 85 % 이상의 문자영역의 분리율을 보였으며, 문자열의 크기와 방향 정보도 비교적 정확히 인식되었다.

원호 및 원의 인식에서는 선분이 원호로 오인식되거나, 원호가 선분으로 오인식되는 경우가 발생하였다. 그러나, 이러한 오류의 발생빈도는 매우 낮다. 실험 결과가 보여 주듯이 원의 인식은 매우 만족스러운 결과를 보여준다. 그림 11은 그림 10(d)와 같이 추출된 CAD 데이터의 DXF 형식 출력의 일부를 보여주고 있다. 그림에서는 문자, 선분, 원호 그리고 원의 예를 각각 하나씩 포함하고 있다.

0	0
TEXT	ARC
8	8
0	0
10	10
6273.000000	4645.000000
20	20
96.000000	476.000000
40	39
18.000000	2.000000
50	40
0.000000	6.324555
1	50
SHEET	108.434952
0	51
VERTEX	320.194427
8	0
0	CIRCLE
10	8
842.000000	0
20	10
4392.000000	5833.000000
	20
	3477.000000
	39
	2.000000
	40
	50.990196

그림 11. DXF 형식의 출력 CAD 데이터의 예(그림 10(d))

Fig. 11. An example of CAD data of DXF format(from Fig. 10(d)).

표 1. 그림 9의 전자회로도에 대한 CAD 데이터 수

Table 1. Number of CAD data for electronic circuit drawing of Fig. 9.

경우	선분	문자	원호	원
1	2107	0	0	0
2	754	155	0	0
3	2091	0	8	0
4	748	155	3	0

표 2. 그림 10의 기계도면에 대한 CAD 데이터 수
Table 2. Number of CAD data for mechanical drawing of Fig. 10.

경우	선분	문자	원호	원
1	8842	0	0	0
2	2880	324	0	0
3	7843	0	248	28
4	2329	324	118	13

표 1, 2는 그림 9, 10의 각 대상도면에 대해 다음 4 가지 경우에서의 CAD 데이터 추출결과 데이터의 수를 보여준다. '경우 1'은 선분벡터만을 추출한 경우이고, '경우 2'는 문자영역은 분리하지만 원호 및 원을 인식하지 않은 경우이다. '경우 3'은 문자영역을 분리하지 않지만 원호 및 원을 인식하는 경우이고, '경우 4'는 문자영역의 분리와 원호 및 원의 인식을 모두 수행하는 경우이다. 표 1, 2 모두에서 선분벡터 추출을 위한 허용오차는 0.01 인치이다. 표 1에서 문자추출을 위한 문자높이의 범위는 0.04 인치와 0.133 인치의 사이이다. 표 2에서 문자높이의 범위는 0.04 인치와 0.3 인치의 사이이다. 표 1, 2 모두에서 글자 간의 간격은 글자 폭의 1.7 배 범위 내로 설정한다. 실험결과는 문자영역을 처리한 결과가 처리하지 않은 결과보다 CAD 데이터 수를 30 ~ 40 % 정도 더 줄일 수 있다는 것을 보여준다.

VI. 결론

본 논문에서는 도면영상으로부터 CAD 정보를 자동생성하기 위한 도면의 자동입력 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 도면영상 내의 고립영역의 크기 정보를 이용하여 문자영역과 도형영역으로 분리하였고, 도형영역에 대해 세선화와 최대 허용오차법을 적용하여 선분벡터를 추출하였다. 또한, 추출된 선분벡터의 기하학적 구성을 분석함으로써 원호 및 원을 인식하였다. 도면영상을 도형영역과 문자영역으로 분리하여 처리함으로써 출력 CAD 정보의 양을 30 ~ 40 % 정도 감소시킬 수 있었으며, 원호와 원을 인식함으로써 도면 자동입력의 효율성을 높일 수 있었다. 전자회로도 및 기계도면에 대한 실험결과 도면 자동입력의 가능성을 확인할 수 있었다. 본 연구는 X-원도우 환경을 기초로 한 소프트웨어만으로 구현되었기 때문에 다른 기종의 컴퓨터로의 이식성이 좋으며, 대형의 도면을 고속으로 처리할 수 있다.

본 연구의 최종목표인 도면입력의 완전 자동화를 위해서는 앞으로 추출된 문자열을 문자인식기술과 접목하여 자동으로 문자정보를 생성하는 연구와 각 응용 분야 별로 사용되는 기호의 인식을 수행하는 연구가 필요하다. 기호의 인식을 위해서는 기호의 패턴을 정의할 수 있는 기능과 도면영상에서 미리 정의된 기호들을 추출하여 이를 코드화할 수 있는 연구도 진행되어야 한다. 그리고 실용화 측면에서 사용자 인터페이스 기능의 강화와 출력된 CAD 데이터를 수정할 수 있는 편집기의 개발을 비롯하여 영상정보 및 CAD 정보를 효율적으로 관리할 수 있는 데이터베이스 연구도 수행되어야 할 것으로 생각된다.

參考文獻

- [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, pp. 27-39, 1985.
- [2] 민병우, 배창석, 김문현, "도면 인식을 위한 전처리에 관한 연구", 제 2 회 영상 처리 및 이해에 관한 Workshop 발표 논문집, pp. 32-36, 1990.
- [3] 배창석, 민병우, 조영준, 김문현, "공학도면에서의 문자분리 및 원호와 원의 인식", 한국 정보과학회 '92 가을학술발표논문집, 19권, 2호, pp. 241-244, 1992.
- [4] S. T. Bow, *Pattern Recognition and Image Processing*, Marcel Dekker, pp. 384-400, 1992.
- [5] Y. Kabuyama, T. Ootake and J. Koizumi, "Fujitsu Advanced Drawing Capture System : FADCS", *Fujitsu Sci. Tech. J.*, Vol. 26, No. 3, pp. 234-244, Oct., 1990.
- [6] A. Okazaki, T. Kondo, K. Mori, S. Tsunekawa and E. Kawamoto, "An Automatic Circuit Diagram Reader with Loop-Structure-Based Symbol Recognition", *IEEE Trans. on Patt. Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 10, No. 3, pp. 331-341, May, 1988.
- [7] C. S. Fahn, J. F. Wang and J. Y. Lee, "A Topology-Based Component Extractor for Understanding Electronic

- Circuit Diagrams", *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 44, pp. 119-138, 1988.
- [8] 변 시우, 손으로 그린 도면을 위한 기본 요소 추출에 관한 연구, 한국과학기술원 석사 학위 논문, 1991.
- [9] AutoCAD Reference Manual, AutoDesk Inc., 1990.
- [10] 김기환, 김형섭, 오장우, 정선모, 정진중, 조동진, 황병구, "KS 규격에 의한 기계제도", 청문각, pp. 17-21, 1977.
- [11] R. O. Duda and P. E. Hart, "Use of the Hough Transformation To Detect Lines and Curves in Pictures", *Commun. ACM*, Vol. 15, No. 1, pp. 11-15, Jan., 1972.
- [12] 大和淳二, 稻葉稔智, 石井郁夫, 牧野秀夫, "Hough變換を用いた線分検出の高精度化", 電子情報通信學會論文誌, Vol. J72-D-II, No. 1, pp. 85-92, 1989.
- [13] 大澤裕, 坂内井夫, "多次元データ構造を用いた圖面處理", 電子通信學會論文誌, Vol. J68-D, No. 4, pp. 845-852, 1985.
- [14] 이성환, "영상 골격화 관련 연구 문헌 목록", 정보과학회지, 8권, 2호, pp. 65-78, 1990년 4월.
- [15] Y. S. Chen and W. H. Hsu, "A Modified Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns", *Pattern Recognition Letters*, Vol. 7, No. 2, pp. 99-106, Feb., 1988.
- [16] B. W. Min, C. S. Bae and M. H. Kim, "Thinning Techniques for Engineering Drawing Vectorization", *Proc. of First Korea-Japan Joint Conference on Computer Vision*, pp. 418-423, Oct., 1991.
- [17] H. Freeman, "Computer Processing of Line Drawing Images", *Computer Surveys*, Vol. 6, No. 1, pp. 57-98, March, 1974.
- [18] T. Pavlidis, *Algorithms for Graphics and Image Processing*, Rockville MD : Computer Science Press, pp. 283-287, 1982.
- [19] 長尾智晴, 安居院孟, 中嶋正之, "極座標特徴を用いた一定形状圖形の抽出手法", 電子情報通信學會論文誌, Vol. J72-D-II, No. 2, pp. 229-236, 1989.

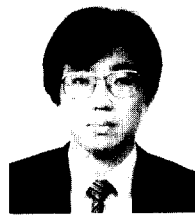
 著者紹介



裴 昶 奭(正會員)

1964年 11月 12日生. 1987年 2月 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1989年 2月 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1989年 3月 ~ 현재 한국과학기술연구원 시스템공학연구소 선임연구

원. 주관심 분야는 패턴인식, 영상처리, 신경망, CAD 시스템 등임.



閔 丙 雨(正會員)

1955年 3月 18日生. 1979年 2月 서울대학교 금속공학과 졸업(공학사). 1993年 8月 충북대학교 대학원 전자계산학과 졸업(공학석사)

1979年 ~ 1982年 럭키 엔지니어링(주) 사원. 1982年~현재 한국

과학기술연구원 시스템공학연구소 선임연구원. 주관심 분야는 패턴인식, 영상처리, CAD 시스템 등임.