

# 효율적인 화상자료 처리와 시각 시스템과 CAD 시스템의 인터페이스에 관한 연구

박진우\*, 김기동\*

## A Study on Efficient Image Processing and CAD-Vision System Interface

Jin Woo Park\* and Ki Dong Kim\*

### Abstract

Up to now, most researches on production automation have concentrated on local automation, e. g. CAD, CAM, robotics, etc. However, to achieve total automation it is required to link each local modules such as CAD, CAM into a unified and integrated system. One such missing link is between CAD and computer vision system. This thesis is an attempt to link the gap between CAD and computer vision system.

In this paper, we propose algorithms that carry out edge detection, thinning and pruning from the image data of manufactured parts, which are obtained from video camera and then transmitted to computer. We also propose a feature extraction and surface determination algorithm which extract informations from the image data. The informations are compatible to IGES CAD data.

In addition, we suggest a methodology to reduce search efforts for CAD data bases. The methodology is based on graph submatching algorithm in GEFG(Generalized Edge Face Graph) representation for each part.

## 1. 서 론

현재 자동화 생산시스템에서의 연구과제 중 가장 중요한 것으로는 CAD(Computer Aided Design)

나 CAM(Computer Aided Manufacturing) 등과 같은 부분적인 자동화 시스템들 간의 연계에 관한 연구를 들 수 있다. 또한 실제 세계의 다양한 물체에 대한 카메라 화상으로부터 각 분야 고유의 지식

을 이용하여 유용한 정보를 도출하는 시스템을 시각 시스템이라고 하는데 조립이나 산업 로봇 응용 및 품질검사 등의 분야에서 CAD 시스템과 시각 시스템과의 연계는 전체 생산시스템의 일체화 및 자동화에 있어 아주 중요한 의미를 갖는다.

예를 들어 컴퓨터가 저장하고 있는 실제 물체에 대한 자료의 양은 평균적 표면정밀도를 갖는 시각 시스템의 경우 한 화면에 대해 약 2000K바이트의 기억 용량을 필요로 하게 된다. 이때 만약 인식에 필요한 정보로서 기존의 CAD 시스템으로부터 보내지는 자료를 이용할 수 있다면 인식의 기본이 되는 패턴의 저장을 위한 추가의 기억장소가 필요없게 됨은 물론 중간 과정에 사람의 개입이 불필요하게 되며 또한 시스템 내에 투입되는 모든 물체에 대한 완벽한 정보가 보장된다.

본 연구의 목적은 1) 생산 현장에서 컴퓨터로 입력되어지는 화상자료로부터 CAD 자료 형태와 유사한 정보를 도출하는 효율적인 알고리즘의 개발, 2) 이러한 유사 정보를 이용하여 CAD 시스템으로 저장되어 있는 물체의 인식(Recognition)을 가능하게 하는 새로운 방법론을 개발하는 데 있다.

본 논문의 구성은 1장에서는 연구의 배경과 연구의 목적을, 2장에서는 지금까지 시각 시스템의 연구현황을, 3장에서는 화상 자료로부터의 정보 도출알고리즘을, 4장에서는 CAD자료와 시각 시스템 정보와의 그래프 비교로 인한 탐색과 인식방법을 제시하고, 5장에서는 결론 및 추후 연구방향을 제시했다.

## 2. 연구 현황

시각 시스템을 구성하는 요소는 크게 화상 형성 과정(Image formation process), 화상 묘사 과정(Image Description process), 모형화 과정(Object Modeling process), 인식과정(Recognition process)의 네가지로 볼 수 있다.

### 2.1 화상 형성 과정(Image formation process)

카메라로부터 얻어지는 화상에서 각 화소의 밝기는 물체의 형태, 물체의 반사율, 조명, 카메라와 물체와의 거리, 그리고 카메라 자체의 성질 등의 하드웨어적 특성에 영향을 받는다. 현재까지 이러한 요소들에 대한 연구는 주로 해상도를 높인다거나, 카메라 자체의 신뢰도를 높이는 등 하드웨어적인 분야에 국한되어 있다.

### 2.2 화상 묘사 과정(Image description process)

화상 형성 과정을 통해 얻어진 화상으로부터 인식 과정에 필요한 자료를 얻기 위한 처리 단계로서 화상자료에 특정 알고리즘을 적용하여 보다 축약된 자료를 산출한다.

화상 묘사 과정 중 하위 수준 화상 자료 처리(Low level image processing)는 화상에 존재하는 Noise를 제거하고 현상선(Edge)을 검출하는 과정으로써, 주로 사용되는 방법은 Filtering, Thresholding, Histogram equalization, Sobel operation 등이 있다.

화상 묘사 과정 중 상위 수준 화상 자료 처리(High level image processing)에서는 앞의 결과를 이용하여 인식 과정에서 사용될 정보를 얻는다. 따라서 시스템의 모형화 과정과 밀접한 연관 관계를 갖게 된다.

### 2.3 형상 모형화 과정(Object modeling process)

실제의 물체에 대한 형상을 컴퓨터에 표현하는 것을 일반적으로 모형화 과정이라고 하는데, 컴퓨터 그래픽스 또는 CAD에서 많이 이용되는 Wire-

frame representation, Constructive solid geometry(CSG), Surface boundary representation(B-REP), Spatial occupancy representation을 사용하기도 하는데, 시각 시스템에서 주로 많이 사용되는 것은 다음의 세가지이다.

2.3.1 Generalized cone representation

축, 절단면 그리고 절단면을 축에 대하여 이동시키는 법칙의 세가지 요소로 물체를 표현한다. 이러한 표현 방법은 Agin과 Binford(1973)에 의해 처음 제시되었고 그후 Nevatia(1977), Brooks(1981), Kuan과 Drazovich(1984) 등이 제시한 시각 시스템에서 사용되고 있다.

2.3.2. Multiple 2-D projection representation

3차원의 물체를 2차원 평면으로 정사영시켜서 정사영된 모양으로 물체를 분류하여 저장하는 기법이다. Koenderink(1979), Wallace와 Wintz(1980), Chakravarty(1982)가 제시한 시스템에서 조금씩 변형된 형태로 사용된다.

2.3.3. Skeleton representation

Generalized cone에서의 축으로만 물체를 표현

하는 방법이다. Udupa와 Murthy(1972)에 의해 제창되었고, Garibotto(1982)에 의해 확장되었다.

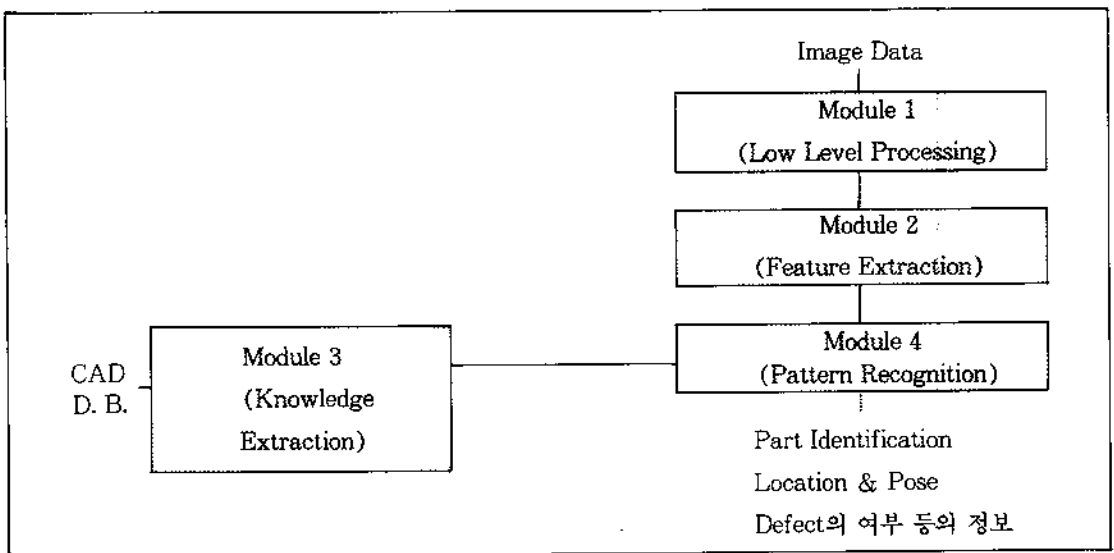
이외에도 다수의 다른 표현 방법들이 존재하는데 이들은 위에서 기술한 방법들의 변형이라고 볼 수 있다.

2.4 인식 과정 (Recognition process)

인식 과정은 모형화 과정에서의 실제 물체에 대한 자료와 화상 묘사 과정에서의 화상으로부터의 정보를 비교하는 과정으로서, 각 시스템 별로 사용하는 모형화 과정에 맞게 여러 가지 방법들이 제시되었다.

3. 화상 자료의 처리

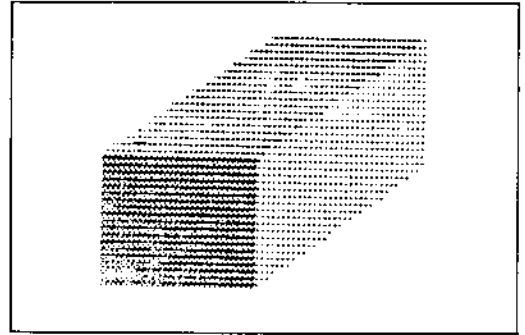
[그림 3-1]에는 생산 현장에서의 시각 시스템에 대한 기본적인 모듈 구성도를 나타내었다. 실선으로 표시된 부분은 본 논문에서 실제 알고리즘을 제시한 부분들이며, 점선으로 표시된 부분은 현재 방법론만을 제시한 부분이다.



[그림 3-1] 시각 시스템의 기본적인 모듈 구성도

### 3.1 하위 수준 처리(Low level processing)

실제로 입력되는 화상으로부터 필요한 정보 도출의 첫단계는 Edge의 검출이다. Edge 검출 후에는 물체의 외형 및 내부선들의 인식을 위해 윤곽 추적(Contour following)을 행하는데, 효율적인 윤곽 추적을 위한 세화(細化: Thinning) 과정도 이때 행해진다.



[그림 3-3] 입력된 화상

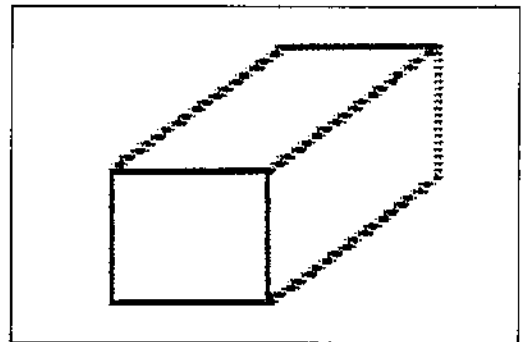
#### 3.1.1 Edge의 검출

'Edge'는 밝기 수준(Gray level)이 차이가 나는 두 지역의 경계로 정의된다. 이러한 Edge의 검출을 위해 경사 작용자(Gradient operator)의 개념을 이용한다.

여기서는 이미 많이 알려진 기존의 소벨 연산자(Sobel operator)를 사용했는데 연산자는 다음의 [그림 3-2]와 같다. 이때 산출되는 값에 시스템에 종속된 특정한 역치(Threshold)를 주어서 화상의 모든 밝기 수준을 0 또는 1의 값으로 주면, 화상의 Edge 부분은 1의 값을, 아닌 곳은 0의 값을 갖는 2진 화상(Binary image)으로 처리된다.

-1	0	1	-1	-2	-1
-2	0	2	0	0	0
-1	0	1	1	2	1

[그림 3-2] Sobel 연산자



[그림 3-4] Edge 검출을 한 결과의 화상

#### 3.1.2 세화(Thinning) 과정과 결가지 제거(Pruning)

실질적으로 시각 자료를 처리하는 모든 제산은 화소의 단위로 수행된다. Edge 검출을 하고 난 화상의 Edge는 여러 화소의 굵기를 가지게 된다.

세화 과정은 이 Edge를 한 화소의 굵기를 갖도록 가늘게 만드는 과정이다.

기본적인 방법은 다음과 같다. 먼저 한개의 화소  $P_1$ 에 대해  $3 \times 3$ 의 마스크(Mask)를 [그림 3-5]와 같이 생각한다.

$P_9$	$P_2$	$P_3$
$P_8$	$P_1$	$P_4$
$P_7$	$P_6$	$P_5$

[그림 3-5]  $P_1$ 에 인접한 8개의 이웃 화소.

소벨 연산자를 사용하여 Edge 검출을 한 결과를 다음의 [그림 3-4]에 나타내었다.

[그림 3-5]의  $P_1$ 에 대해 다음의 조건 하에서 세화 알고리즘을 수행한다.

조건 : (a)  $2 \leq N(P_1) \leq 6$ ,

(b)  $S(P_1) = 1$ ,

(c)  $P_2 * P_4 * P_6 = 0$

(d)  $P_4 * P_6 * P_8 = 0$

(c')  $P_2 * P_4 * P_8 = 0$

(d')  $P_2 * P_6 * P_8 = 0$

단,  $N(P) = P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9$ ,  $S(P)$ 는

$P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_9$ 의 수열에서 0 -1 변환이 발생한 횟수.

**세화 알고리즘**

단계 1. (a), (b), (c), (d)의 조건이 만족되면  $P_1$ 에 꼬리표를 단다.

전 화상에 대해 수행.

단계 2. 꼬리표가 붙여진 화소의 값을 0으로 만든다.

단계 3. (a), (b), (c'), (d')의 조건이 만족되면  $P_1$ 에 꼬리표를 단다.

전 화상에 대해 수행.

단계 4. 꼬리표가 붙여진 화소의 값을 0으로 만든다.

위의 과정을 변환되는 화소가 없을 때까지 반복한다.

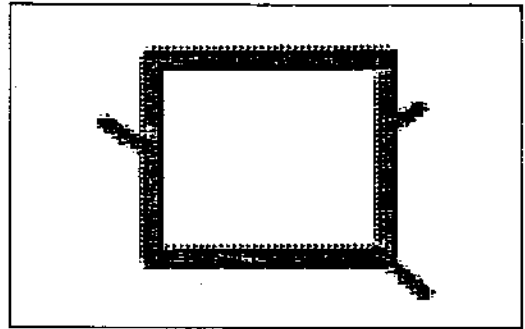
한편 Noise 또는 시각 시스템 자체의 불완전성 등의 이유로 생겨나는 오차 때문에 물체와는 관계 없는 Edge가 강조되어 나타날 수 있는데, 이때 결가지 제거를 수행하면 모든 Edge가 적어도 한 표면을 결정할 수 있다. 한편 생산 현장의 물체들은 모두 닫혀진 다각형의 조합으로 이루어진다는 특성을 이용하여 결가지 제거를 간단히 수행할 수 있는데 위의 세화 조건(a)를

$$1 \leq N(P_1) \leq 6$$

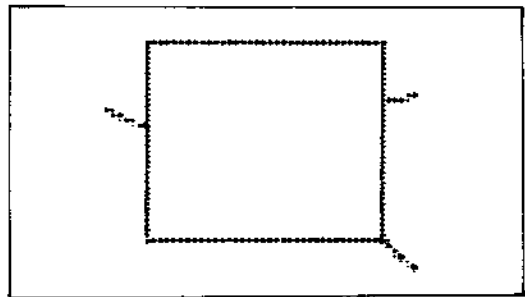
으로 바꾸어 간단히 해결했다. 그러면 이웃 화소중 1의 값을 갖는  $P_1$ 에 대해서는 항상 꼬리표가 붙으므로 닫힌 도형을 이루지 못하는 Edge 화소는 합

상 0의 값을 갖게 함으로써 화상에 순수한 물체의 Edge만 남게할 수 있다.

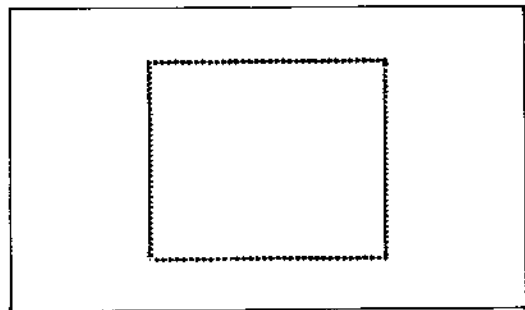
다음 [그림 3-6]은 세화 과정을 거치지 전의 화상을 [그림 3-7]은 세화과정을 거친 화상을, [그림 3-8]은 본 연구에서 제시한 세화와 결가지 제거를 거친 화상을 각각 타내었다. 그리고 [그림 3-9]는 [그림 3-4]의 화상에 세화와 결가지 제거를 수행한 결과의 화상이다.



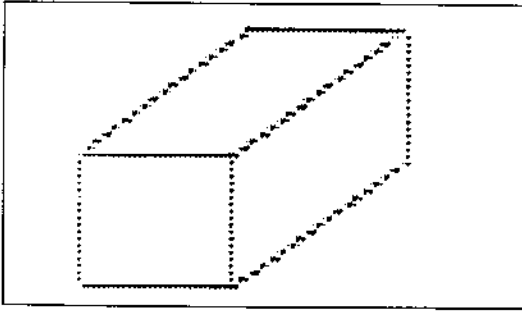
[그림 3-6] 본래의 화상



[그림 3-7] 세화를 거친 화상



[그림 3-8] 세화와 결가지 제거를 거친 화상



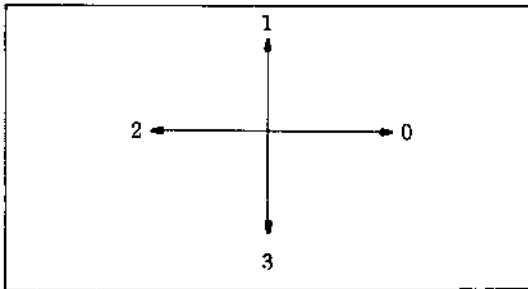
[그림 3-9] [3-4]의 회상을 세화와 결가지 제거를 거친 결과

### 3.2 특징 도출(Feature extraction)

회상으로부터 얻어낼 수 있는 최대한의 정보는 정점(Vertex), 정점과 정점을 연결하는 선의 종류와 길이, 이들 선으로 이루어지는 표면들로 국한된다. 회상 물체의 윤곽을 정보의 형태로 바꾸기 위해 윤곽 추적을 하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 먼저 회상내의 모든 정점과 선에 관한 특징 도출을 하여주고 그 후 면의 결정에 필요한 방법을 제시한다.

#### 3.2.1 정점의 인식과 선의 종류 결정

물체의 윤곽 추출은 Edge의 각 화소들을 따라가면서 수행하는데, 중요한 결정 사항은 정점의 인식을 위한 전략과 정점과 정점을 잇는 선의 종류 결정을 위한 전략의 수립이다.



[그림 3-10] 4방향의 사슬 코드

세화과정을 거친 회상에서는 모든 선은 수직선과 수평선의 세밀한 조합으로 이루어진다. [그림 3-10]과 같은 코드를 생각하면, X-Y 평면에서 기울기가 양인 선은(2와 3) 또는 (1과 0)의 조합으로 이루어지고, 기울기가 음인 경우는 (3과 0) 또는 (1과 2)의 조합으로 이루어진다. 따라서 위에서 언급한 조합들의 변화가 발생하면 정점으로 인식하고 바로 직전의 정점과의 연결 상태에 대한 추론을 행한다.

먼저 선분이라고 가정한 후 두 정점을 이용하여 선분 방정식에 대한 계수를 결정한다. 이렇게 결정된 선분과 실제 각 화소와의 거리를 구하여 그 합이 미리 정해 준 역치보다 작으면 선분이라고 인식한다. 만약 크면 원의 일부분이라고 가정하고 선에서 가장 먼 거리의 화소를 추가의 자료로 하여 원의 방정식에 대한 계수를 결정한다. 이렇게 결정된 원과 실제 각 화소와의 거리를 구하여 그 합이 미리 정해준 역치보다 작으면 원의 한 부분이라고 인식한다. 만약 임계치보다 크면 앞서의 선분 방정식에서 가장 멀리 위치한 화소를 분기점으로 하고 그 화소를 새로운 정점으로 추가한 후, 위의 과정을 다시 반복한다.

이상을 정리하면 다음과 같다.

#### 특징 도출 알고리즘

- 단계 1 처음으로 1의 값이 나타나는 화소( $V_i$ )까지 찾아간다.( $i=1$ )
- 단계 2 등록된  $V_{i+1}$ 이 있으면 단계 4로 간다. 없으면  $V_i$ 에서부터 4개의 이웃 화소를 탐색해서 사슬 코드(Chain code)를 기록하여 나가며 사슬 코드에 등장하는 코드의 종류를 기록한다. 한 번씩 탐색한 화소 이외의 화소를 발견하지 못하면 멈춘다.
- 단계 3 사슬 코드에 등장하는 코드의 종류가 3개가 되는 순간의 화소를  $V_{i+1}$ 의 정점으로 추정한다.

단계 4 선분 추론 :  $V_i$ 와  $V_{i+1}$ 의 좌표를 이용하여 선형 방정식

$$l : ax+by+c=0 \text{을 산출한다.}$$

단계 5 오차(Error)의 계산

$$E_i = \sum L(l, \text{화소}) =$$

$$\sum_k (|aX_k + bY_k + c| / \sqrt{a^2 + b^2})$$

단,  $(X_k, Y_k)$ 는 실제 화소의 좌표.

단계 6 검증 :  $E_i < T_1$ 일 경우  $V_i$ 와  $V_{i+1}$ 은 선분의 양 끝점으로 인식하고  $V_{i+1}$ 을 등록하고 단계 2로 간다( $i=i+1$ ).

단계 7 원형 방정식의 추론 :  $E_i > T_1$ 일 경우  $V_i$ 와  $V_{i+1}$ 사이의 화소들 중  $L$ 의 값이 가장 큰 화소를 선택하여 양 끝의 정점  $V_i$ 와  $V_{i+1}$ 을 이용하여 원형 방정식  $C$ 를 만든다.

단계 8 오차의 계산

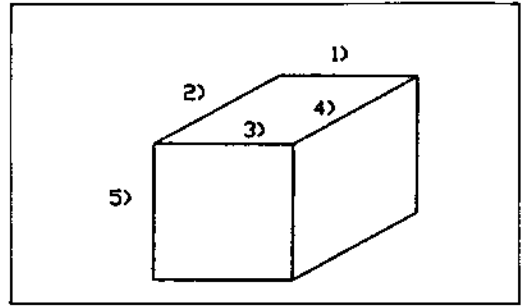
$$E_2 = \sum L(C, \text{화소}) =$$

$$\sum_k | \sqrt{(X_k - a)^2 + (Y_k - b)^2} - r |$$

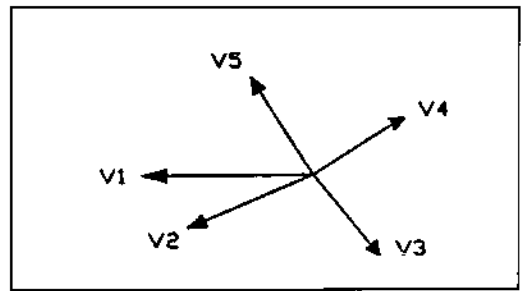
단,  $(a, b)$ 는 원의 중심,  $r$ 은 반지름

단계 9 검증 :  $E_2 < T_2$ 일 경우  $V_i$ 와  $V_{i+1}$ 을 원형 방정식  $C$ 위의 호의 양끝점으로 인식하고  $V_{i+1}$ 을 등록하고 단계 2로 간다( $i=i+1$ ).

단계 10 분열 :  $E_2 > T_2$ 일 경우 단계 7의  $P_3$ 을  $V_{i+1}$ 로 가정하고 단계 3의  $V_{i+1}$ 을  $V_{i+2}$ 로 등록하고 단계 4로 간다.



[그림 3-11] 정사영된 육면체



[그림 3-12] 진입 방향과 탐색 방향

생산 현장의 모든 물체가 블록 다각형의 조합으로 이루어졌다고 가정하면, 초기 정점에서의 탐색을 직접 연결된 이웃 정점중에서 X좌표의 값이 가장 작은 정점으로 한 후 그 다음부터는 연결된 정점중 시계방향의 사이각이 가장 작은 정점을 탐색하면 된다.

[그림 3-11]의 경우 1)에서 2)로의 탐색 후 다음의 정점이 5)인지 3)인지를 결정하는 문제가 된다.

[그림 3-12]와 같은 상황을 생각하자.  $V_1$ 의 방향에서 탐색을 해 왔다면 먼저  $V_1$ 의 원 방향으로 180도 까지의 정점은 고려 대상에서 제외시킨 후 남은 정점중  $V_1$ 과 가장 작은 사이각을 갖는  $V_5$ 를 선택한다.

각각의 벡터의 Z좌표를 모두 1로 주고 벡터  $V_i$ 과 외적(outer product)을 취하면  $(V_i \times V_j)$ ,  $V_i$ 의 오른 방향으로 180도까지의 정점들은 Z좌표의

### 3.2.2 표면(Surface) 결정 알고리즘

화상 자료로부터 얻어지는 마지막 단계의 정보는 표면에 관한 정보이다. 한 표면을 구성하는 선의 종류와 그 선들의 특성 및 인접한 표면과의 연결 관계등에 관한 정보를 얻어내어야 한다.

[그림 3-11]와 같은 상황에서 1) 2) 3) 4)의 환(Loop)이 표면을 결정하고 있음을 밝혀내고 이러한 환을 모두 찾는 것이 이 알고리즘의 목적이다.

값이 음(陰)이 된다. 따라서  $V_i(a_i, b_i)$ 로 나타내면  $a_i b_i - b_i a_i$ 의 값이 음(陰)인 벡터중에서 사잇각이 최소인 벡터를 찾는다. 벡터  $V_i$ 와  $V_k$ 의 사잇각의  $\cos$  값은

$$V_i \cdot V_k / |V_i| |V_k|$$

로 간단히 계산된다. 따라서 위의 문제는

$$\text{MAX} \left\{ \frac{V_i \cdot V_k}{|V_i| |x| |V_k|} \mid \text{s. t. } a_i * b_k - b_i * a_k < 0 \right\}$$

인  $k$ 를 찾는 문제이다. 정리하면,

**표면 결정 알고리즘**

단계 1 정점중  $y$ 의 좌표가 가장 큰 정점( $V_i$ )을 찾는다. 없으면 알고리즘을 멈춘다.

단계 2 단계 1의 정점과 연결된 정점중 최소의  $x$  좌표를 갖는 정점( $V_j$ )을 탐색한다.

단계 3  $V_i$ 와 연결된 정점중 다음의  $k$ 를 찾는다.

$$\text{MAX} \left\{ \frac{V_i \cdot V_k}{|V_i| |x| |V_k|} \mid \text{s. t. } a_i * b_k - b_i * a_k < 0 \right\}$$

단계 4 탐색 과정에서  $V_j$ 가 나타나면 그 순간 지나온 정점과 정점을 연결하는 선의 종류와 함께 표면을 등록하고 단계 5로 간다. 나타나지 않으면  $k$ 를  $j$ 로 두고 단계 3으로 간다.

단계 5 환을 형성하는 정점중에서 환에 나타나는 선으로만 이루어지는 정점을 지운다. 지워진 정점과 연결된 선을 지우고 단계 1로 간다.

**3.3 결과 자료의 형태.**

위의 각 모듈을 통과한 회상으로부터 정점, 선, 면에 대한 정보를 얻게 되는데 각각에 대한 속성은 다음과 같다.

정점(Vertex) : 분류 번호(Identification number), 좌표(Coordinate), 연결된 선의 수(Number of linked lines), 형태(Type of vertex)-외점(Outer vertex), 내점(Inner vertex)

선(Line) : 분류 번호(Identification number), 선의 끝을 이루는 정점의 분류 번호(Vertex pair), 선의 형태(Type of line)-직선형(L), 원형(C)

면(Surface) : 분류번호(Identification number), 구성하는 선의 분류 번호, 면의 형태(Type of surface)-원형 선의 존재 유무, 면을 이루는 선의 갯수

**4. CAD자료의 탐색(Search)과 인식(Recognition)**

CAD 시스템은 기본적인 자료의 내용이 정점, 선, 평면과 그들의 관계(Structure)로 이루어져 있으므로 회상으로부터의 정보도출에 비해 훨씬 간단한 방법으로 가능하다.

**4.1 IGES(Initial Graphics Exchange Specification)의 자료 형태**

다양한 CAD시스템 간의 자료의 상호교환을 위해 표준화된 자료구조가 개발되어 있는데 이것이 IGES이다. IGES의 정보단위는 Entity인데, 크게 3가지로 나누어 진다.

즉, 물체의 형상을 나타내는데 필요한 점, 선, 면에 대한 정보를 나타내는 Geometrical entity, 물체의 형상이나 위치 관계를 명확하게 정의하기 위해 보조적으로 사용되는 Annotative entity, 각 Entity들간의 여러가지 논리적인 관계들을 정의하는 Structural entity가 바로 그것이다. 그리고 각 Entity는 Directory entry와 Parameter data entry라는 두 부분에 의해 정의된다.

**4.2 GEFG(Generalized Edge Face Graph)를 이용한 물체의 표현**

시각 시스템의 자료와 동일한 구조를 가진 CAD



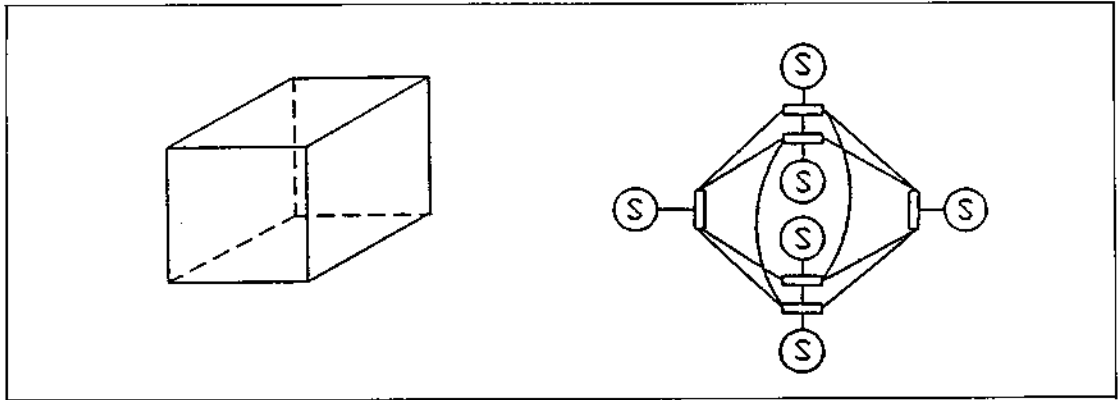
자료에의 탐색(Search)을 가능하게 하려면 CAD 시스템으로부터 도출되는 물체 정보는 물체를 보는 시각의 방향이나, 카메라의 초점거리와 같은 것의 변화에 영향을 받지 않아야 한다.

Floriani(1989)가 CAD/CAM 응용을 위해 제시한 GEFG는 이와 같은 목적에 부합되는 물체 표현 방법이다. GEFG는 4중 구조(4-Tuple)로 이루어진다. 물체의 그래프는 H로 표현하는데  $H = (FG, L, FL, LL)$ 로 구성되고 F는 면에 해당하는 Node, L은 환(Loop)에 해당하는 Node, FL은

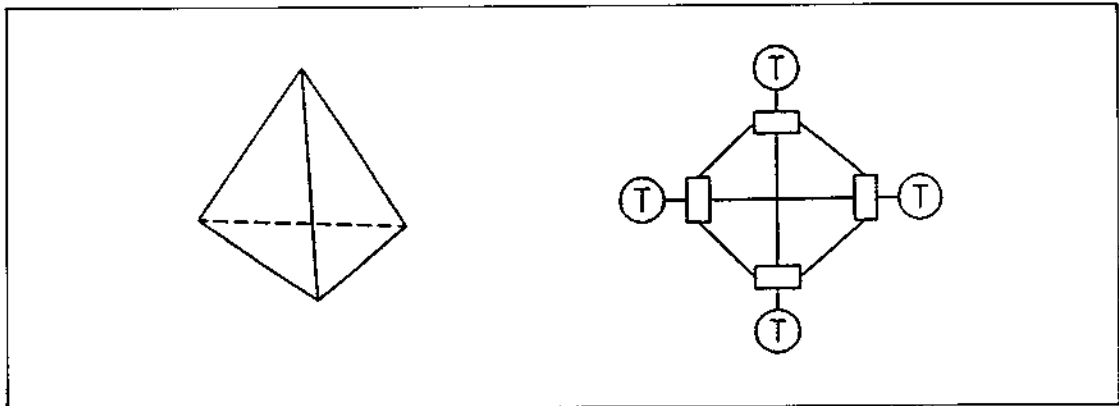
면과 환을 연결하는 Arc, LL은 환과 환을 연결하는 Arc이다.

이때 사각형으로 이루어진 표면은 S로, 삼각형으로 이루어진 표면은 T로, 원으로 이루어진 표면은 C로 나타낼 경우의 GEFG의 몇가지 예를 다음의 [그림 4-1]에서 [그림 4-3]에 걸쳐 나타내었다.

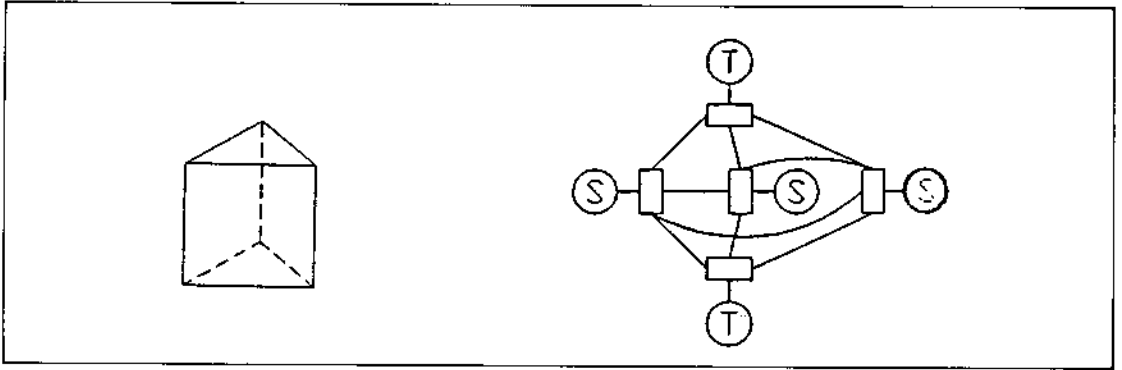
또한 시각 시스템을 거친 화상으로부터 생성된 GEFG를 [그림 4-4]에 나타내었다.



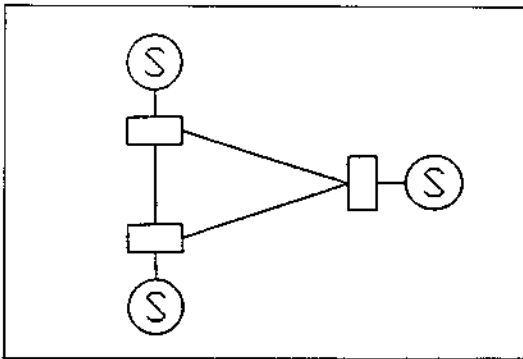
[그림 4-1] 육면체와 GEFG



[그림 4-2] 삼각뿔과 GEFG



[그림 4-3] 삼각 기둥과 GEG



[그림 4-4] [그림 3-9]의 GEG

### 4.3 CAD로의 탐색과 검증

IGES의 자료 형태에서 GEG를 도출하는 것은 Structural Entity의 접근(Access)으로 가능하고, 상위 수준의 처리과정을 거친 화상 자료에서 GEG를 도출하는 것도 위에서 도출된 결과가 이용하여 간단히 할 수 있다.

그 후 그래프 부분비교(Graph Submatching)을 이용하여, 시각 시스템의 자료와 동일한 구조를 가지는 모든 CAD자료를 탐색할 수 있다.

[그림 4-1]에서 [그림 4-3]의 GEG와 [그림 4-4]의 GEG와의 그래프 부분 비교를 행하면, 부분 비교가 허용되는 것은 [그림 4-1]의 육면체이다. 따라서 현재의 자료로 봐서는 [그림 4-4]의

구조를 가지는 부품은 육면체임을 알 수 있다.

그래프 부분비교의 결과 하나 이상의 GEG가 검출될 경우에는 부품에 대한 화상을 다른 각도에서 하나 더 얻는 방법으로 계속해서 탐색을 수행한다.

탐색의 효율성을 위해 시각 시스템으로부터 얻어진 정보를 이용하여 탐색 영역을 줄일 수 있는데, 이 때 사용하는 정보는 '물체 내(內)의 원형선의 유무(有無)', '화상에 나타난 가장 긴 선분의 길이' 등이 있다.

검증은 추론된 CAD의 자료를 이동(Translation), 회전(Rotation)을 시킨 후 보이지 않는 선의 제거(Hidden line elimination)를 통해서 시각 시스템의 자료와 직접적인 비교를 함으로써 가능하다.

## 5. 결론 및 추후 연구 방향

본 연구에서는 시각 시스템을 소유한 생산 현장에서 한 부품이 카메라를 통해서 입력 되었을 때 그 화상을 처리하여 CAD의 자료와 유사한 형태의 정보를 도출하는 일련의 알고리즘들을 제시하였다. 우선 화상자료는 Thresholding을 통해 2진 화상으로 처리되어 Edge가 검출 되었으며, 그 후 세화(Thinning)와 결가지 제거(Pruning)를 통해 1화

소 굵기의 화상으로 만들어 졌다.

또한, CAD의 자료 형태와 유사한 형태의 정보를 얻기 위하여 윤곽 추적 알고리즘과, 표면 결정 알고리즘이 제시되었다. 본 연구에는 코프로세서 80287, CPU 80286가 장착된 컴퓨터에 시각 시스템용 보드인 Vision 8을 탑재하여 사용하였고, 한 실험에 소요된 시간은 평균 8분이었다.

CAD와 위의 자료와의 매칭은 GEFG라는 그래프를 이용하는 방법론만을 제시했는데, IGES형태의 CAD자료로부터 GEFG의 생성 및 시각 시스템으로부터 형성된 자료에서 GEFG의 생성에 관한 알고리즘과 그래프 부분 비교 알고리즘은 추후 연구되어야할 과제이다.

본 연구에서는 비교적 간단한 부품에 대한 특징 추출만을 수행했는데 조금 더 복잡한 구조의 부품에 대한 연구로의 확장 및 계산속도의 증가를 위한 연구도 필요할 것으로 생각된다.

### 참 고 문 헌

[1] 홍기상, "삼차원 물체인식을 위한 해석트리의 최적화," 제2회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표논문집, 1990.

[2] Ansari, N. and E. J. Delp, "Partial shape recognition : A landmark-based approach," IEEE Tran. Pattern analysis and machine intelligence, Vol. 12, No. 5, May, 1990.

[3] Ayache, N. and O. D. Faugeras, "HYPER : A new approach for the recognition and positioning of two-dimensional objects" IEEE Tran. Pattern analysis and machine intelligence, Vol. 8, No. 1, January, 1986.

[4] Backer, E. and J. J. Gerbrands, "Inexact graph matching used in machine vision," NATO ASI series, Vol. F30 Pattern recognition theory and applications, Edited by P. A. Devijver and J. Kittler, 1987.

[5] Ballard, D. H. and C. M. Brown, COMPUTER VISION, Prentice Hall, Inc., 1982.

[6] Bell, B. and L.F. Pau, "Contour tracking and corner detection in a logic programming environment," IEEE Tran. Pattern analysis and machine intelligence, Vol. 12, No. 9, September, 1990.

[7] Besl, P. J. and R. C. Jain, "Three-Dimensional object recognition," Computing surverys, Vol. 17, No. 1, March, 1985.

[8] Bhanu, B. and C. C. HO, "CAD-based 3D object representation for robot vision," IEEE Computer, August, 1987.

[9] Blake, A., "Comparison of the efficiency of deterministic and stochastic algorithms for visual recognition," IEEE Tran. Pattern analysis and machine intelligence, Vol. 11, No. 1, January, 1989.

[10] Brooks, R. A., "Symbolic reasoning 3-D models and 2-D images," Artificial Intelligence, Vol. 17, 1981.

[11] Chandrasekaran, A. and A. Keuneke, "Classification problem solving : A tutorial from an AI perspective," Pattern recognition theory and applications, Edited by P. A. Devijver, 1987.

[12] Chen, D. s., "A data-driven intermediate level feature extraction algorithm," IEEE Tran. Pattern analysis and machine intelligence, Vol. 11, No. 7, July, 1989.

[13] Darwish, A. M. and A. K. Jain, "A rule based approach for visual pattern inspection," IEEE Tran. Pattern analysis and machine intelligence, Vol. 10, No. 1, January, 1988.

[14] Dhome, M., M. Richetin, J. T. Lapreste, and G. Rives, "Determination of the Attitude of 3-D objects from a single perspective view," IEEE Tran. Pattern analysis and machine

intelligence, Vol. 11, No. 12, December, 1989.

[15] Floriani, L. D., "Feature extraction from boundary models of three dimensional object," IEEE Tran. Pattern analysis and machine intelligence, Vol. 11, No. 8, August, 1989.

[16] Gonzalez, R. C. and P. Wintz, DIGITAL IMAGE PROCESSING, Addison Wesley, 1987.

[17] Gruver, W. A., C. T. Thompson, and S. D. Chawla, "CAD Off-line programming for robot vision," Robotics, Vol. 1, 1985.

[18] Hansen, C. and T. C. Handerson, "CAGD-based computer vision," IEEE Tran. on pattern analysis and machine intelligence, Vol. 11, No. 11, November, 1989.

[19] Henderson, T. C., "Intrinsic characteristics as the interface between CAD and machine vision systems," Pattern recognition theory and application, Edited by P. A. Devijver, 1987.

[20] Jain, A. K., "Advances in statistical pattern recognition," Pattern recognition theory and applications, Edited by P. A. Devijver. 1987.

[21] Meer, P., C. A. Sher, and A. Rosenfeld, "The chain pyramid: Hierarchical contour processing," IEEE Tran. Pattern analysis and machine intelligence, Vol. 12, No. 14, April, 1990.

[22] Ntuen, C. A., E. H. Park, and J. H. Kim, "KIMS-A knowledge based computer vision system for production line inspection," Computers Ind. Eng., Vol. 16, No. 4, 1989.

[23] Pavilidis, T., "A minimum storage boundary tracing algorithm and its application to automatic inspection," IEEE Tran. Systems, man, and cybernetics, Vol. SMC-8, No. 1, January, 1978.

[24] Prager, J. M., "Extracting and labeling boundary segments in natural scenes," IEEE Tran. Pattern analysis and machine intelligence, Vol. 2, No. 1, January, 1980.

[25] U. S. Department of Commerce, "Initial graphics exchange specification(IGES), Version 2.0," 1983.