

단일영상정보를 이용한 FMS용 부품인식시스템[†]

A Part Recognition System for FMS based on Single Image Data[†]

김의석* · 정무영**

Eui-Seok Kim* and MooYoung Jung**

Abstract

In this paper, we developed a prototype part recognition system for FMS (Flexible Manufacturing System) by comparing the features extracted from CAD data and the features obtained from the image through a single camera. Good or distinct features with high recognition efficiency for a specific part are obtained automatically and intelligently according to the rules from CAD data. Since the selection of distinct features are done automatically without any human interference, the developed system seems to be quite robust. Further, since it uses only a few distinct features on-line among many features and all the time-consuming calculations are done off-line, it is possible to recognize each part quickly and accurately. In order to evaluate the performance and the effectiveness of the developed system, two examples (L and T shaped parts) are tested and the results are reported.

1. 서론

제품 생산과정에 유연성을 부여할 수 있는 유연생산 체제(FMS : Flexible Manufacturing System)하에서 물류자동화를 구현하려면 로봇(robot)이나 AGV(Automated Guided Vehicle) 및 컨베이어(conveyor)등의 자동화된 이송설비

는 물론이고 다양한 부품을 판별할 수 있는 인식장치가 필요하게 된다. 기존의 부품인식 방법에서는 팔렛(pallet)에 부착된 바 코드(bar code)가 이용되기도 하나 이 방식은 물체의 방향(orientation), 이송(transfer), 그리고 공급(feeding)의 문제가 해결된 경우에만 적용이 가능하다는 제한이 있다.[1] 또한 이 방식은 지그(jig), 팔렛 등의 제작에 따른 생산비용 증가는 물론이고 방향, 이송, 공급의 문제가 해결되지 않은 경우에는 물류자동화를 위해 부품설계의 변경까지도 해야한다는 문제점을 안고 있다. 이러한 문제점을 수반하지 않으면서도 유

† 본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구와 지능자동화 연구센터의 일부지원에 의해 수행되었음.

* 현대자동차주식회사 마북리연구소

** 포항공과대학교 산업공학과

연성있는 물류 자동화를 구현하기 위해서 최근에는 CCD(Charge Coupled Device) 카메라가 포함된 비전(vision)시스템이 인식장치로 많이 사용되고 있다. 이러한 인식장치는 부품의 종류를 구분하고 위치 및 방향등을 계산하여 로봇 컨트롤러(controller)에 전달하여 주는 핵심적인 기능을 담당하게 된다.

인식장치가 제 기능을 발휘하기 위해서는 각 부품이 갖고있는 고유의 특징에 대한 사전정보를 필요로 하며 또한 이를 모델화함이 필요하다. 여기서 각 부품이 갖고 있는 고유의 특징이란 크기, 형태, 색상등을 의미한다. 부품의 특징과 정보가 수록된 설계도면을 자동적으로 추출하는 것은 설계업무의 자동화(e.g.CAD 등)에 힘입어 별다른 문제가 없다. 그러나 부품의 설계도면 정보를 직접 이용하여 종류 및 자세를 인식한다는 것은 차원상이의 문제때문에 불가능하다. 여기서 차원상이의 문제란 설계도면 정보는 일반적으로 3차원 정보이고 비전시스템의 카메라에서 추출되는 영상정보는 2차원이어서 그 차원이 다름을 의미한다. 따라서 이를 해결하기 위해서는 영상정보를 3차원으로 재구성해 주거나 도면정보를 2차원으로 낮추어 주는 차원변환과정이 필요하게 된다.

차원변환의 문제에 있어서 전자는 서로 다른 두 시점에서 관측된 화면에서 추출한 영상정보를 이용하는 스테레오(stereo) 기법을 이용하면 가능한 일이다. 그러나 스테레오기법 자체가 2차원 정보로부터 3차원 결과를 이끌어 내는 ill-posed문제의 해를 구하는 것이기때문에 상당한 시간과 복잡한 알고리즘이 필요하게 되어 산업현장에 적용하기엔 아직 어려움이 많다.[2] 한편, 후자의 경우 즉, 설계도면정보를 2차원으로 변환하는 방법은 변환과정에서 정보의 손실이 발생한다는 단점에도 불구하고 전반적인 과정의 처리가 빠르고 간단하다는 장점때문에 산업현장에서의 이용율이 높다.

인식대상부품을 모델로 정의하는 방법에는 크게 두가지 접근방향이 있는데, 하나는 이미지 반복훈련을 통하여 모델을 만드는 방법이며 다른 하나는 설계정보로부터 모델을 생성하는

방법이다. 전자는 사전정보가 없는 물체를 여러차례 반복 관찰하고 그로부터 어떤 특징을 인식하여 물체를 인지한다. 이 방법은 2차원 정보인 이미지로 부터 동일한 차원의 모델을 만드는 것이므로 별도의 차원변환과정없이 간단한 방법으로 모델을 만들 수 있다는 장점이 있다. 그러나 상당한 훈련시간이 소요되기 마련이고 잡신호(noise)가 포함된 영상정보로부터 모델이 생성된다는 문제점이 있다. 한편, 후자는 훈련을 통한 방법과는 달리 모델생성과정에 차원변환이 필요하므로 전반적인 과정은 복잡하게 된다. 그러나 훈련시간이 필요없고 물체의 기하학적 정보가 정확히 기록되어 있는 도면정보로부터 정확한 모델을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 산업체에 쓰이는 비전시스템은 인식대상이 설계도면을 통하여 모델로 미리 정의될 수 있기 때문에 주로 설계모델의 정보를 이용하여 인식과정을 수행하는 방향으로 연구가 추진되어 왔다.

Lieberman[3]은 GEOMOD라는 3차원 모델링 툴로부터 얻은 도면정보를 Convex-Hull property를 이용하여 영상정보와 같은 2차원으로 전환시켜서 모델을 구성하였다. 전환된 2차원 모델로부터 추출한 형상정보를 이용하여 단일영상에서의 3차원물체인식을 시도하였다. 그는 3차원 다면체에서 2차원 모델은 만들었으나 그 모델로부터 형상정보를 추출하고 실제 물체를 인식하는 과정은 시도하지 않았다. Majum dar et al.[4]은 이를 발전시켜 물체인식에 key surface란 개념을 도입하였는데 key surface란 물체를 특징지워줄 수 있는 독특한 형상정보가 포함된 면을 말한다. 그들은 카메라의 시점을 변환해가며 물체의 key surface가 보일 때까지 영상획득(image acquisition) 과정을 수행하고 이를 바탕으로 영상해석(image analysis)을 하는 방법을 사용하였다. 그러나 이 방법은 독창적인 key surface가 존재하지 않는 경우에는 물체의 인식이 불가능하고 또한, Key surface가 가리워져 있는 경우엔 다른 각도에서 영상정보를 다시 획득해야 한다는 제약이 있다.

일반적으로 각 부품은 형태에 따라 그 부품을 특징지워줄 수 있는 형상정보(distinct feature)가 존재하며 부품군에 따라 인식능력이 상대적으로 좋은 형상정보가 있게 마련이다. 비전시스템의 인식과정에서 이 정보들을 이용하면 인식오류를 줄일 수 있어 효율의 상승을 기대할 수 있다. 이와 같은 좋은 형상정보는 비전시스템 엔지니어가 다양한 형상 정보들의 통계적분포를 해석하고 비전시스템의 성능을 고려하여 결정하여 왔다. 그러나 이와같은 기존의 방법은 생산품목의 변동이 언제든지 발생할 수 있어 인식대상의 변동이 수시로 이루어지는 FMS 하에서는 이 과정이 자동적으로 이루어지지 않으면 그 효율이 떨어지게 된다. 따라서 생산품목이 수시로 바뀌더라도 이를 유연하게 처리해 줄 수 있는 FMS의 환경에 맞는 비전을 이용한 지능형 부품인식 시스템의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 부품설계시의 CAD정보로부터 추출 및 선택된 형상정보와 단일카메라에서 획득된 영상으로부터 추출된 형상정보를 서로 비교하여 부품인식을 신속히 할 수 있는 FMS용 지능형 부품인식시스템의 prototype을 개발하였다. 사용자가 CAD에서 부품을 설계하면 시스템이 인식효율이 높은 형상정보를 지능적/자동적으로 추출하여 줌으로써 부품인식에 대한 지식없이도 시스템을 운용할 수 있게 된다. 또한 부품이 변경되는 경우에도 형상정보의 선택이 자동적으로 이루어지므로 강인성(robustness)을 지니게되며 매칭(matching)과정에서의 형상정보의 종류가 적어지므로 빠른 속도의 매칭이 가능해 다품종 소량 생산체제인 FMS의 환경에 적합하다. C언어를 사용하여 시스템을 구축하였으며 개발된 시스템의 성능과 효율성을 평가하기 위해서 간단한 부품을 사용하여 실험하였고 그 결과를 제시하였다.

2. 물체의 안정된 자세 예측

3차원 공간상에서 정의된 도면정보를 영상정보와 같은 2차원으로 변환한다는 것은 어느 한

시점(view point)에서 단일영상 카메라를 이용하여 물체를 관찰하였을 때의 모습을 계산을 통해 예측한다는 것을 의미한다. 본 논문의 아이디어중 하나는 비록 물체가 아무리 복잡한 면으로 구성된 다면체 일지라도 중력장하에서 평면위에 안정된 자세로 놓일 수 있는 경우는 몇 가지로 제한된다는 것이다. 다시말하자면, 모든 다면체를 다 고려할 필요는 없다는 것이다. 그러나 물체가 곡면을 포함하고 있거나 평면위에 놓여 있지 않은 경우에는 단일영상 카메라의 구조적인 한계때문에 그 인식이 불가능하므로 다음과 같은 가정을 하였다.

- 1) 물체는 평면위에 안정된 자세로 놓여진다.
- 2) 물체는 곡면이 포함되지 않은 다면체로 이루어져 있다.

위의 가정들이 성립되었을때 Convex-Hull 특성을 이용하면 물체의 안정된 자세를 예측할 수 있게 된다. 물체의 안정된 자세를 예측할 수 있다면, 그물체를 어떤 방향(혹은 시점)에서 관찰하였을 때의 모습은 쉽게 계산되어질 수 있으므로 이들로부터 필요한 형상정보를 추출하면 된다. 또한, 앞서 언급한 바와같이 어떤 물체의 안정된 자세라는 것은 몇개밖에 되지 않으므로 좋은 형상정보를 온라인으로 갖고 있다는 해도 크게 무리는 아니다.

2.1 Convex-Hull

일반적으로 d차원 유클리디안 공간상에서의 Convex-Hull의 정의는 다음과 같다.[5] 서로 다른 k개의 점이 있을때, 다음과 같이 정의되는 점들의 집합 P는 p_1, p_2, \dots, p_k 로 부터 이루어지는 convex set이며 P는 p_1, p_2, \dots, p_k 의 convex combination이다.

$$P = a_1p_1 + a_2p_2 + \dots + a_kp_k,$$

여기서 $a_1 + a_2 + \dots + a_k = 1$ 이다.

예를들어, 2차원 평면상에서 Convex-Hull이란 직관적으로 생각하면 그림 1의 (가)에서 보는 바와 같이 평면상에 여러 개의 점들이 흩

어저 있을 때 작은 고무밴드를 그 점들을 다 둘러쌀 수 있도록 크게 늘인다음 놓았을 때의 고무밴드의 모양이라고 생각할 수 있다. 이 개념을 확장하면 3차원 공간상에서의 Convex-Hull이란 그림 1의 (나)에서처럼 공간상에 분포한 점들을 내부에 포함할 수 있는 다면체 중에서 그 부피를 최소로 갖는 다면체라고 생각할 수 있다.

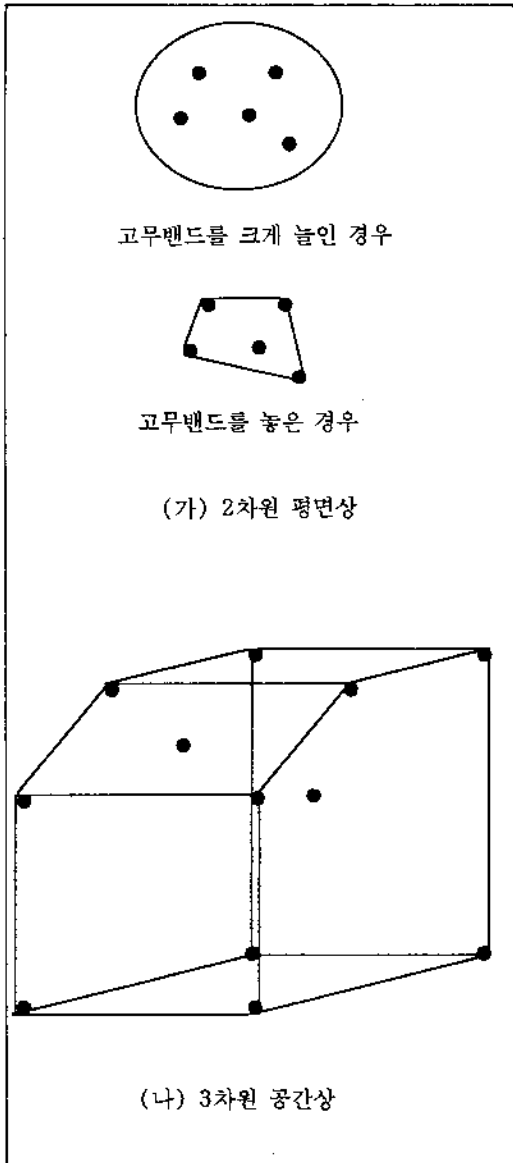


그림 1. 2차원 및 3차원 상의 Convex-Hull

Convex-Hull을 3차원 공간상에서 찾기 위하여 Chand와 Kapur [6]가 정의한 Gift wrapping 알고리즘을 사용하였는데, 이 알고리즘은 N^2 의 complexity를 지니기때문에 점의 갯수가 많아질수록 계산시간이 기하급수적으로 증대한다는 단점을 안고 있다. 그러나 본 연구에서는 Gift-wrapping 알고리즘을 off-line으로 수행하게되므로 인식시간에는 아무런 영향을 주지 않는다.

2.2 물체의 안정된 자세

어떤 물체가 안정되게 지면에 놓여있다는 것은 중력을 제외한 다른 외력을 받지않는 물체의 무게중심을 지면에 투영하였을때 그 투영된 무게중심이 지면과 만나는 접촉면의 내부에 존재하는 경우를 말한다. 이 관계를 그림 2에 표시하였는데, 그림 2에서 보는 바와 같이 지면과 접촉하는 Convex-Hull facet k 를 $ax+by+cz=d$ 라고 정의하면 물체에 작용하는 중력의 방향은 facet k 의 법선벡터 (a,b,c) 의 방향 성분과 동일하게 된다. 그러므로 시작점이 무게중심, CG, 이고 방향성분이 (a,b,c) 인 직선이 facet k 와 만나는 점이 투영된 무게중심의 위치가 되고 이 점이 facet k 의 내부에 있으면 그 물체는 안정된 자세를 유지할 수 있는 것이다.

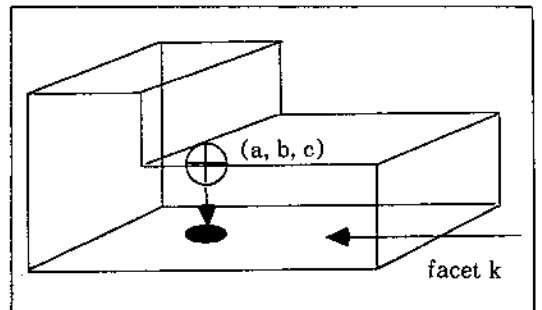


그림 2. 물체의 무게중심과 안정된 자세

3. 형상정보 추출

생성된 모델과 카메라에서 획득한 영상을 비교, 인식하려면 서로 같은 특성의 형상 정보를

통하여야만 하는데, 이러한 정보는 일반적으로 물체의 기하학적 특징에서 추출할 수 있다. 형상정보는 크게 전체(global), 국소(local), 관계(relational)의 3가지 형태로 분류한다.[2] 전체형상정보로는 perimeter, centroid, contour point들의 centroid로 부터의 거리, curvature, 면적, 관성 모우먼트등이 있다. 국소형상 정보로는 line segment, constant curvature를 가진 arc segment, 모서리, 물체의 경위를 정하는 defining pieces 등이 있으며 관계형상정보로는 물체의 구조와 region을 연결시켜주는 다양한 거리와 orientation 측정치등이 있다. 형상정보는 인식대상의 특징에 따라 인식효율의 변동이 발생하며 모든 물체를 다 인식할 수 있는 형상정보의 추출은 아직 불가능한 것으로 알려져 있다. 따라서 인식대상이 바뀔 때마다 그에 맞추어 모델과 영상의 특징을 파악하여 적절한 형상정보를 선택해야 한다는 어려움이 있다. 그러나 각 부품은 형태에 따라 그 부품을 특징지워줄 수 있는 형상정보(distinct feature)가 존재하며 부품군에 따라 인식능력이 상대적으로 좋은 형상정보가 있는 것이 일반적이다. 따라서 기하학적인 정보를 나타내는 설계도면으로부터 일반적인 형상정보를 추출하는것이 선행되어야 한다.

일반적인 형상정보 추출대상으로는 면적(area), 단순도(compactness), MBR (Minimum Boundary Rectangle), Fourier Descriptor (FD) 와 모우먼트(moment)를 선정하였다. 먼저 면적은 물체영역 픽셀의 갯수에 보정상수를 곱하면 얻을 수 있다. 보정상수란 한 픽셀의 영역이 실좌표계(real world coordinate)에서 차지하는 면적이며 카메라의 영상 기하학적 관계(image geometry)를 통하여 계산하는 방법과 시편을 이용한 실험을 통해 측정하는 방법이 있다. 카메라와 대상물체간의 거리가 고정되면 시편을 통하여 보정상수를 측정하는 것이 렌즈의 가공오차로 인한 영향도 줄일 수 있기 때문에 실험을 통하여 얻는 방법이 훨씬 간편하므로 본 논문에서는 이 방법을 택하였다. 픽셀의 가로 세로 방향의 길이차이(aspect ratio)로

인한 오차도 원칙적으로 보정상수에 포함되나 본 논문에서와 같이 사용한 기종의 카메라의 가로세로비가 1인 경우에는 고려할 필요가 없다. 한편, 단순도란 면적을 둘레의 제곱으로 나눈 것이고, 둘레는 모서리 검출과정에서 획득된 픽셀정보로 부터 얻을 수 있다. MBR은 픽셀위치의 x와 y방향의 최소최대치인 x_{max} , y_{max} , x_{min} , y_{min} 으로 이루어지는 사각형을 말하므로 이들을 구하는 것도 별 문제가 없다. 그러나 FD와 모우먼트를 구하는 것은 복잡하기 때문에 좀 더 자세한 설명을 필요로 한다.

3.1 FD

FD란 영역의 외곽둘레의 형태를 급수의 확장으로 표시한 것이다. 부품의 외곽선형태를 표현할 수 있는 방법은 Persoon과 Fu [7]의 FD를 사용하였는데, 이를 그림 3을 예로들어 간략히 설명하면 다음과 같다. 폐구간[0, L]내부의 값인 1을 호의 길이로 갖는 닫혀진 곡선 r 를 $(x(1), y(1))=Z(1)$ 이라 하고, 곡선 r 상의 점 1에서의 각도방향(angular direction)을 $\theta(1)$ 이라 하고, $t=0$ 시작점과 점 1사이의 구부러진 양의 순수누적합(net amount of angular bend)을 $\phi(1)$ 이라 정의하며 (단, $\phi(L)=-2\pi$), 각도방향의 360° 의 초과 여부에 관계없이 정의될 수 있는 함수 ϕ^* 를 새롭게 $\phi^* = \phi((Lt)/(2\pi)) + t$ ($0 \leq t \leq 2\pi$)라 설정하면 ϕ^* 의 Fourier 급수로의 확장은 다음과 같다.

$$\phi^*(t) = \mu_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos(kt - \alpha_k)$$

이때, 집합 $\{A_k, \alpha_k; k=1, \infty\}$ 를 곡선 r 의 FD라 정의하고, 이와같이 정의된 FD는 폐곡선의 위치 및 방향에 영향을 받지 않으므로[8] 외곽선으로 물체를 인식하는 경우 유용한 형상정보로 사용될 수 있다. 그러나 이 방법은 곡률이 불연속적인 경우(polygonal object)의 경우에는 적합하지 않기때문에 FD를 아래와 같이 재정의 한다.

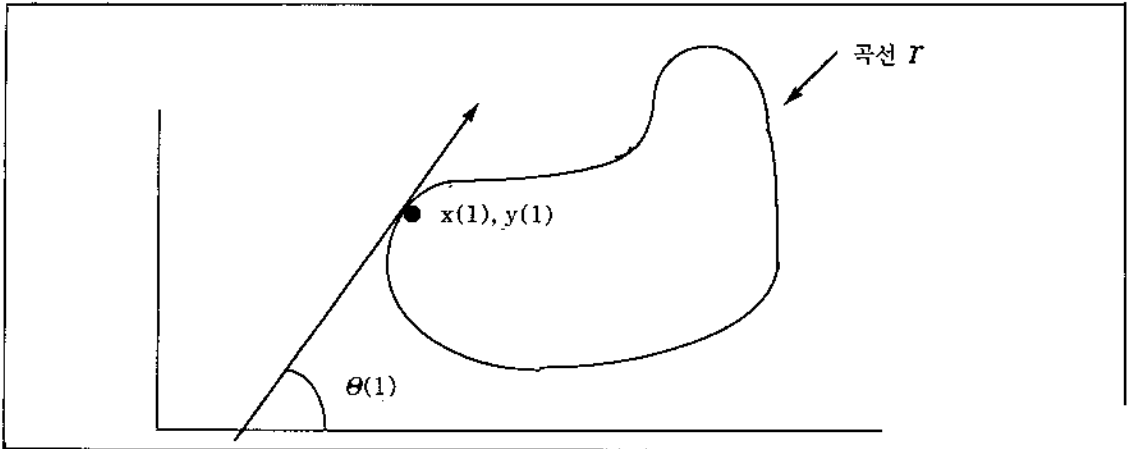


그림 3. 곡선과 각도방향 함수

$$\phi^*(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k e^{jkt} \text{로 두면}$$

FD = $\{\beta c_k + (1 - \beta)c_k^*\}$ 로 정의될 수 있으며

여기서 $C_k = \{1/(2\pi)\} \int_0^{2\pi} \phi^*(t) e^{-jkt} dt$ 이다.

위의 정의를 L을 주기로 하는 주기함수 $u(l) = x(l) + jy(l)$ 의 경우에 적용하면 FD는 a_n 으로 나타내어진다.

$$a_n = (1/L) \int_0^L u(l) e^{-j(2\pi/L)nl} dl$$

여기서 $u(l) = \sum_{-\infty}^{\infty} a_n e^{jn(2\pi/L)l}$

Zhan과 Roskies [8]는 위의 정의를 이산형태 (discrete formula)로 다음과 같이 제시하였다.

$$a_n = \{1/[L(n2\pi/L)^2]\} \sum_{k=1}^m (b_{k+1} - b_k) e^{-jn(2\pi/L)l_k}$$

여기서 $l_k = \sum_{i=1}^m |V_i + V_{i+1}|$,

for $k > 0$ and $l_0 = 0$

그리고 $b_k = \frac{V_{k+1} - V_k}{|V_{k+1} - V_k|}$ 이며

$|b_k| = 1$ 이다.

3.2 모우먼트

영상정보로부터의 모우먼트 추출

모우먼트는 영역을 질량체로 생각할 때의 n 차 모우먼트이며 물체의 위치, 자세, 확대 및 축소등에 별 영향을 받지 않는 유용한 global feature이다.[9] 연속영상함수 $f(x, y)$ 로 부터 추출된 영역 A의 order가 $p+q$ 인 모우먼트는 다음과 같이 정의된다.

$$m_{p,q} = \iint_A x^p y^q f(x, y) dx dy; p, q = 0, 1, 2, \dots$$

그러나 본 논문에서 사용한 영상정보는 이진화된 영상정보이므로 $f(x, y)$ 는 1 또는 0의 두가지이다. 해석대상이 되는 영역의 $f(x, y)$ 를 1로 하고 이를 바탕으로 하여 이산함수로 재정의하면 다음과 같다.

$$m_{p,q} = \sum \sum x^p y^q; p, q = 0, 1, 2, \dots$$

위에서 구해진 값이 물체의 위치에 영향을 받지 않으려면 x와 y는 물체좌표계(object coordinate)에서 정의되어야 한다. 본 논문에서는 물체좌표계의 원점을 물체의 중심으로 선정하였고, 영역의 중심은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\bar{x} = m_{10}/m_{00} \quad \bar{y} = m_{01}/m_{00}$$

물체의 중심에 대한 모우먼트(central mo-

ments)는 아래와 같다.

$$\mu_{pq} = \sum \sum (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q; p, q = 0, 1, 2, \dots$$

물체의 크기변화에 영향을 받지 않도록 μ_{pq} 를 표준화(normalize)하면 그 central moments는 다음과 같이 정의된다.

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^{(p+q)/2} + 1}$$

영역의 모우먼트 계산은 recursive한 특성으로 인하여 많은 시간이 소요된다. 따라서 이를 산업체에 적합한 비전시스템에 사용할려면 실시간 처리가 가능하도록 계산속도를 증진시켜야 한다. 이를 위해서 Zakaria et al. [10]이 제시한 이진영상에서의 모우먼트 계산방법인 delta method를 이용하였다.

CAD 정보로부터의 모우먼트 추출

영상정보로부터의 모우먼트 추출은 위와 같은 영역에 근거한(region-based) 방법으로 추출될 수 있으나 CAD정보로부터의 모우먼트 추출은 그 정보가 영역으로 주어지지 않고 점, 선 등의 영역에 대한 경계(boundary)로 전달되므로 경계에 근거한(boundary-based)방법으로 계산하여야 한다. Bamieh와 De Figueiredo [11]는 이중적분으로 계산되었던 영역의 모멘트를 영역의 경계를 이루는 외곽(boundary)의 선적분(line integral)으로 유도하였고, Jiang과 Bunke [12]는 이를 좀더 단순화한 방법으로 반복계산방법(iterative computation method)을 제시하였는데 이 방법은 계산시간이 많이 소요된다는 단점은 있지만 간단하다는 장점이 있다. 또한, 본 시스템에서는 CAD정보에서의 영상정보추출이 사전에 off-line작업으로 실행되므로 on-line에서 수행되는 인식과정에는 아무런 영향이 없으므로 이방법을 이용하였다.

4. 특징적(Distinct)형상의 선택

앞서 언급한 바와같이, 각 부품은 형태에 따

라 그 부품을 특징지워줄 수 있는 영상정보(distinct feature)가 존재하며 부품군에 따라 인식능력이 상대적으로 좋은 영상정보가 있는 것이 일반적이다. n개의 전체영상정보를 n차원 유클리디안 공간상에 매핑하는 병렬의사구적방법은 인식대상의 영상정보 분포가 서로 겹치지(overlap) 않고 잘 형성되어 있을 경우에는 적은 오차율로 인식이 가능하나, 인식대상에 따라서 일부 영상정보들의 분포가 서로 겹치는 경우가 발생한다. 물론 거의 대부분의 경우 분포의 겹침은 일어나는 현상이나 분포의 형태 및 여러 특징들에 따라 인식효율이 변동된다. 이러한 경우에 대비하여 n개의 영상정보에서 그 신뢰수준이 충족되는 m개의 영상정보를 선택하게하면 인식시간단축과 오차감소라는 두 가지 과제를 동시에 실현할 수 있다. 영상정보의 선택은 두 개 집단의 분리되어 있는 정도를 통계적으로 측정하여 이루어지며[13], 본 논문에서는 이러한 영상정보 선택개념을 규칙 베이스에 저장하여 사전에 추출된 영상정보로부터 부품군에 적용하여 시스템 스스로 영상정보를 선택하도록 하였다.

영상정보에서 추출할 수 있는 영상정보의 종류는 많으나 경우에 따라서는 중복되거나 인식효율이 떨어지는 영상정보가 공존하고 있는 것이 보통이다. 따라서 다수의 영상정보중에서 효율이 좋은 소수의 영상정보를 추출하여 사용하게 되고 이러한 영상정보의 선택이란 다음과 같이 정의될 수 있다.[13]

$$\text{Given } \Gamma = \{x_i; i=1, 2, \dots, d\},$$

$$Y = \{y_j; j=1, 2, \dots, D\}$$

$J(X)$ (which represent criteria function)

where X is a subset of Y ,

then the optimal feature set is a set satisfies $J(X) = \max J(\Gamma)$

인식효율이 높은 영상정보를 선택한다는 것은 기존의 경우 경험이 많은 전문가의 방법(heuristic method)에 따라 이루어져 왔으나 부품군의 변경이 발생하는 FMS에서는 인식효

율이 높은 형상정보도 부품군에 따라 변동되므로 전문가에 의지하여 형상정보를 매번 선택하여야 하는 기존의 방법은 시간과 비용면에서 비 효율적이다. 따라서 부품군의 변동에 따라 형상정보를 자동적으로 선택하여주는 시스템이 필요하다. 그러나 전문가의 방법을 수학적으로 구현하는데는 많은 어려움이 있으므로 [14] 본 논문에서는 규칙에 근거한 시스템으로 설계하여 이를 해결하고자 하였다.

생산품목의 변경이 발생하면 사전에 완성된 규칙베이스로부터 규칙을 추출하여 새로운 부품군에 적합한 형상정보를 선택하여 형상정보 데이터베이스로부터 온-라인(on-line)형상정보에 등록하게 된다. 규칙베이스에 입력된 규칙의 형태는 If...then...의 구조를 갖는다. 본 논문에서 설정된 규칙은 통계적 패턴인식(Statistical Pattern Recognition)의 기법에서 정의된 개념[13]을 이용하였으며 사용된 규칙의 한 예를 다음에 나타내었다.

If the standard deviations of the distribution of a feature X for the objects,

A and B are larger than the distance between the two means of A and B,

then it is not good to use the feature X as a distinct feature.

위에 제시된 규칙은 그 분포가 서로 많이 겹쳐서 정확한 인식이 어려운 형상정보를 찾아내는 규칙이며 분포의 각 중심들간의 거리와 표준편차를 판단의 근거로 설정하였다. 이러한 규칙들에 의한 검사과정을 거쳐서 특징적 형상정보가 선정된다.

5. 지능형 부품인식시스템

본 논문에서 제시된 지능형 부품인식시스템은 크게 1) CAD 정보추출 모듈, 2) 형상정보추출 모듈, 3) 형상정보선택 모듈, 4) 영상획득 모듈, 5) 영상개선 모듈로 구성되어 있다. 지능형 부품인식 시스템의 각 모듈들의 전체적인 구성과 수행절차가 그림 4에 나타나 있다. 먼저 CAD 시스템에서 (본 연구에서는 AutoCAD

R12를 사용하였다.) 설계자가 부품설계를 마치고 CAD 정보추출모듈에서 추출명령을 내리면 사전에 업 로드(up-load)되어 있는 프로그램이 CAD 정보추출에 필요한 모든 과정을 행해준다. 이로부터 추출된 설계도면 정보는 별도의 파일형태로 보관된다. CAD시스템으로부터 새로이 입력되어 아직 형상정보가 추출되지 않은 부품은 생산품목 변경시에 형상정보추출과정을 거쳐서 별도의 형상정보 파일형태로 저장된다. 시스템은 현재 생산품목의 변경이 이루어 질 때마다 생산품목에 관한 정보로부터 규칙베이스에 저장되어있는 규칙에 따라 형상정보 선택을 수행하게 되며 선택된 형상정보들은 온라인 형상정보를 구성하게 된다.

CAD정보추출 모듈, 영상획득 모듈, 그리고 영상개선 모듈에 대해서는 좀 더 자세한 설명이 필요하므로 다음에 설명하였고 형상정보추출 모듈 및 형상정보선택모듈은 앞절에서의 설명을 모듈화한 것이므로 생략하기로 한다. 다만, 3차원으로 표현된 부품을 2차원 평면에 투영시켜서 형상정보를 얻으려면 비 가시면(invisible face)을 제거하는 배면소거과정이 필요하다. 이를 위해 먼저 시점(view point)의 방향과 면의 법선벡터를 알아야 하는데, 법선벡터는 앞서 설명한 물체의 안정된 자세 부분에서 획득되었고 시점방향은 카메라의 위치방향과 동일하다. 이 두 벡터가 이루는 공간상의 각이 90도에서 270도 사이이면 비 가시면이고 그렇지 않으면 가시면이 된다.[15]

5.1 CAD정보 추출모듈

본 논문에서의 CAD시스템으로는 전술한 바와 같이 AutoCAD R12를 사용하였다. 부품의 설계를 Solid Modelling 기법으로 수행하였으므로 AutoCAD R11이상에서 선택사양으로 제공되는 AME (Advanced Modelling Extension)[16]을 바탕으로하여 모든 설계가 이루어진다. 설계도면정보는 ADS (AutoCAD Development Software)[17]에서 제공되는 라이브러리 내장함수를 이용하여 도면요소(Entity)

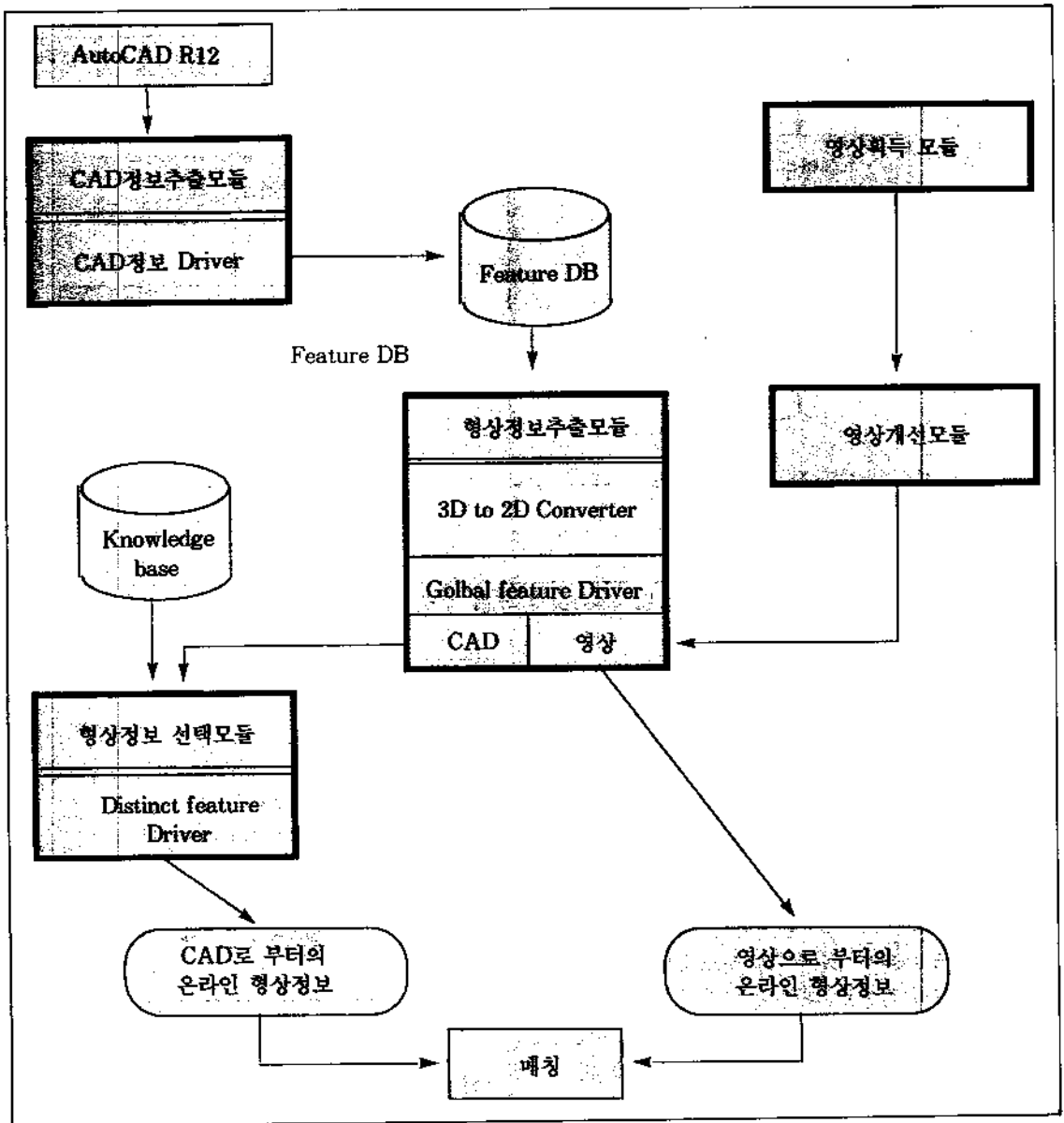


그림 4. 지능형 부품인식시스템의 구성 및 수행절차

데이터베이스로부터 추출하게 된다. 물체의 무게중심에 관한 정보는 AME에서 자체적으로 제공되는 무게중심계산함수를 이용하여 이루어진다. CAD정보 추출에 필요한 모든 과정은 C언어로 작성 및 컴파일(compile)되고 ADS 라이브러리와 링크(link)된 후에 AutoCAD시스템에 로드(load)되어 설계자가 수행명령을 내

리면 자동적으로 수행된다. 추출되는 정보는 면, 선, 점에 관한 기하학적정보와 물체의 무게중심의 위치에 관한 정보이다. 전반적인 CAD 정보추출과정을 그림 5에 도시하였다.

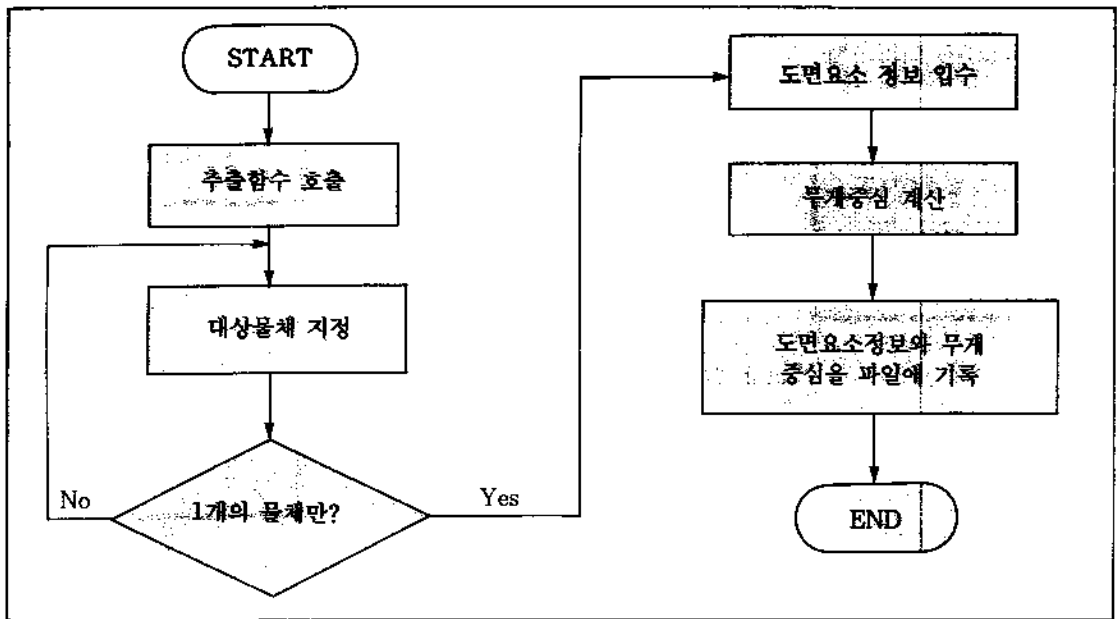


그림 5. CAD정보 추출 수행 흐름도

5.2 영상획득 모듈

영상획득 모듈은 실제계의 명암정보를 수치화하여 저장하는 기능을 담당한다. 본 시스템에서는 CCD카메라로 510×492의 픽셀수를 갖는 PULNIX사의 TM-545기종을 사용하였으며 카메라에 장착된 렌즈의 사양은 Pinhole lens, focal length=16mm 짜리이다.

물체, 카메라, 그리고 영상의 기하학적 관계가 그림 6에 나타나 있다. 본 시스템의 시선방향은 지면을 수직으로 내려보는 방향으로 하였으므로 그림 6에서의 z축의 반대방향이 되고 z값은 카메라 렌즈로부터 물체의 표면까지의 거리가 된다. 물론 물체의 종류 및 자세에 따라 z값이 변하게되므로 이에따라 오차가 발생하지만 z를 크게하면 이러한 오차의 폭을 줄일 수 있고 영상의 구석에서 찌그러지는 현상(distortion)도 최소화 할 수 있게된다. 그림 6의 기하학적 관계로부터 다음과 같은 식을 유도할 수 있으며 화면상의 1픽셀에 해당하는 실제거리는 이식에 대입하여 얻을 수 있다.

$$\frac{x}{f-z} = \frac{x'}{f} \quad \frac{y}{f-z} = \frac{y'}{f}$$

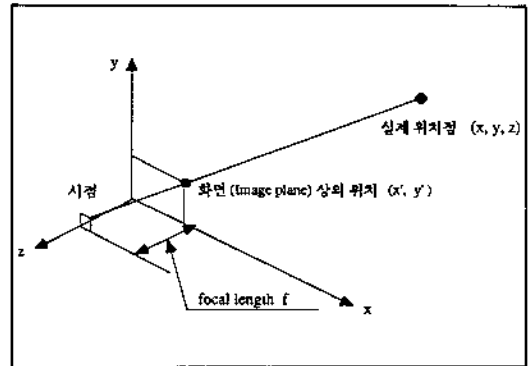


그림 6. 물체, 카메라, 영상의 기하학적 관계

카메라에서 획득된 영상은 PC-286에 장착된 ITEX-151 PC Vision Plus Frame Grabber의 기억장소(ram)에 일시적으로 저장되고, ITEX-151에서 제공되는 라이브러리 함수를 사용하여 디스크(disk)에 파일형태로 저장되게 된다. 본 시스템에서는 200X200의 밝기정보를 파일형태로 저장하게 된다.

실제계의 연속적(continuous)인 밝기차이를 렌즈등의 광학적기구를 거쳐 획득범위를 정하고 CCD소자에서 전기적인 신호로 전환한 뒤 A/D Converter에서 샘플링하여 기억소자에

저장하는 단계이다. 대부분의 영상들은 $f(x) = f(x, y)$ 의 함수형태로 표현될 수 있으며 유색 영상(color image)의 경우에는 $f(x) = \{f_{red}(x), f_{blue}(x), f_{green}(x)\}$ 로 정의될 수 있다. 본 논문에서는 생산현장에 응용하는 것을 목적으로 하기 때문에 단일색상의 영상정보를 사용하였다.

자연계의 연속적인 신호(analog signal)로 이루어진 연속영상함수(continuous image function)는 수치해석 및 연산을 위해서 이산신호(digital signal)로 변환되어야 한다. 실제계의 영상정보를 카메라로 획득할 때에는 경치해석(outdoor scene analysis)의 경우에는 샘플링 주기 즉, 픽셀(pixel)의 갯수와 영상의 크기를 고려해야 하나 본 논문의 경우 이진화된 영상정보를 이용하고, 또한 크기가 가로세로 0.2미터 이내의 부품을 대상으로 200X200의 영상정보를 이용하므로 부품의 폭이 2×10^{-3} 미터 보다 작은 경우를 제외하고는 샘플링주기가 고유진동주기의 2배이상인 안 될 경우에 발생하는 문제인 영상함수의 aliasing은 발생할 수 없다 하겠다.

5.3 영상개선 모듈

획득된 영상정보는 대개의 경우 잡신호(noise) 및 왜곡(distortion)이 포함되어 있다. 잡신호는 주변화소의 밝기와 현저한 차이를 보이고, 에지검출은 영상함수를 미분하는 과정이므로 이를 줄이지 않으면 커다란 오차가 발생할 수 있다. 보통은 걸르기(filtering)나 평활화(smoothing)작업으로 잡신호를 감소시키나 전체영상 및 인식대상의 특성에 따라 많은 매개변수(parameter)를 조절해주어야 만 만족할 수 있는 결과를 얻는다.

일반적으로 산업현장에 쓰이는 영상정보는 경치해석과는 달리 색채 및 명암정보를 사용하지 않는다. 그리고 전술한 바와 같은 전체영상정보는 배경과 물체의 구분만으로도 그 추출이 가능하다. 따라서 영상정보 처리의 커다란 난제인 계산시간 및 기억장소의 문제를 줄이기 위하여 본 논문에서의 256가지의 밝기단계

지닌 영상정보를 임계치를 기준으로 이진화(binazation)한다. 한편, 이진화된 영상정보는 잡신호가 섞여있으므로 이를 걸러주어야 한다. 보통 이진영상에서의 잡신호는 밝은 점과 어두운 점의 형태로 나타나는데(salt and pepper noise)이 경우 중간값 필터링(median filtering)을 거치면 많은 효과를 거둘 수 있다. [18] 그러나 이 과정은 중간값(median)을 구하는데 많은 시간이 소요된다는 결점이 존재한다. 일반적으로 다단계의 밝기차이(multi-gray level)로 구성된 영상에서는 이를 의사중간값(pseudo median)으로 대처하는 방법으로 계산시간을 줄일 수 있으나[19] 본 시스템에서는 이진화된 영상을 사용하므로 그림 7의 알고리즘을 사용하면 N^2 의 complexity를 갖는 중간값을 찾는 과정이 생략되므로 의사 중간값보다 더욱 간단하게 중간값 필터링의 효과를 거둘 수 있다.

잡신호가 제거된 영상으로부터 물체의 형상정보를 추출하기 위해서는 우선 물체를 배경과 분리하여야 한다. 영상면에 있어서 물체의 외곽은 이웃하는 픽셀과 밝기차이가 현저한 픽셀의 연속되는 집합이라고 정의하면 다음과 같은 기울기값(gradient)의 연산으로 물체의 외곽정보를 나타낼 수 있다.[20]

$$\begin{aligned} \text{gradient magnitude } \nabla(X) &= (\Delta_1^2 + \Delta_2^2)^{1/2} \\ \text{gradient direction } \phi(X) &= \tan^{-1}(\Delta_2/\Delta_1) \end{aligned}$$

where

$$\Delta_1 = f(x+n, y) - f(x, y)$$

$$\Delta_2 = f(x, y+n) - f(x, y)$$

본 논문에서는 위의 Roberts Operator에 국소평균(local average)의 개념을 첨가하여 잡신호의 영향을 감소시켰고, 범용적으로 널리 쓰이고 있는 Sobel Operator[21]를 사용하였다.

6. 실험 및 결과

본 논문에서 제시한 시스템의 검증을 위해서 그림 8에 나타난 바와 같은 부품인식 시스템을

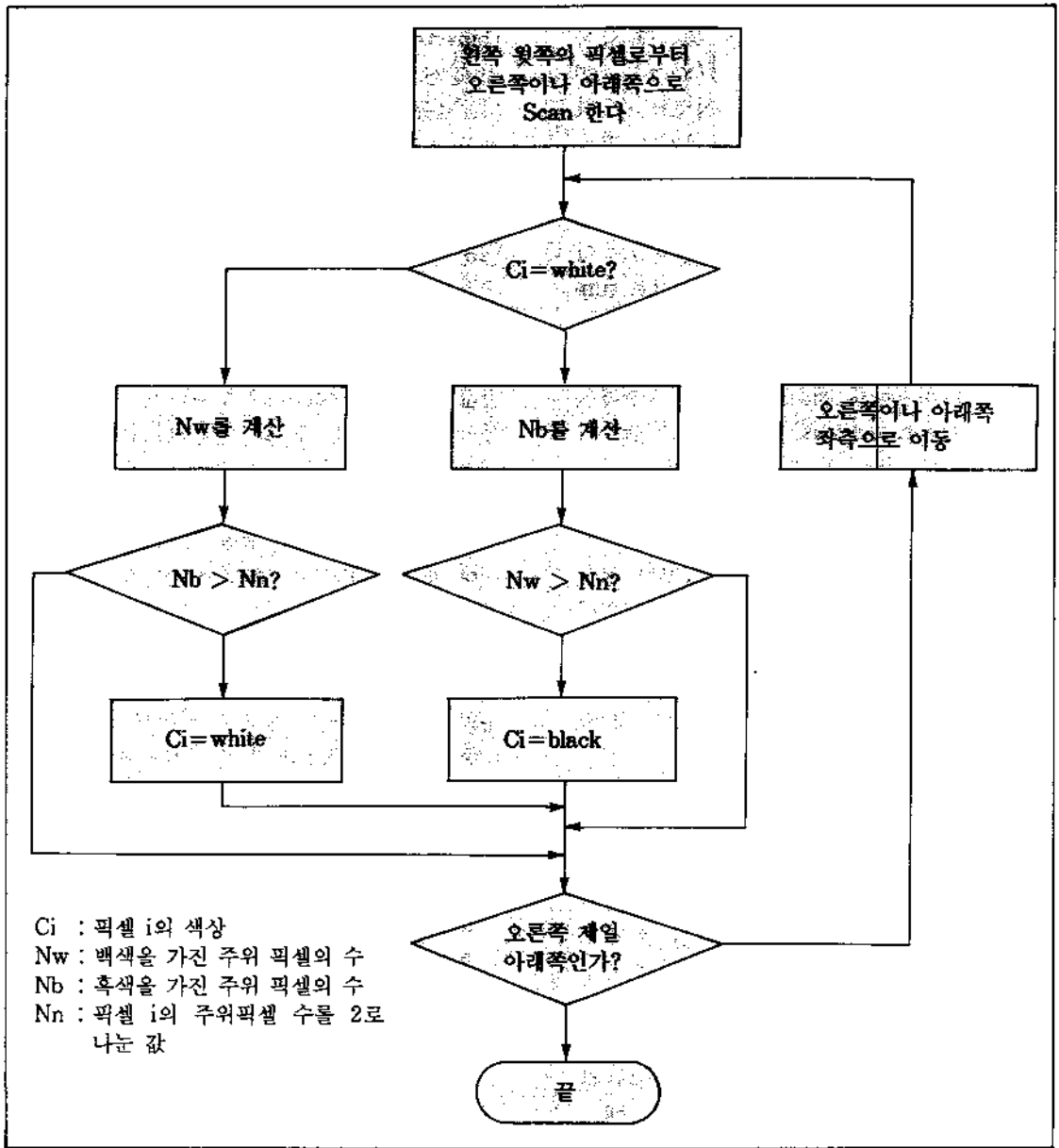


그림 7. 이진메디언 필터

구성하였다. 그림 8의 (가)에 그 하드웨어 구성을 나타내었는데 SUN-Sparc 워크스테이션에 CAD시스템과 부품인식시스템을 탑재하였고 PC 286에서 Frame Grabber 등의 영상부분을 담당토록 하였다. CAD시스템은 AutoCAD R12 AME를 사용하였고 Sun-Sparc Version은 OpenWindow 3.0 환경하에서 가동된다. 부

품인식시스템은 X11R4 Motif환경하에서 실행된다. 물론 CAD시스템과 환경이 다르므로 동일환경으로의 통일성은 떨어질 수 있지만 실제 현장에선 CAD작업은 설계실에서 이루어지고 부품인식시스템은 조립 및 가공라인에서 운용되는 것이 보통이기 때문에 이러한 구성이 보편적이라 생각된다. 그림 8의 (나)에 영상장비

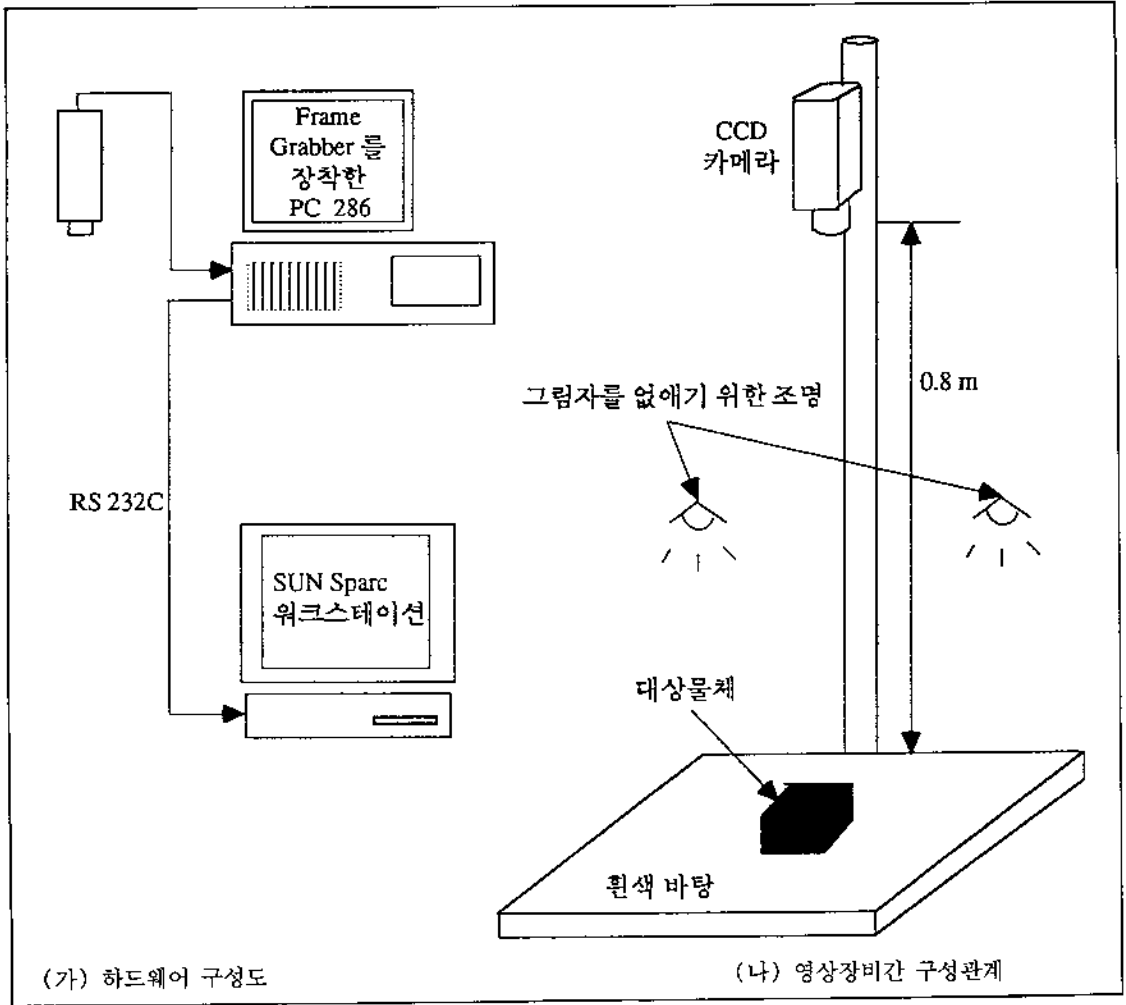


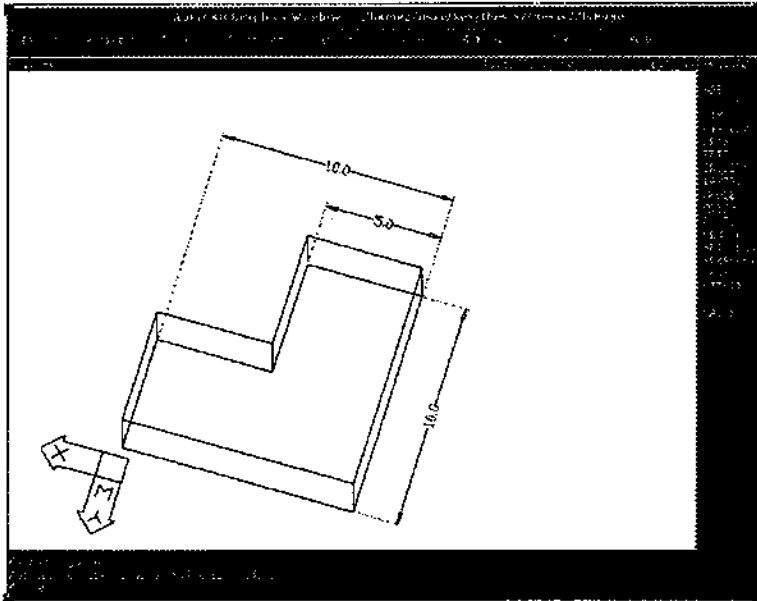
그림 8. 부품인식시스템의 구성도

간의 구성을 좀 더 자세히 나타내었다.

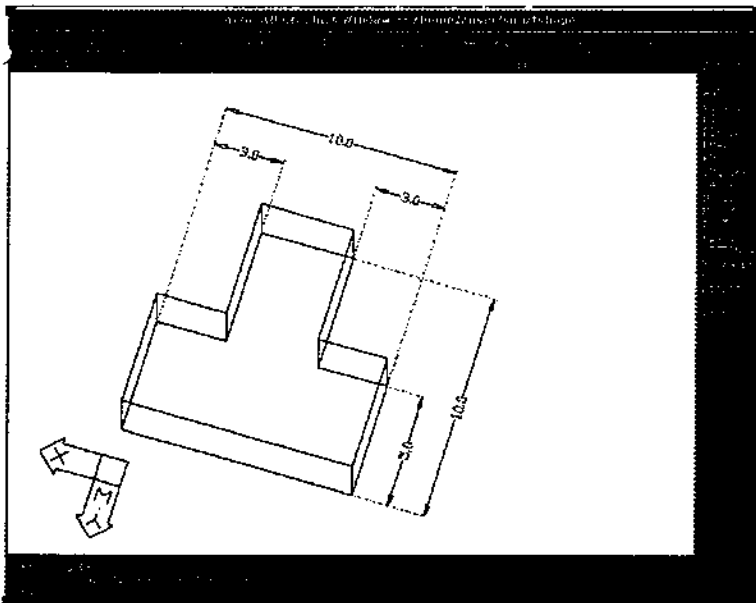
개발된 시스템의 성능을 시험해 보기위해서 그림 9에 나타난 바와 같은 L형과 T형의 물체를 대상으로하여 인식실험을 하였다. 각 물체는 Lambertian 표면효과를 위해서 무광 검정도로로 도포하였다. 또한 카메라보정계수를 측정하기 위하여 본 논문에서는 가로 세로 0.1미터의 크기를 갖는 시편을 이용하였다. 측정방법은 : 1) 측정대상이 되는 영상장비에 시편을 장착한 후 이미지를 획득한다. 2) 화소검색법 (raster scanning)을 이용하여 시편의 이미지 픽셀수를 센다. 3) 시편의 면적을 픽셀수로 나눈 것이 면적의 보정 계수이고 이의 자승근이

길이의 보정 계수가 된다.

물론 위의 방법은 카메라의 CCD 소자의 가로방향과 세로방향의 길이가 서로 같을 때에만 적용이 가능하다. 보정계수를 구하는 것은 카메라의 영상 기하 요소(Image Geometry)와 카메라의 실좌표계(Real World Coordinate) 상의 위치정보를 이용하여 계산이 가능하나 카메라의 사양에 표시되어 있는 영상 기하 요소와 실제 카메라와의 렌즈가공오차를 고려하여 실험을 통한 방법을 택하였다. 이 방법은 대상물체와 카메라의 거리가 변동되지 않는 경우에 활용이 가능하다. 실험결과 10000cm²의 실제면적을 갖는 시편은 18934개의 픽셀로 표시되었



(가) L형 부품



(나) T형 부품

그림 9. 인식대상 부품의 설계화면

으므로 면적의 보정계수는 $10000/18934=0.5281$ 이 되며 길이의 보정계수는 0.5281 의 양의 제곱근인 0.7267 이 된다.

각 부품의 형상정보별 분포값이 그림 10에 나타나 있다. 그림 10에서 보는바와 같이 면적, 단순도, 모우먼트는 겹치는 부분이 많아 확

실한 구분이 어려우나 FD의 경우는 비교적 용이하게 구분이 가능하다. 따라서 이들 부품에는 FD가 특징을 갖는 형상정보로 선택되어진다. X-window 환경상에서 이들 부품들이 인식되어지는 과정이 그림 11에 나타나있다.

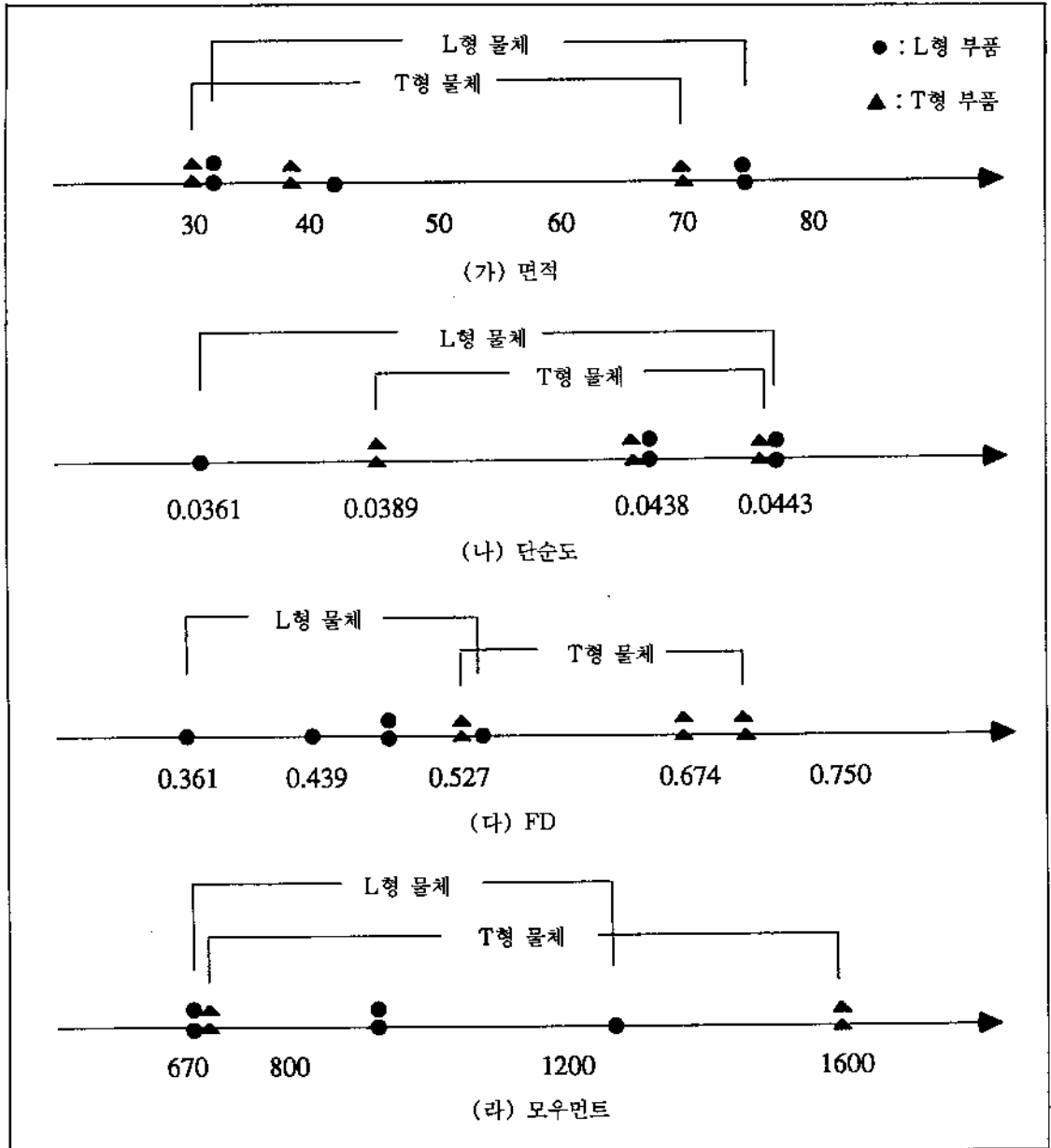
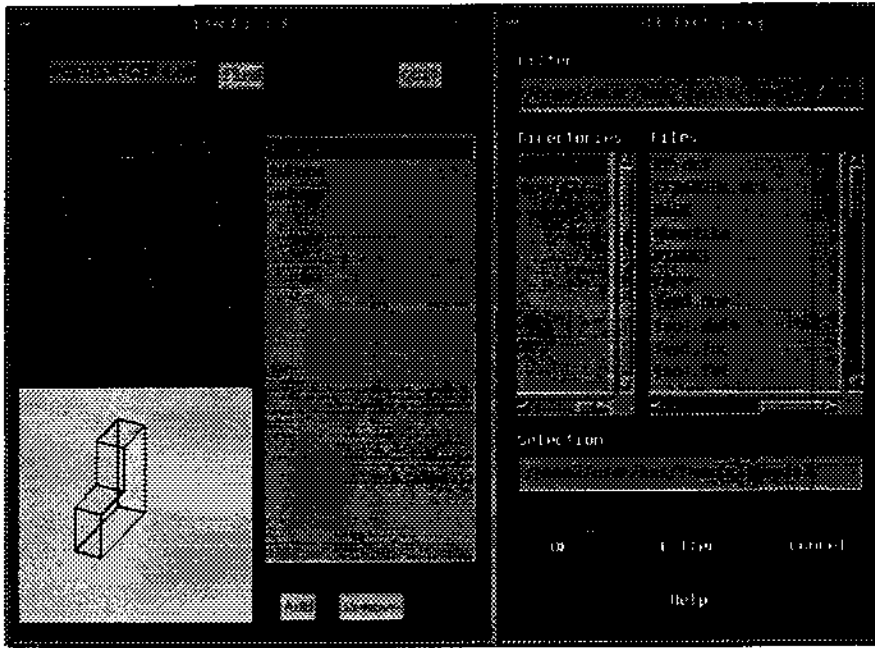
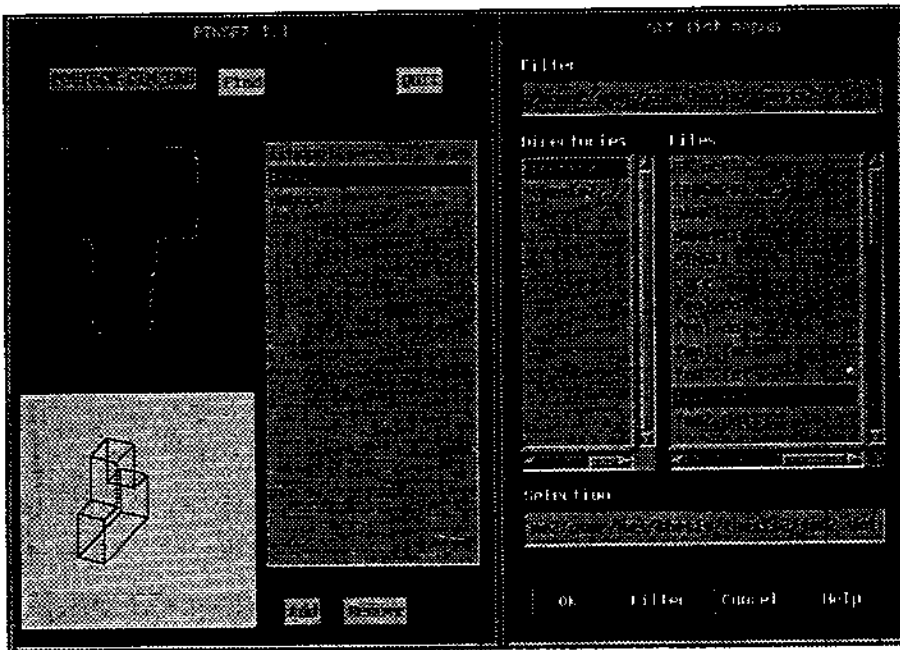


그림 10. 각 부품의 형상정보별 분포



(가) L형 부품



(나) T형 부품

그림 11. 부품인식과정 화면

7. 결 론

본 논문에서는 CAD에서 추출된 도면정보를 바탕으로 하여 부품을 인식하는 지능형시스템을 구현하였다. 3차원 물체를 인식하기 위해서는 복수의 영상정보를 사용하여야 하나 복잡한 물체일지라도 지면에 안정되게 놓일 수 있는 자세는 몇 가지로 제한된다는 점에 착안하면 하나의 영상정보 즉, 단일 영상정보로도 3차원 물체의 인식이 가능하다는 것이 본 논문에서 사용된 주된 아이디어이다. 물론 부품이 곡면 등을 포함하고 있을 때는 해를 구할 수 없다는 시스템의 한계를 지니고 있지만, 3차원 물체의 인식에 필요한 자료구조의 복잡성과 복수의 영상을 조화시킬때 발생하는 상응점문제(correspondence problem)등을 피할 수 있다는 점에서 유용한 인식방법이라 생각된다. 또한, 일반적으로 전문가에 의해 고정된 형태로 운용되던 영상정보 선택과정을 FMS환경에 맞게 자동화 시킴으로써 온라인상에서 영상정보의 크기는 감소시키면서 인식효율은 떨어지지않는 지능형 부품인식 시스템도 제시하였다. 본 논문을 통하여 완성된 시스템은 현장에 바로 적용할 수 있는 수준은 못되고 연구개념의 실현 및 검증을 위하여 개발된 기초적인 인식능력을 보유한 시스템이다. 따라서 실험 대상도 비교적 간단한 L형과 T형 부품을 선정하였다.

실험결과 도출된 문제점을 바탕으로한 추후 연구방향은 다음과 같다.

- 1) 로봇 컨트롤러와 연계하여 자세인식된 물체의 부품처리를 실제 로봇이 할 수 있도록 시스템이 확장되어야 한다.
- 2) 영상정보 선택규칙을 추가하여 좀 더 다양한 경우를 다룰 수 있는 규칙베이스의 확장이 이루어져야 한다.
- 3) CAD로부터 영상정보 추출시에 물체의 꼭지점, 모서리, 면과 무게중심에 관한 정보를 이용하여 로봇의 잡는 자세를 계산하고, 그 자세와 물체의 모멘트 축과의 관계도 영상정보 DB에 기록하여야 한다.

그렇게되면 인식과정을 거치는 동안에 물체의 종류가 인식되고 모멘트 축의 방향 정보가 획득되면 온라인상에서 별도의 계산과정없이 로봇에게 물체를 잡는 자세에 관한 정보를 사전에 계산된 잡는자세와 모멘트 축 간의 관계를 이용하여 전달할 수 있게 된다.

참 고 문 헌

1. Swift, K. G., *Knowledge-Based Design for Manufacture*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., USA, 1987.
2. Chin, R.T. and Dyer, C.R., "Model-Based Recognition in Robot Vision", *Computing Surveys*, Vol. 18, No. 1, pp. 67-108, 1986.
3. Lieberman, L., "Model-driven vision for industrial automation", In *Advances in Digital Image Processing*, pp. 235-246, 1979.
4. Majumdar, J., Levi, P., and Rembold, U., "3-D Model Based Robot Vision by Matching Scene Description with the Object Model from a CAD Modeller", *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 5, No. 1, pp. 69-83. 1989.
5. Preparata, F.P. and Shamos, M.I., *Computational Geometry An Introduction*, Springer-Verlag New York Inc., New York, USA, 1985.
6. Chand, D.R. and Kapur, S.S., "An algorithm for convex polytopes", *Journal of the Association for Computing Machinery*, Vol. 17, No. 1, pp. 78-86, 1970.
7. Persoon, E. and Fu, K. S., "Shape Discrimination using Fourier Descriptors", *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. SMC-7, No.3, pp. 170-179, 1977.

8. Zhan, C.T. and Roskies, R.S., "Fourier Descriptors for plane closed curves", *IEEE Transactions on Computers*, Vol. c-21, No. 3, pp. 269-281, 1972.
9. Leu, Jia-Guu, "Computing A Shape's Moments from its Boundary", *Pattern Recognition*, Vol. 24, No. 10, pp. 949-957, 1991.
10. Zakaria, M.F., Vroomen, L.J., Zsombor-Murray, P.J.A. and van Kessel, J.M.H. M, "Fast Algorithm for the Computation of Moment Invariants", *Pattern Recognition*, Vol. 20, No. 6, pp. 639-643, 1987.
11. Bamieh, B. and De Figueiredo, R.J.P., "A General Moment-Invariants/Attributed-Graph Method for Three-Dimensional Object Recognition from a Single Image", *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. RA-2, No. 1, pp. 31-42, 1986.
12. Jiang, X. Y. and Bunke, H., "Simple and Fast Computation of Moments", *Pattern Recognition*, Vol. 24, No. 8, pp. 801-806, 1991.
13. Devijver, P.A. and Kittler, J., *Pattern Recognition: A Statistical Approach*, Prentice Hall International Inc., London, 1982.
14. Fukunaga, K., *Introduction to Statistical Pattern Recognition*, Academic Press Inc., San Diego, 1972.
15. 신영수, 김현석, 3차원 그래픽: C언어로 배우는 이론과 알고리즘; 가남사, 1991.
16. Autodesk, Inc., *Advanced Modelling Extension Reference Manual*, Publication # AC11AME-1, 1991.
17. Autodesk, Inc., *AutoCAD Development System Programmer's Reference*, Publication 1001-9201, 1992.
18. Ballard, D. H. and Brown, C. M., *Computer Vision*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1982.
19. Pratt, W.K., *Digital Image Processing*, 2nd Edition, John Wiley & Sons Inc., New York, 1991.
20. Roberts, L.G., "Machine perception of the three-dimensional solids", In *Optical and Electro-optical Information Processing*, Tippett, J.P. et al. (Eds.), MIT Press, Cambridge, M.A., 1965.
21. Prewitt, J.M.S., "Object Enhancement and Extraction" In *Picture Processing and Psychopictorics*, Lipkin, B.S. and Rosenfeld, A. (Eds.), Academic Press, New York, USA, 1970.