

# 부품 기반의 superquadric 모델을 이용한 거리 영상으로부터 3차원 물체 표현

이 선 호<sup>†</sup> · 김 태 은<sup>††</sup> · 최 종 수<sup>†††</sup>

## 요 약

3차원 물체표현은 컴퓨터 비전 분야에서 중요한 역할을 차지하고 있다. 본 논문에서는 체적 표현법의 일종인 부품기반의 superquadric 모델을 통하여 3차원 기계 부품 물체를 표현하는 기법을 제안하였다. 이러한 부품기반의 superquadric 모델은 크기, 이동, 회전, 그리고 변형 등의 유한개의 계수들만을 가지고 다양한 3차원 체적소의 형상 표현이 가능하다는 장점이 있다. 따라서, superquadric형상복구 과정을 통해서 이들 superquadric 계수들을 추출함으로써 3차원 단일 체적소 표현이 가능하다. 이때, 형상복구 과정의 입력은 3차원 거리 데이터로, 형상복구 과정은 3차원 물체를 이루는 각 체적소에 속하는 거리 데이터들을 입력으로하는 적합도 측정함수의 최소 자승법(LSM)에 의해 이루어진다. 이후에 3차원 물체 각 체적소에 해당하는 superquadric 계수들을 얻는다. 결과적으로 3차원 전체 물체에 해당하는 superquadric 모델은 이들 각 체적소에 해당하는 계수들의 집합으로 표현된다. 컴퓨터에서 합성한 합성영상과 실제 거리영상에 대한 실험을 통해 제안한 방법의 유용성을 입증하였다.

## 3-D Object Representation Using Part-based Superquadric Model from Range Image

Sun-Ho Lee<sup>†</sup> · Tae-Eun Kim<sup>††</sup> · Jong-Soo Choi<sup>†††</sup>

### ABSTRACT

3-D object representation played an important role in the field of computer vision. In this paper, we propose part-based superquadric model as a coarse description of volumetric part of 3-D assembly part object. We used parameterized part-based superquadric model as a volumetric parameter model. This has the advantage that it has the capability to describe a wide variety of volumetric primitive shapes with a finite number of parameters including translation, rotation, and global deformation. Therefore, the representation for 3-D volumetric part object is possible through the superquadric shape recovery to extract superquadric parameters. The input for the shape recovery is three-dimensional range data points. Shape recovery is performed by a least-squares minimization (LSM) of the objective function for all range data points belonging to a single part of the object. After then we obtain the set of superquadric parameters representing each single part of a 3-D object. As a result, the overall superquadric model representation for a 3-D object is composed with these sets of each part's superquadric parameters. This approach is studied in experiments with synthetic and real 3-D data to prove robustness and usefulness in 3-D shape representation for assembly part object recognition.

**키워드 :** 3차원물체표현(3-D object representation), Superquadric part 모델(Superquadric part model), 최적소(volumetric primitive), 형상복구(shape recovery)

### 1. 서 론

컴퓨터 비전 분야에 있어서 3차원 물체인식은 2차원 영상의 이해와는 달리, 보는 시각에 따라 물체의 형상이 다양하게 변화하므로, 그만큼 많은 문제점을 내포하고 있다. 따라서 3차원 물체의 인식을 위해서는 물체의 3차원 형상에 대한 보다 완벽한 형상기술과 그에 따르는 정교한 인식 기법이 필요하다. 인간의 시각시스템은 3차원 체적의 물체를

대개 단순한 육면체, 구, 원추, 원통 등의 기하학적 기본 체적 요소들로 쪼개어 보는 성질이 있다. 이러한 기본 가정을 RBC(recognition-by-components)라 한다[2].

3차원 물체 표현은 다음 두 가지 방향으로 연구되어 왔다. 첫째로, 단일 좌표 물체 표현(exact representation)방식은 면의 경계(surface boundary) 혹은 체적소(volumetric primitives)들, 그리고 이들 사이의 연관관계를 이용하여 물체의 고유한 기하학적 형상을 물체 중심좌표계에 표현해주는 방식이다.

이는 2가지 다른 방식인 면 경계표현(surface boundary representation)과 체적표현(volumetric representation)으로

<sup>†</sup> 준 회 원 : 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과

<sup>††</sup> 정 회 원 : 남서울대학교 공학부 멀티미디어학과

<sup>†††</sup> 정 회 원 : 중앙대학교 첨단영상대학원 원장

논문접수 : 2000년 4월 4일, 심사완료 : 2001년 3월 8일

세분될 수 있다. Shneur[15]는 물체의 3차원 정보를 이용하여 표면들에 대한 3차원 면 모델을 구성하였다. 또한, Bolls [3]와 Faugeras와 Herbert[7], 그리고 Chen과 Kak[6] 등도 물체의 표면, 선 점들의 형상정보와 그들 상호간의 연관관계 정보를 이용하여 모델을 기술하였다. 한편, Requicha와 Volecker[14]는 하나의 물체를 조그만 3차원 체적요소(3-D volumetric primitives : 예를 들면 육면체, 원통, 원뿔, 구 등)들의 집합과 이 요소들을 관계 지우는 논리연산(boolean operation : 예를 들면 합, 차, 공통 등)의 집합으로 표현하는 CSG(Constructive Solid Geometry) 표현방법을 제안하였다. 체적표현의 다른 예로, Brooks[4]의 ACRONYM시스템의 일반화 원통(GC : generalized cylinder) 표현법을 들 수 있다. 일반화 원통표현법은 3차원 물체를 주축(spine)의 3차원적 변화와 절단면(cross section)의 변화 규칙(sweeping rule)으로 표현해주는 것이다.

둘째로, 다중 관찰 방향 물체표현(multi-view feature representation)은 3차원 공간 상의 각 시점방향에서 관찰된 물체의 2차원 또는 2.5차원 형상을 면 방향 그래프(aspect graph)의 형태로 표현해 주는 방식이다. 대표적으로 물체의 형상이 형태학적으로 구분되는 관찰방향에서의 영상들을 이용하여 물체를 기술하는 특징관찰 방향(characteristic view)방법과 물체 주위의 모든 가능한 관찰 방향에서의 영상들을 고정간격으로 샘플링하여 저장하는 전 관찰 방향(discrete view-sphere) 표현 방법이 대표적이다. Koenderink와 VanDoom[10]은 물체의 관찰 방향에 대한 연구를 행하였다. Chakravarty와 Freeman[5]은 특징관찰 방향을 이용하여 모델을 구성하는 예를 보여주고 있다. Ikeuchi[9]는 Bin-picking문제를 해결하기 위하여, 한 물체를 60개의 관찰방향에서 본 영상들을 그래프로 묶어서 모델을 구성 하였다.

Superquarics는 원래 컴퓨터 그래픽스 분야[1]에서 3차원 형상을 기술하는 방법으로 널리 사용되어 오다가, 1986년 Pentland[12]에 의해서 처음으로 컴퓨터비전 분야에 응용되기 시작했다. 기존의 3차원 형상을 기술하는 많은 방법들이 면 방향이나 면 곡률 등의 국소적인 특징들을 추출하는 반면, superquadric은 직관적으로 물체를 인지하려는 인간의 인지체계와 유사한 특성 때문에 많은 주목을 끌고 있다. 또한 superquadric은 크기(size), 위치(position), 자세(orientation), 변형(deformation) 등 몇 개의 계수들만으로 실 세계에 존재하는 다양하고 복잡한 형태의 물체들을 효과적으로 기술하는데 유용하다. 비록 일반화 원통(GC)기법이 더 많은 물체를 모델링할 수 있다고 하지만, 보다 많은 계수들과 계산량과 구속조건을 요구한다. 따라서 실제 입력 거리영상으로부터 계수들을 추출하는데 어려움이 있다. Bajcsy와 Solina [16]는 거리 영상으로부터 비선형 최적화 방법의 일종인 Levenberg-Marquadt를 반복적으로 적용하여서 에리함수가 최소가 될 때의 계수값들을 추출함으로써 형상복구 하는

방법을 제안하였다. 그들은 실험 대상물체로 하나의 단일 물체에 대한 superquadric 모델의 적용을 전제로 하였다. 이와 같이 대상으로 하고 있는 물체는 주로 단일 체적소들과 superquadric 변형인 늘임(tapering), 꼬임(twisting), 구부림(bending) 가해진 경우가 대부분이다. 이러한 superquadric 모델이 가지는 단점 중 하나가 바로 대상 물체가 대칭인 물체로 국한되어, 다양한 물체표현에 제약을 지니고 있다는 점이다. Hyperquadric 모델 표현법[11]은 superquadric 모델의 일반화된 표현방법으로 임의 개수의 선형인자를 사용하여 비대칭인 물체까지도 다양하게 표현할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나, 최적화 과정에 사용되는 복잡한 제약조건과 국부적인 변형을 표현하는데 사용되는 선형인자의 개수가 superquadric 모델처럼 유한개로 정해져 있지 않기 때문에 오히려 기계부품같은 정형적인 물체 인식을 위한 표현방법으로 적합치 않다. Gupta와 Bajcsy[8]는 fine-to-coarse의 면분할 기법과 coarse-to-fine의 체적분할 기법을 제안하였다. 면분할과정은 bi-quadrics의 면정합과정을 통해 최종적으로 평면과 2차 곡면으로 분할하였다. 분할된 면과 함께 반복적인 z-residual 클러스터링 방식을 사용하여 3차원 거리영상으로부터 최종적인 부품 모델로 분할하였다. 그러나 3차원 물체 인식을 고려한 분할된 면들간의 관계나, 분할된 부품 모델들간의 관계 속성들에 대한 기술이 이루어지지 않았다. Wu와 Levine[17]은 기존의 geon과 다르게 3차원 거리데이터를 입력으로 받아서 tapering이나 bending과 같은 변형이 일어난 물체까지도 7개의 parametric geon으로 형상복구할 수 있었다. 그러나 대상 물체의 복잡도에 민감하고 변형계수들을 포함하고 있어서 물체 인식에 직접 적용하는 데 문제가 있다.

본 논문에서는 기계 부품들이 주로 단일 부품들의 조합으로 이루어진 점에 착안하여, 이러한 단순한 3차원 형상을 가진 체적모델을 표현할 수 있는 기하학적 계수표현기법의 일종인 superquadric 모델을 사용한다. 제안된 방법은 먼저 입력 거리 영상으로부터 전처리 과정과 면 분할 과정을 통해 얻어진 면 정보들을 이용하여 각각의 체적소에 해당하는 부품들에 대한 superquadric 모델 형상복구 과정을 거쳐서 부품 기반한 superquadric 모델을 구축하고, 이들 부품들 간의 연관 관계를 기술하여 최종적으로 이들 부품들로 구성된 3차원 기계부품을 기술하고, 형상 모델링하는 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 서론에 이어, 제2장에서는 superquadric의 수학적 정의 및 성질을 이용한 3차원 물체표현법을 소개하고, 제3장에서는 superquadric part모델의 계수들을 추출하는 형상복구 과정을 보이고, 제4장에서는 3차원 물체표현을 위해 부품기반의 superquadric 모델(PBSM : part-based superquadric model)을 적용하는 방법을 제시한 다음, 제5장과 제6에서 각각 실험과 함께 결론을 맺는다.

## 2. 기하학적 계수모델로서의 superquadrics

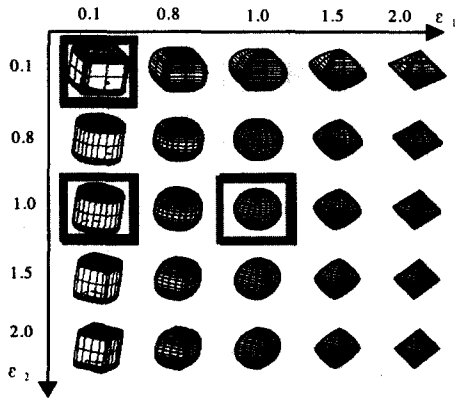
### 2.1 Superquadric의 정의 및 성질

컴퓨터 비전 분야에서 superquadric은 3차원 물체를 유한 개의 계수를 가지고 표현하는 기하학적 계수모델 표현법 중의 하나로써, 특히 거리 영상으로부터 부품기반의 3차원 물체 표현 및 인식에 유용하게 사용될 수 있는 장점을 지니고 있다[16,18]. 3차원 공간상에서 superquadric의 표면은 다음 식 (1)과 같은 3차원 벡터 형태로 주어진다.

$$x(\eta, \omega) = \begin{bmatrix} x(\eta, \omega) \\ y(\eta, \omega) \\ z(\eta, \omega) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 \cos^{\epsilon_1} \eta \cos^{\epsilon_2} \omega \\ a_2 \cos^{\epsilon_1} \eta \sin^{\epsilon_2} \omega \\ a_3 \sin^{\epsilon_1} \eta \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\left(-\frac{\pi}{2} \leq \eta \leq \frac{\pi}{2}, -\pi \leq \omega \leq \pi\right)$$

위 식에서  $\eta$ 는 구 좌표계 상에서 위도(latitude)와 같은 north-south 계수이고,  $\epsilon_1$ 은 이 방향으로의 형태인자(square-ness parameter)이다. 마찬가지로  $\omega$ 는 경도(longitude)와 같은 east-west 계수이고,  $\epsilon_2$ 는 이 방향으로의 형태 변형인자이다.  $a_1, a_2, a_3$ 는 각각 x, y, z축 방향으로의 크기인자다. Superquadric은 이와 같이 형태 변형인자인  $\epsilon_1, \epsilon_2$ 의 값에 따라, 아래 (그림 1)과 같은 다양한 형상을 만들어 낸다.



(그림 1)  $a_1 = a_2 = a_3 = 30.0$ 이고 형태인자  $\epsilon_1, \epsilon_2$ 의 값이 각각 0.1, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0인 경우의 superquadric 형상변화

그러나 두 형태 변형인자 값의 미세한 차이로 인해 연속적으로 변화하는 선형적인 형상변화로는 모델베이스 기반한 3차원 물체인식에 어려움이 있으며, 따라서 본 논문에서는 인식단계에 일관성을 가지도록 연속적인 형상변화를 (그림 1)에서 박스로 표시한 것 같이 대표적인 형상변화를 가지는 것으로 제한한다. 즉 대상물체인 기계부품에 확률적으로 가장 입력가능성이 큰 체적소를 구( $\epsilon_1 = 1.0, \epsilon_2 = 1.0$ ), 육면체( $\epsilon_1 = 0.1, \epsilon_2 = 0.1$ ), 원통형( $\epsilon_1 = 0.1, \epsilon_2 = 1.0$ ) 등의 3가지 대표형상(RSP: Representative Shape Primitives)으로 가정하고, 이를 이용하여 대상물체인 3차원 기계 부품을 모델링한다. 이때 모델링에 필요한 계수는 모두 11개로 각각

x, y, z 방향으로의 크기 인자  $a_1, a_2, a_3$  방향(orientation)을 나타내는 Euler angle( $\phi, \theta, \psi$ ), 중심이동(translation)을 나타내는  $P_x, P_y, P_z$ , 그리고 형상변화를 나타내는  $\epsilon_1, \epsilon_2$ 가 있다.

### 2.2 Superquadric의 inside-outside 함수

방정식 (1)을 삼각함수의 정의  $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$ 에 의해 변환하면, 식 (2)와 같은 새로운 방정식(implicit equation)을 얻게 된다.

$$\left(\left(\frac{x}{a_1}\right)^{2/\epsilon_2} + \left(\frac{y}{a_2}\right)^{2/\epsilon_2}\right)^{\epsilon_2/\epsilon_1} + \left(\frac{z}{a_3}\right)^{2/\epsilon_1} = 1 \quad (2)$$

이것을 기본으로 얻은 식 (3)을 superquadric의 inside-outside 함수라 부른다. 이는 3차원 공간상에서 임의의 점  $[x, y, z]^T$ 가 주어지면, 이 식에 의해 superquadrics 면에 따른 상대적인 위치를 판별할 수 있기 때문이다.

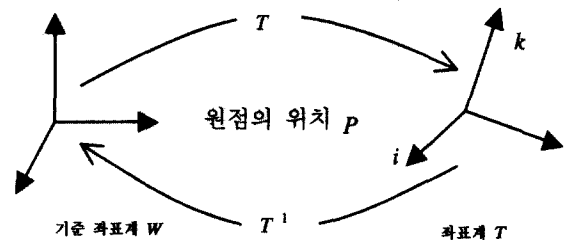
$$F(x, y, z) = \left(\left(\frac{x}{a_1}\right)^{2/\epsilon_2} + \left(\frac{y}{a_2}\right)^{2/\epsilon_2}\right)^{\epsilon_2/\epsilon_1} + \left(\frac{z}{a_3}\right)^{2/\epsilon_1} \quad (3)$$

즉,  $F(x, y, z) = 1$  이라면 점(x,y,z)는 superquadrics 표면 바로 위에 있는 점이고,  $F(x, y, z) > 1$ 과  $F(x, y, z) < 1$ 인 경우의 점(x,y,z)는 각각 면 외부와 내부의 점에 해당한다.

## 3. Superquadric 모델의 형상 복구

### 3.1 일반좌표계상에서의 superquadric 표현

식 (3)인 superquadric의 inside-outside 함수는 물체 중심 좌표계(object-centered coordinate system)에서 superquadric 모델을 표현한 것이지만, 입력으로 들어오는 거리영상의 경우는 세계 좌표계(world coordinate system)상에서 표현된 것이므로, 이들 두 좌표계간에는 (그림 2)과 같은 동차 좌표 변환이 일어나야 한다.



(그림 2) 4x4행렬에 의한 좌표계간의 동차변환 표현

3차원 공간에 대한 좌표계의 위치와 자세는 (그림 2)에서 처럼 4개의 벡터에 의해 정의된다. 임의의 점 (x,y,z)가 물체중심좌표계상에서 표현된 superquadric 표면의 점이라고 하고, 동차 좌표변환 후의 좌표를  $(x_w, y_w, z_w)$ 라 하면

$$\begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_x & j_x & k_x & d_x \\ i_y & j_y & k_y & d_y \\ i_z & j_z & k_z & d_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \text{가 된다.}$$

동차 좌표변환행렬 T를 Euler angle ( $\phi, \theta, \psi$ )을 사용해서 나타내면 식 (4)과 같다.

$$T = \begin{bmatrix} \cos \phi \cos \theta \cos \psi - \sin \phi \sin \psi & -\cos \phi \cos \theta \sin \psi - \sin \phi \cos \psi & \cos \phi \sin \theta & P_x \\ \sin \phi \cos \theta \cos \psi - \cos \phi \sin \psi & -\sin \phi \cos \theta \sin \psi + \cos \phi \cos \psi & \sin \theta & P_y \\ -\sin \theta \cos \psi & \sin \theta \sin \psi & \cos \theta & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

변환행렬 T를 역변환하면 (x,y,z)를 Euler angle, 변이벡터( $p_x, p_y, p_z$ ), 그리고 세계좌표의 식으로 나타낼 수 있다. 이것을 식 (3)에 다시 대입하면 일반적인 위치에서의 superquadric inside-outside 방정식인 식 (5)을 얻게 된다.

$$F(x_w, y_w, z_w) = F(x_w, y_w, z_w; a_1, a_2, a_3, \epsilon_1, \epsilon_2, \phi, \theta, \psi, p_x, p_y, p_z) \quad (5)$$

즉, 11개의 계수들로서 superquadric 모델을 표현할 수 있다. 만약 3차원 거리 데이터와 식 (5)의 일반화된 superquadric의 inside-outside함수가 주어지면, Gauss-Newton 이나 Levenberg-Marquadt 방법 같은 비선형적인 LSM(least squares minimization)을 사용해서 계수들을 추출해낼 수 있다.

3.2 적합도 측정함수(objective function)

superquadric 모델로 표현할 N개의 3차원 표면점( $x_{wi}, y_{wi}, z_{wi}$ ),  $i = 1 \dots, N$ 이 주어지면, 이때 식 (5)의 11개 계수  $a_j, j = 1 \dots, 11$ 들을 변화 시키면서 3차원 점들이 superquadric 모델의 표면점들과 되도록 가까이 놓이도록 한다. 즉, superquadric 함수  $F(x_w, y_w, z_w; a_1, \dots, a_{11}) = 1$  면상의 한 점  $[x_w, y_w, z_w]^T$ 에 대해서 다음 식 (6)을 만족해야 한다.

$$\min \sum_{i=1}^N [1 - F(x_{wi}, y_{wi}, z_{wi}; a_1, \dots, a_{11})]^2 \quad (6)$$

3차원 공간상에서 물체가 가지는 자기 가려짐(self occlusion)때문에 물체의 모든 면들이 동시에 보여질 수 없다. 따라서 최대한 많은 정보를 제공하도록 하는 시점을 고려하지 않을 수 없다. 식 (7)과 같은 적합도 측정함수를 도입하여 식 (8)과 같이 LSM을 적용한다.

$$R = \sqrt{a_1 a_2 a_3 (F - 1)} \quad (7)$$

$$\min \sum_{i=1}^N [R(x_{wi}, y_{wi}, z_{wi}; a_1, \dots, a_{11})]^2 \quad (8)$$

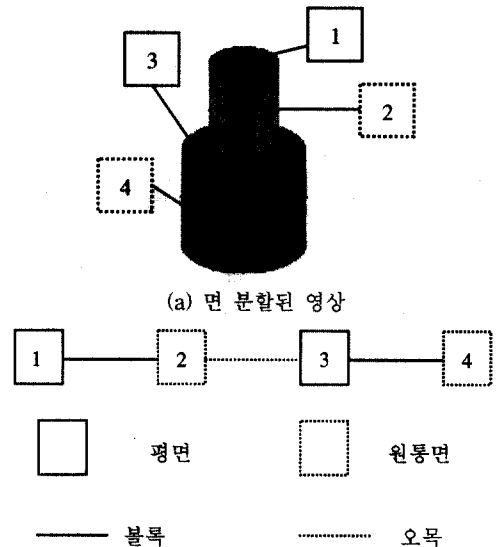
R이 11개 계수들의 비선형 함수이므로 비선형적인 반복법을 사용하여, 식 (5)의 값이 더 이상 감소하지 않을 때까지 최소화 과정이 이루어진다. 여기서는 대표적인 비선형

최적화 방법의 하나인 Levenberg-Marquadt 방법을 사용하였다[4]. 여기에 크기인자  $a_1, a_2, a_3 > 0$  그리고 변형인자  $0.1 < \{\epsilon_1, \epsilon_2\} < 1.0$ 이라는 구속 조건을 부여함으로써 발생할 수 있는 superquadric 형상인자의 애매모호성을 미연에 방지할 수 있다.

4. 입력 거리 영상으로부터의 부품 기반한 superquadric 모델구축

4.1 입력 거리 영상에 대한 3차원 물체의 면 분할

입력으로 들어오는 3차원 물체의 경우 일단 3차원 불변 특징의 하나인 가우시안(Gaussian) 곡률과 평균(mean)곡률 [19]을 이용하여 그 부호에 따라 평면, 구면, 원통면의 세 가지로 크게 면 분할한 다음 물체를 이루는 각 면들간의 관계를 면 형상 그래프(SAG: surface adjacency graph)로 정의한다. 이때 각 물체의 분할된 각 면들이 노드가 되고 각 이웃하는 면들간의 접합관계를 링크로 구성한다. (그림 3)에서 이와 같은 관계를 설명하고 있다.

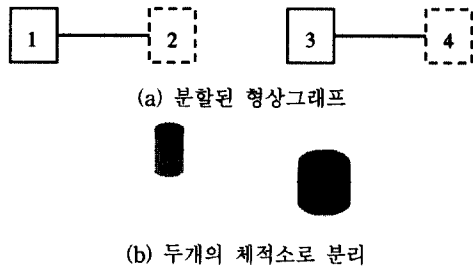


(그림 3) 면 분할과정과 면 형상 그래프

4.2 입력 거리영상에서 3차원 물체의 체적 분할

이렇게 면 조각들로 분할된 3차원 물체는 몇 가지 구속조건을 만족하는 3차원 체적소들 즉 구, 원통, 육면체 등으로 병합된다. 구 같은 경우는 구면으로 이루어지고 원통면은 2개의 평면과 1개의 원통면으로 이루어졌지만 실제로 보이는 면의 경우는 2가지 경우가 존재한다. 첫째로 평면하나와 원통면의 경우가 그것이고 둘째로 다른 면에 의해 가려져서 원통면만 보이는 경우가 있다. 블록의 경우 6개의 평면으로 이루어져 있으나 실제로 보이는 면은 최대로 3개 그리고 다른 면에 의해 가려진 경우 2개가 된다. 이러한 구속

조건을 가지고 이미 면 조각들로 분할된 3차원 물체를 이들 체적소들로 나타낼 수 있다. 이들 체적소들은 superquadric 모델로 형상복구 과정을 거쳐 전체적인 3차원 물체를 이루게 된다. (그림 4)에서는 위에서 분할된 면 조각들을 병합하여 다시 2개의 원통으로 분리해내는 과정을 보이고 있다. 그림에서 서로 이웃하고 면이 오목한(concave) 경우 이 면 경계를 분리한다.

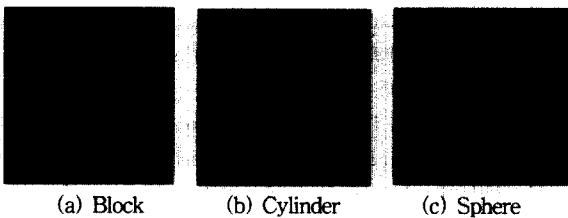


(그림 4) 면 형상그래프의 분할과 체적소 분할

이렇게 해서 3차원 기계 부품 물체는 유한개의 체적소로 나누어 분할된다. 따라서 이들 체적소들을 각각 부품기반의 superquadric 모델로 표현하여 전체적인 3차원 물체를 유한개의 부품기반 superquadric 모델로 표현 할 수 있다.

5. 실험 및 고찰

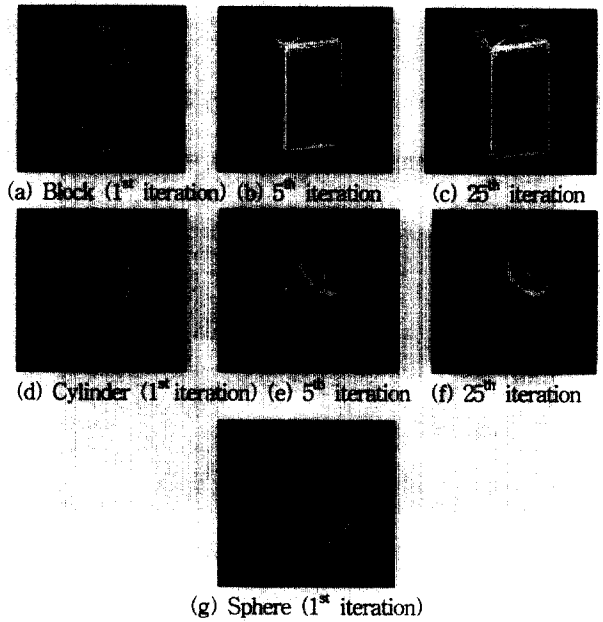
본 실험에서는 입력영상으로 컴퓨터상에서 합성한 해상도 200×200×256인 합성거리영상을 사용하였다. 모델로 사용된 물체는 주로 평면과 원통면 그리고 구면으로 이루어진 단순한 형상을 가지도록 만들었다.



(그림 5) 실험에 사용된 단일 체적소의 합성거리영상

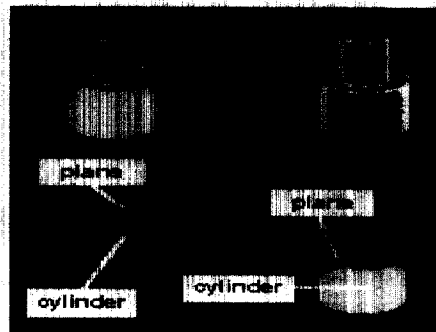
(그림 5)에서 (a) Block의 경우 가로×세로×높이가 40×40×80이고, (b) Cylinder의 경우 지름×높이가 30×70 그리고 (c) Sphere의 경우 반지름이 30으로 각각 x,y,z,방향으로 얼마만큼의 회전을 시킨 결과이다. 이 입력영상으로부터 최종 superquadric 모델을 복구하기 위한 초기치 설정과정을 거쳐 비선형 반복 최적화 기법인 Levenberg-Marquadt를 적용하여 최대 50회까지 허용해서 얻은 결과를 (그림 6)에 보이고 있다. 각각 최적화 반복횟수 1번째와 5번째 그리고 25번째의 복구 결과를 보이고 있다.

3차원 기계 부품물체의 경우 위의 단일 물체들의 조합으로 이루어지므로 먼저 3차원 물체를 가우시안 곡률과 평균



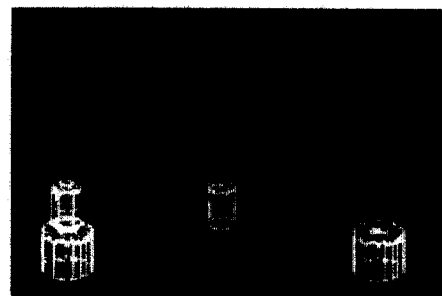
(그림 6) 단일 체적소에 대한 superquadric 모델 형상 복구 결과

곡률을 기준으로 각각 평면, 원통면, 그리고 구면의 면 조각단위로 나누어 분할한다[19]. (그림 7)에서는 두개의 원통으로 이루어진 3차원 물체의 경우 이들을 면 분할한 결과와 각각 해당하는 체적소로 나뉘어진 결과를 보이고 있다.



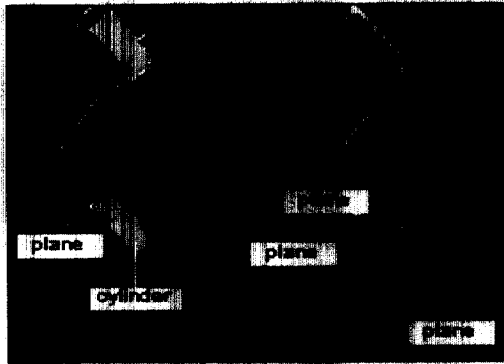
(그림 7) 면 분할된 영상과 분할된 체적소

다음 (그림 8)에서는 이들 체적 분할된 각각의 체적소에 대해 부품기반 superquadric 모델로 형상 복구한 결과를 보이고 있다.



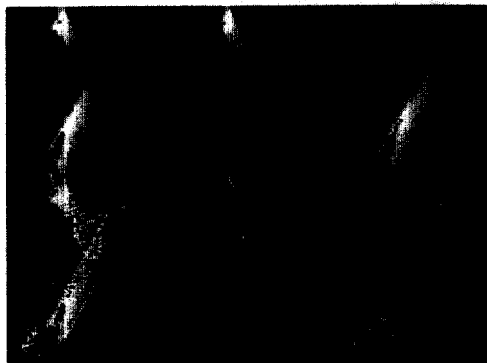
(그림 8) 부품기반superquadric part 모델로 형상 복구된 물체

(그림 9)은 해상도  $240 \times 240 \times 256$ 으로 MSU의 Technical Arts 100X Range Scanner에서 취득된 실제 거리영상에 대한 면 분할과 체적으로 분할된 실험결과를 보이고 있다.



(그림 9) 실제 거리영상의 면분할과 체적으로 분할된 결과

(그림 10)에서는 이 실제 입력 거리영상을 부품기반 superquadric 모델로 형상 복구한 결과와 전체 물체를 표현한 결과를 보이고 있다.



(그림 10) superquadric 모델로 형상 복구된 결과

## 6. 결 론

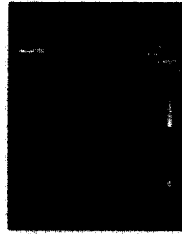
본 논문에서는 체적소를 나타내는 기하학적 계수표현법의 하나인 superquadric 모델을 사용하여 3차원 물체를 표현하고 그 계수들을 추출하여 형상을 복구 하였다. 이를 위해 단일 요소로 이루어진 물체에 속하는 거리 데이터들에 대해 적합도 함수의 최소화방법에 기반한 방법을 사용하였다. 복잡한 형상의 3차원 물체를 표현하기 위해서는 먼저 그 물체를 superquadric part 모델로 표현할 수 있도록, 면 분할 과정을 통한 면 형상 그래프 정보를 이용하여 단일 체적소들의 집합으로 분리 해내는 작업이 필요하다. 그리고 이들 각각의 체적소들을 superquadric 모델로 복구해냄으로써 전체 3차원 기계 부품 물체에 대한 전체적인 체적정보와 지역적인 면정보를 함께 이용하여 부품기반의 superquadric 모델로 표현할 수 있게 된다. 단지 3차원 물체를 단순한 체

적소들로 분리해내기 어려울 경우에 대한 고려와 좀더 다양한 형상의 3차원 물체를 표현하기 위한 다양한 체적소에 대한 고찰이 필요하다. 제한한 superquadric을 이용한 3차원 기계 부품 물체 표현기법은 3차원 단일물체에 대한 대략적인 기술을 통해서 장애물 회피(object avoidance), 물체의 파악(grasping), 형상분류(shape classification)나 인식(recognition)에까지도 그 가능성을 보인다. 그리고 superquadric 모델을 복구해내는 과정에서 발생하는, 시점에 민감한 성질을 보완하여 계수추출에 신뢰성이 부여되도록 하는 연구가 병행되어야 할 것이다. 또한 superquadric 모델을 이용한 3차원 물체인식은 이들 단일 체적소들간의 접합관계를 기술해줌으로써 가능하다.

## 참 고 문 헌

- [1] A. H. Barr, "Superquadrics and angle-preserving transformations," *IEEE Comput. Graphics Applicat.*, Vol.1, pp.11-23, 1981.
- [2] I. Biederman, "Human image understanding : recent research and theory," *Comput. Vision, Graphics, Image Processing*, Vol.32, pp.29-73, 1985.
- [3] R. C. Bolles, "3DPO : A three-dimensional part orientation system," *Int. Journal of Robotics Research*, Vol.5, No.3, pp.3-26, 1986.
- [4] R. A. Brooks, "Model-based three-dimensional interpretations of two-dimensional images," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.5, No.2, pp.140-150, Mar. 1983.
- [5] I. Chakravarty and H. Freeman, "Characteristic views as a basis for three-dimensional object recognition," *Proceedings of the SPIE Conference on Robot Vision*, Arlington, VA, Vol.336, pp.37-45, May 1982.
- [6] C. H. Chen and A. C. Kak, "A robot vision system for recognizing 3D objects in low-order polynomial time," *IEEE Trans. System, Man, and Cybernetics*, Vol.19, No.6, pp.1535-1563, Nov./Dec. 1989.
- [7] O. D. Faugeras and M. Hebert, "The representation, recognition, and locating of 3D objects," *Int. Journal of Robotics Research*, Vol.5, No.3 pp.27-52, 1986.
- [8] A. Gupta and R. Bajcsy, "Volumetric segmentation of range images of a 3D objects using superquadric models," *Comput. Vision, Graphics, Image Processing : Image Understanding*, Vol.58, pp.302-326, 1993.
- [9] K. Ikeuchi, "Generating an interpretation tree from a CAD model for 3D object recognition in bin-picking tasks," *Int. Journal of Computer Vision*, Vol.1, No.2, pp.145-165, 1987.
- [10] J. Koendrink and A. van Doorn, "The internal representation of solid shape with respect to vision," *Biol. Cybernet.* Vol.32, pp.211-216, 1979.

- [11] S. Kumar, S. Han, D. Goldgof, and K. Bowyer, "On Recovering Hyperquadrics from Range Data," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.17, No.11, Nov., 1995.
- [12] A. P. Pentland, "Perceptual organization and the representation of natural form," *Artif. Intell.*, Vol.28, No.3, pp.293-331, 1986.
- [13] W. H. Press, B. P. Flannery, S. A. Teukolsky, and W. T. Vetterling, *Numerical Recipes in C*. Cambridge, England : Cambridge University Press, 1992.
- [14] A. A. G. Requicha and H. B. Volecker, "Solid modeling : current status and research directions," *IEEE Computer Graphics Applications Mag.*, Vol.3, No.7, pp.25-37, Oct. 1983.
- [15] M. Shneier, "A compact relational structures representation," *Proceedings of the 6th International Joint Conferences on Artificial Intelligence*, Tokyo, Japan, Kaufmann, pp.818-826, 1979.
- [16] F. Solina, and R. Bajcsy, "Recovery of parametric models from range images : the case for superquadrics with global deformation," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.12, No.2, pp.131-147, 1990.
- [17] K. Wu and M. D. Levine, "3-D shape approximation using parametric geons," *Image and Vision Computing*, Vol.15, pp.143-158, 1997.
- [18] 황삼청, 양현승, "Superquadric을 이용한 3차원 물체의 표현과 인식", *한국정보과학회지*, Vol.17, No.5, pp.582-591, 1990년 9월호.
- [19] 송호근, 최종수, "미분 기하학 특징 정보를 이용한 3차원 거리 영상 분할", *대한전자공학회 논문지*, 제31권, B편, 제2호, pp.123-134, 1995.



### 이 선 호

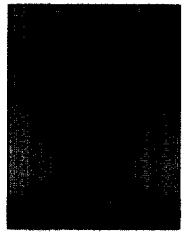
e-mail : sunho@iristown.engr.utk.edu

1992년 중앙대학교 공과대학 전자공학과 졸업

1994년 중앙대학교 일반대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1994년~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 박사과정재학중

관심분야 : 3차원비전, 로봇트시각, 패턴인식, 컴퓨터그래픽스



### 김 태 은

e-mail : tekim@nsu.ac.kr

1997년 중앙대학교 일반대학원 전자공학과 졸업 (공학박사)

1995년 삼성전자 휴먼테크 논문대상 은상 수상

1997년~현재 남서울대학교 공학부 멀티미디어학과 조교수

관심분야 : 3-D영상처리, 컴퓨터비전, 가상현실, 멀티미디어시스템



### 최 종 수

1981년 일본 게이오대학교 졸업(공학박사)

1981년~1999년 중앙대학교 공과대학 전자공학과 교수

2000년~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 원장

관심분야 : 컴퓨터비전, 영상코딩