

# 실루엣 기반의 관계그래프 이용한 강인한 3차원 물체 인식

김대웅<sup>#</sup>, 백경환<sup>\*</sup>, 한현수<sup>\*</sup>

## Robust Recognition of 3D Object Using Attributed Relation Graph of Silhouette's

Daewoong Kim<sup>#</sup>, Kyunghwan Baek<sup>\*</sup> and Hernsoo Hahn<sup>\*</sup>

### ABSTRACT

This paper presents a new approach of recognizing a 3D object using a single camera, based on the extended convex hull of its silhouette. It aims at minimizing the DB size and simplifying the processes for matching and feature extraction. For this purpose, two concepts are introduced: extended convex hull and measurable region. Extended convex hull consists of convex curved edges as well as convex polygons. Measurable region is the cluster of the viewing vectors of a camera represented as the points on the orientation sphere from which a specific set of surfaces can be measured. A measurable region is represented by the extended convex hull of the silhouette which can be obtained by viewing the object from the center of the measurable region. Each silhouette is represented by a relation graph where a node describes an edge using its type, length, reality, and components. Experimental results are included to show that the proposed algorithm works efficiently even when the objects are overlapped and partially occluded. The time complexity for searching the object model in the database is  $O(N)$  where  $N$  is the number of silhouette models.

**Key Words** : recognition (인식), silhouette (실루엣), attributed relation graph (관계그래프)

### 1. 서론

3차원 물체의 인식에서 가장 중요한 문제는 부분적인 정보만으로 인식이 가능한 대상 물체를 표현하는 것이다. 다양한 표현기법들은 사용되는 센서의 형태에 따라 달리 결정된다. 구조화된 조명 패턴을 조사하는 단일 카메라나 스테레오 카메라는 대상물체의 3차원 정보를 획득하기 위한 영상센서

이다. 이러한 형태의 센서는 위치나 배경이 변할 때 대상 물체의 형태가 달라짐으로 대상 물체를 표현하는데 실용적이지 못하다.<sup>1</sup> 그러나 단일 카메라는 3차원 정보를 처리하는데 어려움이 있지만 입력 정보를 처리하거나 사용하는데 단순하다는 장점이 있다. 본 논문에서는 위와 같은 단일 카메라의 장점을 강조하는 물체인식 기법을 다룬다.

단일 카메라를 이용하여 3차원 물체를 인식하

접수일: 2007년 10월 2일; 게재승인일: 2008년 4월 2일

<sup>#</sup> 교신저자: 숭실대학교 전자공학과

E-mail: kdwsports@ssu.ac.kr Tel. (02) 821-2050

<sup>\*</sup> 숭실대학교 전자공학과

기위한 기존에 소개된 물체 표현방법은 크게 두 분야로 나뉜다. 첫째는 물체의 형태 정보를 사용한 물체의 외형기반 기법이다.<sup>2</sup> 이 방법은 물체에 대한 카메라의 모든 시점에서 3차원 물체에 대한 2차원 영상 정보를 얻어 영상의 윤곽선이나 질감과 같은 특징 정보를 얻어낸다. 물체의 외곽 정보는 간단한 처리로 입력 영상의 정보와 정합 과정에서 독특한 특징으로 사용될 수 있다. 하지만 데이터베이스에 다양한 시점의 윤곽선 정보를 축적해야 하며 외형기반의 질감 정보는 조명 환경에 따라 많은 영향을 받는 단점이 있다. 둘째는 물체의 구조적 특징 정보를 사용하여 특징 정보간의 관계를 이용하는 방법이다.<sup>3,4</sup> 이 방법은 노드나 연결성으로 표현한 경계선이나 면의 관계도, 혹은 호의 인접성을 사용한다. 구조적 특징정보의 표현법은 특징의 상대적 관계를 이용하여 물체를 묘사하기 때문에 물체의 회전이나 크기 변화에 강인하여 부분적으로 가려진 물체를 표현하는데 적합하다. 그러나 관계 그래프의 노드 수가 증가할수록 결합과정에서 관계 복잡도가 기하급수적으로 증가한다. 노드 수의 증가를 줄이기 위해 비선형 근사<sup>5,6</sup>와 고유벡터 분석<sup>7,8</sup>을 기반으로 하는 그래프 정합 알고리즘이 일반적으로 사용된다. 고유벡터 분석을 기반으로 하는 정합 기법은 노드 수를 줄여 정합시간을 줄이며 추출된 특징의 부분적인 변화에도 물체의 인식률이 좋다.<sup>8</sup> 그러나 일반적인 물체를 인식할 때, 데이터베이스에 포함하는 물체 노드의 수와 실험 물체의 노드 수가 일치해야 단점이 있다.

본 논문은 이러한 문제들을 해결하기 위해 두 가지 목표에 중점을 둔다. 첫 번째, 단순한 특징을 사용함으로써 데이터베이스 크기를 최소화하여 정합 시간을 줄인다. 두 번째, 2차원 영상의 특징을 추출하는데 필요한 처리 시간을 줄이는 것이다. 이 두 가지 목표를 달성하기 위해 본 논문은 각각 면의 유일한 집합으로 구성된 최소한의 실루엣(silhouette)으로 3차원 물체를 표현한다. 실루엣의 표현은 확장 convex hull의 경계선에 해당하는 노드와 인접 노드 사이를 잇는 호로 구성된다. 각각의 노드는 형태, 길이 비율, 실존성, 가상 에지와 같은 특징 정보에 의해 가중치가 정해지며 호는 이웃 경계선 사이의 각도에 의해 가중된다. 물체를 표현하는 최소한의 실루엣을 찾기 위해서 물체의 관측영역은 방향성 구로 정의되고 서로 다른 면의 집합의 관측 영역에 의해 분할된다. 본 논문의 2장에서는

Convex Hull을 정의하고 3장에서는 물체 내 각 면들의 관측 가능한 영역들을 방향성 구면으로 정의한다. 4장에서는 물체의 모든 면을 관측 가능영역에 대해서 물체의 실루엣으로 표현하며, 5장에서는 4장에서 얻어진 실루엣영상을 이용하여 물체 인식을 위한 알고리즘을 제시한다. 6장에서는 입력 영상들에 대해 데이터베이스를 구성한 후 해당 실루엣을 찾은 결과를 보여주며, 7장에서는 제안된 알고리즘에 대한 정리와 향후 개선해야 할 점에 대해 간략히 언급한다.

## 2. 확장 Convex Hull

Convex hull은 주어진 2D 혹은 3D 물체를 포함하는 가장 작은 다각형이나 다면체이고 다음과 같이 정의된다.

정의 1 : 유한개의 점의 집합  $S = \{P\}$ 의 Convex hull은  $S$ 를 포함하는 가장 작은 2D 다각형  $W$ (혹은 3D에서 다면체)이다. 즉, 집합  $S$ 를 포함하는  $W$ 보다 작은 다른 다각형(혹은 다면체)  $L$ 은 없다.

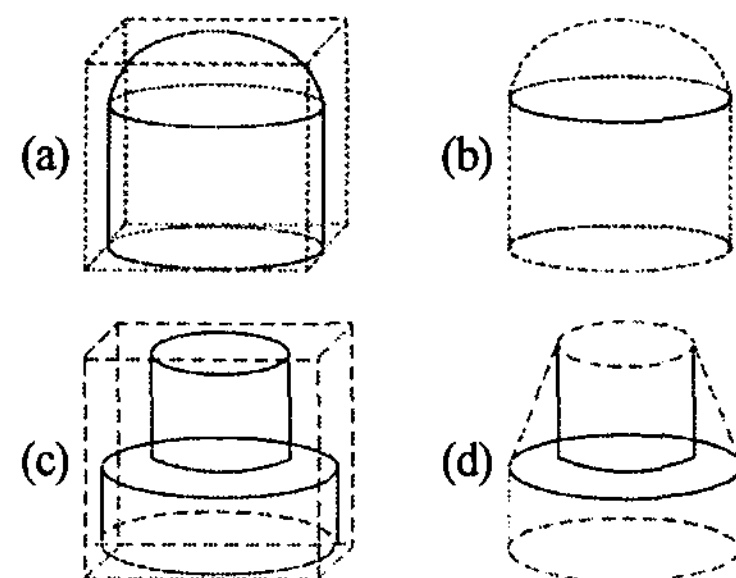


Fig. 1 The representation of convex hull and extended convex hulls for 3D objects

정의에 의해, 기존의 볼록 외곽은 물체가 그림 1(a), (c)에서 보이는 것처럼 볼록한 곡선 모양의 에지(혹은 외곽면)를 가질 때도 다각형(혹은 다면체)으로 물체를 둘러쌀 수 있다. 물체의 오목한 선이나 면을 포함할 수 있는 외곽선이나 외곽면을 가상 외곽선이나 가상 외곽면이라고 부른다. 물체가 convex hull의 가상 외곽선에 의해 형성되는 면은 유일하기 때문에 convex hull의 표현법은 물체인식에 사용되고 있다.<sup>9</sup> 그러나 기존의 convex hull은 물체가 하나의 다각형(혹은 다면체)으로만 둘러싸여

야 하기 때문에 볼록한 곡선 모양의 외곽선(혹은 외곽면)을 둘러싸기 위한 다각형을 찾는데 많은 시간을 소요한다. 그림 1 (a), (c)에서 동일한 물체에 대해서 확장한 convex hull을 (b), (d)에서 보여주며, 다음과 같이 정의 된다.

정의 2 : 유한개의 점의 집합  $S = \{P\}$ 의 확장한 convex hull은  $S$ 를 포함하는 가장 짧은 2D 볼록 폐곡선 WE (혹은 3D에서의 볼록 물체)이다. 즉, WE보다 가장 짧은 볼록 라인(혹은 볼록 물체)은 없다.

### 3. 방향성 구면에서 관측 가능한 표면 영역

다수의 면들로 이루어진 3차원 물체를 투영하게 되면 관측하는 시점에 따라 2차원 평면 영상에서는 서로 다른 모습의 실루엣을 생성하게 된다. 실루엣은 물체가 2차원 영상 공간에 투영되면서 배경과 이루는 경계선들의 에지들로 구성된다. 즉, 모든 시점의 공간상의 실루엣 정보들로부터 3차원 물체의 재구성이 가능하다. 그러나 각 시점간의 거리를 1도씩만 나눈다고 하더라도 최소한 360개의 시점으로 나눠짐으로 모든 가능한 시점에서의 실루엣 정보를 생성하는 것은 불가능하다. 따라서 일부 산업 현장에서 사용되는 프로그램들은 무수히 많은 실루엣 정보들 가운데 특징적인 것들을 선별하여 사용하며 이러한 방법을 통해 유용한 성능을 발휘한다.<sup>10</sup>

본 논문에서는 3차원 물체를 표현하는데 필요한 무수히 많은 실루엣 정보들의 수를 고유 특징들의 누락없이 유사한 실루엣 정보들을 조합하여 대표하는 실루엣 정보를 선별하는 기법을 제안한다. 이를 위해 그림 2에서 표현한 것과 같이 물체 내의 각 면들의 관측 가능한 영역들을 방향성 구면으로 정의하고, 이 방향성 구면들은 서로 다른 면 정보들을 담고 있는 각 관측 가능 영역들에 의해 분류된다. 각 영역들은 방향성 구면의 중심점에 의해 표현될 수 있다. 실루엣은 관측 가능한 영역의 대표 실루엣으로 표현되는 중심점(시점 방향성)으로부터 획득된다. 여기서 말하는 표면의 관측 가능 영역이라는 것은 대상 면 정보의 일부분이라도 검출되어질 수 있는 방향성 구면상의 모든 시점들의 조합으로 정의된다. 방향성 구면상의 시점은  $(\alpha, \beta)$ 로 표현될 수 있다.  $\alpha$ 는 z축을 기준으로 회전하는 각을 나타내며,  $\beta$ 는 x축을 기준으로 회전하

는 각을 나타낸다. 시점 위치는 물체로부터 충분히 떨어진 위치에 있다고 가정한다. 그림 2는 반구로

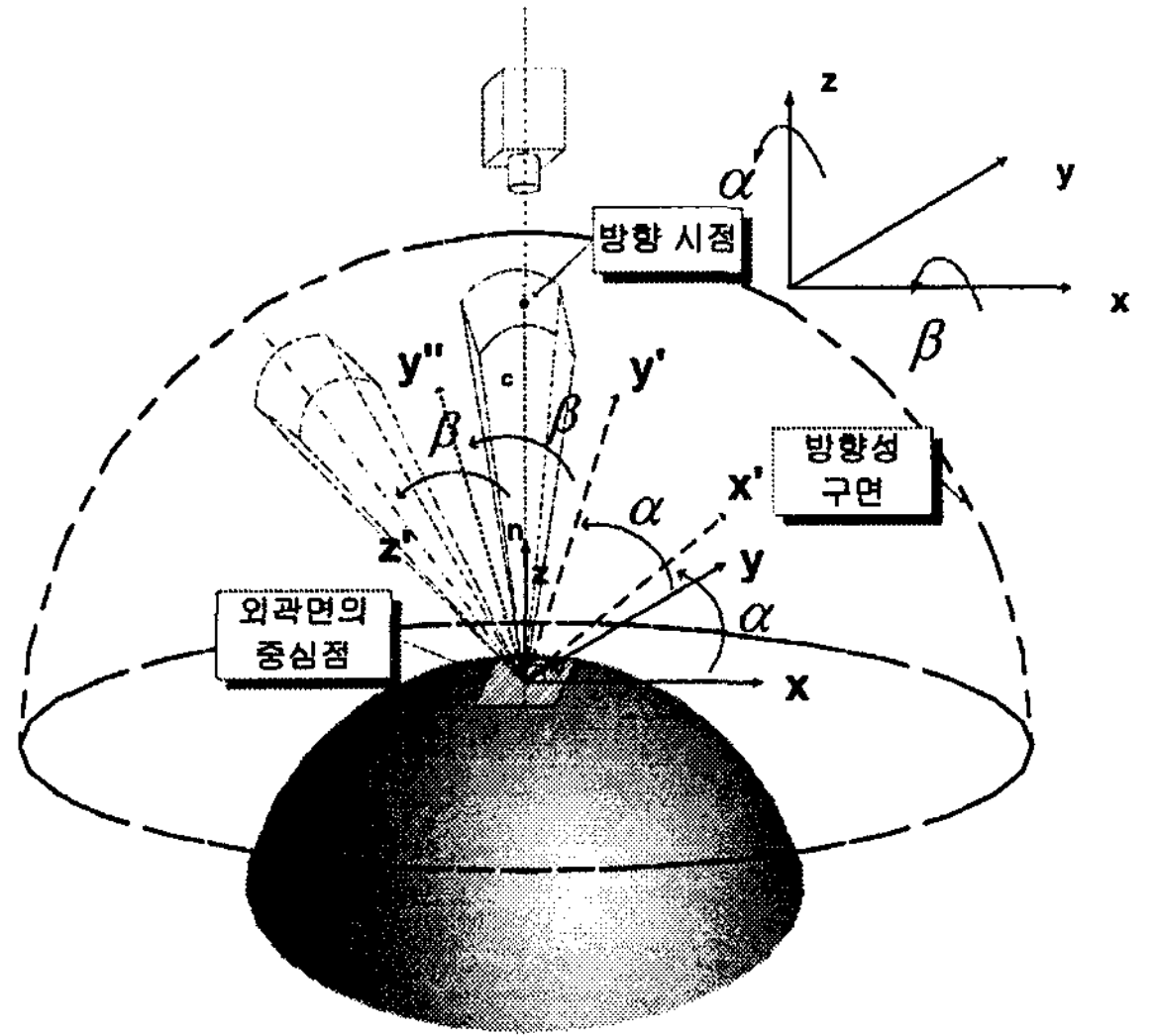


Fig. 2 A measurable region on the oriented sphere

서 표현된 평면의 관측할 수 있는 영역을 나타낸다. 외곽면의 법선을  $n$ , 광학축을  $c$ 라고 하고, 방향성 구면상에 카메라가 위치할 때 아래의 조건을 만족하면 그 면은 검출되어 질 수 있다.

$$Ax + By + Cz - 1 > 0 \quad (1)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{y}{x}$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{z}{(x^2 + y^2)}$$

$n = (A, B, C)$ 이고 방향성 구면 위에 존재하는 모든 점의 모임은 반구 형태의 위 조건을 만족한다. 곡선 모양의 외곽면들을 관측 가능한 영역별로 결정되며 볼록이거나 오목한 형태를 갖는다. 예를 들어, 볼록 곡선 모양의 외곽면의 모든 점들에서 관측 가능한 법선벡터를 포함하는 영역들을 그림 3(a)와 (b)에 보여준다. 볼록 곡선 모양의 외곽면은 어떤 한 점에서 법선이 카메라의 시점 방향(광학축)을 기준으로 90도 안에 위치한 카메라에 의해 보여지며, 오목 곡선 모양의 외곽면들의 관측할 수 있는 영역들은 볼록 모양의 경우와 달리 좁다. 볼록 곡선 모양의 외곽면의 실루엣들은 실질적 윤곽선에 의해 형성되며, 그림 3(c)에서 볼록 구의 외곽

면들의 관측 가능한 영역은 구의 외곽면들이 겹치는 표면으로 정의된다. 그림 3(d)는 오목 원통형 외곽면의 볼록 외곽은 3개 이상의 가상 외곽면이 필요하다. 하나는 오목 외곽면을 덮으며 나머지 두개는 원형 외곽선을 덮는다.

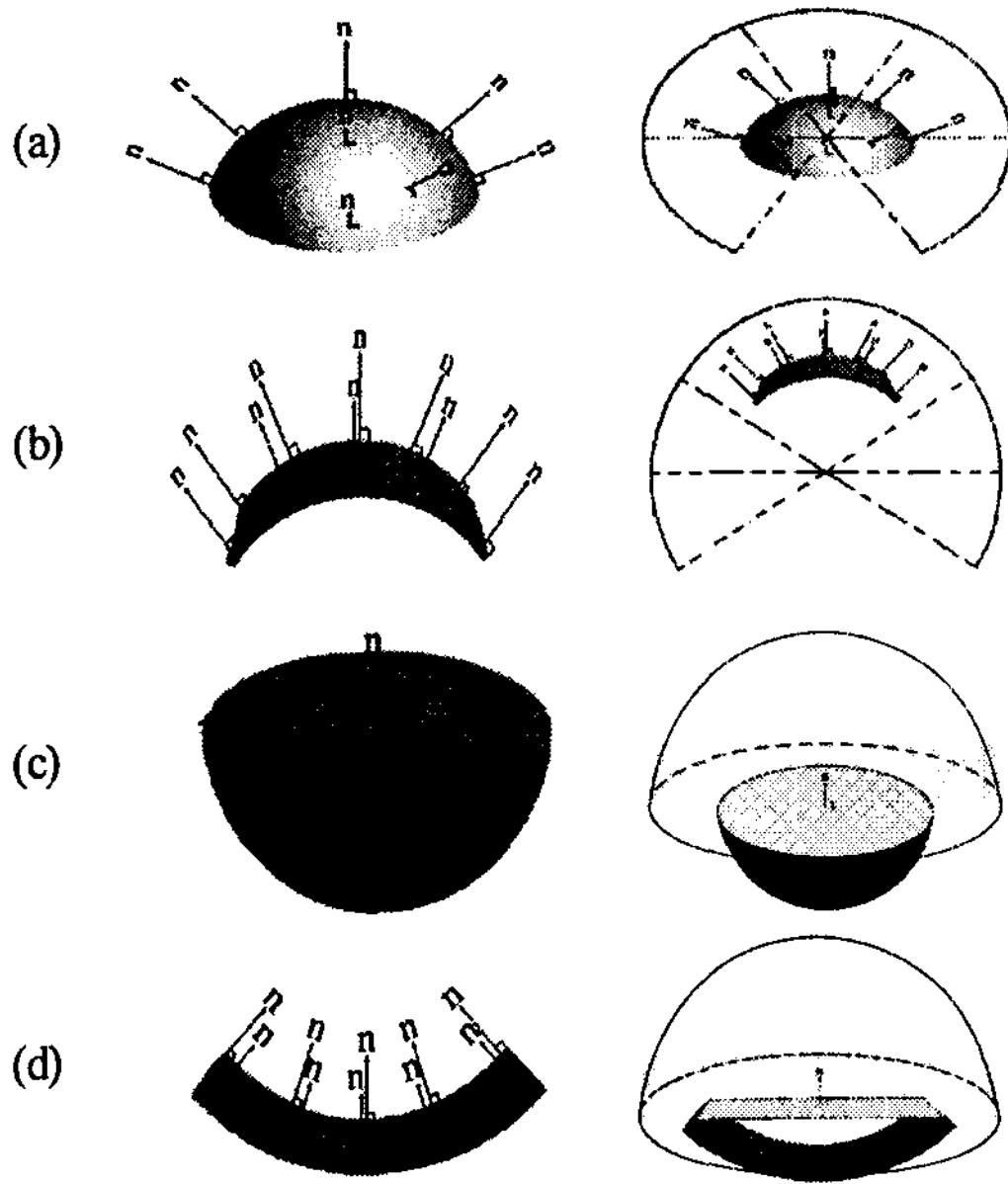


Fig. 3 Measurable regions of convex and concave curved surfaces using extended convex hull

입의의 표면에서 관측할 수 있는 영역을 결정하기 위한 과정은 다음과 같이 요약된다.

Step 1: 외곽면의 모든 점에서 법선 벡터를 구한다. 모든 법선 벡터가 동일하다면 Step2로 진행, 외곽면이 볼록 곡선 모양의 물체라면 Step3로 진행, 외곽면이 오목 곡선 모양의 물체라면 Step4로 진행.

Step 2: 모든 법선 벡터가 유일하다면 외곽면은 평면이다. 이 경우 방향성 구의 위에 있는 점들은 외곽면 법선이 외곽면 순서에 따라 라벨이 붙여진다( Eq. (1) 만족).

Step 3: 모든 법선 벡터에 대해 관측 가능한 영역은 법선 벡터와 Eq. (1)로 결정된다. 방향성 구의 표면의 모든 점들은 동일한 외곽면의 라

벨이 붙여진다. 방향성 구위의 어떤 점은 관측 영역에 포함된 외곽면의 라벨이 붙여진다.

Step 4: 우선 외곽면의 확장 convex hull을 찾고 실루엣의 가상 외곽면을 형성한다. 방향성 구위의 점들은 Eq. (1)을 만족하고 선택된 가상 외곽의 법선은 외곽면의 순서에 따라 붙여진다.

#### 4. 3차원 물체의 관측 영역의 선택과 분리

산업현장에서 사용되는 3D 물체는 면의 형태를 특정 조합 규칙에 따라 결합되며, 물체는 볼록한 모양이나 오목한 모양을 가진다. 물체가 단지 볼록한 모양만 가질 경우 물체의 예측가능 영역은 물체 내에 포함된 각각의 면이 가지는 관측 가능한 영역의 부분이 오버랩 되는 영상으로 결정된다. 만약 물체가 오목한 모양을 가지는 경우, 오목한 모양에 대한 관측가능 영역을 결정하기 위해 물체의 확장된 convex hull을 생성해야 한다. 오목한 모양의 면에 대한 관측 가능 영역들은 오목한 모양을 구성하는 각각의 면을 포함하는 가상의 표면으로 관측 가능 영역을 표현할 수 있다.

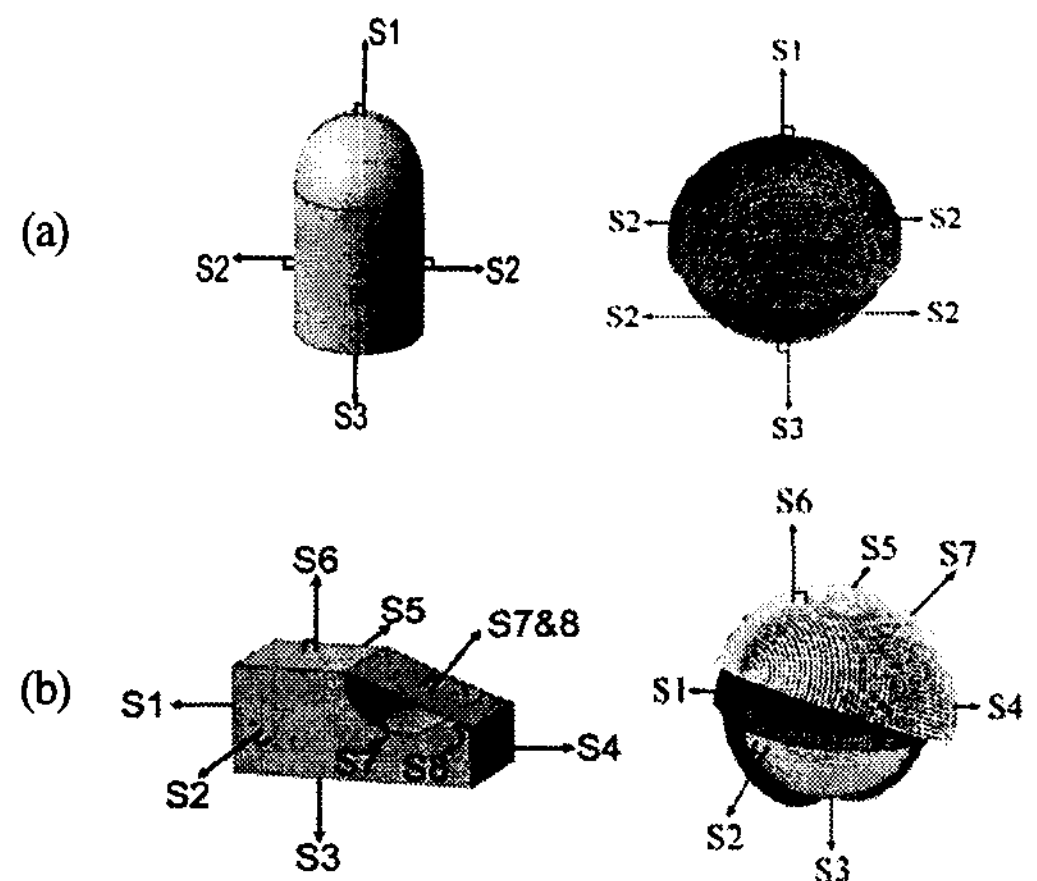


Fig. 4 Measurable regions of 3D objects

그림 4(a)에서 보여주는 것처럼, 볼록 물체의 관측 가능 영역은 각각의 면들의 관측영역들이 오버랩 됨으로써 얻어진다. 오목한 모양의 경우 그림 4(b)에서 오목 모양을 만들어내는 물체의 S7과 S8

은 확장 convex hull 내의 가상 면인 S7과 S8에 의해 표현된다. 확장 convex hull에서 생성한 가상면은 오목한 모양의 물체에 대한 관측 가능 영역들을 구하며, 다양한 오목 물체에 대해 이와 같은 방법으로 수행한다. 물체의 모든 면의 관측 가능한 영역이 방향성 구면으로 결정되어졌다면 방향성 구면은 물체의 종류에 따라 다른 관측 영역의 집합을 가진다.

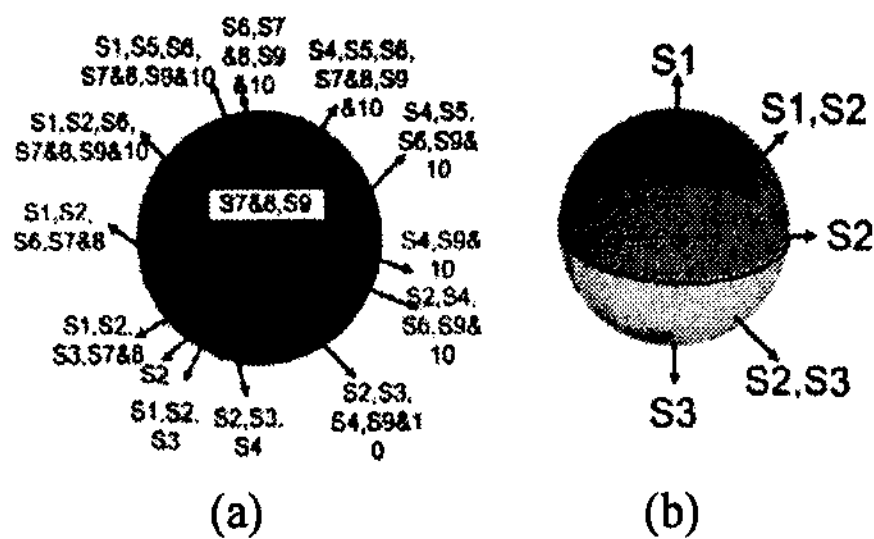


Fig. 5 The orientation sphere segmented by the measurable regions containing different sets of surfaces

( $\alpha, \beta$ )로 표현이 되는 방향성 구면 위에 한 점(시점 방향)으로부터 관측이 가능한 영역의 구분은 레이블들이 같은 집합인 점들을 선택하는 것으로 분리된다. 그림 5는 그림 4에서 얻은 방향성 구면위에 분리된 관측 가능한 영역을 보여준다. 그래서 물체는 관측 가능한 영역의 중심에서 시점 방향을 정했을 때 획득한 물체의 실루엣으로 표현된다.

5. 3차원 물체의 관측 영역의 선택과 분리

일반적으로 실루엣은 카메라의 관점인 2D 평면 위에 투시된 배경을 가진 2D 영상의 외곽선이다. 실루엣은 방향성 구면의 모든 시점에 대해서 유일한 모양을 가지고 물체의 형태와 자세 정보를 제공한다. 단일 카메라의 2D 영상 평면에서 얻은 실루엣을 사용하여 3D 물체의 자세와 형태를 관측하기 위해 새로운 표현 방식을 예를 들어 설명한다. 실루엣이 얻어지면 그림 6에서 보여주는 것처럼 특징 관계 그래프를 사용하여 표현하고 실루엣은 확장 convex hull을 만든다.

특징관계 그래프는 도시된 에지의 형태와 이웃 에지 사이의 내부 각도뿐만 아니라 이웃을 설명한

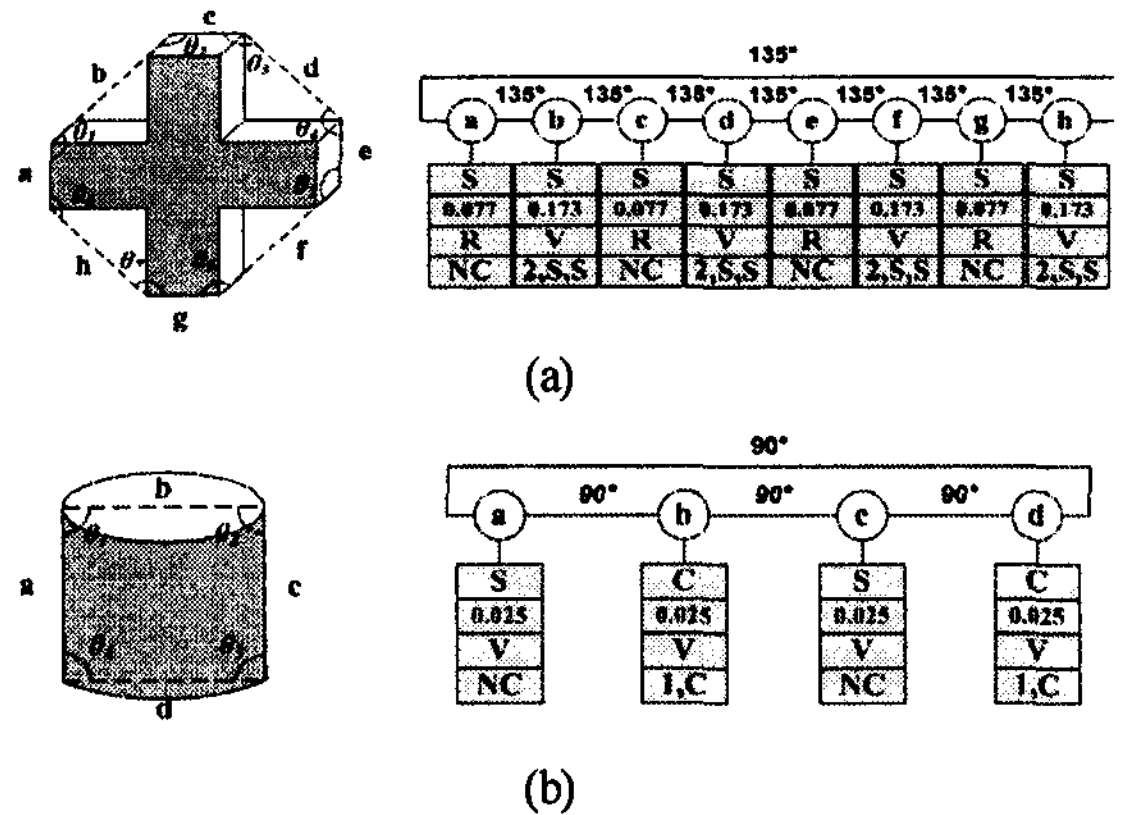


Fig. 6 Graph representation of the extended convex hull of a silhouette

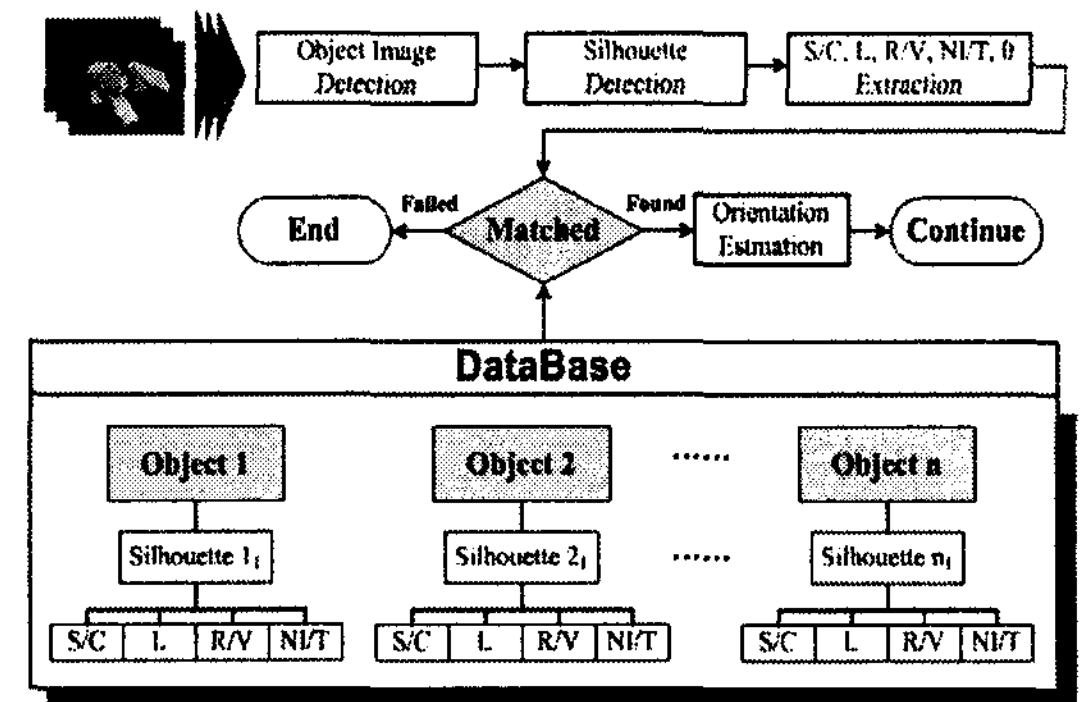


Fig. 7 Recognition procedure Using silhouette

호로 구성되며, 노드(에지)를 표현하기 위해 4개의 특징정보가 사용된다.

- 위의 특징들 중에서 네 번째에 해당하는 특징
- 1) 에지 형태(Straight/Curved,(S/C))
- 2) 실루엣의 총 길이에 대한 에지의 길이 (Length,(L))
- 3) convex hull의 형태(Real/Virtual,(R/V))
- 4) 가상의 에지에 의해 가려지는 실제 에지의 개수와 형태 (Number/Type(Straight/Curved,(NI/T)))

은 세 번째 특징이 가상일 때 포함되며, 호(arc)는 두 노드간의 내부 각도에 의해 가중치가 부과된다. 만약 오목 모양의 두 면을 포함하는 에지는 그림 6(a)처럼 b, d, f, h인 가상 에지를 오목 모양을 이루는 두 면의 끝점을 잇는 직선에 의해 근사화된다. 그림6(b)에서 에지 b와 d는 각각 곡선 에지를 가리

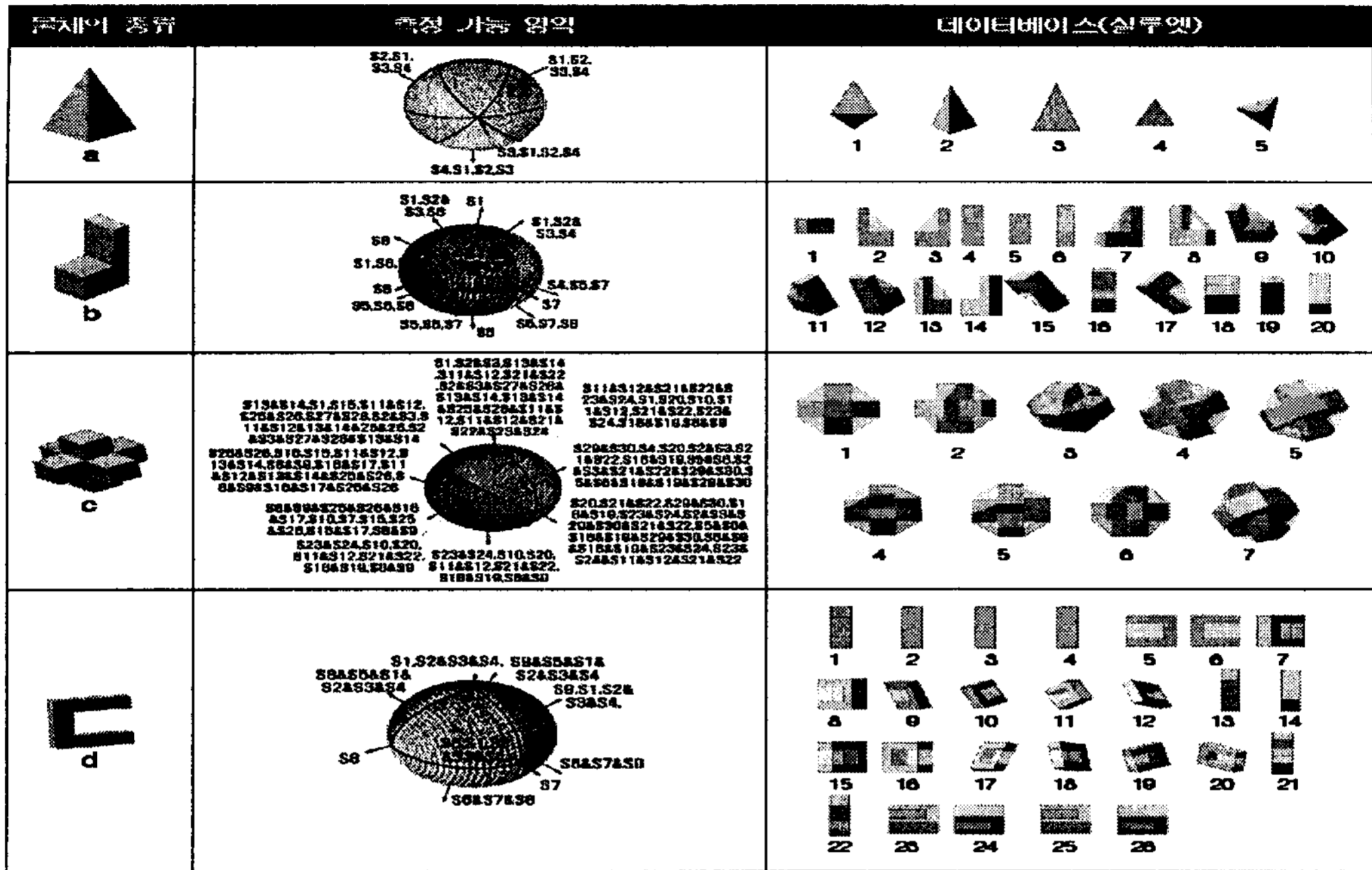


Fig. 8 Four object models used for the experiment and their silhouettes whose features are included in the database for recognition

는 가상 에지이다. 특징관계 그래프 표현의 물체 표현기법을 기반으로 한 물체인식 과정이 그림 7의 블록도에 보여준다. 먼저 확장 convex hull의 관계도로 표현되는 각각의 실루엣의 집합으로 물체를 표현한 데이터베이스를 생성한다. 실험 영상이 주어지면 영상의 실루엣 모델과 확장 convex hull이 생성된다. 다음으로 생성된 convex hull의 특징인 [S/C, R/V, NI/T]를 데이터베이스에서 찾는다. 물체가 겹쳐져 있는 경우를 고려하여 실험 영상과 부분적으로 일치하는 실루엣 모델들을 찾는다. 실루엣 모델을 선택하는데 사용되지 않는 특징인 L과  $\theta$ 는 물체의 자세를 결정하는데 사용된다. 각각의 실루엣 모델은 그것의 대표 시점방향 ( $\alpha, \beta$ )를 가지고 있기 때문에 검사할 실루엣의 시점 방향은 (L,  $\theta$ )로 ( $\alpha, \beta$ )를 조절하여 결정할 수 있다.

### 6. 실험

제안하는 알고리즘은 물체 인식과 자세의 관측의 정확도와 수행속도를 평가하기 위해 Pentium 4 PC의 Visual C++환경에서 고유벡터 분석과 비교 실험하였다.

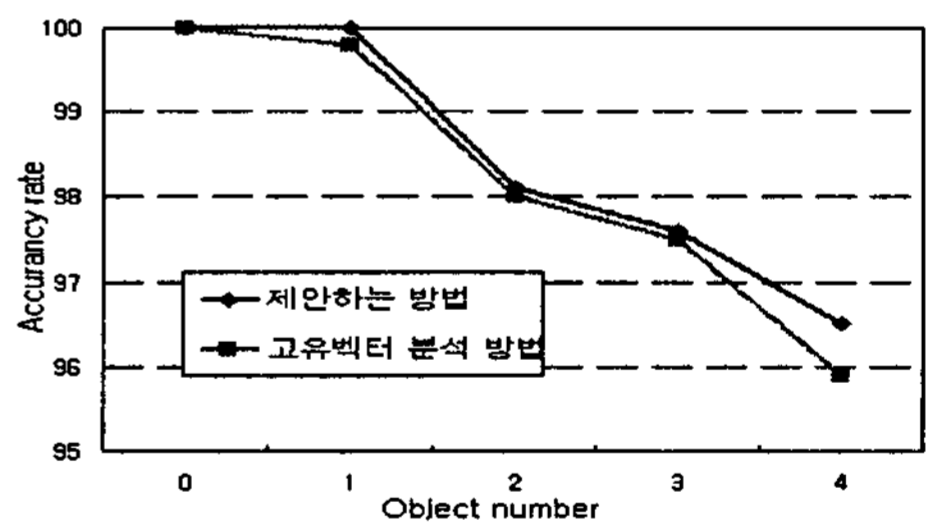


Fig. 9 The variation of accuracy according to increasing the number of objects

실험은 그림 7의 블록도에서 보여주는 것처럼 단계적으로 수행되었다. 본 실험에서는 오목과 볼록한 모양을 포함한 10×10×10cm 크기의 다섯 가지 형태의 물체를 선택하였다. 이 물체들의 데이터베이스를 구성하기 위해 관측 가능 영역을 결정하고 각각의 영역에 대해 실루엣의 특징 관계 그래프를 만들었다. 4개 물체 모델의 실루엣은 그림 8과 같이 표현된다. 30개의 영상에 대하여 알고리즘의 성능을 평가했다. 이 중 10개 영상은 물체들이 겹치지 않게 배치했으며 나머지 20개의 영상은 다섯 개의 물체를 임의로 겹치게 했다. 각각의 입력 영상

에 대해서 데이터베이스를 만들 때 사용된 과정과 같은 방법으로 입력 영상의 각각의 물체의 특징 관계도를 추출하였다. 실험 물체의 특징 관계도와 가장 유사한 실루엣을 찾기 위하여 데이터베이스를 검색하고 일치하는 실루엣의 물체 모형은 실험 물체의 모형으로 결정된다. 그림 9에서는 물체 개수에 따른 제안하는 기법과 고유벡터 분석의 정확도를 비교한 그림이다.

입력 영상	가려진 물체 수	가려진 물체 수	고유벡터 분석 방법	제안하는 방법
OMI 5	3	0	0.0072	0.0036
OMI 8	3	2	0.0212	0.0162
OMI 7	3	1	0.0114	0.0085
OMI 20	3	1	0.0188	0.0101
OMI 25	4	2	0.0426	0.0310

Fig. 10 The test Images for four object models

그림 10에서는 입력 영상 안에 포함된 물체의 실루엣이 나타나 있으며, 데이터베이스에서 해당 실루엣을 찾은 결과(실루엣 모형의 색인)를 보여준다. 제안하는 알고리즘은 OMI5와 같은 겹쳐짐이 없는 영상에서 물체를 완벽히 분리함을 보여준다. 물체가 대칭이라면 여러 개의 실루엣이 찾아진다. 입력 영상의 물체가 겹쳐져 있다면 실루엣의 가장 위의 물체만을 데이터베이스의 실루엣으로부터 완벽하게 찾아낼 수 있다. 부분적으로 가려진 물체들 (OMI8- $M_{1b}$ , OMI8- $M_{2a}$ , OMI17- $M_{3b}$ , OMI20- $M_{1d}$ , OMI25- $M_{1c}$ )은 그 물체의 특징도가 60% 이상 시험 실루엣과 맞는 모형이 선정된다. 해당 실루엣들을 이용하여 실험한 결과 제안하는 방법이 기존의 고유벡터 분석보다 현저히 빠르게 정확하게 물체를 검출함을 확인할 수 있다.

### 7. 결론

본 논문은 단일 카메라를 사용해서 효율적으로 3차원 물체를 인식하고 방향을 관측하기 위한 새로운 확장 convex hull에 의해 3차원 물체의 실루엣을 특징관계도 그래프로 표현하였다. 관측이 가능한 3

차원 물체의 실루엣을 최소 개수의 확장 convex hull로 표현함으로써 특징 관계도를 사용하는 데이터베이스의 크기를 줄여 물체 정합에 소요되는 시간을 크게 줄였다. 또한 물체의 실루엣은 카메라의 모든 시점 방향에서 획득하기 때문에 한 번의 물체 정합으로도 물체의 자세를 관측할 수 있다. 제안하는 방법은 물체의 일부가 겹쳐진 경우에도 실루엣을 이용한 검출방법으로 겹쳐진 물체의 인식을 및 수행시간을 크게 향상시킬 수 있다.

### 후 기

본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음.

### 참고문헌

1. Quick, P. and Capson, D., "Analysis of Determining Camera Position Via Karhunen-Loeve Transform," IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation, pp. 88-92, 2000.
2. Besl, P. J. and Jain, R. C., "Three dimensional object recognition," Computing Surveys, Vol. 17, No. 1, pp. 77-145, 1985.
3. Joshi, S. and Chang, T. C., "Graph-based heuristics for recognition of machined features from a 3D solid model," Computer-Aided Design, Vol. 20, No. 2, pp. 58-66, 1988.
4. Floriani, L. D., "Feature Extraction from Boundary Models of Three-Dimensional Objects," IEEE Trans. Pattern Matching and Machine Intelligence, Vol. 11, No. 8, pp. 785-798. 1989.
5. Gold, S. and Rangarajan, A., "A graduated assignment algorithm for graph matching," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 18, No. 4, pp. 377-388, 1996.
6. Wilson, R. C. and Hancock, E. R., "Structural matching by discrete relaxation," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 19, No. 6, pp. 634-647, 1997.
7. Luo, B., Wilson, R. C. and Hancock, E. R., "Spectral embedding of graphs," Pattern Recognition, Vol. 36, No. 1, pp. 2213-2223, 2003.
8. Caelli, T. and Kosiov, S., "An eigenspace projection

- clustering method for inexact graph matching,” IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 26, No. 4, pp. 515-519, 2004.
9. Yang, Q. and Parvin, B., “CHEF:convex hull of elliptic features for 3D blob detection,” 16th International Conference on Pattern Recognition, Vol. 2, pp. 11-15, 2002.
  10. FANUC LTD. [http://www.fanuc.co.jp/en/product/new\\_product/2003/0311/newbinpicking.html](http://www.fanuc.co.jp/en/product/new_product/2003/0311/newbinpicking.html).