

論文97-34S-2-7

# 하나의 2차원 영상에서 표면의 Signature를 이용한 다면체의 표현 및 인식 알고리즘

## (Representation and Recognition of Polyhedral Objects in a Single 2-D Image using the Signature Technique)

李 富 衡 \*, 韓 獻 洙 \*

(Boo-Hyung Lee and HERNSEO HAHN)

### 요 약

본 논문에서는 하나의 2차원 영상을 이용한 3차원 다면체를 효과적으로 인식하기 위한 물체표현 및 인식 알고리즘을 제안한다. 물체는 두 단계의 계층적구조로 표현된다. 하위계층에서는 모델물체들을 구성하는 각 기초면에 대해 기하학적 특성을 signature로, 3차원 공간에서의 회전에 따른 signature의 변화를 회전지도로 표현한다. 상위계층에서는 하위계층에서 표현된 기초면들의 어떠한 구조적인 결합에 의해 각 모델물체가 구성되는지를 기초면들의 변환정도와 함께 표면간관계표로 표현한다. 다면체의 인식은 2차원 영상의 면들이 구분되면 각 측정면의 signature와 회전지도를 이용하여 측정면에 해당하는 기초면과 이들 사이의 변환관계를 동시에 구한다. 측정면들에 정합되는 기초면의 집합이 구해지면 측정물체의 기초면의 집합과 동일한 모델물체를 선택하고 표면간관계표를 이용하여 측정면사이의 관계를 만족하면 측정물체에 대한 인식이 완료된다. 제안된 알고리즘은 모델물체의 데이터베이스를 구성할 때 공통으로 사용되는 기초면을 기하학적으로 표현하고 있고 물체의 회전관계를 기초면의 회전지도를 이용하여 결정하므로 물체의 표현이 간단하고 인식과정이 단순화된다는 장점을 갖는다.

### Abstract

This paper proposes a new algorithm for recognizing polyhedral objects using a single 2-D image. It is based on a new representation scheme having two level hierarchy. In the lower level, geometrical features of each primitive surface are represented using their signatures and the variation of signature due to rotation is represented using the rotation map. In the higher level, topological features are represented in the inter-surface description table(SDT). Based on the proposed representation scheme, if a test object is given for recognition, signatures of individual surfaces are extracted first and the lower level database searched to find a matching primitive surface. The rotation map determines the degree of rotation as well as the matchness. If all surfaces in a test object find their matching primitive surfaces, its structural information is compared with the SDTs of object models. If primitive surfaces of a test object equal to that of certain model and satisfy inter-surfaces relationship in SDT, a test object is recognized as the model.

### I. 서 론

2차원 영상은 물체의 거리정보를 포함하지 못하기 때문에 3차원 물체를 인식하기 위해서는 잃어버린 거리정보를 얻어내기 위한 노력이 필수적인 것처럼 인식

\* 正會員, 崇實大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Engineering, Soongsil University)

接受日字: 1996年8月30日, 수정완료일: 1997年2월11일

되고 있다. 2개의 2차원 영상을 결합하는 스테레오 비전<sup>[1]</sup>, 하나의 카메라와 조명의 포즈를 이용하는 shape-from-X방법<sup>[2-4]</sup>, 그리고 조명을 code화하여 code 수만큼의 영상을 결합하는 방법<sup>[5]</sup>들이 가장 보편적으로 사용되고 있다. 하지만 3차원 영상은 획득 자체가 많은 시간을 요구하고 있고 영상 각 점에서의 거리 값은 측정거리에 민감하다는 단점을 가진다.

이러한 이유에서 하나의 2차원 영상을 이용한 물체의 인식에 관한 연구는 중요한 의미를 가지며, 진행되고 있는 대부분의 연구는 2차원 영상에 나타날 수 있는 물체의 특징을 찾거나 모델을 회전시켜 가며 측정물체와의 정합도를 측정하는 방법<sup>[6-9]</sup>이 주를 이루고 있다. Horaud<sup>[6]</sup>와 Dhome, et al<sup>[9]</sup>는 투시변환을 이용하여 한 점에서 만나는 세 개의 에지로부터 변형도를 얻어내고 정합을 2차원 정보와 관점불변의 특징들을 이용하여 수행한다. Huttenlocher와 Ullman<sup>[7]</sup>은 orthographic투영을 통해 얻은 세 개의 점들을 이용하여 변형도와 scaling값을 얻어내며, Lowe<sup>[8]</sup>는 perceptual grouping의 방법을 이용하여 중요한 grouping을 검출하여 모델내에서 가장 유사한 grouping과 정합하는 방법으로 물체를 인식한다. 그러나, 이들의 방법은 에지를 이용하거나 점들을 이용하기 때문에 측정물체와 모델사이의 대응에지 및 점들을 구하기가 매우 어려울 뿐만 아니라 계산량이 많아진다는 단점이 있다. 또한, 모델물체를 회전시켜 측정물체와 정합시키는 방법은 일정 수의 관점에서 모델물체에 대한 정보를 얻어내고 이들의 특징을 이용하여 모델물체의 데이터베이스를 구성하기 때문에 데이터베이스의 크기가 커져서 측정물체와의 정합에 많은 시간이 소요되는 문제점을 안고 있다.

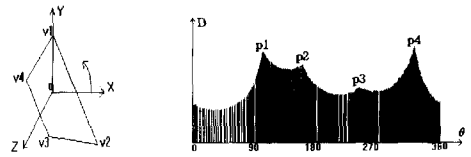
본 논문에서는 위에서 제시한 기법들이 실시간 물체 인식에서 가지는 문제들 즉, 2차원 정보의 획득과정에 필요한 시간문제와 모델물체의 표현에 필요한 데이터베이스의 크기 및 측정물체의 정합과정에 필요한 시간 문제를 해결하기 위해 다면체를 2단계로 구성된 계층 구조로 표현하고 2차원 측정면의 변형도를 계산하여 물체를 인식하는 알고리즘을 제안한다.

## II. 물체의 표현

### 1. 하위계층의 표현

모델물체를 구성하는 면들을 기초면이라 정의할 때,

모델물체는 하나의 기초면을 또는 여러개의 다른 기초면을 공유할 수 있다. 기초면의 기하학적인 정보는 모델좌표계상에서 signature를 이용하여 표현된다. 기초면의 signature는 그림 1에서 보는 바와 같이 면을 모델좌표계에 면수직벡터가 Z축과 일치하고, 면의 무게중심은 원점에 위치시킨 후 각도의 변화(X축)에 따라 무게중심에서부터 경계점까지의 거리를 구하여 회전각도를 signature의 X축에, 거리는 Y축에 표현한다. 본 논문에서는 평면만을 다루지만 signature표현방법은 곡면인 경우에도 적용된다.



(a) 측정방법 (b) 그림 (a)다면체의 signature

그림 1. Signature를 구하는 예

Fig. 1. The signature of a polygon.

Signature를 얻기 위한 측정면의 중심점  $(\bar{x}, \bar{y})$ 은 2차원 영상에 대해 다음과 같이 moment방법을 이용하여 구한다.

$$(\bar{x}, \bar{y}) = (M_{10}(s)/M_{00}(s), M_{01}(s)/M_{00}(s))$$

여기에서,

$$M_{jk}(s) = \sum_{(x,y) \in s} x^j y^k \quad (1)$$

Signature는 면에 대해 정점의 수( $vtx$ ), 에지의 수( $edg$ ), 정점 사이의 각도( $\psi_{i,j}$ ,  $i, j=1, \dots, vtx$ ), 에지의 곡률( $\kappa$ ), 대칭성( $sym$ ) 등의 특징을 포함하며, 회전정도에 대해서는 정점 간의 각도차( $dp_i$ ,  $i=1, \dots, vtx$ ), 중심점에서 정점까지의 거리( $dist_i$ ,  $i=1, \dots, vtx$ ) 등의 특징을 포함한다. 하위레벨에서 설명된 다양한 기초면에 대한 signature표현의 예는<sup>[10]</sup>에 상세히 설명되어 있다.

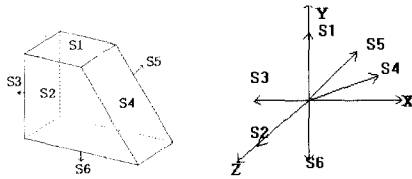
### 2. 상위계층의 표현

각 물체는 면들의 결합으로 이루어지는데 하나의 모델물체를 이루는 면은 하위레벨에서 표현된 기초면들이 모델물체를 이루도록 변환(회전 및 이동)되어 결합한 것으로 해석한다. 즉,  $n$ 개의 기초면을  $P_i$ , ( $i=1, \dots, n$ )로,  $l$ 개의 면으로 이루어진 모델물체  $OM$ 를

구성하는 면을  $OMs_k (k=1, \dots, l)$ 라고 할 때 모델물체는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$OM = \bigcup_{k=1, \dots, l} OMs_k, \quad OMs_k = A_i P_{S_i} \quad (2)$$

식(2)에서,  $A_i$ 는 기초면  $P_{S_i}$ 을 변환하여  $OM$ 을 구성하는 면  $OMs_k$ 가 되도록  $P_{S_i}$ 의 회전 및 이동을 나타내는 변환이다. 또한, 기초면들의 변환으로 얻어진 물체의 구조적인 특징은 표면특징벡터 분포도에 의해 간단히 표현할 수 있다. 기초면의 방향은 모델좌표계의 Z방향이므로 기초면의 표면특징벡터(SFV)는 (0,0,1)이 되고 기초면이 회전되어 구성된 물체의 각 면에 대한 표면특징벡터는 대응기초면의 표면특징벡터를 기준으로 그들 사이의 회전양만큼 변환된 벡터로 표현된다. 주어진 물체를 구성하기 위해 변환된 면들의 표면특징벡터는 그림 2(b)과 같이 표면특징벡터분포도로 표현된다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 표면특징벡터분포도에 포함되는 벡터의 숫자는 물체가 가지는 면의 수와 같다.



(a) 6면체 (b) 그림(a)물체의 SFV분포도

그림 2. 표면특징벡터분포도의 예  
Fig. 2. Example of a surface feature vector distribution graph.

물체의 구조적인 정보는 표면간관계표(SDT)에 간단히 표현할 수 있는데, 표면간관계표의 대각선 요소에는 식(1)과 표면특징벡터분포도를 이용하여 결합면형태에 대한 상위단계정보가 다음 4가지의 벡터형태로 표현된다.

[기초면, 기초면의 변환정도 ( $A_i$ ), 표면특징벡터(SFV), 원점으로부터의 거리 (D)]

표면간관계표의 대각선 위에 있는 요소에는 면들 사이의 관계를 다음의 3-tuple 즉, [관계의 종류, 관계값, 교차에지의 번호]의 형식으로 표현한다. 여기에서, 관계의 종류는 면들 사이의 근접성, 볼록성 그리고 평행성의 관계로 설명된다. 근접성은 서로 교차하는 두개의 면이 공통 에지를 공유할 때 정의되고 평행성은 두개 면의 SFV가 평행한 경우에 정의된다. 이에 따른

관계의 종류는 다음과 같이 분류될 수 있다: 근접하고 볼록한 경우 (I), 근접하고 오목한 경우 (N), 근접하고 평행한 경우 (P), 근접하지 않고 평행하지 않은 경우 (E), 근접하지 않고 평행한 경우 (D). 관계 값은 주어진 관계의 종류가 I, N, E중의 하나인 경우에는 표면특징벡터쌍 사이의 각도로, 관계의 종류가 P, D중의 하나인 경우에는 중심축 사이의 거리 또는 표면 사이의 거리로 표현된다. 교차에지의 번호는 마주하는 면사이의 공유에지번호를 의미한다. 표 1은 그림 5의  $OM_5$ 에 대한 표면간관계표의 일부분으로, 기초면의 변환정도는 기초면의 이동( $T$ )과 회전( $R$ )으로 표현하고 있다.

표 1. 그림 5의 모델물체  $OM_5$ 에 대한 SDT의 일부

Table 1. A part of the SDT of the model object  $OM_5$  given in Fig. 5.

면	$OMs_1$	$OMs_2$	$OMs_3$	$OMs_4$
$OMs_1$	$P_{S_7}, (T(0,3,0), R(90,0,0)), (0,1,0), 1.5$	(I, 90, $E_7$ )	(I, 90, $E_8$ )	(D, 1)
$OMs_2$		$P_{S_7}, (T(0,1,2), R(0,90,0)), (1,0,0), 1$	(I, 90, $E_{11}$ )	(I, 90, $E_{12}$ )
$OMs_3$			$P_{S_8}, R(0,0,0), (0,0,1), 1$	(I, 90, $E_{13}$ )
$OMs_4$				$P_{S_1}, (T(0.5,1,0), R(-90,0,0)), (1,2,0), 1$

### III. 물체의 인식 및 포즈결정

측정물체의 인식은 측정물체의 각 측정면들에 대응하는 기초면이 하위레벨에 포함되어 있고, 측정면들사이의 결합관계가 표면간관계표에 포함된 기초면들간의 구조적인 특성과 같은 모델물체를 데이터베이스에서 찾는 것을 의미한다. 또한, 측정물체의 포즈는 측정물체와 모델물체의 모든 대응면들 사이의 표면특징벡터가 일치하면 그들간의 관계를 만족하는 변환행렬을 결정함으로써 구할 수 있다. 알고리즘에서 사용되는 기호들은 다음과 같은 의미를 갖는다.

- $P_{S_i}$  :  $i$ 번째 기초면
- $OM_j$  :  $j$ 번째 모델물체
- $OT_j$  :  $j$ 번째 측정물체
- $OMs_k^j$  :  $j$ 번째 모델물체의  $k$ 번째 면
- $OTS_k^j$  :  $j$ 번째 측정물체의  $k$ 번째 면

- $NM_j^k$  :  $j$ 번째 모델물체의  $k$ 번째 면의 SFV
- $NO_j^k$  :  $j$ 번째 측정물체의  $k$ 번째 면의 SFV

**물체인식 알고리즘**

- 단계 1: 측정물체  $OT_j$ 의 각 측정면  $OTS_j^k$ 에 대하여 signature를 구한다.
- 단계 2: 단계 1에서 구한 각  $OTS_j^k$ 의 signature를 이용하여 이에 대응하는 가능기초면  $Ps_i$ 를 선택한다. 이때, 복수개의 가능기초면이 존재할 수도 있다
- 단계 3: 모든 측정면과 가능기초면사이의 회전행렬  $R_{\theta\varphi\psi}$ 를 계산한다. 하나의 측정면에 다수의 가능기초면이 찾아지면 기초면을  $R_{\theta\varphi\psi}$ 만큼 회전시켜서 측정면의 특징과 가장 유사한 기초면 하나를 대응기초면으로 선택한다.
- 단계 4: 측정물체  $OT_j$ 를 이루는 기초면 모두를 포함하는 모델  $OM_i$ 가 존재하는지를 판단하고, 존재하면 SDT를 비교하여 면들간의 관계를 만족하는 경우 측정물체는 선정된 모델물체로 인식한다.
- 단계 5: 측정물체의 포즈는 측정물체와 모델물체의 모든 대응면들 사이의 SFV를 이용하여 면들 사이의 관계를 만족하는 변환행렬로 결정한다.

인식알고리즘의 2단계에서는 측정물체의 각 측정면  $OTS_j^k$ 의 signature와 기초면  $Ps_i$ 의 signature로부터 얻은 특징 즉,  $vtx$ ,  $edg$ ,  $dp_i$ ,  $dist_i$ 등을 비교한 후 오차가 임계치 이하인 기초면을 선택하고 이들을 ‘선택된 가능기초면’으로 택한다. 만약, 각 측정면  $OTS_j^k$ 에 대응하는 가능기초면이 하나 이상인 경우에는 가능기초면들의 집합을  $S(OTS_j^k) = \{Ps_1, Ps_2, \dots, Ps_r\}$ 으로 표현한다.

3단계에서는 회전지도를 이용하여 2단계에서 선택된 가능기초면과 측정면 사이의 변형도를 구한다. 2차원영상의 해석에 있어서 하나의 측정면  $OTS_j^k$ 이 기초면  $Ps_i$ 를 임의의 관점에서 측정하여 얻어진 것이라면 측정면  $OTS_j^k$ 는 기초면  $Ps_i$ 를 모델좌표계에서 X, Y, Z축을 중심으로 각각  $\theta$ ,  $\varphi$ ,  $\psi$ 만큼 회전한 후 관측방향과 수직인 관측면에 투영되어 얻어진 영상에 해당된다. 이와 같은 관계를 식 (3)으로 표현할 수 있는데, 식 (3)에서  $Q_q$ 와  $P_q$ 는 모델좌표계상에서 각각 기초면의 변환 및 관측면으로의 투영을 나타내는 행렬이다.

$$A_q = OTS_j^k Ms_k^{-1} = P_q Q_q \quad (3)$$

그러나, 2차원 영상의 측정면은 Z축에 대한 정보를 가지지 못하기 때문에 본 논문에서는 식 (3)대신 하위 레벨표현에서 설명한 기초면의 회전행렬을 이용하여 구하는 방법을 제시한다. 그림 4는 기초면  $Ps_8$ 을 X축과 Y축으로 각각 회전했을 경우 기초면  $Ps_8$ 의 회전특징인  $dp_i$ 와  $dist_i$ 가 변화하는 형태를 3차원 그래프로 표현한 회전지도이다. 따라서, X, Y, Z축으로 회전하는 경우에  $dp_i$ 와  $dist_i$ 가 변화하는 형태를 구할 수 있고  $dp_i$ 와  $dist_i$ 가 주어지면 X, Y, Z축으로의 회전양  $\theta, \varphi, \psi$ 를 구할 수 있다. 즉, X축으로  $\theta$ , Y축으로  $\varphi$ , Z축으로  $\psi$ 만큼 회전하였을 때  $dp_i$ 와  $dist_i$ 는 각각  $dp_i = f_i(\theta, \varphi, \psi)$ ,  $dist_i = f_i(\theta, \varphi, \psi)$ 로 표현될 수 있고 역으로  $dp_i, dist_i$ 가 주어지면 회전양  $\theta, \varphi, \psi$ 를 계산할 수 있다.  $\theta, \varphi, \psi$ 는 모든  $dp_i, dist_i$ 에 대해 만족되어야 하므로  $\theta = f_i(dp_i)$ ,  $\varphi = f_i(dp_i)$ ,  $\psi = f_i(dp_i)$ 를 만족해야 함과 동시에  $\theta = g_i(dist_i)$ ,  $\varphi = g_i(dist_i)$ ,  $\psi = g_i(dist_i)$ 를 만족해야 한다. 이러한 조건을 만족하는 회전양  $\theta, \varphi, \psi$ 는 식 (4)로부터 구할 수 있다.

$$R_{\theta\varphi\psi} = \begin{bmatrix} dp_1 \\ dp_2 \\ dp_3 \end{bmatrix}_{Ps_i} \begin{bmatrix} dp_1 \\ dp_2 \\ dp_3 \end{bmatrix}_{OMs_i}^{-1} \quad \text{또는}$$

$$R_{\theta\varphi\psi} = \begin{bmatrix} dist_1 \\ dist_2 \\ dist_3 \end{bmatrix}_{Ps_i} \begin{bmatrix} dist_1 \\ dist_2 \\ dist_3 \end{bmatrix}_{OMs_i}^{-1} \quad \dots \quad (4)$$

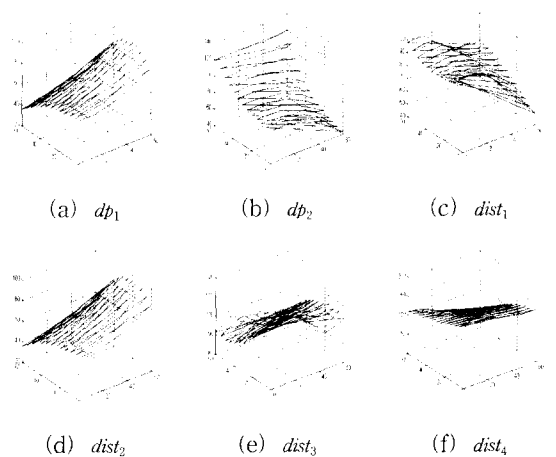


그림 3. 그림 6의 기초면  $Ps_8$ 의 X-Y회전에 따른 회전 특징변화를 나타낸 그래프  
 Fig. 3. The graph representing the variation of rotation-features due to the X-Y rotation of the primitive surface  $Ps_8$  of Fig. 6.

2단계에서 선택된 가능기초면들 각각에 대한 회전양이 식(4)에 의해 얻어지면 얻어진 회전양을 각각의 기초면에 적용하여 그 중에서 측정면  $OT_3^k$ 의 특징과 가장 유사한 기초면  $dp_i$ 과 그에 대한 회전양을 선택한다. 이때, 기초면  $dp_i$ 를 측정면에 대한 '대응기초면'으로 결정한다. 이와 같은 과정을 거쳐  $n$ 개의 측정면을 갖는  $j$ 번째 측정물체의 '대응기초면'의 집합  $S(OT_j) = \{P_{S_1}, \dots, P_{S_n}\}$ 이 얻어지게 되며, 결과적으로 측정물체는 대응기초면과 회전양을 이용하여 (2)식과 같이 표현할 수 있다. 즉,  $OT_j = \bigcup_{k=1, \dots, n} A_i P_{S_i}$

4단계에서는 (3)단계를 통해 얻은 측정물체를 구성하는 각각의 측정면에 대한 대응기초면의 집합과 얻어진 회전양을 이용하여 II장에서 설명한 바와 같이 측정물체의 SDT를 구성한다. 측정물체의 SDT에서 대각선 요소에 표현될 면의 정보는 각 측정면의 대응기초면과 그들간의 회전양을 이용하여 나타내는데 각 측정면에 대한 대응기초면의 SFV 즉,  $NO_j^k$ 는  $NO_j^k = [R_{\theta_{\psi}}] [0 \ 0 \ 1]^T$ 로 얻을 수 있다. 이와 같은 방법으로 측정물체의 SDT가 얻어지면 모델물체의 SDT를 이용하여 인식과정을 수행한다. 먼저, 측정물체를 구성하는 기초면의 집합  $S(OT_j)$ 과 모델베이스내의 물체들의 기초면의 집합을 비교한다.  $j$ 번째 측정물체의 기초면의 집합  $S(OT_j)$ 과 모델베이스내의  $i$ 번째 모델물체의 기초면의 집합  $S(OM_i)$ 의 관계가  $S(OT_j) \subset S(OM_i)$ 임을 만족하면서 측정물체의 면들의 관계가 모델물체의 면사이의 관계를 만족하면  $j$ 번째 측정물체는  $i$ 번째 모델물체와 정합되었다고 하고 측정물체를  $i$ 번째 모델물체로 인식한다.

5단계에서는 4단계에서 인식된 모델물체에 대한 측정물체 사이의 변환행렬 즉, 포즈를 결정한다. 측정물체의 모델물체에 대한 포즈는 측정물체와 모델물체의 모든 대응면들 사이의 SFV를 이용하여 면들 사이의 관계를 만족하는 변환행렬로 결정한다. 즉, 4단계에서 정합된  $j$ 번째 측정물체와  $i$ 번째 모델물체 각 면의 SFV를 각각  $NO_j^k, NM_i^l$  ( $k=1, \dots, l, p=1, \dots, n, \text{ 단 } n > l$ )이라 하고, 그들 사이의 변환행렬을  $A$ 이라 하면,  $A$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$NM_i^l = A NO_j^k, \quad NM_i^m = A NO_j^n \quad (k=l, m=n) \quad (5)$$

$$A = QQ^{-1} \quad (6)$$

$$Q = [ NM_i^k, NM_i^m, NM_i^l \times NM_i^m ],$$

$$Q^{-1} = [ NO_j^l, NO_j^n, NO_j^k \times NO_j^n ] \quad (7)$$

#### IV. 실험

이 장에서는 본 논문에서 제안한 물체표현, 물체인식 및 포즈결정방법을 유사한 기초면을 갖는 다양한 다면체에 적용하여 실험한 결과를 설명한다. 제안된 알고리즘은 10개의 모델과 5개의 측정물체를 이용하여 실험을 하였으며 알고리즘은 Pentium PC 상에서 C언어로 구현하였다. 측정물체로부터 분리된 면은<sup>101</sup>에서 설명된 알고리즘을 이용하였다.

##### 1. 측정물체의 영상획득 및 모델 데이터베이스의 구성

본 논문에서는 사용한 모델물체는 오목한 물체와 볼록한 물체 모두를 포함한다. 그림 4는 사용된 모델물체 중 10개의 모델물체  $OM_j$  ( $j=1, 2, \dots, 10$ )이며, 그림 5는 모델물체를 구성하는 기초면 중 10개의 기초면  $P_{S_i}$  ( $i=1, \dots, 10$ )을 나타낸다. 모델물체들에 대한 데이터베이스구성의 예로 오목다면체  $OM_5$ 에 대한 SDT는 2장의 표 1에, 각 면의 회전특징에 대한 회전지도는 그림 3에 주어졌다. 이와 같은 방법으로 각 모델물체와 기초면에 대한 데이터베이스를 구성하였다. 측정물체는 카메라를 이용하여 일정한 거리에서 임의의 각도로 회전시킨 후 물체의 중심이 영상의 중앙에 오도록 조정하였다. 실험결과 한 면의 signature는 측정거리가 일정한 값 이상이면 이동에는 상관없이 거의 유사하다는 것을 알 수 있었으며, 물체의 중심이 영상의 중앙에 위치하도록 하면 측정면의 무게중심이 측정좌표계의 중앙에서 놓인 것과 같은 거의 정확한 인식 및 회전결과를 얻을 수 있었다.

##### 2. 인식결과

그림 6은 모델물체 중에서 5개의 물체를 임의로 선택하여 카메라로부터 얻은 2차원영상의 에지검출결과이며 그림 7과 그림 8은 이들 중에서  $OT_3$ 와  $OT_5$ 에 대해<sup>101</sup>의 면검출 및 분할알고리즘을 적용하여 면을 분리한 결과이다. 그리고 표 2는 각 측정물체에 대한 선택된 가능기초면, 대응기초면, SFV, 그리고 최종 인식된 물체에 대한 결과를 나타낸 것이다.

표에서 '선택된 가능기초면'은 해당 측정면과 유사한 특성을 갖는 기초면들을 signature의 면특성만을 비교

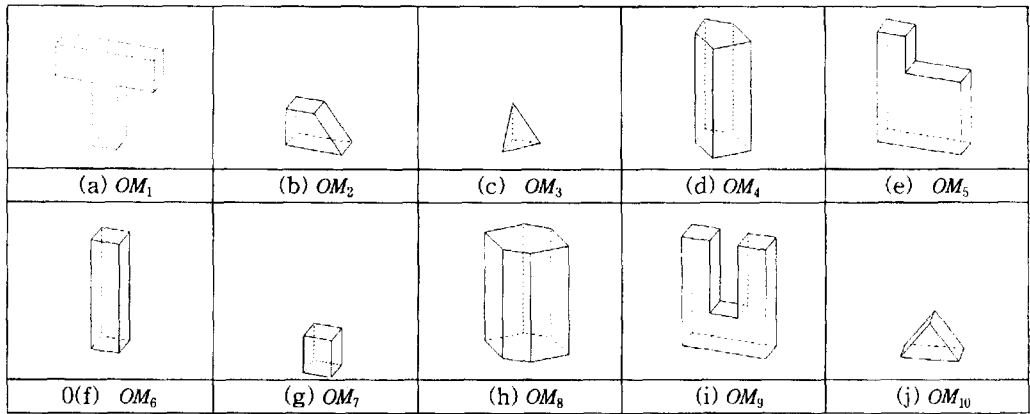


그림 4. 본 논문에서 사용한 모델다면체  
Fig. 4. Models used in this paper.

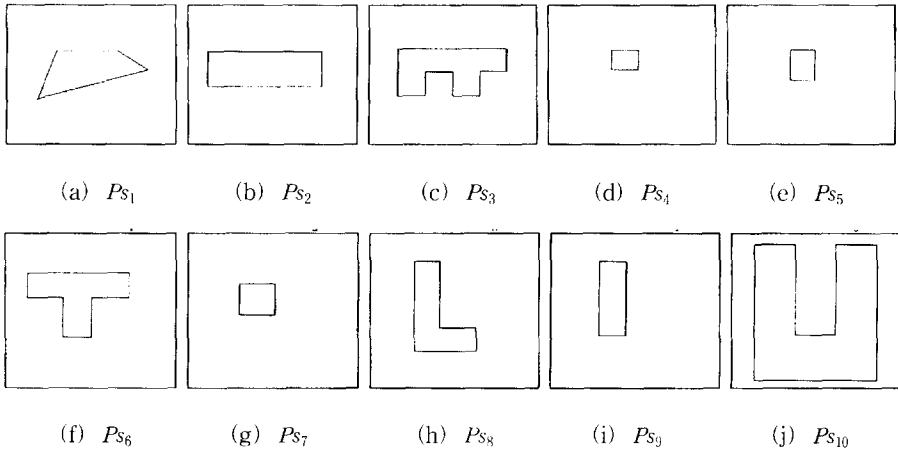


그림 5. 모델물체를 구성하는 기초면  
Fig. 5. Primitive surfaces of model objects.

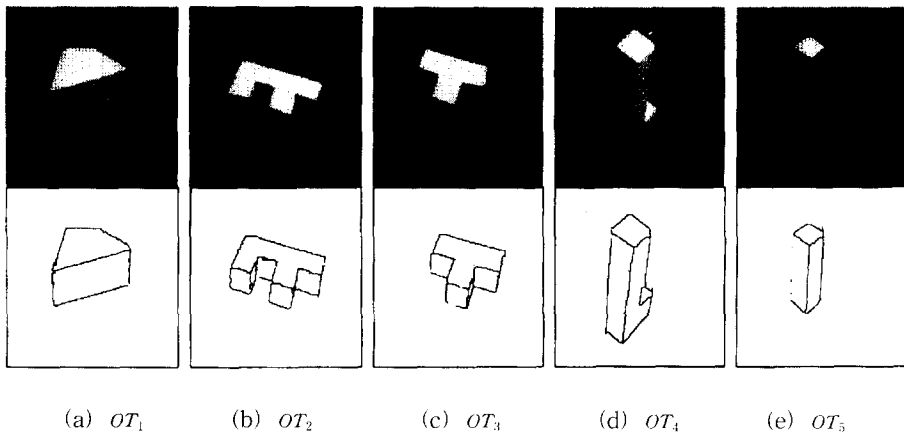


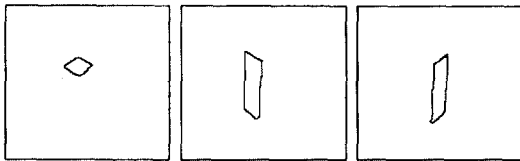
그림 6. 측정물체 및 검출된 에지영상  
Fig. 6. Test Objects and extracted edge images.



(a)  $OT_3^1$  (b)  $OT_3^2$  (c)  $OT_3^3$  (d)  $OT_3^4$  (e)  $OT_3^5$

그림 7. 측정물체  $OT_3$ 의 측정면

Fig. 7. Test surfaces of the Test Object  $OT_3$



(a)  $OT_5^1$  (b)  $OT_5^2$  (c)  $OT_5^3$

그림 8. 측정물체  $OT_5$ 의 측정면

Fig. 8. Test surfaces of the Test Object  $OT_5$ .

하여 선택한 결과이며, 측정면의 signature의 회전특징을 구한 후 회전지도에 적용하여 얻은 면과 회전양은 '회전지도 적용 후 가능기초면'에 표시하였다. 얻어진 회전양을 가능기초면에 적용하여 그중에서 측정면의 면특성과 가장 유사한 기초면과 회전양을 '대응기초면'에 표시하였다. 최종선택된 기초면과 회전양을 이용하여 인식된 물체는 '인식된 모델'에 표시하였다. 측정물체에 대한 인식모델이 얻어지면 동일한 기초면을 갖는 면들간의 표면특징벡터를 식 (5)(6)(7)를 적용하여 면간의 관계를 만족하는 변환관계를 구하므로써 최종 측정물체의 포즈를 결정하였다. 측정면이 하나이면서 그 면이 독특한 특징(오목특성, 비대칭특성)을 갖는  $OT_2$ ,  $OT_3$ ,  $OT_4$ 의 경우에는 상위계층의 비교에서 유일한 인식결과를 얻을 수 있는 반면에, 독특한 특징이 없는 경우에는 측정영상  $OT_5$ 과 같이 상위계층의 비교에서 복수개의 정합결과가 얻어짐을 알 수 있다. 또한 물체인식에 필요한 계산량은 기초면의 수를  $l$ , 물체를 구성하는 서로 다른 면의 수를  $k$ , 각 면에 대한 가능기초면의 수를  $n$ , 각면의 꼭지점의 수를  $m$ 이라 하면 최대 기초면의 비교과정에서  $l \times k$ 번의 비교, 회전도의 계산에서  $n \times m \times k$ 번의 비교만이 행해지게 되는데, 이는 일반적으로 물체인식연구에서 행해지는 에지비교방법보다 본 논문의 면비교방법이 비교횟수를 상당히 줄일 수 있으며, 모델물체에 대한 데이터베이스의 크기를 줄

일 수 있음을 알 수 있다.

표 2. 측정물체에 대한 인식 결과

Table 2. The recognition result of the test object.

측정물체	측정면	선택된 가능 기초면	회전지도 적용 후 가능 기초면	대응 기초면	각 면의 SFV	인식된 모델
$OT_3$	$OT_3^1$	$Ps_6$	$Ps_5, R$ (28,3,65.28, -20.1)	$Ps_6$	0.4,0.02,0.89	$OM_1$
	$OT_3^2$	$Ps_1, Ps_2, Ps_4, Ps_5, Ps_6, Ps_9$	$Ps_4, R$ (331.7,24.72, -20.3)	$Ps_4$	0.85,0.03,0.42	
	$OT_3^3$	$Ps_1, Ps_2, Ps_4, Ps_5, Ps_6, Ps_9$	$Ps_4, R$ (-28.3,65.28, -20.1)	$Ps_4$	0.4,0.89,0.03	
	$OT_3^4$	$Ps_1, Ps_2, Ps_4, Ps_5, Ps_6, Ps_9$	$Ps_1, R$ (331.7,24.72, -20.3)	$Ps_4$	0.85,0.03,0.42	
	$OT_3^5$	$Ps_1, Ps_2, Ps_4, Ps_5, Ps_6, Ps_9$	$Ps_4, R$ (331.7,24.72, -20.3)	$Ps_4$	0.85,0.03,0.42	
$OT_5$	$OT_5^1$	$Ps_1, Ps_2, Ps_4, Ps_5, Ps_6, Ps_9$	$Ps_4, R$ (69.6,30.1,10.3)	$Ps_4$	0.4,0.2,0.8	$OM_5$
	$OT_5^2$	$Ps_1, Ps_2, Ps_4, Ps_5, Ps_6, Ps_9$	$Ps_9, R$ (20.4,30.1, 10.3)	$Ps_9$	0.96,0.01,0.2	$OM_6$
	$OT_5^3$	$Ps_1, Ps_2, Ps_4, Ps_5, Ps_6, Ps_9$	$Ps_9, R$ (69.6,59.9,10.3)	$Ps_9$	0.7,0.4,0.04	$OM_9$

### V. 결론

본 논문에서는 하나의 2차원 영상을 이용한 3차원 다면체를 효과적으로 인식하기 위한 물체표현인식 및 포즈결정 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘에서 물체는 특정기초면이 회전되어 결합하므로, 모델물체의 데이터베이스를 구성할 때 공통으로 사용되는 기초면만 기하학적으로 표현하면 되고, 물체의 회전관계는 기초면의 회전지도를 이용하여 결정할 수 있기 때문에 물체의 표현이 간단해짐과 동시에 면들간의 회전양이 쉽게 얻어지며, 인식과정에서 2차원영상과 3차원물체의 정합에 소요되는 많은 계산과정을 signature를 이용한 기초면의 선택과정 및 기초면과의 변형도의 계산과정으로 단순화시킬 수 있다. 또한, 기초면에 대한 정보만

데이터베이스로 저장하기 때문에 데이터베이스의 크기가 상당히 줄어들어 데이터베이스 탐색시간이 최소화되어 실시간 인식에 적합하다. 또한 하나의 2차원 영상만을 이용하여도 빠르고 효율성 있는 인식효과를 얻을 수 있으며, 회전정도를 이용한 물체포즈의 결정이 상당히 쉽다는 장점을 갖는다. 자연2차물체에도 적용하기 위한 연구 및 겹쳐진 물체에도 이용할 수 있도록 겹쳐진 물체의 분리 및 재구성에 대한 연구가 진행 중에 있다. 이와 같은 연구를 통해 제안된 알고리즘이 일반적인 3차원물체를 실시간에 인식하는 것이 가능할 것이라 생각한다.

※ 본 연구는 숭실대학교 1996년도 교내 학술연구비의 지원에 의해 수행되었음.

#### 참 고 문 헌

- [1] H. H. Baker, T. J. Binford, J. Malik, J. Meller, "Progress in Stereo Matching", Proc. of DAPRA IU Workshop, Virginia, pp. 327-335, June, 1983.
- [2] B. K. P. Horn, K. Ikeuchi, "Numerical shape from shading and occluding boundaries", AI, 17, 1981.
- [3] J. Kender, "Shape from texture", TR CMU-C5-81-102, Dept. Computer Science, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, 1980.
- [4] M. Subbarao, C. Tae, "Accurate Recover of 3-D Shape from Image Focus", IEEE Trans. PAMI. Vol. 17, No. 3, Mar. 1995.
- [5] K. L. Boyer, A. C. Kak, "Color-encoded Structured Light for Rapid Active Ranging", IEEE Trans. PAMI, Vol. 9, No. 1, 1987.
- [6] R. Horaud, "New methods for matching 3-D objects with single perspective view," IEEE Trans. PAMI. Vol. 9, No. 3, pp. 401-412, May, 1987.
- [7] D. Huttenlocher and S. Ullman, "Object recognition using alignment," in proc. Int. Conf. Comput. Vision, London, England, pp. 102-111, June, 1987.
- [8] D. G. Lowe, "The viewpoint consistency constraint", Int. J. Comput. Vision, Vol. 1, No. 1, pp. 57-72, 1987.
- [9] M. Dhome, M. Richetin, J. T. Lapreste, G. Rives, "Determination of the Attitude of 3-D Objects from an Single Perspective View", IEEE Trans. PAMI. Vol. 11, No. 12, pp. 1265-1278, Dec. 1989.
- [10] 이부형, 한현수, "Surface segmentation and Description using the Signature", 영상처리 및 이해에 관한 워크샵(제 9회), 경주, pp. 354-358, Jan. 1997.

#### 저 자 소 개

韓 獻 洙(正會員) 第 32卷 B編 第 2號 參照



李 富 衡(正會員)

1983년 숭실대학교 전자공학과 졸업, 1989년 숭실대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 현재 숭실대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 관심 분야는 3D 물체인식, 로봇트비전, 컴퓨터그래픽스 등임