

Signature 기법을 이용한 면의 특징 표현 및 분할 기법

(Surface Segmentation and Feature Description using the Signature Technique)

李富衡*, 韓獻洙*

(Boo-Hyoung Lee and Hern-Soo Hahn)

요 약

본 논문에서는 signature 기법을 이용한 새로운 면 단위의 영역분할 및 면 표현 알고리즘을 제안한다. Signature 기법은 물체나 면의 중심을 구하고 중심점으로부터 경계선까지를 반시계방향으로 360도 회전하면서 중심점과의 거리 D 를 구하여 회전각도 θ 의 함수로 표현하는 기법이다. 물체가 2개 이상의 면으로 이루어지는 경우에는 면의 위치에 따라 signature 영역에서 하나의 회전각도에 대응하여 2개 이상의 거리값을 갖는 구간들이 존재하게 되며, 이들 거리값들은 각 구간 내에서 폐곡선을 형성한다. 이와 같은 signature 특성을 이용하여 면을 분할하며, 분할된 면으로부터 면의 특성 즉, 꼭지점의 수, 에지의 수 및 면의 형태에 대한 정보를 얻을 수 있다. 제안된 알고리즘은 면의 일부분이 손실된 경우에도 간단한 curve fitting 방법을 이용하여 손실된 부분을 복구할 수 있고, 관측방향에 따른 영상의 변화에 대해 구분이 어려운 경우에도 면을 분할 할 수 있다는 장점을 갖는다.

Abstract

This paper presents a new algorithm for surface segmentation and feature description. The algorithm extracts the signature of an edge image based on the signature technique[12] in the first stage. If there exists a range in the angle axis where more than two signatures form a closed curve, we can conclude there is a surface inside the range. Using this feature of the signature, surfaces can be segmented. The surface features such as number of vertices, number of edges, and type of surfaces can also be extracted by finding the signatures of individual surfaces. This algorithm has distinguished advantages: it can easily recover the lost part occurring in the edge image using the curve fitting method and it can extract surface features even when surfaces are rotated in 3-D space.

I. 서 론

2차원 모서리영상으로부터 추출한 경계선을 의미 있는 영역으로 분할하고 분할된 영역을 정확하게 표현하는 것은 3차원 물체인식에 필수적인 전처리 과정이다. 일반적으로 사용되는 기법은 첫째, 경계선의 위치를

꼭지점의 함수로 변환시켜 얻은 곡률을 이용하여 경계선을 직선이나, 호로 분할하는 방법이 있으며^[1-3], Hough 변환과 Generalized Hough 변환을 이용하여 직선과 원등으로 경계선을 분할하는 방법이 있다^[4-7]. Hough 변환을 이용하여 직선을 검출하는 경우 하나의 직선에 대해서도 끊어진 조각으로 직선을 추출하게 되는 단점을 가지므로 매개변수영역에서 직선 상에 놓인 모서리점들의 효율적인 그룹화 및 검출된 직선들 사이의 연결도(connectivity) 등의 문제 등이 해결되어야 할 과제로 남아 있다^[7-8]. 면 단위로 면을

* 正會員, 崇實大學校 電子工學科

(Dept. of Electrical Engineering, Soongsil Univ.)

接受日字: 1997年3月19日, 수정완료일: 1997年11月19日

할하고 면사이의 정보를 얻기 위해 line drawing이 가능한 물체에 선분표기법(line labeling)을 적용하여 면을 분할하는 방법이 이용되고 있지만 이 방법을 이용하는 경우에는 선분표기가 불가능한 물체가 존재하게 되어 많은 물체의 면을 분할하기에는 한계가 있으며, 곡선의 모서리를 갖는 물체의 해석에는 아직도 어려움이 있다^[9].

이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 물체의 경계선을 다각형, 원등과 같이 면 단위로 분할하여 연결도등의 문제를 해결할 뿐만 아니라 모든 물체에 다양하게 적용할 수 있는 면분할 및 표현 알고리즘을 제안한다. 2차원 모서리영상이 주어지면 면의 위치확인 및 분할을 위해 signature 기법을 적용한다^[10]. 물체가 2개 이상의 면으로 이루어지는 경우에는 signature 영역에서 하나의 회전각도에 대응하여 2개 이상의 거리값이 존재하게 되며, 이 범위 내에서 폐곡선을 형성한다. 따라서, 하나의 회전각도에 대응하여 2개 이상의 거리값을 갖는 각도에 대응하는 모서리픽셀을 인접면의 시작, 종료픽셀로 지정한 후 거리값의 크기에 따라 중심면과 인접면의 공유모서리, 독립모서리픽셀로 표기하고 분류한다. 분류된 결과를 이용하여 각 면의 공유모서리, 독립모서리를 결합하여 완전한 면을 분리할 수 있다. 면이 분리되면 손실된 정보를 복구한 후 면의 특징을 얻는다. 제안된 알고리즘은 모서리영상만 얻어지면 모서리연결(edge linking)등의 부수적인 과정이 없이도 면의 판단 및 분할이 용이할 뿐만 아니라 면들 사이의 관계를 쉽게 얻을 수 있다는 특징을 갖는다. 또한 하나의 기법을 통해 면의 판단, 분할 및 표현까지 가능하기 때문에 물체인식을 위한 이전 단계의 속도가 개선되며, signature로부터 얻을 수 있는 면의 특징이 회전 및 투영에 관계없이 불변한 특성을 갖는다. 제안한 알고리즘을 다양한 물체에 적용시켜 알고리즘의 성능을 평가하였다.

II. Signature기법을 이용한 면의 분할

1. Signature기법을 이용한 특징표현

물체나 물체를 구성하는 각각의 면은 signature기법을 이용하여 signature영역으로 변환될 수 있는데, signature기법은 물체나 면의 중심을 구하고 중심점으로부터 경계선까지를 반시계방향으로 360도 회전하면

서 회전 각도 θ 의 변화(X축)에 따라 중심점에서부터 경계점까지의 거리 D를 Y축에 표현하는 방식이다^[10]. 그림 1은 면의 예와 대응 signature이며, 이들로부터 다음과 같은 면의 특징을 얻을 수 있다.

- 모서리의 수(*edge*) ● 정점의 수(*vtx*)
- 모서리의 곡률(*k*) ● 대칭성(*sym*)

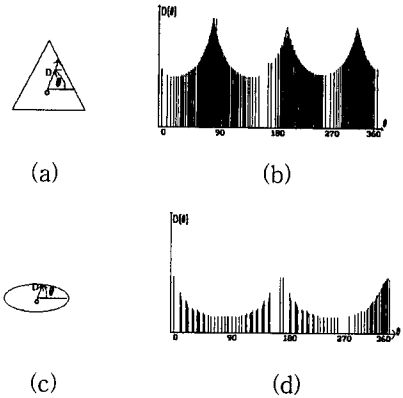


그림 1. 면의 예와 대응 signature
(a) 삼각형 (b) (a)면의 signature (c) 타원 (d) (c)면의 signature

Fig. 1. Surfaces and corresponding signature.
(a) Triangle (b) Signature of Fig.1(a) (c) Ellipse (d) Signature of Fig. 1(c)

Signature영역에서 피크는 면의 정점을 나타내는데, $vtx \geq 3$ 인 경우에는 다각형을, 그렇지 않은 경우에는 원 또는 원이 변형된 면이 된다. 피크간의 기울기의 변화율은 모서리의 곡률 k 로 표현된다. 피크간의 기울기의 변화율이 일정한 값보다 작으면 모서리는 곡선모서리가 되며, 그렇지 않으면 직선모서리가 된다. Signature의 피크의 D축상의 거리는 면의 중심에서 피크까지의 거리가 되며 이들 사이의 비를 비교하여 2개 이상 동일한 거리가 존재하는 경우 해당면은 대칭으로 판단한다.

2. Signature기법을 이용한 면의 분할

물체를 구성하는 면들이 구별될 수 있을 정도의 크기 및 면적을 갖고 있을 때 2.1절에서 설명한 signature기법을 2차원 영상 전체에 적용함으로써 면을 검출하고 분할할 수 있다. 그림 2(a)의 다면체의 중심점(o)이 그림 2(b)에서와 같이 얻어지면 2.1절의 signature기법을 적용하여 회전각도에 대해 경계선까지의 거리를 표시한 예가 그림 2(c)이다.

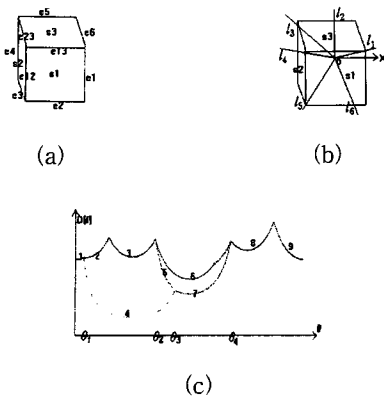


그림 2. 면의 검출 및 분할을 설명하는 예
(a) 직육면체 (b) (a)의 중심과 경계점 (c)
물체(a)의 대응 signature
Fig. 2. Example for explaining detection and
segmentation of the surface.
(a) Polyhedra (b) Centroid and boundary
of (a) (c) Signature of object(a)

그림 2(b)에서 표시한 직선들(반시계방향으로 o_1 - ox 까지의 직선, 이하 모든 방향은 반시계방향을 전제로 함)을 살펴볼 때 다음과 같은 특성을 얻을 수 있다.

첫째, 입력영상에 면이 존재하는지의 여부와 면의 개수를 알 수 있다. 중심점을 포함한 면(이하 중심면이라 함) S_1 에 인접면 S_2, S_3 가 존재하는 경우, 그림 2(b)의 반시계방향으로 직선 $o_1 \sim o_5$ 사이의 영역과 그림 2(c)의 θ_1 도 $\sim \theta_4$ 사이의 범위에서처럼 하나의 회전각도에 대해 임계치 이상의 차이를 갖는 두 개 이상의 거리값이 존재하며, 인접면의 signature는 폐곡선(그림 2(c)의 $\theta_1 \sim \theta_2, \theta_2 \sim \theta_4$ 의 범위에 해당)을 형성하게 된다. 인접면이 존재하지 않는 경우에는 그림 2(b)의 직선 $o_5 \sim o_1$ 사이의 영역과, 그림 2(c)의 회전각도 $0^\circ \sim \theta_1, \theta_4 \sim 360^\circ$ 사이에서처럼 하나의 회전각도에 대해 하나의 거리값이 존재함을 알 수 있다.

둘째, 거리값의 수가 변화되는 위치를 이용하여 인접면의 존재하는 방향을 알 수 있다. 즉, 그림 2(c)의 그림 2(b)의 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ 에서 이 각도에서 임계치 이상의 차이를 갖는 거리값의 개수가 $2 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ 로 바뀔 수 있다. 이는 θ_1 에서 거리값이 2개로 바뀔 때는 인접면 s_3 의 시작각도를, θ_2 에서 거리값이 3개로 바뀔 때는 인접면 s_2 의 시작각도를, 인접면 s_3 과 인접면 s_2 가 연결됨을 알 수 있다. θ_3 에서는 인접면 s_3 이

종료되어 거리값이 다시 2개로 바뀌게 되며, 인접면 s_2 만이 존재함을 알 수 있다. θ_4 에서는 다시 거리값이 하나로 바뀌게 되는데, 이는 이 각도에서 인접면 s_2 가 종료되어 중심면의 경계점에 대한 거리값만이 존재함을 알 수 있다. 따라서 이 각도는 인접면 s_2 의 종료각도가 된다. 이와 같이 하나의 회전각도에 대해 거리값이 변화되는 각도는 새로운 인접면의 시작, 종료되는 각도가 됨을 알 수 있다.

셋째, 면간의 공유모서리 정보 또는 독립모서리 정보를 알 수 있다. 그림 2(c)에서 직육면체를 구성하는 면 s_1 , 면 s_2 , 면 s_3 의 signature에서, 면 s_1 과 s_2 에 공통인 signature는 7, 면 s_1 과 s_3 에 공통인 signature는 모서리, 면 s_2 와 s_3 에 공통인 signature는 5이다. 이들 공통 signature는 각각 두 개의 면이 공통으로 갖는 signature로서 이에 해당되는 모서리 e_{12}, e_{13}, e_{23} 이 각 면사이의 공유모서리가 됨을 알 수 있다. 또한 여러개의 거리값이 존재하는 경우에 중심면의 signature는 가장 작은 거리값에 해당하며, 거리값이 하나인 경우에는 해당 signature는 중심면에 대한 독립모서리가 된다.

이와 같은 signature 특성을 이용한 면검출 알고리즘을 요약하면 다음과 같다.

● 면검출 알고리즘

- 단계 1: 2차원 영상전체에 대한 signature를 구한다.
- 단계 2: Signature 영역 내에서 하나의 회전각도에 임계값 이상의 차이를 갖는 2개 이상의 거리값이 존재하는 각도가 존재하는지를 검사하고 '개수 변화 각도'로 지정한다.
- 단계 3: 단계 2의 조건을 만족하는 거리값의 개수가 처음 변화되는 '개수변화 각도'에서 거리값 개수만큼의 인접면의 번호를 할당하고 현재 '개수변화 각도'를 각 인접면의 시작각도로 저장하고 거리값의 크기를 이용하여 인접면과 중심면에 대한 signature를 분류한다.
- 단계 4: 두 번째 이후의 '개수변화 각도'에서 거리값의 수가 이전 '개수변화 각도'에서의 수보다 작으면 해당 각도를 이전에서 설정한 해당 인접면의 종료각도로 저장하고 그렇지 않으면 새로운 인접면을 추가하여 새로운 인접면의 시작각도로 저장한 후 단계 3의 과정을 반복하여 중심면과 인접면의 공유모서리집합 및 인접면

의 독립모서리 집합을 구한다.

단계 5: 단계 2에서 하나의 거리값만 존재하는 경우에는 거리값에 대응하는 픽셀의 집합을 중심면의 독립모서리 집합에 저장한다.

단계 6: 단계 3, 단계 4, 단계 5의 과정을 통해 분류된 모서리픽셀들의 집합을 결합하여 면을 완성한다.

면점출 알고리즘의 단계 2에서는 signature 영역에서 하나의 회전각도에 대해 거리값의 차이가 임계값 이상의 차이를 갖는다면 이것은 영상영역에서 인접면이 존재함을 의미하므로 인접면의 존재여부 및 위치를 판단하기 위해 해당각도를 순서대로 각각 '개수변화 각도'로 지정한다. 그림 2(c)에서 '개수변화 각도'는 각각 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ 에 해당한다.

단계 3에서는 최초 인접면(들)의 시작위치와 인접면을 구성하는 픽셀을 찾는 단계로, 단계 2의 조건을 만족하는 거리값의 개수가 제일 처음 변화되는 '개수변화 각도'에서 거리값 개수만큼의 인접면의 번호를 할당하고, 해당 각도를 각 인접면의 시작각도 P_{s_i} (여기에서 s_i 는 인접면으로 $i=1, \dots, n$, 이고, P_{s_i} 는 i 번째 인접면 s_i 의 시작각도이다.)로 지정한다. 인접면의 시작각도가 정해지면 면의 모서리를 얻는 과정을 수행한다. 처음 '개수변화 각도'부터 다음 '개수변화 각도' 범위까지 거리값이 두 개인 경우에는 하나의 회전각도에 대응하는 거리값 중 작은 거리값에 대응하는 픽셀을 중심면 s_c 과 i 번째 인접면 s_i 과의 공유모서리 집합 $S(Ec), S(Es_i)$ (여기에서 c 는 중심면, s_i 는 i 번째 인접면, Ec 는 중심면 c 의 공유모서리 픽셀, Es_i 는 i 번째 인접면 s_i 의 공유모서리 픽셀)에, 두 개 이상인 경우에는 거리값이 작은 순서대로 해당 픽셀을 중심면 s_c 과 i 번째 인접면 s_i 과의 공유모서리 집합 $S(Ec), S(Es_i)$, i 번째 인접면 s_i 과 $i+1$ 번째 인접면 s_{i+1} 과의 공유모서리 집합 $S(Es_i), S(Es_{i+1})$ 에 각각 저장한다. 이와 같은 방법으로 각 면에 대한 공유모서리 집합을 구한다. 가장 큰 거리값에 대응하는 픽셀은 마지막 인접면 s_{i+1} 의 독립모서리 집합 $S(Os_{i+1})$ (여기에서, Os_{i+1} 는 인접면 s_{i+1} 의 독립모서리 픽셀)에 저장한다.

단계 4에서는 단계 3에서 형성된 인접면의 종료위치, 새로운 면의 시작위치 및 모서리픽셀들을 찾는 단계로 두 번째 이후의 '개수변화 각도'에서 거리값의 수

가 이전 '개수변화 각도'에서의 수보다 작으면 해당각도를 이전에서 설정한 인접면의 종료각도 F_{s_i} 로 저장한다. 그렇지 않으면 새로운 인접면을 추가하고 현재의 '개수변화 각도'를 추가한 인접면의 시작각도 P_{s_i} 로 저장한다. 해당 각도 범위내에서 각 인접면과 중심면을 구성하는 공유모서리, 인접면의 독립모서리 픽셀을 얻는 과정은 단계 3과 동일하다.

단계 5에서는 중심면의 독립모서리 집합을 구하는 과정을 수행한다. 하나의 면은 모서리로 구성되며, 모서리는 다시 다른 면과 공유되는 모서리와 그렇지 않은 독립모서리로 이루어진다. 단계 2에서 하나의 거리값을 갖는 픽셀은 중심면의 픽셀에 해당되기 때문에 이를 중심면의 독립모서리 집합 $S(Oc)$ (여기에서 O_c 은 중심면의 독립모서리 픽셀)에 저장한다. 중심면의 독립모서리를 얻는 과정은 생략될 수도 있다.

단계 6에서는 5단계까지의 결과에서 얻은 모서리정보를 이용하여 중심면과 인접면의 각 면을 완성한다.

III. 분할된 면에서 손실된 모서리의 복구

영상으로부터 분할된 면은 여러 가지 요인으로 인해 면의 정보가 손실된다. Signature의 특성에서 다각형의 피크와 피크사이의 곡선은 $D = a\theta^2 + b\theta + c$ 의 2차곡선이 되며, 원은 $D=c$ 의 직선이 된다. 따라서 최소자승법에 의한 다항식보간법(Polynomial Interpolation)을 이용하여 계수를 구해 손실된 부분에 대한 signature정보를 얻고 궁극적으로 면을 재구성한다. 최소자승법에 의한 다항식보간법 과정의 원리를 다음과 같이 간단히 요약해 볼 수 있다. 즉, signature 영역에서 $(\theta_0, d_0), (\theta_1, d_1), \dots, (\theta_m, d_m)$ 인 $(m+1)$ 개의 데이터로 주어지는 점을 지나는 다항식을 구하기 위해 $D(\theta)$ 를 근사다항식, S 을 진함수로 표시하면 이들간의 차이(편차) Z 가 0이 되는 $D(\theta)$ 를 얻어야 한다. 따라서 $(m+1)$ 개의 점에서 얻어지는 Z 를 제곱하고 이를 전부 합하여 M 이라고 하면 M 은 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$M = \sum_{i=0}^m Z^2 = \sum_{i=0}^m [c_0 + c_1 \theta_i^1 + \dots + c_n \theta_i^n - S_i]^2 \tag{1}$$

식(1)의 다항식의 계수 $c_0, c_1, c_2, \dots, c_n$ 를 c_i 로 표현하면 M 이 최소로 될 필요충분조건은 식(2)를 만족하

여야 한다.

$$\frac{\partial M}{\partial c_i} = 0 \tag{2}$$

따라서 식 (2)로부터 $(m+1)$ 개의 방정식을 얻을 수 있으며, c_0, c_1, \dots, c_n 에 대한 연립방정식을 행렬식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} 1 & \theta_0 & \theta_0^2 & \dots & \theta_0^n \\ 1 & \theta_1 & \theta_1^2 & \dots & \theta_1^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \theta_m & \theta_m^2 & \dots & \theta_m^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_0 \\ s_1 \\ \vdots \\ s_m \end{bmatrix} \tag{3}$$

식 (3)에서 c_i 의 계수행렬을 A , c_i 의 열벡터를 X , 우변상수의 열벡터를 b 라고 표시할 때 식 (2)를 만족하는 c_i 를 얻기 위해서는 $A^T A x = A^T b$ 가 되는 X 를 구하면 된다. 그림 3은 위에서 설명한 다항식 보간법을 적용하여 곡선을 적합시키는 과정을 보여준다. 그림 3(a)의 면에서 점선으로 표시한 부분은 꼭지점 부분이 손실된 경우이며, 이는 그림 3(b)의 대응 signature에서 점선 원으로 표시된 모서리 $5^\circ, 120^\circ, 225^\circ, 300^\circ$ 근방의 거리값의 손실에 대응된다. 그림 3(a)의 면에서 모서리 E1, E2, E3, E모서리에 대한 signature는 그림 3(b)에서 각각 S1, S2, S3, S4, S5이다. 이들 S1~S5 각각에 대한 각도와 거리값을 이용하여 위의 식 (1)~(3)조건에 맞는 2차함수의 계수 a, b, c를 구하면 표 1과 같다.

표 1. 그림 3(b)의 S1~S5에 대한 2차함수의 계수

Table 1. Coefficients of polynomials corresponding to S1~S5 of Fig. 3(b)

계수 \ signature	a	b	c
S1	-13.07	4.17	0.5
S2	18.6	-9.20	1.8
S3	15.2	-13.59	3.48
S4	18.47	-27.64	11.02
S5	13.79	-26.11	12.85

표 1에서의 계수를 이용하여 손실된 각도근방의 거리값을 구하여 나타낸 모서리가 그림 3(c)이다. 그림 3(c)에서 점선으로 표시된 부분이 모서리의 교차점이 되며 이 교차점을 모서리 E1, E2, E3, E모서리의 꼭지점으로 지정하므로써 손실된 부분과 꼭지점을 구할 수 있어 전체적인 면을 복구할 수 있게된다. 모서리의 부분정보가 손실된 경우에도 동일한 방법을 적용하여

복구할 수 있다.

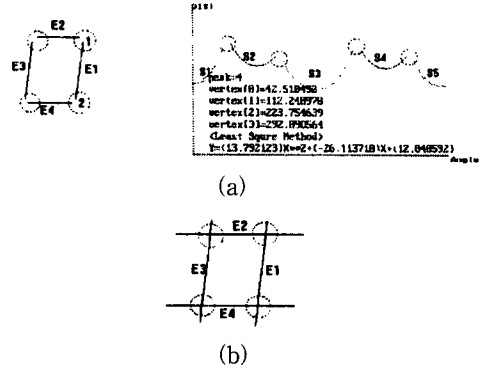


그림 3. 손실된 모서리와 복구된 모서리
(a)꼭지점 부분이 손실된 예와 대응 signature (b) 복구 예
Fig. 3. Lost vertices and Reconstructed vertices.
(a) Image having vertices and signature lost (b) Reconstructed vertices

IV. 실험결과

1. 측정물체의 실험결과

본 논문에서 제안한 알고리즘을 카메라로부터 얻은 256*256크기의 다양한 영상에 적용하여 면을 분할하고 재구성하였다. 알고리즘은 Pentium100 PC상에서 C++언어를 이용하여 수행하였다. 그림 4는 입력영상을, 그림 5는 입력영상에 대한 모서리 영상 및 대응 signature를, 그림 6은 입력영상의 분할된 면을, 그림 7은 재구성된 면을 나타낸다.

그림 6은 2장에서 제안한 면검출 알고리즘을 적용하여 그림 5의 각 영상으로부터 면을 분할한 결과를 나타내는데, 본 논문에서 면을 분할하기 위한 인접면

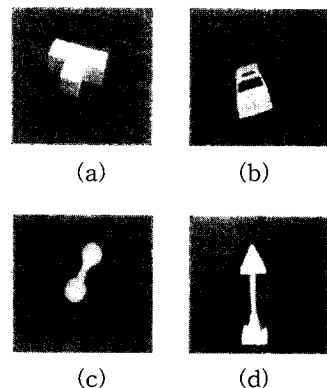


그림 4. 입력영상
Fig. 4. Object images.

의 시작, 종료각도를 얻기 위한 거리값의 차이는 모서리로 하였으나 이 임계값은 물체의 크기에 따라 그리고 면의 크기에 따라 달라질 수 있다.

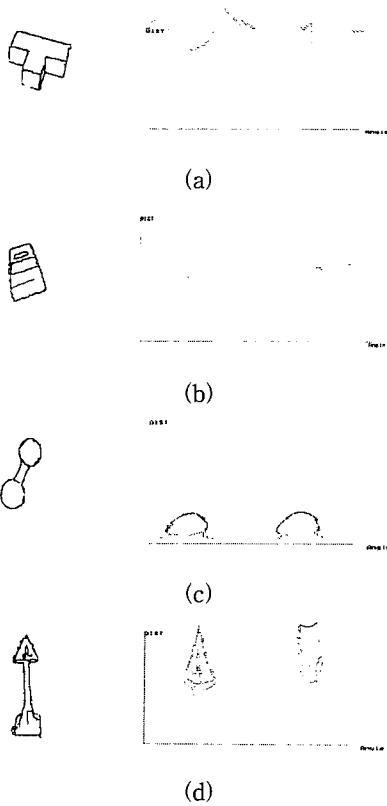


그림 5. 그림 4의 입력영상에 대한 모서리영상과 signature

(a) 그림4(a)의 모서리영상과 signature (b) 그림 4(b)의 모서리영상과 signature (c) 그림 4(c)의 모서리영상과 signature (d) 그림 4(d)의 모서리영상과 signature

Fig. 5. Edge images and signatures of Fig. 4.

(a) Edge image and signature of Fig. 4(a) (b) Edge image and signature of Fig. 4(b) (c) Edge image and signature of Fig. 4(c) (d) Edge image and signature of Fig. 4(d)

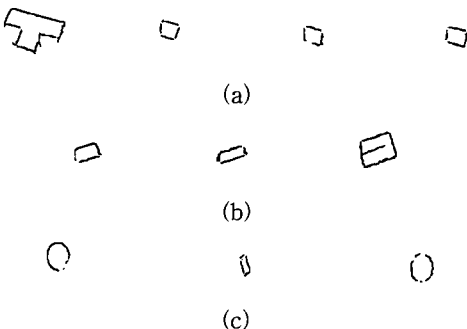


그림 6. 그림 4의 입력물체의 분할된 면
(a) 물체 (a)의 분할된 면 (b) 물체 (b)의 분할된 면 (c) 물체 (c)의 분할된 면 (d) 물체 (d)의 분할된 면

Fig. 6. Segmented surfaces of Fig. 4.

(a) Segmented surfaces of Fig. 4(a) (b) Segmented surfaces of Fig. 4(b) (c) Segmented surfaces of Fig. 4(c) (d) Segmented surfaces of Fig. 4(d)

그림 7은 그림 6의 분할된 면에 4장에서 설명된 곡선적합과정을 이용하여 완전한 면을 구성한 그림중 일부분이다. 인접면의 시작, 종료각도의 부정확함에 의해 잃어버렸던 모서리영역이 거의 완벽하게 복구됨을 알 수 있다. 또한 그림 6(b)(d)에서 분리되지 않은 면은 손실된 면을 복구하는 과정에서 다시 재분할 되었으며 손실된 부분이 복구되었다.

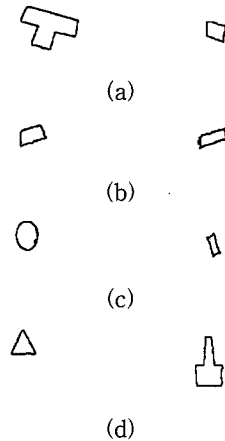


그림 7. 그림 6의 분할된 면의 재구성 결과
(a) 물체(a)의 면의 재구성결과 (b) 물체(b)의 면의 재구성결과 (c) 물체(c)의 면의 재구성결과 (d) 물체 (d)의 면의 재구성결과

Fig. 7. Reconstruction of individual surfaces given in Fig. 6.

(a) Reconstruction of fig 6(a) (b) Reconstruction of fig 6(b) (c) Reconstruction of fig 6(c) (d) Reconstruction of fig 6(d)

그림 7에서처럼 면이 재구성되면 2장에서 설명한 바와 같이 면의 특성을 추출한다. 제안된 알고리즘을

그림 4의 입력영상에 적용하였을 때의 수행시간은 표 2와 같다. 표 2에서 평균적으로 면분할 과정이 전체 수행시간의 약 모서리5%를, 면 복구과정이 약 28%를, 특징표현과정이 약 27%를 차지하였으며, 전체적으로 약 7-8초대의 수행시간이 소요됨을 알 수 있었다.

표 2. 제안된 알고리즘의 단계별 수행시간
Table 2. The execution time of the proposed algorithm.

(단위 : sec)

입력영상 \ 단계	(a)	(b)	(c)	(d)
면 분할	3.55	3.51	3.34	4.16
면 복구	2.45	2.34	2.09	2.03
특징 표현	2.37	2.22	1.96	2.13
전체 수행시간	8.37	7.07	7.39	6.29

2. Line labeling이 불가능한 물체에의 적용

면의 집합으로 구성된 물체의 면을 면단위로 분할하기 위한 방법으로 특징조건하에 형성된 line drawing에 선분표기법을 이용할 수 가 있다. 그러나, 그림 8(a)의 다면체는 하나의 꼭지점에 모서리개의 면이 존재하고, 그림 8(b)는 일반적인 위치에서 보일 수 없는 물체이므로 line drawing을 위한 조건에 위배된다^[1]. 그러나, 제안된 알고리즘은 모든 물체의 line drawing에 쉽게 적용할 수 있어 그림 9와 같이 면을 분리할 수 있게 된다.

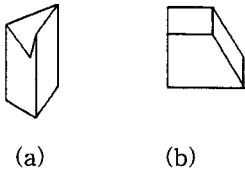


그림 8. 선분표기법이 불가능한 물체
Fig. 8. Objects where the line labeling is impossible.

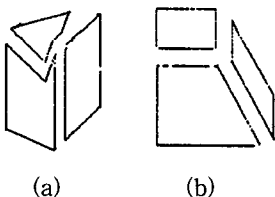


그림 9. 선분표기법이 불가능한 물체의 면분할
Fig. 9. Surface segmentation of objects where is line labeling is impossible.

V. 결 론

본 논문에서는 signature기법을 입력물체에 직접 적용함으로써 2차원 영상의 모서리정보로부터 면의 위치를 확인, 분리하고 면 각각을 독특하게 표현할 수 있는 알고리즘을 제안하였다.

물체 중심으로부터 경계점까지의 회전각도에 대한 거리를 구하면 물체를 구성하는 면의 정보 즉, 면의 개수와 면이 존재하는 위치 등에 대한 정보를 얻을 수 있게 된다. 물체가 2개이상의 면으로 이루어지는 경우에는 signature영역에서 하나의 회전각도에 대응하여 2개이상의 거리값을 갖는 각도가 존재하게 되며, 이 범위 내에서 폐곡선을 형성하기 때문에 쉽게 면을 분할 할 수 있다. 또한 면의 정보가 손실된 경우에도 면의 signature특성을 이용하여 충분히 재구성할 수 있고 signature기법으로부터 면의 특징을 독특하게 표현할 수 있어 다음단계인 물체표현이 명확해 진다는 장점을 가지고 있다.

제안된 알고리즘에 의한 면분할 방식은 기존의 직선이나 곡선과 같은 primitive를 이용한 분할이 아닌 면 단위에 의한 분할임과 동시에 쉽게 면을 분할 할 수 있고, 면을 분리하는 과정에서 공유모서리의 정보가 쉽게 얻어지므로 표면묘사기법을 이용하는 물체인식에 적용가능하며, 하나의 기법을 통해 면분할 및 표현까지 가능하기 때문에 물체인식을 위한 전 단계의 속도가 개선되어 실시간 인식에 이용될 수 있을 것이라 생각한다.

제안한 알고리즘을 좀 더 확장하여 복잡한 환경 하에서 원하는 물체의 효율적인 탐색, 겹쳐진 물체의 분리 및 재구성에 적용하는 연구가 현재 진행중이다.

참 고 문 헌

[1] A. Rosenfeld and E. Johnston, "Angle detection in digital curves", *IEEE Trans. Comput.*, vol. 22, pp. 875-878, 1973.
 [2] A. Rosenfeld and J. S. Weszka, "An improved method of angle detection on digital curves", *IEEE Trans. Comput.*, vol. 24, pp. 940-941, 1975.
 [3] G. A. W. West and P. L. Rosin, "Techniques for segmenting image curves into meaningful descriptions", *Pattern*

- Recognition*, vol. 24, pp. 643-652, 1991.
- [4] J. Illingworth and J. Kittler, "A survey of the Hough transform", *CVGIP*, vol.44, pp. 871-116, 1988.
- [5] R. S. Wallac, "A modified Hough transform for lines", *IEEE Conf. CVPR.*, pp. 665-667, 1985.
- [6] H. F. Li, D. Pao and R. Jayakumar, "Improvements and systolic implementation of the Hough transformation for straight line detection", *Pattern Recognition*, vol. 22, pp. 697-706, 1989.
- [7] S. Y. K. Yuen, T. S. L. Lam and N. K. D. Leung, "Connective Hough transform", *Image & Vision computing*, vol. 11, pp. 295-301, 1993.
- [8] John Princen, John Illingworth and Josef Kittler, "A Hierarchical Approach to Line Extraction Based on the Hough Transform", *CVGIP*, vol 52, pp. 57-77, 1990.
- [9] Yoshiaki Shirai, *Three-Dimensional Computer Vision*, Springer-Verlag, pp. 90-121, 1987.
- [10] 이부형, 한현수, "하나의 2차원 영상에서 표면의 signature를 이용한 다면체의 표현 및 인식 알고리즘", 「대한전자공학회 논문지-S」, 제 34권, 제2호, pp. 63-70, 1997
- [11] Robert M. Haralick and Linda G. Shapiro, *Computer and Robot Vision(II)*, pp. 428 Addison-Wesley.

 저 자 소 개

李 富 衡(正會員) 第 34卷 S編 第 2 號 參照
 현재 숭실대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 주관심 분야는 3D 물체인식, 로보트 비전, 컴퓨터 그래픽스 등임

韓 獻 洙(正會員) 第 32卷 B編 第 2 號 參照
 현재 숭실대학교 전자, 정보통신공학부 교수. 주관심분야는 3D 물체인식, 자료융합, 로봇센서 등임