

2차 다항식을 이용한 3차원 물체의 형상 표현

현대환*, 이선호*, 김태은**, 정회원 최중수*

The shape representation of 3D object using a quadric polynomial

Dae-Hwan Hyeon*, Sun-Ho Lee*, Tae-Eun Kim**, Jong-Soo Choi* *Regular Members*

요 약

본 논문은 2차 다항식을 이용하여 3차원 물체의 표면 특징을 추출하고 표현하는 방법을 제안한다. 본 연구는 수정된 스캔 라인 기법을 이용하여 에지 맵을 얻는다. 에지 맵으로부터 3차원 물체의 각 면들을 분리하기 위해 레이블링 연산을 하고 각 면에서 중심점과 모서리 점들을 추출한다. 그 다음에, 평면 방정식으로부터 각 면이 평면인지 곡면인지를 판단한다. 3차원 물체를 표현하기 위해 각 면의 평면 또는 곡면의 계수 및 특징들을 추출한다. 합성영상과 실측영상을 통해서 제안된 기법의 성능을 알아보았고, 또한 제안된 기법으로 3차원 물체를 재구성하였다.

ABSTRACT

This paper presents a new method of 3-D surface feature extraction using only center, corner points. With a range image, we get an edge map through the scan line technique. Using this edge map, we label a 3-dimensional object to divide object's region and extract center and corner point from it's region. Then we determine whether the segmented region is a planar surface or a curved from the quadric surface equation. we calculate the coefficients of the planar surface or the curved surface to represent regions. In this article, we use synthetic and real(Odetics) range images including polyhedral and curved objects.

I. 서론

시각 시스템은 관찰자를 둘러싸고 있는 환경이나 물체 표면의 기하학적 및 물리적인 성질을 유추해야 하는 문제에 직면하게 된다. 이들 시각 시스템이 얻을 수 있는 데이터는 카메라나 센서에 의해 측정된 데이터이다. 그러나 시각 시스템은 이러한 정보를 이용하여 3차원적인 성질들을 찾아내야 한다. 시각 시스템 연구는 목적에 따라 컴퓨터 시각, 기계 시각, 또는 로봇 시각 등으로 불리며, 패턴 인식, 영상 이해, 영상 처리 등 여러 분야로 나뉘어 연구되고 있다. 위 연구들은 측정 데이터의 종류와 처리 정보에 따라 2차원적 장면 영상의 해석과 3차원적 영상 이해로 나눌 수 있다. 2차원적 장면 영상 해석

은 3차원적 물체가 카메라 화면에 투시 사영(perspective projection)된 2차원 영상 정보와 그로부터 얻어지는 기하학적 특징들과 상관 관계를 규명함으로써 2차원 패턴 인식이나 분류 등에 이용하는 것이다. 또한 3차원적 영상 이해는 카메라 또는 센서 등에서 취득된 각종 데이터들로부터 3차원적 정보를 찾아내고 3차원 공간 또는 물체에 대해 이해하는 것이다. 이러한 연구 분야 중에서도 실제 세계 특징을 가장 직접적이고 확실하게 표현하고 있는 3차원 거리 데이터를 사용하는 3차원적 컴퓨터 시각 시스템에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다^[1]. 3차원 거리 정보를 이용한 영상 처리와 해석의 최종 목표는 3차원 물체의 기하학적 특성과 구조를 해석하기 위해 영상을 각각 의미있는 영역으로 분할하

* 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 (jazz@imagelab.cau.ac.kr)

** 남서울대학교 멀티미디어학과 (tekim@nsu.ac.kr)

논문번호 : K01110-0403, 접수일자 : 2001년 4월 3일

※ 본 연구는 교육부의 두뇌한국21 사업(BK21) 및 과기부의 국가지정 연구실(NRL), 중기청의 산학연 공동 기술개발 컨서시엄, 그리고 한국 과학재단의 2000년 목적기초사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

고 장면내의 물체를 인식하고, 나아가 3차원 물체의 형상을 재구성하는 것이다.

본 연구의 목적은 2차 방정식과 인식에 사용되는 특징들을 이용하여 에지 영상에 기반한 3차원 물체를 표현하고 재구성하는 것이다. 본 연구는 스캔 라인 기법^{[2],[3]}을 응용하여 입력 거리 영상에서 경계선 성분을 검출하는 기법과 중심점, 모서리점, 그리고 추가적인 점을 사용하여 3차원 물체의 형상 특징을 추출하는 방법을 소개한다. 또한 제안된 기법으로 3차원 물체의 재구성을 실험하였다. 본 논문에 사용되는 입력영상에서 물체의 각 면은 표면 곡률 분포가 일정하다고 가정한다.

II. 관련 연구

경계선 검출에 사용되는 스캔 라인 근사화 기법은 다음과 같다. Scan line을 구하기 위해 평면 함수 $f(x,y,z)=0$ 를 구한다.

$$f(x, y, z) = \sum_{i+j+k \leq 2} a_{ijk} x^i y^j z^k = 0 \quad (1)$$

식(1)는 구, 실린더, 원뿔과 같은 평면 형태도 표현한다. 이 경우, scan line에서 곡선 분할은 다음과 같은 다항식을 갖는다.

$$f(x, z) = \sum_{i+k \leq 2} a_{ik} x^i z^k = 0 \quad (2)$$

Scan line을 곡선 분할로 나눌 때, 식(2)은 계산의 복잡성을 갖는다. 따라서, 식(3)과 같은 다항식으로 변환된다.

$$z = f(x, y) = \sum_{i+j \leq k} a_{ij} x^i y^j, k=2 \quad (3)$$

2차 다항식은 scan line의 연속적인 부분이 하나 이상의 곡선 분할로 나누어지기 때문에 실제 경계점보다 많은 점들이 생성된다. 그러나 이런 점들은 작은 경계 강도(strength)를 갖기 때문에 문턱치 연산으로 제거된다. 2차 다항식은 $z = ax^2 + by + c$ 의 곡선 분할로 scan line을 나눈다. 2차 근사화 함수는 중간점과 양끝점으로 정의되고, 근사화 함수와 scan line에서 가장 큰 차이가 문턱치보다 클 때, scan line은 가장 큰 차이를 갖는 위치에서 두 부분으로 나누어진다. 근사화 차이가 문턱치 값을 초과하지 않을 때까지 반복한다.

3차원 표면을 표현하기 위한 많은 기법들이 소개되었다. 일반화된 실린더와 같은 고수준 표현은 보는 시점에 불변한다. 그러므로, 물체 인식에 적당하다. 반면에, 점, 에지, 외형 특징에 기반하는 저수준 표현은 영상으로부터 쉽게 구축된다. 그러나 이 표현은 시점에 불변하는 기술을 표현하지 못한다. 물체를 모델화하기 위해 volumetric primitives를 사용한다. 사용되는 primitives의 집합은 일반화된 실린더들이다. 이들 실린더는 단면적, 축, 굴곡 특성이 임의의 함수로 표현된다(Brooks^[4]). Gardiner^[5]는 volumetric 표현을 하는데 몇 개의 parameter만이 요구되는 superquadrics을 제안했다. Pentland^[6]는 물체 인식에서 primitive 모델링을 위해 superquadrics을 응용했다. 반면에, Pentland and Solina^[7]는 거리 데이터에서 superquadric primitives를 추출하였다. Metaxas and Terzopoulos^[8]가 이용한 active-based 모델은 일반적인 영상에서 3차원 형상과 움직임을 복구하였다. 일반화된 실린더, superquadrics, active-based 모델들은 물체를 표현하는데 편리하다는 장점이 있다. 또한 Chen^[9]은 3차원 물체의 면을 추출하기 위해 유전자 알고리즘을 이용하였다. 그러나, 이런 방법들은 영상으로부터 이런 특징을 추출하는데 계산이 다소 복잡함이 있다.

III. 경계선 검출과 3차원 물체 형상 표현 방법

여기서는 소단원에 관한 내용을 간단히 살펴본다. 여기서는 소단원에 관한 내용을 간단히 살펴본다.

1. 경계선 검출

분할될 물체의 3차원 표면을 $f(x, y, z)=0$ 이라 하면, 일정한 y_0 인 영상의 옆은 x-z평면에서 2차원적인 선분 $f(x, y_0, z)=0$ 이 된다. 예를 들어, 평면적인 3차원 표면 $ax + by + cz + d = 0$ 은 영상의 옆에서 $ax + cz + e = 0, e = by_0 + d$ 직선이 될 것이다. 일반적으로 선분은 다른 파라미터를 갖는 다른 표면과 동일하다.

본 연구에서는 임의의 옆과 행을 선분의 조각 집합으로 나누고, 이 집합의 기울기를 구하여 전후 집합과 비교하여 기울기가 차이가 나는 부분을 경계선으로 인식한다.

$$f(x, y, z) = \sum_{i+j+k \leq 2} a_{ijk} x^i y^j z^k = 0 \quad (4)$$

$$z = f(x, y) = \sum_{i+j \leq 2} a_{ij} x^i y^j \quad (5)$$

$$z = ax + b, a = \frac{z_j - z_i}{x_j - x_i} \quad (6)$$

$$edge\ map = \begin{cases} 1, & \text{if } a > Threshold \\ 0, & \text{if } a < Threshold \end{cases} \quad (7)$$

이 방법은 대각선 방향에서도 적용하여 경계선을 구한다. 그림 1은 거리 영상에서 임의의 열에서 직선, 곡선 선분을 보인 예이다. 직선 선분일 경우, 식(6)에서 기울기 a 를 비교하여 경계선을 검출한다. 곡선 선분일 경우, 선분의 조각 집합은 직선으로 근사화가 가능하므로 식(6)을 적용할 수 있다. 그림 2는 이 기법을 이용하여 각 라인에서 경계선을 검출한 결과를 나타낸 것이다.

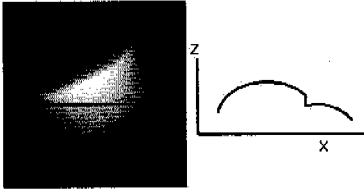


그림 1. 스캔 라인의 예

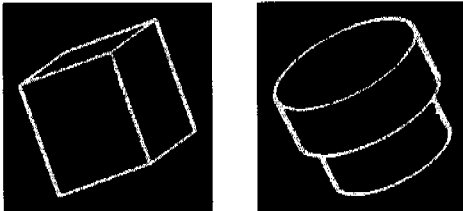


그림 2. 에지 영상

2. 모서리점 검출

에지 영상에 기반하여 형상 특징을 추출하고 재구성하기 위해 모서리점을 추출하여야 한다. 모서리점 추출 과정은 경계선 검출 과정의 결과인 에지 영상을 영역 레이블링 연산을 통하여 분할을 하여 물체를 각 면으로 나눈다. 분할된 각 면으로부터 모서리점을 추출한다. 모서리점을 검출하기 위해 변형된 Curvature Scale Space(CSS)^[10]방법을 이용하였다. 일반적인 CSS 기법은 영상의 칸투어(Contour)로부터 곡률(Curvature) 특징을 추출하는 방법이다. 곡률은 기울기 변화비를 나타내는 것으로 다음 식(8)와 같다.

$$k(s) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{\theta}{h} \quad (8)$$

θ 는 $t(s)$ 와 $t(s+h)$ 사이의 각도, t 는 접선 벡터, s 는 호의 길이이다.

$$k(u, \sigma) = \frac{X_u(u, \sigma) Y_{uu}(u, \sigma) - X_{uu}(u, \sigma) Y_u(u, \sigma)}{(X_u(u, \sigma)^2 + Y_u(u, \sigma)^2)^{3/2}} \quad (9)$$

식(9)에서 곡률의 부호가 변화하는 점인 curvature zero crossing의 최대값과 최소값을 이용하여 모서리 점을 찾아낸다.

그러나, 본 논문에서는 새로운 방법으로 모서리 점을 찾는다. 먼저, 에지 연산자를 이용하여 영역 레이블링된 영상에서 에지를 구한다. 두 번째로 접선 벡터를 이용하여 곡률을 계산하고, 곡률의 2차 미분으로 모서리 점들을 찾아낸다. 마지막으로 각 모서리 점들에서 모서리 값들을 더하여 정확한 모서리 점을 찾는다.

$$k(s) = \frac{\arctan(u x_{i+3}/u y_{i+3})}{A} + \frac{\arctan(u x_{i+2}/u y_{i+2})}{B} + \frac{\arctan(u x_{i+1}/u y_{i+1})}{C} \quad (10)$$

$$u x_{i+d}, u y_{i+d} : |x_{i+d} - x_{i-d}|, |y_{i+d} - y_{i-d}|$$

A, B, C : 가중치, x, y : 2차원 영상에서 점들의 위치
 d : 점 위치의 차분, $i: 1, 2, 3, \dots, n$ (점들의 수)

그림 3은 제안된 방법으로 영상에서 모서리 점들을 찾은 예이다.

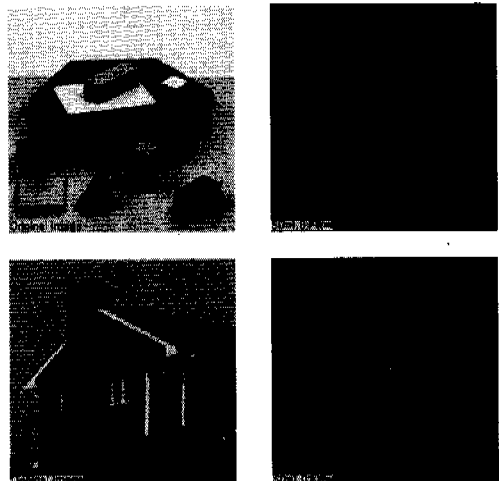


그림 3. 제안된 기법의 실험 예

3. 형상 표현 기술자

본 연구에서 제안한 형상 표현 방법은 영역 레이블링 과정^[11]을 통하여 분할된 물체의 각 면으로부터 이루어진다. 각 면의 특성을 알기 위해 영역의 형상 추출, 표면 또는 곡면 판단, 영역의 수학적인 계수 측정이 행해지고, 이를 바탕으로 형상을 표현한다.

3.1 영역의 형상 추출

영역의 표면 형상은 이심률(Elongation)과 원형도(Compactness)를 이용하여 추출된다. 원형도는 영역의 면적과 경계선의 주변 길이로 정의된다. 이심률은 단위가 없는 양으로 스케일 변화에 무관하고, 원형 모양일 경우 최소값을 갖는다.

$$\text{원형도}(C) = \frac{P^2}{4\pi A} \tag{11}$$

$$\text{이심률}(E) = \frac{D_{\max}}{D_{\min}} \tag{12}$$

식(11)과 (12)에서 P는 영역의 주변길이, A는 영역의 면적, D_{\max} 는 최대반경 그리고 D_{\min} 는 최소 반경이다.

이 두값으로 원형, 삼각형, 사각형, 다각형의 타입을 결정한다. 표1은 이심률과 원형도의 값 범위를 나타낸 것이다.

표 1. 이심률과 원형도 값

	원형	사각형	정사각형	다각형
이심률	1.0~1.1	1.7~2.1	1.25~1.5	1.6~1.8
원형도	1.0~1.2	1.5~2.5	1.3~1.5	1.6~1.9

3.2 평면성 결정

평면성 결정은 3차원 형상을 표현하기 위하여 이용되는 것으로 평면 방정식을 사용하여 이 과정이 이루어진다. 어떤 분할된 영역이 평면인지 곡면인지를 판단하기 위해서 모서리점들로 이루어지는 평면을 식(13)와 같이 구한다.

$$z = ax + by + c$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} \tag{13}$$

구해진 평면과 영역의 중심점을 비교하여 차이값

을 계산하여 평면성을 결정한다. 평면일 경우, 중심점은 모서리점으로 이루어진 평면에 있으므로 차이값이 0이 된다. 곡면일 경우에는 중심점이 평면에 있지 않으므로 차이값은 0이 아닌 값을 갖는다. 본 연구에서는 차이값의 문턱치를 1.0으로 설정하였다. 그리고, 곡면은 원통형과 원추형으로 나눌 수 있다. 원통형은 모서리점들이 직사각형 또는 정사각형의 형태를 이루고 있고, 원추형은 사다리꼴 형태를 이룬다. 이런 모서리점의 형태로 곡면을 추가적으로 분류한다.

3.3 영역의 계수 추출

영역이 평면인지 곡면인지를 결정되어지면 영역을 수학적인 형태로 표현하기 위해서 평면방정식 또는 2차 곡면 방정식의 계수를 계산한다. 영역이 평면이면, 모서리점들로 이루어지는 면을 평면의 방정식을 이용하여 계수 a, b, c를 구한다.

$$z = ax + by + c$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} \tag{14}$$

영역이 곡면이면, 중심점, 모서리점 그리고 추가적인 점들로 이루어지는 면을 알기 위해 2차 곡면 방정식으로부터 계수를 구한다.

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Dxy + Eyz + Fxz + Gx + Hy + Iz + J = 0$$

$$\begin{bmatrix} B \\ C \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ I \\ J \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1^2 & z_1^2 & \cdot & \cdot & \cdot & z_1 & 1 \\ y_2^2 & z_2^2 & \cdot & \cdot & \cdot & z_2 & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ y_8^2 & z_8^2 & \cdot & \cdot & \cdot & z_8 & 1 \\ y_9^2 & z_9^2 & \cdot & \cdot & \cdot & z_9 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -x_1^2 \\ -x_2^2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ -x_8^2 \\ -x_9^2 \end{bmatrix}$$

, A=1 (15)

IV. 시뮬레이션 및 결과 분석

이 장에서는 제안된 거리 영상 에지 추출 방법, 인식 특징들을 이용하여 형상을 표현하는 방법의 성능을 확인하기 위해 모의 실험을 하였다. 실험은 IBM PC Pentium III 450MHz에서 Visual C++ 6.0으로 구현하였다. 실험에 적용된 영상은 합성 영상인 다면체 영상 30개, 곡면체 영상 30개 그리고 실측 거리 영상 40개이다.

4.1 에지 추출 실험 결과

그림4는 제안된 알고리즘을 이용하여 입력 거리 영상들에서 에지를 추출한 결과 영상을 보인 것이다. 에지가 끊겨 검출되는 단점이 있으나 이런 문제는 3차원 형상을 표현하는데 큰 문제가 되지 않는다. 추후 절에서 이런 단점을 기존 방법과 비교를 하여 차이점이 없음을 알아볼 것이다.

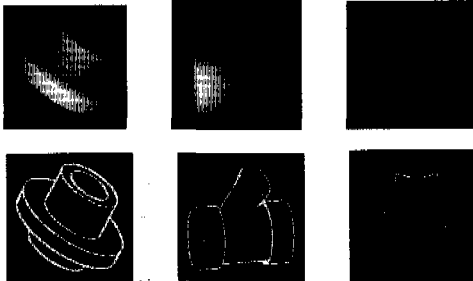


그림 4. 거리 영상과 에지 추출 영상

4.2 형상 표현 실험 결과

본 절에서는 에지 영상을 기반으로 2장에서 기술한 방법으로 3차원 물체의 형상을 표현한 실험 결과를 보인다. 각 영상에서 표현에 필요한 특징들을 찾아내고 이를 바탕으로 영상내에 존재하는 물체의 3차원 형상을 재구성하였다.

4.2.1 합성 영상

그림5 (좌), (중), (우)는 각각 원영상, 분할 영상 그리고 복원된 영상이다. 추출된 특징들의 값은 다음과 같다. 표2는 영역의 이심률과 원형도를 측정한다

표 2. 영역의 형태

영역1	영역2	영역3	영역4	영역5
사각형	원형	사각형	원형	원형

표 3. 평면성 분류

영역1	영역2	영역3	영역4	영역5
126.931	0.235	94.149	0.209	81.214



그림 5. 꼭면체 영상; (좌) 원영상, (중) 영역 분할된 영상, (우) 복원 영상

표 4. 영역의 계수 추출

영역1	영역2	영역3	영역4	영역5
a:1 b:2.3 c:0.5 d:-0.9 e:-1.2 f:-0.5 g:10.2 h:-399.2 i:105.3 j:-7896.9	a:-1.234 b:0.068 c:304.03	a:1 b:-2.2 c:1.3 d:0.6 e:-3.3 f:0.6 g:336.6 h:449.6 i:207.4 j:-3040.9	a:-1.649 b:-0.792 c:576.76	a:1 b:2.4 c:0.6 d:-0.9 e:-1.3 f:-0.7 g:21.3 h:-400.9 i:120.8 j:-1210.8

결과이다. 표3은 평면성을 측정한 결과이다. 영역을 표현하는 방정식의 계수를 얻는 결과는 표4와 같다.

4.2.2 실측 영상

그림6은 각각 원영상, 분할 영상, 그리고 복원 영상이다. 표5은 영역의 이심률과 원형도를 측정한다. 표6에서는 값들이 1.0보다 작으므로 모든 식의 계수를 얻는 결과는 표7과 같다.

표 5. 이심률, 원형도

	영역1	영역2	영역3	영역4	영역5
그림,상	사각형	다각형	사각형		
그림,하	다각형	사각형	사각형	정사각형	사각형

표 6. 평면성 분류

	영역1	영역2	영역3	영역4	영역5
그림,상	0.169	0.187	0.164		
그림,하	0.159	0.162	0.172	0.156	0.169

표 7. 영상의 계수 추출

	영역1	영역2	영역3	영역4	영역5
그림,상	a:0.346 b:-6.384 c:203.69	a:-0.04 b:0.418 c:53.69	a:0.56 b:-3.28 c:195.94		
그림,하	a:0.17 b:-0.86 c:79.11	a:-0.57 b:-0.13 c:92.52	a:0.87 b:0.12 c:-2.77	a:0.15 b:-1.25 c:125.82	a:0.11 b:-0.44 c:29.3



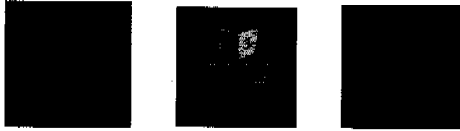


그림 5. 실측 영상, (좌) 원영상, (중) 영역 분할된 영상, (우) 복원 영상

4.3 기존 기법과의 비교

Bunke가 제안한 스캔 라인 기법에서는 커브 피팅(Curve fitting)과 유사한 방법을 사용하여 한 영상에서 에지를 검출하는데 평균 5초의 시간이 소요되었고 본 논문에서 제안한 방법은 평균 1초의 시간이 걸렸다. 그러나 에지의 굵기면에서는 본 논문에서 제안한 방법이 Bunke가 제안한 방법보다 굵게 검출되었다. 에지가 굵어지면 모서리점의 위치가 정확히 추출하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 이런 결과가 특징 추출과 물체 표현에 어떤 결과를 가져오는지 확인하기 위해 두 방법의 비교 실험을 통해서 알아보았다. 표8와 9에서 나타난 것처럼 제안된 기법과 Bunke의 기법으로 얻어진 에지 영상으로부터 추출된 특징들에 차이가 없음을 알 수 있다.

그림6는 Bunke의 기법과 제안된 기법으로 검출된 에지 영상이다.

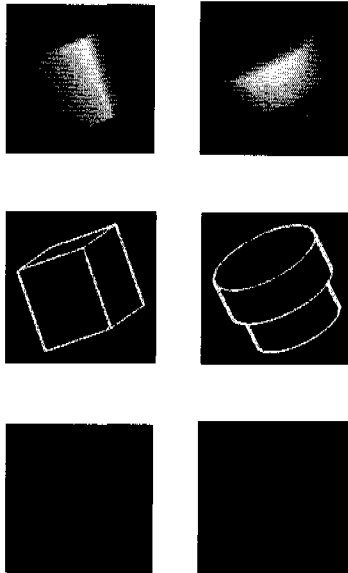


그림 6. 에지 검출 비교 영상:(상) 입력 거리 영상, (중) 제안된 방법으로 검출된 에지 영상, (하) Bunke의 스캔라인으로 검출된 에지 영상

V. 결론

본 연구는 거리 영상에서 경계선을 검출하는 방법과 경계선 영상을 기반으로 영상내에 존재하는 3차원 물체의 형상을 표현하는 방법을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 경계선 검출 방법은 Jiang와 Bunke가 제안한 Scan Line Approximation을 응용한 것으로 한 영상에서 경계선을 검출하는데 걸리는 시간이 제안된 방법은 평균 1초가 걸렸으나 Jiang와 Bunke가 제안한 Scan Line Approximation은 평균 5초가 걸렸다. 이처럼 시간적인 측면에서는 월등한 성능을 보였다. 경계선을 검출하는 측면에서는 비슷한 성능을 보였다. 단지, 경계선의 굵기면에서는 제안된 방법이 Jiang와 Bunke가 제안한 Scan Line Approximation보다 굵게 검출되었으나 물체를 표현하는데는 아무런 문제가 없었다.

또한, 본 연구에서 제안한 3차원 물체의 형상 재구성 방법은 기존의 방법과는 달리 몇 개의 점과 각 영역의 기하학적 특징을 이용하여 형상을 표현하였다. 기존의 방법은 영상의 모든 픽셀들을 통해서 영상내에 존재하는 물체의 기하학적인 특성을 추출하거나, 유전자 알고리즘과 같은 신경망이론을 이용하여 모든 점에서 반복적인 수행을 통하여 물체를 가장 잘 표현할 수 있는 최적의 점들을 추출한다. 제안된 방법은 모든 점이 아닌 중심점, 모서리 점, 추가적인 점 등 최대 9개의 점을 기반으로 인식에서 사용되는 특징-형상 타입, 영역의 기하학

표 8. 육면체 영상의 비교 결과(그림6)

		제안된 기법	Bunke 기법
형태	영역1	다각형	다각형
	영역2	정사각형	정사각형
	영역3	사각형	사각형
표면성	영역1	0.195(평균)	0.191(평균)
	영역2	0.215(평균)	0.203(평균)
	영역3	0.114(평균)	0.126(평균)
계수	영역1	a : 0.087 b : 0.873 c : 9.874	a : 0.084 b : 0.875 c : 9.873
	영역2	a : 1.494 b : -3.58 c : 623.09	a : 1.494 b : -3.583 c : 623.1
	영역3	a : -2.446 b : -0.278 c : 602.3	a : -2.445 b : -0.277 c : 602.32

표 9. 실린더 영상의 비교 결과(그림6)

		제안된 기법	Bunke 기법
형태	영역1	원형	원형
	영역2	사각형	사각형
	영역3	사각형	사각형
표면성	영역1	0.225(평균)	0.225(평균)
	영역2	99.257(곡면)	99.258(곡면)
	영역3	100.654(곡면)	100.653(곡면)
계수	영역1	a:3.221	a:3.222
		b:1.664	b:1.665
		c:265.823	c:265.82
	영역2	a:1	a:1
		b:-5.78	b:-5.781
		c:1.78	c:1.77
		g:0.16	g:0.161
		h:0.37	h:0.372
		i:0.01	i:0.01
영역3	j:-25.88	j:-25.881	
	a:1	a:1	
	b:-14.64	b:-14.643	
	c:8.3	c:8.29	
	g:0.36	g:0.391	
	h:0.08	h:0.08	
i:0.02	i:0.02		
j:-58.17	j:-58.169		

적 계수-을 이용하여 3차원 물체의 형상을 표현하였다. 본 연구에서 사용되는 거리 영상에서는 몇가지 제약이 있다. 분할된 영역은 일정한 곡률을 갖고 있고, 물체는 진후 대칭이라는 가정이다. 실험 결과로부터 알 수 있는 바와 같이 제안된 알고리즘이 효과적으로 형상을 표현함을 알 수 있다. 그러나 정면을 보이는 물체는 진후 길이를 모르기 때문에 형상을 재구성하는데 다소 어려움이 있다.

향후 연구로는 위에서 기술한 제약을 극복하는 방법을 모색하고, 여러개의 물체가 있는 한 영상에 존재할 때 제안된 알고리즘을 적용될 수 있는가를 실험해보고, 효과적인 방법에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

[1] 송호근, "3차원 물체인식을 위한 거리영상분할 및 매칭알고리즘에 관한 연구", 박사학위논문, 1996

[2] X. Jiang, H. Bunke, "Edge Detection in Range Image Based on Scan Line Approximation", *Computer Vision and Image Understanding*,

Vol.73, No.2, pp.183-199,1999

[3] X. Jiang, H. Bunke, "Fast segmentation of range images into planar regions by scan line grouping", *Machine Vision and Applications*, Vol.7, No.2, pp.115-122, 1994

[4] R. Brooks, "Model-based 3D interpretation of 2D images", *IEEE on PAMI*, Vol.5, No.2, pp.140-150, 1983

[5] M. Gardiner, "The superellipse: A curve that lies between the ellipse and the rectangle", *Sci. Am*, No.213, pp.222-234, 1965

[6] A. Pentland, "Perceptual organization and the representation of natural form", *Artificial Intelligence*, No.28, pp.293-331, 1986

[7] F. Solina, "Shape recovery and segmentation with deformable part models, *Technical report MS-CIS-87-111*, 1987

[8] D. Metaxas, D. Terzopoulos, "Recursive estimation of shape and nonrigid motion", *IEEE Workshop on Visual Motion*, pp.306-311, 1991

[9] Y. Chen, C. Liu, "Quadric surface extraction using genetic algorithms", *Computer Aided Design*, Vol.31, pp.101-110, 1999

[10] Mokhtarian, F.; Suomela, R., "Robust image corner detection through curvature scale space", *IEEE Transactions on PAMI*, Vol.12, pp.1376-1381, 1998

[11] E. Gose, S. Jost, "Pattern Recognition and Image Analysis", *Prentice Hall PTR*, 1996

[12] R. Gonzalez, R. Woods, "Digital Image Processing", Addison Wesley, 1993

[13] M. Wani, B. Batchelor, "Edge-region based segmentation of range images, *IEEE Trans. on PAMI*, Vol.16, No.3, pp.314-319, 1994

[14] 송호근, 최중수, "미분 기하학 특징 정보를 이용한 3차원 거리 영상 분할", *대한전자공학회 논문지*, 제31권, B편, 제2호, pp. 123-134, 1995

현 대 환(Dae-Hwan Hyeon)

1996년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업
2000년 8월 : 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과
졸업
2000년 9월~현재 : 중앙대학교 첨단영상대학원
영상공학과 박사과정
<주관심 분야> 컴퓨터 비전, Mixed Reality, 컴퓨터
그래픽

이 선 호(Sun-Ho Lee)

2001년 8월 : 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과
박사

김 태 은(Tae-Eun Kim)

1997년 2월 : 중앙대학교 전자공학과 박사
1998년 9월~현재 : 남서울대학교 멀티미디어학과
교수

최 종 수(Jong-Soo Choi)

1975년 2월 : 인하대학교 전기공학과 졸업.
1977년 2월 : 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업
1981년 : 일본 Keio대학 전기공학과 박사.
Aloka(주) 연구소 연구원,
1981년 9월~1999년 8월 : 중앙대학교 전자공학과
교수.
1999년 9월~현재 : 중앙대학교 첨단영상대학원장
재직