

거리 영상의 표면 파라메타 추출에 의한 데이터 베이스 구성에 관한 연구

正會員 金 根 中*, 金 淳 伯**, 金 斗 泳**

A Study on Constitution of Data Base using Extracting Range Surface Parameter

Keun-Chung Kim*, Soon-Back Kim**, Doo-Young Kim** *Regular Members*

요 약

3-D 물체 인식을 하기 위한 방법으로 Range 데이터의 표면 불연속 특징을 사용하여 표면 분할하였고, 각 표면 조각에 대해 고유치와 법선 성분을 사용하여 표면 파라메타를 추출하고, 추출한 파라메타를 이용하여 표면을 모델링하였다. 모델 물체는 표면 파라메타를 사용하여 곡면을 재구성함으로써 얻었다. 모델 물체의 특정한 정보는 최소한 한 개의 장면 물체의 표면 정보에 대응되어 진다. 장면 물체와 모델 물체에서 서로 대응되는 표면 정합쌍을 찾을 때 가능한 모든 정합쌍을 검색을 하지 않고 법선 성분과 표면계수를 사용하여 서로 대응되는 표면 정합쌍을 찾았다. 본 논문에서 제시한 표면 형태별 근사화 과정과 물체에 대한 표면 법선치, 그리고 기하학적 변환의 알고리즘을 사용한 표면 정합 기술은 모델 베이스 정합용으로 유용하게 사용할 수가 있음을 보인다.

ABSTRACT

This paper is concerned with the surface modeling and the surface fitting technique as the matching technique for the recognition of 3-D objects using the surface parameter of Range data. The surface segments are divided by means of features of surface discontinuities and are used for computing eigen value and surface normal. Model objects are obtained through reconstructing of quadratic surface. The significant features of model object are contained in at least one of scene objects. To avoid searching for every possible match pairs between model objects and scene objects, surface shape that is matched by means of normal value and surface coefficient is chosen. The result of proposed matching technique indicates a validity of the model-based matching by using appropriate surface fittings and surface normal, and geometric transformation of model objects.

*양산전문대학 컴퓨터응용과

**동아대학교 전자공학과

論文番號: 96233-0805

接受日字: 1996年 8月 5日

I. 서 론

3차원 물체의 인식은 컴퓨터 비전의 궁극적인 목표이다. 물체 인식을 위한 방법으로 기존의 CCTV 카메라에 의한 밝기 데이터로 물체의 표면을 재구성하는 Shape from Shading 방법을 사용하여 물체를 3차원으로 기술이 가능하나, 이는 다양한 형태의 물체 표면에 대한 수식적 기술과 물체의 표면에 대한 3차원 정보의 추출에 용이하지 않다.^{[1], [2]} 그러나 최근에는 Range Finder로 물체와 레이저 프로젝트 사이의 레이저 비행시간을 이용하여 물체 표면간의 거리 정보를 물체의 원점에서 표면까지 깊이값(Depth map)으로 변환해서 물체에 대한 영상 데이터(이하 거리 영상이라고 지칭함.)로 사용하고 있다.^{[15], [17]} 그러므로 본 연구에서는 거리 영상을 2차원 표면(Quadratic surface)으로 근사화하여 합성 거리 영상으로 재구성하였다.

3차원 거리영상을 모델 베이스 정합하기 위해서 다수의 표면 형태의 합성 거리 영상을 구성하고, 합성 거리영상의 표면 계수와 표면 법선치를 장면 물체의 정합용인 표면 파라메타의 데이터 베이스로 하였다. 이는 현재 산업체에서 활용되고 있는 무인 자동화 시스템의 시각 시스템과 산업용 로봇의 팔과 같은 기계적인 작업에 용이하게 사용될 수 있다.

물체에 대한 3차원 표면 정보를 추출하기 위해서 먼저 거리 영상을 방향별 곡률 계산과 Scale-space tracking으로 표면의 불연속성에 따른 표면 경계를 구하고, 유사한 표면 특징의 grouping과 linking하여 얻은 표면의 경계선으로 표면 분할을 하였다.^[18] 이때 표면 분할 결과는 물체의 표면에 상응하는 표면 조각들로 분류되었다. 개개의 표면 조각에 대한 표면 파라메타를 구하기 위해 표면 법선치와 표면 근사화시 사용한 표면 방정식의 계수값을 이용하였다. 미분 기하학에서 표면은 법선 성분으로 기술이 가능하다. 임의의 표면 조각 내에서 표면의 단위 법선에 대한 (x, y, z) 좌표 성분의 법선치는 서로 일정하고 다른 표면 조각들과는 법선치가 차이가 남을 알 수 있었다. 그러므로 3차원 물체임의 위치에서 (x, y, z) 좌표 성분에 대응하는 법선치를 추출한 결과로 평면에서는 x 혹은 y 성분의 법선치가 1(unit)에 근사하고, 구와 같은 곡면 체에서는 z 성분의 법선치가 1(unit)에 근사함을 얻었다. 이러한 정보로부터 거리 영상의 표면 형태를 표면의 3가

지 법선치에 의해 평면 혹은 곡면체로 분류할 수가 있음을 보였다. 다음은 표면 조각이 곡면 형태인 경우 곡면 인식을 위한 방법으로 곡면을 2차원 표면 방정식으로 나타낼 수 있다. 2차원 표면 방정식(quadratic surface equation)의 계수는 Scatter 행렬과 특성 방정식의 자코비안(Jacobian)다항식으로 구할 수 있음을 보였다. 이러한 계수는 거리 영상의 표면의 8가지 표면 방정식 형태에 의해 재구성이 가능하고 표면 형태를 인식할 수 있는 정보이다.

이상과 같이 기술한 표면의 법선치와 표면방정식의 계수 등과 같은 정보를 2차원 표면 형태의 파라메타로 데이터 베이스화하였고 이를 실제 거리 영상과 비교한 결과 완전한 자세 혹은 비교적 양호한 형태의 거리 영상의 표면 조각들은 쉽고 적은 시간 내에 표면 형태를 인식할 수 있었다. 그리고 표면이 중첩되어 표면 형태가 육안으로 판단되지 않는 물체나 표면 형태의 뒤틀림이 많은 거리 영상은 8가지 2차원 표면 형태의 임의의 경우에는 정합 되지 않지만 거리 영상의 취득 과정에서 물체 자세의 기하학적인 정보인 회전 정보와 뒤틀림 정보를 적절히 활용하면 불완전한 표면도 인식이 가능할 것이다.

본 연구의 타당성을 검증하기 위해 실험에서는 ERIM과 K2T/GRF에서 만든 실제 거리 영상을 사용하였고 거리 영상의 표면에서 검출한 표면 법선치와 표면 2차원 방정식의 계수를 데이터 베이스로 구성하였고, 합성 거리 영상에 대한 표면 형태의 데이터 베이스내용과 실제 거리 영상의 파라메타간의 유사성에 의한 3차원 물체를 인식한 결과를 보였다.

II. 표면 파라메타

2.1 표면 분할

거리 영상에서 잡음의 영향을 줄이고 표면 특징에 대한 존재의 신뢰성을 부여하기 위해 가우시안 필터링의 분산값 크기($\sigma=0.0, 0.5, 1.0, 1.5$)에 의한 4개의 영상을 구성한다. 이를 45° 간격의 4방향(0°, 45°, 90°, 135°)으로 표면에 방향별 곡률을 계산하여 4방향에서 각각 zero-crossing과 extrema^[18]등의 표면 특징을 추출한다. 각 방향에 대해 4가지 스케일의 표면 특징 영상들을 스케일 공간 추적 기법을 적용하여 정확한 위치에서 표면 특징을 검출하였다. 4방향에서 추출되어

진 특징 영상들은 위치와 방향 정보를 가지며, 세션화, 공간 결합과 연결과정을 거치면 불연속면은 jump 경계와 crease 경계로 나어진다. 이러한 경계선을 병합하여 폐곡선의 표면 조각을 얻었다.

$$R(k, \theta) = \begin{pmatrix} k_x k_x v + c & k_y k_x v - k_z s & k_z k_x v + k_y s & 0 \\ k_x k_y v + k_z s & k_y k_y v + c & k_z k_y v - k_x s & 0 \\ k_x k_z v - k_y s & k_y k_z v + k_x s & k_z k_z v + c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

2.2 표면의 기하학적 묘사

2.2.1 표면 조각의 중심

임의 표면 조각의 전체에서 표면 법선치를 구하는 것은 물리적으로 불합리하기에 표면 조각내의 중심 화소를 찾는 방법이 필요하다. 이러한 중심 화소의 위치는 다음과 같이 Covariance matrix의 유도과정^[3]에서 얻었다. 표면 조각 내에 존재하는 2차원 공간 좌표치를 임의의 벡터(random vector)인 $x = [x_1, x_2]^t$ 로 두면 공간 좌표치의 평균과 Covariance matrix C_x 는 식(1)과 식(2)으로 표시된다.

$$m_x = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M x_k \quad (1)$$

$$C_x = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M x_k x_k^t - m_x m_x^t \quad (2)$$

Covariance matrix를 특성 방정식의 고유치 해석으로 다음과 같은 식(3)으로 표시 할 수가 있다.

$$C_x \lambda_i = \lambda_i e_i \quad (3)$$

이때 두개의 고유치에 대응하는 고유 벡터 e_i 에 대응하는 화소의 집합은 표면 조각의 주축(principal axis)이 된다. 즉, 공간 좌표치의 평균값 혹은 두 주축의 만나는 점이 표면 조각의 중심 화소로 결정하였다.

2.2.2 기하학적 변환

거리 영상의 데이터가 취득되는 과정에서 표면의 자세는 2차원 표면 방정식의 표면 종류에 대해서 불완전 할 수가 있다. 그러므로 3차원 공간에서 회전에 의해 기하학적으로 변환된 장면 물체에 대응하는 2차원 표면 형태(quadratic surface)를 재구성하기 위해서 식(4)의 변환 방정식(rotation transformation)^[5] 사용하여 실린더와 평면과 같은 2차원 표면을 기하학적으로 변환하였다.

여기서 $s = \sin\theta$, $c = \cos\theta$, $v = 1 - c$ 이고, (k_x, k_y, k_z) 는 3차원 좌표 공간에서 표면 중심과 표면의 원점사이 존재하는 벡터 k 로 정의되고 식(3)의 중심 화소의 공간 좌표치(x, y)와 깊이값(z)으로 구현하였고, 이는 표면 조각의 좌표 공간 중심에서의 표면 법선치에 대응된다. 이때 θ 는 벡터 k 를 중심축으로 한 회전 각도이며, 벡터 k 가 $(0, 0, 1)$ 일때는 표면을 z 축으로 만큼 회전하게 된다. 따라서 기하학적 변환된 장면물체의 임의의 표면에 대응하는 합성한 2차원 표면 형태의 기하학적 변환은 다음과 같이 표현된다.

$$(X, Y, Z, 1) = R(k, \theta)(x, y, z, 1)^t \quad (5)$$

2.3 표면 법선 계수

거리 영상을 경계선으로 표면 분할할 경우에 경계선이내의 표면은 미분에 의해 동일 좌표축상의 인접 화소간의 변위값 계산이 가능하다. 이때 임의 좌표치에 대응하는 표면 법선(surface normal)은 다음의 수식 전개 과정으로 구할 수가 있다.

$$n(x, y) = \frac{\nabla g(x, y)}{\|\nabla g(x, y)\|} \quad (6)$$

좌표(x, y)에 이웃하는 미소한 영역은 다음과 같이 평면으로 표시할 수있다.

$$ax + by + cz = d \quad (7)$$

x 가 평면상에 위치한 점이라면

$$x \cdot n = d \quad (8)$$

이다. 여기서 a, b, c, d 는 상수이며 c 가 0인 경우 식(7)은 시각 좌표에 평면이 될 수 없으므로 계수 a, b, d 를 독립 변수로 하여 c 를 크기 1(unit)에 정규화한다.

$$z = g(x, y) = -ax - by + d \quad (9)$$

이때 계수 a는 다음 방정식으로 결정된다.

$$-a = \frac{\partial g(x, y)}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{g(x + \Delta x, y) - g(x, y)}{\Delta x}$$

즉, 계수 a는 x축의 변이에 따른 z의 차이를 의미하고 계수 b는 y축의 변이에 따른 z의 차이 즉, 평면에서 법선의 계수를 의미하므로 다음의 식(10)을 사용하여 계수 a, b값을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} -a(i, j) &= z(i + 1, j) - z(i, j) \\ -b(i, j) &= z(i, j + 1) - z(i, j) \end{aligned} \quad (10)$$

인접 두 화소의 차를 의미하는 식(10)은 잡음에 매우 민감하므로 잡음의 영향을 줄이기 위해 좌표점(i, j)와 이웃하는 8개 좌표점에서 화소 차이값의 평균값을 법선 계수 추출에 사용하였다. 이러한 법선 계수를 검출하기 위해 임의의 좌표점에서 인접 화소간의 차는 식(11)으로 하였다.

$$f_{i,j} = \frac{1}{2} \{z(i-1, j) - z(i+1, j)\} \quad (11)$$

거리 영상의 z축이 시각 좌표와 일치하는 그림 1의 표면 S에 9개 좌표점을 적용할 때 x 혹은 y방향의 법선 변이는 식(12)이고 이를 거리 영상의 표면에 적용하여 단위 법선 벡터를 구하였다.

$$\begin{aligned} n_x &= \frac{1}{9} (f_{i-2,j} + f_{i-1,j-1} + f_{i-1,j+1} + f_{i,j-2} + f_{i,j} \\ &\quad + f_{i,j+2} + f_{i+1,j-1} + f_{i+1,j+1} + f_{i+2,j}) \\ n_y &= \frac{1}{9} (f_{i,j-2} + f_{i-1,j-1} + f_{i+1,j-1} + f_{i-2,j} + f_{i,j} \\ &\quad + f_{i+2,j} + f_{i-1,j+1} + f_{i+1,j+1} + f_{i,j+2}) \end{aligned} \quad (12)$$

이때 표면상의 단위 법선 벡터와 (x, y) 평면의 법선 벡터와의 관계에 의해 다음으로 할 수 있다. 시각 좌표 (x, y, z)에서 단위 법선 벡터는 식(13)으로 표현하고 이를 이용하여 거리 영상의 임의의 위치에서 단위 법선 벡터의 법선 계수를 구하였다. 여기서 Nz=1/r 이고 모든 좌표점에서 양의 값이다. 이때 r=(nx² + ny² + 1)^{1/2}이다.

$$\mathbf{n} = (N_x, N_y, N_z) = (n_x/r, n_y/r, 1/r)^t \quad (13)$$

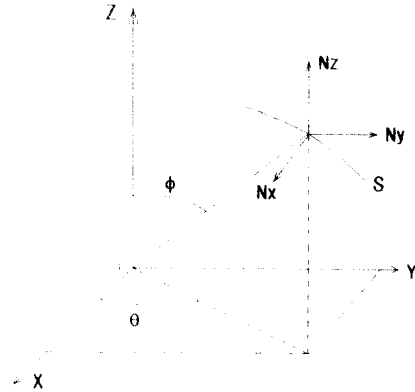


그림 1. 표면 단위 법선 벡터
Fig. 1 Unit normal vector in surface

2.4 표면 방정식의 계수

2.4.1 곡면의 근사화

입력 데이터 {(xi, yi, zi): i=1, 2, ..., N}가 주어진 경우 식(14)의 2차 곡면 방정식에 의해 곡면을 근사화 하는 곡면 방정식의 계수를 획득할 수 있다.

$$\begin{aligned} f(x, y, z) &= Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Dxy + Eyz + Fxz \\ &\quad + Gx + Hy + Iz + J = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

최소 사승 오차 E는 식(15)와 같다.

$$E = \sum_{i=1}^N |f(x_i, y_i, z_i)|^2 = 0 \quad (15)$$

이때 계수(A, B, C, D, E, F, G, H, I, J)의 개개에 대해 미분과정에서 유도된 Scatter 행렬은 식(16)이고

$$\mathbf{S} = \sum_{i=1}^n \mathbf{V}_i \mathbf{V}_i^t \quad (16)$$

여기서,

$$\mathbf{V}_i = [x_i^2, y_i^2, z_i^2, x_i y_i, y_i z_i, x_i z_i, x_i, y_i, z_i, 1]^t \quad (17)$$

이므로 곡면 방정식의 계수는 식(18)이며

$$W = [A, B, C, D, E, F, G, H, I, J]^t \quad (18)$$

식(14)의 곡면 방정식에 대한 고유 벡터를 구하는 특성 방정식은 식(19)이다.

$$S W = \lambda_{\min} W \quad (19)$$

여기서 λ_{\min} 는 Scatter 행렬 S 의 고유치 중에서 최소값이며 W 는 λ_{\min} 에 대응하는 고유벡터로 2차 곡면 방정식인 식(14)의 계수이다. 곡선 근사화 과정에서 직선형 데이터에 곡선 근사화를 적용시 쌍곡선이 발생하므로 2차 곡면 방정식을 Scatter 행렬에 의해 평면에 적용하면 평면으로 근사화 되지 않고 쌍곡면으로 근사화 될 수도 있다. 따라서 제시한 표면 근사화 방식을 일반화하기 위해 표면 조각에 평면 근사화, 타원 곡면 근사화 그리고 2차 곡면 근사화등 3가지 근사화 과정을 순서대로 표면에 적용하고 적절한 표면을 재구성한다. 근사화 오차가 임계치 이하인 경우는 먼저

식(20)의 평면 방정식을, 임계치 이상이면 식(21)의 타원 곡면 방정식과 2차 곡면 방정식을 차례대로 표면 조각에 적용하여 표면 형태에 상응하는 근사화하였다.

$$f(x, y, z) = Gx + Hy + Iz + J = 0 \quad (20)$$

$$f(x, y, z) = Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Gx + Hy + Iz + J = 0 \quad (21)$$

이때 추출한 계수가 표면이 갖는 고유 정보로 표면 형태를 묘사할 수 있는 표면 파라메타이다. 가령 평면의 표면 계수는 (G, H, I, J)의 값이고 타원 곡면은 2차곡면에 비해 D, E, F항이 없는 (A, B, C, G, H, I, J)의 값이므로 이러한 계수에 의해 표면 형태를 묘사할 수 있다.

2.4.2 표면 방정식에 대한 표면 계수의 데이터 베이스
거리 영상의 표면은 2차 표면 방정식(quadratic surface equation)으로 기술하여 곡면 방정식 계수에 의해 표면 형태를 분류할 수 있다. 이러한 표면 정보는

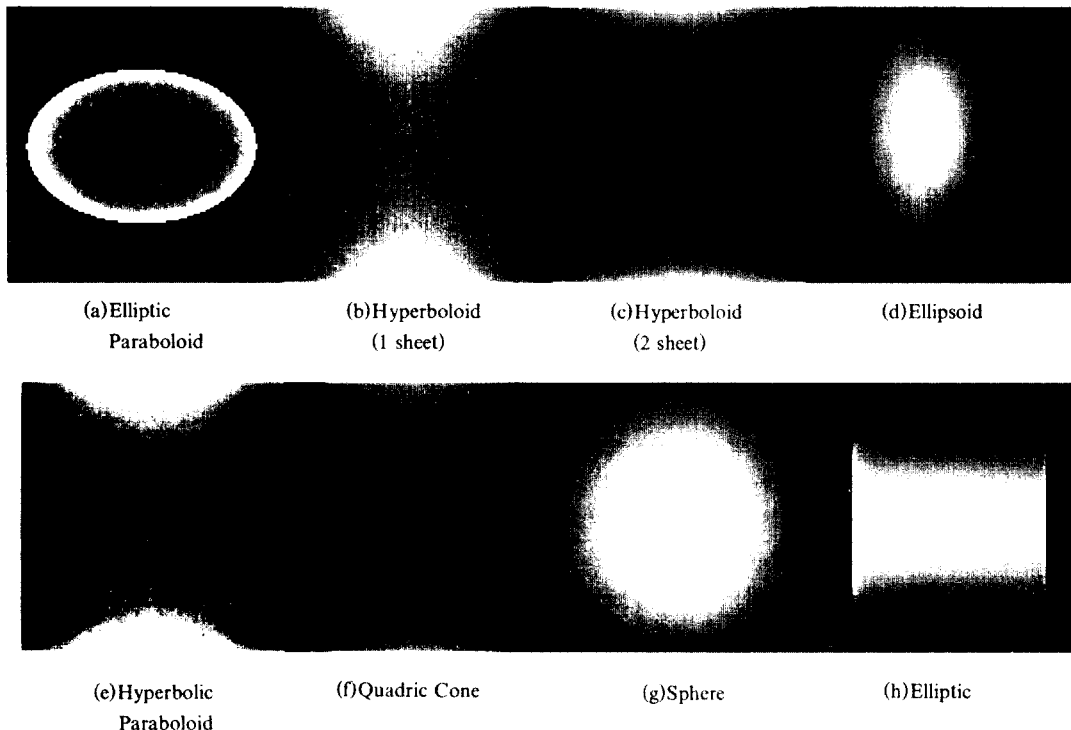


그림 2. 2차 표면 방정식을 이용한 합성 거리 영상
Fig. 2 Synthetic range images by quadratic surface equation

표 1. 합성 거리 영상에서 표면 계수 분류
Table 1. Classification of surface coefficient in synthetic range images

+/- : Sign. of surface coefficient,
cylinder(D, E, F) > sphere(D, E, F) × 10

Class	Coef.	M.S.E	Surface Coefficient									
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Cylinder		0.972	+	0	+	0	0	0	-	-	+	+
Ellipsoid		0.708	+	+	+	0	0	0	-	-	-	+
Hyperboloid 1		1.011	+	+	-	0	0	0	-	-	+	+
Hyperboloid 2		0.735	-	+	+	0	0	0	+	-	+	+
EllipticParaboloid		0.670	+	+	-	0	0	0	-	-	-	+
Hyperboloidparaboloid		0.716	-	+	-	0	0	0	+	-	-	+
Quadric cone		0.690	+	+	-	0	0	0	-	-	-	+
Sphere		0.756	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+

정합 단계에서 표면 형태의 유사도 조사에 유용하게 사용할 수 있다. 다음의 그림 2는 Ellipsoid(Sphere: 단, a=b=c), Hyperboloid 1 sheet, Hyperboloid 2 sheet, Elliptic Paraboloid, Hyperbolic Paraboloid, Quadric cone, Cylinder 등의 2차 표면 방정식의 형태이다. 표 1에서는 이를 식(14)의 2차 곡면 방정식으로 근사화하여 찾은 곡면 계수를 데이터 베이스로 구성하였다. 여기서 평균 자승 오차(MSE)는 표면 방정식으로 만든 영상과 이를 곡면 근사화한 영상간의 차이를 보인 결과로서, 이는 근사화로 재구성한 표면의 유사도의 오차를 나타낸다.

III. 실험 및 검토

그림 3은 ERIM에서 만든 표준 데이터인 Brick의 거리 영상에서 영역 라벨링한 표면 조각의 개수에 대해서 표면 근사화를 적용한 결과이다. 이는 근사화 오차의 임계치에 따라 평면과 타원 곡면으로 근사화하여 표면 계수를 찾고 이를 이용하여 표면을 재구성한 것이며, 완전한 형태를 갖는 표면은 평면과 타원 곡면 방정식으로 표면을 재구성할 수도 있음을 보였다. 그림 4와 그림 5는 K²T/GRF Range Finder로 얻은 거리 영상이다. 그림에서는 실린더 형태의 실제 거리 영상과 2방향(-45°, 45°)으로 변환한 Objects 영

상을 표면 분할하고 또한 표면을 근사화한 결과를 보인다. 거리 영상의 표면 분할은 Range Finder 시스템이 자체적으로 가지는 잡음 영향때문에 쉽지가 않다. 즉, 영상 획득과정에서 물체 원점에 대한 카메라 좌표와 프로젝트 좌표간의 공간 위치의 불일치와 중복으로 인해 소량의 spike잡음이 내재하고 있고 또한 영상 획득과정에서 Range Finder의 좌표공간에 대하여 물체의 특정 표면에 대한 주사 관점의 불일치로 인한 뭉롱화(blurring)로 인한 표면 경계선의 깊이값 유실로 인해 다각도 관점에서 얻은 실제 거리 영상의 표면 분할의 구현은 쉽지가 않다. K²T/GRF로 얻은 실제 거리 영상의 표면 분할은 표면 특징 추출용 Sclaespace tracking에서 가우시안 필터링의 분산값에 따른 4개의 Scale공간(σ=0.0, 0.5, 1.0, 1.5)과 수정된 2개 혹은 3개의 scale공간에서 찾은 표면 특징을 공간 연결(grouping and linking)에 사용하였다. 이는 비교적 큰 분산값의 scale공간에서는 S/N비가 증가하여 표면 불연속 정도가 큰 위치의 zero-crossing과 extrema와 같은 표면 특징 추출이 용이하나 표면 특징의 공간 연결에 필요한 다수의 표면 특징이 소멸되기에 불완전한 표면 조각의 결과를 방지한 것이다. 본 연구의 표면 근사화 방법은 표면 파라메타 추출용으로 적절함을 근사화 결과를 통하여 보였다. 표 2에서는 Brick, Cylinder 그리고 Objects 등의 거리 영상에서 추출한 표면 파라메타를 데이터 베이스로 구성한 결과로서, 이는 표면의 법선치에 의해서 실제 거리 영상이 쉽게 평면체와 곡면체로 정합할 수가 있음을 보였고, Objects 거리 영상에서 0° 방향에서 1, 2번 patch는 곡면으로 근사화되지만 -45°, 45° 방향에서는 평면으로 근사화됨을 알 수가 있었다. 여기서 한 개의 patch를 다각도 관점에서 표면 근사화할 필요성을 느낀다. 또한 표 3은 Brick와 같은 표준 영상의 물체는 충분히 2차 표면 형태로 정합이 됨을 보였다. 가령 Brick의 표면 조각 4번은 z축의 표면 법선치가 1(unit)에 근접하므로 convex 표면체로 판정되고, 표 3에 있는 표면 계수 중에서 cross-vector 계수를 제외한 (A, b, C, G, H, I, J)의 계수의 유사도 조사에 의해서 표 3의 데이터 베이스와 표 1의 데이터 베이스간의 정합 결과로서 sphere 형태의 표면 형태로 인식됨을 보였다. 또한 K²T/GRF Range Finder 얻은 실제 거리 영상에서도 8가지 2차 표면 형태의 한가지 경우로 정합될 수가 있음을 본

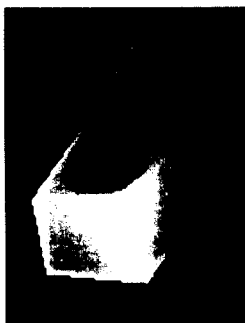
표 2. 표면 법선을 이용한 표면 형태의 데이터 베이스
Table 2. Data base for pattern of surface shape obtained by surface normal

Range Image	Patch number	Surface Normal			
		n_x	n_y	n_z	surface shape
Brick	1	0.8728	0.0671	0.4834	planar
	2	-0.4439	0.7264	0.5246	planar
	3	-0.1957	-0.8609	0.4696	planar
	4	0.0000	-0.2676	0.9635	convex
	5	-0.0278	0.0000	0.9996	concave
Cylinders	1	-0.0783	0.7049	0.7049	planar
	2	0.2460	0.3937	0.8857	convex
	3	0.0000	-0.9814	0.1920	planar
	4	0.0000	-0.9773	0.2119	planar
	5	0.0000	-0.9864	0.1644	planar
	6	0.3563	0.4581	0.8144	convex
	7	0.0115	-0.9782	0.2072	planar
	8	0.0547	0.1642	0.9849	convex
	9	0.0000	-0.9773	0.2119	planar
	10	0.9838	0.0568	0.1703	planar
	11	0.0000	0.0000	1.0000	convex
	12	0.0000	0.0555	0.9985	convex

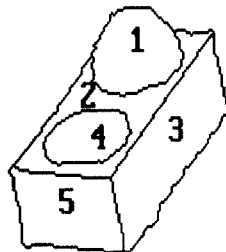
Object1	1	0.1622	-0.1622	0.9733	convex
	2	0.0449	0.5848	0.8098	convex
Object2	1	-0.5111	0.6388	0.5749	planar
	2	-0.7662	0.2873	0.5746	planar
Object3	1	0.8226	-0.3490	0.4487	planar
	2	0.9128	0.1825	0.3651	planar

표 3. 표면 근사화를 이용한 표면 계수 데이터 베이스
Table 3. Data base of surface coefficients obtained by surface fitting

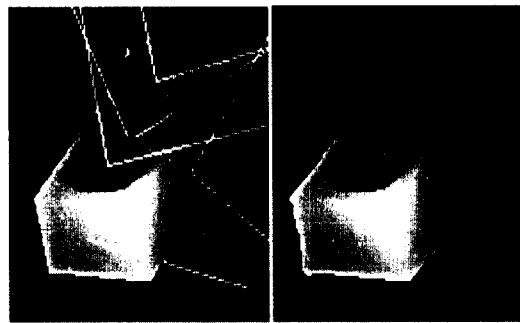
Coefficient Image	Patch number	Surface coefficients										Matched surface
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
Brick	4	+	+	+	-	+	-	-	-	-	1	sphere
	5	+	+	-	+	0	0	-	-	-	1	ellipt para.
Cylinders	2	-	+	+	+	+	+	+	-	-	1	unmatched
	6	+	+	+	+	+	+	-	-	+	1	cylinder
	8	+	0	+	+	+	-	-	-	+	1	cylinder
	11	+	+	+	-	+	+	+	-	-	1	unmatched
	12	+	0	+	+	+	+	-	-	+	1	cylinder



(a) Brick image



(b) Surface patch



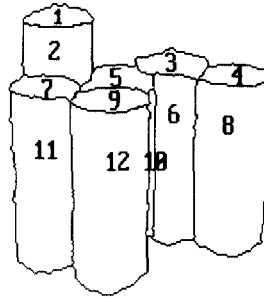
(c) Central pixels

(d) Quadratic surface fitting

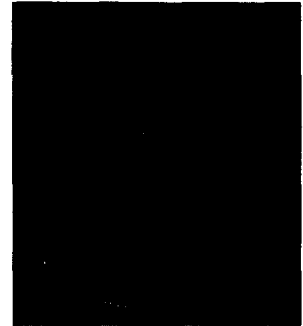
그림 3. Brick 영상에 대한 표면 근사화 결과
Fig. 3 Result of surface fitting for Brick image.



(a)Cylinder image

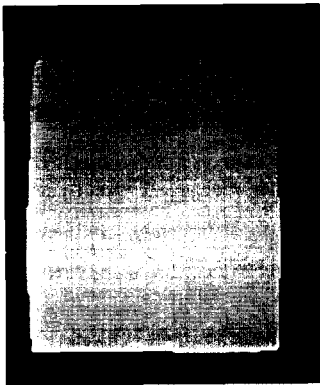


(b)Surface patch

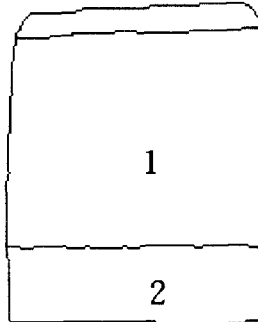


(c)Quadratic surface fitting

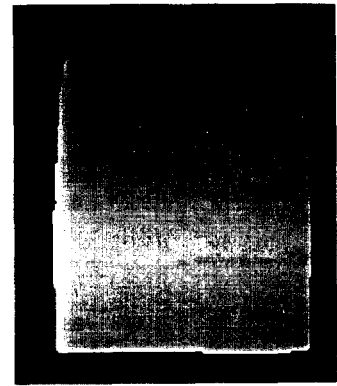
그림 4. Cylinder 영상에 대한 표면근사화 결과
Fig. 4 Results of surface fitting for Cylinder image.



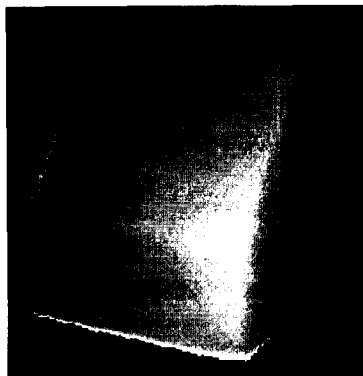
(a)Object1 image



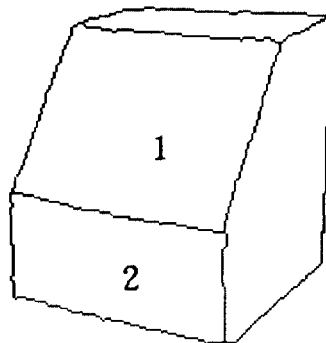
(b)Surface patch



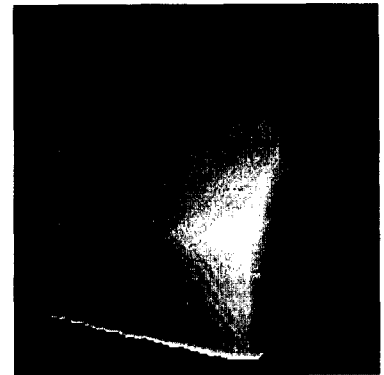
(c)Quadratic surface fitting



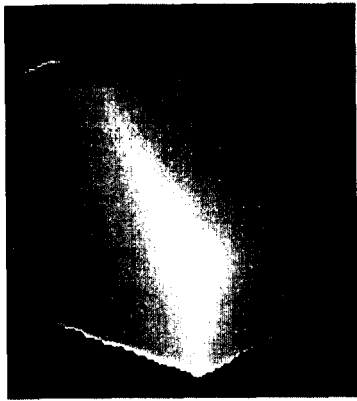
(d)Object2 image



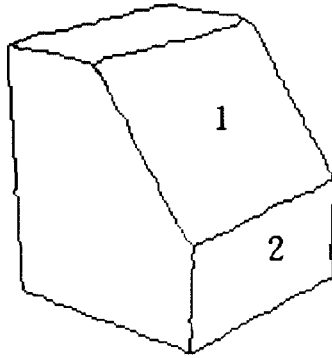
(e)Surface patch



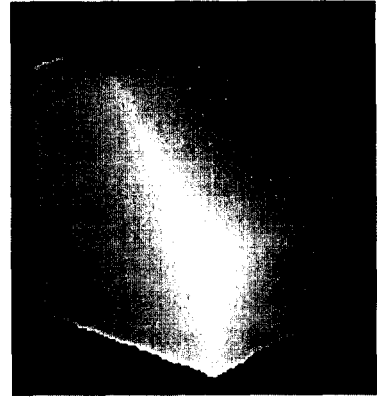
(f)Quadratic surface fitting



(g) Object3 image



(h) Surface patch



(i) Quadratic surface fitting

그림 5. Objects 영상들에 대한 표면 근사화 결과

Fig. 5 Result of surface fitting for Objects images.

연구의 실험 결과에 의해 그 타당성으로 보였다.

IV. 결 론

본 연구의 결과로 다음과 같은 중요한 특징과 새로운 3차원 물체의 인식 방법을 실험을 통하여 보였다.

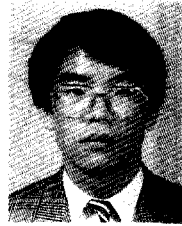
1. 표면 조각내의 중심 위치를 covariance matrix의 고유치 해석에 의해 검출할 수가 있었다.
2. 거리 영상의 표면의 형태는 표면 법선치에 의해 쉽게 오목체, 볼록체, 혹은 평면체로 분류됨을 입증하였다.
3. 표면 근사화 과정에서 유도된 표면 방정식의 계수에 의해 곡면을 8가지 2차원 표면 형태로 분류할 수가 있었다.
4. 표면 법선치와 2차원 표면 방정식으로 합성한 거리 영상의 표면 방정식의 계수와 표면 법선치의 데이터 베이스 구성에 의해 거리 영상을 다양한 표면 형태로 쉽게 인식할 수가 있음을 입증하였다.

참 고 문 헌

1. Berthold K. P. Horn, Robot Vision, The MIT Electrical Engineering and Computer Science Series, pp. 365-400, 1987.

2. Berthold K. P. Horn and Michael J. Brooks, Shape form shading, Massachusetts Institute of Technology, pp. 245-300, 1989.
3. Rafael C. Gonzales and Richard E. Woods, Digital Image Processing, Addison Wesley, pp. 122-125, 1992.
4. K. Ikeuchi, "Determining attitude of object form needle map using extended gaussian Image", MIT AI Lab Memo No. 714, April, 1983.
5. Richard P. Paul, Robot Manipulators, The MIT press series in artificial Intelligence, pp. 22-29, 1981.
6. C. H. Chen and A. C. Kak, "3-D Poly:A Robot Vision System for Recognizing Objects in Occluded Environment", Technical Report TR-EE 88-48, Robot Vision Lab, School of Electrical Engineering Purdue University, pp. 22-28, 1988.
7. R. Hoffman and A. K. Jain, "Segmentation and classification of range images", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intell., Vol. 9, No. 5, pp. 608-620, 1987.
8. P. J. Besl and R. C. Jain, "Three-dimensional Object Recognition", ACM Computing Surveys, vol. 17, No. 1, pp. 75-145., March, 1985.
9. P. J. Besl and R. C. Jain, "Invariant Surface Char-

- acteristics for 3D Object Recognition in Range Image", IEEE Trans. on Computer Vision and Pattern Recognition, vol. 33, pp. 33-80., June, 1986.
10. P. J. Besl and R. C. Jain, "Segmentation Through Variable-Order Surface Fitting," In IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 10, No. 2, pp. 167-192, March 1986.
 11. T. J. Fan, G. Medioni, and R. Nevatia, "Segmented Description of 3-D Surfaces", IEEE International Journal of Robotics Automation, pp. 527-538., December, 1987.
 12. T. J. Fan, G. Medioni, and R. Nevatia, "Recognizing 3-D Objects using Surface Descriptions", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol. 11, No. 11, pp. 1140-1156, November 1989.
 13. Farshid Arman, J. K. Aggarwal, "Model-Based Object Recognition in Dense-Range Images-A Review", ACM Computing Surveys, vol. 25, No. 1, pp. 5-43, March 1993.
 14. O. D. Faugeras and M. Hebert, "The Representation, Recognition, and Locating of 3-D Objects," In The International Journal of Robotics Research, Vol. 5, No. 3, pp. 27-52, Fall 1986.
 15. S. A. Liebwitz and D. P. Casasent "Classification of range surface type using optically generated derivative estimates", Intelligent Robots and Computer Vision VIII: Algorithms and Techniques, SPIE Proco. 1192, pp. 239-259, 1990.
 16. W. Eric L. Grimson, Object Recognition by Computer: The Role of Geometric Constraints, The MIT Press, pp. 139-144, 1990.
 17. K²T Inc., K²T/GRF-1 3-D Range Sensor: User's Manual, K²T Inc. 1121 Sunrise Drive, 1992.
 18. 김근중, 김순백, 김두영, 김명기, "방향성 곡률에 의한 거리 영상의 표면 분할과 근사화", 한국통신학지, 제20권 1호, pp. 165-179, 1995, 1.



金 根 中(Keun-Chung Kim) 정회원
1980년 2월: 동아대학교 전자공학과(공학사)
1986년 2월: 동아대학교 전자공학과(공학석사)
1995년 2월: 동아대학교 전자공학과(공학박사)
1997년 3월: Univ. of Texas at Austin, Dept. of Electrical and Computer Eng. (Post-Doc)
1997년 현재: 양산전문대학 컴퓨터응용과 조교수
※주관심분야: 디지털 신호처리, 영상처리 및 컴퓨터 비전



金 淳 伯(Soon-Back Kim) 정회원
1990년 2월: 동의대학교 전자공학과(공학사)
1992년 2월: 동아대학교 전자공학과(공학석사)
1997년~현재: 동아대학교 전자공학과(박사과정)
※주관심분야: 영상처리 및 컴퓨터 비전

金 斗 泳(Doo-Young Kim) 정회원
1997년 현재: 동아대학교 전자공학과 교수
한국통신학회 논문지 제20권 제1호 pp. 179 참조