

3차원 물체 인식을 위한 표면 분류 및 임계치의 선정

Surface Classification and Its Threshold Value Selection for the Recognition of 3-D Objects

조 동욱*, 백 승 재**, 김 동 원*

(Dong Uk Cho*, Seung Jae Baek**, Dong Won Kim*)

요 약

본 논문에서는 3차원 물체 인식을 위한 표면 분류 및 임계치 선정 방법에 대해 제안 하고자 한다. 3차원 영상 처리는 크게 거리 영상의 획득과 특징 추출 그리고 정합 과정으로 이루어 진다. 본 논문에서는 전체 3차원 영상 처리 시스템중 거리 영상을 입력으로 했을 시 형상 특징을 추출하는 방법에 대해 제안하고자 한다. 이를 위해 첫째, 거리 영상의 깊이 변화 부호 값의 분포 특성에 따라 표면을 분류하는 방법을 제안하고자 한다. 또한 평균 곡률과 가우스 곡률을 이용하여 표면을 분류했던 기존 방법을 토대로 그의 문제점이었던 실제 거리 영상에서의 임계치 선정 방법에 대하여 제안하고자 한다. 끝으로 제안한 방법의 유용성을 실험에 의해 입증하고자 한다.

핵심용어: 물체 인식, 표면 분류, 임계치

ABSTRACT

This paper proposes the method of surface classification and threshold value selection for surface classification of the three-dimensional object recognition. The processings of three-dimensional image processing system consist of three steps, i.e., acquisition of range data, feature extraction and matching process. This paper proposes the method of shape feature extraction from the acquired range data in the entire three-dimensional image processing system. In order to achieve these goals, firstly, this article proposes the surface classification method by using the distribution characteristics of sign value from range values. Also pre-existing method which uses the H-curvature and K-curvature has limitation in the practical threshold value selection. To overcome this, this article proposes the selection of threshold value for surface classification. Finally, the effectiveness of this article is demonstrated by the several experiments.

Key words: Object recognition, Surface classification, Threshold

투고분야: 음향 신호처리

방법 등이 있다. 이중 표면에 기초한 방법은 그 수학적인

1. 서 론

3차원 영상 처리 및 인식은 기존의 2차원 영상 처리 및 인식에서 다루기 어려웠던 곡면 물체의 처리와 점진 물체의 처리를 효과적으로 행할 수 있는 방법이다. 이는 거리 영상을 얻는 방법에 따라 크게 레인지 파인더등을 이용한 능동적인 방법[1]과 Shape from X[2], [3]라고 하는 수동적인 방법으로 나뉘어진다. 본 논문에서는 3차원 영상처리 및 인식에 대한 전체 시스템 중에 거리 영상으로부터 형상특징을 추출하는 방법에 대해 다루고자 한다.

통상 거리 영상으로부터 형상 특징을 추출하는 방법은 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 첫째가 표면에 기초한 방법 이고 둘째가 불연속(Discontinuity)에 기초한 방법, 마지막으로 측방정식과 단면식, 반경합수 등을 이용한 스윕(sweep)

도구로 법선벡터와 곡률을 사용하여 왔다. 또한 표면도 간단한 프리미티브를 사용하는 방법과 복잡한 프리미티브를 사용하는 방법으로 나뉘어진다. 이때 간단한 프리미티브를 이용한 경우는 처리시간이 과다한 법선벡터와 곡률을 사용하지 않고 어떻게 표면 분류를 행하는가가 주요 과제가 된다. 또한 복잡한 프리미티브의 경우 그 복잡성으로 인해 곡률을 사용할 수 밖에 없는데 이때 임계치를 얼마나 효과적으로 선정하여 표면을 세밀하고 정확하게 분류하는가가 최대 과제가 된다. 불연속에 기초한 방법은 노드의 종류 그리고 에지의 종류를 얼마나 효과적으로 정의하고 추출할 수 있는가가 주요관건이 된다. 최종적으로 스윕 방법은 측방정식이 비선형인 경우와 원이 아닌 단면식에 대한 표현법이 최대 과제가 된다. 본 논문은 표면에 기초한 방법에 있어서의 문제점을 해결하고자 한다. 이를 위해 크게 두 가지를 제안한다. 첫째가 간단한 프리미티브의 사용시 법선 벡터와 곡률을 이용하지 않고 표면을

* 충북도립육천대학 정보통신과

** 청주대학교 전자공학과

접수일자: 1999년 9월 13일

Besl과 Jain의 방법[7]이 가장 널리 인정받고 있는 방법이다. 이것은 가우스 곡률(K)과 평균 곡률(H)의 부호값을 사용하여 물체의 표면을 세밀하게 분류하였는데 이론적으로는 가우스 곡률과 평균 곡률의 부호값에 따라 정확하게 표면을 분류할 수 있지만 실제적으로는 부호값의 임계치를 정해 주지 않으면 안 된다. 이를 위해 실험을 수행하는 사람이 정확한 표면 분류를 위해 출력 결과를 일일이 살펴가면서 부호값의 범위를 결정해야 만 했고 이를 자동으로 선정하기 위한 방법론이 아직까지 제안되지 않았다. 본 논문에서는 이 같은 문제점을 해결하기 위해 거리 영상의 통계적 분석을 통해 실제 표면 분류에 적용 가능한 임계치 선정 방법을 제안하고자 하며 실험에 의해 제안한 방법의 유용성을 입증하고자 한다.

II. 거리 영상으로부터 곡면 변화의 분포 특성에 따른 표면의 분류

기존에 표면을 간단한 프리미티브로 분류하기 위해 많이 사용하여 왔던 방법이 법선 벡터와 곡률이다. 그러나 간단한 프리미티브를 분류하기 위해 사용하는 수학적 도구가 법선 벡터와 곡률인 관계로 처리 시간이 과다하게 소요되는 문제점이 존재하였다. 이를 위해 본 논문에서는 거리 영상으로부터 곡면의 변화에 따른 오목, 볼록의 관계를 부호값으로 나타내어 표면을 분류하는 방법을 제안하고자 한다. 이를 위해 우선 그림 1과 같은 3×1 마스크를 가지고 식 (1)과 같은 작업을 행해 보자.

$$A + C - 2B \tag{1}$$

이때 식 (1)의 계산 결과가 어떤 임계치 TH_1 보다 크면 '+' 부호로, 적으면 '-' 부호, 그리고 같으면 '0'의 부호값을 부여해 보자. 여기서 '+' 부호는 표면의 모양이 볼록임을, '-' 부호는 오목, 그리고 '0'의 부호는 표면의 모양이 변화가 없는 즉, 평면이라는 것을 의미하게 된다. 이같은 방법으로 표면의 분류를 행하면 표 1과 같은 표면 분류 결과를 얻을 수 있게 된다. 이때 원통표면과 평면표면은 이같은 방법으로는 같은 부호값을 갖게 되어 두 표면의 구분이 불가능하므로 그림 2와 같은 1×3 마스크를 두 표면에 적용하여 식 (1)과 같은 작업을 반복하여 행하면 원통 표면의 경우는 '+', '-' 그리고 '0'의 부호값을 갖게 되고, 평면표면은 '0'의 부호값만을 갖게 되므로 원통표면과 평면표면에 대한 구분이 가능하게 된다.

또한 표 2에 법선 벡터, 곡률 그리고 본 방법에 대해 알고리즘 복잡도를 나타내었다.



그림 1. 3×1 마스크
Fig. 1. 3×1 Mask.

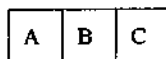


그림 2. 1×3 마스크
Fig. 2. 1×3 Mask.

표 1. 곡면의 변화를 이용한 부호값에 따른 표면의 분류
Table 1. Surface classification by sign values using range value variations.

Surface Type	Sign Values
plane	'0'
sphere	','
cylinder	'0'
cone	',' , '0'

표 2. 알고리즘 복잡도의 비교
Table 2. Comparisons of algorithm complexity.

수학도구 복잡도	법선벡터	곡률	본방법
기본연산	곱셈, 나눗셈	곱셈, 나눗셈	덧셈, 뺄셈
연산횟수	O(N ²)	O(N ²)	O(N)

III. 평균 곡률(K)과 가우스 곡률(H)의 부호값에 따른 표면의 분류 및 이의 실제적 임계치 선정 방법의 제안

3.1. 가우스 곡률(H)과 평균 곡률(H)의 부호값에 따른 표면의 분류

보다 세밀한 표면의 분류를 위해 Besl과 Jain[7]은 표면을 Peak, Ridge, Saddle Ridge, Flat, Minimal Surface, Pit, Valley, Saddle Valley등으로 분류하였다. 이에 대하여 살펴보기로 하자.

통상 표면은 3차원 공간에서 아래와 같이 x, y, z 모두 (u, v)를 매개변수로 하는 함수식 d, e, f 로 나타낼 수 있다.

$$S = \{(x, y, z) : x = d(u, v), y = e(u, v), z = f(u, v)\} \tag{2}$$

또한 곡면은 아래식과 같이 표면의 제1기본식과 제2기본식으로 정의 가능하다.

제1기본식은 식 (3)과 같다.

$$I(u, v, du, dv) = dX \cdot dX = [du dv] \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} = du^T [g] du \tag{3}$$

여기서 행렬원소 $[g]$ 의 원소는

$$g_{11} = X_u \cdot X_u, \quad g_{22} = X_v \cdot X_v, \quad g_{12} = X_u \cdot X_v \tag{4}$$

이다.
또한 제2기본식은 식 (5)와 같다.

$$II(u, v, du, dv) = dX \cdot dN = [du dv] \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} du \\ dv \end{bmatrix} = du^T [b] du \tag{5}$$

이때 행렬 원소[b]의 원소는

$$b_{11} = X_{uu} \cdot N, \quad b_{22} = X_{vv} \cdot N, \quad b_{12} = X_{uv} \cdot N \quad (6)$$

여기서

$$N = \frac{X_u \times X_v}{|X_u \times X_v|} \quad (7)$$

그리고 제1기본식 행렬 [g]와 제2기본식 행렬 [b]로 부터 식 (8)과 같은 형태 연산자를 정의할 수 있다.

$$[\beta] = [g^{-1}][b] \quad (8)$$

이때 평균 곡률(H)와 가우스 곡률(K)는 식 (9), 식 (10)과 같이 구해진다.

$$K = \det[\beta] \quad (9)$$

$$H = \frac{1}{2} \text{tr}[\beta] \quad (10)$$

이상과 같은 가우스 곡률(K)와 평균 곡률(H)를 이용하여 표 3과 같은 표면 분류가 가능하다.

표 3. 평균 곡률과 가우스 곡률의 부호값에 따른 표면의 분류
Table 3. Surface classification by the K and H sign values.

H \ K	-	0	+
-	Peak	Ridge	Saddle Ridge
0	(none)	Flat	Minimal Surface
+	Pit	Valley	Saddle Valley

그러나 이 방법은 이론적으로는 표3과 같은 방법으로 정확하게 표면 분류가 가능하지만 실제거리 영상에 적용할 시는 부호값의 범위 즉, 실제 거리영상에 적용 가능한 임계치를 선정해 주어야 한다.

3.2. 평균 곡률과 가우스 곡률의 동시적인 신뢰 영역 도출

여기서는 기존 Besl과 Jain방법[7]의 문제점이었던 표면분류 임계치 선정 방법에 대해 제안하고자 한다. 이를 위해 우선적으로 평균 곡률과 가우스 곡률의 관계를 분석하고 이의 동시적인 신뢰 영역을 도출하면 인간의 개입없이 자동으로 표면을 세밀하게 분류하는 것이 가능하다는 사실에 입각하여 표면 분류 임계치를 선정하는 방법을 제안하고자 한다. 이에 대해 자세히 살펴 보기로 하자.

3.2.1. 평균 곡률(H)과 가우스 곡률(K)의 관계

평균 곡률과 가우스 곡률의 관계를 알아보기 위해 평면 형상에서 얻은 거리 영상에 가우스 잡음을 첨부하여 평균 곡률과 가우스 곡률의 관계를 알아보자. 이때 평균 곡률과 가우스 곡률은 이차함수 형태이므로 취급을 용이하게 하기 위해 이를 선형 관계로 나타내어 보자.

우선 곡률에 있어 최대 곡률(k_1)과 최소 곡률(k_2)의 관계를 파악해 보면 다음과 같다.

$$k = k_1 * k_2 \quad (11)$$

$$H = (k_1 + k_2) / 2 \quad (12)$$

평균 곡률과 가우스 곡률을 k_1, k_2 로 나타내어 보면 식 (13), 식 (14)와 같다.

$$k_1 = H + \sqrt{H^2 + K} \quad (13)$$

$$k_2 = H - \sqrt{H^2 + K} \quad (14)$$

k_1 과 k_2 가 실수가 되도록 하기 위해서는 K'이 음수가 되어야 하므로 K에 충분한 음수 값을 다음과 같이 첨부하여 보자.

$$K' = K - 0.00005 \quad (15)$$

윗식은 K의 값에 0.00005의 값을 뺐는데 이는 취급하고자 하는 실험 영상이 거리 영상에서 곡률값을 계산하는 것이기 때문에 이 정도의 값으로 충분히 식 (13)과 식 (14)의 값이 실수값이 되기에 충분하다. 이제 k_1 과 k_2 에 식 (7)과 같은 축회전을 통해 직선의 좌우측의 밀도를 동일하게 하여 보자.

$$X_5 = (k_1 - k_2) / 2 \quad (16)$$

$$X_6 = k_2 \quad (17)$$

이때 X_5 와 X_6 결합 확률밀도 함수를 구해야 하는데 이를 다음과 같이 나타내는 것이 가능하다.

$$\begin{aligned} f(X_5, X_6) &= f(X_5) f(X_6) \\ &= a \text{EXP}[-\{a(X_5 - b) / (2\pi\sigma^2)\}^{-1/2}] [\text{EXP}[-\{(X_6 - \mu) / \sigma\}^2 / 2]] \\ &= a(2\pi\sigma^2)^{-1/2} \text{EXP}[-\{(X_6 - \mu) / \sigma\}^2 / 2 - a(X_5 - b)] \end{aligned} \quad (18)$$

파라미터값의 범위는 $a > 0, \sigma > 0, -\infty < b < \infty, -\infty < \mu < \infty, b < X_5 < \infty, -\infty < X_6 < \infty$ 과 같으며 간단화를 위해 X_5, X_6 를 각각 아래와 같이 변환하여 보자.

$$Y = a(X_5 - b) \tag{19}$$

$$Z = (X_6 - \mu) / \sigma \tag{20}$$

이때 Y, Z의 결합 확률 밀도 함수는 다음과 같이 간단한 형태로 표현된다.

$$f(Y, Z) = (2\pi)^{-1/2} \text{EXP}\{- (Z^2/2 + Y)\} \tag{21}$$

여기서 Y와 Z의 범위는 $0 < Y < \infty, -\infty < Z < \infty$ 이다.

3.2.2. 동시적인 신뢰 영역 도출

가우스 곡률과 평균 곡률의 신뢰 영역을 구하기 위해서는 Y, Z의 결합 확률밀도가 같은 값을 갖는 영역을 구하여 얻으면 된다.

여기서 $Z^2/2 + Y$ 가 상수 C가 되면 $f(Y, Z)$ 도 일정하게 되므로 동시적인 신뢰 영역은 상수 C가 결정되면 $Y = -Z^2/2 + C$ 와 $Y = 0$ 사이의 폐영역이 된다.

$$f(Y, Z) = (2\pi)^{-1/2} \text{EXP}\{- (Z^2/2 + Y)\} \tag{22}$$

이제 이 폐영역의 크기를 좌우하는 상수값 C를 결정하기 위해 판단오류에 대한 결정치 α 를 설정한다

$$P(\text{귀무 가설기각} | \text{귀무 가설 } Y=0 \text{ and } Z=0) \tag{23}$$

윗식을 $100(1 - \alpha)\%$ 신뢰영역이라 부른다. 이제 α 을 확정한 다음, $f(Y, Z)$ 를 Y와 Z에 대해 다음과 같이 이중 적분하여 그 값이 $1 - \alpha$ 로 되는 상수 C값만 구하면 된다.

$$\begin{aligned} & P(f(Z^2/2 + Y) < C, Y > 0) \\ &= 2 \int_0^{(2C)^{1/2}} \int_0^{C - z^2/2} f(Y, Z) dy dz \\ &= \int_0^{(2C)^{1/2}} \int_0^{C - z^2/2} (2\pi)^{-1/2} \text{EXP}\{- (Z^2/2 + Y)\} f(Y, Z) dy dz \\ &= 2 \Psi(2C)^{-1/2} - 2(C/\pi)^{-1/2} \text{EXP}(-C) - 1 \end{aligned} \tag{24}$$

여기서 $\Psi(\cdot)$ 는 표준화 정규분포함수로써 이를 실제로 계산하기 위해 근사식 $\Psi(\cdot)$ 중 다음의 식을 이용하여 보자. 즉,

$$\Psi(t) = 0.5 + 0.5 \left(1.0 - \text{EXP}\left(-2t^2/\pi\right) / \left(1 + 2(\pi - 3)t^4/(3\pi^2)\right) \right)^{1/2} \tag{25}$$

식 (25)을 식 (24)에 대입하면 아래와 같은 부등식이 도출되는데, 이때 이 부등식을 만족시키는 최대의 C값을 동시적인 0의 값으로 간주하면 실제 거리 영상의 표면 분류가 가능해진다.

이때 C의 값은 아래식의 부등식을 만족시키는 최대값이기 때문에 곡률값의 경우 이를 만족하는 H와 K의 값은 당연히 존재하게 된다. 또한 본 논문에 제안한 방법은 식 (26)을 만족하는 C의 값을 계산에 의해 자동으로 산출하여 세밀한 표면 분류를 가능하게 해 준다. 그러나 기존의 방법은 이것을 실험자가 표면 분류 결과를 일일이 모니터상에서 확인해 가면서 가장 적절한 임계치를 선정해 주어야 했다. 이를 자동으로 하고자 한 것이 본 논문의 취지이며 이를 실험을 통해 확인한 결과 소기의 목적을 달성할 수 있음을 알 수 있었다.

$$\begin{aligned} & \{1.0 - \text{EXP}(-4C/\pi)(1 + 8(\pi - 3)C^4/(3\pi^2))\}^{1/2} \\ & - (C/\pi)^{1/2} \text{EXP}(-C) < (1 - \alpha) \end{aligned} \tag{26}$$

IV. 실험 및 고찰

본 논문에서의 실험은 IBM-PC상에서 C언어를 사용하여 행하였다. 그림 3이 입력 거리 영상이며 그림 4가 이에 대한 거리값 그리고 그림 5가 부호값을 나타낸다. 아울러 그림 6이 입력 거리 영상이며 그림 7과 그림 8에 표면을 분류한 결과를 나타내었다. 그림 7은 실험자가 모니터에 앉아서 출력 결과를 보아가면서 여러 번의 실험에 의해 표면 분류를 행하여 가장 결과가 좋은 것을 출력한 것이다. 그림 8은 본 논문에서 제안한 방법으로 표면을 분류한 결과이다. 실험 결과 데이터에서 알 수 있듯이 그림 7과 그림 8의 결과는 큰 차이가 없다는 것을 알 수 있다. 즉, 제안한 방법인 그림 8은 통계적인 특성을 이용하여 자동적으로 표면 분류를 행한 것이고, 그림 7은 실험자가 화면상에 나오는 여러 데이터를 일일이 확인해 가면서 표면 분류를 행한 것이기 때문에 실험 결과 데이터는 차이가 없게 된다. 그러나 제안한 방법은 자동적으로 임계치를 선정하여 표면 분류를 행한 것이기 때문에 실험자가 수동적으로 출력결과를 보아가면서 입력시킨 임계치 선정 방법보다 공학적인 가치가 대단히 크다고 할 수 있다. 앞으로 표면 분류 부분뿐만 아니라 3차원 컴퓨터 시각장치 전체 시스템에 있어 임계치를 자동으로 선정하기 위한 확장 연구가 지속적으로 행해져야 하리라 여겨진다.

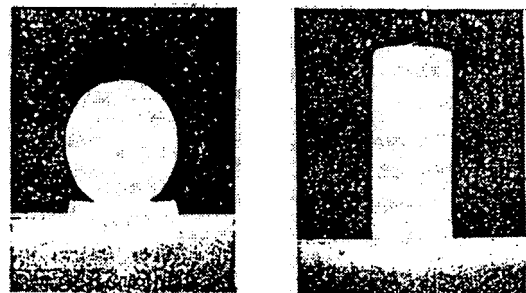


그림 3. 입력 거리 영상
Fig. 3. Input range image.

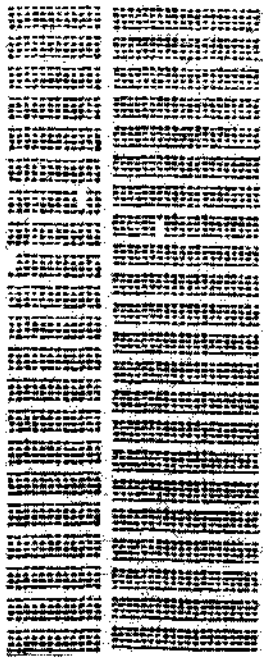


그림 4. 거리값
Fig. 4. Range values.

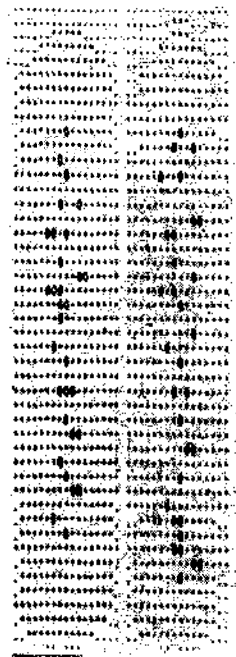


그림 5. 부호값
Fig. 5. Sign values.

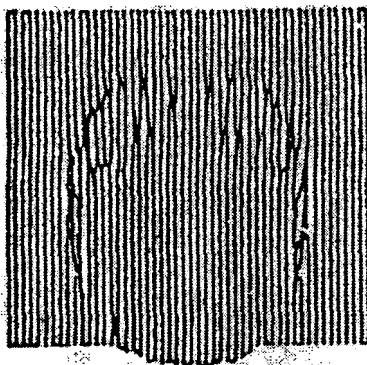
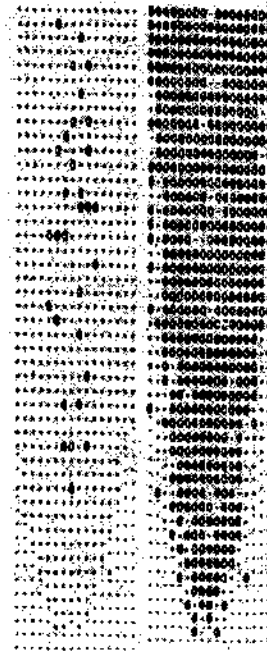


그림 6. 입력 거리 영상
Fig. 6. Input range image.

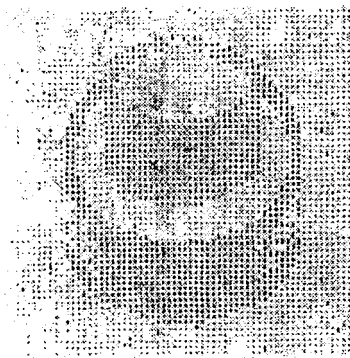


그림 8. 제안한 방법에 의한 표면 분류
Fig. 8. Surface classification by the proposed method.

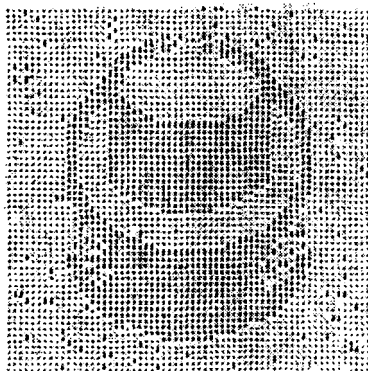


그림 7. 표면 분류 결과
Fig. 7. Result of surface classification.

V. 결 론

본 논문에서는 부호값의 분포 특성에 따라 표면을 분류하고 표면 분류에 필요한 실제적인 임계치를 자동으로 선정하는 방법에 대해 제안하였다. 이는 실험자가 일일이 실험 영상을 보며 임계치를 선정한 것과 큰 차이는 없었지만 본 논문은 이를 자동으로 선정했다는 것에 의미가 있다. 그러나 추가 처리에 대한 처리시간 소요가 문제점으로 지적 될 수 있다. 차후 다른 컴퓨터 시각 분야에서의 자동적인 임계치 선정에도 본 방법을 확장시킴으로써 제안한 알고리즘의 상용화가 가능하기 위한 연구가 이루어져야 하리라 여겨진다. 또한 멀티미디어 시스템으로의 확장을 통해 제안한 방법의 효율성을 입증하는 방안에

참고문헌

1. M. Marefat et al, "Gaze Stabilization in Active Vision," Journal of Pattern Recognition, Vol.30, No.11, 1997.
2. M. Daum and G.Dudek, "On 3-D Surface Reconstruction Using Shape from Shadows," Proceedings of CVPR, 1998.
3. Y. Iwahori et al, "Neural Network Based Photometric Stereo Using Illumination Planning," Proceedings of IJCAI, Vol.2, 1997.
4. Y. Chen et al, "Surface Description of Complex Objects from Multiple Range Images," Proceedings of CVPR, 1994
5. J. Ponce et al, "Object Representation for Object Recognition," Proceedings of CVPR, 1994.
6. 최병욱외 2인, "레이저 데이터를 이용한 물체의 특징 추출, 영상처리 및 이해에 관한 워크샵, 1991.
7. Besl and Jain, "Invariant Surface Characteristics for Objects of Various Shapes and Appearance," CVGIP, 1986.

▲조 동 욱(Dong Uk Cho)



1989년 2월 : 한양대학교 대학원
전자통신과 졸업
(공학박사)
1989년~1990년 : 한양대학교 Post Doc.
연구원
1989년~1991년 : 동양공전 전자통신과
조교수
1991년 3월~2000년 2월 : 서원대학교 정보통신공학과
부교수
1999년 3월~1999년 5월 : 미국 Oregon State University
전기 및 컴퓨터공학과 교환교수
2000년 2월 : 연합뉴스선정, 한국의 주요인사
2000년 3월~현재 : 충북도립옥천대학 정보통신과 교수

▲백 승 재(Baek Seung Jae)



1997년 : 청주대학교 공과대학
전자공학과(공학사)
1997년~1999년 : 청주대학교 대학원
전자공학과
(공학석사)
1999년~현재 : 청주대학교 대학원
전자공학과(박사과정)

▲김 동 원(Dong Won Kim)

현 재 : 충북도립옥천대학 정보통신과 교수