

H,K곡률에서 세밀한 물체의 표현을 위한 임계치의 선정

조 동 옥

충북과학대학 정보통신학과

Selection of Threshold for Complex Objects Representation from the H,K Curvatures

Cho dong-uk

Chungbuk Provincial Univ. of Science & Technology

E-mail : ducho@ctech.ac.kr

요 약

본 논문에서는 3차원 물체의 인식을 위한 표면 분류시 그 임계치를 선정하는 방법에 대해 제안하고자 한다. 특히 보다 세밀하고 복잡한 물체의 표현을 위해 사용하여 왔던 평균 곡률과 가우스곡률이 가지고 있던 문제점인 임계치 선정 문제를 통계적 방법에 의해 해결하는 방법을 제안하고자 한다. 끝으로 본 논문의 유용성을 실험에 의해 입증하였다.

Abstract

This paper proposes the threshold value selection for surface classification of 3-dimensional objects. Pre-existing method which uses the H-curvature and K-curvature has limitation in the practical threshold value selection. For this, this paper proposes the threshold value selection by the statistical method. Finally, the effectiveness of this paper demonstrated by experiments.

I. 서론

물체의 인식을 올바르게 수행하기 위해서는 3차원 물체 인식이 행해져야 한다. 이는 우선 레이저나 초음파등을 사용하는 Active 방법 [1] 에 의해 또는 Shape from X [2], [3] 라는 수동적인 방법에 의해 거리 영상을 획득하는 것이 첫단계이다. 이후 거리 영상으로부터 물체를 표현하고 이를 정합하는 과정으로 나뉘어진다. 이때 물체의 표현을 위해서 법선벡터등을 이용하여 간단히 물체의 특징을 묘사하는 방법과 평균 곡률과 가우스 곡률 [4] 을 이용하여 물체를 세밀하게 표현하는 방법이 있다.

그러나 보다 복잡한 물체를 표현하기 위해 [4] 의 방법이 주된 방법으로 여겨져 왔었다.

[4] 의 방법은 이론적으로는 적합하고 문제점이 없는 방법이지만 실제의 거리 영상에 대해 적용시는 이론과는 달리 평균 곡률과 가우스 곡률의 부호값에 따른 표면 분류시 임계치의 선정이 제대로 행해지지 않는다.

본 논문에서는 이를 위해 실제 거리 영상에서 평균 곡률과 가우스 곡률의 부호값의 임계치 문제에 대해 새로운 방법을 제안하고자 하며 실험에 의해 제안한 방법의 유용성을 입증하였다.

II. 평균 곡률(K)과 가우스곡률(H)의 부호값에 따른 임계치의 선정의 문제점과 이를 해결키 위한 방법의 제안

1. K와 H의 부호값에 따른 표면의 분류

Besl과 Jain [4] 은 표면을 peak, ridge, saddle, ridge, flat, minimal surface, pit, valley, saddle valley 등으로 분류 하였으며 이에 대한 K와 H의 부호값은 아래 표 1과 같다.

표 1. H와 K값에 따른 표면의 분류

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

그러나 이 방법은 이론적으로는 가능치만 실제의 거리 영상에는 적용키 어렵다는 문제가 존재한다. 이를 위해 통계 분석에 의한 새로운 방법론을 제안한다.

2. 통계 분석을 통한 표면 분류 임계치의 선정

2.1 H와 K의 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.

$$k = k_1 \cdot k_2 \tag{1}$$

$$H = (k_1 + k_2) / 2 \tag{2}$$

평균 곡률과 가우스 곡률을 k_1, k_2 로 나타내어 보면 식 (3), 식 (4)와 같다.

$$k_1 = H + \sqrt{H^2 + K} \tag{3}$$

$$k_2 = H - \sqrt{H^2 + K} \tag{4}$$

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

$$K' = K - 0.00005 \tag{5}$$

윗식은 K의 값에 0.00005의 값을 뺐는데 이는 취급하고자

하는 실험 영상이 거리 영상에서 곡률값을 계산하는 것이기 때문에 이 정도의 값으로 충분히 식 (3)과 식 (4)의 값이 실수값이 되기에 충분하다. 이제 k_1 과 k_2 에 식 (7)과 같은 축회전을 통해 직선의 좌우측의 밀도를 동일하게 하여 보자.

$$X_5 = (k_1 - k_2) / 2 \tag{6}$$

$$X_6 = k_2 \tag{7}$$

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

$$\begin{aligned} f(X_5, X_6) &= f(X_5) f(X_6) \\ &= a \text{EXP}[-\{a(X-b)(2\sigma^2)\}^{-1/2}] [\text{EXP}\{-((X_6-\mu)/\sigma)^2/2\}] \\ &= a(2\sigma^2)^{-1/2} \text{EXP}\{-((X_6-\mu)/\sigma)^2/2 - a(X_5-b)\} \end{aligned} \tag{8}$$

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.

$$Y = a(X_5 - b) \tag{9}$$

$$Z = (X_6 - \mu) / \sigma \tag{10}$$

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

$$f(Y, Z) = (2\pi)^{-1/2} \text{EXP}\{-(Z^2/2 + Y)\} \tag{11}$$

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

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.

$$f(Y, Z) = (2\pi)^{-1/2} \text{EXP}\{-(Z^2/2 + Y)\} \tag{12}$$

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

$$P_r(\text{귀무 가설기각} | \text{귀무 가설 } Y=0 \text{ and } Z=0) \quad (13)$$

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

$$\begin{aligned} P_r(Z^2/2+Y) < C, Y > 0 \\ &= 2 \int_0^{(2C)^{1/2}} \int_0^{C-Z^2/2} f(Y,Z) dy dz \\ &= \int_0^{(2C)^{1/2}} \int_0^{C-Z^2/2} (2\pi)^{-1/2} \text{EXP}(-Z^2/2+Y) f(Y, Z) dy dz \\ &= 2\pi((2C)^{-1/2}-2(C/\pi)^{-1/2}\text{EXP}(-C)-1) \end{aligned} \quad (14)$$

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

$$\Psi(t) = 0.5 + 0.5(1.0 - \text{EXP}(-2t^2/\pi)(1 + 2(\pi-3)t^4/(3\pi^2)))^{1/2} \quad (15)$$

식(15)를 식(14)에 대입하면 아래와 같은 부등식이 도출되는데, 이때 이 부등식을 만족시키는 최대의 C 값을 동시적인 0의 값으로 간주하면 실제 거리 영상의 표면 분류가 가능해진다.

이때 C 의 값은 아래식의 부등식을 만족시키는 최대값이기 때문에 곡률값의 경우 이를 만족하는 H 와 K 의 값은 당연히 존재하게 된다. 또한 본 논문에 제안한 방법은 식 (16)을 만족하는 C 의 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.

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

III. 실험 및 고찰

본 논문에서의 실험은 IBM-PC상에서 C언어를 사용하여 행하였다. (그림 1)이 입력 거리 영상이며 (그림 2)와 (그림 3)에 표면을 분류한 결과를 나타내었다. (그림 2)는 실험자가 모니터에 앉아서 출력 결과를 보아가면서 여러 번의 실험에 의해 표면 분류를 행하여 가장 결과가 좋은 것

을 출력한 것이다. (그림 3)은 본 논문에서 제안한 방법으로 표면을 분류한 결과이다. 실험 결과 데이터에서 알 수 있듯이 (그림 2)와 (그림 3)의 결과는 큰 차이가 없다는 것을 알 수 있다. 즉, 제안한 방법인 (그림 3)은 통계적인 특성을 이용하여 자동적으로 표면 분류를 행한 것이고, (그림 2)는 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.

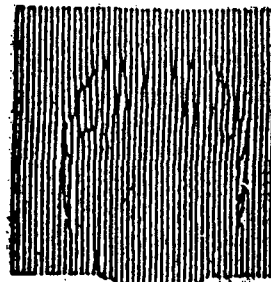


그림 1. 입력 거리 영상

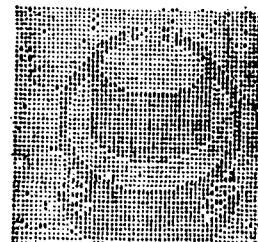


그림 2. 표면 분류 결과



그림 3. 제안한 방법에 의한 표면 분류

IV. 결론

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 대해서도 연구가 지속적으로 행해져야 하리라 여겨진다. 끝으로 본 논문의 편집등을 도와 준 본 대학 김유리양에게 감사하는 바이다.

참 고 문 헌

- [1] M. Marefat et al, "Gaze Stabilization in Active Vision," *Journal of Recognition*, Vol.30, No.11, 1997.
- [2] M. Daum and G.Dudek, "On 3-D Surface construction Using Shape from Shadows," *Proceedings of CVPR*, 1998.
- [3] Y. Iwahori et al, "Neural Network Based Photometric Stereo Using Illumination learning," *Proceedings of IJCAI*, Vol.2, 1997.
- [4] Besl and Jain, "Invariant Surface Characteristics for Objects of Various Shapes and Appearance," *CVGIP*, 1986