

곡률 근사화를 이용한 3차원 표면 분할 알고리즘

이재철*, 남기곤*, 주재흠**

* 부산대학교 전자공학과, ** 부산카톨릭대학교

The 3-D Surface Segmentation Algorithm using Curvature Approximation

Jae-Chool Lee*, Ki-Gon Nam*, Jae-Heum Joo**

* Dept. of Electronics Eng. Pusan Nat'l Univ. ** Catholic Univ. of Pusan

E-mail: jclee@vision.ee.pusan.ac.kr

요약

본 논문에서는 곡률 근사화를 이용한 3차원 영상의 표면 분할 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 기하학적인 접근방법으로 곡률 근사화 이용한 간략화 된 처리 과정의 적용과 곡률의 불연속 정도를 결정하는데 보다 용이한 방법을 제시한다. 이러한 효율적인 에지 검출을 기반으로 여러 가지 3차원 영상의 표면 분할 실험을 통하여 제안한 방법의 성능이 기존의 방법보다 우수함을 확인하였다.

I. 서론

인간의 시각 시스템을 컴퓨터로 구현하려는 컴퓨터 비전 분야에서 3차원 물체 모델링은 로봇의 시각 장치나 자동 검사 장치등의 물체 인식 분야^[1]에, 그리고 건축 시각화나 가상 텔레비전 스튜디오와 같은 가상현실 등의 3차원 장면 복구 분야(3-D scene reconstruction)^[5]에 응용되고 있다. 3차원 물체 모델링은 전체적인 흐름에서 다루어야 할 많은 양의 데이터로 인하여 시스템의 효율성을 고려해야 한다. 이를 위하여 한 영역내의 위치와 깊이 값들이 임의의 특징에 대하여 균일한 값을 갖는 의미있는 영역들로 분할하는 표면 분할(surface segmentation)이 필요하게 된다.

표면 분할의 중요한 특징 요소인 에지 검출 과정에서 기존의 표면 분할 알고리즘들^[3]은 jump 에지와 crease 에지로 나누어 서로 다른 처리 과정을 통하여 에지를 검출하였다. 특히

crease 에지에 대한 검출 결과는 세션화 되지 못하고 정확하지 못한 에지 설정으로 인해 과분할(over segmentation)과 불완전분할(under segmentation)의 결과를 보여 주고 있다.

본 논문에서는 3차원 영상의 표면 분할 방법에서 곡률 근사화를 이용한 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 주어진 3차원 정보로부터 각 방향 별 스캔라인(scan line) 근사화^[4]를 통하여 주어진 초기 입력값의 이산적인 데이터의 한계를 극복하여 곡률 계산을 용이하게 하였다. 곡률을 구하는 방법으로는 기존의 수식적인 미분 접근 방법^[5]이 아닌 간단한 기하학적인 접근 방법을 통하여 근사화된 방법을 제시한다. 이러한 에지를 기반으로 영역의 그룹화 과정과 후처리 과정^[6]을 통하여 표면 분할을 수행한다.

본 논문의 II장에서는 구체적인 곡률 근사화와 제안하는 3차원 표면 분할에 대해서 설명하고, III장에서는 실험결과를 통해 본 논문에서 제시하는 알고리즘을 검토한다. 그리고 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 곡률 근사화와 3차원 표면 분할

1. 스캔라인별 곡선의 분리과정

3차원 영상의 에지를 구하기 위한 곡률값을 계산하기에 앞서서, 입력 영상의 이산적인 데이터 값을 보완하기 위하여 각 방향의 스캔라인(scan line)은 3차원 표면상에서 각각의 곡선으로 대응시킨다. 그림 1은 이러한 반복과정을 예를 들어

나타낸 것이다. 그림 1-(a)의 첫 번째 그림은 3차원 영상에서 임의의 한 행의 스캔라인에서의 실제 깊이값을 나타내는 것이고, 그림 1-(a)의 두 번째 그림부터는 네 개의 구분점("o")를 기준으로 각각 2차 방정식(실선)으로 스캔라인 근사화를 시키는 과정을 나타내었다.

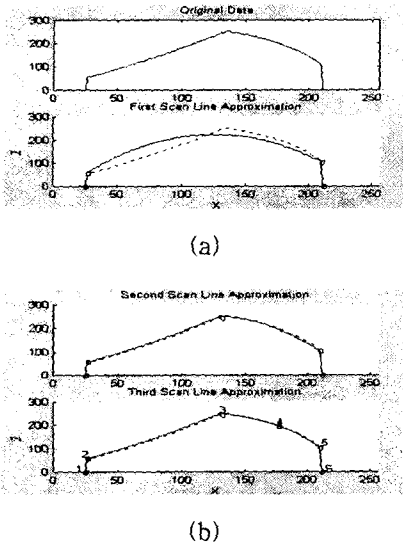


Fig. 1. Splitting process of a scan line.
 (a) 3D data of a scan line and the first splitting result.
 (b) The second and third splitting results.

그림 1-(b) 결과에서 볼 수 있듯이 각 방향별 곡선의 분리 과정을 통해 구해진 구분점들은 물체의 경계점(구분점 1,2,5,6)과 평면과 곡면의 경계점(구분점 3) 외에 더 많은 에지 후보점들(구분점 4)이 존재하게 된다.

2. 곡률 근사화

이전의 단계에서 구해진 많은 구분점들은 에지 점들이 될 가능성이 있는 에지 후보점들이 되고, 그 외의 점들은 어떤 표면 내의 점들 즉, 같은 영역의 점들이기 때문에 더 이상 고려하지 않는다. 에지점들을 결정하기 위하여 깊이값의 불연속 크기와 면의 방향의 불연속 크기를 각각 구하여야 하는데, 본 논문에서는 호의 길이에 대한 접선각의 변화율로 정의되는 곡률을 기하학적인 접근 방법으로 근사화하여 해결하고자 한다.

그림 2의 예에서 한 스캔라인이 x_0 의 구분점을 기준으로 $f_1(x)$ 와 $f_2(x)$ 로 근사화 되었다고 가정하자. 3차원 영상의 데이터들은 2차 함수로

근사화 되어서 더 이상의 이산적인 값이 아니기 때문에 각 함수의 미분값을 사용하여 간단히 원하는 접선 각을 얻을 수가 있다.

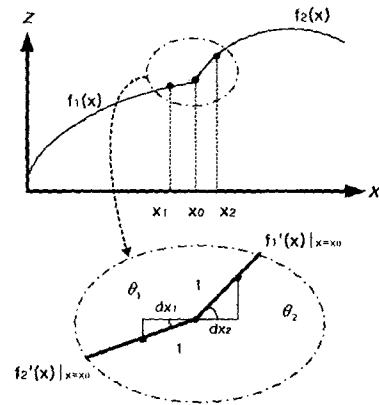


Fig. 2. Approximation for curvature calculation.

구분점 x_0 에서의 곡률값을 구하기 위하여 우선 단위호의 길이만큼 떨어진 x_1 과 x_2 , 즉 그림 5에서의 dx_1 과 dx_2 를 구하여야 한다. 작은 거리 내에서의 각 곡선은 직선이라는 가정을 두면 식 (1)와 같이 표현된다.

$$\theta_1 = \tan^{-1}(f'_1(x_0))$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}(f'_2(x_0)) \quad (1)$$

우선적으로 구하고자 하는 x_1 과 x_2 는 식 (2)과 같이 표현된다.

$$dx_1 = \cos(\theta_1), \quad dx_2 = \cos(\theta_2)$$

$$x_1 = x_0 - dx_1, \quad x_2 = x_0 + dx_2 \quad (2)$$

따라서, 구분점 x_0 에서의 곡률값은 호의 길이인 S 와 접선각 θ 에 대하여 식 (3)와 같이 식(2)에서 구해진 위치에서의 각 함수 기울기 각의 변화율이 된다.

$$x_{|x=x_0} = \frac{\tan^{-1}(f'_2(x_2)) - \tan^{-1}(f'_1(x_1))}{2} \quad (3)$$

그림 3-(b)는 식 (3)을 이용하여 그림 3-(a)의 A와 B사이의 스캔라인 근사화를 통하여 구해진 구분점들에 대하여 곡률값을 계산한 결과를 나타낸 것이다. 구분점의 곡률값들은 jump 에지와 crease 에지 모두에서 상대적인 큰 값을 가짐을 볼 수가 있고, 잘못된 에지 후보점들은 0에 가까운 값을 가짐을 볼 수가 있다.

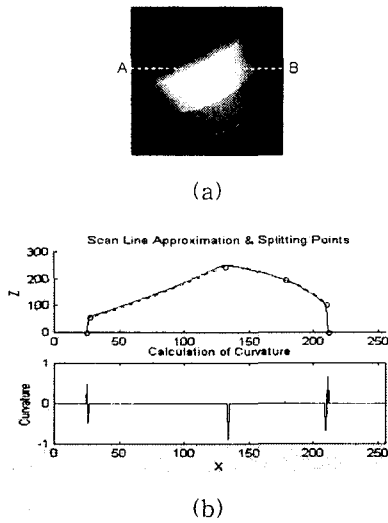


Fig. 3. Curvature calculation about splitting points.
 (a) A 3-D image.
 (b) Scan line approximation and curvature value.

실제적으로 어떤 영상에서 면의 구성에 따라 불연속의 최대값은 하나의 스캔라인 방향에 나타나지는 않는다. 곡률에 있어서도 방향에 따라 각기 다른 곡률값을 가지기 때문에 한 점에서 여러 방향으로의 곡률값을 계산하고 주로 다루어지는 대상은 주곡률(principal curvature)이라는 최대, 최소값을 사용한다. 따라서 본 논문에서는 네 방향-영상의 행, 열, 두 대각선방향(45°과 135°)으로 곡률값을 계산하여 에지점을 결정한다.

3. 에지 맵의 영역 분할

곡률 근사화를 통해 구해진 에지 맵은 필연적인 틈 때문에 표면 분할을 하는 목적으로는 부적합해서 폐곡선으로 연결시켜주는 부가적인 과정이 필요하다. 이러한 문제는 에지 맵의 그룹화과정에서 보완하게 된다. 초기 그룹화는 보통 불완전 분할의 결과가 나타난다. 불완전 분할된 영역을 인식하기 위해서 초기 분할된 각각의 영역에 대해서 평면과 곡면의 함수의 계산과 그 에러를 점검하여 에지를 팽창시킬 것인지 후처리로 넘어갈 것인지 점검하는 영역 테스트를 수행한다. 그림 4는 그룹화의 과정을 블록도로 나타낸 것이다. 후처리에서는 할당되지 않은 영역을 수용하기 위해 영역 테스트의 임계값을 완화시켜 에지점을 포함한 나머지 모든 영역에 적용시킨다.

III. 실험결과 및 검토

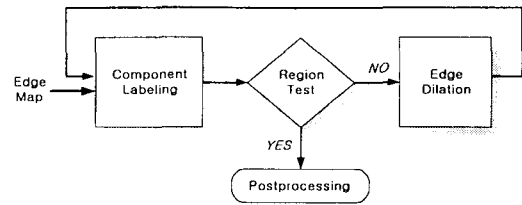


Fig. 4. Block diagram of the grouping process.

본 논문에서 제안한 알고리즘을 검토하기 위하여 그림 5와 같이 다양한 면을 가지는 물체의 합성 거리 영상과 스테레오 정합으로부터 얻어지는 복합적인 장면의 깊이도를 사용하여 실험을 하였다.

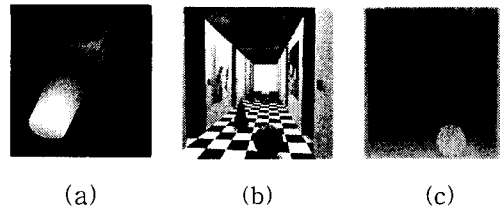


Fig. 5. Test images.
 (a) Test image 1. (b) A stereo image.
 (c) Test image 2 - Depth map

객관적인 비교를 위하여 에지 기반 영역 분할 알고리즘 중에서 수행시간이나 정확성에서 다른 알고리즘에 비해 우수한 성능^[3]을 가지는 UB (University of Bern) 알고리즘과 비교하였다.

결과 영상에서의 영역 분할의 결과는 각 영역의 밝기 차이가 각기 다른 영역으로 분할되었음을 보여주고, (a)와 (b)는 UB의 결과이고 (c)와 (d)는 제안한 알고리즘의 결과이다 그림 6에서는 원통의 곡면을 가지는 영상인데, 원통의 양끝부분을 보면 UB 알고리즘에서는 crease 에지로, 제안된 알고리즘에서는 곡률의 크기가 커짐으로써 작은 에지들이 검출되어 분할되지 못하는 작은 영역들이 생김을 볼 수가 있다. 그림 5-(b)의 복잡한 장면의 스테레오 영상으로부터 얻어진 그림 5-(c)의 변이 영상에 적용한 결과인 그림 7에서는 곡면에서의 과도한 에지 검출과 평면에서의 약한 에지 검출로 인하여, 원뿔과 구에서 분할되지 못하는 작은 영역들이 많이 생기게 되고, 원뿔 또한 복도 바닥과 분할하지 못한 결과를 낸다. 그리고 측면 벽들 또한 불완전분할의 결과를 내게 된다. 하지만 그림 7-(d)의 결과에서는 완전하지는 않지만 UB 알고리즘에 비교해서 분할

되지 못하는 작은 영역들이 줄어들었고, 원뿔은 바닥에서 분할하였으며, 측면 벽들 또한 뚜렷이 분할됨을 볼 수 있다.

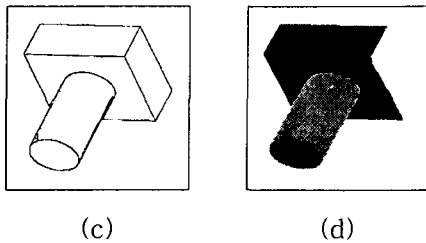
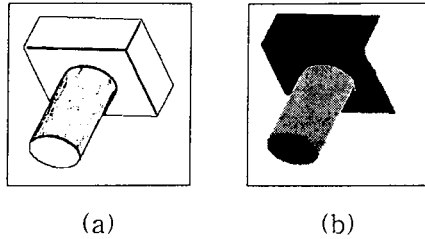


Fig. 6. The result of test image 1.

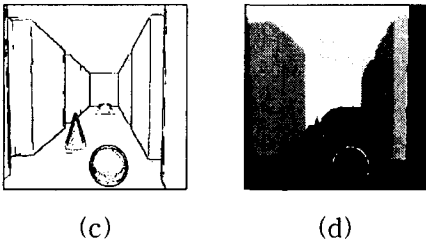
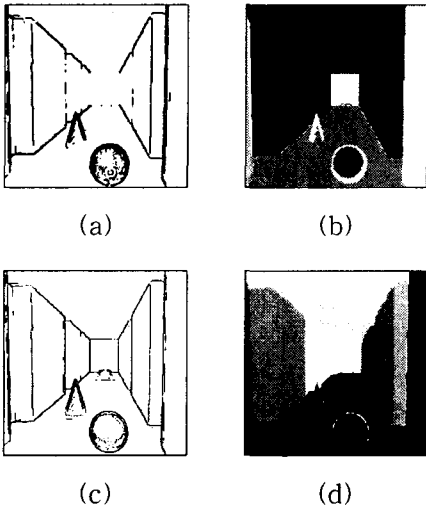


Fig. 7. The result of test image 2.

IV. 결론

본 논문에서는 3차원 영상의 표면 분할을 위하여 방향별 깊이 정보의 2차 곡선 추정으로 곡률 계산을 용이하게 하였고, 간략해진 기하학적인 접근 방법을 이용한 곡률 근사화로 에지를 검출하였다. 실험을 통하여 기존의 영역 분할 알고리즘 중에서 우수한 성능을 보이는 UB 알고리즘과의 성능을 비교하였다. 제안된 알고리즘이 특히

crease 에지에 대해서는 불필요한 에지의 제거를 통하여 더 좋은 성능을 보임을 알 수 있었다. 이러한 효율적인 에지 검출을 기반으로 다양한 면의 분할과 복잡한 장면의 분할에서 신뢰성과 속도, 성능 면에서 보다 개선된 결과를 확인할 수 있었다.

앞으로 분할된 영상을 입력으로 3차원 물체를 모델링하기 위하여 영역의 구체적인 설정 정보를 이용한 형태 분류에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] P. J. Flynn and A. K. Jain, *Three-dimensional object recognition, in Handbook of Pattern Recognition and Image Processing*, pp. 497-541, Academic Press, 1994.
- [2] F. Ade, *Grasping unknown objects, in Modelling and Planning for Sensor Based Intelligent Robot System*, pp. 445-459, World Scientific, Singapore, 1995.
- [3] A. Hoover, "An Experimental Comparison of Range Image Segmentation Algorithms," *IEEE Trans. PAMI*, 18(7), pp. 673-689, Jul. 1996.
- [4] X. Jiang and H. Bunke, "Edge Detection in Range Images Based on Scan Line Approximation," *Computer Vision and Image Understanding*, 73(2), pp. 183-199, Feb. 1999.
- [5] E. Turcco and R. B. Fisher, "Computing surface-based representations from range images," *Proc. IEEE Int'l Symp. on Intelligent Control, Glasgow, Scotland*, pp. 275-280, 1992.
- [6] X. Jiang and H. Bunke, "Range Image Segmentation : Adaptive grouping of edges into regions," *in Computer Vision - ACCV'98*, pp. 299-306, Springer-Verlag, Berlin/New York, 1998.