

論文2001-38SP-2-9

## 곡률을 이용한 3차원 영상의 에지 기반 표면 분할 알고리즘 (Edge-based Surface Segmentation Algorithm of 3-D Image using Curvature)

薛盛旭\*, 李再出\*, 南基坤\*, 田桂錄\*\*, 朱在欽\*\*\*

(Sung-Wook Seol, Jae-Chool Lee, Ki-Gon Nam, Kyeu-Rok Jeun,  
and Jae-Heum Joo)

### 요 약

본 논문에서는 곡률을 이용한 3차원 영상의 에지 기반 표면 분할 알고리즘을 제안한다. 제안한 방법은 표면 분할의 중요한 특징 요소인 에지 검출의 과정에서 3차원 영상의 깊이 정보를 스캔라인별로 2차 곡선으로 근사화하고, 각 곡선의 구분점에 대하여 곡률 계산을 적용하여 에지를 결정한 후, 영역을 그룹화 한다. 기존의 알고리즘은 jump 에지와 crease 에지로 구분하는 다른 처리 과정으로 에지를 검출하고, 특히 crease 에지에 대해서 면 방향의 불연속정도를 결정하는데 어려움이 많았다. 제안한 알고리즘은 기하학적인 접근방법으로 근사화된 곡률 계산을 이용한 단일 처리 과정의 적용과 곡률의 불연속정도를 결정하는데 보다 용이한 방법을 제시한다. 이러한 효율적인 에지 검출을 기반으로 여러 가지 3차원 영상에 대한 실험을 통하여 제안한 방법의 성능이 기존의 방법보다 우수함을 확인하였다.

### Abstract

In this paper, we suggest an edge-based surface segmentation algorithm of 3D image using curvature. For the first, in this proposed method, we approximate 3D depth data to second order curves by each scan line and decide splitting points of 3D edges by curvature of the approximated curves. And finally make a group as 3D surface with the region of input image by the 3D edges. In the conventional algorithms, there are some difficulties in detecting 3D edge with the separated processes for the jump edge and the crease edge and especially, in deciding the ambiguous discontinuity of surface directions about the crease edge. The proposed algorithm decides curvature discontinuity using curvature which is simply calculated by a geometrical approximation. Furthermore, the algorithm has a cooperated process to calculate the jump and crease edges. The results of computer simulations with several 3D images show that the proposed method yields better performance as comparing with the conventional methods.

\* 正會員, 釜山大學校 電子工學科  
(Dept. of Electronics Engr. Pusan National University)

\*\* 正會員, 釜山大學校 醫工學科  
(Dept. of Biomedical Engr. Pusan National University)

\*\*\* 正會員, 釜山카톨릭大學校 情報工學部  
(School of Information Engr. Catholic University of Pusan)

※ 본 연구는 부산대학교 컴퓨터 및 정보통신 연구소의 일반기초과제 지원에 의해 수행되었습니다.  
接受日字:2000年10月14日, 수정완료일:2001年2月2日

## I. 서론

인간의 시각 시스템을 컴퓨터로 구현하려는 컴퓨터 비전 분야에서 3차원 물체 모델링은 로봇의 시각 장치나 자동 검사 장치 등의 물체 인식 분야<sup>[1][2]</sup>에, 그리고 건축 시각화나 가상 텔레비전 스튜디오와 같은 가상현실 등의 3차원 장면 복구 분야(3-D scene reconstruction)<sup>[3-5]</sup>에 응용되고 있다. 3차원 물체 모델링은 전체적인 흐름에서 다루어야 할 많은 양의 데이터로 인하여 시스템의 효율성을 고려해야 한다. 이를 위하여 한 영역내의 위치와 깊이값들이 임의의 특징에 대하여 균일한 값을 갖는 의미있는 영역들로 분할하는 표면 분할(surface segmentation)이 필요하게 된다.

3차원 정보는 거리 측정 장치(range finder)를 이용하여 직접적으로 얻을 수 있는 거리 영상(range image)과 스테레오 정합(stereo matching)에 의하여 간접적으로 얻어지는 깊이도(depth map)가 있다. 최근 연구에서는 보다 정확하고 기하학적인 특징을 직접적으로 추출할 수 있는 거리 영상에 대한 표면 분할 알고리즘이 연구되고 있다.<sup>[6-8]</sup> Cochran<sup>[9]</sup>의 연구에서처럼 깊이도에 대한 보정을 거쳐서 나온 3차원 정보는 거리 영상에서 얻어진 3차원 정보만큼 충분히 기하학적인 특징을 추출해 낼 수 있어, 시스템 구성의 간편성과 다양한 분야에 적용될 수 있는 깊이도의 표면 분할 알고리즘도 연구되고 있다.<sup>[10][11]</sup>

표면 분할의 방법은 크게 영역 기반과 에지 기반 표면 분할 방법이 있다. 에지 기반 방법은 영상내의 모든 점에 대해 정확한 곡면 특징의 추출이 필요하지 않을 뿐만 아니라, 경계선의 형성이 영역 기반에 비해 정확하고 직접적이라는 장점이 있다. 3차원 영상에서의 에지는 배경과 물체나, 각 물체 사이의 경계점이 될 수 있는 깊이값의 불연속점인 jump(step) 에지와 물체 내부에서 각 면의 경계점이 될 수 있는 면의 방향각이 불연속점인 crease(roof) 에지로 나누어진다. 기존의 에지 기반 표면 분할 알고리즘들<sup>[8]</sup>은 에지를 검출하는 과정에서 jump 에지와 crease 에지로 나누어 서로 다른 처리 과정을 통하여 에지를 검출하였다. 특히 crease 에지에 대한 검출 결과는 세션화되지 못하고 정확하지 못한 에지 설정으로 인해 과분할(over-segmentation)과 불완전분할(under-segmentation)의 결과를 보여 주고 있다.

본 논문에서는 3차원 영상의 에지 기반 표면 분할 방법에서 곡률을 이용한 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 주어진 3차원 정보로부터 각 방향 별 스캔 라인(scan line) 근사화<sup>[12]</sup>를 통하여 깊이 정보를 2차 곡선으로 추정한다. 추정된 곡선의 식을 사용함으로써 주어진 초기 입력값의 이산적인 데이터의 한계를 극복하여 곡률 계산을 용이하게 하였다. 에지 검출 과정은 기존의 깊이값의 불연속점도와 접선각의 불연속점도로 결정되는 jump 에지와 crease 에지를 스캔라인별로 근사화된 각 구분점에 대한 곡률의 불연속점도 결정인 하나의 처리 과정을 거친다. 곡률을 구하는 방법으로는 기존의 수식적인 미분 접근 방법<sup>[13]</sup>이 아닌 간단한 기하학적인 접근 방법을 통하여 근사화된 방법을 제시한다. 이러한 에지를 기반으로 영역의 그룹화 과정과 후처리 과정<sup>[14]</sup>을 통하여 표면 분할을 수행한다.

본 논문의 II장에서는 전체적인 알고리즘의 구성 및 각 세부 블록에 대해서 설명하고, III장에서는 합성 영상과 실제 영상의 실험결과를 통해 본 논문에서 제시하는 알고리즘을 기존의 알고리즘과 비교·검토하고 그리고 IV장에서 결론을 맺는다.

## II. 제안한 3차원 표면 분할 알고리즘

제안하는 3차원 표면 분할 알고리즘에서 중요하게 다루어지는 것은 에지를 구하는 것이다. 본 논문에서는 곡선의 기울기 변화에 민감한 반응을 보이는 곡률의 특성을 이용하여 3차원 영상의 에지를 검출하기 위한 불연속 크기의 결정도구로 jump 에지와 crease 에지의 검출에 구분 없이 사용하고자 한다. 최대 곡률값을 찾

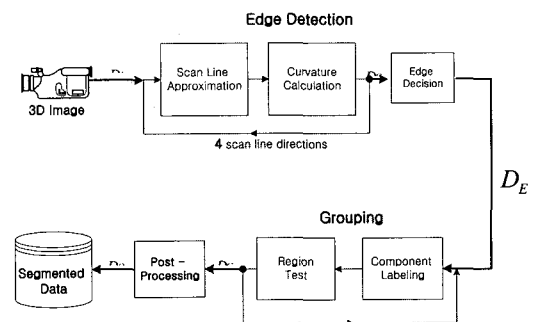


그림 1. 3차원 표면 분할 알고리즘 블록도  
Fig. 1. Block diagram of the 3D surface segmentation.

기 위하여 스캔라인 방향에 따라 기하학적인 접근 방법을 통하여 곡률 근사화를 한다. 이러한 곡률을 이용한 3차원 영상의 에지 검출 방법은 기존의 방법들보다 간단해진 처리 과정을 거치게 되고, 특히 보다 정확한 crease 에지를 검출하게 된다. 제안된 알고리즘의 구성도는 그림 1과 같다.

여기서 DI는 입력 데이터인 3차원 영상, DC는 각 방향으로 계산되어진 곡률 데이터, DE는 에지 데이터, DG는 그룹화 과정을 거친 데이터, DO는 마지막 후처리 과정을 거친 출력 데이터인 분할된 영역 정보를 각각 의미한다.

1. 에지 검출 과정

1) 스캔라인 근사화

각각의 스캔라인은 3차원 표면상에서 각각의 곡선으로 대응된다. 한 스캔라인에서의 표면은 곡선의 방정식으로 근사화 시킬 수 있다.

어떤 물체의 3차원 표면을 분할하기 위해  $f(x, y, z) = 0$ 이라고 두자. 그러면 상수  $y_0$ 를 갖는 영상의 행은 단순히  $x-z$ 평면의 2차원의 곡선인  $f(x, y_0, z) = 0$ 이 된다. 일반적으로 다른 면에 대응되는 곡선 조각  $f(x, y_0, z) = 0$ 은 다른 함수의 계수들을 가진다. 그래서 영상의 열을 곡선의 조각들로 나눌 수가 있다. 이상적인 경우에 나누어진 점들은 두 면 사이의 경계에 있게 되고, 그것이 에지점들이 된다. 같은 방법으로 열과 두 대각선 방향으로도 적용시킬 수 있다.

스캔라인 근사화 방법을 구현하기 위해 적당한 표면 함수(surface function)  $f(x, y, z) = 0$ 을 선택한다. 가능한 하나는 일반적인 표면의 형식인 평면, 구, 원통, 원뿔 등을 나타낼 수 있는 다항식의 함수인

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

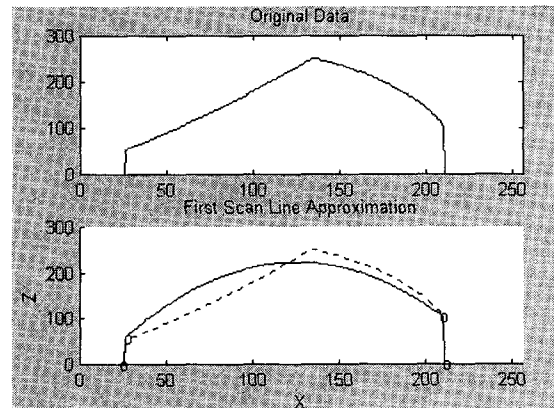
이 된다. 하지만 스캔라인을 곡선의 조각들로 나누기 위해서는 다음과 같이 고칠 수가 있다.

$$z = f(x, y) = \sum_{i+j \leq k} a_{ij} x^i y^j \tag{1}$$

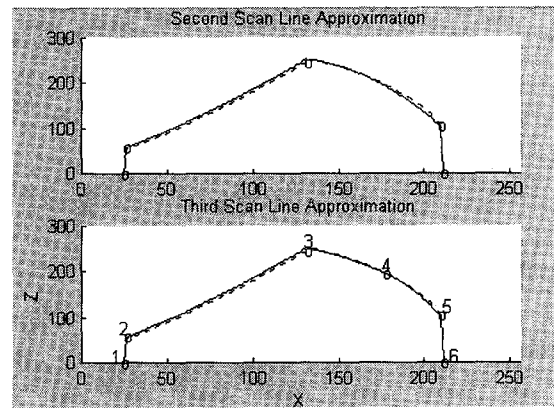
그리고 식 (1)의 간략화를 위하여  $k=2$ 로 두기로 한다.

2차 근사 함수의  $z = ax^2 + bx + c$ 의 계수  $a, b, c$ 를 결정하기 위해서, 초기에 전체 스캔라인의 양 끝점과 그 두 점의 가운데 점을 사용한다. 그리고 근사 함수의 값과 실제 스캔라인 내의 값의 가장 큰 값의 차,  $e_{max}$

가 미리 정해놓은 임계값  $\epsilon$ 보다 크게되면  $e_{max}$ 의 지점에서 스캔라인은 두 부분으로 나누어지게 된다. 이 분리 과정은 근사 에러  $e_{max}$ 가 더 이상 임계값  $\epsilon$ 를 넘지 않을 때까지 계속된다. 그림 2는 이러한 반복과정을 예를 들어 나타낸 것이다.



(a)



(b)

그림 2. 스캔라인의 분리 과정

(a) 한 스캔라인의 3차원 데이터와 첫 번째 분리 결과.

(b) 두 번째 분리 결과와 마지막 분리 결과.

Fig. 2. 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 2에서 (a)의 첫 번째 그림은 3차원 영상에서 임의의 한 행의 스캔라인에서의 실제 깊이값을 나타내는 것이고, (a)의 두 번째 그림은 네 개의 구분점("o")를 기준으로 5개의 2차 방정식(실선)으로 스캔라인 근사화를 시켰고, (b)의 첫 번째 그림과 같은 중간 분리 과정

을 한번 더 거친 다음, 마지막 분리 단계를 (b)의 두 번째 그림과 같이 6개의 구분점을 가지게 된다. 그림 2-(b) 결과에서 볼 수 있듯이 스캔라인 근사화를 통해 구해진 구분점들은 물체의 경계점(구분점 1,2,5,6)과 평면과 곡면의 경계점(구분점 3) 외에 더 많은 에지 후보 점들(구분점 4)이 존재하게 된다. 이 문제를 해결하기 위하여 에지점의 결정을 위한 불연속정도를 처리하는 과정이 필요하게 된다.

2) 곡률의 계산

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

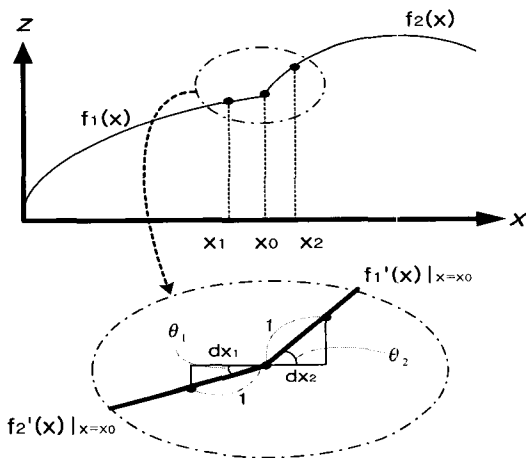


그림 3. 곡률 계산을 위한 근사화  
Fig. 3. Approximation for curvature calculation.

그림 3의 예에서 한 스캔라인이  $x_0$ 의 구분점을 기준으로  $f_1(x)$ 와  $f_2(x)$ 로 근사화되었다고 가정하자. 3차원 영상의 데이터들은 2차 함수로 근사화되어서 더 이상의 이산적인 값이 아니기 때문에 각 함수의 미분값을 사용하여 간단히 원하는 접선각을 얻을 수가 있다. 구분점  $x_0$ 에서의 곡률값을 구하기 위하여 우선 단위호의 길이만큼 떨어진  $x_1$ 과  $x_2$ 를 구하여야 한다. 즉, 그림 3에서의  $dx_1$ 과  $dx_2$ 를 구하는데, 작은 거리 내에서의 각

곡선은 직선이라는 가정을 두면 식 (2)로 표현된다.

$$\theta_1 = \tan^{-1}(f_1'(x_0)) , \quad \theta_2 = \tan^{-1}(f_2'(x_0)) \quad (2)$$

우선적으로 구하고자 하는  $x_1$ 과  $x_2$ 는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} dx_1 &= \cos(\theta_1) , \quad dx_2 = \cos(\theta_2) \\ x_1 &= x_0 - dx_1 , \quad x_2 = x_0 + dx_2 \end{aligned} \quad (3)$$

따라서, 구분점  $x_0$ 에서의 곡률값은 호의 길이인  $S$ 와 접선각  $\theta$ 에 대하여 식 (4)와 같이 식(3)에서 구해진 위치에서의 각 함수 기울기 각의 변화율이 된다.

$$x|_{x=x_0} = \frac{d\theta}{dS}|_{x=x_0} = \frac{\tan^{-1}(f_2'(x_2)) - \tan^{-1}(f_1'(x_1))}{2} \quad (4)$$

그림 4는 jump 에지에 대한 예이다.  $f_1(x)$ 와  $f_3(x)$ 가 같은 함수 식이나 0으로 근사화되었다고 하더라도 jump 에지가 일어나는 호의 길이가 1보다 큰  $x_0$ 와  $x_0+1$ 의 구간에서 기울기가 큰 직선의 식인  $f_2(x)$ 로 근사화되기 때문에 위의 방법에서와 같이 구분점  $x_0$ 와  $x_0+1$ 에서 오목한 에지와 볼록한 에지가 검출되게 된다.

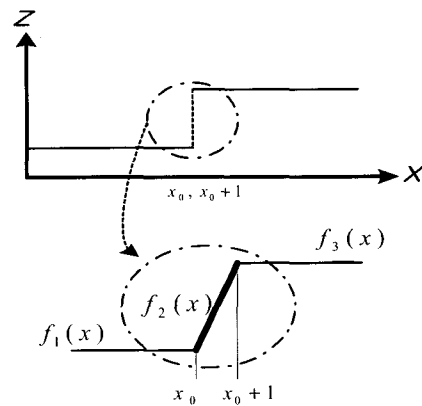


그림 4. jump 에지의 검출  
Fig. 4. Detection of jump edge.

그림 5-(b)는 식 (4)를 이용하여 그림 5-(a)의 A와 B사이의 스캔라인 근사화를 통하여 구해진 구분점들에 대하여 곡률값을 계산한 결과를 나타낸 것이다. 구분점의 곡률값들은 jump 에지와 crease 에지 모두에서 상대적으로 큰 값을 가짐을 볼 수가 있고, 잘못된 에지 후

보점들은 0에 가까운 값을 가짐을 볼 수가 있다. 그리고 곡률값이 양이라는 의미는 오목한 구분점이라는 의미이고, 음인 경우에는 볼록하다는 의미이다.

실제적으로 어떤 영상에서 면의 구성에 따라 불연속의 최대값은 하나의 스캔라인 방향에 나타나지는 않는다. 일반적인 3차원 표면에서의 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 주곡률을 결정한다.

그림 5-(b)에서 보면, 각 구분점들 중에 잘못된 에지 후보군들도 0이 아닌 곡률값을 가지기 때문에 곡률값에 대한 하나의 문턱값 적용만이 필요하게 된다. 하지만 jump 에지와 crease 에지에 대한 불연속정도를 결정하기 위해 다른 처리 과정이 필요했던 기존의 3차원

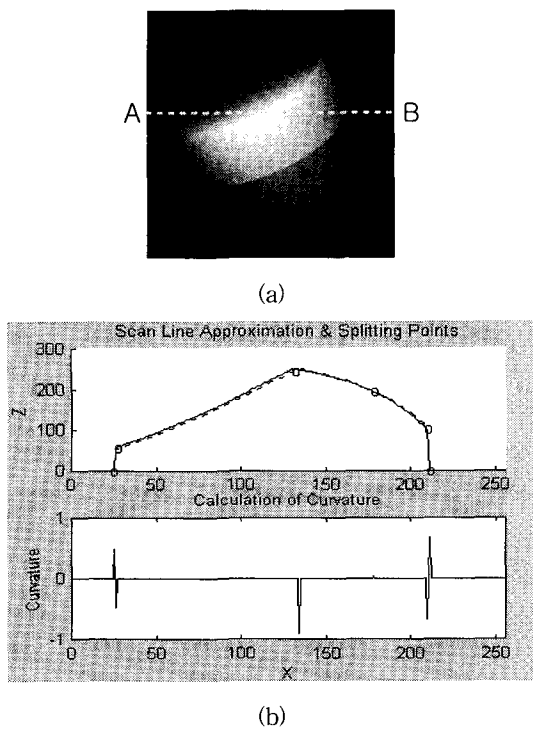


그림 5. 구분점들에 대한 곡률값 계산  
 (a) 시험 영상 1  
 (b) 스캔라인 근사화와 구분점에 대한 곡률값  
 Fig. 5. Curvature calculation about splitting points.  
 (a) Test image 1.  
 (b) Scan line approximation and curvature value.

영상의 에지 검출 과정에서는 서로 다른 문턱값 설정이 필요했다. 그리고 에지점의 결정 과정에서 검색하는 대상이 각 스캔라인의 구분점에만 한정시킴으로써 영상의 전 영역을 검색하는 영역 기반 방법에 비해 속도적인 측면에서 많은 성능향상을 가져온다. 이렇게 검출한 에지는 에지 맵 상에서의 필연적인 틈 때문에 표면 분할을 하는 목적으로는 부적합해서 폐곡선으로 연결시켜주는 부가적인 과정이 필요하다. 이러한 문제는 에지 맵의 영역화 과정에서 보완하게 된다.

2. 에지 맵의 영역화 과정

이전 단계에서 구해진 에지 맵은 요소 레이블링을 위한 기초 정보가 된다. 그러나 초기 그룹화는 보통 불완전 분할의 결과가 나타난다. 불완전 분할된 영역을 인식하기 위해서 초기 분할된 각각의 영역에 대해서 검증 과정인 영역 테스트를 수행한다. 영역 테스트는 평면 테스트인 평면함수 계산부터 시작된다. 만약 어떤 영역의 RMSE(root mean square error)와 평균 근사 에러(average fit error)가 충분히 작다면 한 평면으로 여긴다. 만약 이 테스트가 실패하면 4차의 다항식을 사용하여 곡면의 표면 방정식을 계산한다. 다시 RMSE와 평균 근사 에러에 기초를 둔 영역수용과정이 있다. 만약 그 영역 테스트가 성공적으로 수행되면 그 영역은 분할된 영역으로 기록되고, 반면에 영역 테스트가 실패하면 그 영역에 포함된 에지점들은 한번 팽창(dilation)되어지고, 다시 팽창되어진 에지 맵이 요소 레이블링의 입력값으로 들어가게 된다. 이렇게 요소 레이블링과 영역 테스트가 순환적으로 수행되는데, 전 영역에 대해 영역 테스트가 성공적으로 끝나거나 남은 영역이 너무 작은 크기라서 더 이상 고려하지 않아도 될 때까지 수행된다.

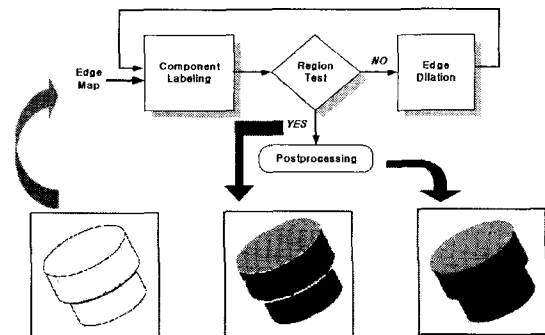


그림 6. 그룹화 과정의 블록도  
 Fig. 6. Block diagram of the grouping process.

후처리에서는 할당되지 않은 영역을 수용하기 위해 영역 테스트에서 근사 시킨 표면 방정식에서 에지가 작은 쪽으로 임계값을 완화시켜 나머지 모든 영역에 적용시킨다. 후처리과정을 통해서 무시할 수 있는 작은 영역을 제외한 모든 영역이 분할된다. 그림 6은 이러한 에지맵의 영역화 과정을 나타낸 블록도이다.

### III. 실험 결과 및 검토

시험 영상은 그림 7에서처럼 다양한 면을 가지는 물체의 3차원 합성 영상과 OSU 거리 영상 데이터베이스 (Ohio State University range image database)에서 제공해 주는 반사광을 뿌리는 경로와 CCD로 영상을 얻는 2개의 경로를 가지고 깊이를 계산하는 20개의 ABW structured light의 실제 거리 영상을 사용하여 실험을 하였다.

성능평가 방법은 Hoover의 논문[8]에서 제시된 성능평가 방법으로 실제의 분할된 영역(ground truth - GT)과 각각의 알고리즘에 의해 분할된 영역(machine segmentation - MS)에 대하여 비교 허용치(compare tolerance - T)에 따라 GT 영상의 한 영역  $R_n$ 과 MS 영상의 한 영역  $R_m$ 의 쌍에서 T퍼센트 이상의 각 영역의 단위점들이 매칭될 때의 correct detection과 GT 영상의 한 영역  $R_n$ 과 MS 영상의 영역들  $R_{m1}, \dots, R_{m\alpha}$ 에 대하여 T퍼센트 이상의 각 영역의 단위점들이 매칭될 때의 over-segmentation, GT 영상의 영역들  $R_{n1}, \dots, R_{n\alpha}$ 와 MS 영상의 한 영역  $R_m$ 에 대하여 T퍼센트 이상의 각 영역의 단위점들이 매칭될 때의 under-segmentation, GT 영상의 한 영역이 MS에 나타나지 않을 때의 missed, MS 영상의 한 영역이 GT에 나타나지 않을 때의 noise라는 5가지를 측정한다.

Hoover의 논문에서 다른 알고리즘에 비하여 UE (University of Edinburgh)와 UB(University of Bern) 알고리즘이 우수하다고 말한다. 하지만 UE 알고리즘은 영역 기반 표면 분할 알고리즘이고, 성능에 비하여 속도가 많이 떨어지기 때문에 대부분의 응용분야에 UB 알고리즘이 사용된다. 본 논문에서는 객관적인 비교를 위하여 에지 기반 영역 분할 알고리즘 중에서 수행시간이나 정확성에서 다른 알고리즘에 비해 우수한 성능을 가지는 UB 알고리즘과 비교하였다.

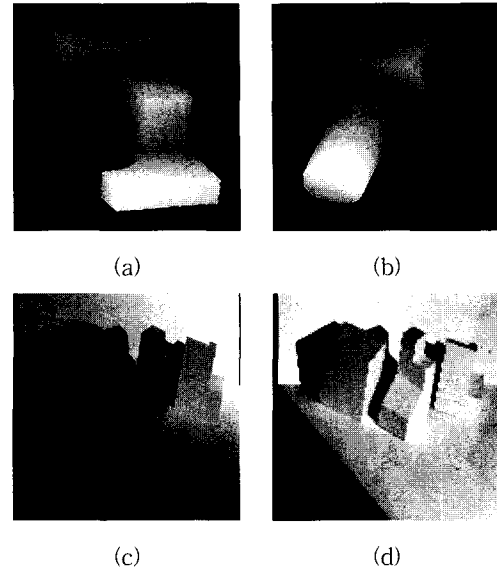


그림 7. 시험 영상

- (a) 3차원 합성 영상 1.(b) 3차원 합성 영상 2.  
(c) 실제 거리 영상. (d) 실제 거리 영상의 명암 영상

Fig. 7. Test images.

- (a) Synthesised 3D images 1.  
(b) Synthesised 3D images 2. (c) Real range image. (ABW structured light range image)  
(d) Intensity image of the range image.

그림 8, 9, 10의 결과 영상에서는 영역 분할의 결과를 각 영역의 밝기 차이로 다른 영역으로 분할되었음을 보여준다. 먼저 3차원 합성 영상 1의 결과를 보여주는 그림 8에서는 하나의 곡면과 복잡한 구성을 가지는 평면으로 구성된 영상에 대하여 에지의 굵기 차이로 인해 제안된 알고리즘의 결과에 비해 UB 알고리즘에서 over-segmentation의 결과가 나옴을 볼 수가 있다. 큰 원통의 곡면과 3개의 평면을 가지는 3차원 합성 영상 2의 결과인 그림 9에서는 원통의 양끝부분에서 UB 알고리즘에서는 crease 에지로, 제안된 알고리즘에서는 곡률의 크기가 커짐으로 해서 작은 에지들이 검출되어 분할되지 못하는 작은 영역들이 생김을 볼 수가 있다. 여기서도 면 방향의 각도에 의해 결정되는 crease 에지보다는 그 각도의 변화량에 의해 결정되는 곡률이 스퀘어라인 근사화가 된 경우에는 더 정확한 에지가 검출됨을 알 수 있다.

그림 10은 실제 거리 영상에 대한 결과를 보여준다. 먼저 그림 7의 실제 거리 영상과 그 명암 영상을 보면, 반사광을 통한 깊이 측정으로 인해 그림자가 진 부분

의 깊이는 계산이 되지 않았고, 3차원 합성 영상에 비하여 깊이 계산이 되지 않은 잡음들이 많이 있음을 볼 수 있다. 그림 10의 결과에서 여러 개의 도형에 대한 잡음이 많은 실제 거리 영상에 대한 것이다. 여기에서도 역시 합성 영상에서와는 under-segmentation이 나타나고 있고, noise의 결과도 많이 나타나고 있음을 볼 수 있다. 이 결과에서도 제안된 알고리즘이 UB 알고리즘에 비하여 하나 더 많은 correct detection 결과를 보여주고 있고, noise의 성능 면에서도 더 우수함을 볼 수 있다.

표 I은 20개의 ABW 시험 영상의 평균 결과값을 각 성능에 대하여 나타낸 결과이다. 결과에서 볼 수 있듯이 거의 비슷한 결과를 나타내고 있으나 제안하는 알고리즘이 모든 면에서 조금 더 우수함을 알 수 있다. 그리고 수행시간 면에서도 Pentium III 700MHz에서의 평균 시간이 각각 0.435초와 0.452초로 제안된 알고리즘이 UB 알고리즘과 비교하여 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있다.

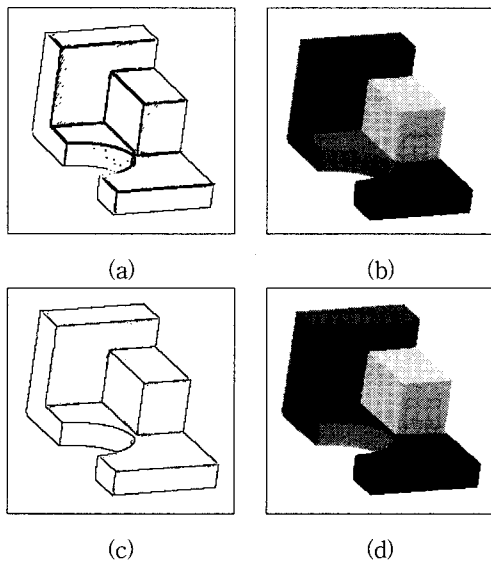


그림 8. 3차원 합성 영상 1의 결과  
 (a) UB에 의한 에지 결과  
 (b) UB에 의한 영역 분할 결과  
 (c) 제안한 방법의 에지 결과  
 (d) 제안한 방법의 영역 분할 결과

Fig. 8. The result of the synthesised 3D image 1.  
 (a) Edge result by UB.  
 (b) Segmentation result by UB.  
 (c) Edge result of the proposed method.  
 (d) Segmentation result of the proposed method.

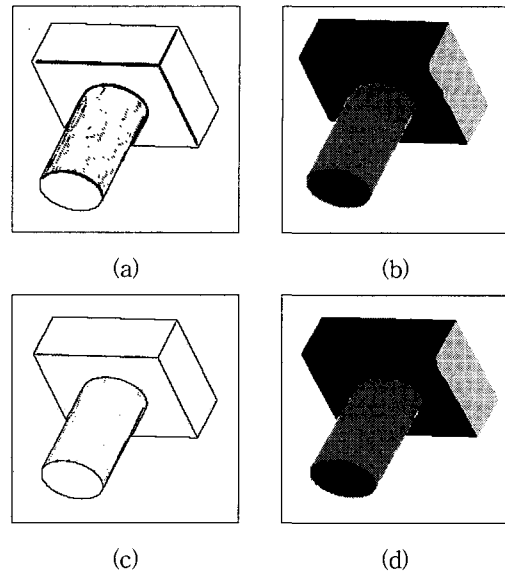


그림 9. 3차원 합성 영상 2의 결과  
 (a) UB에 의한 에지 결과  
 (b) UB에 의한 영역 분할 결과  
 (c) 제안한 방법의 에지 결과  
 (d) 제안한 방법의 영역 분할 결과.

Fig. 9. The result of the synthesised 3D image 2.  
 (a) Edge result by UB.  
 (b) Segmentation result by UB.  
 (c) Edge result of the proposed method.  
 (d) Segmentation result of the proposed method.

표 I. UB와 제안 알고리즘(P.M.)의 ABW 영상에 대한 평균 결과 (20개의 시험 영상, T=80%)

Table I. Average results of UB and the proposed (P.M.) segmenters on ABW test set (20 test images, T=80%)

Algori- thm	GT regions	correct	over-	under-	missed	nois
		detection	segmentation	segmentation		
UB	13.85	11.6	0.5	0.2	1.3	1.9
P.M.	13.85	11.65	0.4	0.15	1.3	1.7

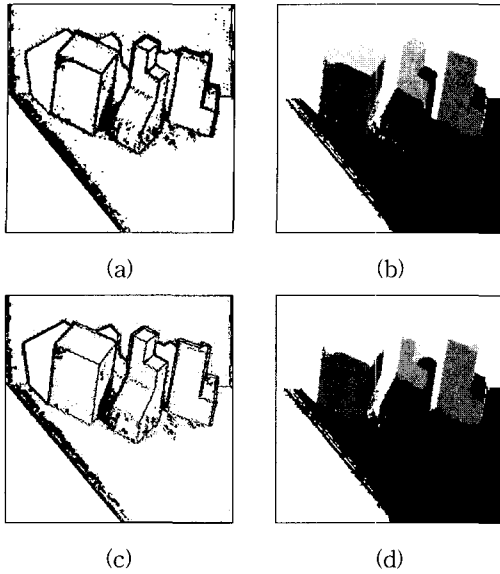


그림 10. 시험 영상 4의 결과

- (a) UB에 의한 에지 결과
- (b) UB에 의한 영역 분할 결과
- (c) 제안한 방법의 에지 결과
- (d) 제안한 방법의 영역 분할 결과

Fig. 10. The result of test image 4.

- (a) Edge result by UB.
- (b) Segmentation result by UB.
- (c) Edge result of the proposed method.
- (d) Segmentation result of the proposed method.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 곡률을 이용한 에지 검출을 기반으로 한 3차원 영상의 표면 분할 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘의 에지 검출 과정에서 스캔라인 근사화를 통한 방향별 깊이 정보의 2차 곡선 추정으로 곡률 계산을 용이하게 하였고, 곡률을 구하는 방법에서 간략해진 기하학적인 접근 방법을 적용하여 에지를 검출하였다. 이러한 에지를 기반으로 영역 분할의 결과는 기존의 영역 분할 알고리즘 중에서 우수한 성능을 보이는 UB 알고리즘과의 수행시간 및 성능을 비교를 통하여 확인하였다. 실험 결과에서 제안된 알고리즘의 간략해진 곡률을 이용한 단일한 처리과정을 통하여 3차원 표면 에지인 jump 에지와 crease 에지가 상대적으로 잘 찾아짐을 볼 수 있었고, 특히 crease 에지에 대해서는 불필요한 에지의 제거를 통하여 더 좋은 성능을 보임을 알 수 있었다. 이러한 효율적인 에지 검출을 기반

으로 속도의 차이 없이 3차원 합성 영상과 실제 거리 영상의 분할에서 신뢰성과 성능 면에서 보다 개선된 결과를 확인 할 수 있었다.

앞으로 분할된 영상을 입력으로 3차원 물체를 모델링하기 위하여 영역의 구체적인 설정 정보를 이용한 형태 분류에 대한 연구가 필요하고, 한 물체에 대한 여러 장의 연속적인 영상을 통해  $2\frac{1}{2}$  차원에서 완전한 3차원 물체로의 모델링을 만들기 위한 순환적인 시스템에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] F. Ade, *Grasping Unknown Objects, in Modelling and Planning for Sensor Based Intelligent Robot System*, pp. 445-459, world Scientific, Singapore, 1995.
- [2] P. J. Flynn and A. K. Jain, *Three-Dimensional Object Recognition, in Handbook of Pattern Recognition and Image Processing : Computer Vision*, pp. 497-541, Academic Press, San Diego, 1994.
- [3] P. Durisch, "Photogrammetry and Computer Graphics for Visual Impact Analysis in Architecture," *Proceedings of ISPRS Conference 1992*, pp. 434-445. 1992.
- [4] L. Blonde, "The MONA LISA Project: General Presentation," *Proceedings on the European Workshop in Combined Real and Synthetic Image Processing for Broadcast and Video Production*, VAP Media Centre, Hamburg, Germany, Nov. 1994.
- [5] R. Koch, "3-D Surface Reconstruction from Stereoscopic Image Sequences," *Proceedings of the ICCV Conference 95*, Cambridge, MA, USA, Jun. 1995.
- [6] D. Zhao and X. Zhang, "Range-Data-Based Object Surface Segmentation via Edges and Critical Points," *IEEE Trans. Image Processing*, 6(6), pp. 826-830, Jun. 1997.
- [7] M. A. Wani and B. G. Batchelor, "Edge-Region-Based Segmentation of Range Images,"



- IEEE Trans. PAMI*, 16(3), pp. 314-319, Mar. 1994.
- [8] A. Hoover, "An Experimental Comparison of Range Image Segmentation Algorithms," *IEEE Trans. PAMI*, 18(7), pp. 673-689, Jul. 1996.
- [9] Steven D. Cochran and Gerard Medioni, "3-D Surface Description from Binocular Stereo," *IEEE Trans. PAMI*, 14(10), pp. 981-994, Oct. 1992.
- [10] L.H. Chen and W.C. Lin, "Visual Surface Segmentation from Stereo," *Image and Vision Computing* Vol. 15, pp. 95-106, 1997.
- [11] R. Koch, "Surface Segmentation and Modeling of 3-D Polygonal Objects from Stereoscopic Image Pairs," *Int'l Conference on Pattern Recognition 96*, Vienna, Austria, Aug. 1996.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.

저 자 소 개

薛 盛 旭(正會員) 第 37卷 CI編 第 7號 參照  
현재 부산대학교 전자공학과 박사과정



李 再 出(正會員)  
1999년 2월 부산대학교 전자공학과 학사. 2001년 2월 부산대학교 전자공학과 석사. 현재 삼성전자 디지털 미디어총괄 근무. 주관심분야는 패턴 인식, 컴퓨터 비전, 가상현실.

南 基 坤(正會員) 第 37卷 CI編 第 7號 參照  
현재 부산대학교 전자공학과 교수. 부산대학교 컴퓨터 및 정보통신 연구소 연구원.



田 桂 錄(正會員)  
1978년 부산대학교 전기기계공학과 학사. 1981년 부산대학교 전자공학과 석사. 1992년 동아대학교 전자공학과 박사. 1985년 ~ 현재 부산대학병원 의공학과 과장, 교수. 주관심 분야는 의용생체공학, 영상신호처리.

朱 在 欽(正會員) 第 37卷 CI編 第 7號 參照  
현재 부산 카톨릭대학 정보공학부 부교수