

거리 영상 분할과 면 특징 추출에 관한 연구

현대환*, 김대현*, 이선호*, 최종수**
* 중앙대학교 전자공학과 영상정보연구소
** 한국과학재단 제이계추진기술연구소
jazz@candy.ce.cau.ac.kr

A study on range image segmentation and surface feature extraction

Dae-Hwan Hyeon*, Dae-Hyun Kim*, Sun-Ho Lee*, Jong-Soo Choi**

* Dept. of Electronic Eng., Chung-Ang Univ.

** Engineering Research Center for Advanced Control and Instrumentation by KOSEF

요 약

본 논문에서는 일반적으로 영역 기반형 분할방법보다 우수한 분할결과와 계산의 효율성을 가지는 경계선 기반형 방법의 하나인 scan line approximation 방법을 응용함으로써 경계선의 기하학적 해석이 가능하도록 하는 경계선 강도(edge intensity) 정보를 제공한다. 따라서 면 특성과 국부적인 면 특성인 면 법선과 면 곡률정보 없이 잡음에 강건하고 계산의 효율성에서 우수한 거리영상분할 방법을 제안한다. 합성 거리영상을 대상으로 scan line approximation 방법을 응용하여 얻어진 경계선을 경계선 그룹화와 영역 레이블링을 거쳐서 면 특징을 추출하였다.

I. 서 론

3차원 영상 이해는 카메라 또는 센서 등에서 취득된 각종 데이터들로부터 3차원적 정보를 찾아내고 3차원 공간 또는 물체에 대해 이해하는 것이다. 따라서 2차원 컴퓨터 시각과 3차원 컴퓨터 시각은 그 해석에 있어서 방법론적 차이점을 보인다. 이러한 여러 연구 분야 중에서도 실세계의 특징을 가장 직접적이고 확실하게 표현하고 있는 3차원 거리 데이터 (range or depth data)를 사용하는 3차원적 컴퓨터 시각 시스템에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다.

3차원 거리 영상을 이용한 영상 처리와 해석의 최종 목표는 3차원 물체의 기하학적인 특성과 구조를 해석하기 위해 영상을 각각 의미있는 영역으로 분할하고, 장면 내의 물체를 인식하는 것이다[6].

본 논문은 scan line approximation 방법을 응용하여 거리영상의 경계선을 찾아내고 영역 레이블링을 거쳐서 면 특징을 추출하였다.

II. 거리 영상 분할 과정

2.1 기존의 거리 영상 분할 방법

거리 영상 분할 방법은 크게 경계선 기반형, 영역 기

반형, hybrid형으로 나뉜다. 영역 기반 분할 기법은 영상 내의 균일한 특성을 갖는 화소들을 묶어 나가는 기법으로 Besl[7]이 제안한 가우스 곡률과 평균 곡률을 이용한 곡면 분류 및 영역화가 대표적인 방법이다. 이후로 가우스 곡률과 평균 곡률의 히스토그램을 이용한 Yang과 Kak[10], 근사화 윈도우를 이동시켜서 선택적 곡면 근사화를 제안한 Yokya와 Levine[8], 비분 기하학에서 전개되는 곡률 계산을 한 단계씩 가상적으로 계산함으로써 정확한 곡률 계산을 시도한 Kasvand[11] 등이 있다. 이에 반하여 경계선 기반 분할 기법은 영상 내의 불연속점들을 추출하여 그것을 각 영역의 경계선으로 사용하는 기법으로 Fan[9]등이 제안한 주곡률을 이용한 경계선 검출 및 영역화가 대표적이다.

2.2 Scan Line Approximation 기법

물체의 3차원 표면을 $f(x, y, z)$ 라 하면, y 가 일정한 일(row)영상은 x - z 평면에서 2차원 곡선 $f(x, y_0, z)$ 이다. 3D 평면 $ax + by + cz + d = 0$ 은 일(row)영상에서 직선 $ax + cz + e = 0, e = b y_0 + d$ 가 된다. 일반적으로, 다른 평면에서 곡선 분할 $f(x, y_0, z) = 0$ 는 다른 계수를 갖는다. 그래서, 일(row)영상을 곡선 분할 집합으로 나뉜다. 이상적인 경우, 모든 나누어진 점들은 두 평면사이의 경

계상에 있고, 이 점들이 경계선이 된다. 이와 같은 개념이 행(column), 대각선(diagonals)에도 적용된다.

Scan line을 구하기 위해 평면 함수 $f(x, y, z)=0$ 를 구한다.

$$f(x, y, z) = \sum_{i+j+k \leq 2} a_{ijk} x^i y^j z^k = 0 \quad (1)$$

이 함수는 구, 실린더, 원뿔과 같은 평면 형태도 표현한다. 이 경우, scan line에서 곡선 분할은 다음 분할과 같은 다항식을 갖는다.

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

Scan line을 곡선 분할로 나눌 때, 위 식은 계산의 복잡성을 갖는다. 따라서 다음과 같은 다항식으로 변환된다.

$$z = f(x, y) = \sum_{i+j \leq k} a_{ij} x^i y^j, \quad k=2 \quad (3)$$

2차 다항식은 Scan line의 연속적인 부분이 하나 이상의 곡선 분할로 나누어지기 때문에 실제 경계점보다 많은 점들이 생성된다. 그러나 이런 점들은 작은 경계 strength를 갖기 때문에 문턱치 연산으로 제거된다. 2차 다항식은 $z = ax^2 + bx + c$ 의 곡선 분할로 scan line을 나눈다. 2차 근사화 함수는 중간점과 양끝점으로 정의되고, 근사화 함수와 scan line에서 가장 큰 차이가 문턱치보다 클때, scan line은 가장 큰 차이를 갖는 위치에서 두 부분으로 나누어진다. 근사화 차이가 문턱치 값을 초과하지 않을 때까지 반복된다[1][2].

2.3 제안된 경계선 검출 과정

본 논문에서는 scan line 기법을 이용하여 영상을 행, 열, 대각선 방향으로 스캔하여 얻은 2차원 직선(또는 곡선)을 일정한 간격으로 나누어 직선화하여 그 직선의 기울기를 구하고, 기울기 자가 문턱치값 이상이 되는 점을 경계선으로 분류한다.

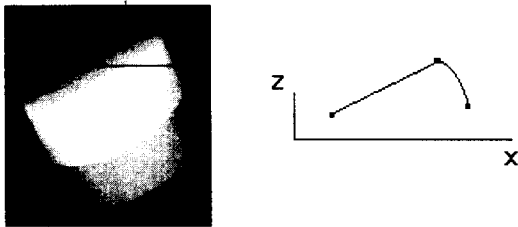


그림1. 거리영상과 임의의 열을 스캔한 선분

그림1에서 y를 일정한 값으로 놓고, x와 z 값으로부터 직선의 방정식 ($z=ax+b$)을 유도한다. 스캔한 선분을 일정한 간격으로 나누어 직선의 방정식에서 기울기 a값들을 구한다. 그림에서 보는 것처럼 직선부분은 같은 기울기를 갖는다. 곡선은 일정한 간격으로 나누면 직선으로 볼 수 있으므로 곡선 부분에서도 직선의 방정식을 적용하여 기울기 a를 구한다. 기울기자가 문턱치값보다 큰 점을 경계점으로 선택하면 그림처럼 3점이 경계점이 된다.

III. 영역화 과정

영상을 영역화하기 위해 픽셀이 속해 있는 영역을 순수로 대치하여 표현하는 레이블링 알고리즘을 사용한다. 이 알고리즘은 레이블되지 않은 픽셀을 찾기 위해 list를 사용한다. 컴퓨터 분야에서 queue로 불리는 이 list는 2가지 연산으로 이루어진다[12].

- (a) list의 끝에 픽셀 (s,t)를 삽입하는 Insert(s,t).
- (b) list의 처음에 있는 픽셀을 제거하는 (s,t)→Remove().

3.1 영역화 알고리즘

```

L = -1 ( Initialize label )
Scan the image form left to right and top to bottom for all (x,y)
f g(x,y) > 0 then insert (x,y)
While list is not empty do
    (s,t) remove()
    for each 4-neighbor (u,v) of (s,t) do
        if (u,v) is unlabeled and g(u,v) = g(x,y) then
            insert(u,v)
        end if
    end for
end while
L = L + 1 ( Get new label )
End scan
    
```

IV. 면 특징 추출 과정

II, III 과정을 통해 거리 영상에서 경계선을 검출하였고, 경계선을 기반으로 영상을 영역화하였다. 각 영역에서 모서리 점들을 선택하여 그 점들로부터 평면의 방정식을 구한다.

$$z = ax + by + c$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

영역의 중심점이 평면 방정식의 평면에 속하는지 검사하여 영역이 평면인지 곡면인지를 판단한다. 영역의 중심점이 모서리 점들로 이루어진 평면과 같은 평면상에 있으면 평면으로, 그렇지 않으면 곡면으로 인식한다.

또한 곡면은 원통과 실린더로 구분할 수 있다. 원통은 모서리 점들이 정사각형, 직사각형을 이루고, 실린더는 모서리 점들이 사다리꼴 모양을 갖는다. 모서리 점들이 형성하는 형태를 이용하여 원통과 실린더를 구분한다.

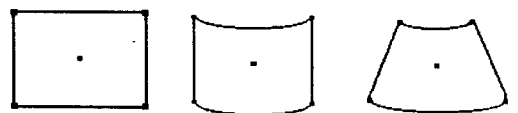


그림2. 평면, 원통, 실린더의 모서리점과 중심점

V. 실험 결과

본 논문에서 제안한 거리 영상 분할 기법과 면 특징 추출 기법의 성능을 확인하기 위해 모의 실험을 수행하였다. 실험 환경으로는 펜티엄II-233MHz PC상에서 Visual C++로 구현하였다. 실험 영상은 240 x 240크기의 합성 거리 영상 40개를 대상으로 하였다.

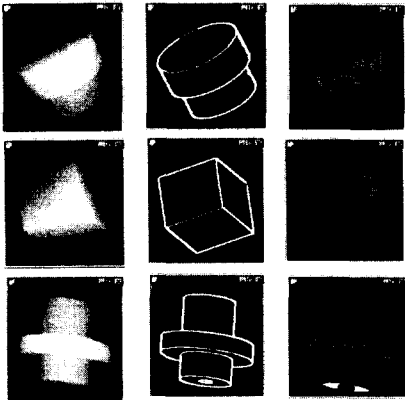


그림3. 실험 결과 영상

그림3은 모의 실험한 합성 거리 영상중에서 일부 영상으로 왼쪽의 영상은 원래 거리 영상, 가운데 영상은 경계선이 검출된 영상, 오른쪽 영상은 경계선을 기반으로 영역화된 영상을 나타낸다.

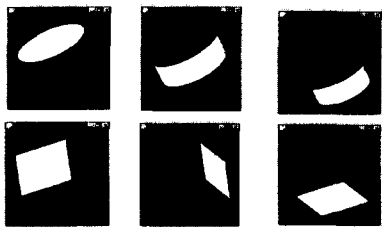


그림4. 영역이 분리된 영상

그림4는 영역화된 영상에서 각 영역을 분리한 영상이다. 각 영역은 모서리점으로 이루어진 평면과 중심점의 차이값을 비교하여 영역이 평면이면 차이값이 0에 근사하고, 곡면이면 차이값이 분턱치값(5.0) 이상이 된다.

표1. 그림4 영상들의 평면성 실험

	그림4 상	그림4 하
왼쪽 영상	3.243	-1.468
중간 영상	-98.126	2.451
오른쪽 영상	-52.245	1.623

표1은 각 영역이 평면, 곡면인지를 분류하는 차이값을 나타낸 것으로 그림4 상의 중간 영상과 오른쪽 영상이 곡면임을 알 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 scan line 기법을 응용하여 거리 영상에서 경계선 검출하는 방법과 평면의 방정식으로부터 면 정보를 추출하는 방법을 제안하고 실험하였다.

제안된 경계선 검출 방법은 기존의 방법보다 계산상의 효율성이 있고, 비슷한 검출 성능을 보였다. 또한, 면 정보 추출 방법도 법선과 곡률을 계산해서 면 특성을 알아내는 기존의 방법들보다 계산시간이 단축됨을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] X. Jiang, H. Bunke, Robust and fast edge detection and description in range images. Proc. of IAPR Workshop on Machine Vision Applications, Tokyo, 1996.
- [2] X. Jiang, H.Bunke, Edge detection in range images based on Scan line approximation, CVIU, Vol.73, No.2, pp. 183-199, 1999.
- [3] 송호근, 최중수, 미분 기하학 특징 정보를 이용한 3차원 거리 영상 분할, 대한 전자공학회 논문지, 제31 권, B편, 제 2호, pp. 123-134, 1995.
- [4] 박종훈, 최중수, 면 법선 영상 기반형 3차원 물체 인식에서의 새로운 매칭 기법, 대한 전자공학회 논문지, 제30 권, B편, 제 7호, pp. 695-705, 1993.
- [5] 송호근, "3차원 물체인식을 위한 거리 영상 분할 및 매칭 알고리즘에 관한 연구", ph-D thesis,1997.
- [6] P. Besl, R. Jain, Segmentation through variable-order surface fitting, IEEE Trans. On PAMI, Vol. 10, No. 3, pp. 167-192, 1988.
- [7] N. Yokoya, M. Levine, Range image segmentation based on differential geometry, IEEE Trans. On PAMI, Vol. 11, No. 6, pp. 643-649, 1989.
- [8] T. Fan, G. Medioni, R. Nevatia, Surface segmentation and description from curvature features, Proc. DARPA IU Workshop, Los Angeles, pp. 351-359, 1987.
- [9] H. Yang, A. Kak, Determination of the identity, position and orientation of the topmost object in a pile, CVGIP, Vol. 36, No. 32, pp. 229-255, 1986.
- [10] T. Kasvand, Surface curvatures in 3D range images, Proc. 8th Int. Conf. Pattern Recognition, pp. 842-845, 1986.
- [11] E. Gose, S. Jost, Pattern Recognition and Image Analysis, Prentice-Hall, 1996