

論文96-33B-4-12

# 의사 밝기 영상을 이용한 에지 기반형 거리 영상 분할

## (Edge-based Range Image Segmentation Method Using Pseudo Reflectance Images)

宋 浩 根 \*, 金 泰 銀 \*, 崔 宗 秀 \*\*

(Ho Keun Song, Tae Eun Kim, and Jong Soo Choi)

### 요 약

본 논문에서는 의사 밝기 영상을 이용한 에지 기반형 거리 영상 분할 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방법에서는 3차원 장면 및 물체의 해석에 유용한 의사 밝기 형성 모델을 도입하고 위 모델에 의해 3장의 의사 밝기 영상을 생성하였다. 3장의 의사 밝기 영상의 생성을 위하여는, Besl & Jain의 미분 창틀 연산자를 선택하고 3방향의 광원을 고찰하였다. 그리고 각 의사 밝기 영상으로부터 3장의 에지 영상을 추출하고 향상된 에지 형성을 위하여 1장의 융합된(ORing) 에지 영상을 얻었다. 위 융합된 에지 영상에 대하여 세선화, 레이블 그리고 영역 보정 과정을 거쳐 최종 분할 결과를 얻었다. 마지막으로 합성 및 실제 거리 영상에 대한 컴퓨터 모의 실험을 통하여 제안된 알고리즘에 의한 에지 검출 및 분할의 성능이 우수함을 확인하였다.

### Abstract

In this paper, a new edge-based segmentation algorithm for range image using Pseudo Reflectance Images(PRIs) is proposed. A model of Pseudo Reflectance which is useful in analyzing three dimensional scene and objects is introduced and then three PRIs are generated by the model. For generating three PRIs, Besl and Jain's differential window operator is selected and three different light source directions are determined. Three edge images are extracted from each PRI and a fused (logical ORing) edge image is constructed for the benefit of enhanced edge formation. The final segmentation results of the proposed algorithm are obtained after the processing of thinning, labeling and correcting erroneous regions with the fused edge image. The good performance of edge detection and segmentation is confirmed via computer simulation with synthetic and real range images

### I. 서 론

영상으로부터의 유용한 정보들 중에서 거리 정보는 물체의 3차원 기하학적 정보를 제공하기 때문에 3차원 물체 인식 시스템에 다방면으로 이용되고 있다. 따라서 초기 컴퓨터 시각 연구에서는 2차원 밝기 영상들로부터

거리 정보를 얻기 위한 여러 연구가 진행되었다. 하지만 간접적 거리 정보의 획득 방식은 근본적으로 불량 설정 문제(ill-posed problem)로 인하여 신뢰할 만하고, 정밀한 거리 정보를 제공하여 주지 못하였다.<sup>[1]</sup> 그러나 빠르고 정밀한 거리 측정기(range finder)들이 개발됨으로써 정밀하고 신뢰도 있는 거리 정보를 직접적으로 얻어 낼 수 있게 되었다. 능동적으로 측정된 거리 정보를 이용한 3차원 물체 인식 시스템은 표면 특성 정보를 구하기 위하여 각종 미분 기하 특징치들을 사용한다.<sup>[2]</sup> 그러나 근본적으로 미분 연산자에 의한 잡음 증폭 때문에 국소 면유형 추출의 어려움은 물론, 에지 특징치 검출에 있어서는 신호대 잡음비 및 위치

\*, \*\* 正會員, 中央大學校 電子工學科

(Dept. of Electro. Eng. Chung Ang Univ.)

\*\* 正會員, 韓國科學財團 制御計測新技術研究센터

(Eng. Research Center for Adv. Control and Instr. (of SNU) by KOSEF)

接受日字:1995年8月17日, 수정완료일:1996年3月9日

보정 등의 어려움을 겪고 있다.<sup>[3]</sup> 한편 최근에는 3차원 장면 및 물체 해석을 위하여 다양한 센서 입력기들을 사용하는 연구들이 활발하다. 위와 같은 연구들 중에서 밝기 영상과 거리 영상을 이용하거나 함께 융합 사용하는 방법들이 많이 연구되어졌다.<sup>[11]</sup> 위 방법들은 응용 관점에 따라 3차원 표면의 특성 해석과 3차원 장면 및 물체의 분석으로 크게 나눌 수 있다. 표면 특성 해석의 관점에서는 변화량이 포함된 밝기 정보 내에 특히 물체 표면 특성들이 내포되어 있다는 전제 조건을 이용한다. 위 방법에서는 실제 밝기 정보와 거리 영상으로부터 밝기 정보를 위한 수학적 모델을 설정하고 모델에 의해 예측된 밝기 정보와의 반복적 오류 최소화 과정을 통하여 표면의 특성을 구한다.<sup>[14]</sup> 반면에 3차원 장면 및 물체의 분석의 관점에서는 실제 밝기 정보 내에는 주로 광원의 위치와 표면의 3차원적 위치/방향 관계에 의한 변화량들이 반영되어 있다는 전제 조건을 이용한다. 위 방법에서는 장면내 각 표면들이 균등(homogeneous)한 성질을 가지고, 입력 밝기 영상 내의 각 표면들이 실제 표면들과 일치할 때 더욱 효과적이다. 따라서 대부분의 논문에서는 밝기 영상 표면이 전반사(Lambertian)하는 성질을 지니고, 기타 외적 영향을 거의 받지 않을 것이라는 제약 조건을 사용하고 있다.<sup>[5-11]</sup> 기존의 방법들은 밝기 영상으로부터는 에지를 거리 정보로부터는 면정보를 구하거나<sup>[5]</sup>, 두 영상으로부터 구해진 에지 정보를 융합하거나<sup>[6,7]</sup>, 장면 내 평면 영역 추출 위해 밝기 정보와 거리 정보를 사용하는 방법<sup>[8]</sup>, 밝기 영상으로부터 거리 정보를 계산하고 주어진 거리 정보와 융합함으로써 보정하는 방법<sup>[9]</sup> 등이다. 그 밖에 밝기 영상과 2차원 range finder를 이용하여 이동 로봇(mobile robot)의 위치와 자세 결정에 응용<sup>[10]</sup>하거나, 수중 초음파 측정에 의한 거리 영상과 수중 TV 영상을 이용하여 3차원 표면을 재구성<sup>[11]</sup>에 응용 등이다. 하지만 기존 논문들에서의 전제 및 제약 조건들에도 불구하고 실제 밝기값은 그림자, 반사, 빛의 분포 등과 같은 외적 요인에 의한 변화량을 포함하고 실제 밝기 영상 표면은 전반사하는 성질을 만족시키지 못한다. 따라서 기존의 방법들 중에서 특히 실제 밝기 영상으로부터 에지 검출을 하는 방법들<sup>[5-7,10]</sup>에서의 문제점은 첫째 밝기 영상 내에는 거리 영상 내에 존재하지 않으면서 실제 에지가 아닌 에지들 즉 그림자에 의한 에지와 반사 영향에 의한 에지들이 존재하기 때문에 에지 융합시 적당한 에지를 선택해야

하는 어려움이 있는 것이다. 그리고 둘째로는 1장의 밝기 영상은 광원의 방향에 따라 특정 방향의 에지는 강조 추출되는 반면 특정 방향의 에지는 감쇄 추출되는 경향이 있기 때문에 모든 방향 에지에 대한 검출 신뢰도에는 한계가 있다는 것이다. 결국 기존의 방법들에서와 같이 강한 제약 조건하에서 1장의 실제 밝기 영상으로부터 얻어낸 특징 정보는 항상 신뢰할 만한 정보일 수 없다. 그럼에도 두 정보를 함께 이용하고자 했던 것은 먼저 거리 영상 공간에서의 처리보다 밝기 영상 공간 내에서의 처리가 용이할 수 있고 경우에 따라 밝기 영상 공간에서의 특징들이 거리 영상 공간에서 특징값들을 보완 및 보정에 이용될 수 있기 때문이었다.

따라서 본 논문에서는 기존의 방식에서 실제 취득된 밝기 영상에 대한 제약 조건들을 만족시키면서 위 장점들을 이용하는 새로운 방식을 제안한다. 즉 능동적 거리 측정에 의한 3차원 거리 영상에 대하여 의사 밝기 영상(Pseudo Reflectance Image : *PRI*)의 개념을 도입한다. *PRI*는 거리 영상에서 추출된 면법선 벡터와 임의의 광원 방향에 대해서 3차원 물체의 해석에 적당한 의사 밝기를 계산하여 영상으로 재구성한 것이다. 제안된 방식에서는 기정의된 3개의 광원에 대해 3장의 *PRI*를 얻고 이들로부터 추출된 에지 정보와 거리 영상에서의 에지 및 위치/방향 정보를 융합사용하여 3차원 거리 영상을 효과적으로 분할한다.

위와 같은 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 *PRI*의 개념 정의와 *PRI* 공간 처리에 대하여, 제 III장에서는 *PRI*를 이용한 거리 영상 분할 방법에 대하여, 그리고 제 IV장에서는 실험 및 고찰을, 마지막으로 제 V장에서는 결론으로 끝맺는다.

## II. 의사 밝기 영상의 생성

본 장에서는 거리 영상에 대하여 3차원 장면 및 물체의 해석에 적당한 의사 밝기 형성 모델을 설정하고 모델에 의해 계산된 밝기 정보를 직접적으로 이용하는 방법을 고찰한다. 먼저 II 절에서 *PRI*에 대하여, II-2절에서는 *PRI* 공간에서 처리 방법에 대하여 설명하고 *PRI*가 거리 영상 분할에 효과적으로 이용될 수 있음을 보인다.

### 1. 의사 밝기 영상의 정의

일반적으로 표면 위의 한 점  $(x,y)$ 에서 밝기는 반사

함수를 벡터로 표현할 때

$$I(x, y) = \gamma \cdot \rho \cdot \phi(n(x, y), L_s) \quad (1)$$

이다. 여기서  $\gamma$ 는 입사광의 세기이고,  $\rho$ 는 알베도 상수(albedo constant)이며,  $\phi(\cdot)$ 는 반사 함수를,  $n(x, y)$ 는 표면 위의 한 점  $(x, y)$ 에서의 표면 법선 벡터 그리고  $L_s$ 는 광원의 방향 벡터이다. 위 밝기값은 순수 Lambertian surface에서

$$I(x, y) = \gamma \cdot \rho \cdot R(n(x, y)) \quad (2)$$

로 표현이 가능하다. 여기서  $R(\cdot)$ 는

$$R(n(x, y)) = \max[0, n(x, y) \cdot L_s] \quad (3)$$

와 같고 반사율 지도(reflectance map)라고 한다. 식 (2)는 동일 물체 표면이라도  $\gamma, \rho$  에 따라 밝기가 달라 지므로 양변을  $\gamma \cdot \rho$ 로 나누어 명도를  $[0, 1]$ 로 정규화하면

$$E(x, y) = R(n(x, y)) \quad (4)$$

의 관계를 얻을 수 있다.<sup>112)</sup> 이를 영상 조도 방정식(image irradiance equation)이라고 한다. 또한 이를 구배 변수

$$p = \frac{\partial z}{\partial x}, q = \frac{\partial z}{\partial y} \quad (5)$$

로 표현하면

$$E(p, q) = \frac{p_n p_s + q_n q_s + 1}{\sqrt{p_n^2 + q_n^2 + 1} \sqrt{p_s^2 + q_s^2 + 1}} \quad (6)$$

와 같다. 위 영상 조도 방정식으로부터 광원의 입사 방향  $L_s$ 가 기지일 때, 한 점에서의 표면 법선 벡터  $n(x, y)$ 를 안다면 그 점 밝기에 관한 유일해를 구할 수 있다. 이 때, 능동적 거리 측정에 의해 얻어진 거리 영상이 입력 영상으로 쓰이게 되면 간단하게 표면 법선 성분을 계산해 낼 수 있다. 한편 임의로 광원의 방향을 가정한다면 식 (4) 및 식 (6)으로부터 유일한 밝기 성분을 구해 낼 수 있다. 위와 같은 경우, 일반적으로 물체의 질감, 그림자, 반사 및 조도의 변화 등 외적 요인에 무관한 거리 영상에 대하여 무한 점광원, 무광택 전 반사 표면을 가정한 영상 조도 방정식을 근거로 의사 밝기가 생성되므로 의사 밝기 영상은 앞서 서론에서 언급한 3차원 장면 및 물체 해석의 관점에서 밝기 영상에 대하여 요구되었던 모든 조건들을 만족하게 된다.

즉 이상적인 경우 임의의 광원 방향에 대하여 의사 밝기 영상 장면내 각 표면들은 균등한 성질을 지니고 PRI 장면내 각 표면들은 실제 표면과 일치한다. 이 때 실제 밝기 영상이 물체의 회전, 질감, 그림자, 반사 및 조도의 변화 등에 따라 밝기 분포가 변화함에 비할 때 앞에서 생성된 밝기 영상을 의사 밝기 영상(Pseudo Reflectance Image : PRI)이라 정의한다.

## 2. 의사 밝기 영상 공간

일반적으로 밝기 영상 분할을 위한 동질성 제한 조건은 눈에 보기 편한(eye pleasing) 분할 결과를 보이 나, 3차원 거리 영상의 분할의 경우에는 3차원 구조, high-level 인식 등에 적합한 정보 제공을 위해 분할 된다. 따라서 본 논문에서는 PRI와 거리 영상의 각 공간에서의 처리 특징과 PRI 공간 처리의 3차원 거리 영상 분할에 대한 적합 여부를 다음과 같이 고찰하였다.

첫째, 본 논문에서와 같이 거리 영상으로부터 의사 밝기 영상을 구할 때 정보의 특성에 관한 문제이다. 결론적으로 거리 영상 공간에서 의사 밝기 영상 공간으로 이동은 정보 이론적 관점에서 새롭게 얻어지는 정보는 없다. 왜냐하면 의사 밝기 정보는 이미 거리 영상으로부터의 표면 법선 영상 내에 함축되어 있기 때문이다. 반면에 기지의 거리 정보를 바탕으로 공간 이동을 할 경우 컴퓨터 계산 한계 내에서 정보 손실 또한 없다. 따라서 PRI 공간으로의 이동은 물리적 거리 영상 공간에 대한 논리적 밝기 영상 공간으로의 이동으로 해석될 수 있으며, 결국 PRI는 특징 추출을 위한 기본적 primitive(base primitive)공간으로 이해될 수 있다. 둘째, 처리의 편리성에 대한 문제이다. PRI는 기지의 조명 방향에 대한 면법선 벡터의 투영 영상이다. 또한 표면 법선 벡터의 조명 방향 성분에 대한 하이라이트(high-light) 하는 성질이 있고 공간적으로는 조명 방향에 대한 면방향의 3차원적 상대적 기울기 정보를 표현한다. 그리고 거리 영상으로부터 영상 조도 방정식에 의해 계산된 밝기이므로 균일 조명을 상정할 수 있고 동일 평면이면 동일 최소값을 가지는 성질을 가진다. 물론 PRI는 기정의된 광원 방향에 대해 다수개가 만들어 질 수 있다. 마지막으로 PRI는 일반적 밝기 영상의 성질을 그대로 가진다. 위와 같은 특징을 가지는 PRI 처리의 특징은 우선 계단형, 지붕형 에지 추출의 용이성이다. 거리 영상에는 크게 거리의 불연속인 계단

형 에지, 법선 벡터의 불연속인 지붕형 에지, 곡률의 불연속인 평활형 에지가 존재한다. 그러나 대부분의 에지는 계단형 에지와 지붕형 에지이다.<sup>13)</sup> 거리 영상 내에서는 두 에지의 형성 모델이 서로 다르기 때문에 두 에지를 검출하기 위해서는 각각의 에지 검출을 위한 처리 과정이 필요하다. 그러나 밝기 영상 내에서 위 두 가지 형태의 에지는 그림 1에서 보이는 바와 같이 모두 밝기값의 불연속 형태로 존재한다.

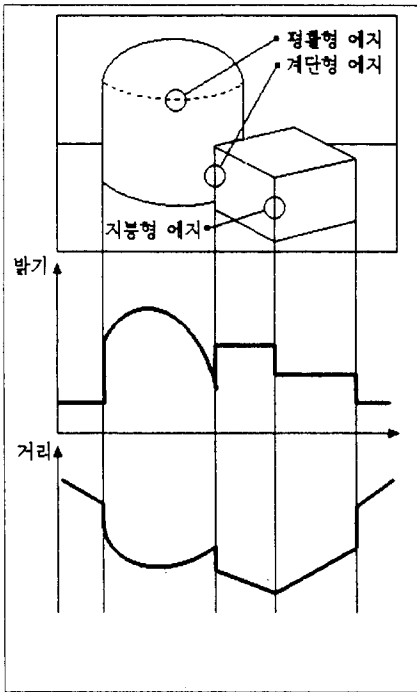


그림 1. 밝기 영상과 거리 영상에서의 에지 형태  
Fig. 1. Edge types within reflectance and range image.

따라서 밝기 영상 내에서는 위 두 가지 에지를 한 가지 1차 불연속 검출자에 의해 모두 검출이 가능하다. 일반적으로 거리 영상에서 지붕형 에지 검출에 어려움이 있는 점을 감안할 때 주목할 만한 성질이다. 다음은 평면 영역 추출의 용이성이다. PRI 내에서는 균일 조명 상정시 동일 평면은 동일 화소 값을 가진다. 설정 입력 영상에 포함된 잡음을 고려한다고 하더라도 단순한 필터링이나 병합 과정을 통하여 비교적 손쉽게 평면성을 검사할 수 있다. 다만 밝기값만으로는 위 평면 영역의 유일성을 보장할 수 없다. 이는 의사 밝기값이 광원 방향에 대한 3차원적 상대 면기울기 정보 즉 scalar양이기 때문이다. 하지만 기지의 3차원 위치 및

방향 정보를 이용한다면 유일하게 평면을 규정지을 수 있다. 다음은 2차 이상의 자유 곡면의 경우이다. 거리 영상과 마찬가지로 밝기 영상 내의 자유 곡면은 모두 디지털 표면으로써 디지털 표면의 차수는 동일하다.(그림 1. 참조) 따라서 2차 이상 자유 곡면인 경우 각종 처리의 용이성은 불분명하다. 오히려 거리 영상의 경우 3차원 위치 정보와 방향 정보를 이용할 수 있기 때문에 해석상 용이할 수 있다. 결론적으로 처리 편이성 측면에서 PRI가 이용될 경우에는 에지 및 평면 영역 검출에 대하여는 거리 영상 처리 보다 편이성이 존재하는 반면 2차 이상의 자유 곡면의 해석의 경우에는 비록 PRI라 하더라도 그 편이성은 보장할 수 없다. 셋째, PRI 공간내 처리의 3차원 거리 영상 분할에 대한 적합 여부이다. 일반적으로 밝기 영상은 질감, 그림자, 주위 환경에 따른 화질 변화로 인해 장면내 물체 해석에는 유용치 못하다. 그러나 PRI와 같이 장면내 표면이 실제 표면과 일치할 때에는 거리 영상 분할에 효과적으로 사용될 수 있다. 왜냐하면 거리 영상 내의 표면과 마찬가지로 PRI 내 표면 역시 하나의 디지털 표면으로 디지털 표면의 차수 역시 동일하고 단지 각 영상에서의 취득값에 대한 해석만이 차이날 뿐이기 때문이다. 예를 들어 밝기에 근거한 2차 디지털 표면은 동일한 밝기 변화율을 가지고 거리에 근거한 2차 디지털 표면은 동일한 거리 변화율을 지니게 된다. 따라서 거리 영상에 대한 PRI 내에서 유용한 특징 primitive들이 신뢰할 만큼 추출이 가능하다면, 기존의 거리 영상 분할에 효과적으로 이용이 가능하다.

따라서 본 논문에서는 위 고찰을 바탕으로 PRI를 거리 영상 분할에 이용하되 에지 검출 및 평면 영역 보정에 효과적으로 이용하는 방법을 제안한다.

### III. PRI을 이용한 거리 영상 분할 방법

본 장에서는 PRI 내에서 유용한 특징값 예를들어 에지 정보 추출을 위하여 고려하여 할 미분 연산 창틀 및 크기의 선택, 광원의 개수와 방향 결정, 3장의 PRI를 이용한 에지 검출 그리고 영역 보정 방법에 대하여 고찰한 후, 제안하는 에지 기반형 거리 영상 분할 방식에 대하여 설명한다.

#### 1. PRI 생성을 위한 미분 창틀의 선택

거리 영상으로부터 계산되어질 의사 밝기값은 가능

한 한 잡음에 강건해야 한다. 이는 *PRI* 내에서의 처리가 거리 영상 분할에 이용될 때 정보의 왜곡을 피하고 추출 정보의 신뢰도를 향상시키기 위해서이다. *PRI*를 생성하기 위해서는 기정의된 광원 방향과 함께 표면 법선 벡터를 알아야 한다. 이때 거리 영상으로부터 표면 법선 벡터를 구하기 위해서는 1차 미분 연산이 필요하다. 대표적인 1차 미분 연산자에는 Kirsch, Sobel, Prewitt 등이 있다. 그밖에 Besl & Jain은 특별히 거리 영상에 대해 orthogonal 미분 연산자를 사용하였다.<sup>[2]</sup> 위 1차 미분 연산자들은 각기 그 응답 특성에 차이가 있으며, 특히 사용 창틀 크기에 반비례하는 잡음 민감도를 지닌다. 따라서 *PRI*를 위한 미분 연산자의 선택과 창틀 크기의 결정은 최종 거리 영상 분할에 영향을 미친다.

본 논문에서는 *PRI* 생성에 적합한 미분 창틀 선택을 위하여 미분 연산자들의 잡음 증폭도를 조사하였다. 그림 2는 캐나다 NRCC(National Research Council Canada)에서 제작한 실제 거리 영상에 대하여 각각 Kirsch, Sobel, Prewitt, Besl&Jain의 미분 연산자를 적용하여 생성된 *PRI*들이다. 이때 광원의 방향은 (tilt=-120°, slant=45°)로 하였다. 위 결과에 대한 주관적 화질 평가에 따라 Kirsch, Sobel, Prewitt, Besl & Jain 미분 창틀의 순서로 잡음 증폭도를 확인하였다. 즉 Besl & Jain 미분 창틀이 면 내부에서 가장 고른 밝기값 특성을 보였으며, 특히 곡면에 대해서는 특정 방향에 대한 하이라이트 성분이 적고 평활한 변화 특성을 보였다. 따라서 본 논문에서는 3×3 Besl & Jain 미분 창틀을 거리 영상에 적용하여 표면 법선 벡터를 구하였다. 이때, 미분 창틀 크기를 5×5 또는 그 이상으로 하면 잡음에 대한 강건도가 향상된다. 하지만 에지 부근에서의 smoothing 현상이 발생된다. 본 논문의 경우 *PRI*에서의 효과적 에지 검출을 위해 입력 거리 영상 내에 포함된 잡음의 정도는 비교적 적다는 가정 하에 3×3 창틀크기를 우선 선택하고 잡음의 정도가 심하여 효과적 에지 검출이 어려운 경우 5×5 창틀 크기를 선택 사용하였다.

2. *PRI* 생성을 위한 광원의 방향과 개수

기존의 밝기 영상에서의 에지 추출 방법은 대부분 하나의 입력 영상을 이용한다. 이러한 방법의 에지 추출은 이용할 수 있는 정보의 제약과 한 영상내의 한 화소의 에지 여부가 영상 내의 화소들간의 위치 관계

나 이웃하는 명암의 변화만으로 결정되기 때문에 잡음 또는 에지 손실 등의 이유로 한계를 안고 있다. 또한 광원이 비치는 방향에 따라 명암 대비가 커 정확한 에지가 추출되는 영역이 있는 반면, 명암 대비가 적어 에지가 추출되지 않든지 분할된 에지가 추출되는 경우가 종종 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근에는 다중 크기(multi-scale)또는 다중 해상도(multi-resolution)<sup>[13]</sup>, 다중 센서(multi-sensor) 기법<sup>[14]</sup> 그리고 다중 광원을 이용한 에지 추출방법<sup>[15]</sup> 등이 연구되고 있다. 위 기법들 중에서 다중 광원을 이용한 에지 추출 방법은 동일한 장면으로부터 다중 광원에 의한 다수개의 밝기 영상을 얻고 각 영상이 각각 특정 영역에 대한 명암 대비가 서로 다른 점을 이용하여 보다 향상된 에지를 추출하는 방법이다. 위 방법은 특히 광원과 조명 환경을 임의로 조작할 수 있는 상황에 적절히 응용될 수 있다.

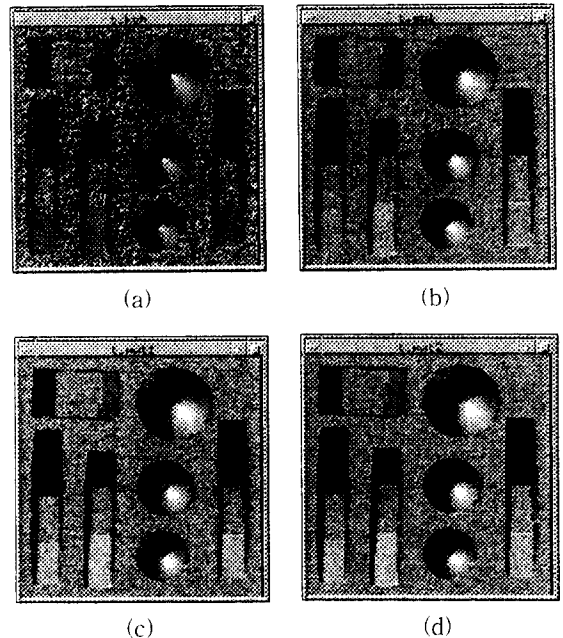


그림 2. 각 미분 연산자에 의해 생성된 *PRI*들  
(a) Kirsch (b) Sobel (c) Prewitt (d) Besl & Jain

Fig. 2. Generated *PRI*s by each differential operators.

(a) Kirsch (b) Sobel (c) Prewitt (d) Besl & Jain

한편 *PRI*는 기정의된 광원 방향에 대해 다수개가 만들어 질 수 있다. 생성된 *PRI*는 일반적 밝기 영상의

성질을 그대로 가진다. 따라서 위 다중 광원을 이용한 에지 추출법을 효과적으로 이용할 수 있다. 이 경우, 광원의 개수가 많을수록 더욱 향상된 에지를 얻을 수 있겠지만 현실적으로는 최소의 광원 개수가 요구된다. 또한 디지털 영상에 대한 방향성 에지 검출자의 성능은 에지의 방향이 에지 검출 방향의 수직 방향과  $\pm 30^\circ$  이내의 경우에 만족할 만한 성능을 나타내며,  $\pm 45^\circ$  이상의 경우에는 현저한 성능 저하 현상을 보인다.<sup>131</sup> 따라서 만족할 만한 에지 검출 성능을 위하여 최대 4 방향 즉 ( $E-W$ ) 방향, ( $N-S$ ) 방향, ( $NW-SE$ ) 방향, ( $NE-SW$ ) 방향에 대한 고려가 필요하다. 이때 ( $E-W$ ,  $N-S$ ) 방향으로의 방향성 검출자를 사용하는 경우, 이미 ( $N-S$ ,  $E-W$ ) 방향의 에지 검출에 대한 최대 효과를 가정할 수 있고 따라서 ( $NE-SW$ ,  $NW-SE$ ) 방향으로의 명암 대비를 강조할 수 있다면 합축적으로 4 방향 에지에 대한 충분한 검출 효과를 얻을 수 있다.

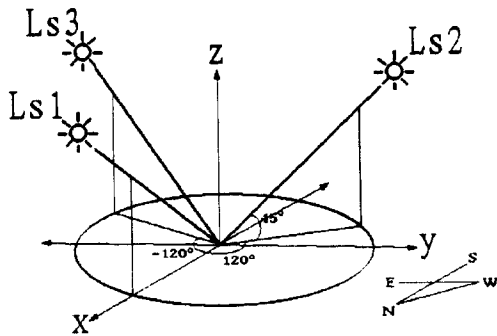


그림 3. 세 광원의 위치

Fig. 3. Position of three light sources.

따라서 본 논문에서는 제 1광원을 ( $\text{tilt}=0^\circ$ ,  $\text{slant}=45^\circ$ ), 제 2광원을 ( $\text{tilt}=120^\circ$ ,  $\text{slant}=45^\circ$ ), 제 3광원을 ( $\text{tilt}=-120^\circ$ ,  $\text{slant}=45^\circ$ )로 정의하고 3장의  $PRI$ 를 얻었다. 이는 첫째 위와 같은 세 광원이 각각 장면내 가지 영역에 대해 고른 밝기 분포값을 가지도록 하고 서로 대칭적 위치 관계를 가지는 최소의 개수이고, 둘째 세 광원에 의해 ( $E-W$ ) 방향 에지에 대한 명암 대비 강조 효과를, 제 2광원에 의해 ( $NW-SE$ ) 방향 에지에 대한 명암 대비 강조를, 제 3광원에 의해 ( $NE-SW$ ) 방향 에지에 대한 명암 대비 강조를 피하고, 마지막으로 ( $N-S$ ) 방향 에지에 대하여는 제 2광원과 제 3광원에 의한 대칭적 명암 대비 강조 효과를 얻을 수 있기 때문이다. 즉, 제안된 3방향의 광원만으로도 4방

향 에지 성분에 대해 충분히 향상된 에지 검출이 가능하다. 위와 같이 정의된 광원의 위치 구조를 그림 3에서 보이며, 광원 위치 설정에 대한 검증 실험은 그림 4와 그림 5에서 에지 검출 방법과 함께 보인다.

### 3. 3장의 $PRI$ 를 이용한 에지 검출 방법

Sobel 에지 연산자는 일반적으로 다른 1차 미분 연산자에 비해서 실제 에지 방향과 검출된 방향 사이에서 응답이 보다 선형적이라고 알려져 있고<sup>161</sup>, 에지 강도 검출 면에서도 다른 연산자들에 비하여 비교적 양호한 증폭도를 가진다. 따라서 본 논문에서는 3장의  $PRI$ 에 Sobel 에지 연산자를 적용하여 각각의 에지 영상을 구하였다.

Sobel 에지 연산자에 의한 한 화소점  $(x,y)$ 에서의 에지 강도는

$$Edg(x,y) = \{ |S_x(x,y)| + |S_y(x,y)| \} \quad (7)$$

와 같은 방법으로 구해지며,

$$Edg'(x,y) = \begin{cases} 255, & \text{if } Edg(x,y) > \theta_s \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (8)$$

과 같이 문턱값보다 작은 에지 선분은 잡음에 의한 것으로 간주하고 제거하였다. 여기서  $|S_x(\cdot)|$  와  $|S_y(\cdot)|$ 는 각각  $x$  및  $y$  방향의 Sobel 에지 연산자에 의해 검출된 에지 강도이고,  $\theta_s$ 는 에지 강도에 대한 문턱값이다. 이때  $\theta_s$ 는 영상 취득 환경과 물체의 특성에 따라 다르다. 본 논문에서는 각 문턱값을 실험 대상 영상의 품질에 따라 실험적으로 결정하였다. 일반적으로 위와 같이 구한 영상은 1화소 두께의 에지 추출과 연결된 에지 선분을 구하기 어렵다. 한편 3장의  $PRI$ 는 각각 특정 방향 에지에 대한 향상된 에지 검출 성능을 기대할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 각 에지 정보를 최대한 활용 및 유지하기 위해 3장의 에지 영상들을 논리합(logical OR) 연산자를 사용하여 융합하였다. 에지의 융합은 비교적 잘 연결된 에지 선분을 구할 수 있지만 동시에 두터운 에지 선분을 만든다. 그리고 위 경우 잡음 성분 역시 증가될 수 있다. 그러나 잡음에 의한 성분들은 이후 설명될 후처리 과정을 통하여 제거한다. 따라서 1화소 두께의 에지를 구하기 위해 세선화 과정을 거친다. 세선화는 빠르고 성능이 좋은  $SPTA$ (Safe Point Thinning Algorithm)<sup>171</sup>을 사용하였다. 이때 본 논문에서는 입력 거리 영상으로부터 구한 계단형 에지를 기준 에지로 삼고 세선화 과정 중

에 제거되지 않도록 하였다. 거리 영상으로부터 추출된 계단형 에지를 기준 에지로 삼는 이유는 동일한 면방향 즉 동일한 의사 밝기값을 가지는 두 면 사이에 존재하는 계단형 에지의 경우, PRI 내에서는 검출이 어렵기 때문이고, 입력 영상으로부터 추출할 수 있는 가장 신뢰도 높은 에지이기 때문이다. 세선화 과정은 크게 두 단계로 수행하였다. 첫째 단계에서는 초기 세선화 결과에 대해 독립 영역들을 레이블하고 독립 영역들 중에서 면적이 문턱값이하인 경우 에지 화소값으로 채운다. 한편 초기 세선화 과정에서 잡음에 의한 독립 에지 선분들과 dangling 에지 선분들을 제거한다. 둘째 단계에서는 위 세선화 결과에 대해 거리 영상으로부터 추출된 계단형 에지를 논리합(OR)하고 세선화 과정 중 제거되지 않도록 하면서 첫째 단계를 반복한다. 위 두 과정을 통한 에지 영상은 양호한 연결성을 지니고 1화소 두께의 에지 선분을 가진다. 여기서 계단형 에지는 인접 거리값이 문턱값 이상인 경우에 발생하므로

$$Imp(x, y) = \begin{cases} 255, & \text{if } (dep(x, y) - dep(x-1, y)) \text{ OR } (dep(x, y) - dep(x, y-1)) > \theta_{jump} \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (9)$$

과 같은 방법으로 구해진다. 식 (9)에서  $dep(x, y)$ 는 화소점  $(x, y)$ 에서의 거리값이고,  $\theta_{jump}$ 는 계단형 에지 검출을 위한 문턱값이다.

그림 4은 제안된 광원의 위치와 에지 검출 방법의 의해 구해진 에지 영상들이다. 그림 4-(a)~(c)에서 각 영상은 광원의 방향에 따라 특정 방향 성분의 에지가 강조되는 모습을 잘 보인다. 예를 들어 제 1광원에 의해 수평 방향과 45° 이내로 기울어진 에지 성분들이 강조되고, 제 2광원에 의해 (NW-SE) 방향의 에지가, 제 3광원에 의해 (NE-SW) 방향의 에지가 강조되고 있다. 하지만 각 영상 중에서 최외각 에지는 방향에 관계없이 세 영상에서 고루 분포하는데 이것은 최외각 에지의 유형이 계단형 에지로서 장면내 배경과 대상 물체면의 밝기값 차이가 항상 존재하기 때문이다. 그림 4-(d)는 거리 영상으로부터 추출된 계단형 에지 영상이다. 그림 5은 그림 4의 세 에지 영상의 융합된 (ORing) 에지 영상과 세선화 및 레이블 과정을 거친 최종 에지 영상을 보인다. 이 중에서 그림 5-(a)는 세 가지 에지 영상에서 강조된 각 에지 성분들이 융합되어 두꺼우나 연결성 좋은 향상된 에지 모습을 보이고, 그림 5 (b)는 세선화 과정 및 레이블 과정을 거친 1화

소 두께의 최종 에지 영상을 보인다.

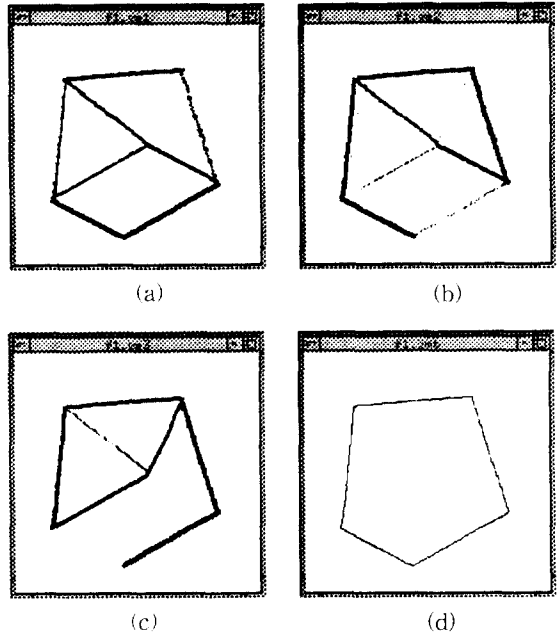


그림 4. 3장의 에지 영상들과 계단형 에지 영상  
 (a) 첫번째 에지 영상 (b) 두번째 에지 영상  
 (c) 세번째 에지 영상 (d) 계단형 에지 영상  
 Fig. 4. Three edge images and jump edge image.  
 (a) 1'st edge image (b) 2'nd edge image  
 (c) 3'rd edge image (d) jump edge image

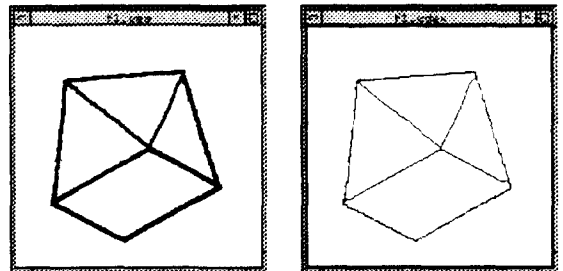


그림 5. 융합된 에지와 최종 에지 영상  
 (a) 융합된 에지 영상 (b) 최종 에지 영상  
 Fig. 5. Fused edge image and final edge image.  
 (a) fused edge image (b) final edge image

4. 에지 기반 영역 분할과 오류 영역의 보정

에지 기반 영역 분할 방식은 기본적으로 에지가 영역의 경계(boundary)에 위치한다는 가정하에서 에지가 이루는 폐곡선 영역을 하나의 독립된 영역으로 간주한다. 한편 제안된 에지 추출 방식은 PRI의 성질과 다중 광원에 의한 검출 방식의 성질이 복합적으로 에지 추출 결과에 반영되어 위 과정을 만족시키면서 연결성이

좋은 에지 정보를 얻는다. 따라서, 본 논문에서는 제안된 방법으로 추출된 에지 정보를 기본으로하여 에지가 이루는 폐곡선 영역을 labeling하는 과정을 통하여 초기 영역 정보를 얻게 된다.

하지만, 위와 같이 에지를 구할 때 실제 에지가 아니면서 잡음 이외에 먼 내부의 crack등에 의한 오류성 에지가 발생할 수 있다. 위 에지가 dangling 에지인 경우 앞 절의 세선화 과정에서 제거가 가능하다. 하지만 위 오류성 에지가 인접 에지와 맞닿아 독립 영역을 생성하는 경우 하나의 면임에도 두 개의 면으로 레이블된다. 오류성 독립 영역은 먼 모서리 부분에서 발생할 수 있으며 따라서 면적이 비교적 작게 된다. 이때 일반적으로 검출된 에지가 오류성 에지인지 실제 존재하는 에지인지 판단할 수 있는 기준이 애매하다. 하지만 위와 같은 경우 실제 존재하는 에지이면 각 인접 영역의 면적은 비교적 크다고 가정할 수 있고 인접 영역간 평균 밝기값과 평균 법선 벡터는 분명한 차이가 발생한다. 반면에 오류성 에지인 경우는 내부 crack등에 의해 한 면임에도 불구하고 모서리 부분에서 서로 다른 독립 영역으로 레이블되었기 때문에 우선 한 영역의 면적은 다른 영역의 면적에 비하여 비교적 작다고 상정할 수 있고 특히 인접 영역간 평균 밝기값과 평균 법선 벡터값 역시 유사함을 가진다.

따라서 본 논문에서는 위 labeling된 영역 중 과분할된 영역을 대상으로 인접 영역에 대한 병합처리를 위하여 다음과 같은 후처리 과정을 거친다. 우선 세선화에 이은 레이블 과정에서 서로 다른 영역으로 되더라도 검사 영역의 면적이 문턱값이하이면 인접 영역간 평균 밝기값의 차이를 검사한다. 이때 후보 영역에 대한 면적의 크기는 장면내 특성에 따라 상이할 수 있으며, 영상내 영역 크기에 대한 사전 정보는 없다고 가정하였다. 따라서 본 논문에서는 실험 대상 영상에 대한 통계적인 방법을 통하여 일괄적으로 후보 영역의 면적이 50화소 이내인 경우를 우선 선택하도록 하였다. 만약 위 영역들의 평균 밝기값에 분명한 차이가 있는 경우 두 영역간의 경계선을 실제 존재하는 에지로 간주한다.

평균 밝기값 차이가 문턱값이하이면 두 영역의 평균 법선 벡터를 비교하여 마찬가지로 두 영역의 법선 방향이 유사한 경우 오류성 독립 영역으로 간주하고 인접 큰 영역에 병합시킨다. 하지만 평균 법선 벡터값이 서로 차이가 존재하면 평균 밝기값이 유사하더라도 각

영역은 3차원적 방향이 서로 다른 경우이므로 영역 레이블 값을 보존시킨다. 그림 6은 오류성 독립 영역이 발생한 경우에 대한 영상과 위 방법에 의해 보정된 결과 영상을 보인다. 위 실험은 모서리 부분에서 오류에 의하여 발생한 오류 영역이 인접 유사 영역에 병합된 모양을 보여준다.

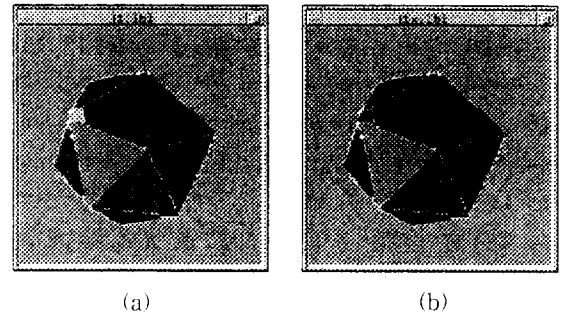


그림 6. 영역 보정  
(a) 영역 오류가 발생한 영상 (b) 영역 보정된 영상

Fig. 6. Region correction.  
(a) erroneous region image (b) region corrected image

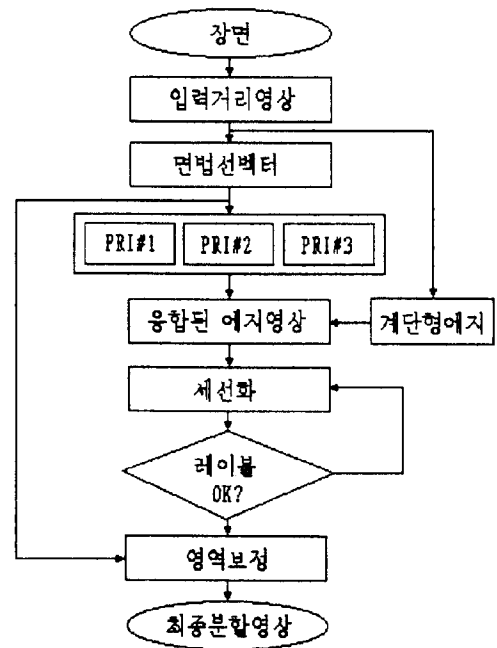


그림 7. 제안된 알고리즘의 흐름도  
Fig. 7. Flowchart of proposed algorithm.

마지막으로 그림 7은 제안하는 거리 영상 분할 방식의 전체 흐름도를 보인다.



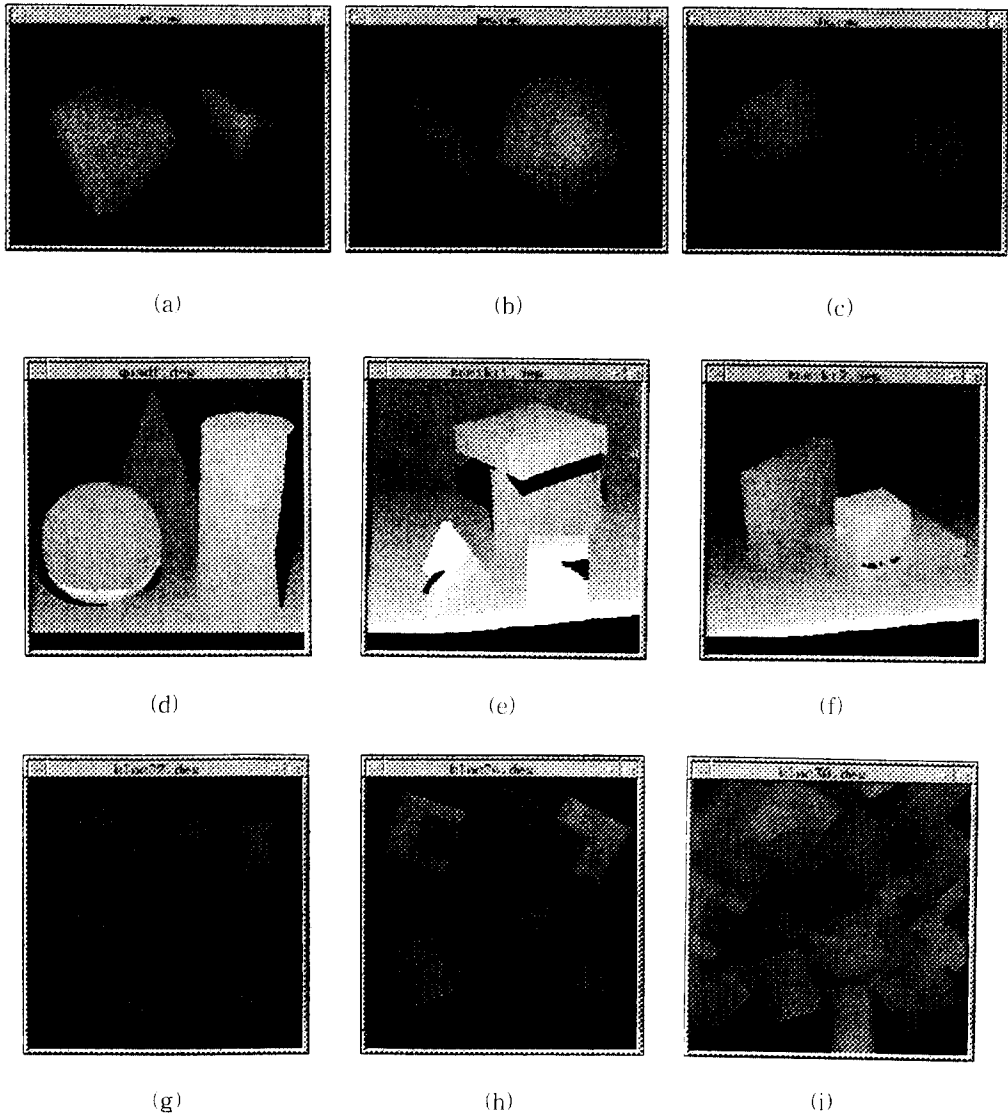


그림 8. 실제 거리 영상들

(a) ERC-ACI 영상 1 (b) ERC-ACI 영상 2 (c) ERC-ACI 영상 3 (d) quad 1 (e) tumiki 1  
(f) tumiki 2 (g) bloc 22 (h) bloc 24 (i) bloc 30

Fig. 8. Real range images.

(a) ERC-ACI image 1 (b) ERC-ACI image 2 (c) ERC-ACI image 3 (d) quad 1 (e) tumiki 1  
(f) tumiki 2 (g) bloc 22 (h) bloc 24 (i) bloc 30

#### IV. 실험 및 검토

본 실험은 SUN사의 SUN SPARC station 2 system을 사용하였고, 실험 대상 영상은 256×256 그리고 340×256 실제 거리 영상을 사용하였다. 실제 거리 영상들은 서울대학교 제어계측신기술 연구센터 (ERC-ACI)에서 캐나다 servo-robot사의 레인지 파

인더로 제작한 거리 영상들과 오사카 대학 기초공학부에서 공간 부호화 기법에 의해 제작한 PRIMULA 거리 영상 데이터베이스 그리고 캐나다 NRCC(National Research Council Canada)에서 레이저 거리 계측기를 이용하여 제작한 거리 영상 데이터 베이스이다.

그림 8은 본 논문의 실험에 사용된 실제 거리 영상들을 보인다. 그림 8-(a),(b),(c)는 ERC-ACI에서 제

작한 거리 영상으로 크기는  $340 \times 256$ 이다. 위 그림은 여러 물체들이 서로 중첩되어 구성되어 있다. 그림 8-(d),(e),(f)는 *PRIMULA* 거리 영상들 중에서 quad1, tumiki1, tumiki2의 그림이다. 그림 8-(g),(h), (i)은 *NRCC* 거리 영상으로 각각 bloc22, bloc24, bloc30의 그림이다. 위 거리 영상들은 다양한 물체들이 복잡한 모양으로 구성되어 있다.

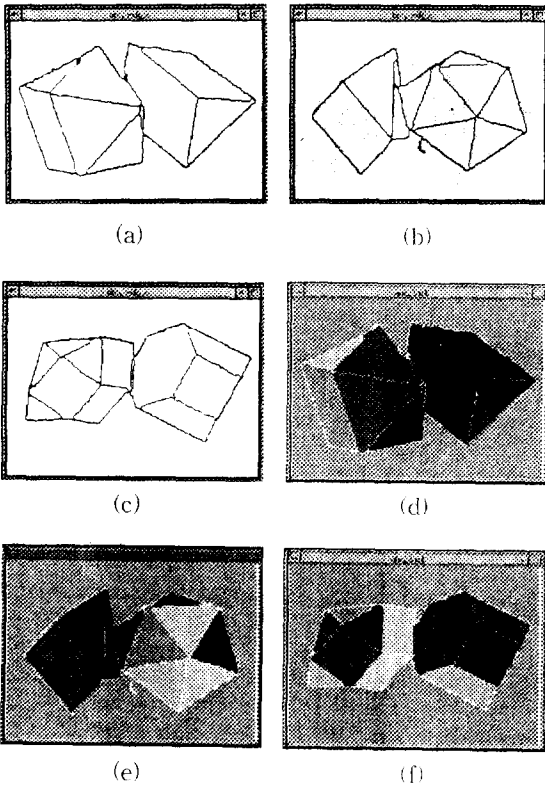


그림 9. *ERC\_ACI* 거리영상에 대한 분할 결과들

(a) 에지 영상 1 (b) 에지 영상 2 (c) 에지 영상 3 (d) 분할 영상 1 (e) 분할 영상 2 (f) 분할 영상 3

Fig. 9. Segmentation results for *ERC\_ACI* range images.

(a) edge image 1 (b) edge image 2 (c) edge image 3 (d) segmented image 1 (e) segmented image 2 (f) segmented image 3

그림 9는 그림 8-(a),(b),(c)에 나타난 *ERC\_ACI* 실제 거리 영상을 제안하는 알고리즘으로 분할한 결과이다. 그림 9 (a),(b),(c)는 최종 에지 영상들이고 그림 9-(d),(e),(f)는 먼 보정 과정을 거친 후 최종 레이블된 분할 결과를 보인다. 전체적으로 만족스러운 분할 결과를 나타내었지만 그림 9 (a)의 중앙부 상단에서 검출

에지의 오류를 보인다. 이 부분은 에지와 에지 사이간격이 좁은 영역이어서, 세선화에 이은 영역 채움 과정에서 지붕형 에지의 일부가 신뢰도가 높은 계단형 에지에 병합이 일어난 부분이다. 이러한 현상은 그림 9-(b)의 우측 물체에서도 나타난다.

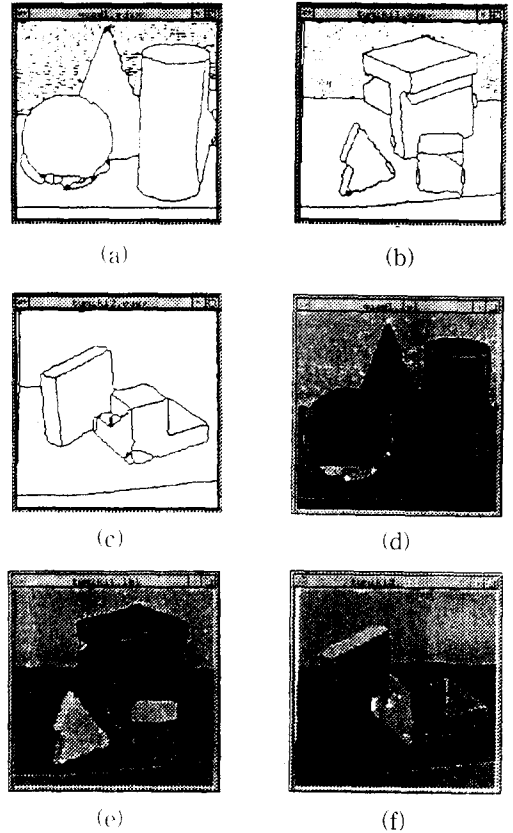


그림 10. *PRIMULA* 거리영상에 대한 분할 결과들

(a) 에지 영상(quad1) (b) 에지 영상(tumiki1) (c) 에지 영상(tumiki2) (d) 분할 영상(quad1) (e) 분할 영상(tumiki1) (f) 분할 영상(tumiki2)

Fig. 10. Segmentation results for *PRIMULA* range images.

(a) edge image(quad1) (b) edge image(tumiki1) (c) edge image(tumiki2) (d) segmented image(quad1) (e) segmented image(tumiki1) (f) segmented image(tumiki2)

그림 10은 그림 8-(d),(e),(f)의 *PRIMULA* 실제 거리 영상에 대해 제안 방식으로 분할한 결과이다. *PRIMULA* 거리 영상들은 거리 정보의 해상도가 매우 낮기 때문에 참가된 잡음의 영향보다도 양자화에

의한 잡음 영향이 더 큰 것이 특징이다. 따라서 본 실험에서는 위 영상들에 대하여 Besl & Jain 미분 창틀을  $5 \times 5$ 로 설정하여 *PRI*를 생성하고 에지 검출을 위한 문턱값도 높게 설정하였다. 하지만 최종 에지 영상들(그림 10-(a),(b))의 배경 부분에 특히 양자화 오류에 의한 오류성 에지의 영향을 볼 수 있다. 그림 10-(c)의 결과에서는 면 내부에서의 crack과 삼음에 의한 오류성 에지 검출 결과를 볼 수 있으나. 그림 10-(f)의 최종 분할 결과에서 이들 오류 영역들에 대한 적절한 보정이 된 것을 확인할 수 있다.

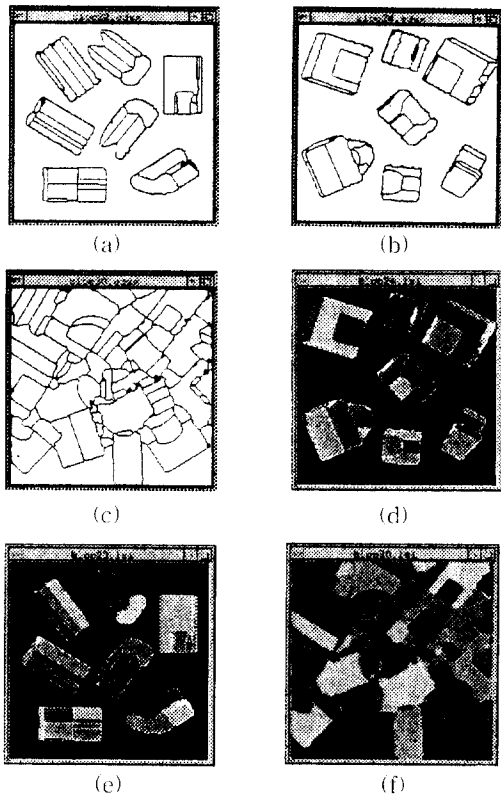


그림 11. NRCC 거리 영상에 대한 분할 결과들  
 (a) 에지 영상(bloc22) (b) 에지 영상(bloc24)  
 (c) 에지 영상(bloc30) (d) 분할 영상(bloc22)  
 (e) 분할 영상(bloc24) (f) 분할 영상(bloc30)

Fig. 11. Segmentation results for NRCC range images.

(a) edge image(bloc22) (b) edge image (bloc24) (c) edge image(bloc30) (d) segmented image(bloc22) (e) segmented image(bloc24) (f) segmented image(bloc30)

그림 11는 그림 8 (g),(h),(i)의 NRCC 실제 거리 영상에 제안 방식을 적용하여 얻은 결과이다. 결과 영

상들은 장면내 물체들이 작고 많아서 복잡한 형상을 띄고 있음에도 양호한 에지 검출 결과를 보인다. 다만 일부 길고 좁으며, 그리고 기울기가 가파른 영역에서 과분할의 형태로 오류가 발생하였다. 이는 오류 가능성이 있는 각 영역들의 면적이 대체적으로 작고 밀집되어 있기 때문에 면적이 크고 유사한 인접 영역의 선별 과정에서 적당한 후보를 선택하지 못하였기 때문이다.

### V. 결론

본 논문에서는 *PRI*를 이용한 에지 기반형 거리 영상 분할 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서는 거리 영상에 대하여 3차원 장면 및 해석에 적당한 의사 밝기 형성 모델을 설정하고 모델에 의해 계산된 의사 밝기 정보를 직접적으로 이용하는 새로운 방법을 제안하였다. 본 논문에서 이용하는 *PRI*는 물체의 질감, 그림자, 반사 및 조도의 변화 등 외적 요인에 무관한 거리 영상에 대하여 무한 점광원, 무광택 전반사 표면을 가정한 영상 조도 방정식을 근거로 의사 밝기가 생성되기 때문에 3차원 장면 및 물체 해석의 관점에서 유용하게 쓰일 수 있다. 그리고 본 논문에서는 *PRI*에서의 처리가 거리 영상 내에서의 처리에 비하여 에지 추출과 평면성 검사가 용이함을 고찰하고 *PRI*로부터의 향상된 에지 추출을 위해 여러 미분 창틀들의 잡음 증폭도 실험을 통하여 Besl & Jain의 미분 창틀을 선택하였다. 그리고 다중 광원 기법의 장점과 디지털 영상에 대한 방향성 에지 검출자의 검출 성능 고찰을 통하여 3방향의 광원 및 3장의 *PRI* 생성을 제안하였다. 3장의 *PRI*로부터 제안된 방식에 의해 추출된 에지 영상들을 융합(ORing)하고 거리 영상으로부터 추출된 계단형 에지를 제거되지 않도록 하면서 두 단계의 세션화 및 레이블 과정을 거쳐서 1 화소 두께의 에지 영상을 구한다. 마지막으로 오류에 의한 작은 독립 영역들을 인접된 큰 영역에 병합시키는 영역 보정 단계를 거쳐 최종 레이블된 분할 결과를 얻었다. 위 제안된 방식은 실제 거리 영상들에 대한 모의 실험을 통해 향상된 에지 검출 성능과 분할 결과를 확인하였다. 하지만 아직도 알고리즘상에 설정되어 있는 파라미터들이 영상의 조건에 관계없이 고정되어 있으며, 면 기울기가 가파르고 가시 영역이 길고 좁은 형상을 가질 경우 과분할 형태의 오류가 발생하거나 세션화 및 레이블 과정에서 근접한 두 에지가 병합되는 형태의 오류가 발생함을 볼

수 있었다. 앞으로 영상의 조건에 따라 가변적으로 변하는 파라미터의 설정에 대한 연구와 예지의 위치 및 영역 보정 그리고 분할 성능 향상을 위한 알고리즘에 관한 연구가 필요하다.

#### 참 고 문 헌

- [1] M.J. Magee and J.K. Aggawal, "Using Multisensory Images to derive The Structure of 3 Dimensional Objects. - A Review," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol. 32, pp. 145-157, 1985.
- [2] P.J.Besl and R.C.Jain, "Segmentation Through Variable Order Surface Fitting," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 10, No. 2, pp. 167-192, 1988.
- [3] 송호근, 최종수, "미분 기하학 특징 정보를 이용한 3차원 거리 영상 분할," *대한전자공학회 논문지*, 제 31권, B편, 제 2호, pp. 123-134, 1995.2
- [4] K.Ikeuchi and K.Sato, "Determining Reflectance Parameters using Range and Bright Images," *The third International Conference on Computer Vision*, pp. 12-20, Dec. 1990.
- [5] B. Scoutts, S. Ravi, G. Hu, and N. Shirkhande, "Extraction of Edge based and Region based Features for Object Recognition," *SPIE Vol.2055, Intelligent Robots and Computer Vision XII*, pp. 97-101, 1993.
- [6] B.Gil, A.Mitiche, and J.K. Aggarwal, "Experiments in Combining Intensity and Range Edge Maps," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol. 21, pp. 395-411, 1983.
- [7] A.Mitiche, B.Gil, and J.K. Aggawal, "On combining Range and Intensity data," *Pattern Recognition Letters* 1, pp. 87-92, 1982.
- [8] R.O.Duta and D.Nitzan, "Use of Range and Reflectance Data to find Planar Surface Regions," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 1, No. 3, pp. 259-271, 1979.
- [9] F. Methot, M.Mokhtari, D.Lourendeau, and D.Poussart, "Sensor Fusion of 2-D and 3-D Data for the Processing of Images of Dental Imprints," *SPIE, Vol. 2055, Intelligent Robots and Computer Vision XII*, pp. 546-556, 1993.
- [10] X.D. Li and H.T. Tsui, "Model Based 3D Scene Analysis by Sensor Fusion," *The third International Conference on Automation, Robotics, and Computer Vision*, Vol. 1, pp. 444-448, Nov. 1994.
- [11] G.Sudhir, S.Banerjee, and R.Bahl, "Surface Reconstruction from Sparse Range Data and Visual Images, An Integration of Shape from range and Shape from shading," *The third International Conference on Automation, Robotics, and Computer Vision*, Vol.1, pp. 449-453, 1994
- [12] B.K.P. Horn and R.W. Sjoberg, "Calculating the Reflectance Map," *Applied Optics*, Vol. 18(11), pp. 1770-1779, Jun. 1979.
- [13] D. Zion and S.Tabbone, "A Multi-Scale Edge Detector," *Pattern Recognition*, Vol. 26, No. 9, pp. 1305-1314, 1993.
- [14] C.C. Chu and J.K. Aggawal, "The Integration of Image Segmentation Map using Region and Edge Information," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 15, No. 12, pp. 1241-1251, 1993.
- [15] 유태웅, 오일석, 김주환, 정순기, 이광호, 원광연, "다중 광원을 이용한 예지 추출," *제 7회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표 논문집*, pp. 157-162, 1995.2
- [16] I.E. Abdou and W.K. Pratt, "Quantitative Design and Evaluation of Enhanced / Thresholding Edge Detectors," *Proc. of IEEE*, pp. 753-763, May 1979.
- [17] N.J. Naccahe and R.Shinghal, "SPTA : A Proposed Algorithm for Thinning Binary Patterns," *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 19, pp. 409-418, May 1984.

## 저 자 소 개



宋浩根(正會員)

1965년 1월 13일생. 1991년 2월 중앙대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1993년 2월 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1993년 3월 ~ 현재 중앙대학교 대학원 전자공학과 박사 과정 재학 중. 1996년 3월 ~ 현재 한서대학교 전자계산학과 전임강사. 주관심분야는 영상 처리, 영상 분할, 패턴 인식, 3차원 비전 등임



金泰銀(正會員)

1964년 1월 29일생. 1989년 8월 중앙대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1992년 2월 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1993년 9월 ~ 현재 중앙대학교 대학원 박사과정 재학중. 주관심분야는 머신비전, 컴퓨터비전, 신경회로망, 예측제어신호처리, 패턴인식등임.

崔宗秀(正會員) 第 28卷 B編 第 5號 參照

현재 중앙대학교 전자공학과 교수