

일반논문-08-13-2-07

광학 영상과 Lidar의 정보 융합에 의한 신뢰성 있는 구조물 검출

이동혁^{a)}, 이경무^{a)†}, 이상욱^{a)}

Information Fusion of Photogrammetric Imagery and Lidar for Reliable Building Extraction

DongHyuk Lee^{a)}, KyoungMu Lee^{a)†}, SangUk Lee^{a)}

요 약

본 논문에서는 칼라 세그멘테이션, 에지 정합, 지각적 그룹핑 등을 사용하여 Lidar 데이터와 광학 영상의 정보 융합에 의한 새로운 구조물 검출 및 복원 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 두 가지 단계로 구성된다. 첫 번째로, 항공 Lidar 데이터로부터 초기 구조물 추출 결과와 영상의 칼라 세그멘테이션 결과를 사용하여 coarse building boundary를 추출한다. 두 번째로, coarse building boundary와 에지 정합 및 지각적 그룹핑에 의해 보다 정밀한 구조물 추출 결과인 precise building boundary를 추출한다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 보다 신뢰성 있는 구조물 검출을 위해, 광학 영상으로부터 칼라 정보를 사용한다. 이를 통해, Lidar에 의해 획득된 붕괴된 형태의 구조물 외곽선을 보완한다. 또한, 인공지물의 특징으로서, 에지의 직선성 및 다면체 형태의 지붕모양을 반영함으로써 신뢰성 있는 구조물을 검출한다. 다중 센서 데이터에 대한 실험은 제안하는 알고리즘이 Lidar 단일 센서 결과에 비해 정밀하고 신뢰성 있는 결과를 보여준다.

ABSTRACT

We propose a new building detection and description algorithm for Lidar data and photogrammetric imagery using color segmentation, line segments matching, perceptual grouping. Our algorithm consists of two steps. In the first step, from the initial building regions extracted from Lidar data and the color segmentation results from the photogrammetric imagery, we extract coarse building boundaries based on the Lidar results with split and merge technique from aerial imagery. In the second step, we extract precise building boundaries based on coarse building boundaries and edges from aerial imagery using line segments matching and perceptual grouping. The contribution of this algorithm is that color information in photogrammetric imagery is used to complement collapsed building boundaries obtained by Lidar. Moreover, linearity of the edges and construction of closed roof form are used to reflect the characteristic of man-made object. Experimental results on multisensor data demonstrate that the proposed algorithm produces more accurate and reliable results than Lidar sensor.

Keyword : Lidar, 광학영상, 융합, coarse building boundary, precise building boundary, building extraction

a) 서울대학교 전기컴퓨터 공학부

ASRI, Image Information Research Center

† 교신저자 : 이경무(kyoungmu@snu.ac.kr)

* 본 연구는 한국과학기술원 영상정보특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었습니다.
(계약번호 UD070007AD).

I. 서론

최근 전산 환경의 발전 및 취득 기술의 발달에 따라 다중 센서를 이용한 정밀한 3차원 영상 복원에 대한 수요가 민간 목적 및 군사 목적 등으로 증가되고 있다. 민간에서는 도시

계획 및 지리 정보체계 확립 등에 이용될 수 있고, 군사 목적으로는 단일 센서의 한계를 극복한 지능형 정밀타격 유도무기의 신뢰성을 높이기 위한 목적 등으로 사용될 수 있다. 항공영상으로부터 인공지물을 자동으로 추출하고 묘사하는 기술은 사진 측량이나 컴퓨터 비전 분야의 주요 연구 주제이다. 인공지물 중 구조물은 그 수가 많고 복잡하면서도 도시계획, 목표물 추출 등과 같이 그 활용도가 방대하므로, 3차원 구조물 재구성을 위한 많은 연구가 이루어져 왔다. 본 논문에서는 다중 센서와 광학 영상 정보를 융합하여 정밀한 3차원 지형지물 및 도시 모델을 추출하는 것을 목적으로 한다.

항공 영상에서 구조물은 식별이 가장 잘 되는 특징물이므로, 사람의 시각에 의존하여 수동적인 정합으로 구조물을 추출하는 방법이 가장 정확한 방법이지만, 많은 시간과 비용이 소요되므로 다중 센서로부터 취득한 데이터에 광학 영상 정보를 융합하여 자동화된 구조물 추출 기법의 개발이 필요하다. 이를 위해, 선행 연구자들은 다양한 방법을 제안하였다^[1-3]. Gunho와 Dowman^[4]은 Ikonos 위성 영상과 Lidar DEM 데이터 정보의 시너지 효과를 이용한 융합 기법 개발에 초점을 맞추었다. 구체적으로 두 데이터 정보에

의해 개개의 구조물들은 단계적인 세그멘테이션에 따라 직사각형태의 다면체로 분할된다고 가정하여, 두 데이터 정보에서 추출된 직선 형태의 특징에 따라 구조물 지붕 다면체를 반복적으로 분할함으로써, 구조물 지붕 모양을 구성하는 방법을 사용하였다. 하지만 특징 추출에 따라 두 구조물이 하나의 구조물로 뭉쳐지거나, 하나의 구조물이 두 개의 구조물로 분할되는 등의 문제점이 발생할 수 있다. Rottensteiner 등^[5]의 방법은 Dempster-Shafer 융합 방법에 의한 구조물 추출 단계, 광학 영상의 특징을 이용해 Lidar 세그멘테이션 결과를 향상시키는 지붕면을 찾는 단계, 에지 정합에 의해 기하학적인 요소를 고려한 지붕 외곽선 결정 단계 등으로 구성된다. 그러나 이 방법은 직선 형태의 지붕에서 outlier에 대한 에지 정합 및 병합에 따라 구부러진 커브 형태의 잘못된 다면체로 구성될 수 있는 단점이 있다.

본 논문에서는 다중 센서들로부터 획득한 데이터로부터 최신 경향의 컴퓨터 비전 기술을 사용하여 자동적으로 구조물을 추출하고 복원하기 위해, 각 센서의 특성을 파악하고, 센서 특성에 따른 특징 feature를 추출하여, 각 센서의 장단점을 상호 보완 하고자 한다. 이를 위해, 특징 feature들

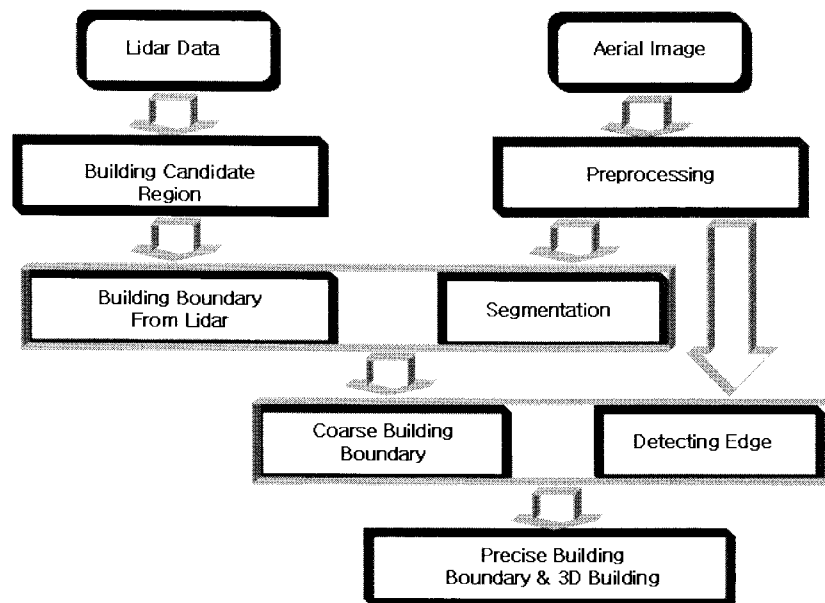


그림 1. 전체 흐름도
Fig. 1. Flow Chart

의 정보를 융합하는 형태의 구조물 추출 방법을 제안한다. 우선 광학 영상의 칼라 정보를 사용하여 성능을 1차적으로 보완하였고, 여기서 얻은 1차적인 결과 (coarse building boundary)를 에지 정합 및 다면체 구성을 통해 더 정확한 구조물 외곽선(precise building boundary)을 추출한다. 기존의 방법들은 구조물에 대한 과도한 가정(구조물의 육면체 형태, 평행성)으로 인해 의해 구조물 형태가 실제에 비해 왜곡된 결과를 얻었지만, 본 논문에서는 이러한 가정들을 가급적 배제하고 실제 형태에 충실한 구조물 외곽선을 추출하고자 한다. 또한 registration 과정에서 내/외부 인자가 없다고 가정함으로써, 가장 일반적인 환경에서의 구조물 추출 및 복원 과정을 수행하고자 한다. 이를 포함한 전체적인 틀은 그림 1의 전체흐름도로 나타낼 수 있다.

II. 제안하는 방법

1. 다중 센서로부터 초기 결과물 추출

본 연구에서 제안한 방법에 앞서 Lidar data로부터 초기

구조물 추출, 광학 영상으로부터 전처리 결과, 세그멘테이션 결과 및 에지 추출 결과가 필요하다. Lidar 데이터로부터 초기 구조물 추출을 위해 국부 최대치 (local maxima filtering) 추출 방법, 영상에서의 에지 추출을 위해 Nevatia-Babu 에지 추출 방법^[6], 칼라 세그먼트 추출을 위해 mean-shift 세그멘테이션 방법^[7], 광학영상과 Lidar의 레지스트레이션을 위해 homography^[8]를 사용하였다.

2. Split and merge에 의한 coarse building boundary 추출

본 논문에서는 광학 영상의 칼라 정보와 Lidar 초기 구조물 추출 결과를 융합하여 중간 단계로서 coarse building boundary를 추출하는 방법을 제안한다. 이는 과도하게 세그멘테이션된 세그먼트들을 Lidar에서 추출된 구조물 영역을 기반으로 하여 merge 과정을 수행함으로써 붕괴된 형태의 구조물 외곽선을 보완할 수 있을 뿐만 아니라 실제 인공 지물에 가까운 형태의 외곽선을 추출하는 방법이다. 이를 위해 광학 영상에서 추출된 세그먼트가 구조물 영역으로의 편입 여부를 판단할 수 있는 기준이 필요한데, 이는 아래



(a)



(b)

그림 2. Coarse building region 추출. (a) Mean-shift 방법에 의한 칼라 세그멘테이션 결과, (b) Lidar data에 의한 구조물 추출 결과
Fig. 2. Fig. 2. Extracting coarse building region. (a) Color segmentation result by Mean-shift method, (b) Building extraction result of Lidar data

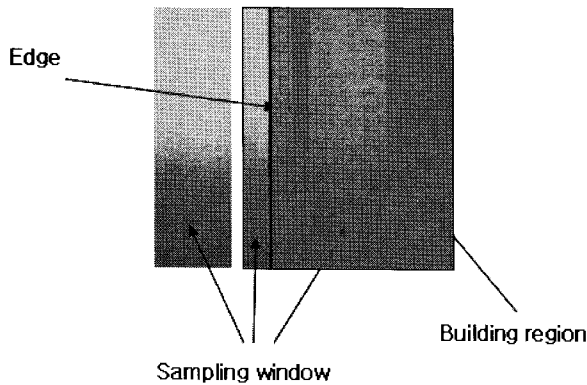


그림 3. 높이 적합성 판별
Fig. 3. Height compatibility

수식 (1)과 같이 Lidar에서 추출된 구조물 영역(그림 2(a))과 광학 영상에서의 각 세그먼트들(그림 2(b))이 일치하는 넓이의 비율로 결정할 수 있다.

$$ratio = \frac{L_a \cap S_a}{S_a}, \quad (1)$$

여기서, L_a 는 Lidar에서 추출한 구조물 영역이고, S_a 는 광학 영상에서 추출한 구조물 세그먼트 영역을 나타낸다. 본 논문에서는 ratio 값이 0.8 이상이면 구조물 세그먼트

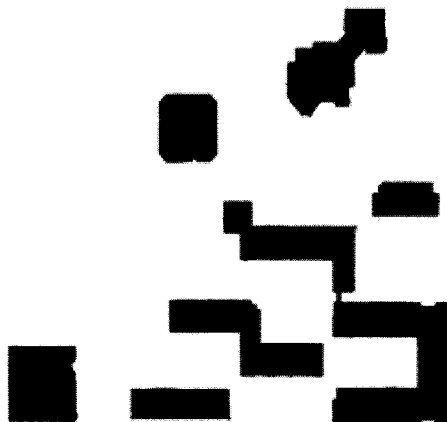
라 판단하고, 이러한 세그먼트들을 merge하여 그림 4(a) 결과를 얻는다.

3. Precise building boundary 추출

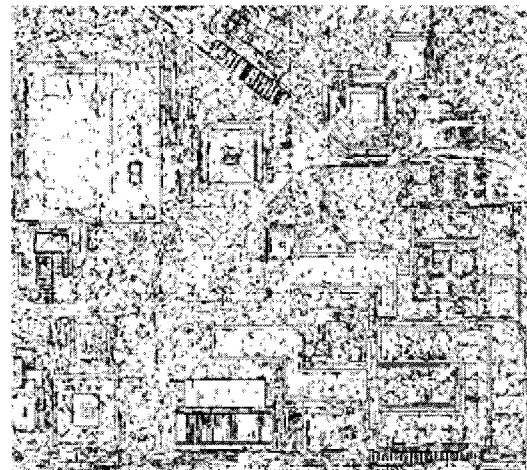
앞서 서술한 coarse building boundary 추출 과정에서 Lidar 구조물 추출 결과에서 잘못 추출된 구조물 영역 또는 구불구불한 구조물 외곽선을 바로잡는 역할을 수행할 수는 있으나, 지각적인 구조물 외곽선을 얻지는 못한다. 본 논문에서는 광학 영상에서 에지를 추출하여 coarse building boundary에 부합하는 에지를 선택하여, 지각적 그룹핑에 의한 후처리를 통해 다면체 형태의 구조물 외곽선 추출 결과를 얻는다.

3.1 Coarse building boundary의 정돈

광학 영상에서의 에지 정보를 활용하기 위해, 전처리 과정 없이 coarse building boundary를 직접적인 입력으로 활용하기 어렵다. 에지 정합 및 인공 지물의 특성을 반영하기 위한 직선 형태의 외곽선 정돈을 위해, 수선의 길이를 이용하여 반복적으로 구조물의 코너점을 추출하는 Douglas Peucker 알고리즘^[9]을 사용하였다.



(a)



(b)

그림 4. Precise building region의 추출. (a) 그림 2로부터 추출된 coarse building region, (b) Nevatia-Babu 에지 검출기에 의한 에지 추출
Fig. 4. Extracting precise building region. (a) Coarse building region extracted from fig. 2, (b) Detecting edges by Navatia-Babu edge detector

3.2 구조물 주변 에지의 탐색

가장 쉽고 간단하게 구조물 외곽선 후보 에지를 제한하는 방법은 Lidar에서 추출한 구조물 외곽선 에지에서 한정된 거리 이내에 존재하는 에지로 한정하는 것이다. 본 연구에서는 homography에 의한 registration 오차(최대 약 20 화소)를 감안하여 coarse building boundary에서 구조물 외곽선 양쪽 방향으로 거리값이 20 화소 이내인 에지를 구조물 외곽선 후보 에지로 사용하였다.

3.3 높이 적합성

Lidar 데이터의 고도 정보의 활용은 구조물 외곽선 후보 에지를 추출의 신뢰성을 크게 높여 줄 수 있다. 구조물 외곽선 에지의 가장 주요한 특징이 외곽선을 경계로 양방향의 고도값이 크게 달라지기 때문이다. 본 논문에서는 이러한 특징을 구체화하기 위해, 광학 영상 에지를 중심으로 한 양쪽 방향의 샘플 윈도우 내의 고도 평균을 이용하였다. Homography로 인한 레지스트레이션 에러가 발생할 수 있으므로 이를 감안하여, 에지로부터 10-20 화소 거리만큼 떨어진 영역의 평균을 계산하여 그 평균의 차이가 임계값보다 큰 에지를 구조물 후보 에지로 선택하였다. 다시 말해, 중심 에지로부터 일정 거리 떨어진 샘플 윈도우 영역내의 고도 평균값의 차이를 구조물 후보 에지 선택의 기준으로 활용하였다. 여기서 임계값으로는 건물의 최소 높이값인 7m를 사용하였다.

3.4 구조물 특징 에지의 정합

하나의 직선라인으로 이루어진 실제 구조물 외곽선에 대응하는 추출된 구조물 외곽선 후보 에지는 하나 또는 여러 개가 존재한다. 따라서 구조물 외곽선 후보 에지 및 coarse building boundary 의 score 함수에 의한 1:1 정합 과정을 통해 좀 더 정밀하고 신뢰성 있는 구조물 외곽선을 묘사할 수 있다. 이러한 정합 과정을 수행하기 위해 에지의 유사성

을 이용하는데, 실제로 하나의 직선 형태인 Lidar 구조물 외곽선에 대응하는 0개 ~여러 개의 광학 영상으로 추출된 구조물 외곽선 후보 에지가 존재할 수 있다. 두 개 이상의 구조물 외곽선 후보 에지가 존재할 경우, 후보 에지 중 Lidar 구조물 외곽선과 가장 유사한 에지를 선택할 필요가 있다. 마찬가지로, 한 개의 구조물 외곽선 후보 에지가 존재 하더라도 최소한의 정해진 유사도 이상이어야 Lidar 구조물 외곽선에 대응하는 에지라고 추정할 수 있다. 이러한 유사도를 측정하는 기준으로는 길이, 거리, 각도 등이 있을 수 있다. 구체적으로 서술하면, 하나의 Lidar 구조물 외곽선에 대응하는 광학 영상 에지를 추정하기 위해서는 에지의 유사성에 대한 여러 가지 특성을 이용할 수 있다. 첫째로 생각할 수 있는 유사성 척도는 길이의 비로서 대응하는 에지들의 오버랩 되는 정도를 나타낸다. 둘째는 에지의 방향성으로서 오버랩 되었을 때의 각도의 차이를 측정한다. 이러한 방향성은 실제 에지의 유사성을 판단하는 가장 큰 척도가 될 수 있다. 셋째는 에지 사이의 거리로서 본 논문에서는 아래 수식 (2)와 같이 정의한다.

$$E_d = ((\sum_i^n d_{1i}) / n + (\sum_j^m d_{2j}) / m) / 2, \quad (2)$$

여기서, E_d 는 에지 사이의 거리를 나타내고, 수식 (2)의 첫 번째 열에서 d_{1i} 는 한 에지(l_1)와 다른 에지(l_2)위에 있는 화소 좌표값(i)들의 유클리디언 거리를 나타낸다. n , m 은 한쪽 에지 위(l_1 , l_2)의 화소 좌표들의 개수를 나타낸다. 두 가지 형태로 정의될 수 있는 거리를 감안하여, E_d 는 양쪽 에지 사이의 정의된 거리의 평균값을 나타낸다. 또한, homography에 의한 레지스트레이션 에러를 감안하더라도 레지스트레이션된 두 데이터에서 적어도 일정 거리 이내에는 대응하는 에지가 존재하여야 한다. 이들 세 가지 유사성 척도를 이용하여 추정한 함수는 아래 수식

$$Score = w_1 \frac{Length1}{Length2} + w_2 \frac{(15 - angle)}{15} + w_3 \frac{(20 - E_d)}{20} \quad (Length2 \geq Length1).$$

$$E_d = ((\sum_i^n d_{1i}) / n + (\sum_j^m d_{2j}) / m) / 2, \quad (3)$$

(3)과 같다.

수식 (3)에서 첫 번째 열은 Lidar의 구조물 외곽선과 광학 영상 구조물 외곽선 후보 에지의 길이의 비로서, 둘 중의 길이가 큰 값을 분모로 둔다. 따라서 유사할수록 1에 가깝게 되고 비의 차이가 클수록 0에 수렴한다. 두 번째 열은 각도의 비 즉 방향성의 유사도를 나타낸다. 각도의 차이가 15도 이상 벗어나면 후보에서 제외한다. 마찬가지로 각도가 유사하면 1에 수렴하게 되고 달라지면 0에 가까워진다. 세 번째 열은 에지 평균 거리가 20 화소 거리 이내에 존재하는 광학 영상의 에지들을 구조물 외곽선 후보 에지로 제한하고 거리가 작을수록, 즉 가까울수록 1에 수렴하고 멀수록 0에 가까워진다. 본 논문에서는 각각의 가중치 (weight)로 각도의 비는 2, 나머지는 1씩 할당하였다. 실제로 구조물 형태를 결정짓는 가장 큰 요소가 에지의 방향성이기 때문이다.

3.5 지각적 에지 그룹핑을 이용한 다면체의 구성

선행 과정의 결과만으로는 완전한 구조물의 외곽선이라고 할 수 없다. 구조물은 닫힌 형태의 다면체로 이루어진 구조물이기 때문에 어떠한 형태의 지각적 정보를 사용하는냐에 따라 구조물의 형태가 달라질 수 있다. 따라서 1:1로 대응된 광학 영상에서 추출된 에지들의 끝점을 연결하여 닫힌 형태의 다면체 형태로 만드는 과정이 필요하다. 하지만 단순한 끝점 연결보다는 구조물 외곽선의 지각적인 정보를 이용하여 보완하는 방법으로 정확성을 높일 수 있다. 본 논문에서는 두 모서리 에지의 각이 45도보다 클 경우에는 두 에지의 교점을, 45도보다 작을 경우에는 두 에지를 연결해주는 새로운 에지를 추가하는 방법을 제안한다. 45도보다 작을 경우에 두 에지의 교점을 사용하지 않는 이유는 두 에지의 각이 0도에 가까울 경우 교점이 예상치 못한 곳에서 형성되는 것을 막기 위함이다.

III. 실험 결과 및 평가

일반적으로 두 센서의 데이터 융합에서는 두 센서의 레지스트레이션이 되어있는 상태라고 가정한다. 그러나 본

논문은 광학 영상과 Lidar센서의 레지스트레이션이 되어 있지 않다고 가정하였고, 사용 가능한 각 센서의 내/외부 인자가 없다고 가정하였기 때문에, 기존의 방법과는 직접적으로 비교하기 어렵다. 또한 이 논문과 관련된 분야에서는 데이터 취득에 있어서 상당한 경제적인 비용이 소모되기 때문에 데이터 또한 공유되기 어렵다. 따라서 일반적으로 정성적인(qualitative) 성능평가에 의존하는 바가 크다. 본 논문에서는 정량적인(quantitative) 성능 평가를 위해 단일 센서와의 결과를 비교한다. 이를 위해 두 가지 형태의 성능 평가 방법을 사용하였다. 첫 번째는 여러 가지 방법에 의해 추출된 구조물 외곽선 결과와 ground truth의 구조물 외곽선 주변에 20 화소 너비의 버퍼를 사용하여 겹치는 정도를 비율로 나타낸 것이다. 비교 평가를 위해 고해상도 광학 영상으로부터 사람이 직접 구조물 외곽선을 추출한 결과를 ground truth로 적용하였다.

평가 방법에 의한 결과는 표 1과 같다. 표 1에서 Lidar는 Lidar 데이터로부터 구조물 외곽선 추출 결과를, Lidar + Precise building boundary는 Lidar 구조물 외곽선 추출결과를 초기값으로 에지 정합 및 닫힌 형태의 다면체 구성에 의한 결과를 나타내고, Coarse + Precise building boundary는 coarse building boundary와 에지 정합 및 닫힌 형태의 다면체 구성에 의한 결과를 나타낸다. 표 1에서 볼 수 있듯이, 제안한 방법에 의해 약 12-13% 정도의 구조물 외곽선

표 1. 20 화소 버퍼에 의한 제안한 결과 평가
Table 1. Evaluation by 20 pixel buffer

방법	Data set	
	set1	set2
Lidar (%)	82.92	77.52
Lidar + Precise building boundary (%)	88.10	88.87
Coarse +Precise building boundary (%)	95.05	90.74

표 2. Chamfer distance에 의한 결과 평가
Table 2. Evaluation by Chamfer distance

방법	Data set	
	set1	set2
Lidar	5.56(1.07m)	7.46(1.44m)
Lidar + Precise building boundary	4.55(0.88m)	3.24(0.62m)
Coarse + Precise building boundary	2.27(0.44m)	3.54(0.68m)

추출 정확도 향상 결과를 얻었다. 두 번째 정확도 평가 방법으로 Chamfer distance를 사용하였다. Chamfer distance는 두 에지의 거리값을 나타낼 수 있는 방법으로 하나의 에지에 대해 다른 에지 화소들의 최소 거리값의 평균을 유클리디언 거리 값으로 나타낸 것이다. 표 2에서 볼 수 있듯이, 평가 결과에 의한 데이터 단위는 화소 거리를 나타내고, 괄호 안은 해상도에 따른 실제거리를 나타낸다. 마찬가지로 약 3 화소 거리(0.6m)의 구조물 외곽선 정확도 향상 결과를 얻었다. 그림 5는 제안한 방법에 의한 구조물 외곽선 추출 결과를 나타낸다. 그림 5(a)는 세그멘테이션에 의한 coarse building boundary를 바탕으로 에지 정합에 의한 결과를 나타낸다. 그림 5(b)는 에지 정합 결과를 제안한 방법

에 의한 닫힌 형태의 다면체로 구성한 결과를 보여준다. 그림 6은 제안한 방법에 의한 구조물 추출 결과를 기반으로 한 3차원 복원 결과를 나타낸다. 이를 위해, 지면 근사 DEM을 추출하기 위한 수리형태학적인 방법 및 3차원 텍스처 매핑 기법을 사용하였다. 그림에서 볼 수 있듯이, 본문에서 제안한 방법에 의해 보다 실제에 근접한 구조물 외곽선이 추출되었음을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 Lidar와 광학 영상으로부터 복잡한 형태

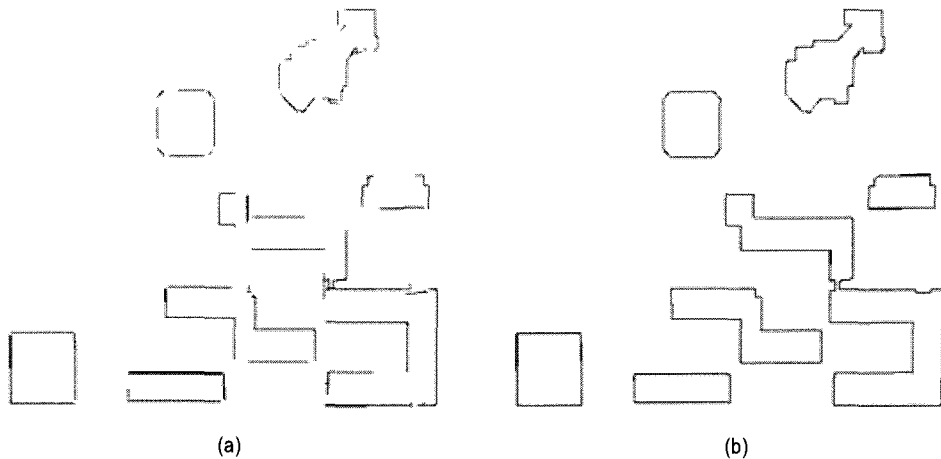


그림 5. Precise building boundaries 추출 결과. (a) 정합된 에지 추출 결과, (b) 닫힌 형태의 다면체 구성
 Table 5. Extracted precise building boundaries. (a) Corresponded edges, (b) constructing closed polygon loop

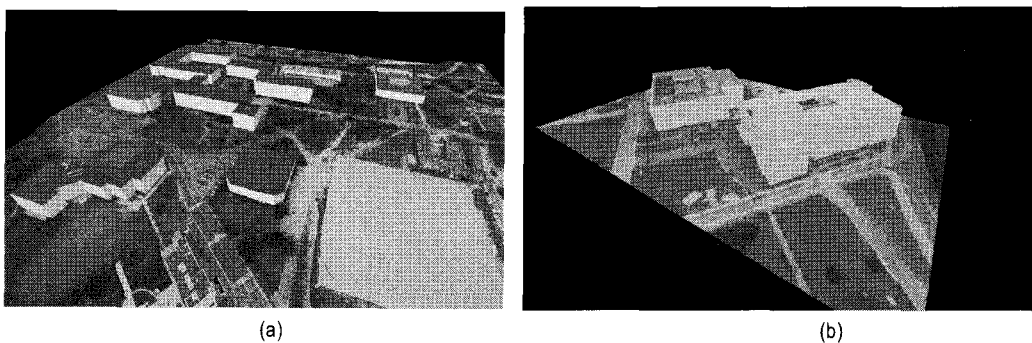


그림 6. 3차원 구조물 복원 결과, (a) set1 데이터 결과, (b) set2 데이터 결과
 Table 6. 3D building reconstruction, (a) the result of set1 data, (b) the result of set2 data

의 구조물을 추출하기 위해 새로운 방법이 제안되었다. 먼저, 정보 융합에 의한 구조물 추출 및 복원을 위해 먼저 각 센서의 장단점을 분석하고, 단일 센서에 의한 구조물 추출 및 복원의 한계점을 파악하고 이를 보완할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 이를 위해, 칼라 정보, 에지, 저 레벨 특성들의 그룹핑 방법 등을 사용하였다. 또한 성능 평가를 위해 버퍼와 Chamfer distance를 이용한 두 가지 방법을 제안하였다. 평가 결과에서 확인할 수 있듯이, Lidar 단일 센서에 의한 결과보다 약 50% 향상된 복원 및 추출 결과를 보였다.

본 논문에서는 광학 영상과 Lidar의 레지스트레이션이 되어 있지 않은 상태라고 가정하고, 내/외부 인자가 주어지지 않았다고 가정한다. 이를 극복하기 위해, 칼라 정보 및 에지 정합 과정을 수행하였다. 또한 에지의 직선성 및 닫힌 형태의 다면체 형태를 고려함으로써, 인공 지물의 특성을 반영하였다.

제안한 방법에서는, 넓은 지역의 데이터가 많은 계산량을 요구하기 때문에, 각 부분의 프로세스가 독립적으로 진행되었다. 그러나 전산 환경의 발전으로 인해, 가까운 미래에서는 좀 더 빠르고 자동화된 처리가 가능할 것으로 기대된다. 또한 이러한 시스템의 발전으로 인해 본 논문은 가상 환경, 3차원 도시 모델링 등 많은 부분에 기여를 할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Vosselman, G., Dijkman, S., "3D building model reconstruction from point clouds and ground plans", International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information SciencesXXXIV, pp. 37-43, 2001
- [2] Rottensteiner, F., Brieese, C., "A new method for building extraction in urban areas from high-resolution Lidardata", International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXIV, pp. 295-301, 2002.
- [3] Kim, Z., and R. Nevatia, "Automatic description of complex building from multiple images", Computer Vision and Image Understanding, vol. 96, pp. 60-95, 2004.
- [4] Sohn, G., and I. Dowman, "Building extraction using Lidar DEMs and IKONOS Images", International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXIV, Part 3/w13, Dresden, Germany, 2003.
- [5] Rottensteiner, F., and et al., "Fusing Airborne Laser Scaanner Data and Aerial Imagery for the Automatic Extraction of Buildings in Densely Built-up Areas", International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXIV, Part B3, pp. 512-517, Istanbul, Turkey, 2004.
- [6] Nevatia, R., and K. R. Babu, "Linear feature extraction and description," Computer Graphics Image Process, Vol. 13, pp. 257-269, 1980.
- [7] Comaniciu, D., and P. Meer, "Mean Shift: A robust approach toward feature space analysis", IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 24, no. 5, pp. 1-18, 2002.
- [8] Hartley, R., and A. Zisserman, Multiple View Geometry in Computer Vision, Cambridge University Press, 2nd edition, pp. 89-92, 2003
- [9] Douglas, D.H., and T.K. Peucker, "Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a line or its caricature", The Canadian Catographer, 10: 112-122, 1973.

저 자 소 개



이 동 혁

- 2001년 : 서울대학교 전기공학부 학사
- 2003년 : 서울대학교 전기-컴퓨터공학부 석사
- 2008년 : 서울대학교 전기-컴퓨터공학부 박사
- 2008년 ~ 현재 : 서울대학교 전기-컴퓨터공학부 박사후 과정
- 주관심분야 : 3차원 구조물 추출 및 복원, 컴퓨터 비전, 영상 처리

 저 자 소 개

**이 경 무**

- 1984년 : 서울대학교 제어계측 공학과 학사
- 1986년 : 서울대학교 제어계측 공학과 석사
- 1993년 : 미국 Univ. of Southern California, 전기공학과 박사
- 1995년 : Automation Research Center, Samsung Co. Ltd.
- 2001년 : 홍익대학교 전기전자 공학과 부교수
- 2003년 ~ 현재 : 서울대학교 전기-컴퓨터 공학부 부교수
- 주관심분야 : 컴퓨터 비전, 물체 인식, 지능형 로봇 비전

**이 상 옥**

- 1973년 : 서울대학교 전기공학부 학사
- 1976년 : 미국 Iowa 주립대 전기공학과 석사
- 1980년 : 미국 Univ. of Southern California, 전기공학과 박사
- 1981년 : General Electric Co. 연구원
- 1983년 : M/A-COM Research Center 선임연구원
- 1983년 ~ 현재 : 서울대학교 전기공학부 정교수
- 주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터 비전