

LIDAR 자료를 이용한 3차원 건물 복원

Three Dimensional Buildings Reconstruction Using LIDAR Data

김성삼¹⁾ · 유복모²⁾ · 유환희³⁾

Kim, Seong Sam · Yeu, Bock Mo · Yoo, Hwan Hee

1) 경상대학교 대학원 도시공학과 박사과정, E-mail : kimss333@netian.com

2) (재)석곡관측과학기술연구원 원장, E-mail : yeubm@sog.or.kr

3) 경상대학교 건설공학부 도시공학전공 교수, E-mail : hhyoo@gsnu.ac.kr

요 지

여러 분야에서 활용성이 증가하고 있는 도시지역에 대한 3차원 모형화 구축은 기존에는 항공사진이나 고해상도 위성영상을 주로 활용하여 왔으나, 최근에는 높은 정밀도를 보장하는 항공LIDAR 측량기법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 다양한 형태, 크기, 종류의 건물들이 존재하는 광범위한 도시지역을 모형화하기 위하여 정밀도가 높은 LIDAR 자료를 통하여 신속하고 정확하게 현실에 가까운 건물 모형으로 복원하는 기술 개발이 요구되고 있다.

본 연구에서는 LIDAR 관측자료 및 디지털 영상, 수치지도 등의 자료를 활용하여 LIDAR 자료의 전처리 과정과 다양한 필터를 적용하여 지면과 비지면 정보를 분류하였으며, LoG 연산자에 의한 건물 경계선 및 특징점 추출기법을 개발하여 도시 지역의 3차원 건물 복원기법을 제안하였다.

1. 서 론

3차원 도시 모형화는 최근 다양한 분야 즉, 도시계획이나 건축 모델링, 환경 모니터링, 가상 현실과 3차원 시뮬레이션, 홍수 시뮬레이션과 같은 재난방재 연구 등 3차원 가상도시 구축에 의한 활용 수요가 증가하면서 활발하게 진행되고 있다. 도시지역의 3차원 모형화는 주로 항공에 의한 항공사진과 수치지형도를 기반으로 구축하여 왔으나, 최근에는 2-3 points/m²의 점밀도를 갖는 항공 LIDAR 시스템에 의한 관측이 수행되면서 정확한 DTM 구축이나 DSM 정보 추출뿐만 아니라 LIDAR의 높이 정보와 다중분광영상, 디지털 항공 영상과 같은 다

양한 자료원과 융합하여 건물을 구축하고자 하는 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.

LIDAR 자료에서 건물을 추출하기 위한 국외 연구로 Wang(1998)은 LIDAR 자료의 노이즈 제거, 래스터 영상화, 경계선 검출, 모멘트 계산, 경계선 분류 과정을 거쳐 건물의 경계선을 검출하였다. Morgan 등(1999)은 LIDAR를 정규 격자화하고 모폴로지 기법을 사용하여 지면과 비지면을 분류한 후, 최소제곱법을 이용한 plane fitting 방법으로 건물과 지붕면을 추출하였다. Maas 등(1999)은 정규격자화에 의한 보간 과정없이 점 영역에서 건물을 복원하는 방법을 제안하였으며, Gelbel 등(2000)은 LIDAR 자료로부터 segmentation과 region growing 기법을 이용하여 건물을 복원하는

기법을 제안하였다. Keqi 등(2005)은 울창한 수목지역, 주거지 지역, 구릉지역을 대상으로 취득한 LIDAR 자료로부터 3가지 필터링 기법을 적용하여 지면과 비지면에 대한 분류 결과를 분석하였다.

국내에서는 김형태(2001)가 LIDAR 와 항공사진을 융합하여 건물 외곽선을 추출하는 연구를 수행하였으며, 좌윤석(2003)은 방대한 LIDAR 자료의 처리속도 향상을 위하여 가상의 격자를 구성하고 점 자료를 격자기반으로 직접 처리하는 기법을 제시하였다.

본 연구에서는 LIDAR 관측자료 및 디지털 영상, 수치지도 등의 자료를 활용하여 LIDAR 자료를 전처리하였으며, 3가지 필터를 적용하여 지면과 비지면 정보를 분류하였다. 또한 Zero-crossing을 특성을 갖는 LoG 연산자를 활용하여 대략적인 건물의 경계선 정보를 추출하였으며 곡률이 큰 모서리부분에서 특징점을 추출하고 정제과정을 통하여 최적의 지붕정보를 추출함으로써 3차원 건물 복원 정확도를 향상시키는 기법을 제시하였다.

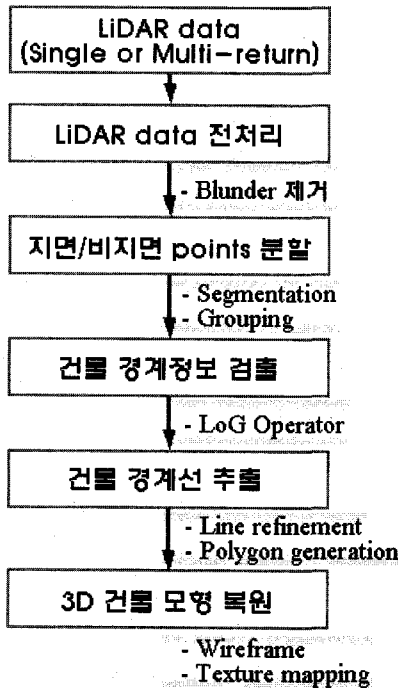


그림 1. 연구의 흐름

2. LIDAR 자료 및 전처리

2.1 LIDAR 자료

LiDAR(Light Detection and Ranging)는 항공기에 탑재된 레이저가 대상물에 반사되어 돌아오는 시간을 이용하여 대상물까지의 거리를 계산하게 되며, 탑재된 GPS(Global Positioning System)와 INS(Inertial Navigation System)의 위치정보와 자세정보를 이용해서 최종적으로 대상물의 3차원 좌표를 계산한다. LIDAR 자료에는 3차원 좌표정보 뿐만 아니라 각각의 포인트에 대한 반사파의 강도를 나타내는 반사강도(Intensity)와 대상물의 매질에 따른 멀티리턴 정보도 함께 포함되어 있다.

2.2 자료의 전처리

LIDAR 자료는 불규칙한 3차원 포인트들의 집합군으로, 사용하는 필터에 따라 수많은 점들로 이루어진 포인트들을 사용하기는 하지만, 영상처리 알고리즘이나 다음 작업과의 연계성을 고려하여 정규격자를 생성하여 처리할 수도 있다. 이 때, 자료를 보간하는 과정에서 원 LIDAR 자료의 손실을 최소화하기 위하여 LIDAR자료의 평균 점밀도를 감안하여 정규격자를 생성해야 한다. 또한, 항공 LIDAR 자료의 취득과정에서 발생할 수 있는 우연오차(blunder)를 제거하는 과정이 필요하며, 대상지역의 평균 표고와 정규격자 간격을 고려하여 탐색영역을 설정 후 주변의 점들과 비교하여 과대하게 높거나 낮은 포인트들을 검색하여 제거한다.

3. 지면 및 비지면 분할을 위한 필터 적용

건물 후보점을 추출하기 위하여 대상지역의 LIDAR 자료에서 지면과 비지면 점들을 분할하는 과정이 필요하다. 기존의 연구에

서는 3차원 좌표정보를 갖고 있는 LIDAR 자료의 기본적인 특성인 높이 정보, 경사, 모폴로지(morphology) 등을 이용한 형태학적인 접근방법으로 연구가 이루어지고 있다. 본 연구에서는 이러한 LIDAR 자료의 기본적인 특성을 이용하여 정동기 등에 의해 앞서 연구된 3가지 필터링 기법을 활용하여 연구를 수행하였다(정동기 등, 2005).

3.1 Elevation Threshold Expanding Window(ETEW) Filter

LiDAR 자료를 처리하기 위해서 여러 가지 필터링 방법이 제안되었다. ETEW 방법은 특정 영역내에 있는 포인트의 높이값 중에서 최소값을 검색하여 그 최소값과 영역내의 포인트의 높이를 비교한 후 그 비교한 값이 특정 임계치보다 클 경우 그 포인트를 비지면점으로 분류하는 방법이다. 본 연구에서는 최초 윈도우 크기를 2×2로 설정하였으며, 윈도우 크기를 증가시키면서 반복적으로 연산을 수행하여 비지면에 대한 점들을 제거하였다.

$$Z_{ij} - Z_{i, \min} > H_{i, T} \quad (1)$$

Z_{ij} = 윈도우 영역내 임의의 점,

$Z_{i, \min}$ = i 번째 윈도우 영역내 최소높이 값

임계값의 크기는 다음 식에 의해서 결정된다.

$$H_{i, T} = sw_i \quad (2)$$

s = 대상지 최대경사, w_i = i 번째 윈도우의 크기

3.2 Maximum Local Slope(MLS) Filter

MLS 필터링은 주변점들의 경사 특성을 이용한 방법으로 특정 영역내의 한 점(X_i, Y_i, Z_i)과 특정 영역내에 있는 점간의 경사(SL)를 구하고, 그 경사 값이 경사 임계치

(Th)보다 클 경우 그 점은 지면점으로 분류하는 방법이다.

$$SL = \frac{\Delta Z}{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}} \quad (3)$$

if($SL_{\max} > Th$) then $P_{ij} \in Non\ ground$

3.3 Progressive Morphological(PM) Filter

대상물의 형태학적 특성을 이용하여 경계 정보를 추출하는 모폴로지 기법은 영상처리 분야에서 다양하게 활용되고 있다. 본 연구에서는 지역 특성에 따라 윈도우 크기를 조절할 수 있는 가변 윈도우와 모폴로지 침식 연산과 팽창연산을 반복적으로 수행하여 1차적인 비지면점을 제거하였다. 1차적인 비지면점 추출자료와 원래 자료와 비교하여 임계값 이상 차이가 날 경우 2차 분류를 수행하여 비지면점을 제거함으로써 정확도 향상을 기하고자 하였다.

4. 건물 추출 및 3차원 복원

4.1 건물 추출

4.1.1 LoG 연산자에 의한 건물경계 검출

건물 경계선 정보를 추출하기 위해 본 연구에서는 LoG연산자를 사용하였다. LoG(Laplacian of Gaussian) 연산자는 가우스 곡선의 x, y 에 대한 2차 미분으로부터 구할 수 있으며, LoG연산자를 이용한 건물 경계선 추출은 Zero-Crossing 추적을 통해 이루어진다.

$$LoG = \frac{x^2 + y^2 - 2\sigma^2}{2\pi\sigma^5} e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

건물의 경계를 식별하기 위하여 Zero-Crossing 추적을 수행하게 되며, LoG 연산자에 의해 생성된 Zero-Crossing을 따라가며 한 수치영상에 생성된 경계선들의

경계선 수, 영상좌표, LoG convolution값의 경사값과 경사방향 등에 대한 정보를 계산한다. 이때 chain code가 이용되는데, 경계선 방향의 정의에 따라 4-connected chain code와 8-connected chain code로 구분된다. 또한 경계선 추적에 의해 생성된 경계선들을 분석하여 경계선의 굴곡이 정의된 허용범위내에 있는 구간은 직선화하여 굴곡점의 수를 줄이고, 굴곡의 변화가 큰 곳을 특징점으로 지정하여 저장하였다.

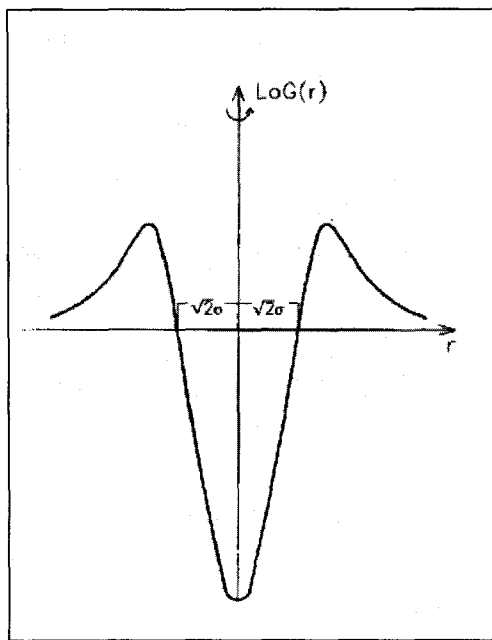
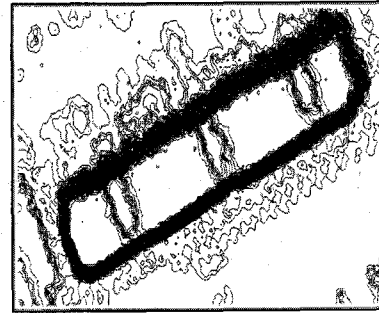
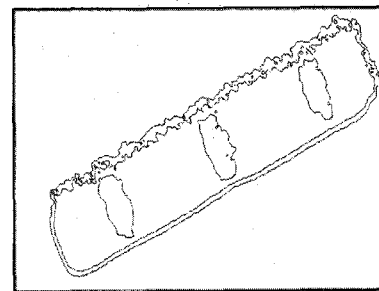


그림 2. LoG 연산자

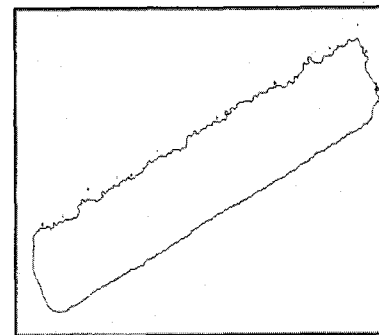
그림 3은 LoG 연산자와 건물의 고도정보를 이용하여 아파트 유형에 대한 경계선을 추출한 결과를 나타내고 있다. 건물의 최대높이와 최소높이를 고려하여 건물 고도 간격이 임계값에 비해 작을수록 각 지면의 저고도의 지물들, 즉, 아파트 주변에 식재된 수목이나 주변의 자동차, 건물 벽면에서 반사된 점 등이 함께 추출되어 경계가 다소 복잡하게 검출되었다(그림 3-a). 이에 비해 고도 간격이 임계값보다 높은 경우에는 실제 건물의 형태에 가까운 경계선 정보를 추출할 수 있다(그림 3-c).



a) $H_{thresh} > \Delta H/50$



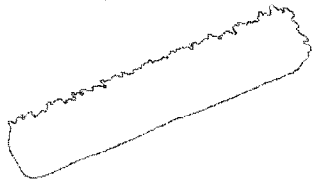
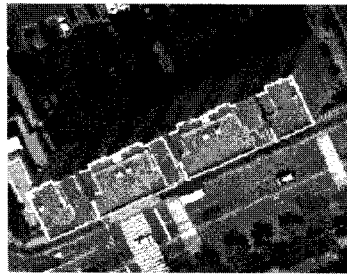
b) $H_{thresh} > \Delta H/3$



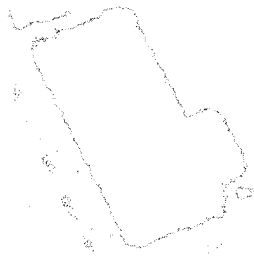
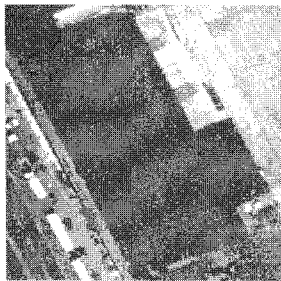
c) $H_{thresh} = \Delta H$

그림 3. 건물 고도를 이용한 경계선 검출

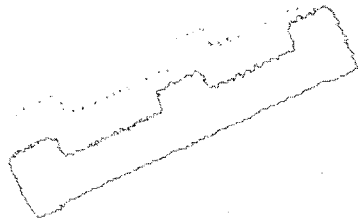
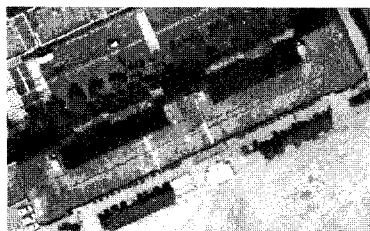
그림 4는 건물 유형별로 LoG를 이용하여 검출된 건물 경계선을 나타내고 있다. LoG 연산자의 Zero-Crossing에 의해 추출된 경계선은 폐합된 폴리곤 형태를 보이며, LoG의 특성상 건물의 모서리 부분에서 곡선 형태로 나타나고 있다.



a) 아파트 유형



b) 박공지붕 유형

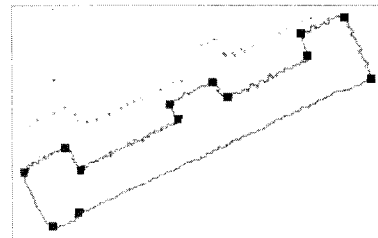


c) 단독건물 유형

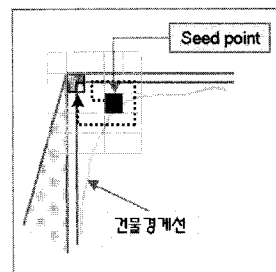
그림 4. 디지털항공영상과 검출된 경계선

4.1.2 건물 특징점 검출 및 경계선 정제

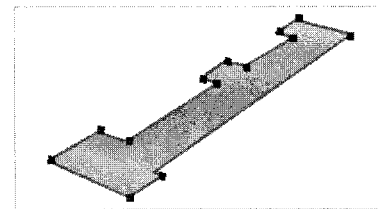
건물 경계선을 추출한 후 LoG 연산자의 Zero-Crossing의 곡률을 계산하여 임계값 이상을 갖는 곡선 지점을 1차 특징점으로 추출하였으며(그림 5-a), 대상 건물의 특징점에 대한 정제는 반자동에 의해 사용자가 대상 건물의 지붕을 선택하고 LoG에 의해 추출된 1차 특징점(seed point)을 기준으로 검출된 건물 지붕의 밝기값을 이용하여 건물 특징점을 추적하였다(그림 5-b). 그림 5-c는 정제된 건물 특징점들을 직선화하여 폐합시킨 지붕 폴리곤 그림을 보여주고 있다.



a) 건물 특징점 추출



b) 건물 특징점 정제기법



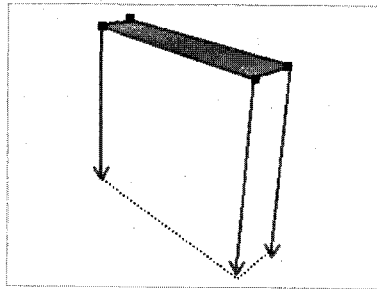
c) 정제된 건물 특징점

그림 5. 건물 경계선 정제 과정

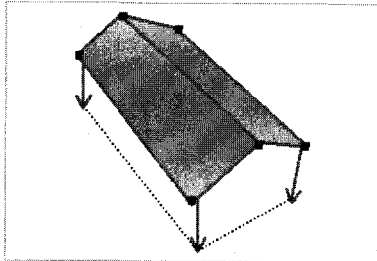
4.2 3차원 건물 복원

본 연구에서의 3차원 건물의 복원은 건물의 지붕 모서리 점을 추출한 후 정제과정

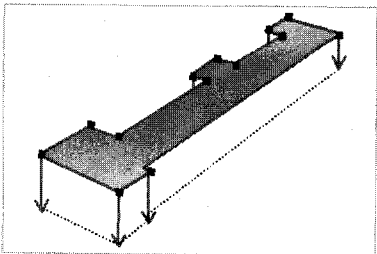
통하여 폐합된 폴리곤을 기반으로 생성하였으며, 이 지붕면과 LIDAR 자료의 높이값(Z) 정보를 이용하여 아파트, 박공지붕, 단독 건물을 대상으로 3차원 건물 모형을 수행하였다(그림 6).



a) 아파트 유형



b) 박공지붕 유형



c) 단독건물 유형

그림 6. 3차원 건물 복원

5. 결 론

최근 정밀한 항공 LIDAR 측량 기술을 활용하여 3차원 도시 모형을 위한 정확한 DTM이나 DSM 추출, 3차원 건물 복원에 관한 연구가 국내외적으로 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 LIDAR의 point 자료 및 디지털 영상, 수치지도 등의 자료를 활용하여 LIDAR 자료의 전처리 과정과 높이 정

보를 이용하는 ETEW, 주변의 최대경사를 이용하는 MLS, 모폴로지(morphology)기법에 의한 PM 필터를 적용하여 지면과 비지면 정보를 분류하였다. 또한 Zero-crossing의 특성을 갖는 LoG 연산자를 활용하여 대략적인 건물의 경계선 정보를 추출하였으며 곡률이 큰 모서리부분에서 특징점을 추출하고 정제과정을 통하여 최적의 지붕정보를 추출함으로써 3차원 건물 복원 정확도를 향상시키는 기법을 제시하였다.

참고문헌

1. 김형태 (2001) GIS 건물레이어 자동구축을 위한 LIDAR 데이터와 항공사진의 융합, 박사학위논문, 서울대학교.
2. 정동기, 김성삼, 김원석, 유환희 (2005) LIDAR 자료로부터 건물 추출 및 3차원 복원, 2005 한국측량학회 춘계학술발표회 논문집.
3. 좌윤석 (2003) 항공레이저 스캐닝 데이터를 이용한 건물 자동추출에 관한 연구, 석사학위논문, 인하대학교.
4. Mass, H. G. and Vosselman, G.(1999) Two algorithms for extracting building models from raw laser altimetry data, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 54, pp. 153-165.
5. Morgan M. and Tempeli K. (2000). Automatic Building Extraction from Airborne Laser Scanning Data. *Proceeding of the 19th ISPRS Congress*, Book 3B, pages: 616-623, Amsterdam.
6. Wang, Z.(1998) Extracting building information from LIDAR data, *ISPRS Commission III Symposium on Object Recognition and Scene classification from Multi-Spectral and Multi-Sensor Pixels*, Columbus, Ohio.