

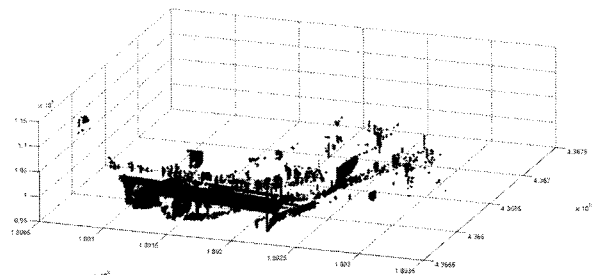
## 지상라이다 데이터를 이용한 건물 윤곽선 자동 추출 알고리즘 연구

노이주\*, 김남운\*, 정희석\*, 정종연\*\*, 강동욱\*, 정경훈\*, 김기두\*  
 국민대학교 전자공학부\*, (주)이오시스템\*\*

### Automatic Searching Algorithm of Building Boundary from Terrestrial LIDAR Data

Yi-Ju Roh\*, Nam-Woon Kim\*, Hee-Seok Jeong\*, Joong-Yeon Jeong\*\*, Dong-Wook Kang\*, Kyung-Hoon Jeong\*, and Ki-Doo Kim\*  
 Dept. Electronics Engineering, Kookmin university\*, EO System Company Ltd.\*\*

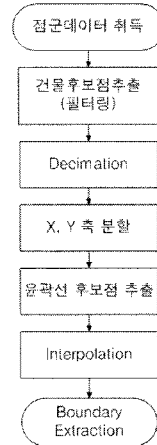
**Abstract** - 지상라이다는 고정도의 3차원 영상을 제공하고 레이저 빔을 현상이나 대상물에 발사하여 짧은 시간에 수백만점의 3차원 좌표를 기록할 수 있는 최신 측량장비로서 다양한 응용분야에서 두각을 나타내고 있다. 본 연구에서는 지상라이다를 이용한 건축물의 3차원 자동 윤곽선 추출을 다룬다. 지상라이다는 건축물의 3차원 윤곽선을 신속하게 추출할 수 있지만 지상기반 시스템이므로 여러 가지 장애물 때문에 건축물의 하단부에서는 추출이 쉽지 않다. 기존 항공라이다를 이용한 알고리즘에서는 사진의 색상차나 모폴로지 특성에 의존하여 범위를 제한하고, 이를 기반으로 윤곽선을 추출하였다. 하지만 지상라이다의 경우 항공라이다에 비해 분해능이 월등히 높다. 또한, 지상라이다는 지상에서 측정하기 때문에 항공라이다에서 어려운 건축물의 측면이나 정면도 윤곽선 추출이 가능하기 때문에 본 논문에서는 사진을 이용하지 않고 전처리를 하지 않은 데이터를 직접 이용하여 건축물의 정면 윤곽선을 추출하는 것을 제안한다. 건물의 크기와 데이터 수 즉, 라이다로 측정된 포인트 수를 고려한 효율적인 Decimation 방법을 제안하고 또한, Decimation된 데이터에서 지역적으로 제일 큰 값과 작은 값을 찾아낸다. 그 중 많이 벗어난 점을 편차를 이용하여 제거한다. 이렇게 찾아낸 건축물의 외곽점들을 이어 만든 윤곽선을 최종적으로 보간하여 좀 더 현실과 가까운 윤곽선 추출 방법을 제안한다.



<그림 2> 대상 건축물의 지상라이다 데이터

## 1. 서론

3차원 정보 취득의 수요가 급격히 증가함에 따라 3차원 레이저 스캐닝 센서 기술이 최근 급격히 발달하였다. 그로 인해 과거에 비해 실제 공간상에 존재하는 다양한 물체의 기하학적 정보를 쉽게 취득할 수 있다. 그 중 지상라이다(Terrestrial LIDAR)는 고정도의 3차원 영상정보를 제공하고 레이저 빔을 현상이나 대상물에 발사하여 짧은 시간에 수백만점의 3차원 좌표를 기록할 수 있는 최신 측량장비로서 다양한 응용분야에서 두각을 나타내고 있다. 이렇게 레이저 스캐닝은 매우 정확한 3차원 영상정보를 제공하며, 작업 절차는 많은 점군데이터를 시각화하여 처리함으로써 실제와 같은 세계를 쉽게 구현할 수 있게 된다. 하지만 지상라이다의 경우 지상기반 시스템이기 때문에 고층 건물을 스캐닝하는 경우 낮은 건축물의 지붕, 나무, 전봇대 등과 같은 방해물 때문에 많은 데이터의 손실이 생기고 이에 따라 원하는 건축물의 데이터가 아닌 다른 주변 방해물의 데이터가 들어오기 때문에 방해물이 많은 건축물 하단부에서는 건축물의 윤곽선을 추출하기가 쉽지 않았다. 또한, 점군데이터를 시각화하여 처리하는데 있어 현재 대부분이 수작업으로 이루어진다. 따라서 수작업을 대체하기 위한 수단으로 윤곽선을 자동으로 추출하는 신뢰성 있는 알고리즘에 대한 연구가 꼭 필요하다.

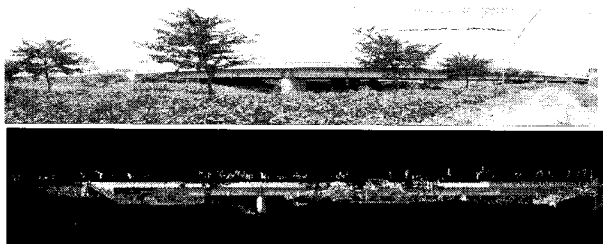


<그림 3> 윤곽선 추출 과정

## 2. 건물의 윤곽선 추출

### 2.1 윤곽선 추출과정

본 논문에서 사용한 대상 건축물의 파노라마 사진과 라이다 측정 데이터가 <그림 1>에 나타나 있으며 지상라이다 데이터는 항공라이다에서보다 훨씬 높은 약 30pt/m<sup>2</sup>의 해상도를 가진다. <그림 2>에서와 같은 색상값을 고려하지 않은 지상라이다로부터 취득한 점군데이터를 이용하여 <그림 3>과 같은 과정을 거쳐서 윤곽선을 추출해 낸다.



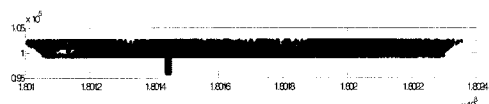
<그림 1> 대상 건축물 파노라마 사진(상)과 지상라이다 데이터(하)

### 2.2 건물 후보점 추출

본 연구에서는 항공라이다보다 분해능이 월등히 높은 지상라이다를 이용하므로 특별히 전처리를 하지 않고 지상라이다에서 데이터를 취득한 직후 건물 후보점을 추출하기 위해 필터링을 한다.

기존의 항공라이다를 이용한 연구에서는 지면점과 비지면점을 분리하기 위해서 높이차를 이용한 방법, 경사를 이용한 방법, 모폴로지 특성을 이용한 방법을 사용해 왔다. 이 중 라이다 자료 자체만을 이용할 경우 가장 구분을 할 수 있는 큰 특성은 점간의 높이차라 할 수 있다. 또한, 지상라이다의 특성상 건물과 수목의 형태가 둘 다 뚜렷하기 때문에 모폴로지 특성을 이용한 필터링도 적용하기 어렵다. 그래서 본 연구에서는 라이다 데이터는 특성상 거리정보를 가지고 있기 때문에 항공라이다에서 높이차를 이용하는 방법을 레이저 스캐너에서 물체까지의 거리에 적용하여 원하지 않는 데이터를 최대한 제거하는 데에 이용한다.

<그림 4>는 <그림 2>의 점군데이터에서 RGB 색상값을 고려하지 않고 거리차를 통하여 나무와 같은 원하지 않는 데이터를 제거한 후 정면의 윤곽선을 추출하기 위하여 2차원으로 변경한 그림이다.



<그림 4> 필터링 후의 2차원 점군데이터

### 2.3 Data Decimation

지상라이다는 항공라이다에 비하여 좁은 범위를 측정하기 때문에 필터링을 통해 원하지 않는 계층을 제거한 뒤에도 너무 많은 데이터를 가지고 있게 된다. 그래서 데이터를 감소시키면서도 윤곽선을 효율적으로 찾아낼 수 있는 그런 방법이 필요하다. 표 1은 현재 사용되고 있는 몇 가지 종류의 레이저 스캐너의 성능을 비교해 놓은 것이다.

〈표 1〉 각 레이저 스캐너의 정밀도 성능비교

장비명	Leica ScanStation	Trimble GX 3D	Riegl LMS-2390 (and Z210)	Oplech IURIS-3D
정밀도	Position: 6 mm @ 50m Distance: 4 mm @ 50m Angle(Horizontal/Vertical): 60μrad / 60μrad	Position: 6 mm @ 50m Distance: 3.5 mm @ 50m Angle(Horizontal/Vertical): 60μrad / 70μrad	LMS-2390 Position: 6mm@50m Angular resolution: 0.001deg (Vertical / Horizontal scan) LMS-Z210 Position: 15mm@50m Angular resolution: 0.005deg (Vertical / Horizontal scan)	Raw Position: 8 mm @ 100m Raw Range: 7 mm @ 100m Beam divergence: 0.09974 deg
레이저 Spot size	0~50m@4mm	50m@3mm Autofocus: 5m@0.3mm 15m@0.9mm 25m@1.5mm	30m@5mm	100m@7mm
레이저 측정거리	300m 이상 (90% 반사도) 134m (18% 반사도)	360m	LMS-2390 300m (80% 반사도) 100m (10% 반사도) LMS-Z210: 950m (80% 반사도) 200m (10% 반사도)	1500 m (80% 반사도) 250 m (4% 반사도)

〈표 1〉에서 레이저 스캐너에서부터 측정 물체까지의 거리, 레이저 스캐너의 측정 분해능(Angular Resolution), 반사율, 최대오차허용범위 등을 알 수 있다. 이 항목들은 데이터를 레시메이션하는데 꼭 고려되어야만 한다. 고려 사항 중 첫 번째 레이저 스캐너에서부터 측정 물체까지의 거리는 측정 데이터를 통해, 레이저 스캐너의 측정 분해능은 초기 설정을 통해 알 수 있으며, 최대오차 측정범위는 대안지적공사를 통해 가능한 최대 오차는 60mm로 알 수 있었다. 이를 통해 다음과 같은 식을 제안한다.

$$\frac{e \times r}{d \times \tan \theta} \geq \text{Decimation할 데이터의 갯수}$$

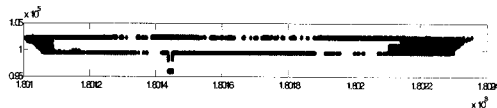
$e$ : error(최대오차허용범위)  
 $d$ : distance(Laser Scanner에서 Object까지의 거리)  
 $r$ : reflection(Object의 반사율)

위의 식에 따라 본 논문에서 라이다 총 데이터 중 두 점 중에 한 점만을 이용하여 윤곽선을 추출하였다.

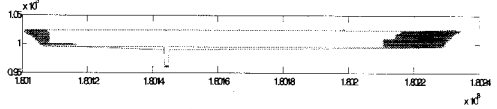
### 2.4 윤곽선 후보점 추출

이전의 항공라이다에서는 수동센서 즉 카메라의 영상이나 모폴로지 특성을 이용하여 윤곽선의 후보점들을 추출했지만 본 논문에서는 수동센서를 사용하지 않고 또한 전처리도 하지 않기 때문에 윤곽선을 추출하기 때문에 윤곽선의 후보점을 추출하는 것이 중요하다. 그래서 본 논문에서는 여러 가지 물체를 측정할 라이다 데이터를 이용하여 실험하였고, 본 논문에서 사용한 대상 건축물 데이터의 경우 다리기둥과 같이 아주 협소한 지점이 존재하기 때문에 이를 고려한 후보점 추출 작업이 필요하다.

그래서 본 연구에서는  $x, z$ 축에 대한 일정 범위를 정한 후 분할해서 최대 점과 최소점을 추출하는 방법을 고려한다. 일정 범위를 정하는 기준은 건축물의 최소길이를 고려하며 이는 절대좌표를 이용한다. 〈그림 2〉의 테스트 데이터에서 최소 선 길이는 절대좌표로 1.4m정도이므로 그 이내의 값으로 전체 데이터를 분할한다. 그 뒤 분할 데이터 분포도를 통해 최대 오차값과 총 데이터수를 고려한 범위를 결정해서 윤곽선 후보군을 찾는다. 〈그림 5〉는 〈그림 4〉의 데이터에서 윤곽선을 후보점들을 추출한 것이고 〈그림 6〉은 이를 선으로 연결하여 윤곽선을 그린 것이다.



〈그림 5〉 윤곽선 후보점군



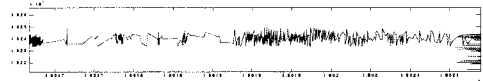
〈그림 6〉 윤곽선 후보선

하지만 〈그림 1〉에서 보느냐와 같이 건축물이 다리이기 때문에 좌우 외곽 부분이 땅과 붙어있어 좌우 부분의 윤곽선은 명확히 구분할 수 없게 되었다.

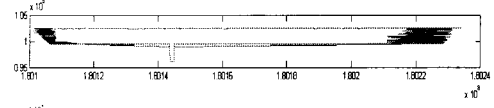
### 2.5 윤곽선 보간 및 최종 윤곽선 추출

좀 더 현실적인 윤곽선 추출을 위하여 반복되는 선분을 제거하고 일단

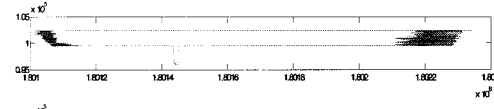
평균값을 이용하여 보간한다. 그 후 더글라스-페커 알고리즘을 응용하여 최종 보간을 한다. 처음 점과 끝점을 이어 선을 긋고 여기서 6cm 이상 벗어난 점은 유효한 점이라 판단한다. 여기서 그냥 선을 이으면 convex hull 형태의 윤곽선이 그려져 튀어나온 부분의 데이터를 추출하기가 어려워진다. 이를 방지하기 위하여 추출한 유효한 점 전후의 데이터까지 유효한 데이터로 판단하도록 한다.



〈그림 7〉 상단부분 확대시킨 그림 6의 윤곽선



〈그림 8〉 평균값을 이용하여 보간한 후의 윤곽선



〈그림 9〉 최종 보간된 건축물의 윤곽선

## 3. 결 론

본 논문에서는 지상라이다의 높은 정밀도를 이용하여 기존 항공라이다에서 사용하던 알고리즘과는 다르게 전처리를 하지 않고 순수 라이다 데이터만을 이용한 방법으로 윤곽선을 자동으로 추출하는 방법을 제안하였다. 높은 점 데이터로 인한 시스템의 부하를 줄이기 위한 레시메이션의 한계를 설정하였고, 대상 건축물의 모양에 따른 여러 가지 실험결과를 토대로 데이터의 분산을 이용하여 윤곽선 후보점을 추출하는 방법과 더글라스-페커 알고리즘을 응용하여 실제와 가까운 윤곽선을 추출하는 것을 제안하였다. 최종 실험 결과를 통해 이 알고리즘을 통해 구현된 윤곽선은 오차의 최대 범위인 6cm 안에 들어온다는 것을 알 수 있다. 이 알고리즘을 통해 오차 범위를 벗어나지 않는 윤곽선을 실제 건물 형태와 비슷하게 어느 정도까지 자동으로 찾아낼 수 있었다. 하지만 2.4절에서 언급한 것과 같이 필터링 방법을 이용하여 구분하지 못하는 다리와 땅의 경계점 부분은 명확한 구분이 어렵다. 추후에 이런 제약적인 부분을 보완하는 필터링에 관한 연구와 건축물 내부 윤곽선의 추출을 통한 3D 모델링 방법의 연구를 통해 관련 소프트웨어에 응용할 수 있는 신뢰성 있는 알고리즘을 연구할 계획이다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업-지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(과제번호07국토정보CO2-2-2-03)에 의해 수행되었습니다.

## 참고 문헌

- [1] 이인수, "지상라이다를 이용한 건축물의 3차원 경계 추출", The Journal of GIS Association of Korea, Vol.15, No.1, pp53~65, 2007.
- [2] 이동혁, 이경무, 이상숙, "Extracting Reliable Building Boundary from Laser Scanning Data", 2008년 제 20회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 논문집, 2008.
- [3] 조우석, 이영진, 좌윤석, "항공사진과 항공레이저 데이터를 이용한 건물 자동 추출", Korean Journal of Remote Sensing, Vol.19, No.4, pp.307~317, 2003.
- [4] 사심평, 이명평, 최윤수, 오의중, "지상라이다와 디지털사진측량용 통합 건축물의 3차원 정밀모델링" 한국지적학회 추계학술대회 논문집, pp. 207~210, 2003.
- [5] A. Abdul-Rahman, M.Pilouk, "Spartial Data Modeling for 3D GIS" Springer, 2007.
- [6] Vivek Verma, Rakesh Kumar, Stephen Hsu, "3D Building Detection and Modeling from Aerial LIDAR Data", Proceedings of the 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'06), pp.2213~2200, 2006.
- [7] Peter Axelsson, "Processing of laser scanner data--algorithms and applications", ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54. pp. 138~147, 1999