

논문 2009-46IE-1-2

# 지상라이다 데이터를 이용한 구조물 윤곽선 자동 추출 알고리즘 연구

(An Automatic Extraction Algorithm of Structure Boundary from  
Terrestrial LIDAR Data)

노 이 주\*, 김 남 운\*, 윤 기 방\*\*\*, 정 경 훈\*\*, 강 동 욱\*\*, 김 기 두\*\*

(Yi-Ju Roh, Nam-Woon Kim, Kee-Bang Yun, Kyeong-Hoon Jung,  
Dong-Wook Kang, and Ki-Doo Kim)

## 요 약

본 논문에서는 지상라이다를 이용한 구조물의 자동 윤곽선 추출을 다룬다. 본 논문에서는 사진을 이용하지 않고 전처리를 하지 않은 데이터를 직접 이용하여 구조물의 정면 윤곽선을 추출하는 것을 제안한다. 또한, 구조물의 크기와 데이터 수 즉, 라이다로 측정된 포인트 수를 고려한 효율적인 데시메이션 방법을 제안하였다. 이렇게 데시메이션된 데이터에서 라이다 데이터의 주요 특성중 하나인 거리정보를 이용하여, 구조물과 구조물이 아닌 점으로 구별해낸다. 그 후, 분산을 이용해 지역적으로 절대 좌표값이 큰 값과 작은 값을 찾아내고, 이를 윤곽선 후보 점으로 한다. 이렇게 찾아낸 구조물 윤곽선의 후보점들을 이어 윤곽선으로 만들고 최종적으로 정리하여 좀 더 현실에 가까운 윤곽선을 자동으로 추출하는 방법을 제안한다.

## Abstract

In this paper, automatic structure boundary extraction is proposed using terrestrial LIDAR (Light Detection And Ranging) in 3-dimensional data. This paper describes an algorithm which does not use pictures and pre-processing. In this algorithm, an efficient decimation method is proposed, considering the size of object, the amount of LIDAR data, etc. From these decimated data, object points and non-object points are distinguished using distance information which is a major features of LIDAR. After that, large and small values are extracted using local variations, which can be candidate for boundary. Finally, a boundary line is drawn based on the boundary point candidates. In this way, the approximate boundary of the object is extracted.

**Keywords :** Laser scanning, Terrestrial LiDAR, Boundary extraction, Airborne laser scanner, 3D Cloud points

## I. 서 론

### 1. 연구배경 및 목적

\* 학생회원, \*\* 정회원, 국민대학교 전자공학부  
(School of Electronics Eng. Kookmin University)

\*\*\* 정회원, 인천시립전문대학 디지털정보전자과  
(Department of Electronics Eng., Incheon City  
College)

※ 본 연구는 국민대학교 2008년 교내 연구비와 국토  
해양부 첨단도시기술개발사업-지능형국토정보기술  
혁신사업과제의 연구비지원(과제번호07국토정보C02  
-2-03)에 의해 수행되었음.

접수일자: 2009년1월6일, 수정완료일: 2009년3월6일

3차원 정보 취득의 수요가 급격히 증가함에 따라 3차원 레이저 스캐닝 센서 기술이 최근 급격히 발달하였다. 그 중 지상라이다(Terrestrial LIDAR)는 고밀도의 3차원 영상정보를 제공하고 레이저 빔을 현장이나 대상물에 발사하여 짧은 시간에 수백만점의 3차원 좌표를 기록할 수 있는 최신 측량장비로서 다양한 응용분야에서 두각을 나타내고 있다. 하지만 지상라이다의 경우 지상기반 시스템이기 때문에 고층 건물을 스캐닝하는 경우 낮은 구조물의 지붕, 나무, 전봇대 등과 같은 방해물 때문에 많은 데이터의 손실이 생기고 이에 따라 원하는 구조물의 데이터가 아닌 다른 주변 방해물의 데이

터가 들어오기 때문에 구조물의 윤곽선을 추출하기가 쉽지 않다. 또, 중대형 토목/건축 구조물 및 지적/GIS 대상체의 특성상, 취득된 거대용량의 측량 데이터는 시스템에 많은 부하를 준다. 그래서 시스템에 미치는 부하를 최소화하기 위한 적절한 방법이 필요하다. 또한, 지상라이다는 측량도중 유효한 측정 점뿐만 아니라, 레이저의 난반사, 측정 장치 자체 진동 또는 주변의 진동 등으로 인해 많은 노이즈를 발생시킨다. 이 같은 노이즈를 적절히 제거해야 원활한 후속작업을 수행할 수 있다. 현재 일반적으로 3차원 위치정보의 획득은 수동으로 이루어지며, 시간과 비용이 매우 많이 소요되는 작업이다. 따라서 수작업을 대체하기 위한 수단으로 윤곽선을 자동으로 추출하는 신뢰성 있는 알고리즘에 대한 연구가 반드시 필요하다.

LiDAR는 센서로부터 목표물까지 거리를 측정하는 원리로, 이미 지난 1960년대부터 사용되고 있는 광파거리 측정(Electromagnetic Distance Measurements: EDM)을 위한 다양한 측량기기에 사용된 원리와 동일하다. 이를 이용하여 물체(Object)의 좌표(x, y, z)를 점 데이터로 기록하고, 목표물에 반사되는 레이저 광선의 반사 강도(Intensity)도 함께 기록된다. 또한, 레이저 스캐너에는 카메라가 내장되어 있거나, 외장으로 장착이 가능하여 이를 이용해 사진 측량도 가능하고 이를 3차원 데이터와 매핑시켜 R, G, B 값도 기록한다. 표 1은 LiDAR 장비를 통해 추출한 점군데이터의 예이다.

표 1. LiDAR 장비를 통해 추출한 점군데이터의 예  
Table 1. Example of cloud point data from LiDAR.

X	Y	Z	Intensity	R	G	B
180144804	436574130	95958	111	141	133	113
180145216	436574688	95958	117	118	123	94
180145918	436575620	95958	28	100	101	78
180146306	436576147	95958	107	81	83	71
180141117	436577500	95960	52	73	75	47
180141848	436575466	95961	70	129	132	113
180144332	436573790	95961	75	213	196	161
180145183	436574646	95961	117	118	123	92
180146451	436580712	95961	35	47	54	40
180144371	436573791	95962	58	136	117	92

※ X, Y, Z는 절대 좌표 값으로 mm 단위이며, Intensity와 R,G,B값은 0 ~ 255사이의 값이다.

2. 연구동향 및 기존 연구들과의 차이점

3D 모델링에 관한 연구는 이전부터 활발히 이루어져 왔지만 대부분의 연구가 항공 라이다와 영상을 이용하여 모델링하는데에 치우쳐 있으며 지상 라이다를 이용

한 연구는 많지 않다. 사십평(2003)은 지상 라이다와 일반 디지털 사진기로 촬영한 사진을 이용하여 건축물을 정밀 모델링하는 시스템을 제안하였으며 성능을 평가하였다<sup>[1]</sup>. 이인수(2007)는 지상 라이다를 이용한 건축물의 3차원 경계를 수동적으로 추출하였으며 라이다 장비 이전에 측량에서 주로 사용하던 토탈스테이션(Total Station)과의 측량 정밀도 및 처리 시간을 비교하였다<sup>[2]</sup>. 지상 라이다는 항공 라이다와 다르게 아주 높은 정밀도(최소 2000배 이상)를 가지고 있기 때문에 점 간 분해능이 매우 좋다. 또한, 특성상 항공 라이다는 넓은 범위의 측량이 가능하지만 정밀한 측량이 어려운 반면, 지상 라이다는 지상에서 측량하기 때문에 정밀한 측량이 가능하지만 아주 좁은 범위의 측량만이 가능하다. 그림 1과 2는 각각 지상 라이다 측량 시스템과 항공 라이다 측량 시스템을 나타낸다. 항공 라이다에서 흐릿하게 보이거나 작은 데이터일지라도 지상 라이다에서는 무시할 수 없는 큰 데이터일 확률이 높다. 따라서 항공 라이다를 이용한 기존의 연구에서 사용한 알고리즘들을 쉽게 적용하기 어렵고, 불가능한 경우가 많다.

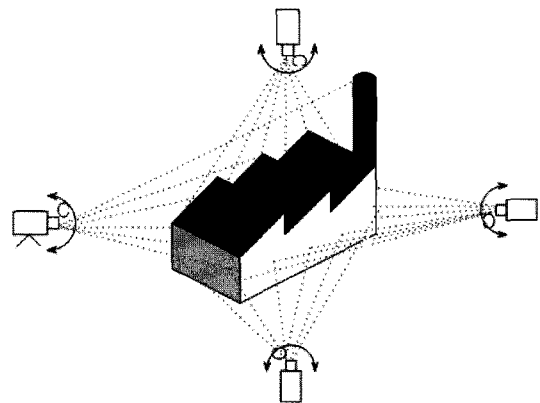


그림 1. 지상 라이다 시스템  
Fig. 1. Terrestrial LIDAR system.

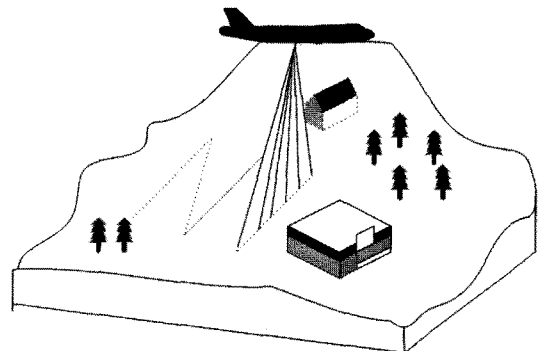


그림 2. 항공라이다 시스템  
Fig. 2. Air-borne LIDAR system.

본 논문에서는 점군데이터 데시메이션 기법과 변형된 Douglas-Peucker 알고리즘을 이용한 윤곽선 추출법을 제안한다.

## II. 윤곽선 추출 알고리즘

### 1. 윤곽선 추출과정

본 논문에서는 다음과 같은 과정을 거쳐서 구조물의 윤곽선을 추출한다. 첫 번째로 라이다 장비를 이용하여 점군데이터를 취득하고 두 번째로 구조물 후보점을 추출한다. 세 번째로 이 구조물 후보점 데이터를 줄이기 위하여 데시메이션을 하고, 네 번째로 윤곽선 후보점을 추출한다. 추출한 윤곽선 후보점을 이용하여 윤곽선을 그리고 정리하면 최종 윤곽선을 추출할 수 있게 된다.

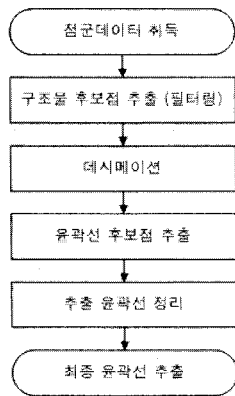


그림 3. 윤곽선 추출 과정  
Fig. 3. Boundary extraction process.

### 2. 구조물 후보점 추출

최근 불규칙적인 분포를 갖는 라이다 자료로부터 효율적으로 지형정보와 식목, 구조물 등 지물정보를 추출하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 그 중 필터링은 라이다 자료의 특성을 이용하여 자료를 세그멘테이션 하거나, 필요한 자료를 추출해내는 과정이다. 라이다 자료는 3차원 점 데이터이기 때문에 주위의 자료들과 높이, 경사 등의 특성을 이용하여 필요한 자료를 추출해 낸다. 본 논문에서 고려하는 지상 라이다의 경우 항공 라이다와는 다르게 한 구조물, 또는 일정지역을 집중적으로 찍기 때문에 항공라이다에서 사용되었던 필터링 기법들을 적용하기가 어렵다. 본 논문에서는 사용한 다리 자료의 경우 높이가 나무데이터에 비하여 높지 않고 나무가 구조물에 비해 가까이 있어서 윤곽선도 뚜렷하기 때문에 앞에서 언급한 주위 점과의 경사적인 특성

을 이용하는 방법이나 자료의 형태학적 특성을 이용하는 방법으로 침식과 팽창을 통해서 지면점을 제거하는 방법을 적용해도 좋은 성능을 기대하기 어렵다. 또한, 앞에서 얘기한 것과 같이 수목의 높이가 구조물의 높이보다 높기 때문에 높이 정보나 경사정보를 이용한 필터링도 어렵다<sup>[3]</sup>. 그래서 본 논문에서는 높이가 아닌 거리값과 밀도 값을 이용한 필터링을 수행한다. 라이다 데이터에서 일반적으로 주변에 비해 구조물의 포인트 밀도가 높은 부분을 구조물후보 부분이라 할 수 있으며, 분포도에서 분포가 높은 군을 구조물 후보군으로 택한다. 또한, Local Maxima Filter를 바탕으로 이를 응용하여 평균값을 기준으로 좌우 일정 범위내의 포인트를 유

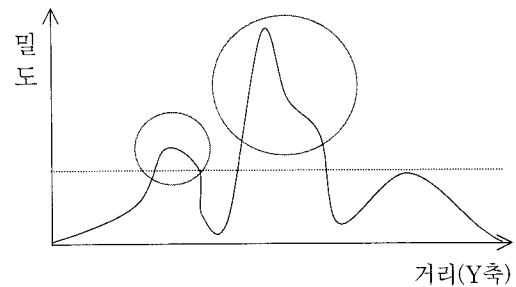


그림 4. 분포값 이용한 구조물 후보점 판단  
Fig. 4. Determination of structure candidates using a distribution value.

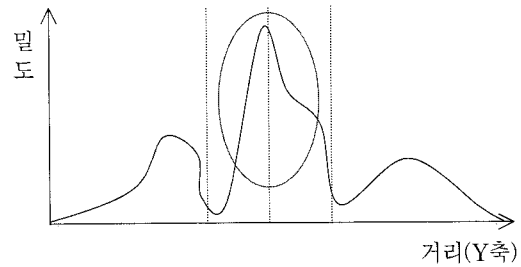


그림 5. 평균값을 이용한 구조물 후보점 판단  
Fig. 5. Determination of structure candidates using a average value.

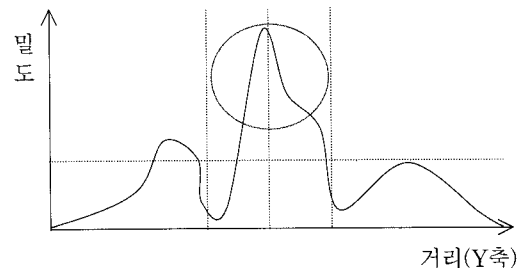


그림 6. 평균값과 분포값을 함께 이용한 후보점 판단  
Fig. 6. Determination of structure candidates using both a average value and distribution value.

효하다고 보고 이 두 가지 조건을 모두 만족하는 부분을 구조물 후보점으로 판단한다. 그림 4는 점 밀도에 기반하여 구조물 후보점을 판단한 것이고, 그림 5는 거리의 평균값을 이용한 필터링, 그림 6은 두 가지 경우를 동시에 이용하는 방법을 보인 그림이다.

3. Data Decimation

더욱 정밀한 3D 모델링의 필요성이 증대함에 따라 높은 정밀도를 가진 지상라이다의 필요성이 커지고 있다. 지상라이다는 항공라이다에 비하여 좁은 범위를 측정하기 때문에 필터링을 통해 원하지 않은 데이터를 제거한 뒤에도 너무 많은 데이터를 가지고 있게 된다. 그래서 데이터를 감소시키면서도 윤곽선을 효율적으로 찾아낼 수 있는 방법이 필요하다. 그 예로 지상라이다를 이용한 연구에서는 아파트 8개동을 측정하는 경우 총 39,897,570개의 데이터를 취득하였다<sup>[2]</sup>. 이는 높은 정밀

도를 가진 지상라이다 데이터의 특성 때문이며, 이를 처리하려면 시스템에 많은 부하가 가해진다. 따라서 본 논문에서는 데이터를 감소시키면서도 오차 범위를 벗어나지 않는 Decimation 방법을 제안한다. 표 2는 일반적인 지상라이다 데이터[표 5]와 항공라이다 데이터<sup>[4]</sup>의 특성을 정리한 것이며, 표 3은 현재 상용화되어 현장에서 사용하고 있는 몇 가지 종류의 레이저 스캐너의 성능을 비교해 놓은 것이다.

표 3에서 현재 사용되고 있는 레이저 스캐너들의 정밀도에 관한 성능을 알 수 있다. 레이저 스캐너에서부터 측정 물체까지의 거리, 레이저 스캐너의 측정 분해능(Angular Resolution), 반사율, 최대오차허용범위 등을 알 수 있는데, 이 항목들은 반드시 고려되어야만 하고, 데이터를 데시메이션하는데 이용하였다. 고려사항 중 첫 번째 레이저 스캐너에서부터 측정 물체까지의 거리는 측정 데이터를 통해, 레이저 스캐너의 측정 분해능은 초기 설정을 통해 알 수 있다. 한편 대한지적공사를 통해 최대오차 허용범위는 6cm로 알 수 있었다. 이를 통해 다음과 같은 식을 제안한다.

표 2. 지상라이다 데이터와 항공라이다 데이터의 비교

Table 2. Comparison between terrestrial LIDAR and air-borne LIDAR.

	지상라이다	항공라이다
정밀도	> 2500pt/m <sup>2</sup>	10pt/m <sup>2</sup>
분해능	좋다	나쁘다
측량범위	좁다	넓다

표 3. 각 레이저 스캐너의 정밀도 성능비교

Table 3. Precision performance comparison of several laser scanner.

	Leica ScanStation	Trimble GX 3D	Riegl LMS-Z390 (and Z210i)	Optech ILRIS-3D
정밀도	Position: 6mm@50m Distance: 4mm@50m Angle (Horizontal/Vertical): 60urad/60urad	Position: 6mm@50m Distance: 3.5mm@50m Angle (Horizontal/Vertical): 60urad/70urad	LMS-Z390 Position: 6mm@50m Angle (Horizontal/Vertical): 0.001deg /0.001deg LMS-Z210i Position: 15mm@50m Angle (Horizontal/Vertical): 0.005deg /0.005deg	Raw Position: 8mm@100m Raw Range: 7mm@100m Beam Divergence 0.00974 deg
레이저 측정 거리	300m 이상 (90% 반사도) 134m (18% 반사도)	350m	LMS-Z390 300m (80% 반사도) 100m (10% 반사도) LMS-Z210i 650m (80% 반사도) 200m (10% 반사도)	1500m (80% 반사도) 350m (4% 반사도)

$$Decimation Rate = 1/floor \left[ \frac{e \times r}{d \times \tan\theta} \right] \quad (1)$$

e: 최대 오차허용범위(6cm)

d: Laser Scanner에서 물체까지의 거리

r: 물체의 반사율

식 (1)에서  $d \times \tan\theta$ 는 점간 거리를 나타내며, 최대 오차 허용범위 안에서 점간 거리와 반사율을 고려하여 데시메이션 율을 결정한다.

4. 윤곽선 후보점 추출

이전의 항공라이다에서는 수동 센서 즉 카메라의 영상이나 모폴로지 특성을 이용하여 윤곽선의 후보점들을 추출했지만 본 논문에서는 수동센서를 이용하지 않고 또한 전처리도 하지 않은 상태에서 윤곽선을 추출하기 때문에 윤곽선의 후보점을 추출하는 것이 중요하다. 그래서 본 논문에서는 여러 가지 물체를 측정된 라이다 데이터를 이용하여 실험하였고, 대상 구조물 데이터의 경우 다리 기둥과 같이 아주 협소한 지점이 존재하기 때문에 이를 고려한 후보점 추출 작업이 필요하다. 윤곽선 후보점을 추출하기 위하여 x, z축에 대한 일정 범위를 정한 후 분할해서 최대점군과 최소점군을 정밀도

를 통해 추출하는 방법을 고려한다. 일정 범위를 정하는 기준은 구조물의 최소길이를 고려하며 절대좌표를 이용한다. 구조물의 최소 길이 이내의 값으로 전체 데이터가 속해있는 구간을 분할한다. 이렇게 분할한 각 구간에서 최대 오차범위내의 구간을 윤곽선 후보점으로 추출해 낸다.

5. 윤곽선 보간 및 최종 윤곽선 추출

외관점 즉 윤곽선 후보점을 찾아낸 후 그 점들을 바탕으로 윤곽선을 그리게 된다. 하지만 이렇게 찾아낸 윤곽점을 이어 선을 그릴 경우 매우 많은 선을 가지게 될 뿐 아니라 복잡하여 실제의 구조물 윤곽선과는 다르게 된다. 그래서 본 논문에서는 윤곽선 후보점을 이어 만든 윤곽선을 이동-평균값을 이용한 정리와 변형된 Douglas-Peucker 알고리즘을 이용하여 정리하는 방법을 제안한다. Douglas-Peucker 알고리즘은 선을 구성하고 있는 전체 점들을 동시에 고려하는 전역적 단순화 기법으로서 단순화 정도를 결정하는 최소기준치의 임계값을 설정하여 필요 없는 점들을 제거하는 방식을 사용한다. 선분의 양 끝점을 연결한 직선에 대해서 그 사이에 존재하는 점들이 직선에 내린 수선의 길이를 측정하여 길이가 가장 긴 점을 구한다. 그리고 그 수선의 길이가 임계치보다 크면 그 점을 다시 새로운 끝점 가운데 하나로 설정하여 위와 같은 과정을 반복하는 방법으로 임계치보다 큰 수선을 갖는 점들을 선택하여 선을 단순화시킨다. 그림 7은 Douglas-Peucker 알고리즘을 그림으로 설명한 것이다.

그러나 윤곽선 후보점을 찾아내고 Douglas-Peucker 알고리즘을 바로 적용하게 되면 구조물이 급격히 꺾이는 지점에서 그림 8(a)나 (b)처럼 볼록 도형(convex hull)의 형태가 만들어 질 수 있다. 실제로 조사한 3,000개의 구조물의 코너각들 중 약 89%가 90도 였고, 나머지 11%가 45도 또는 135도의 각을 가지고 있었다<sup>[4~5]</sup>.

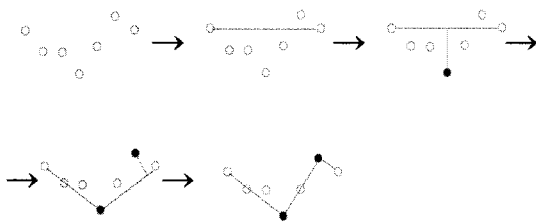


그림 7. Douglas-Peucker 알고리즘  
Fig. 7. Douglas-Peucker algorithm.

그렇기 때문에 볼록 도형의 형태로 구조물의 윤곽선을 추출하게 되면 급격히 변화하는(본 논문에서는 구조물의 기둥같은) 부분은 윤곽선을 명확하게 추출하기가 어렵게 된다. 그림 8(c)와 같은 원하는 구조물의 형태로 윤곽선을 만들어야만 최종 윤곽선에 근접한 윤곽선 추출이 가능하다. 그래서 볼록 도형의 모양이 되는 것을 방지하기 위하여 Douglas-Peucker 알고리즘을 그림 10과 같이 변형시켜 윤곽선을 정리하는 데 이용한다. 첫 단계에서는 Douglas-Peucker 알고리즘과 동일하게 좌표값이 가장 큰 값을 가지는 점과 작은 값을 가지는 점을 잇는다. 두 번째 단계에서는 작은 점에서 큰 점으로 가면서 이 선과의 수선의 길이를 측정하고, 이 길이가 임계값을 넘어갈 경우 그 점과 앞과 뒤의 점까지 총 세

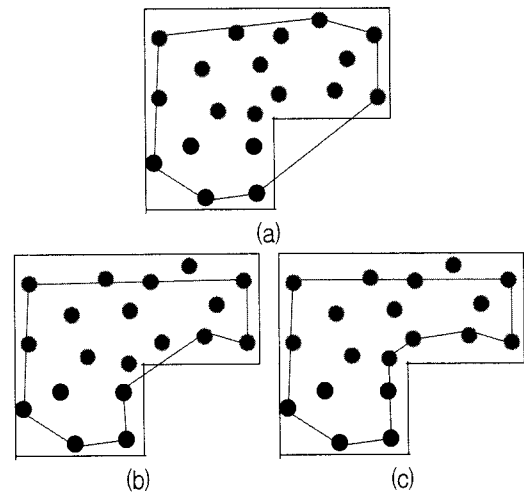


그림 8. 윤곽선 후보점 추출  
(a) 볼록 도형 (b) 더글라스-페커 알고리즘 사용시 윤곽선의 형태 (c) 변형된 더글라스-페커 알고리즘 사용시 윤곽선의 형태  
Fig. 8. Extraction of boundary candidates.  
(a) Convex hull. (b) Boundary form under Douglas-Peucker algorithm. (c) Boundary form under modified Douglas-Peucker algorithm.

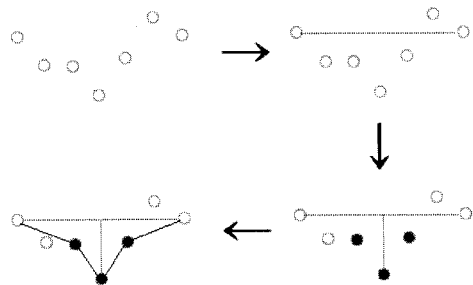


그림 9. 변형된 Douglas-Peucker 알고리즘  
Fig. 9. Modified Douglas-Peucker algorithm.

개의 점을 유효한 점으로 판단한다. 마지막 단계에서는 유효한 점이 발견되었을 경우 그 점과 가장 큰 점을 잇고 유효한 점부터 큰 점으로 가면서 앞의 과정을 반복한다. 이 알고리즘을 사용할 경우 급격히 변화하는 구간에서도 볼록 도형의 형태가 생성되지 않을 뿐 아니라 유효한 점이 발견된 경우에도 다시 처음부터 측정하지 않아도 되므로 계산량이 일반 Douglas-Peucker 알고리즘에 비해 감소하게 된다.

### III. 구조물 윤곽선 추출 실험 결과

#### 1. 데이터의 취득

본 논문에서 사용된 라이다 데이터의 사양은 표 5와 같다.

표 5. 취득한 LIDAR 데이터 사양  
Table 5. Specification of LIDAR data.

항 목	내 용
점 개수(Number of Points)	182,242pts
점밀도(Density)	약 2500pt/m <sup>2</sup>
점 사이 간격(Point Spacing)	0.02m
평균 거리(Average of Y)	19.76512m



그림 10. 대상 구조물 파노라마 사진(상)  
지상라이다 데이터(하)

Fig. 10. A test structure panorama picture(up)  
terrestrial LiDAR data of the object(down).

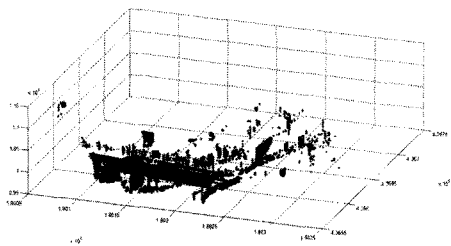


그림 11. 색상값(RGB)이 제거된 대상 구조물의 지상라이다 데이터

Fig. 11. Terrestrial LiDAR data of the structure without RGB value.

본 논문에서 사용한 대상 구조물의 파노라마 사진과 라이다 측정 데이터가 그림 10에 나타나 있으며, 지상라이다 데이터는 항공라이다에서보다 훨씬 높은 약 2500pt/m<sup>2</sup>의 해상도를 가진다. 그림 11에서와 같은 색상값을 고려하지 않은 지상라이다로부터 취득한 점군 데이터를 이용하여 윤곽선을 추출해 낸다.

#### 2. 구조물 후보점 추출

항공라이다보다 분해능이 월등히 높은 지상라이다를 이용하므로 특별히 전처리를 하지 않고 지상라이다에서 데이터를 취득한 직후 구조물 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 구분할 수 있는 큰 특성은 점간의 높이차라 할 수 있다. 또한, 지상라이다의 특성상 구조물과 수목의 형태가 둘 다 뚜렷하기 때문에 모폴로지 특성을 이용한 필터링도 적용하기 어렵다. 그래서 지상라이다를 이용하는 본 연구에서도 라이다 데이터 특성 중 가장 뚜렷하게 구분할 수 있는 것은 거리정보라고 할 수 있다. 그렇기 때문에 항공라이다에서 높이차를 이용하는 방법을 레이저 스캐너에서 물체까지의 거리에 적용하고 또한 점 밀도를 이용한 필터링도 같이 적용하여 원하지 않는 데이터를 최대한 제거시킨다.

그림 12는 그림 11의 데이터를 II장 2절에서 설명한 점밀도와 평균값을 이용한 필터링을 통해 나무와 같이 원하지 않는 데이터를 제거한 후 정면의 윤곽선을 추출하기 위하여 2차원으로 변경한 데이터이다.

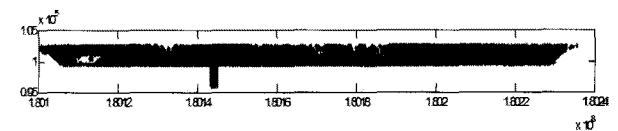


그림 12. 필터링 후의 2차원 점군데이터  
Fig. 12. 2-dimensional cloud point data after filtering.

#### 3. Decimation

II장 3절에서 설명한 바와 같이 지상라이다의 데이터에 대하여 유효한 범위내에서 데이터를 감소시키는 것이 중요하다. 그래서 본 논문에서는 식 (1)에 근거하여 데이터를 두 포인트마다 한 개씩 Decimation을 수행

하였고, 필터링 후 총 라이다 데이터 97,354개 중 48,677개의 데이터만을 이용하여 윤곽선을 추출하였다.

4. 윤곽선 후보점 추출

그림 12의 테스트 데이터에서 구조물의 최소 길이는 절대좌표를 통해 알 수 있다. 구조물의 최소 길이는 1.4m 정도이므로 1m의 값으로 전체 데이터를 분할하였다. 분할한 구간의 점 분포도를 통해 최대 오차 허용 범위내에 속하는 데이터만을 추출하게 되면 상위 2%, 하위 2%의 데이터가 최대 오차 허용범위인 6cm내에 존재한다. 그래서 최종적으로 x좌표 기준으로 분할하였을 경우 z좌표 값이 상위 2%, 하위2%인 점들, z좌표 기준으로 분할하였을 경우 x좌표 기준으로 상위 2%, 하위 2%의 구간을 윤곽선 후보점으로 판단한다. 그림 13은 그림 12의 데이터에서 위의 규칙에 따라 윤곽선 후보점들을 추출한 것이다.

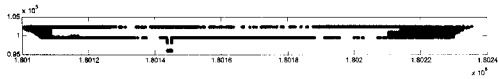


그림 13. 윤곽선 후보점군  
Fig. 13. Candidate cloud points of boundary.

5. 윤곽선 보간 및 최종 윤곽선 추출

3.4절에서 추출한 윤곽선 후보점들을 이용하여 윤곽선을 추출하고 정리하여 최종 윤곽선을 찾는다. 불규칙한 라이다 데이터 들로 인하여 윤곽선 후보점들을 이어도 겹치는 부분이 존재하지 않기 때문에 윤곽선 후보점들을 상단부와 하단부는 x축 좌표순으로, 좌 우 윤곽선은 z축 좌표순으로 이어 초기 윤곽선을 추출한다. 이 초기 윤곽선을 이동-평균값(moving average)을 이용하여 윤곽선의 데이터를 감소시키고 정리한다. 이 과정을 통해 벡터량을 약간 감소시키고 이후의 과정에서의 계산량을 감소시킬 수 있다. 마지막으로 좀 더 현실적인 윤곽선 추출을 위하여 반복되는 선분을 제거하고 일단 평균값을 이용하여 정리한다. 그 다음 2.5절에서 제안한 변형된 Douglas-Peucker 알고리즘을 이용하여 최종 정리를 한다. 처음 점과 끝점을 이어 선을 긋고 각 점에서 선까지의 수선의 길이가 임계값이상 넘어가는 점을 유효한 점으로 판단한다. 여기서 임계값은 대한지적공사 지적연구원을 통해 확인한 지적도의 최대오차범위인 6cm로 한다. 여기서 바로 선을 이으면 불룩도형 형태의 윤곽선이 그려져 구조물의 작게 튀어나온 부분

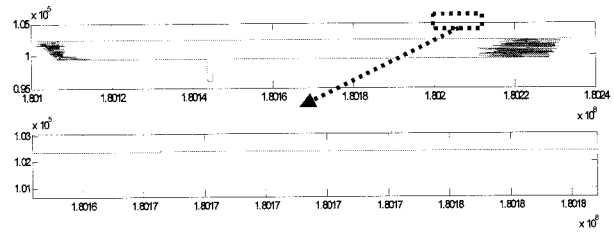


그림 14. 윤곽선 후보점들로 만든 윤곽선  
Fig. 14. Boundary by connecting candidate points of boundary.

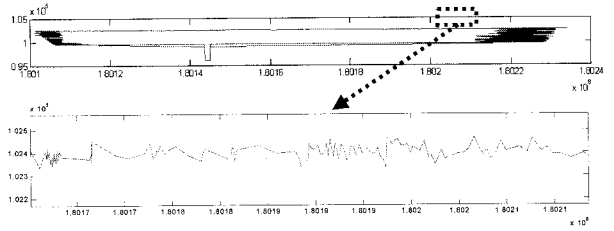


그림 15. 평균값을 이용하여 정리한 후의 윤곽선  
Fig. 15. Boundary after moving-average filtering.

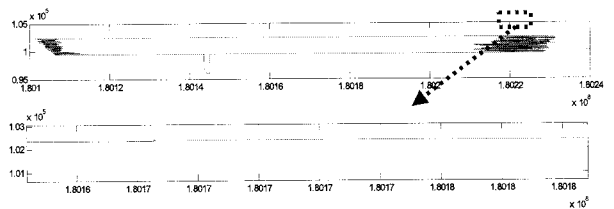


그림 16. 최종 정리된 구조물의 윤곽선  
Fig. 16. Final structure boundary after using modified Douglas-Peucker algorithm.

이 무시될 수도 있으므로 이를 방지하기 위하여 추출한 유효한 점 전후의 데이터까지 유효한 데이터로 판단하도록 한다. 그림 14는 윤곽선 후보점들을 이어 만든 윤곽선이고, 그림 15는 그림 14의 윤곽선을 3점 이동 평균값(3-point moving average)을 이용하여 윤곽선의 데이터를 감소시키고 정리한 것이다. 그림 16은 최종적으로 변형된 Douglas-Peucker 알고리즘을 적용하여 정리한 것이다. 확대된 부분들을 확인하면 윤곽선이 점점 실제 구조물과 가깝게 정리된다는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 I장에서 설명한 것과 같은 지상라이다의 특징을 이용하여 기존 항공라이다에서 사용하던 알고리즘과는 다르게 사진과 같은 영상을 전혀 사용하지 않고 순수 라이다 데이터만을 이용한 방법으로 최소한의 과정으로 효율적이고 자동으로 윤곽선을 자동으로

추출하는 방법을 제안하였다. 또한, 중대형 토목/건축 구조물 및 지적/GIS 대상체의 특성상, 취득된 거대용량의 측량 데이터는 시스템에 많은 부하를 준다. 따라서 시스템에 미치는 부하를 최소화하기 위해 데이터를 감소시키는 데시메이션 방법과 점 밀도를 이용하여 윤곽선 후보점을 추출하는 방법을 제안하였다. 이 윤곽선 후보점들로 구성된 선은 많은 벡터량을 가지게 되는데 그렇기 때문에 최종적으로 윤곽선을 현실과 가깝게 만들기 위하여 정리하는 방법이 필요하다. 그래서 패턴 인식이나 컴퓨터 비전 분야에서 많은 벡터량을 가지고 있는 다각형을 단순하게 만드는데 많이 사용하는 Douglas-Peucker 알고리즘을 고려하였으나 Douglas-Peucker 알고리즘을 사용할 경우 많은 경우 블록도형 형태를 만들어 내기 때문에 실제 구조물의 윤곽선과는 크게 오차가 날 수 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 변형된 Douglas-Peucker 알고리즘을 제안하였다. 결과적으로, 3.5절에서 볼 수 있는 최종 실험 결과를 통해서 이 알고리즘을 통해 찾아낸 윤곽선은 오차의 최대 범위가 6cm 안에 들어온다는 것을 알 수 있다. 지상라이다의 높은 해상도 때문에 굳이 복잡한 과정을 거치지 않더라도 오차 범위내의 윤곽선을 자동으로 찾아낼 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] 사심평, 이임평, 최윤수, 오의중, "지상라이다와 디지털사진측량을 융합한 건축물의 3차원 정밀모델링," 한국지적학회 추계학술대회 논문집, pp. 207~210, 2003.
- [2] 이인수, "지상라이다를 이용한 건축물의 3차원 경계 추출," The Journal of GIS Association of Korea, Vol.15, No.1, pp53~65, 2007.
- [3] 김성삼, 유복모, 유환희, "LiDAR 자료를 이용한 3차원 건물 복원," 2005 GIS/RS 공동 춘계 학술대회, pp. 281~286, 2005.
- [4] 이동혁, 이경무, 이상욱, "Extracting Reliable Building Boundary from Laser Scanning Data," 2008년 제 20회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 논문집, 2008.
- [5] 이동혁, 이경무, 이상욱, "광학 영상과 LiDAR의 정보 융합에 의한 신뢰성 있는 구조물 검출," 방송공학회논문지, 2008년 제13권 제2호, pp. 236~244, 2008.
- [6] 이영진, "LiDAR 데이터와 항공사진을 이용한 건물의 자동추출에 관한 연구," 석사학위논문, 인하대학교 대학원 지리정보공학과, 2003.
- [7] 박지혜, "LiDAR 데이터와 수치지도를 융합한 건물의 자동 모델링," 석사학위논문, 서울 시립대학교 대학원 지적정보학과, 2005.
- [8] 조우석, 이영진, 좌윤석, "항공사진과 항공레이저 데이터를 이용한 건물 자동 추출," Korean Journal of Remote Sensing, Vol.19, No.4, pp. 307~317, 2003.
- [9] 황철수, "Douglas-Peucker 단순화 알고리즘 개선에 관한 연구," 한국측지학회지, 제 17권 제 2호, pp.117~128, 1999.
- [10] Claus Brenner and Norbert Haala, "Fast Production of Virtual City Models," ISPRS Commission IV Symposium on GIS - Between Visions and Applications, Stuttgart, Germany, Vol 32/4. 1998.
- [11] Franz Rottensteiner, "Automatic Generation of high quality Building Models from Lidar Data," 3D Reconstruction and visualization, IEEE Computer Graphics and Applications, pp 42~50. November/December 2003.
- [12] A. Abdul-Rahman and M. Pilouk, "Spartial Data Modeling for 3D GIS," Springer, 2007.
- [13] Vivek Verma, Rakesh Kumar and 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.
- [14] Peter Axelsson, "Processing of laser scanner data--algorithms and applications," ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54. pp. 138~147, 1999.
- [15] Maas, H. G. and Vosselman, G., "Two Algorithms for Extracting Building models from raw altimetry data," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol 54, No 2-3, pp 153~163. 1999.



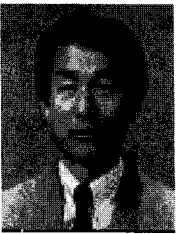
저 자 소 개



노 이 주(학생회원)  
2007년 2월 국민대학교  
전자공학과 학사 졸업.  
2009년 2월 국민대학교  
전자공학과 석사 졸업.  
<주관심분야 : 디지털통신, 디지털  
신호처리>



김 남 운(학생회원)  
2008년 2월 국민대학교  
전자공학과 학사 졸업.  
2008년 3월~현재 국민대학교  
전자공학과 석사 과정.  
<주관심분야 : 디지털통신, 디지  
털 신호처리>



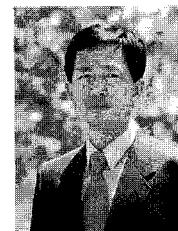
윤 기 방(평생회원)  
시립 인천전문대학 디지털 정보  
전자과 교수  
대한전자공학회 논문지  
제39권 TE편 4호 참조



정 경 훈(정회원)  
1987년 2월 서울대학교  
전자공학과 졸업  
1989년 2월 서울대학교  
전자공학과 석사  
1996년 2월 서울대학교  
전자공학과 박사  
1991년 한국 영상산업진흥원 선임 연구원  
1999년~2005년 한동대학교 전산전자공학부  
교수  
2005년 3월~현재 국민대학교 전자공학부 교수  
<주관심분야 : 영상통신, 디지털방송>



강 동 옥(정회원)  
국민대학교 전자공학부 교수  
대한전자공학회 논문지  
제 35권 S편 제6호 참조



김 기 두(평생회원)  
국민대학교 전자공학부 교수  
대한전자공학회 논문지  
제 44권 TC편 제7호 참조