

## 자료 군집화에 의한 LiDAR 자료의 도로포인트 추출기법 연구

### Road points Extracting from LiDAR data with Clustering Method

장영운<sup>1)</sup>, 최내인<sup>2)</sup>, 임승현<sup>3)</sup>, 조기성<sup>4)</sup>

Jang, Young Woon · Choi, Nea In · Im, Seung Hyeon · Cho, Gi Sung

<sup>1)</sup> 전북대학교 토목공학과 박사과정(E-mail:cloud311@chonbuk.ac.kr)

<sup>2)</sup> 전북대학교 토목공학과 박사과정(E-mail:ds-con@hanmail.net)

<sup>3)</sup> 전북대학교 공업기술연구소 연구원(E-mail:shlim1115@yahoo.co.kr)

<sup>4)</sup> 전북대학교 토목공학과 교수·공업기술연구소 연구원(E-mail:gscho@chonbuk.ac.kr)

#### 요 지(Abtract)

Recently, constructing and complementing the road network database are a main key in all social operation in our life. However it needs high expenses for constructing and complementing the data, and relies on many people for finishing the tasks. This study propose a novel method to extract urban road networks from 3-D LiDAR data automatically. This method integrates height, reflectance, and clustered road point information. Geometric information of general roads is also applied to cluster road points group correctly. The proposed method has been tested on various urban areas which contain complicated road networks. The results conclude that the integration of height, reflectance, and geometric information worked reliably to cluster road points.

#### 1. 서 론

최근 현실과 같은 실세계 환경에서 입체적인 공간 시뮬레이션이 필요한 도시계획분야 및 모니터링을 통한 신속한 대응이 요구되는 재난 방재분야 등의 첨단기술 분야 등에서 3차원 지형정보의 수요 및 활용성이 증가하고 있다. 이미 많은 선행연구들에서 항공사진, 위성영상, SAR 등과 같은 원시자료들로부터 지형, 건물 및 도로등과 같은 3차원 정보 획득기법이 제시되었다. 그러나, 고정밀의 모델링을 위한 고해상도 자료를 제공하기는 어렵고 선행구조물인 도로의 경계표현에 한계가 있다는 단점이 있다.

LiDAR(Light Detection And Ranging) 시스템은 넓은 지역에 대한 정밀한 자료의 수집에 적합하고 많은 비용과 기간이 소요되는 기존의 측량방법을 대체할 수 있는 새로운 방법이다. 이미 1990년대 중반부터 LiDAR 시스템은 경제적이고 효과적인 공간정보 취득기법으로 주목 받아 왔으며, 레이저스캐너, GPS(Global Positioning System), INS(Inertial Navigation System)로 구성되어 3차원 좌표 및 약  $1 \pm 0.1\mu\text{m}$ 의 전후의 파장을 이용하여 대상체의 반사강도를 취득한다. 그러나, 레이

저가 투과하지 못하는 건물등의 인공지물과 수목 등의 자연지물이 모두 포함된 형태의 자료를 취득하게 된다. 따라서, 이들을 제거하기 위한 전처리 과정이 필요하며, 이와 관련한 다양한 알고리즘이 제시되었다.

일반적으로 아스팔트 도로는  $0.9\mu\text{m}$ 의 파장대에서 아스팔트의 경우 17% 내외의 반사강도를 나타내는 점을 이용하여 구분이 가능하며(Alharthy, 2003), 3차원 상에서 도로는 건물이나 다른 구조물들과 표고값의 편차가 상대적으로 일정하게 분포하는 것으로 구분이 가능하다. 즉 도시지역에서 도로의 표고분포는 건물 등의 인공구조물들에 대한 표고분포에 비하여 상대적으로 매우 낮고 급격하게 변화하지 않는 특징이 있다. 특히, 도로의 경사도, 도로 폭 등과 같은 도로의 형식은 법에 규정된 형태로 건설되기 때문에 이런 특징을 이용하면 지상에 존재하는 다른 객체들과는 구분이 가능하다.

본 연구에서는 LiDAR 원시자료를 이용하여 시골지역에 비하여 도로주변의 높은 건물 및 차량 등과 같이 상대적으로 많은 제약요소가 존재하고 있는 도심지역의 도로정보를 추출하기 위하여 LiDAR 시스템으로부터 취득된 3차원 원시자료의 군집화를 기반으로 하는 도로포인트 추출기법을 제시하

었다. 특히, 원시자료의 정확도에 영향을 줄 수 있는 레스터 형식에서의 변환과정을 거치지 않고 포인트 형식의 LiDAR 원시자료를 직접 활용하였으며, 법에서 규정하고 있는 각종 도로 및 시설의 특징, 도로의 레이저 반사강도 특성을 이용하여 최종적으로는 도시지역 LiDAR 원시자료로부터 도로포인트를 자동적으로 추출하기 위한 방법을 제시하였다.

## 2. 도로의 레이저 반사강도 및 구조적 특징

### 2.1 도로의 레이저 반사강도 특징

LIDAR 시스템에서 표고정보와 함께 취득되는 레이저의 반사강도는 대상체에 반사되어 스캐너에 도달한 레이저 강도와 송신된 레이저 강도의 비율로써 주로 대상체의 반사도에 의해 결정되기 때문에 대상체의 종류를 규명하기 위한 중요한 정보로 이용할 수 있다. LiDAR 센서는 약  $1 \pm 0.1 \mu\text{m}$ 의 전후의 파장을 이용하여 대상체의 반사강도를 기록하게 되며, 일반적으로  $0.9 \mu\text{m}$ 의 파장대에서 아스팔트 17%, 해안모래 50%, 콘크리트 25%, 활엽수 60%, 침엽수 30% 내외의 반사강도를 나타내며, 경우에 따라서 유리나 금속표면에서는 100%이상의 반사강도를 나타내기도 한다(한수희, 2003; Alharthy, 2003).

### 2.2 법에서 규정하는 도로의 구조적 특징

일반적으로 3차원 상에서 도로는 건물이나 다른 구조물들과 표고값의 편차가 상대적으로 일정하게 분포하는 것으로 구분이 가능하다. 즉 도시지역에서 도로의 표고분포는 건물 등의 인공구조물들에 대한 표고분포에 비하여 상대적으로 매우 낮고 급격하게 변화하지 않는 특징이 있다. 특히, 도로의 경사도, 도로폭 등과 같은 도로의 형식은 법에 규정된 형태로 건설되며, 우리나라의 경우 기본적으로 도로의 구조·시설에 관한 규칙(2002.12.31 건설교통부령 345호)에서 도시지역의 2차선 도로에서는 최대 16% 이하의 경사, 도로폭은 최소 7m 이상의 폭을 갖도록 규정하고 있다.

## 3. 도로포인트 추출 알고리즘

본 연구에서 제시하는 알고리즘은 기본적으로 다음과 같은 조건을 가정하고 설계되었다.

- 불규칙하게 분포된 LiDAR 원시 자료를 이용한다.
  - 도심지의 아스팔트 도로를 대상으로 한다.
  - 도로는 법에서 규정하는 폭과 경사를 갖는다.
- 또한, 전체 알고리즘은 LiDAR 자료의 표고값에 의한 포인트 군집화, 분류된 포인트 군집들에 대한 LiDAR 자료의 평균 반사강도에 의한 최적 도로 포인트 그룹선정, 최적 도로포인트 그룹을 기준으로 법적 도로의 구조적 특징을 만족하는 최종 도로포인트 추출의 과정으로 구분할 수 있다.

### 3.1 LiDAR 포인트 군집화

본 연구에서 제시하고 있는 LiDAR 포인트 군집화 알고리즘은 기본적으로 각 포인트의 표고값을 기준으로 군집화를 수행한다. 그러나, LiDAR 원시자료는 불규칙적인 분포를 갖는 포인트 형태의 벡터자료로서 일반적으로 영상이나 DEM 등과 같은 정규격자형식의 자료에서 일반적으로 적용되는 회선 기법의 적용이 불가능하다. 또한, 단순히 LiDAR 포인트들의 높이값만을 고려하여 포인트를 분류하는 경우 서로 멀리 떨어져 있는 포인트들이 같은 그룹으로 분류될 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 대상지역내 임의 포인트에 대한 버퍼링을 수행함으로써 LiDAR 포인트의 표고값 및 포인트들간의 인접성을 함께 고려하였다. 최초 임의의 포인트를 선택하고 ID를 부여한 후 선택된 포인트로부터 일정 범위를 버퍼링 하여 유사한 표고값을 갖는 포인트에 대하여 동일한 ID를 부여하였다. 유사한 표고값을 갖는 포인트가 검색되지 않는 경우 새로운 ID를 할당하며, 모든 포인트들에 대하여 ID가 할당될 때까지 과정을 반복함으로써 포인트 군집화 과정을 수행하였다.

### 3.2 도로포인트 그룹 선정 및 최종 도로포인트 추출

LiDAR 자료의 표고값 및 인접성을 기준으로 군집화 시킨 후 오차 포인트 그룹이 제거된 포인트 그룹들 중 도로포인트 그룹을 선정하기 위하여 반사강도 정보를 이용하고자 한다. 도심지의 경우 대부분의 도로는 아스팔트로 이루어져있다고 가정할 때 이론적으로는 약 17%의 반사강도를 갖는 포인트를 검색함으로써 도로포인트를 파악할 수 있다. 그러나, 실제 대상물의 물질적인 구성은 일반적인 반사도보다 복잡하고, 노면 상태에 따라 다

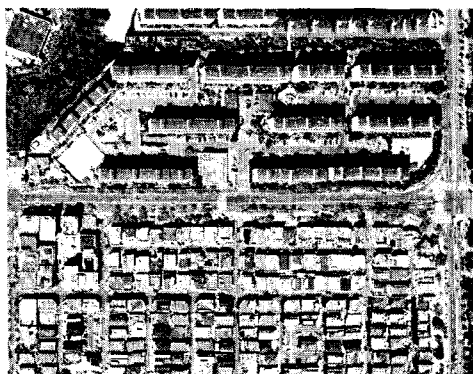
양한 물질이 존재하여 반사강도의 차이가 있을 수 있으며 측정상의 여러 가지오차 요인으로 인해 반사강도 값은 달라질 수 있다. 따라서, 본 연구에서 사용된 LiDAR 자료의 아스팔트에서의 레이저 반사강도를 파악하기 위하여 LiDAR 자료 취득시 함께 취득된 항공사진을 이용하여 명백하게 도로를 나타내고 있는 표본집단을 선정하고 표본집단의 반사강도에 대한 평균 및 표준편차를 이용하여 모든 포인트 그룹 중 반사강도 평균이 표본집단의  $\pm 2\sigma$ 이내에 드는 그룹만을 검출하였다.

그러나, 건물의 지붕에서 도로 포장 재료와 비슷한 반사강도를 갖는 경우가 발생할 수 있기 때문에 반사강도만으로는 건물과 도로가 혼재되어 발견될 수 있다. 따라서 일반적으로 도로는 건물보다 낮은 표고값을 갖는다는 점을 감안하여 최저 평균표고를 갖는 그룹을 최적 도로 포인트 그룹으로 추출하였으며, 특히, 도로면 보다 낮은 표고분포를 갖는 지하주차장 출입구 등에 의한 오류를 피하기 위하여 법에서 규정하고 있는 지하주차장의 특징을 이용하여 크기를 제한하였다. 우리나라에서는 지하 주차장 출입구의 경사를 직선부에서 17% 곡선부에서 14%를 넘지 않도록 규정하고 있으며 차로 유효폭을 직선부 6.0m, 곡선부에서 6.5m 이상 확보하도록 하고 있다.

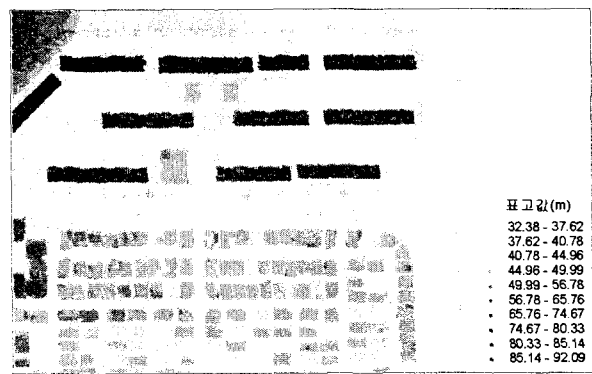
## 4. 적용 및 고찰

### 4.1 자료구축

본 연구에서 사용된 LiDAR 자료는 대전시 일원으로 Optech ALTM3070 LiDAR 시스템을 이용하여 2.8points/m<sup>2</sup>의 점밀도로 취득되었으며, 그림 1의 (a) 및 (b)는 대상지역의 항공사진과



(a)



(b)

그림 1. 대상지역 영상 및 LiDAR 자료

LiDAR 자료이다.

### 4.2 알고리즘 적용

그림2는 LiDAR 포인트의 표고값 및 포인트들 간의 인접성을 함께 고려하여 포인트를 군집화한 결과이다. LiDAR 시스템의 수직위치 정확도가  $\pm 0.15\text{m}$ 임을 감안하여 최대 높이차 0.3m까지를 유사한 포인트로 간주하였으며, 유사한 표고값을 갖는 포인트가 검색되지 않는 경우 새로운 ID를 할당하였다.



그림 2. 대상지역 포인트 군집화 결과

또한, 본 연구에서는 사용된 LiDAR 자료의 아스팔트에서의 레이저 반사강도를 파악하기 위하여 항공사진을 이용하여 명백하게 도로를 나타내고 있는 467개 포인트를 표본집단으로 설정하였으며, 이들 표본집단에 대한 반사강도 평균 및 표준편차는  $16.14 \pm 3.45$ 로 나타났다. 따라서, 높이값에 의하여 군집화된 포인트 그룹의 평균반사강도가 표본집단의 평균반사강도  $\pm$  표준편차 이내인

그룹들 중 가장 낮은 포인트 그룹을 도로에 가장 가깝다고 판단되는 최적 도로 포인트 그룹으로 선정하였다. 또한 최적 도로포인트 그룹으로부터 법에서 규정하고 있는 도로에서의 최대경사 16%를 넘지 않은 포인트 그룹을 검색하고 그중 그룹의 평균반사강도가 최적 도로포인트 그룹의 평균 반사강도±표준편차 이내에 있는 포인트 그룹들을 도로로 예상되는 포인트그룹으로 선정하였다.

그림3은 최종적으로 추출된 도로포인트 들을 대상지역 1:5,000 수치지도와 중첩하여 나타낸 결과이다. 그런데, 각 결과들에서 (b)로 표기된 포인트들은 도로상의 자동차와 같이 사실상 도로상에 존재하고는 있지만 높이값 및 반사강도 등의 포인트 특성이 도로와는 완전히 다른 포인트이다. 그러나, 실제로 도로를 나타내는 포인트가 아니라 할지라도 2차원적인 도로 영역을 추출하기 위해

도로 포인트로 포함시켰으며, 그림4는 수정된 결과를 나타낸다.

### 4.3 정확도 평가

도로포인트의 추출 정확도를 분석하기 위하여 cross-matrix(Sithole and Vosselman, 2003)를 적용하였다. 결과 비교를 위한 기준자료는 축척 1:1,000 수치지도와 대상지역 Digital photo를 이용하여 수작업으로 도로 포인트를 추출하여 제작하였으며 표1은 본 연구에서 제시된 알고리즘에 의해 수행된 도로추출결과의 정확도 비교결과이다.

그런데, 본 연구는 도심지역을 대상지역으로 하고 있으며, 도심지의 경우 주차장 지역과 같이 도로와 유사한 높이값 및 반사강도를 갖는 지역을 다수 포함하고 있다. 따라서, 이런 특수한 경우를 제외 한

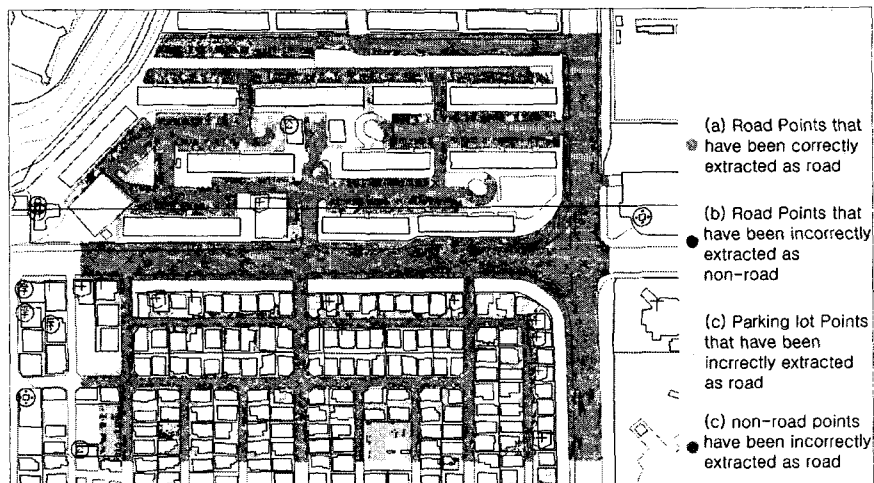


그림 3. 최종 도로포인트 추출결과

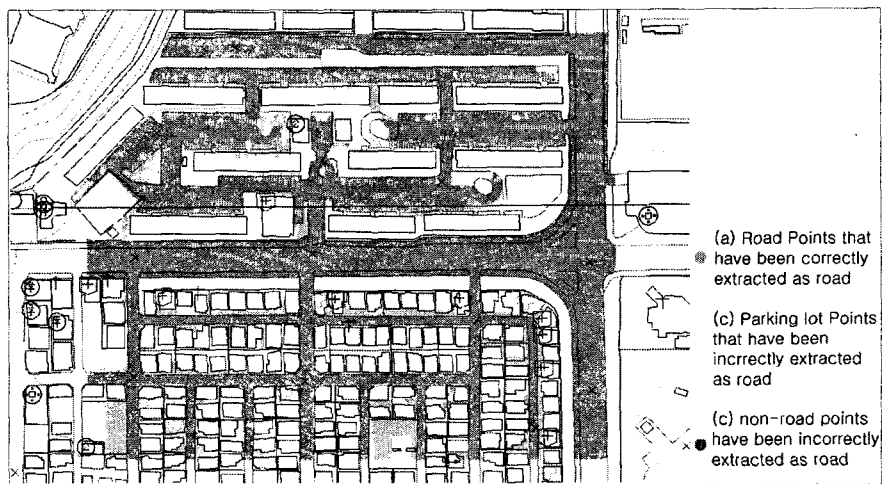


그림 4. 최종 도로포인트 추출결과(오차포인트 수정후)

표 1, 도로포인트 추출 정확도 평가

적용결과 기준자료	도로	비도로	계	error(%)	error type
도로	122,910	1750	124,660	1.40	type I
비도로	7,642	149,413	157,055	4.87	type II
계	130,552	151,163	281,715	3.33	total error

표 2, 도로포인트 추출 정확도 평가(주차장 지역 수정)

적용결과 기준자료	도로	비도로	계	error(%)	error type
도로	122,910	1750	124,660	1.40	type I
비도로	796	156,259	157,055	0.51	type II
계	123,706	158,009	281,715	0.90	total error

다면 표2와 같은 cross-matrix를 얻을 수 있으며 typeII error의 에러율이 향상됨을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 LiDAR 시스템으로부터 취득된 도시지역 3차원 원시자료를 높이 값 및 인접성을 기준으로 군집화하고 군집화된 포인트 그룹의 평균반사강도를 이용하는 도로포인트 추출기법을 제시하였다. 특히, 벡터형식의 LiDAR 원시자료를 직접활용하는 알고리즘을 제시하였으며 범규에서 규정하는 도로의 특징을 이용하여 도로포인트를 자동추출하였으며 LiDAR 포인트의 높이값에 의해 포인트를 군집화하고 각 포인트그룹에 대한 평균반사강도를 이용함으로써 과속방지턱이나 횡단보도와 같은 도로상의 노면상태가 결과에 미치는 영향을 최소화 하여 연속적인 도로추출이 가능하였다.

또한, 최종 추출된 포인트들에 대한 추출정확도를 평가한 결과 type I, type II가 각각 1.40%, 4.87%였다. 그러나, 주차장 지역과 같이 도로와 유사한 특성을 특수한 경우에 대한 오차를 수정하는 경우 type II error가 0.51%로 향상되었으며, 전체적으로 total error가 0.90%로써 매우 좋은 결과를 나타냈다.

## 참고문헌

안기원, 서두천, 신석효 (2001), KVR-1000 인공위성 화상데이터로부터 도시지역 도로의 반자동 추출, 대한토목학회 논문집 제21권, pp. 529- 536.

한수희, 2003, LiDAR 반사강도와 DSM을 이용한 토지피복 분류에 관한 연구, 대한토목학회 논문집 제23권, pp. 107-114.

최형일, 이근수, 이양원 (1997), 영상처리 이론과 실제, 홍릉과학출판사, 서울, pp. 100-117.

Alharthy, A., Bethel, J., Automated road extraction from LiDAR data, ASPRS Annual Conference, on CD-ROM, May 5-9, 2003, Anchorage, Alaska, USA

Roggero M., 2001, Airborne Laser Scanning: Clustering in raw data. IAPRS, Vol XXXIV-3/W4 Annapolis, MD, 22-24 Oct, 2001. pp. 227-232.

Sithole G., Vosselman G., 2003: "Report: ISPRS Comparison of Filters, <http://www.itc.nl/isprswgIII-3/iltertest/index.html>

Vosselman G., Maas H., 2001, Adjustment and Filtering of Raw Laser Altimetry Data. Proceedings of OEEPE workshop on airborne laser scanning and interferometric SAR for detailed digital elevation models, 1-3 March 2001, paper 5 (11 pages). Royal Institute of Technology Department of Geodesy and Photogrammetry 100 Stockholm, Sweden.

Xiong, D., 2001, Automate road network extraction for high resolution images, Technical notes, National consortium for safety.