

Contour Tree를 이용한 LiDAR Point 데이터의 분할 Segmentation of LiDAR Point Data Using Contour Tree

한동엽¹⁾ · 김용일²⁾

Han, Dong Yeob · Kim, Yong Il

¹⁾ 서울대학교 대학원 지구환경시스템공학부 박사과정(E-mail: hkyon2@snu.ac.kr)

²⁾ 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 부교수(E-mail: yik@plaza.snu.ac.kr)

Abstract

Several segmentation algorithms have been proposed for DTM generation or building modeling from airborne LiDAR data. Three components are important for accurate segmentation: (i) the adjacent relationship of n-nearest points or mesh, etc. (ii) the effective decision parameters of height, slope, curvature, and plane condition, (iii) grouping methods. In this paper, we created the topology of point cloud data using the contour tree and implemented the region-growing. Terrain and non-terrain points were classified correctly in the segmented data, which can be used also for feature classification.

1. 서 론

1990년대 중반이후 항공 LiDAR 데이터가 DTM(Digital Terrain Model) 생성, 개체 추출 및 모델링 등에 폭넓게 활용되고 있다. 다른 분야에 비해 LiDAR 데이터로부터 DTM을 자동 생성하는 알고리즘이 많이 제안되었으며, 그 성과에 대한 평가도 이루어지고 있다(Sithole 등, 2004). 제안된 알고리즘들의 DTM 생성 정확도는 평탄한 지역이나 중간 크기 이하의 건물이 존재하는 지역에서는 전반적으로 모두 양호한 결과를 나타내었지만, 급경사의 굴곡이 심한 지형이나, 복잡하거나 큰 건물이 존재하는 지역에서는 알고리즘간의 정확도에 차이가 나타났으며, 정확도도 조금 낮게 나타났다. 알고리즘간의 이러한 차이는 불연속 지형이나 개체의 처리 능력 부재에 의한 것으로 LiDAR 점 데이터의 분할에 의해 해결될 수 있다고 보았다(Sithole, 2005).

항공 LiDAR 데이터의 분할 연구는 2000년대 초반에 시작되었다. Brenner(2000)는 LiDAR 그리드 데이터를 RANSAC 평면조건 알고리즘을 이용하여 건물지붕의 분할을 수행하였고, Ben(2002)은 TIN 구조로 표현된 데이터로부터 최대 허용 세그먼트 길이를 병합인자로 사용하여 표면의 분할을 수행하였다. Lee(2002)는 점, 패치(pathc), 표면(surface)로 표현되는 점, primitive, structural 레벨의 분할을 진행하였으며, 레벨마다 인접관계 및 그룹핑 인자를 따로 사용하였다. Tovari 등(2005)은 point 데이터로부터 법선벡터, 평면거리, n 최단거리점을 그룹핑 인자로 사용하여, 임의의 seed 점으로부터 region-growing을 수행하였다. 지면과 비지면을 구분하기 위하여 분할된 세그먼트를 재그룹핑하였다. Sithole(2005)은 cloud points의 프로파일 교차에 의한 그래프 구조를 생성한 후, proximity, minimum spanning tree, curve fitting 등의 적절한 레이블링을 통하여 데이터를 분할하였으며, 특정 개체에 대한 탐지도 수행하였다. Filin 등(2006)은 데이터의 특성에 따라 결정되는 slope adaptive 인접시스템을 이용하여 데이터에 관계없이 정확하고 신뢰할만한 분할 속성값을 생성하였다. 위와 같이 기존 연구에서는 점 데이터의 인접관계를 정의하고 데이터의 분할그룹을 결정하는 효과적인 속성값을 찾고, 적절한 그룹핑 알고리즘을 사용하고 있다.

본 연구에서는 점 데이터의 위상관계를 나타낼 수 있고, vertex 연산 이후에도 위상관계를 유지할 수

있는 등고선 트리를 인접구조로 사용하였으며, 트리의 leaf 특성과 세그먼트의 병합을 통하여 데이터를 분할하였다.

2. 등고선 트리

2.1 개요

지형 표현의 수단으로 등고선이 이용되고 있으며, 종이지도로부터 자동으로 등고선을 추출하거나, 높이 데이터로부터 빠르게 등고선을 생성하기 위하여 등고선 트리가 이용되고 있다. 등고선 트리는 등고선의 골격을 표현한 것이라고 말할 수 있다. 그림 1(a)는 등고선과 등고선 트리를 나타낸 것으로 지역적 최대 혹은 최소 지점이 트리의 끝 절점에 위치하며, 분기점은 트리의 교차점에 해당한다. 극단점과 분기점은 지형점(topographic points)을 말하며, 등고선 트리에서 주요 지형점들과 이들의 위상관계가 확립되므로 지형정보 추출에도 등고선 트리가 사용될 수 있다.

등고선은 지형분야 뿐만 아니라 의료, 과학 데이터 표현의 주요한 수단으로 사용되고 있기 때문에, 등고선 트리의 효율적인 생성에 관한 연구가 많이 진행되었다. 특히 Carr(2003)는 데이터의 차원에 관계없이 등고선 트리를 효율적으로 생성할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 본 연구에서는 Carr의 알고리즘을 사용하여 트리를 작성하였다. 등고선 트리는 높이점이나 등고선을 나타내는 절점 V와 절점간의 연결 관계를 나타내는 간선(edges) E로 구성된다. 2.5D 표고점으로부터 생성된 삼각형 메쉬(mesh)가 존재할 때, 메쉬로부터 생성되는 트리에서 절점은 연결되는 이웃연결점의 수에 따라 나뉘질 수 있다. 연결점의 수가 1이면 지역적 극단점을 나타내며 가지(leaf)라고 한다. 연결점수가 2이상이면 교차점(junction)이라고 하고, 교차점 중에서 연결점수가 3이상이면 적어도 3개 이상의 영역으로 나누어지는 saddle점(분기점)을 나타낸다. LiDAR 데이터에서 가지점이 정상 극단점을 나타내면, 분할의 seed 점으로 사용될 수도 있다. 반면에 노이즈 점인 경우에, 가지점을 제거하여 노이즈를 제거된 안정된 데이터를 쉽게 만들 수 있다.

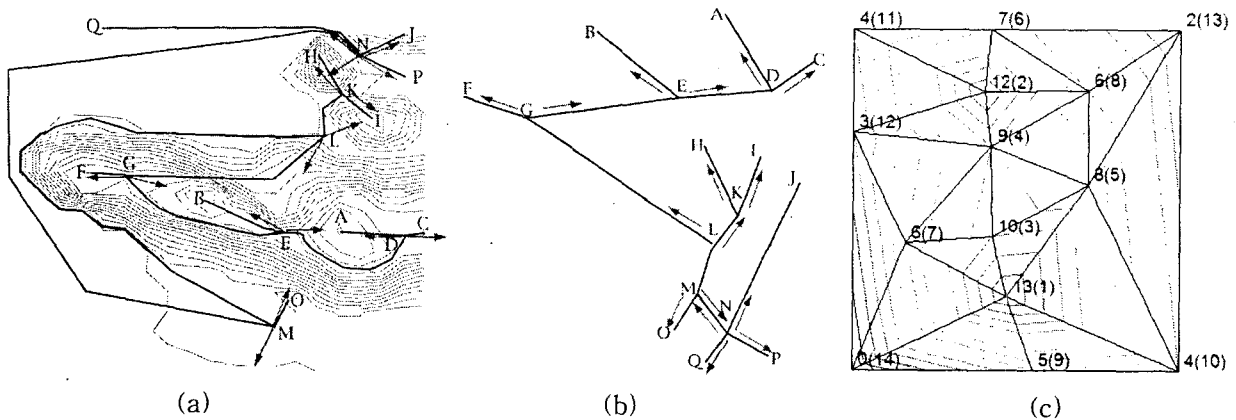


그림 1. (a) 등고선과 등고선 트리, (b) 등고선 트리, (c) 2.5D 데이터의 등고선과 삼각형 메쉬

2.2 등고선 트리 생성

Carr(2003)의 알고리즘은 다음과 같이 세 부분으로 나뉘어진다.

- (a) 높이값 크기에 따라 정렬된 2.5D 데이터의 TIN을 생성한다.
- (b) Join 트리와 Split 트리를 생성한다.
- (c) Join 트리와 Split 트리를 병합하여 등고선 트리를 완성한다.

Join 트리는 높은 점에서 시작하여 가장 낮은 점까지 처리하며, 각 극대점과 이와 순차적으로 연결되는 이웃점이 하나의 세그먼트를 형성하고, 각 세그먼트는 분기점에서 만난다. Split 트리는 Join 트리와

반대로 각 극소점에서 시작하며, 각 세그먼트는 분기점에서 만난다. 등고선 트리는 트리 생성과정에서 Join 트리와 Split 트리에 나타난 모든 끝점과 교차점이 자연스럽게 표현된다.

2.3 등고선 트리 연산

등고선 트리의 가지점은 분할의 시작점이나 노이즈 점이 될 수 있다. LiDAR 점 데이터와 같이 데이터가 지역적으로 불안정하다면 가지점은 노이즈로 볼 수 있다. 그림 3과 같이 구성된 지표면에서 가지점은 건물이나 나무, 소형개체의 한 점이다. 각 개체의 가지를 반복해서 제거하면 결국 지면에 도달하게 되고, 각 지면 부분들은 병합해서 하나의 지면 분할지역으로 생성될 수 있다. 이러한 가지제거 연산과 세그먼트 병합연산이 트리 연산의 주요한 연산이며, 가지제거나 병합은 점간 또는 세그먼트간 기하적 특성을 검사하여 제약을 부과할 수도 있다. 그림 2에서 1, 2, 6은 가지 세그먼트이고, 3, 7은 줄기 세그먼트이다. 가지 세그먼트는 트리에서 제거되면서 하나의 그룹으로 저장되고, 줄기는 병합여부를 판단한다. 제거와 병합이 반복되면, 결과적으로 적은 절점의 수많은 가지와 몇 개의 큰 줄기만 남는다. 남은 줄기에서 기하적 속성을 이용하여 지면을 구분할 수 있다.

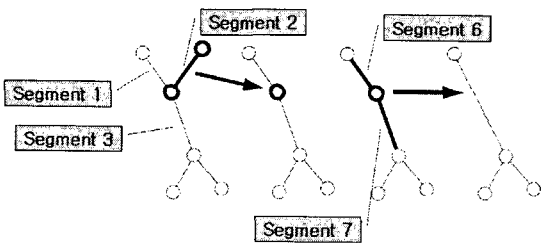


그림 2. 가지 제거 및 세그먼트 병합

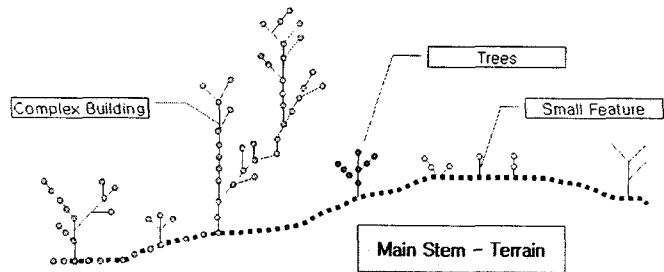


그림 3. LiDAR 점과 등고선 트리 관계

3. 실험 및 결과

ISPRS Filter Test Site 4의 LiDAR 데이터를 사용하여 분할을 수행하였다(ISPRS Filter Test, 2003). 데이터는 first return과 last return의 X,Y,Z,I 정보, 0.67 points/m²의 점밀도를 가지고 있으며, 5개의 스트립으로 이루어져 있다. 대상지에는 큰 철도역 건물과 철도가 존재하여 지면의 정확한 추출에 장애가 되고 있고, 대상지의 좌하단에 중앙 부분이 지면인 큰 건물이 존재하며, 우하단에 넓은 다리와 좁은 조그만 다리가 존재한다.

분할을 수행하기 위하여 first return X,Y,Z 데이터로부터 등고선 트리를 생성하였다(그림 4(c)). 등고선 트리의 초기 세그먼트는 1~3개의 점으로 이루어진 세그먼트가 대부분을 차지하기 때문에 그림과 같이 복잡한 형태로 나타나며, 좌상단의 경사도로와 같이 평탄한 높이는 변화지역은 줄무늬와 같은 형태로 나타난다. 가지제거와 세그먼트 병합 과정은 노이즈와 평탄한 높이 변화지역으로 분리하는 역할을 수행하며, 이 과정은 세그먼트가 하나로 병합될 때까지 반복된다. 그림 4(d)는 병합과정이 끝나고 생성된 분할 데이터를 나타내며, 그림 4(e)는 지면에 해당하는 세그먼트를 나타낸 것이다. 건물, 수목, 다리 등이 모두 제거되었다는 것을 알 수 있다. 복잡한 건물은 여러 개의 세그먼트, 단순한 건물은 1~2개의 세그먼트로 나뉘지며, 이 점을 이용하면 건물 모델링이나 건물 분류에도 분할된 데이터가 사용될 수 있다고 여겨진다. 높이 변화의 크기에 관계없이 등고선 트리가 생성되므로, 스트립이 겹치는 지역에서 가지 세그먼트가 많이 나타난다. 이러한 경향을 이용하여 데이터 reduction, 스트립 조정, 노이즈 점 제거 등에 등고선 트리가 활용될 수도 있다.

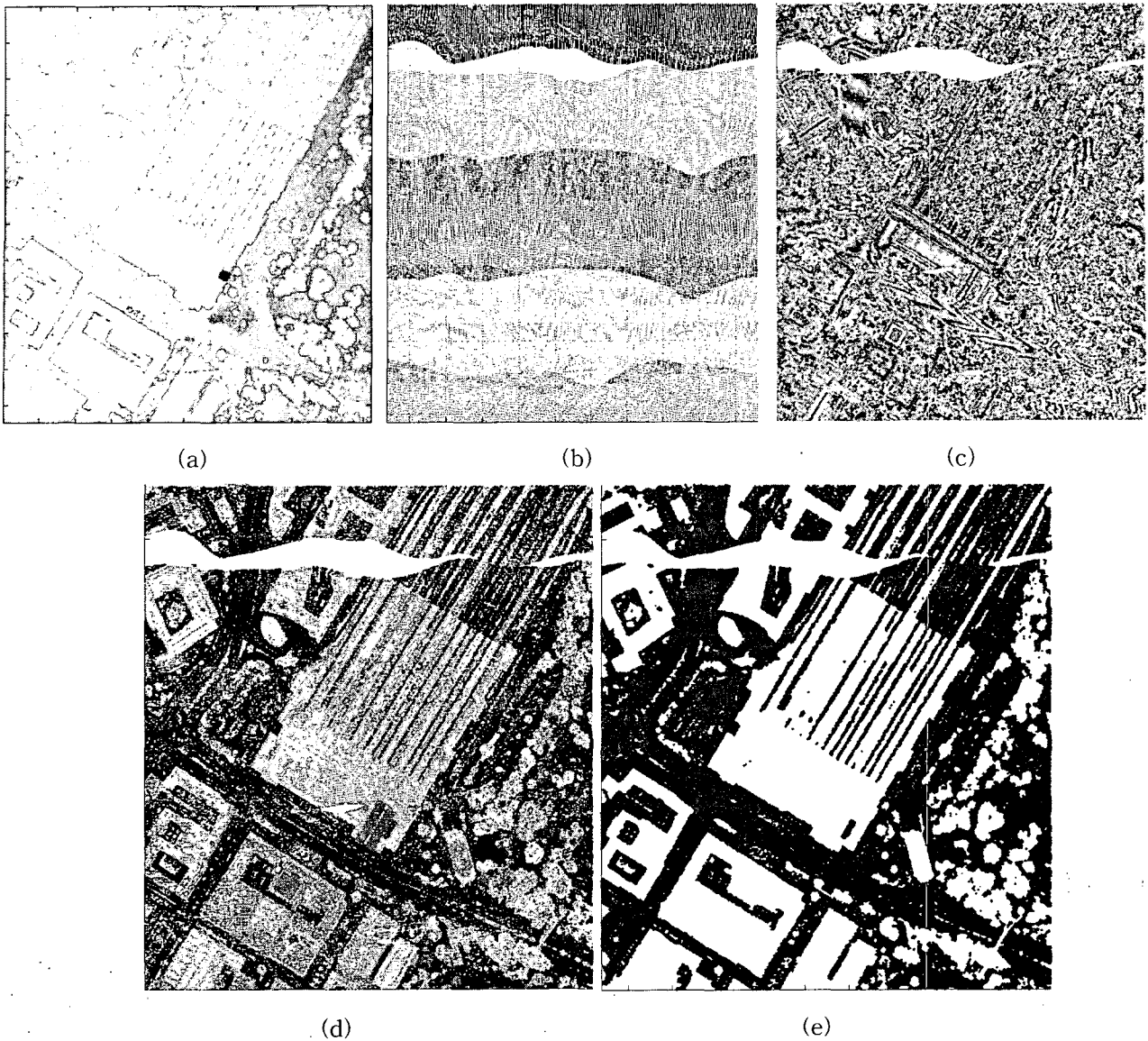


그림 4. Site 4의 분할; (a) DSM 그리드, (b) 데이터의 스트립, (c) 등고선 트리의 초기 세그먼트, (d) 최종 분할, (e) 분할 그룹 중에서 지면

4. 결 론

LiDAR 데이터로부터 불연속이 보존된 DTM을 생성하거나, 지물의 분류를 수행하기 위하여 LiDAR 데이터의 분할이 수행되고 있다. 분할을 효과적으로 수행하기 위하여 그룹 결정 인자, 인접 관계구조가 중요하다. 본 연구에서는 등고선 트리를 이용하여 데이터의 위상관계를 수립하고, 세그먼트의 제거 및 병합 연산에 의해 분할 그룹을 생성하는 알고리즘을 제안하였다. 분할된 데이터는 지표면과 지면 개체를 잘 구분하였으며, 지면 개체의 분류 및 모델링을 위한 입력 자료로서 사용될 수 있을 것으로 여겨진다.

참고문헌

- Carr, H., Snoeyink, J., Axen, U. (2003), Computing Contour Trees in All Dimensions, *Computational Geometry*, Vol. 24, No. 2, pp. 75-94.
 Brenner, C. (2000), Towards Fully Automatic Generation of City Models. IAPRS Vol. XXXIII, Part

- B3/1, Comm. III, ISPRS Congress, Amsterdam, pp. 85-92.
- Filin, S. and Pfeifer, N. (2006), Segmentation of airborne laser scanning data using a slope adaptive neighborhood, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 60, No. 2, pp. 71-80.
- Gorte, B. (2002), Segmentation of tin-structured surface models, ISPRS WG IV/6, Joint Conference on Geo-spatial theory, Processing and Application, July 8-12, Ottawa, Canada, 5 pages.
- ISPRS TEST ON EXTRACTING DEMs FROM POINT CLOUDS: A comparison of existing automatic filters, <http://enterprise.lr.tudelft.nl/frs/isprs/filtertest/>.
- Lee, I. and Schenk, T. (2001), 3d perceptual organization of laser altimetry data, IAPRS vol. 34 (3A, September 9-13, Graz, Austria), pp. 193-198.
- Sithole, G. and Vosselman G. (2004), Experimental comparison of filter algorithms for bare-earth extraction from airborne laser scanning point clouds, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 59, No. (1-2), pp. 85-101.
- Sithole, G. (2005), Segmentation and Classification of Airborne Laser Scanner Data, Doctoral thesis, Delft.
- Tovari, D. and Pfeifer, N. (2005), Segmentation based robust interpolation - a new approach to laser data filtering, IAPRS Vol XXXVI, 3/W3, Proceedings of Laserscanning 2005, Enschede, The Netherlands.