

라이다 분할포인트로부터 복잡한 건물의 외곽선 추출 기법 A technique for extracting complex building boundaries from segmented LiDAR points

이정호¹⁾·한수희¹⁾·변영기¹⁾·유기윤²⁾

Lee, Jeong Ho·Han, Soo Hee·Byun, Young Gi·Yu, Ki Yun

¹⁾ 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 박사과정(ilome79@snu.ac.kr)

²⁾ 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 조교수(kiyun@snu.ac.kr)

Abstract

There have been many studies on extracting building boundaries from LiDAR (Light Detection And Ranging) data. In such studies, points are first segmented, then are further processed to get straight boundary lines that better approximate the real boundaries. In most research in this area, processes like generalization or regularization assume that buildings have only right angles, i.e. all the line segments of the building boundaries are either parallel or perpendicular. However, this assumption is not valid for many buildings. We present a new approach consisting of three steps that is applicable to more complex building boundaries. The three steps consist of boundary tracing, generalization, and regularization. Each step contains algorithms that range from slight modifications of conventional algorithms to entirely new concepts. Four typical building shapes were selected to test the performance of our new approach and the results were compared with digital maps. The results show that the proposed approach has good potential for extracting building boundaries of various shapes.

1. 서 론

최근 라이다는 DEM생성이나 건물외곽선 추출에 더욱 더 많이 사용되고 있고, 항공사진이나 위성 영상을 이용한 개체 추출 기법을 대체하고 있다. 라이다의 가장 각광받는 응용분야 중 하나인 건물 외곽선 추출에서는 원시 자료로부터 필터링, 분할, 또는 분류 등의 처리 과정이 수행된다. 분할이 완료된 후에, 보다 정확하고 현실적인 건물 외곽선을 얻기 위해서 보통 몇몇 작업이 추가로 필요하다. 분할된 건물 외곽선은 대부분 명확하지 않으며 지그재그 모양이고 모서리는 부정확하므로 일반화(generalization), 정규화(regularization) 등과 같은 추가 처리가 필요하다.

Alharthy와 Bethel은 각(angle) 히스토그램을 사용하여 주 방향을 추정하는 폴리곤 추출 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 건물이 오직 두 개의 주된 방향을 가진다는 가정에서 적용되었다. Ma는 수직인 두 개의 그룹으로 선분들을 분류하고 두 그룹의 방향각을 계산하여 가중치 조정을 통하여 선분들을 조정하였다. Sampath는 평행한 선분들의 기울기는 같고 수직인 선분들의 기울기 곱은 -1이라는 조건 하에서 최소제곱법을 사용하여 외곽선을 보정하였다.

이와 같은 연구들에서는 건물이 오직 직각만을 가진다는 조건, 즉 모든 건물 외곽선분들이 서로 평행하거나 수직이라고 가정하고 일반화, 정규화를 수행하였다. 그러나 실제로는 건물들이 복잡한 형태를 가지는 경우도 많으며 직각이 아닌 각을 포함하는 경우도 많다. 이런 건물들의 외곽선 추출을 위해서는 새로운 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 복잡한 형태를 나타내는 건물들에도 적용할 수 있는 새로운 기법을 제시했고 그 기법은 외곽선 추적, 일반화, 정규화 등의 세 단계로 구성된다. 각 단계는 전통적인 알고리즘을 약간 변형시킨 것도 있고, 완전히 새로운 방법도 있으며 이들은 2장~4장에서 자세히 설명 될 것이다. 한편 제안된 기법을 적용하기 위하여 대전 지역에서 4가지 형태의 건물을 선택하였고, 최종 추출된 외곽선에 대한 정확

도 평가가 5장에 설명될 것이다. 마지막으로 토의와 향후 연구 방향에 대한 논의로 결론이 마무리 될 것이다.

2. 경계 추적(Trace of Boundaries)

건물 외곽선 추출을 위해서는 원시 라이다 포인트들이 분할이나 분류 작업이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 원시 라이다 포인트로부터 건물 포인트들을 분할하는 과정은 다루지 않고, 분할된 건물포인트들로부터 접근하기로 한다. 본 연구에서 제안한 알고리즘의 첫 단계인 외곽선 추적은 분할된 건물포인트들로부터 외곽에 위치하는 점들만을 찾아내는 것이다.

컨벡스 헐 알고리즘은 불연속적인 점들을 포함하는 가장 작은 컨벡스를 결정하는 기법이지만, 복잡한 형태의 건물들은 컨벡스가 아닌 경우가 많기 때문에 컨벡스 헐 알고리즘을 복잡한 형태의 건물에 바로 적용하는 것은 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 그러한 문제를 해결하기 위하여 수정된 컨벡스 헐 알고리즘을 제안했다. 건물 포인트에 격자를 형성한 후에 탐색 범위를 현재 셀과 다음 셀로 제한하게 되며 구체적인 알고리즘은 다음과 같다.

- 1) 각각의 건물에 대하여 격자를 만들고, 최소 x좌표를 갖는 점을 찾는다.(bp_0 :첫 번째 외곽점)
- 2) bp_0 를 포함하는 셀로부터 시작해서 시계방향으로 최외곽셀들을 선택한다. (chain code 이용)
- 3) bp_0 로부터 일정거리 이내의 점들(bp_0 를 포함하는 셀과 그 다음셀에 있는 점들)을 선택한다.

$$P_0 = \{p_{01}, p_{02}, \dots, p_{0m}\}$$

- 4) 3)에서 선택된 점들과 bp_0 를 연결하여 y축으로부터 시계방향 각이 최소가 되게 하는 점을 찾는다. 이 점이 두 번째 외곽점 bp_1 이 된다.
- 5) bp_1 으로부터 일정거리 이내의 점들을 선택하고 그 점들을 bp_1 과 연결하여, $\overline{bp_1 bp_0}$ 로부터의 시계방향 각이 최소가 되는 점을 찾는다. 이 점이 세 번째 외곽점이 된다.
- 6) 첫 번째 외곽점인 bp_0 를 찾을 때까지 반복한다.

격자를 형성하고 탐색범위를 제한함으로써 컨벡스가 아닌 모양의 건물에 대해서도 외곽점들을 추적하는 것이 가능하며, 격자를 형성하여 각 셀과 그 안에 있는 포인트들 사이의 대응관계를 통해 불규칙하게 분포하는 점들로부터 빠르고 쉽게 원하는 점을 찾을 수 있고 연산 속도도 증가시킬 수 있다.

3. 경계 일반화(Boundary Generation)

외곽점을 추출한 후에 각각의 선분에 속하는 점들의 그룹을 구성하기 위하여 일반화를 수행한다. 건물 모서리의 길이는 다양하기 때문에 전통적인 일반화 알고리즘을 건물 경계에 바로 적용하는 것에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 거리와 각에 기반을 둔 두 단계의 일반화 알고리즘을 사용했다. 첫 단계에서는 수직거리를 이용한 더글러스-푸커 알고리즘이 사용되었고, 다음 단계에서는 건물의 특수성을 고려하여 수직거리, 각, 모서리의 최소 길이 등의 제약 조건을 사용하였다. 이 과정을 통하여 첫 단계에서 선택된 1차 코너 점들로부터 불필요한 과다 점들을 제거하는 것이 가능했다.

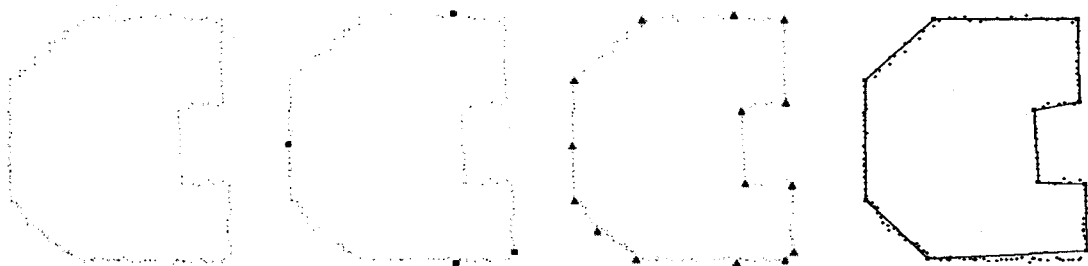


그림1. 경계 일반화 과정 boundary points, intial points, first corner points, generalized boundary

그림에서 볼 수 있듯이 각각의 선분들이 실제 건물 경계 모서리와 1:1로 잘 대응되는 것을 확인할 수 있고, 일반화 과정을 통해 얻어진 모서리점들을 연결하면 대략적인 건물 경계 폴리곤을 얻을 수 있다. 그러나 보다 높은 정확도를 가지면서 실제 건물에 가까운 건물 경계를 얻기 위해서 정규화가 이루어진다. 일반화 과정에서 추출된 이웃하는 두 코너 점 사이에 있는 외곽점들이 같은 그룹 ($G_i = \{bp_{i1}, bp_{i2}, \dots, bp_{im}\}$)으로 묶여진다. 다시 말해 선분과 점들 사이에 1:n 대응관계가 이루어진다.

4. 경계 정규화(Boundary Regularization)

정규화 단계는 직선 방정식의 계수를 결정하고 이 직선들의 교점을 구하여 최종 건물 경계를 찾는 것이다. 건물 코너 각에 따라서 건물을 3가지 경우로 구분한 후 직각 조건을 포함하는 최소제곱법을 이용하여 건물 경계를 구한다.

경우 1. 모든 각이 직각이 아닐 때

이 경우에는 각에 대한 조건이 없기 때문에 단순한 최소제곱법을 사용하며, 각각의 선분에 대하여 독립적으로 최소제곱법을 사용하여 그 해를 구한다.

경우 2. 모든 각이 직각에 가까울 때

모든 각이 직각에 가까울 때에는, 모든 선분들이 서로 수직이거나 평행하다. 따라서 인접한 두 선분은 서로 수직이라는 제약 조건을 가지고 최소제곱법을 적용하며, 그 식은 다음과 같다.

$$\begin{cases} ax_{im} + by_{im} = c_i & (i = 1, 3, \dots, n-1) \\ bx_{im} - ay_{im} = c_i & (i = 2, 4, \dots, n) \end{cases} \quad (1)$$

수직조건 하에서 모든 선분에 대한 전체 오차가 최소가 되도록 모든 선분의 계수들이 동시에 조정된다. 모든 선분들은 시계방향 순서로 저장되어 있기 때문에 홀수 번째 선분에는 위 식이 적용되고, 짝수 번째 선분에는 아래 식이 사용된다.

경우 3. 직각과 직각이 아닌 각이 공존 할 때

이 경우에는 각 선분의 양 끝 각이 직각인지 여부에 따라서 선분들이 세 그룹으로 분류 되며, 분류 과정에서 선분의 방향각을 이용한 무감독 분류 기법이 사용된다. 그 식은 다음과 같다.

$$\begin{cases} ax_{im} + by_{im} = c_i & \text{for } l \text{ of } Az_1 \\ ax_{jm} - by_{jm} = d_j & \text{for } l \text{ of } Az_2 \\ a_k x_{kl} + b_k y_{kl} = 1 & \text{for } l \text{ of } Az_3 \end{cases} \quad (2)$$

어떤 경우든 선분 방정식이 결정되면 그들의 교점을 계산하여 최종 건물 경계를 얻을 수 있다. 건물 내에 적어도 한 개 이상의 직각이 존재하면 직각과 인접해 있는 선분들은 직각 조건하에서 동시에 조정되므로 어떤 점이나 선분도 고정되어 있지 않게 되고 더 긴 선분이 더 큰 가중치를 가지는 효과가 생긴다. 이것은 더 많은 점에 대응되는 긴 선분이 적은 개수의 점에 대응되는 짧은 선분에 비하여 상대적으로 정확도가 높을 가능성이 많다는 가정에 부합된다.

5. 실험 및 결과

제안한 알고리즘을 적용 및 평가하기 위하여 대전 도심지역에서 4개의 다른 유형 건물을 선택하였으며, 2개는 복잡한 모양의 직각 건물이고 다른 2개는 직각이 아닌 각이 포함된 건물이다. 그림에는 분할된

라이다 건물 포인트와 추출된 건물 경계가 함께 나타나고 있다.

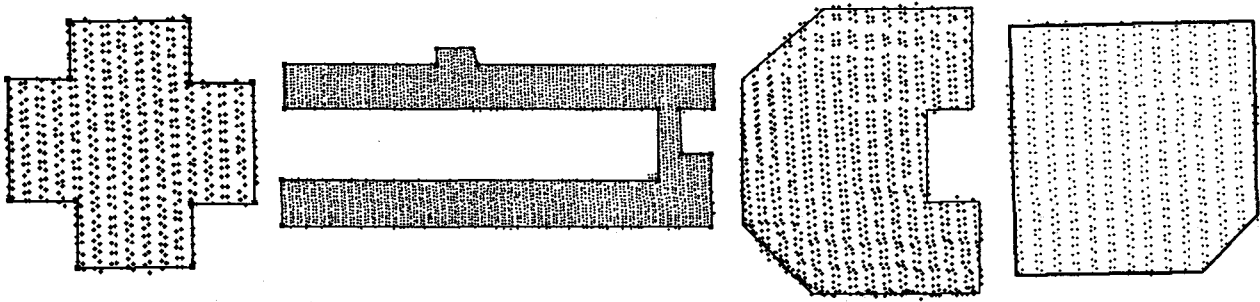


그림 2. 분할된 라이다 건물 포인트와 최종 추출된 건물 경계

4개 건물의 코너 점(총 43점)에 대하여 x, y좌표를 레퍼런스 데이터와 비교하여 정확도를 평가하였다. 건물1,2번에 대해서는 1:1000 수치지도를 참조자료로 사용했고, 건물 3,4번에 대해서는 수치지도 자료가 없어서 항공사진을 참조자료로 사용했다. 각 건물의 수평 위치 오차 평균값은 35cm~70cm 정도를 나타냈으며 이는 라이다 데이터만을 이용하였다는 점을 감안하면 매우 좋은 결과라고 할 수 있다.

표 1. 위치오차 평균값 (단위 : m)

	건물1	건물2	건물3	건물4
x오차평균	0.303	0.341	0.404	0.368
y오차평균	0.169	0.189	0.355	0.299
수평오차평균	0.358	0.418	0.69	0.518

6. 결론

본 연구에서는 분할된 라이다 건물 포인트들로부터 정확한 건물 경계를 추출하기 위한 새로운 알고리즘을 제안하였으며, 이는 건물 경계 추적, 일반화, 정규화 등의 세 단계로 구성된다. 기존 연구들에서는 직각 건물만을 다루었던 반면에, 본 기법은 직각 건물뿐만 아니라 직각이 아닌 각이 포함된 건물에 대해서도 적용이 가능하였고, 실험을 통하여 다양한 형태의 복잡한 건물 경계를 높은 정확도로 추출해 낼 수 있는 가능성을 확인하였다. 보다 다양한 형태와 크기의 건물들에 대한 실험을 통하여 제안된 알고리즘의 안정성과 정확성에 대한 검증이 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- Alharthy, A., Bethel, J., Heuristic Filtering and 3D Feature Extraction from LiDARData., *ISPRS Commission III*, September 9-13, 2002, Graz, Austria.
- Ma, R., DEM Generation and Building Detection from LiDAR Data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol.71, No.7, 2005, pp. 847-854.
- Sampath, A., Shan, J., Urban Modeling Based on Segmentation and Regularization of Airborne LiDAR Point Clouds, *ISPRS Commission III*, July 2002, Istanbul, Turkey