

지표면 라이다 데이터를 고려한 건물 외곽선 결정 Determination of Physical Footprints of Buildings with Consideration Terrain Surface LiDAR Data

유은진¹⁾ · 이동천²⁾

Yoo, Eun Jin · Lee, Dong-Cheon

Abstract

Delineation of accurate object boundaries is crucial to provide reliable spatial information products such as digital topographic maps, building models, and spatial database. In LiDAR(Light Detection and Ranging) data, real boundaries of the buildings exist somewhere between outer-most points on the roofs and the closest points to the buildings among points on the ground. In most cases, areas of the building footprints represented by LiDAR points are smaller than actual size of the buildings because LiDAR points are located inside of the physical boundaries. Therefore, building boundaries determined by points on the roofs do not coincide with the actual footprints. This paper aims to estimate accurate boundaries that are close to the physical boundaries using airborne LiDAR data. The accurate boundaries are determined from the non-gridded original LiDAR data using initial boundaries extracted from the gridded data. The similar method implemented in this paper is also found in demarcation of the maritime boundary between two territories. The proposed method consists of determining initial boundaries with segmented LiDAR data, estimating accurate boundaries, and accuracy evaluation. In addition, extremely low density data was also utilized for verifying robustness of the method. Both simulation and real LiDAR data were used to demonstrate feasibility of the method. The results show that the proposed method is effective even though further refinement and improvement process could be required.

Keywords: LiDAR Data, Segmentation, Contour, Building Footprint, Accuracy Evaluation

초 록

객체 외곽선의 정확한 묘사는 수치지형도, 건물모델, 공간정보 데이터베이스와 같은 공간정보 성과물을 신뢰성 있게 제공하기 위해 중요하다. 라이다 데이터에서 건물의 실제 경계는 지붕에 있는 최외곽점들과 건물 주변의 지표면 상에 있는 점 사이에 존재한다. 그러므로 건물 지붕에 있는 점들만으로 결정된 외곽선은 건물의 실제 경계와 일치하지 않는다. 본 논문은 라이다 데이터를 이용하여 건물의 실제 외곽선에 근접한 외곽선을 추정하는 것이 목적이며, 격자화 되지 않은 원래 데이터에서의 건물과 지표면 데이터로부터 최종 외곽선을 결정하였다. 최종 외곽선 결정 방법은 두 영역 간의 해상 경계선 결정에 적용하는 방법과 유사하다. 제안한 방법은 분할된 데이터로부터 초기 외곽선을 결정하고, 지붕의 점들과 지표면 상의 점들을 이용한 외곽선을 추정하였다. 또한 점밀도가 극히 낮은 데이터에도 적용하여 제안한 방법의 신뢰성을 검증하였다. 시뮬레이션 및 실제 라이다 데이터를 이용하여 실험을 수행하여 타당성과 효용성을 검증하였지만, 향후 개선되고 향상될 부분이 있다고 사료된다

핵심어: 라이다 데이터, 데이터 분할, 외곽선, 건물 외곽선 정확도 평가

Received 2016. 09. 05, Revised 2016. 09. 25, Accepted 2016. 10. 25

1) Member, Department of Geoinformation Engineering, Sejong University (E-mail: eunjinyoo@sju.ac.kr)

1) Corresponding Author, Member, Department of Geoinformation Engineering, Sejong University (E-mail: dclee@sejong.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

항공 레이저 시스템(ALS; Aerial Laser System)으로 획득한 라이더(LiDAR) 데이터는 다량의 3차원 좌표를 직접 얻을 수 있으므로 효율성과 활용성이 높은 장점이 있지만, 시각적 및 의미적 정보가 결여된 점 군집 형태의 라이더 데이터로부터 객체 모델링과 같은 성과물을 생성하기 위해서는 여러 가지 복잡한 단계가 요구된다. 그 중에서도 객체분류 및 분할, 불필요한 객체 제거, 객체 외곽선 결정 등은 객체를 인식하고 추출하는 과정에 매우 중요한 요소들이다(Miliaresisa and Kokkasb, 2007; Lee and Kim, 2012; Cho *et al.*, 2013; Park *et al.*, 2012; Sampath and Shan, 2008).

지형지물을 객체별로 구별하여 추출하는 것은 공간정보 구축 자동화의 기반이 되며, 여러 객체 중에서 건물 모델링은 정확도와 세밀도가 요구되며 활용 분야가 광범위하다. 공간데이터 구축 또는 공간정보 플랫폼 구현에서 효율성과 자동화 가능성이 높은 라이더 데이터의 사용 빈도와 점유율이 증가하고 있으며 이를 위한 여러 소프트웨어가 개발되고 있다. 건물의 외곽선(footprint)은 수치지형도의 건물 레이어 생성, 엄밀 정사영상(true orthoimage) 제작 및 도시 모델링에 중요한 역할을 하고 있으며, 정확하고 효율적인 건물의 외곽선 추출에 관한 많은 연구가 진행되고 있다(Han *et al.*, 2005; Kim and Shan, 2011; Neidhart and Sester, 2008; Yoo and Lee, 2016a). 라이더 데이터로부터 건물을 추출하고 외곽선을 결정하는 대표적인 연구는 다음과 같다.

- Morgan and Habib(2002)는 초기 건물 외곽선과 주변 지표면 점으로 TIN(Triangulated Irregular Network)과 DEM(Digital Elevation Model)을 구성하고, 삼각형의 중심점들과 변형된 Hough 변환식을 이용하여 직선을 추정하여 건물의 최종 외곽선을 결정하였다.
- Wang and Schenk(2000) 및 Ma(2005)는 TIN을 생성하여 건물을 추출하고 외곽선을 결정하는 연구를 수행하였다.
- Sampath and Shan(2007)은 기존의 convex hull 알고리즘을 수정하여 외곽선을 추출하고, 수평과 수직방향의 기울기를 기반으로 계층적 최소제곱법을 적용하여 외곽선의 정규화를 수행하였다.
- Cho *et al.*(2008)은 건물을 분류하고 octree 분할기법을 적용하여 재귀적인 분할과 병합을 수행하여 윤곽선을 추출한 후 건물을 모델링하는 연구를 진행하였다.
- Duckham(2008)은 χ -알고리즘의 적용 절차와 범위를 선별적으로 수행하여 기존의 문제점을 보완한 확장 χ -알

고리즘을 구현하여 기하정보의 손실을 방지하고 정확한 윤곽선을 추출하는 방법을 제안하였다.

- Lach and Kerekes(2008)는 정확한 윤곽선을 추정하기 위해 건물 최외곽을 구성하는 점들의 주방향성을 분석하여 윤곽선을 추출하였다.
- Lee *et al.*(2011)은 convex hull 알고리즘에 타원형의 탐색 반경을 적용하여 라이더 점 간격과 건물의 높이 정보를 이용하여 건물 내에 존재하는 윤곽선까지 추출하였다.
- Cho *et al.*(2013)은 Delaunay 삼각망을 생성하고 확장 χ -알고리즘을 적용하여 윤곽선을 추출하는 연구를 수행하였다.

대부분의 외곽선 결정 방법들은 다양한 방법의 필터링(filtering)을 수행하여 객체와 지표면 데이터를 분리하고, 지표면 데이터를 제외한 건물 데이터만을 이용하여 건물의 외곽선을 추출하므로 결정된 외곽선은 실제보다 안쪽에 위치하게 되는 문제가 발생한다. 그러나 외곽선은 건물데이터와 지표면 사이에 존재할 가능성이 크며, 건물 벽면에 라이더 점이 충분히 없는 경우에는 건물 데이터만을 이용하면 정확도는 더욱 저하된다. 그러므로 건물 주변의 지표면 데이터를 고려하여 결정하게 되면 정확도가 향상된 건물 외곽선이 추출될 수 있다(Yoo and Lee, 2016b). 건물 데이터만을 이용하여 건물의 외곽선을 결정하면, 점밀도(또는 지상 해상도(GSD; Ground Sampling Distance))가 낮을수록 건물의 외곽선이 실제보다 더 안쪽에 위치하게 되므로 정확도가 떨어지지만, 건물 주변의 지표면 데이터와 건물 데이터를 동시에 고려하면 점밀도와 거의 무관하게 실제 외곽선에 근접한 결과를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 건물과 지표면을 분류하여 건물의 최외각 점을 추출하고 최외각점에서 가장 근접한 거리의 지표면 점을 탐색하여 효율적으로 최종 외곽점을 결정하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법의 타당성을 검증하기 위해 시뮬레이션 데이터와 실제 데이터에 적용하였으며, 점밀도를 변화시켜 정확도를 분석하였다. 특히 인위적으로 점밀도를 극단적으로 낮은 데이터에도 적용하여 신뢰성을 분석하였다.

본 논문에서 정의한 외곽선, 윤곽선 및 경계선은 Fig. 1과 같다.

- 외곽선(Footprint or outline): 건물의 지붕 구조나 형상을 고려하지 않고 건물이 차지하는 건물의 바닥면 모양을 나타내는 선이며 건물 벽면과 지표면이 접촉하여 형성되는 선
- 윤곽선(Contour or Edge): 외곽선을 포함하여 건물의 세부적인 형상을 나타낼 수 있는 선이며 지붕의 모양까지 묘사할 수 있는 선

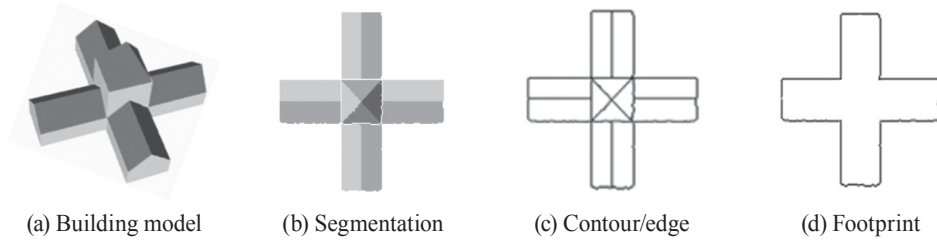


Fig. 1. Segmented patches, contours and footprint of a building

- 경계선(Boundary): 포괄적인 개념의 선으로서 실제 존재하는 물리적인 선뿐만 아니라 인위적으로 결정한 선(예: 행정, 지적 및 해상 경계선)도 해당되므로 외곽선, 윤곽선 및 분할 면 사이를 구분하는 선을 포함하는 선

2. 연구방법

본 논문에서 제안한 방법의 수행 과정은 Fig. 2에 요약되어 있다. 데이터 분할과 분할 경계선 추출은 선행 연구인 3D 체인 코드에 의한 라이더 데이터 분할(Park *et al.*, 2012) 방법을 적용하였으며, 건물의 최외곽점을 추출하고 모든 최외곽점에 대해서 지표상의 최근린 점을 탐색하여 최외곽점과 최근린 점 사이에 있는 건물의 외곽선 결정을 수행하였다.

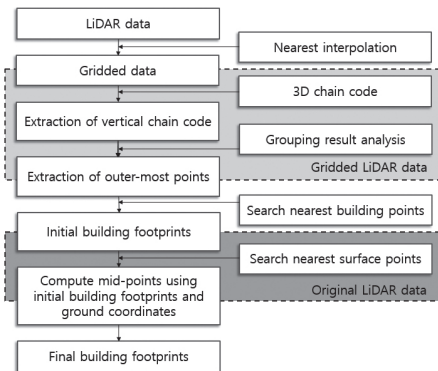


Fig. 2. Workflow of proposed method

객체의 외곽선은 위치, 넓이, 형태 및 구조 등 기하학적 정보를 내포하고 있으므로 공간정보를 제공하기 위한 중요한 요소이다. 실제 외곽선에 근접한 외곽선을 결정하기 위해 제안한 방법을 시뮬레이션 데이터에 적용한 단계 별 결과는 Fig. 3에서 보여주고 있으며, 실험 데이터에 관한 상세한 내용은 “3. 실험결과 및 분석”에 설명되어 있다.

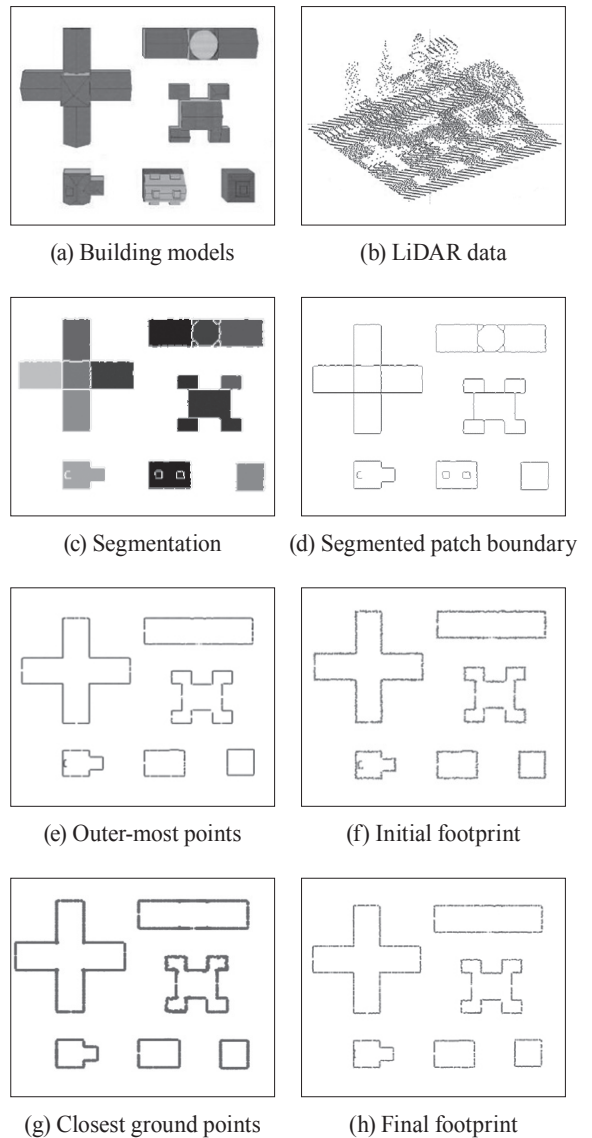


Fig. 3. Procedure of physical boundary estimation with simulated data

2.1 데이터 분할 및 최외곽 점 추출

데이터 분할 및 건물의 분할경계선 추출을 위해 Park *et al.* (2012)의 적응적 객체 형상 서술자(adaptive shape descriptor) 인3D 체인코드를 적용하여 라이다 데이터를 분할, 객체분류, 수목제거, 건물 집단화를 수행하였다. 기존의 체인코드는 객체모사 방법으로서 객체 윤곽선의 방향과 길이 성분을 일련의 코드로 부호화하여 표현하며, 객체의 경계선을 따라 코드를 생성하여 객체의 모양과 특성을 인식하는 방법이다. 라이다 데이터에 적용하기 위하여 체인코드를 3차원으로 확장하여 중심점을 기준으로 26개의 방향을 표현하는 큐브(cube) 형태의 체인코드를 생성하였다. 큐브를 두 개의 수평 방향(X, Y)과 두 개의 대각선 방향(N-E, S-W)으로 적용하여 체인코드를 생성하고 객체를 분할하고 형태를 분석하였다. 적용한 3D 체인코드는 객체의 회전에 불변한 rotation invariance 장점이 있는 효율적인 방법이다. 수행 과정은 Fig. 4에서 보여주고 있다.

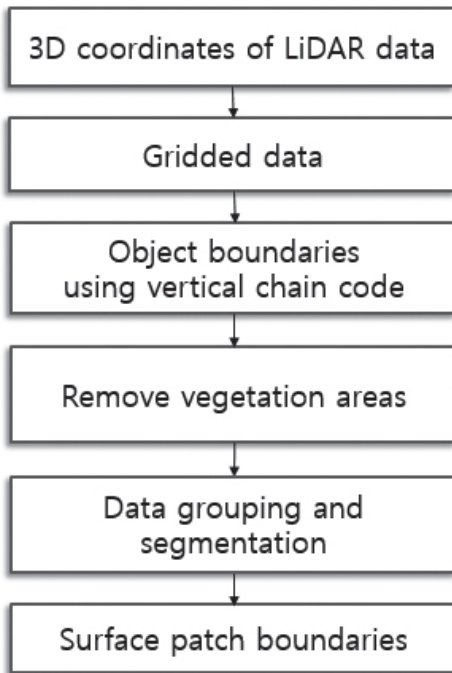
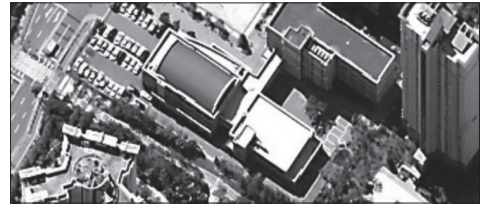


Fig. 4. Workflow of 3D chain code for segmentation and boundary detection

시물레이션 데이터는 수목과 식생을 포함하고 있지 않으므로 수목/식생 제거 과정이 필요 없지만, 실제 데이터에는 많은 수목이 포함되어 있으므로, 건물만 분리하기 위해 필요하다.

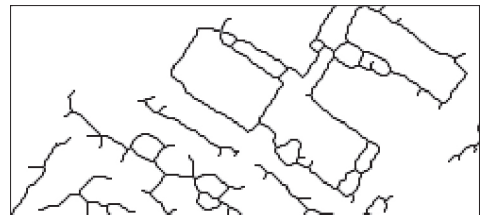
Fig. 5는 수목 제거 과정을 보여주고 있다. 수목 지역은 생성된 체인코드가 불규칙하게 분포되어 있으므로 분산값이 균일하지 않은 큰 값을 가지며, 세선화 과정에서 폐합되지 않은 선으로 나타나므로 용이하게 수목이 제거된다.



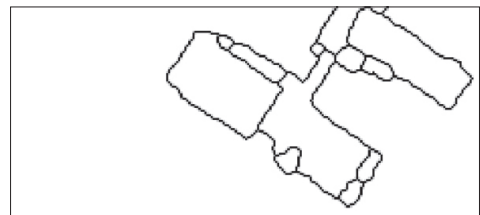
(a) Aerial image



(b) Vertical component of LiDAR data



(c) Thinning edges



(d) Removing vegetation

Fig. 5. Vegetation removing for Dongtan area

3D 체인코드로 추출된 건물 외곽선을 제안된 방법에 적용하기 위해서는 다음 사항들을 고려하여야 한다. 체인코드의 외곽선은 전체 데이터의 모든 외곽선을 하나의 데이터로 반환하여 건물 내부의 형태를 묘사하는 외곽선도 포함되어 있다. 건물과 지표면을 분할하는 기준은 외곽선이므로 초기 외

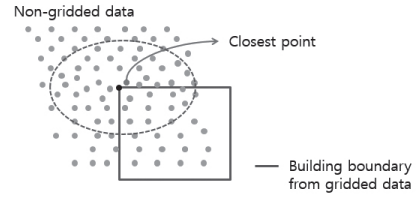
곽선 추출 및 정확한 최종 외곽선 결정을 위해서는 분할에 의해 추출한 외곽선과 건물을 객체별로 그룹화하여 건물의 최외곽 점들을 추출하는 과정이 필요하다. 최외곽 점 추출은 건물 분할 면의 건물의 그룹 클래스를 확인하여 동일한 클래스를 갖는 그룹화된 데이터에서 분할면들이 인접하는 영역의 경계선 상의 점들을 제거하면 건물의 최외곽 점을 추출할 수 있다(Figs. 3(d) and (e)).

2.2 원래 데이터에서의 외곽점 추정

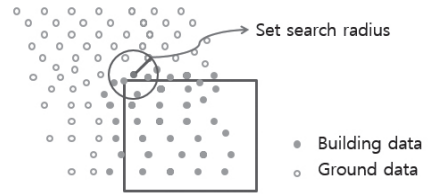
건물의 분할 경계선을 결정하고, 초기 외곽선 내부에 존재하는 라이다 데이터(즉, 건물의 라이다 점)와 건물 주변의 지표면에 있는 라이다 데이터를 이용하여 건물의 실제 외곽선에 근접한 외곽선을 추정하였다. 즉, 건물의 정확한 외곽선을 결정하기 위해서 격자화되지 않은 불규칙한 분포의 원래 라이다 데이터에서 건물의 외곽선을 추출하여야 한다. 이와 같은 과정이 필요한 이유는 데이터 분할을 수행하기 위해 적용한 3D 체인코드는 격자화된 데이터 형태가 요구된다. 그러나 격자화를 위한 보간에 따른 데이터에 손실이 발생할 수 있으므로 정확한 외곽선 추출에 제약이 따른다.

분할된 데이터로부터 근사적인 외곽선을 결정하고, 격자화되지 않은 원래 데이터로부터 건물의 최외곽 점들을 추출하고 모든 최외곽 점들을 중심으로 일정 범위 내에 있는 지표면상의 점들을 탐색하여 건물의 최외곽 점과 건물 주변 지표면상의 점 사이에 실제 존재하는 외곽선을 추정한다. 건물의 초기 외곽선 추정은 다음과 같은 단계로 수행하였다.

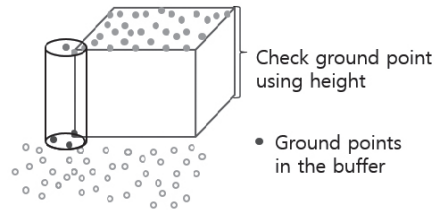
- (1) 최외곽 점을 기준으로 격자화 되지 않은 원래 데이터에서 주변 점들을 탐색하여 최외곽 점과 주변 점들의 3차원 거리를 계산하여 거리가 최소가 되는 최근린 점을 탐색한다(Fig. 6(a)).
- (2) 최근린 점의 높이값을 건물의 높이값과 비교하여 최근린 점이 건물 내에 존재하는지 확인한다(Fig. 6(b)).
- (3) 결정된 최근린 점이 건물의 최외곽에 위치하는지를 판단하기 위해 최근린 점을 기준으로 GSD의 1.2배 이내의 점들을 탐색하여 그 중 하나 이상의 점이 지표면에 존재하는지 확인한다(Fig. 6(c)). GSD는 실제 지상의 1m² 면적에 포함되는 점으로 결정하였으며, 1.2배는 경험적 수치로 기준점에서 적당한 거리와 개수의 탐색점들이 포함되는 범위이다.
- (4) 결정된 최근린 점이 (3)과 (4)를 만족하지 않을 경우, 최외곽 점의 두 번째 최근린점을 선택하여 (3)과 (4) 조건을 만족할 때까지 반복 수행하여 초기 외곽선을 결정한다(Fig. 6(d)).



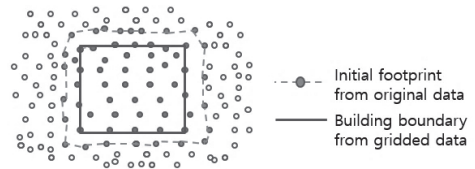
(a) Search closest point



(b) Set search radius



(c) Search closest ground point



(d) Determine initial footprint

Fig. 6. Procedure of determining initial footprint

2.3. 최종 외곽선 추정

초기 근사 외곽선을 기반으로 최종 외곽선을 결정하였다. 최종 외곽선의 추정은 라이다 데이터로부터 추출된 건물의 외곽선과 주변 지표면 점 사이에 건물의 실제 외곽선이 존재하며, 확률적으로 중간점으로 결정하면 타당하다. 최종 외곽선 결정과정은 Fig. 7에서 보여주고 있다.

건물의 외곽선을 결정하기 위하여 외곽선을 구성하는 외곽점들을 추정하여야 한다. 본 논문에서 적용한 방법은 두 지역 사이의 해상 및 하천 경계선을 결정하는 방법(demarcation of maritime boundary)과 유사하다. Fig. 8에서 보여주는 것처럼,

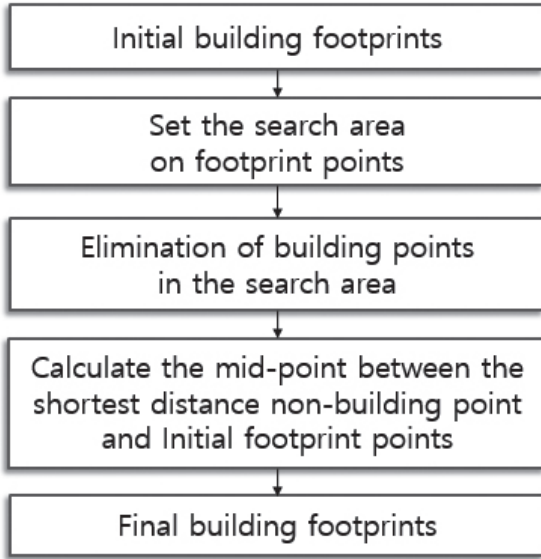


Fig. 7. Workflow of estimating final footprint

건물 영역에 속한 데이터의 최외곽 점들과 지표면 영역에 속한 데이터의 최외곽 점들 이용하여 최적의 경계선을 추정하는 방법이다. 한 점에서 일정 범위에 있는 상대 영역의 점들을 직선으로 연결하고 각 직선들의 중간점을 경계선으로 결정하는 방법이다(Maling, 1989). 건물의 실제 외곽선은 건물 영역과 지표면 영역 사이에 존재하므로 이를 합리적이고 타당성 있게 추정하여야 한다.

최종 외곽선을 결정하기 위해서 초기 외곽선을 구성하는 모든 외곽점으로부터 지표면의 점들 중 외곽점과 가장 가까운 거리에 있는 지표면 점을 탐색하였다. 식생 등에 의해 폐색이 발생하여 탐색범위 내에 지표면 점이 존재하지 않는 경우에는 원래의 건물 외곽점을 이용하였다. 외곽선과 지표면 점 사이의 중간 거리를 계산하였다(Eq. 1). 건물의 높이 또는 지표면의 높이가 정확하지 않아서 발생할 수 있는 오류를 줄이기 위해 평면거리를 이용하였다. 중간점으로부터 획득하고자 하는 값은 최종 외곽점의 평면(X, Y)값이며, 최종 외곽점의 높이(Z)값은 초기 외곽점의 높이(Z)값을 이용하였다. 최종 외곽선 추정 방법을 Fig. 8에서 보여주고 있다.

$$(X, Y)_{mid} = \left(\frac{\sqrt{(X_I - X_G)^2}}{2}, \frac{\sqrt{(Y_I - Y_G)^2}}{2} \right) \quad (1)$$

where (X_I, Y_I) is a point of initial footprint and (X_G, Y_G) is a point of the nearest ground point.

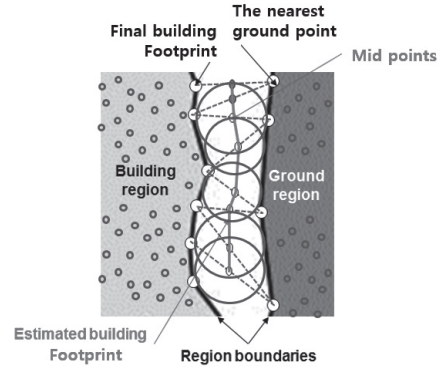


Fig. 8. Polyline for representing final footprint

3. 실험결과 및 분석

실제와 근접한 건물의 외곽선을 결정하는 방법을 시물레이션 데이터와 실제 데이터에 적용하였다. 다양한 모양의 건물을 묘사한 시물레이션 라이다 데이터와 경기도 동탄지역의 중학교 건물과 캐나다 캘거리 대학의 건물에 대해 획득한 실제 데이터를 이용하여 건물의 외곽선을 결정하였다. 최종 외곽선의 정확도를 분석하고, 라이다 데이터의 점밀도가 정확도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 원래 데이터의 결과와 점밀도를 1/2 및 1/4로 낮추어서 실험을 수행하였다. Table 1에 데이터의 사양과 특성을 요약하였다.

Table 1. Specification and description of test data sets

Data set	Density (pts/m ²)	GSD (m)	Accuracy (m)	Building type
Simulation	16	0.25	0.15	Gable, Pyramid, Dorm, Hip, Mansard
Dongtan	16	0.25	0.30	Flat and gable composite
Univ. of Calgary	3	0.60	0.30	Flat with multi-level complex

3.1 실험 결과

시물레이션데이터는 정확한 참값을 알 수 있으며, 다양한 형태의 건물을 생성할 수 있는 장점이 있다. 건물의 형태는 단순하게 평면으로만 구성된 형태부터 돔과 반원통의 구조를 포함한 복잡한 형태까지 다양하게 생성하였다. 시물레이션 데이터를 사용한 결과는 “2. 연구방법”의 Fig. 3에서 보여주고 있으며, 실제 데이터를 사용한 결과는 Table 2에 제시하였다.

Table 2. Results from real LiDAR data

Data set	Dongtan area	University of Calgary
(a) Aerial image		
(b) LiDAR data		
(c) Segmentation		
(d) Segmented patch boundary		
(e) Outer-most points		
(f) Initial footprint		
(g) Closest ground points		
(h) Final footprint		

3.2 정확도 분석

정확도 분석은 시물레이션의 경우 기준이 되는 외곽선과 모서리점의 정확한 위치와 좌표를 알고 있으므로 용이하게 수행할 수 있었으며, 실제 데이터의 경우에는 수치지도와 비교하여 정확도를 계산하였다(Fig. 9). 수치지도와 비교하여 시물레이션 데이터는 건물의 모서리점에 근접한 외곽선 상의 점과 모서리점의 좌표를 비교하여 RMSE(Root Mean Square Error)를 계산하였으며, 수치지도의 건물 외곽선과 추정된 외곽점간의 이격 법선거리에 대한 RMSE를 계산하였다.

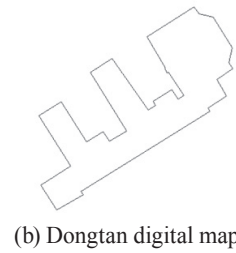
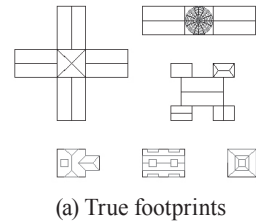


Fig. 9. Reference data for accuracy evaluation

(1) 시각적 분석

Table 3은 실험 결과를 분석하기 위하여 건물 초기 외곽점 결과와 최종 외곽점 결과를 비교하기 위하여 부분적으로 확대하여 보여주고 있다. Table3에서 파란점은 초기, 빨간 점은 최종 외곽점 결과를 나타낸다. 최종 외곽선을 이루는 외곽점들은 대부분 건물 데이터만으로 결정된 초기 윤곽점보다 바깥 쪽에 위치하여 실제 외곽선에 근접함을 확인할 수 있었다. 또한, 점밀도를 1/2과 1/4로 낮추어서 실험한 결과를 원래 점밀도 데이터 결과와 비교하면 점밀도의 변화에 거의 무관함을 알 수 있다.

Table 3. Comparison of results from different densities(blue: Initial, red: Final points)

Data set	Original density	1/2 density	1/4 density

(2) 정량적 정확도 분석

추정된 건물 외곽선의 정량적 정확도는 다음의 두 가지 방법으로 평가하였다:

- (1) 외곽선 상의 점 중에서 건물 형태를 대표하는 검사점에서 평균제곱근 오차(RMSE) 계산 (i.e. reference points vs. estimated points on footprints, Eqs. (2)and (3))

$$RMSE_{planimetric} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_p^2}{n}} \tag{2}$$

$$d_p = \sqrt{(X_D - X_F)^2 + (Y_D - Y_F)^2} \tag{3}$$

where (X_D, Y_D) is check point in reference data, and (X_F, Y_F) is check point in final footprints. n denotes number of check points.

- (2) 기준 건물 데이터의 외곽선(수치지형도의 건물 레이아웃)과 추정된 윤곽점과의 이격거리에 대한 RMSE 계

산 (i.e. reference boundary vs. estimated points on footprints, Eqs. (4), (5), (6), (7), (8) and Fig. 10)

$$RMSE_{Normal} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_N^2}{n}} \tag{4}$$

$$d_N = \frac{|aX_F + bY_F + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \tag{5}$$

$$a = \frac{Y_{D2} - Y_{D1}}{X_{D2} - X_{D1}} \tag{6}$$

$$b = -1 \tag{7}$$

$$c = Y_{D1} - a \times X_{D1} \tag{8}$$

where (X_F, Y_F) is a point on final footprints, (X_{D1}, Y_{D1}) and (X_{D2}, Y_{D2}) denote end points of reference line, and n is number of check points.

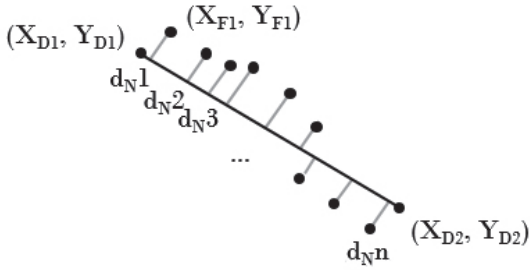


Fig. 10. Normal distance between points on final footprint and reference line

첫 번째 방법은 추정한 외곽점들 중에서 모서리점으로 정확하게 식별하고 판단하기 어려운 문제점이 있으므로, 두 번째 방법을 추가적으로 적용하여 정확도를 산정하여 비교 분석하였다. 첫 번째 방법의 정확도를 측정하기 위해 시뮬레이션 데이터는 이미 정확하게 알고 있는 건물 모서리점을 선정하였으며, 실제 데이터는 수치지도에서 건물 검사점 좌표를 획득하여 최종 외곽선의 좌표와 비교하였다(Fig. 11).

동탄지역은 1/5,000 수치지형도(평면 정확도: 2.0m)를 이용하였으며, 캘거리 대학은 Google Earth(평면 정확도: 1.80m, 수직 정확도: 1.70m, Mohammed *et al.*, 2013)에서 검사점을 측정하였다. 정확도 검사에 사용된 데이터의 사양은 정확도 분석을 위해서 정확도는 낮지만, 국가기본도(1/5,000 수치지형도) 갱신에 사용될 수 있으므로 정확도 검사의 기준으로 하였다. 검사점에서 계산한 최종 외곽선의 RMSE는 최소 0.42m 이고 최대 1.33m이었다. 또한 초기 외곽선과 최종 외곽선의

RMSE를 분석하면, 0.02m~0.07m의 정확도 향상이 있음을 알 수 있다(Table 4).

두 번째 방법으로 정확도를 측정하기 위해 시뮬레이션 데이터에서 검사점은 좌표값을 알고 있는 건물 모서리점을 선정하였으며, 실제 데이터는 수치지도에서 획득한 건물 모서리점 좌표로부터 직선을 생성하고, 최종 외곽선을 구성하는 점의 좌표와 비교하였다. 실제 건물의 모서리점과 중간 및 최종 건물 외곽선의 평면거리 차이를 계산한 결과를 Table 5 에서 보여주고 있다. 최종 외곽선의 평균 RMSE는 최소 0.20m이고 최대 0.40m이었다. 초기 외곽선과 최종 외곽선의 RMSE를 계산하여 그 차이를 분석하여 정확도 향상은 최소 0.04m이며 최대 0.12m 이었다.

점밀도가 정확도에 미치는 영향을 분석하기 위해 원래 점밀도 데이터와 점밀도를 인위적으로 줄인 점밀도 1/2 및 점밀도 1/4데이터에도 적용하여 정확도를 분석하였다(Table 6 and 7). 원래 데이터에서의 최종 외곽점의 평균 RMSE는 최소 0.20m이고 최대 0.40m이었다. 점밀도를 낮춘 경우에는, 1/2 점밀도 데이터의 평균 RMSE는 최소 0.21m이고 최대 0.43m 이었고, 1/4 점밀도 데이터의 평균 RMSE는 최소 0.23m이고 최대 0.44m이었다. 그러므로 분석결과 점밀도에 의한 정확도 저하는 거의 없음을 확인할 수 있었다.

또한, 점밀도를 줄인 데이터의 결과를 이용하여 원래 점밀도로 결정한 최종 외곽선과의 정확도를 비교하였다. 이를 위하여 원래 점밀도에서의 평균 RMSE와 1/2과 1/4로 줄인 점밀도에서의 평균 RMSE 차이를 계산하였다(Table 8). 점밀도 변화에 따른 정확도의 차이(Δ RMSE)는 0.01m~0.16m 범위였다.

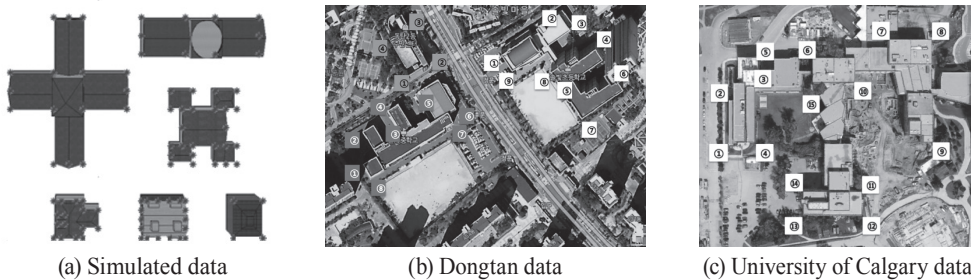


Fig. 11. Check points for accuracy assessment

Table 4. Accuracy result

Data set	Simulation data		Dongtan		Calgary	
	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final
Footprint						
RMSE _{Plan} (m)	0.46	0.42	0.84	0.82	1.40	1.33
Improvement (m)	0.04		0.02		0.07	

Table 5. RMSE of points on footprints (unit: m)

Check line	Simulation data		Dongtan		Calgary	
	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final
1	0.32	0.18	0.36	0.35	0.65	0.58
2	0.30	0.20	0.30	0.21	0.39	0.38
3	0.34	0.21	0.34	0.21	0.46	0.45
4	0.31	0.19	0.38	0.31	0.24	0.18
RMSE_{avg}	0.32	0.20	0.35	0.27	0.44	0.40
Improvement	0.12		0.08		0.04	

Table 6. RMSE of points on footprints with 1/2 density (unit: m)

Check line	Simulation data		Dongtan		Calgary	
	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final
1	0.34	0.18	0.48	0.38	0.66	0.58
2	0.38	0.26	0.32	0.28	0.43	0.38
3	0.36	0.23	0.39	0.25	0.41	0.51
4	0.27	0.18	0.45	0.39	0.35	0.26
RMSE_{avg}	0.34	0.21	0.41	0.33	0.46	0.43
Improvement	0.13		0.08		0.03	

Table 7. RMSE of points on footprints with 1/4 density (unit: m)

Check line	Simulation data		Dongtan		Calgary	
	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final
1	0.25	0.24	0.44	0.47	0.67	0.57
2	0.32	0.22	0.61	0.33	0.49	0.45
3	0.32	0.24	0.34	0.24	0.41	0.47
4	0.28	0.22	0.70	0.67	0.33	0.26
RMSE_{avg}	0.29	0.23	0.52	0.43	0.48	0.44
Improvement	0.06		0.09		0.04	

Table 8. Influence of density to accuracy (unit: m)

Data set	Δ RMSE	
	1/2 density	1/4 density
Simulation	0.01	0.03
Dongtan	0.06	0.16
Calgary	0.03	0.04

4. 결론

건물은 여러 지형지물 중에서 중요한 객체이므로, 다양한 형태의 건물 위치를 정확하게 결정하고 실제 모양과 유사하게 묘사하기 위한 외곽선 결정은 중요하다. 이를 위하여, 라이다 데이터로부터 건물을 분할하고 건물 주변의 지표면으로 분류된 데이터를 이용하여 건물의 실제 외곽선에 근접한 외곽선 추정 방법을 제안하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 건물 데이터의 최외곽 점과 지표면에 속한 점들간의 중간점들을 추정하여 실제 건물 외곽선에 근접한 결과를 얻을 수 있었으며, 점밀도의 영향을 받지 않고 정확하게 외곽선을 결정할 수 있음을 확인하였다.
- (2) 격자화된 데이터는 보간에 의한 데이터 손실이 발생할 수 있으므로 격자화 되지 않은 실제 데이터를 이용하여 외곽선을 결정하여야 정확한 결과를 얻을 수 있다.
- (3) 건물에 의한 폐색이나 높이가 낮은 건물에서는 벽면 데이터를 획득하기 어려우므로 주변의 지표면 점을 이용하여 외곽선의 정확도를 향상시킬 수 있는 효과적인 방법이다.

본 논문에서는 정확한 최외곽점을 결정하는 것에 중점을 두었으며, 향후에는 기존에 많은 연구가 진행된 건물의 기하학적 조건(building hypotheses)과 정규화(regularization) 방법을 적용하여 보다 실제적인 외곽선을 생성하여 건물 모델링과 수치지도 갱신 등에 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2015년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2015R1D1A1A01056933)

References

- Cheng, L., Gong, J., Chen, X., and Han, P. (2008), Building boundary extraction from high resolution imagery and LiDAR data, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 37, Part B3b., pp. 693-698.
- Cho, H., Cho, W., Park, J., and Song, N. (2008), 3D building modeling using aerial LiDAR data, *Journal of The Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 24, No. 2, pp.141-152.
- Cho, H., Lee, K., Choi, H., Cho, W., and Cho, Y. (2013), Extracting building boundary from aerial LiDAR points data using extended χ algorithm, *Journal of The Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 31, No. 2, pp. 111-119.
- Duckham, M., Kulik, L., Worboys, M., and Galton, A. (2008), Efficient generation of simple polygons for characterizing the shape of a set of points in the plane, *Pattern Recognition*, Vol. 41, Issue. 10, pp. 3224-3236.
- Han, S., Lee, J., Yu, K., Kim, Y., and Lee, B. (2005), A study on segmentation of building points utilizing scan-line characteristic of airborne laser scanner, *Journal of the Korean society for geo-spatial information system*, Vol. 13, No. 4, pp. 33-38.
- Kim, K. and Shan, J. (2011), Building footprints extraction of dense residential areas from Lidar data, *ASPRS 2011 Annual Conference*, May 1-5, Wisconsin, USA, unpaginated CD-ROM.
- Lach, S. and Kerekes, J. (2008), Robust extraction of exterior boundaries from topographic LiDAR data, *IEEE Proc. IGARSS*, July 7-11, Boston, USA, Vol. 2, pp. II-85-II-88.
- Lee, J., Han, S., Byun, Y., and Kim, Y. (2011), Extraction and regularization of various building boundaries with complex shapes utilizing distribution characteristics of airborne LiDAR points, *ETRI Journal*, Vol. 33, No. 4, pp. 547-557.
- Lach, S. and Kerekes, J. (2008), Robust extraction of exterior building boundaries from topographic Lidar data, *IEEE IGARSS*, pp. 85-88.
- Lim, S., Kim, J., and Lee, D.C. (2009), Automation of building extraction and modeling using airborne LiDAR data, *Journal of The Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 27, No. 5, pp. 619-628.
- Ma, R. (2005), DEM generation and building detection from LiDAR data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 71, No. 7, pp. 847-854.
- Maling, D. (1989), *Measurements from Maps: Principles and Methods of Cartometry*, Pergamon Press, New York, 557p.
- Mohammed, N., Ghazi, A., and Mustafa, H. (2013), Positional accuracy testing of Google Earth, *International Journal of*

- Multidisciplinary Sciences and Engineering*, Vol. 4, No. 6, pp. 6-9.
- Miliareisa, G. and Kokkasb, N. (2007), Segmentation and object-based classification for the extraction of the building class from LiDAR DEMs, *Computers & Geosciences*, Vol. 33, No. 8, pp. 1076–1087.
- Morgan, M. and Habib, A. (2002), Interpolation of LiDAR data and automatic building extraction, *ACSM-ASPRS Annual Conf. Proc.*, unpaginated CD-ROM.
- Neidhart, H. and M. Sester (2008), Extraction of building ground plans from LiDAR data, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 37, Part B2, pp. 405-410.
- Park, S., Yoo, E., Lee, D.C., and Lee, Y. (2012), 3D shape descriptor for segmenting point cloud data, *Journal of The Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 30, No. 6, pp. 643-651.
- Sampath, A. and Shan, J. (2007), Building boundary tracing and regularization from airborne LiDAR point clouds, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 73, No. 7, pp. 805-812.
- Sampath, A. and Shan, J. (2008), Building roof segmentation and reconstruction from LiDAR point clouds using clustering techniques, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 37, PART B3a, pp. 279-284.
- Shen, W., Zhang, J., and Yuan, F. (2011), A new algorithm of building boundary extraction based on LiDAR data, *19th International Conference on Geoinformatics*, Shanghai, China, pp. 1-4.
- Wang, Z. and Schenk, T. (2000), Building extraction and reconstruction from LiDAR data, *International Archives Photogrammetry Remote Sens.*, Vol. 33, part B3, Amsterdam, The Netherlands, unpaginated CD-ROM.
- Yoo, E. and Lee, D.C. (2016a), Estimation of building boundaries from airborne LiDAR data, *Proceedings of Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Suwon, Korea, pp. 168-171.(Korean with English abstract)
- Yoo, E. and Lee, D.C. (2016b), True orthoimage generation by mutual recovery of occlusion areas, *GIScience and Remote Sensing*, Vol. 53, No. 2, pp. 227-246.
- Park, W., Park, S., Jo, S., and Yu, K. (2009), A study on building outline simplifications considering digital map generalizations, *Journal of The Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 27, No. 1, pp. 13-22.
- Zhao, Z., Duan, Y., Zhang, Y., and Cao, R. (2016), Extracting buildings from and regularizing boundaries in airborne LiDAR data using connected operators, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 37, No. 4, pp. 889-912.