

항공 LiDAR 데이터를 이용한 3차원 건물 모델링

조홍범¹⁾, 조우석²⁾, 박준구³⁾

Hongbeom Cho¹⁾, Woosug Cho²⁾, Junku Park³⁾

인하대학교 지리정보공학과 지형정보연구실

요 약

건물의 3차원 모델링은 3차원 공간정보를 구축하는데 있어서 매우 중요한 요소이다. 기존의 3차원 건물 모델링은 대부분 입체 항공사진을 이용하여 도화사에 의해 수동으로 진행되어 많은 시간과 비용이 소요된다. 이러한 한계를 극복하기 위한 방안으로 최근에는 항공라이다(LiDAR) 데이터를 이용한 모델링 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존의 항공라이다 데이터를 이용한 3차원 모델링 연구는 항공라이다 점 데이터를 보간 과정을 통하여 픽셀구조로 변환하거나 수치지도, 항공영상 등의 이종 데이터간의 융합을 통하여 건물을 모델링하는 방안 등을 제시하였다. 본 논문은 기존 건물 모델링 기법에서 사용되었던 점 데이터의 픽셀구조로의 변환 및 이종 데이터간의 융합 등의 방법을 배제하고 항공라이다 데이터만을 이용한 건물의 자동 모델링 방법을 제안하였다. 건물지붕에 대한 항공라이다 데이터를 3차원 공간상에서 재귀적으로 분할하여 패치(patch)를 구성하고, 동일한 속성을 갖는 패치들을 병합하여 건물의 구성요소를 추출한다. 추출되어진 건물의 구성요소를 대표하는 모델을 생성하여 전체적인 건물의 3차원 모델을 구성한다. 항공라이다 데이터를 이용하여 제안된 방법으로 실험한 결과, 다양한 형태의 건물 모델을 자동으로 구성할 수 있었다.

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

지식정보화 사회로의 변화와 함께 지형공간정보는 광범위하고 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 최근에는 현실세계를 그대로 재현한 3차원 지형공간정보에 대한 수요가 증가하고 있다. 특히 현대 사회에서 인간의 거주환경이 도시를 중심으로 발전하고 있는 현실과 맞물려 최근에는 u-City 등과 같이 도시지역에 대한 3차원 지형공간정보의 구축을 현실화하기 위한 논의와 연구가 활발히 진행되고 있다.

도시지역의 3차원 지형공간정보를 구축하는데 있어서 건물의 3차원 모델링은 매우 중요한 핵심 요소이다. 그러나 아직까지 건물의 3차원 모델링을 위한 기술개발은 매우 미흡한 실정이다. 도화

사에 의해 수동으로 이루어지는 3차원 도화방법은 많은 시간과 비용이 소요되며, 현재까지 제시된 자동화 방법들은 건물을 정확하고 세밀하게 묘사하는데 한계가 있다. 따라서 건물을 3차원 모델링하는데 있어 신속하고 정확하게 재구성하는 자동화 알고리즘이 필요하며 이를 위하여 국내외에서 많은 연구가 수행되고 있다.

LiDAR 데이터는 X, Y, Z 좌표정보를 가지고 있는 수많은 비정규 점군으로 구성된다. 2차원 좌표정보를 픽셀구조로 획득하는 영상 데이터에 비하여 LiDAR 데이터는 3차원 좌표정보를 지닌 점집합으로 획득되기 때문에 기존의 항공영상을 이용한 수동적인 3차원 도화방법의 한계를 극복할 수 있는 대안으로 떠오르고 있다. 이러한 이유로 LiDAR 데이터를 이용한 모델링 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

1) 인하대학교 대학원 지리정보공학과 석사과정(E-mail:ChoHB@inhaian.net)
2) 정회원 · 인하대학교 토목공학과 부교수(E-mail:wcho@inha.ac.kr)
3) 인하대학교 대학원 지리정보공학과 박사과정(E-mail:june@inhaian.net)

Lee와 Schenk(2001)는 3차원 인지구조(perceptual organization)과정을 통해 불규칙한 LiDAR 점 데이터를 분할(segmentation)하여 패치(patch)를 생성하고, 동일 속성의 패치들을 병합한 표면(surface)을 구성하여 다면구조물(polyhedral structure)을 추출하는 방법론을 제시하였다. Alharthy와 Bethel(2004)은 표면의 경사변화를 계산하는 마스크를 적용하여 건물의 지붕면을 찾아내는 방법을 제시하였다. LiDAR 점 데이터를 보간(interpolation)과정을 통하여 일정간격의 격자(grid) 구조로 변환하고 마스크를 X, Y 방향에 대해 순차적으로 검색하면서 평면요소, X 방향 경사, Y 방향 경사 등을 계산하였다. Schwalbe(2004)는 LiDAR 점 데이터를 일정한 면에 투영하여 개략적인 지붕의 형상을 추정한 다음 이를 기반으로 수학적인 매개변수를 구하여 매개변수에 따라 세밀하게 건물을 모델링하는 방법을 연구하였다. Rottensteiner(2003)는 항공사진과 LiDAR 데이터를 융합하여 건물을 탐색하고 탐색되어진 건물을 LiDAR를 이용하여 획득한 DSM(Digital Surface Model)과 항공사진을 이용하여 모델링하는 방법을 제시하였다. Wang과 Tseng(2004, 2005)은 옥트리(octree) 구조를 기반으로 LiDAR 점 데이터를 분할하고, 분리된 점 데이터를 동일한 평면을 구성하는 점들로 병합하여 지형·지물을 분할·분류하는 방법을 제시하였다. 분류되어진 지형·지물은 불규칙 삼각망(TIN : Triangulated Irregular Network) 을 이용하여 표현하였다.

기존의 LiDAR 데이터를 이용한 건물 모델링에 관한 연구는 LiDAR 데이터 이외의 이종 데이터를 융합하여 수행하거나 LiDAR 점 데이터를 픽셀구조로 변환하여 처리하는 기법 등을 제안하였다. 그러나 이종 데이터간의 융합을 이용한 건물 모델링은 최종적으로 획득되는 3차원 건물 모델에 LiDAR 데이터의 오차 외에 이종 데이터의 오차가 포함됨으로서 구성되어진 건물 모델의 오차요인을 확인할 수 없는 단점이 존재한다. 또한 건물을 모델링하기 위하여 LiDAR 데이터 외에 촬영시점 및 촬영지역이 동일한 이종센서 데이터가 필요하기 때문에 LiDAR 데이터만을 이용하여 건물 모델을 구성하는 경우보다 활용성이 떨어진다. LiDAR 점 데이터를 픽셀구조로 변환하여 수행하는 건물 모

델링은 점 데이터를 픽셀구조로 변환하기 위해 수행되어지는 보간 과정에서 보간 오차가 발생하는 문제가 발생한다. 또한 픽셀구조는 2차원 자료구조이기 때문에 LiDAR 데이터에 적합한 3차원 처리가 불가능한 단점이 존재한다. 본 연구에서는 옥트리 공간분할 기법을 3차원 건물 모델링을 목적으로 적절하게 활용하였다. 결과적으로 본 연구에서는 기존 건물 모델링 기법에서 사용되었던 점 데이터의 픽셀구조로의 변환 등의 방법을 배제하고 LiDAR 점 데이터만을 이용한 건물의 자동 모델링 방법을 연구하였다.

지붕의 모양은 평면, 게이블, 다면(polyhedral), 곡면 등 매우 다양하지만 이들을 높이, 경사, 방향 등 동일한 속성을 갖는 영역으로 분할해 보면 모든 지붕은 3차원 평면의 조합으로 구성되어 있는 것을 알 수 있다. 특히 곡면의 경우에는 컴퓨터상에서 곡면을 디스플레이하는 원리와 같이 연속된 평면의 조합으로 묘사할 수 있다. 이러한 전제하에 본 연구에서는 LiDAR 점 데이터로부터 3차원 평면의 조합으로 구성되어 있는 건물 모델을 추출하는 방법을 제안하였다.

1.2 연구방법

3차원 공간상에 불규칙하게 분포되어있는 LiDAR 데이터를 처리하기 위해서는 LiDAR 데이터의 특성에 맞는 처리방법이 적용되어야 한다. 그렇기에 본 연구에서는 Lee와 Schenk(2001)가 제시한 3차원 인지구조를 채용하여 LiDAR 데이터를 점, 패치, 건물 구성면으로 생성하고 처리하였다. 전체적인 연구 과정은 Fig. 1과 같이 크게 분할(Segmentation) 과정, 병합(Merge) 과정, 모델링(Modeling) 과정으로 이루어져 있으며 각각의 과정에서 수행되는 세부적인 과정 역시 Fig. 1에 나타내고 있다. 건물 구성면을 추출하는 분할 및 병합 과정은 송낙현 외(2007)에서 제시한 옥트리 공간분할을 이용한 건물 구성요소의 추출 기법을 적용하였다.



Fig. 1. 연구 내용

2. 건물 구성면의 추출

2.1 분할(Segmentation) 과정

분할과정에서는 옥트리 공간분할 기법을 적용하여 LiDAR 점 데이터를 동일한 특성을 지니는 최소의 단위인 패치로 구성하는 것을 목적으로 한다. 패치란 동일한 속성을 갖는 점집합으로 분할된 최소단위의 표면요소를 의미한다(Lee and Schenk, 2001). 분할 속도와 분할 정확도를 향상시키기 위하여 건물의 주방향을 추출하고 주방향에 따라 옥트리 공간분할을 수행한다. 옥트리 공간분할을 수행하면 Fig. 2와 같이 3차원 공간상에서 다수의 직육면체가 구성된다. 다수의 직육면체 중 동일한 직육면체에 포함되어 있는 LiDAR 점 데이터를 패치로 구성하게 된다.

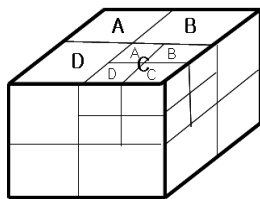


Fig. 2. 옥트리 분할

2.2 병합(Merge) 과정

병합과정에서는 분할과정을 통하여 획득되어진 패치들을 상호 비교하고 인접한 공간적인 특성을 지닌 패치를 군집화하여 건물 구성면을 구성하는 것을 목적으로 한다. 각 패치 내에 존재하는

LiDAR 점 데이터를 이용하여 평면근사를 수행함으로써 패치 내에 LiDAR 점 데이터가 이루는 최적합평면을 추출한다. 이어서 평면근사를 통하여 획득한 최적합평면의 법선벡터 사이 각도를 계산하여 패치를 군집화 한다.

분할과 병합과정에서 요구되는 평면방정식을 추정하기 위해서 본 연구에서는 Boggs(1987)에 의해 제안된 ODR(Orthogonal Distance Regression)알고리즘을 적용하였다. ODR알고리즘은 입력된 점과 추정된 평면사이의 거리에 대한 평균제곱근오차를 임계값과 비교하여 평면방정식을 결정하는 방법이다. 일반적으로 평면근사에 사용하는 기법은 최소제곱법(Least Square Method)으로서 근사평면과 점 데이터간의 Z방향으로의 거리를 이용한다. 반면에 ODR 알고리즘은 각 점들과 추정된 평면과의 거리에 대한 평균제곱근오차를 임계값과 비교하여 근사평면을 결정하기 때문에 3차원 점들을 대표하는 평면을 구성하기에는 ODR이 적합하다.

분할과정을 통해 생성된 각각의 패치는 LiDAR 점 데이터를 기반으로 분할된 공간적인 개념의 최소단위이므로 지붕을 구성하는 3차원 평면요소들을 추출하기 위해서는 동일한 속성을 갖는 패치들을 병합하는 과정이 필요하다. 패치를 병합하기 위해서는 패치들 간의 인접관계와 높이, 경사 등 공간적 특성이 고려되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 패치의 인접성, 점집합의 연속성, 법선벡터의 비교 등 3가지 제약조건을 순차적으로 적용하여 패치들을 병합하였다.

3. 모델링(Modeling) 과정

3.1 윤곽점 탐색

윤곽점이란 점 데이터 집합에서 최외곽에 존재하는 점을 지칭하며 본 연구에서는 분할과정과 병합과정을 통하여 획득되어진 건물 구성면을 모델링하기 위하여 구성면의 최외곽에 존재하는 윤곽점을 탐색하는 과정을 필요로 한다. 윤곽점으로 구성된 인케이싱 폴리곤(Encasing Polygon)은 점 데이터 집합의 모양을 결정하며 윤곽점 탐색 과정에서 추출되어진 윤곽점을 기본으로 건물의 모델

을 추출하는 모델링과정을 수행하였다.

건물 구성면에 포함되는 LiDAR 점 데이터의 윤곽점을 찾기 위하여 본 연구에서는 이영진(2002)에 의하여 제시된 인케이싱 폴리곤 제작 알고리즘을 이용하였다. 인케이싱 폴리곤이란 점 집합의 최외곽점을 지칭하는 윤곽점을 차례대로 연결하여 완성된 도형으로서 인케이싱 폴리곤을 제작하면 점 집합의 윤곽점을 추출할 수 있다. 인케이싱 폴리곤 제작 과정은 전체적으로는 세 점이 반시계 방향으로 이루는 각도가 최소인 점을 찾는 과정이다. 이는 볼록 각지(Convex hull)를 구성하는 방법과 비슷하지만 인케이싱 폴리곤 제작에서는 임계 거리를 두어 탐색거리를 제한함으로써 점 집합의 윤곽점을 탐색할 수 있다. 점 집합의 최외곽점으로 구성되는 인케이싱 폴리곤의 제작과정은 Fig. 3과 같다.

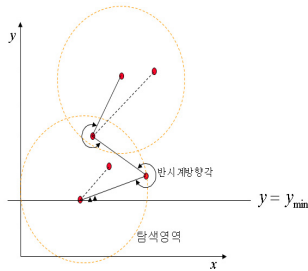


Fig. 3. 인케이싱 폴리곤 제작 알고리즘 (이영진, 2002)

3.2 특이점 추출

특이점 추출 과정은 Fig. 4에 나타나듯이 윤곽점 탐색과정에서 획득되어진 윤곽점 정보를 이용하여 인케이싱 폴리곤의 형상을 대표할 수 있는 특이점을 추출하는 과정이다. 건물 구성면을 구성하는 LiDAR 점 데이터 집합에서의 특이점은 곧 건물 구성면의 코너점으로 지칭할 수 있다. 특이점 탐색 과정으로부터 추출되어진 특이점을 이용하면 건물 구성면을 대표하는 모델의 개략적인 모양을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 윤병주(2001)가 소개하였던 순환적 정점 선택 기법(Integrated Refinement Method : IRM)을 이용하여 특이점을 추출하였다.

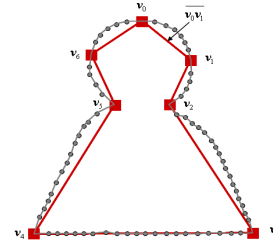


Fig. 4. 윤곽점과 특이점 (윤병주, 2001)

v_{k-1} 와 v_k 를 잇는 선분은 n 개의 윤곽점을 가지는 점 집합의 부분 윤곽선을 근사화 한다. 각 윤곽점으로부터 근사 직선까지의 거리는 다음의 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다. 부분 윤곽선에 속하는 윤곽점 $s(s_x, s_y)$ 의 직선 $\overline{v_{k-1}v_k}$ 으로의 수직 투영된 점을 s_p 라고 정의하고 이 점이 선분 $\overline{v_{k-1}v_k}$ 내에 존재한다면, 이 윤곽점부터 직선까지의 거리 $d'(v_{k-1}, v_k, s)$ 는 다음의 식 (1)와 같다.

$$d'(v_{k-1}, v_k, s) = \frac{\left| \begin{matrix} (s_x - v_{k-1,x})(v_{k,y} - v_{k-1,y}) - \\ (s_y - v_{k-1,y})(v_{k,x} - v_{k-1,x}) \end{matrix} \right|}{\sqrt{(v_{k,x} - v_{k-1,x})^2 + (v_{k,y} - v_{k-1,y})^2}} \quad (1)$$

순환적 정점 선택 기법은 식 (1)에 따라 근사 직선에서 수직 거리가 가장 먼 윤곽점까지의 거리를 계산하고 계산되어진 거리가 임계거리(D_{max})보다 크면 그 점을 정점으로 선택한다. 최종에 모든 근사 직선에서 윤곽선 화소까지의 수직 거리가 임계거리보다 작을 때 까지 정점을 추가하는 방법이다. 이 기법은 곡률이 큰 부분에서 정점이 선택될 확률이 높기 때문에 오차가 큰 경우에도 점 집합의 모양을 유지할 수 있는 장점이 존재한다. 하지만 주어진 왜곡 척도에서 많은 수의 정점을 선택하는 경우가 많아서 모양의 간략화 측면에서는 다른 정점 선택 기법보다 성능이 떨어지는 단점이 있다. 다음의 Fig. 5는 순환적 정점 선택 기법의 수행과정을 설명한다.

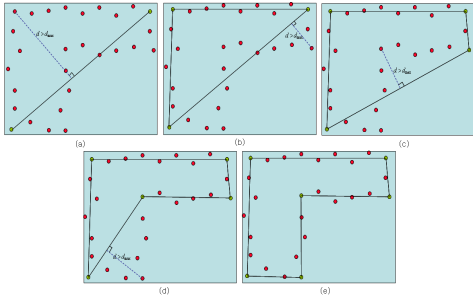


Fig. 5. 순환적 정점 선택 기법의 수행과정
(a→b→c→d→e 순서)

3.3 직각제약조건을 이용한 직선근사

특이점 추출과정에서 추출되어진 특이점과 특이점 사이에 존재하는 윤곽점을 이용하여 직선근사를 수행한다. 분할 및 병합과정을 통하여 건물 구성면의 평면방정식을 획득하였기 때문에 식 (2)에서 확인할 수 있듯이 2차원 직선의 방정식을 기본으로 조정식을 구성한다.

$$F(x,y) = (y + v_y) - m(x + v_x) - b = 0 \quad (2)$$

식 (2)에서 x 및 y 는 관측된 값으로서 윤곽점 및 특이점으로 획득한 LiDAR 데이터의 좌표이다. 또한 v_x 및 v_y 는 미지잔차변수로 m 및 b 를 미지변수로 취급하여 최종적으로 직선의 방정식의 기울기 및 Y절편을 획득한다.

획득되어진 각각의 직선의 교점은 점 집합을 대표하는 모델이라고 정의할 수 있다. 그러나 건물의 경우 인간이 만들어낸 인공 구조체이기 때문에 일정한 규칙을 가지고 생성되기 마련이다. 대표적으로 건물은 직각(90°)의 각을 지니고 건설되어진다. 그리하여 직각 제약조건을 적용하여 근사직선의 교점을 조정하여 보다 실세계에 가까운 지붕형태를 획득한다. 본 연구에서는 건물 구성면의 근사 직선이 이루는 각도가 $90^\circ \pm 10^\circ$ 의 경우에 직각 제약조건을 적용한 조정식을 구성하여 건물 구성면 모델의 정점 조정을 수행하였다.

직각 제약조건을 적용한 조정식은 $90^\circ \pm 10^\circ$ 조건을 만족하는 경우마다 2가지의 관측방정식을 통하여 구성된다. 첫 번째는 직선의 방정식을 이용한 2개 근사직선의 교점을 구하는 방정식이고 두 번

째는 2개 직선의 직교 벡터 방정식이다. 예를 들어 Fig. 6과 같이 두 직선이 이루는 각도가 $90^\circ \pm 10^\circ$ 이내일 경우에 식 (3)은 직선의 방정식을 이용한 교점 획득 방정식에서 획득한 관측방정식이고 식 (4)는 직교 벡터 방정식을 이용하여 조성한 관측방정식이다.

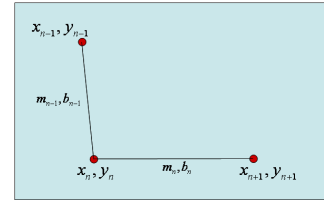


Fig. 6. 직각 제약조건이 적용되는 두 개의 근사직선

$$\begin{aligned} f_1 &= (y_n + v_{y_n}) - m_{n-1}(x_n + v_{x_n}) - b_{n-1} = 0 \\ f_2 &= (y_n + v_{y_n}) - m_n(x_n + v_{x_n}) - b_n = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

$$f = (x_{n-1} - x_n)(x_{n+1} - x_n) + (y_{n-1} - y_n)(y_{n+1} - y_n) = 0 \quad (4)$$

4. 실험결과

4.1 실험데이터

실험데이터는 Table 1과 같이 캐나다 Optech사의 ALTM 30/70 항공 LiDAR 장비를 사용하여 1256.92m의 고도에서 1~2 points/m²의 점밀도로 촬영한 것을 사용하였다. 본 연구에서 제안한 건물 모델링 결과를 분석하기 위해서 대상지역내에서 단순 형태의 평면 건물, 복잡한 형태의 평면 건물, 아파트, 역 케이블 건물, 다면형 건물, 곡면형 건물의 6가지 유형의 건물들을 추출하여 실험을 수행하였다.

Table 1. 실험데이터의 제원

항목	제원
촬영장비	Optech ALTM 30/70
촬영일자	2005. 2.
대상지역	대전시 일대
촬영고도	1219.2m
주사폭	414.77m
점밀도	1~2 points/m ²

4.2 실험결과

본 연구는 건물을 다면 구조체로 정의하고 분할 및 병합 과정을 거쳐서 건물을 구성하는 구성 평면을 추출하였다. 추출되어진 건물 구성면의 모델을 구성하기 위하여 모델링 과정을 통하여 3차원 건물 모델을 구성하였다. 실험 대상 건물인 6개 유형의 건물에 각 단계별로 알고리즘을 적용하여 실험하였다. Fig. 7은 전반적인 연구단계인 분할과정, 병합과정, 모델링과정의 결과를 확인하기 위하여 케이블형태의 지붕에 각 단계별 알고리즘을 적용한 결과이다.

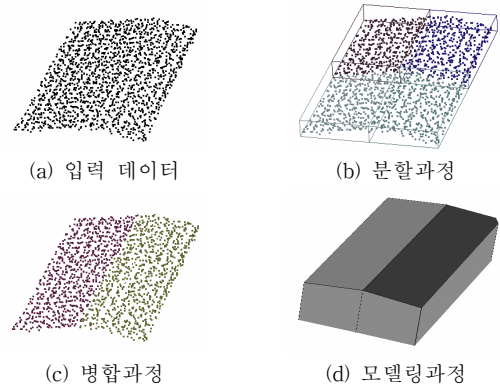
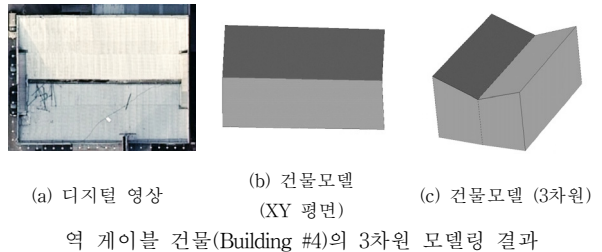
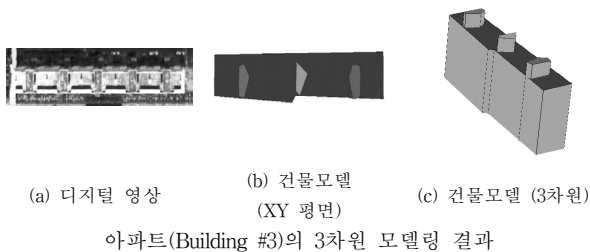
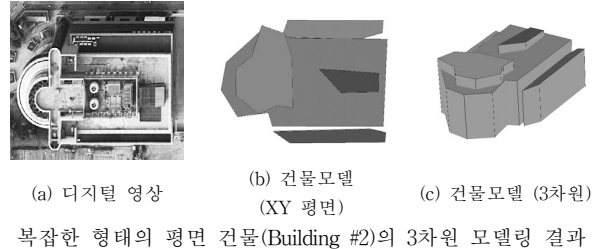
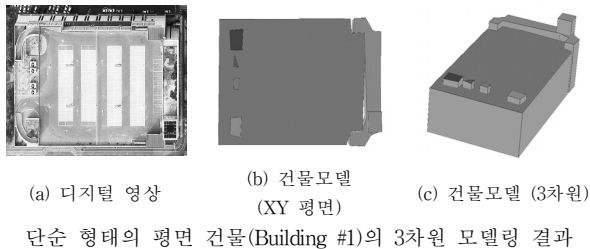


Fig. 7. 케이블 지붕의 모델링 과정별 결과

다음의 Fig. 8은 실험 대상 건물인 6개 유형의 건물에 각 단계별 알고리즘을 적용하여 최종적으로 획득되어지는 3차원 건물 모델을 나타내었다. 건물 옥상을 나타내는 점들을 이용하여 건물의 모델을 제작하고 건물의 옆면은 제작되어진 모델의 정점에서 지상까지의 선을 내려서 구성되는 다각형으로 표현하였다.



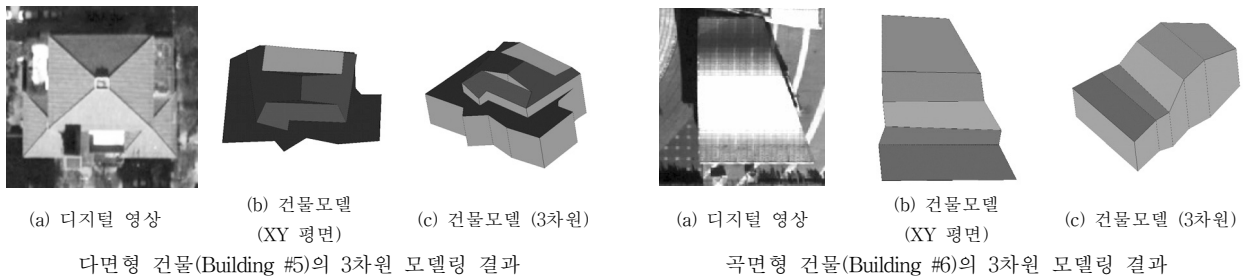


Fig. 8. 건물모델 구성 결과

본 연구에서의 알고리즘을 적용하여 구성된 3차원 건물 모델의 평가를 위하여 영상 데이터와의 비교를 수행하였다. 영상 및 수치도화 데이터와의 비교를 통하여 구성되어진 3차원 건물 모델이 실제 건물의 주요 구성면들을 표현하고 있는 것을 확인할 수 있다.

Building #1,#3의 경우는 실세계에서 비교적 쉽게 찾아볼 수 있는 단순 다각형으로 이루어진 평면건물이다. 이러한 경우 LiDAR 데이터를 이용하여 구성되어진 3차원 건물 모델이 비교적 정확하게 건물 구성면의 모델을 구성하는 것을 확인할 수 있다. 반면에 Building #2의 경우 곡선이 포함된 다각형으로 이루어진 건물 형태로 실세계에 흔하게 존재하지는 않는 건물형태이다. 본 연구에서 모델을 구성하는 방법은 윤곽점 및 특이점을 이용한 직선 근사이기 때문에 곡선이 직선의 조합으로 표현되는 것을 확인할 수 있다. 특이점을 추출하는 임계값인 는 점밀도에 의하여 상대적으로 구성되기 때문에 점밀도가 높은 데이터를 사용하면 곡선을 좀 더 부드럽게 표현할 수 있다.

Building #4는 실세계에 흔히 존재하지 않는 형태인 역 게이블 형태의 건물이지만 게이블 형태의 지붕과 모델링 과정이 크게 다르지 않기 때문에 게이블 형태의 건물의 모델링 결과도 같다고 생각할 수 있다. 구성되어진 건물 모델이 건물을 구성하는 2개의 면을 정확히 표현하고 있음을 확인할 수 있다. 반면에 Building #5의 경우는 4개의 경사면으로 구성된 사각뿔형태의 지붕과 주변의 층이 다른 여러 평면으로 조합된 복합다면구조물이다. 구성되어진 건물 모델에서 사각뿔 형태의 건물 구성면에 주의를 기울이면 4개의 면이 추출된 것을 확인할 수 있으나, 분할과정에서 X-Y, X-Z, Y-Z

평면상에서 공간을 직각사각형 단위로 분할하기 때문에 사각뿔의 첨두 부분에서 정확한 평면요소를 추출하는데 한계가 있다.

본 연구에서는 건물을 다양한 평면으로 구성되어진 다면구조체로 정의하였다. Building #6의 경우는 곡면건물로서 LiDAR 데이터로부터 구성되어진 3차원 건물 모델이 곡면을 본 연구에서 가정하였던 대로 평면의 조합으로 표현되는 것을 확인할 수 있다. 법선 벡터를 비교하여 병합과정을 거치기 때문에 경사변화가 작은 곳은 넓은 간격으로, 경사변화가 큰 곳은 좁은 간격으로 평면이 추출되어 모델링이 되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 건물을 공통적인 특징을 지니고 있는 평면(Surface)으로 구성되어 있는 다면구조체로 가정하였다. 건물을 구성하고 있는 평면인 건물 구성면을 추출하기 위하여 분할·병합과정을 적용하였으며 추출되어진 건물 구성면에 모델링과정을 적용하여 3차원 건물 모델을 구성하였다. 분할·병합·모델링과정을 통하여 건물 모델의 제약 및 점 데이터의 픽셀구조로의 변환 등의 방법을 적용하지 않고 LiDAR 점 데이터만을 이용하여 건물의 3차원 모델을 구성하였다.

분할 과정에서는 옥트리 공간분할을 기본으로 하는 알고리즘을 제시하여 3차원 공간상에 존재하는 LiDAR 점 데이터를 공통적인 특징을 지니고 있는 최소한의 단위인 패치로 구성하였다. 병합과정에서는 인접한 패치들의 법선벡터를 비교하여 건물 구성면을 추출하는 기법을 제시하였다. 모델링 과정에서는 추출되어진 건물 구성면 각각의 모

델을 추출하고 각각의 모델을 정리하여 전체 건물 모델을 추출하는 방안을 제안하였다. 분할·병합·모델링과정을 통하여 구성되어진 3차원 건물 모델은 건물을 구성하는 주요 요소들을 표현하였다.

본 연구에 사용한 LiDAR 데이터는 점밀도가 낮기 때문에 부피가 작은 구조물과 난간과 같은 형태의 건물 구성면을 모델링하지 못하였다. 여러 스트립의 LiDAR 데이터 및 점밀도가 높은 LiDAR 데이터는 부피가 작은 구조물과 난간과 같은 형태의 건물 구성면을 표현하는 점 데이터가 증가하여 이러한 건물 구성면을 모델링 할 수 있는 가능성이 더 높아질 것으로 생각된다.

본 연구에서 제안한 기법들 중에서 분할과정에서 사용한 옥트리를 이용한 공간분할 과정에서 공간을 분할하는 방식을 단순하게 x,y,z 방향으로 1/2크기만큼 분할하는 것이 아닌 LiDAR 데이터의 분포에 따라 신축적으로 분할할 수 있는 연구가 추가적으로 필요하다. 모델링과정에서는 현실세계에 존재하는 건물들의 특성인 직교성, 평행성 등의 일반적인 특성을 적용하면 보다 현실세계에 적합한 건물모델을 구성할 수 있다. 또한 속이 빈 형태의 건물 구성면 등의 다양한 형태의 건물을 모델링할 수 있는 발전된 알고리즘의 개발이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원 (07국토정보C03#)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

송낙현 외, 2007. LiDAR 데이터를 이용한 옥트리 분할 기반의 지붕요소 자동추출, 한국측량학회지
 윤병주, 2001. 윤곽선 정보 감축을 위한 곡률 기반 정점 선택, 박사학위논문, 한국과학기술원, pp. 28-31.
 이영진, 2003. LiDAR 데이터와 항공사진을 이용한

건물의 자동추출에 관한 연구, 석사학위논문, 인하대학교, pp. 14-17.

Abdullatif Alharthy and James Bethel, 2004, Detailed building reconstruction from airborne laser data using a moving surface method, *International Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, Istanbul, Turkey, July. 12-23, 2004, Commission III
 Ellen Schwalbe, 2004, 3D building model generation from airborne laser scanner data by straight line detection in specific orthogonal projections, *International Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, Istanbul, Turkey, July. 12-23, 2004, Commission III
 F. Rottensteiner, J. Trinder, S. Clode, K. Kubik, 2005, Automated Delineation of Roof Planes from LIDAR Data, *International Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, Enschede, Netherlands, Sep. 12-14., 2005
 Impyeong Lee and Toni Schenk, 2001, 3D Perceptual Organization of Laser Altimetry Data, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Annapolis, MD, Oct. 22-24 2004. Volume XXXIV-3/W4 Commission III
 Miao Wang and Yi-Hsing Tseng, 2004, Lidar data segmentation and classification based on octree structure, *International Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, Istanbul, Turkey, July 12-23. Commission III
 Miao Wang and Yi-Hsing Tseng, 2005, Automatic Plane Extraction from LiDAR Data Based on Octree Splitting and Merging Segmentation, *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Seoul, Korea, July 25-29. Vol. 5
 Zwolak, Jason W., Boggs, Paul T. and Watson, Layne T., 2004, ODRPACK95: A Weighted Orthogonal Distance Regression Code with Bound Constraints, Technical Report TR-04-31, Computer Science, Virginia Tech. pp. 1-6.