



LIDAR 데이터와 수치항공사진을 이용한 건물 자동추출 Automatic Building Extraction Using LIDAR and Aerial Image

정재욱* · 장휘정** · 김유석*** · 조우석****

Jeong, Jae Wook · Jang, Hwi Jeong · Kim, Yu Seok · Cho, Woo Sug

要 旨

도시지역의 대부분을 차지하는 건물에 대한 3차원 공간정보는 지도제작뿐 아니라 무선 통신망 설계, 카 내비게이션, 가상도시 구축 등에 근간이 되는 주요 정보이다. 대표적인 수동센서(passive sensor)로부터 얻어진 수치항공사진은 높은 수평 위치정확도를 가지는 반면 중심투영과 폐색지역에 의한 원천적인 문제로 인하여 자동화 과정이 어렵다. 반면 능동센서인 LIDAR 시스템은 지표면에 대한 비정규 점군 형태의 3차원 정보를 빠르고 정확하게 제공한다. 하지만 데이터 취득 특성상 건물의 외곽선과 같은 정보의 획득에는 어려움이 있다. 본 연구에서는 수치항공사진과 LIDAR 데이터를 융합하여 건물의 외곽선을 자동으로 추출하는 방법을 제안하였다. 실험 결과 본 연구에서 제안한 방법은 복잡한 형태의 건물의 외곽선 추출에 우수한 결과를 보여주었으며, LIDAR 데이터와 수치항공사진을 이용해 건물을 자동으로 추출할 수 있는 가능성을 제시하였다.

핵심용어 : 라이다, 수치항공사진, 데이터 융합, 건물자동추출

Abstract

Building information is primary source in many applications such as mapping, telecommunication, car navigation and virtual city modeling. While aerial CCD images which are captured by passive sensor(digital camera) provide horizontal positioning in high accuracy, it is far difficult to process them in automatic fashion due to their inherent properties such as perspective projection and occlusion. On the other hand, LIDAR system offers 3D information about earth surface rapidly and accurately in the form of irregularly distributed point clouds. Contrary to the optical images, it is much difficult to obtain semantic information such as building boundary and object segmentation. Photogrammetry and LIDAR have their own major advantages and drawbacks for reconstructing earth surfaces. The purpose of this investigation is to automatically obtain spatial information of 3D buildings by fusing LIDAR data with aerial CCD image. The experimental results show that most of the complex buildings are efficiently extracted by the proposed method and signalize that fusing LIDAR data and aerial CCD image improves feasibility of the automatic detection and extraction of buildings in automatic fashion.

Keywords : LIDAR, Aerial CCD Image, Data Fusion, Automatic Building Extraction

1. 서 론

도시지역에 대한 3차원 정보는 도시계획, 텔레커뮤니케이션, 지도제작 등에 근간이 되는 중요한 정보로서 대부분 도화사들이 항공영상을 이용하여 판독모사과정을 통해서 구축되고 있다. 도시는 빠르게 변화하고 있으며 이에 대한 지속적인 수정·갱신작업의 필요는 자동화에 대한 요구를 더욱 증가시키고 있다.

항공사진은 높은 수평위치 정확도를 가지지만 사진측

량의 원천적인 문제로 인하여 건물(시설물) 정보를 자동으로 추출하는 것은 어렵다. 지난 수 십 년간 사진측량 분야에서는 사진으로부터 건물을 자동으로 추출하기 위한 많은 연구가 수행되었다. 그러나 아직까지도 건물의 자동추출에 대한 일반적인 방법론이 정립되어 있지 못한 실정이다. 한편, 최근에 개발된 LIDAR 시스템은 지표면에 대한 비정규 분포 점군 형태의 3차원 좌표를 제공하며, 항공사진에 비해 건물의 자동추출 가능성이 높다는 장점을 가지고 있다. 반면 LIDAR 시스템의 데이터

2005년 9월 5일 접수, 2005년 9월 26일 채택

* 한진정보통신(주) GIS 기술연구소 (jwjeong@hist.co.kr)

** 인하대학교 대학원 지리정보공학과 박사과정 (g2001330@inhavision.inha.ac.kr)

*** 인하대학교 대학원 지리정보공학과 석사과정 (yudorian0@nate.com)

**** 정회원, 인하대학교 토목공학과 부교수 (wcho@inha.ac.kr)

취득 특성상 건물의 정확한 경계선과 같은 불연속선(breakline)의 추출이 어려운 단점을 가지고 있다.

물리적으로 다른 원리를 이용하여 대상물에 대한 서로 다른 특성을 기록하는 센서들로부터 취득된 데이터의 융합은 대상물에 대한 상호보완적인 정보를 제공할 수 있다. 최근 이와 관련하여 LIDAR 데이터를 다양한 센서에 의해 취득된 데이터와 융합하여 건물을 자동으로 추출하고자 하는 연구가 지속적으로 수행되고 있다. 이영진(2003)은 LIDAR 데이터를 이용해 생성한 건물 폴리곤을 항공사진에서 찾은 edge를 제한하는 데 이용하였으며 Hough Transformation을 이용해서 건물의 외곽선을 추출하였다. Chen 등(2004)은 항공영상에 대한 Hough Transformation에 의해 3차원 직선을 추출 후 SMS(split-merge-shape)방법(Rau and Chen, 2003)을 이용해서 건물 경계선을 융합하는 연구를 수행하였다. Rottens-teiner와 Briesc(2004)는 LIDAR 데이터를 이용한 건물 지붕의 텍스처 분류결과와 항공영상을 통해서 추출된 건물 외곽선결과를 융합해서 도심지에 대한 3차원 건물을 모델링하였다. Seo(2004)은 LIDAR 데이터로부터 등고선 분석과 wing model을 이용한 건물 모델링을 제안하였다. 항공영상의 edge를 함께 사용함으로써 모델 정확도를 향상시켰다.

본 연구의 목적은 수치항공사진과 LIDAR 데이터를 함께 이용하여 복잡한 형태의 건물에 대한 3차원 정보를 자동으로 추출하는 것이다. 본 연구에서 제안한 방법은 크게 3단계의 처리과정으로 이루어진다. 첫 번째 단계는 LIDAR 데이터 처리를 통하여 건물의 외곽선 후보점을 추출하는 단계이며, 두 번째 단계에서는 수치항공사진을 이용하여 건물 외곽선에 대한 이진영상 제작이 이루어진다. 마지막 단계는 추출된 두 데이터의 융합을 통하여 최종 건물 외곽 후보점과 외곽선을 추출한다. 그림 1은 본 연구에서 제안하는 흐름도를 보여준다.

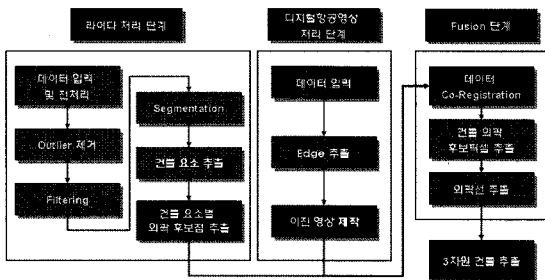


그림 1. 연구 흐름도

2. 건물 추출 알고리즘

2.1 LIDAR 데이터를 이용한 건물 자동추출

복잡한 형태의 건물은 단순한 형태의 건물에 비해서 자동화된 방법으로 건물을 탐지하고 상세하게 표현하는 것은 쉽지 않다. 본 연구에서는 복잡한 형태의 건물에 대한 상세한 정보를 추출하기 위하여 분할된 건물을 개별 건물요소로 분류하는 알고리즘을 개발하고자 하였다. 여기서 개별 건물요소라 함은 복합구조물(옥탑 등)을 구성하는 개개를 일컫는다.

(1) LIDAR 데이터 전처리

LIDAR 데이터는 불규칙한 3차원 점집합으로 이루어져 있다. 본 연구에서는 LIDAR 점간의 인접성 및 처리속도를 유지하면서 3차원 좌표값을 보존하는 가상격자의 개념을 이용하였다(최윤석, 2003). 불규칙 점데이터를 가상격자화하기 위해서는 격자의 크기를 우선 결정해야 한다. Morgan(2002)은 LIDAR 데이터가 갖고 있는 정보의 손실을 최대한 줄이면서 LIDAR 데이터를 정규격자화 하기 위해서는 LIDAR 데이터의 점밀도가 $n(n/m^2)$ 일 때 격자의 크기는 $1/\sqrt{n}$ m가 적당하다고 발표하였다. 따라서 본 연구에서는 기본적인 가상격자의 크기는 LIDAR 데이터가 갖고 있는 정보의 손실을 최대한 줄일 수 있는 $1/\sqrt{n}$ m를 적용한다.

일반적으로 LIDAR 데이터는 공중의 새나 비행기와 같은 대상물에 의해 반사된 높은 노이즈(high outliers)와 다중반사에 의한 낮은 노이즈(low outliers)를 포함하고 있다. 이러한 노이즈는 데이터 처리과정에서 커다란 영향을 미치기 때문에 반드시 제거되어야 한다. 본 연구에서는 노이즈를 제거하기 위하여 그림 2에서와 같이 각 가상격자를 높이별로 구간을 정한 후, 해당구간과 위/아래 구간의 점 데이터의 빈도수를 비교하여 노이즈를 제거한다. 높이의 간격은 LIDAR 데이터의 정확도를 고려하여 0.5m로 설정한다.

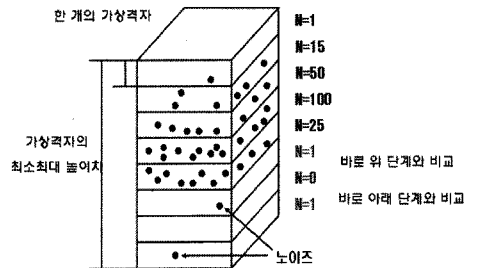
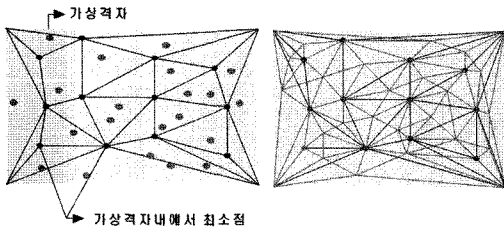


그림 2. 노이즈 제거(낮은 노이즈 경우)

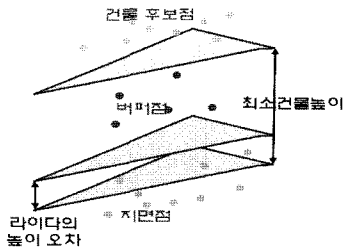
(2) 필터링

본 연구에서 필터링은 LIDAR 데이터를 지면점(지표면)과 비지면점(건물, 나무 등)으로 구분하는 것을 말한다. 본 연구에서 개발한 필터링 알고리즘은 가상격자와 불규칙삼각망(TIN)을 기반으로 하며, 가상격자내의 최저점은 지면점이라는 가정을 전제로 한다. 따라서 가상격자에는 최소한 한개 이상의 지면점을 포함하도록 하여야 하며, 만약 결정된 격자의 크기보다 큰 건물이 존재하는 경우, 격자는 최소한 하나 이상의 지면점을 포함한다는 가정에 위배되어 비지면점을 지면점으로 오분류하는 오차를 초래할 수도 있다. 따라서 가상격자의 크기는 추출하고자 하는 건물의 최대크기를 고려하여 결정해야 한다. 따라서 필터링 단계에서의 가상격자의 크기는 건물의 최대크기를 고려하여 결정한다.

먼저 각각의 가상격자내의 최저점만을 이용하여 지표면을 나타내는 초기 불규칙삼각망을 구성한다. 구성된 초기 불규칙삼각망의 개별 삼각형내에 포함된 LIDAR 점 중에서 최저점을 추출하여 다시 불규칙삼각망을 구성한다. 이와 같이 반복적으로 구성된 불규칙삼각망은 지표면에 근사되어진다. 최종적으로 구성된 불규칙삼각망과 LIDAR 점과의 거리 제한조건(최소 건물높이)을 이용하여 비지면점(건물 후보점)을 추출한다. 그림3은 필터링과정을 보여준다.



a) 초기 근사 TIN b) 초기근사TIN의 정교화



c) 건물 후보점

그림 3. 필터링

(3) 분할(segmentation)

필터링을 통해 추출된 비지면점(건물 후보점)들은 불규칙적으로 분포하는 점들의 집합이다. 본 연구에서 분할이란 건물 후보점들을 개별 건물을 구성하는 LIDAR 점들의 집합으로 분리하는 과정을 일컫는다.

분할과정은 필터링을 통해 구분된 지면점과 비지면점을 모두 이용하며, 지면점의 점밀도를 고려하여 가상격자의 크기를 결정한다. 분할과정은 크게 비지면점의 침식연산, 그룹핑, 비지면점 팽창연산으로 나뉜다.

• 비지면점의 침식연산

건물이 밀집되어 있는 경우 건물사이의 경계가 분명히 구분되지 않아 여러 개의 건물이 하나의 건물처럼 보이는 경우가 있다. 이러한 경우 그룹핑(grouping)을 수행하면 여러 개의 이웃건물들이 하나의 건물로 통합되는 문제점을 야기한다. 침식연산에서는 먼저 필터링을 통해 구분된 지면점만의 점밀도를 고려하여 지면점을 가상격자로 나눈다. 가상격자 중에서 그림 4와 같이 비지면점만이 포함된 가상격자를 대상물격자(object grid)로 정의한다. 가상격자와 필터링을 통해 구분된 비지면점을 중첩하여, 대상물격자 내부에 있는 점들을 1차 비지면점으로, 지면점과 비지면점이 함께 포함된 가상격자에 속한 비지면점들을 2차 비지면점으로 분리한다.

• 그룹핑

침식연산에서 추출된 1차 비지면점만을 대상으로 그룹핑을 수행한다. 1차 비지면점의 무게중심을 가상격자의 대표값으로 하여 격자를 순차적으로 탐색, 이웃 격자간의 연관성에 의해 개개의 건물을 그룹으로 분리한다. 연관성은 탐색 격자와 대상격자(target grid)의 무게중심간 x, y방향의 거리에 의해서 결정된다. 만약, 서로 다른 그룹으로 분리된 탐색격자에 대해서는 그 그룹의 동일성을 표현하기 위해 등치 테이블을 작성한다. 모든 격자를 순

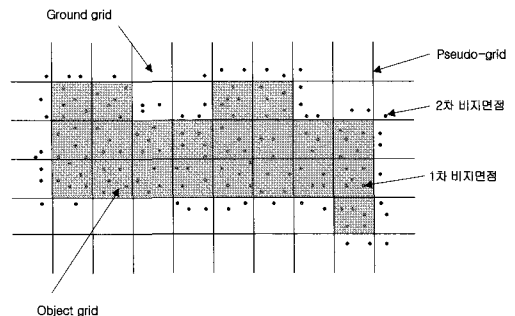


그림 4. 비지면점의 침식

차적으로 탐색한 후 다시 순차적으로 이동하면서 등치테이블에 기록된 등치값들을 대표값으로 바꿔준다. 다음 그림 5는 그룹핑 방법을 보여준다.

• 비지면점 팽창연산

팽창연산은 그룹핑을 위해 침식단계에서 제외되었던 2차 비지면점을 복원시키는 과정이다. 2차 비지면점과 그 점을 기준으로 8방향의 격자에 포함된 1차 비지면점의 무게중심간의 거리에 의해서 연결성이 결정된다. 최종적으로 1차 비지면점과 연관성이 없는 비지면점들은 제거되고, 나머지 2차 비지면점들은 각각의 그룹에 속하게 된다.

(4) 개별 건물요소 추출

복잡한 건물을 재구성하기 위해서는 건물을 구성하는 건물요소의 분류가 필요하다. 본 연구는 건물요소를 추출하기 위해 이웃하는 가상격자의 높이 차이를 이용하여 각 건물을 이루고 있는 건물요소를 구분한다.

개별 건물요소 분류는 그림 6에서와 같이 한 개의 건물로 판단되는 비지면점들을 일정한 크기의 가상격자로 분할하고 가상격자를 행, 열 방향으로 이동하면서 해당 격자와 그 다음 격자의 높이 값을 비교하여 건물을 구성하는 건물요소들로 분리한다. 가상격자의 크기는 $1/\sqrt{n}$ m 를 적용한다.

(5) 건물요소별 외곽점 추출

건물을 구성하는 각각의 요소로 추출된 LIDAR 데이터는 수치항공사진과의 데이터융합을 위한 초기값으로

사용된다. 이때 데이터 융합단계의 초기값을 제한하고 효율적인 처리를 위해 본 연구에서는 건물요소별 외곽 후보점을 추출하게 된다. 건물요소의 외곽점을 추출하기 위한 기본 가정은 그림 7과 같이 건물요소를 포함하는 영역의 외부에서 건물요소가 위치하는 방향으로 이동하면서 처음 만나는 LIDAR 점은 그 건물요소의 외곽점이며, 또한 건물요소 내부에서 외부 방향으로 이동하여 LIDAR 점이 포함되지 않는 요소를 탐지하여 이로부터 건물의 외곽점을 추출할 수 있다.

2.2 수치항공사진에서의 건물 자동추출

수치항공사진에서 건물의 경계선(edge)을 추출하기 위해 LoG(Laplacian of Gaussian) 필터를 이용하였다(Gonzalez, 2004). 경계선 추출 이후 영상 처리의 효율성을 높이기 위해 영상의 임계값(threshold)을 선정하여 이진화된 영상을 제작한다. 본 연구에 사용된 수치항공사진은 컬러영상으로 각 R, G, B의 픽셀 값의 합에 대해 임계값을 적용함으로써 추출된 건물의 외곽선들의 손실을 최대한 줄였다.

2.3 데이터 융합

(1) Co-Registration

Co-Registration 단계는 LIDAR 데이터와 수치항공사진의 융합을 위해 데이터 간의 상호위치관계를 정립하는 단계로 본 연구에서는 수치항공사진의 내부표정요소 및 외부표정요소를 기반으로 공선조건식을 이용하였다.

(2) 건물 외곽 후보픽셀 추출

건물요소의 외곽 후보점으로 결정된 LIDAR 데이터를 수치항공사진위에 투영하여 LIDAR 데이터를 초기 값으로 수치항공사진 상의 경계선을 검색하여 건물 외곽 후

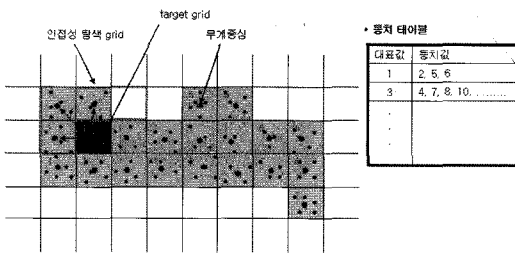


그림 5. 그룹핑

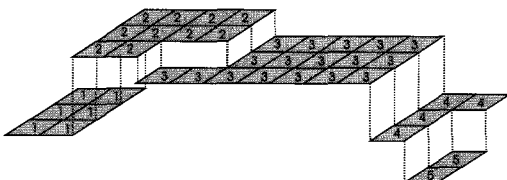


그림 6. 건물요소 추출

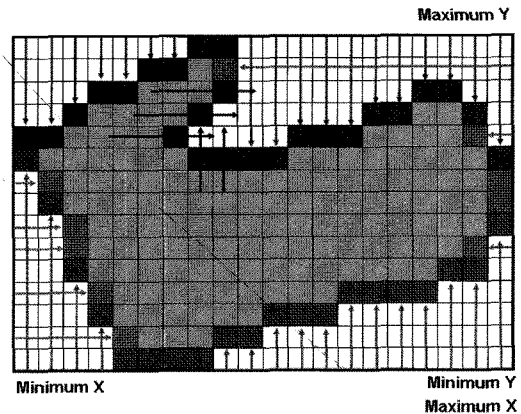


그림 7. 건물요소 외곽점 추출

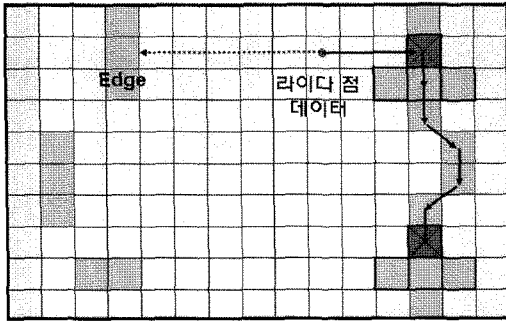


그림 8. 건물외곽 후보점 추출

보픽셀을 결정한다. 본 연구에서는 건물 외곽 후보픽셀을 추출하기 위해 초기값으로 주어진 LIDAR 점을 수치항공사진 위의 일정한 탐색구간에서 이동시킨다. 경계선으로 추출된 픽셀 중 최단 거리 픽셀을 건물의 외곽 후보픽셀로 결정한다. 결정된 픽셀들에 대한 Edge linking에 의해 건물 외곽선 후보 픽셀을 상하 방향과 좌우 방향의 성분으로 외곽선을 분류한다. 그림 8은 건물 외곽후보점 추출의 방법을 보여준다. 그림에서 Edge는 수치항공사진에 의해 추출된 건물 외곽선이며, 라이다 점 데이터는 제안한 방법에 의해 얻어진 건물요소의 외곽점을 의미한다.

(3) 건물 외곽선 추출

수치항공사진에서 건물요소의 각각의 방향별로 후보 픽셀들이 결정되면 이 후보 픽셀을 하나의 직선으로 표현하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 이 과정을 위해 Hough Transformation을 사용한다. 각각의 방향별 후보 픽셀들은 하나의 직선으로 표현되기 때문에 Hough Transformation을 통해 얻어진 각각의 축척 셀 중에서 가장 큰 값을 가지는 축척 셀을 추출한다.

3. 실험 및 결과분석

3.1 실험 데이터

본 연구에 사용된 LIDAR 데이터는 인하대학교를 대상으로 Optech사의 ALTM 3070 시스템에 의해 2004년 7월 29일 취득되었으며 촬영제원은 다음 표 1과 같다. 또한 본 연구에 사용된 수치항공사진은 LIDAR 데이터와 동시에 취득된 것으로 제원은 표 2와 같다.

3.2 LIDAR 데이터 실험 결과

(1) 노이즈 제거

제안된 노이즈제거 알고리즘을 대상지역에 적용한 결과 노이즈가 효과적으로 제거되는 것을 볼 수 있었다. 그

표 1. LIDAR 데이터 촬영 제원

항목	제원
비행고도	762m
비행속도	66.9m/s
스캐너 주사회수	70kHz
주사율(scan rate)	47Hz
주사각도(scan angle)	±20°
중복도(overlap)	277m(50%)
주사폭(swath width)	554.69m
평균점밀도	6점/m ²

표 2. 디지털항공영상의 제원

항목	제원	
Camera	DSS	
Focal length(mm)	55.156	
촬영 축척	약 1:13800	
영상 크기(pixels×lines)	4077 × 4092	
픽셀 크기(microns)	9	
외부 표정 요소	Easting(m)	169405.289
	Northing(m)	438610.837
	Height(m)	789.866
	Omega(degrees)	-1.99453
	Phi(degrees)	1.69222
Kappa(degrees)	145.95428	

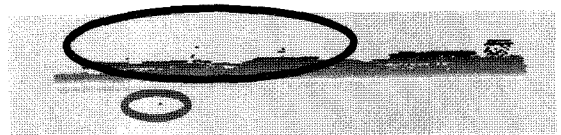


그림 9. 노이즈 제거 전

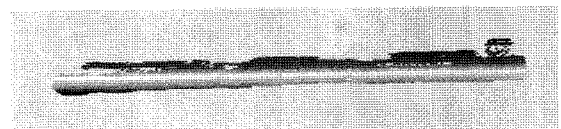


그림 10. 노이즈 제거 후

림 9, 10은 대상지역의 횡단면도를 보여준다. 그림 9는 노이즈 제거 전, 그림 10은 노이즈 제거 후이다. 가상격자의 크기는 40m×40m, 구간의 높이는 0.5m로 설정하였다.

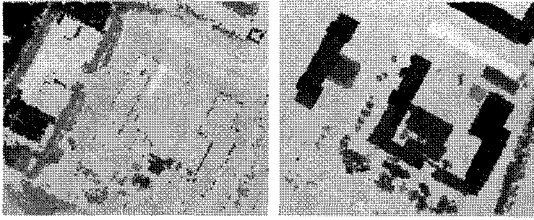


그림 11. 필터링 결과

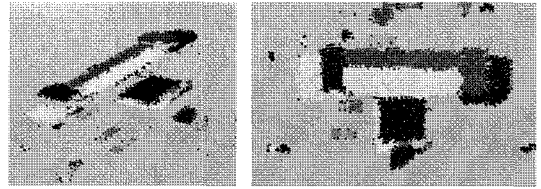


그림 13. 건물요소 추출

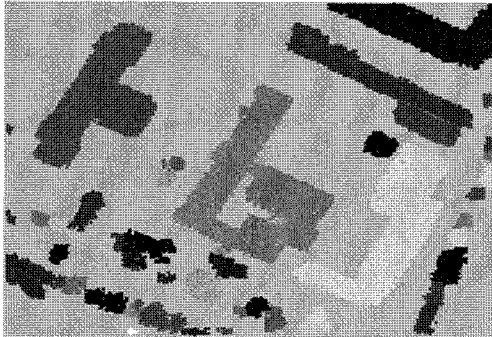


그림 12. 분류 결과

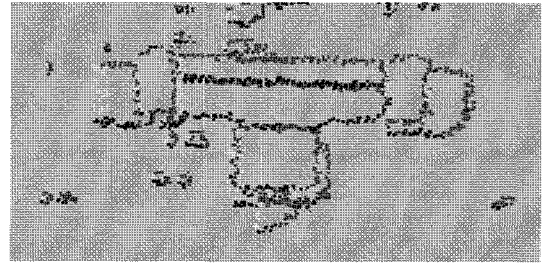


그림 14. 건물요소 외곽점 추출

(2) 필터링

필터링 단계에서 가상격자의 크기는 최대 건물의 크기를 고려하여 40m×40m, 건물의 최소높이를 5m로 하여 건물후보점을 추출하였다. 그림 11은 필터링 결과로 (a)는 지면점을 (b)는 비지면점을 보여준다.

(3) 분할

분할단계에서 가상격자의 크기는 분할의 정확성과 데이터 처리속도에 가장 큰 영향을 주는 요소로 최적의 크기를 결정하는 것은 매우 중요하다. 분할단계에서 인접성의 결정은 각 가상격자의 대표값인 무게중심을 이용한다. 무게중심이 의미를 가지려면, 가상격자내의 점의 수가 최소한 2개 이상이어야 한다. 따라서 본 연구에서 가상격자의 크기는 인접 건물간의 최소 거리는 3m라는 가정과 무게중심에 의한 최소 점의 수를 고려하여 3m로 설정하였다. 그림 12는 제시한 알고리즘에 의해 그룹핑된 결과를 나타내며, 각 그룹을 다른 색상으로 표현하였다.

(4) 개별 건물요소 추출

본 연구에서 제안한 알고리즘에 의하여 개별 건물을 구성하는 건물요소를 추출하였다. 그림 13은 개별 건물요소로 추출된 인하대학교 본관 건물을 보여준다.

(5) 건물요소 외곽점 추출

추출된 개별 건물요소에 대하여 건물요소별 외곽점을 추출하였다. 그림 14는 인하대학교 본관 건물의 건물요소별 외곽점을 보여주고 있으며 데이터융합 단계의 초기값으로 사용 가능한 결과를 얻을 수 있었다.

3.3 수치항공사진 처리 결과

대상지역의 수치항공사진에 LoG(Laplacian of Gaussian) 필터를 이용하여 경계선을 추출하였다. R, G, B 밴드의 픽셀 값의 합에 대하여 150의 임계값을 주어 이진화 영상을 제작하였다. 그림 15는 인하대학교 본관의 수치항공사진이며, 그림 16은 이진화 영상을 보여주고 있다.

3.4 데이터 융합 결과

(1) 외곽 후보픽셀 추출

LIDAR 데이터에 의한 건물 외곽 후보점을 수치항공사진에 투영하여 건물의 외곽후보픽셀을 결정하였다. 그림 17은 세로방향 건물외곽 후보픽셀을 보여주고 있다. 그림 18은 가로방향 건물외곽 후보픽셀을 보여주고 있다.

(2) 외곽선 추출

추출된 외곽 후보픽셀에 대해 Hough Transformation을 수행하여 최종적으로 건물의 외곽선을 추출하였다. 그림 19는 인하대학교 본관의 외곽선을 보여주고 있다. 그림 19는 각각의 외곽선에서 연장된 선의 결과를 명확하게 보여주기 위해 인위적으로 연장시켰다.

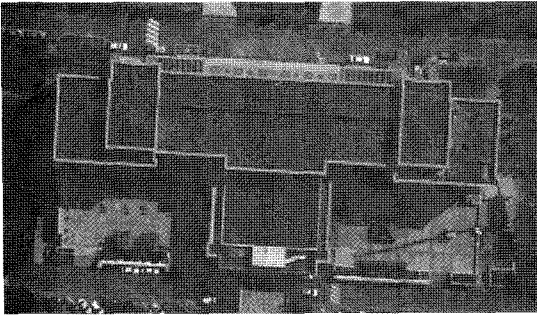


그림 15. 대상지역 수치항공사진

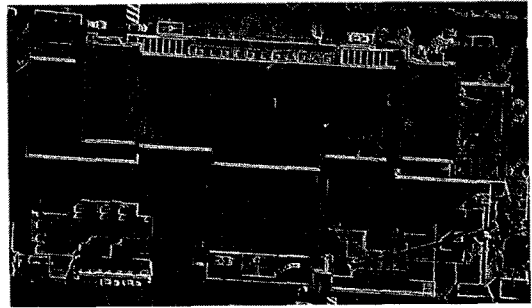


그림 18. 외곽 후보픽셀 추출(세로방향)

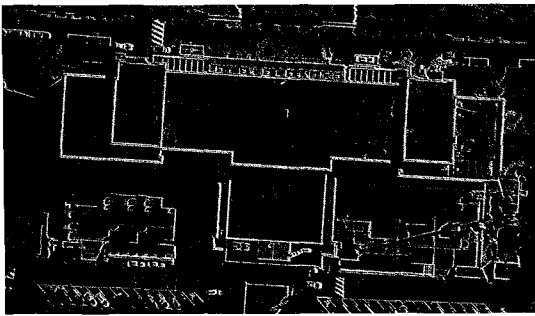


그림 16. 이진화 영상

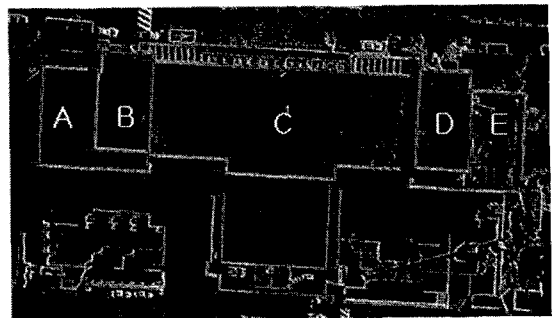


그림 19. 외곽선 추출

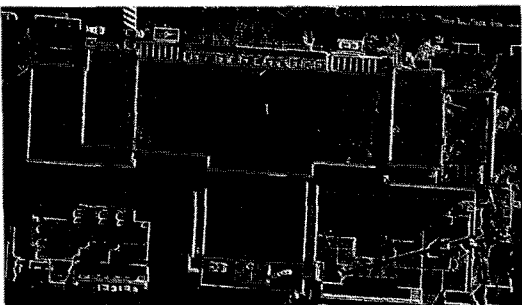


그림 17. 외곽 후보픽셀 추출(가로방향)

4. 결 론

본 연구는 LIDAR 데이터와 수치항공사진을 이용하여 건물의 외곽선을 자동으로 추출하기 위해 LIDAR 데이터 처리단계, 수치항공사진 처리단계, 데이터 융합단계의 세 단계로 구성된 건물추출 알고리즘을 제시하였다. LIDAR 데이터 처리단계에서는 불규칙삼각망에 기반한 필터링과 무게중심을 이용한 분할을 통해 건물을 추출하였고 건물요소 추출 알고리즘을 개발하여 복잡한 형태를 가진 건물의 세밀한 묘사를 가능하게 하였다. 데이터 융합 단계에서는 LIDAR 데이터를 초기값으로 하여 건물외곽선을 건물요소 단위로 추출하고 Hough Transformation을 이용하여 건물의 외곽선을 추출하였다. 본 연구에서 제안한 알고리즘을 이용하여 실험한 결과 대부분의 건물 외곽선을 추출할 수 있었다. 또한 복잡한 형태로 구성된 건물의 외곽선 추출에서도 우수한 결과를 나타냈다. 하지만 건물의 지붕면이 평면이 아닌 구형일 경우 건물요소추출이 어려웠으며 건물의 벽면이 짧은 경우 외곽선을 추출하기 어려운 문제점이 있었다.

본 연구 결과의 정확도를 검증하기 위해서 수동으로 도화된 3차원 도화데이터와 비교하였으며 결과는 다음 표 3과 같다. 여기서 도화된 값은 인하대학교 본관을 수동으로 도화한 결과이며, 계산된 값은 본 연구 결과로 얻어진 건물의 외곽선의 교차점을 공선조각식으로 변환해준 결과이다. 차이는 도화된 값과 계산된 값의 X, Y, Z의 차이를 계산한 값이다. 최종적인 RMSE는 X방향 0.3476m, Y방향 0.3678m, Z방향 0.2665m의 차이를 보였다.

표 3. 정확도 분석

ID	도화된 값			계산된 값			차이		
	X	Y	Z	X	Y	Z	delta X	delta Y	delta Z
A-1	169388.97	438599.986	35.1	169388.898	438599.939	35.37	0.072	0.047	-0.27
A-2	169377.665	438606.419	35.1	169377.554	438606.199	35.43	0.111	0.22	-0.33
A-3	169386.398	438621.497	35.1	169386.576	438621.663	35.41	-0.178	-0.166	-0.31
A-4	169376.245	438627.737	35.1	169375.698	438627.435	35.52	0.547	0.302	-0.42
A-5	169377.516	438631.262	35.1	169377.754	438630.948	35.46	-0.238	0.314	-0.36
A-6	169399.56	438619.209	35.1	169399.411	438618.906	35.45	0.149	0.303	-0.35
B-1	169375.7	438602.637	39.476	169375.779	438602.662	40	-0.079	-0.025	-0.524
B-2	169365.42	438608.249	39.493	169365.394	438608.472	40.2	0.026	-0.223	-0.707
B-3	169375.943	438627.304	39.486	169375.832	438627.348	39.05	0.111	-0.044	0.436
B-4	169386.507	438621.531	39.525	169386.682	438621.586	39.91	-0.175	-0.055	-0.385
C-1	169366.389	438609.757	36.562	169366.052	438609.976	36.61	0.337	-0.219	-0.048
C-2	169313.214	438638.766	36.562	169313.237	438639.057	37.84	-0.023	-0.291	-1.278
C-3	169323.156	438656.987	35.1	169322.663	438657.023	35.52	0.493	-0.036	-0.42
C-4	169338.817	438648.135	35.1	169339.48	438647.655	35.38	-0.663	0.48	-0.28
C-5	169340.441	438650.952	35.1	169340.331	438651.192	35.34	0.11	-0.24	-0.24
C-6	169361.854	438639.63	35.1	169362.237	438639.031	35.35	-0.383	0.599	-0.25
C-7	169360.431	438636.462	35.1	169360.377	438636.24	35.34	0.054	0.222	-0.24
C-8	169376.245	438627.737	35.1	169375.704	438627.431	35.68	0.541	0.306	-0.58
D-1	169312.486	438637.406	39.571	169312.291	438636.697	40.05	0.195	0.709	-0.479
D-2	169302.271	438643.39	39.591	169302.147	438642.525	40	0.124	0.865	-0.409
D-3	169312.379	438662.192	39.464	169312.421	438662.706	40.03	-0.042	-0.514	-0.566
D-4	169322.917	438656.459	39.649	169323.146	438656.738	39.98	-0.229	-0.279	-0.331
E-1	169304.23	438646.574	35.1	169303.709	438647.287	35.55	0.521	-0.713	-0.45
E-2	169292.826	438652.788	35.1	169293.081	438653.079	35.63	-0.255	-0.291	-0.53
E-3	169303.536	438671.925	35.1	169303.27	438671.943	35.5	0.266	-0.018	-0.4
E-4	169325.467	438659.918	35.1	169324.292	438660.197	35.43	1.175	-0.279	-0.33
E-5	169323.156	438656.987	35.1	169322.763	438657.248	35.47	0.393	-0.261	-0.37
						RMSE	0.3476	0.3678	0.2665

또한 항공사진 고유의 문제점인 그림자 부분에서는 건물의 외곽선이 추출되지 않는 문제점이 발생하였다. 이러한 문제점은 LIDAR 데이터의 점밀도 향상과 입체영

상을 이용하면 보다 향상된 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원(R05-2003-000-10987-0)을 받아 수행된 연구이며, 본 연구의 수행에 필요한 LIDAR 데이터와 수치항공사진을 제공해주신 한진정보통신(주)에 감사드립니다.

참고문헌

1. 좌윤석, 2002, 항공 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 건물 자동추출에 관한 연구, 석사학위논문, 인하대학교
2. 이영진, 2003, "항공사진과 항공레이저 데이터를 이용한 건물 자동추출", 대한원격탐사학회지, 대한원격탐사학회, Vol. 19, No. 4, pp. 307-317.
3. Rafael C., Gonzalez, Richard E., Woods, Steven L., Eddins, 2004, Digital Image Processing, Pearson Prentice Hall, pp. 384-388.
4. Liang-Chien Chen, Tee-Ann Teo, Yi-Chen Shao, Yen-Chung Lai, Jiann-You Rau, 2004, "Fusion of LIDAR Data and Optical Imagery for Building Modeling", ASPRS Annual Conference, Denver, Colorado.
5. Rau, J. Y., and Chen, L. C., 2003, Robust reconstruction of building models from three-dimensional line segments, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 69, pp. 181-188.
6. Rottensteiner, F., Briese, Ch., 2003, "Automatic Generation of Building Models from LIDAR Data and The Integration of Aerial Images", ISPRS, Vol. XXXIV, Dresden.
7. Suyoung Seo, 2004. "Intergration of Multisensor Data for Building Extraction", ASPRS Annual Conference Proceedings.