

항공 LiDAR와 항공사진을 이용한 건물 경계 정교화*

김형태¹ · 한동엽^{2*}

Refinement of Building Boundary using Airborne LiDAR and Airphoto*

Hyung-Tae KIM¹ · Dong-Yeob HAN^{2*}

요 약

항공사진이나 LiDAR 데이터를 이용하여 건물의 자동 추출에 있어서 많은 연구가 이루어졌지만, 3차원 위치정보와 영상의 형상정보라는 두 데이터의 장점을 융합하여 정확도를 향상시킬 수 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 등고선 기반의 건물인식 알고리즘을 사용하여 LiDAR 데이터를 이용한 건물 인식 정확도를 향상시키고, 항공사진을 이용하여 건물 경계의 정교화도 추구하였다. 등고선기반 건물 인식 방법은 건물의 경계와 지붕구조물 정보를 생성할 수 있으며, 기존 TIN기반 인식 방법이나 NDSM기반 방법보다 우수한 건물 탐지 정확도를 보여주었다. 등고선으로 추정된 건물경계에 일정한 크기의 버퍼를 생성하여 항공사진의 경계영역을 한정시키고, double active contour를 사용하여 항공사진의 에지에 맞도록 건물경계를 정교화 하였다. 본 연구성과를 이용하여 향후 추출된 개체 경계의 일정 범위에서 최적의 정합을 수행하여 3차원 건물 경계를 생성할 수 있다.

주요어 : LiDAR, 항공사진, 건물인식, 건물경계

ABSTRACT

Many studies have been carried out for automatic extraction of building by LiDAR data or airphoto. Combining the benefits of 3D location information data and shape information data of image can improve the accuracy. So, in this research building recognition algorithm based on contour was used to improve accuracy of building recognition by LiDAR data and elaborate building boundary recognition by airphoto. Building recognition algorithm based on contour can generate building boundary and roof structure information. Also it shows better accuracy of building detection than the existing recognition methods based on TIN or NDSM. Out of creating buffers in regular size on the building boundary which is presumed by contour, this

2008년 8월 11일 접수 Received on August 11, 2008 / 2008년 9월 10일 수정 Revised on September 10, 2008 / 2008년 9월 16일 심사완료 Accepted on September 16, 2008

* 본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보C04)에 의해 수행되었습니다.

1 한국토지공사 국토도시연구원, Korea Land Corporation, Land & Urban Institute

2 전남대학교 공학대학 건설환경학부, Chonnam National University, Department of Civil & Environmental Engineering

* 연락처 E-mail : hozilla@chonnam.ac.kr

research limits the boundary area of airphoto and elaborate building boundary to fit into edge of airphoto by double active contour. From the result of this research, 3D building boundary will be able to be detected by optimal matching on the constant range of extracted boundary in the future.

KEYWORDS: *LiDAR, Airphoto, Building Detection, Building Boundary*

서론

도심 인공지물의 대부분을 차지하고 산업 및 생활활동이 주로 일어나는 건물은 3D 도시 모델링, 지형분석, 생활정보, 여행 등 실세계 표현에서 중요한 개체이다. 또한 항법시스템, LBS(Location-Based Service) 등에서 건물이나 도로 등의 지형정보를 빠르게 갱신하고 정확하게 제공하는 것은 필수적인 요소이다. 특히 응용목적에 따라 공간정보의 최신성이 중요시되어 기존의 반자동 공간정보 취득에서 공간정보를 자동으로 취득하는 것도 중요하게 여겨지고 있다. 항공사진은 아직까지 지표면의 3차원 정보를 얻는 주요한 수단이고, 지표면 정보를 잘 표현하며, 개체의 정확한 결과 및 충분한 경계정보를 제공하고 있지만, 항공사진을 이용한 개체의 자동인식에 여전히 어려움을 겪고 있다.

최근 LiDAR(Light Detection And Ranging) 데이터를 이용한 3차원 GIS DB 구축(윤희천과 박준규, 2007)이나 건물모델링은 많은 성과를 보이고 있다. 그러나, LiDAR 데이터의 점 밀도에 의해 표현 가능한 모델에 한계가 있고, 형태상 일치하는 모델링이 이루어진다고 해도, 건물의 경계정보가 부족하여 모델의 정확한 윤곽을 구현하기 어렵다.

데이터 융합을 이용한 건물모델링 연구는 10여년 이상 활발하게 수행되고 있다. 단일자료에서 부족한 정보를 이종 데이터에서 보조하는 방식으로 데이터간의 융합을 시도하는 연구가 이루어지고 있다. 2D 지도와 영상을 이용(Pasko와 Gruber, 1996; Suveg와

Vosselman, 2000)하거나, 2D 지도와 LiDAR 데이터를 이용(Lemmens et al., 1997; Haala et al., 1998; Brenner, 2000; Vosselman과 Dijkman, 2001)하여 모델링하는 연구는 이러한 사례이다. 2D 지도는 간단한 폴리곤으로 분할되어 지붕의 모델링을 위한 후보 영역정보와 건물 경계정보로 사용된다. Haala와 Brenner(1999)는 LiDAR DSM과 다중분광 영상을 병합하여 사용하였다. 김형태(2001)는 TIN 데이터에서 건물을 인식하고, 다중 항공사진에서 건물의 경계를 정교화하였다. Rottensteiner et al.(2004)는 복잡한 도심에서 건물의 추출을 위해 LiDAR 데이터로부터 건물을 모델링한 후에 컬러항공사진의 에지선분을 융합하였다. 건물 추출에 하이퍼분광영상이 활용되기도 하였다(Huertas et al., 1999; McKeown et al., 1999). 이와 같이 흑백 혹은 컬러영상(항공사진, 위성영상, 하이퍼분광영상), 높이 데이터(항공사진에서 생성된 DSM, LiDAR 데이터), 2D 수치지형도 등과의 융합에 의해 건물 모델링의 자동화 및 정확도 향상을 도모하고 있다. 융합전략은 건물인식과 모델링 정보 생성에 LiDAR 데이터를 사용하고, 생성된 경계는 항공사진의 에지로 정교화하는 것이다. 그러나, 이러한 융합방식에서도 건물인식과 정교화 부분 등에 아직 개선할 필요가 있다. 광학 영상과 LiDAR 데이터의 융합은 3차원 위치정보와 영상의 형상정보라는 두 데이터의 장점을 결합하여 이루어 질 수 있다. 본 연구의 목적은 항공사진과 항공 LiDAR 데이터의 융합을 통하여 건물 경계를 정교하게 추출하는 것이며, 향후 건물의 자동 모델링을 위한 선행 연구이다. 건물 인식을 위한 데이터로 DSM(Digital

Surface Model)이 주로 사용되며, 기존의 항공 사진에서 생성된 DSM에 비해 LiDAR 데이터 DSM은 건물 인식의 정확성과 신뢰성이 높다. 높이 데이터의 형식은 격자 래스터 데이터와 점 데이터, TIN(Triangulated Irregular Network), 등고선 등의 벡터 데이터로 구분할 수 있다. 등고선을 이용한 건물인식은 래스터 데이터에 비해 저장공간과 연산시간이 늘어나며 경사지붕의 분할에 어려움을 가지고 있다. 그러나 지붕구조물 탐지, 건물의 폐곡선 탐지, 건물인식과 건물 모델링 과정에서 변환오차 최소화, 건물영역의 논리연산(boolean)을 효율적으로 처리할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 등고선을 기반으로 건물을 인식하였다. 이를 위하여 LiDAR 데이터로부터 등고선 그래프를 형성하며, 등고선간 경사조건을 이용하여 건물 후보그룹을 형성하였다. 각 건물 후보그룹에 기하학적 속성 정보와 위상관계를 고려하여 건물과 지붕구조물을 구분하고, 건물경계선 폭과 내부 hole 등고선을 이용하여 2개 이상의 건물이 혼합된 형태의 건물도 분리하였다.

LiDAR 데이터로부터 구한 건물경계는 항공 사진에 투영하여 건물경계를 정교화할 수 있다. LiDAR 데이터의 정확도, LiDAR 데이터와 항공사진 표정정보의 일치 정도에 따라 적당한 경계버퍼를 형성하여, 버퍼 내에 존재하는

항공사진의 에지정보를 건물경계로 설정한다. 이를 위해 항공사진의 에지정보를 건물의 경계와 같이 폐곡선으로 형성하고, 버퍼내에 경계 폐곡선이 존재하도록 내외부 버퍼선을 이용한 double active contour를 사용하였다. active contour에 의해 형성된 영역을 공통영역과 개별영역으로 구분하고, 모양분석을 이용하여 공통영역에 개별영역을 추가하는 방법으로 건물 경계를 정교화하였다.

건물 인식

LiDAR 데이터는 건물을 인식하는 데 있어 높은 가능성을 보여주고 있다. 기존 연구에서는 주로 래스터 DSM에서 정규화된 DSM을 처리하여 건물을 인식하는 사례가 많았다. 이는 계산의 용이성, 상대적으로 작은 데이터, 알고리즘의 신뢰성 등과 같은 장점을 지니고 있기 때문이다. 본 연구에서는 추출의 정확도를 높이고, 연산과정의 변환오차를 줄이며, 벡터 개체정보를 제공할 수 있는 등고선기반의 건물 인식(Seo, 2003)을 수행하였다.

1. 실험 데이터

본 연구의 실험적용을 위하여 분당지역에서 획득된 LiDAR 데이터와 입체 항공사진을 이용하였다. FIGURE 2에서 보는 것처럼 대상지역은 낮은 건물이 밀집된 주택지역과 아파트로 이루어진 대형건물 지역이다. 사용된 LiDAR 데이터는 이병길(2001)이 제안한 알고리즘을 사용하여 스트립조정된 것으로, 조정 결과 수평위치 RMSE는 0.27 m이며, 수직위치 RMSE는 0.16 m, 평균 점밀도는 각각 0.38 점/m², 0.40 점/m²이다. 1:5,000 축척의 항공사진은 GPS 측량기준점을 이용하여 표정정보를 획득한 것으로, LiDAR 데이터와 상호보정(co-registration)되지 않는 것이며, LiDAR 데이터와 취득시기도 다르다(김형태, 2001).

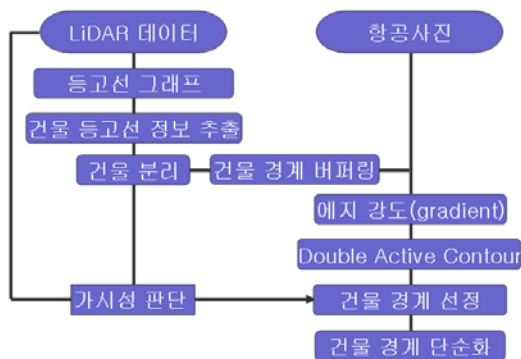


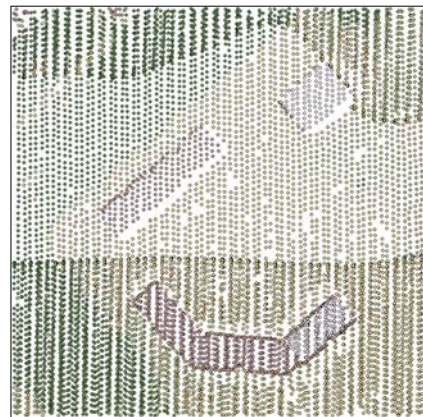
FIGURE 1. 연구 흐름도

TABLE 1. 항공사진과 LiDAR 데이터 정보

항 목	항공사진		LiDAR 데이터	
	항 목	내 용	항 목	제 원
촬영축척	1:5,000		측량고도	800m (지표면기준)
촛점거리	153.59mm		Repetition Rate	5,000 Hz
촬영고도	880m		주사각	± 9°
촬영시기	1999/12/11 오후 1시		Scan Rate	18Hz
중중복	60%		지상 관측폭	253m
횡중복	30%		점밀도	전체 2.8, 실험 0.4점/m ²



(a) 항공사진



(b) 항공 LiDAR 데이터

FIGURE 2. 연구대상지역 데이터

2. 건물 인식

그래프 이론은 조합수학의 한 부분으로 컴퓨터과학의 발달과 함께 그 중요성이 증가하고 있다. 그래프 G 는 정점의 집합 $V(G)$ 와 정점을 잇는 에지의 집합 $E(G)$ 로 구성된다. 양 끝점이 다른 에지를 링크라고 한다. 에지 $e=(a, b) \in E(G)$ 라면, e 의 양 끝점은 a 와 b 이고, a 는 b 에 또는 b 는 a 에 인접한다고 하고, e 는 a 와 b 에 근접되었다고 한다. 인접행렬 $A = A(G) = (a_{i,j})$ 는 $m \times m$ 행렬로서, $a_{i,j}$ 는 v_i 와 v_j 를 연결하는 간선의 개수이다. Seo(2003)는 등고선기반의 건물 인식을 위해 그래프 이론을 이용하였다. LiDAR 데이터에서 생성된 등고선은 폐곡등고선(\bar{C})과 개방등고선(\bar{C})으로 이루어져 있다. 등고선들을 그래프로 표현하기 위하여, 폐곡 등고선을 대상으로 인접 및 포함관계를 이용한 노드와 에지 구조를 생성하였다. 그래프 구조로 저장된 등고선 데이터는 각 등고선의 자체 등고선 좌표와 인접한 내부등고선 ID로 이루어져 있다. 본 연구에서는 복잡한 도심지역에서 저밀도 LiDAR 데이터나 좁은 건물간격으로 인하여 발생하는 hole 등고선을 건물 분리에 활용하기 위하여 인접한 등고선을 높이가 높은 등고선과 낮은 등고선으로 구분하였다. 등고선 그래프를 이용하여 건물 경계를 인식하기 위하여 등고선간의 경사가 사용된다. 실험에 의해 정해진 경사임계값 1을 기준으로 지형을 저경사와 급경사로 구분할 수 있다(Seo, 2003).

$$Ave.Slope(C_i) = \tan \bar{\alpha} = \frac{\Delta h}{\bar{W}} \quad (1)$$

$$\bar{W} = \frac{\Delta A}{L} \approx \frac{2[Area(C_i) - \sum Area(InnerContours(C_i))]}{Perimeter(C_i) + \sum Perimeter(InnerContours(C_i))} \quad (2)$$

여기서, ΔA : 등고선 간의 면적차

L : 평균 둘레길이

Δh : 등고선 높이차

일반적으로, 저경사에서 급경사로 변환하는 부분이 처음 나타나거나 급경사에서 저경사로 변환하는 부분이 지붕경계라고 볼 수 있다. 그러나, 이러한 가정은 LiDAR 데이터의 점밀도와 건물 형태에 따라 조금씩 달라질 수 있다. 본 연구의 대상지역에서도 동일 벽면에 대해 경사 변환부분이 많이 나타났다. 잘못 추출된 경사 변환부분의 수정을 위해 등고선 그룹의 통합을 수행하였다. 통합조건은 그룹간 인접

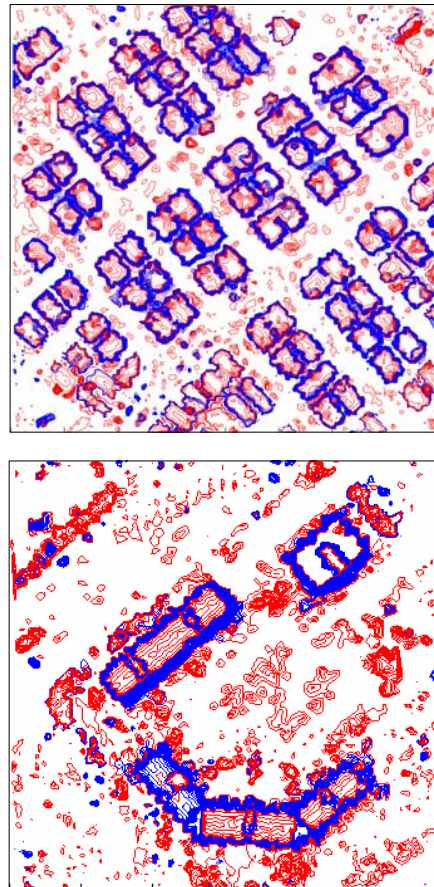


FIGURE 3. 저경사와 고경사 등고선 구분

등고선의 면적변화율과 면적변화량을 사용하였다. 면적변화율은 주택지역과 같은 단순 건물에서는 0.9 정도로 설정하여 신뢰성을 높일 수 있지만, 지붕의 형태가 복잡하거나 경사지붕이 존재하는 건물에도 적용하기 위해서는 더 작은 값을 사용하여야 한다. 실험 대상지역에서 인접 등고선과의 면적변화율은 0.75를 사용하였으며, 면적변화량은 15 m²를 사용하였다(그림 4).

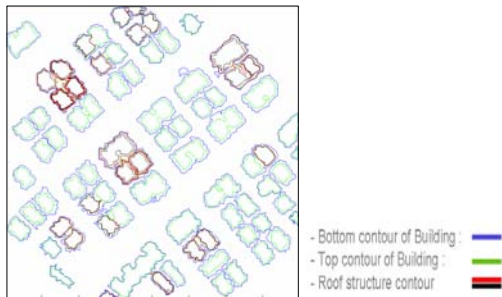


FIGURE 4. 건물의 바닥과 지붕 등고선

위와 같은 조건을 이용하여 분류된 초기 건물 그룹중에서 그룹의 최대등고선 면적(25m²), 그룹의 높이 범위, 그룹간의 포함 관계를 고려하여 나무나 차량과 같은 그룹은 제거하였다. 건물의 지붕구조물은 그룹의 높이 범위와 그룹간의 포함관계를 고려하여 판단한다.

3. 건물 분리

주택 밀집지역의 경우 주택간 거리가 작기 때문에 LiDAR 데이터가 주택의 분리를 제대로 표현하지 못할 수 있다. 그러나, LiDAR 데이터가 주택간 경계 내부(hole)에 나타나거나, 경계 양쪽 끝에서 나타날 수 있다. 이 점을 이용하여 두 가지 분리기준, 즉 폭이 좁은 건물 또는 경계선 내부에 hole 등고선 그룹이 존재한다는 기준을 세울 수 있다. 특히, 건물 경계가 등고선으로 표현되어 있기 때문에 기하학적 연산을 통하여 건물을 적절히 분리할 수 있다.

3.1 건물폭을 이용한 분리

LiDAR 점 데이터에 건물간 경계 끝 부분에서만 지면점을 포함하면, 건물은 분리되지 않고 건물 top 등고선의 폭이 좁게 나타난다. 이 경우에 건물폭보다 경계부분에서 폭이 작게 나타나, 축소버퍼링으로 건물을 분리할 수 있다. 대상지에서 건물의 폭은 4 m 이상이므로, 2 m의 축소버퍼링을 적용하여 2개 이상의 등고선으로 분리되면 분리건물로 판단하였다. 건물의 경계를 설정하기 위해 중심축 개념을 도입하였다. 등고선의 내부 보로노이 선분중에서 등고선에 거리가 가깝고 두 점의 순서위치가 많이 떨어져 있는 경우(총 점수의 1/5이상),

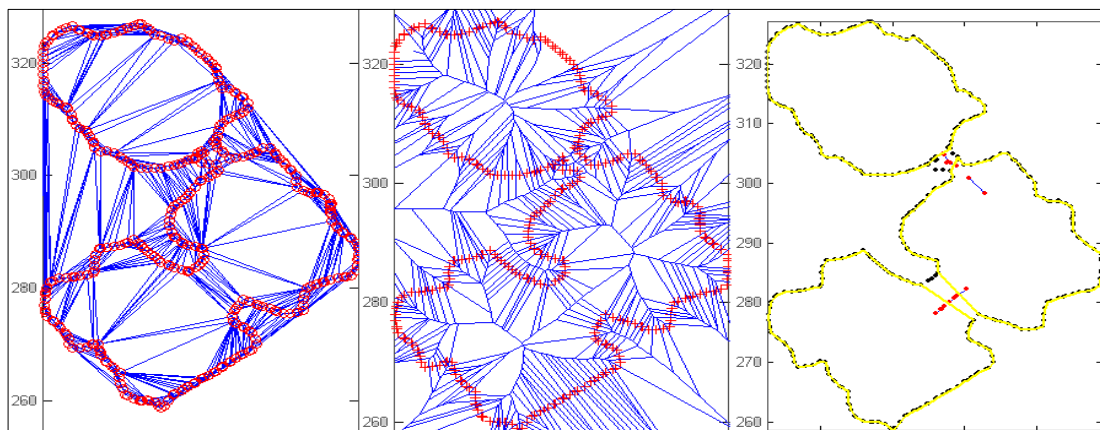


FIGURE 5. 중심축에 의한 등고선 분리

이 두 점을 분리점의 기준으로 삼았다. 건물 간격을 주기 위하여, 분리점 주위의 점간의 거리가 크게 변하지 않는 점을 분리 절단선으로 선택하여 경계를 구분하였다(그림 6).

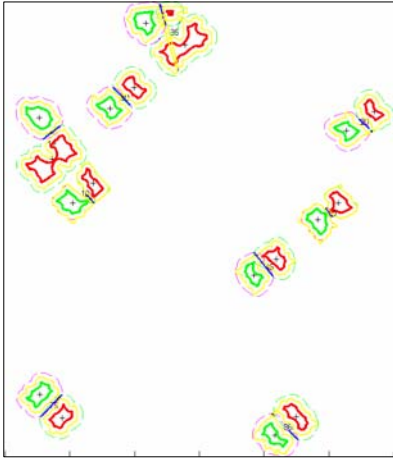


FIGURE 6. 중심축에 의한 건물 분리

3.2 hole을 이용한 분리

hole 등고선 그룹이 있는 경우에도 건물을 분리할 수 있다. 예외적으로 LiDAR 데이터의 이상값으로 인하여 hole이 발생할 수도 있지만, 이상점은 모두 제거되었다고 가정한다. 분리과정은 다음과 같다.

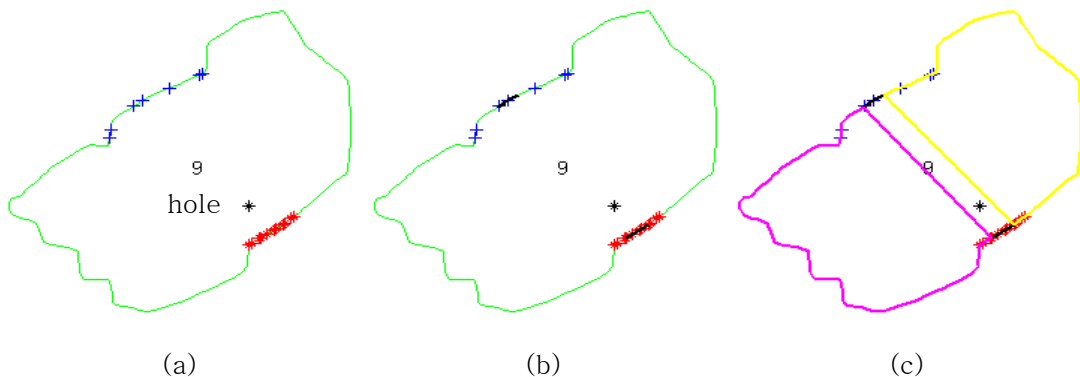


FIGURE 7. hole을 이용한 등고선 분리 (a) hole로부터 최단거리 점과 hole 대칭점 (b) 선분 fitting (c) 등고선 분리

3.2.1 hole이 하나인 경우

- ① 초기 분리선을 찾는다 : hole 중심으로부터 가장 가까운 거리의 경계점(B1)을 찾아 직선을 생성한 후, 이 직선과 교차하는 반대편 경계점(B2)을 찾는다. 양쪽 점들의 평균값과 hole의 중심값을 이용하여 직선(A)를 추정한다.
- ② 등고선에서 추출된 점(B1, B2) 중에서 추정된 직선(A)에 가까운 3점씩을 사용하여 등고선을 분리한다.

3.2.2 hole이 두 개 이상인 경우

- ① hole의 중심점을 연결하는 직선을 찾는다.
- ② 직선과 교차하는 경계점에서 가까운 3점씩을 사용하여 등고선을 분리한다.

3.3 실험 결과 및 평가

주택 밀집지역에서 91개의 건물을 추출하였으며, 그 중 10개의 건물은 지붕구조물을 가지고 있다. 각 건물은 top 등고선, 바닥 등고선, 건물 형태, 지붕구조물 정보로 구성되어 있다. 건물 형태는 지붕유무, 복합건물 유무에 따라서 4가지로 구분되며, 지붕구조물은 top 등고선과 바닥 등고선 정보를 가지고 있다. 대형

건물이 존재하는 지역에서는 3개의 건물을 추출하였으며, 복합건물이 하나 존재하였다. 건물간격이 넓기 때문에 건물 분리가 필요하지는 않았다. 대형건물의 지붕은 지붕구조물의 top 등고선이 너무 축소되어 나타나는 경향이 있기 때문에, 저밀도의 LiDAR 데이터로부터 모델링하기는 쉽지 않았다.

탐지정확도를 평가하기 위하여 LiDAR 데이터와 항공사진을 이용하여 건물을 확인하였다. 두 데이터의 획득시기가 다르기 때문에 일부 건물이 LiDAR 데이터에 존재하지 않았으며, 이 경우 LiDAR 데이터를 건물 유무의 기준 데이터로 삼았다. 탐지 정확도가 낮은 이유는 초기 고려할 등고선을 판단할 때, 길이가 긴 등고선을 미리 제거하였으며, 이에 의하여 낮은 건물이 군집된 부분의 등고선이 인식과정 전에 제거되었기 때문이다.

본 연구에서 수행된 결과를 이전 연구결과와 비교하였다. 오재홍(2001)은 TIN을 이용한 벡터기반의 건물인식을 수행하여 그림 10 (a)와 같은 결과를 보여주었다. 래스터 기반의 건물인식은 일반적으로 DSM에서 DTM을 빼서 얻는 NDSM(Normalized DSM)을 이용한다. 한동엽 등(2005)이 제안한 DTM 생성 알고리즘을 이용하여 NDSM을 구하고 건물 높이 임계값을 2.5 m로 주었을 때, 그림 10 (b)와 같이 건물을 인식하였다. 위의 두 알고리즘과 본 연구에서 수행한 등고선 기반 건물인식 알고리즘의 결과를 비교하기 위하여 그림 10의 다각형 영역 건물들을 평가하였다. 본 연구에서 수행된 건물인식과 분리 알고리즘은 68개의 건물을 모두 인식하였지만, TIN 기반 건물인식은 48개의 건물을 인식하고 1개의 건물을 인

TABLE 2. 등고선기반의 건물인식 정확도

항 목	주택 지역	대형건물 지역
건물수	104	3
탐지 건물수	91	3
전체 정확도	94/107 = 88%	

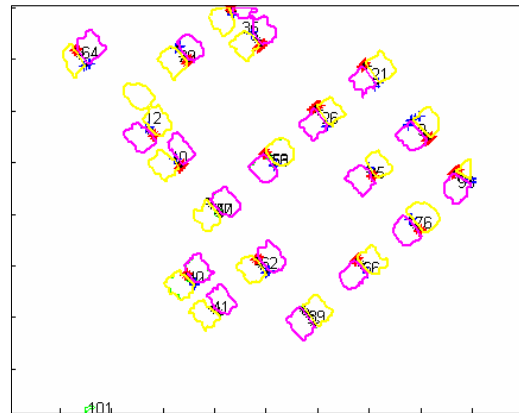


FIGURE 8. hole을 이용한 건물 분리

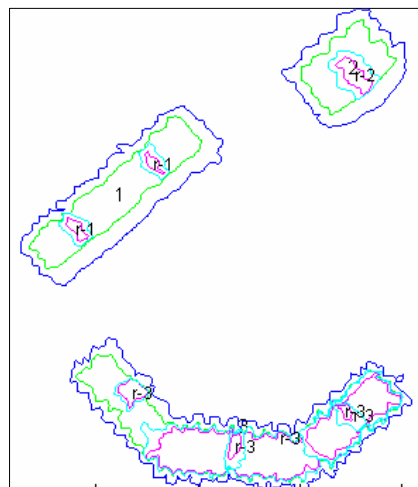
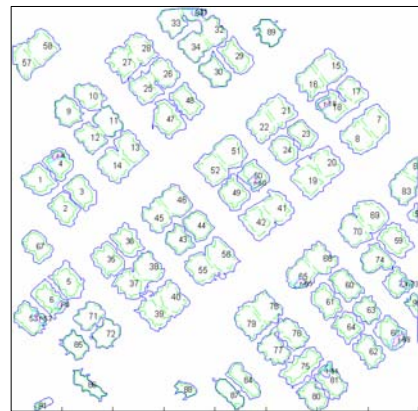


FIGURE 9. 등고선 기반의 건물 인식 결과

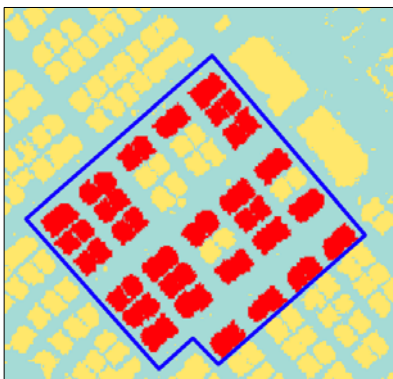
TABLE 3. 건물인식 정확도 비교

	TIN	NDSM	등고선
탐지건물수	48	36	68
생략된 건물	1	0	0
분리필요 건물	19	28	0

식하지 못했다. TIN 기반 알고리즘에서 인식된 48개 건물 중 19개 건물은 건물 분리가 필요한 혼합건물이었다. NDSM 기반 건물 인식에서 사용된 래스터 데이터의 공간해상도는 1 m이고, 이에 영향을 받아서 36개의 건물을 인식하였다. 36개 건물중에서 12개의 건물만이 단일 건물이고, 나머지 24개의 건물은 혼합건물로 건물 분리가 필요하였다.



(a) TIN 기반



(b) NDSM 기반

FIGURE 10. 건물인식 결과

건물 경계 추출

LiDAR 데이터로부터 생성된 건물 경계정보를 항공사진에 투영하여 건물의 경계를 정교화할 수 있다. 이를 위하여 건물의 top 등고선을 건물의 초기 경계로 설정하고, 초기 경계선으로부터 일정 범위내의 영역에서 건물경계를 탐색하였다. 경계 탐색에는 영상의 에지를 이용하면서 폐곡선을 형성하는 active contour를 사용하였다.

1. 건물 경계 버퍼링

LiDAR 데이터의 오차를 고려하여 적당한 크기의 경계영역을 설정한다. 실험 대상지역에서는 두 데이터간의 상대적 오차가 커서 내·외부 버퍼를 이용하였으며, 외부버퍼의 경우 버퍼거리를 4 m로, 내부버퍼의 경우 1 m로 잡았다. 건물 거리가 가까울 때, 외부버퍼가 커지면 다른 건물의 경계를 찾는 문제점이 발생한다. 따라서 각 건물버퍼간의 교차성을 검사하여 탐색된 건물경계를 검사할 필요가 있다. 건물버퍼가 교차하는 건물들을 그룹으로 구분하기 위해, 건물간의 인접행렬을 생성하고, 행렬을 DM(Dulmage-Mendelsohn) 분해하였다. DM 분해는 임의 차원의 희소행렬을 블록삼각형태(block triangular form)로 치환(permute)하는 연산으로, 그래프 이론에서는 이분할 그래프에서 최대크기의 매칭을 찾을 수 있다. 둘 이상의 건물을 포함하는 그룹은 각 건물의 추정된 건물경계가 분리되어 있지 않은 경우 건물경계를 분리한다.

내·외부 버퍼 폴리곤을 마스크 영상으로 변환하여 영상의 작업영역을 축소시켰다. 대형건물이 영상의 중심에서 멀리 나타날 경우 건물 경계가 자체적으로 폐색되어 경계에 큰 오류를 갖게 되고, 이 부분은 등고선의 폐색성을 판단하여 오류를 방지할 수 있다.

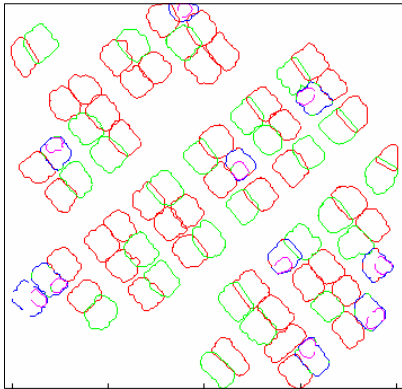


FIGURE 11. 건물경계의 버퍼

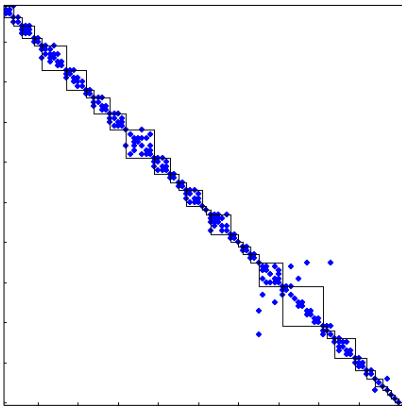


FIGURE 12. DM분할에 의한 중복 건물

2. Double Active Contour

등고선경계 정확도를 향상시키는 알고리즘을 선택하기 위해 다음과 같은 요소를 고려하였다. 첫 번째, 건물 경계는 폐곡선이다. 두 번째, 건물 경계에서 에지가 나타난다. 세 번째, 경계 정교화 처리에 의한 경계 정확도가 등고선경계의 정확도보다 더 떨어지지 않아야 한다. 이와 같은 조건을 만족시키기 위해 GVF와 double active contour를 사용하였다. “snake”라고 알려진 ACM(active contour model)은 영상의 개체 경계를 폐곡선으로 표현할 수 있다. 초기 ACM에서 나타나는 요면(concavity)에서의 수렴문제, 초기 contour 위치의 한계를 해결하기 위하여 GVF(gradient vector flow)라고 불리는 새로운 external force가 제시되었다. GVF는 영상에서 생성된 흑백 또는 이진 에지맵의 경사도 벡터의 확산 정도이다. GVF는 영상 또는 영상의 에지를 이용하여 정규화된 GVF 값을 생성하고, 이를 이용하여 경계선을 찾는다. 두 개의 ACM을 실제 경계모델의 내외부에 위치시키는 이중(double 또는 dual) ACM도 제안되었다(Gunn & Nixon, 1995). 한편, 입력 에지로 BSE(Berkeley Segmentation Engine)의 에지 경사도 맵을 사용하였다.

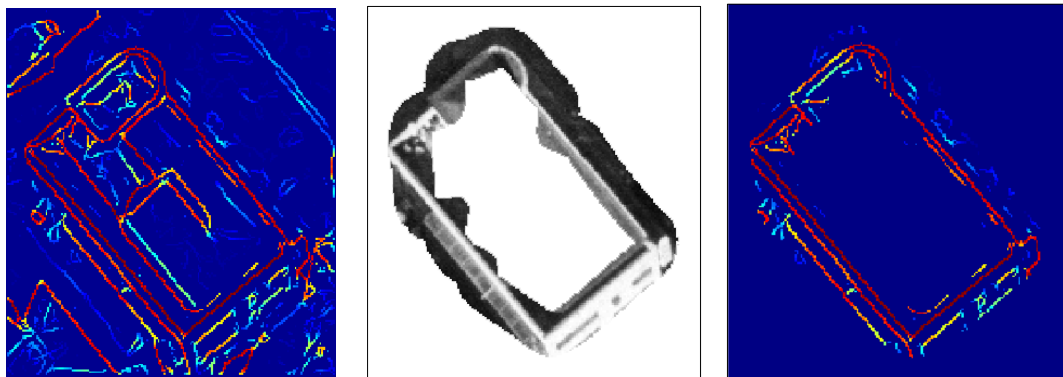


FIGURE 13. 건물경계의 내외부 버퍼에 의한 항공사진과 에지의 마스크

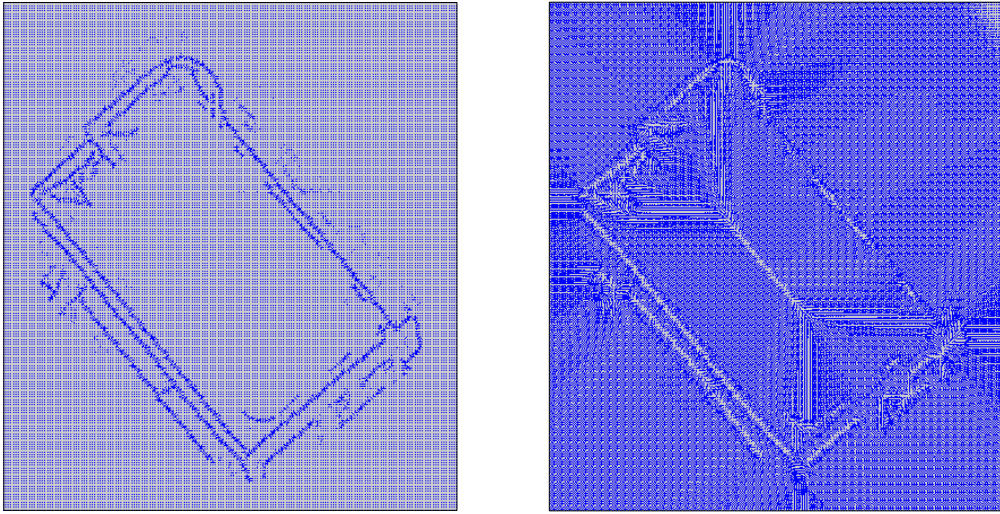
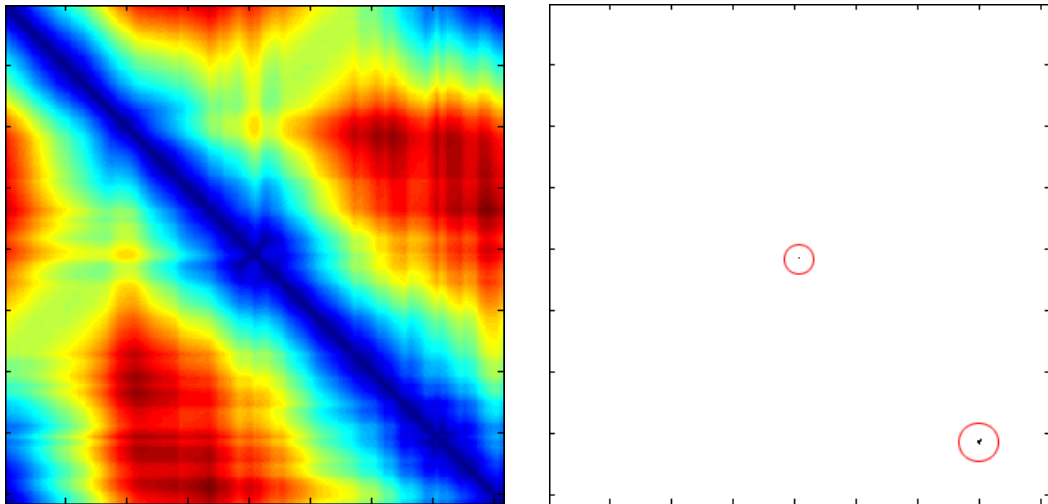


FIGURE 14. 에지맵과 normalizedGVF



(a) 등고선점들간의 거리행렬

(b) 감지된 오류 부분

FIGURE 15. 외부 등고선에 의한 active 등고선 오류의 감지

내·외부 등고선에 의해 형성된 active contour는 그림 16 (b)에서와 같이 좁은 구역에서 길게 선형이 나타나는 오류 부분이 존재한다. 이 부분을 제거하기 위하여 active contour의 점간 거리가 임계값 이하($1.5 \times$ 평균점간거리)이고, 점의 배열 순서 차이가 임계값(4이상 40이하)에 포

합되는 부분을 찾아 그 사이점들을 제거하였다.

3. 건물 영역 선정

두 개의 active contour는 공통부분과 나머지 부분으로 나눌 수 있다. 공통부분을 참으로 가정하고, 나머지 영역중에서 공통부분에 추가

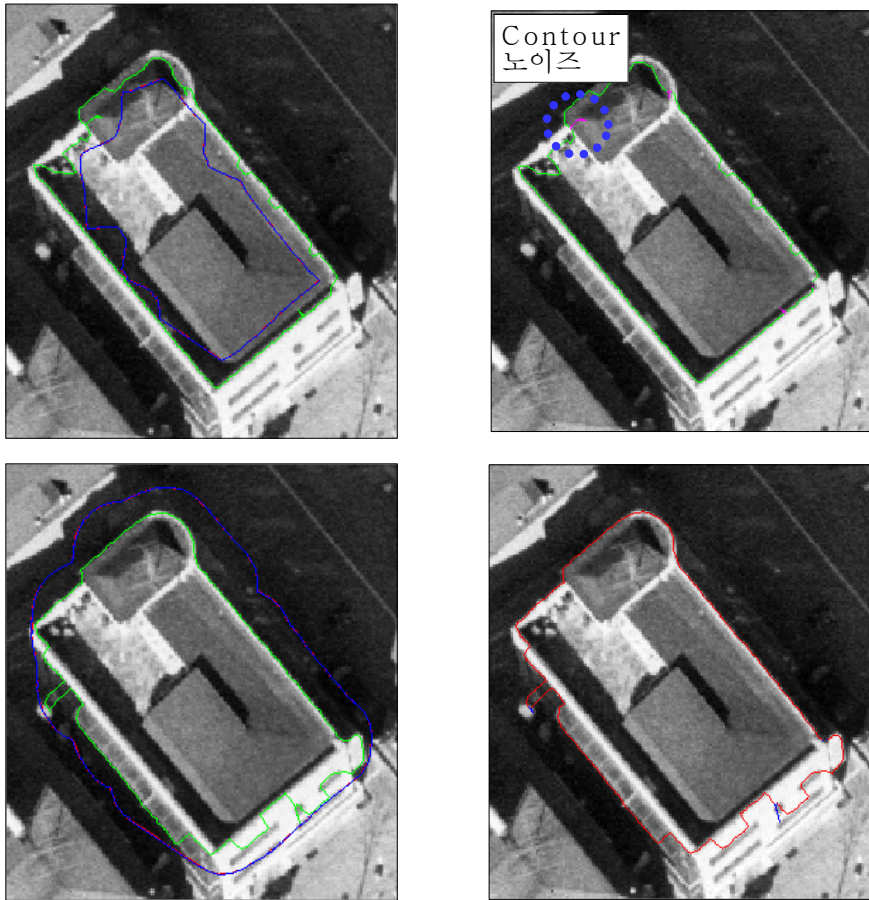


FIGURE 16. active 등고선과 내외부 등고선에 의한 오류 선분 제거

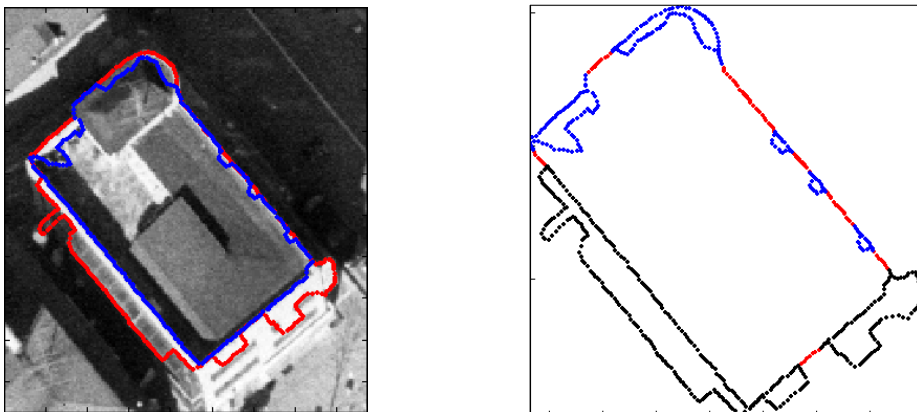


FIGURE 17. 모양분석에 의한 건물 경계

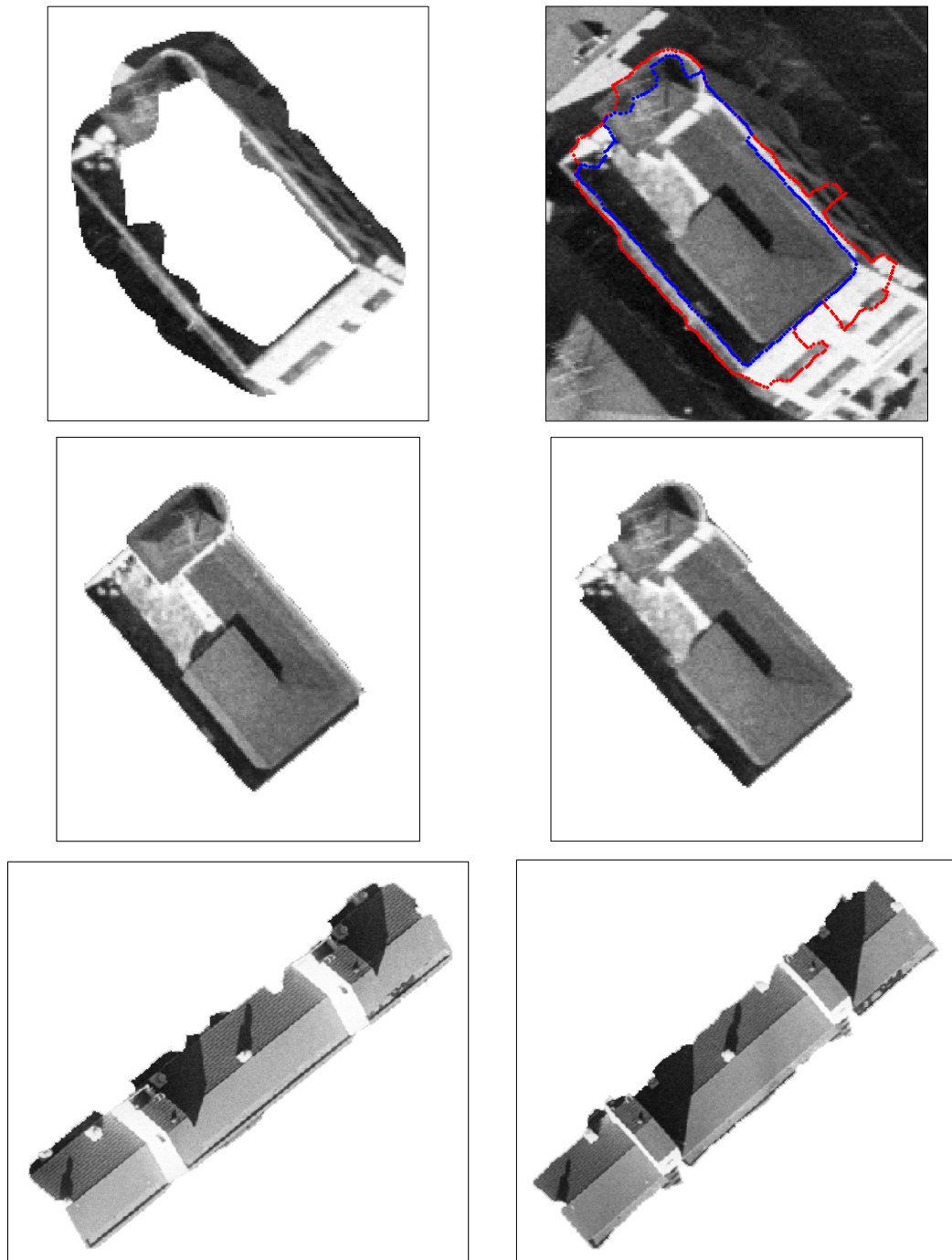


FIGURE 18. 좌우항공사진으로부터 주택과 아파트 지붕의 추출

할 부분을 결정하기 위하여 모양 분석(shape analysis)에서 사용하는 원형성과 공통부분에 존재하는 화소값과의 음영 유사성을 사용하였다. 개체를 인식하고 구분하는 모양 분석의 대표적인 측도는 면적, 둘레의 길이, 장축, 단축, 구멍(hole)의 수 등이다. 면적대 둘레의 길이 비는 개체의 원형성 즉 compactness를 [0,1]의 값으로 나타낸다. 본 연구에서는 active contour에 의해 형성된 공통부분에 부분공간을 더하여 원형성이 증가하면 건물 공간으로 판단하였다(그림 17과 그림 18 참고).

$$\text{compactness} = \frac{4\pi \times \text{area}}{\text{perimeter}^2} \quad (3)$$

결론

기존의 LiDAR 데이터를 이용한 건물 인식은 래스터 DSM을 이용하여 주로 이루어졌으나, 건물 인식의 정확도를 높이기 위해 등고선 기반의 방법을 수행하였다. 그래프 구조의 등고선 정보에서 경사 변환 등고선을 이용하여 등고선 그룹을 생성하고, 그룹의 높이차, 그룹간의 포함관계, 그룹의 면적 등을 이용하여 건물을 인식하였다. 그리고 추출된 건물의 경계를 정교화하기 위해 항공사진과의 융합을 수행하였다. 본 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 인식된 건물 등고선 그룹 내의 등고선간 포함관계를 이용하여 지붕구조물의 구분이 가능하고, hole 등고선과 top 등고선의 폭을 검사하여 건물의 분리도 가능하였다. 분리과정을 통해 88% 건물인식률을 보였으며, 기존의 TIN 또는 NDSM을 이용한 건물인식에서 발생하는 오류를 제거할 수 있었다.

둘째, 등고선 기반의 건물인식 방법으로 추정된 건물의 top 등고선에 대한 4m 외부 버퍼와 1m 내부 버퍼를 영상에 투영하고 double active contour를 적용하여 건물경계를 명확하게 결정

하고 건물지붕 텍스처를 추출할 수 있었다.

향후 결정된 경계에서 일정 범위내의 에지를 매칭하여 3차원 건물 경계 정보를 생성하는 후속 연구가 수행되어야 할 것이다. **KAGIS**

참고 문헌

김형태. 2001. GIS 건물레이어 자동구축을 위한 Lidar 데이터와 항공사진의 융합. 서울대학교 대학원 박사학위논문. 103쪽.

오재홍. 2001. Laser Scanning Data를 이용한 건물 외곽선 추출에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문. 42쪽.

윤희진, 박준규. 2007. LiDAR에 의한 3차원 GIS DB 구축에 관한 연구. 한국지리정보학회지 10(2):171-182.

이병길. 2001. 대축척 DSM 제작을 위한 항공레이저측량 데이터의 보정에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문. 104쪽.

한동엽, 장안진, 유기윤. 2005. 컬러항공사진과 LiDAR 데이터를 이용한 수목모델링. 춘계 원격탐사 학술대회 논문집. 85-89쪽.

Brenner, C. 2000. Towards fully automatic generation of city models. In Proceedings of the XIXth ISPRS Congress, volume XXXIII-B3 of International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. pp.85-92.

Gunn, S.R. and M.S. Nixon. 1995. Improving snake performance via a dual active contour. Lecture Notes in Computer Science 670:600-605.

Haala, N., C. Brenner and K.H. Anders. 1998. 3D urban GIS from laser altimeter and 2D map data. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32(3/1), pp.339-346.

Haala, N. and C. Brenner. 1999. Extraction of buildings and trees in urban environments. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54(2-3): 130 - 137.

- Huertas, A., R. Nevatia and D. Landgrebe. 1999. Use of Hyperspectral Data with Intensity Images for Automatic Building Modeling. Proceedings of the 2nd International Conference on Information Fusion, Sunnyvale, CA. pp.681-687.
- Lemmens, M., H. Deijkers and P. Looman. 1997. Building detection by fusing airborne laser-altimeter DEMs and 2D digital maps. ISPRS, Vol. 32(3-4), pp.29-42.
- McKeown, D.M., S.D. Cochran, S.J. Ford, J.C. McGlone, J.A. Shufelt and Y.A. Daniel. 1999. Fusion of HYDICE Hyperspectral data with panchromatic feature extraction. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing 37(3):1261-1277.
- Pasko, M. and M. Gruber. 1996. Fusion of 2D GIS Data and Aerial Images for 3D Building Reconstruction. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B3, Vienna. pp.257-260.
- Rottensteiner, F., J. Trinder, S. Clode and K. Kubik. 2004. Fusing Airborne Laser Scanner Data and Aerial Imagery for the Automatic Extraction of Buildings in Densely Built-up Areas. ISPRS Conference, Istanbul. pp.512-517.
- Seo, S. 2003. Model-based automatic building extraction from LiDAR and aerial imagery. Ph.D. Thesis. The Ohio State University, USA. 139pp.
- Suveg, I. and G. Vosselman. 2000. 3D Reconstruction of Building Models. In Proceedings of the XIXth congress of ISPRS, Amsterdam. pp.538-545.
- Vosselman, G. and S. Dijkman. 2001. 3D Building Model Reconstruction from Point Clouds and Ground Plans. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 34, Part 3/W4, Oct. 22-24, Annapolis, MA, USA. pp.37-44. **KAGIS**