

## 단일 고해상도 위성영상과 수치지도로부터 건물 정보 추출 및 갱신

### Extraction and Revision of Building Information from Single High Resolution Image and Digital Map

변영기<sup>1)</sup> · 김혜진<sup>2)</sup> · 최재완<sup>3)</sup> · 한유경<sup>4)</sup> · 김용일<sup>5)</sup>

Byun, Young Gi · Kim, Hye Jin · Choi, Jae Wan · Han, You Kyung · Kim, Yong Il

#### Abstract

In this paper, we propose a method aiming at updating the building information of the digital maps using single high resolution satellite image and digital map. Firstly we produced a digital orthoimage through the automatic co-registration of QuickBird image and 1:1,000 digital map. Secondly we extracted building height information through the template matching of digital map's building vector data and the image's edges obtained by Canny operator. Finally we refined the shape of some buildings by using the result from template matching as the seed polygon of the greedy snake algorithm. In order to evaluate the proposed method's effectiveness, we estimated accuracy of the extracted building information using LiDAR DSM and 1:1,000 digital map. The evaluation results showed the proposed method has a good potential for extraction and revision of building information.

Keywords : Building Information extraction, Single Image, QuickBird, Digital Map

#### 초 록

본 연구에서는 고해상도 단영상과 수치지도를 이용하여 건물정보 추출 및 갱신을 위한 방법을 개발하는데 연구의 목적이 있다. 이를 위해 우선 QuickBird 단영상과 수치지도의 자동기하보정을 통한 수치정사영상을 제작하였다. 건물레이어와 Canny 에지 추출자에 의해 획득된 영상에지와의 템플릿 매칭과정을 통해 건물높이정보를 추출하였다. 최종적으로 앞선 매칭결과를 그리디 스네이크 알고리즘의 초기치로 사용하여 일부건물에 대한 형상을 수정하였다. 제안된 기법의 효율성을 평가하기 위해 LiDAR DSM과 1:1,000 수치지도를 이용하여 정확도 평가를 수행하였다. 실험결과 제안한 기법은 건물정보 추출 및 갱신에 유용하게 적용될 수 있으리라 판단된다.

핵심어 : 건물정보 추출, 단 영상, QuickBird, 수치지도

## 1. 서 론

IKONOS나 QuickBird와 같은 고해상도 위성영상이 상용화됨에 따라 위성영상을 이용한 건물높이 정보추출 및 건물경계 갱신에 관한 많은 연구들이 진행되고 있다. 위성 영상으로부터 건물 높이를 추출하는 연구는 크게 스테레오

영상 기반의 연구들과 단영상 기반이 연구들로 나눌 수 있는데 센서 모델링을 수반하는 스테레오 영상기반의 연구들은 그 과정이 복잡하고 많은 비용이 소모된다는 한계를 가지며, 단 영상을 이용하는 방법은 대부분 건물의 그림자 길이나 건물 지붕점과 바닥점 관측을 통해 높이를 추출하기 때문에 건물이 밀집된 도심지역에는 적용하기가 부적합한

- 1) 연결저자·서울대학교 건설환경공학부·박사수료(E-mail:kko071@snu.ac.kr)
- 2) 서울대학교 건설환경공학부·박사수료(E-mail:vicky2@snu.ac.kr)
- 3) 서울대학교 건설환경공학부·박사수료(E-mail:choijw11@snu.ac.kr)
- 4) 서울대학교 건설환경공학부·석사과정(E-mail:han602@snu.ac.kr)
- 5) 서울대학교 건설환경공학부 정교수·공학박사(E-mail:yik@snu.ac.kr)

경우가 많으며 또한 사용자의 개입이 필요한 반자동 기법이 주를 이루고 있다(이태운, 2006; 김해진 등, 2006).

고해상 영상을 이용한 건물 경계정보 갱신에 관한 연구는 크게 스테레오 항공사진이나 LiDAR 데이터 등의 부가데이터를 사용하는 연구들과 기존의 수치지도의 건물정보를 기초 데이터로 이용하는 연구들로 나눌 수 있으며 고해상도 위성영상을 이용한 방법은 연구가 미진한 실정이다. 수치지도 등의 건물정보를 사용하지 않는 스테레오 항공사진 및 부가데이터를 이용한 방법들의 경우, 영상으로부터 정확한 건물 정보를 탐지를 위한 분류과정이 복잡하고 명확한 건물 경계정보 추출이 힘들다(Scott 등, 2003; Donna, 2004; Jin 등 2005).

이러한 문제를 해결하기위해 기존의 기 구축된 GIS 데이터의 건물 레이어 정보를 입력정보로 사용하고 스네이크 모델과 같은 능동형 윤곽 모델에 기반한 건물정보 갱신기법들이 제안되고 있다. 하지만 스네이크 모델의 경우 초기 스네이크 위치를 대상 물체의 경계 가까이 두어야 하고 오목한 경계선에서의 수렴 정도가 빈약하다는 한계들을 가지고 있다(Markus, 2000; Tao 등, 2002; Hiroyuki 등, 2006; Baillouel 등 2005).

본 연구에서는 초기치(seed)에 민감한 기존 스네이크 모델의 문제점을 해결하기 위해 기존 수치지도의 건물경계 형상을 위성방향각을 따라 이동시키면서 템플릿 매칭을 수행하여 일차적으로 건물 지붕영역을 탐지하고, 그리디 알고리즘에 기반한 스네이크 모델을 이용하여 최종적으로 건물경계 정보를 갱신하였다. 또한 본 연구는 정사보정된 QuickBird 영상으로부터 건물정보를 갱신하므로 템플릿 매칭 과정에서의 생성된 건물 바닥에서 지붕면까지의 이동변위벡터를 통해 밀집된 도심지역의 건물 높이 정보를 쉽고 빠르게 추출 할 수 있다.

## 2. 연구내용

QuickBird 위성영상으로부터 정사영상을 제작하기 위하여 한 매의 영상과 1:1,000 수치지도의 지면 선형개체를 대상으로 자동 기하보정을 수행하였고, 1:1,000 수치지도에서 수치표고모형을 추출하여 편위수정에 이용하였다. 그림 1은 본 연구에서 제안한 알고리즘의 처리 과정이다.

제작된 정사영상에서 건물이 밀집되어 있는 지역을 연구대상지역으로 선정하였으며, 건물과 주변부분과의 대비

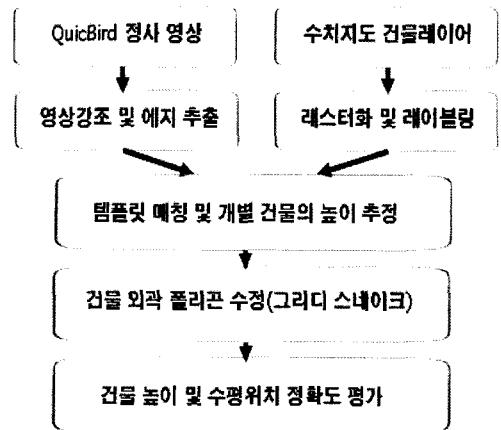


그림 1. 연구 흐름도

를 향상시키기 위하여 전처리 과정을 통해 영상을 개선하였다.

영상에 투영된 수치지도 건물 레이어는 벡터 데이터이므로 영상의 화소크기로 래스터화하였고, 개별건물의 식별을 위해 레이블과정을 수행하였다. 수치지도의 건물레이어와 영상의 에지와와 템플릿 매칭을 수행하여 개별건물의 높이값을 추출하였고, 그리디 스네이크 알고리즘을 이용하여 최종적으로 건물 경계의 형상정보를 수정하였다.

제안된 알고리즘의 실효성을 검증하기 위하여 QuickBird 단영상 및 1:5,000 수치지도의 건물 레이어 정보를 이용하여 실험을 수행하였다. 정량적인 평가를 위하여 LiDAR DSM을 기준으로 하여 측정된 건물의 높이값을 평가하고, 1: 1,000 수치지도를 기준으로 하여 갱신된 건물 폴리곤의 평면위치의 정확도평가를 수행하였다.

## 3. 수치 정사영상 제작

본 논문에서는 1:1,000 수치지도와 QuickBird 위성영상의 자동 보정을 영상공간에서 수행하였다. 알고리즘은 보정변환식의 초기계수값 결정과 정확한 변환계수 결정과정으로 나뉜다. 초기계수값 결정은 보정변환식의 상수항을 결정하는 것으로 수치지도의 지면개체와 영상에서 추출된 에지의 불린(Boolean)연산을 적용하여 최적값을 추정하는 근사 보정방식을 이용하였다. 정확한 보정다항식의 변환계수를 결정하기 위하여 수치지도의 지면 선형개체의 점 데이터와 영상 에지개체의 점 데이터간의 ICP(Iterated Closest Point)조정을 수행하였다(한동업 등, 2007).

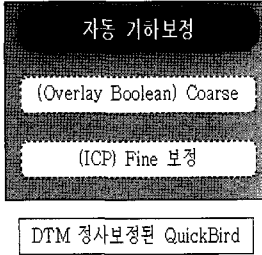
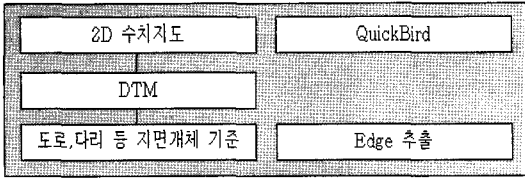


그림 2. 정사영상 제작 흐름도

실험에 사용한 정합 요소로는 도로와 같은 지면개체를 대상으로 하였으며, Canny 에지추출자를 이용하여 영상에서 에지를 추출하였다. 제작된 정사영상의 정확도 평가를 위해 1:1000 수치지도에서 10개의 기준점을 수동으로 추출하여 평가한 결과 1.69화소의 RMSE를 나타내었다. 그림 3은 자동으로 생성된 정사영상에 1:1,000 수치지도를 중첩한 결과영상이다.



그림 3. 정사영상과 수치지도의 중첩영상

## 4. 건물정보 추출 및 갱신

### 4.1 영상 전처리

연구를 수행하기 위하여 우선 전처리 과정으로 건물과 주변 부분과의 대비를 향상 시키기 위하여 히스토그램 균등화 (histogram equalization)를 이용하여 영상을 개선하였다.

히스토그램 균등화는 중간 밝기값을 광도가 낮은 부분과 높은 부분으로 확장시키며 동시에 매우 밝거나 어두운 영역의 대조를 자동적으로 감소시키는 특징을 갖는다. 따라서 밀집된 지역의 대비는 강조되는 반면, 화소가 많지 않은 곳은 대비가 감소되므로 그림자에 가린 건물 지붕면과 같은 부분의 에지 추출 성능을 어느 정도 개선할 수 있다.

본 연구에서 제안한 건물 정보추출 및 갱신 알고리즘은 기본적으로 에지영상에 민감한 반응을 보이기 때문에 에지 추출은 상당히 중요한 부분이다.

일반적인 에지 추출 연산자의 경우 영상의 작은 잡음에도 민감하게 반응하며 검출된 경계선들이 끊어져 나타나기 때문에 템플릿매칭 수행 시 문제를 야기한다. 이에 본 연구에서는 기존 에지 연산자 중 가장 좋은 성능을 보이는 Canny 연산자를 이용하여 에지 영상을 제작하였다. Canny 연산자의 경우 하나의 경계선이 존재하는 곳에 다중응답현상을 보이지 않기 때문에 건물의 지붕면의 경계선이 하나의 경계선으로 검출이 되어 진다.

### 4.2 템플릿 매칭을 통한 건물높이 추정

제안된 알고리즘은 다음과 같은 세 가지 가정을 기반으로 한다. 첫째, 정사영상에 투영된 수치지도의 개별 건물은 폐합된 폴리곤의 형태로 존재하며, 그 위치는 영상 내 건물의 바닥에 대응된다. 둘째, 건물의 바닥면과 지붕의 형태가 동일한 건물을 대상으로 한다. 셋째, 고해상도 위성영상은 pushbroom 형태의 센서로 영상을 취득하며 위성체와 태양은 그 고도가 충분히 높으므로 그림 4와 같이 평행한 투영각을 갖는다고 가정할 수 있다. 따라서 단일 고해상도 위성영상에서 건물의 옆면과 건물의 그림자는 항상 일정한 각도로 뒹어져 있다. 이러한 가정 하에 수치지도의 개별건물 폴리곤을 템플릿으로 하여 위성방향각을 기준으로 하는 일정 탐색 범위 안에서 최적의 매칭 위치를 찾음으로 건물의 지붕면을 탐지할 수 있다. 탐색범위는 대상지내의 가장 높은 건물의 바닥과 지붕면을 포함하는 범위로 설정하였다.

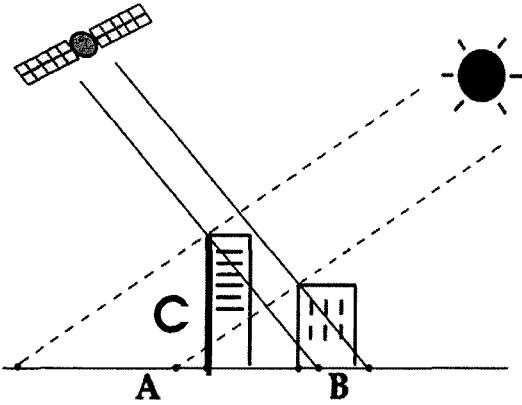


그림 4. 태양과 위성의 평행 투영

템플릿 매칭과정에서 개별건물별 건물 바닥에서 지붕 면까지의 이동변위벡터를 구할 수 있고, 식 (1)을 이용하여 개별건물의 높이를 구할 수 있다.

$$H = \|c\| \times GSD \times \tan(\theta_{sat}) \quad (1)$$

여기서, GSD: Ground Sample Distance,  $\theta_{sat}$  : 위성 고도각,  $\|c\|$  는 이동변위벡터를 나타낸다.

#### 4.2 그리디 스네이크 알고리즘을 이용한 건물경계수정 기법

본 연구에서는 초기치에 민감한 스네이크 알고리즘의 문제점을 개선하기 위하여 개별건물의 템플릿 매칭 결과를 그리디 스네이크(greedy snake)의 초기치로 사용하여 건물경계정보를 개선하였다.

M. Kass가 처음 제안한 스네이크(snake) 알고리즘은 초기에 사용자가 입력한 스네이크 포인트로부터 에너지 함수를 최소화하는 방향으로 반복적으로 움직이면서 객체의 윤곽(Boundary)을 찾아내는 방법이다. M. Kass가 제안한 이 알고리즘은 물체의 윤곽선을 능동적으로 찾아주기 때문에 영상분할이나 트래킹과 같은 컴퓨터 비전의 다른 분야에 이용되기도 한다. 그러나 변분법(Calculus of Variational)방법을 이용한 에너지 최소화 방법은 불안정한 문제가 발견되었고, 이를 해결하기 위해 Amini(1990)는 동적 프로그래밍(Dynamic Programming)방법을 제안하였는데 이 기법은 연산량이 많고 처리시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 이에 Williams(1992)은 연산량을 줄이기 위해 스네이크 포인트마다 가중치를 주어 빠르게 객체의 윤곽을 찾는 그리디 스네이크 알고리즘을 제안하였다.

그리디 스네이크 알고리즘은 스네이크 포인트들이 이

루는 곡선의 곡률을 측정하여 에너지 함수에 대한 가중치를 적극적으로 제어하여 스네이크가 곡률이 높은 꼭지점에 수렴하도록 하였다.

그리디 알고리즘은 수렴의 안정성을 보장함과 동시에 진행경로를 반복하여 이전 점의 위치에서 다음단계의 위치를 결정하기 위하여 이전 점 근방의 크기  $m$ 방향만큼의 이웃영역을 탐색하므로 동적 프로그래밍 방법 보다 빠른 수렴 특성을 가진다.

그리디 스네이크 알고리즘을 기반으로 한 2차원 영상에서 스네이크 포인트를 최소 에너지 값으로 이동하게 하는 에너지함수  $E_{2D-snake}(v_j)$ 는 아래와 같이 내부에너지인 연속성과 곡률에너지 항과 외부에너지 항의 합으로 나타낸다.

$$E_{2D-snake}(v_j) = \sum_{i=0}^{N-1} \left[ \alpha E_{continuity}(v_{i,j}) + \beta E_{curvature}(v_{i,j}) + \gamma E_{external}(v_{i,j}) \right] \quad (2)$$

연속성(continuity) 에너지는  $j+1$ 번째 반복에서 얻은 스네이크 포인트 간의 거리를 이전  $j$ 번째 반복에서의 스네이크 포인트 간의 평균거리  $\bar{d}_j$ 에 최소화하여, 결국  $N$ 개의 스네이크 포인트 간의 거리를 균등하게 한다. 연속성 에너지는 다음과 같이 표현된다.

$$E_{continuity}(v_{i,j}) = |\bar{d}_j - \|v_{i,j} - v_{i-1,j+1}\||$$

$$\text{단 } v_{0,j} = v_{N,j}, \bar{d}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \|v_{i+1,j} - v_{i,j}\| \quad (3)$$

$|\cdot|$ 는 스칼라의 절대값이며,  $\|\cdot\|$ 는 벡터의 크기(norm)를 나타낸다. 곡률(curvature)에너지는 곡선의 휨 정도를 나타내는 변화율로써 현재 스네이크 이전 점  $v_{i-1,j+1}$ 과 이후 포인트  $v_{i+1,j}$ 를 사용하여 객체의 윤곽방향으로 이동한다. 곡률에너지는 다음과 같다.

$$E_{curvature}(v_{i,j}) = \|v_{i-1,j+1} - 2v_{i,j} + v_{i+1,j}\|^2 \quad (4)$$

외부에너지(External)는 이미지의 선(line), 에지 등의 여러 영상의 기하학적 특징에 의한 에너지이다. 일반적으로 에지를 이용하며 경사도(gradient)가 큰 곳에서 작은 값을 갖게 하여 스네이크 포인트를 객체의 윤곽에 놓이도록 한다.

$$E_{external}(v_{i,j}) = -\|\nabla I\| \quad (5)$$

$\nabla$ 는 gradient operator를 나타내고 에너지의 항의 매개변수  $\alpha, \beta$  그리고  $\gamma$ 는 내부 및 외부에너지 항의 상대적인

중요도를 조절하는 가중치이다. 일반적으로 스네이크 포 인트가 객체의 윤곽에 수렴하는 것이 중요하므로  $\gamma$ 를 다른 두 값보다 크게 설정한다.

## 5. 알고리즘의 적용 및 평가

### 5.1 실험 데이터

실험에 사용된 영상은 앞서 제작된 대전 지역의 Quick-Bird 정사 영상으로 공간해상도는 약 60cm이며, 촬영당시 태양 고도각은 30.2°, 위성 고도각은 59.4°이다. 본 연구에서는 그림 5, 그림 6과 같이 고층 빌딩과 아파트들이 밀집되어 있는 두 사이트(site)를 대상지역으로 선정하였다. 해당 영역 내 존재하는 15개의 모든 건물을 대상으로 실험을 수행하였다. 그림 5와 그림 6은 제작된 정사영상과 1: 5,000 수치지도 건물레이어와의 중첩영상이다.

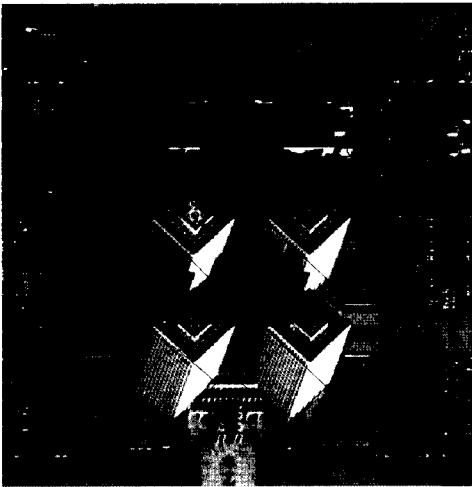


그림 5. 건물 레이어 중첩(대상지1)

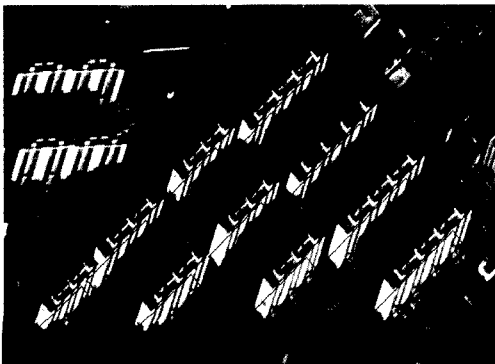


그림 6. 건물 레이어 중첩(대상지 2)

### 5.2 건물 높이 추정결과

그림 5 및 그림 6의 대상영상에서 볼 수 있듯이 건물의 바닥정보가 잘 보이지 않고, 건물의 그림자가 다른 건물에 가려진 건물들이 많이 존재한다. 기존의 단영상을 이용한 건물 높이 추출 알고리즘을 이용할 경우 이러한 건물들의 높이는 추출할 수 없게 된다. 본 연구에서 제안한 방법을 사용할 경우, 수치지도의 건물 레이어 정보로부터 건물의 바닥정보를 취득할 수 있으므로 영상에서 건물의 지붕면이 일부라도 식별이 가능하면 건물의 높이 정보를 추출할 수 있다.

그림 9에 (a)영상은 첫 번째 대상지역의 템플릿 매칭 결과이며 적색 선(red line)은 수치지도의 건물 레이어를 나타내고 녹색 선(green line)은 완료된 매칭 결과를 나타낸다. 그림 10에 (a)영상은 두 번째 대상지역의 템플릿 매칭 결과이며 마찬가지로 적색 선은 수치지도의 건물 레이어를 나타내고 녹색 선은 완료된 매칭 결과를 나타낸다. 대상지역 두 곳 모두 다 결과영상에서 확인할 수 있듯이 비교적 양호한 결과를 보인다.

본 연구에서 제안한 방법으로 측정된 건물 높이의 정량적인 평가를 위해서 LiDAR DSM 데이터를 기준으로 하여 높이 오차를 측정하였다. 정확도 평가 결과 표 1에서 볼 수 있듯이 대상지1과 대상지2에서 각각 1.2978m, 1.1378m의 RMSE를 나타내었다.

표 1. 추출된 건물 높이 정확도 평가

레이블	대상지 1		대상지 2	
	제안 방법	LiDAR DSM	제안 방법	LiDAR DSM
1	79.35	78.54	37.6	38.8
2	80.4	77.32	37.6	38.5
3	87.4	87.51	39.4	40.5
4	86.7	87.4	41.3	40.9
5	16.58	16.29	44.2	44.2
6			40.9	40.8
7			41.3	40.5
8			39.2	40.3
9			38.0	40.7
10			38.7	39.1
RMSE	1.2978m		1.1371m	

### 5.3 건물 경계 갱신 결과

템플릿 매칭 결과에서 수치지도의 도화 결과가 건물의 경계정보와 일치하지 않은 일부 건물에 대해서 그리디 스네이크 알고리즘을 적용하여 건물의 경계 정보를 수정하

였다. 개별 건물의 매칭 결과를 그리디 스네이크의 초기치로 사용하였고, 조정계수는 모든 건물에 대해서  $\alpha=1$ ,  $\beta=1$ ,  $\gamma=1.2$ , 반복 횟수는 3회로 설정하여 실험을 수행하였다. 그림 9에 (b) 및 그림 10에 (b) 영상에서 청색 선(blue line)이 갱신된 건물의 지붕 폴리곤이다. 결과 영상에서 볼 수 있듯이 대다수 건물에 대해 양호한 결과를 보이지만 일부 건물의 경우 건물 벽면 에지에 수렴하는 결과를 보임을 알 수 있다. 이는 건물의 심한 기복으로 인한 건물벽면의 강한 에지들에 기인한 결과이다. 그림 7과 그림 8은 1:1,000 수치지도와 시각적 비교를 위해 일부 건물에 대한 결과를 확대한 영상이다. 아래 그림에서 적색 선이 제안한 알고리즘의 결과이며 청색 선은 1:1,000 수치지도의 건물 정보를 나타낸다.

표 2. 갱신된 건물의 평면 위치 오차

	RMSE(x)	RMSE(y)	평면위치오차
대상지1	1.4817	1.1323	1.8648
대상지2	0.6162	0.5963	0.8574

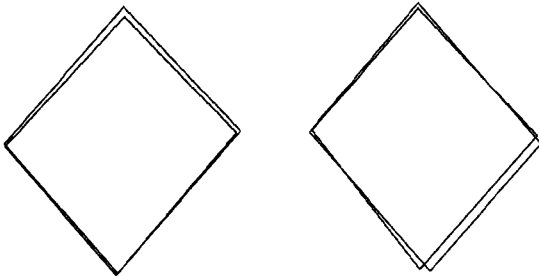


그림 7. 1:1,000 수치지도와의 시각적 평가(대상지 1)

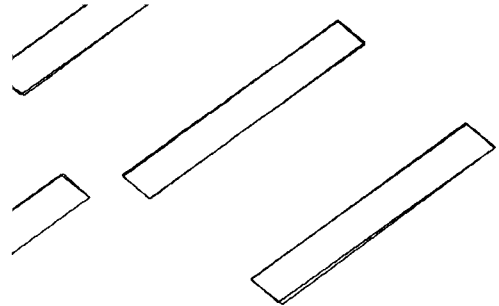


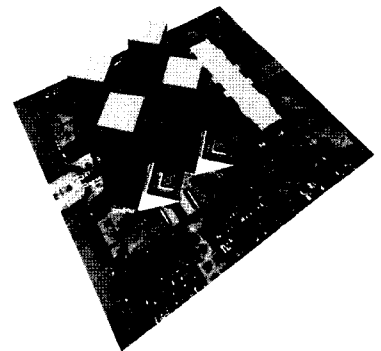
그림 8. 1:1000 수치지도와의 시각적 평가(대상지 2)



(a) 템플릿 매칭결과



(b) 경계수정 결과



(c) 3차원 건물 모델

그림 9. 대상지 1의 실험결과 영상

본 연구에서는 제안한 건물 경계정보 갱신결과의 정량적 평가를 위해 1:1,000 수치지도의 건물 모서리점을 기준으로 평면위치 오차를 측정하였다. 평면위치 정확도 평가 결과는 대상지1에서 1.84m 정도의 오차를 보였고, 대상지 2에서는 0.85m 정도로 대상지 1 보다 나은 결과를 보였다. 정사영상 제작 정확도가 1:1,000 수치지도를 기준으로 평균 1.1661m(1.69화소\*GSD)의 오차를 가지고 있음을 감안할 때 향상된 결과임을 알 수 있다.

본 연구에서는 생성된 결과물의 3차원 모델링을 위해 Arc Scene을 이용하여 그림 9와 그림 10의 (c)영상과 같이 단순 폴리곤형태의 3차원 건물 지도를 제작하였다. 3차원 시각화를 위해 배경이 되는 3차원 베이스 맵은 QuickBird 정상영상과 수치지도의 표고정보로부터 추출된 DTM을 이용하여 구축하였다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 고해상도 위성영상과 수치지도를 기반



(a) 템플릿 매칭 결과



(b) 경계 수정 결과



(c) 3차원 건물 모델

그림 10. 대상지 2의 실험결과 영상

으로 건물 높이 정보 추출과 건물경계 정보 수정 기법을 제안하였다.

건물 높이정보 추출에 있어 제안한 기법은 그림자 끝이나 건물의 바닥정보가 보이지 않는 건물들에 대해서도 높이를 측정할 수 있기 때문에 기존의 기법들에 비하여 보다 많은 건물에 대한 높이를 자동으로 추출할 수 있다. 또한 능동적 윤곽 모델의 일종인 그리디 스네이크 알고리즘을 이용하여 건물 외곽 경계 정보를 갱신함에 있어 건물 지붕의 템플릿 매칭 결과를 초기치로 사용하여 알고리즘의 수렴성 및 안정성을 높일 수 있었다.

하지만 그리디 스네이크 알고리즘의 경우 기본적으로 영상의 에지정보에 민감하기 때문에 기복이 심한 건물의 경우 건물의 옆면에 수렴하는 경우가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 영상의 에지 정보뿐만 아니라 텍스처 정보 등 다양한 영상 특징들을 반영할 수 있는 보다 안정적인 모델의 개발이 필요하다. 또한 본 알고리즘은 수치지도상에서 폐합된 형태의 폴리곤으로 존재하는 건물에 대해서만 적용 가능하므로 수치지도 상에 불완전한 라인으로 존재하는 건물이나 디지털이징되어 있지 않은 건물에 대해서는 적용할 수 없다. 또한 건물의 바닥면과 지붕의 형태가 상이한 건물의 경우에도 적용이 어렵다는 한계점을 갖는다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업-지능형국토정보기술혁신사업과제(과제번호:07국토정보C03)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 김혜진, 한동엽, 김용일 (2006), 삼각백터구조를 이용한 고해상도 위성 단영상에서의 건물 높이 추출, 대한원격탐사학회지, 제2권 6호, pp. 621-626
- 강준목, 윤희진, 이용용, 김윤관, 윤정철 (2007), QuickBird 영상을 이용한 수치지도 제작에 관한 연구, 한국측량학회지 학술대회 논문집, pp. 357-360
- 이재기, 최석근, 정성혁 (2003), 고해상도 위성영상을 이용한 건물의 자동추출기법, 지형공간정보학회지, Vol. 11, No. 1, pp. 29-37.
- 이태운 (2006), 단일 고해상도 위성영상으로부터 그림자를 이용한 3차원 건물정보 추출 연구, 석사학위논문, 인하대학교
- 이병환, 김정희, 박경환 (1999), 고해상도 단일 위성영상으로부터 건물높이값 추출, 한국GIS학회지, 제7권 1호, pp. 89-101
- 이창경, 우현권, 정인준 (2004), QuickBird 정사영상을 이용한 지형도 갱신, 한국 측량학회 학술대회 논문집, pp. 295-301
- 한동엽, 김혜진, 김용일 (2007), 수치지도와 Quickbird 영상의 자동 기하보정, 대한원격탐사학회 춘계학술대회 논문집, pp. 109-112
- Amini, A. A. T. E. Weymouth and R. C. Jain (1990), "Using Dynamic Programming for Solving Variational Problem in Vision", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligent*, IEEE, Vol. 12, No. 9, pp. 855-866,
- Bailloleul, T., V. Prinnet, B. Serra, P. Marthon, P. Chen, H. Zhang (2005), Digital Building map refinement from knowledge-driven active contours and very high resolution optical imagery, *ISPRS Hannover Workshop*.
- Donna Haverkamp (2004), Automatic building extraction from ikonos imagery, *Proceedings of ASPRS 2004 Conference*.
- Hiroyuki Miura, Saburoh Midorikawa, M. EERI (2006), Updating Gis building inventory data using high-resolution satellite images for earthquake damage assessment: application to Metro Manila, *Philippines, Earthquake Spectra*, 22(1): 151-168.
- Jin, X .et al. (2005), Automated building extraction from high-resolution satellite imagery in urban areas using structural,

- contextual, and spectral information, *EURASIP Journal on Signal Processing*, 14: pp. 2196-2206.
- M.Kass, A. Witkin, D.Terzopoulos (1987), Snake: Active Contour Mode, *International Journal of Computer Vision* 1: pp. 321-331.
- Markus (2000), Reliable Reconstruction of Building for Digital Map Revision, *ISPRS, IAPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam*.
- Scott, D. L., Jie Shan, and James S. Bethel (2003), Class-guided building extraction from IKONOS imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, ASPRS, Vol. 69, No. 2, pp. 143-150.
- Tao Guo, Yoshifumi Yasuoka (2002), Snake-based approach for building extraction from high-resolution satellite images and height data in urban areas, *ACRS*.
- Williams, Mubarak shah (1992), A Fast Algorithm for Active Contour and Curvature Estimation, *CVGIP:IAMGE UNDERSTANDING*, Vol. 55, No. 1, pp. 14-26.
- 
- (접수일 2008. 1. 28, 심사일 2008. 2. 11, 심사완료일 2008. 2. 19)