

## 삼각벡터구조를 이용한 고해상도 위성 단영상에서의 건물 높이 추출

김혜진 · 한동엽 · 김용일<sup>†</sup>

서울대학교 대학원 지구환경시스템공학부

### Building Height Extraction using Triangular Vector Structure from a Single High Resolution Satellite Image

Kim, Hye Jin, Han, Dong Yeob, and Kim, Yong Il<sup>†</sup>

School of Civil, Urban & Geo-System Engineering, Seoul National University

**Abstract :** Today's commercial high resolution satellite imagery such as IKONOS and QuickBird, offers the potential to extract useful spatial information for geographical database construction and GIS applications. Extraction of 3D building information from high resolution satellite imagery is one of the most active research topics. There have been many previous works to extract 3D information based on stereo analysis, including sensor modelling. Practically, it is not easy to obtain stereo high resolution satellite images. On single image performance, most studies applied the roof-bottom points or shadow length extracted manually to sensor models with DEM. It is not suitable to apply these algorithms for dense buildings. We aim to extract 3D building information from a single satellite image in a simple and practical way. To measure as many buildings as possible, in this paper, we suggested a new way to extract building height by triangular vector structure that consists of a building bottom point, its corresponding roof point and a shadow end point. The proposed method could increase the number of measurable building, and decrease the digitizing error and the computation efficiency.

**Key Words :** Building height extraction, single image, High resolution satellite imagery, QuickBird, Triangular vector structure, GIS application.

**요약 :** IKONOS나 QuickBird와 같은 고해상도 위성영상이 상용화됨에 따라 위성영상으로부터 3차원 건물 정보를 취득하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 3차원 건물 높이를 추출하는 연구는 크게 스테레오 영상 기반의 연구들과 단영상 기반의 연구들로 나눌 수 있는데 센서 모델링을 수반하는 스테레오 영상 기반의 연구들은 그 과정이 복잡하고, 실제 스테레오 영상을 취득하기 위해서는 별도의 주문과 비용이 소요되는 등의 어려움이 따른다. 기존의 단영상을 이용한 건물 높이 추출 연구들은 대부분 DEM 등의 부가적인 데이터를 필요로 하며, 건물의 그림자 길이나 건물 지붕점과 바닥점 관측을 통해 높이를 추출하였다. 이러한 기법들은 도시지역과 같이 건물이 밀집한 지역에서는 적용하기 부적합하다. 이에 이태운(2006)의 연구에서는 가상의 그림자 투영 기법을 이용하여 건물의 그림자가 다른 인공체에 드리운 경우에도 건물 높이 추출이 가능한 기법이 제안된 바 있으나 이 기법은 건물의 그림자 끝이 식별되지 않는 건물에는 적용이 불가능하다.

이에 본 연구에서는 고해상도 위성 단영상에서 보다 많은 건물 높이의 관측이 가능하도록 하는 삼각 벡터구조 기반의 새로운 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 센서모델링 과정이나 부가적인 데이터 없이 간단히 구현 가능하며 디지털라이징 과정에서 발생하는 오차를 줄일 수 있다.

## 1. 서론

고해상도 위성영상으로부터 건물 높이와 같은 3차원 정보를 추출하는 기존의 연구들은 보통 스테레오 영상을 사용하거나 DEM (Digital Elevation Model)과 같은 부가 데이터를 이용하였다(Croitoru, *et al.*, 2004, Jin *et al.*, 2005). 스테레오 위성 영상이나 부가 데이터를 획득하기 위해서는 많은 시간과 비용이 필요하고 그 추출 과정이 복잡하여 실제 적용에 있어서 어려움이 따른다. 이에 최근에는 단영상에서 건물의 윤곽이나 그림자를 이용하여 건물의 3차원 정보를 추출하는 연구들이 활발히 진행되고 있다(Croitoru *et al.*, 2004, Sarabandi *et al.*, 2005, Subramanian *et al.*, 2003, Willneff *et al.*, 2005). 그러나 단영상 기반의 연구들은 대부분 건물의 지붕점과 그에 상응하는 바닥점을 관측하거나 건물의 그림자 길이를 관측하여 건물 높이를 측정하기 때문에 건물이 뺄뺄하게 들어서서 바닥점이 보이지 않는 도시지역에는 적합하지 않다. 이를 보완하기 위해 이태운(2006)은 가상의 건물 그림자를 투영하는 방법을 사용하여 바닥이 보이지 않거나 그림자가 다른 인공물체에 드리운 건물의 높이를 측정할 수 있도록 하는 연구를 진행한 바 있다. 이 기법은 보다 많은 경우의 건물을 관측할 수 있어 효과적이나 건물의 그림자 끝이 식별되지 않는 건물은 측정할 수 없다는 한계를 갖는다. 이에 본 연구에서는 건물의 지붕점과 바닥점 그리고 그에 상응하는 그림자 끝을 각각 세 꼭짓점으로 하는 기준 삼각형 구조를 이용하여 단영상에서 보다 많은 경우의 건물 높이 관측을 가능하게 하는 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 지붕과 바닥의 형태가 다른 건물에 대해서도 적용이 가능하며, 건물 바닥, 건물 그림자의 끝 혹은 그림자 경계의 일부만 중 하나라도 관측이 가능한 건물이라면 높이 측정이 가능하기 때문에 건물이 밀집해 있는 지역에서도 보다 많은 건물의 높이를 측정할 수 있다.

## 2. 건물 높이 추출 알고리즘

제안한 기법의 기본개념은 다음과 같은 사실에 기반을 둔다. 고해상도 위성영상은 pushbroom 형태의 센서로 영상을 취득하며 위성체와 태양은 그 고도가 충분히 높으므로 그림 1과 같이 평행한 투영각을 갖는다고 가정할 수 있다. 따라서 단일 고해상도 위성영상에서 건물의 옆면과 건물의 그림자는 항상 일정한 각도로 뒹어져 있다.

또한 건물의 그림자 길이와 건물의 옆면 길이는 비례하므로 건물의 지붕점과 그에 상응하는 바닥점, 그리고 그림자 끝점은 단일 위성영상에서 항상 같은 벡터각을 갖는 닳은꼴의 삼각형을 이룬다. 그림 2와 같이 건물 A와 B는 서로 동일한 방향각을 갖는 닳은 삼각형꼴을 갖는다. 따라서 기준이 되는 삼각 벡터가 정해져 있다면 각 삼각형의 두 점 혹은 한 점과 그의 대변을 관측하여 삼각형의 크기를 결정할 수 있고 결과적으로 해당 건물의 상대적인 높이를 측정할 수 있다. 실제 건물 높이를 측정하기 위해서는 관측된 삼각형의 변 길이에 태양고도각, 위성고도각 등의 기지값을 이용한 비례상수를 곱해주면 된다.

이처럼 삼각 벡터 구조를 이용할 경우, 건물의 바닥면 혹은 그림자 경계의 일부가 관측 가능하면 삼각형을 결정할 수 있기 때문에 높이 측정이 가능한 건물의 수를 최대화할 수 있다. 또한 사용자가 지정할 수 있는 관측

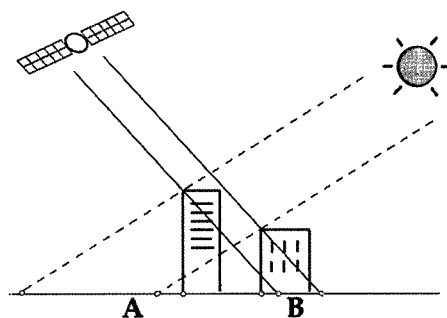


Fig. 1. Parallel rays of the sun and satellite.

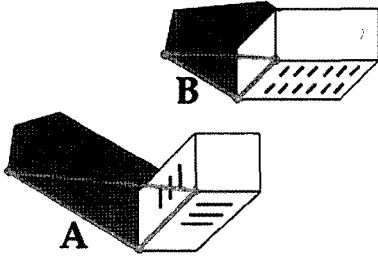


Fig. 2. Similar triangles on satellite image.

점의 후보영역을 특정 기준각으로 제한함으로써 잘못된 디지털라이징에 의한 오차를 줄일 수 있다. 본 연구에서는 기준 삼각벡터를 결정하고 각 건물의 높이를 측정하는 일련의 과정을 구현하기 위하여 MS Visual C++.NET 을 통해 간단한 프로그램을 작성하였다.

### 1) 기본 가정

제안된 알고리즘은 다음과 같은 세 가지 가정을 기반으로 한다. 첫째, 높이를 측정하고자 하는 대상 건물은 평지 위에 존재한다. 둘째, 전체 영상에는 건물 모서리의 지붕점과 그에 대응하는 바닥점, 그리고 그림자 끝점이 관측 가능한 건물이 적어도 하나 이상 존재한다. 셋째, 관측하고자 하는 대상 건물은 지붕점과 그에 대응하는 바닥점, 또는 지붕점과 그에 대응하는 그림자 끝점, 또는 지붕점과 그에 대응하는 그림자 경계의 일부 중 적어도 하나 이상이 식별 가능하다. 이 때, 지붕점이 꼭 건물 모서리의 점일 필요는 없다. 이 세 가지 가정을 만족하지 않을 경우에는 제안한 기법을 적용하는 것이 적당하지 않다.

### 2) 기준 삼각벡터 결정

삼각벡터구조를 통해 건물의 높이를 결정하기 위해 우선 기준이 되는 삼각형꼴을 결정해야 한다. 이를 위해서는 그림 3과 같이 지붕점 A와 그에 상응하는 바닥점 B, 그리고 그림자 끝점 C가 관측 가능한 건물이 대상영상 내에 적어도 하나 이상 존재해야 한다. 기준 삼각형은 사용자가 건물의 A, B, C 세 점을 디지털라이징하여 결정할 수 있으며 보다 안정적인 기준 삼각벡터를 결정하기 위해서는 여러 개의 건물로부터 삼각형꼴을 관측한 후, 각각의 변의 길이에 비례하는 가중 평균치를 사용할 수 있다.

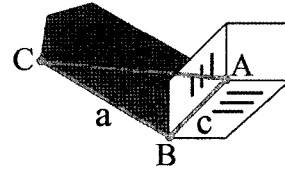


Fig. 3. Conceptual diagram of reference triangle.

### 3) 건물 높이 측정

기준 삼각벡터가 결정되고 나면, 관측하고자 하는 건물의 한 지붕 점을 찍은 후 그림자 끝, 그림자 경계, 혹은 바다 중 시각적으로 식별이 가능한 일부분을 기준으로 하여 삼각형의 크기를 결정해 줄 수 있다. 구현된 프로그램 내에서는 사용자가 건물 지붕의 한 점을 결정해 준 후 마우스를 드래그하면 그에 따라 각이 고정된 상태로 삼각형이 커지거나 작아지게 되며 삼각형의 크기가 결정되고 나면 삼각형의 각 세 점의 영상좌표와 각 변의 길이가 저장된다.

각 건물들의 삼각형 위치정보 취득이 완료되면 세 변 중 한 변의 길이에 비례상수를 곱하여 실제 건물의 높이를 구한다. 이 때, 비례 상수는 영상과 함께 제공되는 메타 데이터에 포함되어 있는 태양 고도각 혹은 위성 고도각을 이용하여 구할 수 있다. 그림 3에서처럼 건물의 바닥점과 그림자 끝을 잇는 즉, 그림자 길이에 해당하는 변의 길이를  $a$ 라 하고, 건물의 지붕점과 바닥점을 잇는 변의 길이를  $c$ 라 할 때, 건물의 높이  $H$ 는 다음과 같다.

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

여기서,

$GSD$ : Ground Sample Distance

$\theta_{sun}$ : 태양 고도각

$\theta_{sat}$ : 위성 고도각

만약 해당 지역의 높이를 알고 있는 건물이 있다면 그 건물의 높이와 해당 삼각형의 한 변의 길이 비를 비례상수로 사용하여 각 건물 높이를 구할 수도 있다. 이러한 경우에는 세 변 중 어느 변을 기준으로 사용해도 무방하다.

### 3. 알고리즘의 적용 및 평가

제안된 알고리즘의 실효성을 검증하기 위하여 QuickBird 단영상을 이용한 실험을 수행하였다. 정량적인 평가를 위하여 실험 결과를 기존의 기법들을 이용한 결과와 비교해 보았으며 높이 정확도를 산출하였다.

#### 1) 실험 데이터

실험에 사용된 영상은 대전 지역의 QuickBird panchromatic 영상으로 공간해상도는 약 60cm이며, 촬영 당시 태양 고도각은 30.2도, 위성 고도각은 59.4도이다.

대상 지역은 그림 4와 같이 고층 빌딩과 아파트들이 밀집되어 있는 평지 지역으로 지상 면적은 약  $1.5 \times 1.7\text{km}^2$ 이다. 본 연구에서는 해당 영역 내 존재하는 총 165개의 모든 건물을 대상으로 실험을 수행하였으며, Lidar DSM (Digital Surface Model) 데이터를 정확도 평가를 위한 기준자료로 사용하였다.

#### 2) 비교 평가

높이가 관측 가능한 건물의 수를 기준으로 하여 기존의 기법들과의 비교 평가를 수행하였다. 첫 번째, 가장 일반적으로 사용되고 있는 건물의 옆면 혹은 그림자 길이를 이용하여 높이를 측정하는 방법과 두 번째, 이태운



Fig. 4. Test area.

Table 1. Number of observable building.

	측정가능 건물 수	측정불가 건물 수
일반적인 기법	135	30
그림자 투영 기법	156	9
삼각백터구조 기법	159	6

(2006)이 제안한 가상의 그림자를 투영하여 건물 높이를 측정하는 기법을 비교 대상으로 하였으며, 그 결과, 표 1에서 보는 바와 같이 제안된 기법이 가장 많은 건물의 높이를 측정할 수 있었다.

그림 5는 본 알고리즘을 이용하여 관측 가능한 건물의 몇 가지 예이다. (a)와 (c)는 지붕과 바닥의 형태가 서로 다른 건물로, 그림자 길이나 바닥으로부터의 건물 옆선 길이를 측정하는 기존의 방법으로는 높이를 구할 수 없다. 삼각백터구조를 이용하면 그림자 길이를 건물의 한 지붕점과 그에 해당하는 그림자 끝을 관측하여 삼각형을 결정할 수 있다. (b)의 아파트에서는 그림자의 끝점이 관측 불가하고 건물 모서리가 건물의 가장 높은 부분이 아니므로 지붕의 한 점과 그에 해당하는 바닥점을 관측하여 높이를 측정하였다. (b)와 (c)의 경우에서와 같이 삼각백터구조를 사용하게 되면 각이 고정되어 있어 건물 지붕의 특정 위치에 대응하는 바닥점 혹은 그림자 끝점의 후보 영역을 하나의 선상에 제한하게 되므로 반드시 건물의 모서리 부분을 관측할 필요가 없다. 그림 (d)의 주차건물은 그림자 끝과 바닥이 전혀 식별되지 않는 건물로 이러한 경우에는 그림자 투영법을 통해서도 높이를 측정할 수 없으나, 제안한 기법을 통해서 지붕에 한 점과 그림자 경계의 일부를 관측하여 삼각형을 결정할 수 있다.

그림 6의 노란 선으로 표시된 건물은 삼각백터구조를 이용하여 높이를 추출할 수 없는 예이다. 건물의 바닥과 그림자 경계가 전혀 보이지 않으므로 단영상만으로는 높이를 측정할 수 없다.

#### 3) 정확도 평가

측정한 건물 높이의 정량적인 평가를 위해서 Lidar DSM 데이터를 기준으로 하여 높이 오차를 측정하였다. 비례상수의 기준값으로 무엇을 사용하였는지에 따라 정확도가 달라지는지를 알아보기 위하여, 본 연구에서는 태양 고도각을 사용하였을 경우, 위성 고도각을 사용하

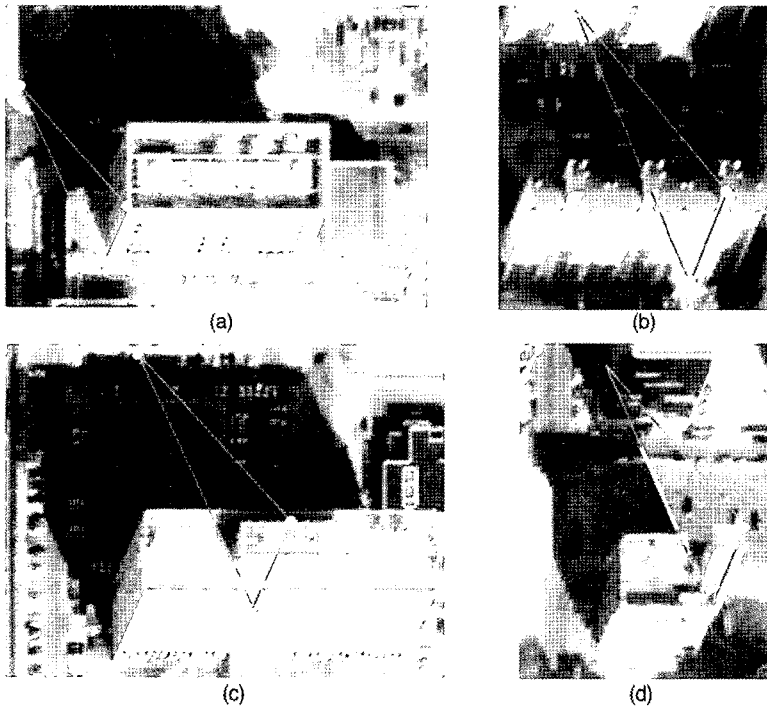


Fig. 5. Examples of measurable building.

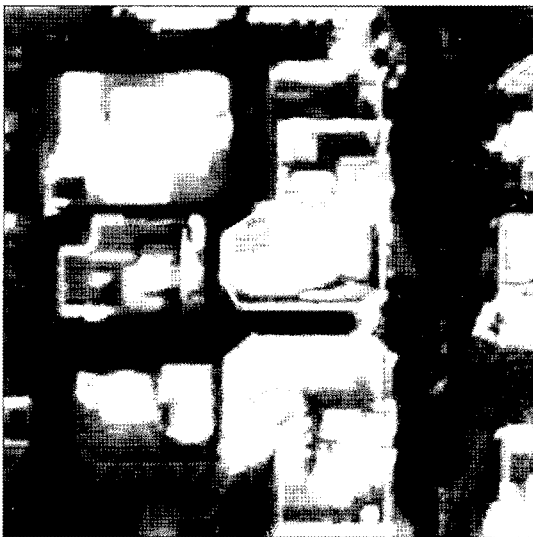


Fig. 6. Example of unobservable building.

였을 경우, 그리고 이미 알고 있는 건물의 높이값을 기준으로 한 경우에 대하여 각각의 높이 오차를 구하였다.

그 결과, 세 경우 모두 1m 정도의 RMSE를 나타냈으나, 태양 고도각을 이용한 경우에는 다른 두 경우에 비해 상대적으로 오차가 크게 나타났다. 또한 오차 평균값을 분석하였을 때, 태양 고도각을 이용한 경우와 건물 높이 기지값을 이용한 경우에는 (+)오차를, 위성 고도각을 이용한 경우는 (-) 오차를 주로 보임을 확인하였다. 이는 대상 지역이 완전한 평지가 아니라 그림자 방향으로 약간 경사진 지형이기 때문에, 본 실험에서 사용된 기준 삼각형이 그림자 방향의 과대오차를 포함하는 상태로 결정되었기 때문으로 보인다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 고해상도 위성 단영상에서 삼각벡터 구조를 이용하여 건물의 높이를 추출하는 기법을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 지붕과 바닥의 형태가 다른 건물이나 그림자 끝이나 바닥이 보이지 않는 건물들이

Table 2. Height accuracy comparison (m).

기준 상수	RMSE	최대값	오차평균
태양 고도각	1.32	2.98	0.82
위성 고도각	1.01	2.47	-0.31
건물높이 기지값	1.01	2.40	0.32

대해서도 높이를 측정할 수 있기 때문에 기존의 기법들에 비하여 보다 많은 건물에 대한 높이를 추출할 수 있다. 기준 삼각벡터를 이용하여 건물 옆면의 모서리뿐 아니라 측정하고자 하는 위치의 높이를 측정할 수 있다. 또한 센서 모델링이나 부가적인 데이터 없이 단영상과 그의 메타 데이터만으로 효과적으로 건물 높이를 추출할 수 있어 비용과 계산에 대한 부담이 적다. 이러한 장점들에도 불구하고, 본 알고리즘은 경사진 지역에는 부적합하며, 높이를 측정하고자 하는 모든 건물에 대한 수작업이 필요하다는 한계를 갖는다. 그리고, 기준 삼각벡터를 수동으로 결정하는 과정에서 발생하는 오차가 결과의 정확도에 영향을 끼칠 수 있다. 따라서 향후, 영상의 메타 데이터 정보를 이용하여 기준 삼각벡터를 결정하는 연구를 진행하고자 한다.

## 감사의 글

본 연구는 한국항공우주연구원의 다목적실용위성 3호 개발사업 위탁 연구과제 성과의 일부로 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

이태윤, 2006. 단일 고해상도 위성영상으로부터 그림자를 이용한 3차원 건물정보 추출 연구, 석사학위논문, 인하대학교.

Croitoru, A. *et al.*, 2004. Single and stereo based 3D metrology from high-resolution imagery: methodologies and accuracies, the XXth International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) Congress, Istanbul, Turkey, DVD.

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: 2196-2206.

Madhavan, B. B. *et al.*, 2004. Automatic extraction of shadow regions in high-resolution ADS40 images, International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 35(3): 808-810.

Sarabandi P. *et al.*, 2005. Infrastructure Inventory Compilation Using Single High Resolution Satellite Images, 3rd International Workshop on Remote Sensing Technologies and Disaster Response, Chiba University, Japan.

Subramanian, K. S. S. *et al.*, 2003. Create Digital City Models from a Single High-Resolution Satellite Image, Geo World, 16(4): 38-40.

Willneff, J. *et al.*, 2005. Single-image high-resolution satellite data for 3D information extraction, High -Resolution Earth Imaging for Geospatial Information ISPRS workshop, Hannover, Germany.