

---

# Footprint 와 그림자를 이용한 위성영상의 건물 모델링 시스템

## Building Modeling System on Satellite Image using Footprint and Shadow

오선호, Seonho Oh\*, 장재석, Jaeseok Jang\*\*, 장경호, Kyungho Jang\*\*\*, 정순기, Soonki Jung\*\*\*\*

---

**요약** ~ ~ 최근 고해상도 위성영상이 널리 보급됨에 따라 공간 영상 정보를 활용한 사업이나 다양한 응용 분야에서도 지형 또는 지물의 기하 정보의 필요성이 커지고 있다. 특히 공간 영상 정보 시스템에서는 지형 또는 지물에 대한 사실적인 정보를 제공하여 이를 이용한 도시 개발 계획의 수립이나 도로망의 개선 등 다양한 분야로 활용되고 있다. 본 논문은 단일 위성영상에서 건물의 footprint, rooftop 과 그림자 정보를 이용하여 건물을 효과적으로 모델링하기 위한 반 자동화 시스템을 제안한다. 위성영상으로부터 건물의 기하 정보의 추출 및 복원 시 고려할 것은 사용자의 조작을 최소화하면서도 보다 정확하고 빠르게 모델링 및 편집이 가능하여야 한다는 것이다. 이를 위해서 위성영상과 영상의 메타 정보의 활용과 효율적인 조작이 이루어 질 수 있는 인터페이스가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 사용자의 입력에 의해 건물의 정보(rooftop, footprint)를 추출하고, 건물의 정보와 메타정보로부터 관심 건물 영역에 대한 그림자 정보를 추출한 다음, 높이 정보를 자동적으로 추출해 냄으로써 최소한의 사용자 입력으로 건물을 효과적으로 모델링 할 수 있다.

**핵심어:** *Building Modeling, User Assist, High Resolution Satellite Image, Shadow Extraction*

---

본 논문은 방위사업청과 국방과학연구소의 지원을 받아 수행되었음.

\*주저자 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 e-mail: shoh@vr.knu.ac.kr

\*\*공동저자 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 e-mail: jsjang@vr.knu.ac.kr

\*\*\*공동저자 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수 e-mail: khjang@knu.ac.kr

\*\*\*\*공동저자 : 경북대학교 컴퓨터공학과 교수 e-mail: skjung@knu.ac.kr

## 1. 서론

도시와 같은 광범위한 영역을 모델링하는 기술은 도시 개발 계획, 엔터테인먼트 사업, 방위산업, 재해관리 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 최근 IKONOS 나 Quickbird 등으로부터 획득된 고해상도의 위성영상이 민간에도 보급됨에 따라 위성영상을 이용한 광대역 모델링에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

위성영상의 건물 모델링 방법은 크게 세가지로 나누어 볼 수 있다. 첫 번째 방법은 다중의 위성영상을 사용하는 방법이다[1, 2, 3]. 이는 스테레오 알고리즘을 적용하여 DEM 을 생성하고 이를 기반으로 3 차원 건물 모델을 추출한다. 두 번째 방법은 위성영상과 센서 정보를 동시에 사용하는 방법이다[4, 5]. 이런 경우, 앞서 살펴본 방법에 비해 보다 정확한 DEM 정보를 추출 할 수 있지만, 데이터 취득의 어려움, 비용상의 문제, 동기화 등의 단점을 가진다. 세 번째 방법은 단 하나의 위성영상이 입력으로 주어진 경우이다[6]. 단일 영상을 이용한 대부분의 연구들은 건물의 3 차원 기하 정보를 추출하기 위해서 메타 정보(위성의 위치 및 태양의 방위각)와 건물과 인접한 그림자를 추출하고 이를 이용하여 건물의 3 차원 기하 정보를 보정하며, 단일영상을 이용한 모델링 시스템들은 모든 작업이 사용자의 수작업에 의존적이다.

본 논문은 단일 위성영상에서 건물의 footprint, rooftop 과 그림자 정보를 이용하여 건물을 효과적으로 모델링하기 위한 반 자동화 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 사용자의 입력에 의해 건물의 정보(rooftop, footprint)를 추출하고, 건물의 정보와 메타정보로부터 관심 건물 영역에 대한 그림자 정보를 추출한 다음, 높이 정보를 자동적으로 추출해 냄으로써 최소한의 사용자 입력으로 건물을 효과적으로 모델링 할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 2 절에서는 전체적인 시스템의 구성에 대해서 살펴보고, 3 절에서는 건물의 모델링 과정을 구체적으로 설명한다. 4 절에서는 실험 결과를 제시하고 마지막으로 5 절에서는 결론과 함께 향후 과제를 살펴본다.

## 2. 시스템 구성

본 논문에서 구현한 시스템은 rooftop 추출, 그림자 영역 추출, 건물 높이 결정, 텍스처 매핑으로 구성된다. 그림 1 은 구현한 시스템의 구성을 나타낸다. 우선 위성 영상과 메타정보기 입력으로 주어지면, 위성의 자세에 대한 정보와 태양의 위치에 대한 정보를 설정한다. 또한 모델링에 사용될 좌표와 영상의 좌표에 대한 관계를 설정한 후, 건물의 rooftop 을 추출한다. 건물의 rooftop 은 페다각형으로 정의되며 이 과정은 Half-edge 자료구조와 오일러 연산자(Euler Operator)[7]를 기반으로 하는 모델링 기능을 이용하여 사용자에게 의해 수행된다. 건물의 rooftop 에 대한 추출이 완료되면 건물의 그림자 영역을

추출한다. 그림자 영역은 rooftop 주변의 영역을 HSI 컬러로 변환하고 Special Ratio Image(SRI) 와 임계값을 이용하여 결정된다. 그림자 영역의 추출은 선택적으로 이루어 질 수 있다. 다음 단계에서는 건물의 높이를 결정한다. 건물의 높이는 사용자가 직접 결정하거나 혹은 건물의 footprint 또는 그림자를 이용하여 결정될 수 있다. 건물의 그림자를 이용하는 경우, rooftop 영역을 토대로 추출된 건물의 그림자 영역을 이용하거나 사용자의 조작에 의해 획득한 그림자의 길이를 통해 건물의 높이를 결정한다. 건물의 footprint 를 이용하는 경우는 건물의 rooftop 과 footprint 의 위치관계를 통해 건물의 높이를 결정한다. 건물의 높이가 결정되면 위성영상을 이용하여 건물에 텍스처 매핑을 수행한다.

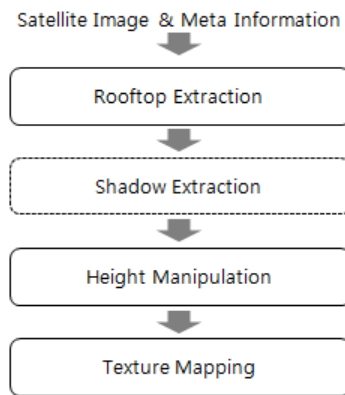


그림 1 시스템 구성

## 3. 건물모델링

위성 영상을 이용한 건물의 모델링은 rooftop 을 추출하고 건물의 높이를 결정하여 3 차원 모델을 생성하고 텍스처를 매핑하는 단계로 이루어진다. 각 단계에 대한 구체적인 내용은 다음과 같다.

### 3.1 Rooftop 추출

위성 영상을 이용한 건물의 모델링을 위해서는 우선 건물의 rooftop 이 추출되어야 한다. 본 논문에서는 footprint 와 그림자를 이용하여 높이를 구하고 최종적으로 3 차원 건물을 획득하는 반 자동화 시스템을 목표로 하였기에 건물의 rooftop 은 사용자의 조작을 통해 추출하였다. 보다 빠른 rooftop 추출을 위해서 본 논문에서는 기본적인 형태의 primitive(사각형, 선, 원, 호 등)를 이용하였다. 또한, 대부분의 건물은 사각형 형태의 조합으로 이루어져 있으므로 이를 보다 쉽게 추출하고자 사각형 형태의 요소를 추가하거나 삭제하는 기능을 구현하여 보다 빠른 rooftop 의 추출이 가능하게 하였다[8].

### 3.2 그림자 영역 추출

단영상을 이용하여 건물을 모델링 할 때는 DSM 과 같은 높이 정보가 없기 때문에, 그림자 정보는 건물의 높이를 추정할 수 있는 중요한 단서가 된다. 본 논문에서는 건물의 그림자 영역을 추출하기 위하여 그림자의 특성을 이용한다.

그림자는 태양으로부터 오는 빛이 건물에 가려져서 생기기 때문에 주변보다 낮은 intensity 값을 지니고[9], 대기의 Rayleigh 산란효과로 인하여 blue-violet wave length 의 값이 강하게 나타나며[10], hue 값이 높게 나타난다[11]. 따라서 본 논문에서는 [10]에서 제안한 SRI(Spectral Ratio Image)를 shadowiness 로 사용하였다.

SRI 를 생성할 때, 다양한 색 변환 방법 중에서 HSI 를 이용한 방법이 가장 나은 결과를 보여주었으므로[10] 본 논문에서는 RGB 를 HSI 로 변환하여 사용하였다. 식(1)은 RGB 컬러를 HIS 로 변환하는 방법을 나타낸다.

$$\begin{bmatrix} I \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ -\sqrt{6} & -\sqrt{6} & \sqrt{6} \\ \frac{6}{\sqrt{6}} & \frac{6}{\sqrt{6}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$S = \sqrt{V_1^2 + V_2^2}$$

$$\begin{cases} V_1 \neq 0, H = \tan^{-1}\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \\ \text{otherwise, } H \text{ is undefined} \end{cases}$$

SRI 의 생성은 앞서 설명한 그림자의 특성 중 높은 hue 값과 낮은 intensity 를 이용하여, HSI 에서 hue, intensity 를 이용한다. 구체적인 방법은 식(2)와 같다.

$$SRI(x, y) = \frac{Hue(x, y) + 1}{Intensity(x, y) + 1} \quad (2)$$

SRI 를 이용하여 건물의 그림자 영역을 추출한다. 그림자 영역은 gray level 영상에서 histogram 을 이용하여 얻은 threshold 값을 적용하여 추출하였다[12]. 그림 2 는 rooftop 주변 영역의 SRI 로부터 건물의 그림자 영역을 추출하는 과정을 나타낸다. 그림자의 길이는 건물의 rooftop 과 그림자가 인접한 부분의 에지가 건물의 그림자가 끝나는 부분에서도 나타난다는 점을 이용하여 edge-based region growing 을 적용한다. 건물의 그림자가 생성되는 방향은 태양과 카메라의 위치정보를 통해 알 수 있으므로, 이를 이용하여 건물의 rooftop 과 그림자가 인접한 부분의 에지를 선택한다. 선택한 에지를

rooftop 에서 그림자의 방향으로 이동시키면서 그림자의 에지와 선택한 rooftop 에지에 대한 line evaluation 을 적용한다. Line evaluation 은 그림자의 에지와 rooftop 에지가 얼마나 일치하는 가를 판단하는 과정이다. 이를 통해서 건물의 그림자 영역이 추출된다.

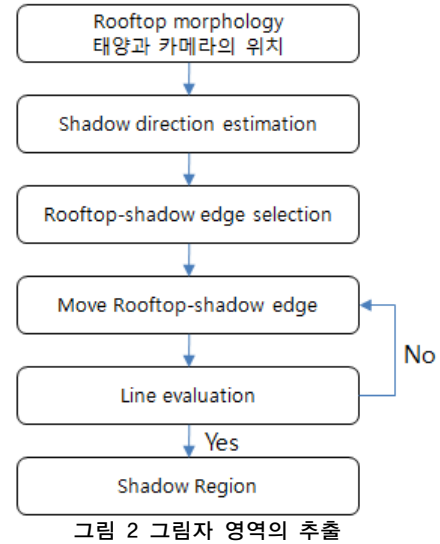


그림 2 그림자 영역의 추출

### 3.3 높이 추정

위성영상에서의 건물의 모델링은 건물이 위치하는 footprint 에 대한 정보가 건물 자신 혹은 다른 건물에 의해 가려지는 경우가 많으므로, rooftop 을 기준으로 모델링이 수행된다. 이 때, 위성영상에서의 건물의 rooftop 의 위치는 footprint 의 위치와 일치하지 않으므로, 이에 따른 보정이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 메타 정보로 제공되는 위성과 태양의 방위각과 올려본각을 이용하여 건물의 높이를 계산하고, 높이에 따른 건물의 위치를 보정하였다.

본 논문에서는 건물 주변이 평편하고, 건물의 rooftop 과 footprint 가 동일한 형태라는 가정하에 건물의 높이를 계산한다.

건물의 footprint 를 알 수 있는 경우, 그림 3 에서 점 P<sub>3</sub> 이 rooftop 의 한 점 P<sub>2</sub> 에 대응되는 footprint 의 한 점이라고 하자. 이 때, 점 P<sub>3</sub>의 투영에 의해 생긴 점 G<sub>3</sub>과 수직인 직선과 점 P<sub>2</sub> 를 지나는 직선의 교점 R<sub>2</sub> 가 건물의 높이가 된다. 인공위성의 위치를 S 라고 하고, S 와 P<sub>2</sub> 를 지나는 직선의 방향 벡터를 D 라고 할 때, 건물의 높이 H 와 R<sub>2</sub> 는 식(3), (4)와 같이 계산된다.

$$H = D.z(G_3.x - S.x) / D.x + S.z \quad (3)$$

$$R_2 = \begin{pmatrix} G_3.x \\ G_3.y \\ H \end{pmatrix} \quad (4)$$

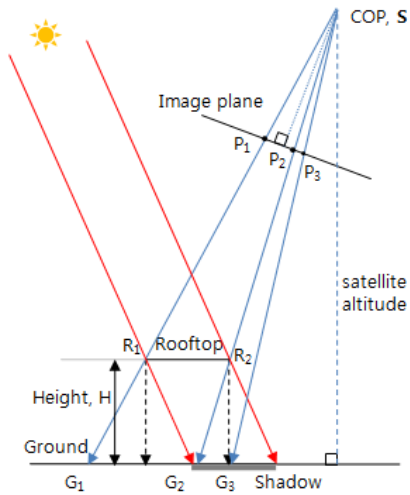


그림 3 건물의 높이 결정

건물과 위성, 태양과 건물의 그림자 길이는 그림 4 와 같은 관계를 가진다. 태양과 위성의 방위각이 동일하다고 하면 건물의 높이는 건물의 그림자의 길이  $SL$  과  $\tan(\theta_{sun})$  에 비례하고, 또한 건물의 실제 위치와 위성에서 촬영된 위치 사이의 거리에 비례한다. 그러나  $VL$  과  $SL$  은 그림 4 에서 보는 바와 같이 가려짐에 의해서 영상에서 획득이 불가능하므로  $VL$  과  $SL$  의 차를 이용하여 건물의 높이를 구한다.

위성과 태양의 방위각이 서로 다른 경우의 방위각끼리의 관계는 그림 5 와 같다. 건물의 rooftop 과 그림자가 만나는 직선을 facade line 이라고 하면, 건물의 높이는 facade line 에 수직인 방향으로의 즉, facade 면의 법선 벡터의 방향으로의  $VL$  과  $SL$  의 길이에 해당하는  $S_{san}$ ,  $S_{sun}$  간의 차를 이용해서 구할 수 있다. 이에 대한 계산은 식(5)와 같다[13].

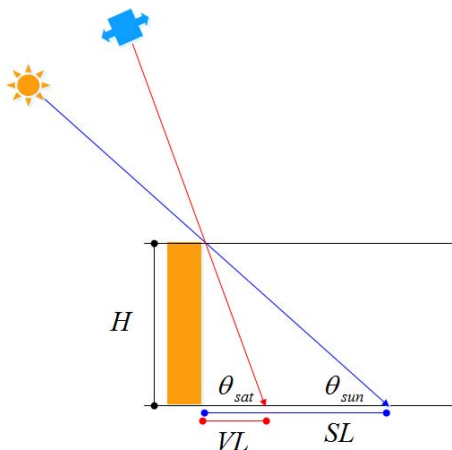


그림 4 건물, 위성, 태양, 그림자 길이의 관계

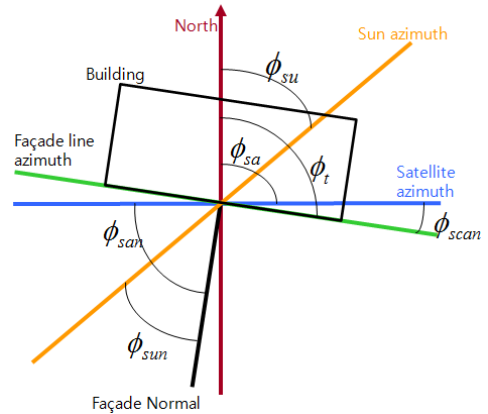


그림 5 영상에서의 건물, 위성, 태양의 위치관계

$$\begin{aligned}
 SL &= H / \tan(\theta_{sun}) \\
 VL &= H / \tan(\theta_{sat}) \\
 S_{sun} &= SL \times \cos(\varphi_{sun}) \\
 S_{san} &= VL \times \cos(\varphi_{san}) \\
 \varphi_{sun} &= \varphi_{su} + 90 - \varphi_t \\
 \varphi_{san} &= \varphi_{sa} + 90 - \varphi_t \\
 S &= S_{sun} - S_{san} \\
 K_{\varphi_t} &= \frac{\sec(\varphi_{scan})}{(\cos(\varphi_{sun}) / \tan(\theta_{sun})) - (\cos(\varphi_{san}) / \tan(\theta_{sat}))} \\
 H &= S \times K_{\varphi_t}
 \end{aligned} \tag{5}$$

건물의 높이가 결정되면 건물의 위치에 대한 보정이 이루어진다. 이미지 상의 rooftop 의 한 점  $G_1$  을 지나는 직선의 방향 벡터를  $D$  라고 하고, 건물의 높이를  $H$  라 하자. 이 때,  $G_1$  에 대응되는 실제 rooftop 의 한 점  $R_1$  은 식(4)와 같이 계산된다. 따라서 높이  $H$  를 가지는 건물의 위치는  $(R_1.x - G_1.x, R_1.y - G_1.y, 0)$  만큼 이동되어야 한다.

$$R_1 = \begin{pmatrix} (H - S.z)D.x / D.z + S.x \\ (H - S.z)D.y / D.z + S.y \\ H \end{pmatrix} \tag{4}$$

건물의 높이가 결정되면 rooftop 에 높이를 적용하여 3 차원의 모델을 생성한다. 그리고 적용한 방법에 따라 건물의 위치를 보정한다.

### 3.4 텍스처 매핑

건물에 대한 3 차원 모델을 얻고 나면 텍스처를 적용한다. 건물의 rooftop 에 대한 텍스처는 rooftop 추출 과정에서 rooftop 영역의 이미지를 이용한다. 건물의 rooftop 을 제외한 facade 의 경우, 위성의 자세 정보를 이용하여 해당 면이 보여지는지의 여부에 따라 선택적으로 텍스처를 적용한다. 해당 면이 보여지는 경우, rooftop 과 footprint 로 결정되는 평행사변형 내부의 이미지를

텍스처로 적용하고 보이지 않는 부분의 경우는 건물의 재질을 대략적으로 묘사할 수 있는 텍스처 템플릿을 적용하였다.

#### 4. 실험 결과

본 논문에서는 C++, Visual Studio 2005 와 OpenGL, OpenCV 를 이용하여 시스템을 구현하였다. 실험에 사용한 영상은 경북대학교 캠퍼스 영상이다(Quickbird). 그림 6 은 실험에서 사용한 영상이다.



그림 6 입력영상

그림 7 은 그림자 영역을 이용하여 건물의 높이를 추정하고 이를 이용하여 건물의 3 차원 모델을 획득하는 과정을 나타내고 있다. (a)는 사용자의 입력에 의한 건물의 rooftop 을 나타내고, (b)는 rooftop 을 이용하여 추출된 그림자 영역을 나타낸다. (c)는 추출된 그림자 영역의 길이를 통해 추정된 건물의 footprint 및 rooftop, 그림자 영역을 나타낸다. 그리고 (d)는 추출된 높이에 의해 생성된 건물에 텍스처 매핑을 적용한 결과이다.

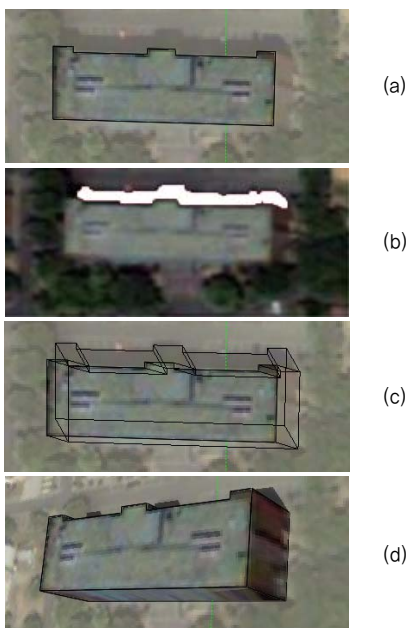


그림 7 그림자를 이용한 건물 모델링

표 1 은 그림자를 이용한 높이 추정의 결과와 실제 건물과의 오차를 나타낸다. 건물의 rooftop 추출의 오차와 추출한 그림자 영역의 길이 오차로 인해 건물에 따라 다소 오차가 발생하였다.

표 1 그림자를 이용한 높이 추정 결과 및 오차

건물명	추정높이(m)	실제높이(m)	오차(m)
E-9	22,985665	20.6	2,385668
생활관	20,737482	17	3,737482
E-7	16,153206	16	0,153206

그림 8 은 footprint 를 이용한 건물 모델링의 과정을 나타낸다. (a)는 rooftop 영역의 drag 를 통해 footprint 영역을 정의하는 과정을 나타내고, (b)는 정의된 footprint 를 통해 높이를 추정하여 획득한 3 차원 모델에 텍스처 매핑을 적용한 결과를 나타낸다.

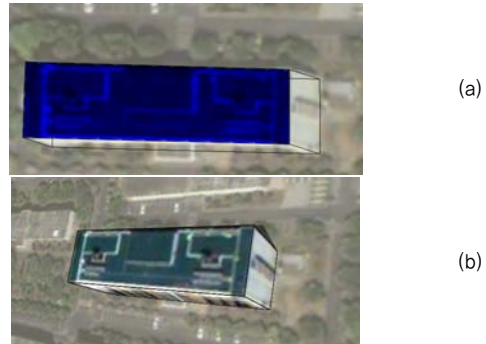


그림 8 footprint 에 의한 건물의 높이 추정

그림 9 는 그림 6 의 경북대학교 캠퍼스에 대하여 그림자와 footprint 를 이용하여 건물을 모델링하고, 텍스처를 매핑한 결과를 나타낸다.



그림 13 텍스처를 적용한 모델링 결과

## 5. 결론

본 논문에서는 단일 위성영상에서 건물의 footprint, rooftop 과 그림자 정보를 이용하여 건물을 효과적으로 모델링하기 위한 반 자동화 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템에서는 rooftop 영역에 대한 그림자 영역을 추출하고 건물의 높이를 얻는 과정이 자동적으로 수행되어 빠른 시간 내에 효과적으로 건물을 생성할 수 있었다.

그러나 그림자 영역을 추출 시, greenish object 가 있는 경우, 그림자 영역의 오차가 커지는 문제가 발생하였다. 그리고 rooftop 영역을 추출할 때의 사용자의 조작에 의존하므로 이에 대한 오차와 rooftop 영역에서 추출한 그림자 영역의 길이 오차로 인해 실제 건물의 높이와 오차가 발생하였다. 따라서 추후 과제로 이러한 문제점을 보완하고자 한다. 그리고 rooftop 의 추출에 있어서의 사용자의 수작업을 최소화 하기 위하여 primitive 를 기반으로 건물의 rooftop 을 자동적으로 추출하기 위한 연구가 필요하다.

## 참고문헌

[1] Rau J. Y., and Chen L. C., Robust Reconstruction of Building Models from Three-Dimensional Line Segment, Photogrammetric engineering and remote sensing, pp. 181-188(2003).

[2] Baollard C., and Maitre H., 3-D Reconstruction of Urban Scenes from Aerial Stereo Imagery : A Focusing Strategy, Computer Vision and Image Understanding, pp. 244-258(1999).

[3] Karner K, Hesina, G. Maierhofer and S. Tobler R. F., Improved Reconstruction and Rendering of Cities and Terrains based on Multispectral Digital Aerial Images, International symposium on Information and Communication Technologies in Urban and Spatial Planning, pp. 299-304(2006).

[4] Chen L. C., Teo T. A., Hsieh C. H. and Rau J. Y., Building Reconstruction From LIDAR Data and Aerial Imagery, Geoscience and Remote Sensing Symposium,

IGARSS ' 05, Proceedings, 2005 IEEE International, pp. 431-439(2005).

[5] Chen L. C., Teo T.A., Hsieh C. H. and Rau J. Y., Reconstruction of Building Models with Curvilinear Boundaries from Laser Scanner and Aerial Imagery, Lecture Notes in Computer Science, pp. 24-33(2006).

[6] C. Lin, R. Nevatia, Building Detection and Description from a Single Intensity Image, Computer Vision and Image Understanding, Vol. 72, No. 2, pp. 101-121 (1998).

[7] M. Mantyla, An Introduction to Solid Modeling, Computer Science Press (1988).

[8] S. C. Lee, A. Huertas, R. Nevatia, Modeling 3-D Complex Buildings With User Assistance, IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, pp. 170-177 (2000).

[9] V. D. Tsai, A Comparative Study on Shadow Compensation of Color Area Images in Invariant Color Models, IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 44, No. 6, pp. 1661-1671(2006).

[10] A. M. Polidorio, F. C. Flores, N. N. Image, A. M. G. Tommaselli, and C. Franco, Automatic Shadow Segmentatino in Areail Color Images, Proc. XVI Brazilian Symp. Computer Graphics and Image Processing, pp. 270-277(2003).

[11] J. Huang, W. Xie, and L. Tang, Detection of and Compensation for Shadows in Color Urban Aerial Images, Proc. 5th World Congr. Intelligent Control and Automation, Hangzhou, China, pp. 3098-3110(2004).

[12] N. Otsu, A threshold Selection Method from Gray Level Histograms, IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Vol. SMC-9, No. 1, pp. 62-69(1979).

[13] Shettigara V.K. and Sumerling G. M. Height Determination of Extended Objects using Shadows in SPOT Images, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 64, No. 1, pp. 25-44(1998).