

論文2000-37SP-4-6

## 건물모델 및 선소측정함수를 이용한 건물의 3차원 복원

### (3D Building Reconstruction Using Building Model and Segment Measure Function)

芮澈洙\*, 李夫熙\*

(Chul Soo Ye and Kwae Hi Lee)

#### 요 약

본 논문에서는 스테레오 항공 영상으로부터 영상에 포함된 건물의 3차원 복원을 위해 건물 형태에 대한 모델을 생성하고 건물 모델을 구성하는 선소를 찾아 건물을 복원하는 알고리즘에 대해 다루고 있다. 건물을 검출하기 위해 일반적으로 필요한 에지 검출, 에지의 직선화, 선소의 연결 등의 복잡한 과정을 거치지 않고 복원하는 건물을 몇 개의 파라미터값으로 표현하고 건물 모델을 이용하여 원영상에서 건물의 선소들을 직접 검출하는 새로운 방법을 제안하였다. 선소 검출시 건물을 구성하는 각각의 선소에 대해 선소 측정 함수를 동시에 적용하여 독립적인 선소 검출 방법보다 건물 검출의 정확도를 높였다. 제안한 알고리즘을 스테레오 항공 영상에 적용한 결과, 건물의 정확한 검출 및 복원 결과를 얻을 수 있었다.

#### Abstract

This paper presents an algorithm for 3D building reconstruction from a pair of stereo aerial images using the 3D building model and the linear segments of building. Direct extraction of linear segments from original building images using parametric building model is attempted instead of employing the conventional procedures such as edge detection, linear approximation and line linking. A segment measure function is simultaneously applied to each line segment extracted in order to improve the accuracy of building detection comparing to individual linear segment detection. The algorithm has been applied to pairs of stereo aerial images and the result showed accurate detection and reconstruction of buildings.

#### I. 서 론

컴퓨터 비전의 한 분야인 스테레오 비전의 한 목표는 다른 시점에서 취득된 영상들로부터 3차원 깊이 정보를 복원하는 것이다. 스테레오 비전 기법의 활용 분야로는 수치 지도 제작이나 3차원 영상 지도 제작 등이

이 있으며 이 외에도 도시 공학, 토목, 국방, 지형 등 각종 응용 분야가 있다. 외국에서는 도심 지역에 대한 3차원 데이터를 획득하는 방법으로 스테레오 비전 기법을 이용한 연구가 활발하게 진행되어 왔다.

스테레오 비전 기법을 이용하여 항공 영상으로부터 건물을 검출하고 복원하는 과정은 여러 가지 요인으로 인해 어려운 작업이다. 건물 이외에 나무, 차량 등과 같은 다양한 물체들이 영상에 존재할 뿐 아니라 건물과 건물 주변의 밝기값 차이가 작을 수 있다. 이 경우 건물과 주변 물체와의 구분이 명확하지 않으며 에지 추출시 건물 부분의 에지가 끊어지게 된다. 또한 건물 지붕에 의해 지표면에 생기는 그림자 에지도 건물 에지 검출에 어려움을 발생시킨다.

\* 正會員, 西江大學校 電子工學科 制御 및 컴퓨터비전 研究室

(Control and computer Vision Laboratory, Electronic Engineering Dept., Sogang University)

接受日字:2000年2月14日, 수정완료일:2000年5月26日

건물을 검출하고 복원하는 문제를 해결하기 위한 많은 연구들이 지금까지 이루어져 왔다. 건물을 검출하기 위해서는 건물의 3차원 구조를 추정할 수 있는 영상 분할 기법이 필요하며 이러한 기법들은 일반적으로 영상으로부터 추출된 에지나 영역 정보를 사용한다. 추출된 에지로부터 근사화된 직선들을 perceptual grouping이나 line relation graph를 이용해서 건물을 구성하는 직선들을 찾아내는 연구가 제안되었다<sup>[1,2,3,4]</sup>. Perceptual grouping 방법은 자연 지형과 달리 건물은 기하학적 구조를 가진다는 점에 착안하여 건물의 형태를 하나 또는 복수개의 직사각형의 평행육면체들로 구성된다고 보고 L자형, T자형, I자형 형태로 건물을 표현한다. Line relation graph 방법은 추출된 선소들의 상호관계를 몇가지로 분류하고 선소와 선소 관계를 graph에 저장하고 line relation graph안에서 closed loop를 찾아 건물을 추출한다.

건물에 대한 사전 지식을 이용하여 건물 모델을 생성하고 복원하는 연구 가운데 스테레오 영상 이외에 스테레오 영상 정합에 의해 자동적으로 얻어진 수치고도 모델 (DEM: Digital Elevation Model)을 사용하여 건물이 위치하는 영역을 검출하고 검출된 영역 안에서 추출된 선소를 스테레오 정합에 의해 3차원 선소로 분석하고 그룹화하는 과정을 거쳐 건물을 복원하는 연구가 제안되었다<sup>[5]</sup>. 또한 건물 모델과 수치표고모델 (DSM: Digital Surface Model)을 사용하여 건물의 위치, 형태, 높이를 결정하는 연구가 수행되었으나 DSM에서 지표면보다 높은 영역의 경계선을 건물의 경계선으로 사용하여 건물 경계선 추출의 정확도가 낮아지는 단점이 있다<sup>[6]</sup>.

건물의 선소를 추출한 후 그룹화 하는 방법은 건물 모델을 생성하고 복원하는 방법에 비해 건물 형태에 대한 제약조건이 적어 보다 일반적인 건물 복원에 적용될 수는 있으나 역시 건물 형태가 직사각형, L자형, T자형, I자형 형태 등에 국한된다. 한편 건물 모델을 사용하는 방법은 비록 건물 형태에 제약이 따르지만 복원하고자하는 건물 형태에 대한 정보가 있다면 좋은 복원 결과를 얻을 수 있다. 모든 건물 형태에 대해 일반적으로 적용되는 알고리즘은 아직까지 개발되어 있지 않으며 또한 구현하기 어렵다. 최근의 건물 복원 연구는 건물 형태에 대한 정보를 이용하며 동시에 정확도를 높이기 위해 반자동으로 건물을 복원하는 방향으로 이루어지고 있는 추세이다<sup>[7,8]</sup>.

본 논문은 정확한 건물 복원을 위해 건물 형태에 대한 모델을 생성하고 생성된 건물 모델의 파라미터를 결정할 때 각 선소를 독립적으로 찾는 방법 대신에 건물 형태에 대한 기하학적 상호 관계와 선소추정함수를 사용하는 기법을 제안한다. 복원하고자하는 건물의 형태를 길이, 폭, 높이의 파라미터 값으로 표현하고 일반적으로 건물을 검출하기 위해 필요한 에지 검출, 에지의 직선화, 선소의 연결 및 건물 선소 추출 등의 복잡한 과정 대신에 원영상에서 건물 모델을 이용하여 건물을 구성하는 선소들을 직접 검출하는 새로운 방법을 제안하였다.

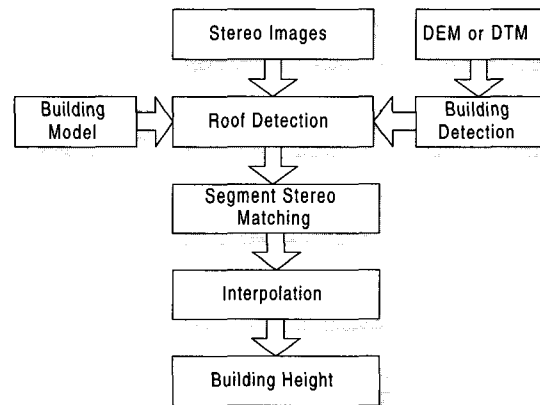


그림 1. 건물 모델을 이용한 건물의 3차원 복원  
Fig. 1. The flow chart of 3-D building reconstruction using building model

그림 1은 모델을 이용한 건물의 3차원 형상 복원의 전체 시스템을 나타낸다. 스테레오 영상을 기본 입력으로 받고 수치고도모델을 사용하여 건물이 위치하는 영역을 검출한다. 건물의 형태를 결정하는 주요한 요소인 건물의 지붕을 건물 모델을 사용하여 검출한다. 이때 건물 지붕 선소들의 기하학적 관계를 동시에 고려하며 선소 추정 함수를 사용한다. 추출된 건물 지붕 선소들에 대해 스테레오 정합을 적용하여 건물 지붕 선소의 3차원 정보를 구한 후에 건물 지붕 내부 영역에 대해 보간을 수행하여 건물의 형태와 높이를 최종적으로 획득한다.

## II. 건물 모델

건물의 검출 및 복원 단계에서 건물에 대한 모델을 적용하며, 적용되는 모델은 복원하고자하는 건물의 형

태와 관련하여 생성한다. 적용되는 모델은 건물의 형태에 따라 파라메트릭 모델 (parametric model)과 프리즈메틱 모델 (prismatic model)로 구분할 수 있다<sup>[6]</sup>. 파라메트릭 모델은 건물의 형태가 비교적 단순한 경우로 건물의 폭, 길이, 높이 등과 같이 몇 개의 파라미터로 건물을 묘사할 수 있는 경우에 적용되는 모델이며 프리즈메틱 모델은 복잡한 건물이나 건물 블록에 적용하며 직교 (orthogonalities), 평행 (parallelisms), 동일 선상 (collinearities) 등의 성질을 이용한다.

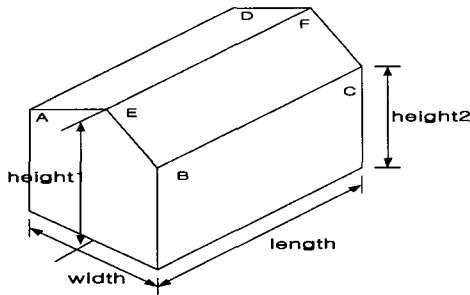


그림 2. 파라메트릭 건물 모델 (경사 지붕)  
Fig. 2. Parametric building model (gabled roof).

파라메트릭 건물 모델의 경우에 그림 2와 같이 건물 지붕이 gabled roof를 가지는 건물을 파라메트릭 건물 모델로 나타내면 건물 지붕의 최고 높이 (height1), 지상과 건물의 지붕이 끝나는 지점과의 높이 (height2), 건물의 길이 (length)와 건물의 폭 (width)으로 표현할 수 있다. 이와 같이 건물 모델을 파라미터로 표현하면 같은 유형의 여러 건물들을 각각의 고정된 파라미터 값을 가지는 하나의 파라미터 모델로 표현할 수 있다. 건물의 위치는 스테레오 정합을 통해 3차원 공간상에 위치하는 좌표값을 통해 결정할 수 있다.

이 외에도 건물의 형태에 따라 여러 종류의 건물 모델을 생성할 수 있다. 가장 기본적인 형태를 가지는 직사각형의 건물은 건물의 폭, 길이, 높이 등으로 표현할 수 있다. L자형, U자형, T자형 등의 다른 건물들도 위와 유사하게 각각의 파라미터 모델로 표현할 수 있다.

건물의 벽면은 건물 촬영 각도와 차폐 현상 등으로 인해 항공영상에서는 일반적으로 잘 보이지 않는다. 그러나 건물 지붕의 경우에는 나무 또는 인접 건물 등과 같은 다른 물체로 인한 차폐에도 불구하고 벽면에 비해 비교적 쉽게 검출된다. 따라서 건물 지붕을 이루는 선소들에 대해 3차원 선소를 추출하고 정합을 수행한

후에 지붕의 높이와 폭과 길이를 결정할 수 있다.

건물을 복원하기에 앞서 영상에서 건물이 위치하는 영역을 검출하는 과정이 필요하다. 이를 위해 스테레오 영상으로부터 얻어진 수치표고모델 정보를 사용하면 건물이 위치하는 영역을 검출할 수 있다. 건물이 위치하는 영역에서는 건물의 높이가 지표면 높이보다 높은 값을 가지므로 임계값 이상의 고도를 가지는 영역을 건물 후보지역으로 검출할 수 있다.

### III. 건물의 검출 및 복원

#### 1. 선소측정합수

일반적으로 건물 등과 같이 인간이 만든 물체들은 영상에서 에지 형태로 그 특징을 나타낼 수 있으며 이 에지를 선소로 근사화하여 건물의 형태를 표현할 수 있다. 에지 검출, 에지 연결, 에지의 직선화 등의 방법을 이용하여 건물의 선소를 검출하는 방법 대신에 원영상에서 건물을 구성하는 선소를 직접 측정할 수 있는 함수를 이용할 수 있다.

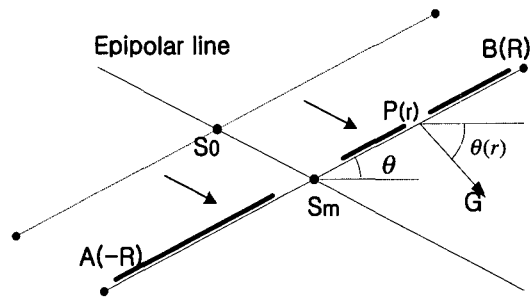


그림 3. 가상의 선소와 선소측정합수  
Fig. 3. Segment measure function with virtual linear segment.

그림 3에서 굵은 선분으로 표시된 부분은 영상에서 에지 부분을 의미하고  $\theta$ 는 가상의 선소의 방향을,  $\theta(r)$ 은 선소의 중심에서 거리  $r$ 만큼 떨어진 화소의 그래디언트 방향을 의미한다. 선분  $AB$ 는 영상에서 가상의 선소를 생성할 때 검출하고자하는 에지의 방향과 길이를 같도록 하고 다음의 식 (1)로 정의되는 선소측정합수를 이용하여 대응되는 선소를 찾는다<sup>[9]</sup>. 정확한 선소의 방향을 찾기위해 선소의 방향  $\theta$ 를 중심으로 임계 각도 범위 이내에서 선소를 찾는다.

$$f(s_m, \theta) = \sum_{r=-R}^{r=R} \|G(r)\| \cdot e^{-\frac{\sin^2(\theta - \theta(r))}{k}} \quad (1)$$

식 (1)의 선소측정함수는 중심으로부터 떨어진 거리에 해당하는 가중치  $r$ 을 그래디언트 크기에 곱하지 않는 형태로 수정된 식이며 본 논문에서는 건물의 지붕을 둘러싼 선소들을 검출하기 위해 다음의 성질을 이용한다.

1) 선소측정함수  $f$ 의 성질

선소측정함수  $f$ 는 다음과 같은 성질을 가진다.

- (1)  $f(s_m, \theta)$ 는 선분  $AB$ 가 에지위에 놓일 때 최대값을 가지며 이때  $f$ 는 근사적으로 에지의 그래디언트 크기의 합이 된다.
- (2) 선분  $AB$ 가 에지 이외의 위치에 놓일 때  $f$ 는 급격히 감소한다.
- (3) 에지가 부분적으로 끊겨있어도  $f$ 는 큰 값을 가진다.
- (4)  $f(s_m, \theta) = f(s_m, \theta + \pi)$ , 즉  $f$ 는 에지의 방향에 무관하다.

선소측정함수  $f$ 는 에지의 그래디언트의 크기와 방향을 결합한 함수로 그림 3에서와 같이 가상의 대응 선소가 직선 에지에 놓여질 때 최대값을 가지며 에지 밖에 놓일 때 그 값이 급격히 감소한다. 또한 가상의 대응 선소가 직선 에지에 놓여질 때에 에지가 부분적으로 끊어져있어도  $f$ 는 큰 값을 가지게 된다. 따라서 가상의 선소가 놓이는 위치에 존재하는 영상화소의 그래디언트의 크기와 방향을 구하고 이 값들을 식 (1)에 대입한 결과를 선소의 위치  $S_m$ 과 방향  $\theta$ 의 양자화된 각각의 값에 대하여 저장하여 선소측정함수  $f$ 가 최대값을 가질 때의  $S_m$ 과  $\theta$ 의 값을 최종적인 선소의 위치와 방향으로 결정할 수 있다 (그림 4). 이와 같은 성질을 이용하면 건물 지붕을 구성하는 선소를 검출할 수 있다.

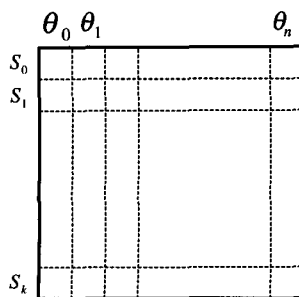


그림 4. 선소측정함수의 양자화  
Fig. 4. Discretization of segment measure function.

2) 건물 모델에 대한 선소측정함수의 적용  
기존의 건물 검출 연구는 추출된 에지를 직선화시킨 후 직선화된 선소 사이의 평행, 직교, 동일 선상 등의 성질을 이용하여 건물 지붕을 구성하는 선소를 추출하였으나 본 논문에서는 건물에 대한 정보를 이용하여 건물 모델을 생성하고 모델을 구성하는 선소들 중에 평행 조건을 만족하는 선소들 각각에 대해 선소측정함수를 동시에 적용하여 고려되는 선소들의 선소측정함수값의 총합이 최대가 되는 선소들의 위치를 찾는다. 따라서 건물과 건물 주변의 밝기값 차이가 적어 에지가 부분적으로 추출되지 않는 경우에도 다른 평행한 선소들과의 기하학적관계와 선소측정함수의 특성으로 인해 건물 지붕 선소들의 검출 확률을 보다 높일 수 있다.

2. 건물 지붕의 검출

1) 건물 지붕 선소의 검출 순서

본 논문에서 사용한 건물 모델은 gabled roof를 가지는 건물 모델이다. L자형, U자형, T자형 등의 다른 건물들도 앞에서 살펴본 유사한 방법으로 각각의 파라미터로 표현할 수 있다. 그림 5는 복원하고자하는 원영상의 건물과 건물의 지붕모델을 나타낸다.

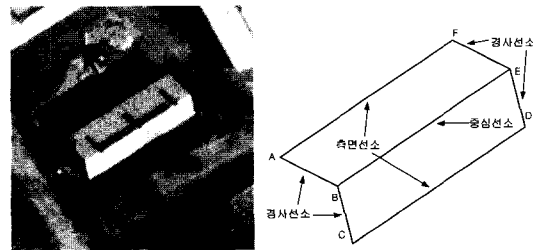


그림 5. 원영상의 건물과 건물 지붕 모델  
Fig. 5. An original building image and its building model.

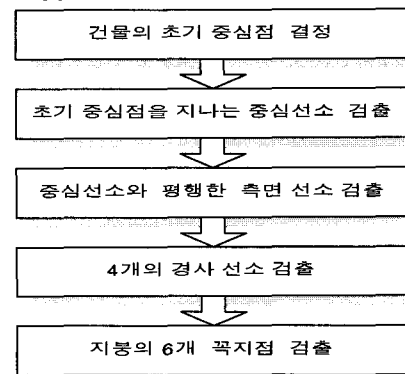


그림 6. 건물지붕의 검출 흐름도  
Fig. 6. Flow chart of roof detection.

건물 지붕 선소는 그림 6에 보인 과정과 같이 지붕의 초기 중심점을 결정하고 중심점 근처를 지나는 중심 선소를 검출한 후 중심 선소와 평행한 두 측면 선소를 검출한다. 중심 선소와 두 개의 측면 선소를 연결하는 4개의 나머지 경사 선소들을 검출하고 지붕을 구성하는 6개의 꼭지점의 좌표를 결정할 수 있다.

### 2) 중심 선소의 검출

건물 중심 선소를 검출하기 위해서 먼저 영상에서 건물이 위치하는 영역을 DTM을 사용하여 검출한다. 검출된 영역안에서 중심 선소를 추출하기 위해 그림 7과 같이 건물 영역의 중심 부근에 초기 중심점을 정하고 초기 중심점 주위로 일정한 크기의 창틀을 생성한다. 초기 중심점을 선택하는 방법은 영상 데이터의 DTM과 평균 지표높이와의 차를 낸 이진화된 영상을 획득한 후 건물 영역에 해당하는 좌표들의 무게중심을 구하여 초기 건물의 중심 위치를 결정한다.

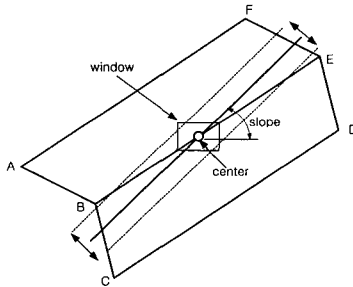


그림 7. 중심 선소의 검출  
Fig. 7. Detection of center line segment.

창틀내의 각 화소들을 중심으로 일정 길이의 가상의 선소를 회전시키며 선소측정합수 값을 계산하고 이 과정을 창틀 안의 모든 화소에 대해 수행하고 선소측정합수 값이 최대가 될 때의 화소의 위치와 중심 선소의 기울기를 구한다.

### 3) 측면 선소의 검출

두 개의 측면 선소를 검출하기 위해 그림 8과 같이 중심 선소에 수직인 방향으로 중심 에지와 평행한 가상의 선소를 0.5 화소 단위로 이동시킨다. 임계거리 이내에서 선소측정합수 값이 최대가 될 때의 위치와 기울기를 구한다. 건물 지붕에 작은 물체가 놓여 있거나 또는 밝기값이 다른 영역이 존재하더라도 가상의 선소가 선소 AF, 선소 CD에 놓일 때가 선소측정합수의 값이 최대가 된다.

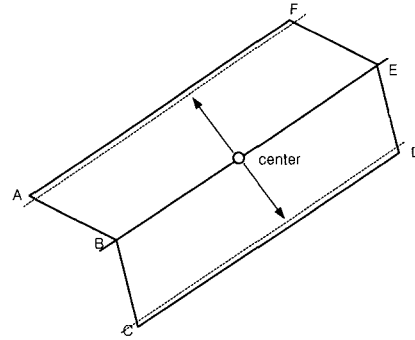


그림 8. 측면 선소의 검출  
Fig. 8. Detection of side line segment.

### 4) 4개의 경사 선소 검출

4개의 경사 선소를 검출하기 위해 각각의 선소를 독립적으로 검출하지 않고 지붕을 구성하는 두쌍의 선소들이 서로 평행하다는 조건을 이용한다. 그림 9는 다음에 설명하는 경사선소의 검출 과정을 보여준다.

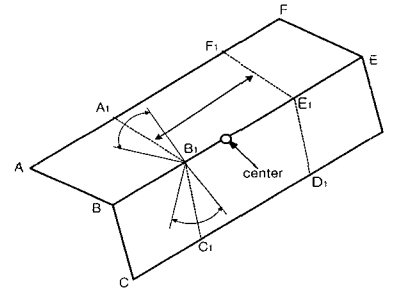


그림 9. 경사 선소의 검출  
Fig. 9. Detection of sloped line segment.

- (1) 선소 AB에 대응하는 가상의 선소  $A_1B_1$ 을 임계각도 이내에서 0.5도씩 증가시킨다. 가상의 선소  $A_1B_1$ 의 선소측정합수  $f_{A_1B_1}$ 를 계산한다.
- (2) 선소  $A_1B_1$ 의 각각의 각도에 대해 가상의 선소  $B_1C_1$ 을 임계각도 이내에서 0.5도씩 증가시킨다. 가상의 선소  $B_1C_1$ 의 선소측정합수  $f_{B_1C_1}$ 을 계산한다.
- (3) 가상의 선소  $A_1B_1$ 과  $B_1C_1$ 에 평행한 가상의 선소  $F_1E_1$ 과  $E_1D_1$ 을 생성한다. 가상의 선소  $F_1E_1$ 과 선소  $E_1D_1$ 의 선소측정합수  $f_{F_1E_1}$ 과  $f_{E_1D_1}$ 을 계산한다.
- (4) 식(2)의 선소측정합수의 합,  $f_k$ 가 최대값을 가질 때의 각 선소의 위치와 각도를 저장한다.

$$f_k = f_{A_1B_1} + f_{B_1C_1} + f_{F_1E_1} + f_{E_1D_1} \quad (2)$$

(5) 중심화소에서부터 시작해서 선소 A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>을 중심 선소를 따라 임계거리까지 0.5 화소 단위로 이동하면서 각각의 위치에서 선소 F<sub>1</sub>E<sub>1</sub>를 반대 방향의 임계거리까지 이동시키며 (1)부터 (4)까지의 과정을 반복하며 선소측정함수의 합 f<sub>k</sub>가 최대가 될 때의 각 경사 선소의 위치와 각도를 구한다.

선소 A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>과 선소 F<sub>1</sub>E<sub>1</sub> 그리고 선소 B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>과 선소 E<sub>1</sub>D<sub>1</sub>은 서로 평행한 위치관계에서 이동하며 각 선소들의 선소측정함수 값을 계산하기 때문에 각 선소들이 건물 지붕의 에지 위에 위치할 때에 하나의 선소측정함수 값이 비록 작다하더라도 다른 나머지 선소들의 선소측정함수 값에 의해 에지 이외의 다른 위치에 놓일 때보다 큰 선소측정함수 값을 가지게 된다. 또한 이와 같은 검출 방법은 건물 지붕 내부가 복잡한 경우나 건물 지붕 경계의 그레디언트가 부분적으로 작은 값을 가질 때에도 효과적이다.

### 3. 3차원 건물 복원

스테레오 영상에서 건물 지붕의 꼭지점의 정합점을 찾은후 카메라 정보를 이용하면 건물의 3차원 정보를 추출할 수 있다. 스테레오 좌, 우 영상에서 정합점이 구해지면 정합점의 영상 좌표를 카메라 좌표계의 좌표로 변환하고 카메라 좌표계에서 지상 좌표계의 좌표로 변환시킨다. 영상 좌표계를 카메라 좌표계로 변환시키는 과정은 식 (3)과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} x &= -(x_{im} - o_x)s_x \\ y &= -(y_{im} - o_y)s_y \\ z &= -f \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 x, y, z는 영상 화소의 카메라 좌표계에서의 좌표를, (x<sub>im</sub>, y<sub>im</sub>), (o<sub>x</sub>, o<sub>y</sub>), (s<sub>x</sub>, s<sub>y</sub>) 및 f는 각각 정합점의 영상좌표, 영상중심화소의 좌표, 화소의 유효크기와 카메라의 초점을 나타낸다.

건물 정합점의 지상 좌표계에서의 위치를 결정하기 위해서는 좌, 우 카메라 초점과 영상의 정합점을 지나는 두 벡터의 교점을 구한다. 일반적으로 이 두 벡터는 공간상에 꼬인 위치 관계로 볼 수 있기 때문에 두 벡터의 최단거리에 해당하는 지상 좌표계상의 두 점의 중심점을 구한다. 즉, 좌, 우 카메라의 지상 좌표계에서의 위치를 각각 (x<sub>0l</sub>, y<sub>0l</sub>, z<sub>0l</sub>), (x<sub>0r</sub>, y<sub>0r</sub>, z<sub>0r</sub>)라하고 좌, 우 영상에서의 정합점의 위치를 각각 (x<sub>1l</sub>, y<sub>1l</sub>, z<sub>1l</sub>), (x<sub>1r</sub>, y<sub>1r</sub>, z<sub>1r</sub>)라 할 때 좌측 카메라의 초점과 정합점을

지나는 벡터  $\vec{L}_l$ 와 우측 카메라의 초점과 정합점을 지나는 벡터  $\vec{L}_r$ 는 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} \vec{L}_l &= \vec{O}_l + t(\vec{P}_l - \vec{O}_l) \\ \vec{L}_r &= \vec{O}_r + s(\vec{P}_r - \vec{O}_r) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서

$$\begin{aligned} \vec{O}_l &= (x_{0l}, y_{0l}, z_{0l}), \vec{O}_r = (x_{0r}, y_{0r}, z_{0r}), \\ \vec{P}_l &= (x_{1l}, y_{1l}, z_{1l}), \vec{P}_r = (x_{1r}, y_{1r}, z_{1r}) \text{ 이다.} \end{aligned}$$

두 벡터의 교점은 벡터  $\vec{L}_l$ 과 벡터  $\vec{L}_r$  위의 공간상의 두 점의 거리가 최단거리가 되는 경우로 다음 식 (5)를 동시에 만족하는 t, s를 구하여 결정한다.

$$\begin{aligned} \frac{d \|\vec{L}_{left} - \vec{L}_{right}\|^2}{ds} &= 0 \\ \frac{d \|\vec{L}_{left} - \vec{L}_{right}\|^2}{dt} &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

## IV. 실험 결과

제한한 알고리즘을 이용한 건물 복원 실험을 위해 그림 10에 나타낸 바와 같이 ISPRS의 Test Data인 1000×1000 크기의 Flat 영상을 사용하였다. 원영상에 포함된 건물은 gabled roof를 가지는 직사각형 형태를 가진다. 영상의 화소 크기는 60μm로 실제 지상에서의 크기는 0.24m가 된다. 또한 지상 좌표계에서 1미터 단위로 수치표고모델 자료가 함께 주어진다. 영상에서 좌측 하단부의 일부 건물들은 건물 지붕의 밝기변화가 비교적 크고 전체적으로는 gabled roof 형태이나 지붕 위에 작은 구조물이 함께 존재한다. 본 실험에서는 원영상에서 3개의 건물을 선택해서 건물 검출 및 복원 알고리즘을 적용하였다. 영상과 관련된 카메라 정보는 표 1과 같다.



그림 10. Flat 스테레오 영상쌍  
Fig. 10. a pair of Flat images.

표 1. Flat 영상의 카메라 정보 (단위:미터)  
Table 1. Camera information of Flat image [m].

	좌측 카메라	우측 카메라
카메라위치(x축)	78746.6786	79090.4884
카메라위치(y축)	44921.8854	44913.2331
카메라위치(z축)	706.934	706.934
카메라초점	0.15319	0.15319
영상좌표계원점	0.12098199	0.12098199
화소유효크기	6.0e-5	6.0e-5

그림11은 영상과 함께 주어진 DSM 데이터를 정규화한 결과와 주어진 영상 데이터의 DSM에서 평균 지표 높이와의 차를 낸 결과를 이용하여 건물 영역과 건물 이외의 영역을 이진화한 결과이다. 정규화된 DSM 지도에서 밝은 부분이 주위 보다 상대적으로 고도가 높은 지역을 나타낸다. 추출된 건물 영역에서 대략적인 건물의 위치를 알 수 있으며 이 결과를 이용하여 초기 건물의 중심 위치를 결정하였다.

그림 12의 (a)는 원영상의 일부분을, (b)는 8방향 Prewitt 경사 창틀로 에지를 찾고 세선화시킨 결과를 나타낸다. 원영상의 건물은 건물 지붕 위에 다른 물체가 없는 단순한 형태이나 지붕 영역 내부에 에지로 검출될 수 있는 밝기변화를 보이고 있다. 따라서 일반적인 에지 추출 연산자를 이용하여 에지를 추출하면 건물 지붕의 경계를 나타내는 선소들 이외에 지붕 내에 밝기 변화를 보이는 에지들도 함께 추출된다.

Prewitt 경사 창틀로 에지를 찾고 세선화시킨 결과를 살펴보면 건물 지붕의 경계선외에도 건물의 형태와 관련이 없는 에지들이 지붕 영역내부에 나타나며 지붕

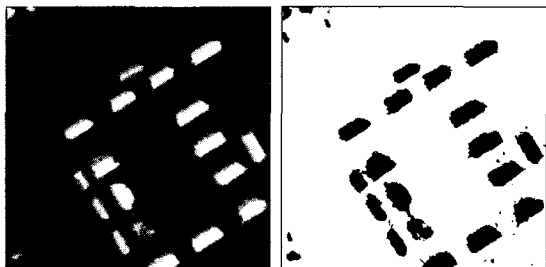
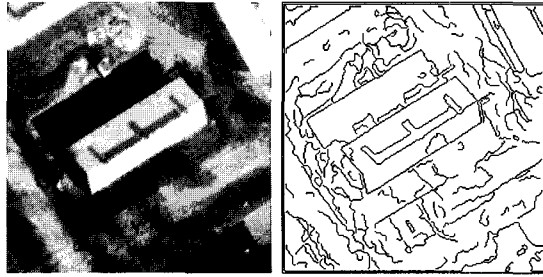


그림 11. 정규화된 DSM 지도 및 추출된 건물 영역  
Fig. 11. Normalized DSM map and extracted building region.



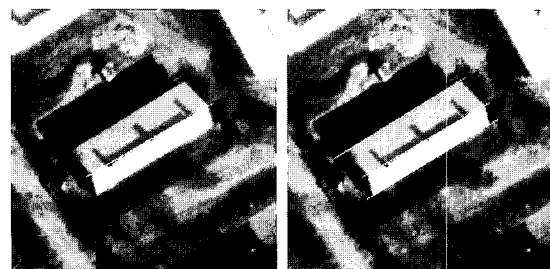
(a) (b)

그림 12. 그림 10 영상의 일부분과 추출된 에지 영상  
Fig. 12. A building image in Fig. 10 and its edge image.

주위에도 건물과 관계없는 많은 에지들이 추출되었다. 또한 건물 지붕의 중심 선소는 일부가 끊어진 형태로 추출되었다. 이와 같이 추출된 에지가 건물 지붕을 불완전하게 표현하는 영상에 대해 선소측정합수를 사용하여 다음의 결과와 같이 건물 지붕 선소를 검출할 수 있다.

그림13은 좌측 영상에서 건물 지붕의 중심 선소, 측면 선소, 경사 선소를 단계적으로 검출하는 과정과 우측 영상에서 같은 과정으로 검출된 건물지붕선소를 보여준다. 흰색 직선으로 표시된 부분이 검출된 건물 지붕의 선소이다. 검출된 중심 선소를 살펴보면 지붕 영역 내부에 존재하는 다른 에지 성분들로부터 중심 선소를 효과적으로 검출하였음을 알 수 있다. 이는 에지 연산자가 일정한 창틀 크기 내에서의 밝기변화만을 고려하여 국부적으로 에지를 추출하는 것과는 달리 선소 측정합수를 사용하여 일정한 길이의 가상의 선소에 대해 그레디언트 크기 및 방향을 동시에 고려하여 가장 큰 값을 가지는 선소를 중심 선소로 추출함으로써 얻어진 결과이다.

표 2는 좌, 우 영상에서 건물 지붕의 꼭지점을 수작업에 의해 추출한 후에 카메라 정보를 이용하여 얻어진 높이와 제안한 방법으로 검출된 지붕 선소들을 정



(a) (b)

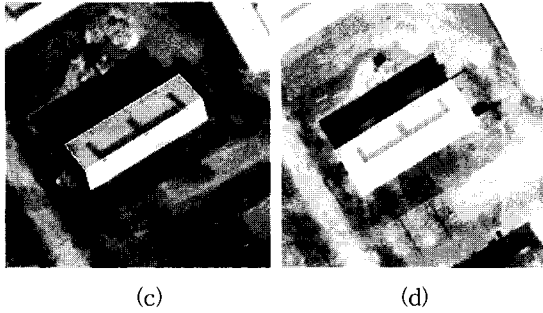


그림 13. 건물 지붕 선소의 검출 (a) 중심 선소 (b) 측면 선소 (c) 전체 지붕 선소 (d) 우측영상의 지붕 선소

Fig. 13. Detection of line segments (a) center line segment (b) side line segments (c) roof line segments (d) roof line segments of right image.

합한 후의 건물 지붕의 높이를 함께 나타내었다. 수작업에 의한 방법은 화소 단위의 정확도를 가지나 영상에서 꼭지점을 화소 단위의 정확도로 사람의 눈으로 판단하기에는 어려움이 따르기 때문에 본 실험에서는 여러 번의 반복적인 수작업을 통하여 좌, 우 영상에서 정합점을 결정하였다. 건물 지붕의 높이는 카메라 정보를 이용하여 얻어진 높이 정보에서 지표의 평균 높이인 100m를 빼준 결과이다. 표 3은 건물 지붕의 꼭지점의 좌표를 구한 후에 건물의 폭과 길이를 계산한 결과이다.

표 2. 그림 13 건물 지붕의 높이 (단위: 미터)

Table 2. Height of building roof [m].

	지붕의 높이							
	E	F	평균	A	B	C	D	평균
수작업 방법	9.09	9.09	9.09	6.23	6.23	6.23	6.23	6.23
제안한 알고리즘	8.93	9.17	9.05	5.74	6.20	6.26	6.17	6.09

그림14는 원영상에서 선택한 건물들로 건물 A의 경우에는 좌측 영상에서 건물 지붕과 건물 주변의 밝기 값 차이가 크지 않기 때문에 그림15의 (a)에서와 같이 에지 추출시에 건물 지붕의 일부분이 추출되지 않는 영상이다. 또한 건물 B의 경우에는 건물 지붕 위에 작은 구조물이 존재하고 밝기변화가 비교적 심한 영상으

로 에지 추출 결과는 그림15의 (b)에서와 같이 건물 지붕 에지 중에 일부가 끊어지고 추출된 에지만으로는 건물 지붕의 형태를 구분하기 어려운 영상이다.

표 3. 그림 13 건물의 폭 및 길이 (단위: 미터)

Table 3. Width and length of building [m].

	건물의 폭			건물의 길이			
	AB	CD	평균	AD	BC	EF	평균
수작업 방법	10.22	10.45	10.33	26.19	26.59	26.58	26.45
제안한 알고리즘	10.39	10.43	10.41	26.25	26.67	26.43	26.45



그림 14. (a) 건물 A의 좌측 영상 (b) 건물 B의 좌측 영상

Fig. 14. (a) Left image of building A (b) Left image of building B.

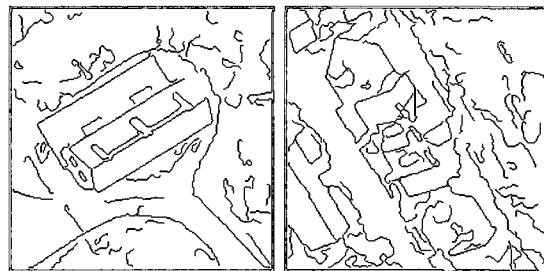


그림 15. (a) 건물 A의 에지 영상 (a) 건물 B의 에지 영상

Fig. 15. (a) Edge images of building A (b) Edge images of building B.

그림 16과 그림 17은 건물 A와 건물 B의 지붕을 본 논문에서 제안한 방법으로 검출한 결과이다. 에지 연산자를 이용하여 건물 지붕 선소를 추출할 경우에는 추



출되지 않는 선소도 검출됨을 알 수 있다. 또한 그림 17에서와 같이 건물 지붕의 밝기변화가 비교적 심한 경우에도 건물 모델과 선소측정합수를 이용하여 건물 지붕의 선소들의 기하학적 위치 관계를 함께 고려하여 원영상에서나 건물 지붕의 직진성을 확인할 수 있는 경우에도 정확하게 지붕을 검출하였다. 표 4와 표 5는 건물 A와 건물 B에 대한 지붕의 높이와 건물의 폭, 길이의 결과이다. 그림 18은 복원된 건물 A와 건물 B의 3차원 표현 결과이다.



그림 16. 건물 A 지붕의 검출 결과  
Fig. 16. Detected roof of building A.

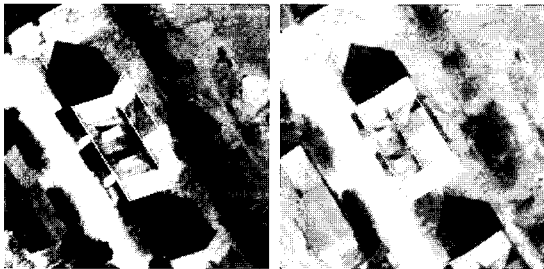


그림 17. 건물 B 지붕의 검출 결과  
Fig. 17. Detected roof of building B.

표 4. 건물 지붕의 높이 (단위: 미터)

Table 4. Height of building roof [m].

	지붕의 높이							
	E	F	평균	A	B	C	D	평균
건물A	8.58	8.63	8.60	6.41	6.44	6.52	6.70	6.51
건물B	10.60	10.81	10.70	5.49	5.60	5.88	5.85	5.70

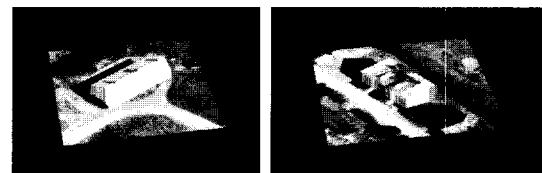
표 5. 건물의 폭 및 길이 (단위: 미터)

Table 5. Width and length of building [m].

	건물의 폭			건물의 길이			
	AB	CD	평균	AD	BC	EF	평균
건물A	10.50	10.45	10.47	26.69	26.71	26.64	26.68
건물B	11.89	12.03	11.96	21.39	21.66	21.03	21.36

## V. 결론

본 논문에서는 스테레오 영상으로부터 영상에 포함된 건물의 3차원 복원을 위해 건물 형태에 대한 모델을 생성하고 건물을 구성하는 선소를 찾아 건물을 복원하는 알고리즘을 제안하였다. 건물 형태에 대한 모델을 이용하여 원영상에서 건물을 구성하는 선소들을 선소측정합수를 사용하여 직접 검출하는 새로운 방법을 제안하였으며 항공 영상에 제안한 알고리즘을 적용한 결과 에지 연산자를 이용하여 건물 지붕 선소를 추출할 경우에는 추출되지 않는 선소를 검출하였다. 또한 건물 지붕의 밝기변화가 비교적 심한 경우에도 건물 모델과 선소들의 기하학적 위치관계를 동시에 고려하고 선소측정합수를 적용하여 건물 지붕의 선소들을 정확하게 검출하고 복원할 수 있었다. 복잡한 형태의 건물을 포함한 일반적인 건물의 복원을 위해서 건물을 구성하는 각각의 선소에 대해 영상에서 추출된 2차원 선소 정보와 선소의 스테레오 정합에 의해 얻어진 3차원 정보를 결합하여 이들 선소 간의 기하학적 관계를 분석하여 건물을 복원하는 기법이 연구되어야 할 것이다.



(a) (b)

그림 18. 복원된 건물의 3차원 표현 결과

(a) 건물 A (b) 건물 B

Fig. 18. 3D description of reconstructed buildings.

(a) building A (b) building B

## 참고 문헌

- [1] R. Mohan and R. Nevatia, "Using perceptual organization to extract 3-D structures," *IEEE Trans. on Pattern Anal. and Machine Intell.*, vol. PAMI-11, no. 11, pp. 1121-1139, Nov., 1989.
- [2] T.J. Kim and J.P. Muller, "Automatic building height extraction and building detection from

- high resolution aerial and space imagery," *IAPR Workshop on Machine Vision Applications, Kawasaki*, Dec. 1994.
- [3] Huertas and R. Nevatia, "Detecting buildings in areal images," *Compt. Vision Graphics Image Processing*, vol. 41, pp. 131-152, 1988.
- [4] V. Venkateswar and R. Chellapa, "A frame work for interpretation of aerial images," *Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition*, Atlantic City, NJ, pp. 204-206, 1990.
- [5] A. Grün, O. Kübler, and P. Agouris, *Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Image*, Birkhäuser Verlag, Basel, pp. 211-220, 1995.
- [6] U. Weidner and W. Förstner, "Toward automatic building extraction from high resolution digital elevation models," *ISPRS Journal*, vol. 50, no.4, pp. 38-49, 1995.
- [7] A. Brunn, E. Gülch, F. Lang, and W. Förstner, "A multi-layer strategy for 3D building acquisition," *Proc. IAPR-TC7 Workshop*, Graz, 1996.
- [8] E. Gülch and H. Müller, "Object-oriented software design in semiautomatic building extraction," *Proc. Integrating Photogrametric Techniques with Scene Analysis and Machine Vision III*, Orlando, Florida, SPIE vol. 3072, Apr., 1997.
- [9] F. Bigoni, *Segment Stereo Matching and Coplanar Grouping. Technical Report BIWI-TR-165*, Institute for Communications Technology, Image Science Lab., ETH, Zürich, Switzerland, 1995.

---

 저 자 소 개
 

---



芮 澈 洙(正會員)

1971년 2월 11일생. 1996년 2월 서강대학교 전자공학 졸업(공학사). 1998년 2월 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1998년 3월~현재 서강대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학

중. 주관심분야는 영상 처리 및 컴퓨터 비전.

李 夫 熙(正會員) 第 34卷 第 9號 參照

현재 서강대학교 전자공학과 교수