

그림자 정보를 이용한 KOMPSAT 위성영상에서의 건물 검출

예철수 · 이쾌희

서강대학교 전자공학과

Building Detection Using Shadow Information in KOMPSAT Satellite Imagery

Chul-Soo Ye and Kwae-Hi Lee

Dept. of Electronic Engineering, Sogang University

Abstract : This paper presents a method to detect buildings using shadow information in satellite imagery. We classify image into three categories of building region, shadow region and background region to find buildings with consistent intensity. After the removal of noises in building regions and shadow regions, buildings adjacent to shadow regions are detected using the constraint of building and shadow sizes. The algorithm has been applied to KOMPSAT and SPOT images and the result showed buildings are efficiently detected.

Key Words : KOMPSAT Satellite Image, Building Detection, Shadow Information

요약 : 본 논문에서는 그림자 정보를 사용하여 위성 영상에서 건물을 검출하는 기법을 제안한다. 비교적 일정한 밝기값 분포를 가지는 건물을 검출하기 위해 영상을 건물, 그림자 그리고 배경의 세가지 영역으로 분류한다. 건물 영역 및 그림자 영역에 대해 잡음을 제거하고 그림자 영역에 인접한 건물을 건물과 그림자 크기에 대한 제약 조건을 적용하여 검출한다. 본 논문에 사용된 영상은 KOMPSAT 위성영상과 SPOT 위성영상을 사용하였으며 위성영상내의 건물을 효과적으로 검출할 수 있었다.

1. 서론

항공 및 위성 영상 내에 존재하는 건물을 검출하고 복원하는 연구는 도시 공학, 토목, 국방, 지형 등 여러 응용 분야에서 중요한 연구이다. 일반적으로 스테레오 비전 기법을 이용하여 항공 및 위

성 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 건

물 부분의 에지가 끊어지게 된다. 또한 건물 지붕에 의해 지표면에 생기는 그림자 에지도 건물에 지 검출에 어려움을 발생시킨다.

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 직선들로 찾아내는 연구가 제안되었다(Mohan, and Nevatia, 1989; Kim and Muller, 1994; Huertas and Nevatia, 1988; Venkateswar and Chellapa, 1990; Ye et al., 1999). 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 graph 안에서 closed loop를 찾아 건물을 추출한다.

건물에 대한 사전 지식을 이용하여 건물 모델을 생성하고 복원하는 연구 가운데 스테레오 영상의 외에 스테레오 영상 정합에 의해 자동적으로 얻어진 Digital Elevation Model(DEM)을 사용하여 건물이 위치하는 영역을 검출하고 검출된 영역 안에서 추출된 선소를 스테레오 정합에 의해 3차원 선소로 분석하고 그룹화하는 과정을 거쳐 건물을 복원하는 연구가 제안되었다(Grün et al., 1995; 예철수, 이쾌희, 2000). 건물 모델과 Digital Surface Model(DSM)을 사용하여 건물의 위치, 형태, 높이를 결정하는 연구가 수행되었는데 여기서는 DSM에서 지표면보다 높은 영역의 경계선을 건물의 경계선으로 사용하기 때문에 건물 경계선 추출의 정확도가 낮아지는 단점이 있다(Weidner and Förstner, 1995). 건물 형태에 대한 정보를 이용하며 동시에 정확도를 높이기 위해 반자동으로 건물

을 복원하는 연구가 수행되었다(Gülch and Müller, 1997). 스테레오 영상이 아닌 단영상에서 건물을 검출하기 위하여 그림자를 이용한 연구들이 있었으며 대부분 고해상도 항공영상에 대해서 수행되었다(Huertas and Nevatia, 1988; Irvin and McKeown, 1989; Liow and Pavlidis, 1990).

이와 같은 연구들은 고해상도 항공 영상을 사용하여 개개의 건물이 기하학적 구조로 표현되는 경우를 가정한다. 따라서 6.6m의 공간 해상도를 가지는 KOMPSAT 위성영상의 경우에는 건물의 각 부분이 기하학적 구조로 표현되기 어렵기 때문에 본 논문에서는 밝기값을 기준으로 건물, 그림자, 배경의 3가지 영역으로 영상을 분류한 후 잡음 제거, 영역 라벨링, 그림자 정보와 건물의 크기에 대한 제한조건을 적용하여 건물을 검출하는 기법이 제안되었다.

2. 영상 분류

1) 밝기값 기준의 영상 분류

형태나 밝기값이나 텍스처가 각기 다른 여러 종류의 물체들이 존재하는 위성영상에서 건물을 검출하기 위해서 영상을 건물(building), 그림자(shadow), 배경(background)의 3가지 영역으로 분류한다. 일반적으로 건물이나 도로 등은 주변의 자연지형과 비교했을 때 화소 밝기값이 밝은 영역에 해당하며 산이나 수목 등과 같은 자연지형에 속하는 영역은 건물이나 도로와 비교했을 때 밝기값이 어두운 분포를 보인다. Fig. 1의 (a)와 같이 그림자에 속하는 화소는 대체로 자연지형의 밝기값과 유사하거나 보다 어두운 밝기값에 해당함을 관찰할 수 있다. 따라서 영상의 화소들의 집합을 Ω , Ω 안의 한 화소를 ω 그리고 $Y(\omega)$ 를 화소 ω 가 속하는 영역이라 하면 영상분류는 식 (1)과 같이 영상의 각 화소를 building, shadow, background로 분류하는 것으로 정의된다. 이때 식 (2)와 같이 밝기값에 대한 두 개의 임계값을 설정하여 각 화

소를 분류한다. 임계값을 결정하는 방법은 Fig.1의 (b)와 (c)에 보인 바와 같이 건물과 그림자 영역을 배경과 분리하는 각각의 밝기값(T_1, T_2)으로 결정한다. Fig. 1의 (c)는 (b)의 영상의 한 라인 AB 방향으로 스캔하면서 얻어진 밝기값을 나타낸다. T_1 보다 큰 밝기값을 가지는 두 개의 피크 값은 건물에 해당하며 T_2 보다 작은 밝기값을 가지는 피크 값은 그림자에 해당한다. 따라서 T_1 과 T_2 의 값을 정할 때에는 건물 및 그림자에 해당하는 피크 밝기값이 배경의 밝기값과 구분되도록 결정한다.

$$Y: \Omega \rightarrow \{building, shadow, background\} \quad (1)$$

$$Y(\omega) = \begin{cases} shadow & \text{if } 0 \leq \omega < T_1 \\ background & \text{if } T_1 \leq \omega < T_2 \\ building & \text{if } T_2 < \omega \leq 255 \end{cases} \quad (2)$$

2) 잡음 제거

밝기값 기준으로 영역을 분류한 후 건물 영역 내부에 존재하는 잡음 성분을 제거한다. 건물 영역 내부의 화소중에서 3×3 마스크내의 주변의 8-neighbor 화소가 건물 영역으로 분류되었지만 3×3 마스크의 중심 화소는 건물 영역으로 분류되지 않았을 경우에 이 중심 화소를 건물 영역으로 분류한다. 이와 동일한 방법으로 그림자 영역 내부에 대해서도 주변의 8-neighbor 화소가 그림자 영역으로 분류되었지만 중심 화소는 그림자 영역으로 분류되지 않았을 경우에도 중심 화소를 그림자 영역으로 분류한다. 이와 같은 방법으로 한 화소 크기의 잡음 성분을 제거한다. 두 화소 이상의 잡음 성분도 제거가 가능하지만 건물 영역내의 화소 수가 작으므로 과도한 잡음제거를 피하기 위해 한 화소 크기의 잡음 성분만을 제거하였다.

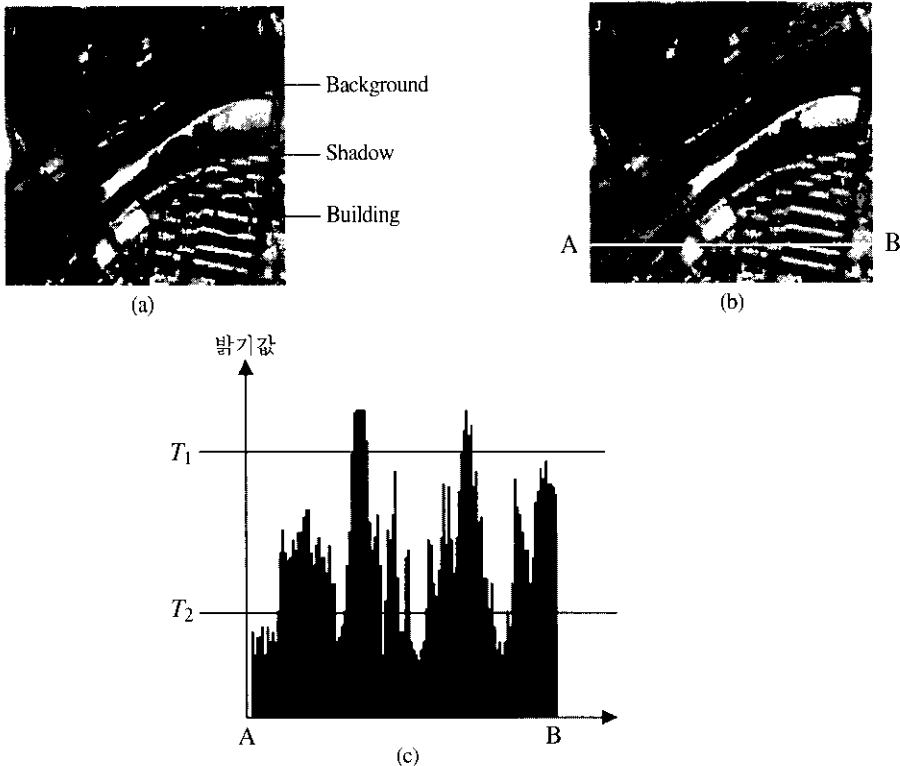


Fig. 1. Sample regions and determination of the thresholds T_1 and T_2 in KOMPSAT image.

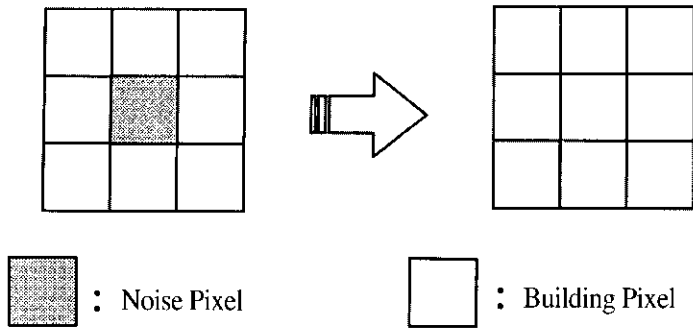


Fig. 2. Noise removal using 3×3 mask.

3. 영역 라벨링

Building 영역으로 분류된 화소들만으로 이루어진 이진 영상에 대해 라벨링을 수행하여 각각의 건물들에 속하는 화소에 대해 동일한 라벨링 값을 할당한다. Fig. 3은 건물 영역에 대한 라벨링을 수행하는 pseudocode를 나타낸다. 라벨링을 수행하는 과정은 Fig. 4에 보인 바와 같이 3×3 크기의 마스크를 건물 이진 영상의 왼쪽 위에서부터 오른쪽

아래 방향으로 한 화소 간격으로 이동시키면서 건물 화소에 중심화소(1번 화소)가 놓일 때에 주변의 8-neighbor를 탐색하고 건물 화소(2번 화소)가 발견 되면 중심화소를 2번 화소의 위치로 이동시킨다. 이때 2번 화소에 1번 화소와 같은 라벨링 값을 할당하고 3×3 크기의 마스크를 2번 화소를 중심 위치하고 앞의 과정을 반복하여 수행한다. 최종적으로 동일한 건물 영역에 속한 화소에는 동일한 라벨링 값이 할당된 영상이 얻어진다.

```

Input: building binary image Bimg[x, y]
Output: labeling image Limg[x, y]
for x:= xmin to xmax do
  for y:= ymin to ymax do
    if (limg[x, y] == 1) then
      label_function( Bimg[x, y], Limg[x, y], x, y, label);
      label := label + 1
    end if
  end for y
end for x

label_function(Bimg[x, y], Limg[x, y], x, y, label)
{
  Bimg[x, y] := 0;
  Limg[x, y] := label;
  for i:= -1 to 1 do
    for j:= -1 to 1 do
      if (Bimg[x+i, y+j] == 1) then
        label_function( Bimg[x, y], Limg[x, y], x+i, y+j, label)
      end if
    end for j
  end for i
}

```

Fig. 3. Pseudocode for the region labeling.

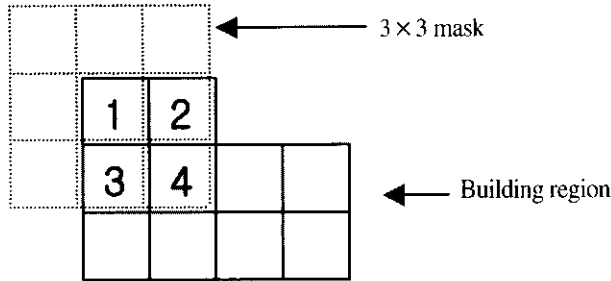


Fig. 4. 3x3 mask and building region labeling.

4. 건물 검출

영상에서 밝기값이 밝은 지역은 건물 이외에도 운동장이나 주차장 등 여러 가지 요소가 있으므로 건물 영역 중에서 건물을 추출하기 위해 건물 영역에 대한 라벨링을 마친 후에 각 건물에 대해 인접한 그림자 영역의 존재 여부를 확인하여 건물 후보의 개수를 감소시킨다. 운동장이나 주차장과 같은 영역은 매우 밝은 밝기값을 가지지만 이웃하는 화소중에는 그림자 화소를 포함할 확률은 매우 적다. Fig. 5는 태양 광선의 방향에 따른 건물 화소와 그림자 화소간의 위치 관계를 나타낸다. 건물 화소에 대해 태양 광선의 방향을 따라 충분한 개수의 그림자 화소가 있다면 건물 화소가 건물일 확률은 높아질 것이다. 따라서 건물 화소에 인접한

그림자 화소의 개수를 계산하기 위해 태양 광선의 방향에 따라 일정한 거리 d 이내에 존재하는 그림자 화소의 개수 N_S 와 건물 화소의 개수 N_B 를 계산한다. 건물 화소의 개수 N_B 는 건물 영역 라벨링의 결과로써 얻어지며 그림자 화소의 개수 N_S 는 Fig. 5에서와 같은 방법으로 계산한다. 즉, 그림자에 인접한 건물 화소의 경계선을 찾기가 쉽지 않으므로 각각의 건물 화소의 위치에서 태양 광선의 방향으로 한 화소씩 위치를 이동하여(B→C) 건물 영역의 경계선에 도달한 이후에 만나는 그림자 화소부터 개수를 카운트한다(A나 C에서부터 카운트 시작). 모든 건물 화소 위치에서 이와 같은 방법을 반복하여 그림자 화소의 개수를 계산한다.

최종적인 건물로 선택하기 전에 다음의 세가지 조건에 대한 테스트를 수행한다.

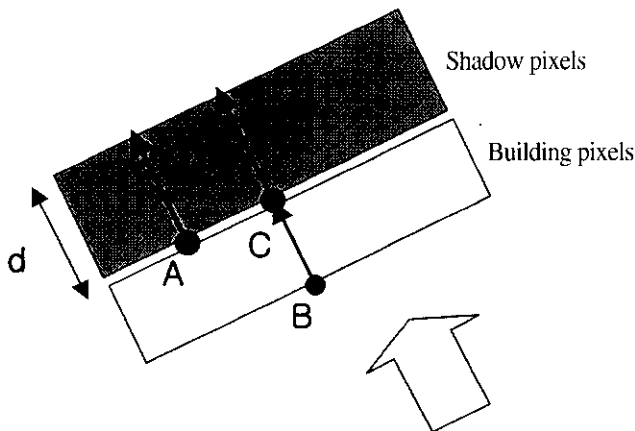


Fig. 5. Relation between building pixels and shadow pixels.

- 건물 화소의 개수 N_B 가 임계값 이내에 속하는가?
- 그림자 화소의 개수 N_S 가 임계값 이상인가?
- 그림자 화소의 개수와 건물 화소의 개수의 비 (N_S/N_B)가 임계값 이상인가?

첫 번째 조건은 건물의 크기를 제한하는 조건으로 건물의 크기가 최소 크기와 최대 크기 사이에 속하도록 제한한다. 두 번째 조건은 그림자 화소의 개수가 과도하게 적은 경우를 제한하는 조건이다. 세 번째 조건은 앞의 두 조건을 만족하더라도 건물의 화소 개수에 비해 그림자의 화소 개수가 과도하게 적은 경우를 제한하는 조건이다. 임계값을 결정하는 기준은 영상 내에 비교적 작은 단일 건물까지 검출하고자 할 때에는 N_B 를 5~10(pixel)로 결정하며 아파트 등과 같이 비교적 큰

건물에 대해서는 15~25(pixel)의 값을 이용한다. 그림자 화소의 개수 N_S 의 임계값은 건물 화소의 개수보다 큰 값($N_S > N_B$)으로 결정한다. N_S/N_B 에 대한 임계값은 영상이 촬영되는 시각의 태양의 고도와 건물의 크기와 관련되며 $N_S/N_B > 1.5$ 를 만족하는 값으로 결정한다.

5. 실험 결과

제안한 알고리즘을 이용한 건물 검출 실험을 위해 첫 번째 영상으로 Fig. 6 (a)에 나타난 바와 같이 512×512 크기의 KOMPSAT 대전 영상을 사용하였다. Fig. 6 (b)는 building, shadow, background 의 세가지 영역으로 분류한 결과이며

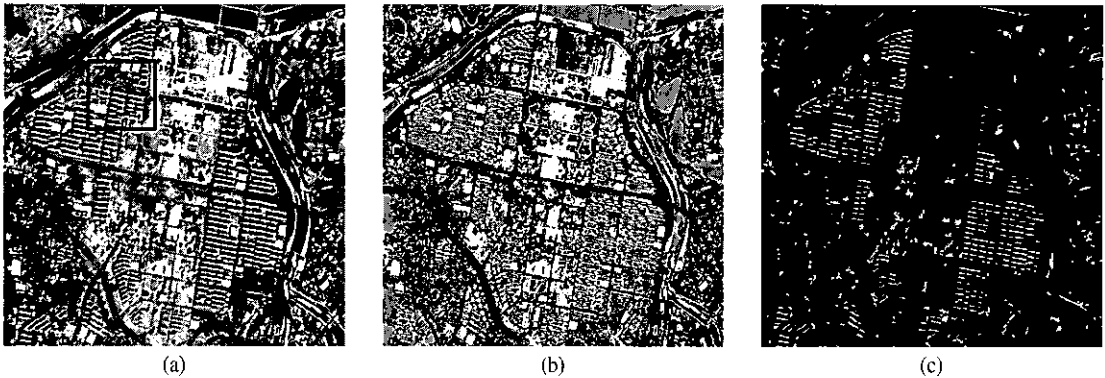


Fig. 6. Building detection result. (a) original image (b) building region (white) and shadow region (grey) and background (black) (c) detected buildings.

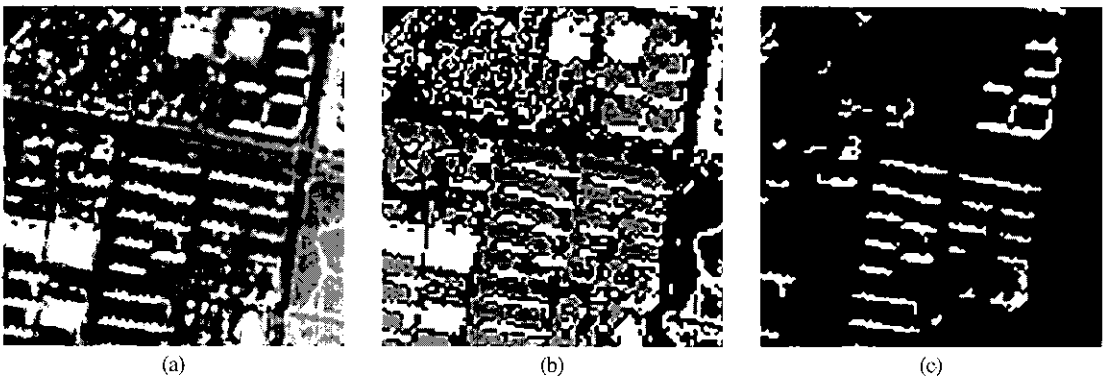


Fig. 7. Building detection result of a part of Fig. 6. (a) original image (b) building region (white) and shadow region (grey) and background (black) (c) detected buildings.



Fig. 8. Building detection result of KOMPSAT image. (a) original image (b) building region (white) and shadow region (grey) and background (black) (c) detected buildings.

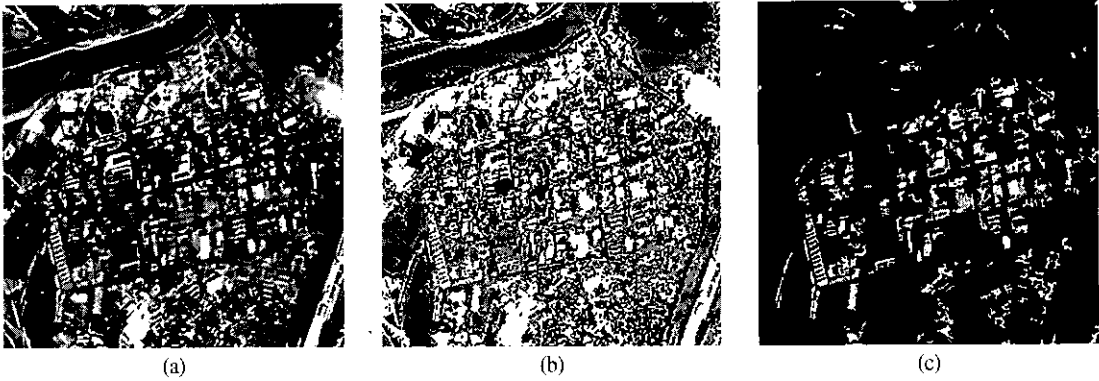


Fig. 9. Building detection result of SPOT image. (a) original image (b) building region (white) and shadow region (grey) and background (black) (c) detected buildings.

흰색은 building 회색은 shadow 그리고 검은색은 background를 나타낸다. Building으로 분류된 영역 가운데 운동장과 도로의 일부분이 building으로 분류되었음을 알 수 있다. Fig. 6 (c)는 영역 내부의 잡음을 제거한 후 그림자 정보를 이용하여 최종적으로 검출된 건물 영상이다. Fig. 6 (b)에서 건물로 분류된 운동장과 도로의 일부분이 대부분 제거되었음을 알 수 있다. 보다 자세한 결과를 보기 위해 Fig. 6 (a)의 사각형 영역에 대해 확대한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 다섯 군데의 운동장이 건물에서 제외되었음을 확인할 수 있다.

Fig. 8은 256×256 크기의 KOMPSAT 위성영상에 대한 건물 검출 결과이다. Fig. 6과 비교해서 볼 때 건물의 크기가 작고 형태도 다양한 영상이나 비교적 작은 건물도 효과적으로 검출됨을 알

수 있다. 반면에 Fig. 9는 256×256 크기의 SPOT 위성영상에 대한 건물 검출 결과이다. Fig. 8과 비교해 보면 영상 취득시의 시간 차이와 해상도 차이를 고려하더라도 KOMPSAT 위성영상을 이용한 건물 검출 결과가 보다 우수함을 알 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 KOMPSAT 위성 영상을 사용하여 건물을 검출하는 기법을 제안하였다. KOMPSAT 위성 영상을 건물 영역, 그림자 영역 그리고 배경의 세 가지 영역으로 분류하고 건물 및 그림자 영역에 대해 잡음 성분을 제거하고 그림자 조건 및 건물 크기에 대한 제한 조건을 적용

하여 비교적 작은 건물도 효과적으로 검출할 수 있었다. 해상도가 다소 떨어지는 SPOT 위성영상의 결과와 비교하여 볼 때 위성 영상의 해상도가 건물 검출에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- Mohan, R. and R. Nevatia, 1989, Using perceptual organization to extract 3-D structures, *IEEE Trans. on Pattern Anal. and Machine Intell.*, 11(11): 1121-1139.
- Kim, T. and J.P. Muller, 1994, Automatic building height extraction and building detection from high resolution aerial and space imagery, *IAPR Workshop on Machine Vision Applications*, Kawasaki, Dec. 13-15, 1994, 364-367.
- Huertas, A. and R. Nevatia, 1988, Detecting buildings in areal images, *Compt. Vision Graphics and Image Processing*, 41: 131-152.
- Venkateswar, V. and R. Chellapa, 1990, A frame work for interpretation of aerial images, *Proc. of the International Conference on Pattern Recognition*, Atlantic City, NJ, 204-206.
- Ye, C.S., G.H. Kim and K.H. Lee, 1999, Building detection using segment measure function and line relation, *Proc. of International Symposium on Remote Sensing, EMSEA and KSRS*, 177-181, Nov. 3-5, 1999, 177-181.
- Grün, A., O. Kübler, and P. Agouris, 1995, Automatic extraction of man-made objects from aerial and space image, *Birkh user Verlag*, Basel, 211-220.
- 예철수, 이쾌희, 2000, 건물모델 및 선소측정함수를 이용한 건물의 3차원 복원, *대한전자공학 회논문지*, 37-SP(4): 46-55.
- Weidner, U. and W. Förstner, 1995, Toward automatic building extraction from high resolution digital elevation models, *ISPRS*, 50(4): 38-49.
- Gülch, E. and H. Müller, 1997, Object-oriented software design in semiautomatic building extraction, *Proc. of Integrating Photogrametric Techniques with Scene Analysis and Machine Vision III*, Orlando, USA, Apr. 21-25, 1997, SPIE Publications 3072-15.
- R.B. Irvin and D.M. McKeown, 1989, Methods for exploiting the relationship between buildings and their shadows in aerial imagery," *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, 19(6): 1564-1575.
- Liow, Y.T. and T. Pavlidis, 1990, Use of Shadows for Extracting Buildings in Aerial Images, *Compt. Vision Graphics and Image Processing*, 49: 242-277.