

항공영상에서 건물지붕 검출을 위한 선소의 그룹화 기법

Line segment grouping method for building roof detection in aerial images

예철수 · 임영재 · 양영규

한국전자통신연구원 공간정보기술센터 공간영상정보연구팀
042)860-{1094, 1034, 6380}, {csye, yjlim, ykyang}@etri.re.kr

要地

본 논문에서는 다양한 건물 지붕의 검출에 사용될 수 있는 선소의 그룹화 기법을 제안한다. 먼저 에지 보존 필터를 사용하여 영상에 포함된 잡음을 제거한 후에 watershed 기법을 이용하여 에지의 위치를 보존하고 영상 분할을 수행한다. 분할된 영역의 경계선에 위치한 화소들의 곡률을 계산하여 control point를 검출하고 control point 사이의 선소를 추출한다. 추출된 선소들의 방향과 길이를 고려하여 선소의 연결을 수행하고 최종적으로 화소의 그레디언트 크기를 이용하여 선소의 위치를 조정한다. 항공 영상에 제안한 방법을 적용하여 건물 지붕을 정확하게 검출할 수 있음을 보였다.

Abstract

This paper presents a method for line segment grouping used for detection of various building roofs. First, by using edge preserving filtering, noise is eliminated and then images are segmented by watershed algorithm, which preserves location of edge pixels. To extract line segments between control points from boundary of each region, we calculate curvature of each pixel on the boundary and then find the control points. Line linking is performed according to direction and length of line segments and finally the location of line segments is adjusted using gradient magnitudes of all pixels of the line segment. The algorithm has been applied to aerial imagery and the results show accurate building roof detection.

1. 서론

스테레오 영상을 이용하여 건물을 추출하는 연구는 최근에 고해상도 위성 영상의 획득이 가능해지면서 그 중요성이 더욱 커지고 있다. 스테레오 영상으로부터 건물의 3차원 정보를 추출하기 위해서는 카메라에 대한 정확한 모델링, 스테레오 정합을 통해 획득된 3차원 선소들을 동일 건물 혹은 동일 지붕 단위로 그룹화하는 과정이 필수적이다. 지금까지 많은 연구들은 에지를 추출하고 선소로 근사화한 후에 이를 그룹화하는 과정을 수행한다. 에지 정보에 기초한 건물 복원 기법은 에지 추출 결과로 연속적인 에지가 끊어지는 문제점과 추출된 에지들을 그룹화하는 추가적인 과정을 필요로 하는 단점을 가진다.

반면에 영역기반의 영상 분할을 수행하면 에지가 끊어지는 현상을 피할 수 있으며 동시에 영역과 영역의 경계선과의 인접 관계를 이용할 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 영상 분할 후에 얻어진 영역의 경계선에서 선소를 추출하고 추출된 선소를 결합하고 선소의 위치를 조정하여 건물 지붕을 정확하게 검출하는 기법을 제안한다.

2. 영상 분할

에지의 위치를 보존하고 영상을 유사한 밝기값을 가지는 영역으로 분할하는 watershed 분석은 영상의 그래디언트를 조사하여 높은 그래디언트 화소와 낮은 그래디언트 화소들의 그룹으로 영상을 분할하는 유용한 방법이다 (Vincent and Soille, 1991). Gauch가 제안한 watershed 영상 분할 기법은 Vincent와 Soille가 제안한 기법과 유사한 결과를 보이며 동시에 watershed를 간단하게 계산할 수 있는 장점을 가지고 있다 (Gauch, 1999). 그러나 watershed 기반의 영상 분할 알고리즘을 적용한 영상은 매우 많은 수의 작은 영역들로 이루어지기 때문에 이들 작은 영역들을 합쳐서 보다 큰 영역을 얻는 과정을 필요로 한다. 본 논문에서는 Gauch가 제안한 방법으로 watershed를 계산하였으며 과도한 영상 분할 문제를 해결하기 위해 영상의 전처리 단계로 anisotropic diffusion의 일종인 평균 곡률 확산 (mean curvature diffusion) (Ye and Lee, 2001)을 이용하여 잡음을 제거하였고 의미있는 분할 결과를 얻기 위해 RAG (region adjacency graph)을 이용하여 유사한 영역들을 합치는 과정을 적용하였다 (예철수와 이쾌희, 2002).

3. 영역의 선소 추출

영역의 경계선은 다음과 같이 구한다. 영상을 스캔하면서 임의의 라벨을 가진 영역의 화소를 만나면 이 화소를 기준으로 진행방향의 왼쪽으로 145도 방향에서 오른쪽으로 145도 방향으로 3×3 창틀 내의 화소들을 조사하여 현재 화소의 라벨과 같은 화소를 최초로 만나면 이 화소를 다음 진행 방향의 화소로 결정하고 위치를 옮긴다. 이 과정을 반복하여 처음 위치로 돌아오면 경계선 추적을 마친다 (그림 1). 이때 지나온 화소들의 위치는 최초의 화소를 기준으로 8-connected chain code로 저장한다.

경계선 추출에서 얻어진 체인 코드를 이용하여 직진성을 갖는 화소들을 검출하기 위해서는 경계선 체인 코드에 대한 이산 곡률을 조사하여 곡률이 큰 점 (control point)을 찾고 이 점들 사이를 연결하는 과정이 필요하다. 파라미터 곡선 $c(t)=(x(t),y(t))$ 의 형태로 경계선을 표현하면 곡률은,

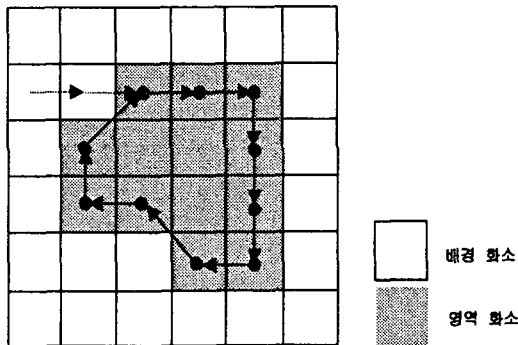


그림 1. 영역의 경계선 추출 과정

$$\kappa(t) = \frac{\dot{x}(t)\ddot{y}(t) - \ddot{x}(t)\dot{y}(t)}{(\dot{x}(t)^2 + \dot{y}(t)^2)^{3/2}}$$

이 된다. 여기서,

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= \frac{dx}{dt}, \ddot{x}(t) = \frac{d^2x}{dt^2}, \\ \dot{y}(t) &= \frac{dy}{dt}, \ddot{y}(t) = \frac{d^2y}{dt^2}\end{aligned}\quad (2)$$

이다.

이산 신호 신호에 대한 미분은 일반적으로 양자화에 따른 오차를 포함하고 있으므로 아래와 같이 가우시안 필터를 적용한 후에 미분을 한다.

$$\begin{aligned}X(t, \sigma) &= x(t) * g(t, \sigma) \\ Y(t, \sigma) &= y(t) * g(t, \sigma)\end{aligned}\quad (3)$$

여기서

$$g(t, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}.\quad (4)$$

따라서 식 (1)은

$$\kappa(t, \sigma) = \frac{\dot{X}(t, \sigma)\ddot{Y}(t, \sigma) - \ddot{X}(t, \sigma)\dot{Y}(t, \sigma)}{(\dot{X}^2(t, \sigma) + \dot{Y}^2(t, \sigma))^{3/2}}\quad (5)$$

이 된다.

4. 선소의 연결과 위치 보정

Control point 사이를 연결하여 선소를 추출한 후에 선소들의 연결과 위치 보정 과정이 필요하다. 그림 2는 같은 방향의 선소와 다른 방향의 선소의 결합 과정을 보여준다. 그림 2에서 같은 방향의 선소인 AB와 CD에 대해 아래 세가지 조건을 만족할 때 새로운 선소 AD를 생성한다.

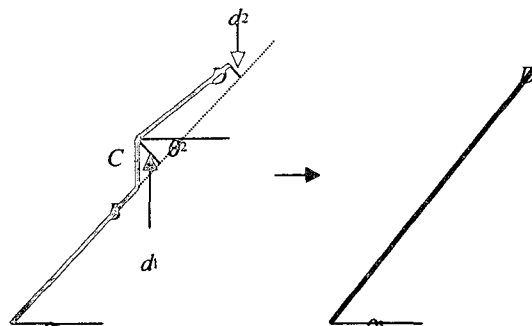


그림 2. 같은 방향의 선소 결합

$$|\theta_1 - \theta_2| < T_{degree} \quad (6)$$

$$\frac{AB + CD}{AD} > T_{length} \quad (7)$$

$$d_1 < T_{dist} \text{ and } d_2 < T_{dist} \quad (8)$$

그림 3에서와 같이 서로 다른 방향인 긴 선소 AB와 CD 사이에 위치하는 작은 선소 BC에 대해서는 다음 조건을 만족할 때 두 선소 AH와 HD를 새롭게 생성한다.

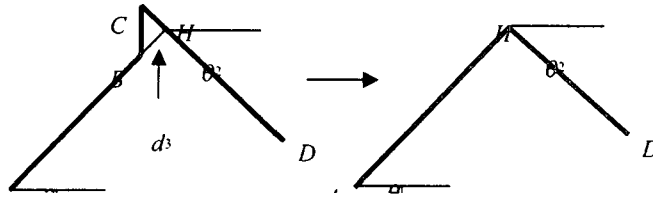


그림 3. 다른 방향의 선소 결합

$$AB + BC + CD > AH + HD \quad (9)$$

경계선 선소가 실제 에지 위치에서 조금 벗어나는 경우를 고려하여 그림4에 보인 바와 같이 선소의 위치를 조정한다. 선소 AB를 수직 방향으로 조금씩 이동하면서 매 위치에서 선소 θ_1 각도 이내에서 조금씩 회전하면서 선소 AB가 놓이는 위치의 화소 그래디언트의 평균을 구해서 최대가 되는 위치를 찾는다.

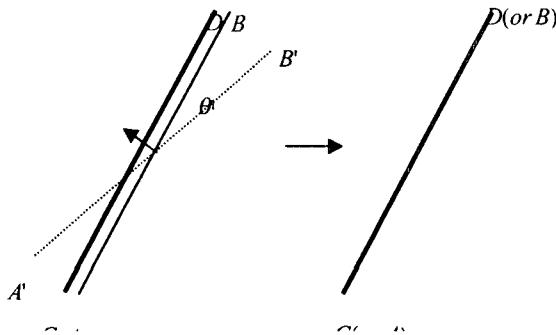


그림 4. 선소의 위치 조정

5. 실험 결과

실험에 사용한 항공 영상은 Avenches 데이터(Mason et al., 1994)에서 인공 지물 지역 영상의 일부분을 사용하였다. 총 4장씩 60%가 겹쳐있는 항공 영상이며 고도 750m에서 취득한 영상이다. 전체 영상의 크기는 1800×1800 화소이며 1화소 당 15um (실제 지상 영역은 7.5 cm×7.5 cm)의 정확도를 가지고 있다.

그림 5의 (b)는 원 영상에 대해 에지 보존 필터링을 적용한 결과 영상이다. 지붕의 내부에 존재하는 작은 밝기 변화는 제거되고 경계선 정보는 유지되고 있음을 알 수 있다. 에지가 보존된 영상은 다음 단계의 영상 분할 과정에서 영역과 영역을 구분하는 중요한 정보로 사용된다. Watershed 방법을 사용하는 경우에 잡음을 제거하는 과정은 영상이 지나치게 많은 영역으로 분할되는 것을 방지해 준다.

그림 5의 (c)와 (d)는 에지보존 필터링을 수행한 후에 watershed를 이용하여 영상을 분할한 결과와 이 영상에서 경계선을 추출한 결과를 보여주고 있다. 그림 5의 (d)의 경계선 추출 영상에서 볼 수 있듯이 건물의 지붕을 구성하는 영역들이 올바르게 분할되어 있음을 알 수 있다.

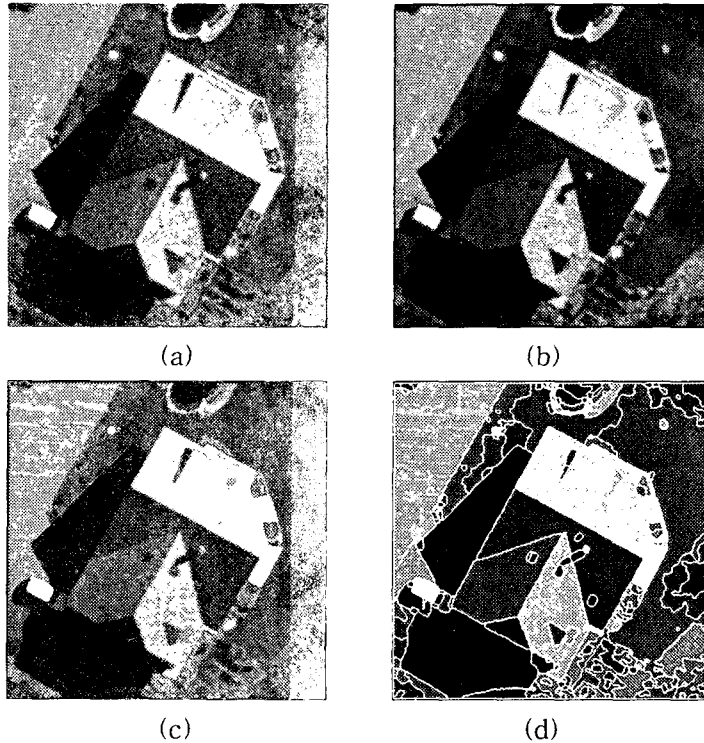
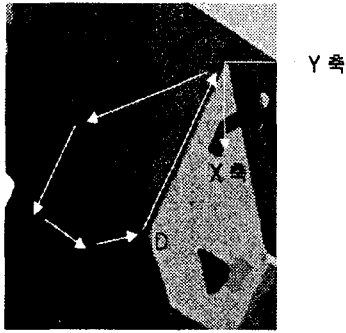


그림 5. 영상 분할 결과 (a) 원 영상 (b) 에지보존 필터링 결과 (c) watershed를 이용한 영상 분할 결과 (d) 경계선 추출 결과

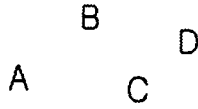
영역의 경계선에 해당하는 선소들은 영역의 경계선을 제안한 방식으로 추적하여 검출할 수 있다. 지붕 영역의 경계선을 파라미터 곡선 $c(t)=(x(t),y(t))$ 으로 표현하고 가우시안 필터링을 $x(t)$, $y(t)$ 신호에 적용한 후에 곡률을 구한 결과는 그림 6의 (b)이다. 임계값 이상의 곡률을 가지는 화소를 control point로 삼고 control point 사이의 선소 중에서 충분히 길고, 직진성을 보이는 선소를 검출하기 위해 각 영역에 대해 선소의 전체 길이, control point의 개수와 control point사이의 평균 길이를 임계값으로 하여 선소의 개수를 감소시켰다. 그림 7은 추출된 건물 지붕의 경계선의 예를 보여준다.

그림 8의 (b)와 (c)는 선소의 결합을 통해 경계선을 직선으로 근사화한 효과를 얻을 수 있음을 보여준다. 선소의 보정을 통해 정확한 에지 위치에 선소가 놓이는 것을 알 수 있다 (그림 8의 (d)).



(a) 건물 지붕

E



(b) 건물 지붕의 경계선에 대한 곡률 계산

그림 6. 영역 경계선의 곡률 계산 예

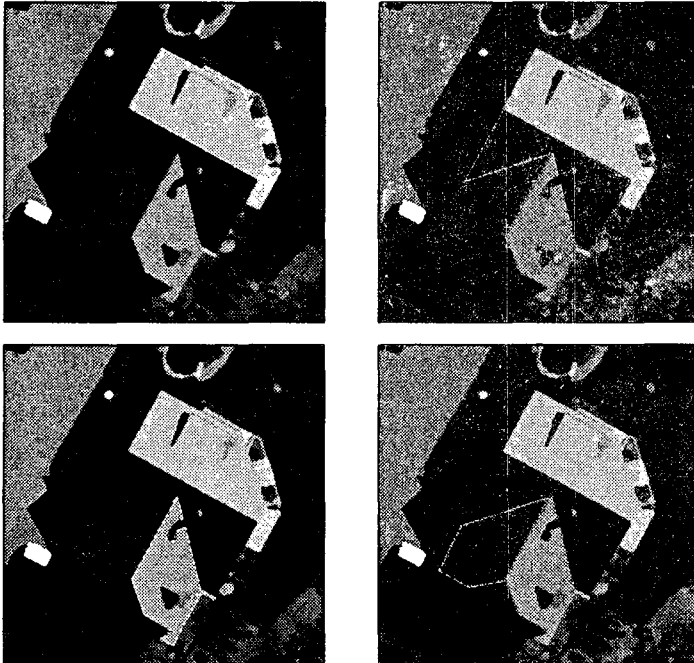


그림 7. 건물 지붕의 경계선(흰색) 추출의 예

6. 결론

본 논문에서는 건물 지붕의 경계선을 추출하고 그룹화 하는 방법을 제안하였다. 잡음 제거를 위해 에지 보존 필터를 사용하고 watershed 기법을 이용하여 영상을 분할한 후에 분할된 영역의 경계선에 위치한 화소들의 곡률을 계산하여 control point를 검출하고 control point 사이의 선소를 추출하였다. 선소의 결합과 선소의 위치 보정을 통해서 영상 분할이 부분적으로 정확하지 않은 경우에도 건물 지붕의 선소를 정확하게 검출할 수 있었다. 제안한 건물 지붕의 선소 추출 및 그룹화 기법은 건물 지붕 선소의 스테레오 정합과 함께 건물 지붕의 3차원 복원에 효과적으로 적용될 수 있으리라 사료된다.

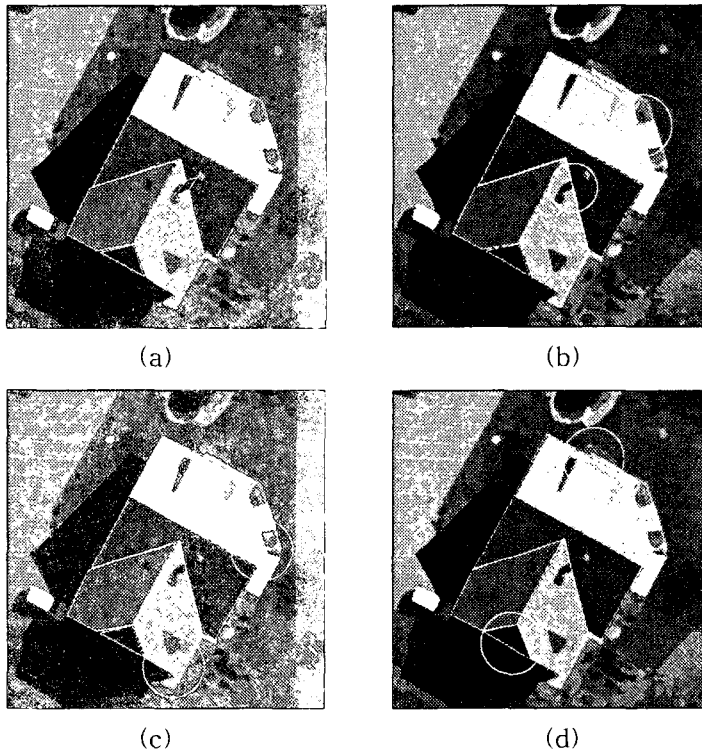


그림 8. (a) 원영상 (b) 같은 방향의 선소 결합 (c) 다른 방향의 선소 결합 (d) 선소의 위치 조정

7. 참고문헌

1. Gauch, J.M., 1999. Image segmentation and analysis via multiscale gradient watershed hierarchies, *IEEE Trans. Image Processing*, 8(1):69-79.
2. Mason S.,E. Baltsavias, D. Stallmann, 1994. High precision photogrammetric data set for building reconstruction and terrain modeling, Internal Report, Institute of Photogrammetry and Geodesy.
3. Vincent, L., and P. Soille, 1991. Watersheds in digital spaces: An efficient algorithm based on immersion simulations, *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, 13(6):583-598.

4. Ye, C.S. and K.H. Lee, 2001. Anisotropic diffusion for building segmentation from aerial imagery, Proc. of International Symposium on Remote Sensing, EMSEA and KSRS, Seogwipo, Korea, Oct. 31-Nov.2, 2001. 599-604.
5. 예철수, 이쾌희, Hybrid 알고리즘을 이용한 원격탐사 영상의 분할, 대한원격탐사학회지, 제 18권 제 2호, pp.107-116, 2002년 4월.