

논문 2007-44SP-5-4

위성영상에서 도로 추출을 위한 히스토그램 기반 경계선 추출자

(Histogram-based road border line extractor for road extraction
from satellite imagery)

이동훈*, 김종화*, 최흥문**

(Dong Hoon Lee, Jong Hwa Kim, and Heung Moon Choi)

요약

위성 영상에서 도로를 효과적으로 추출하기 위한 히스토그램 기반 도로 경계선 추출자를 제안하였다. 제안한 추출자를 이용해 도로 경계선 양측의 도로와 비도로 영역 각 화소의 방향성 히스토그램 차를 계산하고, 그 에지 강도 맵을 구하여 도로의 경계선을 추출하였다. 그리고 원영상과 분할된 도로 군집 영상의 에지 강도 맵을 계층적으로 구하여 직선 도로와 곡선 도로를 추출한 다음, 도로의 연결성을 기반으로 하여 전체 도로망을 구성하였다. 제안한 추출자는 칼라 유사도를 계산하는 기존 방법과 달리 히스토그램 차를 기반으로 하기 때문에 잡영에 강건하게 도로를 추출할 수 있으며, 도로 경계선의 위치와 도로 폭도 함께 추출할 수 있을 뿐만 아니라 도로군집을 자동식별하기 때문에 다양한 분광특성의 도로들도 쉽게 추출할 수 있다. 제안한 추출자를 이용하여 1m의 공간 해상도를 갖는 IKONOS 위성 영상에 대해 실험하여 잡영에 강건하게 도로가 추출됨을 확인하였고, 직선 도로 뿐만 아니라 곡선도로 추출도 용이함을 확인하였다.

Abstract

A histogram-based road border line extractor is proposed for an efficient road extraction from the high-resolution satellite imagery. The road border lines are extracted from an edge strength map based on the directional histogram difference between the road and the non-road region. The straight and the curved roads are extracted hierarchically from the edge strength map of the original image and the segmented road cluster images, and the road network is constructed based on the connectivity. Unlike the conventional approaches based on the spectral similarity, the proposed road extraction method is more robust to noise because it extracts roads based on the histogram, and is able to extract both the location and the width of roads. In addition, the proposed method can extract roads with various spectral characteristics by identifying the road clusters automatically. Experimental results on IKONOS multi-spectral satellite imagery with high spatial resolution show that the proposed method can extract the straight and the curved roads as well as the accurate road border lines.

Keywords: road extraction, satellite image, road border line, histogram difference

I. 서론

최근 고해상도 위성 영상을 이용하여 효과적으로 지리정보시스템을 구축하기 위한 연구들이 많이 수행되고 있다. 지리정보시스템에는 건물, 도로, 철도 등 여러 가지 정보가 포함되며, 그 중 도로정보는 교통관계, 도시

계획, 차량 항법(navigation) 등에 이용되는 중요한 정보로서 그 입력 및 갱신을 위해 고해상도 위성 영상으로부터 도로를 자동 추출하는 방법에 관한 연구들이 많이 수행되고 있다^[1-4].

고해상도 위성 영상은 도로뿐만 아니라 건물 같은 많은 객체들이 공존하는 복잡한 영상이며, 도로들은 그 만들어진 재료와 시기에 따라서 서로 다른 분광 특성을 가질 뿐만 아니라, 도심이나 시외지역에 따라 도로망이 서로 다른 기하학적인 특성을 가지기 때문에 위성 영상에서 도로만을 자동 추출하는 데는 어려움이 있다^[1,2].

* 학생회원, ** 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(School of Electrical Engineering and Computer
Science, Kyungpook National University)
접수일자: 2007년2월14일, 수정완료일: 2007년8월24일

Shackelford 등^[1]은 LWCF(length-width contextual feature)를 제안하여 도로를 추출하였다. 이 방법은 칼라값이 유사한 화소들이 연결된 직선 길이를 계산하여 그 길이가 최대인 직선을 추출하고, 추출된 직선의 양 끝점으로부터 추적(tracking)하여 도로를 추출하였다. Haverkamp^[3]는 균일한 명도값을 가지는 도로의 특성을 이용한 ATS(Angular Texture Signature)를 제안하여 도로를 추출하였으며, Zhang 등^[4]은 ATS와 군집화(clustering)를 이용하여 도로를 추출하는 방법을 제안하였다.

전술한 방법들은 공통적으로 밴드(band) 형태로 도로를 추출하고 그 중심선을 추출하는 방법이기 때문에 도로의 경계선 위치와 도로 폭에 대한 정보를 추출하기 어렵다. 또한 칼라 유사도 기반이기 때문에 도로상의 자동차나 건물 및 가로수의 그림자 같은 잡영으로 인해 균일하지 않은 칼라를 갖는 도로를 추출하는데 어려움이 있다. 따라서 잡영에 강건하게 도로를 추출할 수 있는 효과적인 방법에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 히스토그램 기반 도로 경계선 추출자를 제안하여 도로를 효과적으로 추출하였다. 제안한 추출자는 도로 경계선 양측의 도로와 비도로 영역은 그 도로 방향의 히스토그램 차가 크다는 특성을 이용하여, 각 화소의 방향성 히스토그램 차를 계산하고 그 에지 강도 맵을 구하여 도로의 경계선을 추출하였다. 그리고 원영상과 분할된 도로 군집 영상의 에지 강도 맵을 계층적으로 구하여 직선 도로와 곡선 도로를 추출한 후, 도로의 연결성을 기반으로 하여 전체 도로망을 구성하였다. 제안한 추출자는 히스토그램 차를 기반으로 도로의 경계선을 추출하기 때문에 잡영에 강건하게 도로를 추출할 수 있으며, 도로 경계선의 위치와 도로 폭도 함께 추출할 수 있다. 제안한 추출자를 이용하여 1m의 공간 해상도를 갖는 IKONOS 위성 영상에 대해 실험하여 잡영에 강건하게 도로가 추출됨을 확인하였고, 직선 도로 뿐만 아니라 곡선도로 추출도 용이함을 확인하였다.

본 논문의 구성은 먼저 제안한 추출자의 원리를 설명하고, 이를 이용한 도로 추출법을 제시하고, 마지막으로 실험 결과와 결론으로 구성된다.

II. 제안한 히스토그램 기반 도로 경계선 추출자

제안한 도로 경계선 추출자는 가늘고 긴 도로의 특성을 고려한 직사각형 템플릿(template)을 사용한다. 그리고 각 화소의 방향에 따른 히스토그램 차를 계산하여

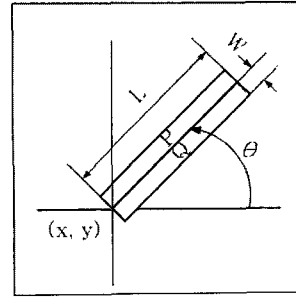


그림 1. 제안한 도로 경계선 추출자를 위한 직사각형 템플릿

Fig. 1. Rectangular template for the proposed road border line extractor.

에지 강도 맵을 구함으로써 도로 경계선을 추출한다. 그림 1과 같이 도로의 가늘고 긴 특성에 맞는 직사각형 템플릿을 사용하여 방향 θ 에 따른 영역 P와 영역 Q의 히스토그램 차를 계산한다.

직사각형 템플릿의 크기는 최소 도로 폭과 도시의 한 구획(city block) 길이 및 위성영상의 공간 해상도에 따라 결정하였다. 즉, 템플릿 길이 L 과 폭 W 는

$$L = L_{cityblock} \times \frac{1}{R_{sp}} \quad (1)$$

$$W = W_{road} \times \frac{1}{R_{sp}} \quad (2)$$

와 같이 정의하였다. 여기서 R_{sp} 는 위성 영상의 공간 해상도를 나타내고, $L_{cityblock}$ 은 도시 한 구획의 길이를, W_{road} 는 최소 도로 폭을 나타낸다.

영역 P와 Q의 히스토그램차 $d(H, K, \theta)$ 는

$$d(H, K, \theta) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N |h_i - k_i| \quad (3)$$

로 정의하였다. 여기서 N 은 히스토그램 빈(bin)의 개수를 나타내고, $H = \{h_i\}$ 는 영역 P의 히스토그램, $K = \{k_i\}$ 는 영역 Q의 히스토그램을 나타낸다.

도로 경계선에 위치한 화소의 방향에 따른 히스토그램 차의 분포와 도로 경계선에 위치하지 않은 화소의 방향에 따른 히스토그램 차의 분포는 그림 2와 같다. 그림 2(b)에서 보는 바와 같이 도로 경계선에 위치한 화소 P1에서의 히스토그램 차는 해당 도로 경계선의 방향인 0° 와 180° 일 때 큰 값을 가진다. 그리고 도로 경계선에 위치하지 않은 화소 P2에서의 히스토그램 차는 그

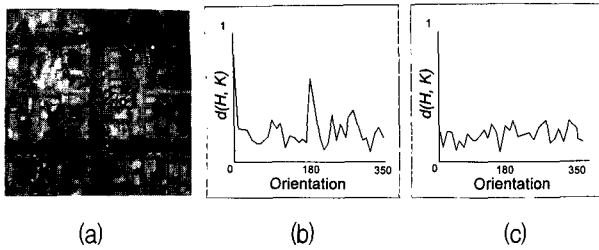


그림 2. 위치에 따른 방향성 히스토그램 차: (a) 고해상도 IKONOS 위성 영상, (b) P1 위치의 방향에 따른 히스토그램 차 및 (c) P2 위치의 방향에 따른 히스토그램 차

Fig. 2. Directional histogram differences at P1 and P2: (a) A IKONOS satellite image with 1 m spatial resolution, (b) angular histogram difference at P1, and (c) angular histogram difference at P2.

림 2(c)에서 보는 바와 같이 방향에 따른 히스토그램 차는 작은 값을 가진다. 즉, 도로의 경계선에 위치한 화소들의 히스토그램 차는 도로 경계선이 아닌 곳에 위치한 화소들의 히스토그램 차보다 큰 값을 가짐을 알 수 있다.

도로 경계선에 위치한 화소들을 추출하기 위해 각 화소마다 방향 θ 에 따른 영역 P와 영역 Q의 히스토그램 차를 계산하여, 차가 최대가 되는 방향 θ_{\max} 를 구하고, 도로의 직선 특성을 적용하여 θ_{\max} 일 때의 히스토그램 차와 $(\theta_{\max} - \pi)$ 일 때의 히스토그램 차의 합을 현재 화소위치 (x, y) 에서의 에지 강도 $S(x, y)$ 로 정의하였다. 즉, 도로 경계선 방향 θ_{\max} 와 에지 강도 $S(x, y)$ 는

$$\theta_{\max} = \arg[\max d(H, K, \theta)] \quad (4)$$

$$S(x, y) = d(H, K, \theta_{\max}) + d(H, K, \theta_{\max} - \pi) \quad (5)$$

로 정의하였다.

그림 3은 제안한 도로 경계선 추출자와 기존 에지 연산자의 에지 강도 맵을 나타낸다. 그림 3(b)와 그림 3(c)는 그림 3(a)에 표시된 X, Y 각 방향으로의 도로 내 화소의 유클리드 거리(Euclidean distance: ED) 분포를 나타내며, 그림 3(c)에서 볼 수 있듯이 수직도로 내의 칼라값이 균일하지 않음을 알 수 있다. 따라서 도로의 균일한 칼라 특성을 이용하여 색차를 계산하거나 명도 평균값을 계산하는 LWCF나 ATS기반은 수직도로와 같이 칼라값이 균일하지 않는 도로의 추출에 어려움이 있다. 한편 그림 3(d)와 그림 3(e)에서 볼 수 있듯이 소벨(Sobel)이나 캐니(Canny)의 에지 연산자는

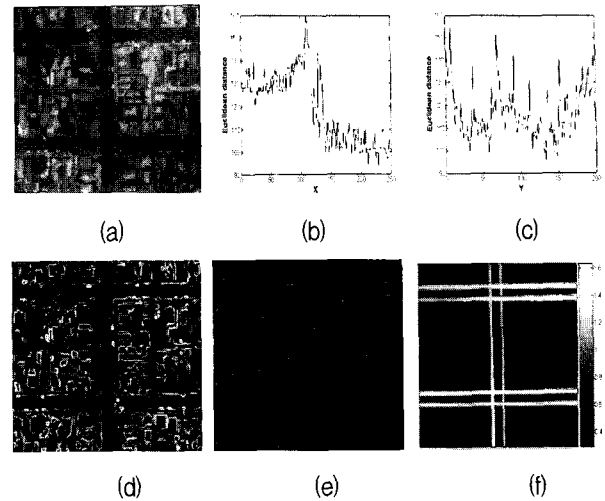


그림 3. 기존 에지 연산자와 제안한 도로 경계선 추출자의 에지 강도 맵: (a) 고해상도 IKONOS 위성영상, (b) x방향 화소들의 유클리드 거리 분포, (c) Y 방향 화소들의 유클리드 거리 분포, (d) 소벨 에지 크기, (e) 캐니 에지 크기 및 (e) 제안한 추출자의 에지 강도 맵

Fig. 3. Extracted edge strength map of the conventional edge detectors and the proposed road border line extractor: (a) A IKONOS satellite image with 1 m spatial resolution, (b) ED on x direction, (c) ED on y direction, (d) Sobel edge magnitude, (e) Canny edge magnitude, and (f) edge strength map of the proposed road border line extractor.

도로 뿐만 아니라 많은 잡영의 에지도 추출되지만, 제안한 도로 경계선 추출자는 그림 3(f)에서 볼 수 있듯이 도로 경계선에서만 높은 에지 강도를 가지는 것을 알 수 있다.

III. 제안한 도로 경계선 추출자를 이용한 도로 추출

제안한 추출자를 이용하여 도로를 추출하는 과정은 그림 4와 같다. 먼저 직선 도로를 추출하고, 분할된 도로 군집 영상으로부터 에지를 추출하여 곡선 도로를 추출하고, 전체 도로망을 구성한다.

1. 직선 도로 추출

먼저 제안한 추출자를 적용하여 에지 강도 맵을 구하고, 비최대치 억제(non-maximal suppression)와 이중 문턱화(hysteresis thresholding)를 통해서 도로 경계선을 추출한다. 그리고 추출된 도로 경계선으로부터 닫힘(closing)과 열림(opening) 연산을 통하여 나란한 경계

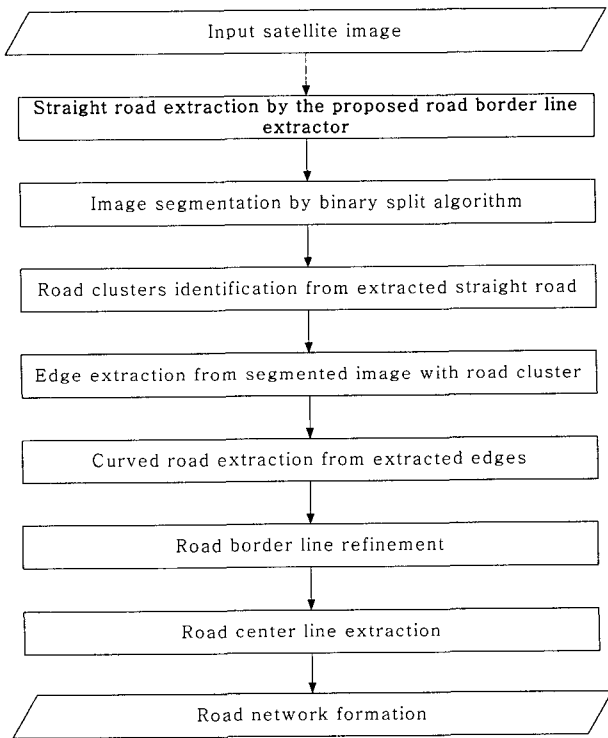


그림 4. 도로 추출 과정
Fig. 4. Flow chart of the road extraction.

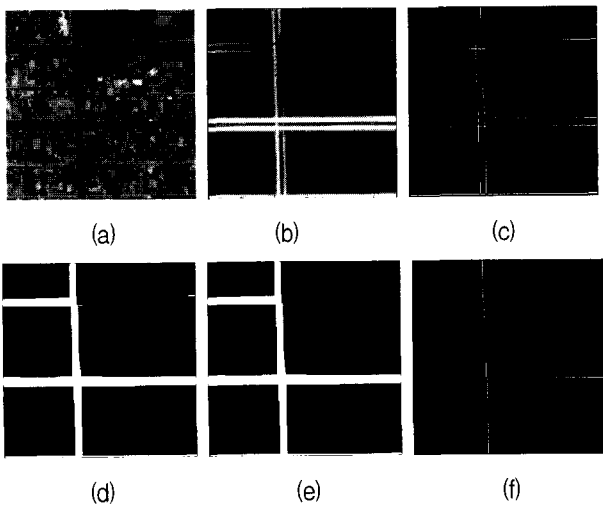


그림 5. 직선 도로 추출: (a) 고해상도 IKONOS 영상, (b) 에지 강도 맵, (c) 도로 경계선 추출, (d) 형태학적 닫힘 연산 결과, (e) 열림 연산 결과 및 (f) 도로 중심선 추출 결과

Fig. 5. Straight road extraction: (a) A IKONOS satellite image with 1 m spatial resolution, (b) its edge strength map, (c) extracted road border line, results of morphological (d) closing and (e) opening, and (f) the extracted road center line.

선을 갖지 않는 경계선을 제거하고, 세선화(thinning)를 통하여 도로 중심선을 추출하여 직선 도로를 추출한다. 그림 5는 직선 도로를 추출하는 과정을 나타낸다. 그

림 5(b)와 같은 에지 강도 맵으로부터 그림 5(c)와 같이 도로 경계선을 추출하고, 그림 5(d)와 그림 5(e)처럼 닫힘 연산과 열림 연산을 한 후, 그림 5(f)와 같이 세선화를 통하여 도로 중심선을 추출한다.

2. 곡선 도로 추출

곡선 도로 추출은 먼저, 군집화를 통하여 영상을 분할하고, 추출된 직선 도로 내에 존재하는 군집을 도로 군집으로 식별하여 도로 군집 영상을 추출한다. 그 다음 도로 군집 영상으로부터 에지를 추출한다. 그리고 추출된 에지와 직선 도로 경계선의 연결성을 판단하여 곡선 도로 경계선을 추출하고, 길이가 짧은 에지 선분(line segment)을 제거한 후, 닫힘 연산과 열림 연산 및 세선화를 통하여 도로 중심선을 추출한다.

가. 도로 군집 식별

군집화를 통하여 분할된 영상으로부터 도로 군집을 식별하는 기존의 방법에서는 사용자가 지정한 도로 군집만을 식별하기 때문에 영상에 따라 도로 군집을 다시 지정해야만 하고, 동일한 영상 내에도 서로 다른 분광 특성을 가진 도로 군집들이 존재하기 때문에 수동으로 도로 군집을 식별해야 하는 어려움이 있다^[4]. 제안한 추출자는 도로 경계선의 위치와 도로 폭에 대한 정보를 추출할 수 있기 때문에 추출된 도로 경계선으로부터 도로 군집이 식별되므로 서로 다른 분광특성을 가진 도로의 군집도 자동으로 식별할 수 있다.

그림 6(a)에서 볼 수 있듯이 수직 도로와 수평 도로는 서로 다른 군집으로 나타난다. 도로 군집을 식별하기 위해 앞에서 추출된 직선 도로 영역을 군집 영상으로부터 그림 6(b)와 같이 분할하고, 그 영역 내의 군집

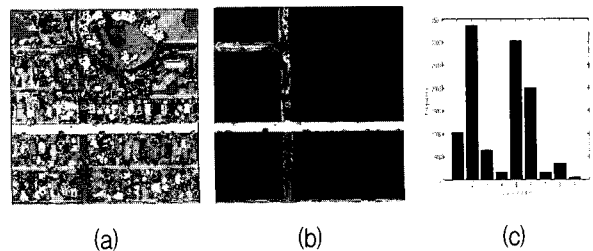


그림 6. 도로 군집 식별: (a) 군집화로 분할된 영상, (b) 직선 도로의 군집 추출 및 (c) 직선 도로의 군집 분포도

Fig. 6. Road cluster identification: (a) Segmented image by clustering, (b) extracted clusters of the straight road, and (c) the histogram of clusters of the straight road.

들의 빈도수를 그림 6(c)와 같이 계산하여, 그 빈도수가 높은 군집들을 도로 군집으로 식별하였다.

나. 도로 군집 영상의 에지 추출

위성 영상에 템플릿 크기가 도시 한 구획 길이보다 작은 추출자를 바로 적용할 경우 건물 같은 잡영의 에지들이 많이 추출되는 폐단이 있다. 그러나 도로 군집으로 분할된 영상은 도로의 형태를 유지하면서도 건물 같은 잡영은 많이 제거된 영상이다. 따라서 곡선 도로 추출을 위해 곡선 특성에 적합하게 크기가 작은 원형 템플릿을 사용하여 에지를 추출한다. 본 논문에서는 도로 폭을 반지름으로 하는 원형 템플릿을 적용하여 도로 군집 영상의 에지를 추출하였다.

그림 7은 각 도로 군집 영상 속의 에지를 추출한 결과이다. 그림 7(a), 그림 7(b), 그림 7(c)와 같이 군집화를 통해 분할된 영상으로부터 식별된 도로 군집으로부터 그림 7(d), 그림 7(e), 그림 7(f)와 같이 에지를 추출한다. 그림 7(d)에서 볼 수 있듯이 곡선 도로의 경계선이 대부분 추출됨을 알 수 있다.

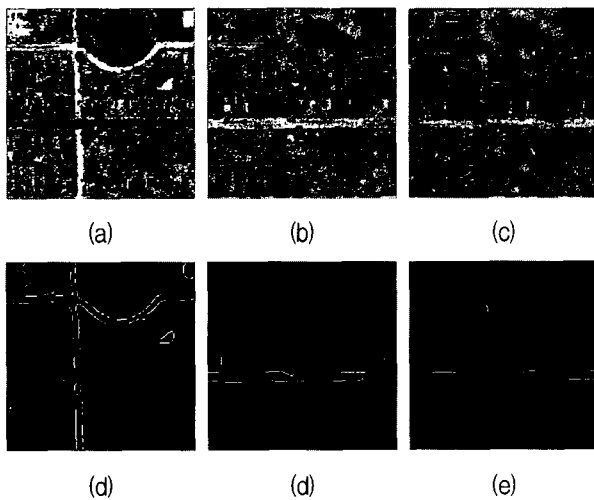


그림 7. 도로 군집 영상의 에지 추출: (a) 도로 군집 1의 분할영상, (b) 도로 군집 2의 분할영상, (c) 도로 군집 3의 분할 영상, (d) 도로 군집 1의 에지 추출, (e) 도로 군집 2의 에지 추출 및 (f) 도로 군집 3의 에지 추출

Fig. 7. Edge extraction from the segmented images with road clusters: (a) Segmented image with road cluster #1, (b) segmented image with road cluster #2, (c) segmented image with road cluster #3, (d) extracted edge for road cluster #1, (e) extracted edge for road cluster #2, and (f) extracted edge for road cluster #3.

다. 도로망 추출

추출된 에지 영상들로부터 도로 경계선만을 추출하기 위해 도로는 서로 연결된 형태를 가진다는 특성을 이용하였다. 추출된 에지에서 곡선 도로 경계선에 포함되는 에지는 도로의 연결성으로 인해 직선 도로의 경계선과 연결되어 있다. 따라서 추출한 에지와 직선 도로 경계선의 연결성을 판단하여 곡선 도로의 경계선을 추출하여 연결하고, 잡영의 에지를 제거하기 위해 길이가 짧은 에지 선분 제거한 후, 닫힘 연산과 열림 연산 및 세선화를 통해서 전체 도로망을 추출하였다.

그림 8(a)는 추출된 각각의 도로 클러스터 에지를 직선 도로 경계선과 연결한 결과이다. 그림 8(b)는 직선 도로 경계선과 연결되지 않고 길이가 짧은 에지 세그먼트를 제거한 결과이다. 그림 8(c)는 형태학적 연산을 통해서 나란한 두 경계선 영역을 추출한 결과이고, 그림 8(d)와 그림 8(e)는 세선화와 에지 추출을 통해서 전체 도로의 중심선과 경계선을 추출한 결과이다.

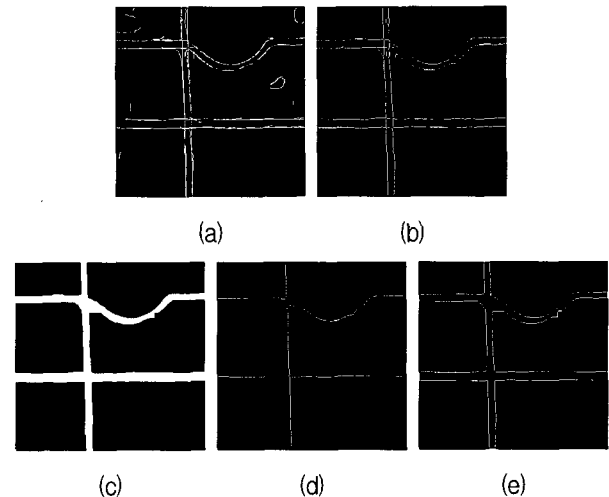


그림 8. 전체 도로망 추출: (a) 추출된 에지와 직선 도로 경계선 연결, (b) 잡영 에지의 제거, (c) 닫힘, 열림 연산 결과, (d) 도로 중심선 추출 및 (e) 도로 경계선 추출

Fig. 8. Road network extraction: (a) Connection of the extracted edges with straight road border line, (b) road border line with noise edges removed, (c) morphological closing and opening, (d) extracted road center line, and (e) the extracted road border line.

IV. 실험 결과 및 고찰

제안한 히스토그램 기반 경계선 추출자를 이용한 도

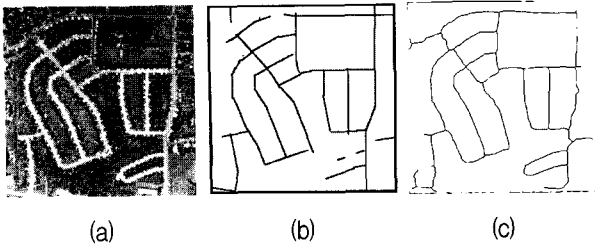


그림 9. 기존 방법과의 비교: (a) IKONOS 적외선 위성 영상, (b) Shackelford 등[1]의 결과, (c) 제안한 방법의 도로 중심선 추출 결과

Fig. 9. Comparison with the conventional method: (a) An infrared IKONOS satellite image, (b) the result of the Shackelford et. al[1], and the results of the proposed method: (c) the road center line.

표 1. 그림 9에 대한 Shackelford 등의 방법[1] 및 제안한 방법의 도로 추출 결과

Table 1. Results of the road extraction by the Shackelford et al.[1] and by the proposed method for Fig 9.

	Correctness	Completeness
Shackelford et al.[1]	84%	85%
the proposed	83%	88%

로 추출 방법을 1m 공간 해상도를 가지는 IKONOS 다중 분광 위성영상에 실험하였다. 도로 추출 방법의 성능을 평가하기 위한 방법^[5]은

$$Correctness = \frac{L_M}{L_T} \quad (6)$$

$$Completeness = \frac{L_M}{L_R} \quad (7)$$

와 같이 정의된다. 여기서 Correctness와 Completeness는 각각 정확도, 완전도를 의미하며, L_R 은 참고(reference) 도로 중심선의 길이, L_M 은 추출된 도로 중심선과 참고 도로 중심선이 일치하는 길이, L_T 는 추출된 도로 중심선의 총 길이를 나타낸다.

그림 9와 같은 시외 영상에 대해 Shackelford 등^[1]의 방법과 제안한 방법의 추출 성능을 표 1에 나타내었다.

그림 9(b), 9(c) 및 표 1에서 볼 수 있듯이 제안한 방법이 기존 방법에 비해 정확도는 거의 비슷한 결과를 보이지만, 끊어진 도로나 짧은 곡선 도로도 추출할 수 있어 완전도가 다소 높음을 알 수 있다.

제안한 방법의 성능을 평가하기 위해 주거 지역, 도심 및 시외 지역 등 다양한 도로 환경에서 제안한 도로

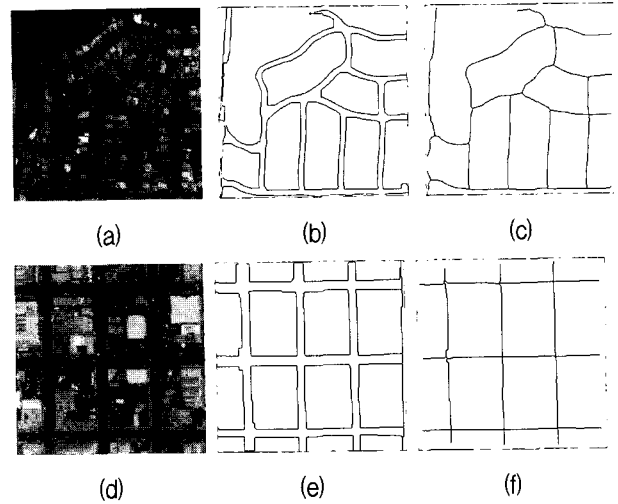


그림 10. 실험 결과 예: (a, d) 고해상도 IKONOS 위성 영상들, (b, e) 도로 경계선 추출 결과들 및 (c, f) 도로 중심선 추출 결과들

Fig. 10. Results of the experiment: (a, d) Two IKONOS satellite images with 1 m spatial resolution, (b, e) extracted road border lines, and (c, f) extracted road center lines.

표 2. 그림 5, 9 및 10에 대한 제안한 방법의 도로 추출 결과

Table 2. Results of the road extraction by the proposed method for Fig 5, 9 and 10.

	Correctness	Completeness
Fig. 5(a)	88%	96%
Fig. 9(a)	83%	88%
Fig. 10(a)	86%	87%
Fig. 10(d)	93%	99%

추출 방법을 적용하여 그 결과를 그림 10 및 표 2에 나타내었다. 10(a, d)와 같은 주거 지역과 도심 영상에 대해서도 그림 10(b, e) 및 그림 10(c, f)와 같이 효과적으로 도로 경계선과 도로 중심선이 추출됨을 확인하였다. 또한, 표 2의 결과에서 볼 수 있듯이 잘 정비된 도심 영상 보다는 다양한 잡영 및 곡선도로가 존재하는 시외 및 주거 지역 영상에서 정확도와 완전도가 다소 낮아짐을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 방향성 히스토그램에 기반한 도로 경계선 추출자를 제안하고 이를 이용하여 고해상도 위성 영상에서 도로를 효과적으로 추출하였다. 잡영과 서로 다른 형태의 도로가 존재하는 주거 지역, 도심 및 시외 영상들에 대해 제안한 방법의 추출 성능을 확인한 결과

평균적으로 88%의 정확도와 93%의 완전도를 보였다.

제안한 도로 경계선 추출자는 기존 방법들과는 달리 히스토그램 차를 기반으로 하여 도로 경계선을 추출하기 때문에 도로 내에 존재하는 잡영에 강건하게 도로를 추출할 수 있으며, 도로 경계선의 위치와 도로 폭도 같이 추출할 수 있다. 또한 도로 군집을 자동으로 식별하기 때문에 서로 다른 분광특성을 가진 도로도 쉽게 추출할 수 있다.

현재 도로 경계선이 왜곡되는 문제의 해결과 끊어진 도로 경계선의 연결을 위한 효과적인 도로 경계선 추적 방법에 관해 연구를 계속하고 있다.

참 고 문 헌

- [1] A. K. Shackelford and C. H. Davis, "Fully automated road network extraction from high-resolution satellite multispectral imagery," *Proc of IGRSS*, vol. 1, pp. 461-463, Toulouse, France, 21-25 July 2003.
- [2] X. Jin and C. H. Davis, "An integrated system for automatic road mapping from high-resolution multi-spectral satellite imagery by information fusion," *Information Fusion*, vol. 6, no. 4, pp. 257-273, Dec. 2005.
- [3] D. Haverkamp, "Extracting straight road structure in urban environments using IKONOS satellite imagery," *Optical Engineering*, vol. 41, no. 9, pp. 2107-2110, Sep. 2002.
- [4] Q. Zhang and I. Couloigner, "Automated road network extraction from high resolution multi-spectral imagery," *Proc of ASPRS*, Reno, Nevada, 1-5 May 2006.
- [5] C. Heipke, H. Mayer, C. Wiedemann, and O. Jamet, "Evaluation of automatic road extraction," *IAPRS* vol. 32, no. 3, pp. 47-56, Sep. 1997.

저 자 소 개



이 동 훈(학생회원)
2002년 경북대학교 전자전기
공학부 학사 졸업.
2007년 경북대학교 대학원
전자공학과 석사 졸업.
2007년 현재 (주)효성, 전력 퍼포
먼스 유닛, 초고압변압기
설계팀 대리

<주관심분야 : 컴퓨터 비전, 영상처리, 반도체>



김 종 화(학생회원)
1999년 경북대학교 전자전기
공학부 학사 졸업.
2001년 경북대학교 대학원
전자공학과 석사 졸업.
2007년 현재 경북대학교 대학원
전자공학과 박사과정

<주관심분야 : 패턴인식, 컴퓨터비전, 영상처리>

최 흥 문(정회원)
대한전자공학회 논문지
제 38권 SP편 제 3호 참조