

위성 영상정보를 이용한 선형 지형지물 추출에서의 GDPA와 Hough 변환 처리결과 비교연구

이기원* · 류희영** · 권병두**

한성대학교 정보공학부*, 서울대학교 지구과학교육과**

Comparative Study of GDPA and Hough Transformation for Linear Feature Extraction using Space-borne Imagery

Kiwon Lee*, Hee-Young Ryu**, and Byung-Doo Kwon**

Div. of Information Engineering, Hansung University*, Dept. of Geoscience Education, Seoul National University**

Abstract : The feature extraction using remotely sensed imagery has been recognized one of the important tasks in remote sensing applications. As the high-resolution imagery are widely used to the engineering purposes, need of more accurate feature information also is increasing. Especially, in case of the automatic extraction of linear feature such as road using mid or low-resolution imagery, several techniques was developed and applied in the mean time. But quantitatively comparative analysis of techniques and case studies for high-resolution imagery is rare. In this study, we implemented a computer program to perform and compare GDPA (Gradient Direction Profile Analysis) algorithm and Hough transformation. Also the results of applying two techniques to some images were compared with road centerline layers and boundary layers of digital map and presented. For quantitative comparison, the ranking method using commission error and omission error was used. As results, Hough transform had high accuracy over 20% on the average. As for execution speed, GDPA shows main advantage over Hough transform. But the accuracy was not remarkable difference between GDPA and Hough transform, when the noise removal was applied to the result of GDPA. In conclusion, it is expected that GDPA have more advantage than Hough transform in the application side.

Key Words : Linear Feature, GDPA, Hough Transformation, High-resolution Imagery, Accuracy Assessment.

요약 : 위성영상 정보를 이용하여 지형지물을 인식하거나 추출하는 것은 영상정보의 실제적인 응용을 위한 기본 연구로 간주되고 있다. 또한 고 해상도 영상정보가 다양한 민간 분야에서 활발하게 이용됨에 따라 정확한 지형지물의 추출에 대한 필요성이 더욱 강조되고 있다. 지금까지 중-저 해상도 영상정보를 대상으로 하여 도로 경계를 포함하는 선형 지형지물을 자동으로 추출하기 위한 여러 가지 방법들이 개발되고 있어 왔으나 이를 고 해상도 영상정보에 적용하거나 적용 결과를 분석한

사례는 많지 않다. 본 연구에서는 항공사진 정보나 고 해상도 영상정보를 대상으로 하여 선형 지형 지물의 추출에 적합한 기법으로 최근에 제안된 구배 방향 프로파일 알고리즘(GDPA)과 Hough 변환 기법에 따른 적용 결과를 동일한 자료에 적용하고 이러한 결과를 비교하고자 하였다. 각 방법에 대한 적용 결과를 정량적으로 비교하기 위해 수치지도의 도로 중심선과 도로 경계선 레이어를 기준으로 하는 Commission, Omission 오차를 이용한 Ranking 기법을 적용하여 수행하였다. 연구 결과, Hough 변환기법이 추출 결과 영상에서는 평균적으로 20%정도의 높은 정확도를 보이며, 처리속도는 GDPA의 경우가 Hough 변환 기법에 비하여 빠른 실행 속도를 보이는 것으로 나타났다. 그러나 GDPA 알고리즘에 잡음제거를 시행한 경우에는 Hough 변환에 의한 결과와 유사한 정확도를 보인다. 결론적으로 위성 영상정보로부터 지형지물을 추출하는 어플리케이션에서는 GDPA 알고리즘이 Hough 변환 기법에 비하여 적용성이 좋은 것으로 생각된다.

1. 서론

위성 영상자료의 민간 사용이 가능한 이후로 위성영상 정보로부터 반자동 또는 자동화된 전산 기법이나 알고리즘을 적용하여 주요 지형지물(피쳐 정보)을 추출하는 것은 영상정보의 분석 측면 뿐만 아니라 GIS 어플리케이션과 연관된 중요한 연구 주제이다 (Gruen and Li, 1997; Karathanassi *et al.*, 1999). 고 해상도 위성 영상정보는 다양한 수준의 정확도나 정밀도를 요구하는 GIS 분야에서의 효과적인 정보 자료로 그 가능성이 인식되어 왔기 때문에 중, 저 해상도 영상정보와는 차별화된 원격 탐사 분야에서의 GIS 분야와의 연계를 위한 중요한 도구로 간주할 수 있다 (Khuen, 1997; Han, 2001).

본 연구에서는 항공사진 정보나 고 해상도 영상정보로부터 선형 지형지물의 추출하기 위하여 Wang *et al.*(1992)에 의하여 제안된 구배 방향 프로파일 알고리즘(GDPA: Gradient Direction Profile Analysis)과 이러한 목적을 위하여 최근에 많이 연구되고 있는 Hough 변환 기법의 적용성을 영상 정보에서 얻을 수 있는 주요한 선형 지형지물인 도로 관련 레이어의 추출과 관련하여 직접적으로 비교해 보고자 한다.

현재 상업적이거나 비 상업적 소프트웨어에서는 연구의 대상이 되는 두 가지 방법을 동시에 지원하는 경우가 없으므로 본 연구에서는 일차적으

로 각각 알고리즘을 동일한 환경에서 구현하였으며, 구현된 프로그램내에서는 이러한 두 가지 방법에 대한 처리 결과를 얻기 위하여 사용자가 거의 동일한 데이터 셋이나 조건을 적용할 수 있도록 사용자 인터페이스를 설계하였다. 다음 단계에서는 개발된 프로그램을 통하여 LANDSAT ETM+, KOMPSAT EOC, IKONOS 4M COLOR 등과 같은 몇 가지 센서 유형의 영상 정보를 대상으로 하여 도로 중심선과 도로 경계선 레이어등과 같은 대상 정보를 자동으로 추출하면서 각각 기법에 대한 적용 결과를 정량적으로 비교하고자 하였다. 비교 방법으로는 수치지도의 해당 레이어를 기준 데이터로 하여 추출 결과를 비트맵 형식으로 전환하여 각 데이터 간의 Commission, Omission 오차를 계산하고 이를 등급화 하는 Ranking 기법을 적용하였다. 오차 검증을 위한 Ranking 기법도 프로그램내에 같이 구현하여 정량 비교를 위한 기본 환경을 일치하도록 하였다.

2. 연구 방법

위성 영상정보로부터 도로 정보와 같은 선형 지형지물을 추출하기 위한 본 연구의 수행 과정은 Fig. 1과 같이 전 처리, 선형 추출, 후 처리 단계로 구분하여 나타낼 수 있다.

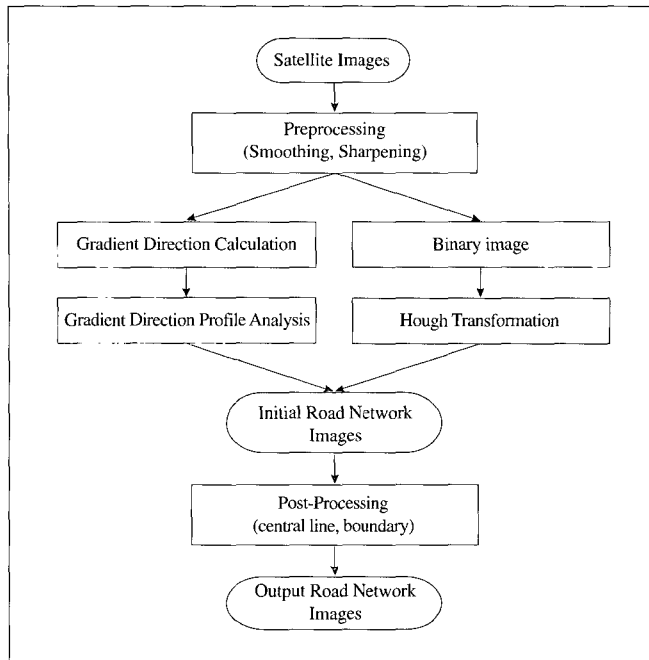


Fig. 1. Flowchart of Processing.

1) 전처리 과정

전처리 과정에서는 각 영상 정보에 대한 기본적인 기하 보정을 수행한 뒤에 부분적인 잡음 요소를 제거하기 위하여 3×3 마스크 윈도우를 이용한 Smoothing 필터와 Sharpening 필터를 적용하였다. 이와 같은 공간 필터링의 적용은 이후 적용될 선형 지형지물 추출 방법 적용시에 보다 향상된 추출 결과를 얻기 위한 과정이다.

2) 선형 지형지물 추출 기법

(1) Gradient Direction Profile Analysis

GDPA 알고리즘은 위성 영상정보로부터 직접도로 정보를 추출하는데 유용한 방법으로 알려져 있으며 항공사진에 적용하여도 좋은 결과를 추출할 수 있다고 연구된 바 있다 (Wang and Zhang, 2000; Lee and Yu, 2002).

GDPA 알고리즘은 기본적으로 영상을 구성하는 각각의 화소 데이터를 통과하는 임의 길이의 프로파일에 대한 다항식을 자동으로 구하고, 이 최소 자승 다항식 함수(Least square polynomial

fitting function)에서 극 값(local maximum)에 해당하는 화소 위치를 찾아 이를 연속적으로 연결하여 이를 선형 지형지물로 산정하는 방법이다.

GDPA 알고리즘의 구현 단계는 다음과 같다 (Wang *et al.* 1992; Lee and Yu, 2002).

① 하나의 화소를 통과하는 8개 방향의 구배를 계산한 후 최대 기울기를 갖는 방향을 선택한다. 만약 그 화소가 실제 유의미한 선형 지형지물을 통과하고 있다면 최대 기울기를 갖는 방향은 이 선형 패턴의 방향에 수직으로 나타나므로, 이 방향을 프로파일(Profile) 방향으로 결정한다.

② 프로파일 방향에 놓여 있는 모든 화소에 적합한 식 (1)과 같은 이차 다항식을 최소 자승법을 이용하여 찾아낸다 (Fig. 2).

$$f(x) = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2 \quad (1)$$

③ 프로파일의 최고점이나 최저점을 자동으로 찾기 위해 1차 미분 값과 2차 미분 값을 각각 계산한다.

④ 프로파일에 포함되어 추출 결과에 오차를 발생하게 하는 잡음을 감소시키기 위하여 식(2)와

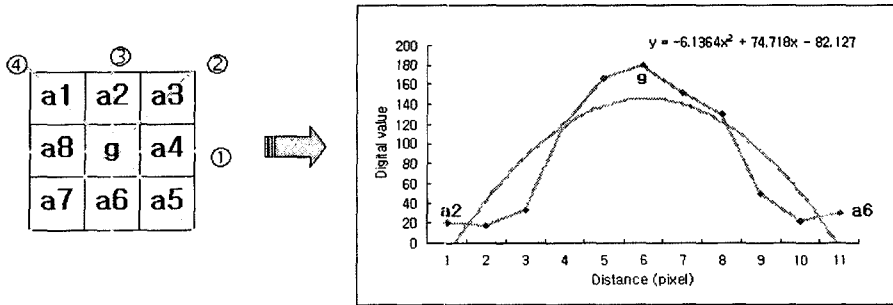


Fig. 2. Determining of polynomial function.

같이 곡선의 곡률(Curvature)을 고려한다. 즉 값에 가까운 곡률이 사용자가 정의한 값보다 크면 구하고자 하는 선형 지형지물의 일부가 되는 것으로 처리한다.

$$K(x) = |f'(x)| / (1 + f''(x)^2)^{3/2} \quad (2)$$

(2) Hough 변환

Hough 변환은 공간 좌표계에 있는 도형을 직선이나 원의 방정식을 이용하여 매개변수 좌표계로 변환하여 원하는 도형 요소를 자동으로 추출하는 방법으로(Wang and Howarth, 1990; Davies, 1997; Fitton and Cox, 1998; Park and Saleh, 2001), 영상 데이터로부터 선형 지형지물을 추출하기 위한 방법 중 가장 많이 적용되고 있는 방법중의 하나이다.

식(3)은 직선의 방정식을 기울기와 y절편이 아닌 각도와 원점과 직선사이의 거리를 이용한 극좌표로 표현한 것으로 기울기와 y절편으로 직선의 방정식을 표현하는 경우 직선이 좌표축에 가까워지는 경우에 기울기와 y절편이 무한대로 가는 문제를 해결한 방법이다.

$$x \cos \theta + y \sin \theta = r \quad (3)$$

Fig. 3에서 보는 것처럼 하나의 직선 위에 있는 모든 점은 매개변수 평면에서는 하나의 점으로 표현된다. 도로로 추정되는 부분을 흰색으로 처리한 이진 영상의 경우, 화소를 차례로 검색하면서 흰 화소가 나타나면 화소의 위치좌표 x, y 와 $0 \leq \theta \leq 180$ 범위 내에서 θ 를 식(3)에 대입하여 r 을 계산한 후 Hough accumulator라 불리는 매개변수 배열

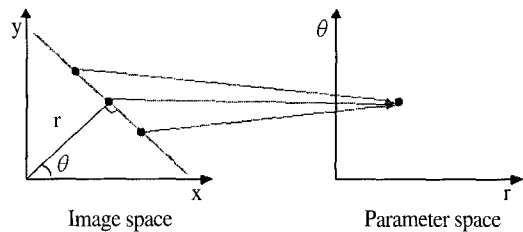


Fig. 3. Geometry of image space and parameter space for Hough transform.

$P(r, \theta)$ 을 만족하는 점이 나올 때마다 식(4)와 같이 1씩 더해 배열의 수가 사용자가 정의한 수보다 커지면 선형 지형지물의 일부로 인정한다.

$$P(r, \theta) = P(r, \theta) + 1 \quad (4)$$

Hough transform은 또한 어떤 $f(x, a) = 0$ 형태의 주기적인 곡선을 찾는 데도 이용할 수 있다. 변수 행렬 $P(a)$ 를 위해서 필요한 저장 공간은 변수가 p 개이고 화소수가 K 개라고 가정했을 때 $K \cdot p$ 로 증가한다. 그러므로 이 방법은 변수의 수가 작은 곡선에서 이용할 수 있다.

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2 \quad (5)$$

곡선 중에서 원에 필요한 변수는 반지름 r 과 중심의 좌표(a, b)이며, 삼차원 변수행렬 $P(a, b, r)$ 가 필요하다. Hough 변환은 다음과 같은 방법으로 실행할 수 있다. Fig. 4와 같이 원의 중심 좌표는 (a, b) 이고 반지름 $r = R$ 이고 (x_i, y_i) 를 통과하는 원을 대상으로 하는 경우, (x_i, y_i) 을 통과하고 중심이 (a, b)인 원의 반지름 r 은 $0 < r \leq r_{max}$ 의 범위에서 식 (4)에 의해 계산된다. 한편 주어진 좌표($a,$

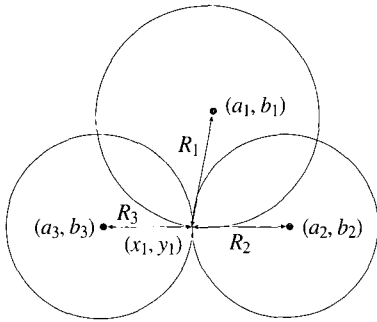


Fig. 4. Locus of circle centers passing through (x_i, y_i) .

$b)$ 와 계산된 r 에 대응하는 행렬 $P(a, b, r)$ 는 1씩 증가하게 되며, 이 과정은 전체 영상에 대하여 반복된다.

3) 후처리 과정

GDPA 알고리즘과 Hough 변환 방법을 이용하여 얻은 결과는 오차 검증을 위하여 별도의 이진 영상(Binary Image)으로 변환될 필요가 있다.

이진 영상에서 세선화 과정(Thinning)을 거쳐 도로 중심선(Road Centerline)을 얻거나 윤곽선 추적을 통해 도로 경계선(Road Boundary)을 얻게 된다.

윤곽선 추적을 위해서는 이진 영상에 소벨 마스크를 적용하였다. 소벨 마스크는 인접한 화소 값의 차를 이용해 경계를 찾는 방법으로 잡음에는 강하지만 윤곽선을 여러 화소 값으로 과장하게 나타내는 경향이 있어 추가적으로 화소 1개의 두께로 만들기 위한 세선화 작업을 수행하였으며, 세선화 작업은 Zhang and Suen(1984)의 방법을 이용하였다. 이 알고리즘은 현재의 처리결과가 과거나 미래의 결과에 영향을 받거나 미치지 않는 병렬적 처리(Parallel Processing)방법으로 전체 영상에 대한 처리가 모두 끝난 다음 처리결과를 중첩하게 된다. 주위 화소와의 연결성을 조사하여, 모폴로지 침식 연산 기법(Baxes, 1994)과 유사하게 대상 표면을 점진적으로 침식하면서 최종적으로 경계선을 단위 크기의 화소로 나타낼 수 있도록 한다.

3. 연구 결과

1) 매개 변수의 변화에 따른 영향

본 연구에서는 위에서 언급한 작업 흐름에 따라 선형 지형지물의 자동 추출에 필요한 전 처리, 두 가지의 추출 알고리즘, 후 처리 과정을 동일한 환경에서 처리할 수 있도록 하는 소프트웨어 프로그램을 개발하였으며, 본 연구의 목적인 처리 결과의 정량적 분석을 위한 오차 검증이나 잡음 제거 단계도 역시 프로그램내에서 처리 할 수 있도록 하였다. 단, 입력 데이터는 방사 보정, 기하 보정, 또는 정사 보정이 수행된 영상을 원본 영상으로 하도록 한다.

본 프로그램에서는 입력 영상의 특성과 추출 결과의 정확도 등을 고려하여 사용자가 입력 변수들을 사용자 인터페이스 상에서 결정하도록 하여 다양한 실험과 적용이 가능하도록 하였다. 즉, 사용자 인터페이스를 통하여 GDPA 알고리즘의 경우에는 프로파일의 길이와 곡률 한계 값을 사용자 입력 변수로 설정할 수 있도록 하였고, Hough 변환의 적용 시에는 이진 영상 생성에 필요한 DN 값의 경계와 Hough accumulator의 한계 값을 결정할 수 있도록 하였다. 한편 본 프로그램을 이용하여 LANDSAT ETM+, KOMPSAT EOC, IKONOS 4M COLOR 영상으로부터 도로 관련 선형 지형지물을 추출하고 결과를 분석하고자 선 구조의 예로 도로를 실제로 추출해 보았다. 단순 적용의 결과로는 도로 이외의 다른 성분도 추출되나 도심지에서 가장 잘 보이는 도로를 잘 추출할 수 있는지에 대하여 먼저 중점적으로 살펴보았다. 먼저 입력변수가 달라짐에 따라 결과가 어떻게 달라지는지 확인하기 위해 경기도 남양주 지역의 KOMPSAT EOC 영상 데이터를 원본 영상(Fig. 5)으로 도로를 추출해보았다. Fig. 6는 영상곡률(T)은 0.001로 고정하고 프로파일의 길이(P)를 5, 9, 13으로 각각 바꾼 결과를 예시한 것으로, Fig. 6(a), (b), (c)는 각각 GDPA 알고리즘을 이용해 추출된 최초 결과이고 Fig. 6의 (d), (e), (f)는 각



Fig. 5. Test image: Subscene of Namyangju-city, KOMPSAT EOC.

각 세선화 과정까지 거친 결과이다. Fig. 5에 나타난 바와 같이 프로파일의 길이에 따라 추출된 도로의 폭이 점차 넓게 나타나는 것을 볼 수 있다. Fig. 7은 GDPA 알고리즘에서 프로파일의 길이를 13 화소로 고정하고, 곡률을 변화시킨 결과이다. 곡률 한계가 커질수록 추출된 도로의 폭이 좁아지

는 것을 볼 수 있다. 이러한 두 가지의 사용자 설정 입력 변수는 도로의 폭에 따라서 별도의 도로 레이어 정보가 요구되는 경우에는 유용하게 이용할 수 있는 입력 변수가 될 수 있음을 의미한다.

한편, Hough 변환에서 이진 영상으로 변경할 때, DN값의 경계(B)와 매개변수 배열의 수(A)를 다르게 설정하는 경우 나타나는 결과를 Fig. 8과 Fig. 9에서 예시하였다. Fig. 8은 매개변수 배열의 수를 100으로 고정하고 DN값의 경계를 변경시킨 결과이며, Fig. 9는 DN의 경계 값을 120으로 고정하고 매개변수 배열에 누적된 수를 변경하면서 달라지는 결과를 나타낸다. DN값의 경계 값이 커질수록 또는 매개변수 배열에 누적된 수가 커질수록 처리 결과 영상에서 추출된 선형 지형지물은 점차로 단순한 형태로 나타남을 볼 수 있다.

2) 다중 해상도 영상정보의 적용

공간 해상도가 다른 세 영상을 대상으로 도로 선형 지형지물(도로 중심선, 도로 경계선)을 GDPA기법과 Hough기법으로 적용한 뒤, 각 결과

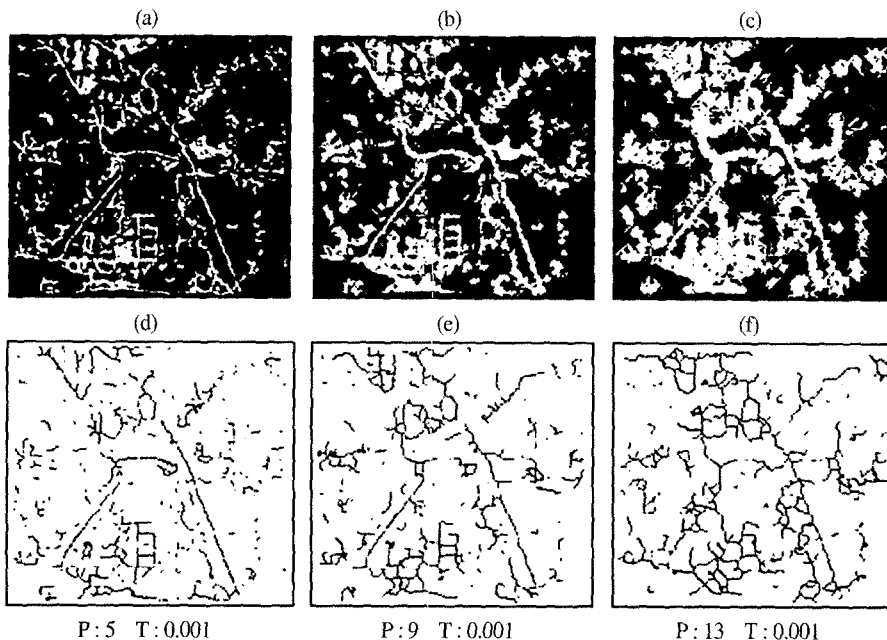


Fig. 6. Results according to the length of profile in case of GDPA algorithm.

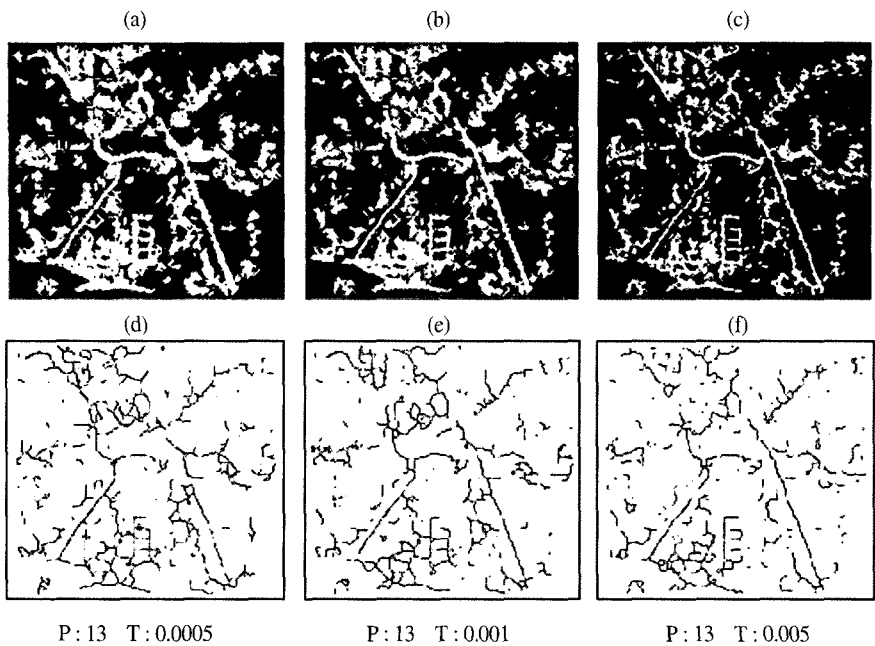


Fig. 7. Results according to the curvature variance.

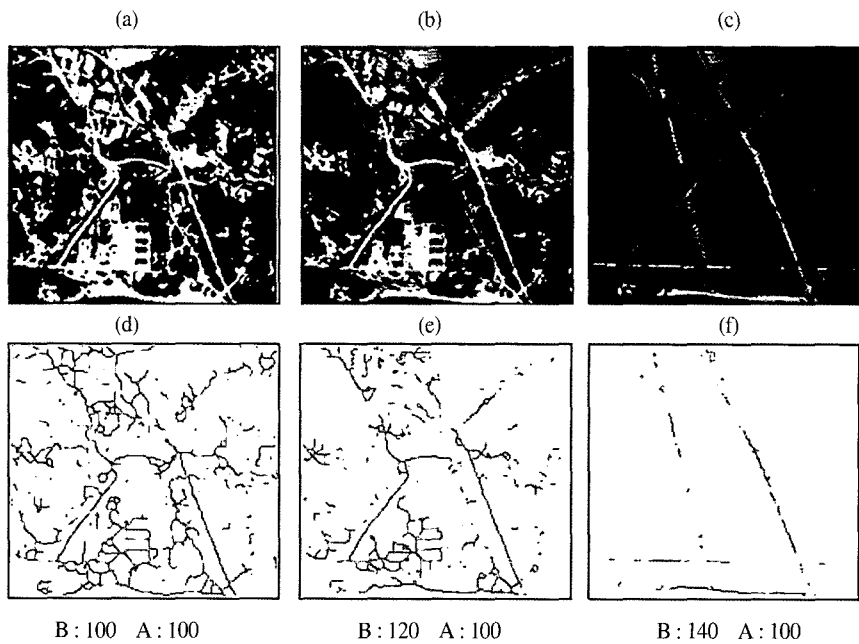


Fig. 8. Results according to the increase of Tolerance of digital value for binary image.

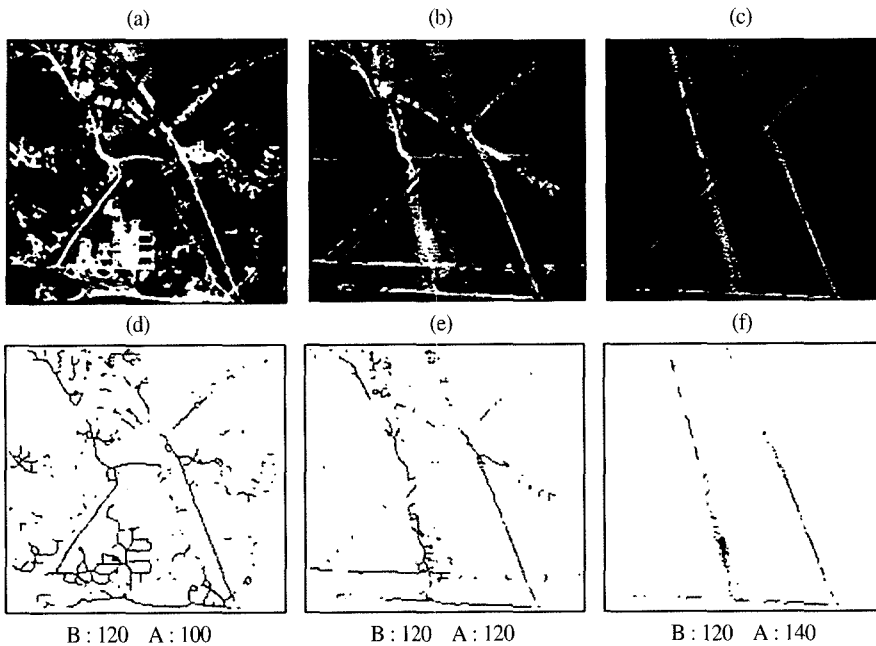


Fig. 9. Output according to the Tolerance for Hough accumulator.

영상에 대하여 오차 검증을 수행하였다.

Fig. 10는 두 기법의 정량적 비교를 위하여 적용된 시험 영상으로, Fig. 10(a), (b), (c)는 각각 LANDSAT ETM ETM 영상, KOMPSAT EOC 영상, IKONOS 4M COLOR 영상을 나타낸다.

LANDSAT ETM 영상으로부터 도로를 추출한 결과를 Fig. 11(a)에 제시하였는데, 해상도가 높지 않아 두 기법간의 적용 결과에 대한 차이를 뚜렷하게 구분하기는 어렵지만, 시각적으로 GDPA의

결과 영상에서 선형 패턴이 보다 잘 유지되고 있음을 알 수 있다. 그러나 결과 영상을 얻기 위한 매개변수에 따라 결과에 많은 차이가 있으므로, 이를 일반적인 결과로 보기에는 무리가 있다.

KOMPSAT EOC 영상에 두 가지 기법을 적용하여 도로를 추출한 결과(Fig. 11(b))에서는, Hough 변환의 결과가 GDPA 알고리즘에 비하여 좋은 결과를 나타내는 데, 이는 Hough 변환을 수행하는 과정에 적용된 이진화 과정에서 많은 잡음

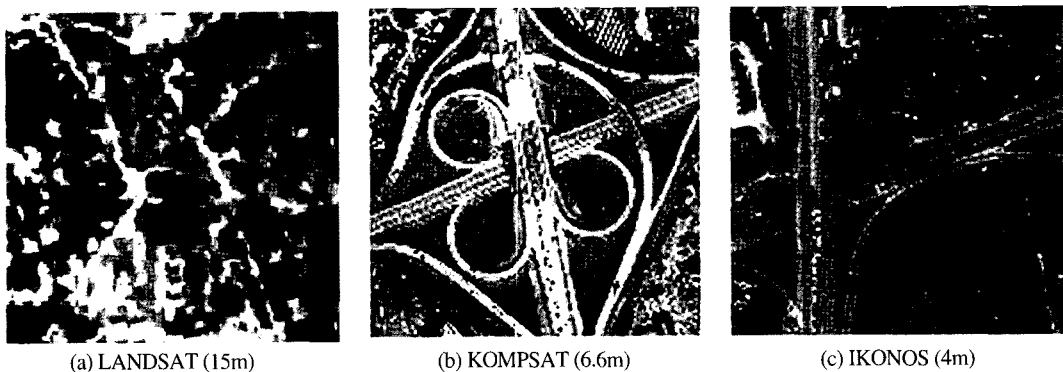


Fig. 10. Test images: Subscenes of Guri-city and Namyangju-city: (a) LANDSAT ETM, (b) KOMPSAT EOC, and (c) IKONOS 4M COLOR.

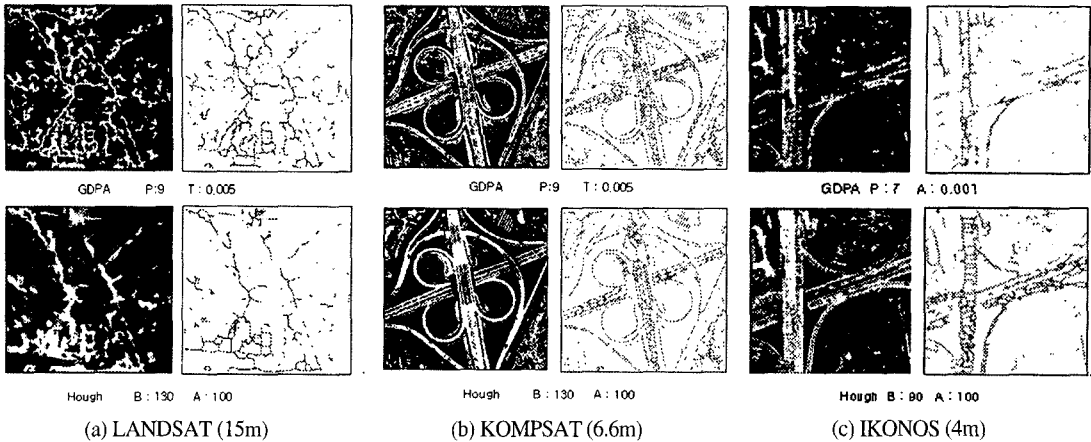


Fig. 11. Different results according to different sensor and spatial resolution.

들이 제거된 결과로 생각된다.

IKONOS영상(Fig. 10(c))으로부터 도로를 추출한 결과는 Fig. 11(c)에서 확인할 수 있다. IKONOS 영상의 적용 결과에서도 전체적으로는 GDPA 알고리즘보다 Hough 변환이 보다 향상된 결과를 나타내고 있다. 그런데 해상도가 매우 높은 경우 차선이나 자동차의 경계까지 구분이 되기 때문에 도로 성분을 얻고자 하는 경우에는 문제가 될 수 있다. 이렇게 자동차의 경계까지 추출되는 경우 세선화 알고리즘을 이용해 도로의 중심선을 추출해 낼 때 하나의 선 구조로 나타나지 않고 복잡한 양상을 보일 수 있기 때문이다. 한편 공간 해상도가 다른 영상정보를 적용하는 경우에는 추출 결과의 질이 차이 날 뿐만 아니라 도로 추출 결과 영상의 내용에도 차이가 나타남을 알 수 있다. 해상도가 낮은 LANDSAT ETM영상의 경우 도로의 존재 유무가 주안점이 되며, 도로 폭이나 도로 경계에 대한 정보를 제시하는 못하는 반면에, KOMPSAT EOC 영상이나 IKONOS 영상의 경우에는 영상정보로부터 육안 판독으로도 도로의 경계가 인식되므로, 결과 영상에서는 도로의 유무만이 아니고, 도로 경계선의 범위를 별도의 레이어로 자동 추출할 수도 있도록 한다. 따라서 고 해상도 영상정보의 경우에는 추출할 수 있는 도로 지형지물을 도로 중심선과 경계선으로 구분

하는 것이 가능하다.

여기서 '도로 중심선'은 도로 폭을 하나의 화소로 표현하기 위해 세선화 과정을 수행한 가상의 선형 정보인 반면에, '도로 경계선'은 도로 주변과 도로를 구분하는 경계선으로 실제 판독이 가능한 선형 정보로 구분할 수 있다. 특히 도로 경계선 정보는 GIS 수치지도에서도 독립적인 레이어로 제공되고 있으므로 고 해상도 영상정보로부터 자동 추출되는 도로 경계선 정보와의 직접 비교를 통하여 수치지도 정보의 갱신 작업에도 기여할 수 있다. 물론 육안 판독으로도 수치지도의 갱신이 가능하지만, 자동 또는 반 자동 갱신 작업이 필요한 경우에는 선형 지형지물 추출 기법을 적용하여 작업 수행이 가능하게 된다는 점이 주요한 장점이라고 할 수 있다.

Fig. 12는 KOMPSAT 영상으로부터 도로 중심선과 도로 경계선을 추출한 결과를 예시한 것으로, 도로의 중심선과 경계선 모두 Hough 변환의 결과가 GDPA 알고리즘에 비하여 비교적 잡음이 작은 결과를 보임을 알 수 있다.

3) 알고리즘 수행 결과의 정량적 비교

지금까지 두 알고리즘을 이용해서 얻은 결과를 살펴보면 Hough 변환이 전반적으로 잡음이 더 적어서 도로 검출에 효과적이라는 것을 시각적으로

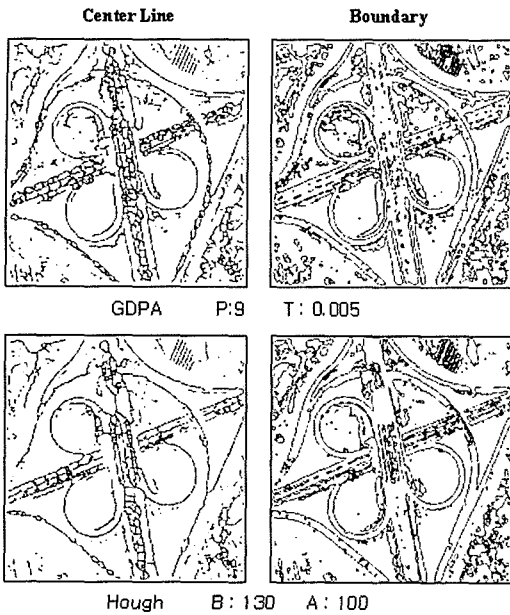


Fig. 12. Road centerline and boundary extracted from high-resolution satellite imagery.

확인할 수 있었다. 이 결과를 정량적으로 그 효과를 비교하기 위해 오차 검증을 실시하였다. 오차 검증은 O'Brien(1991)이 Ranking기법을 프로그램 내에 구현하고, 실제로 적용해 보았다. 오차의 등급을 계산하기 위해서는 전체 정확도(overall accuracy), Omission 오차, Commission 오차를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\text{Overall accuracy} = Nce / Ntr$$

$$\text{Commission error} = (Nte - Nce) / Ntr$$

$$\text{Omission error} = 1 - Nce / Ntr$$

$$\text{Ranking} = 200 / ((1 + \text{Omission})(1 + \text{Commission}) \times (2 + \text{Omission} - \text{Commission}))$$

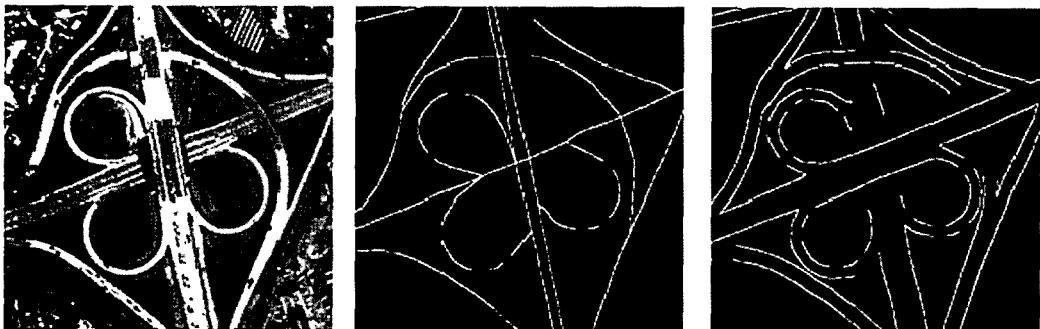
Nce: 정확하게 추출된 도로 화소의 수

Ntr: 실제 검증용 데이터로부터 얻은 도로 화소의 수

Nte: 자동 추출된 도로 화소의 수

위에 제시한 바와 같이 등급화 방법에서 전체 정확도는 올바르게 추출된 도로의 화소 수의 비(ratio)이고 commission 오차는 실제 도로의 화소 수에 대한 정확하게 추출되지 않은 도로 화소 수의 비이다. Omission 오차와 Commission 오차를 통해 결정된 등급(Rank)은 계산 결과 값이 클수록 자동으로 추출된 결과와 실제 도로 정보가 잘 부합되는 것으로 이해할 수 있다. 본 연구에서는 등급화 기법을 통한 오차 검증 작업을 위하여 해당 지역에 대한 국토지리정보원의 1:25,000 수치지도의 도로 레이어 중에서 본 연구의 대상인 도로 중심선과 도로 경계선 레이어를 별도로 저장한 뒤, 이를 검증용 자료로 이용하였다. 또한 영상정보로부터 추출한 도로와 비교하여 오차 검증을 수행하기 위하여 벡터 자료인 도로 관련 레이어를 비트맵 영상 자료로 변환하였다(Fig. 13).

Table 1은 도로 중심선과 도로 경계선에 대한 오차 검증 결과로서, 시각적으로 비교할 때와는 달리, 정량적인 비교에서는 도로 중심선의 추출 결과는 GDPA가 Hough 변환의 결과에 비하여 좋



(a) Original image(KOMPSAT)

(b) Road centerline

(c) Road boundary

Fig. 13. Images for error test.

Table 1. Result of error evaluation.

	Road Center line		Road Boundary	
	GDPA	Hough	GDPA	Hough
Overall accuracy	0.1283398	0.1586782	0.1312733	0.1444016
Commission error	1.509035	2.350852	1.9797	1.236293
Omission error	0.8716602	0.8413218	0.8687267	0.8555984
Ranking	16.14821	9.236261	11.54557	20.2448

고(높은 등급 값), 도로 경계선의 경우에는 반대의 경우가 나타난 것으로 알 수 있다. 물론 적용 영상, 설정 변수 등의 차이가 있기 때문에 이러한 결과를 일반화 할 수 있는 것은 아니지만, 시각적 비교와는 달리 각각의 기법에 따른 결과가 거의 평균적으로는 유사한 결과를 보임을 알 수 있다.

그런데 실제로 추출되는 선 구조는 도로뿐만 아니라 건물의 경계와 같은 다른 구조도 추출되는데 이 연구에서는 단순히 수치지도의 도로 레이어와 비교하였기 때문에 Commission 오차가 높을 수밖에 없다. 또한 차선이 여러 개인 도로에서는 차선 사이의 중앙선 등의 영향으로 인하여 하나의 도로가 여러 개로 나타나는 경우가 있을 수 있다.

일반적으로 영상으로 자동 추출되는 초기 결과에는 많은 잡음이 포함되는 데, 실제로 적용할 때에는 실수로 추출된 line을 후처리 단계에서 사람이 수동으로 삭제할 수도 있지만 이를 처리하기 위한 과정으로 본 연구에서는 허용 범위(Tolerance range)를 프로그램 내에 구현하고, 이를 각 기법에 부수적으로 적용할 수 있도록 하였다. '허용 범위'는 일정한 길이 이상의 추출 정보만을 도로로 인식하게 하는 방법으로, 사용자가 설정한 일정 길이 이상의 선형 지형지물 만을 추출 결과로 나타내도록 한 것이다.

Fig. 14에서 이러한 허용 범위를 설정하여 처리한 결과로서 선의 길이(허용 범위)를 각각 2, 5로

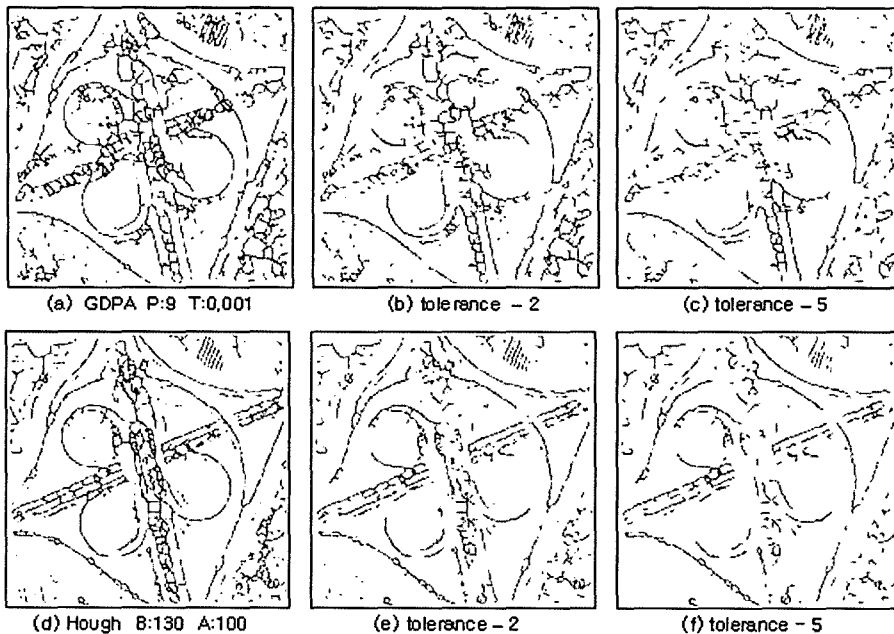


Fig. 14. Comparison of results before and after tolerance range application.

설정된 결과이다. 즉, 추출된 결과에서 2 (연속된 두 개의 화소) 이하 또는 5 이하는 독립적인 선형 지형지물을 제거한 것이다. 이러한 경우에는 시각적 구분이 어려우므로, 앞에서 설명한 등급을 결정하는 정량적 오차 검증을 수행하였다 (Table 2와 Table 3).

Table 2와 Table 3을 보면 허용 범위 설정 후 수행한 결과가 이를 적용하지 않은 결과에 비하여 추출 정확도를 지시하는 등급이 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 즉, 허용 범위 설정이전에 비하여 2와 5의 길이를 설정한 경우 GDPA 적용 결과는 각각 약 30%, 60%이상 등급이 증가하며, Hough 변환의 경우에는 거의 35%정도의 일정한 증가 양상을 보이는 것으로 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 허용 범위의 설정이 GDPA 적용 시에 보다 효과적으로 정확도를 증가시키는 방법으로 나타났다.

이 연구를 통해 도로 관련 정보의 자동 추출에 적용할 수 있는 GDPA 알고리즘과 Hough 변환의 장단점을 확인할 수 있었으며, Hough 변환 기법에 대비하여 GDPA 알고리즘의 적용상의 장단점을 기술하면 다음과 같다.

GDPA 알고리즘은 명암 차이가 나는 모든 대상을 찾아내므로 처리 결과에 잡음이 많이 나타날 수 있으며, 초기 설정한 프로파일의 길이에 따라

추출 결과가 많은 영향을 받게 된다. 또한 하나의 프로파일 안에 두 개 이상의 도로가 포함되는 경우에는 서로 구분하여 추출하는 데 문제점이 있다. 그러나 GDPA 알고리즘은 하나의 영상 안에서 도로의 밝기가 다른 경우에도 주변과의 색상 대비가 있는 경우에는 이 차이가 크지 않더라도 선형 지형지물을 추출할 수 있다는 장점이 있으며, 이는 Hough 변환과 비교하여 모든 형태의 도로 구조의 추출이 가능하다는 장점으로 나타날 수 있다.

반면에 Hough 변환은 처리 시간이 많이 소요되고 프로그램이 추적할 수 있는 도형이 직선과 원에 국한되어 있다. 또한 영상 안에서 도로의 밝기가 다른 경우 이진화 하는 과정에서 누락되는 도로 부분이 생길 수 있다. 그러나 이러한 문제에 대해서는 영상을 이진화 할 때 이진화 경계 값을 적절하게 정하면 잡음이 적은 깨끗한 결과를 얻을 수 있다. 또한 GDPA 알고리즘의 가장 큰 장점은 Hough 변환에 비해 내부 연산에 따른 실행 시간이 훨씬 적게 걸린다는 것이다. 256×256의 크기를 갖는 영상을 처리한 본 연구의 실험에서는 GDPA 알고리즘을 이용하면 7초 08 정도의 실행으로 결과 영상을 만들 수 있지만, 직선과 원을 추출하는 Hough 변환(B=130, A=100)을 이용하면 10배 이상의 연산시간이 소요되었다. 이러한 실험은 Window 2000 Pro OS, Intel Pentium 4, 640 MB RAM 환경에서 적용되었다. 따라서 많은 영상을 빠르게 처리해야 하는 경우에는 GDPA 알고리즘이 매우 효과적으로 적용될 수 있다. 반면에 Hough 변환의 경우에는 GDPA 결과에 비하여 정확도는 다소 높게 나타날 수 있으며, 알고리즘의 특성에 따라서 직선과 원 등과 같은 비교적 단순한 구조를 갖는 지형지물의 추출에 적합한 기법으로 나타난다. 또한 하나의 영상내부에서 도로의 밝기가 다른 경우, 이진화 하는 과정에서 도로 정보의 손실이 발생할 수 있으나, 이러한 경우에는 이진화 경계 값을 적절하게 조정하여 오차를 감소시킬 수 있다.

Table 2. Results of error test by tolerance range: GDPA.

	GDPA	Tolerance -2	Tolerance -5
Overall accuracy	0.1283398	0.0957529	0.0736680
Commission error	1.509035	1.164479	0.8333591
Omission error	0.8716602	0.9042471	0.9263321
Ranking	16.14821	21.46844	27.0575

Table 3. Results of error test by tolerance range: Hough transform.

	Hough	Tolerance -2	Tolerance -5
Overall accuracy	0.1444016	0.0980695	0.0784556
Commission error	1.236293	0.8563906	0.670888
Omission error	1.8555984	0.9019305	0.9215444
Ranking	20.2448	27.69226	27.67726

4. 결론

위성영상 정보를 이용하여 지형지물을 인식하거나 추출하는 것은 영상정보의 실제적인 응용을 위한 기본 연구로 간주되고 있다. 또한 고 해상도 영상정보가 다양한 민간 분야에서 활발하게 이용됨에 따라 정확한 지형지물의 추출에 대한 필요성이 더욱 강조되고 있다.

선형 지형지물을 추적하는 여러 가지 전통적인 방법 중에서 Hough 변환 기법은 이러한 문제에 매우 효과적 방법으로 알려져 있다. 반면에 최근에 제안된 GDPA 알고리즘은 실제로 적용한 사례가 별로 없고, 이 알고리즘을 지원하는 상업적 소프트웨어는 거의 알려진 바가 없다.

이 연구에서는 Hough 변환 방법과 GDPA 알고리즘을 이용하여 선형 지형지물을 추출하는 소프트웨어를 개발하였다. 영상으로부터 선형 지형지물을 추출한 결과는 Hough 변환의 이진화 경계 값이나 매개변수 배열에 누적된 수, GDPA의 프로파일의 길이, 사용자 정의 곡률과 같은 변수에 따라 달라 질 수 있다. 또한 사용된 영상의 해상도에 따라 서로 상이한 결과가 나타난다. 저해상도 영상의 경우 도로의 유무만 판단할 수 있는 반면 고해상도 위성영상을 이용하면 도로의 유무뿐만 아니라 도로의 경계선까지 추출이 가능하며, 정량적 비교 방법으로는 Commission, Omission 오차를 이용한 Ranking 기법을 적용하였다.

본 연구의 실험 결과, Hough 변환기법이 평균적으로 20 % 정도의 높은 정확도를 보이며, 처리 속도는 GDPA의 경우가 Hough 변환 방법에 비하여 빠른 처리 결과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 GDPA 알고리즘에 허용 범위를 설정하는 경우에는 Hough 변환에 의한 결과와 정확도 측면에서는 큰 차이가 나타나지 않는다. GDPA 알고리즘은 하나의 영상 내에서 도로의 밝기나 다른 경우나 도로의 형태가 복잡할 때 적용성이 좋은 것으로 나타났다. 반면에 Hough 변환은 도로의 모양이 단순하거나 잡음이 많은 경우, 한 영상에

서 도로의 색상차가 많지 않은 경우에 사용하면 효과적이다.

결론적으로 본 연구의 실험 결과에 의하면 GDPA 알고리즘이 Hough 변환 기법에 비하여 어플리케이션 개발 측면에서는 많은 이점을 보이는 것으로 생각된다. 영상에 따라 조건이나 상황이 다르므로 자료를 처리할 때 영상에 따라 적절한 알고리즘을 선택하고 변수에 적절한 값을 넣을 경우 두 알고리즘 모두 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이고, GIS 레이어의 구축 작업에도 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- Baxes, G. A., 1994. *Digital Image Processing: Principles and Applications*, Wiley.
- Davies, E. R., 1997, *Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities*, Academic Press.
- Fitton, N. C. and S. J. D. Cox, 1998. Optimising the Application of the Hough Transform for Automatic Feature Extraction from Geoscience Images, *Computers & Geosciences*, 24: 933-957.
- Gruen, A. and H. Li, 1997. Semi-automatic Linear Feature Extraction by Dynamic Programming and LSB-Snakes, *PE & RS*, 63: 985-995.
- Han, K., 2001. Addressing Multi-centerline Representation Issues: From a Transportation Engineering Perspectives, Presentation to the NCRST, UCSB.
- Karathanassi, V., C. Lossifidis, and D. Rokos, 1999. A Thinning-based Method for Recognizing and Extracting Peri-Urban Road Networks from SPOT Panchromatic Images, *Int. Jour. of Remote Sensing*, 20: 153-168.
- Khuen, B., 1997. Commercial Application for High Resolution Geo-spatial Imagery, *PE & RS*, 63:

933-941.

- Lee, K. and Y.-C. Yu, 2002. Automatic Extraction of Road Network using GDPA (Gradient Direction Profile Algorithm) for Transportation Geographic Analysis, *Proceedings of International Symposium on Remote Sensing*, pp.775-779.
- O'Brien. D., 1991. Computer Assisted Feature Extraction (InterEx), *Proceedings of the 14th Canadian Symposium on Remote Sensing*, Calgary Alberta, pp.423-428.
- Park, J. S. and R. A. Saleh, 2001. Comprehensive Survey of Extraction Techniques of Linear Features from Remote Sensing Imagery for Updating Road Spatial Databases, CLEM Specialist Meeting.
- Wang, J. and P. J. Howarth, 1990. Use of the Hough Transform in Automated Linearment Detection, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28(4): 561-566.
- Wang, J., P. M. Treitz, and P. J. Howarth, 1992. Road Network Detection from SPOT Imagery for Updating Geographical Information Systems in the Rural-Urban Fringe, *Int. Jour. of Geographical Information Systems*, 6(2): 141-157.
- Wang, J. and Q. Zhang, 2000. Applicability of a Gradient Profile Algorithm for Road Network Extraction-Sensor, Resolution and Background Considerations, *Canadian Jour. of Remote Sensing*, 26: 428-439.
- Zhang, T. Y. and C. Y. Suen, 1984. A fast parallel algorithm for thinning digital patterns, *Communications of the ACM*, 27: 236-239.