

위성영상을 이용한 지질학적 선구조의 자동 추출 : 정선지역 사례연구

류희영⁽¹⁾, 이기원⁽²⁾, 박노욱⁽³⁾, 권병두⁽¹⁾

- (1) 서울대학교 지구과학교육과
- (2) 한성대학교 정보공학부
- (3) 한국지질자원연구원

Geological Linear Feature Extraction using Space-borne Imagery : Experimental Cases in Jeongsun Area

Hee Young Yoo⁽¹⁾, Kiwon Lee⁽²⁾, No-Wook Park⁽³⁾, Byung-Doo Kwon⁽¹⁾

- (1) Dept. of Earth Science Education, Seoul National Univ.
- (2) Division of Information Engineering, Hansung Univ.
- (3) Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources.

Phone : 02-878-7233, 016-709-2463
E-mail : skyblue@mantle.snu.ac.kr

요약

절리, 단층, 습곡, 암맥, 파쇄대 및 암상의 경계에 의해 나타나는 지질학적 선구조는 지하의 물성이나 지질구조를 반영한다. 따라서 지구조 운동 분석을 위한 기초 자료로 이용 가능하기 때문에 그동안 전문가의 육안 판독이외에 영상에서 선구조를 추출하기 위한 많은 연구가 이루어져왔다. 최근에 이용 가능한 위성영상자료가 증가하고 영상을 지구과학 응용분야에 적용하는 사례가 많아짐에 따라 영상으로부터 선구조를 빠르고 정확하게 추출해야 할 필요성이 높아졌다. 본 연구에서는 위성영상으로부터 선구조를 자동으로 추출하기 위해 구배 방향 프로파일 분석(Gradient Direction Profile Analysis: GDPA) 알고리즘과 Hough 변환 알고리즘을 이용한 프로그램을 개발하였고, 각 알고리즘에 필요한 모든 변수들을 사용자가 직접 입력할 수 있도록 설계하였다. 이 프로그램을 옥천 습곡대의 북동부에 위치한 강원도 정선지역의 Landsat TM 에 적용하여 가능성을 검토에 보았고, 오차 검증 방법을 이용하여 각 알고리즘을 정량적으로 평가하였다.

1. 서론

영상자료로부터 지질학적 선구조를 추출하는 것은 지구과학 응용분야에서 매우 중요한 의미를 가지므로 많은 연구에서

이를 다루어 왔다. 특히 Hough 변환은 선 구조 추출에 매우 효과적인 방법으로 이전부터 여러 연구에서 이용되었다. Cross and Wadge(1988)는 Landsat MSS 영상에 기본적인 전처리 작업을 수행한 후

Hough 변환을 사용하여 자동으로 선구조를 추출하였고 Wang and Howarth (1990)는 Ontario, Sudbury 근처에 있는 Canadian Shield의 Landsat TM 영상을 사용하여 자동으로 선구조 분석을 위해 Hough 변환을 이용하였다. 국내에서는 김원균 외(1997)가 Landsat 영상과 DEM 자료를 사용하여 선구조 추출에 관한 연구를 하였고, 이태희(2002)는 Landsat TM, JERS-1 SAR, DEM 자료를 이용해 선구조를 추출하는데 Hough 변환을 사용하였다.

이 연구에서는 이전부터 선구조 추출에 효과적이라고 알려진 Hough 변환 방법과 영상으로부터 도로를 추출하기 위해 제안된 방법이지만 아직 지구과학 분야에 이용된 사례가 없는 GDPA를 이용해 선구조를 자동으로 추출하는 프로그램을 고안하였다. 그리고 개발된 프로그램을 알고리즘과 변수를 바꾸어 가며 실제 사례에 적용하여 선구조를 추출하였다. 추출된 결과를 지질도의 단층선과 지질 경계선과 비교하는 정량적인 검증 방법을 통해 어떠한 방법이 선구조 추출에 더 효과적인지 확인해 보고자 하였다.

2. 연구 방법

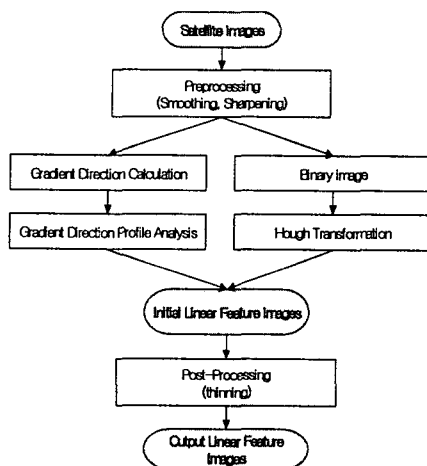


Fig.1 The flowchart for linear feature extraction procedures.

Fig.1은 이 연구에서 선 구조를 추출하는 과정에 대한 순서도이다.

먼저 기하보정을 마친 영상을 Smoothing 과 Sharpening filter를 통해 전처리를 한 후 GDPA이나 Hough 변환을 선택하여 두 가지 중 한가지 방법을 이용해 선구조를 추출한다. 추출된 선구조의 두께를 하나의 픽셀 두께로 표현하기 위한 세선화 과정을 거치면 최종적인 결과를 얻게 된다.

2.1 Hough transform

Hough 변환은 공간 좌표계에 있는 도형을 직선이나 원의 방정식을 이용해 매개변수 좌표계로 변환하여 원하는 도형을 찾아내는 방법이다.

식(1)은 직선의 방정식을 각도와 원점과 직선사이의 거리를 이용한 극좌표로 표현한 것으로 기울기와 y절편으로 직선의 방정식을 표현하는 경우 직선이 좌표축에 가까워 질 때 기울기와 y절편이 무한대로 가는 문제를 해결한 방법이다.

$$x \cos\theta + y \sin\theta = r \quad (1)$$

Fig 2.에서 보는 것처럼 하나의 직선 위에 있는 모든 점은 매개변수 평면에서는 하나의 점으로 표현된다.

선구조로 추정되는 부분을 흰색으로 처리한 이진 영상의 경우, 픽셀을 차례로 검색하면서 흰 픽셀이 나타나면 픽셀의 위치좌표 (x, y)와 0~180 범위 내에서 θ 를 식(3)에 대입하여 r을 계산한다.

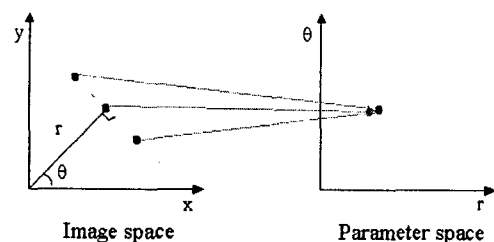


Fig.2 Principle of Hough transform.

이후 Hough accumulator라 불리는 매개변수 배열 $P(r, \theta)$ 를 만족하는 점이 나올 때마다 식(2)와 같이 1씩 더해 배열의 수가 사용자가 정의한 수보다 커지면 선형 지형지물의 일부로 인정한다.

$$P(r, \theta) = P(r, \theta) + 1 \quad (2)$$

2.2 Gradient Direction Profile Analysis

GDPA 알고리즘(Wang, J. and Q. Zhang, 2000)은 각 픽셀마다 최대 기울기 방향을 정한 후 최대 기울기 방향으로는 선구조가 수직으로 통과 한다는 가정 하에 최대 기울기 방향에 놓여진 픽셀을 프로파일로 결정한다. 최소자승법을 이용하여 프로파일을 만족시키는 다항식(식 (3))을 결정하고, 미분을 통해 프로파일의 극대점 또는 극소점을 찾아낸다.

$$f(x) = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2 \quad (3)$$

선 구조 추출 시 모든 극점을 선구조로 추출하는 것이 아니라 잡음을 줄이기 위해 곡선이 사용자가 정의한 곡률(식(4))보다 큰 경우에만 선구조로 추출하게 된다.

$$K(x) = \frac{|y''|}{(1 + y'^2)^{3/2}} \quad (4)$$

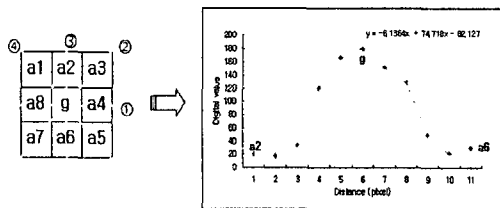


Fig.3 Determining of polynomial function.

3. 사례 적용 지역 및 위성자료

본 연구에서는 북위 37°20'00" ~ 37°30'00", 동경 128°30'00" ~ 128°45'00"에 위치한 정선 지역을 대상으로 하여

기본 보정을 마친 Landsat TM 영상자료 (99. 3. 27.)를 이용하였다. 1, 2, 3 밴드에 각각 청, 녹, 적색 필터를 적용한 true color image와 histogram equalization을 통해 각 픽셀간의 명암차이를 강조한 영상, 광물이나 수분의 특성을 잘 나타내주는 RGB 741 영상을 이 연구에서 사용하였다. 추출된 선구조와 비교하기 위한 자료로는 영상과 동일한 지역의 1:50,000 지질도에서 단층선과 지질 경계선만 디지털화하여 벡터 파일을 작성한 후 다시 이 파일을 래스터 형식으로 변환하여 이용하였다.

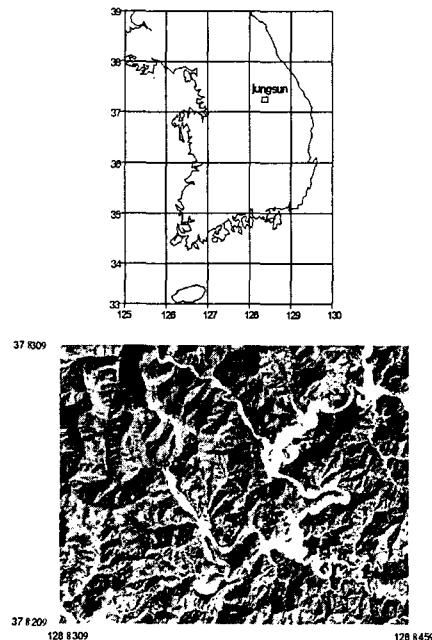


Fig. 4 The location map of the study area and Landsat TM image.



Fig. 5 The vector image of fault line and geological boundary.

4. 결과

이 연구에서는 선구조의 검출을 위한 프로그램뿐만 아니라 전처리 과정, 후처리 과정, 결과의 정량적 평가를 위한 error test나 잡음 제거를 위한 알고리즘 역시 하나의 소프트웨어로 개발하였다. 이 프로그램의 중요한 특징은 선구조를 추출하는데 필요한 변수들을 사용자가 직접 입력할 수 있다는 것이다. 이 연구에서 개발된 프로그램을 이용해 정선 지역의 Landsat 영상으로부터 선구조를 실제로 추출해 보았다.

먼저 GDPA 알고리즘을 이용해 선구조를 추출하는데 곡률(T)은 0.01로 고정하고 프로파일의 길이(P)를 3, 7로 각각 바꾼 결과가 Fig. 7의 (a), (b)에 프로파일의 길이를 5로 고정하고 곡률을 1, 0.01로 변경하면서 나온 결과가 Fig. 7의 (c), (d)에 나와 있다.

이 방법에서 P의 의미는 프로파일에 포함되는 픽셀의 수이고, T는 사용자가 정의하는 곡률이다. 프로파일의 길이가 길수록 추출되는 선구조의 폭이 넓어지게 되고 사용자가 정의한 곡률이 작을수록 더 많은 픽셀이 선구조의 일부로 추출되는 것을 확인할 수 있다.

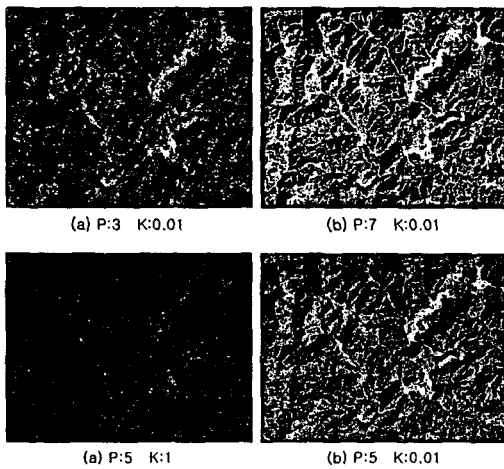


Fig. 8 The results with respect to the change of variables in GDPA.

이번에는 Hough 변환을 이용해 직선을 추출해 보았다. Fig.9의 (a), (b)는 Max값과 Hough accumulator에 누적되는 픽셀수를 의미하는 A값을 각각 230과 100으로 고정하고 Min값을 20, 40으로 변경시킨 결과이다. Fig.9의 (c), (d)는 Min값과 A값을 각각 30과 100으로 고정하고 Max값을 210, 230으로 변경시킨 결과이다. (e), (f)는 Min과 Max값은 각각 30과 230으로 고정하고 A가 100 120일 때 나타나는 결과를 보여주고 있다. Min 경계값이 작을수록, Max와 A값이 클수록 더 적은 선구조만이 결과로 추출되게 된다.

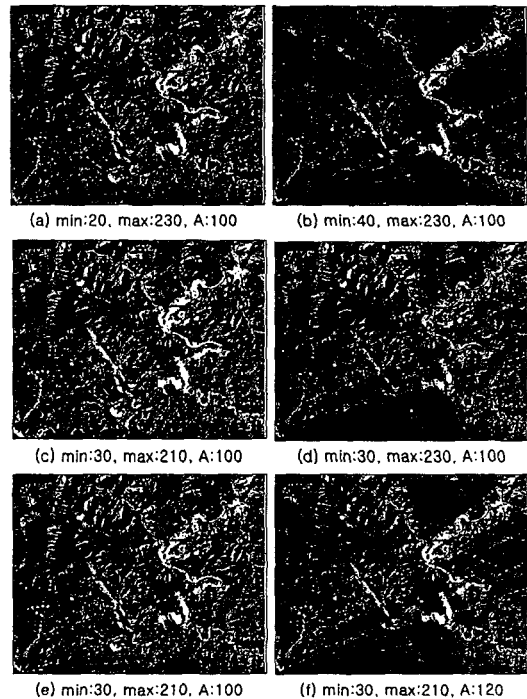


Fig. 9 The result with respect to the change of variables in Hough transform.

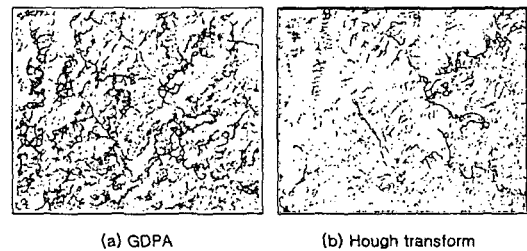


Fig. 10 The results after thinning

GDPA 알고리즘과 Hough 변환에 필요한 변수들을 각각 변화시키면서 나온 결과를 살펴보았더니 이 연구에서 이용된 영상의 경우에는 GDPA 알고리즘은 프로파일의 길이를 5로 하고 곡률 한계는 0.01로 하는 것이 가장 좋은 결과를 보이고, Hough 변환의 경우 이진한계의 min 값을 30으로, Max값과 A값은 각각 230, 100으로 하는 것이 가장 좋은 결과를 보였다. Fig. 10은 앞에서 가장 좋은 결과를 보였던 변수값을 입력하여 GDPA와 Hough 변환을 실행한 후 세션화까지 완료한 결과를 보여주고 있다.

GDPA를 이용한 경우 더 많은 부분을 선구조로 추출하였고 잡음이 많은 것을 시각적으로 확인할 수 있었고, 반면에 Hough 변환을 이용한 경우 상대적으로 잡음이 적은 것을 확인할 수 있었다.

이번에는 지금까지 두 알고리즘을 이용해서 얻은 결과의 효과를 정량적으로 비교하기 위해 O' Brien(1991)이 제안한 error test를 실시하였다. Table 1은 error test의 결과로 error Test를 위해서는 4가지 값을 계산하게 된다.

1. overall accuracy = N_{ce} / N_{tr}
2. commission error = $(N_{te} - N_{ce}) / N_{tr}$
3. omission error = $1 - N_{ce} / N_{tr}$
4. ranking = $200 / ((1 + \text{omission}) \times (1 + \text{commission}) \times (2 + \text{omission} - \text{commission} |))$

N_{ce} 는 올바르게 추출된 선구조 픽셀의 수, N_{tr} 은 선구조 픽셀 수이고 N_{te} 는 추출된 선구조의 총 픽셀 수이다.

Table 1. The result of error test

	GDPA	Hough
Overall accuracy	0.1213138	0.07381247
Commission error	1.184884	0.7784743
Omission error	0.8786862	0.9261875
Ranking	21.12763	27.18364

Table 2. The result of error test using the enhanced image

	GDPA	Hough
Overall accuracy	0.05429984	0.07266466
Commission error	0.5720466	0.8209429
Omission error	0.9457002	0.9273353
Ranking	27.54681	27.05435

Table 3. The result of error test using the RGB_741 image

	GDPA	Hough
Overall accuracy	0.1245806	0.03284478
Commission error	1.231591	0.4117959
Omission error	0.8754194	0.9671552
Ranking	20.28197	28.18172

다음에는 픽셀의 DN 값에 대한 누적빈도분포도를 직선적으로 하여 명암을 뚜렷하게 하는 방법인 histogram equalization을 거친 강조영상에서 선구조를 추출해 보았다. 또한 암상에 민감한 반응을 보이기 때문에 광물탐사나 지질 분야에서 가장 널리 쓰이는 False color 영상인 RGB 741 영상으로부터 역시 선구조를 추출해 보았다. Table 2, 3은 각각 강조 영상과 RGB 741 영상의 error test 결과이다. 강조 영상의 경우 명암의 절대값을 이용해 선구조를 추출하는 Hough 변환 보다는 GDPA 결과가 더 많이 향상되었고, RGB 741의 경우에는 Hough 변환의 결과가 향상되었다는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결론

이 연구에서는 Hough 변환 방법과 GDPA 알고리즘을 이용하여 선구조를 자동으로 추출하는 소프트웨어를 개발하고 이를 정선 지역의 영상에 실제로 적용해 보았다. 그 결과, GDPA 알고리즘은 한 영상 안에서 선구조의 밝기나 다른 경우나 선구조의 형태가 복잡할 때 유용한 반면, Hough 변환은 선구조의 모양이 단순

하거나 잡음이 많은 경우, 한 영상에서 선 구조의 밝기가 비슷한 경우에 사용하면 효과적이다. 이 연구에서 사용된 영상에서는 전체적으로 Hough 변환을 이용한 경우가 더 좋은 결과를 얻을 수 있었고 이는 error test의 ranking을 통해서도 확인할 수 있다. 그러나 GDPA 알고리즘을 이용하면 Hough 변환에 비해 시간을 훨씬 절약할 수 있으므로 영상강조 이미지를 이용해 주변과의 명암차이를 크게 한 후 GDPA 알고리즘을 이용하여 선구조를 추출하면 매우 효율적일 것으로 생각된다. 영상에 따라 적절한 알고리즘을 선택하고 변수에 적절한 값을 넣을 경우 두 알고리즘 모두 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

자동으로 선구조를 추출하는 경우 연구 지역이나 영상의 상태에 따라 조건이나 상황이 다르므로, 자료를 처리할 때 연구 지역의 특성이나 영상의 상태를 반드시 고려해야만 한다. 본 연구에서 개발한 프로그램의 경우 알고리즘이나 변수들을 모두 사용자가 직접 결정할 수 있으므로 다른 지역의 영상이나 다른 해상도의 영상에도 효과적으로 이용될 것으로 기대된다.

참고문헌

- 김원균, 이윤수, 원중선, 민경덕, 이영훈, 1997, 원격탐사자료의 수치표고모형을 이용한 옥천대 남서 경계부의 선구조 분석연구, 자원환경지질학회, 30: 459-467
- 이태희, 2002, Lineament extraction from landsat TM, JERS-1 SAR and DEM for geological applications, 서울대학교 석사학위논문
- Cross, A., and Wadge, G., 1988, Geological lineament detection using the Hough transform, *IGARSS'88 Proceedings*, pp. 1779-1782
- Davies, E. R., 1997, *Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities*, Academic Press.
- Fitton, N. C. and S. J. D. Cox, 1998, Optimizing the Application of the Hough Transform for Automatic Feature Extraction from Geoscience Images, *Computers & Geosciences*, 24: 933-957.
- 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: 423-428
- Zhang, T.Y. and C.Y. Suen, 1984. A fast parallel algorithm for thinning digital patterns, *Communications of the ACM*, 27, n. 3: 236-239.
- Wang, J. and P. J. Howarth, 1990. Use of the Hough Transform in Automated Linearment Detection, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*: 561-566
- 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.