

위성영상의 선형특징 추출과 이를 이용한 자동 GCP 화일링에 관한 연구

김정기 · 강치우 · 박래홍 · 이쾌희
서강대학교 이공대학 전자공학과
(1989년 8월 15일 받음; 1989년 8월 30일 수리)

A Study on the Extraction of Linear Features from Satellite Images and Automatic GCP Filing

Jeong-Ki Kim, Chee-Woo Kang, Rae-Hong Park and Kwaee-Hi Lee
Dept. of E.E., Sogang Univ.
(Received August 15, 1989; Accepted August 30, 1989)

Abstract

This paper describes an implementation of linear feature extraction algorithms for satellite images and a method of automatic GCP(Ground Control Point) filing using the extracted linear feature.

We propose a new linear feature extraction algorithm which uses magnitude and direction information of edges. The result of applying the proposed algorithm to satellite images are presented and compared with those of the other algorithms.

By using the proposed algorithm, automatic GCP filing was successfully performed.

I. 서 론

Remote sensing은 1, 2차 세계대전 중에 주로 군용정찰을 위한 기술로 발달되었으며 제 2차 세계대전에서 그 유용성이 입증되었다. 그 후 비군사적 목적을 위해 측량과 지도의 작성을 시도하여 많은 효과를 거두었다. 전자공학과 항공공학의 발달로 인류최초의 인공위성 Sputnik

의 비행에서 현재에 이르기까지 우주개발의 급속한 발달로 많은 과학기술 위성, 군사정찰 위성, 기상 위성, 통신 위성 등이 발사되었으며 Mercury 계획에 의해 위성사진이 나오으로써 급격한 발전과 함께 위성영상이 Remote sensing의 주류를 이루게 되었다. 이로 인해 위성사진을 이용한 정보처리의 분야가 많은 발전을 하기에 이르렀다. 응용분야로는 토지, 환경, 자원 관련 분야에서 군사적 목적에 이르기까지 매우 다양한 분야에 응용되고 있다. 유럽에서도 프랑스를 중심으로 여러 국가가 협력하여 SPOT 위성을 발사하여 활용 중에 있으며 1992년까지 3개 이상의 후속 위성을 발사할 예정에 있다. 일본에서도 1987년 2월에 MOS-1을 발사하여 이 분야의 연구에 박차를 가하고 있다. 특히 최근에는 이들 위성자료가 일반에게 공개되고 있어 이의 활용은 국가적으로도 매우 유용한 것으로 판단된다.

본 논문에서는 프랑스의 지구자원 탐사위성인 SPOT(Systeme Probatoire d'Observation de la Terre)에서 얻어진 Level-2의 흑백영상을 사용하여 I 장 서론에 이어 II 장에서는 SPOT DATA의 특성에 대하여 논한 후 III 장에서는 선형특징 추출 알고리즘에 대하여 기존의 방법들을 알아본 다음 새로운 방법을 제안한다. IV에서는 GCP 후보점에 대하여 알아보고 기존의 GCP filing 방법에 대하여 알아본 뒤 III 장에서 제안한 방법을 이용한 Automatic GCP filing 방법을 제안한다. V 장에서는 III 장, IV 장의 내용을 실험한 뒤 결과를 분석한다. VI에서는 본 논문의 결론 및 앞으로 계속 연구될 추후 과제를 언급한다.

II. SPOT data의 특성

프랑스의 제안으로 ESA(Europe Space Agency)를 1973년에 설립하여 프랑스 국립우주연구소(CNES)를 중심으로 벨기에, 스웨덴 등의 9개 국가가 참여하여 1977년 지구자원 탐사위성인 SPOT를 개발하여 활용 중에 있으며 1992년까지 후속 위성을 3개 이상 발사할 예정에 있다. SPOT 위성의 주요 구성품은 SPOT 위성을 운반한 Ariane Launcher 시스템, HRV(High Resolution Visible Imagery System), Multimission Platform 등이 있다. SPOT 위성의 Network 구성은 그림 1과 같으며, 센서와 주변 장치와의 관계는 그림 2와 같다. Multimission Platform은 electric power를 제공하며 인공위성의 궤도를 조정하는 기능을 수행하고 Launcher와 Interfacing의 기능을 수행하며 지상수신소와 통신기능을 담당한다. 이를 위해서 on-board 컴퓨터를 내장하고 있다. 제공되는 SPOT의 CCT(Computer Compatible Tape)는 LGSWG(Landsat Ground Station Operators Working Group)에 의해 정의된 standard format family(Swain, 1978)에 적합하도록 디자인되어 있다. SPOT에서 제공되는 data를 구분하여 보면 다음과 같다(CNES, 1987).

Level 1 : 기본적인 복사량 보정을 수행한 영상자료.

Level 1A : Push Broom Scanner의 CCD elements를 equalization하여 대강의 보정을 수행

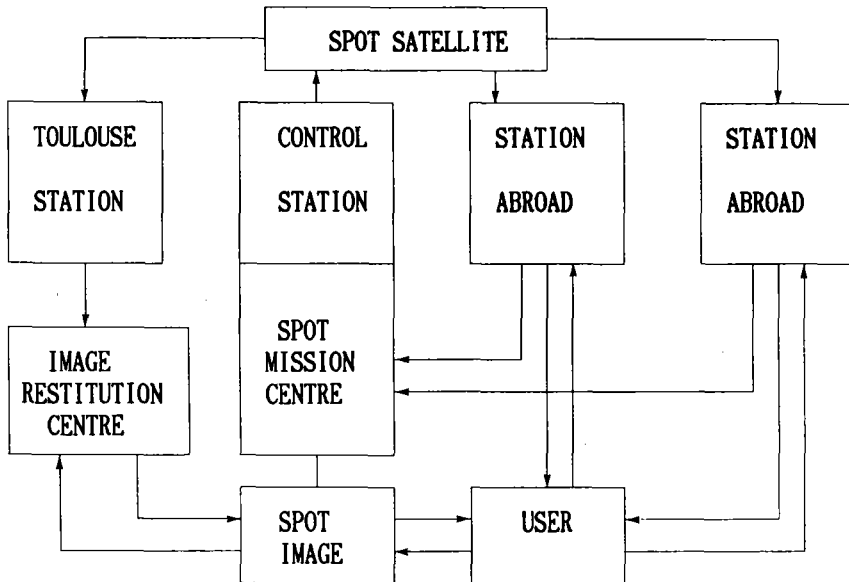


Fig. 1. Network of SPOT satellite.

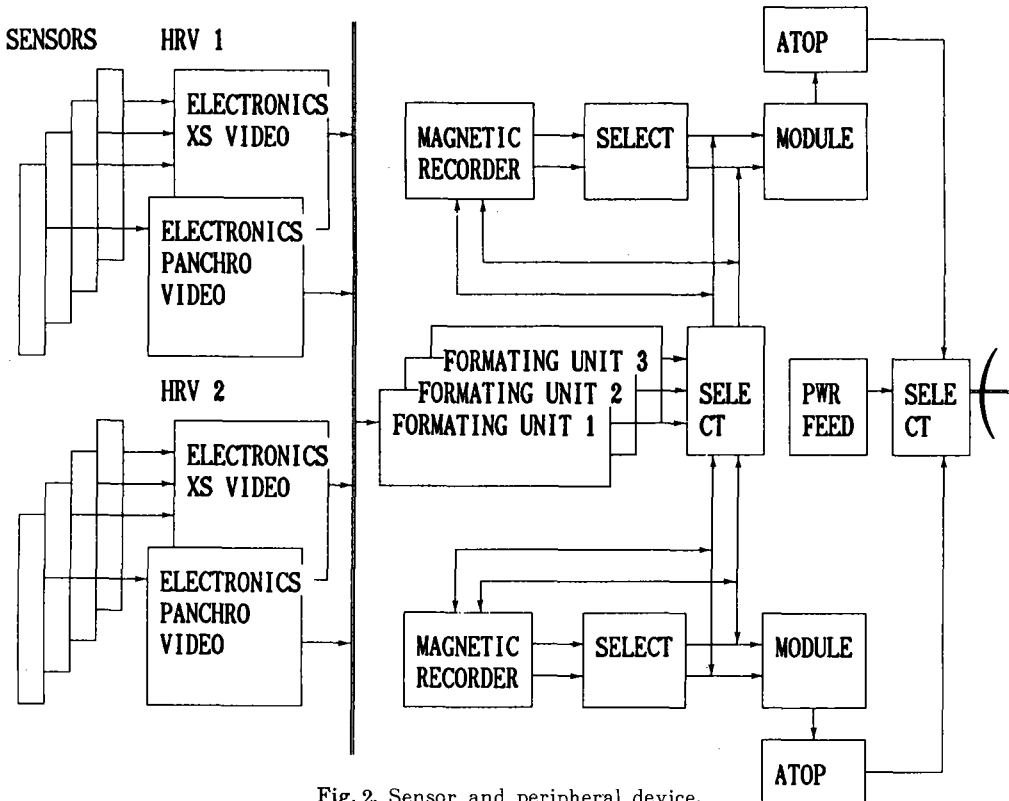


Fig. 2. Sensor and peripheral device.

한 영상자료.

Level 1B : Level 1A 영상자료를 좀더 교정한 영상자료로서 위성의 운동을 고려하여 복사량 보정과 지구의 운동을 고려한 기하학적 보정을 수행한 영상자료.

Level 2 : Ground Control Points를 이용한 고정밀 교정을 수행한 영상자료.

Level S : DTM(Digital Terrain Model) 또는 사용자의 요구에 맞도록 Reference Scene에 일치시켜 교정을 수행한 영상자료.

III. 선형특징 추출 방법

위성영상의 선형특징 추출 알고리즘에는 Linear detection 알고리즘, Nonlinear detection 알고리즘, Semilinear detection 알고리즘, Modified linear detection 알고리즘(VanderBrug, 1976), Acuteness operator(Wang, 1987) 등 이외에도 선형특징을 찾는 연구는 많이 수행되었다(Bajcsy, 1976, Ehrich, 1977, Paton, 1979).

3.1 Linear detection 알고리즘

일반적인 선형특징의 형태를 다음처럼 고려할 때, 여기에서 B1, B2, B3가 선형특징이다. 선형특징을 구별하기 쉬운 도로로 생각하면, 대체로 도로는 주위의 gray value보다 높다. 이 때 gray value range는 백이 255, 흑이 0이다.

A1	B1	C1
A2	B2	C2
A3	B3	C3

위에서 고려한 3×3 window내에서 다음과 같은 조건을 만족할 때 중심화소 B2를 선형특징의 일부로 하는 방법이다.

$$1/2 \sum_{i=1}^3 (A_i + C_i) - \sum_{i=1}^3 B_i < T$$

여기서 T는 임의의 임계값.

Linear detection 알고리즘은 제일 먼저 제안된 알고리즘으로, 제한이 적고 잡음에 영향을 많이 받는다. 이 알고리즘은 선형특징이 주위의 평균값보다 값이 크면 추출되므로, 예지나 1화소의 잡음이 추출될 수 있다. 그러므로 선형특징을 추출하는 데에는 성능이 좋지 않다.

3.2 Nonlinear detection 알고리즘

위에서 고려한 3×3 window를 고려하여 $A_i > B_i - T < C_i$ 를 만족하면 B2를 선형특징의 일부로 하는 방법이다. Nonlinear detection 알고리즘은 1971년에 Rosenfeld와 Thurston이 제안한 알고리즘으로(Rosenfeld, 1971), 제한을 많이 두어 잡음의 추출이 적은 반면 실제 선형특징의 추출도 적다. 이 알고리즘은 선형특징에 작은 틈이 있으면 추출하지 못하는 단점이 있다. 또한, 다른 알고리즘에 비해 수행속도가 길다.

3.3 Semilinear detection 알고리즘

위에서 고려한 3×3 window를 고려하여 다음의 조건을 만족할 때 B2를 선형특징의 일부로 생각하는 것이다.

$$\sum_{i=1}^3 A_i > \sum_{i=1}^3 B_i - T < \sum_{i=1}^3 C_i$$

여기에서 T는 임의의 임계값.

Semilinear detection 알고리즘은 1976년 VanderBurg가 제안한 알고리즘(VanderBrug, 1976)으로 linear detection 알고리즘과 nonlinear detection 알고리즘의 절충 형태이다. 선형특징의 좌우를 구별해서 추출하는 면에서는 nonlinear detection 알고리즘과 비슷하다.

3.4 Modified linear detection 알고리즘

위에서 고려한 3×3 window를 고려할 때 다음의 두 가지 조건을 동시에 만족하면 B2를 선형특징의 일부로 생각하는 방법이다.

$$\sum_{i=1}^3 A_i > \sum_{i=1}^3 B_i - T < \sum_{i=1}^3 C_i \text{ and } A_2 > B_2 - T < C_2$$

여기에서 T는 임의의 임계값.

Modified linear detection 알고리즘(Gurney, 1980)은 1980년에 Charlotte M. Gurney가 제안한 알고리즘으로 semilinear detection과 nonlinear detection의 중간 형태이다. 첫번째 조건은 semilinear detection과 같고 두번째 조건은 nonlinear detection과 같다. Nonlinear detection

에서는 제한이 많으므로 semilinear detection에 비해 잡음과 선형특징이 적게 추출되고 semilinear detection에서는 nonlinear detection과는 반대로 잡음과 선형특징이 많이 추출되며, 수행시간은 nonlinear detection에 비해 짧다. 즉, modified linear detection은 수행시간과 잡음-선형특징 면에서 두 알고리즘의 절충형태이다.

3.5 Acuteness operator

1987년에 J. W. Wang 과 P. J. Howarth가 제안한 알고리즘(Wang, 1987)으로 8방향의 방향벡터성분을 가진 5×5 window 14개를 이용하여 각 화소의 크기(MACU)와 방향(DACU)을 계산하여 선형특징을 찾는 것으로 다음과 같은 방법을 수행한다.

$$\text{MACU}(x, y) = \begin{cases} -acu & \text{if } acu < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{여기서 } acu = -\max_i \{N(x, y) * w_i\}$$

$$\text{and } \text{DACU} = D_{k_i} \quad k_i \in \{0, 1, 2, 3, \dots, 7\}$$

$$\text{여기서 } N(x, y) * w_{k_0} = \max_i \{N(x, y) * w_i\}$$

위의 방법에 의해 MACU와 DACU를 구한 다음 이것을 이용하여 starting point와 tracing direction을 구하는 순서는 다음과 같다.

(가) MACU의 histogram을 계산하고 적절한 임계값을 정한다.

(나) (x_0, y_0) , (x_1, y_1) , (x_2, y_2) 를 starting point로 잡기 위한 조건은 다음과 같다.

1) (x_0, y_0) , (x_2, y_2) 는 (x_1, y_1) 의 8-neighbor이다.

2) $\text{MACU}(x_0, y_0) \geq T_s$, $\text{MACU}(x_1, y_1) \geq T_s$, $\text{MACU}(x_2, y_2) \geq T_s$

3) (x_0, y_0) , (x_1, y_1) , (x_2, y_2) 는 전단계에서 구한 MACU패턴 중의 하나가 되어야 한다.

4) $\text{angle}\{\text{DACU}(x_0, y_0), D\} < \pi/4$, $\text{angle}\{\text{DACU}(x_1, y_1), D\} < \pi/4$, $\text{angle}\{\text{DACU}(x_2, y_2), D\} < \pi/4$

$$\begin{array}{ccccc} & & 4 & & \\ & & \swarrow & & \searrow \\ & 3 & & & 2 \\ & \uparrow & & & \uparrow \\ 5 & \leftarrow & 0 & \rightarrow & 1 \\ & \swarrow & & & \searrow \\ & 6 & & & 8 \\ & & \downarrow & & \downarrow & 7 \end{array} = \text{tracing direction code}$$

위에서 구한 starting point, tracing direction code, MACU, DACU를 이용하여 graph

searching을 다음과 같이 수행한다.

(가) 8-neighbor를 고려한다.

(나) $MACU(n_i) > T$, $MACU(n_j) > T$, (T : chosen constant)

(다) $DACU(n_i)$ 와 $DACU(n_j)$ 의 각은 $\pi/4$ 보다 작아야 한다.

(라) cost function을 고려한다.

$$\text{cost} \{ \langle n_i, n_j \rangle \} = M - MACU(n_i)$$

$$\text{여기서 } M = \max\{MACU(x, y)\}$$

3.6 제안한 선형특징 추출방법

If $N(x, y) < T1$

$$MACU(x, y) = \begin{cases} -acu & \text{if } acu < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{여기서 } acu = -\max_i \{ N(x, y) * w_i \}$$

$T1$ = 히스토그램의 피이크값

If $DACU > T2$

$$DACU = D_{k_i} \quad k_i \in \{1, 2, 3, 4\}$$

$$\text{여기서 } N(x, y) * w_{k0} = \max_i \{ N(x, y) * w_i \}$$

$$T1 * 0.7 < T2 < T1$$

otherwise $DACU = 0$

otherwise $N(x, y) = 0$.

위의 제안한 알고리즘(김정기 외, 1989)은 8방향 성분의 방향벡터를 가진 5×5 의 window 14개를 사용한 acuteness operator의 계산상의 복잡성을 피하고 처리속도를 높이기 위하여 그림 3처럼 4방향 성분의 방향벡터를 고려한 3×3 의 window 4개를 사용하였다(Pratt, 1978, Ballard, 1982). 먼저 영상의 화소 중에서 히스토그램의 피이크(peak) 값을 임계값으로 선택하여 처리대상의 화소를 줄여줌으로써 계산시간을 단축시켰으며 각 window의 컨볼루션(convolution) 값의 결과에 의한 각 화소의 크기(magnitude)와 방향(direction)을 구하였다. 이렇게 구한 한 화소의 크기와 방향성분을 따로 고려한 종전의 방법(Wang, 1987)에서 한 화소의 크기를 고려한 방향성분만을 조사한다. 조사한 방향성분의 크기를 고려하여 또 하나의 임계값을 정한다. 방향성분 크기의 임계값은 히스토그램 피이크 값의 0.7-1 사이에서 결정하였다. 이렇게 결정한

direction code	window	direction code	window
1	-1 -1 -1	3	-1 2 -1
	2 2 2		-1 2 -1
	-1 -1 -1		-1 2 -1
2	-1 -1 2	4	2 -1 -1
	-1 2 -1		-1 2 -1
	2 -1 -1		-1 -1 2

Fig. 3. Direction code and window.

임계값은 한 화소의 방향성분의 크기를 조사하여 그 크기가 작은 화소, 즉 방향성이 약한 화소를 제거한 결과가 된다. 이렇게 하여 구한 결과를 보면 1-3화소의 폭을 가진 에지성분만 남게 된다.

위의 결과를 1화소 두개의 에지성분으로 구하기 위해 세선화 과정을 수행하였다. 세선화 과정은 1-3화소의 폭을 갖고 있는 에지성분을 중심화소를 주축으로 한 주 에지성분을 남기고 세선화를 수행한다. 세선화를 수행하는 과정에서 주 에지성분이 잘리는 것을 막기 위해 주 에지성분의 양 끝 점을 고정시킨 상태에서 세선화 작업을 수행하였다.

위에서 1화소 폭의 에지를 갖는 화상을 만든 다음 에지성분을 추적하여 에지의 길이가 작은 것은 잡음으로 볼 수 있으므로 제거를 하였다.

IV. Ground Control Point

GCP는 Image plane에서 식별이 가능하고 Reference Map에서도 좌표를 결정할 수 있는 특징점 또는 지표(landmark)로서 영상좌표(sample & lincumber)와 지도좌표(map coordinate)를 연관시키는 데 사용되며 시간의 변화에 따라서 변화되지 않아야 한다. 이상적인 GCP로는

도로의 교차점, 강의 구부러진 곳, 호수의 경계선, 작은 섬, 댐, 활주로와 유도로의 교차점 등이 있다. 이것들 중에서 본 논문에서는 GCP 후보점으로 도로의 교차점을 선택하였다.

4.1 선형특징의 Graph Searching 및 GCP 화일링

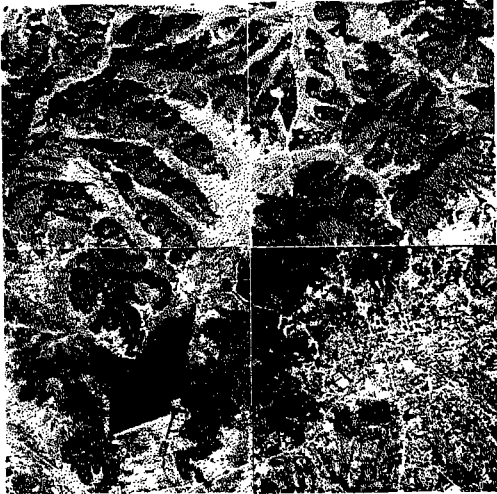
전 단계에서 추출한 4선형특징을 Graph Searching을 수행한다. 그것은 선형특징만이 남아 있는 영상이므로 3×3 window를 고려하여 8방향을 조사하여 선형특징을 추적한 뒤 분기점이 나타나면 그 점을 기억시키고 계속 추적을 수행하여 더 이상의 추적해야 할 선형특징이 없으면 기억시켜논 분기점을 화면에 디스플레이할 수 있도록 하고 화일로도 만든다.

4.2 GCP 화일의 검증

위에서 구한 GCP 화일의 검증을 위해 분기점으로 기억시킨 영상을 원 영상 위에 겹쳐서 확인해 본 결과 분기점을 모두 찾았으며 화일의 상태도 영상의 분기점과 일치함을 알 수 있었다.

V. 실험결과 및 논의

실험에 사용한 영상자료는 Level 2의 흑백영상으로 1987년 11월 19일 02시 21분 09초에 촬영된 자료로서 영상의 중심 좌표는 북위 36도 51분 27초, 동경 126도 31분 128초이다. 전체 영상자료(5994×6686) 중에서 직접 실험에 사용한 영상자료는 서산지역(256×256) 4장을 사용하였다. 한 화소의 해상도는 $10m \times 10m$ 이며, 256 그레이레벨의 4장의 영상을 사용하였다. 먼저 위성영상에다 Sobel 에지 연산자를 적용한 결과가 그림 4(a)에 나와 있다. 위성영상의 특징 중의 하나가 영상전체에 걸쳐 화소의 그레이값의 폭이 좁고 급격히 변하므로 쉽게 선형특징이 추출되지 않음을 알 수 있으며, 그림 4(b)–(f)는 기존의 알고리즘을 위성영상에 적용한 결과이며 그림 4(g)는 제안한 알고리즘을 적용한 결과이다. 이상의 결과를 선형특징 추출 측면에서 검토하여 보면 특별한 선형특징이 없는 산악지형의 영상에서는 semilinear detection 알고리즘과 modified linear detection 알고리즘이 영상의 전체 특징을 잘 나타내 주고 있으며, 국도가 있는 영상에서는 제안한 알고리즘과 acuteness operator가 선형특징(도로)을 가장 잘 추출하고 있다. 저수지의 댐과 지방도로가 있는 영상에서는 댐의 경우에는 semilinear detection 알고리즘, modified linear detection 알고리즘, acuteness operator와 제안한 알고리즘에서 잘 추출하고 있다. 그러나 국도의 추출에서는 제안한 알고리즘과 acuteness operator만이 추출하고 있다. 도심지역을 나타내고 있는 영상에서는 기존의 모든 알고리즘이 복잡한 도심지역의 도로를 추출하지 못하고 있으며 제안한 알고리즘만이 도로를 추출하고 있다. 도로의 분기점을 점으로



Original image.

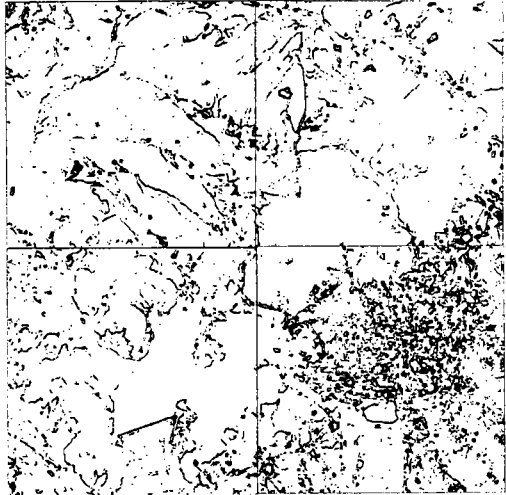


Fig. 4. (a) Output by using the Sobel operator.

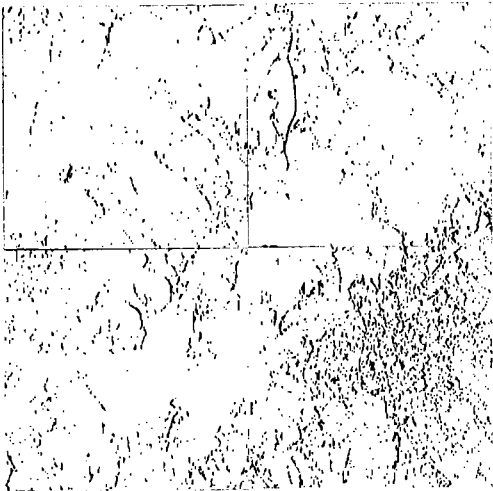


Fig. 4. (b) Output by using the Linear detection algorithm.

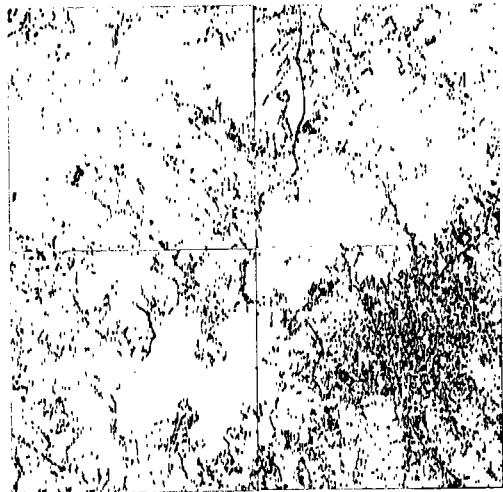


Fig. 4. (c) Output by using the Nonlinear detection algorithm.

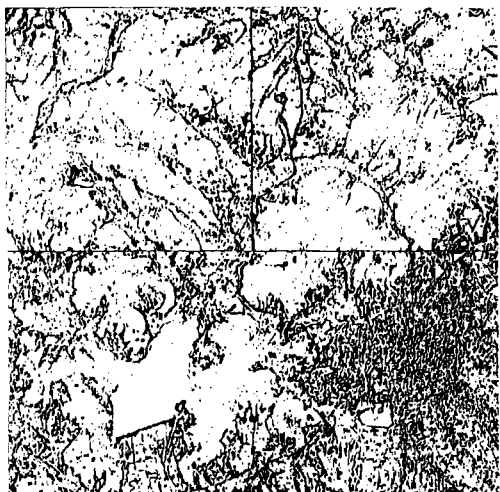


Fig. 4. (d) Output by using the Semilinear detection algorithm.

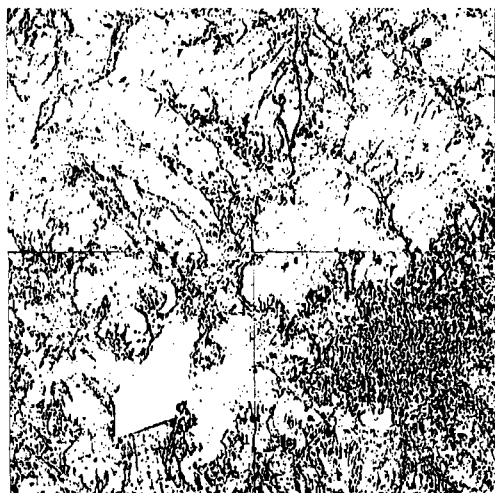


Fig. 4. (e) Output by using the Modified linear detection.

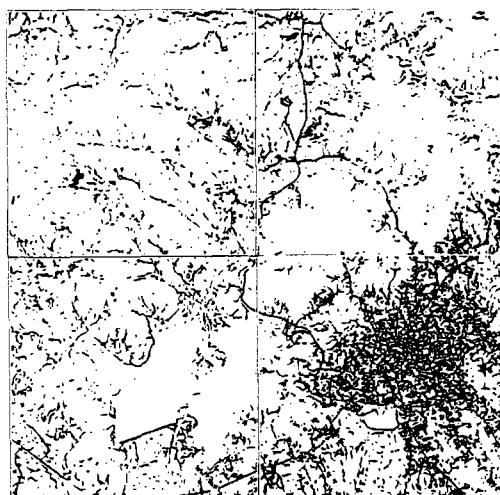


Fig. 4. (f) Output by using the Acuteness operator.

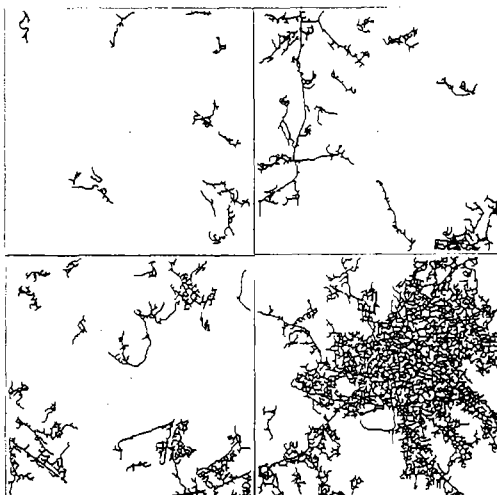


Fig. 4. (g) Output by using the Proposed algorithm.

GCP NO.	ROW	COL
1	10	51
2	11	131
3	14	9
4	20	48
5	34	83
6	38	88
7	41	94
8	50	114

Fig. 5. Output file of GCP.

Table 1. Run time of each algorithm

알고리즘	산악지형	국도영상	땀, 도로	도심지역	단위: 초
					평균
linear	55	55	55	55	55
non-lin	272	255	264	218	253
semi-lin	55	55	55	55	55
modi-lin	63	62	63	60	62
acutenes	88	88	88	88	88
제안	10	13	12	22	12

표시하여 이것을 화일로 만든 결과의 일부분이 그림 5이다.

도로의 추출에 있어 제안한 알고리즘도 1화소 미만의 도로에서는 추출하지 못하는 것을 알 수 있다. 그것은 mixel의 효과 때문인 것으로 판단된다(Hoyano, 1988). 수행 시간을 검토해 보면 표 1과 같다.

VI. 결론 및 추후과제

본 연구에서는 IBM-PC/AT를 이용하여 SPOT 위성영상의 선형특징 추출을 위하여 새로운 방법을 제안하여 적용한 결과 선형특징의 추출이 양호하였으며 추출된 선형특징으로부터 GCP의 후보점을 선형특징(도로)의 교차점으로 가정하여 GCP후보점을 자동적으로 Filing하였다. GCP 후보점은 국립지리원에서 발행한 지도를 이용하여 확인을 하였으며, 원 영상 위에 GCP 후보의 점들을 겹쳐서 평가하여 보았으며 결과는 양호하였다. SPOT 위성영상을 이용하여 영상처리를 수행하였으며 기존의 수행된 연구결과를 토대로 보다 개선된 영상처리 기법을 제안하여 적용하였다. 앞으로 위성영상을 이용한 추후과제로는 다음과 같은 분야의 연구가 수행되어야 할 것이다.

1. Mixel(mixed pixel)을 고려한 선형특징 추출 알고리즘의 개발에 관한 연구.
2. SPOT 영상과 LANDSAT 영상의 합성을 통한 위성영상의 지상분해능 개선에 관한 연구.
3. 한 쌍의 영상을 자동적으로 정합하기 위한 연구.
4. 정합된 영상으로부터 수치지형표고모델(DEM) 개발에 관한 연구.

참고문헌

- 김정기 · 강치우 · 이쾌희 · 박래홍, 1989, 위성영상의 선형특징 추출에 관한 연구, 1989년도 화상 처리 및 영상통신 학술대회 논문집, pp.113-118.
- Bajcsy, R. and Tavakori, M., 1976, Computer recognition of roads from satellite picture, *IEEE Trans. Systems, Man, Cybern.*, Vol.SMC-6, pp.623-637.
- Ballard, D.H. and Brown, C. M., 1982, *Computer Vision*, Prentice-Hall Inc., pp.75-88.
- CNES, *SPOT USER'S HANDBOOK*, 1987.
- Ehrich, R.W., 1977, The detection of global edges in textured images, *IEEE Trans. Comput.*, Vol.C-26, pp.589-603.
- Gurney, C. M., 1980, Threshold selection for line detection algorithm, *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, Vol.GE-18, pp.204-211.
- Hoyano, A. and Komatsu, Y., 1988, Influence of mixels on landcover classification in residential areas using airborne MSS data, in *Proc. ISPRS, Kyoto 1988*, pp.399-408.
- Paton, K., 1979, Line detection by local methods, *Computer Graphics and Image Processing*, Vol.9, pp.316-332.
- Pratt, W. K., 1978, *Digital Image Processing*, John Wiley & Sons, New York, pp.471-513.
- Rosenfeld, A. and Thurston, M., 1971, Edge and curve detection for visual scene analysis, *IEEE Trans, Comput.*, Vol.C-20, pp.562-569.
- Swain, P.H and Davis, S. M., 1978, *Remote Sensing : The Quantitive Approach*, McGraw-Hill, New York, pp.189-207.
- VanderBrug, G.J., 1976, Line detection in satellite imagery, *IEEE Trans. Geosci, Electron.*, Vol.GE-14, pp.37-44.
- Wang, J. F. and Howarth, P. J., 1987, Automated road network extraction from Landsat TM imagery, *ASPRS. ACSM.*, Vol.1. pp.429-438.