
정상 영역의 등고선 재구성을 위한 극좌표계 선형보간

Polar-coordinates Linear Interpolation for Map Contour Reconstruction at Summit Area

박천주*, 황동국**, 전병민**

한국기술교육대학교 정보기술공학부*, 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부**

Cheon-Joo Park(joo@kut.ac.kr)*, Dong-Kuk Hwang(dkh@kebi.com)**

Byung-Min Jun(bmjun@cbucc.chungbuk.ac.kr)**

요약

본 연구에서는 등고선 영상의 정점근방에서 발생하는 끊김을 연결하기 위하여 극좌표계 선형 보간을 제안한다. 성능을 평가하기 위해 몇 가지의 그래픽 영상에 기존 방법과 제안 방법을 적용한 실험에서, MAE가 평균 1.940화소인 선분을 생성할 수 있었다. 특히 실제의 등고선 영상에 대해서는 1.240화소의 MAE로 기존 방법보다 우수한 것으로 나타났다. 또한 인접 등고선과 닮은 꼴의 등고선을 생성함으로써 자연스러운 등고선을 재구성하였다.

■ 중심어 : | 극좌표계 변환 | 선형 보간 |

Abstract

To connect the gap on the contours at the summit area, we propose the linear interpolation in the polar coordinates. In the experiments of applying both existing algorithms and a proposed method to some graphic images, the proposed method generated curves that average MAE was 1.940 pixels. In particular, our method with MAE of 1.240 on real map image was superior than the others. Also by generating new curves with neighbors-resembled appearance, the contours were reconstructed seamlessly.

■ keyword : | Polar-coordinates Transformation | Linear Interpolation |

1. 서론

국토의 자원 관리 및 효율적 활용을 위한 지리 정보 시스템(GIS)의 중요성은 인터넷 및 이동 통신 등의 디지털 기술의 발달과 더불어 증가하게 되었다. GIS는 사용자 하여금 대량의 공간 정보를 수집, 운영 및 분석할 수 있게 하는 시스템으로, 교통, 도시 계획, 그리고 공공 설비 운영과 같은 많은 분야에 응용될 수 있다[1].

국내에서도 도심지역에 대한 수치지도화 대책 사업이 진행되어 대부분의 도시 지역에 대한 디지털 지도가 구축되었다. 그러나, 국토의 70%를 차지하는 산악지에 대한 디지털화는 그 활용성에 비해 현재 매우 미진한 상태이다[2,3].

GIS의 구축에 있어서 핵심은 지형·지물 및 지리 정보를 표현하는 공간 정보의 확보임에도 오늘날 대부분의 수치지도화는 수작업에 의존하고 있는 실정이다. 따

라서 컴퓨터를 이용하여 가능한 많은 공간 정보를 자동 인식하는 지도 인식 시스템의 개발이 요구된다[4-9].

지도 인식 시스템은 기호 인식, 등고선과 비등고선의 분할, 등고선의 재구성 등의 여러 단계의 처리과정을 요구한다. 특히, 추출된 등고선에는 기호, 고도치 숫자열, 행정 구역명 등으로 인한 끊김이 존재하게 마련이다. 따라서, 자연 지형의 속성을 반영하도록 이들 끊김을 자연스럽게 연결할 수 있는 등고선 재구성 방법이 요구된다.

추출된 등고선 성분의 재구성 방법으로는 최단 경로(shortest path) 연결, 베지어 곡선(Bezier curve), 선형 보간(linear interpolation) 등의 방법이 제안되었다. 최단 경로 연결 방법은 특정 종점에서 거리가 가장 가까운 다른 종점과 직선으로 연결하는 방법이다. 이는 등고선이 조밀한 부근에서는 인접한 다른 등고선과 연결될 가능성이 있으며, 직선 연결은 자연 지형의 특성을 반영하지 못한다. 베지어 곡선에 의한 방법은 연결이 곡선으로 생성되므로 보다 자연스러우나, 종점부분에서 취하는 제어점의 위치와 사용 함수에 따라 서로 다른 결과를 얻을 수 있다. 또한 인접 등고선과의 관계를 원천적으로 고려하지 않으므로 등고선의 재구성에는 부적합하다. 선형 보간 방법은 인접 등고선과의 관계를 고려하나, 선형 보간을 위한 가상의 직선을 선택하는 것이 쉽지 않다.

본 연구에서는 산악지의 정점 부근에서 기호나 등고치 표현으로 인하여 추출된 등고선에 존재할 수 있는 끊김을 인접 등고선과 닮은 꼴로 연결하기 위한 극좌표계 선형 보간을 제안한다.

II. 극좌표계 변환

1. 직교좌표계와 극좌표계간 관계

그림 1과 같이 직교좌표계에서 임의의 한 점은 가로축과 직교하는 x 와 세로축에 직교하는 y 좌표에 의해 (x, y) 로 표현된다.

반면, 동일한 점에 대해 극좌표계에서는 원점으로부터의 거리 r 과 각 θ 에 의해 (r, θ) 로 표현된다. 즉, 직교좌표계에서의 한 점 $C(x, y)$ 는 극좌표계에서 $P(r, \theta)$ 로 표현된다.

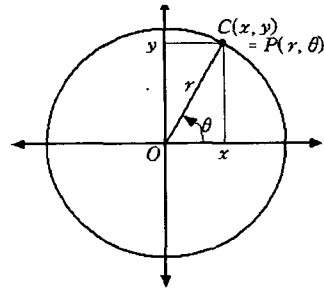


그림 1. 직교좌표계와 극좌표계간의 관계

직교좌표계에서의 임의의 좌표 x, y 에 대하여 극좌표계 변환시 대응하는 극좌표계의 좌표 r 및 θ 는 식 (1)과 같은 관계가 성립한다.

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

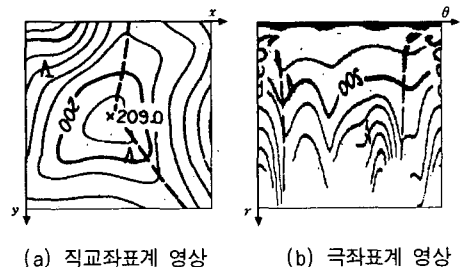
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) \quad (1)$$

또한, 극좌표계에서의 임의의 한 점의 좌표 r, θ 에 대해 대응하는 직교좌표계의 좌표 x, y 는 식 (2)와 같은 관계가 성립한다.

$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta \quad (2)$$

식 (1)을 이용하여 그림 2 (a)와 같은 직교좌표계의 영상에 대해 기호의 중심을 원점으로 하여 극좌표계로 변환하면, (b)와 같은 극좌표계 영상 결과를 얻는다. 역으로 식 (2)에 의해 그림 2 (b)의 영상을 직교좌표계로 역변환하여 그림 2 (a)를 얻을 수 있다.

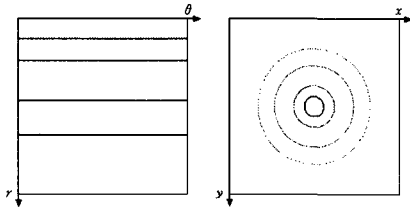


(a) 직교좌표계 영상 (b) 극좌표계 영상

그림 2. 극좌표계 변환

2. 극좌표계 처리 특성

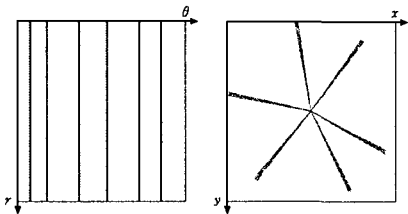
그림 3과 같이 극좌표계에서의 수평선은 직교좌표계에서 동심원 형태로 나타난다. 직교좌표계에서 원점을 기준으로 동일한 거리를 접근하려면, 극좌표계에서 특정 r 에 대한 접근만으로 가능하다.



(a) 극좌표계 영상 (b) 직교좌표계 영상

그림 3. 수평선에 대한 직교좌표계 결과

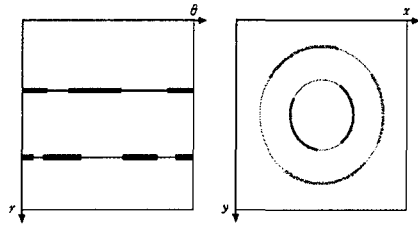
그림 4와 같은 수직선은 직교좌표계에서 원점을 기준으로 방사 방향의 직선이다. 즉, 직교좌표계에서 사선방향으로의 처리나 접근은 극좌표계에서 θ 축의 접근만으로 처리가 가능하다.



(a) 극좌표계 영상 (b) 직교좌표계 영상

그림 4. 수직선에 대한 직교좌표계 결과

특히, 이와 같은 특성으로 인하여 극좌표계에서의 선형 처리는 직교좌표계에서의 비선형 처리 효과를 주며, 직교좌표계에서의 처리보다 연산 복잡도를 줄이는 이점을 제공한다. 즉, 그림 5의 (a)와 같이 극좌표계에서 끊어진 부분(가는 선)을 선형 보간하여 연결하고, 이를 다시 직교좌표계로 변환하면 (b)와 같이 보간된 부분은 곡선으로 표현된다.



(a) 극좌표계 영상 (b) 직교좌표계 영상

그림 5. 극좌표계에서의 보간 효과

III. 극좌표계 선형 보간

1. 제안 방법의 처리 흐름도

등고선 성분의 재구성과 관련하여 산악지의 등고선 성분은 정점을 중심으로 방사형의 구간에서 근사적으로 유사한 외형을 가진다. 따라서 이러한 특성을 반영하여 등고선을 재구성하기 위해 본 연구에서 제안한 극좌표계 선형 보간의 처리 흐름도는 그림 6과 같다. 입력되는 등고선 성분 영상은 길이임계화에 의해 추출된 것으로 고도치영역이나 행정구역명에 의해 끊어진 등고선 성분을 포함하는 영상으로 가정한다.

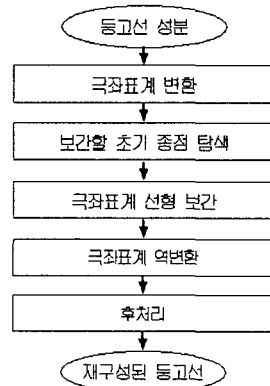


그림 6. 극좌표계 선형 보간의 처리 흐름

2. 극좌표계 변환

우선, 인식된 주요 기호의 중점을 원점으로 하여 극좌

표계 변환한다. 구형 환경에서의 좌표계 특성상 $\theta=0$ 는 원점으로부터 우측 방향으로의 직선이며, θ 값이 증가함에 따라 시계 방향으로 변환이 이루어진다. 따라서 극좌표계 변환 결과는 그림 7의 (a)와 같이 나타난다. 처리의 편의를 위해 이 결과에 대해 θ 를 180만큼 이동(shift)함으로써 (b)와 같이 끊김이 있는 부분을 극좌표계 영상의 θ 축 중앙에 위치시킨다.

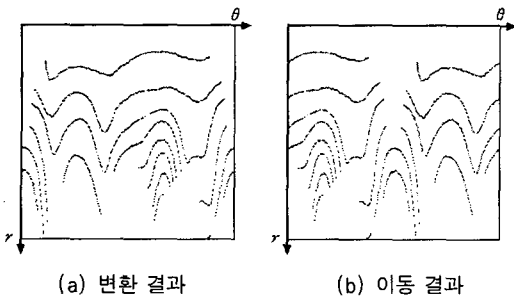


그림 7. 극좌표계 변환 및 이동 결과

3. 초기 종점 탐색

보간을 위해서는 서로 보간할 인접한 두 종점의 초기 위치를 탐색하여야 한다. 그림 8과 같이 고도치 영역으로 인하여 끊김이 발생하는 부분은 극좌표계 영상의 중앙에 위치하고, $\theta=180$ 을 기준으로 좌우에 각 등고선 성분의 연결할 종점들이 위치한다. 따라서 $\theta=180$ 을 기준으로 r 축 상의 화소들을 검사하여 흑화소를 만나면, 원점부터 흑화소를 만난 r 좌표까지 θ 를 감소하면서 흑화소를 만나는지 탐색한다. 만일 흑화소를 만나면, 좌측에 위치하는 하나의 종점을 찾은 것이며, 그때의 r 좌표는 다음의 종점을 탐색하기 위한 최대범위의 r 값이 된다. 이와 같은 과정으로 좌측의 종점들을 탐색을 마치면, 우측에 대해서도 동일한 과정을 거쳐 우측의 종점 좌표들을 구한다. 검색된 순서에 의한 좌우측 종점들을 짝지우면, 보간을 위한 초기의 종점 쌍을 얻게 된다. 그림 8에서 점선으로 표시된 영역은 각 종점을 탐색하기 위한 탐색 영역을 나타낸다.

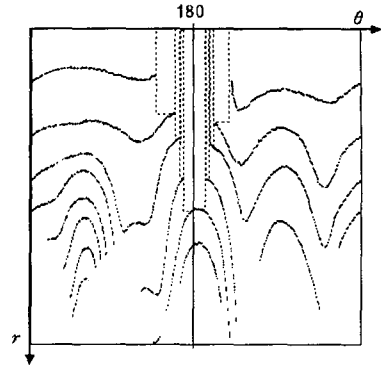


그림 8. 보간을 위한 초기 종점 탐색

4. 극좌표계 선형 보간

극좌표계 선형 보간은 그림 9에서 극좌표계 영상에서 i 번째 등고선의 L_n 과 R_n 의 두 종점을 연결하는 선분을 생성하는 것이다. 즉, 보간된 선분을 구하는 과정은 C_θ 축에서의 r 값인 C_{n_i} 을 구하여 해당 좌표에 흑화소를 생성하는 것이다. 두 종점의 θ 값은 각각 L_θ , R_θ 이며, 두 종점의 중앙위치의 θ 좌표인 C_θ 는 식 (3)과 같이 결정한다.

$$C_\theta = L_\theta + \frac{R_\theta - L_\theta}{2} \quad (3)$$

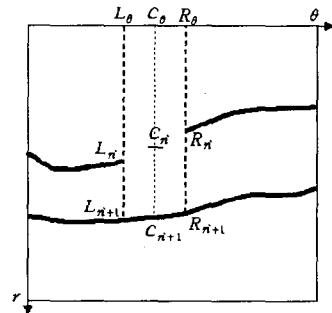


그림 9. 극좌표계 선형 보간

C_{n_i} 은 연결할 선분 i 에 대한 두 종점의 r 에 대한 좌표를 알고 있고, r 축 방향으로 연장하여 $i+1$ 선분과 만나는 흑화소로부터 L_{n+1} 과 R_{n+1} 의 좌표를 얻을

수 있다. 또한 C_θ 에서 r 축 방향으로 주사하여 $i+1$ 선분과 만나는 흑화소로부터 C_{ri+1} 을 구할 수 있다. 식 (4)와 같이 좌측 종점에서 i 번째 선분과 $i+1$ 번째 만나는 선분간의 원점에서의 거리인 L_{ri} 과 L_{ri+1} 의 거리비와 우측 종점에 대한 R_{ri} 과 R_{ri+1} 간의 거리비 평균을 이용하여 C_{ri+1} 값과 곱연산을 함으로써 C_{ri} 값을 계산한다. 이와 같은 과정을 통하여 결정된 좌표 (C_θ, C_{ri})에 흑화소를 생성한다.

$$C_{ri} = \frac{\frac{L_{ri}}{L_{ri+1}} + \frac{R_{ri}}{R_{ri+1}}}{2} \times C_{ri+1} \quad (4)$$

동일한 극좌표계 선형 보간은 다시 L_θ 와 C_θ 를 연결할 두 종점으로 하여 동일한 극좌표계 선형 보간 처리를 적용한다. 또한 C_θ 와 R_θ 를 연결할 두 종점으로 간주하여 극좌표계 선형 보간한다. 이와 같은 방식으로 궤환하여 보간처리를 반복한다. 이러한 궤환 처리의 종료시점은 두 종점간의 거리가 1과 같거나 작을 때로, 식 (5)와 같이 정의한다. 따라서 초기의 연결할 두 종점간의 모든 θ 에 대해 처리가 되므로 최종 결과는 생성된 화소들로 구성되는 하나의 선분을 형성하게 된다.

$$R_\theta - L_\theta \leq 1 \quad (5)$$

이제 하나의 등고선 성분을 연결하였으므로 원점에 보다 가까운 $i-1$ 번째의 끊어진 등고선에 대해서도 동일한 처리 방법을 적용하여 다른 등고선에 대해서도 연결을 수행한다.

그림 10은 끊김을 가지는 그래픽 영상에 대해 극좌표계로 변환한 영상과 극좌표계 선형 보간에 의해 끊어진 부분에 곡선이 생성된 결과를 나타낸다.

5. 극좌표계 역변환

극좌표계 변환시에 θ 를 180만큼 이동하였으므로, 동일한 크기만큼 역으로 이동시킨 후에, 직교좌표계로 변환하여야 한다.

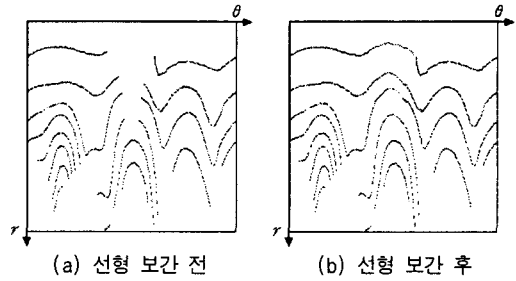


그림 10. 극좌표계 선형 보간 결과

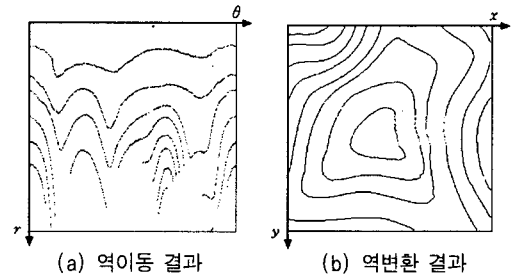


그림 11. 극좌표계 역변환 결과

그림 11에서 (a)는 극좌표계 선형 보간된 영상을 역으로 이동시킨 결과이며, (b)는 (a)에 대해 직교좌표계로 역변환한 결과를 나타낸다.

6. 후처리

극좌표계 선형 보간 후에 직교좌표계로 역변환하면, 원점으로부터 거리가 멀어질수록 각 화소들은 성기게 나타난다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 흑화소에 대한 팽창 형태처리를 수행하여 성긴 부분을 메우고, 세선화 처리를 수행함으로써 단일 화소의 연결된 등고선을 생성한다. 그림 12는 후처리 전후의 결과를 나타낸다.

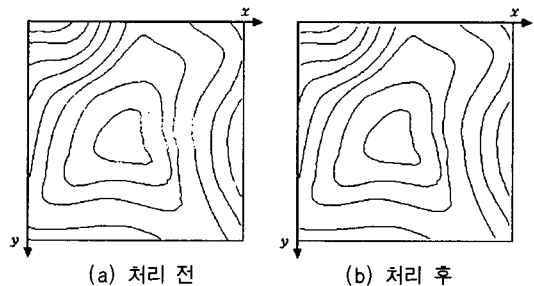


그림 12. 후처리 결과

IV. 실험 및 결과 고찰

1. 실험 영상

그림 13 (a)는 극좌표계 보간의 성능 평가를 위해 제작

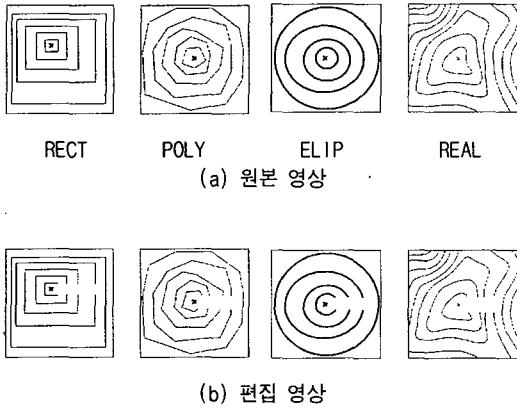


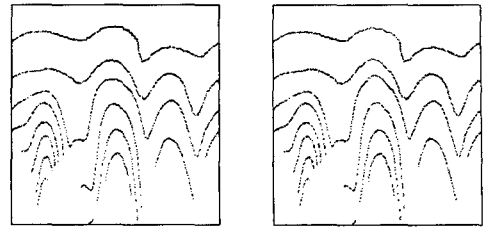
그림 13. 실험 영상

된 4종의 원본 그래픽 영상을 나타내며, (b)는 원본 영상에 대해 고도치 영역을 가정하여 원점의 우측에 굽김이 발생하도록 편집한 영상을 보여준다.

2. 성능평가

극좌표계 보간의 성능 평가는 원본 그래픽 영상에 대한 극좌표계 변환영상과 편집된 그래픽 영상의 극좌표계 선형 보간에 의해 생성된 영상을 대상으로 보간에 의해 생성된 구간에 대해서 MAE(mean absolute error)로 평가한다. MAE는 기준 화소와 생성된 화소간의 거리오차를 화소단위로 표현한 것이다. 그림 14의 (a)는 원본 그래픽 영상에 대한 극좌표계 변환 결과 영상이며, (b)는 편집된 그래픽 영상을 극좌표계 변환한 후, 극좌표계 보간에 의해 생성된 결과 영상이다.

MAE는 오차의 발생 정도를 평가하는 것으로 동일한 θ 에 대하여 원본 영상의 화소 r_{ib} 과 생성된 화소 r_{os} 간의 차를 이용하는 식 (6)과 같이 정의된다. θ_s 와 θ_e 는 보간할 두 종점의 θ 를 의미한다.



(a) 원본 영상 (b) 편집 영상

그림 14. 성능 평가를 위한 대상 영상

$$MAE = \frac{\sum_{\theta=\theta_s}^{\theta_e} \sqrt{(r_{ie} - r_{os})^2}}{\theta_e - \theta_s} \quad (6)$$

표 1은 4가지 그래픽 영상에 대하여, 기존 방법들과 제안 방법의 MAE 평가 결과를 나타낸다.

표 1. MAE(단위:화소)

구 분	최단거리	베지어곡선	선형보간	제안방법
RECT	0.223	2.415	0.250	0.630
POLY	2.516	1.084	4.026	2.989
ELIP	3.526	2.703	3.584	2.915
REAL	1.900	2.329	2.579	1.240
평 균	2.04	2.13	2.61	1.94

3. 결과 고찰

4종의 그래픽 영상에 대한 극좌표계 선형 보간의 성능을 평가한 결과, 등고선 영상의 경우 직교좌표계에서 원점으로부터 방사방향의 직선상에서 평균적으로 1.240 화소 정도의 거리상 오차가 있는 것으로 나타났다. 이는 실제의 등고선 재구성에 적용될 때에도 유사한 정도의 거리오차를 가질 것으로 추정된다.

또한 다른 방법과 달리 제안된 극좌표계 보간은 동일한 범위의 θ 에 대하여 생성되는 원점에서의 각 거리에 따른 부채꼴의 호의 외양이 닮은 꼴로 생성된다는 것이다. 이는 산악지의 자연 지형이 정점을 중심으로 방사방향으로 닮은 꼴을 형성하는 것과 동일한 현상을 주므로 실제의 등고선 재구성에 있어서 제안된 극좌표계 방법이 효

과적임을 알 수 있다.

V. 결론

본 연구에서는 등고선 영상의 정점근방에서 발생하는 끊김을 연결하기 위한 재구성 방법으로 극좌표계 선형 보간을 제안하였다.

제안한 극좌표계 선형 보간의 성능을 평가하기 위해 4가지의 그래픽 영상에 대해 평균 거리 오차인 MAE를 적용한 결과, 1.940화소로 2화소 미만의 오차 이내에서 선분을 생성할 수 있었으며, 특히 실제의 등고선 영상에 대해서는 1.240화소의 거리 오차로 등고선 성분을 재구성하는 것을 관찰할 수 있었다. 획득된 지도 영상에서 등고선의 두께가 약 3~5화소인 점을 감안할 때, 생성된 화소들은 상당히 일치한다고 볼 수 있다. 비록 극좌표계 선형 보간은 변환 및 역변환의 부담은 있지만, 극좌표계의 특성으로 인하여 그 처리가 단순하다는 이점을 가진다. 또한, 인접 등고선과 닮은 꼴의 곡선을 생성하기 때문에 자연스러운 결과를 생성하는 것을 확인할 수 있었다.

향후, 정상 근방 이외 영역에서의 등고선 재구성에 관한 보완 연구를 통해 보다 현실적인 지도 인식 시스템으로의 전개가 필요하다.

and Edu., Vol.4, No.1, pp. 237-251, 1997.

- [5] 이진선, "3차원 지형 자료 획득을 위한 지도 영상 분석", 한국컴퓨터그래픽스학회 논문집, 제2권, 제1호 pp. 68-76, 1996.
- [6] H. Yamada et al., "Directional Mathematical Morphology and Reformalized Hough Transformation for the Analysis of Topographic Maps," IEEE PAMI, Vol.15, No.4, pp. 380-387, 1993.
- [7] M. P. Deseilligny, R. Mariani., "A Three Year Project on Topographic Maps Interpretation," In Proc. of the 2nd IAPR Workshop on Graphics Recognition, pp. 160-167, 1997.
- [8] S. Suzuki, T. Yamada, "MARIS:Map Recognition Input System," Pattern Recognition, Vol.23, No.8, pp. 919-933, 1990.
- [9] 박천주, 오명관, 전병민, "등고선 추출을 위한 적응적 길이 임계화", 한국콘텐츠학회논문지, 제3권, 제4호, pp. 23-29, 2003.

참고 문헌

- [1] Jeffrey Star, John Estes, "Geographics Information System," Prentice-Hall, Inc., 1990.
- [2] 정보과학회, 정보과학회지(GIS 특집), 제13권, 제3호, 1995.
- [3] C. Zhou, "Map Recognition for Automatic Information Generation in an AM/FM System," Intelligent Information Systems, IIS '97. Proceedings, pp. 376-380, 1997.
- [4] C. J. Park, J. H. Lee, "An Acquisition of Height Value at Arbitrary Points on Contour Line Map," F. R. Korea University of Tech.

저자 소개

박 천 주(Cheon-Joo Park)

정회원

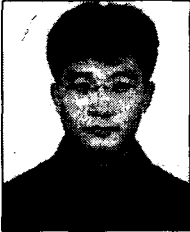


- 1991년 : 충북대학교 전산기공학과(공학사)
- 1993년 : 충북대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
- 2003년 : 충북대학교 컴퓨터공학과(공학박사)

• 1999년~현재 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 기술연구원
<관심분야> : 패턴인식, 영상처리, 컴퓨터비전

황 동 국(Dong-Kuk Hwang)

정회원



- 1998년 : 충북대학교 컴퓨터공학과(공학사)
- 2000년 : 충북대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
- 2003년 : 충북대학교 컴퓨터공학과(공학박사수료)

• 2002년~현재 : 백석대학 컴퓨터정보과 강의전담교수
<관심분야> : 음성인식, 영상처리, 컴퓨터비전

전 병 민(Byung-Min Jun)

종신회원



- 1976년 : 한국항공대학교 전자공학과(공학사)
- 1978년 : 연세대학교 전자공학과(공학석사)
- 1988년 : 연세대학교 전자공학과(공학박사)

• 1986년~현재 : 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수
<관심분야> : 디지털신호처리, 디지털영상처리