

지리 정보 추출의 자동화 알고리즘

오 석*

Algorithm for Automatic Interpretation of Cartographic Information

Suk Oh*

요 약

본 논문에서는 프랑스의 국립지도협회(I.G.N)에서 제공한 디지털 지도로부터 지리 정보를 추출하여 각 지역을 자동적으로 구분하는 알고리즘을 제안하였다. 프랑스의 국립지도협회의 지도는 색깔이 다른 4가지의 레이어로 구성되어 있다. 그 중 녹색 레이어는 숲, 과수원, 포도나무 지역 등 산림 지대를 포함하고 있으며 이 레이어를 표기하는 기호는 규칙적으로 배열되어 있으며 방향성이 있는 표면결 영상이다. 본 논문에서는 이 녹색 레이어만을 다루었으며 영상의 지역 구분 알고리즘으로는 표면결 분석 기법을 적용하였다.

Abstract

This paper is keeping with the general pattern of automatic acquisition and interpretation of geographical digital data. Maps of the Institut Geographique National of France are built up with four so-called "mother" maps represented by four colors. The green one deals with the vegetation. In a green layer, woods, bushes, vines, fields and boundaries of domanical forests or nature reserves are represented by different synthetic textures. We present here an original method of texture analysis applied to the automatic interpretation of vegetation belts.

* 용인송담대학 멀티미디어과 조교수

I. 서론

수십 년 전부터 거의 모든 나라에서 정부 주도하에 종이로 된 지도를 편찬하고 있으며 최근에는 인간의 생활 범위가 크게 넓어져 지형도, 지적도, 관광 안내도, 버스 노선도, 기상도 등 여러 가지 종류의 지도 제작이 요구되고 있다. 또한 멀티미디어 데이터 베이스등의 기술 발전과 현 시대에서의 정보화 요구에 의하여 이러한 종이 지도를 수치 지도로 변환하여 전자지도나 지리정보시스템 (GIS) 등에 이용하고 있다. GIS의 데이터베이스 구축을 위한 데이터의 수집은 항공 사진이나 인공위성 사진 분석 방법과 스캐닝 된 지도로부터 지리적 정보를 얻는 방법 등이 동원된다. 이렇게 습득한 지도 정보는 도시계획, 환경분석, 재난예측 등 공공 부문의 의사 결정의 분석 작업에서 소풍지 모색, 관광지 사전 답사, 기지국 설계 등 민간 부문에 이르기까지 다방면에서 이용되고 있으며 나날이 그 중요성도 점차 증대되고 있다.

본 논문은 프랑스의 I.G.N (Institut Geographique National, 국립 지도 협회)에서 제공된 수치 지도로부터 지리 정보를 추출하고 각 지역을 자동으로 구분하는 방법을 연구하였다. 이러한 지도의 분석 작업은 일차적으로는 GIS의 DB 구축에 이용될 수 있을 뿐만 아니라 다시 지도 제작의 자료로써도 이용되기도 하며 항공 사진 연구에도 보조 자료로써 제공된다. 또한 지도 분석 방법이 항공사진 분석 작업보다 기술적 접근이 상대적으로 더 쉽다는 이점도 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문의 대상인 I.G.N 지도의 구성에 대해 서술하고 3장에서는 본 논문의 핵심인 I.G.N 지도의 분할 알고리즘의 두 단계인 필터와 분할 단계를 자세하게 서술하였다. 4장에서는 실험 결과를 보여주고 5장에서 결론을 맺었다.

II. I.G.N 지도의 구성

프랑스 I.G.N의 지도는 지리적 특징에 따라 4개의 레이어로 제작되며 각 레이어마다 자기 다른 색으로 구분된다. I.G.N 지도의 각 레이어는 다음과 같다.

- (1) 첫 번째 레이어: 숲, 포도나무 밭, 가시덤불 밭, 밀밭, 과수원, 자연 공원 등의 산림지대로 이루어지며 이 레이어는 녹색의 색깔로 표시되어 녹색 층이라고도 함
- (2) 두 번째 레이어: 하천, 강 등을 포함한 각종 수로 지대이며 파란색으로 표시되어 파란색 층이라고 함
- (3) 세 번째 레이어: 검은색으로만 표시되며 검은색 층이라고 하며 지도의 기호나 건물, 모든 도로를 포함한 레이어임
- (4) 네 번째 레이어: 오렌지 색으로 산악지 등고선 등을 포함한 레이어임

위의 각 레이어마다 분석하는 방법과 분석의 결과도 자기 다르나 실제적으로 지도 분석은 세 번째 레이어인 검은색 층인 도로에 대한 연구가 가장 활발하게 진행되고 있으며[1][2] 우리 나라에서도 도로 인식에 대한 연구[3]가 진행되고 있다.

본 논문에서는 첫 번째 레이어인 산림지대를 포함하고 있는 녹색 층만을 다룬다. 지금까지 이 녹색 레이어의 각 지역을 구분하기 위해 상관관계 기법(correlation)이나 패턴 인식을 이용해 왔다[2]. 그러나 본 논문에서는 표면 결 분석 기법을 이용하여 녹색 레이어의 각 지역을 구분 분할하는 방법을 연구하였다.

초록색 레이어에서의 주요 지역은 포도나무 지역, 과수원 지역, 숲 지역, 밭 지역, 도로 지역 등 크게 5 지역으로 구성되어 있다. 각 지역을 표시하는 기호는 지도 제작의 규칙을 위해 제한되어 있으나 모든 지도에서 항상 같은 기호로 사용되지는 않는다. 그러나 일반적으로 그림 1에서처럼 과수원 지역은 여러 개의 작은 원으로 되어 있으며 포도나무 지역과 숲 지역은 빗금친 사선으로 되어 있지만 방향이 반대로 되어 있으며 사선 위에 다른 기호

가 첨가되기도 한다. 예를 들어 숲 지역은 나무 기호가 사선 위에 표시되기도 한다. 밭 지역은 짧은 수직선으로 구성되어 있으며 표시가 전혀 없이 하얀 색으로만 표현되는 도로 지역도 이 초록색 층에 포함되어 있다.

녹색 레이어의 각 지역을 표시하는 기호는 규칙적이고, 주기적이며 방향성을 가지고 있다. 이와 같은 영상은 일종의 표면결(texture) 영상이다. 지난 30년동안 항공 사진, 위성 사진, 의료 영상 사진 등 다양한 종류의 영상 분석을 위해 표면결 분석 기술이 도입되어 왔다. 그런데 표면결 영상 분석에서는 특정 표면결을 다른 표면결과 구분해 주는 적절한 특성치(feature)를 정의하고 실험 대상의 표면결에 따라 적절한 특성치를 사용하는 것이 매우 중요하다. Haralick이 co-occurrence matrix를 이용하여 여러 개의 특성치를 제안(4)하는 등, 지금까지 많은 연구들이 새로운 특성치의 추출 방법들을 제시하였다. 본 논문에서는 녹색 레이어를 분할하기 위하여 새로운 특성치로서 페이즈를 제안하였다.

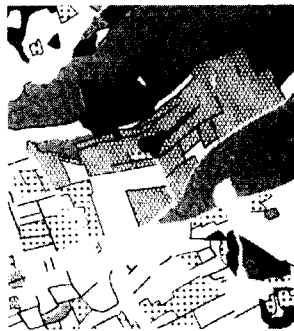


그림 1. Noves의 녹색 레이어

III. 녹색 레이어의 분할 알고리즘

본 논문에서는 I.G.N 지도에서 녹색 레이어의 각 지역을 구분하기 위하여 Gabor 필터를 사용하였다. 인간 시각 시스템의 시각 피질의 단순 세포의 반응과 일치한다(5)고 알려진 Gabor 필터는 지난 10년 동안 표면결 영상 분할과 관련한 논문들(6~10)에서 그 성과의 탁월함과 우수성을 보여 주었다. 다음 절에서는 본 알고리즘의

두 단계인 필터와 분할 단계이다.

1. 필터 단계

Gabor함수는 부호가 다른 두 개의 가우시안(gaussian)함수에 의해 변조되는 정현함수로 공간영역에서는 complex 값을 갖는 반면 주파수영역에서는 가우시안함수로 실수값을 갖는다. 우리는 시스템 적용의 시간을 절약하기 위해 Gabor 필터 적용을 주파수영역에서 실행한다. 이는 두 함수간의 컨볼루션(convolution)이 주파수영역에서는 간단하게 곱으로 표현되기 때문이다. 2차원 영상을 위한 Gabor 필터의 정의는 1차원 Gabor함수가 주파수영역에서 가우시안 함수이므로 주파수와 방향의 2개의 매개변수를 각각 독립된 1차원 가우시안 함수로 정의하여 곱한다. 따라서 영상의 2차원 성질을 만족하는 필터를 다음처럼 정의한다.

$$F_{\rho_{mi}, \theta_{mj}}(\rho, \theta) = F_{\rho_{mi}}(\rho) * F_{\theta_{mj}}(\theta) \quad 1$$

위 수식 1에서 ρ 는 주파수, θ 는 방향을 의미하고 ρ_{mi} 와 θ_{mj} 는 각기 (i,j) 필터의 i번째 최적 주파수와 j번째 최적 방향을 의미한다. i와 j의 범위는 $0 \leq i \leq M-1$ 와 $0 \leq j \leq N-1$ 로 M과 N은 각기 적용할 필터의 최적 주파수 숫자와 최적 방향의 숫자를 의미한다. 따라서 적용될 필터의 수는 당연히 $P=M*N$ 으로 P개이다.

또한 수식 1에서는 각 주파수와 방향을 위한 필터를 정의해야 한다. 먼저 방향을 위해 선택된 필터는 다음과 같이 가우시안 함수이다.

$$F_{\theta_{mj}}(\theta) = \exp\left[-\frac{(\theta - \theta_{mj})^2}{2\sigma_{\theta}^2}\right] \quad 2$$

식 2에서 σ_{θ} 는 가우시안 함수의 크기를 결정하는 매개변수이다. 주파수를 위해 선택된 필터에 대한 1차원 가우시안 함수는 수식 2와 유사하게 정의하면 된다. 필터 적용에 필요한 각 매개변수는 Shannon의 정리와 아래와 같은 시세포 성질의 조건에 만족하도록 추론하여 정의한 것을 사용하였다.

- 각 필터는 하나의 주파수와 하나의 방향에 선택적으로 반응한다.
- octave로 표현되는 공간 주파수 대역의 넓이는 최적 주파수 주위에 1 octave씩 배열되며 항상 일정하다.
- 주파수의 영역은 6 octave 이내에 존재한다.
- 방향도 주파수와 같이 대역의 넓이가 상수 값을 갖는다.

우리는 최적 주파수 u_{mi} 의 접점에서 방향 θ_{mj} 이 0 인 곳에 극좌표로 표현된 수식 2를 직교 좌표에서는 아래와 같은 식으로 근접하게 표현할 수 있다.

$$F_{v_m}(v) = \exp\left[\frac{-v^2}{2\sigma_v^2}\right] \quad 3$$

수식 3의 σ_v 는 아래에서와 같이 방향의 대역 B_θ 와 최적 주파수 u_{mi} 로 이루어진다.

$$\sigma_v = \frac{u_{mi} \operatorname{tg}\left(\frac{B_\theta}{2}\right)}{\sqrt{2 \log_e(2)}} \quad 4$$

Fourier 영역에서의 수식 3을 다시 역 Fourier 변형을 하면 공간영역에서 아래와 같은 수식으로 표현된다.

$$f_{v_m}(y) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi\sigma_y^2)}} \exp\left[\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right] \quad 5$$

수식 5의 $\sigma_y = 1/(2\pi\sigma_v)$ 이다. 위와 같은 근접식은 공간영역에서와 같이 주파수 영역에서 분리할 수 있는 직교 좌표의 2차원 필터를 표현할 수 있다.

$$f_{u_m}(x) = \sqrt{\frac{1}{2\pi\sigma_i^2}} \exp\left[\frac{-x^2}{2\sigma_i^2}\right] \exp(j2\pi u_m x) \quad 6$$

위 수식 6의 Fourier 변형은 아래와 같이 가우시안 형태를 갖는다.

$$F_{u_m}(u) = \exp\left[\frac{-(u - u_{mi})^2}{2K_i^2}\right] \quad 7$$

수식 7의 $K_i = 1 / (2\pi\sigma_i)$ 이다.

2. 분할 단계

필터는 처음 입력으로 들어온 실수 값을 갖는 영상데이터를 허수 값으로 이루어진 새로운 수치군으로 변형시킨다. 이 값으로부터 전형적으로 계산되는 특성치는 모듈(module)과 페이즈(phase)이다. 사실 새로운 표면결 분석 기법은 대부분이 새로운 알고리즘의 개발이라기보다 이러한 새로운 표면결 특성치 개발에 더욱 중점을 두고 있다. 이런 면에서 논문[6~10]은 Gabor 필터를 적용하여 얻어지는 특성치인 모듈과 페이즈에 많은 관심을 가지고 있으며 여러 가지 접근 방식의 실험을 제시하고 있다. 본 논문은 페이즈를 특성치로 사용한다.

모듈은 표면결 분할을 위한 특성치로서 많이 사용되어 왔으나 페이즈는 거의 사용되지 않았다. 그러나 페이즈정보가 입력된 디지털 영상의 각 포인트의 위치와 두 포인트간의 거리에 대한 정보를 포함하고 있음이 수학적으로

증명된 이후 페이즈정보를 영상의 재생에 이용하는 논문들이 발표되기 시작하였다. 반면에 표면결 분할과 분류에서는 페이즈가 유용한 정보로써 사용될 수 없다고 알려져 왔다. 그러나 Du Buf[7] 와 Bovic[8]이 second order statistics가 같은 표면결들로 이루어진 실험 영상에서 표면결 분할을 위한 특성치로서 페이즈가 유용하다는 것을 입증했다.

전통적으로 페이즈는 탄젠트의 역함수를 적용해서 얻어지는데, 이 역탄젠트 오퍼레이터는 페이즈($\varphi_{v.p}(x,y)$)의 값을 $-\pi/2$ 와 $\pi/2$ 사이의 값만을 가지게 한다. 역탄젠트 오퍼레이터에서 분모와 분자의 부호를 아래와 같이 이용하면 이 한정된 범위를 $(-\pi, +\pi)$ 까지 확장할 수 있다.

$$\begin{aligned} a \geq 0, b > 0 \text{ 이면 } \operatorname{arctg}(a/b) &= \varphi_{v.p}(x,y) \\ a \geq 0, b < 0 \text{ 이면 } \operatorname{arctg}(a/b) &= \pi - \varphi_{v.p}(x,y) \\ a < 0, b < 0 \text{ 이면 } \operatorname{arctg}(a/b) &= \pi + \varphi_{v.p}(x,y) \\ a < 0, b > 0 \text{ 이면 } \operatorname{arctg}(a/b) &= 2\pi - \varphi_{v.p}(x,y) \end{aligned}$$

그러나 아무리 확장을 해도 이렇게 구한 페이즈 값은 $(-\pi, +\pi)$ 의 한계를 벗어날 수 없으며, 이것은 $\pm\pi$ 값만큼의 페이즈의 불연속을 낳게 되어 정보를 왜곡시킨다. 이러한 페이즈($\varphi_{v.p}(x,y)$)를 wrapped 페이즈라 한다. 반면에 왜곡되지 않은 연속된 페이즈, 즉 $(-\infty, +\infty)$ 의 범위를 갖는 $\varphi(x,y)$ 를 unwrapped 페이즈라 한다. 불연속 속성을 지닌 wrapped 페이즈로부터 연속적 함수로 표현되는 unwrapped 페이즈를 구하기 위해서는 unwrapping이라는 과정이 필요하다[11]. unwrapping을 위해 수많은 방법들[5]이 제안되어 왔으나 보편적 방법으로는 불연속이 발생하는 그 지점에서 2π 를 더해주거나 빼주는 방식을 택한다.

unwrapping을 한 페이즈는 선형 요소(linear part)와 부분 요소(local part)로 구성되어 있으며 그 중 부분 요소만이 표면결 분할에 유용한 정보를 가지고 있다. 이 부분 요소를 어떤 방법으로 구하느냐에 따라 적용 가능한 표면결 유형이나 계산속도 또는 결과의 유용성이 결정된다.

Du Buf[7]은 표면결 영상의 분할을 위해 부분 페이즈(local phase)를 사용하였다. 그러나 $a=b=0$ 인 페이즈가 정의되지 않는 제로점의 존재는 unwrapping 접근 방식을 어렵게 만들고, 제로점이 많을 경우 unwrapping은 거의 불가능하다. 게다가 이들 시스템은 수평과 수직 방향의 필터만을 적용할 수 있는 단점이 있으며 이들은 second order statistics의 영상 이외에는 페이즈 정보

의 유용성을 실험하지 못했다.

또 다른 접근 방식으로 표면결 영상의 분할을 위해 부분 페이지를 사용한 논문(10)에서는 unwrapped 페이지와 선형 요소의 차이를 최소화시킨 최소자승법을 이용하였다. 이 접근 방식은 직접 unwrapped 페이지로부터 선형 요소를 계산하여 제거함으로써 표면결 영상의 분할에 필요한 부분 요소를 구하였다. 그림 2-1과 같은 second-order statistics이 같은 표면결 영상의 분할에 이들 페이지의 부분 요소를 이용하여 그림 2-2와 같은 결과를 얻었다. 이 논문들(6)(7)(8)(10)은 페이지가 표면결 특성치로서의 유용성을 보여주었다.

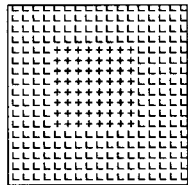


그림 2-1. 25x25로 구성된 실험 원본 이미지



그림 2-2. (그림2-1)의 실험 결과 이미지

위의 방법 역시 unwrapping 절차가 필요하기 때문에 재로점이 많을 경우 부분 요소를 구하기 힘들다. 따라서 표면결의 구성 요소인 texel의 정확한 배열과 잡음이 없는 영상인 경우에만 표면결 영상 분할이 가능하다.

본 논문의 실험 대상인 녹색 레이어는 구성 요소인 texel의 배열 규칙이 어느 정도 일정하지는 않지만 그림 2에서 처럼 정확하지는 않기 때문에 부분 페이지로 표면결 특성치로 사용하기는 힘들다. 따라서 본 논문에서는 unwrapping process를 피하면서 정확하고 유용한 페이지를 구할 수 있는 페이지 미분방식을 선택했다. 페이지를 계산하는 오페레이터인 역탄젠트함수를 직접 미분함으로써 필터링의 결과에서부터 직접적으로 페이지를 계산하여 표면결 영상을 분할하기 위한 특성치를 추출할 수 있다.

$$\varphi_x(x, y) = \frac{Im[i_1^*(x, y) \cdot i_{1x}(x, y)]}{|i_1(x, y)|^2} \quad 8$$

$i_{1x}(x,y)$ 는 필터를 적용한 결과 영상 $i_1(x,y)$ 를 x 로 미분한 함수이고 $i_1^*(x,y)$ 는 결과 영상의 conjugate이다. 따라서 우리가 제안한 표면결 특성치로써 사용하는 페이지는 수식 8의 $\varphi_x(x,y)$ 과 y 축으로 미분한 $\varphi_y(x,y)$ 의 합으로 필터의 방향을 θ 로 적용하며 수식은 다음과 같다.

$$D_\theta[\varphi(x, y)] = \varphi_x(x, y) \cos \theta + \varphi_y(x, y) \sin \theta \quad 9$$

위 수식 9에서 구한 표면결 특성치는 한 픽셀당 P 개의 특성치 벡터를 이룬다. 이 특성치 벡터를 가지고 클러스터링(clustering)을 적용하여 녹색 레이어의 각 지역을 분할한다.

IV. 실험 결과

실험 대상은 프랑스의 국립지도협회(I.G.N)에서 제공한 Provence의 Noves 지역의 녹색 레이어이다. 제안된 알고리즘에서는 영상이 큰 경우 처리가 어려우므로 그림 1의 Noves의 녹색 레이어 영상으로부터 작은 부분씩 잘라서 실험하였다. 여러 부분을 잘라서 실험하였으나 본 논문에서는 2가지 실험 영상만을 실험했다.

영상의 색에 대한 정보도 영상을 분석하는데 중요한 정보로써 작용한다. 하지만 본 논문에서 사용한 실험 영상은 색에 대한 정보가 영상을 분석하는데 어떠한 정보도 제공하지 못하기 때문에 256 명암도 수치(gray level)로 표현된 영상을 사용하였다. 결과 영상은 분할된 각 지역마다 다른 색으로 표현하였는데 위에서 제시한 알고리즘의 성과를 보여준다.

하나의 필터만을 적용해서는 좋은 결과를 얻지 못하여 여러 개의 필터를 적용하였다. 적용한 필터는 영상의 크기가 256 * 256 픽셀인 경우 제일 높은 주파수인 64 pixels-1과 4개의 방향 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 으로 이루어진 4개의 필터를 적용하였고 512 * 512 픽셀인 경우 제일 높은 주파수인 128 pixels-1과 4개의 방향으로 이루어진 4개의 필터를 적용하였다.

그림 3-1은 Noves의 일부분인 남동쪽 부분으로 숲과

포도나무와 밭의 세 지역으로 구성된 영상으로 크기는 256 * 256 픽셀이다. 결과 영상인 그림 3-2를 보면 숲과 포도나무 지역은 확실하게 분할되었으나 밭 지역은 지도 제작시 생겨난 노이즈(noise)가 그대로 반영되어 결과의 하단 중앙 부분의 노이즈만 다른 지역으로 구분되었다. 하지만 밭 지역이 또 다른 노이즈인 texel의 배열이 일정치 않은 하단의 왼쪽 부분은 같은 지역으로 분할되었음을 알 수 있다.

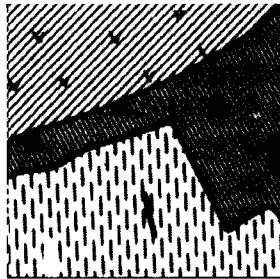


그림 3-1. Noves지역의 일부로 숲, 포도나무, 밭을 포함한 실험 원본 이미지

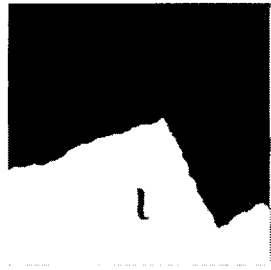


그림 3-2. (그림 3-1)의 실험 결과 이미지

그림 4-1은 Noves의 일부분인 북동쪽 부분으로 숲과 포도나무와 도로 지역의 세 지역으로 구성된 영상으로 크기는 512 * 512 픽셀이다. 결과 영상인 그림 4-2를 보면 원본 영상에서 숲과 포도나무 지역 각각에 또 다른 표시가 첨가되어 있어 결과에서도 숲 지역이 깨끗하게 분할되지 못함을 알 수 있다.

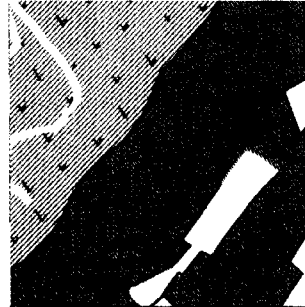


그림 4-1. Noves지역의 일부로 숲, 포도나무, 도로를 포함한 실험 원본 이미지



그림 4-2. (그림 4-1)의 실험 결과 이미지

V. 결론

본 논문에서는 프랑스의 국립지도협회(I.G.N)에서 제공한 수치 지도로부터 지리 정보를 추출하여 각 지역을 자동적으로 구분하는 알고리즘을 제안하였다. 프랑스 국립지도협회의 지도는 색깔이 다른 4가지의 레이어로 구성되어 있다. 그 중 숲, 과수원, 포도나무 지역 등 산림 지대를 나타내고 있는 녹색 레이어만을 분석하였다. 녹색 레이어의 분석을 위하여 표면결 분석 기법을 도입하였다. 또한 새로운 표면결 특성치로써 개발된 페이즈를 이용하여 녹색 레이어의 각 지역을 구분 분할하는데 성공하였다.

본 논문의 알고리즘은 문서 이미지의 영역 추출 등에 관한 분야에서도 응용이 가능하다.

참고문헌

[1] S. Airault, O. Jamet . "digital stereoplott-
ing & automatic image interpretation:
example of the road network capture
process", 7th International Cartographic
Conf., pp 1898-1908, 1995.

[2] 프랑스 국립지도협회(I.G.N), "Bulletin d'Inf-
ormation de l'IGN", p124, 1993.

[3] 장경식, 김재희, "선분들간의 관계를 이용한 지도
인식", 전자공학논문지, 제 34권, pp 89-97,
1997.

[4] R.M. Haralick, K. Shanmugan, I. Dinstein
"Textural features for image classification",
IEEE Trans. on Systems, Man and
Cybernetics, vol. 3, pp610-621, 1973.

[5] S.Marcelja, "Mathematical description of
the responses of simple cortical cells",
Journal of Optical Society of America, pp
1297-1300, 1980.

[6] A. LANDRAUD, Suk OH, "Texture segmen-
tation using local phase differences in
Gabor filtered images", Lecture Notes in
Computer Science: Image Analysis and
Processing, Springer, pp 447-452, 1995.

[7] J.M.H.Du Buf, "Gabor phase in texture
discrimination", Signal Processing, vol.
21, pp 221-240, 1990.

[8] A.C.Bovik, M.Clark and W.S.Geisler,
"Multichannel texture analysis using
localized spatial filters", IEEE Trans.
PAMI, vol. 12, pp 55-73, 1990.

[9] F.Smerlid, O.Carmona, J.Bigun, "Saccadic
search with Gabor features applied to eye
detection and real-time head tracking",
Image and Vision Computing, vol. 18,

pp323-329, 2000.

[10] 오석, "local 페이즈를 이용한 표면결 지역 분
할", '98 가을 학술 발표논문집(II), 한국정보과
학회, pp 414-416, 1998.

[11] Z.Liang, "A model-based method for phase
unwrapping", IEEE trans. on Medical
Imaging, vol. 15, pp 893-897, 1995.

저자 소개



오 석

1986. 2. 이화여자대학교 전자
계산학과(학사)

1991. 9. 파리6대학 인공지능
전공(DEA)

1995. 6. 라호셀대학 영상처리
(박사)

1986~1990 : 시스템공학연구
소 연구원

1997~2000. 2. 경인여자대학
멀티미디어 정보전산학부
조교수

2000. 3~현재 : 용인송담대학
멀티미디어과 조교수