

---

# 방향척도를 이용한 지문영상 분류에 관한 연구

김 수 겸\*

A Study on the fingerprint images classification based on the changes of direction fields of fingerprint images

S-G Kim

## 요 약

지문영상 분류는 특징을 이용하여 여러 가지 유형의 지문영상으로 분류하는 것으로, 지문영상 자동인식시스템에서 매우 중요하다. 본 논문에서는, 지문영상의 한 점에서의 방향척도를 제안하였다. 이 방향척도는 지문영상의 방향장 영상에서 융선 방향의 변화경로를 상술하는 것으로 지문영상의 각각의 점에 대하여 제안된 방향척도를 계산한다. 제안한 알고리즘을 이용하여 지문영상을 특징점(핵심점과 삼각점)을 정의한 후 유형별로 분류하였다. 또한 개선된 Poincare 지수 알고리즘도 제안하여 핵심점과 삼각점을 구분하였다. 102개의 지문영상 실험 데이터에 대한 분류에러는 7.8%로서 문헌[9]의 분류오차 12.4%보다 좋은 실험결과를 얻을 수 있었다. 또한 제안한 방법은 온라인 지문영상 분류에도 사용가능 할 것으로 생각한다.

## ABSTRACT

The classification of fingerprint images is to classify fingerprint images into varies fingerprint types, it is very important in automatic fingerprint recognition. In this paper, a new singular points detection technique was presented. A direction uniform measure is defined to describe the changes of direction fields in a certain neighborhood of fingerprint images. Singular points can be detected by adopting the measure. It should be pointed out that singular points in accurate positions would be obtained in this ways. And an improved Poincare exponential algorithm is presented to identify core points and triangle points. In this paper, making use of 102 experimental fingerprint images datas and obtained 7.8% classification errors. This was better than experimental result of abstract [9]. It is possible to use on-line fingerprint images classification.

## 키워드

Fingerprint images, Direction fields, Direction measure, Core points, Triangle points.

## 1. 서 론

지문영상 분류는 특징을 이용하여 여러 가지 유형의 지문영상으로 분류하는 것으로, 지문영상 자동인식시스템에서 매우 중요한 부분을 차지한다. 또한 지문을 인식할 때 지문영상의 탐색범위를 축소 시킴으로서 지문

인식에 소요되는 시간을 크게 단축시킬 수 있으며 동시에 지문인식에 필요한 정보로도 이용 가능하다. 일반적인 지문영상 분류방법에는 1823년 Purkinje가 지문영상 중 융선의 외형에 따라 9가지로 분류하였으며[1], Moayen과 Rao등은 부호와 발생규칙을 이용하여 지문영상을 분류하였다[2]. kohonen와 kamijo은 다층 신경망을

이용하여 분류였으며[3,4], Chong은 용선을 응용한 기하 형태의 지문분류의 형태로서 먼저 B 스프라인함수로 용선을 정합(matching)한 후 근접한 용선을 합병하여 잡음의 영향을 감소시킨 후 얻은 곡선에 대하여 추적을 진행하는 방법을 사용하여 분류하였다[5]. 그리고 특징점을 이용한 지문영상 분류방법에서[8] Srinivasan은 특징점 부근의 히스토그램을 이용하여 특징점을 검출하였으며 [6] Drets는 다층신경망으로 지문영상의 특징점의 검출하는 방법을 제안하였다[7]. 또한 Karu는 용선의 방향장을 계산, 방향장으로부터 특징점을 얻은 후 이 특징점을 이용하여 지문영상을 분류하였다[9]. 이와같은 특징점을 이용한 분류방법들은 모두 정확한 영역정보를 필요로 한다. 일반적으로 지문영상의 특징점 영역에서의 방향변화는 비교적 격렬하나 기타 비 특징점 영역에서의 방향변화는 비교적 완만하다. 이와 같은 현상은 지문방향장 영상을 통하여 알 수 있으며, 본 논문에서는 이와같은 지문영상의 일정한 범위에서 용선 방향의 변화경로를 산출하는 방향척도를 제안한다. 본 논문에서 제안한 방법은 지금까지의 특징점 검출방법과 완전히 다른 것으로 특징점을 검출한 후 Poincare 지수로 핵심점과 삼각점을 구분하여 지문영상을 6가지 유형으로 분류하게 된다. 본 논문의 제2장에서 방향척도를 제안, 설명하고 이 척도를 이용한 특징점검출 방법에 대하여 설명한다. 또한 적용적인 Poincare 지수계산 방법을 제안하고 이 방법을 이용한 핵심점과 삼각점을 판별하는 것을 설명한다. 제3장에서는 구체적으로 특징점을 이용하여 지문영상을 분류하는 방법과 실험결과를 제시한다.

## II. 방향장 특징을 이용한 특징점 검출

### 2.1. 특징점의 핵심점과 삼각점

일반적으로 지문영상 자동인식시스템에서는 지문을 5가지 또는 6가지 유형으로 분류한다. 즉, 왼쪽나선형(left loop), 오른쪽나선형(right loop), 쌍나선형(double loop), 소용돌이형(whorl)과 아치형(arch)등 5가지이다. 아치형을 아치형(arch)와 정아치형(tented arch)으로 분류하면 6가지의 유형이 된다. 지문영상 분류방법중 가장 광범위하게 사용되는 방법은 지문영상의 특징점을 이용하는 방법이다. 이때 특징점은 핵심점과 3각점으로 구분된다. 그림 1에 특징점의 핵심점과 3각점을 보여준다.

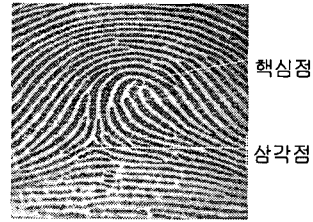


그림 1. 지문영상의 핵심점과 삼각점  
Fig. 1. The core point and triangle point of fingerprint images

아치형을 제외한 모든 지문영상은 한 개 혹은 두 개의 핵심점과 삼각점을 포함하고 있으므로 핵심점과 삼각점을 검출한 후 이 특징점의 수량과 정확한 위치를 정의함으로써 지문영상을 분류하게 된다. 개략적인 분류방법은 다음과 같으며 3장에서 다시 상세히 설명한다.

- ① 아치형은 핵심점과 삼각점을 포함하고 있지 않다.
- ② 왼쪽나선형과 오른쪽나선형은 각각 한 개의 핵심점과 삼각점을 포함하고 있다.
- ③ 쌍나선형과 소용돌이형은 각각 두 개의 핵심점과 삼각점을 포함하고 있다.

### 2.2. 지문영상의 방향척도

일반적으로 지문영상의 방향장 영상에서, 특징점 영역에서 용선의 방향변화는 비교적 격렬하고 그 외의 비 특징점 영역에서의 방향변화는 상대적으로 완만하다. 이와같은 방향변화를 정량적으로 표현하기 위하여 본 논문에서는 방향척도를 제안한다.

지문영상의 방향장 $\theta$ 에서 픽셀의 좌표를  $(i, j)$ , 방향을  $\theta_{i,j}$ ,  $R = \{(m, n) | m-i \leq L, n-j \leq L\}$ 을 영역( $L$ 는 영역의 길이의 절반)으로 나타낼 때 픽셀 $(i, j)$ 의 방향척도를 식(1)과 같이 정의한다.

$$C_{\theta}(i, j) = \left[ 1 - \frac{\left| \sum_{(m,n) \in R} \sin(2\theta_{m,n}) \right|}{\sum_{(m,n) \in R} |\sin(2\theta_{m,n})|} \right] \times \left[ 1 - \frac{\left| \sum_{(m,n) \in R} \cos(2\theta_{m,n}) \right|}{\sum_{(m,n) \in R} |\cos(2\theta_{m,n})|} \right] \quad (1)$$

여기에서, 지문영상의 방향장 $\theta$ 의 방향범위는  $-\frac{\pi}{2}$ 부터  $\frac{\pi}{2}$ 이다. 식(1)은 각각 수평방향과 수직방향의 두 방향에 대한 방향변화를 나타내며 방향이 일치할 때 식(1)의

분자와 분모의 값이 같게되어  $C_w(i, j) = 0$ 이 된다. 그러나  $C_w(i, j)$ 의 값이 1에 근접하게 되면 픽셀(i,j) 영역내의 방향은 일치하지 않는 것이다. 또한 방향척도는 평행이동의 불변성과 회전불변성을 가지고 있다. 그림 2에서 6가지 유형의 지문영상에 대한 방향장영상과 방향척도영상을 보여주고 그리고 그림 3에서 왼쪽나선형 지문영상에 대한 방향척도의 평행이동과 회전에 대한 불변성을 보여준다. 그림 3에서와 같이 방향척도는 평행이동과 회전에 대한 불변성을 가지고 있다

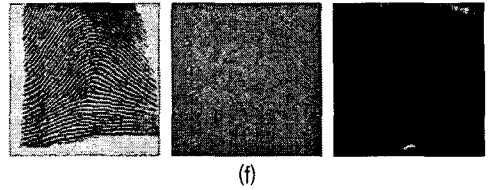


그림 2. 6가지 유형의 지문영상에 대한 방향장영상과 방향척도영상. (a)오른쪽나선형 (b)왼쪽나선형 (c)소용돌이형(뺨기) (d)쌍나선형 (e)정아치형 (f)아치형

Fig.2 Fingerprint images, direction fields image, direction measure images. (a)right loop (b)left loop (c)whorl (d)double loop (e)tented arch (f)arch

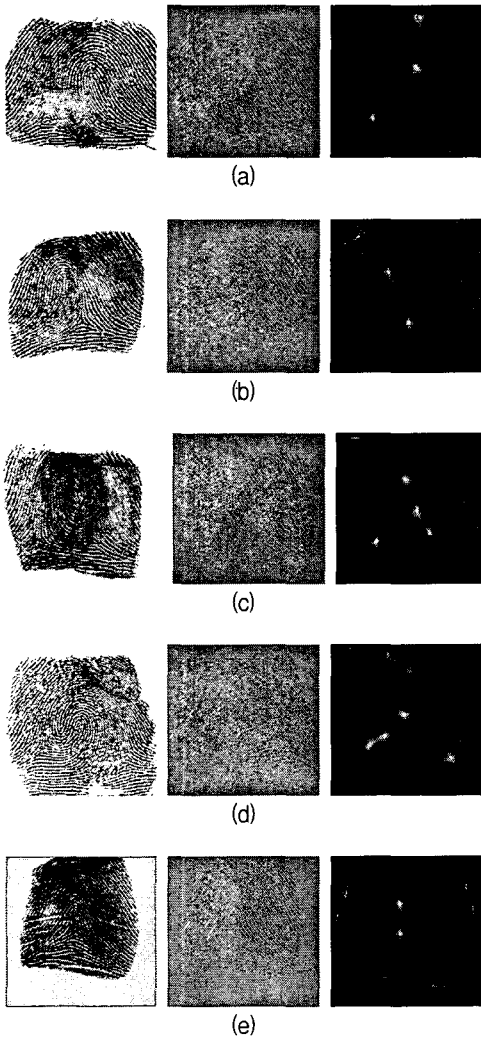


그림 3. 방향척도의 평행이동과 회전의 불변성. (a)왼쪽나선형 지문영상과 방향척도영상. (b)평행이동과 회전영상 그리고 방향척도영상.

Fig. 3 The constancy of parallel shifting and rotation. (a) Fingerprint image and measure image of left loop (b) Fingerprint image and measure image after shifting and rotation.

### 2.3. 특징점 검출

일반적으로 지문영역과 배경영역의 경계에는 매우 큰 방향 변화가 존재하며 그리고 특징점은 지문영역의 중심에 부근에 존재한다. 이 두가지 특징을 분석 판별하기 위하여 특징점 확률분포함수  $D(i, j)$ 를 정의한다.

$$D(i, j) = \exp\left[-\frac{dis[(i, j), (i_c, j_c)]}{2\sigma^2}\right] \sqrt{2\pi\sigma} \quad (2)$$

식(2)의  $(i_c, j_c)$ 는 지문영상의 중심점을 그리고  $dis[(i, j), (i_c, j_c)]$ 는 임의의 점에서 중심점까지의 유클리디안 거리를 그리고  $\sigma$ 는 척도매개변수를 나타낸다. 척도매개변수  $\sigma$ 는 영상의 질에 따라 그리고 지문영상의 전경영역과 배경영역의 비례에 따라 선택할 수 있는 변수로서,  $\sigma$ 이 작을수록  $D(i, j)$ 의 감소율이 빠르고  $\sigma$ 가 클수록  $D(i, j)$ 의 감소율이 완만하다. 그리고 특징점이 나타날 확률은 중심점과의 거리가 멀수록 낮다. 그러므로 방향척도와 확률분포함수를 이용하여 특징점 검출함수  $S(i, j)$ 을 정의한다.

$$S(i, j) = C_{\sigma} (i, j) \cdot D(i, j) \quad (3)$$

여기에서,  $S(i, j)$ 가 극대값이고 임계치  $T_s$  보다 크면 점  $(i, j)$ 는 특징점으로 판정한다. 그리고 본 논문에서는 Poincare 지수를 함께 이용하여 특징점을 판별하였다. Poincare 지수는 지문영상의 방향장위에서 특징점을 중심으로 한 원형 폐곡선상의 모든 점에 대한 방향 변화의 합이다. 만약 픽셀  $(i, j)$ 가 비 특징점이면 Poincare 지수는 0이고 특징점이면  $\pi$  또는  $-\pi$ 가 된다. 즉, 핵심점이면  $\pi$ 가 되고 3각점이면  $-\pi$ 가 된다. 이때 Poincare 지수 계산은 원형폐곡선을 사용하기 때문에 구조가 비교적 복잡하고 또한 선형구조이기 때문에 원형폐곡선상에서 잡음이 존재한다면 다른 계산결과를 초래하게 된다. 이와같은 전통적인 Poincare 지수의 단점을 극복하기 위하여 본 논문에서는 항잡음 성능이 좋은 Poincare 지수의 계산방법을 제안한다. 제안한 방법은 지문영상 방향장중의 특징점 부근에서 그림 4와 같은 6각형 조합구조를 구축하여 Poincare 지수를 계산하였다.

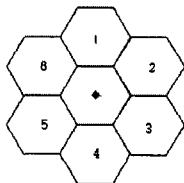


그림 4. Poincare 지수를 계산방법하기 위한 6각형 윈도우.

Fig. 4 The window for calculate Poincare exponential.

여기에서, “◆”는 특징점을 나타낸다. 특징점 주위의 6각형의 평균방향 또는 주방향  $O(i), i = 1, 2, \dots, 6$ 의 선형 합으로 계산한다. Poincare 지수 P의 계산식은 식(4)와 같다.

$$P = \sum_{k=1}^6 \Delta(k) \quad (4)$$

여기에서

$$\Delta(k) = \begin{cases} \delta(k), & |\delta(k)| < \pi/2 \\ \delta(k) + \pi, & \delta(k) \leq -\pi/2 \\ \delta(k) - \pi, & \delta(k) \geq \pi/2 \end{cases}$$

$$\delta(k) = O(i') - O(i), \quad i = (i+1) \bmod 6, \quad i = 1, 2, \dots, 6$$

그림 5는 본 논문에서 제안한 방법을 이용하여 6가지 유형의 지문영상에 대한 특징점을 검출한 결과이다.

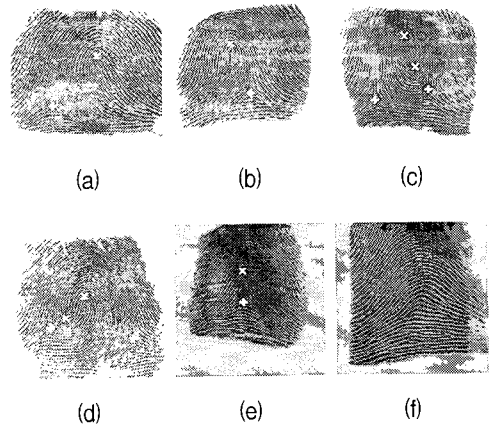


그림 5. 6가지 유형의 지문영상에 대한 핵심점과 삼각점 검출결과  
Fig. 5 The core points and triangle points of 6 kinds of fingerprint image

그림 5의 “x”는 핵심점을 “+”는 삼각점을 나타낸다. 6가지 유형의 지문영상에 대한 특징점 검출 결과에서, 본 논문에서 제안한 방법은 매우 양호한 검출결과를 보여주었다.

### III. 지문영상 분류 및 실험결과 분석

지문영상의 특징점을 검출 후 특징점의 유형, 수량, 특징점간의 위치관계, 특징점 부근의 방향장 등을 고려하여 지문영상을 유형별로 분류한다.

먼저, 특징점중 핵심점과 삼각점의 수량에 근거하여 자문영상을 3개의 큰 부류로 분류한다.

① 핵심점도 없을 뿐만 아니라 삼각점도 없다. 즉 핵심점과 삼각점의 수량을 모두 영이다. 그러면 지문영상은 아치형이다.

② 핵심점과 삼각점의 수량이 각각 1개이다. 그러면 좌나선형, 우나선형 혹은 정아치형 지문영상이다.

③ 핵심점과 삼각점의 수량이 각각 2개이다. 그러면 쌍나선형 혹은 소용돌이형 지문영상이다.

여기에서 ①항에 해당되면 지문영상은 아치형이다. 그러나 ②, ③항에 해당되면 특징점간의 위치관계 또는 특징점 부근의 방향장을 고려하여 판별하여야 한다. 그림 6과 같이 핵심점과 삼각점을 하나의 직선으로 연결한다.

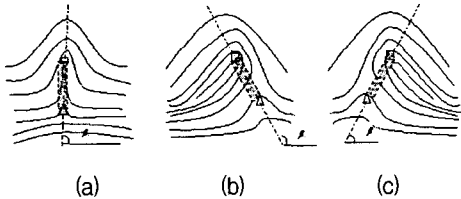


그림 6. 핵심점과 삼각점을 직선으로 연결한 영상.  
Fig. 6 The connected images with straight line between core point and triangle point.

직선과 수평방향의 각  $\beta$ 와 방향장이 핵심점과 삼각점 사이의 영역(그림6의 회색구역)의 방향  $\alpha$ 를 계산한 후  $\beta$ 와  $\alpha$ 의 각도 차를 계산한다. 만약 계산결과가 작으면(예를 들면 각도  $\pm 10^\circ$ ) 정아치형 지문영상으로 판별한다. 그렇지 않으면 좌나선 혹은 우나선형 지문영상이다. 정아치형을 제외한 후 좌나선형과 우나선형을 판별하는 것은 비교적 쉽다. 만약 삼각점이 연결선의 좌측에 존재하면 좌나선형 우측에 존재하면 우나선형 지문영상으로 판별한다. ③항에 대하여는 소용돌이류형과 쌍나선류형은 판별하기 위하여 두개의 핵심점을 그림 7과 같은 모양의 직선으로 연결한다.

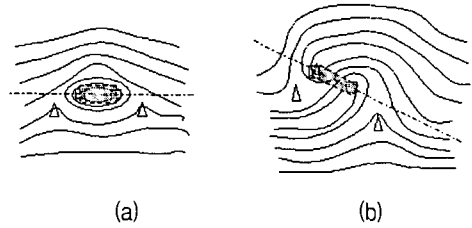


그림 7. 두개의 핵심점을 연결한 영상  
Fig. 7 The connected images with straight line between core point and core point.

연결 직선과 수평방향의 각  $\alpha$ 와 핵심점과 삼각점간의 영역(그림 7의 회색구역)의 방향  $\alpha$ 를 계산한다.  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 각도차가 작다면(예를 들면  $\pm 10^\circ$ ) 소용돌이형 지문영상으로 그리고 그렇지 않으면 쌍나선형 지문영상으로 판별한다.

이상과 같이 본 논문에서는 특징점과 특징점부근의 방향만을 이용하여 지문영상을 6가지(아치형, 정아치형, 좌나선형, 우나선형, 쌍나선형, 소용돌이형)로 분류하였다. 본 논문에서는 100여개의 지문영상에 대하여 분류실험을 하였으며 지문전문가의 분류결과와의 비교분석하였다. 실험결과는 표1과 같다.

표1 지문영상의 분류 실험결과  
Table 1. The experimental result of fingerprint images classification.

지문전문가 분류 결과	본 논문에서 제안한 방법을 사용한 분류결과					
	좌나선형	우나선형	아치형	정아치형	소용돌이형	쌍나선형
좌나선형 (27)	25	0	0	2	0	0
우나선형 (29)	0	27	1	1	0	0
아치형 (10)	0	0	9	1	0	0
정아치형 (8)	0	1	1	6	0	0
소용돌이형 (18)	0	0	0	0	17	1
쌍나선형 (10)	0	0	0	0	0	10

실험결과에서, 분류오차는 7.8%이다. 그리고 문헌[9]의 5400개의 지문영상에 대한 분류오차는 12.4%이었다. 그러나 사용한 지문영상집단이 다르고 또 본 논문에서 사용한 지문영상의 개수가 훨씬 적기 때문에 제안한 방법이 좋다고 말할 수는 없다. 그러나 제안한 방법으로 매우 만족스런 결과를 얻을 수 있었다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 지문영상의 각 점에서의 방향척도를 이용하여 특징점(핵심점과 삼각점)을 검출하고 이를 이용하여 지문영상을 분류하는 방법을 제안하였다. 또한 Poincare 지수를 계산할 때 잡음에 매우 약한 단점도 극복하는 방법도 제안하였다. 제안한 방향척도는 회전과 평행이동에 대하여 불변성을 가지고 있기 때문에 검출한 특징점의 위치 또한 매우 정확하였다. 그리고 지문인식은 인식해야 할 지문영상과 DataBank 중의 지문영상과의 정합을 통하여 이루어지는 과정으로 평행이동 또는 회전 등의 어떤 조건하에서도 정확한 정합을 실현할 수 있도록 하기 위하여는 지문영상에 대한 정확한 정측화(정확한 측량)를 진행하여야 한다. 그러나 이전의 특징점 검출알고리즘은 지문영상을 분류하는데 필요한 자료로만 사용하였다. 그러나 본 논문에서 제안한 특징점을 검출하여 분류하는 방법은 지문인식에 필요한 정측화의 자료로도 사용가능할 것으로 생각한다. 또한 실험결과에서 알 수 있듯이 매우 만족스런 실험결과를 얻을 수 있었으며, 제안한 방법은 온라인 지문영상 분류에도 사용가능할 것으로 생각한다. 온라인 지문영상은 지문의 정면만이 채취되어 삼각점을 쉽게 빠뜨리는 상황이 발생하기 때문에 반드시 특별한 방법을 사용해야 한다.

지문영상의 분류는 지문자동인식 시스템의 중요한 구성부분 중의 하나이다. 인식속도가 빠르면서 정확하고 효과적으로 지문을 분류하여야 한다. 본 논문에서 제안한 방법에 대하여 완전한 결과를 얻기 위하여 더욱 많은 실험과 연구해야 할 것으로 생각한다.

#### 참고문헌

- [1] H. Lee and R. Gaensslen, Eds., *Advances in Fingerprint Technology*, New York: Elsevier, 1991
- [2] C. Rao and K. Black, *Type classification of finger prints: a syntactic approach*, *IEEE Trans. On PAMI*, Vol.2, pp.223-231, 1980
- [3] M. Kamijo, *Classifying fingerprint images using neural network: deriving the classification state*, *Proc. Thrid Int'l Conf. Neural Network*, pp.1932-1937, 1993
- [4] P. Hughes and A. Green, *The use of neural network for fingerprint classification*, *Proc. Second Int'l Conf. Neural Network*, pp.79-81, 1991
- [5] M. Chong, T. Ngee, L.jun and R. Gay, *Geometric framework for fingerprint image classification*, *Pattern Recognition*, Vol.30, No.9, pp.1475-1488, 1997
- [6] V. Srinivasan and N. Murthy, *Detection of singular points in fingerprint images*, *Pattern Recognition*, Vol.25, No.2, pp.139-153, 1992
- [7] G. Drets and H. Liljenström, *Fingerprint sub-classification and singular point detection*, *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, Vol.12, No.4, pp.407-422, 1998
- [8] R. Cappelli, A. Lumini, D. Maio and D. Maltoni, *Fingerprint Classification by directional image partitioning*, *IEEE Trans. On PAMI*, Vol.21, On.5, pp.402-421, 1999
- [9] K. Karu and A. Jain, *Fingerprints classification*, *Pattern Recognition*, Vol.29, No.3, pp.389-404, 1996

#### 저자소개



김수겸(Soo-Gyeam Kim)

1986년 2월 광주대학교 전자계산학과 학사, 1988년 7월: 조선대학교 전자계산학과 석사

1996년 7월 조선대학교 전기공학과 박사  
현재 목포해양대학교 기관시스템공학부 교수.

※관심분야 : 디지털 영상처리, 컴퓨터 비전, 데이터베이스, 웨이브렛변환 등