

인공지능기법을 이용한 동적 이진화 지문인식 방법에 관한 연구

A Study on the Dynamic Binary Fingerprint Recognition Method using Artificial Intelligence

강종윤 · 이주상 · 이재현 · 공석민 · 김동한 · 이상배

Jong-Yoon Kang, Joo-Sang Lee, Jae-Hyun Lee, Suk-Min Kong
Dong-Han Kim, Sang-Bae Lee

한국해양대학교 전자통신공학과

요 약

자동화 지문인식을 위한 과정에서 지문영상의 정보를 보존하면서 최적의 세선화와 특이점추출을 위한 중요한 부분은 이진화 과정이다. 이진화 과정은 그레이-스케일 레벨의 영상을 0과 255값으로 바꾸는 과정이다. 이 과정에서 적절한 기준레벨값(Threshold Value)을 설정해 주지 않으면 지문영상의 정보가 손실된다. 본 논문에서는 이진화 과정 부분에 인공지능 기법을 적용하여 입력되는 지문영상에서 실시간으로 기준레벨(Threshold)을 추출하는 방법을 제안한다. 실험결과 기존의 방법과 비교하여 좋은 성능을 보여주고 있음을 나타낸다.

Abstract

Among the procedure of automatic fingerprint recognition, binary code is important for the optimum thinning and singular point extraction while reserving the fingerprint image data. Binarization is to convert gray scale images into 0s and 255s values. For this conversion, you should set up the proper threshold value not to lose fingerprint image data. In this paper, we suggest the method to extract the standard threshold in real-time from fingerprint images entered by applying artificial intelligent methods in the binary code procedure. We show improved features while comparing the experiment results with the existing methods.

Key Words : 전처리과정, 신경회로망, 동적이진화, 세선화

1. 서 론

지문인식은 사람을 식별할 수 있는 가장 흥미로운 패턴인식 중의 하나이다. 신뢰성(Reliability)과 안정성(Safety)이 확보된 개인 인증 기술은 컴퓨터 시스템의 접근뿐만 아니라 중요 기밀 지역으로의 출입관리, 가정 보안, 근태관리, 경찰 수사 등에 활용되므로, 고도 정보화 사회의 핵심기술이라고 이야기할 수 있을 것이다. 일반적으로, 각 개인이 본인 여부를 확인할 수 있는 수단으로는 소유물, 기억하고 있는 내용, 신체에 부수되어 있는 물리적 특성 등을 들 수 있다. 열쇠, ID Card, Password 등에서 볼 수 있듯이 일부 실용화된 기술도 있으나, 이들은 분실 또는 망각의 위험성이 있고 타인에 의한 위조 및 변조의 위험성이 상존하고 있어 근본적인 보안(Security) 대책이 될 수는 없다. 신체의 특징을 이용한 생체보안시스템(Biometric Security System) 그 중에서도 지문은 19세기말 F.Galton에 의해 불변성(Immutability)과 유일성(Individuality)이 밝혀진 이래 이러한 여러 문제점들을 해결할 수 있는 가장 확실한 개인 인증 수단으로써 인정

받고 있다[1].

그러나 자동 지문 인식을 위한 개인의 특징 벡터 구성을 위한 과정의 전 부분인 전처리과정에서의 한 부분인 이진화 과정은 그레이 지문영상에서 얻어진 히스토그램을 바탕으로 이진화된 그레이 영상을 만든다[2]. 256레벨의 그레이 영상을 이진화 영상으로 만드는 과정에서 기준레벨(Threshold)의 값을 최적으로 취해주지 않으면 많은 정보 손실을 가져온다. 따라서 지문영상의 선을 가장 적절하게 표현할 수 있는 기준레벨(Threshold)의 설정이 중요하다. 그러나, 기존의 기준레벨(Threshold)을 설정하는 방식은 입력되는 지문영상에 따라 적절하게 변화되지 않기 때문에 최적의 이진화 영상을 얻을 수 없다. 그러므로 본 논문에서는 이진화 과정 부분에 인공지능 기법을 적용하여 입력되는 지문영상에서 실시간으로 기준레벨(Threshold)을 추출하는 방법을 제안한다 [2][3][4].

본 논문에서 제안한 기준레벨(Threshold) 설정방법은 지문영상에서 얻어진 히스토그램의 256개의 그레이-스케일 레벨값의 빈도수를 신경회로망의 입력으로 사용하고 히스토그램의 기준레벨값(Threshold Value)을 목적값으로 사용하여 총 300개의 패턴을 학습시켜서 그레이-스케일 레벨값의 빈도수가 입력될 때마다 최적의 기준레벨(Threshold)을 설정해주도록 하였다.

접수일자 : 2002년 11월 7일
완료일자 : 2002년 12월 28일

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 지문인식 전처리과정인 Low Pass Filter와 히스토그램 평활화에 대해 소개하였고, 3장에서는 본 논문에서 활용하고자 하는 인공지능 기법인 신경회로망을 이용한 동적 이진화 기법에 관하여 소개하였으며, 4장에서는 지문영상의 세선화 처리에 대해 기술하였으며, 5장에서는 이러한 지문 인식 알고리즘을 바탕으로 실제 실험을 통하여 실험 결과를 고찰하였다. 끝으로 6장에서는 결론으로 인공지능 기법을 이용한 생체 인증 시스템의 필요성 및 성능에 관한 검토와 향후 연구 방향에 대해서 제시하였다.

2. 전처리과정

지문인식 과정에서 전처리는 필수적이다. 전처리의 목적은 256레벨의 그레이영상을 이진 영상으로 변환할 때 가장 좋은 이진 영상을 만들기 위한 것이다[5][6].

단순히 히스토그램만을 분석하여 이진 영상으로 변환한다면 다음과 같은 문제로 원하는 지문 영상을 얻기가 힘들다.

첫째, 지문을 채취할 때 발생하기 쉬운 잡음에 의한 영향으로 지문의 선이 겹치게 된다.

둘째, 잉크에 의한 지문 채취는 눌러지는 압력에 의해 256레벨의 분포가 다르게 나타나게 되어 이진 영상으로 변환할 때 부분적으로 선이 사라진다.

셋째, 지문의 세선화 과정에서 한 개의 잡음으로 인한 지문의 정보 손실은 한 개의 라인으로 표현되어야 할 선들이 두 개 이상으로 표현되어 문체시 된다[7]. 전처리 과정은 그림 1에 나타내었다.

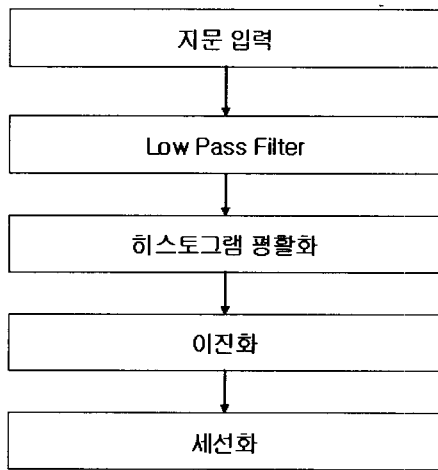


그림 1 전처리 순서도
Fig. 1. Preprocessing Flowchart

입력된 지문 이미지는 고주파 노이즈와 융선의 끊어지는 오류와 서로 다른 평행한 융선이 하나로 겹쳐지는 오류를 보정하기 위해서 두 단계의 필터처리를 해준다.

첫번째는 256레벨에서의 영상처리로 지문에서 잡음제거와 두번째는 영상 전체에서 256레벨이 균일하도록 조정하는 것이다[8].

2.1 Low Pass Filter

주파수 공간에서 고주파와 저주파의 성분을 조작 할 수

있는데, 저역통과필터는 고주파수 성분을 감쇠시키므로 영상을 부드럽게 한다. 더 높은 주파수 성분을 감쇠시키는 차단점이 바뀌도록 컨볼루션 마스크의 가중치 계수를 선택한다. 더욱이 밝기값의 크기가 감소되고 부드러운 저역통과 필터의 효과를 만들기 위해서 저역 통과 필터된 결과영상이 원영상과 합해진다[2][8]. 저대역 통과 필터는 전체적으로 영상의 급격한 변화를 완화시키는 역할을 한다. 그러므로 검은색 선(융선)과 흰색 선(골)의 사이에 들어가 있는 잡음을 어느 정도 제거할 수 있다. 만약 이러한 필터를 통과시키지 않는다면 차후에 이루어지는 변환에서 잡음은 여전히 존재하게 된다. 식 (1)이 저주파 통과 필터 수식이다. 여기서 D_0 는 원점으로부터의 거리로서 차단 주파수이고, n 이 커지면 주파수 반응의 정도가 커지게 된다.

$$H(\mu, \nu) = \frac{1}{1 + \left[\frac{D(\mu, \nu)}{D_0} \right]^{2n}} \quad (1)$$

$$\text{여기서, } D(\mu, \nu) = \sqrt{(\mu^2 + \nu^2)} \quad (2)$$

Low Pass Filter 처리 결과는 그림 2에 나타내었다.



그림 2. Low Pass Filter 처리 결과
Fig. 2. Low Pass Filter Processing Result

2.2 히스토그램 평활화

히스토그램은 각 명도를 가지고 있는 픽셀들의 개수를 나타내지만, 그 픽셀들이 어디에 위치하는지에 대해서는 전혀 정보를 주지 않는다. 따라서 어떤 영상에 대한 히스토그램은 유일하지만 그 역은 성립하지 않는다. 즉 상당히 다른 영상들도 같은 히스토그램을 가질 수 있다. 또한 영상 안에서 물체를 이동하는 연산은 히스토그램에 영향을 끼치지 않는다[1][2][3][4][5][6][7][8].

또 다른 성질로는 히스토그램을 합하면 모든 픽셀의 개수가 된다. 즉 256레벨의 명도를 가지는 영상의 경우, 또 영상이 두 개의 영역으로 나누어져 있고 각 영역의 히스토그램이 알려져 있는 경우 전체 영상의 히스토그램은 2개의 영역의 히스토그램을 합한 것이 된다. 이것은 여러 개의 영역이 있는 경우에도 마찬가지이다.

지문은 입력시 주변의 환경과 입력하는 사람의 손가락 특성, 눌러지는 압력에 따라 256레벨의 분포가 다르게 나타나게 된다. 즉 지문 입력시 손가락의 힘이 영상에 전체적으로 골고루 분포되지 않기 때문에 부분별로 밝기가 달라진다. 이러한 현상으로 입력된 지문은 기준레벨(Threshold)을 정해 이진화하는 과정에서 선이 끊어지거나 다른 선들과 이어지게 된다. 그러므로 지문 이미지의 명암값의 분포가 한쪽으로 치우치거나 균일하지 못한 영상은 히스토그램 평활화 처리에 의해 명암값의 분포가 균일화되어 영상이 향상될 수 있다.

히스토그램 평활화의 궁극적인 목적은 일정한 분포를 가진 히스토그램을 생성하는 것이다. 따라서 평활화를 수행한 히스토그램은 보다 균일한 분포를 갖도록 하는 것이다. 그로 얻어지는 결과는 어두운 영상은 밝아지고 너무 밝은 영상은 조금 어두워져 적당한 명도값을 유지하게 된다. 히스토그램 평활화를 구현하려면 다음과 같은 3단계를 거쳐야 한다.

- ① 히스토그램을 이용한 명도값의 빈도 수를 계산한다.
- ② 구한 빈도 수를 이용하여 축적 히스토그램 값을 구하고 정규화 시킨다.
- ③ 정규화된 축적 히스토그램을 그레이 스케일 사상함 수로 이용하여 그레이-스케일 레벨값을 매핑한다. 다시 말하면 히스토그램 평활화는 정규화된 축적 히스토그램을 그레이 스케일 매핑 함수를 이용하여 구현된다. 축적 히스토그램의 정규화 수식은 다음과 같다.

$$K_i = \frac{g_{\max}}{n_i} H(i) \quad (3)$$

여기서, n_i 는 지문 영상에서의 픽셀의 총 개수이고, g_{\max} 는 명도의 최대값이고, $H(i)$ 는 위에서 구한 축적 히스토그램이다. K_i 는 정규화된 값 즉, 변환된 영상의 값인 것이다. 히스토그램 평활화 결과는 그림 3과 같다.



그림 3. 히스토그램 평활화 결과
Fig. 3. Histogram Equalization Result

3. 신경회로망을 이용한 동적 이진화

히스토그램을 바탕으로 얻어진 이진화된 그레이-스케일 영상을 만든다. 그레이-스케일 영상을 만들 때 256레벨의 적절한 값을 취하지 못하고 만든다면 아마도 지문인식에 사용하기에는 손실이 너무 많은 영상이 될 것이다.

이진화는 디지털 영상을 검정색과 흰색 두 개의 값으로만 표현하는 기법으로 명도값으로 표현할 경우 0 또는 255의 값만을 갖는 것이고, 일반적인 표현으로는 0 또는 1의 값만을 갖는 것을 말한다. 이진화 처리를 위해서는 히스토그램을 이용하여 어떤 기준레벨값(Threshold Value)을 정하고 픽셀의 명도값이 기준레벨값(Threshold Value)보다 작으면 명도 값 0(검정색)으로, 기준레벨값(Threshold Value)보다 크면 명도 값 255(흰색)로 만드는 과정이다[9][10][11].

이때 가장 중요한 것이 기준레벨값(Threshold Value)의 선택 문제이다. 일반적으로 지문 센서에 의한 입력된 지문 영상은 손가락의 압력과 조형상태에 따라서 명암이 크게 차이를 보인다. 기존의 방식은 전체적인 기준레벨값(Threshold Value)을 이용하여 이진화를 할 경우에는 첫째, 기준레벨(Threshold)의 값이 작게 설정되어 지문의 선이 부분적으로 끊어지는 현상이 나타나게 되고, 둘째, 기준레벨(Threshold)

의 값이 크게 설정되어 지문의 선이 서로 붙게 되는 현상이 발생한다. 따라서 지문의 선을 가장 적절하게 표현할 수 있는 기준레벨(Threshold)의 설정이 중요하다. 그래서, 정확한 이진화 처리가 되지 않는다.

따라서 본 논문에서는 지문영상에서 얻어진 히스토그램의 256개의 그레이-스케일 레벨값의 빈도수를 신경회로망의 입력으로 사용하고 히스토그램의 기준레벨값(Threshold Value)을 목적값으로 사용하여 총 300개의 패턴을 학습시켜서 그레이-스케일 레벨값의 빈도수가 입력될 때마다 최적의 기준레벨(Threshold Value)을 설정해주도록 하였다.

그림 4는 최적의 기준레벨값(Threshold Value)을 추출하기 위하여 사용한 신경 회로망 구조 이다[12][13].

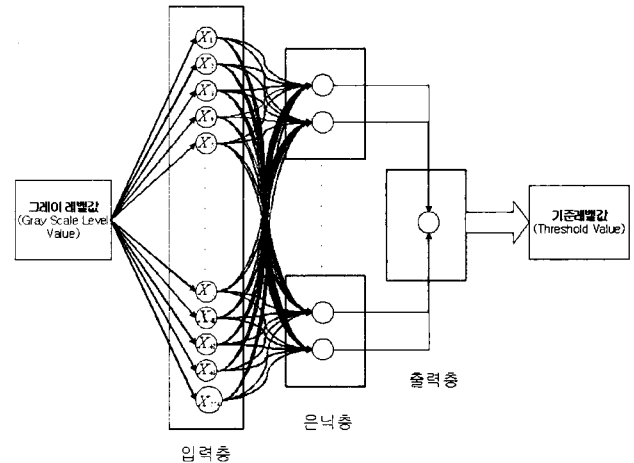


그림 4. 기준레벨값 추출을 위한 신경회로망 구조
Fig. 4. Threshold value extract by Neural Network structure

4. 지문영상의 세션화

세션화란 효과적인 지문의 특징점 추출을 위해 지문 용선의 두께를 1픽셀로 고정시켜주는 작업을 의미한다. 세션화는 원래 지문의 연결성은 변화시키지 않고, 선으로 변화시키는 것이 필요하다. 세션화에서는 용선의 원래 형태를 반영한 중심선을 얻는 것이 중요하다. 지문 영상의 경우는 거의 일정한 폭과 완만한 경사를 지닌

용선의 흐름으로 구성되어 있으므로 두께를 1픽셀로 고정시켜 표시하기가 매우 적합한 형태라고 볼 수 있다.

세션화에 대한 효율성은 기존의 문자인식 등의 응용에 이미 증명된 바 있으며, 본 논문에서는 특징점을 추출하기 위하여 세션화 알고리즘을 선택하였다. 본 논문에서 사용한 세션화 알고리즘 기법은 다음과 같다.

- ① 2개 이상, 6개 이하 이웃 픽셀이 있어야 한다. 이 조건은 끝점이나 영역 내부의 점은 지워서는 안된다는 것을 의미한다.
- ② 두 개 영역을 연결하는 픽셀은 지워서는 안된다. 이 픽셀을 지운다면 영역 개수가 달라지게 된다.

그림 6은 세션화 알고리즘에 사용하는 픽셀들의 배열을 마스크 형식으로 나타내고 있다.

첫 번째 단계는 표 1에 나타난 8-이웃의 정의 기준으로, 다음의 조건을 만족하면 외곽선 점 M을 삭제하기 위해 표시해 놓는다.

- ① $2 \leq N(m_1) \leq 6$
- ② $S(m_1) = 1$
- ③ $m_2 \cdot m_4 \cdot m_6 = 0$
- ④ $m_4 \cdot m_6 \cdot m_8 = 0$

여기서, $N(m_1)$ 은 m_1 의 0이 아닌 값을 가진 이웃의 수이다. 즉,

$$N(m_1 = m_2 + m_3 + \dots + m_8 + m_9)$$

그리고 $S(m_1)$ 은 $m_2, m_3, \dots, m_8, m_9$ 의 정렬된 순서에서 0에서 1로 천이의 회수이다. 천이의 회수라는 말은 0과 1이 바뀌는 수를 말한다.

두 번째 단계는 ③, ④의 조건이 다음과 같이 바뀐다.

- ③ $m_2 \cdot m_4 \cdot m_8 = 0$
- ④ $m_2 \cdot m_6 \cdot m_8 = 0$

첫 번째 단계는 고려 대상의 2진 영역 내에 있는 모든 경계 화소에 대해서 적용된다. 만약 조건 ①에서 ④중에 한 개 또는 그 이상이 조건을 만족하지 않으면, 그 대상 점에 대한 값은 변화되지 않는다. 만약 모든 조건이 만족되면 그 점은 삭제를 위해 표시되어 진다. 그러나, 그 점은 모든 경계점들에 대한 처리가 수행되기 전까지는 삭제되지 않는다. 이 지연은 알고리즘이 수행되는 동안에 데이터 구조가 변화되지 않도록 한다. 첫 번째의 모든 경계점에 대해서 적용된 후, 삭제로 표시되었던 점들이 삭제된다. 그 다음, 두 번째 단계는 첫 번째 단계와 똑같은 방법으로 이 결과 데이터에 적용되어 진다[7].

표 1. 세선화 마스크
Table 1. Thinning Mask

m9	m2	m3
m8	m1	m4
m7	m6	m5



그림 5. 세선화 결과
Fig. 5. Thinning Result

5. 실험 결과

첫 번째 실험은 입력 받은 지문 영상을 전처리 과정인 Low Pass Filter 와 히스토그램 평활화 처리를 한 후, 기준 레벨(Threshold)를 설정하기 위해서 지역적인 기준레벨값(Threshold Value)을 구해서 지역적으로 세그멘테이션을 수

행하여야 한다. 기준레벨값(Threshold Value)이 임의의 값을 가질 경우 배경 영역이 큰 이미지에서는 배경을 효과적으로 구분하지 못하는 경우가 발생하기 때문에 기준레벨값(Threshold Value)의 범위를 지정해 주어야 한다. 지역적인 값은 식(4)의 범위에서 존재한다.

$$2^8 - \text{허용범위} \leq \text{기준레벨값} \leq 2^8 + \text{허용범위} \quad (4)$$

본 논문에서는 허용범위를 78로 잡았다.

표 2. 실험 환경
Table 2. Experiment Environment

개발 환경	Windows 98
개발 툴	Visual C++ 6.0
실험 지문 개수	60명에 대한 5개의 지문 (60 × 5 = 300개의 지문)
지문 이미지 크기	128 × 128 raw
지문 영상의 해상도	500 dpi(Dot Per Inch)

표 3. 기존의 기준레벨 설정
Table 3. Existing threshold set up

지문 이미지	기준레벨(Threshold)
1	104
2	
3	
⋮	
⋮	
⋮	
299	
300	

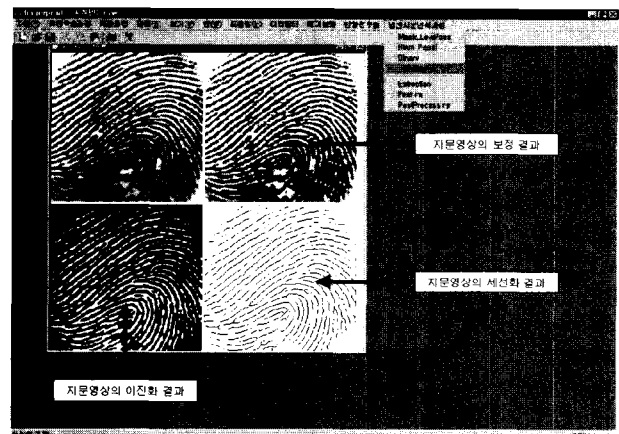


그림 6. 기존의 이진화 방법에 의한 전처리 결과
Fig. 6. Existing binary method by preprocessing result

두 번째 실험은 첫 번째 실험과 마찬가지로 전처리 과정인 Low Pass Filter 와 히스토그램 평활화 처리 후, 얻어진 히스토그램 평활화의 그레이-스케일 레벨값의 빈도수를 신

경회로망의 입력으로 사용하고 히스토그램의 기준레벨값(Threshold Value)을 목적값으로 사용하여 총 300개의 획득한 지문이미지의 패턴을 학습시켜서 그레이-스케일 레벨값의 빈도수가 입력될 때 마다 최적의 기준레벨(Threshold)을 설정해 주도록 하였다. 이 실험에서 목적값으로는 83~120의 값을 사용하였다.

본 논문에서는 기존의 방법과 인공지능기법을 이용한 동적 이진화 방법을 비교하여 전처리 부분의 개선 효과를 증명하였다.

표 4. 신경회로망을 이용한 실시간 기준레벨 설정
Table. 4. Neural Network using real-time threshold set up

지문 이미지	기준레벨(Threshold)
1	93
2	97
3	92
⋮	⋮
⋮	⋮
⋮	⋮
⋮	⋮
299	104
300	99

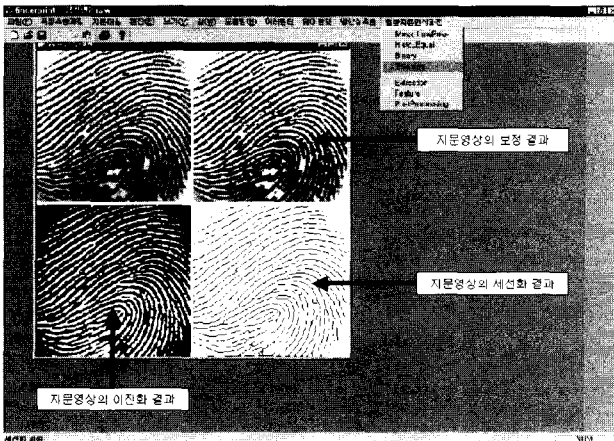


그림 7. 본 논문에서 제안한 동적 이진화 방법에 의한 전처리 결과

Fig. 7. In this paper suggest dynaic binary method by preprocessing result

실험 결과는 그림 6과 그림 7에 나타내었다. 그림 6과 그림 7은 300개의 지문 이미지 중 첫 번째 지문 이미지를 가지고 결과처리한 지문영상 이미지 이다.

6. 결 론

본 논문에서는 자동 지문인식 과정중 전처리과정의 한 부분인 이진화 과정 부분에 인공지능 기법을 적용하여 입력되는 지문영상에서 실시간으로 기준레벨(Threshold)을 추출하는 방법을 제시하였다. 제시한 알고리즘은 지문영상에서 얻

어진 히스토그램의 256개의 그레이-스케일 레벨값의 빈도수를 신경회로망의 입력으로 사용하고 히스토그램의 기준레벨값을 목적값으로 사용하여 총 300개의 패턴을 학습시켜서 그레이-스케일 레벨값의 빈도수가 입력될 때 마다 최적의 기준레벨을 설정해 주도록 하였다. 실험을 통하여 제시한 방법이 기존의 이진화 방법에 의한 전처리 결과보다 좋은 결과를 보여주고 있음을 나타내었다. 향후 연구 방향으로는 더 나은 지문 이미지 획득과 올바른 인증을 을 위해 전처리 과정외에 인증부도 연구해 보겠다.

참 고 문 헌

- [1] Sin-Jae Park "Pattern Classification and Search For Fingerprint Recognition"
- [2] Rfaaedl C. Gonzalez, Richard E. Woods "Digital Image Processing" 도서출판 그림, 1998.
- [3] Randy Crane " A Simplified Approach to Image Processing Classical and Modern techniques in C" 흥룡과학출판사, 1997.
- [4] Gregory A. Baxes "With Sample Image And An Image Processing Software Application" 흥룡과학출판사, 2000.
- [5] L.C.Jain, U.Halici, I.Hayashi, S.B.Lee, S.Tsutsui "Intelligent Biometric Techniques in Fingerprint and Face Recognition" CRC Press, Aug 1999.
- [6] Dong Han Kim "A Study on Design of ARM Processor based Fingerprint Recognition Signal Processing Board using Artificial Intelligence" 한국해양대학교 석사학위 논문, 2002.
- [7] Jae Hyun Lee "A study on the Biometric Recognition Algorithm and System Implementation using Artificial Intelligence" 한국해양대학교 박사학위 논문, 2002.
- [8] McCulloch, W. S & Pitts, W. H, "A logical calculus of ideas immanent in nervous activity, Bulletin of Mathematical Biophysics", 5, pp. 115-133, 1943.
- [9] Jae Hyun Lee, Sung Joo Kim, Sang Bae Lee, "The study on the intelligent control of robot system using neural network", *Proceedings of Asian Control Conference, Vol. III, No. III, pp. 67-70, 1997.*
- [10] Sung Joo Kim, Jae Hyun Lee, Sang Bae Lee, "The Study on the Optimal control of Linear Track Cart Double Inverted Pendulum Using Neural Network", *Proceedings of Asian Control Conference, Vol. II, No. II, pp. 15-18, 1997.*
- [11] Y. Chen and F. Bastani, "ANN with Two Dendrite Neurons and Weight Initialization", *Proc. IJCNN, Baltimore, Vol. III, pp. 139-146, 1992.*
- [12] F. Galton, Finger Prints, *Macmillan, London, 1892.*
- [13] E. R. Henry, Classification and Uses of Finger Prints, *Routledge, London, 1900.*

저 자 소 개



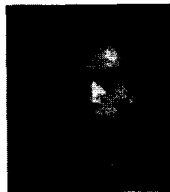
강종윤(Jong-Yoon Kang)
2002년 : 동명정보대학교 정보통신공학과
(공학사)
2002년~현재 : 한국해양대학교 전자통신
공학과 석사과정

E-mail : perfectkang@dreamwiz.com



이주상(Joo-Sang Lee)
1999년 : 경상대학교 정보통신공학과
(공학사)
2001년 : 한국해양대학교 전자통신공학과
석사과정 (공학 석사)
2001년~현재 : 한국해양대학교 전자통신
공학과 박사과정

E-mail : jslee@diycad.com



이재현(Jae-Hyun Lee)
1996년 : 부경대학교 전자계산과(공학사)
1998년 : 한국해양대학교 전자통신공학과
(공학 석사)
2002년 : 한국해양대학교 전자통신공학과
(공학 박사)
2000년~현재 : 동명대학 정보통신 계열
전임강사

E-mail : beacon@yongma.tmc.ac.kr



공석민(Suk-Min Kong)
1999년 : 부경대학교 제어계측학과(공학사)
2002년 : 한국해양대학교 전자통신공학과
(공학 석사)
2002년~현재 : 한국해양대학교 전자통신
공학과 박사과정

E-Mail : smkong@hhu.ac.kr



김동한(Dong-Han Kim)
2001년 : 진주산업대학교 전자공학과
(공학사)
2001년~현재 : 한국해양대학교 전자통신
공학과 석사과정

E-mail : 74hany@daum.net



이상배(Sang-Bae Lee)
제 8권 제 7호 참조
현재 : 한국해양대학교 전자통신공학과
교수

E-mail : leesb@hanara.kmaritime.ac.kr