

論文2000-37CI-5-2

지문의 의사 특징점 제거 알고리즘 및 성능 분석

(An Algorithm for Filtering False Minutiae in Fingerprint Recognition and its Performance Evaluation)

楊智成*, 安都成*, 金學一*

(Jisung Yang, Dosung Ahn, and Hakil Kim)

요약

본 논문에서는 정합 과정에서 계산량, FAR(False Acceptance Rate), 그리고 FRR(False Rejection Rate)을 증가 시켜 자동 지문 인식 시스템의 성능을 저하시키는 원인이 되고있는 의사 특징점(False Minutiae)을 제거하기 위한 후처리 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 우선 전처리 과정을 통하여 얻은 세션화된 지문 화상에서 이웃 화소의 교차수를 검사하여 후보 특징점들을 추출한다. 추출된 후보 특징점에서 지문의 구조적 특성을 고려하여 복원 가능 영역에 속하고, 의사 특징점이라고 간주되는 특징점을 선택한다. 이와 같이 선택된 특징점이 세션화 화상에 위치하는 영역은 잡음에 의해 잘못 세션화된 부분이기 때문에 해당 영역을 올바르게 재구성하고, 후보 특징점 목록에서 선택된 특징점을 삭제한다. 마지막으로 지문 원화상의 부 영역별 용선 방향(Direction map)과 지문의 구조적 특성을 근거로, 재구성된 세션화 화상에서 후보 특징점이 위치한 영역의 패턴을 검사하여 진짜 특징점만을 선택함으로써 의사 특징점을 제거하게 된다. NIST Special Database 14의 지문 화상에 적용한 결과는 제안 알고리즘이 정추출율에는 작은 영향을 미친 반면 오추출율을 상당히 개선하고, 자동 지문 인식 시스템의 인식 성능도 향상 시켰음을 나타내고 있다.

Abstract

In this paper, we propose a post-processing algorithm to remove false minutiae which decrease the overall performance of an automatic fingerprint identification system by increasing computational complexity, FAR(False Acceptance Rate), and FRR(False Rejection Rate) in matching process. The proposed algorithm extracts candidate minutiae from thinned fingerprint image. Considering characteristics of the thinned fingerprint image, the algorithm selects the minutiae that may be false and located in recoverable area. If the area where the selected minutiae reside is thinned incorrectly due to noise and loss of information, the algorithm recovers the area and the selected minutiae are removed from the candidate minutiae list. By examining the ridge pattern of the block where the candidate minutiae are found, true minutiae are recovered and in contrast, false minutiae are filtered out. In an experiment, Fingerprint images from NIST special database 14 are tested and the result shows that the proposed algorithm reduces the false minutiae extraction rate remarkably and increases the overall performance of an automatic fingerprint identification system.

Keywords : Biometrics, Fingerprint, Minutiae, Postprocessing, Feature extraction, Matching

* 正會員, 仁荷大學校 自動化工學科
(Dept. of Automation Engineering, College of
Engineering Inha University)

※ 이 논문은 1999년도 한국학술진흥재단의 연구비에
의하여 지원되었음(KRF-99-041-E00269)
接受日字:2000年2月14日, 수정완료일:2000年4月26日

I. 서론

근래 개인 인증을 위한 새로운 수단으로 분실, 망각, 도용의 위험이 없는 생체 인식이 활발히 연구되고 있다. 생체 인식에서 사용되는 신체적 혹은 행동적 특징량은 모든 사람이 지니고 있는 보편성과, 나를 다른 사람과 구별할 수 있는 유일성, 시간과 환경에 따라 변하지 않는 영구성, 그리고 정량적으로 얻을 수 있는 획득성의 특징을 가져야 하다. 또한 이를 이용한 시스템은 빠른 사용 속도, 정확성과 같은 좋은 성능과, 사용자들이 거부감 없이 사용할 수 있고, 불법적인 방법에서의 접근을 차단할 수 있어야 한다^[1]. 현재 생체 인식에서 사용되는 특징량은 얼굴, 음성, 손 모양, 동공, 홍채, 혈관, 지문 등이 있고, 그 중에서 지문을 이용한 생체 인식은 위에 제시한 특성을 가장 잘 만족하는 것으로 여겨지고 있다^{[2][3][4]}.

1. 지문 특징점 추출의 일반적인 과정

자동 지문 인식은 지문 화상에서 특징량을 추출하는 과정과 추출된 특징량을 입력으로 하는 정합 과정으로 이루어 진다^{[1][3][4]}. 대부분의 자동 지문 인식에서 사용

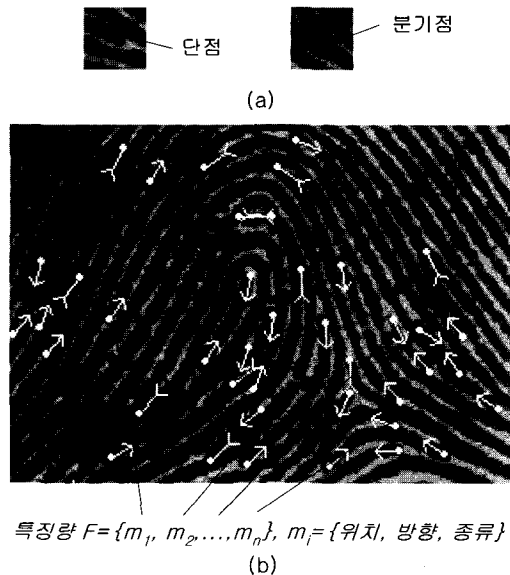


그림 1. 지문의 특징점과 특징량 : (a)지문의 특징점. (b)지문의 특징량
 Fig. 1. Minutiae and feature of fingerprint: (a) Minutiae of fingerprint. (b) Feature of fingerprint.

하는 특징량은 그림1.(a)와 같이 단점과 분기점으로 불리우는 특징점(Minutiae)으로 구성된다. 그림1.(b)의 특징량 $T = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ 에서 m_i 는 지문 화상에 존재하는 특징점을 의미하고 분기점과 단점 중 어떤 것인지를 나타내는 특징점의 종류, 지문 화상 내의 위치, 특징점이 위치한 융선의 방향에 대한 정보를 가지고 있다^{[1][2][4][8]}.

그림2는 일반적인 특징점 추출 과정을 보여주고 있다^{[1][4][5][11]}. 특징점 추출은 지문 화상에 다양한 영상 처리를 하는 전처리 과정과, 전처리한 지문 화상에서 후보 특징점을 추출하는 후보 특징점 추출 과정, 그리고 추출한 특징점에서 알고리즘이 찾은 가짜 특징점을 제거하는 후처리 과정으로 이루어 진다. 대부분의 알고리즘에서는 전처리 과정을 통하여 지문을 세선화 시킨 후 세선화된 지문 화상에서 각 화소의 교차수를 검사하여 후보 특징점을 추출한다. 다음은 세선화 화상을 얻기 위한 과정이다^{[3][4][8][11]}.

(1) 부 영역별 융선 방향 계산 : 지문 화상을 $w \times w$ 크기의 블록으로 나누어 블록별 융선 방향을 계산한다. 계산된 융선 방향은 이진화, 평활화 필터 구성과, 융선 추적등에 사용한다^{[2][3][4][8]}

(2) 지문 영역 분할 : 지문 화상에서 배경을 제외한 지문 영역만을 분리해 낸다. 지문 화상을 ww 크기의 블록으로 나누어 계산한 블록의 분산과, 방향 영상(Directional Image)을 사용하여 지문 영역을 분리해 낸다^{[3][4][8][12]}.

(3) 이진화 : 지문 화상을 이진화 영상으로 변환한다.

(4) 평활화 : 이진화 화상에 나타나는 잡음을 제거하고 융선을 강조한다.

(5) 세선화 : 이진화된 지문 화상을 융선의 연결성을 유지시키면서 1화소의 굵기로 바꾸어 준다.

그림 2의 후보 특징점 추출은 교차수를 사용한다. 세선화 화상에서 융선 위 화소를 중심으로 이웃한 화소를 P_1 에서 P_8 까지라고 할 때 $CN = \sum_{k=1}^8 |P_k - P_{k+1}| + |P_8 - P_1|$ 을 교차수라고 하고 CN이 2이면 단점으로, 6이상이면 분기점으로 한다. 그림3은 전처리 단계에서 지문이 세선화 되는 과정을 보여주고 있다. (b), (c), (d)는 순서대로 (a)의 지문 화상이 이진화, 평활화, 세선화 과정을 거친 결과 화상이다. (e)는 추출한 특징점을 지문 위에 출력한 것이다.

그림 4와 같이 자동 지문 인식 시스템에서 지문 확

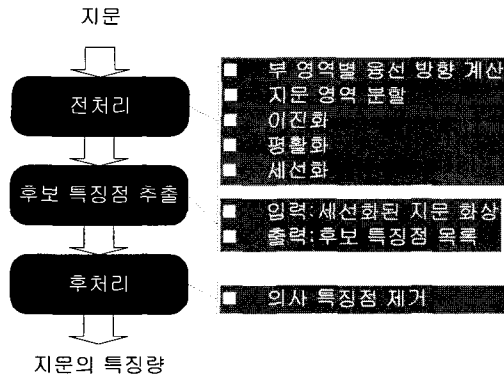


그림 2. 일반적인 특징점 추출 과정
Fig. 2. Conventional minutiae extraction process.

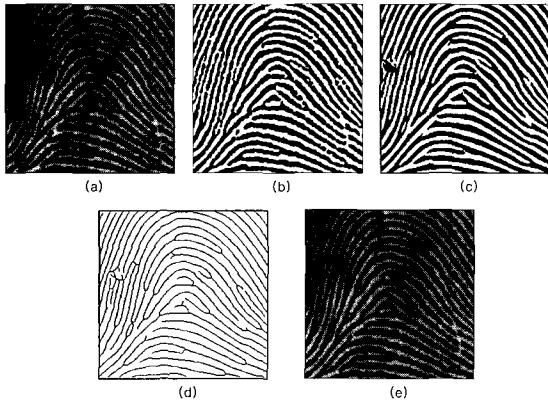


그림 3. 전처리 과정의 결과: (a)지문 원화상. (b)이진화 결과. (c)평활화 결과. (d)세선화 결과. (e) 추출된 특징점
Fig. 3. Result of preprocessing : (a) Fingerprint image. (b) Binary image. (c) Smoothed image (d) Thinned image. (e) Extracted minutiae.

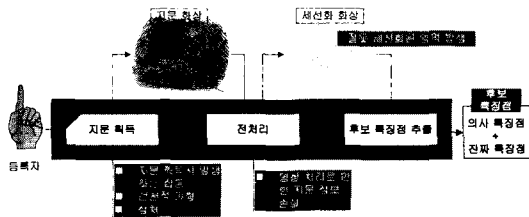


그림 4. 잡음과 정보 손실로 인한 의사 특징점의 발생
Fig. 4. Occurrence of false minutiae which is caused by noise and loss of information.

특시 발생하는 잡음과 영상 처리 과정으로 인한 정보 손실에 의하여 후보 특징점 추출시 의사 특징점, 즉 가짜 특징점도 추출되고 후처리 과정에서 이러한 의사

특징점을 제거한다. 이때 제거되지 않은 의사 특징점은 특징량 T 에 잡음으로 존재하여 정합 과정에서 계산량, FAR, 그리고 FRR 을 증가시켜 시스템의 성능을 저하시킨다^[10].

2. 의사 특징점 제거 연구 사례

자동 지문 인식 시스템의 성능을 향상시키기 위하여 의사 특징점을 제거하려는 다양한 시도가 있어 왔다. [4]에서는 단선, 잔가지, 연결, 절선의 네 가지 경우에서 의사 특징점이 발생한다고 정의하고 추출한 특징점에서 해당되는 특징점을 제거함으로써 의사 특징점을 제거하고 있다. 이 방법은 의사 특징점이 발생하는 다양한 경우를 포함하고 있지 않고 진짜 특징점을 의사 특징점으로 간주하여 정추출율을 감소시키는 문제점을 가지고 있다. [5]의 논문은 지문이 일련의 융선의 흐름으로 이어져 있다는 특성을 고려하여 세선화 화상에서 생길 수 있는 8가지의 오류를 정의하고, 해당 영역을 세선화 화상에서 재구성하여 의사 특징점을 제거하였다. 그러나 지문의 품질이 좋지 않은 영역에서는 8가지의 오류를 제거함에도 불구하고 여전히 의사 특징점이 나타나는 문제점을 가지고 있다. [6]의 논문은 세선화 화상에서 우선 의사 특징점을 제거하고 남아 있는 특징점에서 신뢰할 수 있는 특징점을 선택하는 방법으로 의사 특징점을 제거하였다. 그러나 의사 특징점을 제거하는 규칙에 적용되지 않는 의사 특징점이 존재하고, 신뢰할 수 있는 특징점의 선택 시 중심점과 삼각주 영역에 속하는 진짜 특징점을 선택하지 못하는 경우가 발생하게 된다. [7]의 논문은 의사 특징점을 제거하기 위하여 신경 회로망을 사용하였다. 우선 추출된 특징점을 중심으로 일정 크기의 영역을 원화상에서 선택한다. 선택한 영역을 융선의 방향과 크기로 일반화 시킨 후 KL변환으로 선택한 영역의 데이터의 크기를 줄이고, 이것을 신경 회로망의 입력으로 하여 특징점인지를 판단한다. 그러나 선택한 영역을 제조도에 대하여 일반화시키지 않은 것과 중심점과 삼각주의 특징점을 인식하지 못하는 점으로 인하여 알고리즘 적용 후에 정추출율이 크게 감소하고 있다.

본 논문에서는 지문 특징량의 오추출을 감소를 목적으로 특징량에 존재하는 의사 특징점을 제거하는 알고리즘을 제안한다. 기존의 논문에서 가장 큰 문제점은 지문의 영상이 나쁜 부분에는 알고리즘의 적용에 어려움이 있다는 것이었다. 본 논문에서는 추출된 후보 특

징점 중에서 세션화된 지문 화상의 구조적 특성을 근거로 복원 가능 영역에 속한 후보 특징점만을 알고리즘에 적용하고, 마지막 단계에서 좋은 품질의 영역에 속한 신뢰할 수 있는 특징점만을 선택함으로써 이러한 문제를 해결하였다.

II. 본 론

1. 제안 알고리즘의 개요

제안하는 알고리즘은 정추출을 손실대비 높은 오추출을 감소를 목적으로 전처리 과정을 거쳐 추출된 후보 특징점에서 의사 특징점을 제거한다. 기존의 방법에서 문제점은 지문 화상 내에 품질이 나쁜 영역에서 발생하는 의사 특징점을 제거하기 어렵다는 것과 중심점과 삼각주에 위치한 진짜 특징점을 의사 특징점으로 간주하고 제거한다는데 있다. 본 논문에서는 추출된 후보 특징점 중에서 세션화된 지문 화상의 구조적 특성을 근거로 복원 가능 영역에 속한 후보 특징점만을 알고리즘에 적용하고, 마지막 단계에서 좋은 품질의 영역에 속한 신뢰할 수 있는 특징점만을 선택함으로써 품질이 나쁜 영역에 위치한 의사 특징점을 효과적으로 제거하였다. 또한 삼각주와 중심점을 특이영역으로 정의하여 이 영역에 속한 후보 특징점을 다른 영역의 특징점과 구분하여 알고리즘을 적용함으로써 정추출율의 감소를 줄일 수 있었다.

의사 특징점 제거 알고리즘은 그림 5와 같다. 전처리 과정의 결과로 얻은 세션화된 지문 화상과 세션화 화상에서 추출한 후보 특징점 목록, 그리고 지문 화상을 $w \times w$ 의 블록 크기로 나누어 계산한 부 영역별 응선 방향을 입력으로 하여 다음의 순서로 의사 특징점을 제거한다. 후보 특징점 목록 구성 시 지문 영역과 배경 영역의 경계에 위치한 후보 특징점은 제외한다.

첫 번째 단계로 응선 사이의 평균 거리를 계산한다. 계산된 응선 사이의 평균 거리는 잡음 제거 과정에서 사용되는 임계치의 기준으로 하여 알고리즘에 지문의 다양한 변화에 대한 유연성을 준다.

두 번째로 이전 단계에서 구성한 후보 특징점 목록에서 세션화된 지문 화상의 구조적 특성을 고려하여 복원 가능 영역에 속하고 잡음으로 여겨지는 후보 특징점들을 선택한다. 선택된 특징점이 세션화 화상에서 위치하는 영역을 잡음이라고 간주하고 제거하여 세션

화 화상을 올바르게 재구성한다. 세션화 화상의 잡음 제거 과정은 응선 연결, 응선 제거, 그리고 응선 재구성으로 이루어진다.

마지막으로 올바르게 재구성된 세션화 화상과 원화상의 부 영역별 방향을 이용하여 특징점의 구조적 특성을 만족하는 후보 특징점을 좋은 품질의 영역에 속한 특징점으로 간주하고 선택한다. 판단하는 과정은 지문의 부 영역별 방향을 이용한 특이 영역 검출과 특징점 검사, 그리고 특이 영역에 속하는 특징점 검사로 이루어진다.

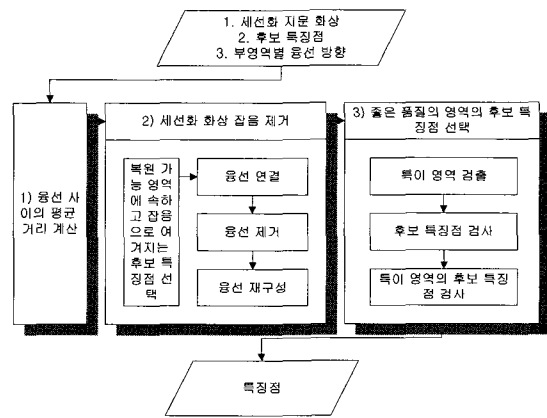


그림 5. 제안하는 의사 특징점 제거 알고리즘
Fig. 5. The proposed false minutiae filtering algorithm.

2. 응선 사이의 평균 거리 계산

자동 지문 인식 시스템에서 발생하는 문제점 중에 하나는 인식 대상인 지문의 형태가 지문 등록자, 지문 등록 설비, 그리고 지문 등록 시기에 따라 다르게 나타난다는 것이다. 따라서 특징량 추출을 위한 전처리 알고리즘이 이러한 변화에 적절히 대응하지 못할 경우 지문 정보의 손실과 왜곡을 가져오게 된다. 본 논문에서는 알고리즘의 지문 화질 변화에 대한 적응력을 높여 주기 위하여 처리 대상인 지문 화상의 응선 사이의 평균 거리를 계산한다. 이 거리를 알고리즘에서 사용하는 임계치의 기준으로 사용한다.

응선 사이의 평균 거리는 D_{ridge} 라는 기호로 표시한다. 그 값은 사람마다 다르고 같은 지문이라도 해상도에 따라서 틀려지기 때문에 처리할 지문 마다 다시 구할 필요가 있다. 본 논문에서는 세션화 화상에서 응선 사이의 거리를 계산할 수 있는 구조(그림6)를 만족하는

여러 영역의 융선 거리를 추출하여 그 평균 값을 D_{ridge} 로 한다. 알고리즘은 다음과 같다.

(1) 무작위로 세선화된 지문 화상 내의 화소 P_r 를 선택하고, P_r 로부터 가장 가까운 융선 위의 화소 P_a 를 정한다.

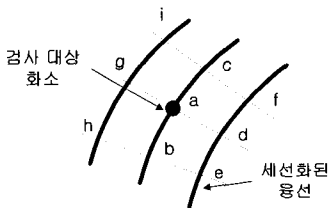
(2) P_a 를 지나고 P_a 가 속한 융선의 수직인 방향의 선분과 교차하는 이웃한 두 개의 융선 위의 점을 선택하고 각각을 시작점 P_{s1} , 시작점 P_{s2} 라고 한다. 3시 방향을 기준으로 P_a 에서 P_{s1} , P_{s2} 로 향하는 직선과의 사잇각을 각각 A_{s1} , A_{s2} 라고 한다.

(3) P_{s1} 를 검사 대상 화소 P_e 로 하고 A_{s1} 을 다음 검사 대상 화소 P_{ne} 를 찾는 방향 A_{ne} 로 한다.

(4) P_e 가 그림 6의 구조를 이루면 융선의 거리 \overline{ad} , \overline{ag} 를 저장한다. 그림 6의 구조에서 \overline{bc} , \overline{ef} 그리고 \overline{hi} 는 서로 평행하고 융선 내에 특징점이 존재하지 않으며 $\angle bac$, $\angle hgi$, $\angle edf$ 는 거의 π 를 이루고 있다.

(5) 다음 검사 대상 화소 P_* 를 구한다. P_e 를 지나고 P_e 가 속한 융선의 방향과 수직인 선분이 A_{ne} 방향으로 위치한 3번째 융선과 교차하는 화소를 P_{ne} 라고 한다.

(6) P_{ne} 를 P_e 로 하고 일정 개수 N_m 의 융선 거리를 구할 때 까지 (4)의 단계를 수행한다. N_m 개의 융선 거리를 얻기 전에 P_{ne} 이 지문영역으로 밖으로 위치하게 되면 P_{s2} 를 P_e 로 하고 A_{s2} 를 A_{ne} 로 하여 (4)번 단계부터 알고리즘을 적용한다.



$$\overline{ig} = \overline{gh} = \overline{ca} = \overline{ab} = \overline{fd} = \overline{de} = 15 \text{ pixels}$$

$$\text{and } \overline{ga} \leq 30 \text{ pixels and } \overline{ad} \leq 30 \text{ pixels}$$

그림 6. 융선 사이의 거리를 계산할 수 있는 구조
Fig. 6. The structure to calculate ridge distance.

(7) N_m 개의 융선 거리를 얻을 때 까지 (1)번에서 (6)번까지의 단계를 반복한다.

그림 7은 P_r 을 무작위로 정한 후 P_a , P_{s1} , P_{s2} , A_{s1} , A_{s2} 가 구해지는 것을 보여주고 있다. P_{s1} , A_{s1} 는

각각 P_{se} , A_{ne} 로 정해지고 P_{ne} 가 결정되어진다.

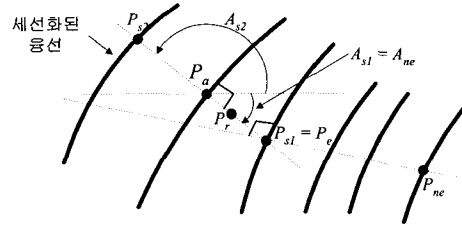


그림 7. 융선 사이의 평균 거리 계산
Fig. 7. Calculating average ridge distance.

3. 세선화 화상의 잡음 제거

지문의 획득시 발생하는 잡음과 전처리 과정으로 인한 정보의 손실에 의해 세선화된 지문 화상에는 잘못된 지문 정보가 포함되게 된다. 이렇게 잘못된 세선화된 영역을 세선화된 화상의 잡음이라 정의한다. 지문이 일련의 융선의 흐름으로 이루어져 있다는 사실과 지문의 특징점이 나타나는 구조를 고려하여 복원 가능한 영역의 세선화 화상에서 나타날 수 있는 잡음을 제거하여 특징점의 진위 여부를 결정하는 단계에서 올바른 융선의 정보를 제공한다.

잡음 제거 방법은 추출된 후보 특징점을 검사하여 잡음 제거 과정의 세 단계인 융선 연결, 융선 제거, 그리고 융선 재구성 대상에 속하는지를 검사하고 해당 후보 특징점이 세선화 화상에 위치하는 영역을 올바르게 고침으로써 이루어진다. 본 논문에서는 세선화 화상을 얻기 위한 전처리 과정으로 [4]의 방법을 사용하였다. 본 논문에서는 좌측 상단을 좌표계의 원점으로 하고 -에서 로 각도를 표현하였다.

1) 검사 항목

세선화 화상에서 후보 특징점이 속한 융선의 구조를 판단하기 위하여 모든 후보 특징점에 대하여 다음의 항목을 검사한다.

- (1) 융선으로 연결된 끝점의 개수 C_e
- (2) 융선으로 연결된 분기점의 개수 C_b
- (3) 융선의 각도 A_r
- (4) 끝점의 경우, 근접한 끝점의 개수 N_e
- (5) 분기점의 경우, 기준 가치를 정하고 기준 가치를 제외한 나머지 두 가지의 사잇각 Ad 와 평균 각도 A_a

(1), (2), (4)번에서의 C_e 와 C_b , N_e 은 [5] 논문에서 제시되어 있는 검사 항목이다. (4)번에서 언급된 근접한

끝점이란 검사 대상 끝점에서 일정 거리 DE_{th} 이내에 위치하고 그 사이에 용선이 존재하지 않는 끝점을 말한다. (5)번에서 기준 가지란 분기점에 연결되어 있는 세 개의 가지 중에 주어진 규칙에 의해 선택된 하나의 가지를 말한다. 주어진 규칙은 각 단계에서 결정된다. 그림8은 기준 가지를 정했을 경우 사잇각과 평균 각도를 보여준다.

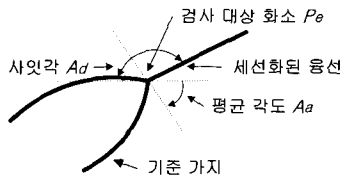


그림 8. 분기점에서 기준 가지와 사잇각, 평균 각도
Fig. 8. A basic branch, angle difference and average angle in bifurcation point.

2) 용선 연결

후보 특징점 목록에서 끝점을 검사하여 $N_e \neq 0$, 즉 근접 끝점이 존재하면 해당 끝점을 검사 대상 화소 P_e , 근접 끝점은 이어줄 후보 끝점 P_c 로 하고 P_e 가 속한 용선의 방향을 A_r^e , P_c 가 속한 용선의 방향을 A_r^c , P_e 점과 P_c 점이 연결했을 때의 각도를 sA_{ec} 라고 한다. P_e 와 P_c 가 식 (1)을 만족하면 P_e 와 P_c 를 연결한다. 식 (1)에서 A_{th} 는 각도의 변화를 허용하는 임계치 각도이다. 식 (1)은 이어줄 두 개의 용선과 이어주는 용선이 서로 평행한지 검사하는 식이다.

$$\begin{cases} N_e \neq 0 \\ \min[abs(A_r^e - A_r^c), 2\pi - abs(A_r^e - A_r^c)] \geq \pi - A_{th} \\ \min[abs(A_r^e - A_{ec}), 2\pi - abs(A_r^e - A_{ec})] \geq \pi - A_{th} \end{cases} \quad (1)$$

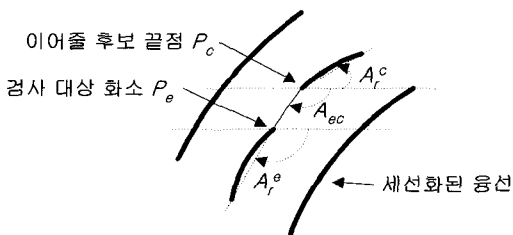


그림 9. 용선 연결 시 검사 항목
Fig. 9. Examining attributes for ridge connection.

그림9는 용선 연결 시 검사되는 항목을 표시한 것이다. 여러 개의 후보 끝점 P_c 가 존재할 경우 $\min[abs(A_r^e - A_{ec}), 2\pi - abs(A_r^e - A_{ec})]$ 이 π 와 가장 가

까운 P_c 와 연결한다

3) 용선 제거

용선 연결 과정을 거친 세션화 화상에서 복원 가능 영역에서 나타날 수 있는 잡음인 잔가지, 짧은 용선을 제거한다. 그림10은 잔가지와 짧은 용선을 보여주고 있다. 제거 방법은 후보 특징점을 검사하여 끝점인 경우, DE_{th} 거리 이내의 다른 끝점과 용선으로 연결되어 있으면 짧은 용선으로 간주하여 세션화 화상에서 해당 용선을 제거한다. 용선에 연결된 두 개의 끝점도 후보 특징점에서 제거한다. 분기점의 경우에는 연결된 세 개의 가지를 추적하여 식 (2)번에 명시된 세 개의 조건에 해당되는지 검사한다. 조건에 해당되는 경우 이때의 기준 가지를 잔가지로 간주하여 세션화 화상에서 제거한다. 기준 가지를 정하고 잔가지를 제거하는 방법은 다음과 같다.

(1) 세 개의 가지를 추적한다.

(2) 일정 거리 DE_{th} 이내에 끝점이 존재하면 기준 가지로 정한다.

(3) 용선 제거 구조인 식(2)에 해당하는지 검사한다. 하나 이상의 기준 가지가 나타날 경우에는 그 중에서 하나의 기준 가지를 선택한다.

(4) 식(2)에 해당되면 기준 가지는 제거될 잔가지 구조에 속하는 것이므로 기준 가지를 삭제하고 기준 가지, 즉 잔가지의 양쪽 끝에 연결되어 있는 분기점과 끝점도 후보 특징점 목록에서 삭제한다.

(5) 식(2)에 해당하지 않으면 다음 후보 특징점을 검사한다. 3)단계에서 두 개 이상의 기준 가지가 발견되었으면 다른 기준 가지를 선택하여 3)단계부터 5)단계를 실행한다.

$$\begin{cases} 1) C_e \neq 0, \text{ and } C_b = 0, \text{ and } A_d \geq \pi - A_{th} \\ 2) C_e \neq 0, \text{ and } C_b \neq 0, \text{ and } A_d \geq \pi - A_{th}, \\ \text{ and } \min[abs(A_r - A_a), 2\pi - abs(A_r - A_a)] \leq A_{th} \\ 3) C_e \neq 0, \text{ and } C_b \neq 0, \text{ and } A_d \geq \pi - A_{th}, \\ \text{ and } \min[abs(A_r - A_a), 2\pi - abs(A_r - A_a)] \geq \pi - A_{th} \end{cases} \quad (2)$$

식 (2)의 1)번에서 $A_d \geq \pi - A_{th}$ 는 기준 가지를 제외한 나머지 두 개의 용선이 거의 π 를 이룬다는 것을 의미한다. 식 (2)의 2)번에서 A_{th} 은 기준 가지의 각도를 말하고 2),3)은 기준 가지가 나머지 두 개의 용선에 수직이 되는 것을 의미한다. 이것은 그림11의 (a) 구조를

(b) 구조와 구별하여 찾아내기 위한 조건이다. 그림 11.(a) 구조는 기준 가지가 잔가지로 제거 대상이지만 그림11.(b)는 십자가 구조로 재구성되어야 할 구조이기 때문이다. 세션화 화상에서 그림11.(b)의 구조는 빈번히 나타나고 있기 때문에 구별해 주어야 한다 그림12는 잔가지 제거 시 필요한 검사 항목을 도기한 것이다.

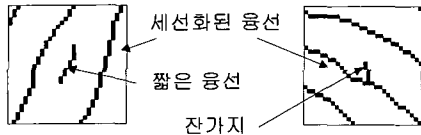


그림 10. 짧은 융선과 잔가지 구조
Fig. 10. Short ridge and spur.

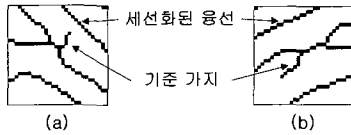


그림 11. 유사한 형태의 잔가지와 연장된 십자가 구조
: (a)잔가지 구조. (b)연장된 십자가 구조.
Fig. 11. Similar type of spur and extended cross.

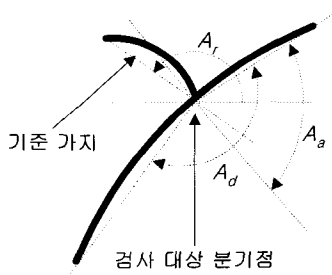


그림 12. 잔가지 제거 시 검사 항목
Fig. 12. Examining attributes for removing spur.

4) 융선 재구성

융선 제거 과정 후에 세션화 화상에서 복원 가능 영역에서 나타날 수 있는 잘못된 융선 구조를 찾아 재구성한다. 복원 불가능한 영역은 신뢰할 수 없는 지문의 정보를 가지고 있기 때문에 고려 대상에서 제외하고 복원 가능 영역에서 나타날 수 있는 잡음만을 재구성한다. 재구성될 구조는 그림13.(a) 와 같이 원형 구조, 십자가 구조, 다리 구조, 연장된 십자가 구조, 그리고 삼각형 구조이다. 그림13.(b)는 본 논문의 실험을 통하여 올바르게 재구성된 결과이다. [5]의 논문에서는 두 개의 다리 구조가 가까운 거리 내에 위치하는 형태를 사다리 구조라 정의하고 다리 구조와 사다리 구조를

구분하여 제거하였다. 그러나 본 논문에서 제안하는 알고리즘에서는 다리 구조와 사다리 구조의 구분 없이 다리 구조만을 제거하는 방법으로도 사다리 구조를 제거 할 수 있다.

재구성 방법은 그림14와 같다. 후보 특징점 목록에서 분기점을 선택하여 원형 구조, 십자가 구조 그리고 나머지 구조에 해당되는지 순서대로 검사하고 각 단계에 해당되면 융선을 재구성한 후 다음 분기점을 선택한다. 해당되는 구조가 없으면 다음 단계의 구조에 속하는지 순차적으로 검사한다.

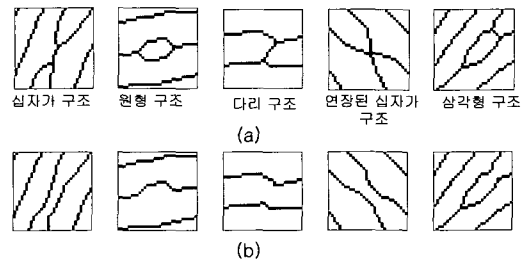


그림 13. 재구성될 융선 구조와 재구성된 결과 : (a)재구성될 융선 구조. (b)재구성된 융선
Fig. 13. Reconstructed ridge structure and the result : (a) Reconstructed ridge structure. (b) The result of reconstructed ridge structure.

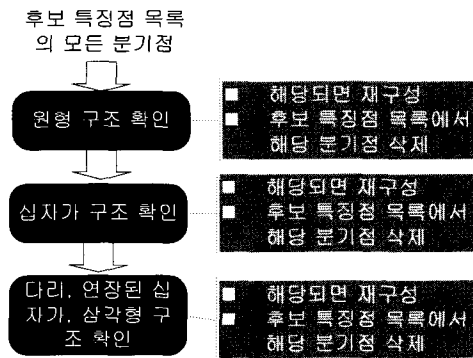


그림 14. 융선 재구성 순서
Fig. 14. Flow of reconstruction.

1. 원형 구조의 재구성

검사 대상 분기점 P_e 에 연결되어 있는 두 개 이상의 가지가 일정한 거리 DB_{th} 이내에 같은 분기점을 공유하고 있으면, 원형 구조로 간주하여 두 개의 가지 중 하나를 세션화 화상에서 삭제하고 연결된 두 개의 분기점도 후보 특징점 목록에서 제거한다

2. 십자가 구조의 재구성

검사 대상 분기점 P_e 가 네 개의 가치를 가지면 십자가 구조로 간주하여 분기점을 중심으로 일정 거리 DD_{th} 만큼 네 개의 가치를 삭제한다. 검사 대상 분기점도 후보 특징점 목록에서 삭제한다. 가치를 삭제하고 생긴 네 개의 끝점을 용선 연결 알고리즘을 이용하여 연결해 준다.

3. 다리, 연장된 십자가, 삼각형 구조의 재구성

세션화된 지문 화상에서 나타날 수 있는 잡음을 본문에서는 5가지로 정의하였다. 원형 구조와 십자가 구조의 검사를 마친 후 나머지 세 가지의 잘못된 구조는 이번 단계에서 찾아내고 제거한다. 제거하는 과정은 다음과 같다.

(1) 검사 대상 분기점 P_e 에 연결된 세 개의 가치를 추적하여 일정 거리 DB_{th} 이내에 다른 분기점 P_m 을 만나면 두 개의 분기점을 이어주는 가치를 기준으로 정한다.

(2) P_e 에서의 A_d 와 A_a 를 A_d^e, A_a^e 라 하고 P_m 에서 A_d 와 A_a 를 각각 A_d^m, A_a^m 라고 정한다. A_d 와 A_a 는 그림9에 정의되어 있다.

(3) 2)단계에서 계산한 와 가 식 (3)에 해당하면 다리, 사다리, 삼각형 구조 중의 하나로 간주하여 기준 가치를 세션화 화상에서 제거함으로써 올바른 형태로 용선을 재구성한다. 기준 가치의 양 끝에 위치한 두 개의 분기점도 후보 특징점 목록에서 삭제한다.

$$A_d^e \geq \pi - A_{th} \text{ and } A_a^e \geq \pi - A_{th} \quad (3)$$

식(3)은 기준 가치로 연결된 두 용선의 각도가 에 가까운 값을 가지고 있음을 의미한다.

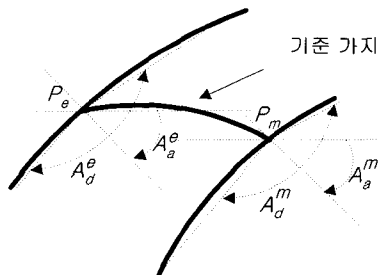


그림 15. 다리 구조 재구성시의 검사 항목
Fig. 15. Examining attributes for reconstruction of ladder structure.

(4) 2)단계에서 계산한 $A_d^e, A_a^e, A_d^m, A_a^m$ 가 식 (4)

에 해당하면 연장된 십자가 구조이다. 기준 가치와 기준 가치의 양 끝에 연결된 네 개의 가치를 일정 거리 DD_{th} 만큼 삭제하고 이때 생긴 네 개의 끝점을 용선 연결 과정을 통하여 이어준다. 연결된 두 개의 분기점도 후보 특징점 목록에서 삭제한다.

$$A_d^e < \pi - A_{th} \text{ and } A_a^e < \pi - A_{th} \text{ and}$$

$$\min[\text{abs}(A_d^m - A_a^e), 2\pi - \text{abs}(A_d^m - A_a^e)] \geq \pi - A_{th} \quad (4)$$

그림18은 다리 구조 재구성시 검사 항목이다

4. 좋은 품질 영역의 특징점 선택

지문 화상에는 용선과 골의 구분이 명확한 좋은 품질의 영역과 용선의 침식이나 끊어짐으로 인하여 구분이 명확하지 않은 나쁜 품질의 영역이 공존하고 있다. 나쁜 품질의 영역은 전처리 과정을 거치고도 계속 나쁜 상태, 즉 지문에 대한 신뢰할 만한 정보를 제공할 수 없는 상태로 남아 있다. 따라서 잡음이 제거된 세션화 화상에서 후보 특징점이 위치한 영역을 검사하여 나쁜 품질의 영역에 속한 특징점은 버리고 좋은 영역에 위치한 특징점만을 진짜 특징점으로 선택하여 의사 특징점을 제거한다. 이와 같은 방법으로 나쁜 영역에 속하는 의사 특징점을 효과적으로 제거할 수 있다.

특징점이 위치한 영역의 품질을 판단하기 위하여 해당 특징점에 인접한 용선의 각도를 원화상의 부 영역별 용선 방향과 비교하고 인접 용선의 곡률을 검사한다. 이전 단계인 세션화 화상의 잡음 제거 과정에서 잘못 세션화된 부분을 올바르게 고쳤기 때문에 신뢰성을 가지고 인접한 용선에 대한 판단의 근거로 사용할 수 있다.

일반적으로 용선은 중심점을 중심으로 외류하는 형태로 흐르다 삼각주를 만나면 흐름의 방향이 바뀌는 형태를 갖는다. 그러나 중심점과 삼각주 주변에서는 이러한 흐름이 큰 곡률을 갖게 된다. 따라서 제시하는 알고리즘은 중심점과 삼각주를 특이 영역으로 정의하고 이 영역 내에 위치하는 특징점은 다른 영역의 특징점들과 차별화된 알고리즘을 적용하여 지문 전체 영역에 동일한 규칙을 적용하여 발생하는 결과의 불일치를 극복한다.

1) 특이 영역 검출

용선의 방향을 나타내는 지문 화상의 부 영역별 용선 방향을 사용하여 용선의 방향이 급격히 변하는 두 개의 이웃한 블록을 선택하고 그 크기를 확장하여 특

이 영역으로 정한다. 본 논문에 사용된 부 영역별 방향을 구하는 알고리즘은 [9]에 제시된 방법을 사용하였고 $-\pi/2$ 부터 $\pi/2$ 로 블록의 방향을 나타낸다. 특이 영역을 찾아내는 알고리즘은 다음과 같다.

1) 지문 원화상을 $w \times w$ 의 블록 크기로 나누어 계산한 부 영역별 용선 방향에서 모든 블록을 순서대로 검사 대상 블록으로 정한다.

2) 검사 대상 블록의 방향 A_b^n 을 이웃 블록의 방향 A_b^s 과 비교하여 식 (6)을 만족하면 검사 대상 블록과 이웃 블록을 선택한다. 식 (6)은 두 블록의 방향이 거의 수직을 이루고 있음을 나타내는 것이다.

$$\min[abs(A_b^n - A_b^s), \pi - abs(A_b^n - A_b^s)] \geq \pi/2 - A_{th} \quad (6)$$

3) 2)번 단계에서 선택된 블록을 그림16과 같이 $\frac{pw}{2}$ 만큼 확장한 영역을 특이 영역으로 정한다. pw 는 4.2장에 언급되는 검사 블록의 크기이다. 선택한 블록을 확장하는 이유는 특징점 검사 시 중심점과 삼각주 블록에는 포함되지 않지만 근접한 특징점도 같은 영역으로 간주하고 선택하기 위해서이다. 그림 17은 세션화된 지문 화상 내에서 추출한 특이 영역을 회색으로 표현한 것이다.

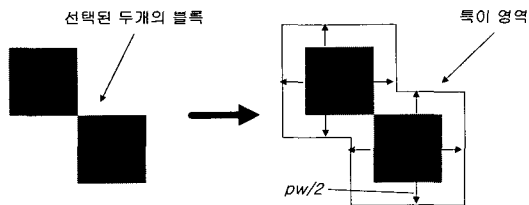


그림 16. 선택한 블록을 특이 영역으로 확장
Fig. 16. Extending selected blocks to unusual area.

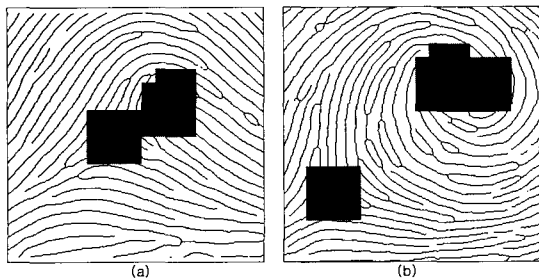


그림 17. 특이 영역 추출
Fig. 17. Extraction of unusual area.

2) 특징점 검사

후보 특징점을 검사하여 좋은 품질의 영역, 즉 정확한 지문 정보를 가지고 있는 영역에 속하는 특징점을 선택하는 과정이다. 검사 항목은 다음의 두 가지이다. 첫 번째는 특징점에 인접한 용선의 각도를 원화상의 부 영역별 용선 방향에 비교한다. 특이 영역을 제외하고 용선의 방향은 부 영역별 용선 방향과 같기 때문에 그렇지 못한 영역은 지문의 품질이 나쁜 곳으로 간주한다. 두 번째로 인접 용선의 곡률을 검사한다. 이것 또한 특이 영역을 제외하고는 용선이 거의 일직선을 이루고 있기 때문에 그렇지 못한 영역은 나쁜 품질의 영역으로 간주한다. 검사 방법은 다음과 같다.

(1) 후보 특징점 목록에서 검사 대상 특징점 P_e 을 선택한다.

(2) P_e 가 속한 블록의 부 영역별 방향 A_b 를 얻는다.

(3) 용선 사이의 평균거리 D_{ridge} 를 사용하여 검사 블록의 크기 p_w 를 계산한다.

(4) 잡음이 제거된 세션화 화상에서 P_e 를 중심으로 $p_w \times p_w$ 블록을 선택한다.

(5) 선택한 블록, 즉 검사 블록에 존재하는 용선 중 길이가 DR_{th} 보다 긴 용선들 각각의 각도 A_r 과 곡률 C 를 계산한다. 이때 A_r 의 절대 값이 $\pi/2$ 보다 크고 양수 이면 A_r 을 A_r, π -로 하고 $\pi/2$ 보다 크고 음수 이면 $-A_r$ 로 한다. A_r 는 $-\pi$ 에서 π 로 표현되는 반면 A_b 는 $-\pi/2$ 에서 $\pi/2$ 로 표현 되기 때문에 위와 같이 A_r 의 각도를 변환시켜야 한다. 곡률 계산은 용선 추적 거리를 용선 양 끝 사이의 거리로 나누어 구한다. 그림 18에는 $\overline{al}, \overline{bm}, \overline{ck}, \overline{dn}, \overline{fi}, \overline{gh}, \overline{jm}$ 의 용선이 존재한다.

(6) 5)번 단계에서 얻은 모든 A_r 과 C 가 식 (7)을 만족시키면 좋은 품질의 영역에 속한 특징점으로 선택한다. 식 (7)에서 C_{th} 는 곡률의 임계치이다.

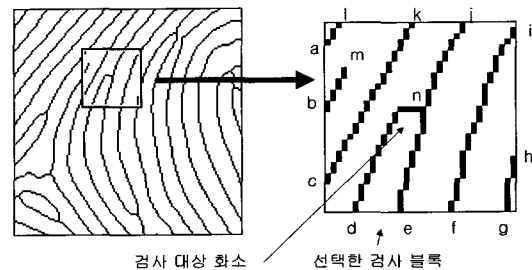


그림 18. 선택한 검사 블록
Fig. 18. Selection of examining block

$$\min[abs(A_b - A_r), p - abs(A_b - A_r)] < A_{th} \text{ and } C < C_{th} \quad (7)$$

3. 특이 영역에 포함된 특징점 검사

특이 영역은 용선의 방향이 급격히 변하기 때문에 부 영역별 방향에 평행하지 않는 용선이 존재할 수 있고 또한 곡률이 큰 용선도 존재할 수 있다. 4.2절에서 사용한 방법은 특이 영역에 속한 모든 후보 특징점을 나쁜 영역에 속한 특징점으로 간주하게 되므로 이 영역에 속한 특징점은 4.2절의 특징점 검사에서 제외시킨다. 부 영역별 방향을 사용하여 특이 영역을 추출할 수 있다는 것은 특이 영역이 좋은 품질의 영역이기 때문이라고 가정하고 이 영역에 속하는 후보 특징점은 진짜 특징점으로 선택한다.

III. 실험 및 결과

본 논문에서는 두 가지의 실험을 실시한다. 첫번째는 제안하는 의사 특징점 제거 알고리즘의 적용으로 인한 정추출율과 오추출율의 변화를 확인하고, 두 번째는 기존의 후처리 과정^[1]과 제안하는 방법의 수행 성능을 비교한다. 실험을 위해 NIST Special Database 14의 지문 화상을 사용하였다. 본 논문에서는 임계치의 기준으로 용선 사이의 평균 거리 D_{ridge} 를 사용하여 알고리즘이 지문 형태의 변화에 대하여 유동성을 가지도록 하였다. 표1은 본문에서 사용한 임계치이다.

표 1. 논문에서 사용된 임계치
Table 1. Thresholds that are used in the paper.

임계치 기호	내용	임계치 값
N_{th}	용선 사이의 평균 거리를 계산하기 위하여 필요한 용선 사이 거리의 계수	20
DE_{th}	끝점 추적 거리	$2D_{ridge}$
DB_{th}	분기점 추적 거리	$1.5D_{ridge}$
A_{th}	허용 각도 오차	$\pi/6$
DD_{th}	삭제할 용선 길이	$0.5D_{ridge}$
DR_{th}	최소 용선 길이	D_{ridge}
C_{th}	최소 곡률	1.5
p_w	검사 블록의 크기	$4D_{ridge}+1$

1. 정추출율과 오추출율의 변화
본 논문에서 제안한 의사 특징점 제거 알고리즘의

궁극적인 목적은 특징점 추출 과정에서 얻은 후보 특징점들에서 의사 특징점을 제거하여 정추출율에는 적은 변화를 주고 오추출율을 감소시키는 것이다.

실험은 그림19의 순서로 진행된다. 우선, 지문의 진짜 특징점 파일을 만들기 위하여 제작된 프로그램인 Fingerprint Viewer/Editor(그림20)를 사용하여 지문 화상에서 특징점을 추출한 후, 특징점 비교 단계에서 진짜 특징점 파일을 후보 특징점 파일, 의사 특징점이 제거된 특징점 파일과 비교하여 다음의 네 가지 항목을 계산한다.

- 1) TM(Number of True Minutiae): 지문 화상에 존재하는 진짜 특징점의 개수
- 2) PM(Number of Paired Minutiae): 알고리즘이 추출한 진짜 특징점의 개수
- 3) DM(Number of Dropped Minutiae): 알고리즘이 추출하지 못한 진짜 특징점의 개수
- 4) FM(Number of False Minutiae): 알고리즘이 추출한 가짜 특징점(의사 특징점)의 개수

위의 네 가지 항목을 사용하여 정추출율 ($\frac{PM}{TM}$)과 오추출율 ($\frac{FM}{PM+FM}$)을 계산한다. 특징점 비교 단계에서 전문가가 찾은 진짜 특징점의 x, y좌표를 중심으로

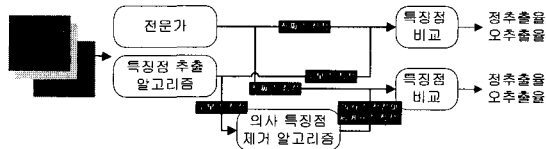


그림 19. 정추출율과 오추출율 변화를 비교하기 위한 실험 방법

Fig. 19. Experiment for confirming the change of true minutiae extraction ratio and false minutiae extraction ratio.



그림 20. 지문의 특징점 파일 관리 프로그램

Fig. 20. Fingerprint Viewer/Editor.

11×11 크기의 블록 안에 알고리즘이 추출한 특징점이 위치하면 이것을 일치하는 특징점으로 하고 하나의 진짜 특징점과 일치하는 특징점은 한 개만 되도록 한다.

그림21은 잡음 제거 과정에 의해 세션화 화상이 재구성된 결과이다. 사각형으로 표시한 부분은 세션화 화상에서 성공적으로 잡음을 제거한 결과를 보여주고 있다. 잡음 제거 과정이 지문 내의 일반 영역에서는 목적인 바와 같이 적용되는 반면, 중심점과 삼각주에서는 잡음을 제거하지 못하는 경우가 종종 나타나고 있다. 그림21.(c)에서 원 안에 존재하는 잔가지가 잡음 제거 알고리즘을 적용한 그림21.(d)에도 나타나는 것과 같이 중심점과 삼각주 영역에서는 용선의 방향이 급격히 변하기 때문에 알고리즘에 적용되지 않는 경우가 발생하게 된다. 그림 22는 의사 특징점 제거 알고리즘의 적용 전과 후의 특징점의 변화를 보여주고 있다. 그림 22.(a)의 좌측 상단은 품질이 나쁜 영역으로 상당량의 의사 특징점이 분포하고 있는 반면 그림 22.(b)는 제안 알고리즘 적용 후의 특징점을 나타낸 것으로 품질이 나쁜 영역의 의사 특징점들이 알고리즘의 의도와 같이 효과적으로 제거되었음을 볼 수 있다.

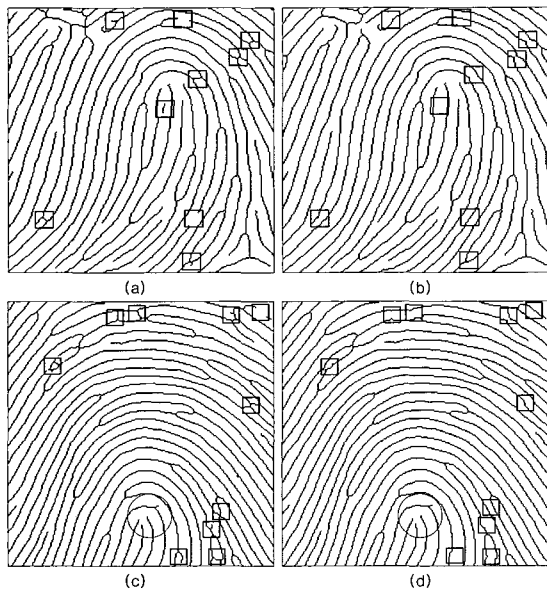


그림 21. 세션화된 지문 화상의 잡음 제거 : (b)와 (d)는 (a)와 (c)를 잡음 제거 알고리즘에 적용한 결과이다.

Fig. 21. Removing noise in thinned fingerprint image : (a) and (c) are changed to (b) and (d) after noise removing algorithm is applied.

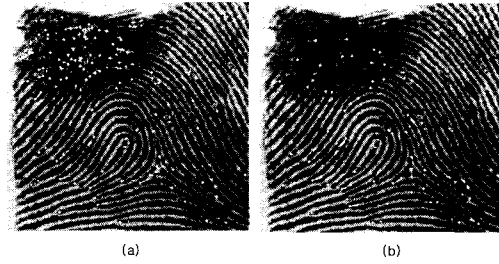


그림 22. 의사 특징점 제거 알고리즘의 적용:(a)는 알고리즘을 적용하기 전의 특징점이고 (b)는 알고리즘 적용 후의 특징점이다.

Fig. 22. Applying false minutiae filtering algorithm : (a) is minutiae image before the processing and (b) is minutiae image after the processing.

표2는 NIST special database 14의 50개의 지문 화상에 대하여 알고리즘 적용으로 인한 정추출율과 오추출율의 변화를 나타내고 있다. TM, PM, DM, FM 항목은 각각 지문 화상에 존재하는 진짜 특징점의 개수, 알고리즘이 추출한 특징점 중에서 진짜 특징점의 개수, 알고리즘이 찾지 못한 진짜 특징점의 개수, 그리고 알고리즘이 찾은 가짜 특징점의 개수를 의미한다. 표2에서 나타난 바와 같이 후보 특징점의 정추출율과 오추출율이 각각 0.93, 0.54에서 의사 특징점 제거 알고리즘 적용 후에 0.89, 0.13으로 변화한 것을 알 수 있다. 실험 결과는 제안 알고리즘의 목적인 높은 정추출율 손실대비 오추출율의 감소를 얻었음을 보여준다.

표 2. 정추출율과 오추출율의 변화 : NIST sdb 14의 50개 지문에 대한 적용 결과
Table 2. Change of true minutiae extraction ratio and false minutiae extraction ratio : 50 fingerprint from NIST sdb 14 are tested.

	TM	알고리즘 적용 전	알고리즘 적용 후
평균	78.44	73.35 5.09 85.68	69.70 8.74 11.50
표준 편차	21.80	20.30 2.54 37.69	19.19 3.79 5.25
정추출율	$\frac{PM}{TM}$	0.93	0.89
오추출율	$\frac{FM}{PM+FM}$	0.54	0.13

의사 특징점 개수의 평균이 줄어든 점 못지않게 표준 편차가 37.69에서 5.25로 크게 줄어든 것은 중요한 의미를 지니고 있다. 지문 화상의 품질에 영향을 받는

의사 특징점의 발생 빈도수를 의사 특징점 제거 알고리즘은 입력 지문의 품질에 적은 영향을 받고 일정한 수준으로 의사 특징점의 발생 빈도수를 줄일 수 있다는 것을 의미한다.

2. 기존 방법과의 비교

두 번째 실험으로 NIST Special database 14에서 하나의 손가락에 대하여 지문 획득 시점이 다른 두 장의 지문 영상 100명분, 총 200장을 임의로 선택하여 실험 데이터로 하였고 기존의 후처리 방법과 제안하는 후처리 방법을 사용한 자동 지문 인식 시스템에 대하여 본인 대 본인, 본인 대 타인의 특징점의 정합율(Minutiae Hitting Ratio, %)을 각각 계산하였다. 실험은 그림23의 순서로 진행된다.

본인 여부를 판정하는 규칙은 제안되는 논문마다 고유의 판정 기준을 제안하고 있다. 본 논문은 특징점을 이용한 정합 과정과 그 규칙을 제안하는 것을 목표로 하지않기에 가장 기본이 되는 특징점 정합율만을 계산하여 그 개선 정도를 정량적으로 측정하고자 한다. 특징점 정합율은 두 지문에서 대응하는 특징점의 비율을 의미하고 대응하는 특징점의 개수를 PM, 두 지문에서 추출한 특징점의 개수를 각각 EM_T , EM_S 라고 할 때 $\frac{PM \times 2}{EM_T + EM_S} \times 100$ 과 같이 나타낼 수 있다. 기존의 후처리 방법은 [4]의 논문에서 사용한 방법을 사용하였고, 정합 알고리즘은 [10]의 논문에 제시된 방법을 사용하였다. 실험 결과는 사용하는 지문의 품질에 영향을 받기 때문에, 실험자의 경험에 의한 품질 분류를 실시하였다. 분류 결과;

- (1) 비교하는 두 지문 모두 나쁜 품질을 가지지 않는 경우인 CASE1,
- (2) 하나만 나쁜 품질을 가지는 경우인 CASE2,
- (3) 그리고 두 지문이 모두 나쁜 품질을 가지는 경우인 CASE3로 나누어 실험을 진행하였다.

본인 대 본인, 타인 대 본인의 실험에서 CASE1, CASE2, CASE3의 비율은 각각 100번의 실험 회수에 대하여 그림 24와 같다.

그림25와 그림 26은 CASE1을 실험 데이터로 하여 기존 후처리 방법과 제안하는 후처리 방법을 사용한 자동 지문 인식 시스템의 특징점 정합율(%)을 히스토그램으로 나타낸 것이다. 그림27과 그림28은 CASE2인 경우에서의 특징점 정합율을 나타내고 있고, 그림29와

그림30은 CASE3 에서 특징점 정합율을 나타낸다. 그림31과 그림32는 CASE1, 2, 3에 대하여 계산된 정합율의 평균을 나타낸 것이다. 표3은 CASE1, CASE2, 그리고 CASE1부터 CASE3까지의 평균에 대하여 특징점의 정합율의 평균과 분산을 나타내고 있다.

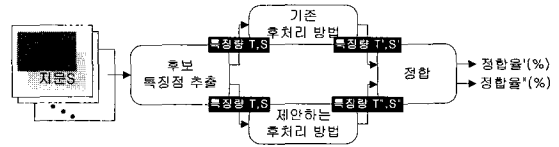


그림 23. 제안하는 알고리즘을 기존 방법과 비교하기 위한 실험 방법
Fig. 23. Experiment for comparing the proposed algorithm with another algorithm.

실험 결과를 나타내는 그림25부터 그림32까지는 제안하는 후처리 알고리즘의 적용으로 CASE2과 CASE2의 실험 데이터 모두에 대하여 본인 대 본인을 정합한 분포와 본인 대 타인을 정합한 분포가 기존의 방법보다 효과적으로 분리되고 있음을 보여주고 있다. 표3은 제안하는 후처리 방법을 사용함으로써 본인 대 타인의 특징점 정합율은 적은 변화를 보인 반면 본인 대 본인의 특징점 정합율의 평균이 26.4에서 33.7로 크게 증가한 것을 보여주고 있다. 결과적으로 제안하는 알고리즘을 사용함으로써 본인 대 본인과 본인 대 타인의 분포를 기존의 방법을 사용하였을 경우보다 효과적으로 분리하였고 이것은 자동 지문 인식 시스템의 전체적인 성능을 나타내는 FAR과 FRR의 감소를 가져 올 수 있다. 본인 대 본인의 특징점의 정합율이 본인 대 타인의 정합율보다 더 적게 나온 경우를 볼 수 있다. 이러한 경우에 속하는 지문들은 전문가가 눈으로 보아도 지문의 특징점을 찾을 수 없고 동일 지문 인지를 확인 할 수 없는 품질을 가지고 있다.

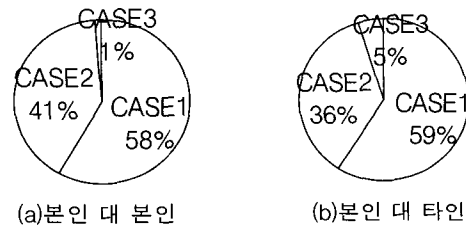


그림 24. CASE1, CASE2, CASE3의 분포비
Fig. 24. Ratio of CASE1, CASE2 and CASE3.

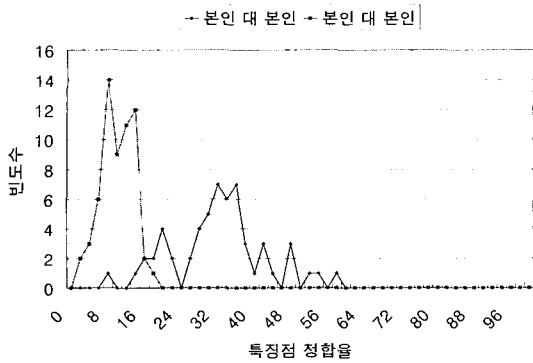


그림 25. CASE1:기존의 후처리 방법을 사용한 지문 인식 시스템의 특징점 정합율(%)

Fig. 25. CASE1:Minutiae matching ratio of automatic fingerprint identification system which uses another postprocessing algorithm.

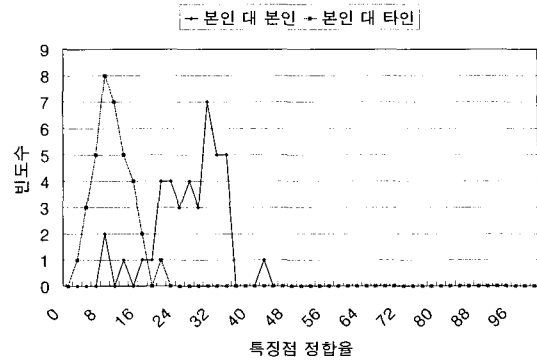


그림 28. CASE2:제안하는 후처리 방법을 사용한 지문 인식 시스템의 특징점 정합율(%)

Fig. 28. CASE2:Minutiae matching ratio of automatic fingerprint identification system which uses proposed postprocessing algorithm.

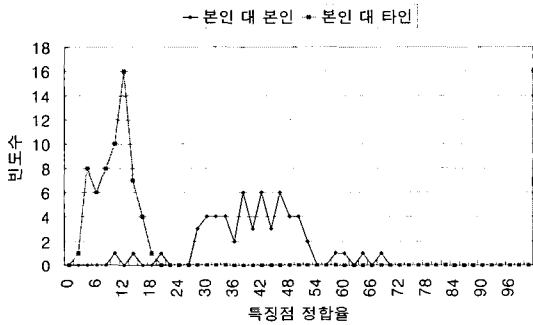


그림 26. CASE1:제안하는 후처리 방법을 사용한 지문 인식 시스템의 특징점 정합율(%)

Fig. 26. CASE1:Minutiae matching ratio of automatic fingerprint identification system which uses proposed postprocessing algorithm.

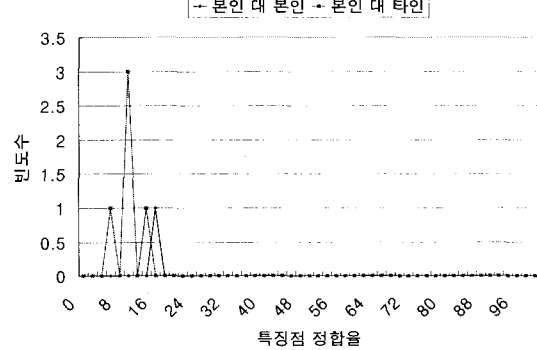


그림 29. CASE3:기존의 후처리 방법을 사용한 지문 인식 시스템의 특징점 정합율(%)

Fig. 29. CASE3:Minutiae matching ratio of automatic fingerprint identification system which uses another postprocessing algorithm.

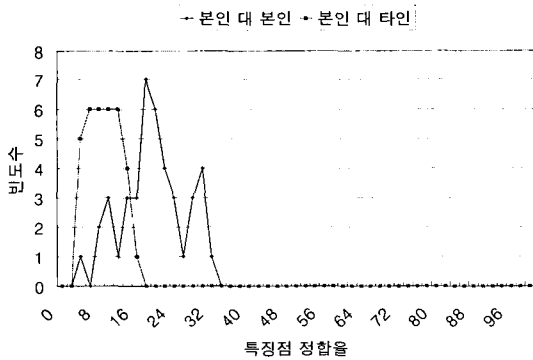


그림 27. CASE2:기존의 후처리 방법을 사용한 지문 인식 시스템의 특징점 정합율(%)

Fig. 27. CASE2:Minutiae matching ratio of automatic fingerprint identification system which uses another postprocessing algorithm.

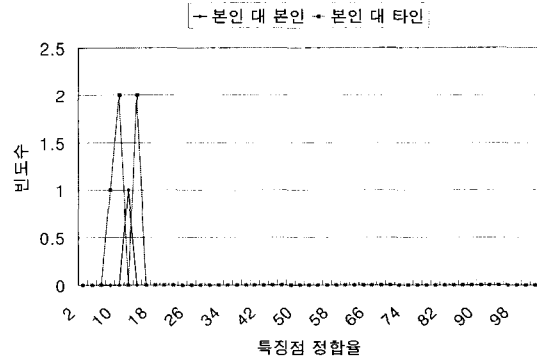


그림 30. CASE3:제안하는 후처리 방법을 사용한 지문 인식 시스템의 특징점 정합율(%)

Fig. 30. CASE3:Minutiae matching ratio of automatic fingerprint identification system which uses proposed postprocessing algorithm.

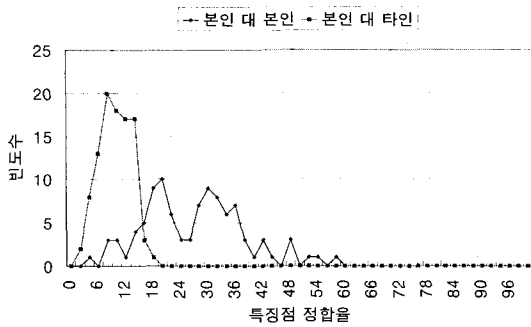


그림 31. 기존의 후처리 방법을 사용한 지문 인식 시스템에서 특징점 정합율(%)

Fig. 31. Minutiae matching ratio of automatic fingerprint identification system which uses another postprocessing algorithm.

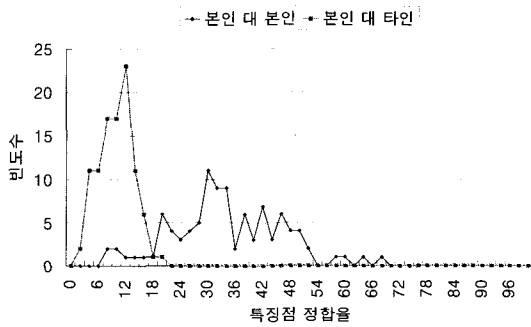


그림 32. 제안하는 후처리 방법을 사용한 지문 인식 시스템에서 특징점 정합율(%)

Fig. 32. Minutiae matching ratio of automatic fingerprint identification system which uses proposed postprocessing algorithm.

표 3. 기존의 후처리 알고리즘과 제안하는 알고리즘의 성능 비교

Table 3. Comparing the proposed postprocessing algorithm with another.

		기존의 알고리즘		제안하는 알고리즘	
		본인 대 본인	본인 대 타인	본인 대 본인	본인 대 타인
특징점 정합율(%) (CASE1)	평균	31.9	9.6	39.9	9.5
	표준편차	10.0	3.6	10.6	3.8
특징점 정합율(%) (CASE1)	평균	19.1	8.5	25.8	9.1
	표준편차	6.7	3.4	7.2	3.8
특징점 정합율(%) (CASE1)	평균	26.4	9.2	33.7	9.6
	표준편차	10.8	3.4	11.7	3.7

IV. 결론

본 논문에서는 자동 지문 인식 시스템의 성능을 향상시키기 위하여 특징량 추출 단계에서 발생하는 의사 특징점을 제거하는 후처리 과정을 제안하였다. 제안하는 방법은 다음의 순서로 의사 특징점을 제거한다. 우선 지문의 용선 사이의 평균 거리를 계산하여 알고리즘에서 적용되는 임계치의 기준으로 사용한다. 이것은 의사 특징점을 제거하는 알고리즘에 입력 지문 영상의 변화에 대한 적응력을 주기 위한 것으로 이를 위하여 본 논문에서는 세선화 화상에서 용선 사이의 평균 거리를 계산하는 알고리즘을 제안하였다. 다음으로 세선화된 지문 화상에서 나타날 수 있는 잡음을 정의하고 제거하여 올바른 용선 정보를 가지도록 했다. 잡음이 제거된 세선화 화상은 이후 단계에서 선택 영역이 좋은 품질의 영역에 포함 되는지를 판단하는 근거로 사용된다. 마지막으로 후보 특징점 목록에서 좋은 품질의 영역에 포함되는 특징점을 선택함으로써 의사 특징점을 제거하였다. 중심점과 삼각주에 위치한 후보 특징점과 다른 영역의 특징점을 구분하여 좋은 품질의 영역에 포함되는 특징점을 선택하는 알고리즘에 적용함으로써 기존의 후처리 알고리즘에서 나타나는 정추출율의 증가를 막을 수 있었다.

제시한 방법은 중심점과 삼각주에 위치한 특징점에는 영향을 미치지 않고 나쁜 영역에 나타나는 의사 특징점을 효과적으로 제거하여 정추출율에는 적은 영향을 미치면서 오추출율을 상당히 개선하였다. 그리고 자동 지문 인식 시스템에서 기존의 후처리 방법을 사용한 경우보다 제안한 방법을 사용한 경우에 특징점의 정합율이 증가하였다.

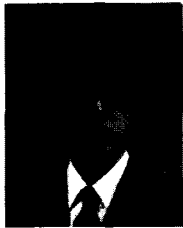
향후 연구 과제로, 특이 영역에 나타날 수 있는 의사 특징점을 정의하고 제거하는 방법과, 세선화 단계 이전에 지문의 나쁜 품질 영역을 찾아 내어 이후의 과정에서 고려 대상에서 제외시키는 방법을 제시 함으로써 자동 지문 인식 시스템의 처리 속도와 오추출율의 감소를 기대할 수 있다. 그리고 의사 특징점이 정합 과정에 미치는 영향을 정량적으로 분석할 필요가 있다.

참고 문헌

[1] A.K. Jain, R. Bolle, and S. Pankanti, eds., Biometrics : Personal Identification in Networked Society. Norwell, Mass.: Kluwer

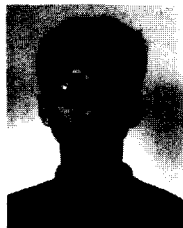
- Academic Publisher, 1999.
- [2] D. Maio, and D. Maltoni, "Direct Gray-Scale Minutiae Detection in Fingerprints," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 19, no. 1, pp. 27-39, Jan., 1997.
- [3] A.K. Jain, L. Hong, R. Bolle, "On-Line Fingerprint Verification," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 19, no. 4, pp. 302-313, April., 1997.
- [4] 김현, 김학일, "RSTI 불변 지문 인식 알고리즘," 전자 공학회 논문지, 제35권, S편, 제6호, pp. 838-850, 1998. 6
- [5] Q. Xiao and H. Raafat, "Fingerprint image postprocessing : a combined statistical and structural approach," *Pattern Recognition*, vol. 24, no. 10, pp. 985-992, 1991.
- [6] A. Farina, Z.M. Kovacs-Vajna, Alberto Leone, "Fingerprint minutiae extraction from skeletonized binary images," *Pattern Recognition*, vol.32, no. 4, pp. 877-889, 1999.
- [7] D. Maio and D. Maltoni, "Neural Network Based Minutiae Filtering in Fingerprints," *Proceedings 14th ICPR, Brisbane(Australia)*, pp. 1654-1658, Aug.,1998.
- [8] N.K. Ratha, S. Chen, A.K. Jain, "Adaptive Flow Orientation-based Feature Extraction in Fingerprint Images," *Pattern Recognition*, vol. 28, no. 11, pp. 1657-1672, 1995.
- [9] L. Hong, Y. Wan, and A.K. Jain, "Fingerprint Image Enhancement : Algorithm and Performance Evaluation," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, no. 8, pp. 777-789, Aug., 1998.
- [10] 안도성, 김학일, "클릭 구조를 이용한 지문 인식 알고리즘," 전자 공학회 논문지, 제36권, S편, 제 5호, pp. 69-80, 1999. 2
- [11] N.K. Ratha, K. Karu, S.Chen, A.k. Jain, "A Real-Time Matching System for Large Fingerprint Database," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.18, no. 8, pp. 799-813, Aug. 1996.
- [12] B.M. Mehre, N.K. Murthy, S. Kapoor, "Segmentation of Fingerprint Using the Directional Image," *Pattern Recognition*, Vol. 20, No. 4, pp. 429-435, 1987.

저 자 소 개



楊智成(正會員)

1974년 7월 27일. 1998년 인하대학교 자동화 공학과 학사. 2000년 동 대학원 자동화 공학과 석사. 2000. 2~현재 LG정보통신 차세대 통신 연구소 연구원. 주관심 분야는 패턴인식, 영상처리, 생체인식, 지문인식 등



安都成(正會員)

1967년 6월 3일생. 1992년 인하대학교 자동화 공학과 학사. 1994년 2월 동 대학교 기계공학과 석사. 1994. 1~1997.2 (주)네스트 연구원. 1997. 3~1998.7 (주)팬택 미디어 대리. 1998.12~1999.3 (주)한국 정보 시스템

과장. 현재 동 대학교 자동화 공학과 박사 과정. 주관심 분야는 지문 인식



金學一(正會員)

1960년 3월 30일생. 1983년 2월 서울대학교 제어계측공학과 졸업(공학사). 1985 8월 미국 Purdue대학교 전기및컴퓨터 공학과 졸업(공학석사). 1990년 8월 동 대학원 졸업(공학박사). 1990년 9월부터 현재까지 인하대학교 자동화 공학과 조교수 역임, 현재 부교수. 주요 연구분야는 컴퓨터비전, 패턴인식, 원격탐사영상처리 등임