

論文2003-40SP-4-3

상호상관함수를 이용한 지문인식

(Fingerprint Verification using Cross-Correlation Function)

朴重祖*, 梁榮日*

(Joong-Jo Park and Yeong-Yil Yang)

요약

본 논문에서는 상호상관함수를 이용한 지문인식 기법을 제시한다. 본 기법은 특징추출, 지문정렬, 지문매칭으로 구성되는데, 이 중에서 본 논문은 새로운 지문정렬 기법을 제안한다. 본 지문정렬 기법에서는 특징점의 용선방향 각도에 대해 상호상관함수를 적용하여 두 지문사이의 회전각도를 구하고, 그후 회전된 지문으로부터 두 지문간의 이동변위를 구하여 지문을 정렬한다. 본 정렬기법은 과도한 탐색에 의존하지 않고 두 지문의 회전각도와 이동변위를 구할 수 있다. 제시된 기법으로 지문인식 실험을 한 결과 2.086%의 타인수락오류율(FAR)에 대해 17.299%의 본인거부오류율(FRR)을 얻을 수 있었다.

Abstract

This paper presents a fingerprint recognition algorithm using cross-correlation function. This algorithm consists of minutiae extraction, minutiae alignment and minutiae matching, where we propose a new minutiae alignment method. In our alignment method, the rotation angle between two fingerprints is obtained by using cross-correlation function of the minutia directions, thereafter the displacement is obtained from the rotated fingerprint. This alignment method is capable of finding rotation angle and displacement of two fingerprints without resorting to exhaustive search. Our fingerprint recognition algorithm has been tested on fingerprint images captured with inkless scanner. The experiment results show that 17.299% false rejection ratio(FRR) at 2.086% false acceptance ratio(FAR).

Keyword : fingerprint verification, alignment, cross-correlation function.

I. 서론

최근 정보화 기술의 발달로 개인의 신체적 특징을 이용한 개인 식별 기술의 연구가 활발히 진행 중이다.

* 正會員, 慶尙大學校 電氣電子工學部
(Division of Electrical and Electronic Engineering,
Gyeongsang National University)

接受日字: 2002年7月23日, 수정완료일: 2003年6月26日

개인 식별에 사용할 수 있는 신체적 특징은 각 사람마다 유일해야 하고 측정 시간에 관계없이 항상 불변하는 특성을 가져야 한다. 이러한 조건을 충족하는 신체적 특징으로는 지문을 비롯하여 얼굴, 눈의 홍채 및 망막, 손등의 정맥, 손바닥 형상 등 다양한 것들이 존재할 수 있으며, 현재 이러한 특징들을 인식하여 개인을 식별하는 다양한 생체인식시스템이 연구되고 있다. 이 중에서 지문인식은 가장 오랫동안 생체인식의 수단으로 사용되어 왔으며, 현재에도 컴퓨터 및 정보처리기술의

발전과 사용의 편리성에 힘입어 개인식별의 자동화 분야에서 실용화 및 상용화가 가장 진척되어 있는 분야이다. 그러나 여러 외적 환경에 대비할 수 있고 보다 사용이 편리한 지문인식시스템의 구현을 위해서는 지문인식 과정중의 여러 요소기술에 대한 개선이 요구되고 있다.

지문인식의 방법론으로는 융선의 형태를 이용하는 방법과 특징점을 이용하는 방법으로 크게 분류될 수 있는데, 이 중에서 특징점을 이용하는 방법은 효율적이고 정밀한 인식 성능의 확보가 가능하다는 면에서 근래에 지문인식의 대표적인 방법으로 받아들여지고 있다^[1-4]. 특히 인식성능이 우수한 특징점 기반의 점 매칭(point pattern matching) 알고리즘이 많이 연구되고 있는데, 이 방식에서 기본적으로 문제가 되는 것은 지문의 정렬(alignment)과 비선형 변형을 극복하는 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 기존의 방법들을 살펴보면, 지문 정렬시에 탐색 범위를 축소하기 위한 방안으로서 융선 연결정보를 이용하는 방법^[1], 군집화된 특징점들의 정보를 이용하는 방법^[1, 5] 및 융선의 형태정보를 이용하는 방법^[3, 4] 등이 있으며, 지문의 비선형 변형 및 크기를 극복하는 방안으로서 복소대수사상(complex-log transform)을 이용한 매칭 방법들^[3, 4, 6]이 발표되었다. 그러나 특징점 추출시 특징점의 누락과 종류 변경, 의사특징점의 존재 그리고 지문의 과도한 회전등에 강인하며 처리시간 면에서 만족스러운 지문인식 기법의 연구는 지속적으로 필요한 실정이다.

본 논문에서는 상호상관함수(cross-correlation function)를 이용한 지문인식 기법을 제시한다. 본 지문인식 기법은 정렬에 기반한 특징점 매칭방법으로서, 특징추출과 지문정렬 그리고 지문매칭의 3단계로 구성되는데, 본 논문은 이 중에서 지문 정렬을 위한 새로운 방법을 제안한다. 제안된 지문정렬 방법에서는 상호상관함수를 사용하여 두 지문사이의 회전각도를 미리 구하고, 그후 이동변위를 측정하여 지문을 정렬한다. 본 정렬 기법은 두 지문사이의 회전각도를 미리 구함으로써 지문 정렬에 필요한 정보의 추출에서 탐색범위를 줄일 수 있으며, 임의 각도로 회전된 지문에 대해서도 쉽게 정렬할 수 있는 장점을 갖는다. 지문매칭은 정렬된 지문에 대해 단순한 점 매칭 방법을 사용하였으며, 실험을 통해 제시된 기법이 회전과 이동에 무관하게 지문인식을 수행할 수 있음을 보인다.

II. 제안된 지문인식 방법

본 논문에서 제시하는 지문매칭 방법은 정렬 기반의 점 매칭(alignment-based point pattern matching)방법이다. 정렬에 의한 점 매칭 방법은 지문의 특징 추출, 지문 정렬, 지문 매칭의 3 단계 처리를 수행하여 두 지문의 일치여부를 판정하는 방법으로서, 이론적으로 단순하고 구별능력이 우수하여 과거 여러 해 동안 매우 큰 관심을 받아 왔다. 여기서 정렬 단계는 입력지문과 등록지문사이의 변형들(회전, 위치이동 등)을 추정후 이 추정된 파라미터를 사용하여 등록지문의 특징점을 입력지문의 특징점에 맞추어 정렬하는 단계이고, 매칭 단계는 입력지문과 등록지문의 정렬된 특징점(종류, 위치, 융선방향)들을 비교하여 두 지문의 일치여부를 판정하는 단계이다^[1, 3].

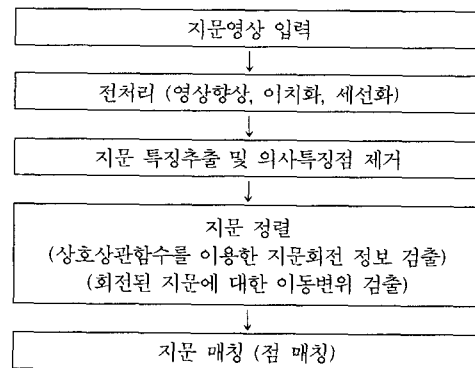


그림 1. 제안된 지문인식시스템의 전체 처리과정
Fig. 1. Overview of the proposed fingerprint verification system.

본 논문에서는 이 3단계 처리과정 중에서 지문의 정렬을 위한 새로운 방법을 제안한다. 본 지문 정렬 방법에서는 먼저 두 지문의 특징점 융선방향 분포 정보에 상호상관함수를 적용하여 두 지문사이의 회전각도를 구하고, 이를 이용해 회전시킨 지문 특징점들로부터 두 지문의 이동변위를 구하여 지문을 정렬한다. 그리고 지문의 매칭방법으로는 정렬이 완료된 두 지문영상에서 특징점 정보를 비교하여 특징점의 공간적 위치 및 융선 방향이 허용치 이내로 일치하는 특징점들의 개수가 임계치보다 많으면 두 지문을 동일인의 것으로 판정하는 단순한 방법을 사용한다^[1]. <그림 1>은 본 지문

인식시스템의 전체 처리과정을 보여준다.

1. 지문영상의 전처리

지문영상의 전처리는 특징추출을 하기 전에 지문을 향상시키고 이치화 및 세선화를 하는 과정이다. 이 전처리는 지문인식에 있어서 중요한 과정으로서, 전처리된 영상의 품질이 나쁠 경우 특징추출시 특징의 종류 변경이나 의사특징점의 발생 등 여러 오류의 원인이 되어 지문인식시스템의 성능에 큰 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서는 지문영상의 전처리 과정에서, 먼저 국부적 FFT 필터링을 이용하여 지문영상을 향상시킨다^[7]. 이후 영상 이치화를 수행하여 지문의 용선과 배경을 분리하고, 세선화를 수행하여 특징추출의 준비를 완료한다. 한편 이 전처리 과정에서 전경과 배경의 분리도 수행하는데, 이를 위해 이치화된 영상에 대해 모폴로지(morphology) 연산인 팽창(dilation) 연산을 4회 수행하고 그 후 수축(erosion)연산을 10회 수행함으로써 지문의 배경영역을 결정한다. 여기서 사용된 수축 및 팽창연산으로는 영상내의 모든 화소에 대해 다음의 방법을 사용한다.

- 수축연산 : 대상화소 자신을 포함하여 그의 8 근방 내의 화소들 중 0 값을 갖는 화소가 한 개 이상이면 대상화소를 0 값으로 결정 하고, 아니면 1 값으로 결정하는 연산.
- 팽창연산 : 대상화소 자신을 포함하여 그의 8 근방 내의 화소들 중 1 값을 갖는 화소가 한 개 이상이면 대상화소를 1 값으로 결정 하고, 아니면 0 값으로 결정하는 연산.

이렇게 결정된 배경영역은 특징추출시 전경과 배경영역의 경계부분에서 발생하는 특징점들을 배제하기 위한 정보로 사용된다.

2. 지문 특징 추출

본 연구에서는 지문의 특징(minutiae)으로서 단점(ending)과 분기점(bifurcation)을 사용한다. 특징추출은 세선화된 영상에서 수행하는데, 단점은 용선이 끊어지는 지점이며, 분기점은 용선이 갈라지는 지점이다. 본 연구에서 사용되는 특징 정보는 특징점의 종류(단점, 분기점)와 특징점의 위치(x,y 좌표값) 그리고 특징점의 용선방향이다. 여기서 특징점의 용선방향으로는 단점의 경우에는 단점에서 용선이 진행되는 방향을 사용하고, 분기점의 경우에는 분기점으로부터 용선 사이의 내각들 중 가장 작은 각도의 반각을 사용한다^[1, 3, 6]. 특징점

의 용선방향을 결정하는 방법을 <그림 2>에서 보인다^[6]. 즉, 단점의 경우, 단점 위치에서 시작하여 골격선을 추적하다가 임계거리에 도달하면 그 점을 추적 종료점으로 정하고 시작점에서 종료점을 연결하는 벡터의 방향을 이 단점의 방향(θ)으로 정의한다. 한편 분기점의 경우에는, 주어진 분기점 위치에서 시작하여 3개의 각 골격선에 대해 추적하다가 임계거리에 도달하면 그 점들을 추적 종료점(a,b,c)으로 한다. 그후, 각 추적 종료점(a,b,c)을 잇는 직선을 긋고 그중 가장 짧은 직선(그림의 b,c)을 찾고, 분기점에서 출발하여 가장 짧은직선(b,c)의 중심을 잇는 벡터의 방향을 이 분기점의 방향(θ)으로 정의한다.

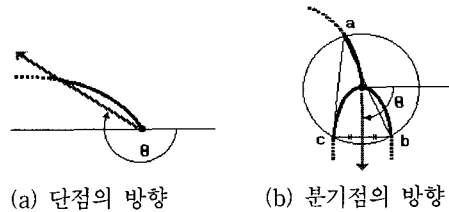


그림 2. 특징점의 용선방향 결정

Fig. 2. Determination of minutiae direction.

이때 구해진 특징점들 중에는 잡음에 의한 의사특징점들이 포함되어 있는데, 이들은 매칭 효율에 큰 영향을 미치므로 제거되어야 한다. 의사특징점들은 모두 단점 및 분기점들의 조합으로 되어있으며, 그 종류로는 절선, 단선, 잔가지, 연결 등이 있다. 본 연구에서는 추출된 특징점에 대해 그 이웃 특징점과의 거리 및 방향을 고려하여 의사특징점으로 판정된 것들을 제거하였다^[6, 8].

3. 지문 정렬

지문의 취득시 지문영상은 임의 각도로 회전되고 위치가 이동되어 취득된다. 따라서 점 매칭을 사용하여 두 지문의 매칭을 원활히 수행하기 위해서는, 먼저 특징점들을 이용하여 입력지문에 대한 등록지문의 회전 및 이동 정보를 구하고 이 정보를 이용하여 등록지문을 회전 및 이동시켜 두 지문의 특징점들이 최대한 일치되도록 정렬해야 한다. 일반적으로 두 지문영상에서 일치하는 두 쌍의 특징점을 찾으면 이를 이용하여 회전 및 위치이동 정보를 얻을 수 있다^[1, 3]. 그러나 일치하는 두 쌍의 특징점을 찾기 위해서는 특징점들의 매우 많은 대응관계를 조사해야 한다. 정렬에 기반한 지

문매칭 방법을 채용하는 연구자들은 가능한한 적은 탐색으로 지문정렬을 성취할 수 있는 개선된 방안들을 연구하고 있다.

본 연구에서는 상호상관함수를 사용하여 지문의 정렬을 위한 정보를 구하는 방법을 개발하였다. 즉, 두 지문의 특징점 용선방향 분포에 상호상관함수를 적용하여 두 지문사이의 회전각도 정보를 구하고, 한쪽 지문의 특징점을 이 각도만큼 회전시킨후 그로부터 위치이동 정보를 구한다. <그림 3>은 논문에서 제안하는 지문정렬 기법의 흐름도이다.

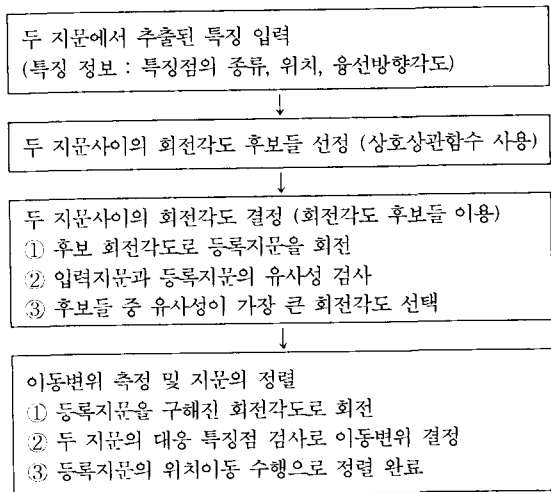


그림 3. 제안된 지문정렬 기법의 흐름도
Fig. 3. Flow chart of the proposed fingerprint alignment algorithm.

(1) 상호상관함수를 이용한 두 지문사이의 회전각도 후보들 선정

두 지문에서 추출된 특징 정보(종류, 위치, 용선방향각도)들 중에서 용선방향 각도의 분포와 상호상관함수를 사용하여 두 지문의 회전각도 후보들을 선정한다. 여기서 사용되는 상호상관함수는 두 신호에 대한 유사성을 시간이 지연됨에 관계없이 판정하는 척도로 사용되거나, 두 신호가 시간적으로 어느 정도 지연되고 있는가를 알고자 할 때 사용된다. 즉, 상호상관함수는 두 신호사이의 상관값을 시간축의 지연을 변수로 갖는 함수로 나타낸 것으로서, 두 주기 이산신호 f_i, g_i , ($i=1,2,\dots,N$)의 정규화된 상호상관함수 $R_{fg}(j)$ 는 다음 식으로 정의된다^[9].

$$R_{fg}(j) \cong \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_i g_{i+j}}{\|f\| \|g\|} \quad j=1,2,\dots,N \quad (1)$$

여기서, j 는 시간축의 지연을 나타내고, N 은 두 이산신호의 주기를 나타내며, $\|f\|$ 는 f 의 노름(norm)을 나타내는 것으로서 $\|f\| = \sqrt{f_1^2 + f_2^2 + \dots + f_N^2}$ 로 계산된다. 위 수식으로 계산된 상관값의 범위는 $[-1, +1]$ 이다. 시간축의 각 지연에 대해서 두 이산신호로 이 상호상관함수를 계산해 보면, 상관값들의 분포는 두 이산신호가 유사한 시점에서 피크(peak)를 나타내게 된다. 특히 두 이산신호가 거의 유사하며 시간적으로 지연만이 있을 경우에는 매우 큰 피크를 나타낼 것이다. 즉, 이 상관값의 분포로부터 두 신호의 유사성 정도를 알아낼 수 있다. 이러한 성질을 갖는 상호상관함수는 주기신호가 아닌 유한기간이 N 인 두 유한기간신호에 대해서도 사용할 수 있다. 단지 유한기간신호의 경우에는, 신호 f 는 그대로 사용하고 신호 g 에 대해서는 시간 지연을 처리할 수 있도록 전체 신호값을 1회 순회시켜 보충함으로써 유한기간이 $2N$ 으로 확장된 이산신호로 만들어 사용하면 된다.

우리는 이 상호상관함수에 대한 두 유한기간 이산신호로서 두 지문의 특징점 용선방향 각도들의 분포를 사용하며, 이로부터 두 지문사이의 회전각도 후보들을 선정한다. 이때 필요한 유한기간 이산신호는 만드는 방법은 다음과 같다. 즉, 이산신호의 유한기간 N 을 360으로 정하여 360도 구간에서 이산신호의 하나의 표본점이 1도를 차지하도록 한다. 그러면 이산신호의 n 번째 표본점은 각도 n 도에 해당하게 된다. 그리고 하나의 지문에서 추출된 모든 특징점들의 용선방향 각도들을 조사하여 이 용선방향 각도에 해당하는 이산신호의 표본점의 신호값을 1로 설정하고 그외의 신호값은 0으로 설정한다. 이를 입력지문과 등록지문에 각각 적용하면 두 개의 유한기간 이산신호가 얻어진다. 물론 이 경우는 유한기간신호이므로 상호상관함수를 사용하기 위해서는 등록지문에서 얻어진 이산신호에 대해서는 신호값을 순회시켜 보충하여 유한기간이 $720(=360 \times 2)$ 으로 확장된 이산신호로 만들어야 한다. <그림 4>는 본 방법으로 두 지문에 대해 구해진 이산신호의 예를 보인다. 여기서 입력지문의 특징점은 4개이고 그들의 각 용선방향각도는 50, 100, 200, 250도이다. 그리고 등록지문의 특징점은 4개이고 그들의 각 용선방향 각도는

50, 150, 250, 300도이다. 이때 상호상관함수는 <그림 4(a)>와 <그림 4(c)>의 이산신호를 사용하여 계산된다. 이 그림의 경우 상관값은 50도 지연의 경우에 최대값을 나타낼 것이며, 이는 두 지문사이의 회전각도가 50도임을 나타낸다.

상기 방법에 의해 두 지문의 특징점 용선방향 각도 정보로부터 구해진 두 개의 이산신호에 대해 상호상관함수를 적용하여 각각의 시간지연(즉, 각도지연)에 대한 상관값을 구한다. 이때 상관값은 360개가 얻어질 것이다. 만일 두 지문이 동일인의 지문이라면, 상관값 분포에서 가장 큰 상관값이 두 지문사이의 회전각도에 해당하는 것이라고 생각할 수 있다. 그러나 실제의 경우 잡음이나 의사특징점 및 특징점 용선방향 각도의 정밀성 때문에 상관값 분포에서 단순히 최대값 정보를 추출하는 것만으로는 두 지문사이의 올바른 회전각도를 구할 수 없다. 따라서 두 지문에 대해 상기의 방법으로 구해진 두 이산신호를 팽창시켜서 이에 상호상관함수를 적용하고 이로부터 구해진 상관값들에서 회전각도의 후보들을 선정한다. 최종적인 회전각도는 나중에 이 후보들 중에서 결정될 것이다. 여기서 이산신호의 팽창 방법은 다음과 같다. 즉, 이 경우 이산신호는 1차원 신호이므로 이산신호의 한 샘플에 대한 팽창연산은 자신을 포함하여 자신의 좌우측 2개의 샘플들로 구성되는 총 5개의 샘플들 중 가장 큰 샘플값을 자신의 샘플값으로 취함으로써 구현된다. 이러한 방식으로 팽창된 두 이산신호에 상호상관함수를 적용하여 구해진 상관값들 중 가장 큰 상관값부터 크기 순서로 일정 개수를 선택하여 이들 상관값에 대응한 각도들을 두 지문사이의 회전각도 후보로 선정한다.

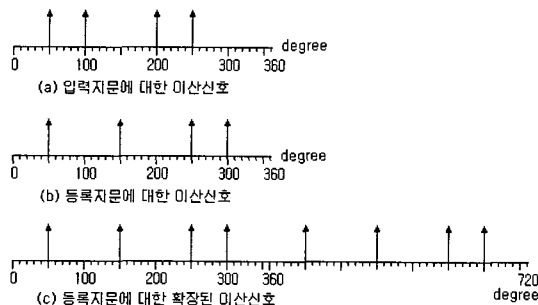


그림 4. 지문의 특징점 용선방향으로부터 만들어진 이산신호

Fig. 4. Discrete signal made from minutia directions.

(2) 두 지문사이의 회전각도 결정

두 지문사이의 회전각도는 앞에서 구해진 각각의 후보 회전각도로 회전된 등록지문의 특징점들과 입력지문의 특징점들사이의 유사성을 이용하여 결정된다. 이때 회전된 등록지문과 입력지문사이의 유사성 검사는 두 지문에서 특징점 용선방향 각도가 유사한 특징점을 두 쌍 선택하고 각 지문에서 선택된 두 특징점사이의 거리를 구한 후 이렇게 구해진 두 거리의 차이값이 특정 임계치 이내이면 유사도를 증가시키는 방식을 사용한다. 이러한 유사도 계산 방법의 절차는 다음과 같다.

step 1. 먼저 하나의 후보 회전각도로 등록지문의 모든 특징점(위치 및 용선방향 각도)들을 회전시키고, 초기 유사도 값을 0으로 설정한다.

step 2. 회전된 등록지문과 입력지문에서 다음의 방법으로 용선방향 각도가 유사한 특징점쌍을 두 쌍 구한다. 즉, 먼저 회전된 등록지문에서 하나의 특징점(FP_{r1})을 선택하고, 입력지문에서는 위 특징점(FP_{r1})의 용선방향 각도와 허용범위 이내로 유사한 각도를 갖는 특징점(FP_{i1})을 찾는다. 그후 이와 동일한 방법으로 두 영상으로부터 용선방향 각도가 유사한 또 하나의 특징점쌍(FP_{r2}, FP_{i2})을 구한다.

step 3. 등록지문에서 구해진 두 특징점(FP_{r1}, FP_{r2}) 사이의 거리와 입력지문에서 구해진 두 특징점(FP_{i1}, FP_{i2}) 사이의 거리를 구하여, 이 두 거리의 차이값이 특정 임계치 이내이면 두 지문의 유사도를 1만큼 증가시킨다.

step 4. 두 지문의 모든 특징점들에 대해 상기 step 1~3의 과정을 반복 시행하여 두 지문의 유사도를 계산한다.

본 유사도 계산 절차에서 두 지문 각각에서의 특징점 선택 순서는 특징점의 위치면에서 좌→우, 상→하 순서를 취하면 편리하다. 모든 회전각도 후보들 각각에 대해 상기의 방식으로 두 지문의 유사도들을 구하고 그중 가장 큰 유사도에 대응하는 회전각도 후보를 두 지문사이의 최종 회전각도로 결정한다.

(3) 이동변위 측정 및 지문의 정렬

앞에서 두 지문사이의 회전각도가 결정되었으므로 여기서는 두 지문사이의 위치이동 변위를 구하고 이를 이용하여 지문을 정렬시킨다. 먼저 앞에서 결정된 두 지문사이의 회전각도를 사용하여 등록지문의 특징점(위치 및 용선방향각도)들을 회전시킨다. 그리고 이 회전

된 등록지문의 특징점 집단과 입력지문의 특징점 집단 사이에서 대응되는 특징점쌍들을 검출한다. 이때 두 지문에서 대응 특징점의 판정 방법으로는 특징점 용선방향 각도가 임계치 이내로 유사하고 특징점의 종류(단점, 분기점)가 동일한 것을 대응 특징점으로 결정한다. 그후 구해진 대응 특징점쌍들의 집단으로부터 각 특징점쌍 사이의 거리를 구하는데, 이때 x축 거리와 y축 거리를 별도로 구한다. 그리고 구해진 x축 거리들의 평균값과 y축 거리들의 평균값을 두 지문의 위치이동 변위(dx, dy)로 결정한다. 단, 이들 평균값을 구할 때 각 축에 대한 거리들 집단에서 특정 임계값 이상으로 큰 거리들은 제외하여야 한다. 현재 등록지문은 올바른 각도로 회전 처리된 상태이므로 여기서 구해진 위치이동 변위(dx, dy)만큼 등록지문을 이동시키면 지문의 정렬이 완료된다.

4. 지문 매칭

입력지문과 정렬된 등록지문에 대해 점 매칭기법을 적용하여 두 지문의 매칭율을 구한다. 본 연구에서는 종류, 위치 및 용선방향각도 면에서 일치하는 특징점들의 개수가 많을 경우 두 지문을 동일한 것으로 판정하는 단순한 점 매칭기법을 사용하였다. 동일인의 지문이더라도 대응 특징점들이 정밀하게 일치하는 경우는 드물다. 따라서 두 특징점의 위치와 용선방향각도가 허용치 이내로 유사하면 두 특징점을 일치하는 것으로 간주하였다. M을 입력지문과 등록지문 사이에 일치하는 특징점의 개수라고 하고, I와 T를 각각 입력지문과 등록지문의 특징점의 개수라고 할 때, 두 지문의 매칭율(matching score)로는 다음의 식들을 사용할 수 있다.

$$S_1 = \frac{M}{\min(I, T)} \times 100 [\%] \quad (2)$$

$$S_2 = \frac{M}{\max(I, T)} \times 100 [\%] \quad (3)$$

$$S_3 = \frac{M}{(I+T)} \times 100 [\%] \quad (4)$$

본 연구에서는 다음 장에서 보이듯이 위의 세 가지 방법을 모두 사용하여 실험해 보았으며, 그중 식 (3)의 방법이 가장 바람직한 결과를 나타내었다.

III. 실험 및 결과

제시된 지문인식시스템의 성능 평가를 위해 니트젠사(한국)의 지문입력기를 사용하여 50명으로부터 1인당

우무지 5장씩 총 250장의 지문을 취득하여 지문영상 데이터베이스를 구축하였다. 이 지문영상들은 크기가 248×292인 256 그레이레벨 영상이며, 지문 취득시 압착, 회전, 위치이동 등에 차이를 준 다양한 형태의 영상들이다. 본 지문영상 데이터는 23~29세 사이의 남자 45명, 여자 5명으로 구성된 대학생들로부터 취득한 것이며, 지문영상의 품질은 상,중,하로 분류할 경우 상,중에 해당하는 양호한 품질의 영상들이다. <그림 5>는 지문매칭 실험에 사용된 영상의 예이다.

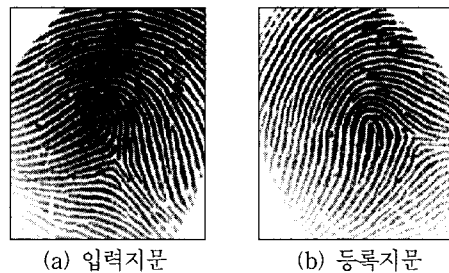


그림 5. 지문매칭 실험용 지문영상의 예
Fig. 5. Fingerprint images for experimentation of fingerprint matching

본 연구에서 제안된 지문정렬 방법에서의 핵심은 두 지문영상 사이의 회전각도를 미리 구하고 이를 이용해 하나의 지문을 회전시킨 후 두 지문의 대응 특징점을 검사함으로써 이동변위를 결정하는 것이다. 따라서 두 지문영상 사이의 회전각도를 얼마나 정밀하게 구할 수 있는가가 중요하다.

지문매칭의 실험방법으로는 준비된 지문영상 데이터베이스에서 한개의 지문을 입력영상으로 하고 나머지 모든 지문을 등록영상으로 하여 전처리, 정렬 및 매칭을 시행하며, 이러한 과정을 개개의 모든 지문을 입력영상으로 하여 반복 시행함으로써 각각에 대한 매칭율을 구하였다^[3, 6]. 본 방법에 따르면 총 250장의 실험영상에 대해 62250번(250×249번)의 매칭이 시행된다.

지문인식시스템의 성능평가를 위한 기준으로 사용되는 대표적인 방법은 타인수락오류율(FAR: False Acceptance Ratio)과 본인거부오류율(FRR: False Rejection Ratio)이다. 여기서 타인수락오류율은 입력지문을 등록지문들과 비교했을 때 동일인이 아님에도 불구하고 동일인이라고 잘못 판정한 비율이고, 본인거부오류율은 동일인임에도 불구하고 동일인이 아니라고 잘못 판정한 비율이다. 본 실험에서는 타인수락오류율

(FAR)과 본인거부오류율(FRR)로서 다음 식을 사용하였다^[10].

$$FAR = \frac{\text{타인이 본인으로 오인식된 회수}}{\text{본인대타인 매칭회수}} \quad (5)$$

$$FRR = \frac{\text{본인이 타인으로 오인식된 회수}}{\text{본인대본인 매칭회수}} \quad (6)$$

여기서, 총 250장의 실험영상을 사용하는 본 실험의 경우 전체 매칭 회수 62250(=250×249) 중에서 식 (5)의 분모인 본인대타인 매칭 회수는 61250이고 식 (6)의 분모인 본인대본인 매칭 회수는 1000이 된다. 단, 전체 매칭회수 62250에는 지문정렬 단계에서 이미 이중의 지문으로 판정된 경우도 포함된다.

<표 1>은 제작된 지문영상 데이터베이스에 본 지문인식 기법을 적용하여 실험한 결과이다. 총 62250회의 매칭 시도중에서 두 지문의 정렬을 위한 회전각도 추출에서 후보 회전각도가 전혀 나타나지 않아 정렬 단계에서 이중의 지문으로 판정된 회수가 2914회로 나타났고, 정렬은 되었으나 매칭시행 결과 매칭되는 특징점이 전혀 없어서 매칭율이 0으로 나타난 회수가 13회 있었다. 결과적으로 정합실패회수는 총 2927회이며, 실험에서 이 모든 정합실패의 경우에 대한 매칭율은 모두 0으로 결정하였다. 식 (5)와 (6)에서 분모에 해당되는 “본인대타인 매칭회수”와 “본인대본인 매칭회수”는 이 정합실패회수가 포함된 것이다. 지문 매칭 실험에서 식 (2), 식 (3), 식 (4)로 표현되는 3가지 방법으로 매칭율을 계산하였으며, 각 방법으로 구해진 매칭율 데이터에 대해 임계값을 변화시키면서 타인수락오류율과 본인거부오류율을 구하였다. <표 1>에서 보면 식 (3)의 매칭율 계산방식이 비교적 보다 좋은 결과를 보이는데, 이 경우 지문인식을 위한 임계값으로 12를 사용할 때 제안 기법은 2.086%의 타인수락오류율(FAR)에서 17.299%의 본인거부오류율(FRR)을 나타내고 있다.

실험에서 본인거부의 오류를 나타낸 지문들을 조사해 본 결과, 많은 상처로 크게 훼손된 지문이거나, 지문 취득시 땀이 많은 상태로 심하게 압착하여 취득함으로써 융선들이 밀착되어 특징점이 상실된 경우, 또는 너무 느슨하게 압착하여 취득함으로써 의사특징점이 과도하게 발생된 경우들이 대부분이었다.

실용적인 지문인식시스템이 되려면 처리시간이 수초 이내일 필요가 있다. 제안된 지문인식기법은 펜티엄 III 933MHz PC에서 C-언어로 구현되었으며, 전체 과정의

표 1. 매칭율 및 임계값 변화에 따른 FAR과 FRR (%)

Table 1. FRR and FAR for different matching scores and different threshold values.

임계값	매칭율 S ₁		매칭율 S ₂		매칭율 S ₃	
	FAR	FRR	FAR	FRR	FAR	FRR
2	95.211	0.400	91.985	0.900	50.446	5.200
4	62.956	4.000	44.459	6.500	16.047	12.900
6	42.241	8.200	26.240	9.600	3.556	16.600
8	24.865	11.600	11.531	13.400	0.671	19.800
10	14.072	13.600	4.903	15.900	0.122	23.800
12	7.344	15.800	2.086	17.299	0.013	29.200
14	4.111	16.900	0.735	19.200	0.003	33.300
16	1.943	19.000	0.369	20.799	0.002	39.700
18	1.087	20.200	0.126	23.600	0.000	47.300
20	0.467	22.400	0.039	26.799	0.000	54.500
25	0.082	28.100	0.003	32.799	0.000	71.000
30	0.015	32.799	0.002	40.799	0.000	85.400
35	0.010	40.000	0.000	49.500	0.000	96.300
40	0.002	48.700	0.000	59.799	0.000	99.200

$$S_1 = \frac{M}{\min(I, T)} \times 100 \text{ [%]}$$

$$S_2 = \frac{M}{\max(I, T)} \times 100 \text{ [%]}$$

$$S_3 = \frac{M}{(I+T)} \times 100 \text{ [%]}$$

평균 처리시간은 4.17초를 나타내었다. 이중에서 지문의 전처리과정에 소비된 시간이 평균 3.67초이고, 그외의 특징추출, 지문정렬 및 매칭에 사용된 시간은 0.5초로 측정되었다. 본 지문인식 기법의 전처리 과정중에서 영상향상에 사용된 국부적 FFT 기법은 그 성능은 좋으나 평균 처리시간이 3.03초로서 전체 처리시간의 72.66%를 차지하였다. 따라서 실시간 시스템의 구현을 위해서는 보다 속도가 빠른 지문향상기법의 채용이 필요할 것으로 생각된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 정렬기반의 지문매칭알고리즘에 있어서 지문정렬을 위한 새로운 방법을 제안하였다. 이 방법은 두 지문에서 추출된 특징점의 융선방향 각도에 대해 상호상관함수를 적용하여 두 지문사이의 회전각도 후보들을 선정하고, 각 회전각도 후보로 등록지문의 특징점들을 회전시킨 후 입력지문의 특징점들과 대응되는 특징점쌍들의 개수를 조사함으로써 두 지문의 회전각도를 결정한다. 그후 회전된 지문으로부터 두 지문

의 이동변위를 구하여 지문을 정렬한다. 본 기법은 두 지문사이의 회전각도를 미리 구함으로써 지문 정렬에 필요한 정보의 추출시 탐색 범위를 줄일 수 있으며, 임의 각도로 과도하게 회전된 지문에 대해서도 쉽게 정렬할 수 있는 특징을 갖는다. 정렬된 지문에 대한 지문 매칭 방법으로는 단순한 점 매칭 방법을 사용하였다. 실험을 위해 니트젠사(한국)의 지문입력기를 사용하여 지문영상 데이터베이스를 만들었으며, 실험 결과 본 기법에 의해 2.086%의 타인수락오류율(FAR)에서 17.299%의 본인거부오류율(FRR)을 얻을 수 있었다.

본 기법에서 지문의 정렬은 특징점의 용선방향 각도를 기본적으로 사용하므로 크기변화가 있는 지문에는 적용할 수 없다. 따라서 향후 크기변화에도 적용할 수 있도록 본 기법을 개선할 필요가 있다. 또한 전체 처리 시간중에서 지문영상의 전처리 단계가 대부분의 시간을 차지하고, 특히 지문향상이 많은 시간을 소비하였다. 따라서 처리속도가 빠른 지문향상 기법의 연구도 향후 과제로 삼고자 한다.

참 고 문 헌

[1] 김현철, 심재창, "동일용선상에 존재하는 특징점 간의 연결정보를 이용한 지문인식", 정보과학회논문지, Vol.28, No.10, pp. 764~772, 2001.
 [2] 안도성, 김학일, "클릭 구조를 이용한 지문인식 알고리즘", 전자공학회논문지, 제36권, S편, 제5호, pp. 69~80, 1999.

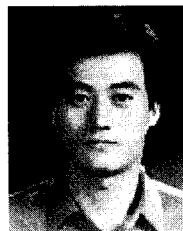
[3] A. Jain, L. Hong, R. Bolle, "On-line fingerprint verification", IEEE trans. PAMI, Vol. 19, No. 4, pp. 302~314, 1997.
 [4] X. Luo, J. Tian and Y. Wu, "A Minutia Matching Algorithm in Fingerprint Verification", Pattern Recognition, 2000 Proceedings, 15th Int. Conference, Vol. 4, pp. 833~836, 2000.
 [5] A. Wahab, S. H. Chin, E. C. Tan, "Novel approach to automated fingerprint recognition", IEE Proc.-Vis.Image Signal Process., Vol. 145, No. 3, pp. 160~166, 1998.
 [6] 김현, 김학일, "RSTI불변 지문인식 알고리즘", 전자공학회논문지, 제35권, S편, 제6호, pp. 88~100, 1998.
 [7] G. T. Candela, P. J. Grother, C. I. Watson, R. A. Wilkinson, C. L. Wilson, "PCASYS - A Pattern-level Classification Automation System for Fingerprints", NIST report, August 1, pp. 7~8, 1995.
 [8] 채종진, 박래홍, "Ridge-line을 이용한 계층적 지문인식", 한국정보과학회논문지, Vol. 18, No. 5, pp. 524~533, 1991.
 [9] 김상진, "신호처리입문", p. 71~76, 도서출판 대림, 1998.
 [10] A. Ross, A. K. Jain, and J. Reisman, "A Hybrid Fingerprint Matcher", Pattern Recognition, Vol. 36, No. 7, pp. 1661~1673, 2003.

저 자 소 개



朴 重 祖(正會員)
 1981년 : 고려대학교 전기공학과 졸업(학사). 1983년 : 고려대학교 전기공학과 졸업(석사). 1995년 : 고려대학교 전기공학과 졸업(박사). 1996년~현재 : 경상대학교 전기전자공학부 부교수. <주관심분야 : 컴

퓨터비전, 생체인식.>



梁 榮 日(正會員)
 1983년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업(학사). 1985년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1989년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(박사). 1990년~현재 : 경상대학교 전기전자공

학부 교수. 1994년 1월~1995년 1월 : UC, Irvine 교환 교수. <주관심분야 : VLSI&CAD, 영상신호처리 등.>