

동일 용선 상에 존재하는 특징점 간의 연결정보를 이용한 지문인식

(Fingerprint Recognition using Connected Ridge Information
between Minutiae on the Same Ridge)

김 현 철 [†] 심 재 창 ^{**}
(Hyoun-Chul Kim) (Jae-Chang Shim)

요 약 본 논문은 지문의 특징점들이 용선으로 서로 연결되어진 구조 정보를 활용한 지문 매칭 알고리즘에 대해 연구하였다. 매칭에 이용한 특징은 분기점과 단점의 위치 및 분기점과 단점에서 용선의 진행 방향 등이다. 동일 용선 상에 존재하는 특징점들에 대한 연결정보를 추출하고, 이를 이용하여 원본지문과 입력지문간의 좌표 변환의 기준이 되는 특징점 쌍을 검출한다. 서로 일치하는 한 쌍의 특징을 이용해 입력지문을 이동, 회전하여 원본지문과 일치시킨 후 각 특징들의 위치, 용선 방향이 일치하는 개수에 따라 지문의 동일여부를 판단하였다. 제안된 알고리즘은 회전과 이동에 무관한 지문인식이 가능하다. 89명으로부터 얻은 445개의 지문영상에 대한 실험결과, 지문매칭의 처리속도가 31% 향상되었다.

Abstract This paper describes fingerprint matching algorithm using connected information between minutiae. We regard minutiae as ridge bifurcation and ridge ending. Features are composed of minutiae's position, type(ridge bifurcation or ridge ending), ridge direction and connected ridge information. While the minutiae are extracted, we store connected information between minutiae on the same ridge. They are used to find corresponding point pairs. Minutiae are aligned completely by two corresponding point pairs and point pattern matching is achieved by counting the number of overlapping pairs. It is invariable to translation and rotation. We have tested proposed method on the 445 fingerprints from 89 persons. These experimental results show that proposed algorithm improve 33% in speed.

1. 서 론

개인의 신분인증에 대한 필요성이 증가되면서 생체측정학을 이용한 신분인증에 관한 많은 연구가 이루어지고 있으며 생체측정학의 한 분야인 지문을 이용한 신분인증 시스템에 대한 연구 또한 많은 관심을 받고 있다[1-3].

지문인식(recognition)은 크게 검증(verification)과 식별(identification)로 분류될 수 있다. 검증은 출입관리시스템과 같이 확인 받고자 하는 사람이 고유번호 등을 통해 입력지문을 원본지문과 일대일로 비교하여 지문의 일치 여부를 판정하는 것이고 식별은 범죄자지문 검색

과 같이 다수의 원본지문 가운데 입력지문의 신원을 확인하는 것이다. 또 지문인식에는 공통된 특징을 기준으로 지문의 형태를 분류(classification)하는 과정이 사용되기도 한다. 지문분류는 주로 대용량의 지문데이터베이스에서 지문을 찾아낼 때 검색속도의 향상을 위한 목적으로 이용된다.

최근, 특징점 기반의 점 매칭 알고리즘들이 많이 제안되어 왔다. 하지만, 지문에는 지문의 중심과 회전에 대한 기준좌표축이 존재하지 않는 관계로 매칭문제를 해결하기 힘들다. 그리고, 모든 특징점들의 상호 관계성을 검출하기 위해 많은 탐색범위를 처리하므로 대부분 처리속도가 느리다. 그래서 탐색범위를 줄이기 위한 많은 연구와 매칭속도를 향상시키는 방법에 대한 연구가 활발하다[1-3, 5-8].

본 연구에서는 지문 매칭 속도를 향상시키기 위해 동일 용선상에 연결된 특징점 정보를 이용하였다. 제안된

[†] 학생회원 : 경북대학교 컴퓨터공학과
hckim@agh.co.kr

^{**} 비 회원 : 안동대학교 컴퓨터공학과 교수
jcschim@andong.ac.kr

논문접수 : 2001년 1월 15일

심사완료 : 2001년 7월 27일

알고리즘은 회전과 이동에 무관한 지문인식이 가능하며 매칭속도가 향상되었다.

2. 지문의 인식

지문은 만인부동, 종생불변의 특성으로 인해 개인의 신분 인증 수단으로 오래 전부터 사용되어 왔다. 그러나 인간의 시각에 의한 방법은 처리속도와 처리량에 한계가 있어 이에 대한 자동화 처리가 강력히 요구되고 있다.

지문의 자동인식에는 일반적으로 다음과 같은 문제점이 존재한다. 첫째, 지문에는 기준 좌표축이 존재하지 않으므로 임의로 회전, 이동되어 채취된 지문에 대한 처리가 어렵다. 둘째, 지문은 피부의 일부로서 유연성을 가지고 있어 채취될 때마다 회전, 이동, 뒤틀림 등으로 인하여 그 모양이 달라진다. 셋째, 지문은 상처나 기타 물리적인 손상으로 인한 저품질의 지문이 많다. 넷째, 지문 입력기, 채취방법에 따라 실제와는 다른 거짓 특징의 추출이 존재하거나 특징의 유실이 있을 수 있다. 그러므로, 특징기반 지문 매칭 알고리즘은 특징을 정확히 추출하여야 하고 회전, 이동, 변형에 대한 복구 과정과 거짓특징 제거 등이 선결되어야 한다.

지문을 인식하는 방법은 용선의 전체모양에 의한 방법과 특징점에 의한 방법으로 분류될 수 있다. 첫째, 용선의 전체모양에 의한 방법은 일정영역을 대표하는 방향으로 주된 흐름선을 추출하고 이 흐름선의 전체형태에 의하여 구별한다[4-7]. 이 방법은 특징점들이 어느 정도 손상된 경우에도 지문인식이 가능하지만 지문의 개별성과 유일성을 증명하는 여러 가지 특징점을 고려할 수 없다는 것이 단점으로 지적된다. 둘째, 특징점에 의한 방법은 특징점(분기점, 단점)들을 추출하고 특징점의 종류, 위치, 용선 방향 등에 따라 지문을 인식하는 방법이다[1-3, 5, 12-14]. 이 방법은 효율적이고 잡음에 강하지만 특징점의 유실이 심한 경우에는 지문의 식별이 어려운 단점이 있다.

최근 Jain[1-2]은 정렬기반의 매칭알고리즘을 제시하였다. 이 방법은 두 지문의 특징점 패턴 사이에 회전과 이동의 차이를 검출하여 두 지문을 정렬한 후 일치하는 특징점을 선택하는 방법으로 정렬기반의 매칭방법(alignment-based matching algorithm)이라 한다. 이 방법은 이론적으로 간단하고 매우 빠르며 특징점의 위치정보, 특징점에서의 용선의 방향정보를 함께 저장하여 지문의 정렬에 이용하였다.

채종진[5]은 용선을 이용한 방법과 특징점을 이용한 방법, 두 가지 방법을 모두 고려하여 계층적인 지문인식

을 수행하였다. 첫 번째 단계는 용선의 전체적인 형태만을 고려하여 인식을 시도하는 방법으로 처리속도가 빠르다. 두 번째 단계는 지문 인식율을 높이기 위해 특징점에 의한 지문인식방법을 시도하였다. 이 방법은 빠른 처리속도의 용선을 이용한 방법으로 지문인식을 시도하여 매칭율이 만족할 만한 수준이면 특징점에 의한 지문인식방법을 생략하여 전체 지문인식의 속도를 빠르게 하였다.

본 연구에서는 지문인식의 속도를 향상시키기 위해 지문의 특징점들이 용선으로 서로 연결된 구조 정보를 이용하였다. 특징점 위치정보, 용선 방향만으로 두 지문 사이의 중심좌표와 회전각도를 검출하는 데는 모든 특징점 사이의 상호 관계를 비교해야 하므로 처리속도가 느리다. 본 연구에서는 탐색범위를 줄이기 위해 특징점의 용선 연결정보를 이용하여 지문의 중심좌표와 회전각을 검출하고 이에 따라 지문을 정렬한 후 매칭을 수행하였다.

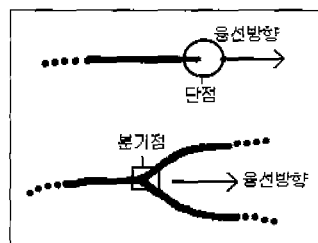


그림 1 특징점의 용선 방향

2.1 지문의 형태와 특징

지문은 용선(ridge)과 용선 사이의 계곡(valley)으로 이루어진다. 용선은 지문에서 솟아오른 부분이고 계곡은 용선과 용선 사이의 나머지 부분이다. 용선이 끊어지는 지점을 단점(ending)이라 하며 갈라지는 지점을 분기점(bifurcation)이라 한다. 보통 육안 인식 시에는 단점과 분기점 외에 짧은 용선(short ridge, island), 고립(enclosure, lake) 그리고 교차(cross over)등도 특징으로 이용되고 있으나 자동화된 처리에서는 대부분 이를 포함하지 않는다.

본 연구에서는 단점과 분기점을 특징점으로 하였다. 특징점의 위치좌표, 특징점에서 용선의 진행방향 그리고 새로 제안하는 특징점의 용선 연결정보를 포함하여 지문의 특징(feature)으로 하였다. 용선의 방향은 그림 1과 같이 단점인 경우에는 단점에서 용선이 진행되는 방향이고 분기점인 경우에는 분기점으로부터 용선 사이의 내각

이 가장 작은 각도의 반각을 용선 방향으로 하였다. 특징점의 용선 연결정보는 각 특징점이 동일한 용선 상에 존재하는지의 여부와 특징점이 서로 연결된 구조정보를 나타낸다. 이는 용선 추적을 의한 특징추출 단계에서 특징점이 추출되는 순서에 의해 특징들을 저장하므로써 특징점이 서로 연결된 구조정보를 복원하는 것이 가능하다.

2.2 특징점 기반의 지문인식

지문인식시스템은 수치화된 지문정보를 미리 등록해 두고 필요시에 저장된 지문정보를 검색하여 사용하게 된다. 이 때, 지문 영상을 저장하는데는 많은 저장공간을 필요로 하기 때문에 일반적으로 수치화된 지문의 특징 정보를 저장하게 된다.

손가락 하나의 지문에 존재하는 특징점의 개수는 개인에 따라 차이가 있지만 수십에서 100개 미만이 대부분이다. 한 사람의 지문정보를 모두 저장하기 위해서는 손가락 10개의 지문 특징점들을 저장해야 한다. 이와 같이 대규모 지문 데이터베이스의 구축을 위해 특징점의 저장 구조 크기를 최소화하여 최대의 특징점 정보를 저장할 수 있는 효율적인 특징 저장 구조가 매우 중요하다.

본 연구에서는 하나의 특징점 정보를 저장하기 위해 FBI, 경찰청 등에서 표준으로 제시하는 방법으로 4bytes를 할당하였다. 이 표준방법에 1bit의 정보를 추가하여 추출된 특징점들을 용선 추적 순서에 따라 순차적으로 저장하므로써 특징점 간의 연결정보를 표현하였다. 표 1은 본 연구에서 사용한 특징점 정보의 구조를 보여준다. 지문 영상은 크기가 256화소보다 큰 경우가 많다. 그러므로 8비트로는 256보다 큰 특징점 좌표의 표현이 불가능하므로 위치좌표 (x, y)에 1비트를 더하여 특징점 위치좌표 (x, y)를 각각 표현한다. 특징구분은

표 1 특징의 구조

정보	크기 (bit)	설명
x좌표	8	0~255
y좌표	8	0~255
특징구분	1	0:단점 1:분기점
용선 방향	7	0~360도 방향은 128단계로 변환하여 저장
x좌표 부호	1	0:중심점에 대해 오른쪽 1:중심점에 대해 왼쪽
y좌표 부호	1	0:중심점에 대해 아래쪽 1:중심점에 대해 위쪽
연결정보	1	0:연결된 특징점 없음 1:연결된 특징점 있음
여유공간	6	여유공간
합계	32	4bytes

특징점이 단점인지 분기점인지를 구분한다. 특징구분이 0이면 단점이고 1이면 분기점을 나타낸다. 용선 방향은 특징점에서 용선의 진행방향을 나타낸다. 360도 방향의 용선 방향정보는 7비트로 저장되기 위해 128방향으로 변환되어 저장된다.

연결정보는 지문 매칭 시에 지문의 중심점과 회전각을 찾기 위한 중요한 정보이다. 연결정보가 0이면 용선에 연결된 마지막 특징점임을, 1이면 다음 저장된 특징점과 용선으로 연결되었음을 표현한다. 연결정보를 이용하면 한 용선위에 존재하는 특징점들의 연결구조를 복원하는 것이 가능하며 이를 지문 매칭에 활용하면 탐색 범위를 줄여 처리속도를 빠르게 할 수 있다.

3. 특징점의 용선 연결정보를 이용한 지문인식

본 연구에서 제안하는 지문 매칭방법은 정렬기반의 매칭방법(alignment-based matching algorithm)으로서 용선으로 연결된 특징들의 연결 구조 정보를 이용하여 지문의 회전과 이동변위를 구한다. 그리고, 검출된 지문의 중심좌표와 회전각에 의해 입력지문의 특징들을 정렬한 후 원본지문과 입력지문의 일치하는 특징점 개수를 세어 지문의 일치여부를 판단한다.

기존의 특징점 연결정보 추출방법에서는 연결정보에 특징점들 사이의 관계성이 배제되어 실제 특징 연결구조의 복원이 불가능하였다[3]. 그러나, 본 연구에서는 특징점의 연결정보가 용선 추적 순서에 따라 순차적으로 저장되며 실제 특징점 연결구조의 복원이 가능하다. 이는 특징점 매칭의 성능 향상뿐만 아니라 특징점들의 구조적 매칭이 가능하다.

그림 2는 지문인식시스템의 전체 처리과정을 보여준다. 지문 영상이 입력되면 방향성을 추출하여 지문영역을 배경으로부터 분리한다. 분리된 지문영역에 대해 용선과 계곡을 향상시키는 지문 영상의 향상을 거쳐 이진화, 세선화 과정을 수행한다. 세선화된 영상으로부터 특징을 추출하고 H, T형태 등의 거짓특징점을 제거하는 후처리과정을 거친다[8,13]. 일부 알고리즘에서는 전처리과정을 거치지 않고 원본 영상으로부터 직접 특징을 추출하기도 한다. 특징추출은 궁극적으로 특징점의 위치와 특징점에서의 용선 진행방향을 찾아내는 것으로 세선화된 영상으로부터 용선을 따라 추적하면서 특징의 종류(단점, 분기점), 위치좌표 그리고 용선 방향을 검출한다. 검출된 특징들은 용선 추적 순서에 따라 용선 연결정보와 함께 저장되어 매칭에 활용된다. 지문의 매칭은 원본지문과 입력지문의 특징점 종류, 위치 그리고 용선 방향에 대한 점 매칭 문제로 간주하였다.

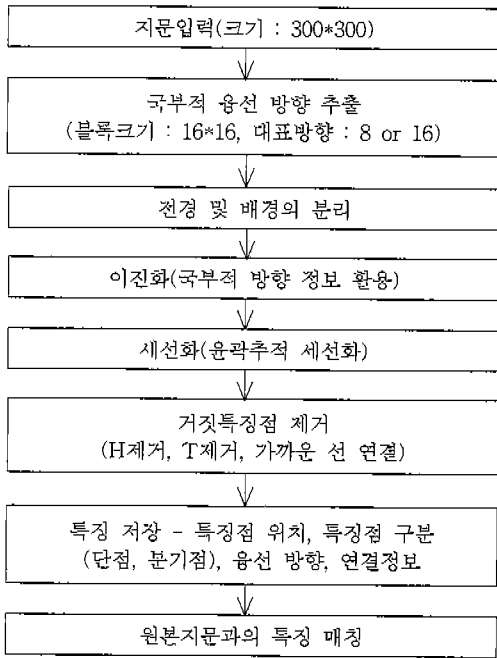


그림 2 전체 처리과정

과 용선 추적에 의한 방법으로 나눌 수 있다. 마스크에 의한 방법[5, 12, 13]은 3*3크기의 마스크를 사용하여 용선이 끊어지는 단점과 용선이 갈라지는 분기점을 검출한다. 용선 추적에 의한 방법[8]은 용선을 따라 추적하면서 특징점을 추출하는데 마스크에 의한 방법보다 처리속도와 성능 면에서 우수한 것으로 평가되고 있다. 본 연구에서는 용선 추적에 의한 방법을 이용하였다.

특징추출은 지문의 인식결과에 직결되므로 매우 중요하다. 특징의 추출은 세선화된 지문 영상을 용선을 따라 반시계방향으로 추적하면서 단점과 분기점을 추출한다. 그림 4는 지문의 특징점이 용선으로 연결된 예이다. 표 2는 그림 4의 용선 연결정보를 저장한 구조를 보여준다.

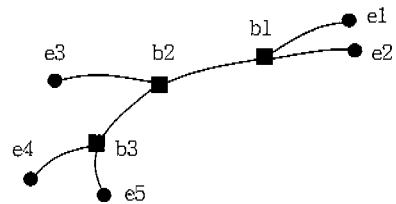


그림 4 특징점의 용선 연결 예

3.1 특징 추출

3.1.1 특징의 용선 연결 유형

특징점들이 용선으로 연결될 수 있는 유형을 분류하면 그림 3과 같다. (a)는 단점과 단점이 용선으로 연결된 유형이다. (b)는 단점과 분기점이 연결된 유형이다. (c)는 분기점과 분기점이 연결된 유형이다. (d)는 단점이나 분기점이 용선에 하나만 존재하는 유형이다. 실제 손가락의 지문에는 (d)와 같이 용선위에 특징점이 하나가 존재할 수는 없다. 그러나, 지문 입력기를 이용해 지문을 획득할 때 지문의 일부분만이 획득되므로 용선의 한쪽 끝이 유실되는 경우가 발생한다. 이 때, 획득된 지문 영상의 지문영역 가장자리에 위치하는 특징점들은 특징점에서 제외시키므로 특징점이 하나만 추출되는 경우가 발생하게 된다.



그림 3 특징점의 용선 연결 유형 (a) 단점과 단점 (b) 분기점과 단점 (c) 분기점과 분기점 (d)

3.1.2 특징의 용선 연결정보 추출과 저장

지문의 특징점 추출방법은 크게 마스크에 의한 방법

특징의 저장 순서는 추출된 특징점 가운데 분기점을 먼저 저장하고 그에 연결된 단점들이 분기점 다음에 저장된다. 그림 4의 특징점 연결구조를 용선 추적 순서에 따라 저장되는 방법을 살펴본다. 지문 영상은 이진 단계에서 이진화와 세선화 처리된 상태이다. 지문 영상의 왼쪽 위에서 오른쪽 아래 방향으로 각 픽셀을 스캔한다. 특징점 e1에서 용선을 처음 만나면 반시계방향으로 용선추적을 시작하여 분기점 b1에 이르게 된다. 이 때 분기점 b1을 선두로 이와 연결된 단점들이 저장될 임시버퍼에 b1을 먼저 저장한다. e1은 분기점을 만나기 전에 추출된 단점이므로 마지막에 저장한다. 용선추적을 계속하여 b2를 만나면 분기점 b2를 선두로 하는 또 하나의 임시버퍼에 b2를 저장한다. 다음 e3을 만나면 분기점 b2의 임시버퍼에 e3을 저장한다. 다음 b2를 거쳐서 b3을 만나면 b3을 선두로 하는 또 다른 임시버퍼에 b3을 저장한다. 다음 추출된 e4는 b3이 저장된 임시버퍼의 b3다음 위치에 저장된다. 이렇게 용선 추적을 계속하여 추출된 특징점들을 모두 저장하게 된다. 연결된 용선 추적의 마지막은 시작점으로 돌아오게 되는데 그림 4와 같이 e1에서 용선 추적이 시작되었으므로 b1을 거쳐 e1까지 용선 추적이 되면 용선 추적이 완료된다. 이 때 b1을 선두로 하는 임시버퍼에 e1을 저장한다. 용선 추적이 완

료되면 분기점을 선두로 하는 각각의 임시버퍼들을 분기점 추출순서에 따라 이어서 저장한다.

표 2는 그림 4의 특징점들을 추출하여 이를 저장한 구조를 보여준다. 특징구분은 분기점일 때 1을 저장하고 단점일 때 0을 저장한다. 연결정보는 하나의 용선으로 연결된 특징점일 때 1을 저장하며 연결된 마지막 특징점일 때 0을 저장한다. 저장된 순서와 특징연결정보에 의해 실제 특징점의 용선 연결구조의 복원이 가능하며 지문 매칭 시에 이를 활용한다.

표 2 그림 4의 특징 저장 구조

특징점	특징구분(1bit)	연결정보(1bit)
b1	1	1
e2	0	1
e1	0	1
b2	1	1
e3	0	1
b3	1	1
e4	0	1
e5	0	0

3.2 연결정보를 이용한 매칭

정렬기반의 지문 매칭은 두 지문 사이의 중심좌표와 회전각을 찾고 이에 따라 추출된 특징점들을 정렬시킨 후 두 특징점 패턴의 공간적인 위치, 용선 방향 등을 비교하는 작업으로 이루어진다.

지문 매칭은 두 지문 특징점 패턴 사이의 기준좌표축 후보들에 의해 두 지문 특징점의 공간적 위치를 일치시킨 후 특징점의 공간적 위치와 용선 방향이 허용치 이내인 것의 개수를 센다. 기준좌표축 후보들에 대해 위의 작업을 반복하여 그 가운데 일치하는 특징점의 개수가 가장 많을 때의 기준좌표축을 두 지문 사이의 중심점과

회전각으로 인정한다. 이로써 두 지문을 정렬한 후 지문의 일치 여부를 판단한다. 기준좌표축은 용선으로 연결된 한 쌍의 특징점으로 구성된다.

3.2.1 정렬

이차원 평면상에서 점 패턴이 회전, 이동으로 공간적 위치가 변형되었을 때 이를 다시 복구하기 위해서는 일치하는 한 쌍의 점좌표를 알면 해결할 수 있다. 그림 5와 같이 원본지문의 연결된 두 특징점을 M1, M2라 하고 입력지문의 연결된 두 특징점을 m1, m2라 하자. 이때, M1, m1 그리고 M2, m2가 각각 일치하는 특징점이라 가정하면 두 직선 L과 l을 일치시키므로써 두 지문의 점 패턴들을 동일좌표축에 일치시킬 수 있다. 즉, 두 특징점은 기준좌표축(중심점, 회전각)을 표현하게 된다.

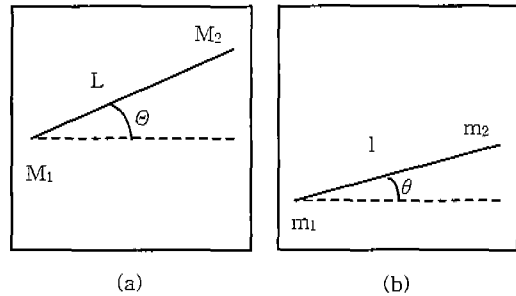


그림 5 원본지문과 입력지문의 두 특징점 사이의 직선 (a) 원본 (b) 입력

그림 6은 특징 정렬의 예를 보여준다. (a)는 원본지문, (b)는 입력지문이다. 특징점과 용선 방향을 지문 영상 위에 표현하였으며 두 특징점 사이를 이은 직선은 두 특징점이 용선으로 서로 연결되었음을 표현한다. (a)와 (b)의 원으로 표시된 두 특징점은 기준좌표축으로 검출된 특징점들이다. 이때 두 특징점을 이은 직선은 기

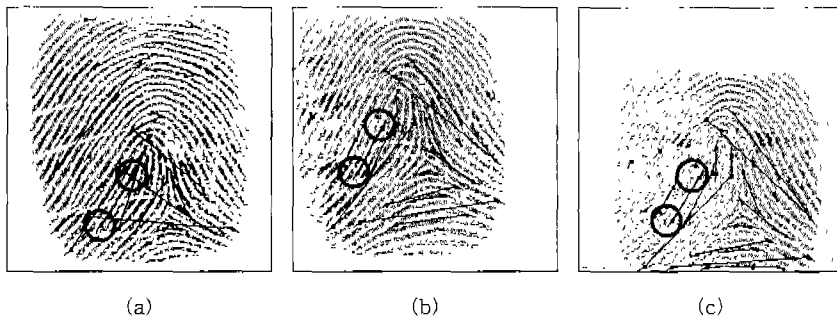


그림 6 특징점 정렬의 예 (a) 원본지문 (b) 입력지문 (c) 입력지문의 정렬 결과

준좌표축 후보들로 이용된다. (c)는 검출된 기준좌표축에 의해 입력지문 (b)가 정렬된 결과이다.

3.2.2 매칭

정렬된 특징점들의 매칭은 이론적으로 완전히 일치하는 특징점의 개수를 세어 해결할 수 있다. 그러나 실제로 지문은 획득될 때마다 모양이 달라지며 잡음, 정렬 과정의 계산오차 등으로 특징점의 공간적 위치가 정확히 일치하는 경우는 거의 일어나지 않는다. 그러므로 특징의 매칭에는 유연성 있는 해석이 필요하다. 본 연구에서는 특징의 매칭을 특징점의 위치좌표 및 방향의 차이가 허용치 이내인 것은 동일한 것으로 간주하였다.

지문의 일치여부를 결정하는 정합도(matching rate)는 식 (1)과 같이 산출한다.

$$S = \frac{M}{\max(T, I)} 100 \quad (1)$$

M은 원본지문과 입력지문 사이에 일치하는 특징의 개수, T는 원본지문의 특징점 개수, I는 입력지문의 특징점 개수이다. 이때 특징점 개수는 지문영역이 중첩되는 영역내의 특징점 개수이다.

그림 7은 연결정보를 이용한 매칭알고리즘을 보여준다. 용선으로 서로 연결된 특징점쌍으로 이루어진 직선의 집합을 기준좌표축 후보라 한다. 원본지문과 입력지문의 기준좌표축을 각각 $L_I(0 \leq I \leq L_{max})$ 와 $l_i(0 \leq i \leq l_{max})$ 라 한다. 이때, L_{max} 와 l_{max} 는 원본지문과 입력지문의 기준좌표축 후보 개수이다. 원본지문과 입력지문에서 추출된 모든 특징점 집합을 각각 $M_r = (X_r,$

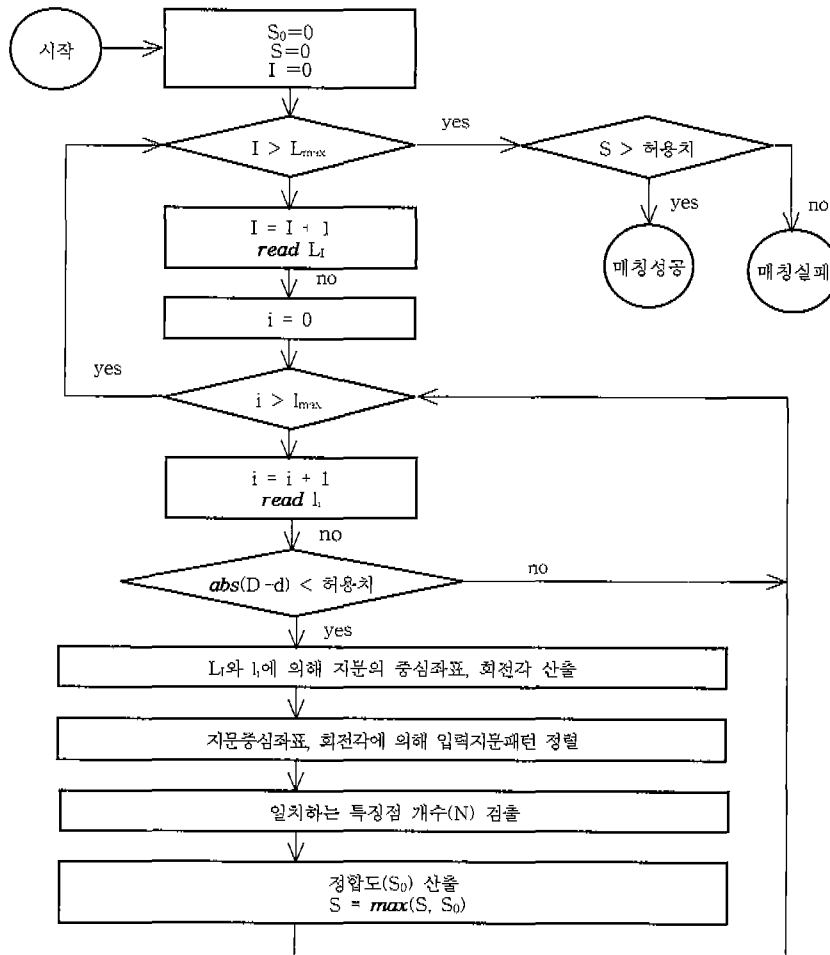


그림 7 연결정보를 이용한 매칭알고리즘

Y_N, θ_N), $m_n=(x_n, y_n, \theta_n)$ 라 하고 두 지문 사이의 중심좌표와 회전각을 $(cx, cy, \Delta\theta)$ 라 가정한다. 원본지문의 기준좌표축 직선을 구성하는 두 특징점을 (X_1, Y_1) , (X_2, Y_2) 라 하고 입력지문의 기준좌표축 직선을 구성하는 두 특징점을 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) 라 가정한다. 이 때 원본지문의 기준좌표축을 이루는 특징점간 직선길이 D 는 식 (2)로 산출되고 입력지문의 기준좌표축 직선길이 d 는 식 (3)과 같이 산출된다.

$$D = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad (2)$$

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (3)$$

S 는 두 지문의 정합도이고 S_0 는 최대 정합도를 비교하기 위한 임시버퍼이다. 두 지문의 기준좌표축 후보의 직선길이를 비교하여 거리차이 $abs(D-d)$ 가 허용치 이내이고 용선 방향의 각도차이 $abs(\theta - \theta')$ 가 허용치 이내이면 다음 작업 단계로 진행하며 아니면 다음 기준좌표축 후보 직선과의 비교를 계속한다. 이때 직선길이 허용치의 값이 작으면 후보의 개수는 줄어 처리속도는 빠르지만 지문의 비선형 변형으로 인해 실제로 일치되는 기준좌표축을 놓칠 수 있으므로 적당한 값을 사용하여야 한다.

두 지문 사이의 중심좌표와 회전각의 산출은 직선 LI 와 li 의 네 특징점 $M_N, M_{N-1}, m_n, m_{n-1}$ 에 대해 각각을 중심으로 하여 정렬한 후 가장 많은 특징점이 일치할 때의 특징점을 중심으로 간주한다. M_N 을 중심점 (cx, cy) 으로, M_N 과 m_n 을 일치점으로 가정할 때 이동변위 $(\Delta x, \Delta y)$ 는 식(4), 식(5)에 의해 산출되며 회전각 $\Delta\theta$ 는 식 (8)과 같이 산출된다.

$$\Delta x = X_N - x_n \quad (4)$$

$$\Delta y = Y_N - y_n \quad (5)$$

$$\theta = (\text{atan2}(cy - Y_N, cx - X_N) * 180) / \pi \quad (6)$$

$$\theta' = (\text{atan2}(cy' - y_n, cx' - x_n) * 180) / \pi \quad (7)$$

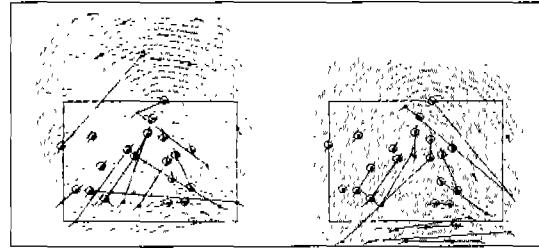
$$\Delta\theta = \theta - \theta' \quad (8)$$

산출된 두 지문사이의 회전과 이동변위 $(\Delta x, \Delta y, \Delta\theta)$ 에 의해 입력지문의 특징 패턴들을 식(9)와 같이 이동, 회전 변환시킨다. 식(9)의 결과 입력지문의 특징점들은 원본지문의 특징점들과 정렬되어 매칭단계에서 원본지문과 입력지문의 특징점들을 간단히 비교할 수 있게 된다.

$$\begin{pmatrix} X_n \\ Y_n \\ \theta_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta\theta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_n - cx \\ Y_n - cy \\ \theta_n \end{pmatrix} \quad (9)$$

그림 8은 매칭결과를 보여준다. (a)는 원본지문이고 (b)는 정렬이 완료된 입력지문이다. \times 표시는 회전의 중심점을 나타내며 원으로 둘러싸인 특징점은 일치하는 것으로 인정되었음을 표시한다. 지문영역 내부의 사각형

부분은 지문영역 가운데 특징점이 실제 존재하는 영역의 중첩되는 부분을 나타낸다. 일치하는 특징의 개수를 산출할 때 중첩영역 이외의 부분은 제외시켰다.



(a) 원본지문

(b) 입력지문

그림 8 매칭 결과

4. 실험 결과 및 고찰

본 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 Veridicom사의 지문입력기를 이용하여 89명으로부터 1인당 5개의 지문을 획득하여 총 445개의 300*300 크기 지문 영상을 획득하였다. 임의의 회전과 누름의 강도 변화, 이동 등으로 한 명의 지문이 자기 다른 모양으로 획득되도록 하였다. 지문 1개당 평균 특징점 개수가 약 53개, 단점 47개 그리고 분기점이 6개였다. 연결된 특징점쌍으로 구성된 기준좌표축 후보의 평균 개수는 17.7개였다. 실험에 이용한 PC는 Pentium III 600Mhz이다.

매칭알고리즘의 성능을 평가하기 위해 타인 수락율(FAR-False Accept Rate)과 본인 거부율(FRR-False Reject Rate)을 식 (10), 식 (11)과 같이 산출하였다.

$$FAR = \frac{\text{타인이 본인으로 오인식된 회수}}{\text{매칭대상 지문수} - 1} \quad (10)$$

$$FRR = \frac{\text{본인이 타인으로 오인식된 회수}}{\text{매칭대상 지문수} - 1} \quad (11)$$

타인 수락율은 타인이 본인으로 오인식될 수 있는 확률이며 본인 거부율은 본인이 타인으로 오인식될 수 있는 확률이다. 출입관리시스템 등의 지문검증시스템에서는 등록되지 않은 사람이 인증에 성공하지 않도록 타인 수락율이 극히 낮아야 하며 범죄자 검색 등과 같은 경우에는 본인 거부율이 상대적으로 낮아야만 좋은 성능을 평가받게 된다.

표 3은 임계정합도의 변화에 따른 본인 거부율과 타인 수락율을 보여준다. 임계정합도는 지문의 일치여부를 결정하는 기준이다. 실험 결과, 기준좌표축 검출에 실패하거나 비선형 변형이 심한 지문의 본인 인식 실패로

인하여 본인 거부율이 다소 높았다. 그러나, 정합도가 26%인 지문이 한 쌍 발생하여 타인 수락율은 좋은 결과를 보였다. 이는 임계정합도를 26%이하로 하였을 때는 타인이 수락되는 경우가 생길 수 있고 26% 이상으로 하면 타인이 오인식되는 경우가 없다는 것이다. 본 실험에서는 임계정합도를 30%로 하였다.

표 3 임계정합도 변화에 따른 FRR과 FAR

임계정합도	FRR	FAR
10	0.549	0.001
20	0.549	0.001
30	0.603	0
40	0.744	0
50	0.898	0
60	0.961	0
70	0.987	0
80	0.997	0
90	1.000	0

표 4는 연결정보를 이용한 매칭방법의 성능을 보여준다. 특징추출에 소요된 시간은 0.72초였다. 이는 지문 입력기로부터 영상을 입력받아 지문입력 영상을 읽고 지문영역을 매경과 분리하고 이진화, 세선화, 거짓특징점 제거 등의 처리 후 특징을 저장한 시간이 포함되었다.

연결정보를 이용한 매칭방법으로 1개 지문의 매칭에 소요된 평균 시간은 0.09초였다. 이는 특징추출로부터 저장된 특징들을 읽어서 매칭결과가 나오기까지의 시간이다. 그리고, 타인 수락율과 본인 거부율은 임계정합도를 30%로 하였을 때의 결과이다. 타인 수락율은 0으로 오류가 없었고 본인 거부율은 0.603으로 높은 편이었다. 본인 거부율이 높은 이유는 지문의 용선 연결정보가 적거나 존재하지 않는 지문과 비선형 변형이 심한 지문이 다수 포함되었고 이에 대한 처리가 되지 않았기 때문이다. 특징점 용선 연결정보를 이용한 지문매칭방법은 빠른 수행속도의 장점이 있지만 연결정보가 없거나 부족한 지문에 대한 매칭이 불가능한 관계로 기존 지문매칭방법으로 보완이 필요하다.

표 4 연결정보를 이용한 지문 매칭의 성능

수행 속도	FAR	FRR
0.09sec	0	0.603

표 5는 연결정보를 이용한 매칭방법을 Ridge-line을 이용한 매칭방법에 앞서 선처리하였을 때와 Ridge-line을 이용한 매칭방법의 수행속도와 지문 인식율을 비교

한다. 연결정보를 이용한 매칭방법으로 지문매칭을 시도하여 매칭에 실패할 경우만 Ridge-line을 이용한 매칭방법으로 다시 매칭을 시도하였다. 연결정보를 이용한 매칭방법은 Ridge-line을 이용한 방법에 비해 수행속도가 빠르며 타인수락율이 낮다. 그러므로, Ridge-line을 이용한 방법에 앞서 연결정보를 이용한 방법으로 매칭을 시도하였을 때, Ridge-line을 이용한 방법에 비해 타인 수락율을 같은 수준으로 유지하면서 본인 거부율을 낮게 하였다. 이와 같이 연결정보를 이용한 매칭방법을 기존 지문매칭방법의 선처리로 활용하였을 때 33%의 매칭 수행속도 향상과 36%의 지문 인식율을 함께 향상시킬 수 있었다.

표 5 기존 매칭방법과의 성능 비교

구 분	수행 속도	FAR	FRR
연결정보를 이용한 매칭방법을 선처리	0.31sec	0.078	0.334
Ridge-line을 이용한 매칭방법	0.45sec	0.078	0.518

이론적으로 연결된 용선 위에 특징점들의 연결상태를 표현하는데는 용선 위에 존재하는 특징점수 만큼의 정수표현이 가능해야 한다. 그러므로 1비트로 특징점들의 연결상태를 표현하는데는 한계가 있다. 그러나 지문의 특성상 복잡한 연결구조는 극소수이므로 1비트로 연결상태를 표현하더라도 지문 매칭의 성능에는 큰 영향을 미치지 않는다. 향후 연결구조의 완벽한 복원과 연결구조 분석에 의한 매칭방법에 관한 연구가 필요하다.

5. 결론

본 연구에서는 특징점 용선 연결정보를 이용하여 지문 매칭의 수행속도와 지문 인식율을 높이는 방법을 제안하였다. 이를 위해 먼저 윤곽추적 기법을 이용한 특징점 사이의 용선 연결정보 추출이 선행되어야 했다.

기존의 정렬기반 특징점 매칭방법들은 지문의 중심과 회전에 대한 기준좌표축을 찾기 위해 많은 탐색범위의 특징점 상호관계 비교를 필요로 하였다. 이로 인하여 대부분 느린 처리속도로 동작하였고 이를 해결하기 위한 많은 연구가 있어왔다. 본 연구에서는 이 문제점을 해결하기 위해 특징점들이 용선으로 연결된 구조 정보를 특징 추출 시에 함께 저장하여 매칭에 활용하였다.

실험 결과, 특징점 하나에 1비트의 특징점 용선 연결정보를 저장, 매칭에 활용하므로써 지문의 매칭 수행속도 향상을 확인하였다. 용선 연결정보를 이용한 지문 매칭방법은 실시간 지문검증시스템의 구현을 용이하게 하

며 대용량의 지문데이터베이스에서 유사지문 검색 등의 신원확인시스템에서 빠른 검색속도를 얻을 수 있다.

그러나, 특징점의 용선 연결정보가 극소수이거나 지문의 비선형 변형이 심한 지문들에 대해서는 기준좌표축을 찾지 못하거나 매칭율이 낮은 경우가 발생하였다. 이때는 기존의 점 매칭 알고리즘을 이용하여 매칭이 가능하며 용선 연결정보를 이용하면 탐색범위를 줄여서 수행속도 향상을 꾀할 수 있다.

앞으로의 연구방향은 구조적 관점에서 특징점의 용선 연결구조를 분석하여 매칭에 이용하는 방법, 일치한 특징점들의 종류(분기점, 단점), 유사도에 따른 가중치에 의한 지문정합도 산출 방법 그리고 특징점의 용선 연결정보를 이용한 매칭이 실패했을 때 이의 보완방법에 관한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] A. Jain, L. Hong, and R. Bolle, "On-line fingerprint verification," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol. 19, No. 4, pp. 302-314, 1997.
- [2] A. Jain, L. Hong, Pankanti, and R. Bolle, "An Identity-Authentication System Using Fingerprints," Proceedings of The IEEE., Vol. 85, No. 9, pp. 1364-1388, 1997.
- [3] 이준재, 심재창, 황석운, 이주형, "특정간 연결정보를 이용한 지문 매칭 알고리즘", 제11회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵, 과학기술원, 2월 4-5일, 1999.
- [4] 이남일, 우용태, 이정환, "회전과 크기변화에 무관한 신경망을 이용한 지문 인식", 한국정보처리응용학회 논문지, Vol. 1, No. 2, pp. 215-224, 1994.
- [5] 채종진, 박태홍, "Ridge-line을 이용한 계층적 지문인식", 한국정보과학회 논문지, Vol. 18, No. 5, pp. 524-533, 1991.
- [6] 안도성, 김학일, "블록 FFT를 이용한 실시간 지문 인식 알고리즘", 전자공학회논문지-B, Vol. 32-B, No. 6, pp. 909-921, 1995.
- [7] 권용재, 박영태, "방향정보와 특징점을 사용한 지문영상의 형상 분류에 관한 연구", 대한전자공학회 추계종합학술대회 논문집, Vol. 21, No. 2, pp. 963-966, 1998.
- [8] 이준재, 심재창, 황석운, 남재열, 이주형, "다 해상도 방향성 정보를 이용한 지문영상의 특이점 추출", 한국통신학회 논문지, Vol. 22, No. 5, pp.928-938, 1997.
- [9] M. Kawagoe and Akio Tojo, "Fingerprint Pattern Classification," Pattern Recognition., Vol. 17, No. 3, pp. 295-303, 1984.
- [10] K. Rao and K. Balck, "Type classification of Fingerprints: A Syn-tactic Approach," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol. 2, No. 3,

1980.

- [11] 김봉일, 변인호, 김정규, "방향 패턴을 이용한 지문화상의 좌표변환", 한국정보과학회 가을학술발표논문집, Vol. 14, No. 2, pp. 360-363, 1987.
- [12] 김봉일, 이상선, 김정규, "세션화된 지문 화상의 단계적 복원 처리", 한국정보과학회 논문지, Vol. 14, No. 1, pp. 33-44, 1987.
- [13] 정양민, 최재호, "의사 특징점 제거 알고리즘 관한 연구", 한국정보처리학회 논문지, Vol. 3, No. 4, pp. 899-907, 1996.
- [14] 김현, RSTI불변 지문 특징량 추출 및 인식과 응용, 인하대학교 석사학위 논문, 1998.



인식 동일

김 현 철

1971년 2월 10일 생. 1997년 2월 안동대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사). 1997년부터 안동병원 전산실 근무. 2000년 9월 안동대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학석사). 현재 경북대학교 컴퓨터공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 영상처리, 패턴



심 재 창

1993년 경북대학교 전자공학과 박사. 1994년 ~ 현재 국립안동대학교 부교수. 1997년 ~ 1999년 IBM T. J. Watson 연구소 Visiting Professor. 1999년 ~ 현재 (주)파미 감사. 2001년 ~ 현재 (주)포디컬처 CTO. 관심분야 영상처리, 패턴인식, 컴퓨터비전, 3차원 영상처리, 비디오영상처리.