특징점의 융선 연결정보를 이용한 지문 인식

김현철[O] 이준재 김중수 심재창
안동대학교 컴퓨터공학과, 동서대학교 컴퓨터공학과, 안동대학교 컴퓨터공학과, 안동대학교 컴퓨터공학과
hckim@andong.ac.kr, jjl@kowon.dongseo.ac.kr, {kimjs, jcshim}@andong.ac.kr

Fingerprint Recognition Using Connected Ridge-line Informaton of Minutiae

Hyoun-Chul Kim[O] Jun-Jae Lee Joong-Soo Kim Jae-Chang Shim
Dept. of Compt. Eng. Andong Natl. Univ., Dept. of Compt. Eng. Dongseo Univ., Dept. of Compt. Eng. Andong Natl. Univ., Dept. of Compt. Eng. Andong Natl. Univ.

요 약

본 논문은 지문 특징점 들에서 서로 연결되어진 구조 정보를 활용한 지문 매칭 알고리즘에 대해 연구하였다. 매칭에 이용한 특징은 분기점, 단점 그리고 융선의 방향 등이다. 한 융선 위에 존재하는 여러 특징점들의 연결정보를 찾고, 이를 저장하여 기준좌표축(한 쌍의 특징)을 검출한다. 서로 일치하는 한 쌍의 특징을 이용해 입력지문을 이동하고 회전하여 원본지문과 일치시킨 후 각 특징들의 위치, 융선 방향이 일치하는 개수에 따라 지문의 동일여부를 판단하였다. 제안된 알고리즘은 회전과 이동에 무관한 지문인식이 가능하며, 처리 속도가 빨라 실시간 지문인식에 적용할 수 있다.

1. 서론

본 논문은 지문매칭을 이차원 평면상의 점 패턴매칭(point pattern matching)문제로 간주하였다. 지문에는 기준좌표축(중심점, 회전각)이 존재하지 않으므로 매칭 문제를 해결하기 힘들다. 여러 가지 점 패턴매칭 알고리즘들이 제안되어 왔지만 많은 탐색횟수로 인하여 대부분 느리게 동작하며 실시간 지문인식처리에는 곤란하다. 그래서 탐색범위를 줄이기 위한 많은 연구들이 있어왔다. 최근 Jane[1] 등은 정렬기반의 매칭알고리즘(alignment-based matching algorithm)을 제시하였다. 이 방법은 두 지문의 특징점 패턴사이에 회전과 이동의 차이를 검출하여 두 지문을 정렬한 후 일치하는 특징점을 선택하는 방법이다. 이는 간단하고 빠르며 특징점의 위치정보, 융선의 방향과 각 특징점사이의 융선정보를 함께 저장하여 정렬시에 이용하였다.

이론적으로 이차원 평면에서 두 개의 점 패턴집합은 한 쌍의 점좌표에 의해 정확히 정렬될 수 있다. 본 논문에서는 이를 위해 특징점 추출시 세선화된 지문영상을 추적하면서 융선으로 연결된 특징점에 대한 연결정보로 한 비트를 저장한다[2]. 지문매칭시 저장된 연결정보를 이용해 두 지문의 기준좌표축을 검출하여 특징점패턴을 정렬한 후 일치하는 특징점을 찾는다. 제안한 알고리즘을 Veridicom사의 지문입력기로 획득한 지문데이터를 활용하여 실험한 결과 빠른 매칭속도와 만족할 만한 인식률을 보여주었다.

2. 특징 추출과 연결정보

지문은 융선(ridge)과 계곡(valley)으로 이루어진다. 융선은 지문에서 솟아오른 부분이고 계곡은 융선과 융선 사이의 나머지 부분을 말한다. 융선이 끊어지는 지점을 단점이라 하며 갈라지는 지점을 분기점이라 한다. 지문의 특징(minutia)은 단점과 분기점의 위치좌표, 특징점에서 융선의 방향, 융선의 연결정보로 구성된다.

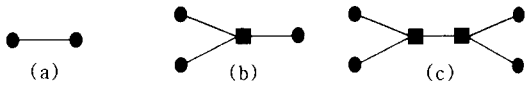
특징추출은 잡음을 제거하고 지문을 배경으로부터 분리하고, 융선과 계곡을 향상시키는 지문영상의 향상을 시작으로 이진화, 세선화[3-4]를 거쳐 특징을 추출하고 거짓특징점을 제거하는 후처리과정을 거친다[5]. 특징추출은 궁극적으로 특징점위치, 융선방향 그리고 특징의 연결정보를 찾아내는 것으로 세선화된 영상으로부터 융선을 따라 추적하며 특징을 검출한다[2-3]. 표 1은 특징의 구성요소를 보여준다.

기존의 특징 연결정보 추출방법에서는 연결정보에 한 융선위에 존재하는 특징들의 관계성이 배제되어 매칭시 실제 특징 연결구조의 복원이 불가능하였다[3]. 그러나, 본 논문에서는 특징 연결정보가 융선추적순서에 따라 순차적으로 저장되며 실제 특징 연결구조의 복원이 가능하다. 이는 특징점 매칭의 성능향상 뿐만 아니라 특징의 구조적 매칭이 가능하다.

특징의 연결유형을 분류하면 그림 1과 같으며 아래 세 가지 연결유형의 조합으로 모든 지문 특징의 융선연결정보의 표현이 가능하다. 그러나, 연결유형을 한 비트(1bit)로 표현하므로 (c)보다 복잡한 연결구조일 때는 실제 특징의 연결구조를 정확히 재구성하는 것이 불

표 1. 특징의 구성

정 보	크기(bit)	설 명
(x, y)좌표	(8, 8)	0~255
특징구분	1	단점(0) 분기점(1)
융선방향	7	0~360도 방향을 128단계로 표시
(x, y)좌표부호	1	중심점에 대해 오른쪽(0) 왼쪽(1)
연결정보	1	연결된 특징점 없음(0) 있음(1)
기타	6	기타정보
계	32	4bytes



(a) 단점과 단점 : 단점으로 융선이 연결된 경우
(b) 분기점과 단점 : 분기점에 단점이 연결된 경우
(c) 분기점과 분기점 : 분기점과 분기점이 연결된 경우
그림 1. 특징점의 연결 유형

가능하다. 그러나, 특징의 대부분이 (a)와 (b)이므로 지문인식 성능에는 큰 영향이 없다.

3. 특징점의 연결 쌍을 이용한 지문 매칭 알고리즘

정렬기반의 지문매칭은 두 지문사이의 기준좌표축을 찾고 이에 따라 추출된 특징들을 정렬시킨 후 특징의 위치, 융선방향 등을 비교하는 작업으로 이루어진다. 본 논문에서는 한 융선위에 존재하는 연결된 한 쌍의 특징들을 기준좌표축의 후보로 사용하여 특징들을 정렬한다. 이 때 일치하는 특징점 개수를 세어 가장 많은 일치점이 검출되는 한 쌍의 특징을 지문의 기준좌표축으로 인정하고 지문의 일치여부를 판단하였다.

3. 1 정렬

그림 2에서 원본지문의 연결된 두 특징점을 M_1, M_2라 하고 입력지문의 연결된 두 특징점을 m_1, m_2라 하면 (a)와 (b)를 일치시키므로써 두 지문의 점패턴들을 동일좌표축에 일치시킬 수 있다.

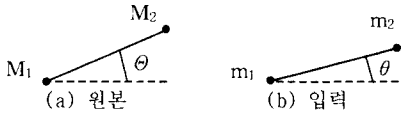


그림 2. 연결된 두 특징점사이의 직선

그림 3은 특징점 연결정보를 이용한 정렬과 매칭의 처리과정을 보여준다. 원본지문과 입력지문의 한 융선위에 연결된 두 특징점 사이를 이은 직선의 집합을 각각 L_I와 l_i, 각각의 특징집합을 $M_N = (X_N, Y_N, \Theta_N)^T$, $m_n = (x_n, y_n, \theta_n)^T$라 한다. 이 때, 각각의 직선길이 D와 d는 식(1), 식(2)와 같이 산출한다.

$$D = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad \text{--------- (1)}$$

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

두 직선의 거리차이 abs(D - d)와 융선방향의 각도차이 abs($\Theta - \theta$)가 허용치 이내이면 기준좌표축 후보로 선택하며 아니면 다음 직선과의 길이를 계속 비교한다.

직선 L_I와 l_i의 네 특징점 M_N, M_{N+1}, m_n, m_{n+1} 각각을 중심점으로 하여 정렬한 후 가장 많은 특징점이 일치할 때 이를 중심점으로 인정하고 이동변위 Δx, Δy와 회전각 $\Delta\theta$를 구한다. 이동, 회전의 중심점을 M_N이라고 가정한다.

$$\Delta x = X_N - x_n \quad \text{---------- (3)}$$

$$\Delta y = Y_N - y_n \quad \text{---------- (4)}$$

$$\Theta = (\text{atan2}(Y_N - Y_{N+1}, X_n - X_{N+1}) * 180) / \pi \quad \text{— (5)}$$

$$\theta = (\text{atan2}(y_n - y_{n+1}, x_n - x_{n+1}) * 180) / \pi \quad \text{-- (6)}$$

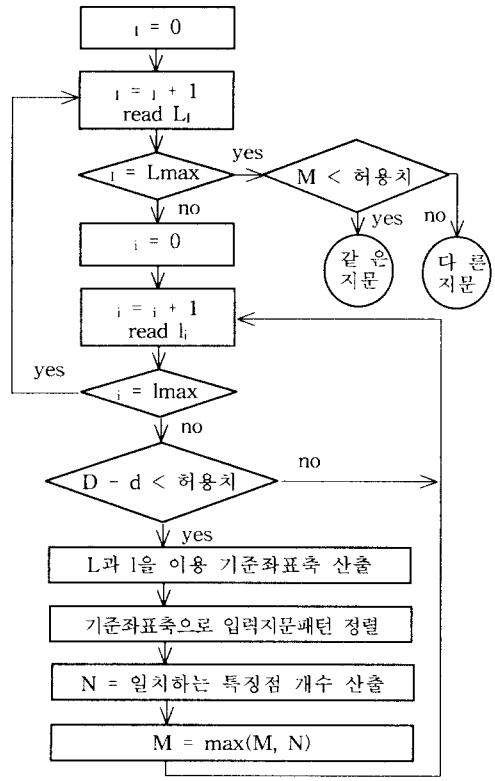


그림 3. 특징간 연결정보를 이용한 알고리즘의 흐름도

$$\Delta\theta = \Theta - \theta \quad \text{---------- (7)}$$

산출된 이동변위와 회전각으로 입력지문의 특징패턴들을 식(8)을 이용하여 이동 및 회전시킨 후 원본지문의 점패턴과 매칭과정으로 진행한다.

$$\begin{pmatrix} X_n \\ Y_n \\ \theta_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta\theta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_n \\ Y_n \\ \theta_n \end{pmatrix} \quad \text{------ (8)}$$

3. 2 매칭

정렬이 완료된 특징패턴의 매칭은 이론적으로 완전히 일치하는 쌍들의 수로 판단한다. 그러나 실제로 지문은 획득될 때마다 그 모양이 달라지며 잡음, 영상처리과정, 계산오차 등으로 특징점의 공간적 위치가 정확히 일치하는 경우는 거의 일어나지 않는다. 그러므로 특징패턴의 매칭에는 유연성 있는 해석이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 특징점의 위치, 융선의 방향이 허용치 내에 있으며 이를 일치하는 특징으로 간주하기 위해 식(9)와 같은 정합도를 도입하였다.

$$S = \frac{100M}{\max(T, I)} \quad \text{---------- (9)}$$

S는 두 지문의 정합도(matching rate)이며 M은 일치하는 특징수, T는 원본지문의 특징수, I는 입력지문의 특징수로써 두 지문의 정렬 후 지문이 존재하는 실제영역이 중첩되는 부분의 특징수이다.

4. 실험 및 고찰

본 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 Veridicom사의 지문입력기를 이용하여 10명으로부터 각각 5개의 지문을 획득하여 300*300 크기의 지문영상 50개를 저장하였다. 특징추출결과 1개 지문당 평균 특징개수가 약47개이고 한 융선위에 연결된 평균 특징개수가 20개이다.

표 2는 일치점 인정 허용치의 변화와 이에 따른 정합도의 관계를 보여준다. 두 지문 특징점의 일치여부를 비교할 때 인정 허용치 이내의 거리에 존재하면 일치하는 특징점으로 인정하게 되는데 허용치가 너무 크면 일치하지 않는 특징이 일치하는 것으로 오인될 수 있으며 허용치가 너무 작으면 일치점의 유연한 인정이 어렵게 된다. 본인과의 정합도가 낮게 산출되는 경우는 여러 가지 원인이 있으나 이에 대한 보완방법으로 기준좌표축을 찾지 못하는 경우는 연결되지 않은 특징들간에 관계를 형성하여 이로써 기준좌표축을 찾아 매칭하는 방법이 있다. 또, 지문의 특징점 위치 변화추이에 따라 허용박스를 이동함에 따라 일치하는 특징의 매칭에 유연성을 더하여 인식률을 높일 수 있다.

표 3은 임계 정합도의 변화에 따른 FAR과 FRR의 관계를 보여준다. FAR(False Accept Rate)은 타인의 지문이 본인으로 오인식되는 확률이고 FRR(False Reject Rate)은 동일인의 지문 매칭시 타인으로 오인식되는 확률이다. FAR과 FRR은 식(10), 식(11)과 같이 산출된다.

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

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

임계 정합도가 높을수록 FAR은 낮아져 보안시스템에 적용할 경우 안전성을 높일 수 있고 임계 정합도가 낮을수록 유사 지문의 검색에 유용하다. 이와 같이 활용분야에 따라 적당한 임계 정합도의 설정이 중요하다.

표 4는 알고리즘의 수행속도를 보여준다. 특징추출에 소요된 시간은 지문입력기로부터 영상을 입력받은 이후 입력영상을 읽고 방향성을 추출하여 전경과 배경을 분리하고 이진화, 세선화, 거짓특징점 제거 등의 시간이 포함되었으며 특징매칭에 소요된 시간은 특징추출로부터 특징구조에 저장된 특징들을 읽어 매칭이 완료되기까지의 시간이다. 실험은 Pentium Celeron 400Mhz급 PC에서 수행되었다.

실험대상 지문이 소수여서 결과에 대한 신뢰성을 위해 더 많은 지문을 대상으로 실험해 볼 필요성이 있으며 앞으로의 연구방향은 지문의 특징간 연결정보를 이용해 구조적 관점에서 특징연결구조를 분석하여 매칭에 이용하는 방법과 일치한 특징의 종류, 유사도에 따른 가중치에 의한 지문매칭 연구 그리고 연결정보를 이용한 기준좌표축의 검출에 실패했을 때 이의 보완방법에 관한 연구이다.

5. 결론

본 논문의 연구 목적은 지문의 특징간 연결정보를 이용하여 지문매칭의 수행속도를 높이면서 만족할 만한 지문인식률을 얻는 것이다. 실험결과 만족할 만한 수행속도와 인식률을 확인하였다. 이는 지문을 이용한 실시간 인증시스템의 구현을 용이하게 하며 유사지문 검색 시스템에서도 빠른 처리가 가능하다. 그러나, 특징 연결정보가 극소수이거나 지문의 비선형 변형이 심한 지문들에 대해서는 기준좌표축을 찾지 못하거나 매칭률이 낮은 경우도 발생된다. 이 때에는 기존의 점패턴 매칭 알고리즘을 이용해서 매칭이 가능하며 특징간 연결정보를 이용하면 검색범위를 줄여서 수행속도 향상을 꾀할 수 있다.

표 2. 일치점 인정 허용치에 따른 매칭결과

특징점 인정 허용치	본인과의 정합도 평균	타인과의 정합도 평균
3	26.27	0.78
4	31.26	2.04
5	36.75	4.29
6	40.18	6.22
7	43.89	8.72

표 3. 임계 정합도 변화에 따른 FAR과 FRR

임계 정합도	FRR	FAR
30	0.32	0.00044
40	0.436	0.00044
50	0.556	0
60	0.644	0

표 4. 지문인식 평균수행속도

특징추출	특징매칭	전체평균
0.74sec	0.48sec	1.22

6. 참고문헌

[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] 이준재, 심재창, 황석윤, 남재열, 이주형, "다 해상도 방향성 정보를 이용한 지문영상의 특이점 추출", 한국통신학회 논문지, 제22권, 제5호 pp.928-938, 1997.

[3] 이준재, 심재창, 황석윤, 이주형, "특징간 연결정보를 이용한 지문 매칭 알고리즘", 제11회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵, 과학기술원, 2월 4-5일. 1999.

[4] 김봉일, 이상선, 김정규, "세선화된 지문 화상의 단계적 복원 처리", 한국정보과학회 논문지, vol. 14, no. 1, pp. 33-44. 1987.

[5] 정양권, 최재호, "의사 특징점 제거 알고리즘 관한 연구", 한국정보처리학회 논문지, 제3권, 제4호, pp. 899-907, 1996.