

임베디드 시스템을 위한 지문 기반 개인인증의 설계 및 구현

김원일, 하홍준, 이창훈
건국대학교 컴퓨터공학과

e-mail : {[unangel](mailto:unangel@konkuk.ac.kr), [greatsk](mailto:greatsk@konkuk.ac.kr), [chlee](mailto:chlee@konkuk.ac.kr)}@konkuk.ac.kr

Design and Implementation of Fingerprint Identification for Embedded System

Won-iL Kim, Hong-Joon Ha, Chang-Hun Lee
Dept. of Computer Engineering, Konkuk University

요 약

지문인식 방법은 사람이 갖는 유일한 정보인 지문을 이용하여 문자 기반 인증 방법이 갖는 문제점을 해결할 수 있는 생체 인식 사용자 인증 방법이다. 많은 인식 방법들이 연구, 개발되었고 신뢰할 수 있는 인증 방법을 제공하기 위한 시도로 각종 방법들이 제안되고 또한 사용되고 있는데, 기존의 지문 인식 방법은 산술 연산과 수학적 접근을 주류로 하고 있기 때문에 부동 소수점 연산 프로세서(FPU)가 필요하다는 단점을 가지고 있다. 임베디드 시스템에서는 부동 소수점 연산 프로세서가 지원이 되지 않아 기존의 알고리즘들을 임베디드 시스템에 그대로 적용하기에는 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 기본적인 이미지 처리 및 특징점 추출 후, 수학적 연산을 최대한 배제한 알고리즘을 적용하여 인증을 수행하는 지문인식 방법을 제안한다.

1. 서론

모든 시스템은 시스템에 접근하여 자원을 사용하고 자 하는 사용자의 정당성 여부를 판별하기 위해 사용자 인증을 수행한다. 대부분의 사용자 인증은 노출이나 공격에 약한 문자 조합 방식을 채택하고 있는데, 문자 조합 방식은 악의적인 여러 공격에 의해 취약한 인증 메커니즘을 통과할 수 있고, 그 결과 공격자는 다른 사용자의 Identity 를 획득할 수 있다. 이러한 보안 취약점에 의한 공격으로 많은 피해 사례가 보고되었고[1], 현재도 보안 이슈에서 빠질 수 없는 한 분야로 남아있다. 문제점들의 지속적인 등장과 피해로 보안에 대한 인식이 변화하여, 공격이나 노출의 위험도가 거의 없고 사용자를 인증하는 생체 인식 및 인증에 대한 연구가 문제를 해결할 수 있는 방법으로 대두되었다. 연구된 여러 생체 인식 기술들 중 지문

인식을 통한 인증은 필체, 안면이나 음성인식에 비해 개인을 식별하는데 있어 신뢰도가 매우 높다[2].

지문인식은 사용자 친화적이며, 간단한 사용자 인터페이스를 제공하여 시스템에 접근하는 사용자 인증 방법으로 많이 사용되고 있다. 그러나, 기존의 지문인식 방법론은 전통적인 산술적 연산과 수학적 접근으로 이미지의 왜곡이나 데이터의 손실들을 보완하기 위한 지문인식 전용 시스템으로서의 연구와 개발이 주류를 이루었다. 이러한 수학적 연산은 주로 거리를 구하거나 지문이 갖는 특징을 찾기 위한 방향연산, 그리고 선의 추적을 위한 벡터 연산 등을 처리하기 위해 사용된다. 이러한 수학적 연산에 필요한 함수들은 부동 소수점 연산 없이는 불가능하다. 부동 소수점 연산은 고 비용이 필요하므로 CPU 나 MCU 에서 직접 연산하지 않고 부동 소수점을 연산하기 위한 전용 프로세서(FPU: Floating Point Unit)를 두는데, 범용 임베디드 시스템에서는 부동 소수점 연산을 위한 프로세서가 탑재되지 않으므로, 기존의 알고리즘을 그대로 사용하는 데 문제가 있다. FPU 의 부재는 임베디드 시스

템에서 지문인식을 통한 인증 수행에 가장 기본적인 문제가 되며, 전용 시스템으로 사용되지 않고 단순 인증을 목적으로 하는 시스템에 적용은 제약을 받게 된다. 본 논문에서는 FPU 가 없는 시스템에서 지문인식을 통한 인증 시스템 구현을 위해 수학적 접근이 아닌 특징점을 위한 단순 연산과 지문 특징의 영역별 통계를 통한 인증 방법을 제안한다.

2 장에서는 기존의 인식 방법론들이 사용하는 수학적 연산에 FPU 가 필요한 이유를 알아보고, 3 장에서는 FPU 가 없는 임베디드 시스템에서 지문인식을 사용할 수 있는 인식방법을 제안한다. 4 장에서는 제안한 인증의 설계와 구현, 마지막으로 5 장에서는 결론과 향후 연구 과제에 대해 제시한다.

2. 지문인식 알고리즘

전통적으로 지문인식은 템플릿과 입력된 지문의 비교를 위해서 크게 패턴 기반 인식방법과 특징점 기반 인식방법 2 가지 형태로 구현된다. 말 그대로 패턴 기반 인식은 지문의 전체적인 흐름과 방향 및 색 농도의 변화와 같은 일정한 패턴을 찾아 비교하는 것이고, 특징점 기반 인식은 지문이 갖는 특징적인 끝점이나 분기점의 위치를 중심으로 서로간의 관계나 변위 등을 측정하여 비교하는 방법이다[4, 5, 6, 7].

패턴 기반 인식은 지문의 거시적인 특징을 사용하므로 전체 이미지를 보관해야 하며 특징 기반 인식에 비해 인증 템플릿의 크기가 크지만 속도 면에서는 특징 기반 인식보다 빠르다. 특징 기반 인식은 패턴 기반 인식에 비해 정확하고 인증 템플릿의 크기도 비교적 작고, 지문의 상세 정보를 이용하므로 전체 이미지를 보관할 필요가 없다. 단, 상세한 정보를 추출해내기 위해 고품질의 이미지를 제공받아야 한다[3]. 이러한 특징들을 이용하여 연구, 개발된 알고리즘은 다음과 같다.

1) Ridge Line Following 알고리즘은 패턴 기반 인증 방법으로 지문 이미지를 읽어 들여 기본적인 이미지 전처리 과정에서 사용하는 방법으로 회색 음영을 이용한 히스토그램 값의 변화를 이용하여 인증하며, 최근에는 Neural Network 에 기반한 상세 필터링 기법을 새로운 접근 방법으로 제안되고 있다[4].

2) FingerCode 알고리즘은 패턴 기반 인증 방법으로 지문 이미지를 원형의 색토로 구분하고 구분된 색토에 필터를 적용하여 하여 여러 개의 필터링 된 이미지 결과를 얻고, 이 결과들을 템플릿과 비교하는 방법이다. 패턴은 색토를 기준으로 여덟 방향으로 Gabor filter 를 이용하여 연산하고 이 연산된 결과의 회색 값의 표준편차를 이용하여 변화 패턴을 정의하고 비교하는 방법을 사용한다[5].

3) Structural Classification 알고리즘은 특징 기반 인증 방법으로 지문 이미지의 방향성을 계산하고, 연산된 이미지의 방향성을 이용하여 이미지를 각 Segment 로 분할한다. 그 후, 분할된 Segment 를 이용하여 특징점을 추출하는 방법으로 연속적 분류 작업에는 효과

적이나 방향성 연산과 각 Segment 를 분류하는 작업이 필요하다[6].

4) Triangular matching and Dynamic Time Warping 알고리즘은 특징 기반 인증방법으로 특징점의 위치와 이 정보들의 위치 변화에 따른 색농도 변위를 이용한 인증 방법이다. 입력 이미지의 변위와 회전이 있는 경우에도 효과적으로 사용이 가능하나 색농도 변화에 대한 벡터를 사용한다[7].

이와 같이 패턴 기반 알고리즘은 필터링과 이미지 전처리에 대한 처리가 많고, Neural Network 등의 학습이 포함된 알고리즘 등의 형태로 발전하고 있으며, 특징점 기반 알고리즘은 방향성의 연산과 벡터 연산을 필요로 하고 있다. 이것은 기반 플랫폼이 PC 나 지문 인식만을 위한 임베디드 시스템에 한정되어 있기 때문이다. 회사나 주택에 사용되는 장비는 지문인식 전용 장치로 전용 프로세서가 제작되고, 개인 PC 에는 FPU 가 이미 장착이 되어 출시되고 있다. 즉, FPU 가 없는 범용적인 임베디드 시스템에서는 이전의 알고리즘들을 그대로 적용할 수 없음을 알 수 있다.

또한 범용 임베디드 시스템에서 지문인식은 정당한 사용자가 시스템에 접근하기 위해 필요한 부가적인 기능임을 고려해볼 때, 현재 임베디드 시스템에 적용하기 위해 추가적 하드웨어의 구입 등은 무리가 있다. 따라서 현재 사용되고 있는 범용적인 임베디드 시스템에 적용이 가능한 지문인식 알고리즘이 필요하다.

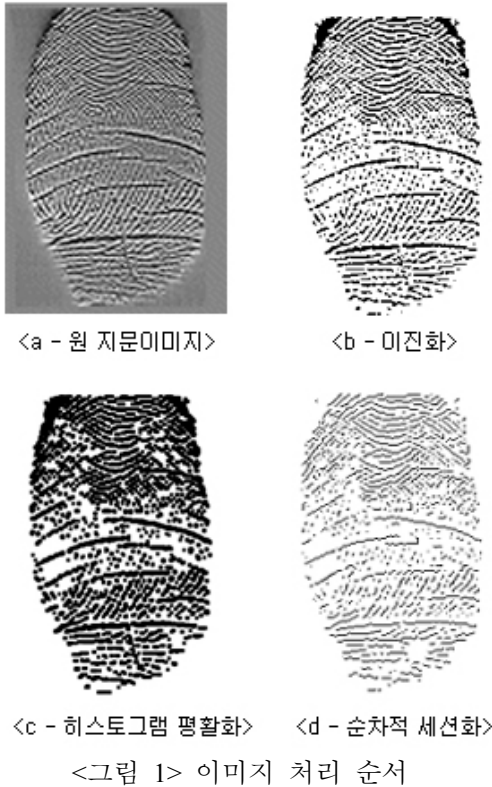
3. 경량화 Triangular matching and Dynamic Time Warping 알고리즘

3.1 이미지 처리 및 특징점 추출

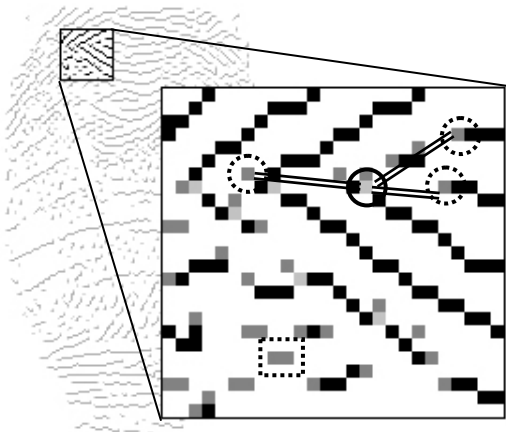
본 논문에서는 특징점을 기반으로 한 지문인식 방법 중 Triangular matching and Dynamic Time Warping 알고리즘을 경량화한 인증 방법을 제안한다. 특징점 생성 후, 각 특징점 간의 관계를 이용하되 전체 이미지를 Segment 단위로 분리하고, 단위 별로 특징점 관계 연산을 통해 인증을 수행한다. 단순히 템플릿의 크기가 작기 때문이 아니라 패턴에 비해 정확하며 전체 이미지를 보관할 필요가 없고 패턴 알고리즘이 요구하는 고품질의 이미지를 필요로 하지 않으며, 각 특징점 간의 관계를 판단기준으로 보다 정확한 인증을 위해서이다.

이미지의 이진화 기준은 전체 이미지 평균 값을 이용하고 (<그림 1>의 b), 세션화는 병렬적 세션화와 순차적 세션화 2 가지 방법이 존재하는데, 병렬적 세션화는 현재의 연산결과가 미래에 영향을 미치는 연산으로 좀 더 세련된 세션화를 수행하나 연산량이 많다. 반면에 순차적 알고리즘은 부하가 적으나 처리 후 약간의 보정과 노이즈 제거가 필요하다. 여기서는 순차적 알고리즘을 이용(<그림 1>의 d)하여 세션화를 수행하였다. 약간의 후 처리가 필요하지만, 전체 연산량은 순차적 알고리즘이 적기 때문이다. 그리고, 사용자용 화면 출력은 히스토그램 평활화 후, 스트레칭을 통해

전체 지문의 형태를 잘 표현하도록 생성하였다. (<그림 1>의 c)



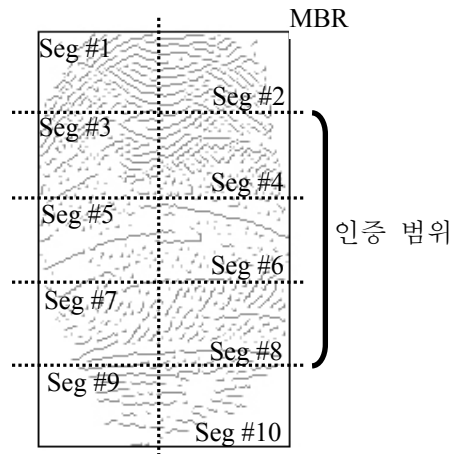
세션화된 지문을 특징점 찾는 알고리즘을 적용하여 3 개의 특징점을 생성하는데, 끝점, 분기점, 섬이 그것이다. 각 특징점의 관계는 가장 많은 끝점에 대해 상대적으로 적은 분기점과 섬을 끝점과 연결 되도록 구성하였다. 연결 방법은 이미지 처리가 순차적임을 이용하여 순서적으로 끝점을 추출하여 분기점이나 섬과 연결 짓도록 하였다. 특징점들은 <그림 2>와 같은 형태로 표현된다.



<그림 2> 특징점 확인과 분포

3.2 특징과 Segment 를 이용한 인증
연결되는 특징점 간의 관계는 지정한 Segment 를

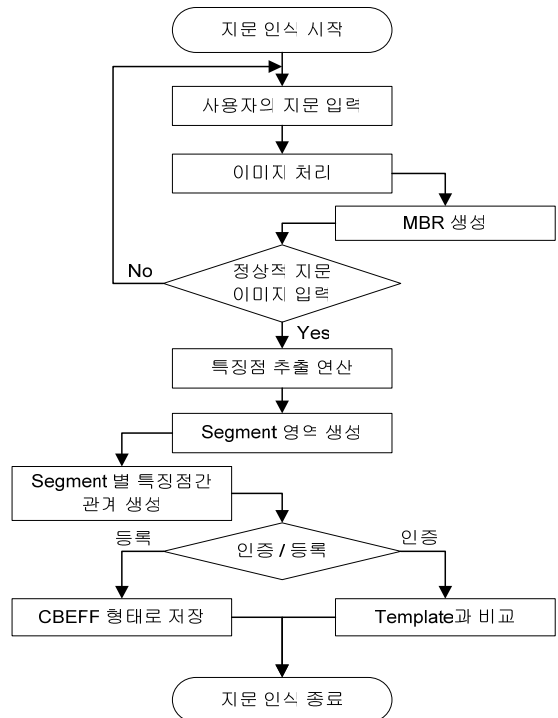
벗어나 생성되지 않는다. Segment 는 사용자의 지문이 일정하게 입력되지 않고 입력 각도의 변화를 갖기 때문에 각도 변화가 있을 경우에 수학 연산이 아니라 통계적 비교를 위해 생성하며, <그림 3>처럼 분리한다. 분리 기준은 순차적 세션화 이후 생성하는, 입력 지문의 실제 지문 위치인 MBR(Minimum Bounded Rectangle)을 이용한다. 이 영역의 크기를 이용하면 지문 입력의 정상, 비정상을 알아낼 수 있고, 이를 통해 전체 비교가 아닌 실제 지문이 존재하는 범위만을 연산하므로 연산량을 줄일 수 있다. BIR(Biometric Identification Record)에 포함되는 정보는 각 Segment 가 갖는 특징점의 개수와 특징점간의 관계, MBR 그리고 3 가지 특징점 각각의 총 개수가 포함된다.



<그림 3> 지문의 Segment 분리

4. 설계 및 구현

4.1 지문 기반 인증 설계



<그림 4> 지문 인식 흐름도

4.2 지문 기반 인증 구현

<그림 4>는 구현된 인증의 전체 흐름이다. 인증과정에서 사용자의 정당성 여부는 이미지 처리 후 MBR의 크기로 이미지 입력의 오류 여부를 확인하고, 전체 및 각각의 Segment 가 갖는 특징점의 개수가 임계 값을 벗어나는가를 확인한다. 임계 값을 벗어나지 않는다면 각 Segment 의 특징점과 그 관계에 대한 비교를 수행한다. 이때, 입력 지문의 각도 변화를 고려하여 특징점 개수 변화가 가장 큰 Seg1,2 와 Seg9,10 은 제외하고 Seg 3, 4, 5, 6, 7, 8 을 이용하여 인증을 수행한다. 실제로 MBR 내부 Segment 당 특징점과의 개수 차이는 Seg1, 2, 9, 10 에서 배수에 가까운 차이가 발생하였다

사용자의 입력은 의도적이거나 비의도적이거나 위치 변화 혹은 각도가 변화되는 경우가 발생한다. 이러한 경우에 대비하여 특징점들은 상대적인 좌표로 관계를 생성하며, 입력된 지문과 템플릿을 이용한 인증시에 절대 좌표가 아닌 상대 좌표를 이용하여 비교한다. 상대 좌표로 연산하면, 입력 지문이 기울어지거나 위치적으로 변화가 발생하더라도 상대 좌표로 접근하게 되므로 인식률을 높일 수 있다는 장점이 있다. 또한 각 특징점간의 관계를 적절히 분리한 Segment 별로 생성하기 때문에 상대적인 좌표에 의한 인식률이 높아진다.

끝으로, 구현된 템플릿을 저장하는 방법은 NIST 와 Biometric Consortium 에서 제안한 CBEFF 구조를 이용한다. CBEFF 는 현재 완전한 표준은 아니지만, 생체 정보 저장을 위한 공통 요소들을 정의하고 있으며, 데이터 타입이나 생체 인식 종류 및 버전에 관계 없이 호환이 가능한 형태로 구성되어 있다[8].

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서 제안한 인증 방법을 총 10 명이 10 회 입력한 지문 데이터를 이용하여 실험하였고, 10 명 중 7 명은 최대한 입력각의 변화 없이 입력하도록, 3 명은 15 도 이하로 각 변화를 주어 입력하도록 하였다. FAR, FRR 은 승인과 거부에 각각 나타나는 잘못된 인증으로 FAR(False Accept Result)은 정당한 사용자가 아님에도 불구하고 인증이 정상으로 수행되는 것을, FRR (False Reject Result)은 정당한 사용자가 인증 거부 당한 것을 나타낸다.

	정상	각도변화	합계
인증성공	50 (FAR 1)	19 (FAR 2)	69%
인증실패	16 (FRR 1)	5 (FRR 4)	21%
입력실패	4	6	10%

<표 1> 실험 결과

<표 1>의 실험 결과에서 정상 입력에서는 70 번의 시도에서 71%의 성공, 22%의 실패를 보였고, 입력 각

변화에서도 30 회 시도에서 61%의 성공, 16%의 실패를 보였다. 전체 인증성공은 69%, 실패는 31%로 적절한 결과가 나타났다. 사용자 입력 실패 10 회를 제외하면 77%의 성공, 23%의 실패로 볼 수 있다. 일반적으로 생체 인식 기술에서는 FAR 0.01%, FRR 0.1% 정도를 요구하나[9], 본 실험에서는 FAR 이 3%, FRR 이 6%로 나타나 높은 보안을 요구하는 곳에서 사용하기는 미흡한 결과로 나타났지만, 개인용 장치에서는 사용할 수 있을 정도의 성능을 나타냈다.

부동 소수점 연산 프로세서 부재를 고려한 임베디드 시스템 상의 지문인식을 구현하기 위해 제안한 인증 방법은 구현 및 설계에서 알 수 있듯이 수학적 관점을 배제한 상태에서 특징점들과 특징점 간의 관계 및 MBR 을 이용한 상대적인 섹션과 좌표만으로 적절한 인증 효과를 나타내었다. 이 결과는 적절한 연산처리로도 지문인식에 의한 사용자 인증이 가능함을 나타내며, 부동 소수점 연산 프로세서가 없는 임베디드 시스템에서도 강력한 보안을 제공하는 지문인식을 사용할 수 있다는데 그 의의가 있다.

앞으로의 연구 과제는 각도 변화 입력에서 FRR 이 눈에 띄게 많이 나타난, 지문 입력 시에 사용자의 의도와 관계 없이 지문의 각도가 너무 치우치는 경우에 대비한 추가적인 기술에 대한 연구가 필요하다. 또한 현재의 알고리즘 성능을 유지하면서 지문의 방향을 알아낼 수 있는 연산 방법이 추가된다면 이미지에 방향성이 추가되어 Segment 분리를 방향성에 따라 구분할 수 있게 되어 향후 더 나은 인증 수행이 가능할 것이라 기대한다.

참고문헌

[1] 박성진, 하홍준, 이창훈: 경량화된 타입 강제를 이용한 안전한 Embedded Linux 의 설계. 정보처리학회. 2005.

[2] A. Jain, L.Hong, and R.Bolle, "On-Line Fingerprint Verification," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1997.

[3] Paul Reid: Biometrics for Network Security. Prentice Hall PTR, 2003.

[4] Biometric Information Autonomous System: <http://bias.csr.unibo.it/>

[5] Anil K. Jain, Salil Prabhakar, Lin Hone: A Filterbank for Fingerprint Representation and Matching. IBM T.J. Watson Research Center, 1999.

[6] Raffaele Cappelli, Alessandra Lumini, Dario Maio: Fingerprint Classification by Directional Image Partitioning. IEEE, 1999.

[7] Kovacs-Vajna: Triangular matching & Dynamic time warping. IEEE 2000.

[8] Fernando L. Podio, Jeffrey S. Dunn, Lawrence Reinert, Catherine J. Tilton, Lawrence O'Gorman, M. Paul Collier, Mark Jerde, Brigitte Wirtz: CBEFF (NISTIR 6529). 2001.

[9] 이남일, 강효섭, 김학일: 지문인식 센서 및 알고리즘 기술 동향. 정보처리학회지 2002.