

# 환경과 인간요인을 고려한 지문인식시스템의 사용성 평가 및 분석

조웅근, 홍진혁, 조성배  
연세대학교 컴퓨터과학과  
생체인식연구센터  
{bearroot, hjinh}@sclab.yonsei.ac.kr sbcho@cs.yonsei.ac.kr

## Usability Test and Analysis of Fingerprint Recognition Systems with Environmental and Human Factors

Ung-Keun Cho, Jin-Hyuk Hong, Sung-Bae Cho  
Dept. Computer Science, Yonsei University  
Biometrics Engineering Research Center

### 요약

최근 많은 관심을 끌고 있는 지문인식시스템은 사용자의 지문영상을 입력 받아 사전에 등록된 템플릿과 비교하여 사용자 여부를 확인하는 사용자 인증 도구이다. 지문을 입력 받기 위한 센서와 매칭 알고리즘 등이 활발히 개발되고 있으며, 실제로 전자상거래나 출입통제시스템 등의 많은 분야에 적용되고 있다. 지문인식시스템에 대한 기존의 평가는 수집된 지문 DB에 대해 인식 성능이 얼마인지, 쌍둥이들을 잘 구분하는지, 위조 지문을 파악할 수 있는지 등 주로 지문인식 자체의 성능에 초점이 맞추어져 있었다. 하지만 지문인식은 사용자나 환경과 관련된 많은 요인에 영향을 받기 때문에, 시스템을 효과적으로 적용하기 위해서는 이들에 대한 분석이 필요하다. 지문인식시스템에 대한 사용성 평가는 시스템이 대상환경에 효과적으로 적용되도록 하고, 사용성 분석을 통해 보다 편리하고 효율적인 사용자 인터페이스의 개발을 유도한다. 본 논문에서는 지문인식에 영향을 주는 요인을 사용자와 시스템 측면에서 분석하고, 사용성 평가를 통해 효과적인 지문인식시스템 인터페이스 구축을 위한 가이드라인을 제시한다.

Keyword : 지문인식시스템, 사용성 평가, 사용자 인터페이스

### 1. 서론

최근 보안의 중요성이 부각되면서 사용자의 지문영상을 입력 받아 인증을 수행하는 지문인식시스템이 많은 관심을 받고 있다[1]. 출입통제시스템이나 전자상거래, 은행업무 등에 활발히 적용되고 있으며, 보다 높은 성능을 얻기 위해 다양한 입력센서나 매칭 알고리즘이 개발되고 있다. 높은 정확률이 요구되는 지문인식시스템은 다양한 환경과 사용자를 대상으로 동작하기 때문에, 객관적이고 신뢰성 있는 성능검증이 필요하다. 많은 경우 범용적으로 사용되는 NIST 지문 데이터베이스나 자체적으로 수집한 데이터를 이용하여 성능을 검

증한다[2]. 최근에는 쌍둥이를 얼마나 잘 구분하는지[3], 위조 지문을 식별하는지 등 다양한 연구도 수행되고 있다. 하지만 이들 대부분은 지문인식 자체의 성능 측정에 초점이 맞추어져 있다. 지문인식은 사람을 대상으로 동작하기 때문에 적용 환경이나 사용자에 맞추어 시스템을 설계할 필요가 있다[4].

사용성 분석은 HCI 분야에서는 시스템을 디자인하고 평가하는 매우 중요한 과정일 뿐만 아니라 대상환경에 보다 적절히 적용되도록 돕고 편리하고 효율적인 사용자 인터페이스의 개발을 유도한다[5]. 본 논문에서는 지문인식시스템의 효과적인

적용을 위해서 기존의 성능위주 시스템 평가가 아닌 사용성 중심의 분석을 시도한다. 지문인식에 주요한 사용성 요소를 확인하고 효과적인 인터페이스 구축을 위한 가이드라인을 제시한다.

## 2. 관련연구

### 2-1 지문인식

지문인식은 지문에 포함된 개인에 고유한 정보를 이용하여 본인과 타인을 구분하는 기술이다. 지문인식 시스템은 일반적인 생체인식 시스템과 같이 크게 센서, 인식 알고리즘, 데이터베이스로 구성되며, 그림 1과 같은 과정으로 동작한다.

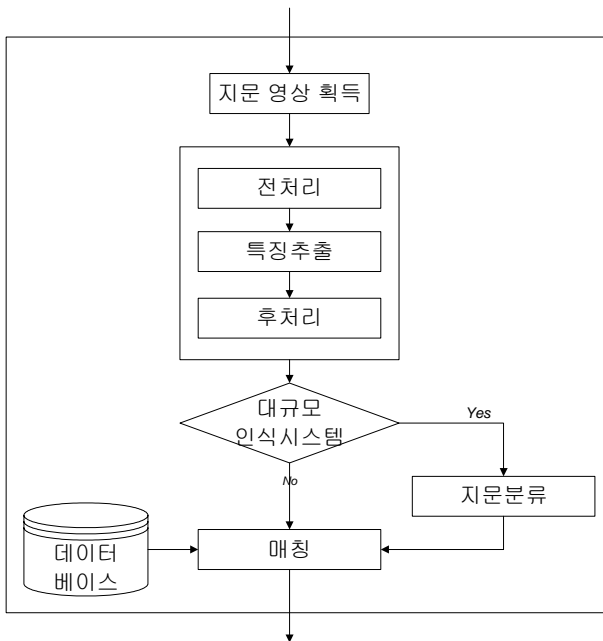


그림 1. 지문인식시스템 동작과정

지문영상을 획득하기 위한 센서는 매우 다양하여 광원과 렌즈를 이용한 광학식, 손가락의 열과 압력을 이용하는 센서어레이 방식과 전기장을 이용하여 골과 융선을 파악하는 전기장 방식 등이 있다. 센서는 손가락이 직접 접촉하기 때문에 사용자의 느낌에 영향을 주어 사용자 인터페이스 설계에 매우 중요하다[6].

지문인식시스템이 잘 동작하기 위해서는 양질의 지문영상이 획득되어야 하지만 지문영상은 환경이나 사용자에게 매우 크게 영향을 받는다. 피부 상태, 날씨, 상처 등에 따라 편차가 있는 지문영상이 얻어진다. 지문영상이 획득되면 분기점이나 끝점 등

의 지문인식을 위한 특징을 추출하여 인식을 수행한다[1].

### 2-2 지문인식 성능평가

지문인식은 보통 일반적인 인식률을 토대로 시스템을 평가하지만 이미지 품질평가나 추출되는 특징 품질평가 등이 이용되기도 한다. NIST 에서 제공하는 지문 DB 를 이용하여 평가를 수행하거나 자체적으로 수집한 지문 DB 를 이용하기도 하며, 대표적인 지문인식 성능평가로는 FVC2000, FVC2002 와 FVC2004 등이 있다[2].

유전적 요인이나 사회적 요인 및 수집 시에 발생하는 요인들에 대한 심도 있는 평가와 분석도 시도되고 있는데, Jain 은 쌍둥이를 대상으로 지문인식 성능을 평가하였고[3], Kang 등은 기온이나 습도, 압력 등의 요소에 대한 지문인식 성능을 분석하였다[7]. 이 외에도 위조지문 식별을 위해 가짜 지문을 이용한 평가가 수행되기도 하였다.

### 2-3 사용성 평가

사용성은 인간-컴퓨터 상호작용(Human-Computer Interaction; HCI)에서 사용되는 용어로, “사람이 쉽고 효과적으로 사용하도록 하는 능력,” “사용의 질” 이나 “특정 환경에서 사용자가 목적을 달성할 때 발생하는 효과, 효율, 만족도” 등을 의미한다. 많은 연구에서 상호작용형 시스템의 사용성을 높이기 위한 가이드라인을 제안하거나 사용성 측정기준을 활발히 연구하고 있다[5].

ISO 9241 표준에 따르면 사용성은 크게 효과성(Effectiveness), 효율성(Efficiency)과 만족도(Satisfaction)로 구분된다. 효과는 사용자가 주어진 목적을 달성할 때의 정확률과 완성도를 의미하고, 효율성은 이때 소요되는 자원을, 만족도는 결과에 대해 사용자가 느끼는 긍정적 태도를 나타낸다.

효과를 측정하기 위한 대표적인 사용성 기준으로는 작업성공율(Binary task completion), 정확율(Accuracy)이나 재현율(Recall) 등이 있다. 작업성공율은 사용자가 주어진 작업을 성공적으로 수행하였는지 여부를 측정하며, 정확율은 작업을

완료하는 과정에서 발생하는 에러의 수를 의미한다. 재현율은 시스템이나 인터페이스를 통해 사용자가 얼마나 많은 정보를 획득하는지를 나타낸다.

효율성의 대표적 사용성 척도에는 작업완료시간(Task complete time)이나 사용패턴(Usage patterns) 등이 있다. 작업완료시간은 사용자가 주어진 인터페이스를 이용하여 작업을 완성하는데 걸린 시간을 나타내고, 사용패턴은 사용자가 주어진 문제를 해결하기 위해 인터페이스가 어떻게 사용되는지를 의미한다.

만족도를 위한 측정기준은 표준질문(Standard questionnaires), 성향(Preference)이나 사용용이성(Ease-of-use) 등이 있다. 표준질문은 만족도 측정이나 기존 방법과의 비교를 수행하는 연구에서 주로 사용되며, 대표적으로 QUIS 가 있다. 성향은 사용자가 어떤 인터페이스를 더 선호하는지를 측정하고, 사용용이성은 인터페이스 사용에 있어서 사용자의 전반적인 만족도를 나타낸다.

### 3. 지문인식시스템의 사용성 평가설계

본 논문에서는 지문인식시스템의 설치에서 중요한 변수인 높이와 입력각도가 사용성에 미치는 영향을 분석하기 위한 사용성 평가와 시스템의 인증속도와 오인증이 사용자의 만족도에 미치는 영향을 분석하는 사용성 평가를 제안한다.

#### 3-1 피험자

사용성 평가에는 총 12 명의 연세대학교 컴퓨터과학과 대학원생이 참가하였다. 피험자들은 간단한 신상정보(나이, 성별, 키, 주로 사용하는 손, 지문인식 사용경험, 선호하는 손가락)를 작성하고 관리자로부터 실험에 대한 간단한 설명에 따라 평가를 수행한다. 표 1 은 피험자 집단의 특성을 보여준다. 모든 피험자는 오른손잡이였으며, 20 대의 나이분포를 보였다.

표 1. 피험자 집단 특성 (%)

성별	남(11), 여(1)
키	175cm 이하(6), 175cm 이상(6)
경험	유(3), 무(9)
손가락	오른손엄지(6), 오른손검지(6)

#### 3-2 평가 환경

실험에는 그림 2 와 같은 AuthenTec 지문인식 센서 AES3500 을 이용하였으며, MFC 를 이용하여 평가 환경을 구축하였다.



그림 2. 사용성 평가에 사용된 지문인식 센서

##### A. 평가 1: 센서 높이와 입력각도

지문인식 센서의 높이와 입력각도에 대한 사용자 만족도를 분석하기 위해서 표 2 와 같이 15 가지 환경을 바탕으로 사용성 평가를 제안한다..

표 2. 설치환경별 평가모델

높이 \ 각도	0°	45°	90°
1.1m	모델 A1	모델 A2	모델 A3
1.2m	모델 B1	모델 B2	모델 B3
1.3m	모델 C1	모델 C2	모델 C3
1.4m	모델 D1	모델 D2	모델 D3
1.5m	모델 E1	모델 E2	모델 E3

##### B. 평가 2: 인식속도 및 오인증률

지문인식시스템의 인식속도와 오인증 횟수를 조절하여 표 3 과 같이 9 개의 환경을 구축하여 사용성 평가를 제안한다.

표 3. 인식성능별 평가모델

속도 \ 오인증	0 회	1 회	4 회
1 초	모델 a1	모델 a2	모델 a3
2 초	모델 b1	모델 b2	모델 b3
5 초	모델 c1	모델 c2	모델 c3

#### 3-3 평가 프로토콜

사용성 평가에 앞서 지문인식의 기본작업인 사용자 등록을 거치며, 인증에는 사용자가 선호하는

손가락을 사용한다. 평가 모델은 임의로 선택이 되며, 각 환경별로 설치된 지문인식시스템에 대하여 인증을 총 3 회 시도한다. 인증결과는 환경에 따라 가상으로 주어지지만 피험자에게는 이 사실을 밝히지 않는다. 인증 성공 시에는 성공신호를, 실패 시에는 실패신호를 피험자에게 소리로 알려주며, 실패할 경우 인증을 다시 시도하도록 지시한다. 시스템 사용 후에 사용자는 표 4 와 표 5 에 서와 같이 미리 준비된 표준 질의에 응답하며, 각 항목은 1~5 값을 가진다.

표 4. 평가 1 을 위한 표준 질의

사용이 불편하지 않습니까?	(1:불편, 5:편리)
설치 높이는 적합합니까	(1:불만, 5:만족)
설치 각도는 적합합니까?	(1:불만, 5:만족)

표 5. 평가 2 를 위한 표준 질의

사용이 불편하지 않습니까?	(1:불편, 5:편리)
사용이 어렵지 않습니까?	(1:어려움, 5:쉬움)
시스템의 반응이 빠릅니까?	(1:느림, 5:빠름)
인식 성능에 만족하십니까?	(1:불만, 5:만족)

모든 환경에서의 지문인식시스템에 대한 표준 질의를 작성하고, 마지막 질의인 “인식에서 가장 불편한 순서로 다음을 정렬하세요. (설치높이, 입력각도, 인식속도, 인식오류)” 를 통해 사용성 평가를 완료한다.

#### 4. 사용성 평가 결과 및 분석

표 6 은 평가 1 에 대한 사용성 평가 결과로서, 높은 곳에 센서가 위치할 경우 각도가 수직인 것을, 낮은 곳에 설치될 경우에는 수평을 선호하였다. 각도와 높이는 피험자가 등록한 손가락의 종류에 의존적이었는데, 엄지의 경우에는 모델 C3 에서 가장 높은 점수를 획득하였으나, 검지의 경우 B2 에서 가장 높은 점수를 획득하였다.

키가 175cm 보다 큰 피험자들은 1.4m 위치에 설치된 센서를 가장 선호하였지만, 그렇지 않은 피험자들은 그보다 10cm 정도 낮은 1.3m 위치를 가장 선호하였다. 대체로 어깨 높이보다 약간 낮은 위치를 선호하였지만, 입력각도에 따라 아주 낮은 위치도 높은 점수를 획득하기도 하였다. 뿐만 아

니라 많은 지문기반 출입관리시스템에서 지문 입력각도가 90° 인 반면, 대다수의 피험자들은 1.2m 높이의 45° 의 입력각도를 최적의 환경으로 선택하였다.

표 6. 설치환경별 사용성 분석결과

(질의: 사용이 불편하지 않습니까?)

높이 \ 각도	0°	45°	90°
1.1m	3.08(±1.2)	3.42(±1.2)	2.33(±1.0)
1.2m	2.92(±1.1)	3.92(±0.7)	2.92(±1.2)
1.3m	2.75(±1.0)	3.17(±0.9)	3.58(±1.1)
1.4m	2.00(±0.9)	2.67(±1.0)	3.67(±1.0)
1.5m	1.83(±0.9)	1.75(±0.8)	3.33(±1.0)

(질의: 설치 높이에 적합합니까?)

높이 \ 각도	0°	45°	90°
1.1m	1.83(±1.2)	2.92(±1.2)	2.75(±1.1)
1.2m	2.58(±1.1)	3.58(±0.9)	2.75(±1.1)
1.3m	3.67(±1.1)	2.92(±0.9)	2.67(±1.2)
1.4m	3.75(±1.1)	2.33(±1.1)	1.92(±1.0)
1.5m	3.25(±1.0)	1.67(±1.0)	1.58(±1.0)

(질의: 설치 각도에 적합합니까?)

높이 \ 각도	0°	45°	90°
1.1m	2.25(±1.2)	3.58(±1.2)	3.08(±1.0)
1.2m	2.58(±1.1)	3.92(±0.8)	2.67(±1.4)
1.3m	3.08(±1.2)	3.50(±1.0)	2.42(±1.2)
1.4m	3.42(±1.1)	3.08(±1.1)	2.00(±1.0)
1.5m	3.50(±1.1)	2.83(±1.3)	2.00(±1.1)

표 7 은 지문인식성능에 대한 사용자 만족도를 보여준다. 전체 인식시간에 있어서 모델 c1 이 모델 a2 보다 적게 걸림에도 불구하고 피험자들은 오인증 횟수에 매우 민감하게 반응하였다. 비록 인식시간이 오래 걸리더라도 오인증이 적은 경우를 훨씬 선호하였다. 최근에는 인식율을 높이기 위해 비록 시간이 걸리지만 다양한 영상처리 전처리 기법을 적용하는데, 본 결과는 이에 대한 근거를 제공한다.

시스템 사용의 난이도에 있어서 피험자들은 대체로 긍정적이었지만, 시스템 반응이 늦거나 계속 실패할 경우 동작법에 대한 확신이 떨어졌다.

뿐만 아니라 인식이 실패할 경우 사용자들은 센서가 초기화되기 전에 바로 지문을 입력하려고 하여 낮은 오류가 발생하기도 하였다. 시스템 초보자의 경우에는 사용법에 대한 충분한 설명과 경험이 필요하다라는 점을 확인할 수 있었다. 시스템의 반응은 동일하였지만 오인증이 늘어날 경우, 사용자가 체감하는 인식속도도 함께 떨어졌다.

표 7. 인식성능평 사용성 분석결과

(질의: 사용이 불편하지 않습니까?)

속도 \ 오인증	0 회	1 회	4 회
1 초	3.88(±1.2)	3.13(±1.0)	2.08(±1.1)
2 초	3.79(±1.1)	3.04(±1.1)	1.92(±1.0)
5 초	3.42(±0.9)	2.71(±1.0)	1.83(±1.0)

(질의: 사용이 어렵지 않습니까?)

속도 \ 오인증	0 회	1 회	4 회
1 초	4.21(±0.9)	3.42(±1.0)	2.75(±1.3)
2 초	3.88(±1.1)	3.75(±1.0)	2.83(±1.3)
5 초	3.79(±0.9)	3.38(±1.2)	2.42(±1.4)

(질의: 시스템의 반응이 빠릅니까?)

속도 \ 오인증	0 회	1 회	4 회
1 초	3.96(±1.1)	3.04(±1.1)	1.96(±1.2)
2 초	3.58(±1.2)	2.63(±0.9)	1.92(±1.2)
5 초	2.71(±1.1)	2.17(±1.1)	1.58(±0.8)

(질의: 인식 성능에 만족하십니까?)

속도 \ 오인증	0 회	1 회	4 회
1 초	4.17(±1.0)	3.00(±0.9)	1.79(±0.9)
2 초	3.88(±1.0)	2.58(±1.0)	1.71(±0.9)
5 초	3.33(±1.2)	2.38(±1.0)	1.46(±0.7)

그림 3은 평가 1과 2의 결과를 요약한 것이며, 평가 1과 2를 수행한 후, 피험자에게 가장 불편했던 점에 대해 문의한 결과, 오인증이 지문인식 시스템에서 사용자의 만족도에 가장 크게 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 사용성 평가의 결과를 요약하자면 다음과 같다.

- 지문인식 인터페이스는 1.2~3m 높이의 45°의 입력각이 적절하다.
- 사용자 키에 적응적으로 변하는 지문인식 인터페이스는 사용성 향상에 도움을 준다.

- 오인증은 인증시간보다 사용자 만족도에 큰 영향을 미치기 때문에, 오인증을 줄이는 전처리 등의 과정은 시스템 설계에 권장한다.

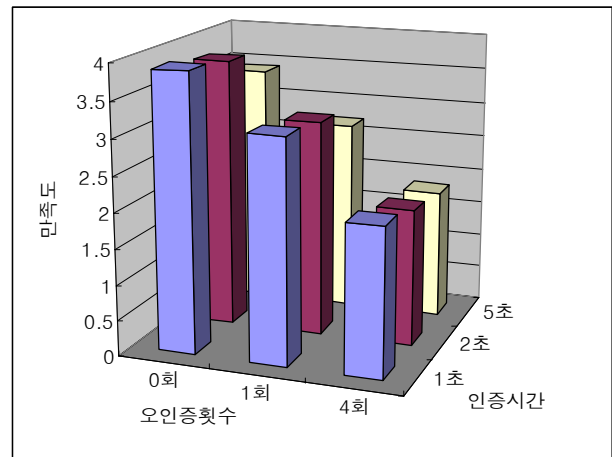
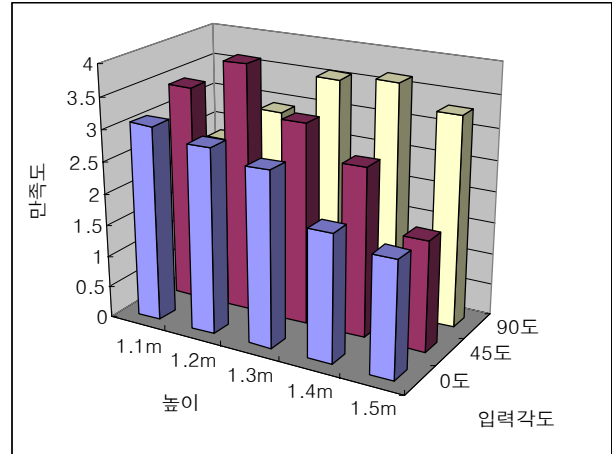


그림 3. 사용성 평가결과 요약 (위: 설치환경에 대한 만족도, 아래: 인식성능에 대한 만족도)

## 5. 결론

본 논문에서는 최근 많이 보급되는 지문인식 시스템의 사용성 평가를 수행하여 환경과 인간 요인에 따른 사용자의 만족도를 분석하였다. 센서 설치 높이와 입력각도에 대한 사용자의 느낌을 측정하였고, 사용자 키와의 상관관계를 분석하였다. 뿐만 아니라 지문인식시스템의 성능인 인식속도와 인증실패에 대한 사용자 만족도를 측정하였다. 지문인식시스템의 개발에서 보다 사용성을 고려한 인터페이스를 설계한다면 다양한 영역에의 적용을 기대할 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 생체인식연구센터(BERC)를 통해 한국과학재단(KOSEF)에서 지원받았음.

## 참고문헌

- [1] A. Jain, "On-line fingerprint verification," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 19, no. 4, pp. 302-314, 1997.
- [2] R. Cappelli, et al., "Performance evaluation of fingerprint verification systems," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 28, no. 1, pp. 3-18, 2006.
- [3] A. Jain, et al., "On the similarity of identical twin fingerprints," *Pattern Recognition*, vol. 35, no. 11, pp. 2653-2663, 2002.
- [4] A. Suman, "Human factors that affected the benchmarking of NAFIS: A case study," *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, vol. 2774, pp. 1235-1244, 2003.
- [5] K. Hornbaek, "Current practice in measuring usability: Challenges to usability studies and research," *Int. J. Human-Computer Studies*, vol. 64, no. 2, pp. 79-102, 2006.
- [6] X. Xia and L. O' Gorman, "Innovations in fingerprint capture devices," *Pattern Recognition*, vol. 36, no. 2, pp. 361-369, 2003.
- [7] H. Kang, et al., "A study on performance evaluation of fingerprint sensors," *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 2688, pp. 574-583, 2003.