

지문 인식 센서 평가를 위한 통계학적 분석*

남 정 우,† 김 학 일‡
인하대학교 정보통신대학원

Statistical Analysis for Assessment of Fingerprint Sensors*

Jung-Woo Nam,† Hak-Il Kim‡

Graduate School of Information Technology &
Telecommunication, Inha University

요 약

본 논문의 목적은 다양한 지문 인식 센서의 특징을 정량적·객관적으로 평가하고, 지문 인식 센서간의 호환성을 확보하기 위한 센서간의 특성을 평가하는 방법을 제안하는 것이다. 본 논문에서는 지문 인식 알고리즘의 성능 평가가 아닌, 지문 입력 센서로부터 획득한 지문 영상을 이용하여 지문 입력 센서의 특성을 평가한다. 본 논문은 지문의 DPI를 평가하는 실질해상도, 수직 해상도와 수평해상도의 왜곡 정도를 나타내는 왜곡율, 외부 광원에 의한 지문 영상의 명암 분포도와 같은 평가 측정 항목 및 방법을 제시한다. 다양한 지문 인식 센서간의 호환성을 위해 광학식 센서, 반도체식 센서, 스윙 타입 센서 등 9개의 센서를 대상으로 하고, 각 센서 당 50장의 취득 영상을 이용하여 평가 결과를 통계학적 방법인 95% 신뢰구간으로 표현하였다.

ABSTRACT

The purpose of this research is twofold. The first is to develop the measures for evaluating performance of fingerprint sensor modules quantitatively and objectively. The second is to present the methodology for evaluating compatibilities among disparate fingerprint sensors. This paper focuses on the performance evaluation not of fingerprint authentication algorithm but of fingerprint sensors. Presented in this paper are several indicators and their measuring schemes such as the actual resolution of fingerprint images, the level of distortion by horizontal and vertical resolutions of fingerprint image, the intensity distribution for various illuminating conditions. Nine commercial sensor modules have been tested and the test results are expressed by using 95% confidence interval based on 50 acquired fingerprint images. The experimental results are compared with the manufacturer's sensor specification.

Keywords : *Sensor Assessment, Fingerprint, Actual Resolution, Level of Distortion, Confidence Interval*

1. 서 론

생체 인식의 도구로 사용되는 생체 특징은 모든

사람이 지니고 있는 보편성 및 다른 사람과 구별할 수 있는 유일성, 계속적으로 사용할 수 있는 영구성, 정량적으로 얻을 수 있는 획득성을 요구한다^[1]. 그러나 생체 인식 시스템의 사용이 확대되면서 공정한 기술적 평가를 시도하여 소비자에게 정확한 선택 기준을 제공하고, 개발자로 하여금 신속한 문제 도출로 신뢰도를 높이기 위한 평가 방법론들이 요구되고 있다. 기존의 지문인식 특성 평가 방법으로는 지문 인

접수일: 2006년 5월 26일 ; 채택일: 2006년 7월 31일

* 본 연구는 지문인식호환기술연구회 지원의 연구결과로 수행하였습니다.

† 주저자, jwnam@vision.inha.ac.kr

‡ 교신저자, hikim@vision.inha.ac.kr

식 시스템의 알고리즘 성능 측정을 위한 평가 항목만을 강조하거나^[2], 시스템이 인식 성능에 많은 영향을 미치는 환경적 요인들에 대한 방법론이 있었다^[3,4]. 그러나 이러한 특성 평가 방법론은 대부분 시스템^[5]에 국한되어 있고, 센서 자체의 특성을 개별적으로 평가하는 방법론은 아직 미비한 실정이다.

기존의 지문 입력 센서 평가 방법으로는 FBI의 EFTS(Electronic Fingerprint Transmission Specification: IAFIS IMAGE QUALITY SPECIFICATION)가 있다. FBI의 EFTS는 센서로 획득한 영상이 아니라 잉크를 이용하여 취득한 지문 영상을 스캔한 디지털 영상에 대해 평가하는 방법이다. 그러나 지문 센서는 센서 표면에 손가락이 접촉되었는지의 여부에 따라 영상을 평가하기 때문에 표준 패턴 영상을 이용한 방법은 지문 센서 평가 방법에 적합하지 않다.

본 논문은 센서의 특성을 정량적·객관적으로 평가할 수 있는 평가 방법론을 개발하는 것이다. 또한 다양한 지문 인식 센서간의 호환성을 확보하기 위해 센서의 특성을 평가할 수 있는 평가 방법론을 개발하는 것이다. 본 논문은 기존 지문 센서의 평가 방법 연구에서 미흡했던 평가 항목을 지문 센서로부터 획득한 영상의 DPI를 평가하는 실질 해상도, 수직 해상도와 수평해상도의 왜곡 정도를 평가하는 왜곡율, 외부 광원의 변화에 따른 지문 영상의 명암 분포도의 항목을 평가하고, 이 항목들의 결과 값들에 대해 통계학적 95% 신뢰구간으로 평가한다.

본 논문은 5절로 나누어졌다. 2절에서는 지문 입력 센서의 영상 취득 원리에 따른 센서의 분류와 기존의 센서 평가 방법론에 대해 설명한다. 3절에서는 지문 입력 센서로 획득한 지문 영상의 센서 특성 평가 방법에 대해 설명한다. 4절에서는 3절에 제시한 방법론들에 따른 결과를 95% 신뢰구간을 이용하여 나타내었다. 5절에서는 본 논문의 결론을 나타내었고, 평가할 수 없는 지문 입력 센서의 평가 방법론에 대해 향후 과제로 제시한다.

II. 지문 입력 센서 및 기존의 지문 입력 센서 평가 방법

1. 지문 입력 센서 형태 및 특성

최근에 들어서면서 지문인식 기술이 발달함에 따라 Live scan 방식이 보편화되고 있다. 지문 입력

센서는 센서가 지문의 표면을 읽어 들이고, A/D 컨버터를 이용하여 디지털 신호로 변환한 뒤 이것을 컴퓨터 등의 외부장치에 연결하여 처리한다. 또한 지문 입력 센서는 입력 방식의 원리에 따라 여러 가지 형태로 나누어지고, 표준 규격이 없기 때문에 다양한 크기 및 입력 방식을 갖고 있다^[6]. 본 연구에서는 광학식 센서, 반도체 방식 센서, 스위프 타입 센서인 3종류, 9개의 센서를 사용하여 비교 및 평가하였다. 본 연구에서 대상으로 한 지문 입력 센서들의 입력 방식에 대한 설명은 다음과 같다.

1.1 광학식 센서(Optical Sensor)^[7]

일반적으로 프리즘을 이용한 센서를 지칭한다. 그림 1에서와 같이 프리즘을 이용한 광학식 센서는 광원, 프리즘, 렌즈, 빛을 감지하는 감광칩(CCD 및 CMOS) 부분으로 구성되어 있다. 좌측의 광원으로부터 발생한 빛이 지문의 융선과 프리즘이 접촉한 부분에서는 빛이 흡수되거나 분산된다. 그러나 공기과 프리즘이 접촉하는 골부분에서는 전반사됨으로써 빛이 렌즈를 통하여 CCD나 CMOS 칩까지 도달한다^[7]. 광학식 센서는 지문 영상의 품질이 일반적으로 매우 좋고, 지문을 입력 받을 때 넓은 면적의 입력 부분을 가질 수 있다는 장점이 있다. 그러나 다른 방식의 센서나 반도체 방식 센서에 비해 센서 자체의 크기가 크고, 건조한 지문 영상에 대해서는 낮은 명암 대비를 가지는 단점이 있다. 최근에 들어서면서 프리즘을 이용하지 않은 새로운 광학식의 센서^[8]들이 제작 되었고, 이러한 방식의 센서들 모두 광학식 센서로 지칭한다.

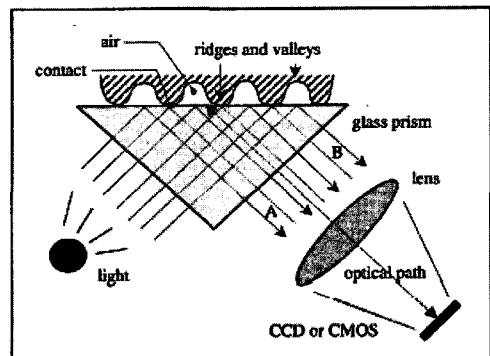


그림 1. 광학식 센서

1.2 반도체 방식 센서(Capacitive Sensor)^[9,10]

지문의 표면이 유전율을 갖고 있는 도체라는 점을 이용한 방법으로서 센서에 접촉하는 융선 부분만이

전류가 흐른다는 점을 이용하여 지문 영상을 획득하는 방법이다. 구체적으로는 센서 표면에 접촉하는 손가락의 압력과 열상에 따른 센서 어레이의 전하량 변화를 읽어서 지문정보를 얻거나, 전기장 또는 초음파를 사용하여 얻은 지문 이미지를 전기적 신호로 변환하여 지문을 획득한다. 한마디로 생체학적 특성을 그대로 이용한 것이라 할 수 있다. 이 반도체 방식은 알고리즘이 제조회사마다 상이하겠지만, 기본구조는 단순하기 때문에 비교적 안정적이다. 또한 대량 생산과 소형화가 가능하다는 장점이 있는 반면 손이 직접 실리콘 칩에 접촉함으로써 발생하는 정전기 등으로 칩의 기능을 손상시키는 단점이 있다.

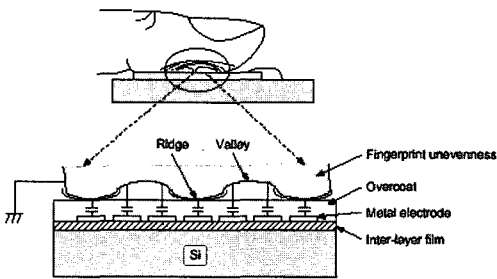


그림 2. 반도체 방식 센서

1.3 스위프 타입 센서(Sweep Type Sensor)^[10]

이 방식의 센서는 센서를 초소형화 하고, 반도체 방식의 비용을 줄이기 위한 목적으로 제안되었다. 수직 성분의 움직임을 이용하기 때문에 센서 칩의 너비는 지문의 너비만큼의 크기만 필요하고, 높이는 최소 한 픽셀로도 가능하다. 스위프 타입 센서는 광학식, 반도체 방식 센서에서 모두 사용된다. 그림 3은 스위프 타입 센서의 영상 획득 방법을 보여준다. 이 센서는 8×280 pixel 단위로 영상을 입력 받고, 이 영상을 결합시켜 500×280 pixel의 지문 영상으로 복원한다. 센서가 더러워 지지 않고, 잔상 지문이 남지 않는다는 장점이 있다. 또한 일정한 방향으로 손가락을 대고 긁는 방식이기 때문에 회전이 생길 위험도 적다. 그러나 이 센서는 익숙하지 않은 사용자에게 매우 불편하고, 높은 속련도를 요구한다. 또한 수직 방향의 성분을 조합하는 방법이기 때문에 수직 방향의 움직임에 대한 지문 재건 시 움직임 구조가 깨질 위험이 있고, 일정한 속도를 가지고 긁어 내려가야 하므로 속도에 민감하여 지문 영상의 품질에 영향을 준다.

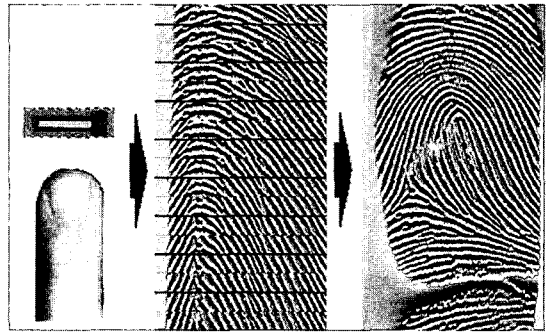


그림 3. 스위프 타입 센서

2. 기존의 지문 입력 센서 평가 방법

2.1 FBI의 EFTS :IAFIS IMAGE QUALITY SPECIFICATION^[11]

이 방법은 FBI의 Criminal Justice Information Service(CJIS)에서 나온 평가 방법으로서, Live Scan으로 취득한 영상이 아니라, 잉크를 이용하여 취득한 지문 영상을 스캔한 디지털 영상의 평가하는 방법이다. 그렇기 때문에 일부분의 항목은 지문 센서의 특성 평가 방법에 적합하지 않는 요소도 소개되고 있다. 평가 항목으로는 다음과 같이 나타내었다.

- 1) "Resolution"은 지문 영상의 해상도로서, 단위 거리 당 화소의 개수를 나타내는 공간 해상도 (Spatial Resolution, Pixel Per Inch)와 화소를 표현하는 비트수인 그레이 레벨(Image Depth)의 개수로 구분한다.
- 2) "Geometric Image Accuracy"는 영상의 왜곡 정도를 평가하는 것으로서, 영상위에 존재하는 임의의 두 점에 대해 입력과 출력 영상의 임의의 두 점 사이의 거리를 지문 입력기의 해상도로 나눈 값을 사용한다.
- 3) "Modulation Transfer Function(MTF)"는 영상의 질을 결정하는 인자중의 하나인 선명도를 평가하는 방법이다. 특징 패턴을 대상으로 출력된 영상을 분석하여 계산한다.
- 4) "Signal to Noise Ratio(SNR)"는 물리적 지문이 전기적 신호인 영상으로 변환될 때, 지문 입력기의 정상 신호와 잡음의 비를 평가한다. 신호대 잡음비는 125 이상을 기준으로 한다.
- 5) "Gray-scale Range"는 지문 영상의 명암값 분

포(Histogram)를 평가하는 방법이다. 획득된 지문 영상의 명암값 분포를 이용하여 그레이 값이 모여 있는 범위를 평가한다.

- 6) "Gray-scale Linearity"는 선형적 그레이 레벨 입력에 대한 입력기의 반응성에 관해서 평가한다. 획득된 지문 영상에서 0.25×0.25 inch 이상의 영역을 임의로 선택하여 그레이 값의 평균을 측정한다.
- 7) "Output Gray Level Uniformity"는 전 입력 영역에 걸쳐 그레이 레벨이 고르게 나타나는 정도를 평가한다. 센서마다 그레이 레벨이 다르기 때문에 이러한 분포를 평가하는 방법이다.

Resolution이나 Geometric Image Accuracy는 해상도 및 센서에서 획득한 영상의 왜곡도를 평가할 수 있는 항목이다. 또한 Gray-scale Range는 지문 영상에서 명암도의 분포를 측정하는데 적용할 수 있다. 그러나 이 방법은 평판 스캐너를 평가하는 항목이라고 할 수 있다. 또한 지문 센서는 센서 표면에 손가락이 접촉되었는지의 여부에 따라 영상을 평가하기 때문에 표준 패턴 영상을 이용한 방법이 지문 센서 평가 방법에 적합하지 않다.

III. 지문 입력 센서 평가 방법

센서의 입력 특성은 센서의 하드웨어적인 특성 중 지문 인식에 영향을 줄 수 있는 것을 말한다^[12]. 기존의 지문 센서의 특성을 평가하는 방법에는 기본적으로 해상도만을 평가하였으나, 본 논문에서는 이 외에 지문 영상에 영향을 줄 수 있는 왜곡율과 외부 광원에 의한 지문 영상의 명암 분포도를 평가 항목으로 제시하고, 그 항목을 평가할 수 있는 방법을 제시한다.

본 장에서는 지문 인식률에 관련이 있는 센서의 입력 특성에 대한 항목으로 지문의 DPI를 평가하는 실질 해상도, 수평해상도와 수직해상도의 왜곡 비율을 평가하는 왜곡율, 외부 광원에 의한 지문 영상의 명암 분포도 3가지를 정의하였다. 각 항목을 평가하기 위한 방법에 사용된 인조 패턴의 재질인 젤라틴 용액은 시간이 지남에 따라 수축하고, 비틀림이 생기기 때문에 실리콘을 이용한 방법을 추가하였다^[13 ~ 15]. 또한 각 항목에 대한 평가 결과를 통계학적 방법인 95% 신뢰구간으로 평가하는 방법을 제시한다. 이러한 평가 방법은 각기 다른 센서 사이의 호환성을 확보하기 위한 것이다^[16,17].

1. 실질 해상도

실질 해상도를 구하는 방법에는 두 가지가 있다. 첫 번째 방법은 Ink-stamped 지문 영상과 Live scan 영상을 비교하여 DPI를 구하는 방법이고, 두 번째 방법은 인조 패턴(Flat artificial pattern)을 이용하여 수평 DPI와 수직 DPI를 계산하는 방법이다. 실질 해상도는 일반적으로 센서 제작 회사의 사양이 제시한 수치와 다르게 측정된다. 이들을 구별하기 위하여 실질 해상도라고 표현하였다.

1.1 Ink-stamped 영상을 이용한 방법

이 방법은 잉크를 이용하여 Ink-stamped 지문을 획득하고, 이것을 스캐너를 이용하여 디지털 영상을 취득한 후 이 영상과 입력 센서로 획득된 Live-scan 지문 영상 사이에서 동일한 특징점 쌍 사이의 영상 화소수를 측정하는 방법이다. 그러나 이 방법은 지문의 상태인 압력과 습도 등의 변화에 따라서 지문의 특징점이 변화하기 때문에 해상도의 변화가 크다는 단점이 있다.

Step 1) 같은 손가락으로부터 여러 장의 Ink-stamped 영상과 Live scan 영상을 획득한다. Ink-stamped로 획득한 횡수와 Live scan으로 취득한 횡수를 N 이라고 지정한다. (압력에 의한 DPI 실험 결과의 변화를 줄이기 위해 전자 저울에서 지문을 획득한다.)

Step 2) 두 종류의 영상에서 동일하면서 일직선상에 있는 특징점 쌍을 찾는다. 비교하기 위한 동일한 특징점 쌍을 M 이라 한다. (수직한 특징점 쌍과 수평한 특징점 쌍 간의 직선이 직각인 특징점 쌍을 선택한다.)

Step 3) Ink-stamped 영상의 특징점 쌍사이의 거리를 인치로 계산한다. (이때 스캐너의 규격에 따라 약간의 오차가 있을 수 있기 때문에 스캐너의 규격을 확실히 알아야 한다.) 그리고 Live scan한 영상의 특징점 쌍사이의 거리를 픽셀로 계산한다. 그럼 j 과 같이 j 번째 Ink-stamped한 영상에서 i 번째 특징점 쌍을 d_{ij} (inch 단위)로 지정하고, j 번째 Live scan한 영상에서 i 번째 특징점 쌍을 p_{ij} 로 지정한다.

Step 4) 수직한 특징점 쌍과 수평한 특징점 쌍을 선택한다. 지문 영상을 여러 장 사용하고, 전

자 저울을 사용하는 이유는 각각의 입력에 따라 지문의 형태나 크기에 약간의 변화가 생길 수 있기 때문에 이러한 변화를 최소화하기 위하여 여러 장의 특징점 사이의 거리를 평균을 내어 사용한다.

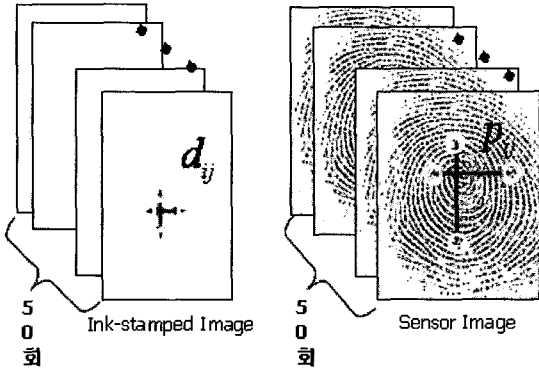


그림 4. Ink-stamped 영상과 Live scan 영상과의 비교

Step 5) 센서의 평균 해상도는 식 1과 식 2와 같게 나타낸다. (d_j^H 는 Ink-stamped 영상의 수평한 특징점 쌍, p_j^H 는 live-scan 영상의 수평한 특징점 쌍, d_j^V 는 Ink-stamped 영상의 수직한 특징점 쌍, p_j^V 는 live-scan 영상의 수직한 특징점 쌍을 나타낸다.)

$$R_{mk}^H = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{p_j^H}{d_j^H} \quad (j=1, \dots, M) \quad (1)$$

$$R_{mk}^V = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{p_j^V}{d_j^V} \quad (j=1, \dots, M) \quad (2)$$

1.2 인조 패턴을 이용한 방법

이 방법은 임의의 크기나 영상을 설정하여 평가하기 쉽고, Ink-stamped 영상을 이용한 방법보다는 해상도의 변화가 작은 방법으로서, 그림 5와 같이 사각형 패턴을 이용하여 실리콘으로 만든 인조 패턴을 지문 센서를 이용하여 영상을 획득하는 방법이다. 인조 패턴을 이용하면 수평 방향을 측정하기 위한 패턴을 임의로 제작한 후 실험할 수 있기 때문에 평가의 도에 맞는 실험을 하기에 유리하다. 해상도를 평가하기 위한 방법으로는 수평방향에 대해 위, 중간, 아래

의 3가지 해상도(수평 해상도 : H_U, H_C, H_D)와 수직방향에 대해서 왼쪽, 중간, 오른쪽 3가지 해상도(수직 해상도 : V_L, V_C, V_R)를 정의한다. 그리고 수평방향과 수직방향 간의 해상도 비율을 측정하기 위해 중횡비(Asspect ratio: V_C/H_C)를 정의하였다. 이러한 인조 패턴을 이용한 방법은 다음 항목에서 평가할 왜곡율을 평가하기 위해 사용한다.

- Step 1) 실제 패턴의 길이를 DPI로 나타내고, 실리콘으로 제작한 패턴으로부터 여러 장의 Live scan 영상을 획득한다. Live scan으로 취득한 횟수를 N 이라고 지정한다.(실제 패턴은 500DPI를 기준으로 하였다.)
- Step 2) Live scan 영상에서의 특정 범위내의 사각형을 찾는다. 비교하기 위한 사각형의 6가지 해상도 수를 R 이라고 한다.
- Step 3) Live scan 영상의 사각형사이에 수평방향과 수직 방향간의 거리를 인치로 계산한다. 그림 5와 같이 j 번째 패턴의 i 번째 사각형을 a_{ij} 로 지정하고, j 번째 Live scan한 영상의 i 번째 사각형을 p_{ij} 로 지정한다.
- Step 4) 각각의 사각형에 대한 해상도는 식 3과 같다.

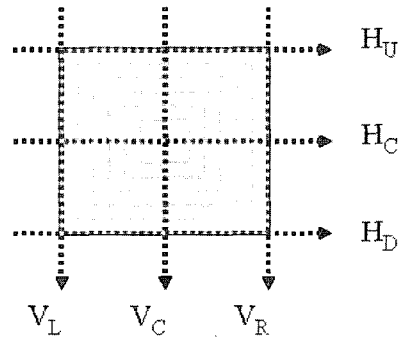


그림 5. 사각형 패턴을 이용한 해상도 측정

Step 5) 센서의 평균 해상도는 식 3과 같게 나타낸다. (d_{cl} 은 실제 패턴 영상의 6가지 해상도, p_{cl} 은 Live scan 영상의 6가지 해상도를 나타낸다.)

$$R_{FAT} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{p_d}{d_d} \quad (3)$$

2. 왜곡률

센서는 입력 특성 방법에 따라서 여러 종류의 왜곡이 발생할 수 있다. 이러한 왜곡은 지문 인식의 성능에 큰 영향을 미친다. 특히 광학 방식의 센서는 렌즈의 굴절률에 따라 여러 왜곡이 생겨날 수 있다. 여기에서는 왜곡을 "Trapezoidal distortion"과 "Barrel distortion" 두 가지로 정의한다.

2.1 Trapezoidal Distortion

"Trapezoidal distortion"은 광학식 지문 센서에서 일반적으로 일어나는 현상으로 프리즘과 감지센서 사이의 거리가 위치마다 다르기 때문에 생기는 왜곡이다. "Trapezoidal distortion"은 그림 6과 같이 상단과 하단, 좌측과 우측의 해상도가 다르다. 여기에서는 식 4, 식 5와 같이 수직방향의 Trapezoidal 왜곡과 수평방향의 Trapezoidal 왜곡에 대해 정의한다.

$$\text{수직 방향의 Trapezoidal 왜곡} : D_{VT} = \frac{H_U}{H_D} \tag{4}$$

$$\text{수평 방향의 Trapezoidal 왜곡} : D_{HT} = \frac{V_L}{V_R} \tag{5}$$

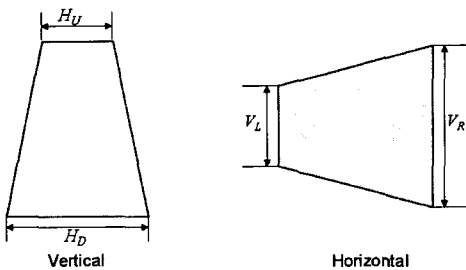


그림 6. Trapezoidal Distortion 영상

2.2 Barrel Distortion

"Barrel distortion"은 렌즈의 중심을 통과하는 주광선이 비정상적으로 굴절될 때 일어나는 현상이다. 즉, 렌즈의 구면 수차에 의해 생기는 현상이다. 그림 7과 같이 가운데가 오목하거나 볼록한 형태를 나타낸다. 왜곡의 평가 항목으로 수직 방향의 Barrel 왜곡과 수평 방향의 Barrel 왜곡이 있고, 측정하는 방법은 아래 식 6, 식 7과 같이 측정한다.

$$\text{수직 방향의 Barrel 왜곡} : D_{VB} = \frac{H_U + H_D}{2 \times H_C} \tag{6}$$

$$\text{수평 방향의 Barrel 왜곡} : D_{HB} = \frac{V_U + V_D}{2 \times V_C} \tag{7}$$

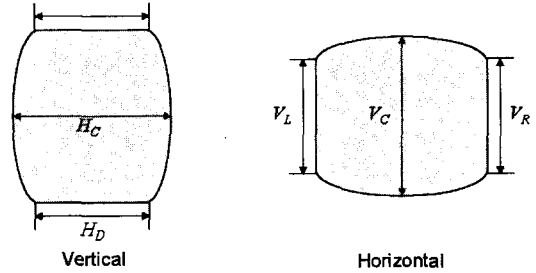


그림 7. Barrel Distortion 영상

3. 외부 광원에 의한 지문 영상 명암 분포도

지문 영상에 영향을 미칠 수 있는 환경적 요소는 날씨, 온도, 습도, 압력 그리고 외부 광원 등이 있다. 그중에서 이 절에서는 외부 광원에 관한 평가만을 한다. 외부 광원에 의한 실험 방법으로 암실, 실내, 실외의 세 가지 환경에서 조도계를 이용하여 조도를 측정하고, 지문을 입력하지 않았을 때 영상을 취득하여 영상을 분석한다.

지문 센서로 출력된 영상은 일반적으로 8 bit gray level로 이루어져 있다. 그러나 센서마다 지문 영상을 표현하는 Gray level의 분포도 및 특성이 다르게 나타난다. Gray level의 평가 항목으로는 평균, 분산, 최대 명암값, 최소 명암값이 있다. 지문 영상의 명암값에 대한 평균은 식 8에서 구해지고, 식 9를 통해 명암값에 대한 분산값을 구함으로써, 센서가 지문 영상에 대해 나타내는 균일성 정도를 알아볼 수 있다. 영상 크기는 $K \times L$ 이고, $I(i, j)$ 는 (i, j) 픽셀에서의 명암값을 나타낸다.

$$Mean = \frac{1}{KL} \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{L-1} I(i, j) \tag{8}$$

$$Var = \frac{1}{KL} \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{L-1} (I(i, j) - Mean)^2 \tag{9}$$

지문 영상에서 최대 명암값(I_{MAX})과 최소 명암값

(I_{MIN})을 찾아냄으로써, 센서가 나타낼 수 있는 명암값의 범위를 알아낼 수 있다. 최대 명암값에서 최소 명암값을 뺀 명암값의 범위를 Dynamic range of gray level로 식 10과 같이 표시하고, 이때 사용된 명암값의 개수를 전체 Gray level인 256개(T)에서 명암값이 하나도 사용하지 않은 개수($hist_{zero}(I(i,j))$)을 뺀 Number of used gray level로 식 11과 같이 나타낸다.

$$D_{RGL} = |I_{MAX} - I_{MIN}| \quad (10)$$

$$N_{UGL} = T - \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{L-1} hist_{zero}(I(i,j)) \quad (11)$$

IV. 실험 결과

지문 센서를 평가하기 위한 대상으로서 표 1과 같이 광학식 센서(5개), 반도체 방식 센서(3개), 스위프 타입 센서(1개) 등 총 9가지의 지문 입력 센서를 선정하였다. 표 1에는 각 센서의 영상 크기와 센서 제작 회사에서 제시하는 사양에 따른 영상해상도가 함께 표시되어 있다. 본 연구에서는 각 센서의 특성에 대하여 통계학적 방법인 95% 신뢰구간(Confidence Interval)으로 그 결과를 도출하고, 제작회사에서 제시한 사양과 비교하였다.

표 1. 지문 입력 센서의 사양

	영상 크기 (Pixel)	센서 사양 해상도 (dpi)
센서 A (optical)	280×320	500
센서 B (Capacitive)	152×200	363
센서 C (optical)	248×292	500
센서 D (optical)	300×300	480±5
센서 E (optical)	260×300	500
센서 F (Sweep)	360×500	500
센서 G (Capacitive)	256×360	508
센서 H (Capacitive)	480×640	620
센서 I (Optical)	224×256	460

1. 95% 신뢰구간

모집단에서 일정한 크기의 표본을 추출해 모평균

의 95% 신뢰구간을 식 13과 같이 적용했을 때, 항상 신뢰구간이 모평균을 포함하고 있는 구간을 말한다. \bar{X} 는 실험의 평균이고, $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ 는 표준 오차, n 은 샘플의 개수를 나타낸다. 따라서 지문의 샘플을 가지고 각각의 항목을 실험한 결과에 대해 95% 신뢰구간을 구한다^[18].

$$\left(\bar{X} - 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{X} + 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \quad (12)$$

2. 센서의 입력 특성에 따른 평가 결과

센서의 입력 특성에 대한 평가는 센서의 하드웨어적인 특성 중 지문 인식에 영향을 줄 수 있는 특성에 대한 평가를 말한다. 실험에 사용된 항목으로는 실질 해상도와 왜곡율, 외부 광원에 의한 지문 영상 명암 분포도가 있다.

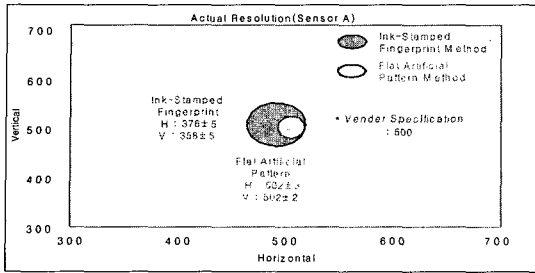
2.1 실질 해상도

2.1.1 Ink-stamped 영상을 이용한 방법

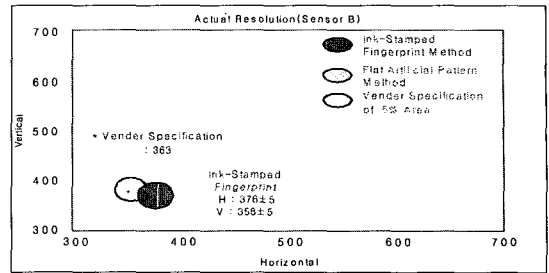
Ink-stamped 지문 영상과 센서를 이용해 취득한 지문 영상을 비교하여 해상도를 계산한 결과이다. 동일한 수평 특징점 쌍과 수직 특징점 쌍을 지정하고, 두 종류의 쌍에 대해 거리를 측정하여 해상도를 구하였다. 영상 취득 시 약간의 변형이 있을 수 있기 때문에 각각의 영상을 50회씩 취득하였고, 전자 저울을 이용해서 압력을 동일하게 주었다. 이 영상으로부터 실질 해상도를 계산하였다. 95% CI Horizontal은 수평 DPI의 95% 신뢰구간, 95% CI Vertical은 수직 DPI의 95% 신뢰구간, 각각 회사의 스펙은 별표로 나타내었다.

2.1.2 인조 패턴을 이용한 방법

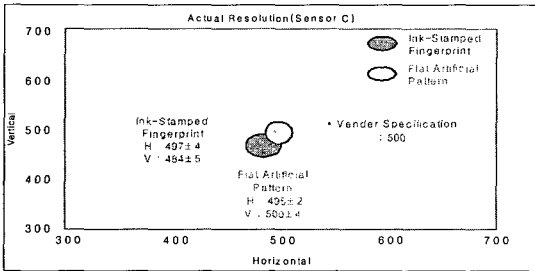
인조 패턴을 이용한 방법은 사각형 패턴 영상과 이 패턴 영상과 같은 크기로 제작된 인조 지문(패턴의 재질을 시간이 지나도 변화지 않는 실리콘을 이용하여 평가하였다.)을 이용하여 센서로부터 취득된 영상 간의 비교를 통하여 해상도를 계산하였다. 그림 12는 이러한 인조 패턴을 이용하여 해상도를 취득한 결과이다. 여기에서는 수평 해상도를 상, 중, 하로 나누었고, 수직 해상도를 좌, 중, 우로 분류하여 계산하였다. 그리고 중심에 있는 수평 해상도와 수직



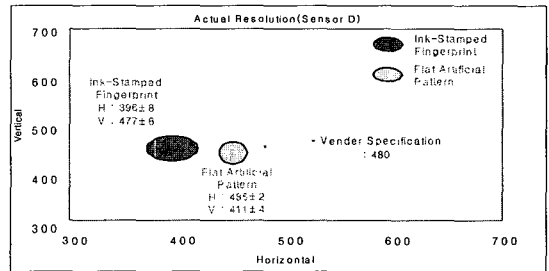
(a) Sensor A의 실험 결과



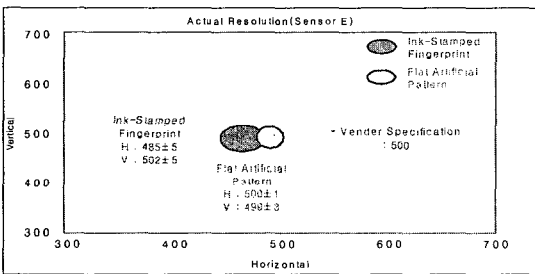
(b) Sensor B의 실험 결과



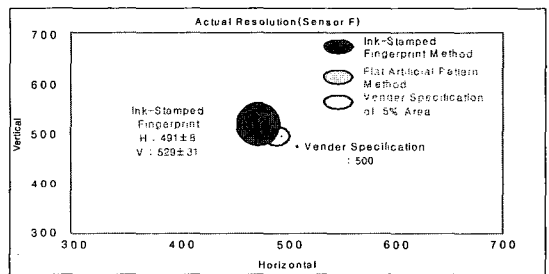
(c) Sensor C의 실험 결과



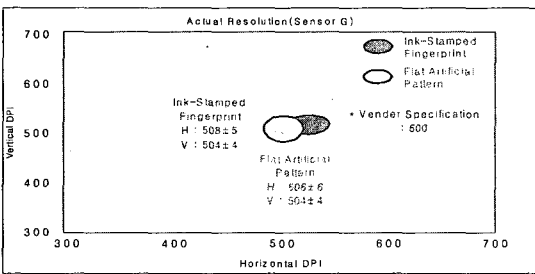
(d) Sensor D의 실험 결과



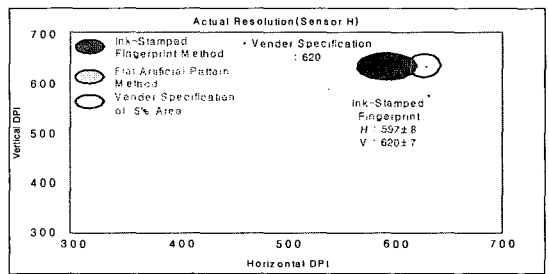
(e) Sensor E의 실험 결과



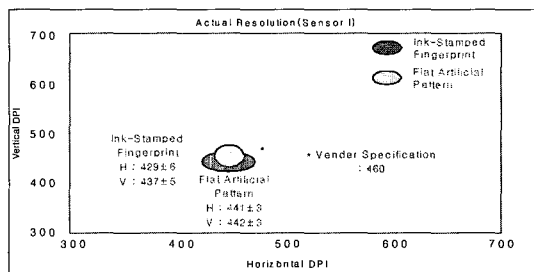
(f) Sensor F의 실험 결과



(g) Sensor G의 실험 결과



(h) Sensor H의 실험 결과



(i) Sensor I의 실험 결과

그림 8. Ink-stamped 영상을 이용한 방법의 결과

해상도를 이용하여 중형비를 계산하였다.

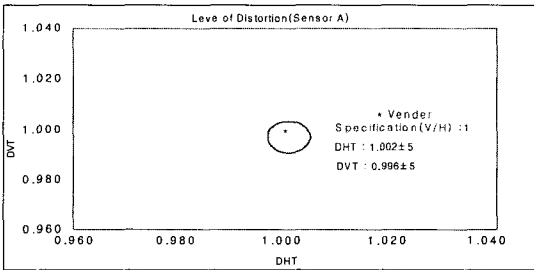
그림 8은 Ink-stamped 방법을 이용한 방법과 인조패턴을 이용한 평가 결과를 정리한 것이다. 인조패턴을 이용한 방법이 Ink-stamped 방법보다 구의 크기가 적어(STD가 적다) 오차의 범위가 적게 나타나고, 각각의 95% 신뢰구간의 간격이 적어 효과적으로 표현할 수 있었다. 실험 결과 모든 센서는 원래의 사양과 실험한 결과 사이에 약간의 차이가 발생하였다. 또한 Sensor D의 회사 스펙은 500dpi인데 수평보다는 수직 DPI가 적게 나타나고, Sensor I는 스펙(460dpi)보다 적은 DPI를 나타내었다. 이와 같이 각 회사의 센서 스펙과 다른 DPI를 보이고 있다. 또한 대부분의 센서들이 수직한 DPI에 일치하는 성질을 나타내고 있다. 실험의 신뢰성을 높이기 위해 50개의 샘플에 대한 95%의 신뢰구간을 이용하여 표현하였다. 이와 같이 서로 다른 센서를 호환하기 위해서 이와 같은 방법을 이용하여 센서의 스펙을 알아보고 정확하게 측정하여 센서를 호환하는데 이용된다.

2.2 왜곡율

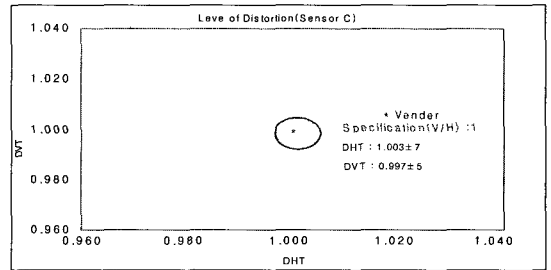
센서는 입력 특성에 따라 여러 가지 왜곡이 발생한다. 이러한 왜곡을 평가하기 위해서 Trapezoidal distortion과 Barrel distortion 두 가지에 대해 평

가하였다. 왜곡율을 평가하기 위해 사용된 영상은 실질 해상도 평가를 위해 사용된 인조 패턴 영상의 DPI를 이용하였다. DVT는 Distortion vertical trapezoidal, DHT는 Distortion horizontal trapezoidal, DVB는 Distortion vertical barrel, DHB는 Distortion Horizontal barrel을 의미한다.

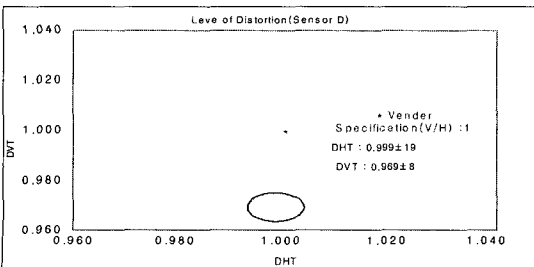
그림 9와 그림 10의 결과로부터 센서마다의 조금씩은 왜곡이 있었다. 하지만 대부분의 센서가 센서 회사가 나타내는 스펙과 일치하였다. 또한 Sensor D는 수평 해상도보다는 수직 해상도가 높게 나와서 왜곡이 있는 것을 알 수 있었다. 그러나 인조 패턴이 실리콘이어서 절연성을 필요로 하는 반도체 센서나 센서를 위에서 아래로 스윕하는 스윕 타입 센서에 대해 측정을 할 수 없는 점이 있다. 왜냐하면 스윕핑 속도와 스윕하는 숙련도에 따라서 수직 해상도가 너무 큰 차이를 보이고 있었다. 그래서 반도체 센서나 스윕 타입 센서에 대해서는 왜곡율을 측정할 수 있는 다른 측정 방법이 필요로 하게 된다. 이러한 정보는 서로 다른 센서의 호환성을 위해 센서의 스펙을 정확히 알아보고 여기에 표준이 되는 센서 사양을 정하는데 사용될 것이다.



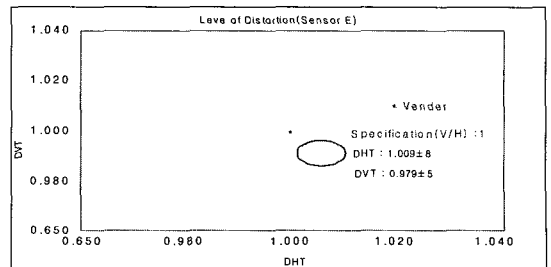
(a) Sensor A의 실험 결과



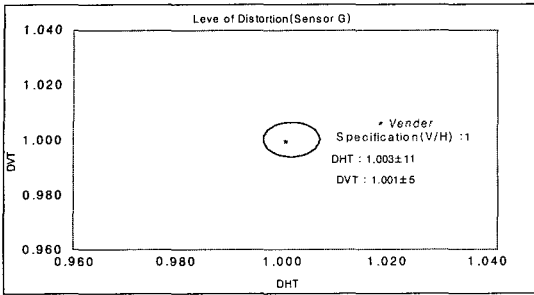
(b) Sensor C의 실험 결과



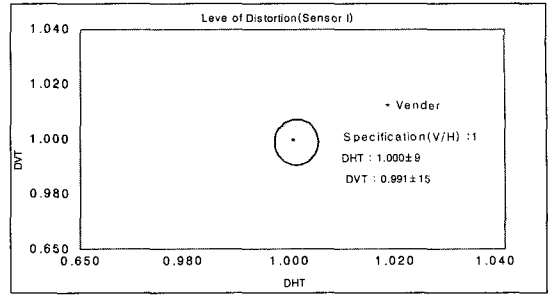
(c) Sensor D의 실험 결과



(d) Sensor E의 실험 결과

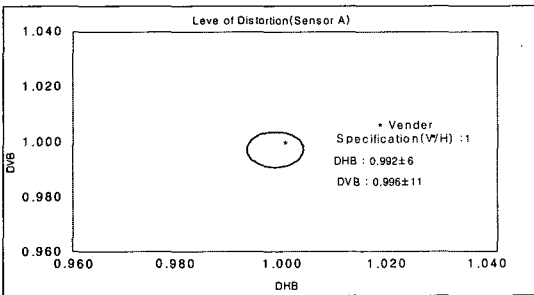


(e) Sensor G의 실험 결과

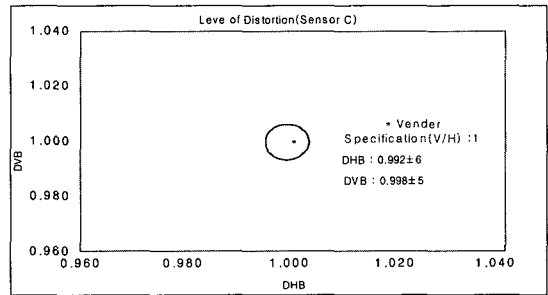


(f) Sensor I의 실험 결과

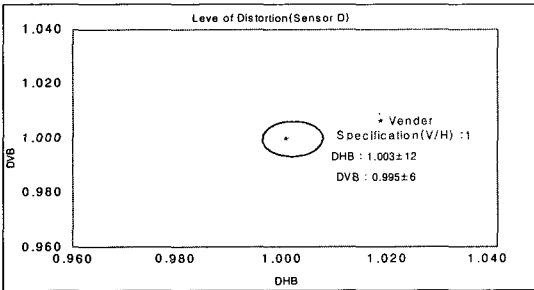
그림 9. 왜곡율의 실험 결과(DVT, DHT)



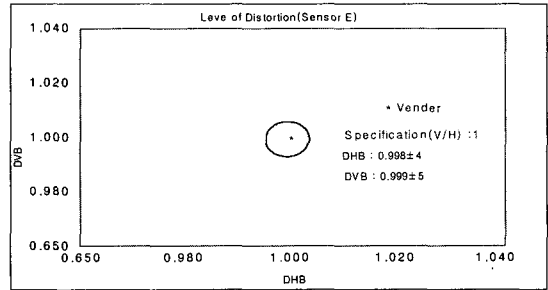
(a) Sensor A의 실험 결과



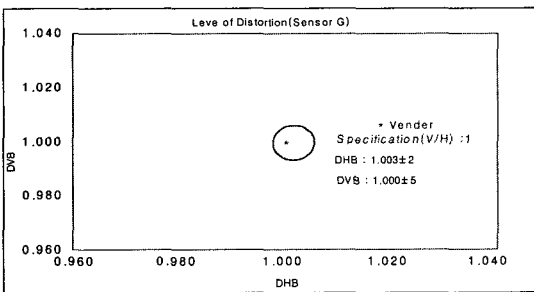
(b) Sensor C의 실험 결과



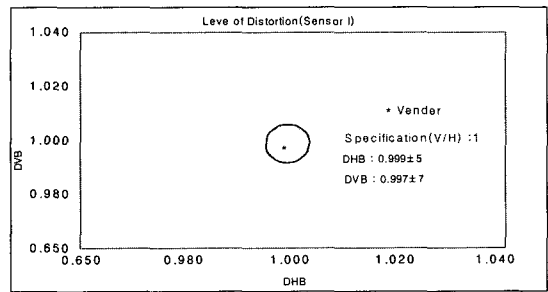
(c) Sensor D의 실험 결과



(d) Sensor E의 실험 결과



(e) Sensor G의 실험 결과



(f) Sensor I의 실험 결과

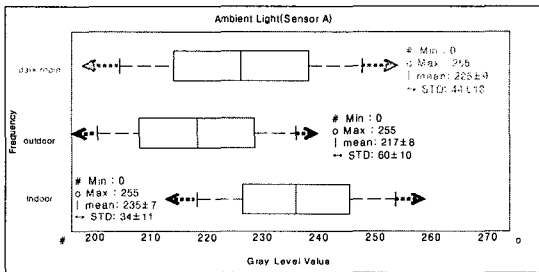
그림 10. 왜곡율의 실험 결과(DVB, DHB)

2.3 외부 광원에 의한 영상 명암 분포도

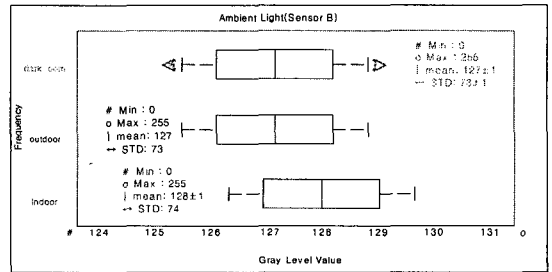
외부 광원에 의한 영상 명암 분포도는 지문 영상의 명암값에 대한 분포도를 평가하는 것이다. 센서가 입력된 지문 영상을 어느 정도로 표현할 수 있는지를 평가하는 방법이다. 취득한 영상에서 외부 광원을 암실, 실내, 실외로 하여 광원의 차이를 두었다. 광학식 센서의 경우 암실보다는 빛이 많을수록 분산차가 커지는 것을 알 수 있다. 또한 광원의 양이 너무 많으면 실외에서의 지문 영상과 같이 지문의 끝부분까지 어둡게 변화하는 것을 알 수 있다. 그러나 반도체 방식 센서나 스위핑 센서의 경우 빛에 관계가 없는 센서로 구성되어 있기 때문에 빛이 영향을 주지는 못하였다. 반도체 센서는 손가락의 습한 정도에 영향이

있을 뿐 빛에는 무관한 것으로 나타났다.

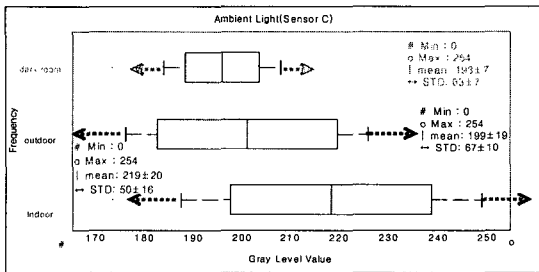
그림 14는 외부 광원에 의한 명암 분포도를 나타내는 결과이다. 지문 영상의 전 영역에 대해서 명암값을 나타내었다. 센서 결과와 같이 광학식 센서는 외부 광원에 의해 영향을 많이 받았다. 또한 외부 광원이 변화 시 명암분포도의 많은 변화를 나타내었다. 그러나 반도체 방식 센서와 스위핑 타입 센서의 경우 외부 광원의 변화 시 아무런 영향을 받지 않았다. 또한 Sensor E의 경우 광학식 센서이지만, 알고리즘 자체적으로 지문 영상의 노이즈를 제거하는 부분이 있어서 빛에는 크게 영향을 받지 않았고, Sensor F, G는 센서의 특성에 의해서 0 ~ 255의 명암값을 모두 이용하지 않는 특성을 가지고 있었다. 그리고



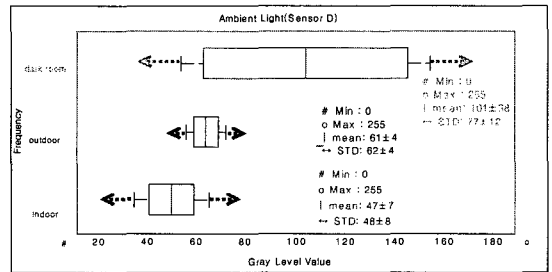
(a) Sensor A의 실험 결과



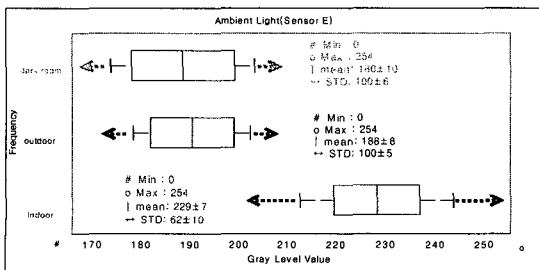
(b) Sensor B의 실험 결과



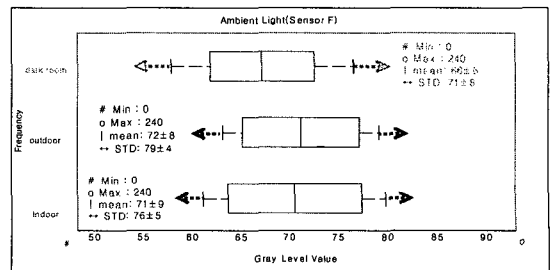
(c) Sensor C의 실험 결과



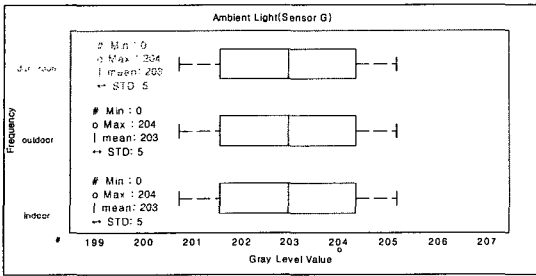
(d) Sensor D의 실험 결과



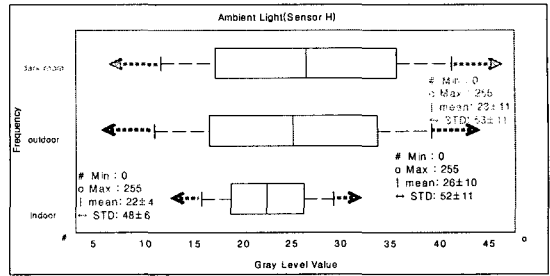
(e) Sensor E의 실험 결과



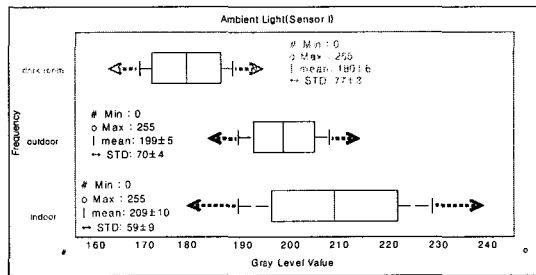
(f) Sensor E의 실험 결과



(g) Sensor F의 실험 결과



(h) Sensor G의 실험 결과



(i) Sensor H의 실험 결과

그림 11. 외부 광원에 의한 영상 명암 분포도의 결과

Sensor B, F, G는 반도체와 스위프 타입 센서로서 빛에는 아무런 영향을 받지 않았다. 다만, 지문의 습도에 영향을 받아서 명암값이 변한 것을 알 수 있었다. 각각의 결과에 대해 95% 신뢰구간을 boxplot^[19]을 적용하여 표현하였다. 그림 14와 같이 빨간색 선이 평균값을 나타내고, 파란색은 평균값에 대한 95% 신뢰구간, 검은색 점선은 표준편차를 나타내고, 빨간색 화살표 점선은 표준편차의 95% 신뢰구간으로 나타내었다.

V. 결론

본 논문에서는 지문 센서를 평가하기 위해 앞서 나와 있는 지문 입력 센서를 지문 영상을 취득하는 원리에 따라 분류하고, 이러한 지문센서를 소개하였다. 지문 센서를 평가하는 항목으로 일반적으로 센서 제작 회사의 사양이 제시한 수치와 다르게 측정된다. 이들을 구별하기 위하여 센서가 지문 영상을 취득할 때의 정확한 해상도를 알기 위해 실질 해상도의 측정 방법과 영상이 수평 해상도와 수직 해상도의 왜곡 정도를 측정하는 왜곡율, 외부 광원의 변화로 명암의 분포도를 측정하는 외부 광원에 의한 명암 분포도를

정의하고, 평가 방법을 제시하였다.

FBI의 EFTS(IAFIS: IMAGE QUALITY SPECIFICATION)는 잉크를 이용하여 취득한 지문 영상을 스캔한 디지털 영상에 대해 평가하는 방법이다. 그러나 지문 센서는 센서 창에 물체가 접촉되었는지의 여부에 따라 영상을 평가하기 때문에 표준 패턴 영상을 이용한 방법은 지문 센서 평가 방법에 적합하지 않다. 본 논문에서는 센서의 실질적인 평가에 접근하였으며, 패턴 재질도 시간에 따라 변형이 없는 실리콘을 이용하였고, 각각 결과의 변화에 대해 오차를 줄이기 위한 통계학적 95% 신뢰구간으로 평가하였다.

본 논문의 실질 해상도에서 sensor D와 sensor I는 센서 제작 회사의 사양이 제시한 수치와는 많이 다른 수치를 나타내었다. Sensor D는 수평 해상도 보다는 수직 해상도의 수치가 큰 차이를 보였다. 또한 sensor I는 수평 해상도와 수직해상도의 차이가 센서 제작 회사의 사양보다 수치가 낮게 측정되었다. 또한 왜곡율은 sensor D가 수직해상도에 대한 왜곡율이 크다는 것을 알 수 있었다. 그리고 외부 광원에 의한 명암 분포도는 대부분의 센서들이 0 ~ 255의 명암값을 사용하지만, sensor G, H는 특정 범위내

의 명암값을 사용하고 있었고, 광학식 센서는 빛의 분포에 따라 명암값의 분포도가 변화하는 것을 알 수 있었다.

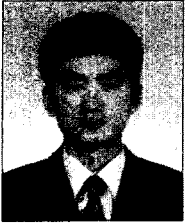
지문 입력 센서의 하드웨어적인 특성을 파악하기 위해 직접 만든 인조 지문과 패턴을 이용하여 손수 실험하였다. 그렇기 때문에 실험을 할 때마다 오차가 생길 수 있었고, 이 오차를 줄이기 위한 방법이 필요하다. 나아가서는 자동적인 시스템에 의한 방법론이 개발되어야 한다. 지문 인식 센서간의 호환성을 확보하기 위한 센서간의 특성을 평가하기 위해서 각 항목마다 센서가 적용되는 항목이 있고, 적용되지 않는 항목이 있다. 현재의 지문 입력 평가 방법은 접촉형 센서를 대상으로 한 평가 방법이므로 여러 센서를 평가하기 위해서는 추가적인 항목들이 필요하다. 그 예로 스윙 타입 센서에서는 왜곡도에 대한 평가를 할 때 스윙하는 방법에 따라서 영상이 비틀려 생성되거나 수직 해상도의 변화가 크기 때문에 왜곡도를 평가하기 위한 새로운 방법을 제시하여야 한다.

참 고 문 헌

[1] D. Maltoni, D. Maio, A. K. Jain, S. Prabhakar, "Handbook of Fingerprint Recognition," Springer, 2003.
 [2] S. Liu, and D. Maltoni, R. Cappelli, J. L. Wayman, and A. K. Jain, "FVC 2004: Third Fingerprint Verification Competition," *ICBA 2004*, pp.1-7, Mar. 2004.
 [3] A. J. Mansfield, J. L. Wayman, "Best Practices in Testing and Reporting Performance of Biometric Device Version 2.0," NPL Report, Aug. 2002.
 [4] <http://buphy.bu.edu/ph106/notes/Refraction.html>.
 [5] 염홍렬, 박준우, 심상욱, "지문인식시스템 보안 평가 방법론 연구," 한국정보보호학회지, 12, 2003.
 [6] 이남일, 강효섭, 김학일, "지문인식 센서 및 알고리즘 기술 동향," 한국정보보호학회지, pp.16-25, 2002.

[7] Mansfield, G. Kelly, D. Chandler, and J. Kane, "Biometric Product Testing Final Reprot," *CESG/BWG*, Mar. 2001.
 [8] http://www.siliconimageworks.com/en/Ten_t.
 [9] <http://www.sony.co.jp/en/Products/SC-HP>.
 [10] P. Boshop, "Atemp's FingerChip_TM Technology for Biometric Security Whitepaper," Available at <http://www.atmel.com/dyn/products>.
 [11] CIJS-RS-0010(V7), Jan. 1999-Electronic Fingerprint Transmission Specification.
 [12] H. Kang, B. Lee, H. Kim, D. Dhin, and J. Kim, "A Study on Performance Evaluation of Fingerprint Sensors," *AVBPA 2003*, pp.574-583, Jun. 2003.
 [13] ISO/IEC JTC 1/SC 37 N847, "Standardization of Methods for Evaluating Fingerprint Scanner Quality".
 [14] T. Matsumoto, H. Matsumoto, K. Yamada and S. Hoshino, "Impact of Artificial Gummy Fingers on fingerprint System," *Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques IV*, vol.4667, pp.275-289, 2002.
 [15] D. Willis, M. Lee, "Six Biometric Devices Point The finger at Security," Available at, <http://www.networkcomputing.com>.
 [16] 이봉구, 남정우, 김학일, "영상 기반의 지문 인식 센서 평가 방법," *CICS 2005*, vol.15, No.1, pp.9-12, 12. 2005.
 [17] 남정우, 김학일, "신뢰구간을 이용한 영상 기반 지문 인식 센터 평가," *CICS 2005*, vol.15, No.2, pp.527-530, 12. 2005.
 [18] http://user.chollian.net/~k8825012/EDA/95_rel.htm.
 [19] <http://www.shodor.org/interactivate/activities>.

..... <著者紹介>



남 정 우 (Jung-Woo Nam) 정회원

2004년 2월: 호원대학교 컴퓨터공학과 졸업

2004년 3월~현재: 인하대학교 정보통신대학원 정보통신공학과 석사과정

<관심분야> 생체인식, 영상처리, 패턴인식



김 학 일 (Hakil Kim) 종신회원

1983년 2월: 서울대학교 제어계측공학과 (학사)

1985년 8월: (미)퍼듀대학교 전기컴퓨터공학과 (석사)

1990년 8월: (미)퍼듀대학교 전기컴퓨터공학과 (박사)

1990년 9월~현재: 인하대학교 공과대학 교수

2001년 2월~현재: 한국생체인식포럼 시험평가분과 위원장

2002년 1월~현재: 한국정보보호학회 생체인증연구회 위원장

2003년 3월~현재: ISO/IEC JTC1/SC37(생체인식) WG5(성능평가) Rapporteur Group

2005년 4월~현재: ITU-T SG17 Q.8 (Telebiometrics) Associate Editor

<관심분야> 생체인식, 생체인식 표준화, 정보보호