

이기종 센서의 호환을 위한 지문 특징점 보정 알고리즘 개발*

장 지 현,[†] 김 학 일[‡]
인하대학교 정보통신공학과

Development of Minutiae-level Compensation Algorithms for Interoperable Fingerprint Recognition

Jihyeon Jang,[†] Hakil Kim[‡]

School of Information and Communication Engineering, Inha University

요 약

본 연구의 목적은 다양한 이기종 지문입력 센서의 호환을 위한 지문 특징점 보정 알고리즘 개발이다. 본 연구에서는 이기종 지문입력 센서간의 매칭을 위하여 영상 기반의 센서 평가 방법에 따라 Ink-Stamped 방법과 인조패턴 방법을 이용하여 평가하였다. 본 연구에서 제안한 보정 알고리즘은 영상 레벨과 템플릿 레벨 모두에서 보정 가능하며, 상대 센서의 사양에 맞도록 보정하는 상대적 해상도 보정 방법과 500, DPI 중횡비(Asspect Ratio)가 1인 사양에 맞도록 보정하는 공통 해상도 보정 방법이다. 특히 템플릿 레벨에서의 보정은 특징점이 보정됨에 따라 방향 보정이 변하게 되는데 이를 보정하기 위하여 단위 벡터 방법을 제안한다. 따라서 제안한 보정 알고리즘을 이용한 결과 보정 전 보다 보정 후의 EER 에러가 전체적으로 64.8% 개선됨을 확인 할 수 있었다. 본 연구를 통해 이기종 지문 인식 시스템 통합 시 요구되어지는 비용을 최소화하고 최종 사용자의 편의성을 도모할 수 있으며, 나아가 국가 간 바이오 정보 공유 및 출입국 관리 시스템에 적용하기에도 유용할 것이다.

ABSTRACT

The purpose of this paper is the development of a compensation algorithm by which the interoperability of fingerprint recognition can be improved among various different fingerprint sensor. In order to compensate for the different characteristics of fingerprint sensor, an initial evaluation of the sensors using both the ink-stamped method and the flat artificial finger pattern method was undertaken. This paper proposes Common resolution method and Relative resolution method for compensating different resolution of fingerprint images captured by disparate sensors. Both methods can be applied to image-level and minutia-level. In order to compensate the direction of minutiae in minutia-level, Unit vector method is proposed. The EER of the proposed method was improved by average 64.8% better than before compensation. This paper will make a significant contribution to interoperability in the system integration using different sensors.

Keywords : Fingerprint Recognition, Finger Minutiae Data Format, Interoperability, Sensor Assessment, Compensation

접수일: 2007년 5월 29일; 채택일: 2007년 8월 6일

* 본 연구는 지문인식호환기술연구회 지원의 연구결과로 수행하였습니다.

[†] 주저자, jhjang@vision.inha.ac.kr

[‡] 교신저자, hikim@inha.ac.kr

I. 서론

바이오인식에서 사용되는 신체적 특성은 얼굴, 손 모양, 홍채, 망막, 손등정맥, 지문, 장문 등이 있고, 행동적 특성으로는 음성, 서명, 자판 사용 특성 등이 있다. 다양한 바이오인식 가운데 지문인식은 편의성, 소형화의 장점을 가지고 있어 바이오인식 시장의 높은 점유율을 차지하고 있다. 초기 바이오인식 기술은 패스워드 대용의 많은 어플리케이션이 개발되었으나, 최근에는 Homeland Security 관점에서 많은 관심의 대상이 되고 있다. 그 예로 출입국 관리 시스템, 바이오 여권, 선원관리 수첩 등에 바이오인식을 이용하여 관리하고 있으며, 앞으로 그 활용 영역은 더욱 커질 것이다. 현재 상용화 되어있는 지문입력기를 영상획득 방식에 따라 광학식, 반도체식, CCD 센서, Thermal 센서, TFT 센서, 접촉 발광식 등으로 그 종류가 다양하며 동일한 방식으로 센싱한다 하더라도 제조사마다 센서의 특성은 약간씩 다르다^(1,2).

현재의 지문인식 알고리즘들은 대부분 동일 센서를 사용하여 추출하고 인증함을 기본전제로 하고 있지만, 은행전산망 통합, 국가 간 출입국 관리 시스템 연동 등과 같이 시스템의 통합이 필요할 시 현재 구축된 시스템을 이용하고자 할 경우 반드시 이기종 지문입력 센서 간 호환이 이루어져야 한다. 호환성은 데이터 포맷적인 측면, 알고리즘적인 측면, 인터페이스적인 측면으로 고려될 수 있다⁽³⁾. 데이터 포맷적인 측면에서의 표준화 작업은 ISO/IEC JTC1/SC37 데이터의 국제호환표준을 제정하고 있으며, 이기종 지문입력 센서간 호환 성능은 알고리즘의 호환성이 좌우하게 되며, 이들은 BioAPI⁽⁴⁾를 준용하는 표준 인터페이스를 이용하여 구현하였을 때 다른 시스템과의 충분한 호환성을 가져갈 수 있다.

위와 같은 이기종 지문입력 센서 간 호환성을 테스트 하기 위해서 국제노동기구(ILO : International Labor Organization)에서는 해양선원의 출입관리를 위한 이기종 지문입력 센서간의 호환성 평가를 실시하였고⁽⁵⁾, NIST에서는 MINEX04라는 호환성 평가를 위한 대회를 주체하고 있다⁽⁶⁾. 또한 ISO 표준화 기구에서는 호환을 위한 표준 데이터 포맷을 정의하고^(7,8,9,10) 이를 평가하기 위한 평가 방법에 대한 표준화도 준비하고 있다⁽¹¹⁾.

본 연구에서는 이기종 지문 입력기에 의해 다양한 형태의 왜곡과 해상도로 획득된 지문 영상의 인식 성능을 높이기 위하여 등록 템플릿과 동일한 해상도 및 왜곡으로 변형하거나, 공통의 동일한 해상도 및 왜곡으로 변형

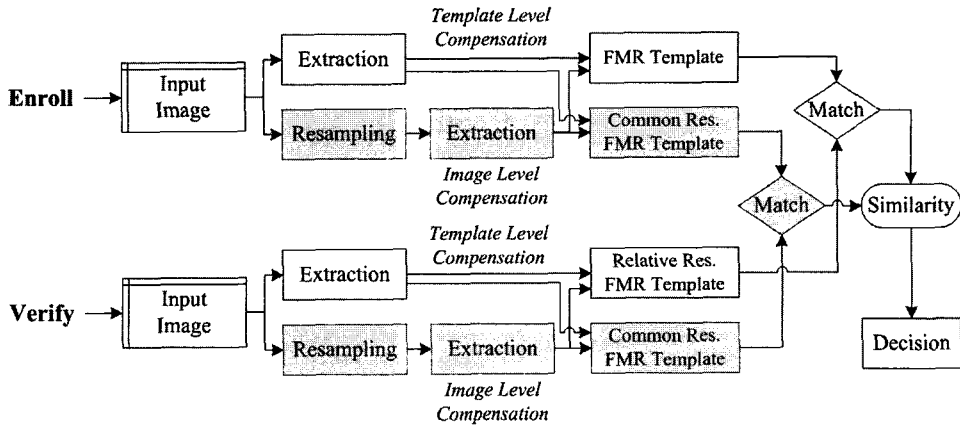
하는 기술을 제안한다. 따라서 지문 특징점(Minutiae)을 기반으로 ISO/IEC JTC1/SC37에서 제정하고 있는 국제 지문 특징점 표준 데이터 포맷을 준수하는 지문인식 알고리즘과 해상도 및 왜곡 특성이 이미 실험적으로 평가된 지문 입력 센서로 구성된 지문인식 모듈을 대상으로 지문입력센서의 해상도와 왜곡을 동시에 보정하는 방법을 제안한다. 이 방법은 템플릿 변환 방법과 영상 변환 방법으로 구분되는데, 본 논문에서는 템플릿 변환 방법에 초점을 둔다.

[그림 1]은 본 연구의 전체적인 개념도이다. 먼저 등록의 과정을 보면 입력 영상으로부터 특징점을 추출하여 특징점을 보정할 수도 있고 또는 영상을 리샘플링하여 보정된 영상으로부터 특징점을 나중에 추출할 수도 있다. 이렇게 추출된 특징점 템플릿은 500DPI, 종횡비 (Aspect Ratio) 1인 공통 해상도로 변환하여 저장할 수도 있고, 추출 결과를 그대로 저장할 수 있다. 다음으로 매칭의 과정을 보면 입력 영상으로부터 특징점을 추출하거나 영상을 리샘플링하여 특징점을 추출할 수 있으며, 추출된 특징점 템플릿은 등록된 센서에 준하는 형태로 모델링하는 상대적 해상도 방법과 500DPI, 종횡비 1인 공통 해상도로 변환하여 매칭 하는 두 가지 방법이 있다. 이 때 매칭 후 두 지문의 유사도를 산출하여 본인 인증 여부를 결정하게 된다.

본 논문의 구성을 살펴보면 다음과 같다. 2장은 이기종 지문 센서 호환을 위한 지문 특징점 데이터 포맷에 대해 분석하고, 3장은 다양한 지문 인식 센서의 성능 및 특성을 을 정량적·개관적으로 평가한다. 4장에서는 제안된 이기종간 지문 인증을 위한 보정 알고리즘을 설명하고, 5장에서는 보정 알고리즘을 적용한 이기종 센서 간 호환성 평가 결과를 분석한다.

II. 지문 특징점 데이터(Finger Minutiae Data) 국제 표준 포맷

바이오 데이터의 국제표준화를 위한 단체는 ISO/IEC JTC1/SC37(이하 “SC37”)이다^(7,8,9,10). SC37에서는 바이오인식 기술에 대한 용어의 정의에서부터 사회적 요소에 이르기까지의 모든 표준화 영역을 다루고 있다. 이 중에서도 이기종 지문인식과 가장 관계가 깊은 그룹은 WG(Working Group) 3로 생체인식 데이터 포맷을 담당한다. 본 연구에서는 다양한 바이오인식 데이터 포맷 중에서 ISO/IEC JTC1/SC37 IS 19794-2⁽¹⁰⁾의 특징점



(그림 1) 보정 알고리즘의 개념도

기반의 표준을 수용하면서 호환을 위해 특징점 추출 방법에 대해 정의한다.

지문 특징점 데이터 포맷은 [표 1]와 같이 헤더와 특징점 데이터 필드, 그리고 확장 데이터 필드가 사용되고 있다[3]. 영상의 크기 및 DPI 정보를 입력할 때 DPI는 cm당 픽셀수를 입력한다. Number of Finger View는 표준 템플릿을 구성하는데 사용된 모든 손가락의 수로 0~255 값을 가지며, 0 인 경우 하나의 손가락을 사용했음을 의미한다. 이상은 특징점 레코드의 헤더이며 이것에 연속하여 각각의 손가락에 대한 정보인 Single Finger Record Header가 정의된다. Finger Position, View Number, Impression Type, Finger Quality, Number of Minutiae가 그것이다. 각각의 손가락에 대한 헤더가 완성되면 추출된 특징점이 6 바이트의 데이터 정보로 구성되어 특징점의 개수만큼 더해지게 되는데 특징점의 위치를 위해 x, y 각각 2 바이트 씩, 방향은 1 바이트, 그리고 특징점의 Quality를 위해 1 바이트가 해당 되며 특징점의 타입은 특징점의 x 위치를 위해 할당된 2 바이트 중 상위 2 비트를 사용하여 타입을 정의한다.

본 연구에서는 이기종 센서간의 호환을 위해 [표 1]의 지문 특징점 데이터 포맷을 이용하였으며, 이를 본 연구에서는 이기종 상호호환 표준 포맷(Standard Interchange Format), 즉 SIF라고 칭한다.

III. 센서 성능 및 특성 평가

지문 센서의 입력특성은 센서의 하드웨어적인 특징 중 지문인식에 영향을 줄 수 있는 특징을 말한다. 센서의 하드웨어적인 특성에 속하는 항구성, 내구성 등은 지

문인식에 직접적인 영향을 미치지 않기 때문에 평가에서 고려하지 않았으며, 인식률에 직접적인 영향을 줄 수 있는 입력 특성 중 모델링에 필요한 해상도 측면에서 센서 평가를 실시하였다. 본 연구에서는 입력 센서 자체의 평가가 아닌 입력 센서로부터 취득한 영상을 기반으로 하여 평가를 수행하였다^[13,14]. 평가를 통해 취득한 각 센서별 영상 해상도는 보정 알고리즘의 모델링을 통하여 영상의 해상도 보정 및 왜곡 보정에 사용되며, 각 센서별 50 장의 샘플 영상을 통하여 측정된 데이터를 이용하였다. 평가한 데이터들은 95% 신뢰구간을 이용하여 표현하고 평균치를 이용하여 실제 모델링에 사용하였다^[15].

센서 평가는 Ink-Stamped 방법과 인조패턴을 이용하는 방법의 두 가지 방법을 이용하였으며, 첫 번째 방법은 Ink-Stamped 지문 영상과 Live Scan 지문 영상을 비교하여 해상도를 측정하는 방법이고, 두 번째 방법은 해상도 측정을 위해 제작한 정형화된 틀인 FAFP(Flat Artificial Finger Pattern)를 이용하여 취득한 영상과 Live Scan 영상과 비교를 통하여 해상도를 측정하는 방법이다. 이 때 FAFP의 제작을 위해 젤라틴을 이용할 경우 시간의 경과에 따라 수축하거나 비틀림이 생기게 되는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 이를 보완하기 위하여 실리콘을 이용한 FAFP를 제작하여 센서 평가에 이용하였다.

3.1. Ink-Stamped 영상을 이용한 방법

이 방법은 잉크를 이용하여 Ink-Stamped 지문을 획득하고, 이것을 스캐너를 이용하여 영상으로 변환한 후

[표 1] 지문 특징점 데이터 포맷⁽¹⁰⁾

		Field	Size	Valid Values	Notes
One per Record		Format Identifier	4 bytes	0x464D5200 (‘F’ ‘M’ ‘R’ 0x0)	“FMR” – finger minutiae record
		Version of this standard	4 bytes	n n n 0x0	“XX”
		Length of total record in bytes	4 bytes	24 - 4294967295	either 0x0018 to 0x0000FFFFFFFF
		Capture Equipment Certification	4 bits		
		Capture Device Type ID	12 bits		Vendor specified
		Image Size in X	2 bytes		in pixels
		Image Size in Y	2 bytes		in pixels
		X (horizontal) Resolution	2 bytes		in pixels per cm
		Y (vertical) Resolution	2 bytes		in pixels per cm
		Number of Finger Views	1 byte	0 to 255	
	Reserved byte	1 byte	00	0 for this version of the standard (reserved for future use)	
One per View		Finger Position	1 byte	0 to 10	See Table 2
		View Number	4 bits	0 to 15	
		Impression Type	4 bits	0 to 3 or 8	See Table 3
		Finger Quality	1 byte	0 to 100	0 to 100
		Number of Minutiae	1 byte		
One per minutiae		X (minutiae type in upper 2 bits)	2 byte		Expressed in image pixels
		Y (upper 2 bits reserved)	2 byte		Expressed in image pixels
		θ	1 byte	0 to 255	Resolution is 1.40625 degrees
		Quality	1 byte	0 to 100	1 to 100 (0 indicates “quality not reported”)
One per view		Extended Data Block Length	2 bytes		0x0000 = no private area
0+ per view		Extended Data Area Type Code	2 bytes		only present if Extended Data Block Length \neq 0
		Extended Data Area Length	2 bytes		only present if Extended Data Block Length \neq 0
		Extended Data	In prev. field		only present if Extended Data Block Length \neq 0
Each extended data area may contain vendor-specific data, or one or more of the following (in any order):					
0+ per view	Ridge count	Ridge count extraction method	1 byte	0 to 2	
		Ridge count data – idx #1	1 byte	1 to # of minutiae	
		Ridge count data – idx #2	1 byte	1 to # of minutiae	
		Ridge count data – count	1 byte		
		additional ridge counts...			
0+ per view	Core and delta data	Core information type	2 bits	0 to 1	
		Number of cores	4 bits	0 to 15	
		X location	2 bytes		
		Y location	2 bytes		
		Angle (if core info type \neq 0)	1 byte	0 to 255	
		Delta information type	2 bits	0 to 1	
		Number of deltas	4 bits	0 to 15	
		X location	2 bytes		
		Y location	2 bytes		
		Angles (if delta info type \neq 0)	3 bytes	0 to 255	
0+ per view	Zone	Cell Width	1 byte	1 to 255	
		Cell Height	1 byte	1 to 255	
		Cell Data Length	2 bytes	1 to 65536	
		Cell Information Bit Depth	1 byte	1 to 255	
		Cell Quality Data	CellDataLen		

이 영상과 입력 센서로 획득된 Live-scan 지문 영상 사이에서 동일한 특징점 쌍 사이의 화소의 개수를 측정하

는 방법이다. 그러나 이 방법은 지문의 상태인 압력과 습도 등의 변화에 따라서 지문의 특징점이 변화하기 때

문에 해상도의 변화가 크다는 단점이 있다.

특징점 쌍, p 는 live-scan 영상의 수직한 특징점 쌍을 나타낸다.

Step 1. 같은 손가락으로부터 같은 수의 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 전자저울을 사용해서 지문을 획득한다.

Step 2. 두 종류의 영상에서 동일하면서 일직선상에 있는 특징점 쌍을 찾는다. 수직한 특징점 쌍과 수평한 특징점 쌍 간의 직선이 직각인 특징점 쌍을 선택한다.

Step 3. Ink-Stamped 영상의 특징점 쌍 사이의 거리를 인치로 계산한다. (이때 스캐너의 규격에 따라 약간의 오차가 있을 수 있기 때문에 스캐너의 규격을 확실히 알아야 한다.) 그리고 Live scan한 영상의 특징점 쌍 사이의 거리를 픽셀로 계산한다. [그림 2]와 같이 i 번째 Ink-Stamped한 영상에서 i 번째 특징점 쌍을 d_{ij} (inch 단위)로 지정하고, i 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, 전자저울을 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.

Step 5. 센서의 평균 해상도 R_{mean} 은 수식 1과 같다. 수식 1에서 d 는 Ink-Stamped 영상의 수직한

$$R_{mean} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{p_i}{d} \right) \quad (1)$$

3.2. 인조 패턴을 이용한 방법

이 방법은 임의의 크기나 영상을 설정하여 평가하기 쉽고, Ink-Stamped 영상을 이용한 방법보다는 해상도의 변화가 작은 방법으로서, [그림 3]과 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 평가 의도에 맞는 실험을 하기에 유리하다. 해상도를 평가하기 위한 방법으로는 수평 방향에 대해 위, 중간, 아래의 3가지 해상도(수평 해상도: H_U, H_C, H_D)와 수직 방향에 대해서 왼쪽, 중간, 오른쪽 3가지 해상도(수직 해상도: V_L, V_C, V_R)를 정의한다. 이들 여섯 가지 해상도들은 [그림 3]과 같이 표현된다. 그리고 수평 방향과 수직 방향 간의 해상도 비율을 측정하기 위해 중횡비를 정의하였다. 이러한 인조 패턴을 이용한 방법은 다음 항목에서 평가할 왜곡율을 평가하기 위해 사용한다.

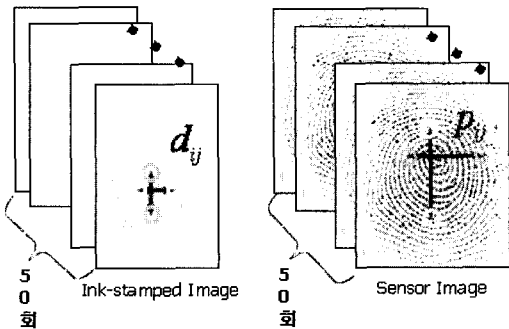
Step 1. 실제 패턴의 길이를 DPI로 나타내고, 실리콘으로 제작한 패턴으로부터 여러 장의 Live scan 영상을 획득한다. Live scan으로 취득한 횡수를 N 이라고 지정한다. 실제 패턴은 500 DPI를 기준으로 하였다.

Step 2. Live scan 영상에서의 특정 범위내의 사각형을 찾는다. 비교를 위하여 [그림 3]의 여섯 가지 해상도들을 이용한다.

Step 3. Live scan 영상의 사각형 사이에 수평방향과 수직 방향간의 거리를 인치로 계산한다. [그림 3]과 같이 j 번째 패턴의 i 번째 사각형을 a_{ij} 로 지정하고, j 번째 Live scan한 영상의 i 번째 사각형을 p_{ij} 로 지정한다.

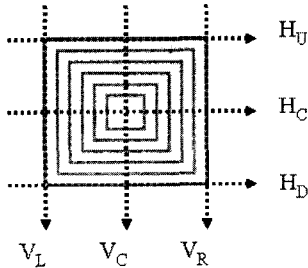
Step 4. 각각의 사각형에 대한 해상도는 수식 2와 같다.

Step 5. 센서의 평균 해상도는 수식 2와 같게 나타낸다. a_d 은 실제 패턴 영상의 여섯 가지 해상도, p_d 은 Live scan 영상의 여섯 가지 해상도를 나타낸다.



[그림 2] Ink-stamped 영상과 live scan 영상의 비교

$$R_{FAT} = \frac{\overline{p_d}}{a_d} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{p_{d_i}}{a_d} \quad (2)$$



[그림 3] 사각형 패턴을 이용한 해상도 측정

3.3. 해상도 평가 결과

지문 센서를 평가하기 위한 대상으로 [표 2]와 같이 광학식 센서 (3개), 반도체 방식 센서 (1개), 폴리머 (polymer) 방식 센서 (1개) 등 총 5 가지의 지문 입력 센서를 선정하였다. 각 센서의 영상 크기와 센서 해상도 평가 결과를 아래 [표 2]과 같다. 회사(vender)가 제시 하고 있는 해상도와 실 측정치는 약간의 차이가 있었으며, 특히 회사 제공 사양은 수평 및 수직 해상도의 구분이 없었으나, 평가 결과 수평 해상도와 수직 해상도가 다르게 나타나는 경우도 있었다. Ink-Stamped 방법에 의한 해상도 측정 방법은 쉽고 편리하게 수행할 수 있으나, 사용자의 지문 획득 습관에 따른 동일 특징점 쌍의 거리 차이가 발생함으로써 FAFP에 비해 오차가 더 크게 발생하였으며, FAFP의 경우 실리콘을 이용하여 패턴을 만들어 사용하였지만 반도체 센서는 패턴을 이용한 영상을 얻을 수 없었다. FAFP를 이용한 해상도 측정 방법은 정확하긴 하지만 센서의 특성에 따라 FAFP 영상을 얻을 수 없어 해상도를 측정할 수 없었다. 이에 따라 보정을 위한 알고리즘 개발을 위한 해상도

정보는 Ink-Stamped 방법과 인조 패턴을 이용한 방법의 결과를 상호보완적으로 이용하였다.

IV. 보정 알고리즘 개발

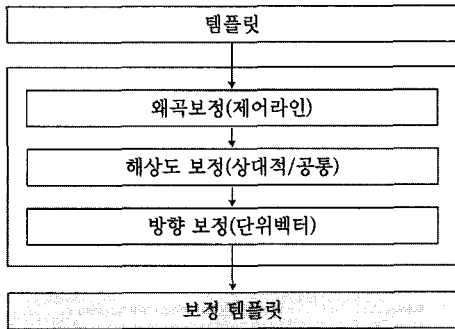
지문 인식은 다른 바이오 인식과 달리 바이오 정보를 취득하기 위해 센서의 입력면과 닿아야 한다는 것이다. 이는 손가락의 신축성(elasticity), 압력(pressure), 뒤틀림(distortion), 지문의 상태(disposition), 획득 시 움직임(motion) 등에 기인하여 여러 가지 다양한 변형(deformation)을 유발한다. 최근 들어 지문 획득 시 발생하는 지문 영상의 왜곡에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

매칭에 있어서 동일 특징점 쌍을 찾은 다음 Thin-Plate Spline 방법을 적용하여 왜곡을 모델링하는 방법 [17, 18], FEM(Finite Element Method)을 이용하여 Linear Equation의 해를 찾음으로써 Elastic Deformation의 Energy 분포의 통계치를 통하여 지문 영상에 발생하는 왜곡을 추정할 수 있다[19]. PSF(Point Spread Function)과의 Convolution을 통하여 두 지문 영상의 공통 영역에 대한 평균(Mean Local Stretch)과 영상의 차이(Discrepancy) 등을 이용하여 Linear Model을 정의하는 방법[20], Affine Transform을 이용하는 방법은 초창기 왜곡 모델링을 위하여 도입된 방법이지만 Linear Model만 가능하여 정확성이 다소 떨어지는 단점이 있다. Rigid and Non-Rigid Transformation Technique은 지문 영상의 중심 주위로 중심이 같은 세 개의 다른 영역을 선정하여 Non-Uniform Distortion을 모델링하고 Rigid와 Non-Rigid Transformation의 조합을 이용하여 왜곡을 모델링 한다[21]. Covariance Matrix를 이용하는 방법[22]은 Linear Transformation에 민감하고 Non-Linear를 고려하지 않으며 연산 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 이를 보완하기 위하여 Bending Energy를 이용하는 방법[23]등이 연구되어 왔다.

[표 2] 센서평가 결과

Sensor Company	Ink-Stamped		Flat Artificial Finger Pattern		Vendor Spec.
	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	
I (Optical)	429±6	437±5	441±3	442±3	460
G (Capacitive)	508±5	504±4	506±6	504±4	508
C (Optical)	484±5	497±4	495±2	500±4	500
A (Optical)	492±11	508±10	502±3	502±2	500
H (Polymer)	597±8	620±7	N/A	N/A	620

본 장에서는 이기종 지문 입력기에 의해 다양한 형태의 왜곡과 해상도로 획득된 지문 영상의 인식 성능을 높이기 위하여, 등록 영상 또는 등록 템플릿과 동일한 해상도 및 왜곡으로 변형하거나 공통의 동일한 해상도 및 왜곡으로 변환하는 기술을 제안한다. 본 연구는 [그림 4]와 같이 지문 특징점은 왜곡 보정, 해상도 보정 및 방향 보정을 거쳐 보정 템플릿을 얻게 된다.



(그림 4) 제안한 보정 알고리즘의 흐름도

본 연구는 이기종 지문입력기 지문 인식의 문제점을 해결하기 위해 지문인식 상호호환 표준 포맷인 SIF 템플릿으로부터 해상도(Resolution), 영상 크기(Image Size), 특징점(Minutiae) 정보를 추출하여, 템플릿을 구성하는 특징점의 위치와 방향을 보정하는 방법을 제안한다. 센서로부터 취득되는 영상은 센서의 타입(Type)과 센싱 방식, 공정 오차에 따른 왜곡이 존재하게 된다. 본 연구에서는 FAFP(Flat Artificial Finger Pattern)를 이용한 해상도 측정 방법을 이용하여 각각의 해상도 정보에 기반한 제어라인을 정의하고, 제어라인의 변형을 모델링함으로써 왜곡을 보정하는 방법을 제안한다.

보정 방법은 SIF 템플릿으로부터 해상도, 영상 크기, 특징점 정보를 추출하고, 추출된 해상도와 지문입력기로부터 입력된 영상의 해상도의 해상도 변환비(Transformation Ratio)를 구한다. 그리고 해상도 변환비에 따라 해상도 보정을 수행한 후, 보정된 영상과 보정된 템플릿으로부터 매칭(Matching)을 수행한다. 왜곡 보정은 제작한 FAFP를 이용하여 실제 영상의 해상도를 수평-상, 수평-중, 수평-하, 수직-좌, 수직-중, 수직-우에 대하여 측정된 값에 따라 각 센서에 맞는 제어라인을 설계하는 방법이다. 즉, 측정된 해상도 왜곡을 수평 평균 해상도와 수직 평균 해상도에 대하여 상대적인 비로 제어라인을 모델링하여 왜곡을 보상한다.

4.1. 해상도 보정

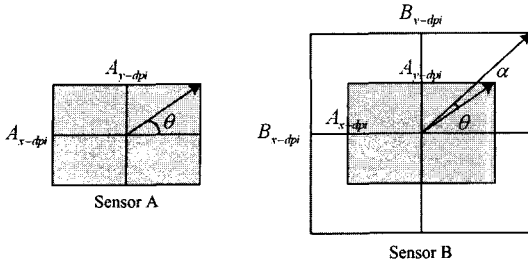
등록된 템플릿과 입력된 영상의 해상도 변환과 그에 따른 보정 처리를 템플릿 대 템플릿, 템플릿 대 영상, 영상 대 영상, 또는 가상의 공통해상도 500 DPI, 중횡비 1인 공통 포맷으로의 해상도 변환 등 여러 가지 다양한 접근법이 있을 수 있다. [그림 5]는 상대적 해상도(Relative Resolution Method) 변환의 변환비를 산출하는 방법을 보여주고 있다. 수평 해상도 변환비는 수식 3과 같이 구하고 수직 해상도 변환비는 수식 4와 같이 구할 수 있으며, 대상 센서의 해상도로의 변환을 위해서는 입력 영상 또는 템플릿의 수평 및 수직 좌표 값에 수평 및 수직의 변환비를 곱해 줌으로써 산출할 수 있다. 즉, 위치 보정 좌표(LC: Location Compensation)는 수식 5와 같이 산출하며, 원래의 특징점 작은 수식 6과 같이 구할 수 있으며, 특징점의 방향성 보정(AC: Angle Compensation)은 수식 7에 따라서 원래 방향각은 α 만큼의 보정이 발생한다. LC와 AC의 보정을 하나의 식으로 통합하면 보정 대상 템플릿에 대한 위치와 방향 보정은 수식 8로 나타낼 수 있다. 이렇게 산출된 영상 및 템플릿은 매칭을 위한 알고리즘의 입력으로 인가된다. 센서 A의 영상을 센서 B의 DPI에 맞도록 영상의 해상도를 변환한 결과이다. 이 때 n은 사분면의 인덱스를 나타낸다.

모든 영상과 템플릿을 공통 해상도 500 DPI, 중횡비 1인 공통 해상도를 대상으로 하여 변환을 수행한 다음 그 결과를 매칭의 입력으로 인가할 수 있다. 즉, 다양한 센서에 대하여 수평 및 수직 해상도 모두 500 DPI 공통 해상도로 변환한 영상을 이용할 수 있다. 이때의 수평 수직 해상도 변환비는 각각 수식 9와 수식 10으로 나타낼 수 있다.

$$R_{x-dpi} = \frac{B_{x-dpi}}{A_{x-dpi}} \tag{3}$$

$$R_{y-dpi} = \frac{B_{y-dpi}}{A_{y-dpi}} \tag{4}$$

$$LC = \begin{cases} x' = x \times R_{x-dpi} \\ y' = y \times R_{y-dpi} \end{cases} \tag{5}$$



[그림 5] 상대적 해상도 방법

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) \text{ 그리고 } \theta' = \tan^{-1}\left(\frac{y'}{x'}\right) \quad (6)$$

$$\begin{cases} \alpha = \theta' - \theta & 1,3\text{사분면} \\ \alpha = \theta - \theta' & 2,4\text{사분면} \end{cases} \quad (7)$$

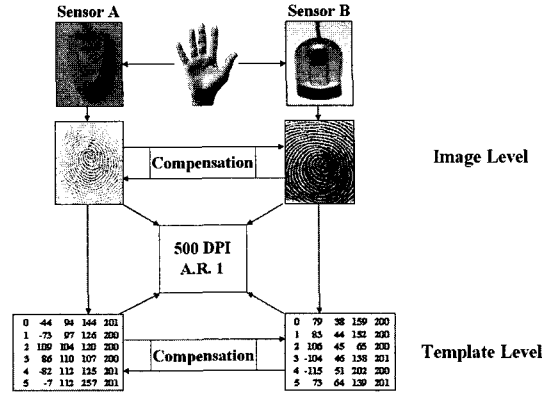
$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} R_{x-dpi} & 0 & 0 \\ 0 & R_{y-dpi} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ (-1)^{n+1} \alpha \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$R_{x-dpi} = \frac{500}{A_{x-dpi}} \quad (9)$$

$$R_{y-dpi} = \frac{500}{A_{y-dpi}} \quad (10)$$

4.1.1. 상대적 해상도 보정

상대적 해상도 방법은 이기종 입력 센서 간 매칭에 있어서 해상도를 보정하는 방법인데 매칭 대상이 되는 상대 센서의 사양에 맞도록 보정하여 주는 방법을 말한다. [그림 6]에서 보는 바와 같이 변환비가 등록 템플릿 (Enrolled Template, File Template)과 입력 영상(Input Image, Search Template)사이에서 정의될 때 상대적 해상도 방법(Relative Resolution Method)이고 등록 템플릿과 입력 영상이 모두 공통 해상도 500 DPI, 종횡비가 1인 것과의 변환비가 정의될 때 공통 해상도 방법(Common Resolution Method)이다. 이는 시스템 구성 시 선택적으로 정의될 수 있다.



[그림 6] 보정의 개념도

4.1.2. 공통 해상도 보정

공통 해상도 방법 역시 이기종 지문 입력 센서 사이의 매칭에 있어서 해상도를 보정하는 방법 중에 하나이다. 앞에서 설명한 상대적 해상도 방법은 입력된 센서의 종류와 타입 및 아이디(Equipment ID)를 안다는 전제 하에 또는 등록된 템플릿이 어떤 종류의 센서로부터 생성된 것인지 알고 있다는 전제 하에 매칭을 위한 상대 센서의 스펙에 준하는 해상도 정보를 가지도록 템플릿을 보정해주는 것이다.

공통 해상도 방법은 상대 센서에 대한 정보와 무관하게 등록되는 템플릿이든, 입력 영상으로부터 추출된 템플릿이든 동일하게 500 DPI의 종횡비 1의 사양을 가지는 영상 또는 템플릿의 형태로 변환하여 보정하는 것을 말한다. 500 DPI를 선정 한 이유는 현재 상용화된 입력 센서의 대부분이 500 DPI 스펙을 제공하고 있기 때문이다. 공통 해상도 방법의 보정 방법을 사용하게 되면 상대적 해상도에 비하여 추가적인 보정 절차를 수반하게 됨으로 보정 에러가 상대적 해상도에 비하여 더 부가될 가능성이 높다. 따라서 정확한 보정 알고리즘의 개발이 선행되어야 할 것이다. 이는 영상 레벨과 템플릿 레벨 모두에서 가능한 방법이며 영상 레벨 보정일 경우는 영상의 리샘플링 알고리즘이 추가적으로 더 필요하게 된다.

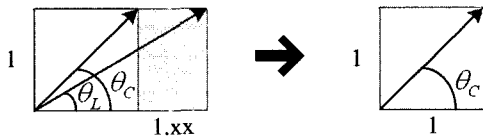
4.2. 단위벡터를 이용한 방향 보정

[그림 7]은 영상의 종횡비가 1이 아닌 영상을 1로 보정할 경우 나타나는 방향의 변화를 도시하고 있다. 종횡

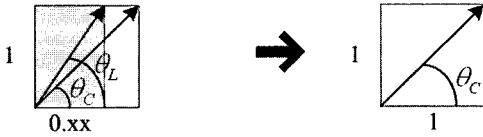
비가 1보다 클 경우 각이 커지므로 $\alpha = \theta_c - \theta_L$ 만큼 더해지고, 1보다 작을 경우 각이 작아지므로 $\alpha = \theta_c - \theta_L$ 만큼 빼준다. [그림 8]은 보정전의 각 θ 가 보정 후의 각 θ' 로 변할 때 θ' 를 수식 11과 같이 구할 수 있음을 보여준다.

$$\theta' = \tan^{-1} \frac{b'}{a'} \quad (11)$$

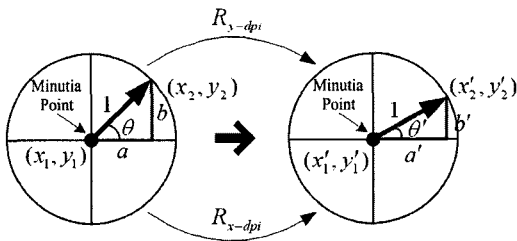
If Aspect Ratio > 1



If Aspect Ratio < 1



[그림 7] 보정 시 방향성 변화



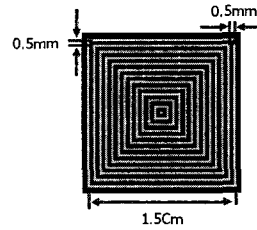
[그림 8] 보정 전후의 방향각 변화

4.3. 제어라인(Control Line)을 이용한 왜곡 보정

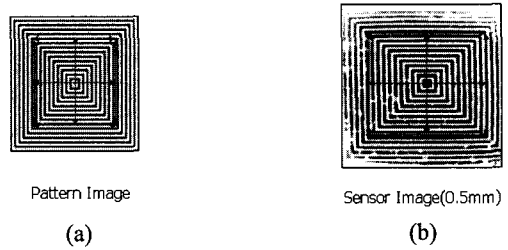
4.3.1 왜곡 보정 방법

[그림 9]는 센서의 왜곡을 보정하기 위한 센서의 해상도를 측정하기 위하여 사용한 FAFP의 사양을 나타내고 있으며, [그림 10]의 (a)와 같은 PCB기판 형태의 틀을 이용하여 FAFP을 만들어 센서로부터 획득한 영상의 해상도를 실험 데이터로 이용한다. [그림 10]의 (b)는 센서를 통해 획득한 패턴 영상을 보여주고 있다.

[그림 11]은 센서로부터 획득한 패턴영상으로부터 (1), (2), (3), (4), (5), (6)의 방향과 위치에 대하여 영상

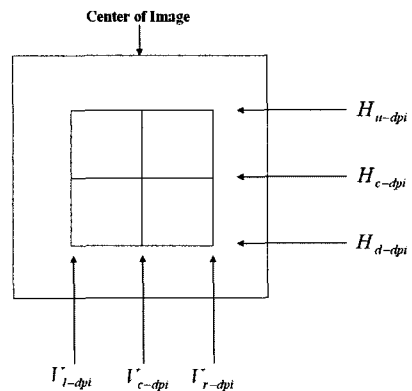


[그림 9] FAFP의 사양

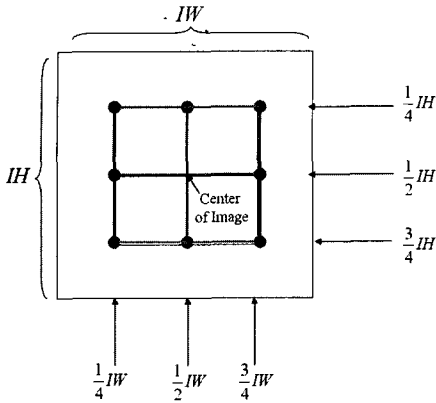


[그림 10] FAFP의 센서 영상

해상도를 측정한다. 보정을 위한 제어라인 역시 [그림 12]과 같이 6개를 정의하고 초기치를 영상의 폭(Width)과 높이(Height)의 1/4지점과 1/2지점에 잡는다. 그리고 영상의 수평 및 수직 평균 해상도를 구하고 각각의 평균 해상도를 [그림 12]와 같은 제어라인을 초기 위치와 길이를 갖도록 모델링하고 평균 해상도에 미치지 못하는 해상도에 대해서는 제어라인의 길이를 길게 보정하고, 평균 해상도를 넘는 해상도는 제어라인의 길이를 기준치 보다 짧게 모델링함으로써 [그림 14]의 (b), (c)와 같은 형태의 보정이 이루어지도록 모델링한다. 모델링의 순서도는 [그림 15]에서 보이고 있으며, 보정 후 최종적으로 대상 센서의 대표 해상도를 이용하여 해상도 변환을 수행하였다.



[그림 11] FAFP을 이용한 해상도 측정 방법



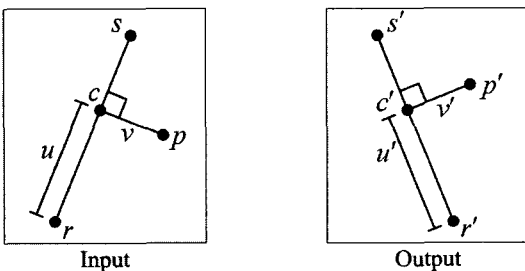
[그림 12] 왜곡 보정

이때 하나의 제어라인에 대하여 가중치 w 는 수식 12와 같이 주어지며, 거리 d 는 수식 13과 같이 정의된다. 따라서 변환의 대상이 되는 임의의 한 픽셀은 제어선에 가까울수록, 제어선의 길이가 길수록 주변 그 픽셀은 해당 제어선의 영향을 많이 받도록 모델링 된다. 모델링에 사용된 제어라인의 수는 모두 6개 이므로 최종적인 보정을 위한 식은 수식 14와 같이 정의된다.

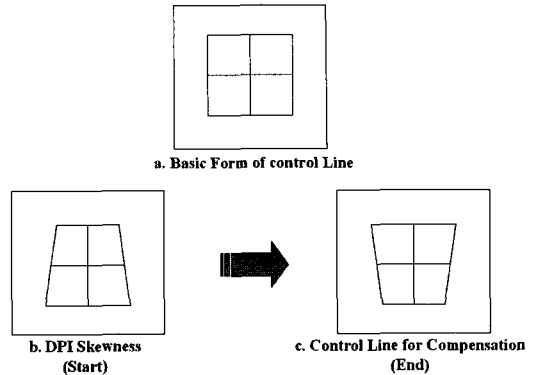
$$w = \left(\frac{r^c}{(a+d)} \right)^b \quad (12)$$

여기서, a = 제어라인이 의미를 가지기 위한 작은 값, b = 제어라인에 근처의 픽셀에 대한 가중치, c = 제어라인 길이에 대한 가중치, d = 제어라인과 변환 픽셀과의 거리

$$d = \begin{cases} |v| & 0 < u < 1 \\ \|p-r\| & u < 0 \\ \|p-s\| & u > 1 \end{cases} \quad (13)$$



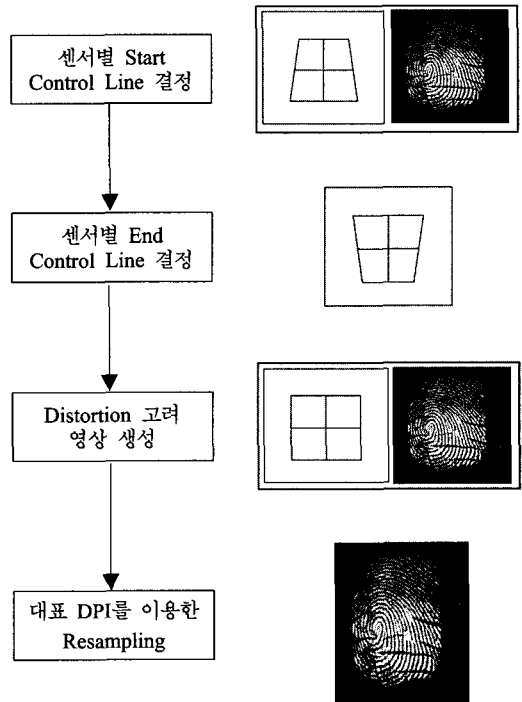
[그림 13] 제어라인의 파라미터 표현



[그림 14] 보정의 개념도

$$p' = T(p) = p + \frac{\sum_{i=1}^n w_i \Delta p_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \Delta p_i = T_i(p) - p \quad (14)$$

여기서, i = 제어라인의 인덱스, w = 가중치, p = 보정 대상 픽셀, p' = 보정된 픽셀, $T_i(p)$ = i 번째 제어라인에 의한 보정 결과, $T(p)$ = 모든 제어라인의 가중치를 고려한 보정 결과



[그림 15] 보정의 순서도

V. 이기종 지문입력 센서간 호환성 평가 실험

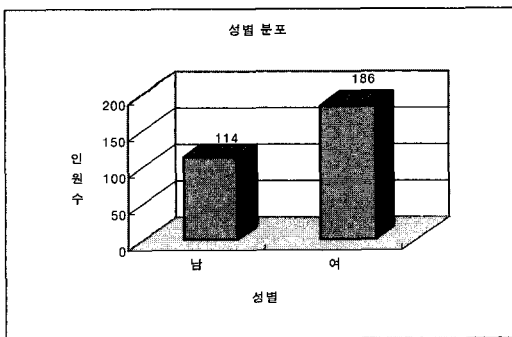
5.1. 성능 평가용 데이터베이스

본 연구에서는 이기종 센서의 호환을 위한 보정 알고리즘 평가를 위하여 다양한 지문입력 센서로부터 지문 이미지 데이터베이스를 구축하였다. 본 절에서는 실험에 사용한 데이터베이스를 소개하고, 개발한 보정 알고리즘의 호환성 평가 결과에 대해 고찰한다.

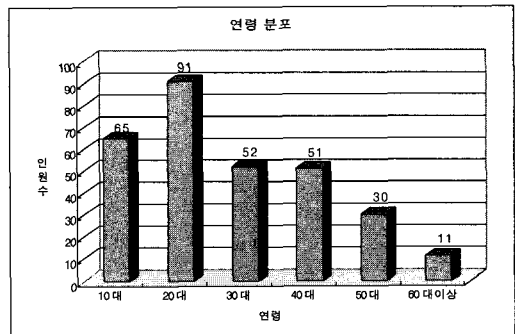
본 연구에서는 이기종간의 지문인식 알고리즘을 개발하기 위하여 국내 지문인식 업체 5개의 센서(디젠트, 니트젠, 슈프리마, 테스텍, 유니온커뮤니티)를 이용하여 양손의 엄지, 검지, 중지 6지에 대하여 5회씩 다섯 번 방문하여 총 25회의 지문 영상을 300명으로부터 수집

[표 3] 이기종 지문인식 성능 평가용 데이터베이스 사양

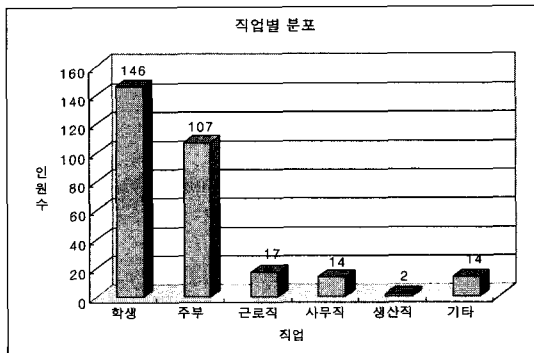
Item	Description	
Target Sensor	Optical	Nitgen, Digent, Unioncomm
	Capacitive	Suprema
	Polymer	Testech
Corpus	1st year	- 300 persons - 225,000 fingerprint images = 5 times visiting * 5 impressions * 6 fingers * 5 sensors * 300 persons
Environment	Indoor Office Environment	
Period	2005.07 ~ 2005.09	



(a) 성별



(b) 연령별



(c) 직업별

[그림 16] 이기종 지문인식 성능 평가용 데이터베이스 구성도

하였다. 다음의 [표 3]은 본 연구에서 구축한 지문 데이터베이스 사양에 대한 요약이며, [그림 16]은 데이터베이스의 성별, 연령별, 직업별 구성도이다.

5.2. 실험 방법 및 결과

본 연구의 실험 절차는 [그림 17]과 같이 각 사의 지문 이미지로부터 특징점 추출 알고리즘을 이용하여 SIF를 획득한다. 획득된 SIF는 보정알고리즘을 적용한 보정 템플릿으로 변환하고, 보정된 템플릿에 대하여 매칭을 실시하여 평가 하였다.

본 연구에서는 보정 전과 보정 후의 성능 변화를 평가하는데 주안점을 두었으며, 상대적 해상도 방법/공통 해상도 방법, 단위벡터방법/제어라인 방법 등에 따라 다양한 조합의 매칭을 수행하였다. 보정 방법에 따른 보정 템플릿은 [그림 18]과 같이 4가지와 Original 템플릿까지 해서 총 5가지의 템플릿이 존재하게 된다.

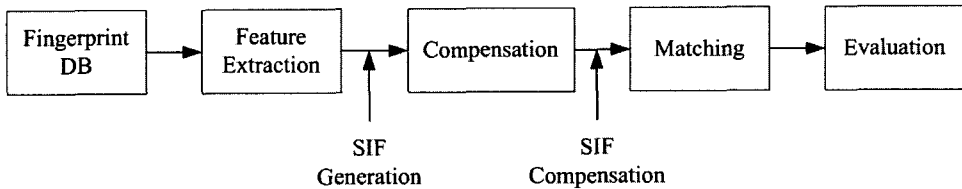
이들 보정 템플릿을 이용하여 보정 전(Before Compensation), 상대적 해상도 방법(Relative Resolution Compensation), 공통 해상도 방법(Common Resolution Compensation), 상대적 해상도 방법과 왜곡 보정 방법(Relative+Distortion Compensation), 공통 해상도 방법과 왜곡 보정 방법(Common+Distortion Compensation)에 따른 각 센서 당 5가지 경우에 대한 매칭 테스트를 수행하였다. 다음 [표 4]는 본 연구에서 실험한 보정 알고리즘 호환성 성능 평가표이다.

VI. 결 론

기존의 이기종 알고리즘은 센서마다의 기본 특성을 고려하지 않고 단순히 특징점 기반의 알고리즘의 문제점인 특징점 위치 변화만을 극복하기 위해 Ridge Count 알고리즘[16]만을 적용하였으며, 센서의 특성을 알고리즘에 충분히 반영하지 못했다. 또한 고유의 자체 알고리즘과 고유의 특징점 포맷을 이용함으로써 실험에 이용한 센서에 대해서만 이기종 매칭이 가능한 단점을 가지고 있었다.

이에 본 연구에서는 센서별 고유한 특성들을 반영하기 위해 알고리즘 개발에 앞서 각 센서별 영상 기반의 평가를 선행함으로써 그 특성을 보정 알고리즘 개발에 활용하였다. 특히 DPI와 종횡비는 센서의 하드웨어적 사양인 Scan Resolution과 획득된 영상 레벨에서의 실측치인 Image Resolution이 다소 차이가 있었으며, 실제 실험치를 이용한 알고리즘 개발에서도 그 성능 향상을 기대할 수 있었다. 또한, 기존 알고리즘에서 고려하지 않았던 센서 간 특징점의 방향성 및 위치를 DPI와 종횡비를 이용하여 보정하였으며, 지문 특징점 정보를 국제호환표준에 준수하여 표현함으로써 이기종 센서에 대한 매칭에 있어서도 그 호환성을 유지할 수 있도록 하였다. 그 결과 본 연구에서 개발한 보정 알고리즘을 이용하여 이기종간의 보정 전 보다 보정 후 매칭 결과가 64.8% 향상됨을 확인 할 수 있었다.

본 연구를 통해 이기종 지문 인식 시스템 통합 시 요구



[그림 17] 평가 과정

ORiGinal			Vender_ORG*.FMR
Relative DPI	Unit Vector Method		Vender_RUV*.FMR
Common DPI	Unit Vector Method		Vender_CUV*.FMR
Relative DPI	Unit Vector Method	Control Line Method	Vender_RUVCL*.FMR
Common DPI	Unit Vector Method	Control Line Method	Vender_CUVCL*.FMR

[그림 18] 생성된 보정템플릿 종류

[표 4] 보정 알고리즘의 호환성 성능 평가(EER)

EER	Before Compensation					
	Sensor A	Sensor B	Sensor C	Sensor D	Sensor E	Mean
Sensor A	1.10%	13.73%	10.26%	14.87%	36.93%	15.38%
Sensor B	13.66%	0.87%	3.60%	5.22%	26.76%	10.02%
Sensor C	10.19%	3.56%	1.19%	4.80%	31.48%	10.24%
Sensor D	15.01%	5.20%	4.82%	3.37%	28.34%	11.35%
Sensor E	37.02%	26.72%	31.90%	28.93%	6.82%	26.28%
Mean	15.40%	10.02%	10.36%	11.44%	26.06%	14.65%
EER	Relative Resolution Compensation					
	Sensor A	Sensor B	Sensor C	Sensor D	Sensor E	Mean
Sensor A		3.27%	4.13%	6.04%	15.34%	7.20%
Sensor B	4.81%		3.41%	5.17%	12.90%	6.57%
Sensor C	5.02%	2.87%		4.75%	16.69%	7.33%
Sensor D	6.98%	5.25%	4.75%		16.87%	8.46%
Sensor E	20.25%	14.66%	21.62%	19.61%		19.04%
Mean	9.27%	6.51%	8.48%	8.89%	15.45%	9.72%
EER	Common Resolution Compensation					
	Sensor A	Sensor B	Sensor C	Sensor D	Sensor E	Mean
Sensor A		4.85%	5.89%	6.95%	15.60%	8.32%
Sensor B	3.98%		2.90%	5.32%	13.06%	6.31%
Sensor C	5.88%	2.91%		4.76%	16.52%	7.52%
Sensor D	6.99%	5.25%	4.75%		16.87%	8.46%
Sensor E	17.99%	13.02%	16.45%	16.54%		16.00%
Mean	8.71%	6.51%	7.50%	8.39%	15.51%	9.32%
EER	Relative + Distortion Compensation					
	Sensor A	Sensor B	Sensor C	Sensor D	Sensor E	Mean
Sensor A		3.27%	4.13%	6.04%	15.36%	7.20%
Sensor B	4.81%		3.41%	5.17%	12.90%	6.57%
Sensor C	5.02%	2.87%		4.76%	16.68%	7.33%
Sensor D	6.98%	5.25%	4.76%		16.87%	8.46%
Sensor E	20.24%	14.66%	21.63%	19.63%		19.04%
Mean	9.26%	6.51%	8.48%	8.90%	15.45%	9.72%
EER	Common + Distortion Compensation					
	Sensor A	Sensor B	Sensor C	Sensor D	Sensor E	Mean
Sensor A		4.85%	5.90%	6.95%	15.59%	8.32%
Sensor B	3.99%		2.90%	5.32%	13.07%	6.32%
Sensor C	5.89%	2.91%		4.76%	16.52%	7.52%
Sensor D	6.98%	5.24%	4.75%		16.88%	8.46%
Sensor E	17.99%	13.01%	16.45%	16.55%		16.00%
Mean	8.71%	6.50%	7.50%	8.40%	15.51%	9.32%

되어지는 비용을 최소화하고 최종 사용자의 편의성을 도모할 수 있으며, 나아가 국가 간 바이오 정보 공유 및 출입국 관리 시스템에 적용하기에도 유용할 것이다.

참고문헌

[1] Hyosup Kang, Bongku Lee, Hakil Kim, Daecheol

- Shin, and Jaesung Kim, A Study on Performance Evaluation of the Liveness Detection for Various Fingerprint Sensor Modules,” AVBPA, Vol. 2688, pp. 574-583 2003. 6.
- [2] Tsutomu Matsumoto, Hiroyuki Matsumoto, Koji Yamada, and Satoshi Hoshino: “Impact of Artificial Gummy Fingers on Fingerprint System,” Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques IV, Vol.4677 pp. 275-289, 2002.
- [3] 한영찬, 김학일, “지문인식 호환을 위한 국제 표준화 동향,” 전자공학회지논문지, Vol.33, No.1, pp. 17-34, 2006. 1.
- [4] <http://www.bioapi.org/>
- [5] <http://www.ilo.org/>
- [6] <http://fingerprint.nist.gov/minex04/>
- [7] ISO/IEC JTC1/SC37 IS 19794-4, Biometric Data Interchange Formats Part 4: *Finger Image Data*
- [8] ISO/IEC JTC1/SC37 N947, Text of 2nd FCD 19794-3, Biometric Data Interchange Formats Part 3: *Finger Pattern Spectral Data*
- [9] ISO/IEC JTC1/SC37 N1229, Text of FCD 19794-8, Biometric Data Interchange Formats Part 8: *Finger Pattern Skeletal Data*
- [10] ISO/IEC JTC1/SC37 IS 19794-2, Biometric Data Interchange Formats Part 2: *Finger Minutiae Data*
- [11] 이남일, 강효섭, 김학일, “지문인식 센서 및 알고리즘 기술 동향,” 한국정보보호학회지, pp. 16-25, 2002.
- [12] Text of CD 19795-4, Biometric Performance Tasting and Reporting-Part 4: Performance and Interoperability Testing of Interchange Formats.
- [13] 이봉구, 남정우, 김학일, “영상 기반의 지문 인식 센서 평가 방법,” CISC 2005, Vol.15, No.1, pp.9-12, 2005. 6.
- [14] 남정우, 김학일, “신뢰구간을 이용한 영상 기반 지문 인식 센서 평가,” CISC 2005, Vol.15, No.2, pp.527-530, 2005. 12.
- [15] 남정우, 김학일, “지문 인식 센서 평가를 위한 통계학적 분석,” 정보보호학회논문지, Vol.16, No.4, pp.105-118, 2006. 8.
- [16] R. M. Bolle, S. E. Colville and S. U. Pankanti, “System and method for determining ridge counts in fingerprint image processing,” U. S. Patent No.6266433, 2001. 7.
- [17] Sergey Novikov and Oleg Ushmaev, “,” Proc. of the Int. Conf. On Audio Video-Based Personal Authentication, pp. 250-259, New York, 2005.
- [18] Ross, S.C. Dass and A.K. Jain, “A Deformable Model for Fingerprint Matching,” Pattern Recognition, Vol.38(1), pp.95-103, 2005.
- [19] Ushmaev O., Novikov S., “Registration of Elastic Deformations of Fingerprint Image of Automatic Finding of Correspondence”, Proc. MMUA03, Santa Barbara, CA, pp.196-201, 2003.
- [20] Sergey Novikov and Oleg Ushmaev, “Registration and Modelling of Elastic Deformations of Fingerprints”, Biometric Authentication (ECCV 2004 International Workshop, BioAW 2004), Prague, Czech Republic, May 2004, Proceedings. Springer, Eds. Davide Maltoni, Anil k. Jain. pp. 80-88, 2004.
- [21] Jain, A.K., Hong, L., Pankanti, S., Bolle, R., 1997. An Identity-Authentication System Using Fingerprints. Proc. IEEE. 85 (9), pp.1365-1388.
- [22] Jain, A.K., Prabhakar, S., Hong, L., Pankanti, S., 2000. Filterbank-Based Fingerprint Matching. IEEE Trans. Image Processing. 9 (5), pp.846-859.
- [23] Cummins, H., Midlo, C., 1976. Finger Prints, Palms and Soles: An Introduction to Dermatoglyphics. Research Publishing Company, South Berlin, MA.

〈著者紹介〉



장 지 현 (Jihyeon Jang) 정회원

2002년 2월 : 대진대학교 컴퓨터공학과 학사 졸업
 2004년 2월 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사 졸업
 2004년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 정보통신공학과 박사 과정
 <관심분야> 생체인식, 생체인식 표준화, 정보보호



김 학 일 (Hakil kim) 종신회원

1983년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 학사 졸업
 1985년 8월 : (미) 퍼듀대학교 전기컴퓨터공학과 석사 졸업
 1990년 8월 : (미) 퍼듀대학교 전기컴퓨터공학과 박사 졸업
 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) Rapporteur
 <관심분야> 생체인식, 생체인식 표준화, 정보보호