

블록 레벨의 분류 특성을 이용한 지문 영상의 품질 측정 방법*

문지현,^{1†} 김학일^{1‡}

¹인하대학교 정보통신공학과

Scoring Method of Fingerprint Image Quality using Classified Block-level Characteristics

Ji-hyun Moon,^{1†} Hak-il Kim^{1‡}

¹School of Information and Communication Engineering, Inha University

요 약

입력이 되는 지문 영상의 품질은 지문 인식 시스템의 전체 인식 성능에 다양하게 영향을 미친다. 지문 영상의 품질은 추출, 정합 등의 알고리즘 내에서도 중요한 정보로 활용되는데, 특히 센서 입력부에서의 품질 측정 및 평가는 불필요한 처리 과정을 줄여 시스템의 전반적인 안정성을 유도하는데 사용되는 만큼 매우 중요한 과정이 된다. 본 논문에서는 기존의 많은 연구 결과들과는 달리 센서, 인식 알고리즘, 손가락의 특성에 독립적인 지문 영상 품질을 정의하였다. 또한 이의 측정을 위하여 지문 영상의 지역적 특성들만을 이용한 새로운 품질 측정 방법도 제안하였다. 제안하는 품질 측정 방법은 블록별 품질 특성 분류 결과를 이용하여 전체 지문 영상의 품질을 수치화하는 것으로, 본 논문에서는 FVC에서 사용된 몇 가지 서브 데이터베이스들을 이용하여 제안하는 방법의 유용함을 증명하였다. 실험 결과는 NIST의 NFIQ, AWARE사의 QualityCheck 품질 측정 알고리즘들과 비교되었는데, 이들 알고리즘들에 비해 제안하는 측정 방법이 인간의 시각적 분류 기준과 유사한 결과를 보였다.

ABSTRACT

The purpose of this research is to propose a method for scoring the quality of a fingerprint image using the local information derived from the fingerprint image. In previous works for the quality measuring, most of the quality scores are related to the performance of a matching algorithm, and this makes the quality result more subjective. The quality score of a fingerprint image proposed in this work is sensor-independent, source-independent and matcher-independent one, and this concept of fingerprint sample quality results in effective improvement of the system performance. In this research, a new definition of fingerprint image quality and a new method for measuring the quality are proposed. For the experiments, several sub-databases from FVCs are used and the proposed method showed reasonable results for the test database. The proposed method can be used in various systems for the numerous purposes since the quality scores generated by the proposed method are based on the idea that the quality of fingerprint should be sensor-independent, source-independent and matcher-independent.

Keywords : *Quality score of fingerprint image, Multiple measures, Classification, Sensor-independent, Matcher-independent*

접수일: 2006년 9월 26일; 채택일: 2006년 12월 6일

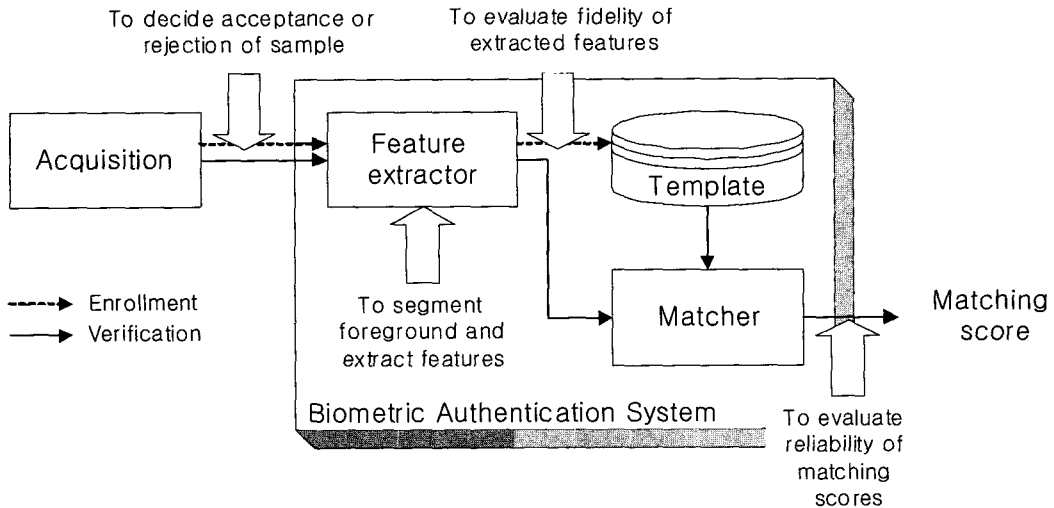
† 주저자, jhmoon@vision.inha.ac.kr

‡ 교신저자, hikim@vision.inha.ac.kr

I. 서 론

지문 인식 시스템은 [그림 1]의 일반적인 생체 인식 시스템들과 같이 입력, 추출 및 등록, 정합의 세 가지 프로세스들로 구성된다. 여기에서 입력부는 센서를 이용하여 지문 영상을 취득하고, 추출 및 등록부는 취득한 지문 영상으로부터 특징점들을 추출하여 템플릿의 형태로 저장하며, 정합부는 이전 단계에서 추출한 템플릿과 기 저장된 템플릿을 비교하여 개인 인증 결과를 표현한다. 지문 인식 시스템의 성능은 이 세 프로세스들의 성능 개선 시 향상될 수 있는데, 각 부분의 성능 향상에 가장 큰 영향을 미치는 것은 지문 영상의 품질이다. [그림 1]에서와 같이, 먼저 지문 영상의 품질 측정 결과는 입력부에서 취득된 영상의 사용 여부를 결정하는데 필요한 중요한 자료가 된다. 시스템의 입력으로 들어온 지문 영상에 대해 정합에 필요한 특징점들을 추출하는 과정에 있어서도, 지문 영상의 품질 및 특성 상태를 알 수 있다면 각각의 품질 특성에 맞게 영상을 전처리 하는 것이 가능해진다. 또한 지문 영상의 품질 측정 결과를 이용하여 의사특징점일 확률이 높은 특징점들을 정합 시 제외시키면 정합 점수의 신뢰도가 높아질 뿐만 아니라 false match rate도 효과적으로 감소시킬 수 있게 된다.

이와 같이, 지문 인식 시스템에 있어서 정확한 지문 영상 품질 측정의 중요성이 전 세계적으로 증가함에 따라 최근 지문 영상 품질의 측정 및 이의 활용에 관한 연구 결과들이 다수 발표 되었는데, 이들 중 대표적인 몇 가지를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 Yau[1]는 지문 영상이 가진 지역적, 전역적 특성들을 정량화하여 그들의 가중치 합으로 해당 지문 영상의 품질을 수치화하고, 계산한 지문 영상 품질 점수의 검증을 위하여 추출한 특징점들의 개수 정보를 이용하였다. Koo[2]는 지문 영상의 품질을 측정하기 위해 Gabor feature를 이용하는 방법을 사용하였다. Jain[3,4]은 Fourier 공간에서 구할 수 있는 정보들을 이용해 지문 영상의 품질을 계산하였으며, NIST에서는 Tabassi[5,6] 등이 direction map, low contrast map, low flow map, high curve map의 네 가지를 이용하는 품질 측정 알고리즘 NFIQ(NIST Fingerprint Image Quality)를 개발하였다. 논문으로 발표된 이와 같은 문헌들 이외에도 지문 영상의 품질에 관한 연구 성과의 하나로 ISO/IEC JTC1 SC37의 표준 문건이 있다. 생체 정보의 품질에 관한 표준 제정이 SC37의 WG3에서 프로젝트 29794[7,8]로 진행 중인데, 그 중에서도 part 4(29794-4)[8]에서 지문 영상의 품질에 대한 내용을 다루고 있다. 본 프로젝트는



(그림 1) 일반적인 생체 인식 시스템의 시스템 기능 흐름도

[표 1] BioAPI에서 정의한 지문 영상 품질 카테고리(7,8)

Quality category	Definition
Excellent (76~100)	The fingerprint sample will result in good authentication performance in all application environments.
Adequate (51~75)	The fingerprint sample will result in good authentication performance in most application environments. For demanding applications, it may be necessary to obtain a higher quality sample.
Marginal (26~50)	The fingerprint sample may result in poor authentication performance. If possible, replace the fingerprint sample with a new sample.
Unacceptable (1~25)	The fingerprint sample cannot be used for proper authentication.

생체 정보의 품질에 대한 중요성이 크게 대두되어 2005년에 처음 시작되었으나 아직 구체적인 내용은 정리되어 있지 않은 상태이다. 29794-4에서 품질 표현을 위해 사용하는 품질 분류 방식은 [표 1]과 같이 BioAPI에서 정의한 품질 표현 방식을 그대로 수용하고 있다.

이렇듯, 최근 지문 영상의 품질 측정 및 그 활용에 관한 연구가 활발히 진행 중에 있으나 기존의 방법들은 다음의 세 가지 문제점들을 가지고 있다. 첫 번째는 기존 방법들이 제안하는 품질 측정 방법이 그 결과를 이용하는 정합 알고리즘의 성능과 밀접하게 관련되어 있다는 것이다. 이는 지문 영상 자체의 특성에 상관없이 품질이 결정되어 지문 영상 간 측정 품질의 비교가 어려워지며, 정합 알고리즘이 다른 두 품질 측정 알고리즘의 품질 결과를 객관적으로 비교할 수 없게 되는 문제가 있다. 두 번째는 한 사람의 동일 손가락에서 취득한 서로 다른 센서로부터의 지문 영상들에 대하여 기존의 방법들은 일관된 품질 측정 결과를 도출할 수 없다는 점이다. 즉, 현재의 품질 기준으로는 같은 사람은 동일 손가락이라 할지라도 사용하는 센서에 따라 지문 영상의 품질이 좋게 측정될 수도, 나쁘게 측정될 수도 있게 된다. 세 번째는 지문 인식 시스템에서 입력으로 사용하는 지문 영상에는 지문 취득 시의 손가락에 대한 정보가 반영되지 않는다는 것이다. 따라서 지문 영상 내의 특성 이외의 요소들로 지문 영상의 품질을 결정하는 기존의 방식은 문제가 있다.

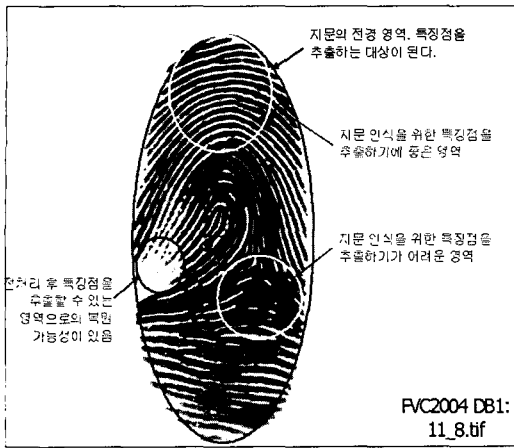
앞에서 나열한 지문 영상 품질 측정 및 평가 시의 문제점들을 극복하기 위하여, 본 논문에서는 기존의 방법과는 다른 방식으로 지문 영상의 품질을 정의한다. 정의하는 지문 영상의 품질은 정합 알고리즘에 독립적이고 취득 시의 지문 센서의 특성에 독립적이며 지문 취득 시 사용한 손가락의 상태에도 독립적이다. 또한 본 논문

에서는 이와 같이 새로 정의한 영상 품질을 잘 구분할 수 있는 지문 영상 품질 측정 방법론을 제안한다. 제안하는 품질 측정 방법은 블록 레벨의 특성 정보들을 이용하여 전체 지문 영상의 품질 값을 수치로 표현하는 것으로, 크게 블록 레벨의 지문 품질 측정 단계와 전체 영상의 품질 측정 단계의 두 단계로 나뉜다. 블록 레벨의 지문 영상 품질 측정 단계에서는 블록 별 특성 정보의 수집, 수집한 정보들의 분류, 분류한 블록 정보의 수치화라는 세 가지 과정을 통해 각 블록별 지문 영상의 품질을 정량화 한다. 이렇게 정량화된 블록별 품질 값들을 이용하여 전체 지문 영상의 품질 특성을 수치화하는데, 이 과정에서는 전경 부분의 지문 영상에 대한 블록 레벨의 품질 값들을 가중 합산하게 된다. 실험을 통하여, 본 논문에서 제안하는 품질 정의 및 측정 방법이 기존의 방법에 비해 보다 객관적인 관점에서의 품질 분류를 가능하게 한다는 것을 보였으며, 제안하는 방법이 앞에서 제시한 기존 방법들의 세 가지 문제점들을 해결할 수 있는 방법이 될 수 있음을 보였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 먼저 2장에서 본 논문을 통해 제안하고자 하는 새로운 방식의 지문 영상 품질을 정의한다. 정리된 지문 영상 품질 정의에 따라 해당 품질을 구분 가능하게 하는 지문 영상 품질 측정 방법을 3장에서 소개한다. 4장에서는 3장에서 정리한 품질 측정 방법을 이용한 실험 결과 및 그 결과를 분석하여 정리하며, 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론 및 향후 연구 방향에 대해 논한다.

II. 지문 영상 품질의 정의

지문 영상은 [그림 2]와 같이 크게 지문 전경과 배경의 두 부분으로 나뉜다. 일반적으로 지문 영상에서의 품



(그림 2) FVC2004에서 사용된 지문 영상의 예

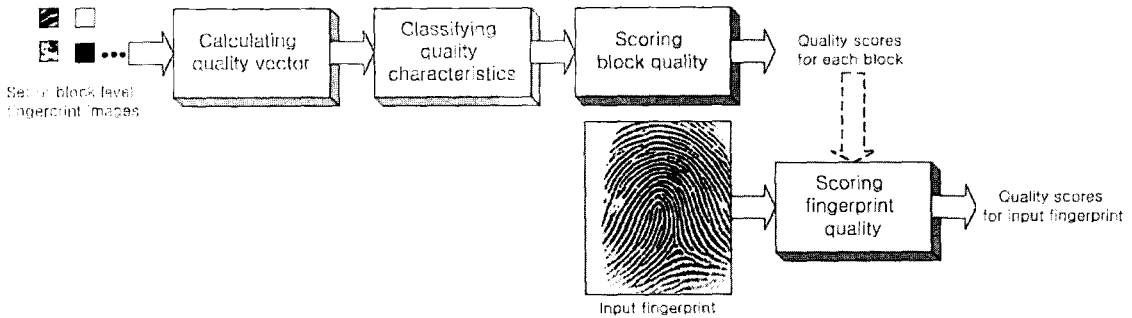
질 측정은 지문의 전경 영역만을 대상으로 하는데, 최근에는 지문 입력 센서의 소형화로 인하여 배경이 없는 지문 영상의 취득도 가능해졌다. 하나의 지문 영상은 서로 다른 특성을 가진 다수의 부분 영역으로 나뉠 수 있는데 이는 [그림 2]에 보이는 바와 같다. [그림 2]는 FVC2004[9]에서 사용된 지문 영상 중 하나로 전경과 배경의 구분이 뚜렷한 대표적인 영상이다. [그림 2]를 보면, 같은 전경 내에서도 특징 추출에 문제가 없을 정도로 상태가 좋은 영역과 전처리가 필요한 영역, 전처리를 거처도 의미 있는 특징점들을 추출하기 어려운 영역 등이 흩어져 분포하고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 모든 지문 영상들은 그 전경 내에 하나 이상의 영상 특성들을 포함하게 되며, 이러한 부분 영역의 특성들이 모여 전체 영상의 품질을 결정하게 된다. 지문 영상의 품질 결정에 사용되는 부분 영역의 특성들은 영상 자체의 정성적 특성과 추출 결과에 영향을 미칠 수 있는 요소 등을 고려하여 정의되어야 하며, 이로써 정합 알고리즘, 센서, 손가락 특성에 독립적인 지문 영상의 품질을 정의할 수 있게 된다.

[그림 2]에서 보이는 바와 같이, 하나의 지문 영상 안에는 서로 다른 특성을 보이는 다수의 영역이 다양한 크기로 분포하고 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 지문 영상 품질 정의의 기본 단위는 서로 다른 영상 특성이 구분 가능한 최소 영상 크기로 정하였다. 실험에서는 이 최소 영상 크기를 16x16 픽셀로 이루어진 한 블록으로 결정하였는데, 이는 실험 대상이 되는 지문 영상들이 500dpi 센서를 통해 취득된 것이라는 전제를 바탕으로 한 것이다. 즉, 본 연구의 실험에 사용한 블록의 크기는

[표 2] 블록 지문 영상의 품질 정의

블록 품질 이름	블록 품질 정의	블록의 예
Well-defined	융선의 방향성이 쉽게 구분되며, 융선과 골 사이의 구분이 뚜렷함	
Dimmed	대부분의 융선 구조가 구분 가능하나, 융선과 골 사이의 화소차가 작음	
Smudged	평행한 두 융선이 정확하게 구분되지 않으며, 융선들 사이의 간격이 좁음	
Corrupted	융선의 구조를 파악하기 어려우나, 배경과 구분되는 화소값들의 집합이 존재함	

한 블록 내에 해당 블록의 특성을 가늠할 수 있는 융선이 1.5~2개 정도 포함될 수 있도록 결정된 것이다. 이와 같은 블록 영상 영역의 품질은 [표 1]에서와 같이 크기에 따라 네 가지 특성들로 정의되는데, 각각을 'well-defined', 'dimmed', 'smudged', 'corrupted'로 명명하였다. 'well-defined'는 지문 전경 영역 중에서도 융선의 흐름이 전체적으로 선명하여 특징점들을 찾아내는 데 어려움이 없는 영상 영역을 뜻하며, 'dimmed'는 융선의 방향성은 파악 가능하나 뚜렷하게 구분 가능한 정도로는 선명하지 않은 영상 영역을 뜻한다. 또한 'smudged'는 지문 영상 취득시의 강한 압력 또는 피부 상의 유·수분 등으로 인하여 융선 사이의 골이 융선과 구분되지 않는 영역을 말하며, 'corrupted'는 선은 분명하나 융선이라 판단할 수 있을만한 방향성, 주기성 등을 가지지 못한 영역을 말한다. 각 품질 정의에 따른 예제 블록들은 [표 2]에 보이는 것과 같다. 이와 같이, [표 2]에 정리된 특성들은 블록 레벨에서 보이는 영상의 정성적인 특성들을 객관적인 관점에서 구분한 특성들로 정리한 것으로, 정합 알고리즘의 성능과 무관하고 센서의 특성에 독립적이며 영상 취득 손가락의 상태와 관계없이 분류 가능하도록 정의하였다. 이와 같은 블록 레벨의 지문 영상 품질이 정합 알고리즘의 성능과 무관할 수 있는 것은 일반적인 정합 알고리즘들이 사용하는 특징점들의 정보와 정합 후의 점수가 지문 영상의 품질에 영향을 주지 않기 때문이다. 또한 제안하는 품질 정의가 센서의 특성에 독립적일 수 있는 것은 센서들마다 나타내는 신호적 차이에 무관한 영상 상의 픽셀들이 보이는 특성들만을 기준으로 하기 때문이다. 입력 영상 취득 시의 손



(그림 3) 제안하는 지문 영상 품질 측정 방법의 전체 기능 흐름도

가락의 상태는 시스템이 정합 점수를 산정할 시의 고려 대상이 될 수 없으며, 본 연구에서 정의한 품질은 이와 같은 손가락의 상태가 영상 상에 표현되었을 때의 특성들로 품질을 분류하였기 때문에 또한 새로운 품질 정의로서의 의의를 가진다.

III. 지문 영상의 품질 측정 방법

본 논문에서는 지문 영상의 품질을 결정하기 위하여 블록 레벨의 지문 품질 정량화 단계, 영상 레벨의 지문 품질 정량화 단계의 두 가지 과정을 거치는데, 이는 [그림 3]에 정리되어 있는 바와 같다. 먼저 첫 번째 단계에서는 2장에서 정의한 지문 블록의 품질 특성을 이용하여 각 블록의 품질 특성을 수치로 표현한다. 그 다음으로 두 번째 단계에서는 블록 별 품질 점수들을 이용하여 전체 지문 영상의 품질을 정량화한다. 다음에서 각 단계에 대하여 보다 자세히 정리해본다.

3.1 블록 레벨의 지문 품질 정량화 단계

블록 레벨에서의 지문 품질을 정량화하기 위하여 다음의 세 가지 세부 단계를 수행한다. 각 단계에서 사용되는 입력 지문은 16x16 픽셀 크기를 갖는 블록 영상으로 구성되며, 이 단계에서의 최종 출력 결과는 블록 영상 하나에 대한 정량화된 품질 점수 값이 된다. 그리고 이러한 블록 품질 점수 값들은 전체 영상의 품질 점수를 결정하는데 있어서 중요한 자료로 활용된다.

3.1.1 품질 측정치들의 계산 (Calculating quality vector)

기존의 연구 결과들을 보면, 지문 영상의 품질을 결

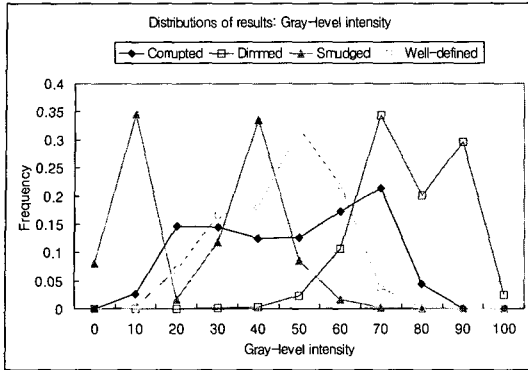
정하기 위하여 다양한 측정치들이 사용된 바 있는데, 그 대표적인 것들로는 화소값들의 평균과 분산[10,16], 방향성 대조[10,17,20], Gabor feature들[2,18], principal component들[1,4], fourier spectrum[4,19] 등이 있다. 이와 같은 측정치들 중에는 그 특성에 따라 서로 깊은 상관성을 가지는 것들이 함께 포함되어 있다. 예를 들면, 방향성 대조와 principal component들을 이용하는 방법은 둘 다 융선의 방향성 유무에 밀접한 관련성을 보인다. 이렇게 기존 연구에서 사용되었던 많은 품질 측정치들 중 상관성 분석[11,12]을 통해 서로 간 상관성이 낮은 세 가지 품질 측정치들을 선택할 수 있었으며, 이들 세 가지는 다음과 같다.

(1) 평균 화소값 (Gray-level intensity)

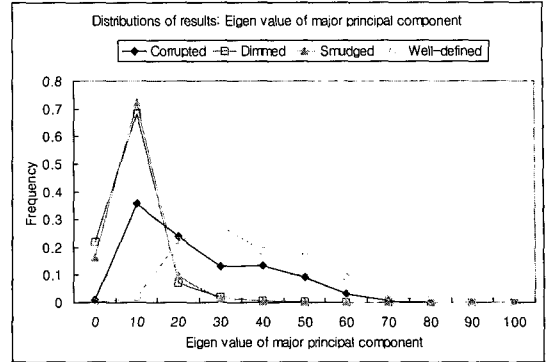
평균 화소값(M)은 해당 블록 내의 화소값들의 평균으로 정의되며, 이를 자세하게 표현하면 식 (1)과 같다. 식 (1)에서 k 는 해당 블록의 인덱스를, N 은 블록의 가로 또는 세로의 크기($N=16$)를 나타내며, P_{ij} 는 해당 블록 내 픽셀의 화소값을 나타낸다.

$$M_k = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_{ij} \tag{1}$$

Gray-level intensity는 전경과 배경을 구분하는데 있어 가장 간단하고 유용한 측정치가 된다. 즉, 융선의 유무를 판단하는데 있어서 가장 기본이 되는 정보를 주는 측정치로 사용 가능하다. 지문 영상에서 융선을 0에 가까운 화소값으로 표현한다고 할 때, 2장에서 정의한 네 가지 블록 품질 특성들은 다음의 [그림 4]와 같은 결과를 보여준다. [그림 4]에서 알 수 있듯이, 평균 화소값을 이용할 경우 ‘dimmed’와 ‘smudged’ 블록들 간의 구분은 명



(그림 4) 블록별 평균 화소값들의 분포



(그림 5) 블록별 주성분 최대 고유값들의 분포

확해지나, 'corrupted' 블록들을 제대로 구분할 수 없으며, 'well-defined' 블록들 역시 구분이 어려워지게 됨을 알 수 있다. 또한 이와 같이 단순히 intensity만을 고려 대상으로 하는 경우 'well-defined' 블록이 'dimmed' 블록보다 작은 값으로 표현되는데, 이는 옵션이 검은색(0)으로 표현되는 지문 센서의 특성에 기인한다.

(2) 주성분의 최대 고유값 (Eigen value of major principal component)

본 논문에서 제안하는 품질 측정 방법을 위해 실험 시 사용한 남은 두 가지 방법은 주성분 분석(Principal Component Analysis, PCA) [11,12]을 통해 얻어지는 것들이다. 주성분 분석이란 고차의 데이터 집합에 대해 상관성이 있는 데이터들끼리 선형 결합 형태로 묶어 다루기 쉬운 몇 개의 성분으로 데이터를 축약하는 기법이다. 품질 특성을 측정하기 위하여 주성분 분석의 입력으로 사용되는 정보는 식 (2)의 첫 번째 식과 같은 x, y 방향의 gradient 값들이다. 주성분 분석을 이용하면 고유값 두 개가 계산되는데, 이들 중 가장 큰 값(L)을 지문 영상의 품질 특성 구분에 사용한다. 이 값을 구하는 방법은 식 (2)의 두 번째 수식과 같다. 식 (1)과 마찬가지로 k는 해당 블록의 인덱스를, N은 블록의 가로 또는 세로의 크기(N=16)를 나타내며, dx와 dy는 각각 x, y 방향으로의 gradient 값을 나타낸다.

$$C = E \left\{ \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dx & dy \end{bmatrix} \right\}, E \{ \bullet \} \equiv \frac{1}{N} \sum_N \bullet$$

$$L_k = \frac{(a+b) + \sqrt{(a-b)^2 + 4c^2}}{2} \quad (2)$$

식 (2)를 이용하면 각 블록이 제 1 주성분이 나머지에 비해 강한 방향성을 가지는 경우를 큰 값으로 표현할 수 있게 된다. 즉, 방향성이 난잡하면 할수록 제 1 주성분의 값은 작아지게 되는 것이다. [그림 5]는 본 논문에서 제안하는 품질 정의에 따른 식 (2)를 이용한 결과들의 분포를 표현한 것이다. [그림 5]를 보면 최대 주성분 고유값 L은 'well-defined', 'corrupted' 사이의 구분에 어려움이 있을 뿐만 아니라 'dimmed'와 'smudged' 간의 품질 구분에도 유용하지 못함을 알 수 있다.

(3) 주성분 비율 (Proportion of principal components)

지문 영상의 품질 측정을 위해 사용하는 세 번째는 앞에서 설명한 주성분 분석 결과로 얻어지는 두 고유값들의 비율이다. 식 (2)에 계속하여, 이 주성분 비율(R)을 구하는 방법은 식 (3)과 같이 표현된다. 식 (2)에서와 마찬가지로, k는 해당 블록의 인덱스, N은 블록의 가로 또는 세로의 크기(N=16), dx와 dy는 각각 x, y 방향으로의 gradient 값을 나타낸다.

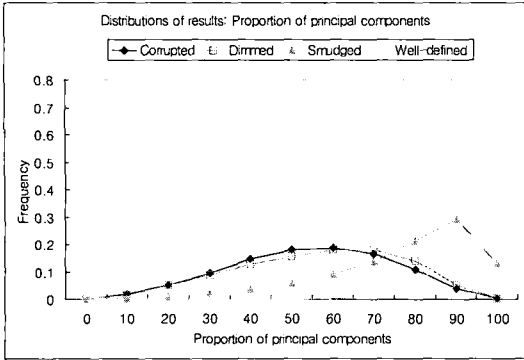
$$C = E \left\{ \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dx & dy \end{bmatrix} \right\} = \begin{bmatrix} a & c \\ c & b \end{bmatrix}, E \{ \bullet \} \equiv \frac{1}{N} \sum_N \bullet$$

$$\lambda_{\max} = \frac{(a+b) + \sqrt{(a-b)^2 + 4c^2}}{2}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{(a+b) - \sqrt{(a-b)^2 + 4c^2}}{2}$$

$$R_k = 1 - \frac{\lambda_{\min}}{\lambda_{\max}}, 0 \leq R_k \leq 1 \text{ as } a, b > 0 \quad (3)$$

주성분 비율 R은 x 또는 y 방향으로의 방향성이 얼마



(그림 6) 블록별 주성분 비율들의 분포

나 뚜렷하게 나타나는 지를 수치화한 것이다. 따라서 해당 블록에 대하여 분포한 융선들이 뚜렷한 방향성을 나타내는 경우 R은 큰 값을 가지게 된다. 이는 [그림 6]에 보이는 것과 같이 'well-defined' 영역이 다른 품질의 블록들에 비해 높은 수치로 표현되는 것을 통해 확인할 수 있다. 그러나 어떠한 블록이든 방향성을 조금이라도 가진 블록들에 대하여 R이 높은 수치로 표현될 수 있기 때문에, [그림 6]과 같이 'smudged' 영역과 'dimmed', 'corrupted' 영역 간의 차가 크게 구분되지 않는다는 단점을 가지게 된다.

3.1.2 블록 품질 특성의 분류 (Classifying quality types)

3.1.1에서 소개한 방법들을 사용하여 2장에서 제안하고 정의한 지문 영상 품질 특성들이 잘 구분될 수 있게 하기 위해 먼저 각 블록들에 대한 세 가지 측정값들로 품질 특성 벡터 f를 구성한다. 이러한 특성 벡터들은 Support Vector Machine (SVM) [13,14]과 같은 분류기의 입력으로 사용되어 각 품질 특성들에 대한 통계학적 정보들을 계산하는데 사용된다. SVM은 1979년 Vapnik에 의해 제안된 통계적 학습 이론으로, 일반적인 통계적 학습 방법에서의 경험적 리스크 최소화와는 달리 구조적 리스크 최소화를 통해 오류를 최소화 시키는 방법을 이용한 것이다. 이 방법을 이용한 분류 결과를 통하여 각 품질 특성 집단을 대표하는 통계적 정보를 구할 수 있으며, 이를 이용하여 다음 단계에서 각 블록의 품질 특성을 점수화 하게 된다.

3.1.3 블록 품질의 점수화 (Scoring block quality)

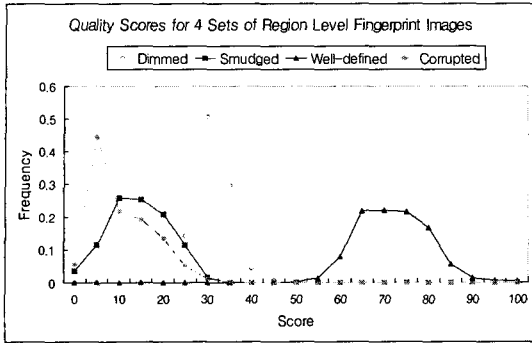
이전 과정에서 구한 블록 품질 특성의 SVM 분류 결과는 입력 지문 영상의 각 블록에 대한 품질을 점수화 하는데 사용된다. 먼저, 실제 영상에 적용하기에 앞서 각 블록의 품질 특성이 다음의 조건들을 만족하도록 점수대를 부여하는 작업이 선행된다. 첫 번째 조건은 블록 품질 특성들의 점수값이 'well-defined', 'dimmed', 'smudged', 'corrupted'의 순으로 내림차순화 되도록 해야 한다는 것이다. 이것은 의미 있는 특징 정보들을 추출하는데 있어 필요한 전처리 과정의 복잡성 (complexity)을 역순으로 나열한 것인데, 앞서 정의한 품질 정의에 대하여 해당 지문이 복잡한 전처리를 필요로 한다면 낮은 품질을 나타내는 것이라 판단할 수 있기 때문이다. 이와 같은 방법으로, 높은 품질 점수를 갖는 블록이 많을수록 전체 영상의 품질 점수가 높게 나타나도록 유도할 수 있게 된다. 두 번째 조건은 품질 특성 간 점수 분포의 분리성 (separability)이 높게 나타나도록 해야 된다는 것이다. 이는 블록 간 특성 구분을 명확히 하여 추후 발생 가능한 품질 점수화의 오류를 줄이기 위하여 필요한 조건이다.

이와 같은 두 가지 조건을 만족하는 블록 품질 점수 S는 식 (4)와 같이 계산될 수 있다. 식 (4)에서 w는 1.1절에서 구한 각 품질 측정치들(f_k^i)에 적용될 가중치들의 벡터로서 f_k^i 와 같은 차수를 가지며, w의 세 가지 요소는 각각 평균 화소값, 주성분의 최대 고유값, 주성분 비율에 대하여 적용될 가중치들을 나타낸다. 또한 식 (4)의 s_k^i 는 k 번째 블록이 i 품질일 때의 블록의 품질 점수를 나타낸다. 식 (4)의 가중치 벡터 w를 구하기 위하여 식 (5)의 조건식을 사용한다. 식 (5)의 E는 네 가지 품질 특성을 각각 점수화하였을 경우 발생할 수 있는 오분류 확률을 누적 합산한 것이며, 이 값이 가장 작을 때의 가중치 벡터 w를 최종 가중치 벡터로 결정한다. 식 (5)에서 τ_{ij} 는 품질 i와 품질 j를 구분하는데 사용되는 임계값(threshold)을 나타낸다.

$$s_k^i = \mathbf{w}^T \mathbf{f}_k^i, \mathbf{w} = [w_M, w_L, w_R]^T, \mathbf{f}_k^i = [M_k^i, L_k^i, R_k^i]^T, \\ i \in \text{ENUM}\{\text{Corrupted, Smudged, Dimmed, Well-defined}\} \quad (4)$$

$$E = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 \left\{ \begin{matrix} \text{card}(s_k^i | s_k^j > \tau_{ij}) \\ + \text{card}(s_k^j | s_k^i \leq \tau_{ij}) \end{matrix} \right\}, \text{ for } \forall k \text{ and } i < j \quad (5)$$

식 (4)와 (5)를 이용하여 3.1.2절의 블록 측정치들의



(그림 7) 블록별 품질 측정치의 점수화 결과

품질을 점수한 결과는 [그림 7]과 같다. [그림 7]을 보면 앞서 설명한 방법을 사용하여 well-defined의 품질을 갖는 블록들이 높은 점수대를, dimmed 블록 영상들이 중간 점수대를, 그리고 smudged와 corrupted가 가장 낮은 점수대를 이루게 유도할 수 있음을 알 수 있다.

3.2 영상 레벨의 지문 품질 정량화 단계

블록 레벨의 지문 품질 점수를 이용하여 전체 영상 레벨의 지문에 대한 품질을 수치화하는 작업은 다음의 식 (6)을 이용하여 수행된다. 식 (6)의 S 는 영상 레벨의 지문 품질 점수를 나타내는데, n 과 m 은 각각 지문 전경의 가로, 세로 방향의 블록 인덱스를 나타내며, $s_k(p, q)$ 는 전체 지문 영상에 대한 (p, q) 위치에 있는 블록의 품질 점수값을 나타낸다. 즉, 식 (6)에서 전체 지문에 대한

품질 점수값은 전경 영역에 대하여 각 블록의 품질 점수값들을 가우시안 가중치를 적용해 합산, 평균하는 방법으로 계산된다. 블록의 품질 점수값들을 평균하는데 있어서 전경 영역에 대해 가우시안 가중치를 적용하는 것은 센서를 통한 지문 입력 시 손가락 끝에 나타나는 압력 정도와 지문 영상 간의 관계에 기인한 것이다. 일반적으로 센서 사용 시 압력이 가장 많이 가해지는 곳을 지문 전경 영역의 중심이라고 할 때 전경 중심으로 부터 멀어질수록 압력에 의한 지문 윤선에의 영향이 적어진다. 이 때 지문의 전경 영역에 대하여는 중심 부분이 다른 부분들에 비해 좋은 품질의 블록으로 표현될 확률이 높아질 것이므로, 따라서 식 (6)은 이를 고려한 영상 레벨 지문 품질 점수화 방법이라 할 수 있다. 더불어 식 (6)에서 한 가지 더 고려된 것은 지문 영상의 전경이 가지는 영역 분포에 대한 정보이다. 일반적으로 지문 입력 센서를 이용하여 수집된 영상의 대부분은 원보다는 타원에 가까운 전경 영역을 가지게 된다. 식 (6)에서는 이와 같이 타원으로 나타나는 지문 영상의 전경 영역에 대하여 주축(major axis)과 부축(manor axis)의 방향을 계산하고 이 두 방향에 대한 화소들의 분산들을 이용하여 가중치를 결정한다. 식 (6)에서 σ_1^2 은 주축에 대한 분산율, σ_2^2 는 부축에 대한 분산율을 나타낸다.

$$S = \frac{1}{nm} \sum_{p=1}^n \sum_{q=1}^m \left(\frac{1}{\pi(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)} e^{-\frac{((p-n/2)^2 + (q-m/2)^2)}{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}} \times s_k(p, q) \right) \tag{6}$$

(표 3) 블록별 품질 점수 결정을 위한 학습용 지문 영상 데이터베이스 관련 정보

Sub-set name	Type	Image size (pixels, width x height)	Resolution
DIG	Optical	280 x 320	About 500 dpi
NIT		248 x 292	
SEC		300 x 300	
ATM	Thermal	312 x 452	
AUT	Capacitive	256 x 256	

(표 4) 학습에 사용된 품질 정의별 블록의 개수

블록 품질	Well-defined	Dimmed	Smudged	Corrupted
블록 개수	39936	39808	39168	38208

IV. 실험 및 결과

본 논문을 통해 제안하는 지문 영상 품질 측정 방법은 블록별로 측정된 품질 점수를 이용하여 전체 영상의 품질 점수를 결정하는 순서로 진행된다. 블록별 품질을 측정하고 측정된 결과를 이용해 정의한 품질 특성을 명확히 할 수 있도록 분류한 후 이들 분류 결과를 이용하여 각 블록의 품질 점수를 결정할 때 필요한 가중치 벡터를 구하는 일련의 학습을 위하여 [표 3]에 정리한 지문 영상 데이터베이스를 사용하였다. [표 3]에서와 같이, 학습을 위해 사용된 지문 영상 데이터베이스는 특성이 다른 다섯 가지 센서로 취득한 영상들로 구성되어 있다. 이는 본 연구에서 지문 영상의 품질을 정의할 때 고려했던 지문 센서에 독립이란 특성을 반영한 구성이다. 실험에 사

용된 각 품질별 블록의 개수는 [표 4]에 정리하였다.

학습 결과를 이용하여 블록별 품질 특성을 수치화하는 작업이 끝나면 이 결과를 이용하여 영상 레벨의 지문에 대하여 품질 점수를 구할 수 있게 된다. 제안하는 영상 레벨의 품질 측정 방법을 평가하기 위하여 FVC2002와 FVC2004에서 사용된 지문 영상 데이터베이스들의 일부를 사용하였다. 영상 레벨의 지문 영상 품질 측정 결과를 평가하기 위하여 사용한 지문 영상 데이터베이스들은 [표 5]에 정리하였다. 특별히 FVC2002, FVC2004 데이터베이스들 중에서 [표 5]의 네 개 서브 데이터베이스들만을 평가 대상으로 한 것은 해상도, 센서 타입 등을 학습용 지문 영상 데이터베이스의 특성과 맞추기 위해서이다. 이는 측정치 이외의 고려 가능한 주변 정보들을 간략화 함으로써 평가 결과의 분석에 보다 높은 신빙성을 부여하기 위함이다.

[표 6]은 [표 5]의 평가용 지문 영상 데이터베이스에서 선별한 다섯 장의 지문 영상에 대한 제안하는 품질 측정 방법의 결과를 보여주고 있다. 또한 비교를 위하여 NIST의 NFIQ 알고리즘[5], AWARE사의





QualityCheck 모듈[15]의 실험 결과를 함께 나타내었다. [표 6]을 보면 제안하는 품질 측정 방법의 결과가 사용자의 직관에 의한 지문 영상 품질 결정 결과와 유사한 흐름을 가짐을 확인할 수 있다.

위의 [표 5]에서 비교 대상으로 사용한 품질 측정 방법들과 제안하는 방법을 이용한 결과들의 관계를 분석하기 위하여, 실험 대상으로 한 지문 영상들 전부를 대상으로 세 가지 방법에 의한 품질 결과들의 관계를 [그림 8], [그림 9]와 같이 표현하였다. [그림 8]은 NFIQ 측정 결과에 대한 AWARE 품질 결과 및 제안하는 방법에 의한 품질 결과를 비교한 것이고, [그림 9]는 AWARE사의 측정 결과에 대한 NFIQ 및 제안하는 방법에 의한 품질 결과를 비교하여 표현한 것이다. [그림 8]을 보면 NFIQ에 의해 품질이 높게 평가된 지문 영상들의 경우, 제안하는 방법의 결과와 AWARE사의 결과가 큰 차이를 보이지 않음을 확인할 수 있다. 반면, [그림 9]의 결과는 AWARE의 품질 결과와 제안하는 방법에서의 결과가 선형적 관계에 있음을 보이지는 않는다. 현재의 상태로 NFIQ, AWARE의 품질 측정 방법과 제안하는 품질 측

[표 5] 영상 레벨 지문 품질 측정 및 평가를 위한 평가용 지문 영상 데이터베이스 관련 정보

Database	FVC2002_DB1	FVC2002_DB4	FVC2004_DB1	FVC2004_DB4
Company name	Identix	SFinGe	CrossMatch	SFinGe
Type	Optical	Synthetic(Optical)	Optical	Synthetic(Optical)
Image size (WxH)	388x374	288x384	640x480	288x384

[표 6] 평가용 지문 영상 데이터베이스의 영상들에 대한 제안하는 품질 측정 방법의 실험 결과 비교

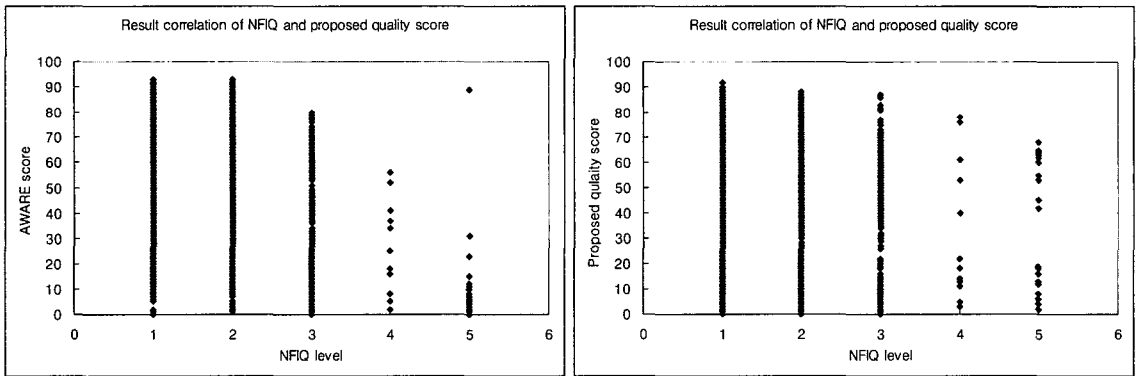
Database	FVC2002_DB1	FVC2002_DB4	FVC2004_DB1	FVC2004_DB4
Image sample				
NIST NFIQ	3 (Good)	2 (Very Good)	3 (Good)	1 (Excellent)
AWARE Quality-Check	60	36	57	37
제안하는 방법	39.465	59.764	9.265	73.543

정 방법을 정확하게 비교하여 분석하기는 어려운데, 그 이유는 다음의 세 가지와 같다. 첫째, NFIQ의 품질 결과가 0~100 사이의 점수가 아닌 등급(level)으로 표현되기 때문에 정확한 대응 관계를 분석해내기가 어렵다. 둘째, NFIQ 및 AWARE사의 품질 측정 방식과 제안하는 방식에는 전제로 하는 조건들에 있어서 차이가 크다. 즉, NFIQ 및 AWARE사의 방법은 특징점 관련 정보, 정합 점수의 분포 및 결과를 고려한 품질 측정 방식이며, 제안하는 방법은 추출 및 정합에서의 정보를 전혀 사용하지 않는다. 셋째, NFIQ 및 AWARE 품질 측정 방법을 이용한 결과 역시 그 정확성이 증명된 바 없는데, 이는 앞서 보인 [그림 7]의 결과에서도 확인 가능하다.

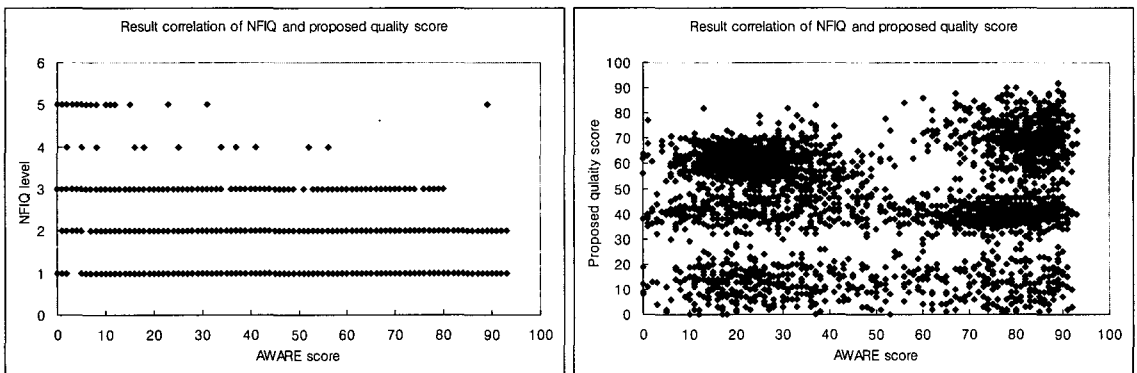
V. 결 론

본 연구는 지문 영상의 품질을 보다 객관적이고 정량적인 방법으로 표현할 수 있는 방법을 제안한다. 이를

위하여 먼저 지문 영상의 품질을 새로이 정의하였는데, 새로 정의한 지문 영상의 품질은 정합 알고리즘의 성능에 독립적이고 취득 시의 지문 센서의 특성에 독립적이며 지문 취득 시 사용한 손가락의 상태에 독립적이게 하였다. 이와 같은 품질 정의는 측정의 대상이 되는 블록 레벨의 특성을 바탕으로 정리되었는데, 이는 일반적으로 하나의 지문 영상이 서로 다른 품질 특성을 다양하게 내포하는 성질을 지녔기 때문이다. 본 논문에서 제안하는 지문 영상 품질 측정 방법은 블록 레벨의 품질 측정값들을 이용하여 전체 지문 영상의 품질을 점수로 표현한다. 이를 위하여 먼저 블록 레벨로 품질 측정치들을 계산하고 이들을 SVM 분류기로 학습시켜 각 품질 특성마다 고유의 분류 영역을 가지도록 하였다. 학습된 블록 특성 결과들을 이용하여 정의한 블록 품질 특성이 점수화될 수 있도록 하였으며, 최종적으로 이들 블록 레벨 품질 측정 점수들을 이용해 전체 영상의 품질 점수를 구하였다. 실험을 통하여 제안하는 방법으로 구한 지



[그림 8] NFIQ 품질 결과에 대한 AWARE 및 제안하는 방법론의 품질 결과 비교



[그림 9] AWARE 품질 결과에 대한 NFIQ 및 제안하는 방법론의 품질 결과

문 영상 품질 측정 방법의 결과가 기존의 다른 방법들에 비해 인간의 직관적 판단 기준에 보다 더 적합한 형태로 표현됨을 확인할 수 있었다.

본 연구는 기존의 연구들과는 달리 지문 정합 알고리즘, 지문 센서의 특성, 사용된 손가락의 상태 모두에 독립적인 지문 영상 품질을 정의할 수 있었다는 점에서 큰 의미를 가진다. 또한 정의한 품질을 점수화하는데 있어서도 블록 레벨의 품질 측정치들만을 이용하였다는 점도 본 연구의 성과 중 하나라 할 수 있다. 그러나 제안하는 품질 측정 방법은 정의한 네 가지 블록 품질 특성을 완벽하게 구분해주지 못하고 있다. 특히 'smudged'와 'corrupted'로 정의한 품질 특성에 대한 구분이 모호한데, 이는 지문 영상이 가진 전역적 특성들을 고려하지 않은데서 기인한 것으로 판단된다. 본 연구는 지역적 품질 특성만을 고려하는 것을 연구 범위로 하여 진행되었으나, 앞으로의 연구에서는 지문의 전역적 특성 정보를 고려하여 보다 정밀한 지문 영상 품질 구분이 이루어질 수 있도록 해야 될 것이다.

참고문헌

[1] E. Lim, X. Jiang, W. Yau, "Fingerprint Quality and Validity Analysis," Proceedings of International Conference on Image Processing, Vol.1, pp. 469-472, 2002.

[2] L. L. Shen, A. Kot, W.M Koo, "Quality measures of fingerprint images," Proceedings of the 3rd AVBPA, pp.182-271, June 2001.

[3] L. Hong, Y. Wan, A. K. Jain, "Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.20, pp. 777-789, 1998.

[4] Y. Chen, S. Dass, A. Jain, "Fingerprint Quality Indices for Predicting Authentication Performance," Proceedings of the 5th AVBPA, pp. 160-170, July 2005.

[5] E. Tabassi, C. L. Wilson, C. I. Watson, "Fingerprint Image Quality (NFIQ)," National Institute of Standards and Technology, NISTIR 7151, 2004.

[6] E. Tabassi, C. L. Wilson, "A Novel Approach

to Fingerprint Image Quality," IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Vol.2, pp. 37-40, 2005.

[7] ISO/IEC JTC1 SC37 WG3 N1718, "29794-1: Biometric Sample Quality Part1: Framework"

[8] ISO/IEC JTC1 SC37 WG3 N1760, "29794-4: Biometric Sample Quality Part4: Finger Image"

[9] Fingerprint Verification Competition 2004 (FVC2004), <http://bias.csr.unibo.it/fvc2004/>

[10] S. Joun, H. Kim, Y. Chung, D. Ahn, "An Experimental Study on Measuring Image Quality of Infant Fingerprints," LNCS 2774, pp. 1261-1269, 2003.

[11] A. Papoulis, S. Pillai, Probability, Random Variables and Stochastic Processes, McGrawHill, 4th ed., 2002.

[12] C. Chen, P. Wang, Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision, World Scientific, 3rd ed., 2005.

[13] C. Cortes, V. Vapnik, Support vector networks, Machine Learning, vol.20, pp. 273-297, 1995.

[14] R.O. Duda, P.E. Hart, D.G. Stock, Pattern Classification, Wiley-Interscience Publication, 2001.

[15] QualityCheck Software, <http://www.aware.com/products/compression/qualchck.htm>

[16] A. M. Bazen, S. H. Gerez, "Segmentation of Fingerprint Images," Proceedings of the 12th Annual Workshop on Circuits, Systems and Signal Processing, pp. 276-280, 2001.

[17] H. Kang, B. Lee, H. Kim, D. Shin, J. Kim, "A Study on Performance Evaluation of Fingerprint Sensors," LNCS 2688, pp. 574-583, 2003.

[18] J. Yang, L. Liu, T. Jiang, Y. Fan, "A modified Gabor filter design method for fingerprint image enhancement," Pattern Recognition Letter, Vol.24, pp. 1805-1817, 2003.

[19] B. Sherlock, D. Monro, K. Milard, "Fingerprint Enhancement by Directional Fourier Filtering,"

VISP, vol.141, no.2, pp.87-94, 1994.
 [20] A. Bazen, S. Gerez, "Systematic Methods for
 the Computation of the Directional Fields

and Singular Points of Fingerprints," IEEE
 proceeding of PAMI, vol.24, no.7, pp. 905-
 919, 2002.

〈著者紹介〉



문 지 현 (Jihyun Moon) 정회원

1999년 2월: 인하대학교 항공우주자동화공학과 졸업
 2007년 2월: 인하대학교 정보통신공학과 대학원 박사 졸업
 2005년 5월~현재: ISO/IEC JTC1/SC37(생체인식) 한국대표단 활동(WG3)
 2007년 1월~현재: 한국정보보호진흥원 선임연구원

<관심분야> 패턴인식, 영상처리, 생체인식



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