

## 유전자 알고리즘을 이용한 자동 지문영상 생성

조웅근<sup>0</sup>, 홍진혁, 조성배  
연세대학교 컴퓨터과학과  
생체인식 연구센터

{bearroot<sup>0</sup>, hjinh}@sclab.yonsei.ac.kr, sbcho@cs.yonsei.ac.kr

### Automatic Fingerprint Image Generation using Genetic Algorithm

Ung-Keun Cho<sup>0</sup>, Jin-Hyuk Hong, Sung-Bae Cho  
Department of Computer Science, Yonsei University  
Biometrics Engineering Research Center

#### 요 약

지문인식 시스템의 성능을 측정하기 위해 지문 데이터베이스가 필요하지만, 개인 사생활 문제나 데이터 베이스를 구성하기 위한 제약조건 등으로 인해 실제 사용가능한 지문 데이터베이스는 많지 않다. 본 논문에서는 유전자 알고리즘을 이용하여 수집된 지문 영상으로부터 다양한 환경적 효과를 가진 지문 영상을 자동으로 생성해주는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 소량의 원본 영상으로부터 목표 환경의 지문을 생성하기 위한 필터 조합을 찾는다. 서로 다른 압력에서 수집된 지문을 대상으로 제안하는 방법을 적용하였으며, 생성된 지문 영상은 실제 환경에서 수집된 것과 비슷한 특성을 나타내었다. 제안하는 방법을 통해 실제로 다수의 지문을 수집하지 않고 각종 환경에서 시스템의 성능을 평가할 수 있다.

#### 1. 서 론

지문은 영속성과 고유성을 가지기 때문에 중요한 생체 정보로 사용된다. 자동 지문 인식 시스템(Automatic Fingerprint Identification System, AFIS)은 많은 지문들 중 입력된 지문과 동일한 지문을 찾는데, 시스템의 성능 측정을 위해 지문 데이터베이스가 사용된다[1]. 시스템 성능 평가는 데이터베이스내 지문의 품질에 따라 크게 좌우되며, 실제 사용 가능한 데이터베이스는 많지 않다. 지문의 수집에는 개인 사생활, 비용, 시간 등의 문제가 있어 NIST[2]나 FVC[3] 데이터베이스 등을 제외하면, 시스템의 성능 평가를 하기 매우 어렵다. 뿐만 아니라 객관적 시스템 성능 평가를 위해서 수집된 지문들은 다양한 압력, 습도, 위치 등의 변화를 가진 실제 환경을 잘 표현해야 한다. 지문의 수집 과정을 최소화 한다면 이러한 문제를 해결할 수 있다[4].

본 논문에서는 실제 센서로부터 수집된 소량의 지문으로부터 다양한 지문을 생성해내는 방법을 제안한다. 압력이나 습도가 서로 다른 두 환경에서 수집된 동일 지문에서 하나의 지문을 원본, 다른 하나의 지문을 목표 영상으로 지정하며, 원본 영상에 적절한 필터링을 하여 목표 영상과 유사하게 만든다. 제안하는 방법은 두 지문 영상의 구성 요소들의 유사도를 적합도 함수로 이용하는 유전자 알고리즘[5,6]을 바탕으로 필터 조합의 종류와 순서를 결정한다.

#### 2. 관련 연구

##### 2.1 영상 생성

적은 비용과 노력으로 평가 데이터베이스를 생성하는

연구가 시도되고 있는데, FaceGen[7]은 얼굴의 모양, 구조, 감정, 악세사리 등을 조작하여 사람의 얼굴을 생성하거나 변형한다. 하나의 이미지로부터 얼굴을 3D로 구축하여 얼굴 인식 시스템의 평가를 위하여 사용되기도 한다[8]. Kosz는 융선과 특징점 개수 등의 매개변수를 이용하여 지문을 생성하는 수학적 모델을 제시하였고[9], Hill은 특징점을 기준으로 융선을 생성하는 모델을 제시하였으나[10] 영상이 실제 지문처럼 보이지 않았다. Cappelli 등은 영상의 요소들의 적절한 변화를 통하여 지문 영상을 생성할 수 있는 SFinGE[4]를 개발하였다. FVC 데이터베이스 구축을 위해서도 사용된 이 시스템은 크게 지문 전체의 융선 패턴을 생성하고 실제 지문과 같은 효과를 얻기 위한 작업이 추가적으로 행해졌다. 그러나 이 시스템은 전문가 지식이 많이 필요하며, 기본이 되는 지문도 자동으로 생성하여 센서로부터 직접 수집된 지문과 차이가 있다.

##### 2.2 지문 품질

일반적으로 융선과 골의 구분이 얼마나 명확한지, 전체적으로 얼마나 잘 연결되어 있는지에 따라 영상의 품질이 결정된다. 이는 손가락의 습도나 센서 입력시의 압력 등에 영향을 받는다. 저압력이나 건조한 피부는 융선과 스캐너의 센서 표면과의 접촉이 제대로 이루어지지 않는 경우가 많아서 영상에서 융선이 갈라지거나 흰 점들이 많이 발생한다. 반대로 고압력이나 습한 피부는 골이 습기로 차 있기 때문에 골이 융선과 유사하게 보이는 경우가 많다. Yun 등은 압력과 습도가 변하는 환경에서 인식 성능을 향상시키기 위하여 다른 필터를 적용하였다[11]. Maltoni는 원본영상에서 고압력과 저압력을 생성하

기 위하여 침식과 팽창효과를 주었다[4].

### 3. 제안하는 방법

#### 3.1 수행 과정

그림 1은 제안하는 방법의 수행 과정으로, 검색체 구조, 전체적인 유전자 알고리즘과 적합도 평가 과정을 보여준다. 개체는  $n$ 개의 유전자로 구성되며, 각 유전자는 특정 영상 필터를 의미한다.

먼저 유전자 알고리즘에 사용할 매개변수와 개체군을 초기화하고, 각 세대의 개체의 적합도를 평가한다. 높은 적합도를 가진 개체들을 확률적으로 선택하고, 교차, 돌연변이와 같은 진화 연산을 수행하여 다음 세대의 개체군을 구성한다.

유전자 알고리즘 초기화 단계에서 원본 데이터베이스와 목표 환경을 정하는데, 적합도 평가를 위하여 원본 영상에 필터를 적용한 영상과 목표 환경의 영상의 유사도를 계산한다. 제안하는 방법은 원본 영상에서 목표 환경의 영상을 생성하기 위한 필터 조합을 자동으로 찾는다.

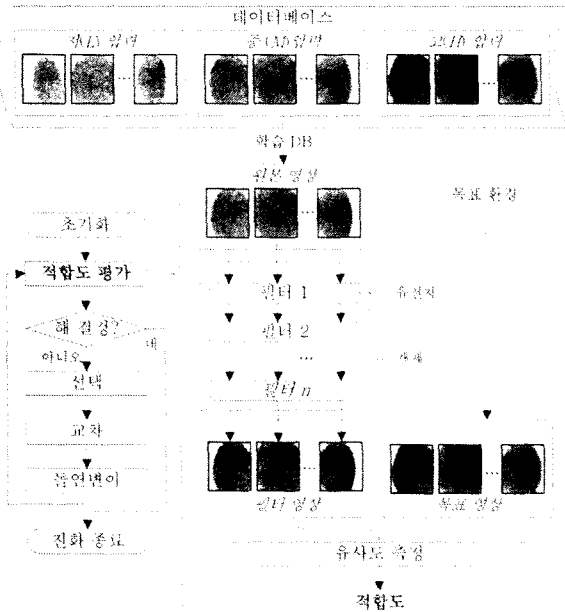


그림 1. 제안하는 방법의 수행과정

#### 3.2 영상 필터

제안하는 방법에 사용된 영상 필터는 표 1과 같다. 실제 환경과 유사한 효과를 내기 위한 다양한 영상 필터를 조합하여 사용한다. 히스토그램, 마스크, 모폴로지 기반의 전형적인 영상필터 12개를 기본으로[12], 미리 정의된 필터의 길이 이하의 최적화를 위해 무효과 필터를 사용한다. 개별 필터는 다양한 마스크를 적용하여 보다 다양한 효과를 나타낸다. 제안하는 방법에서는 70개의 영상 필터를 이용한다.

표 1. 영상필터의 종류와 효과

대분류	영상필터	종류	효과
히스토그램	밝기	3개 실수	밝기 조절
	대비	3개 실수	대비 조절
	스트레칭	-	명암값 분포 조절
	평활화	-	명암값 분포 평활화
마스크	로그화	-	명암값 로그화
	저역필터	6 마스크	영상을 흐리게
	고역필터	4 마스크	영상을 날카롭게
모폴로지	중간값	10 마스크	잡음 제거
	침식	10 마스크	영역내의 최소값
	팽창	10 마스크	영역내의 최대값
	제거	10 마스크	영역내의 틈 제거
	채움	10 마스크	영역내의 틈 확장
	무효과		없음

#### 3.3 적합도 평가

유전자 알고리즘에서 개체의 적합도를 평가하기 위하여 필터 조합으로 생성된 영상과 목표 환경에서 수집된 지문 사이의 유사도를 영상의 평균, 분산, 방향성 차이 [13], 융선과 골의 평균 두께[14], 특이점[13], 특징점[1]을 사용하여 측정한다. 수집 환경에 따라 다른 특징값을 가지게 되고, 이들 특징의 유사성을 적합도로 사용한다. 표 2는 지문 영상의 특징과 적합도 평가에 사용한 측정의도를 보여준다.

표 2. 적합도 평가를 위한 지문 영상의 특징

특징	정의	측정 의도
평균	명암값의 평균	전체적인 명암도 측정
분산	명암값의 분산	명암값의 고른 정도
방향성 대비	블록당 방향성 차이의 평균	융선과 골의 선명도 차이
융선 두께	융선 두께의 평균	융선의 두께 측정
골 두께	골 두께의 평균	골의 두께 측정
특이점	방향성이 급격히 변화되는 영역	지문의 주요 특징
특징점	융선의 끝점, 분기점	지문 인식의 주요 특징

방향성 차이는 영상에서의 수직, 수평, 45도 대각선 방향 차이의 평균값이고, 특이점은 방향성 정보를 이용하여 중심점과 삼각주를 계산하는 대표적인 방법인 Poincare[13] 방법으로 추출한다. 알고리즘을 사용하여 추출한 특이점과, 전문가에 의해 직접 표시한 특이점이 있을 때 다음과 같은 3가지 값을 정의한다.

- 추출 특이점 : 알고리즘이 잘 추출한 특이점
- 분실 특이점 : 알고리즘이 추출하지 못한 특이점
- 의사 특이점 : 실제 특이점이 아니지만 알고리즘이 추출한 점

특징점은 이진화 가보필터와 세선화 과정을 통하여 추출한다[1]. 특징점에는 끝점과 분기점이 있으며, 알고리즘

을 사용하여 추출한 특징점, 전문가에 의해 표시된 특징점이 있다고 할 때, 8개의 값(끝점-끝점, 끝점-분기점, 끝점-무, 분기점-끝점, 분기점-분기점, 분기점-무, 무-끝점, 무-분기점)을 사용한다.

적합도 평가를 위하여 모든 통계치를 0과 1사이로 정규화하며, 각 특징들은 입력 압력에 밀접한 특징을 중심으로 휴리스틱하게 결정된 가중치를 부여한다. 적합도 함수는 식 (1)과 같이 계산한다.

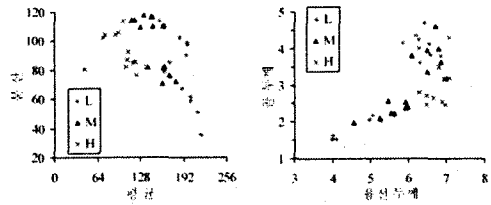
$$\begin{aligned}
 fitness(i) = & w_1 \times (mean_i - mean_{target}) \\
 & + w_2 \times (variance_i - variance_{target}) \\
 & + w_3 \times \sum_{j=1}^4 (contrast'_j - contrast'_{target}) \\
 & + w_4 \times (thickness_i - thickness_{target}) \\
 & + w_5 \times (interval_i - interval_{target}) \\
 & + w_6 \times \sum_{c \in singularityType} (singularity_i(c) - singularity_{target}(c)) \\
 & + w_7 \times \sum_{c \in minutiaeType} (minutiae_i(c) - minutiae_{target}(c))
 \end{aligned} \tag{1}$$

#### 4. 실험 및 결과

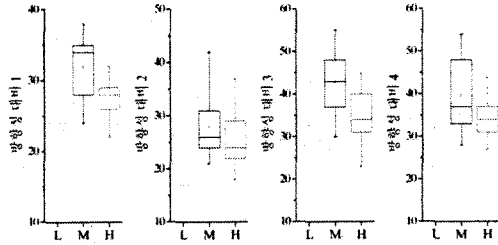
##### 4.1 실험 환경

본 논문에서는 제안하는 방법의 유용성을 검증하기 위해서 실제 환경으로부터 수집된 지문영상과 제안하는 방법을 통해 획득된 지문영상을 비교한다. 평가를 위한 지문 DB는 인하대의 컴퓨터 비전 연구실에서 수집된 것으로, 동일한 지문으로부터 입력 압력별(고(H), 중(M), 저(L))로 수집하였다[15]. 총 14개의 손가락으로부터 수집된 42개의 지문영상을 학습 데이터로 사용하고, 15개의 손가락으로부터 수집된 45개의 지문영상을 테스트 데이터로 사용한다. 실험은 입력 압력이 중(M)인 지문영상으로부터 입력 압력이 고(H)와 저(L)인 지문영상을 생성하도록 필터 조합(M→H, M→L)을 생성한다. 대상 환경의 통계치를 측정하기 위해서 그림 1에서와 같이 학습 데이터의 입력 압력이 고(H)와 저(L)인 학습용 지문영상을 사용한다. 진화를 통해 원하는 필터 조합이 획득되면, 입력 압력이 중(M)인 테스트 데이터에 적용하여 실제 입력 압력이 고(H)와 저(L)에서 수집된 지문과의 유사도를 측정하여 성능을 분석한다.

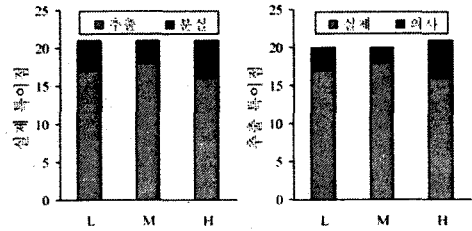
그림 2는 학습 데이터에 대한 각종 특징의 분포를 보여준다. 지문 입력 압력은 이들 특징의 분포를 변화시켜 최종적으로 지문인식 성능에 영향을 준다. 세계 늘린 지문의 경우는 융선이 쉽게 연결되어 잘못된 분기점이 생기거나 끝점이 사라졌으며, 지문이 너무 약하게 늘리면 의사 끝점이 많이 생기는 경향을 보였다. 융선의 두께와 간격은 입력 압력에 따라 구분되었지만 지문의 전역적인 방향성을 고려하는 특이점은 크게 영향을 받지 않았다. 입력 압력이 중(M)인 지문에서는 다른 환경보다 특징점이 정확하게 추출되었으며, 특히 '실제 끝점-추출 분기점'과 '실제 분기점-추출 끝점'은 입력 압력에 크게 영향을 받는 경향을 보였다.



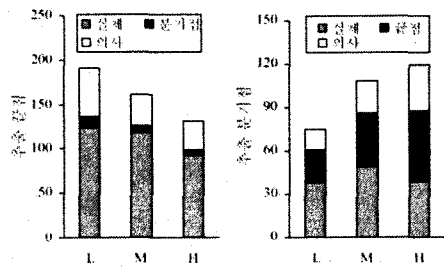
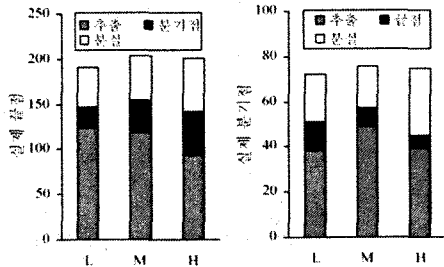
(a) 평균, 분산, 융선과 끝의 두께



(b) 방향성 대비



(c) 특이점



(d) 특징점

그림 2. 학습 데이터에 대한 지문 특징 분석

##### 4.2 진화 실험

유전자 알고리즘의 변수는 개체군 수: 100, 집단 크기:

50, 선택율: 0.7, 엘리트 유지전략 사용, 교차율: 0.7, 돌연 변이율: 0.05 로 정의하였으며, 최대 5개의 필터를 사용하도록 염색체의 길이를 5로 사용하였다. 적합도 함수에서의 각 특징에 대한 가중치는 입력 압력에 밀접한 특징을 중심으로 (1,1,1,2,2,1,3)으로 설정하였다.

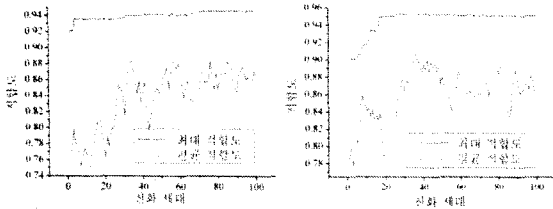


그림 3. 세대별 적합도 변화(왼쪽: 고(H), 오른쪽: 저(L))

그림 3에서와 같이 제안하는 방법은 보다 나은 필터 조합을 생성하였으며, 모든 대상 환경에서 최대 적합도와 평균 적합도는 증가하였다. 그림 4는 제안하는 방법을 통해 얻어진 지문영상을 보여주는데, 세대를 거듭하면서 실제 환경에서 수집된 지문과 유사한 지문영상을 생성하였다. 표 3은 최종 세대에서 획득한 최대 적합도의 필터 조합을 보여준다.



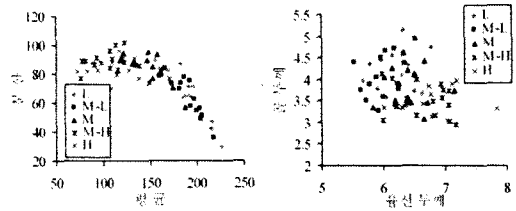
그림 4. 제안하는 방법이 생성한 지문 영상

표 3. 개별 필터 및 진화 필터 종류

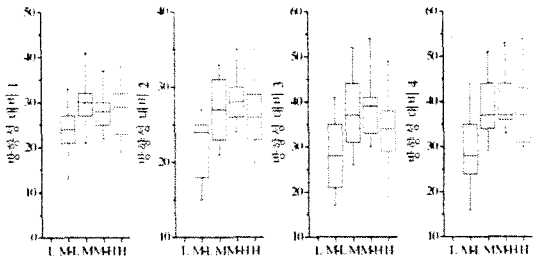
필터	필터 종류				
	고역필터	침식	채움	채움	없음
고(M→H)	3×3 #2	1×3	3×1	3×3	없음
저(M→L)	없음	없음	스트레칭	팽창 마름모 1×3	없음

#### 4.3 결과 지문 분석

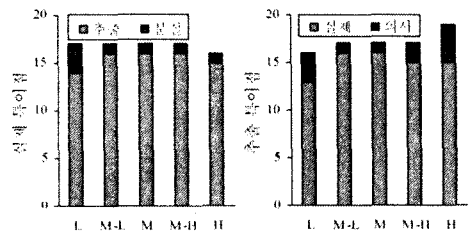
실제 대상 환경에서 수집된 지문과 생성된 지문영상을 비교하였다. 그림 5에서와 같이 입력 압력이 중(M)인 지문의 각종 통계치가 제안하는 방법을 통해 고(H)나 저(L) 압력의 값으로 변화였다. 비록 특이점은 대상 환경을 모델링하는데 적절하지 않았지만, 특징점의 분포는 각 환경을 적절히 표현하였고, 제안하는 방법을 통해서 대상 환경에서와 같은 특성을 획득하였다. 'M-H'와 'M-L'은 제안하는 방법을 통해 얻어진 결과를 의미하고, 'H', 'M'과 'L'은 각 환경에서 실제로 수집된 지문에서 측정된



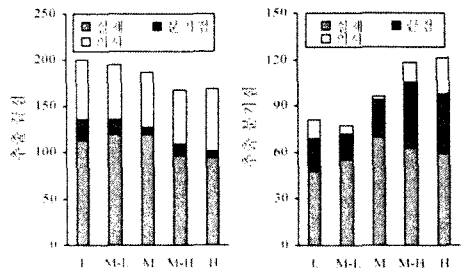
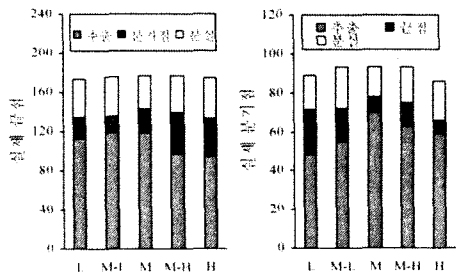
(a) 평균, 분산, 윤선과 골의 두께



(b) 방향성 대비



(c) 특이점



(d) 특징점

그림 5. 테스트 데이터에 대한 지문 특징 분석

그림 6은 원본 영상(M)과 실험에서 생성된 영상과의 인식율을 보여준다. 생성된 영상은 원본 영상에서 변형 영상임에도 불구하고, 목표 영상과 원본 영상의 인식율과 비슷한 인식율을 보였다.

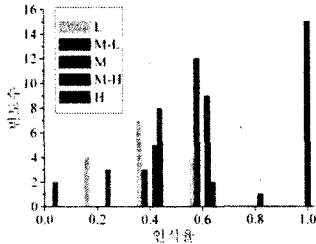


그림 6. 인식율의 히스토그램

### 5. 결 론

본 논문에서는 유전자 알고리즘을 이용하여 지문영상을 자동으로 생성하는 방법을 제안하였다. 다양한 영상 필터를 사용하여 필터 조합을 구성하였고, 이 때 진화 기술을 이용하여 적절한 유형과 순서를 결정하였다. 지문 입력 압력에 따라 수집된 지문 DB에 제안하는 방법을 적용하여 실제 환경에서 수집된 지문과 유사한 특성을 가진 지문영상을 생성하였다. 영상의 평균과 분산, 방향성 대비, 융선과 골의 두께, 특이점 및 특징점 등의 각종 지문 특징을 사용하여 대상 환경을 모델링하였고, 대상 환경에서 수집된 소량의 지문에서 측정된 특징과의 유사도를 적합도로 사용하여 적절한 필터 조합을 생성하였다.

제안하는 방법으로 생성된 지문영상은 지문인식 시스템의 성능평가 뿐만 아니라 시스템을 튜닝하는 데에 사용될 수 있으며, 적합도 평가 함수를 변형하면 영상 개선 등으로 확장될 수 있다. 향후에는 보다 정확히 대상 환경을 모델링하기 위해서 지문의 다양한 특징을 구현하고자 한다. 또한 다양한 휴리스틱 영상필터도 도입하여 보다 다양한 효과를 적용한 지문영상을 생성할 것이다.

### 감사의 글

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

### 참고 문헌

[1] S. Pankanti, S. Prabhakar, and A. Jain, "On the individuality of fingerprints," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, no. 8, pp. 1010-1025, 2002.  
 [2] R. Khanna and S. Weicheng, "Automated fingerprint identification system (AFIS) benchmarking using the National Institute of Standards and Technology (NIST) Special Database 4," *Proc. 28th Int. Carnahan Conf. on*

*Security Technology*, pp. 188-194, 1994.  
 [3] R. Cappelli, D. Maio, D. Maltoni, J. L. Wayman, and A. K. Jain, "Performance evaluation of fingerprint verification systems," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 28, no. 1, pp. 3-18, 2006.  
 [4] D. Maltoni, "Generation of synthetic fingerprint image databases," in *N. Ratha and R. Bolle, Automatic Fingerprint Recognition Systems*, Springer, 2004.  
 [5] D. Goldberg, *Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison Wesley, 1989.  
 [6] U.-K. Cho, J.-H. Hong, and S.-B. Cho, "Evolutionary singularity filter bank optimization for fingerprint image enhancement," *Proc. of EvoWorkshops 2006*, pp. 380-390, 2006.  
 [7] V. Blanz and T. Vetter, "A morphable model for the synthesis of 3D faces," *Proc. of Computer Graphics SIGGRAPH*, pp. 187-194, 1999.  
 [8] N. Orlans, A. Piszcz, and R. Chavez, "Parametrically controlled synthetic imagery experiment for face recognition testing," *Proc. of the 2003 ACM SIGMM workshop on Biometrics methods and applications*, pp. 58-64, 2003.  
 [9] D. Kosz, "New numerical methods of fingerprint recognition based on mathematical description," *Biometric in Human Service User Group Newsletter*, 15th issue, 1999.  
 [10] C. Hill, "Risk of masquerade arising from the storage of biometrics," *B.Sc. Thesis*, Department of Computer Science, Australian National University, 2001.  
 [11] E.-K. Yoon and S.-B. Cho, "Adaptive fingerprint image enhancement with fingerprint image quality analysis," *Image and Vision Computing*, vol. 24, no. 1, pp. 101-110, 2006.  
 [12] R. Gonzalez and R. Woods, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1992.  
 [13] K. Karu and A. Jain, "Fingerprint classification," *Pattern Recognition*, vol. 29, no. 3, pp. 389-404, 1996.  
 [14] E. Lim, X. Jiang, W. Yau, "Fingerprint quality and validity analysis," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 1, pp. 22 - 25, 2002.  
 [15] H. Kang, B. Lee, H. Kim, D. Shin, and J. Kim, "A study on performance evaluation of fingerprint sensors," *Proc. 4th Int. Conf. Audio-and Video-based Biometric Person Authentication*, pp. 574-583, 2003.