

# 지문영상 화질평가에 기반한 게이버 필터의 다중적용

이웅봉<sup>0</sup> 전성욱 류춘우 김학일

인하대학교 정보통신대학원

{atropiny<sup>0</sup>, mistral, ryusrain}@dreamwiz.com, hikim@inha.ac.kr

## Multiple Gabor Filtering based on Fingerprint Image Quality

Eungbong Yi<sup>0</sup>, Sungwook Jhun, Choonwoo Ryu, Hakil Kim  
Graduate School of Information Technology & Telecommunications, INHA University

### 요약

본 논문은 용선 방향의 화소값 변화와 용선의 수직 방향 화소값 변화의 차이를 이용하여 지문영상의 부영역 화질을 제거대상 영역(Removable Block)과 용선의 흐름이 불명확한 영역(Obscure Block), 용선의 방향성이 명확한 영역(Clear Block) 세 가지로 분류하였다. RB영역은 특징점 추출과정에서 제외 하였으며 OB영역은 필터의 방향을 달리한 다수의 게이버(Gabor) 필터의 적용으로 처리하였고, CB영역은 게이버 필터의 방향을 용선의 방향으로 하여 한번의 필터링을 수행하였다. FVC2002(The Second Fingerprint Verification Competition) DB3 SetA 지문영상을 대상으로 한 실험에서 부영역의 화질을 고려한 경우 EER(Equal Error Rate)이 14.31%에서 7.50%로 약 두 배의 성능 향상을 보였고 평균 처리시간은 0.98sec에서 0.84sec로 14%의 처리속도 향상을 확인할 수 있었다.

### 1. 서론

일반적으로 특징점 기반(minutiae based) 지문인식 시스템의 추출 알고리즘은 전처리, 영상향상, 이진화, 평활화, 세선화와 같은 영상처리 기법을 사용하여 특징점을 추출한다[1][2]. 영상향상의 방법으로는 게이버 필터(Gabor filter)가 주로 사용되는데 이는 방향성을 가지고 있어 화소가 가지는 방향성들 중 필터의 방향과 일치하는 방향 성분은 통과시키는 대역통과(band pass) 필터이다 [2][3][4].

본 연구는 부영역의 화질 결정을 위해 용선의 방향과, 용선의 수직방향으로 화소값들의 변화를 측정하여 부영역의 화질을 제거대상영역(Removable Block)과, 용선 흐름이 불명확한 영역(Obscure Block), 그리고 용선 방향이 명확한 영역(Clear Block) 세가지로 분류하였다. 게이버 필터를 적용함에 있어 CB영역은 부영역의 대표 방향을 사용하고, OB영역은 부영역의 대표 방향 및 이웃한 두 방향을 사용하였다. RB영역은 추출 과정에서 제외하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서 지문영상의 화질 결정 방법과, 3절에서 부영역별 화질 정보를 이용한 게이버 필터의 다중적용을 기술하고, 4절에서 실험결과와 마지막으로 5절에서 결론 및 향후 연구과제에 대해 설명한다.

### 2. 지문영상의 화질결정

사람의 피부는 탄성을 가지고 있기 때문에 접촉식 지문 입력기를 통하여 영상 획득 시 전단력에 의해 용선의 간격이 좁아지는 국부적인 변형이 발생하여, 지문영상에서 그림1과 같이 용선과 골(valley)을 구분할 수 없는 부분으로 존재한다. 또한 지문에 땀이나 기름기가 존재할 경우에도 마찬가지로 용선의 구분이 어려운 영역이 발생한다. 이렇게 용선 구분이 어려운 부영역이 존재하는 지문 영상에서 국부영역 화질을 고려하지 않고 특징점을 추출

할 경우, 의사특징점 들은 주로 용선 구분이 어려운 부영역에 집중하여 발생하게 된다. 이러한 의사 특징점은 지문인식 시스템 성능을 저하시키는 주된 요인이 된다.

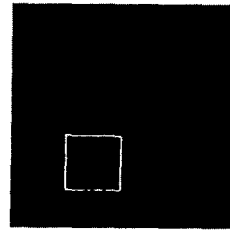


그림1. 국부왜곡이 존재하는 지문영상 예

지문영상에 있어서 화질은 용선과 골이 뚜렷하게 구분되어 용선의 흐름이 얼마나 명확한가를 가지고 좋고 나쁨을 말할 수 있다. 용선의 방향을 알아내기 위하여 지문영상을  $w \times w$  크기의 부영역으로 나누어 처리한다(본 연구에서  $w=8$  사용). 그림2와 같이 부영역을 이루는 화소 중 관심대상인 화소와 그 주변 화소값의 차이를 식1과 같이 계산하여 방향성을 결정한다.

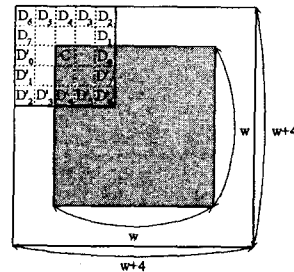


그림2. 부영역 대표방향성 결정

$$S_k = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M [\max(D_k, D'_k, C) - \min(D_k, D'_k, C)] \quad (\text{식1})$$

where,  $k=0,1,\dots,7$

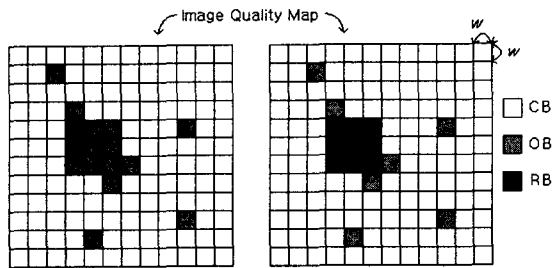
여기서  $i, j$ 는 처리 대상 화소의 좌표이며  $D_k, D'_k, C$ 는 해당 화소의 256 계조도를 의미하고,  $k$ 는 0부터 7까지  $180^\circ$ 를 8등분한 대표 방향을 나타낸다. 부영역의 대표방향은 8개의  $S_k$  값중 최소인 값의  $k$ 가 된다. 영상화질이 좋은 경우는 부영역의 대표방향에 해당하는  $S_k$  값과 수직방향의 값  $S_{(k+4) \bmod 8}$ 의 차가 크게 나타난다. 이는 용선의 흐름 방향으로 화소값의 변화가 작고 용선 흐름의 수직방향으로는 변화가 큼을 의미한다. 식2는 이러한 근거를 이용한 부영역의 영상화질  $Q$ 를 계산하는 식이다[5].

$$Q = (S_{(k+4) \bmod 8} - S_k) / w^2 \quad (\text{식2})$$

부영역의 화질에 따라 추출과정에 변화를 주기 위하여 다음과 같이 세가지로 화질을 정의하였다.

- RB(Removable Block): 제거 대상 영역
  - OB(Obscure Block): 용선 흐름이 불명확한 영역
  - CB(Clear Block): 용선 흐름이 명확한 영역
- 계산된  $Q$ 가 임계치  $Q_{th}$ 보다 작으면 OB, 크거나 같으면 CB로 분류한다. 본 논문에서  $Q_{th}$ 값은 실험에 의해 40으로 결정하였다.

그림 3과 같이 OB로 분류된 부영역을 대상으로 9개의 부영역으로 이루어진  $3 \times 3$  크기의 정사각형을 구조적 요소(structuring element)로 하여 형태론(morphology)적 연산인 닫힘(closing)과 열림(opening)을 각각 1회씩 수행하였다. 이렇게 찾아낸 OB영역만의 집합을 RB로 분류하여 더 이상 특징점 추출과정을 거치지 않도록 하였다.



(a) 연산 전 (b)연산 후  
그림3. 형태론 연산 전·후의 부영역별 화질

### 3. 게이버 필터의 다중적용

일반적인 2차원 게이버 필터의 형태는 식3과 같다[2].

$$G(x, y, f, \theta) = \exp\left\{\frac{-1}{2}\left[\frac{x'^2}{\sigma_x^2} + \frac{y'^2}{\sigma_y^2}\right]\right\} \exp(i2\pi f x') \quad (\text{식3})$$

$$x' = x \sin\theta + y \cos\theta, \quad y' = x \cos\theta - y \sin\theta$$

여기서  $\theta$ 는 게이버 필터의 방향이고,  $f$ 는 용선 주파수,  $\sigma_x'$  과  $\sigma_y'$ 는  $x$ 와  $y$ 축을 따라 가우시안 분포를 따르는 표준편차이다. 본 연구에서는  $23 \times 23$  크기의 우대칭 게이버 필터(even-symmetric Gabor filter)를 사용하였다.

게이버 필터는 방향성분을 가지고 있기 때문에 방향성분이 명확하지 않은 OB 화질의 부영역과 방향성이 뚜렷한 CB 화질 부영역 처리 결과에 차이가 생긴다. 2절에서 결정한 영상화질 정보를 사용하여 OB 화질의 부영역에는 부영역의 대표방향과 그에 인접한 두 방향을 게이버 필터의  $\theta$ 값으로 사용하였고, CB 화질의 부영역은 대표 방향을  $\theta$ 값으로 사용하였다. OB영역에 적용한 게이버 필터는 식4와 같다.

$$G_M(x, y) = W_1 G(x, y, f, \theta_k) + W_2 G(x, y, f, \theta_{(k+1) \bmod 8}) + W_3 G(x, y, f, \theta_{(k-1) \bmod 8}) \quad (\text{식4})$$

여기서  $W_1, W_2, W_3$ 는 가중치이고 본 연구에서는 모두  $1/3$ 을 사용하였고,  $k$ 는 부영역의 대표방향이다.

부영역의 화질을 고려하지 않고 필터링한 영상과 OB 영역에 대표방향과 인접한 두 방향까지 세가지  $\theta$ 값을 사용하여 필터링한 영상을 비교하면 그림4와 같다. 그림4의 (a)에서 용선의 흐름이 명확하지 않은 부분이 제거되었고 결과 용선의 구분이 선명해졌다.



(a)단일 게이버 필터 적용 (b)다중 게이버 필터 적용  
그림4. 부영역 영상화질을 고려한 처리 결과 예

### 4. 실험결과

본 연구의 실험을 위해 사용한 데이터베이스는 지문인식 분야의 유일한 국제적 기술경연대회인 FVC2002(The Second International Fingerprint Verification Competition)에 사용된 데이터베이스 중에 DB3 SetA를 사용하였다. 이 데이터베이스는 Precise Biometric사의 100SC 반도체식 지문입력기를 사용하여 획득한 100개의 손가락 총 800장의 이미지로 구성되어 있다.

#### 4.1 특징점 추출 성능평가

부영역의 화질정보를 이용하여 게이버 필터의 적용 방법에 변화를 주었을 때 특징점의 정추출율과 오추출율의

변화를 확인하기 위하여 다음의 네 가지 항목을 정의하여 계산하였다[6].

- TM(Number of True Minutiae): 전문가가 확인한 지문영상에 존재하는 특징점의 개수
- PM(Number of Paired Minutiae): 알고리즘이 추출한 진짜 특징점의 개수
- DM(Number of Dropped Minutiae): 알고리즘이 추출하지 못한 진짜 특징점의 개수
- FM(Number of False Minutiae): 알고리즘이 추출한 의사 특징점의 개수

본 논문에서 정추출율은 PM/TM, 오추출율은 FM/(PM+FM)으로 정의하여 계산하였다. 실험결과 표1과 같이 16%의 오추출을 감소를 보였고 표2와 같이 14%의 특징점 추출알고리즘 속도 향상을 보였다. 이것은 영상의 화질 평가를 통해 RB영역에는 특징점 추출 과정을 적용하지 않아 의사특징점 발생이 줄었고 그만큼 처리시간의 이득을 보았기 때문에 OB영역에 다중 게이버 필터를 적용하여도 전체적인 추출 처리시간은 감소하였다. 평균 추출 처리시간은 인텔펜티엄III 933MHz CPU, RAM 512MB의 데스크탑환경에서 측정하였다.

표1. 정추출율과 오추출율의 변화

특징점 개수	TM	화질정보 적용 전			화질정보 적용 후		
		PM	DM	FM	PM	DM	FM
평균	18.25	14.83	3.41	13.42	15.39	2.85	7.48
분산	44.37	32.71	9.77	32.64	29.66	7.72	23.59
정추출율		82%			86%		
오추출율		47%			31%		

표2. 특징점 추출에 소요되는 평균 처리시간

	화질정보 적용 전	화질정보 적용 후
평균 처리시간	0.98sec	0.84sec

#### 4.2 인식성능 평가

알고리즘의 인식성능 평가는 FVC2002의 성능평가 규칙을 따라 FMR(False Match Rate)과 FNMR(False Non Match Rate), EER, Zero FMR을 이용하여 비교하였다[7]. 결과는 표3과 같이 EER이 부영역 화질을 고려할 경우 14.31%에서 7.5%로 감소하고 Zero FMR 역시 55.3%에서 41.93%로 감소 하였다.

표3. 화질고려 전·후의 인식성능

알고리즘	EER	Zero FMR	Reject Enroll	Reject Match
개선 전	14.31%	55.31%	0.0%	0.0%
개선 후	7.50%	41.93%	0.0%	0.0%

그림5의 ROC(Receiver Operating Characteristic)곡선과 같이 부영역 화질을 고려할 경우 알고리즘의 인식성

능이 향상되었다.

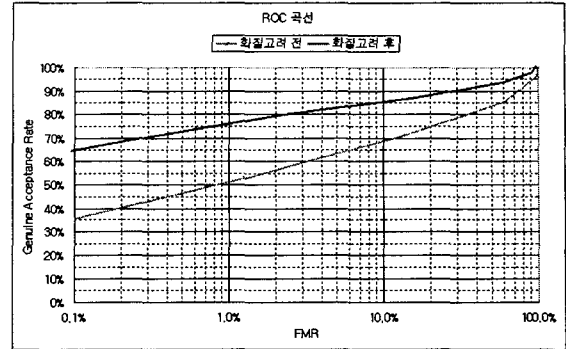


그림5. 화질 고려 전·후의 ROC 곡선 비교

#### 5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 지문 영상의 국부적인 화질을 세가지로 정의하였다. 화질에 따라 RB영역은 추출 과정을 거치지 않고 OB영역은 게이버 필터를 다중 적용하였으며, CB영역은 한번의 게이버 필터링 과정을 거쳤다. 이렇게 부영역 별로 화질을 고려하여 특징점 추출알고리즘을 개선한 결과 정추출율은 4%, 오추출율은 16% 향상되었다. 또한 추출 성능이 개선됨에 따라 EER이 14.31%에서 7.5%로 향상되었다.

특징점 추출 알고리즘의 성능이 안정되기 위해서는 영상의 화질이 좋고 나쁨에 따라 영상처리 과정을 유연하게 적용시켜야 한다. 향후 과제로는 추출된 특징점의 신뢰도를 결정할 수 있는 방법에 대한 연구가 진행되어야 한다.

#### 참고문헌

- [1] 안도성, "블럭 구조를 이용한 지문 인식 알고리즘 및 성능 평가 시스템에 관한 연구," 인하대학교 대학원 박사학위 논문, 2001.
- [2] L. Hong, Y. Wan, A. Jain, "Fingerprint image enhancement : algorithm and performance evaluation," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 20, No. 8, pp.777-789, 1998.
- [3] A. Jain, L. Hong, "Filterbank-Based Fingerprint Matching," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 9, No. 5, pp.846-859, 2000.
- [4] R. H. Bamberger, M. J. T. Smith, "A Filter Bank for the Directional Decomposition of Images : Theory and Design," *IEEE Trans. Signal Processing*, Vol. 40, No. 4, pp.882-893, 1992.
- [5] 김학일, "지문 특징 추출방법," 특허 출원번호 1019980008581, 출원일 1998.3.13.
- [6] 양지성, 안도성, 김학일, "지문의 의사 특징점 제거 알고리즘 및 성능 분석," 전자공학회 논문지, 제37권, CI편, 제3호, pp.12-26, 2000.
- [7] , Fingerprint Verification Competition 2002, "http://bias.csr.unibo.it/fvc2002/".