

지문영상의 품질특성에 따른 적응적 영상개선

윤은경⁰ 조성배
연세대학교 컴퓨터과학과
(ekfree⁰, sbcho)⁰@candy.yonsei.ac.kr

Adaptive Image Enhancement with Fingerprint Image Quality Characteristics

Eun-Kyung Yun⁰ and Sung-Bae Cho
Dept. of Computer Science, Yonsei University

요약

지문영상으로부터 특징점을 정확하게 추출하는 것은 효과적인 지문인식 시스템 구축에 매우 중요하다. 하지만 입력영상의 품질에 따라 특징점 추출의 정확도가 좌우되기 때문에 영상 전처리 과정이 필요하다. 대부분의 품질평가 연구들이 매우 낮은 품질의 영상 제거나 제안하는 방법의 성능평가를 위해 진행되었다. 본 논문에서는 입력영상으로부터 명암값의 평균 및 분산, 블록방향성차, 방향성 변화도, 융선과 골 두께 비율 등 5가지 특징을 추출하여 계층적 클러스터링 알고리즘을 이용하여 영상특성을 분석 후, oily/neutral/dry 특성에 적합하게 영상을 개선하는 방법을 제안한다. NIST DB 4와 인하대학교 데이터베이스를 이용하여 실험한 결과, 클러스터링을 통해 영상의 특성을 제대로 구분함을 확인할 수 있었다. 또한 제안한 적응적 전처리 방법이 성능평가를 위해 측정된 quality index와 블록방향성차를 향상시키는 효과를 확인할 수 있었다.

1. 서론

지문인식 시스템의 성능을 높이기 위해서는 입력영상으로부터 매칭에 사용할 특징을 자동으로, 정확하게 찾아낼 필요가 있다. 특징추출 단계의 성능은 입력영상의 품질에 따라 크게 좌우되기 때문에 좋은 품질의 영상을 획득하는 것이 매우 중요하다[1]. 하지만 다양한 요인들이 영상획득에 많은 영향을 주므로 시스템 내부에서의 영상전처리 과정이 필요하다.

현재까지 지문영상의 품질평가 및 영상개선에 대해 많은 연구가 진행되었지만 대부분 지문영상의 전체적인 품질만을 고려하여 제안하는 방법의 성능평가에 사용하거나 전체시스템에서 매우 낮은 품질의 영상을 거부하는 기준으로만 이용하였다. 뿐만 아니라 대부분의 영상개선 알고리즘이 영상의 특성과 관계없이 획일적으로 진행된다. 본 논문에서는 영상의 품질을 적응적으로 개선하기 위해 지문영상의 특성을 분석한다. 단순히 품질의 고저를 구분하는데 그치지 않고 계층적 클러스터링 알고리즘을 이용하여 oily/dry/neutral 특성을 파악하여 이에 따라 적응적으로 전처리를 하여 효과적으로 영상을 개선시킨다.

2. 영상특성에 따른 전처리

일반적으로 융선과 골의 구분이 얼마나 명확한지, 전체적으로 얼마나 잘 연결되어 있는지에 따라 영상의 품질이 결정된다. 그림 1은 지문영상의 다양한 특성을 보여준다.

- Oily 영상: 융선과 골의 구분이 선명하지만 많은 영역에서 골의 일부가 매워져 겹쳐서 보이거나 융선과 융선이 연결되는 영역을 많이 볼 수 있다. 골의 두께보다 융선의 두께가 훨씬 두꺼운 편이다. 습한 피부나 입력시 압력이 큰 경우이다.
- Neutral 영상: 보통 oily나 dry 특성이 특별히 드러나지 않는다. 특별한 전처리 과정이 필요없다고 할 수 있다.
- Dry 영상: 융선과 골의 명암 차이가 크지 않고 지문의 융선이 끊어지는 부분을 많이 볼 수 있다. 융선 위에 하얀 점들이 많이 존재한다. 건조한 피부나 입력시 압력이 낮은 경우이다.

본 논문에서 제안하는 시스템은 그림 2와 같다. 입력장치로부터 획득한 지문영상의 품질평가를 위해 다양한 특징을 추출하여 클러스터링 방법을 통해 유사한 특징을 가진 영상끼리 모으고, 이 결과를 바탕으로 각 클러스터가 어떠한 특징분포를 이루고 있는지 분석한다. 품질분석이 완료되면, 그에 적합한 전처리 모듈을 적용한다.



그림 1. 지문영상의 예

2.1 특징추출

본 논문에서는 표 1에서 보는 바와 같이 총 5개의 특징을 이용하여 영상의 특성을 파악한다.

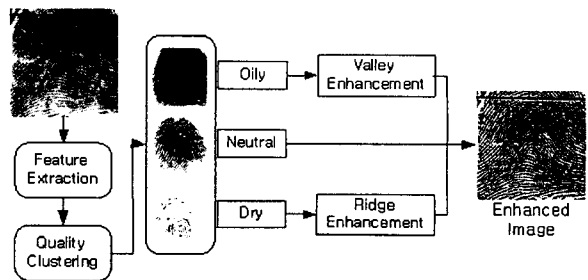


그림 2. 시스템 개요

표 1. 영상품질 분석에 사용한 특징

특징	정의
평균(M)	명암값의 평균
분산(V)	명암값의 분산
블록방향성차이(B)	블록 당 방향성 차이의 평균
윤선과 끝 두께의 비율(R)	윤선과 끝 두께 비율의 평균
방향성 변화도(O)	블록에서의 방향성을 이용, 가로 세로 방향으로 방향성 차이의 합을 구함

영상의 평균과 분산은 명암값을 이용하여 아래와 같이 계산한다. 평균은 영상의 전체적인 명암 높낮이 정보를 알려줄 수 있으며, 분산으로 영상의 전체 명암 균일성 정도를 파악할 수 있다.

$$Mean = \frac{1}{NM} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} I(i, j)$$

$$Variance = \frac{1}{NM} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (I(i, j) - Mean)^2$$

여기서 입력영상은 $N \times M$ 크기이며 $I(i, j)$ 는 영상의 (i, j) 번째 픽셀의 명암값을 의미한다.

블록방향성차는 영상의 블록별로 9×9 마스크를 이용하여 8방향에 대해 명암차이를 계산한다[2]. 블록방향성차이가 클수록 윤선과 끝 간의 구분이 뚜렷함을 의미하므로 해당 블록은 품질이 좋다고 할 수 있다. 윤선과 끝 두께 비율 역시 블록 단위로 계산한다. 각 블록에서 윤선 방향에 수직인 방향에 놓여있는 픽셀의 명암값을 이용하여 계산할 수 있다. 각 블록에서 구해진 윤선두께와 끝두께를 이용하여 각 블록의 윤선과 끝 두께 비율을 구한 후, 전체 영상에서 이 값의 평균을 얻는다. 방향성 변화도는 블록방향성을 이용하여 방향성의 변화를 측정한 값이고 방향성은 소벨 연산자로 각 픽셀의 경사도를 구하여 블록별로 계산한다[3]. 이렇게 추출된 특징 값들은 클러스터링하기 위해 특별히 0에서 1사이의 값으로 정규화하였으며, 블록 크기는 모두 16×16 으로 하였다.

2.2 영상품질 클러스터링

위에서 구한 5개의 특징을 기반으로 Ward 알고리즘[4]으로 클러스터링한다. Ward 알고리즘은 계층적 클러스터링의 한 방법으로 모든 데이터가 초기에는 독립적인 클러스터로 시작하여 가장 유사한 클러스터끼리 병합하는 방식으로 진행된다. 이 방법은 덴드로그램을 이용하여 클러스터의 계층적인 구조를 쉽게 시각화할 수 있어 널리 사용된다. Ward 방법은 클러스터 내부의 제곱합을 기반으로 유사도를 계산한다. 모든 데이터가 하나의 클러스터가 될 때까지 클러스터링을 진행한다. 본 논문에서는 NIST DB 4를 이용하여 앞서 구한 5개의 특징을 가진 5차원의 데이터 2000개를 클러스터링한다.

또한 적절한 클러스터의 수를 결정하기 위해 아래와 같이 Mojena의 cut-off 값[5]을 사용한다.

$$Mojena's\ Value = \bar{h} + \alpha s_n$$

여기서 \bar{h} 는 모든 클러스터의 덴드로그램 높이의 평균이며, s_n 는 높이의 표준 편차를 나타낸다. α 값은 상수값으로 본 논문에서는 $\alpha = 1.25$ 로 하여 클러스터의 개수를 정하였다(Milligan and Cooper, 1985).

2.3 적응적 전처리

일반적으로 사용하는 영상 전처리 과정으로 영상평활화가 있다. 이는 dry 영상 처리시 윤선 위에 있는 흰 점들을 제거하지만, 윤선의 두께가 주위 윤선보다 얇은 부분은 끊어질 수 있다. 마찬가지로 oily 영상은 끝에 있는 검은잡음들이 제거되면서 끝의 두께가 매우 얇은 부분은 아예 사라져버리는 문제가 있다. 본 논문에서는 다음과 같이 dry 영상과 oily 영상에 대해 각각 윤선개선과 끝개선 작업을 한다[6].

- 1) Dry 영상의 윤선개선: 윤선의 끝길을 추출하여 윤선 상에 존재하는 흰 점들을 제거함과 동시에 윤선의 구조 유지가 가능하다.
 - A. 원영상에 블러링 적용: 잡음 제거를 위해 블러링을 적용한다.
 - B. 세선화 작업 수행: 윤선의 끝길을 추출한다.
 - C. 세선화 영상을 확장
 - D. 원영상과 C의 확장된 영상에 or 연산을 수행: 원영상의 검은 픽셀과 윤선의 중심 끝길을 확장시킨 영상을 결합함으로써 윤선의 구조를 유지하면서 흰 점들만을 제거할 수 있다.
- 2) Oily 영상의 끝개선: 끝개선 작업은 윤선개선 작업보다 약간 복잡하다. 끝이 특정 임계치보다 가는 부분을 탐지해내는 단계가 필요하기 때문이다. 세선화 과정에서 임계치보다 가는 윤선만을 추출함으로써 너무 붙어있는 윤선이 있는 부분은 세선화에서 제거한다.
 - A. 원영상에 블러링 적용: 매우 가늘고 끊어진 끝은 제거한다.
 - B. 세선화 작업 수행: 윤선의 끝길을 유지한다.
 - C. 세선화 영상을 확장: 끝이 매우 가는 부분을 제외한 나머지 부분의 윤선과 끝의 구분으로 명확한 영상을 얻을 수 있다.
 - D. 원영상과 C의 확장된 영상에 and 연산 수행: 원영상의 검은 픽셀과 C영상의 검은 부분을 합성함으로써 윤선 간격이 너무 좁지 않은 부분의 윤선 구조를 찾아낸다.
 - E. 원영상을 침식시킨 영상과 C영상의 inverse 영상에 and 연산 수행
 - F. D영상과 E영상에 or 연산 적용: 두 영상의 검은 픽셀들을 결합함으로써 끝개선된 영상을 얻을 수 있다.

3. 실험 및 결과

실험을 위해 사용한 데이터는 NIST DB 4[7](DB1)와 인쇄대 학교 신호 및 정보공학 연구실에서 수집한 지문영상[8](DB2)이다. DB1은 흑백 지문영상으로 512×480 크기이다. 하나의 손가락에 대해 두 번의 영상을 얻었으며, 총 데이터 수는 2000쌍으로 4000개이다. DB2 역시 흑백 영상으로 크기는 248×292 이다. 본 실험에서는 DB2의 절반인 2000개의 영상을 이용하여 클러스터링하여 얻은 규칙으로 남은 2000개 영상에 대해 적응적 전처리를 수행한다.

앞서 정의한 5개의 특징을 추출하여 Ward 알고리즘으로 클러스터링하여, Mojena의 규칙으로 결정된 클러스터의 수는 5이다. 그림 3은 클러스터링 결과를 규칙으로 분석한 것으로 총 23개의 규칙을 찾을 수 있었다. 여기서 확인할 수 있듯이 윤선 두께가 끝 두께보다 큰 경우는 oily 클러스터에 속함을 알 수 있다. Dry 영상의 경우, 윤선과 끝 두께의 비율과 평균이 다른 클러스터와 차이가 남을 알 수 있다. 또한 23개의 규칙에 사용된 특징의 빈도수를 이용하여 각 특징의 중요도를 분석한 결과 표 2에서 볼 수 있듯이 윤선과 끝 두께 비율이 가장 중요한 특징으로 나타났다.

```

IF ((B < 0.041) and (R >= 2.17))
  THEN Oily Cluster
ELSE IF ((V < 0.24) and (2.14 <= R < 2.17) and (B < 0.29))
  THEN Oily Cluster
ELSE IF ((V < 0.39) and (O >= 0.21) and (B < 0.33)
  and (R < 1.73))
  THEN Dry Cluster
ELSE IF ((M >= 0.54) and (B < 0.12) and (V >= 0.39)
  and (O >= 0.21) and (R < 1.73))
  THEN Dry Cluster
ELSE Neutral Cluster
    
```

그림 3. 클러스터링을 통해 얻어진 규칙

표 2. 각 특징의 중요도

평균(M)	0.67
분산(V)	0.20
블록방향성차이(B)	0.37
방향성 변화도(O)	0.36
용선과 골 두께 비율(R)	1.00

이를 보다 정량적으로 평가하기 위해 두 가지 방법으로 품질을 측정해보았다. 먼저 위에서 사용한 특징 중, 영상의 블록방향성차이를 평균한 값을 이용하여 품질의 고저를 판단해보았다. 블록방향성차이가 클수록 좋은 영상이다. 표 3에서 보듯이, 영상의 특성에 대한 정보없이 확실적인 전처리 모듈을 적용했을 때에는 블록방향성차이가 146~147 정도인 반면, 적응적 전처리 모듈을 적용한 경우, 그 값이 평균의 두 배 정도 증가했음을 확인할 수 있다.

표 3. 적응적 필터링 적용 후 영상 개선도

	Conventional filtering (C)	Adaptive filtering (A)	Enhancement (C/A)
Oily Image	146.9	380.9	2.59
Dry Image	147.9	260.5	1.76

두 번째로, 추출된 minutiae를 이용하여 다음과 같이 품질을 측정해보았다. 여기서 c 는 올바르게 추출된 minutiae 수, f 는 잘못된 추출된 minutiae 수, u 는 추출되지 않은 minutiae 수이다.

$$quality\ index = \frac{c}{c + f + u}$$

기준이 되는 minutiae(true minutiae)는 전문가에 의한 수작업으로 추출하여 알고리즘을 통해 추출된 minutiae와 비교하였다. 품질 분석을 통해 다양한 품질을 가진 영상 50개를 선정하여 품질을 측정하고 결과 일반적인 필터링을 거친 영상보다 적응적 필터링을 거친 영상에서 품질이 높음을 확인할 수 있었다. 표 4는 영상에 대한 quality index 계산 결과를 보여준다. 50개의 영상 중에서 10개 데이터에 대한 품질 측정 값의 변화와 전체 데이터에 대한 평균값을 보여준다. 실제로 이 결과가 유의한지를 분석하기 위해 paired t-test를 실시해보았다. 그 결과 t값은 5.49, p값은 0.0001이하로, 99% 신뢰수준에서 동일한 영상집단에 적응적 필터링 방법을 적용한 후의 품질차이가 유의함을 확인할 수 있다.

표 4. Quality index 측정 결과

	Conventional Filtering	Adaptive Filtering
Mean	0.15	0.22
Variance	0.01	0.02

4. 결론

생체인식 시스템의 성능은 입력영상의 품질에 달려있다고 할 수 있다. 따라서 좋은 품질의 영상을 얻을수록 시스템 성능은 높아지는데, 시스템이 다양한 환경에서 사용되므로 항상 좋은 품질의 영상을 얻기는 어렵다. 이를 해결하고자 영상을 개선하는 작업이 필요한데 일반적으로 영상의 특성과 상관없이 일률적인 전처리가 진행된다. 지문영상의 품질을 평가하더라도 전처리 단계에서 개선이 가능한지를 확인하거나 영상개선 모듈의 성능 평가를 위한 연구가 대부분이었다. 본 논문에서는 지문영상의 품질평가에 있어, oily영상과 dry 영상의 특성 분석을 통해 영상 특성에 따른 전처리를 시도하였다. 제안한 방법을 quality index를 이용하여 평가한 결과 적응적 전처리를 통해 영상의 품질을 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

감사의글

이 논문은 생체인식연구센터(KOSEF)에 의해 지원받았음.

참고문헌

- [1] N. K. Ratha, K. Karu, S. Chen, and A. K. Jain, "A Real-Time Matching System for Large Fingerprint Databases," *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 18, no. 8, pp. 799-813, August 1996.
- [2] K. Karu, and A. Jain, "Fingerprint Classification," *Pattern Recognition*, vol. 29, no. 3, pp. 389-404, March 1996.
- [3] L. Hong, Y. Wan and A. K. Jain, "Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation," *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, no. 8, pp. 777-789, August 1998.
- [4] J. H. Ward, "Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function," *Journal of the American Statistical Association*, vol. 58, no. 301, pp. 236-244, 1963.
- [5] R. Mojena, "Hierarchical Grouping Methods and Stopping Rules: An Evaluation," *Computer Journal*, vol. 20, pp. 353-363, 1977.
- [6] N. Ikeda, M. Nakanishi, K. Fujii, T. Hatano, S. Shigematsu, T. Adachi, Y. Okazaki and H. Kyuragi, "Fingerprint Image Enhancement by Pixel-Parallel Processing," *16th International Conference on Pattern Recognition*, vol. 3, pp. 752-755, August 2002.
- [7] C. I. Watson and C. L. Wilson, *NIST Special Database 4, Fingerprint Database*, U. S. Nat'l Inst. of Standards and Technology, 1992.
- [8] H. Kang, B. Lee, H. Kim, D. Shin, and J. Kim, "A Study on Performance Evaluation of Fingerprint Sensors," *4rd International Conference Audio- and Video-based Biometric Person Authentication*, pp. 574-583, June 2003.