

방향성 대역 통과 필터를 이용한 지문영상의 개선

오상근, 박철현, *이준재, 박길흠
경북대학교 전자전기공학부, *동서대학교 인터넷 공학부

Fingerprint Image Enhancement Using Directional Filter Bank

Sang Keun Oh, Chul Hyun Park, *Joon Jae Lee, Kil Houn Park
Kyungpook National University, *Dongseo University

E-mail : taesa@palgong.knu.ac.kr

본 논문은 잡음에 의해 열화된 지문영상을 향상시키기 위해 화소가 가지는 다중방향성을 이용하는 방법을 제안한다. 지문영상은 용선과 골의 규칙적인 배열로 이루어지는데 이러한 용선과 골을 구성하는 화소의 방향성들은 잡음이 가지는 방향성들과는 구별된다. 방향성대역 통과 필터뱅크(Directional Filter Bank ; DFB)는 입력영상이 가진 일정한 방향성 대역을 통과시켜서 다수개의 부영상들을 생성한다. 본 논문은 DFB를 이용하여 지문영상을 다수개의 특정 방향성을 가진 부영상들로 분해한 다음 이러한 부영상들을 사용하여 지문영상을 개선한다.

I. 서론

일반적인 개인식별을 위한 장치로서 열쇠, 비밀번호, 카드와 같은 것이 사용되고 있지만 그 특성상 분실, 훼손, 망각의 우려가 있으므로 신뢰성과 편리성면에서 월등한 생체특징을 이용한 개인식별이 연구되고 있다. 생체특징을 이용한 개인식별에는 음성, 서명, 망막, 얼굴, 지문 등을 이용하는 방법이 있는데 그중 지문은 개인유일성 및 불변성을 지니면서 획득 및 처리가 상대적으로 용이한 장점이 있으며 실제로 범죄수사 및 시설물이나 정보 보안장치 등에 사용되고 있다.^[1,4,5]

지문영상은 획득과정에서 잉크번짐, 땀, 물순물 혹은 불균일한 압력등에 의해 잡음이 섞일 수 있으며 영상의 품질 열화가 발생할 수 있다. 지문인식 시스템은 열화된 지문영상을 이용하여 정확하고 신속한 인증 및 검색 작업을 수행해야 하므로 전처리 단계에서의 영상개선은 중요한 비중을 차지한다.^[4,6]

지문영상의 일반적인 구성요소는 그림 1과 같다. 이 중에서 기준점과 삼각점은 특이점이라 하고, 분기점과 끝점은 특징점이라 한다. 영상개선을 위한 잡음제거를 위해 보편적으로 사용하는 화소값이나 블록내 화소값에 기반한 평균화 방법은 용선 등의 연속성을 훼손할 수 있으므로 지문영상에서는 적합하지 못하다. 일반적으로 화소의 방향성에 기반하여 영역의 방향성을 구하고, 이에 기반하여 만든 경로상의 평균 및 분산을 사용한다. 영상개선을 위해 구한 화소의 방향성은 영상개선 뿐만 아니라 지문영상의 매칭을 위해 사용하는 기준점인 core-point나 delta-point의 위치를 구하기 위한 입력으로 사용되거나 지문영상의 용선 진행방향을 이용한 지문영상의 분류에 사용되기도 한다.

지문을 이용한 식별 및 판별을 위한 전처리는 잡음제거와 함께 용선과 골의 대비를 높이는 과정이다. 용선의 방향성을 이용하여 지문영상의 개선을 행하는 방법으로는 블록내 방향성과 공간주파수를 입력으로 하는

Gabor filtering을 이용하는 방법^[4], 방향성과 대응하는 1차원 마스크를 이용하여 용선의 복원을 수행하는 방법^[5], 그리고 주파수변환을 이용하여 대역영상을 생성한 다음 화소의 방향성과 일치하는 대역영상의 화소를 이용하여 복원하는 방법^[6] 등이 있다.

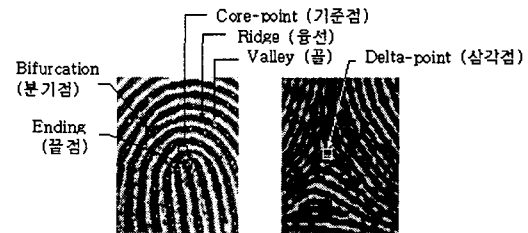


그림 1. 지문의 구성요소

이 중에서 [4]는 수행시간이 길며 다음 단계를 위해 형태학적 처리와 같은 후처리가 필요하다. [5]는 복원후에 특징점 및 특이점의 위치 정보가 손실될 우려가 있다. 그리고 [6]은 알고리즘의 수행을 위해 특징점과 특이점의 정확한 위치가 필요하며 대역영상의 생성을 위해 많은 시간이 필요하다.

본 논문에서는 단일 화소가 가지는 여러 방향으로의 방향성정도를 이용하여 영상개선을 수행한다. 단일 화소가 가지는 방향성들 중 에너지가 큰 방향성을 이용하여 영상을 재구성함으로써 용선과 골을 강조한다. 다수개의 방향성을 가지는 잡음의 경우에는 소수개의 방향성을 이용하며 그 외의 방향성은 차단함에 따라 잡음의 영향을 감소시킬 수 있으며 용선과 골의 경우에는 두드러진 방향성을 이용하므로 강조된 영상을 얻을 수 있다. 이를 위해 입력 영상을 여러 개의 방향성 대역 영상으로 나눈 다음 입력영상의 각 화소에 대응하는 각 대역영상의 원소를 고려한다. 본 논문에서 사용한 방법은 주파수 변환을 거치지 않고 공간영역에서 표본화 행렬을 이용하여

방향성 대역영상을 생성하므로 수행시간을 감소시킬 뿐만 아니라, 생성시킨 방향성대역통과 영상들로부터 에너지가 큰 성분들만을 추출하여 재구성함으로써 지문의 융선과 골의 대비를 강조할 수 있고, 가중치를 준 여러 개의 방향성분을 복원에 사용할 수 있으므로 특징점 및 특이점의 정보를 보존할 수 있다.

II. 방향성 대역 통과 필터뱅크

기존의 방향성 대역통과 필터(DFB) 알고리즘은 분리 가능한 1차원 필터링과 입력영상의 완전 복원, 그리고 최대 간섭을 지원하므로 대역간 간섭(aliasing)을 없앨 수 있다는 장점을 가진다.^[2] 본 논문에서 사용하는 DFB 알고리즘은 기존 알고리즘의 장점을 보존하면서 방향성 필터뱅크의 결과인 대역출력부분의 시각적 표현을 개선한 알고리즘이다.^[3]

한 개의 2대역 필터뱅크를 단계별로 계속 직렬 연결하는 트리 구조의 필터뱅크와는 달리 사용하는 방향성 대역통과 필터뱅크는 두 개의 필터뱅크를 사용하여 연결한다. 4개의 대역으로 나누어지게 되는 처음 2단계까지 사용하는 것과 3단계이상에서 사용하는 것으로 나뉘는데, 일반적으로 전자는 다이아몬드형 필터를 사용하며, 후자는 통과 대역의 형태에 따라 적절한 평행사변형 필터를 사용한다. 그러나 3단계이상에서는 표본화 행렬을 사용함으로써 평행사변형 필터대신에 1, 2단계에서 사용한 다이아몬드형 필터를 사용할 수 있다. 사용되는 단계별 필터링과정은 polyphase structure 구조로 구현이 가능하므로 계산량을 줄일 수 있으며 동일 형태의 분리 가능한 1차원 지역통과필터를 전체단계에서 사용할 수 있다.

방향성 대역통과필터를 이용하여 통과시킬 각 대역 및 1, 2 단계에서 사용되는 필터의 모양과 3단계에서 사용되는 일반적인 필터의 모양을 주파수 영역에서 도시하면 그림 2와 같다. 그리고 일반적인 필터뱅크의 구조와 polyphase 구조로 변환한 모습은 그림 3과 같다.

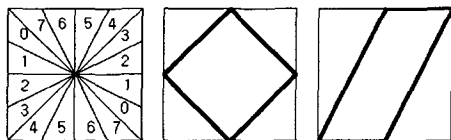


그림 2. DFB의 방향성 통과대역

DFB에 사용한 1차원 필터는 2차 선형위상 IIR 필터^[3]이며 polyphase 구조로 변경후에는 3개의 중첩된 3-tap IIR 필터로 표현할 수 있으며 처리속도를 개선시킬 수 있다. IIR 필터의 전달함수는 식 (1)과 같다.

$$H(z) = K \frac{(1+z^{-1})I(\omega_1)I(\omega_2)}{(1+\alpha^2 z^{-2})(1+\frac{1}{\alpha^2} z^{-2})} \quad (1)$$

$$I(\omega) = 1 - (2 \cos \omega)z^{-1} + z^{-2}$$

여기에서 $\omega_1 = 4.126081$, $\omega_2 = 4.488383$, $\alpha = 0.711746$, 그리고 $K = 0.295035$ 이다.

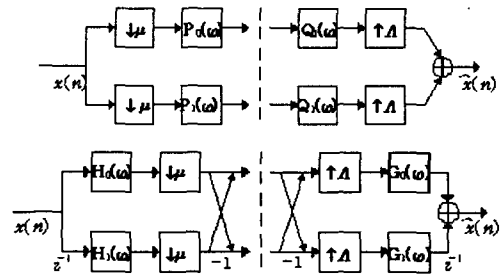


그림 3. Polyphase 구조로 나타낸 단위 필터뱅크

III. 지문영상의 개선

입력영상에 대하여 방향성 대역통과 필터뱅크를 적용시킨 후의 8개의 대역영상은 그림 4와 같다. 원 영상의 각 블록에 대응하는 방향성 통과 대역영상들의 원소들이 가지는 에너지를 계산하여 방향성 값으로 정한다.

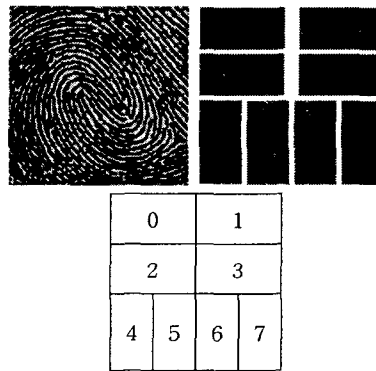


그림 4. 원 영상과 DFB의 방향성 통과 대역영상 및 대역위치

생성된 대역영상을 이용한 지문영상개선을 위해 다음 세 가지 방법을 사용한다. 첫 번째는 원 영상의 블록이 가지는 방향성 값들 중에서 비중이 가장 큰 방향성을 이용하여 영상을 구성한다. 두 번째는 원영상의 각 원소가 가지는 방향성 값들 중 비중이 큰 세 개의 방향성 대역영상의 원소들을 이용하여 영상을 구성한다. 마지막으로 원영상의 각 원소가 가지는 방향성 에너지의 크기가 임계치 이상인 대역영상에서의 화소를 이용함으로써 영상에 대한 초기 thresholding을 수행한 다음 잡음의 영향을 감소시키고 융선과 골의 대비를 강조하기 위해 원영상의 각 화소에 대응하는 대역영상의 방향성 값들 중에서 비중이 높은 3개 이하의 원소를 사용한다. DFB를 이용한 지문영상개선의 전체 과정은 그림 5와 같으며 원영상과 대응하는 대역영상들에서의 원소가 가지는 에너지는 식 (2)와 같다.

$$E_k(I, J) = \frac{1}{m_c \cdot n_c} \sum_{i=0}^{m_c} \sum_{j=0}^{n_c} (G_k(I, J, i, j) - \mu_k)^2 \quad (2)$$

방향성 대역 통과 필터를 이용한 지문영상의 개선

여기에서 $E_k(I, J)$ 는 대역 k 의 (I, J) 째 블록이 가지는 에너지를 나타내고, $G_k(I, J)$ 는 대역영상 k 의 (I, J) 째 블록내의 (i, j) 째 원소를 나타내며 대역영상내에서 블록의 크기는 $m_G * n_G$ 와 같다. 그리고 $\mu_k(I, J)$ 는 대역 k 의 (I, J) 째 블록이 가지는 방향성 값의 평균이다.

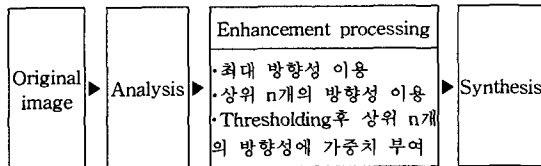


그림 5. DFB를 이용한 영상개선 과정

1. 에너지가 가장 큰 대역영상의 원소를 이용

원 영상의 각 블록에 대응하는 대역영상들의 각 원소가 가지는 에너지를 비교하여 그 크기가 가장 큰 원소만으로 대역영상들을 재구성한 다음 방향성 대역 통과필터뱅크의 역순으로 대역영상들을 합성하여 결과영상을 복원한다.

방향성 대역영상들로부터 조건에 맞는 원소들만을 이용하여 재구성한 대역영상들과 이로부터 합성한 결과영상은 그림 6과 같다. 각 화소에 대하여 1개의 방향성 값만을 이용하여 영상을 재구성함에 따라 여러 개의 큰 방향성 값을 가지는 잡음의 영향이 많이 감소됨을 알 수 있다. 또한 윤선 및 골이 가지는 방향성 값들 중에서 비중이 가장 큰 방향성 값으로만 영상을 합성함에 따라 결과영상에서 윤선과 골의 진행방향이 두드러짐을 알 수 있다. 그러나 원영상의 각 화소에 대하여 1개의 방향성 값만을 이용함으로써 여러 방향성분이 혼재하는 특징점 및 특이점의 정보가 소실됨을 알 수 있다.

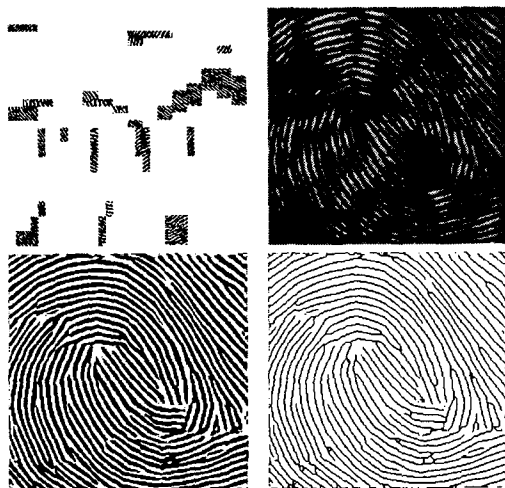


그림 6. 최대에너지를 가진 원소를 이용한 대역영상 재구성 및 합성

2. 에너지가 큰 n개의 대역영상의 원소를 이용

지문영상에서의 특이점 및 특징점에서 화소가 가지는 다수 개의 방향성분을 고려하기 위하여 여러 대역영상의 에너지 값을 이용하도록 한다. 먼저 대역영상들의 원소가 가지는 에너지를 비교하여 내림차순으로 정렬한다. 그리고 상위 n 개의 대역영상들의 원소만으로 대역영상들을 재구성한 다음 방향성 대역 통과필터뱅크의 역순으로 대역영상들을 합성하여 결과영상을 생성한다.

방향성 대역영상들로부터 조건에 맞는 원소들만을 이용하여 재구성한 대역영상들과 이로부터 합성한 결과영상은 그림 7과 같다. 여러 개의 큰 방향성 값을 가지는 잡음에 대하여 소수의 방향성 값만을 이용하여 재구성한 후에 합성함에 따라 잡음의 영향이 감소되며 윤선 및 골이 가지는 방향성 값들 중에서 비중이 낮은 방향성들은 차단함에 따라 합성후의 결과영상에서 윤선과 골의 진행방향이 두드러지며 결과적으로 윤선과 골의 대비가 강조됨을 알 수 있다. 한편 원 영상에 대응하는 대역영상의 에너지 값을 고려하기 위해 상위 n 개의 대역을 사용함에 따라 여러개의 방향성을 가지는 특이점 및 특징점의 정보가 잘 보존됨을 알 수 있다.

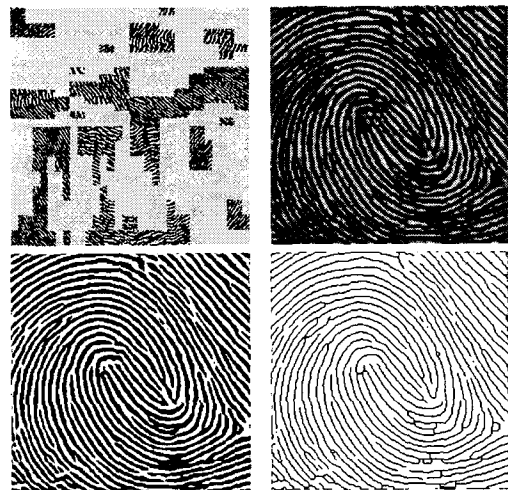


그림 7. 상위 3개의 원소를 이용한 대역영상 재구성 및 합성

3. 대역영상에 대한 thresholding 후 에너지가 큰 대역영상을 이용

변화가 거의 없는 배경등의 부분은 방향성 값이 낮으면서 합성후에는 전체영상에 영향을 주어 이진화시에 배경영역의 분리와 같은 과정이 추가되어야 한다. 따라서 대역영상들을 구성하는 원소들 중에서 크기가 작은 성분들을 차단하여 영향을 최소화한다.

대역영상의 재구성을 위한 과정은 다음과 같다. 먼저 대역영상들의 각 원소가 가지는 에너지가 임계치 이상이면 통과시키고 그렇지 않은 원소의 방향성 값은 0으

로 한다. 동일 위치에 대해 통과된 원소의 개수가 많으면 동일 위치를 나타내는 8개 원소의 방향성 값을 정렬하여 크기가 큰 3개를 추출한 다음 상위 원소에 대한 비율을 이용한 가중치를 부여한 다음 대역영상을 재구성하고 DFB의 역변환을 이용하여 합성한다.

원영상의 블록에 대응하는 8개의 대역영상들의 원소별 방향성 값이 임계치보다 클 때 합성에 사용할 각 대역영상의 원소에 가해지는 가중치는 방향성 값의 크기에 따라 다른 값이 주어진다. 최대 크기의 원소에는 1을 부여하고, 그 다음 순위의 원소에는 앞 순위의 방향성 값에 대한 비율을 가중치로 부여한다. 이렇게 함에 따라 완전한 기울기의 융선 및 골에서는, 대응하는 원영상의 화소가 가지는 두드러진 방향성 값을 이용되고, 두 개 이상의 방향성이 비슷한 비율로 존재하는 특이점 및 특징점 부근에서는 그 방향성 값들이 모두 이용된다.

재구성한 대역영상들과 이로부터 합성한 결과영상은 그림 8과 같다. 그리고 원영상에 대하여 이진화 및 세션화 수행후의 결과영상은 그림 9와 같다. 임계치 이상의 원소들을 이용하여 복원함에 따라 원영상에서의 융선과 골에 존재하는 잡음부분의 영향이 많이 감소되었으며 융선과 골의 대비가 강조되었음을 알 수 있다. 그리고 대역영상에서 대응하는 각 원소의 두드러진 방향성 값을 이용하여 복원함에 따라 짧게 끊어진 융선이 연장됨을 알 수 있다.

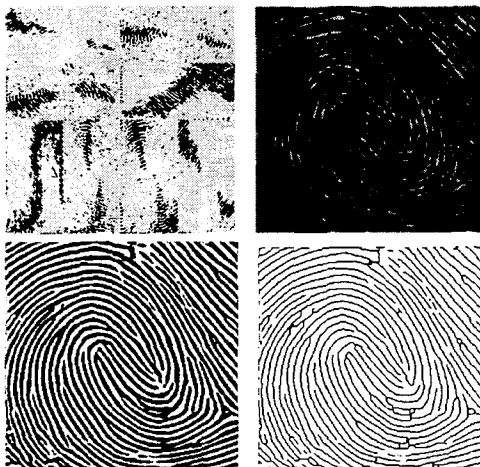


그림 8. 대역영상들에 대해 soft-thresholding후에 상위 n개의 대역을 사용



그림 9. 원영상을 평균화후 이진화 및 세션화

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문은 원 영상의 한 화소가 가지는 여러 가지 방향성 값을 이용하여 지문영상의 개선을 수행한다. 화소에 대응하는 여러 대역영상들의 원소가 가지는 방향성 값을 고려하여 일정 크기이상의 원소를 이용하여 영상을 복원함에 따라 배경부분이나 잉크번짐과 같은 변화가 거의 없으면서도 이진화시의 열화를 유발하는 부분의 영향을 감소시킨다. 그리고 통과된 원소들 중에서 에너지가 큰 상위 3개의 대역이미지를 이용하므로 3개 이상의 방향성분을 가지는 잡음의 영향이 감소된다. 또한 화소에 대응하는 대역영상들의 원소에 크기를 고려한 가중치를 부여함에 따라 완전한 기울기의 융선과 골 부분은 두드러진 방향성 값으로만 재구성되므로 융선과 골의 대비가 강조되며 잡음의 영향이 감소되므로 이어지는 이진화를 위한 후처리가 간소해진다. 더불어 방향성대역 영상을 생성하기 위해 사용한 DFB알고리즘^[3]은 공간상에서 표본화행렬을 이용하여 필터링을 수행하므로 주파수변환, 필터링 및 역주파수 변환과정을 생략할 수 있다.

한편 Core, delta point 와 같은 특이점과 분기점, 끝점과 같은 특징점 그리고 이들 부근의 화소는 다중 방향성을 가지므로 나아가 방향성 대역 영상들을 이용하여 특이점과 특징점을 인식한다. 이렇게 찾아진 특이점 및 특징점 정보를 이용하여 특징점 기반 지문영상 매칭을 수행할 수 있으며 이와 함께 지문영상의 각 화소가 가지는 방향성 값을 이용하여 지문영상의 분류가 가능해진다. 그리고 대역 영상들의 각 원소가 가지는 다중 방향성 값들의 분포를 이용하여 개인별 지문 코드를 생성하여 개인 식별이나 판별에 사용한다.

V. 참고문헌

- [1] A. Jain and R. Bolle, "On-Line Fingerprint Verification", *IEEE Trans. on Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 19, no. 4, pp. 302-314, 1997.
- [2] R. H. Bamberger and M. J. T. Smith, "A Filter Bank for the Directional Decomposition of Images : Theory and Design", *IEEE Trans. on Signal Proc.*, vol. 40, no. 4, pp. 882-893, 1992
- [3] Sang-il Park, M. J. T. Smith and R. M. Mersereau, "A New Directional Filter Bank For Image Analysis And Classification", *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 3, pp. 1417-1420, 1999
- [4] L. Hong, Y. Wan and A. Jain, "Fingerprint Image Enhancement Algorithm and Performance Evaluation", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, no. 8, pp. 777-789, 1998
- [5] A. Wahab, S. H. Chin and E. C. Tan, "Novel Approach to Automated Fingerprint Recognition", *IEE Proc. Vis. Image Signal Process*, vol. 145, no. 3, pp. 160-166, 1998
- [6] B. G. Sherlock, D. M. Monro and K. Millard, "Fingerprint Enhancement by Directional Fourier Filtering", *IEE Proc. Vis. Image Signal Process*, vol. 141, no. 2, pp. 87-94, 1994