

방향성 필터 뱅크에 기반한 지문영상의 향상

준회원 오 상 근*, 박 철 현*, 정회원 윤 옥 경*, 이 준 재**, 박 길 흠*

Fingerprint Image Enhancement Based on a Directional Filter Bank

Sang-keun Oh*, Chul-hyun Park* *Associated Members*
 Ock-kyung Yoon*, Jun-jae Lee**, Kil-houm Park* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 지문영상의 향상을 위한 방향성 필터링의 새로운 기법을 제안한다. 지문영상은 융선의 규칙적인 배열의 방향성 맵으로 구성되어 있으며, 융선의 주방향성은 지문영상의 주요 특징점을 추출하기 위한 융선의 연결이나 잡음의 제거 등 지문영상의 전처리과정에 매우 중요하다. 방향성대역 통과 필터뱅크(Directional Filter Bank ; DFB)는 입력영상을 주파수의 성분이 아닌 방향성 성분으로 분해한 다음, 이 대역영상으로부터 원영상을 완전하게 복원하는 필터이다. 본 논문은 DFB를 이용하여 지문영상을 방향성 대역 영상으로 분해하여 이를 처리한 후 복원함으로써 지문영상을 향상시키는 알고리즘을 제안한다.

ABSTRACT

This paper describes a new method of directional filter-based analysis for fingerprint enhancement. Fingerprint images can be represented by direction field of regular structure of ridge patterns. The dominant directional component of ridge plays a very important role in pre-processing steps of fingerprint image analysis such as ridge's linking and noise removal for minutiae extraction. A directional filter bank analyzes input image into directional subband images and synthesizes them to the perfectly reconstructed image. In this paper, a new fingerprint enhancement algorithm based on a directional filter bank is proposed. The algorithm decomposes the fingerprint image into subband images in the analysis stage, accomplishes an enhance procedure by processing subband images in the enhance stage and synthesizes them to the enhanced image in the synthesis stage.

I. 서 론

일반적인 개인식별을 위한 장치로서 열쇠, 비밀번호, 카드 등은 분실, 훼손 망각의 우려가 있어 신뢰성과 편리성이 우수한 생체특징에 대한 연구가 점차 확산되고 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 범죠후사 및 시설물이나 정보 보안장

치 등에 사용되고 있다.^[1,2,3]

지문영상은 획득과정에서 잉크번짐, 땀, 불순물 혹은 불균일한 압력등에 의해 잡음이 섞일 수 있으며 영상의 품질의 열화를 유발할 수 있다. 지문인식 시스템은 열화된 지문영상을 이용하여 정확하고 신속한 인증 및 검색 작업을 수행해야 하므로 전처리 단계에서의 영상개선은 중요한 비중을 차지한다.^[3,4,5]

영상개선을 위한 잡음제거를 위해 보편적으로 사용하는 화소값이나 블록내 화소값에 기반한 평균화 방법은 융선의 연속성을 훼손할 수 있으므로 지문

* 경북대학교 전자공학과 영상신호처리연구실 (taesa@palgong.knu.ac.kr) ** 동서대학교 인터넷공학부
 논문번호 : 010145-0618, 접수일자 : 2001년 6월 18일

영상에서는 적합하지 못하다. 일반적으로 화소의 방향성에 기반하여 영역의 방향성을 구하고, 이에 기반하여 만든 경로상의 평균 및 분산을 사용한다. 방향성은 영상개선 뿐만 아니라 지문영상의 매칭을 위해 사용하는 기준점인 core-point나 delta-point 같은 특이점의 추출이나 지문영상의 분류에 사용되기도 한다.^[1,6,7,8] 지문영상의 일반적인 구성요소는 그림 1과 같다. 이 중에서 기준점과 삼각점은 특이점이라 하고, 분기점과 끝점은 특징점이라 한다.

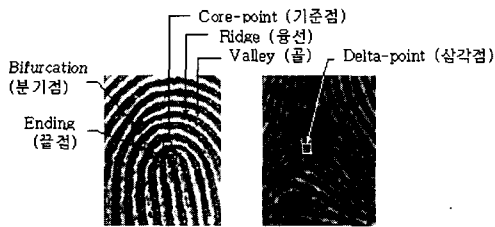


그림 1. 지문의 구성요소

지문을 이용한 식별 및 판별을 위한 전처리는 잡음제거와 함께 용선과 골의 대비를 높이는 영상개선 과정이다. 지문영상의 개선을 위한 방법으로는 용선의 방향성을 이용하는 방법으로는 방향성과 대응하는 1차원 마스크를 이용하여 용선의 복원을 수행하는 방법^[2], 블록내 방향성과 공간주파수 함수의 Gabor 필터링을 이용하는 방법^[3], 그리고 주파수변환을 이용하여 대역영상을 생성한 다음 화소의 방향성과 일치하는 대역영상의 화소를 이용하여 복원하는 방법^[5] 등이 있다. [2]는 복원후에 특징점 및 특이점의 위치 정보가 손실될 우려가 있으며 [3]은 알고리즘의 수행을 위해 특징점과 특이점의 정확한 위치가 필요하고 대역영상의 생성을 위해 많은 시간이 필요하다. 그리고 [5]는 수행시간이 길며 다음 단계를 위해 형태학적 처리와 같은 후처리가 필요하다.

영상을 구성하는 화소는 각 방향에 대하여 정도는 틀리지만 방향성 값을 가진다. 전술한 방법들 중에서 [5]는 주파수변환 후에 부채살 모양(fan-map type)의 대역 통과 필터를 사용하여 만든 방향성 통과 대역영상들로부터 필요한 성분들만을 사용하여 지문영상을 재구성함에 따라 특정방향성이 두드러진 용선과 골을 강조할 수 있다.

한편 최근에는 이러한 주파수 변환을 거치지 않고 여러 개의 방향성 대역영상을 구하기 위한 방법이 연구되고 있다.^[9,10,11] 이 방법들은 2차원 샘플링

과 필터링을 이용하여 공간영역에서 입력 영상을 여러 개의 방향성대역 영상들로 분해한다. 이때 특정 방향성대역 영상에서의 원소가 가지는 값은 원 영상에서 각 화소가 가지는 방향성 정도이다. 이 방법은 주파수 변환 후에 부채살 형태의 대역통과를 수행하고 역주파수 변환하는 방법^[5]에 비해 방향성대역 영상들을 공간영역에서 바로 구할 수 있으므로 빠른 처리 속도를 나타낸다.

본 논문에서는 방향성 필터 뱅크(DFB)를 사용하여 단일 화소가 가지는 여러 방향으로의 방향성 정도를 구한 후 이를 처리하여 영상개선을 수행한다. 그리고 영상개선을 위해 구한 방향성 정도를 사용하여 지문영상에 대응하는 방향성 지도를 생성하는 새로운 방법을 소개한다. 단일 화소가 가지는 방향성들 중 에너지가 큰 방향성을 이용하여 영상을 재구성함으로써 용선과 골의 대비를 강조한다. 다수개의 방향성을 가지는 각 화소에 대해 주방향성과 관계된 소수개의 방향성분만 선택하여 복원함에 따라 잡음의 영향을 감소시킬 수 있다. 또한 이때 사용된 방향성 정도는 지문영상의 방향성 지도 생성에도 이용될 수 있다.

제안하는 지문영상 개선 알고리즘의 수행과정은 다음과 같다. 먼저 방향성 필터뱅크(DFB)^[2,3]을 입력영상에 적용시켜 방향성대역 영상을 생성한다. 그리고 각 대역영상에서 국부적으로 방향성 에너지 값이 임계치 이하인 방향성 성분을 제거한다. 이때 원영상의 동일위치에서 다수개의 원소가 추출될 경우에는, 대역영상별로 동일 위치에 대응하는 각 추출된 원소의 에너지를 비교하여 비중이 큰 부분에 가중치를 부여한 후에 재구성함으로써 영상을 개선한다.

본 논문에서 사용한 방법은 주파수 변환을 거치지 않고 공간영역에서 표본화 행렬을 이용하여 방향성 대역영상을 바로 생성하므로 수행시간을 감소시킬 뿐만 아니라, 결과 영상은 여러 개의 대역영상들에서 소수개의 큰 성분들이 사용됨에 따라 잡음 성분의 영향은 감소되며 용선과 골이 강조된다. 대역 영상들에서 임계치 이상의 값을 가진 성분들을 이용함에 따라 잉크번짐같이 방향성이 거의 없는 잡음부분을 제거할 수도 있다. 그리고 비슷한 크기의 여러 방향성 값들이 혼재하는 특징점 및 특이점에서는 두드러진 방향의 대역영상의 원소에 비슷한 크기의 가중치가 부여됨에 따라서 위치정보가 소실되는 것을 막을 수 있다. 이러한 이유로 지문인식과정 중에서 이어지는 이진화 작업을 위한 임계치 결

정이 매우 간단해진다. 또한 사용하는 대역영상의 개수에 따라 입력영상에서의 용선절단부분을 복원할 수 있으므로 용선연결과 같은 후처리를 줄일 수 있다.

II. 방향성 대역 통과 필터뱅크

방향성 대역통과 필터(DFB)^[9,10,11]는 분리 가능한 1차원 필터링과 입력영상의 완전 복원, 그리고 최대 간축(maximal decimation)을 보장하므로 대역간 간섭(aliasing)을 없앨 수 있다는 장점을 가진다.[9] 본 논문에서 사용하는 DFB는 초기의 방법에 비해 대역출력부분의 시각적 표현을 개선한 방법이다^[10,11]. 이 방법은 1차원 선형위상 필터를 채택함에 따라 부대역 영상에서의 위상정보 왜곡을 막아준다.

2.1 DFB의 특징

한 개의 2대역 필터뱅크를 단계별로 계속 직렬 연결하여 2ⁿ개의 대역영상을 구하는 트리 구조의 필터뱅크와는 달리 사용하는 방향성 대역통과 필터뱅크는 두 가지의 필터뱅크를 사용하여 구성한다. 처음 1, 2단계에서 사용하는 것과 다음 3단계이상에서 사용하는 것으로 나뉘어 있는데 전자는 다이아몬드형 필터를 사용하며, 후자는 통과 대역의 형태에 따라 적절한 평행사변형 필터를 사용한다. 한편 분해된 대역영상으로 부터의 합성은 대역영상 추출과정의 역순이므로 본 논문에서는 분해(Analysis)과정에 대하여 설명한다.

방향성 대역통과필터를 이용하여 통과시퀀 각 대역 및 1, 2 단계에서 사용되는 필터의 모양과 3단계에서 사용되는 필터의 모양을 주파수 영역에서 도시하면 그림 2와 같다. 그리고 이를 이용하여 원 영상으로부터 대역 1과 대역 2의 대역영상을 획득하는 과정을 나타내면 그림 3과 같다. 그 밖의 대역영상들의 획득을 위해서는 각 단계 별로 동일한 구조의 필터를 첨가하며 추출되는 대역에 적합한 표본화 행렬을 사용한다.

각 단계별 필터링 구조는 그림 4와 같으며 저역

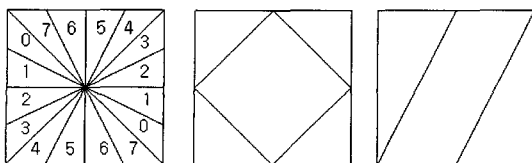


그림 2. DFB의 방향성 통과대역

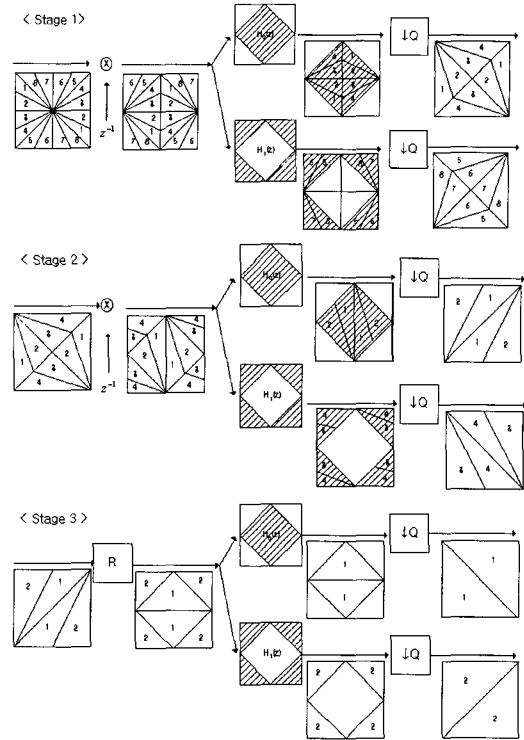


그림 3. 대역 영상 획득을 위한 전체 필터링 과정

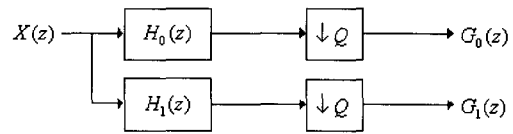


그림 4. 각 단계에서 사용되는 단위필터뱅크

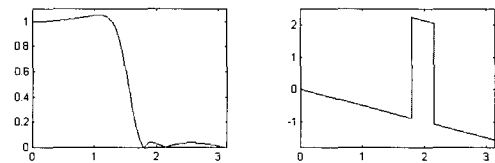


그림 5. 저역통과 필터의 주파수응답 특성(크기 및 위상)

통과 필터(H₀)와 고역통과 필터(H₁)의 관계는 식 (1) 및 식 (2)와 같다. 그리고 사용되는 저역통과 필터의 특성은 그림 5와 같다.

$$H_0(z) = K \frac{(1+z^{-1})I(w_1)I(w_2)}{(1+\alpha^2 z^{-2})(1+\frac{1}{\alpha^2} z^{-2})} \quad (1)$$

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

$$H_1(z) = H_0(-z) \quad (2)$$

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

저역통과 필터 및 고역통과 필터의 관계로부터 각 필터링 과정은 polyphase 구조로의 변경이 가능해지며 이러한 변경후의 필터링 구조는 식 (3) 및 그림 6과 같다.

$$\begin{aligned} H_0(z) &= E_0(z^2) + z^{-1}E_1(z^2) \\ H_1(z) &= E_0(z^2) - z^{-1}E_1(z^2) \end{aligned} \quad (3)$$

한 편 ployphase 구조로 표현된 필터링 구조에 noble identity^[13]를 적용시켜서 표본화 과정을 필터링에 선행시키는 구조로 변경한다. 변경된 구조에서 사용되는 E_0 및 E_1 은 식 (4)와 같고 변경 후의 필터링 구조는 그림7과 같다.

3 단계 이상의 필터링 과정은 그림 3에서와 같이 필터링 전에 적절한 표본화 과정을 거치면 1, 2단계와 같은 구조로의 표현이 가능하다. 따라서 사용되는 각 단계별 필터링 과정은 동일한 필터를 사용하는 polyphase 구조로 표현할 수 있다. 한 편 전체 필터링과정이 polyphase 구조로써 구현이 가능함에 따라 단계별로 분리가능한 1차원 필터링을 적용시킬 수 있고, 단위 필터를 3-tap IIR 필터의 중첩형태로 표현할 수 있으므로 H_0 및 H_1 사용시에 비하여 계산량을 단축 시킬수 있다.

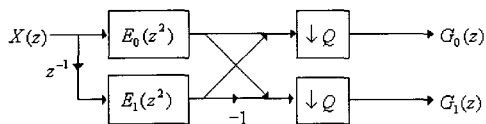


그림 6. polyphase 구조로 표현한 단위필터뱅크 1

$$\begin{aligned} E_0(z) &= 0.7526 + \frac{-0.3015}{1+0.5066z^{-1}} + \frac{-0.1561}{1+1.9740z^{-1}} \\ E_1(z) &= (0.2950 + \frac{0.1561}{1+0.5066z^{-1}} + \frac{0.3015}{1+1.9740z^{-1}})z^{-1} \end{aligned} \quad (4)$$

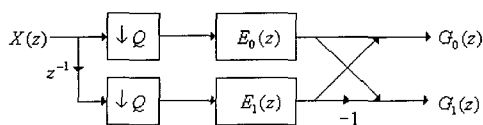


그림 7. polyphase 구조로 표현한 단위필터뱅크 2

2.2 DFB를 이용한 필터링

DFB의 전체적인 수행과정은 그림 8과 같다. 원

영상을 샘플링한 후 필터링하여 2개의 대역영상으로 나눈 다음 이 결과들을 입력으로 사용하여 비슷한 과정을 2회 반복하며 2³개의 방향성 대역영상을 생성하는 분해단계(analysis)와 생성된 대역영상들을 입력으로 하여 분해단계의 역순으로 합하여 복원영상을 생성하는 합성단계(synthesis)로 이루어진다.

실제영상을 DFB에 통과시킨 분해영상과 이들을 합성한 영상을 그림 9에 나타낸다. 그림 8에서 (a)는 DFB를 적용시키기 위한 영상, (b)는 분해후의 각 방향성대역영상의 위치, (c)는 분해한 각 방향성 대역영상, 그리고 (d)는 (c)로부터 합성한 영상을 나타낸다. 분해단계에서 만들어진 8개의 대역영상들은 주파수영역에서 부채살 모양의 방향성 대역으로 통과된 대역영상들이다. 특정 방향성 대역영상의 원소가 가지는 값은 대응하는 원영상의 화소가 가지는 그 방향으로의 방향성 정도를 나타낸다.

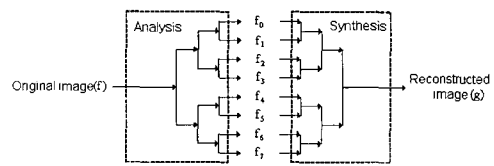


그림 8. DFB의 분해 및 합성과정

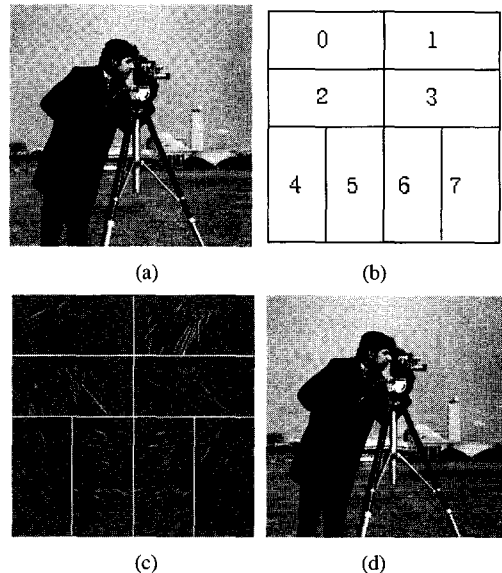


그림 9. DFB의 방향성 통과대역 및 통과 대역영상

III. DFB를 이용한 지문영상의 향상

본 논문에서는 DFB를 사용하여 단일 화소를 여

러 방향성 영역으로 분해하고 이 영역에서 방향성 정도를 해석하고 처리하여 영상개선을 수행한다. 방향성 추출에 대한 새로운 방법이 제시되고 이 방향성 추출에 기반하여 방향성 지도를 추출하기 위한 새로운 방법을 제안한다. 그리고 추출된 방향성 정보를 이용하여 지문영상의 개선을 수행하는 새로운 방법을 제안한다.

3.1. 방향성대역 통과 필터뱅크를 이용한 방향성 지도 추출

영상을 여러 개의 작은 블록들로 나눈 다음 블록이 가지는 주방향을 이용하여 구성된 영상을 방향성 지도라 한다. 지문영상에서는 용선의 진행 패턴을 나타내기 위해 이를 사용하며, 지문의 식별 및 판별을 위한 기준점인 특이점을 추출하거나 지문의 분류를 위해 이러한 방향성 지도를 사용한다. 여러 방법들이 방향성 지도를 구하기 위하여 제안되었으며, 블록의 주 방향은 블록내의 각 화소가 가지는 기울기 값을 통계적인 방법으로 조합하여 구한다.[4] 본 논문에서는 DFB를 이용하여 방향성 지도를 구하는 새로운 방법을 제시한다.

입력된 지문영상에 대하여 DFB를 통과시킨 8개의 방향성 대역영상은 그림 10과 같다. 사용하는 필터링의 특성상 대역영상들의 크기는 서로 다른 형태로 구성되므로 대응되는 에너지의 비교를 위해 대역영상의 크기를 고려한다. 원 영상의 블록에 대응하는 대역영상의 원소는 그림 11과 같다. (a)는 원영상을, (b)는 0에서 3까지의 대역영상을 (c)는 4에서 7까지의 대역영상을 나타내며, 대응하는 각 블록을 표시한다.

한편 원영상의 각 화소는 $f(i, j)$, 대역영상 k 에서의 각 화소는 $f_k(i, j)$, 대역영상 k 의 (I, J) 째 블록은 $f_k(I, J)$ 그리고 블록내의 각 화소는 $f_k(I, J; i, j)$ 로 정한다. 원영상에서 한 개의 블록이 가지는 크기는 $m \times n$ 화소이며 대응하는 대역영상 k 의 블록 크기는 $m_k \times n_k$ 화소로 정한다. 이때 0에서 3까지의 대역영상에서는 (m_k, n_k) 가 $(m/4, n/2)$ 이며 4에서 7까지의 대역영상에서는 $(m/2, n/4)$ 이다. 이로부터 분해된 대역영상내의 화소 $f_k(I, J; i, j)$ 가 가지는 방향성 값(e_k)과 블록 $f_k(I, J)$ 가 가지는 방향성 에너지(E_k)는 식 (5)와 같다.

$$e_k(I, J; i, j) = |f_k(I, J; i, j)| \quad (5)$$

$$E_k(I, J) = \frac{1}{m_k \times n_k} \sum_{i=0}^{m_k} \sum_{j=0}^{n_k} e_k(I, J; i, j)^2$$

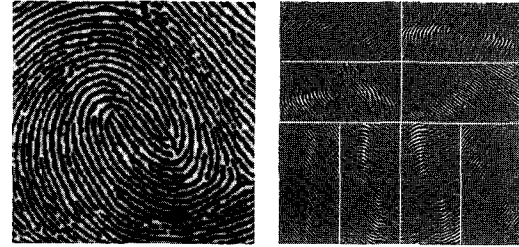


그림 10. 원 영상과 DFB수행 후의 방향성 통과 대역영상

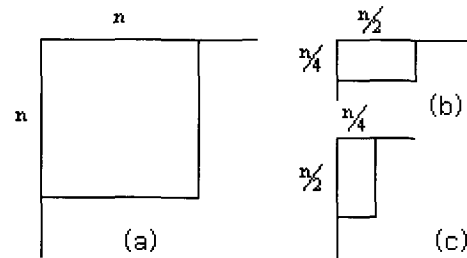


그림 11. 원영상의 블록과 대응하는 대역영상의 블록

원영상의 블록에 대응하는 각 대역영상들의 블록이 가지는 방향성 에너지는 원영상의 블록이 가지는 각 방향으로의 방향성 정도를 잘 나타낸다. 따라서 DFB 수행후의 방향성 에너지가 가장 큰 블록에 해당하는 방향이 주방향이다. 원영상의 각 블록이 가지는 주방향을 계산하는 과정은 식 (6)과 같다. 이때 블록이 가지는 주방향을 $d(I, J)$ 라 한다.

$$d(I, J) = k, \text{ if } \underset{k}{\text{Max}} E_k(I, J) \quad (6)$$

이와 같은 방법으로 구한 주방향을 이용하여 제작한 방향성 지도는 그림 12와 같다.

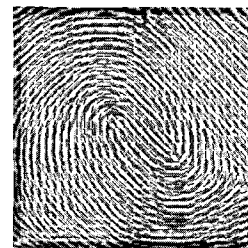


그림 12. 최대에너지 대역에 의한 방향성지도

3.2 영상 향상 방법

지문영상을 구성하는 화소는 각 방향에 대하여 서로 다른 방향성 값을 가진다. 기울기가 완만한 용선 및 골부근에 존재하는 화소는 기울기에 대응하

는 단일 방향으로의 방향성 값이 가장 크며 그 외의 방향성 값은 매우 작다. Core-point 및 delta-point같은 특이점과 끝점 및 분기점 같은 특징점 부근에서는 두세 방향으로의 방향성 값들이 서로 비슷한 크기를 가지면서 가장 큰 값을 나타낸다. 잡음의 경우에는 여러 방향으로 큰 방향성 값을 가지게 된다. 그리고 배경이나 잉크번짐과 같이 변화가 거의 없는 부분에는 여러 방향으로 매우 작은 방향성 값들이 나타난다. 지문영상의 이러한 성질을 이용하여 영상을 향상시키기 위해 원영상의 화소가 가지는 여러 방향으로의 방향성 정도를 고려한다. 이를 위해 원영상에서 분해시킨 방향성대역 영상들의 원소를 이용한다.

생성된 대역영상을 이용한 지문영상개선을 위해 다음 세 가지 방법을 사용한다. 첫 번째 방법은 원영상의 블록이 가지는 방향성 에너지들 중에서 가장 큰 값을 나타내는 대역영상의 블록을 이용하여 영상을 구성한다. 두 번째 방법은 원영상의 블록이 가지는 방향성 에너지들 중에서 상위 세 개에 해당하는 대역영상의 블록들을 이용하여 영상을 구성한다. 세 번째 방법은 원영상의 각 원소가 가지는 방향성 값의 크기가 임계치 이상인 대역영상에서의 원소를 이용함으로써 영상에 대한 초기 thresholding을 수행한 다음 방향성 에너지가 큰 세 개의 블록에 에너지의 비율에 따른 가중치를 부여한다. 지문영상의 향상을 위한 처리를 포함하는 전체적인 과정은 그림 13과 같다.

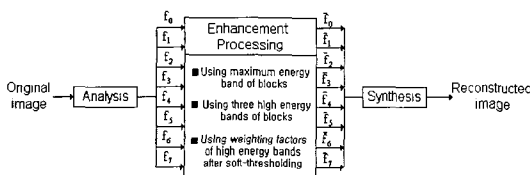


그림 13. DFB에 기반한 지문영상의 향상을 위한 처리과정

3.2.1 에너지가 가장 큰 대역영상의 성분을 이용

원 영상의 블록이 가지는 방향성 에너지들 중에서 가장 큰 값을 나타내는 대역영상의 블록을 이용하여 대역영상들을 재구성한 다음 합성하여 결과영상을 복원한다. 대역영상들의 블록을 이용하여 재구성에 사용할 블록을 생성하는 과정은 식 (7)과 같다. 이때 재구성한 대역의 블록이 가지는 화소는 $\bar{f}_k(I, J; i, j)$ 로 정한다.

$$\bar{f}_k(I, J; i, j) = w_k f_k(I, J; i, j) \tag{7}$$

$$w_k = \begin{cases} 1, & \text{if } k = d(I, J) \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

재구성한 대역영상들과 이로부터 합성한 결과영상 및 이진화, 세선화 수행후의 결과영상은 그림 14와 같다. 두드러진 1개의 방향성 값만을 이용하여 영상을 재구성함에 따라 여러 개의 큰 방향성 값을 가지는 잡음의 영향이 많이 감소되며 융선과 골의 진행방향이 두드러짐을 알 수 있다. 그러나 끝점과 분기점 그리고 core 및 delta와 같이 여러 방향성분이 혼재하는 특징점 및 특이점의 정보가 소실됨을 알 수 있다.

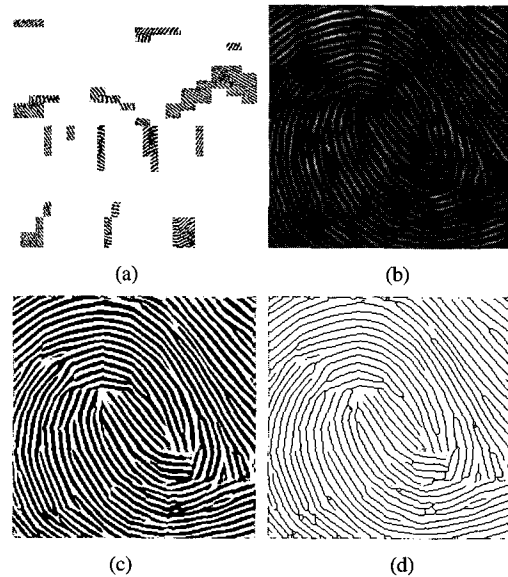


그림 14. 최대에너지 대역영상, 합성, 이진화 및 세선화 영상

3.2.2 에너지가 큰 n개의 대역영상의 성분 이용

지문영상에서의 특이점 및 특징점에서 화소가 가지는 다수 개의 방향성분을 고려하기 위하여 여러 대역영상의 방향성 값을 이용하도록 한다. 원영상의 블록이 가지는 방향성 에너지들 중에서 상위 세 개에 해당하는 대역영상의 블록들을 이용하여 대역영상을 재구성한 다음 합성하여 결과영상을 생성한다. 대역영상들의 블록을 이용하여 재구성에 사용할 블록을 추출하는 과정은 식 (8)와 같다.

$$\bar{f}_k(I, J; i, j) = w_k f_k(I, J; i, j) \tag{8}$$

$$w_k = \begin{cases} 1, & \text{when } E_k(I, J) \text{ is three higher energy.} \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

추출한 대역영상들과 이로부터 합성한 결과영상

및 이진화, 세션화 수행후의 결과영상은 그림 15와 같다. 원영상에 대응하는 상위 세 개의 블록을 사용하여 합성영상을 구성함에 따라 단일 방향성의 최상위 한 개 블록만을 이용하여 합성영상을 구성하는 경우에 비하여 여러 개의 큰 방향성분이 존재하는 특징점 및 특이점의 정보가 잘 보존됨을 알 수 있다. 또한 여러 개의 큰 방향성 값을 가지는 잡음의 경우에 세 개의 방향성 값만을 이용함에 따라 잡음의 영향이 감소되고 융선 및 골이 가지는 방향성 값들 중에서 크기가 작은 방향성 값들을 차단함에 따라 합성후의 결과영상에서 융선과 골의 진행 방향이 두드러지며 대비가 강조됨을 알 수 있다.

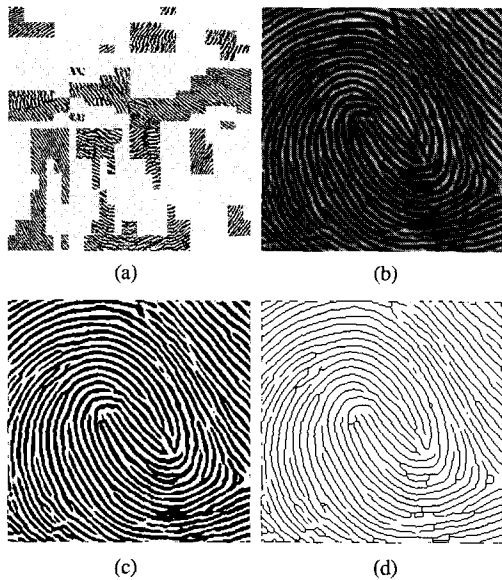


그림 15. 상위 3개의 원소를 이용한 대역영상 재구성 및 합성

3.2.3 대역영상에 대한 thresholding후 에너지가 큰 대역영상을 이용

변화가 거의 없는 배경이나 잉크의 번짐과 같은 부분은 방향성 값이 낮으면서도 합성후에는 전체영상에 영향을 주므로 이진화시에 배경영역의 분리와 같은 과정이 추가되어야 한다. 따라서 대역영상들을 구성하는 원소들 중에서 방향성 값이 작은 성분들을 차단하여 이러한 영향을 최소화한다. 그리고 방향성 에너지가 큰 상위 세 개 이하의 대역에 해당하는 블록에 방향성 에너지의 크기를 고려한 가중치를 부여한다. 즉 최대 에너지를 가지는 블록에는 1을 부여하고, 그 다음 상위 2개 이내의 블록들에는 최대 방향성 에너지에 대한 비율을 가중치로 부여한다. 이럴 경우에 한 방향성이 두드러진 부분에는

다른 방향성에 해당하는 블록에는 낮은 가중치가 부여되며, 여러 방향성이 혼재하면서 비슷한 에너지를 가지는 경우에는 비슷한 크기의 가중치가 부여된다. 한편 상위 세 개에 포함되지 않는 블록은 차단되므로 복원시에 영향을 주지 않는다. 대역영상들의 블록을 이용하여 재구성에 사용할 블록을 생성하는 과정은 식 (9) 및 (10)과 같다. 여기서 TH는 임계치이고, M은 방향성에너지에 대한 블록별 순위이며, M*는 블록순위M에 해당하는 대역을 나타낸다.

$$f_k(I, J, i, j) = \begin{cases} f_k(I, J, i, j), & \text{if } e_k(I, J, i, j) > TH \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

$$\bar{f}_M(I, J, i, j) = w_M f_M(I, J, i, j) \quad (10)$$

$$w_M = \begin{cases} 1, & \text{when } M=1 \\ \frac{E_M(I, J)}{E_1(I, J)}, & 1 < M \leq 3 \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

재구성한 대역영상들과 이로부터 합성한 결과영상 및 이진화, 세션화 수행후의 결과영상은 그림 16과 같다. 그리고 원영상에 대하여 이진화 및 세션화 수행후의 결과영상은 그림 17과 같다. 임계치 이상의 원소들을 이용하여 복원함에 따라 원영상에서의 융선과 골에 존재하는 잡음부분의 영향이 많이 감소되었다. 그리고 원영상의 블록들에 대응하는 대역

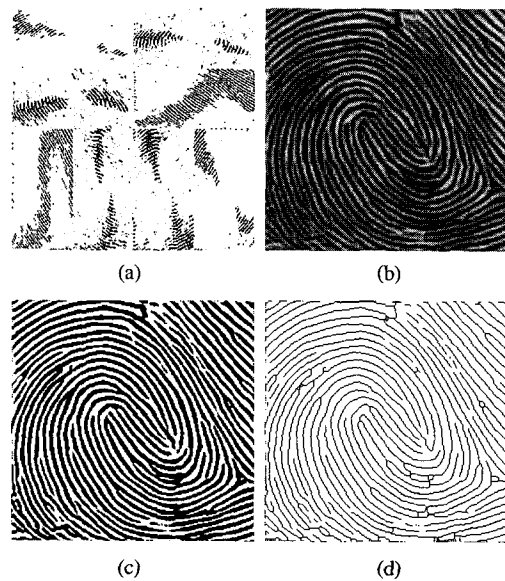


그림 16. Soft-thresholding후에 상위 n개의 대역을 사용

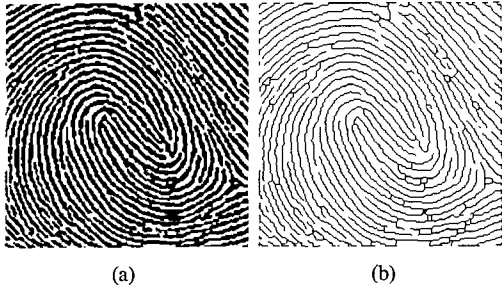


그림 17. 원영상의 이진화 및 세선화영상

영상의 블록들에 대하여 방향성 에너지의 비율을 고려한 가중치를 부여한 후에 합성영상을 구성함에 따라 다음과 같은 영상개선 효과가 일어남을 알 수 있다. 우선 기울기가 완만한 용선부근에서는 최상위 블록에 부여되는 가중치가 다른 블록에 부여되는 것보다 크므로 최상위 블록의 방향성이 강조되며 다른 방향성이 약화되므로 용선의 진행이 두드러진다. 그리고 여러개의 큰 방향성분이 존재하는 특징점 및 특이점부근에서는 해당하는 상위 소수개의 방향성에 대응하는 블록에 큰 가중치가 부여되므로 합성시에 특징점 및 특이점의 정보가 보존된다.

IV. 실험 결과

실험에 사용한 영상은 입력기(휴노테크놀로지사의 FP-2000)로부터 획득한 영상 100장, 종이 지문으로부터 스캔한 영상 20장, 그리고 주민등록증에 있는 지문을 스캔한 그레이레벨 영상 5장이다. 실험에 사용한 시스템은 Pentium-III(500MHz) CPU를 사용하는 개인용 컴퓨터이다. 대역영상의 획득, 지문영상을 위한 처리, 재구성된 대역영상으로부터 복원에 소요된 시간은 표 1과 같다. 소요된 시간을 획득하기 위하여 단계별로 각각의 영상에 대한 처리에 소요되는 시간의 산술평균을 계산하였다. 여기에서 지문영상에 사용한 세 가지 방법은 각각 처리시간이 비슷하였으며 분해 및 합성을 포함하여 영상개선에 소요된 총시간은 공히 256×256 화소크기의 영상의

표 1. 영상개선의 각 과정수행에 필요한 시간 (단위 : 초)

Procedure	512 × 512	256 × 256
Analysis	1.7	0.44
Processing	0.38	0.11
Synthesis	1.59	0.39
Total	3.67	0.94

경우에는 0.94초, 그리고 512×512 화소크기 영상의 경우에는 3.67초이다.

제안하는 세 가지 방법을 이용한 영상개선의 결과를 비교하기 위하여 영상개선방법 각각에 대하여 특징점 추출후에 오인식 되거나 미인식된 특징점에 대한 분석을 수행한다. 각각의 방법을 이용하여 개선한 결과영상으로부터 인식한 특징점의 분석결과는 표 2와 같다. 사용된 영상에서 (a)는 본 논문에서 제안한 방법중 첫 번째 방법을 사용한 결과영상, (b)는 두 번째 방법을 사용한 결과영상 그리고 (c)는 세 번째 방법을 사용한 결과영상을 나타낸다. 한편 A는 제대로 인식된 특징점의 개수, B는 잘못 인식된 특징점의 개수 그리고 C는 인식되지 않은 특징점의 개수와 존재하는 특징점의 개수와의 비율이다. 특징점의 인식결과를 계산하기 위하여 각 영상을 이용한 결과로부터 획득한 비율들의 산술평균을 계산한다. 사용한 지문영상들은 입력방법별로 동일한 비율에 해당하는 개수의 영상을 무작위로 선택하였다. 입력기로부터 획득한 지문영상은 20장, 종이 지문으로부터 스캔한 영상은 4장, 그리고 주민등록증에 있는 지문을 스캔한 그레이레벨 영상 1장을 선택하여 실험을 수행하였다. 이상적인 경우에 A는 1.0, B는 0 그리고 C는 0 이다. 실험결과에 따르면 세 번째 방법을 이용한 영상개선의 결과가 제안하는 다른 방법들에 비하여 좋음을 알 수 있다.

표 2. 세 가지 개선방법을 이용한 특징점 추출 결과비교

Image	Ending			Bifurcation		
	A	B	C	A	B	C
(a)	0.18	0.50	0.81	0.27	0.73	0.73
(b)	0.71	0.30	0.29	0.47	0.53	0.53
(c)	0.90	0.10	0.10	0.95	0.3	0.10

본 논문에서 제안한 방법과의 수행시간 비교를 위하여 Gabor 필터링을 이용하는 방법[3], 그리고 주파수변환을 이용하여 대역영상을 생성한 다음 화소의 방향성과 일치하는 대역영상의 화소를 이용하여 복원하는 방법[5]을 사용한 영상개선을 수행하였다. 개선에 소요되는 수행시간은 표 3과 같다. 수행시간은 각 영상에 대한 실험에서 소요된 시간들의 산술평균이다. 여기에서 방법 (A)는 [3]에서 제안된 방법을 실험한 결과이며, 방법 (B)는 [5]에서 제안한 방법을 실험한 결과이다. 제안한 DFB를 이용한 영상개선 방법이 다른 두가지 방법에 비해 영상 개선에 소요되는 시간이 적음을 알 수 있다.

한편 실험의 결과는 그림 18과 같으며 그림에서 (a)(b)(c)는 방법 (A)를 이용한 개선영상, 특이점 그리고 특징점이며 (d)(e)(f)는 방법 (B)를 이용한 결과이다. 개선된 결과를 보면 다음과 같은 차이가 있음을 알 수 있다. [3]에서 제안한 방법의 경우에는 용선의 공간주파수를 이용하여 필터링을 수행하였으므로 지정한 공간주파수에 해당하는 용선의 복원은 잘 이루어지지만 화소가 가지는 단일 방향성을 이용하여 복원이 이루어지므로 여러 방향성을 가지는 끝점과 분기점, 그리고 곡률이 큰 부분의 용선의 모양이나 연결성이 변경될 수 있음을 알 수 있다. 그리고 [5]에서 제안한 방법의 경우에는 개선된 영상을 구성하기 위해서 곡률이 큰 특이점을 미리 추출하고, 이로부터 개선되는 위치까지의 공간적인 거리에 반비례하여 방향성대역영상의 개수를 결정한다음 선택된 방향성대역영상들에서 해당하는 위치의 화소값들을 이용하게 된다. 한편 여러 방향성대역영상의 값을 이용하여 개선영상을 생성하게 되므로, 곡률이 큰 특이점의 위치를 영상개선에 선행하여 추출해야 하며 특이점으로부터 가까운 위치의 영상을 개선하기 위한 방향성대역영상들의 선택이 어렵다. 그리고 특이점으로부터 거리가 멀더라도 여러 방향성을 가질 수 있는 끝점 및 분기점 부근의 복원을 위해서 단일 방향성대역영상이 선택되므로 끝점 및 분기점 부근의 모양이나 연결성이 변경될 수 있음을 알 수 있다.

표 3. 영상개선에 필요한 수행시간 비교(단위 : 초)

Method	512 × 512	256 × 256
(A)	12.63	3.07
(B)	21.37	4.94
Proposed	3.67	0.94

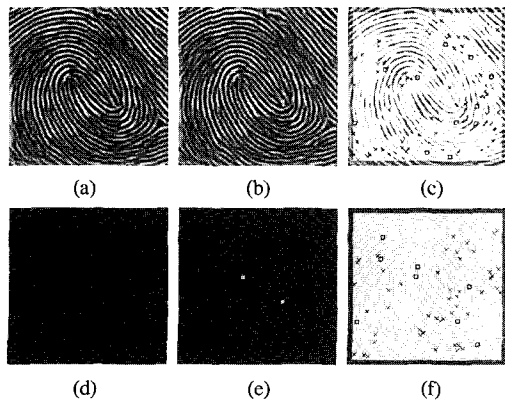


그림 18. 기존 방법을 이용한 영상개선의 결과

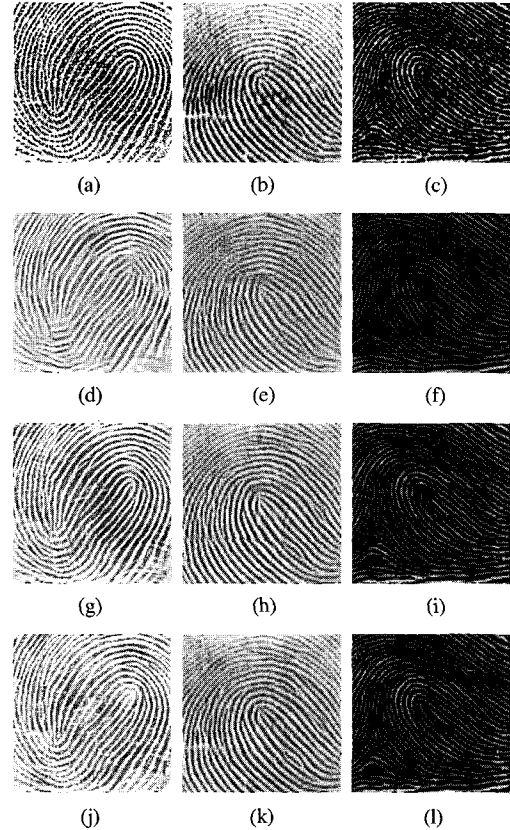


그림 19. 서로 다른 영상에 대한 제안한 영상향상과정

원영상과 제안한 세가지 방법으로 개선한 영상은 그림 19와 같다. 입력기로부터 획득한 영상은 (a), 종이지문을 스캔한 영상은 (b), 그리고 주민등록증에 있는 지문을 스캔한 영상은 (c)와 같다. 원영상에 대응하는 대역영상들의 블록들 중에서 최대 방향성 에너지를 가지는 블록을 이용하여 복원한 영상은 (d), (e), (f)이다. 대응하는 대역영상들의 블록들 중에서 방향성에너지가 상위 3위내에 해당하는 원소를 이용하여 복원한 영상은 (g), (h), (i)와 같다. 그리고 각 대역영상들에 대하여 식 (9)에 따라 변화가 거의 없는 부분은 차단한 다음, 식 (10)에 따라 상위 3위내에 해당하는 블록들에 대하여 방향성 에너지의 비율을 이용한 가중치를 부여한 후 복원한 영상은 (j), (k), (l)이다. 이때 대응하는 원영상의 블록크기는 첫 번째와 두 번째 방법의 경우에는 16×16화소 크기이고, 세 번째 방법에서는 4×4화소 크기이다.

최대 방향성 값을 이용하는 경우에는 완전한 기울기의 용선과 골 부분에서 대비가 강조되며 여러 방향성이 존재하는 급격한 기울기의 변화를 가지는 특이점부근의 정보가 소실됨을 알 수 있다. 상위 3

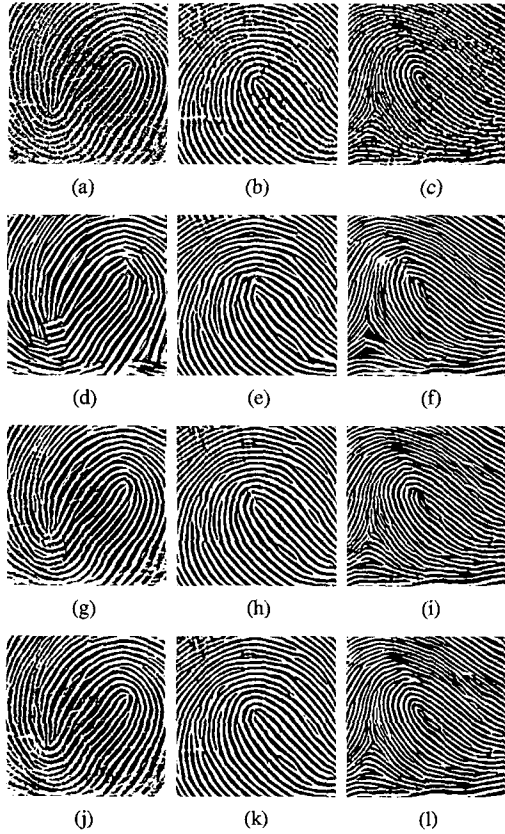


그림 20. 블록의 평균을 이용한 이진화 영상

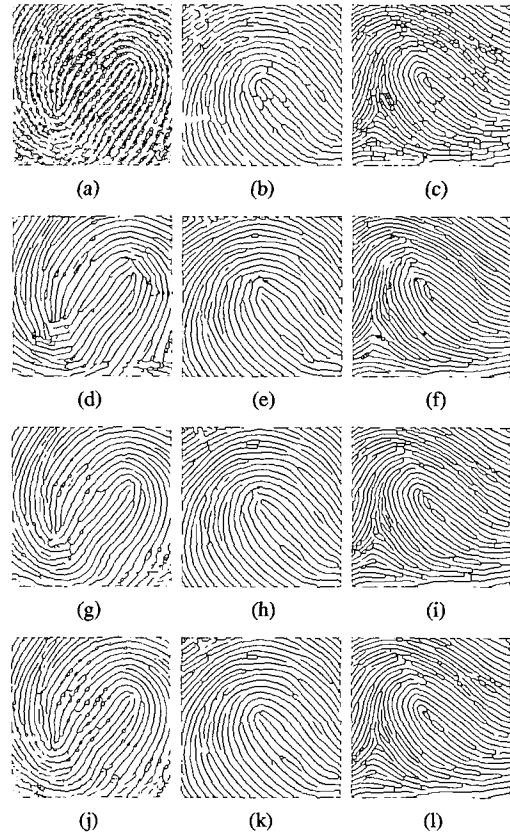


그림 21. 세션화 영상

개의 방향성을 이용하는 경우에 특이점부근의 정보는 보존되나 완전한 기울기를 가지는 융선과 골부분에서 전자에 비해 상대적으로 잡음의 영향을 받음을 알 수 있다. 그러나 세 번째 방법을 적용시킨 경우에는 여러 방향성이 대등하게 존재하는 특이점 부분에서 상위 방향성 값을 가지는 원소들에게 비슷한 가중치가 적용되며, 특정 방향성이 두드러진 완전한 부분에는 낮은 방향성 값을 가지는 원소에 작은 가중치가 적용되므로 특이점의 정보보존과 함께 융선과 골의 대비가 강조됨을 알 수 있다. 원영상과 복원영상에 대하여 이진화 수행후의 결과는 그림 20과 같다. 이진화를 위한 임계치는 16×16 화소크기를 가진 블록의 평균을 사용하였다. 그리고 이진화 수행후의 영상에 대하여 세션화를 수행한 후의 결과는 그림 21과 같다.

V. 결론

본 논문에서는 DFB에 기반하여 원 영상의 한 화

소가 가지는 여러 가지 방향성 값을 이용하여 지문 영상의 개선을 수행하였다. 화소에 대응하는 여러 대역영상들에서 국부적으로 일정 크기이상의 방향성 분만을 이용하여 복원함에 따라 배경부분이나 잉크 번짐과 같이 변화가 거의 없으면서도 이진화시에 열화를 유발하는 부분의 영향을 감소시킬 수 있었다. 그리고 분해한 대역영상에서 국부적으로 에너지가 큰 상위 3개 이하의 대역을 이용하므로 나머지 방향성분은 제거함에 따라 여러 개의 방향성분을 가지는 잡음의 영향이 감소되는 결과를 얻을 수 있었다. 또한 화소에 대응하는 대역영상들의 원소 크기를 고려한 가중치를 부여함에 따라 완전한 기울기의 융선과 골의 대비가 강조되며 특이점 및 특징점의 정보가 보존됨을 알 수 있었다. 이와같은 장점을 가지므로 이어지는 이진화를 위한 후처리가 간소해진다.

나아가 지문영상에서 오인식이 행해질 수 있는 열악한 화질 부분 및 배경영역을 추출해내는 방법의 개발이 필요하며 이 과정이 영상개선 작업에 선

행되어야 할 것이다. 그리고 방향성 대역 영상에서 다중 방향성을 가지는 core-point 및 delta-point같은 특이점과 끝점 및 분기점같은 특징점을 추출하는 연구가 수행되어야 한다. 이러한 특이점 및 특징점 정보를 이용하여 특징점 기반 지문영상 매칭 및 지문영상의 분류에 대한 연구가 가능할 것이다. 그리고 대역 영상들의 각 원소가 가지는 다중 방향성 값들의 분포를 이용하여 개인별 지문 코드를 생성하여 개인 식별이나 판별에 적용하는 연구가 필요하다.

참고 문헌

[1] A. Jain and R. Bolle, "On-Line Fingerprint Verification", *IEEE Trans. on PAMI*, vol. 19, no. 4, pp. 302-314, 1997.

[2] 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

[3] L. Hong, Y. Wan and A. Jain, "Fingerprint Image Enhancement Algorithm and Performance Evaluation", *IEEE Trans. on PAMI*, vol. 20, no. 8, pp. 777-789, 1998

[4] A. R. Rao, "A Taxonomy for Texture Description and Identification", *New York : Springer-Verlag*, 1990

[5] 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

[6] B. M. Mehtre, N. N. Murthy, S. Kapoor and B. Chatterjee, "Segmentation of Fingerprint Images Using the Directional Image," *Pattern Recognition*, vol. 20, no. 4, pp. 429-435, 1987

[7] B. M. Mehtre and B. Chatterjee, "Segmentation of Fingerprint Images - A Composite Method", *Pattern Recognition*, vol. 22, no. 4, pp. 381-385, 1989

[8] V. S. Srinivasan and N. N. Murthy, "Detection of Singular Points in Fingerprint Images", *Pattern Recognition*, vol. 25, no. 2, pp 139-153, 1992

[9] R. H. Bamberger and M. J. T. Smith, "A Filter Bank for the Directional Decomposition of

Images : Theory and Design", IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 40, no. 4, pp. 882-893, 1992

[10] Sang-il Park, M. J. T. Smith and R. M. Mersereau, "A New Directional Filter Bank For Image Analysis And Classification", *IEEE ICASSP*, vol. 3, pp. 1417-1420, 1999

[11] R. H. Bamberger, "The Directional Filter Bank: A Multirate Filter Bank for the Directional Decomposition of Images", *PhD thesis, Georgia Institute of Technology*, November 1990

[12] A. S. Abutaleb and M. Kamel, "A Genetic Algorithm for the Estimation of Ridges in Fingerprints", *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 8, no. 8, pp. 1134-1139, 1999

[13] P. P. Vaidyanathan, "Multirate Systems and Filter Banks", *Prentice Hall*, 1993

오 상 근(Sang-keun Oh) 준회원
 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업
 1998년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사
 1998년 3월~현재 : 경북대학교 전자공학과 박사과정
 <주관심 분야> 영상처리, 영상인식, 생체인식

박 철 현(Chul-hyun Park) 준회원
 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업
 1999년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사
 1999년 3월~현재 : 경북대학교 전자공학과 박사과정
 <주관심 분야> 영상처리, 영상인식, Biometrics

윤 옥 경(Ock-kyung Yoon) 정회원
 1987년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업
 1995년 2월 : 경북대학교 전자계산학과 석사
 2002년 2월 : 경북대학교 전자공학과 박사
 <주관심 분야> 영상처리, 영상인식, 의료영상인식

이 준 재(Jun-jae Lee) 정회원
 한국통신학회 논문지 제22권 제5호 참조
 현재 : 동서대학교 인터넷공학부 교수

박 길 흠(Kil-houm Park) 정회원
 한국통신학회 논문지 제24권 제9B호 참조
 현재 : 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수