

論文2001-38CI-3-5

지문인식을 위한 영상 개선 (Image Enhancement for Fingerprint Identification)

梁 雨 錫 * , 許 慶 茂 **

(Woo. S. Yang and Kyung-Moo Huh)

요 약

본 논문에서는 퍼지 논리를 사용하여 지문 영상에 적용할 수 있는 효과적인 세션화 알고리즘을 제시한다. 제시하는 알고리즘은 잡영이 많이 포함된 영상이나 서로 다른 크기를 가진 영상도 효과적으로 향상시킬 수 있다. 문헌에 나타나는 대부분의 지문 영상 필터들은 특정 크기, 혹은 특정배율의 지문 영상을 대상으로 설계되었으나 본 논문이 제시하는 알고리즘은 영상 크기 변화에 따른 마스크의 크기와 계수 값의 재설계가 필요 없다.

Abstract

In this paper a new algorithm is introduced to enhance the fingerprint image effectively using fuzzy logic. Our approach is not constrained to a particular image size and scale. It rather handle different conditions of noise and image scale. Ridges are thinned while the image is enhanced along the same orientation as the ridges. The problem of false minutia can be also resolved.

I. 서 론

지문은 인간이 가진 생물학적 특성으로 외상을 입지 않는 한 태어날 때부터 죽을 때까지 변하지 않는 성질이 있다. 개개인은 독특한 융선(Ridge)의 지문 패턴을 가진다. 변하지 않는다는 성질과 사람마다 고유하다는 특성 때문에 지문은 개인의 신분확인이나 보안과 관련된 다양한 분야에서 사용하고 있다.

지문은 영장류의 손가락 끝에 있는 곡선으로 이루어진 무늬이다. 지문영상은 폭이 좁은 주변 계곡(background valley)에 의해 분리된 기다란 융선(ridge)들로 구성된다. 대부분의 지문 융선은 연속적이나, 단절

(break)과 분기(branch) 그리고 루프(loop)와 같은 특이 무늬를 만들기도 한다. 우리는 융선의 방향과 특이 무늬의 종류 및 위치 등을 이용하여 지문을 분류하여 신원을 확인한다^[1-6].

지문의 인식을 위하여 사용되는 특이 무늬들을 특이 무늬(miutila)라 한다^[1,8]. 이들은 일반적인 융선의 흐름을 방해하거나 거역하는 것들로 융선-종결(ridge ending), 점(dot), 짧은 융선(short ridge), 분기(bifurcation) 등 다양한 모습을 하고 있다. 특이무늬의 모양과 위치는 사람에 따라 다르므로 이들의 종류와 위치를 분석하면 지문인식이 가능하다. 지문인식과 관련된 문헌을 보면 지문 영상들은 100여 개 이상의 특이무늬들을 갖고 있으나 단지 12개 정도의 특이무늬만 이용해도 성공적으로 지문을 인식할 수 있음을 보여준다^[8].

지문영상은 일반적으로 수많은 오류 특이무늬(false minutia)를 포함하고 있다. 대표적인 오류 특이무늬로는 융선의 절단(breaks)으로 발생하는 융선-종결, 융선들 사이의 브릿지(bridge) 발생, 융선의 돌출(bur) 등을 들 수 있다. 대부분의 오류 특이무늬는 지문을 획득하는 과정에서 손가락을 누르는 압력의 과소/과다 및 손

* 正會員, 弘益大學校 電子工學科
(Dept. of Electrical Engineering, Hongik University)

** 正會員, 檀國大學校 電子컴퓨터工學科
(Dept. of Electronics and Computer Engineering
Dankook Univ.)

接受日字:2000年11月13日, 수정완료일:2001年4月23日

가락의 미끄러짐에 의하여 발생하지만 에지(즉 융선) 추출 과정에서도 수많은 오류 특이무늬가 양산된다. 특히 땀으로 인한 오류 특이무늬는 영상을 이용한 지문 인식을 매우 어렵게 만든다. 인간은 이러한 잡영에도 불구하고 영상에서 보이는 약간의 단서를 추론함으로써 매우 쉽게 지문을 분석하여 신원을 확인할 수 있다. 그러나 다양한 모습의 오류 특이무늬를 포함하고 있는 지문영상을 이용하여 컴퓨터로 지문을 인식하기는 쉽지 않다.

대부분의 패턴인식 알고리즘은 3단계 과정을 거치게 된다. 첫 번째 단계는 영상 취득과정에서 삽입된 잡영을 제거하고 원영상(raw image)을 처리하기에 편리한 영상으로 만들기 위한 전처리 과정이다. 에지와 같은 특성들은 전처리 과정에서 추출된다. 두 번째 단계는 추출된 특성으로부터 영상의 특징을 구하는 과정이다. 특징들이 구해지면 세 번째 단계로 다양한 방법을 사용하여 패턴을 인식하게 된다.

지문 영상에 나타나는 융선의 폭은 영상 스케일에 따라 수개에서 십여개의 이르는 화소로 이루어진다. 지문 인식을 위해서는 우선 융선을 세선화하고 특이무늬를 추출하여야 한다^[7,8]. 이 과정에서 원(raw) 지문영상에 포함된 많은 오류 특이무늬들이 저주파 필터를 통하여 제거되지만 새로운 오류 특이무늬들이 발생하기도 한다. 지문은 단순히 융선의 패턴에 의해 구성되므로 지문인식의 속도와 성공율은 얼마나 정교하게 융선을 추출하고 오류 특이무늬를 정제하고 제거하면서 세선화하는가에 좌우된다.

지난 20년동안 에지를 강조시키는(edge enhancement) 간단한 것으로부터 방향성 있는 필터(oriented filtering)와 같은 복잡한 방식에 이르는 다양한 에지 검출 및 세선화 알고리즘이 소개되었다. 대부분의 세선화 알고리즘들은 연결성을 유지하면서 대상물의 주변을 계속해서 부식시키는 방식을 사용한다. 부식시키는 방식은 매우 유용한 방식이나 융선의 돌출부(bur)나 오류 종결점(false ending) 등이 발생하기가 쉽다. 본 논문은 퍼지 논리를 사용하여 지문 영상에 적용할 수 있는 효과적인 세선화 알고리즘을 제시한다. 이 알고리즘은 잡영이 많이 포함된 영상이나 서로 다른 스케일을 가진 영상도 효과적으로 향상시킬(enhancement) 수 있다. 문헌에 나타나는 대부분의 지문영상 필터들은 특정 크기, 혹은 특정 크기의 지문 영상을 대상으로 설계가 되었으나 이 논문이 제시하는 알고리즘은 영상의 크기 변

화에 따른 마스크의 크기와 계수 값의 재설계할 필요가 없다.

II. 지문 영상의 향상

지문영상의 세선화를 위한 알고리즘은 다음과 같은 조건을 만족시켜야 한다. 우선, 세선화를 거치는 과정에서 융선과 계곡(valley) 사이의 대비(contrast)가 증가되어야 한다. 융선의 중앙은 주변보다 더 높은 양의 가중치를, 계곡들은 주변보다 더 낮은 음의 가중치를 적용하면 융선의 세선화가 이루어진다. 두 번째, 영상의 향상은 융선의 방향을 따라 진행되어야 한다. 이렇게 하면 상당 부분의 오단절(false discontinuity) 문제가 해결된다. 또한, 영상을 처리하는 윈도우의 크기는 적어도 한쌍의 융선과 계곡을 포함하여야 하며 최소한의 돌출부를 제거할 수 있을 만큼은 크면서 다양한 스케일의 지문 영상을 처리할 수 있는 기능을 갖추어야 한다. 네 번째로, 지문 영상 안에는 동일한 방향의 융선이 넓은 범위에 걸쳐 분포된 부분이 있는 반면에 높은 곡률 반경을 가진 융선으로 이루어진 작은 영역들도 있으므로 다해상도(multiresolution)나 크기공간(scale space) 접근 방법과 마찬가지로 낮은 해상도에서 높은 해상도로 영상이 처리되어야 한다. 마지막으로 필터 마스크는 융선의 방향(기울기)에 대하여 대칭적이어야 한다.

본 논문에서는 상기한 조건을 고려하여 융선 방향을 추출하고 퍼지 논리에 기반을 둔 세선화와, 오류 특이무늬의 제거 및 정제로 구성된 3 단계 과정으로 이루어진 알고리즘을 제시한다.

1. 전처리 : 지문영상의 세선화

본 논문에서는 지문 영상을 융선의 방향을 따라 세선화하는 알고리즘을 제시한다. (i, j) 번째 화소에서 지역적인 융선의 방향 또는 방위 θ 는 다음 $d_k(i, j)$ 를 최소화하는 방위 k 로 정의된다.

$$d_k(i, j) = \sum_s |f(i_s^k, j_s^k) - f(i, j)| \quad (1)$$

여기서 $f(i, j)$ 와 $f(i_s^k, j_s^k)$ 는 각각 (i, j) 번째 화소값과 k 방향으로 s 만큼 떨어진 화소 (i_s^k, j_s^k) 의 화소값을 나타낸다. $d_k(i, j)$ 는 k 방향에 대한 영상값의 변동 정도를 보여준다. 본 논문에서는 8개의 방향, $\theta \in \{k\pi/8, k=0, 1, \dots, 7\}$ 을 고려한다. $d_k(i, j)$ 는 k 방향 융선의 강도(strength)를 나타낸다.

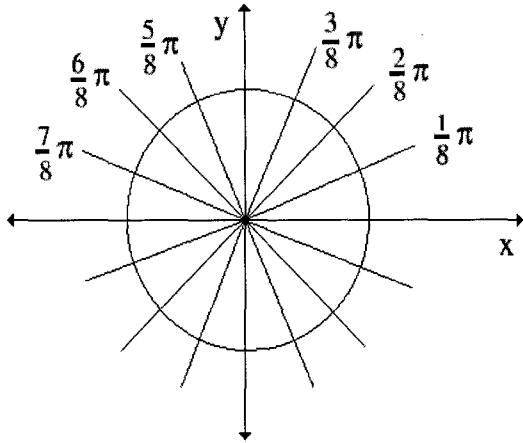


그림 1. 융선의 방향
Fig. 1. Ridge Direction.

$d_k(i, j)$ 는 융선방향에서 최소값을 가지며 융선과 직교되는 방향에서 최대값을 가진다. $d_k(i, j)$ 의 최소값을 $d(i, j)$ 라 하자. 융선의 방향 θ 에 대한 편차 $V(\theta)$ 는 다음의 식을 사용하여 계산한다.

$$V(\theta) = \frac{\sum_{k=0}^7 (\frac{m\pi}{8} - \theta)^2 d_k}{\sum_{k=0}^7 d_k} \quad (2)$$

융선의 방향에 대한 편차는 임의의 화소에서 구한 융선의 방향에 대한 불확실성 척도(uncertainty)를 표시하기 위해 사용한다. 편차가 크면 뚜렷한 융선의 방향이 없다는 의미로서 대상 화소가 융선이 아니라 배경에 속하는 화소이거나 융선-종결이나 분기와 같은 특이점(minutiae)이 있는 부분일 것이다. 편차가 큰 영상점은 나중에 특이점 검사를 하기 위하여 플래그를 저장한다.

표 1. 입력 및 출력 퍼지 변수
Table 1. Input & Output Fuzzy Variables.

방향의 강도 $d(i, j)$	불확실성 $V(\theta)$	보상 정도
STRONG : Small $d(i, j)$	LOW_VAR	LARGE : Large Number
NORMAL : Medium $d(i, j)$	MEDIUM_VAR	MEDIUM : Medium Number
WEEK : Large $d(i, j)$	LARGE_VAR	SMALL : Small Number

융선의 방향에 대한 강도 $d(i, j)$ 와 방향의 불확실성 척도 $V(\theta)$ 는 세선화를 위한 퍼지 논리의 입력 변수로 작용한다. 출력 변수는 영상값의 보상치로 나타난다. 표 1은 퍼지 변수들의 퍼지 집합 값을 보여준다.

세선화는 모두 10개의 퍼지 규칙이 사용된다. 융선의 중앙에 속한 화소에 대해서는 다음 3개의 규칙에 따라 영상값이 증가한다. 융선의 최대 최소 너비를 w_{min} 과 w_{max} 라 할 때 융선에 속하는 화소와 융선의 중앙 사이의 거리가 $w_{min}/2$ 보다 작으면 융선의 중앙에 있다고 가정한다.

IF $d_k(i, j)$ is STRONG with LOW_VAR,
THEN increase the intensity with LARGE value

IF $d_k(i, j)$ is STRONG with MEDIUM_VAR,
THEN increase the intensity with MEDIUM value

IF $d_k(i, j)$ is NORMAL with MEDIUM_VAR,
THEN increase the intensity with SMALL value

융선의 가장자리에 있는 화소도 $d(i, j)$ 와 $V(\theta)$ 의 값에 따라 영상값을 증가시키나 중앙에 속한 화소에 비해서는 약하게 한다. 융선에 속하는 화소와 융선의 중앙 사이의 거리가 $w_{min}/2$ 보다는 크지만 $w_{max}/2$ 보다 작을 때 우리는 이 화소가 융선의 가장자리에 있다고 한다. 다음 두 개의 규칙은 융선의 가장자리에 속한 화소에 적용되는 퍼지 규칙들이다.

IF $d_k(i, j)$ is STRONG with LOW_VAR,
THEN increase the intensity with MEDIUM value

IF $d_k(i, j)$ is STRONG with MEDIUM_VAR,
THEN increase the intensity with SMALL value

만약 융선 방향의 강도가 낮다면, 화소가 비록 융선에 속한다 할지라도 영상값을 감소시킨다.

IF $d_k(i, j)$ is STRONG with LOW_VAR,
THEN decrease the intensity with MEDIUM value

IF $d_k(i, j)$ is STRONG with MEDIUM_VAR,

THEN decrease the intensity with SMALL value

계곡에 속한 화소일 경우에는 영상값을 감소시킨다.

IF $d_k(i, j)$ is STRONG with LOW_VAR,

THEN decrease the intensity with LARGE value

IF $d_k(i, j)$ is STRONG with MEDIUM_VAR,

THEN decrease the intensity with MEDIUM value

IF $d_k(i, j)$ is NORMAL with MEDIUM_VAR,

THEN decrease the intensity with SMALL value

2. 후처리 : 특이점 처리(Minutiae Refining)

앞의 퍼지 논리를 사용하면 용선을 최소 한 화소의 폭으로 세선화할 수 있다. 이 과정에서 많은 오류 특이 무늬들이 제거되기도 하지만 새로운 오류 특이 무늬가 발생하기도 한다. 용선의 단절(broken edges)과 종단(false endpoints) 그리고 용선의 돌출(burs)이 세선화 과정에서 새로 발생하는 대표적인 오류 무늬들이다. 그림 2는 지문영상의 세선화시 나타나는 일반적인 오류 특이 무늬들을 보여준다. 용선의 단절로 나타나는 오류 종단점들과, 오연결로 인한 사다리 무늬, 그리고 돌출 무늬들을 볼 수 있다.

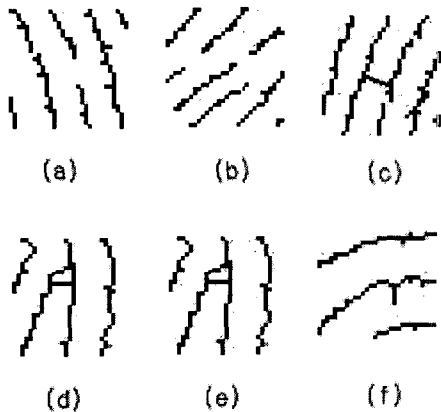


그림 2. 오류 특이 무늬 예
Fig. 2. Common False Minutia.

지문영상에서 특이 무늬는 $V(\theta)$ 가 높은 화소 주변에서 발견된다. 특이 무늬가 발견되면 특이 무늬의 구조적인 속성을 이용하여 오류 특이 무늬를 제거한다. R을

화소점 (i, j) 와 일정거리를 가진 주변 화소점이라 하자. 특이 무늬는 다음 C를 검사함으로써 알 수 있다.

$$C(i, j) = \sum_{(n, m) \in R} |f(n, m) - f(i, j)| \quad (3)$$

종단점에서 C의 값은 2이며, 분기점에서는 C 값이 6을 갖게 된다. 대부분의 오류 특이 무늬들은 간단한 방법으로 정상적인 특이 무늬와 구분할 수 있다. 그림 2를 보면 오류 특이 무늬의 경우 무늬 주변에서 또 다른 특이 무늬가 발견됨을 볼 수 있다. 오류 특이 무늬가 발견되면 Xiao 등이 제안한 알고리즘을 사용하면 이를 쉽게 제거할 수 있다.^[1]

III. 실험

실험을 위하여 실제 지문 사진을 스캐너로 입력한 영상을 사용하였다. 그림 3은 원영상을 보여준다. 그림 4는 기울기에 대한 편차를 나타내고 있다. 그림 5는 2단계에 걸쳐 이루어진 세선화시킨 지문영상을 보여준다.

본 논문에서 제시하는 지문 영상의 세선화 알고리즘과 유사한 대표적인 것으로는 5단계에 걸쳐 진행되는 O’Gorman^[4]가 제시한 방법이 있다. 우선 지문 영상으로부터 용선과 계곡을 찾아내어 이들에 대한 최대 및 최소 폭을 구한다. 폭을 고려한 필터 마스크의 크기가 설정되면 용선의 방향을 구하고, 이를 평활화한다. 평활화한 영상에 대하여 방향성을 가진 마스크(matched filter)를 이용하여 화소단의 세선화를 진행한다. 세선화된 영상은 본 논문에서와 비슷한 방법으로 후처리과



그림 3. 원 영상
Fig. 3. Raw Image.



(a) 저편차 영상
(a) Low Variance Image

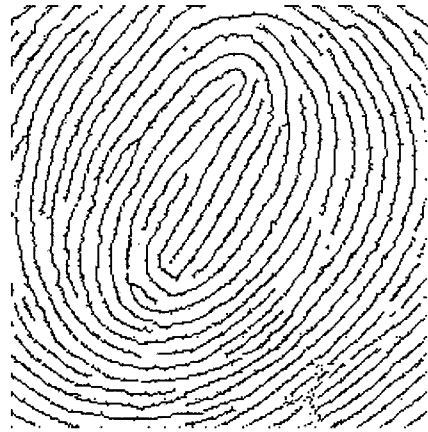


(b) 고편차 영상
(b) High Variance Image

그림 4. 편차 영상
Fig. 4. Variance Image.



(a) 전처리후 영상
(a) Coarse Thinning Image



(b) 후처리후 영상
(b) Enhanced Result Image

그림 5. 세션화된 영상
Fig. 5. Enhanced Image.

정을 거친다. 이 알고리즘도 본 논문에서 제시하는 방법과 같이 융선의 중앙은 주변보다 높은 양의 가중치를, 계곡들은 낮은 음의 가중치를 적용하면서 융선의 방향을 따라 세션화를 진행한다. 또한, 필터의 크기를 조절하여 적어도 한쌍의 융선과 계곡을 포함하도록 하고 있으며 융선의 방향에 대하여 대칭적이다. 이 방법을 사용하여도 그림 5(b)와 유사한 결과 영상을 얻을 수 있다. 그러나 전 영상(whole image)을 대상으로 알고리즘을 적용하여야 하므로 논문에서 지적하였듯이 VAX 워크스테이션에서 약 5분의 처리시간이 소요된다. 본 논문에서 제시하는 퍼지 알고리즘은 평균 2-3번 반복에 의해 세션화가 완료된다.

IV. 결 론

컴퓨터와 전자기술이 발달함에 따라 생체를 이용한 인식 및 보안 시스템에 대한 관심이 높아지고 있다. 지문은 생체학적(biometric)으로 사람마다 다른 고유한 특징이다. 컴퓨터를 이용한 지문 인식의 성공여부는 융선의 오류 특이무늬를 어떻게, 그리고 얼마나 감소시킬 수 있는가 하는 데 달려있다. 본 논문은 지문인식에 공통으로 적용할 수 있는 세션화 알고리즘을 제시하고 있다.

본 알고리즘은 세션화를 거치는 과정에서 융선과 계곡 사이의 대비를 증가시킨다. 영상의 향상은 융선의 방향을 따라 진행되어 상당 부분의 오단절 문제를 해

결하고 있다. '영상의 contrast가 좋다', 혹은, '세밀하게 묘사되어 있다'라는 등등 영상의 질을 정의하기란 어렵다. 이러한 애매한 대상을 다루기에는 퍼지 논리가 가장 적절하다고 한다. 그러나 퍼지 논리가 매우 강력한 영상처리 도구지만 영상을 대상으로 하여 퍼지 규칙을 제작하기란 쉽지 않다. 고주파 특성을 갖고 있는 잡음과 에지(윤선) 등을 함께 처리하여 한 가지(잡음)는 제거하고 다른 한가지(세밀한 영상)는 향상(enhance)시키는 일은 어떻게 퍼지 규칙을 만드는가에 달려 있다. 본 논문에서 제시하는 다양한 지문 영상에 근거를 둔 규칙은 여러 가지 지문영상의 향상 알고리즘에 사용할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Qinghan Xian and Hazem Raafat, "Fingerprint image postprocessing: A combined statistical and structural approach", Pattern Recognition, pp. 985~992, Vol. 24, No. 10, 1991.
- [2] B. Moayer and K. S. Fu, "A syntactic approach to fingerprint pattern recognition", Pattern Recognition, Pergamon Press, pp. 1~23, Vol. 7, 1975.
- [3] B. M. Mehre, N. N. Murthy, S. Kapoor, "Segmentation of Fingerprint images using the directional image", Pattern Recognition, pp. 429~435, Vol. 20, No. 4, 1987.
- [4] Lawrence O'Gorman and Jeffrey V. Nickerson, "An approach to fingerprint filter design", Pattern Recognition, pp. 29~38, Vol. 22, No. 1, 1989.
- [5] M. Ann Piech, "Comments on fingerprints of two-dimensional edge models", Computer vision, graphics, and image processing, pp. 381~386, Vol. 42, 1988
- [6] Masahiro Kawagoe and Akio Tojo, "Fingerprint pattern classification", Pattern Recognition, pp. 295~303, Vol 17, No. 3, 1984.
- [7] B. M. Mehre and B. Chaterjee, "Segmentation of fingerprint images- A composite method", Pattern Recognition, pp. 381~385, Vol. 22, No. 4, 1989.
- [8] Babu M. Mehre and Anil K. Jain, "Automatic classification of fingerprint images", MVA'90, IAPR workshop on Machin Vision Application, pp. 28~30, Nov. Tokyo, 1990.
- [9] Nalini K. Ratha, Kalle Karu, Shaoyun Chen, Anil K. Jain, "A Real-Time Matching System for Large Fingerprint Databases", IEEE Trans. on pattern analysis and machine intelligence, pp. 799~813, Vol. 18, No. 8, AUGUST, 1996.

저 자 소 개



梁 雨 錫(正會員)

1979년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1990년 미국 North Carolina State Univ. 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(공학박사). 1978년 ~ 1984년 (주) 대우. 1990년 ~ 1991년 LG전자 생산기술연구원 책임연구원(부장) 현재 홍익대학교 전전컴공학부 부교수. 주관심분야 : pattern 인식, 컴퓨터비전, FA



許 慶 茂(正會員)

1979년 서울대학교 전기공학과 졸업 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사(1981), 동대학 박사(1989). 현재 단국대학교 전자컴퓨터학부 전자공학전공 부교수. 주요 연구분야는 로봇트 제어, 3차원 디스플레이, 시스템 제어, 학습 제어, Servo Motor 제어, 디지털 제어기 설계 및 Simulation