

적응적 영상개선을 위한 지문영상의 방향성 특성과 화질의 관계 분석

正會員 郭 允 植*

An Analysis of the Relationship Between the Directional Characteristic and the Quality of Fingerprint Image for Adaptive Image Enhancement

Yoon-Sik Kwak* *Regular Member*

요 약

본 논문은 적응적 영상개선을 위한 전 단계로 자기상관함수를 이용한 지문 영상의 방향성 특성과 화질의 관계 분석에 관한 것이다. 이를 위해서 원 영상을 방향 영상으로 변환한 실험영상을 대상으로 부 영역의 크기를 16, 32, 64, 방향성을 1, 2, 3, 4로 설정하고 화질의 척도인 방향성 누적값을 산출하였다. 또한 지문영상에 대한 화질 특성을 추출하고 최적의 부 영역과 방향성 관계를 정량적인 실험 자료로 제시하기위해 군집화 알고리즘을 이용한 분석 과정을 수행하였다.

ABSTRACT

This paper aims to examine the relationship between the directional characteristics and the quality for fingerprint image as preprocessing stage for adaptive image enhancement. In order to do that, we transformed the original images into directional images and set up the subimage size of 16, 32, 64 and the direction of 1, 2, 3, 4. Then we extracted the accumulated directional value as the measurement of quality for fingerprint images. By using the clustering algorithm, we performed an analytic experiment with the result. Finally, we could extract the optimal subimage size and directional characteristics for fingerprint images.

I. 서 론

정보통신 기술의 발전과 더불어 보안에 대한 관심

이 증대됨에 따라서 개인의 식별수단으로 사용되는 지문에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔다.⁽¹⁾⁻⁽¹¹⁾ 또한 지문 영상의 화질에 대한 관점이 사람에 따라 주관적이며 영상의 응용분야에 밀접한 관계를 갖고 있기 때문에 화질을 측정하는 기술은 매우 중요하고 어려운 문제이다.⁽³⁾⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾ 그러나 영상의 화질을 측정하는

*충주산업대학교 컴퓨터공학과
論文番號:97456-1216
接受日字:1997年 12月 16日

척도가 주어진다면 영상처리의 효율성을 극대화시킬 수 있으리라 판단된다.

지문영상의 화질에 대한 연구에서 K.Yamato는 세 선화 영상을 대상으로 화소수를 이용하는 방법을 제안하였으며⁽⁵⁾ T. Kanaoka는 입력된 지문의 화질을 개략적으로 판정하여 지문을 입력시킴으로써 효과적인 영상 개선기술을 적용하고 시스템의 효율성을 증가시키는데 목적을 두고 2진 영상(binary image)을 대상으로 자기상관함수를 이용하는 방법을 제안하였다.⁽³⁾ 그러나 지문영상은 휠(Whorl), 루프(Loop), 아취(Arch)형태로 분류되고 이에 대응해서 방향성의 특성이 다르게 나타나는 특성을 갖고 있는데 이에 대한 고려가 불충분한 것으로 판단되며 충분한 실험 영상 데이터를 사용하여 세부적인 실험과정의 수행 및 방향성 특성과 화질과의 관계를 정량적인 실험자료로 제시하지 못했다.⁽³⁾

본 논문에서는 지문영상이 갖고 있는 방향성 특성을 활용할 수 있도록 지문을 휠, 루프, 아취로 분리시키고 각각에 대해서 독립적으로 방향성 특성과 화질의 관계를 정량적인 실험자료로 제시하였다. 또한 기존의 연구에서 제시하지 못한 다양한 크기의 부 영역과 방향성 관계를 실험적 데이터로 제시하기 위해 방향성을 1, 2, 3, 4로 설정하고 부 영역의 크기를 16×16, 32×32, 64×64로 설정하여 실험 자료를 추출하였다.

II. 본 론

본 장에서는 2진 영상에 적용되는 자기상관함수에 대한 정의⁽³⁾ 및 영상의 화질에 대한 척도로 방향성 누적값의 활용에 대해서 논하였다. 지문영상에 대한 방향성 영상이란 지문영상을 구성하는 모든 화소의 국부적인 명암값 특성을 방향성 특성으로 변환시키는 변환기술이다. 이와 같은 방향성 영상으로부터 추출된 통계적 특성은 원 영상의 영역화등 여러 응용분야에 활용이 가능하다.⁽⁴⁾⁽⁶⁾ 이와같은 방법론은 지문영상과같이 배경영역과 물체영역이라는 2가지 물체로 구성되는 단순한 영상에 적용하는 것이 효과적이다.

$$K(i, j) = \text{Min} \sum_{k=1}^n [C(i_k, j_k) - C(i, j)] \quad (1)$$

방향성 추출을 위한 식(1)은 융선의 방향성 정도를

명암값의 차로 나타낸 것으로 $K(i, j)$ 는 화소(i, j)에 대한 방향성을 명암값의 차로 나타낸 것이며 여기서 Min 값은 가장 일치하는 방향성을 해당 화소의 방향으로 설정하기 위함이다. 또한 $C(i_k, j_k)$ 는 화소(i, j)에서 k 방향으로 일정 거리가 떨어진 화소의 명암값을 나타내며 $C(i, j)$ 는 대상화소의 명암값을 나타낸다. 또한 합은 방향성의 강도를 의미는 것으로 융선의 방향과 일치하는 경우에는 값이 작아지고 방향과 일치하지 않는 경우에는 값이 커지게 된다. 이같은 방향성 특성을 그림 1에 나타내었다.

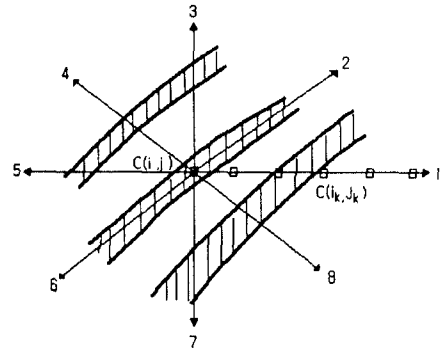


그림 1. 방향성 특성
Fig. 1 Directional Characteristics

2.1 자기상관함수와 영상의 화질

지문영상은 융선 영역(ridge)과 곡 영역(valley)이라는 2가지 물체로 구성된 무늬(texture)영상으로 일정한 크기의 부 영역에서는 융선과 곡의 흐름이 거의 평행하고 융선과 융선의 거리는 일정하며 융선과 곡 영역의 명암값 차는 매우 작다는 본질적인 특성을 갖고 있다.

임의의 영상에 대해 $f(x, y)$ 를 위치(x, y)에 대응하는 명암값이라 가정하면 주어진 부 영상 S에서 자기상관함수 $A_s(\alpha, \beta)$ 를 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$A_s(\alpha, \beta) = \iint_S f(x, y) f(x + \alpha, y + \beta) dx dy \quad (2)$$

지문영상은 위에서 언급한 특성 때문에 식(2)의 값은 융선 영역의 방향성에 대해 차이가 생긴다. 특히

응선 화소와 곡 화소 사이의 구분이 명확한 경우에는 방향성 특성이 잘 나타나고 반대의 경우에는 방향성 특성이 잘 나타나지 않게 된다. 이같은 성질을 활용하는 것이 본 알고리즘의 특성이다. 식(2)를 부 영역 S 및 방향성 i(1, 2, 3, 4) 그리고 방향 j를 고려하면 식(3)과 같다.

$$A_s(\alpha_j^i, \beta_j^i) = \sum_{(x,y) \in S} f(x,y) f(x+\alpha_j^i, y+\beta_j^i) \quad (3)$$

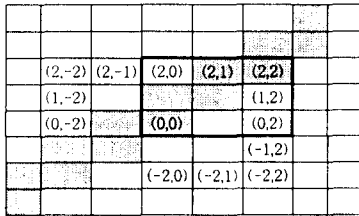


그림 2. 방향성 예 (i=2)
Fig. 2 Example for Direction (i=2)

그림 2에서 흑 화소는 "1"이고 백 화소는 "0"으로 나타내며 (x, y)는 화소의 위치를 나타낸다. 방향성이 i=2이므로 방향 j는 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8의 8방향을 갖게 된다. 그리고 화소(0,0)를 중심으로 거리가 2만큼 떨어진 화소(0,2), (1,2), (2,2), (2,1), (2,0), (2,-1), (2,-2), (1,-2)와의 명암값 차를 구하게 된다. 이를 식(3)으로 나타내면

$$\begin{aligned} A_s(\alpha_1^2, \beta_1^2) &= (0, 2), A_s(\alpha_2^2, \beta_2^2) = (1, 2), A_s(\alpha_3^2, \beta_3^2) = (2, 2) \\ A_s(\alpha_4^2, \beta_4^2) &= (2, 1), A_s(\alpha_5^2, \beta_5^2) = (2, 0), A_s(\alpha_6^2, \beta_6^2) = (2, -1), \\ A_s(\alpha_7^2, \beta_7^2) &= (1, 2), A_s(\alpha_8^2, \beta_8^2) = (0, -2) \end{aligned}$$

로 나타낼 수 있다.

예를 들어 굵은 선의 3x3 영역을 대상으로 i=2인 경우를 가정하면

$$\begin{aligned} A_s(\alpha_1^2, \beta_1^2) &= f(0,0) \cdot f(0,2) + f(0,1) \cdot f(0,3) + f(0,2) \cdot f(0,4) \\ &+ f(1,0) \cdot f(1,2) + f(1,1) \cdot f(1,3) + f(1,2) \cdot f(1,4) \\ &+ f(2,0) \cdot f(2,2) + f(2,1) \cdot f(2,3) + f(2,2) \cdot f(2,4) \\ &= 0 \end{aligned}$$

전체 방향에 대한 자기상관함수 값의 총합은 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$F_s = \sum_{(1, 2, \dots, 8) \in D_i} A_s(\alpha_j^i, \beta_j^i) \quad (4)$$

여기서 D_i 는 방향으로 다음과 같다.

$$D_i = \begin{cases} 1, 2, 3, 4 & \text{만일 } i=1 \\ 1, 2, \dots, 8 & \text{만일 } i=2 \\ 1, 2, \dots, 12 & \text{만일 } i=3 \\ 1, 2, \dots, 16 & \text{만일 } i=4 \end{cases}$$

식(4)에서 각각의 방향에 대한 평균 자기상관함수 μ_i 값은 식(5)와 같이 나타낼 수 있으며 여기서 $|D_i|$ 는 각 방향성에 대한 최대값을 나타낸다.

$$\mu_i = \frac{1}{|D_i|} F_s(i) \quad (5)$$

식(4)(5)를 이용해서 임의의 부 영역 S에 대한 화질의 척도 $C_i(S)$ 는 식(6)과 같이 정의된다.⁽³⁾

$$C_i(S) = \frac{1}{|D_i|} \sum_{j \in D_i} \{A_s(\alpha_j^i, \beta_j^i) - \mu_i\}^2 \quad (6)$$

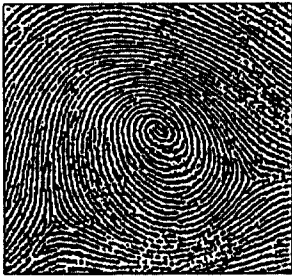
여기서 $C_i(S)$ 는 각 방향성에 대한 분산값을 나타낸다. 이때 화질이 양호한 경우 값이 커지게 되고 반대의 경우는 값이 작아진다.

III. 실험 및 고찰

실험은 256x256x8비트의 영상을 대상으로 2진화 알고리즘을 적용⁽¹⁰⁾, 결과 영상을 사용하였으며 이를 나타낸 것이 그림 3이다.

지문의 형태분류에서 아취의 형태는 차지하는 비율이 미세하고 루프 형태는 아취의 응선 흐름 형태와 유사하며 전체 지문에서 차지하는 비율이 상대적으로 매우 크므로 실험영상(b)와 (c)으로 선택하였으며, 또한 (a)는 획의 형태를 나타낸 것으로 중핵점을 중심으로 응선의 흐름이 심하게 변화하는 회전 형태를 나타내고 있다. 이에 반해서 (b)의 루프 형태는 (a)과 비교해서 상대적으로 완만한 형태를 취하고 있다.

실험영상에 대해서 부 영역크기를 16, 32, 64, 방향



(a) 실험영상 I



(b) 실험영상 II



(c) 실험영상 III

그림 3. 실험영상
Fig. 3 Experiment Image

성을 1, 2, 3, 4로 설정하여 각각의 부 영역과 방향성에 따른 분산값을 추출하였다. 이것은 부 영역에 대한 방향성 특성 및 화질과의 관계를 추출하기 위함이다. 지문영상의 왜곡은 단선 또는 문개짐의 2가지 형태로 대별되며 이와같은 왜곡이 어떤 방향성 특성으로 나타나는가를 추출하기 위해서 각각의 부 영역과 방향

성에 대해 얻어진 화질 척도값(분산값)을 최대값과 평균값을 클러스터 중심(cluster center)으로 설정하고 군집화(clustering)알고리즘⁽¹¹⁾을 이용하여 분석과정을 수행하였다. 표 1, 2, 3, 4는 두 클래스(class)의 평균값과 그 차값을 나타낸 것이다.

표 1. 실험결과 I (방향성: 1)
Table 1. Result I (Direction: 1)

부영역크기	16	32	64
실험영상			
실험 영상 I	$\frac{244}{483}$ (239)	$\frac{3267}{6092}$ (2825)	$\frac{18808}{59230}$ (40422)
실험 영상 II	$\frac{229}{432}$ (203)	$\frac{3322}{5715}$ (2393)	$\frac{40432}{64521}$ (24089)
실험 영상 III	$\frac{181}{348}$ (167)	$\frac{2420}{3996}$ (1576)	$\frac{29706}{51396}$ (21690)

표 2. 실험결과 II (방향성: 2)
Table 2. Result II (Direction: 2)

부영역크기	16	32	64
실험영상			
실험 영상 I	$\frac{561}{1003}$ (442)	$\frac{7763}{13515}$ (5752)	$\frac{124410}{31883}$ (92527)
실험 영상 II	$\frac{262}{728}$ (466)	$\frac{4569}{10845}$ (6276)	$\frac{98783}{151513}$ (52730)
실험 영상 III	$\frac{547}{966}$ (419)	$\frac{3087}{9036}$ (5949)	$\frac{47387}{119969}$ (72582)

표 3. 실험결과 III (방향성: 3)
Table 3. Result III (Direction: 3)

부영역크기	16	32	64
실험영상			
실험 영상 I	$\frac{463}{874}$ (411)	$\frac{5790}{11348}$ (8587)	$\frac{34695}{93274}$ (58579)
실험 영상 II	$\frac{645}{1081}$ (436)	$\frac{3635}{10307}$ (6672)	$\frac{63322}{126763}$ (63441)
실험 영상 III	$\frac{577}{1016}$ (439)	$\frac{2847}{8790}$ (6143)	$\frac{37206}{105099}$ (67893)

표 4. 실험결과 IV (방향성: 4)
Table 4. Result IV (Direction: 4)

부영역크기	16	32	64
실험영상			
실험 영상 I	$\frac{4958}{9004}$ (4046)	$\frac{5950}{86447}$ (80497)	$\frac{68491}{1316778}$ (1248287)
실험 영상 II	$\frac{4537}{15537}$ (11000)	$\frac{5703}{74174}$ (68444)	$\frac{84553}{1106480}$ (1021927)
실험 영상 III	$\frac{4599}{16495}$ (11896)	$\frac{62073}{124480}$ (62407)	$\frac{97810}{1214792}$ (1116982)

$$\therefore \frac{\text{첫번째 클래스 평균값}}{\text{두번째 클래스 평균값}} \quad (\text{거리})$$

표 1, 2, 3, 4의 “ $\frac{\text{첫 번째 클래스 평균값}}{\text{두 번째 클래스 평균값}}$ (거리)”에

서 첫 번째 클래스의 경우는 평균값을 두 번째 클래스의 경우는 최대값을 클래스 중심값으로 설정하고 군집화 알고리즘을 수행한 후, 각 클래스의 평균값을 구한 것이며 거리는 두 중심값의 차를 나타낸 것이다.

부 영역의 크기와 화질과의 관계에 있어서 방향성이 1(부 영역의 크기가 16)인 경우는 실험영상 I, II가 유사한 크기의 누적값 및 차값을 갖는 것으로 나타났으며 실험영상 III의 경우가 가장 작은 값을 갖는 것으로 나타났다. 또한 방향성이 2인 경우에도 동일한 결과가 나타났으나 방향성 3, 4의 경우에는 다른 결과를 얻었다. 이는 지문영상의 흐름선 형태가 완만하고 용선의 수가 상대적으로 적어지는데 원인이 있는 것으로 판단된다. 왜곡의 특성을 바탕으로 부 영역의 크기는 용선의 평행성 특성이 만족되면서 왜곡을 포함할 수 있는 크기를 만족시켜야 한다. 실험결과, 부 영역의 크기가 64인 경우는 그 의미를 부여하기가 곤란한 것으로 판단된다. 이는 용선의 평행성 특성이 보존되지 못하기 때문이다. 또한 8×8의 경우는 너무 세분화되어 화질의 특성이 나타나지 않는다. 특히 끊어짐의 형태에 대해서는 그 영향을 크게 받는다.

여기에서 “0”을 중심으로 위쪽 방향은 왜곡영역이 오추출되는 (왜곡영역이 정상영역으로 추출) 에러율(1차 에러율)을 방향성 1, 2, 3, 4에 대해서 백분율로 나타낸 것이며 아래쪽 방향은 정상영역이 오추출(정상영역이 왜곡영역으로 추출)되는 에러율(2차 에러율)을 나타낸 것이다. 또한 각각의 실험영상에 대해서 방향성이 1, 2, 3, 4인 경우이다. 정상영역과 왜곡 영역을 판정하기 위한 문턱값은 식(7)과 같다.

$$T_n = (\text{첫 번째 클래스 평균} - \text{두 번째 클래스 평균}) / 2 + \text{첫 번째 클래스 평균} \quad (7)$$

먼저 1차 에러율은 왜곡영역의 추출율과 관계된 것으로 0(%)에 가깝게 나타나는 것이 요망되어 진다. 영역의 크기가 32인 경우는 0~77.7(%), 영역의 크기가 16인 경우는 0~66.6(%)로 나타나 후자의 경우가 효과적인 것으로 판단된다. 이는 용선의 평행성 특성이 유지된다고 판단되며 지문 영상의 왜곡이 국부적임을 나타낸 것이다. 또한 방향성에 따라서 그 차가 심하게 나타나서 방향성 4인 경우는 사용이 불가능한 것으로 판단된다.

2차 에러율에 있어서는 영역크기가 32인 경우는 1.6~38.2(%), 영역크기가 16인 경우는 1.2~57.0(%)까지 나타났다. 이때 영상에 따라 에러율이 상이하게 나타났으며 이와같은 결과는 방향성 특성에 기인한 것으로 판단된다.

1, 2차 에러율을 바탕으로 최적의 영역 크기는 16이며 방향성은 2로 판단된다. 여기서 영역크기가 16인 경우에도 중핵점(Core), 델타점(Delta)과 같은 특징 점은 왜곡영역으로 오추출(1차 에러율)되고 있다. 이를 보완하기 위해서는 부 영역의 크기를 세분시켜야 하는 필연성이 대두된다. 그러나 영역을 세분화할 경우에는 화질의 특성을 반영시키지 못하는 문제점이 발생됨으로 영역크기와 화질의 특성사이에 전환점이 존재한다.

표 5. 에러율
Table 5. Error Rate

부영역크기 실험영상	16	32
실험 영상 I	0.0/29.5 (방향성 1)	18.2/22.6 (방향성 1)
	0.0/27.3 (방향성 2)	9.0/28.3 (방향성 2)
	0.0/35.5 (방향성 3)	18.2/26.4 (방향성 3)
	66.6/41.8 (방향성 4)	72.7/5.6 (방향성 4)
실험 영상 II	0.0/42.0 (방향성 1)	0.0/37.7 (방향성 1)
	18.2/1.2 (방향성 2)	0.0/1.6 (방향성 2)
	0.0/37.1 (방향성 3)	33.3/4.9 (방향성 3)
	63.6/47.3 (방향성 4)	33.3/1.6 (방향성 4)
실험 영상 III	9.5/44.3 (방향성 1)	11.1/25.5 (방향성 1)
	9.5/33.2 (방향성 2)	77.7/3.6 (방향성 2)
	9.5/34.9 (방향성 3)	66.6/1.8 (방향성 3)
	57.1/57.0 (방향성 4)	66.6/38.2 (방향성 4)

(단위: %)

표 5는 문턱값(T_n)을 이용해서 화질의 정상상태와 왜곡상태를 판정한 후, 오추출율을 산출한 결과이다. 문턱값은 영상에 따라서 다르게 나타나며 실험영상 I, II, III에 대해서 부 영역의 크기가 16이고 방향성이 3인 경우에 문턱값은 각각 660.69, 526.19, 466.19이다.

IV. 결 론

본 연구는 지문영상의 화질과 방향성 특성의 관계를 분석하기 위한 것으로 자기상관함수를 이용하여 화질의 척도를 산출하였다. 화질의 측정은 지문의 형

태에 의존적으로 나타났다. 이것은 영상이 갖고 있는 방향성 특성에 기인한 것으로 흐름선의 곡율이 휠의 경우는 급격하고 아취는 상대적으로 완만하기 때문에 일률적으로 결정하는 것은 곤란한 것으로 판단된다. 또한 방향성의 특성은 부 영역의 크기와 밀접한 관계가 있는 것으로 나타나서 32 이상에서는 용선의 평행성 특성이 보존되지 못하며 16의 경우가 가장 양호한 것으로 나타났다. 여기서 영역을 더욱 세분화시키는 경우는 화질의 특성을 추출할수 없다는 결론을 얻었다.

참 고 문 헌

1. D. C. Douglas Hung: "Enhancement and feature purification of fingerprint images", Pattern Recognition, Vol. 26, No. 11, pp. 1661-1671, 1993.
2. Kaymaz E. and Mitra S.,: "Analysis and matching of degraded and noisy fingerprints", SPIE's International Symposium on Optical Applied Science and Engineering, Conf./Vol. 1771 Applications of Digital Image Processing XV, 1992.
3. Taiho KANAOKA, Masanori WATANABE, Yoshihiko HAMAMOTO and Shingo TOMITA: "On a criterion for fingerprint image quality using the autocorrelation", The Transactions of the IEICE. Vol. E72 No. 6, pp. 698-701, 1989.
4. B. M. Mehtre and B. Chatterjee: "Segmentation of fingerprint images-a composite method", Pattern Recognition, Vol. 22, No. 4, pp. 381-385, 1989.
5. K. Yamato, Y. Hata, N. Yazu and S. Hashimoto: "Fingerprint identification system by ravine thinning", The Transactions of the IEICE, J71-D, 2, pp. 327-335, 1988.
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. David A. Stoney and John I. Thornton: "A critical analysis of quantitative fingerprint individuality models", Journal of forensic sciences, Vol. 31, pp. 1187-1216. 1986.
8. S. J. Briggs: "The definition and measurement of image quality", Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng., Vol. 249, pp. 170-174, 1980.
9. V. R. Algazi and G. E. Ford: "Quality measure in the processing of high-contrast images", Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng. Vol. 249, pp. 54-60, 1980.
10. Robert P. Chiralal and Leonard L. Berdan: "Adaptive digital enhancement of latent fingerprints", Carnahan Conference on Crime Countermeasures, pp. 131-135, 1978.
11. B. G. Batchelor and B. R. Wilkins: "Method for location of clusters of patterns to initialize a learning machine," Electronics Letters, Vol. 5, No. 20, pp. 481-483, 1969.



郭 允 植(Yoon-Sik Kwak) 정회원
 1962년 2월 17일생
 1984년: 청주대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1986년: 경희대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1994년: 경희대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 1995년~1996년: Texas Tech University 파견교수
 1991년~현재: 충주산업대학교 컴퓨터공학과 조교수
 ※주관심분야: 영상처리, 멀티미디어와 영상데이터베이스