

푸리에 변환을 이용한 지문영상의 개선에 관한 연구

正會員 곽 윤 식*

A Study on the Fingerprint Enhancement Using the Fourier Transform

Yoonsik Kwak* *Regular Member*

요 약

본 논문은 지문영상을 대상으로 푸리에 영역에서 효율적인 스펙트럼 특성을 추출하고, 이를 영상개선에 응용하는 것을 목적으로 한다.

푸리에 영역에서 지문영상의 스펙트럼 특성을 효과적으로 추출하기 위해서 처리단위를 1×64 의 윈도우로 설정하고, 여러 가지의 레코드 길이 및 오버랩 길이를 조합시키면서 각각의 경우에 대해 전력 스펙트럼 밀도를 산출하였다.

이렇게 얻어진 스펙트럼 특성을 지문영상의 재생성 과정에 적용하여, 그 결과 영상을 비교, 평가하였으며 개선된 명암값 영상을 얻을 수 있었다. 또한 기존의 방법론⁽¹⁾과 본 방법론을 이용하여 얻어진 2진화 영상에 대해서 비교, 평가함으로써 본 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

ABSTRACT

This study intends to extract the efficient spectrum characteristics of the fingerprint image in the fourier domain and to apply them for image enhancement.

In order to effectively acquire the spectrum characteristics of the fingerprint in the fourier domain, I set up a 1×64 window as a processing unit and, combining various kinds of the record and overlap lengths, made the power spectrum density estimate for each of those combinations.

Each spectrum characteristic thus acquired was applied to a re-synthesis process of the fingerprint image, and, through comparisons and evaluations of the resultant images, an improved gray scale image could be obtained. The validity of this algorithm could be confirmed by the comparison and evaluation of the binary images which were gained on the established method and the one I used in this experiment.

*충주산업대학교 컴퓨터공학과 조교수
論文番號:96181-0619
接受日字:1996年 6月 19日

I. 서론

지문 영상처리에 대한 연구는 오래전부터 활발히 진행되어 왔으며 특히 지문영상의 개선기술(enhancement techniques)에 대한 연구는 전처리 기술(preprocessing techniques)으로써 그 중요성이 강조되어 왔다.⁽¹⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾ 이 같은 상황에 맞추어 국내외적으로 이에 대한 연구는 매우 활발히 진행되고 있다.⁽¹⁾⁽¹¹⁾⁽¹³⁾⁽¹⁵⁾ 그러나 국외와 비교해서 국내의 연구는 대부분이 공간영역(spatial domain)의 영상처리 기술에 연구가 집중되고 있으며 공간 주파수 영역(spatial frequency domain)에서의 연구 또한 인식분야(recognition)에 집중되어 전처리(개선처리)과정에 대한 연구가 미흡한 상황에 있다.⁽¹⁾⁽¹⁵⁾

국외의 경우, 공간주파수 영역에서의 지문영상 처리에 대한 연구가 영상개선(fingerprint enhancement), 분류(classification), 인식분야에 걸쳐 매우 광범위하고 활발하게 진행되고 있으며⁽¹⁾⁽⁴⁾ 여러 응용분야에의 활용단계에 도달되어 있다.

본 논문에서는 공간주파수 영역에서 지문영상에 대한 스펙트럼 특성을 효과적으로 추출하고, 그 결과를 영상의 재합성 과정에 적용하여 개선된 명암값 영상(gray scale image)의 획득을 목표로 한다. 또한 기존의 방법론⁽¹¹⁾과 본 방법론을 이용하여 얻어진 2진화 영상에 대해서 비교, 평가함으로써 본 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 처리영역의 설정 및 스펙트럼특성 추출에 대해서 설명한다. III 장에서는 실험 및 결과고찰 그리고 IV 장에서는 본 논문의 결론을 제시한다.

II. 영상개선 알고리즘

전처리 기술으로써 지문영상의 개선기술에 대한 연구는 매우 활발하게 진행되어 그 중요성이 더욱 강조되고 있다. 이같은 전처리 기술에서는 지문영상의 갖고 있는 본질적인 특성(지문영상은 융선(ridge)영역과 곡(valley)영역으로 구성된다)을 활용하는 여러 방법론이 제안되어 왔다.⁽¹⁾⁻⁽³⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁸⁾⁻⁽¹¹⁾ 부영역에 존재하는 융선과 곡의 특성을 기초로 평균명암값을 이용하는 기법⁽¹¹⁾, 융선과 곡의 통계적 특성(방향성)을 이용하여 부 영상을 재생성하는 기법⁽⁸⁾, 세선화 영상(thinning

image)에 대한 개선기법⁽¹⁰⁾ 등 대부분이 공간영역 기법이다.

공간 주파수 영역에서의 기법은 주로 필터링 기술(filtering)이 해당된다.⁽²⁾

이같은 연구방법론에서 극복해야할 문제로 대두되는 것이 부영역의 설정문제이다.⁽¹⁾⁽⁵⁾ 이것은 지문영상의 왜곡이 극복적이라는 특성에 기인한 것이다.

지문의 특성을 효과적으로 추출하고 처리효율을 증대하기 위해서는 부영역 크기가 클수록 양호한 결과를 얻을 수 있으나 영상이 Blurring된다는 단점이 발생한다.⁽¹⁾⁽⁵⁾ 이와 반대로 부영역의 크기를 작게하면 Blurring 현상이 없어지지만 잡음의 제거가 효과적이지 못하다는 단점이 있다.

또한 지문영상의 왜곡은 찢어짐(stretching)과 뭉개짐(merging)형태가 일반적이는데 이같은 현상은 히스토그램의 화소가 집중된 형태로 나타나는 특성이 있다. 다시말해서 왜곡현상은 국부적인 형태로 발생되며 이같은 특성은 영상개선기술의 적용을 어렵게 하는 요인으로 작용하게 된다.

본 논문에서는 위에서 언급한 문제점을 극복하고 개선된 영상을 얻는 것을 목표로 한다.

1. 부 영역 설정

부 영역처리기술(subimage processing techniques)은 영상의 특성을 효과적으로 표현하고, 처리 효율성을 증대시키는데 그 목적이 있다.

부 영역크기(subimage size)를 설정하는 문제에 있어서는 지문영상이 갖고 있는 특징량(융선과 곡)을 효과적으로 표현하는 것이 가능하다는 전제조건과 잡음(noise) 또는 왜곡의 영향을 최소화 한다는 전제조건을 만족시켜야 한다.

그러나 부 영역의 크기를 크게 할 수록 잡음 등의 영향을 최소화 하지만 Blurring 효과가 발생하는 문제가 있으며 반대의 경우에는 잡음의 영향이 커지는 문제가 발생된다.

본 논문은 부 영역 크기를 1×64로 설정하고, 이를 처리단위로 설정함으로써 다음과 같은 특성을 갖고 있다.

1. 부 영역에 존재하는 특징량을 충실하게 표현할 수 있다. 지문 영상의 경우 1차원적으로 융선과 곡이 주기적으로 표현되므로 1차원의 부영역으로도 충분

히 그 특징량을 나타낼 수 있다.

2. 왜곡이나 잡음의 영향을 최소화 할 수 있다. 본 알고리즘의 부영역 크기에는 다수개의 용선과 곡선이 포함되고 이것은 잡음이나 왜곡의 영향을 줄일 수 있다는 의미와 동일하다.

3. 지문 영상의 주기성을 활용할 수 있다. 특징 2에서 언급한대로 스펙트럼 특징을 추출하는 과정에서 효과적이다.

2. 스펙트럼 특성 및 갱신(Modification)

공간주파수 영역에서의 스펙트럼 분석은 아래와 같이 정의된다⁽¹²⁾.

2차 광의의 정상인 샘플 $X(j)$, $j=0, 1, 2, 3 \dots N-1$ 이 있다고 가정하고 그 계열(sequence)의 기대값(expected value) $E(X)=0$ 라고 하면 $X(j)$ 는 스펙트럼 밀도가 $P(f)$, $|f| \leq \frac{1}{2}$ 이다.

여기서 1개의 계열에 대해서 여러개의 분할을 가정하면, 즉 분할 레코드의 길이가 L 이고, 분할 레코드의 시작점을 $(k-1)*D$ 로 설정하면, $X_k(j)$, $j=0, 1, 2, \dots L-1$ 의 첫번째 분할은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X_1(j) &= X(j) & j=0, 1, 2 \dots L-1 \\ &\vdots \\ X_k(j) &= X(j+(k-1)D) & j=0, 1, 2 \dots L-1 \end{aligned} \quad (1)$$

한 개의 계열은 k 개의 분할로 구성되고 $X_1(j)$, $X_2(j) \dots X_k(j)$ 로 나타낼 수 있으며 각각에 대한 FFT는 식(2)와 같다.

$$F_k(m) = \frac{1}{L} \sum_{j=0}^{L-1} X_k(j) W(j) e^{-i2\pi k j / L} \quad (2)$$

$$\begin{cases} j=0, 1, 2 \dots L-1 \\ k = \text{분할} \\ W(j) = \text{윈도우} \end{cases}$$

식(2)에서 얻어진 푸리에 변환 결과를 이용하여 스펙트럼을 추출하게 된다⁽¹²⁾.

$$P_{xx} = \text{abs}(fft(X_k(d)))^2 \quad (3)$$

공간주파수 영역에서 지문영상에 존재하는 특징량(feature)을 명암값 변화가 심한 화소에 대응하는 고주파수 성분(high frequency component)과 상대적으로 명암값 변화가 덜한 화소에 대응하는 저주파수 성분(low frequency component)으로 구별하는 것이 가능하고 이를 용선과 곡선에 대응하는 성분과 윤곽(edge)에 대응하는 성분으로 판단할 수 있다.

언급한 것과 같이 지문영상의 특징량을 효과적으로 추출하고, 이를 영상개선에 응용하기 위해 부영역을 대상으로 여러 길이의 레코드(record), 식(2)에서 L 및 오버랩(overlap)을 조합, 각각의 조합형태에 대해서 스펙트럼 특성을 추출하였다.

부 영역의 PSD를 갱신하기 위한 문턱함수를 설정하는 과정은 다음과 같다. 먼저 처리단위 1×64 의 윈도우를 기본 단위로 하고, 원래 영상에 대해서 위쪽에서 아래 방향으로 주사하면서 각각의 계열에 대한 PSD를 추출한다. 전체 추출 결과를 이용하여 최대 PSD, 최소 PSD, 평균 PSD를 산출하고 이를 최대, 최소, 평균 PSD 함수로 설정한다.

여기서 얻어진 평균 PSD함수를 기준으로 각각의 계열에서 얻어진 스펙트럼 특성을 갱신하게 된다.

III. 실험 및 결과고찰

1. 실험

본 실험에서는 $64 \times 64 \times 32$ 의 원래 영상을 실험 영상으로 사용하였으며 IBM PC-586 및 C++, MATLAB을 사용하여 실험을 수행하였다.

본 알고리즘의 구성은 그림 1과 같다. 먼저 입력 영상에 대해서 1×64 의 윈도우 단위로 실험을 수행하였다. Hamming Window를 사용함으로써 푸리에 변환 과정에서 발생하는 비 연속성을 제거하였으며, 1×64 계열에 대해서 레코드의 길이를 64, 32, 16, 8 그리고 오버랩이 존재하지 않는 경우와 오버랩 길이가 16, 8, 4인 경우로 분리하여 실험을 수행하였다. 얻어진 결과를 이용하여 DC 성분을 제거하고, AC 성분을 이용하여 스펙트럼 갱신과정을 수행하였다.

갱신된 스펙트럼 특성을 역 푸리에 변환을 통해서 원래 영상으로 재생하였다.

2진화 실험에 있어서는 기존의 방법론(11)을 사용하는 경우, 5×5 부영역을 처리단위로 설정하고 부영

역의 평균명암값을 문턱값으로 설정, 2진화 과정을 수행하였다. 본 방법의 경우, 1×5의 1차원 부영역을 처리단위로 설정하고 부영역의 평균명암값을 문턱값으로 설정, 2진화 과정을 수행하였다.

또한 알고리즘의 비교평가 방법으로 원래영상과 개선처리 후의 영상에 대해서 히스토그램의 분포를 제시하여 원래 영상에 존재하는 화소의 집중화 현상이 완화되는 것을 나타내었으며 또 다른 방법으로 2진영상에 존재하게 되는 특징량의 유무를 이용하기 위해 기존의 방법론과 본 논문에서 제안한 방법론에서 얻은 2진화 결과영상에 존재하게 되는 특징량의 존재상태를 주관적으로 비교하였다.

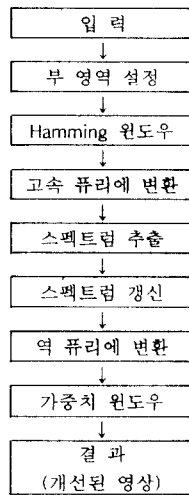


그림 1. 전체 알고리즘 흐름도
Fig. 1 Flow Chart of Algorithm

2. 결과고찰

실험영상에 대한 스펙트럼 특성 추출실험에 있어서 는 레코드 길이가 64, 32, 16, 8이고 오버랩이 존재하지 않는 경우의 스펙트럼 특성 및 원래 영상의 재생 결과를 히스토그램으로 나타내었으며 이를 나타낸 것이 그림 2, 3, 4이다.

그림 2에서 가로축은 주파수(Hz)를 나타내고 세로축은 크기(amplitude)(dB)를 나타낸다. 즉 지문영상이 갖고 있는 에너지 분포를 주파수 영역에서 나타낸 것으로 (a)(c)(e)(g)는 레코드 길이가 64, 32, 16, 8이고 오

버랩이 존재하지 않는 상태에서 원래 영상을 위에서 아래 방향으로 주사하면서 각 계열의 스펙트럼을 추출한 것이고, (b)(d)(f)(h)는 (a)(c)(e)(g)의 최대, 평균, 최소값을 나타낸다. 레코드의 길이가 갈수록 크기의 진폭이 심해지는 것으로 나타났으며 레코드의 길이가 8인 경우에는 거의 형태가 동일한 것으로 나타났다. 또한 DC성분은 모든경우에 대해서 약 40(dB)로 나타났다. 이때 각각의 레코드에 대해서 시작부분과 끝부분에서 발생하는 Sidelobe현상을 제거하기 위해 Hamming 윈도우를 적용하였으며 윈도우 길이는 1×32, 1×16, 1×8 단위의 FFT길이와 동일하게 적용하였다. 이 과정은 역 변환과정후, 가중치 윈도우의 적용경우도 동일한 방법으로 적용하였다. 식(4)은 Hamming 윈도우를 나타낸다.

$$W(n) = 0.54 + 0.46 \cos\left(n - \frac{N-1}{2}\right) \frac{2\pi}{N} \quad (4)$$

$$n = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

N: 윈도우 길이

그림 2에서 알수 있듯이 스펙트럼상에 한 개의 첨두값(peak value)이 나타난다. 이것은 지문영상의 본질적 특성을 나타내는 것으로 판단된다. 다시말해서 주파수 영역에서 지문 영상의 구성은 윤곽을 나타내는 성분과 곡과 융선을 나타내는 성분으로 대별된다.

또한 레코드의 길이가 16이하의 경우는 이상의 경우와 비교해서 곡과 첨두값에 대한 구분이 명확하게 추출되지 않는다. 이같은 사실은 스펙트럼 추출과정에 레코드의 길이는 반드시 특징량을 포함해야 한다는 조건을 만족시켜야 하고 본 실험결과 그 값은 16이다.

지금까지 언급한것에 대해서 16, 8, 4 만큼의 오버랩이 존재하는 경우에 대해서 동일한 실험을 반복하였으나 오버랩이 존재하지 않는 경우와 유사한 결과를 얻었다. 이는 분할 레코드의 길이에 융선영역과 곡영역이 복수개 포함되고 한 개의 계열에 복수개의 분할이 존재하기 때문에 오버랩의 사용여부에 따른 차이가 거의 나타나지 않는 것으로 판단된다.

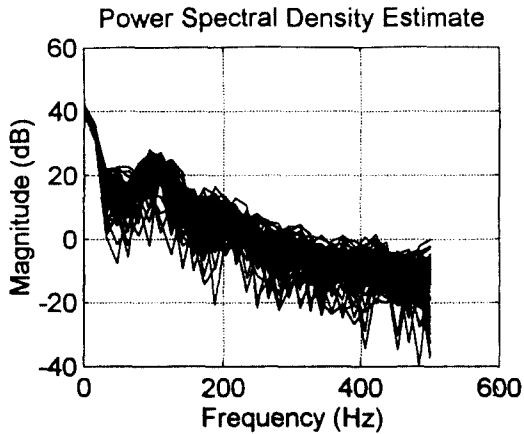
그림 3(a)는 원래 영상의 히스토그램으로 명암값 20을 중심으로 19, 21에 대응 화소가 집중되어 있는 형태를 취함으로써 화소의 집중화 현상을 나타내고

있으며 이는 영상개선 기술의 적용이 요구되어 진다. 또한 그림 3(b)(c)(d)는 그림 2의 (d)(f)(h)의 평균 스펙트럼 특징을 사용하여 재 생성한 원래 영상에 대한 히스토그램으로 (a)의 경우보다 화소의 집중화 현상이 완화된 것으로 나타났다. (b)의 경우는 명암값 13에서 19까지의 범위, (c)의 경우는 명암값 10에서 19까지의 범위, (d)의 경우는 명암값 9에서 16까지의 범위에 분산 분포되고 있음을 나타내고 있다. 이것은 융선영역과 곡영역에 대응하는 화소의 명암값 차가 개선되었음을 나타낸 것이며, 이결과는 2진화 결과영상에서도 쉽게 알 수 있다.

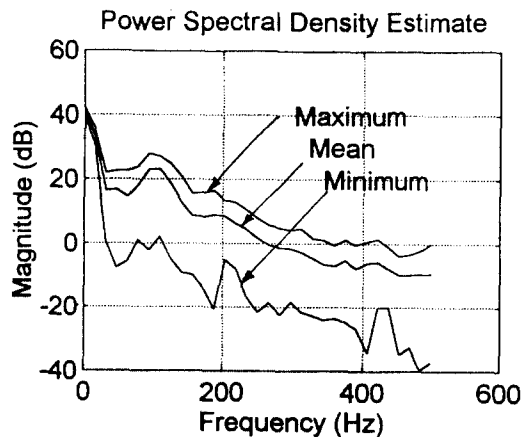
위 실험 결과를 바탕으로 적응적 2진화 기법(Adaptive Binarization)⁽¹¹⁾과 본 방법을 사용하여 얻어진 2진화 영상을 비교, 평가하였다. 이를 나타낸 것이 그림 4이다.

그림 4의 (a)는 기존의 방법론에서 5×5 윈도우를

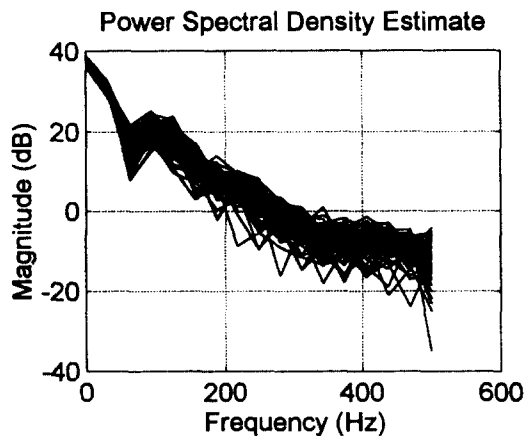
이용하여 평균 명암값을 문턱값(threshold value)으로 사용한 실험결과 영상이며 그림 4의 (b)(c)(d)는 1×64의 1차원 계열을 처리단위로 하고, 1×5 크기의 부영역을 사용하여 2진화 과정을 수행한 결과 영상이다. 여기서 검은부분은 융선영역이며 흰부분은 곡영역이다. (a)에서는 융선영역과 곡영역이 합쳐짐으로 오 특징점인 분기점이 새로이 생성되고 있는 것을 나타내고 있다. 이를 곡영역에 대해서 해석하면 곡영역과 곡영역이 서로 끊어짐으로써 분기점이 많이 발생되고 있음을 알 수 있다. 이같은 현상은 융선영역과 곡영역에 대응하는 명암값 차이가 작기 때문에 발생된다. 그러나 (b)(c)(d)의 경우는 이러한 문제점이 상대적으로 적게 발생되었음을 알 수 있으며 이는 융선영역과 곡영역사이의 명암값 차이가 개선되었다는 것을 의미하는 것으로 판단된다.



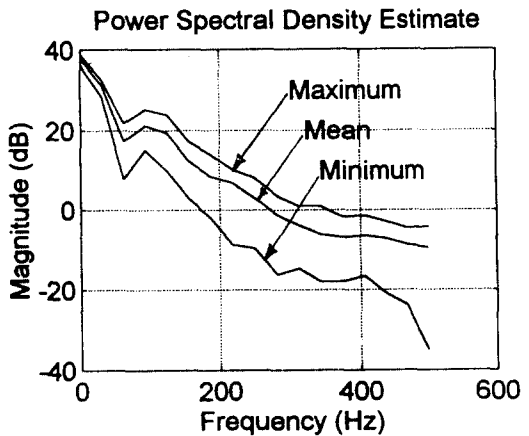
(a) 레코드 = 64 오버랩 = 0



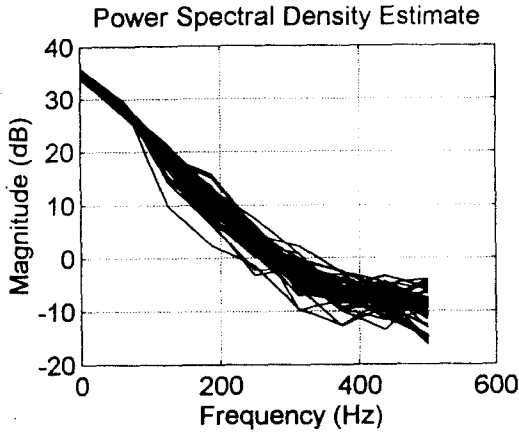
(b) 레코드 = 64 오버랩 = 0



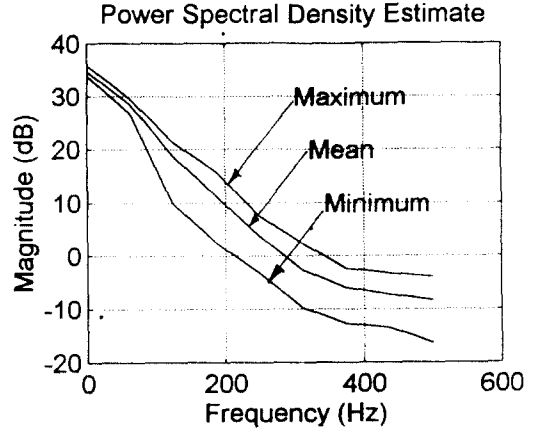
(c) 레코드 = 32 오버랩 = 0



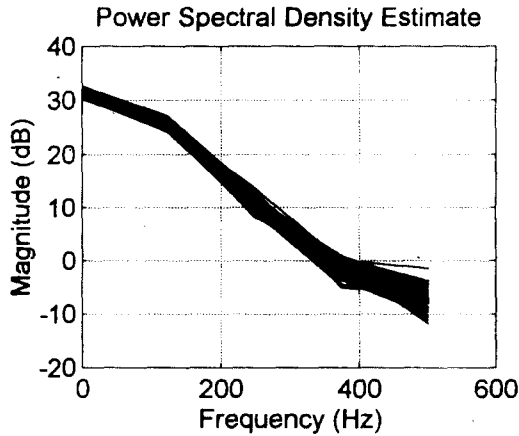
(d) 레코드 = 32 오버랩 = 0



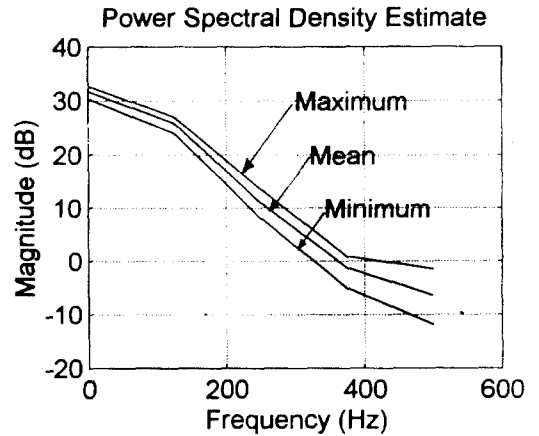
(c) 레코딩 = 16 오버랩 = 0



(f) 레코딩 = 16 오버랩 = 0

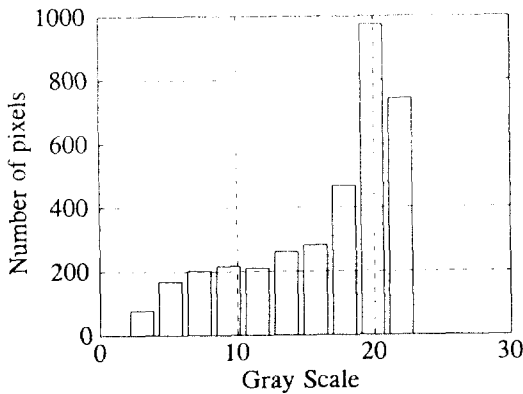


(g) 레코딩 = 8 오버랩 = 0

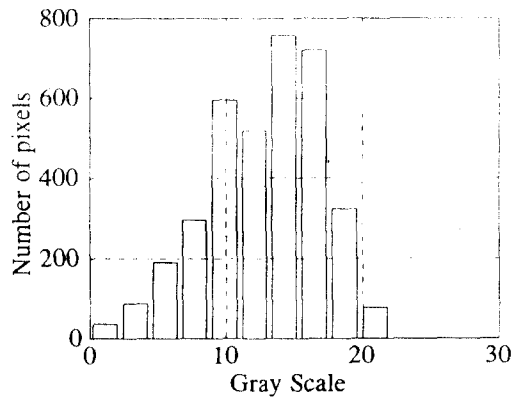


(h) 레코딩 = 8 오버랩 = 0

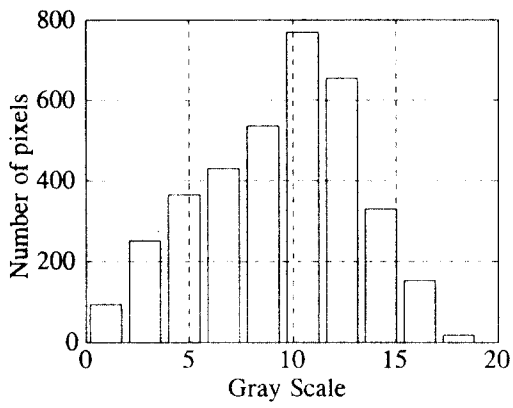
그림 2. 스펙트럼 추출 실험결과
Fig. 2 Result of the extraction of the PSD estimate



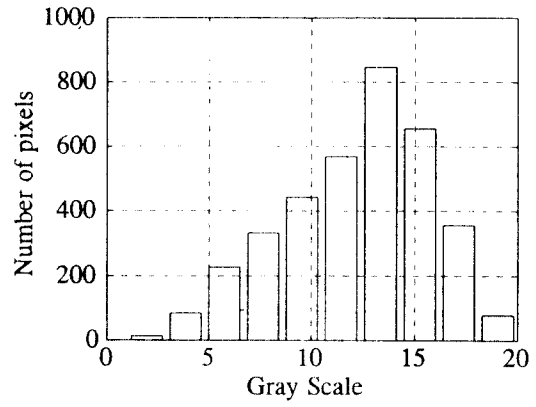
(a) 위래 영상에 대한 히스토그램



(b) 그림 2의 (d)에 대한 히스토그램

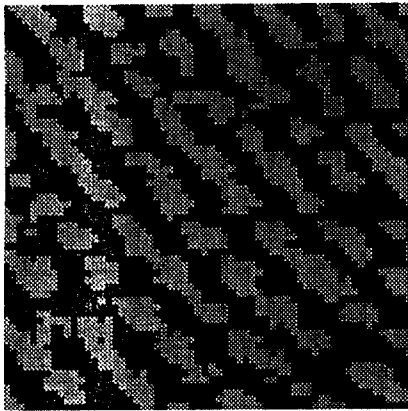


(c) 그림 2의 (f)에 대한 히스토그램

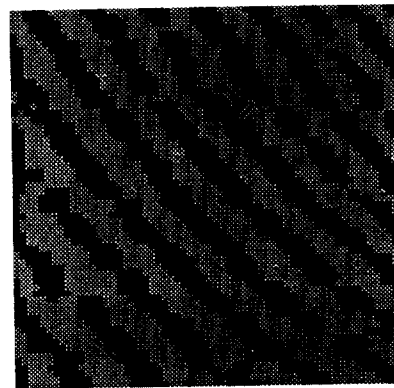


(d) 그림 2의 (h)에 대한 히스토그램

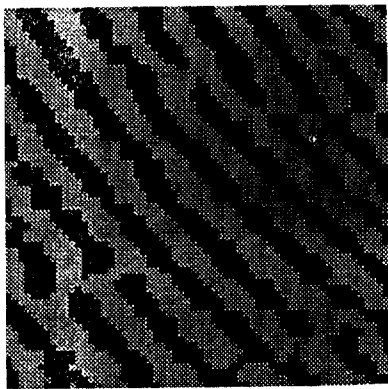
그림 3. 원래영상과 처리 후 영상에 대한 히스토그램
Fig. 3 Histogram of the source image and the image



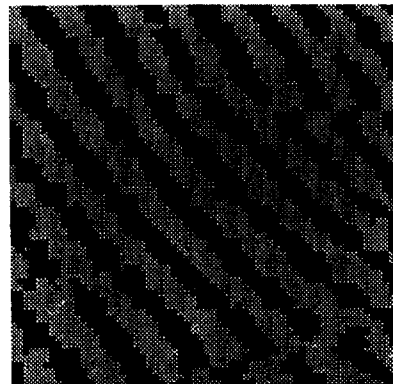
(a) 기존의 방법



(b) 본 방법 I(그림 3의 (d))



(c) 본 방법 II(그림 3의 (f))



(d) 본 방법 III(그림 3의 (h))

그림 4. 2진화 영상
Fig. 4 Binary image

IV. 결 론

본 논문은 지문영상을 대상으로 공간 주파수 영역에서 스펙트럼 특성을 추출하고 이를 원래영상의 재합성과정에 적용하여 개선된 영상을 획득하였다.

처리단위로 1×64의 1차원 윈도우를 사용하여 효과적인 영상의 특징을 추출하였으며 왜곡의 영향을 최소화하고 Blurring 영향을 효과적으로 제거하면서 원래영상을 합성시킬 수 있었다.

또한 합성영상을 대상으로 본 방법론을 이용하여 양질의 2진화 영상을 얻으므로써 본 알고리즘의 효용성을 검증 할 수 있었다.

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. B. G. Sherlock, D. M. Monro and K. Millard, "Algorithm for enhancing fingerprint images," *Electronics Letters*, Vol. 28, No. 18, pp. 1720-1721, 1992.
3. E. Kaymaz, S. Pemmaraju and S. Mitra, "A Novel Algorithm for efficient analysis and matching of degraded fingerprints," *IEEE Computer Society's Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 498-509, July, 1992.
4. 笹川 耕一, 池端重樹, "個人確認用 指紋照合技術の現狀と動向," *システム/制御/情報* Vol. 35, No. 7, pp. 390-397, 1991.
5. T. F. Krile and J. F. Walkup, "Enhancement of fingerprints using digital and optical techniques," *Image Analysis Applications*, Editors Kasturi and Trivedi Marcel Dekker, New York, Chapter 10, 1990.
6. 金岡 泰保, 浜本 義彦, "方向性に 着目した 指紋畫像に 對する 強調處理の 一手法," *電子通信學會論文誌*, Vol. J72-D-II, No. 2, pp. 302-306, 1989.
7. 淺井 紘, 星野 幸夫, 本地 和夫, "マニユ-シャ ネットワーク特徴による 自動指紋照合-特徴抽出 過程-," *電子情報通信學會論文誌* D-II, Vol. J72-D-II, No. 5, pp. 733-740, 1989.

8. B. M. Mehre and B Chatterjee, "Segmentation of fingerprint images-A composite method," *Pattern Recognition*, Vol. 22, No. 4, pp. 381-385, 1989.
9. 大和 一晴, 火田豊, "谷細線化による 指紋照合 システム," *電子情報通信學會論文誌* D, Vol. J71-D, No. 2, pp. 327-335, 1988.
10. 中村 納, 長岡 積紘, 南 敏, "指紋濃淺畫像の復元處理," *電子通信學會論文誌* D, Vol. J68-D, No. 5, pp. 1133-1140, 1985.
11. Robert P. Chiralo et., "Adaptive digital enhancement of latent fingerprint," *Proceedings of the 1978 Carnahan Conference on Crime Countermeasures*, pp. 17-18, May, 1978.
12. Welch, Peter D., "The use of fast fourier transform for the estimation of power spectra:A method based on time averaging over short, modified periodograms," *IEEE Trans on Audio Electroacoustics*, Vol. AU-15, pp. 70-73, 1967.
13. 안도성, 김학일, "블럭 FFT를 이용한 실시간 지문인식 알고리즘," *대한전자공학회 논문지*, Vol. 32-B, No. 6, pp. 909-921, 1995.
14. 광윤식, 이대영, "화상이해를 위한 지식추출에 관한 연구-지문영상을 대상으로-," *한국통신학회 논문지*, 제18권 5호, pp. 757-772, 1993.
15. 광윤식, 이대영외1, "PC를 이용한 지문인식에 관한 연구," *한국통신학회논문지*, 제14권 6호, pp. 611-620, 1989.



광 윤 식(Yoon Sik Kwak) 정회원
 1962년 2월 17일생
 1984년 2월:충주대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1986년 9월:경희대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1994년 2월:경희대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 1995년 1월~1996년 1월:Texas Tech University 파견 교수
 1991년 5월~현재:충주산업대학교 컴퓨터공학과 조교수
 ※관심분야:영상처리, 영상데이터베이스