

## 순환 고조파 필터를 이용한 회전불변 지문 인식에 관한 연구

신강호\*, 채호병\*\*, 정연만\*\*\*

### A Study on The Rotation Invariant Fingerprint Identification Using a Circular Harmonic Filter

kang-ho Shin \*, Ho-Byung Che \*\*, Yun-Man Jung \*\*\*

#### 요 약

본 논문에서는 자동 지문 인식 시스템을 구성하기 위하여 MSF에서 위상 신호만으로 상관이 가능한 POC를 기본 시스템으로 하여, 입력 지문 영상에서 위상 신호를 추출하고 기준 지문 영상의 순환 고조파 필터와 2차원 위상 신호 정합을 시키는 방법을 통해 회전 불변 지문 인식 시스템을 구현하였다. 지문 영상은 내부 전반사 모드로 동작하는 프리즘을 통해 얻고, 지문 영상에 대한 2차원 주파수 발생은 광학적으로 수행하고 위상 신호 추출은 디지털 시스템을 이용하는 광-디지털 하이브리드 형태로 광학의 실시간 병렬 처리 특성과 디지털 알고리즘의 유연성 및 정확성을 상호 보완적으로 이용하였다.

#### Abstract

In this paper, a rotation invariant fingerprint identification system is implemented using the circular harmonic filter and phase only correlator. We extracted the phase component from input fingerprint image and correlate it with the circular harmonic filter of the reference fingerprint image by POC. The input image is obtained using a prism operating in the internal full reflection mode. Then the input image is transformed to two dimensional Fourier spectrum in optical way and the phase component is extracted using a digital system from the spectrum. Because composed of the optical system and digital algorithm, the proposed system has the advantages of the two technologies such as realtime parallel processing property of the optics and the flexibility of the digital system.

▶ Keywords : 신호처리, 무선통신

---

\* 시스템설계 프리랜서

\*\* (주) 나다화학 부장

\*\*\* 국립원주대학 전자통신과 교수

## I. 서론

현재 일반적으로 이용되고 있는 지문인식 분야는 지문에서 어떤 공통의 특징을 추출하는 패턴 분류(classification)와 입력 지문간 유사성을 이용하는 패턴 정합(matching)으로 나누어진다[1].

전통적인 MSF(matched spatial filter) 시스템은 영상을 처리하는 영역에서 임의의 위치에 존재하는 목표 영상을 인식하므로 이동에 대해 불변한 특성이 있으나 회전 각도가 약  $\pm 80$  내에서만 인식할 수 있다는 제한점을 가진다[2].

본 논문에서는 자동 지문 인식 시스템을 구성하기 위하여 MSF에서 위상 신호만으로 상관이 가능한 POC[3](phase only correlator)를 기본 시스템으로 하여, 입력 지문 영상에서 위상 신호를 추출하고 기준 지문 영상의 순환 고조파 필터와 2차원 위상 신호 정합을 시키는 방법을 통해 회전 불변 지문 인식 시스템을 구현하고자 한다.

지문 영상은 내부 전반사 모드로 동작하는 프리즘을 통해 얻게 되며, 지문 영상에 대한 2차원 주파수 발생은 광학적으로 수행하고 위상 신호 추출은 디지털 시스템을 이용하는 광-디지털 하이브리드 형태로 광학의 실시간 병렬 처리 특성과 디지털 알고리즘의 유연성 및 정확성을 상호 보완적으로 이용한다. 또한, 본 논문에서 제안된 지문 인식 시스템의 성능을 분석하기 위하여 입력된 지문 영상을 이동, zoom, rotation, partial 손상 및 회전을 시키면서 실험을 통하여 인식 성능을 분석한다.

## II. 지문영상의 특성

### 1. 지문영상의 주파수

지문 영상을 살펴보면 수많은 융선이 주로 곡선의 형태를 이루며 융선폭은 매우 좁은 상태와 매우 깊은 굴곡을 이루고 있다. 이로 인하여 지문 영상은 이진화 시키기에 매우

용이함을 알 수 있다. 이진화 된 영상은 급격한 명도차로 고주파 신호를 발생시키게 되며 이는 진폭 신호를 발생시키는 면적보다 위상 신호를 발생시키는 선의 정보로 이루어지게 된다. 한편 서로 다른 지문 영상은 진폭에서는 유사하며 위상에서는 급격한 차이를 보인다. 따라서, 입력 지문 영상의 주파수 위상을 데이터 베이스에 수록된 지문 영상의 주파수 위상과 주파수 영역에서 위상 정합 시키면 두 지문간의 유사성을 판단할 수 있다.

$$f_1(x, y) = f_0(x, y) + n_1(x, y) \dots\dots\dots (1)$$

$$f_2(x, y) = \alpha f_0(x, y) + n_2(x, y) \dots\dots\dots (2)$$

여기서,  $f_1$ 과  $f_2$ 는 인식하고자 하는 지문들이고  $f_0$ 는 두 지문간에 공통적으로 존재하는 영역으로 유효 영역을 나타낸다.  $n_1$ 과  $n_2$ 는 지문간에 유사성을 지니지 않는 영역을 나타내고 있으며  $\alpha$ 는 상대적 진폭 투과율로서  $0 < \alpha < 1$  범위에 존재한다.

### 2. 두 지문 영상간의 상호 상관

일반적으로, 상호 상관 침투치는 침투치 세기가 총 상호 상관 side-lobe의 최대치  $I_{max}$ 의 절반을 초과하는 것으로 정의된다. 인식하고자 하는 패턴이 문자 또는 다른 간단한 패턴인 경우 더 많은 주파수 파워가 보다 좁은 침투치 영역으로 집중되어 보다 침투한 침투치가 발생하므로 언급한 정의는 타당하다고 할 수 있다. 그러나, 실제의 지문과 같이 자연계 입력을 이용하는 경우에는  $I_{max}$ 의 절반을 넘는 지점이 보다 넓게 분산되며 지문이 흐릿하고 불분명할수록 분산 범위는 넓어지고 side-lobe는 증가하게 된다[4].

이때, 상호 상관 침투치의 중심으로부터 분리된 값들은 침투치에 속하지 않음을 알 수 있다. 따라서, 지문 인식에 기여하는 정보가 상호 상관 중심 주위의 더 작은 영역으로 집중되어야 함을 추정할 수 있으며 주파수 파워 밀도를 식 3로 정의할 수 있다[8].

$$E(r_0) = \frac{1}{\pi r_0^2} \iint_{r \leq r_0} \frac{I(\xi, \eta)}{I(0, 0)} d\xi d\eta \dots\dots\dots (3)$$

식 (3)에서  $r$ 는 상관 침투치와 임의의 점 사이의 거리이고  $I(0, 0)$ 는 상관 침투치의 최대 값이다.

여기서,  $I(0, 0) = I_{max}$  즉, side-lobe의 최대치를 갖는 점의 좌표를 원점으로 취하면 주파수 파워 밀도는 그 원점을 중심으로 하는 원 내부 세기의 평균값이 된다. 따라서, 임의의 한 점에서 세기  $1/r^2$ 의 비중을 갖고 주파수 파워 밀도에 기여한다. 여기서,  $r$ 은 상관 침두치의 중심과 임의의 점 사이의 거리이므로 따라서 중심에서 멀리 존재하는 점일수록 주파수 파워 밀도는 더 작게 된다.

상관 침두치 영역은 식 (4)를 만족하는 점들로 정의되며  $\sigma'$ 로 나타낸다.

$$0.5 \leq E(r) \leq 1 \dots\dots\dots (4)$$

상관 침두치 영역 밖의 영역은  $\sigma''$ 로 표시되며 신호 대 잡음비의 정의는 식 (5)와 같이 주어진다.

$$SNR = \frac{I_{max}}{\frac{1}{S} \iint_{\sigma''} I(\xi, \eta) d\xi d\eta} \dots\dots\dots (5)$$

식 (5)를 이용하여 상관 침두치 주파수 파워의 비율  $R_{pk}$ 를 보다 정확히 정의하면 식 (6)과 같다.

$$R_{pk} = \frac{\iint_{\sigma'} I(\xi, \eta) d\xi d\eta}{\iint_{\sigma''} I(\xi, \eta) d\xi d\eta} \dots\dots\dots (6)$$

여기서,  $\sigma = \sigma' + \sigma''$ 은 side-lobe의 총 영역이다. 따라서,  $R_{pk}$ 는 상관 침두치 영역 내부의 주파수 파워 대 상호 상관 영역의 총 주파수 파워의 비율이 된다.

### III. 왜곡 불변 시스템

회전 불변 시스템은 극좌표계에서 기준 패턴  $f(r, \theta)$ 를 식 (1)과 같이 순환 고조파 성분들의 합으로 표현할 수 있으며 순환 고조파 성분은 식 (2)로 표현할 수 있다.

여기서  $m$ 은 정수 값이고 순환 고조파 성분이다.

$$f(r, \theta) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} f_m(r) \exp(jm\theta) \dots\dots\dots (1)$$

$$f_m(r) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(r, \theta) \exp(-jm\theta) d\theta \dots\dots (2)$$

또한 임의의 영상이  $\Psi$ 만큼 회전되어 입력되는 경우 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$f(r, \theta + \psi) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} f_m(r) \exp(jm\psi) \exp(jm\theta) \dots\dots\dots (3)$$

$$C(\psi) = 2\pi \sum_{m=-\infty}^{\infty} \exp(jm\psi) \int_0^{\infty} r |f_m(r)|^2 dr \dots\dots\dots (4)$$

기준 패턴  $f(r, \theta)$ 와 회전된 입력 영상  $f(r, \theta + \psi)$ 에 해당되는 직교 좌표계에서의 입력 함수의 중심 상관 값은 식 4이며 모든 순환 고조파 성분들의 합의 형태로 이루어져 있음을 알 수 있다[7][8].

복소 공간 정합필터를 이용한 광 패턴 인식 시스템에서는 출력 평면에서의 빛의 세기를 검출하여 인식하고자 하는 입력 패턴의 유무와 위치를 확인할 수 있으며 이와 같이 회전 변화에 무관한 영상 인식을 수행하기 위해서는 중심에서의 빛의 세기  $|C(\psi)|^2$ 가 회전각도  $\Psi$ 에 무관한 값이 되어야 한다.

식 (3)에서도 알 수 있듯이 입력 패턴이 각도  $\Psi$ 만큼 회전할 때 각각의 고조파 성분들은  $\Psi$ 가 아닌  $m\psi$ 만큼의 영향을 받기 때문에 기준 영상의 직각 좌표 중심과 고조파의 중심이 일치하지 않게 된다. 또한, 하나의 고조파 성분을 이용하여 CHC(circular harmonic component)를 구하면 중심의 세기가 회전 각도에 무관하게 나타남을 알 수 있다.

따라서, 직각 좌표계에서 기준 영상의 중심과 순환 고조파의 중심이 일치하는 특정 고조파 성분인  $m$ 값을 찾을 때, 영상의 COG를 고정시키고 고조파 성분  $m$ 을 조절하는 것이 최적의 방법일 것이다[5].

$$COG_x = \sum_{x=1}^N \frac{f(x)}{N}, \quad COG_y = \sum_{y=1}^N \frac{f(y)}{N} \dots\dots (5)$$

여기서  $f(x)$ ,  $f(y)$ 는 입력되는 지문 영상이고  $N$ 은 2진화된 지문 정보의 개수이다. 필터는 임의의 고조파 성분 중 한 성분만으로 복소 정합 필터를 만들며, 순환 고조파 필터는 식 (6)과 같다.

식 (7)에서  $|C_m(\phi)|^2$ 는 중심 상관 값이다(6).

$$f_r(r, \theta) = f_m(r) \exp(jm\theta) \dots\dots\dots (6)$$

$$|C_m(\phi)|^2 = K^2 \dots\dots\dots (7)$$

### IV. 회전 및 이동 불변 시스템

회전에 대해 불변한 특성을 추출하는 방법으로 CHF(circular harmonic filter) 좌표 변환을 이용하여 회전 불변 특성을 추출한다(10).

#### 1. 회전 및 이동 불변 시스템

<그림 1>에서는 순환 고조파 필터를 이용한 위상형 광 지문 인식 시스템을 보여주고 있다.

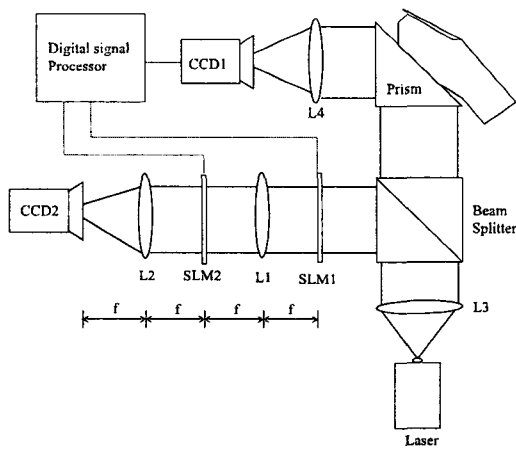


그림 1. CHF를 이용한 지문 상관 시스템  
Fig 1. Fingerprint correlation system using CHF

본 시스템에서는 크게 지문의 입력부와 광 상관부로 나뉘어진다. 레이저로부터 렌즈 L3로 입사된 광은 평면광으로 바뀐 후 빔 분할기에 의해서 지문 입력부와 광 상관부로 나뉘어진다.

지문의 입력부는 프리즘과 CCD1으로 구성되며 L3에 의해서 만들어진 평면파는 프리즘에 입사되어 손가락이 놓인

부분은 경계 조건이 바뀌므로 지문의 윗 부분이 반사되어 CCD1에 의하여 검출된다. CCD1에 의하여 검출된 지문 영상은 디지털 신호 처리기에 의해 2진화되고 SLM1으로 출력된다. SLM1에 표현된 2진화된 지문 영상은 렌즈 L1을 통해 푸리에 변환되고 SLM2의 위치에서 완전한 주파수 정보로 바뀌게 된다.

동시에 디지털 신호 처리기는 CHF 알고리즘에 의하여 구성된 지문 필터를 SLM2에 출력하게 된다. 이 지문 필터와 푸리에 변환된 2진화 지문 영상이 SLM2에서 상관을 일어나게 되며 이에 의하여 얻어진 상관 결과는 렌즈 L2에 의하여 역푸리에 변환됨으로 CCD2에 의해서 상관의 위치와 상관 값을 검출하게 된다.

### V. 결과 분석

회전된 입력에 대해 불변한 특성을 지니기 위하여 제안한 새로운 인식 시스템의 인식 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션에 사용된 지문 영상들은 256×256 내에서 이진 영상으로 구성되어 512×512의 입력 평면 내에서 회전과 다른 위치로 이동시킨 영상들을 하나의 전체 입력 영상으로 구성하였다.

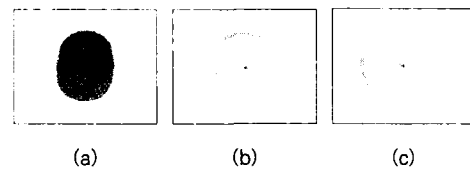


그림 2. 지문 영상의 순환 고조파 필터  
Fig 2. CHF for a fingerprint image

(a) 필터용 지문 영상 (b) CHF의 실수부 (c) CHF의 허수부

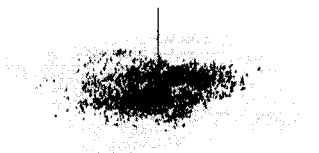


그림 3. 자기 상관 결과  
Fig 3. Autocorrelation result

순환 고조파 성분은 입력 영상과 달리 256×256으로 처리하였으며 상관기는 최종 POC를 이용하여 같은 위치에서 상관 판별력을 할 수 있도록 구성하였다. 전체적인 컴퓨터 시뮬레이션은 IBM PC를 사용하였으며 푸리에 변환과 상호 상관은 2-D 512×512 푸리에 변환에 의해 이루어졌다.

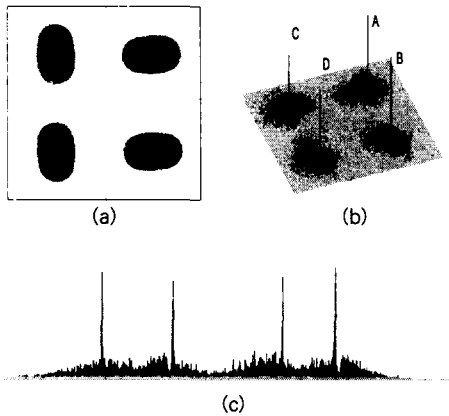


그림 4. 기준 지문과 회전된 지문에 대한 상관 Fig 4. Correlation results between reference and rotated fingerprints  
 (a) 기준 지문과 입력된 지문  
 (b) 3-D로 표현한 입력에 대한 상관 결과  
 (c) 2-D로 표현한 입력에 대한 상관 결과

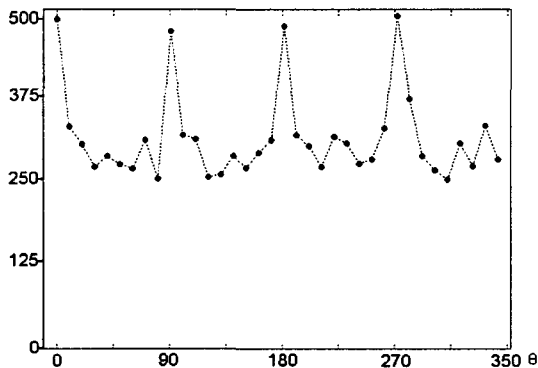


그림 5. 회전 변화에 따른 유사도 측정 Fig 5. Similarity measurement with rotation variations

## VI. 결론

본 논문에서는 지문에서 회전 불변 특성을 추출하기 위하여 순환 고조파 필터를 이용하였으며, 필터 제작시 중요한 요소중 하나인 최적의 중심점을 보다 빠르게 검출하는 방법으로 지문 영상의 무게중심과 순환 고조파 성분을 결정하기 위하여 반복 기법을 이용하는 알고리즘에 관하여 연구하였다.

순환 고조파 필터를 이용하여 실험한 결과 기존의 Log-polar 변환을 이용한 회전불변 인식 시스템에 비해서 다중 영상 상관이 가능하면서도 비슷한 상관 값을 가지며, 최종 인식을 살펴보았을 때 같은 부류의 지문 영상에서 회전 및 손상에 대해서는 최대 상관 값의 50% 이상의 상관 값을 얻었고 다른 부류의 지문 영상에 대해서는 최대 상관 값의 20% 미만의 상관 값을 얻을 수 있었다. 따라서, 회전 및 손상이 있는 지문 영상이라도 이중 지문 영상과는 구별이 가능함을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 제안된 시스템은 광학적으로 구성이 용이하므로 실시간 지문 인식 시스템의 가능성을 제시하고 앞으로 효과적인 개인 정보 관리 및 고속 처리가 요구되는 각종 분야인 무인 관리 시스템, 범죄 관리 시스템, 개인 자료 검색 시스템과 같은 분야에서 광범위한 응용이 기대된다.

## 참고문헌

- [1] B.Moayer and K.S.Fu, "A Syntatic Approach to Fingerprint Pattern Recognition," Pattern Recognition, Pergamon Press, vol.7, pp.1-23, 1975.
- [2] M.Eleccion, "Automatic fingerprint identification," IEEE Spectrum, pp., pp.36-45, 1973.
- [3] Badu M.Mehetre and Anil K.Jain, "Automatic Classification of fingerprint images," MVA'90

IAPR Workshop on Machine Vision Applications, Nov. 1990, Tokyo.

[4] D.Vernon, "Automatic detection of secondary creases in fingerprint," *Opt. Eng.*, vol.32, no.10, pp.2616-2623, 1993.

[5] G.W.Stroke, "A brief review of some applications of coherent optical processing to image improvement," *Proc. IEEE* vol.63, pp.829-830, 1975.

[6] V.V.Hovath, J.M.Holeman, and C.Q. Lemmond, "Holographic technique recognizes fingerprints," *Laser Focus*, vol.6, pp.18-23, 1967.

[7] D.H.McMahon, G.L.Johnson, S.L.Teeter, and C.G.Whitney, "A hybrid optical computer processing technique for fingerprint identification," *IEEE Trans. Comput.* C-24, pp. 358-369, 1975.

[8] G.R.Magasaryan, B.E.Khaikin, and V.S.Khitrova, "Matched filtering on the basis of thick holograms for fingerprint identification," *Opt. Commun.*, vol.22, pp.169-172, 1977.

[9] G.Khitrova, L.Wang, V.Esch, R.Feinleib, H.M. Chou, R.W.Sparague, H.A.MacLeod, H.M. Gibbs, K.Wagner, and D.Psaltis, "Interference filters as nonlinear decision-making elements for associative memories," in *Optical Computing and Nonlinear Materials*, N.Peyghambarian ed., *Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng.*, vol.881, pp.60-66, 1988.

[10] D.Farrant, B.F.Oreb, J.P.Mpdde, and P.Har-  
iharan, "An interactive optical-digital image processor," in *Optical Pattern Recognition II*, H.-K.Liu ed., *Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng.* vol.1053, pp.110-115, 1989.

**저 자 소 개**

**신 강 호**



- 서울 산업대학교 전자공학과 졸업 (학사)
- 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)
- 건국대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수료
- 〈관심분야〉 컴퓨터네트워크보안, 영상처리, 신호처리

**채 호 병**



- 서울 산업대학교 전자공학과 졸업 (학사)
- 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)
- (주) 3D Korea 부장
- 〈관심분야〉 영상처리, 3차원영상, 신호처리

**정 연 만**



- 숭실대학교 전자공학과 졸업(학사)
- 숭실대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)
- 숭실대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사)
- 현재 국립원주대학 전자통신과 부교수
- 〈관심분야〉 신호처리, 무선통신