

적정의 중심점을 이용한 다중 원형 고조 필터의 회전 불변적 형태 인식[#]

(Rotation-Invariant Pattern Recognition of the Multiple
Circular Harmonic Filter Using Proper Center)

金 鍾 鑽,** 都 良 會,*** 金 秀 重*

(Jong Chan Kim, Yang Hoi Doh, and Soo Joong Kim)

要 約

회전 불변적 형태 인식을 위해 적정의 중심점에 대해 전개된 다중 원형 고조 필터를 제안하였다. 적정의 중심점은 입력영상이 주어질 때 출력평면에서 최대 상관 첨두치를 나타내게 하는 필터의 원형 고조 전개 중심점이다. 본 논문에서는 적정의 중심점이 동일한 위치로 중첩되는 원형 고조 성분들을 찾아서 이 성분들을 이용하여 다중 원형 고조 필터를 구성하였다. 제안된 필터를 종래의 다중 원형 고조 필터와 비교하였으며 회전된 입력영상에 대해 출력 평면의 중심에서의 상관 최대화 첨두치를 할 수 있음을 컴퓨터 시뮬레이션으로 나타내었다.

Abstract

For the rotation-invariant pattern recognition, we propose multiple circular harmonic filter which is expanded about the proper center. The proper center, when input image is given, is the circular harmonic expansion center of the filter which yields a maximum center correlation peak in the output plane. In this paper, we founded the circular harmonic components that the proper center superposes on the same position and then designed multiple circular harmonic filter using these components. Also the proposed filter is compared with conventional multiple circular harmonic filter and shows that it can maximize the center correlation peak for the rotated input image by the computer simulation.

*正會員, **準會員, 慶北大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)

***正會員, 濟州大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Cheju Nat'l Univ.)

接受日字: 1989年 7月 24日

(※ 이 연구는 한국과학재단이 지원한 1987년도
목적기초연구의 일부임.)

I. 서 론

광학적 형태 인식을 위한 이상적인 상관 필터는 입력영상에 회전, 스케일 또는 세기 등의 왜곡 파라미터가 함께 존재할 때에도 이를 인식할 수 있어야 한다. 2차원 물체의 회전 불변적 형태 인식을 위해 1982년 Hsu^[1] 등은 기준영상의 원형 고조(circular harmonic) 성분을 이용하여 필터를 설계 하였다. 기준

영상의 기하학적 중심점을 원점으로 하여 원형 고조 필터를 설계할 경우 출력평면에서의 상관치가 입력 영상의 회전에 대해 일정하게 되어 회전 불변적 인식을 할 수 있지만 일반적으로 출력평면에서 최대 상관 침두치를 갖지 못하는 경우가 있다. 위의 문제점을 해결하기 위해 1983년 Arsenault^[3]와 1987년 Sheng^[4] 등은 원형 고조 필터를 이용할 때 기하학적 중심점 대신 적정의 중심점을 이용하였다. 적정의 중심점은 출력평면에서 입력영상과 기준영상 사이의 최대 상관 침두치를 갖는 원형 고조 필터의 전개중심점을 말한다. 그러나 원형 고조 필터에서는 입력영상에 대한 정보의 일부만이 이용되기 때문에 전통적인 정합필터에 비해 매우 낮은 신호대 잡음비(SNR)를 갖는다. 이를 개선시키기 위해 1984년 Hsu^[5]와 Wu^[6] 및 1986년 Schils^[7] 등은 기준영상의 여러개의 원형 고조 성분을 이용하여 설계한 다중 원형 고조 필터를 제안하였다.

본 논문에서는 각 원형 고조 성분에 대한 적정의 중심점이 동일한 위치로 중첩되는 성분들을 찾아서 이들 원형 고조 성분을 이용하여 다중 원형 고조 필터를 설계하는 방법을 제안 하였다. 제안된 다중 원형 고조 필터는 기존의 기하학적 중심점을 이용한 다중 원형 고조 필터보다 높은 SNR과 출력평면에서의 최대 상관 침두치를 갖는 개선된 회전 불변적 형태 인식을 할 수 있다.

II. 원형 고조 필터의 수학적 표현

입력영상을 극좌표에서의 복소영상 $f(r, \theta)$ 으로 표시하고 θ 의 주기함수임을 고려하면 각 푸리에 급수(angular fourier series)는

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

로 나타낼 수 있다. 각 푸리에 급수 $f_m(r)$ 을 각 고조파항(angular harmonics)이라 하며

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

로 주어진다. 각 고조파항의 에너지 E_m 은

$$E_m = 2\pi \int_0^{2\pi} |f_m(r)|^2 r dr \quad (3)$$

이다. 2차원 광 상관기에 의한 영상 f 와 영상 g 의 상관치 C^{fg} 는

$$C^{fg}(x) = \int_{\mathbb{R}^2} f(\xi) g^*(\xi - x) d\xi, x, \xi \in \mathbb{R}^2 \quad (4)$$

로 표현된다. 상관 평면의 원점 $x = (0, 0)$ 에서의 상관치 $C^{fg}(0)$ 는

$$C^{fg}(0) = \langle f, g \rangle = \int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} f(r, \theta) g^*(r, \theta) d\theta r dr \quad (5)$$

로 표현된다. 입력영상 f 가 $-\alpha$ 만큼 회전할 때 출력평면의 원점에서의 상관치 $C^{fg}(\alpha)$ 는

$$C^{fg}(\alpha) = \langle f(r, \theta + \alpha), g(r, \theta) \rangle = \sum_m C_m \exp(jm\alpha) \quad (6)$$

로 주어지며 이는 α 의 주기함수이다. $C^{fg}(\alpha)$ 를 영상 f 와 영상 g 의 각 상관치(angular correlation)라고 정의한다. 여기서 각 고조파항의 계수 C_m 은

$$C_m = 2\pi \int_0^{\infty} f_m(r) g_m^*(r) r dr \quad (7)$$

로 주어진다. 영상 f 와 영상 g 가 동일할 때 각 상관치, 각 자기상관치(angular autocorrelation) $C^{ff}(\alpha)$ 는

$$C^{ff}(\alpha) = \langle f(r, \theta + \alpha), f(r, \theta) \rangle = \sum_m E_m \exp(jm\alpha) \quad (8)$$

이 되고, 이는 입력영상의 회전에 따른 광 상관기 원점에서의 출력의 변화를 나타낸다. 여기서 E_m 은 식(3)에서 주어졌으며, 이들의 집합 $\{E_m\}$ 을 영상 f 의 각 파워 스펙트럼(angular power spectrum)이라 한다. 이는 자기상관의 푸리에 계수이고 각 고조파항 모드사이의 에너지 분포를 나타낸다. 일반적으로 자기상관 $C^{ff}(\alpha)$ 는 상당히 작은 회전각 α 에 대해서 급격히 감소한다. 회전 불변적 형태 인식을 위해 출력평면의 원점에서 상관치가 일정한 광 상관필터가 요구되는데 이를 위해 진폭응답 $C^{ff}(\alpha)$ 가 α 에 무관한 값을 갖는 원형 고조 필터가 도입되었다. 원형 고조 필터는 입력영상 f 의 한개의 각 푸리에 급수항

$$g(r, \theta) = f_m(r) \exp(jm\theta) \quad (9)$$

으로 구성된다. 이 경우에 각 상관 함수는

$$C^{fg}(\alpha) = E_m \exp(jm\alpha) \quad (10)$$

로 표현되며 진폭 E_m 이 일정하게 된다. 기준영상의 여러개의 원형 고조 성분들중 한개의 성분을 이용한 원형 고조 필터로 회전 불변을 이루었으나 출력평면의 원점에서의 진폭은 최대치 $E = \sum_m E_m$ 에서 더 작은 값 E_m 으로 감소 되었다. 상관 필터의 회전 불변의 의미는 제한조건의 완화 정도에 따라 두가지로 정의 될 수 있다. 첫째로 기준영상이 회전할 때 필터출력의 크기는 변화하지 않아야 하지만 위상은 변화할 수 있으며 필터의 출력이 회전에 따라 변화한다. 둘째로는 앞의 경우보다 분명하고 제한된 조건인데

기준영상이 회전할 때 출력 평면의 원점에서의 상관 침두치 크기만의 일정함이 요구되며 그 외의 다른 요소들이 변화하여도 상관없다. 위의 제한 조건에 따른 필터를 각각 필터 I 과 필터 II 라고 할 때 1984년 Arsenault^[8] 등은 필터 I 은 설계할 수 있으며 필터 II 는 설계할 수 없었다고 발표하였으나 1985 년에 Schils^[9] 등은 필터 II 의 설계 과정을 발표하였다. 본 논문에서는 식(6) 및 (10)에 표현된 바와 같이 회전 불변적 인식을 위해 출력평면의 원점에서 상관치가 일정한 필터 II 형태의 원형 고조 필터를 대상으로 하였다.

III. 다중 원형 고조 필터

회전 불변적 형태 인식을 위해 기준영상의 원형고조 성분들중 하나에 정합된 필터가 이용될 수 있으며 각 원형 고조 성분은 영상정보의 일부를 포함하고 있다. 앞의 내용에서 살펴본 바와 같이 기준영상의 모든 원형 고조 성분들의 합에 정합된 필터로는 회전 불변적 형태 인식이 단순히 이루어 질 수 없다는 것을 알았다. 그러나 영상에 포함되어 있는 정보를 더 많이 사용하기 위해 다중 원형 고조 성분을 이용하여 회전 불변적 형태 인식을 수행하는 coherent superposition 방법이 있다. 이 방법에 대한 구체적인 superposition 과정은 다음과 같다. 한 개 이상의 원형 고조 성분에 정합된 필터

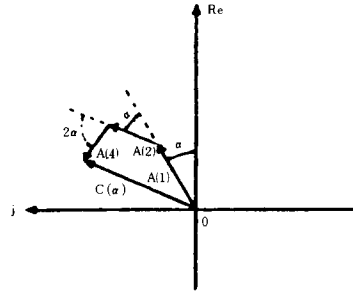
$$g(r, \theta) = \sum_k f_{M_k}(r) \exp(jM_k \theta) \tag{11}$$

는 회전 문제를 일으키는데 아래의 식(12)에 나타난 것처럼 출력평면의 중심에서의 상관치가 영상의 회전에 의해 다르게 영향을 받는 phasor로 구성되어 있기 때문이다.

$$C(\alpha) = \sum_k A(M_k) \exp(jM_k \alpha) \tag{12}$$

위 식에서 α 는 영상의 회전각이다. 이러한 phasor의 superposition은 그림 1에 나타나 있다. 즉 출력 세기 $|C(\alpha)|^2$ 는 α 에 따라 크게 변화한다. 회전 불변적 형태 인식을 위해서는 어떤 방향의 입력영상에 대해서도 출력평면에서 일정한 세기의 상관 침두치를 유지하여야 한다.

이상의 고찰 결과로 다중 원형 고조 성분을 이용한 회전 불변적 형태 인식은 그림 2에서와 같이 superposition 이전에 digital system에서 출력 phasor의 위상을 균일화 함으로서 수행할 수 있음을 알 수 있다. 그림 2에서 L은 이용된 원형 고조 성분 집합의 최소공배수이다. 입력영상의 위치를 미리 예측할 수 없기 때문에 각 필터출력의 화소는 적절한 phase



$$C(\alpha) = A(1) \exp(j\alpha) + A(2) \exp(j2\alpha) + A(4) \exp(j4\alpha)$$

그림 1. 다른 원형 고조 계수에 의한 출력 페이저
Fig. 1. Output phasors due to different circular harmonic orders.

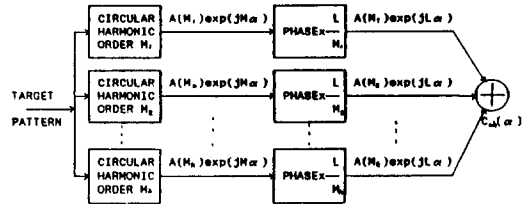


그림 2. 코히런트 중첩 시스템
Fig. 2. System of coherent superposition.

factor에 의해 곱해져야 한다. 이 coherent superposition system의 출력 침두치 세기는

$$|C_{oh}(\alpha)|^2 = \left| \sum_k A(M_k) \right|^2 \tag{13}$$

이며 α 에 무관하게 되어 회전 불변적 인식을 할 수 있다. 가장 바람직한 superposition은 입력영상에 대응되는 출력평면의 중심에서 침두치가 나타나는 것이다. 입력영상의 위치는 threshold가 행해진 출력 침두치에 의해 나타난다. 필터는 입력영상의 푸리에 스펙트럼 상에서 동작하기 때문에 이 시스템은 이동 불변이고 여러개의 영상을 처리할 수 있다. 그래서 영상의 다중 원형 고조 성분에 정합된 필터는 영상의 더 많은 정보를 포함하므로 단일 원형 고조 필터 보다 나은 인식을 한다. 그러나 이러한 coherent superposition을 이용한 다중 원형 고조 필터는 일반적으로 기하학적 중심점을 원형 고조 전개 원점으로부터 설계되기 때문에 출력평면에서 최대 침두치를 갖지 못하는 경우가 있으며 SNR이 단일 원형 고조 필터보다 높지만 종래의 정합필터보다 낮은 값을 갖게 되어 인식능력이 우수하지 못하다.

IV. 적정의 중심점을 이용한 다중 원형 고조 필터

앞의 내용에서 고려한 다중 원형 고조 필터의 문제점을 개선하기 위해 적정의 중심점을 이용한 다중 원형 고조 필터를 제안한다. 먼저 적정의 중심점에 대해 고찰해 보기 위해 단일 원형 고조 필터의 2차 원 상관 출력을 다음과 같이

$$C^{**}(x', y'; \xi, \eta) = 2\pi \int_0^\infty f_m(r; x', y') g_m^*(r; \xi, \eta) \cdot r dr \exp(jm\alpha) \quad (14)$$

으로 표현할 수 있다. 식(14)에서 x' 와 y' 는 출력평면에서의 직각 좌표이고 ξ 와 η 는 필터를 만들기 위해 이용한 원형 고조 전개중심의 위치를 표시하는 파라미터이다. 각 점(x', y')에서의 상호 상관치는 필터의 계수와 동일한 계수를 갖는 $f(x, y)$ 의 원형 고조 함수에 의존하며 각 이동된 원점(x', y')에 대하여 전개된다. 전체 상관 함수 $C(x', y'; \xi, \eta)$ 는 파라미터 ξ 와 η 에 의존한다. 전개중심(ξ, η)의 선택에 따라 출력평면에서 입력영상을 탐지할 수 있는 상관첨두치의 세기가 다르게 나타나기 때문에 전개중심의 위치는 원형 고조 필터의 형태 인식에 상당한 영향을 미친다. 입력영상 $f(x, y)$ 이 필터로 만들어진 기준영상 $g(x, y)$ 과 동일할 때 식(14)는

$$C^{**}(x', y'; \xi, \eta) = 2\pi \int_0^\infty f_m(r; x', y') f_m^*(r; \xi, \eta) \cdot r dr \exp(jm\alpha) \quad (15)$$

로 주어진다. 전개중심점 $x' = \xi, y' = \eta$ 에서의 상관치는

$$C^{**}(\xi, \eta; \xi, \eta) = 2\pi \int_0^\infty |f_m(r; \xi, \eta)|^2 r dr \exp(jm\alpha) \quad (16)$$

로 표현되며 크기는 회전 불변이고 입력영상의 원형 고조 성분의 에너지와 동일하다. 복소함수에 대한 Schwarz 부등식을 식(14)에 적용하면

$$|C^{**}(x', y'; \xi, \eta)| \leq (2\pi)^2 \int_0^\infty |f_m(r; x', y')|^2 r dr \int_0^\infty |g_m(r, \xi, \eta)|^2 r dr \quad (17)$$

로 표현되고 출력평면의 중심에서 자기 상관치에 의해 정규화된 상관 세기는

$$\frac{|C^{**}(x', y'; \xi, \eta)|^2}{|C^{**}(\xi, \eta; \xi, \eta)|^2} \leq \frac{\int_0^\infty |g(r; x', y')|^2 r dr}{\int_0^\infty |f_m(r; x', y')|^2 r dr} \quad (18)$$

로 표현된다. 각 점(x, y)에 대해 전개한 입력영상 $f(x, y)$ 의 m차 원형 고조 성분의 에너지 $E_m(x, y)$ 는

$$E_m(x, y) = 2\pi \int_0^\infty |f_m(r; x, y)|^2 r dr \quad (19)$$

이다. 입력이 탐지되어야 할 영상 $f(x, y)$ 일때 출력 평면에서의 상관치는 아래의 식(20)에서 처럼 원형 고조 전개중심에서 최대상관 첨두치를 가져야 한다.

$$|C^{**}(\xi, \eta; \xi, \eta)|^2 \geq |C^{**}(x, y; \xi, \eta)|^2 \quad (20)$$

그러나 위와 같은 경우가 반드시 존재하지 않는데 이러한 문제는 필터에 대한 원형 고조 전개중심(ξ, η)의 적절한 선택에 의해서 해결될 수 있다. 어떤 전개중심이 식(20)을 만족하는 최대 상관 첨두치를 가질 때 그 전개중심을 원형 고조 계수 m에 대한 적정의 중심점이라고 한다. 적정의 중심점을 찾기위한 반복적인 과정이 이미 제안되었다. 이 방법은 먼저 입력영상 중앙부분의 임의의 점(ξ_1, η_1)을 전개중심으로 선택하여 입력영상과 기준영상의 m차 원형 고조 성분사이의 상관치를 계산한다. 만일 상관치가 (ξ_2, η_2)에서 최대치를 가지면 다음 단계에서 그 점(ξ_2, η_2)을 새로운 전개중심으로 한다.

이러한 과정을 상관 첨두치가 전개중심에서 나타날 때까지 반복한다. 그러나 반복적인 과정은 반드시 해로 수렴하지 않으며 따라서 적정의 중심점의 존재가 증명되지 않았다. 본 논문에서는 적정의 중심점은 식(19)로부터 쉽게 찾을 수 있으며 $E_m(x, y)$ 가 최대값을 갖는 위치이다. 왜냐하면 식(16) 및 (17)로부터

$$\int_0^\infty |f_m(r; \xi, \eta)|^2 r dr \geq \int_0^\infty |f(r; x', y')|^2 r dr \quad (21)$$

일때 점(ξ, η)가 식(20)을 만족하는 적정의 중심점이기 때문이다. 원형 고조 에너지 $E_m(x, y)$ 는 상한 경계치가 존재하고 일반적으로 연속이며 반드시 최대치를 갖는다. 결론적으로 적정의 중심점은 어떤 입력영상에 대해서도 존재한다. 본 논문에서는 기존의 다중 원형 고조 필터 보다 개선된 인식 수행을 위해 적정의 중심점을 도입하였다. 단순히 다중 원형 고조 필터에 이용된 몇개의 원형 고조 계수에 대해 적정의 중심점을 이용할 수는 없다. 즉 각 원형 고조 계수에 따라 적정의 중심점의 위치가 다르기 때문에 그대로 다중 원형 고조 필터를 사용할 경우 출력평면에서 여러개의 상관 첨두치가 나타나게 되어 입력영상을 탐지할 수 없다. 그리하여 임의의 k차까지의 원형 고조 계수에 대해 적정의 중심점을 찾아서 동일한 위치를 갖는 원형 고조 계수들만을 선택하여 다중 원형 고조 필터를 설계하면 출력평면의 적정의 중심점에서 최대의 상관치를 가지며 높은 SNR을 갖

게되어 기존의 다중 원형 고조 필터보다 개선된 회전 불변적 형태 인식을 수행할 수 있다.

V. 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 논문에서는 회전된 입력영상 'E'와 기준영상 'E'와의 상관도를 기하학적 중심점을 원점으로 하여 설계한 다중 원형 고조 필터와 제한한 적정의 중심점을 원점으로 하여 설계한 다중 원형 고조 필터의 경우에 대해 비교해 보았다. 그림 3은 시뮬레이션에서 사용된 32×32 format의 입력영상 'E'와 90° 회전된 입력영상이다. 표 1은 회전되지 않은 기준영상 'E'의 기하학적 중심점과 적정의 중심점에서의 자기상관 첨두치를 원형 고조 계수 $m=1$ 에서 $m=6$ 까지 나타낸 것이다. 기하학적 중심점 (17, 17)보다 적정의 중심점을 원형 고조 전개 원점으로 하였을 경우 자기상관 첨두치가 더 크며 원형 고조 계수가 증가함에 따라 자기상관 첨두치가 감소함을 알 수 있다. 원형 고조 계수가 $m=1$ 과 $m=5$ 인 경우 적정의 중심점이 동일한점 (13, 16)으로 중첩되므로 이들 계수가 다중 원형 고조 필터를 설계하기 위해 적합함을 알 수 있다. 기하학적 중심점을 이용한 다중 원형 고조 필터를 설계한 경우에도 동일한 계수 $m=1$ 과 $m=5$ 를 이용하였다. 그림 4는 기존의 기하학적 중

심점을 이용한 다중 원형 고조 필터에 의한 입력영상 'E'와 90° 회전된 입력영상 'E' 등과 기준영상 'E'와의 상관 분포를 나타낸 것이며, 입력영상이 회전되지 않은 경우와 90° 회전된 경우에도 중심에서의 상관 첨두치(center correlation peak)가 동일하므로 회전 불변적 인식을 수행하지만 부엽(sidelobe)이 커서 낮은 SNR을 가짐을 알 수 있다. 그림 5는 적정의 중심점을 이용한 다중 원형 고조 필터에 의한 상관 분포이다. 그림 4와 5의 상관 분포를 살펴보면 두 필터 모두 회전 불변적 인식을 수행하지만 적정의 중

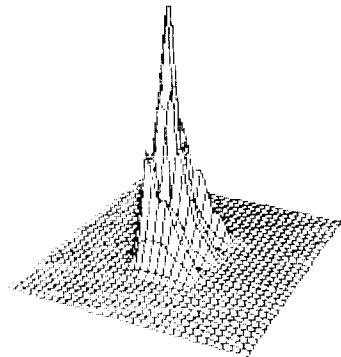


그림 3. 컴퓨터 실험을 위한 입력영상
Fig. 3. Input image for the computer experiments.

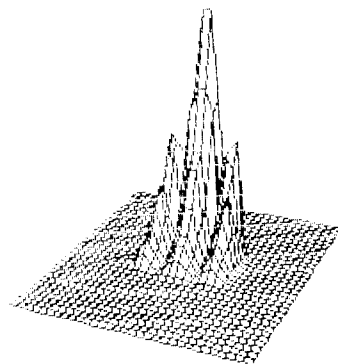
표 1. 기준영상의 기하학적 중심점과 적정의 중심점이 각 원형 고조 계수에 관해 이용될 때 원형 고조 필터의 자기상관 출력

Table 1. Autocorrelation output of the CH filters when geometric center and proper centers of the reference image is used about each CH orders.

계수 \ 중심	CH order m					
	m=1	m=2	m=3	m=4	m=5	m=6
기하학적 중심점	(17, 17)					
적정의 중심점	1.08	0.12	0.12	0.05	0.06	0.01
기하학적 중심점	(13, 16)	(16, 18)	(12, 18)	(14, 17)	(13, 16)	(15, 14)
적정의 중심점	1.33	0.24	0.31	0.10	0.09	0.08



(a)



(b)

그림 4. 기하학적 중심점을 가진 다중 원형 고조 필터를 이용한 회전되지 않은 입력영상 'E' 및 90° 회전된 입력영상 'E'에 대한 기준영상 'E'의 상관분포

Fig. 4. Correlation distribution of (a) unrotated and, (b) 90° rotated input image E and reference image E using multiple CH filter with geometric centers.

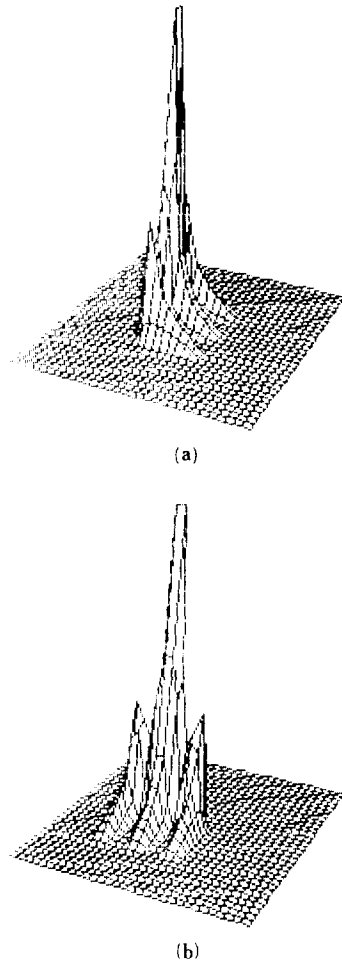


그림 5. 적정의 중심점을 가진 다중 원형 고조 필터를 이용한 회전되지 않은 입력영상 'E' 및 90° 회전된 입력영상 'E'에 대한 기준영상 'E'의 상관분포

Fig. 5. Correlation distribution of
(a) unrotated and,
(b) 90° rotated input image E and reference image E using multiple CH filter using with proper centers.

심점을 이용한 필터가 기존의 기하학적 중심점을 이용한 필터보다 높은 SNR을 가지며 출력평면의 중심에서 최대의 상관 첨두치를 가짐을 알 수 있다.

VI. 결 론

회전 불변적 형태 인식을 위한 원형 고조 필터는 기준영상으로부터 하나 또는 그 이상의 원형 고조 성분을 이용한다. 기존의 원형 고조 필터가 대부분

기하학적 중심점을 원형 고조 전개원점으로 하여 설계되어 출력평면에서 최대 상관 첨두치를 갖지 못한다. 본 논문에서는 적정의 중심점이 동일한 위치로 중첩되는 원형 고조 계수들을 찾아서 이 계수들을 이용하여 다중 원형 고조 필터를 설계하였다. 이와 같이 설계한 다중 원형 고조 필터는 기존의 기하학적 중심점을 이용한 다중 원형 고조 필터보다 높은 SNR과 출력평면의 중심에서 최대의 상관 첨두치를 가지게 되어 개선된 회전 불변적 형태 인식을 할수 있음을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] Y.N. Hsu, H.H. Arsenault and G. April, "Rotation-invariant digital pattern recognition using circular harmonic expansion," *Appl. Opt.*, vol. 21, no. 22, p. 4012, Nov., 1982.
- [2] Y.N. Hsu and H.H. Arsenault, "Optical pattern recognition using circular harmonic expansion," *Appl. Opt.*, vol. 21, no. 22, p. 4016, Nov., 1982.
- [3] H.H. Arsenault and Y. N. Hsu, "Rotation-invariant discrimination between almost similar objects," *Appl. Opt.*, vol. 22, no. 1, p. 130, Jan., 1983.
- [4] Y. Sheng and H.H. Arsenault, "Method for determining expansion centers and predicting sidelobe levels for circular harmonic filters," *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 4, no. 9, p. 1793, Sep., 1987
- [5] Y.N. Hsu and H.H. Arsenault, "Pattern discrimination by multiple circular harmonic components," *Appl. Opt.*, vol. 23, no. 6, p. 841, Mar., 1984.
- [6] R. Wu and H. Stark, "Rotation-invariant pattern recognition using a vector reference," *Appl. Opt.*, vol. 23, no. 6, p. 838, Mar., 1984.
- [7] G.F. Schils and D.W. Sweeney, "Rotationally invariant correlation filtering for multiple images," *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 3, no. 7, p. 902, Jul., 1986.
- [8] H.H. Arsenault, Y.N. Hsu and K.C. Mackukow," Rotation-invariant pattern recognition," *Opt. Eng.*, vol. 23, no. 6, p. 705, Dec., 1984.
- [9] G.F. Schils and D.W. Sweeney, "Rotationally invariant correlation filtering," *J. Opt. Soc. Am. A2*, vol. 2, no. 9, p. 1411, Sep., 1985.

 著 者 紹 介


 金 鍾 鑽 (準會員)

1963年 7月 3日生. 1986年 2月
 경북대학교 전자공학과 졸업. 19
 89年 2月 경북대학교 대학원 전
 자공학과 석사학위 취득. 현재 석
 사장교 복무중. 주관심분야는 광
 정보처리 및 패턴인식 등임.

都 良 會 (正會員) 第26卷 第8號 參照

현재 제주대학교 전자공학과
 전임강사

●

金 秀 重 (正會員) 第25卷 第7號 參照

현재 경북대학교 전자공학과
 교수
