

論文97-34S-2-10

회전불변 패턴인식을 위한 WCHF-FSJTC

(Wavelet Circular Harmonic Function-Frequency Selective Joint Transform Correlator for Rotation Invariant Pattern Recognition)

房俊鶴*, 李河運**, 盧德樹***, 金秀重****

(Joon-Hak Bang, Ha-Woon Lee, Duck-Soo Noh, and Soo-Joong Kim)

요 약

회전불변 패턴인식을 위하여 FSJTC(frequency selective joint transform correlator)의 기준영상으로 웨이브렛 변환된 원형고조함수를 이용한 WCHF-FSJTC(wavelet circular harmonic function frequency selective joint transform correlator)를 제안하였다. 웨이브렛 변환이 특징점을 추출하는 특성을 가지고 있으므로, 제안한 시스템이 기존의 CHF-CJTC(circular harmonic function conventional joint transform correlator)에 비해 인식시 변별력과 SNR을 향상시킬 수 있다. 그리고 제안한 시스템은 자기상관성분과 입력 영상들간의 상호상관성분을 제거하는 FSJTC 구조로 되어 있으므로, 상관점두치간의 중첩에 의해 발생할 수 있는 오인식을 제거할 수 있다. 웨이브렛 함수로는 본 논문에서 사용한 기준영상에 가장 적절한 Morlet 함수를 이용하였다. 이 웨이브렛 함수의 팽창모수와 진동주파수를 변화시켜 가면서 최적의 값을 얻어내었다. 그 결과 팽창모수가 0.8, 중심주파수가 0.48일 때 제안한 시스템이 가장 좋은 성능을 가짐을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

Abstract

The WCHF-FSJTC(wavelet circular harmonic function frequency selective joint transform correlator) using the wavelet transformed CHF as the reference image in FSJTC is proposed for rotation invariant pattern recognition. Since the wavelet transform has the property of feature-extraction, the proposed system can have the better DC(discrimination capability) and the higher SNR(signal to noise ratio) compared with the conventional CHF-CJTC(circular harmonic function conventional joint transform correlator). And since the structure of the proposed system is FSJTC which can eliminate auto-correlation and cross-correlation between input images, it can eliminate false alarm caused by the overlapping among correlation peaks. The used wavelet function is the Morlet function, which is proper for the reference image used in this paper. The optimal dilation parameter and oscillation frequency of the wavelet function are also achieved with varying the parameters of the wavelet function. The computer simulation shows that the proposed system has the best performance when the dilation parameter is 0.8 and the oscillation frequency is 0.48.

* 正會員, 韓國電子通信研究院
(Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI))

** 正會員, 東洋大學校 電子制御通信工學部
(Dept. of Comm. Eng., Dongyang University)

*** 正會員, 慶一大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Kyungil University)

**** 正會員, 慶北大學校 電子電氣工學部
(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook National University)

接受日字: 1996年4月18日, 수정완료일: 1997年1月14日

I. 서론

Weaver 등^[1]에 의해 제안된 결합변환상관기(joint transform correlator, JTC)는 공간 광 변조기(spatial light modulator, SLM) 및 CCD 등의 소자 개발로 실시간적 구성이 가능하여 패턴인식 및 물체추적 분야로의 응용이 가능하게 되었다.

JTC는 입력과 기준영상을 하나의 입력평면에 구성하여 별도의 정합필터 구성이 필요하지 않으므로 기존의 4f 광상관기의 문제점인 광축정렬문제를 해결할 수 있으나 왜곡된 영상이 입력될 경우에는 인식이 불가능한 단점이 있었다. 이를 해결하기 위해 인식하고자 하는 영상의 한 원형고조성분을 필터로 제작하여 회전불변 인식을 하는 원형고조함수(circular harmonic function, CHF) 필터^{[2],[3]}를 전통적 JTC(conventional JTC, CJTC)에 적용한 CHF-CJTC가 Mendlovic 등^[4]에 의해 발표되었다. 그러나 이 필터는 원형고조성분중 한개의 고조성분만을 기준영상으로 이용하므로 변별력(discrimination capability, DC) 및 SNR이 떨어지고 전통적 JTC 구조를 사용하므로 다중 물체인식시 높은 자기상관성분과 입력영상들간의 상호상관성분이 존재하여 오인식의 문제점이 생기게 된다. 따라서 하나의 원형고조함수에 의한 낮은 변별력 및 SNR을 개선하고 입력영상들간의 상호상관성분들을 제거하여 인식력을 향상시키는 방법이 요구된다.

전통적 JTC에서 오인식의 요인이 되는 상관성분들을 제거하는 방법으로 전통적 JTC의 간섭세기에서 입력영상의 세기와 기준영상의 세기를 빼므로써 자기상관성분과 다중 입력영상들간의 상호상관성분을 제거하는 주파수 선택적 JTC(frequency selective JTC, FSJTC)^[5]가 있다.

80년대 중반 이후 웨이블릿 변환(wavelet transform, WT)이 신호처리분야에서 관심의 대상이 되기 시작하였는데, 웨이블릿 변환의 수학적 관점은 Grossman과 Morlet^[6]에 의해 소개되어 Daubechie와 Mallat^[7]에 의해 활발한 연구의 계기가 되었다. 특히 1992년 Szu 등^[8]이 웨이블릿 변환을 정합필터 형태로 하여 전통적인 4f 광상관기 구조에 적용하였으며, 1993년 이를 이용한 광웨이블릿 정합필터(optical wavelet matched filter, OWMF)가 제안된 이래 최

근까지 광웨이블릿 변환 및 이를 이용한 패턴인식이 활발히 연구되고 있다. 웨이블릿 함수는 시간 또는 공간영역에서 평균값이 0이 되도록 진동하여 DC 성분이 0이 되어야 하고 시간이 무한대로 접근할 경우 0으로 수렴해야 하는 허용조건과 주파수 영역에서 대역폭이 제한되어야 하는 규칙성을 만족해야 한다^[9]. 따라서 임의의 신호와 웨이블릿 함수와의 내적으로 주어지는 웨이블릿 변환은 대역통과필터 특성을 가지며 웨이블릿 함수의 종류 및 팽창모수(dilation parameter)의 크기에 따라서 대역의 중심주파수 및 대역폭이 달라져 영상의 특징점 추출이 용이하게 된다. 따라서 이를 광상관기로 구현하여 패턴인식에 응용하면 변별력 및 SNR을 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 Morlet 웨이블릿 함수를 이용하여 인식하고자 하는 기준영상을 웨이블릿 변환하여 영상의 특징점을 추출한 후 원형고조함수를 만든다. 이렇게 만들어진 것을 웨이블릿 원형고조함수(wavelet CHF, WCHF)라 하고 이를 JTC의 기준영상으로 사용하여 광축정렬문제를 해결하면서 변별력과 SNR이 개선된 회전불변 인식을 하며, 다중 물체인식시의 높은 자기상관성분과 입력영상들간의 상호상관성분을 제거하기 위해 FSJTC를 이용한 WCHF-FSJTC를 제안하였다. 제안한 시스템이 기존의 CHF-CJTC에 비해 오인식의 요인이 되는 상관성분들이 제거되고 SNR이 향상되므로 물체간의 거리를 더욱 좁힐 수가 있어서 다중 물체인식에 효과적이며, 기존의 방법보다 변별력이 개선되어 유사영상에 대한 구별인식력이 향상됨을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

II. 이론

1. 결합변환상관기

1) 전통적 결합변환상관기

정합필터 구조를 갖는 Vander Lugt 광상관기의 광축정렬문제를 해결하기 위하여 입력평면에 기준영상과 입력영상을 함께 두고 푸리에 변환 과정을 통해 물체를 인식하는 전통적 JTC의 블럭도를 그림 1에 나타내었다.

여기서 $r(x-x_0, y)$ 는 중심이 $(x_0, 0)$ 인 위치에 배치되는 기준영상이고 $s(x+x_0, y)$ 는 중심이 $(-x_0, 0)$ 인 위치에 배치되는 입력영상이다. 결합입력평면의 영상들을 푸리에

변환하면

$$E(u, v) = S(u, v) e^{j2\pi x_0 u} + R(u, v) e^{-j2\pi x_0 u} \quad (1)$$

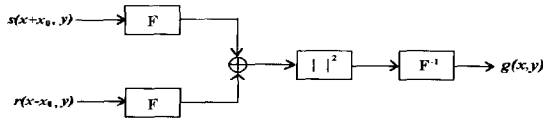
와 같이 표현되고, square-law 검출기 출력단의 광세기 함수는

$$\begin{aligned} I(u, v) &= |E(u, v)|^2 \\ &= |S(u, v)|^2 + |R(u, v)|^2 \\ &\quad + S(u, v) R^*(u, v) e^{j4\pi x_0 u} + S^*(u, v) R(u, v) e^{-j4\pi x_0 u} \end{aligned} \quad (2)$$

와 같이 표현된다. 이 광세기 함수를 푸리에 역변환하면 출력상관평면에서의 광분포 함수는

$$g(x, y) = s \star s + r \star r + s \star r \star \delta(x+2x_0, y) + r \star s \star \delta(x-2x_0, y) \quad (3)$$

와 같다. 여기서 \star 는 상관자(correlation operator)를, $*$ 는 상승자(convolution operator)를 뜻한다. 식 (3)에서와 같이 광분포 함수에는 자기상관성분과 입력영상들간의 상호상관성분이 존재하여 오인식이 유발될 수 있다.



s : input image
 r : reference image
 F : Fourier transform
 F^{-1} : inverse Fourier transform
 $| |^2$: square-law detector

그림 1. 전통적 JTC 의 시스템 블럭도

Fig. 1. The system block diagram of conventional JTC.

2) 주파수 선택적 결합변환상관기

주파수 선택적 JTC는 전통적 JTC에서 문제가 되는 자기상관성분과 입력영상들간의 상호상관성분을 제거시키기 위한 방법으로 이것의 시스템 블럭도를 그림 2에 나타내었다.

Square-law 검출기 출력단의 최종광세기 함수는 자기상관항과 입력영상들간의 상호상관항이 제거되어

$$\begin{aligned} I(u, v) &= I_1 - I_2 - I_3 \\ &= S(u, v) R^*(u, v) e^{j4\pi x_0 u} + S^*(u, v) R(u, v) e^{-j4\pi x_0 u} \end{aligned} \quad (4)$$

와 같이 전개된다. 이때 I_1 은 입력영상과 기준영상의 합에 대한 square-law 검출기 출력단의 광세기 함수

이고 I_2 는 입력영상만에 대한 square-law 검출기 출력단의 광세기 함수이며 I_3 는 기준영상만에 대한 square-law 검출기 출력단의 광세기 함수이다. 이 광세기 함수를 푸리에 역변환하면 출력상관평면에서의 광분포 함수는

$$g(x, y) = s \star r \star \delta(x+2x_0, y) + r \star s \star \delta(x-2x_0, y) \quad (5)$$

와 같이 표현된다. 따라서 최종적인 출력상관결과는 기준영상과 각각의 입력영상들간의 상호상관만이 나타나므로 다중 물체인식에 효과적이다.

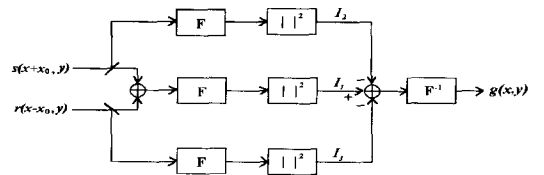


그림 2. 주파수 선택적 JTC 시스템 블럭도
 Fig. 2. The system block diagram of FSJTC.

2. 원형고조함수 필터

CHF 필터는 회전불변 패턴인식을 위해 널리 이용되는 필터이다. 임의의 영상을 무한개의 원형고조성분으로 구성할 수 있으며 이러한 성분 각각들은 회전불변 인식특성을 갖고 있다. CHF 필터는 원형고조성분들 중 한 성분만을 취하여 만든다. 직각 좌표계에서 임의의 영상 $f(x, y)$ 를 극 좌표계로 표현한 것을 $f(r, \theta)$ 라고 하면 $f(r, \theta)$ 는

$$f(r, \theta) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} f_m(r) \exp(jm\theta) \quad (6)$$

로 표현된다. 여기서 f_m 은 고조성분을 나타내며 θ 의 주기가 2π 이므로 원형고조함수 $f_m(r)$ 은

$$f_m(r) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(r, \theta) \exp(-jm\theta) d\theta \quad (7)$$

로 표현된다. CHF 필터는 하나의 고조성분만을 취하므로 식 (6)으로부터 임의의 고조성분 f_n 에 대한 CHF 필터함수 $h(r, \theta)$ 는

$$h(r, \theta) = f_n(r) \exp(jn\theta) \quad (8)$$

가 된다. 만약 회전된 영상이 입력될 경우, 각도 α 만큼 회전된 영상 $f(r, \theta + \alpha)$ 와 CHF 필터와의 원점에서 상관결과는

$$c(COE_c) = \int_r \int_\theta f(r, \theta + \alpha) h^*(r, \theta) r dr d\theta \quad (9)$$

로 주어진다. 식(6)과 (8)을 식(9)에 대입하고 고조성분들의 직교성을 이용하면 식(9)는

$$c(COE_c) = 2\pi \exp(jn\alpha) \int_r |f_n(r)|^2 r dr \quad (10)$$

로 표현된다. 식(10)으로부터 영상의 회전각도 α 는 위상성분에만 영향을 주고 상관결과의 세기에는 영향이 없음을 알 수 있다. 따라서 광상관기의 출력은 빛의 세기로 나타나므로 입력영상의 회전에 관계되는 α 는 상관침두치에 영향이 없어 CHF는 회전불변 인식특성을 가짐을 알 수 있다. 그러나 원형고조함수를 만들때 기준영상의 중심에 따라 상관 침두치 $c(COE_c)$ 값이 많이 달라져 인식력에 영향을 주므로 좋은 회전불변 인식특성을 얻기 위해서는 적정의 중심점을 찾는 것이 매우 중요하다. 또한 CHF에 의한 상관결과는 부엽이 크고 변별력에 문제가 있으므로 이를 해결해야 한다. 그리고 원형고조성분의 선택도 인식력에 많은 영향을 준다. 즉 D.C. 성분($m = 0$)은 영상의 중심에서 상관 침두치가 발생하는 좋은점이 있는 반면 유사영상간의 변별력이 떨어져 문제가 되며 고차 고조성분은 변별력에서는 다소 유리할 수 있지만 상관 침두치가 중심에서 발생하지 않아 문제가 된다. 따라서 적절한 고조성분의 선택도 중요한 요소가 된다^{[10], [11]}.

3. 웨이브렛 변환

웨이브렛 변환은 다해상도 영상분해에 이용되어 영상압축에 유용하게 이용되어 왔으며^[12], 최근에는 광을 이용한 웨이브렛 변환도 많이 연구되어 광학적 패턴인식 분야에 적용되기 시작하였다^{[13], [14]}. 웨이브렛 변환은 시간과 주파수 영역에서 동시에 신호를 국한시키는 것으로 과도신호나 비정재적 신호의 해석에 효율적이며 또한 대역통과특성을 가져 신호의 특징점 검출이 용이하다.

웨이브렛 변환의 기저함수를 웨이브렛이라고 하며 모웨이브렛(mother wavelet) 함수 $h(x,y)$ 의 팽창(dilation)과 천이(translation)로 부터

$$h_{a_x, a_y, b_x, b_y}(x, y) = \frac{1}{\sqrt{a_x a_y}} h\left(\frac{x-b_x}{a_x}, \frac{y-b_y}{a_y}\right) \quad (11)$$

와 같이 딸웨이브렛(daughter wavelet) 함수를 얻는다. 여기서 a_x, a_y 는 팽창모수로 양수 값을 가지며, $b_x,$

b_y 는 천이모수이다. 신호 $s(x,y)$ 의 웨이브렛 변환 $w_s(a,b)$ 는 딸웨이브렛 함수와 원점에서의 상관, 즉 내적이며 공간 영역에서는

$$\begin{aligned} w_s(a_x, a_y, b_x, b_y) &= \langle s(x, y) | h_{a_x, a_y, b_x, b_y}(x, y) \rangle \\ &= \frac{1}{\sqrt{a_x a_y}} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} s(x, y) h^*\left(\frac{x-b_x}{a_x}, \frac{y-b_y}{a_y}\right) dx dy \end{aligned} \quad (12)$$

로 표현되며, 천이모수를 신호에 적용하여 표현하면

$$\begin{aligned} w_s(a_x, a_y, b_x, b_y) &= \frac{1}{\sqrt{a_x a_y}} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} s(x+b_x, y+b_y) h^*\left(\frac{x}{a_x}, \frac{y}{a_y}\right) dx dy \\ &= \frac{1}{\sqrt{a_x a_y}} s(x, y) \star h\left(\frac{x}{a_x}, \frac{y}{a_y}\right) \end{aligned} \quad (13)$$

가 되고, 이것은 신호와 웨이브렛 함수와의 상관이다. 공간 주파수 영역에서는

$$w_s(a_x, a_y, b_x, b_y) = \sqrt{a_x a_y} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} S(u, v) H^*(a_x u, a_y v) e^{j2\pi(b_x u - b_y v)} du dv \quad (14)$$

로 표현되며, 여기서 $S(u,v)$ 는 신호 $s(x,y)$ 의 푸리에 변환이고 H 는 웨이브렛 함수의 푸리에 변환이다.

웨이브렛 함수는 팽창모수의 크기에 따라 진동주기가 변하며 주파수 영역에서의 대역폭 및 대역의 중심 주파수가 달라져 신호의 특징점 추출이 용이하다. 따라서 웨이브렛 변환은 팽창모수를 변화시켜 대역을 조정할 수 있는 대역통과필터의 특성으로 영상의 특징점을 검출하게 된다. 대개의 웨이브렛 변환된 영상은 가장자리가 강조된 영상으로 팽창모수의 크기 및 웨이브렛 함수의 종류에 따라 가장자리 강조효과가 다르다. 이의 효과를 높이는 것은 영상의 적절한 특징점 검출을 의미하며 이는 패턴인식에 중요한 영향을 미치므로 영상에 따른 적절한 웨이브렛 함수 및 팽창모수의 선정이 중요하다.

광을 이용한 패턴인식에 주로 많이 사용되고 있는 웨이브렛 함수로는 Haar, Mexican-hat, Morlet 웨이브렛 함수 등이 있으나 이들 중 Morlet 웨이브렛 함수는 대역폭 크기 및 중심주파수의 이동을 미세하게 조정할 수 있어 매우 유사한 영상의 분리인식에 유용하게 사용할 수 있다. 따라서 본 논문에서도 이 함수를 이용하였다.

웨이브렛 변환을 광학적으로 구현하는 것을 광웨이브렛 변환(optical wavelet transform, OWT)이라 하며 이것은 광상관기의 원래 특성인 천이 불변 성질

을 갖고 있어 천이모수의 의미가 없어진다. 따라서 광 웨이브렛 변환시에는 앞의 관계식들에서 천이모수 b_x , b_y 를 0 으로 두고 해석한다.

III. 제안한 WCHF-FSJTC

인식하고자 하는 기준영상의 CHF를 CJTC의 기준 영상으로 이용하는 CHF-CJTC에 의해 JTC상에서도 회전불변 패턴인식이 가능하게 되었다. 그러나 이 시스템은 CHF에 의한 인식력의 저하와 CJTC 구조에 의한 다중 입력영상들간의 상관으로 인해 오인식이 발생할 수 있다.

일반적으로 웨이브렛 변환에 의한 패턴인식의 경우 웨이브렛 변환 후 필터를 구현하는 웨이브렛 정합필터(wavelet matched filter, WMF) 방식이 인식력이 좋으며 합성필터를 만들때도 웨이브렛 변환후 합성필터를 만들어 정합필터 형태로 구현하는 것이 우수한 인식력을 보이고 있다. 따라서 본 논문에서도 이러한 성질을 이용하여 기준영상과 입력영상을 웨이브렛 변환 후 인식을 위한 시스템을 만들었다. 즉 인식하고자 하는 영상을 웨이브렛 변환한 후 이것을 CHF로 만든 것과 입력영상을 웨이브렛 변환한 것과의 상관결과를 얻는 WCHF-FSJTC(wavelet circular harmonic function frequency selective joint transform correlator)를 제안하였다. 이때 전처리 과정으로 입력영상의 웨이브렛 변환이 필요하게 되어 시스템이 복잡해지므로 이를 해결하기 위해 주파수 영역에서 인식하고자 하는 영상을 웨이브렛 변환하여 영상의 특징점을 추출한 후 만든 원형고조함수와 입력의 웨이브렛 변환을 위해 사용하는 웨이브렛 함수와의 곱을 푸리에 역변환하여 공간 영역에 나타낸 것을 WCHF(wavelet CHF)라 정의하고, 이를 기준영상으로 사용함으로써 임의의 입력에 대한 전처리 과정없이 원하는 상관이 이루어지도록 하였다. 웨이브렛 함수로는 시뮬레이션 결과, 본 논문에서 입력으로 사용한 비행기영상의 특징점을 가장 잘 추출하는 Morlet 웨이브렛 함수를 사용하였다. 공간 영역에서의 1차원 Morlet 웨이브렛 함수는

$$h(x) = \exp(j2\pi f_0 x) \exp(-\frac{x^2}{2}) \quad (20)$$

로 표현된다. 공간 영역에서 2차원 Morlet 웨이브렛

함수는 이를 확장한 후 실수부분을 취하여

$$h_a(x, y) = \frac{1}{a^2} \cos(2\pi f_0 \frac{x}{a}) \cos(2\pi f_0 \frac{y}{a}) \exp(-\frac{x^2+y^2}{2a^2}) \quad (21)$$

로 표현되는데 이때 편의상 2차원 등방성, 즉 x 축 및 y 축의 팽창모수가 같은($a_x = a_y = a$) 경우로 하였고 f_0 는 정현신호의 진동주파수를 의미하며 주파수 영역에서는

$$H_a(u, v) = \frac{4\pi^2}{a^2} \{ \exp[-2\pi^2 a^2 (u-f_0)^2] + \exp[-2\pi^2 (u+f_0)^2] \} \times \{ \exp[-2\pi^2 a^2 (v-f_0)^2] + \exp[-2\pi^2 (v+f_0)^2] \} \quad (22)$$

와 같이 표현된다. 이 웨이브렛 함수를 공간 영역에서 1차원으로 그림 3(a)에, 주파수 영역에서 2차원으로 그림 3(b)에 나타냈다. 그림 3(a)에서 보듯이 웨이브렛 함수는 공간 영역에서 진동하며 그림 3(b)에서 보듯이 주파수 영역에서는 DC 값이 0이고 대역통과 특성을 갖는다.

식 (12)로 부터 인식하고자 하는 영상 $r(x, y)$ 의 웨이브렛 변환된 영상 $w_r(a_x, a_y)$ (단 $b_x, b_y = 0$)을 극좌표로 나타낸 $w_r(r, \theta)$ 은 다음과 같이 무한개의 원형고조성분으로

$$w_r(r, \theta) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} w_{r_m}(r) \exp(jm\theta) \quad (23)$$

와 같이 무한개의 원형고조성분으로 표현되며 원형고조함수 $w_{r_m}(r)$ 은

$$w_{r_m}(r) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} w_r(r, \theta) \exp(-jm\theta) d\theta \quad (24)$$

로 표현된다. 일반적으로 CHF는 한개의 원형고조성분을 이용하므로

$$w_h(r, \theta) = w_{r_n}(r) \exp(jn\theta) \quad (25)$$

와 같은 임의의 n 번째 고조성분을 기준영상으로 사용하며 인식하고자 하는 영상을 웨이브렛 변환 후 만든 원형고조함수이고 이것과 입력의 웨이브렛 변환한 것과의 상관이 최종적인 출력상관이 되어야 한다. 얻고자 하는 최종적인 출력상관을 주파수 영역에서 표현한 $O(u, v)$ 는

$$O(u, v) = W_s(u, v) W_h^*(u, v) \quad (26)$$

로 나타낼 수 있으며, 이때 $W_h(u, v)$ 는 $w_h(r, \theta)$ 를 직각

좌표계로 바꾼 후 푸리에 변환한 것이고 $W_s(u,v)$ 는 입력영상을 $s(x,y)$ 라 할 때 주파수 영역에서 웨이브렛 변환한 것으로

$$W_s(u, v) = aS(u, v)H^*(au, av) \quad (27)$$

단

$$S(u, v) = \mathcal{F}\{s(x, y)\}$$

와 같이 표현된다. 이때 팽창모수는 식을 간단히 하기 위해 2-D 등방성($a_x = a_y = a$)인 경우로 하였다. 따라서 공간 영역에서의 상관결과 $o(x,y)$ 는

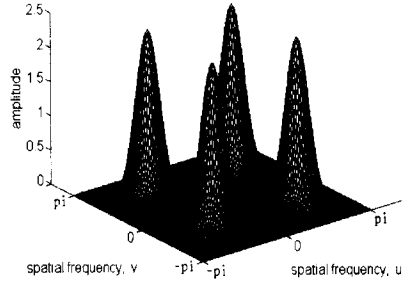
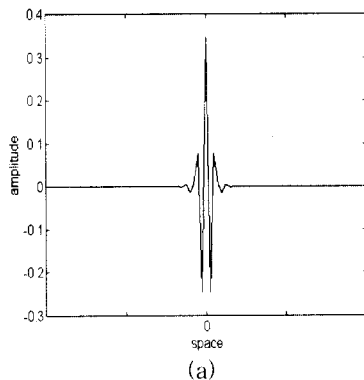
$$\begin{aligned} o(x, y) &= \mathcal{F}^{-1}\{O(u, v)\} \\ &= \mathcal{F}^{-1}\{W_s(u, v)W_h^*(u, v)\} \\ &= \mathcal{F}^{-1}\{aS(u, v)H^*(au, av)W_h^*(u, v)\} \\ &= \mathcal{F}^{-1}\{S(u, v)a[H(au, av)W_h^*(u, v)]^*\} \quad (28) \\ &= \mathcal{F}^{-1}\{S(u, v)R^*(u, v)\} \\ &= \mathcal{F}^{-1}\{S(u, v)\} \star \mathcal{F}^{-1}\{R(u, v)\} \\ &= s(x, y) \star r(x, y) \end{aligned}$$

단

$$R(u, v) = aH(au, av)W_h^*(u, v)$$

$$s(x, y) = \mathcal{F}^{-1}\{S(u, v)\}, \quad r(x, y) = \mathcal{F}^{-1}\{R(u, v)\}$$

로 나타낼 수 있으므로 제안한 WCHF-FSJTC는 $R(u,v)$ 의 푸리에 역변환된 $r(x,y)$ 를 JTC의 기준영상으로 하게 되며 이때 $r(x,y)$ 를 WCHF라 한다. 이 WCHF에는 입력영상의 웨이브렛 변환과정이 포함되어 있어서 WMF의 효과를 가져 입력에 대한 전처리 과정이 필요없게 된다. 그리고 전체 시스템 구조는 FSJTC 구조로 하여 자기상관성분과 다중 입력영상들 간의 상호상관성분을 제거하여 다중 물체입력시 오인식의 가능성을 제거하였다.



(b)

그림 3. Morlet 웨이브렛 함수 (a) 공간영역에서의 1차원 표현, (b) 주파수 영역에서의 2차원 표현
Fig. 3. Morlet wavelet function (a) 1-D expression in the spatial domain, (b) 2-D expression in the frequency domain.

따라서 WCHF-FSJTC는 공간정합필터에서의 광축정렬문제를 해결하면서 인식력이 향상된 회전불변 패턴 인식을 할 수 있다.

IV. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 및 고찰

먼저 기존의 CHF-CJTC와 제안한 WCHF-FSJTC의 회전불변 인식특성을 확인하기 위해 본 논문에서는 컴퓨터 시뮬레이션에 사용한 영상으로 인식하고자 하는 기준영상은 그림 4와 같다.

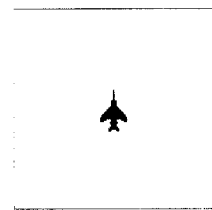


그림 4. 인식하고자 하는 기준영상
Fig. 4. Reference image to be recognized.

회전되지 않은 기준영상과 90°, 180° 및 270° 회전된 기준영상이 입력될 경우 기존의 CHF를 JTC의 기준영상으로 한 JTC 결합입력영상을 그림 5(a)와 5(b)에 나타내었고 Morlet 웨이브렛 함수를 적용한 WCHF를 JTC의 기준영상으로 한 JTC 결합입력영상을 그림 5(c)와 5(d)에 나타내었다. 그리고 컴퓨터 시뮬레이션에 사용한 모든 영상은 128×128 화소로 구성하였다.

원형고조함수 제작에 사용된 중심좌표는 (64, 62)이며 2차 고조함수($m = 2$)를 이용하였다. 이 값들은 영상의 기하학적인 중심인 (64, 64)를 중심으로 5×5 화소의 범위에 걸쳐 최적의 중심좌표를 구한 것이고 고조성분도 0 에서 5 까지의 값들에 대해 조사하여 얻었다. 회전불변 인식특성을 보이기 위한 상관결과로서 그림 5의 결합입력에 대한 출력 상관결과를 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 보듯이 기존의 CHF와 웨이브렛 함수를 적용한 WCHF는 매우 우수한 회전불변 인식특성을 가짐을 알 수 있다. 그러나 기존의 CHF를 기준영상으로 사용한 결과보다 제안한 WCHF를 기준영상으로 사용한 결과가 더 나은 SNR을 보여 인식특성이 나음을 알 수 있다.

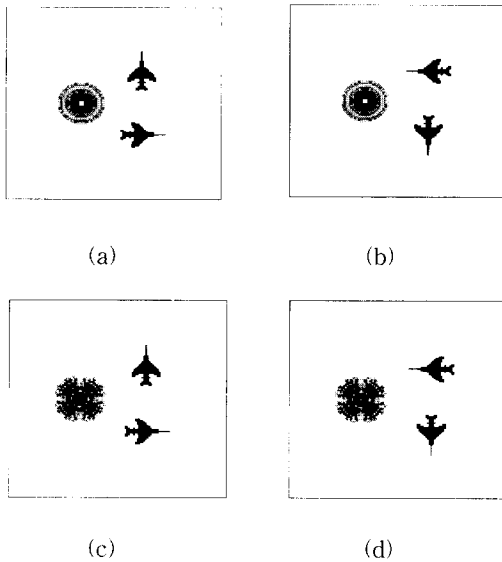


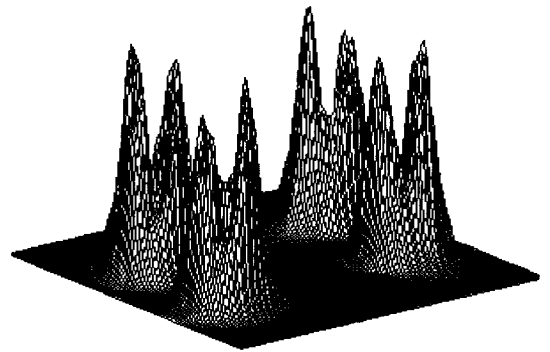
그림 5. (a) 0° , 270° (b) 90° , 180° 회전된 입력과 CHF를 기준영상으로 사용한, (c) 0° , 270° (d) 90° , 180° 회전된 입력과 Morlet 웨이브렛 함수를 적용한 WCHF를 기준영상으로 사용한 경우의 JTC 결합입력영상

Fig. 5. JTC joint input image in case of input rotated (a) 0° , 270° (b) 90° , 180° and using CHF as reference image, input rotated (c) 0° , 270° (d) 90° , 180° and using WCHF to apply Morlet wavelet function as reference image.

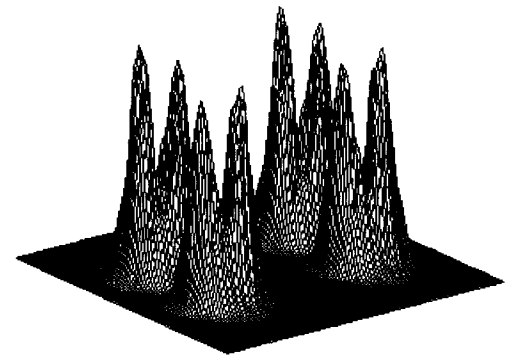
제안한 WCHF-FSJTC의 유사영상 구분인식에 대한 성능을 평가하기 위해 기존의 CHF-CJTC와 SNR 및 변별력을 비교하였다. 유사영상이 입력될 경우 기존

의 CHF와 Morlet 웨이브렛 함수를 적용한 WCHF를 기준영상으로 한 JTC 결합입력영상을 그림 7에 나타내었고 그에 따른 출력 상관결과를 그림 8에 나타내었다.

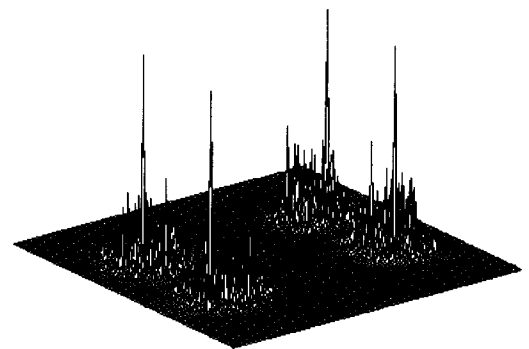
그림 8의 결과로부터 CHF를 기준영상으로 한 경우보다 제안한 WCHF를 기준영상으로 한 경우의 상관형태가 더욱 침예하고 자기상관침두치와 상호상관침두치의 차이가 크다. 즉 SNR과 변별력이 개선됨을 알 수 있다.



(a)



(b)



(c)

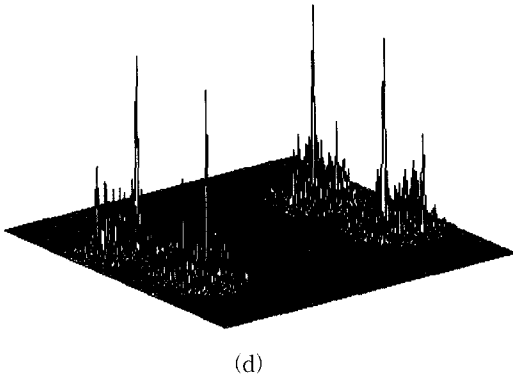


그림 6. (a) 그림 5(a), (b) 그림 5(b), (c) 그림 5(c) 및 (d) 그림 5(d)의 결합입력영상에 대한 상관 결과
 Fig. 6. Correlation for joint input image of (a) Fig. 5(a), (b) Fig. 5(b), (c) Fig. 5(c) and (d) Fig. 5(d).

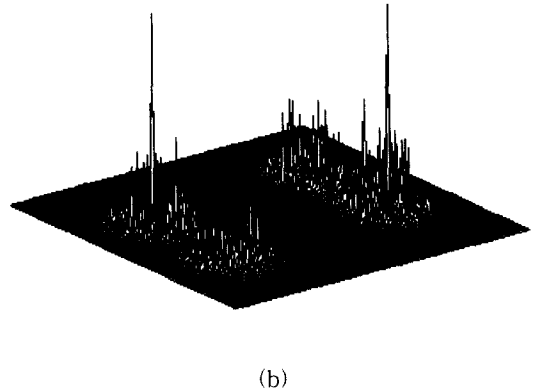


그림 8. (a) 그림 7(a) 및 (b) 그림 7(b)의 결합입력영상에 대한 상관 결과
 Fig. 8. Correlation for joint input image of (a) Fig. 7(a) and (b) Fig. 7(b).

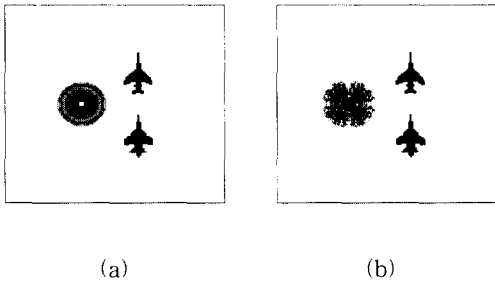


그림 7. 참 및 거짓 입력영상과 (a) CHF를 기준영상으로 사용한, (b) Morlet 웨이브렛 함수($a=0.8, f_0=0.48$)를 적용한 WCHF를 기준영상으로 사용한 경우의 JTC 결합입력영상
 Fig. 7. JTC joint input image in case of the true and false class input image and (a) using CHF as reference image (b) using WCHF to apply Morlet wavelet function($a=0.8, f_0=0.48$) as reference image.

표 1. CHF-CJTC와 WCHF-FSJTC에 대한 성능
 Table 1. The performance measures for CHF-CJTC and WCHF-FSJTC.

	S N R [dB]	D C
CHF - CJTC	9.28	-0.14
WCHF - FSJTC (Morlet: $a = 0.8, f_0 = 0.48$)	14.75	0.62

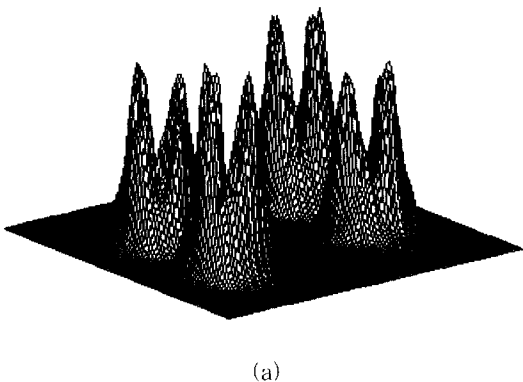
표 1은 그림 8의 상관결과에 대한 인식력 비교를 위해 각 경우에 대한 SNR 및 변별력을 나타낸 것이다. 여기서 SNR 및 변별력은 본 논문에서 사용한 광상관계의 특성을 평가하는 척도이다. SNR은 상관평면에서 최대상관치와 최대상관치의 50%이하 상관치들의 실효치 비로서, 부엽이 크면 SNR이 적고 부엽이 작으면 SNR이 크다는 것을 의미하며 여기서 r_{max} 는 상관평면에서의 빛의 세기로서 상관 침두치의 크기를 나타낸다.

$$SNR = 10 \log \frac{r_{max}}{N_{rms}} \text{ [dB]} \quad (29)$$

r_{max} : 최대상관치

N_{rms} : 최대상관치의 50% 이하 신호들의 실효치

그리고 변별력은 특정신호의 자기상관 침두치와 상호상관 침두치의 차를 자기상관 침두치로 정규화한 것으로 특정신호를 구별인식할 수 있는 척도를 나타낸다. 즉 유사물체를 얼마나 잘 구별인식하는지를 나타낸다. 따라서 변별력이 1에 가까운 값을 가지면 유사물체를



오인식없이 정확하게 분리 인식함을 의미한다.

$$DC = \frac{R_{a,peak} - R_{c,peak}}{R_{a,peak}} \quad (30)$$

$R_{a,peak}$: 자기상관 첨두치

$R_{c,peak}$: 상호상관 첨두치

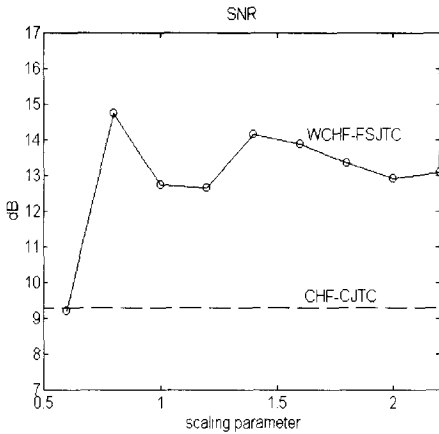


그림 9. SNR 변화
Fig. 9. The variation of SNR.

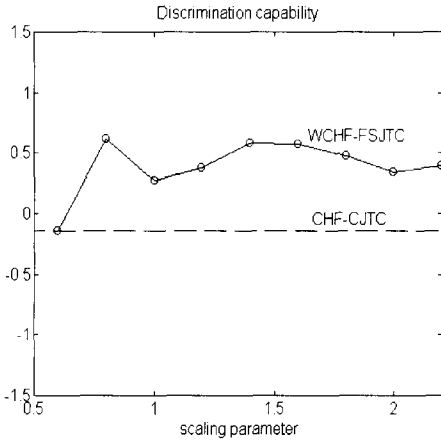


그림 10. 변별력 변화
Fig. 10. The variation of DC.

표 1에서 보듯이 기존의 CHF인 경우는 SNR과 변별력이 매우 낮아서 다중입력이 들어올 경우 물체간 거리가 멀어야 하고 유사영상의 분리인식 필터로 사용하기에는 부적합하다. 그러나 WCHF의 경우는 CHF보다도 SNR과 변별력이 좋아서 물체간 거리를 좁힐 수 있고 유사영상을 구별인식하는 능력도 우수하며 그 중에서도 특히 인식하고자 하는 영상이 그림 4와 같을 경우에는 Morlet 웨이브렛 함수를 사용했을 때가 가장

우수한 결과를 보였다. 이는 Morlet 웨이브렛 함수가 다른 함수와는 달리 대역폭 및 중심주파수의 이동을 미세하게 조정할 수 있어 매우 유사한 영상도 구별인식하는 특징점 추출이 가능하기 때문이다. 이때 사용한 각 웨이브렛 함수의 팽창모수는 그 값들을 변화시키면서 실험하여 가장 좋은 결과를 얻는 값으로 정하였다. 그 결과 Morlet 웨이브렛 함수는 팽창모수가 0.8, 진동주파수가 0.48일때 가장 좋은 인식력을 보였다. 그림 9와 그림 10은 Morlet 함수의 진동주파수를 0.48로 고정시킨 후 팽창모수를 변화시키면서 SNR과 변별력의 변화를 그린 그래프이다. 그 결과 팽창모수가 0.8일때가 가장 좋음을 확인할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 회전불변 패턴인식과 인식력 향상을 위해 CHF에 웨이브렛 변환을 적용하여 새로이 제안한 WCHF를 기준영상으로 하여 공간정합필터에서의 광축정렬문제를 해결할 수 있는 FSJTC에 적용한 WCHF-FSJTC를 제안하였다.

WCHF는 주파수 영역에서 인식하고자 하는 영상을 웨이브렛 변환하여 영상의 특징점을 추출한 후 만든 CHF 필터와 입력영상의 웨이브렛 변환을 위해 사용하는 웨이브렛 함수와의 곱을 푸리에 역변환하여 공간영역에 나타낸 것으로 이것을 JTC의 기준영상으로 하여 광축정렬문제를 해결하면서 기존의 CHF 필터에 비해 SNR 및 변별력을 개선하였다. 그리고 주파수 선택적 JTC를 이용하여 오인식을 발생시키는 상관성분들을 제거하였다. WCHF-FSJTC는 WCHF를 기준영상으로 하는 FSJTC 구조이므로 광축정렬문제를 해결하면서 인식력이 향상된 회전불변 패턴인식을 할 수 있으며 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 이를 확인하였다. 시뮬레이션 결과 Morlet 웨이브렛 함수를 적용했을 때가 SNR 및 변별력이 가장 우수하였는데 이는 Morlet 웨이브렛 함수가 다른 함수와는 달리 대역폭 및 중심주파수의 이동을 미세하게 조정할 수 있어 매우 유사한 영상도 구별 인식하는 특징점 추출이 가능하기 때문이다. 따라서 Morlet 웨이브렛 함수를 이용하여 WCHF-FSJTC를 구현함으로써 회전된 매우 유사한

영상까지도 구분할 수 있는 시스템 구현이 가능함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] C. S. Weaver and J. W. Goodman, "A technique for optically convolving two functions," *Appl. Opt.*, vol. 5, no. 8, pp. 1248-1249, 1966.
- [2] Y. N. Hsu, H. H. Arsenault, and G. April, "Rotation invariant digital pattern recognition using circular harmonic expansion," *Appl. Opt.*, vol. 21, no. 22, pp. 4012-4015, 1982.
- [3] Y. N. Hsu and H. H. Arsenault, "Optical pattern recognition using circular harmonic expansion," *Appl. Opt.*, vol. 21, no. 22, pp. 4016-4019, 1982.
- [4] D. Mendlovic, E. Marom, and N. Konforti, "Complex reference-invariant joint-transform correlator," *Opt. Lett.*, vol. 15, no. 21, pp. 1224-1226, 1990.
- [5] C. J. Kuo, "Joint transform correlation improved by means of the frequency selective technique," *Opt. Eng.*, vol. 33, no. 2, pp. 522-527, 1994.
- [6] Grossman and Morlet, "Decomposition of hardy functions into square integrable wavelets of constant shape," *SIAM J. Math. Anal.*, vol. 15, pp. 723-736, 1984.
- [7] Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation," *IEEE Trans. on PAMI*, vol. 11, pp. 674-693, 1989.
- [8] H. Szu, Y. Sheng, and J. Chen, "The wavelet transform as a bank of the matched filters," *Appl. Opt.*, vol. 31, no. 17, pp. 3267-3277, 1992.
- [9] Y. Sheng, D. Roberge, and H. H. Szu, "Optical wavelet transform," *Opt. Eng.*, vol. 31, no. 9, pp. 1840-1845, 1992.
- [10] H. H. Arsenault and Y. Sheng, "Properties of the circular harmonic expansion for rotation-invariant pattern recognition," *Appl. Opt.*, vol. 25, no. 18, pp. 3225-3229, 1986.
- [11] D. Casasent, A. Lyer, and G. Rivichandran, "Circular harmonic function, minimum average correlation energy filters," *Appl. Opt.*, vol. 30, no. 35, pp. 5169-5175, 1991.
- [12] S. G. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.* 31, pp. 674-693, 1989.
- [13] Y. Zhang, Y. Li, E. Kanterakis, X. J. Lu, R. Tolimieri, and N. P. Caviris, "Optical realization of wavelet transform for a one-dimensional signal," *Opt. Lett.*, vol. 17, no. 3, pp. 210-212, 1992.
- [14] Y. Sheng, D. Roberge, H. Szu, and T. Lu, "Optical wavelet matched filters for shift-invariant pattern recognition," *Opt. Lett.*, vol. 18, no. 4, pp. 299-301, 1993.

저 자 소 개



房俊鶴(正會員)

1971年 11月 21日生. 1994年 2月 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1996年 2月 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1996年 3月~현재 한국전자통신연구원 연구원. 주관심분야는 광형태인식 및 광 신호처리 등임

盧德樹(正會員)

第 33卷 B編 第 11號 參照
현재 경일대학교 전자공학과 교수

李河運(正會員)

第 33卷 B編 第 7號 參照

현재 동양대학교 전자제어통신공학부 전임강사

金秀重(正會員)

第 33卷 B編 第 11號 參照

현재 경북대학교 전자전기공학부 교수