

WCHF-fSDF 필터를 이용한 회전과 크기불변 패턴 인식

正會員 李承熙*, 金喆洙**, 李河運***, 都良會****, 朴世駿*****, 金秀重*****

Rotation and Scale-Invariant Pattern Recognition using WCHF-fSDF filter

Seung Hee Lee*, Cheol Su Kim**, Ha Woon Lee***, Yang Hoi Doh****, Se Joon Park*****, and Soo Joong Kim***** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 회전과 크기에 무관한 상관 결과를 얻기 위하여 WCHF-fSDF(wavelet circular harmonic function-filter modulation synthetic discriminant function) 필터를 제안하였다. WCHF-fSDF 필터는 기준영상에 대하여 크기변화된 영상들을 웨이브릿 변환한 후, 이들로부터 추출한 단일 원형고조함수를 학습영상으로 사용하여 합성한 다. 웨이브릿 변환은 입력영상과 웨이브릿 함수와의 상관으로 정의되므로 웨이브릿 변환을 이용한 패턴인식을 하기 위해서는 두 개의 4f 광 상관 시스템이 필요하다. 여기서 입력영상에 필요한 웨이브릿 함수를 제안된 필터의 설계과정에 포함시켜 전체 광 상관 시스템을 하나의 4f 광 상관 시스템으로 대체시켰다. 컴퓨터 모의실험을 통하여 제안된 필터와 기존의 CHF-SDF와 POCHF-SDF(phase-only CHF-SDF) 필터에 대하여 성능을 비교하였다. 모의실험 결과 제안된 필터는 회전과 크기에 무관한 상관 결과를 나타냈으며 기존의 필터보다 우수한 성능을 나타냈다.

*대경전문대학 컴퓨터정보과
Dept. of Comp. & Info. Science, Taekyeung C&D College

**김천전문대학 전파통신과
Dept. of Wave Comm. Kimchon Junior College

***동양대학교 전자 제어 통신공학부
School of Electronic, Control, & Comm. Dongyang University

****제주대학교 전자공학과
Dept. of Electronic Eng., Cheju National University

*****경북대학교 전자전기공학부
School of Electronic & Electrical Eng., Kyungpook National University

論文番號: 97031-0122

接受日字: 1997年 1月 22日

ABSTRACT

In this paper we proposed WCHF-fSDF filter to obtain a rotation and scale-invariant correlation output. WCHF-fSDF filter is synthesized by each single CHF extracted from scale-changed and wavelet transformed images for a referene image as training images. The wavelet transform is defined as the correlation of an input image with a wavelet function. Therefore two 4f optical correlation systems are needed for pattern recognition using wavelet transform. We here include the wavelet function for the input image in the process of the proposed filter design and substitute the two 4f optical correlation system with a single 4f optical correlation system. The Performances of the proposed filter are compared with the conventional CHF-SDF, POCHF-SDF filters through the computer simulation. The results of computer simulation show that the proposed filter has the rotation and scale-invariant correlation output and it has better performances than those of the conventional filters.

I. 서 론

광 패턴 인식 시스템에 관한 연구는 1964년 Vander Lugt가 4f 광 상관 시스템에 복소 공간정합필터를 실현한 후 이에 기초를 둔 필터에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 그러나 크기 및 회전 등의 변형된 입력에 대해서는 상관평면에서 SNR이 현저히 떨어지므로 이러한 문제를 해결하기 위한 여러 가지 방법들이 제안되었다¹⁻⁵.

크기불변 인식을 위하여 Mendelvoic 등이 제안한 MRH 필터는 기준영상을 Mellin 변환시킨 후 Mellin 방사고조성분 중 하나의 고조성분만을 이용하므로 기준영상의 크기에 따라서 상관세기가 달라져 변별력과 SNR이 떨어지는 단점이 있다¹¹. 또한 회전불변 인식을 위하여 Arsenault 등이 제안한 CHF 필터도 무한개의 원형고조성분중에서 하나의 고조성분만을 이용하므로 변별력과 SNR이 떨어진다는¹². SDF 필터는 여러 개의 학습영상을 사용하여 이들 학습영상에 적절한 가중치를 곱한 후 공간영역에서 선형조합하여 합성하며, 학습영상의 선택에 따라서 제한적인 범위에서 크기불변이나 회전불변 특성을 가진다^{13, 14}. 특히 Liang 등은 크기변화와 회전에 무관한 패턴인식을 위하여 기준영상의 크기가 변형된 영상을 학습영상으로 선정한 후 이들의 원형고조합수를 추출하여 SDF로 합성한 CHF-SDF, POCHF-SDF 필터 등을 제안하였지만 유사영상에 대해서는 변별력이 떨어져 오인식하는 문제점이 있다¹⁵.

웨이브릿 변환은 임의의 신호와 웨이브릿 함수와

의 내적으로 주어지며, 이때 웨이브릿 함수는 dc 성분이 0이 되는 허용조건과 주파수 영역에서 대역폭이 제한되어야 하는 규칙성을 만족하여야 한다¹⁶. 이 조건들에 의해 웨이브릿 함수는 대역통과 특성을 가지며 웨이브릿 함수의 종류와 척도모수(scale parameter)의 선정에 따라서 영상의 다양한 특징점 추출이 가능하다. 따라서 웨이브릿 변환된 영상은 특징점이 강조된 형태로 나타나게 되어 광 패턴 인식에 응용할 경우 변별력이 개선될 수 있다. Szu 등은 웨이브릿 변환을 정합필터 형태로 광 상관기에서 실현하였고 특히 Sheng 등이 광 상관 시스템에 적용할 수 있는 광 웨이브릿 정합필터를 제안한 이후 광 웨이브릿 변환을 이용한 패턴인식이 활발히 연구되고 있다¹⁷⁻¹⁹.

본 논문에서는 입력영상의 크기변화와 회전에 무관한 상관출력을 나타내며 우수한 인식능력을 가지는 WCHF-fSDF 필터를 제안하였다. 크기변화와 회전에 무관한 상관출력을 얻기 위하여 기준영상의 크기변화된 영상들을 학습영상으로 선택하고 이들의 웨이브릿 변환된 원형고조합수를 추출한 후 상관점두치가 일정한 범위에 존재하도록 제어할 수 있는 fSDF로 필터를 합성한다¹¹. 웨이브릿 변환은 입력영상과 웨이브릿 함수와의 상관으로 정의되므로 웨이브릿 변환을 이용한 패턴인식을 하기 위해서는 두 개의 4f 광 상관 시스템이 필요하다. 그러나 본 논문에서는 입력영상에 필요한 웨이브릿 함수를 제안된 필터의 설계과정에 포함시켜 전체 광 상관 시스템을 하나의 4f 광 상관 시스템으로 대체시켰으며 이때 사용된 웨이브릿 함수는 Harr 함수이다. 컴퓨터 모의실험

을 통하여 크기변화와 회전된 입력영상의 SNR, 변별력(discrimination capability, DC), 변형감도(distortion sensitivity, DS) 등을 측정하여 기존의 CHF-SDF, POCHF-SDF 필터와 성능을 비교하였다.

II. 제안된 광 웨이브릿 CHF-fSDF 필터

1. 기존의 CHF-SDF 필터

SDF 필터 중에서 ECP-SDF(equal correlation peak SDF) 필터는 하나의 군에 포함되는 모든 기준영상들을 동일 영상으로 인식하고자 할 경우 사용된다. 필터의 임펄스 응답은 각 학습영상에 필터계수를 곱하여 얻으며, 기준영상에 대해 N 개의 서로 다른 크기의 동일 차수 m 를 가지는 원형고조함수를 학습영상으로 사용할 때 필터의 임펄스응답 $h_{CHF-SDF}(x, y)$ 은

$$h_{CHF-SDF}(x, y) = \sum_{k=1}^N c_k f_m^{(k)}(x, y) \quad (1)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 $f_m^{(k)}(x, y)$ 는 k 번째 학습영상의 m 차 원형고조함수를 직교좌표에서 나타낸 것이다. 그리고 필터계수 벡터 \mathbf{c} 는

$$\mathbf{c} = \mathbf{R}^{-1} \mathbf{u}^T \quad (2)$$

로 구하여 진다. 여기서 VIP(vector inner product) 행렬 \mathbf{R} 의 요소는

$$R_{kk} = \max \langle f_m^{(k)}, f_m^{(k)} \rangle \quad (3)$$

$$R_{kl} = \max \langle f_m^{(k)}, f_m^{(l)} \rangle$$

로 표현되며 R_{kk} 는 학습영상 $f_m^{(k)}(x, y)$ 의 자기상관 첨두치를 나타내고, R_{kl} 는 $f_m^{(k)}$ 는 $f_m^{(k)}(x, y)$ 와 $f_m^{(l)}(x, y)$ 의 상호상관 첨두치를 나타낸다. 그리고 제한벡터 \mathbf{u} 는

$$\mathbf{u} = [1 \ 1 \ \dots \ 1] \quad (4)$$

로 표현되는 단위벡터이며, 제한벡터가 1이라는 것은 필터 합성시 사용된 모든 학습영상들을 동일 영상으로 인식한다는 것을 의미한다. 따라서 ECP-SDF 필터함수의 임펄스 응답은 식 (2)에서 구한 필터계수를 식 (1)에 대입해서 구할 수 있으나 상관첨두치는 학습

영상의 에너지분포에 따라서 편차가 크게 나타난다.

2. 웨이브릿 변환

웨이브릿 변환은 신호 $f(x, y)$ 와 딸 웨이브릿 함수 $h_{ab}(x, y)$ 와의 내적으로

$$w_f(a, b, x, y) = \langle f(x, y), h_{ab}(x, y) \rangle \quad (5)$$

와 같이 주어지며 여기서 각형 괄호 $\langle \cdot, \cdot \rangle$ 는 내적을 의미한다. 이때 딸웨이브릿 함수 $h_{ab}(x, y)$ 는 모웨이브릿 함수 $h(x, y)$ 의 척도(scale)와 이동(translation)으로

$$h_{ab}(x, y) = \frac{1}{\sqrt{a_x a_y}} h\left(\frac{x-b_x}{a_x}, \frac{y-b_y}{a_y}\right) \quad (6)$$

와 같이 표현되며 이때 a_x, a_y 는 척도모수이고 b_x, b_y 는 이동모수이다. 식 (5)와 (6)에서 이동모수를 신호에 적용한 웨이브릿 변환은

$$w_f(x, y) = \frac{1}{\sqrt{a_x a_y}} \iint f(x+b_x, y+b_y) h^*\left(\frac{x}{a_x}, \frac{y}{a_y}\right) dx dy \quad (7)$$

$$= f(x, y) \otimes h_a(x, y)$$

으로 나타낼 수 있으며 이는 신호와 웨이브릿 함수와의 상관이다.

여기서

$$h_a(x, y) = \frac{1}{\sqrt{a_x a_y}} h\left(\frac{x}{a_x}, \frac{y}{a_y}\right) \quad (8)$$

이고 \otimes 는 상관자를 나타내며 *는 복소 공액을 나타낸다. 그리고 이것을 주파수 영역에서 표현하면

$$W_f(u, v) = F(u, v) H_a^*(u, v) \quad (9)$$

와 같이 나타낼 수 있으며 여기서 $F(u, v)$ 및 $H_a(u, v)$ 는 각각 $f(u, v)$ 와 $h_a(x, y)$ 의 푸리에 변환을 나타낸다.

3. 제안된 WCHF-fSDF 필터

크기변화와 회전에 무관한 상관출력을 얻기 위하여 기준영상의 크기변화된 영상들을 학습영상으로 선택하고 이들의 웨이브릿 변환된 원형고조함수를

추출한 후 상관침두치가 일정한 범위에 존재하도록 제어할 수 있는 fSDF로 필터를 합성한다. 기준영상 $f(x, y)$ 의 웨이브릿 변환된 영상을 극좌표로 나타낸 $w_f(r, \theta)$ 는

$$w_f(r, \theta) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} w_{f_m}(r) \exp(jm\theta) \quad (10)$$

와 같이 무한개의 원형고조성분을 갖는 함수로 나타낼 수 있다. 여기서 $w_{f_m}(r)$ 는 웨이브릿 변환된 m 차 원형고조함수로서

$$w_{f_m}(r) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} w_f(r, \theta) \exp(-jm\theta) d\theta \quad (11)$$

와 같다. 그래서 웨이브릿 변환된 영상을 사용한 원형고조 필터함수는

$$h_{\text{WCHF}}(r, \theta) = w_{f_m}(r) \exp(jn\theta) \quad (12)$$

와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 n 은 웨이브릿 변환된 원형고조함수의 차수를 나타낸다. 또한 기준영상에 대해 N 개의 웨이브릿 변환된 동일 차수의 원형고조함수들을 학습영상으로 사용하여 fSDF 필터로 합성한 필터의 임펄스 응답은

$$h_{\text{WCHF-fSDF}}(x, y) = \sum_{k=1}^N \alpha_k w_{f_m}(x, y) \quad (13)$$

와 같이 나타낼 수 있으며 여기서 $w_{f_m}(x, y)$ 는 웨이브릿 변환된 k 번째 학습영상의 m 차 원형고조함수를 직교좌표의 공간영역에서 나타낸 것이다. 필터계수 α_k 는 초기값 $\alpha_k^0 = c_0$ 를 정한 후 반복적으로 수행하여 각 학습영상의 상관침두치 c_k 값들의 상대적인 값을 제어하여 구할 수 있다. 필터에 의한 상관출력값은 학습영상과의 내적으로

$$\langle w_{f_m}(x, y), h_{\text{WCHF-fSDF}}(x, y) \rangle = c_k \quad (14)$$

와 같이 표현할 수 있으며 $k=1, 2, \dots, N$ 이다. i 번째 반복 후의 필터계수는

$$\alpha_k^{i+1} = \alpha_k^i + \beta \left\{ c_k - c_0 \left(\frac{m_k^i}{m_0^i} \right) \right\} \quad (15)$$

로 구해진다. 여기서 β 는 감쇄상수로 보통 0.2에서 0.8 사이의 값으로 하며 값의 크기에 따라 수렴속도가 달라지며 본 논문에서는 0.5로 하였다. m_k^i 는 k 번째 학습영상 $w_{f_m}(x, y)$ 와 i 번째 반복으로 구해지는 필터계수 α_k^i 로 구성되는 합성필터와의 원점에서 상관침두치이다. 하나의 4f 광 상관 시스템으로 상관출력을 얻기 위하여 합성필터를 주파수 영역에서 다시 표현하면

$$H_{\text{WCHF-fSDF}}(u, v) = \sum_{k=1}^N \alpha_k W_{f_m}(u, v) \quad (16)$$

와 같이 나타낼 수 있으며 여기서 $W_{f_m}(u, v)$ 는 $w_{f_m}(x, y)$ 의 푸리에 변환이다. 한편 인식하고자 하는 입력영상 $t(x, y)$ 의 웨이브릿 변환을 주파수 영역에서 나타내면 식 (9)로부터

$$W_t(u, v) = T(u, v) H_a^*(u, v) \quad (17)$$

와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 $T(u, v)$ 는 $t(x, y)$ 의 푸리에 변환을 나타낸다. 이 $W_t(u, v)$ 와 $H_{\text{WCHF-fSDF}}(u, v)$ 의 상관결과를 주파수 영역에서 표현한 $O(u, v)$ 는

$$\begin{aligned} O(u, v) &= W_t(u, v) H_{\text{WCHF-fSDF}}^*(u, v) \\ &= T(u, v) H_a^*(u, v) \left[\sum_{k=1}^N \alpha_k W_{f_m}(u, v) \right]^* \\ &= T(u, v) G_{\text{WCHF-fSDF}}^*(u, v) \end{aligned} \quad (18)$$

와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 $G_{\text{WCHF-fSDF}}(u, v)$ 는

$$G_{\text{WCHF-fSDF}}(u, v) = H_a(u, v) \sum_{k=1}^N \alpha_k W_m^{(k)}(u, v) \quad (19)$$

이 되어 정합필터 형태로 설계할 수 있으므로 하나의 4f 광 상관기로 W_f 와 W_t 의 상관을 실현할 수 있음을 알 수 있고 $G_{\text{WCHF-fSDF}}(u, v)$ 를 제안된 WCHF-fSDF 정합 필터라 한다. 본 논문에서 사용한 웨이브릿 함수는 Haar 함수이며 공간 영역에서는

$$h_a(x, y) = \text{rect} \left(\frac{x + \frac{a}{2}}{a} \right) \text{rect} \left(\frac{y - \frac{a}{2}}{a} \right)$$

$$\begin{aligned}
 & + \text{rect}\left(\frac{x-\frac{a}{2}}{a}\right) \text{rect}\left(\frac{y-\frac{a}{2}}{a}\right) \\
 & - \text{rect}\left(\frac{x-\frac{a}{2}}{a}\right) \text{rect}\left(\frac{y-\frac{a}{2}}{a}\right) \\
 & - \text{rect}\left(\frac{x+\frac{a}{2}}{a}\right) \text{rect}\left(\frac{y+\frac{a}{2}}{a}\right)
 \end{aligned} \tag{20}$$

와 같이 나타낼 수 있고 주파수 영역에서는

$$H_a(u, v) = \left(j2 \frac{\sin^2 \pi au}{\pi au}\right) \left(j2 \frac{\sin^2 \pi av}{\pi av}\right) \tag{21}$$

로 표현된다.

III. 컴퓨터 모의 실험

제안한 WCHF-fSDF 필터의 회전 및 크기불변 패턴인식에 대한 성능을 평가하여 기존의 CHF-SDF, POCHF-SDF 필터와 비교하였다. 학습영상은 그림 1 과 같은 256 × 256 화소 크기를 가지는 B737 비행기 영상을 100%에서 130%까지 10% 간격으로 크기변 화시켜 사용하였으며, 입력영상은 회전 및 크기변화 된 참영상과, 참영상과 형태가 유사한 DC10 형태의 비행기 영상을 사용하였으며, 이를 그림 2에 나타내 었다. 그림 2(a)는 100%, 120% 크기의 참영상, (b)는 110%, 130% 크기의 참영상, (c)는 100%(90°), 120%

(180°) 크기 및 회전변화된 참영상과, (d)는 105% (180°), 125%(270°) 크기 및 회전변화된 참영상을 거 짓영상과 한 평면에 두어 나타낸 것으로, 여기서 참 영상은 좌측상단과 우측하단에 위치하고 거짓영상은 나머지영역에 위치한다.

그림 2(a)와 (b)에 대한 각 필터들의 상관결과는 그 립 3과 그림 4에서 나타났다. 이들로부터 기존의 필 터는 침두치간의 편차가 크고 부엽이 넓게 나타나 인 식능력이 떨어지며 제안된 WCHF-fSDF 필터는 기존 의 필터보다 상관침두치간의 편차와 부엽이 작게 나 타나 양호한 인식능력을 나타냄을 알 수 있다. 그림 2(c)에 대한 각 필터들의 상관결과는 그림 5에서와 같 다. 여기서 CHF-SDF 필터의 상관결과는 회전되지 않은 거짓영상의 상관침두치가 회전된 참영상의 상 관침두치와 거의 비슷하게 나타나 거짓영상을 오인 식하며, POCHF-SDF 필터는 100%(90°) 크기 및 회 전변화된 참영상의 상관침두치가 거짓영상의 침두치

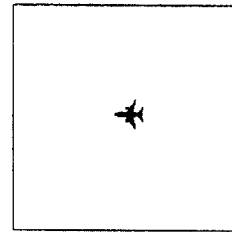


그림 1. 기준영상
Fig. 1. Reference image.

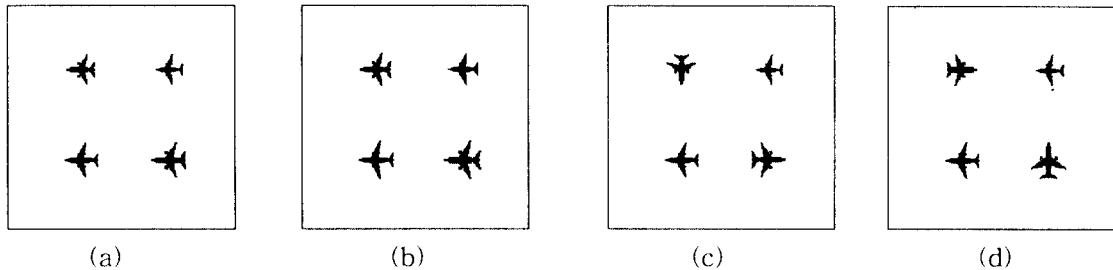


그림 2. (a)100%, 120% (b)110%, 130% (c)110%(90°), 130%(180°) (d)105%(180°), 125%(270°) 의 크기변 화와 회전된 참(좌상, 우하) 및 거짓영상들로 구성된 입력영상

Fig. 2. Input images consisting of the true(upper left and lower right) and false class images with various sizes and rotations (a)100% and 120%, (b)110% and 130%, (c)110%(90°) and 130%(180°), and (d) 105%(180°) and 125%(270°).

보다 낮게 나타나 촬영상을 인식할 수 없음을 알 수 있다. 그러나 제안된 WCHF-fSDF 필터는 촬영상에 대하여 첨예한 상관첨두치를 나타내며, 유사영상에 대해서도 우수한 구별인식능력이 있음을 알 수 있다. 그림 6은 그림 2(d)에 대한 각 필터들의 상관결과를 나타낸 것으로, 기존의 필터에 대한 상관결과는 거짓영상의 상관첨두치가 촬영상의 상관첨두치와 비슷하거나 높게 나타나 거짓영상을 오인식할 가능성이 있으나 WCHF-fSDF 필터의 상관결과는 학습되지않은 촬영상에 대해서도 첨예한 상관첨두치를 나타내어 우수한 인식능력이 있음을 알 수 있다.

컴퓨터 모의 실험 결과 기존의 CHF-SDF, POCHF-SDF 필터는 왜곡이 없는 학습된 영상만을 입력으로

사용했을 경우에는 인식이 가능하지만 유사영상, 학습되지않은 촬영상 및 회전된 영상을 한 평면에 두었을 경우에는 인식능력이 현저히 떨어짐을 알 수 있다. 그러나 제안된 WCHF-fSDF 필터는 학습된 촬영상의 회전 및 크기변화된 영상에 대하여 우수한 인식능력을 나타냈으며, 또한 학습되지않은 촬영상에 대해서도 기존의 필터보다 우수한 인식능력을 나타냈다.

필터의 성능을 정량적으로 비교하기 위하여 정규화된 자기상관 첨두치, SNR, DC와 DS 등을 사용하였다. 신호대잡음비 SNR는

$$SNR(dB) = 10 \log \frac{\gamma_{max}}{N_{rms}} \quad (22)$$

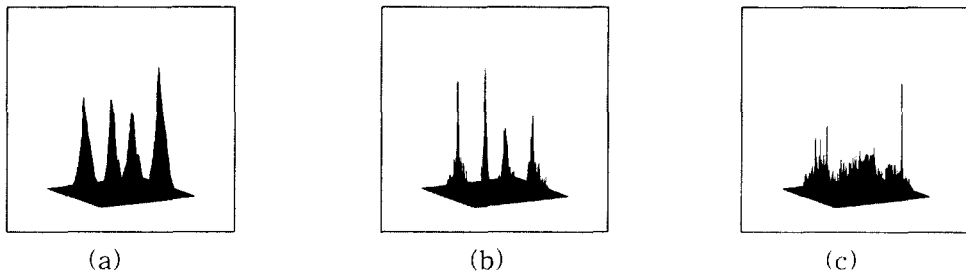


그림 3. 그림 2(a)에 대한 (a)CHF-SDF, (b)POCHF-SDF, (c)WCHF-fSDF 필터의 상관출력

Fig. 3. Correlation output of (a)CHF-SDF, (b)POCHF-SDF, and (c)WCHF-fSDF filter for fig. 2(a).

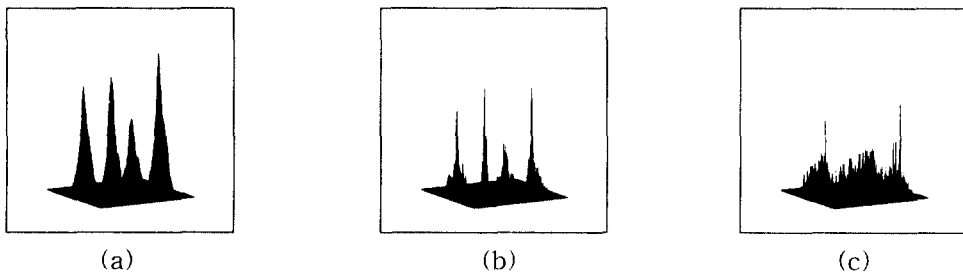


그림 4. 그림 2(b)에 대한 (a)CHF-SDF, (b)POCHF-SDF, (c)WCHF-fSDF 필터의 상관출력

Fig. 4. Correlation output of (a)CHF-SDF, (b)POCHF-SDF, and (c)WCHF-fSDF filter for fig. 2(b).

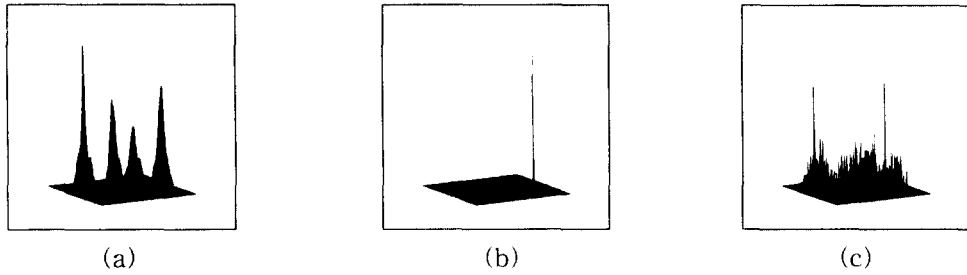


그림 5. 그림 2(c)에 대한 (a)CHF-SDF, (b)POCHF-SDF, (c)WCHF-fSDF 필터의 상관출력
 Fig. 5. Correlation output of (a)CHF-SDF, (b)POCHF-SDF, and (c)WCHF-fSDF filter for fig. 2(c).

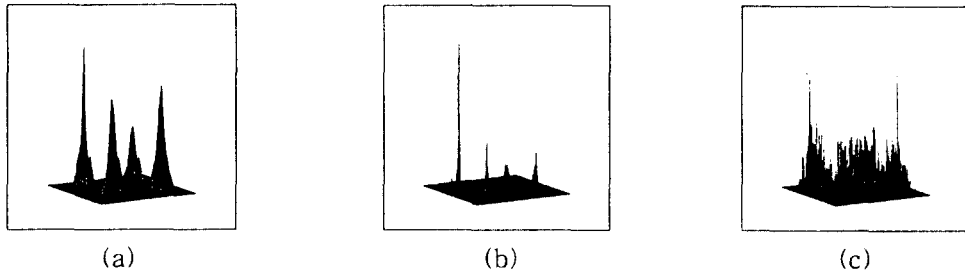


그림 6. 그림 2(d)에 대한 (a)CHF-SDF, (b)POCHF-SDF, (c)WCHF-fSDF 필터의 상관출력
 Fig. 6. Correlation output of (a)CHF-SDF, (b)POCHF-SDF, and (c)WCHF-fSDF filter for fig. 2(d).

와 같이 정의된다. 여기서 r_{max} 는 자기상관첨두치이고 N_{rms} 는 자기상관첨두치의 50%이하 값들의 실효치의 합이다. 이는 부엽의 크기와 연관되어 SNR이 큰 값일수록 부엽이 작다는 것을 의미한다. 변별력 DC는

$$DC = \frac{r_{auto-min} - r_{cross-max}}{r_{auto-max}} \quad (23)$$

와 같이 정의된다. 여기서 $r_{auto-max}$ 는 자기상관첨두치, $r_{auto-min}$ 는 자기상관최소치와 $r_{cross-max}$ 는 상호상관첨두치이다. 변형감도 DS는

$$DS = \frac{r_{auto-max} - r_{auto-min}}{r_{auto-max} + r_{auto-min}} \quad (24)$$

와 같이 정의된다. DS는 특정신호의 변형된 신호가

입력되었을 때 이들을 같은 신호로 인식하는지를 나타내는 척도이다.

표 1은 학습영상에 대한 각 필터들의 정규화된 상관첨두치를 나타낸 것이며 제안된 필터의 편차가 기존의 필터보다 작아서 패턴인식에 유리하다는 것을 알 수 있다. 각 필터에 대한 SNR은 표 2에서와 같으며 CHF-SDF 필터의 경우에는 11.05~11.59dB, POCHF-SDF 필터의 경우에는 14.70~16.70dB, WCHF-fSDF 필터의 경우에는 15.00~16.20dB로 나타났다. 여기서도 제안된 필터가 기존의 필터보다 우수한 결과를 나타내는 것을 알 수 있다. DS와 DC에 대한 각 필터의 측정결과는 표 3에서와 같다. 여기서 CHF-SDF, POCHF-SDF 필터의 DS는 각각 0.19와 0.56을 나타내며 WCHF-fSDF 필터는 0.042를 나타내므로 변형

된 촬영상에 대한 인식능력은 제안된 필터가 기존의 필터보다 매우 우수함을 알 수 있다. 그리고 DC를 측정 한 결과 기존의 CHF-SDF, POCHF-SDF 필터는 각각 0.06과 -0.02로 나타나 변별력이 매우 낮았으나 제안된 WCHF-fSDF 필터의 DC는 0.42로 나타나 우수한 변별력을 나타내는 것을 알 수 있다. 따라서 제안된 필터가 기존의 필터보다 침투치의 편차, SNR, DS, DC 등의 성능평가에서 우수하게 나타나 유사물체를 구별인식하는 능력과 회전 및 크기변화된 영상의 인식능력이 우수함을 확인할 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 회전 및 크기변화된 영상에 대하여 우수한 상관특성을 나타내는 WCHF-fSDF 필터를 설계하였으며 기존의 필터와 성능을 비교 분석하였다. 제안된 필터는 영상의 특징점 추출이 용이한 웨이브릿 변환을 이용하였으며 사용된 웨이브릿 함수는 Haar 웨이브릿 함수이다. 학습영상은 크기가 변형된 B737 비행기 영상을 사용했고 입력영상은 학습된 촬영상, 학습되지않은 촬영상, 이들의 회전 및 크기변화된 영상과 거짓영상을 한 평면에 두어 사용했다. 시뮬레이션 결과 제안된 필터는 유사영상의 구별인식능력과 회전 및 크기변화된 촬영상에 대한 인식능력이 기존의 필터보다 우수하게 나타남을 확인하였다.

표 1. 각 필터에 대한 정규화된 상관첨두치

Table 1. Normalized correlation peak values for each filter.

Inputs		Filters	CHF-SDF	POCHF-SDF	WCHF-fSDF
Trained true-class images	B737 _{100%}		0.60	0.78	0.86
	B737 _{110%}		0.70	1.00	1.00
	B737 _{120%}		0.80	0.91	0.95
	B737 _{130%}		1.00	0.70	0.82
Nontrained true-class images	B737 _{105%}		0.70	0.91	0.60
	B737 _{115%}		0.80	1.13	0.87
	B737 _{125%}		0.90	0.92	0.60
False-class images	DC10 _{100%}		0.30	0.35	0.42
	DC10 _{110%}		0.40	0.35	0.37
	DC10 _{120%}		0.70	0.79	0.35
	DC10 _{130%}		0.80	1.11	0.35

표 2. 각 필터에 대한 SNR(단위: dB)

Table 1. SNR for each filter(unit: dB).

Inputs		Filters	CHF-SDF	POCHF-SDF	WCHF-fSDF
Trained true-class images	B737 _{100%}		11.59	16.14	15.66
	B737 _{110%}		11.47	16.71	16.17
	B737 _{120%}		11.14	15.97	16.22
	B737 _{130%}		11.05	14.69	15.69
Nontrained true-class images	B737 _{105%}		11.57	16.68	14.14
	B737 _{115%}		11.35	17.07	15.52
	B737 _{125%}		11.21	15.91	13.82
False-class images	DC10 _{100%}		11.67	14.79	13.72
	DC10 _{110%}		11.63	14.58	13.19
	DC10 _{120%}		11.61	15.83	12.53
	DC10 _{130%}		11.54	16.50	12.37

표 3. 각 필터에 대한 DS 와 DC

Table 3. DS and DC for each filter.

Performances		Filters	CHF-SDF	POCHF-SDF	WCHF-fSDF
DS			0.19	0.56	0.042
DC			0.06	-0.02	0.42

참 고 문 헌

1. D. Mendlovic, E. Marom, and N. Konforti, "Shift and scale invariant pattern recognition using Mellin radial harmonics," *Optics Comm.* vol. 67, no. 3, pp. 172-176, 1988.
2. Y. Hsu and H. H. Aresenault, "Optical pattern recognition using circular harmonic expansion," *Appl. Opt.* vol. 21 no. 22, pp. 4016-4019, 1982.
3. D. Casasent, "Unified synthetic discriminant function computational formulation," *Appl. Opt.*, vol. 23, no. 10, pp. 1620-1627, 1984.
4. D. Casasent and W. T. Chang, "Correlation synthetic discriminant functions," *Appl. Opt.*, vol. 25, no. 14, pp. 2343-2350, 1986.
5. Liang and Dalsgaard "Synthetic circular-harmonic phase-only filter for shift, rotation, and scaling-invariant correlation," *Appl. Opt.* vol. 34, no. 32, pp. 7527-7531, 1995.
6. Y. Sheng, D. Roberge, and H. Szu, "Optical wavelet transform," *Opt. Eng.* vol. 31, no. 9, pp. 1840-1845, 1992.
7. 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.

