

# 잡음영상의 크기와 회전불변 패턴인식을 위한 광 웨이블릿 필터

(Optical wavelet filter for Rotation and  
Scale-Invariant Pattern Recognition of images  
with Noise)

이 승 희\*  
(Seung Hee Lee)

**요 약** 잡음을 갖는 영상에 크기와 회전불변 패턴인식을 위한 광 웨이블릿 CHF-fSDF((wavelet circular harmonic function-filter modulation synthetic discriminant function, WCHF-fSDF) 필터를 제안하였다. 웨이블릿 CHF-fSDF 필터는 기준영상에 대하여 크기변화된 영상들을 웨이블릿 변환한 후, 이들로부터 추출한 단일 원형고조함수를 학습영상으로 사용하여 합성한다. 제안된 광 웨이블릿 CHF-fSDF 필터는 정합필터의 형태로서 전통적인 4f 광 상관기에 적용할 수 있도록 하였다. 컴퓨터 모의실험을 통하여 제안된 필터는 크기변화와 회전에 무관한 상관출력을 나타내며 특히 잡음환경하에서 유용함을 확인하였다.

**핵심주제어** : 광 신호처리, 웨이블릿변환, 패턴인식

**Abstract** For scale and rotation invariant pattern recognition of images with noise, an optical wavelet CHF-fSDF filter is proposed. Wavelet CHF-fSDF filter is synthesized by each single CHF extracted from scale-changed and wavelet transformed images for a referene image as training images. The proposed optical wavelet CHF-fSDF filter is the type of the matched filter so that it can use the structure of 4f optical correlation system. The results of computer simulation show that the proposed filter has the rotation and scale-invariant correlation output and it is useful in the noisy input.

**Key Words** : Optical Signal Processing, Wavelet Transform, Pattern Recognition

## 1. 서 론

광 패턴 인식 시스템에 관한 연구는 1964년 Vander Lugt가 4f 광 상관 시스템에 복소 공간정합필터를 실현한 후 이에 기초를 둔 여러 가지 필터들에 대한 연

구가 활발히 진행되어 왔다. 그 중 크기불변 인식을 하기 위하여 MRH(Mellin radial harmonics) 필터가, 회전불변 인식을 위하여 CHF(circular harmonic function) 필터가 제안 되었으며, 여러 개의 학습영상들로 합성된 SDF 필터로 크기나 회전불변 인식을 하는 방법이 제안 되었고, 그 후 크기와 회전불변 패턴

\* 대경대학 인터넷하이테크계열

인식을 동시에 하는 CHF-SDF, POCHF-SDF 필터 등이 제안되었다<sup>(1-6)</sup>.

크기불변 패턴인식을 위하여 Mendelvoic 등이 제안한 MRH 필터는 기준영상을 Mellin 변환시킨 후 Mellin 방사 고조성분 중 하나의 고조성분만을 이용하므로 기준영상의 크기에 따라서 상관세기가 달라져 인식능력과 신호대잡음비가 떨어지는 단점이 있다<sup>[1]</sup>. 또한 회전불변 패턴인식을 위하여 Arsenault 등이 제안한 CHF 필터도 여러 개의 원형고조성분중에서 하나의 고조성분만을 이용하므로 인식능력과 신호대잡음비가 떨어지는 단점이 있다<sup>[2]</sup>. SDF 필터는 여러 개의 학습영상을 사용하여 이들 학습영상에 적절한 가중치를 곱한 후 공간영역에서 선형조합하여 합성하며, 학습영상의 선택에 따라서 제한적인 범위에서 크기불변이나 회전불변 특성을 가진다<sup>[3,4]</sup>. 한편 Liang 등은 크기변화와 회전에 무관한 패턴인식을 위하여 기준영상의 크기가 변형된 영상을 학습영상으로 선정한 후 이들의 원형고조함수를 추출하여 설계한 CHF-SDF, POCHF-SDF 필터를 제안하였지만 유사 영상에 대해서는 인식능력이 떨어지며 오인식하는 단점을 여전히 가지고 있다<sup>[5]</sup>.

웨이블릿 변환은 80년대 중반 이후 신호처리분야에서 관심의 대상이 되기 시작했으며 Daubechie와 Mallat 등이 활발히 연구하였다. 웨이블릿 변환은 임의의 신호와 웨이블릿 함수와의 내적으로 주어지며, 이때 웨이블릿 함수는 dc 성분이 0이 되는 허용조건(admissible condition)과 주파수 영역에서 대역폭이 제한되어야 하는 규칙성(regularity)을 만족하여야 한다<sup>[6]</sup>. 이 조건들에 의해 웨이블릿 함수는 대역통과 특성을 가지며 웨이블릿 함수의 종류와 척도모수(scale parameter)의 선정에 따라서 영상의 다양한 특징점 추출이 가능하다. 따라서 웨이블릿 변환된 영상은 특징점이 강조된 형태로 나타나게 되어 광 패턴 인식에 응용할 경우 변별력이 개선될 수 있다. Szu 등은 웨이블릿 변환을 정합필터 형태로 광 상관기에서 실현하였고 특히 Sheng 등이 광 상관 시스템에 적용할 수 있는 광 웨이블릿 정합필터(optical wavelet matched filter, OWMF)를 제안한 이후 광 웨이블릿 변환을 이용한 패턴인식이 활발히 연구되고 있다<sup>[7-9]</sup>.

본 논문에서는 잡음을 가지는 영상의 크기변화와 회전에 무관한 상관출력을 나타내며 우수한 인식능력을 가지는 웨이블릿 CHF-fSDF 필터를 제안하였다. 크기변화와 회전에 무관한 상관출력을 얻기 위하여

기준영상의 크기변화된 영상들을 학습영상으로 선택하고 이들의 웨이블릿 변환시켜 원형고조함수를 추출한 후 상관첨두치가 일정한 범위에 존재하도록 제어할 수 있는 fSDF로 필터를 합성한다<sup>[10,11]</sup>. 웨이블릿 변환은 입력영상과 웨이블릿 함수와의 상관으로 정의되므로 웨이블릿 변환을 이용한 패턴인식을 하기 위해서는 두 개의 4f 광 상관 시스템이 필요하다. 그러나 본 논문에서는 입력영상에 필요한 웨이블릿 함수를 제안된 필터의 설계과정에 포함시켜 전체 광 상관 시스템을 하나의 4f 광 상관 시스템으로 대체시켰으며 이때 사용된 웨이블릿 함수는 Harr 함수이다. 따라서 하나의 4f 광 상관 시스템으로 웨이블릿 변환된 입력영상의 패턴인식이 가능하게 된다. 컴퓨터 모의실험을 통하여 잡음을 갖는 크기변화와 회전된 입력영상의 신호대잡음비, 변별력(discrimination capability, DC), 변형감도(distortion sensitivity, DS) 등을 측정하여 기존의 CHF-SDF, POCHF-SDF 필터와 성능을 비교하였다.

## II. 제안된 광 웨이블릿 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  $m$ 을 가지는 원형고조함수를 학습영상으로 사용할 때 필터의 임펄스응답  $h_{\text{CHF-SDF}}(x, y)$ 는

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

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

$$\begin{aligned} R_{kk} &= \max \langle f_m^{(k)}, f_m^{(k)} \rangle \\ R_{kl} &= \max \langle f_m^{(k)}, f_m^{(l)} \rangle \end{aligned} \quad (3)$$

로 표현되며  $R_{kk}$ 는 학습영상  $f_m^{(k)}(x, y)$ 의 자기상관 첨두치를 나타내고,  $R_{kl}$ 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 학습영상의 에너지분포에 따라서 편차가 크게 나타난다.

## 2. 웨이블릿 변환

웨이블릿 변환은 영상분해, 데이터 압축, 특징점 추출 등에 많이 이용되어 왔으며, 광 웨이블릿 변환은 천이 불변 특성이 있어 광 패턴인식에 이용되고 있다. 웨이블릿 변환은 신호  $f(x, y)$ 와 딸 웨이블릿 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  $\langle, \rangle$ 는 내적을 의미한다. 이때 딸웨이블릿 함수  $h_{ab}(x, y)$ 는 모웨이블릿 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 웨이블릿 변환은

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

으로 나타낼 수 있으며 이는 신호와 웨이블릿 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

잡음을 갖는 영상의 크기변화와 회전에 무관한 상관출력과 우수한 인식능력을 나타내는 웨이블릿 CHF-fSDF 필터를 제안하였다. 크기변화와 회전에 무관한 상관출력을 얻기 위하여 기준영상의 크기변화된 영상들을 학습영상으로 선택하고 이들을 웨이블릿 변환시켜 원형고조함수를 추출한 후 상관첨두치가 일정한 범위에 존재하도록 제어할 수 있는 fSDF로 필터를 합성한다<sup>(11)</sup>. 그리고 입력영상의 웨이블릿 변환에 필요한 웨이블릿 함수를 필터 설계시에 포함시켜, 하나의 4f 광 상관 시스템으로 상관결과를 얻을 수 있도록 하였다.

기준영상  $f(x, y)$ 의 웨이블릿 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 웨이블릿 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 웨이블릿 변환된 영상을 사용한 원

형고조 필터함수는

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

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

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

와 같이 나타낼 수 있으며 여기서  $w_{f_m}^{(k)}(x, y)$ 는 웨이블릿 변환된  $k$ 번째 학습영상의  $m$ 차 원형고조함수를 직교좌표의 공간영역에서 나타낸 것이다. 필터계수  $\alpha_k$ 는 초기값  $\alpha_k^0 = \alpha_0$ 를 정한 후 반복적으로 수행하여 각 학습영상의 상관점두치  $\alpha_k$  값들의 상대적인 값을 제어하여 구할 수 있다. 필터에 의한 상관출력값은 학습영상과의 내적으로

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

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  $\beta$ 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  $w_{f_m}^{(k)}(x, y)$ 와  $i$ 번째 반복으로 구해지는 필터계수  $\alpha_k^i$ 로 구성되는 합성필터와의 원점에서 상관점두치이다. 하나의 4f 광 상관 시스템으로 상관출력을 얻기위하여 합성필터를 주파수 영역에서 다시 표현하면

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

와 같이 나타낼 수 있으며 여기서  $W_{f_m}^{(k)}(u, v)$ 는  $w_{f_m}^{(k)}(x, y)$ 의 푸리에 변환이다. 한편 인식하고자 하는 입력영상  $t(x, y)$ 의 웨이블릿 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

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

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 웨이블릿 CHF-fSDF 정합필터라 한다.

본 논문에서 사용한 웨이블릿 함수는 Haar 함수이며 이 함수의 적절한 척도모수를 찾아서 잡음을 가지는 영상인식에 적용하였다. 공간 영역에서 2-D Haar 웨이블릿 함수는

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

와 같이 나타낼 수 있고 주파수 영역에서 2-D Haar

웨이블릿 함수는

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

로 표현된다.

### III. 컴퓨터 모의 실험

제안한 웨이블릿 CHF-fSDF 필터의 크기와 회전 불변 패턴인식에 대한 성능을 평가하기 위해 기존의 CHF-SDF, POCHF-SDF 필터 등과 DR, SNR 및 DS 를 비교하였다. 이들 필터를 합성할 때 사용한 기준 영상은 그림 1과 같은 B737 형태의 비행기 영상이며 학습영상은 기준영상을 100%에서 130%까지 10% 간격으로 크기변화시켜 256×256 화소 크기로 만든 영상이다. 필터들의 성능을 비교하기 위해 필터를 합성할 때 사용한 학습영상들 외에 학습영상으로 사용하지 않은 형태의 비행기 영상들 및 구별인식을 위해 인식하지 않고자 하는 DC10 형태의 비행기 영상을 크기와 회전변화시켜 입력영상으로 사용하였다. 따라서 인식하고자 하는 B7373 형태의 비행기 영상을 참 (true class) 영상으로, 인식하지 않고자 하는 DC10 형태의 비행기를 거짓 (false class) 영상으로 하였다. 또한 잡음에 대한 성능을 측정하기 위해 무작위 잡음을 10%까지 첨가하여 시험하였으며 웨이블릿 함수의 척도모수를 변화시키면서 기존의 필터와 제안한 필터의 성능을 비교하였다. 이때 사용한 원형고조함수의 차수는 2차이고 전개의 중심은 (129,129)이다. 웨이블릿 함수는 Haar 웨이블릿 함수로 척도모수를 1에서 5까지 변화시키면서 최적의 척도모수를 구하였다. 잡음을 가지는 크기 및 회전불변 패턴인식에 대한 성능을 확인하기 위하여 사용한 입력영상들을 그림 2에 나타냈다. 이들은 구별인식을 위해 거짓영상들을 기준영상과 동일평면에 두었으며, 기준영상의 100%, 110%, 120%, 130%의 크기변화되고 동시에 이들이 90°, 180°, 270° 등으로 회전된 영상과 학습되지 않은 105%, 115%, 125%의 크기변화되고 동시에 90°, 180°, 270° 등으로 회전된 영상을 사용하였다. 이들 입력영상에 10%의 무작위 잡음을 첨가한 영상들은 그림 3에 나타냈다.

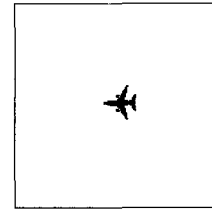


그림 1. 기준영상으로 사용한 영상  
Fig. 1. The reference image.

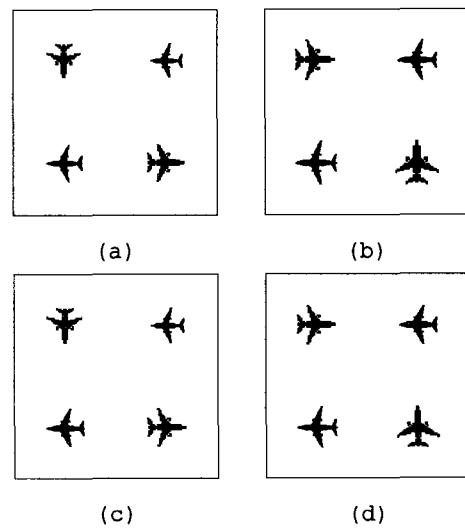
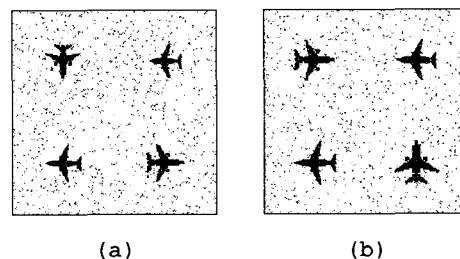


그림 2. (a) 100%(90°), 110%(180°) (b) 120%(180°), 130%(270°) (c) 105%(90°), 115%(180°) (d) 115%(180°), 125%(270°) 크기변화와 회전된 참(좌상,우하) 및 거짓영상들

Fig. 2. The true(upper left and lower right) and false class images of various sizes and rotations (a) 100%(90°), 110%(180°) (b) 120%(180°), 130%(270°) (c) 105%(90°), 115%(180°) (d) 115%(180°), 125%(270°).



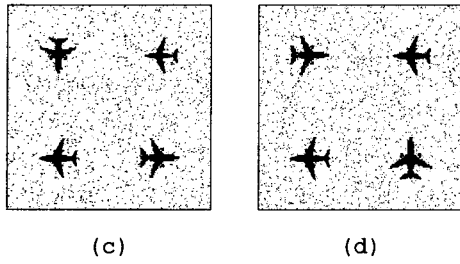


그림 3. (a) 그림 2(a) (b) 그림 2(b) (c) 그림 2(c) (d) 그림 2(d)에 10% 무작위 잡음을 첨가한 촬영상과 거짓영상들

Fig. 3. The true and false class images of (a) Fig. 2(a), (b) Fig. 2(b), (c) Fig. 2(c), and (d) Fig. 2(d) with 10% random noise.

한편 제안된 필터와 기존의 필터와의 성능을 정량적으로 비교하기 위하여 SNR, DC와 DS를 사용하였다. 신호대잡음비 SNR는

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

와 같이 정의된다. 여기서  $r_{\max}$ 는 자기상관첨두치이고  $N_{\text{rms}}$ 는 자기상관첨두치의 50%이하 값들의 실효치의 합이다. 변별력 DC는

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

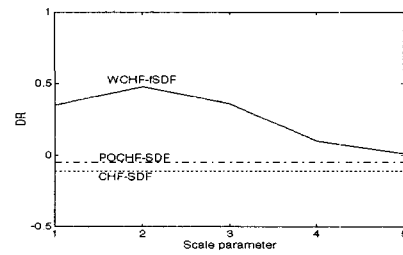
와 같이 정의된다. 여기서  $r_{\text{auto-max}}$ 는 자기상관첨두치,  $r_{\text{auto-min}}$ 는 자기상관최소치와  $r_{\text{cross-max}}$ 는 상호상관첨두치이다. 변형감도 DS는

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

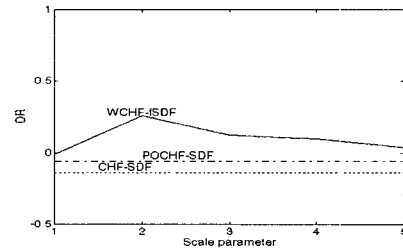
와 같이 정의된다.

그림 4에서는 척도모수 변화에 따른 변별력 DR을 나타내고 있다. 여기서 기존의 CHF-SDF 및 POCHF-SDF 필터는 웨이블릿을 이용한 필터가 아니므로 변별력은 일정한 값으로 표현되고 WCHF-fSDF 필터는 척도모수 변화에 따라 변별력이 변함을 알 수 있는데 그림 4(a)는 잡음이 첨가되지 않은 경우이고

그림 4(b)는 10%의 잡음이 있는 경우이다. 그림 4에서 잡음이 첨가되지 않거나 첨가된 모든 경우에 대하여 척도모수가 2일 때 각각 우수한 결과를 보이고 있으며 3이상의 값에서는 DR이 저하됨을 알 수 있다. 이 결과는 기존의 필터보다 우수함을 알 수 있으며, 특히 기존의 CHF-SDF 및 POCHF-SDF 필터 등은 DR이 음의 값을 가져 구별인식할 수 없음을 나타내고 있다.



(a)



(b)

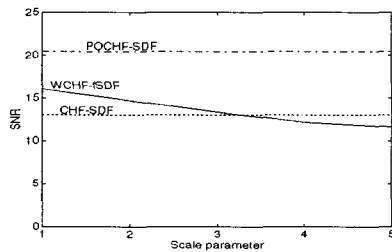
그림 4. 척도모수에 대한 (a) 잡음이 없을 경우 및 (b) 10%의 무작위 잡음이 있을 경우의 변별력

Fig. 4. DR as a function of the scale parameter in case of (a) no additive noise and (b) 10% random noise.

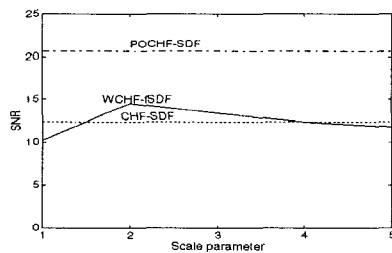
척도모수 변화에 대한 SNR을 그림 5에 나타냈으며, 그림 4에서와 같이 CHF-SDF 및 POCHF-SDF는 척도모수에 관계없이 일정한 값을 가진다. 그러나 웨이블릿을 이용한 WCHF-fSDF 필터는 그림 5(a)에서 모든 잡음이 없을 경우 척도모수가 1일 때 우수한 SNR을 가지며 척도모수가 증가할 수록 떨어지는 반면 그림 5(b)에서와 같이 10%의 무작위 잡음이 존재하는 경우는 척도모수가 2에서 좋아짐을 알 수 있다. 여기서도 WCHF-fSDF 필터가 기존의 필터들에 비해 비교적 좋은 결과를 보여 주고 있다.

그림 6에서 나타낸 것은 척도모수의 변화에 따른

10%까지의 잡음이 있는 영상에 대한 변형감도이다. 변형감도는 그 값이 적을수록 좋으므로 기존의 CHF-SDF, POCHF-SDF 필터는 특성이 아주 나쁘며, 제안된 WCHF-fSDF 필터는 척도모수가 1 일 때 가장 좋은 결과를 보여주고 있다. 그림 4, 5 및 6으로부터 웨이블릿을 이용한 제안된 필터의 크기 및 회전 불변 패턴인식에 대한 평가결과를 종합해 보면 잡음이 없는 학습된 참영상과 잡음이 있거나 학습되지 않은 참영상까지 고려할 경우 척도모수가 2일 때 가장 우수한 성능을 나타낸다.



(a)



(b)

그림 5. 척도모수에 대한 (a) 잡음이 없을 경우 및 (b) 10%의 무작위 잡음이 있을 경우의 SNR

Fig. 5. SNR as a function of the scale parameter in case of (a) no additive noise and (b) 10% random noise.

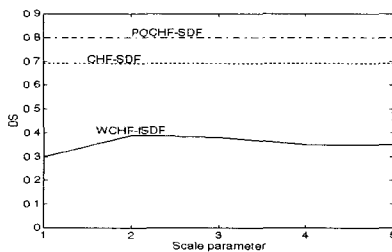


그림 6. 척도모수 변화에 따른 DS

Fig. 6. DS as a function of the scale parameter.

척도모수가 2일 때 WCHF-fSDF 필터와 크기변화 및 회전된 입력영상들과의 상관결과는 그림 7에서와 같다. 그림 7(a)와 (b)는 학습된 참영상과의 상관결과로써 그림 7(a)는 잡음이 없는 크기변화와 회전된 참영상과 거짓영상이 동일평면에 존재하는 영상인 그림 2(b)와의 상관결과이고 그림 7(b)는 10% 잡음이 있을 때 참 및 거짓영상이 동일평면에 있는 그림 3(b)와의 상관결과이며, 그림 7(c)와 (d)는 학습되지 않은 참영상에 대한 상관결과로써 그림 7(c)는 잡음이 없는 참영상과 거짓영상이 동일평면에 있는 그림 2(c)와의 상관결과이고 그림 7(d)는 10% 잡음이 있을 때 참영상과 거짓영상이 같이 있는 그림 3(c)와의 상관결과이다. 이들로 부터 학습되지 않은 참영상에 대해서도 10%까지의 무작위 잡음에 대해 비교적 양호한 상관결과를 나타내는 것을 볼 수 있다.

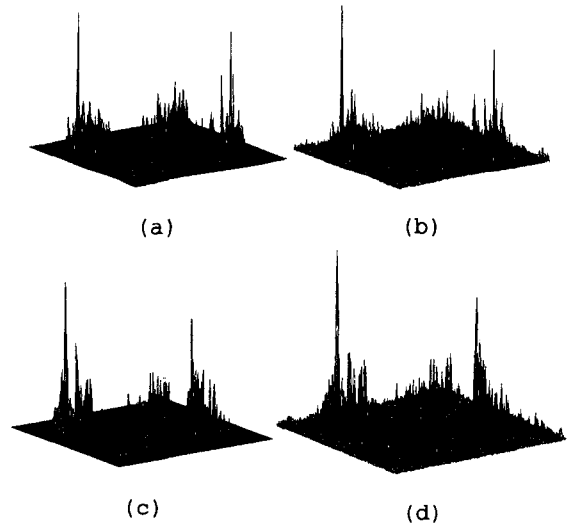


그림 7. 척도모수  $a$  가 2일때 WCHF-fSDF 필터와 (a) 그림 2(b) (b) 그림 3(b) (c) 그림 2(c) (d) 그림 3(c)

Fig. 7. The correlation results between WCHF-fSDF filter and (a) Fig. 2(b), (b) Fig. 3(b), (c) Fig. 2(c), and (d) Fig. 3(c).

#### IV. 결론

본 논문에서는 회전 및 크기변화된 영상에 대해 우수한 상관특성을 나타내며 유사영상에 대해서도 우수한 인식능력을 나타내는 WCHF-fSDF 필터를 설계하

였으며 기존의 CHF-SDF, POCHF-SDF 필터 등과 성능을 비교 분석하였다. 제안된 필터는 영상의 특징 점 추출이 용이한 웨이블릿 변환을 이용하였으며 사용된 웨이블릿 함수는 Haar 웨이블릿 함수이다. 학습영상은 기준영상에 대하여 크기가 변형된 B737 비행기 영상을 사용했고 입력영상은 잡음이 없는 학습된 촬영상과 잡음이 있거나 학습되지않은 촬영상의 크기변화 및 회전된 영상과 거짓영상을 한 평면에 두어 사용했다. 시뮬레이션 결과 제안된 필터는 유사영상의 구별인식능력과 크기변화 및 회전된 촬영상에 대한 인식능력이 기존의 필터보다 우수하게 나타남을 확인하였고 특히 잡음이 존재하는 환경하에서 우수한 결과를 나타냈다.

### 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.

[8] Y. Cheng, T. Liang, "Rotational invariant pattern recognition using a composite circular harmonic

and 2D isotropic Mexican-hat wavelet filter," *Optics Comm* vol. 112, pp. 9-15, 1994.

[9] H. Szu, Y. Sheng, and J. Chen, "Wavelet transform as a bank of the matched filters," *Appl. Opt.*, vol. 31, no. 17, pp. 3267-3277, 1992.

[10] D. A. Jared and D. J. Ennis, "Inclusion of filter modulation in synthetic discriminant function construction," *Appl. Opt.*, vol. 28, no. 22, pp. 4835-4839, 1989.

[11] S. H. Lee, J. W. Kim, H. W. Lee, D. S. Noh, S. J. Kim, "Wavelet CHF-SDF filter for distortion-invariant pattern recognition," *SPIE*, vol. 2898, Electronic imaging and multimedia system, pp. 238-248, 1996.



이 승 희 (Seung Hee Lee)

1990년 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
1992년 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)  
1997년 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1994년 ~ 현재 대경대학 인터넷하이테크계열 부교수