

碩士學位論文

光 웨이브릿 SDF
필터를 이용한 한글文字 認識

濟州大學校 大學院

電子工學科



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

金 龍 奎

1995 年 12 月

光 웨이브릿 SDF
필터를 이용한 한글文字 認識

指導教授 都 良 會
金 龍 奎

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

1995年 12月

金龍奎의 工學碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 고 상 태 
委 員 金 慶 淵 
委 員 都 良 會 

濟州大學校 大學院

1995年 12月

Korean Character Recognition Using an Optical Wavelet SDF Filter

Yong-Gyu Kim

(Supervised by professor Yang-Hoi Doh)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRONIC ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1995. 12.

목 차

Summary	1
I. 서 론	2
II. 공간정합필터	6
1. 전통적인 정합필터	10
2. 위상필터	11
3. SDF 필터	12
III. 한글의 구조적 특징	15
IV. 웨이브릿 정합필터	18
1. 웨이브릿 변환	18
2. 기존의 광 웨이브릿 정합필터	21
3. 매디안 필터	23
4. 제안한 광 웨이브릿 SDF 필터	24
V. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 및 고찰	29
VI. 결 론	45
참고문헌	46

Summary

The Korean vowels and consonants are somewhat simple, and exist with the various features due to the combinational form. Owing to their secondary structure, it is difficult to recognize them.

Therefore I propose, in this paper, an optical wavelet SDF filter to recognize them effectively. The proposed filter is designed by applying the theory of the wavelet transform and a SDF filter. The reference image is made to preserve the feature by using the wavelet-transformed images with proper dilation parameters, and the input image to minimize the effect of a random noise. In addition, the algorithm of ECP-SDF filter synthesis is used to adapt the filter to diverse variations in the combinatorial form.

The wavelet transform of the input image is performed by the proposed optical wavelet SDF filter in the filter plane so that it may be used in the 4-f optical correlation system. In such operation, the optical efficiency is preserved and the filter materialization become very simple.

The computer simulation results reveal that the proposed filter is better in the performance such as SNR(signal-to-noise ratio), DS(distortion sensitivity) and DC(discrimination capability) under the noisy circumstances than the conventional ECP-PO-SDF filter.

I. 서론

1964년 Vander Lugt가 광의 간섭성을 이용한 복소공간 정합필터(complex matched spatial filter)를 실현한 후 광학적인 패턴인식이 활발하게 진행되었다(Vander lugt, 1964). 공간정합필터는 입력영상의 상대적인 위치정보를 보존하는 특성 때문에 입력의 변위에 비례하여 상관영역에서의 변위가 나타난다. 그러므로 이를 이용한 문자인식, 특히 한글과 같이 입력영상내의 각 자모의 위치가 중요한 역할을 하는 대상의 인식에 유용하다.

한글은 영문자, 숫자, 일본의 가나문자와 달리 문자의 수가 방대하며, 자모가 극히 단조롭고, 한 문자가 단순한 자모의 2차원상의 조합으로 구성되기 때문에 대부분의 문자가 유사성을 가지고 있어 인식이 훨씬 복잡하다.

한글인식의 접근 방법은 문자단위로 인식하는 방법과, 자모를 분리하여 인식한 후 이 자모의 조합에 의해 문자를 인식하는 방법으로 나눌 수 있다. 문자단위의 인식은 일상생활에서 사용되고 있는 1,500자 정도의 문자만 인식대상으로 하더라도 인식에 어려움이 많다. 반면 자모를 분리하여 인식하는 방법은 한글의 조합적 성격을 잘 반영하여, 이들 분리된 자모로부터 최종적으로 한글 문자를 인식할 수 있게 된다.

광 상관필터를 이용하여 한글의 자모를 분리 인식하기 위해서 인식필터는 다음과 같은 특성을 갖는 것이 바람직하다. 즉, 자모의 유사성 때문에 발생하는 부엽(side lobe)의 크기를 감소시킬 수 있도록 변별력이 뛰어나야 하고, 입력되는 문자의 회전, 크기, 그리고 모양 등의 변화에 무관하게 인식할 수 있어야 한다. 그리고 잡음이 존재하는 경우에도 무관하게 인식할 수 있도록 하여야 하며, 인식 시스템의 규모는 가능한 한 작으면서 실시간으로 인식할 수 있어야 한다. 따라서 한글의 왜곡불변 인식을 위하여 위와 같은 특성들을 충족시킬 수 있는 광 상관 필터 구현이 필요하다.

위에서 언급한 특성을 대체적으로 만족하는 기존의 광 상관필터는 SDF

(synthetic discriminant function) 필터와 PO-SDF(phase-only SDF) 필터 그리고 MACE(minimum average correlation energy) 필터 등이 있다. SDF 필터는 인식하고자 하는 여러 가지 변화된 패턴들을 학습영상으로 사용하여 공간영역에서 이들의 선형조합하여 얻어진다. 이때 필터는 학습영상의 수가 적은 경우에 출력 상관 평면에서의 부엽이 적어 변별력이 우수하다. 그러나 한글과 같이 다양한 글꼴들을 가지는 경우에 많은 학습영상을 가지게 되므로 부엽이 커지고 변별력이 떨어지는 단점이 있다(Casasent 등 1984), (Casasent, 1984), (Casasent and Chang, 1986), (도, 1988), (Jared and Ennis, 1989). 또한 1987년 Mahalanobis 등에 의해 제안된 MACE 필터는 인식하고자 하는 변화된 패턴들을 학습영상으로 하여 공간 주파수 영역에서 평균 상관 에너지를 최소로 하여 선형조합으로 얻을 수 있으며, 학습영상의 수가 증가하여도 출력상관 평면에서 예리한 상관 결과를 얻을 수 있고 SDF 필터에 비해 부엽이 적어 우수한 변별력을 갖는다. 하지만 이 MACE 필터는 입력영상이 왜곡되거나 잡음이 존재하는 경우에는 부엽이 커지고 변별력이 떨어지는 단점이 있다(Mahalanobis 등 1987), (Mahalanobis and Casasent, 1991), (Casasent 등 1991), (Casasent and Ravichandran, 1992). 그리고 PO-SDF 필터는 학습영상의 진폭성분을 제한하고 위상성분만을 가지고 공간 영역에서 선형조합 하여 얻을 수 있는데 이 필터는 SDF 필터에서 부엽의 문제를 많이 개선하였으며, 부분입력 문자와 무작위 잡음이 첨가된 영상에 대해서도 비교적 양호한 변별력을 나타낸다. 하지만 이 필터는 영상의 모든 정보를 포함하지 못하므로 입력영상에 잡음이 많아지게 되면 동일하게 인식해야 할 변형된 자모를 인식하지 못하고, 학습영상의 수가 많은 경우 여전히 부엽이 커지는 단점을 가지고 있다(Horner and Gianino, 1985), (Casasent and Rozzi, 1986), (Jared, 1989), (Kozaitis and Foor, 1992), (김 등 1994).

한편, Mallat에 의해 음성 및 영상 신호처리 분야에서 짧은 세그먼트를 갖는 과도신호(transient signal)를 해석하기 위해 웨이브릿 변환(wavelet transform)이 발표되었다(Mallat, 1989). 그리고 Szu 등에 의해 정합필터의

형태로 광 상관계수에 이용될 수 있다고 제안된 이래 웨이브릿 변환을 패턴인식에 이용하고 있다(Szu, 1992). 일반적으로 웨이브릿 변환은 영상의 가장자리 정보를 강조하는 효과를 나타내는 것으로 잘 알려져 있는데, 이는 패턴인식에 아주 중요한 요소가 된다. 그리고 이 웨이브릿 변환에 사용되는 웨이브릿 함수는 시간영역에서 크기가 원점을 중심으로 진동하며 D.C 성분이 '0'가 되어야 하는 허용조건(admissible condition) 및 시간이 무한대로 접근할 경우 '0'으로 감쇄하는 규칙성을 갖는다. 그리고 이 함수는 진동 주파수에 따라 주파수 영역에서 대역폭이 결정된다. 따라서 임의의 입력신호와 웨이브릿 함수와의 내적으로 나타나는 웨이브릿 변환은 대역통과 특성을 가지며, 이 특성은 웨이브릿 함수의 종류나 팽창모수(scaling parameter)의 크기 및 진동 주파수 등에 따라 달라진다. 이와 같이 대역통과 특성을 갖는 웨이브릿 변환은 영상에서 패턴인식에 사용할 때 영상의 가장자리 정보를 추출하며, 주파수 영역에서 볼 때 모든 영역에 고르게 분포하는 잡음에 대해서도 특정한 대역의 잡음만을 통과시키므로 잡음의 영향을 적게 나타낼 수 있다. 그러므로 웨이브릿 변환에 의하여 구현되는 필터는 인식하고자 하는 영상에 따라 적절한 웨이브릿 함수 및 팽창모수의 선정이 매우 중요한 요소가 된다.

본 논문에서는 조합형태에 따라 다양한 글꼴을 가지는 한글을 효과적으로 인식하기 위하여 웨이브릿 변환과 여러 가지 변화된 패턴들을 잘 인식할 수 있는 SDF 필터의 개념을 이용한 광 웨이브릿 SDF 필터를 제안하였다. 제안된 필터를 이용한 인식시스템은 입력평면에서는 입력패턴에 무작위 잡음이 첨가된 경우를 가정하여 특별한 전처리 과정이 없이도 잡음이 영향을 최소화하고 입력영상의 특징도 잘 나타낼 수 있도록 웨이브릿 함수와 팽창모수를 선정하여 웨이브릿 변환을 하였다. 그리고 필터평면에서는 필터 합성 시 학습영상으로 사용될 기준자모들의 특징을 가장 잘 나타내도록 웨이브릿 함수와 팽창모수를 선정하여 웨이브릿 변환한 후 다양한 글꼴에 적용할 수 있게 ECP-SDF(equal correlation peak SDF) 필터 합성법을 이용하였다(Casasent, 1984), (김, 1995).

또한 입력평면에서의 웨이브릿 변환은 광 상관 시스템의 구성이 복잡해지고 광 효율이 떨어진다. 그러므로 이 변환을 필터 제작에 포함시켜서 제안된 웨이브릿 SDF 필터가 전통적인 4-f 광 상관 시스템에 적용될 수 있게 하였다. 그리고 이 논문에서는 완전한 영상과 5% 및 10%의 잡음이 첨가된 입력영상들에 대하여 웨이브릿 함수의 팽창모수를 변화시키면서 웨이브릿 변환을 하여 특성을 조사하였다. 그리하여 최적의 팽창모수를 선정하여 웨이브릿 변환을 할 수 있었다. 본 논문에서는 Morlet, Harr 및 Mexican-hat 웨이브릿 함수 등을 사용하였는데 Mexican-hat 웨이브릿 함수가 적절하였다(Marr and Hildreth, 1980), (Martinet 등 1987), (이 등 1995). 그리고 잡음제거에 비교적 효과적이고, 가장자리 정보를 잘 복원하는 메디안 필터를 전처리 과정으로 사용하여 입력영상에 잡음을 제거한 후, 이들을 입력으로 하여 ECP-PO-SDF(ECP phase-only SDF) 필터와 제안된 필터에 대하여 각각의 상관결과를 얻을 수 있다(Casasent, 1984), (Horner and Gianino, 1985), (김, 1995). 그리고 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 기존의 필터와 비교한 결과, 제안된 필터는 잡음이 존재하는 환경 하에서 전처리 과정을 생략할 수 있었고, 변별력(discrimination capability) DC, 변형감도(distortion sensitivity) DS 및 신호대잡음비(signal-to-noise ratio) SNR 등의 성능 면에서도 유용함을 알 수 있었다.

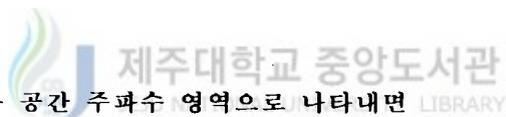
II. 공간정합 필터

임의의 신호에 섞여 있는 특정 신호를 인식하고자 할 때 정합필터는 중요한 역할을 한다. 선형공간불변 필터(linear space-invariant filter)의 임펄스 응답 $h(x,y)$ 가 특정신호 $f(x,y)$ 에 정합 되었다고 할 때 $h(x,y)$ 는

$$h(x,y) = f^*(-x,-y) \quad (1)$$

를 만족하고, 임의의 입력신호 $t(x,y)$ 가 특정신호 $f(x,y)$ 와 정합되는 정도를 알기 위해 이 필터에 $t(x,y)$ 가 입력될 때 상관출력 $o(x,y)$ 는

$$\begin{aligned} o(x,y) &= \int \int_{-\infty}^{\infty} t(x',y')h(x-x',y-y')dx'dy' \\ &= \int \int_{-\infty}^{\infty} t(x',y')f^*(x'-x,y'-y)dx'dy' \end{aligned} \quad (2)$$

가 된다. 이 식을 공간 주파수 영역으로 나타내면  LIBRARY

$$\begin{aligned} O(u,v) &= T(u,v)H(u,v) \\ &= T(u,v)F^*(u,v) \end{aligned} \quad (3)$$

가 된다. 여기서 공간 주파수 영역의 함수 $O(u,v)$, $T(u,v)$, $H(u,v)$ 및 $F(u,v)$ 는 각각 공간 영역의 함수 $o(x,y)$, $t(x,y)$, $h(x,y)$ 및 $f(x,y)$ 의 푸리에 변환이다. 따라서 상관 영역에서의 출력 $o(x,y)$ 는

$$o(x, y) = \mathcal{F}^{-1}[T(u, v)H(u, v)] \quad (4)$$

가 된다. 이러한 일련의 상관들을 광학적으로 구현하기 위한 광 상관기의 구성은 그림 1과 같으며, Vander Lugt가 처음으로 홀로그램방식을 이용한 광학시스템으로 정합필터를 구현하였다.

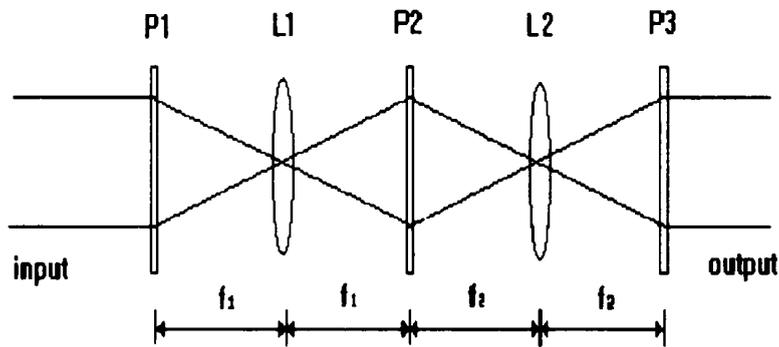


Fig. 1. Vander Lugt optical correlator

그림에서 평면 P1, P2 및 P3은 볼록렌즈 L1 및 L2의 전후 초점 면이고, P1은 입력평면, P2는 공간 주파수평면, 그리고 P3은 상관 출력평면이다. P1 평면에 입력신호가 설치되고 코히런트한 평면파가 입사되면 광의 회절특성과 렌즈의 위상 변환 특성에 P2 평면에는 $f(x, y)$ 의 푸리에 변환된 신호 $T(u, v)$ 가 출력된다. 한편 P2 평면에 인식하고자 하는 특정신호 $f(x, y)$ 의 푸리에 변환된 함수의 공액 복소함수 $F^*(u, v)$, 즉, 광 상관필터 $H(u, v)$ 를 설치하면 P3 평

면에는 $T(u, v)$ 와 $H(u, v)$ 가 곱해진 함수의 푸리에 변환된 결과가 출력되며, 이는 입력신호 $t(x, y)$ 와 특정신호 $f(x, y)$ 와의 상관 결과인 $o(x, y)$ 가 된다. 이와 같은 광 상관기의 특성은 DC, DS 및 SNR 등으로 평가할 수 있으며, 본 논문에서도 이들을 사용하여 평가하였으며, 다음과 같이 정의된다(Yang 등 1992).

$$\text{SNR} = 10 \log \frac{r_{max}}{N_{rms}} \text{ [dB]} \quad (5)$$

r_{max} : 최대상관치

N_{rms} : 최대상관치의 50% 이하 신호들의 실효치

$$\text{DS} = \frac{r(0,0)_{auto-max} - r(0,0)_{auto-min}}{r(0,0)_{auto-max} + r(0,0)_{auto-min}} \quad (6)$$

$$\text{DC} (\%) = \frac{r(0,0)_{auto-min} - r(0,0)_{cross-max}}{r(0,0)_{auto-max}} \quad (7)$$



제주대학교 중앙도서관

$r(0,0)_{auto-max}$: 자기상관(auto correlation)의 최대치

$r(0,0)_{auto-min}$: 자기상관(auto correlation)의 최소치

$r(0,0)_{cross-max}$: 상호상관(cross correlation)의 최대치

SNR은 상관평면에서 최대 상관치와 최대 상관치의 50%이하 상관치들의 실효치의 비로서, 부엽이 크면 SNR이 적고 부엽이 작으면 SNR이 크다는 것을 의미하며 여기서 r_{max} 는 상관평면에서의 빛의 세기로서 상관 침두치의 크기를 나타낸다. DC는 특정신호에 의한 자기상관 침두치와 그 이외의 신호에 의한 상호상관 침두치의 비를 나타낸 것으로 특정신호를 구별하는 능력을 나타내는 척도로 유사물체를 얼마나 잘 구별인식 하는지를 나타낸다. 따라서

DC가 '1'에 가까운 값을 가지면 유사물체를 오인식 없이 정확하게 분리인식한다는 것을 의미한다. 그리고 DS는 특정신호의 변형된 신호가 입력되었을 때 이들을 같은 신호로 인식하는지, 다른 신호로 분리하는지를 나타내는 변수이다. 만약 특정신호의 변형된 신호에 대한 자기상관 첨두치의 최대치와 최소치를 구하였을 때 DS가 '0'이 된다면 이들 변형된 신호들을 정확하게 인식한다는 것을 의미한다(김, 1995).

1. 전통적인 정합필터

전통적인 정합필터(classical matched filter; CMF)는 인식대상이 되는 기준함수 $f(x, y)$ 를 푸리에 영역에서 진폭성분과 위상성분으로 분리한 후, 위상성분의 복소공역을 취하여

$$H_{CMF}(u, v) = |F(u, v)| \exp[-j\phi(u, v)] \quad (8)$$

와 같이 쓸 수 있다. CMF는 입력의 위치정보를 보존하는 특성을 갖고 있어 입력의 변위에 비해 상관영역에서의 변위가 나타나므로, 한글과 같이 입력 영상내의 각 집단의 위치가 중요한 역할을 하는 대상의 인식에서 유용하다. 그러나 진폭정보와 위상정보를 함께 갖는 필터는 일반적으로 높은 공간주파수 영역에서 급격히 에너지가 감쇠하므로 입력영상의 경계선 정보가 많이 상실된다. 따라서 상관 침투치가 작을 뿐 아니라 부엽의 크기가 커서 비슷한 모양의 입력을 잘 구별하여 인식하지 못한다. 즉, 비슷한 모양의 다른 집단이 근접해 있는 입력영상을 인식하고자 할 경우에는 적합하지 못하다. 이는 주로 높은 주파수 영역에서의 에너지 감쇠에 기인하므로 이를 보상해 줄 필요가 있다.

2. 위상필터

푸리에 영역에서 위상정보는 진폭정보 보다 더 중요한 요소가 되며, 위상정보만 포함하는 위상필터(phase only filter; POF)의 임펄스 응답은

$$H_{\text{POF}}(u, v) = \exp [j\varphi(u, v)] \quad (9)$$

로 쓸 수 있다(Horner and Gianino, 1984), (Horner and Leger, 1985), (Rosen and Shamir, 1987). 즉, POF는 CMF에 $1/|H(u, v)|$ 가 곱해진 형태이며, $1/|H(u, v)|$ 는 고역통과 필터의 특성을 나타낸다. 이는 높은 공간 주파수 영역에서의 에너지 감쇠를 보상해 주므로 입력영상의 경계선 정보를 강조하게 된다. 따라서 매우 크고 예리한 모양의 상관 침투치를 나타내고 부엽의 크기 또한 작아 비슷한 모양의 다른 집단이 근접한 한글인식에 매우 유용하게 적용될 수 있다. 반면에 입력의 크기 변화나 회전 변위에 대해서는 더욱 민감하게 되어 동일 집단내의 여러 가지 변화를 인식하지 못한다(Gianino and Horner, 1984), (Anderson and Anderson, 1987).

그러나 필터정보를 필터매질에 기록할 때 푸리에 변환정보의 위상성분만 기록하므로 필터매질에서의 에너지 흡수에 따른 손실이 없다. 즉, 표백필름이나 식각 유리를 이용하여 위상의 변화를 직접 기록하면 컴퓨터 형성 홀로그램(computer generated hologram; CGH)방식에 의한 광 효율의 감소를 막을 수 있다(Haueh and Sawchuk, 1978), (Hariharan, 1984), (Wyrowsky 등 1987). 그러나 기록될 위상정보가 연속적인 값을 가지므로 이를 제어하기가 어렵고, 필터매질의 비선형 특성으로 인하여 위상값을 정확하게 기록하기가 어렵다. 따라서 상관특성은 POF 고유의 특성을 유지하면서 위상정보는 쉽게 제어할 수 있는 형태로 만들기 위해서는 연속적인 위상값을 양자화할 필요가 있다.

3. SDF 필터

SDF 필터는 인식하고자 하는 기준영상과 분리하고자 하는 기준영상을 학습영상으로 하여 이들의 선형조합으로 구성된다. 이때 각 학습영상에 곱해지는 필터계수는 학습영상간의 자기상관과 상호상관으로 이루어지는 상관행렬, 즉 VIP(vector inner product)행렬의 역과 분리와 인식을 제한해 주는 제한 벡터(constraint vector)와의 곱으로써 얻는다. PO-SDF 필터는 학습영상들의 진폭성분은 제한하고 위상성분만을 갖는 영상들을 가지고 SDF필터 합성을 한 것이며, 이중에서 ECP-PO-SDF 필터는 하나의 군에 포함되는 모든 기준 영상들을 동일 영상으로 인식하고자 할 경우 사용된다. 필터의 임펄스 응답은 각 학습영상에 필터계수를 곱하여 얻으며, N_T 개의 학습영상에 대한 i 번째 학습영상을 $f_i(x, y)$ 라 할 때 필터함수의 임펄스 응답 $h_{SDF}(x, y)$ 는

$$h_{SDF}(x, y) = \sum_{i=1}^{N_T} c_i f_i(x, y) \quad (10)$$

로 나타낼 수 있으며, 필터계수 벡터 \mathbf{c} 는

$$\mathbf{c} = \mathbf{R}^{-1} \mathbf{u}^T \quad (11)$$

로 구하여 진다. 여기서 VIP 행렬 \mathbf{R} 의 요소는

$$\begin{aligned} R_{ii} &= \max \langle f_i | f_i \rangle \\ R_{ij} &= \max \langle f_i | f_j \rangle \end{aligned} \quad (12)$$

로 표현되며, R_{ii} 는 학습영상 $f(x,y)$ 의 자기 상관 첨두치를 나타내며, R_{ij} 는 $f_i(x,y)$ 와 $f_j(x,y)$ 의 상호 상관 첨두치를 나타낸다. 그리고 제한벡터 \mathbf{u} 는 단위 벡터이며, SDF 필터는 다음과 같은 유형들로 나눌 수 있다.

1) ECP(equal correlation peak) SDF 필터

하나의 부류에 포함되는 모든 영상들을 동일한 영상으로 인식하고자 할 경우, 임펄스 응답은 각 입력영상에 VIP 행렬의 역과 크기가 '1'인 제한벡터와의 곱으로부터 구해지는 필터계수를 곱하여 구한다. 따라서 학습영상을 $f(x,y)$ 라 할 때 N_T 개의 학습영상에 대한 i 번째 학습영상을 $f_i(x,y)$ 라 할 때 필터함수의 임펄스 응답 $h_{\text{ECP-SDF}}(x,y)$ 는

$$h_{\text{ECP-SDF}}(x,y) = \sum_{i=1}^{N_T} c_i f_i(x,y) \quad (13)$$

로 나타낼 수 있으며 제한벡터 \mathbf{u} 는

$$\mathbf{u} = [1 \ 1 \ \dots \ 1] \quad (14)$$

로 표현되는 단위벡터이다. 따라서 ECP-PO-SDF 필터함수의 임펄스 응답은 학습영상에서 진폭성분은 제한하고 크기성분만을 갖도록 하여 식 (11)에서 구한 필터계수를 식 (13)에 대입해서 구한다

2) MOF(mutual orthogonal function) SDF 필터

MOF-SDF 필터는 두개의 부류에 포함되는 영상을 분리 인식할 경우 사용된다. 학습영상을 $f(x,y)$ 로 할 경우 임펄스 응답 $h_{\text{MOF-SDF}}(x,y)$ 는 ECP-SDF

필터와 같은 형태이며 필터계수는 식 (11)와 같이 구한다. 여기서 제한벡터 \mathbf{u} 는 각 요소의 값을 인식하고자 하는 영상인 경우에 '1', 분리하고자 하는 영상의 경우에는 '0'으로 한다.

그리고 NRF-SDF(nonredundant function SDF) 필터는 여러 개의 부류에 포함된 영상을 분류 인식하는 경우에 사용되면 임펄스 응답 $h_{\text{MOF-SDF}}(x,y)$ 는 MOF-SDF 필터와 같은 형태이며, 제한벡터 \mathbf{u} 가 인식하고자 하는 영상이 세 가지 이상이 있을 때 첫째 영상에는 '1', 두 번째 영상에는 '2', 그리고 셋째 영상에는 '3'등으로 정한다.



(single vowel) 및 복모음(compound vowel)으로 나누어진다. 그리고 이들 각 자모의 조합으로 이루어지는 한글의 형태는 모음의 종류와 종성자음의 유무에 따라 그림 3과 같은 6가지 기본형으로 나누어진다.

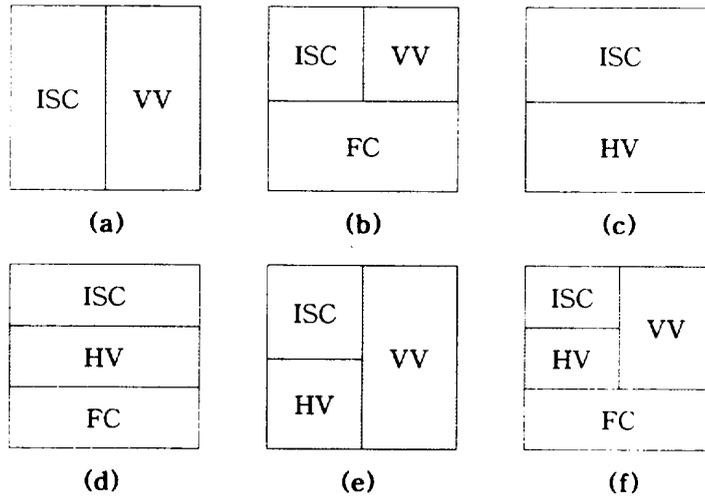


Fig. 2. 6 basic types of Korean character

- (a) type 1 '가' (b) type 2 '격' (c) type 3 '그'
 (d) type 4 '곡' (e) type 5 '과' (f) type 6 '꼭'.

여기서 ISC(initial sound consonant)는 초성자음, FC(final consonant)는 종성자음, HV(horizontal vowel)는 횡모음 그리고 VV(vertical vowel)는 종모음을 나타낸다. 단자음은 ISC 나 FC 의 위치에 둘 수 있고, 쌍자음은 ISC 위치에는 다 둘 수 있지만 FC 위치에는 선택적으로 둘 수 있다. 복자음은 FC

위치에만 둘 수 있으며, 모음은 그 형태에 따라 HV 위치나 VV 위치에 두게 된다. 그림 2에서 각 자모의 형태는 조합되는 기본형에 따라 그 모양이 다르다. 예를 들어 그림 2의 (a)는 ‘가’, ‘나’등의 유형이과 (b)는 ‘격’, ‘난’등이 쓰이며 (c)는 ‘그’, ‘느’이고, (d)는 ‘곡’, ‘눈’이며, (e)는 ‘과’, ‘뉘’ 그리고 (f)는 ‘꺀’, ‘뉘’등의 다양한 형태들을 갖는다. 이와 같이 한글은 쓰이는 위치에 따라 자모들이 다양한 글꼴을 가지므로 이들을 동일하게 인식할 수 있어야 하겠으며, 모음 ‘ㅏ’, ‘ㅑ’등과 같이 유사한 자모들을 잘 구별 인식할 수 있어야 하고, 또한 잡음이 존재하는 경우에도 잡음의 영향에 무관하게 인식할 수 있도록 필터를 구현하여야 한다.



IV. 웨이브릿 정합필터

1. 웨이브릿 변환

웨이브릿 변환은 음성 및 영상신호처리 분야에서 신호해석 및 다해상도 영상분해에 이용되어 영상압축에 유용하게 이용되어 왔으며, 광을 이용한 웨이브릿 변환이 많이 연구되다가 1993년 Sheng 등에 의해 패턴인식에 적용되기 시작하였다. 웨이브릿 변환은 시간과 주파수 영역에서 동시에 신호를 국한시키는 것으로 대역통과(bandpass) 특성을 가져 과도 신호의 해석에 효율적이며 또한 영상신호의 경우 가장자리 정보를 가장 잘 나타내어 경계선 검출이 용이하여 특징 점을 쉽게 찾을 수 있다. 웨이브릿 변환의 기저함수는 모(mother) 웨이브릿 함수 $h(x, y)$ 라 부르고 이 함수의 팽창(dilatation)과 병진(translation)에 의해서 만들어진 딸(daughter) 웨이브릿 함수 $h_{a_x a_y b_x b_y}(x, y)$ 를 표현할 수 있다. 그리고 웨이브릿 변환은 딸 웨이브릿 함수와 신호 $f(x, y)$ 와의 내적



$$w_f(a_x, a_y, b_x, b_y) = \langle f(x, y) | h_{a_x a_y b_x b_y}(x, y) \rangle \quad (15)$$

으로 주어진다. 여기서 a_x, a_y 는 팽창모수 b_x, b_y 는 병진모수이며 딸 웨이브릿 함수 $h_{a_x a_y b_x b_y}(x, y)$ 는

$$h_{a_x a_y b_x b_y}(x, y) = \frac{1}{\sqrt{a_x a_y}} h\left(\frac{x-b_x}{a_x}, \frac{y-b_y}{a_y}\right) \quad (16)$$

로 정의된다. 식 (16)을 식 (15)에 대입하여 정리하면 신호 $f(x, y)$ 의 웨이브릿 변환은

$$\begin{aligned}
 w_f(a_x, a_y, b_x, b_y) &= \int \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) h^*_{a_x, a_y, b_x, b_y}(x, y) dx dy \\
 &= \frac{1}{\sqrt{a_x a_y}} \int \int_{-\infty}^{\infty} f(x + b_x, y + b_y) h^*\left(\frac{x}{a_x}, \frac{y}{a_y}\right) dx dy \\
 &= \frac{1}{\sqrt{a_x a_y}} f(x, y) \otimes h\left(\frac{x}{a_x}, \frac{y}{a_y}\right) \\
 &= \frac{1}{\sqrt{a_x a_y}} f(x, y) \otimes h_{a_x, a_y}(x, y) \tag{17}
 \end{aligned}$$

로 표현되며, 이는 본질적으로 신호와 웨이브릿 함수의 상호 상관이다. 여기서 \otimes 는 상관자를 나타내며 *는 공역 복소수를 나타낸다. 그리고 이것을 주파수 영역에서 표현하면

$$W_f(u, v) = \frac{1}{\sqrt{a_x a_y}} F(u, v) H^*_{a_x, a_y}(u, v) \tag{18}$$

로 나타나며, 팽창이 등방성인 경우로 가정하여 $a_x = a_y = a$ 로 두면

$$W_f(u, v) = \frac{1}{a} F(u, v) H^*_a(u, v) \tag{19}$$

로 표현된다. 여기서 $F(u, v)$ 및 $H_a(u, v)$ 는 각각 $f(x, y)$, $h_a(x, y)$ 의 푸리에 변

환을 나타낸다.

웨이브릿 변환된 영상은 가장자리가 강조된 영상으로 웨이브릿 함수의 종류 및 팽창모수의 크기에 따라 가장자리 강조 효과가 다르며 이의 효과를 높이는 것은 영상의 적절한 특징점을 검출하는 것을 의미하며 이는 패턴인식에 중요한 영향을 미친다. 그러므로 영상에 따라 적절한 웨이브릿 함수 및 팽창모수의 선정이 중요하다(Martinet 등 1987), (Sheng 등 1992), (Sheng 등 1992), (Yang 등 1992), (Szu 등 1992), (Szu 등 1992), (Burns 등 1992), (이 등 1995).



2. 기존의 광 웨이브릿 정합필터(Optical wavelet matched filter)

기존의 광 웨이브릿 정합필터는 기준영상의 복소공역에 푸리에 변환된 웨이브릿 함수의 곱을 곱해 만드는 것으로 4-f 광 상관기에 적용하여 패턴인식에 이용할 수 있으며 입력에 웨이브릿 변환이라는 전처리 과정 없이도 입력신호에 웨이브릿 변환 효과를 줄 수 있다.

공간 영역에서 웨이브릿 변환은 식(17)로 부터 입력신호와 웨이브릿 함수의 상관이므로 주파수 영역에서는 푸리에 변환된 신호와 푸리에 변환된 웨이브릿 함수의 복소공역 신호와의 곱이 된다. 따라서 인식하고자 하는 신호를 $t(x,y)$ 라하고 기준신호를 $f(x,y)$ 라고 할 때 주파수 영역에서의 두신호에 대한 웨이브릿 변환은

$$W_t(u, v) = \frac{1}{a} T(u, v)H_a^*(u, v) \quad (20)$$

$$W_f(u, v) = \frac{1}{a} F(u, v)H_a^*(u, v) \quad (21)$$

와 같이 정의할 수 있다. 여기서 $T(u, v)$ 는 $t(x, y)$ 의 푸리에 변환이고, $F(u, v)$ 는 $f(x, y)$ 의 푸리에 변환이다. 이때 주파수 영역에서의 기준영상과 인식하고자 하는 영상과의 상관은

$$\begin{aligned} O_w(u, v) &= W_t(u, v)W_f^*(u, v) \\ &= \frac{1}{a} T(u, v)F^*(u, v)|H_a(u, v)|^2 \end{aligned} \quad (22)$$

로 주어지고 여기서 $T(u, v)$ 를 제외한 항을

$$G(u, v) = \frac{1}{a} F^*(u, v) |H_a(u, v)|^2 \quad (23)$$

라 두면, 이 $G(u, v)$ 를 광 웨이브릿 정합필터라 한다. 출력상관 평면에서의 결과는 식(22)을 푸리에 역 변환한 것으로

$$\begin{aligned} o_w(x, y) &= \mathcal{F}^{-1}[O_w(u, v)] \\ &= \mathcal{F}^{-1}[W_r(u, v)] \otimes \mathcal{F}^{-1}[W_r(u, v)] \end{aligned} \quad (24)$$

로 표현된다. 여기서 \otimes 는 상관자이고, 이 식으로부터 웨이브릿 정합필터는 웨이브릿 변환된 영상간의 상관과 같음을 알 수 있다. 따라서 웨이브릿 정합필터는 기존의 정합필터에 비해 변별력이나 SNR은 개선되지만 왜곡불변 패턴 인식에는 부적합함을 알 수 있다(Sheng 등 1992), (Sheng 등 1992), (Yang 등 1992), (Burns 등 1992).



3. 메디안 필터(Median filter)

문자는 보통 글과 배경으로 구성되어 이진영상으로 구성될 수 있으며 여기에 무작위 잡음이 존재하는 경우가 있다. 이러한 영상을 입력영상으로 하여 문자를 인식하는 경우에 잡음과 문자의 신호를 구별하기가 어렵게 된다. 이 경우에 잡음을 제거하여 인식하면 보통 인식율이 좋아지고 잡음에 대한 부엽의 효과를 많이 감소시킬 수 있다. 이와 같은 역할을 하는 필터는 메디안 필터와 이동평균법이 많이 쓰이고 있으나 이들 중에서 영상의 가장자리를 잘 보존하는 필터는 메디안 필터이다. 그리고 본 논문에서는 이 필터를 사용하였으며, 잡음을 제거한 후 제안된 필터와 ECP-PO-SDF 필터에 입력영상으로 하여 그 상관결과를 비교하였다.

메디안 필터란 그림 2에서 a b c d e f g h i의 9개의 값으로 구성된 3×3의 격자 속에서 e와 그 주위의 값들의 중간 값을 e의 값으로 선택하는 방법으로 영상의 경계선 정보를 잘 보존하는 특성을 갖는다.

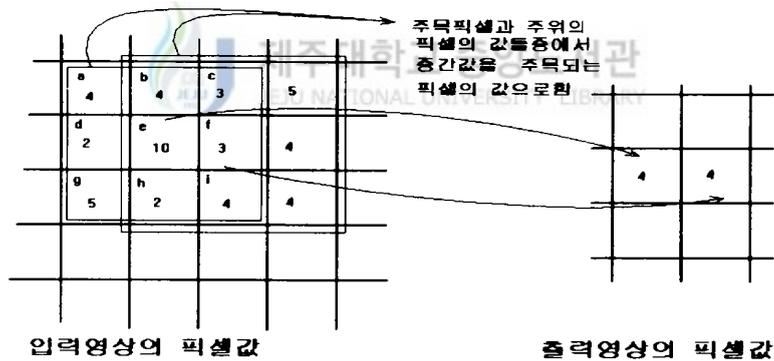


Fig. 2. median filter.

4. 제안한 광 웨이브릿 SDF 필터

자모의 조합형태에 따라 다양한 글꼴을 가지는 한글을 효과적으로 인식하기 위하여 광 웨이브릿 SDF 필터를 제안하였다. 일반적으로 광 웨이브릿 변환에 의한 패턴인식의 경우 웨이브릿 변환 후 필터를 구현하는 웨이브릿 정합필터 방식이 인식율이 좋으며 합성필터를 만들 때도 웨이브릿 변환 후 합성하여 정합필터의 형태로 구현하는 것이 우수한 인식율을 보이고 있다. 따라서 본 논문에서도 이러한 성질을 이용하여 기준영상과 입력영상을 웨이브릿 변환 후 인식을 위한 필터를 만들었다. 기준영상의 웨이브릿 변환은 기준자모의 특징을 가장 잘 나타낼 수 있도록 웨이브릿 함수와 팽창모수를 선정하였으며, 입력영상의 웨이브릿 변환은 잡음의 영향을 최소화할 수 있도록 하였다.

먼저 식 (17)로부터 기준영상 $f_i(x, y)$ 의 특징을 잘 나타낼 수 있도록 팽창모수 a_i 를 선정하여 웨이브릿 변환된 영상 $w_{f_i}(a_i, a_i, b_x, b_y)$ 를 구한 후, 이를 학습영상으로 하여 ECP-SDF 필터를 합성하여 다양한 글꼴을 가지는 동일자모를 동일 군으로 인식하도록 한다. 이때 필터의 임펄스 응답 $h_{SDF}(b_x, b_y)$ 는

$$h_{SDF}(b_x, b_y) = \sum_{i=1}^{N_f} c_i w_{f_i}(a_i, a_i, b_x, b_y) \quad (25)$$

로 표현되며, 이것을 주파수 영역에서 표현하면

$$\begin{aligned} H_{SDF}(u, v) &= \sum_{i=1}^{N_f} c_i W_{f_i}(u, v) \\ &= \sum_{i=1}^{N_f} \frac{1}{a_i} c_i F_i(u, v) H_{a_i}^*(u, v) \end{aligned} \quad (26)$$

와 같이 표현된다.

한편, 인식하고자 하는 입력영상을 $k(x, y)$ 라 두고 잡음의 영향을 최소화할 수 있도록 팽창모수 a_i 를 선정하여 웨이브릿 변환하면 이의 주파수 영역에서의 표현은 식 (18)로부터

$$W_i(u, v) = \frac{1}{a_i} T(u, v) H_{a_i}^*(u, v) \quad (27)$$

로 된다.

이 $W(u, v)$ 와 $H_{SDF}(u, v)$ 의 상관결과 $O(x', y')$ 를 주파수 영역에서 표현한 $O(u, v)$ 는

$$O(u, v) = W_i(u, v) H_{SDF}^*(u, v) \quad (28)$$

로 나타낼 수 있으며, 다시 정리하면

$$\begin{aligned} O(u, v) &= W_i(u, v) H_{SDF}^*(u, v) \\ &= \frac{1}{a_i} T(u, v) H_{a_i}^*(u, v) H_{SDF}^*(u, v) \\ &= T(u, v) \frac{1}{a_i} [H_{a_i}^*(u, v) H_{SDF}^*(u, v)]^* \\ &= T(u, v) G^*(u, v) \end{aligned} \quad (29)$$

이 된다. 여기서 $G(u, v)$ 는

$$\begin{aligned} G(u, v) &= \frac{1}{a_i} H_{a_i}(u, v) H_{SDF}(u, v) \\ &= \frac{1}{a_i} H_{a_i}(u, v) \sum_{i=1}^{N_f} c_i W_i(u, v) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{a_i} H_{a_i}(u, v) \left[\sum_{i=1}^{N_f} \frac{1}{a_f} c_i F_i(u, v) H_{a_i}^*(u, v) \right] \\
&= \frac{1}{a_i a_f} H_{a_i}(u, v) H_{a_i}^*(u, v) \sum_{i=1}^{N_f} c_i F_i(u, v) \quad (30)
\end{aligned}$$

이 되어 하나의 정합필터 형태로 만들 수 있다. 여기서 $H_{a_i}(u, v)$ 와 $H_{a_i}^*(u, v)$ 는 각각 입력영상과 기준영상의 웨이브릿 변환을 나타내는데 입력영상의 웨이브릿 변환 $H_{a_i}(u, v)$ 는 잡음의 영향을 줄일 수 있도록 선정하여야 하며, 기준영상의 웨이브릿 변환 $H_{a_i}^*(u, v)$ 는 기준자모의 특징을 잘 나타내도록 선정하여야 한다.

무작위 잡음 환경 하에서 한글을 인식 대상으로 한 경우 Mexican-hat 웨이브릿 변환이 가장 적합한 것으로 나타났다. 사용된 Mexican-hat 웨이브릿 함수는

$$h(x, y) = (1 - x^2 - y^2) \exp(-x^2 - y^2) \quad (31)$$



이며, 팽창이 등방성인 경우로 가정한 딸 웨이브릿 함수는

$$h_a(x, y) = \left[1 - \left(\frac{x}{a}\right)^2 - \left(\frac{y}{a}\right)^2 \right] \exp \left[-\left(\frac{x}{a}\right)^2 - \left(\frac{y}{a}\right)^2 \right] \quad (32)$$

와 같이 표현된다. 이를 주파수 영역에서 표현하면

$$H_a(u, v) = (\pi/16)a^4(u^2 + v^2) \exp \left[-\frac{1}{4} a^2(x^2 + y^2) \right] \quad (33)$$

이 된다. 여기서 팽창모수 a 의 값은 영상의 종류 및 적용하고자 하는 경우에 따라 적절하게 선정하여야 한다.

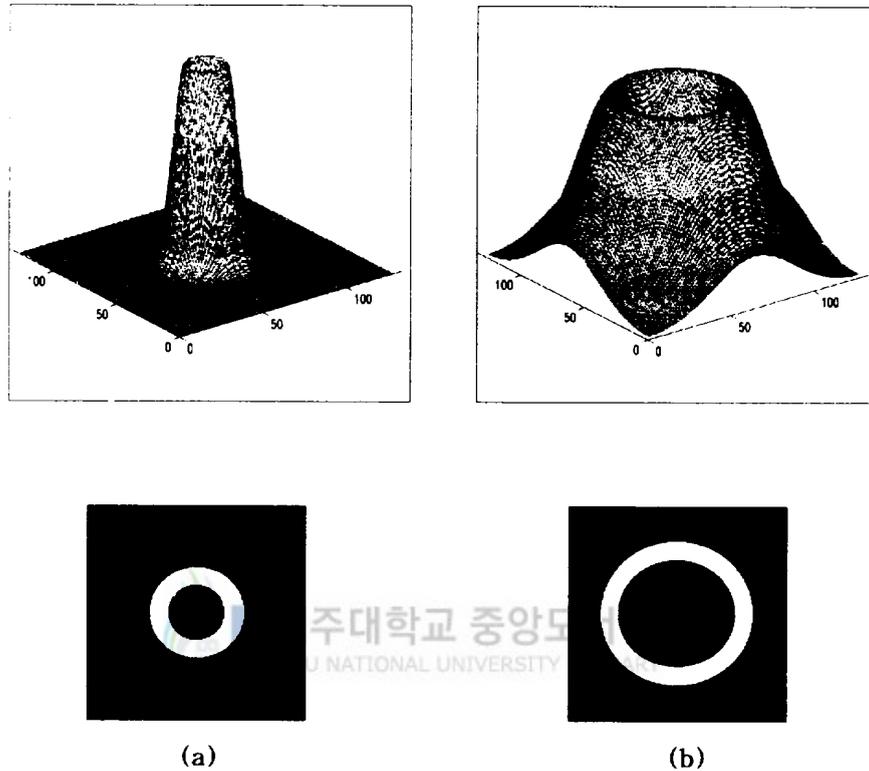


Fig. 3. Mexican-hat wavelet function in the frequency domain
 (a) $a=0.80$ (b) $a=0.51$.

그림 3은 본 논문에 사용된 Mexican-hat wavelet 함수를 주파수 영역에서 보여주고 있는데 (a)의 경우는 팽창모수 $a=0.80$ 일 때, (b)의 경우는 팽창모수

$\alpha=0.51$ 일 때이다. 그러므로 여기서도 각각 웨이브릿 함수에 대하여 영상의 특징을 잘 나타낼 수 있고 잡음이 존재하는 영상에 대해서는 잡음의 영향을 최소화할 수 있다. 그리고 그림 3의 아래부분 그림은 Mexican-hat wavelet 함수의 대역통과 특성을 단면적으로 보여주고 있는데, (a)는 저주파 영역과 중간 주파수를 통과 시키고 있으며, (b)는 중간 주파수와 고주파 영역을 통과 시키는 것을 보여주고 있다. 이렇게 함으로서 입력영상과 기준영상에서 원하는 부분만을 통과 시킬수 있다.

V. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 논문에서 제안된 웨이블릿 ECP-SDF 필터와 기존의 ECP-PO-SDF 필터를 비교하기 위하여 한글자모 중 ‘ㄱ’의 다양한 글꼴들을 학습영상으로 사용하였다. 이들은 조합되는 위치에 따라 다양한 형태의 글꼴을 가지고 있으며, 그림 4에서 그 예를 보여주고 있다. 그림 4(a)는 ‘그’에, 그림 4(b)는 ‘강’ 및 ‘값’의 초성에, 그림 4(c)는 ‘국’ 및 ‘구’의 초성에 그리고 그림 4(d)는 ‘꼭’의 초성 및 ‘값’, ‘값’의 종성에 사용되는 대표적인 형태들이므로 학습영상으로 선택하였으며, 모두 동일집단 ‘ㄱ’으로 인식하도록 하였다.



Fig. 4. Various shapes of the basic consonant ‘ㄱ’ and their wavelet transformed images according to character combination ($a_f=0.80$).

그림 4의 (e)와 (f), (g), (h)는 각각 팽창모수 a_i 를 0.80로 하였을 때 Mexican-hat 웨이브릿 변환된 영상들이다. 여러 가지 웨이브릿 함수에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 결과 이 경우가 가장자리 정보를 가장 잘 보존하고 있음을 확인하였다.

입력영상은 초성과 종성에 ‘ㄱ’을 포함하는 ‘값’과 종성에 ‘ㄱ’을 포함하며 초성에 ‘ㄱ’과 유사성이 없는 ‘ㄷ’을 갖는 ‘닭’, 그리고 ‘색’을 입력영상으로 사용하였다. 이들을 입력대상으로 선택한 이유는 초성과 종성에 서로 다른 글꼴을 가지는 ‘ㄱ’을 포함하고 있어 이를 동일자모로 인식할 수 있는지를 확인하기 위함이며, ‘ㄷ’의 윗 부분은 ‘ㄱ’의 모양을 포함하고 있고 ‘ㅅ’은 ‘가’의 ‘ㄱ’의 아랫 부분과 많은 유사성을 갖으므로 이들이 오인식 될 우려가 있는 경우이므로 이를 ‘ㄱ’과 구별하여 인식할 수 있는지를 확인하기 위함이다.

그림 5의 (a), (d) 및 (g)는 잡음이 없을 때 입력영상으로 사용될 ‘값’, ‘닭’ 및 ‘색’ 이고 (b), (e) 및 (h)는 각각 (a), (d) 및 (g)의 영상에 5% 무작위 잡음이 첨가된 영상들이며, 그리고 (c), (f) 및 (i)는 10%의 잡음이 첨가된 영상들을 나타내었다.

그림 6의 (a), (b), (c)는 각각 팽창모수 a_i 를 0.51로 하였을 때의 그림 5의 입력영상을 Mexican-hat 웨이브릿 변환된 영상이다. 그리고 그림 6의 (d), (e) 및 (f)는 팽창모수 a_i 를 0.80로 하였을 때 역시 Mexican-hat 웨이브릿 변환된 영상인데 이들은 (a), (b), (c)와 비교할 때 잡음이 없는 (d)의 경우에는 신호의 특징을 아주 잘 나타내고 있다. 하지만 (d)와 (f)는 잡음이 존재하는 경우인데 이때 웨이브릿 변환된 영상들은 비교적 신호의 성분을 잘 나타내고 있는데 비해 잡음성분들이 더 많은 영향을 나타내므로 본래의 입력과 비교할 때 상관평면에서 잡음에 의한 영향이 더 많이 나타난 것이다. 이와 같이 웨이브릿 변환은 웨이브릿 함수와 팽창모수의 변화 따라 입력영상의 특징들과 잡음에 대하여 많은 차이를 나타내고 있다. 그러므로 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 기준영상에 대하여 그 신호의 특징을 잘 표현할 수 있는 팽창모수와 그리고 무작위 잡음이 존재하는 입력영상에 대하여 잡음의 영향이 최소화 하도록

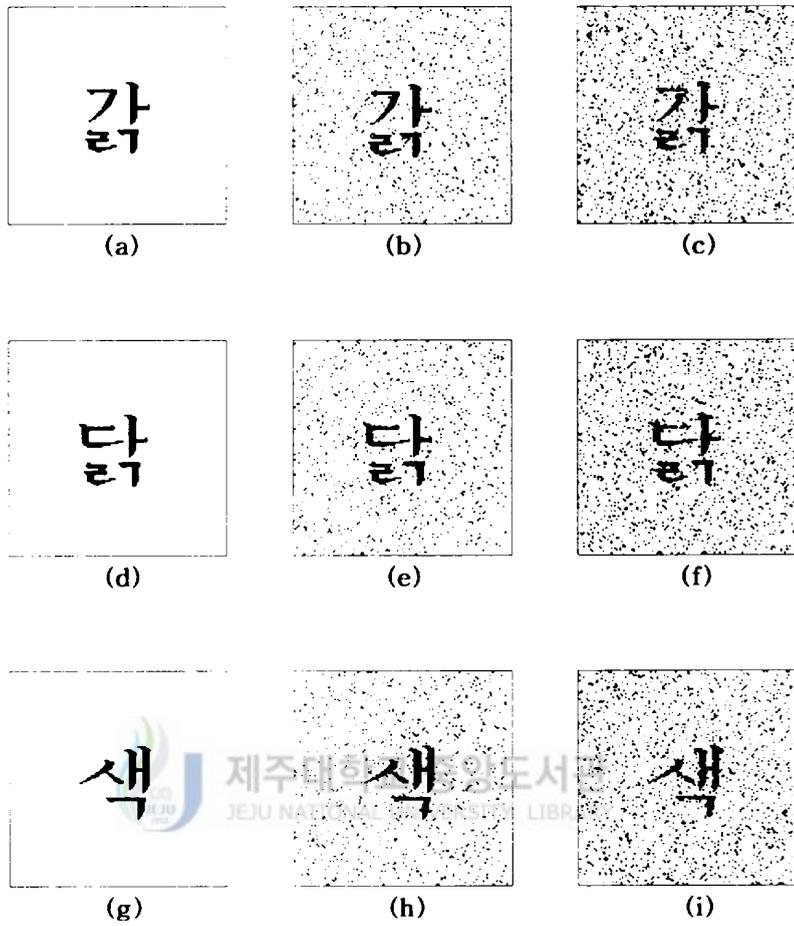


Fig. 5. A perfect input image (a) '값' (d) '닭' (e) '색', an input corrupted with (b)(e)(h) 5% and (c)(f)(i) 10% random noise.

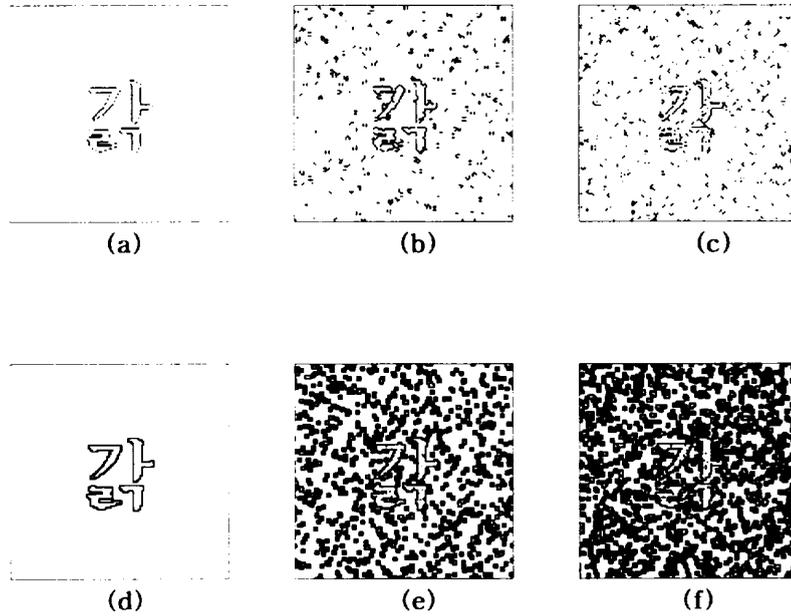


Fig. 6. (a),(b) and (c) are Mexican-hat wavelet transformed images of Fig. 5. (a), (b), and (c). ($a_f=0.51$), (d),(e) and (f) are Mexican-hat wavelet transformed images of Fig. 5 (a), (b), and (c) ($a_f=0.80$).

팽창모수를 선정하여 웨이브릿 변환을 하였다. 그 결과 적절한 웨이브릿 함수와 팽창모수를 선정할 수 있었다.

본 연구에서는 그림 4와 그림 5 그리고 그림 6에서 확인된 결과를 근거로 하여 입력영상은 팽창모수 a_f 를 0.51로 하여 Mexican-hat 웨이브릿 변환을 하고, 기준영상은 팽창모수 a_f 를 0.80로 하여 Mexican-hat 웨이브릿 변환한

후 ECP-SDF 필터 합성법을 이용하여 필터를 만들었으며, 이것을 정합필터 형태로 하여 4-f 광 상관 시스템에 적용할 수 있도록 하였다.

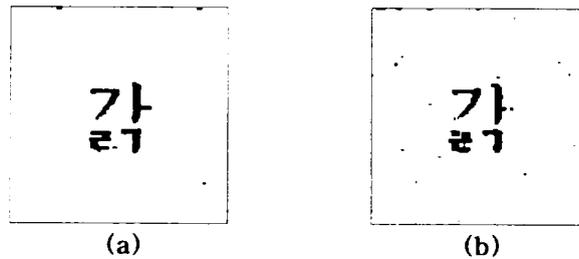


Fig. 7. The noise-removed image by the median filter
(a) in the case of 5% noise (b) in the case of 10% noise.

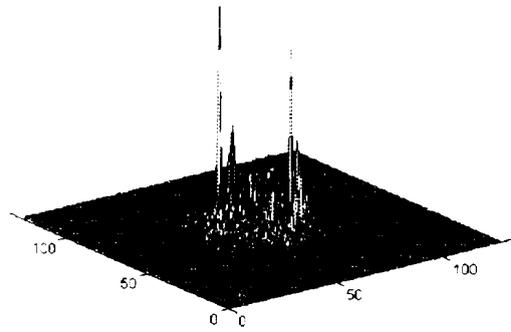
그리고 그림 7은 그림 5의 입력영상에서 각각 5% 및 10%의 잡음이 존재하는 경우에 전처리 과정으로 메디안 필터를 사용하여 잡음을 제거한 영상이다. 이는 잡음이 없는 그림 5의 (a)와 비교해 볼 때 글자의 끝과 예리한 부분을 제외한다면 잡음이 많이 제거되고 본래의 신호 성분이 많이 포함되어 있음을 알 수 있다. 그리고 전처리 과정으로 메디안 필터를 사용함으로써 인하여 영상의 가장자리 정보를 잘 복원하고 있다. 또한 잡음이 분포가 많음에 따라 신호의 부분이 많이 훼손되어 잡음에 의한 영향들이 많이 나타남을 알 수 있다. 그리고 그림 8과 그림 9에서 그림 7을 입력영상으로 하여 ECP-PO-SDF 필터와 제안된 필터와의 상관 결과를 보여주고 있다. 그림 8 (a)는 잡음이 5%인 경우 메디안 필터를 사용하여 전처리한 후 ECP-PO-SDF 필터의 상관결과인데 잡음이 분포가 적은 경우에 잡음성분을 많이 감소시키므로 본래의 영상과 거의 다름이 없는 상관 침투치를 얻을 수 있으나 (b)의 경우와 같이 잡음이

많아짐에 따라 종성에 쓰이는 ‘ㄱ’에 대하여 상관 첨두치가 현저하게 저하되어 있는 것을 알 수 있다. 즉 잡음에 의하여 변화된 자모를 인식하지 못하고 있다.

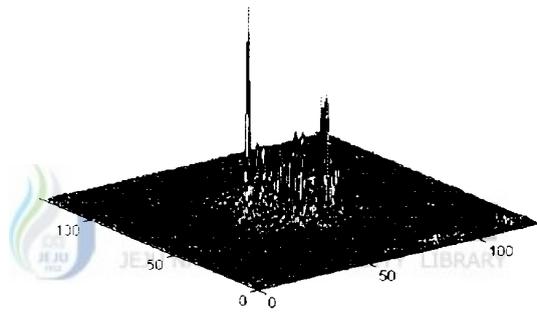
그림 9는 역시 전처리 과정을 거친 후 제안된 ECP-SDF 필터에 입력영상으로 하여 상관결과를 나타내고 있다. 이는 잡음이 없는 경우와 비슷한 상관 분포를 나타내고 있으며, 잡음이 많이 존재하는 경우에도 상관 첨두치의 변화가 거의 없는 것을 알 수 있다. 이는 그림 8와 비교해 볼 때 제안된 필터가 ECP-PO-SDF 필터에 비하여 잡음이 존재하는 경우에 변형된 자모를 더 잘 인식한다는 것을 알 수가 있다. 물론 그림 9의 경우에는 전처리 과정을 거친 후 웨이브릿 변환을 하여서 상관분포를 얻은 것이다. 이렇게 전처리를 한다는 것은 광학적인 인식 시스템을 이중으로 구성해야 하기 때문에 실제로 구현하기가 어렵다.

그리고 전처리 과정이 없이 입력영상 ‘갑’, ‘닭’ 및 ‘색’에 대하여 ECP-PO-SDF 필터와 제안된 필터에 대하여 각각 상관분포를 그림 10, 그림11, 그림 12, 그림 13, 그림 14 및 그림 15에 각각 나타내었다.

그림 10은 ECP-PO-SDF 필터에 대하여 그리고 그림 11는 제안된 필터에 대하여 상관분포를 나타내는데, (a)는 잡음이 없는 경우 (b)는 5%의 잡음이 존재하는 경우 (c)는 10%의 잡음이 존재하는 경우를 나타내고 있다. 그림 10과 11를 비교해보면 잡음이 없는 경우에는 제안된 필터의 큰 특징은 나타나지 않지만 잡음이 분포가 증가함에 따라 ECP-PO-SDF 필터는 종성에 쓰인 ‘ㄱ’에 대한 상관 첨두치가 많은 차이를 보이고 있으며 그리고 부엽의 문체도 심각하게 나타나는것을 볼 수 있다. 반면 제안된 필터는 상관 첨두치 뿐만 아니라 부엽도 비교되는 필터에 비해 상당히 우수한 것을 알 수 있다. 그리고 그림 12과 13은 ‘닭’에 대하여 상관 분포를 나타내고 있으며, 잡음이 없을 때 그리고 5% 및 10%의 잡음이 섞인 영상에 대하여 출력하였다. 또한 그림 14 및 15는 ‘색’에 대하여 상관분포를 나타내었다.

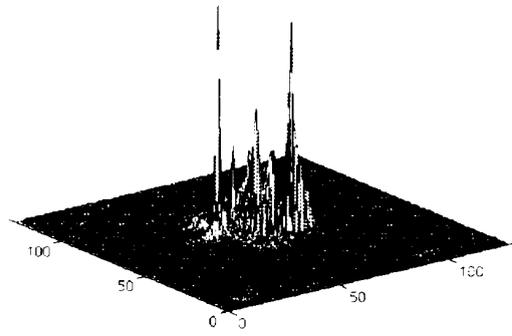


(a)

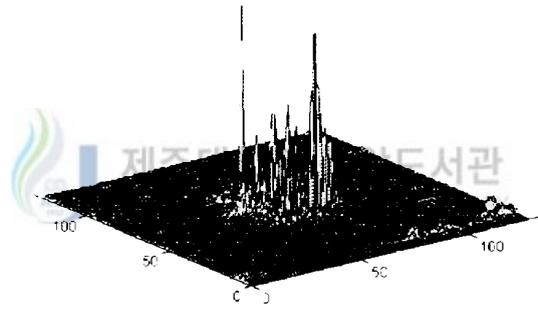


(b)

Fig. 8. Correlation distribution between the ECP-PO-SDF filter and the input images '값' after removing the noise of the input images corrupted with (a) 5% and (b) 10% random noise.

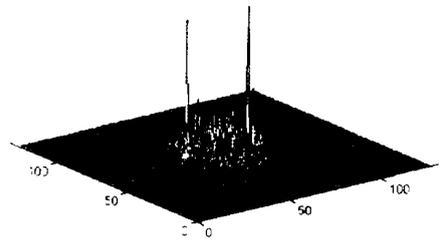


(a)

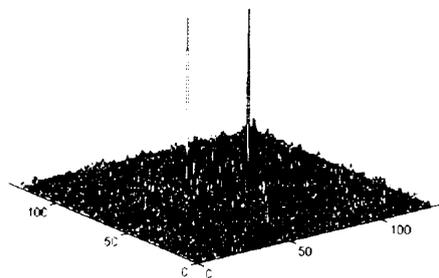


(b)

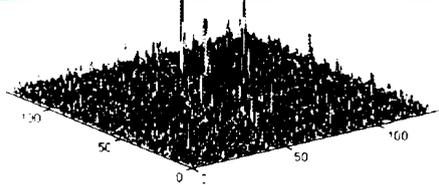
Fig. 9. Correlation distribution between the Mexican-hat wavelet ECP-SDF filter and the input images '잠' after removing the noise of the input images corrupted with (a) 5% and (b) 10% random noise.



(a)

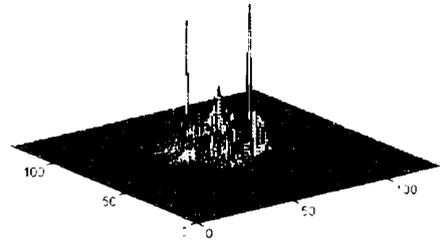


(b)

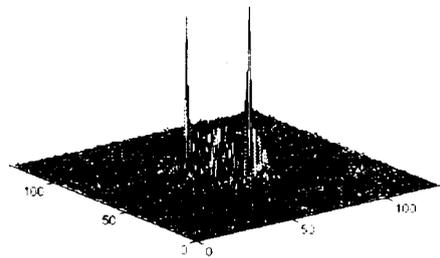


(c)

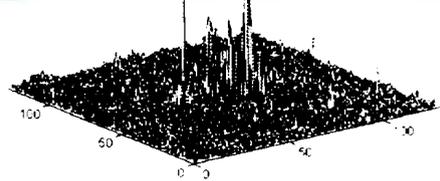
Fig. 10. Correlation distribution between ECP-PO-SDF filter and input image '값' (a) without noise, corrupted with (b) 5% and (c) 10% random noise.



(a)

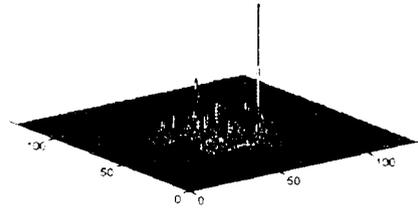


(b)

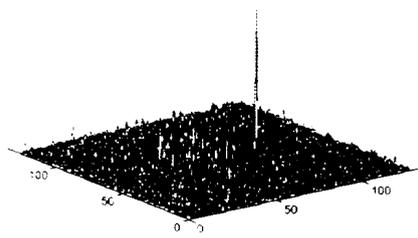


(c)

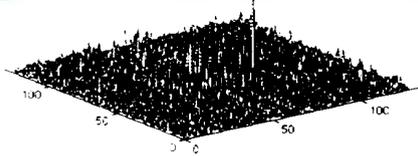
Fig. 11. Correlation distribution between Mexican-hat wavelet ECP-SDF filter and input image '값' (a) without noise, corrupted with (b) 5% and (c) 10% random noise.



(a)

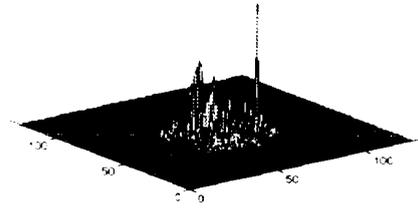


(b)

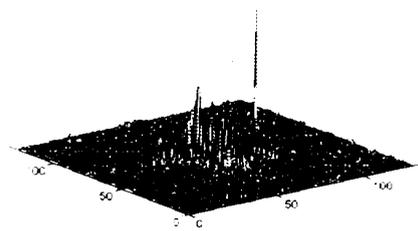


(c)

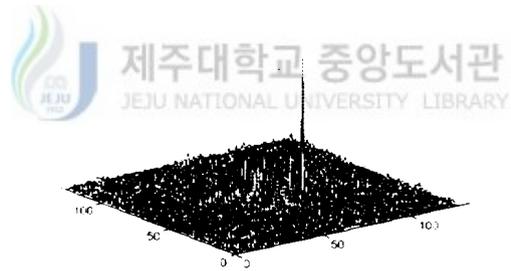
Fig. 12. Correlation distribution between ECP-PO-SDF filter and input image '닭' (a) without noise, corrupted with (b) 5% and (c) 10% random noise.



(a)

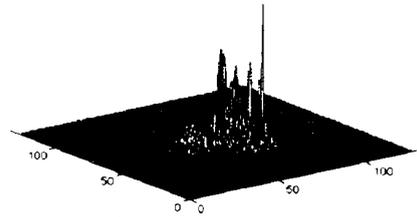


(b)

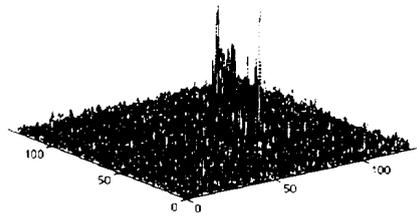


(c)

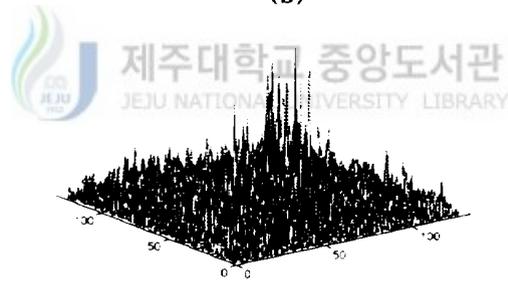
Fig. 13. Correlation distribution between Mexican-hat wavelet ECP-SDF filter and input image '닭' (a) without noise, corrupted with (b) 5% and (c) 10% random noise.



(a)

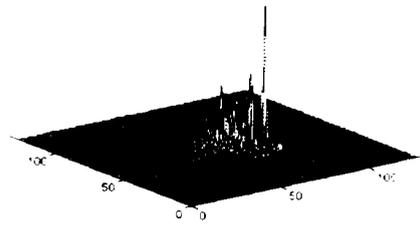


(b)

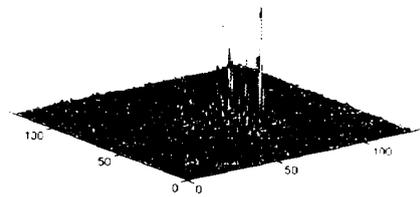


(c)

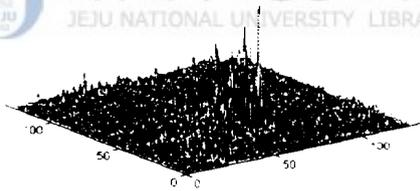
Fig. 14. Correlation distribution between ECP-PO-SDF filter and input image '색' (a) without noise, corrupted with (b) 5% and (c) 10% random noise.



(a)



(b)



(c)

Fig. 15. Correlation distribution between Mexican-hat wavelet ECP-SDF filter and input image '색' (a) without noise, corrupted with (b) 5% and (c) 10% random noise.

이들 그림의 결과를 놓고 볼 때 제안된 필터는 상관 침투치면에서 아주 안정된 출력을 나타내고 있음을 알 수가 있다. 그런데 ECP-PO-SDF 필터는 입력영상이 '색'인 경우 잡음이 10%일때 부엽이 상당한 영향을 미치는 것을 관찰할 수 있는데 반하여 제안된 필터는 입력영상의 잡음분포가 다른 경우에도 부엽의 차이를 적으므로 잡음에 대하여 비교적 안정된 상관 침투치 및 분포를 나타낸다고 할 수 있다.

Table 2. The performance measures for the filters.

Noise	Filters	ECP-PO-SDF filter	Wavelet ECP-SDF filter
	Performance measures		
without	SNR(dB)	17.76	17.39
	DS	0.034	0.028
	DC	0.660	0.640
with 5 %	SNR(dB)	14.32	16.62
	DS	0.045	0.045
	DC	0.625	0.632
with 10 %	SNR(dB)	13.90	16.31
	DS	0.165	0.062
	DC	0.460	0.560

그리고 제안된 필터의 상관분포를 전처리 과정을 거친 후의 그림 10과 비교해 볼 때 상관 침투치의 차이는 없고 단지 잡음에 의한 부엽의 효과가 제안된 필터에서 더 크게 나타나고 있다. 이는 제안된 필터가 상관 침투치가 다른 신

호에 비하여 훨씬 큰 값을 가지므로 전처리 과정이 없이도 잡음에 대하여 무관하게 인식할 수 있다는 것을 뒷받침하고 있다. 그리고 전처리 과정을 생략할 수 있으므로 인식 시스템을 간단하게 구현할 수 있다.

제안된 필터의 성능을 정량적으로 분석하기 위하여 식 (5), (6) 및 (7)의 수식을 이용하여 각각의 파라메타 값을 비교한 결과 표 2와 같다. 여기서도 마찬가지로 ECP-PO-SDF 필터와 비교 해볼 때 잡음이 없는 경우에는 제안된 필터의 성능이 그다지 많은 차이를 보이고 있지는 않지만 잡음이 점점 증가함에 따라 비교되는 필터는 신호대잡음비 값의 차이가 급격한 감소를 나타내는 반면 제안된 필터는 그 변화의 폭이 적으며, 변형감도 역시 제안된 필터가 개선되었음을 볼 수 있고, 변별력 또한 기존의 필터보다 개선되었다. 이들 파라메타들을 분석한 결과 제안된 필터가 더 안정적이고 인식특성이 우수함을 보여주고 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 자모의 조합형태에 따라 다양한 글꼴을 가지는 한글을 효과적으로 인식하기 위한 광 웨이브릿 SDF 필터를 제안하였다. 제안된 필터는 입력영상과 기준영상에 서로 다른 팽창모수를 사용하여 웨이브릿 변환을 하였다. 그리하여 입력영상에서는 잡음의 영향을 최소화하고 기준영상은 특징을 잘 보존할 수 있도록 하였다. 또한 다양한 글꼴의 동일한 자모를 동일군으로 인식할 수 있도록 ECP-SDF 필터 합성법을 이용하였으며, 전통적인 4-f 광상관 시스템에 적용할 수 있도록 입력평면의 웨이브릿 변환을 필터평면으로 옮겨서 하나의 필터 형태로 설계하였다. 제안된 필터의 성능은 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 기존의 ECP-PO-SDF 필터와 비교하였다. 그리고 잡음이 존재하는 환경 하에서 전처리 과정을 통하여 잡음을 제거한 후 이들을 입력영상으로 사용하여 제안된 필터와 ECP-PO-SDF 필터에 대하여 상관결과를 얻었다. 그 결과 ECP-PO-SDF 필터는 잡음이 적게 분포할 때는 잡음이 없는 경우와 동일한 결과를 얻었으나, 잡음이 많아짐에 따라 변화된 자모에 대한 침투치의 차이가 많음을 볼 수 있었다. 그러나 제안된 필터의 경우는 전처리 과정을 거친 경우나 그렇지 않은 경우를 비교할 때 약간의 부엽을 제외한다면 변화된 자모에 대해서도 거의 동일한 상관 침투치를 유지하므로 하나의 자모로 인식할 수 있었다. 그러므로 제안된 필터는 특히, 잡음이 존재하는 경우에 전처리 과정이 없이도 DS, DC, SNR 등의 성능면에서 더 우수함을 확인하였고, 인식 시스템이 기존의 다른 필터들에 비하여 더 유용함을 알 수 있었다.

참고문헌

- Anderson, C. S. and R. C. Anderson, 1987, "Comparison of phase-only and classical matched filter scale sensitivity," *Opt. Eng.*, vol. 26, no. 3, pp. 276-280.
- Awwal, A. S., M. A. Karim and S. R. Jahan, 1990, "Improved correlation discrimination using an amplitude modulated phase-only filtering," *Appl. Opt.*, vol. 29, no. 2, pp. 233-236.
- Burns, T. J., K. H. Fielding, S. K. Rogers, S. D. Pinski and D. W. Ruck, 1992, "Optical Harr wavelet transform," *Opt. Eng.*, vol. 31, no. 9, pp. 1852-1858.
- 백 응기, 이 상우, 1977, "최적 공간 필터법에 의한 한글의 패턴인식," *한국물리학 회지 '새물리'*, vol. 17, no. 4, p. 189.
- Casasent, D., 1984, "Unified synthetic discriminant function computational formulation," *Appl. Opt.*, vol. 23, no. 10, pp. 1620-1627.
- Casasent, D., G. Ravichandran, 1992, "Advanced distortion invariant minimum average correlation energy (MACE) filters," *Appl. Opt.*, vol. 31, no. 8, pp. 1109-1116.
- Casasent, D., W. Rozzi and D. Fetterly, 1984, "Projection synthetic discriminant function performance," *Opt. Eng.*, vol. 23, no. 6, p. 716.
- Casasent, D. and W. Chang, 1986, "Correlation synthetic discriminant functions," *Appl. Opt.*, vol. 25, no. 14, pp. 2343-2350.
- Casasent, D. and W. A. Rozzi, 1986, "Computer-generated and phase-only synthetic discriminant function filter," *Appl. Opt.*, vol. 25, no. 20, pp. 3767-3772.

- Cheng, Y. S. and T. C. Liang, 1994, "Rotational invariant pattern recognition using a composite circular harmonic and 2D isotropic Mexican-hat wavelet filter," *Opt. Comm.*, vol. 112, pp. 9-15.
- 도 양희, 1988, "한글문자 인식을 위한 양자화 위상 SDF 필터," *경북대학교 박사 학위 논문*.
- Gianino, P. D. and J. L. Horner, 1984, "Additional properties of the phase-only correlation filter," *Opt. Eng.*, vol. 23, no. 6, pp. 695-699.
- Hariharan, P., 1984, "Optical holography," *Cambridge Univ. Press*, p. 88.
- Horner, J. L. and J. R. Leger, 1985, "Pattern recognition with binary phase-only filter," *Appl. Opt.*, vol. 24, no. 5, pp. 609-611.
- Horner, J. L. and H. O. Bartelt, 1985, "Two-bit correlation," *Appl. Opt.*, vol. 24, no. 18, pp. 2889-2893.
- Horner, J. L. and P. D. Gianino, 1985, "Applying the phase-only filter concept to the synthetic discriminant function correlation filter," *Appl. Opt.*, vol. 24, pp. 851-855.
- Hsueh, C. K. and A. A. Sawchuk, 1978, "Compute-Generated Double-Phase Hologram," *Appl. Opt.*, vol. 17, no. 24, pp. 3873-3883.
- Jared, D. A., 1989, "Distortion range of filter synthetic discriminant function binary phase-only filters," *Appl. Opt.*, vol. 28, no. 22, pp. 4835-4839.
- Jared, D. A. and D. J. Ennis, 1989, "Inclusion of filter modulation in synthetic discriminant function construction," *Appl. Opt.*, vol. 28, no. 2, pp. 232-239.
- Kozaitis, S. P. and W. E. Foor, 1992, "Performance of synthetic discriminant functions for binary phase-only filtering of thresholded imagery," *Opt. Eng.*, vol. 31, no. 4, pp. 830-837.
- Kumar, B. V. K. V. and L. Hassebrook, 1990, "Performance measures for correlation filter," *Appl. Opt.*, vol. 29, pp. 2997-3006.

- 김정우, 1995, "인쇄체 한글의 왜곡불변 인식을 위한 광상관필터," *경북대학교 박사학위 논문*.
- 김정우, 김철수, 배장근, 도양희, 김수중, 1994, "인쇄체 한글의 광학적 인식을 위한 다중 MACE 필터의 합성" *한국통신학회 논문지*, vol. 19, no. 12, pp. 2364-2375.
- 김정우, 정수길, 김성룡, 조옹호, 김수중, 1994, "대표영상을 이용한 나무구조의 한글문자 인식," *대한전자공학회 논문지*, vol. 31-B, no. 4, pp. 18-29.
- 이재철, 도양희, 하영호, 김수중, 1987, "위상필터를 이용한 한글 문자 인식," *전기전자공학 학술대회 논문집(II)*, pp. 1445-1448.
- 이하운, 김정우, 김수중, 1995, "광웨이브렛 fSDF 필터를 이용한 회전불변 지문인식," *한국통신학회 논문지*, 제20권 7호, pp. 1822-1833.
- Mahalanobis, A., V. B. K. Kumar and D. Casasent, 1987, "Minimum Average Correlation Energy filter," *Appl. Opt.*, vol. 26, no. 17, pp. 3633-3640.
- Mahalanobis, A. and D. P. Casasent, 1991, "Performance evaluation of minimum average correlation energy filters," *Appl. Opt.*, vol. 30, no. 5, pp. 561-572.
- Mallat, S. G., 1989, "A theory for multiresolution signal decomposition : the watelet representation," *IEEE. Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, 31, pp. 674-693.
- Mendlovic, D., E. Maron and N. Konforti, 1989, "Improved rotation or scale invariant pattern matched filter," *Appl. Opt.*, vol. 28, no. 18, pp. 3814-3819.
- Martinet, R. K., J. Morlet and A. Grossmann, 1987, "Analysis of sound patterns through wavelet transforms," *Int. J. Patt. Rec. Artificial Intell.*, vol. 1, no. 2, pp. 237-302.

- Marr, D. and E. Hildreth, 1980, "Theory of edge detection," *Proc. R. Lond.*, B 207, pp. 187-217.
- Nomura, T., K. Itoh, K. Matsuoka and Y. Ichioka, 1990, "Binary Fourier phase-only correlatio," *Opt. Lett.*, vol. 15, no. 14, pp. 810-811.
- Roberge, D. and Y. Sheng, 1994, "Optical composite wavelet matched filters," *SPIE*, vol. 2242, Wavelet Applications, pp. 584-591.
- Roberge, D. and Y. Sheng, 1994, "Optical wavelet matched filter," *Appl. Opt.*, vol. 33, no. 23, pp. 5287-5293.
- Rosen, J. and J. Shamir, 1987, "Distortion invariant pattern recognition with phase-only filters," *Appl. Opt.*, vol. 26, no. 12, pp. 2315-2319.
- Sheng, Y., T. Lu, Roberge D. and Caulfield H. J., 1992, "Optical N⁴ implementation of a two-dimensional wavelet transform," *Opt. Eng.*, vol. 31, no. 9, pp. 1859-1864.
- Sheng, Y., D. Roberge, H. H. Szu and T. Lu, 1993, "Optical wavelet matched filters for shift-invariant pattern recognition," *Opt., Lett.*, vol. 18, no. 4, pp. 299-301.
- Sheng, Y., D. Roberge and H. H. Szu, 1992, "Optical wavelet transform," *Opt. Eng.*, vol. 31, no. 9, pp. 1840-1845.
- Szu, H. H., Y. Sheng and J. Chen, 1992, "The wavelet transform as a bank of the matched filter," *Appl. Opt.*, vol. 31, pp. 3267-3277.
- Szu, H. H., B. Telfer, and A. Lohmann, 1992, "Causal analytical wavelet transform," *Opt. Eng.*, vol. 31, no. 9, pp. 1825-1829.
- Vander Lugt, A., 1964, "Signal detection by complex signal filtering," *IEEE Trans. Infor. Theory*, vol. IT-10, pp. 139-145.
- Wen, M., S. Yin, P. Purwardi and F. T. S. Yu, 1993, "Wavelet matched filtering using a photorefractive crystal," *Opt., Comm.*, vol. 99, no. 5, pp. 325-330.

-
- Wyrowsky, F., R. Hauck and O. Bryngdahl, 1987, "Computer-Generated Holography : Hologram Repetition and phase Manipulation," *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 4, no. 4, pp. 694-698.
- Yang, S., H. H. Szu, Y. Sheng, H. J. Caulfield, 1992, "Optical Haar wavelet transform of binary image," *Opt. Eng.*, vol. 31, no. 9, pp. 1846-1851.



감사의 글

저를 위해 오늘까지도 고생과 걱정을 마다하지 않고 뒷바라지에 신경을 써주신 부모님께 진심으로 감사 드리며, 이 영광을 돌리고 싶습니다. 그리고 언제나 건강하시길 기원합니다. 또한, 저에게 용기와 희망을 북돋아주신 형님과 형수님 등 모든 가족과 친지 분들에게도 감사드립니다. 그리고 가정에 행복이 가득하기를 바랍니다.

본 논문이 완성되기까지 끊임없는 사랑과 열정을 갖고 지도해 주시고, 힘들어할 때 마다 따뜻한 말씀과 격려를 아끼지 않으신 도양희 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 앞으로도 지속적인 사랑의 지도와 편달을 부탁드립니다. 또한 본 논문의 부족한 점을 지적해주시고 다듬어 주신 고성택 교수님과 김경연 교수님께 감사드리고 김경식 교수님, 이광만 교수님, 강민재 교수님께도 본 지면을 통하여 감사드립니다. 그리고 항상 저희들에게 많은 도움을 주셨고, 제게 무한한 발전을 이룰 수 있도록 격려 해주시는 마음을 영원히 잊지 않겠습니다.

그리고 대학원 선배로서 경험 많은 상사로서 항상 저의 발전을 위해 격려해주신 윤성보 선생님께 고마움을 전합니다. 그리고 저와 함께 동고동락을 같이한 대학원생들에게도 무한한 발전과 꿈꾸는 모든 일들이 다 이루어지기를 바랍니다. 그리고 저를 동생처럼 아끼고 격려해주신 김동춘 선배님께도 감사드리며 행복한 가정을 꾸미시길 기원합니다. 또한 농촌진흥원 송해숙 양에게도 고마움을 표하며, 언제나 기쁜 소식만이 있기를…….

본 논문이 만들어지기까지 많은 도움이 되었던 경북대학교 김정우 이하운 씨에게도 고마움을 전하며, 앞으로 하시는 일에 무한한 영광이 있기를 바랍니다. 그리고 항상 늦은 밤까지 연구를 같이했던 광신호처리 연구실 구성원 김오철, 강봉수, 강바라, 오성운, 고성용 군과 열심히 학업에 매진하는 전자공학과 재학생들에게도

고마움을 표합니다.

그리고 공과대학의 모든 교수님들과 지난학기 동안 많은 관심을 갖고 격려해주신 공대 조교 선생님들과 행정실 선생님들께 깊이 감사드리고, 보다 더 나은 미래를 맞을 수 있기를 바라며, 앞으로도 공과대학의 발전에 힘써주시길 부탁드립니다. 그리고 학과일을 도맡아 처리해주시고 저를 도와주신 김경미 선생님 김미정 선생님과 저의 학과를 위하여 힘써주신 인문대학 양유호 선생님께 본 지면을 통하여 고마움을 전하며, 행복한 앞날을 맞을 수 있기를 빌겠습니다. 또한 세계 커다란 힘이 되어주신 사범대학 김인홍 선생님과 고원일 실장님께도 진심으로 감사드립니다. 그리고 세계 항상 따뜻함으로 내조하는 우찬이 엄마와 아들에게도 사랑한다는 말을 전합니다. 또한 타대학교 대학원에서 연구에 몰두하고 있는 이석현, 임남주, 강금실, 허재영 군에게도 밝은 앞날이 있기를 바랍니다.

끝으로 본 논문이 완성되기까지 거명되지 않았지만 물신양면으로 도움을 주신 많은분들과 저를 알고계시는 모든 분들과 함께 이 기쁨을 나누고 싶습니다.



따스함을 느끼고 싶은 날

김 용 규