

제한된 왜곡불변 MACE 합성필터를 이용한 효율적인 한글 문자 인식 (Efficient Korean Character Recognition using Partial Distortion Invariant MACE Composite Filter)

金成龍*, 李承熙*, 金喆洙*, 金正雨*, 裴長根*, 金秀重*

(Sung Yong Kim, Seung Hee Lee, Cheol Su Kim, Jeong Woo Kim,
Jang Keun Bae and Soo Joong Kim)

要約

본 논문에서는 한글문자인식의 효과적인 인식을 위한 새로운 광학적 방법을 제안한다. 제안된 방법에는 AMPOF와 SFM의 개념을 적용한 6개의 필터를 가진다. 여기서 크기변조는 개선된 상관식별을 위해서 SFM은 필터의 가진다. 여기서 크기변조는 개선된 상관식별을 위해서 SFM은 필터의 수를 감소시키기 위해서 사용되어진다. 입력영상의 형태변형 무관한 인식을 위해 간략화된 SDF를 사용하였다. 또 부분 회전된 한글 문자를 효율적으로 인식하기 위하여 제안된 왜곡 불변 MACE 필터는 주파수 영역에서 AMPOF, PRSI 필터와 MACE 필터를 합성하였다. 제안된 필터들의 장점은 자기 상관값외의 상호 상관침두치의 부엽을 최소화시키고 예리한 자기 상관침두치를 얻는다. 제안된 방법을 사용하여 한글문자인식에 대하여 시뮬레이션과 광학적 실험을 수행하였다. 이들 결과들은 기존의 방법보다 식별능력과 더 적은 처리시간을 가진다는 것을 보여준다.

Abstract

In this paper, we proposed a new optical method for the efficient recognition of Korean characters. There are six filters in the proposed method which employed the concepts of amplitude-modulated phase-only filter(AMPOF) and spatial frequency modulation(SFM). Here, amplitude modulation is used to achieve improved correlation discrimination and SFM is to reduce the number of filters. We also used a simplified synthetic discriminant function(SDF) for distortion invariance of input image. In order to recognize the partial rotation invariant Korean characters, the proposed distortion invariant minimum average correlation energy(MACE) filter is synthesized SFM, partial rotation invariant filter(PRIF), AMPOF and MACE for partial rotation invariance in the frequency domain. The advantage of the proposed filters is to suppress the sidelobes of cross correlation peak away from the autocorrelation peak and to produce sharp correlation peaks. We performed simulation and optical experiment for some of Korea characters using the proposed method. The results show that the proposed method has more improved discriminant ability and reduced processing time than the conventional methods.

1. 서론

광상관기(optical correlator)에 의한 광학적 형태 인식에 관한 연구는 Vander Lugt가 광의 간섭성을 이용하여 복소 공간정합필터를 실현한 후 본격적으로 연구되어 왔다.^{1,3)} 이러한 공간정합필터들은 공간위

* 正會員, 慶北大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)
接受日字: 1992年 11月 28日

상을 이용하므로 입력영상의 상대적인 위치정보를 잘 보존하여 한글과 같은 다중 문자 인식에 효과적이다. 한글 문자인식에 관한 대부분 연구는 한글의 자모가 서로 조합되어 글자를 만들므로 우선 각 자모를 분리 인식한 후 이들을 다시 조합하여 하나의 문자로 인식하는 공통점을 가지고 있다.^[4,5]

한글 문자인식에서와 같이 한 입력평면에 서로 형태가 비슷한 자모가 서로 인접해 있을 경우 정확한 인식을 위해 출력 상관평면에서의 부엽(sidelobe)을 감소시키고 처리시간을 단축하기 위해 필터의 수를 줄이는 문제등을 해결하여야 한다. 부엽의 효과를 줄이기 위해 위상필터(phase-only filter:POF)를 사용할 경우에는 연속적으로 위상을 기록하거나 제어하기가 어렵다.^[6] 특히 2치위상필터(binary phase-only filter:BPOF)를 사용할 경우에는 필터의 위상 정보가 2치값이기 때문에 정보의 기록과 제어는 용이하나 서로 대칭적인 다른문자를 동일문자로 인식하는 단점이 있고, 한글자모의 특징과 상관 평면의 효율적인 이용이 연구되지 않아 필터의 수가 많아지는 어려움이 있다.^[7,8] 한편 처리시간을 줄이기 위해 기존의 논문에서는 NRF-SDF(nonredundant function-synthetic discriminant function)^[6] 등을 이용하고 있으나, 처리과정이 순차적 이어서 한글자모의 수에 따라 처리시간이 길어지는 문제점이 발생 하였다.

본 논문에서는 한글문자의 형태가 대개 정방형이므로 공간정합필터의 수를 줄이기 위해 출력평면을 4개의 부평면으로 할당하여 각 부평면에 나타나는 출력 상관세기의 위치정보를 이용하여 인식하고자 하는 자모를 판단하도록 하였다. 첫번째는 각 자모의 물체파에 기준파의 입사각도를 달리하는 방법으로 공간주파수변조(spatial frequency modulation:SFM)를 수행하여 다중 컴퓨터형성프로그램을 제작하였다. 한편, 인식능력의 비교기준이 되는 PSR (peak-to-sidelobe ratio)을 높게하기 위해 기준입력의 위상성분에도 크기성분을 보성한 AMPOF(amplitude-modulated phase-only filter)^[9]를 이용하고, 형태변형에 무관한 인식을 위해 공간주파수변조되는 기준자모들의 학습표본으로 부터 SDF^[10] 합성한다. 두번째는 모양이 변형된 동일한 자모는 공간영역에서 ECP-SDF [equal correlation peak-SDF]^[11] 합성을 하고 각 자모의 부분적 회전에 의한 변형된 자모는 이에 무관하게 인식하는 PRIF(partial rotation invariant filter:PRIF)^[4]를 사용하여 동일한 자모로 인식하게 한다. 또 한글자모의 유사성문제 때문에 생기는 부엽의 문제를 해결하기 위하여 상관평면에서 각 부 평면으로 상관 침투치를 사상 시켜주는 공간주

파수변조와 AMPOF합성을 한다. 이 필터에 상관 평면에서 에너지를 최소화하면서 학습표본의 중심 위치에서 상관 침투치를 얻을 수 있는 주파수 영역 필터 합성법인 MACE(minimum average correlation energy)^[13] 합성법을 이용한다. MACE필터 합성법은 입력패턴과 MACE의 학습표본이 서로 다른 경우에도 PRIF를 이용하고 주파수 영역에서 MACE와 합성하여 기준자모와 모양이 변형된 자모들의 부분적인 회전에 무관한 인식을 할 수 있는 제한된 왜곡불변 MACE합성법을 제안하였다.

II. 공간정합필터

1. 위상필터(POF)

형태인식에서는 푸리에변환 영역에서의 위치정보가 진폭정보보다 더 중요한 요소가 되므로 위상정보만 포함하는 위상필터를 사용할 수 있다.^[14] 위상필터는

$$H(u, v) = \exp [-j \phi (u, v)] \quad (1)$$

로 나타낼 수 있다. 대역폭 제한된 일반적 신호의 $1/|F(u, v)|$ 성분은 고역통과필터 특징을 갖고 있다. 여기서 $|F(u, v)|$ 는 기준입력 $f(x, y)$ 의 푸리에 변환한 크기성분이다. 식(1)은 고역통과된 성분으로 인한 상관영역에서의 예리한 상관세기를 가지며 부엽의 크기는 작다. 따라서 비슷한 모양의 인접한 영상을 분리하는데 유용하나 입력영상의 회전및 크기변화에 민감한 단점이 있다. 이 POF는 기록될 위상정보가 연속적인 값을 가지므로 이를 기록하거나 제어하기가 어렵다.

2. 크기변조위상필터(AMPOF)

형태인식을 위해서는 위상성분이 크기성분보다 훨씬 중요한 역할을 하지만 위상이 모든 정보를 포함하지는 않는다는 사실에 유념할 필요가 있다. Horner^[2]는 위상필터가 높은 광효율과 큰 PSR를 가졌지만 크기성분을 효율적으로 잘 이용한다면 이보다 인식율을 높일 수 있음을 보였다.

전통적 정합필터(classical matched filter:CMF)의 경우 상관세기는 $|F(u, v)|^2$ 의 값에 비례하고, POF인 경우 $|F(u, v)|$ 의 값에 비례한다. 일반적으로 $|F(u, v)| < 1$ 이므로 POF의 상관치가 CMF의 상관치보다 높음을 알 수 있다. 푸리에 평면에서의 크기스펙트럼을 보다 균일하게 하기 위해 POF에 크기 정보를 포함시킬 수 있다. 이론적으로 Dirac delta 자기상관세기를 가지기 위해서 푸리에 영역의 함수는 $F^{-1}[\delta(x, y)] = 1$, 즉 하나의 평면파

가 되어야 하므로 평면파를 만들기 위한 상관필터의 전달함수는 $1/F(u, v)$ 의 특성을 가질 것이다. 그러나 이러한 역함수필터(inverse filter)의 구현은 디지털 컴퓨터를 이용해서는 쉽게 가능하지만 광학적으로는 구현이 불가능할 수도 있는데 '1' 보다 작은 값을 역으로할 경우 광학적 입장에서는 광신호의 증폭을 필요로하고, 또 값이 '0' 에 접근할 경우에는 그 역의 값이 정해지지 않고 발산할 가능성이 있기 때문이다.

이러한 결점을 보완하기 위해서는 우선 필터의 이득을 '1' 보다 작게 떨어뜨려야 하고, 다음은 발산하는 값이 POF의 크기와 동일하게 인위적으로 정해줘야 한다. 위의 요건은 필터평면에서의 에너지 흡수와 연관되기 때문에 그 흡수 에너지를 최대한 줄이고 상당히 균일한 필터 함수를 얻기 위해 AMPOF의 특성은

$$H(u, v) = \frac{D \exp[-j\phi(u, v)]}{[|F(u, v)| + a]} \quad (2)$$

$$0 < D \leq 1, a \leq D$$

와 같이된다. 여기서 $\phi(u, v)$ 는 $F(u, v)$ 의 위상성분이다. 식(2)에서 보듯이 AMPOF는 '1' 보다 작은 투과도를 갖는다. 파라미터 a는 발산하여 결정되지 않는 곳의 값을 정해주기 위해, 그리고 이득을 '1' 보다 작게 하기위한 파라미터로 사용된다. 이 값은 상수 혹은 (u, v) 의 함수로 정해 잡음을 줄이거나 필터의 대역폭을 제한할 수 있다. D는 상관세기 제어요소이다.

표 1. 각 상관필터의 상관값 비교
Table 1. Comparison of correlation values of each fillter.

filter	* * *		* * *		Δ
	Peak	PSR	Peak	PSR	
CMF	1	30.8	0.4	15	2.5
POF	31.8	90.9	3.7	21.5	8.5
BPOF	14.8	54.9	1.9	15.2	7.8
AMPOF	0.6	600.4	0.04	18.8	15

PSR = Peak/Srms
Peak : maximum correlation value
Srms : RMS value of the region below 50% of Peak
Δ : (Peak.a)/(Peak.c)
Peak.a : autocorrelation peak
Peak.c : crosscorrelation peak

본 논문에서는 $D=1, a=1$ 로 두어 시뮬레이션 하였다. 광상관기에 사용될 수 있는 각종 정합필터들에 대해 한글문자 '값' 을 입력으로 했을 때 출력상관결과와 인식능력에 대한 비교는 표1과 같다. 여기서 *는 상관관을 나타낸다. 표 1에서 보는 바와 같이 세기의 절대크기에 있으서는 에너지 흡수가 없는 POF가 가장 크지만, 문자인식에 있어 가장 중요한 파라미터인 PSR 이나 자기상관도와 상호상관도의 비(\cdot)를 비교해보면 AMPOF가 인식능력이 가장 우수함을 알 수 있었다.

3. 부분적회전불변필터(partial rotation invariant filter:PRIF)

주어진 N개의 입력 영상을 인식하기 위해서는 일반적으로 N개의 필터가 필요하다. i번째 입력 $f(x, y)$ 에 대한 j번째 필터 $M(u, v)$ 의 응답은

$$R(x, y) = \iint F(u, v)M^*(u, v)dudv \quad (3)$$

로 표현된다. 입력의 회전 변위에 무관한 인식을 위해서는 필터가 주파수 영역에서 원점을 중심거리 r에 만 관계 하고 θ 에는 무관한 형태가 되면서 식(3)의 임펄스 출력을 만족하면 된다. 따라서 이런 필터는 동심원 형태가 되어야 하며

$$M(u, v) = \exp[-j\phi(u, v)] \quad (4)$$

와 같은 위상 필터로 만든다. 위상 정보 $\phi(u, v)$ 는 입력이 원점에서 멀어질수록 빠른 비율로 변화하므로 입력영상이 가능한한 원점 가까이에 있는 것이 좋다. 한글 문자 인식에서는 제한된 회전 변위의 범위안에서만 동일하게 인식해야 하므로 그 범위(θ_{max})를 $45^\circ (22.5^\circ)$ 로 하였다. 각 동심원을

$$L = 2\pi / \theta_{max} = 2\pi / 45^\circ = 8 \quad (5)$$

개의 섹터로 나눈다. 필터영역은 K개의 동심원과 L개의 섹터로 나누어진 부채꼴 모양이되며 제한 범위 내의 회전에 무관하게 된다. k번째 동심원의 l번째 섹터의 필터위상은

$$\phi_{kl} = \text{atan} \frac{\iint_{S_{kl}} F(u, v)\sin \phi(u, v)dudv}{\iint_{S_{kl}} F(u, v)\cos \phi(u, v)dudv} \quad (6)$$

이고, 필터를

$$H_{kl} = \exp\{-j \circ k_l\} \tag{7}$$

로 할당하여 제한된 영역(45°)내에서는 동일한 특성을 갖도록 하여 부분적으로 회전에 무관한 인식을 할 수 있다.

Ⅲ. 한글문자 인식을 위한 필터합성

1. 간략화된 상관행렬을 통한 SDF합성

SDF필터는 인식하고자 하는 모든 입력영상과 분리하고자 하는 입력영상의 선형조합으로 표현된다. 이때 입력 영상에 곱해지는 가중치(weighting value)는 각 입력 영상의 자기상관도와 상호상관도로 이루어지는 상관행렬의 역행렬에 인식과 분리를 제한해 주는 제한벡터(constraint vector)를 곱함으로써 얻어진다. 상관시키려는 학습표본을 $f_i(x, y)$ 라 할때 SDF합수 $h(x, y)$ 는

$$h(x, y) = \sum a_i f_i(x, y) \tag{8}$$

와 같고, SDF필터계수 a_i 는

$$\underline{a} = \underline{R}^{-1} \underline{u} \tag{9}$$

의 벡터 연산을 따른다. 상관행렬 \underline{R} 에서 대각선 성분은 자기 상관값을, 나머지 성분은 상호상관값을 의미하며 학습표본이 N 개인 경우 $N \times N$ 의 차수를 가진다. 제한벡터 \underline{u} 의 요소는 인식하고자 하는 영상은 '1'로, 분리하고자 하는 영상은 '0'으로 하는 $1 \times N$ 의 열벡터이다. 이러한 전통적인 SDF합성의 경우 모든 학습표본 사이의 상관값을 구하여야 하므로 학습표본이 많을 경우 필터 계수를 구하기 힘들고, 경우에 따라 커다란 부엽의 문제를 초래할 수도 있다. 상관되어지는 N 개의 학습표본중 처음 M 개를 인식하고자 하는 표본으로하고 나머지는 분리하고자 하는 표본이라고 하면 상관행렬 \underline{R} 은 $N \times N$ 행렬이 될 것이고, 제한벡터 \underline{u} 는 처음 M 개의 요소를 '1'로 나머지는 '0'으로 하는 $1 \times N$ 의 열벡터가 될것이다. 본 논문에서는 AMPOF의 높은 PSR 때문에 SDF 합성을 간략히 할 수 있으며, 이는 상관행렬과 제한벡터의 차수를 줄임으로써 가능하다. 이러한 필터 합성의 단순화에도 불구하고 출력상관평면에서의 판별인식능력은 상당히 신뢰성이 있다. $N \times N$ 상관행렬은 $M \times M$ 의 행렬로 간략화되는데 이는 분리하고자 하는 표본들의 자기상관값과 상호상관값이 인식하고자 하는 표본의 원하는 출력상관값에 대해 아주 작은 기여도를 갖기

때문이다. 간략화된 상관행렬의 차수에 맞게 제한벡터는 $1 \times M$ 의 열벡터로 간략화된다. 비록 이러한 간략화는 인식하고자 하는 표본들의 출력상관값에 변화를 초래하지만 그 변화가 인식에 필요한 세기의 변화량보다 작기 때문에 정당성을 가진다.

본 논문에서는 128×128 출력상관평면을 4개의 부평면으로 나누어 4개의 기준자모인식을 위해 각각 할당하므로 각 부평면에 이상적으로 SDF 되는 학습표본 N 의 갯수는 4개의 부평면에 SDF 되어지는 모든 학습표본 $N=16$ 이 될 것이다. 하지만 AMPOF의 특성에 의해 간략화한 경우 각 부평면에 SDF 되는 실제 학습표본 수는 인식하고자 하는 표본 $M=4$ 로 줄어든다. 간략화된 상관행렬 R_{MM} 과 제한벡터 u_{1M} 은

$$R_{MM} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & R_{14} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & R_{24} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & R_{34} \\ R_{41} & R_{42} & R_{43} & R_{44} \end{bmatrix} \tag{10}$$

$$u_{1M} = [u_1 \ u_2 \ u_3 \ u_4] \tag{11}$$

와 같다.

2. 공간주파수변조를 통한 홀로그램 메모리

원하는 영상 $f(x, y)$ 의 크기와 위상성분을 모두 기록할 수 있는 Vander Lugt 필터는 기준파와 물체파의 상호간섭을 이용한 것이다. 이들 두 신호의 간섭으로 인한 필터평면의 전달함수는 다음 식과 같다.

$$H(u, v) = |A|^2 + |F(u, v)|^2 + A F(u, v) \exp(j2\pi (au+bv)) + A F^*(u, v) \exp(-j2\pi (au+bv)) \tag{12}$$

여기서 $F(u, v)$ 는 물체파 $f(x, y)$ 의 푸리에 변환이고 $A \exp(-j2\pi (au+bv))$ 는 입사되는 평면파를 나타낸다. 여기서 입사되는 평면파의 방향을 각각 다르게 하여 위상성분을 변조시킬 경우 여러 개의 영상을 하나의 함수로 중첩할 수 있다. 식(12)에서 상관과 관련된 항은 마지막 항이며 컴퓨터형성홀로그램 (computer-generated hologram:CGH)을 통해 필터를 합성할 경우에는 이 마지막 항만을 이용한다. N 개의 각 영상을 이렇게 공간주파수변조를 하여 하나의 필터로 합성한 함수는

$$H(u, v) = \sum K_i F_i^*(u, v) \exp[j2\pi(a_i u + b_i v)] \tag{13}$$

와 같다. 여기서 K_i 는 i 번째 평면과 크기이며, 각 영상의 자기상관값을 동일하게 하기 위한 계수이다. a_i 와 b_i 는 자기상관세기의 분리 정도를 정해주기 위한 평면파의 입사 각도와 관련된 매개변수이다. 한글은 모이쓰기 특징을 가진 정방형 문자이므로, 본 논문에서는 출력상관평면을 4개의 정방형 부평면으로 효율적으로 할당하였다. 각 자모의 출력상관세기를 원하는 특정 부평면으로 사상시켜 각 자모와 부평면을 일대일 관계로 두기 위해 자모의 물체파에 평면파의 입사각도를 달리하여 위상변조하였다. 입력 자모가 광축에 있을 때 출력상관세기가 부평면의 중앙에 위치하도록 a_i 와 b_i 값을 정하였다. 2D-FFT 알고리즘에 의해 사용된 a_i, b_i 값들은 (30,30), (30,-30), (-30,30) 및 (-30,-30)이다.

3. 합성 필터 I

한글자모 인식을 위한 제안된 필터 합성 I은 그림 1과 같다.

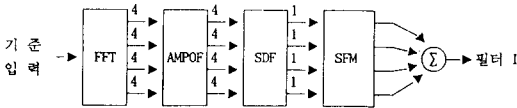


그림 1. 한글 문자 인식을 위한 필터 합성 과정

Fig. 1. Synthesis procedure of the proposed filter.

먼저 각 자모의 변형된 4개의 학습표본은 푸리에 변환 후에 AMPOF과정을 수행하여 크기변조 후 간략화된 SDF과정을 거쳐 다음과 같은 하나의 기준함수로 나타낸다.

$$f_i = \sum a_j \cdot f_{ij} \tag{14}$$

여기서 f_i 는 기준자모함수, f_{ij} 는 그 기준자모함수의 학습표본, a_j 는 SDF 계수이다. 한 필터에 합성되는 4개의 기준함수의 상관세기를 128 x128 출력상관평면의 (34,34), (34,94), (94,34), (94,94) 위치에 오도록 공간주파수변조를 하였으며, 이때 FFT 알고리즘상에서 관련되는 (a_i, b_i) 값은 각각 (30,30), (30,-30), (-30,30), (-30,-30)이다. 이렇게 공간주파수변조된 4개의 기준 함수가 선형적으로 합해진 하나의 필터함수는 다음과 같다.

$$H^n(u,v) = FT [h^n] = \sum_{m=0}^n K_m F_m^* (u,v) \exp [j2\pi (au + bv)] \tag{15}$$

$$m = 4(n-1) + i$$

각 필터에 합성되는 학습표본을 표 2에 나타내었다. 여기서는 한글조합시 각 기준자모는 그 위치에 따라 형태가 조금씩 변화된것을 그 기준자모의 학습표본으로 택하여 SDF하였다. 그리고 보다 효과적인 비교인식을 위해 서로 비슷한 자모를 한 집단으로 하였다.

표 2. 각 필터에 합성되어지는 학습표본 및 상관위치

Table 2. Training images which are composed in each filter and its correlation peak positions.

filter	reference image f_i	training image f_{ij}				position of peak 128x128 plane
		J=1	J=2	J=3	J=4	
h^1	ㄱ	ㄱ	ㄱ	ㄱ	ㄱ	(34, 34)
	ㄴ	ㄴ	ㄴ	ㄴ	ㄴ	(34, 94)
	ㄷ	ㄷ	ㄷ	ㄷ	ㄷ	(94, 34)
	ㄹ	ㄹ	ㄹ	ㄹ	ㄹ	(94, 94)
h^2	ㄴ	ㄴ	ㄴ	ㄴ	ㄴ	(34, 34)
	ㄷ	ㄷ	ㄷ	ㄷ	ㄷ	(34, 94)
	ㄹ	ㄹ	ㄹ	ㄹ	ㄹ	(94, 43)
	ㅁ	ㅁ	ㅁ	ㅁ	ㅁ	(94, 94)
h^3	ㅂ	ㅂ	ㅂ	ㅂ	ㅂ	(34, 34)
	ㅅ	ㅅ	ㅅ	ㅅ	ㅅ	(34, 94)
	ㅇ	ㅇ	ㅇ	ㅇ	ㅇ	(94, 34)
	ㅈ	ㅈ	ㅈ	ㅈ	ㅈ	(94, 94)
h^4	ㅇ	ㅇ	ㅇ	ㅇ	ㅇ	(34, 34)
	ㅎ	ㅎ	ㅎ	ㅎ	ㅎ	(34, 94)
	ㅡ	ㅡ	ㅡ	ㅡ	ㅡ	(94, 34)
	ㅣ	ㅣ	ㅣ	ㅣ	ㅣ	(94, 94)
h^5	ㅊ	ㅊ	ㅊ	ㅊ	ㅊ	(34, 34)
	ㅋ	ㅋ	ㅋ	ㅋ	ㅋ	(34, 94)
	ㆁ	ㆁ	ㆁ	ㆁ	ㆁ	(94, 34)
	ㆂ	ㆂ	ㆂ	ㆂ	ㆂ	(94, 94)
h^6	ㅅ	ㅅ	ㅅ	ㅅ	ㅅ	(34, 34)
	ㅆ	ㅆ	ㅆ	ㅆ	ㅆ	(34, 94)
	ㅈ	ㅈ	ㅈ	ㅈ	ㅈ	(94, 34)
	ㅊ	ㅊ	ㅊ	ㅊ	ㅊ	(94, 94)

4. 합성 필터 II

필터합성 I에서는 모양과 부분적 회전으로 변형된 4개의 자모를 학습표본으로 사용하였으며, 이 경우 학습표본이 광 상관기의 입력으로 들어오지 않을 경우에는 출력상관 침투치가 급격히 떨어지는 문제점이 발생한다. 그러나 그림 2의 필터합성 II에서는 모양이 변형된 동일한 자모는 공간영역에서 ECP-SDF합성을 하고 각 자모의 부분적 회전에 의한 변형된 자모는 이에 무관하게 인식하는 PRIF를 사용하여 동일한 자모로 인식하게 한다. 또 한글자모의 유사성문제

때문에 생기는 부엽의 문제를 해결하기 위하여 상관 평면에서 각 부 평면으로 상관 침두치를 사상 시켜주는 공간주파수변조와 AMPOF합성을 한다. 이 필터에 상관 평면에서 에너지를 최소화하면서 학습표본의 중심 위치에서 상관 침두치를 얻을 수 있는 주파수 영역 필터합성법인 MACE합성법을 이용한다. MACE필터 합성법은 학습표본이 입력패턴들로 구성되어 있을때만 가능하며, 한글자모와 같이 입력패턴의 부분적인 회전에 무관한 인식을 필요로 할때는 직접 이용할 수 없다. 그래서 입력패턴과 MACE의 학습표본이 서로다른 경우에도 PRIF를 이용하고 주파수 영역에서 MACE와 합성하여 기준자모와 모양이 변형된 자모 각각의 부분적인 회전에 무관한 인식을 할 수 있는 제한된 왜곡불변 MACE합성법을 제안하였다.

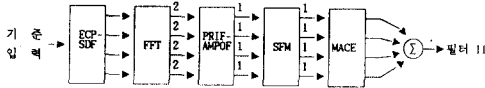


그림 2. 한글 문자 인식을 위한 필터 합성 과정 II
Fig. 2. Synthesis procedure II of the proposed filter.

제안된 필터합성방법은 다음과 같다. ECP-SDF합성한 입력패턴 $x_{iECP}(n)$ 의 이산 푸리에변환은 다음과 같다.

$$X_{iECP}(u) = \sum_{k=1}^m \sum_{n=1}^m x_{iECP}(n) \exp[-j2\pi nk/m] \quad u = k/mT \quad (16)$$

$X_{iECP}(u)$ 의 공간주파수와 크기변조된 PRIF는 식 (2)와 (7)에 의한 1차원표현은 다음 식과 같다.

$$H_k(u) = D \exp[-j\phi_k(u)] / [|X_{iECP}(u)| + a] \quad (17)$$

제한된 왜곡불변 합성 MACE필터 $M_k(u)$ 는 공간영역에서 모양이 변형된 입력패턴을 ECP-SDF한 후 공간주파수와 크기변조된 PRIF를 새로운 $M_k(u)$ 의 학습표본으로 하여 필터를 합성한다. i 번째 입력패턴의 상관에너지는

$$E_i = M^*_{kD} D_i M_k \quad (18)$$

와 같으며, 여기서 $D_i(k, k) = \text{Diag} [|X_i(u)|^2]$, $D = \sum D_i$ 이고, *는 복소공액변환이다. 입력패턴 X_i 에

대한 제한된 왜곡불변 합성 MACE 필터 M_k 와의 출력상관침두치는 다음 식과 같다.

$$X_i * M_k = U_i \quad (19)$$

여기서 U_i 는 식 (18)을 만족하면서 상관영역의 침두치를 제어할 수 있는 제한벡터이다. 제안된 필터는 출력상관영역의 전체 에너지가 최소화 되도록 합성하기 위하여 Lagrange multiplier를 이용하여

$$\Phi = M^*_{kDM} - 2\lambda_1 (M^*_{kH_1} - U_1) \dots 2\lambda_n (M^*_{kH_n} - U_n) \quad (20)$$

로 표현되며, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ 은 식 (19)를 만족하도록 도입한 매개변수이다. 식 (20)을

$$\partial \Phi / \partial M_k = 0 \quad (21)$$

로 놓고, 식 (21)을 만족하도록 λ_i 를 선택하면 필터합수는 다음 식과 같이 얻어진다.

$$M_k = D^{-1} H_k L, \quad L = [\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n] \quad (22)$$

여기서 L 을 구하기 위하여 식 (22)를 식 (19)에 대입하여

$$L = [X^*_{iD^{-1}H_k}]^{-1} U_i \quad (23)$$

를 얻고 식 (23)를 식 (22)에 대입하면 왜곡불변 합성 MACE필터 M_k 는 다음과 같다.

$$M_k = D^{-1} H_k [X^*_{iD^{-1}H_k}]^{-1} U_i \quad (24)$$

제안필터 M_k 는 입력패턴이 한글자모인 경우 필터 합성에 사용된 학습표본과 일치하지않는 변형된 입력에 무관하게 인식하고자하는 자모에 대하여 공간주파수 변조된 원하는 위치에 부엽을 최소로 하는 출력상관 침두치를 얻을 수 있다.

IV. 실험 및 결과 고찰

1. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션에 사용된 기준 입력패턴은 그림 3를 사용하였으며, 표 2에 나타나 있는 학습표본의 조합으로 이루어지는 '강'을 입력영상으로 하여 시뮬레이션 하였다. 입력영상은 64x64의 이진영상이며, 시뮬레

이선에 필요한 푸리에 변환은 128x128의 2D-FFT 알고리즘을 사용하였다. 그림 4에 한글 문자 '강'에 대한 각 필터의 출력상관세기를 나타내었다. 필터 1과 4는 (34, 34)위치에서 'ㄱ'과 'ㅇ'을 각각 인식하고, 필터 5는 (34, 94)위치에서 'ㅏ'를 각각 구별 인식하며, 그외의 나머지 필터에서는 상관값이 떨어져 인식되지 않음을 알수 있다. 그림 4에서는 학습표본으로 사용된 모든 한글자모는 원하는 필터의 원하는 위치에 구별 인식가능한 출력상관세기를 나타내며, 서로 인접한 경우에도 부엽으로 인한 인식 오류가 거의 없다. 시뮬레이션에 사용한 부분적회전불변적 필터를 중심원의 수는 32개, 섹터의 수는 45° 회전범위 내에서 동일한 인식을 위해 8개로 나누어 필터영역을 할당하고 MACE와 합성하였다. 그림 5는 제안된 부분적 왜곡불변 MACE필터로 합성한 각 필터에 10° 회전된 입력영상 '강'이 들어왔을 때 부분적회전에 무관한 출력상관세기를 나타낸다. 또 'ㅇ'를 인식하려는 필터 4의 출력상관세기에서 'ㅎ'부분에서도 어느 정도의 출력상관세기가 나타나는 것은 'ㅎ'도 역시 'ㅇ'의 정보를 갖고있으면서 다른 영상이기 때문에 나타나는 결과이다.

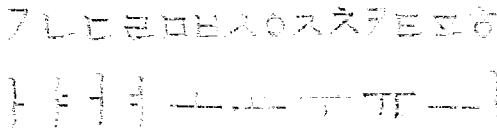
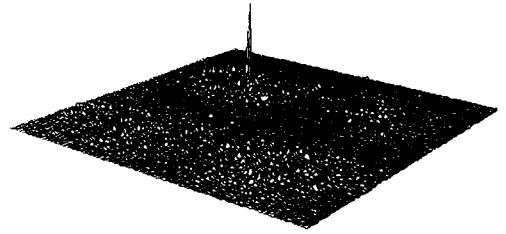


그림 3. 시뮬레이션에 사용한 기준패턴들
Fig. 3. Reference patterns used simulation.

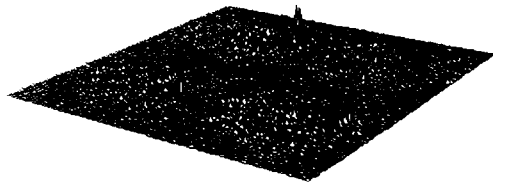
제안된 인식방법의 시행횟수는 아무리 많아도 문자당 최대 6회만 필요하지만, 나무로 부터의 인식에 있어서는 각 자모당 최소 3 내지 6회 정도 필요하므로 문자당 인식을 위해서는 문자내에 포함된 자모의 수에 비례하여 시행 횟수가 증가한다. 임의의 문자에 대한 두 방법의 시행 횟수 상호 비교를 표 3에 나타내었다.



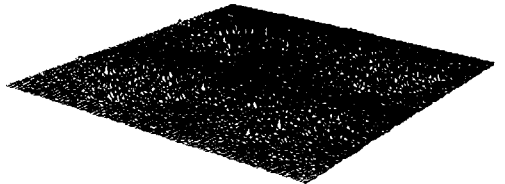
(a) 입력영상 '강'
(a) Input image '강'.



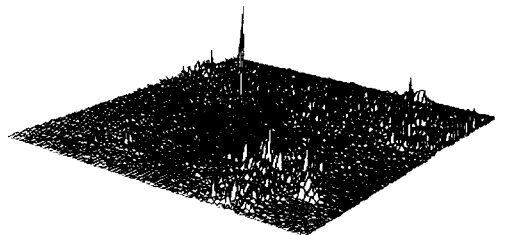
(b) 필터 1의 출력상관세기
(b) Output correlation intensity of filter 1.



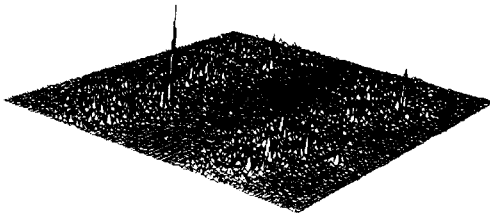
(c) 필터 2의 출력상관세기
(c) Output correlation intensity of filter 2.



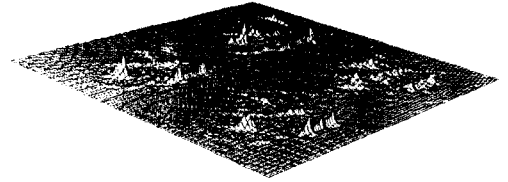
(d) 필터 3의 출력상관세기
(d) Output correlation intensity of filter 3.



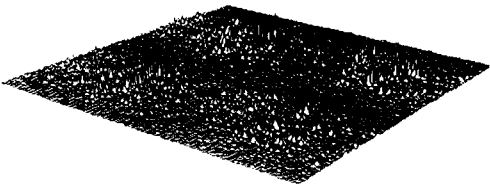
(e) 필터 4의 출력상관세기
(e) Output correlation intensity of filter 4.



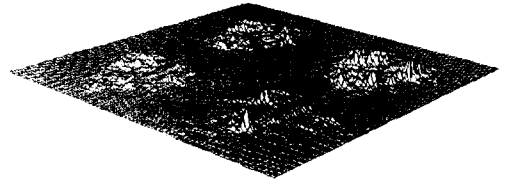
(f) 필터 5의 출력상관세기
 (f) Output correlation intensity of filter 5.



(c) 필터 2의 출력상관세기
 (c) Output correlation intensity of filter 2.



(g) 필터 6의 출력상관세기
 (g) Output correlation intensity of filter 6.



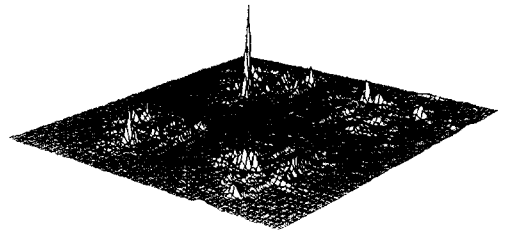
(d) 필터 3의 출력상관세기
 (d) Output correlation intensity of filter 3.

그림 4. 입력영상 '강' 과 각 필터의 출력상관분포 (필터합성 1)

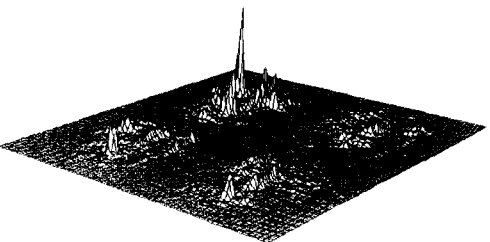
Fig. 4. Output correlation distribution of each filters with input '강' (filter composite 1).



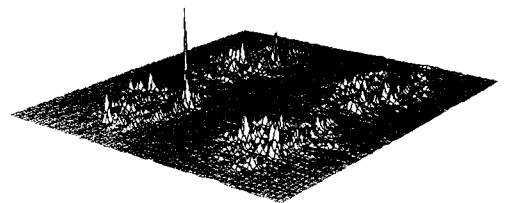
(a) 10° 회전된 입력영상 '강'
 (a) 10° rotated Input image '강'



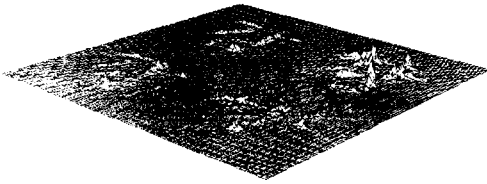
(e) 필터 4의 출력상관세기
 (e) Output correlation intensity of filter 4.



(b) 필터 1의 출력상관세기
 (b) Output correlation intensity of filter 1.



(f) 필터 5의 출력상관세기
 (f) Output correlation intensity of filter 5.



(g) 필터 6의 출력상관세기
(g) Output correlation intensity of filter 6.

그림 5. 10° 회전된 입력영상 '강' 과 해당필터의 출력상관분포(필터합성 II)

Fig. 5. Output correlation distribution of associated filters with 10° rotated input image '강' (filter composite II)

표 3. 기존의 방법과 제안된 방법의 시행횟수 비교
Table 3. Comparison of conventional method with proposed method in operation number.

	conventional method	proposed method
ㄱ	3 - 6	1 - 6
강	9 - 18	1 - 6
광	12 - 24	1 - 6

2. 광상관기 구현을 위한 필터홀로그램의 제작

각 필터 함수를 매질(필름)에 기록하여 실험에 필요한 실제 필터를 만드는 방법에는 Vander Lugt필터와 같이 물체파와 기준파의 간섭 무늬를 연속적으로 기록하는 광학적 홀로그램방법과 기준파를 사용하지 않고 물체파의 위상과 진폭으로부터

$$2\pi x / \Delta x - \phi(x, y) = 2\pi n, n \text{은 정수} \quad (25)$$

을 만족하는 간섭 무늬의 위치를 수학적으로 계산하여 적절히 전자 계산기로 부호화한 컴퓨터 형성 홀로그램방법^[14] 이었다.

컴퓨터형성홀로그램 방법에는 물체파의 진폭정보의 크기에 따라 비례하도록 개방슬릿의 면적을, 위상정보는 개방슬릿의 위치변위로 부호화한 방법과, 진폭성분을 위상성분으로 바꾸어 원래 위상성분과의 합과 차 형태로 변형하여 하나의 셀(cell)을 두개의 부셀로

할당하여 기록하는 2-위상홀로그램(double phase hologram : DPH)^[13] 방법이 있다.

본 논문에서는 공간주파수변조와 광학적인 방법으로는 어려운 크기변조를 모두 만족시키기 위해 DPH 방법을 사용하여 실제 필터를 만들었다. 연속적인 물체파를 정규화하여 진폭과 위상함수로 표현하면

$$H(u, v) = |H(u, v)| \exp [j \phi(u, v)] \quad (26)$$

단, $0 \leq H(u, v) \leq 1$

와 같다. 식 (25)에서 진폭정보를 위상정보로 변환한 후 두개의 위상함수로 분리하면

$$H(u, v) = 1/2 \{ \expj [\phi(u, v) + \varphi(u, v)] + \expj [\phi(u, v) - \varphi(u, v)] \} \quad (27)$$

$$\varphi(u, v) = \cos^{-1} H(u, v), 0 \leq \varphi(u, v) \leq \pi / 2$$

와 같이 쓸수 있다. 분리된 위상함수들은 그림 6와 같이 두개의 부셀에 각각 기록된다. DPH에서의 회절효과를 높이기 위해 개방슬릿의 크기를 단위셀의 1/2 크기로 하였으며, 개방슬릿의 위치는

$$d_1 = d [\phi(u, v) + \varphi(u, v)] / 2\pi \quad (28a)$$

$$d_2 = d [\phi(u, v) - \varphi(u, v)] / 2\pi \quad (28b)$$

을 만족하는 d_1, d_2 점을 중심으로 한다. 이 방법은 물체파의 진폭과 위상성분을 함께 기록하면서도 위상성분만을 기록하는 홀로그램과 같은 광효율을 얻을 수 있다.

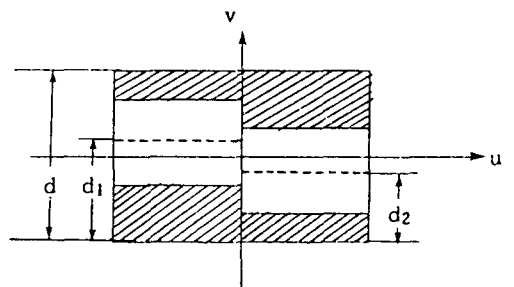
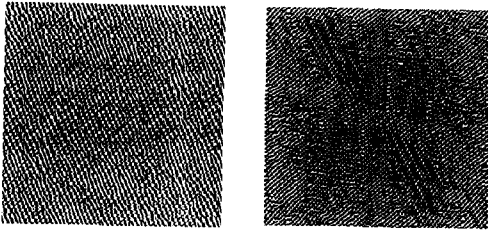


그림 6. DPH에서 단위셀의 구현
Fig. 6. Implimentation of unit cell in DPH.

DPH에 의해 구현된 각 셀들은 300 DPI의 QUNIX 레이저빔 프린터를 사용하여 그렸으며, 각 단위셀에 10x10크기의 레이저빔 도트를 할당하였다.



(a) (b)

그림 7. DPH를 통한 공간주파수변조된 AMPOF의 구현

- (a) 기준영상 'ㄱ', a=18, b=18
- (b) 기준영상 'ㅇ', a=18, b=18

Fig. 7. DPH implimentation of AMPOF modulated by spatial frequency.

- (a) reference 'ㄱ', a=18, b=18
- (b) reference 'ㅇ', a=18, b=18

이처럼 단위셀의 제한된 크기와 레이저빔 프린터의 도트당 제어는 기록되어질 정보의 양자화를 필요로 한다. 본 논문에서는 크기정보와 위상정보를 각각 10개의 레벨로 양자화한 후 DPH합성을 하였다. 레이저빔 프린터에 의해 그려진 필터합수를 필름에 기록할 경우 필름의 동적영역을 고려해야 하므로 64x64 FFT 알고리즘을 사용하여 64x64 개의 단위셀을 하나의 필터로 하였다. 실제 DPH에 의해 구현된 필터 모양은 그림 7과 같다.

3. 광실험 결과 및 고찰

한글 자모중 'ㄱ'에 대해 크기변조 및 공간주파수변조를 행하여 DPH로 필터홀로그램을 제작하여 마이크로필름에 옮겨 광실험 필터를 만들었다. 각 자모는 64x64의 이진영상이고, 공간주파수변조를 위해 64x64 FFT 알고리즘상에서 필요한 (a_i, b_i) 변수는 각각 (18, 18)이다. 광상관기를 실현하기 위한 구성은 그림 8과 같다.

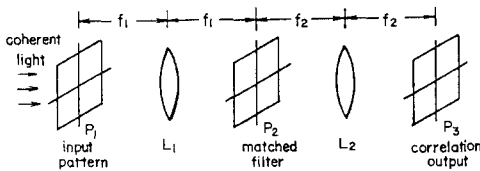


그림 8. 광상관기의 개략적인 구성도
 Fig. 8. Schematic diagram of optical correlator

평면 P₁은 입력평면, P₂는 필터평면, P₃는 상관평면으로서 볼록렌즈 L₁ 및 L₂의 전후 초점면이다. P₁평면에 놓인 입력영상 신호 f(x, y)는 코히어런트(coherent)한 평면파가 입사되면 광의 회절특성과 렌즈의 위상변환특성에 의해 P₂평면에 F(u, v)로 푸리에 변환되어 나타난다. P₂평면에는 인식하고자 하는 기준영상입력 s(x, y)의 복소공액푸리에함수 S*(u, v)가 필터함수 H(u, v)로 놓이므로 결과적으로 F(u, v)H(u, v)에 비례하는 함수가 된다. 이것은 L₂을 거쳐 역푸리에 변환 되어 P₃평면에 출력함수인 빛의 세기로서 나타난다. 입력영상이 렌즈를 통해서 푸리에 변환될 때 사용되어지는 광파장 λ와 렌즈의 초점거리 f에 의해 그 푸리에변환된 형태가 변하므로 P₂평면에 놓이는 필터함수의 공간적인 크기가 기하학적으로 정확하게 정합이 되어야 한다. 필터함수가 NxN의 화소를 가지고 기하학적인 크기가 l_x x l_y, 입력영상의 기하학적인 크기가 l₁ x l₁, 렌즈의 초점거리 f, 광파장 λ와의 관계식은

$$l_i = \frac{f \lambda N}{l_f} \tag{29}$$

와 같다. 필터크기를 필름의 해상도를 고려하여 5 x 5 mm²로 축소하였으며 광원으로는 파장이 0.6328 μm인 He-Ne 레이저를 사용하였다. 렌즈의 초점거리는 600 mm, N=64일 경우 입력의 크기는 약 4.859 mm가 된다. 위에서 구현된 광상관기에 대해 한글문자 '강'을 입력으로 하여 상관평면에서 각 자모에대한 빛의 세기를 조사하였다. 그림 9(a)와(b)는 기준영상 'ㄱ'와 'ㅇ'을 선택했을때의 결과를 나타낸다.



(a) (b)

그림 9. 입력영상 '강'에 대한 공간주파수변조된 AMPOF의 실험결과.

- (a) 입력 '강'과 기준입력 'ㄱ'과의 상관결과
- (b) 입력 '강'과 기준입력 'ㅇ'과의 상관결과

Fig. 9. Experimental output of AMPOF modulated by spatial frequency when input is '강'

- (a) correlation of input '강' and reference 'ㄱ',
- (b) correlation of input '강' and reference 'ㅇ'.

기준영상 'ㄱ'과 'ㅇ'은 $(a_i, b_i) = (18, 18)$ 로 공간주파수변조 하였으며, 그림 9에서 보듯이 'ㄱ'과 'ㅇ'이 2사분면에서 상관세기인 빛의세기로 인식됨을 알 수 있다. 이것은 각 자모의 상관세기가 공간주파수변조 특성에 의해 상관평면의 원하는 위치로 이동하기 때문이다.

V. 결 론

서로 같거나 비슷한 자모가 여러가지 형태로 조합된 한글문자를 보다 효율적으로 인식하기 위해 본 논문에서는 먼저 각 자모의 출력상관세기를 공간주파수변조를 통해 원하는 특정 부평면으로 사상시켜 하나의 자모는 하나의 부평면과 일대일 대응관계에 있도록 출력상관평면을 효과적으로 할당하여 한글자모 인식에 필요한 필터수를 줄였다. 그리고 출력상관평면에서 부엽의 효과를 줄여 PSR을 높이기 위해 위상필터에 크기성분을 변조한 AMPOF를 이용하였으며, 부분적 회전에 무관한 효율적인 한글 문자인식을 위해서는 SFM, PRIF와 MACE를 합성하였다. 이렇게 만들어진 각 집단의 필터함수에 임의의 한글문자를 입력하여 유사하거나 인접한 자모가 서로 구별 인식됨을 컴퓨터 시뮬레이션 및 광실험을 통해 확인하였다.

광실험에 필요한 필터는 레이저빔 프린터를 사용하여 DPH 방법으로 필름에 제작하였으나, 필터 함수를 실시간적으로 기록 처리할 수 있는 공간광변조기를 필터평면에 필름대신 사용하고 분류를 위한 적절한 디지털 회로를 구성하다면 실시간 처리가 가능한 광시스템을 구현할 수 있을 것이다.

參 考 文 獻

- [1] A. Vander Lugt, "Signal Detection by Complex Spatial filtering," *IEEE Trans. Infor. Theory*, vol. IT-10, pp. 139-145, 1964.
- [2] J.L. Horner and P.D. Gianino, "Phase - Only Matched Filtering," *Appl. Opt.*, vol. 24, no. 6, pp.812-816, 1984.
- [3] J.L. Horner, *Optical Signal Processing*, Academic Press, 1987.
- [4] 김 성용, "수정 2차 위상필터를 이용한 한글문자 인식," 경북대학교 석사학위논문, 1989.
- [5] 도 양희, "한글문자 인식을 위한 양자화 위상 SDF필터," 경북대학교 박사학위논문, 1988.
- [6] J. Rosen and J. Shamir, "Distortion Invariant Pattern Recognition with Phase-Only Filters," *Appl. Opt.*, vol. 26, no. 12, pp. 2315-2319, 1987.
- [7] J.L. Horner and J.R. Leger, "Pattern Recognition with Binary Phase - Only Filters," *Appl. Opt.*, vol. 24, no. 5, pp.609-612, 1985.
- [8] 김 정우, 도 양희, 정 신일, 하 영호, 김 수중, " NRF- SDF 를 이용한 나무로 부터의 한글 문자 인식," 신호처리 합동 Workshop 논문집., vol. 1, no. 1, pp. 114-117, 1988.
- [9] A.S. Awwal, M.A. Karim, and S.R. Jahan, "Improved Correlation Discrimination Using an Amplitude Modulated Phase-Only Filtering," *Appl. Opt.*, vol. 29, no. 2, pp. 233-236, 1990.
- [10] D. Casasent and W.H. Chang, "Correlation Synthetic Discriminant Function," *Appl. Opt.*, vol. 25, no. 14, pp. 2343-2350, 1986.
- [11] D. casasent, "Unified Synthetic Discriminant Function Computational Formulation," *Appl. Opt.*, vol. 23, no. 10, pp 1620-1627, 1984.
- [12] F. Wyrowsky, R. Hauck, and O. Bryngdahl, "Computer-Generated Hologram : Hologram Repetition and Phase Manipulation," *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 4, no. 4, pp. 694-698, 1987.
- [13] A. Mahalanobis, and D. casasent, "Minimum Average Correlation Energy Filtering," *Appl. Opt.*, vol. 17, no 24, pp. 3633-3640, 1978.
- [14] C. Hsueh and A. Sawchuk, "Computer-Generated Double-Phase Holograms," *Appl. Opt.*, vol. 17, no. 24, pp. 3874-3883, 1978.

著 者 紹 介



金成龍 (正會員)
1963年 2月 17日生. 1988年 2月
경북대학교 공과대학 전자공학과 졸
업. 1990年 2月 경북대학교 전자공
학과 석사 졸업. 1990年 3月 현재 경
북대학교 대학원 전자공학과 박사과
정. 주관심분야는 광 형태인식 등임 .



金喆洙 (正會員)
1966年 9月 4日生. 1989年 2月 경
북대학교 공과대학 전자공학과 졸
업. 1991年 2月 경북대학교 전자공
학과 석사 졸업. 1991年 3月 현재
경북대학교 대학원 전자공학과 박사
과정. 주관심분야는 광 형태인식,
광 신호처리 등임.



李承熙 (正會員)
1964年 12月 12日生. 1990年 2月
경북대학교 공과대학 전자공학과 졸
업. 1992年 2月 경북대학교 전자공
학과 석사 졸업. 1992年 3月 현재
경북대학교 대학원 전자공학과 박사
과정. 주관심분야는 광 형태인식,
광 컴퓨팅 등임.



金正雨 (正會員)
1964年 5月 10日生. 1987年 2月
경북대학교 공과대학 전자공학과 졸
업. 1989年 2月 경북대학교 전자공
학과 석사 졸업. 1989年 3月 현재
경북대학교 대학원 전자공학과 박사
과정. 주관심분야는 광 형태인식,
광 신호처리.

斐長根 (正會員) 第29卷 B編 第 12號 參照
현재 경북대학교 대학원 전자공학
과 박사과정

金秀重 (正會員) 第29卷 B編 第 12號 參照
현재 경북대학교 전자공학과 교수