

4진 변형 위상필터를 이용한 한글문자의 회전불변적 인식

(Rotation-Invariant Korean Alphabet Recognition with
4-Phase Modified Phase-only Filter)

都 良 會,* 李 在 哲,** 鄭 信 一,*** 金 秀 重*

(Yang Hoi Doh, Jae Cheol Lee, Shin Il Jeong and Soo Joong Kim)

要 約

효율적인 한글 문자인식을 위해 변형된 위상필터를 제안하였다. 제안된 위상필터는 입력의 회전변위에 무관한 특성을 지닐 뿐만 아니라 해상도를 줄여서 보다 쉽고 정확하게 위상을 기록할 수 있게 하였다. 또한, 한글문자를 대상으로 한 제안된 필터의 성능을 기존의 필터와 비교하여 그 우수성을 보였다.

Abstract

For the efficient recognition of Korean alphabets, a new procedure which is applicable for the generation of phase filters with reduced resolution requirements and capable of implementing distortion tolerant pattern recognition is proposed. The performance of these filters and their advantages for Korean alphabets recognition is demonstrated.

I. 서 론

한글은 비교적 형태가 단순한 24개의 자모로 구성되어 있으나 모아쓰기라는 글자 구성상의 특징으로

인하여 14,000자 이상의 수많은 서로 다른 문자로 이루어져 있다.^[1] 광 상관기를 이용한 광학적 문자인식에서 널리 사용되는 공간정합필터로 한글을 글자단위로 인식할 경우 각 글자의 패턴에 해당하는 필터를 모두 만들기는 불가능하다. 따라서 대부분의 한글 문자 인식에 관한 연구는 각 자모를 분리하여 인식한 뒤 이들을 조합하여 글자를 인식하는 공통점이 있다. 이러한 경우에도 형태가 비슷한 자모가 근접해 있을 때는 전통적인 정합필터로는 이들을 분리하여 식별하기 어려워 인식율은 높지 않다.^[2] 이 문제점은 상관도의 sidelobe가 작은 위상필터(phase-only filter)를 사용하여 부분적으로 해결되었으나 이는 입력이 필터를 만든 기준 패턴과 똑같은 경우에만 적용될 수 있었다.^[3] 실제 입력이 약간의 회전변위된 경

*正會員, 慶北大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)

**準會員, 韓國에너지研究所 電算運營室
(Computer Operations Div., KAERI)

***正會員, 釜山水產大學 電子通信科
(Dept. of Electronics and Communication Eng.,
Nat'l Fisheries Univ. of Pusan)

接受日字: 1987年 11月 6日

(※ 이 논문은 한국과학재단이 지원한 1986년도
목적기초 연구의 일부임.)

우만 보더라도 SNR의 급격한 감소로 인하여 올바른 인식을 할 수 없었다.¹⁴⁾ 또한 한글 자음의 경우 위치에 따라 그 역할이 달라지므로 자음의 존재유무와 더불어 그 위치도 중요한 요소가 된다. 이러한 성질 때문에 chord distribution¹⁵⁾이나 극좌표 변환¹⁶⁾을 이용하는 방법이 한글에는 부적합 하게된다.

본 논문에서는 입력문자가 회전변위된 경우에도 인식할 수 있도록 변형된 위상필터를 제안하였다. 이 변형된 위상필터는 정합되는 회전변위의 범위를 정해줌으로써 회전변위된 한글 인식에 매우 적합하였다. 또한, 4개의 대표위상을 필터영역에 할당함으로써 연속적인 위상필터에 비하여 필터를 기록하기 위한 정보가 줄어 들어서 보다 정확하고 쉽게 위상을 기록할 수 있었으며 광-디지털 복합 시스템에 적용될 때 실시간 처리를 가능하게 할 수 있을 것이다.

II. 공간정합 필터(Spatial matched filters)

입력함수 $g(x, y)$ 와 필터함수 $h(x, y)$ 의 상관도는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R_{ij} = \mathcal{L}^{-1}[G H^*] \quad (1)$$

여기서 $G = \mathcal{L}\{g(x, y)\}$, $H = \mathcal{L}\{h(x, y)\}$ 이다. 필터 H 는 주파수 영역에서의 공간정합필터이며 Vander Lugt에 의해 광학적인 합성법이 제안되었다. 이는 인식대상이 되는 입력함수의 크기와 위상정보를 모두 포함하는 필터이므로 크기와 위상을 분리하여

$$H(u, v) = |H(u, v)| \exp\{j\phi(u, v)\} \quad (2)$$

와 같이 쓸 수 있다. 이와 같이 크기정보를 갖는 필터는 필터링 과정에서 에너지 손실이 생길뿐 아니라 sidelobe도 큰 편이다.

퓨리에 영역에서 위상정보는 크기정보 보다 더 중요한 요소가 되며 위상정보만 포함하는 위상필터는

$$H_{\phi}(u, v) = \exp\{j\phi(u, v)\} \quad (3)$$

로 쓸 수 있다. 위상필터는 크기정보를 갖는 정합필터보다 상관 침투치와 Honer에 의해 정의된 광효율에서 매우 우수한 특성을 가지며 sidelobe도 작다.¹⁷⁾ 또 입력의 변위에 비례하는 상관영역의 변위를 나타내므로 위치가 중요한 역할을 하는 한글에 잘 적용된다.

이러한 우수한 특성을 유지하면서 실시간 처리를 가능하게 한 필터가 2진 위상필터(BPOFs)이며

$$H_{B\phi}(u, v) = \begin{cases} 1; & \text{Re}\{\exp\{j\phi(u, v)\}\} \geq 0 \\ -1; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

와 같이 쓸 수 있다. 2진 위상필터는 연속적인 위상필터에 비하여 보다 정확하고 쉽게 위상을 기록할 수 있으며 이미 상품화된 VLSI 기술을 사용하여 정확한 기하학적 위치를 부여할 수 있으며 회절 효율도 연속적 위상필터보다 우수하다.

그러나 상관 침투치 부근의 noise와 같은 원하지 않는 상관도가 2배 이상 증가하며 광효율이 떨어지는 단점이 알려져 있다.¹⁸⁾ 더구나 필터함수가 실수값을 가지므로 180° 회전된 입력에서 상관도가 크게 나타나므로 대칭적인 형태들이 존재하는 한글의 인식에서는 부적합하다. 필터를 만들때 입력을 원점에서 충분히 멀리 떨어지게 하면 상관도의 위치로서 인식은 가능하나 한글 자모 자체의 위치와 혼동될 우려가 있으며 뒤에 설명할 변형된 위상필터(MPOFs)를 만들때 Nyquist rate를 만족하기 어려워 진다.

이상의 세가지 필터들은 각각의 고유한 특성이 있으나 한글 자모의 분리인식면에서는 연속적 위상필터가 우수하며 실시간 처리면에서는 2진 위상필터가 유리하다. 그러나 이러한 필터들은 입력이 축방향으로 선형적으로 변위된 경우에 적용되며 상관영역의 sidelobe가 작을 수록 입력의 변위에 영향을 크게 받는다. 따라서 sidelobe도 작게 하면서 입력변위의 영향도 줄이고 실시간 처리에 적용할 수 있는 필터가 필요하게 된다.

III. 변형된 위상필터(modified phase only filters)

공간필터의 변위 인식 능력과 함께 해상도(resolution)를 줄이는 것이 최근의 연구 과제로 되어 왔다.¹⁹⁾ 주어진 N 개의 패턴을 식별하기 위해서는 일반적으로 N 개의 필터가 필요하게 된다. i 번째 입력 $f_i(x, y)$ 와 j 번째 필터 $M_j(u, v)$ 의 응답은

$$R_{ij} = Q(F_i(u, v); M_j(u, v)) = \delta_{ij} \quad (i, j = 1, N) \quad (5)$$

로 쓸 수 있으며 Q 는 임의의 연산자다. $M(u, v)$ 가 (5)식을 만족한다면 해상도는 제약조건이 될 수 없으며 주변의 화소를 적당히 조합하여 하나의 값을 가지도록 하여 해상도를 줄일 수 있음과 동시에 입력의 왜곡에도 강한 특성을 보인다. 입력의 회전변위에 무관한 인식을 위해서는 필터가 주파수 영역에서 원점을 중심으로 거리 r 에만 관계하고 θ 에는 무관한 형태가 되면서 (5)식을 만족하면 된다.

결국 필터는 동심원 형태가 되며 높은 광 효율과 선택도를 가지고 $f_i(x, y)$ 를 인식하기 위한 필터 $M_i(u, v)$ 는

$$M_i(u, v) = \exp\{-j\phi(u, v)\} \quad (6)$$

와 같이 위상필터로 만든다. 위상정보 $\phi(u, v)$ 는 입력이 광축(원점)에서 멀리 떨어질수록 빠른 비율로 변화한다. 주파수 영역에서 위상은 Nyquist rate 를 만족하도록 표본화 되어야 하므로 필터를 만들기 위한 입력패턴은 가능한 한 원점에 가까이 있는 것이 좋다. 동심원들로 구성된 필터는 입력의 회전변위에는 무관하나 한글인식의 경우에는 인식가능한 회전변위의 범위를 정해줄 필요가 있으며 그 최대치는 $45^\circ (\pm 22.5^\circ)$ 이다. 그래서 각각의 동심원들을

$$L = 2\pi/\theta_{max} = 2\pi/45^\circ = 8 \quad (7)$$

개의 섹터로 나눈다. K 개의 동심원과 L 개의 섹터로 나누어진 필터는 제한된 범위의 회전에 무관한 인식을 행할수 있다. 여기서 K는 필터영역에서의 Nyquist criterion 을 만족해야 한다.

k 번째 동심원의 l 번째 섹터 s_{kl} 의 위상을

$$\phi_{kl} = \tan^{-1} \frac{\iint_{s_{kl}} |F(u, v)| \sin(u, v) \, dudv}{\iint_{s_{kl}} |F(u, v)| \cos(u, v) \, dudv} \quad (8)$$

필터를

$$H_{\phi_{kl}} = \exp \{j \phi_{kl}\} \quad (9)$$

로 할당하여 그 영역 내에서는 동일한 전달특성을 갖도록 한다.^[10] 이렇게 만든 필터는 부분적으로 회전변위에 무관하나 실제로 필터를 만드는데 있어서 $0 \sim 2\pi$ 사이의 위상정보를 기록하는데는 많은 어려움이 있으며 실시간 인식을 위해서도 문제점이 있다. SLM (spatial light modulators) 나 LCTV (liquid crystal TV) 는 디지털적으로 위상전달 특성을 쉽게 바꿀수 있다.^[11] 이와 같은 장치들로 2진 위상필터(BPOF) 를 실시간으로 구현할 수 있으나 대칭적인 impulse 응답으로 인해 한글의 ‘ㄱ’ 과 ‘ㄴ’, ‘ㅏ’ 와 ‘ㅑ’ 등을 구별할 수 없게된다.^[12] 이는 실수값을 가지는 2진 위상필터에서는 피할 수 없는 특성이며 실수의 대비칭 응답을 위해서는 필터영역에서 허수값을 포함하여야 한다.

본 논문에서는 허수값을 포함하는 4진 변형 위상필터(4-PMPOF) 를 제안하였다. $M(u, v)$ 가 입력 $f(x, y)$ 를 인식하기 위한 변형된 4진 위상필터일때 영역 s_{kl} 의 필터함수는

$$M_{kl}(u, v) = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\frac{\text{Re}\{H_{\phi_{kl}}(u, v)\}}{\text{Re}\{H_{\phi_{kl}}(u, v)\}} + j \frac{\text{Im}\{H_{\phi_{kl}}(u, v)\}}{\text{Im}\{H_{\phi_{kl}}(u, v)\}} \right] \quad (10)$$

와 같이 4 개의 대표위상을 각 필터의 요소에 할당하였다. 이는 $M_{kl}(u, v)$ 를 다음과 같이 할당한 결과

이다.

$$M_{kl}(u, v) = \frac{1}{\sqrt{2}} (1+j), \quad 0 \leq \phi_{kl} < \frac{\pi}{2}$$

$$M_{kl}(u, v) = \frac{1}{\sqrt{2}} (-1+j), \quad \frac{\pi}{2} \leq \phi_{kl} < \pi$$

$$M_{kl}(u, v) = \frac{1}{\sqrt{2}} (-1-j), \quad \pi \leq \phi_{kl} < \frac{3}{2}\pi$$

$$M_{kl}(u, v) = \frac{1}{\sqrt{2}} (1-j), \quad \frac{3}{2}\pi \leq \phi_{kl} < 2\pi$$

즉 그림 1 과 같이 각 상한의 값을 $\pm(1\pm j)/\sqrt{2}$ 로 줌으로써 위상필터 고유의 높은 광효율과 선택도를 유지하면서 제한된 범위의 회전에 무관한 특성을 얻었다. 또한 2진 위상필터의 단점인 ‘ㅏ’, ‘ㅑ’ 등의 구별이 안되는 점을 극복하면서 광-디지털 복합시스템에 적합하도록 하였다.

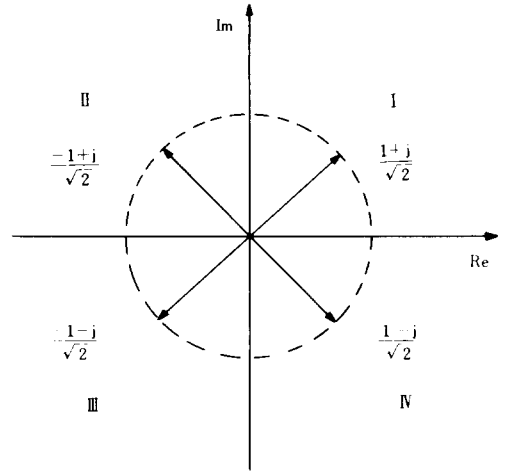


그림 1. 4진 위상필터의 위상도
Fig. 1. Phase diagram of 4-PMPOF.

IV. Simulation 결과 및 고찰

Noise 가 없는 ‘광’의 패턴에 대해 테스트 패턴 ‘ㄱ’ 과의 상관도를 POF, BPOF, MPOF, 4-PMPOF 의 4 가지 위상필터를 사용해 비교해 보았다. 참고로 4-PMPOF 의 경우에 전산 시뮬레이션 과정은 그림 2 와 같다. 이 필터들의 특성은 신호대잡음비(SNR) 와 최대 상관첨두치가 다른 상관첨두치와 구별되는 정도($\Delta(\%)$) 에 의해 비교된다.

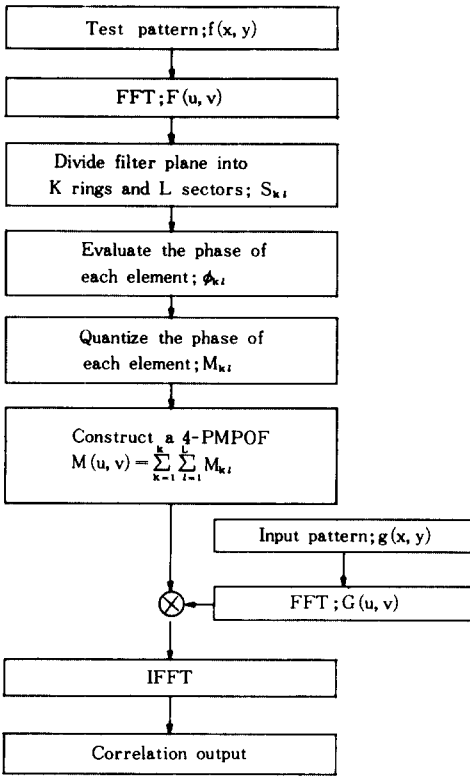


그림 2. 4 진 위상필터 알고리즘의 흐름도
 Fig. 2. Flow chart of the 4-PMPOF algorithm.

- (1) $SNR = R(x, y)_{max} / N_{rms}$
 $R(x, y)_{max}$: 상관도 최대치
 N_{rms} : 상관도 최대치의 50%이하 영역의 rms 값

- (2) $\Delta(\%) = [(Rc. max - Ra. max) / Ra. max] \times 100$
 여기서 $Ra. max$ 은 '광'의 'ㄱ' 부분과 테스트 패턴 'ㄱ'의 상관도 최대치이며 $Rc. max$ 은 'ㄱ' 부분 이외 영역의 상관도 최대치이다.

그림 3은 simulation에서 사용된 입력패턴 '광'과 그 회전된 패턴 및 테스트 패턴 'ㄱ'의 실제모양이며 그림 4 및 5는 'ㄱ'의 변형된 위상필터들의 위상분포를 나타낸다. 그림 6, 7, 8 및 9는 회전되지 않은 입력패턴 '광'에 대하여 테스트 패턴 'ㄱ'의 POF, BPOF, MPOF 및 4-PMPOF에 의한 각각의 상관분포로서 어느경우에나 '광'에서의 'ㄱ'의 위치에서 비교적 큰 상관첨두치를 관찰할 수 있다. 회전된 입력 패턴 '광'에 대하여 먼저와 동일한 테스트 패턴

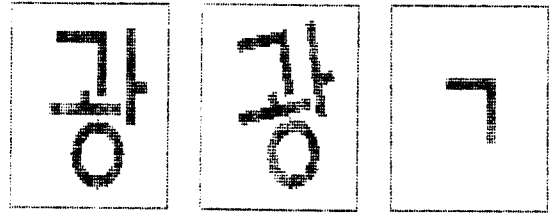


그림 3. 입력패턴 '광'과 그 회전된 패턴 및 테스트 패턴 'ㄱ'
 Fig. 3. Input pattern '광' and test pattern 'ㄱ'.

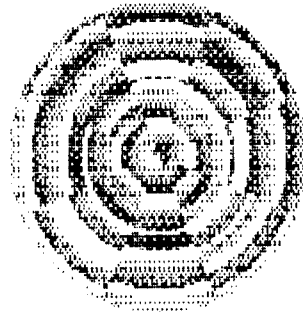


그림 4. 테스트 패턴 'ㄱ'의 MPOF의 위상분포
 Fig. 4. Approximate representation of the phase distribution over the MPOF.

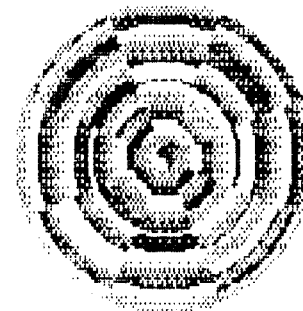


그림 5. 테스트 패턴 'ㄱ'의 4-PMPOF의 위상분포
 Fig. 5. Approximate representation of the phase distribution over the 4-PMPOF.

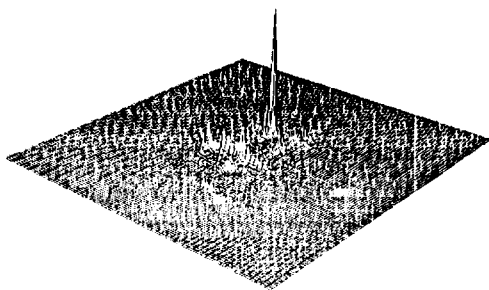


그림 6. POF를 이용한 회전되지 않은 입력패턴 '광'에 대한 테스트 패턴 'ㄱ'의 상관분포

Fig. 6. Correlation distribution of unrotated input pattern '광' and test pattern 'ㄱ' with POF.

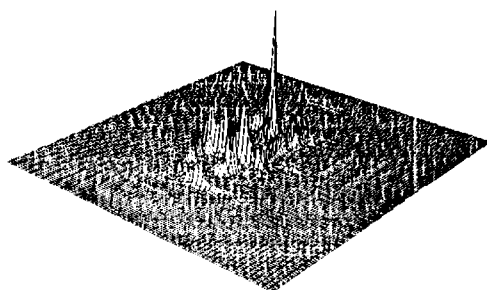


그림 9. 4-PMPOF를 이용한 회전되지 않은 입력패턴 '광'에 대한 테스트 패턴 'ㄱ'의 상관분포

Fig. 9. Correlation distribution of unrotated input pattern '광' and test pattern 'ㄱ' with 4-PMPOF.

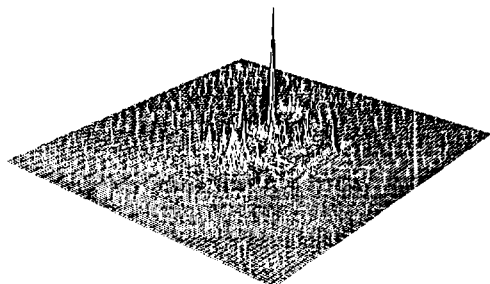


그림 7. BPOF를 이용한 회전되지 않은 입력패턴 '광'에 대한 테스트 패턴 'ㄱ'의 상관분포

Fig. 7. Correlation distribution of unrotated input pattern '광' and test pattern 'ㄱ' with BPOF.

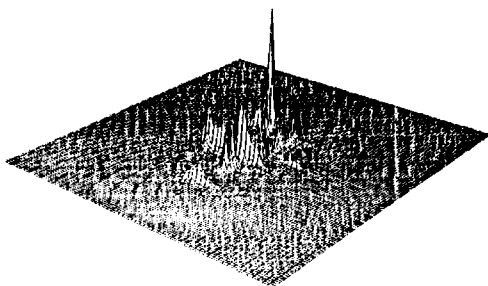


그림 8. MPOF를 이용한 회전되지 않은 입력패턴 '광'에 대한 테스트 패턴 'ㄱ'의 상관분포

Fig. 8. Correlation distribution of unrotated input pattern '광' and test pattern 'ㄱ' with MPOF.

'ㄱ'의 상관분포는 그림10과 11에서의 POF 및 BPOF의 경우에는 'ㄱ'의 위치를 분명히 찾기 어려우나 그림12와 13의 MPOF 및 4-PMPOF의 경우에는 'ㄱ'의 위치에서 비교적 큰 상관첨두치를 관찰할 수 있다. 표1과 2에는 회전되지 않은 입력패턴 '광'과 회전된 입력패턴 '광'에 대한 테스트 패턴 'ㄱ'의 각 필터에 대한 상관분포로부터 상관최대치(Rmax), 신호대잡음비(SNR) 및 최대 상관첨두치가 다른 상관첨두치와 구별될 수 있는 정도(Δ (%))를 구한 것이다. 여기서도 역시 MPOF 및 4-PMPOF가 회전된 입력패턴의 경우 인식의 기준이 되는 Δ 값에서 POF 및 BPOF에 비해 우수함을 알 수 있다. 즉 POF는 회전되지 않은 입력패턴에 대해서는 자모의 위치를 잘 찾아내지만 회전된 입력패턴에 대해서는 인식을 하지 못하며 필터영역에 기록되는 위상정보가 연속적인 값을 갖고 있으므로 실시간 처리에도 부적합하다. BPOF는 이진위상을 갖고 있으므로 실시간 처리에는 적합하지만 이역시 회전된 입력패턴에 대해서는 인식이 어려우며 이를 MPOF의 형태로 만든다 하더라도 BPOF의 고유특성인 필터평면의 대칭적인 impulse 응답으로 한글의 'ㄱ'과 'ㄴ', 'ㅌ'와 'ㄱ' 등을 구별하여 인식하지 못하므로 한글인식에는 부적합하게 된다. MPOF는 회전된 입력패턴에 대해서는 자모의 위치를 잘 찾아내며 필터의 해상도를 줄일 수 있다는 장점을 갖고 있지만 POF와 마찬가지로 연속적인 위상정보를 갖고 있으므로 실시간 처리에는 부적합하다. 반면 4-PMPOF는 MPOF에 비해 다소 인식율이 낮지만 MPOF의 장점을 모두

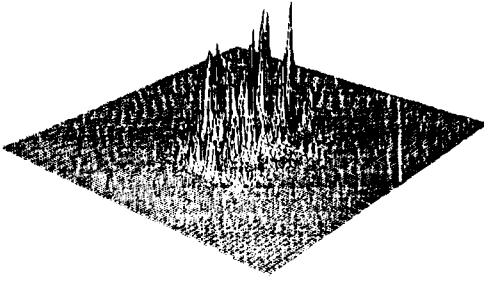


그림10. POF를 이용한 회전된 입력패턴 '광'에 대한 테스트 패턴 'ㄱ'의 상관분포

Fig. 10. Correlation distribution of rotated input pattern '광' and test pattern 'ㄱ' with POF.

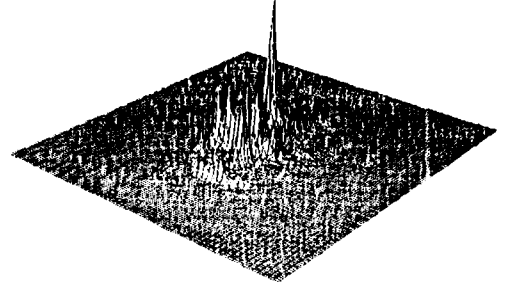


그림13. 4-PMPOF를 이용한 회전된 입력패턴 '광'에 대한 테스트 패턴 'ㄱ'의 상관분포

Fig. 13. Correlation distribution of unrotated input pattern '광' and test pattern 'ㄱ' with 4-PMPOF.

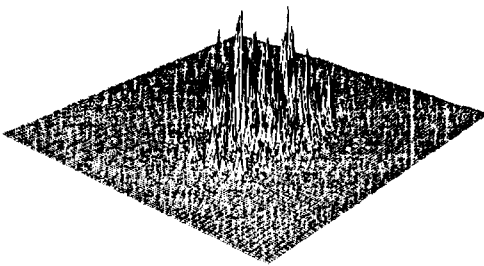


그림11. BPOF를 이용한 회전된 입력패턴 '광'에 대한 테스트 패턴 'ㄱ'의 상관분포

Fig. 11. Correlation distribution of unrotated input pattern '광' and test pattern 'ㄱ' with BPOF.

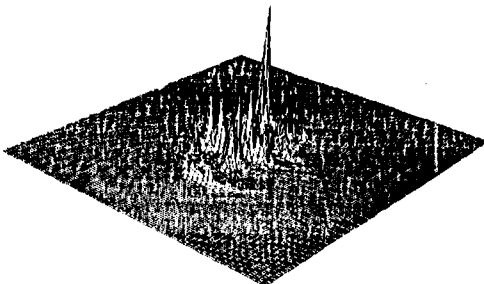


그림12. MPOF를 이용한 회전된 입력패턴 '광'에 대한 테스트 패턴 'ㄱ'의 상관분포

Fig. 12. Correlation distribution of unrotated input pattern '광' and test pattern 'ㄱ' with MPOF.

표 1. 각 필터에 대한 회전되지 않은 입력 패턴 '광'과 테스트 패턴 'ㄱ'의 상관분포 특성

Table 1. Correlation results of unrotated input pattern '광' and test pattern 'ㄱ'.

FILTERS	Rmax	SNR	Δ (%)
POF	5.16	23.92	-71.4
BPOF	2.69	17.12	-59.8
MPOF	2.83	17.85	-55.6
4-PMPOF	2.03	14.94	-49.8

표 2. 각 필터에 대한 회전된 입력 패턴 '광'과 테스트 패턴 'ㄱ'의 상관분포 특성

Table 2. Correlation results of rotated input pattern '광' and test pattern 'ㄱ'.

FILTERS	Rmax	SNR	Δ (%)
POF	1.00	11.32	-9.8
BPOF	0.73	9.36	
MPOF	1.97	15.10	-40.2
4-PMPOF	1.41	12.56	-30.0

갖고 있으면서 필터영역에 기록하는 위상정보의 값이 4진화 되어있어 한글문자 인식을 위한 실시간 처리에 적합하리라 본다.

V. 결 론

종래의 정합필터보다 우수한 선택도와 높은 광효

율을 가지는 변형된 위상필터를 제안하고 그 특성을 이용하여 회전변위에 무관하게 문자인식을 행하도록 하였다. 즉 자모가 모아 쓰여진 한글에 대하여 테스트 패턴은 자모별로 만들어 모아 쓰여진 한글을 자모별로 인식하는 방안의 기본을 마련하였다. 뿐만 아니라 제안한 위상필터는 인식할 수 있는 회전변위의 범위를 정해주고 회전범위 내에서의 필터특성을 평균하여 필터를 만들어 줌으로써 회전변위에 무관한 한글의 인식에서 발생할 수 있는 'ㅏ', 'ㅑ', 'ㅓ' 등의 오인식을 없애도록 하였으며 인식할 수 있는 회전범위는 $\pm 22.5^\circ$ 였다. 제안된 4진 변형 위상필터는 4개의 대표위상을 각 필터의 영역에 할당 하므로써 연속적인 위상필터에 비하여 필터를 기록하기 위한 정보가 줄어들어서 보다 정확하고 쉽게 위상을 기록할 수 있을 것이다.

이상의 방법에 따라 전산 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 확인하였으며 앞으로 액정 TV 등을 이용한 실제적인 광 필터의 제작 등이 이루어 질때 광-디지털 복합 시스템에 의해 실시간 처리범위의 인식이 실현 될것이다.

參 考 文 獻

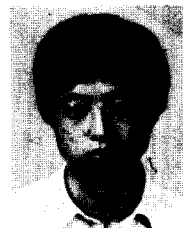
[1] 이주근, "한글 문자의 인식에 관한 연구," 전자공학회지 vol. 9, no. 4, Sep. 1972.
 [2] 백용기, 이상우, "최적 공간필터법에 의한 한글의 패턴인식," 한국 물리학회지: '새 물리,' vol. 17, no. 4, p. 189, Dec. 1977.
 [3] 이재철, 도양희, 하영호, 김수중, " 위상필터를 이용한 한글 문자인식," 전기 전자공학 학술대회 논문집(II), p. 1445, Jul. 1987.

[4] D. Casasent and D. Psaltis, "New Optical Transformation for Pattern Recognition," *Proc. IEEE*, vol. 65, no. 1, p. 77, Jun. 1977.
 [5] D. Casasent and W.T. Chang, "Generalized chord transformation for distortion-invariant pattern recognition," *Applied Optics*, vol. 22, no. 14, p. 2087, Jul. 1983.
 [6] D. Casasent and D. Psaltis, "Position, rotation, & scale invariant optical correlation," *Applied Optics*, vol. 15, no. 7, p. 1795, Jul. 1976.
 [7] J.L. Horner and P.D. Gianino, "Phase only matched filtering," *Applied Optics*, vol. 24, no. 6, p. 812. Mar. 1984.
 [8] J.L. Horner and J.R. Leger, "Pattern recognition with binary phase only filters," *Applied Optics*, vol. 24, no. 5, p. 609, Mar. 1985.
 [9] J. Shamir, H.J. Caufield and J. Ben-Haim, "Pattern recognition using reduced information content filters," *Applied Optics*, vol. 26, no. 12, p. 2311, Jun. 1987.
 [10] J. Rosen and J. Shamir, "Distortion invariant pattern recognition with phase only filters," *Applied Optics*, vol. 26, no. 12, p. 2315, Jun. 1987.
 [11] W.P. Bleha "Application of the liquid crystal light valve to real-time optical data processing," *Opt. Eng.*, vol. 17, p. 371, Feb. 1978.
 [12] D.M. Cottrel, J. A. Davis, M.P. Schamschula, and R.A. Lilly, "Multiplexing Capabilities of the binary phase only filter," *Opt. Eng.*, vol. 26, no. 5, p. 934, Mar. 1987.*

著 者 紹 介



都 良 會(正會員)
 1959年 12月 10日生. 1982年 2月 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1984年 2月 경북대학교 대학원 전자공학과 공학석사 학위취득. 현재 경북대학교 대학원 전자공학과(박사과정수료). 주관심 분야는 광신호 처리 및 패턴인식 등임.



李 在 哲(準會員)
 1964年 7月 8日生. 1986年 2月 경북대학교 전자공학과 공학사. 1988年 2月 경북대학교 대학원 전자공학과 공학석사 학위취득. 현재 한국에너지연구소 근무. 주관심 분야는 광신호처리 및 패턴인식등임.



金 秀 重 (正會員)

1941年 6月 25日生. 1962年 12月 인하대학교 전기공학과 졸업. 1966年 2月 인하대학교 대학원 공학 석사 학위취득. 1979年 2月 인하대학교 대학원 전자공학과 공학박사 학위취득. 1966年 3月~1970年 12月 삼척공업전문대학 전임강사 조교수. 1976年 9月~1977年 1月 미국 SUNY at Buffalo 교원 조교수. 1980年 8月~1981年 8月 미국 University of Texas at Austin 연구교수. 현재 경북대학교 전자공학과 교수. 주관심분야는 광신호처리 및 패턴인식 등임.



鄭 信 一 (正會員)

1950年 11月 29日生. 1974年 2月 경북대학교 물리학과 졸업. 1976年 2月 경북대학교 대학원 전자공학과 석사학위취득. 1988年 2月 경북대학교 대학원 전자공학과 박사학위 취득. 1977年 2月 한국과학기술연구소 부설 전자통신 연구소 연구원 근무. 1977年 12月 한국전자통신연구소 광통신연구실 전임연구원. 현재 부산수산대학 전자통신공학과 조교수. 주관심분야는 광형태 인식 및 광계산 방식등임.