

## 인쇄체 한글의 광학적 인식을 위한 다중 MACE 필터의 합성

正會員 金正雨\* 正會員 金喆洙\* 正會員 裴長根\*\*  
正會員 都良會\*\*\* 正會員 金秀重\*

## Synthesis of Multiplexed MACE Filter for Optical Korean Character Recognition

Jeong Woo Kim\*, Cheol Su Kim\*, Jang Keun Bae\*\*,  
Yang Hoi Doh\*\*\* and Soo Joong Kim\* *Regular Members*

※본 연구는 1993년도 한국학술진흥재단의 자유공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

### 要 約

효율적인 인쇄체 한글 인식을 위하여 다중 최소평균 상관 에너지 필터를 제안하였다. 제안된 방법은 기존의 나무구조 알고리즘의 단점인 인식시스템의 방대함과 인식방법의 복잡함을 해결하였다. 오직 하나의 자음 MMACE 필터와 모음 MMACE 필터를 사용하여 완전한 한글을 인식하였다. 각 MMACE 필터는 24개의 자모음으로 합성된 4개의 K-tuple MACE 필터를 이용하여 다중화시켰다. 따라서 제안된 MMACE 필터의 필터평면과 상관분포 평면은 4개의 부평면으로 나누어 진다. 각 상관분포 부평면으로부터 한글 인식을 위한 코드를 얻었다. 얻어진 코드와 컴퓨터에 내장된 자모음을 인식하기위한 진리표와 비교하였다. 일치하는 코드의 해당자모음을 찾아 출력상관평면상의 상관첨두 위치에 치환하면 완전한 한글을 인식할 수 있다. 컴퓨터 시뮬레이션과 광 실험을 통하여 제안된 MMACE 필터를 이용한 한글 인식 시스템의 높은 변별력을 확인하였다.

### ABSTRACT

For the efficient recognition of printed Korean characters, a multiplexed minimum average correlation energy(MMACE) filter is proposed. Proposed method solved the disadvantages of the tree structure algorithm which recognition system is very huge and recognition method is sophisticated. Using only one consonant MMACE filter and one vowel one, we recognized the full Korean character. Each MMACE filter is multiplexed by 4 K-tuple MACE filters which are synthesized by 24

\* 경북대학교 전자공학과  
Dept. of Elec. Eng., Kyungpook National University

\*\* 구미전문대학 전자과  
Dept. of Electronics, Kumi Tech. Coll.

\*\*\* 제주대학교 전자공학과  
Dept. of Elec. Eng., Cheju National University

論文番號 : 9495

接受日字 : 1994年 3月 28日

consonants and vowels. Hence the proposed MMACE filter and the correlation distribution plane are divided by 4 subregion. We obtained the binary codes for the Korean character recognition from each correlation distribution subplane. And the obtained codes are compared with the truth table for consonants and vowels in computer. We can recognize the full Korean characters when substitute the corresponded consonant or vowel font of the consistent code to the correlation peak place in the output correlation plane. The computer simulation and optical experiment results show that the proposed compact Korean character recognition system using the MMACE filters has high discrimination capability.

## I. 서 론

광 상관기를 이용한 패턴인식, 특히 문자인식은 1964년 Vander Lugt에 의해 복소 공간 정합필터(complex matched spatial filter)[1]가 실현된 후 활발히 진행되어 왔다. 기존의 공간정합 필터에는 기준영상의 크기정보와 위상정보를 모두 이용한 전통적인 정합필터(classical matched filter : CMF)[2], 크기정보는 '1'의 값으로 하고 위상정보만을 이용한 위상필터(phase-only filter : POF)[3], 연속적인 위상정보의 제어가 어려우므로 연속적인 위상정보를 양자화한 양자화 위상필터(quantized phase-only filter : QPOF)[4], 기준영상의 원형고조 성분을 이용한 원형고조필터(circular harmonic filter : CHF)[5], 몇 개의 기준영상을 선형조합하여 하나의 필터함수로 정합하는 SDF(synthetic discriminant function) 필터[6, 7] 및 최소평균상관에너지(minimum average correlation energy : MACE) 필터[8] 등이 있다. 이들 공간정합 필터들은 공간위상을 이용하므로 상관 영역에서의 상관결과는 입력영상의 상대적인 위치정보를 잘 보존한다.

광학적 한글 인식은 문자단위 인식방법과 자모를 분리 인식한 후 이들 자모를 조합하여 완전한 문자를 인식하는 방법으로 나눈다. 한글은 자모의 조합으로 문자가 구성되고 이들 자모의 조합형태에 따라 수많은 문자가 형성된다. 따라서 문자단위 인식방법은 인식하고자 하는 문자에 대한 모든 필터패턴을 만들어 이들 필터와 입력문자와의 상관을 구하여 이 결과로부터 한글을 인식한다. 그러므로 인식시스템 구성에 많은 문제점을 갖게 되어 일반적인 한글 인식방법은 자모를 분리 인식한 후 이들 자모를 조합하여 완전한 문자를 인식하는 공통점[9]을 갖고 있다. 이때 자모를 광상관기를 이용하여 분리 인식하기 위해서는 몇 가지 조건이 요구된다. 첫째 유사자모를 구별 인식할

수 있는 변별력이 뛰어나야 하고, 둘째 자모의 유사성에 의해 발생하는 부엽의 효과를 감소시킬 수 있어야 하며, 셋째 입력되는 문자가 회전(rotation), 크기(scale), 그리고 모양(shape) 변화에 무관하게 인식할 수 있어야 한다. 마지막으로 인식을 위한 처리가 실시간으로 이루어져야 한다는 것이다. 실시간 처리는 공간 광 변조기(spatial light modulator : SLM)를 이용하여 입력문자와 필터를 기록하면 얻을 수 있다. 따라서 위의 세가지 조건을 만족시킬 수 있는 광상관기는 SDF 필터나 MACE 필터가 적절하다.

SDF 필터를 이용하여, 기본자모를 포함하는 한글만 인식한다고 하여도 학습영상의 수가 24개가 되고 복자음 그리고 복모음을 포함하는 문자를 인식대상으로 한다면 약 116개의 학습영상이 사용된다. 따라서 CMF 합성법을 이용한 pSDF(projection SDF) 필터는 출력상관평면에서 아주 큰 부엽이 발생하므로 한글 문자인식에는 부적당하여 POF 합성법을 이용한 PO-SDF(phase-only SDF)[4]나 PO-fSDF(phase-only filter SDF) 필터와 같은 변형된 SDF 필터를 이용하여 부엽의 효과를 줄여 줄 수 있다. 그러나 이들 변형된 SDF 필터도 합성되는 학습영상의 수가 많아 지게 되면 역시 부엽의 효과가 나타나고 또한 상관치 제어가 어려워진다. MACE 필터는 변형된 학습영상의 수가 증가하여도 변형된 SDF 필터에 비해 부엽의 효과가 아주 작고 상관치 제어가 우수하다. 그러므로 많은 학습영상을 포함하는 인식에서는 MACE 필터 합성법을 이용하는 것이 효율적이다. 변형된 SDF 필터와 MACE 필터를 이용한 한글 인식의 예로는 'NRF-SDF(nonredundant function SDF)를 이용한 나무로부터의 한글 문자인식'[10]과 'MACE 개념을 적용한 병렬 나무구조로부터의 한글 문자인식'[11], 그리고 '대표영상의 K-tuple NRF-SDF를 이용한 나무로부터의 한글 문자인식'[12] 등이 있다. 이들 방법은 나무구조를 이용하는 공통점을 갖고 있고 한글 인

식에 필요한 조건을 갖는다는 것을 확인하였다. 그러나 나무구조를 이용하므로써 발생하는 인식시스템의 방대함과 인식을 위한 정합횟수가 많다는 문제점이 있다.

본 논문에서는 인식시스템의 크기와 인식횟수를 줄이기 위해 다중 MACE(multiplexed MACE; MMACE) 필터를 제안하였다. 제안된 방법은 먼저 K-tuple 개념을 도입하여 기본자음 14개를 인식하기 위한 4개의 MACE 필터와 기본모음 10개를 인식하기 위한 4개의 MACE 필터를 만들었다. 이때 입력문자에 학습영상에 포함되지 않은 자모가 존재하거나 입력문자가 없는 경우, 제작된 MACE 필터와의 상관결과는 아주 낮은 결과값을 나타낸다. 따라서 K-tuple MACE 필터 제작시 코드값이 모두 '0'인 경우를 포함시키게 되면 오인식이 되므로 각 학습영상은 최소한 하나 이상의 '1'값을 갖도록 합성하였다. 다음으로 이들 자음을 인식하기 위한 4개의 K-tuple MACE 필터를 공간주파수 변조기법을 이용하여 하나의 필터평면에 다중화시켜 입력문자와의 상관결과가 한 상관평면에서 동시에 나타나도록 하였고 모음도 같은 방법으로 필터를 합성하였다. 즉, 최종적인 하나의 필터는 4개의 필터함수가 합성된 것이며, 이는 필터평면을 4개의 부평면으로 나눌 때 하나의 부평면이 8개의 K-tuple MACE 필터중 하나의 자음이나 모음필터와의 상관결과에 해당된다. 이렇게 제작된 MMACE 필터와 입력문자와의 출력상관평면에서 하나의 부평면에는 한개 이상의 '1'의 값이 나타나므로 각 부평면의 동일위치의 상관치를 검출하여 컴퓨터에 미리 내장된 코드표와 비교하면 자모를 인식할 수 있다. 광 실험에서는 입력문자와 필터의 상관결과를 CCD 카메라를 통해 컴퓨터에 입력시켜 적절한 문턱값으로 문턱화한 후 이 결과에서 인식을 위한 코드를 검출한다. 검출된 코드를 컴퓨터에 내장된 자모인식 코드표와 비교하여 해당자모를 찾아 문턱화된 상관결과와 상관점두치 위치에 대치하여 문자를 인식한다. 여러 가지 한글에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안된 필터가 좋은 인식이 됨을 확인하였다.

## II. MACE 필터와 다중화 기법

### 1. MACE 필터

MACE 필터는 SDF 필터와는 달리 학습영상들의 선형조합을 주파수 영역에서 수행하고 필터계수를 Lagrange 승수를 이용하여 출력상관 평면상에서의

상관점두치를 임의로 제어함과 동시에 부엽의 크기를 최소화하도록 합성된 최적의 선형조합 필터이다. 이것은 합성되는 학습영상의 수가 많아지더라도 단일 위상필터에 비해 더 예리한 상관치를 나타낼 뿐만 아니라 필터정합시 사용된 모든 학습영상에 대한 상관점두치의 크기가 거의 동일한 값을 가지고 또한 유사입력에 대한 변별력이 뛰어나다.

MACE 필터의 합성원리는 다음과 같다. 영상영역에서의 좌표를  $(x, y)$ 라 하고 푸리에 영역의 좌표를  $(\xi, \eta)$ 라 할때,  $i$  번째 학습영상인  $f_i(x, y)$ 와 필터함수  $h(x, y)$ 에 의한 출력상관함수 및 상관에너지는

$$g_i(x, y) = f_i(x, y) \star h(x, y) \quad (1)$$

$$\begin{aligned} E_i &= \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N |g_i(x, y)|^2 = \sum_{\xi=1}^N \sum_{\eta=1}^N |H(\xi, \eta)|^2 |F_i(\xi, \eta)|^2 \\ &= \sum_{\xi=1}^N \sum_{\eta=1}^N |H(\xi, \eta)|^2 D_i(\xi, \eta) \end{aligned} \quad (2)$$

로 표시된다. 여기서  $(\star)$ 는 상관자(correlation operator)이고,  $D_i$ 는  $i$  번째 학습영상의 에너지 스펙트럼을 나타내며 대각성분만 값을 갖는 대각행렬이다. 벡터표기법에 의한 출력상관 점두치는

$$g(0) = F^+H = u \quad (3)$$

이다. 여기서  $(+)$ 는 복소공액전치(complex conjugate transpose) 변환을 나타내며,  $u$ 는 제한벡터(constraint vector)로서 상관점두치를 원하는 비율로 제한해 줄 수 있다. 따라서 평균상관에너지는

$$\begin{aligned} E_{avg} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_i = \sum_{\xi=1}^N \sum_{\eta=1}^N \left\{ |H(\xi, \eta)|^2 \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_i(\xi, \eta) \right] \right\} \\ &= \sum_{\xi=1}^N \sum_{\eta=1}^N |H(\xi, \eta)|^2 D(\xi, \eta) = H^+DH \end{aligned} \quad (4)$$

로 주어진다. 여기서  $N$ 은 MACE 필터합성에 사용된 학습영상의 수를 나타내고,  $D$ 는 모든 학습영상의 평균 에너지 스펙트럼을 나타낸다.

출력상관 평면상에서 원하는 상관점두치를 갖고 부엽을 최소화하기 위해서는 식 (3)의 제한을 만족하면서 식 (4)의 평균상관에너지를 최소화하는 필터함수  $H$ 를 구하면 된다. 이 MACE 필터를 구하기 위해서 Lagrange 승수 방법을 이용하면 성능함수  $Q$ 는 스

칼라 값으로서

$$Q = H^+DH - 2b_1(H^+F_1 - u_1) - \dots - 2b_N(H^+F_N - u_N) \quad (5)$$

로 정의되며, 계수  $b_1, b_2, \dots, b_N$ 은 Lagrange 승수이다. 여기서 MACE 필터  $H$ 는  $Q$ 를 최소화하는 벡터로부터 구하여진다. 따라서 성능함수  $Q$ 를 벡터  $H$ 로 미분하여 영벡터로 놓으면

$$0 = DH - b_1F_1 - b_2F_2 - \dots - b_NF_N$$

$$DH = b_1F_1 + b_2F_2 + \dots + b_NF_N \quad (6)$$

가 된다. 이때 행렬  $D$ 는 역변환이 가능하므로

$$H = D^{-1} \left[ \sum_{i=1}^N b_i F_i \right] = D^{-1}FL, \quad L = [b_1, b_2, \dots, b_N] \quad (7)$$

로 표현된다. 이식을 식 (3)에 대입하여 제한벡터를 만족하는 계수  $L$ 을 구하면

$$L = [F^+D^{-1}F]^{-1}u \quad (8)$$

가 되고, 결국 MACE 필터는

$$H = D^{-1}F[F^+D^{-1}F]^{-1}u \quad (9)$$

로 구하여진다. 이것은 식 (3)의 제한조건을 만족하고 동시에 식 (4)의 평균 상관에너지를 최소화시키는 최적의 선형조합 필터로서 효율적인 분리인식을 수행한다.

## 2. 다중화 기법

Vander Lugt 필터는 물체파와 기준파의 간섭을 이용하여 크기와 위상을 효과적으로 기록할 수 있으며, 이때의 전송함수는

$$H(\xi, \eta) = A^2 + |F(\xi, \eta)|^2 + AF(\xi, \eta) \exp[j2\pi(a\xi + b\eta)] + AF^*(\xi, \eta) \exp[-j2\pi(a\xi + b\eta)] \quad (10)$$

로 나타낸다. 여기서  $A \exp[-j2\pi(a\xi + b\eta)]$ 는 기준파를 나타내고,  $a$ 와  $b$ 는 입사파의 입사각도에 의해

결정되는 변수이며 (\*)는 복소공액변환을 나타낸다. 식 (10)의 네항중 입력영상과의 상관을 나타내는 항은 마지막 항이며, 컴퓨터형성홀로그램(computer generated hologram: CGH)을 통해 상관필터를 제작시 마지막 항만이 유용하다. 이를 광학적으로 제작하려면 기준파의 입사각도를 달리해 여러개의 입력영상에 대한 전달함수를 다중노출에 의해 하나의 필터에 중첩시키면 된다. CGH로 제작하려면 합성하고자 하는 학습영상의 푸리에변환에 원하는 정도의 공간주파수성분을 곱해주어서 합성하면 얻을 수 있다.  $N$ 개의 학습영상의 위상을 공간주파수 변조한 다음 하나의 필터에 합성한 필터함수는

$$H(\xi, \eta) = \sum_{i=1}^N K_i F_i(\xi, \eta) \exp[j2\pi(a_i\xi + b_i\eta)] \quad (11)$$

와 같다. 여기서  $K_i$ 는  $i$  번째 기준파의 크기이며,  $a_i$ 와  $b_i$ 는 상관결과의 분리정도를 정해주기 위한 변수이다.

## Ⅲ. 다중 MACE 필터

앞절에서 살펴본 MACE 기법을 이용하여 자음과 모음을 인식하기 위한 8 개의 필터를 먼저 만들었다. 이때 사용된 학습영상은 기본자음 14개와 모음 10개를 대상으로 하였고, 복모음은 인식대상 문자에서 제외하였다. 자음의 푸리에 변환형을  $F_1(\xi, \eta), \dots, F_{14}(\xi, \eta)$ 라 하고 모음의 푸리에 변환형을  $G_1(\xi, \eta), \dots, G_{10}(\xi, \eta)$ 라 할 때 자음과 모음의 K-tuple MACE 필터는

$$H_{con,1} = D_{con}^{-1}F[F^+D_{con}^{-1}F]u_1,$$

$$u_1 = [00000001111111]$$

$$H_{con,2} = D_{con}^{-1}F[F^+D_{con}^{-1}F]u_2,$$

$$u_2 = [00011110000111]$$

$$H_{con,3} = D_{con}^{-1}F[F^+D_{con}^{-1}F]u_3,$$

$$u_3 = [01100110011001]$$

$$H_{con,4} = D_{con}^{-1}F[F^+D_{con}^{-1}F]u_4,$$

$$u_4 = [10101010101010]$$

$$H_{vow,1} = D_{vow}^{-1}G[G^+D_{vow}^{-1}G]u_5,$$

$$u_5 = [0000000111]$$

$$\begin{aligned}
 H_{vow,2} &= D_{vow}^{-1}G[G^+D_{vow}^{-1}G]u_6, \\
 u_6 &= [00011111000] \\
 H_{vow,3} &= D_{vow}^{-1}G[G^+D_{vow}^{-1}G]u_7, \\
 u_7 &= [01110011001] \\
 H_{vow,4} &= D_{vow}^{-1}G[G^+D_{vow}^{-1}G]u_8, \\
 u_8 &= [1010101010] \quad (12)
 \end{aligned}$$

와 같이 표현된다. 여기서  $D_{con}$  행렬은 14개의 기본 자음들의 평균 스펙트럼을 의미하고  $D_{vow}$  행렬은 10개의 기본 모음들의 평균 스펙트럼을 나타낸다. 또한 제한벡터  $u$ 는 자음음의 학습영상중 인식하지 않고자 하는 경우 '0'의 값을, 인식하고자 하는 경우 '1'의 값을 주었다. 그리고  $F$ 와  $G$ 는 자모의 학습영상 벡터를 의미하고

$$\begin{aligned}
 F &= [F_1 \ F_2 \ \dots \ F_{14}] \\
 G &= [G_1 \ G_2 \ \dots \ G_{10}] \quad (13)
 \end{aligned}$$

으로 표현되는 행벡터이다. 식 (12)에서 만들어진 자모음의 MACE 필터들을 다중화기법을 사용하여 한 개씩의 필터로 다중화시켰다. 다중화된 자모음의 필터함수는

$$\begin{aligned}
 H_{con} &= \sum_{i=1}^4 K_i H_{con,i}(\xi, \eta) \exp[j2\pi(a_i\xi + b_i\eta)] \\
 H_{vow} &= \sum_{i=1}^4 K_i H_{vow,i}(\xi, \eta) \exp[j2\pi(a_i\xi + b_i\eta)] \quad (14)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{where } a_1 &= b_1 = b_2 = a_3 = 32 \\
 a_2 &= b_3 = a_4 = b_4 = -32
 \end{aligned}$$

와 같이 표현된다. 이때 상관결과의 분리정도를 결정하는  $a_i$ 와  $b_i$ 의 값은 출력상관평면의 중앙화소를 (0, 0)이라 할 때 상관결과를 좌측과 상단으로 이동시킬 경우는 양의 값을, 우측과 하단으로 이동시킬 경우는 음의 값을 사용하였다. 이때 각 부평면에서의 상관결과가 서로 겹치지 않고 독립적으로 나타나도록 하기 위해 공간주파수를 '32'로 채택하였다. 따라서 자모음의 8개 필터가 다중 MACE 필터 합성후 재배열된 위치는 그림 1과 같다.

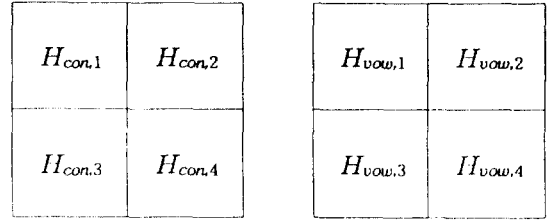


그림 1. 다중 MACE 필터평면에서의 자모음 필터들의 위치  
Fig. 1. Positions of consonant and vowel filters in the MMACE filter plane.

#### IV. 인식 알고리즘 및 인식 시스템

##### 1. 한글 인식 알고리즘

제안된 인식 알고리즘의 순서도는 그림 2와 같다.

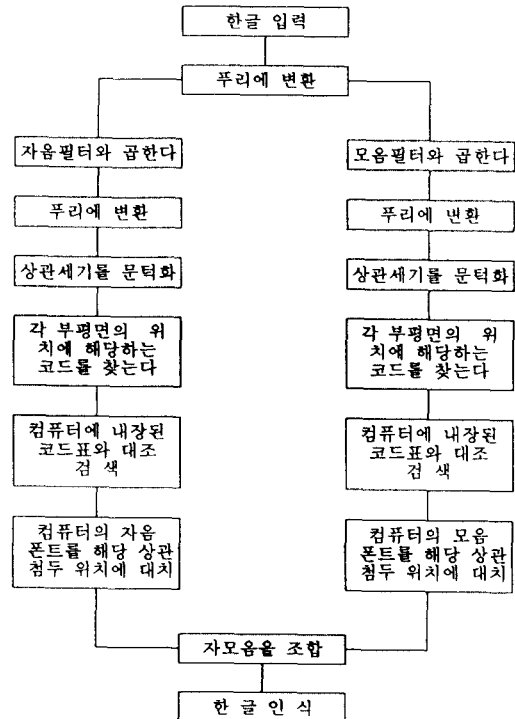


그림 2. 한글 인식 알고리즘의 순서도  
Fig. 2. Flowchart of the algorithm of Korean character recognition.

순서도는 먼저 입력문자를 푸리에 변환시켜 다중 합성된 MACE 자모음 필터와 곱하여 상관을 취한후 최대상관치의 70%로 문턱화를 취한다. 이때 문턱값을 최대상관치의 70%로 택한 이유는 자음의 경우 동일 자음으로 인식하기 위해 합성한 필터와 입력문자와의 상관첨두치의 편차가 약 30%로 나타났다. 따라서 이 오차를 극복하기 위해 문턱값을 최대상관치의 70%로 하였다. 이 문턱화된 상관세기를 64×64 화소 크기의 네개의 부평면으로 나누어 좌상의 부평면을 먼저 검색한다. 만약 좌상의 부평면에서 모든 화소를 검색하여 상관첨두치를 찾아지게 되면 다른 부평면의 동일 위치에서의 상관치를 검사하여 인식 코드를 획득한다. 만약 좌상의 부평면에서 코드가 획득되지 않으면 좌하의 부평면에서 동일한 방법으로 코드를 획득하고, 이와 같은 방법으로 우상의 부평면 그리고 우하의 부평면에서의 코드를 획득한다. 이때 획득된 코드가 자음 MMACE 필터와의 상관결과이면 컴퓨터에 기억된 표 1의 코드표와, 모음 MMACE 필터와의 상관결과이면 표 2의 코드표와 비교하여 해당자모를 인식한 후, 상관첨두치가 있는 위치에 해당자모를 대치하여 한글을 인식한다.

표 1. 자음인식을 위한 코드표

Table 1. Code table for the consonants recognition.

	ㄱ	ㄴ	ㄷ	ㄹ	ㅁ	ㅂ	ㅅ	ㅇ	ㅈ	ㅊ	ㅋ	ㆁ	ㅍ	ㅎ
부평면 I	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
부평면 II	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
부평면 III	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
부평면 IV	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0

표 2. 모음인식을 위한 코드표

Table 2. Code table for the vowels recognition.

	ㅏ	ㅑ	ㅓ	ㅕ	ㅗ	ㅛ	ㅜ	ㅠ	ㅡ	ㅣ
부평면 I	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
부평면 II	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
부평면 III	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
부평면 IV	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0

이때 코드표에서 모두 '0'인 상태의 코드를 제외하였는데, 이는 입력평면에 한글이 없거나 필터합성시 사용된 학습영상이 존재하지 않는 한글이 입력되는 경우 모두 '0'의 값을 갖는 코드가 발생하여 오인식이 될 수 있다. 이 문제점을 없애기 위하여 모두 '0'인 상태의 코드를 코드표에서 제외하였다.

## 2. 한글 인식 시스템

제안된 다중 MACE 필터를 이용한 한글 인식 알고리즘을 광학적으로 구현하기 위한 시스템 구성도를 그림 3에 나타내었다. 이는 입력문자와 필터와의 상관결과를 CCD 카메라를 통해 입력 받아서 컴퓨터상에서 문턱화를 거쳐 그 결과값으로써 문자를 인식한다. 시스템 구성은 전통적인 4f 시스템에 컴퓨터를 복합시킨 전기광학시스템을 사용한다.

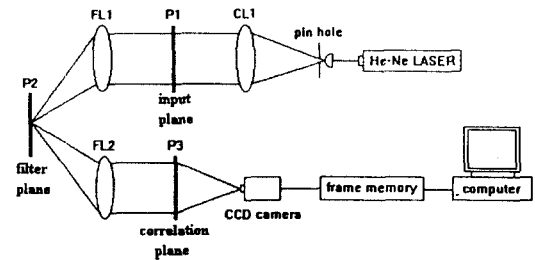


그림 3. 광실험을 위한 시스템 구성도  
Fig. 3. Schematic diagram for optical experiments.

시스템의 구성은 입력문자가 위치하는 P1 평면과 필터가 위치하는 P2 평면, 평행광을 만드는 시준렌즈 CL(collimated lens)1, 푸리에 변환 렌즈 FL(Fourier transform lens)1과 FL2, 상관결과가 나타나는 P3 평면, P3 평면의 상관세기를 입력받는 CCD 카메라와 컴퓨터로 이루어진다. 컴퓨터는 표 1과 표 2의 코드표를 저장하고, CCD 카메라로 부터 입력된 상관세기를 문턱화한 후 그 결과를 코드표에서 찾아 내장된 한글 폰트로 디스플레이 한다.

## V. 시뮬레이션 결과 및 고찰

컴퓨터 시뮬레이션에 사용된 입력문자를 그림 4에 나타내었다. 입력문자는 기본 자모음 24개로 구성하였고 형태가 비슷한 'ㅈ'과 'ㅊ'의 구별인식과 받침으로 2개의 자음이 존재하는 경우의 인식을 보이기 위해 선택하였다.

그림 5는 그림 4(a)의 입력문자와 다중 MACE 자음필터와 모음필터와의 상관결과를 나타낸다. 이때 그림 5(a)는 네개의 부평면에서의 상관결과를 확인할 때 편리하게 하기위해 나타낸 그림이다. 자음필터와의 상관분포에서 그림 5(a)의 1 영역에 해당하는

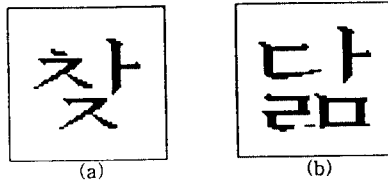


그림 4. 컴퓨터 시뮬레이션에 사용된 입력문자  
Fig. 4. Input characters for computer simulation.

상관결과는 '1', '0', '1' 그리고 '0'의 값을 가지므로 1 영역에는 '츠'이 위치함을 인식하였다. 또한 3 영역의 상관결과는 '1', '0', '0' 그리고 '1'의 값을 가지므로 3 영역에는 '스'이 있고, 2 영역에는 모두 '0'의 값을 가지므로 이곳에는 학습영상에 포함된 어떤 자음도 없음을 알았다. 같은 방법으로 모음필터와의 상관분포에서 그림 5(a)의 2 영역에 해당하는 상관결과는 '0', '0', '0' 그리고 '1'의 값을 가지므로 2 영역에는 'ㅏ'가 위치함을 인식하였고, 1과 3 영역에는 모두 '0'의 값을 가지므로 이곳에는 학습영상에 포함된 어떤 모음도 없다. 따라서 그림 5(b)와 5(c)의 결과를 조합하면 입력평면에는 '찾'이 있음을 인식하였다.

그림 6은 그림 4(b)의 입력문자와 다중 MACE 자음필터와 모음필터와의 상관결과를 나타낸다. 그림 6(a) 역시 네개의 부평면에서의 상관결과를 확인할 때 편리하게 하기위해 나타난 그림이다. 자음필터와의 상관분포에서 그림 6(a)의 1 영역에 해당하는 상관결과는 '0', '0', '1' 그리고 '1'의 값을 가지므로 1 영역에는 'ㄷ'이 위치함을 인식하였다. 또한 3 영역의 상관결과는 '0', '1', '0' 그리고 '0'의 값을 가지므로 3 영역에는 'ㄹ'이 있고, 4 영역의 상관결과는 '0', '1', '0' 그리고 '1'의 값을 가지므로 4 영역에는 'ㅍ'이 있다. 또한 2 영역에는 모두 '0'의 값을 가지므로 이곳에는 학습영상에 포함된 어떤 자음도 없음을 알았다. 같은 방법으로 모음필터와의 상관분포에서 그림 6(a)의 2 영역에 해당하는 상관결과는 '0', '0', '0' 그리고 '1'의 값을 가지므로 1 영역에는 'ㅏ'가 위치함을 인식하였고, 1, 3, 4 영역에는 모두 '0'의 값을 가지므로 이곳에는 학습영상에 포함된 어떤 모음도 없다. 따라서 그림 6(b)와 6(c)의 결과를 조합하면 입력평면에는 '답'이 있음을 인식하였다.

위와 같이 얻어진 입력문자와 필터와의 상관결과를 컴퓨터상에서 문턱화 과정을 취한 후 인식에 필요한 코드를 얻게 된다. 이의 예를 '찾'에 대해서 수행한

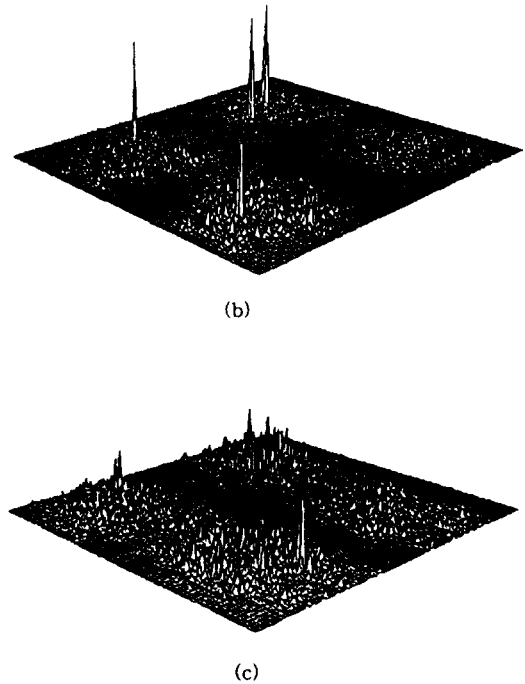
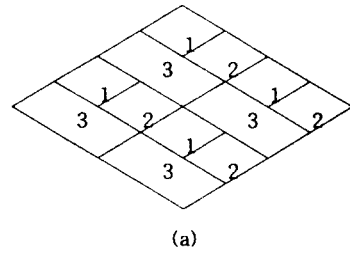


그림 5. 입력문자 '찾'과 다중 MACE 자음필터와 모음필터와의 상관결과

- (a) 출력상관평면에서의 부평면의 위치
- (b) 다중 MACE 자음필터와 입력문자의 상관
- (c) 다중 MACE 모음필터와 입력문자의 상관

Fig. 5. Correlation results of input image '찾' with MMACE consonant and vowel filter.

- (a) position of subplane in the output correlation plane,
- (b) correlation of input character with MMACE consonant filter, and
- (c) correlation of input character with MMACE vowel filter.

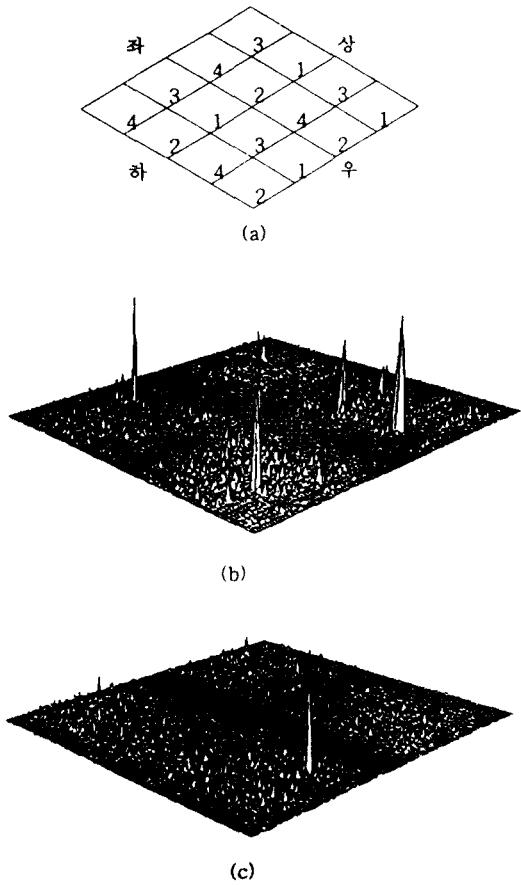


그림 6. 입력문자 '닭'과 다중 MACE 자음필터와 모음필터와의 상관결과

- (a) 출력상관평면에서의 부평면의 위치
- (b) 다중 MACE 자음필터와 입력문자의 상관
- (c) 다중 MACE 모음필터와 입력문자의 상관

Fig. 6. Correlation results of input image '닭' with MMACE consonant and vowel filters.

- (a) position of subplane in the output correlation plane,
- (b) correlation of input character with MMACE consonant filter, and
- (c) correlation of input character with MMACE vowel filter.

결과를 아래 그림에 나타내었다. 그림 7(a)는 그림 5(b)의 '찾'과 자음 MMACE 필터와의 상관결과를 최대상관치의 70%로 문턱화를 거친후의 결과이며 그림 7(b)는 그림 5(c)의 '찾'과 모음 MMACE 필터

와의 상관치를 최대상관치의 70%로 문턱화를 거친 후의 결과이다. 이때 문턱값보다 큰 값은 모두 '1'의 값을 할당하였기 때문에 동일한 값으로 나타났다. 이 두가지 결과에서, 먼저 자음필터와의 상관결과가 있는 각 부평면에서 인식을 위한 코드를 찾아 대응하는 자음을 대치한 결과를 그림 8에 나타내었다. 그림 8(a)를 보면 자음 'ㅈ' 위치의 각 부평면 코드를 찾아 컴퓨터에 내장된 자음인식을 위한 코드표와 비교해 대응하는 자음을 대치한 결과이며 (b)에서 (e)까지도 동일한 방법으로 자음을 대치한 결과이다. 그림 8(a)에서 그림 8(d)까지의 결과는 128×128의 평면이고 그림 8(e)의 결과는 64×64의 평면으로 다르게 나타났다. 전자는 상관평면의 결과로 부터 해당자음을 대치하였기 때문이고, 후자는 전자로 부터 얻어진 마지막 결과를 컴퓨터 모니터상으로 한글문자를 출력할때 입력문자의 크기와 동일하게하기 위하여 하나의 64×64 평면으로 하였기 때문이다. 즉, 4개의 부평면으로 모두 더하여 64×64 크기의 부평면으로 나타내었다. 이때 모음의 위치에는 코드가 모두 '0'의 값을 가지므로 이곳에는 학습영상에 포함된 자음이 없거나 자음이나 모음이 없는 빈 공간으로 인식하게 된다. 그림 9(a)는 모음필터와의 상관결과가 있는 각 부평면에서 인식을 위한 코드를 찾아 대응하는 모음을 대치한 후 하나의 64×64 부평면으로 나타낸 결과이다. 방법은 자음을 대치하는 것과 동일하다. 그림 9(b)는 그림 8(e)에서 얻어진 자음대치 결과이다. 그림 9(c)는 이렇게 얻어진 자음대치결과와 모음대치결과를 합하여 하나의 64×64 부 평면에 나타낸 완전한 입력문자의 인식결과이다. 그림 9(c)의 결과를 보면 모양이 비슷한 'ㅈ'과 'ㅊ'을 오인식없이 정확히 분류 인식할 수 있음을 확인할 수 있다. 이는 MACE 필터의 특성인 유사물체에 대한 뛰어난 변별력 때문이다.

이상의 시뮬레이션 결과로 부터 인쇄체 한글을 인식하는데는 하나의 자음 MMACE 필터와 모음 MMACE 필터만 있으면 가능하다는 것을 알았다.

본 논문에서 제안된 방법의 자모음에 대한 인식을 확인하기 위하여 몇가지 한글문자에 대한 인식정도를 컴퓨터 시뮬레이션으로 확인하여 이를 표 3과 표 4에 나타내었다.

위 표에서 상관첨두치는 '500'으로 정규화한 값이며 표에 나타내지 않은 상관첨두치값은 문턱치보다 작은 값이다. 이때 사용한 문턱치는 최대상관첨두치인 '500'의 70%인 '350'으로 하였다. 그리고 코드는



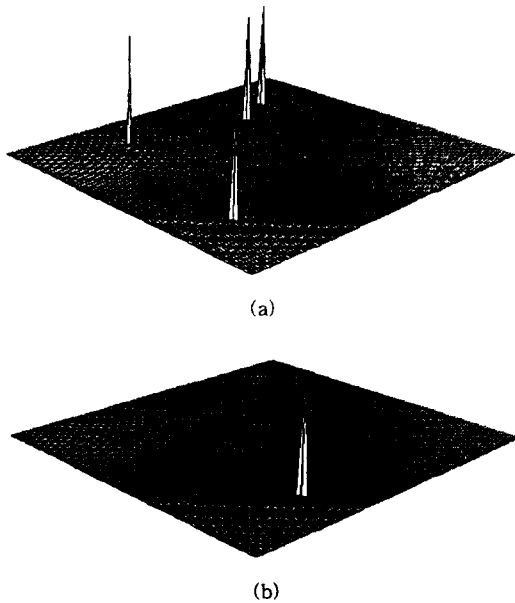


그림 7. 그림 5(b)와 5(c)의 상관분포의 문턱화 결과  
 (a) 자음 MMACE와 입력문자의 상관분포의 문턱화  
 (b) 모음 MMACE와 입력문자의 상관분포의 문턱화  
 Fig. 7. Thresholded results of correlation distribution of fig. 5(b) and 5(c).  
 (a) thresholded correlation distribution between consonant MMACE and input character,  
 (b) thresholded correlation distribution between vowel MMACE and input character.

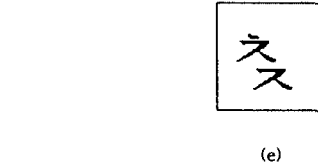
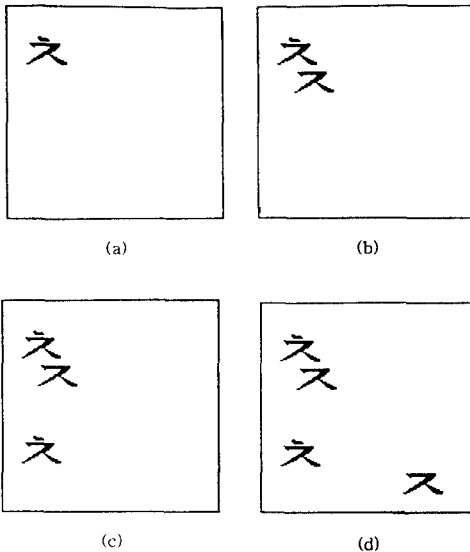


그림 8. 문턱화된 결과로부터 자음을 찾는 과정  
 (a) 1 사분면에서 찾아진 자음 'ㅌ'  
 (b) 1 사분면에서 찾아진 자음 'ㅈ'  
 (c) 3 사분면에서 찾아진 자음 'ㅌ'  
 (d) 4 사분면에서 찾아진 자음 'ㅈ'  
 (e) 인식된 자음 결과  
 Fig. 8. Process to find the consonants from the thresholded result.  
 (a) consonant 'ㅌ' which is found in the first quarter plane,  
 (b) consonant 'ㅈ' which is found in the first quarter plane,  
 (c) consonant 'ㅌ' which is found in the third quarter plane,  
 (d) consonant 'ㅈ' which is found in the fourth quarter plane,  
 (e) result of the recognized consonants.

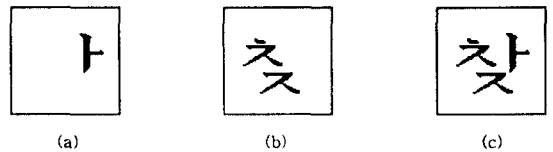


그림 9. 문턱화된 결과로부터 모음을 찾은 결과와 최종적으로 인식된 한글  
 (a) 인식된 모음 결과  
 (b) 인식된 자음 결과  
 (c) 최종적으로 인식된 한글  
 Fig. 9. The result of vowel finding from the thresholded result and Korean character which is recognized finally.  
 (a) result of the recognized vowel,  
 (b) result of the recognized consonant,  
 (c) final result of the recognized Korean character.

표 3. 자음 MMACE 필터와 한글과의 상관출력치 및 인식된 자음들

Table 3. Output correlation values between consonant MMACE filter and Korean characters, and recognized consonants.

입력 문자	부평면 1		부평면 2		부평면 3		부평면 4		인식된 자음
	상관첨 두치	코드	상관첨 두치	코드	상관첨 두치	코드	상관첨 두치	코드	
찰	500	1		0	471	1		0	ㄷ
	493	1		0		0	471	1	ㅈ
촛	499	1		0	500	1		0	ㄷ
		0	477	1	496	1	499	1	ㅈ
닭		0		0	485	1	493	1	ㄷ
		0	377	1		0		0	ㄹ
		0	500	1		0	477	1	ㅁ
강		0		0		0	500	1	ㄱ
	482	1		0		0		0	ㅇ
숫		0	466	1	488	1	490	1	ㅈ
	500	1		0	483	1		0	ㄷ
구		0		0		0	500	1	ㄱ
실		0	496	1	478	1	462	1	ㅈ
		0	500	1		0		0	ㄹ
호	486	1	496	1	500	1		0	ㅎ
전	500	1		0		0	481	1	ㅈ
		0		0	447	1		0	ㄴ
김		0		0		0	488	1	ㄱ
		0	500	1		0	489	1	ㅁ
리		0	500	1		0		0	ㄹ
살		0	500	1	475	1	498	1	ㅈ
		0	500	1		0		0	ㄹ
삶		0	489	1	457	1	491	1	ㅈ
		1	463	1		0		0	ㄹ
		0	471	1		0	500	1	ㅁ
신		0	465	1	500	1	493	1	ㅈ
		0		0	484	1		0	ㄴ
연	500	1		0		0		0	ㅇ
		0		0	447	1		0	ㄴ
영	500	1		0		0		0	ㅇ
	487	1		0		0		0	ㅇ
값		0		0		0	464	1	ㄱ
		0	452	1		0		0	ㄹ
		0		0		0	500	1	ㄱ

이 문턱치보다 큰값을 '1'로 작은값을 '0'으로 하여 획득한 것이다. 표 3과 4에서와 같이 입력으로 사용된 17자의 한글에서의 인식률이 100%로 나타남을 볼 수 있다. 따라서 제안된 알고리즘의 인쇄체 한글인식이 가능함을 확인하였다. 그러나 제안된 알고리즘 만으로는 다른 서체(명조체, 고딕체 등)의 문자를 인식할 수 없다. 이들 문자들도 인식하려면 필터를 합성할

때 인식하고자 하는 모든 대상을 학습영상으로 사용하면 된다. 하지만 단순한 학습영상의 합성법으로는 인식이 어려워 이에 대한 연구가 필요하다.

표 4. 모음 MMACE 필터와 한글과의 상관출력치 및 인식된 모음들

Table 4. Output correlation values between vowel MMACE filter and Korean characters, and recognized vowels.

입력 문자	부평면 1		부평면 2		부평면 3		부평면 4		인식된 자음
	상관침 두치	코드	상관침 두치	코드	상관침 두치	코드	상관침 두치	코드	
찰	0		0		0	500	1	ㅈ	
척		0		0	500	1	365	1	ㅊ
담		0		0		0	500	1	ㅌ
강		0		0		0	500	1	ㅍ
숯		0	373	1	377	1	500	1	ㅍ
구		0	500	1	479	1	488	1	ㅍ
실	500	1		0	490	1		0	ㅣ
호		0	495	1		0	500	1	ㅊ
진		0		0	496	1	500	1	ㅊ
김	470	1		0	500	1		0	ㅣ
리	500	1		0	498	1		0	ㅣ
살		0		0		0	500	1	ㅌ
삶		0		0		0	500	1	ㅌ
신	490	1		0	500	1		0	ㅣ
연		0	500	1		0		0	ㅋ
영		0	500	1		0		0	ㅋ
값		0		0		0	500	1	ㅌ

### VI. 결 론

본 논문에서는 기존의 나무구조를 이용한 한글 인식에서의 단점인 인식시스템의 방대함과 인식을 위한 정합횟수가 많다는 단점을 보완한 다중 MACE 필터를 제안하였다. 제안된 MMACE 필터는 먼저 기본 자음 14개와 기본모음 10개에 대한 K-tuple MACE 필터 8개를 만들어, 다중화 기법을 사용하여 하나의 자음과 모음필터로 만들었다. 자모음의 MMACE 필터는 4개의 필터로 합성된 것이므로, 제안된 필터만으로도 모든 인쇄체 한글을 인식할 수 있다. 그리고 한글을 인식하는데는 2개의 4f 시스템만 있으면 되므로 인식시스템의 크기가 작아졌고, 자모음의 MMACE 필터와 입력문자간의 두번의 정합에 의해 문자를 인식하므로 인식을 위한 정합횟수도 크게 줄었다.

한글을 인식하기 위해서는 필터와 입력문자간의 상관결과가 대부분의 상관평면으로 나누어지므로 이 네 곳의 코드를 인식하여야 한다. 따라서 이 코드값을 획득하기 위해 입력문자와 필터간의 상관결과를 문턱화 과정을 거친 후 네 부분의 최종 결과값으로 부터 인식코드를 얻어 컴퓨터에 내장된 코드와 비교하여 한글을 인식한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안

된 방법의 우수성을 확인하였다.

또한 회전 그리고 합성위치에 따라 모양이 변형된 자모음이 입력되더라도 인식할 수 있기 위해서는 필터합성시 학습영상으로 이들 변형된 영상을 고려하면 가능하리라 본다. 하지만 모든 변형을 고려하면 출력상관평면에서의 부엽의 크기가 크게될 수 있고 상관치 제어가 어려워 지므로 새로운 방법의 필터합성법이 필요하다. 이의 해결을 위해서는 모양변형에 무관하게 자모음을 인식하기 위하여, 이들을 인식할 수 있는 자모음의 MACE 필터를 먼저 합성한 후 다중화 기법을 이용하여 하나의 필터평면에 4개의 MACE 필터를 합성하면 된다. 그러나 이렇게 하면 인식을 위한 필터의 수가 6개가 필요하게 되므로 제안된 방법보다 인식시스템의 크기가 크게 된다. 그리고 회전된 자모음이 입력되더라도 이들을 동일 자모음으로 인식하기 위해서는, 기본자모음의 원형고조성분들을 구한후 이들을 MACE 합성법으로 합성을 하면 해결이 되지만 이 역시 인식을 위한 필터의 수가 6개로 되어 인식시스템의 크기가 제안된 방법보다 크다. 따라서 인식을 위한 시스템의 크기를 줄일 수 있는 필터합성법을 연구중에 있다.

참 고 문 헌

1. A. Vander Lugt, "Signal detection by complex signal filtering," *IEEE Trans, Infor. Theory*, vol. IT-10, pp. 139-145, 1964.
2. J. W. Goodman, Introduction to Fourier Optics. *McGraw-Hill*, 1968, p. 178.
3. J. L. Horner and P. D. Gianino, "Phase only matched filtering," *Appl. Opt.*, vol. 24, no. 6, pp. 812-816, 1984.
4. 도 양희, "한글 문자 인식을 위한 양자회 위상 SDF 필터," *경북대학교 박사학위 논문*, 1988.
5. Y. N. Hsu and H. H. Arsenault, "Optical pattern recognition using circular harmonic expansion," *Appl. Opt.*, vol. 21, no. 22, pp. 4016-4019, 1982.
6. D. Casasent, W. Rozzi and D. Fetterly, "Projection synthetic discriminant function performance," *Opt. Eng.*, vol. 23, no. 6, pp. 716-720, 1984.
7. D. Casasent and Wen-Thong Chang, "Correlation synthetic discriminant functions," *Appl. Opt.*, vol. 25, no. 14, pp. 2343-2350, 1986.
8. A. Mahalanobis, B. V. K. Kumar and D. Casasent, "Minimum Average Correlation Energy filter," *Appl. Opt.*, vol. 26, no. 17, pp. 3633-3640, 1987.
9. 백응기, 이상우, "최적 공간 필터법에 의한 한글의 패턴인식," *한국 물리 학회지 '새물리'*, vol. 17, no. 4, p. 189, 1977.
10. 김정우, "NRF-SDF를 이용한 나무로 부터의 한글 문자 인식," *경북대학교 석사학위 논문*, 1988.
11. 유위경, 김정우, 도양희, 김수중, "MACE 개념을 적용한 병렬 나무구조로 부터의 한글 문자 인식," *한글 및 한국어 정보처리 학술발표 논문집*, pp. 148-153, 1989.
12. 김정우, 정수길, 조용호, 김성용, 김수중, "대표영상을 이용한 나무구조의 한글 문자인식," *대한전자공학회 논문지*, vol. 31-B, no. 4, pp. 18-29, 1994.
13. C. K. Hsueh and A. A. Sawchuk, "Computer-Generated Double-Phase Hologram," *Appl. Opt.*, vol. 17, no. 24, pp. 3874-3883, 1978.

金正雨(Jeong Woo Kim) 정회원  
 제 18권 제 6호 참조  
 1989년~1993년 8월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수료

襄長根(Jang Keun Bae) 정회원  
 제 18권 제 6호 참조  
 1994년 3월~현재 : 구미전문대학 전자과 전임강사



都良會(Yang Hoi Doh) 정회원  
 1959년 12월 10일생  
 1982년 : 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1984년 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1988년 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1989년 4월~현재 : 제주대학교 전자공학과 조교수  
 ※주관심분야 : 광신호처리, 광신경회로망 등임



金喆洙(Cheol Su Kim) 정회원  
 1966년 9월 4일생  
 1989년 : 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1991년 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1991년~1993년 3월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수료

1994년 4월~현재 : 경북대학교 전자공학과 조교  
 ※주관심분야 : 광신호처리, 광메모리소자, 홀로그래프 등임

金秀重(Soo Joong Kim) 정회원  
 제 18권 제 6호 참조  
 현재 : 경북대학교 전자공학과 정교수