

# MACE 개념을 이용한 병렬 나무 구조로<sup>#</sup>

## 부터의 왜곡에 무관한 한글문자 인식

유 위경<sup>o\*</sup>, 김 정우<sup>\*</sup>, 도 양희<sup>\*\*</sup>, 김 수중<sup>\*</sup>

경북대학교 전자공학과, 제주대학교 전자공학과

Distortion-Invariant Korean Character Recognition  
With Parallel Tree Structure Using MACE Concept

Wee-Kyung Yu<sup>\*</sup>, Jeong-Woo Kim<sup>\*</sup>, Yang-Hoi Doh<sup>\*\*</sup> and Soo-Joong Kim<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Dept. of Electronics Eng. Kyungpook Nat'l Univ.

<sup>\*\*</sup>Dept. of Electronics Eng. Cheju Nat'l Univ.

### 요 약

본 논문에서는 광 상관기(optical correlator)에 의한 한글문자 분리 인식의 한 방법을 제안하였다. 효율적인 분리 인식을 위해서 병렬 나무(tree)구조로부터 입력 신호를 두방향으로 병렬 처리하여 각 방향으로 자음과 모음을 따로 분리시켜 2단계 만에 인식한 뒤 이들을 위치에 따라 조합하여 문자 분리 인식하도록 하며, 아울러 이러한 병렬 나무구조의 각 단계에서 필터 합성시 MACE(minimum average correlation energy) 개념을 이용하여 광 상관평면상에서 부엽의 문제를 줄이고, 실제 광 시스템에서 생길 수 있는 왜곡을 학습표본에 포함하여 광 상관기 시스템에 의한 실질적인 한글 문자의 왜곡에 무관한 분리인식을 하도록 하였다.

### 1. 서 론

광 상관기(optical correlator)<sup>(1)</sup>에 의한 패턴 인식 방법은 Vander Lugt<sup>(2)</sup>에 의해 복소 공간정합필터(matched spatial filter)가 실현된 이후 꾸준히 연구되어 왔다. 정합 필터는 공간 위상을 이용하므로 상관 영역에서 다중 입력 패턴들의 상대적인 위치 정보를 잘 보존하고 있다. 따라서 한글과 같은 대상에 있어서 서로 인접한 자모를 위치에 따라 분리 인식 하는데 효과적이다. 한글은 24개의 자모로 구성되어 있으나 모아쓰기라는 글자 구성상의 특징으로 인하여 수많은 서로 다른 문자로 이루어져 있다. 그러므로 한글문자 인식을 위해서는 각 자모를 분리하여 인식한 뒤 이들을 조합하여 글자를 인식하여야 한다.<sup>(3)</sup> 그러나 실제 광 상관기 시스템에서는 입력문자들이 렌즈(lens)의 축과 정확하게 일치하지 않아서 회전 변위가

일어나며, 크기 또한 일정하지 않는 등의 실제적인 왜곡이 생긴다. 그리고 종래의 선형 조합 필터(SDF 필터)를 사용하여 모든 자모를 인식하려 할 경우 많은 학습표본(training image)으로 인하여 출력 상관 평면상(optical correlation plane)에서의 부엽의(sidelobe)의 크기가 커서 정확한 문자 분리 인식이 어렵다.<sup>(3)</sup>

본 논문에서는 보다 효율적인 분리 인식을 위해서 MACE(minimum average correlation energy)<sup>(4)</sup> 필터에 의한 병렬 나무(tree)구조로부터 한글문자의 왜곡에 무관한 인식을 하도록 하였다. 즉 왜곡을 포함한 많은 학습 표본에 대해서 Lagrange multiplier 방법을 이용한 MACE 필터 합성법에 의해 출력 상관 평면상에서 부엽의 크기가 최적으로 줄여진 예리한 상관 첨두치가 나타나므로 왜곡된 입력 문자에 대해 정확한 자모음 분리 인식을 할수있다. 또한 입력 신호를 두방향으로 병렬 처리하여 각방향으로 자음과

# 이 논문은 한국과학재단이 지원한 1987년도 목적기초 연구의 일부임.

모음을 따로 분리시켜 인식한 뒤 이들을 위치에 따라 조합한 병렬 나무 구조 시스템으로부터 효과적인 문자 분리 인식을 할 수 있으며 아울러 기존의 나무 구조에 비해 필터수, 시행 단계 및 횡수를 감소시켜 처리 시간을 줄였다. 이러한 병렬 나무 구조의 각 단계에 MACE 필터를 사용함으로써 실질적인 왜곡 불변 한글 문자 분리인식을 할 수 있으며 광-디지털 복합 시스템<sup>(6)</sup> (hybrid optical-digital system)에 의해 실시간 처리 (real-time processing)를 가능하게 할 수 있을 것이다.

II. 전통적인 선형 조합 필터

1. SDF (Synthetic Discriminant Function) 필터<sup>(5)</sup>

SDF 필터는 동일 집단으로 인식하고자 하는 입력 패턴과 다른 집단으로 인식하고자 하는 입력 패턴들을 학습 표본으로 하여 이들의 선형 조합으로 구하여진다. 이때 필터 계수는 학습표본간의 상관도 행렬의 역행렬과 입력 패턴들을 분리시켜 주는 제한 벡터 (constraint vector)와의 곱으로 이루어진다. 입력 패턴의 푸리에 변환을  $F(u,v)$ , 이때 SDF 필터의 전달 함수  $H(u,v)$ 는 입력 패턴들의 선형조합으로 구성되며

$$H(u,v) = \sum a_m E_m(u,v) \quad (1)$$

로 표현할 수 있다. 여기서 필터 계수  $a_m$ 을 구하기 위해서 필터  $H(u,v)$ 에 의한 출력 상관 첨두치는

$$\mathcal{F}^{-1}[F(u,v)H(u,v)] = \sum a_m \mathcal{F}^{-1}[F(u,v)E_m(u,v)] = u \quad (2)$$

이며, 이때 상관 첨두치  $u$  는 임의로 제한해 줄 수 있다. 이 제한값으로부터 입력 패턴을 분리 인식 할 수 있게되며 식 (2)로부터 구한 계수  $a_m$ 를 식 (1)에 대입하여 원하는 SDF 필터를 만든다. 그러나 SDF 필터는 선형 조합 상관 필터이므로 한 입력 패턴에 대하여 모든 학습 표본들과의 상호 상관이 일어나므로 출력 상관 평면상에서의 부엽의 크기가 커서 입력패턴 이 서로 근접해 있는 경우 분리 인식이 어렵다.

2. 수정 위상 SDF 필터(Modified phase-only SDF)<sup>(7),(8)</sup>

SDF 필터에서의 부엽의 문제점을 해결하기 위하여 위상 정보만을 이용한 위상 SDF 필터(POF-SDF)는

$$H(u,v) = H(u,v) / |H(u,v)| = \exp(j\phi(u,v)) \quad (3)$$

로 쓸 수 있다. 즉 SDF 필터에  $1/|H(u,v)|$ 가 곱해진 형태로서  $1/|H(u,v)|$ 는 고역 통과 필터의 특성을

나타내므로 입력패턴의 경계선 정보를 강조하게 된다. 따라서 크기 정보를 다 가지고 있는 SDF 필터보다 부엽의 크기가 작은 상관첨두치를 얻을 수 있다. 반면에 입력 패턴의 크기 변화나 회전 변위에 대해서는 더욱 민감하게 되어 실제적인 인식이 힘들다. 입력의 회전 변위에 무관한 인식을 위한 수정 위상 SDF 필터(MPOF-SDF)는 위상 SDF필터의 위상 영역을 동심원과 부채꼴 형태로 나누어 각 영역 내에서는 동일한 위상 정보를 갖도록 했다.  $k$ 번째 동심원,  $l$ 번째 부채꼴 영역  $S_{kl}$ 의 위상  $\phi_{mkl}$ 를

$$\phi = \frac{\tan^{-1} \frac{\iint_{S_{kl}} |H_f(u,v)| \sin \theta(u,v) du dv}{\iint_{S_{kl}} |H_f(u,v)| \cos \theta(u,v) du dv}}{1} \quad (4)$$

와 같이 놓을때 MPOF-SDF의 전달함수는

$$H(u,v) = \exp(j \phi_{mkl}) \quad (5)$$

로 표현되며, 그 영역내에서는 동일한 전달 특성을 갖도록 하여 입력 패턴의 특정 범위의 회전 변위에 대해 동일한 것으로 인식 할수 있도록 했다. 그러나 크기 정보가 없고, 필터의 영역을 나눔으로 인해 정보의 손실을 초래하게 되며, 회전 변위에 대한 인식 효율 또한 좋지 못하다. 더우기 SDF의 선형 조합 특성상 학습표본의 수가 많아지게 되면 여전히 부엽의 문제가 초래되므로 근접한 한글문자의 왜곡에 대한 분리 인식이 어렵게 된다.

III. MACE(minimum average correlation energy)필터

MACE 필터는 학습 표본들의 선형 조합시 SDF 필터와 달리 필터 계수들을 Lagrange multiplier를 이용하여 출력 상관 평면상에서 상관 첨두치를 임의로 제어함과 동시에 부엽의 크기를 최적(optimum)으로 줄여 주도록 구하여 아주 예리한 상관 첨두치가 나타나도록 합성했다. 따라서 왜곡을 포함한 많은 학습 표본을 가진 한글 문자 분리인식에 유용하게 사용할 수 있다. 이 필터는 크기와 위상 정보를 모두 가지면서 SDF 필터의 장점을 살리고 부엽의 크기를 최소화하여 많은 학습 표본에도 불구하고 단일 위상 필터보다 날카로운 상관 첨두치를 얻는 최적의(optimal) 선형 조합 필터이다.

MACE 필터 합성 원리는 다음과 같다. 표현을 간단히 하기위해 수식을 1 차원으로 표시했다.  $i$ 번째 학습 표본  $x(n)$ , 푸리에 변환을  $X(k)$ 라 할때 필터함수  $h(n)$

에 의한  $i$ 번째 출력 상관 함수 및 상관 에너지는

$$g_i(n) = x_i(n) * h(n) \quad (6)$$

$$E_i = \sum |g_i(n)|^2 = \sum |G_i(k)|^2 \\ = \sum |H(k)|^2 |X(k)|^2 \quad (7)$$

로 표시된다. 학습표본들을 매트릭스 형태로 나타내면  $X = [X_1, X_2, \dots, X_n]$ 이며, 여기서  $X$ 는 열(column) 벡터로서  $i$ 번째 학습표본을 의미한다. 벡터 표기법 으로부터 출력 상관 첨두치는

$$g(0) = X^T H = u \quad , \quad +: \text{복소 공액 변환} \quad (8)$$

이며, 이때  $u$ 는 제한 벡터로 상관 첨두치를 원하는 값으로 제한해 줄 수 있다. 평균 상관 에너지는

$$E_{av} = \frac{1}{N} \sum E_i = \frac{1}{N} \sum H_i^T D_i H_i \quad , \quad \text{where } D_i(k, k) = |X_i(k)|^2 \\ = \frac{1}{N} H^T D H \quad , \quad \text{where } D = \sum D_i \quad (9)$$

로 주어진다.

출력 상관평면상에서 원하는 상관첨두치가 나오면서 부엽의 크기를 최소화하기 위해서는 식 (7)의 제한 벡터를 만족하면서 식 (8)의 평균 상관 에너지를 최소화하는 필터함수  $H$ 를 구하면 된다. MACE필터  $H$ 를 구하기 위해서 Lagrange multiplier 방법을 이용하면 scalar 함수  $Q$ 는

$$Q = H^T D H - 2b_1(H^T X_1 - u_1) - \dots - 2b_n(H^T X_n - u_n) \quad (10)$$

로 정의되며, 이때 계수  $b_1, b_2, \dots, b_n$ 를 Lagrange multiplier라 한다. 여기서 MACE필터 함수  $H$ 는  $Q$ 를 최소로 하는 벡터  $H$ 로 구하여진다.  $Q$ 를 벡터  $H$ 로 미분하여 제로(zero) 벡터로 놓으면

$$0 = D H - b_1 X_1 - b_2 X_2 - \dots - b_n X_n$$

$$H = D^{-1} \sum b_i X_i \\ = D^{-1} X L \quad , \quad \text{where } L = [b_1, b_2, \dots, b_n] \quad (11)$$

로 표시 된다. 식 (10)을 식 (7)에 대입하여 제한 벡터를 만족하는 계수  $L$ 값을 구하면

$$L = [X^T D^{-1} X]^{-1} u \quad (12)$$

이 되고, 식 (10)에  $L$ 값을 대입해서 벡터  $H$ 를 얻는다.

결국 MACE 필터는

$$H = D^{-1} X [X^T D^{-1} X]^{-1} u \quad (13)$$

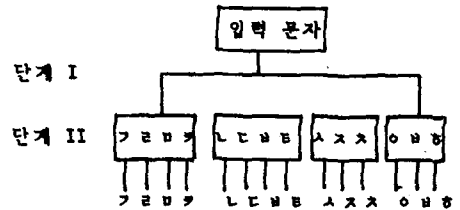
로 표시되며,  $X^T H = u$ 를 만족하고 동시에  $H^T D H$ 을 최소화시키는 최적 선형 조합 상관필터이다.

#### IV. 한글 문자 인식을 위한 병렬 나무 알고리즘

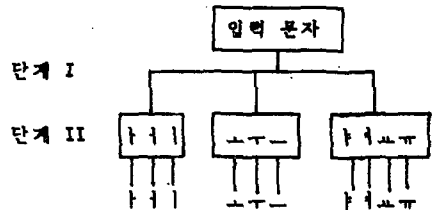
한글 문자를 자모단위로 효율적인 분리인식을 위해서 그림1과 같이 두개의 나무 구조로 시스템을 구성한다.

입력 신호를 두 방향으로 동시에 처리 시킴으로써 필터의 수와 인식 단계를 줄여 처리시간을 개선하고, 각각 나무에서 분리 인식된 자모음을 위치별로 조합하여 효율적인 한글 문자인식을 하도록 하였다 아울러 각 단계의 MACE 필터 합성시 실제 시스템에서 생길 수 있는 왜곡을 학습 표본에 포함시켜 광 상관기 시스템에 의한 실제적인 한글 문자 인식을 가능하게 했다.

그림1의 a)에서는 자음 인식을 위한 나무구조를 나타내고 있다. 단계 I에서는 비슷한 상관값을 가지는 패턴들을 4개의 집단으로 분리 하였으며, 학습표본으로는 회전 변위( $0^\circ \sim \pm 10^\circ$ )와 크기 변위(0.9~1.1배)에 무관 하도록 기준 자음 패턴 14개와 각각의 왜곡 패턴 2개씩 모두 42개의 입력 패턴을 사용하였다. 단계 II에서는 각 집단의 필터 합성시 학습표본으로 그 집단의 기준 패턴과 왜곡 패턴만을 사용하여 각각의 자음을 인식 하도록 했으며, 학습표본을 줄여 정확한 분리 인식을 하도록 하였다. 표1에서 그림1 a)의 나무구조에 대한 각 단계에서의 학습표본 및 제한벡터를 나타내고 있다 그림1의 b)에서는 모음 분리 인식을 위한 나무 구조 로써 위와 같은 방법으로 2단계를 거쳐 인식 하도록 했으며, 표2에서 각 단계에 대한 학습표본과 제한벡터 들을 표시했다. 그리하여 각각의 나무에서 인식된 자모를 위치별로 조합하므로써 최종적인 한글 문자 인식을 할 수 있다.



a) 자음 인식을 위한 나무 구조



b) 모음 인식을 위한 나무 구조

그림 1. 한글 문자 인식을 위한 병렬 나무 구조

| 단 계 | 학 습 표 본                   | 제한 벡터            |      |
|-----|---------------------------|------------------|------|
| I   | ㅏ, ㅑ, ㅓ, ㅕ, 각각의 회전 패턴 2개씩 | 1.0              |      |
|     | ㅗ, ㅛ, ㅜ, ㅠ, 각각의 회전 패턴 2개씩 | 0.8              |      |
|     | ㅜ, ㅠ, ㅡ, ㅝ, 각각의 회전 패턴 2개씩 | 0.6              |      |
|     | ㅛ, ㅜ, ㅝ, ㅞ, 각각의 회전 패턴 2개씩 | 0.4              |      |
| II  | 1                         | ㅏ, 'ㅏ'의 회전 패턴 2개 | 1.0  |
|     |                           | ㅑ, 'ㅑ'의 회전 패턴 2개 | 0.8  |
|     |                           | ㅓ, 'ㅓ'의 회전 패턴 2개 | 0.6  |
|     |                           | ㅕ, 'ㅕ'의 회전 패턴 2개 | 0.4  |
|     | 2                         | ㅗ, 'ㅗ'의 회전 패턴 2개 | 1.0  |
|     |                           | ㅛ, 'ㅛ'의 회전 패턴 2개 | 0.8  |
|     |                           | ㅜ, 'ㅜ'의 회전 패턴 2개 | 0.6  |
|     |                           | ㅠ, 'ㅠ'의 회전 패턴 2개 | 0.4  |
|     | 3                         | ㅜ, 'ㅜ'의 회전 패턴 2개 | 1.0  |
|     |                           | ㅠ, 'ㅠ'의 회전 패턴 2개 | 0.75 |
|     |                           | ㅡ, 'ㅡ'의 회전 패턴 2개 | 0.5  |
|     |                           | ㅝ, 'ㅝ'의 회전 패턴 2개 | 1.0  |
|     | 4                         | ㅛ, 'ㅛ'의 회전 패턴 2개 | 0.75 |
|     |                           | ㅜ, 'ㅜ'의 회전 패턴 2개 | 0.5  |
|     |                           | ㅝ, 'ㅝ'의 회전 패턴 2개 | 1.0  |
|     |                           | ㅞ, 'ㅞ'의 회전 패턴 2개 | 0.75 |

표 1. 자음 분리 인식을 위한 각 단계에서의 학습표본 및 제한벡터

V. 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 논문의 시뮬레이션에서 사용된 입력문자는 그림2에 나타난 '관'과 회전된 패턴 '관'으로서, 서로 상관도가 낮은 두개의 자음과 모음으로 이루어져 있으며, 자모음이 서로 인접한 위치를 가진다.

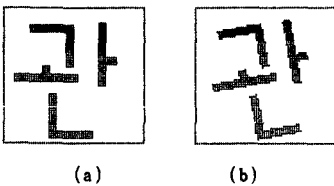


그림 2 시뮬레이션에 사용된 입력 패턴

표1과 표2에 표시된 학습표본과 제한 벡터들을 사용하여 각 단계에 MACE 필터를 합성하였으며, 이들

| 단 계 | 학 습 표 본                   | 제한 벡터            |      |
|-----|---------------------------|------------------|------|
| I   | ㅏ, ㅑ, ㅓ, ㅕ, 각각의 회전 패턴 2개씩 | 1.0              |      |
|     | ㅗ, ㅛ, ㅜ, ㅠ, 각각의 회전 패턴 2개씩 | 0.75             |      |
|     | ㅜ, ㅠ, ㅡ, ㅝ, 각각의 회전 패턴 2개씩 | 0.5              |      |
| II  | 1                         | ㅏ, 'ㅏ'의 회전 패턴 2개 | 1.0  |
|     |                           | ㅑ, 'ㅑ'의 회전 패턴 2개 | 0.75 |
|     |                           | ㅓ, 'ㅓ'의 회전 패턴 2개 | 0.5  |
|     | 2                         | ㅗ, 'ㅗ'의 회전 패턴 2개 | 1.0  |
|     |                           | ㅛ, 'ㅛ'의 회전 패턴 2개 | 0.75 |
|     |                           | ㅜ, 'ㅜ'의 회전 패턴 2개 | 0.5  |
|     | 3                         | ㅜ, 'ㅜ'의 회전 패턴 2개 | 1.0  |
|     |                           | ㅠ, 'ㅠ'의 회전 패턴 2개 | 0.8  |
|     |                           | ㅡ, 'ㅡ'의 회전 패턴 2개 | 0.6  |
|     |                           | ㅝ, 'ㅝ'의 회전 패턴 2개 | 0.6  |
|     |                           | ㅛ, 'ㅛ'의 회전 패턴 2개 | 0.4  |
|     |                           | ㅜ, 'ㅜ'의 회전 패턴 2개 | 0.4  |

표 2. 모음 분리 인식을 위한 각 단계에서의 학습표본 및 제한벡터

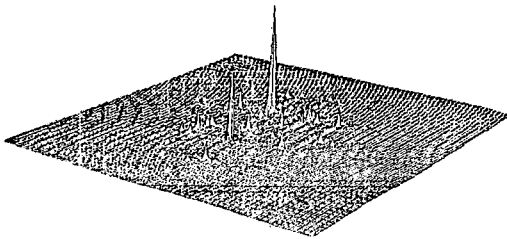
필터를 이용한 병렬 나무 알고리즘으로부터 그림2의 입력 패턴에대한 문자 분리 인식을 수행하였다.

표1에서 단계1의 필터는 자음을 비슷한 상관도를 가지는 4개의 집단으로 분리하며, 각 집단에 대한 상관 첨두치는 제한벡터와 같다. 그림3은 입력 패턴과 이 필터와의 상관 분포를 나타 내고있으며, 두 입력에 대해 '가'와 '나'에서 원하는 상관 첨두치가 나옴을 알 수 있다. 분리된 두 자음에 대해 표1의 단계 II-1 필터와 단계 II-2 필터로 부터 완전히 인식 할 수 있었다. 이들에 대한 시뮬레이션 결과는 그림4와 5에 나타나 있다.

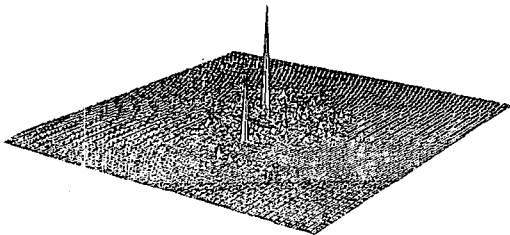
모음 인식에 대해서도 표2의 단계 1로 부터 '가'와 '고'를 분리하고, 이들을 단계 II-1과 단계 II-2에서 정확히 인식 하였으며, 두입력 패턴에 대해 동일하게 분리인식을 수행하였다. 그림6, 7및 그림8에서 모음에 대한 각 단계에서의 수행 결과를 나타내고 있다.

두 입력 패턴에 대해 병렬 나무 구조의 각 단계에서 수행된 상관 첨두치를 표3과 표4에 나타냈으며 원하는 제한 벡터값과 비슷한 값을 가짐을 알수있다. 이들 수행 결과에서 보는 바와같이 많은 학습표본, 근접한

입력 패턴에 대해서 부엽의 문제없이 정확히 분리 인식할 수 있었으며, 아울러 왜곡에도 무관한 인식을 하였다. 또한 병렬 나무 구조에 의해 자모음이 따로 처리되므로 각 단계에서 학습 표본을 줄일 수 있었고, 두 단계간에 분리 인식된 자모음을 위치별로 조합하여 효율적인 한글 문자분리 인식을 이룰 수 있었다.

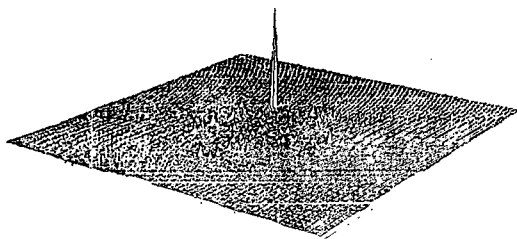


a) 입력 패턴 '관'

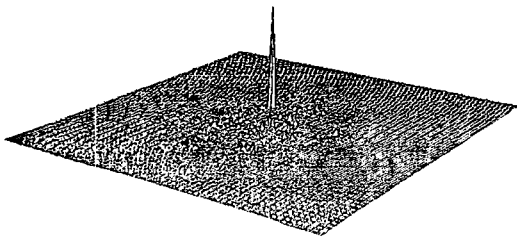


b) 회전된 입력 패턴 '관'

그림3 각 입력패턴과 자음 단계 I 필터와의 상관분포

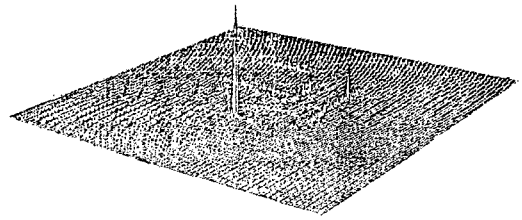


a) 입력 패턴 '관'

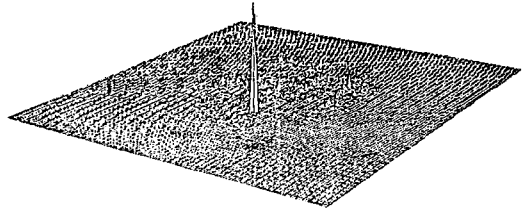


b) 회전된 입력 패턴 '관'

그림4 각 입력패턴과 자음 단계 II-1필터와의 상관분포



a) 입력 패턴 '관'

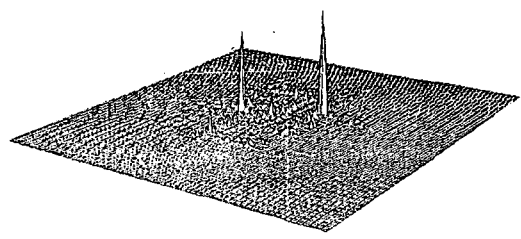


b) 회전된 입력 패턴 '관'

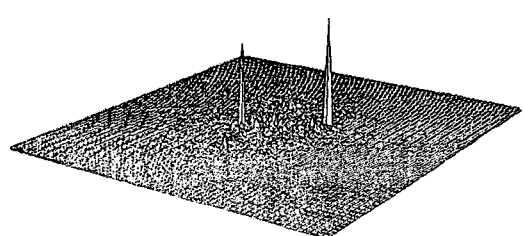
그림5 각 입력패턴과 자음 단계 II-2필터와의 상관분포

| 단 계      | 표1의 단계 |      | 표2의 단계 I |      |
|----------|--------|------|----------|------|
|          | ㄱ      | ㄴ    | ㅏ        | ㅑ    |
| '관'      | 1.0    | 0.79 | 1.0      | 0.78 |
| 회전패턴 '관' | 1.0    | 0.78 | 1.0      | 0.77 |

표 3. 병렬 나무 구조의 단계 I 필터에 의해 수행된 상관 첨부지

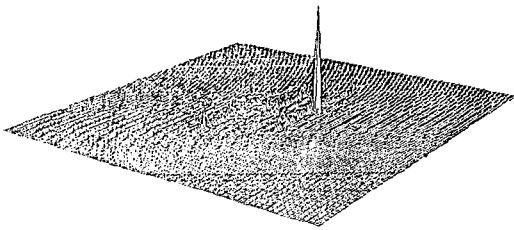


a) 입력 패턴 '관'

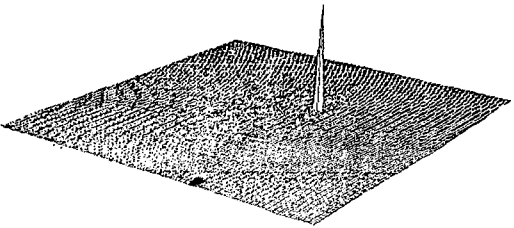


b) 회전된 입력 패턴 '관'

그림6 각 입력패턴과 모음 단계 I 필터와의 상관분포

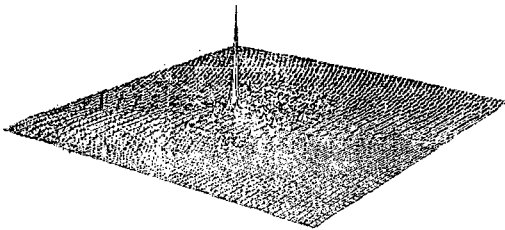


a) 입력 패턴 '관'

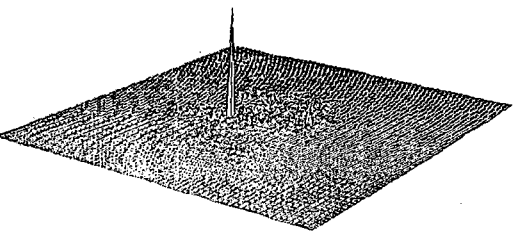


b) 회전된 입력 패턴 '관'

그림7 각 입력패턴과 모음 단계 II-1필터와의 상관분포



a) 입력 패턴 '관'



b) 회전된 입력 패턴 '관'

그림8 각 입력패턴과 모음 단계 II-2필터와의 상관분포

VI. 결 론

본 논문에서는 MACE 필터의 개념을 도입한 제안된 병렬 나무 구조로부터 자모음이 인접한 한글문자에 대해 효율적인 분리인식을 수행하였다. 입력 문자를 두방향으로 처리시켜 자모음을 따로 분리 인식 하므로써 각 단계에서 학습표본을 줄일수 있었고 두 단계만에 인식된 이들을 위치별로 조합함으로써

효율적인 자모음 분리 인식을 할 수 있었으며, 종래의 나무구조에 비해 필터수를 줄이면서 인식 횟수를 최대 3번으로 줄여 인식시간을 줄였다. 그리고 MACE 특성을 이용하여 광 상관평면상에서 부엽의 문제를 해소하고, 실제 광 시스템에서 생길 수 있는 왜곡을 학습표본에 포함하으로서 광 상관기 시스템에 의한 실제적인 한글 문자의 왜곡에 무관한 분리인식을 하도록 하였다.

그리고 입력 문자자체의 회전 및 크기변위에 무관한 인식을 위해서 정보가 광 상관기 시스템에 입력 되기전의 CGH (computer generated hologram)에 의한 log - polar 좌표 변환의 전 처리 (pre-processing) 과정에 대해 연구중에 있으며, 병렬 나무구조의 광 상관기와 디지털과의 복합 시스템에 의해 실시간 처리를 가능하게 할 수 있을것이다.

[ 참고 문 헌 ]

[1] A. Vander Lugt, " Signal detection by complex signal filtering," IEEE Trans. Infor. Theory, vol. IT-10, p.139,1964

[2] 백 응기, 이 상수, "최적 공간 필터법에 의한 한글의 유형인식 " 한국 물리 학회지 : '새 물리', vol.17, no.4, p.189, Dec., 1977

[3] 김 경우, 도 양희, 정 신일, 하 영호, 김 수중, " NRF-SDF를 이용한 나무로 부터의 한글 문자 인식 " 신호처리 합동 Workshop 논문집, vol.1, No.1, p.114, 1988

[4] A. Mahalanobis, B.V.K. Kumar, D.Casasent, "Minimum average correlation energy filter" Appl. Opt., vol.26, No.17, p.3633, September,1987

[5] D. Casasent and Wen-Thong Chang, " Correlation synthetic discriminant functions," Appl. Opt., vol.25, no.14, p.2343, Jul., 1986

[6] F.Merkle, T. Lorch, " Hybrid Optical-Digital Pattern Recognition" Appl. Opt., vol.23, No.10 p.1509, May 1984

[7] J. Rosen and J. Shamir, "Distortion invariant pattern recognition with phase-only filters," Appl. Opt., vol.26, no.12, p.2315, Jun., 1987

[8] 이 재철, 도 양희, 하 영호, 김 수중, "위상 필터를 이용한 한글 문자인식," 전기 전자공학 학술 대회 논문집 (II), p. 1445, Jul., 1987