

잉여 이진수 광병렬 가산을 위한 광상관 기호치환

노덕수 김정우 조웅호 김수중
正會員 盧德樹*, 金正雨**, 曹雄鎬***, 金秀重**

Symbolic Substitution Based on Optical Correlator for Optical Parallel Addition with Redundant Binary Number

Duck Soo Noh*, Jeong Woo Kim**, Woong Ho Cho***, Soo Joong Kim** Regular Members

要 約

광병렬 가산을 위한 광상관 기호치환법을 제안하였다. 제안된 광상관 기호치환 방법에서는 기호치환 규칙 수의 최소화가 용이한 잉여 이진수를 사용하였으며, 광상관 필터로는 SDF 필터에 비해 부엽이 아주 작고 상관치 제어가 우수한 MACE 필터를 선택하였다. 또한 분리 인식능력을 증가시키기 위해 입력을 적절히 부호화하였으며, 기호치환 규칙의 수를 최소화하기 위하여 동일한 가산결과를 갖는 입력패턴들을 동일군으로 하여 5개의 군으로 나누었다. 그리고 제안한 방법이 광병렬 가산기의 구현에 적합함을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

ABSTRACT

We proposed a symbolic substitution method based on an optical correlator for an optical parallel addition. In the proposed symbolic substitution method, we used redundant binary number which was easy to minimize the number of the symbolic substitution rules as a number system and chose MACE filter which had very low sidelobes and good correlation peak compared with SDF filter as the optical correlation filter. We encoded input numbers properly to increase the discrimination capability and divided input patterns into 5 groups of the same addition results to minimize the number of symbolic substitution rules. Through the computer simulation, we confirmed the proposed method was suitable to implement the optical parallel adder.

*경북산업대학교 전자공학과

**경북대학교 전자공학과

***대구공업전문대학 전자계산과

論文番號 : 95301-0904

接受日字 : 1995年 9月 4日

I. 서 론

광병렬 연산기는 광컴퓨팅의 한 분야로서 광컴퓨터의 기본 구성요소이다. 광컴퓨터는 기존의 디지털컴퓨터에서 발생하는 상호연결(interconnection), 처리속도의 한계성, 그리고 폰 노이만(Von Neumann) 병목현상을 극복할 수 있다. 광컴퓨터의 기본구성에서 입출력장치와 처리장치의 소자로는 공간 광변조기(spatial light modulator, SLM)를 주로 사용하고, 메모리와 상호연결에는 홀로그램을 주로 이용한다. 광병렬 가산기는 광컴퓨터 처리장치의 여러 연산기능 중에서 가산을 수행하는 가장 중요한 기본요소 중의 하나이다. 따라서 광병렬 가산기는 병렬성과 상호연결성, 그리고 빠른 처리속도 등과 같은 광의 특성을 충분히 이용할 수 있도록 적합한 수체계(number system)와 입력 데이터의 효과적인 부호화 방법을 사용하여야 한다. 지금까지의 광병렬 가산기 구현에서는 이진수(binary number)^[1-3], 유수(residue number)^[4-5], 잉여수(redundant number)^[6-8] 등과 같은 수체계를 사용하는 방법들이 주로 연구되어 왔다.

이진수를 사용한 N 비트 광병렬 이진 가산기는 전가산기의 출력 올림수를 상위 전가산기의 입력 올림수로 연결한 N 단계의 전가산기로 구성되기 때문에 자리수 사이의 의존성으로 인한 올림수 지연시간이 발생한다. 한편 유수를 사용하여 광가산기를 구현할 경우는 자리수 사이의 의존성을 갖지 않기 때문에 일정한 시간에 모든 자리수에 대한 가산을 수행할 수 있다^[5]. 그러나 이 연산시스템은 연산하고자 하는 수의 값이 클수록 많은 소수계수 논리요소들이 필요하므로 구현이 어렵다.

잉여수를 이용한 연산시스템은 2 단계의 기호치환에 의해 올림수에 무관한 광병렬 가산기를 구현할 수 있다. 지금까지 연구된 잉여수는 3 상태의 MSD(modified signed digit)^[6-8]와 잉여 이진수(redundant binary number, RBN)^[9]가 있다. MSD 가산기를 광학적으로 구현하기 위하여 Brenner 등^[9]은 광의 병렬성을 이용할 수 있도록 3상태 세기 부호화와 편광 부호화를 통한 기호치환방법을 제안하였으며, 이때의 MSD 가산기는 2 단계의 기호치환으로 구성되고 치환규칙은 각 단계마다 다르다. 또한 Giuseppe A. 등^[9]은 광병렬 연산을 위한 잉여 이진수를 제안하였으며 가산을 위한 기호치환은 2 단계로 구성되고 각 단계마다 동일한 치환규칙을 갖는

다. 기호치환을 광학적으로 구현할 때 기호치환 규칙의 수가 적을수록 광 시스템이 간단하므로 기호치환 규칙의 수를 최소화하는 것이 필요하다.

본 논문에서는 광병렬 가산기의 구현을 위하여 잉여 이진수를 사용한 광상관 기호치환법을 제안하였다. 광상관기를 사용한 제안된 기호치환 방법은 기호치환 규칙의 수를 최소화할 수 있어 간단한 광시스템 구현이 가능하다. 이 때에 기호치환을 위한 입력패턴의 수는 16개이며, 기호치환 규칙의 수를 최소화하기 위하여 동일한 연산결과를 가지는 입력패턴을 동일군으로 하여 5개의 군(group)으로 분류하였다. 이 때 각 군에 포함된 입력패턴을 동일영상으로 인식하는 것은 SDF(synthetic discriminant funtion) 필터^[10]나 MACE(minimum average correlation energy) 필터^[11]의 기준영상 합성법을 이용하면 가능하다. SDF 필터와 MACE 필터 중 후자는 학습영상의 수가 증가하거나 유사영상에 대해서 전자에 비해 부엽의 효과가 아주 작고 상관치 제어가 우수하기 때문에 본 연구에서는 MACE 필터를 선택하였다. 또한 분리 인식능력을 증가시키기 위해 입력패턴을 부호화하였으며 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안된 광상관 기호치환 필터가 광병렬 가산기 구현에 적합함을 확인하였다.

II. 잉여 이진수 표현

기존의 이진수에서 양의 정수는

$$D = \sum_{i=0}^{N-1} a_i 2^i \quad (1)$$

로 표현되며, 여기서 a_i 는 0 또는 1이다. 잉여 이진수에서 양의 정수는

$$D = \sum_{i=0}^{N-1} a_i 2^{i-1} \Gamma_i, \quad N \text{ even} \quad (2)$$

로 표현된다. 여기서 Γ_i 는 소수올림 정수를 나타내며 a_i 는 0 또는 1이다. 식 (2)에서의 i 값에 대한 위치 가중치들의 순서는

$$\begin{array}{cccccccc} \cdot & \cdot & \cdot & 8 & 8 & 4 & 4 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ & & & r & n & r & n & r & n & r & n \end{array}$$

으로 나타나며 모든 위치 가중치들은 같은 가중치를 2 개씩 갖는다. 가중치가 같은 rn 자리수 쌍에서 왼쪽 자리수를 r (redundant), 오른쪽 자리수를 n (normal)

이라 한다. 기존의 이진수를 잉여 이진수로 기록하기 위한 기록 규칙은

$$0 \rightarrow 00, 1 \rightarrow 01$$

을 사용하여 기존의 이진수에서 잉여 이진수를 얻을 수 있다. 이러한 방법으로 얻은 잉여 이진수를 표준형 (canonical form)이라 한다. 각 잉여 이진수는 하나의 표준형과 여러 잉여 표현들을 가진다. 표 1은 부호없는 잉여 이진수의 표준형과 잉여 표현들의 예이다.

Ⅲ. 잉여 이진수의 가산

잉여 이진수의 가산은 rn 자리수 쌍에 대하여 진리표에 의해 정의된 기호치환 규칙들을 적용함으로써, 2개의 잉여 이진수의 가산을 병렬로 수행할 수 있다. 표 2는 잉여 이진수의 가산을 위한 기호치환 규칙의 진리표이다. 표 2에서 u 는 입력의 위쪽 행이고, l 은 입력의 아래쪽 행이며 기호치환된 결과의 아래쪽 쌍은 한 위치만큼 왼쪽으로 이동된다.

표 2에서 입력은 같은 가중치를 갖는 자리수 위치가 $i+1$ 과 i 번째인 2개의 rn 자리수 쌍이며 기호치환된 출력은 자리수 위치가 $i+1$ 과 i 번째인 상위 rn 쌍과 자리수 위치가 $i+2$ 와 $i+1$ 인 하위 rn 쌍이다. 이 제안된 기호치환 규칙의 진리표는 입력 쌍들의 합이 항상 출력 쌍들의 합과 같도록 만들었다. 즉 입력의 상위 rn 쌍과 하위 rn 쌍을 각각 U_{in} 및 L_{in} 이라 하고, 기호치환 규칙

이 적용된 출력의 상위 rn 쌍과 하위 rn 쌍을 각각 U_{out} 및 L_{out} 이라 하면

$$U_{in} + L_{in} = U_{out} + L_{out} \tag{3}$$

가 된다. 표 2에서 N 비트의 길이(N :짝수)를 갖는 잉여 이진수에 기호치환 규칙을 2번 적용하면, 그 결과의 상위 비트열은 항상 N 개의 0 비트들로 구성된다. 그러므로 식 (3)에 의하여 하위 비트열이 가산 결과가 된다. 그림 1은 2개의 잉여 이진수의 가산을 수행하기 위하여 표 2의 기호치환 규칙을 병렬로 적용하는 과정이다.

표 2. 잉여 이진수의 가산을 위한 기호치환 규칙 진리표
Table 2. Truth table of symbolic substitution rules for redundant binary number addition

l	u			
	00	01	10	11
00	00 00	00 01	00 01	00 10
01	00 01	00 10	00 10	00 11
10	00 01	00 10	00 10	00 11
11	00 10	00 11	00 11	00 11

표 1. 부호없는 잉여 이진수의 표준형과 잉여 표현의 예
Table 1. Example of unsigned redundant binary numbers in canonical and redundant representation.

Integer	Binary number	Redundant binary number							
		Canonical form	Redundant representation						
0	000	000000							
1	001	000001	000010						
2	010	000100	000011	001000					
3	011	000101	001001	000110	001010				
4	100	010000	000111	001100	001011	100000			
5	101	010001	010010	001101	100001	100010			
6	110	010100	010011	011000	001111	100100	100011	10100	
7	111	010101	010110	011001	100101	100110	011010	101011	101010

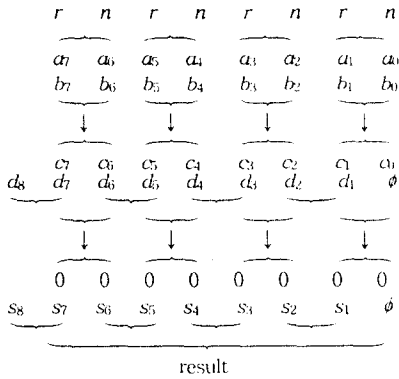


그림 1. 잉여 이진수 기호치환 가산을 위한 표 2 규칙들의 병렬 적용 과정

Fig. 1. Parallel application of the symbolic substitution rules in Table 2 on two RB numbers to perform addition.

그림 2는 2개의 잉여 이진수의 가산 예이며, 가산은 수의 길이에 관계없이 일정한 시간(2번의 기본 논리단계)에 완전히 병렬로 계산됨을 알 수 있다.

IV. 광상관 기호치환 방법

1. 잉여 이진수의 부호화와 기호치환 규칙의 분류

광상관기를 이용하여 기호치환 규칙을 구현하기 위해서는 분리인식에 적절한 패턴으로 잉여 이진수를 부호화하여야 한다. 본 연구에서는 입력패턴의 분리인식을 위해 0과 1을 역상으로 하여 잉여 이진수의 부호화를

$$0 \rightarrow \blacklozenge, 1 \rightarrow \blacksquare$$

으로 하였다. 여기서 검은 부분은 빛이 통과하고 흰 부분은 빛이 차단하는 것으로 표현하였다. 이는 기호치환을 위한 16개의 입력패턴들의 에너지분포를 같게 하고 분리인식 능력을 높이기 위함이다. 그리고 광시스템을 간단하게 하기 위해서 기호치환 규칙의 수를 최소화하였다. 이를 위해 동일한 연산결과를 갖는 입력패턴들을 동일군으로 분류하여 5개의 군으로 최소화하였다. 따라서 제안된 기호치환 규칙은 표 2와 같고, 이를 이용하여 5개의 군으로 분류한 16개의 부호화된 입력패턴과 기호치환 패턴은 표 3과 같다.

표 3의 기호치환 패턴에서 \square 는 잉여 이진수의 위치를 나타내기 위하여 표현하였으나, 실제 광실험에서는 패턴을 삭제하여 빛이 나타나지 않도록 한다. 그리고 군

$(16)_{10}$	$(0001010111)_{RB}$
$(18)_{10}$	$(0010110011)_{RB}$
$(1)_{10}$	$(0000000010)_{RB}$
$(33)_{10}$	$(0010101011)_{RB}$
$(0)_{10}$	$(0000000000)_{RB}$
$(34)_{10}$	$(01010110100)_{RB}$

그림 2. 기호치환에 의한 2개의 잉여 이진수의 가산 예

Fig. 2. An example of addition of two RB numbers by symbolic substitution.

0은 입력이 인가되지 않기 때문에 기호치환 패턴이 필요 없으며, 또한 군 0의 인식을 위한 필터도 필요없다. 그러나 부호화 과정에서 부호화 패턴은 생성된다. 군 2는 2개의 부그룹으로 분류하여 군 3의 입력패턴과의 오인식을 없앴다. 여기서 N_T 를 패턴의 전 화소의 수, N_D 를 두 패턴 사이의 서로 다른 화소의 수라 할 때, 두 패턴 사이의 유사도, S (similarity)를

$$S \triangleq \frac{N_T - N_D}{N_T} \times 100 [\%] \tag{4}$$

로 정의하면, 군 2의 ①과 ②의 부호화 패턴들 사이의 유사도는 50%가 되는 반면, 군 2의 ②와 군 3의 패턴들 사이의 유사도는 75%이므로 군 2의 ①과 ②보다는 오히려 군 2의 ①과 ②군 3의 패턴들이 더 유사하여 군 2의 6개의 패턴들을 동일영상으로 인식하더라도, 군 3의 패턴들이 오인식되기 때문이다. 따라서 광상관기를 이용한 기호치환 규칙은 군 1, 2의 ①, 2의 ②, 3, 4에 해당되며, 기호치환 규칙의 최소 수는 5개이다. 그림 3은 잉여 이진수를 부호화하기 위한 광시스템의 구성도이다.

2. 광상관 기호치환

기호치환 기술은 Huang에 의해서 처음으로 소개되었으며, 이는 입력패턴에서 입력기호를 찾는 인식과정과 인식된 위치에 출력기호로 대치시키는 치환과정으로 구성된다. 대부분의 제안된 기호치환 구조는 모든 입력화

표 3. 부호화 입력패턴의 분류 및 기호치환 패턴

Table 3. Grouping of symbolic substitution patterns of coded input patterns.

Group no.	16input RB number	Coded input pattern	Symbolic substitution pattern
0	00 00		
1	01 10 00 00 00 00 01 10		
2	① 11 10 00 01 00 10 11 01		
	② 01 10 10 01		
3	01 11 11 10 11 01 10 11		
4	11 11		

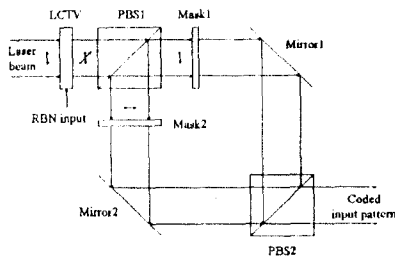


그림 3. 부호화 입력패턴을 위한 광시스템
Fig. 3. Optical system for coded input patterns.

소들의 이동과 AND, 이동과 OR 과정이 필요하다. 이러한 구현 알고리즘은 순차적이며 전기적 장치로 구현할 때 적합하다. 광상관기를 기초로 한 기호치환 구조는 병렬성을 가지고 있기 때문에 광학적구현에 적합하며, 이 구조는 기본적으로 그림 4과 같이 2개의 4-f 광상관기의 직렬로 구성된다.

첫번째 4-f 광상관기(P1-P3)는 기호인식 과정으로 평면 P1에 부호화 입력패턴이 인가된다. 인식을 위한 정합필터는 평면 P2에 위치시키며, 이때 사용되는 인식 필터는 그 목적에 부합하도록 설계되어야 한다. 입력패

턴과 인식필터와의 상관결과는 평면 P3에서 입력패턴이 있는 위치에 상관점두치가 출력되며, 예리한 상관점두치를 얻을 수 있어야 한다. 그리고 정확한 인식을 위해서 상관결과를 문턱화해야 하며 이는 평면 P3에 microchannel plate 장치⁽¹²⁾나 bistable gate array⁽¹³⁾와 같은 광문턱화 장치를 사용한다. 첫번째 광상관기에 의해 이동과 논리동작없이 병렬로 입력패턴의 위치가 인식되며, 상관평면 P3는 두번째 4-f 광상관기(P3-P5)의 입력이 된다. 치환패턴의 푸리에 변환인 치환필터를 평면 P4에 위치시키면, P4의 치환패턴과 P3의 임펄스 함수와의 상승적(convolution)이 출력평면 P5에 나타나며, 이는 입력평면 P1의 입력패턴 위치에 해당하는 기호패턴이 치환되는 것이다. 그러므로 그림 4의 시스템은 하나의 기호치환 프로세서가 된다. 이 시스템으로 잉여 이진수를 사용한 광병렬 가산기의 구성은 5개의 기호치환 규칙이 필요하므로 그림 4의 기호치환 시스템 5개를 병렬로 사용하고 이것을 광학적으로 더한다.

본 연구의 상관 시스템에 적합한 필터는 각 동일군에 포함된 입력패턴을 동일영상으로 인식할 수 있어야 하고 다른 군의 유사영상을 분리할 수 있어야 한다. 이의 수행은 SDF 필터나 MACE 필터가 적합하다. 후자는 합성되는 학습영상의 수가 많아지거나 유사영상에 대해서

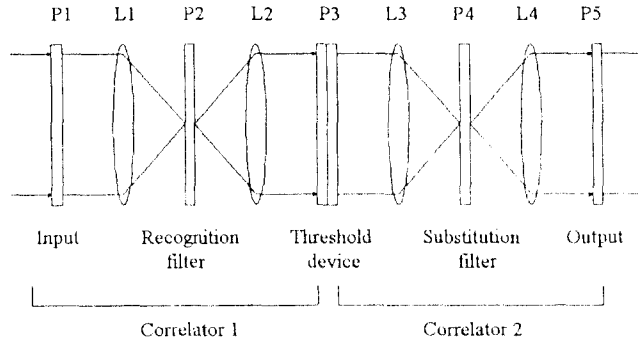


그림 4. 기호치환을 위한 중속 광상관기 시스템
 Fig. 4. Optical cascaded correlator system for symbolic substitution.

도 전자에 비해 더 예리한 상관치를 나타내고 필터정합 시 사용된 모든 학습영상에 대한 상관점두치의 크기가 거의 동일하며 유사입력에 대한 변별력이 뛰어나다. 따라서 본 연구에서는 광 상관필터로서 MACE 필터를 선택하였다.

MACE 필터의 합성원리는 다음과 같다. 영상영역에서의 좌표를 (x, y) 라 하고 주파수 영역의 좌표를 (ξ, η) 라 할때, 입력영상 $f(x, y)$ 와 필터함수 $h(x, y)$ 에 의한 출력상관함수 및 상관에너지는

$$\begin{aligned}
 g_i(x, y) &= f_i(x, y) \star h(x, y) \\
 E_i &= \sum_{\xi} \sum_{\eta} |g_i(x, y)|^2 \\
 &= \sum_{\xi} \sum_{\eta} |H(\xi, \eta)|^2 |F_i(\xi, \eta)|^2 \\
 &= \sum_{\xi} \sum_{\eta} |H(\xi, \eta)|^2 D_i(\xi, \eta)
 \end{aligned} \tag{5}$$

로 표시되며, 여기서 \star 는 상관자(correlation operator)이다. 이 때 원점에서의 출력상관 점두치는

$$g(0) = F'H = u \tag{6}$$

로 표현된다. 여기서 +는 복소공액전치(complex conjugate transpose) 변환을 나타내며, u 는 제한벡터(constraint vector)로서 상관점두치를 원하는 비율로 제한해 줄 수 있다. 따라서 평균상관에너지를 행렬로 표시하면

$$E_{av} = H'DH \tag{7}$$

와 같다. 여기서 D 는 모든 학습영상의 평균 에너지 스펙트럼을 나타낸다. 출력상관 평면상에서 원하는 상관점

두치를 갖고 부엽을 최소화하기 위해서는 식 (6)의 제한을 만족하면서 식 (7)의 평균상관에너지를 최소화하는 MACE 필터를 Lagrange 승수법을 이용하여 구하면

$$H = D'F(F'D'F)^{-1}U \tag{8}$$

와 같다. 이렇게 합성된 MACE 필터는 상관영역의 점두치를 원하는 크기로 제어하면서 부엽의 크기를 최소화하는 최적의 선형조합 필터로서 효율적인 분리인식을 수행한다.

V. 시뮬레이션 결과 및 고찰

그림 5는 컴퓨터 시뮬레이션에 사용된 부호화된 입력 패턴들이다. 각각의 입력패턴은 10×10 화소로 표현하였으며 각각의 동일군을 구별 인식하는 것을 보이기 위해 16개의 패턴 모두를 64×64 입력평면에 나타내었다.

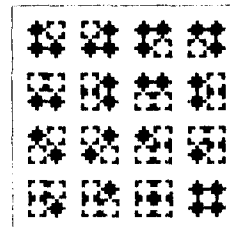


그림 5. 컴퓨터 시뮬레이션에 사용된 16개의 입력패턴
 Fig. 5. 16 input patterns for computer simulation.

그림 5의 16개의 입력패턴과 동일한 가산결과를 얻는 각 MACE 필터와의 상관결과를 그림 6에 나타내었으며, 이들의 상관첨두치는 표 4와 같다. 표 4에서 상관첨두치는 입력과 5개의 군과의 상관결과에서의 최대 상관첨두치인 4.36×10^9 을 500으로 정규화한 값이고 (·)속의 값은 각 동일군과 입력과의 상관결과에서의 최대 상관첨두치를 500으로 정규화한 결과이며 정규화 값이 100이하인 경우는 표에 나타내지 않았다.

각 군의 MACE 필터와 입력과의 상관분포에서의 최대 상관첨두치를 기준으로 정규화를 할 때 인식해야 할 입력패턴에 대한 최소 상관첨두치는 1군 필터의 441이며, 인식하지 않아야 할 입력패턴에 대한 최대 상관첨두치는 3군 필터에서의 348이다. 각 군에서 인식되어야 할 입력패턴의 최소 상관첨두치와 인식되지 않아야 할 입력패턴의 최대 상관첨두치를 각 군의 최대 상관첨두치에 대한 백분율로 환산하여 표 5에 나타내었다.

인식되어야 할 패턴의 최소 상관첨두치와 인식되지 않

아야 할 입력패턴의 최대 상관첨두치의 최소간격은 3군의 23%이며, 이 간격의 중간에서 문턱화 값을 결정한다. 그러므로 각 군 필터에서 최대 상관치의 80%로 문턱화를 거치면 동일군에 대한 인식이 정확하게 됨을 알 수 있으며, 이 결과를 그림 7에 나타내었다. 그리고 치환과정을 고려하여 문턱화와 동시에 인식된 입력패턴의 상관치를 동일한 값으로 포화시켰다.

그림 7에서 문턱화를 거친 각 동일군 상관결과를 입력으로 하고, 그 군에 해당되는 기호치환 패턴과 상관을 취한 다음 각 동일군 결과를 더하면 1단계 가산이 수행되며, 이 과정을 한번 더 수행함으로써 완전한 가산이 이루어진다. 그림 2에서의 인여 이진수의 가산 예를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 그림 8은 $(16)_{10} + (18)_{10}$ 과 $(1)_{10} + (33)_{10}$ 의 가산을 위한 부호화된 입력패턴이다. 여기서 $(1)_{10} + (33)_{10}$ 은 $(16)_{10} + (18)_{10}$ 의 1단계 가산결과이기 때문에, 1단계 가산실험을 통하여 2단계의 가산결과를 확인하기 위하여 64×64 입력평면

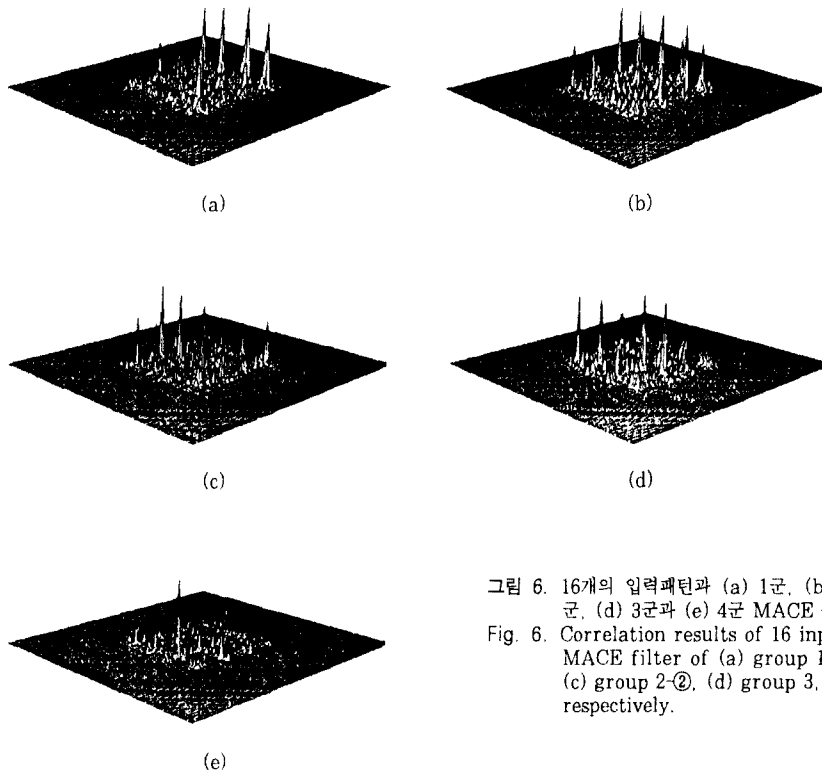


그림 6. 16개의 입력패턴과 (a) 1군, (b) 2-①군, (c) 2-②군, (d) 3군과 (e) 4군 MACE 필터와의 상관결과
 Fig. 6. Correlation results of 16 input patterns with MACE filter of (a) group 1, (b) group 2-①, (c) group 2-②, (d) group 3, and (e) group 4, respectively.

표 4. 16개의 입력패턴과 동일군 MACE 필터와의 상관첨두치
Table 4. Correlation peak values of 16 input patterns with each group MACE filter.

group	input pattern	group 1	group 1-①	group 2-②	group 3	group 4
		MACE filter	MACE filter	MACE filter	MACE filter	MACE filter
		correlation peak value	correlation peak value	correlation peak value	correlation peak value	correlation peak value
1		441 (441)	319 (344)	230 (272)		
		475 (475)	295 (319)	154 (182)		
		500 (500)	294 (317)	209 (247)		
		460 (460)	278 (300)	256 (303)		
2-①		216 (216)	457 (494)		257 (273)	
		242 (242)	457 (494)		295 (313)	
		247 (247)	463 (500)		326 (346)	
		217 (217)	445 (481)		248 (263)	
2-②		273 (273)		423 (500)	328 (348)	
		291 (291)		398 (470)	328 (348)	
3			268 (284)	292 (345)	471 (500)	195 (199)
			248 (267)	258 (305)	446 (473)	211 (216)
			277 (299)	280 (331)	436 (463)	183 (187)
			259 (280)	281 (332)	461 (489)	215 (220)
4						489 (500)
0		312 (312)				

표 5. 인식되어야 할 패턴의 최소 및 인식되지 않아야 할 패턴의 최대 상관첨두치
Table 5. Minimum and maximum correlation peaks of true and false input pattern, respectively.

	Group 1	Group 2-①	Group 2-②	Group 3	Group 4
(1) Minimum correlation peak of true pattern	88.2%	96.2%	94%	92.6%	100%
(2) Maximum correlation peak of false input pattern	62.4%	68.8%	69%	69.6%	44%
Difference of (1) and (2)	25.8%	28.4%	25%	23%	56%

에 $(1)_{10}+(33)_{10}$ 의 부호화 패턴을 추가하였다.

그림 8의 입력과 각 군필터와의 상관결과를 그림 9에 나타내었고, 표 4에서의 기준에 따라 문턱화를 취한 것

을 그림 10에 나타내었다.

그림 10에서 패턴인식이 정확하게 되었다는 것을 알 수 있다. 또한 이 결과와 표 3의 각 군에서의 기호치환

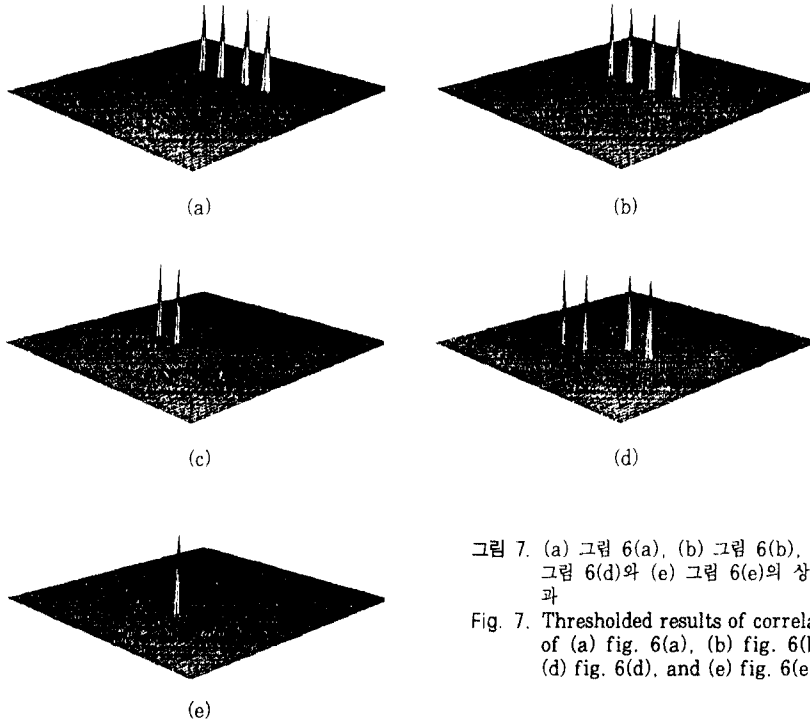


그림 7. (a) 그림 6(a), (b) 그림 6(b), (c) 그림 6(c), (d) 그림 6(d)와 (e) 그림 6(e)의 상관분포의 문턱화 결과

Fig. 7. Thresholded results of correlation distribution of (a) fig. 6(a), (b) fig. 6(b), (c) fig. 6(c), (d) fig. 6(d), and (e) fig. 6(e), respectively.

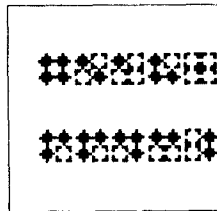
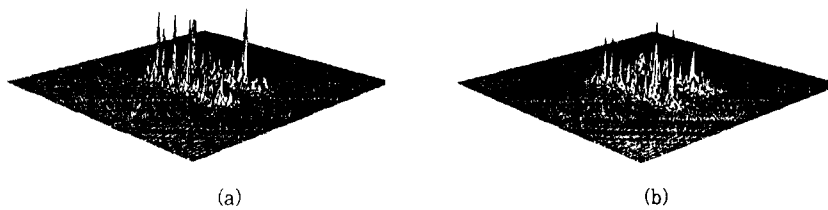


그림 8. $(16)_{10}+(18)_{10}$ 과 $(1)_{10}+(33)_{10}$ 의 부호화된 입력패턴
 Fig. 8. Coded input patterns of $(16)_{10}+(18)_{10}$ and $(1)_{10}+(33)_{10}$.



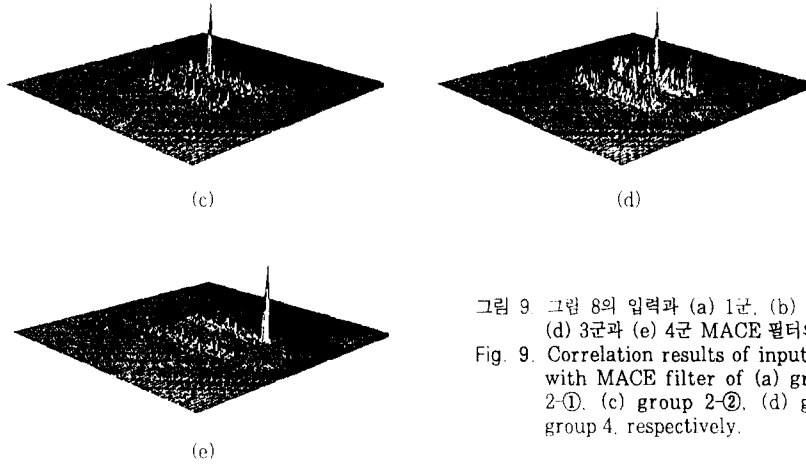


그림 9. 그림 8의 입력과 (a) 1군, (b) 2-①군, (c) 2-②군, (d) 3군과 (e) 4군 MACE 필터와 의 상관결과
 Fig. 9. Correlation results of input pattern of fig. 8 with MACE filter of (a) group 1, (b) group 2-①, (c) group 2-②, (d) group 3, and (e) group 4, respectively.

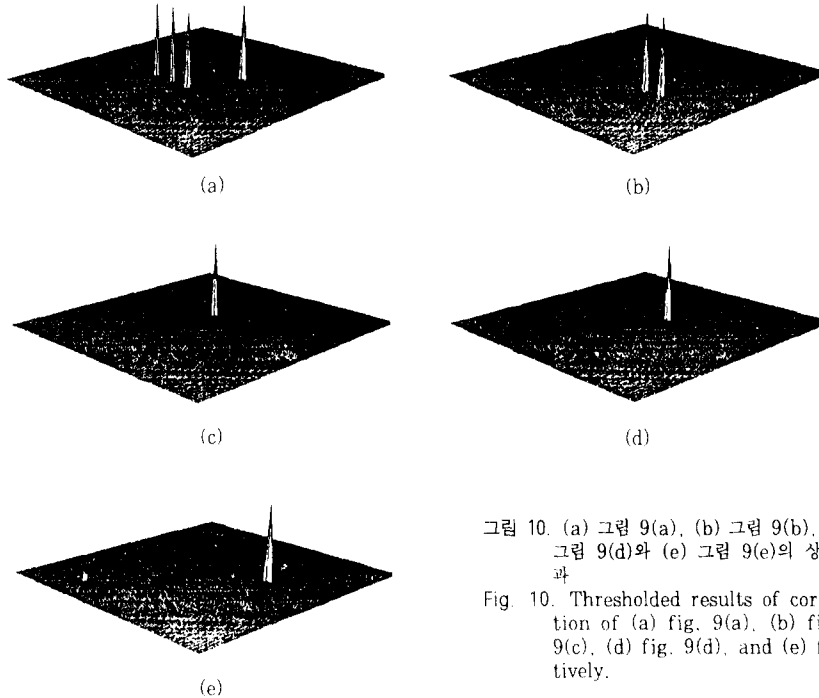


그림 10. (a) 그림 9(a), (b) 그림 9(b), (c) 그림 9(c), (d) 그림 9(d)와 (e) 그림 9(e)의 상관분포의 문턱화 결과
 Fig. 10. Thresholded results of correlation distribution of (a) fig. 9(a), (b) fig. 9(b), (c) fig. 9(c), (d) fig. 9(d), and (e) fig. 9(e), respectively.

패턴과 다시 상관을 취한 후, 합을 구한 것을 그림 11에 나타내었다.

이것은 그림 8의 $(16)_{10}+(18)_{10}$ 과 $(1)_{10}+(33)_{10}$ 에 대한 1단계 가산결과이며, $(1)_{10}+(33)_{10}$ 의 1단계 가산결

과는 $(16)_{10}+(18)_{10}$ 의 2단계 가산결과인 $(0)_{10}+(34)_{10}$ 이므로 $(16)_{10}+(18)_{10}$ 의 가산은 $(34)_{10}$ 임을 알 수 있다.

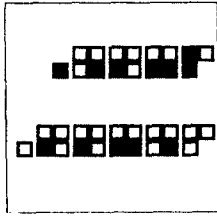


그림 11. 그림 8의 1단계 가산결과
Fig. 11. 1st step addition results of fig. 8.

VI. 결 론

본 논문에서는 광병렬 가산기의 구현을 위하여 영어 이진수를 사용한 광상관 기호치환법을 제안하였다. 광시스템의 구현을 최소로 하기 위해서는 기호치환 규칙의 수를 가능한한 줄여야 하며 이를 위해 동일한 연산결과를 가지는 입력패턴을 동일군으로 하여 5개의 군으로 분류하였다. 이때 각 동일군에 포함된 입력패턴을 동일영상으로 인식하기 위한 광상관 필터로는 MACE 필터를 사용하였다. 또한 분리 인식능력을 증가시키기 위해 입력패턴을 적절히 부호화하였다. 부호화된 입력패턴을 인식한 다음 각 동일군의 최대 상관첨두치의 80%를 기준으로 문턱화를 거쳐 기호치환을 하였다. 이 과정을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안된 광상관 기호치환법이 광병렬 가산기 구현에 적합함을 확인하였다.

패턴인식 과정에서 각 동일군에 대한 입력패턴들과 유사도가 75%가 되는 패턴들의 최대 상관첨두치가 동일군 최대 상관첨두치의 70%이므로 이를 좀 더 낮추는 것이 필요하다. 이에 대해서는 더 효율적인 부호화 방법이 필요하다. 또한 광학적 구현을 위해서는 입력 영어 이진수의 부호화 시스템, 5개의 8-f 광상관기, 5개의 문턱화장치와 광학적 합을 위한 장치들이 필요하다. 따라서 더 효율적인 부호화 방법과 광병렬 가산기를 위한 시스템의 크기를 줄일 수 있는 방법들을 계속 연구중에 있다.

참고문헌

1. A. W. Lohmann and J. Weigelt, "Digital optical adder based on spatial filtering." *Appl. Opt.*, vol. 25, pp. 3047-3053, 1986.

2. Y. Takaki and H. Ohzu, "Optical half-adder using wavefront superposition." *Appl. Opt.*, vol. 29, pp.4351-4358, 1990.

3. J. U. Ahmed and A. A. S. Awwal, "Polarization-encoded optical shadow casting arithmetic-logic-unit design : seperate and simultaneous output generation." *Appl. Opt.*, vol. 31, pp.5622-5631, 1992.

4. D. Psaltis and D. Casasent, "Optical residue arithmetic: a correlation approach." *Appl. Opt.*, vol. 18, pp.163-171, 1979.

5. C. D. Capps, R. A. Falk and T. L. Houk, "Optical arithmetic and logic unit based on residue arithmetic and symbolic substitution." *Appl. Opt.*, vol. 27, pp.1682-1686, 1988.

6. P. A. Ramamoorthy and S. Antony, "Optical modified signed digit adder using polarization-coded symbolic substitution." *Opt. Eng.* vol. 26, pp.821-825, 1987.

7. M. S. Alam, M. A. Karim, A. A. S. Awwal and J. J. Westerkamp, "Optical processing based on conditional high-order trinary modified signed-digit symbolic substitution." *Appl. Opt.*, vol. 31, pp.5614-5621, 1992.

8. K-H. Brenner, A. Huang, and N. Streibl, "Digital optical computing with symbolic substitution." *Appl. Opt.*, vol. 25, pp.3054-3060, 1986.

9. Giuseppe A. De Biase and Annalisa Massini, "Redundant binary number representation for an inherently parallel arithmetic on optical computers." *Appl. Opt.*, vol. 32, no. 5, pp.659-664, 1993.

10. D. Casasent, W. Rozzi and D. Fetterly, "Projection synthetic discriminant function performance." *Opt. Eng.*, vol. 23, no. 6, pp.716-720, 1984.

11. A. Mahalanobis, B. V. K. Kumar and D. Casasent, "Minimum Average Correlation Energy filter." *Appl. Opt.*, vol. 26, no. 17, pp.3633-3640, 1987.

12. C. Warde and J. Thackara, "Operating modes of the microchannel spatial light modulator." Opt. Eng., vol. 22, no. 6, pp.695-703, 1983.

13. H. M. Gibbs, "Two-dimensional arrays of

semiconductor optical gates for optical computing." in Topical Meeting on Optical Computing, OSA TuC1.1-TuC1.4, 1987.



盧德樹(Duck Soo Noh) 정회원

1954年 1月 14日
 1977年 2月 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
 1983年 2月 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1989年 8月 : 경북대학교 대학원 박사과정 수료

1978年 2月~1979年 8月 : (주)대한전선 TV개발부
 1983年 3月~현재 : 경북산업대학교 전자공학과 부교수
 ※주관심 분야 : 광신호처리, 광컴퓨팅 및 패턴인식



金正雨(Jeong Woo Kim) 정회원

1995年 8月 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
 한국통신학회 논문지 제20권 제5호 참조



曹雄鎬(Woong Ho Cho) 정회원

1959年 10月 22日生
 1982年 2月 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
 1984年 2月 : 영남대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1993年 8月 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1985年~현재 : 대구공업전문대학 전산과 조교수
 ※주관심 분야 : 광신호처리, 광컴퓨팅 및 패턴인식



金秀重(Soo Joong Kim) 정회원

1970年~현재 : 경북대학교 전자공학과 교수
 한국통신학회 논문지 제20권 제5호 참조