

論文96-33B-3-13

기호치환을 기초로 한 잉여 이진수 광병렬 가산용 다중 광상관 필터

(Multiplexed Optical Correlation Filter for Optical Parallel Addition Based on Symbolic Substitution with Redundant Binary Number)

盧德樹*, 曹雄鎬**, 金正雨***, 李河運***,
金秀重****(Duck Soo Noh, Woong Ho Cho, Jeong Woo Kim, Ha Woon Lee,
and Soo Joong Kim)

요 약

기호치환을 기초로 한 광병렬 가산을 위한 다중 광상관 필터를 제안하였다. 제안된 방법에서는 기호치환 규칙 수의 최소화가 용이한 잉여 이진수를 사용하였다. 광상관 인식필터로는 SDF 필터에 비해 부엽이 아주 작고 상관치 제어가 우수한 MACE 필터를 선택하였고 분리 인식능력을 증가시키기 위해 입력을 적절히 부호화하였다. 그리고 기호치환 규칙의 수를 최소화하기 위해 16개의 입력패턴을 동일한 계산결과를 갖는 6개의 군으로 나누어 인식하기 위한 6개의 필터를 사용하였다. 이것을 2개의 MMACE 필터평면에 다중화를 취하고, 그에 대응하는 치환방법을 제안하였다. 제안한 방법이 광병렬 가산기의 구현에 적합함을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

Abstract

We proposed a multiplexed optical correlation filter method for an optical parallel addition based on symbolic substitution. In the proposed method, we used redundant binary number which was easy to minimize the number of the symbolic substitution rules. We chose MACE filter which had very low sidelobes and good correlation peak compared with SDF filter as the optical correlation recognition filter and encoded input numbers properly to increase the discrimination capability. In order to minimize the number of symbolic substitution rules, sixteen input patterns were divided into six groups of the same addition results and six filters for recognizing the input patterns were used. These filters were multiplexed in two MMACE filter planes and the corresponding substitution method was proposed. Through the computer simulation, we confirmed the proposed method was suitable to implement the optical parallel adder.

* 正會員, 慶北産業大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Sanup University)

** 正會員, 大邱工業專門大學 電子計算科

(Dept. of Computer Science, Taegu Tech. Coll.)

*** 正會員, 慶北大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook National University)

**** 正會員, 東洋大學校 電子制御通信工學部

(Dept. of Elec. Eng., Dongyang University)

接受日字: 1995年11月22日, 수정완료일: 1996年2月15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. 또한 광병렬 가산기는 광컴퓨터 처리장치의 여러 연산기능 중에서 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 부호화가 필요하다. 지금까지 올림수에 무관한 광병렬 가산기 구현에서는 유수(residue number)¹¹⁻²¹, 잉여수(redundant number)¹³⁻⁵¹ 등과 같은 수체계를 사용하는 방법들이 주로 연구되어 왔다. 유수를 사용한 광가산기의 구현은 자리수 사이의 의존성이 없기 때문에 일정한 시간에 모든 자리수에 대한 가산을 수행할 수 있다¹²¹. 그러나 이 연산시스템은 연산하고자 하는 수의 값이 클수록 많은 소수계수 논리요소들이 필요하므로 광학적 구현이 어렵다. 잉여수를 이용한 연산시스템은 2단계의 기호치환에 의해 올림수에 무관한 광병렬 가산기를 구현할 수 있다.

지금까지 연구된 잉여수는 3상태의 MSD(modified signed digit)¹³⁻⁴¹와 잉여 이진수(redundant binary number, RBN)¹⁵¹가 있다. MSD 가산기의 광학적 구현방법은 Huang¹⁶¹과 Brenner 등¹⁷¹에 의해 제안된 기호치환 방법을 이용하여 광의 병렬성을 이용하도록 MSD를 3상태 세기 부호화나 3상태 편광 부호화로 하여 MSD 표현과 관련된 알고리즘을 광 시스템에 적용시키는 것이다. 이때의 MSD 가산기는 2단계의 기호치환으로 구성되고 치환규칙은 각 단계마다 다르다. 또한 Giuseppe A. 등¹⁵¹은 광병렬 연산을 위한 잉여 이진수를 제안하였으며 가산을 위한 기호치환은 2단계로 구성되고 각 단계마다 동일한 치환규칙을 갖는다. 기호치환을 광학적으로 구현할 때 기호치환 규칙의 수가 적을수록 광시스템이 간단하므로 기호치환 규칙의 수를 최소화하는 것이 필요하다.

본 논문에서는 잉여 이진수를 사용한 광병렬 가산기의 구현을 위하여 기호치환에 의한 다중 광상관 필터를 제안하였다. 기호치환은 인식과 치환과정으로 구성되며, 인식과정에서의 광상관 필터로서 MACE(mini-

mum average correlation energy) 필터¹⁸¹를 사용하였다. 이는 MACE 필터가 학습영상의 수가 증가하거나 유사영상에 대해서 부엽의 효과가 아주 작고 상관치 제어가 우수하기 때문이다. 패턴인식을 위하여 잉여 이진수를 적절한 형태로 부호화를 하였고, MACE 필터의 수를 줄이기 위해 16개의 입력패턴 중에서 동일한 연산결과를 가지는 입력패턴들을 6개의 군(group)으로 분류하였다. 그러므로 입력패턴을 인식하기 위해서는 6개의 MACE 필터가 필요하다. 또한 광시스템의 규모를 줄이기 위하여, 각 군의 최대 상관첨두치가 비슷한 군들을 다시 분류하여 6개의 MACE 필터를 다중화하여 2개의 MMACE(multiplexed MACE) 인식필터를 만들었다. 치환과정은 부호화 입력패턴과 각 MMACE 인식필터와의 상관결과를 문턱화한 후, 각 다중 치환필터를 통해 기호치환을 하게 된다. 2개의 다중 치환필터는 각 MMACE 필터에 대응하는 치환패턴들로 적절히 배치함으로써, 각 다중필터에 대한 치환패턴들의 합을 치환된 상관평면의 중앙영역에서 얻을 수 있었으며 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안된 다중 광상관 필터를 이용하여 광병렬 가산기를 구현할 수 있음을 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

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

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

$$\dots 8 \ 8 \ 4 \ 4 \ 2 \ 2 \ 1 \ 1 \\ r \ n \ r \ n \ r \ n \ r \ n$$

으로 나타나며 모든 위치 가중치들은 같은 가중치를 2개씩 갖는다. 가중치가 같은 rn 자리수 쌍에서 왼쪽 자리수를 r (redundant), 오른쪽 자리수를 n (normal)이라 한다. 기존의 이진수를 잉여 이진수로 기록

하기 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 부호 없는 잉여 이진수의 표준형과 잉여 표현들의 예이다.

Ⅲ. 잉여 이진수의 가산

잉여 이진수의 가산은 rn 자리수 쌍에 대하여 진리 표에 의해 정의된 기호치환 규칙들을 적용함으로써, 2개의 잉여 이진수의 가산을 병렬로 수행할 수 있다. 표 2는 잉여 이진수의 가산을 위한 기호치환 규칙의 진리 표이다.

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 001110 100001 100010
6	110	010100	010011 011000 001111 100100 100011 101000
7	111	010101	010110 011001 100101 100110 011010 101001 101010

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 규칙이 적용된 출력의 상위 rn 쌍과 하위 rn

쌍을 각각 U_{out} 및 L_{out} 이라 하면

$$U_{in} + L_{in} = U_{out} + L_{out} \quad (3)$$

가 된다.

표 2. 잉여 이진수의 가산을 위한 기호치환 규칙의 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	10 11

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. 그림 1에서의 두 잉여 이진수의 가산 과정에서 입력 잉여 이진수의 MSB 왼쪽에 2비트, LSB 오른쪽에 4비트의 0을 추가(padded zeros)한다. 이는 2개의 잉여 이진수의 가산에서의 자리올림수의 영향으로 기호치환규칙이 계단구조를 갖기 때문이며, 공간불변 시스템에서는 입력에 0을 추가함으로써 이러한 계단구조의 문제점을 해결할 수 있다. N 비트의 길이를 갖는 기존 이진수의 가산의 경우에는 $(N+1)$ 단계의 기호치환이 필요하므로 입력 이진수의 MSB 오른쪽과 LSB 왼쪽에 N 개의 0을 추가하여야 한다^[9]. 그러나 잉여 이진수의 경우에는 자리올림수가 상위 rn 쌍에만 영향을 주기 때문에 최상위 rn 쌍의 오른쪽에 2비트의 0을 추가하고, 자리수에 관계없이 2 단계 기호치환으로 가산이 되기 때문에 최하위 rn 쌍의 오른쪽에 4비트의 0을 추가하는 것이다.

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

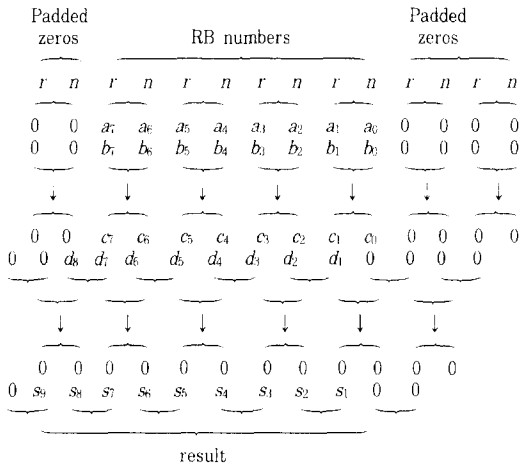


그림 1. 잉여 이진수의 가산을 위한 표 2에서의 기호치환 규칙들의 병렬 적용

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

$(11)_{10}$	$(00 11 01 01 00 00)_{RB}$
$(13)_{10}$	$(00 11 11 10 00 00)_{RB}$
$(4)_{10}$	$(00 10 00 00 00 00)_{RB}$
$(20)_{10}$	$(0 01 11 11 00 00)_{RB}$
$(0)_{10}$	$(00 00 00 00 00)_{RB}$
$(24)_{10}$	$(0 11 11 00 00 0)_{RB}$

그림 2. 기호치환에 의한 2개의 잉여 이진수의 가산 예

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

IV. 기호치환에 의한 다중 광상관 필터의 구성

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

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

로 하였다. 여기서 검은 부분은 빛이 통과하고 흰 부분은 빛이 차단되는 것으로 하였다. 이와 같은 부호화는 16개의 입력패턴들의 에너지분포를 같게 하고 분리인식 능력을 높이기 위함이다. 그리고 광시스템을 간단하

게 하기 위해서 기호치환 규칙의 수의 최소화가 필요하며, 이를 위해 동일한 연관결과를 갖는 입력패턴들을 동일군으로 분류하여 5개의 군으로 나누었다. 즉 표 2의 기호치환 규칙을 이용하여 5개의 군으로 분류한 16개의 부호화 입력패턴과 그의 기호치환 패턴은 표 3과 같다. 특히, 표 3에서 군 2는 2개의 부군으로 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

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

로 정의하면, 2군의 ①과 ②의 부호화 패턴들 사이의 유사도는 50 %가 되는 반면, 2군의 ②와 3군의 패턴들 사이의 유사도는 75 %이므로 2군의 ①과 ②보다는 오히려 2군의 ②와 3군의 패턴들이 더 유사하여 2군의 6개의 패턴들을 동일영상으로 인식하더라도, 3군의 패턴들이 오인식되기 때문이다. 따라서 기호치환에 의한 광상관 인식필터의 수는 6개이다.

표 3. 부호화 입력패턴의 분류 및 기호치환 패턴

Table 3. Classification of coded input patterns and their symbolic substitution patterns.

Group no.	16 input 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		

2. 다중 광상관 필터

기호치환에 의한 광상관기는 기본적으로 그림 3과 같이 2개의 4-f 광상관기의 종속연결로 구성된다. 첫번째 4-f 광상관기는 인식과정으로 부호화된 입력패턴을 분리인식하기 위한 것이며, 이때 사용되는 광상관 필터는 그 목적에 부합하도록 설계되어야 한다. 두번째 4-f 광상관기는 치환과정으로 인식된 입력패턴 위치에 해당되는 기호패턴을 치환하기 위한 것이다. 첫번째 4-f

시스템에서 패턴인식을 한 후 문턱화를 거치면 인식된 상관결과는 부엽이 없고 예리한 상관 침두치를 갖게 되므로, 두번째의 4-f 시스템의 치환과정에서의 광상관 필터의 임펄스 응답은 단순히 기호치환 패턴이 된다. 그러므로 본 연구에서는 광병렬 가산을 위해서는 6개의 인식필터가 필요하며, 6개의 기호치환을 위한 중속 광상관기 시스템을 병렬로 구성하여야 한다. 그러나 이는 광시스템의 규모가 비교적 큰 편이며, 광시스템의 규모를 보다 더 줄이기 위해서는 결국 인식필터와 치환필터의 수를 줄여야 한다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 기호치환에 의한 다중 광상관 필터의 구성방법을 제안하였다.

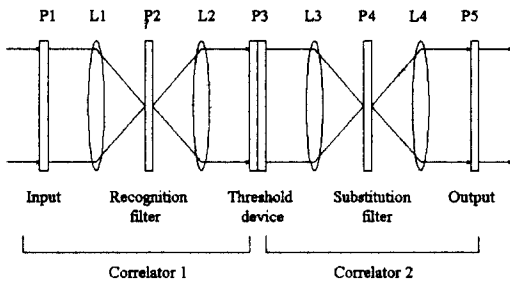


그림 3. 기호치환에 의한 중속 광상관 시스템
Fig. 3. Optical cascaded correlator system based on symbolic substitution.

1) 광상관 다중 인식과정
(1) MACE 필터

본 연구의 상관 시스템에 적합한 인식필터는 각 동일군에 포함된 입력패턴을 동일영상으로 인식할 수 있어야 하고 다른 군의 유사영상을 분리할 수 있어야 한다. 이의 수행은 SDF(synthetic discriminant function) 필터¹⁰⁾나 MACE 필터¹⁸⁾가 적합하다. 후자는 합성되는 학습영상의 수가 많아지거나 유사영상에 대해서도 전자에 비해 더 예리한 상관치를 나타내고 필터정합시 사용된 모든 학습영상에 대한 상관침두치의 크기가 거의 동일하며 유사입력에 대한 변별력이 뛰어나다. 따라서 본 연구에서는 광상관 인식필터로서 MACE 필터를 선택하였다.

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

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

$$E_i = \sum_{\xi} \sum_{\eta} |g_i(x,y)|^2 = \sum_{\xi} \sum_{\eta} |H(\xi, \eta)|^2 |F_i(\xi, \eta)|^2 \quad (5)$$

$$= \sum_{\xi} \sum_{\eta} |H(\xi, \eta)|^2 D_i(\xi, \eta)$$

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

$$g(0) = F^+ H = u \quad (6)$$

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

$$E_{av} = H^+ D H \quad (7)$$

와 같다. 여기서 D는 모든 학습영상의 평균 에너지 스펙트럼을 나타낸다. 출력상관 평면상에서 원하는 상관 침두치를 갖고 부엽을 최소화하기 위해서는 식 (6)의 제한을 만족하면서 식 (7)의 평균 상관에너지를 최소화하는 MACE 필터를 Lagrange 승수법을 이용하여 구하면

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

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

앞절에서 살펴본 6개 군의 인식을 위한 MACE 필터는

$$H_{MACE,1} = D_1^{-1} F_1 [F_1^+ D_1^{-1} F_1]^{-1} u_1$$

$$H_{MACE,2-0} = D_{2-0}^{-1} F_{2-0} [F_{2-0}^+ D_{2-0}^{-1} F_{2-0}]^{-1} u_{2-0}$$

$$H_{MACE,2-\infty} = D_{2-\infty}^{-1} F_{2-\infty} [F_{2-\infty}^+ D_{2-\infty}^{-1} F_{2-\infty}]^{-1} u_{2-\infty}$$

$$H_{MACE,3} = D_3^{-1} F_3 [F_3^+ D_3^{-1} F_3]^{-1} u_3 \quad (9)$$

$$H_{MACW,4} = D_4^{-1} F_4 [F_4^+ D_4^{-1} F_4]^{-1} u_4$$

$$H_{MACE,0} = D_0^{-1} F_0 [F_0^+ D_0^{-1} F_0]^{-1} u_0$$

와 같이 구할 수 있다. 여기서 D_i 행렬은 i군에 포함된 부호화 입력패턴들의 평균 스펙트럼을 의미하고, 제한 벡터 u_i는 i군의 부호화 입력패턴들을 모두 같은 패턴으로 인식해야 하므로 1의 값으로 하였다.

(2) 다중화 기법

Vander Lugt 필터는 물체파(object wave)와 기준 파(reference wave)의 간섭을 이용하여 크기와 위상을 효과적으로 기록할 수 있으며, 이때의 전달함수는

$$H(\xi, \eta) = A^2 + 1F(\xi, \eta)^2 + AF(\xi, \eta)\exp[j2\pi(a\xi + b\eta)] + AF^*(\xi, \eta)\exp[-j2\pi(a\xi + b\eta)] \quad (10)$$

로 나타난다. 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, 컴퓨터 형성 홀로그램(computer generated hologram: CGH)을 통해 상관필터를 제작시 마지막 항만이 유용하다. 이를 광학적으로 제작하려면 기준파의 입사각도를 달리해 여러개의 입력영상에 대한 전달함수를 다중노출(multiple exposure)에 의해 하나의 필터에 중첩시키면 된다. CGH로 제작하려면 합성하고자 하는 필터함수에 원하는 정도의 공간주파수 성분을 곱하면 된다. N 개의 필터함수의 위상을 공간 주파수 변조한 다음 한개의 필터에 다중화된 필터함수는

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

와 같다. 여기서 K_i 는 i 번째 기준파의 크기이며, a_i 와 b_i 는 상관결과의 분리정도를 정해주기 위한 변수이다. 한개의 필터에 다중화를 할 수 있는 인식필터의 개수 N 은 각 군 필터의 최대 상관첨두치와 광시스템의 공간 대역폭에 의해서 결정된다. 본 연구에서는 인식과정에서 6개의 MACE 필터의 각 상관첨두치를 비교하여 상관첨두치의 분포가 비슷한 0군, 1군, 2-①군과 3군 MACE 필터를 한개의 필터평면에 다중화한 MMACE 인식필터 1과, 2-②군과 3군 MACE 필터를 또 다른 한개의 필터평면에 다중화한 MMACE 인식필터 2를 만들었다. 즉 6개의 $M \times M$ 화소의 MACE 필터를 다중화하여 모두 2개의 $2M \times 2M$ 화소의 MMACE 인식필터를 설계하였다. 또한 출력 상관평면의 중앙화소를 (0,0)이라 할 때 상관결과를 좌측과 상단으로 이동시킬 경우는 양의 값을, 우측과 하단으로 이동시킬 경우는 음의 값을 사용한다면 상관결과의 분리정도를 결정하는 a 와 b 의 값은 $(M/2)$ 이 된다. 16개의 입력패턴과 동일한 가산결과를 얻는 각 군의 MACE 필터와의 상관첨두치는 표 4와 같다. 여기서 각 부호화 입력패

턴은 10×10 화소, 각 군의 MACE 필터는 64×64 화소로 하였다. 표 4에서 상관첨두치는 입력과 6개의 MACE 필터와의 상관결과에서의 최대 상관첨두치인 4.36×10^{-9} 을 500으로 정규화한 값이고 (·)속의 값은 2-②군과 0군 MACE 필터와 입력과의 상관결과에서의 최대 상관첨두치인 3.86×10^{-9} 을 500으로 정규화한 결과이며 정규화 값이 100이하인 경우는 표에 나타나지 않았다.

6개의 MACE 필터를 1개의 필터평면에 다중화할 때, 인식해야 할 최소 상관첨두치는 2-②군에서의 398이고 인식되지 않아야 할 최대 상관첨두치는 2-②군에서의 328이므로 이들 사이의 차가 적을수록 오인식의 가능성이 커진다.

표 4. 16개의 입력패턴과 각 군 MACE 필터와의 상관첨두치

Table 4. Correlation peak values of sixteen input patterns with each group MACE filter.

group	input pattern	correlation peak value					
		MMACE filter 1				MMACE filter 2	
		group 1	group 2-①	group 3	group 4	group 2-②	group 0
1		441	319			230(282)	
		475	295			154(174)	
		500	294			209(236)	
		460	278			256(289)	
2-①		216	457	257			
		242	457	295			
		247	463	326			
		217	445	248			
3			268	471	195	292(330)	
			248	446	211	258(291)	
			277	436	183	280(316)	
			259	461	215	281(317)	
4				239	489		
2-②		273		328		423(480)	
		291		328		398(449)	
0		312					443(500)

이를 위해서는 표4와 같이 2개의 MMACE 필터를 사용할 경우, MMACE 필터 1에서 인식해야 할 최소 상관첨두치는 3군에서의 436이며 인식하지 않아야 할 최대 상관첨두치는 2-②군에서의 328이다. 또한 MMACE 필터 2에서는 인식해야 할 최소 상관첨두치는 2-②군의 449이며 인식하지 않아야 할 최대 상관첨두치는 3군에서의 330이다. 이것으로부터 각 MMACE 필터에서의 최대 상관첨두치의 80%를 문턱값으로 선택하면 적당하다는 것을 알 수 있다.

Group 1	Group 2-①	Substitution pattern of group 4	Substitution pattern of group 3
Group 3	Group 4	Substitution pattern group 2-①	Substitution pattern group 1

(a)

(b)

Group 2-②		Substitution pattern of group 0	
	Group 0		Substitution pattern of group 2-②

(c)

(d)

그림 4. MMACE 인식필터 및 치환필터의 구조
(a) MMACE 1 인식필터 (b) 대응하는 치환필터 1 (c) MMACE 2 인식필터 (d) 대응하는 치환필터 2

Fig. 4. Constitutions of MMACE recognition and substitution filters.
(a) MMACE 1 recognition filter
(b) corresponding substitution filter 1
(c) MMACE 2 recognition filter
(d) corresponding substitution filter 2

2) 광상관 다중 치환과정

다중 인식과정에서 부호화 입력패턴과 MMACE 필터와의 상관결과를 적절한 값으로 문턱화를 거친 후, 각 군에서 인식된 임펄스 위치에 해당하는 기호를 치환하여야 한다. 이것은 4-f 광상관기로 구성되며, 광상관 치환필터의 임펄스 응답은 기호치환패턴과 같다. 그러나 인식과정에서 다중화를 하였기 때문에 이에 대응

하는 다중화 치환필터를 구성하여야 한다.

다중인식된 상관결과를 문턱화하면 상관세기는 임펄스 형태가 되며, 다중인식 상관평면은 하나의 필터평면에 다중화를 취한 필터의 개수만큼의 부평면으로 나누어진다. 그림 4는 2개의 MMACE 인식필터와 그에 대응하는 2개의 다중 치환필터의 공간영역에서 부평면 구조이다. 그림 4의 (a)와 (c)와 같이 다중인식된 4개의 상관 부평면에서 1 사분면과 3 사분면, 그리고 2 사분면과 4 사분면을 서로 바꾼 부평면위치에 대응하는 치환패턴을 위치시킨 후, 이것을 푸리에변환을 하여 다중 치환필터를 만든다. 이러한 다중 치환필터의 임펄스응답에 대한 부평면 구조는 그림 4의 (b) 및 (d)와 같다. 또한 부호화 입력패턴이 어떤 군에서 인식이 되면 다른 군에서는 인식되지 않기 때문에 치환과정에서의 상관출력, 즉 다중 치환결과에서 다중화로 인한 aliasing은 일어나지 않으나 인식된 위치에 다중 치환패턴이 모두 나타난다. 그러나 다중치환된 출력평면중에서 입력평면 크기의 중앙영역에는 각 군에 해당하는 패턴을 치환함과 동시에 그것의 합을 얻을 수 있다.

V. 시뮬레이션 결과 및 고찰

그림 5는 컴퓨터 시뮬레이션에 사용된 부호화 입력패턴들이다. 각각의 입력패턴은 10×10 화소로 표현하였으며 16개의 부호화 입력패턴을 64×64 입력평면에 나타내었다.

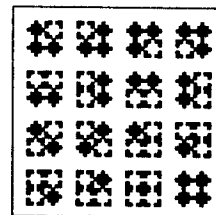


그림 5. 컴퓨터 시뮬레이션에 사용된 16개의 부호화 입력패턴

Fig. 5. Sixteen coded input patterns for computer simulation.

그림 2에서의 잉여 이진수의 가산 예를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

그림 6은 $(11)_{10} + (13)_{10}$ 과 $(4)_{10} + (20)_{10}$ 의 가산을 위한 부호화된 입력패턴이다. 여기서 $(4)_{10} + (20)_{10}$ 은 $(11)_{10} + (13)_{10}$ 의 1단계 가산결과이기 때문에, 1단계

가산실험을 통하여 2단계의 가산결과를 확인하기 위하여 64×64 입력평면에 $(4)_{10} + (20)_{10}$ 의 부호화 패턴을 추가하였다. 또 부호화 입력패턴의 최상위 rn 쌍의 왼쪽에 2비트의 0을 부호화패턴으로 추가하였으며, 최하위 rn 쌍 오른쪽에는 4비트의 0을 부호화패턴으로 추가하여야 하지만 좀 더 많은 패턴으로 구성된 잉여 이진수를 표현하고 1단계의 가산으로 2단계의 가산결과를 확인할 수 있도록 하였기 때문에 최하위 rn 쌍 오른쪽에 2비트의 0에 대한 부호화패턴만을 추가하였다.

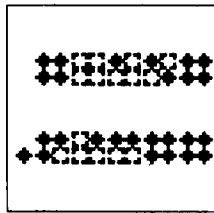


그림 6. $(11)_{10} + (13)_{10}$ 과 $(4)_{10} + (20)_{10}$ 의 부호화된 입력패턴
 Fig. 6. Coded input patterns of $(11)_{10} + (13)_{10}$ and $(4)_{10} + (20)_{10}$.

그림 6의 입력과 MMACE 인식필터와의 상관결과를 그림 7에 나타내었고, 표 4에서의 기준에 따라 문턱화를 취한 것을 그림 8에 나타내었다. 여기서 입력평면을 64×64 의 화소로 하였기 때문에 MMACE 인식필터, 상관결과와 치환필터는 128×128 화소를 갖는 평면으로 된다. 이 결과에서 $(4)_{10} + (20)_{10}$ 의 최상위 자리올림수 비트가 어떤 군에도 포함되지 않기 때문에 인식되지 않음을 알 수 있다.

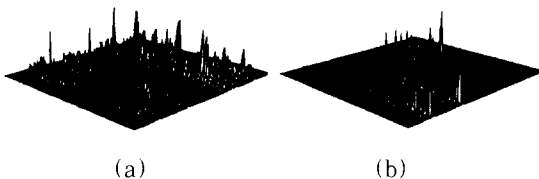


그림 7. 그림 6의 입력과 MMACE 인식필터와의 상관결과
 (a) MMACE 1 인식필터와의 상관결과
 (b) MMACE 2 인식필터와의 상관결과
 Fig. 7. Correlation results of input pattern of fig. 6 with MMACE filters.
 (a) correlation results of input pattern of fig. 6 with MMACE 1
 (b) correlation results of input pattern of fig. 6 with MMACE 2

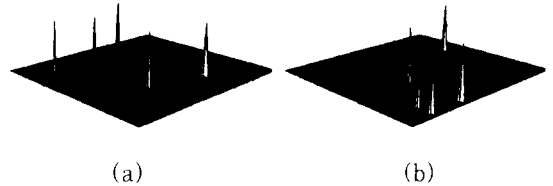


그림 8. 그림 7의 상관분포의 문턱화 결과
 (a) 그림 7(a)의 상관분포의 문턱화 결과
 (b) 그림 7(b)의 상관분포의 문턱화 결과
 Fig. 8. Thresholded results of correlation distribution of fig. 7.
 (a) Thresholded results of correlation distribution of fig. 7(a)
 (b) Thresholded results of correlation distribution of fig. 7(b)

그림 8에서 패턴인식이 정확하게 되었다는 것을 알 수 있다.

다중 치환필터의 임펄스응답을 그림 9에 나타내었으며, 이 임펄스응답의 푸리에변환을 치환필터로 사용하였다. 그림 8의 상관분포의 문턱화 결과와 다중 치환필터와의 상관결과를 그림 10에 나타내었다. 그림 10(a)는 MMACE 1 인식필터와 이에 대응하는 다중 치환필터 1과의 기호치환 결과이며, 그림 10(b)는 MMACE 2 인식필터와 이에 대응하는 다중 치환필터 2와의 기호치환 결과이다.

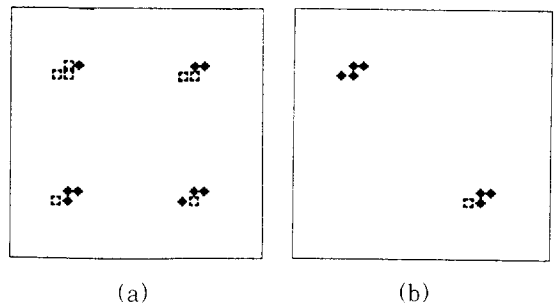


그림 9. 다중 치환필터의 임펄스 응답
 (a) 다중 치환필터 1의 임펄스 응답
 (b) 다중 치환필터 2의 임펄스 응답
 Fig. 9. The impulse response of multiplexed substitution filters.
 (a) The impulse response of multiplexed substitution filter 1
 (b) The impulse response of multiplexed substitution filter 2

그림 10(a)와 (b)와의 합을 구함으로써, 잉여 이진수의 1단계 가산이 되며, 이 결과를 그림 11에 나타내

었다. 그림 11에서의 128×128 화소의 출력평면중에서 중앙의 64×64 화소평면의 패턴이 그림 7의 $(11)_{10} + (13)_{10}$ 과 $(4)_{10} + (20)_{10}$ 에 대한 1단계 가산결과이며, $(4)_{10} + (20)_{10}$ 의 1단계 가산결과는 $(11)_{10} + (13)_{10}$ 의 2단계 가산결과인 $(0)_{10} + (24)_{10}$ 이므로 $(11)_{10} + (13)_{10}$ 의 가산은 $(24)_{10}$ 임을 알 수 있다.

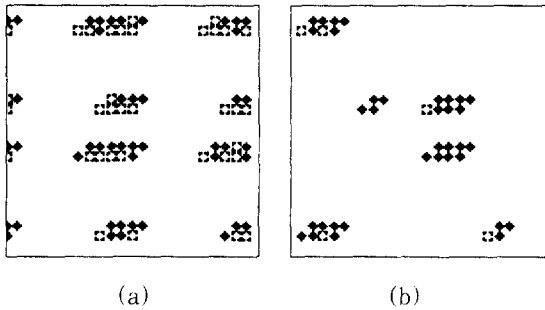


그림 10. 그림 8과 다중 치환필터와의 상관결과
(a) 그림 8(a)와 다중 치환필터 1과의 상관결과 (b) 그림 8(b)와 다중 치환필터 2와의 상관결과

Fig. 10. Correlation results of multiplexed substitution filter 1 with fig. 8.
(a) correlation results of multiplexed substitution filter 1 with fig. 8(a) (b) correlation results of multiplexed substitution filter 2 with fig. 8(b)

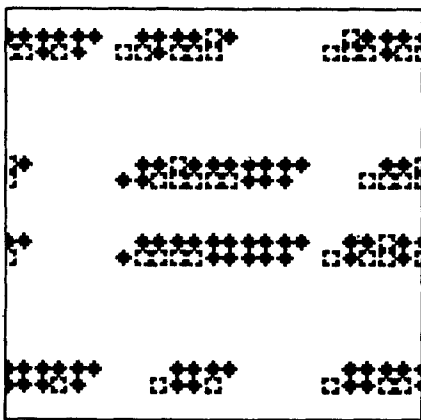


그림 11. 그림 6의 1단계 가산결과
Fig. 11. 1st step addition results of fig. 6.

VI. 결론

본 논문에서는 기호치환에 의한 잉여 이진수 광병렬

가산기의 구현을 위하여 다중 광상관 필터를 제안하였다. 기호치환 규칙의 수를 줄이기 위해 동일한 연산결과를 가지는 입력패턴을 동일군으로 하여 5개의 군으로 분류하였다. 이때 입력패턴들의 정확한 분리인식을 위하여 2군은 다시 2개의 부군으로 나누었다. 그러므로 잉여 이진수 광병렬 가산을 위한 광상관 인식필터는 6개가 필요하다. 이때 각 동일군에 포함된 입력패턴을 동일영상으로 인식하기 위한 광상관 인식필터로는 MACE 필터를 사용하였고, 분리 인식능력을 증가시키기 위해 입력패턴을 적절히 부호화하였다. 또한 광시스템의 규모를 줄이기 위해 6개의 MACE 인식필터를 2개의 MMACE 인식필터로 다중화를 하였다. 이는 16개의 부호화 입력패턴과 각 MACE 인식필터와의 최대 상관첨두치를 비교하여 결정하였다. 인식해야 할 최소 상관첨두치는 MMACE 인식필터 1에서는 최대 상관첨두치의 87.2 %이고 MMACE 인식필터 2에서는 89.8%이며, 인식하지 않아야 할 최대 상관첨두치는 MMACE 인식필터 1에서는 최대 상관첨두치의 65.6%이고, MMACE 인식필터 2에서는 66%이므로 각 MMACE 인식필터와 입력패턴과의 상관결과에서 최대 상관첨두치의 80%를 기준으로 문턱화를 거쳐 기호치환을 하였다. 다중인식된 4개의 상관 부평면에서 1 사분면과 3 사분면, 2 사분면과 4 사분면을 서로 바꾼 부평면위치에 대응하는 치환패턴을 위치시킨 후, 이것을 푸리에 변환하여 다중 치환필터로 하면 광상관 치환결과의 중앙영역에서 가산결과를 얻을 수 있다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안된 광상관 기호치환법이 광병렬 가산기 구현할 수 있음을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] D. Psaltis and D. Casasent, "Optical residue arithmetic: a correlation approach," *Appl. Opt.*, vol. 18, pp. 163-171, 1979.
- [2] 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.
- [3] P. A. Ramamoorthy and S. Antony, "Optical modified signed digit adder using polarization-coded symbolic sub-

- titution," *Opt. Eng.* vol. 26, pp. 821-825, 1987.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] A. Huang, "Parallel algorithms for optical digital computers," in *Technical digest, IEEE. Tenth International Optical Computing Conference*, pp. 13-17, 1983.
- [7] K-H. Brenner, A. Huang, and N. Streibl, "Digital optical computing with symbolic substitution," *Appl. Opt.*, vol. 25, pp. 3054-3060, 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] Ho-In Jeon, M. A. G. Abushagur, A. A. Sawchuk and B. K. Jenkins, "Digital optical processor based on symbolic substitution using holographic matched filtering," *Appl. Opt.*, vol. 29, no. 14, pp. 2113-2125, 1990
- [10] D. Casasent, W. Rozzi and D. Fetterly, "Projection synthetic discriminant function performance," *Opt. Eng.*, vol. 23, no. 6, pp. 716-720, 1984.

— 저 자 소 개 —



盧德樹(正會員)

1954年 1月 14日生. 1977年 2月 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1983年 2月 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(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 분야는 광신호처리, 광컴퓨팅 및 패턴인식 등임.



金正雨(正會員)

1964年 5月 10日生. 1987年 2月 경북대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사). 1989年 2月 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1995年 8月 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1996년 3월 ~ 동양대학교 전자제어통신공학부 전임강사. 주관심분야는 광 형태인식 및 광 신경회로망 등임.



曹雄鎬(正會員)

1959年 10月22日生. 1982年 2月 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1984年 2月 영남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1993年 8月 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1985年 ~ 현재 대구공업전문대학 전산과 조교수. 주관심 분야는 광신호처리, 광컴퓨팅 및 패턴인식 등임.

李河運(正會員)

1959년 11월 25일생. 1982년 2월 경북대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사). 1984년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1996년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1983년 10월 ~ 1992년 2월 삼성전자(주). 1992년 3월 ~ 1994년 2월 상지전문대학 전자통신과. 1994년 3월 ~ 현재 동양대학교 전자제어통신공학부 전임강사. 주관심분야는 광신호처리, 웨이브렛 변환 및 패턴인식 등임.

金秀重(正會員) 第 27卷 第 4號 參照

현재 경북대학교 전자공학과 교수