

論文2001-38SD-11-6

결합 공간 부호화 방법을 이용한 두 단계 변형부호화자리수 가산기 구현

(Implementation of the two-step modified signed digit
number adders using joint spatial encoding method)

徐東煥*, 金鍾允*, 朴世駿*, 曹雄鎬**, 盧德洙***,
金秀重*

(Dong-Hoan Seo, Jong-Yun Kim, Se-Joon Park, Woong-Ho Cho,
Duck-Soo Noh, and Soo-Joong Kim)

요 약

전통적인 이진 가산기는 최상위 비트까지 올림수 전달이 발생하고 직렬가산을 수행한다. 그러나, 변형부호화자리수체계를 이용한 광가산기는 이진 가산기에서 발생하는 연속적인 올림수 전달을 제한하도록 제안되었다. 본 논문에서는 9가지 부호화된 입력 패턴 중에서 동일한 가산 결과를 가지는 패턴을 동일군으로 하여 5개의 기준패턴으로 만들어 기호치환 규칙수를 줄였다. 또한 결합공간부호화된 입력 패턴과 마스크의 직렬 연결로 기존의 기호치환 가산기의 인식 단계에서 필요한 어떤 공간적인 연산없이 인식하여 시스템의 크기를 줄였다.

Abstract

Conventional binary adder requires a carry propagation to the most significant bit, and leads to serial addition. However, optical adder using a modified signed digit(MSD) number system has been proposed to reduce the carry propagation chain encountered in binary adder. In this paper, in order to minimize the number of symbolic substitution(SS) rules, nine input patterns were divided into five groups of the same addition results. For recognizing the input reference patterns, serial connections of joint spatial encoded patterns and masks without any other spatial operations are used.

I. 서 론

* 正會員, 慶北大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic., Kyungpook Nat'l Univ.)

** 正會員, 大邱工業大學 電子計算科

(Dept. of Computer Science, Taegu technical college)

*** 正會員, 慶一大學校 電子情報工學科

(Dept. of Electronic & Information Eng., Kyungil University)

接受日:1999年8月25日, 수정완료일:2001年10月19日

광 병렬 가산기는 광컴퓨터 연산처리장치의 여러 연산 소자 중에서 중요한 기본 요소 중의 하나이다. 따라서 광 병렬 가산기를 구현할 때는 광의 병렬성을 충분히 이용하기 위한 적합한 수체계와 입력 데이터의 효과적인 부호화 방법을 사용하여야 한다. 이를 위해 이진 체계를 사용하는 방법^[1]과 유수(residue number)^[2]나 변형부호화자리수(modified signed-digit, MSD)^[3]와 같은 수 체계를 사용하는 방법들이 주로 연구되어 왔다.

이진수를 사용한 N 비트 광가산기는 전가산기의 출력 올림수를 상위 전가산기의 입력 올림수로 연결한 N 단계의 전가산기로 구성되기 때문에 자리수 사이의 의존성으로 인한 올림수 지연시간이 발생하여 모든 자리수에 대해서 병렬가산이 불가능하다.

유수를 사용한 광연산의 경우에는 자리수 사이의 의존성을 갖지 않기 때문에 일정한 시간에 모든 자리수에 대하여 가산과 승산을 병렬로 수행할 수 있다. 비가중 시스템인 유수시스템은 여러개의 상대소수계수(relative prime modulus)로 구성되며, 유수 연산으로 출력된 자리수가 서로 독립이므로 올림수가 발생되지 않는다. 그러나 이 시스템은 큰 값의 수를 가산과 승산할 때 더욱 많은 소수계수 논리요소들이 필요하므로 광학적 구현이 어렵다.

한편 변형부호화자리수에서는 입력 데이터의 각 자리수를 세 가지 잉여 표현으로 나타내며, 광학적인 구현은 Huang과 Brenner 등^[4]이 제안한 기호치환^[5] 방법을 이용하여 광의 병렬성을 이용하도록 변형부호화자리수를 3상태 세기부호화나 3상태 편광부호화로 하여 변형부호화자리수 표현과 관련된 알고리즘을 광 시스템에 적용시키는 것이다. 특히 기호치환 방법을 사용하여 구현한 변형부호화자리수 가산기는 가감산을 완전히 병렬로 수행할 수 있고 자리수에 관계없이 합을 구할 수 있음이 제시 되었다.^[3]

기존의 기호치환을 이용한 광 병렬 변형부호화자리수 가산기의 구현 과정은 기호치환의 인식 단계와 치환 단계가 있고 각 단계에 필요한 연산 과정은 공간 쉬프트 연산, 중첩 연산, NOR 문턱치 연산 등 많은 연산이 필요하다. 또한 변형부호화자리수를 부호화할 때 서로 다른 3가지 형태로 부호화하여야 하므로 가산기 구현에 있어서 인식과 치환에 많은 규칙 수가 필요하여 시스템이 커진다.

본 논문에서는 기존의 시스템이 가지는 공간적 크기를 줄이기 위해 결합 공간 부호화^[6]된 패턴을 마스크와 직렬 연결하고, 기호치환 규칙 수를 줄이기 위해 가산결과가 동일한 입력패턴을 그룹화하여 새로운 기호치환 규칙을 제안하여 가산기를 구현하였다. 결합 공간 부호화된 패턴으로 기존의 기호치환 인식 단계에서 필요한 입력영상의 공간 쉬프트연산, 중첩연산, NOR 문턱치연산과 마스크연산 등을 마스크의 직렬 연결만으로 대체하여 인식 단계를 수행하여 시스템의 크기를 작게 구현하였다. 입력패턴의 그룹화는 변형부호화자리

수 연산에서 동일한 치환출력을 가지는 여러 입력패턴들을 대표 영상인 기준입력으로 만들어 전치리함으로 기호치환 규칙의 수를 줄여 인식 마스크와 광소자의 수를 적게 사용하여 시스템의 크기를 줄였고 이를 광 실험을 통하여 확인하였다.

II. 기호치환을 기초로 한 광병렬 연산

1. 두 단계 변형부호화자리수 가산 변형부호화자리수 연산에서 정수 A 는

$$A = \sum a_i 2^i \tag{1}$$

로 표현하고, 여기서 a_i 는 { 1, 0, -1 } 값을 가지며 -1은 $\bar{1}$ 로 표현한다. 변형부호화자리수 가산 방법은 각각 3단계,^[7] 2단계, 1단계^[8] 변형부호화자리수 형태의 세 가지가 있다. 본 논문에서는 세 단계 변형부호화자리수의 연산 처리 속도의 문제점과 한 단계 변형부호화자리수의 많은 기호치환 규칙수로 인한 시스템의 크기의 문제점을 두 단계 변형부호화자리수 연산에 결합 공간 부호화 방법과 입력 그룹화를 사용하여 기존의 연산에서 필요한 규칙 수와 시스템의 크기를 줄였다.

두 단계 변형부호화자리수 가산방법에 기호치환 규칙을 적용하기 위한 변형부호화자리수 가산기의 구성도는 그림 1에서와 같다. 그림 1에서 기호치환 규칙을 이용한 첫 번째 단계에서의 중간 올림수와 중간 합인 t_{i+1} 과 w_i 는 현재 비트(x_i, y_i)와 바로 하위 비트(x_{i-1}, y_{i-1})의 값에 의해서 가산된다.

두 단계 변형부호화자리수 연산의 진리표는 표 1에 나타내었다. 표 1(a)는 첫 번째 단계, 1(b)는 두 번째 단계 진리표이다. 여기에서 'any possible combination'은

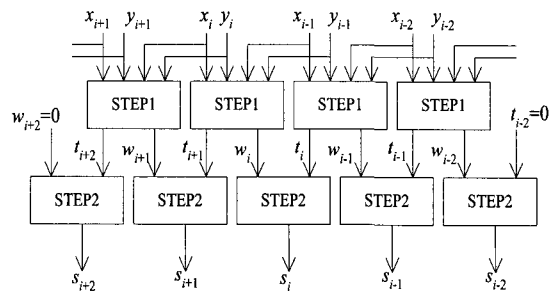


그림 1. 두 단계 변형부호화자리수 가산기의 블록도 Fig. 1. Block diagram for a two-stage MSD adder.

바로 하위 비트(x_{i-1}, y_{i-1})가 두 변형부호화자리수의 조합으로 가능한 모든 9가지 경우를, 'both positive'는 바로 하위 비트가 (0, 1), (1, 0), (1, 1)인 3가지 경우, 'otherwise'는 바로 하위 비트가 그 밖의 (0, 0), (1, $\bar{1}$), ($\bar{1}$, 1), (0, $\bar{1}$), ($\bar{1}$, 0), ($\bar{1}$, $\bar{1}$)인 6가지의 경우를 표현한다.

표 1. 변형부호화자리수 가산을 위한 (a) 첫 번째 단계, (b) 두 번째 단계의 기호치환 규칙 진리표

Table 1. Truth table of symbolic substitution rules for (a) the first step, (b) the second step for MSD addition.

Input digits		Input digits at the Next lower - order position	t_{i+1}	w_i
x_i	y_i	x_{i-1} y_{i-1}		
1	1	any possible combination	1	0
1	0	both positive	1	$\bar{1}$
1	0	otherwise	0	1
0	1	both positive	1	$\bar{1}$
0	1	otherwise	0	1
0	0	any possible combination	0	0
0	$\bar{1}$	both positive	0	$\bar{1}$
0	$\bar{1}$	otherwise	$\bar{1}$	1
$\bar{1}$	0	both positive	0	$\bar{1}$
$\bar{1}$	0	otherwise	$\bar{1}$	1
$\bar{1}$	1	any possible combination	0	0
1	$\bar{1}$	any possible combination	0	0
$\bar{1}$	$\bar{1}$	any possible combination	$\bar{1}$	0

(a)

t_i	w_i	s_i
1	0	1
0	1	1
1	$\bar{1}$	0
0	0	0
$\bar{1}$	1	0
$\bar{1}$	0	$\bar{1}$
0	$\bar{1}$	$\bar{1}$

(b)

표 1(a)에서 필요한 기호치환 규칙 수는 현재 비트 (x_i, y_i)가 (1, 1), (0, 0), (1, $\bar{1}$), ($\bar{1}$, 1), ($\bar{1}$, $\bar{1}$)

인 경우 하위 비트와 상관없이 기호치환되므로 5가지의 기호치환 규칙이, 현재 비트 (x_i, y_i)가 (0, 1), (1, 0), (0, $\bar{1}$), ($\bar{1}$, 0)인 경우 하위 비트의 9가지 모든 경우에 대해 각각 기호치환되므로 36가지의 기호치환 규칙이 필요하다. 표 1(b)에서 필요한 기호치환 규칙 수는 두 번째 단계의 현재 비트 (t_i, w_i)에 대한 기호치환 규칙 수가 7가지이다. 이 기호치환을 병렬로 적용하는 과정인 그림 2에서는 첫 번째 단계 기호치환의 입력패턴 (x_0, y_0)는 (t_1, w_0)로, (x_1, y_1)는 (t_2, w_1)로, (x_2, y_2)는 (t_3, w_2)로, (x_3, y_3)는 (t_4, w_3)로 각각 치환되고 동일한 방법으로 두 번째 단계 기호치환됨을 나타내었다. 두 변형부호화자리수의 가산 예인 그림 3에서는 첫 번째 단계 기호치환의 입력패턴 (1, $\bar{1}$)는 'any possible combination'인 경우임으로 (0, 0)로 (1, 0)은 'otherwise'인 경우임으로 (0, 1)로, (0, 1)은 'both positive'인 경우임으로 (1, $\bar{1}$)로, (0, $\bar{1}$)는 'both positive'인 경우임으로 (0, $\bar{1}$)로 각각 기호치환되고 두 번째 단계 기호치환의 입력패턴 (0, 0)은 0으로 (0, 1)은 1로, (0, $\bar{1}$)는 $\bar{1}$ 로, (1, $\bar{1}$)는 0으로, (0, 0)은 0로 기호치환됨을 나타내었다. 이로부터 두 변형부호화자리수의 가산은 자리수에 관계없이 두 단계의 기호치환에 의해서 병렬로 완전히 수행됨을 알 수 있다. 따라서 두 단계 변형부호화자리수 연산에서

	x_3	x_2	x_1	x_0
	y_3	y_2	y_1	y_0
	t_4	t_3	t_2	t_1
	0	w_3	w_2	w_1
	s_4	s_3	s_2	s_1
				0
				w_0

그림 2. 두 단계 변형부호화자리수 가산을 위한 기호치환 규칙들의 병렬적용

Fig. 2. Parallel application of the symbolic substitution rules for two-stage MSD addition.

	0	0	1	1	(3 ₁₀)
	$\bar{1}$	1	0	$\bar{1}$	(-5 ₁₀)
	0	1	0	0	(8 ₁₀)
	0	$\bar{1}$	$\bar{1}$	1	(-10 ₁₀)
	0	0	$\bar{1}$	1	(-2 ₁₀)

그림 3. 기호치환에 의한 두 변형부호화자리수의 가산 예 Fig. 3. An example of addition of two MSD representations by symbolic substitution.

각 비트를 부호화하고 기호치환을 위해서는 첫 번째 단계의 기호치환 규칙 수는 41가지, 두 번째 단계의 기호치환 규칙 수는 7가지가 되고 그에 따른 기호치환의 인식과 치환이 필요하다.

2. 결합 공간 부호화 방법

이 방법은 입력패턴을 그림 4(a)와 같이 각각의 비트를 3×3셀로 부호화하여 두 변형부호화자리수의 조합으로 가능한 모든 9가지의 패턴을 표현할 수 있다. 이는 $a_i = 1, b_i = 1$ 일 때 두 변형부호화자리수를 직렬로 연결하여 3×3셀에서 한 셀만이 밝고 나머지 셀은 어둡게 나타낼 수 있다. 예로써 그림 4(b)에서와 같이 두 입력 $A = 0011(3_{10})$ 과 $B = \bar{1}10\bar{1}(-5_{10})$ 를 직렬 연결하고 $a_i = 1, b_i = 0$ 을 인식하기 위해 마스크를 직렬 연결하여 기존의 기호치환 인식단계에서 필요한 공간 쉬프트 연산, 중첩 연산, NOR-문턱치 연산 등의 부가적인 수행 없이 마스크의 사용으로 인식을 하여 공간적인 시스템의 크기를 줄일 수 있다.

그림 4(b)에서 입력패턴에는 두 입력 A와 B의 직렬 연결로 각각의 비트에는 3×3셀의 형태로 상이 나타나고, 마스크를 통과한 스크린에는 인식하고자 하는 투영된 상이 나타난다. 그림 4(b)의 스크린에는 하위 두 번

째 3×3셀의 한 셀에 밝은 상이 나타나고 나머지 3개의 3×3셀들은 어둡게 되어 인식하고자 하는 $a_i = 1, b_i = 0$ 를 인식한다. 동일한 방법으로 변형부호화자리수연산에서 필요한 9가지의 모든 패턴을 마스크의 사용으로 간단히 인식할 수 있다.

3. 입력 그룹화

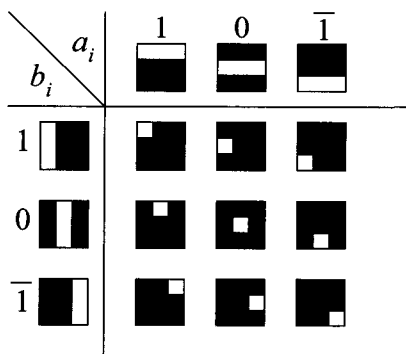
변형부호화자리수 연산에서 동일한 가산결과를 갖는 입력패턴들을 동일 군으로 하여 표 2에서와 같이 9가지의 입력패턴을 5개의 군으로 전처리하여 새로운 대표 영상인 기준패턴으로 표현하였다.

표 2에서 I 군과 V 군은 입력패턴 (1, 1)과 ($\bar{1}, \bar{1}$) 각각이 다른 군들과 서로 다른 치환 출력을 가지므로 입력패턴을 대표 영상으로, II 군에서는 (0, 1)과 (1, 0)가 동일한 치환 출력을 가지므로 대표 영상을 (1, 0)으로, III 군에서는 (0, 0), (1, $\bar{1}$), ($\bar{1}, 1$)가 동일한 기호치환 출력을 가지므로 대표영상을 (0, 0)으로, IV 군에서는 (0, $\bar{1}$), ($\bar{1}, 0$)가 동일한 기호치환 출력을 가지므로 대표 영상을 (0, $\bar{1}$)로 하여 9가지의 입력패턴이 5가지의 대표 영상으로 그룹화시킨 것을 나타내었다. 이는 입력패턴을 대표 영상으로 그룹화하여 기존의 변형부호화자리수 가산에서 필요한 기호치환 규칙 수를 줄일 수 있음을 보인다.

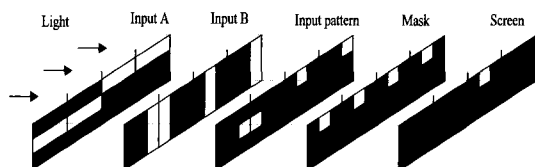
표 2. 동일한 가산결과와 그룹화

Table 2. Grouping of the same addition result.

Group	Input (a_i, b_i)	Reference (x_i, y_i)
I	(1, 1)	(1, 1)
II	(1, 0) (0, 1)	(1, 0)
III	(0, 0) (1, $\bar{1}$) ($\bar{1}, 1$)	(0, 0)
IV	($\bar{1}, 0$) (0, $\bar{1}$)	(0, $\bar{1}$)
V	($\bar{1}, \bar{1}$)	($\bar{1}, \bar{1}$)



(a)



(b)

그림 4. (a) 결합 공간 부호화 방법과 (b) 직렬 연결
Fig. 4. (a) Joint spatial encoding method (b) Its serial connection.

4. 제안한 기호치환 규칙의 진리표

두 단계 변형부호화자리수 연산에서 첫 번째 단계에서의 중간 올림수와 중간 합인 t_{i+1} 과 w_i 는 현재 비트 (x_i, y_i)과 하위 비트 (x_{i-1}, y_{i-1})의 값에 의해서 가산된다. 그러므로 기존의 첫 번째 단계 기호치환 규칙 수는

41가지이지만 입력 동일화시킨 표 2의 기준패턴에서는 I, III, V군은 하위 비트와 상관없이 동일한 연산결과를 가지므로 II군의 (1, 0)와 IV군의 (0, 1)만 하위 비트와 비교하면 된다. 그래서, 표 3 에서와 같이 (x_i, y_i) 와 하위 비트 (x_{i-1}, y_{i-1}) 비교를 위한 새로운 대표 영상 Y를 만들어 기준패턴과 인식 마스크와 직렬 연결시켜 비교할 수 있도록 하였다. 여기에서 대표 영상 Y는 기준패턴이 (1, 1), (1, 0)인 경우와 (0, 0), (0, 1), (1, 1)인 두 가지 경우로 그룹화해서 각각 (1, 0)와 (0, 1)의 위치로 대표 영상을 만든 것이다. 이는 기준패턴과 인식 마스크와 대표 영상의 직렬 연결로 인식할 수 있으므로 첫 번째 단계 기호치환에 필요한 규칙 수를 7가지로 줄일 수 있다.

표 3. 하위 비트 비교를 위한 그룹화
Table 3. Grouping of the next lower-order position comparison.

Group	Reference X	Input digits at the Next lower-order position x_{i-1} y_{i-1}	Reference Y
II	(1, 0)	(1, 1)	Y1 (1, 0)
		(1, 0)	
		(0, 0)	Y2 (0, 1)
		(0, 1)	
IV	(0, 1)	(1, 1)	Y3 (1, 0)
		(1, 0)	
		(0, 0)	Y4 (0, 1)
		(0, 1)	
		(1, 1)	

표 3에서 Y1은 하위 비트 (x_{i-1}, y_{i-1}) 가 (1, 1)과 (1, 0)일 때 대표 영상 Y를 좌측으로 3셀 만큼 쉬프트하고, Y2는 하위 비트 (x_{i-1}, y_{i-1}) 가 (0, 0), (0, 1), (1, 1)일 때 대표 영상 Y를 좌측으로 4셀, 위로 1셀 쉬프트하고, Y3는 하위 비트 (x_{i-1}, y_{i-1}) 가 (1, 1)과 (1, 0)일 때 대표 영상 Y를 좌측으로 2셀, 아래로 1셀 쉬프트하고, Y4는 하위 비트 (x_{i-1}, y_{i-1}) 가 (0, 0), (0, 1), (1, 1)일 때 대표 영상 Y를 좌측으로 3셀 쉬프트하여 대표 영상을 만든 것이다. 표 2과 3에 대한 광 실험 구성도는 그림 5에 나타내었다.

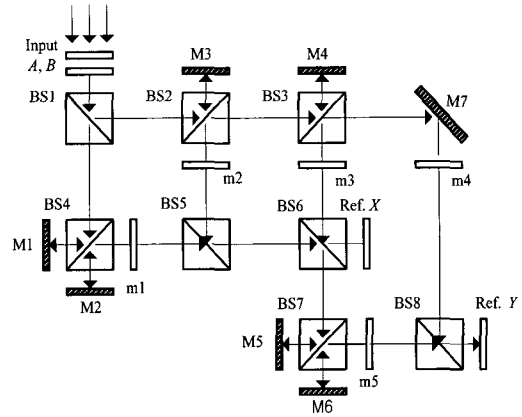


그림 5. 표 2와 3의 광 구성도
Fig. 5. Optical diagram of Table 2 and 3.

표 4. 그림 5에서 거울의 쉬프트 정도
Table 4. The distance of shift for mirrors in the Fig. 5.

Mirror	Shift
M1	right 1, up 1
M2	reflection
M3	left 1, down 1
M4	reflection
M5	right 1
M6	reflection
M7	up 1

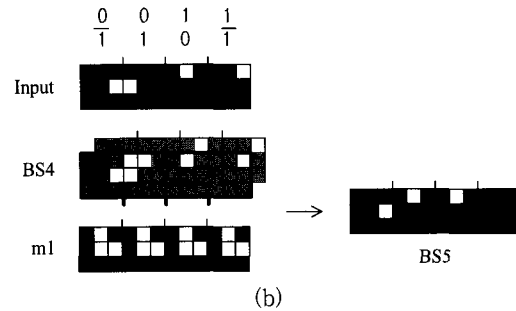
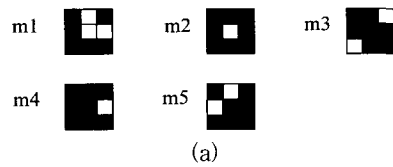


그림 6. (a) 그림 5의 마스크와 (b) 그의 예
Fig. 6. (a) Masks, and (b) example of Fig. 5.

그림 5에서 BS는 광속 분리기, M은 거울, m은 마스크를 나타낸다. 각각의 거울은 쉬프트와 반사를 통해 상을 중첩시키고 마스크를 뚫으로써 원하지 않는 상을 차단한다. 이 때 거울로 이동해야 할 상의 쉬프트 정도는 표 4에서와 같고 대응하는 마스크는 그림 6(a)에 나타내었다. 그림 6(b)는 예로 BS4를 입력패턴이 통과해서 거울1과 거울2로 반사된 후 m1으로 마스크한 상을 나타내었다.

그림 7(a)에서는 부호화된 입력 A와 B의 직렬연결로 발생하는 모든 9가지의 입력패턴에 대해서 그림 5의 광 구성도를 통과한 후 표 2의 기준패턴 X와 같이 5가지로 줄일 수 있음을 나타내었다. 그림 7(a)에서 왼쪽의 각각의 밝은 셀들은 입력패턴의 직렬연결로 나타나는 모든 상을 나타내고 오른쪽의 밝은 셀들은 대표 영상으로 나타나는 모든 상을 나타내었다. 기준패턴 X는 5가지로, 기준패턴 Y는 9가지의 모든 입력패턴에서 $(x_i, y_i) = (1, 0), (0, 1), (1, 1)$ 인 경우를 $(1, 0)$ 의 패턴으로, (x_i, y_i) 의 나머지 6가지 경우를 $(0, \bar{1})$ 의 패턴으로 대표 영상을 만들었다. 그림 7(b)는 대표 영상을 만들기 위한 전처리 예로서 두 입력 $A = 0\ 0\ 1\ 1$ (3_{10})과 $B = \bar{1}\ 1\ 0\ \bar{1}$ (-5_{10})가 그림 5의 광 구성도를 통과한 후의 상을 나타내었다. 그림 7(b)의 기준패턴 X에서는 $(a_i, b_i) = (0, \bar{1})$ 는 $(x_i, y_i) = (0, \bar{1})$ 로, $(a_i, b_i) = (0, 1), (1, 0)$ 이 $(x_i, y_i) = (1, 0)$ 으로, $(a_i, b_i) = (1,$

$\bar{1})$ 는 $(x_i, y_i) = (0, 0)$ 으로 표 2에서와 같이 대표 영상을 가지고, 기준패턴 Y에서는 $(a_i, b_i) = (0, \bar{1})$ 는 $(x_i, y_i) = (0, \bar{1})$ 로, $(x_i, y_i) = (0, 1), (1, 0)$ 의 경우는 $(1, 0)$ 으로, $(a_i, b_i) = (1, \bar{1})$ 는 $(x_i, y_i) = (0, \bar{1})$ 로 표 3에서와 같이 대표 영상을 가진다.

제안한 첫 번째 단계 기호치환 진리표는 표 5에 나타내었다. 제안한 진리표를 사용하여 기존의 41가지 기호치환 규칙 수를 전처리 과정을 통해 7가지 기호치환 규칙 수로 줄였다. 표 5에서 'dont' care'는 대표 영상 Y의 직렬 연결없이 인식 마스크와 직렬 연결만으로 (x_i, y_i) 가 (t_{i+1}, w_i) 의 각각으로 치환되고, (x_i, y_i) 가 $(1, 0)$ 일 때는 $(1, 0)$ 에 대한 인식 마스크와 대표 영상 Y1를 직렬로 연결하여 투영된 상을 $(t_{i+1}, w_i) = (1, \bar{1})$ 로 치환시키고, $(1, 0)$ 에 대한 인식 마스크와 대표 영상 Y2를 직렬로 연결하여 투영된 상을 $(t_{i+1}, w_i) = (0, 1)$ 로 치환시키고, (x_i, y_i) 가 $(0, \bar{1})$ 일 때는 $(0, \bar{1})$ 에 대한 인식 마스크와 대표 영상 Y3를 직렬로 연결하여 투영된 상을 $(t_{i+1}, w_i) = (0, \bar{1})$ 로 치환시키고, $(0, \bar{1})$ 에 대한 인식 마스크와 대표 영상 Y4를 직렬로 연결하여 투영된 상을 $(t_{i+1}, w_i) = (\bar{1}, 1)$ 로 치환시킨다.

표 5. 제안한 첫 번째 단계 기호치환 규칙 진리표
Table 5. Proposed truth table of symbolic substitution rules for the first step MSD addition.

Reference $x_i\ v_i$	Reference Y	$t_{i+1}\ w_i$
1 1	dont' care	1 0
1 0	Reference Y1	1 $\bar{1}$
1 0	Reference Y2	0 1
0 0	dont' care	0 0
0 $\bar{1}$	Reference Y3	0 $\bar{1}$
0 $\bar{1}$	Reference Y4	$\bar{1}$ 1
$\bar{1}\ \bar{1}$	dont' care	$\bar{1}$ 0

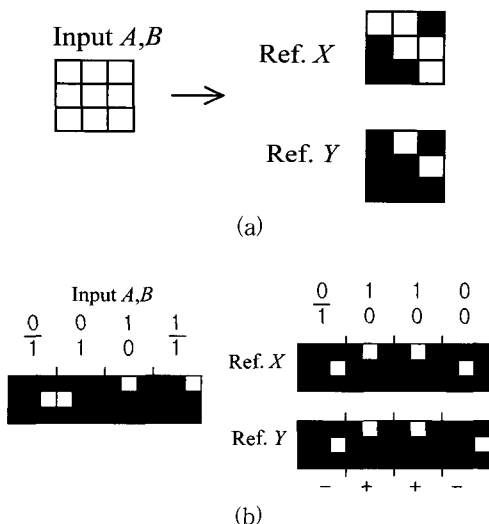


그림 7. 표 2의 (a) 패턴치환 (b) 예
Fig. 7. (a) Substitution of input pattern, and (b) example of Table 2.

III. 변형부호화자리수 가산기 구현

1. 첫 번째 단계 기호치환

기준패턴 X와 Y를 이용하여 첫 번째 단계 기호치환을 수행함으로써 표 5에서 같이 기호치환 규칙 수를 7가지로 단순화시킬 수 있다. 그에 대한 구성도^[9]는 그

림 8에 나타내었다. 그림 8에서 패턴 분리는 광속 분리를 사용하고 인식은 단지 마스크와 대표 영상인 기준패턴 Y 를 직렬 연결하고 치환은 광속 분리기와 거울로 상을 쉬프트 하여 수행한다. 그림 8에 사용한 마스크는 그림 9(a)에 나타내었다. 그림 9(a)는 기호치환의 인식 단계에 공간적인 시스템의 크기를 줄이기 위해 대표 영상에 각각의 마스크를 두어 인식을 간단히 수행하기 위한 것으로 마스크 1은 $(x_i, y_i) = (1, 1)$ 를, 마스크 2는 $(x_i, y_i) = (1, 0)$ 를, 마스크 3은 $(x_i, y_i) = (0, \bar{1})$ 를, 마스크 4는 $(x_i, y_i) = (0, 0)$ 를, 마스크 5는 $(x_i, y_i) = (\bar{1}, \bar{1})$ 를 인식하기 위해 사용하였다.

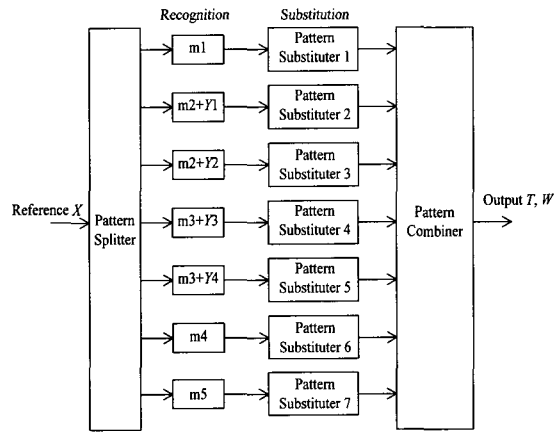


그림 8. 첫 번째 단계의 기호치환 구성도
Fig. 8. Schematic diagram of the first-step MSD symbolic substitution.

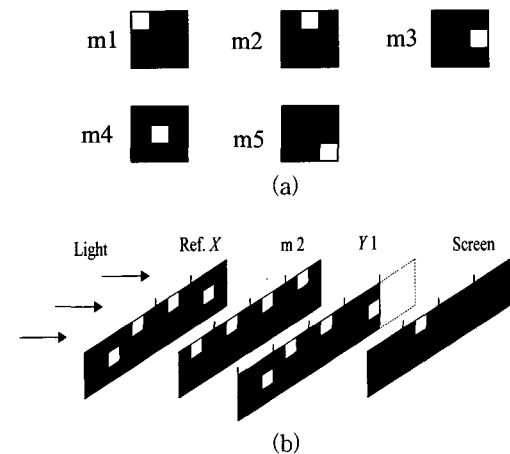


그림 9. 첫 번째 단계 기호치환의 (a) 마스크, (b)인식의 예
Fig. 9. (a) Masks, (b) example of recognition for the first-step MSD symbolic substitution.

그림 9(b)는 인식 단계의 구체적인 예로써 마스크 2와 대표 영상인 기준패턴 $Y1$ 을 직렬 연결하여 기준패턴 X 의 입력 영상에서 $(x_i, y_i) = (1, 0)$ 의 위치를 인식하기 위한 실험도로 스크린에 투영된 상이 하위 두 번째 비트에서 밝은 상이 나타나고 이는 두 번째 비트에서 $(x_i, y_i) = (1, 0)$ 이 있음을 인식하고 표 5에서와 같이 이를 $(t_{i+1}, w_i) = (1, \bar{1})$ 로 첫 번째 단계 기호치환시킨다. 동일한 방법으로 나머지 첫 번째 단계 기호치환에 인식과 치환 규칙을 적용하여 결과를 얻는다.

그림 10(a)의 T 와 W 는 첫 번째 단계 기호치환을 통하여 치환된 상이 중첩되어 나타난 상이고 이 결과를 패턴 조합을 통하여 중첩시킨 후 두 번째 단계를 수행

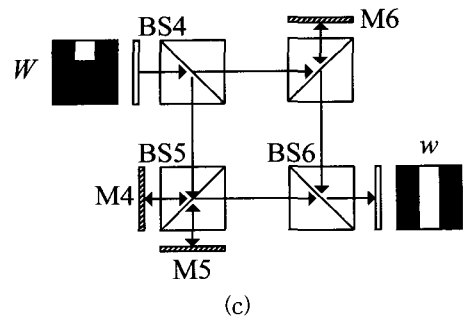
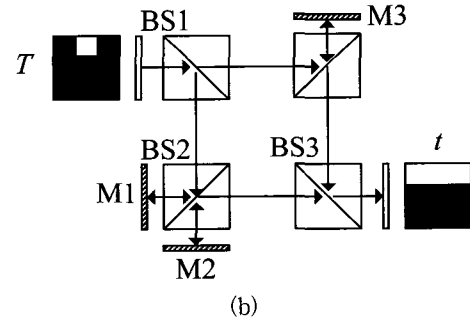
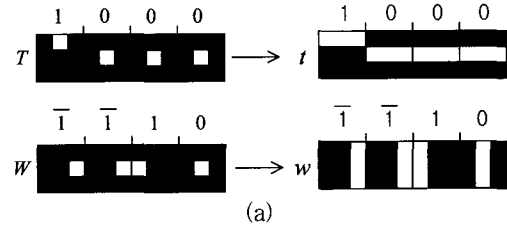


그림 10. 첫 번째 단계 기호치환의 (a) 패턴 조합과 (b),(c) 광 구성도
Fig. 10. (a) Pattern combinations, (b) and (c) optical diagram of the first-step MSD symbolic substitution.

하기 위한 입력패턴으로 치환시켜 주어야 한다. 이는 그림 10(a)의 왼쪽 패턴 T 와 W 에 광속 분리기와 거울을 사용하여 복사본 3개를 만들어 중첩하여 오른쪽 형태 t 와 w 로 치환할 수 있다. 여기에서 패턴 T 는 가로 방향으로 3개의 쉬프트한 복사본들을 중첩시키고 패턴 W 는 세로방향으로 중첩시켜 나타낸다. 그에 대한 광 구성도는 그림 10(b)와 (c)에 나타내었다. 여기에서 거울로 이동해야 할 영상의 쉬프트 정도는 표 6에서와 같다. 첫 번째 단계의 결과인 t_i 와 w_i 는 두 번째 단계의 입력패턴으로 사용한다.

표 6. 그림 10(b)와 (c) 거울의 쉬프트 정도
Table 6. The distance of shift for mirrors in the Fig. 10(b) and (c).

Mirror	Shift
M1	right 1
M2	reflection
M3	left 1
M4	up 1
M5	reflection
M6	down 1

2. 두 번째 단계 기호치환

첫 번째 단계 기호치환에서는 올림수를 발생시키는 $(x_i, y_i) = (1, 1), (\bar{1}, \bar{1})$ 가 두 번째 단계에서는 제외되어 7가지 입력패턴만 고려하면 된다. 따라서 가산 결과가 동일한 입력패턴들을 대표 영상으로 만드는 방법만으로 인식 및 치환 과정에서 필요한 여러 가지 광학적 연산인 공간 쉬프트 연산등의 수행없이 연산할 수 있다.

두 단계 변형부호화자리수 연산에서 7가지 기호치환 규칙이 동일군 동시인식을 통해 3가지의 대표 영상 Z 로 만들고 이를 패턴조합시켜 간단히 두 번째 단계 변형부호화자리수 기호치환을 수행한다. 이에 대한 진리표는 표 7에 나타내었다. 그림 11는 표 7의 7가지 두 번째 단계 입력패턴 (t_i, w_i) 가 3가지의 대표 영상 Z 로 그룹화시켜 3×3 셀에서 나타나는 상이다. 즉 입력패턴 $(t_i, w_i) = (1, 0), (0, 1)$ 을 $(0, 1)$ 의 위치로 대표 영상 Z 를 만들어 1로 인식하고, 입력패턴 $(t_i, w_i) = (0, 0), (\bar{1}, 1), (1, \bar{1})$ 을 $(0, 0)$ 의 위치로 대표 영상 Z 를 만들어 0으로 인식하고, 입력패턴 $(t_i, w_i) = (\bar{1}, 0), (0, \bar{1})$ 를 $(0, \bar{1})$ 로 대표 영상 Z 를 만들어 $\bar{1}$ 로 인식한다.

표 7. 두 번째 단계 기호치환을 위한 그룹화
Table 7. Grouping for the second-step MSD symbolic substitution.

Input (t_i, w_i)	Reference Z	s_i
$(1, 0)$ $(0, 1)$	$(0, 1)$	1
$(1, \bar{1})$ $(0, 0)$ $(\bar{1}, 1)$	$(0, 0)$	0
$(\bar{1}, 0)$ $(0, \bar{1})$	$(0, \bar{1})$	$\bar{1}$

그림 12(a)는 입력 t 와 w 를 직렬 연결시킨 상이 광속 분리기, 거울과 마스크를 통과하여 두 번째 단계 변형부호화자리수 가산을 수행하는 광 구성도이다. 그림 12(a)에서 마스크 1을 통과한 상은 입력패턴 $(t_i, w_i) = (\bar{1}, 1), (\bar{1}, 0)$ 와 입력패턴 $(t_i, w_i) = (0, 0), (0, \bar{1})$ 가 거울 1과 2를 통해 중첩되고 이 상이 마스크 2를 통과한 상은 반전된 입력패턴 $(t_i, w_i) = (1, 0), (1, \bar{1})$ 와 반전된 입력패턴 $(t_i, w_i) = (0, 0), (\bar{1}, 0)$ 가 거울 3과 4를 통해 중첩되고 이 상이 마스크 2를 통과한 상은 서로 반전되므로 동일한 마스크를 사용한다. 거울의 쉬프트 정도는 표 8에, 마스크는 그림 12(b)에 나타내었다. 그림 13은 두 번째 단계 기호치환의 예이다. 여기에서 입력패턴 t 와 w 를 직렬 연결하여 인식된 값을 두 번째 단계 기호치환을 하여 결과값을 얻고 첫 번째 단계 기호치환의 입력패턴과 동일한 값으로 치환하기위해 첫 번째 단계에서의 패턴조합과 동일한 광 구성도를 통과시켜 결과 값을 나타낸 예이다.

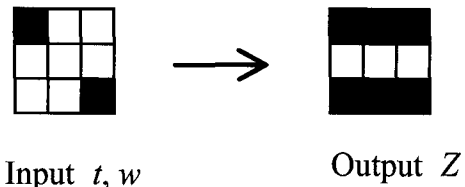


그림 11. 두 번째 단계 변형부호화자리수 가산의 패턴 치환

Fig. 11. Pattern substitution of the second-step MSD symbolic substitution.

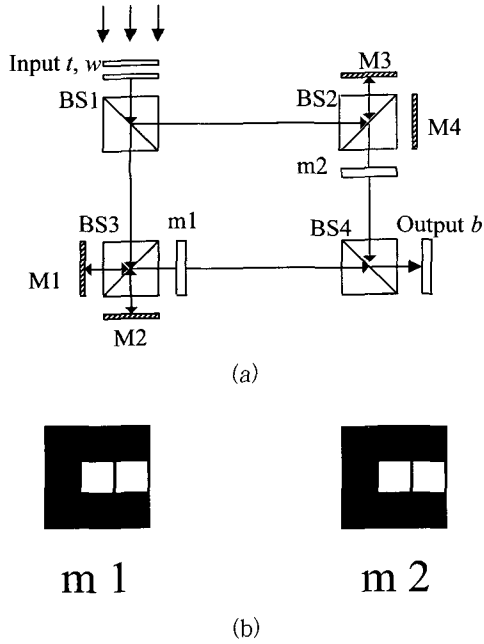


그림 12. 두 번째 단계 기호치환의 (a) 광 구성도와 (b) 그의 마스크
 Fig. 12. (a) Optical diagram, (b) its mask of the second-step MSD symbolic substitution.

표 8. 그림 12(a) 거울의 쉬프트 정도
 Table 8. The distance of shift for mirrors in the Fig. 12(a).

Mirror	Shift
M1	right 1, up 1
M2	reflection
M3	right 1, down 1
M4	reflection

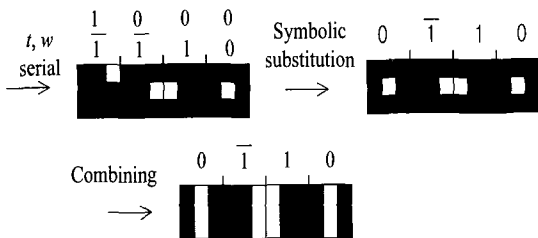


그림 13. 두 번째 단계 기호치환의 예
 Fig. 13. Example of the second-step MSD symbolic substitution.

3. 전체적인 구성도

두 단계 변형부호화자리수 기호치환 가산기의 전체적인 구성도는 그림 14에 나타내었다. 입력패턴 A와 B의 직렬 연결된 상이 입력 그룹화로 전처리되어 대표영상인 기준패턴 (x_i, y_i)로 된다. 이 기준패턴이 첫 번째 단계 기호치환과 두 번째 단계 기호치환의 연속적인 두 단계로 수행되어 결과 값을 얻는다.



그림 14. 두 단계 변형부호화자리수 기호치환의 전체적인 구성도
 Fig. 14. Schematic diagram of two-stage MSD symbolic substitution.

V. 실험결과 및 고찰

본 장에서는 4비트로 구성된 입력 데이터를 사용하여 제안한 변형부호화자리수 가산기의 구현과정을 광 실험하고 이 결과들을 고찰한다. 각 경우의 실험 데이터는 앞장에서 예제로 제시된 입력 데이터로서 두 입력 $A = 0011 (3_{10})$ 과 $B = \bar{1}10\bar{1} (-5_{10})$ 를 사용하였다.

두 입력 A 와 B 를 각각 부호화하고 이를 직렬 연결하여 카메라로 찍은 영상은 그림 15에서와 같다. 그림 15의 실험결과 영상에 있는 정사각형 모양의 실선들은 시뮬레이션 결과와 비교하기 위해 그려 넣은 것이다. 이 입력패턴을 그림 5의 광 구성도를 통과한 후 치환된 실험결과를 그림 16(a)와 (b)에 나타내었다. 그림 16은 입력패턴을 입력 그룹화하여 기준패턴으로 치환된 실험결과이다. 이는 그림 7(b)의 기준패턴으로 치환된 시뮬레이션 결과와 동일하다. 여기서 입력패턴과 마스크는 마이크로 필름을 사용하였다. 그림 16(a)의 화살표는 입력패턴 $(a_i, b_i) = (1, \bar{1})$ 가 기준패턴 $X = (0, 0)$ 로 치환되어 입력 그룹화된 실험결과이다. 나머지 3×3 셀의 상위 비트 (a_i, b_i) 도 동일하게 그룹화되었다. 그림 16(b)의 화살표는 입력패턴 $(a_i, b_i) = (1, \bar{1})$ 이 기준패턴 $Y = (0, \bar{1})$ 로 그룹화된 실험결과이다. 나머지 상위 비트도 동일하게 그룹화되었다. 그림 17(a)는 그림 10(b), 그림 17(b)는 그림 10(c)의 광 구성도를 통과한 후 중첩된 상의 실험결과이다. 이는 그림 10(a)의 t 와 w 로 치환된 결과와 동일하다. 그림 17에서 왜곡된

사각형의 영상은 빛의 회절 때문인 것으로 사료된다. 그러나 출력 영상은 빛의 형태에 상관없이 세기만 고려되므로 실험결과를 얻는데 영향을 주지 않았다.

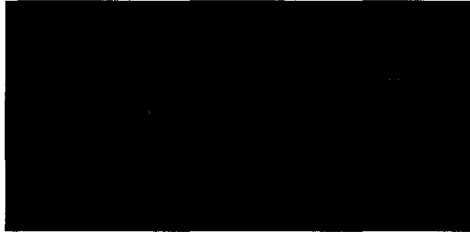
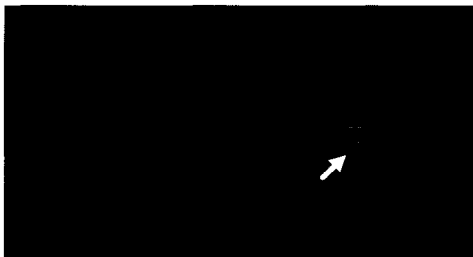
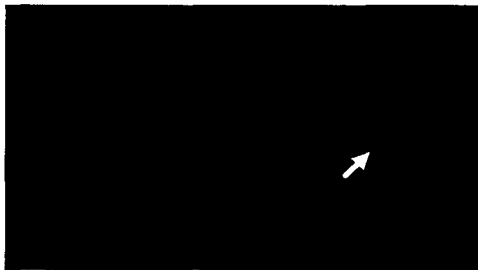


그림 15. 두 입력패턴의 직렬 연결된 상
Fig. 15. Serial connection of two input pattern.



(a)

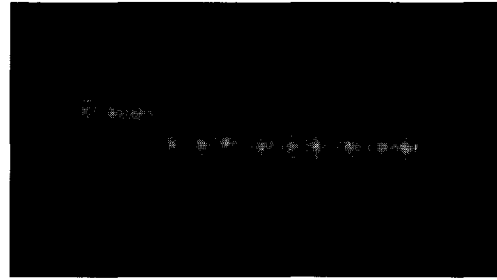


(b)

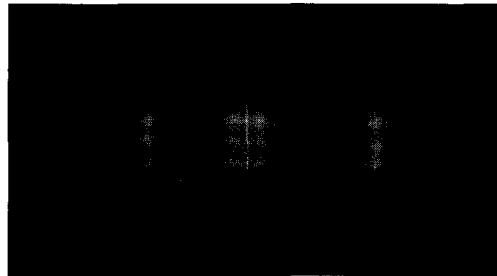
그림 16. 동일한 가산결과와 하위 비트 비교를 위한 그룹화된 실험결과
Fig. 16. Experimental results of grouping for the same result and next order-order position comparison.

그림 18은 그림 12(a)의 두 번째 단계 기호치환 시스템을 사용하여 얻은 최종 실험결과이다. 그림 18의 화살표는 그림 12(a)에서 마스크 1과 마스크 2를 통과한 상들이 중첩된 것이므로 상위 비트 결과 상보다 밝게 나타난다.

제안한 광 가산 시스템은 실험 소자의 크기로 인하여 전체 시스템이 다소 크지만 차후 집적 광학 소자 기술이 개발된다면 상대적으로 크기를 줄일 수 있을 것이다



(a)



(b)

그림 17. 첫 번째 단계 기호치환의 패턴 조합의 실험 결과
Fig. 17. Experimental results of pattern combinations for the first-step MSD symbolic substitution.

그림 17. 첫 번째 단계 기호치환의 패턴 조합의 실험 결과
Fig. 17. Experimental results of pattern combinations for the first-step MSD symbolic substitution.

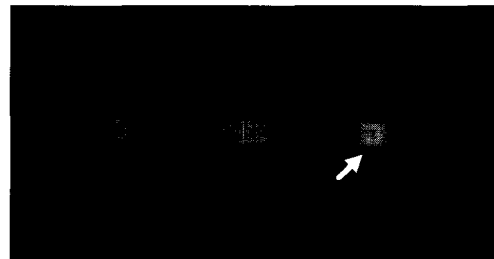


그림 18. 두 번째 단계 기호치환의 실험 결과
Fig. 18. Experimental results of the second-step MSD symbolic substitution.

VI. 결 론

본 논문에서는 두 단계 변형부호화자리수 가산을 위해 9가지의 입력패턴에 대하여 가산결과가 동일한 입력패턴들을 대표 영상으로 만들고 동일군에 해당하는 입력들에 대해서 같은 치환출력을 갖게 하는 새로운 기호치환 규칙을 제안하였다. 제안한 기호치환 규칙에서는 두 단계 변형부호화자리수 연산의 첫 번째 단계 기호치환에서 필요한 기호치환 규칙 수 41가지를 7가

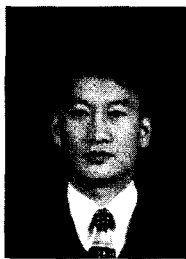
지로 줄였다. 두 번째 단계 기호치환에서는 동일한 가산결과를 동일군으로 분류하는 단계만으로 인식과 치환이 가능하여 인식과 치환단계에서 필요한 공간 쉬프트 연산등의 부가적인 수행없이 결과를 얻었다. 또한 결합 공간 부호화 방법을 사용하여 기호치환의 인식 단계에서 필요한 여러 가지 광학적 연산을 대표 영상과 마스크의 직렬 연결로 대체하여 간단히 인식할 수 있으므로 광 시스템의 크기를 줄였다.

본 논문에서는 제안한 광 가산기의 구현과정을 4비트로 구성된 입력 데이터를 사용하여 광 실험을 통해 확인하였다. 광 실험에 필요한 입력 데이터와 대표영상을 필름에 기록하였으나, 실시간적으로 기록할 수 있는 공간 광 변조기를 필름 대신 사용한다면 실시간 처리가 가능한 광 시스템을 구현할 수 있을 것이다. 또한 기존의 전자부품들을 대체할 수 있는 광 부품들이 개발된다면 광 컴퓨터는 실현 가능하고, 제안한 시스템도 이 컴퓨터 구성에 이용할 수 있을 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Takaki and H. Ohzu, "Optical half-adder using wavefront superposition," *Appl. Opt.*, vol. 29, pp. 4351~4358, 1990.
- [2] G. A. De Biase and A. Massini, "Redundant binary number representation for an inherently parallel arithmetic on optical computers," *Appl. Opt.*, vol. 32, pp. 659~664, 1993.
- [3] 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.
- [4] K-H. Brenner, A. Huang, and N. Streibl, "Digital optical computing with symbolic substitution," *Appl. Opt.*, vol. 25, pp. 3054~3060, 1986.
- [5] K-H Brenner, "New implementation of symbolic substitution logic," *Appl. Opt.*, vol. 25, pp. 3061~3064, 1986.
- [6] H. Huang, M. Itoh, and T. Yatagai, "Classified one-step modified signed-digit arithmetic and its optical implementation," *Opt. Eng.*, vol. 35, pp. 1134~1140, 1996.
- [7] R. P. Bocker, B. L. Drake, M. E. Lasher, and T. B. Henderson, "Modified signed-digit addition and subtraction using optical symbolic substitution," *Appl. Opt.*, vol. 25, pp. 2456~2457, 1986.
- [8] S. Barua, "Single-stage optical adder/subtractor," *Opt. Eng.*, vol. 30, pp. 265~270, 1991.
- [9] H-I 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, pp. 2113~2125, 1990.

저 자 소 개



徐東煥(正會員)
1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1999년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1999년 3월~현재 : 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. <주관심분야> 광 컴퓨팅, 광 패턴인식, 광 보안, 홀로그래프 및 광 메모리

金秀重(正會員) 第33卷 B編 第7號 參照
현재 : 경북대학교 전자전기공학부 정교수

金鍾允(正會員) 第38卷 SD編 第1號 參照

현재 : 경동대학교 정보통신공학부 전임강사

朴世駿(正會員) 第36卷 T編 第1號 參照

현재 : 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중

曹雄鎬(正會員) 第35卷 D編 第10號 參照

현재 : 대구공업대학 전자계산과 부교수

盧德洙(正會員) 第35卷 D編 第10號 參照

현재 : 경일대학교 전자정보공학과 교수