

Joint Spatial Encoding 방법을 이용한 변형부호화자리수 가산기 구현

서동환* 김종윤* 박세준* 조용호** 김수중*

* 경북대학교 전자공학과

** 대구공업대학 전자계산과

dhseo@palgong.kyungpook.ac.kr

Implementation of the modified signed digit number (MSD) adder using joint spatial encoding method

Dong-Hoan Seo* Jong-Yun Kim* Se-Joon Park* Woong-Ho Cho** Soo-Joong Kim*

* Dept. of Electronic Engineering, Kyungpook National University

** Dept. of Computer Science, Taegu Technical College

Abstract

An optical adder for a modified signed-digit(MSD) number system using joint spatial encoding method is proposed. In order to minimize the numbers of symbolic substitution rules, nine input patterns were divided into five groups of the same addition results. For recognizing the input reference patterns, masks and reference patterns without any other spatial operations are used. This adder is implemented by smaller system in size than a conventional adder.

I. 서 론

광 병렬 가산기는 광컴퓨터 연산처리장치의 여러 연산 소자 중에서 중요한 기본 요소 중의 하나이다. 따라서 광 병렬 가산기는 광의 병렬성을 충분히 이용하기 위한 적합한 수체계(number system)와 입력 데이터의 효과적인 부호화 방법을 사용하여 구현하여야 한다. 광 병렬 가산기 구현에서는 이진체계를 사용하는 방법과 유수(residue number)¹나 변형부호화자리수(modified signed-digit, MSD)²와 같은 수 체계를 사용하는 방법들이 주로 연구되어 왔다. 전통적인 이진 가산 규칙은 올림수가 발생하고 최상위 비트까지 올림수 전달이 발생되므로 직렬가산을 수행한다. 따라서 이진 가산에서 올림수 전달은 광의 병렬성을 최대한으로 이용할 수 없다. 그러나, 변형부호화자리수 체계에서는 각 자리수를 입력 데이터의 세 가지 잉여 표현(redundant representation)으로 나타낼 수 있으므로 가감산을 완전히 병렬로 수행할 수 있고 자리수에 관계없이

합을 구할 수 있다. 이를 이용한 광 병렬 가산기의 구현 과정은 기호치환의 인식 단계와 치환 단계가 있고 필요한 연산 과정은 공간 쉬프트 연산, 중첩연산, NOR 문턱치 연산 등이다.

본 논문에서는 joint spatial encoding³ 방법과 입력 그룹화를 사용하여 변형부호화자리수 광 병렬 가산 시스템을 제안하였다. 즉, 두 입력 데이터의 각 비트를 3×1, 1×3셀로 부호화하고, 이를 다시 직렬로 연결하여 3×3셀로 만든 후 각 셀에 원하는 마스크를 두어 전통적인 변형부호화자리수 가산기의 인식 단계에서 필요한 부가적인 연산 없이 인식할 수 있었다. 이때 변형부호화자리수 체계의 1, 0, $\bar{1}$ 를 표현할 때 가산 비트와 피가산 비트를 각각 가로 방향과 세로 방향으로 그 위치를 달리하였다. 또한, 기호치환(symbolic substitution, SS)⁴을 이용한 연산에서 동일한 연산 결과를 갖는 것들을 동일 군으로 분류하였다. 이는 동일한 치환출력을 가지는 여러 입력패턴들을 기준입력으로 치환함으로써 기호치환 규칙의 수를 줄이는 동시에 인식 마스크와 광소자의 수를 적게 하여 시스템의 크기도 줄일 수 있었다.

II. 두 단계 변형부호화자리수 연산표현

MSD 연산에서 정수 A는

$$A = \sum a_i 2^i$$

로 표현하고, 여기서 a_i 는 { 1, 0, -1 } 값을 가지며 -1은 $\bar{1}$ 로 표현한다. 그리고 이를 두 단계 변형부호화자리수⁵로 나타낸 구성도는 그림 1에서와 같다.

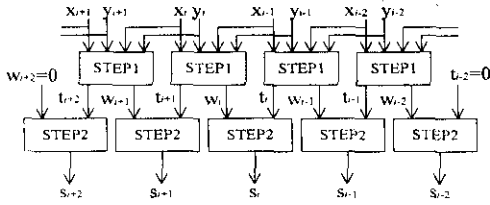


그림 1. 두 단계 변형부호화자리수 가산기의 블록도
Fig. 1. Block diagram for a two-stage MSD adder.

그림 1에서 첫 번째 단계에서의 중간 올림수와 중간 합인 t_{i-1} 과 w_i 는 (x_i, y_i) 와 하위 비트(x_{i-1}, y_{i-1})의 값에 의해서 가산된다. 두 단계 변형부호화자리수 연산

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)

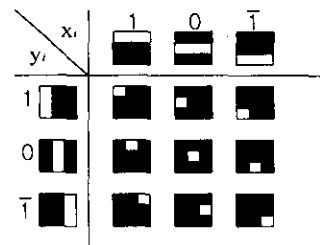
표 1. 변형부호화자리수 가산을 위한 (a) 첫 번째 단계, (b) 두 번째 단계의 기호치환 규칙 진리표
Table 1. Truth table of symbolic substitution rules for (a) the first step, (b) the second step for MSD addition.

의 진리표는 표 1에 나타내었다. 표 1(a)는 첫 번째 단계, 1(b)는 두 번째 단계 진리표이다.

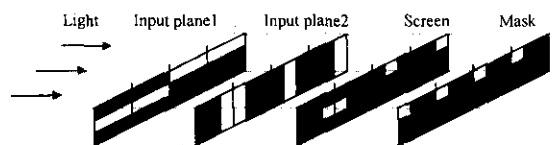
III. Joint spatial encoding 방법을 이용한 입력 동일화

입력패턴을 그림 2(a)와 같이 부호화하고 이 두 입력 면을 그림 2(b)처럼 직렬로 연결함으로써 9가지의 입력 패턴을 마스크의 사용으로 기존의 인식단계에서 필요한 공간 쉬프트연산, 중첩연산, NOR-문턱치 연산 등의 부가적인 수행 없이 인식을 하는 동시에 시스템의 크기를 줄일 수 있다. 그림 2(b)는 두 입력 $A = 0011(3_{10})$ 과 $B = \bar{1}10\bar{1}(-5_{10})$ 를 직렬 연결하고 $(x_i, y_i) = (1, 1)$ 을 인식하기 위해 마스크를 직렬 연결한 것이다.

두 단계 변형부호화자리수 연산에서 동일한 가산결과를 갖는 입력패턴들을 동일 군으로 하여 9가지의 입력패턴을 표 2의 기준패턴 X로 전처리 함으로써 기호치환 가산의 구성에 필요한 광소자를 적게 사용할 수 있다. 또한 하위 비트 (x_{i-1}, y_{i-1})가 양수인지 아닌지에 따라 II, III군의 값이 표 1(a)에서처럼 달리 치환되기 때문에 전체 9가지의 기준패턴을 두 개의 군 즉, 양수와 그 밖의 수로 나누어 표 2의 기준패턴 Y로 치환하여 (x_i, y_i) 와 비교할 수 있도록 하였다. 그것에 대한 광 구성도는 그림 3(a)에 나타나 있다. 그림 3(a)에서 BS는 광속 분리기, M은 거울, m은 마스크를 나타낸다. 각각의 거울은 쉬프트와 반사를 통해 상을



(a)



(b)

그림 2. (a) Joint spatial encoding 방법과 (b) 직렬 연결
Fig 2. (a) Joint spatial encoding method and (b) its serial connection.

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

표 2. 동일한 가산결과와 하위 비트 비교를 위한 그룹화
Table 2. Grouping of the same result and next lower-order position comparison.

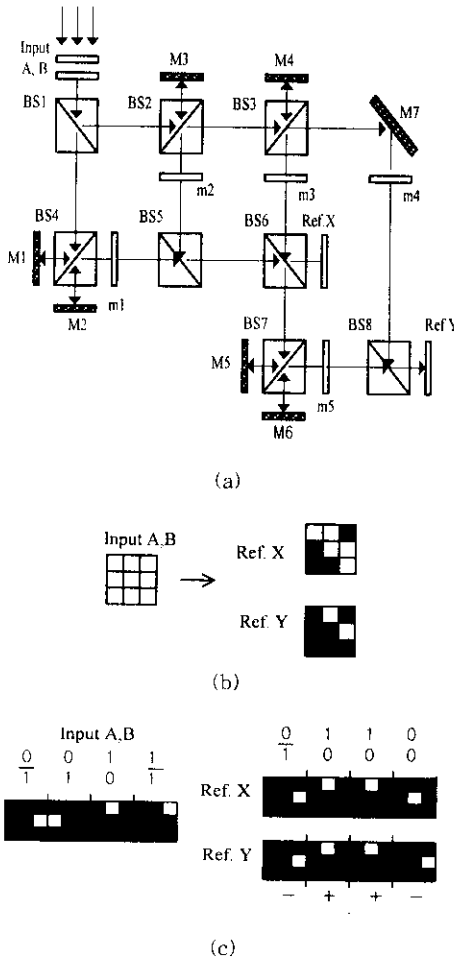


그림 3. 표 2의 (a)광 구성도 (b) 패턴치환 (c) 예
Fig. 3. (a) Optical diagram, (b) substitution of input pattern, (c) example of Table 2

중첩시키고 마스크를 씌우므로써 원하지 않는 상을 차단한다. 그림 3(b)는 9가지의 모든 입력패턴 A와 B가 그림 3(a)의 광 구성도를 통과한 후 5가지의 기준패턴으로 치환되는 것을 나타내었다. 그림 3(c)는 전치리 예로서 두 입력 $A = 0011$ (3_{10})과 $B = \bar{1}10\bar{1}$ (-5_{10})가 그림 3(a)의 광 구성도를 통과한 후 나타나는 상에 대해 치환된 결과를 나타내었다.

IV. 변형부호화자리수 가산기 구현

1. 첫 번째 단계 기호치환

기준패턴 X와 Y를 이용하여 첫 번째 단계 기호치환을 수행함으로써 표 1(a)에서 필요로 하는 전체 규칙수 41가지를 7가지로 단순화시킬 수 있다. 그에 대한 구성도는 그림 4에 나타나 있다.

그림 4에서 인식은 단지 마스크와 기준입력 Y를 직렬 연결하고 치환은 광속 분리기와 거울로 상을 쉬프트 하여 수행한다. 이에 대한 인식과 치환의 광 실험도는 그림 5(a)와 (b)에 나타나 있다. 그림 5(a)의 실험도는 기준 입력 $(1, 1)$ 의 인식을 위해 마스크를 사용하고 $(T, W) = (1, 0)$ 로 치환하기 위해 광속 분리기와 거울을 사용하였다. 그림 5(b)의 실험도에서는 기준 입력이 $(1, 0)$ 이고 하위 비트가 양수일 경우 인식을 위해 마스크와 쉬프트된 기준 입력 Y를 직렬로 연결함으로써 투영된 상을 $(1, \bar{1})$ 로 치환시켰다. 동일한 방법으로 첫 번째 단계에서 7가지 인식과 치환 규칙을 적용하여 결과를 얻을 수 있다. 이를 패턴 조합을 통하여 중첩시킨 후 두 번째 단계를 수행하기 위해 기준 패턴으로 치환시켜 주어야 한다. 이는 그림 5(c)의 원

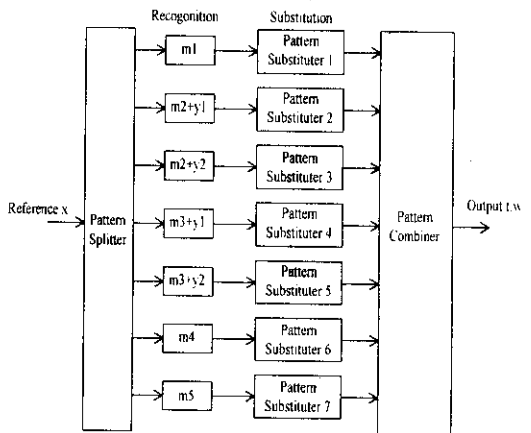


그림 4. 첫 번째 단계의 기호치환 구성도
Fig. 4. Schematic diagram of the first-step MSD

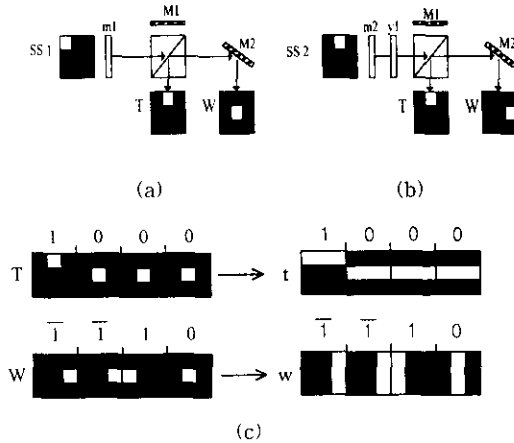


그림 5. 첫 번째 단계 기호치환의 (a), (b) 인식과 치환, (c) 패턴 조합

Fig. 5. SS of the first-step MSD for (a) and (b) recognition and substitution, (c) pattern combinations of SS for the first-step MSD.

꼭 패턴 T와 W에 광속 분리기와 거울을 사용하여 복사본 3개를 만들어 중첩하여 간단히 오른쪽 형태 t와 w로 치환할 수 있다. 이는 첫 번째 단계의 결과인 t와 w를 나타내고 두 번째 단계의 입력패턴으로 사용한다.

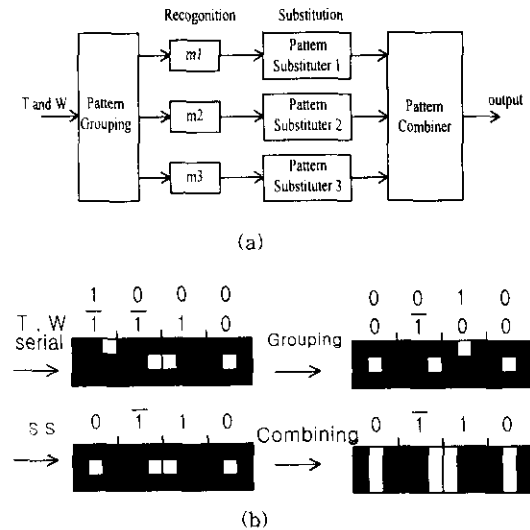


그림 6. 두 번째 단계 기호치환의 (a) 구성도와 (b) 그 예
 Fig. 6. (a) Schematic diagram and (b) its example of the first-step MSD SS.



그림 7. 두 단계 기호치환의 전체적인 구성도
 Fig. 7. Schematic diagram of two-stage MSD SS.

2. 두 번째 단계 기호치환

첫 번째 단계에서의 인식 및 치환 과정과 동일한 방법을 사용하여 구성할 수 있으며 표 1(b)에서의 7가지 규칙이 동일군 동시인식을 통해 3가지로 줄일 수 있다. 두 번째 단계의 광 구성도는 그림 6(a)에 이에 대한 예는 그림 6(b)에 나타나 있다.

두 단계 변형부호화자리수 기호 치환 가산기의 전체적인 구성도는 그림 7에 나타나 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 동일한 가산 결과를 가지는 입력패턴을 동일군으로 분류하여 전처리 함으로써 두 단계 부호화자리수 연산에 필요한 전체적인 기호치환 규칙 수를 10가지로 줄였다. 또한 joint spatial encoding 방법을 사용하여 기호치환의 인식 단계에서 필요한 여러 가지 광학적 연산을 마스크로 대체하여 간단히 인식할 수 있으므로 광 인식 시스템의 크기를 줄였다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] K-H. Brenner, A. Huang, and N. Streibl, "Optical computing with symbolic substitution," *Appl. opt.*, vol. 25, pp. 3054-3060, 1986.
- [5] S. Barua, "Single-stage optical adder/subtractor," *Opt. Eng.*, vol. 30, pp. 265-270, 1991.