

# 集成空变光学逻辑处理器

彭海峰 刘立人 殷耀祖 王之江

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

**摘 要** 利用晶体的双折射效应, 在自编程双轨编码及空变逻辑控制单元的基础上, 研究两种空变光学逻辑处理器, 它们具有体积小、结构紧凑, 性能稳定及使用灵活方便等优点, 同时给出了实验结果。

**关键词** 自编程双轨编码, 空变逻辑控制, 空变光学逻辑。

## 1 引 言

光学并行处理具有内在的并行性及高速性等优点, 它有两种工作模式: 单指令流多数据流模式及多指令流多数据流模式。前者因具有空不变性而易于光学实现, 而后者是空变信息处理操作, 但具有更高的应用灵活性。于是如何以空不变的光学系统实现空变的信息处理操作则受到了人们的广泛重视, 其中最基本的部分是空变光学逻辑处理器。

光学逻辑操作可通过非线性光学器件或非线性的光学编码实现。基于非线性光学编码的光学逻辑处理器包括阴影投影<sup>[1]</sup>、多重成像<sup>[2]</sup>及空间滤波<sup>[3]</sup>等, 它们一般由编码输入单元、逻辑控制单元及解码输出单元三部分组成, 其中任一单元的空变操作都可以实现空变逻辑操作, 迄今人们已在该方面做了大量工作<sup>[4~6]</sup>, 但所报道的空变光学逻辑操作均是在自由空间实现, 因而系统结构松散, 体积庞大, 且易受周围各种环境因素的干扰, 不利于实际应用。作者曾报道过偏振光学逻辑处理器<sup>[7]</sup>。本文利用晶体的双折射效应, 结合自编程双轨编码及空变逻辑控制单元, 进一步发展两种空变光学逻辑处理器, 它们具有结构紧凑, 抗环境干扰及使用灵活方便等优点。

## 2 自编程空变光学逻辑处理器

对于确定的两输入像  $A$  及  $B$ , 它们对应的逻辑操作输出  $F$  可表示为

$$F = K_1 AB + K_2 A\bar{B} + K_3 \bar{A}B + K_4 \bar{A}\bar{B}, \quad (1)$$

通过控制  $K_i (i = 1, 2, 3, 4)$  的不同取值(0 或 1), 即可获得对应于输入  $A, B$  的 16 种逻辑输出, 如表 1 所示, 对输入编码稍作修改, 输入像  $B$  的每一像素仍用双轨编码( $B, \bar{B}$ )表示, 而输入像  $A$  的每一像素编码以( $X, Y$ )表示, 其中  $X, Y$  值可分别取值为 0、1、 $A, \bar{A}$ (见图 1), 于是

\* 国家科委 863 高科技项目及国家自然科学基金资助课题。

收稿日期: 1994 年 10 月 31 日; 收到修改稿日期: 1995 年 4 月 7 日

编码后的输入像  $A$ 、 $B$  对应像素复合迭加后的输出结果  $F$  可表为

Table 1. All sixteen logic combinations corresponding to self programming logic and conventional logic respectively

conventional logic				self-programming logic		logic result
$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$X$	$Y$	
0	0	0	0	0	0	$F$
0	0	0	1	0	$\bar{A}$	$NOR$
0	0	1	0	0	$A$	$\bar{A}B$
0	0	1	1	0	1	$\bar{B}$
0	1	0	0	$A$	0	$\bar{A}B$
0	1	0	1	$\bar{A}$	$\bar{A}$	$\bar{A}$
0	1	1	0	$\bar{A}$	$A$	$XOR$
0	1	1	1	$\bar{A}$	1	$NAND$
1	0	0	0	$A$	0	$AB$
1	0	0	1	$A$	$\bar{A}$	$NXOR$
1	0	1	0	$A$	$A$	$A$
1	0	1	1	$A$	1	$A + \bar{B}$
1	1	0	0	1	0	$B$
1	1	0	1	1	$A$	$\bar{A} + B$
1	1	1	0	1	$A$	$OR$
1	1	1	1	1	1	$T$

$$F = XB + Y\bar{B} \quad (2)$$

从而通过改变  $X$ 、 $Y$  的不同取值 (0, 1,  $A$ ,  $\bar{A}$ )，即改变输入  $A$  的编码状态，同样可获得对应于输入像  $A$ 、 $B$  的所有 16 种逻辑操作，如表 1 所示。由于上述对应于输入像  $A$  的每一像素的编码值  $X$ 、 $Y$  可由编码过程加以确定和改变，于是可实现空变编码输入，以完成空变逻辑操作。

图 2 为基于自编程双轨编码的空变光学逻辑处理器结构，它由空间光调制器  $SLM_1$ 、 $SLM_2$ ，方解石晶片  $CP$  及解码板  $SM$  组成。 $SLM_1$ 、 $SLM_2$  紧贴在一起且它们的像素一一对应。输入像  $B$  经双轨编码后由  $SLM_2$  输入，每一像素由两个子像素 ( $B$ 、 $\bar{B}$ ) 组成。输入像  $A$  经编码后由  $SLM_1$  输入，每一像素由两个子像素 ( $X$ 、 $Y$ ) 组成， $X$ 、 $Y$  值由确定的逻辑操作类型决定。于是在  $45^\circ$  偏振光入射时，经  $SLM_1$ 、 $SLM_2$  后的每一像素对应于  $(XB, Y\bar{B})$ ，再经方解石晶片  $CP$  的分束组合，利用解码板滤去不需要的光束，可得如 (2) 式所表示的逻辑输出。当对应于输入像  $B$  不同像素的输入， $A$  的像素的编码 ( $X$ 、 $Y$ ) 取值不同时，则可实现空变光学逻辑操作。

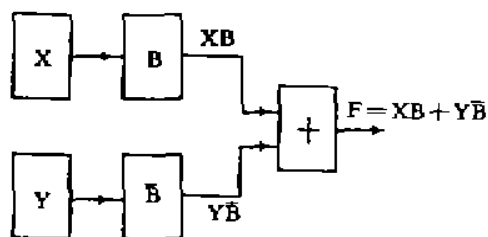


Fig. 1 Block diagram of self programming based logic operations

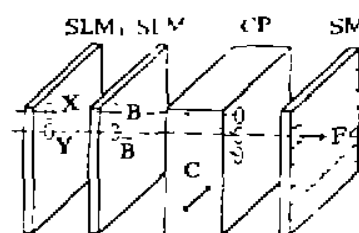


Fig. 2 Schematic diagram of self programming based space variant optical logic processor. C indicates optic axis

### 3 具有空变逻辑控制单元的空变逻辑处理器

由(1)式,若是能获得逻辑控制信号  $K_i$  的空变性,同样也能实现空变逻辑操作,图3为该逻辑处理器结构。它由空间光调制器  $SLM_1$ 、 $SLM_2$ 、逻辑控制板 LCP、方解石晶片  $CP_1$ 、 $CP_2$ 、石英旋光片 QP 及解码板 SM 组成。 $SLM_1$ 、 $SLM_2$  紧贴在一起且它们的像素一一对应,输入像  $A$ 、 $B$  的编码如图4(a)所示。经编码后的  $A$ 、 $B$  分别由  $SLM_1$ 、 $SLM_2$  输入,它们对应像素的迭加输出如图4(b)所示,每一像素含有四个子像素,而其中只有一个子像素是透明的(由输入  $A$  及  $B$  的对应像素值决定)。与该迭加输出像素(含四个子像素)对应地在控制板 CP 上有一控制盒,也由四个子像素组成,以  $K_i (i = 1, 2, 3, 4)$  分别表示它们对应的开关状态,于是 LCP 后的输出为  $K_1AB$ 、 $K_2A\bar{B}$ 、 $K_3\bar{A}B$ 、 $K_4\bar{A}\bar{B}$ ,再经  $CP_1$ 、 $CP_2$  及 QP 的分束组合,其对应输出如图4(c)所示,利用解码板滤去不需要的光束,可得如(1)式所表示的逻辑输出。由于对应于各像素的控制盒的控制状态可以不同,于是可获得空变逻辑控制操作,实现空变逻辑操作。

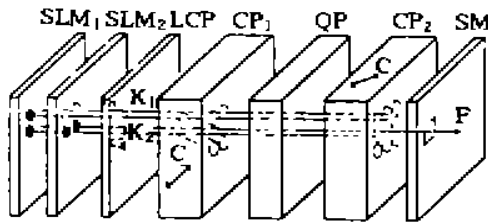


Fig. 3 Schematic diagram of space-variant logic control unit based space variant optical logic processor. C indicates optic axis

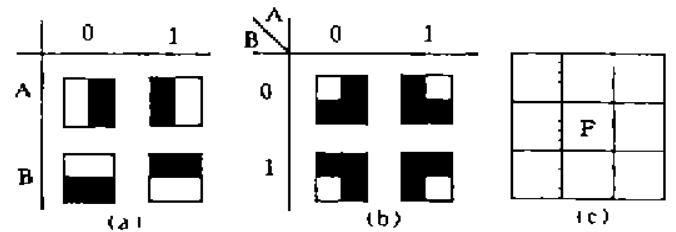


Fig. 4 Encoding method of input  $A$  and  $B$  (a), Superimposed pattern of encoded input  $A$  and  $B$  (b) and its corresponding output after passing through  $CP_1$ ,  $CP_2$  and QP (c).  $P = K_1AB + K_2A\bar{B} + K_3\bar{A}B + K_4\bar{A}\bar{B}$

由编码过程可知,该逻辑处理器中每一编码像素占用四个子像素,而自编程空变逻辑处理器中每一编码像素只占用两个子像素,因而在其它条件不变时,自编程空变逻辑处理器具有较高的包装密度(输入平面单位面积像素数)。

### 4 实验结果与讨论

以自编程双轨编码空变光学逻辑处理器为例进行实验研究,实验处理器结构如图2所示。实验中以模板代替图2中的  $SLM_1$ 、 $SLM_2$  及 SM,输入面子像素中心距 1 mm,方解石晶片厚 9.3 mm。图5(a)和图5(b)为输入像  $A$  和  $B$ ,输入  $B$  为双轨编码,而输入  $A$  各区域像素编码值  $X$ 、 $Y$  如图5(c)所示,对应于其左上角逻辑操作为  $B$ ,左下角为  $\bar{A}B$ ,右上角  $A \text{ XOR } B$ 。

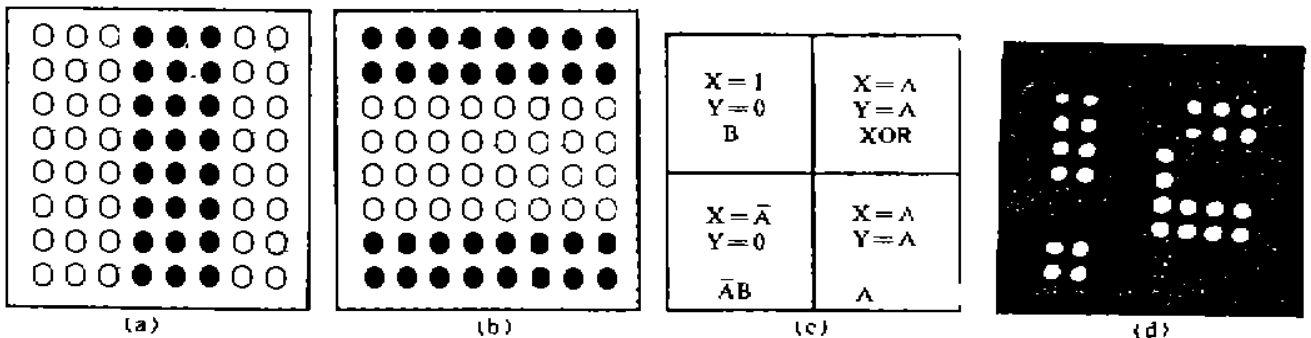


Fig. 5 Experimental results

(a) Input  $A$ , (b) Input  $B$ , (c) Space variant encoding of  $X$  and  $Y$ , (d) Output of space variant logic operation

右下角为 A。图 5(d) 为实验结果。若以图 3 所示的空变光学逻辑处理器进行实验研究，通过适当控制各像素对应控制盒的控制状态，同样可获得如图 5(d) 所示的实验结果。

由图 2，图 3 可知，所述处理器的包装密度由光学衍射决定。如果在各光学元件（如图 3 中的 CP<sub>1</sub>、CP<sub>2</sub>）后均放置一模板以挡住光束的衍射增宽部分，则包装密度仅由所用方解石厚度决定，当方解石厚为 1 mm 时，其对应包装密度为每平方毫米 85 个像素。为说明原理方便，图 2，图 3 中各元件均分立画出，实际应用中所有元件均紧密结合在一起，因而容易校准，且不易受周围环境因素（如震动）的影响。

**结 论** 利用自编程双轨编码及空变逻辑控制单元，研究了两种具有结构紧凑、性能稳定及使用灵活方便的空变逻辑处理器。由于它们各自对应的编码方式不同，基于自编程双轨编码的空变逻辑处理器具有较高的包装密度。由原理可知，上述空变光学逻辑处理器也可方便地实现空不变的逻辑操作。

### 参 考 文 献

- [1] Y. Ichioka, J. Tanida, Optical parallel logic gate using shadow-casting systems for optical computing. *Proc. IEEE*, 1984, 72(7): 787~801
- [2] L. Liu, X. Liu, Cascadable binary logic processor using multiple imaging. *Opt. Commun.*, 1991, 82(5): 446~452
- [3] H. Bartalt, A. W. Lohmann, E. E. Siere, Optical logical processing in parallel with theta modulation. *J. Opt. Soc. Am. (A)*, 1984, 1(9): 944~951
- [4] M. Hashimoto, K. Kitayama, N. Mukohzaka, Space-variant operations using an optical parallel processor based on polarization encoding. *Opt. Lett.*, 1989, 14(8): 384~386
- [5] K. W. Wong, L. M. Cheng, Space variant optical logic operations based on operation dependent encoding method. *Appl. Opt.*, 1994, 33(1): 2134~2139
- [6] J. Tanida, J. Nakagawa, Y. Ichioka, Local variable logic operations using birefringent optical elements. *Appl. Opt.*, 1989, 28(15): 3467~3473
- [7] H. Peng, L. Liu, Y. Yin et al., Integrated polarization optical logic processor. *Opt. Commun.*, 1994, 112(2): 131~135
- [8] S. Zhang, L. Liu, Self programming optical parallel logic. *Microwave & Opt. Tech. Lett.*, 1995, 8(1): 48~49

## Integrated Space Variant Optical Logic Processor

Peng Haifeng      Liu Liren      Yin Yaozu      Wang Zhijiang

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 31 October 1994; revised 7 April 1995)

**Abstract** Based on the birefracton of crystals as well as the self programming dual-rail encoding and space variant logic control unit, two kinds of space variant optical logic processors are constructed. They are compact in structure, stable, flexible and convenient in practical uses. Experimental results are also shown.

**Key words** self programming dual-rail encoding, space variant logic control, space variant optical logic.