

利用单个液晶光阀实现的光学逻辑门

袁石夫 赵世杰 张学如 陈历学 宋立权*

曹必成

(哈尔滨工业大学应用物理系, 哈尔滨 150006)

(电子工业部第 28 研究所, 南京 210014)

摘要 本文利用一个液晶光阀, 实现了十六种二输入光学二进制阵列逻辑运算和两种行逻辑(行或和行或非)操作。

关键词 光学逻辑门, 液晶光阀

1 引 言

二维光学二进制布尔逻辑门是未来的数字光计算机的基本单元, 从而引起了人们的广泛注意。近年来已经采用了许多不同的方法去实现光学阵列逻辑运算。利用各种空间光调制器件构成的光学布尔逻辑处理系统已有许多报道^[1~6]。

光学布尔逻辑运算可以通过对输入进行加权组合后用一个光学非线性器件来实现^[4,6]。作为一种光学非线性器件, 空间光调制器具有各种输入-输出非线性特性, 因而利用它可以完成各种不同的光学阵列逻辑运算。基于这种方法, Sawchuk 等利用液晶光阀^[4], 而 F. T. S. Yu 等利用微通道空间光调制器^[6], 分别实现了光学逻辑操作。但 Sawchuk 等利用液晶光阀仅完成了几个基本的逻辑操作, 实验结果也很粗糙, 光阀的不均匀性使得只能在某一特定位置处才能得到逻辑运算结果。本文将以此一基本方法为基础, 利用液晶光阀的输入-输出特性的非线性, 来实现 16 种二输入光学二进制布尔逻辑运算和两种行逻辑(行或和行或非)操作, 并给出实验结果。

2 实现二进制布尔逻辑操作的基本原理

一个二进制逻辑门可以用一个结合函数和一个非线性函数来共同实现。一般地, 二值逻辑运算可以表示为

$$I_o = NL[U(I_{i1}, I_{i2}, \dots, I_{in})] \quad (1)$$

这里 $NL(u)$ 表示点非线性函数, $U(x)$ 表示结合函数, I_i 表示输入逻辑值, I_o 表示输出逻辑值。结合函数的作用是把两个或多个输入信号结合而成一个输入信号。对于并行阵列输入, 输入实际

* 现在通讯地址: 辽宁锦西 38610 部队 41 分队。

收稿日期: 1993 年 4 月 5 日, 收到修改稿日期: 1993 年 9 月 6 日

上是二值图象。经过结合函数作用,输入则由多个二值图象变成一个多值(即多灰阶)图象。而非线性函数是用来将经结合函数作用后得到的多值图象通过空间每一点的非线性滤波重新变为一个二值图象。不同的逻辑门可以用不同的结合函数和不同的非线性函数来表示成式(1)的形式。

对于二输入二进制布尔逻辑函数,总共有 16 种可能的逻辑功能,如表 1 所示。

Table 1 The 16 possible logic operations on two binary inputs

A	B	F	AND	AB	A	$\bar{A}B$	B	XOR	OR	NOR	$NXOR$	\bar{B}	$A + \bar{B}$	\bar{A}	$\bar{A} + B$	$NAND$	T
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1

对于两个输入变量 A 和 B , 选择结合函数为

$$U(I_A, I_B) = I_A + I_B \quad (2)$$

即为两个输入二值图象对应点的叠加。由于两个输入图象各点的值只能取 0 或 1, 则结合函数取值有三个可能: $U(0,0) = 0, U(0,1) = U(1,0) = 1, U(1,1) = 2$ 。这时分别选择如图 1(a)、(b)、(c)、(d)、(e) 和 (f) 所示的函数为理想的点非线性函数, 式(1) 则分别给出或(OR)、与(AND)、异或(XOR)、或非(NOR)、与非(NAND) 和异或非(NXOR) 等逻辑运算^[4,5]。

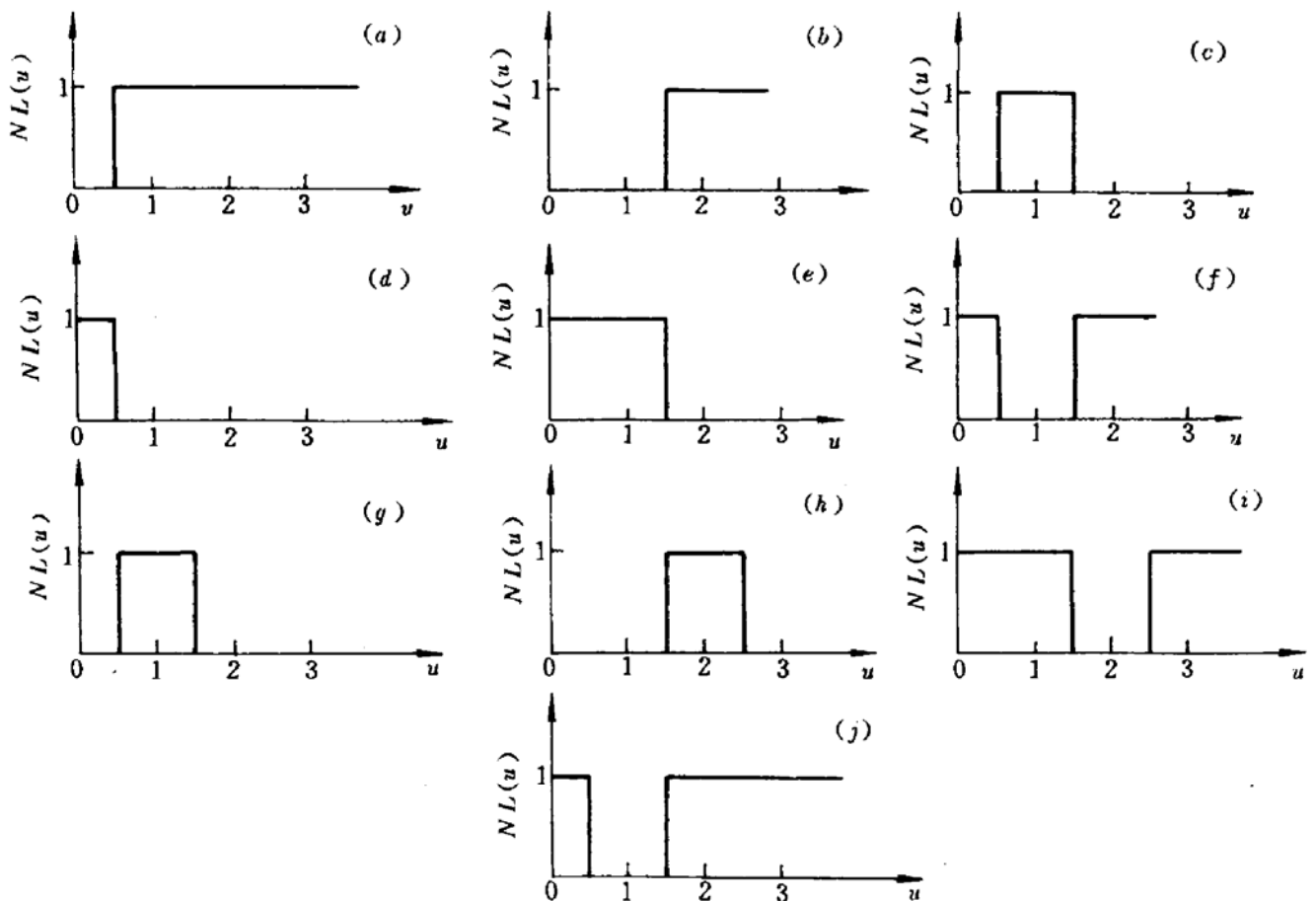


Fig. 1 Ideal nonlinear functions for binary logic operations

实现 A 、 \bar{A} 和 B 、 \bar{B} 逻辑操作时,可取结合函数分别为

$$U(I_A, I_B) = I_A \quad (3)$$

和

$$U(I_A, I_B) = I_B \quad (4)$$

这时选择图 1(a) 为理想的非线性函数,式(1)表示 A 和 B 逻辑;选择图 1(d) 为理想的非线性函数,式(1)则表示 \bar{A} 和 \bar{B} 逻辑操作。

对于 True 和 False 逻辑,可取结合函数为

$$U(I_A, I_B) = 1 + I_A + I_B \quad (5)$$

分别选择图 1(a) 和 (d) 为理想的非线性函数,式(1)便分别给出 True 和 False 逻辑。

对于采用上述方法都不能实现的四种逻辑操作 $\bar{A}\bar{B}$ 、 $\bar{A}B$ 、 $A + \bar{B}$ 和 $\bar{A} + B$,可选取其结合函数为

$$U(I_A, I_B) = I_A + 2I_B \quad (6)$$

图 1(g)、(h)、(i) 和 (j) 分别给出了这时实现 $\bar{A}\bar{B}$ 、 $\bar{A}B$ 、 $A + \bar{B}$ 、 $\bar{A} + B$ 等逻辑操作时的理想非线性函数。

3 利用单个液晶光阀完成二输入阵列逻辑运算的实验结果

为了实现光学逻辑,这里采用光强度编码方法来进行二值编码,逻辑 1 用高光强表示,而逻辑 0 用低光强表示。结合函数可直接用光强度的叠加来实现。而对于非线性函数,则很难找到如图 1(a) ~ (j) 所示的那种理想的光学非线性特性。但是,对于逻辑运算来说,对模拟量的精度要求不是太高,因而可用光学非线性器件来近似地模拟。

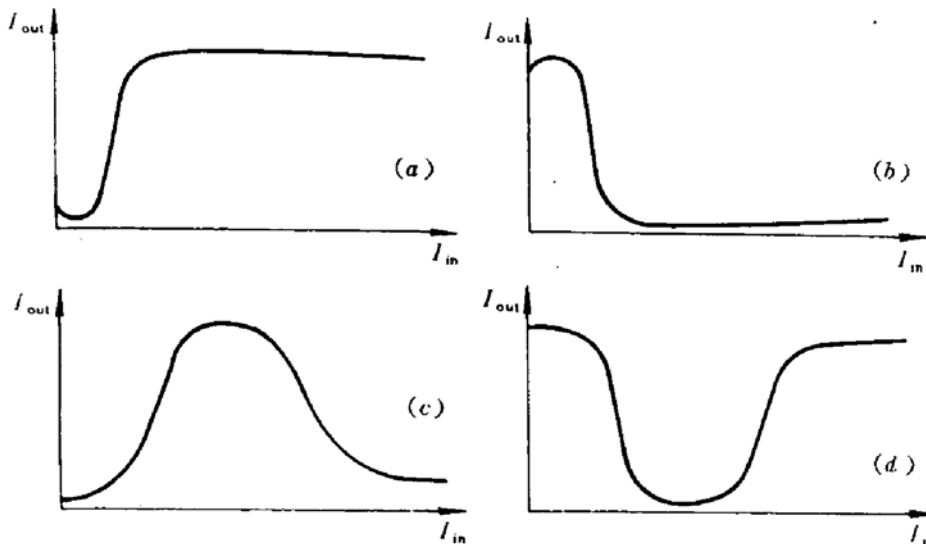


Fig. 2 LCLV input-output characteristic curves used in binary logic system

液晶光阀是一种可用于实现光学逻辑运算的光学非线性器件。图 2 给出了液晶光阀的部分输入 - 输出特性曲线^[7]。为简洁起见,图中略去了输入和输出光强的单位。通过调节液晶光阀工作电压的大小、频率和改变入射光偏振方向及检偏方向,可以选择其不同的输入 - 输出特性曲线。液晶光阀的这些输入 - 输出特性具有非线性,因而可以作为上述理想非线性的近似用于光学逻辑系统。图 2(a) 和 (b) 是液晶光阀的典型输入 - 输出特性曲线,它们可分别用于读出原图象和使输入原图象的对比度反转。图 1(a)、(b) 所示的理想非线性可以用图 2(a) 所示的输

入-输出特性曲线来近似地执行。图 1(c)、(g) 和 (h) 所示的理想非线性可用图 2(c) 所示非线性曲线来近似执行。而图 1(d)、(e) 所示的理想非线性可用图 2(b) 所示的输入-输出非线性特性曲线来模拟，图 1(f)、(i)、(j) 所示的理想非线性采用图 2(d) 所示的输入-输出非线性特性曲线来近似地完成。

图 3 给出了实现 A, B, \bar{A}, \bar{B} 逻辑操作的光路图。是求 A, B 还是 \bar{A}, \bar{B} 操作只需适当调整检偏方向和液晶光阀的工作电压以选择合适的输入-输出非线性特性曲线。图 6(a) 和图 6(b) 是两个输入的二值图象 A 和 B ，图 6(c) 和图 6(d) 分别给出了选择如图 2(a) 所示的输入-输出特性曲线时利用液晶光阀实现的 A 和 B 逻辑操作的实验结果。图 6(e) 和图 6(f) 则给出了选择如图 2(b) 所示的输入-输出特性曲线时得到的 \bar{A} 和 \bar{B} 逻辑操作的实验结果。

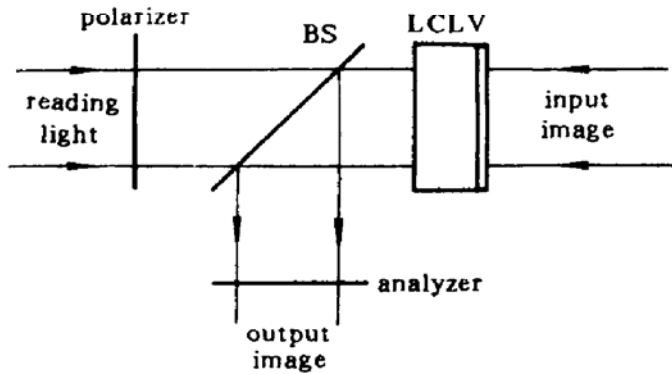


Fig. 3 Optical setup for implementing A, B, \bar{A}, \bar{B} operations

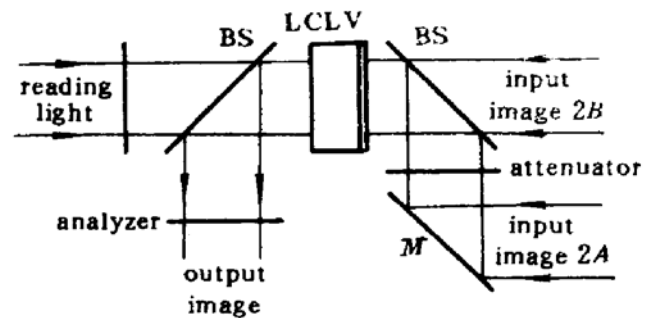


Fig. 4 Optical arrangement for implementing $AND, OR, XOR, NAND, NOR, NXOR$ operations

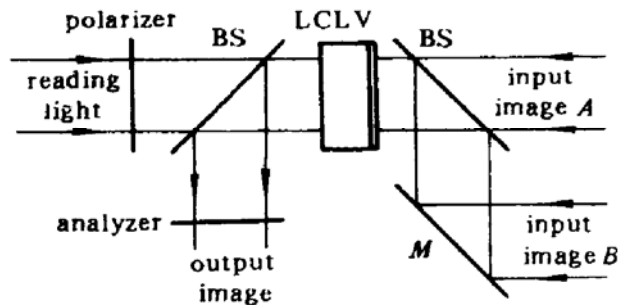


Fig. 5 Optical arrangement for implementation of $A + \bar{B}$ and $\bar{A} + B$ logic operations

图 4 给出了实现与、或、异或、与非、或非、异或非等逻辑操作的光路原理图。将两幅图象 A 和 B 叠加写入液晶光阀，分别选用与图 1(a), (b), (c), (d), (e) 和 (f) 所示理想非线性相应的液晶光阀输入-输出特性曲线去近似执行相应的理想非线性，就可分别实现这六种阵列逻辑。图 6(g), (h), (i), (j), (k), (l) 分别是逻辑操作 $AB, A + B, A \oplus B, \bar{A}\bar{B}, \overline{A + B}$ 和 $\overline{A \oplus B}$ 的实验结果照片。

根据式(5)，实现 True 和 False 逻辑操作的结合函数为在 A 与 B 的叠加的基础上再叠加一个常数 1。因而在图 4 所示光路中的液晶光阀写入面上再叠加上一个稍强的泵浦光，分别选用如图 2(a) 和 (b) 所示的液晶光阀输入-输出特性曲线，便可分别实现 True 和 False 逻辑操作。图 6(m), (n) 分别给出了 True 和 False 逻辑操作的实验结果。

完成 $A + \bar{B}$ 和 $\bar{A} + B$ 逻辑的光路如图 5 所示。将图象 A 和 $2B$ 叠加在一起作为写入图象。选取合适的如图 2(d) 所示的光阀输入-输出特性曲线去分别近似地执行如图 1(i) 和 (j) 所示理想非线性，便可分别实现上述二操作。图 6(o), (p) 给出了 $A + \bar{B}$ 和 $\bar{A} + B$ 逻辑操作的实验结果照片。显然，上述系统也可用来实现 $\bar{A}\bar{B}$ 和 $\bar{A}B$ 操作。但本文应用另一种方法来实现这两个操作以获得更好的实验结果。

实现 $\bar{A}\bar{B}$ 逻辑的实验光路仍如图 3 所示。将输入图象 A 作为写入图象从液晶光阀的写入面

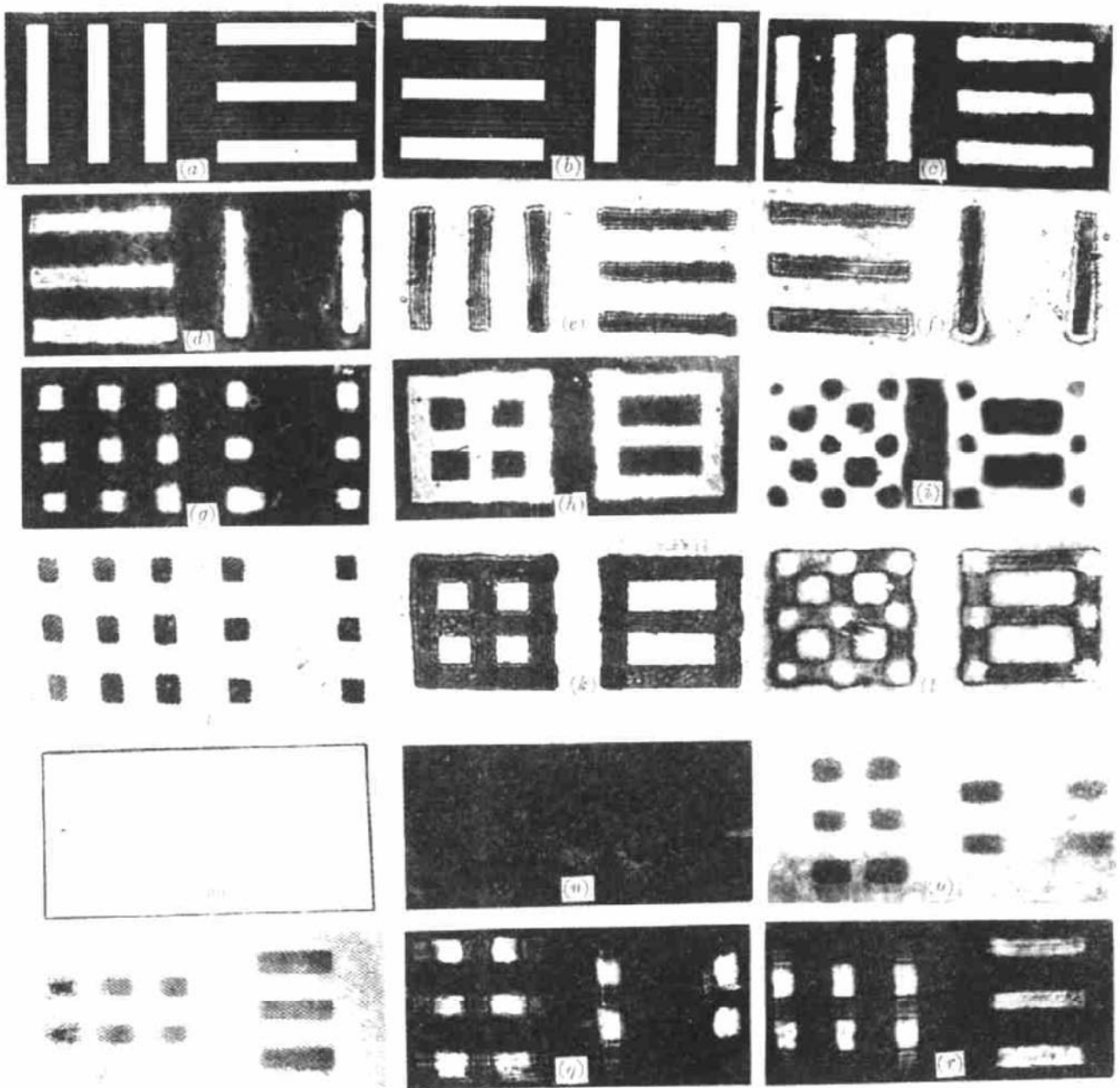


Fig. 6 Experimental results of two-variable binary logic operations

(a) input A ; (b) input B ; (c) A ; (d) B ; (e) \bar{A} ; (f) \bar{B} ; (g) AB ; (h) $A + B$; (i) $A \oplus B$; (j) \overline{AB} ;
 (k) $\overline{A + B}$; (l) $\overline{A \oplus B}$; (m) True; (n) false; (o) $A + \bar{B}$; (p) $\bar{A} + B$; (q) $\bar{A}B$; (r) $A\bar{B}$

写入, 而将准直光束入射到图象 B 模板后作为读出光去读写入的图象 A , 选择液晶光阀输入—输出特性曲线为如图 2(b) 的形式以近似地模拟如图 1(d) 所示的理想非线性, 便可完成 $\bar{A}B$ 逻辑操作。图 6(q) 给出了实现的 $\bar{A}B$ 逻辑的实验结果。同理, 此时若将输入图象 B 作为写入图象写入, 而图象 A 作为读出光, 便可实现 $A\bar{B}$ 逻辑。实现 $A\bar{B}$ 逻辑的实验结果如图 6(r) 所示。

4 利用液晶光阀实现行逻辑运算

为了满足真值表查询式光学符号替换系统对器件的要求, 我们曾描述过行或和行或非逻辑并提出了一个实现行逻辑的特殊液晶光调制器件^[8]。这里我们将利用现有的液晶光阀来直接实现行或和行或非逻辑器件的功能。

行逻辑器件有以下特点: 它是对一行而言的, 对该行进行逻辑操作, 而输出也是以一行输

出(即为多路输出)。行或逻辑器件的功能是,当某一行的各输入全黑时,该行的输出为 0;这一行中只要有一个输入亮斑,则该行的输出为 1。行或非逻辑则与上述情况相反,只有当某一行的各个输入单元全黑(为 0)时,该行输出为 1;只要这一行有一个输入是亮斑,则该行的输出为 0。

为了实现行或和行或非逻辑,其结合函数采用一维积分的形式。这里采用柱面镜来会聚一行的光强,达到积分的目的。而其非线性函数仍用如图 2(a)和(b)所示的液晶光阀的输入-输出非线性特性曲线来近似。

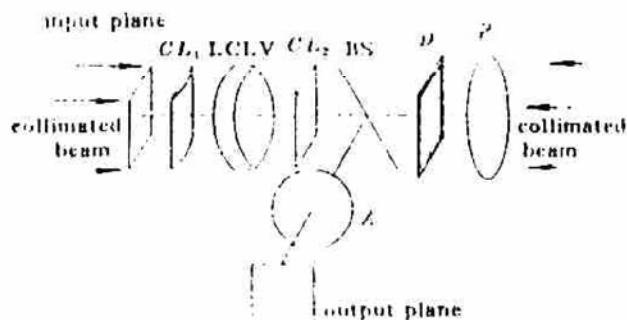


Fig. 7 Schematic diagram of the experimental setup for Row-logic operations

图 7 给出了用一个液晶光阀执行行或和行或非逻辑操作的光学实验装置。输入的图形模式经柱面镜 CL_1 在水平方向会聚成竖直直线入射到液晶光阀的写入面上。一束准直的激光束经柱面镜 CL_2 在水平方向会聚成竖直直线后对准写入的竖直直线光束入射到光阀的读出面。从液晶光阀的读出面反射回来的经输入直线光束调制后的光束重新通过柱面镜 CL_2 之后变成一幅具有多个输出行的被输入图象的一行模式调制的图象。分别选择液晶光阀的输入-输出特性,使之分别为如图 2(a)和(b)所示的形式,便能分别实现行或

和行或非逻辑操作。图 8 给出了实验结果。图 8(a) 给出的是输入的图形模式。图 8(b) 和(c) 分别给出了理想的行或和行或非逻辑操作结果。图 8(d) 和(e) 分别给出了利用液晶光阀完成的行或和行或非逻辑操作的实验结果。由实验结果看出,液晶光阀可用来很好地实现这两个行逻辑运算。

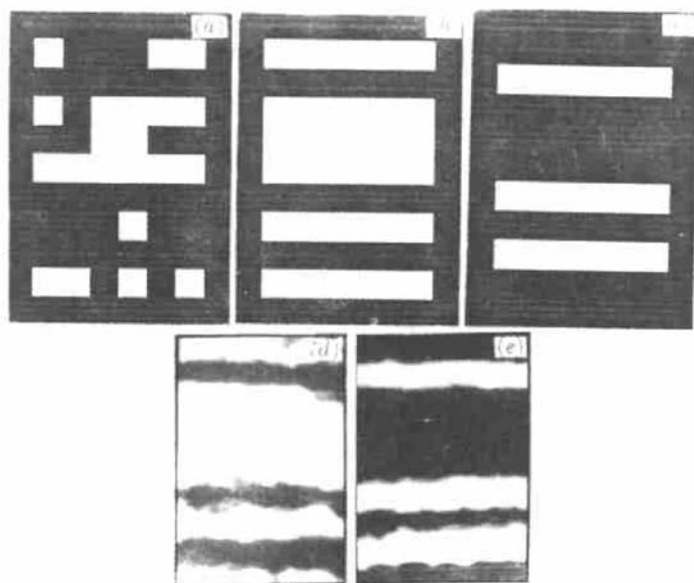


Fig. 8 Experimental results of Row-OR and Row-NOR logic operations

(a) Input image; (b) and (c) Ideal results of Row-OR and Row-NOR operations, respectively; (d) and (e) Experimental results of Row-OR and Row-NOR operations, respectively

5 讨论与结论

采用二值结构的光学数字处理器能把数字系统的灵活性和准确性与光学系统的并行性联系起来。这样的系统将包含有光学模数转换器、光学并行阵列逻辑和光学存储元件。本文利用单个液晶光阀,依靠其输入—输出特性的非线性,实现了各种光学逻辑运算。利用两个液晶光阀分别执行异或和与逻辑运算,便可以构成一个光学并行半加器光路。利用液晶光阀的二输入光学并行阵列逻辑也可实现形态变换的基本操作^[9]。而行逻辑阵列则可直接用来演示真值表查询式光学符号替换^[10]。但由于液晶光阀的反应速度太慢,也就限制了其处理速度。如果能用更灵敏的光敏层替代 C_{60} 层以提高液晶光阀的响应速度,数字光计算所期待的并行高速度将得以实现,特别是在图象处理方面。

参 考 文 献

- 1 T. Minemoto *et al.*. *Appl. Opt.*, 1985, **24**(14): 2055
- 2 R. A. Athale *et al.*. *Opt. Eng.*, 1979, **18**(5): 513
- 3 M. T. Fatehi *et al.*. *Appl. Opt.*, 1981, **20**(13): 2250
- 4 A. A. Sawchuk *et al.*. *Proc. IEEE*, 1984, **72**(7): 758
- 5 B. K. Jenkins *et al.*. *Appl. Opt.*, 1984, **23**(19): 3455
- 6 F. T. S. Yu *et al.*, *Opt. Lett.*, 1987, **12**(11): 962
- 7 陈智勇等. *光学学报*, 1987, **7**(3): 247
- 8 Li-Xue Chen *et al.*, *Proc. SPIE*, 1990, **1349**: 330
- 9 Shifu Yuan *et al.*. *Chinese Journal of Lasers (E. E.)*, 1992, **1**(5): 453
- 10 陈历学等. *光学学报*, 1992, **12**(1): 43

Implementation of optical logic gates with a liquid crystal light valve

Yuan Shifu Zhao Shijie Zhang Xueru Chen Lixue Song Liquan

(Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150006)

Cao Bicheng

(The 28th Institute of Chinese Electronic Industry Department, Nanjing 210014)

Abstract Using a liquid crystal light valve (LCLV), all sixteen two—variable optical binary logic gates and two row-logic operations (Row-OR logic and Row-NOR logic) are implemented experimentally.

Key words optical logic gate, liquid crystal light valve (LCLV)