

# 矩阵液晶调制器实现光学逻辑运算

冯大增 夏绍丰 赵焕卿 章志鸣

(复旦大学物理系, 200433)

**摘要:** 本文采用多路驱动法研制出矩阵式液晶调制器, 并可在 IBM/XT 计算机控制下产生图像。利用此调制器建立了一种新的光学逻辑运算器, 并实现了 16 种布尔逻辑运算及光学半加运算。这种偏振编码、紧凑的逻辑运算器是实现光计算的基本运算单元。

**关键词:** 液晶调制器, 偏振编码, 光学逻辑运算

## Optical logic operations using matrix liquid crystal modulators

Feng Dazeng, Xia Shaofeng, Zhao Huangqing, Zhang Zhiming

(Physics Department, Fudan University, Shanghai 200433)

**Abstract:** In this paper, matrix liquid crystal modulators is produced using matrix addressing technique, which can display images controlled by IBM/XT computer. Using the modulators, a new optical logic operation unit is set up, sixteen Boolean logic operation and optical half adder are performed by the unit. This compact, polarization encoded optical logic unit is a basic element to realize optical computing.

**Key words:** liquid crystal modulator, polarization encode, optical logic

### 一、引 言

光学计算机的研制已成为非常热门的研究课题。组成光计算机的最基本单元是光学逻辑运算器, 迄今为止人们提出了许多方法来实现数字光学逻辑运算<sup>[1~4]</sup>。16 种二进制布尔逻辑运算可以通过各种编码在标准的  $8f$  空间滤波系统中得以实现, 这些编码有  $\theta$  调制、散射及条纹散斑调制等。A. W. Lohmann<sup>[5]</sup> 提出用相互垂直的偏振态来编码二进制值, 并用  $8f$  空间滤波的方法实现了布尔逻辑运算。在此编码下的逻辑操作只改变偏振光的偏振方向, 较易实现光的级联, 并且整个过程不损失能量。近来, 由于扭曲液晶及铁电液晶调制器<sup>[6]</sup> 的发展, 用光学或数字光学很容易实现实时偏振编码。因此偏振编码方法已经发展成为光计算的一种重要编码方法。

空间滤波系统的滤波过程是在透镜焦平面上完成的, 为了使编码信息在焦平面上分离开, 透镜的焦距必须足够长, 使得整个  $8f$  系统所占空间很大, 很难集成并实用化。Roux<sup>[6]</sup> 等提出一种紧凑式的逻辑操作系统, 并用 7 段液晶显示器实现了数字光学逻辑运算。但他们提出的方

法对不同逻辑操作, 液晶显示器上的信息必须进行不同的预处理, 这样操作过程比较复杂并严重减慢运算速度。本文提出了一种新的紧凑式逻辑运算系统, 并用自己研制的矩阵式液晶调制器实现了 16 种布尔逻辑运算, 在微机的控制下不同的逻辑运算通过改变一 4 位数字指令来完成。此系统可以实现并行数据、串行指令的逻辑操作。

## 二、矩阵液晶调制器

扭曲液晶的光学响应与液晶层两端电压的均方根值有关。当均方根值大于液晶的“开启”电压的“阈值”时, 液晶层不扭曲, 偏振光通过液晶层后不改变原来的偏振方向; 当均方根值小于液晶“阈值”时, 液晶层扭曲  $90^\circ$ , 偏振光通过液晶层后偏振方向将旋转  $90^\circ$ 。基于液晶的以上性质, 我们用动态驱动<sup>[7]</sup>方式研制出矩阵式液晶调制器, 并能在计算机控制下重写显示 RAM 区在调制器上产生各种图像。

## 三、逻辑运算系统

液晶光学调制器可以用来改变偏振光的偏振方向, 当加在  $90^\circ$  扭曲液晶层上的电压大于“开启”电压时, 通过液晶层的偏振光不改变偏振方向, 这时液晶层处于“on”态。当电压小于“阈值”时, 通过液晶层的光线偏振方向将旋转  $90^\circ$ , 这时液晶层处于“off”态。因此在矩阵液晶调制器上加上适当的电压分布可将电信号转换成偏振编码的光信号。

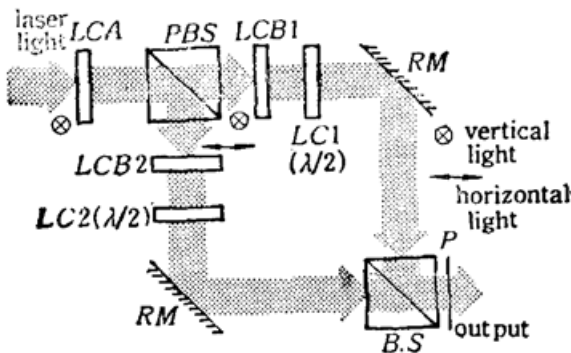


Fig 1. Optical logic operation system

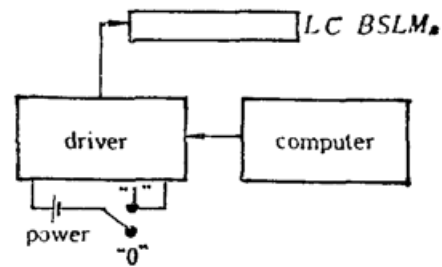


Fig. 2 States of modulators

图 1 是整个逻辑运算系统的装置图。用垂直方向的偏振光代表逻辑值 1, 水平方向的偏振光代表逻辑值 0。其中  $LCA$ 、 $LCB1$ 、 $LCB2$  均是矩阵液晶调制器;  $LC1(\lambda/2)$ ,  $LC2(\lambda/2)$  是二块所有行电极间及列电极间各自互连的矩阵液晶调制器, 这样加上适当的电压, 调制器上的所有单元将同时处于“on”态或“off”态, 形成了二块电可控的半波片。输入图形  $A$  经计算机控制加在  $LCA$  上, 输入图形  $B$  同时加到  $LCB1$ ,  $LCB2$  上。垂直方向偏振的 He-Ne 激光经过  $LCA$  后被调制成偏振编码的输入量图形  $A$ , 被调制的光经一偏振分束器( $PBS$ )后, 垂直方向的偏振光入射到  $LCB1$  上, 水平方向的偏振光入射到  $LCB2$  上, 再分别经过  $LC1(\lambda/2)$ ,  $LC2(\lambda/2)$ , 最后通过一分束器( $BS$ )叠加在一起输出。在此光路中,  $LCB1$ ,  $LCB2$ ,  $LC1(\lambda/2)$ ,  $LC2(\lambda/2)$  均有二种状态。如图 2 所示, 我们定义当  $LCB1$  及  $LCB2$  的驱动电路电源接通时为  $LCB1$  及  $LCB2$  的状态“1”, 此时  $LCB1$ ,  $LCB2$  包含输入图形  $B$ ; 当断开驱动电路电源时为

$LCB 1$ ,  $LCB 2$  的状态‘0’, 此时  $LCB 1$ ,  $LCB 2$  上的所有单元均处于“off”态。同样对  $LC 1(\lambda/2)$ 、 $LC 2(\lambda/2)$ , 当所有液晶单元均处于“on”态时为状态‘1’, 所有单元处于“off”态时为状态‘0’。计算机发送一 4 位电信号来接通或断开驱动电路的电源, 从而实现矩阵液晶调制器状态的控制。这些状态的不同组合可以实现 16 种不同的布尔逻辑操作。表 1 列出了液晶调制器的状态与逻辑操作间的对应关系, 表 2 列出了各逻辑操作的真值表。

Table 1 Logic operations corresponding to the states of modulators

States of modulators				Logic operations
$LCB 1$	$LCB 2$	$LC 1(\lambda/2)$	$LC 2(\lambda/2)$	
0	0	0	0	$A$
0	0	0	1	1
0	0	1	0	0
0	0	1	1	$\bar{A}$
0	1	0	0	$A \text{ OR } B$
0	1	0	1	$A \text{ OR } \bar{B}$
0	1	1	0	$\bar{A} \text{ AND } \bar{B}$
0	1	1	1	$A \text{ NOR } B$
1	0	0	0	$A \text{ AND } \bar{B}$
1	0	0	1	$A \text{ NAND } B$
1	0	1	0	$A \text{ AND } B$
1	0	1	1	$\bar{A} \text{ OR } B$
1	1	0	0	$A \text{ XOR } B$
1	1	0	1	$\bar{B}$
1	1	1	0	$B$
1	1	1	1	$A \text{ EQV } B$

下面以  $A \cdot \text{OR} \cdot B$  操作来说明逻辑操作系统的运算过程。表 1 中  $A \cdot \text{OR} \cdot B$  对应的状态为  $LCB 1 = LC 1(\lambda/2) = LC 2(\lambda/2) = '0'$ ,  $LCB = '1'$ 。当输入量  $A = 1$  时, 垂直方向的偏振光经  $PBS$  后只有透射光而无反射光, 经过  $LCB 1 (= '0')$  后, 偏振光转到水平方向, 再经过  $LC 1(\lambda/2) (= '0')$ , 偏振方向又转到垂直方向, 这样输出结果为 1, 此时输出结果与输入量  $B$  无关; 当输入量  $A = 0$  时, 水平方向偏振光经  $PBS$  后全部反射。此时若  $B = 0$ , 经过  $LCB 2 (= '1')$  后偏振方向将转到垂直方向, 再经  $LC 2(\lambda/2) (= '0')$  后, 偏振方向又转到水平方向, 这时输出为 0; 若  $B = 1$ , 经过  $LCB 2$  后, 偏振方向不改变仍为水平方向, 再经  $LC 2(\lambda/2)$  后, 偏振方向转到垂直方向, 这时输出为 1。总之以上操作, 当  $A = 1$  时, 输出恒为 1, 当  $A = 0, B = 0$  时输出为 0,  $A = 0, B = 1$  时输出为 1, 正好对应于逻辑操作  $A \cdot \text{OR} \cdot B$  (见表 2)。

其它几种操作, 可以对照表 1 及表 2 来说明, 限于篇幅这儿不一一列举。

Table 2 Truth table of half adder

$A=0$ $B=0$	$A=0$ $B=1$	$A=1$ $B=0$	$A=1$ $B=1$	Logic
0	0	1	1	$A$
1	1	1	1	1
0	0	0	0	0
1	1	0	0	$\bar{A}$
0	1	1	1	$A \cdot \text{OR} \cdot B$
1	0	1	1	$A \cdot \text{OR} \cdot \bar{B}$
0	1	0	0	$\bar{A} \cdot \text{AND} \cdot B$
1	0	0	0	$A \cdot \text{NOR} \cdot B$
0	0	1	0	$A \cdot \text{AND} \cdot \bar{B}$
1	1	1	0	$A \cdot \text{NAND} \cdot B$
0	0	0	1	$A \cdot \text{AND} \cdot B$
1	1	0	1	$\bar{A} \cdot \text{OR} \cdot B$
0	1	1	0	$A \cdot \text{XOR} \cdot B$
1	0	1	0	$\bar{B}$
0	1	0	1	$B$
1	0	0	1	$A \cdot \text{EQV} \cdot B$

#### 四、光学半加器

光学逻辑运算及半加运算是光计算的最基本单元。二进制量  $A_i, B_i$  的半加运算结果产生它们的和  $S_i$  及进位量  $C_{i+1}$ 。表 3 列出了半加法的真值表及与逻辑运算间的对应关系。 $S_i, C_{i+1}$  对应于逻辑操作  $\cdot \text{XOR} \cdot, \cdot \text{AND} \cdot$  即

$$S_i = A_i \cdot \text{XOR} \cdot B_i$$

$$C_{i+1} = A_i \cdot \text{AND} \cdot B_i$$

利用以上建立的逻辑运算系统,若给定调制器的状态,  $LCB1 = LCB2 = '1'$ ,  $LC1(\lambda/2) = LC2(\lambda/2) = '0'$ , 可实现  $A_i \cdot \text{XOR} \cdot B_i$  得到和  $S_i$ 。若  $LCB1 = LC1(\lambda/2) = '1'$ ,  $LCB2 = LC2(\lambda/2) = '0'$ , 可实现  $A_i \cdot \text{AND} \cdot B_i$  得到进位量  $C_{i+1}$ 。这样本文建立的逻辑运算系统很容易用来实现光

Table 3 Truth table of Boolean logic

$A$	$B$	Carry $C = A \cdot \text{AND} \cdot B$	Sum $S = A \cdot \text{XOR} \cdot B$
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

学半加器。

## 五、实验结果

利用图 1 的逻辑操作系统, 我们实现了 16 种布尔逻辑运算。输入图形  $A$ ,  $B$  经计算机写入到  $LCA$ ,  $LCB 1$  及  $LCB 2$  上, 所要进行操作的‘位’在经分束器及反射镜后必须保持‘位’对齐。计算机通过控制 -4 位数字信号来改变  $LCB 1$ ,  $LCB 2$ ,  $LC 1(\lambda/2)$  及  $LC 2(\lambda/2)$  的状态, 从而实现不同的逻辑操作。由于操作单元的信息是以偏振编码的, 人眼不可分辨, 为了使结果可见, 在输出处加了一块垂直方向的偏振片( $P$ ), 这样输出亮态表示偏振方向垂直的光, 对应逻辑值 1, 暗态表示偏振方向水平的光, 对应于逻辑值 0。

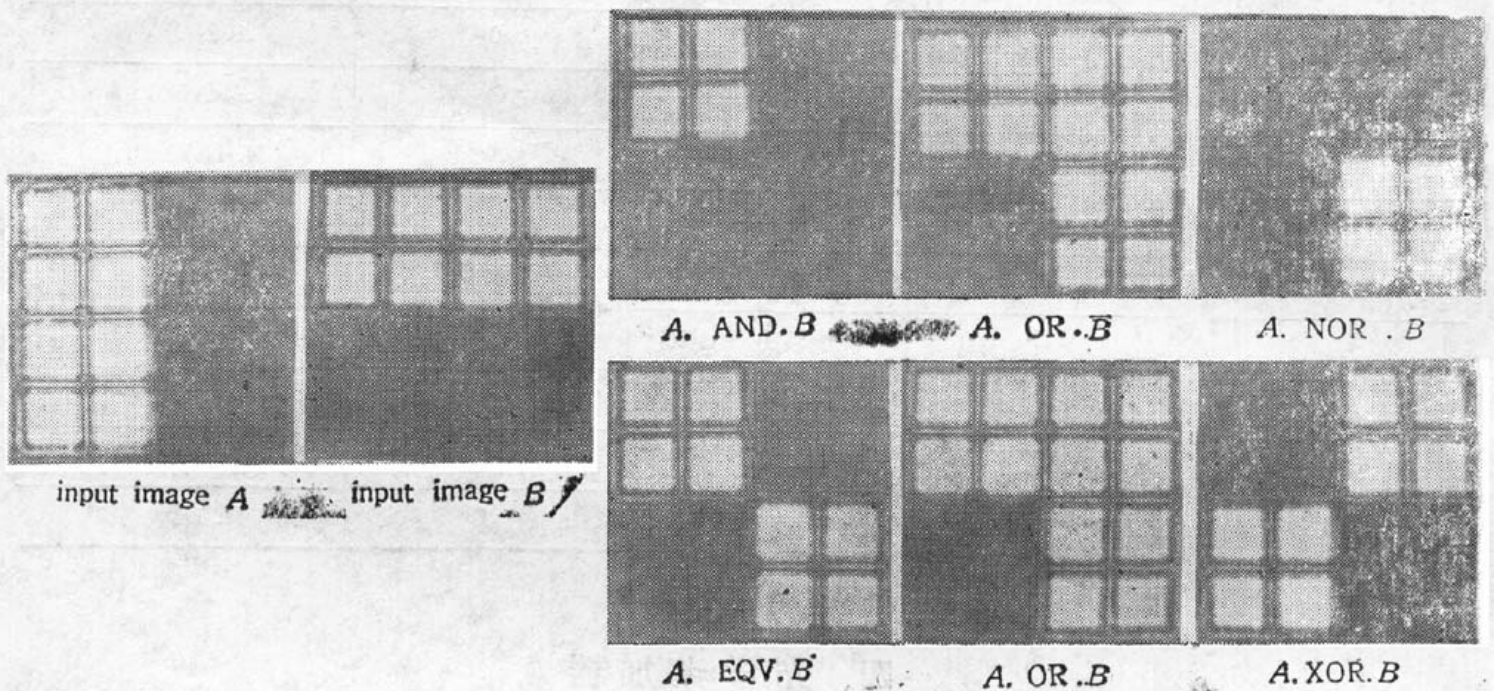


Fig 3 Input images  $A$  and  $B$

Fig 4 Results of logic operation

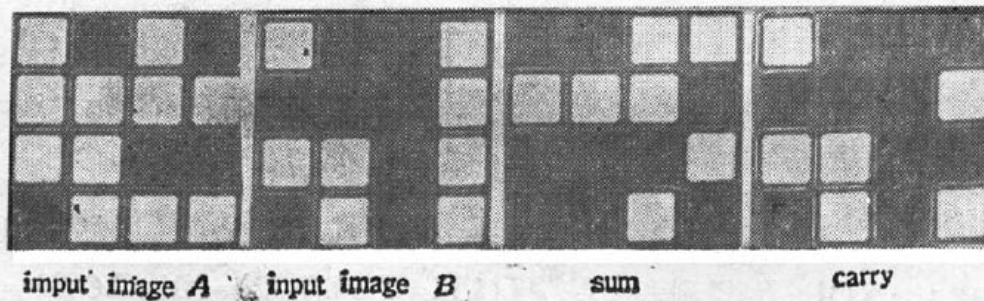


Fig. 5 Results of half adder

图 3 是输入图形  $A$ 、 $B$  的照片, 其中

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

图 4 给出了部分逻辑操作的实验结果。图 5 是半加运算实验结果, 其中输入图形

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

半加结果得到

$$\text{和 } S = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad \text{进位 } C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

### 参 考 文 献

- 1 H. Bartelt *et al.*, *J. Opt. Soc. Am.*, **A1**, 944 (1984)
- 2 J. Weigelt, *Opt. Eng.*, **26**(1), 23 (1987)
- 3 A. W. Lohmann *et al.*, *Appl. Opt.*, **26**, 131 (1987)
- 4 Masashi Hashimoto *et al.*, *Opt. Lett.*, **14**(3), 384 (1989)
- 5 K. M. Johnson *et al.*, *Opt. Eng.*, **26**(5), 335 (1987)
- 6 Johannes *et al.*, *Optical Computing 1989 Technical Digest Series*, Vol. 9, 276~279
- 7 Paul. M. Alt *et al.*, *IEEE Trans. Electron. Devices*, **ED-21**(2), 146 (1974)