光学符号代换多值运算

周少敏 卞新高 金国藩 邬敏贤

（清华大学精密仪器系 北京）

摘要：本文提出了一种利用符号代换法则实现光学多值运算的方法，并给出了两个三值三阶矩阵相加和相乘的实验结果。

一、导 论

符号代换法则（Symbolic Substitution Rule）以光学模式传递为基础，是一种可以充分发挥光并行处理特性的算法，它首先由Bell实验室的A. Huang提出[1]，并立即得到了人们的重视[2-4]。符号代换法则不同于布尔逻辑，它不仅能识别位的状态（0或1），而且能识别位的空间分布，因而具有很高的并行性。实现符号代换分两个步骤，第一步是“识别”，第二步是“代换”，如图1所示，整个运算过程为：输入分解—移位—合成—“或非”（也可以是其它逻辑）—解码—分解—移位—合成—解码输出。

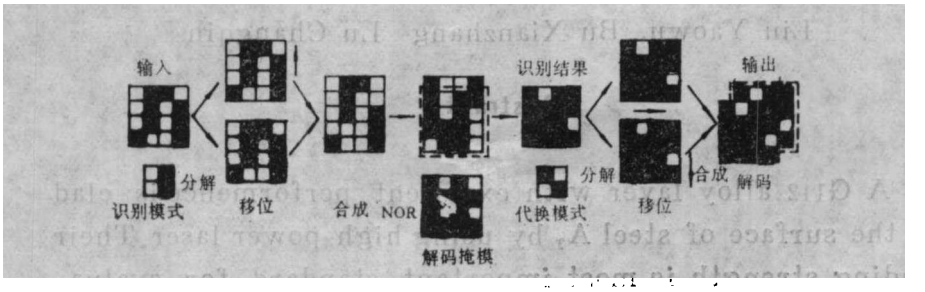

图1 符号代换过程

采用多值逻辑是提高计算机并行性的主要方法之一，它可以减少逻辑单元数及器件互联，大大提高计算速度。例如，三值逻辑与二值逻辑相比，实现加法和乘法时的速度分别可提高58%和150%[5]。

实现光学多值逻辑一般需要光多稳器件[6]，但目前这种器件的并行度还很低，不能有效地发挥光的并行处理能力。为此，我们对利用符号代换实现多值运算的方法进行了研究。

二、多值运算真值表

对于P级多值逻辑，构成的真值表具有P^n行和P^{P^n}列（n为输入个数）。例如，两个三值输入具有$3^2=9$种不同的输入象素组合，可以实现$3^{3^2}=19682$种不同的逻辑，如表1表示。

图2给出了实现两个三值输入间的加法和乘法运算时的真值表（Sum表示“和”信号，

表 1　三值、两输入运算真值表

A	B	F_0	F_1	·····	F_{19682}
0	0	0	0	·····	2
0	1	0	0	·····	2
0	2	0	0	·····	2
1	0	0	0	·····	2
1	1	0	0	·····	2
1	2	0	0	·····	2
2	0	0	0	·····	2
2	1	0	0	·····	2
2	2	0	1	·····	2

Carry表示“进位”信号；C_{i-1}表示上一级运算的进位信号)。

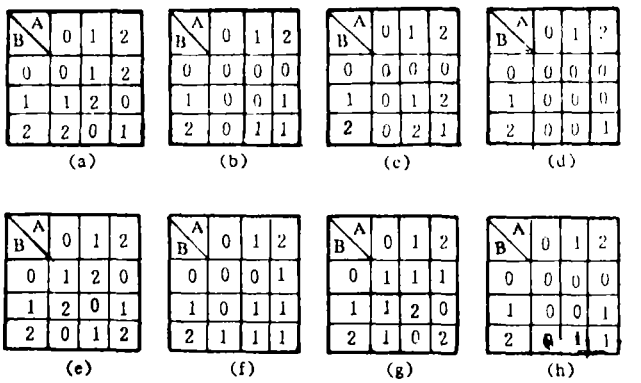

图 2　三值、两输入加法和乘法真值表。
(*a*)、(*b*)和(*e*)、(*f*)分别为$C_{i-1}=0$或1时加法的Sum、Carry；(*c*)、(*d*)和(*g*)、(*h*)分别为$C_{i-1}=0$或1时乘法的Sum、Carry。

三、系统及实验

我们所使用的符号代换系统如图 3 所示，它由 Mach 干涉光路、NOR 门阵列及解码掩模等组成。

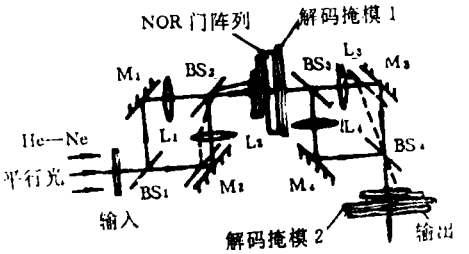

图 3　符号代换光学系统L_1-L_4：成像透镜
BS_1-BS_4：分束镜；M_1-M_4反射镜

首先对输入的多值数进行编码，可以有两种编码形式，一是直接编码形式，二是编码成二进制数表示的编码图形的形式（见图 4）。

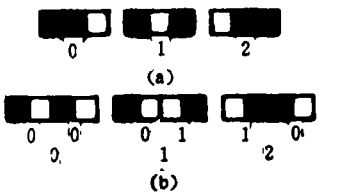

图 4　两种编码方式

以实现两个三阶三值矩阵间的运算为例，分别用两种形式编码的结果如图 5 所示。将两个编码后的两个输入图形交错重迭后，就可以利用符号代换法则来进行各种运算（包括各种

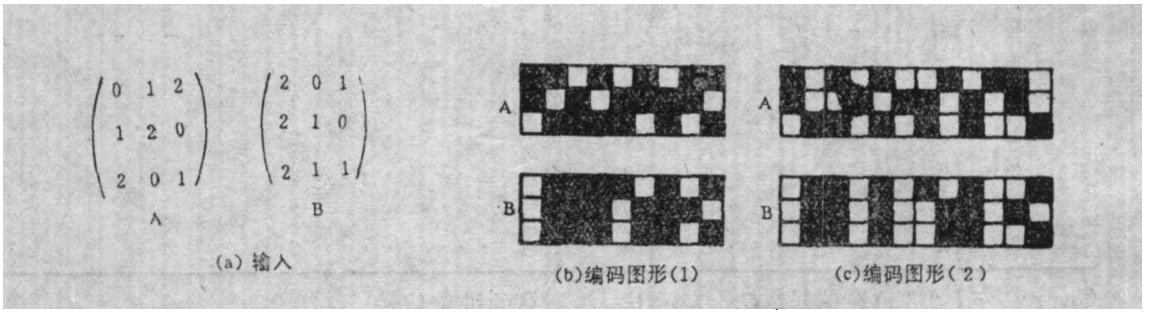

图 5　输入及两种形式的编码结果

逻辑运算、四则运算及数字图形处理等)。识别时以六个象素（对第一种编码形式）或八个象素（第 2 种编码形式）为一个模式来进行，共有九种不同的模式组合因而需九个并行识别和代换通道，对每一通道的识别结果按所需的运算关系进行符号代换。图 6 给出了用第一种形式编码的实现加法和乘法时的实验结果。

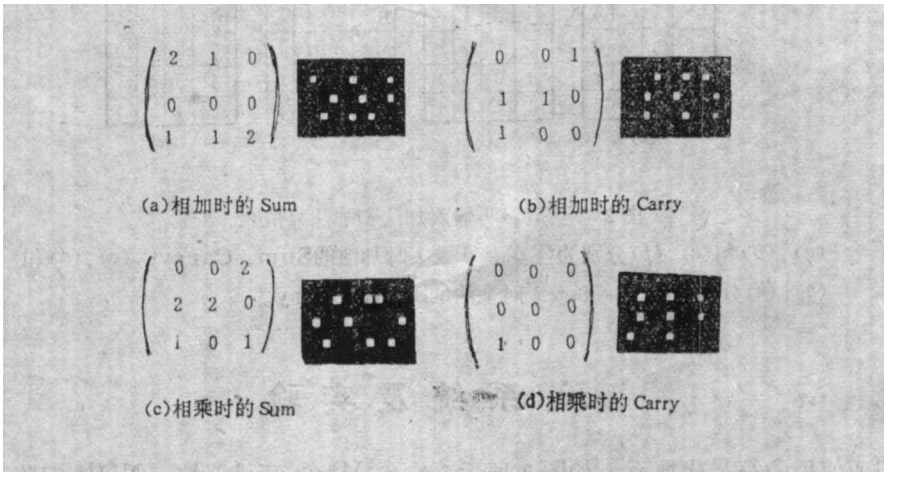

图 6　相加和相乘时的实验结果（对图 5 所示的输入，利用第一种形式的编码且$C_{i,-1}=0$）

在识别与代换过程中，需要对输入各分解九次，且经过一系列的移位、重迭及 NOR 运算后，将使S/N大大下降。此外，尽管我们采用成像光路而不是投影光路，但当象素尺寸较小时仍受到衍射的限制。为此，我们用一种 CGH （计算机全息图） 多光点分束器件对输入图形进行亮暗表示， 大大提高了 S/N。图 7 是实验结果（A、B两个输入按第一种形式编码后交错重迭而成）。

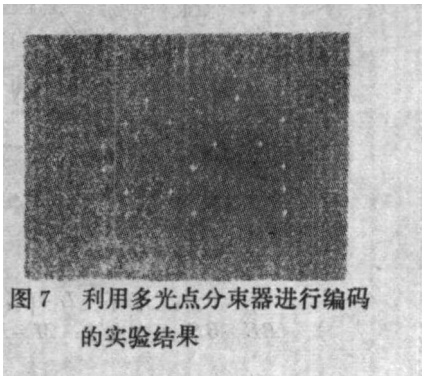

图 7　利用多光点分束器进行编码的实验结果

四、结　　论

符号代换法则具有很高的并行处理能力，而采用多值逻辑又可发挥它的并行性，所以，符号代换多值运算方式有可能用作光计算机的一种基本算法。为了进一步增大并行性，还可把Sum 信号与 Carry 信号代换在一起输出，但这样所带来的问题是输入输出图样间的编码方式将变得不一样，为了进行级联或反馈运算，必须用二维探测器陈列来识别和转换。作为进一步的研究，符号代换还可与余数算法结合实现余数矩阵运算。分解、识别及代换均可用 *CGH* 来完成。

参 考 文 献

[1] A. Huang, IEEE, Tenth International Optical Computing Conference (1983), 13.
[2] K. H. Bernner et al., Appl. Opt., (1986), 25, No. 18, 3054.
[3] M. J. Murdocca, Master's Thesis, (Rutgers U., New Brunswick N. J. 1984.)
[4] F. T. S. Yu. et al., Appl. Opt., (1987), 26, No. 12. 2293.
[5] 田山典男など；電子通信学会論文誌，J59-D, (1976), 245.
[6] 渡边正信；O plus E, (1987), No. 4, 68.

Optical Multiple-value Operation Based on Symbolic Substitution

Zhou Shaomin　Bian Xingao
Jin Guofan　Wu Minxian

Abstract

A method of optical multiple-value operation based on symbolic substitution rule is presented. The experimental results of two ternary 3×3 matrixs are given.