

使用光学自反关联存储技术的符号替换运算*

杨世宁 王天及 李耀棠 张世超 范少武 温焕荣

(中国科学院广州电子技术研究所, 广州 510070)

摘 要 介绍了使用光学自反关联存储技术进行符号替换运算的数学模型、数字模拟结果以及使用可编程 LCTV 液晶空间光调制器组成光电混合系统实现符号替换的方法。这种符号替换运算具有很强的容错能力。

关键词 关联存储器, 自反关联存储器, 光学神经网络, 符号替换。

目前, 人们正积极致力于具有通用功能和具有模仿人大脑智能的光数字计算机的研究。1983 年, Huang 提出了符号替换逻辑^[1], 它是利用光的并行性, 进行光信号并行处理的空间光逻辑。符号替换是考虑特定的局部图形, 全面探测其在输入图形中的空间排列形状及其排列位置后, 按一定的规律将其代换成其它局部图形, 重新组成输出信号。已经证明, 二进制符号替换能完成布尔逻辑所能完成的一切运算和逻辑判断。

光学关联存储器是光学神经网络的一种模型, 它模仿人类大脑的信息记忆和读取功能, 具有高度并行性、密集形互连性能, 具有很强的容错能力和记忆、识别、联想功能。因此, 把光学神经网络技术和符号替换运算结合起来, 能形成一种有很强的容错能力的符号替换逻辑。它在光计算机、光学推理机、光学专家系统等智能机器中有着重要的意义和应用前景。

1982 年美国的 Hopfield 提出了实现关联存储的一种简单模型^[2]。1987 年本文作者在 Hopfield 模型的基础上提出了一种修正模型, 称之为自反关联存储器^[3]。并把它推广为二维模型^[4]。本文是介绍利用这种二维自反关联存储器来实现符号替换运算。

1 符号替换

符号替换与传统的布尔逻辑不同的是, 布尔逻辑是识别比特的组合, 并输出单一比特。而符号替换不仅识别比特的组合, 而且也识别它们的相对位置, 识别空间结构, 并替换空间结构, 其输出是以一定方式放置的比特的组合。布尔逻辑与符号替换的比较如图 1 所示。

为了利用光学关联存储技术实现符号替换运算, 把逻辑 1 和逻辑 0 编码成一定的空间图形, 用 16 个像元编码成一个比特。为了便于区别输入和输出, 使输入和输出所编码的空间图形黑白对比正好相反, 如图 2 所示。

* 国家自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1994 年 5 月 15 日; 收到修改稿日期: 1994 年 8 月 5 日

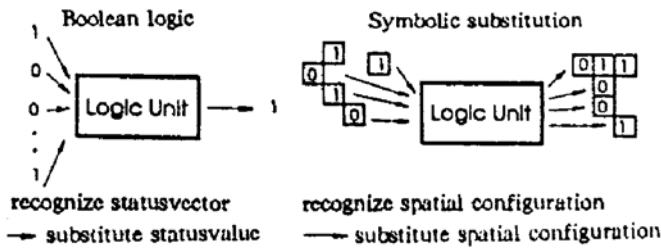


Fig. 1 Comparison of boolean logic with symbolic substitution

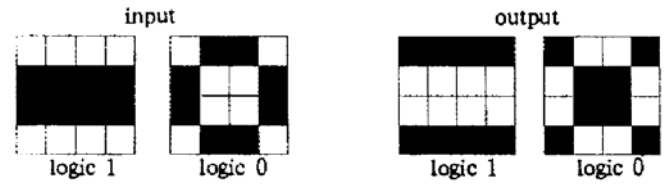


Fig. 2 Logic 1 and logic 0 are encoded into space picture

2 二维自反关联存储器的数学模型

在二维自反关联存储器中，信息以图像对的形式储存在存储矩阵的互相联系的单元中。由于储存的是二维的图像，所以存储矩阵是四维函数。 Q 对 $(N \times M)$ 像元的二值图像对 $U^{(q)}(i, j)$ 和 $V^{(q)}(i, j)$ 遵照下面的数学表达式储存在存储矩阵中。

$$T(i, j, i', j') = \begin{cases} \sum_{q=1}^Q \{ [2U^{(q)}(i, j) - 1][2V^{(q)}(i', j') - 1] \\ \quad + [2V^{(q)}(i, j) - 1][2U^{(q)}(i', j') - 1] \}, & (i, j \neq i', j') \\ 0, & (i, j = i', j') \end{cases}$$

并按下面规则，存储在存储矩阵中：

- $T(i, j, i', j') > 1$ 时， $T(i, j, i', j') = 1$ ；
- $T(i, j, i', j') = 0$ 时， $T(i, j, i', j') = 0$ ；
- $T(i, j, i', j') < -1$ 时， $T(i, j, i', j') = -1$ ；

为了便于利用光学系统处理，用二维的分布来表示四维的存储矩阵。 $T(i, j, i', j')$ 的矩阵元被分成 $i \times j$ 个矩阵块，每个矩阵块由 $i' \times j'$ 个矩阵元组成(图 3)。

当预先储存的图像对的一个不完整的图像 $U^{(q)}(i, j)$ 或 $V^{(q)}(i, j)$ 输入系统时，这一图像与存储矩阵 $T(i, j, i', j')$ 相乘，经反馈迭代和阈值操作后，能使与这一图像组成图像对的二个图像 $V^{(q)}(i, j)$ 和 $U^{(q)}(i, j)$ 交替被取出。

$$V^{(q)}(i, j) = \sum_{i'=1, j'=1}^{N, M} T(i, j, i', j') U^{(q)}(i', j'),$$

$$U^{(q)}(i, j) = \sum_{i'=1, j'=1}^{N, M} T(i, j, i', j') V^{(q)}(i', j').$$

在迭代过程中，按下列规则取阈值：

$$V^{(q)}(i, j) = \begin{cases} 1 & V^{(q)}(i, j) > 0, \\ 0 & V^{(q)}(i, j) \leq 0, \end{cases} \quad U^{(q)}(i, j) = \begin{cases} 1 & U^{(q)}(i, j) > 0, \\ 0 & U^{(q)}(i, j) \leq 0. \end{cases}$$

3 数字模拟

对图 4 所示的“与”、“或”逻辑关系进行符号替换的数字模拟。把逻辑 1 和逻辑 0 分别编

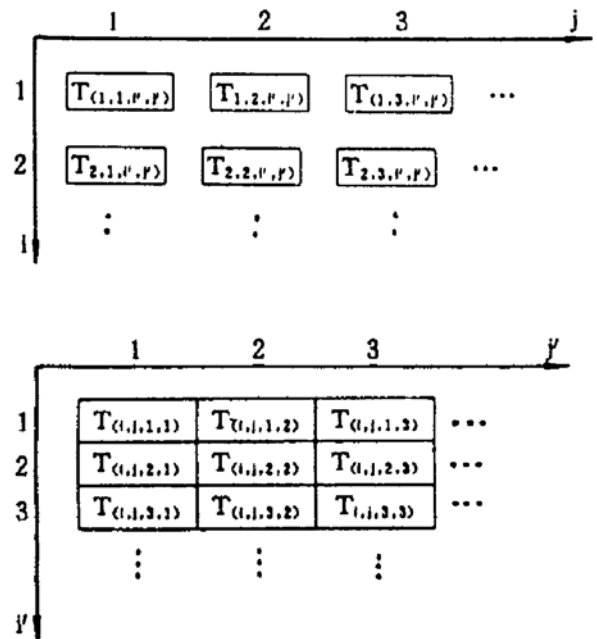


Fig. 3 4-dimension memory matrix is expressed as 2-dimension distribution

码成 4×4 个像元的空间图形。把 A 和 B 两个输入所编码的空间图形排在一起，成为 4×8 个像元的输入图形。并把“与”、“或”两个逻辑运算结果所编码的空间图形排在一起，成为 4×8 个像元的输出图形。

把逻辑输入 1、1 和它们的“与”、“或”输出 1、1 作为一组图像对；把逻辑输入 0、1 和它们的“与”、“或”输出 0、1 作为另一组图像对，这二组图像对关联存储构成存储矩阵。图 5 是利用这一关联存储器进行符号替换的数字模拟结果。从图中可见，当输入一个有错误的逻辑输入 1、1 图形时，经一次迭代就已得到正确的“与”、“或”输出 1、1 图形和正确的逻辑输入 1、1 图形。

A	B	AND	OR
1	1	1	1
0	1	0	1
1	0	0	1
0	0	0	0

Fig. 4 “AND”、“OR” logic

Input;	
1 1 1 1 0 0 0 0	
1 1 1 1 1 1 1 1	
1 1 1 1 1 1 1 1	
0 0 0 0 0 0 0 0	
1-st iteration;	Threshold;
11 3 3 11 10 10 10 10	1 1 1 1 1 1 1 1
-9 -1 -1 -9 -9 -9 -9 -9	0 0 0 0 0 0 0 0
-9 -1 -1 -9 -9 -9 -9 -9	0 0 0 0 0 0 0 0
10 2 2 10 10 10 10 10	1 1 1 1 1 1 1 1
2-nd iteration;	Threshold;
-11 -3 -3 -11 -11 -11 -11 -11	0 0 0 0 0 0 0 0
12 4 4 12 12 12 12 12	1 1 1 1 1 1 1 1
4 4 12 12 12 12 12 12	1 1 1 1 1 1 1 1
-11 -3 -3 -11 -11 -11 -11 -11	0 0 0 0 0 0 0 0
3-rd iteration;	Threshold;
12 4 4 12 12 12 12 12	1 1 1 1 1 1 1 1
-11 -3 -3 -11 -11 -11 -11 -11	0 0 0 0 0 0 0 0
-3 -3 -11 -11 -11 -11 -11 -11	0 0 0 0 0 0 0 0
12 4 4 12 12 12 12 12	1 1 1 1 1 1 1 1
4-th iteration;	Threshold;
-11 -3 -3 -11 -11 -11 -11 -12	0 0 0 0 0 0 0 0
12 4 4 12 12 12 12 12	1 1 1 1 1 1 1 1
4 4 12 12 12 12 12 12	1 1 1 1 1 1 1 1
-11 -3 -3 -11 -11 -11 -11 -11	0 0 0 0 0 0 0 0

Fig. 5 Digital simulation of iterative process

图 6 是逻辑输入 1、0 和它们的“与”“或”输出为一组图形，逻辑输入 0、0 和它们的“与”“或”输出为另一组图形，这二组图像对关联存储进行符号替换的数字模拟结果。从图可见，当输入有错误的逻辑输入 0、0 时，同样得到满意的结果。

4 利用光学关联存储技术进行符号替换运算

实现符号替换运算的光学自反关联存储系统由通过祯存储器与计算机联结的可编程 LCTV 液晶空间光调制器和透镜组成，如图 7 所示。

存储矩阵 $T(i, j, i', j')$ 是双极二元矩阵，把它分成二个部分，一个代表正值的掩膜，另一个代表负值的掩膜。输入的两对 4×8 像元的二值图像的数值由计算机键盘输入计算机，由计算机计算出存储矩阵 $T(i, j, i', j')$ ，并分成代表正值和负值的二部分，经由祯存储器在 LT_2 和 LT_3 位置的可编程 LCTV 液晶空间光调制器依次按矩阵块 $T(1, 1, i', j')$ 、 $T(1, 2, i', j')$ 、... 的顺序分别形成正掩膜和负掩膜。

符号替换运算的输入变换成 4×8 像元的二值图像后，由计算机经由祯存储器输入在

Input:								
1	1	1	0	0	1	1	1	
1	1	0	1	1	0	0	1	
1	0	0	1	1	0	1	1	
1	1	1	0	0	1	1	1	
1-st iteration:								
11	-7	-7	10	10	-7	-7	11	
-9	7	7	-9	-9	7	7	-9	
-9	7	7	-9	-9	7	7	-9	
11	-7	-7	10	10	-7	-7	11	
2-nd iteration:								
-15	12	12	-15	-15	12	12	-15	
16	-12	-12	16	16	-12	-12	16	
-15	12	12	-15	-15	12	12	-15	
3-rd iteration:								
16	-12	-12	16	16	-12	-12	16	
-15	12	12	-15	-15	12	12	-15	
-15	12	12	-15	-15	12	12	-15	
16	-12	-12	16	16	-12	-12	16	
Threshold:								
1	0	0	1	1	0	0	1	
0	1	1	0	0	1	1	0	
0	1	1	0	0	1	1	0	
1	0	0	1	1	0	0	1	
Threshold:								
0	1	1	0	0	1	1	0	
1	0	0	1	1	0	0	1	
1	0	0	1	1	0	0	1	
0	1	1	0	0	1	1	0	
Threshold:								
1	0	0	1	1	0	0	1	
0	1	1	0	0	1	1	0	
0	1	1	0	0	1	1	0	
1	0	0	1	1	0	0	1	

Fig. 6 Digital simulation of iterative process

LT₁ 位置的 LCTV 液晶空间光调制器中。准直的非相干光通过 LT₁ 后，被分成二束，每一束光分别经透镜 L₁ 和 L₃ 后通过 LT₂ 和 LT₃ 位置上按顺序形成的存储矩阵 $T(i, j, i', j')$ 的矩阵块的正掩膜和负掩膜。它们分别实现了存储矩阵块的正、负掩膜与输入图像的相乘，透镜 L₂ 和 L₄ 分别实现这些乘积的相加，并经摄像机输入计算机。这二个相加结果的相减和阈值处理由计算机实现，每次的计算结果为形成输出的 4×8 像元的二值图像的第 i, j 像元的值。如此顺序，经 32 次处理后，再经计算机按计算结果形成 4×8 像元的二值图像输出，从而完成一次迭代。把迭代结果再次输入进行下一次迭代。图 8 是利用图 7 这一系统进行符号替换的实验结果。输入是一个有错误的逻辑输入 0、0，经一次迭代就得到正确的“与”、“或”输出 0、0 的图形，第二次迭代得到正确的逻辑输入 0、0 图形。所得结果与图 6 数字模拟结果相符。

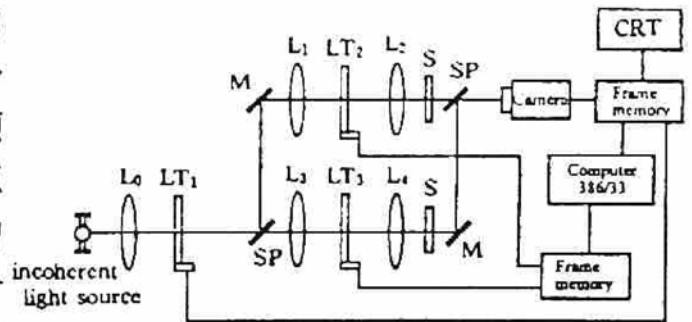


Fig. 7 Diagram for implementation of symbolic substitution using optical reflexive associative memory

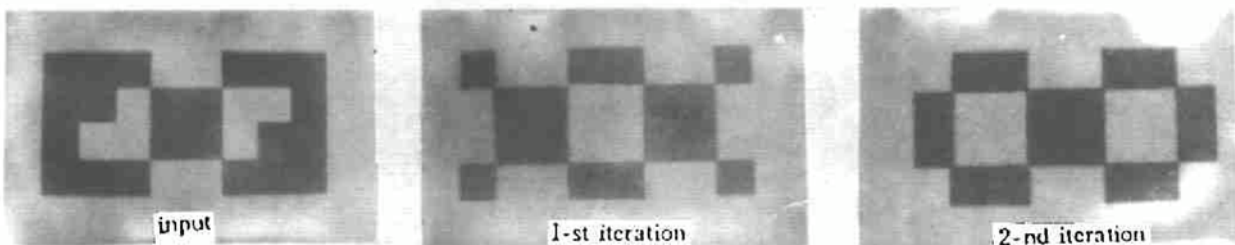


Fig. 8 Experimental result

在图 7 所示的系统中，当使用高分辨的 LCTV 液晶空间光调制器时，在 LT₁ 后插入由 4×8 个透镜组成的透镜阵列，该系统可进行符号替换运算的并行处理。由计算机计算出存储矩阵 $T(i, j, i', j')$ ，并分成代表正值和负值的二部分，经由帧存储器在 LT₂ 和 LT₃ 位置的可编程 LCTV 液晶空间光调制器中形成图 3 所示的 32×32 矩阵元的正掩膜和负掩膜。准直的非相干光通过 LT₁ 的输入图像后，被分成二束，每一束光分别经由透镜阵列通过 LT₂ 和 LT₃ 位置的正掩膜和负掩膜，分别实现输入图像的每个像元与存储矩阵的每个矩阵块相应像元的

相乘。乘积的相加分别由透镜 L_2 和 L_4 实现。这二个相乘结果的相减及阈值处理由计算机实现。从而完成一次迭代。

参 考 文 献

- [1] A. Huang, Parallel algorithms for optical digital computers. *Tech. Digest, 10th Int. Optical Computing Conf.*, 1983: 13~17
- [2] J. Hopfield, Neural networks and physical system with emergent collective computational abilities. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 1982, 79(8): 2554~2558
- [3] 杨世宁, 光计算中关联存储器的一种新模式. *光学学报*, 1987, 7(10): 911~916
- [4] S. N. Yang, T. J. Wang, Y. T. Li *et al.*, Two-dimensional reflexive neural networks. *SPIE's OE/Aerospace Sensing, Orlando'92*
- [5] F. T. S. Yu, C. Zhang, S. Jutamulia, Application of one-step holographic associative memories to symbolic substitution. *Opt. Engng.*, 1988, 27(5): 399~402

Symbolic Substitution Using Optical Reflexive Associative memory Technology

Yang Shining Wang Tianji Li Yaotang

Zhang Shichao Wan Shaowu Wen Huanrong

(Guangzhou Institute of Electric Technology, Academia Sinica, Guangzhou 510070)

(Received 15 May 1994; revised 5 August 1994)

Abstract A mathematic model, numerical simulation result of symbolic substitution using optical reflexive associative memory technology are presented in this paper. And a method implemented symbolic substitution using optoelectronic hybrid system composed of programmable liquid crystal television (LCTV) spatial light modulator is presented also. The symbolic substitution possesses excellent capability of making correction for error.

Key words associative memory, reflexive associative memory, optical neural networks, symbolic substitution.