

二阶互连光学神经网络

林 森 茂

(厦门大学电子工程系, 361005)

伍 杰 刘立人

(中国科学院上海光机所, 201800)

摘要: 本文提出一种用一块单极性掩模板表示双极性互连矩阵的偏振编码方法。并用二种非相干光电混合系统分别实现了二阶互连神经网络, 最后给出实验结果。

关键词: 关联存储器, 神经网络光计算

Optical neural network with a third-order interconnection

Lin Senmao

(Department of Electronics Engineering, Xiamen University)

Wu Jie, Liu Liren

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

Abstract: A polarization coding method representing the bipolar interconnection by using a single bipolarized mask is proposed. The neural network with a third-order interconnection is implemented with two types of incoherent opto-electronic systems respectively. The experimental results are given.

Key words: associative memory, optical neural computing

Jang 等人^[1]最近用全息外积系统实现二阶神经网络。按照他们的方法, 需要对神经网络模型进行修正, 其结果减少了存储容量。此外, 当网络中的神经元数为 N 时, 该系统需要 $N(N+1)$ 个电子反馈通道。本文提出两种非相干光电混合系统, 实现二阶互连的神经网络。按照我们的方法, 不需修正模型, 且反馈电子通道数只需 N 。在光学实现中, 我们提出一种偏振编码技术, 将分别代表正、负矩阵元的两块互连矩阵模板减少为一块。

一、平方关联存储器的光学实现

设 M 个字长为 N 的 $(0, 1)$ 二值矢量 $V^{(m)} (m=1, \dots, M)$, 按如下方式存储于三阶张量 W_{ijk} 中,

$$W_{ijk} = \sum_{m=1}^M (2v_i^{(m)} - 1) (2v_j^{(m)} - 1) (2v_k^{(m)} - 1) \quad (1)$$

网络的迭代过程为

$$\begin{aligned} v_i(\text{下一个状态}) &= 1, & \text{若 } \hat{v}_i &\geq 0 \\ &= 0, & \text{若 } \hat{v}_i < 0, \end{aligned} \quad (2)$$

这里,

$$\hat{v}_i = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N W_{ijk} v_j v_k, \quad i=1, \dots, N \quad (3)$$

首先,如图 1 所示,二个相同的一维空间光调制器,一个代表输入矢量 $v_j(j=1, \dots, N)$ (1 或 0 分别用透明或不透明代表), 另一个代表输入矢量 $v_k(k=1, \dots, N)$, 它们互相垂直交叉, 重叠构成二维输入矩阵 $(v_j v_k)(j, k=1, \dots, N)$ 。



Fig. 1 Construction of 2-D input matrix $v_j v_k$ by overlapping two identical 1-D SLMs orthogonally

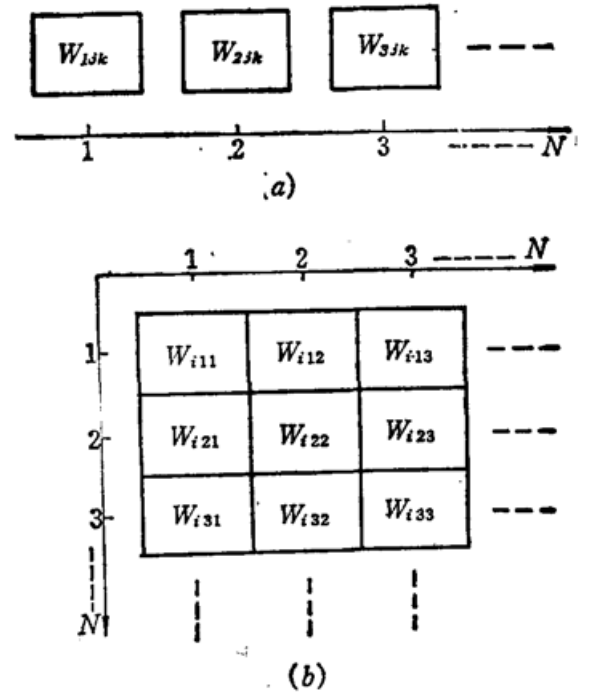


Fig. 2 Optical scheme representing a 3-D memory interconnection W_{ijk} with a 2-D mask
(a) i matrix blocks of W_{ijk} ; (b) $j \times k$ matrix cells in each block

然后,如图 2 所示,我们将 W_{ijk} 的所有元素分成 N 个矩阵子块,每个矩阵子块由 $N \times N$ 个矩阵元构成。这样,就可用一个二维的分布表示三维的 W_{ijk} 。

W_{ijk} 含有正负分量,本文用两个互相垂直的偏振方向对互连矩阵的正负号进行编码,在接收端用一块双折射晶体实现解码,然后用二个光电二极管检测正负值。尽管我们可以对 W_{ijk} 的元素个别地进行编码,然而,这样做在技术上要遇到很大的困难。考虑到第 i 个矩阵子块 W_{ijk} 和输入矩阵 $(v_j v_k)$ 对 j, k 是对称的,我们可将公式(3)改写为

$$\hat{v}_i = 2 \left[\sum_{j=1}^{N-1} \sum_{k=j+1}^N W_{ijk} v_j v_k + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N W_{ijj} v_j^2 \right] \quad (4)$$

考虑到阈值门限为零,因子 2 可以略去,则

$$\hat{v}_i = \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{k=j+1}^N W_{ijk} v_j v_k + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N W_{ijj} v_j^2 \quad (5)$$

所以,我们可以对 W_{ijk} 作重新排列,并截断为

$$W_{ijk}^* = \begin{cases} 1, & \text{若 } k \geq j \text{ 且 } W_{ijk} > 0 \\ -1, & \text{若 } k < j \text{ 且 } W_{ijk} < 0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

W_{ijk}^* 矩阵的上三角部分只含 +1 和 0, 下三角矩阵只含 -1 和 0, 对角线各元素相同, 或全为 +1, 或 -1 或 0。因此,我们可以用两大块偏振方向互相垂直的偏振膜以对角线为界对 W_{ijk}^* 元素的正负号进行编码。这样,双极性 W_{ijk}^* 矩阵可用一块单极性的模板来表示了。

1.1 基于非相干多重成像系统的光学平方关联存贮器

图3是系统原理示意图。输入矩阵 $v_j v_k$ 被针孔数为 N 的针孔阵列多重成像，形成 N 幅图像。会聚透镜将针孔阵列成像于 P 平面上。因此，被掩模板上对应的模块调制相乘以后的输入矩阵被聚焦在 P 平面上。经过一块双折射晶体，每一个光斑被分成两个小光斑。其中，一个代表乘积的正值部分，一个代表乘积的负值部分。它们分别由一对对应的检测器接收，经过电子差分放大和阈值以后，其结果反馈回来决定 v_i 的状态。

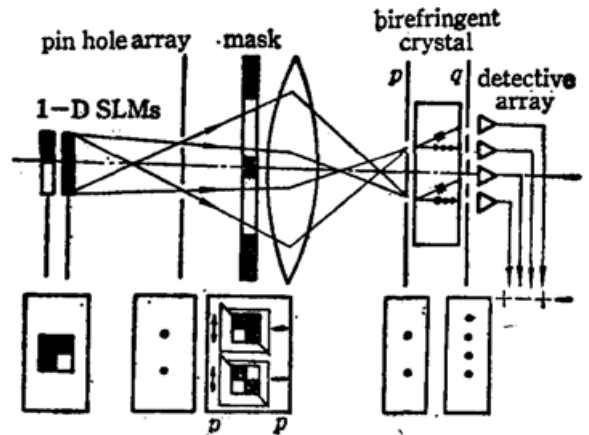


Fig. 3 The quadratic associative memory based on a multiple-imaging system (electronic part is omitted)

1.2 基于非相干相关系统的光学实现

图4是系统的原理图。输入矩阵 $(v_j v_k)$ 和互连掩模板与前述系统相同。输入矩阵 $(v_j v_k)$ 和掩模板的矩阵块在透镜的后焦面上形成许多相关峰。其中有 N 个相关峰的光强代表了输入矩阵 $(v_j v_k)$ 和互连掩模板中的 N 块矩阵子块 W_{ijk}^* 相乘的结果。因此，在 P 平面上需要附加一块有 N 个小孔的模板让所需 N 个相关峰光点通过，而挡住其它无用的相关峰。

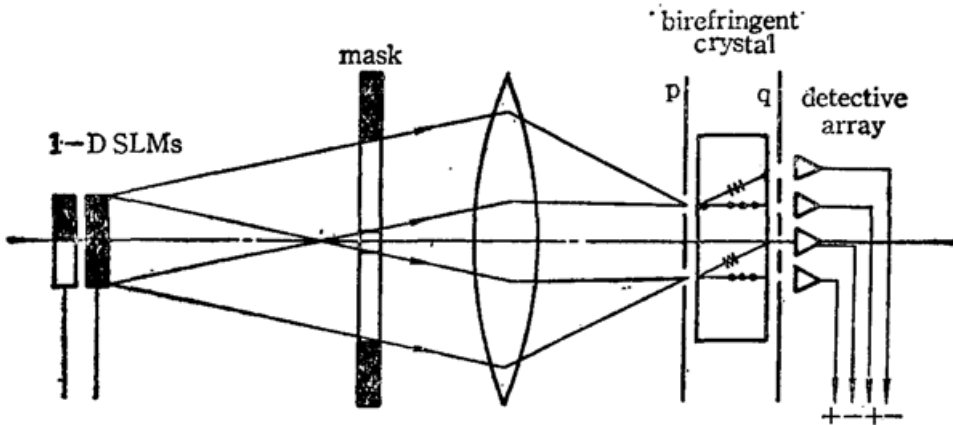


Fig. 4 The quadratic associative memory based on a correlation system (electronic part is omitted)

二、光学平方关联存贮器的数值模拟

在数值模拟中，我们存贮了两个二值矢量(11001101)和(01111010)。它们的汉明距离为6。重排并截断后的 W_{ijk}^* 和一个典型的迭代过程分别示于图5的(a)，(b)中。

三、实验结果

在实验中，为了便于与数值模拟结果相比较，我们选择了长为8的输入矢量，为了充分利用光学的并行性，将 W_{ijk}^* ($i=1, \dots, q$) 的模块排成两行，第一行含 W_{ijk}^* , $i=1, \dots, 4$, 第二行含 W_{ijk}^* , $i=5, \dots, 8$ 。针孔阵列和检测器阵列也作了相应的调整。在多重成像系统中，

0 1 0 0 1 0 0 0	1 0 0 0 0 1 0 1	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 0 1	0 1 0 0 1 0 0 0	-1 0 1 1 0 0 1 0	-1 0 1 1 0 0 1 0
0 -1 0 0 0 0 0 0	-1 0 1 1 0 0 1 0	0 0 0 0 1 0 0 0	0 0 0 0 1 0 0 0
0 -1 0 0 0 0 0 0	-1 0 0 1 0 0 1 0	0 0 0 0 1 0 0 0	0 0 0 0 1 0 0 0
0 0 -1 -1 0 1 0 1	0 0 0 0 1 0 0 0	-1 0 0 0 0 0 1 0	-1 0 0 0 0 0 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 -1 -1 0 1 0 1	0 -1 0 0 -1 0 0 0	0 -1 0 0 -1 0 0 0
0 -1 0 0 -1 0 0 0	-1 0 0 0 0 -1 1 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 -1 -1 0 0 -1 1	0 -1 0 0 -1 0 0 0	0 -1 0 0 -1 0 0 0
1 0 0 0 0 1 0 1	0 1 0 0 1 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 1 0 0 1 0 0 0
-0 1 0 0 1 0 0 0	0 0 0 0 0 1 0 1	-1 0 1 1 0 0 1 0	0 0 0 0 0 1 0 1
-1 0 1 1 0 0 1 0	0 -1 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 1 0 0 0	0 -1 0 0 0 0 0 0
-1 0 0 1 0 0 1 0	0 -1 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 1 0 0 0	0 -1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 0 0 0	0 0 -1 -1 0 1 0 1	-1 0 0 0 0 0 1 0	0 0 -1 -1 0 1 0 1
0 0 -1 -1 0 1 0 1	0 0 0 0 0 0 0 0	0 -1 0 0 -1 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0
-1 0 0 0 0 -1 1 0	0 -1 0 0 -1 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 -1 0 0 -1 0 0 0
0 0 -1 -1 0 0 -1 1	0 0 0 0 0 0 0 0	0 -1 0 0 -1 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0

(a)

0 1 1 1 0 0 0 0
a part of input vector

multiplier \hat{v}_i	threshold operation	first iterative
-2 4 2 2 4-2 2-2	0 1 1 1 1 0 1 0	second iterative
-6 9 6 6 9-6 6-6	0 1 1 1 1 0 1 0	

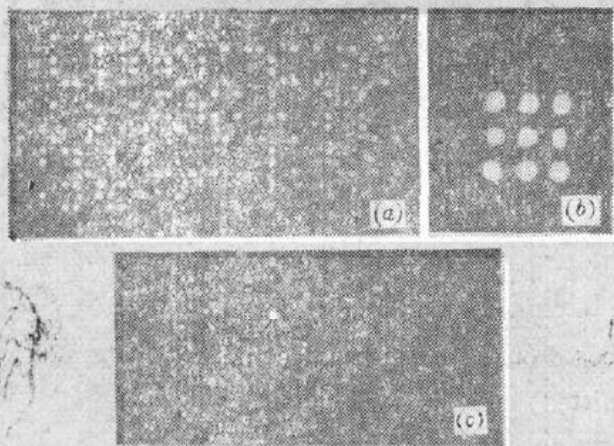
(b)

Fig. 5 Numerical simulations of the quadratic associative memory

(a) The rearranged and clipped W_{ij}^* ; (b) A typical iterative process

针孔直径为 0.5 mm, 两个相邻的针孔中心距为 10.8 mm, 两个相邻的输入矩阵元 ($v_j v_k$) 的

中心距为 13.5 mm。在相关系统中, 两个相邻的输入矩阵元 ($v_j v_k$) 的中心距为 1.5 mm。两个系统采用同样的互连掩模板。掩模板是按照重排和截断后的 W_{ij}^* 构成的。掩模板的小孔直径为 1 mm, 相邻小孔之间的中心距为 1.5 mm。互连掩模板编码时采用的偏振膜为一般的偏振薄膜。对于 W_{ij}^* 的第 i 个矩阵子块, 我们用两块偏振方向互相垂直的偏振膜以对角线为界对 W_{ij}^* 元素的正负号进行编码。解码采用的双折射晶体为方解石晶体。为了方便起见, 用一个二维小灯泡阵列代替空间光调制器表示输入矩阵 ($v_j v_k$)。实验结果和数值模拟结果相符。



V1	V2	V3	V4	-2	4	2	2
V5	V6	V7	V8	4	-2	2	-2

Fig. 6 Experimental results

(a) The mask used in experiment; (b) The input pattern $v_j v_k$ of the first iteration; (c) The light distribution on the detector plane of the first iteration

系统中, 掩模板与图 6(a) 中所示的模板相同, 而光斑分布刚好为图 6(a) 中所示的分布绕中心旋转 180°。

参 考 文 献