

一维局域互联关联存贮的光学实现

张莉 张家军 贺安之 闫大鹏 杨庆
(南京理工大学应用物理系, 南京 210014)

提 要

本文提出了一维局域互联关联存贮的光学实现方法, 讨论了可用来实现局域互联网的三种光电混合系统. 基于光电相关系统并用图像监视器编码互联权重矩阵, 液晶显示器编码输入矢量, 给出了一维光学实验结果.

关键词 Hopfield 模型, 光电混合系统, 液晶显示器

1 引 言

光学内禀并行性和高互联性, 使它成为实现人工神经网络最具潜力的方法. 自 1982 年 Hopfield 模型提出以来, 已报道了各种光学实现方法^[1~14]. 在这些装置中, 为了让系统具有动态能力, 主要的光学元件为空间光调制器. 然而对于外积型 Hopfield 模型, 其光学实现受到一些限制. 比如对于二维 $N \times N$ 输入数据, 互联权重矩阵将变为 $N^2 \times N^2$ 大小, 而现有的空间光调制器很难编码这么大尺寸的互联权重矩阵. 这是光学建立大型关联存贮网的主要困难. 因此人们^[12~14]提出了内积型 Hopfield 模型来降低对空间光调制器的要求, 即用两块 MN^2 大小的记忆模板替代 N^4 的互联权重矩阵. 但这种降低要求将以大大地减小原模型的容余度为代价. 时空分割复用技术^[8,9]是另一种缓解这种限制的方法, 但它需要更多的运行时间.

作者认为解决这个问题有两条值得探索的途径. 一是进一步提高工艺技术, 生产出具有大空间带宽积, 响应时间短的空间光调制器; 另一条是进一步研究新的神经网络模型, 使得该模型不仅具有关联存贮功能, 而且具有较小的互联权重矩阵, 因而很容易用现有的空间光调制器来实现.

在文献[15], 作者提出了局域互联关联存贮模型, 并将它与 Hopfield 模型的性能进行了比较. 与全局互联的 Hopfield 模型相比, 局域互联关联存贮具有较小的互联权重矩阵, 同时也具有一定的容余度, 因而仍具有全局关联存贮能力.

本文主要研究如何建立光电混合系统来实现一维局域关联存贮模型.

2 局域互联的关联存贮模型

首先回顾一下局域互联关联存贮模型. 设一维局域神经网络中存贮了 M 个 N 维的双极二值

收稿日期: 1992年12月17日

* 本项目得到国家自然科学基金和江苏省基金的资助.

矢量,则局域互联权重矩阵为:

$$W_{ij} = \sum_{m=1}^M V_i^{(m)} V_{j+j_0}^{(m)} (1 - \delta_{i,j+j_0}) \quad (i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, P) \quad (1)$$

$$j_0 = \begin{cases} 0 & 1 \leq i \leq d \\ i - d - 1 & d < i < N - d \\ N - P & N - d \leq i \leq N \end{cases} \quad (2)$$

式中 d 为局域区的半径, $P = 2d + 1$ 为局域区的大小. 其迭代过程可写为:

$$\tilde{V}_i^* (\text{下一状态}) = f \left(\sum_{j=1}^P W_{ij} V_{j+j_0}^* \right) \quad (3)$$

V^* 为部分输入矢量, f 为阈值函数. 由方程(1)可以看出, 输出面上的每个神经元仅与输入面上的 P 个神经元互联, 因而局域互联权重矩阵大小为 NP . 由于每个神经元的输出状态仅仅取决于其局域区中的 P 个神经元的状态, 因而局域互联关联存贮忽略了 Hopfield 模型中的远程互联, 保留了其近程互联^[15].

3 实验局域关联存贮模型的光电混合系统

用光学方法同时表示正负值一般比较困难, 因而对于双极矢量的光学编码需要特殊的编码技术. 但是正如人们最初在光学实现 Hopfield 模型中所做的那样, 可用单极二值矢量来代替双极二值矢量, 这时局域互联权重矩阵可改为:

$$W_{ij} = \sum_{m=1}^M (2V_i^{(m)} - 1)(2V_{j+j_0}^{(m)} - 1)(1 - \delta_{i,j+j_0}) \quad (4)$$

式中 V^* 为单极二值矢量, 其迭代过程与(3)式相同. 虽然(4)式在某种程度上会减弱原来模型的一些性能, 但它可以直接进行光学实现. 就象光学实现 Hopfield 模型所用的方法一样, 输入的单极二值矢量可用非相干光强来表示, 输入器件的开状态表示 1, 关状态表示 0, 而对互联权重矩阵可对其正负分量分别进行编码, 形成正负两个通道. 将两个通道的输出结果进行相减, 就可获得真正的输出结果. 上述方法对于局域关联存贮同样适用, 但稍有差别. 下面作者将分别讨论实现一维局域关联存贮网的三种光电混合系统.

3.1 多成像系统

如图 1 所示, 液晶显示器 1(LCTV1)为输入器件编码输入单极二值矢量, LA 为透镜列阵, 液晶显示器 2(LCTV2)用来编码局域互联权重矩阵(为简单起见, 只给出了一个通道), L 为会聚透镜, PD 为光电探测器列阵. 将两个通道的输出结果相减后取阈值, 再反馈到输入端就完成了迭代. 迭代过程反复地进行直到输出状态稳定. 对于局域互联关联存贮, 尽管输入矢量是 N 位, 但要得到输出面上每个神经元的输出, 每次只需要求出 P 个神经元的贡献, 而不是 N 神经元的贡献. 因此, 本系统中的 LA 排列方式与一维 Hopfield 模型系统中的 LA 排列方式不同. 下面作者就来详细地描述一下这种特殊的排列方式. 由 LCTV1 编码的输入矢量为 $1 \times N$ 维, 由 LCTV2 编码的关联权重矩阵为 $N \times P$ 维. 通过包含有 N 个小透镜的透镜列阵 LA, 输入矢量在 LCTV2 平面上形成 N

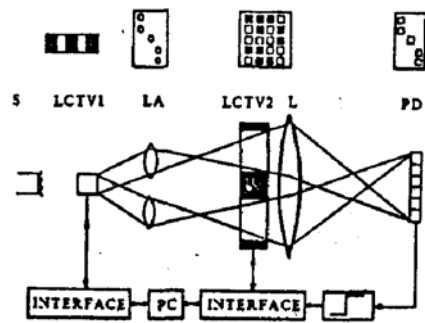


Fig. 1 Multi-imaging system for implementation of 1-D local interconnection associative memory
S — light source, LA — lenslet array, PD — photo-detector array

份拷贝,由于关联权重矩阵的每一行只有 P 个元素,因而它只需要输入矢量中 P 个相应的元素与之相乘来获得一个输出结果.这一规则由(3)式决定.因此位于 LCTV2 平面上的输入矢量的 N 份拷贝必须沿垂直方向作适当的位移.将 LA 安排成折线型(如图 1)可满足这一要求.同时由于透镜 L 将 LA 成像在 PD 面上,所以探测器列阵 PD 也要和 LA 一样安排成相同的折线型.

3.2 非相干相关系统

图 2 为光电相关系统.液晶显示器 1(LCTV1),液晶显示器 2(LCTV2)以及探测器列阵都和图 1 中所描述的不同.相关系统不需要透镜列阵来产生输入到互取权重矩阵的互联,但它需要一块解码板(DM)放于探测器列阵前屏蔽掉不需要的相干光点.

3.3 紧凑式光电混合系统

如图 3 所示,用于编码输入矢量的液晶显示器 1(LCTV1)和编码关联权重矩阵的液晶显示器 2(LCTV2)直接叠放在一起.因而系统仅需要一柱透镜收集透过两块重叠的液晶显示器的光线,因此图 3 系统结构非常紧凑.这时,显示在 LCTV1 上的输入矢量被安排成二维形式,形成 $N \times P$ 矩阵.在此矩阵中前 $(d+1)$ 行中的 P 个元素是相同的,每一行的 P 个元素就是输入矢量的 N 个元素中前 P 个元素,接下来的 $(N-P)$ 行中,每一行的 P 个元素都是上一行 P 个元素沿输入矢量的 N 个元素向后移动一个元素后所处位置上的 P 个元素,最后 d 行中 P 个元素也是相同的,每一行的 P 个元素就是输入矢量中最后的 P 个元素.经过这样安排以后,位于 PD 面上的输出光强将沿垂直方向排列,因而探测器列阵就是通常的一维探测器列阵.

4 实验结果

实验使用图 2 的光电相关系统.在此系统中,LCTV1 用一高分辨率的彩色监视器 HA3905 来代替,用来编码关联权重矩阵.图中的光源 S 可以不要. Aves WL-338 液晶显示器作为输入设备编码输入矢量,会聚透镜 L 的焦距为 135 mm ,而光电探测器 PD 为松下 CL-500 彩色 CCD 摄像机.位于 L 焦平面上的相关光强经过解码板 DM 被 CCD 接收,然后送到一阈值电路中,取阈值后的结果被反馈输入到液晶显示器 LCTV2 上,用于下一次迭代.此光电系统主要由一台 AST486 来控制.图 4 给出了实验结果.(a) 为 16 bit 长的三个存储矢量,(b),(c) 为削减的正负互联权重矩阵.选择局域区大小 $P = 9$,因而互联权重矩阵为 16×9 大小.正如前面所述,可以用两个通道来完成互联权重矩阵与输入矢量的正负关联.(d) 为部分的输入矢量,(e) 为它与三个存储矢量的汉明距离,(f),(g) 分别为部分为部分输入矢量与正负互联权重矩阵经过 DM 后的相关结果,(h) 为整个迭代过程.经过三次迭代后,输入的部分矢量收敛到存储矢量 V^i 上.而对于 Hopfield 模型,识别过程仅需一次迭代,因此从这个例子中也可以看出,局域关联存储网能进行正确的关联存储但它的收敛半径和存储容量都比 Hopfield 模型小.

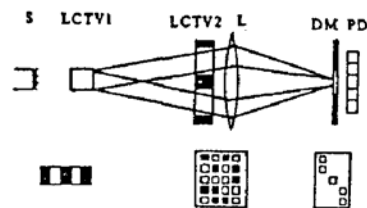


Fig. 2 Incoherent correlation system for implementation of 1-D local interconnection associative memory, DM—decoding mask

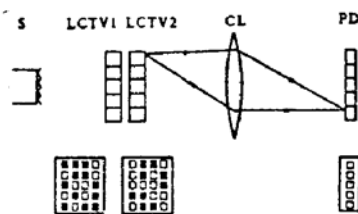


Fig. 3 Overlapping system for implementation of 1-D local interconnection associative memory

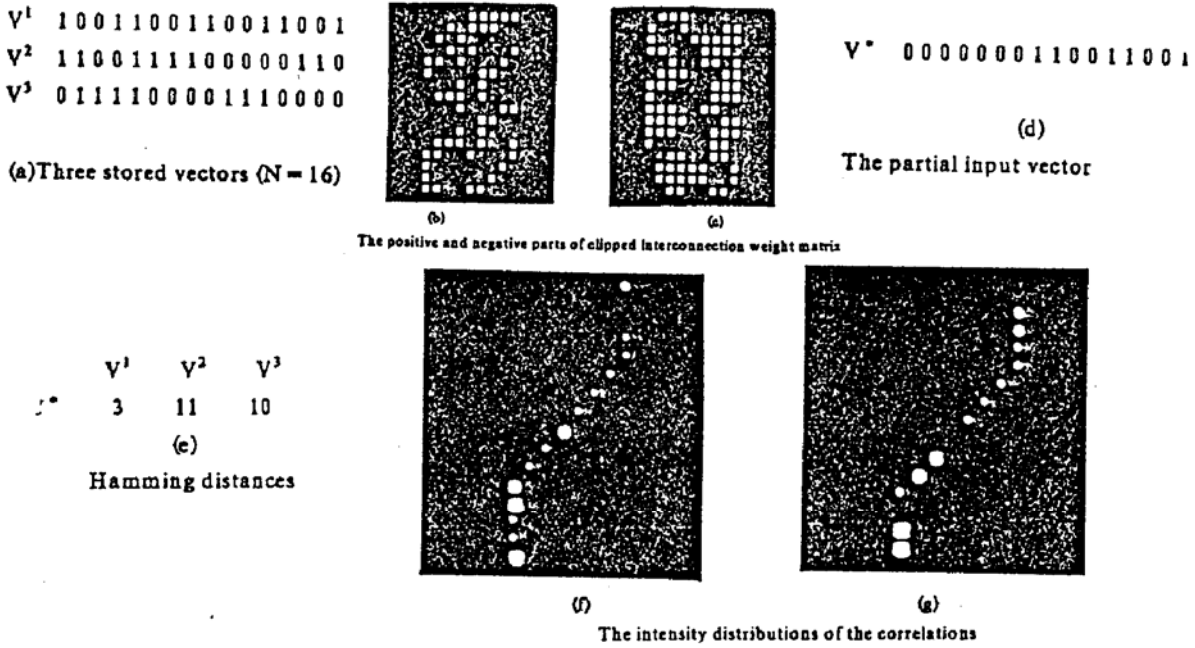


Fig. 4 Experimental results of the incoherent correlation system

5 总 结

本文利用光电相关系统实现了一维局域关联存贮模型,同时也讨论了另外二种光电混合系统. 强调的是最初用来实现 Hopfield 模型的系统稍作些改变,就可用来实现局域关联存贮网. 由于局域互联权重矩阵具有较小的尺寸,因而用现有的空间光调制器有可能实现大型神经网络系统.

参 考 文 献

[1] N. H. Farhat, D. Psaltis, A. Prata *et al.*, Optical implentation of the hopfield model. *Appl. Opt.*, 1985, 24(10) : 1469~1475

[2] D. Psaltis, N. H. Farhat, Optical information processing based on an associative memory model of neural nets with thresholding and feedback. *Opt. Lett.*, 1985, 10(2) : 98~100

[3] J. Jang, S. Jung, S. Lee *et al.*, Optical implementation of the Hopfield model for two-dimensional associative memory. *Opt. Lett.*, 1988, 13(3) : 248~250

[4] T. Lu, S. Wu, X. Xu *et al.*, Two-dimensional programable optical neural network. *Appl. Opt.*, 1989, 28(22) : 4908~4913

[5] F. Yu, Y. Lu, X. Yang *et al.*, Optical neural network with Pocket-size liquid-crystal television. *Opt. Lett.*, 1990, 15(15) : 863~865

[6] R. A. Athale, H. H. Szu, C. B. Friedlander, Optical implementation of accociative memory with controlled nonlinearity in the correlation domain. *Opt. Lett.*, 1986, 11(7) : 482~484

[7] K. Noguchi, Large-scale two-dimensional optical Hopfield associative memory using an incoherent optical free-space interconnection. *Opt. Lett.*, 1991, 16(14) : 1110~1112

[8] M. Ohta, J. Ohta, S. Tai *et al.*, Optical implementation of large-scale neural networks using a time-division-multiplexing technique. *Opt. Lett.*, 1990, 15(4) : 227~229

[9] F. Yu, X. Yang, T. Lu, Space-time-sharing optical neural network. *Opt. Lett.*, 1991, 16(4) : 247~249

[10] R. A. Athale, C. W. Strik, Compact architectures for adaptive neural nets. *Opt. Eng.*, 1989, 28(4) : 447~455

- [11] M. Kranzdorf, B. J. Bigner, L. Zhang *et al.*, Optical connectionist machine with polarization-based bipolar weight values. *Opt. Eng.*, 1989, **28**(8) : 844~848.
- [12] 张家军,张莉,贺安之等, Two-dimensional inner-product model for auto-,hetero- associative memory and its new optoelectronic implementation. *Microwave and Opt. Technol. Lett.*, 1992, **5**(7) : 321~325
- [13] P. Lalanne, P. Chavel, J. Taboury, Optical inner-product implementation of neural networks models. *Appl. Opt.*, 1989, **28**(2) : 377~385
- [14] A. J. David, B. E. A. Saleh, Optical implementation of the Hopfield algorithm using correlations. *Appl. Opt.*, 1990, **29**(8) : 1063~1064
- [15] 张家军,张莉,闫大鹏等, 局域互联神经网络的关联存储. *光学学报*. 1993, **13**(8) : 706~710

Optical implementation of one dimensional local interconnection associative memory

ZHANG Li ZHANG Jiajun HE Anzhi YAN Dapen YANG Qing

(*Department of Applied Physics, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210014*)

(Received 17 December 1992)

Abstract

Optical implementation methods of one dimensional local interconnection neural network (LINN) for associative memory are proposed, and three optoelectronic system are discussed in this paper. Based on optical incoherent correlation system, experimental results of one dimensional LINN are obtained by using image monitor to encode interconnection weight matrix and liquid crystal displayer to encode the input vector.

Key words Hopfield model, optoelectronic system, liquid crystal displayer.