

用于相似度并行测定的光学双极互连网络*

申金媛 张延焯 母国光

(南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

摘 要 本文提出一种实验系统, 用非相干光互连网络并行测量输入模式与所有存储样本之间的相似度, 并与电子 WTA 网络级联以实现海明(Hamming)神经网络模型. 文中给出了本系统的实验结果.

关键词 海明神经网络模型, 相似度, 模式识别, 双极态, 非相干光.

1 引 言

模式识别是神经网络的一个主要应用方面, 有很多模型^[1]可以用于模式识别, WTA (Winner-Take-All)神经网络模型便是其中之一, 此模型具有很多的优点^[2~4]. 全双极 WTA 模型, 即神经元状态和互连权重皆有双极性, 比单极模型具有更大的存储容量和寻址能力, 所以实现全双极 WTA 模型是很有意义的. 全双极 WTA 模型又称为海明模型. 网络的关键是并行测定输入模式与所有样本模式间的相似度. F. T. S. Yu 等运用全光技术实现单极 WTA 模型^[5], X. Y. Yan 等提出利用电子离子阱材料来完成 WTA 操作^[6], 作者曾提出一个相干光电混合系统来实现 WTA 模型^[7,8], 用一个多通道全息片来完成输入层与中间层之间的互连权重, 用电路来实现 WTA 操作. 本文提出一个非相干光电系统, 用互连模板和透镜阵列取代原系统中多通道全息片, 实现输入模式的加权求和, 以并行地测定输入模式与所有样本模式间的相似度, 从而与 WTA 电子网络构成海明模型模式识别系统. 文中给出九通道系统的部分实验结果.

2 海明神经网络模型

海明模型是一个三层神经网络模型^[2~4]. 中间层的每个神经元与一个存储模式相对应, 其神经元数目与存储模式的数目 M 相等. 中间层与输入层神经元之间的互连为 W_{hij} , 中间层神经元间的互连为 T_{hrs} , 中间层与输出层神经元间的互连为 W'_{hjk} . 当 W_{hij} 与 W'_{hjk} 相等时, 网络实现内容寻址进行自联想, 否则进行异联想. 输入模式按 W_{hjk} 加权求和, 得到与每一存储模式之间的相似度, 此相似度即为中间层神经元的输入值. 若取相似度为内积, 则 W_{hjk} 为第 hl

* 本课题得到国家自然科学基金和国家攀登计划基金资助.

收稿日期:1993年10月9日;收到修改稿日期:1994年1月3日

个存储模式的第 jk 个神经元的状态 X_{jk}^N ($X_{jk}^N = +1$ 或 -1)。在中间层由于其互连 T_{hls} 的作用，使得只有最大输入值的神经元的输出不为零，其他全部为零，完成 WTA 操作。

本文取相似度为内积，即互连 $W_{hjk} = X_{jk}^N$ ，则中间层第 hl 个神经元的输入 μ_{hl} 为

$$\mu_{hl} = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J W_{hjk} X_{jk}^N = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J X_{jk}^N X_{jk}^N \quad (1)$$

其中 $h = 1, 2, \dots, H, l = 1, 2, \dots, L, H \times L = M$ ，表示一个存储模式在 $H \times L$ 阵列中的位置， M 是存储模式的数目， $k = 1, 2, \dots, K, j = 1, 2, \dots, J, J \times K = N$ ，表示一个存储模式为一个 $J \times K$ 的矩阵， N 是一个存储模式中的神经元数目， X_{jk}^N 为输入元状态。在二值矩阵的情况下，一个模式 $\{V_{jk}^N\}$ 与相应的反模式 $\{\bar{V}_{jk}^N\}$ 的关系可以表示为

$$V_{jk}^N = 1 - \bar{V}_{jk}^N \quad (2)$$

任意一个双极模式 $\{X_{jk}^N\}$ 都可以由它的单极形式 $\{V_{jk}^N\}$ 表示

$$X_{jk}^N = V_{jk}^N - \bar{V}_{jk}^N \quad (3)$$

将方程(2)，(3)代入方程(1)有

$$\mu_{hl} = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J (V_{jk}^N - \bar{V}_{jk}^N) (V_{jk}^N - \bar{V}_{jk}^N) = 2 \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J (V_{jk}^N V_{jk}^N + \bar{V}_{jk}^N \bar{V}_{jk}^N) - N \quad (4)$$

根据 WTA 网络操作，只有输入为最大的中间层神经元才有非零输出，显然，中间层神经元的输出仅与 μ_{hl} 的相对值有关，而与其绝对值无关。因此，(4)式中的常数 N 和因数 2 可以忽略不计，这样 μ_{hl} 可以简化为

$$\mu_{hl} = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J (V_{jk}^N V_{jk}^N + \bar{V}_{jk}^N \bar{V}_{jk}^N) \quad (5)$$

从(5)式可知，海明模型可以利用单极模式及单极互连来实现，它的相似度由两部分组成，一部分为正单极对应的输入值，另一部分则为负单极所对应的值。图 1 为输入模式的排列，图 2 是互连权重的排列。得到中间层神经元的输入值后，通过中间层神经元之间的互连 T_{hls} 的作用，完成 WTA 操作，第 hl 个神经元的输出 Y_{hl} 为

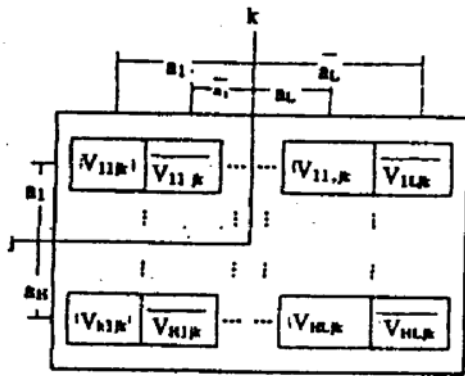


Fig.1 The form of input-layer-to-hidden-layer interconnection weights

$$Y_{hl} = f(\mu_{hl} - \mu) = \begin{cases} 1, & \mu_{hl} - \mu = 0. \\ 0, & \mu_{hl} - \mu < 0. \end{cases} \quad (6)$$

$\mu = \text{Max}(\mu_{hl}), h = 1, 2, \dots, H, l = 1, 2, \dots, L$ 。然后通过中间层与输出层之间的互连 W_{hjk} ，就得到自联想或异联想输出。右图是系统的框图 ($h = 1, 2, \dots, H, l = 1, 2, \dots, L$)

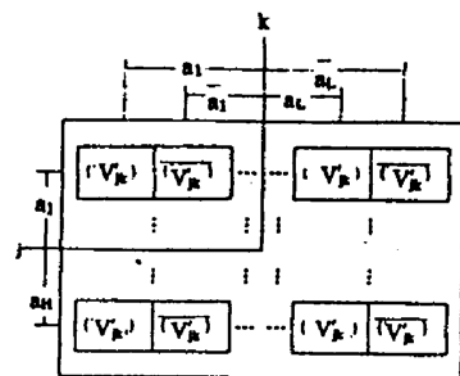
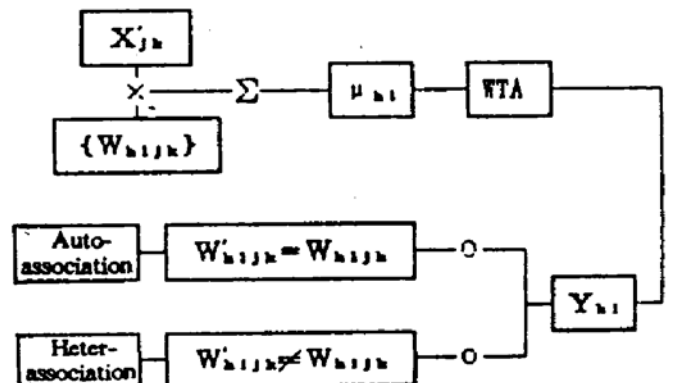


Fig. 2 The form of input pattern



3 非相干光系统

用白光光源代替激光可以消除相干噪声,但是采用白光光源后,不可能采用多通道全息片来作为互连权重和完成输入模式的加权求和,用互连模板和透镜阵列的组合来代替全息片,模板给出互连权重,本文用透镜阵列完成输入模式的加权求和,如图3所示: P_1 平面为输入平面, L_2 为成像透镜,互连模板放在 P_2 平面,它是 P_1 平面的像平面. P_1, P_2 平面与透镜 L_2 间的距离分别为 $2f, f$ 为透镜 L_2 的焦距. 紧靠 P_2 平面后放置一透镜阵列,小透镜的焦距为 f' , P_3 平面放一光电二极管阵列,它到 P_2 平面的距离为 d, d, f' 和 f 满足成像关系.

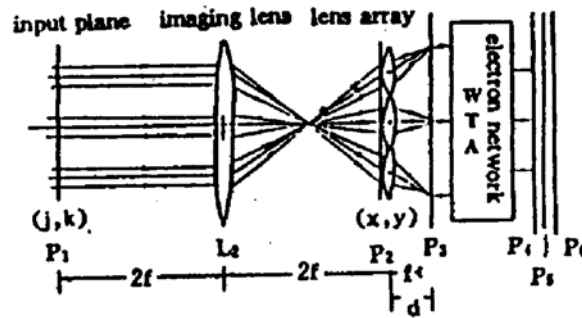


Fig. 3 The schematic diagram of the incoherent system

设第 hl 个存储模式对的连续形式为 $\{S_M(j - a_1, k - a_k)\}$

$$\{S_M(j - a_1, k - a_k)\} = \{V_M(j - a_1, k - a_k) + \bar{V}_M(j - \bar{a}_1, k - a_k)\}$$

即 $V_M(j - a_1, k - a_k)$ 为第 hl 个正单极存储模式 $\{V_M^h\}$ 的连续形式,它在 P_2 平面位于坐标 (a_1, a_k) , $\bar{V}_M(j - \bar{a}_1, k - a_k)$ 为其反模式,在 P_2 平面位于坐标 (\bar{a}_1, a_k) , $\bar{a}_1 = (a_1 + \bar{a}_1)/2$. 若输入模式为 $\{S'(j - a_1, k - a_k)\}$

$$\{S'(j - a_1, k - a_k)\} = \{V'(-j - a_1, -k - a_k) + \bar{V}'(-j - \bar{a}_1, -k - a_k)\},$$

则 P_2 平面后的辐照度为

$$I(\alpha, \beta) = \sum_{h=1}^H \sum_{l=1}^L I_0 [S'(-\alpha - a_1, -\beta - a_k) h_1(\alpha, \beta)] S_M(-\alpha - a_1, -\beta - a_k)$$

$h_1(\alpha, \beta)$ 系统的辐照脉冲响应函数.

若信号 $V'(jk)$ 的空间频率在该光学系统的空间频率响应范围之内,则空间脉冲响应可近似为 δ 函数,这样, P_2 平面背后的辐照度可近似为

$$\begin{aligned} I(\alpha, \beta) &= cI_0 \sum_{h=1}^H \sum_{l=1}^L [S'(\alpha - a_1, \beta - a_k) (S_M(\alpha - a_1, \beta - a_k) \\ &= cI_0 \sum_{h=1}^H \sum_{l=1}^L [V'(\alpha - a_1, \beta - a_k) (V_M(\alpha - a_1, \beta - a_k) \\ &\quad + \bar{V}'(\alpha - \bar{a}_1, \beta - a_k) \bar{V}_M(\alpha - \bar{a}_1, \beta - a_k)] \end{aligned}$$

P_3 平面的辐照度为

$$\begin{aligned} I_M(\zeta, \eta) &= cI_0 \iint S'(\alpha - a_1, \beta - a_k) S_M(\alpha - a_1, \beta - a_k) \\ &\quad \exp \{c' [\zeta - (da_1/f')] \alpha + [\eta - (da_k/f')] \beta\} d\alpha d\beta \\ &= cI_0 \iint [V'(\alpha - a_1, \beta - a_k) V_M(\alpha - a_1, \beta - a_k) \\ &\quad + \bar{V}'(\alpha - \bar{a}_1, \beta - a_k) \bar{V}_M(\alpha - \bar{a}_1, \beta - a_k)] \end{aligned}$$

$$\exp \{c' [\zeta - d(a_1 + \bar{a}_1)/2f'] \alpha + [\eta - (da_1/f')] \beta\} d\alpha d\beta$$

通过透镜阵列的求和作用, 在 P_3 平面的坐标 $[d(a_1 + \bar{a}_1)/2f', da_1/f']$ 处可以得到输入模式与第 h 个存储模式之间的相似度. 光电二极管将各相似度转换为电压值输入到中间层神经元, 通过中间层 WTA 网络的作用, 具有最大相似度的神经元输出 1, 其它则为 0. 然后直接由表示输出图像的互连模板 $W'_{h,i}$ 输出自联想和异联想结果.

4 实验结果和结论

图 4 是本实验中所采用的互连模板, 图 5 是部分实验结果. 可见采用双极互连及双极神经元输入克服了一个模式包含于另一个模式时单极 WTA 不能正确识别的缺点, 提高了系统的存储容量及寻址能力. 它与相干光系统具有相同的功能.

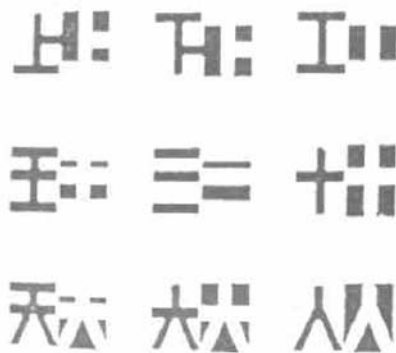


Fig. 4 Interconnection weights of experimental system

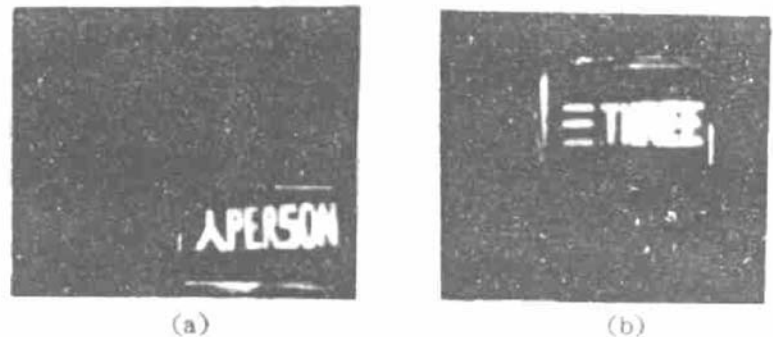


Fig. 5 Some experimental results of the system

(a) Result of inputting part of '人', (b) Result of inputting part of '三'

理论分析和实验皆表明海明模型具有大的存储容量和寻址能力, 它不仅能实现自联想, 而且能实现互联想, 同时它具有照明不变性和灰度不变性, 这是由于中间层神经元的输出仅与相对值有关而与绝对值无关造成的. 如果在系统前加某种预处理, 存储的参考模式用对应的不变特征来代替, 则系统可具有几何不变性, 如面内外旋转、尺度、平移等不变性. 系统存储容量的限制主要来自于系统的空间带宽积和元件的性能, 如光电器件的不均匀, 集成运放的不理想等等.

Hammin 模型中的相似度测量网络可根据应用目的和条件来选择用相干技术实现也可以通过非相干技术来实现.

参 考 文 献

- [1] R. P. Lippmann, An introduction to computing with neural nets. *IEEE Trans. Acoust. Speech Sig. Proc. ASSP*, 1987, 5(4): 4~22
- [2] H. H. Arsenault, B. Macukow, Beyond pattern recognition with neural nets. *Proc. SPIE*, 1989, 906: 206~216
- [3] H. H. Arsenault, Neural network model for fast learning and retrieval. *Opt. Engng.*, 1989, 28(5): 506~512
- [4] 张延焯, 申金媛, 黄五群, 三种 WTA 神经网络模型的模拟与研究. *人工智能与模式识别*, 1992, 5(1): 1~7

- [5] Q. W. Song, Francis T. S. Yu, Holographic associative memory system using a thresholding microchannel spatial light modulator. *Opt. Engng.*, 1989, **28**(5) : 533~536
- [6] Xinyang Yan, William Seiderman, Ravindra A Athale, *et al.*, Optical implementation of winner-take-all neural network using electron trapping materials. *Opt. Commun.*, 1992, **93**(1/2) : 33~38
- [7] Y. X. Zhang, J. Y. Shen, Optical/electrical hybrid three layer neural network for pattern recognition. *Proc. SPIE*, 1991, **1469** : 303
- [8] 申金媛, 张延焯, 王许明等, 光学实现全双极 WTA 神经网络模型. *电子学报*, 1992, **20**(10) : 69~75

Optical Neural Net with Bioplar Interconnections for Parallel Determination of Similarities

Shen Jinyuan Zhang Yanxin Mu Guoguang
(*Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjing 300071*)

(Received 9 October 1993; revised 3 January 1994)

Abstract An experimental system of the Hamming neural network model is proposed. The system includes two parts: an incoherent light interconnection net used to measure similarities between the input pattern and the memory patterns parallelly, and an electronic circuit used to implement WTA operation. Some experimental results of the system are presented.

Key words Hamming neural network model, similarity, pattern recognition, Bioplar neural state.