

光电混合实现全双极 WTA 模型的新方法

丁铁英 徐 军 申金媛 张延焯

(南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

摘 要 提出了一种光电混合实现全双极 Winner-Take-All(WTA)神经网络模型的新方法,并应用于 WTA 模式识别系统,给出了实验结果。该方法能更有效地利用系统空间,取阈方便,能够进行非存储模式的判断和容错性识别,使系统具有更大的存储容量和寻址能力。

关键词 全双极, WTA 神经网络模型, 模式识别。

1 引 言

光学的快速并行性使光学神经网络的研究受到重视^[1],但用光学方法实现神经网络也存在其特有的困难。其中之一就是双极性问题。全双极模型的信息处理能力(包括存储容量、学习能力、寻址能力和收敛速度等)比单极网络高^[2, 3],但是,全双极模型由于输入神经元及互连出现负值而给光学实现带来困难。曾有很多人在全双极模型的光学实现上做过努力^[4~6]。

WTA 模型是一种主要应用于模式识别的神经网络模型,对模式的相似度测定是用光学相关网来实现的,这给 WTA 模型的双极化带来了困难,申金媛等提出用单极模式加上其反模式来实现全双极 WTA 模型^[7],这种方法简单易行,但用两倍的神元数实现双极化,浪费了光学系统的空间带宽积,而在大规模(主要指神元数多)的光学神经网络系统中,空间带宽积是系统存储容量的主要限制来源。因此,在不丢失信息的前提下,尽量压缩实际神元数,充分利用系统的空间带宽积,可有效地提高系统的存储容量。本文提出一种光电混合实现全双极 WTA 神经网络模型的新方法,这种方法只需要在单极模式上补偿 $N/2$ 的神元(N 为单极模式的神元数),便完成了 WTA 模型的双极化。与文献^[7]的方法相比,压缩了神元数,更有效地利用了系统的空间带宽积。另外,在存储模式阵列上增加了一个阈值模式,使系统能够判断非存储模式,并且具有照明不变性。用该方法实现的 WTA 模式识别系统,硬件简单,取阈方便,易于进行容错识别和非存储模式的判断,具有更大的存储容量和寻址能力。

2 全双极 WTA 神经网络模型的实现方法

2.1 全双极 WTA 模型的等效单极形式

* 国家攀登计划认识科学(神经网络)重大关键项目的资助课题。

收稿日期:1994年7月3日;收到修改稿日期:1994年9月5日

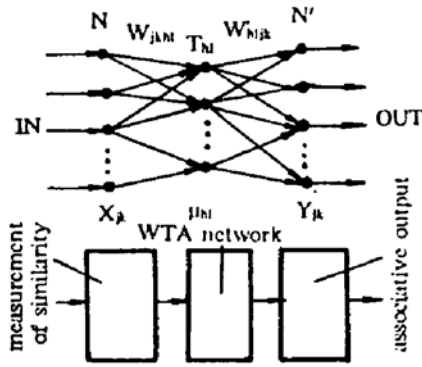


Fig. 1 WTA neural network model

WTA (Winner-Take-All) 网络是一种执行优选算法的网络结构，它可以从 M 个神经元的初始状态出发，经过并行迭代而达到一个稳定状态，使初值最大的神经元有对应输出，而所有其它神经元输出皆为零。含有这种 WTA 中间层的系统即为 WTA 神经网络模型，它在结构上是一个三层神经网络（如图 1）：从输入层到中间层，实现对输入模式与各存储模式之间相似度的测定，其结果作为中间层的输入，中间层是一个 WTA 网络，其特点是神经元的自连和互连同时存在，每一神经元与一个存储模式相对应。这样，通过 WTA 网络的操作，最后选出相似度最大的存储模式做为中间层的输出，再通过输出层给出自联想或异联想的识别（或分类）结果。

WTA 模型与其它模型相比，具有存储容量大、寻址能力强、无假态、易于硬件实现、自联想或异联想皆可完成等优点。当输入模式与存储模式的模式分量取值为 +1 和 -1 时，即为全双极 WTA 模型。

为了用光学实现全双极 WTA 模型的相似度判定，本文用单极形式来表示输入模式和存储模式，文献[7]给出了全双极 WTA 模型相似度的等效单极形式：

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

式中， μ_{hl} 为中间层第 hl 个神经元的输入值，即为输入模式与第 hl 个存储模式的相似度。 V_{jk}^N 表示第 hl 个存储模式第 jk 个分量的单极形式， V_{jk} 表示输入模式第 jk 个分量的单极形式，它们的取值为 0 或 1。当输入模式与第 hl 个存储模式相同时，中间层第 hl 个神经元有匹配输入值 μ_{max} ：

$$\mu_{max} = N - (\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \overline{V}_{jk}^N) / 2 \quad (2)$$

其它神经元的输入皆小于 μ_{max} ，经中间层 WTA 操作后，只有第 hl 个神经元有非零输出，再通过输出层就可以给出识别结果。

2.2 全双极 WTA 模型相似度判定的光学实现方法

公式(1)给出了全双极 WTA 模型下相似度的单极形式，可以看出，此时的相似度不再是输入模式和存储模式的简单内积，它由两部分组成，前一项即为单极输入模式和单极存储模式的内积，后一项为存储模式中状态为 0 的神经元数之和的一半。在不增加光路复杂性的前提下，对输入模式和存储模式进行改造，使改造后的输入模式和存储模式仅通过内积就完成公式(1)给出的相似度判定。

用光全透表示 1，用光遮挡表示 0，在每一存储模式（神经元数为 N ）上都增加了 $N/2$ 的神经元，其中按列次序前 S 个神经元的状态为 1，其余 $(N/2 - S)$ 个神经元的状态为 0， S 通过计算此存储模式中状态为 0 的神经元数之和的一半得到，即 $S = (\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \overline{V}_{jk}^N) / 2$ 。为了同时完成输入模式和存储模式的内积，将输入模式复制成与存储模式数量相同的输入模式阵列，对每个输入模式（神经元数为 N ），增加 $N/2$ 状态全为 1 的神经元。这样，改造后的存储模式和输入模式的实际神经元数为 $3N/2$ ，把它们放在光路中做内积时，原来的 N 个神经元实现了公式(1)中的前一项，增加的 $N/2$ 神经元完成了公式(1)的后一项。这样，通过改造后的单极模式做内积就实现了全双极 WTA 模型的相似度判测，再通过中间层 WTA 操作，使与输入模式

相似度最大的存储模式有非零输出。但是，由于 WTA 网络的特点，对任意一种输入模式，经过 WTA 中间层后，都会有一个非零输出，无法对非存储模式进行正确判断。

为了使系统易于进行非存储模式的判断，在存储模式阵列中取一个为阈值模式 V^{θ} ，阈值模式的每一神经元的取值皆为 θ ， θ 的取值范围为 0 到 1 之间，即 $V_{jk}^{\theta} = \theta$ ($j = 1, 2 \dots J; k = 1, 2 \dots K; J \times K = N$)。 θ 的取值通过控制光透过率实现。在输入模式阵列中，将与阈值模式对应位置上的输入模式按存储模式改造规则增加 $N/2$ 的神经元。则对任一输入模式 V_{jk} ，与阈值模式按公式(1)作相似度判测后，其对应中间层神经元的输入 $\mu^{\theta} = \theta \mu_{\max}$ 。当输入模式与第 hl 个存储模式的相似度在容错范围之内，即 $\mu_{kl} > \theta \mu_{\max}$ 时，中间层第 hl 个神经元有非零输出。当输入模式与所有的存储模式的相似度皆在容错范围之外，即任意 μ_{kl} 皆小于 $\theta \mu_{\max}$ 时，则与阈值模式对应的中间层神经元有非零输出，可以认为输入的是非存储模式。

阈值 θ 和容错能力 ε 是一对相互制约的量，容错能力越小， θ 越大。当 $\theta = 1$ 时，系统将无容错能力，此时，只有当输入模式与某一存储模式完全相同时，系统才能识别，否则，系统认为输入的是非存储模式。本文中根据实验结果给出阈值 θ 的取值，使系统既能进行容错识别，又能判断非存储模式。图 2 为存储模式阵列，其中左上角为阈值模式。在本文的实验系统中，为了实现方便，输入模式阵列中每一模式都按与阈值模式对应位置上的输入模式进行复制，如图 3 所示，这样并不改变中间层神经元的匹配输入值，而只是降低了非匹配输入值，不影响输出结果。

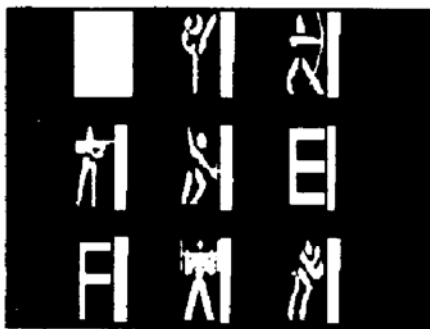


Fig. 2 Array of the stored patterns



Fig. 3 Array of the input patterns

将图 2 所示的存储模式阵列和图 3 的输入模式阵列置于光路中完成内积相似度判测，再通过中间层和输出层，则给出全双极 WTA 模型的联想识别(或分类)结果。

3 全双极 WTA 神经网络模式识别系统

全双极 WTA 神经网络模式识别系统如图 4 所示，系统包括三个模块：相似度探测模块，WTA 模块和联想再现模块。相似度探测模块用光学系统实现输入模式与存储模式的相似度判测，其光路包括照明和成象两部分。常用的照明光路有临界照明和柯拉照明。临界照明光能利用率高，但照度不均匀，本系统采用柯拉照明方式，使物面和象面都得到均匀照明。

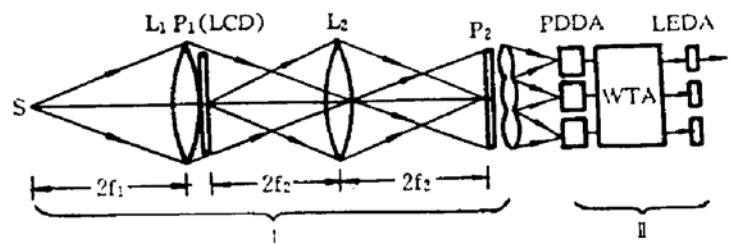


Fig. 4 WTA patterns recognition system

点光源 S 经透镜 L_1 均匀照明输入物面 P_1 后会聚于成象透镜 L_2 后一微小距离处，发散后照明

存储模式面 P_2 。 P_1 平面为液晶显示板，输入图象由此输入，经成象透镜 L_2 在 P_2 平面成一与存储模式等大的象，使输入图象与存储图象一一对应重合，然后经微透镜阵列会聚到光敏二极管阵列上，完成内积相似度探测。在 WTA 网络模块中，光敏二极管阵列将对应的光强度信号线性地转换为电信号，输入到 WTA 电子网络中，通过 WTA 电子网络的反馈迭代，在与相似度最高对应的最大电压值的输出点上，网络输出一个高电平，其它则输出低电平，高电平点亮相应的发光二极管。在联想再现模块，被点亮的发光二极管将存储模式成象到输出屏上，完成了自联想。这里要指出输入模式与存储模式的相似度判测已在前面模块中完成，联想再现模块仅提供一个直观的输出结果，因此，在此模块中，既可提供自联想，也可提供异联想，例如将此模块中的输出模式阵列换成相应的中文或英文名称的阵列，即为异联想输出的一种形式。

4 实验结果

实验装置如图 4，透镜 L_1 的焦距为 40 cm，口径 100 mm， L_2 焦距 30 cm，口径 75 mm，输入模式由液晶显示屏(LCD)实时输入，每个模式的神经元数为 64×48 。液晶显示屏是电寻址装置，它可以直接从计算机中得到输入信号。微透镜焦距 10 cm，口径 1.45 cm。如前所述，在计算机上把输入图象复制成 M 幅等同的图象， M 个存储模式和阈值模式被记录在透明片上，置于 P_2 面，在 P_2 面，进行输入模式和存储模式的相似度测定。

本实验选取八个存储模式(图 2)，图 5(a)为输入模式“E”时的自联想结果，图 5(b)为输入模式“F”时的自联想结果，“E”和“F”两种模式互为包含关系，用单极 WTA 模型是不能分辨的。图 5(c)为输入 30% 遮挡模式的联想结果，图 5(d)为输入 30% 随机噪声模式的联想结果，图 5(e)为输入非存储模式的联想结果。实验结果表明，系统能够进行模式识别，具有容错性，可判断非存储模式。另外，识别时间仅与 WTA 电路的瞬变过程相当，即当输入完成后，识别可立即完成。

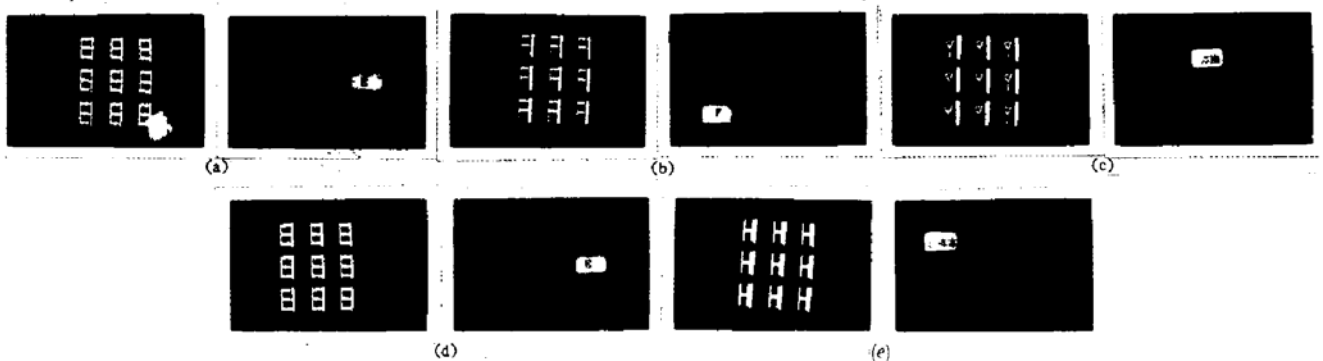


Fig. 5 Input patterns and their associative outputs

系统的存储容量和寻址能力主要受限于空间光调制器液晶显示屏的空间带宽积和 WTA 电子网络的性能。

结 论 理论分析和实验证明，本文提出的方法，用光电混合实现了全双极 WTA 模型，使其具有更大的存储容量和寻址能力。用该方法建立的 WTA 模式识别系统，硬件简单，取阈方便，可进行容错识别和非存储模式的判断。如果对输入图象进行预处理，可以使单极模式双极化的计算过程一步完成，进一步提高了系统识别效率。在系统前加上不变性编码预处理

还可使系统具有旋转、尺度、平移等不变性。

参 考 文 献

- [1] 张延焯, 人工神经网络及其光学实现. 光电子·激光, 1990, 1(1): 2~7
- [2] X. M. Wang, G. G. Mu, Optical neural network with bipolar neural states. *Appl. Opt.*, 1992, 31(23): 4712~4719
- [3] 张延焯, 申金媛, 黄五群, 三种 WTA 神经网络模型的模拟与分析. 模拟识别与人工智能, 1992, 5(1): 1~7
- [4] Seok Ho Song, Sang Soo Lee, Properties of holographic associative memory prepared by the polarization encoding process. *Appl. Opt.*, 1988, 27(28): 3149~3154
- [5] Xu-Ming Wang, G. G. Mu, Holographic associative memory with bipolar features. Wave Propagation and Scattering in Varied Media, V. K. Varadan eds. *Proc. SPIE*, 1991, 1558: 518~528
- [6] I. Shariv, O. Gila, A. A. Friesem, All-optical bipolar neural network with polarezation-modulating neurons. *Opt. Lett.*, 1991, 16(21): 1692~1694
- [7] 申金媛, 张延焯, 王许明等, 全双极 WTA 神经网络模型的光学实现. 电子学报, 1992, 20(10): 69~75

A New Method to Opto-Electronically Implement Fully Bipolar WTA Model*

Ding Tieying Xu Jun Shen Jinyuan Zhang Yanxin

(Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071)

(Received 3 July 1994; revised 5 September 1994)

Abstract A new method to opto-electronically implement a fully bipolar WTA neural network model is proposed in this paper. The method has been applied to a WTA pattern recognition system and the experimental results are presented. This method permits more efficient use of the space-band product of the optical system, convenience for thresholding, error tolerance, higher storage capacity and better addressable ability as well as the ability to distinguish non-stored patterns.

Key words fully bipolar, WTA neural network model, pattern recognition.

* This work was supported by the Climbing Programme-National Key Project for Fundamental Research in China, Grant NSC-92097