

一种新的单极相似度判别法及其光电实现

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 提出一种新的单极神经元相似度判别法, 提高了单极 WTA 模型的存储容量, 且能与存储模式相差较大的输入模式判别出来, 同时给出了光电实现系统及实验结果, 单极模型的这一改进, 使得单极系统具有全双极模型的特性, 而且系统的空间和时间带宽积得到充分的利用。

关键词 WTA 神经网络模型, 双极神经元状态, 相似度, 模式识别, 阈值。

WTA 神经网络模型具有很多优点^[1~5], 双极 WTA 模型比单极 WTA 模型具有更好的性能, 但双极神经元态及互连权重不易用光学技术实现, 目前对双极神经元态的实现大多采用牺牲空间或时间的方法来实现的^[6~9], 牺牲空间就会影响系统的存储容量, 牺牲时间则会影响系统的实时性。对于实时处理数据和有限的系统空间带宽积来讲, 这些方法都不宜采用。此外, WTA 模型还存在一个缺点, 无论输入任何模式, 它都输出与输入模式具有最大相似度的记忆模式和它的异联想, 这样, 当输入模式不是一记忆模式时, 系统就会发生误判。

为了解决这一问题, 本文提出一种新的单极相似度 μ_{k1} , 不仅使单极 WTA 模型具有与全双极 WTA 模型相同的性能, 即当一个存储模式包含于另一个存储模式时, 系统仍能正确区分, 而且能够将与记忆模式相差较大的输入模式判别出来, 例如一个输入模式与所有的记忆模式的相似度都超出了容错能力, 原先的系统总是把它识别为与它具有最大相似度的那个记忆模式, 而在改进了的模型中, 则不会有输出或输出一个由操作者事先拟定的特定符号, 表明输入模式不是记忆模型之一, 而是一个新的学习模式。新的相似度由两部分组成, 一部分为单极态的内积 μ_{k1} , 另一部分为一阈值 θ_{k1} , 阈值的大小与存储模式中神经元态为 l 的个数 N_{k1} 成正比, 同时与系统所要求的容错能力 ε 有关, ε 越大, θ_{k1} 越小, 反之, ε 越小, θ_{k1} 越大。

文中给出了一个实现系统, 新的相似度可以通过对单极内积取阈来实现。单极内积和阈值中的部分 (θ) 通过光学方法实现, θ 的光学实现使得系统仍然具有照明不变性。取阈以及 WTA 的完成是通过电路来实现的。对单极 WTA 模型的这一改进, 提高了系统对时间、空间的利用率, 为系统进行自学习奠定了基础。

1 原 理

已经知道 WTA 模型是一个三层的神经网络模型, 它是基于最大相似度原理而进行工作

* 国家自然科学基金资助课题和攀登计划资助课题。

收稿日期: 1994 年 7 月 17 日; 收到修改稿日期: 1994 年 12 月 8 日

的，不同的相似度带来不同的结果，为使单极 WTA 模型具有与双极模型相等的性能，本文提出一个新的相似度，设输入层与中间层神经元之间的互连为 W_{hljk} 等于第 hl 个存储模式的第 jk 个神经元的分量 V_{jk}^M 时，则定义输入模式与第 hl 个存储模式之间的相似度 μ_{hl} 为

$$\mu_{hl} = g(\mu'_{hl} - \Theta_{hl}) = g\left(\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (V_{jk} V_{jk}^M - \Theta_{hl})\right) \tag{1}$$

$$\Theta_{hl} = \sigma_{hl} \Theta \tag{2}$$

$$\sigma_{hl} = 2(1 - \varepsilon) \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \frac{V_{jk}^M}{N} = \frac{2(1 - \varepsilon) N_{hl}}{N} \tag{3}$$

$$g(x) = \begin{cases} x, & x > 0. \\ 0, & x \leq 0. \end{cases} \tag{4}$$

其中 $h = 1, 2, \dots, H, l = 1, 2, \dots, L, H \times L = M$ ，表示一个记忆模式在 $H \times L$ 阵列中的位置， M 是记忆模式的数目， $k = 1, 2, \dots, K, j = 1, 2, \dots, J, J \times K = N$ ，表示一个记忆模式为一个 $J \times K$ 的矩阵， N 是一个记忆模式中的神经元数目， $\{V_{jk}\}$ 为输入模式， $\{V_{jk}^M\}$ 为第 hl 个记忆模式， Θ_{hl} 为阈值， Θ_{hl} 的选取与第 hl 个记忆模式中神经元状态为 l 数目 N_{hl} 成正比，避免了 N_{hl} 大的记忆模式占优势的缺点。此外， Θ_{hl} 的大小还与所要求的容错能力 ε 有关，容错能力 ε 越大， Θ_{hl} 就越小，反之，容错能力 ε 越小， Θ_{hl} 就越大。 Θ 的存在是为了使得将来的硬件系统仍然具有照明不变性。减少一个记忆模式，使得 Θ 可以通过输入模式与互连 W_{HLjk} 的相互作用来实现。令

$$W_{HLjk} = V_{jk}^{HL} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, J, \quad k = 1, 2, \dots, K$$

$$\Theta = \mu'_{HL} = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K V_{jk} \tag{5}$$

当 $\mu = \text{Max}(\mu_{hl}) = \mu_{mn} > 0 (m \neq H, n \neq L)$ 时，通过 WTA 网络的作用， $Y_{mn} = 1$ ，其它为 0，然后通过 W_{mjk} 的作用，系统输出自联想(第 mn 个记忆模式)或其异联想。

当 $\mu_{hl} \leq \Theta_{hl}$ 时， $\mu_{hl} = 0 (h = 1, 2, \dots, H, l = 1, 2, \dots, L)$ ， $Y_{hl} = 0$ ，系统不输出任何信息或有不稳定的输出，表示输入模式不是一个记忆模式或输入的信息过少(遮盖太多或噪音太大)，不足以被识别。不稳定的输出是由于系统不是理想系统造成的。

2 模型的光电实现系统及实验结果

根据上面的分析，提出一个光电混合硬件实现系统，如图 1 所示，系统中，用白光光源

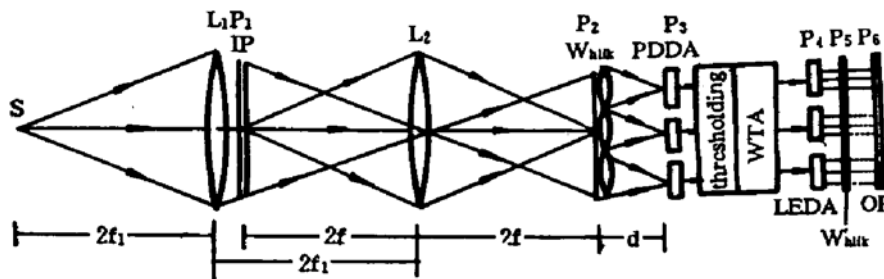


Fig. 1 Opt-electronic hybrid system

代替激光器，这样可以消除相干噪声，但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，本文用一掩膜和一透镜阵列来代替全息片，掩膜作为互连权重，透镜阵列完成输入模式的加权求和。在 P_1 平面放置输入模式，在 P_2 平面放置互连掩膜和透镜阵列，实验中所采用的互连权重的排列方式如图 2 所示， P_2 平面是 P_1 平面关于透镜 L_2 的共轭像平

面。P₁, P₂ 平面与透镜 L₂ 间的距离均为 2f, f 为透镜 L₂ 的焦距, 透镜阵列中每个小透镜的焦距为 f', 在 P₃ 平面放置一光电二极管阵列, 它到 P₂ 平面的距离为 d, d, f' 和 2f 满足成像关系。光电二极管将内积 $\mu_{hl}(\mu_{HL} = \theta)$ 光强度转换为电信号输入到一个取阈电路(如图 3 所示)中, 通过取阈得到输入模式与存储模式间的相似度 μ_{hl} , 将 μ_{hl} 输入到中间层 WTA 网络中, 得到 Y_{hl}, 然后通过 W_{hljk} 得到了系统的输出结果。



Fig. 2 Input-layer-to-middle-layer interconnection weights

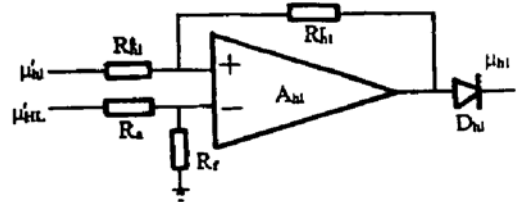


Fig. 3 Thresholding circuit

设第 hl 个存储模式的连续形式为 V_{hl}(j - a₁, k - a_k), 它在 P₂ 平面位于坐标 (a₁, a_k), 在 P₁ 平面输入模式 V(-j - a₁, -k - a_k) (h = 1, 2, ..., H, l = 1, 2, ..., L)。则 P₂ 平面后的辐照度可近似为

$$I(\alpha, \beta) = cI_0 \sum_{h=1}^H \sum_{l=1}^L V(\alpha - a_1, \beta - a_k) V_{hl}(\alpha - a_1, \beta - a_k) \quad (6)$$

通过透镜阵列的求和作用, 在 P₃ 平面的坐标 (da₁/f', da_k/f') 处可以得到 $\mu_{hl}(\mu_{HL} = \theta)$

$$\mu_{hl}(da_1/f', da_k/f') = I_0 \int d\beta \int V(\alpha - a_1, \beta - a_k) V_{hl}(\alpha - a_1, \beta - a_k) d\alpha \quad (7)$$

光电二极管将 $\mu_{hl}(da_1/f', da_k/f')$ 转换为电压值输入到取阈电路中, 得到 μ_{hl} :

$$\mu_{hl} = g \left[\frac{(R_{hl}^a + R_{hl}^f) R_f}{(R_a + R_f) R_{hl}^a} (\mu_{hl} - \frac{(R_a + R_f) R_{hl}^f}{(R_{hl}^a + R_{hl}^f) R_f} \mu_{HL}) \right] \quad (8)$$

使得 R_{hl}^a, R_{hl}^f, R_f, R_a 满足:

$$R_{hl}^a // R_{hl}^f = R_f // R_a, \quad \frac{(R_a + R_f) R_{hl}^f}{(R_{hl}^a + R_{hl}^f) R_f} = \frac{2(1 - \epsilon) N_{hl}}{N} = \sigma_{hl} \quad (9)$$

然后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。然后通过互连 W_{hljk} 的作用输出自联想和异联想。

若系统没有输出或有不稳定的输出, 表示输入模式不是一个记忆模式或输入的信息过少(遮盖太多或噪音太大), 不足以被识别。

图 4 是部分实验结果, (a) 是输入模式, (b) 是 $\epsilon = 40\%$ 时输入(a)所对应的识别结果, (c) 是 $\epsilon = 15\%$ 时输入(a)所对应的识别结果。可见改进单极 WTA 模型克服了一个模式包含于另

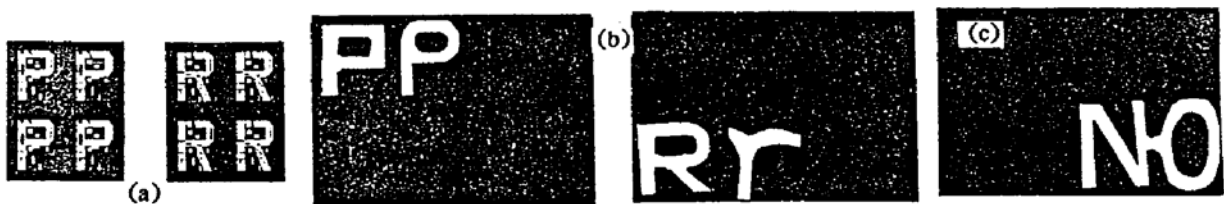


Fig. 4 Some of experimental results

- (a) Input patterns,
- (b) Output of corresponding (a) when $\epsilon = 40\%$,
- (c) Output of corresponding (a) when $\epsilon = 15\%$

一个模式时单极 WTA 模型不能正确识别的缺点，提高了系统的存储容量及寻址能力。此外，系统能够识别出非存储模式，当输入模式与所有的存储模式都有大于系统所要求的容错能力时，系统输出一个特定的符号，表示输入模式为非存储模式。

结 论 通过这个工作及过去的工作，可以看到无论那种 WTA 模型都很容易实现，它不仅可以通过相干技术还可以通过非相干技术实现。利用白光光源提高了光源的利用率。通过增加一阈值，不仅使得单极 WTA 模型具有全双极模型的优点，而且使得其具有识别输入模式是否是记忆模式的功能，为系统的进一步改进使之具有自学习的能力奠定了基础。单极模型的这一改进使得系统能够充分利用系统的空间和时间带宽，提高了系统的存储容量。

系统存储容量的限制主要来自于制造技术，如光电器件不均匀，集成运放的不理想等。

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. in *Real-Time Signal Processing for Industrial Applications*, B. Javidi, ed., *Proc. SPIE*, 1989, 960: 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, 黄五群等, 三种 WTA 模型的模拟与分析. *模式识别与人工智能*, 1992, 5(1): 1~7
- [5] Y. X. Zhang, J. Y. Shen, Optical/electrical hybrid three layer neural network for pattern recognition. *Applications of Artificial Neural Network*, Steven K. Rogers ed., *Proc. SPIE*, 1991, 1469: 303~307
- [6] 申金媛, 张延焯, 王明许等, 全双极 WTA 神经网络模型的光学实现. *电子学报*, 1992, 20(10): 69~75
- [7] D. Psaltis, N. Farhat, Optical information processing based on an associative memory model of neural nets with thresholding and feed-back. *Opt. Lett.*, 1985, 10(2): 98~100
- [8] Ju-Seog Jang, Su-Won Jung, Soo-Young Lee *et al.*, Optical implementation of the Hopfield model for two-dimensional associative memory. *Opt. Lett.*, 1988, 13(3): 248~250
- [9] Xu-Ming Wang, Yan-Xin Zhang, Guo-Guang Mu, Holographic associative memory with bipolar features, *Wavepropagation and Scattering in Varied Media*. V. K. Varadan eds. *Proc. SPIE*, 1991, 1558: 518~528

A New Unipolar Similarity and Its Implementation

Shen Jinyuan Zhang Yanxin Mu Guoguang

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

(Received 17 July 1994; revised 8 December 1994)

Abstract In this paper, a new unipolar similarity is proposed. The capacity of the unipolar WTA neural network model is improved and a input pattern not being memory patterns can be recognized by adding to a thresholding. A opto-electronic system and some experimental results are described. The modification of unipolar WTA model enables the space band product and time band product of the system fully used.

Key words WTA neural network model, bipolar neural state, pattern recognition, threshold.