

IPA 模型对 Hopfield 模型 神经网络的改进*

路明哲 方志良 刘福来 母国光

(南开大学, 现代光学研究所, 天津, 300071)

战元龄

(南开大学物理系, 天津, 300071)

摘要 考虑 Hopfield 模型中假态之间的布尔逻辑关系, 提出利用 IPA 模型对神经网络中的假态进行抑制, 并和原网络的性能进行了比较, 结果表明:改进后的网络性能比 Hopfield 模型和 IPA 模型均有较大的提高.

关键词 Hopfield 模型, IPA 模型, 抑制, 假态, 振荡态.

引言

由于神经网络在信息存储和模式识别中的重要应用, 近几年已成为人们普遍重视的研究热点之一. 光学系统的高速度、大容量和高度并行的特点^[1~4], 使之成为实现人工神经网络最有效的途径之一. 为避开光学系统精确度差的弱点, 一般在光学神经网络中采用较简单的模型, 如 Hopfield 模型和 Clipped 模型^[5], 并已经实现了光电神经网络芯片. 但在 Hopfield 模型中, 除了存储态外, 存在着许多假态和振荡态, 影响着网络的性能. M. H. Hassoun 和 A. M. Youssef^[6]采用比较复杂的 HK 模型实现较高性能的 Hopfield 型神经网络, Y. Xu^[7]提出利用一个级联的关联存储器和一个比较器构成一个联合关联存储器, 在识别过程中排除假态.

神经网络中假态之间存在有一定的关系^[6]. 我们认为这是由于在某些模型中, 在建立互联权重矩阵时只考虑到每一个存储模式对自身的联想, 而没有考虑到其它存储模式, 如 Hopfield 模型^[8]. 而 IPA 模型^[9]则强调存储模式之间的关系, 按存储模式的共有部分和特征部分对模式进行关联存储. 本文对 Hopfield 和 IPA 两种模型进行了分析, 结合它们的特点, 提出了利用 IPA 模型来消除 Hopfield 模型网络中的假态, 并采用数值模拟计算方法对其性能进行了测试.

* 国家自然科学基金资助项目

本文 1993 年 2 月 15 日收到, 修改稿 1993 年 8 月 30 日收到

1 Hopfield 模型和 IPA 模型

Hopfield 模型的表述如下:

对于一组单极存储矢量, 则互联权重矩阵为:

$$W_{ij} = \sum_m^M (2V_i^{(m)} - 1)(2V_j^{(m)} - 1), \quad i \neq j \quad i, j = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

$$W_{ii} = 0;$$

式 (1) 中 M 是存储矢量个数, N 是网络的神经元数.

当网络被 N 维单极矢量内容寻址时, 网络按下式进行演化

$$U' = \text{Sgn}(W \cdot U - T), \quad (2)$$

式 (2) 中, U' 是演化后的矢量, W 是互联权重矩阵, T 是阈值.

在演化过程中, 如果出现 $U' = U$, 则 U 称作网络的稳定态; 如果 U' 是 U 的演化态, 同时 U 也是 U' 的演化态, 则称 U 和 U' 为网络中的一对振荡态.

在 Hopfield 模型中可见, 只考虑同一个存储矢量中各个矢量元之间的互联, 而将这些互联简单地相加, 从而得到网络的互联权重矩阵. 因此, 在某个特定的神经元上, 如果存储矢量集在这个神经元上处于激发态的次数多, 则 Hopfield 模型的互联权重矩阵对此神经元的激发作用增大; 反之, 如果处于抑制态的次数多, 则 Hopfield 模型的互联权重矩阵对此神经元的抑制作用增大. 由于存储矢量在各个神经元上状态分布的不均匀, 可以造成某些神经元易于激发, 而某些神经元易于抑制, 从而构成了一些与存储矢量有一定布尔逻辑关系的稳定态.

Taiwei Lu^[9] 等人提出了一种 IPA (interpattern association) 模型. 这种模型同时强调了存储模式之间的互联, 把存储矢量分为共有部分和特殊部分进行存储. 例如, 对于 3 个存储模式, 其重叠情况如图 1 所示. 这些模式的每一个像元对应于一个输入-输出神经元, 共分为 8 个部分. 当 7 中的神经元为 ON 状态时, 只表明有模式输入, 而不能确定是哪一个模式, 因此, 7 中的神经元只刺激 7 中的其它神经元; 4 中的神经元处于 ON 状态时, 表明输入模式是 A 或 B, 同时可以肯定不是 C, 因此它刺激 4 和 7 中的其它神经元, 同时抑制 C 的特殊部分 3. 5、6 与 4 类似; 如果 1 中的神经元处于 ON 状态, 则意味着输入模式是 A, 它刺激 A 模式的所有部分 1、4、6 和 7, 同时抑制其余的部分 2、3 和 5.

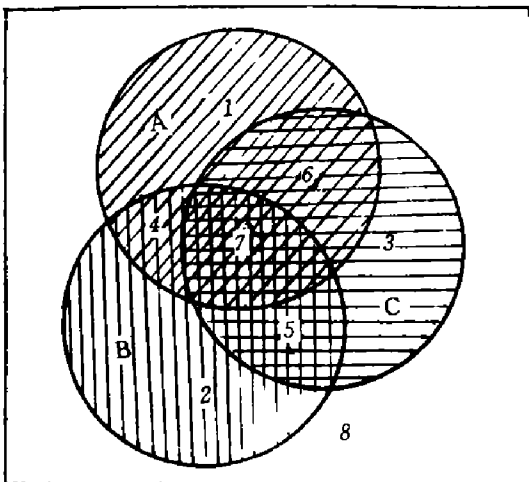


图 1 三个存储模式的重叠情况
Fig. 1 The overlap of three stored vectors

一般情况下, IPA 型互联权重矩阵为:

对于一组单极存储矢量, 定义:

$$d_i = \sum_m^M V_i^{(m)}, \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

$$K_{ij} = \sum_m^M V_i^{(m)} V_j^{(m)}, \quad (i, j = 1, 2, \dots, N)$$

其中 M 是存储矢量个数, N 是网络的神经元数, 互联权重矩阵为

(1) 当 $K_{ij} = \min(d_i, d_j)$, 且 $K_{ij} \neq 0$ 时, 若 $d_i < d_j$, 则 $W_{ij} = 0, W_{ji} = 1$; 若 $d_i > d_j$, 则 $W_{ij} = 1, W_{ji} = 0$; 若 $d_i = d_j$, 则 $W_{ij} = 1, W_{ji} = 1$.

(2) 当 $0 < K_{ij} < \min(d_i, d_j)$ 时, 则 $W_{ij} = W_{ji} = 0$.

(3) 当 $K_{ij} = 0$ 时, 若 $d_i \cdot d_j \neq 0$, 则 $W_{ij} = W_{ji} = -1$; 若 $d_i \cdot d_j = 0$, 则 $W_{ij} = W_{ji} = 0$.

随着存储式的增加, 共有部分和特殊部分的数目急剧增加. 当存储模式数为 M 时, 可能出现的各部分的总数为 $\sum C_M^m$, 其中

$$C_M^m = \frac{M(M-1)(M-2)\cdots(M-m+1)}{m(m-1)(m-2)\cdots 3 \cdot 2 \cdot 1}$$

例如, 对于 $M = 10$, 各部分的总数为 1274. 对于一个含有 100 个神经元的网络, 平均每 10 个部分中才有一个神经元. 从而导致了互联权重矩阵中大多数矩阵元为零. 可以说, IPA 模型不可能有很大的存储容量, 它适合用于多级神经网络系统中, 分辨比较相近的存储模式^[10]. 但 IPA 模型中的模式之间的相互抑制可以用来抑制 Hopfield 模型中的假态和振荡态.

2 数值分析

我们提出利用 IPA 模型中存储模式之间的相互抑制关系, 对 Hopfield 模型中的假态的振荡态进行抑制. 对于给定的一组存储模式, 分别写出 Hopfield 模型和 IPA 模型的互联权重矩阵, 然后将两个矩阵相加, 得出最后的关联矩阵. 前者是模式内的互联, 强调了每个模式内元素之间的联想; 后者是模式间的互联, 强调了存储模式之间的相互影响. 这样, 新构成的关联存储模型既可以有较大的存储容量, 又可以降低网络中存在的假态和振荡态.

我们利用数值模拟的方法, 采用多组存储矢量, 对改进后的 Hopfield 模型的性能进行了测试. 在测试中采用穷举法, 用所有可能的矢量进行内容寻址, 这样可以得出关于存储器性能的全部信息, 包括假态和振荡态的数目, 收敛到真态、假态及振荡态的几率, 收敛到稳定态所需的平均迭代次数以及每个真态的收敛范围. 为了便于比较, 这里给出文献 [6] 和 [7] 中存储矢量的数值模拟结果.

在数值模拟计算中, 我们选用了以下 4 个 16 位的单极矢量作为存储模式:

$$\begin{aligned}
 A: & \{1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0\}, \\
 B: & \{1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0\}, \\
 C: & \{1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1\}, \\
 D: & \{1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1\};
 \end{aligned}$$

并根据这 4 个存储矢量构造出相应的 Hopfield 模型互联权重矩阵和经 IPA 模型改进

后的互联权重矩阵. 含有 16 个神经元的网络中, 可能的矢量共有 65535 个. 分别对上述两个互联权重矩阵, 按式 (2) 的演化过程进行内容寻址. 分别记录下网络达到稳态时所用的迭代次数、稳态矢量或振荡态矢量. 数值模拟计算的结果见表 1. 表 1 中的结果与文献 [6] 给出的结果有很大的不同. 我们发现, 文献 [6] 中的计算过程是以单极矢量寻址, 但结果均为双极矢量寻址时的结果.

图 2 给出的曲线可以表明网络的收敛范围.

图 2 中的横轴表示寻址矢量与其收敛到的存储矢量间的 Hamming 距离, 纵轴为具有这样的 Hamming 距离的矢量收敛到相应的存储矢量的几率. 表 1 和图 2 的结果表明, IPA 模型对 Hopfield 模型的各项性能均有较大的提高.

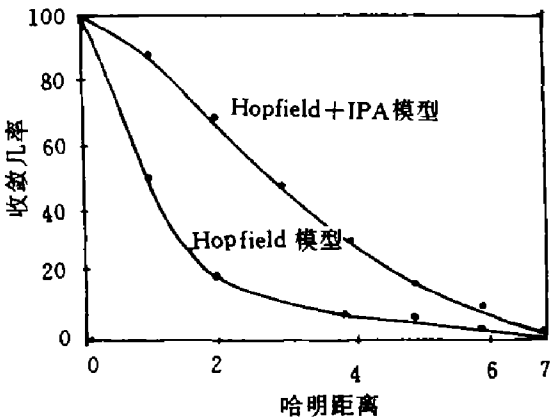


图 2 寻址模式与存储模式具有不同

Fig. 2 The percent of convergence of the Hopfield model and the Hopfield model with interpattern association vs. the address vectors having the different Hamming distances to one of the stored vectors.

表 1 模拟结果

Table 1 Simulated results

	收敛几率	
	Hopfield	Hopfield+IPA
存储态	5.9	15.6
假态	55.9	33.1
振荡态	38.2	51.2
假态数目	24	16
振荡态数目	1582	418
平均迭代次数	3.10	2.97

3 结语

本文根据 Hopfield 模型神经网络中存在的假态和振荡态之间的布尔逻辑关系, 利用 IPA 模型增强网络中存储模式之间的互联作用, 对神经网络的性能进行了改进. 数值模拟计算结果表明, 加入 IPA 模型对网络的收敛范围有很大的改善.

参考文献

- 1 Abu-Mostafa Y S, Psaltis D. *Sci. Amer.*, 1987,256:66
- 2 Paek E G, Psaltis D. *Opt. Eng.*, 1987,26:428
- 3 Anderson D Z, Erie M C. *Opt. Eng.*, 1987,26:434
- 4 Jones R V. *Appl. Opt.*, 1987,26:1948
- 5 Farhat N H, Psaltis D, Prata A, et al. *Appl. Opt.*, 1985,24:1469
- 6 Hassoun M H, Youseef A M. *Opt. Eng.*, 1989,28:46
- 7 Xu Y. *Opt. Lett.*, 1990,15:1091
- 8 Hopfield J J. *Proc. Nat'l Acad. Sci. (USA)*, 1982,79:2554
- 9 Lu T, Xu X, Wu S, et al. *Appl. Opt.*, 1990,29:284
- 10 Lu Mingzhe, Zhan Yuanling, Mu Guoguang. *Proc. 92'IJCNN*, Beijing, 1992,3:822

IMPROVEMENT OF THE HOPFIELD MODEL WITH INTERPATTERN ASSOCIATION*

Lu Mingzhe Fang Zhiliang Liu Fulan Mu Guoguang
(*Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071, China*)

Zhan Yuanling

(*Department of Physics, Nankai University, Tianjin 300071, China*)

Abstract The interpattern association is proposed to suppress the stable false and oscillatory states in neural networks based on the Hopfield model, in consideration of the existence of Boolean logic relations in those states. The digital simulation of neural networks of the Hopfield model and the Hopfield model with interpattern association is shown. The Hopfield model with interpattern association is of higher performance than the Hopfield model.

Key words Hopfield model, Hopfield model with interpattern association, suppression, false state, oscillatory state.

*The project supported by the National Natural Science Foundation of China