

计算机通信神经网络纠错的研究^①

(1994年6月21日收到, 1995年3月15日修回)

郭东辉 陈振湘 刘瑞堂 吴伯伟

(厦门大学物理系 厦门 361005)

摘 要

为降低计算机通信中的误码率, 提出把具有快速并行处理功能的神经网络纠错技术引入到计算机通信中。研制出具有自动纠错功能的计算机通信软件, 该软件能够纠正每16位二元码中不多于3位错的随机性误码和多于13位、少于16位错的突发性误码。

关键词: 神经网络, 计算机通信, 纠错

一、引 言

利用计算机进行通信具有简单方便等优点, 但由于计算机通信普遍存在信道干扰, 故难免会出现误码, 特别是在计算机利用电话电缆进行的远程通信时。因此, 计算机通信纠错问题一直是人们所关心的问题。

计算机通信一般采用实时通讯, 这就要求采用能快速识别误码并对误码加以纠正的纠错编码技术, 目前大多数是采用校验码的方法来实现的^[1], 或者是以信息重发的方式来避免误码的出现, 但是应用校验码技术一般很难实现可纠正多于一位错的误码, 而重发的方式在误码率高的场合使用也是不能解决问题的。本研究利用神经网络快速联想识别的工作原理对计算机通信中由于干扰产生的误码进行实时纠错, 研制出能够纠正每16位二元码中不多于3位错的随机性误码和多于13位、少于16位错的突发性误码的通信软件, 从而可大大提高了计算机通信的可靠性。

二、神经网络纠错原理

神经网络快速联想识别的功能^[2]是模仿人脑的关联存储(联想记忆)方式, 把已学习过的知识作为神经网络动力学系统的稳定存储吸引子(如图1、图2中黑点), 只要与之相差不多的信息(即如图1、图2中黑点以外的某不稳定态)输入, 通过神经网络快速并行运算就会自动被吸引到与之邻近的稳定存储的吸引子上。因此, 根据这一原理, 在通信过程中首先把所要发送的所有信息码矢 S^m 存储于神经网络之中, 作为神经网络动力学系统的稳定存储吸引子, 这样, 如果发送出来的某个信息码矢 S^m 受到干扰 $e = (e_1, \dots, e_n)$, 使得接收到的只是残缺的信息(或称“带有噪音的信息”): $S' = S^m + e$, 即偏离吸引子 S^m 的某个不稳定态 S' 。只

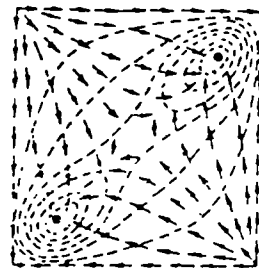


图1 表征记忆的状态空间



图2 表征记忆的能量分布

^① 国家自然科学基金资助项目

要将这残缺的信息码矢 S' 经过神经网络并行运算就会自动联想出原来完整的信息码矢 S^m 。

目前我们所采用的神经网络模型是改进型离散 Hopfield 神经网络^[3], 该神经网络模型的各种神经元之间连接突触矩阵 T_{ij} 是由所有要存储的信息码矢 $S^m = \{1, 0\}^N$ 以下列关系式构成的:

$$T_{ij} = \text{SGN} \left[\sum_m (2S_i^m - 1)(2S_j^m - 1) \right], \quad i, j = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

其中: N 为神经元个数; $m=1, \dots, P$ (P 为存储信息码矢的个数); $\text{SGN}(\ast)$ 为截值函数, 则 $T_{ij} = \{+1, 0, -1\}^{N \times N}$, 较易用器件实现。

当接收到一个信息码矢 $S(k) = \{1, 0\}^N$ 时, 它按下式动力学方程进行神经网络迭代运算, 得出一个输出信息 $S(\infty)$:

$$S(\infty) = \{\dots\} = S_i(k+1) = \sigma \left[\sum_j T_{ij} S_j(k) \right], \quad i, j = 1, \dots, N \quad (2)$$

其中: 阈值函数 $\sigma[x] = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$; $\{\dots\}$ 表示迭代过程。

由于式 (1) 构成的神经网络突触矩阵 T 具有 $T_{ij} = T_{ji}$ 对称连接的性质, 使式 (2) 这一神经网络动力学系统具有多个稳定吸引子^[4], 且各自对应着一定的收敛域。根据分析^[3,5,6], 当神经网络所存储信息码矢 S^m 的个数 P 小于该神经网络的存储容量 αN 时, 各存储信息码矢 S^m 及其补码 \bar{S}^m 均为该神经网络的稳定吸引子, 它们能表现出按最小汉明距离进行纠错吸引性质。例如当存储信息码矢 S^m 发送出来后, 受到干扰变成:

$$S' = S^m + e = (S_1^m, S_2^m, \dots, S_N^m) + (e_1, e_2, \dots, e_N) = (S_1^m + e_1, S_2^m + e_2, \dots, S_N^m + e_N) \quad (3)$$

在接收端, 把接收的 $S(k) = S'$ 代入式 (2) 神经网络动力学方程进行迭代运算, 它将按最小汉明距离的原则^[3] 被吸引输出到原来的存储信息 $S(\infty) = S^m$ 。

三、计算机通信神经网络纠错的技术构成

目前计算机文件和计算机通信所传递的信息均可用 8 位二进制扩展 ASCII 码表示, 与采用 (0, 1) 二进码表示的式 (1) (2) 离散神经网络模型关联存储和处理的信息码矢具有相同的表示形式, 因此, 可利用上述神经网络按最小汉明距离进行纠错的功能, 对 8 位二进制 ASCII 码用神经网络的稳定存储吸引子 S^m 进行编码, 就可实现对计算机通信中受过干扰的信息进行自动纠错。

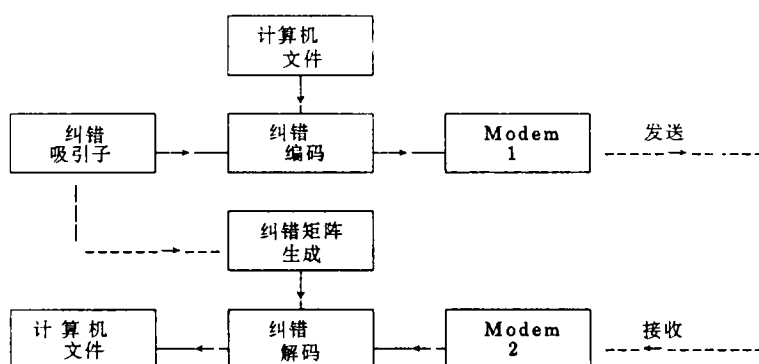


图3 计算机通信神经网络纠错的技术框图

计算机通信神经网络纠错的具体实现过程包括纠错吸引子与纠错矩阵的生成、纠错编码及纠错解码等, 详见图 3 所示。

其中各部分要点如下: (1) 计算机文件: 计算机通信中所传递的中西文文件为扩展 ASC II 码 (8 位二进制码) 所表示的字符、字符组构成。(2) 纠错吸引子: 按等汉明距离等重量的原则^[7]选定该神经网络关联存储的稳定吸引子 (存储码矢) S^m , 使它们具有可按汉明距离吸引近邻码矢的性质。(3) 纠错编码: 用纠错吸引码矢 S^m 的组合来替换计算机文件的 8 位二进制 ASC II 码, 使之在通信过程中具有容错功能, 以实现纠错编码。(4) 纠错矩阵生成: 以纠错吸引码矢 S^m 为存储样本按式 (1) 构造神经网络纠错突触矩阵的方式生成纠错矩阵。(5) 纠错解码: 利用存储纠错吸引码矢的神经网络纠错突触矩阵, 通过神经网络的并行迭代运算对接收到的码矢进行校正, 并恢复为计算机文件的 ASC II 码。(6) Modem (1, 2): 分别为发送端和接收端的调制解调器。

四、结果与讨论

根据通信理论的极大似然性规则^[1], 能够纠正 w 位错的二进制码矢, 其最小汉明距离 $d^* \geq 2w + 1$ 。由神经网络按等汉明距离等重量的关联存储原则^[7], 我们选择 $N=16$ 的二元正交 Walsh 码矢为神经网络的稳定吸引码矢, 其最小汉明距离为 $d^*=8$ 。按照上述纠错通信的技术框图, 我们用 Turbo C 语言编制了计算机通信纠错软件。其中把存储的信息码矢 S^m 及其补码 S^m 作为相同的稳定吸引子, 这样该神经网络纠错软件至少可纠正每 16bit 中不多于 3bit 错的随机性误码和多于 13bit、少于 16bit 错的突发性误码, 这样强的纠错能力是其它方法难以实现的。

从在计算机间直接连接的有线通信与无线通信及电话网拨号通信的使用情况来看, 本纠错通信软件与其它通信软件 (如: Procomm、Bitcom、Smartcom I 等) 相比, 通信误码率明显下降, 从而大大提高了通信的可靠性。但由于目前受到所采用的神经网络模型的存储容量的限制, 致使编码效率较低; 同时本纠错软件仅是采用计算机模拟神经网络并行运算, 纠错算法速度变慢, 这样, 通信速率就受到一定的限制。因此, 有关提高编码效率及实现并行运算等问题有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 钟义信等. 信息与通信理论, 北京: 人民邮电出版社, 1979
- [2] Hopfield J J. *Proc. Natl Acad. Sci.*, 1982, 79: 2554
- [3] 郭东辉等. 厦门大学学报 (自然科学版), 1993, 32(1): 33
- [4] Kirkpatrick S et al. *Phys. Rev. B.*, 1978, 17: 4384
- [5] Bruce A D et al. *J. Phys. A: Math. Gen.*, 1987, 20: 2909
- [6] Amit D J et al. *Ann. Phys.*, 1987, NY173: 30
- [7] 郭东辉等. 第六届全国基础光学学术报告会文集 (大连), 1994: 80

Study of Neural Network Error-correcting in Computer Communications

(received June 21, 1994, revised Mar. 15, 1995)

Guo Donghui, Chen Zhenxiang, Liu Ruitang, Wu Boxi
(Department of Physics, Xiamen University, Xiamen 361005)

Abstract

In order to lower the error rate of computer communications, the properties of associative memories of neural networks were introduced into computer communications for error-correcting. We have developed a computer communications software of automatic error-correcting functions, which can perfectly correct any error-codes of (1~3bits)/16bits stochastic errors or of (13~16bits)/16bits burst errors in computer communications.

Key words: Neural networks, Computer communication, Error-correcting