

基于 BAM 神经网络的某型车载导弹故障诊断

杨 军, 赵 磊

(装甲兵工程学院 兵器工程系, 北京 100072)

摘要:针对某型车载导弹武器系统的故障特性及其维修的特点,利用离散的 BAM 网络,给出某型车载导弹常见典型故障的特征及其数字化描述方法,建立了故障现象和故障原因之间对应的标识空间表,并通过其建立联想记忆矩阵,得出诊断结果。结果表明,BAM 网络应用于故障诊断是可行的。

关键词:导弹装备;BAM 神经网络;故障诊断

中图分类号:TJ760

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2012)01-0001-03

双向联想记忆(bidirectional associative memory, BAM)神经网络是一类具有双向稳定性的反馈神经网络系统,具有简单、可用大规模集成电路实现的特点^[1-2]。将该网络应用于导弹故障诊断时,收敛速度快,其诊断机制为:输入故障特征值,若网络初态为稳定状态,则网络状态不变;否则通过回忆寻找与初态在 Hamming(汉明)距离意义上最近的状态,从而达到诊断故障的目的。

1 BAM 神经网络基本原理

1.1 网络结构与工作原理

BAM 是由 Kosko 提出的一种双层反馈神经网络,用它可实现异联想记忆功能。其结构如图 1 所示。当向其中一层加入输入信号时,另一层得到输出。由于初始模式可以作用于网络的任一层,信息也可以双向传播,所以没有明确的输入层或输出层^[3-7]。矢量 A 相对应的一层有 N 个节点,另一层对应矢量 B ,由 M 个节点构成。两层之间双向连接。假定由 A 向 B 的传输为正向,正向的突触权重矩阵为 W ;反之,由 B 向 A 的传输为反向,反向的突触权重矩阵为 W^T 。它可从一个输入对 (A, B) 回忆一相关的双极性向量对 (A_k, B_k) 。双极性是指 A 和 B 的每一个分量取值为 1 或 -1。

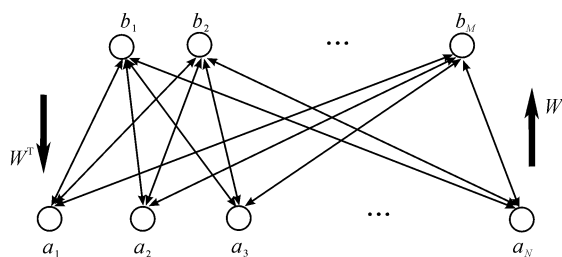


图 1 BAM 神经网络模型

BAM 网实现双向异联想的过程是网络运行从动态到静态的过程。当任意矢量输入时,网络迭代演变过程为:

$$W^T B(t) \rightarrow A(t+1) \quad (1)$$

$$WA(t+1) \rightarrow B(t+2) \quad (2)$$

$$W^T B(t+2) \rightarrow A(t+3) \quad (3)$$

...

直到 A, B 均为稳定状态,演变过程结束。即:当将输入样本 A^p 作用于 A 侧时,该侧输出 $A(1) = A^p$ 通过 W 阵加权传到 B 侧,通过该侧节点的转换函数 f_b 进行非线性变换后得到输出 $B(1) = f_b(WA(1))$;再将该输出通过 W^T 阵加权从 B 侧传回 A 侧作为输入,通过 A 侧节点的转换函数 f_a 进行非线性变换后得到输出 $A(2) = f_a(W^T B(1)) = f_a\{[W^T f_b(WA(1))]\}$ 。这种双向往返过程一直进行到两侧所有神经元状态不再发生变化为止。此时网络状态称为稳态。对应的 B 侧输出向量 B^p 便是模式 A^p 经双向联想后所得的结果。同理,如果从 B 侧送入模式 B^p ,经过上述双向联想过程, A 侧将输出联想结果 A^p 。这种双向联想过程可用图 2 表示。

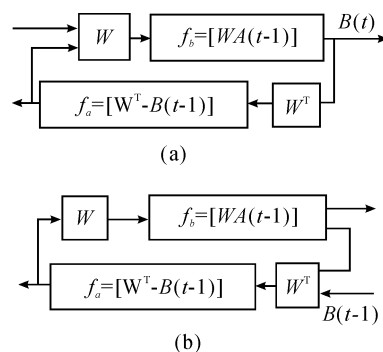


图 2 BAM 网的双向联想过程

1.2 网络权矩阵设计及稳定性分析

BAM 神经网络学习应按 Hebb 规则进行。若给定 Q 个二值向量对 (X_i, Y_i) , 将它们转换为双极性向量对 (A_i, B_i) , 其中 $i = 1, 2, \dots, Q$ 。所谓双极性向量或矩阵是在二值向量或矩阵的基础上用 -1 取代 0 得到的。例如二值向量对 $X_1 = (1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0)$ 和 $Y_1 = (1\ 1\ 0\ 0)$, 其相应的双极性向量对为 $A_1 = (1\ -1\ 1\ -1\ 1\ -1)$ 和 $B_1 = (1\ 1\ -1\ -1)$ 。由这些样本计算得到权矩阵为:

$$W = \sum_{i=1}^Q B_i A_i^T \quad (4)$$

$$W^T = \sum_{i=1}^Q A_i B_i^T \quad (5)$$

此时,对于离散、零阈值的网络,BAM 神经网络能量函数为:

$$E(A, B) = -\frac{1}{2} A^T W^T B - \frac{1}{2} B^T W A = -\frac{1}{2} (B^T W A)^T - \frac{1}{2} B^T W A = -B^T W A \quad (6)$$

$$\Delta E = E(A^{\text{new}}, B^{\text{new}}) - E(A^{\text{old}}, B^{\text{old}}) = -(\Delta b_i) \sum_{j=1}^Q W_{ij} a_j \quad (7)$$

因为 b_i 是双极性的,所以 Δb_i 只能是 $-2, 0$ 或 2 。当 $\Delta b_i = -2$ 时, $\sum_{j=1}^Q W_{ij} a_j < 0$, 则 $\Delta E < 0$; 当 $\Delta b_i = 2$ 时, $\sum_{j=1}^Q W_{ij} a_j > 0$, 则 $\Delta E < 0$; 当 $\Delta b_i = 0$ 时, $\Delta E = 0$ 。由此可知,当状态改变时, ΔE 是小于或等于 0 的,网络是稳定的。

一般情况下,网络阈值不为零,此时网络能量函数为:

$$E(A, B) = -B^T W A + B^T \mu + A^T \theta \quad (8)$$

$$\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_M) \quad (9)$$

$$\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N) \quad (10)$$

同理可证,该情况下,网络仍是稳定的。

2 诊断实例

2.1 权值矩阵的设计

导弹故障常见故障部位是块 1 至块 7 及 W5 和 W7,基于这些故障,将故障模式分为 15 类。即:块 1 无 +4 V 电压(K14),块 1BG1 损坏(K1g1),块 1BG3 损坏(K1g3),块 3 故障(K3),块 4BG5 损坏(K4g5),块 5 偏航故障(K5p),块 6 故障(K6),块 7J1 继电器故障(K7j),W5 故障(W5),W7 故障(W7)。见表 1。

故障现象有触发灵敏度小于 33 V(CF1),自动关机电路延

时不准确(GJ1),自动关机电路不停(GJ2),程序指令没有程序过程(CZ1),程序指令时间过长(CZ2),程序指令重复测试差异较大(CZ3),程序指令幅度大于 10 V(CZ4),程序指令负电平上有 2 kHz 主频(CZ5),相移角超差(XYJ),零指令 K_y 不正常(LZL)。见表 2。

由表 1 和表 2 可得双极性故障原因向量 A'_i 和故障现象向量 B'_i :如 $A'_1 = [-1\ 1\ -1\ -1\ -1\ -1\ -1\ -1\ -1\ -1\ -1]^T$, $B'_1 = [1\ -1\ -1\ -1\ -1\ -1\ -1\ -1\ -1\ -1]^T$ 。所以 (A'_1, B'_1) 是指“块 1BG1 损坏”其故障现象为“触发灵敏度小于 33 V”,由式 (4) 可得网络权值矩阵

$$W = \sum_{i=1}^{11} B'_i A'_i =$$

$$\begin{bmatrix} 6 & 10 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 10 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 10 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 10 & 6 \\ 6 & 6 & 10 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 \\ 10 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 10 \\ 6 & 6 & 6 & 10 & 6 & 6 & 6 & 10 & 6 & 6 & 6 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 10 & 6 & 6 & 6 & 6 \end{bmatrix}$$

网络阈值可取为:

$$\mu = (-54, -54, -54, -54, -54, -54, -54, -54, -38, -54)$$

$$\theta = (-47, -47, -47, -47, -47, -47, -47, -47, -47, -47)$$

2.2 联想记忆

由上式权值矩阵,输入故障特征 A'_1 ,可得到故障现象 B_1

$$W A'_1{}^T - \mu_1 = [4\ -4\ -4\ -4\ -4\ -4\ -4\ -4\ -4\ -4]^T \xrightarrow{\text{Hebb}} [1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]^T = B_1$$

输入故障现象 B'_1 ,可得到故障原因 A_1

$$W^T B'_1 - \theta_1 = [-5\ 3\ -5\ -5\ -5\ -5\ -5\ -5\ -5\ -5]^T \xrightarrow{\text{Hebb}} [0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]^T = A_1$$

所以此网络可依故障现象推理出故障原因,也可由故障原因推理出故障现象。

表1 导弹指令盒故障原因空间表

| | K14 | K1g1 | K1g3 | K3 | K4g5 | K5f | K5p | K6 | K7j | W5 | W7 |
|-----|-----|------|------|----|------|-----|-----|----|-----|----|----|
| A1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| A5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| A6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| A9 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| A10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

表2 故障标识空间表

| | CF1 | GJ1 | GJ2 | CZ1 | CZ2 | CZ3 | CZ4 | CZ5 | XYJ | LZL |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| B1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| B8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| B9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| B10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

3 结束语

本文在讨论离散BAM网络及其特性的基础上,将该网络应用到导弹故障诊断中,思路简洁,学习过程较为简单快速且识别能力,准确性较高,实现了导弹故障原因空间到故障标识空间的联想和追忆映射。

参考文献:

- [1] 朱大奇,史慧. 人工神经网络原理及应用[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [2] 杨军,冯振声,黄考利,等. 装备智能故障诊断技术[M]. 北

京:国防工业出版社,2004.

- [3] 王宇飞,谷立臣. 离散BAM网络在混凝土输送泵故障诊断中的应用[J]. 煤矿机械,2009,30(12):233-235.
- [4] 李捷辉,顾丽. 基于神经网络的发动机控制系统故障诊断研究[J]. 汽车工程,2004,26(3):345-348.
- [5] 张德丰. MATLAB神经网络应用设计[M]. 北京:机械工业出版社,2009.
- [6] 蔡利梅,张元. BAM网络在车型识别中的应用[J]. 郑州轻工业学院学报:自然科学版,2002,17(2):59-61.
- [7] 李敏,徐福缘. 基于BAM神经网络的推理研究[J]. 桂林电子工业学院学报,1999,19(2):9-13.

(责任编辑 杨继森)