

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2208863

# 基于神经网络的复杂电子设备故障诊断系统的设计\*

单显明<sup>1</sup> 李长伟<sup>2</sup> 张忠传<sup>2</sup>

(1. 沈阳工学院信息与控制学院 抚顺 113122; 2. 陆军炮兵防空兵学院南京校区 南京 211132)

**摘要:** 某型军用雷达为复杂电子设备,其在服役部队的时间逐年增加,使用过程中的故障明显增多,由于基层级维修能力较弱,雷达的维修保障基本依靠工厂支援,及时性和有效性都不能满足部队需要,严重制约雷达分队战斗力的形成。为了解决雷达在基层部队使用中维修困难的问题,提高雷达的综合保障能力,研制了一种便携式故障诊断系统。该系统由信号采集板、嵌入式主板、电源管理模块、人机交互模块等组成,采用神经网络技术,实现了故障的快速诊断。解决了雷达现有维修设备体积庞大、配套设备复杂、价格昂贵、操控复杂等问题。实验结果表明,系统实现了故障诊断平台的小型化和智能化,具有较高的故障诊断效率,可快速提高雷达的维修保障能力。

**关键词:** 军用雷达;故障诊断;信号采集板;工控主板;神经网络

**中图分类号:** TN959.1 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.7

## Design of fault diagnosis system of complex electronic equipment based on neural network

Shan Xianming<sup>1</sup> Li Changwei<sup>2</sup> Zhang Zhongchuan<sup>2</sup>

(1. School of Information and Control, Shenyang Institute of Technology, Fushun 113122, China;

2. Nanjing Campus of Army Academy of Artillery and Air Defense, Nanjing 211132, China)

**Abstract:** One type of military radar is a complex electronic equipment, the service time of a certain type of military radar has increased year by year, and the faults in the use process have increased significantly. Due to the weak maintenance capability at the grass-roots level, the maintenance support of the radar basically depends on factory support, and the timeliness and effectiveness can't meet the needs of the army, which seriously restricts the formation of the combat effectiveness of the radar unit. In order to solve the problem of difficult maintenance of radar in grass-roots units and improve the comprehensive support ability of radar, a portable fault diagnosis system is developed. The system is composed of signal acquisition board, embedded motherboard, power management module and human-computer interaction module. Neural network technology is used to realize rapid fault diagnosis. It solves the problems of the existing radar maintenance equipment, such as huge volume, complex supporting equipment, high price, complex operation and so on. The experimental results show that the system realizes the miniaturization and intellectualization of fault diagnosis platform, has high fault diagnosis efficiency, and can quickly improve the maintenance and support ability of radar.

**Keywords:** military radar; fault diagnosis; signal acquisition board; industrial control motherboard; neural network

## 0 引言

随着科学技术的不断发展,电子设备故障诊断逐渐向着智能化方向发展,模式识别、灰色理论、模糊技术、诊断专家系统等方法在故障诊断中得到了广泛的应用。雷达故障诊断的研究重点包括故障测试和故障定位,故障测试是故

障诊断的首要环节,是进行故障诊断的依据,故障定位根据可观测试信息,经过综合分析来定位故障源<sup>[1]</sup>。由于雷达应用领域的特殊性,雷达故障诊断从其应用之初就备受关注,国内外都已经对雷达故障诊断进行了广泛研究<sup>[2-3]</sup>。在雷达故障诊断中,国内专家分别采用了BP神经网络、故障树分析法、小波变换分析法等,均取得了较好的

收稿日期:2022-01-17

\* 基金项目:辽宁省教育厅高等学校基本科研项目(2021-LJKZ1345)、辽宁省自然科学基金重点领域联合开放基金(2020-KF-11-09, 2021-KF-11-05)、沈抚示范区本级科技计划项目(2020JH13, 2021JH07)资助

诊断效果<sup>[4-7]</sup>。

神经网络具有并行处理、分布式储存和自学习的能力,在解决非线性和高不确定度问题等方面具有独特优势,在复杂电子设备故障诊断领域得到了广泛的应用。文献[8]采用嵌入支持向量机模型对故障进行分类,该模型诊断准确率有较大提升。文献[9]在增加神经网络深度的同时采用堆叠多个残差网络模块的方法,将恒等映射转化为残差映射,从而提升了诊断准确率。

某型军用雷达机内故障自检结果主要采用指示灯,不仅采集的故障的信号有限,且只能显示雷达三大单元或组合级故障,而无法将故障定位到电路板。雷达站由于缺乏相应的检测设备,很多情况下维修人员无法对故障进行准确定位,严重影响了雷达的日常训练和作战使用。

为实现该雷达高精度、智能化的故障诊断,本文设计了一种便携式故障诊断系统,采用RBF神经网络模型进行故障诊断,大大提升了故障诊断的准确率,解决了雷达野战基层级维修保障能力严重不足的问题。

## 1 系统总体结构

系统机箱采用12寸军用铝镁合金加固机箱,内部采用模块化设计,机箱内除了中心控制计算机外,还包括信号采集板、嵌入式主板、显示器和触摸屏、电池组和电源管理模块、人机交互模块和连接电缆等,如图1所示。

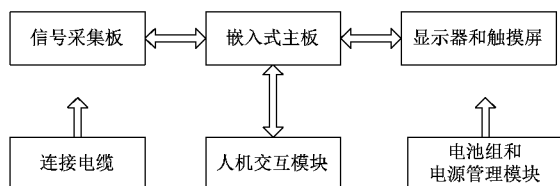


图1 系统总体结构

中心控制计算机主要用于对采集信号进行处理,包括贮存、显示、对比等,同时也是主软件的运行平台。为缩小系统的体积,增加操控性,提高系统的可靠性使用了INTEL 82945+ICH7工业级系统<sup>[10]</sup>。系统采用了12寸工业级加固液晶显示器,显示器配置有高质量的触摸屏,平时操作时可省去键盘、鼠标等外围设备,在特殊情况下可通过系统面板上两个USB扩展接口连接键盘、鼠标等设备。

为提高系统的可操作性,方便维修人员的操作,在设备前面板上有PVC薄膜设置有信号测试接口、触发信号接口、信号测试电路运行指示灯和显示器亮度调节装置等。系统的连接电缆共有四根,分别是220V供电电缆、24V供电电缆、测量电缆1和测量电缆2,它们平时存放在电缆袋内。

## 2 系统硬件设计

### 2.1 信号采集板

根据该雷达维修任务分配表,站级维修主要是对P100

单元整体更换,P200单元和P300单元内部功能模块和所有印制电路板的更换,因此该故障检测仪应能检测P200和P300单元内所有印制板检测孔,以及单元表面的所有信号检测孔内的信号。这些信号包括脉冲信号、直流电压和模拟信号,最高频率为14 989 622 Hz,最高幅度为200 V。

信号采集板主要由衰减电路、放大电路、触发电路、ADC数据采集及控制电路(在FPGA内)、DAC电路、CPU及电源组成<sup>[11]</sup>。

#### 1) 衰减电路

衰减电路结构如图2所示,将测量的信号输入后,选择测量的电压档位以及耦合方式,参数层将交直流耦合选择开关数据,以及衰减网络模拟开关数据传至放大电路。

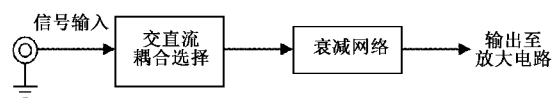


图2 衰减电路结构

#### 2) 放大调理电路

放大调理电路结构如图3所示,衰减电路过来信号首先经过缓冲器,驱动后级放大器对信号进行放大,考虑放大器增益可调节,以减小对衰减网络的级数要求,放大器的直流电平通过软件设置。输出信号一路经过低通滤波送ADC进行转换,另一路送给触发电路,以产生触发信号<sup>[12]</sup>。

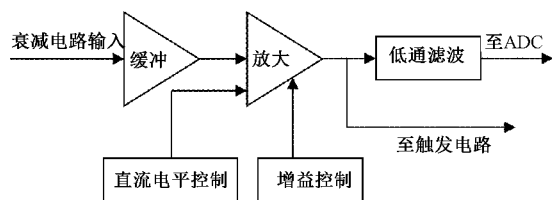


图3 放大调理电路结构

#### 3) 触发电路

触发电路结构如图4所示,第一部分为触发源的选择,可以选择CH1、CH2或外部触发同步。其中CH1和CH2的信号来自于它们放大电路的输出。第二部分为高速比较器,比较器的一端接触发电平预置,其电平可以设置,当待触发电平达到该值时,比较器翻转,输出触发信号,启动AD采样。

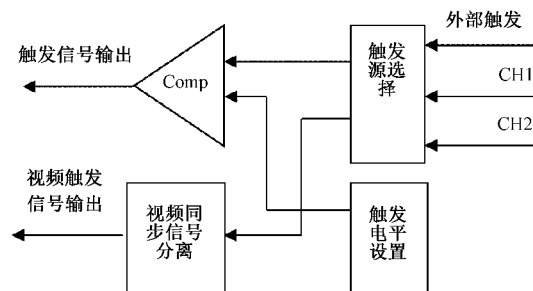


图4 触发电路结构

#### 4) ADC数据采集电路

ADC数据采集电路结构如图5所示,ADC数据采集

电路将模拟前端送来的模拟信号转换为数字信号,通过 USB 送到 PC 后加以处理重现模拟波形。

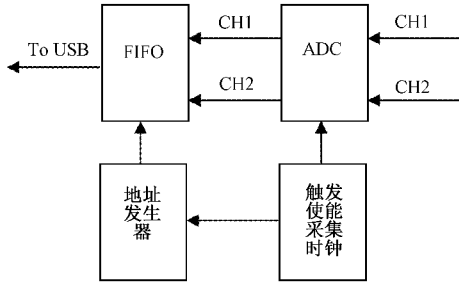


图 5 ADC 数据采集电路结构

### 2.2 嵌入式工控主板

为缩小系统的体积,增加操控性,提高系统的可靠性,系统采用了 INTEL 82945 + ICH7 工业级系统,其标准配置图如 6 所示。

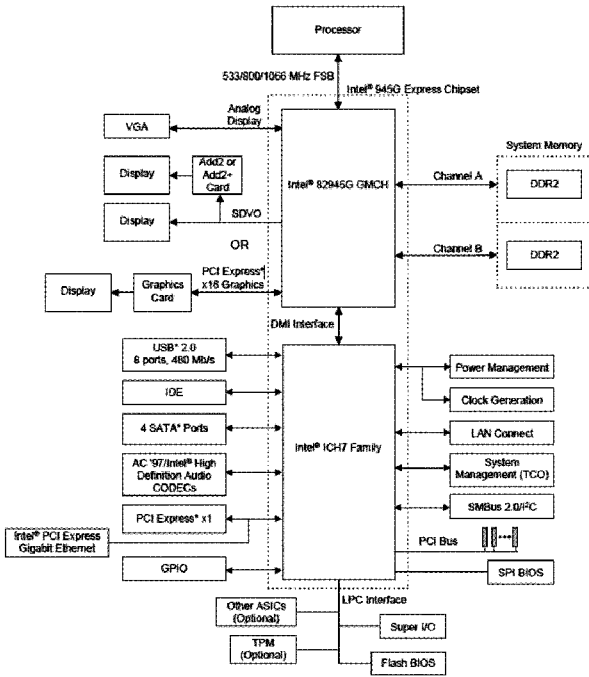


图 6 嵌入式主板标准配置

### 2.3 电池组和电源管理电路

电池组采用 3 组锂聚合物电池串联负责向系统供电,锂聚合物电池安全性相对锂离子电池较高,不会爆炸和燃烧。并可以制作成各种形状,方便携带和安装。电池组自带保护电路,提供过充、过放保护,并在电池放电电流过大或温度过高时可以停止电池工作,断开电池与负载的联接,以防止损坏电池和负载。电源模块由电源管理模块、主电源模块、24 辅助电源模块三部分组成。为实现多种供电模式,市电供电、直流 24 V 供电和电池供电,系统内设有自设计的电源管理板,用于管理系统的电池充放电、电源种类选择和电池电压的转换。

## 3 故障诊断原理

### 3.1 神经网络诊断原理

系统采用了 RBF 神经网络进行故障诊断,其模型结构如图 7 所示,模型由输入层、中间层与输出层三层结构组成。进行故障诊断时首先将数据决策表作为神经网络的训练样本进行训练,获得各自的连接权值和阈值,然后存储相应的连接权值构成知识库,最后用训练好的神经网络模型进行故障定位及诊断<sup>[13-14]</sup>。神经网络工作前,首先要根据试验数据和专家经验建立故障知识库。为了获取初始数据,系统采用硬件电路获得雷达的检测信号,之后采用 RBF 神经网络进行浅层次经验推理,然后通过神经网络与专家系统相结合的方式对故障进行诊断,网络输入的是被诊断对象的故障现象,网络输出的是被诊断对象发生故障的概率。

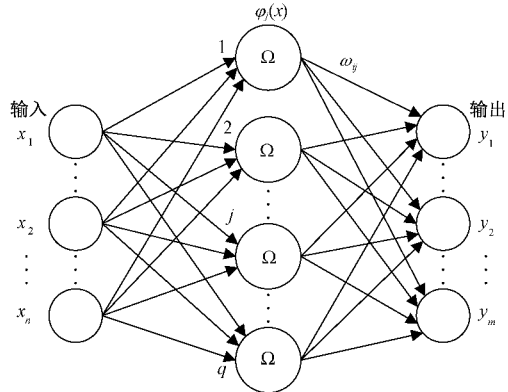


图 7 RBF 神经网络模型结构

模型构建时,神经网络各层节点数主要依据先前雷达故障发生经验公式设定,并依据训练结果而调整。输入层由感知单元源点组成,它们将网络与外界环境连接起来。中间层将输入空间与隐藏空间进行非线性变换。输出层为作用于输入层的激活信号模式提供响应。

输入层实现从  $x \rightarrow \phi_i(x)$  的非线性映射,输出层实现从  $\phi_i(x) \rightarrow y_k$  的线性映射,即:

$$y_k = \sum_j \omega_{kj} \phi_j(X) + \theta \quad j = 1, 2, \dots, h \quad (1)$$

式中:  $k$  为输出结点数;  $\omega_{kj}$  为输出权值;  $\theta$  为阈值;  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ 。

隐层节点的核函数将对输入信号在局部产生一定响应,当输入信号靠近核函数的中央范围时,隐层结点将产生较大的输出,经常使用的核函数为高斯函数<sup>[15-17]</sup>。

### 3.2 故障诊断系统架构

系统由故障数据采集、故障数据预处理、人机接口、内部知识数据库、解释机制、外部知识数据库、学习机制、神经网络和推理机制等组成,故障诊断系统架构如图 8 所示。其中神经网络是进行故障诊断的核心部分,由它对采集的故障样本进行模型训练,实现详细的故障诊断。

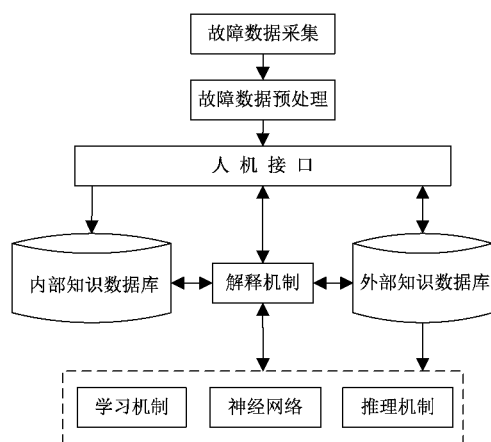


图 8 神经网络专家系统结构

为了获取雷达的相关电器信号,使用系统测试探头对雷达单元相应接口进行连接,从而采集相关故障信号,之后将数据预处理之后送入计算机进行储存,然后将处理后的数据写入知识数据库。

内部知识库在神经网络内部以权值及连接隐含地表达的专家知识。解释机制回答诊断过程中用户的提问,对诊断结果进行解释。外部知识库中保存用户输入的雷达专家知识,即雷达的故障模式、故障征兆、故障原因和处理方法等内容。神经网络将采集的数据通过神经网络诊断得到推理结果,将结果传送到解释机制。

### 3.3 故障诊断流程

系统工作流程如图 9 所示,主要包括故障搜索、故障列表、人机交互、故障数据库、知识数据库、推理机、故障定位和维修指导等过程。

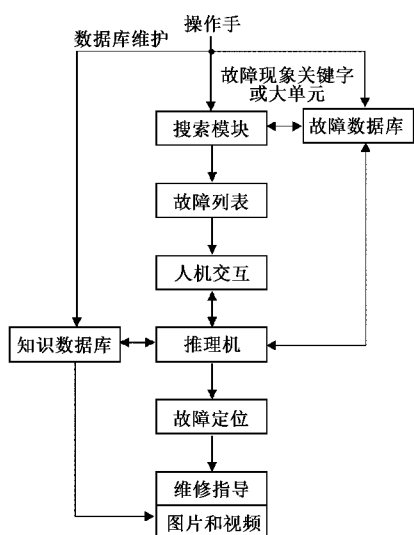


图 9 故障诊断流程

专家系统集成了大量调试、维修的数据和经验,形成强大的故障信息数据库,并且能够实时更新。维修人员根据故障现象列表选择相似的故障现象,并与人机进行适当的

交互,专家系统经过推理后即可给出比较准确的故障诊断。

## 4 系统实验结果与分析

该雷达由 P100、P200 和 P300 三个独立的单元模块组成,为验证 RBF 神经网络进行故障诊断的效果,以下取出雷达 P100 单元的典型故障建立样本训练模型,并将样本进行初始化,P100 单元典型故障状态模型如表 1 所示。

表 1 P100 单元典型故障状态模型

状态模型	样本编号
P101 板故障	001001
P102 板故障	010010
P103 板故障	101101
方位驱动故障	011011
高低驱动故障	110110
15 MHz 时钟故障	001011
PRF 信号故障	100011
设备正常	000000

神经网络输入节点个数为 8 个,输出节点的个数为 2 个,中心向量个数为 16 个,基函数层的节点个数为 8 个,基函数的阈值设定为 0.832 1。实际训练时,经过 29 次迭代,训练结果可快速收敛到目标值,训练误差满足要求,故障诊断准确率达到 90% 以上。

为验证系统对其它单元的故障诊断效果,以下再取出雷达 P200 单元的典型故障建立样本训练模型,并将样本进行初始化,P200 单元典型故障状态模型如表 2 所示。

表 2 P200 单元典型故障状态模型

状态模型	样本编号
24 V 电源故障	000011
P201 板故障	000110
P202 板故障	001101
P203 板故障	011010
高压电源 200 V 故障	000111
串行通讯故障	100111
设备正常	000000

神经网络输入节点个数为 7 个,输出节点的个数为 2 个,中心向量个数为 14 个,基函数层的节点个数为 7 个,基函数的阈值设定为 0.825 7。实际训练时,经过 31 次迭代,训练结果可快速收敛到目标值,训练误差满足要求,故障诊断准确率达到 90% 以上。

为了验证系统对雷达整体的故障诊断效果,在部队雷达装备中抽调 3 部雷达进行试验,每部雷达每个单元分别人为设置故障和非故障样本共 25 组,共 225 个故障样本检验系统的诊断性能,诊断结果如表 3 所示。

表 3 故障诊断结果

故障单元	P100	P200	P300
正确数	70	69	71
正确率	93.33%	92.00%	94.67%

从诊断结果数据可以看出,3个单元的测试结果故障诊断正确率均在90%以上,说明系统的诊断性能良好,达到预期设计效果。

## 5 结 论

本文设计并实现了某型雷达便携式故障诊断系统,根据雷达专家知识建立故障知识库,采用BP神经网络模型对故障进行诊断,采用大量的仿真数据为神经网络提供实验样本,结果显示经过训练后样本数据的诊断准确率可达90%以上,满足了雷达在野战条件下的故障分析和故障定位,为装备维修提供了有力的支持和保障,具有一定的军事效益和经济效益。当采用不同训练样本时,对RBF神经网络和BP神经网络算法的优化有待进一步研究。

## 参考文献

- [1] 吴俊盼. 雷达系统故障建模及诊断技术研究[D]. 南京: 东南大学, 2020.
- [2] 芦明超. 雷达系统综合故障诊断研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2014.
- [3] 何家周. 某型军用雷达故障智能诊断方法设计与实现[D]. 北京: 清华大学, 2015.
- [4] 王飞. 基于故障树的雷达故障诊断方法研究[J]. 信息化研究, 2016, 42(3): 59-62.
- [5] 涂望明, 宋执环, 陈运涛, 等. 基于小波变换和LS-SVM的雷达故障诊断[J]. 控制工程, 2013, 20(2): 309-312.
- [6] 逯程, 徐廷学. 基于属性粒化聚类与回声状态网络的末制导雷达故障诊断[J]. 上海交通大学学报, 2018, 52(9): 1112-1119.

- [7] 庄夏. 一种基于增强学习神经网络的雷达故障诊断方法[J]. 现代雷达, 2017, 39(12): 15-19.
- [8] 王保义, 杨韵洁, 张少敏. 改进BP神经网络的SVM变压器故障诊断[J]. 电测与仪表, 2019, 56(19): 53-58.
- [9] 赵文清, 严海, 周震东, 等. 基于残差BP神经网络的变压器故障诊断[J]. 电力自动化设备, 2020, 40(2): 143-148.
- [10] 刘健鹏, 刘明通, 杨鹏, 等. 便携式雷达电源检测维修系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(5): 141-145.
- [11] 宋洪良, 唐小明, 张涛. 一种导航雷达信号采集的实现方法[J]. 舰船电子工程, 2016, 36(4): 41-44, 150.
- [12] 胡锐. 直流电源测试仪高速采集电路设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2020.
- [13] 马立新, 杨天笑, 豆晨飞. 分布式电源并网电能质量智能测评与方法研究[J]. 电子测量技术, 2020, 43(11): 74-78.
- [14] 刘军, 段书凯, 李天舒, 等. 机械臂的自旋忆阻RBF神经网络控制系统设计[J]. 仪器仪表学报, 2018, 39(8): 212-219.
- [15] 钱牧云, 齐瑜, 魏新网. 基于神经网络的光纤布拉格光栅触觉信号解耦研究[J]. 仪器仪表学报, 2021, 41(8): 44-51.
- [16] 孙洁, 于孟晗. 轧钢加热炉钢坯温度神经网络预测模型[J]. 国外电子测量技术, 2021, 40(9): 24-28.
- [17] 梁盛德, 王寻, 梁金福. 基于卷积神经网络和心电QRS波群的身份识别[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(4): 1-10.

## 作者简介

单显明, 硕士生导师, 教授, 主要从事雷达系统建模与仿真、人工智能方向的研究。

E-mail: 409332208@qq.com