

文章编号: 1673-1522 (2008) 04-0383-04

基于 BP 神经网络算法的 飞机发动机火警信号系统研究

吴光彬^{1a}, 王 栋^{1b}, 贾卫东², 高 超^{1c}

(1. 海军航空工程学院 a. 控制工程系; b. 基础部; c. 研究生管理大队, 山东 烟台 264001;

2. 海军装备部天津局驻北京地区电子设备军事代表室, 北京 100083)

摘 要: 针对某型飞机发动机火警探测系统存在误报率较高的问题, 设计了基于 BP 神经网络算法的飞机发动机火警信号系统, 采用了速率检测算法结合绝对温度的局部决策机制, 构建了 3 层数据融合结构, 进行了仿真验证, 证明此种方法对解决发动机报警灵敏度和误报率之间的矛盾, 具有较高的价值。

关键词: 发动机; 火警信号系统; BP 神经网络; 数据融合

中图分类号: V233.7⁺47

文献标志码: A

0 引言

某型飞机装有两套火警信号系统, 每个发动机舱各有一套。每套火警信号系统由 6 条敏感支路和一个探测电路组成, 敏感支路采用点式热敏传感器。传感器的热电动势加在执行电路的测量比较电路的输入端, 与基准电压相比较, 当发动机舱内温度达到一定值, 传感器的热电动势大于基准电压时, 门限电路输出有效信号, 该信号经功率放大驱动执行部件输出告警信号。6 条敏感支路在输出上是“或”的逻辑关系, 也就是说当发动机舱所安装的传感器任何一个敏感到火灾信号, 执行部件都会输出告警信号。

由以上原理分析可见, 采用简单的逻辑电路对火警进行判断, 存在以下问题, 一是在电路的报警灵敏度和误报率之间存在矛盾, 原设计为了保证报警灵敏度, 大大降低了基准电压, 使误报率明显提高; 二是各个敏感支路在输出上是“或”的逻辑关系, 没有考虑 6 条敏感支路相互之间的联系, 也会导致误报率上升; 更由于飞机上存在电源的波动、电磁辐射等干扰源, 使得该火警信号系统误报率一直居高不下。

近年来, 神经网络^[1]技术在火警探测上得到应用, 从研究的结果来看该方法可以有效地减少火警

的误报。为了减少某型飞机火警误报率过高的问题, 本文采用 BP 神经网络算法对某型飞机火警信号系统进行改进研究。

1 火警传感器信号的采集

某型飞机发动机舱采用的是单一热电偶传感器, 该热电偶由镍铬合金和镍组成, 其热电系数为 $39.4 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, 因为热电偶产生的电动势正比于其两端的温度差, 因此, 要精确测量发动机舱的温度, 热电偶接入测量系统控制盒一端的温度也应测量, 否则会产生较大误差。图 1 所示为本文热电偶传感器信号的采集电路。其中, ADS1244 是一个 24 位的 A/D 转换器, 其有效分辨率为 20 位; ISO721M 对电路的模拟部分和数字部分进行了隔离; PT100 为铂金温度探测电阻, 在 0°C 时它的阻值为 100Ω , 并且随温度的上升而线性增加, 它的温度系数为 $0.385\%/^\circ\text{C}$, 由 PT100 和仪表放大器 U2 共同组成冷端补偿电路。^[2]

根据信号的放大关系, 得

$$\begin{aligned} V_{\text{PT100}} &\approx 10.19 + 0.0395 \times t_a; \quad V_{\text{ic}} \approx 0.0395 \times (t_p - t_a); \\ V_{\text{PT}} &= 100 \times (V(\text{PT100}) - 10.19) + 2048 \approx 2048 + 3.95 t_a; \\ \text{ADC}_{\text{VIN}} &= 100 \times V_{\text{ic}} + V_{\text{pt}} \approx 2048 + 3.95 \times t_p. \end{aligned}$$

上式中, 结果单位为 mV , t_p 为待测温度; t_a 为冷端介质温度。

收稿日期: 2008-03-05

作者简介: 吴光彬 (1970-), 男, 副教授, 硕士。

发动机火警探测系统结构如图 2 所示。各传感器输出的信号经过局部决策后，再分别送到数据融

合中心，融合中心综合所有局部决策得到一个全局决策，即最终的火警信号是否送出。^[3]

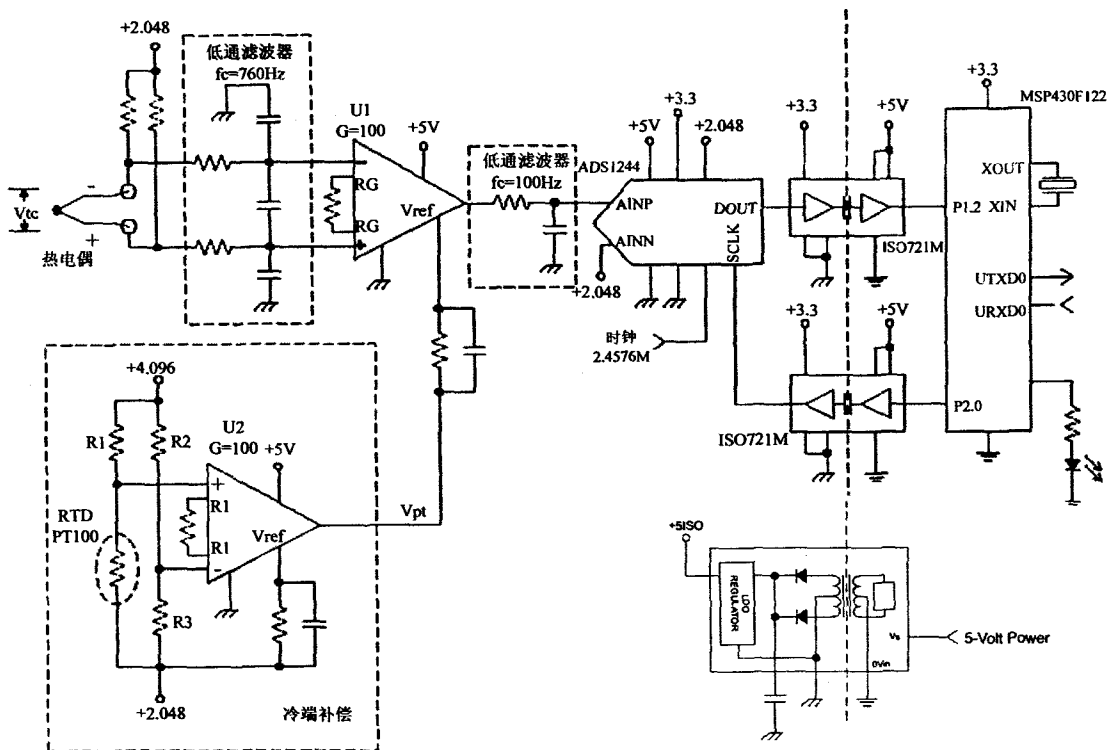


图 1 热电偶传感器信号采集电路

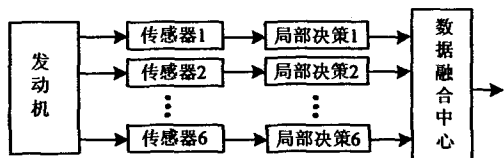


图 2 发动机火警探测系统

2 单个传感器的局部决策方法

飞机发动机发生火灾时，通常会在较短的时间内伴随着较大的温升，传统的仅靠检测绝对温度的检测方法有局限性，导致误报率较高。本文采用速率检测算法^[4]与绝对温度检测相结合，即被检测的温度变化速率信号连续超过某一门限达到一定次数，且绝对温度超过发动机舱的正常温度极限时，可确定认为有效火警。

速率检测算法的具体方法是，设采样信号原始序列为

$$X(n) = [x_1(n), x_2(n), \dots, x_6(n)], \quad (1)$$

式中： $x_i(n)$ ($i=1,2,\dots,6$) 分别为 1~6 条传感器的采样信号。

定义累加函数 $a_i(k)$ 为第 i 条探测信号多次累加

相邻采样值 $x_i(n+1)$ 与 $x_i(n)$ 的差值之和

$$a_i(k) = \sum_{n=0}^k [x_i(n+1) - x_i(n)], \quad i=1,2,\dots,6. \quad (2)$$

定义 $y_i^{(1)}$ 为速率检测输出信号，则

$$y_i^{(1)} = f_1[a_i(k) - \theta_i^{(1)}]. \quad (3)$$

式中： $f_1(\cdot)$ 为饱和函数，其取值范围为 0~1； $\theta_i^{(1)}$ ($i=1,2,\dots,6$) 分别为 1~6 条传感器的速率检测局部报警阈值。

绝对温度检测较为简单，定义 $y_i^{(2)}$ 为绝对温度检测输出信号，则

$$y_i^{(2)} = f_2[X_i(k) - \theta_i^{(2)}], \quad (4)$$

式中： $f_2(\cdot)$ 为饱和函数，其取值范围为 0~1； $\theta_i^{(2)}$ ($i=1,2,\dots,6$) 分别为 1~6 条传感器的绝对温度局部报警阈值。

最后，将 $y_i^{(1)}$ 和 $y_i^{(2)}$ 作“乘法”运算，得局部决策器输出信号 Y_i 为：

$$Y_i = y_i^{(1)} \cdot y_i^{(2)}. \quad (5)$$

当局部决策结果 Y_i ($i=1,2,\dots,6$) 中任一个输出为 1 时，则表示 1~6 条传感器信号中有一路出现非平稳变化且其绝对值超过正常温度极限，即提请

数据融合中心对所有信息进行融合处理，得出最终判断。这样一方面，可由局部决策器分别实现各信号的预处理、标准化并滤除噪声，减轻了融合中心的数据处理工作，并有并行分块处理的优点；另一方面，当局部决策结果中至少有一个为报警输出 1 时，就进行后级数据融合，否则不送融合中心。这样，既可以最大限度地采集火警信息，并在早期识别火警信号，又可减少对具有显著非火警特征信息的计算处理，降低火警的误报率。

3 基于 BP 网络的数据融合算法

在局部检测的基础上，再进行融合决策。然而，如前所述由于火警信息往往具有很大不确定性，因此无法得到一个具体融合决策的判决函数式。为此选用神经网络的自组织非线性逼近的能力、自学习功能，来实现上述数据融合过程^[5]。

本文采用三层前馈 BP 网络，其输入层的 6 个

单元分别对应 1~6 条传感器信号的归一化值，取值范围为 0~1；隐层有 7 个神经元，输出层采用对数 S 形函数，输出“0”为无火警信号，输出“1”为火警信号。输入层与隐层之间的权值矩阵为 W_1 ，隐层与输出层之间的权值矩阵为 W_2 。BP 网络的学习过程为：首先确定训练模式对，并对网络进行初始化。模式对由输入信号和导师信号组成，分别对应网络的输入层和输出层。输入信号由温度探测器对标准试验火和各种实际环境条件下的测试信号经归一化整理后确定，导师信号为上述已知条件下定义的火警信号的判决结果。在本文研究中确定了 110 组训练模式对，表 1 给出了其中 10 组训练对示例。对于给定的每组训练模式输入，先由 Sigmoid 函数计算各隐层单元的输出，再计算网络输出，并且比较导师信号与网络输出，计算其均方根误差，最后由误差反传算法，调整网络权值 W_1 和 W_2 直到使均方根误差满足误差精度的要求。

表 1 训练模式对示例

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
传感器 1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
传感器 2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
传感器 3	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	0.9
传感器 4	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	0.8	1
传感器 5	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	0.9	0.9	0.9
传感器 6	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	0.9	1	1	1
火警判决	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1

4 计算机仿真结果

根据创建好的 BP 网络模型就可以进行网络训练。据 BP 算法，应用 Matlab 神经网络工具箱进行样本训练。P、T 为事先输入训练模式对，分别为 6×110 个训练样本数据和对应的 1×110 个火警判决数据。主要程序代码如下：

```
threshold=[0 1;0 1;0 1;0 1;0 1;0 1]; %域设置
N1=newff(threshold,[7 1], {'tansig', 'logsig'},
'trainlm');
```

样本训练的过程就是阈值和权值不断调整的过程。通过调整，使网络的输出误差达到最小，以满足系统的实际要求。

训练次数定为 100 次，训练误差 0.001，程序代码如下：

```
N1.trainParam.epochs=100; %最大训练次数
N1.trainParam.goal=0.001; %目标误差
```

LP.lr=0.1; %学习率
N1=train(N1,P,T); %网络训练
训练结果见图 3。

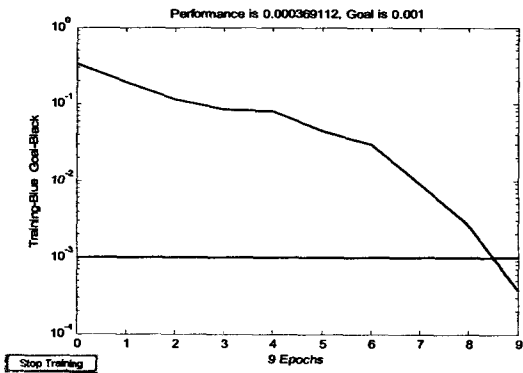


图 3 BP 网络训练图

由图 3 可见，经过 9 次训练后，网络的性能达到了预定误差精度。
最后用非训练样本测试网络的判断能力。

以飞机发动机漏油产生明火火灾,发动机内涵道蒙皮破裂导致高温气体溢出,气流干扰隔热层和一条传感器断路的典型干扰信号参数作为仿真数据,从以上4种试验结果中取出一组数据进行归一化处理作为神经网络的输入量,利用经过训练的三层神经网络,计算火警判决输出。

测试代码为:

```
test=[1.0 1.0 1.0 0.8 0.9 0.9;0.8 0.9 0.9 1.0 0.8 0.9;
      0.5 1.0 1.0 0.6 0.6 0.7;0.1 1.0 0.3 0.4 0.2 0.1];
```

Y=sim(N1,test)

仿真结果为:

Y=1.0000 1.0000 1.0000 0.0000

计算机仿真结果如表2所示。

表2 计算机仿真结果

序号	1	2	3	4
传感器1	1	0.8	0.5	0.1
传感器2	1	0.9	1	1
传感器3	1	0.9	1	0.3
传感器4	0.8	1	0.6	0.4
传感器5	0.9	0.8	0.6	0.2
传感器6	0.9	0.9	0.7	0.1
判决输出	1	1	1	0
真实值	1	1	1	0

从表中可以看出,对前3种发动机火警,火警网络判决输出的值均为“1”,其判决结果为输出火警。对于后一种干扰信号,火警网络判决输出的值为“0”,其判决结果为不输出火警;BP网络的判决

结果与真实值完全相符。

5 结论

从上面的研究结果可以知道:采用基于神经网络的数据融合技术改进飞机发动机的火警探测,可以准确、迅速地判定火警,同时具有一定的抗干扰性,能够降低发动机火警的误报率,是飞机发动机火警探测系统的发展方向。在后续工作中应继续探讨如何将基于BP神经网络的飞机发动机火警探测方案应用于工程实践。

参考文献:

- [1] 罗云宝,侯志强,崔坤林,等.基于BP神经网络的战斗机采购费用估算[J].海军航空工程学院学报,2006,21(4):463-466.
- [2] MIKE BURNS. Low-Cost, Noise-Immune, Isolated Thermocouple Signal Processor[M]. Texas Instruments Application Report, 2007.
- [3] 何友,柴勇,曲长文.数据库技术在多传感器信息融合系统中的应用综述[J].海军航空工程学院学报,2007,22(4):401-406.
- [4] 向淑兰,付尧明.基于神经网络数据融合技术的飞机货舱火警探测方法研究[J].探测与控制学报,2005(4):47-49.
- [5] 孙增圻,张再兴,邓志东.智能控制理论与技术[M].北京:清华大学出版社,1997:125-153.

Research on an Aero-Engine Fire Detected System Based on BP Neural Network

WU Guang-bin^{1a}, WANG Dong^{1b}, JIA Wei-dong², GAO Chao^{1c}

(1. Naval Aeronautical and Astronautical University a. Department of Control Engineering;

b. Department of Basic Sciences; c. Graduate Students' Brigade, Yantai Shandong 264001, China;

2. Electronics Military Representatives Office of Tianjin Bureau of NED in Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: An aero-engine fire detected method based on BP neural network data fusion technology was designed in order to solve its fault fire alarm. In the method, the probed absolute temperature and it's velocity was combined for local decision-making, and a 3 layers data fusion was constructed. The method was emulated in this paper.

Key words: aero-engine; fire detected system; BP neural network; data fusion