

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.12.020

## 某型自行火炮火控系统检测系统

姚雾云, 徐德友

(南京炮兵学院 射击教研室, 江苏 南京 211132)

**摘要:** 针对某型自行火炮部分队装备保障的现状, 设计了某型自行火炮火控系统检测设备。介绍了系统的体系结构、功能模块以及工作运行原理, 在此基础上重点阐述数据采集模块硬件设计实现, 专家诊断模块中基于故障树的知识库构造方法, 以及推理机正向和反向推理相结合的推理控制策略, 并给出了诊断控制流程。该系统实现了对自行火炮火控系统的快速故障定位, 较好地解决了部队的实际需要。

**关键词:** 火控系统; 检测设备; 硬件设计; 故障推理

**中图分类号:** TP274 **文献标识码:** A

## Detection Instrument for Firing Control System of Certain Type Self Parallel Gun

Yao Wuyun, Xu Deyou

(Staff Room of Firing Office, Nanjing Artillery Academy, Nanjing 211132, China)

**Abstract:** According to the requirement of equipment repair of certain type self parallel gun troops, designed a detection instrument for firing control system of a self parallel gun. Introduce the architecture, function modules and the working principle of the system. Then the design and realization of the hardware to the data collection modules and the experts diagnosis module are described. The paper presented the construction method of knowledge base which is base on fault tree and the reason control strategy which combined the forward reason with the backward reason. The instrument realized the quick localization of the fault for the fire control system of self parallel gun which meets the actual requirement to self parallel gun troops preferably.

**Keywords:** fire control system; detection instrument; hardware design; fault reason

### 0 引言

火控系统是自行火炮武器系统的核心组成部分, 其性能直接影响着自行火炮的射击精度, 其状态是否良好将直接影响整个武器系统战斗力的正常发挥。因此, 对自行火炮火控系统进行经常性的检查维修, 对保持火控系统良好的工作状态具有非常重要的意义。由于目前我军装备的发展速度远远高于装备应用人才的发展速度, 特别是随着某型自行火炮的装备, 作战使用单位维修保障人才严重滞后, 已影响到某型自行火炮武器系统的正常使用和战斗力的形成。故针对某型自行火炮部队装备保障需求的现状, 研制一种适用于快速检测的便携式自行火炮火控系统检测与诊断系统。

### 1 系统总体设计

#### 1.1 系统体系结构

火控系统检测系统体系结构如图 1, 主要包括故障诊断模块、系统状态监测模块、数据采集模块以及共用数据库。数据采集模块的功能主要包括: 能够与待测自行火炮火控系统的检测口进行电气连接; 对待测信号进行传输、调理、滤波、采集和初步的处理; 将处理结果以数字的形式经由一定的通

信方式存放放到共用数据库当中; 接收来自状态监测模块的各种命令; 自身状态的自检及工作状态显示等。状态监测模块功能主要包括: 接受人机接口发送过来的用户命令; 控制数据采集模块按照要求进行火控系统状态参数采集; 通过访问共用数据库中收集的火控系统状态参数, 能判断当前火控系统的工作状态, 如果正常, 则直接向人机接口模块报告; 如果异常, 则自动请求故障诊断模块进行火控系统故障诊断。

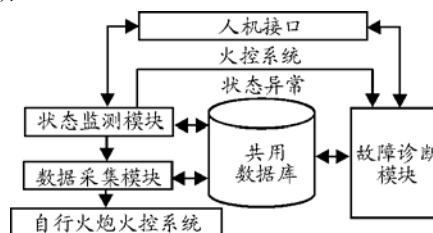


图 1 检测系统体系结构

故障诊断功能主要是根据状态的监测模块的请求, 访问采集到的火控系统状态参数, 运用故障诊断专家系统, 分析火控系统功能缺失的原因(故障定位), 向人机接口模块提出合理的维修保养建议。

#### 1.2 系统工作原理

检测系统工作原理如图 2, 该系统集数据采集、

收稿日期: 2010-07-09; 修回日期: 2010-08-06

基金项目: 总装十一五预研项目(513270302)

作者简介: 姚雾云(1980-), 男, 江西人, 硕士, 讲师, 从事炮兵作战指挥仿真、炮兵武器系统运用研究。

状态监测、故障诊断、案例学习于一体。在默认状态下，系统的缺省工作模式为监测模式。系统工作时，数据采集模块将采集到的火控系统状态参数转换后存入共用数据库。系统状态监测模块调用共用数据库，进行综合比较判断分析，如果可以确认系统为正常状态，则继续对系统进行监测；反之，若判断异常，则由系统监测模块向故障诊断模块发出请求，自动进入诊断模式，如果根据数据库中已有的案例集，可以判断故障原因，则给出故障原因，并提示维修方法；如果判断不出故障原因，则进入学习模式，记录火控系统的状态参数，借助故障诊断专家系统进行故障推理、诊断，并建立新的故障案例，扩展知识库。

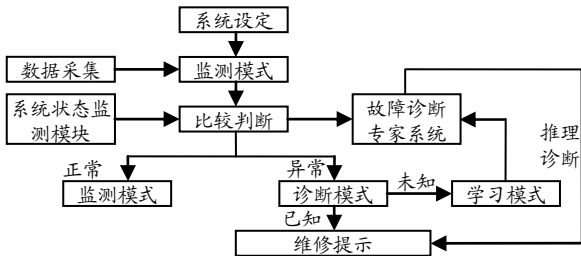


图 2 检测系统工作原理

## 2 系统实现

### 2.1 数据采集模块硬件设计与工程实现

数据采集模块硬件结构组成如图 3，包括信号调理电路板、数据采集电路板以及供电电源电路板。

#### 2.1.1 供电电源电路板

供电电源电路板主要用来控制和实现对信号调理电路板和数据采集电路板供电。该电源电路板实

现了如下功能：两路模拟电源输出： $+5\text{ V}$  和  $-5\text{ V}$ ，一路数字电源输出： $+5\text{ V}$ ，在确保输出电源电压总体纹波小的前提下，该供电电源电路板很好地实现了模拟和数字电源的隔离。

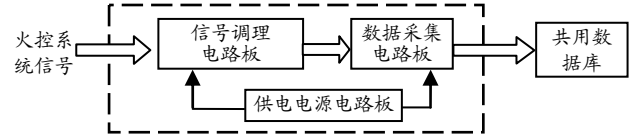


图 3 数据采集模块硬件结构

#### 2.1.2 信号调理电路板

信号调理电路板用于实现外部信号的接入、量程分级调整、超限钳位、缓冲和阻抗变换等功能，可以将外部电压高低悬殊、交流直流共存的多种检测信号调理成能为数据采集板直接接受的信号（正常情况下，该电路应输出电压幅值在  $-5\text{ V}$  到  $+5\text{ V}$  之间的信号）。该电路板需要外部提供  $\pm 5\text{ V}$  电压，其电源由箱体内的供电电源电路板提供。具体工作过程如下：外部信号通过位于箱体上的航空插头引入调理电路板，经过分级量程调整电路（分别可以将外部信号的电压降低为原来的 10 倍以及 100 倍），经过双向钳位保护电路（经过量程调整电路的信号，如果仍然超过数据采集板能处理的电压范围，则该电路开始自动工作，将信号电压限制在  $-6\text{ V}$  到  $+6\text{ V}$  范围内，以保护后续电路）后，信号进入缓冲和阻抗变换电路环节，最后进入的数据采集电路板。

#### 2.1.3 数据采集电路板

数据采集电路板是检测箱内 3 个电路板中的重点，也是设计的难点，其电路结构如图 4。

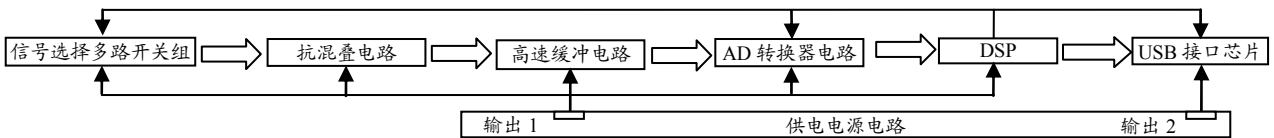


图 4 数据采集电路板的电路结构

信号选择多路开关组采用 Maxim 公司的 Max4530 芯片。该芯片可以在  $+2\text{ V}$  到  $+12\text{ V}$  范围的单电源下工作，也可以在  $\pm 2\text{ V}$  到  $\pm 6\text{ V}$  的双电源供电下工作，导通电阻最大为  $150\ \Omega$ ，每一个输入通道均可以处理轨到轨的信号，因此，由信号调理板处理后输出的信号可以与 Max4530 很好地衔接起来。共选用了 4 个 Max4530 芯片，构成 32 路输入通道。

为简化设计，提高可靠性，抗混叠电路选用了 Maxim 公司 Max275 芯片。根据对待检信号的特性进行分析，发现待检信号频率范围从直流一直到接近  $260\text{ KHz}$ ，因此，数据采集板上时间连续抗混叠电路最大截止频率为不应低于  $300\text{ KHz}$ 。Max275

无需时钟电路，因此与开关电容滤波器相比，其噪声更低、动态特性更好。AD 转换器选择 Maxim 公司的 Max1308。根据数据采集板需要采集的信号频率（低于  $260\text{ KHz}$ ，属于较低范畴），因此，只要选择采样率超过  $1\text{ Msps}$  的 AD 转换器即可较好地满足系统的需要。考虑到未来将要检测的信号当中，有一些可能对相互之间相位关系比较敏感，因此，选择的 AD 转换器在满足了采样率超过  $1\text{ Msps}$  的要求之外，还应该具备多通道同步采样的功能。经过比较，选择了 Maxim 公司出品的 Max1308。处理器选择的是 TI 公司的 C2000 系列 DSP 中的 TMS320F2812 型 DSP。该芯片提供了强大的计算能

力, 采用 32 位操作, 大大提高了处理能力, 主频可以工作在 150 MHz (时钟周期可达 6.67 ns), 最高运行速度可达 150 MIPS。该 DSP 具有的大量的 GPIO 引脚使得对外围译码电路的需求得以减小, 从而可以减少芯片数量, 对于小规模系统非常有益, 能够在一定程度上简化设计, 提高系统可靠性。

### 2.2 故障诊断模块设计与实现

系统设计了一个故障诊断专家系统作为该检测系统故障诊断模块。一个典型的专家系统通常包括推理机、知识库、解释子系统、知识获取子系统、全局数据库以及人机接口等 6 个部分。故障诊断系统的设计与实现过程即分别设计与实现上述 6 个部分的过程。根据选择的推理机制, 结合系统的实际情况, 设计好知识表示方式并按一定规则存入知识库。考虑推理过程中使用数据的形式和知识表示方式, 设计全局数据库。考虑用户的实际需要设计好解释子系统和人机接口。知识获取子系统则主要考虑知识库中知识的管理与维护。

#### 2.2.1 基于故障树的知识库构造

故障诊断专家系统最突出的问题是诊断知识获取的“瓶颈”问题。将故障树分析法和基于产生式规则的诊断专家系统有机结合起来, 能很好地解决该问题。通过故障树建立的专家系统知识库, 故障树的每一个层次可作为一个知识框架, 如图 5。

每条专家知识用产生式规则表示, 规则的前提条件和结论采用 F、S、V、P 四元组表示。其中: F 为框架类型名; S 为槽名; V 为槽值; P 为该条件

与证据的匹配方式或结论的操作符, 包括“是”、“非”、“有”、“无”、“<”、“>”、“=”等。

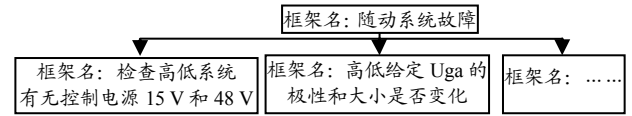


图 5 基于故障树的知识框架结构

规则的前提表示引发事件, 规则的结论表示引发的结果, 规则的结论既是进入下层结点的入口, 又可激活另一棵故障树, 从而体现针对同一失效故障事件而又从不同侧面建立故障树之间的联系。

例如: 在自行火炮高低不能调炮故障节点, 框架名为高低不能调炮故障, 槽名为诊断规则库, 对应一组规则可以是:

```
If 控制板 (48 V 电源) = 48 V THEN 执行 (检查高低系统有无控制电源 15 V 和 48 V)
ELSE 执行 (高低给定 Uga 的极性和大小是否变化)
```

上述规则的含义是: 若控制板电源为 48 V, 则执行节点 G1: 检查高低系统有无控制电源 15 V 和 48 V; 否则, 进入节点 G2: 高低给定 Uga 的极性和大小是否变化。按照此规定, 故障树根结点和叶结点之间的联系就很清晰地表达出来了。然后, 再根据不同的规则, 位于上层故障树的叶结点分别进入不同的下一层的树。这样, 专家系统知识库就能用计算机语言编程输入计算机, 最后建立起故障诊断专家系统知识库。

#### 2.2.2 推理结构

专家系统的推理机是整个专家系统处理问题的核心模块, 包括以下 2 个部分内容:

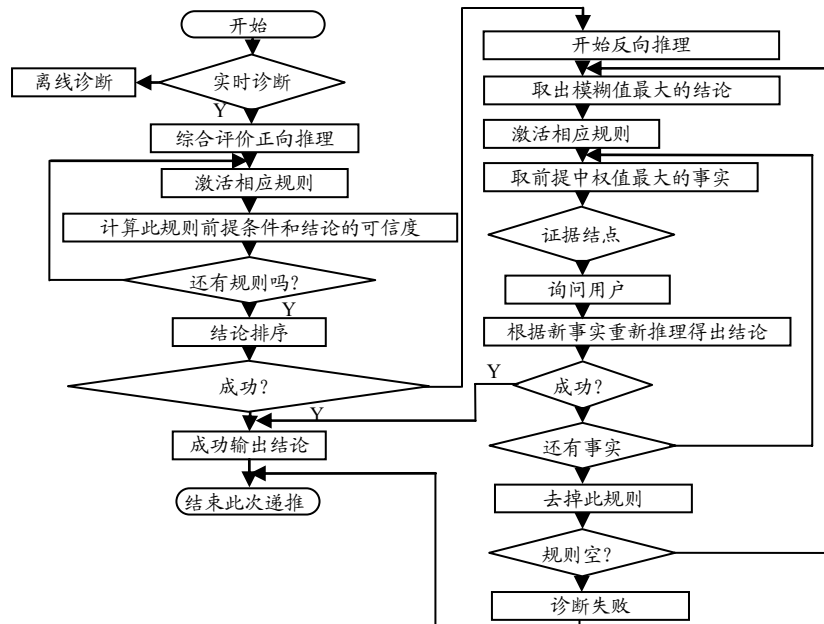


图 6 推理机推理控制策略

1) 推理方向。

当前典型的推理方向包含 2 类: 正向推理和反

向推理。其中，正向推理又叫数据推理，其基本思想是：从已知证据信息处出发，使规则前体与证据匹配，若匹配成功，则把该规则的结论部分作为新的证据重复上述过程，直到求出问题的解或没有可匹配的规则为止。正向推理的优点是允许用户主动提供有用的信息，不足之处在于规则的激活与执行没有目的，推理效率较低。反向推理的基本思想是：选定一个目标，然后在知识库中查找能导出该目标的规则集，若这些规则集中的某条规则前提与数据库匹配，则执行该条规则。否则，将该条规则作为子目标，递归执行上述过程，直到总目标被求解或没有寻出目标的规则。反向推理的优点是只考虑能导出某个特定目标的规则，因而推理效率较高，不足之处是选择目标比较盲目。单独的正向推理和反向推理都不能满足专家系统的推理要求，故采用正、反向推理相结合的控制策略。对于在线诊断采用以正向推理为主的方式诊断目标故障，而对于离线的数据则采用反向推理对目标故障进行求解。

2) 推理控制策略。主要是推理方向的控制及推理规则的选择策略和各种搜索策略。根据上述推理

\*\*\*\*\*

(上接第 54 页)

### 4 关键技术

航空军械总线各个终端存在很大的差异，且交联关系十分复杂，1553B 总线承担着所有消息的传输，消息多且频率比较高，根据长期积累的工作经验和资料，监测系统设计过程中有以下几个关键技术需要注意<sup>[5]</sup>。

#### 4.1 实时采集数据

总线上的终端数量众多，大多数工作在实时状态，尤其是对于自控、仪表等设备，通讯的畅通和及时尤其重要。解决实时性比较好的方法是采用中断技术，每当一个消息传输完毕或者错误等情况发生时产生中断，由中断服务程序进行处理。由于 Windows 对中断不开放，故笔者采用应用软件和低层通信软件相结合的方法解决这个问题。低层通信软件固化在板卡上，它规定了 17 个中断向量，每当一个中断产生时，它会判断是哪种中断，然后传递给上层应用软件。上层应用软件在 Windows 中建立一个线程和中断服务表，该线程一般处于“睡眠”状态，当查询到有中断产生时，线程被“唤醒”，根据中断服务表，调用相应的中断函数进行处理。

方向设计，该专家系统推理控制策略如图 6。

### 3 结论

目前，该系统已研制成功并交付使用。实际应用情况证明，该故障检测系统能很好地解决某型自行火炮火控系统故障排除的难题，缩短了火控系统维修的周期，具有操作简便、灵活机动、便于携带、适应性强等特点，非常适合在野战条件下使用。

### 参考文献：

- [1] 李炜, 等. 设备故障诊断技术的现状及其发展[J]. 甘肃工业大学学报, 1998, 24(2): 66-69.
- [2] 张孝虎, 等. 某型空空导弹测试仪故障诊断专家系统[J]. 指挥技术学院学报, 1999(10): 57-60.
- [3] 宝音贺喜格, 等. 航天器推进系统故障诊断专家系统的研制开发[J]. 推进技术 1999, 20(5): 17-20.
- [4] 吴海桥. 现代大型客机故障诊断专家系统的研究与开发[D]. 南京航空航天大学博士论文, 2002.
- [5] F. Hayes-Roth, D. Waterman and D B. Lenat. Building Expert Systems[M]. Addison-Wesley, Reading, MA, 1983.
- [6] 余浩章, 陈新华. 基于故障树的故障诊断推理新方法[J]. 上海海运学院学报, 2001, 22(3): 65-67.

#### 4.2 避免应答冲突

总线上的终端使用微处理器进行通讯处理，由于每个终端的响应时间不完全一致，并多在中断下进行，如果终端不是处理堆栈下通讯的消息活动，则会出现终端丢失消息或消息处理冲突。故系统采用最大时间化的方法解决此问题。当系统作为 BC 控制时，仅对某一个 RT 进行访问，在完成消息传递后再访问下一个 RT。

### 5 结束语

经过局部验证和应用，该技术可以完成各模式选择、数据接收和发送、编程消息间隔、自动重试、可编程中断等功能，在进行修改后还可扩展到其它 1553B 系统的监测，为进一步监测及分析验证 1553B 总线传输打下了良好的基础。

### 参考文献：

- [1] 吴汉平. 军用航空电子系统[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008: 81-85.
- [2] 王勇. 机载计算机总线技术[M]. 西安: 空军工程大学工程学院, 2005: 82-83.
- [3] DDC. MIL-STD-1553A/B Designer's Guide[S]. U.S.A: DDC Date Device Corporation., 1999.
- [4] 顾明剑. 1553B 总线控制方法研究[J]. 红外, 2004, 21(12): 21-27.
- [5] 史国庆. 1553B 总线检测仪系统软件设计[J]. 火力指挥与控制, 2009, 34(6): 141-144.