

一种便携集成式伴随保障系统

张雷, 常天庆, 苏奎峰, 杨国振

(装甲兵工程学院, 北京 100072)

摘要: 为解决弱测试性武器装备的外场级快速保障问题, 提出并研发了一种便携集成式伴随保障系统, 该系统由平板电脑、数据采集机箱、信号调理单元以及测试电缆组成, 兼备 IETM、远程数据终端、测试维修设备等多种功能; 硬件部分的平板电脑具有 IETM 的完整功能, 可与装备通信系统实现无缝链接; 数据采集机箱与信号调理单元之间采用卡具连接, 便于功能拓展, 与平板电脑无线连接后, 应用诊断软件能够实现典型装备的系统级故障诊断; 软件部分基于 Lab windows、Visio VBA 和 Access 数据库联合开发, 重点解决了基于顶层故障现象智能推理、故障树自动生成、判断节点自动检测等功能; 该系统经过试验验证, 能够准确调用软件各功能模块, 能够完成装备系统级故障诊断以及与指控通信系统之间的数据传输。

关键词: IETM; 保障; 保障系统

Portable and Integrated Maintenance System in Following Safeguard

Zhang Lei, Chang Tianqing, Su Kuifeng, Yang Guozhen
(Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: A kind of integrated maintenance system of IETM model is proposed for solving the problems of the field level equipment support in low testability weapon. It consists of a tablet computer, signal acquisition chassis, signal conditioning unit, and test cables, and it also has three kind of functions that include IETM, remote data terminal, and testing and maintenance equipment. The tablet computer has the complete functions, and transform fault component information to communication system of weapons. It also can be used with data acquired equipment and data process equipment, and the fault will be detected and concluded based on the diagnosis software. The software is developed based on Lab windows, Visio VBA and Access. The important problems of fault detection, diagnosis, failure tree auto generation were solved. At last step, the system was tested and verified in a kind of weapon control system, and all functions are useful.

Keywords: IETM; maintenance; equipment support

0 引言

随着武器装备复杂性的提高, 装备可靠性、维修性、测试性等保障技术得到了大力发展与广泛应用。各层级保障设备与仪器在诊断装备故障, 提高装备完好率等方面发挥了重要作用。以美飞机、舰船为代表的西方军用装备, 注重提升装备自身的保障性, 建设了交互式电子手册 (IETM)、VXI 总线专用仪器等保障设备, 形成了较完备、体系化的保障策略。其中, IETM 作为外场级主要维修保障手段, 综合运用多媒体信息处理、数据库管理、专家系统等技术, 将装备的操作使用说明、结构原理、维修指导、图纸技术资料等信息集于一体, 建立了人机和谐交互的维修环境, 为维修人员提供了实时、高效的过程指导和技术信息支持^[1-3]。据统计, 美军装备因使用了交互式电子技术手册, 技术信息管理成本费用降低 40%~60%, 故障排除正确率提高 35%, 培训时间缩短 25%~50%^[4]。但这种单纯的交互式电子手册, 对于测试性普遍不高的地面武器装备, 功能有效性受到了很大的制约, 保障作用不明显。为提升弱测试性装备的外场级保障水平, 基于 IETM 的工作模式, 便携式诊断设备 (PDA)、便携式测试设备 (PMA) 等相继被提出, 并成为各级维修保障部门研究的热点。PDA、PMA 均是一种集成 IETM 与测试仪器的便携式保障设备, 很大程度适应了武器装备原位保障需要, 发展有多种形式并不断完善。目前, PDA 和 PMA 常陷于多功能保障需求

和设备的体积、重量之间的矛盾, 连接测试电缆后, 操作的便易性也会明显降低。基于此, 本文设计并研制了一种便携集成式伴随保障系统, 该系统具有模块化、网络化等特点, 同时具备 IETM、远程数据终端、测试维修设备等多种功能。

1 总体设计

便携式综合保障系统由加固式平板电脑、数据采集机箱、装备各分系统信号调理单元以及测试电缆组成。总体组成结构图如图 1 所示。其中, 便携式平板电脑终端具有 3 种主要功能, 首先其为典型的交互式电子手册, 有完整的装备数字化信息数据库, 包括装备培训教材、使用说明、图纸资料以及装备的维护说明、常见故障分析等内容, 具备良好的可视化信息交互能力; 其次, 为适应数字化武器装备的发展, 设计便携式平板电脑兼具有数据终端的功能, 通过串行接口与装备指控通信系统数传模块完成数据交换, 可实现音 (视) 频信息的采集处理、本地数据上传、维修现场与远程维修支援中心之间的信息交互。最后, 它可与测试部分通过无线网络建立数据连接, 转变为便携式测试诊断设备, 通过故障诊断树和在线测试数据, 完成装备的故障定位。数据采集机箱是测试部分的核心, 主要由主板、无线网卡、LAN 接口的相关测试卡所组成。在机械

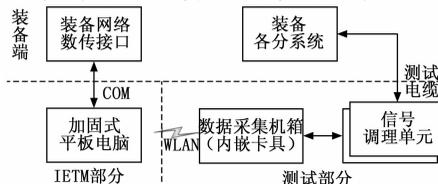


图 1 系统组成结构图

收稿日期:2015-11-10; 修回日期:2015-12-22。

作者简介:张雷(1974-),男,吉林九台人,副教授,主要从事火控系统故障诊断方向的研究。

结构上, 通过内嵌卡具和与信号调理单元相连接, 电气连接方式为航插式硬连接, 使用时信号调理单元通过卡具卡在数据采集机箱内部。信号调理单元针对装备不同系统设计, 主要起适配作用。

2 硬件设计

便携式综合保障系统设计过程中, 首先详细论证了设备的环境适应性要求、重量和体积要求以及体系结构的限制, 而后重点考虑了如下 3 个方面问题。

- 1) 硬件资源满足被测装备的测试需求, 各项性能指标达到测试要求;
- 2) 硬件外部接口完备, 满足装备 BIT 接口、外部总线接口、设备调试接口以及数据交换接口的需求;
- 3) 硬件设计必须遵循标准化、通用化、可扩展的原则, 充分应用现场可编程电路, 实现硬件资源的灵活调配。

2.1 加固平板电脑

加固平板电脑依据操作环境、功能需求、使用便易性定制, 包含嵌入式处理器、高亮触屏、2 个串口、WLAN 接口、LAN 接口、2 个 USB 接口和相关功能键。

2.2 数据采集机箱

数据采集机箱的主要完成测试模块的电源管理、工作指示、与平板电脑的无线连接、与信号调理单元机械、电气连接以及数据采集等功能。包括电池组、电源管理板、无线网络模块、LAN 接口 1553B 总线数据采集卡、LAN 接口 CAN 总线数据采集卡、LAN 接口多功能数据采集卡、上嵌方形连接器的转接板以及机箱箱体等部分, 硬件组成结构图如图 2 所示。电源管理板由充电管理模块、电源转换模块、电源保护模块等部分构成, 可为数据采集机箱和信号调理单元提供 26 V、±15 V、5 V 直流电源和 26 V、7 V 交流 400 Hz 电源, 同时具备充电保护、欠压、过压、过流及短路保护功能。多功能数据采集卡包含 64 路 TTL 电平 AD 通道、24 路可配 IO 通道、4 路 DA 通道、2 路计时器通道, 通过转接板上方形连接器与信号调理单元相连, 满足装备各分系统模拟和数字信号测试的需求。1553B 总线数据采集卡和 CAN 总线数据采集卡均以接收模式为主, 直接和装备的总线接口相连, 完成总线信息读取。

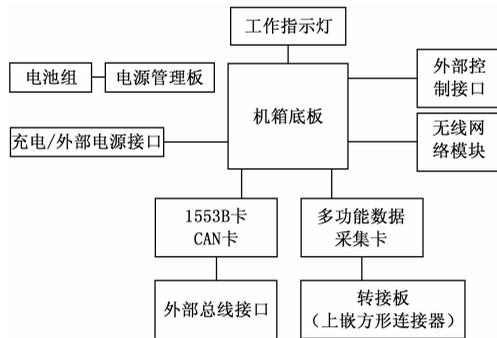


图 2 数据采集机箱硬件组成结构图

2.3 信号调理单元

信号调理单元内装资源分配模块、通道控制模块、通用调理模块等。其中: 资源分配模块按一定的规则将资源统一编码, 实现测试量、控制量和冗余量合理的资源分配, 从而实现系统资源的最优化。通道控制模块根据分配的资源, 利用多路开关、可编程逻辑器件、继电器阵列实现切换与控制, 使得在

某一个测试区间内只有有限的外界信号通道接入测试主机进行处理, 而其它通道处于断开状态, 以保证测试主机安全以及信号的有效性。通用调理模块用于实现被测量和测试系统的电气匹配, 主要包括电压范围调整、电流到电压的转换、功率负载的转换、频率电压的转换、超标信号的隔离、传感器信号的调整、输出信号的功率放大、输出信号的类型转换等, 从而实现输入、输出信号的综合调理, 完成数据采集端与被测部件之间的信号转换。

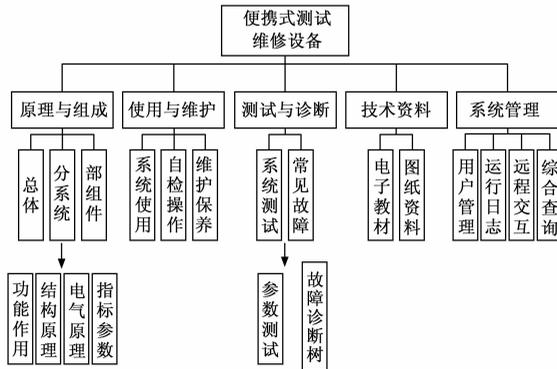


图 3 软件总体分层结构图

3 软件设计

便携式综合保障系统软件主要由 5 个模块组成, 分别是原理与组成、使用与维护、测试与诊断、技术资料 and 系统管理。原理与组成模块用于装备原理结构的学习, 包括装备总体、分系统和部件的工作原理、结构框图、电气原理图等知识。使用与维护模块用于指导装备操作人员的使用、现场维护以及简单调校。测试与诊断模块需与硬件的测试部分配合使用, 用于分系统的性能测试和故障诊断。系统管理模块用于用户管理、使用日志管理、远程交互管理和综合查询。总体分层结构图如图 3 所示。

在软件的所有模块中, 测试与诊断模块最为复杂, 涉及硬件资源调用、测试界面生成、故障诊断树自动生成、数据库填写与调用等功能。界面主体以故障诊断树的形式展现, 故障现象和推理过程直观形象。硬件资源调用与测试界面部分基于 Lab Windows 软件完成, 以虚拟仪器的方式显示, 数据结果判断、操作提示等内容均由数据库管理。故障树自动生成部分由系统结构信号图绘制和故障诊断树自动生成两部分程序组成, 系统结构信号图绘制程序完成系统级和部组件逻辑框图录入、系统信号流图录入、系统故障推理信息的录入、识别以及相关数据的数据库录入与读取; 故障树自动生成是依据已建立相关性矩阵, 搜索、遍历后生成故障诊断树。

故障诊断树自动生成软件主要依托 Visio VBA 平台开发完成, 首先应用该平台完成系统部件逻辑框图和系统信号流图的输入; 而后利用 VisioVBA 的窗体功能完成图形文件中相关性信息的提取, 将其转换成定义好的分层次数据, 存入数据库, 进而形成了“部件属性信息表”、“信号属性信息表”、“故障现象信息表”和“信号范围信息表”; 再次, 利用已有故障推理信息, 完成相关性矩阵的生成, 形成“故障诊断树信息表”; 最后, 最后根据具体的故障现象, 应用 Visio VBA 平台调用“故障诊断树信息表”即可完成故障诊断树的自动生成。故障诊断树自动生成软件部分编制流程如图 4 所示。

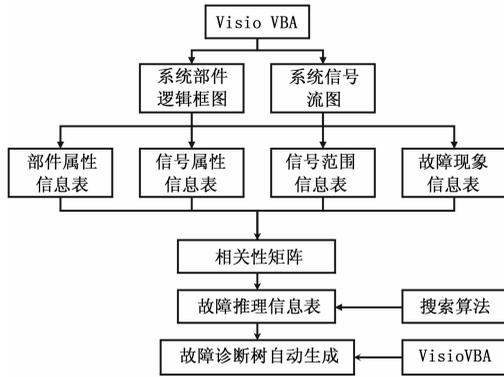


图 4 故障诊断树自动生成软件部分编制流程图

4 试验结果与分析

研制的便携集成式伴随保障系统针对某型装备火控系统进行了试验验证，能够准确调用软件各功能模块，能够完成装备系统级故障诊断以及与指控通信系统之间的数据传输。通过试验发现的问题主要有两个方面，一是加固平板电脑与数据采集机箱之间的无线数据传输功能易受装备通信设备的影响，当装备通信设备工作时，该保障系统的正确工作位置应定位于装备内部；二是新故障模式录入的方便性有待提升，为此需开发简单易用的新故障模式自动录入与推理软件，满足基层保障单位需要。

(上接第 135 页)

故障分析或仿真实验数据积累较为丰富且完整的单机或分系统，可考虑采用基于数据驱动的方法开展性能预测，通过各种数据分析处理方法，挖掘出其中隐含的信息与装备发展趋势；对于历史故障和实验数据中存在典型统计规律的单机或分系统，可以通过对统计数据进行分析，得到相应故障概率密度函数，从而通过该统计可靠性的方法预测装备状态发展。在实际应用中，对于符合以上多种方法要求的设备性能预测，可采用多种方法相复合的方法开展性能预测，从而估计出各设备的失效时间，得到其剩余寿命。

3.4 维修决策与规划

对于已经出现故障的无人机装备，根据装备故障信息及后续任务安排，在决策人员的共同参与下，分析出对装备开展修复性维修的维修级别，并评估出装备维修需求；而对于未出现故障的无人机装备，基于无人机离线状态评估和预测的结果，分析装备失效点对战训任务的影响，确定合理的预防性维修时机及维修需求。

得到维修决策结果后，系统读取装备维系需求，构建维修任务模型，明确维修资源需求。之后读取维修系统信息，得到维修系统运行信息，以此作为规划的边界条件，综合考虑维修时间、维修费用、装备战斗力、装备可靠性等多个优化目标，对维修工作开展多目标决策规划，得到综合最优的维修计划。

3.5 故障诊断与维修

在维修系统中，故障检测与隔离子系统为维修工作人员提供诊断技术支持，维修管理子系统为维修管理人员提供资源协调和进度监控手段。

首先，维修任务下达至维修系统后，维修管理人员借助维修管理系统，协调所需的各项维修资源，并对系统内的各项任务开展综合调度，鉴于传统维修保障系统中已形成以工序工步

5 结论

以 IETM 模式研发的便携式综合保障系统，充分应用了模块化、网络化的设计理念，IETM 载体平板电脑与测试装置部分采用无线网络连接，便于装备乘员运用平板电脑完成日常的装备认知与维护保养；当装备出现故障时，又可轻易建立与测试装置部分的数据连接，在装备故障诊断树的引导下完成装备的故障定位。便携式综合保障系统还集成了远程保障终端功能，依托装备的指控信息系统，实现了测试数据、保障数据的远程上传，也可得到远程专家维修支持。该系统目前已推广应用，并收到了良好效果，不足之处是新故障的诊断树还不能依托专家系统自动生成，仍需人工添加，下一步将重点解决，提升系统的智能性。

参考文献：

- [1] 杨宇航, 李志忠, 郑力. 装备交互式电子技术手册的设计与实现 [J]. 兵工学报, 2007, 28 (1): 119-121.
- [2] Leslie A, Leslie O. PIP-Enhanced "At system" diagnosis on the flightline [A]. IEEE AUTOTESTCON 2001 Conference Proceedings [C]. 2001: 168-175.
- [3] 刘松风, 林志文, 杨士元. 基于 IETM 驱动的智能便携诊断设备 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (6): 1030-1032.
- [4] 吴永明, 叶海生. 基于 IETM 的装备故障诊断系统技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (10): 2377-2379.

为核心的维修管理模式，维修管理系统通过对各维修工位下发电子工单的形式指导和监督各项维修工序的开展；之后，按照工单要求，维修工作人员在故障检测与隔离子系统的支持下，开展故障诊断与维修工作；最后，在维修工作完成后，维修部门将装备返还使用部门，并将维修过程中产生的各项数据一并导入数据库中，更新无人机装备保障数据库信息。

4 结束语

本文以无人机为研究对象，参考国内外状态预测与健康管理研究成果和应用经验，分析了无人机 PHM 系统功能需求，并研究设计了无人机 PHM 系统的体系结构及其工作流程图，为无人机 PHM 技术的应用提供了设计参考。然而，PHM 系统所涉及的诸多技术，如复杂装备系统级的状态评估与预测、故障综合诊断等的研究还未完全成熟，在应用中还存在诸多问题需要解决，因此在后续的研究中，我们应继续关注国内外先进研究成果和成功应用经验，加强各项基础技术研究，阶段性的推动 PHM 系统中的各项技术在无人机保障领域的应用，提高无人机综合保障水平。

参考文献：

- [1] 张宝珍. 国外综合诊断、预测与健康管理工作的发展及应用 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (5): 591-594.
- [2] 彭宇, 刘大同, 彭喜元. 故障预测与健康管理工作综述 [J]. 电子测量与仪器学报, 2010, 24 (1): 1-9.
- [3] 张宝珍, 曾天翔. PHM: 实现 F-35 经济可承受性目标的关键使能技术 [J]. 航空维修与工程, 2005, 06: 20-23.
- [4] 朱斌, 陈龙, 强毅, 等. 美军 F-35 战斗机 PHM 体系结构分析 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (1): 1-7.
- [5] Michael G P. Prognostics and health management of electronics [M]. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2008.