

机载计算机故障诊断技术研究

苏鹏涛, 刘逸涵

中航工业西安航空计算技术研究所, 陕西 西安 710065

摘要 机载计算机作为飞机电子系统的核心组件, 其可靠性直接关系到飞行安全和任务完成效率。随着航空技术的发展, 机载计算机的复杂程度不断增加, 这使得故障诊断成为保障机载计算机正常运行的关键环节。本文旨在深入探讨机载计算机故障诊断技术的研究现状、主要方法及其应用实践。

关键词 机载计算机; 故障诊断; 技术研究

Research on Fault Diagnosis Technology of Airborne Computers

Su Pengtao, Liu Yihan

Xi'an Aeronautics Computing Technique Research Institute of AVIC, Xi'an, Shaanxi 710065

Abstract As a core component of the aircraft's electronic system, the reliability of the airborne computer is directly related to flight safety and mission completion efficiency. With the development of aviation technology, the complexity of airborne computers is constantly increasing, making fault diagnosis a key link in ensuring the normal operation of airborne computers. This paper aims to deeply explore the research status, main methods, and application practices of airborne computer fault diagnosis technology.

Keywords airborne computer; fault diagnosis; technology research

一、初步检查

(一) 观察机载计算机设备

在机载计算机设备的故障诊断过程中, 通过细致的外观观察, 可以获取大量有关故障成因的重要线索。^[1]技术人员面对疑似出现故障的机载计算机时, 需要运用敏锐的观察能力进行全面而深入的外观评估。检查内容涵盖设备表面是否有明显的机械损伤, 例如外壳磕碰伤痕、变形或裂纹等现象。这些外部损伤可能是由不正确的安装方式或者意外碰撞所导致, 进而引发内部电路板或连接器损坏, 从而造成系统无法正常运行。同时, 还需注意观察设备各部件之间的连接是否稳固, 插头插座是否存在松动或接触不良的情况, 因为松脱的连接往往是引起通信中断或信号传输不稳定的原因之一。^[2]通过对机载计算机设备进行细致入微的外观检查, 可以在很大程度上提前发现潜在风险点, 及时采取预防性维护措施, 避免故障扩大化, 同时也为后续更为复杂的故障诊断流程提供了宝贵的线索和方向指引, 有效提高整体维修效率。

(二) 闻元件器的特殊气味

当机载计算机内部发生过流故障, 电流超出元器件正常工作范围时, 会引发元器件温度急剧上升。^[3]例如, 电阻、电容等无源元件以及晶体管、集成电路等有源元件, 在承受过大电流时, 其内部结构可能发生不可逆变化。这种情况下, 有机材料可能会分解或燃烧, 释放出刺鼻气味。对于经验丰富的技术人员来说, 这些特殊气味成为识别故障的重要依据之一。一旦闻到了异常气味, 这表明可能存在严重电气故障, 需要立即停止设备运行并进行进一步检查。打开机箱后, 应仔细观察各个模块的状态。^[4]然而, 这种方法仅限于辅助判断, 并不能完全替代科学严谨的数据

分析和技术测试。在实际应用中, 应当将“闻”的结果与其他诊断手段相结合, 以确保最终结论的准确性。

(三) 了解机载计算机故障原因

在故障诊断过程中, 技术人员应耐心倾听用户的描述, 鼓励其尽可能详细地回忆故障发生时的情景。例如, 用户可能会提到, 在执行某项任务时, 系统突然出现异常响应, 屏幕显示了特定的错误信息, 或者设备发出了异常声响。这些看似微不足道的细节, 往往能为故障定位提供重要线索。^[5]同时, 还应关注用户是否注意到任何不寻常的行为模式, 如系统性能下降、响应延迟或频繁重启等。同时, 技术人员还可以利用辅助工具来验证用户描述的准确性。例如, 通过查看日志文件, 可以确认系统在故障发生前后的运行状态, 验证用户提到的现象是否确实存在。日志文件通常包含了丰富的信息, 如错误代码、警告提示以及各个模块的活动记录。通过对这些信息的分析, 可以进一步缩小故障范围, 确定可能的问题根源。^[6]

二、数据分析

(一) BIT (Built-In-Test) 数据

BIT 是一种在机载电子设备内部实现的自动化测试功能, 它能够实时监测系统状态并在检测到异常时触发警报或记录错误信息。通过深入分析 BIT 数据, 工程师可以获得关于故障发生的精确线索。^[7]一方面, 基于历史数据和当前状况之间的对比, 可以识别出那些频繁出现但未导致严重后果的小故障, 从而采取预防性维护措施来避免更严重的损害发生。另一方面, 利用模式识别算法, 可以从大量看似随机分布的数据点中挖掘出隐藏的趋势或

规律，进而推测出可能存在的深层次问题。另外，BIT数据还支持远程故障诊断。当飞行器处于远离基地的位置时，地面控制中心仍然可以通过无线通信接收来自机载计算机传输过来的BIT报告。这使得专家团队即便不在现场也能够迅速了解情况并给出专业意见，指导机组人员采取适当行动。^[9]

（二）飞参数据

飞参数据作为飞机飞行过程中的重要记录，涵盖了从起飞、爬升、巡航到降落整个飞行周期内的各项参数，这些参数犹如一部详尽的飞行日志，记录着每一次飞行活动的关键信息。当机载计算机出现故障时，与故障相关的飞行数据便成为解开谜题的重要线索。^[10]对飞参所记录的飞行数据进行重现分析是一项技术性工作，这一过程需要借助专业的数据分析工具和算法。通过对数据的深入挖掘，技术人员能够清晰地看到各个参数在整个飞行周期内的连续变化情况。例如，在某一特定时间段内，如果某个传感器的数据突然出现了异常波动，那么这个时间点及其附近的数据就值得重点分析。飞参数据为故障定位决策提供了坚实的数据支撑，使得维修人员能够更有针对性地开展检修工作，保障飞行安全。^[10]

三、故障排查法

（一）故障树分析法

对于机载计算机故障而言，故障树分析能够帮助工程师们精准定位故障原因，确保飞行安全。^[11]当面对一个具体的故障现象时，需要对故障进行深入剖析，建立故障树模型。构建好故障树后，借助定性分析可以确定基本事件发生对顶上事件的影响程度，找出关键因素。通过定量分析计算出各个基本事件发生的概率，评估整个系统的可靠性水平。同时，故障树还能为制定有效的预防措施提供依据，根据分析结果有针对性地加强薄弱环节的维护保养，优化软件设计，提高机载计算机的安全性和稳定性。在实际操作过程中，还可以结合其他诊断方法，如单元替换法和逐点测量法，相互验证，提高故障诊断效率。故障树分析法凭借其系统性和逻辑性，在机载计算机故障诊断领域发挥着不可替代的作用。

（二）单元替换法

当怀疑某个模块或组件存在问题时，使用一个已知完好的、具有相同技术状态的模块或备件来替换疑似故障部件，通过比较替换前后设备运行情况的变化，能够准确地定位故障源。在实际操作中，工程师需要确保替换件与原装部件的技术规格完全一致。这包括硬件接口兼容性、电气特性匹配以及软件版本的一致性等。只有在这些条件都满足的情况下，才能保证替换过程不会引入新的问题，从而影响最终的诊断结果。^[12]例如，在处理某型机载计算机中出现的数据传输不稳定现象时，技术人员将怀疑对象锁定在一个特定型号的接口板卡上。他们从备用库存中选取了一块同样型号并且经过严格测试验证其性能良好的板卡进行了更换。安装后重新启动系统并运行一段时间，发现数据传输恢复正常，证明了之前使用的板卡确实存在缺陷。

（三）逐点测量法

在进行逐点测量时，技术人员需要依据电路逻辑图和软件流程图，以确保每一步测量都遵循系统设计的初衷。通过对这些图表的仔细研读，可以明确各个节点的功能以及它们之间的相互关系。^[13]技术人员利用逻辑分析工具或手动操作，从源头开始跟踪信号的流向。当遇到分叉点或者汇合点时，必须准确判断不同路径上的信号特性是否符合预期。假设在一个复杂的航空电子系统中，某个关键传感器发出的模拟电压信号被转换成数字信号后送入计算机主控芯片。如果发现输出结果异常，则需回溯到ADC（模数转换器）之前的模拟电路部分，检查是否存在干扰源导致信号失真。这可能涉及到对地线噪声、电源纹波以及其他临近电路串扰等因素的排查。在完成故障排除之后，还应对整个系统进行全面的功能测试，确保所有功能恢复正常。^[14]

（四）在线监控法

当机载计算机系统处于运行状态时，通过连接调试仿真器，可以实时获取处理器的工作状况。这种方法的优势在于无需中断系统的正常运行即可完成诊断，确保了故障排查过程对实际任务影响最小化。^[15]在上位机界面中，技术人员能够直观地观察到由调试仿真器传输过来的各项参数变化曲线。通过对这些曲线的细致分析，一旦发现任何偏离正常范围的异常波动，就可以初步判断存在故障的可能性。例如，如果某段代码执行时间突然显著增加，或者某个寄存器的值出现了不该出现的变化，都可能是硬件层面存在问题的表现。此时，就需要结合其他诊断手段进一步确认具体故障位置。

四、专项排查法

（一）总线类故障

1. 测量总线波形

通过使用示波器等专业设备，技术人员可以直观地获取到总线信号的实时波形，这不仅有助于了解当前状态下信号的变化情况，还能够为后续分析提供可靠依据。当波形显示存在异常时，例如出现不规则波动或间歇性中断现象，就表明可能存在潜在故障隐患。此时需要进一步深入探究原因所在。

2. 幅值检查

按照相关总线协议规定，信号的电压水平应在一定范围内波动。过高或过低都会影响正常的通信质量，甚至造成设备损坏。因此，准确测量并记录下实际测得的电压值至关重要。一旦发现超出允许范围的情况，就需要考虑是否存在电源供应不足、线路接触不良等问题。同时也要注意排除外界电磁干扰等因素的影响，因为这些干扰可能会导致误判。

3. 时间参数

从启动时刻到稳定状态所需的时间、不同节点之间的同步精度以及最大传输速率等都是需要关注的重点。如果时间参数不符合协议要求，则意味着系统内部可能存在定时器设置错误、时钟源不稳定等深层次问题。这些问题如果不及时解决，将会严重影响到整个系统的正常运作效率。

(二) 大规模集成电路芯片故障

在机载计算机系统中，大规模集成电路芯片作为核心组件，其稳定性直接关系到整个系统的可靠运行。然而，在实际应用过程中，这类芯片可能出现工作状态不稳定的情况，这种故障现象表现出极强的不确定性，给维修人员带来了极大的挑战。当遇到此类情况时，可以考虑是否存在元器件脱焊的问题。维修人员可以通过轻微按压疑似故障芯片的方式初步判断是否存在脱焊情况。如果在按压状态下，原本出现故障的设备能够恢复正常功能，而松开手后故障再次出现，则很大概率表明该芯片存在脱焊问题。这种方法基于物理接触改变了芯片与电路板之间的电气连接状态，使得原本不良的连接暂时恢复正常，从而为故障诊断提供了线索。为了更精准地确定脱焊的具体位置，结合使用光学探测工具是非常有效的手段之一。高倍率放大镜或工业内窥镜等设备可以帮助技术人员细致地检查芯片引脚及其周围区域。这些工具可以在不破坏原有结构的前提下，提供清晰的视觉反馈，帮助发现肉眼难以察觉的微小缺陷。

(三) 接口类不复现故障

对于功率类、离散量等接口类不复现故障的处理，需要进行全面而细致的工作。此类故障具有一定的特殊性，在实际的应用场景中可能不会频繁出现，这为故障的定位与排除带来了挑战。为了更加深入地挖掘潜在故障，采用电源拉偏的测试方法十分必要。这种测试方法可以揭示出一些隐藏在正常工作状态下不易察

觉的问题。通过有意改变电源参数，如调整电压的大小或者引入瞬态干扰，使电源处于非正常的运行状态。在此情况下，再次对功率类和离散量接口进行上述类似的测试操作。如果接口能够在这样的恶劣环境下仍然保持正常的功能，即输入输出电压值和电流值稳定且符合预期，那么就可以认为该接口具有较高的可靠性。反之，如果出现问题，这就为故障诊断提供了明确的方向。通过对这些测试结果的综合分析，能够准确地判断出接口类不复现故障的具体位置和成因，从而采取有效的措施进行修复或者改进，提高机载计算机的整体性能和安全性。

五、结束语

综上所述，机载计算机故障诊断是一项综合性强且技术含量高的工作，它不仅依赖于先进的检测技术和科学合理的分析方法，更离不开丰富的工程经验和严谨细致的工作态度。未来随着人工智能等新兴技术的应用，相信这一领域将迎来更加广阔的发展前景。但在此过程中也面临着诸多挑战，如如何确保算法的安全性和鲁棒性、怎样平衡诊断精度与计算资源消耗等问题都需要进一步探索和完善。通过不断吸收借鉴其他相关领域的研究成果，必将为机载计算机故障诊断技术注入新的活力，使其更好地服务于航空事业发展大局。

参考文献

- [1] 王志兵, 李长云. 软件故障诊断技术综述 [J]. 微计算机信息, 2010, 26(34):161-163.
- [2] 王耀宣, 叶俊民, 陈静汝, 欧中红. 一种基于二分图故障检测模型的软件故障定位方法研究 [J]. 计算机科学, 2013, 40(6):160-163.
- [3] 刘明真. 软件黑匣子在软件故障诊断中的应用研究 [J]. 莆田学院学报, 2013, 20(2):55-59.
- [4] 黄泽波, 熊亮, 王顺利. 飞控蓄电池盒故障检测系统的研究与设计 [J]. 测控技术, 2017, 36(9):138-141.
- [5] 陈强林, 张峰, 刘晓航, 冯佳奇. 一起非电量保护装置误动原因分析与改进 [J]. 电工电气, 2017(4):40-42.
- [6] 杨晓宁, 黄保垒, 卫一羌. 高安全电子设备中 RAM 测试算法的设计与实现 [J]. 航空计算技术, 2020, 50(6):113-115.
- [7] 杨忠文. 计算机硬盘故障的数据恢复技术研究 [J]. 中国公共安全, 2023(1):135-137.
- [8] 付研. 两款系统备份工具软件性能比较 [J]. 科技资讯, 2021, 19(23):16-18.
- [9] 林阳涛, 司增秀. 近实时违规文件监控实现方案 [J]. 信息技术与信息化, 2023(3):89-93.
- [10] 黄丙寅, 李凯. 基于飞参数据的可靠性时间信息采集方法研究 [J]. 航空维修与工程, 2019, 0(4):58-62.
- [11] 丽丽, 林海, 包亮, 万贺. 基于 DPSO-AO* 算法系统测试序列优化问题研究 [J]. 测控技术, 2019, 38(5):13-17.
- [12] 朱长银, 刘东超, 夏勇军, 黎恒烜, 蔡敏. 一种基于就地模块的硬件自诊断系统设计 [J]. 电气技术, 2020, 21(7):35-41.
- [13] 孙骜, 秦旭军. 基于 FPGA 的多通道 ARINC429 总线测试系统 [J]. 电子技术应用, 2023, 49(1):119-123.
- [14] 梅杰, 周达, 程德成, 陈定方. 基于刚柔耦合模型的行星减速器断齿故障振动特性分析 [J]. 起重运输机械, 2024(24):29-37.
- [15] 李亮亮, 董玉芳, 王显海. 基于 WinHex 底层数据恢复的脚本研究与实践 [J]. 常州信息职业技术学院学报, 2024, 23(3):35-40.