

基于总线协议的机载设备集成测试系统开发

李 哲

国营芜湖机械厂 安徽 芜湖 241007

【摘要】：机载设备数量增加，设备间信息交互频繁，总线 1553B 已成为航空电子系统通信测试的重要基础。传统集成测试存在接口适配复杂、数据采集分散、测试过程依赖人工、结果判读效率低等问题。针对上述问题，构建基于总线 1553B 的机载设备集成测试系统，细化通信接口配置、测试流程控制、数据实时采集、故障定位记录和结果自动生成等功能。系统能够提升测试流程规范性，增强数据传输监测能力，降低人工操作误差，为机载设备集成验证提供稳定可靠的技术支撑。

【关键词】：总线 1553B；机载设备；集成测试；测试系统；数据采集

DOI:10.12417/2705-0998.26.09.010

引言

航空电子系统由多个机载设备协同完成信息传输、任务控制和状态反馈，通信链路的稳定性直接影响设备集成验证质量。总线 1553B 具有可靠性高、实时性强和抗干扰能力好的特点，广泛应用于机载设备通信测试。传统测试方式容易出现接口配置繁琐、数据记录不连续、故障定位耗时等情况，难以满足多设备协同测试需求。开发适配总线 1553B 的集成测试系统，可将通信监控、测试控制、数据解析和结果评估集中处理，为后续系统设计和功能实现奠定清晰技术路径。

1 总线 1553B 机载设备测试需求分析

1.1 机载设备通信链路特征

机载设备通信链路呈现高可靠性、实时性与抗干扰能力的综合特征。链路传输需支持多节点同时连接，数据在严格时序下交互，确保任务指令与状态信息同步传递。总线 1553B 采用双冗余线路结构，提供容错能力，保障在异常或故障情况下的通信稳定性。链路中信号幅度、波形和时序严格受规范限制，任何偏差均可能影响系统整体性能。链路设计需兼顾设备类型多样性和通信负载差异，保证多设备并行操作时的数据一致性与延迟可控性。系统集成中需对链路拓扑结构、节点分布及总线负载能力进行精细分析，以确保测试过程能够真实反映设备间信息交互特性。

1.2 总线 1553B 数据传输要求

总线 1553B 数据传输要求高精度和确定性，确保信息在微秒级延迟下可靠到达目标节点。每条数据帧含地址、命令和校验信息，传输过程严格按照主/从模式执行，支持广播和点对点通信^[1]。数据速率固定，协议约束确保时序一致，防止丢包或冲突，适合机载设备关键任务数据交换。测试系统需对数据帧完整性、时序正确性及错误检测机制进行全面监控，同时对不同节点的发送和接收能力进行量化评估。系统设计应包括数据采集模块和实时解析模块，保证总线传输状态可被精确记录和分析，为集成测试提供数据支撑和性能验证依据。

1.3 集成测试任务边界划分

集成测试任务边界划分需明确设备间通信接口、数据交互范围和控制信号触发条件。不同设备类型和功能节点的测试权限、响应时间及数据优先级需事先定义，以避免测试过程中冲突和数据干扰。任务边界划分要求覆盖接口适配、消息发送、异常处理和结果采集等环节，确保每个测试单元既独立又可与总线 1553B 整体协调工作。系统需建立统一任务管理策略，通过模块化设计将任务分解为可控子流程，同时保证子流程间的数据一致性和执行顺序。此方法能够在复杂集成环境下清晰界定测试范围，实现数据采集全面、控制过程可控、测试结果可靠。

2 机载设备集成测试关键问题识别

2.1 接口适配复杂问题

机载设备类型多样，通信接口协议和物理连接方式差异显著，导致总线 1553B 集成测试过程中接口适配复杂。不同节点的地址分配、信号电平、传输速率以及控制命令格式均需严格匹配，接口不兼容会导致数据丢失或传输异常。测试系统必须对各类接口进行统一管理和转换，建立标准化的接口映射规则，实现不同设备间的通信协调。接口适配过程中还需考虑冗余线路切换和异常状态响应，以保证在多节点并行运行情况下，测试系统能够稳定传递命令并采集返回数据，为集成测试提供可靠基础。

2.2 测试数据分散问题

机载设备在总线 1553B 通信中产生的数据分布在多个节点，数据类型多样，传输周期短，造成测试信息分散。数据采集缺乏集中化管理会增加数据同步难度，导致时序分析和性能验证困难^[2]。集成测试系统需要建立实时数据汇聚机制，对消息帧进行解析、分类、标记，并在存储和监控模块中统一管理。系统应实现跨节点数据关联和连续性验证，确保测试过程中信息完整、时序准确，支持多维度性能分析，为设备间通信一致性和功能验证提供科学依据。

2.3 人工判读误差问题

传统机载设备测试依赖人工分析总线 1553B 数据,易产生判读误差。数据量大、帧结构复杂、时序严格,人工处理难以保证连续性和精确性。集成测试系统需引入自动解析和判读机制,将数据帧解析、异常检测、校验和状态评估实现程序化处理,减少人为干扰。系统还应提供异常报警和可视化结果,保证测试输出准确且可追踪。通过自动化分析,可降低误判率,提高数据处理速度,实现机载设备通信状态的精确监控和集成验证可靠性。

3 总线 1553B 测试系统方案设计

3.1 通信接口模块设计

通信接口模块设计应以总线 1553B 协议规范为核心,建立面向机载设备集成测试的统一接口管理结构。模块需支持总线控制器、远程终端和总线监视器三类工作模式,按照测试任务需求完成节点地址配置、子地址映射、命令字设置、状态字接收和数据字交互。针对接口适配复杂问题,通信接口模块应设置标准化参数配置单元,将设备编号、通道类型、冗余线路、消息周期和传输方向进行集中管理,减少不同机载设备接入时的重复配置。针对双冗余总线特性,模块应具备 A、B 通道自动切换和链路状态监测能力,在主通道异常时保持测试通信连续。接口层还需增加电气状态检测、协议合法性校验和异常响应记录功能,对总线 1553B 通信过程中的无响应、忙状态、消息错误和校验异常进行实时捕获。通过硬件适配、协议转换和软件配置协同设计,可保证不同机载设备在统一测试平台下完成稳定接入,为后续测试流程控制和数据解析提供准确通信基础。

3.2 测试流程控制设计

测试流程控制设计应针对机载设备集成测试任务多、步骤细、时序要求严格的特点,构建可配置、可执行、可追踪的流程管理机制。系统应将总线 1553B 测试过程划分为初始化配置、设备状态确认、消息发送、数据接收、异常判断、结果记录等环节,并通过流程脚本或测试用例模板实现自动调度。针对人工操作依赖较强的问题,流程控制模块需建立任务编排规则,将不同测试项目按照通信周期、优先级、触发条件和执行顺序进行关联,避免多节点测试中出现命令冲突和时序混乱^[3]。针对复杂集成环境,模块应支持单项测试、组合测试和连续测试等执行方式,并在关键节点设置状态确认机制,确保上一阶段结果满足条件后再进入下一阶段。流程控制还应加入异常中断、重试执行、通道切换和日志锁定功能,使测试过程在出现通信异常时能够保持可控状态。通过自动化流程设计,可将总线 1553B 通信测试由分散操作转为集中控制,提高测试执行一致性,降低人为干预带来的不确定性。

3.3 数据采集解析设计

数据采集解析设计应面向总线 1553B 通信全过程,建立实时采集、协议解析、数据存储和结果输出一体化处理结构。采集模块需对命令字、状态字、数据字、传输时间、响应间隔和通道状态进行同步记录,保证测试数据能够完整反映机载设备通信行为。针对测试数据分散问题,系统应设置统一数据缓存和时间标记机制,将不同节点、不同周期、不同通道产生的数据按时间顺序归集,避免数据断点和关联缺失。解析模块应依据总线 1553B 帧格式,对终端地址、子地址、字计数、收发方向和状态标志进行自动识别,并结合预设判据完成数据合法性判断。针对人工判读误差问题,系统需建立异常规则库,对无响应、状态字错误、数据越界、周期偏差和冗余通道异常进行自动标注。数据存储部分应支持原始数据、解析结果和故障信息分类保存,便于后续追溯。结果输出可采用报表生成、曲线显示和异常列表方式呈现,使测试人员能够快速定位通信问题,提升机载设备集成测试的数据利用效率和结果准确性。

4 机载设备集成测试功能实现路径

4.1 总线消息配置方法

总线消息配置方法需对机载设备在 1553B 总线上传输的命令字、状态字和数据字进行精确定义与调度。系统应建立统一消息库,将每类设备的地址、子地址、字计数、传输周期及优先级信息进行集中管理,实现消息帧的标准化生成和自动分配。配置过程需支持双冗余通道设置,确保 A/B 通道可自动切换,保证关键任务数据连续传输。消息调度策略应与测试流程紧密耦合,依据节点响应能力和通信负载优化发送顺序,避免冲突和延迟。系统还应应对配置参数提供版本管理和验证机制,在修改配置后能够自动检查帧格式合法性、校验码准确性和时间同步性,保证消息配置与机载设备实际通信能力高度匹配,为后续测试用例执行提供稳定通信基础。

4.2 测试用例执行方法

测试用例执行方法应构建可调度、可追踪、可监控的总线 1553B 通信测试流程。系统需根据预设的任务边界和消息配置,自动发送命令字,接收状态字和数据字,并实时记录响应时间和数据完整性。每条测试用例需包含设备初始化、信号触发、通信周期控制及异常处理环节,实现节点间时序协调。系统应支持循环执行、条件触发和并行测试模式,保证在多设备同时操作下,通信顺序和数据同步不受影响^[4]。测试执行过程中需结合异常检测机制,对无响应、数据偏差、错误状态及通道切换情况进行实时判定,并将执行结果自动归档,以便后续分析和性能评估,为机载设备集成验证提供完整、可靠的执行路径。

4.3 故障信息记录方法

故障信息记录方法需对总线 1553B 通信过程中的所有异常事件进行实时捕获、分类和存储。系统应针对无响应、状态

字异常、数据越界、时序偏差及通道切换等故障建立自动记录机制，并附带时间戳、节点地址、消息类型和传输通道等信息。记录模块需支持结构化数据存储，将原始通信帧、解析结果和异常标注统一保存，便于快速检索和后续分析。系统还应实现多维度数据索引，包括设备、子地址、测试周期及错误类型，使问题定位可精确到节点和时间段。故障信息记录应与测试流程和数据解析模块联动，保证异常发生时能够及时触发报警或记录状态，提升机载设备集成测试对通信异常的响应能力和分析效率，为整体测试系统提供可靠的异常管理路径。

5 系统测试效果验证分析

5.1 通信稳定性验证

通信稳定性验证聚焦总线 1553B 在多节点、高负载和冗余通道切换情况下的可靠性。系统需记录各节点命令字、状态字及数据字的传输成功率、延迟分布和错误帧数量，评估链路在连续运行和异常干扰条件下的稳定性。验证过程中应检测总线切换机制的响应时间和冗余通道恢复能力，分析各节点在不同通信周期内的信号完整性和时序一致性。通过对通信异常、丢帧和状态错误的统计分析，能够量化机载设备在总线 1553B 上的集成通信可靠性，为系统优化提供精确依据。

5.2 测试效率提升验证

测试效率提升验证集中评估基于总线 1553B 的集成测试系统在自动化执行和流程优化下的性能改进。系统需记录单条测试用例执行时间、任务并行度、数据采集响应时间及总测试

周期，分析自动化控制与流程编排对效率的提升效果^[5]。通过测试结果对比，能够反映接口统一管理、消息调度优化和数据实时解析对整体测试速度的贡献，减少等待、重复操作及人工干预的时间消耗。效率验证还应结合设备数量、通信负载及用例复杂度进行量化分析，为机载设备集成测试系统的高效运行提供可量化依据。

5.3 结果准确性验证

结果准确性验证重点考察总线 1553B 数据采集和解析模块对通信信息的精确处理能力。系统需对状态字、数据字、校验码及传输时序进行自动比对，识别异常信息并生成可追溯记录，确保测试输出反映实际通信状态。验证过程中需分析异常捕获率、错误判定精度和数据帧完整性，量化解析算法在多节点并行和冗余通道切换条件下的准确性。通过结构化记录和结果统计，能够确认机载设备集成测试系统在复杂通信环境下提供的测试结论可靠性，为系统性能评估和改进提供数据支持。

6 结语

总线 1553B 为机载设备集成测试提供了稳定可靠的通信基础。系统通过统一接口管理、自动化测试流程和实时数据解析，实现了多节点、高负载环境下的通信稳定性、测试效率和结果准确性。通信链路、消息配置和故障记录模块的协同设计，使设备集成验证更加规范和高效，为复杂航空电子系统的测试提供了可复制、可扩展的技术方案，并为未来集成测试系统优化提供数据支撑和方法参考。

参考文献：

- [1] 代晓倩,高赛军.基于典型缺陷的 1553B 总线 RT 软件测试技术研究[J].计算机测量与控制,2025,33(5):19-28.
- [2] 李景晨,陈健,何理波.1553B 总线仿真与测试的 PXIe 模块设计[J].电子测量技术,2025,48(9):111-118.
- [3] 钱宏文,倪文龙,刘继祥.基于 1553B 总线机载控制测试平台设计[J].自动化技术与应用,2022,41(7):137-141.
- [4] 李贵娇,鲁争艳,李文才,周靖轩,杨颖.一种 1553B 总线测试设备的设计与实现[J].电子世界,2021(14):174-175.
- [5] 谢天乐,冯尚聪,董旭,徐景辉,徐慧庆.基于 1553B 总线架构的测试设备设计与实现[J].计算机测量与控制,2022,30(6):11-16+52.