

基于 Zigbee 的机载箔条/红外弹投放设备原位检测仪

霍立平, 江志东, 贾绍文, 于 潞

(海军航空大学青岛校区 航空电子系, 山东 青岛 266041)

摘要: 为提高外场条件下机载箔条/红外弹投放设备维护检测的效率, 设计了基于 ZigBee 无线技术的原位检测仪; 原位检测仪由便携式手持显控终端和 6 个信号采集装置组成, 通过 ZigBee 技术组网同步工作, 可实现在分机不离位的条件下整机性能指标的测试; 便携式手持显控终端以基于 ARM7 框架的 Cortex-A8 双核处理器为核心, 完成数据处理、显示及 ZigBee 模块的接口控制功能; 信号采集装置采用和机载箔条/红外干扰弹投放设备发射器完全一致的机械和电气接口, 以实现和机体的机械及电气连接; 同时以低功耗微处理器 STM32 为核心, 完成点火脉冲信号采集、数字化及 ZigBee 模块的接口控制功能; 该原位检测仪具有体积小、重量轻、功耗低、便于携带、无需连接电缆等优点; 测试结果表明: 检测仪能够检测箔条/红外干扰弹投放设备的性能指标, 满足外场原位检测的需求。

关键词: Zigbee; 箔条/红外弹投放设备; 原位检测

In-situ Testing System of Airborne Chaff and Flare Delivery Equipment Based on Zigbee

Huo Liping, Jiang Zhidong, Jia Shaowen, Yu Lu

(Department of Aviation Electronics, Qingdao Branch, Navy Aviation University, Qingdao 266041, China)

Abstract: To improve the efficiency of maintenance of in-situ testing for the airborne chaff and flare delivery equipment, an automatic test system for the chaff and flare delivery equipment is designed based on ZigBee wireless technology. The in-situ detection equipment consists of a portable handheld display and control terminal and six signal acquisition devices. The handset terminal, which is based on the Cortex-A8 dual core processor with ARM7 core, is used for data processing, display and interface control function of the Zigbee module. The signal acquisition device adopts the mechanical and electrical interface which is identical with the launcher of the chaff and flare delivery equipment, and can realize the mechanical and electrical connection with the airframe. The low power microprocessor STM32 is used as the core of signal acquisition device, which is used to complete the signal acquisition and digitization of ignition pulses, as well as the interface control function of Zigbee module. The in situ detector has the advantages of small size, light weight, low power consumption, easy to carry, no connection cable required and so on. The results show that the detector can test the performance of the chaff and flare delivery equipment, and can also meet the requirements of in situ testing in outfield.

Keywords: Zigbee; chaff and flare delivery equipment; in-situ test

0 引言

机载箔条/红外干扰弹投放设备是作战飞机机载电子对抗系统的重要组成部分, 用于投放箔条/红外诱饵弹, 对雷达制导武器实施箔条干扰或对敌红外制导武器实施红外干扰^[1-2]。为确保设备处于良好的战斗状态, 需要对其进行定期检测。

目前, 部队在外场对该设备进行维护时, 通常是通过安装负载板进行功能测试, 无法掌握设备性能指标; 在内场定检时, 需要将设备各个分机拆下, 利用专用设备对各个分机进行检测, 但无法检测投放设备的整机指标, 且检测设备体积大、重量重, 操作较为繁琐, 不利于便携化使用。

随着航空装备现代化、自动化和信息化程度的提高, 以装

备使用时间确定维修间隔的定期维修制度已不能满足装备维修发展的需要, 维修方式从以定期维修为主的方式逐步发展到以视情维修为主的预防性维修^[3-5]。同时, 随着复杂电磁环境下实战化飞行训练的深入开展, 部队对在外场条件下掌握箔条/红外干扰弹投放设备性能状态的需求越来越迫切。

ZigBee 是一种基于 IEEE802.15.4 标准的无线网络技术, 具有短距离、低功耗、低成本、低复杂度等优势, 主要应用在各种电子设备之间的无线通信中^[6]。ZigBee 是以独立的工作节点为依托, 以无线通信方式组成星状或者网状网络结构。每一个 ZigBee 网络模块都拥有一个独立的 ID 号 (身份识别标志), 在网络范围内可以互相通信, 整个网络传输距离可以扩展到几百米, 甚至几千米。鉴于 ZigBee 在短距离通信的诸多优点, 其满足多监测节点、低功率消耗和较少的电缆连接线的要求; 而机载箔条/红外干扰弹投放设备检测需要采集的数据量较小, 传输带宽需求不高, 基于 ZigBee 的无线传输网络技术能够满足原位检测仪数据实时传输的需求, 同时省去了连接

收稿日期: 2017-09-11; 修回日期: 2017-10-23。

作者简介: 霍立平 (1981-), 男, 山西祁县人, 硕士, 讲师, 主要从事航空电子设备保障、航空电子综合技术、机载电子对抗技术等方向的研究。

测试电缆的繁琐。

本文设计了基于 ZigBee 无线通信技术的机载箔条/红外干扰弹投放设备的原位检测仪，满足在外场条件下对该设备进行性能检测的需求。

1 某型机载箔条/红外干扰弹投放设备

机载箔条/红外干扰弹投放设备包括显示控制盒、控制器、顺序器、发射器和箔条/红外弹等，如图 1 所示^[1]。显示控制盒位于座舱内，用于显示设备的工作状态、箔条/红外弹的余弹数量。飞行员按压控制盒上的相应开关，可选择投放程序（包括弹种和数量）。控制器负责接收来自雷达或导弹逼近的告警信息，形成干扰弹的投放控制参数，产生点火脉冲序列。顺序器由多路大电流开关电路及点火控制电路组成，最终由发射器完成干扰弹的发射。

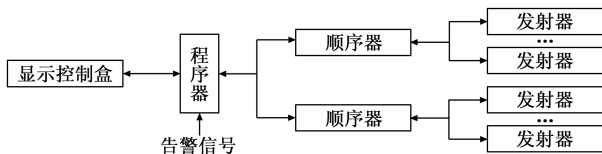


图 1 机载箔条/红外干扰弹投放设备框图

为掌握设备的技术状态，需要在外场、分机不离位的情况下检测设备的主要性能指标，包括：实际投放程序的与加载程序的一致性、点火脉冲参数（箔条弹间隔、箔条组间隔、箔条组弹数、红外弹间隔、应急投放参数、点火脉冲宽度、点火脉冲电流）、系统反应时间等^[2]。

2 总体设计

机载箔条/红外干扰弹投放设备原位检测仪由 6 个信号采集装置和便携式手持显控终端组成，如图 2 所示。手持显控终端与 6 个信号采集装置之间通过 ZigBee 无线网络进行信息的交互。

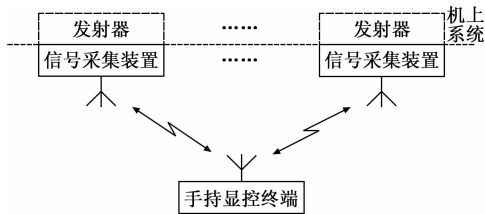


图 2 原位检测仪框图

信号采集装置完成点火脉冲序列的采集及数字化，利用 ZigBee 网络将采集到的信号实时传送给便携式手持显控终端。每个信号采集装置具有和机载箔条/红外干扰弹投放设备发射器完全一致的机械和电气接口，以实现和机体的机械及电气连接，内部电路完成对点火脉冲信号的采集、数字化及测量。信号采集装置内部有锂电池，作为 ZigBee 网络的一个子节点独立工作。

便携式手持显控终端是原位检测仪的核心，负责原位检测仪中各个信号采集装置的无线网络接入管理、状态监视、控制及人机交互等。6 个信号采集装置和手持式显控终端在同一个时钟下工作。

该原位检测仪的工作流程为：首先用信号采集装置原位替换发射器，实现信号采集装置和机体电底火之间的可靠机械及电气连接；信号采集装置和显控终端加电，手持显控终端发起 ZigBee 组网，完成对 ZigBee 网络中相关节点的查询和控制；在座舱中对箔条/红外干扰弹投放设备进行加电，分别控制其不同投放方式下工作；信号采集装置采集、测量不同投放方式下的脉冲特征参数参数，经 ZigBee 网络发送并在显控终端上显示。

3 硬件设计

3.1 信号采集装置

信号采集装置位于原位检测仪的前端，完成点火脉冲序列的信号调理及数字化工作，通过 ZigBee 无线网络实现与显控终端的通信。信号采集装置由信号检测单元、无线通信单元、电源管理单元和主体结构组成。

3.1.1 信号检测单元

信号检测单元以低功耗微处理器 STM32F103VCT6 为核心，利用其内置定时器及 ADC 模块完成点火脉冲信号开关量以及点火脉冲信号幅度的快速精密测量，其测量原理如图 3 所示。

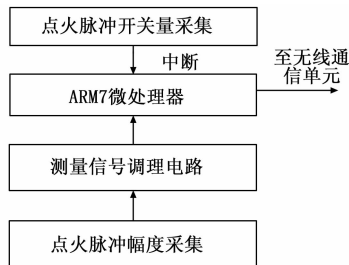


图 3 信号检测单元原理

待测信号为直流 28 V 点火脉冲，在信号采集装置内部通过固定功率电阻对其进行带负载测试。为避免点火脉冲序列对后续电路的影响，首先将点火脉冲通过光耦隔离整形后再输入到微处理器的外部中断 I/O 口。当微处理器芯片的外部中断 I/O 口检测到点火脉冲的上升沿时触发外部中断，并启动内部定时器进行计数，当检测到点火脉冲的下降沿时停止计数，根据计时器的计数值及定时器的时钟频率计算点火脉冲宽度。

在点火脉冲信号触发 STM32 的外部中断程序时，由微处理器内部的 ADC 模块进行点火脉冲的幅度测量。STM32 内置 12 位高速 ADC 通道，最高可实现 1 Mbps 的转换速率。为提高测量精度，ADC 参考电压未采用 STM32 的内部基准电压，采用高精度稳压芯片提供 3.3 V 的参考电压。

3.1.2 无线通信单元

ZigBee 无线网络节点以 JN5168 为核心，JN5168 芯片具有高性能 CPU，极低功耗、存储容量大和外设接口丰富等优点。JN5168 芯片内部集成有 RF 收发模块，为基于 JenNet-IP 协议应用程序开发提供了完整的解决方案。在本方案中，通过 UART 接口完成和手持终端及信号采集装置的通信。

原位检测仪由一个 ZigBee 协调器节点和 6 个终端设备节

点组成。ZigBee 协调器节点为 FFD (Full Function Device) 全功能设备, 主要负责网络的收发、参数的设定、信息的管理等工作, 实现对多个 ZigBee 终端设备节点实时数据的收集, 同时将数据通过串行接口传输到便携手持终端处理和显示。ZigBee 终端设备节点为 RFD (Reduced Function Device) 精简功能设备, 主要作用是响应 ZigBee 协调器节点的命令, 加入由 ZigBee 协调器节点发起的无线网络, 将微处理器采集和处理打包后的数据传输至协调器节点。

3.1.3 电源管理单元

信号采集装置作为 ZigBee 无线网络的一个子节点独立工作, 其内部备有锂电池。为有效掌握锂电池的状态, 设计有电源管理单元。电源管理单元分为电池电压监视、电池充电使能控制、电池充电管理、供电管理和供电电子开关等。

3.1.4 主体结构

箔条/红外干扰弹投放设备共有 6 个发射器, 结构形式完全一致, 故将信号采集装置设计为结构形式一致、硬件资源相同的设备, 通过不同的编号对其进行识别。网络建立时, 可以根据信号采集装置的编号选择性接入网络, 只有过滤码符合的信号采集装置方可加入网络, 避免外场环境下多个原位检测仪之间的信号采集装置冲突, 也可以实现不同原位检测仪中相同功能的信号采集装置的替换使用。

信号采集装置的上表面上按照负载板上电点火触点的位置布置相应的电点火触点, 通过快卸螺杆与机体电点火具实现可靠的机械和电气连接, 实现和机载投放器的闭环运行测试状态。

3.2 手持显控终端

手持显控终端以基于 ARM7 框架的 Cortex-A8 双核处理器为核心, 包括显示器、键盘、ZigBee 模块及电源管理模块等外围电路, 手持显控终端组成如图 4 所示。

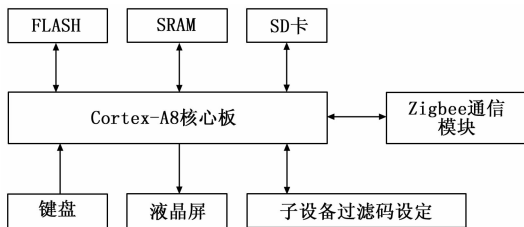


图 4 手持终端组成框图

Cortex-A8 核心板是整个系统的控制、管理、监视核心, 其基本配置为: 工作频率 1 GHz, 程序存储器 512 MB, 数据存储器 2 GB, 具备 10 M/100 M 自适应网口、4 个 USB 主口、4 个 RS232 通信口、内嵌实时时钟。该核心板是标准的系统平台, 可扩展性强, 可节省开发周期, 实现便携。

为便于外场恶劣环境下使用, 手持终端应设计为日光下可视, 液晶屏的背光采用 LED 发光的背光形式, 亮度最高可达 800 流明。同时, 为了最大限度延长手持式计算机持续工作时间, 该背光源可以受控开通或者关闭。

4 软件设计

4.1 信号采集装置软件

信号采集装置上电后, 首先对微处理器的端口、串行数据接口、定时器模块、内部 ADC 模数转换器和外部中断寄存器

等操作; 然后对 ZigBee 模块进行初始化设置, 同时检测主机发出的连接请求。待无线网络建立后, 根据手持终端发送的检测指令, 信号检测装置处于脉冲边沿触发等待状态。当干扰弹的投放设备产生点火脉冲序列后, 外部中断 I/O 口检测到开关量脉冲信号, 进入外部中断服务程序, 启动定时器, 对开关量参数进行测量, 同时由 STM32 内部 ADC 模块进行脉冲幅度的测量, 完成采集后进行数据存储及打包处理, 再由 ZigBee 模块将数据发送出去。

若信号检测装置未收到网络连接信号, 设备工作于低功率休眠状态以达到省电延迟工作时间的目的。

工作流程如图 5 所示。

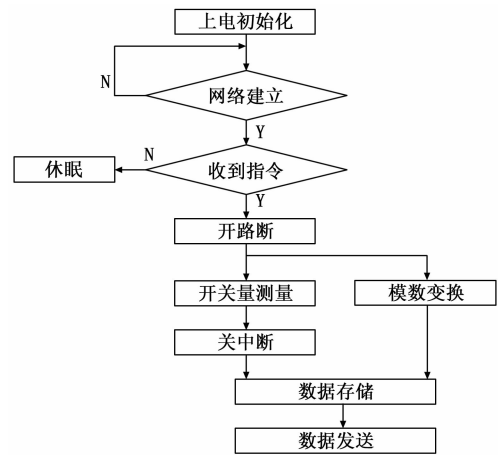


图 5 信号采集装置软件流程

4.2 手持显控终端软件

系统上电后, 执行初始化程序, 完成 ARM Cortex-A8 核心板、显示器、通信接口等硬件初始化操作。ZigBee 协调器节点发起网络连接, 扫描并等待信号采集装置节点加入网络。当节点加入网络后, 根据 EEPROM 中的检查接口过滤码, 只有过滤码符合的检查接口方可加入网络, 检核过滤码后给其分配网络地址。在发起检测命令后, 信号采集装置处于待机状态。

当箔条/红外干扰弹投放设备加电, 在相应的投放程序下工作时, 干扰弹的投放设备产生点火脉冲序列。当信号采集装置检测到脉冲并触发中断检测程序后, 信号采集装置完成点火脉冲序列的特征参数的采集, 并打包后通过 ZigBee 网络发送。手持显控终端通过 ZigBee 网络接收并保存到来自信号采集装置的点火脉冲的检测数据, 将脉冲序列的特征参数和检测标准对比, 在显示器显示故障判断及检测结果。

手持终端和检测装置之间的设计为分布式网络架构, 即每一部检测接口可以在手持终端的协调和管控下运行, 当任一检测接口出现故障时, 不影响整个系统的其他设备的工作。

手持显控终端软件工作流程如图 6 所示。

5 实验结果与分析

5.1 实验室调试及数据

首先在实验室环境下对信号采集装置的脉冲信号测量功能进行性能测试。采用标准信号发生器输出脉冲序列作为信号采

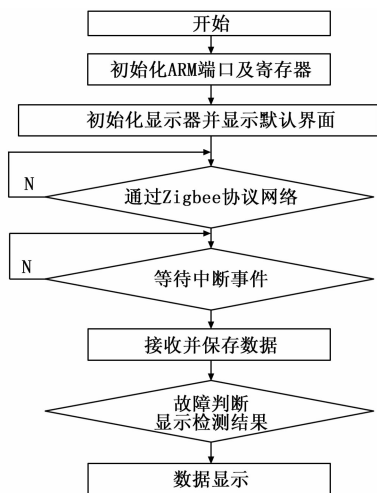


图 6 手持显控终端软件流程

集装置的输入源，输出脉冲参数设置为：幅值 28 V，占空比范围为 20~80%，频率范围为 100 Hz~100 kHz。信号发生器输出脉冲序列的参数已覆盖设备实际工作参数。

频率测试见表 1，幅度为 28 V，分别取频点 100 Hz，1 kHz，10 kHz 和 100 kHz，占空比 50%。频率测试误差为 0%。实测幅度为 27.92~28.08 V，幅度测试误差范围为 3%~5%。

表 1 频率测试

输入频率/kHz	实测频率/kHz	频率误差/%
0.1	0.1	0
1	1	0
10	10	0
100	100	0

调整脉冲的占空比，信号频率取 50 kHz，幅度 28 V，占空比测试见表 2。由表 2 可知，占空比 20%~80%，误差值小于 0.3%。

表 2 占空比测试

输入占空比/%	实测占空比/%	误差/%
20	19.96	0.2
40	40.11	0.27
60	60.18	0.3
80	79.88	0.15

由表 1 及表 2 数据可知，实测脉冲数据误差均在允许范围内，脉冲特征参数对投放程序的判断无影响。

5.2 外场整机联调

在完成信号采集装置性能检测的基础上，进行下一步外场整机联调测试。联调过程及步骤如下：

1) 首先将 6 个信号采集装置分别安装到位，替换原箔条/红外干扰弹投放设备的发射器，实现信号采集装置和机体电底火之间的可靠机械及电气连接；

2) 信号采集装置和手持显控终端加电，手持显控终端

完成 ZigBee 网络的发起和组网工作。由手持显控终端完成各个信号采集装置的配置并启动，完成对 ZigBee 网络中相关节点的查询和控制，确保原位检测仪系统处于正确的工作状态；

3) 在座舱中对箔条/红外干扰弹投放设备进行加电，在控制盒上选择不同的投弹程序，使其在不同投放程序下工作；

4) 6 个信号采集装置实时采集和测量不同投放程序下的点火脉冲序列的特征参数，并通过 ZigBee 网络打包发送给手持显控终端，经手持显控终端处理判断后，显示检测结果。

5) 根据标准投放程序的脉冲序列特征参数，对比检测标准，检验原位检测仪的检测正确率。

显控终端外形及人机交互界面如图 7 所示。



图 7 显控终端外形及人机交互界面

外场整机联调结果表明：手持终端在 100 m 范围内均可有效控制和配置系统。所测数据误差均在允许范围内，实测脉冲序列的特征参数，如脉冲幅值、脉冲周期、脉冲数量及脉冲组间隔时间等，与加载的投放程序对应的脉冲参数一致，投放参数符合要求。根据原位仪检测的脉冲特征参数，能够反映机载箔条/红外干扰弹投放设备当前的工作状态。

6 结论

为实现对机载箔条/红外干扰弹投放设备的外场原位检测，设计了基于 ZigBee 的原位检测仪。原位检测仪由手持显控终端和一组信号采集装置组成。由信号采集装置完成与机体电底火的机械及电气连接、点火脉冲序列的采集及数字化，并将测试信息通过 ZigBee 无线网络传送到手持显控终端处理并显示。系统软硬件的联调表明：采集数据能够可靠传输，并在手持终端实时显示，未发现有数据丢失现象。基于 ZigBee 的原位检测仪，采用锂电池独立供电，具有无连接电缆、便携轻巧，检测时间短等优点，对于提高航空兵部队外场检测和保障效率具有重要意义，并有较高的推广应用价值。

参考文献：

[1] 张伟. 电子对抗装备 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2009.
 [2] 才干. 机载无源干扰技术应用研究 [D]. 西安: 西北工业大学, 2007.
 [3] 许占显, 李佩春. 航空原位检测技术 [J]. 航空科学技术, 2001 (1): 33-35.
 [4] 纪超, 王昆. 飞机外挂物管理系统无线原位检测技术研究 [J]. 计算技术与自动化, 2015 (3): 131-135.
 [5] 王艳敏, 李彬, 程嗣怡, 等. 箔条/红外弹投放器自动测试系统的设计 [J]. 电讯技术, 2010 (8): 138-142.
 [6] 刘涛涛. 基于 ZigBee 技术的设备状态监测与故障诊断系统设计 [D]. 太原: 中北大学, 2014.