

小型无人机地面式发射控制系统设计

冷月香¹, 马远超¹, 吕慧¹, 王健^{1,2}

(西安爱生技术集团公司, 西安 710065; 西北工业大学 365 所, 西安 710072)

摘要:介绍了小型无人机地面式发射控制系统的组成、工作原理、软件设计以及关键技术实现, 可以完成实现无人机状态的综合显示, 单架无人机的发射控制, 三架无人机的短间隔连续发射, 四架无人机的发射前准备流程, 系统自身的发控流程自检, 无人机的地面供电控制, 为无人机装订航路和安控区域, 发送无人机发射前的检查指令并显示反馈数据, 控制发动机开车, 火箭点火, 以及其他发射控制保障; 飞行试验结果表明, 该系统在多架次无人机的发射控制中, 具有操作简单, 快速部署的优越性, 提高了多机地面发射控制的效率和减轻了地面保障人员的工作负担, 该系统具有明显优势。

关键词:多无人机; 地面式; 航线装订; 发射控制系统

Design of Ground-based Launch Control System for Miniaturized UAV

Leng Yuexiang¹, Ma Yuanchao¹, Lv Hui¹, Wang Jian^{1,2}

(1. Xi'an ASN Technology Group Co., Ltd., Xi'an 710065, China;

2. Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: The composition, working principle, software design and key technology realization of the miniaturized UAV ground-based launch control system are introduced. The comprehensive display of the state of the UAV can be completed, the launch control of the single drone, and the three drones. Continuous transmission at short intervals, pre-launch preparation process of four drones, self-test of the system's own control process, ground power control of the drone, binding of the drone and security control area, and transmission of the drone before launch. The inspection instructions and display feedback data, control engine driving, rocket ignition, and other emission control guarantees. The flight test results show that the system has the advantages of simple operation and rapid deployment in the launch control of multi-station drones, which improves the efficiency of multi-machine ground launch control and reduces the workload of ground support personnel. obvious advantage.

Keywords: multi-UAV; ground-based; set of drone trajectory; launch control system

0 引言

靶机是无人机中最早的应用领域, 英、美等西方国家早在 1922 年就开始研制靶机, 是靶机技术水平最高也是产量最大的地区。当代军用航空发展领域中, 靶机作用一是新型对空武器的检验标准, 二是战巡的假想目标, 靶机需要具有更高的性能, 才可以模拟目标的基本特征。

靶机的飞行保障是靶机的重要内容, 地面保障尽可能的做到简便, 快速阵地布置; 为适应多机编队和协同任务的靶试也将成为科研和战训的内容, 采用一站多机的地面保障装置将有利于靶机的集群供靶的需要; 安保控制。靶机一般在靶场内飞行, 对安全区域需要有严格的限定, 必须装订安全边界; 靶机的各航段和航点均可在起飞前预先装订; 靶机的密集编队和协同任务式靶机应用的发展趋势, 因此“一站多机”的控制技术日益重要; 同时靶机的集结

需要在尽量短的时间间隔内依次起飞^[1-3]。

因此, 本文提出一种地面式发射控制系统, 对多架次无人机靶机进行地面保障, 控多机模式, 进行航线和安全边界的装订, 靶机发射前的指令检测, 发动机控制, 发射控制, 以及多靶机的状态显示反馈。实现一对多式的靶机地面式发射系统。本文采用发控方舱的形式, 节省成本, 在地面测控站展开前, 通过有限串口实现地面保障全套流程, 直到发射, 即满足要求又节省成本, 适合靶机的高效作业特性。

1 系统结构及原理

地面发控系统设备包括舱内设备和舱外设备, 舱内设备由监控柜、通信设备、配电设备和环控设备构成, 监控柜包括一个指挥控制柜和 4 个发射控制柜。舱外设备包括地面启动箱、气瓶组和配套电缆及管路。地面发控方舱结构设计需要满足功能需求的实现, 地面发控设备的组成如图 1 所示。

地面发射控制系统工作原理是, 通过四组 RS422 串行接口, 每组串行接口数据分别为无人机遥控遥测数据, 无人机通过该串口将遥控遥测数据包发送给对应的发射控制

收稿日期: 2019-04-16; 修回日期: 2019-05-09。

基金项目: 陕西省重点产业创新链项目(2019ZDLGY14-02-02)。

作者简介: 冷月香(1986-), 女, 湖北襄阳人, 硕士, 工程师, 主要从事无人机地面指挥控制方向的研究。

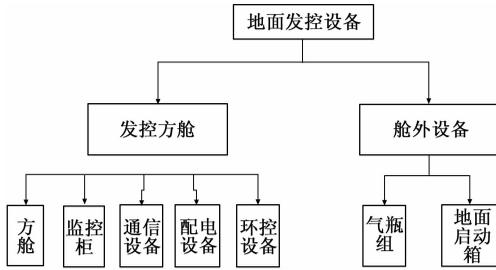


图 1 地面发射控制系统结构组成

计算机，地面操作人员通过该串口发送遥控指令给其串口连接的无人机；地面启动箱的遥控数据，操纵人员在发控舱中发送启动箱的控制指令；接收硬指令盘的指令状态，同时发控软件发送数据，控制硬指令盘的 LED 灯亮灭的状态数据包。同时系统每个发射控制计算机还包括一个网络接口，发控计算机将对应无人机的遥控遥测数据包，通过该网络经过网络交换机发送至指挥控制软件，进行全系统多架飞机状态显示。

1.1 设计布局

地面发控系统硬件将指挥控制、发射监控、指挥通信进行综合一体化设计。地面方舱内设置一个指挥控制柜、4 个发射控制柜和扬声单机。

发控方舱内左侧安装 5 个机柜，中间为指挥控制柜，两侧分别设置两个发射控制柜，机柜右侧是设备柜，上方安装网络交换机和 UPS，下方为抽屉。

1.2 信息传输

信息传输以串口和网络为主要依托，通过网络电缆将发控方舱各设备相连接，实现信息的传输，与靶机和地面启动箱的连接使用串口连接，每架靶机使用一路串口进行通信。如图 2 所示。

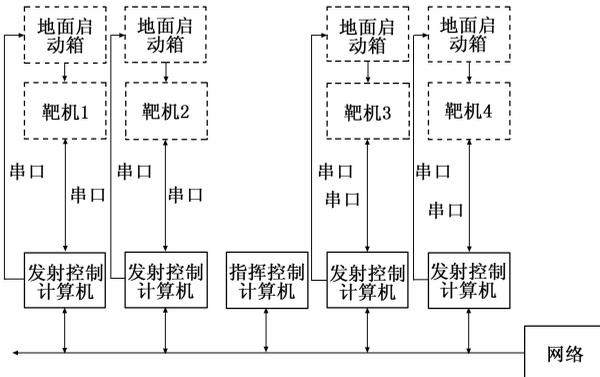


图 2 地面发控方舱信息传输原理图

地面发控系统通过 RS422 串口与靶机连接，发送靶机的控制指令并接收靶机的状态数据，通过 RS422 串口与地面启动箱连接，控制地面启动箱的工作，串口与发射车内的发控计算机相连接，各台发控计算机将各架靶机的状态数据通过网络发送给指控计算机进行汇总显示。

1.3 接口设计

外部接口主要为 RS422 串口，如图 3 所示。这些串口通过信号壁盒引出。

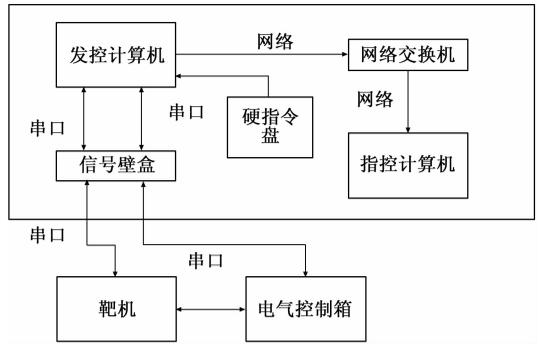


图 3 地面发控方舱外部接口图

内部接口为地面发控方舱内部各个设备工作的数据交换接口。包括串口电缆、网络电缆。数据主要为靶机状态数据和控制指令数据。内部详细信号流如图 4 所示。

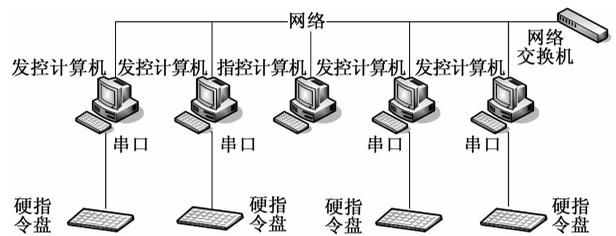


图 4 地面发控方舱内部信号流图

内部信号传输包括网络传输和串口传输两种方式，发控计算机和指控计算机通过网络电缆连接，硬指令盘与发控计算机通过串口连接。

1) 网络传输方式：内部网络由网络交换机连接构成，无人机状态信号通过外部接口发送给发控计算机，发控计算机接收并显示无人机状态，同时发控计算机将靶机的状态数据通过网络汇总到指控计算机，指控计算机将各无人机状态汇总显示，

2) 串口传输方式：硬指令盘的按键指令通过串口发送给发控计算机。硬指令盘和发控计算机之间采用 RS-232 串行接口通信；地面发控方舱内各计算机和网络交换机之间采用网络接口通信；

2 系统的发射控制

发射控制柜实现无人机状态监视、航路的装订和靶机的发射控制功能。具体包括：参数显示、航路、安控区装订、系统自检、控制指令反馈、供电控制及发射控制。

2.1 硬件设计

发射控制功能控制在地面发控系统的发射控制柜的发射控制计算机进行。由于发射控制计算机需要外界 4 个串口，因此采取扩展扩展串口板卡，进行串口扩展，才能满足需求。

采用 PCI 加固计算机，功能电路分为：主板模块、液晶模块、电源模块、键盘模块、存储模块、接口模块。供电输入为 AC220 V。因此，电源转换方案选定 ZIPPY 公司生产的 P1A-6301P 电源，该电源模块工作稳定，可靠性高。计算机对屏幕、主板等力学薄弱环节重点进行加固设计。

2.2 发射控制软件实现

发射控制软件采用 VC++6.0 开发, 运行于 Windows XP 操作系统中, 实现靶机的发射控制。发射控制软件可实时监视靶机系统的状态, 为靶机装订飞行航路, 提供安全提示以及安全告警, 提供靶机发射控制指令按键并实时汇报发送的指令。发送控制软件在靶机发射流程进行时可对流程中的数据进行全程记录。

发射控制软件的功能模块包括: 系统参数监视模块; 航路上传、状态显示; 安全提示、告警模块; 按键指令模块; 指令回报模块; 数据记录模。下面针对其中关键技术进行具体介绍,

1) 航路上传: 使用 txt 文件处理方式对靶机装订飞行航路。

使用 CStdioFile 的 open^[4] 打开上级的航路文件, 文件包括“航路信息”、“飞行边界”、“安控区域”,

ReadString 读取数据后, 写入上行控制数据;

SendMessage 消息模式触发串口发送消息, 完成航线装订。

2) 状态显示: 通过多媒体定时器触发, 使用回调函数 OnTimerEventOfTmcom ()^[5] 触发串口时间, 采用 pcomm 控件实现串口数据的接收^[6-7], 使用 Ontimer 对软件参数进行文本和图形显示。

使用 Photoshop 的高像素表盘图片和指针图片, 加载至 MFC 下的对话框^[5], 操作指针图片寻转角都实现数据的图形显示。

3) 控制指令, 接收硬指令盘和地面启动箱的串口指令, 解码后通过串口转换为上行控制数据, sio_write 函数发送至响应的无人机。为了满足扩展串口的同步性, 使用 MOXA 公司的 PCOMM 插件进行串口的读取操作。串口发送端的数据周期小于 20 毫秒, 使用微软自带的定时器周期精度较差, 平均可达到 100MS, 因此, 软件采取多媒体定时器, 使用回调函数进行串口数据的处理, 函数具体如下:

```
void CALLBACK OnTimerEventOfTmcom()
//飞机参数串口数据处理
void CALLBACK OnTimerEventOfYZLcom()
//硬质令盘串口数据处理
在程序初始化中,将回调函数和定时器进行绑定,具体如下:
// 飞机参数回调函数初始化
TimeOfTmcom = timeSetEvent
(20, 1, (LPTIMECALLBACK) OnTimerEventOfTmcom, 0,
TIME_PERIODIC);
// 硬质令盘回调函数初始化
TimeOfYZLcom = timeSetEvent
(40, 1, (LPTIMECALLBACK) OnTimerEventOfYZLcom, 0,
TIME_PERIODIC);
```

软件将接收的遥测串口数据进行文本和图形显示; 将硬质令盘的串口数据解码翻译后, 按照协议组成控制数据包, 通过飞机串口发送给飞机; 地面发动机启动指令发送至启动箱串口。

4) 数据记录, 使用 malloc 函数开辟内存数组 buffer, 将实时下行数据写入 buffer, 然后分时按照十六进制写入本地. data 文件中。she

3 系统的指挥控制

指挥控制柜主要承担靶机的发射监控任务。指挥控制柜上部安装一台一体化加固计算机, 用于监控各架无人机的状态和参数。

3.1 指挥控制软件

指挥控制软件采用 VC++6.0 开发, 运行于 Windows XP 操作系统中, 实现发射过程中的监视与指挥功能。指挥控制软件可实时监视系统的状态, 同时提供安全提示以及安全告警, 另外还可以读取飞机上装订的飞行航路。指挥控制软件在发射流程进行时可对流程中的数据进行全程记录。

3.2 软件设计实现

1) 使用 UDP 组播形式^[8], 接收各个无人机的下行数据 Data1, Data2, Data3, Data4。

2) 数据显示方式, 采取 MFC (Microsoft fundament class) 中的不同的 Dialog 中加载相同的类^[9], 快速将软件从一机扩展至四机。如图 5 所示。



图 5 指挥控制软件

4 系统中的其他设备

4.1 硬指令盘

硬指令盘利用嵌入式微处理器的 I/O 端口采集指令按键的电平信号, 利用按键编码对按键指令进行识别, 生成控制指令数据, 通过串口发送控制数据。具体包括左盘、直飞、右盘、爬升、平飞、俯冲、大马力、中马力和小马力这 9 个指令按键。

为了便于靶机地面检测, 特别针对飞机的飞前检查, 需要对飞机的飞行指令进行验证, 以及航电传感器进行检查, 确保飞行安全。使用硬指令盘, 进行飞行指令检测。方便飞前检测, 同时使用线缆连接飞行指令检查人员和发射控制操作人员可以同时开展准备工作, 提高展开效率。

硬指令盘由壳体、控制器板、指令按键、钥匙开关、电源开关、指示灯和连接器构成。

硬指令盘利用嵌入式微处理器的 I/O 端口采集指令按键的电平信号, 利用按键编码对按键指令进行识别, 生成控制指令数据, 通过串口发送控制数据便携式发控计算机与一套硬指令盘相连接, 硬指令盘可通过按键发送舵面控制指令和发动机控制指令, 同时应指令盘还可控制靶机的

发射及取消发射。

硬指令盘主要由于检测和发射控制功能。硬指令盘面板上设置一组飞行测试指令和发射控制指令，

飞行测试指令用于发射前测试飞机控制系统和作动器执行机构的工作情况；发射控制指令用于执行靶机的发射控制。硬指令盘按键和开关布局。

4.2 供电系统

UPS 选用 APC SRC3000XLICH 型在线式 UPS 不间断电源，该电源最大输出功率为 2100 W，输出电压 AC 230 V，输出频率 50 Hz，机身尺寸为 175 mm * 432 mm * 457 mm (高 * 宽 * 深)，配置为机架式，高度为 4 U，主机净重为 34 kg，满载效率 89%。1 200 W 负载时可维持运行 15 min。

5 系统的可靠性模型和分析

建立地面发控方舱系统的可靠性模型，根据地面发控方舱的结构组成进行归整，以机柜为单元，把地面发控方舱划分为配电箱、地面启动箱、硬指令盘、指挥控制柜、发射控制柜柜以及相关的软件。通过对各个单元的建立与分析，充分考虑软件因素，可靠性模型如图 6 所示。

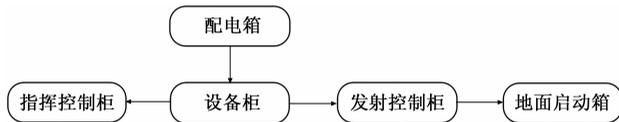


图 6 地面发控方舱系统可靠性模型

系统平均故障间隔时间^[10]：

$$MTBF = 1/\lambda, \lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4,$$

λ_i : 设备可靠性

表 1 基本可靠性预计表

名称	预计基本可靠性 MTBF	备注
配电箱	50000	地面发控方舱供电系统设备
指挥控制柜	5000	1 台
发射控制柜	5000	4 台
设备柜	2000	1 台
地面启动箱	2000	4 台

根据计算，MTBF 预计值为 284 小时，满足指标要求。

6 结束语

某基地进行实验，展开普通地面控制站进行的地面保障和本文的发控系统地面保障，两种系统的保障时间和流程对比见表 2 所示，其中 A 代表地面控制站的保障活动，B 代表地面发射控制舱的保障活动。

其中，

$$T_{A1} = T_{B1} \tag{1}$$

$$T_{A2} > T_{B2} \tag{2}$$

$$T_{A3} = T_{B3} \tag{3}$$

进行指令检测时，地面发控系统进行飞行动力检测的同时，数据链展开通信，接着进行链路检测；

$$T_{A4} = T_{B4} \tag{4}$$

表 2 A 和 B 保障活动对比明细

序号	名称	A	B	描述	
				A	B
1	进场展开	T_{A1}	T_{B1}	航插连接	航插连接
2	通信设备展开	T_{A2}	T_{B2}	数据链通信	无
				频道对准	无
3	指令检测	T_{A3}	T_{B3}	所有指令	所有指令
4	发射	T_{A4}	T_{B4}	点火	点火

$$T_{SUNA} = T_{A1} + T_{A2} + T_{A3} + T_{A4} \tag{5}$$

$$T_{SUNB} = T_{B1} + T_{B2} + T_{B3} + T_{B4} \tag{6}$$

结论如下，

$$T_{SUNA} > T_{SUNB} \tag{7}$$

因此总体展开时间 B 方案优势明显。经过使用和实际飞行，由指挥控制、发射监控、指挥通信进行综合一体化设计的地面式发射控制系统，可进行系统自身的发控流程自检；可进行地面供电控制；装订航路和安控区、发送射前检查指令并回显反馈数据；可发送发动机的开车指令；可发送火箭点火指令；可随时发送发动机停车指令、靶机断电指令等，终止发射流程。可以短时连续发送多架次无人机，节省地面保障人员、无人机发射时间和地面设备的保障成本，极大提高了发射效率。

在舰载多靶机实验任务中，适应场地和人员的需求。极大的精简了设备和操纵人员，采用硬质令盘和发控软件同时操作的模式，同时展开地面保障工作，极大地体现了系统的优越性。在部队使用过程中，操作流程简化、展开时间短、通用性强，这些特点极大地方便了人员操作和空防试验。

参考文献：

[1] 王道波. 无人靶机及其自主控制技术发展 [J]. 科技导报, 2017 (07).

[2] 符林海. 靶机系统发展趋势研究 [A]. 2014 年 (第五届) 中国无人机大会论文集 [C]. 2014.

[3] 李裕栋. 靶机与威胁模拟应用研究 [J]. 现代防御技术, 2017 (06).

[4] 孙鑫. VC++ 深入详解靶机与威胁模拟应用研究 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2015.

[5] 王文武. 多媒体定时器的定制和使用方法 [J]. 计算机应用, 2000 (11).

[6] 宋福宏. UG 二次开发及 MFC 在虚拟仪表仿真设计中的应用 [J]. 应用科技, 2005 (11).

[7] 杜诗文. 基于 Visual C++ 的数控软件的设计 [J]. 山西机械, 2002 (1).

[8] 杭小庆. 用 PowerBuilder 开发串行通讯软件的几种方法探讨 [J]. 微型电脑运用, 2001, 17 (12).

[9] 郝朝. 监控画面数据调度软件的设计与实现 [J]. 计算机技术与发展, 2018 (9).

[10] 曹颖赛. 实现 [J]. 系统工程与电子技术, 2018 (1).