

一站多目标无人机数据链信息融合技术

戚元健¹, 李凉海², 王圆圆¹, 闫朝星¹

(1 北京遥测技术研究所 北京 100076;

2 中国航天电子技术研究院 北京 100094)

摘要: 针对一站多目标无人机数据链系统易受干扰的问题, 提出一种基于主备链系统抗干扰能力提升的遥控数据信息融合方法, 在分析无人机遥控信息业务特点的基础上, 对多条链路收到的用户数据进行拆分、融合等处理, 设计了多目标无人机数据链的机载遥控信息融合策略。对采用该方法的数据链系统拉距测试验证, 结果表明: 该方法可在无人机高动态环境下的主备链路状态不稳定时, 大幅度减小系统整体丢帧率, 提升数据链系统信息传输可靠性。

关键词: 无人机数据链; 多目标测控; 扩频通信; 主备链系统; 信息融合

中图分类号: V243.5; TN919 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-1000(2023)05-0064-05

DOI: 10.12347/j.ycyk.20230320001

引用格式: 戚元健, 李凉海, 王圆圆, 等. 一站多目标无人机数据链信息融合技术[J]. 遥测遥控, 2023, 44(5): 64-68.

The data link information fusion technique for one station controlling multi-UAVs

QI Yuanjian¹, LI Lianghai², WANG Yuanyuan¹, YAN Chaoxing¹

(1. Beijing Research Institute of Telemetry, Beijing 100076, China;

2. China Academy of Aerospace Electronics Technology, Beijing 100094, China)

Abstract: To solve the problem which one station controlling multi-UAVs data link system susceptible to interference, a tele-control data information fusion method for master and slave link system to improve the anti-interference capability of the system is proposed. Based on analyzing the characteristics of the UAV telecontrol information, the user data received from multiple links is split and fused, and the airborne telecontrol information fusion strategy for multi-target UAV data link is designed. The wireless test of the data link system using this method shows that this method can significantly reduce the overall frame loss rate of the system and improve the reliability of data link system information transmission when the master and slave link state is unstable in the high dynamic environment of UAVs.

Keywords: UAV data link; Multi-target TT&C; Spread spectrum communication; Master-slave system; Information fusion

Citation: QI Yuanjian, LI Lianghai, WANG Yuanyuan, et al. The data link information fusion technique for one station controlling multi-UAVs[J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2023, 44(5): 64-68.

引 言

无人机系统在侦察监视、抗震救灾、地形勘测等方面具有广泛的军事、民用和科研价值^[1]。无人机数据链系统是无人机与地面控制站或其他操作平台间, 按照约定的通信体制和协议内容, 进行指令发送、数据传输, 完成无人机遥控、遥测等功能的综合无线电控制系统^[2]。无人机数据链系统通过在机载数据终端、地面控制站、武器协同

平台之间建立实效、高速的数据传输网络, 以满足整个无人机系统数据信息的实时传输需求^[3]。无人机数据链系统为无人机的任务规划、飞行控制、侦察情报信息的传输以及与其他武器作战系统的协同工作搭建数据高速传输、实时控制的复杂网络体系, 实现侦察信息、遥控指挥命令和协同作战模式等信息交互, 是实现无人机系统作为武器协同作战系统中关键环节的重要手段^[4]。

一站多目标无人机数据链系统中, 无人机数

据链作为无人机与地面站、无人机与无人机之间的无线通信链路，是支撑无人机系统顺利执行指定任务的关键^[5]。为提升无人机数据链系统抗干扰能力，普遍采用主备链路设计^[6]，在不同频段独立传输控制指令。主备链只要有一条链路正常，就能对遥控数据在遥测链路状态中对链路异常进行监控。

针对一站多目标无人机数据链系统遥控链路易受干扰问题，提出一种基于主备链交互的数据链信息融合技术，通过对多条链路收到的用户数据进行拆分、融合等处理，有效提升无人机数据链系统在实际应用中的稳定性、健壮性。

1 无人机遥控信息业务

无人机数据链系统遥控信息一般至少包含4种遥控数据：1种飞行控制数据、1种链路控制数据和2种任务控制数据^[7]。其中，飞行控制数据一般采用透传处理，用于地面站对无人机的飞行控制；链路控制数据包括对多条链路的控制信息，机载终端解调出信号后将信息传递给对应链路；任务控制数据用于地面站指挥或监测无人机完成各类遂行任务^[8,9]。

在无人机数据链系统中，如图1所示，主备链路同时通过遥控信号传输两种业务信令^[10]：

① 飞行控制：地面站的无人机飞行员通过飞行控制计算机向地面数据终端发送飞行控制指令数据，由地面数据终端通过遥控信号传输给机载数据终端，再由机载数据终端接收并将飞行控制指令发送给机载飞控计算机，最后由飞控计算机执行相应的飞行控制指令，完成对无人机的飞行控制。

② 任务控制：地面站的任务控制人员通过任务控制计算机向地面数据终端发送任务控制指令数据，由地面数据终端通过遥控信号传输给机载数据终端，再由机载数据终端接收并将任务控制指令发送给机载任务设备，最后由任务设备执行相应的任务控制指令，完成无人机的任务控制。

一站多目标无人机数据链遥控系统场景如图1所示。根据一站多目标无人机系统遥控信息传递和处理需求，本文将设计一站多目标无人机遥控信息融合方法。

2 一站多目标机载遥控信息融合方法

2.1 主备链路机载数据处理

遥控链路的稳定性决定了无人机的安全和可

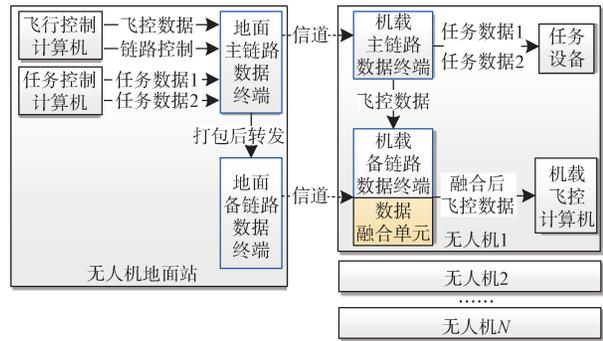


图1 一站多目标无人机数据链遥控系统场景
Fig. 1 Data link telecontrol system scenario for one station controlling multi-UAVs

控性^[11]，因此在一站多目标数据链系统采用主备链信息传输的基础上，遥控链路信令采用冗余传输。地面站在遥控链路发送信令时，通过主备链路发送相同的遥控信令；主备链路机载终端在接收遥控信令后，根据信令所属的链路作保留处理或通过主备链路机载终端互联接口传递给另一条链路的机载终端。最后，主备链路机载终端将解调得到的遥控信令和互联接口传递来的遥控信令合并后执行，从而达到冗余传输的效果。

按照上述数据融合方法，数据链系统中只要有一条遥控链路正常，地面站就能向机载设备发送遥控数据开展正常遥控作业。主链路机载终端遥控信令处理流程如图2所示，无人机机载终端将遥控主链路中不同的数据进行拆分和合成实现遥控数据处理流程。主链路机载设备需要进行2处数据拆分处理和2处数据合成处理。

数据拆分处理如下：

① 复合遥控信令拆分：主链路机载终端将解

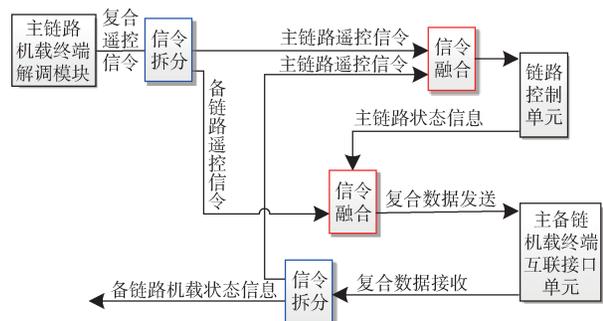


图2 一站多目标机载终端链路遥控数据处理设计
Fig. 2 Telecontrol data processing design for airborne terminal of one station controlling multi-UAVs

调输出的复合遥控信令拆分，得到主链路的遥控信令和备链路的遥控信令。

② 互联接口复合数据拆分：主链路机载终端将主备链机载终端互联接口单元的复合数据拆分，得到主链路的遥控信令和参与遥测调制的备链路机载状态信息。

数据融合处理如下：

① 主链路遥控数据融合：主链路机载终端将解调得到的主链路遥控信令和从备链路机载终端收到的主链路遥控信令融合，得到复合主链路遥

控信令，传递给链路控制单元。

② 互联接口复合数据融合：主链路机载终端将解调得到的备链路遥控信令和链路控制单元产生的主链路状态信息融合后，将复合数据送往主备链机载终端互联接口单元。

2.2 机载遥控信息融合方法

在一站多目标无人机数据链系统中，飞行控制数据和任务控制数据不同于链路控制数据，不采用信息冗余式传输^[12]。设计遥控数据信息融合方法，如图 3 所示。

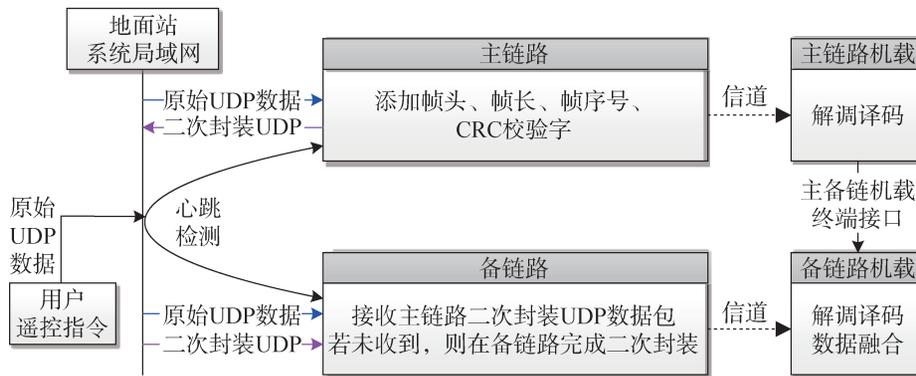


图 3 一站多机无人机数据链遥控信息融合场景

Fig. 3 Telecontrol information fusion scenario for data link of one station controlling multi-UAVs

融合策略如下：

① 遥控指令封装：将用户遥控指令封装成 UDP 数据后通过局域网发送至数据链地面站。主备链路地面数据终端独立工作，通过心跳检测^[13]感知另一条链路的工作状态。主链路将 UDP 数据二次封装后，传输给机载终端的同时通过局域网发送给备链路地面站。备链路若收到主链路发来的二次封装 UDP 数据包，则直接传输此数据包；否则在备链路地面终端对原 UDP 数据进行二次封装后传输。

② 遥控信息融合：主备链的机载终端分别从遥控链路信息中解调出二次封装的 UDP 数据包。主链路将解调的数据包通过主备链机载终端接口发送给备链路机载终端。备链路机载终端收到主链路机载终端发来的数据包后，与自身解调得到的数据包一起，按照帧序号从中挑选出 CRC 校验正确的数据包完成遥控数据信息融合。

遥控信息融合通过三个步骤完成：

a) 数据缓存：备链路机载终端将来自主链路机载终端的遥控数据放入数据缓存队列作临时

存储。

b) 完整性检测：备链路机载终端对解调得到的遥控数据，通过 CRC 校验和帧长检测，判断遥控数据流中遥控数据帧的完整性；

c) 数据流合并：备链路机载终端根据完整性检测得出的结果，当解调得到的遥控数据流中发现未通过检测的数据帧时，从数据缓存队列中查找对应帧序号的遥控数据帧并替换数据流中的对应帧，完成信息融合。无人机数据链备链路机载终端遥控信息融合策略如图 4 所示。

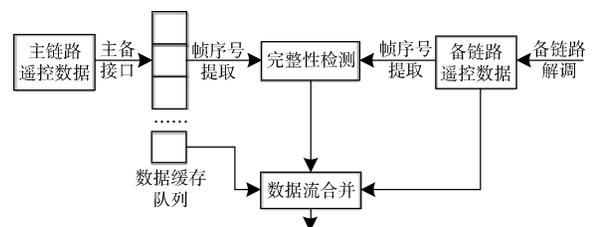


图 4 无人机数据链备链路机载终端遥控信息融合策略

Fig. 4 Telecontrol information fusion strategy for UAV slave link

3 信息融合技术测试

在某多目标无人机数据链系统设备上测试验证信息融合方法。系统L频段遥控主链路采用扩频CDMA多址方式区分不同的目标；系统U频段遥控备链路采用TDMA多址方式区分不同的目标。备链路机载终端和机载飞控计算机通过飞控数据接口传递飞控信令和飞行状态数据。由于飞控信令和飞行状态数据均经过透传处理，因此采用模拟飞控信令进行测试，并通过短接飞控数据接口的方式将此信令作为模拟飞行状态数据参与遥测链路。

测试计算机连接系统地面站发送模拟飞控信令。备链路机载终端在完成数据融合后发往飞控数据接口，然后通过短接的接口回传至终端并被系统视为飞行状态数据参与遥测链路。最后在测试计算机上将回传数据和发送的模拟飞控信令进行对比，得到信息融合技术测试结果。测试环境如图5所示。

测试步骤如下：

① 将无人机数据链系统上电，机载终端和天线置于地面站拉距200 m远，控制地面站发射增益使遥控链路上报信噪比高于解调门限至少10 dB，此时系统遥控链路状态稳定，链路丢帧率为0。

② 按照图5所示，短接备链路机载终端飞控数据接口。

③ 将模拟飞控信令的帧率设为20 Hz，控制地



图5 一站多目标无人机信息融合技术拉距测试环境

Fig. 5 Test environment for information fusion technique of one station controlling multi-UAVs

面站发射功率和终端的开关电状态模拟表1列出的各项系统状态，并在每种状态下利用回传的数据计算丢帧率。

④ 将模拟飞控信令的帧率改为10 Hz，按照步骤③再进行一组测试。

测试结果如表1。首先在主链路稳定条件下对备链路正常、地面终端静默、地面终端断电三种状态进行测试，结果表明系统正常工作，且当备链路机载终端无法通过解调得到数据包时会将主链路机载终端发来的数据包全部作透传处理。然后，控制主链路地面终端发送功率，通过系统状态上报得到主链路丢帧率，并在此状态下对上述备链路状态进行测试。之后，切断主链路数据传输，结果表明备链路可以独立工作。最后将主备链均控制在较高丢帧率的不稳定状态下进行测试，结果表明系统整体的丢帧率大幅下降。

表1 信息融合技术测试结果

Table 1 Test results of information fusion technique

主链路丢帧率	备链路丢帧率	地面终端连通状态	信令帧率20 Hz下丢帧率	信令帧率10 Hz下丢帧率	备注
0	0	是	0	0	
0	N/A(地面静默)	是	0	0	数据融合生效
0	N/A(地面断电)	否	0	0	数据融合生效
6.3×10^{-2}	0	是	0	0	
6.3×10^{-2}	N/A(地面静默)	是	6.3×10^{-2}	6.3×10^{-2}	数据融合生效
6.3×10^{-2}	N/A(地面断电)	否	6.3×10^{-2}	6.3×10^{-2}	数据融合生效
N/A(地面静默)	0	是	0	0	
N/A(地面静默)	3.2×10^{-2}	是	3.2×10^{-2}	3.2×10^{-2}	
N/A(均不上电)	0	否	0	0	
N/A(均不上电)	3.2×10^{-2}	否	3.2×10^{-2}	3.2×10^{-2}	
6.3×10^{-2}	3.2×10^{-2}	是	6.3×10^{-5}	3.4×10^{-5}	数据融合生效

综上所述，当任意一条链路断开时，系统仅靠另一条链路也能正常传递信令；当主备链路均

处于较高丢帧率时，采用信息融合技术能使系统整体丢帧率大幅降低。如果将系统不稳定状态下

每一帧的丢帧现象看作独立事件, 信息融合技术生效后丢帧率应为主链路和备链路当前丢帧率的乘积。但由于链路在不稳定状态下的丢帧现象存在自相关性, 实际效果较独立随机丢帧推测的理论效果略差, 因此可以看到表 1 中当主链路丢帧率为 6.3×10^{-2} 且备链路丢帧率为 3.2×10^{-2} 时, 采用信息融合技术后系统整体丢帧率略大于 2.016×10^{-5} 。

4 结束语

本文针对在一站多目标无人机数据链系统易受环境干扰的问题, 设计基于主备遥控数据信息融合方法, 并通过系统测试验证了数据融合策略能够显著降低无人机遥控指令的丢帧率, 有效提升数据链系统稳定性。后续通过增加链路冗余或数据结构算法可进一步优化提升链路信息可靠性和纠/检错性能。

参考文献

- [1] 高峻峤, 周磊, 曹越, 等. 5G 无人机安全研究综述[J]. 移动通信, 2023, 47(1): 59-64.
GAO Junqiao, ZHOU Lei, CAO Yue, et al. Security issues of unmanned aerial vehicles: A survey[J]. Mobile Communications, 2023, 47(1): 59-64.
- [2] 陈会林. 一站多机便携式无人机测控系统[J]. 测控技术, 2020, 39(7): 108-112.
CHEN Huilin. A portable UAVs TT&C system with one station controlling multi-vehicles[J]. Measurement & Control Technology, 2020, 39(7): 108-112.
- [3] 周必慧. 一站多机民用无人机指挥控制系统软件设计[D]. 成都: 电子科技大学, 2018.
- [4] 杨柳庆, 肖前贵, 张勇. 基于 TDMA 体制的一站多机式靶机测控系统[J]. 电光与控制, 2020, 27(11): 101-105.
YANG Liuqing, XIAO Qiangui, ZHANG Yong. One-station multi-drone-aircraft drone measurement and control system based on TDMA[J]. Electronics Optics & Control, 2020, 27(11): 101-105.
- [5] 徐志浩. 四旋翼无人机飞行控制系统的研究[D]. 包头: 内蒙古科技大学, 2022.
- [6] 王雷. 无人机中继通信链路性能分析与资源分配技术研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2021.
- [7] 王思奇. 无人机上行链路隐蔽通信方法的研究与设计[D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2022.
- [8] 刘雷, 刘大卫, 王晓光, 等. 无人机集群与反无人机集群发展现状及展望[J]. 航空学报, 2022, 43(S1): 726908.
LIU Lei, LIU Dawei, WANG Xiaoguang, et al. Development status and outlook of UAV clusters and anti-UAV clusters[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2022, 43(S1): 726908.
- [9] 蒋超, 崔玉伟, 王辉. 基于图像的无人机战场态势感知技术综述[J]. 测控技术, 2021, 40(12): 14-19.
JIANG Chao, CUI Yuwei, WANG Hui. Review on battle-field situational awareness of UAV based on image technology[J]. Measurement & Control Technology, 2021, 40(12): 14-19.
- [10] 梁保卫, 王利平, 涂海洋, 等. 无人机宽带数据链中的高阶调制技术研究[J]. 无线电工程, 2022, 52(4): 544-549.
LIANG Baowei, WANG Liping, TU Haiyang, et al. Research on high order modulation in UAV broadband data link[J]. Radio Engineering, 2022, 52(4): 544-549.
- [11] 陈曦. 无人机多制式遥控系统设计与实现[D]. 南京: 东南大学, 2020.
- [12] 陈梦. 无人机测控链路干扰策略研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2022.
- [13] 田静. 基于毫米波雷达的呼吸心跳检测系统设计与实现[D]. 武汉: 华中科技大学, 2021.

[作者简介]

- 戚元健 1997 年生, 硕士研究生。
李凉海 1965 年生, 硕士, 研究员。
王圆圆 1976 年生, 硕士, 研究员。
闫朝星 1985 年生, 博士, 研究员。

(本文编辑: 潘三英)