

引用格式:李洁,孙科峰.机载红外搜索跟踪系统仿真测试平台设计[J].电光与控制,2019,26(8):101-105,110. LI J, SUN K F. Design of a simulation testing platform for airborneIRST system[J]. Electronics Optics & Control, 2019, 26(8):101-105, 110.

机载红外搜索跟踪系统仿真测试平台设计

李洁¹, 孙科峰²

(1. 西安航空学院能源与建筑学院,西安 710077; 2. 西安应用光学研究所,西安 710065)

摘要:针对机载IRST系统具有大视场、高空间分辨率、高扫描速度的3项技术指标特点,设计了一种单元化结构的新型IRST仿真测试平台,解决了传统仿真系统无法同时满足该3项技术指标要求的难题。仿真测试平台由仿真中心、激励器、仿真器和显控终端共4个单元构成,具有5种工作方式。激励器采用基于时间序列的面阵场景发生方法,将大视场、高分辨率的仿真场景分割成序列化小视场、标准分辨率的面阵场景;采用光纤网络将面阵场景的视频信号和时序信息同时发送到仿真器,仿真器根据工作方式采用不同的处理方法对视频信号进行处理。测试结果表明,仿真测试平台能够仿真真实机载IRST系统的综合性能、工作方式和接口方式,现已经应用于航电任务软件的联试和航电系统的性能测试。

关键词: 红外搜索跟踪; 仿真测试平台; 激励器; 仿真器; 信息交联; 测试验证

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-637X.2019.08.019

Design of a Simulation Testing Platform for AirborneIRST System

LI Jie¹, SUN Ke-feng²

(1. College of Energy and Architecture, Xi'an Aeronautical University, Xi'an 710077, China;
2. Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710065, China)

Abstract: A new unitized simulation testing platform is designed according to the characteristics of three technical indicators for the airborne Infrared Search and Tracking (IRST) system, which are large field of view, high spatial resolution and high scanning speed. The problem that the traditional simulation system cannot simultaneously meet the requirements of the three technical indicators is effectively solved. The simulation testing platform has five working modes and consists of four subsystems: a simulation center, an actuator, an emulator, and a display and control terminal. The actuator uses the scene generation method based on time sequence to segment the simulation scene with large field of view and high resolution into several sequence-based planar array simulation scenes with small field of view and standard resolution. The video signal and time sequence information of the planar array simulation scenes are sent to the emulator simultaneously by using the fiber network. The emulator adopts different processing algorithms to process the simulation video signal according to the working mode. The performance test results show that the platform can simulate the comprehensive performance, working modes and interface modes of the real airborneIRST system. It has been applied to the joint test of the avionic mission software and the performance test of the avionic system.

Key words: IRST; simulation testing platform; actuator; emulator; communication cross linking; test validation

收稿日期:2019-01-25 修回日期:2019-03-01

基金项目:“十三五”装备预研兵器工业联合基金(6141B010325);
2018 西安航空学院科研基金(2018KY1119)

作者简介:李洁(1977—),女,陕西扶风人,硕士,讲师,研究方向
为控制系统的设计与仿真。

0 引言

机载红外搜索跟踪(Infrared Search and Tracking, IRST)系统是依据红外热成像原理进行目标搜索跟踪的一种系统,通常应用于空域监视、威胁判断、探测来袭导

弹、自动搜索和跟踪目标等作战任务^[1]。与有源探测器(如机载雷达)相比,机载IRST具有隐蔽性好、不怕电子干扰、精度高、低空探测性能好等多种优点^[2],装备用于机载空空火控系统中,实现对空中目标的搜索和跟踪,可昼/夜全天候使用,已经逐步成为战斗机必备的传感器^[3]。

随着系统仿真技术的蓬勃发展,国内外多家科研机构分别研制了不同用途的机载IRST仿真系统,用于部分替代真实机载IRST开展相关实验研究工作,以达到节约科研和生产成本、降低研发风险的目的^[4]。但在目前国内外相关机载IRST仿真系统的研究成果中,用于模拟IRST观瞄/探测场景的仿真视频通常以高清、标清视频或复合视频等常规方式生成和传输^[5-8]。大视场、高空间分辨率、高扫描速度是机载IRST系统的3项重要技术指标^[9],传统仿真系统采用的视频生成和传输方式不能同时满足这3项技术指标要求。

面向工程应用需求,针对机载IRST系统的3项技术指标的特点,本文设计开发了一种单元化结构的新型机载红外搜索跟踪系统仿真测试平台(简称IRST仿真测试平台)。IRST仿真测试平台用于仿真真实机载IRST系统的综合性能、工作方式和接口方式,测试航电系统与光电系统的数据交互性能。在真实机载IRST系统设计阶段,它能够在实验室内提供多种类型的高逼真度野外应用环境,模拟真实机载IRST系统的综合性能和对外接口,支持图像处理算法优化、外部接口调试和综合性能测试工作,缩短研发周期。在与航空电子系统联调联试阶段,它能够适应航空电子全系统在实验室内模拟外场的多模式试验环境,以最低成本支持航空电子全系统的半实物闭环仿真试验。

1 IRST 仿真测试平台的结构

IRST仿真测试平台与真实机载IRST系统的构型相同,由仿真中心、激励器、仿真器和显控终端4个单元组成^[10],其结构如图1所示。各单元之间的信息交互方式如下所述。

1) 仿真中心与激励器之间采用以太网接口方式连接,由仿真中心向激励器发送飞行数据。飞行数据包括载机和20个目标的位置信息和姿态信息。

2) 激励器与仿真器之间采用光纤网络和RS422两种通讯方式。激励器将仿真场景视频信号和当前帧时序信息通过光纤网络同时发送到仿真器,仿真器通过RS422向激励器发送光轴控制信息和工作方式设置信息。

3) 仿真器与显控终端之间有1553B通讯和DVI视频传输2种连接方式。仿真器采用DVI传输方式将

处理后的视频图像发送到显控终端的图像显示器,并通过1553B接收显控终端的扫描中心和工作方式设置信息,向显控终端上报多目标探测或建航信息。

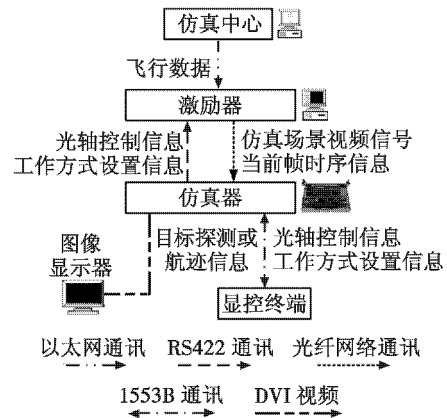


图1 IRST 仿真测试平台结构图

Fig. 1 The configuration diagram of the IRST simulation testing platform

2 IRST 仿真测试平台工作方式

与真实机载IRST系统保持一致,IRST仿真测试平台共设置5种工作方式:大区探测、小区探测、大区搜跟、小区搜跟和单目标跟踪。

在大区探测工作方式下,激励器以 2×9 的面阵仿真场景模拟产生 $60^\circ \times 10^\circ$ 视场的对空点目标特征仿真场景;在小区探测工作方式下,激励器以 2×9 的面阵仿真场景模拟产生 $15^\circ \times 5^\circ$ 视场的对空点目标特征仿真场景。在这两种探测工作方式下,仿真器均能探测整个视场范围内的最多20个目标,并输出拼接完整的全视场压缩视频图像和多目标探测的角度信息。

在大区搜跟工作方式下,激励器以 2×9 的面阵仿真场景模拟产生 $60^\circ \times 10^\circ$ 视场的对空点目标特征仿真场景;在小区搜跟工作方式下,激励器以 2×9 的面阵仿真场景模拟产生 $15^\circ \times 5^\circ$ 视场的对空点目标特征仿真场景。在这两种搜跟工作方式下,仿真器均能探测整个视场范围内的最多20个目标,并建立多目标跟踪建航,输出拼接完整的全视场压缩视频图像和多目标航迹信息。

在单目标跟踪工作方式下,激励器模拟产生 $4^\circ \times 3^\circ$ 视场的对空点目标特征仿真场景,被跟踪目标始终处于仿真场景视场中心,仿真器输出跟踪状态下的视频图像和被跟踪目标角度信息。

3 IRST 仿真测试平台组成单元的设计

3.1 仿真中心

仿真中心产生机载IRST系统工作过程中的目标

和载机的模拟飞行数据。模拟飞行数据包括载机的轨迹坐标和姿态信息、若干个目标的轨迹坐标和姿态信息。仿真中心预生成通过实际飞行采集记录或仿真模拟计算得到的路线数据,并以 40 ms 的周期将当前时刻的目标/载机的位置和姿态信息数据,经以太网向激励器发送,驱动激励器仿真场景中的目标、载机运动。

仿真中心硬件设计采用商用计算机,配置网卡,软件采用 VC++ 环境开发,网络数据通过多媒体定时器以 40 ms 周期性发送。

3.2 激励器

激励器接收仿真中心发送的目标/载机驱动数据,模拟实现目标/载机在预定地理区域三维地形场景中的定量运动,产生空对空观瞄特征的红外激励视频,提供符合机载IRST系统工作状态下观瞄特征的动态仿真场景。激励器响应仿真器的视场光轴控制信息和工作方式设置控制信息,采用基于时间序列的面阵场景发生方法,产生空对空特征的视频信号,即红外目标、天空背景、干扰源等动态仿真场景视频;同时,激励器将仿真场景转换成序列化视频信号,并将视频信号和当前帧时序信息通过光纤网络发送给仿真器。

3.2.1 激励器硬件设计

激励器硬件由高性能图形工作站组成,内部配置高性能图像发生卡、网络通讯卡、光纤网络通讯卡和串口通讯卡。激励器硬件组成如图 2 所示。

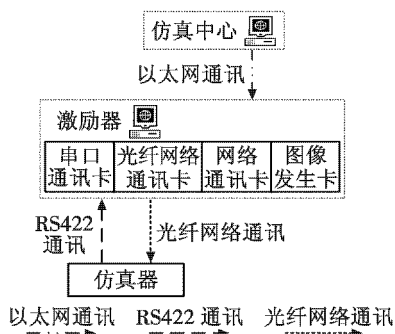


图 2 激励器硬件组成

Fig. 2 The hardware structure of the actuator

3.2.2 激励器软件设计

激励器软件按照功能可划分为图像发生、视频输出、网络通讯、串口通讯 4 大模块。软件设计采用 VC++ 开发环境进行集成开发,各模块功能由对应功能软件设计实现。图像发生模块采用 Vega 仿真平台开发,可实现高逼真度的红外特征图像生成^[11]。

基于时间序列的面阵场景发生是激励器软件设计的重点。通过激励器软件生成的基于时间序列的面阵场景发生窗口布局如图 3 所示。

基于时间序列的面阵场景发生窗口采用 2 × 9 的

面阵场景发生方式,在大区探测和大区搜跟工作方式下,模拟产生 60° × 10° 视场的对空点目标特征仿真场景,每个窗口视场大小为 6.7° × 5°,每个窗口视点位置相同,朝向彼此相邻,无缝且无重合地完全覆盖 60° × 10° 视场;在小区探测和小区搜跟工作方式下,模拟产生 15° × 5° 视场的对空点目标特征仿真场景,每个窗口视场大小为 1.7° × 2.5°,每个窗口视点位置相同,朝向彼此相邻,无缝且无重合地完全覆盖 15° × 5° 视场。

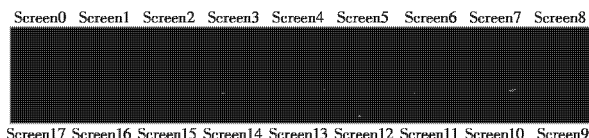


图 3 基于时间序列的面阵场景发生窗口布局

Fig. 3 The layout of planar array scenes generation window based on the time sequence

阵列窗口由左上到右上,然后由右下到左下,依次编号为 Screen0, Screen1, ..., Screen17;激励器以 40 ms 的周期依次将 Screen0 ~ Screen17 的仿真场景视频信号和当前帧时序信息(以窗口编号代替)通过光纤网络同时发送到仿真器,发送瞬间保证每个窗口分辨率为 768 × 576 像素。反复循环即可实现对全视场范围的面阵场景扫摆式仿真。

激励器场景仿真软件控制单个面阵场景的视频图像以 40 ms 的周期刷新,并按时间序列更新观察者视点朝向,保证了机载IRST系统探测的扫描速度要求;采用基于时间序列的面阵场景发生方法,保证了图像信息发送的时序稳定性,从而使后续的图像处理、信号处理和多目标探测、建航也具有时序稳定性。

3.3 仿真器

仿真器对激励器产生的视频信号进行信号处理和数据处理,输出与真实机载IRST系统相符的图像及目标探测信息。仿真器输出的多目标探测、航迹、跟踪信息和 DVI 视频,可提供给航电任务软件做进一步的显示及处理。在进行图像处理过程中,仿真器还会将接收到的显控终端的光轴控制信息和工作方式设置信息传送至激励器。

为保证与真实机载IRST系统性能相匹配,仿真器采用基于PowerPC的硬件环境和基于VxWorks的软件环境实现对激励器视频的实时处理以及多目标检测和建航功能。

3.3.1 仿真器硬件设计

仿真器硬件构型设计如图 4 所示,仿真器硬件采用基于PowerPC单板机的构架形式,包括 2 块 SVM-183 主板。SVM-183(1)号主板装载 PMC704 显卡和 FC FX400 光纤网络通讯卡,SVM-183(2)号主板装载 PMC1553B 通讯卡和 FC FX400 光纤网络通讯卡。

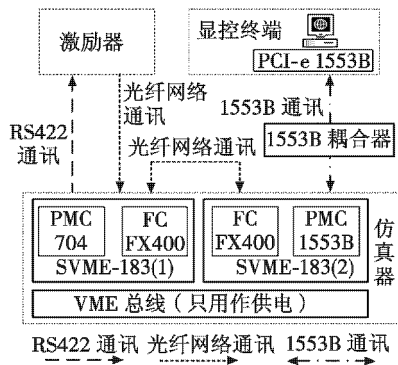


图 4 仿真器硬件构型

Fig. 4 The hardware structure of the emulator

3.3.2 仿真器软件信息流

仿真器软件基于 VxWorks 嵌入式实时操作系统开发,软件设计信息流如图 5 所示。

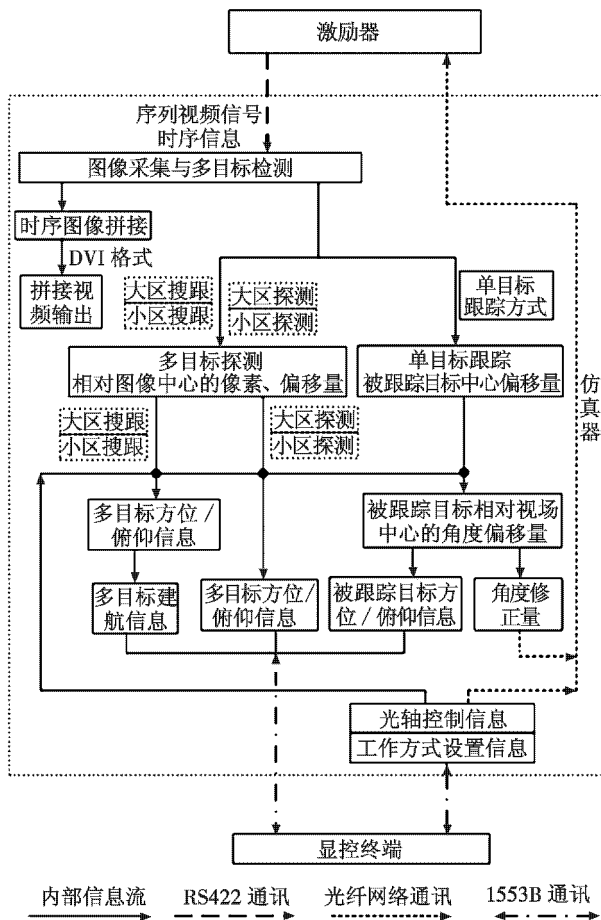


图 5 仿真器软件设计信息流

Fig. 5 The information flow of the emulator software

流程描述如下。

- 1) 仿真器接收激励器发送的仿真场景视频信号和当前帧的时序信息。
- 2) 在大区探测、小区探测、大区搜跟、小区搜跟工作方式下,保持 18 幅帧图像信息的缓存空间,采用“进

一退一”的方式对相邻的 18 幅帧图像信息按照时间进行排序,即每接收一帧视频信号,就将已经排序完成的帧视频信号退出缓存空间。

3) 在大区探测、小区探测工作方式下,对排序后的图像进行多目标探测。目标探测信息首先得到多目标相对图像中心的像素偏移量,根据光轴控制信息和工作方式设置信息,计算得到各探测目标的方位、俯仰信息,通过 1553B 总线上报至显控终端。同时,根据帧时序信息,将处理后的 18 幅帧图像拼接还原成全视场场景图像,进行压缩后以 DVI 视频方式发送至显控终端的图像显示器。

4) 在大区搜跟、小区搜跟工作方式下,对排序后的图像进行多目标探测和建航。目标探测信息首先得到多目标相对图像中心的像素偏移量,根据光轴控制信息和工作方式设置信息,计算得到各探测目标的方位、俯仰信息,并通过多目标建航算法,建立多目标航迹信息,通过 1553B 总线上报至显控终端。同时,根据帧时序信息,将处理后的 18 幅面阵视频拼接还原成全视场场景图像,进行压缩后以 DVI 视频方式发送至显控终端的图像显示器。

5) 在单目标跟踪工作方式下,对当前帧图像进行多目标检测。目标探测信息首先得到被跟踪目标相对图像中心的像素偏移量,根据光轴控制信息和工作方式设置信息,计算得到视场中心的方位、俯仰修正值,通过光纤网络通讯发送至激励器,以修正仿真场景视场中心方位、俯仰角度,生成被跟踪目标上报信息,通过 1553B 总线上报至显控终端。同时,将处理后的当前视频图像以 DVI 视频方式直接发送至显控终端的图像显示器。

6) 在进行上述信息处理过程中,仿真器同时通过 1553B 总线接收显控终端的光轴控制信息(包括视场中心方位、俯仰信息)和工作方式设置信息(包括大区、小区设置信息);光轴控制信息和工作方式设置信息用于多目标方位、俯仰角度的计算,并通过光纤网络发送至激励器,以控制场景发生的视场中心和大小。

激励器和仿真器两个部分实现了机载IRST系统的综合性能和接口模拟功能。

3.4 显控终端

显控终端用于模拟航电系统的显控操作环境,包含图像显示器和二维态势显示端。图像显示器显示仿真器输出的 DVI 视频图像,二维态势显示端显示目标探测和航迹信息。显控终端采用人机交互界面设置仿真系统工作方式,实现人机界面的操作控制。

显控终端硬件由商用工控机组成,内置高性能显卡和 PCI-e 1553B 通讯卡。

显控终端软件按照功能可划分为二维态势显示、人机交互界面和 1553B 通讯 3 个模块,各模块功能由对应功能软件模块设计实现。显控终端界面设计如图 6 所示。

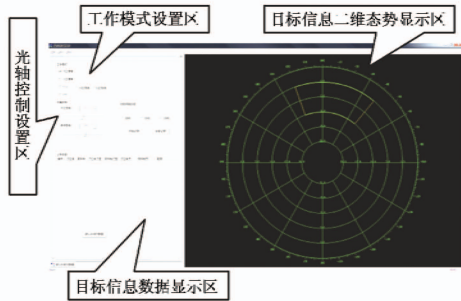


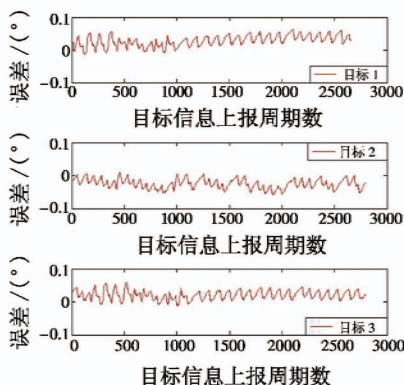
图 6 显控终端界面

Fig. 6 The interface of the display and control terminal

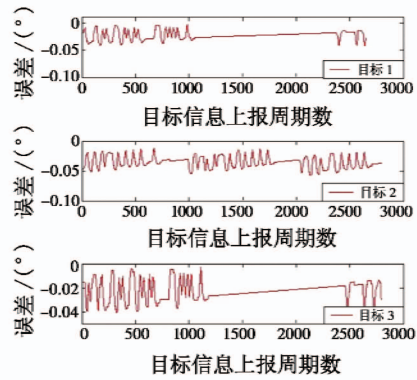
4 综合性能测试验证

IRST 仿真测试平台最为重要的技术指标是在多目标搜跟工作状态下多目标的轨迹建航精度^[12]。选取计算流程最为复杂的大区搜跟工作方式,以多目标建航精度测试为例,说明 IRST 仿真测试平台的信息流和处理算法的有效性。

仿真过程中,在激励器端同时加入 3 个目标,用仿真数据计算理论的目标探测信息(理论方位值、俯仰值)与仿真器输出的测试目标探测信息(实际探测方位值、俯仰值)的相对偏差作为多目标建航误差,拟合理论与实际的 3 对数据,相对误差最小的则认为是理论数据与实际上报数据匹配成为一组。图 7 给出了目标 1~3 在多目标建航工作状态下的方位、俯仰建航误差统计曲线,图中,横坐标是测试时的目标信息上报周期数(每 40 ms 一个上报周期),纵坐标是测试的误差值(单位:°)。从测试结果统计得出,方位最大误差 1.117 4°,最大平均误差 -0.905 2°;俯仰最大角度误差 1.021 0°,最大平均误差 -0.651 4°,建航精度优于真实机载 IRST 的技术指标要求。



a 目标 1~3 航迹方位误差图



b 目标 1~3 航迹俯仰误差图

图 7 多目标建航精度测试结果

Fig. 7 The test result of multiple target track precision

由测试结果可以看出,IRST 仿真测试平台具有较高的信号处理和数据处理精度。同时,由于构型设计和工作方式设计与真实机载 IRST 系统保持一致,IRST 仿真测试平台能够提供与真实机载 IRST 系统等效的信号处理、数据处理流程和对外接口关系,具备与真实机载 IRST 系统相同的综合性能,能够在实验室内替代真实机载 IRST 系统参与航电系统的联调联试。

5 结论

针对真实机载 IRST 系统的技术指标特点,IRST 仿真测试平台采用基于时间序列的面阵场景发生方法,将大视场、高分辨率场景分割成序列化小视场、标准分辨率的面阵场景,并保证面阵场景的顺序更新速度,利用光纤网络同时发送面阵仿真场景视频信号和当前帧时序信息,不仅很好地解决了大视场、高空间分辨率和扫描速度 3 项技术指标相互制约的问题,同时也解决了图像信息传输的时序不稳定问题。IRST 仿真测试平台经过测试,达到了仿真真实机载 IRST 系统综合性能和接口的功能要求,实现的具体技术指标为:空间分辨率 0.16 mrad,扫描速度 80 (°)/s,双视场大小分别是 60°×10°和 15°×5°,满足真实机载 IRST 系统的技术指标要求,现已成功应用于航电任务软件的联试和航电系统的性能测试。

参考文献

[1] 刘忠领,于振红,李立仁,等. 红外搜索跟踪系统的研究现状与发展趋势[J]. 现代防御技术,2014,42(2): 95-101.
 [2] 张靖,李迎旭,刘婧逸. 球载雷达与红外联合探测系统研究[J]. 现代雷达,2018,40(5):8-12.
 [3] 杨百剑,万欣. 新一代机载红外搜索跟踪系统技术发展分析[J]. 激光与红外,2011,41(9):961-964.

(下转第 110 页)

对当前帧点云进行处理,获得负障碍的检测结果如图 7b 中蓝色线条所示,只检测出 1 个负障碍。对前一帧点云进行处理,结果如图 7c 所示,检测出 2 个负障碍。利用 IMU 将前一帧历史点云数据投影到当前坐标系,获得两帧数据的融合,如图 7d 所示,检测出 3 个负障碍,检测出行驶道路中的所有负障碍。

通过上述实验结果图可以看出,IMU-LiDAR 点云融合方法可以在时间和空间维度实现多帧点云数据的融合,充分利用了过去和现在的信息,相比于融合前的检测方法,提高了对负障碍的检测精度。

5 结束语

本文针对激光雷达在负障碍检测过程中,点云数据稀疏导致对负障碍检测和跟踪困难的问题,提出了一种基于 IMU-LiDAR 点云融合方法。该方法应用 IMU 获得激光雷达的位姿变化,采用四元数法求出历史帧点云数据到当前帧的位置坐标转换矩阵,将历史点云数据投影到当前坐标系下,获得密集点云。实验验证结果表明,本文方法能够实现激光雷达点云多帧融合,以较低的硬件成本实现复杂激光雷达的功能,能够提高负障碍的检测精度,对激光雷达环境感知的研究具有实际应用价值。

参考文献

- (上接第 105 页)
- [4] 何杰. 机载红外搜索跟踪系统研究与仿真实现[D]. 南京:南京航空航天大学,2014.
 - [5] 王辉,周振彪,于劲松,等. 红外搜索跟踪系统的半实物仿真系统设计[J]. 计算机测量与控制,2012,20(6):1672-1675.
 - [6] 杨旭,何江宁,陈洪亮,等. 一种机载红外搜索跟踪系统多目标跟踪精度测试系统设计[J]. 电光与控制,2017,24(4):80-84.
 - [7] 吴学铭,王海晏,寇添,等. 红外搜索跟踪系统测试[J]. 红外与激光工程,2017,46(5):0504003-1-0504003-7.
 - [8] 陈冲,高晓光,郑景嵩. 基于层次化的机载红外搜索跟踪系统仿真[J]. 火力与指挥控制,2010,35(10):19-23.
 - [9] 石永山,张尊伟. 红外搜索与跟踪系统发展综述[J]. 光电技术应用,2016,31(4):11-14.
 - [10] 孙科峰,高教波,王军,等. 基于时间序列面阵场景的机载红外搜索跟踪仪仿真系统:中国,CN201510518313.0 [P]. 2017-10-17.
 - [11] 王志刚,付欣,尚举邦. 基于 Vega 的红外目标成像仿真研究[J]. 光电技术应用,2013,28(3):73-76.
 - [12] 王领,于雷,寇添,等. 机载红外搜索跟踪系统探测性能评测标定[J]. 国防科技大学学报,2015,37(5):192-198.
 - [1] 宁火明. 未知环境中移动机器人异常检测及负高度障碍检测[D]. 长沙:中南大学,2007.
 - [2] 赵一鸣,李艳华,商雅楠,等. 激光雷达的应用及发展趋势[J]. 遥测遥控,2014,35(5):4-22.
 - [3] 刘家银,唐振民,王安东,等. 基于多激光雷达与组合特征的非结构化环境负障碍物检测[J]. 机器人,2017,39(5):638-651.
 - [4] SHANG E K, AN X J, WU T, et al. LiDAR based negative obstacle detection for field autonomous land vehicles[J]. Journal of Field Robotics, 2015, 33(5):591-617.
 - [5] SHANG E K, AN X J, LI J, et al. A novel setup method of 3D LiDAR for negative obstacle detection in field environment[C]//IEEE 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems, 2014:1436-1441.
 - [6] 蒋钰,湛海云,岑汝平. 基于四元数的四旋翼飞行器姿态解算算法[J]. 制造业自动化,2015,37(23):77-80.
 - [7] SERBAN R, WANG S K, LO M W, et al. Halo orbit mission correction maneuvers using optimal control[J]. Automatica, 2002, 38(4):571-583.