

研究与试制

DOI:10.19453/j.cnki.1005-488x.2022.02.005

机载电子设备印制板抗振设计优化

唐光明^{1,2*}, 单亚军^{1,2}, 舒礼邦¹, 盛 陈^{1,2}

(1. 中国电子科技集团公司第五十五研究所, 南京 210016; 2. 国家平板显示工程技术研究中心, 南京 210016)

摘 要: 在机载振动环境下, 通过对印制板和其安装面板进行动力学仿真分析及试验研究, 总结不同加固设计方式对机载电子设备印制板上芯片振动响应的影响, 得出在安装孔处增加橡胶减振器, 对降低印制板上芯片振动响应量级最有效。研究分析结果可针对性地指导印制板电子器件的布局及安装结构设计。

关键词: 机载电子设备; 印制板; 抗振; 橡胶减振器

中图分类号: TN873+.93 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-488X(2022)02-0107-05

Optimization of Anti-vibration Design for PCB of Airborne Electronic Equipment

TANG Guangming^{1,2}, SHAN Yajun^{1,2}, SHU Libang¹, SHENG Chen^{1,2}

(1. The 55th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Nanjing 210016, CHN; 2. National Flat Panel Display Engineering Research Center, Nanjing 210016, CHN)

Abstract: In airborne vibration environment, the dynamic simulation analysis and experimental study of the PCB and its installation panel were carried out. The influence of different reinforcement design methods on the vibration response of the chip on the PCB of airborne electronic equipment was summarized, and it was concluded that adding rubber shock absorber at the mounting hole was the most effective way to reduce the vibration response of the chip on the PCB. The research and analysis above could guide the layout and installation structure design of PCB electronic devices.

Key words: airborne electronic equipment; printed circuit board (PCB); anti-vibration; rubber shock absorber

引 言

印制板是机载电子设备的重要组成部分, 对其进行抗振设计优化有助于提高机载电子设备的可

靠性及环境适应性。在引起机载电子设备失效的环境因素中, 振动因素约占27%, 其中印制板上芯片因振动应力疲劳失效为主要原因^[1], 所以文章研究对印制板及其安装面板进行抗振设计优化, 降低

收稿日期: 2021-10-24

作者简介: 唐光明(1985—), 男, 工程师, 研究方向为加固液晶显示器结构设计; (E-mail: 723651826@qq.com)

单亚军(1992—), 男, 工程师, 研究方向为加固液晶显示器结构设计;

舒礼邦(1986—), 男, 工程师, 研究方向为振动试验与结构分析。

*通讯作者

印制板上芯片在机载振动环境下的振动响应,从而延长印制板上芯片的使用寿命。

1 理论分析

在振动过程中,印制板上的固有频率与激励频率较为接近时,容易发生共振,引起印制板上芯片产生过大的振动应力,引起引脚焊接处应力集中,甚至超过其强度及疲劳极限,造成芯片的引脚及焊点断裂的情况^[2]。

在原设计中,母板通过 10 个螺钉固定在安装面板上,而每块核心板分别通过 4 组螺钉及螺母与母板固定,中间增加支撑柱,主芯片在核心板近似中心位置,如图 1 所示。

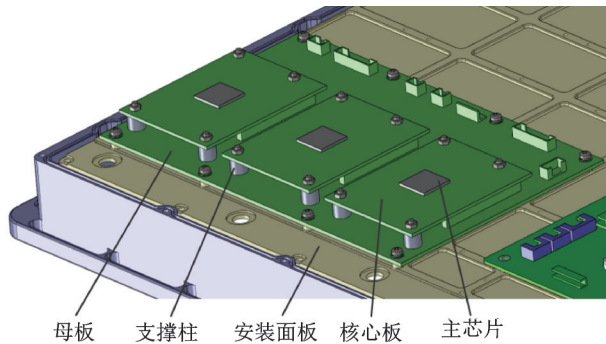


图 1 印制板安装方式示意图
Fig.1 Diagram of PCB installation

整机产品是安装在某型螺旋桨飞机上的电子设备,其振动载荷主要由螺旋桨诱发,其振动谱型由一个宽带叠加一些窄带尖峰组成,振动载荷通过机身传递到显控台,再传递到电子设备上,最后通过安装面板传递到印制板上,其响应呈现放大趋势。

当电子设备在机载环境下工作时,可将飞机上的振动视为对设备产生的基础激励。基础振动通过受迫振动系统传递到电子设备的比值称为振动传递率,其中力传递率及绝对运动传递率是相同的,隔力和隔幅有共同的规律,系统力传递率或绝对运动传递率如下:

$$T_f = T_d = T = \sqrt{\frac{1 + (2\xi\lambda)^2}{(1 - \lambda^2)^2 + (2\xi\lambda)^2}} \quad (1)$$

式中: T_f 为力传递率,即传递力幅值与激振力幅值之比; T_d 为绝对运动传递率,即传递位移幅值与激振位移幅值之比; ξ 为阻尼比; λ 为频率比,即激振频率与系统固有频率之比。根据公式(1)绘出系统传递率的幅频特性曲线见图 2 所示。

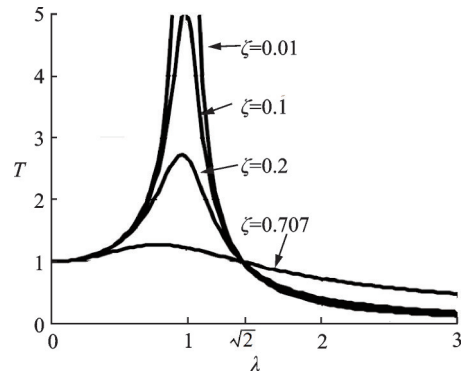


图 2 系统传递率的幅频特性曲线

Fig.2 The amplitude-frequency characteristic curves of the system transmissibility

从图 2 中可知传递率 T 与频率比 λ 的关系,低频段(即 $0 \leq \lambda < 1$)时振源激励能量全部传递到电子设备上,并且出现局部响应放大;共振段(即 $\lambda \approx 1$)时系统产生共振现象,响应明显放大;高频段(即 $\lambda > \sqrt{2}$)时系统才处于减振区;兼顾系统稳定性和成本等因素,通常取 $\lambda = 2.5 \sim 5$ 。阻尼比 ξ 与传递率 T 的关系如下:当 $\lambda < \sqrt{2}$ 时,阻尼比越大,传递率越小,共振处峰值越小;当 $\lambda > \sqrt{2}$ 时,阻尼比的增加反而导致传递率增大,所以选择合适的阻尼比可抑制系统中振动作用下的振幅及载荷,尤其在共振区最为明显^[3]。

2 仿真分析

根据电子设备在飞机上的安装位置,测量显控台上输入给电子设备的振动激励谱,利用有限元仿真软件建立整机简化模型,按照输入给电子设备的随机振动谱进行动力学仿真计算。

母板长 220 mm,宽 140 mm,厚度 2 mm,核心板长 83 mm,宽 63.8 mm,厚度 1.8 mm,建模中使用材料的力学性能参数见表 1 所示^[4-5]。

表 1 各类材料的力学性能参数

Tab.1 Mechanical performance parameters of various materials

	密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	弹性模量/GPa	泊松比
母板及核心板	950	1.2	0.42
主芯片	1 040	1.07	0.410 1
支撑柱	2 700	71	0.33

通过 ANSYS Workbench 软件对印制板进行有限元建模,并对相关模型进行等效简化,去除不影响整体结构的频率及振型的零部件及特征,经过简化后的有限元网格划分模型见图 3 所示,该

模型有 96062 个单元,525081 个节点,单元类型为 SOLID186,母板上 10 个安装孔作为固定约束。通过计算得出印制板的最大位移及应力值,见图 4 所示。

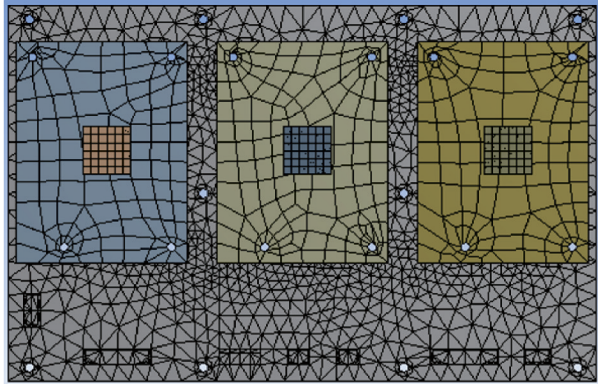
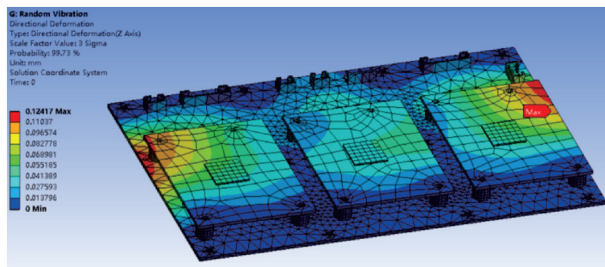
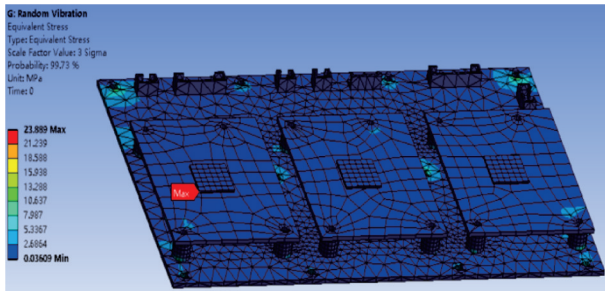


图3 原设计方案印制板有限元网格划分模型图

Fig.3 The PCB finite element meshing model of original design scheme



(a) 原设计方案印制板位移分布图



(b) 原设计方案印制板应力分布图

图4 原设计方案印制板位移及应力分布图

Fig.4 The PCB maximum displacement and stress distribution diagrams of original design scheme

仿真结果显示,BGA封装主芯片边角焊盘位置应力集中,最大位移值为 0.12 mm,最大应力值为 23.89 MPa,小于 BGA 封装无铅焊料的屈服强度 54 MPa,但较为接近。从理论上分析,疲劳破坏比瞬态应力更容易造成故障,往往具有突发性,所以提出对印制板和其安装面板进行设计优化,降低主芯片疲劳破坏的风险。

3 设计优化方案

在电子设备结构设计中,从显控台输入的随机激励谱到达 BGA 封装芯片要经过多层结构传递,由图 2 知,刚性连接结构能量传递必然会造成传递率 T 大于 1。结合系统能量传递特性提出优化印制板及其安装面板的结构设计,减小主芯片在机载环境下的振动放大量级,从而延长其疲劳寿命。

方案一:将核心板分别通过 4 个螺钉直接固定在安装面板上,减少母板到核心板的能量传递层数,并且增加母板的固定约束,提高印制板的整体刚性。

方案二:对安装面板结构进行优化设计,通过增加加强筋,提高安装面板的整体刚性,让其固有频率避开输入激励的窄带峰,避免共振放大;

方案三:在母板与安装面板之间增加橡胶减振器,对印制板整体进行隔振处理,其橡胶减振器的组成及外形尺寸见图 5 所示(单位为 mm),橡胶减振器由支柱、橡胶垫及金属垫片组成^[6],橡胶垫的工作温度范围为 $-45\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+65\text{ }^{\circ}\text{C}$,传递率小于 4,阻尼比为 0.12~0.18。

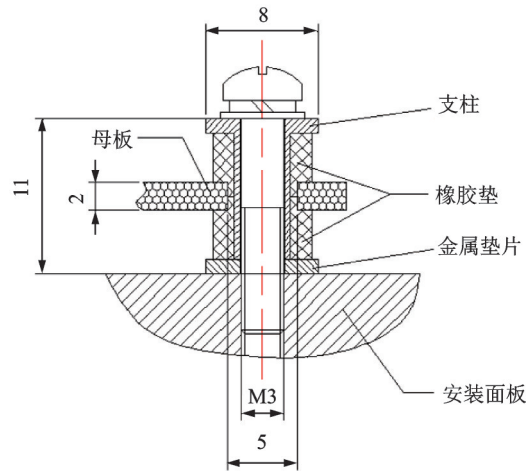


图5 橡胶减振器的组成及外形尺寸图

Fig.5 The composition and dimensions of the rubber shock absorber

4 优化方案试验验证

根据以上三种优化方案分别对 3 台样机进行对比设计改进,并与原设计方案样机试验结果进行对比分析。经多次测试,试验结果均较为接近,图 6~9 为其中一组测试数据作为参考。

试验结果显示,采用以上三种设计优化方案后 BGA 封装主芯片及母板上的振动响应加速度均有

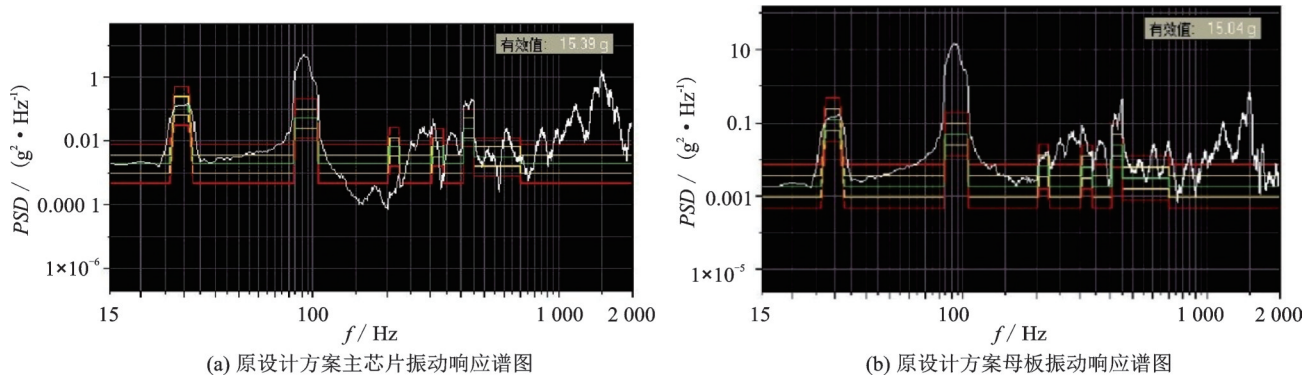


图 6 原设计方案主芯片及主板振动响应谱图

Fig.6 The vibration response spectrum of the main chip and the motherboard of the original design square

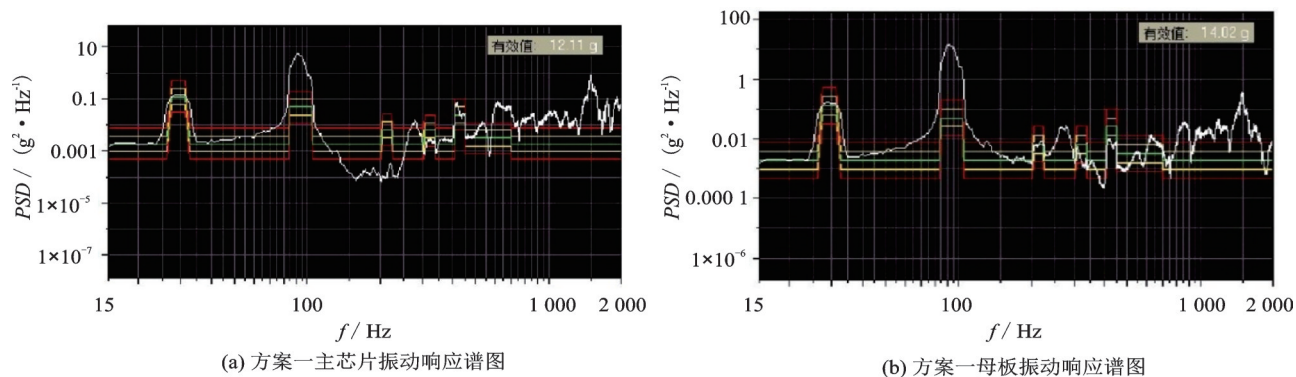


图 7 方案一主芯片及主板振动响应谱图

Fig.7 The vibration response spectrum of the main chip and the motherboard of the scheme 1

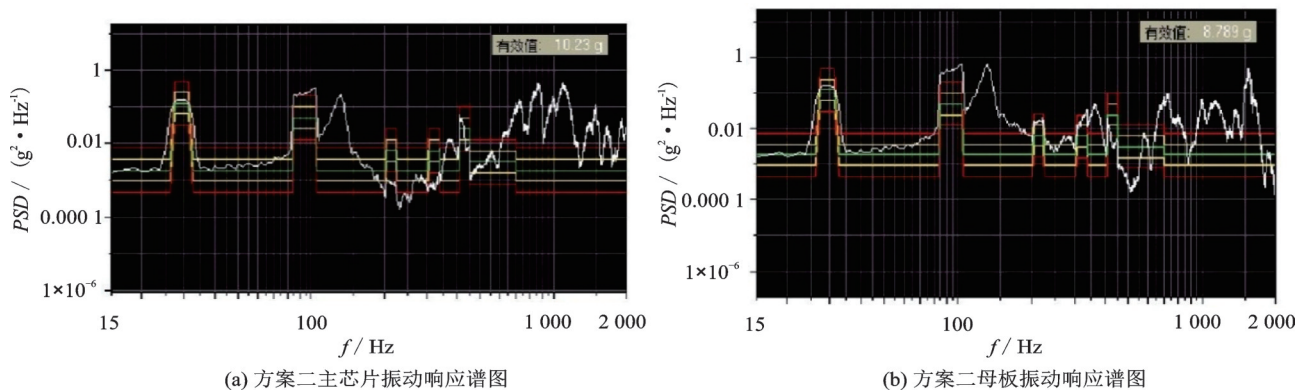


图 8 方案二主芯片及主板振动响应谱图

Fig.8 The vibration response spectrum of the main chip and the motherboard of the scheme 2

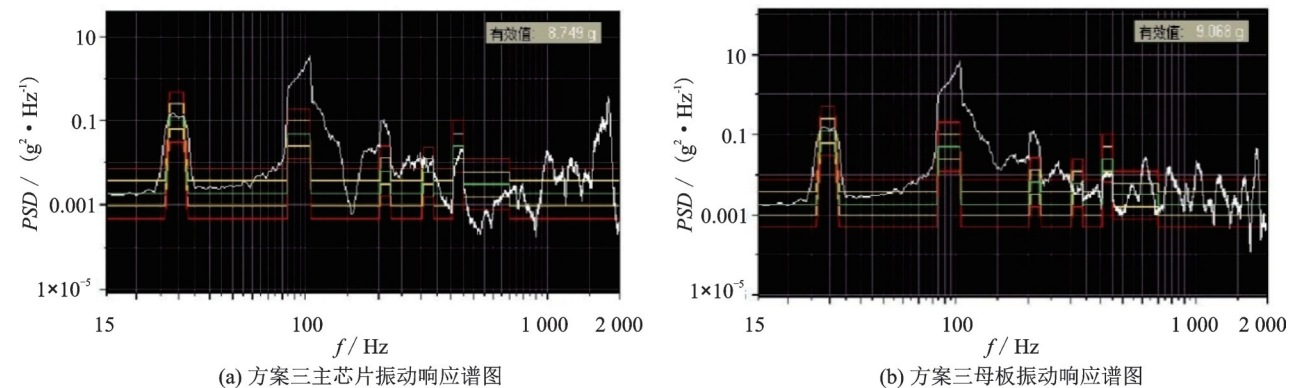


图 9 方案三主芯片及主板振动响应谱图

Fig.9 The vibration response spectrum of the main chip and the motherboard of the scheme 3

明显的下降,具体试验结果经过多次测量取平均值,见表2所示。

表2 优化方案与原设计方案试验结果对比

Tab.2 Comparison of the experimental results between the optimized schemes and the original design scheme

	原设计 方案	优化方 案一	优化方 案二	优化方 案三
主芯片加速度均方根值/g	15.658	12.083	10.428	8.537
母板加速度均方根值/g	14.950	14.130	8.828	8.912

从表2知,采用三种优化方案后BGA封装主芯片及母板上的加速度均方根值均有显著下降,放大量级得到抑制。经过进一步仿真,BGA封装主芯片的应力值同样下降明显,满足机载电子设备的使用寿命要求。

5 结 论

通过理论分析、仿真及试验等研究,结果证明,

三种优化方案均对印制板在机载振动条件下产生的共振放大起到显著的抑制效果。同样可根据印制板具体使用环境再进行其他优化改进措施,如增加印制板厚度及安装孔数量、对BGA封装主芯片进行点胶加固等等,将其固有频率避开窄带峰,从而降低焊点振动时所受应力,延长印制板寿命。

参 考 文 献

- [1] 李朝旭. 电子设备的抗振动设计[J]. 电子机械工程, 2002, 18(1):51-55.
- [2] 薄玉奎. 某直升机机载设备印制板振动试验失效分析[J]. 电子机械工程, 2011, 27(4):13-15.
- [3] 胡海岩. 机械振动基础 [M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2005.
- [4] 周嘉诚, 刘 芳. 基于模态分析的印制电路板抗振优化设计[J]. 电子元件与材料, 2016, 35(12):75-80.
- [5] 高驰名, 刘 莹, 马建章. ANSYS在印制电路板组件随机振动分析中的应用[J]. 无线电工程, 2015, 45(7):95-98.
- [6] 季 馨, 王树荣. 电子设备振动环境适应性设计[M]. 北京:电子工业出版社, 2012.
- [7] 张剑华, 王燕燕, 王曾媛, 等. 单目同时定位与建图中的地图恢复融合技术[J]. 中国图象图形学报, 2018, 23(3):372-383.
- [8] Tao X, Zhu B, Xuan S, et al. A multi-sensor fusion positioning strategy for intelligent vehicles using global pose graph optimization[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2021, 71(3):2614-2627.
- [9] Jing W, Shi Z, Zhong Y. Visual SLAM incorporating wheel odometer for indoor robots[C]. 第36届中国控制会议论文集, 大连, 2017:229-234.
- [10] 曹剑飞, 余金城, 潘尚杰, 等. 采用双视觉里程计的SLAM位姿图优化方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2021, 33(8):1264-1272.
- [11] Strasdat Hauke, Montiel J M M, Davison Andrew J. Visual SLAM: Why filter?[J]. Image and Vision Computing, 2012, 30(2):65-77.
- [12] Mur-Artal Raúl, Juan D Tardós. Visual-Inertial monocular SLAM with map reuse[J]. IEEE Robotics & Automation Letters, 2016, 2(2):796-803.
- [13] Qin Tong, Li Peiliang, Shen Shaojie. VINS-Mono: A robust and versatile monocular visual-inertial state estimator[J]. IEEE Transactions on Robotics, 2018, 34(4):1004-1020.
- [14] 王 京. 基于传感器数据融合的单目视觉SLAM方法研究[D]. 北京:清华大学, 2017.
- [15] Qin T, Cao S, Pan J, et al. A general optimization-based framework for global pose estimation with multiple sensors.[J]. Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst. 2019, 1901:03642.
- [16] Horn B K P. Closed-form solution of absolute orientation using unit quaternions[J]. Journal of the Optical Society of America A: Optics and Image Science, and Vision, 1987, 4(4):629-642.
- [17] Geiger A, Lenz P, Stiller C, et al. Vision meets robotics: The KITTI dataset[J]. International Journal of Robotics Research, 2013, 32(11):1231-1237.

(上接第106页)

法,将GNSS与单目视觉进行互补,GNSS测量信息不仅可以对视觉地图进行具有地理信息的最优尺度估计,而且抑制了单目视觉的误差积累,在无闭环的场景下可以进行高精度的视觉建图,单目视觉对GNSS的定位信息进行平滑并弥补了GNSS信号在被拒止情况下无法定位的不足。除此之外,此系统也可以通过地图重载的方式实现具有地理信息的零漂移匹配定位。实验表明,文中所提出的算法在室外环境下可以准确构建全局一致的视觉地图,解决单目SLAM存在的一部分问题。

但是GNSS只能提供高精度的全局位置坐标,无法提供姿态信息,因此融合惯性导航系统来进一步提高SLAM建图的鲁棒性和精确度是下一步研究的方向。

参 考 文 献

- [1] 陈维兴,王琛,陈斌. 点线融合双目定位与建图多维提升方法[J]. 计算机应用研究, 2022, 39(3):956-960.
- [2] 郭金辉,陈秀万,王媛. 视觉惯性SLAM研究进展[J]. 火力与指挥控制, 2021, 46(1):1-8.
- [3] 宋玉琴,熊高强,曾贺东,等. 多平面点优化的单目SLAM方法[J]. 国外电子测量技术, 2021, 40(10):40-45.
- [4] Mur-Artal R, Montiel J M M, Tardos J D. ORB-SLAM: A versatile and accurate monocular SLAM system [J]. IEEE Transactions on Robotics, 2017, 31(5):1147-1163.
- [5] 程 珉,陈临强,杨全鑫. 基于改进ORB特征的单目视觉SLAM算法[J]. 计算机应用与软件, 2021, 38(10):242-248+266.
- [6] 应文健,潘林豪,余 博,等. 融合点线特征的双目视觉-惯导SLAM算法[J]. 海军工程大学学报, 2021, 33(6):106-112.