

航空装备测试仪器应用验证方法研究

刘艳辉¹, 封锦琦¹, 苗学问²

(1. 航空工业北京长城航空测控技术研究所, 北京 100111; 2. 中国人民解放军 93184 部队, 北京 100076)

摘要:针对航空装备用测试仪器应用验证需求,基于系统工程方法,提出了夯实基础、统筹推进、分类分阶段验证的验证工作思路。研究确定了调研应用验证需求、构建验证指标体系、明确验证要素、建立验证程序、实施验证试验、给出综合评价结论的应用验证流程。遵循满足航空装备要求、结合使用场景、聚焦关键指标等原则,提出了仪器功能性能、质量与可靠性、环境适应性等基础级和适装性、软硬件兼容性等系统级验证内容,以及相应的验证方法,可为国产测试仪器应用验证工作提供技术支持。

关键词:航空装备;测试仪器;应用验证内容;应用验证方法

中图分类号:TP206 文献标识码:A 文章编号:1000-8829(2021)05-0032-05

doi:10.19708/j.ckjs.2021.05.006

Application Verification Research for Aero Equipment Test Instrument

LIU Yan-hui¹, FENG Jin-qi¹, MIAO Xue-wen²

(1. AVIC Beijing Changcheng Aeronautical Measurement and Control Technology Research Institute, Beijing 101111, China;

2. Unit 93184 of the PLA, Beijing 100076, China)

Abstract: In response to the application verification requirements of test instruments for aero equipment, based on the system engineering method, the verification work ideas of solidifying foundation, overall planning, classification and step-by-step verification are proposed. Application verification process is established as follows: investigating application verification requirements, building verification index systems, clarifying verification elements, establishing verification procedures, carrying out verification test, and reaching comprehensive evaluation conclusions. Following the principles of meeting aviation equipment requirements, closely integrating application scenarios, and focusing on key indicators, system level verification contents and corresponding verification methods are proposed. These system level verification contents include instrument functional performance, quality and reliability, environmental adaptability, software and hardware compatibility. This research can provide technical support for the verification of domestic test instruments.

Key words: aero equipment; test instrument; application verification contents; application verification methods

测试仪器作为装备研制、生产、外场使用的测试保障与质量卫士,在确保武器装备系统性能、保证装备完好率方面发挥着举足轻重的作用^[1]。随着航空装备的发展建设,对配套测试仪器的功能、性能、质量与可靠性、环境适应性、软硬件兼容性等提出了更高的要求。

国外测试仪器产业技术基础好,应用验证工作充分,在航空领域应用中取得了较好的效果。近年来,国

内测试仪器技术水平取得了长足进步,在研制保障、外场使用中得到越来越广泛的应用,但由于研制阶段缺乏需求场景的识别与输入、鉴定后的应用验证不充分,在使用中逐步暴露出了功能覆盖不全、兼容性不好、稳定性与可靠性差等问题。当前,为适应航空装备用国产化测试仪器需求,推动自主可控产业链发展建设,在提高仪器研制能力基础上,亟需基于实际应用场景,全

收稿日期:2021-04-19

引用格式:刘艳辉,封锦琦,苗学问.航空装备测试仪器应用验证方法研究[J].测控技术,2021,40(5):32-36.

LIU Y H, FENG J Q, MIAO X W. Application Verification Research for Aero Equipment Test Instrument[J]. Measurement & Control Technology, 2021, 40(5): 32-36.

面系统地开展应用验证工作,持续提升国产仪器设备的适装能力,推进国产测试仪器在装备研制生产和外场使用保障中的使用率。

测试仪器应用验证是在装备实际使用条件或接近实际使用条件下,分类别、分层级地开展适装性、产品稳定性、环境适应性、质量可靠性等一系列试验、分析、评估和质量提升工作,以确定测试仪器满足使用要求。测试仪器应用验证与基于任务书考核产品是否达标的鉴定试验不同,其目的是考察仪器在鉴定考核通过后在预期的使用环境下的适应性,一般应由验证机构或用户组织实施,通过分析应用场景和测试仪器特点构建应用验证指标体系,逐级开展、逐项验证。然而,如何科学有效地开展军用测试仪器应用验证工作,尚缺乏理论与方法支撑,是我国仪器研制单位、检测机构 and 用户当前面临的困惑。

本文从航空装备需求出发,分析装备需求与验证

指标的传递关系,运用系统工程方法,提出航空装备测试仪器应用验证的内涵、工作思路,设计应用验证工作流程,明确应用验证主要内容以及基本的评价方法,为我国军用测试仪器应用验证工作的组织管理、工作思路和验证方法提供借鉴。

1 应用验证工作思路

测试仪器具有基础性、小批量、多规格等特点,加之测试仪器形态各异、使用场景复杂,既有独立使用的台式仪器,又有集成使用的模块板卡以及复杂集成的自动测试系统,导致测试仪器应用验证影响因素众多,验证流程复杂。笔者运用系统工程方法,遵循对测试仪器的需求进行分类、分层规划,按照夯实基础、顶层设计、统筹推进的应用验证工作原则,以提高测试仪器适装性为目标牵引,对应用验证工作进行总体设计,其工作思路如图1所示。

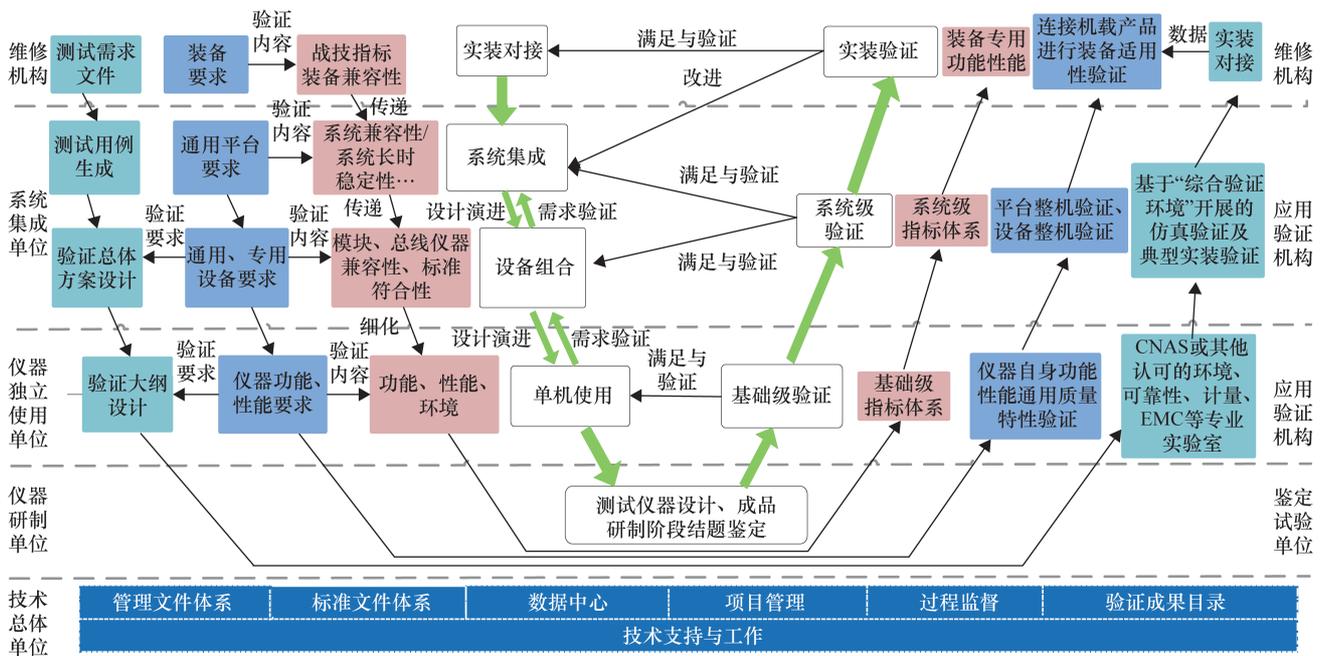


图1 测试仪器应用验证工作思路

测试仪器类别综合考虑信号特征、验证技术难度等,分为微波毫米波、光电、基础测试仪器、通信、自动测试等。

测试仪器验证层级分为基础级、系统级。基础级验证用于检验摸清测试仪器基础产品自身功能、性能及通用质量特性;系统级验证用于摸清验证测试仪器在不同使用场景中的适装能力,即满足装备测试所需的功能、性能、接口等基本要求,以及在系统环境下的稳定性、兼容性、环境适应性等。确认测试仪器在实装对接过程中隐藏问题是否得到解决,同时通过接近实战环境解决当前重要装备急需测试仪器的应用选型问题。

仪器应用验证工作涉及的相关方主要有技术总体单位、用户单位、研制单位、鉴定单位、应用验证机构等。仪器用户单位包括台式仪器独立使用单位、设备组合用户单位、系统集成单位和航空装备维修机构;仪器独立使用用户单位,重点关注测试仪器基础产品自身功能、性能和通用质量特性;设备组合使用、系统集成用户,重点关注测试仪器在不同使用场景中的适用能力。在应用验证需求调研过程中,用户单位负责分析自身使用场景并提出验证要求,提供实装对接验证环境以支撑验证工作。在应用验证实施过程中,作为用户代表,参与验证过程评审与监管。仪器研制单位按照研制要求设计样机、生产仪器,并提供待验证仪器

和配套技术文件,支撑验证机构开展应用验证工作。鉴定试验单位由第三方机构组成,对仪器的功能、性能进行实验室试验,给出仪器是否符合任务书要求的结论;在应用验证工作中,鉴定试验单位应提交鉴定试验结论及其支撑文件。应用验证机构开展测试仪器独立使用、组合使用等不同场景下的使用要求调研,综合考虑仪器使用场景,结合测试仪器技术指标,提出应用验证要求,编制测试仪器应用验证方案和大纲,并实施具体验证工作。

考虑到测试仪器应用验证涉及领域众多,验证技术复杂,并且验证过程中基础级、系统级工作交联嵌

套,需做实技术总体工作,由技术总体单位负责,主要设计验证管理体系、构建验证标准体系、汇总验证过程数据信息、实施验证项目过程技术监督管理和发布验证成果目录等,综合保障验证工作科学管理、严谨实施、结果可控。

2 应用验证工作流程与要求

航空装备测试仪器应用验证包括:确定应用验证需求、构建应用验证指标、明确应用验证要素、确定验证实施流程、应用验证实施、应用验证综合评价并形成成果目录进行推广等步骤,如图 2 所示^[2-4]。

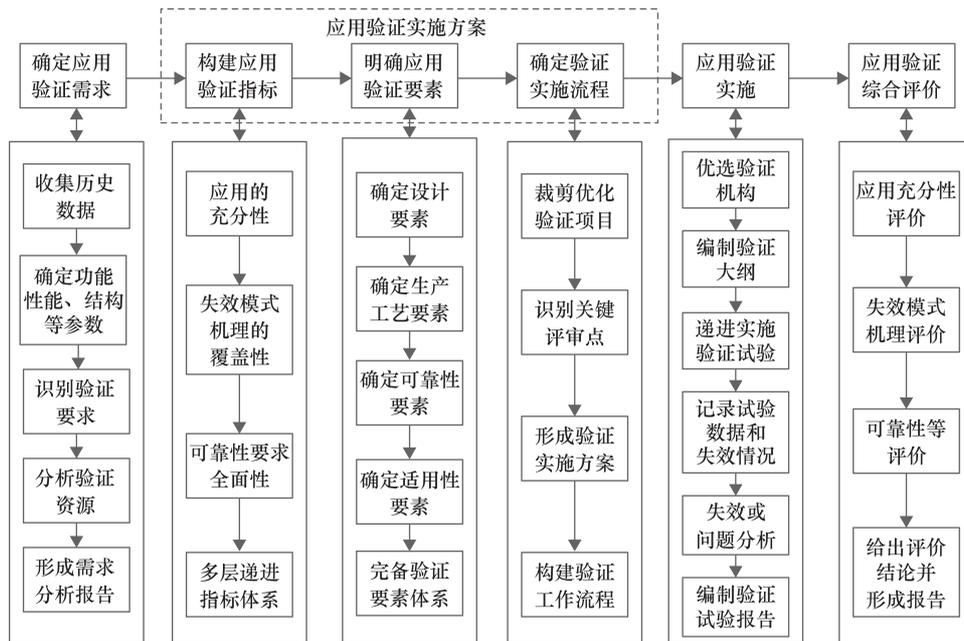


图 2 航空装备测试仪器应用验证工作实施流程

2.1 确定应用验证需求

确定应用验证需求主要为制定应用验证项目方案和编制大纲提供输入,主要工作为需求调研分析。需求调研分析应做到 4 个覆盖,即覆盖产品(具有相同专业、功能、性能指标等特征的同系列产品)、覆盖用户(总体单位和直接用户功能性能、使用环境、可靠性等具体要求)、覆盖型号(现有和潜在的应用装备型号)、覆盖资源(待验样品数量、验证进度、不同验证项目的资源复用等),并明确测试仪器型号规格等基本信息、应用装备、直接用户、通用和特殊要求、验证进度等其他要求。具体工作包括收集验证对象历史履历数据、确定产品功能性能和稳定性等参数、识别验证要求、分析验证资源、形成测试仪器应用验证需求分析报告。识别验证需求应重点调研待验测试仪器使用场景,例如通用测试平台中集成使用的 PXIe 任意波发生模块,既要关注模块自身的质量,也要关注其如何能够在集成环境中“装得上、跑得稳、跑得准”,识别具体

要求就是本阶段的重点工作。

2.2 构建应用验证指标

应用验证指标是实施验证工作的依据。一般应重点从研制费心的、用户关心的、应用不放心的内容来设计验证指标体系。针对研制费心的内容,应设计应用数据充分性评价指标,重点解决测试仪器国产基础产品特性曲线数据少甚至直接引用仿制国外产品手册信息等问题;针对用户关心的内容,应设计应用失效模式覆盖性评价指标,重点根据以往同类产品失效情况,确定需要开展哪些验证评价内容;针对应用不放心的内容,应设计应用可靠性评价指标,重点评价各种接口、通信协议、极限使用环境等内容。具体工作节点包括开展测试仪器设备级、系统级分级具体验证要求分析,逐级梳理与映射对应的应用验证指标。一般而言,测试仪器指标体系可分为功能指标、性能指标和战术指标。

2.3 明确应用验证要素

根据测试仪器功能指标、性能指标和战术指标体

系,结合航空装备测试的特殊应用需求,继续分解要素综合给出应用验证要素和应用验证内容,具体应满足以下要求:针对测试仪器生产过程要素,应覆盖研制单位的设计能力、加工工艺、质量管理等要素的验证;针对测试仪器功能性能要素,应覆盖产品常规、重要、极限功能性能的验证;针对测试仪器可靠性,应覆盖产品设计、结构、工艺、器件、软件等可靠性的验证;针对测试仪器环境适应性应覆盖产品配套型号要求温度、湿热、气压、振动、电磁等特殊要求。具体工作节点是:明确产品研制单位遴选要求,待验证产品准入要求和应用场景下的功能性能需求,使用环境适应性需求,机械结构兼容性、软件环境兼容性、硬件环境兼容性等需求。

2.4 确定验证实施流程

确定验证实施流程是总体策划应用验证活动,形成应用验证实施方案,重点考虑验证流程与测试仪器基础产品研制流程的协调匹配、应用流程的合理切入和验证资源的统筹平衡调配。具体工作包括:根据鉴定试验、筛选试验等历史数据,统筹不同验证内容对应的项目验证实施情况,进一步裁剪和优化已明确的应用验证项目,有针对性地选择验证方法;加强验证过程监督,明确各阶段的关键评审点,初步考虑应设置实施方案、试验大纲、综合评价报告、应用指南技术文件等评审点;构建验证流程图,指导具体验证工作。

2.5 应用验证实施

实施应用验证试验主要工作是:确定验证机构,由验证机构负责编制验证试验大纲,分阶段递进开展试验,记录试验数据;对试验过程中产生的典型失效件按实际需求进行失效分析。具体工作包括:设计验证机构优选方案,按照竞标、谈判、单一来源等多种方式择优确定验证单位;根据需求分析报告、验证方案等资料,参考相应标准规范,编制试验大纲;分阶段、递进式开展基础产品应用验证,一般先进行非破坏性试验项目,然后开展破坏性试验项目,形成数据记录,编制各阶段验证报告,提交上级主管部门进行评审,评审通过后进入下一阶段验证。

2.6 应用验证综合评价

基于系统工程思想,综合领域专家意见,设计应用验证判据体系,根据基础产品研制和生产过程、功能性能、适装性等方面的验证结果,以及基础产品供方的质量保证数据、鉴定数据、评测数据,开展综合评价。一般应按以下3种情况之一给出最终结论:①各项评价指标通过了应用验证,满足应用要求;②部分功能或性能指标未完全达到预期要求,但可有条件应用,按照应用验证给出的设定条件使用;③评价指标未通过应用验证,不满足应用要求。针对通过验证的基础产品,

综合各层级验证结论数据,编制基础产品应用指南,经评审后发布。

3 应用验证内容与验证方法

3.1 应用验证内容

应用验证是根据实际应用场景构建出功能性能、环境条件、可靠性、使用要求等指标体系,当鉴定试验数据满足应用场景条件时,可以采信相应项目和数据^[4-7]。当鉴定试验数据不满足应用场景条件时,应进行补充试验。测试仪器应用验证在对象上跨专业、多类别,在应用上面向装备不同类型、不同阶段、不同状态,在流程上环节复杂、资源多样、型号依附、多元参与,在技术上要素评价多、层级验证多、环境融合多,结合各专业测试仪器特点,同时保障应用验证效果,必须从以下几方面内容开展验证。

确定应用验证需求、构建应用验证指标、明确应用验证要素的过程即逐渐分解、细化应用验证内容的过程。测试仪器基础级应用验证内容主要包含基本功能和性能验证。基本功能验证:待验证仪器应具备的基本功能集合是否符合对应行业标准、使用说明或技术规范^[5-12],并进一步确认是否满足装备专用功能。性能指标验证:参照仪器独立使用场景,仪器的可量化指标包括测量参数、测量范围、灵敏度、准确度、参数稳定性等,在此基础上进一步验证装备应用要求的机械特性验证、电源特性验证、电磁兼容性验证、安全性验证、环境适应性验证、可靠性验证等内容。测试仪器系统级应用验证内容,针对测试仪器集成使用场景,验证其与仪器组合、设备组合、系统组合的系统兼容性,主要包括机械结构兼容性、操作系统兼容性、软件环境兼容性、硬件环境兼容性等。

3.2 应用验证方法

综合考虑各层级应用验证内容,明确应用验证方法主要包括:文档审查、实物查看、性能测试、软件测评、演示验证、实装对接、统计分析等,在具体实施时参照测试仪器行业标准、试验类标准^[13-16]、应用验证系列标准。具体验证方法如下。

① 文档审查。文档审查主要针对测试仪器配套的文件图纸等资料数量、内容进行审查,重点审查文档的齐套性、格式规范性以及文档描述技术特性,侧重文档的功能性能的审查,验证其是否满足装备预期,以及技术实现是否合理是否满足使用要求。

② 实物查看。主要对实物清单、资源组成、物理特性、识别标志进行一致性的目视检查。

③ 性能测试。围绕性能指标验证开展正常、峰值、异常负载条件来对系统的各项性能指标进行测试。验证其是否具备基础应用能力,并兼顾验证仪器是否

具备系统应用能力。

④ 软件测评。对测试仪器系统软件、驱动程序、常用函数等内容,借鉴软件测评的基本流程、标准要求开展文档、软件代码、功能实现、性能指标等验证。

⑤ 演示验证。针对典型应用场景,构建接近真实使用场景的应用验证环境,开展仪器的功能验证、性能验证,以及系统级仪器各参数准确性、稳定性和可靠性、模块化仪器的互换性以及有关装备研制生产所需的专用功能特性的验证。

⑥ 实装对接。连接测试仪器与真实的被测对象、甚至包含机载产品,验证测试仪器满足装备测试需求的能力。选取航空装备典型外场可更换单元作为测试对象,连接外场可更换单元并运行相关测试程序集,输出测试结果;开展系统测试数据处理分析以及与原有数据的分析对比工作,验证其系统集成后满足装备测试需求、保障能力要求情况。

⑦ 统计分析。汇总基础级、系统级试验数据,完成测试仪器功能、性能数据统计。

3.3 应用验证举例

考虑测试仪器应用典型性、使用场景系统复杂性,选取某型 PXIe 总线示波器模块作为应用验证对象,结合实际装备使用场景,分析确定验证层级、验证内容、验证方法,明确基础级、系统级验证指标体系、验证要素及验证内容,并结合验证内容具体实施明确具体验证方法。例如,本模块在基础级应用验证中除验证自身功能性能外,应根据装备测试需求,重点关注特定采样率下脉宽测量准确度指标的验证;在系统级验证中,应关注与其他仪器或模块集成及装备适装对接后,系统功能、性能满足情况。典型产品应用验证内容及方法的具体示例如表 1 所示。

4 结论和展望

本文针对测试仪器的特点,遵循验证基本原则,运用系统工程方法,设计了仪器应用验证的总体框架,提出了应用验证的基本程序和-content要求,可为测试仪器应用实践和工程推广提供有力支撑。

通过推动应用验证工作,既可以发现仪器设计生产缺陷或质量隐患、促进产品成熟,解决“不好用”问题,又可以逐步积累仪器基础数据、化解应用风险,促进基础产品工程应用,解决“不敢用”问题;根据应用验证结论形成的应用指南,还可以指导用户单位正确、合理地使用基础产品,解决“用不好”的问题。当前应用验证工作处于起步阶段,行业应加强投入,建立健全配套法规标准,研究构建验证技术方法体系,扎实做好配套验证手段建设,推动仪器领域科学发展。

表 1 典型产品应用验证内容及方法示例

验证层级	验证内容		验证方法						
	验证指标	要素	文档审查	实物查看	性能测试	软件测评	演示验证	实装对接	
功能		多通道同时取样功能	√	√	√				
		模拟触发功能	√	√				√	
		数字触发功能	√	√				√	
		时域分析功能	√	√				√	
		频域分析功能	√	√				√	
基础级	性能	直流准确度			√				
		交流幅度准确度	√		√				
		带宽和瞬态响应	√		√				
		通带幅度平坦度	√		√				
		噪声	√		√				
		通道间延迟	√		√				
	...	√		√					
战术		电磁兼容性验证	√		√				
		环境适应性验证	√		√				
								
功能		系统多通道数据采集功能						√ √	
		系统数据分析功能						√ √	
		系统脉宽测量功能						√ √	
		系统时间间隔测量功能						√ √	
系统级	性能	系统高度测量功能						√ √	
		系统脉宽测量范围、准确度			√				√
		系统时间间隔测量范围、准确度			√				√
		系统高度测量范围、准确度			√				√
	...			√				√	
战术		机械结构兼容性	√	√				√ √	
		操作系统兼容性	√			√	√	√	
		软件环境兼容性	√			√	√	√	
		硬件环境兼容性	√	√				√ √	

参考文献:

- [1] 苗学问,袁志芳,邢海波. 航空装备测试保障体系建设的思考[J]. 测控技术,2019,38(9):1-4.
- [2] 韩俊杰,蔡光耀. 加强航空装备国产军用电子元器件管理的思考[J]. 航空装备论证,2015(2).
- [3] 韩俊杰,高晶,赵晓斌,等. 航空装备基础产品应用验证方法研究[J]. 测控技术,2020,39(6):59-63.
- [4] 江理东,孙明. 宇航元器件应用验证系统工程 第一卷 宇航元器件应用验证总体技术[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2019.
- [5] 李小林,刘来福,高峰. 国产仪器验证与综合评价服务纪实[M]. 北京:中国标准出版社,2018.
- [6] 解静,闫实,王吉奇,等. 国产电子测量仪器验证与综合评价服务方法研究[J]. 电声技术,2019,43(3):78-80.
- [7] 刘来福,刘岩,孙月琴,等. 国产分析仪器综合评价方法研究[J]. 分析仪器,2015(1):67-70.
- [8] 张冠兵,孟亮,周龙,等. 通用测试设备验证评估系统设计[J]. 计算机测量与控制,2016,24(6):305-307.

表6 系统性能指标

实验项目	场景	准确率/%	平均耗时/ms
巡检模块	P1	91.3	121
	P2	81.5	178
	R	91.7	114
	C1	100	96
	C2	88.9	85
取证模块	P1	90.5	—
	P2	86.4	—
	R	100	—
	C1	100	—
	C2	100	—
总体性能	—	93.0	—

灯停车等现象与违章停车现象存在发动机温度差异这一特征,进一步排除非违章停车情况。针对筛选出的疑似违章车辆的目标框,以目标框为中心截取出一定区域内容,并将截取出的新图像送入分类模型中进行分类,得出分类结果为正确停车、未停在停车位内、压停车位线和占多个停车位。若出现违章停车现象(未停在停车位内、压停车位线和占多个停车位现象),则计算出违章车辆的取证点坐标,降低无人机高度,对车牌拍摄,并与违章图像相关联,保存留作处罚依据。

通过实验证明,本系统准确率高、时效性强,违章停车检测与判定结果确实有效,可以减轻交管部门的工作压力,减少路边违停现象的发生。但依然有不完善之处:首先,在基于YOLOv4的车辆检测模块中,依然有车辆漏检误检现象,未来将针对性收集车辆数据,同时调整YOLOv4的网络和参数,优化检测模型;其次,目前该系统主要针对小型车辆,而面包车、巴士、卡车等车辆其发动机位置与小车不同,测温模块无法测出真实温度差,未来将针对其他类型车辆,进行数据分析与实验,找出相应解决办法;然后,本系统人机交互界面需要进一步优化,提供良好的操作体验;最后,本系统在非主干道区域、城区飞行时,存在一定的安全隐患,目前仍需人工排除隐患,未来将增加无人机自动避障等模块,提高无人机的安全性能。

参考文献:

- [1] 唐前进,徐峥. 警用多轴旋翼无人机的应用及发展方向[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版),2017,39(2):239-242.
- [2] 吕雪. 关于计算机智能化图像识别技术的理论性研究[J]. 数字技术与应用,2017(4):235.
- [3] 葛雯,宫婷,王媛,等. 基于深度学习的目标检测算法[J]. 微处理机,2019,40(3):29-33.
- [4] 付郑语. 无人机高空图像的识别技术[J]. 电子技术与软件工程,2018(2):77.
- [5] 时文忠,王忠荣. 基于深度学习的车辆检测[J]. 中国公共安全,2019(12):89-90.
- [6] 罗元,王薄宇,陈旭. 基于深度学习的目标检测技术的研究综述[J]. 半导体光电,2020,41(1):1-10.
- [7] 杨非凡. 汽车构造中汽车发动机技术及其新进展探析[J]. 名城绘,2019(12).
- [8] KRIZHEVSKY A, SUTSKEVER I, HINTON G E. ImageNet classification with deep convolutional neural networks[J]. Communications of the ACM,2017,60(6):84-90.
- [9] 曹正凤,李少丁,王栋梁,等. 基于深度学习的端到端车牌检测识别系统[J]. 中国交通信息化,2018(9):88-91.
- [10] BOCHKOVSKIY A, WANG C Y, LIAO H Y M. YOLOv4: optimal speed and accuracy of object detection[J]. arXiv:2004.10934v1,2020.
- [11] REDMON J, DIVVALA S, GIRSHICK R, et al. You only look once: unified, real-time object detection[C]//2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2016.
- [12] CHOLLET F. Xception: deep learning with depthwise separable convolutions[J]. arXiv:1610.02357v3,2016.
- [13] IOFFE S, SZEGEDY C. Batch normalization: accelerating deep network training by reducing internal covariate shift[C]//Proceedings of the 32nd International Conference on International Conference on Machine Learning. 2015:448-456.
- [14] 李大伟,李明涛,郑建华,等. 固定翼无人机地面车辆目标自动检测[J]. 电子设计工程,2018,26(8):144-149.

□

(上接第36页)

- [9] 侯立刚,罗启明,闫实,等. 基于神经网络的国产仪器主观验评指标体系的方法研究[J]. 电子世界,2018(18):24-26.
- [10] 韩东,刘志刚,闫实. 国产电子测量仪器验评技术方案设计[J]. 电声技术,2017,41(9):120-121.
- [11] 李崧,王引书,闫实,等. 对国产示波器的主观验评实践[J]. 中国现代教育装备,2018(3):1-3.
- [12] 冯铁英. 虚拟仪器的校准和不确定度评估[J]. 工业计量,2019,29(4):67-69.

- [13] 中国人民解放军总装备部. 军用电子测试设备通用规范:GJB 3947A-2009[S]. 2009.
- [14] 中国人民解放军总装备部. 航空自动测试系统通用规范:GJB 5541-2006[S]. 2006.
- [15] 中华人民共和国机械电子工业部. 电子测量仪器可靠性试验:GJB 11463-1989[S]. 1989.
- [16] 国家质量监督检验检疫总局. 测量仪器可靠性分析:JJF 1024-2016[S]. 2016.

□