

植被生态自动化观测仪器的设计与实现

王贝贝¹, 姚艳丽², 张争³, 王苗苗¹, 郭琰煊¹

(1. 河南中原光电测控技术有限公司, 河南郑州 450047; 2. 新疆兴农网信息中心, 新疆乌鲁木齐 830002; 3. 河北省气象局, 河北石家庄 050000)

摘要 研究植被生态自动化观测方法, 进而确定仪器的组成结构, 根据传感器的接口、协议类型和神经网络处理器的应用方式设计了基于 ARM 架构控制处理器的外设接口, 进一步结合非 RKNN 模型的转换应用流程, 设计了控制处理器数据采集、处理、存储、传输和控制交互的具体功能和流程。针对 3 种不同的植被类型, 将仪器分别部署在内蒙古、广西和安徽 3 个国家级农业气象试验基地, 采用仪器测量数据与人工平行观测的方法进行外场试验。结果表明, 这种植被生态自动化观测方法是可行的、有效的, 仪器性能指标也符合实际业务观测要求。

关键词 植被生态自动化观测; 深度学习; 植被关键特征参数测量

中图分类号 TP 391 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)17-0201-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.17.052



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Design and Implementation of Automatic Observation Instrument for Vegetation Ecology

WANG Bei-bei¹, YAO Yan-li², ZHANG Zheng³ et al (1. Henan Zhongyuan Photoelectric Measurement and Control Technology Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450047; 2. Xinjiang Xingnong Network Information Center, Urumqi, Xinjiang 830002; 3. Hebei Meteorological Bureau, Shijiazhuang, Hebei 050000)

Abstract This paper studied the observation method of vegetation ecological automation, and then determined the composition and structure of the instrument. According to the sensor interface, protocol type and application mode of neural network processor, the peripheral interface of control processor based on ARM architecture was designed. Furthermore, combined with the application process of non RKNN model conversion, the specific function and process of the data acquisition, processing, storage and transmission, control interaction of control processor were designed. According to three different vegetation types, the instruments were deployed in three national agrometeorological experimental bases in Inner Mongolia, Guangxi and Anhui, and the field test was carried out by using the method of instrument measurement data and manual parallel observation. The results showed that the automatic observation method of vegetation ecology was feasible and effective, and the performance index of the instrument was also in line with the actual business observation requirements.

Key words Automatic observation of vegetation ecology; Deep learning; Measurement of key characteristic parameters of vegetation

植被生态观测作为生态气象自动观测中的重要项目, 对于提高我国生态气象的综合观测能力, 建立生态气象监测网络, 开展气候与气候变化对生态环境质量的影响评估、气象灾害对生态安全的预警评估具有重要意义。目前的测量方法有小尺度的人工观测法和大尺度的遥感监测法, 其中人工观测法因为其对于植物冠层破坏大, 耗费人力和物力, 数据处理烦琐, 正在逐渐淘汰。遥感监测法主要利用卫星遥感资料对地表植被进行监测估算^[1-6], 是当前植被生态监测的主要手段, 但只适合大尺度测量, 监测频次低、局部测量精度低并且缺少星地校验^[7]。

针对中尺度观测, 因为目前植被生态自动化观测方法不明确、不统一, 无经验可参考, 尚无更多具体的国家和行业标准规范作为依据, 导致各业务部门的无法实现自动化测量仪器的研制和列装; 同时, 目前的自动化测量仪器多为进口仪器, 存在测量要素单一、专业性强、操作复杂、数据无法远传、对配套软件的算法计算功能依赖较高^[8], 无法实现对野外植被的多要素、远距离和自动高效的观测, 因此对植被生态自动化观测方法的研究和仪器设计与实现是当今业务和科研部门的迫切需求, 而对中尺度范围具有 AI 人工智能数据处理的自动化测量仪器可以提高人工效率, 减少人为误差, 提高卫星遥感应用的解译精度与验证能力, 很好地补充现有植

被生态测量体系。

1 自动化观测方法研究

针对能够反映陆表植被生长状态的关键特征参数植被覆盖度、植株密度、冠层高度、三维群落结构和归一化植被指数(NDVI)等。一方面, 参考《生态气象观测规范(试行)》中关于植被生态的测量和评定标准; 另一方面, 结合地面植物具有明显的光谱反射特征, 通过对植被光谱的研究可以判断植被的长势特征, 因此可利用基于深度学习的图像处理、激光点云、多光谱测量等技术, 采用多光谱量子传感器、图像传感器和激光雷达传感器等, 实现对陆表植被生态的长期、自动和连续观测, 具体观测方法如下: ①可以通过在植被冠层上方距离 ≥ 2 m 处架设图像传感器, 自动获取植被实时高清图像, 结合深度学习的方法, 计算出植被盖度、植株密度; ②为了提高测量效率, 同时在植被冠层上方距离 ≥ 1.5 m 的高度架设激光点云传感器, 将采集到的植被点云数据经过去噪、滤波、重构、校正处理后得到植被群落结构^[9]; ③通过在植被冠层上方距离 ≥ 1.5 m 的高度架设激光测距传感器、倾角传感器及三维程控云台, 利用激光测距原理、数学三角空间变换以及冠层高度的测量计算模型, 实现冠层高度测量^[10]; ④通过在冠层上方距离 ≥ 1.5 m 的高度布设向上和向下的双通道(红光、近红外)光子量子传感器, 实现植被透射辐射的实时监测, 并基于植被透射辐射和辐射反射率测量及计算模型, 实现归一化植被指数(NDVI)等的测量^[11]; ⑤所有传感器的基础数据需要基于 AI 人工智能数据处理的方法在仪

作者简介 王贝贝(1985—), 男, 河南郑州人, 工程师, 硕士, 从事嵌入式软硬件设计和算法研究。

收稿日期 2021-04-15; **修回日期** 2021-05-20

器端完成分析和计算,最终直接输出测量结果^[12];⑥上述所有传感器安装于自立式观测杆体上,并配套控制处理终端、通信系统和供电系统等,实现无人值守和自动观测。

2 仪器设计

2.1 组成结构 仪器由硬件和嵌入式软件两部分组成,硬件主要包括传感器、控制处理终端、通信单元、供电单元等部分。嵌入式软件主要实现传感器数据的采集、处理、分析、存储和传输,系统组成框图如图1所示。

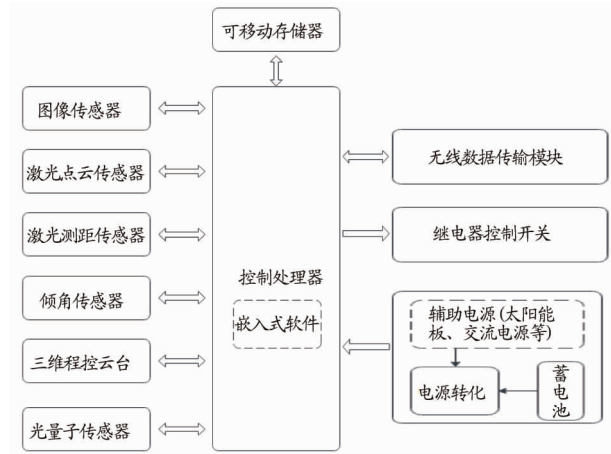


图1 仪器组成示意

Fig.1 Instrument composition

2.2 控制处理器硬件功能设计 传感器和外设接口类型不同、种类较多,在满足要求的情况下设计冗余接口,便于后期扩展。其中,图像传感器采用USB type A、RJ45接口和onvif标准的协议类型,激光点云传感器采用RJ45接口,激光测距传感器采用TTL电平串口,倾角传感器采用0~2.5V基准电压的模拟接口,三维程控云台采用RS485串口,光量子传感器采用SDI-12数字接口,无线数据传输模块采用RS485串口,SD卡外存储器采用SDIO接口,预留的调试接口采用RS232串口。

为了保证控制处理器能够完成边缘计算图像识别模型算法的运行并获取推理结果,采用搭载瑞芯微RK1808K神经网络处理器,配置1G DDR4内存和8G EMMC,并提供标准Mini-PCIe接口的人工智能计算卡^[13],可以接收控制处理器主控芯片的控制指令。

2.3 控制处理器嵌入式软件设计 基于ARM架构的控制处理器的主要功能是完成传感器数据的采集、处理、存储、传输和控制交互,控制处理器可直接输出经过AI边缘计算的结果XML文件,改变了以往所有传感器数据先传输至中心站来完成分析处理的模式,极大地降低了中心站的建设要求,提高了业务人员对数据的利用效率。基于AI计算的嵌入式软件设计主要分为以下两个步骤。

2.3.1 基于ARM架构ubuntu 16.04系统下AI运算的设计流程。在RK1808K运行基于深度学习的算法模型,由于运行的是非RKNN模型,首先需要把PC下的TensorFlow模型使用RKNN-Toolkit导出为RKNN模型,RKNN-Toolkit使用流程如图2所示。然后,导入到RK1808K人工智能计算卡,

可调用基于python的API函数进行图像识别模型算法的设计。



图2 RKNN-Toolkit使用流程

Fig.2 The using process of RKNN-Toolkit

2.3.2 基于数据文件格式确定各功能模块的设计流程。整个嵌入式软件的开发流程主线是按照数据采集、数据处理、数据存储、数据传输和控制交互展开的,整个开发设计流程如图3所示。①初始化操作。完成4路继电器断开操作、打开看门狗、串口配置、读取配置文件中远程TCP服务器IP地址和端口号,FTP服务器地址、端口、用户名、密码和目录等;创建TCP客户端、FTP客户端、心跳包定时器和创建数据接收监听线程。②数据采集。按照数据采集时间范围定时获取基础数据文件,图像文件可以通过在线视频预览的模式下基于onvif协议完成图片的抓图和本地存储;利用激光测距传感器、倾角传感器和三维程控云台在测量区内轮循打点扫描,数据通过约定的通信协议和采集计算方法进行采集;激光点云的数据文件基于SDK获取空间X、Y、Z坐标值和反射率,并将数据按照约定格式存入文本;植被指数数据文件通过模拟SDI-12协议的时序采集红光和近红外的辐射值;对仪器的运行状态信息每小时采集1次。③数据处理。对图像文件进行质量控制,完成重命名,调用图像识别算法python脚本对图像进行识别处理^[14],同时生成XML数据文件;调用处理算法对激光点云20万组数据进行滤波,从深度图提取NARF关键点,生成植被冠层分布等高图,利用三维重建技术生成植被群落结构图;对激光测距获取的距离值以及对倾角传感器获取的水平角和俯仰角,利用三角几何换算和数据拟合等方法得到冠层高度;对获取的红光和近红外的辐射值通过反射率计算模型,进一步计算出归一化植被指数(NDVI)等。④数据存储。将图像文件、冠层分布等高图和

植被群落结构图转为 64Base 编码格式存入 XML 文件;将通过图像识别和模型算法生成的结果[植被覆盖度、植株密度、冠层高度、三维群落结构和归一化植被指数 (NDVI) 等]按照观测数据元素字典和数据文件格式进行编码存储;将获取的状态信息同样按照观测数据元素字典和数据文件格式进行编码存储。⑤数据传输。将最终产生的 XML 文件通过创建的 FTP 客户端推送至中心站。⑥控制交互。可以通过控制处理器创建的 TCP 客户端与中心站进行远程交互,中心站可远程控制仪器进行相应动作和修改配置文件。

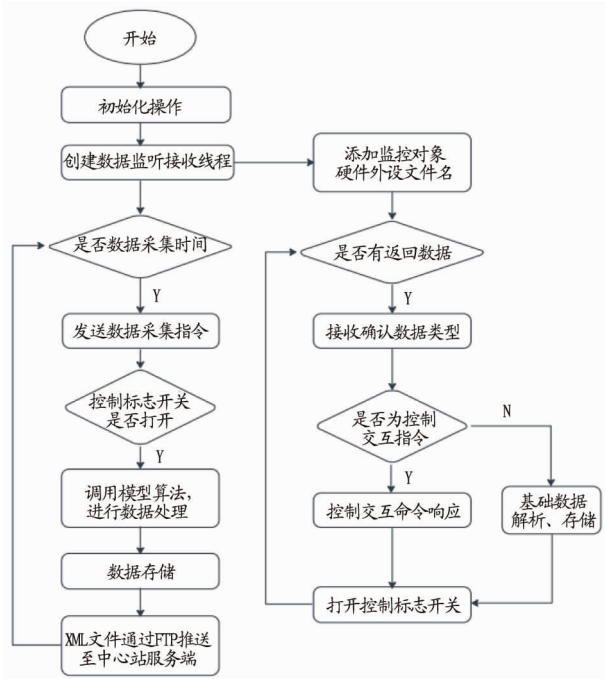


图 3 嵌入式程序的开发流程

Fig. 3 The development process of the embedded program

3 仪器应用与数据分析

为了评估植被生态自动化观测方法的可行性和有效性以及观测仪器的性能,分别选择了广西崇左扶绥县甜蜜之光园区、内蒙古锡林郭勒草原生态气象野外科学试验基地、安徽合肥现代农业气象示范基地进行外场观测试验,试验内容主要包括观测数据的采集和观测结果的分析,试验时长均为 6 个月。其中,广西崇左地区种植的植被类型为甘蔗,内蒙古锡林郭勒地区种植的植被类型为牧草,安徽合肥地区种植的植被类型为油菜,这 3 个地区的植被特征均属于变化较明显的类型,便于观测和对比分析。

3.1 植被覆盖度和密度分析 图 4 为内蒙古锡林郭勒草原生态气象野外科学试验基地牧草图像以及通过基于深度学习的图像识别方法识别出的覆盖度和密度,牧草从 8 月 1 日至 8 月 15 日进入生长期,牧草越来越茂密,覆盖度也从 71% 升至 86%,从 8 月 31 号开始进入枯黄期,牧草覆盖度从 82% 降至 75%,并根据现场实际测量牧草覆盖面积占样方面积的比值,观测仪测量的覆盖度贴近牧草实际覆盖度。同时,观测区域大部分植株数变化不大,所以植被密度为 15 ~ 16 株/m²。

3.2 植被冠层高度分析 植被冠层高度分析采用人工实际观测结果和仪器测量识别结果对比分析的方法,即根据仪器设置的扫描区域确定人工观测区域,并选取观测区域内多个有代表性的植株。观测仪每天输出 1 条植被冠层高度观测结果,观测员每天在现场用尺子测量植株高度,并计算出植株高度平均值,作为人工观测的植被冠层高度值。如图 5 所示,为内蒙古锡林郭勒 2020 年 10 月 21 日(当天外界风力较小,牧草呈自然状态)人工现场测量的牧草冠层高度,观测点 1 牧草冠层高度为 43 cm,观测点 2 牧草冠层高度为 37 cm,观测点 3 牧草冠层高度为 42 cm,平均牧草冠层高度为 40.67 cm。

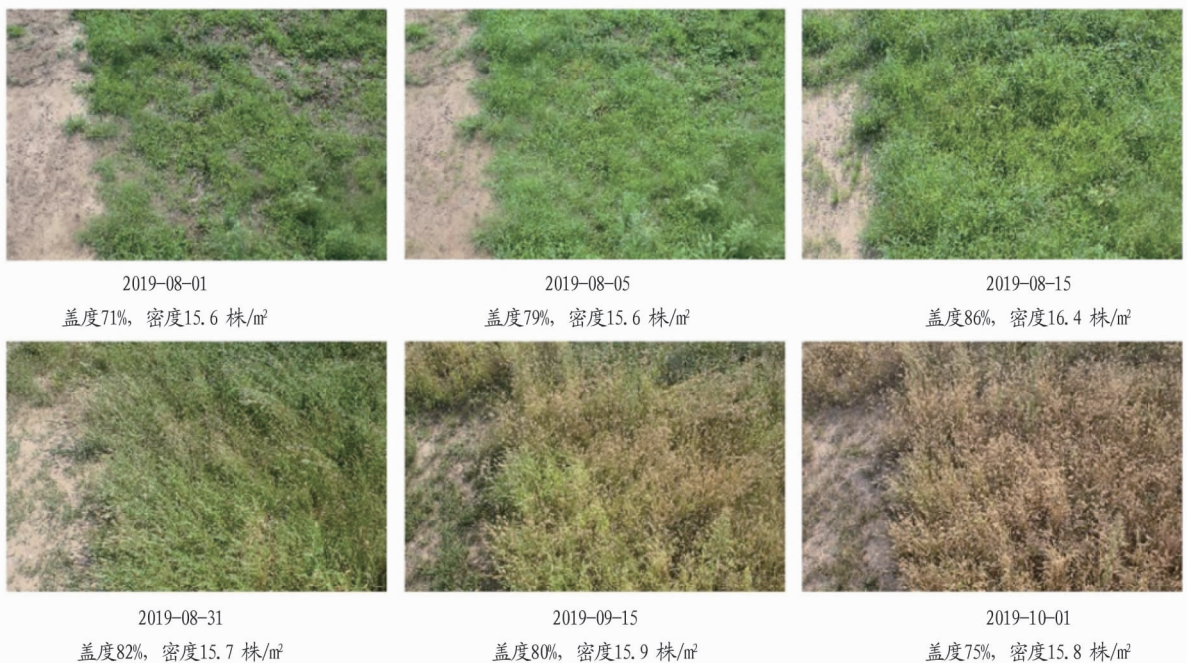


图 4 内蒙古锡林郭勒牧草覆盖度、密度观测识别

Fig. 4 Observation and identification of forage coverage and density in Xilingol, Inner Mongolia

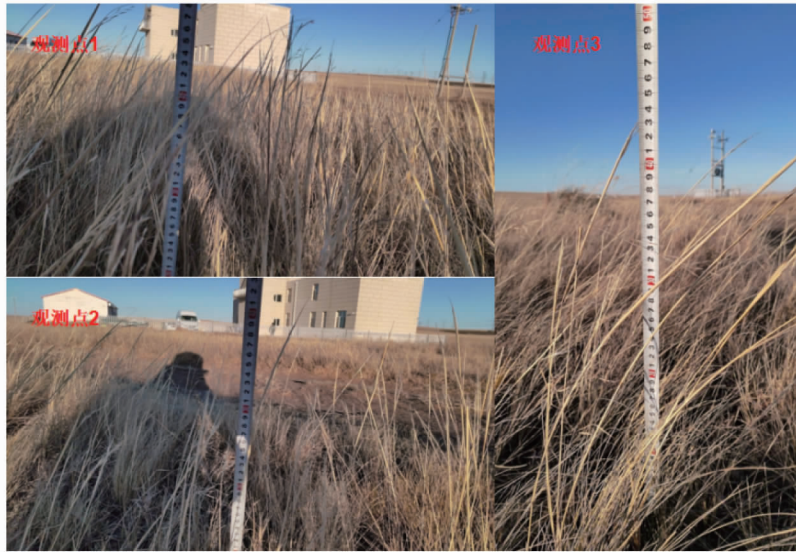


图5 内蒙古锡林郭勒2020年10月21日人工现场测量的牧草冠层高度

Fig. 5 The on-site measurement of forage canopy height in Xilingol, Inner Mongolia on October 21st, 2020

参试设备的自动观测结果为38.32 cm,则植被冠层高度测量误差为2.35 cm。按此方法对3个观测地点的冠层高度观测数据进行对比分析,结果如表1所示,观测方法观测到的冠层高度平均误差均在5 cm以下,具有测量误差小、精度高等

优点。内蒙古锡林郭勒冠层高度观测结果较其他2个地区误差较大,测量高度比实际测量高度均偏小。通过研究发现该地区常年风力较大,仪器测量时牧草的枝干容易被风吹弯,导致观测冠层高度值比实际偏小,误差偏大。

表1 冠层高度观测数据准确度分析

Table 1 Accuracy analysis of canopy height observation data

地区 Region	观测第1个月 高度平均误差 Average error of the height in the first month of observation	观测第2个月 高度平均误差 Average error of the height in the second month of observation	观测第3个月 高度平均误差 Average error of the height in the third month of observation	观测第4个月 高度平均误差 Average error of the height in the fourth month of observation	观测第5个月 高度平均误差 Average error of the height in the fifth month of observation	观测第6个月 高度平均误差 Average error of the height in the sixth month of observation	平均高度误差 Average error of the height
广西崇左 Chongzuo, Guangxi	2.65	3.11	1.36	1.59	3.57	1.46	2.29
内蒙古锡林郭勒 Xilingol, Inner Mongolia	4.12	3.87	4.59	4.99	4.26	3.94	4.30
安徽合肥 Hefei, Anhui	2.78	1.26	3.46	2.59	1.97	1.11	2.20

3.3 植被指数分析 由于植被指数受光照的影响较大,参试设备在每天10:00—14:00光照强度好的时间段下每30 min测量1次,并依次输出归一化植被指数(NDVI)等信息。图6为安徽合肥地区参试设备在12月至次年5月观测的归一化植被指数变化曲线,测量结果均介于-1~1,前期在植被覆盖较少的情况下观测结果在0.1左右,随着植被逐渐生长茂密,植被指数逐渐增加至0.65左右,符合植被指数的变化规律。

3.4 植被三维群落结构分析 与植被冠层高度分析方法相同,植被三维群落结构分析也是选用人工实际观测结果和仪器测量识别结果对比分析的方法,即仪器的激光点云传感器每天对植被群落进行一次测量,输出1张三维群落结构图。由于在测量高度为6 m,FOV为39.2°时,激光点云传感器测量范围半径为2 m的圆形区域,所以选定人工观测区域时,以激光点云传感器垂直于地面的点为圆心,设定半径为2 m的圆形区域即为人工实地测量区域。图7为广西崇左地区

测量的植被三维群落结构图,经人工现场测量对比发现,植被三维群落结构图均符合观测区域实际情况。

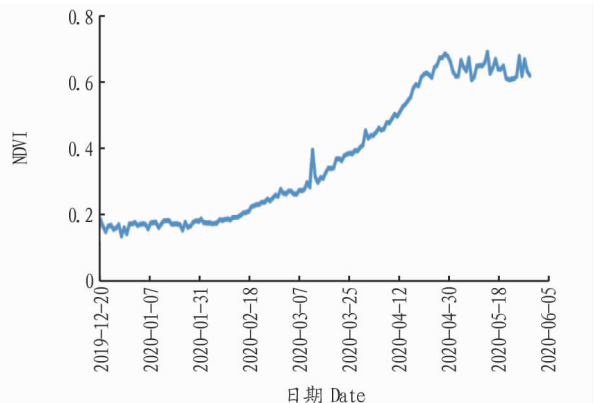


图6 安徽合肥归一化植被指数(NDVI)的变化曲线

Fig. 6 Change curve of the normalized vegetation (NDVI) index in Hefei, Anhui

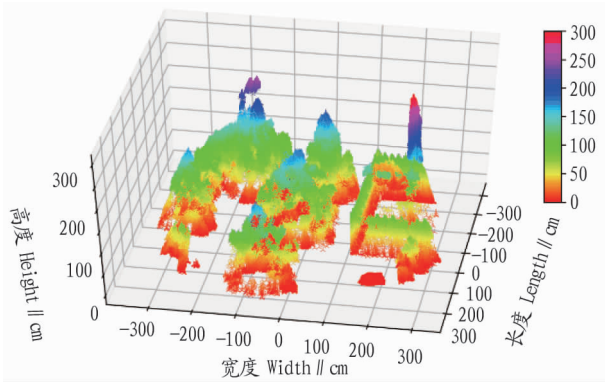


图 7 广西崇左植被三维群落结构

Fig. 7 Three-dimensional vegetation community structure diagram in Chongzuo, Guangxi

4 结论

针对植被生态自动化观测方法及仪器设计与实现,该研究明确了植被生态自动化的观测要素、观测方式和使用的传感器类型,解决了植被生态自动化观测方法不明确和不统一的问题。另外,基于植被生态自动化观测方法提出了仪器的设计与实现的流程与具体方法步骤,首先明确了仪器的系统组成,进而确定仪器的核心部件控制处理硬件的主要接口和功能,再进一步提出了控制处理器嵌入式软件在基于 ARM 架构 ubuntu 16.04 系统下 AI 运算的设计流程和主功能模块设计流程,解决了仪器的设计和实现问题。最后,通过仪器在国家级农业气象试验基地,针对不同的植

被类型与人工进行平行观测,进行外场观测试验,结果表明采用的植被生态自动化观测方法是可行的、有效的,基于植被生态自动化观测方法研制的仪器性能指标是符合实际业务观测要求的。

参考文献

- [1] 朱敬芳,邢白灵,居为民,等. 内蒙古草原植被覆盖度遥感估算[J]. 植物生态学报,2011,35(6):615-622.
- [2] 杨绘婷,徐涵秋. 基于遥感空间信息的武夷山国家级自然保护区植被覆盖度变化与生态质量评估[J]. 应用生态学报,2020,31(2):533-542.
- [3] 何斌,李青,刘勇. 黔西北地区不同演替阶段植物群落结构与物种多样性特征[J]. 广西植物,2019,39(8):1029-1038.
- [4] 张颖,李松,张文豪,等. 基于星载激光测高数据的植被冠层高度反演[J]. 应用光学,2020,41(4):697-703.
- [5] 王川,范景辉,林思美,等. 光学遥感植被指数与 SAR 遥感参数的相关性及其主要影响因素研究[J]. 国土资源遥感,2020,32(2):130-137.
- [6] 沙文生,魏淑花,牟高峰,等. 宁夏草地植被覆盖度动态变化监测[J]. 安徽农业科学,2020,48(23):10-15,20.
- [7] 孙玉芳,姜丽华,李刚,等. 外来植物入侵遥感监测预警研究进展[J]. 中国农业资源与区划,2016,37(8):223-229.
- [8] 中国林业科学研究院资源信息研究所. 一种森林物候信息自动观测方法:CN201710356448.0[P]. 2017-09-05.
- [9] 杨玉泽,林文树. 基于激光点云数据的树木枝叶分割和三维重建[J]. 西北林学院学报,2020,35(3):171-176.
- [10] 河南中原光电测控技术有限公司. 一种农作物冠层高度的检测方法及其装置:CN201611219819.2[P]. 2019-01-29.
- [11] 国家卫星气象中心(国家空间天气监测预警中心). 冠层植被指数的反演方法、装置及服务器:CN201911426087.8[P]. 2020-05-19.
- [12] 尹晓明. 基于 TensorFlow 深度学习机制的识别系统的实现及其移动端识别优化技术的研究[D]. 昆明:云南大学,2017:45-54.
- [13] NICK TAUSANOVITCH. 人工智能 AI 需要的硬件技术分析[J]. 集成电路应用,2018,35(1):30-32.
- [14] 黎普涛,鞠训光,张德升,等. 卷积神经网络在植被识别中的应用研究[J]. 计算机科学与应用,2019,9(5):841-848.
- [15] 高鹏,简红忠,魏样,等. 水肥一体化技术的应用现状与发展前景[J]. 现代农业科技,2012(8):250,257.
- [16] 吴文奇,夏玉慧,张志芬,等. 地下滴灌技术在紫花苜蓿种植上的应用研究[J]. 节水灌溉,2009(4):14-17.
- [17] 郭彦芬,霍轶珍,王文达. 紫花苜蓿耗水规律及灌溉制度优化研究[J]. 节水灌溉,2017,25(3):8-10,13.
- [18] 裴学艳,宋乃平,王磊,等. 灌溉量和灌溉时期对紫花苜蓿耗水特性和产量的影响[J]. 节水灌溉,2010(1):26-30.
- [19] 张前兵,于磊,鲁为华,等. 优化灌溉制度提高苜蓿种植当年产量及品质[J]. 农业工程学报,2016,32(23):116-122.
- [20] 李新乐,穆怀彬,侯向阳,等. 水、磷对紫花苜蓿产量及水肥利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(5):1161-1167.
- [21] 霍星,吕志远,范志东,等. 水肥耦合对毛乌素沙地紫花苜蓿生长与产量的影响[J]. 灌溉排水学报,2013,32(2):111-115.
- [22] 王琦,张恩和,龙瑞军,等. 不同灌溉方式对紫花苜蓿生长性能及水分利用效率的影响[J]. 草业科学,2006,23(9):75-78.
- [23] 李茂娜,王晓玉,杨小刚,等. 圆形喷灌机条件下水肥耦合对紫花苜蓿产量的影响[J]. 农业机械学报,2016,47(1):133-140.

(上接第 200 页)