

基于边缘计算的森林火警监测系统

张科¹, 叶影¹, 张红²

1. 浙江省林业技术推广总站(浙江省林业信息宣传中心), 浙江 杭州 310020;
2. 北京航天泰坦科技股份有限公司, 北京 100071

摘要

云计算和图像处理技术的应用极大地改变了森林火警监测的方式。基于云架构的森林火警监测技术在检测实时性和图像算法可配置性方面均存在不足。为了解决这些问题,设计了一种基于边缘计算的森林火警监测系统。系统采用边缘计算的方式,利用森林监测站的边缘计算机或服务器执行火灾检测的图像处理任务,提高了火灾检测和预警的实时性。另外,系统引入了算法重配置的功能模块,以便火灾识别算法的迭代与更新,减少了系统二次开发的成本,进一步增强了系统的实用性。

关键词

森林火警监测; 云计算; 边缘计算

中图分类号: S762.2

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-0271.2019015

Forest fire monitoring system based on edge computing

ZHANG Ke¹, YE Ying¹, ZHANG Hong²

1. Zhejiang Forestry Technology Extension Center(Zhejiang Forestry Information Technology and Publicity Centre), Hangzhou 310020, China
2. Beijing Aerospace Titan Technology Co., Ltd., Beijing 100071, China

Abstract

The application of cloud computing and image processing technology has greatly changed the way of forest fire monitoring. The forest fire monitoring system based on cloud architecture has shortcomings in real-time detection and image algorithm configuration. In order to solve these problems, a forest fire monitoring system based on edge computing was designed. This system adopts the edge computing method and uses edge computers or servers in forest monitoring stations to perform image processing tasks of fire detection, which significantly improves the real-time performance of fire detection and early warning. On the other hand, the system introduces a function module for algorithm reconfiguration, which facilitates the iteration and update of the algorithms, reduces the cost of system redevelopment, and further improves the practicability of the system.

Key words

forest fire monitoring, cloud computing, edge computing

1 引言

森林火灾是林业灾害中最常见的形式,每年会导致大量森林资源、人员、财产以及珍稀物种的损失,对生态环境和经济发展造成了巨大破坏。森林火灾具有突发性强、波及范围广和处置困难等特点。搭建高效实用的森林火警监测系统对于森林火灾防治具有重要的意义。

近年来,随着计算机技术的快速发展,一些新型技术逐渐被应用于森林火警监测领域。最具代表性的是图像型火警监测技术和云计算技术。图像型火警监测技术^[1-2]以图像处理技术为基础,克服了传统火警监测的缺点,显著提高了监测的准确率和及时性;云计算技术^[3-4]为森林火警监测系统提供了丰富的计算资源、灵活的管理模式和可靠的安全性保证,成为智慧林业平台建设的关键技术之一。

(1) 图像型火警监测技术

森林火灾具有随机性、非结构性的特征^[5],环境中的灰尘、气流以及人为干扰等因素都会对火警监测产生影响,造成误报。图像型火警监测技术通过摄像机获取森林区域的视频图像,借助计算机图像处理技术检测视频图像中的火灾发生情况。目前,一些基于深度神经网络的火警监测技术的提出^[6-9],使得图像型火警监测技术取得了长足的进步,进一步提高了该技术的实用性。

(2) 云计算技术

云计算是近些年快速发展的新型计算模式。通过与大数据技术的融合,云计算技术在工业、电子商务和物联网等领域得到了广泛的应用。云计算模式具有计算能力强、成本低廉、数据可靠和扩展性高等特点,已在全国智慧林业平台建设中得到了推广与应用。森林火警监测系统是智慧林业平

台建设中灾害应急模块的重要组成部分,通过使用云计算、大数据技术,实现火警监测实时化、灾害数据管理规范化和应急措施科学化。

火警监测方式主要分为人工巡查、民用飞行器巡查、传感器探测、卫星遥感检测、视频图像检测几类。**表1**列出了各种火警监测技术的优缺点。相比于其他监测技术,视频图像检测具有成本低、设备易部署、监测范围大和检测率高的特点,更适用于森林火警监测。因此,在当前许多森林火警监测系统设计中,常常将视频图像检测技术作为主要监测方式,并基于云计算架构进行系统搭建。在基于云架构的森林火警监测系统中,视频采集设备(如网络摄像机、护林巡航机、无人机等)用于获取森林区域的视频图像;视频图像通过有线或无线网络传输至云计算中心,调用森林火灾识别算法,检测火灾是否发生;林业管理单位通过配套的客户终端软件,实时获取森林火警监测情况,及时采取应急措施,降低森林火灾造成的损失。但是,通过在林业示范区实践系统的部署与应用,笔者发现当前基于云架构的森林火警监测系统在以下方面仍然存在不足。

- 火警监测实时性待增强。已有系统在火灾检测实时性方面普遍存在不足,表现为从采集设备获取视频图像到系统反馈检测结果,时延较大。火灾检测的功能主要由云计算中心调用森林火灾识别算法实现。在实际部署时,云计算中心与森林监测区域通常相隔较远,视频图像传输耗时较长,火灾检测无法实时实现或实时性较差。除此之外,云计算中心工作负载过大同样会降低火灾检测的实时性。

- 图像算法可配置性需优化。森林火灾识别算法是森林火警监测系统的关键,需要不断优化、更新和迭代。已有系统在设计时,往往只针对目标森林区域进行设计,只

开发单一的火灾识别算法,忽视了图像算法的可配置性。这无疑大大增加了由于图像算法优化、更新或迭代造成的系统二次开发的成本。

为克服当前基于云架构的森林火警监测系统的不足,本文设计了一种基于边缘计算^[10]的森林火警监测系统。在森林火灾防治体系中,位处森林的监测站发挥着不可替代的作用。监测站通常配有边缘计算机或服务器,具有一定的计算资源。而在当前基于云架构的系统中,火灾检测的计算任务全部在云计算中心完成,未考虑使用森林监测站的计算资源。本文设计的系统充分利用了森林监测站具有的计算资源,使用边缘计算机或服务器完成全部或部分火灾检测的计算任务。在功能层面,系统引入了算法重配置模块,开放统一的算法重配置接口,方便用户进行原算法的优化和新算法的迭代更新,解决了已有系统在算法可配置性方面的问题。

2 森林火警监测系统架构设计

2.1 森林火警监测系统总体架构

森林火警监测系统主要包括四大体系模块:视频图像采集模块、边缘计算模块、云计算模块和管理服务模块。**图1**描述了系统的总体架构。视频图像采集模块负责获取森林监测区域的视频图像,并通过有线或无线网络将采集的视频图像实时传输到边缘计算模块。边缘计算模块指森林监测站及监测站配备的边缘计算机或服务器,用于直接接收来自视频采集设备的视频图像,承担着林区监控和全部或部分火灾检测的计算任务。云计算模块即云计算中心,是整个系统的大脑和枢纽,承担一部分火警监测计算任务和其他系

表1 常见火警监测技术及评价

火警监测技术	评价
人工巡查	成本低,但辨识能力有限
民用飞行器巡查	成本过高,无法检测有覆盖物的火情点
传感器探测	适用于室内火灾,容易受地形限制,响应时间长,可靠性较弱,误报率高
卫星遥感检测	数据来源受限,实时性低,不适用于小面积火灾
视频图像检测	监测范围大,误报率低,实时性高,易部署

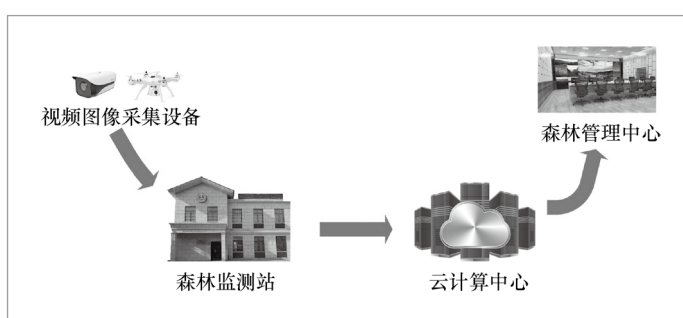


图1 基于边缘计算的森林火警监测系统架构

统的计算任务。管理服务模块则是为方便主管单位管辖林区、监测森林火警和及时响应火警而设计的。

2.2 视频图像采集模块

本文通过改造原有的森林视频监控体系,将已布置的网络摄像机集成到系统视频图像采集模块中,以降低设备部署的成本。航拍飞机是另一种常见的图像采集设备,通过在其飞行过程中拍摄森林全貌,获取可分析的图像,常被用于大面积森林火灾的监测和受灾面积的统计。无人机在火警监测领域发挥着日益重要的作用^[11-12]。无人机具有覆盖范围广、成本低、机动性强和安全性高等特点,能够有效地解决网络摄像机部署时存在的监控盲区问题。视频图像采集模块是整个森林监测系统的重要一环,通过多类型采集设备的集成和森林监测区域的高覆盖,为森林火警监测功能的实现奠

定基础。

2.3 边缘计算模块

本文在云架构的系统基础上,引入了边缘计算模块,有效利用了森林监测站的计算资源,在靠近森林的一侧完成全部或部分火灾检测的计算任务,避免将大量的视频图像传输到距离较远的云计算中心进行图像处理,既有效降低了云计算中心的工作负载,又显著提高了森林火警监测的实时性。

如图2所示,边缘计算模块包括3个基本功能:森林区域监控、视频图像存储和森林火灾检测。

- 森林区域监控。森林区域监控是森林监测站的基础功能。在森林监测站中,除配有边缘计算机或服务器外,还配有显示屏,用于输出监控视频图像。监测站工作人员通过观看显示屏,对森林区域进行实时监控。当系统监测到火灾并发出警报时,工作人员可通过及时查看显示屏,第一时间确认火情,预估火情规模,上报森林管理中心,并采取应急措施。

- 视频图像存储。为了节省云计算中心的存储资源,视频图像数据基于分布式的

模式进行存储。森林监测站配有专门的视频图像存储设备,如机械硬盘等。当云计算中心或客户端程序需要查看、下载或使用历史监控视频数据时,边缘计算模块会将指定采集设备和时间段的历史监控视频数据上传到云计算中心做进一步处理。

- 森林火灾检测。本文利用森林监测站的边缘计算机或服务器,在距离森林较近的一端执行火灾检测的图像处理任务。监测站的边缘计算机或服务器使用云计算中心提供的火灾识别算法,完成预处理、火焰识别和烟雾识别等全部或部分计算任务。边缘计算模块一旦监测到火灾发生,系统将第一时间在监测站、林区和森林管理中心进行多级报警。当监测站的边缘计算机或服务器工作负载较高,来不及执行某些检测计算任务时,视频图像将被发送到云计算中心进行处理。

2.4 云计算模块

云计算中心的体系架构分为4层,如图3所示,自顶向下分别为智慧应用层、平台即服务(platform as a service, PaaS)层、基础设施即服务(infrastructure as a service, IaaS)层和接入层。智慧应用层与配套的客户端应用程序对接,以公共软件接口的形式为客户端应用提供与火警监测相关的系统应用组件服务,例如可视化分析组件接口、火灾识别算法接口、地理信息系统(geographic information system, GIS)接口和火灾预警组件接口,从而帮助开发人员在客户端应用有效地使用云计算中心提供的功能模块。PaaS层为系统应用提供平台服务,最主要的功能是负责系统的资源管理和任务管理。智慧应用层的服务组件均建立在PaaS层的基础上。例如,为了实现森林火灾的实时监测,PaaS层的任务管理模块将在各个监测站和云计算中心之间调度火灾检测计算任务的执行。IaaS层为森林火警监测系统

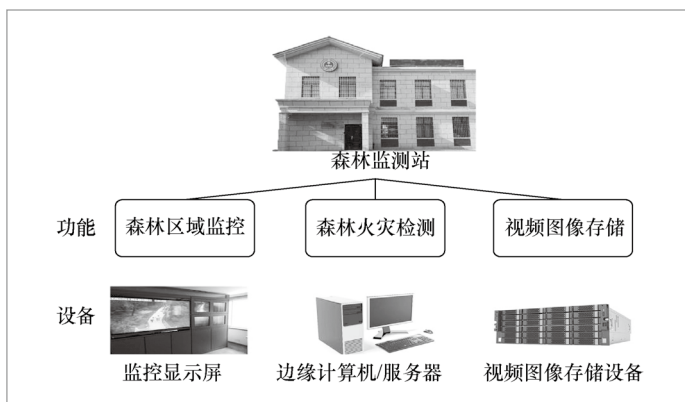


图2 边缘计算模块的功能和相关设备

提供丰富的硬件资源,将不同的硬件划分到存储资源池、计算资源池和网络资源池进行管理,例如管理火警监测系统运行必需的存储器、服务器、网关设备等硬件资源。IaaS层向上为PaaS层的平台服务提供硬件资源支持,向下为接入层的数据提供网络和存储服务。接入层为其他模块的数据提供网络接入服务,使火警监测数据和视频图像数据能快速准确地传输至云计算中心。

2.5 管理服务模块

管理服务模块向林区管理人员提供与森林火警监测和火灾防治相关的客户端应用服务,由一套成体系的森林火警监测客户端软件构成,通过调用云计算中心智慧应用层的应用服务接口,实现视频图像的查询和下载、森林火灾监测、算法重配置和可视化分析等客户端应用功能。管理服务模块是系统面向用户的关键模块,提供了功能丰富和用户友好的客户端应用程序,进一步提高了系统的实用性。

3 森林火警监测系统的功能设计

本文设计的森林火警监测系统以图像处

理、云计算、大数据和边缘计算等技术为基础,构建了森林视频监控网、森林监测站、云计算中心、森林管理中心的体系架构。从功能层面来说,系统主要包含五大功能模块:视频图像服务、森林火警监测、多级火灾报警、可视化分析和算法重配置。**图4**描述了系统的各个功能模块及具体功能。各大功能模块分别负责提供相应的系统功能,共同构成完整的森林火警监测应用服务体系。

3.1 视频图像服务模块

视频图像服务模块主要提供监控视频图像分布式存储、监控图像实时查询、历史监控视频下载和火情视频样本数据集的功

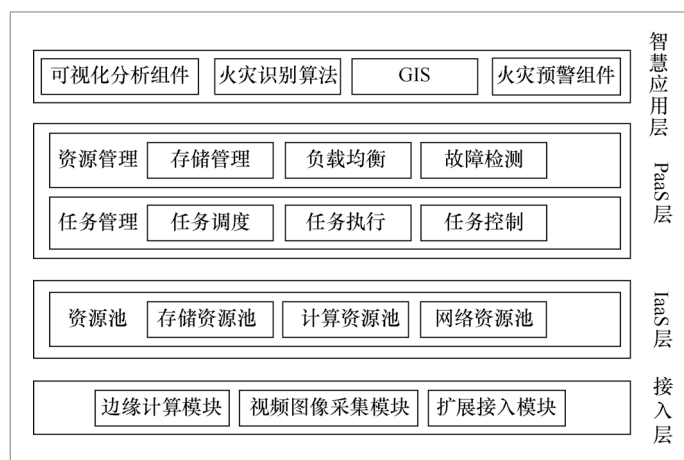


图3 云计算中心的体系架构

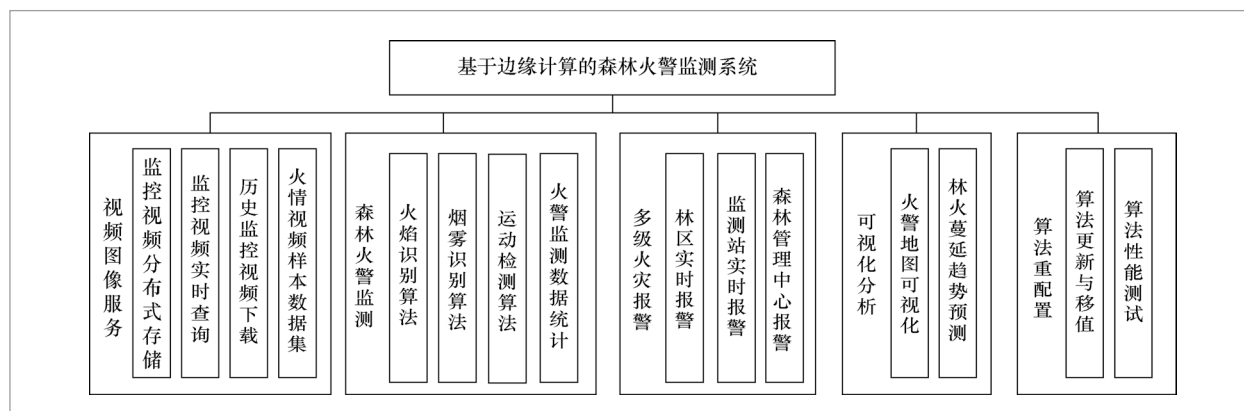


图4 森林火警监测系统的功能模块

能。相关客户端程序提供监控视频实时查询和历史监控视频下载的功能,实现森林覆盖区域状况监测。当系统监测到火灾发生时,工作人员可以立即查看火情现场,预估灾情,并采取应急措施。在工作人员需要下载某台设备某个时段的历史监控视频时,可通过客户端程序向云计算中心发送下载请求,云计算中心将查询存储对应视频的监测站,调出目标历史监控视频。火情视频样本数据对于火灾识别算法的研发具有重要的作用。除了视频图像基本服务功能外,该模块还提供火情视频样本数据集的特色功能。系统在云计算中心设有火情样本数据库,一旦监测到火情后,对应的火情视频将在被标注后存储到火情样本数据库中。

3.2 森林火警监测模块

森林火警监测模块是系统的核心功能模块。该模块配置了系统使用的火灾识别算法,包括火焰识别算法、烟雾识别算法和运动检测算法,并负责将具体的算法部署到森林监测站的边缘计算机或服务器上。森林监测站和云计算中心均会用到该模块。同时,该模块还提供火警监测数据统计的功能。在边缘计算模块中,每个森林监测站负责附近森林区域的火警监测,并将监测结果汇报到云计算中心。云计算中心通过该模块的火警监测数据统计功能,获取管辖范围内所有森林区域的火警全局信息,帮助工作人员进行全局性的灾害分析和应急调度。

3.3 多级火灾报警模块

多级火灾报警模块是与森林火警监测模块联动的一个功能模块,提供火灾报警的功能。在系统设计中,该模块采用多级报警的模式,包括林区实时报警、监测站实时报警和森林管理中心报警3个层次。当系统监测到火灾

发生时,森林监测站将会立即收到报警信息,发出警报,通知站内工作人员第一时间确认火情,及时上报管理中心,并采取应急措施。同时,报警信息将被及时传输到林区部署的报警设备,例如音响、电子宣传栏等,从而通知位于林区的人员迅速撤离。森林管理中心也将收到火灾报警信息,以帮助中心工作人员进行灾情统计和分析,并在出现大规模火灾时,采取森林火灾扑救措施。

3.4 可视化分析模块

在森林火警监测领域中,GIS和可视化技术的应用有效提高了火警监测、防火指挥决策和火灾应急救援的效率。可视化分析模块提供了森林火警的地图可视化功能。该模块基于GIS与视频图像服务模块、森林火警监测模块联动,使得火警监测数据能够在GIS上可视化显示,为灾情分析和选择应急措施提供依据。此外,该模块还引入了多种林火蔓延趋势模型^[13-15],可根据火警监测统计数据 and 地理信息数据预测林火蔓延趋势,并在地图上模拟出蔓延轨迹,帮助工作人员进一步分析火情和制定准确的扑救方案。

3.5 算法重配置模块

森林火灾识别算法是森林火警监测系统的关键技术,决定着系统能否及时发现森林火灾,以采取应急措施,尽可能减少森林火灾带来的损失。森林火灾识别算法往往具有场景性,被监测森林区域的自然环境不同,算法的识别效果可能相差很大。例如,在研发火灾检测算法时,阈值的选取、模型训练集的构建与实际自然环境息息相关,这就需要因地制宜,为不同的森林场景配置不同的算法。同时,随着新算法模型的不不断提出,系统使用的森林火灾识别算法也

需要不断优化、更新和迭代。然而,当前的森林火警监测系统普遍缺少算法可配置性,使得算法的优化、更新和迭代十分困难,导致系统优化和二次开发的成本大大增加。例如,森林管理中心计划委托新的算法研发单位对系统算法进行优化,那么就需要对接系统开发单位,从源码端对算法进行更改,并部署到执行算法的计算机和服务器,这中间涉及多个环节,无疑增加了系统优化的时间和成本。

为了解决上述问题,算法重配置模块提供了算法更新与移植的功能,通过统一的算法配置接口,实现便捷的原算法调整和新算法部署,而不用关心系统的实现细节。此外,算法重配置模块还提供了算法性能测试的功能,向开发者提供云端存储的火情视频样本数据集,以验证算法的效果。

4 森林火警监测系统搭建——以德清县下渚湖湿地为例

德清县为第二批国家新型城镇化综合试点地区,县内有莫干山、下渚湖等森林自然区域。德清县已在林区各主要进山节点、路口建设了194路森林监控高清视频摄像头,形成了视频监控网,其中68路视频监控已接入德清县森林公安消防指挥部系统。本文以在德清县下渚湖的项目实践为例,介绍森林火警监测试点系统搭建的工作。

4.1 采集端搭建

该项目在德清县下渚湖部署了网络摄像机、网关设备和报警设备,用于视频图像的采集和传输以及林区火灾报警。另外,通过与浙江省航空护林管理站开展合作,将飞机航拍图像作为图像数据源接入系统,用

于火警监测。后续笔者将引入卫星遥感图、小型无人机视频等多种数据源,进一步丰富视频图像的采集方式。

4.2 森林火灾识别算法

系统当前版本的算法通过视觉特征和运动特征分别对火焰和烟雾进行识别,算法流程如图5所示。在视觉特征方面,火焰的识别通过设置RGB (red, green, blue) 颜色阈值和HSI (hue-saturation-intensity) 颜色阈值实现^[16],烟雾的识别通过使用火情视频数据集训练生成深度卷积神经网络 (deep convolutional neural network, DCNN)^[17]模型实现;在运动特征方面,算法使用图像差分法^[18]和运动累积法^[19]提取视频中的运动区域。对于飞机航拍图像来说,由于图像数据是非连续的视频帧,故无需进行运动特征识别。笔者在开源火情数据集、示范区实地采集的视频数据集和省航空护林管理站提供的巡航机航拍数据集上进行测试实验。测试数据共包括2 000张有烟火图像和20 000张无烟火图像,经过第三方软件测试单位鉴定,在2 000张有烟火图像中共监测到1 962张图像的火警;在20 000张无烟火图像的检测中,火警误报次数为2次,在测试数

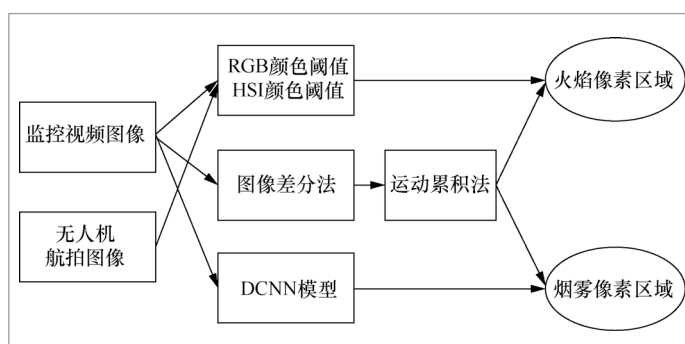


图5 森林火灾识别算法流程

表2 森林火灾识别算法测试实验结果统计

图像数据来源	检测次数/有烟火图像数	误报次数/无烟火图像数	平均检测率	平均误报率
开源火情数据集	297/300	0/2 000	98.1%	0.01%
示范区视频数据集	1 470/1 500	2/17 500		
巡航机航拍数据集	195/200	0/500		

数据集上当前版本的算法达到了98.1%的检测率和不高于0.01%的误报率。详细的实验结果见表2。在未来的工作中,笔者将不断更新和迭代森林火灾识别算法,进一步提高系统的实用性。

4.3 火灾智能预警系统设计及实现

软件的模块设计如图6所示。算法后端可在森林监测站的边缘计算机或服务器(边缘计算模块)或者云计算中心实现。

应用系统的开发完善包括监控管理模块、应急指挥模块、大数据分析模块等,还包括与林业信息系统的融合、系统上云、系统功能模块和客户端应用软件的开发。目前,系统主要功能模块已在云系统上基本

实现,并初步在林业示范区推广和使用,取得了不错的效果。

5 结束语

本文设计了一种基于边缘计算的森林火警监测系统,该系统克服了当前基于云架构的系统在火灾检测实时性和图像算法可配置性方面的不足。系统基于视频图像检测技术,实现了大范围、低成本、高检测率、低误报率的森林火警监测。系统采用边缘计算的方式,利用森林监测站的边缘计算机或服务器执行火灾检测的图像处理任务,大大减少了云计算中心的工作负载,提高了火灾检测和预警的实时性。在功能层面,系统添加了算法重配置的功能模块,方

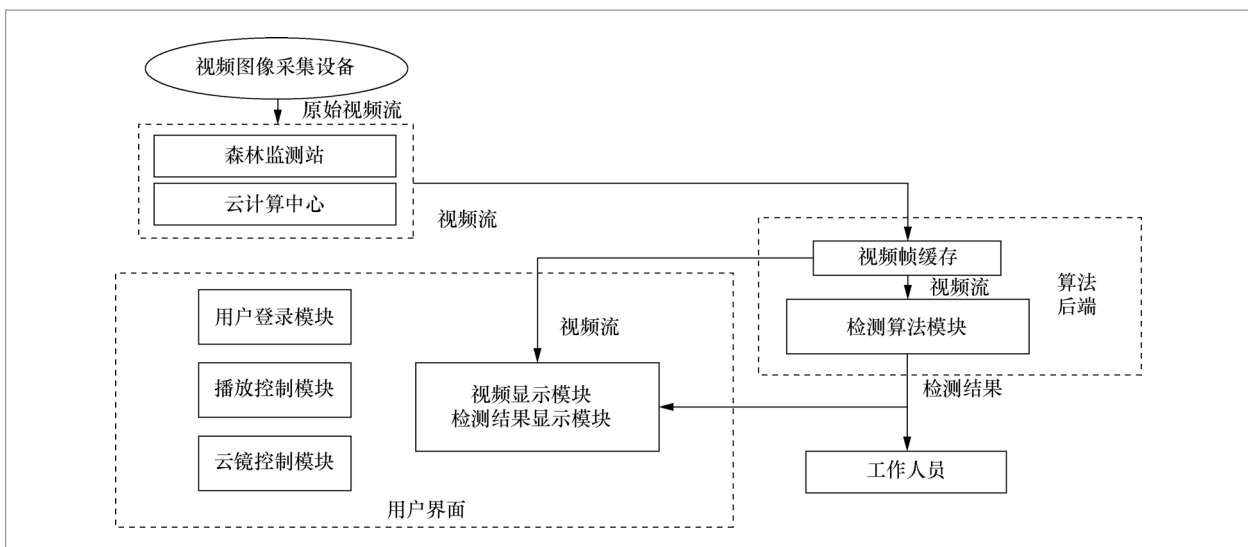


图6 火灾智能预警软件模块设计

便开发人员进行火灾识别算法的迭代与更新,减少了系统二次开发的成本,进一步增强了系统的实用性。

参考文献:

- [1] 林宏, 刘志刚, 赵同林, 等. 基于视频的林火烟雾识别算法研究[J]. 安全与环境学报, 2013, 13(2): 210-214.
LIN H, LIU Z G, ZHAO T L, et al. Improved algorithm for smoking identification of the forest fire based on the video survey[J]. Journal of Safety and Environment, 2013, 13(2): 210-214.
- [2] 沈诗林, 于春雨, 袁非牛, 等. 一种基于视频图像相关性的火灾火焰识别方法[J]. 安全与环境学报, 2007, 7(6): 96-99.
SHEN S L, YU C Y, YUAN F N, et al. Renovated method for identifying fire plume based on image correlation[J]. Journal of Safety and Environment, 2007, 7(6): 96-99.
- [3] 刘亚秋, 景维鹏, 井云凌. 高可靠云计算平台及其在智慧林业中的应用[J]. 世界林业研究, 2011, 24(5): 18-24.
LIU Y Q, JING W P, JING Y L. High reliable cloud computing platform and its application in smarter forestry[J]. World Forestry Research, 2011, 24(5): 18-24.
- [4] 陈康, 郑纬民. 云计算: 系统实例与研究现状[J]. 软件学报, 2009, 20(5): 1337-1348.
CHEN K, ZHENG W M. Cloud computing: system instances and current research[J]. Journal of Software, 2009, 20(5): 1337-1348.
- [5] 徐小军, 郑健, 郭尚芬. 火灾图像探测的神经网络方法研究[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(13): 3416-3418.
XU X J, ZHENG J, GUO S F. Study on neural network method of fire image detection[J]. Computer Engineering and Design, 2008, 29(13): 3416-3418.
- [6] 傅天驹, 郑嫦娥, 田野, 等. 复杂背景下基于深度卷积神经网络的森林火灾识别[J]. 计算机与现代化, 2016(3): 52-57.
FU T J, ZHENG C E, TIAN Y, et al. Forest fire recognition based on deep convolutional neural network under complex background[J]. Computer and Modernization, 2016(3): 52-57.
- [7] FRIZZU S, KAABI R, BOUCHOUICHA M, et al. Convolutional neural network for video fire and smoke detection[C]//The 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, October 23-26, 2016, Florence, Italy. Piscataway: IEEE Press, 2016: 877-882.
- [8] MUHAMMAD K, AHMAD J, LV Z, et al. Efficient deep CNN-based fire detection and localization in video surveillance applications[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2018(99): 1-16.
- [9] ZHANG Q, LIN G, ZHANG Y, et al. Wildland forest fire smoke detection based on faster R-CNN using synthetic smoke images[J]. Procedia Engineering, 2018, 211: 441-446.
- [10] 施巍松, 孙辉, 曹杰, 等. 边缘计算: 万物互联时代新型计算模型[J]. 计算机研究与发展, 2017, 54(5): 907-924.
SHI W S, SUN H, CAO J, et al. Edge computing-an emerging computing model for the internet of everything era[J]. Journal of Computer Research and Development, 2017, 54(5): 907-924.
- [11] YUAN C, LIU Z, ZHANG Y. Fire detection using infrared images for UAV-based forest fire surveillance[C]// 2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), June 13-16, 2017, Miami, USA. Piscataway: IEEE Press, 2017: 567-572.
- [12] CASBEER D W, BEARD R W, MCLAIN T W, et al. Forest fire monitoring with multiple small UAVs[C]// 2005 American Control Conference, June 8-10, 2005, Portland, USA. Piscataway: IEEE Press, 2005.
- [13] MORVAN D, DUPUY J L. Modeling of fire spread through a forest fuel bed using a multi-phase formulation[J]. Combustion and flame, 2001, 127(1-2): 1981-1994.
- [14] 唐晓燕, 孟宪宇, 易浩若. 林火蔓延模型及蔓延模拟的研究进展[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(1): 87-91.
TANG X Y, MENG X Y, YI H R. Review and prospect of researches on forest fire spreading

- models and simulating method[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2002, 24(1): 87-91.
- [15] 张菲菲. 基于地理元胞自动机的林火蔓延模型与模拟研究[D]. 汕头: 汕头大学, 2011.
ZHANG F F. Research on the model and simulation of the forest fire spread based on geographic cellular automata[D]. Shantou: Shantou University, 2011.
- [16] CHEN T H, WU P H, CHIOU Y C. An early fire-detection method based on image processing[C]// 2004 International Conference on Image Processing, October 24-27, 2004, Singapore. Piscataway: IEEE Press, 2004: 1707-1710.
- [17] KRIZHEVSKY A, SUTSKEVER I, HINTON G E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks[C]//The 25th International Conference on Neural Information Processing Systems, December 3-6, 2012, Lake Tahoe, USA. Miami: Curran Associates Inc., 2012: 1097-1105.
- [18] LEE D S. Effective Gaussian mixture learning for video background subtraction[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2005(5): 827-832.
- [19] YUAN F. A fast accumulative motion orientation model based on integral image for video smoke detection[J]. Pattern Recognition Letters, 2008, 29(7): 925-932.

作者简介



张科 (1978-), 女, 浙江省林业技术推广总站 (浙江省林业信息宣传中心) 副研究馆员、副主任, 主要研究方向为“互联网+林业”、林业信息安全等。



叶影 (1986-), 女, 浙江省林业技术推广总站 (浙江省林业信息宣传中心) 中级工程师, 主要研究方向为地理信息系统、遥感、“互联网+林业”、网络安全等。



张红 (1993-), 女, 北京航天科技股份有限公司技术工程师, 主要研究方向为林业信息化。

收稿日期: 2019-01-18

基金项目: 浙江省科技计划基金资助项目 (No. 2017C02044)

Foundation Item: The Science and Technology Program of Zhejiang(No. 2017C02044)