

物联网边缘计算在智慧林业上的应用

林茁杨¹ 陈淑武²

(1 福建农林大学 福州 350002; 2.福建农林大学 福州 350002;)

摘 要:本文探讨了物联网边缘计算在智慧林业领域的应用。智慧林业是将现代信息技术与传统林业相结合,通过物联网、云计算、大数据等技术手段,实现对森林资源的智能化管理和可持续利用。物联网技术的广泛应用在智慧林业中已经取得了显著成效,如森林资源监测、林火监测、森林病虫害监测等多个领域。物联网边缘计算技术应用通过更快速的数据处理、更低延迟的数据传输,提高了系统的响应速度和可靠性,为智慧林业提供了更加智能化、高效化的解决方案。智慧林业系统的总体架构主要分为物联网感知层、边缘计算层和应用层。在感知层,各类传感器节点用于实时采集林业环境中的数据。边缘计算层由多个部署在靠近数据采集地点的边缘节点组成,这些节点具备一定的计算能力,能够对从感知层传输来的数据进行初步处理和分析。应用层包括云平台和多种应用服务,负责数据的深度分析、存储和展示,为林业智能管理提供全方位的支持。在智慧林业中,本文以林火监测和森林病虫害防治两个具体应用场景介绍物联网边缘计算在智慧林业当中的应用。在林火监测方面,利用各类传感器和监控设备实时监测森林环境状况,及早发现火情并快速响应,以减少火灾造成的损失。在森林病虫害防治方面,通过实时监测植被生长情况、昆虫生物影像,并结合数据分析和模型算法,实现对森林病虫害的智能判断和精准防治。当前,智慧林业中物联网边缘计算技术也面临一些挑战,包括数据采集的稳定性和准确性、网络覆盖的限制以及数据存储容量的问题。为了解决这些问题,可以采取优化传感器设备、扩展网络覆盖范围、采用分布式存储技术等措施,推动智慧林业向更加智能和可持续的未来发展。物联网边缘计算技术在智慧林业中的应用为林业管理和保护带来了新的机遇和挑战,并推动了智慧林业向智能化和可持续发展的方向迈进。

关键词: 物联网; 边缘计算; 智慧林业; 数据传输; 传感器; 林火监测; 森林病虫害防治;

中图分类号 Q958.15; S154.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-7488 () -0000-00

现如今,物联网技术与智慧林业领域的联系已经密不可分。充分利用物联网技术可以显著降低监测和管理成本,有效提升各项工作的效率和准确性,促进林业生态可持续发展^[1]。物联网技术在林业资源监测、林火监测、森林病虫害监测、野生动植物保护、森林游憩、林业种植等多个领域已经得到了广泛应用,其独特的优势表现得尤为突出。

此外,物联网边缘计算技术的应用为智慧林业提供了更加智能化、高效化的解决方案。边缘计算通过在靠近数据源的地方进行数据处理,使得数据处理过程更加快速,减少了传输延迟,并能够在互联网连接不稳定的情况下继续工作,从而进一步提高了系统的响应速度和可靠性。

这种技术进步不仅推动了智慧林业的发展,为林业管理和保护带来了新的机遇和挑战,还促进了整个行业的转型升级。例如,通过实时数据分析和预测,可以更及时地发现和应对森林火灾、病虫害等潜在威胁,保护森林资源的安全。同时,智能化的林业管理系统还可以优化资源配置,提升林业生产的精细化管理水平,减少人工投入,实现可持续发展。物联网与智慧林业的结合,必将引领林业领域走向更加智能和可持续的未来。

1 物联网边缘计算与智慧林业概况

智慧林业是指将现代信息技术与传统林业相结合,通过物联网、云计算、大数据等技术手段,实现对森林资源的智能化管理和可持续利用。智慧林业融合了林业科学、信息科学、地理科学和工程科学等相关学科的理论和方法,具有显著的多学科交叉特点。同时,智慧林业是由数据、知识、模型及软硬件等核心要素相互联结而成的,其实施过程贯穿了林业全产业链,每个环节都具有独特的结构功能特征,经过优化组合后呈现整体性和系统性,是一项复杂的系统工程^[2]。智慧林业的邻域范围涵盖了林业生产、经营、管理和服务等各个环节,旨在提高林业生产效率、优化资源配置、促进生态保护和推动林业产业升级。

物联网（IoT）是一种通过传感设备和嵌入式系统，利用短距无线自组织网络将物体与互联网连接起来的技术体系。它实现了信息的交换和通信，促进了智能化应用的发展，如识别、定位、跟踪、监控和管理等功能。物联网技术广泛应用于智能家居、智慧城市、智能交通、环境监测和医疗健康等领域，极大地提升了生活和工作的便利性与效率。

随着物联网技术的进一步发展，边缘计算（Edge Computing）成为其关键组成部分。边缘计算是一种将数据处理和计算能力推向接近数据源和终端设备的网络边缘的新型计算模式^[3]。在这种架构下，数据在生成的瞬间就能得到即时处理，不仅减少了对数据中心服务器的依赖，也优化了数据传输过程，减少了数据传输对网络带宽的占用，从而提高了整个网络系统的运行效率^[4]。此外，边缘计算能够保护数据隐私，通过在数据产生地进行加密和处理，减少数据传输过程中的泄露风险。它还具有良好的可扩展性和灵活性，能够应对物联网设备数量的迅猛增长，满足多种应用场景的需求。

在智慧林业领域，物联网边缘计算技术的应用前景广阔^[5]。通过在森林中部署各类传感器，如温湿度传感器、烟雾传感器、红外相机等，可以实时监测森林环境状况，及早发现火灾、病虫害、盗伐等威胁，并快速作出响应。边缘计算设备可以在本地对采集到的数据进行初步分析，筛选出关键信息，减少数据传输量，提高反应速度。此外，无人机和卫星遥感技术的应用，结合边缘计算，可以实现对森林资源的精准调查和动态监测，为林业管理决策提供数据支持。智慧林业还可以利用物联网技术优化林业生产过程，如精准灌溉、施肥和病虫害防治等，提高林业生产效率和产品质量。

2 方法与技术

本章节将介绍智慧林业系统的总体架构、传感器的部署与数据采集方法以及边缘计算的实现。这些内容能够为理解智慧林业中物联网与边缘计算技术的结合及其高效应用提供基础。

2.1 系统架构设计

基于不同的应用需求，物联网的体系结构主要分为三层架构、四层架构、五层架构、分布式架构、面向服务的体系结构及各物联网开发平台集成额外服务的物联网参考体系结构，另有结合低轨卫星通信的天地一体化物联网体系架构设想^[6]。智慧林业系统的总体架构主要分为三个层次：物联网感知层、边缘计算层和应用层。如图 2-1：

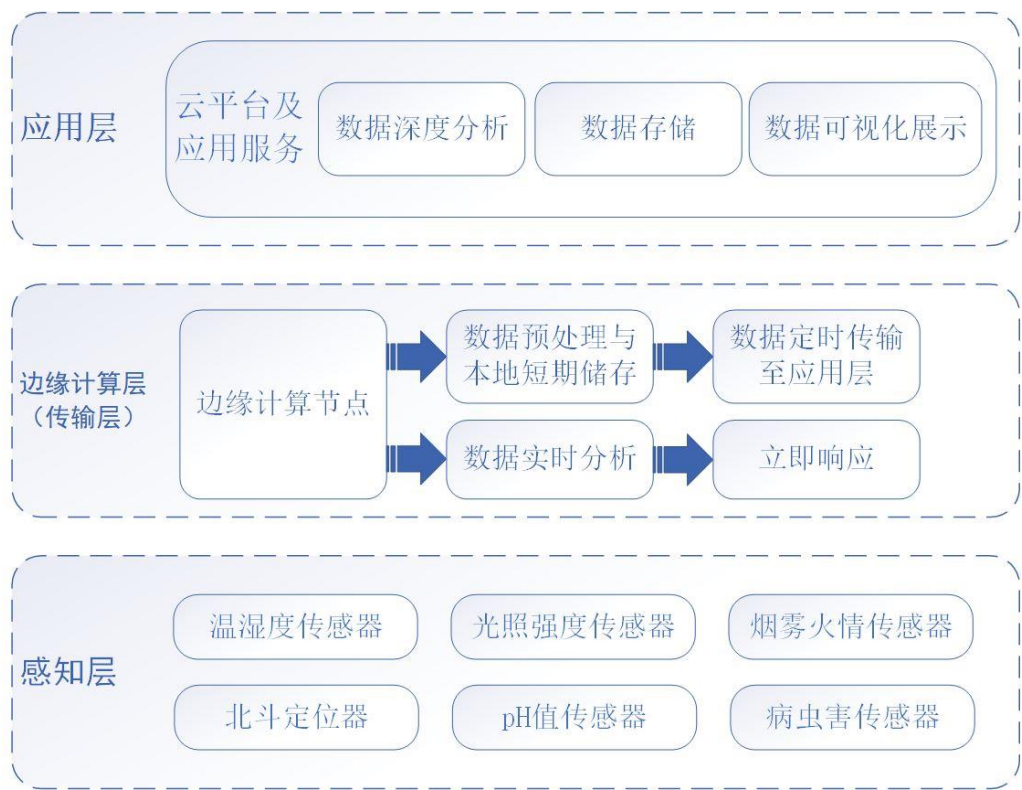


图 2-1 智慧林业系统的总体架构

物联网感知层：

感知层主要由各种传感器节点组成，用于实时采集林业环境中的数据。这些传感器包括温湿度传感器、土壤湿度传感器、二氧化碳浓度传感器、光照强度传感器、树木径增长传感器以及病虫害检测传感器等。传感器通过无线或有线方式将数据传送至边缘节点。考虑到林业环境的复杂性，传感器节点通常布设在树木、土壤及空气中，不同的采集频率和数据类型可根据实际需求调整。

边缘计算层（传输层）：

边缘计算层由多个边缘节点组成，这些节点通常部署在靠近数据采集地点的区域，如森林监测站或林区管理站。边缘节点具备一定的计算能力，能够对从感知层传输来的数据进行初步处理和分析。边缘节点接收传感器的数据后，进行数据的过滤、清洗和初步分析，提取有用的信息，然后将处理结果传输至应用层。同时，边缘计算层也可以实时监控传感器状态，协助数据的高效传输和设备管理。

应用层：

应用层主要包括云平台 and 多种应用服务，负责数据的深度分析、存储和展示。通过数据可视化工具和决策支持系统，应用层可以为林业管理提供全方位的支持。最终用户可以通过移动端和 Web 应用，实时查看林业环境数据，获取预警信息和管理建议。

2.2 传感器与数据采集

智慧林业系统中使用的传感器种类繁多，林业智能感知传感器较多地应用在林区防火（如风向、风力、蒸发量、干燥度和温湿度传感器等）、病虫害防治（如影像光谱成像仪、定位仪、热红外感应器等）、动植物保护（如射频红外感应器、夜光成像仪、定位器、电子标签感应器等）、造林工程监管（如温湿度感应器、降水量传感器等）及生态因子监测（如温湿度、降水量、风速、土壤温湿度、二氧化碳含量传感器）等^[2]。

其部署与数据采集方法需要根据不同目标进行优化。

传感器部署：

部署策略：传感器需根据地理分布、森林类型和监测需求进行科学布设，确保数据覆盖全面、传输稳定。高密度的传感器布设能够提高数据的精度，而关键点位的传感器则能提供关键环境指标。

能源管理：由于森林环境电力供应受限，传感器通常采用太阳能或电池供电，并配合低功耗传感技术延长使用寿命。

数据采集与传输：

采集方式：智慧林业数据采集主要通过多种森林环境基本参数传感器，运用包括射频识别（RFID）技术、光谱成像、热红外成像、无线传感器网络等技术手段对数据进行采集。

数据传输：传感器通过无线传感网（如 LoRa，4G/5G、NB-IoT）将数据汇总至边缘节点。数据按设定时间间隔进行采集，频率可根据实时需求动态调整。

2.3 边缘计算的实现

边缘计算的实现是智慧林业系统高效运行的关键，下面从边缘节点选取、计算能力和数据处理流程三方面进行详细阐述。

边缘节点的选取：

节点位置与设备选择：边缘节点应选择在数据采集密集区或监测站附近，以减少传输路径和提高数据传输效率。设备选取上，应选择具备低功耗、高计算能力和高稳定性的计算设备。这些边缘节点通过有线或无线网络连接至传感器节点和云平台，确保数据的实时传输与处理。

计算能力：

边缘节点通常配备多核处理器、大容量内存和本地存储设备，保证足够的计算能力和存储能力。通过边缘计算技术，大部分可处理可分析的数据在本地进行数据分析和处理，并将处理分析结果以及其余复杂数据上传至云端，减少对带宽的依赖。

数据处理流程：

边缘节点实时接收传感器数据，首先对原始数据进行预处理，包括去噪、滤波、数据整合和冗余信息删除。数据预处理有助于降低传输成本和存储负担，提高数据质量。再通过预先部署低规模模型算法对数据进行分析，包括烟雾预警、温湿度预测、病虫害预警等。处理后的数据按时间戳和地理坐标存储在本地存储设备上，并定时上传至云平台进行深度分析和备份。基于处理结果，边缘节点可直接发出控制指令给物联网设备，如启动灌溉系统、发布预警信息，做到快速响应。

通过上述系统架构设计、传感器配置与数据采集方法以及边缘计算实现策略，智慧林业系统能够高效地进行环境监测、数据分析和决策支持，提高森林管理的智慧化水平。

3 物联网边缘计算在智慧林业中的应用

3.1 林火监测

森林火灾对森林生态系统和人类活动造成的破坏往往十分严重^[7]。因此，如何在复杂的森林环境中及时发现火情并做出预警是森林可持续经营管理中亟待解决的关键技术问题。林火监测是指利用温湿度传感

器、烟雾传感器、火焰传感器、红外摄像头、视频监控、GIS^[8]和卫星遥感技术^[9]等技术设备，实时采集和传输环境数据与图像，并通过边缘计算和数据分析模型进行火情分析和预警，以便早期探测和响应森林火灾。这对防止森林火灾蔓延、保护生态环境和生物多样性、减少木材资源损失和灭火成本、保障居民和游客安全，以及提升森林管理的精细化和科学化水平具有重要意义。通过及时发现火情、发出预警通知并组织有效的灭火行动，林火监测能够最大限度地减少森林火灾的危害，保护森林资源和生态系统的稳定与安全。

在智慧林业中，物联网边缘计算技术可以应用于林火监测，通过实时监测森林环境状况，及早发现火情，快速响应和处置，减少火灾造成的损失。如图 3-1，我们可以从物联网边缘计算的三个基本层面来了解其具体应用场景：

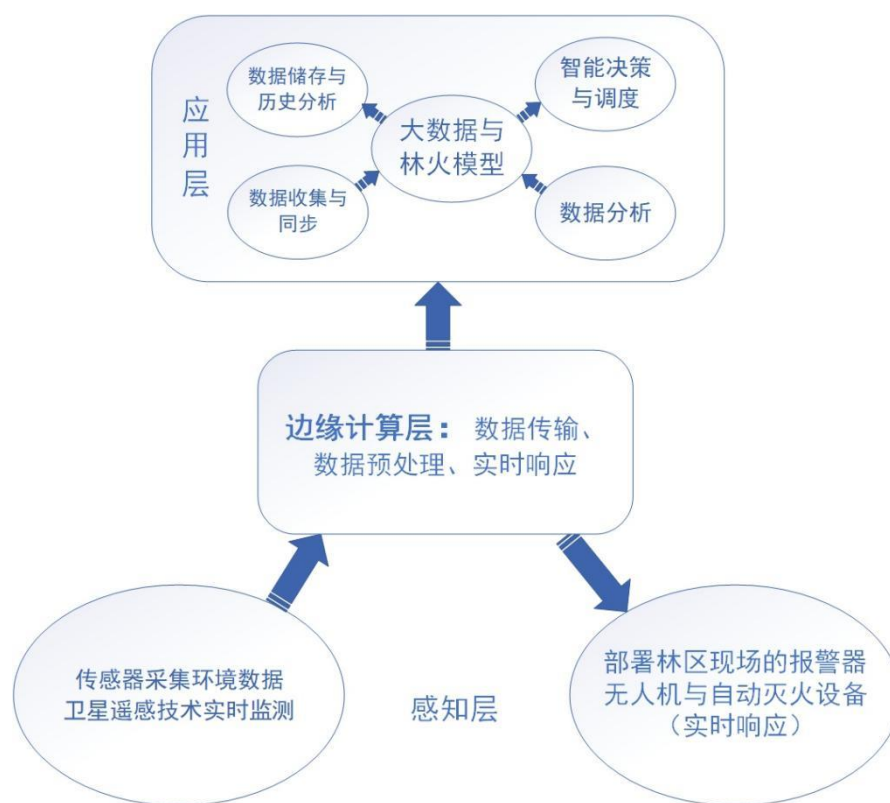


图 3-1 林火监测的基本架构

感知层

数据采集：通过在森林中部署温度传感器、湿度传感器、烟雾传感器、红外摄像头、可见光摄像头等，以实时采集森林环境数据，监控森林画面，捕捉可疑火情。在此基础上，部署响应更快、成本更低的 GIS 和卫星遥感设备，实现对林区更全面且实时的监控。

北斗定位：在各类传感器和监控设备内置北斗定位模块，实时记录和传输设备位置，为数据分析提供地理参考。也为森林管理人员和灭火队伍的行动轨迹也通过北斗定位进行实时监控，确保快速反应。

边缘计算层（传输层）

数据接收：通过无线传感器网络（如 LoRa、ZigBee、NB-IoT 等）将采集到的数据传输到边缘计算节

点。再利用北斗短报文通信等功能，在网络不稳定或中断时，仍能保障数据传输的可靠性。

数据预处理与上传：利用边缘计算节点接收传感器采集的数据，进行初步的数据清洗和过滤，剔除噪声和冗余数据。同时对图像和视频数据进行预处理，如图像增强、目标检测等，提取关键信息。最后边缘节点将处理过后的环境数据、图像视频数据以及初步分析结果上传到云端平台进行存储和进一步分析。

实时响应：当边缘计算节点以预设模型通过初步演算检测到火情风险或确认发生林火时，立即触发预警。将火情预警信息（包括地理位置）和相关数据实时传输到云端平台和林业管理部门。边缘计算节点可控制搭载消防泵与喷雾系统的无人机^[10]等自动灭火设备，通过卫星遥感、北斗定位精确导航，实施初步灭火措施。

应用层

数据收集和同步：云端平台收集并汇总来自不同区域的火情数据，将各类数据信息实时同步操作，进行大规模数据分析和火情态势评估。

数据分析：就地通过边缘计算节点利用机器学习算法对环境数据进行初步分析，判断是否存在火情风险。以预设模型对图像和视频数据进行深度学习分析，识别火情特征，如烟雾、明火等。最后结合环境数据和图像分析结果，综合判断是否发生林火。

智能决策和调度：林业管理部门根据边缘计算节点和云端平台提供的火情信息，快速制定灭火方案、调度灭火力量，如林业消防队、无人机等，通过北斗定位精确定位火场，进行扑救行动。实时更新火情发展态势，动态调整灭火策略和资源部署。

数据存储和历史分析：将火情监测和处置过程中产生的数据存储于云端平台，建立林火数据库。系统对历史林火数据进行深度分析，挖掘火情发生规律，优化林火预防和应对策略。

智慧林业林火监测通过感知层的数据采集和北斗定位技术、传输层的数据传输和预处理，以及应用层的数据分析、实时响应和智能决策，物联网边缘计算技术实现了对森林火情的早期预警、实时响应和智能决策，大大提高了林火防控的效率和精准度，最大限度地减少了森林火灾造成的损失，保护了森林资源和生态环境安全。

3.2 森林病虫害防治

森林病虫害防治是指通过科学的方法和技术手段，预防、控制和治理森林中的疾病和虫害，以保护森林生态系统的健康和稳定。对于保护生态环境、保障资源可持续利用、维护生物多样性、提高森林生产力有着重要意义。森林病虫害防治的主要思路包括预防为主、综合治理、智能化防治、生态友好和科技支撑，强调综合运用多种手段和先进技术，实现智能化防治方案，保护森林生态系统的健康和稳定，促进森林资源的可持续利用，推动森林生态环境的良性发展。在智慧林业系统中如图 3-2 所示，森林病虫害防治总体架构涉及感知层、边缘计算层（传输层）和应用层三个关键层面，每个层面都发挥着重要作用。

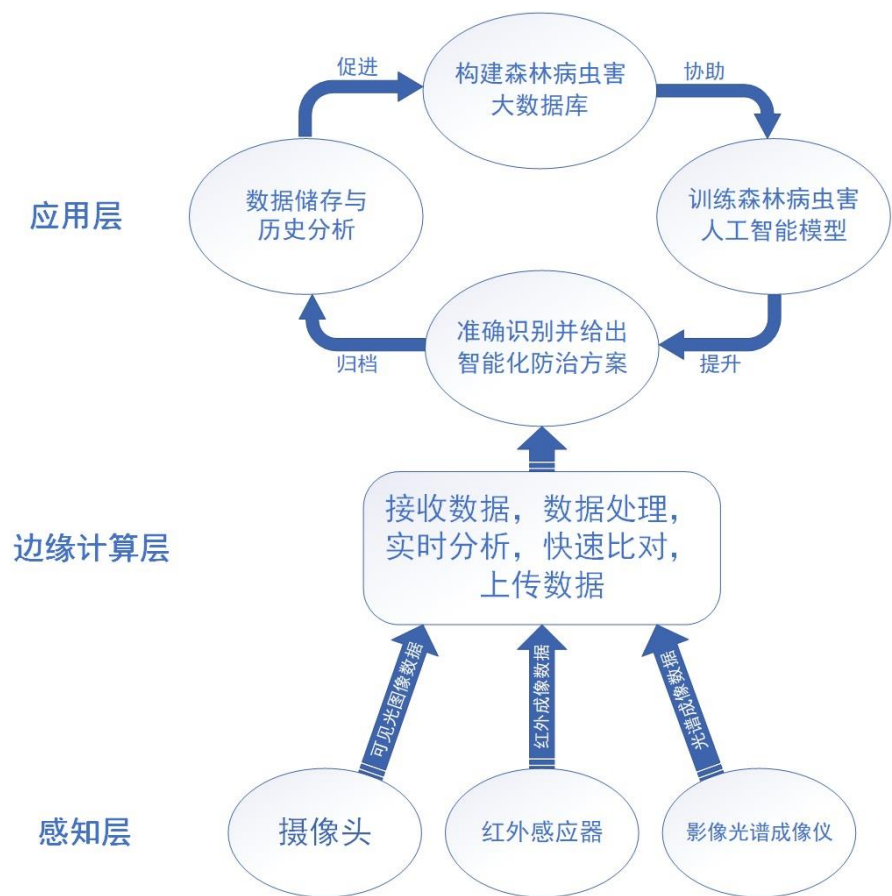


图 3-2 森林病虫害防治总体架构

感知层

在感知层，各类传感器和监测设备被部署在森林中，包括红外感应器、影像光谱成像仪、摄像头等。通过可见光成像、多光谱成像^[11]、高光谱成像^[12]和热红外成像等多源、多平台、多尺度遥感技术^[13]，采集包括环境数据（气象、土壤等）、植物数据（生长状态、健康情况）、病虫害数据（种类、分布、危害程度）和监测数据（病虫害监测、虫口密度等）等关键数据。再通过无线传输中继，收集并传输大量数据到下一层级的边缘计算层进行处理。

边缘计算层（传输层）

在边缘计算层，利用边缘计算技术对从感知层传输过来的数据进行实时处理和分析。这些数据经过处理后，通过和建立的模型以及数据库进行比对，可以快速识别不同类型的病虫害、分析它们的分布情况以及严重程度。边缘计算层的作用在于实现数据的快速处理和分析，为后续的防治决策提供支持。

应用层

在应用层，基于边缘计算层处理的数据，通过人工智能算法和大数据分析，结合森林病虫害特征和规律数据库与大模型，应用层可以实现更深入的、更智能的、更准确病虫害诊断、精准施药和制定更有针对性的防治方案，提高防治效率并减少资源浪费^[13]。这种智能化的防治方案有助于保护森林生态系统的健康和稳定，实现森林病虫害的有效防治。

同时，收集至云端的森林病虫害数据还可以帮助森林病虫害大数据库的构建与森林病虫害模型的训练，通过不断的数据积累实现量变达到质变，突破对森林病虫害的识别速度与识别准确度。并为更多的森林病

虫害案例提供现实数据，完善对罕见森林病虫害的防治措施，实现更智能化防治方案。

4 挑战与解决方向

4.1 面临的挑战

在智慧林业领域的不断发展中，物联网技术可以实现对森林资源的自动化、实时化、精细化管理和智能化服务，提高森林资源管理的效率和水平。然而，在物联网技术的应用过程中，也会面临一些问题，如数据采集、数据传输、数据存储等方面存在的问题，这些问题可能会影响智慧林业的健康发展^[14]。首先，数据采集的稳定性和准确性受到多种因素的影响，如天气条件和地形地貌。这些因素可能导致数据采集过程中出现不稳定的情况，影响到数据的准确性和实时性。例如，恶劣的天气条件可能影响传感器设备的正常运行，导致数据采集的不稳定性。

除此之外，由于林区通常位于偏远地区，网络覆盖可能存在限制。这会导致数据传输过程中面临网络信号不稳定、传输速度较慢的问题。在这种情况下，数据的实时传输和监测可能受到影响，影响到智慧林业平台的实时监测和响应能力。缺乏稳定的网络连接也可能导致数据丢失或延迟传输，进而影响到决策的准确性和及时性。

最后，应用物联网边缘计算技术搭建的智慧林业平台需要大量数据进行分析和决策，但林区内的设备和基础设施可能存在存储空间有限的问题。这可能导致数据存储不足或无法满足长期存储的需求。在数据量庞大的情况下，存储设备性能不足或存储设备故障可能会导致数据丢失或无法正常读取，影响到数据的完整性和可靠性。

因此，解决智慧林业中物联网边缘计算面临的挑战，需要采取有效的措施来提高数据采集的稳定性和准确性，改善网络覆盖和传输速度，以及优化数据存储策略，确保数据的安全性和可靠性。这些挑战的解决将对智慧林业的发展和管理起到关键作用。

4.2 解决方向

在智慧林业领域，面临的挑战主要包括数据采集的稳定性和准确性、网络覆盖的限制以及数据存储容量的问题。针对这些挑战，可以采取以下具体可行的解决方向：

在数据采集方面，我们可以通过以下方式提高数据采集的稳定性和准确性：优化传感器设备：定期更新和维护传感器设备，确保其正常运行和准确采集数据。多样化数据采集方式：结合无线传感网和有线传感方式，根据不同环境条件选择合适的数据采集方式。数据校准和质量控制：建立严格的数据校准机制和质量控制流程，确保采集到的数据准确可靠。

在网络覆盖方面，我们可以采取以下措施以解决网络覆盖的限制：扩展网络覆盖范围：增加网络设备和信号中继器，扩展网络覆盖范围，提高数据传输的稳定性。多网络备份：建立备用网络和卫星通信等多网络备份机制，应对网络信号不稳定情况，确保数据传输的可靠性。

在数据存储方面，我们可以采取以下措施以解决数据存储容量的问题：采用分布式存储技术：利用分布式存储技术，将数据存储多个节点上，提高数据存储的容量和可靠性。数据备份和恢复策略：建立完善的数据备份和恢复策略，定期备份数据并确保数据的安全性，以防止数据丢失和损坏。

通过以上解决方向的科学合理实施，智慧林业可以有效提高数据采集的稳定性和准确性，优化网络覆盖和传输速度，确保数据存储的安全性和可靠性，推动智慧林业向更加智能和可持续的未来发展。

5 结束语

当前,在智慧林业中,物联网边缘计算技术的应用前景十分广阔。通过不断优化技术和应用,智慧林业将实现更加智能化、精细化和高效化的管理模式,为林业资源的可持续发展和保护提供更加有力的支持。随着智慧林业的不断发展,物联网边缘计算将成为推动林业现代化转型的重要引擎,为构建绿色、智慧的林业生态系统做出积极贡献。

未来,随着技术的不断进步和创新,物联网边缘计算将在智慧林业中发挥更加重要的作用。通过传感器技术和数据处理能力的提升,智慧林业将实现更加精细化的监测和管理,提高资源利用效率和保护水平。网络通信技术的发展将实现稳定高效的数据传输,为分析决策提供更多支持。存储技术的完善将确保数据安全可靠。这将推动智慧林业向智能化和数字化方向发展,为林业管理和保护带来更多创新和发展机遇,助力林业行业迈向更加智能和可持续的未来。

参 考 文 献

- [1] 杨凤.物联网与智慧林业融合发展研究[J].智慧农业导刊,2024,4(01):6-9.DOI:10.20028/j.zhnydk.2024.01.002.
- [2] 曹林,周凯,申鑫,等.智慧林业发展现状与展望[J].南京林业大学学报(自然科学版),2022,46(06):83-95.
- [3] 侯祥鹏,兰兰,陶长乐,等.边缘智能与协同计算:前沿与进展[J].控制与决策,2024,39(07):2385-2404.DOI:10.13195/j.kzyjc.2024.0206.
- [4] 张淼,张英威,席珺琳,等.智能物联网中的边缘计算与数据处理[J].通讯世界,2024,31(03):132-135.
- [5] 刘飞,陈倩,黄天来.林业数字化时代下物联网技术的应用[J].现代园艺,2024,47(07):185-187.DOI:10.14051/j.cnki.xddy.2024.07.028.
- [6] 陈钊,赵飞翔,张怀清.无人机辅助的林业物联网系统技术研究综述[J].世界林业研究,2024,37(02):22-26.DOI:10.13348/j.cnki.sjlyyj.2024.0023.y.
- [7] 何乃磊,张金生,林文树.基于深度学习多目标检测技术的林火图像识别研究[J].南京林业大学学报(自然科学版),2024,48(03):207-218.
- [8] 李存宇,张景忠.GIS在林火管理中的应用与展望[J].林业勘查设计,2023,52(06):62-65+74.
- [9] 赵文化,张月维,石艳军,等.基于 Himawari 和 FY4 卫星实时监测森林火灾蔓延初探[J].森林防火,2024,42(02):1-8.
- [10] 陈志平.无人机监测在森林火灾中的应用[J].森林防火,2023,41(04):135-138.
- [11] 孙伟韬.基于多光谱遥感影像的森林病虫害监测研究[J].桉树科技,2023,40(04):39-46.DOI:10.13987/j.cnki.askj.2023.04.006.
- [12] 赵洪莹,舒清杰,王柯人,等.高光谱遥感技术在森林病虫害监测中的应用[J].绿色科技,2020,(19):145-148.DOI:10.16663/j.cnki.lskj.2020.19.057.
- [13] 郑绍鑫,何江,封成,等.基于机器学习算法的森林病虫害遥感模型对比研究[J/OL].热带农业科学:1-12[2024-07-01].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1038.S.20240621.1836.011.html>.
- [14] 陈华昌.物联网技术在智慧林业应用中存在的问题及对策[J].智慧农业导刊,2023,3(18):21-24.DOI:10.20028/j.zhnydk.2023.18.006.