

5G-A可隐匿性具身智能在生物多样性场景的应用

Application of 5G-A Concealable Embodied Intelligent Agents in Biodiversity Scenarios

卢志燕¹, 苏陆², 周鹏³, 成湘龙¹ (1. 中国联合网络通信集团有限公司, 北京 100033; 2. 联通数据智能有限公司, 北京 100031; 3. 联通数字科技有限公司, 北京 100032)

Lu Zhiyan¹, Su Lu², Zhou Peng³, Cheng Xianglong¹ (1. China United Network Communications Group Co., Ltd., Beijing 100033, China; 2. China Unicom Data Intelligence Co., Ltd., Beijing 100031, China; 3. China Unicom Digital Technology Co., Ltd., Beijing 100032, China)

摘要:

目前,具身智能等人工智能技术正迎来发展黄金期。同时,5G-A快速商用,其与具身智能的融合应用,进一步提升了具身智能的高精度定位、低延迟与实时控制等能力。提出基于“云—边—端”协同结构的5G-A具身智能监测系统,解决了传统生物多样性监测覆盖不足、灵活性差等难题,实现了对陆地、空中、水域物种的智能化动态监测,为进一步提升生物多样性智能感知、精准监管和系统治理能力,推动生物多样性智慧治理模式创新提供了新思路。

关键词:

云—边—端; 5G-A; 具身智能体; 生物多样性监测

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2026.01.014

文章编号:1007-3043(2026)01-0064-07

中图分类号:TN915

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

Currently, embodied intelligence and other artificial intelligence technologies are entering a golden age of development. The rapid commercialization of 5G-A and its integration with embodied intelligent agents significantly enhances the capabilities such as high-precision positioning, low-latency communication, and real-time control. It proposes a 5G-A-enabled embodied intelligent agent monitoring system based on a “cloud-edge-end” collaborative architecture, addressing longstanding challenges in traditional biodiversity monitoring including insufficient coverage and limited flexibility. The system achieves intelligent dynamic monitoring of terrestrial, aerial, and aquatic species, providing innovative solutions to advance intelligent perception, precise regulation, and systematic governance of biodiversity, thereby driving the evolution of intelligent biodiversity governance models.

Keywords:

Cloud-edge-end; 5G-A; Embodied intelligent agents; Biodiversity monitoring

引用格式:卢志燕,苏陆,周鹏,等. 5G-A可隐匿性具身智能在生物多样性场景的应用[J]. 邮电设计技术,2026(1):64-70.

0 引言

目前,全球运营商正积极对5G-A进行重点研发和商用推广。同时,生成式人工智能技术也迎来了大爆发,5G-A与AI的结合将更加紧密。可以说,5G-A与AI融合发展的移动AI时代已经来临。2024年1月,生态环境部发布《中国生物多样性保护战略与行动计

划(2023—2030年)》,其中第24项优先行动中强调了要做好生物多样性智慧治理^[1]。

5G-A、具身智能(Embodied AI, EAI)等技术与生物多样性监测的融合应用,能实现生物多样性的动态监测、趋势研判、影响评估及预测预警,助力生物多样性监管和治理水平提升。

1 生物多样性监测对可隐匿性5G-A具身智能的迫切需求

1.1 目前生物多样性监测所面临的挑战

通讯作者:成湘龙,chengxl18@chinaunicom.cn

收稿日期:2025-12-08

目前,对物种的监测还面临很多问题和挑战。具体表现在:固定终端依赖通信/电力设施或自建塔杆,采集范围和布设受限;AI物种识别技术仍局限于小范围应用,难以大规模推广;物种栖息地的自然环境复杂多变,不同时期动物活动区域变化较大,对采集网络的布设要求有极大的挑战;AI大模型需要大量的、准确的、接近真实环境的目标物种数据进行训练,而目前训练的数据量不足,且数据依赖生态学专家的主观标注,对识别准确率产生了影响。

1.2 物种监测对可隐匿性5G-A具身智能的迫切需求

基于以上问题,现有物种监测亟需构建可移动自适应监测网络,满足灵活部署的需求;依赖高速率、低时延网络支撑高清视频实时传输;强化边缘计算能力实现终端侧AI处理,破解网络覆盖盲区难题;通过隐蔽式终端深入种群内部,获取真实生态行为数据。

根据上述需求,可隐匿性5G-A具身智能成为了最合适的技术方法,可有效解决AI在物种监测中面临的问题和挑战。

2 可隐匿性5G-A具身智能关键技术

2.1 5G-A及通感一体技术

5G-A是5G技术的升级版,其下行速度可达万兆,上行速度达千兆,时延可降低至4ms,位置精度达到厘米级,支持海量设备连接^[2-3]。当前5G-A中关注度较高的是通感一体技术。该技术通过复用基站硬件与频谱资源,结合毫米波高频波束与Massive MIMO技术,利用信号反射实现目标感知。基站通过配置专用感知资源,发射通信信号并接收反射回波(如具身智能体信号),经数据处理单元解析目标位置、速度及轨迹后,赋予通信网络雷达式环境感知功能^[4-5]。

2.2 可隐匿性具身智能

具身智能是人工智能的重要分支,通过物理实体(如机器人)与环境交互,具备感知、认知、决策和执行能力,并能够通过经验反馈提升自适应能力^[6]。具身智能由本体(硬件载体)、智能(算法体系)与环境(物理世界)三要素构成,三者深度协同形成智能闭环并相互影响和作用,最终构建“感知—行动—学习”一体化的动态系统^[7-8]。

根据应用场景的不同,具身智能可以分为多种类型,生物多样性监测场景常见的形态有仿生机器狗、仿生机器鸟、仿生机器鱼等。

2.3 5G-A技术与具身智能融合应用优势

5G-A依托超大带宽与通感一体技术,赋能具身智能实现厘米级定位及毫秒级实时控制。其上行10Gbit/s的速率支持深度摄像头环境感知数据实时回传云端,结合边缘计算可完成动作捕捉模型的训练迭代。通过去中心化协作架构,多智能体在复杂场景中自主构建动态网络,基于5G-A厘米级定位精度实现智能集群协同,显著提升生物多样性监测效率。

3 可隐匿性5G-A具身智能监测系统设计

3.1 系统架构

本文提出了针对“云—边—端”协同结构的可隐匿性5G-A具身智能监测系统(见图1),该架构的核心是实现云、边、端三方协同,包括以下3个层面。

a) 云中心模型训练系统。构建AI大模型算力—数据—算法基座,支持英伟达/国产GPU分布式训练,基于视觉大模型生成L1生物监测行业模型,集成Prompt、RAG等工具并提供统一服务接口^[9]。

b) 一体机边缘推理系统。通过含推理卡的一体机运行L1模型,由决策智能体实时解析终端数据并生成行动指令,实现边缘侧即时决策^[10-11]。

c) 终端具身智能体监测系统。部署无人机/无人船/仿生机器鸟等具身智能体,完成环境感知、任务执行与闭环反馈,支持野生动物/鸟类/鱼类多场景监测。

通过5G-A、环保专网等高速率、低时延的通信技术,云、边、端之间可以实现快速、高效、可靠的数据交换和协同。

3.2 系统功能与实现

3.2.1 具身智能监测模块

具身智能技术体系以“感知—决策—行动—反馈”闭环为核心,大模型驱动多模块深度整合。具身智能监测模块逻辑如图2所示。

3.2.1.1 感知模块

利用大模型多模态统一表征能力,实现图像、语音等异构数据的融合解析与语义转换。该模块分为传感感知和理解环境2个部分。传感感知融合可见光/红外/深度相机、激光雷达等多源传感器数据,通过多模态融合感知与领域自适应技术,解决复杂环境下的信息异构问题。环境理解在获得初步感知结果之后,利用生成式AI等技术,模拟即将采取的行动,推理可能的未来情景并进行风险预测,判断是否执行该行动^[12]。

3.2.1.2 决策模块

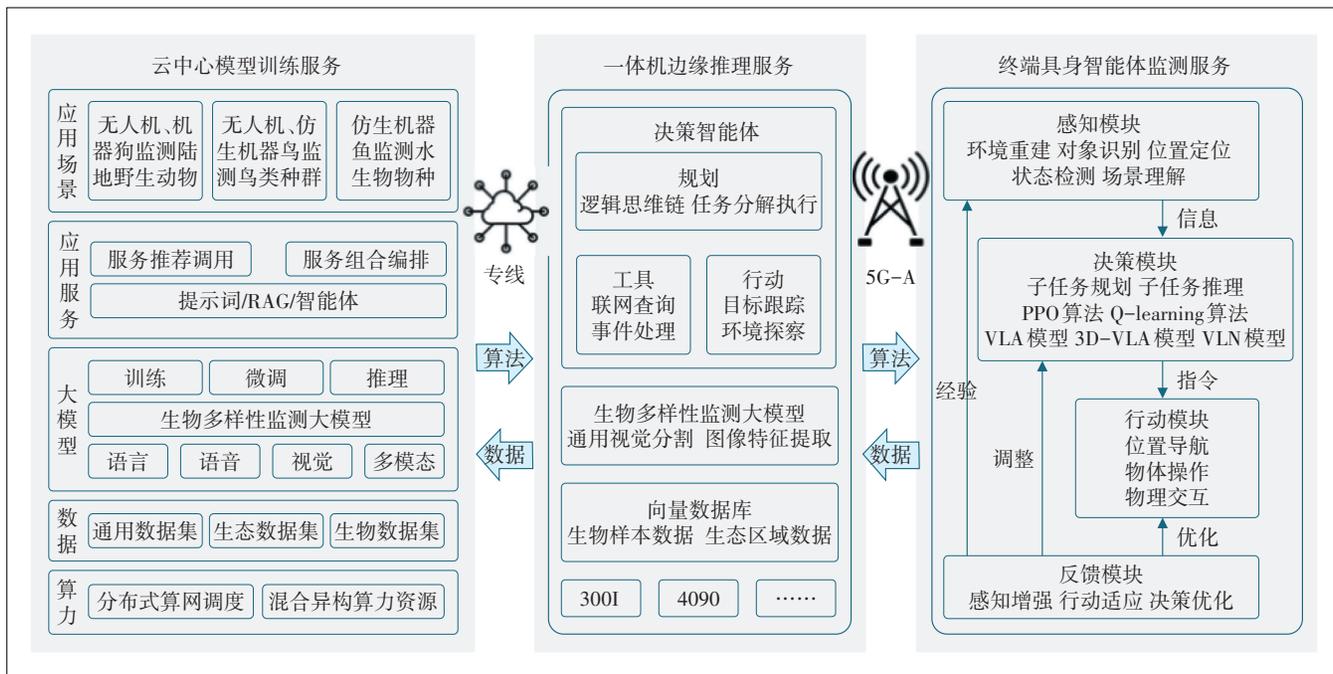


图1 “云—边—端”5G-A具身智能体监测系统架构

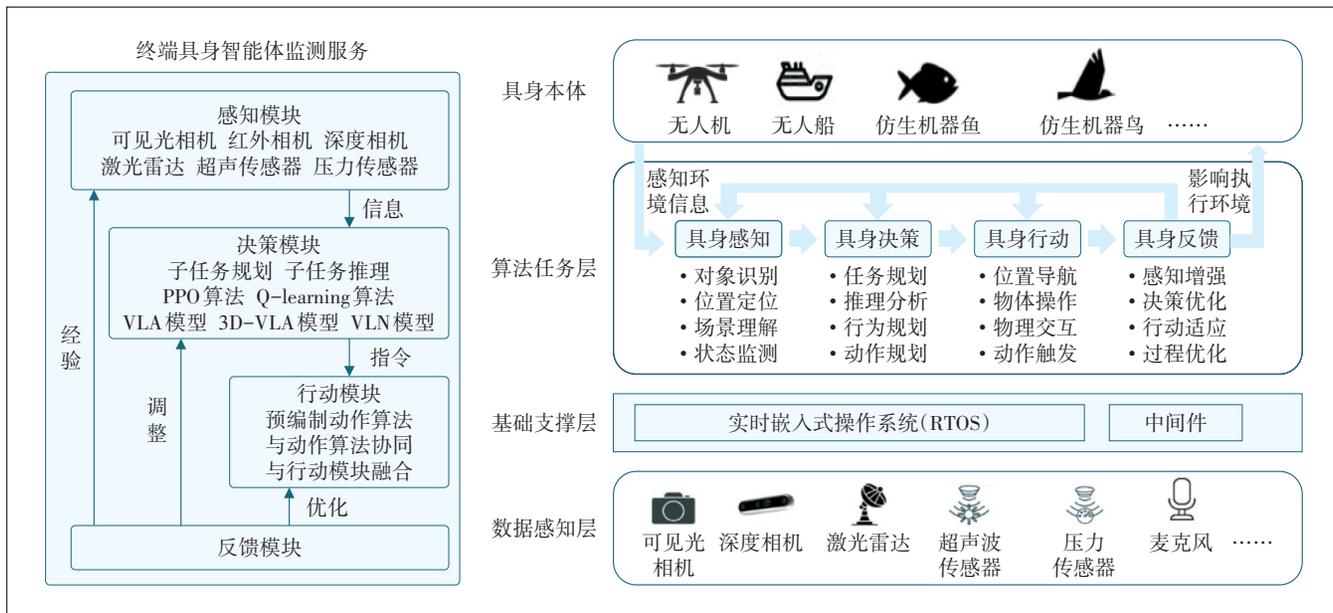


图2 具身智能监测模块逻辑

整个具身智能系统的核心是依托大模型思维链推理技术,将复杂任务拆解为可执行逻辑链,完成动态规划与策略生成^[12]。本系统涉及视觉语言动作模型(VLA),VLA的核心优化路径聚焦于预训练、控制策略和任务规划器3个方向。本文提出一种基于高级任务规划器和低级控制策略组合的分层策略,前者负责

解析用户指令并分解为时序子任务链,后者负责将抽象任务转化为仿生机器鱼的运动参数。以仿生机器鱼跟踪识别鱼类的场景为例,VLA分层策略的执行如图3所示。

3.2.1.3 行动模块

大模型能够与强化学习、模仿学习等运动控制算

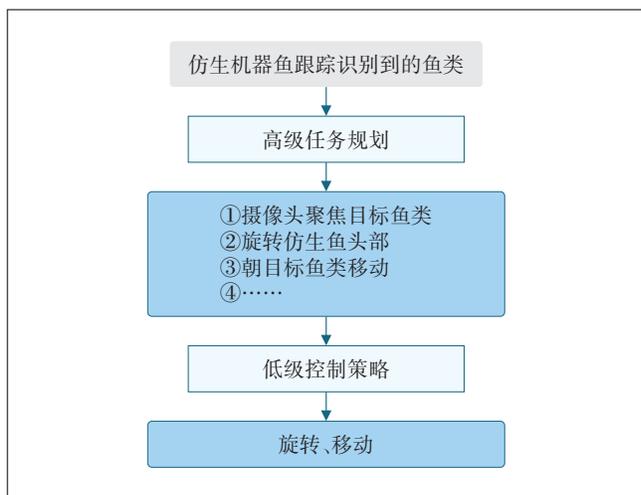


图3 仿生机器鱼 VLA 分层策略

法结合,实现更好的行动泛化与自适应能力^[12]。本系统行动模块的主要任务包括使用导航定位算法实现移动,以及使用控制算法操纵仿生智能体等身体元件实现动作。行动模块主要通过以下机制实现决策指令到物理动作的转化。

a) 预置算法调用。基于SLAM等导航定位技术,驱动智能体在预建地图中完成路径规划与移动。

b) 动态协同决策。融合实时视觉流(如相机/Rviz)、语言指令与大模型推理,生成自适应运动参数(如仿生关节角度、推进速度)。

需要强调的是,高频率环境交互产生的实时视频流与传感器数据,需依赖5G-A超大带宽与边缘算力的支撑,以解决数据吞吐与低时延控制的矛盾。

3.2.1.4 反馈模块

反馈模块打通了与感知、决策和行动的交互反馈链路,实现了更好的闭环优化过程,驱动系统进行动态自适应调整。感知优化闭环将感知模块捕获的环境信息存储为记忆库,触发新旧数据比对,驱动感知策略自适应调整。在决策优化闭环中,反馈模块可持续提供任务完成度、用户指令的反馈,而决策模块可利用这些反馈进行自我优化,调整其算法参数。通过这种反馈机制,决策模块能够不断学习,提高对环境的适应性。在行动优化闭环中,反馈模块实时捕捉环境变化,驱动决策模块动态调整执行策略。

3.2.2 一体机边缘推理模块

边缘推理模块基于推理服务一体机,为大模型推理服务提供算力支撑,可同时对具身智能体回传的视流进行256路解码和48路编码工作^[10]。

边缘一体机部署优化后的生物多样性监测大模型,云中心负责对预训练的生物多样性监测大模型进行剪枝、量化和压缩等优化操作,通过降低计算复杂度来实现计算加速。这可以在保证模型性能的同时,提高模型的推理速度。轻量化技术主要的3个目的为节省显存、加速计算以及降低通信量。

基于生物多样性监测大模型,建设目标追踪、环境探索、任务规划等智能体原生应用,经过模型分析生态区域数据和生物样本数据后进行目标决策和指令分解,并通过5G-A指令通道实时调度区域内的具身智能体。

向量数据库对前端具身智能体回传的多模态监测数据进行向量化存储,并使用大模型RAG技术进行关联分析和搜索,为生物多样性大模型推理服务提供支撑。

3.2.3 云中心模型训练模块

云中心模型训练平台基于异构计算资源管理调度、大规模分布式并行训练与模型参数自动优化等“AI根技术”,全面集成和适配主流计算芯片和AI计算框架,支持分布式多中心计算集群管理、混合异构计算资源多任务调度、视觉/语音/文本多领域模型开发以及云一边一端全场景协同应用等能力^[9]。云中心模型训练模块如图4所示。

算力调度平台实现CPU/GPU/NPU资源的智能编排,集成TensorFlow/PyTorch等框架,提供深度学习环境的快速部署;数据中心构建生态监测多模态数据

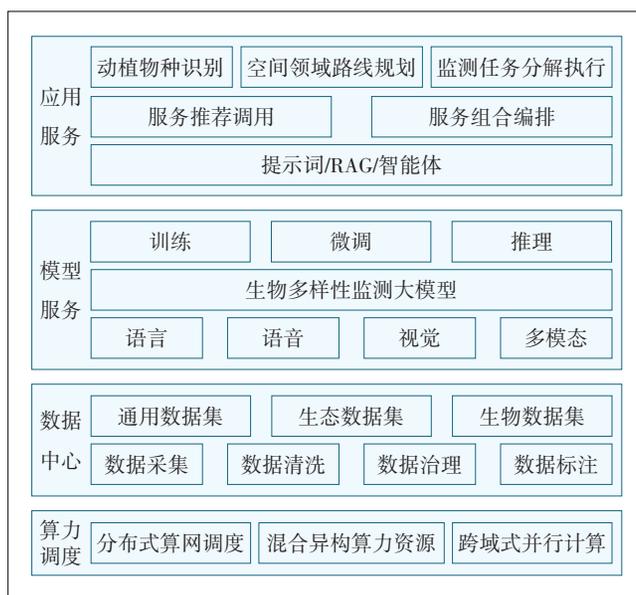


图4 云中心模型训练模块

库,涵盖数据清洗、标注及生物/生态专业数据集的建设;模型层提供了模型训练、模型精调、模型推理等多个子系统,并内置多种学习框架和模型算法,基于基础大模型进行精调训练,打造生态环境行业大模型;应用服务层基于L1大模型,结合 Prompt/RAG 技术,开发生物识别、智能监测规划等低代码场景化服务。

3.2.4 基于5G-A空天地一体的通感一体通信网络组网解决方案

当多形态具身智能(无人机/无人船/仿生机器人等)与一体机边缘推理服务进行通信时,需构建一张高精度定位、自主移动、实时可靠通信及毫秒级环境响应能力的空天地一体化的5G-A通感智联网络,以支撑复杂场景下的抗干扰传输、厘米级航迹追踪等需求^[13-14]。

对于一体机边缘推理机,它运行云端下发的L1大模型和智能体,与云中心训练模块通信地理位置相对固定,且具有并发数据量大、网络稳定性要求高、实时性强等特点,因此,本方案将采取环保专线的方式进行通信。5G-A空天地通感一体通信网络组网策略如图5所示。

4 通感一体工作模式

针对生物多样性监测的不同场景、不同感知需求,会有不同的通感一体工作模式。3GPP标准讨论并定义了6种通感工作模式,本文主要采用基站自发自收和基站间协作感知2种工作模式^[15]。

基站间协作感知,即基站A发射,基站B接收感知信号。基站间实时协作感知目标和适配环境位置,有

利于无人机、仿生机器鸟等高速移动目标的感知探测,但组网要求高,需要基站间精准同步、资源调度协同等。

基站自发自收工作模式,与雷达模式相同,利用大量 Massive MIMO 天线阵列,通过无线电波的直射、反射、散射等特性,对比无线信号多普勒效应、相位、信号强度等差异,完成对目标的测距、测角和测速,以及检测、识别、环境重构,实现目标感知。

5 通感一体网络架构

针对生物多样性监测的不同场景需求,同样会有不同的通感一体网络架构。3GPP中通感一体网络架构可分为紧耦合架构和本地化架构。

紧耦合架构在原5G核心网架构的基础上新增感知功能(Sensing Function, SF)网元,负责感知功能控制管理、感知数据汇聚和上报。

SF网元与现有5GC架构深度融合,可复用现有5G核心网架构、接口和协议来实现感知能力。SF控制面功能与5GC控制面网元进行交互,感知用户面功能与基站或UPF进行交互。基于5G核心网的紧耦合通感架构适用于广域场景、终端通感场景。

在本地化架构中,感知SF网元逻辑上属于接入网,可独立部署于基站之外的算力节点。在SF与基站直连接口中,gNB-CU承担感知控制信令的传递,gNB-DU作为感知单元,负责具体感知功能,感知测量数据通过CU发送到SF。通过接入网感知SF辅助RAN侧实现对空口的动态控制,满足感知功能的实时性要求,可实现多站协同的感知功能控制。

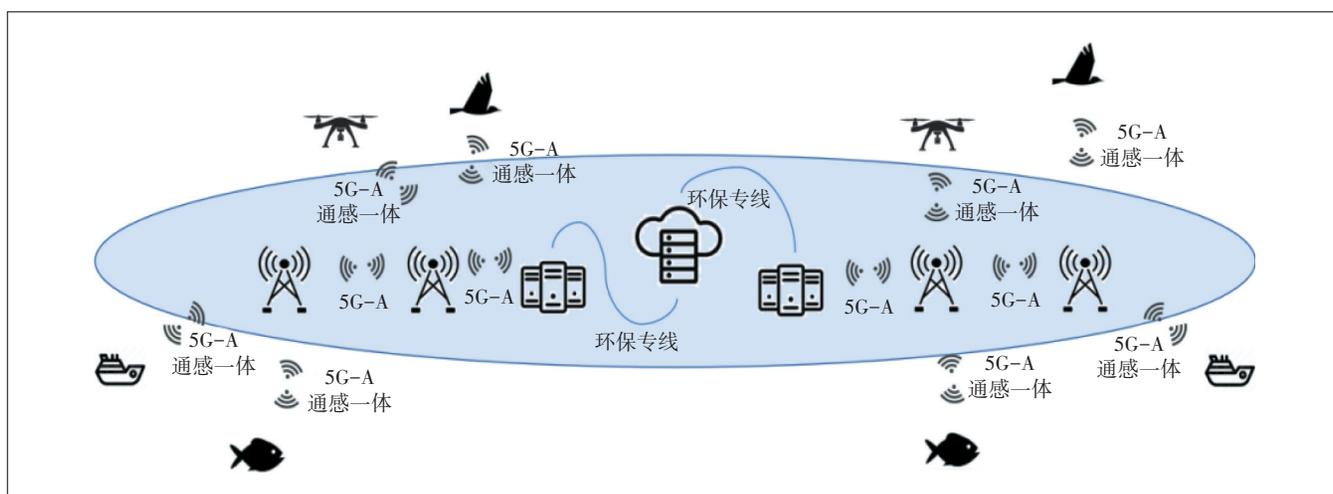


图5 5G-A空地通感一体通信网络组网策略

感知SF也可以嵌入基站BBU内部,通过增加感知计算单元板卡,实现5G-A基站内生智能的通感功能。本地化架构扁平简单,具备快速、灵活部署的优势,适用于接入环保5G专网的场景。

6 通感一体空口设计

通感一体基站创新空口方案,融合了通信与雷达

波形技术:通信采用5G OFDM连续波(C波),实现无盲区连续覆盖,但功率受限;感知采用LFM脉冲波(P波),利用全阵列高功率实现千米级远距离高精度探测,但存在近端盲区。通过C波+P波协同,以连续波补足近端、脉冲波延伸远端,达成通感共生的超远距无缝覆盖。通感一体空口方案如图6所示。

通感融合的帧结构设计旨在在不同时隙分别实

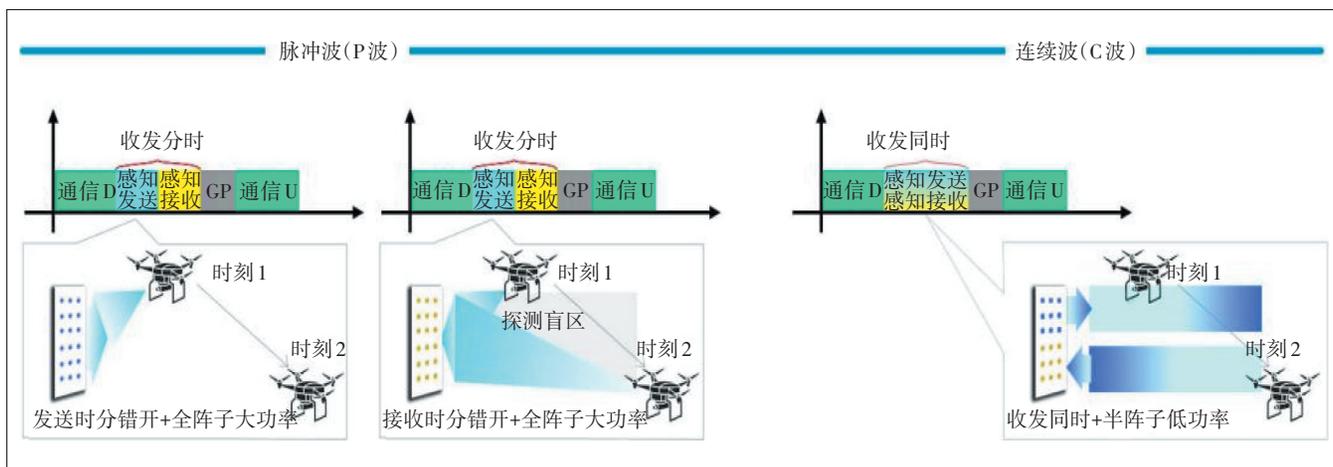


图6 通感一体空口方案

现通信或感知功能,根据业务需求灵活配置通感时隙配比,提高频谱利用效率。在2.5 ms帧结构里,制定第7个子帧为下行感知子帧,最后一个上行为感知子帧的帧结构模式(见图7)。在5G TDD系统N79频段2.5 ms双周期DDDSUDDSUU帧结构中,将感知信号承载于上行时隙后的下行时隙,确保规避远端干扰;感知时隙后7个符号可灵活用于通信或感知,达成总开销为10%与满足感知精度要求的平衡。

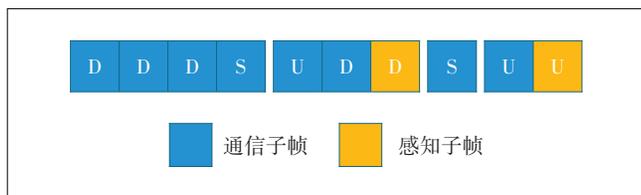


图7 通感融合帧结构设计示意

7 可隐匿性5G-A具身智能在生物多样性监测场景的应用

可隐匿性5G-A具身智能凭借其灵活布设、远程操控、智能识别、隐匿性等特性,可用于各种场景下的物种监测,为生物多样性保护提供便捷、智能化的监

测手段。

7.1 陆地监测:仿生机器狗追踪野生动物

通过可隐匿性5G-A具身智能仿生机器狗替代传统固定式红外监测(移动性差、效率低),实现隐蔽移动监测,搭载夜视高清摄像头,实时捕捉野生动物活动影像,避免干扰生态。仿生监测狗凭借长续航动力和基于5G-A的通信能力,搭载全天候高清摄像头,可在林地、草地等环境进行连续监测。可根据采样需求设定连续监测和分时段监测,可提前设定或在线控制仿生器追踪路线。

仿生监测狗将追踪图像传输至边缘一体机,边缘一体机进行实时分析并反馈下一步行动指令。同时,结合SLAM技术动态构建地形地图,支持复杂环境自主避障与路径优化。对于识别无果、环境复杂或者对比相似度较低的情况,边缘一体机将数据经5G-A高速回传至云端,调用物种识别大模型实现种类/数量秒级分析,提升识别精准度和效率,丰富样本数据,为大模型的完善提升提供更多的数据积累,并将云端经过精调训练的模型同步至边缘一体机中,提升模型识别能力。

7.2 空中监测:仿生机器鸟追踪鸟类种群

通过可隐匿性5G-A具身智能仿生机器鸟追踪鸟类种群主要可解决3方面的问题:一是看得清,即可通过对视频图像的智能处理,提升图像质量;二是看得准,即可通过计算机深度学习技术,识别鸟的种类、统计鸟类数量;三是看得懂,即可通过AI算法模型分析飞行姿态、鸣叫频率等,识别繁殖、迁徙等生态行为。同时,集成可见光/红外摄像头与声纹采集模块,通过“图像+声音”双模态交叉验证提升识别精度。

仿生机器鸟具身智能搭载高清视频和声音收纳装置,通过边缘一体机实现多监测点鸟类物种的快速识别,图像+声纹的双模态交叉验证实现种群和数量的高精度识别。面对阴雨天气和夜间观测,通过云中心多模态模型实现高精度识别,并将云端经过精调训练的模型同步至边缘一体机中,提升模型识别能力。

7.3 水域监测:仿生机器鱼追踪水生生物

可隐匿性5G-A具身智能仿生机器鱼追踪水生生物有以下技术突破。一是终端智能。终端内置轻量化识别模型,可在弱网/离线环境下自主完成鱼类种类统计。二是抗干扰。水中物种监测信号传播慢,可视距离短,利用5G-A通感一体技术增强水下定位精度,结合声呐与光学传感适应浑浊水域监测。较典型的应用场景是利用仿生机器鱼群协作绘制水域生态分布图,实时监测洄游性鱼类种群规模及栖息地变化。

仿生机器鱼的应用场景比较复杂,视频监控条件较陆地上差别较大,识别准确率相对较低,因此需要频次更高的图像识别来提升追踪准确率。在对水下植物的识别中,可通过边缘一体机快速识别物种。但对于水下动物(鱼类)的识别,需采取边缘一体机和云端双重验证的模式,提升识别精度和效率。对于种群密度的监测,需在云中心将多段监控视频进行关联识别,并将经过云端精调训练的模型同步至边缘一体机中,提升模型识别能力。

8 前景展望

随着5G-A通感一体技术与具身智能的深度耦合,其超大带宽、厘米级定位及毫秒级响应的特性将显著提升生物监测的实时性与精准度,推动监测模式向“全域感知—边缘决策—自适应执行”的智能化闭环演进。结合多模态大模型与边缘计算能力,智能体可突破复杂环境适应性瓶颈,逐步拓展至生态评估、濒危物种保护等场景,构建全天候、低干扰的生物多样性智慧监测体系。

参考文献:

- [1] 佚名. 生态环境部发布《中国生物多样性保护战略与行动计划(2023-2030年)》[J]. 中国水产, 2024(2):9.
- [2] IMT-2020(5G)推进组. 5G-Advanced通感融合场景需求研究报告(2022年)[R/OL]. [2025-01-10]. <https://www.digitalelite.cn/hnd-5201.html>.
- [3] IMT-2020(5G)推进组. 5G-Advanced通感融合网络架构研究报告(2022年)[R/OL]. [2025-01-10]. <https://www.digitalelite.cn/hnd-5438.html>.
- [4] IMT-2030(6G)推进组. 通信感知一体化技术研究报告[R/OL]. [2025-01-10]. <https://wenku.csdn.net/doc/6401ad1acce7214c316ee4d3>.
- [5] IMT-2030(6G)推进组. 6G通感融合系统设计研究报告[R/OL]. [2025-01-10]. <https://www.imt2030.org.cn/html/default/zhongwen/xinwendongtai/1718878960697274369.html?index=4>.
- [6] 王文晟, 谭宁, 黄凯, 等. 基于大模型的具身智能系统综述[J]. 自动化学报, 2025, 51(1): 1-19.
- [7] Open AI, ACHIAM J, ADLER S, et al. GPT-4 technical report [EB/OL]. [2025-01-10]. <https://arxiv.org/abs/2303.08774>.
- [8] TOUVRON H, LAVRIL T, IZACARD G, et al. LLaMA: open and efficient foundation language models [EB/OL]. [2025-01-10]. <https://arxiv.org/abs/2302.13971>.
- [9] 马超伟. 边缘计算:一文理解云端协同架构中的高性能云计算、边缘计算、云边协同[EB/OL]. [2025-01-10]. <https://developer.aliyun.com/article/1143858>.
- [10] 边缘计算. “云管边缘”协同的边缘计算安全防护解决方案[EB/OL]. [2025-01-10]. <https://zhuanlan.zhihu.com/p/261060109>.
- [11] 李维汉, 戴晓婧, 周晓磊, 等. 基于“云-边-端”的工业控制系统网络安全防御体系设计[J]. 邮电设计技术, 2024(11): 37-42.
- [12] 沈甜雨, 陶子锐, 王亚东, 等. 具身智能研究的关键问题: 自主感知、行动与进化[J]. 自动化学报, 2025, 51(1): 43-71.
- [13] IMT-2030(6G)推进组. 6G天地一体化网络的场景与需求研究报告[R/OL]. [2025-01-10]. https://www.sohu.com/a/829335090_121875619.
- [14] 樊明波, 张严, 李若凡. 5G-A通感一体低空通信组网策略研究[J]. 通信世界, 2024(17): 32-36.
- [15] 李萍, 郭晓江. 通感一体化关键技术与应用[J]. 中兴通讯技术, 2023, 29(2): 72-78.

作者简介:

卢志燕, 硕士, 主要从事信息通信和数字技术在生态环境领域的应用研究工作; 苏陆, 硕士, 主要从事人工智能在信息通信和生态环境信息化领域的研究工作; 周鹏, 高级工程师, 硕士, 主要从事信息通信和数字技术在生态环境领域的应用研究工作; 成湘龙, 高级工程师, 硕士, 主要从事信息通信和数字技术在生态环境领域的应用研究工作。