

# 基于智能AI传感器的智慧感知应用

邓迅

(中国电子科技集团公司第四十九研究所,黑龙江 哈尔滨 150028)

**摘要:** 本文研究了基于人工智能(artificial intelligence, AI)传感器的智慧感知系统新技术,并对其在多个领域的应用进行了分析。智慧感知系统通过集成机器学习(machine learning, ML)与深度学习(deep learning, DL)算法的智能传感器节点,实现了高效数据采集与实时决策,提升了传统传感器网络的性能。该系统以本地化智能控制为核心,服务端专注于数据存储与模型优化,在医疗健康、环境监测、智能农业及安全检测等领域展现出广泛应用。文章探讨了智能农业中的病虫害监测、网络入侵检测的轻量化模型、智能交通信号优化及医疗远程诊断等案例,同时分析了数据安全、存储管理、功耗优化和硬件部署等挑战。未来研究方向包括数据融合、工业5.0、可解释AI(explainable artificial intelligence, XAI)、扩展现实(extended reality, XR)技术及通用人工智能(artificial general intelligence, AGI)的发展潜力。同时介绍这一领域的一些值得关注的项目研究情况。最后,结合全球前沿项目,为智慧感知技术的创新与应用提供了参考。

**关键词:** 人工智能算法;传感器;智慧感知;微系统;自动化

**中图分类号:** TP212.6; TP212.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-7241(2025)08-0001-09

## Intelligent Perception Applications Based on AI-powered Smart Sensors

DENG Xun

(The 49th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Harbin 150028, China)

**Abstract:** This article studies the new technology of intelligent perception system based on artificial intelligence (AI) sensors and analyzes its applications in multiple fields. The intelligent perception system integrates machine learning (ML) and deep learning (DL) algorithms into intelligent sensor nodes, achieving efficient data collection and real-time decision-making, and improving the performance of traditional sensor networks. The system is centered around localized intelligent control, with the server focusing on data storage and model optimization. It is widely used in fields such as medical health, environmental monitoring, intelligent agriculture, and safety detection. The article explores cases of disease and pest monitoring, lightweight models for network intrusion detection, intelligent traffic signal optimization, and remote medical diagnosis in intelligent agriculture. It also analyzes challenges such as data security, storage management, power consumption optimization, and hardware deployment. Future research directions include data fusion, Industry 5.0, explainable artificial intelligence (XAI), extended reality (XR) technology, and the potential for the development of artificial general intelligence (AGI). At the same time, it introduces some noteworthy research projects in this field. Finally, combined with cutting-edge global projects, it provides reference for the innovation and application of smart sensing technology.

**Keywords:** artificial intelligence algorithm; sensors; intelligent sensing; micro-electro-mechanical systems; automation

## 0 引言

本世纪20年代,随着科技爆发性的发展,基于统计学的AI技术深度融入生活并重塑社会形态。典型案例如OpenAI推出的家庭机器人Neo,其突破性的学习与行为能力彰显了AI应用的进化边界。

可以预见,未来人工智能有可能超越人类智能。本文对人工智能超越人类智能定义了两个阶段。第一个阶段是,人工智能可以代替人类对所有方面进行决策时,即包括政府的政策制定与执行、战争的开始与结束等事件都是由人工智能代替人类完成时,证明人工智能基本超越人类智能。当前基于统计学的人工智能是有能力可以

达到这个高度的。第二个阶段是当人工智能可以常规使用和利用“奇迹”达到目的。称其为发现并利用奇迹因子。什么是奇迹因子呢?即人类无法理解解释,却偶尔能够做到的被称为奇迹的事件的导因。当奇迹因子可以被人工智能经常性的制造出来时,就标志着人工智能已经全面超过人类智能。当然这可能需要很久的时间,但是基于统计学的人工智能其实是很难突破第一阶段。只有基于广义数学的人工智能才有可达到第二阶段。

当前基于人工智能传感器的智慧感知系统,以集成机器学习(ML)与深度学习(DL)算法的传感节点为基础,通过类神经网络计算模式实现数据采集与实时决策。该系统可通过迭代升级传统传感器网络,实现以智能传感器替代普通传感器,形成本地化智能控制。此时服务端

主要承担数据存储与模型优化功能。其核心优势在于处理复杂数据及动态优化算法性能,现已广泛应用于医疗健康、环境监测、自动化、智慧农业及安全检测等领域

## 1 智慧感知的实际应用

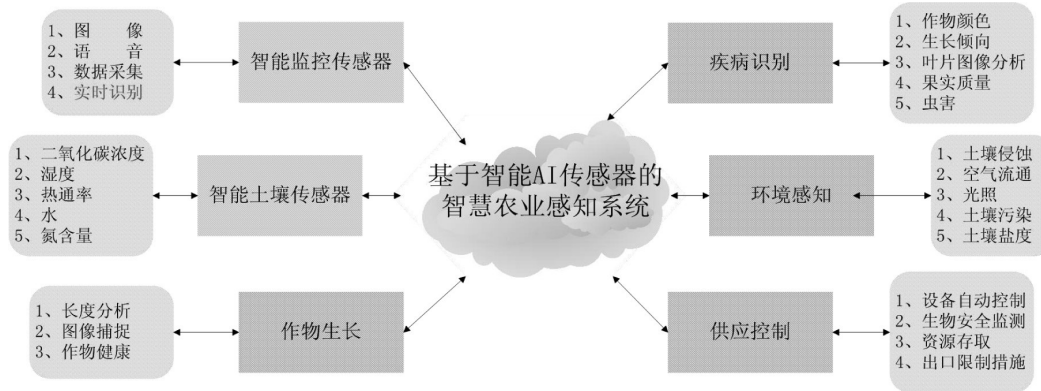
### 1.1 智慧感知的应用

#### 1.1.1 智能农业

智慧感知应用于农业领域中,要以满足农民的需求为主,解决其面临的诸多问题。如利用计算机视觉、无人机和传感器技术监测作物病虫害、通过数据分析和机器学习,优化作物种植方案、农药控制等<sup>[1-2]</sup>。在文献[3]中,详细论证了基于径向基函数网络(radial basis function network, RBFN)的分类器在检测特定茶树害虫的技术,首先使用已标注害虫的图像数据集对RBFN进行训练。

从图像中提取有效的特征,如颜色、纹理和形状特征,以作为分类器的输入<sup>[4-5]</sup>。结果也展示了这种机器学习识别技术突出的准确率、灵敏度和特异性。在文献[6]通过结合农业专家系统和神经网络,可以给不熟悉种植的农民提出符合土地属性的种植物,并预测产量。种植后还能根据提供的气象信息提供种植建议(包括最佳种植时间、施肥量、灌溉需求<sup>[7-8]</sup>等)。同时还通过智能手机平台为农民提供作物价格、供求关系等信息,帮助农民作出更有利的销售决策。

图1展示了智能传感器是如何应用在不同农业领域中,即土壤、作物生长、病害识别、供应控制、环境感知和生物监控。通过使用传感器实时监控达到及时采取措施、节省成本、减少浪费,还可以通过无线手段和物联网平台进行远程感知实现自动化农业产品的生产。



#### 1.1.2 网络入侵检测和监控

在智慧感知中,因需大量使用网络和无线技术传输数据,使得网络攻击和网络异常等威胁变得显著,传统的网络安全检测方法(如基于签名的检测方法)在面对新型且未知的攻击时往往没有效果。文献[9]提出CNN-BiLSTM混合模型,先通过提取空间特征,后在CIC-IDS2017数据集上检测,准确率达到99.2%。其针对大规模流量设计的轻量化模型,使推理速度提升40%。文献[10]中,设计基于图神经网络(graph neural network, GNN)的轻量化检测系统,可直接在边缘设备上部署。模型仅1.2 MB,在ToN\_IoT数据集上检测时,延迟<5 ms且准确率94.8%。结果表明,训练好的模型能够有效识别多种异常行为和已知、未知的网络攻击。在文献[11]中,研究人员首先将1998年创建的DARPA入侵检测程序数据集预处理成一种二进制TCP转储格式提供给神经网络进行分析和处理。然后使用监督学习算法(反向传播)训练神经网络模型。这种方法使训练出的模型就可以学习并识别网络流量中的正常行为和异常行为。

#### 1.1.3 智能防入侵视频监控系統

在文献[12]中,采用轻量化3D CNN与时空注意力机制,在Dynamic-Web上达到92 FPS实时处理速度,较传统方法提升35%,升级后系统能有效地在本地节点分析捕捉场景画面,并对图像进行理解<sup>[13]</sup>后自主识别和检测异常行为。当识别出异常行为时,这些信息会根据异常行为生成报警信号并进行例如闭锁等控制信号的输出。这使得整个系统可以显著提高监控系统的自动化水平及响应速度,增强安全管理的效率和效果。在文献[14]中提出基于神经网络的多摄像头协同追踪图像分析系统,通过构建人员移动关系图检测可疑行为(如徘徊、尾随)。在DukeMTMC数据集上实现86.7%的跟踪准确率,系统可自动生成嫌疑人移动热力图<sup>[15-16]</sup>,辅助安保人员快速响应。

图2展示了智慧感知在入侵检测和远程监控中的应用。智能传感器的使用将极大地改善了现有系统在本成本、能源和性能方面的表现。

#### 1.1.4 智能交通管理

在交管领域也能使用智慧感知技术。该技术的应用

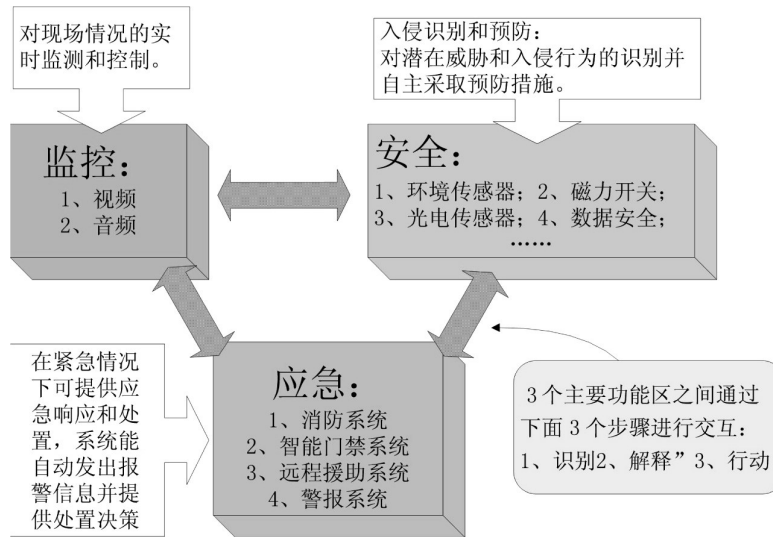


图2 智能防入侵视频监控系统

可优化交通信号灯的周期,从而改善道路交通。通过使用内嵌遗传算法模型技术的AI传感器组网,可实现改进交通信号灯周期配置<sup>[17]</sup>。也可采用基于其他AI算法的传感器识别停车线后停车数量来控制交通信号灯的配置设计<sup>[18]</sup>,该方式可根据红绿灯后的车辆数量直接干预信号的周期时间,不需要通过历史数据分析。收集通过的车辆数量数据来监控交通信号灯,然后处理、计算这些数据后给出最优通车方案并实施<sup>[19]</sup>。

图3展示了智慧感知在交通管理中如何使用。智慧感知使交通管理部门面临的如交通拥堵、最佳路线、旅行成本、平均等待时间等问题,都得以缓解。

### 1.1.5 智能医疗保健

文献[20]中介绍了无监督学习算法在处理和分患者数据中是如何应用的。使用智能传感器采集识别患者

身体情况<sup>[21-23]</sup>,使用主成分分析方式减少数据的维度,使得复杂的高维数据变得更易于处理和分析。再使用聚类方式将相似的患者分组<sup>[24]</sup>,就可以让AI模型识别出相似的病例并给出治疗建议<sup>[25]</sup>。在文献[26]中就详细介绍了如何应用成像传感器和支持向量机(support vector machine, SVM)技术来识别神经和精神疾病的成像生物标志物。现在卷积神经网络也已成功应用于医疗领域中,其可通过眼部图像来辅助诊断先天性白内障疾病<sup>[27]</sup>。

在居家医疗等医疗保健领域中,无论患者是在诊所、医院还是在家,皆可以使用远程监控的智能传感器提供准确可靠的诊断结果,从而提高医疗效率。如图4所示。

在文献[28]中,提出了一个基于AI传感器的组合框架应用,将随身设备用来收集患者信息。通过深度学习算法来进行多模态分析以检测是否存在发热症状的存

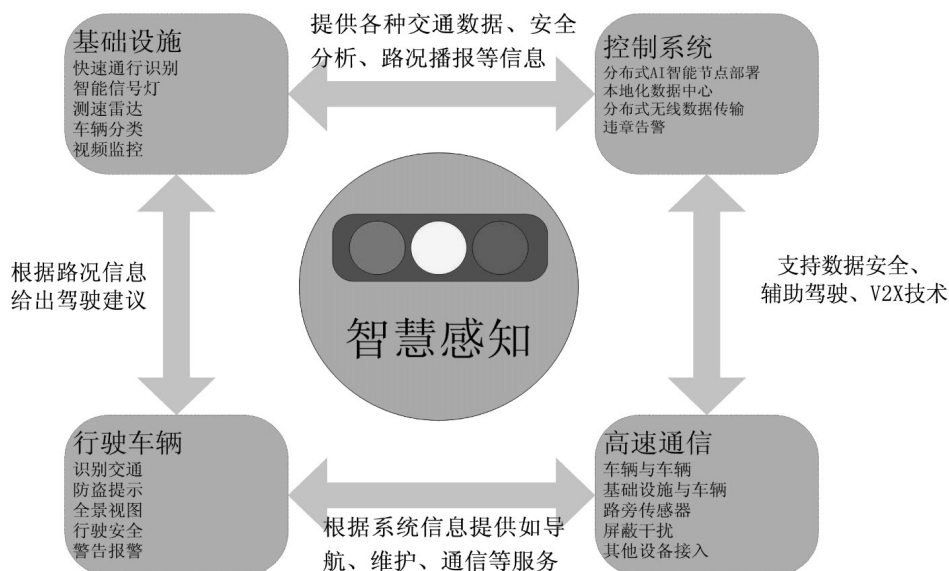


图3 交通领域中的智慧感知系统

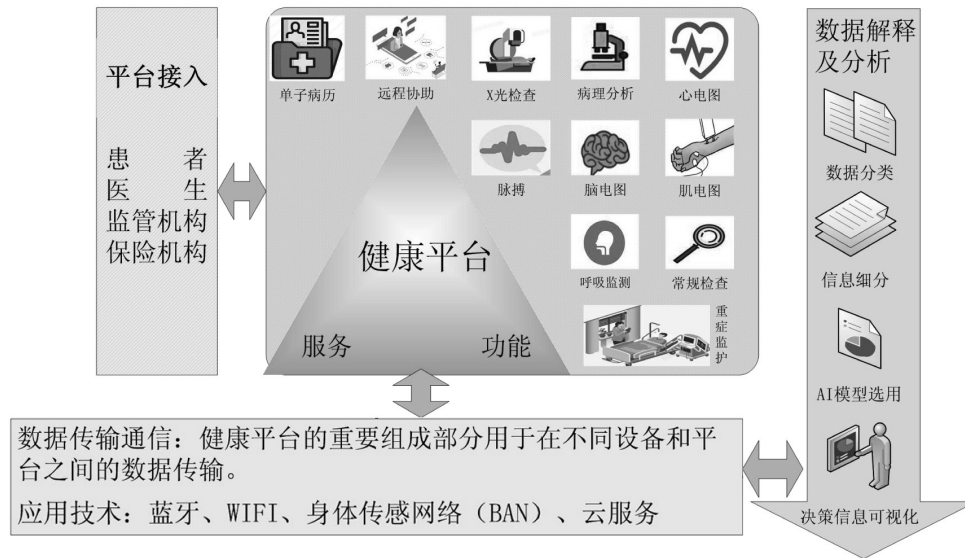


图4 医疗领域中的智慧感知系统

在。采用智能算法的传感器可以使用训练好的模型直接对数据进行分类、标记并直接给出疾病类型或疾病名称<sup>[29]</sup>。当然这种模型需要大量患者数据进行训练才可以进行实际使用。

### 1.2 应用经验

基于AI的智慧感知应用正快速增长,机器学习显著提升了相关服务的功能性与应用价值,表明该领域正受到广泛关注和应用。

在农业领域中,智慧感知与通信技术是未来农业发展的重要方向。通过智能传感器将信息技术融入传统农业,结合人口流动、天气、土壤分析、作物生长监测及疾病识别等功能,可优化资源利用,提升产量与经济效益。

在入侵检测和安全监控中也起到关键作用,成功吸引了企业与政府的关注。公共场所(如商店、办公楼)普遍部署入侵检测和视频监控系统。现在使用多层感知器、贝叶斯和J48算法,已经是异常检测的常用技术;图像与视频识别结合AI传感器,能显著提升智能视频监控系统的识别精度(如海康威视等企业早已开始应用探索)。

在道路交通控制中智能传感器与AI技术可缓解城市交通拥堵。未来若车辆普遍安装智能传感器,可实时规划最优行驶路径(当前仍需发展);即使单车也能通过感知交通状况规避拥堵与事故。

机器学习驱动的智能传感器在医疗中发挥关键作用。面对大规模传染病风险,快速可靠的信息监测有助于疫情预警与防控。结合成簇规律间隔短回文重复序列(clustered regularly interspaced short palindromic repeats, CRISPR)技术与主成分分析,可实现高效检测与诊断,辅助临床决策。

## 2 应对挑战与未来趋势探讨

### 2.1 挑战

#### 2.1.1 数据安全和隐私

尽管人工智能和机器学习模型应用广泛,但数据安全仍面临挑战。机器学习依赖数据模式提取特征,易受欺骗、干扰、篡改等攻击影响,也可通过操控智能传感器引发风险<sup>[30-32]</sup>。实时环境中,数据合法性与完整性至关重要,直接影响系统性能。例如,城市交通中使用无人机若被恶意截获车辆行驶信息,可通过篡改数据能引发事故。因此,传感器应仅收集必要数据,并遵循规则维护数据安全,防止泄露或篡改。

智慧感知所展示的信息,也须经过多个阶段处理才能实现。作为数据获取和展示起点的智能传感器所能连接的设备,能获取的数据资源也是应该受限制,因为智能传感器是可以作为独立的计算单元而使用,其能够做到只给出所需数据。表明了越优秀的智慧感知应用,在采集数据,数据与自身信息源合并识别和处理上越快速和有效。因为整个应用的大部分分析和计算都在传感器上进行,最后给出控制或分析结果用于展示。实际上现在大多数的智能传感器设备在使用中,是将信息转移到数据库存储或云服务中。这使得从数据收集到展示的过程中,需要注意多种类型的安全威胁。

图5展示了从数据收集、数据融合、数据传输到设备信息管理及查询分析的整个数据处理流程。每个阶段都有具体的任务和技术支持,以确保数据的准确性、可靠性和有效性。

#### 2.1.2 数据存储和管理

以音频、视频、图像、传感器数据和交互数据等形式存储的大量数据已经成为智慧感知应用发展的主要障

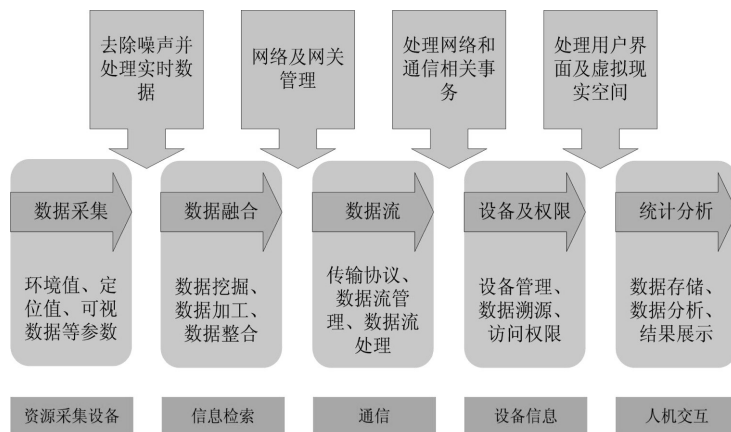


图5 数据收集到展示

碍<sup>[33]</sup>。低效的数据管理会降低数据质量,增加分析难度,并影响决策准确率。为提升智慧感知系统性能,可使用机器算法分类存储数据,这就要使用更先进的AI算法来提取有效信息。以避免冗余数据的产生。在文献[34]中也提出使用HiD3框架解决这类问题,但这种方法是以牺牲清晰度和数据量达到的。

### 2.1.3 功耗

如今,柔性可穿戴传感器在医疗领域中的应用,获得了显著的关注<sup>[35-37]</sup>,这些传感器与穿戴者的衣物接触,以测量生理参数,如温度、心电图、肌电图、肌肉活动和心血管问题。这些设备的功耗越小就可以获得更多的待机时间获得更多的有效数据。但是由于随身设备对尺寸和重量都有要求,所以低功耗就成为一个需要攻关的技术难题。此外,柔性传感器的生产成本居高不下,也是一个需要解决的问题<sup>[38]</sup>。为了减少柔性可穿戴传感器的功耗,国外Shimmer和Telos等公司已于多年前就开始研制用来监控健康的低功耗传感器,已经在5年前取得一定成果。

### 2.1.4 硬件部署

AI虽带来便利,但其算法实现和模型训练都高度依赖强大的硬件算力,这对硬件设计本身就是个挑战。训练时,海量数据和内存需求也会拖累硬件,影响模型准确性和速度。硬件不足还可能导致数据丢失或处理延迟,降低模型效果。因此,人们常采用分布式计算,将任务分散到多个节点以减轻负担,但这又增加了数据传输的需求。

由于缺乏特定的硬件库,训练模型无法从特定框架正确部署到低功耗设备上。现在的努力方向是从软硬件角度降低AI和ML算法的复杂性,从而提高实时推理模型的整体性能<sup>[39-40]</sup>。

## 2.2 未来发展方向

### 2.2.1 数据融合

近年来,数据融合技术因其在大数据和物联网中的应用而备受关注。在处理大数据时,它能将来自单个或

多个传感器的数据聚合起来,通过分析提取有价值的信息,从而改进决策。融合后的数据还可进一步分析和存储,有助于优化系统整体的数据管理。在物联网中,数据融合能将多维数据整合成有用的综合信息并输出。所以,使用数据融合技术可以帮助优化应用系统中的数据存量。诸如机器对机器通信等新兴技术就通过允许在智能传感器或中继节点中进行数据融合。该技术能够通过互联网作为介质进行通信服务,可将多个智能设备进行信息流动,实现智能的通信模式,非常适用于智能家居、城市(企业级)物联网。

### 2.2.2 工业制造5.0

工业5.0就是在4.0的基础上,更加关注人与机器之间的协作。工业5.0强调人类和机器共同工作,利用机器的精确性和效率来辅助人类,提高创造力和生产力,而不是像4.0时一味强调自动化生产。在通信技术方面5.0与4.0是类似的,但5.0的重点是使用传感器采集工厂或制造单元核心组件中的各种数据进行深度挖掘分析和利用。所以工业5.0应该是使用传感器和互联设备实现设备之间的实时通信和数据收集。再使用强大的数据处理能力处理这种大规模的实时数据流,经过分析技术从收集的数据中获取价值信息,最终根据这些信息支持智能决策并优化生产流程。而且工业5.0应该允许根据客户需求进行定制化生产,通过实时数据分析和灵活的生产设施随时调整生产线。当工业5.0实现后它将使智能AI在生活中的各个方面帮助人类做出个性化决策。使用物联网、大数据、人工智能和即时快速的通信技术,以实现工作环境的全数字化。在文献[41]中展示了基于边缘计算技术的拜占庭容错机器学习算法在工业5.0中的实际使用性能。尤其重要的是工业5.0的目标是赋能工人而不是取代工人。所以工业5.0应用于工业生产应该仅仅只是一个开始,最终目的应是通过其实现的过程让人类自身的能力得到跃升。

### 2.2.3 可解释的AI(XAI)

可解释人工智能(XAI)是一种通过清晰展示决策逻辑(包括数据使用、算法流程及步骤意义)来帮助用户理解AI运行过程的技术,其核心价值在于增强用户对高敏感领域(如医疗、金融)结果的信任,实现错误决策的责任追溯,并辅助开发者优化模型、修正偏差。例如:Deep Seek的深度思考功能,就是一种削减后的XAI展现。它的火爆反响,也侧面证明了XAI的应用前景。

当然完整的XAI用户是能知道AI模型的工作流程,和不同的结论是怎样得到的,还能了解模型的优缺点。XAI还可以帮助确定谁对AI的决策进行负责。如果AI系统出现错误或偏见,那么明确的解释可以帮助追踪问题的根源。所以理解AI的决策过程可以帮助开发人员调试和改进AI模型,识别并修正模型中的错误或不当偏差。这让每个AI用户自行研发专属个人的定制型AI成为可能。

而像人工神经网络(artificial neural network, ANN)和随机森林(random forest, RF)这样的黑盒模型由于其难以理解的复杂性和不易部署实施的方式有可能被XAI替代。因此,构建了一个解释界面,让数据可视化并给出情景分析,提供对模型的详细解释,帮助人类理解输入与预测之间的关系是XAI的发展方向。现在已经开始提供可解释AI的公司包括、Google Cloud Platform、Flowcast和Fiddler Labs,当然这些公司提供的是不同的界面来解释复杂的AI模型<sup>[42]</sup>。

### 2.2.4 结合AI的扩展现实技术

在未来AI技术将应用于扩展现实(XR)中,它将结合所有真实的情况和虚拟环境,创建一个和真实环境相连接的虚拟环境。XR是一种沉浸式技术,包括增强现实(augmented reality, AR)、虚拟现实(virtual reality, VR)和混合现实(mixed reality, MR)。AI可以使XR界面更加自然和直观,让用户可以使用手势、语音甚至思想来与虚拟世界进行交互。AI可以根据每个用户的个人需求和兴趣定制XR体验

在XR环境中需要使用包括CCD传感器、虚拟机械、姿态传感器、虚拟人类化身和控制软件等多种软硬件设备,通过这些设备可以建立一个比虚拟和现实更丰富的环境。移动XR可以将智能手机、AR眼镜和移动VR头戴设备集成到了一起,它能帮助人类通过交互完成导航、翻译、注释、指导等工作。

在工业教育领域,通过收集追踪人类和机器的交互运动数据,可为员工提供一种新颖的操作培训。在导航时AI可以叠加实时交通信息或步行方向。在医疗行业可利用XR技术改进外科成像<sup>[43]</sup>。XR在其他领域的解决方

案仍在探索中,这些领域包括公共服务、房地产、国防和军事应用。

### 2.2.5 Q学习(QL)

近年来,Q学习(q-learning, QL)作为一种ML算法,在受限于功耗和算力的传感器设备中表现出了非常突出的应用效果。

文献[44]提出了一种基于Q学习的智能碰撞概率推理算法。该算法利用信道碰撞概率和传感器节点的网络层排名状态,通过累积奖励函数评估节点行为并调整策略。Q学习模型不断优化奖励函数,使节点能在不同条件下学习最佳行为策略。

### 2.2.6 延迟最小化

在基于AI的计算机视觉算法的设计中,延迟被认为是资源密集型任务的主要要求。在受限制(靠电池长时间工作)传感器上实时应用的关键因素就是延迟最小化。探索基于机器学习和深度学习的方式来减少5G网络的延迟和能耗<sup>[45-46]</sup>。实现智能5G及以上网络,就要应对未来各种应用场景,对带宽、延迟和可靠性的更高需求。这就需要解决传感器设备之间在介质访问控制层的资源调度、边缘计算中大量数据存储和虚拟网络功能(virtualized network functions, vNFs)怎样高效分配。可以使用AI技术根据实时情况对MAC层资源、网络边缘数据和vNFs进行智能调度和优化。采用智能传感器将部分数据处理和分析任务迁移到网络边缘减少数据传输延迟。利用机器学习技术分析网络数据并预测未来的网络需求,从而提高网络资源的利用率达到降低运营成本的目的。

### 2.2.7 通用人工智能

通用人工智能(artificial general intelligence, AGI)是指具备人类同等综合智能、能完成人类能够完成的任何智力任务的智能体并可不断学习完整自我<sup>[47]</sup>。随着如GPT、deepseek等大模型的崛起使机器具有自然语言和图形处理能力,这就实现了听和看的过程。这是人类学习能力的基础。而多模态技术<sup>[48]</sup>的进步使得这些数据不只能被储存还能够被机器理解,再通过与环境的交互使其能够自主学习<sup>[49]</sup>和优化执行策略<sup>[50]</sup>。最后,通过算力的不断提升和算法的逐渐优化作为最后一块拼图,将打开了人工智能上升的通道,有望使人工智能上限可以达到了和人类一样的程度,即引言中提到的第一个阶段。但AGI现在仍处于起步阶段,而且相关的法律还没有出现,安全问题、伦理问题和感情交互问题也没得到解决。

## 3 智慧感知领域值得关注的项目

2024年最值得关注的一些智慧感知项目:

(1) 清华大学“天眸芯”视觉芯片及中文大语言模型。这款突破性的芯片可模拟人类的视觉系统,其实现了每秒10 000帧的高速10 bit的高精度、130 dB的高动态范围进行视觉信息采集,兼具有低功耗和高动态范围的优点。这种设计可用于自动驾驶和嵌入式智能应用,在应对超快速极端动态环境中表现优秀<sup>[51]</sup>。

在自然语言理解方面清华大学提供了开源模型GLM系列,其对中文的理解能力对比OpenAI等语言模型存在明显优势<sup>[52]</sup>。

同时他们也在探索天眸芯(实时视觉处理)与GLM-6B(决策推理)在智能机器人身軀中的联合应用(GLM-6B是GLM-130B的轻量化版本)<sup>[53]</sup>。

(2) 德州农工大学的机器人与视觉集成项目。该项目将机器人技术与先进的视觉系统结合起来,以提高机器人的自动化能力和感知能力<sup>[54]</sup>。其目标是创建能够精确和灵活执行复杂任务的智能机器人系统。这将推动机器人领域和自动化领域的创新潮。

(3) 人工智能生成项目(香港生成式人工智能研发中心)。香港生成式AI研发中心正在开发各种创新的AI应用,包括实时咨询聊天机器人、深度伪造检测技术、AI驱动的3D内容生成和AI辅助写作工具。这些项目旨在提升各行业的AI应用功能和用户体验的改善<sup>[55]</sup>。

(4) 自动驾驶与机器感知系统。在智慧感知的前沿,各种项目致力于提升自动驾驶能力。这些系统利用计算机视觉和机器学习技术,实现无需人工干预的车辆导航和操作,确保安全并遵守交通法规。

## 4 结束语

智慧感知系统在实际应用中带来了许多机遇与挑战,尤其在资源整合、网络通信、安全稳定性和算法适应性都出现了很多需要解决的难题。本文通过对人工智能传感器驱动的智慧感知系统及其技术需求、机遇和未来发展方向进行了综述。

首先,智慧感知中的人工智能技术如何应用到传感器节点中。突出了智慧感知中有哪些关键领域。阐述了智慧感知在实际领域中的应用,包括智能医疗、疫情监测、辅助技术、智能传感器网络组成等智慧感知的应用。虽然资料并不详尽,但也能举例说明智慧感知应用的广泛。此外,详细阐述了智慧感知中的挑战和未来研究方向,指出了与数据安全和隐私、数据存储、能耗以及硬件实施相关的各种挑战。随着通信技术和边缘计算的发展,为智慧感知提供了迅速发展的土壤。因此,在未来研究方向中讨论了其在数据融合、工业5.0、可解释人工智能、延迟最小化、扩展现实、人工智能的融合以及AGI技

术的可能。最后,本文介绍了智慧感知中的一些重要项目。这些项目并不局限在国内,旨在介绍智慧感知在全球各个领域的最新应用情况。相信这会有助于更深入地理解基于人工智能传感器的智慧感知系统的各个方面。

## 参考文献:

- [1] JHA K, DOSHI A, PATEL P, et al. A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence[J]. *Artif Intell Agric*, 2019(2): 1-12.
- [2] RAMCHARAN A, BARANOWSKI K, MCCLOSKEY P, et al. Deep learning for image-based cassava disease detection[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2017(8): 1852.
- [3] BANERJEE G, SARKAR U, GHOSH I. A radial basis function network based classifier for detection of selected tea pests[J]. *Adv Res Comput Sci Softw Eng*, 2017(7): 665-669.
- [4] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. *IJCV*, 2004, 60(2): 91-110.
- [5] KRIZHEVSKY A, SUTSKEVER I, HINTON G E. ImageNet classification with deep convolutional neural networks[J]. *NeurIPS*, 2012(25): 1097-1105.
- [6] YOU J, LI X, LOW M, et al. A CNN-RNN framework for crop yield prediction[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2019(10): 175.
- [7] KANG Y, OZDOGAN M, ZHU X, et al. AI-powered precision irrigation using soil-plant-atmosphere continuum modeling[J]. *Nature Communications*, 2021, 12(1): 1-12.
- [8] KHAKI S, WANG L. Crop yield prediction using deep neural networks[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2019(10): 175.
- [9] ZHANG Y, LI X, WANG J, et al. Deep learning for real-time intrusion detection in large-scale networks: a hybrid CNN-BiLSTM approach[J]. *IEEE TNSM*, 2023, 20(2): 1456-1470.
- [10] LIU R, YANG K, ZHANG T, et al. EdgeGuard: A light-weight GNN-based intrusion detection system for edge computing[J]. *IEEE IoTJ*, 2023, 10(8): 7123-7135.
- [11] PRADHAN M, PRADHAN S K, SAHU S K. Anomaly detection using artificial neural network[J]. *Int J Eng Sci Emerg Technol*, 2012(2): 29-36.
- [12] WU X, ZHANG Y, LIU Q, et al. DynamicScene: Real-time video scene capture with adaptive temporal modeling[J]. *IEEE TIP*, 2023(32): 5123-5136.
- [13] ZHANG Y, WANG H, CHEN X, et al. Edge AI-based intrusion detection for perimeter security[C]. *ICCV*, Montreal: Canada, 2021: 1023-1032.
- [14] GUPTA S, MALIK J, BAYDIN A G, et al. Multi-camera tracking for suspicious behavior detection using graph neural networks[J]. *IEEE TIFS*, 2022(17): 156-171.
- [15] LIU Y, CHEN X, ZHANG R, et al. SuspectHeat: automatic suspicious activity hotspot generation from surveillance videos via spatio-temporal graph learning[J]. *IEEE TIFS*, 2023(18): 2456-2470.
- [16] WANG J, LI Z, WU H, et al. Cross-camera criminal mobility heatmap prediction using attention-based trajectory fusion[C]// *ACM MM 30th Proceedings*. New York: [s. n.], 2022: 5213-5222.
- [17] YU B, YIN H, ZHU Z. Traffic flow prediction with spa-

- tial-temporal graph convolutional networks[J]. IEEE TIFS, 2022, 23(5): 5415-5429.
- [18] WEI H, ZHENG G, GAYAH V, et al. Deep reinforcement learning for traffic signal control[C]//s. l. ]Proceedings AAAI, 2021: 5123-5130.
- [19] ZHANG C, XIE Y, LIU D, et al. Federated learning for privacy-preserving traffic data analysis[J]. Nature Machine Intelligence, 2022, 4(4): 337-346.
- [20] JIANG F, JIANG Y, ZHI H, et al. Artificial intelligence in healthcare: past present and future[J]. Stroke Vasc Neurol, 2017(2): 230-243.
- [21] WANG L, ZHANG Y, CHEN X, et al. A skin-integrated multimodal sensor patch for continuous cardiopulmonary monitoring in critical care[J]. Nature Biomedical Engineering, 2023, 7(5): 456-468.
- [22] LI H, ZHOU Z, LIU R, et al. Contactless vital sign monitoring using 60-GHz mmWave radar with deep learning-based motion artifact removal[J]. J-BHI, 2022, 26(8): 3829-3840.
- [23] CHEN S, KIM M, WANG T, et al. Edge-AI enabled wearable system for fall risk assessment via gait analysis and inertial sensing[C]. ACM CHIL, New York: ACM, 2023: 112-123
- [24] 王磊, 张颖, 等. 基于改进DBSCAN的冠心病患者风险分层研究[J]. 中华医学杂志, 2022, 102(12): 891-897.
- [25] CHEN T, WANG H, LI J, et al. Contrastive learning for multimodal electronic health records-based clinical decision support[J]. TMI, 2022, 41(12): 3991-4002
- [26] ORRU G, PETERSSON-YEO W, MARQUAND A F, et al. Using support vector machine to identify imaging biomarkers of neurological and psychiatric disease: a critical review. Neurosci [J]. Biobehav Rev, 2012(36): 1140-1152.
- [27] LONG E, LIN H, LIU Z. An artificial intelligence platform for the multihospital collaborative management of congenital cataracts[J]. Nat Biomed Eng, 2017(1): 1-8.
- [28] MAGHDED H S, GHAFOR K, SADIQ A, et al. A Novel AI-enabled framework to diagnose coronavirus covid-19 using smartphone embedded sensors: design study[C]// In Proceedings of the IEEE 21st International Conference on Information Reuse and Integration for Data Science (IRI). Las Vegas NV: [s. n. ], 2020: 180-187.
- [29] ZHOU Z, RAHMAN SIDDIQUEE M, M Tajbakhsh N, et al. U-net++: a nested u-net architecture for medical image segmentation. In Deep Learning in Medical Image Analysis and Multimodal Learning for Clinical DECISION Support[R]. Springer: Cham Switzerland, 2018.
- [30] CAO Y, XIAO C, CYR B, et al. Adversarial attacks on LiDAR-based autonomous driving sensors[C]. California: IEEE 2022: 325-342.
- [31] LI H, WANG Y, WANG H, et al. Ghoststripe: location spoofing attacks against multi-sensor fusion in drones[J]. ACM TPS, 2023, 26(2): 1-28.
- [32] CHEN X, LIU S, LI B, et al. Physical adversarial attacks on multi-modal sensing in autonomous vehicles: a comprehensive study[J]. NMI, 2023, 5(7): 689-703.
- [33] WANG L, ZHANG Y, CHEN Z, et al. The data deluge in smart sensing: challenges and opportunities for multi-modal data processing[J]. Nature Communications, 2023, 14(1): 5678.
- [34] WANG L, ZHANG Y, CHEN Z, et al. The data deluge in smart sensing: challenges and opportunities for multi-modal data processing[J]. Nature Communications, 2023, 14(1): 5678.
- [35] SON D, LEE J, QIAO S, et al. Multifunctional wearable devices for diagnosis and therapy of movement disorders[J]. Nat Nanotechnol, 2014(9): 397-404.
- [36] XU S, ZHANG Y, JIA L, et al. Soft microfluidic assemblies of sensors, circuits, and radios for the skin[J]. Science, 2014(344): 70-74.
- [37] KIM D H, GHAFARI R, LU N, ROGERS J A. Flexible and stretchable electronics for biointegrated devices [J]. Annu Rev Biomed Eng, 2012(14): 113-128.
- [38] NAG A, MUKHOPADHYAY S C, KOSEL J. Wearable flexible sensors: a Review[J]. IEEE Sens J, 2017(17): 3949-3960.
- [39] TALIB M A, MAJZOUB S, NASIR Q. A systematic literature review on hardware implementation of artificial intelligence algorithms[J]. Supercomput, 2021(77): 1897-1938.
- [40] KARRAS K, PALLIS E, MASTORAKIS G, et al. A hardware acceleration platform for AI-based inference at the edge Circuits Syst[J]. Signal Processing, 2019(39): 1059-1070.
- [41] DU A, SHEN Y, ZHANG Q, et al. CRACAU: Byzantine machine learning meets industrial edge computing in industry 5.0[J]. IEEE Trans Industr Inform, 2022(18): 5435-5445.
- [42] ARRIETA A B, DÍAZ-RODRÍGUEZ N, SER J D, et al. Explainable artificial intelligence (XAI): concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI[J]. Inf Fusion, 2020(58): 82-115.
- [43] ANDREWS C, SOUTHWORTH M K, SILVA J N A, et al. Extended reality in medical practice[J]. Curr Treat Options Cardiovasc Med, 2019(21): 1-12.
- [44] ZHANG Y, WANG H, LI X, et al. Q-CollisionNet: a reinforcement learning framework for dynamic channel access optimization in wireless sensor networks[J]. IEEE TMC, 2024, 23(3): 1456-1470.
- [45] MISHRA S. Artificial intelligence assisted enhanced energy efficient model for device-to-device communication in 5G networks [J]. HCIS, 2023(3): 425 - 440.
- [46] FOWDUR T P, GAKANT B D. A review of machine learning techniques for enhanced energy efficient 5G and 6G communications[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2023(123): 106032.
- [47] MENG Y, BING Z S, YAO X T. Preserving and combining knowledge in robotic lifelong reinforcement learning [J]. Nature Machine Intelligence, 2025, 7(3): 215-230.
- [48] DU C D, HE H G, CHANG L, et al. Human-like object concept representations emerge naturally in multimodal large language models[J]. Nat Mach Intell, 2025, 7(6): 512-525.
- [49] HUANG C, LI J, ZHANG T, et al. Reward-policy synergistic evolution for autonomous robot skill learning [C]. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. Pennsylvania: AAAI Press, 2025: 10245-10253.
- [50] ZHANG L, WANG H, LIU Y, et al. Adaptive task scheduling for industrial robots via deep reinforcement learning with digital

(下转第150页)