

本文引用格式: 叶廷东,艾炎,杨军.可穿戴体域传感器与智能感知关键技术分析[J].自动化与信息工程,2026,47(2):1-8.

YE Tingdong, AI Yan, YANG Jun. Analysis of wearable body area sensors and key technologies for intelligent perception[J]. Automation & Information Engineering, 2026,47(2):1-8.

可穿戴体域传感器与智能感知关键技术分析*

叶廷东 艾炎 杨军

(广东轻工职业技术大学人工智能学院, 广东 广州 510300)

摘要: 基于可穿戴体域传感技术在医疗健康、运动监测等领域的应用潜力, 阐述了可穿戴体域传感器的概念、分类及研究现状; 针对可穿戴体域传感技术的系统复杂性、动态移动性、环境多变性、信息多源性、能量受限性等特点, 梳理分析了体域信息智能感知关键技术研究现状; 总结了可穿戴体域传感技术的应用前景与发展趋势, 以期对相关领域的进一步研究提供参考。

关键词: 可穿戴; 体域传感器; 智能感知; 人工智能

中图分类号: TP212.9

文献标志码: A

文章编号: 1674-2605(2026)02-0001-08

DOI: 10.12475/aie.20260201

开放获取

Analysis of Wearable Body Area Sensors and Key Technologies for Intelligent Perception

YE Tingdong AI Yan YANG Jun

(Guangdong Industry Polytechnic University, College of Artificial Intelligence, Guangzhou 510300, China)

Abstract: Based on the application potential of wearable body area sensing technology in fields such as healthcare, medical treatment, and sports monitoring, this paper elaborates on the concept, classification, and current research status of wearable body area sensors. In view of the characteristics of wearable body area sensing technology, including system complexity, dynamic mobility, environmental variability, information multi-source nature, and energy constraints, it reviews and analyzes key technologies for intelligent perception of body area information are systematically analyzed. Finally, the application prospects and development trends of wearable body area sensing technology are summarized, aiming to provide a reference for further research in related fields.

Keywords: wearable; body area sensor; intelligent perception; artificial intelligence

0 引言

随着可穿戴技术的快速发展, 可穿戴体域传感技术已成为当前的研究热点^[1]。该技术通过将多个微型、低功耗、智能化的传感器穿戴在人体表面、近体周围或植入体内, 形成一个以人体为中心的体域网, 用于连续实时监测人体多项生理、生化、运动等参数^[2]。其融合了微电子、通信、材料科学、医学和人工智能等领域的前沿技术^[3], 以传感器为载体, 结合微处理器和通信模块, 通过智能感知技术, 赋予可穿戴设备感知与响应的双重功能。

本文探讨可穿戴体域传感器与体域信息智能感知关键技术研究现状、发展趋势等, 以期对相关技术与应用研究提供方向指引。

1 可穿戴体域传感器

可穿戴体域传感器是体域网的微型传感节点, 根据工作原理主要分为: 1) 生理传感器, 监测心电图、肌电等生物电信号; 2) 化学传感器, 检测汗液、血液中的葡萄糖、乳酸等化学成分; 3) 力学传感器, 测量压力、应变、加速度等力学参数; 4) 光学传感器, 监测血氧饱和度、皮肤颜色等光学参数;

* 基金项目: 广东省普通高校重点科研平台和项目(2023ZDZX1053)

5) 气体传感器,分析呼出气体成分,辅助疾病诊断与健康监测。

可穿戴体域传感器的核心是“可穿戴”和“智能化”,即在保证轻便、舒适的同时具有数据采集、处理、存储和无线通信等功能,以实现对人体信息的实时监测和智能分析^[4-5]。目前,可穿戴体域传感器的相关研究主要聚焦在新材料应用、低功耗与能量收集、数据处理、无线通信、智能化与个性化等方面。

1.1 新材料应用

可穿戴体域传感器的材料大多采用柔性传感材料、智能纺织品等。

目前,常用的柔性传感材料主要包括高分子与生物、液态金属、薄膜、低维等材料^[6-7],使可穿戴体域传感器更贴合人体皮肤,提高佩戴舒适度与监测精度。其中,高分子与生物材料因具有良好的物理、化学性能、可加工性和可塑性,常用于制作传感器的封装层、绝缘层和柔性基底,以方便制备各种形状和结构的传感器;液态金属材料凭借其高导电性、高导热性和流动性,在柔性电子、生物医学、先进制造等场景具有较大的应用潜力;薄膜材料因具有柔韧性、轻薄、高灵敏度、可集成等特点,被广泛用作柔性传感器的基底材料;低维材料是指具有纳米尺度的零维、一维或二维材料,如纳米线、石墨烯、MXene等。其中,MXene是一类具有二维层状结构的无机化合物材料,具有良好的电学、机械、光学性能和生物兼容性等,在应力/应变传感器、压力传感器、光电传感器、湿度传感器、温度传感器和电化学传感器等领域具有广阔的应用前景。文献[8]制备了生物相容MXene基薄膜,并组装了柔性应变传感器、柔性压力传感器和柔性湿度传感器,其中柔性湿度传感器具有较好的柔韧性和循环稳定性,可用于监测人体呼吸状态和皮肤表面相对湿度。文献[9]制备了一种基于MXene基的柔性电化学传感器,用于监测有机磷农药中的乙基对硫磷(PE),以有效控制PE对人体和环境的危害。文献[10]采用海藻酸钠水凝胶作为热敏涂层,制备了柔性MXene基温度传感器,可实现-20~100℃范围内的准确、稳定温度传感。

智能纺织品一般通过浸渍涂覆、包缠、混纺、静电纺丝等工艺,赋予其导电与传感性能^[7],从而实现对人体信息的无感监测。文献[11]设计了一款数字刺绣共形超材料生物传感器,用于监测人体心率和呼吸,具有抗振动传感能力,可在车辆行驶过程中实时监测并评估驾驶员状态。文献[12]基于静电纺丝技术制备了高性能柔性压阻式传感器,不仅具有优异的压阻性能,还具有低工作电压、高灵敏度、低检测限、快速响应和良好稳定性等特性,能有效检测人体脉搏、肌肉与关节运动等信息。文献[13]采用聚氨酯(PU)海绵作为基底,通过超声浸渍涂覆工艺将炭黑-钛酸钡(CB-BTO)复合材料融合在PU海绵上,制备了CB-BTO/PU柔性电容式压力传感器,具有高灵敏度、宽检测范围等特性,可应用于柔性可穿戴设备领域。

1.2 低功耗与能量收集

可穿戴体域传感器通过优化电路设计、电源管理策略、无线通信协议、数据压缩技术,以及采用低功耗电子元件等方式降低能耗,延长续航时间。文献[14]通过优化可穿戴体域传感器硬件布局与连接方式、降低开关电容、改进晶体管尺寸、利用高效转换器和信息处理算法等措施降低其整体能耗。文献[15]提出一种基于深度学习的智能电源优化方法,并采用低功耗电子元件,使传感器型可穿戴物联网设备能耗降低约40%。文献[16]基于IEEE 802.15.6媒体访问控制协议,在超帧中采用能量感知占空比调整机制,在保证通信可靠性和吞吐量的同时,有效降低了能耗。文献[17]提出一种基于统计的数据压缩方法,通过减少存储空间和降低传感器节点的传输功耗,节约能耗达79.65%。

可穿戴体域传感器采用柔性储能技术(如柔性锂离子电池或超级电容器)降低充电频率,文献[18]制备了一款高能量密度的全固态不对称超级电容器,具有较高的比电容、良好的电容行为、倍率性能、弯曲性能,可用于可穿戴设备的储能与自供电;利用人体运动、热能、光能等实现自供电,从而延长设备续航时间,文献[19]在智能鞋垫中嵌入压电材料,利用穿戴者步行产生的电能为其供电;通过摩擦纳米发电机(triboelectric nanogenerator, TENG)将人体的高熵生

物机械能转化为电能，实现持续供电，文献[20]构建了一套稳定的完全自供电可穿戴系统，其自供电可穿戴柔性 TENG 模块能有效捕获人体运动能量。

1.3 数据处理

可穿戴体域传感器采集的多项数据（如体温、心率、血糖、血压、血氧等），需通过数据处理算法提高精度与灵敏度，抑制噪声干扰，以确保数据的准确性与可靠性^[21]。随着采集数据的增加，数据处理过程逐渐引入边缘计算和人工智能算法。边缘计算将数据处理任务从云端迁移到传感器端，降低了数据传输量，提高了系统响应速度与数据安全性。文献[22]提出一种融合边缘计算功能的可穿戴传感器贴片系统，集成了采集心电图、呼吸、皮肤温度和湿度的柔性传感器，并利用边缘计算在本地对传感器采集的数据进行分析处理，发现异常后报警。人工智能算法通过对数据的智能分析处理，可实现更准确、更个性化的健康监测与诊断^[23-24]。文献[25]提出一套基于机器学习的压力分类系统，先采用可穿戴体域传感器采集脑电图（electroencephalogram, EEG）、皮肤电活动、皮肤温度和心率等生理信号，再利用机器学习模型进行数据分析和压力分类，其中基于 EEG 的时频域特征实现了 99.98% 的分类准确率，基于皮肤电活动、皮肤温度和心率信号实现了 99.51% 的分类准确率。

1.4 无线通信

针对可穿戴体域传感器的无线通信技术研究主要集中在低功耗天线设计、无线传输与能量管理、无线传输数据安全与隐私保护、低功耗通信协议选择等

方面^[26]。文献[27]设计了一款基于人工磁导体结构的双频段柔性可穿戴天线，在不同弯曲条件下具有良好的辐射性能，且对人体影响较小。文献[28]提出一种无线传感网络能量节约系统模型，采用低功耗、基于簇的自适应路由协议、细菌收集算法、 k -中心点算法等，综合考虑数据在通信传输、采集和接收过程中的能耗，延长了传感网络的运行时间。文献[29]结合区块链架构提出一种星际文件系统和基于椭圆曲线的无证书无配对聚合签名方案，并应用于可穿戴设备数据安全共享模型，提升了区块链效率，实现了数据的高效安全传输。

1.5 智能化与个性化

随着人工智能技术的发展，可穿戴体域传感器正朝着智能化与个性化的方向发展，包括数据分析与个性化健康监测、疾病预测与管理、混合多模态传感器等方面。其中，数据分析与个性化健康监测、疾病预测与管理主要针对人工智能算法进行研究，以高效处理、识别和分析可穿戴体域传感器采集的大量数据，从而提高监测的准确性和效率，进而提供个性化的健康监测与疾病预测服务^[25,30]；混合多模态传感器融合人工智能技术与多种物理、化学传感方式，实现多项生理、生化等参数的混合传感，并通过人工智能算法全面评估人体健康状态。文献[31]设计了一款混合多模态可穿戴传感贴片，用于监测多项人体信息，并利用人工智能技术对数据进行分析处理，从而提供个性化的健康信息并辅助识别早期并发症。混合多模态传感器的演变如图 1 所示。

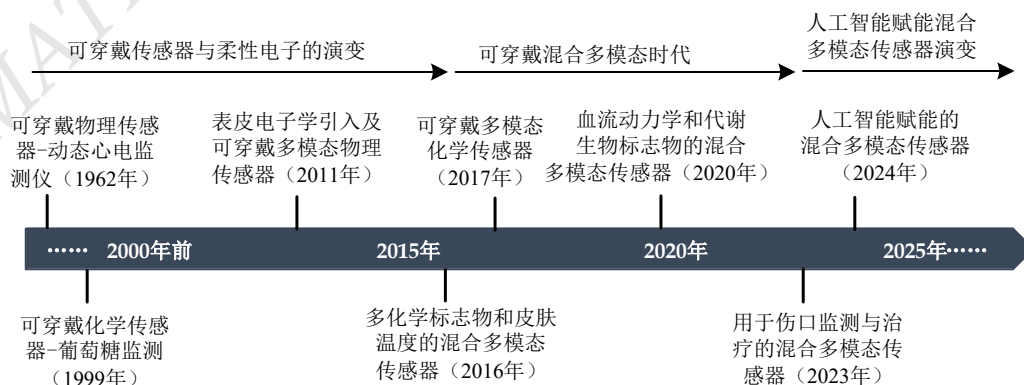


图 1 混合多模态传感器演变图

2 体域信息智能感知关键技术

从信息技术的角度来看,可穿戴体域传感技术的研究难点在于系统复杂性、动态移动性、环境多变性、信息多源性、能量受限性等^[32-33]。围绕上述研究难点,体域信息智能感知关键技术的研究可概括为微弱信号处理、多源信息融合、体域网等方面。

2.1 微弱信号处理

许多人体信息(如心电、脑电和肌电等)属于微弱信号。为减少运动状态下采集人体信息引入的外界干扰,采用多种微弱信号处理技术(如自适应滤波、小波变换、深度学习等)提高信噪比。其中,基于小波变换的滤波技术应用较为广泛。文献[34]提出一种EEG去噪技术,通过小波变换对噪声信号进行分解,采用能量打包法进行阈值处理,最终经过重构得到去噪后的EEG。文献[35]提出一种基于单通道的EEG去眼电伪迹算法,采用分离技术将混合的EEG分解为EEG分量和眼电信号(electrooculogram, EOG)分量,并对EOG分量进行小波阈值去噪,进一步分离出EEG分量,最后对所有EEG分量重构,以最大限度地保留有效的EEG。文献[36]将小波变换与卷积神经网络融合,实现心电图的自动特征提取与分类,在有效降低噪声的同时准确分析心电图。

2.2 多源信息融合

可穿戴体域传感器的多源信息融合方法从实现机理上主要分为估计法、分类法、推理法和人工智能法4类^[37]。其中,估计法通过数学建模对多源数据进行动态估计,适用于目标跟踪、导航定位等应用场景;分类法基于模式识别技术对多源特征进行分类或聚类,常用于目标识别、属性判别等应用领域;推理法结合逻辑规则与专业知识(如专家系统)进行综合判断,适用于专业性强、决策复杂的应用场景,如医疗诊断等;人工智能法利用深度学习模型对多源异构数据进行端到端的学习与融合,适用于复杂决策、高精

度感知的应用场景。上述4类方法各有特点,实际选择需依据应用场景与数据特性而定。文献[38]设计了一种多源信息融合分类器,可融合心率、步频、躯干倾斜度、加速度等信息,对救助者行为的分类准确率达到88.8%。文献[39]设计了融合可穿戴体域传感器和边缘计算的VersaSens平台,通过边缘人工智能协处理器,实现传感信息融合处理,可监测咳嗽、心跳和癫痫等人体信息。文献[40]提出一种基于流形学习的T分布式随机邻域嵌入算法,用于融合多传感器体域网信息,在特定的体域网数据集下,信息融合效果是主成分分析方法的1.21倍。文献[41]为解决传感器网络中未知相关性问题,融合数据驱动的循环神经网络与模型驱动的信息滤波算法,提出一种多传感器估计融合方法-信息滤波神经网络(information filtering neural network, IFNet),具有稳定性高、收敛速度快、可解释性强和计算复杂度低等特点。

2.3 体域网

体域网是传感网络技术与生物医学工程相结合的产物,可与智能终端(如智能手机、VR/AR头显等)连接,通过近程或远程通信与控制,实现医疗诊断的即时检测^[42]。针对可穿戴设备的舒适性不足和能量受限等问题,当前体域网研究大多集中在柔性天线设计、能量优化与调度策略、低功耗通信传输协议等方面。文献[43]设计了一种智能纺织物无线体域网系统架构,可采集生物阻抗、心电、呼吸、温度和皮肤湿度梯度等信号,在尺寸、运行时间、检测精度和可靠性方面具有良好的性能。文献[44]基于体域网开展智能可穿戴服装的协同设计,通过结合银离子纺丝工艺、柔性温度和血氧传感器,设计了糖尿病患者足部炎症预防与提醒袜子。文献[45]针对水下体域网面临的复杂环境,分析网络标准化设计、信息稳定传输等问题,并设计了水下体域网分层架构。结合现有研究,体域网架构一般包括感知层、汇聚传输层和应用层,如图2所示。

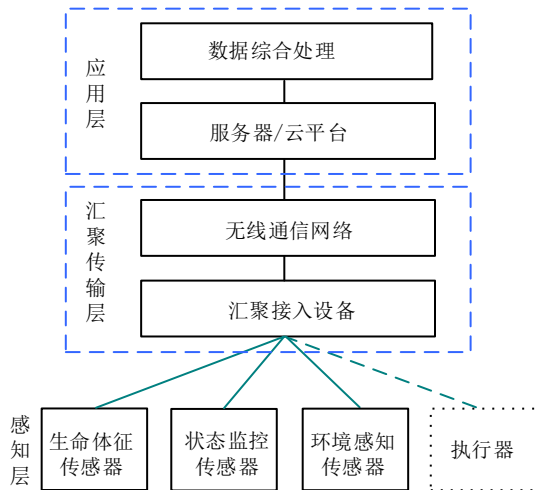


图2 体域网架构

其中，感知层包含多种类型传感器节点，负责采集人体生理、生化、运动等数据；汇聚传输层负责接收各个传感器节点采集的数据，进行数据预处理与融合，并将处理后的数据传输到外部网络；应用层对传输到服务器或云平台的数据进行监测、分析与处理。

3 应用前景与发展趋势

可穿戴体域传感技术作为一种新兴技术，在医疗健康、运动健身、安全防护、老人关怀、人机交互等领域具有广阔的应用前景。随着材料科学、微电子、无线通信和人工智能等技术的不断发展，可穿戴体域传感器将朝着小型化、智能化、舒适化和个性化的方向发展，其相关技术的演进将聚焦于柔性化与智能化材料研究、多模态传感与边缘计算、低功耗与能量收集、信息处理与人工智能深度融合、无线通信与体域传感网络等方面。

1) 柔性化与智能化材料研究。柔性 MXene、智能纺织品等新型材料通过改善生物相容性，能够更好地与人体皮肤贴合，使可穿戴设备更加轻便、舒适。一方面，将柔性 MXene 与石墨烯、碳纳米管等纳米材料复合，结合各自优势，获得更优异的性能^[46]；另一方面，将 MXene 与智能纺织技术结合，开发适用于大规模生产的智能纺织品。文献^[47]利用湿法纺丝工艺制备了 MXene@芳纶纳米纤维，并将其用于智能

纺织物传感器，以监测人体的不同运动状态，具有响应速度快、使用寿命长等特点，可满足智能可穿戴设备的可纺性、便携性和易于贴合等需求。

2) 多模态传感与边缘计算。未来的可穿戴设备将集成更多类型的传感器，实现对生理、生化、环境等多维数据的同步采集与融合。人工智能赋能的多模态传感器与多传感协同检测技术将受到广泛关注。同时，多模态传感器通过边缘计算实现信息的实时处理，可增强其在复杂环境下的稳定性。文献^[48]利用深度小波卷积神经网络从多模态传感信号中提取特征并进行活动识别，在时域和时频域上的识别性能均优于简单的深度神经网络和混合深度神经网络，提高了识别准确率。

3) 低功耗与能量收集。降低能耗、延长续航时间是可穿戴设备的重要发展方向。能量收集技术，如利用人体运动、体温等产生的能量为可穿戴设备供电将成为研究热点。能量收集效率与稳定性是实现可穿戴设备自主供电的关键，可通过多源能量集成技术优化能量源的协同工作，提高整体能量利用率^[49]。

4) 信息处理与人工智能深度融合。在可穿戴体域传感器的微弱信号处理、信息融合、信息分析与预测等方面，与人工智能的融合将越来越深入，如利用人工智能技术使房颤预警模型的预测精度达到临床标准，可推动可穿戴设备从被动监测向主动服务演进。文献^[50]提出一种深度学习模型，利用智能手表、手环等常见可穿戴设备信号进行房颤预测，可平均提前 30.8 min 预测房颤发作，在测试数据集上的预测准确率达到 83%。

5) 无线通信与体域传感网络。轻量化、低功耗的通信传输协议、通信数据安全、网络优化与调度等仍是可穿戴体域传感技术的研究热点。在无线生理传感的三层网络架构中，利用区块链技术搭建安全可信的体域网，可保障个人健康数据的隐私性。在设计安全、可信的体域网时，需在数据安全、网络性能和能耗之间取得平衡，如过于复杂的加密算法可能增加计算开销，降低设备的响应速度，增加能耗^[51]。

4 结束语

本文系统地阐述了可穿戴体域传感器在新材料应用、低功耗与能量收集、数据处理、无线通信、智能化与个性化等方面的研究进展,以及微弱信号处理、多源信息融合、体域网等体域信息智能感知关键技术的研究现状,并总结了可穿戴体域传感技术的应用前景与发展趋势。

随着材料技术、微电子与传感器技术、低功耗设计方法、人工智能算法的不断进步,可穿戴体域传感技术将在智能化、便捷化、个性化的健康监测与管理体系统中发挥重要作用。未来研究应着重于突破现有技术局限,如通过研发柔性、智能化材料来提高穿戴舒适性;通过多模态传感与边缘计算的融合应对系统复杂性和信息多源性的挑战;通过低功耗与能量收集技术提高传感器对动态移动性、能量受限性的适应能力;推动信息处理与人工智能的深度融合,在提高传感器检测准确性和稳定性的同时,提升其对环境多变性、信息多源性的适应能力;通过对无线通信与体域传感网络的研究,构建安全可信的体域网。

©The author(s) 2024. This is an open access article under the CC BY-NC-ND 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

参考文献

- [1] 金鹏.基于嵌入式系统的智能服装设计研究[D].无锡:江南大学,2021.
- [2] HE T, CHEN J, HE B G, et al. Toward wearable sensors: Advances, trends, and challenges[J]. *ACM Computing Surveys*, 2023,55(14s):1-35.
- [3] HUSSEIN S S, RASHIDI, et al. Wireless body area sensor network: Tutorial review[J]. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 2019,16(11):4839-4852.
- [4] REN Xiangfang, LEI Shen, LIU Miaomiao, et al. Research and sustainable design of wearable sensor for clothing based on body area network[J]. *Cognitive Computation and Systems*, 2021,3(3): 206-220.
- [5] 陈柏文,黄继伟,凌新龙.智能可穿戴产品用柔性传感器的研究进展[J].*纺织科学与工程学报*,2025,42(2):63-76.
- [6] 王羽飞,肖明月,郭贯切,等.MXene 基可穿戴传感器的制备及其在运动领域的应用[J].*复合材料学报*,2025,42(6):2943-2957.
- [7] 李艳梅,罗莹.基于 CiteSpace 的国内外织物柔性传感器研究的可视化分析[J].*服装学报*,2024,9(5):448-455.
- [8] 郑贻强.基于 MXene 复合材料的柔性传感器设计策略及其在人体健康监测领域的应用研究[D].长春:吉林大学,2024.
- [9] KOKULNATHAN T, WANG T J, AHMED F. Construction of two-dimensional molybdenum carbide based electrocatalyst for real-time monitoring of parathionethyl[J]. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021,9(6):106537.
- [10] ZHAO L, FU X, XU H, et al. Tissue-like sodium alginate-coated 2D MXeneBased flexible temperature sensors for full-range temperature monitoring[J]. *Advanced Materials Technologies*, 2022, 7(10): 2101740.
- [11] ZENG Q, TIAN X, NGUYEN D T, et al. A digitally embroidered metamaterial biosensor for kinetic environments [J]. *Nature Electronics*, 2024,7(11):1025-1034.
- [12] CHENG H, WANG B, YANG K, et al. A high-performance piezoresistive sensor based on poly (styrene-co-methacrylic acid)/polypyrrole microspheres/graphene-decorated TPU electrospun membrane for human motion detection[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2021,426:131152.
- [13] 陈续峰,张宇,秦亚飞,等.基于炭黑-钛酸钡/聚氨酯的柔性电容式压力传感器[J].*复合材料学报*,2024,41(11):6055-6064.
- [14] LIU G, AN Z, LU Y, et al. High-output moisture-enabled electricity generator for fully self-powered wearable physical and biochemical monitoring[J]. *Nano Energy*, 2024,119, 109098.
- [15] KUMAR A, SHARMA J, GOEL M, et al. The smart power optimization for sensor based wearable IoT devices using AI based deep learning[C]. *International Conference on IoT, Communication and Automation Technology (ICICAT)*, 2024: 17-22.
- [16] DAS K, DEVI N N, MOULIK S. EADA: Energy-aware adaptive duty-cycle adjustment in superframe for IEEE 802.15.6-based wireless body area networks[J]. *IEEE Sensors Letters*, 2024,8(8):1-4.
- [17] SONAI V, BHARATHI I. A new statistical compression-based method for wireless sensor networks energy efficient data transmission[J]. *IEEE Sensors Letters*, 2024,8(3):1-4.
- [18] ZHAO J X, LU H L, ZHANG Y, et al. Direct coherent multi-ink printing of fabric supercapacitors[J]. *Science Advances*, 2021, 7(3):eabd6978.
- [19] MA Y, JI Q, CHEN S, SONG G, et al. An experimental study

- of ultra-low power wireless sensor-based autonomous energy harvesting system[J]. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 2017,9(5):054702.
- [20] SONG Y, MIN J, YU Y, et al. Wireless battery-free wearable sweat sensor powered by human motion[J]. *Science Advances*, 2020, 6(40): 9842.
- [21] MOU Y, WANG C, JIANG X, et al. Flexible sensor with material-microstructure synergistic optimization for wearable physiological monitoring[J]. *Materials*, 2025,18(15):3707.
- [22] MATSUMURA G, HONDA S, KIKUCHI T, et al. Real-time personal healthcare data analysis using edge computing for multimodal wearable sensors[J]. *Device*, 2025,3(2):100597.
- [23] MARTINEZ-HERNANDEZ U, ASSAF T. Soft tactile sensor with multimodal data processing for texture recognition[J]. *IEEE Sensors Letters*, 2023,7(8):1-4.
- [24] LIU D, TIAN X, BAI J, et al. A wearable in-sensor computing platform based on stretchable organic electrochemical transistors[J]. *Nature Electronics*, 2024,7(12):1176-1185.
- [25] CHANDRA V, SETHIA D. Machine learning-based stress classification system using wearable sensor devices[J]. *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, 2024, 13(1):337.
- [26] 方效林,罗军舟.体域网关键技术与新挑战[J].*物联网学报*, 2018,2(1):64-68.
- [27] 周勇,庄佳杰,周嘉豪.基于 AMC 结构的双频可穿戴天线设计[J/OL].*微波学报*,2024,<https://link.cnki.net/urlid/32.1493.TN.20241011.1613.018>.
- [28] PANDIYA RAJ V, DURAIPANDIAN M. Energy conservation using PISAE and cross-layer-based opportunistic routing protocol (CORP) for wireless sensor network[J]. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 2023,42:101411.
- [29] 赵禧玮,蔡英,范艳芳,等.基于区块链和聚合签名的可穿戴设备数据共享方案[J].*北京信息科技大学学报(自然科学版)*,2024,39(3):91-98.
- [30] FERRARA E. Large language models for wearable sensor-based human activity recognition, health monitoring, and behavioral modeling: A survey of early trends, datasets, and challenges[J]. *Sensors*, 2024,24(15):5045.
- [31] MAHATO K, SAHA T, DING S, et al. Hybrid multimodal wearable sensors for comprehensive health monitoring[J]. *Nature Electronics*, 2024,7(9):735-750.
- [32] 寇家华,唐雷,乔峙,等.基于可穿戴计算的体域网技术应用现状与趋势研究[J].*信息通信技术与政策*,2020(8):75-79.
- [33] KIM S, LEE S, JEONG W. EMG measurement with textile-based electrodes in different electrode sizes and clothing pressures for smart clothing design optimization[J]. *Polymers*, 2020,12(10):2406.
- [34] NGUYEN B, MA W, TRAN D, et al. Wavelet-based denoising for EEG-based pattern recognition systems[C]. 2020 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI), 1249-1256.
- [35] 李倩.单通道脑电信号处理与注意力识别研究[D].南京:南京邮电大学,2022.
- [36] TERADA T, TOYOURA M. Wavelet integrated convolutional neural network for ECG signal denoising[C].*International Conference on Multimedia Modeling*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2025: 311-324.
- [37] JOHN A, CARDIFF B, JOHN D A. Review on multisensor data fusion for wearable health monitoringarXiv 2024[J]. arXiv preprint arXiv:2412.05895.
- [38] CURONE D, TOGNETTI A, SECCO E L, et al. Heart rate and accelerometer data fusion for activity assessment of rescuers during emergency interventions[J]. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 2010,14(3):702-710.
- [39] NAJAFI T A, CALERO I A M, THEVENOT J, et al. VersaSens: An extendable multimodal platform for next-generation Edge-AI wearables[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Artificial Intelligence*, 2024,1(1):83-96.
- [40] 张俊,王杨,李坤豪,等.基于流形学习的多源传感器体域网数据融合模型[J].*计算机科学*,2020,37(8):323-328.
- [41] WANG M, LIU H, TANG H, et al. IFNet: Data-driven multisensor estimate fusion with unknown correlation in sensor measurement noises[J]. *Information Fusion*, 2025,115: 102750.
- [42] 朱启宇.无线体域网感知及其若干应用研究[D].西安:西安电子科技大学,2020.
- [43] DI MODICA S, DI RIENZO M, DI FRANCESCO F, et al. Architecture of a wireless wearable body area sensor network for work risk assessment[C]. 2021 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT (MetroInd4.0&IoT). IEEE,2021: 429-432.
- [44] 任祥放.基于体域网的智能可穿戴服装协同设计研究[D].无锡:江南大学,2022.
- [45] 肖蛰水,陈发,方坤升,等.水下体域网系统架构及关键技术[J].*水下无人系统学报*,2022,30(6):720-725.
- [46] VERMA R, SHARMA A, DUTTA V, et al. Recent trends in synthesis of 2D MXene-based materials for sustainable envi-

- ronmental applications[J]. Emergent Materials, 2023,7(1):35-62.
- [47] WANG L, ZHANG M, YANG B, et al. Lightweight, robust, conductive composite fibers based on MXene@Aramid nanofibers as sensors for smart fabrics[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2021,13(35):41933-41945.
- [48] VUONG T H, DOAN T, TAKASU A. Deep wavelet convolutional neural networks for multimodal human activity recognition using wearable inertial sensors[J]. Sensors, 2023, 23(24):9721.
- [49] ALI A, SHAUKAT H, BIBI S, et al. Recent progress in energy harvesting systems for wearable technology[J]. Energy Strategy Reviews, 2023,49:101124.
- [50] GAVIDIA M, ZHU H L, MONTANARI N A, et al. Early warning of atrial fibrillation using deep learning[J]. Patterns, 2024,5(6):100970.
- [51] RAVICHANDRAN C, KUMAR R, KUMAR T, et al. Security enhancement in wireless sensors using blockchain technology [J]. International Journal of Electronic Security and Digital Forensics, 2023,15(5):516-531.

作者简介:

叶廷东, 男, 1976 年生, 博士研究生, 教授, 主要研究方向: 网络化检测与智能传感、教育教学理论与技术。E-mail: yuetd@163.com

艾炎, 男, 1988 年生, 硕士研究生, 副教授, 主要研究方向: 工业互联网技术与智能终端产品。E-mail: 2018090134@gdip.edu.cn

杨军, 男, 1976 年生, 博士研究生, 讲师, 主要研究方向: 物联网与智能控制技术。E-mail: 2016108053@gdip.edu.cn

2026 年“机器人具身智能”专题征稿启事

机器人具身智能是机器人与人工智能领域的前沿重点研究方向,旨在研发具有高度仿人类能力的机器人系统,可实现集感知、认知、决策与行为于一体的机器人具身形态操作,提升了机器人系统的自适应性,具有重要的科学与应用价值。随着大模型技术的创新与进步,机器人具身智能的发展面临新的机遇和挑战。本刊组织“机器人具身智能”专题,聚焦于探索视觉、语言、触觉与动作等多模态要素融合的机器人具身智能大模型,研究基于知识化表达与推理的认知方法,构建机器人灵巧操作技能学习与智能控制模型,支撑人形机器人、协作机器人、移动操作等智能机器人系统的推广应用。特邀本刊编委周雪峰研究员、鹿振宇教授、吴鸿敏副研究员、刘义祥副研究员和周鹏助理教授作为特邀主编,策划并主持该专题,现真诚邀请广大专家、学者积极撰文,踊跃投稿。

一、专刊征稿范围(包括但不限于)

- 1、多模态具身感知模型
- 2、机器人操作技能学习
- 3、机器人可形变物体具身操作
- 4、基于知识化表达的认知模型
- 5、人机协作与多机协同
- 6、机器人柔顺控制
- 7、灵巧手智能操作
- 8、自主导航与路径规划
- 9、物理数字系统建模与仿真
- 10、基于大模型的机器人智能系统

二、投稿要求: 请参考本刊官方网站 <http://www.giim.ac.cn/scipub/postdoc/> 或扫描右边本刊微信公众号的二维码获取“投稿须知”。

三、投稿截止时间: 2026 年 8 月 20 日

四、出版时间: 2026 年第 5 期(2026 年 10 月 28 日)

五、投稿方式

- 1、登录 <http://gzxg.cbpt.cnki.net/WKE/WebPublication/index.aspx?mid=gzxg> 网上投稿或 aie@giim.ac.cn 邮箱投稿。
- 2、投稿时请务必注明是“机器人具身智能”专题投稿。

六、编辑部联系方式

邮箱: aie@giim.ac.cn; 电话: (020)87687999

