

doi:10.11751/ISSN.1002-1280.2023.03.13

多传感器数据融合技术在畜禽养殖领域的应用研究

张旭^{1,2}, 尹鹏², 彭海青², 张志豪², 李保明^{2*}

(1. 中国兽药药品监察所, 北京 100081;

2. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京市畜禽健康养殖环境工程技术研究中心, 北京 100083)

[收稿日期] 2022-08-09 [文献标识码] A [文章编号] 1002-1280 (2023) 03-0089-06 [中图分类号] TP391.44

[摘要] 在多传感器数据融合技术的多功能性和不同应用领域的推动下,人们对相关技术的研究越来越感兴趣。鉴于此,对多传感器数据融合技术在畜禽养殖领域的研究现状进行综述,探讨了其技术短板并对该技术在畜禽养殖领域的前景进行了展望。

[关键词] 多传感器; 数据融合; 畜禽养殖; 无线传感网络

作者简介: 张旭,高级工程师,从事兽医器械检测研究及标准起草等工作。

通讯作者: 李保明。E-mail: libm@cau.edu.cn

[38] 张敬峰, 李银, 赵冬敏, 等. 鸡源坦布苏病毒(SN01株)的分离与鉴定[J]. 浙江农业学报, 2013, 25(05): 957-960.

Zhang J F, Li Y, Zhao D M, *et al.* Isolation and identification of Tambusu virus (SN01 strain) from chicken [J]. Zhejiang Journal of Agriculture. 2013, 25(05): 957-960.

[39] 刘东, 刘红祥, 刘秋云, 等. 引起肉种鸡产蛋下降的新型坦布苏病毒的分离和鉴定[J]. 中国兽医学报, 2021, 41(11): 2114-2120.

Liu D, Liu H X, Liu Q Y, *et al.* Isolation and identification of a new type of Tambusu virus causing egg production decline in meat breeder chickens [J]. Chinese Journal of Veterinary Medicine, 2021, 41(11): 2114-2120.

[40] Yu Z, Ren H, Sun M, *et al.* Tambusu virus infection in laying chickens; Evidence for a distinct genetic cluster with significant antigenic variation [J]. Transboundary and Emerging Diseases, 2022, 69(4): e1130-e1141.

[41] Li S, Li X, Zhang L, *et al.* Duck Tambusu virus exhibits neurovirulence in BALB/c mice [J]. Virol J, 2013, 10: 260.

[42] 彭珊. 鸭坦布苏病毒对小鼠的分子致病机制[D]. 济南大学, 2013.

Peng S. Molecular pathogenic mechanism of duck Tambusu virus in mice [D]. Jinan University, 2013.

[43] Yurayart N, Ninvilai P, Chareonviriyaphap T, *et al.* Pathogenesis of Thai duck Tambusu virus in BALB/c mice: Descending infection and neuroinvasive virulence [J]. Transbound Emerg Dis, 2021, 68(6): 3529-3540.

[44] 徐大伟. H9 N2 亚型禽流感病毒与鸭坦布苏病毒的生物学特性研究及疫苗的初步研制[D]. 内蒙古农业大学, 2012.

Xu D W. Biological characteristics of H9 N2 Avian Influenza virus and Duck Tambusu virus and preliminary Development of Vaccine [D]. Inner Mongolia Agricultural University, 2012.

[45] Ti J, Zhang M, Li Z, *et al.* Duck Tambusu virus exhibits pathogenicity to Kunming mice by intracerebral inoculation [J]. Frontiers in Microbiology, 2016, 7: 190.

[46] 提金凤, 李志杰, 刁有祥, 等. 坦布苏病毒诱导昆明鼠脾细胞凋亡[J]. 中国兽医学报, 2021, 41(04): 640-645.

Ti J F, Li Z J, Diao Y X, *et al.* Apoptosis of spleen cells of Kunming mice induced by Tambusu virus [J]. Chinese Journal of Veterinary Medicine, 2021, 41(04): 640-645.

(编辑: 李文平)

Application of Multi – sensor Data Fusion Technology in Livestock and Poultry Breeding

ZHANG Xu^{1,2}, YIN Peng², PENG Hai – qing², ZHANG Zhi – hao², LI Bao – ming^{2*}

(1. China Institute of Veterinary Drug Control, Beijing 100081, China;

2. China Agricultural University, Beijing Animal Health Breeding Environmental Engineering Research Center, Beijing 100083, China)

Corresponding author: LI Bao – ming, E – mail: libm@cau.edu.cn

Abstract: Driven by the versatility of multi – sensor data fusion technology and different application fields, people are more and more interested in the research of related technologies. In view of this, the research status of multi – sensor data fusion technology in the field of livestock and poultry breeding is summarized, its technical weaknesses are discussed, and the prospect of this technology in the field of livestock and poultry breeding is prospected.

Key words: multisensor; data fusion; livestock and poultry breeding; wireless sensor network

多传感器融合技术就像人脑处理信息一样,利用耳、眼、鼻、四肢等多个传感器获得声音、场景、气味、触觉等方面的信息,把多个传感器在空间和时间上的冗余或互补信息依据某种准则来组合,获得被测对象的一致性解释或描述。多传感器数据融合简称数据融合。最被接受的数据融合定义是由实验室联合主任(JDL)研讨会提供的^[1]:“数据融合是一个多层次的过程,通过对来自单一和多个来源的数据进行联合、相关、组合和估值,实现精确定位、识别估计以及对情况、威胁及其重要性的完整和及时的评估。”Hall 和 Llinas^[2]提供了数据融合的另一定义:“数据融合技术将来自多个传感器的数据和相关数据库的信息结合起来,以实现比单个传感器更高的准确性和更具体的推断。”

相比于多传感器,单个传感器提供的信息量较少,数据类型单一,在复杂的环境中易受噪声及不相干杂波信号的干扰,难以满足智能系统对多目标检测的要求。多传感器融合技术通过对多个同构传感器进行整合或对多类异构传感器进行融合,提高整个系统的准确性和鲁棒性。它可以在部分场景提升整体感知的精度,在某一传感器出现错误或失效时使用另一传感器进行补偿,还可以扩大视野范围,最终来获得更低的检测错误概率和更高的可靠性。由于多传感器融合技术具有改善系统性能

的巨大潜力,已成为当前研究的热点。

畜禽养殖的传感层包含机器视觉、语音识别和可穿戴设备等多项核心技术,可以多方位感知畜禽个体行为及环境状态,改造传统饲养管理方式,提高生产管理效率,降低人力成本。物联网技术为传感层数据提供了传输桥梁,通过传感层实时采集畜禽个体生长状况、养殖环境等信息,利用无线传感网络实现实时数据传送,通过深度学习算法对数据进行智能化分析。

1 国内外研究现状

多传感器融合技术的试验研究在国外起步时间较早。多传感器融合技术的基本概念最早于 1973 年由美国国防部在独立研制的声纳信息处理系统中提出。1988 年,美国把数据融合技术列为最优先发展的技术之一。20 世纪 90 年代初以来,大量的新理论及新技术强有力地推动了多传感器数据融合技术的发展。不仅在军事领域,多传感器融合技术在民事领域也应用广泛。例如在复杂工业过程控制、遥感、海洋生态监测预报、机器人、自动目标检测、交通智能系统、农业、健康医疗、智能家居、刑事侦查等领域。1984 年,Harmon S Y 等^[3]应用多传感器融合让机器人使用传感器资源去解决复杂问题。1988 年,Luo C R 等^[4]开发了一个能够集成多个传感器数据的智能机器人工作站。

在牲畜智能传感器应用方面,荷兰公司推出的 Velos 智能化母猪饲养管理系统通过发情监测器解决了监测母猪发情的难题。黄小平^[5]通过图像传感器和计步器采集奶牛个体信息,通过深度学习算法完成了对奶牛尾部的检测和跟踪,实现了奶牛个体的自动识别。陈桂鹏^[6]将乳牛在咀嚼食物过程中的上下颚肌的运动数据转化为角度运动信号进行测量。徐亚妮等^[7-9]采用声压传感器,建立信息数据库,构建声音监测系统,通过情绪状态异常识别、行为健康监测、进食监测等,最终实现牲畜疾病早期诊断。李卓等^[10-12]基于机器视觉技术、双目视觉原理和径向基函数神经网络等的图像监测技术实现牲畜体尺、体重、体温等生理指标的测量,以及行走、采食、饮水等行为的识别。Decandia M 等^[13]利用三轴加速度传感器,对放牧绵羊的喂养行为进行分类。Fogarty E S 等^[14]将行为分类机器学习算法应用于加速计数据,以监测产羔期间绵羊行为的变化。Felix Adrion 等^[15]建立了基于可穿戴传感器的进食时间与采食量之间的数学模型。

随着传感器技术的进一步发展,多传感器融合成为发展趋势。在多传感器行为识别方面,Jorge L 等^[16]运用手机中集成的惯性传感器(IMU)采集行为数据,实现对人体运动行为的精确分类。陈波等^[17]利用 IMU 进行人体行为数据采集,利用卷积神经网络提取行为特征,最终实现人体上、下楼、站、坐、走路、慢跑六种行为的识别。王莉薇等^[18]将声音传感器和加速度传感器安装在奶牛的颈部,通过监测反刍声音和姿态的变化来识别奶牛的反刍行为。Peng Y 等^[19]利用 IMU,通过采集到的时间序列对牛的行为模式进行监测和分类。Zehner N 等^[20]融合了多个传感器,研制了一种自动测量奶牛反刍和进食行为的监测系统。

在无线传感器网络(WSN)应用方面,林惠强等^[21]利用 WSN 传送牲畜的信息,解决了牲畜行为特征和健康状况的实时传输的问题;同时解决了节点部署、设计、定位等问题。尹令等^[22]通过将 WSN 节点安装在奶牛颈部,采集奶牛体温、呼吸率和运

动加速度等数据,从而得到奶牛运动的强度及趋势。高云^[23]基于 WSN 解决了猪舍内无线传感器节点的边缘部署问题。李丽华^[24]基于 Zigbee 实现了无线蛋鸡体温测量功能。Bishop Hurley G 等^[25]成功地搭建了基于 WSN 的虚拟栅栏系统。Nagl L 等^[26]基于 WSN 为家养牲畜设计了一套远程健康监控系统。朱瑜红^[27]基于 WSN 设计了由传感器节点、路由器节点、协调器节点和监控中心等组成的奶牛舍环境监测系统。王冉等^[28]针对畜禽舍环境监测难的问题,设计开发了一套基于 WSN 的畜禽舍环境监控系统,该系统实时监测畜禽舍环境,控制智能化控制电灯、风机、湿帘、风扇的开启,最终实现促进牲畜健康成长的目的。

2 多传感器融合技术在畜禽养殖中存在的问题

2.1 传感系统智能决策程度低 人类无法通过语言与牲畜进行交流,所以必须依靠生理和行为参数来理解牲畜的身体状况。传感器是牲畜智能管理的当下和未来。现在可实际用于检测畜禽舍环境及牲畜的行为、生理的传感器还比较有限,传感系统智能决策的准确度还比较低。

传感器分为三类:物理量传感器、化学量传感器和生理量传感器。牲畜专用传感器是检测畜禽舍环境及牲畜的行为、生理,进而分析牲畜生长状况的传感器。常用的物理量传感器主要包括温度传感器、声压传感器、图像传感器和加速度传感器;化学量传感器主要是测量畜禽舍的湿度传感器;生理量传感器主要包括:心电图、脑电图、肌电图和呼吸率传感器。上述传感器有各自的应用场景,也存在使用缺陷。红外热成像技术的发展使得非接触的快速测温成为可能,缺点是可能会受到其他外部热源的干扰;图像传感器可以无接触地实时监测奶牛采食、反刍行为,缺点是数据存储空间大;心电图通常用于检测已经出现问题的牲畜;脑电图可以精确测量牲畜的大脑活动,克服了心电图受运动影响的局限性,但是脑电图信噪比很低,信号基本被噪声淹没,分离难度很大;肌电图可以检测骨骼肌产生的电脉冲,但其缺点是只可

检测表层肌肉活动,且容易受到外界干扰。呼吸率传感器特别适用于诊断具有独特呼吸模式的牲畜,但实际操作难度较大,受运动等诸多因素干扰;声压传感器可固定在一个位置记录环境声音,也可用于同时监测多个牲畜,但养殖场环境声音繁杂,需要进行复杂处理才可获得高水平的音频。

当前,没有一种传感器能够满足监测牲畜健康状况的全部需求。通过单一传感器获得的信息进行决策可能会导致错误。为了解决上述问题人们提出了多传感器融合技术。该技术给牲畜健康监测提供了基础依据和数据支持,有利于对牲畜健康进行判断和决策。除此之外,在基于多传感器融合技术的牲畜健康监测应用中,不仅要对其多个传感器数据进行融合,还需要对其进行智能分类,从而给出更高级别的决策(如预警),这不仅对传感器的感知精度及融合算法提出了要求,还对智能性决策提出了挑战。

2.2 无线传感网络在节点存储资源和能耗管理技术上欠缺 在智慧农业中运用最广泛的信号传输工具就是无线传感网络^[29]。无线传感网络(WSN)由监测区域内大量的传感器节点组成,节点是承载感知、数据处理和传输的基本单元。通过节点间的分布式协同,融合各节点的局部信息,获得有价值的全局信息^[30]。

当前的 WSN 技术发展迅速,但在应用上存在一些欠缺。(1)存储能力不足。传感器节点是一种微型设备,在达到功耗低、尺寸小等要求的同时,必然导致其携带的存储器容量相对较小,影响数据采集和数据存储的功能。(2)数据传输能力受限。节点通过 WSN 传输数据,较低的带宽限制了数据的传输量。同时,节点间的障碍物会对信号造成干扰,信号自身强度也会不断地衰减,进而降低了信号的稳定性。(3)电量限制。节点具有耗能的特点,节点掉电将会中断数据传输,使数据出现“断层”。

3 多传感器融合技术在畜禽养殖中的应用前景

随着传感器、数据挖掘、无线网络、人工智能等相关技术的发展,面向各种应用场景的多传感器融

合系统不断涌现。数据类型的多样化、存储容量及数据处理速度等要求,都已大大超出了传统数据处理方法的能力,多传感器数据融合必将成为未来智能监控中的重要技术^[31],它将有助于提高与改善系统的性能。多传感器数据融合技术在人体可穿戴式健康监测系统已得到广泛应用,在技术创新的背景下,将该技术移植到动物健康监测中将有广阔的应用前景。今后多传感器数据融合技术的主要研究方向应包括以下几方面。

3.1 设计针对牲畜个体健康状况的多传感器数据融合系统 牲畜每天都会产生大量数据,如呼吸率、活动量、温度等,其特征具有多样性和复杂性,多个特征属性之间往往相互关联,若能将上述数据进行有效地融合,将会获得更低的检测错误概率和更高的可靠性。

3.2 在识别运动状态基础上对生理信号做出判断 当前研究中,往往单纯监测生理参数或行为参数,忽略它们之间的相互影响,从而不能区别生理性活动和病理性病变引起的生理信号异常^[32]。如何在识别运动状态基础上对生理健康状态做出正确判断,以便根据牲畜所处的具体场景来为用户提供更准确的决策是未来的一个研究方向。

3.3 设计低功耗无线自组网算法 传感器的节点均有电池供电,能量十分有限,限制了 WSN 的使用,因此针对 WSN 的节能策略进行研究很有必要。

3.4 改进、开发新的融合算法 将卷积神经网络、支持向量机、决策树、自动编码等智能技术结合起来,提高传感器决策性能是一个重要的发展趋势。

4 结论

多传感器信息融合技术不是一门单一的技术,而是一门跨学科的综合理论和方法^[33]。应积极借鉴国内外的研究成果,大力开展其在畜禽养殖领域方面的研究。通过对安装于牲畜身上的多个传感器的数据进行数据融合、特征融合和决策融合,产生出单个传感器所不能获得的信息,为各种牲畜个体健康系统提供准确的决策,具有重要的社会意义和应用前景。

参考文献:

- [1] White F E. Data Fusion Lexicon: Data fusion subpanel of the joint directors of laboratories technical panel for C3 [R]. San Diego, 1991.
- [2] Hall D L, Linas J L. An introduction to multisensor fusion [J]. Proceedings of IEEE, 1997, 85(1): 6-23.
- [3] Harmon S, Bianchini G, Pinz B. Sensor data fusion through a distributed black-board [C]//Proc of 1986 IEEE Inter Conf on Robotics and Automation. San Francisco, 1986: 1449-1454.
- [4] Luo C R., Lin M. H., Scherp S R. Dynamic multi-sensor data fusion system for intelligent robots [J]. IEEE Journal of Robotics and Automation, 1988, 4(4): 386-396.
- [5] 黄小平. 基于多传感器的奶牛个体信息感知与体况评分方法研究 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2020.
Huang X P. Research on individual information perception and body condition score method of dairy cows based on multi-sensor [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2020.
- [6] 陈桂鹏. 智慧牧场牲畜动态智能感知系统研究与应用 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2018.
Chen G P. Research and application of intelligent sensing system for livestock dynamics in smart pasture. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2018.
- [7] 徐亚妮. 基于语音识别技术的母猪咳嗽监测系统研究与实现 [D]. 南京: 南京农业大学, 2016.
Xu Y N. Research and implementation of sow cough monitoring system based on speech recognition technology [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2016.
- [8] 赵晓洋. 基于动物发声分析的畜禽舍环境评估 [D]. 杭州: 浙江大学, 2019.
ZHAO X Y. Environmental assessment of livestock and poultry houses based on animal vocalization analysis [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019.
- [9] 黎焯, 赵建, 高云, 等. 基于深度信念网络的猪咳嗽声识别 [J]. 农业机械学报, 2018, 49(3): 179-186.
Li X, Zhao J, Gao Y, et al. Pig cough recognition based on deep belief network [J]. Journal of Agricultural Machinery, 2018, 49(3): 179-186.
- [10] 李卓, 杜晓冬, 毛涛涛, 等. 基于深度图像的猪体尺检测系统 [J]. 农业机械学报, 2016, 47(3): 311-318.
Li Z, Du Xiao D, Mao T, et al. Pig size detection system based on depth image [J]. Journal of Agricultural Machinery, 2016, 47(3): 311-318.
- [11] 刘龙申, 沈明霞, 柏广宇, 等. 基于机器视觉的母猪分娩检测方法研究 [J]. 农业机械学报, 2014, 45(3): 237-242.
Liu L, Shen M X, Bai G Y, et al. Research on detection method of sow delivery based on machine vision [J]. Journal of Agricultural Machinery, 2014, 45(3): 237-242.
- [12] 赵凯旋, 何东健, 王恩泽. 基于视频分析的奶牛呼吸频率与异常检测 [J]. 农业机械学报, 2014, 45(10): 258-263.
Zhao K X, He D J, Wang E Z. Detection of cow respiratory rate and abnormality based on video analysis [J]. Journal of Agricultural Machinery, 2014, 45(10): 258-263.
- [13] Decandia M, Giovanetti V, Molle G, et al. The effect of different time epoch settings on the classification of sheep behaviour using tri-axial accelerometry [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2018, 154: 112-119.
- [14] Fogarty E S, Swain D L, Cronin G M, et al. Can accelerometer ear tags identify behavioural changes in sheep associated with parturition? [J]. Animal Reproduction Science. 2020, 216: 106345.
- [15] Adrion F, Keller M, Bozzolini G B, et al. Setup, test and validation of a UHF RFID system for monitoring feeding behaviour of dairy cows [J]. Sensors, 2020, 20(24): 7035.
- [16] Reyes-Ortiz J L, Oneto L, Sama A, et al. Transition-aware human activity recognition using smartphones [J]. Neurocomputing, 2016, 171: 754-767.
- [17] 陈波, 余秋婷, 陈铁明. 基于传感器人体行为识别深度学习模型的研究 [J]. 浙江工业大学学报, 2018, 46(04): 375-381.
Chen B, Yu Q T, Chen T M. Research on deep learning model of human behavior recognition based on sensors [J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2018, 46(04): 375-381.
- [18] 王莉薇. 基于多源信息融合的奶牛反刍行为感知及分类识别研究 [D]. 黑龙江: 黑龙江八一农垦大学, 2019.
Wang L W. Research on cow rumination behavior perception and classification recognition based on multi-source information fusion [D]. Heilongjiang: Heilongjiang Bayi Agricultural Reclamation University, 2019.
- [19] Peng Y, Kondo N, Fujiura T, et al. Classification of multiple cattle behavior patterns using a recurrent neural network with long short-term memory and inertial measurement units [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2019, 157: 247-253.

- [20] Zehner N, Niederhauser J J, Schick M, *et al.* System specification and validation of a noseband pressure sensor for measurement of ruminating and eating behavior in stable - fed cows [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2017 (136): 31 - 41.
- [21] 林惠强, 周佩娇, 刘财兴. 基于 WSN 的动物监测平台的应用研究[J]. *农机化研究*, 2009(1): 193 - 195, 199.
- Lin H Q, Zhou P J, Liu C X. Application research of WSN based animal monitoring platform [J]. *Research on Agricultural Mechanization*, 2009 (1): 193 - 195, 199
- [22] 尹令, 刘财兴, 洪添胜, 等. 基于无线传感器网络的奶牛行为特征监测系统设计与实现[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(3): 203 - 208.
- Yin L, Liu C X, Hong T S, *et al.* Design of cow behavior characteristics monitoring system based on wireless sensor network [J]. *Journal of Agricultural Engineering*, 2010, 26 (3): 203 - 208.
- [23] 高云. 基于无线传感器网络的猪运动行为监测系统研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- Gao Y. Research on pig movement behavior monitoring system based on wireless sensor network [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014.
- [24] 李丽华. 蛋鸡体温与生产性能参数动态监测关键技术研究及应用[D]. 河北: 河北农业大学, 2014.
- Li L H. Research and application of key technologies for dynamic monitoring of laying hens' temperature and production performance parameters [D]. Hebei: Hebei Agricultural University, 2014.
- [25] Bishop H G, Swain D, Anderson D M, *et al.* Virtual fencing applications: implementing and testing an automated cattle control system[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2007, 56 (1): 14 - 22.
- [26] Nagl L, Schmitz R, Warren S, *et al.* Wearable sensor system for wireless state - of - health determination in cattle[C]. Cancun, Mexico: Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE, 2003.
- [27] 朱瑜红. 基于无线传感器网络的奶牛舍环境监测系统设计[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2016(08): 59 - 61.
- Zhu Y H. Design of dairy house environment monitoring system based on wireless sensor network [J]. *Heilongjiang Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2016 (08): 59 - 61.
- [28] 王冉, 徐本崇, 魏瑞成, 等. 基于无线传感网络的畜禽舍环境监测系统的设计与实现[J]. *江苏农业学报*, 2010(3): 562 - 566.
- Wang R, Xu B C, Wei R C, *et al.* Design and Implementation of Livestock and Poultry Housing Environment Monitoring System Based on Wireless Sensor Network [J]. *Journal of Jiangsu Agriculture*, 2010 (3): 562 - 566.
- [29] 李道亮. 物联网与智慧农业[J]. *农业工程*, 2012, 2(1): 1 - 7.
- Li D L. Internet of things and smart agriculture [J]. *Agricultural Engineering*, 2012, 2 (1): 1 - 7.
- [30] 宫继兵. 可穿戴健康监测数据融合[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- Gong J B. Data fusion of wearable health monitoring system [M]. Beijing: Science Press, 2015.
- [31] 李小昱, 王为, 雷廷武, 等. 多传感器信息融合技术及在农业工程中的应用前景[J]. *农业工程学报*, 2003, 19(3): 10 - 12.
- Li X Y, Wang W, Lei T W, *et al.* Multi sensor information fusion technology and its application prospect in agricultural engineering [J]. *Journal of Agricultural Engineering*, 2003, 19 (3): 10 - 12.
- [32] 李娜. 基于人体运动状态识别的可穿戴健康监测系统设计[D]. 北京: 北京工业大学, 2013.
- Li N Research on wearable health monitoring system based on human motion state recognition [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2013.
- [33] 吴陈. 单平台多传感器多目标数据融合系统[J]. *计算机应用*, 1999, 6: 28 - 33.
- Wu C. Single platform multi - sensor multi - target data fusion system[J]. *Computer Application*, 1999, 6: 28 - 33.

(编辑:李文平)