

# 基于三维建模及机器学习的智能监控婴儿服设计

秦晓文<sup>1</sup>, 肖爱民<sup>\*1,2</sup>, 丁丽娜<sup>1</sup>

(1. 新疆大学 纺织与服装学院, 新疆 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学 新疆智能与绿色纺织重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830017)

**摘要:**为解决婴儿监护中监控设备无法随身携带和有拍摄死角等问题,设计了一款多功能智能监控婴儿服。通过阅读文献了解现有婴儿监控设备的不足,确定设计方向;从婴儿三维建模、硬件优选及封装、服装款式结构优化、软件UI设计等维度进行设计与优化,并提出基于机器学习及增量学习的策略来提高婴儿姿势识别的精准度。研究表明,该智能婴儿监测服能够解决目前监控设备存在的问题,实现硬件与服装的有效分离,为婴儿的实时监控提供了更加有效和便捷的解决方案。

**关键词:** 智能; 婴儿服; 实时监控; 三维建模; 机器学习

中图分类号: TS 18; TS 941.2 文献标志码: A 文章编号: 2096-1928(2024)03-0229-06

## Intelligent Monitoring Baby Clothing Design Based on 3D Modeling and Machine Learning

QIN Xiaowen<sup>1</sup>, XIAO Aimin<sup>\*1,2</sup>, DING Lina<sup>1</sup>

(1. College of Textile and Clothing, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 2. Xinjiang Key Laboratory of Intelligent and Green Textile, Xinjiang University, Urumqi 830017, China)

**Abstract:** To solve the problems that the monitoring equipment hard to be carried around and have dead corners, a multi-functional intelligent monitoring baby clothing is designed. Through reading literature to understand the shortcomings of the existing infant monitoring equipment, the design direction is determined. Then, the design and optimization are carried out from the dimensions of infant three-dimensional modeling, hardware optimization and packaging, clothing style structure optimization, software UI design and so on. The strategy based on machine learning and incremental learning is proposed to improve the accuracy of infant posture recognition. Results show that, the design scheme can solve the problems existing in the current monitoring equipment, realize the effective separation of hardware and clothing, and provide a more effective and convenient solution for the real-time monitoring of infants.

**Key words:** intelligence, baby clothes, real-time monitoring, three-dimensional modeling, machine learning

随着现代生活方式的改变,婴儿看护需求日益增加。现有婴儿监护方式包括保姆看护、智能产品辅助等,其中保姆监护易存在经验不足、看护不用心等问题;而现有的婴儿监控产品也可能存在监控死角,如一些智能婴儿床<sup>[1-3]</sup>,虽然可以实时查看婴儿状态以及提供特殊状态预警等功能,但无法全面

监控婴儿的健康状况,使用功能有一定局限。陈学军等<sup>[4]</sup>设计了一款可以实时监测婴儿身体数据的智能婴儿服,但该婴儿服主要关注的是婴儿静态生理指标,无法满足家长实时监控婴儿活动状态的需求。现有产品在一定程度上满足了家长看护婴儿的部分需求,无法实现全面的婴儿健康监测和实时

收稿日期: 2023-12-11; 修订日期 2024-03-01。

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2017D010060)。

作者简介: 秦晓文(2000—),男,硕士研究生。

\* 通信作者: 肖爱民(1972—),女,正高级实验师,硕士生导师。主要研究方向为人体与体型、服装结构及新工艺技术。

Email: 495178065@qq.com

监控。

因此,文中集合传感技术、智能算法以及机器学习,对智能监控婴儿服进行了服装、硬件和软件的全过程设计,使其具备实时监控婴儿状态、特殊状态预警、身体数据监测等功能,以期有效解决当前婴儿看护存在监控死角等问题。

1 婴儿身体数据的采集与三维建模

1.1 三维建模的目的与意义

通过对婴儿进行三维建模,可以全方位呈现婴儿的实时状态。传统视频监控易受距离、角度和光线等因素的影响,在精确的空间定位方面有一定的

局限性。相比之下三维建模可以更好地观察婴儿的姿势、运动和行为,不受角度和视野的限制;其次,三维建模可以提供婴儿各身体部位的精确空间定位,以便更准确地分析和评估婴儿的所处环境与位置的安全性。

1.2 三维建模的数据

考虑到婴儿模型需真实反映婴儿运动情况,且方便开发软件程序时导入使用,故婴儿三维建模过程中不需同机械 engineering 零件一样精细建模,只需要测量一位婴儿数据利用其比例关系进行建模。使用皮尺和棉绳对一位 8 个月的婴儿进行了 9 项身体数据测量,参考测得的数据构建婴儿模型。测量数据结果见表 1。

表 1 婴儿身体数据  
Tab.1 Physical measurements of an baby 单位:cm

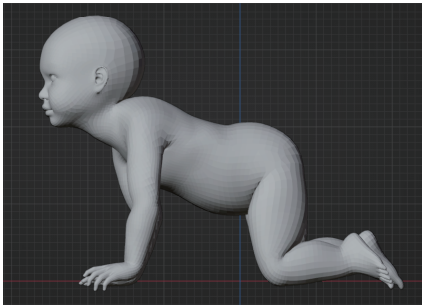
身长	头围	肩宽	胸围	臀围	臂长	大腿长	小腿长	足长
73.0	45.0	23.5	48.0	43.5	22.5	20.0	16.6	10.4

1.3 三维建模的效果

依据表 1 数据,使用 Blender 三维建模软件进行婴儿模型的建立。婴儿模型效果如图 1 所示。



(a) 正视图



(b) 侧视图

图 1 婴儿建模效果  
Fig.1 Baby modeling effects

2 智能监控婴儿服设计

智能婴儿服的总体设计架构如图 2 所示。智能监控婴儿服的设计结合了三维建模技术、硬件传感技术、服装结构设计技术以及软件开发技术,具有

实时监控婴儿状态、监测婴儿各项生理数据、智能预警等功能<sup>[5]</sup>。同时,其采用插片式结构实现了硬件部分可拆卸功能,方便婴儿服换洗后安装在干净的婴儿服上继续使用。

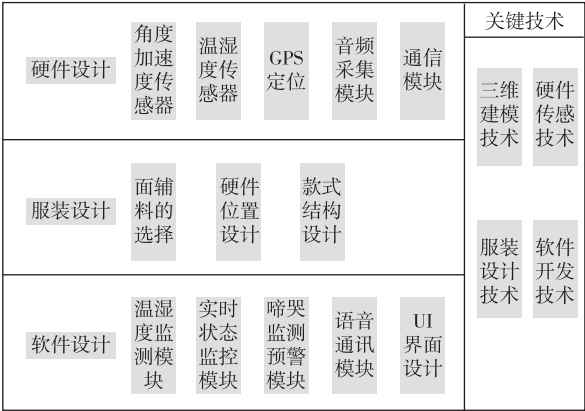


图 2 智能监控婴儿服的总体设计架构  
Fig.2 Overall design frame of intelligent monitoring baby clothes

2.1 功能设计

2.1.1 实时监控及预警 通过机器学习对角度、加速度传感器监测数据进行处理,可识别婴儿当前状态,然后通过婴儿三维模型实现可视化监控,并对可识别到的异常状态进行预警,方便家长以及其他监护人及时采取措施。

2.1.2 温湿度监测 通过婴儿服中的温度、湿度传感器,可监测婴儿的温度和湿度情况,家长通过手机 App 能直观地了解到婴儿的温湿度情况。当温

度或湿度超出设定范围时,智能婴儿服会发送警报通知,提醒父母采取相应的措施。

**2.1.3 GPS 定位** 婴儿服中的 GPS 装置能够实时定位婴儿的位置,父母可以通过手机应用程序随时了解婴儿的方位以及活动范围。

**2.1.4 哭闹监测预警** 通过婴儿服内置音频采集模块监测婴儿的哭声。当婴儿哭闹声音超过一定分贝时,智能婴儿服会远程发送警报给父母。

**2.1.5 语音通信** 通过婴儿服内置的通信模块可进行语音交流,使得父母可以远程安抚婴儿。

2.2 硬件设计

**2.2.1 硬件设计方案** 文中采用 Arduino Nano 33 IoT 作为主控芯片,它具有体积小、轻薄、功能齐全的优点,并且内置 WiFi 及蓝牙,可以满足本项目的全部需求。使用 MPU6050 模块监测婴儿的运动状态,其集成有三轴加速度计和三轴陀螺仪的 IMU 传感器<sup>[6]</sup>,具有低功耗和小尺寸的特点,适合需要轻薄设计的产品。采用 DHT22(AM2302)温湿度传感器进行温湿度的监测,其与 DHT11 相比具有更高的精度和量程。音频的编解码使用 WM9714L 芯片来处理<sup>[7-9]</sup>,通过与麦克风及扩音器连接,可以实现语音的输入输出。最后,使用软排线连接各传感器和主控芯片,为婴儿提供更好的服用性能。

各硬件采集的数据信息主要依靠主控芯片通过 Websocket 实现传输与接收,将数据传输到云端,不仅方便数据的识别和处理,同时也方便监护人对婴儿情况的了解。智能监控婴儿服硬件设计如图 3 所示。

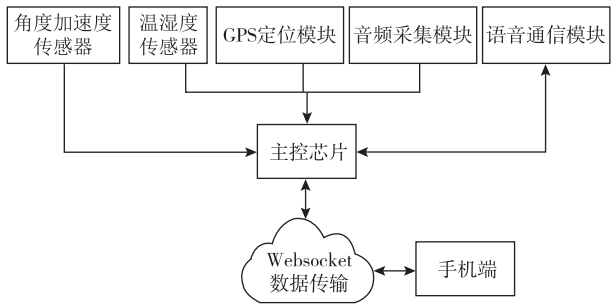


图 3 智能监控婴儿服硬件设计思路

Fig. 3 Logical design drawing of intelligent monitoring baby clothes

**2.2.2 硬件封装设计** 智能监控婴儿服中的硬件对婴儿服的服用性能有重要影响。考虑到婴儿可能会发生漏屎、漏尿等情况,传感器等硬件应具备良好的防水性能,故设计使用膨体聚四氟乙烯(expanded PTFE)对传感器的内芯进行封装。膨体 PTFE 气体过滤精度为 0.01 μm,具有无毒、无致癌、无致敏等安全特性,效率可达 99.9%<sup>[10]</sup>,可以有效

防止传感器被尿液侵蚀损坏。同时,使用硅橡胶对 MPU6050 等传感器及连接处进行封装,防止传感器与软排线连接处潮湿,影响硬件的正常工作。膨体 PTFE 和硅橡胶都属于优良的医用材料,在提高硬件弹性,防潮防腐的同时,不会对婴儿产生不利影响。封装后的硬件结构示意图如图 4 所示。

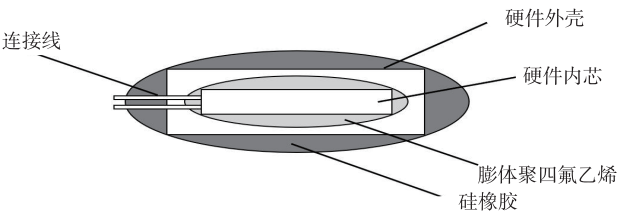


图 4 硬件封装结构示意图

Fig. 4 Structure diagram of the hardware package

2.3 婴儿服设计

根据 GB/T 39508—2020<sup>[11-12]</sup>,文中设计研发的智能婴儿服基本不使用绳带、拉链和其他金属附件,同时在婴儿服背面设计了贴袋和魔术贴,能有效防止服装配件刮伤婴儿皮肤,并可以将智能硬件装置固定在服装上。此外,该婴儿服设计严格控制其他舒适性指标,保证产品质量符合国家行业标准。

**2.3.1 款式设计及面辅料选择** 婴儿服的款式有和尚服、包屁衣、连体衣、爬爬服等。其中和尚服缺乏整体性,宽松的设计不利于硬件设备的数据采集;爬爬服和包屁衣的紧身设计会限制硬件设备的布置;而连体衣具有较好的整体性、舒适性和便利性,更换“尿布湿”也更加方便,因此,选取连体衣作为智能监控婴儿服的基本款式。智能监控婴儿服连体衣款式如图 5 所示。



图 5 智能监控婴儿服连体衣款式

Fig. 5 Intelligent monitoring baby clothes jumpsuit style

婴儿服的面辅料需要具有一定的舒适性、安全性和耐用性。常见的婴儿服面辅料材质有纯棉、有

机棉、呢绒、真丝、棉混纺布以及高科技面料等。其中纯棉面料柔软、透气、吸湿性好,对婴幼儿皮肤友好,同时易于清洗和维护,故确定本款智能婴儿服采用纯棉针织面料,以保证婴儿服的舒适性和安全性。

**2.3.2 服装结构及硬件位置设计** 硬件位置应当考虑到婴儿的生理结构和动作,否则可能会影响婴儿穿着婴儿服的舒适性。该婴儿服主要针对 8~18 个月的婴儿,这个时期的婴儿运动能力增强,活动范围扩大<sup>[13-14]</sup>,主要的大动作为爬、俯卧、坐以及辅助站立。为降低婴儿在爬行、俯卧以及坐等大动作时,硬件影响婴儿服的舒适性,将硬件设计到婴儿服的大臂和大腿的外侧,同时将硬件设计为插片的形式以方便拿取<sup>[15]</sup>,有利于婴儿服的清洗和硬件的维护,另外也满足了特定情景下的婴儿监护需求。此外,考虑到服装变形情况,用软排线将硬件与硬件进行连接,同时使用魔术贴将硬件插片装置固定在婴儿服背部、肩臂、臀部和腿部指定位置。智能婴儿服的硬件位置设计如图 6 所示。

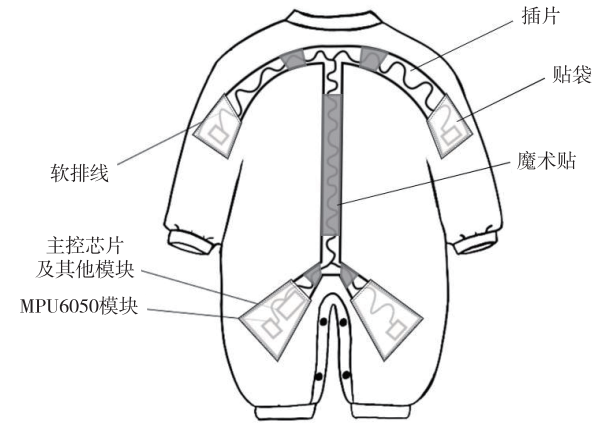


图 6 智能监控婴儿服硬件位置分布

Fig. 6 Hardware distribution diagram of the intelligent monitoring baby clothing

2.4 软件监控平台设计

智能婴儿服软件监控平台具有为家长或其他监护人提供查看婴儿状态及管理婴儿信息的功能。该平台包括实时监控模块、预警模块、语音通信模块。智能婴儿服软件监控平台系统架构设计如图 7 所示。

当家长首次使用智能婴儿服监控平台时需要注册并登录账号,然后将购买的智能婴儿服与账号进行绑定。一旦婴儿穿上智能婴儿服,手机平台首页就会显示婴儿当前的运动姿势及体温、位置等数据,此外,婴儿实时监控还支持视频回放。智能婴儿服软件系统实现效果如图 8 所示。



图 7 智能婴儿服软件监控平台系统架构

Fig. 7 System architecture of the intelligent baby clothing software monitoring platform



图 8 软件监控平台实现效果

Fig. 8 Achieving effects of the software monitoring platform

3 基于机器学习的实时状态监控

现有监控设备识别婴儿动作状态,主要通过机器学习对图像进行分类识别,由于其角度受限会产生遮挡情况,导致无法精确识别婴儿状态,甚至有些监控设备不支持婴儿动作的识别。针对该情况,文中通过机器学习对角度、加速度传感器数据进行



分类学习,并建立三维婴儿模型,监护人可在手机端实时查看婴儿,减少因遮挡导致的误报和漏报,监控效果更加精准可靠。

### 3.1 算法模型的选择

在实现婴儿状态实时监控时,主要难点在于大量数据的处理,大规模的数据流可能会对计算资源造成负担,使得实时分析和决策变得困难。为了解决该问题,可以利用 TensorFlow 构建卷积神经网络 (convolutional neural network, CNN) 模型<sup>[16-17]</sup>来训练婴儿的运动信息。卷积神经网络具有计算量少、效率高的特点<sup>[18]</sup>,可以充分利用这些优势来应对大规模数据的处理挑战。具体实现流程如图 9 所示。

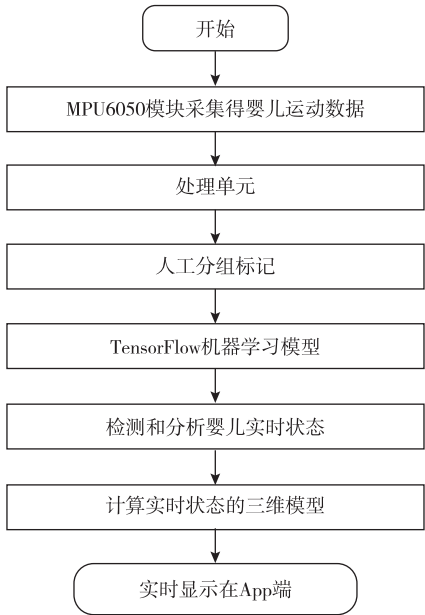


图 9 智能监控婴儿服实时监控实现流程

Fig. 9 Real-time monitoring flow chart of the intelligent monitoring baby clothes

### 3.2 数据的预处理

MPU6050 传感器采集的数据主要为 3 个轴上加速度数据 $(x_a, y_a, z_a)$ 、角速度数据 $(x_\omega, y_\omega, z_\omega)$ ,其具体数据的标注及训练通过婴儿实时状态监控进行。其中标注主要是对 MPU6050 传感器所采集的不同数据进行人工标注,以表示数据对应的婴儿运动状态,如“睡眠”“翻身”“哭闹”“平躺”“侧卧”等;训练则是机器学习模型学习已标注数据特征的过程,最终实现预测新数据对应的婴儿状态及达到实时监控的目的。

但是,传感器采集的这些数据可能包含噪声、异常值或缺失值,易导致模型效果不好。因此,在训练之前需要对采集的数据进行处理,以确保数据的质量和模型训练的效果。数据清理可以检查采集数据的异常值、缺失值或噪声,并对其进行处理。

数据归一化可以对角度、加速度缩放到相同的范围,以便更好地适应模型的输入要求。

### 3.3 基于增量式学习的学习策略

增量式学习采用在线学习的方式进行机器学习,该方法可以在接收到新数据时对模型进行增量更新,不需要重新训练整个模型。这种方法可以大大减少计算和存储开销,并允许模型不断适应新的数据。

不同婴儿由于个体差异,其动作状态也有所不同,在采用增量式学习方法对婴儿进行实时状态识别的过程中,需要对其进行个性化训练,以便更好地适应个体差异,同时还可以提升模型的适应性、精度和实时响应能力。增量式学习的代码示例如图 10 所示。图 10 使用 SGDClassifier 作为增量式学习的分类器,采用随机梯度下降 (SGD) 的方法进行参数更新,然后通过循环逐步接收新样本,并使用 partial\_fit 方法进行模型训练。训练完成后,可以将婴儿的实时状态以三维模型的形式呈现在监护人的手机上,让其可以实时了解婴儿的姿态和运动情况,从而更好地照顾和关注婴儿的健康和安全。

```
# 创建一个增量式学习的分类器
clf = SGDClassifier(loss='log', max_iter=1000, tol=1e-3)
# 逐步接收新样本并进行模型训练
def incremental_learning(X, y):
    for i in range(len(X)):
        new_sample = X[i].reshape(1, -1) # 将样本转换为正确的输入形状
        new_label = y[i]

        clf.partial_fit(new_sample, new_label, classes=np.unique(y))
# 新样本的特征向量和标签
new_X = [[0.5, 0.2], [0.7, 0.8], [0.3, 0.9]]
new_y = [0, 1, 1]
# 增量式学习
incremental_learning(new_X, new_y)
# 使用增量学习后的模型进行预测
prediction = clf.predict([[0.6, 0.3]])
print(prediction)
```

图 10 增量式学习代码示例

Fig. 10 Examples of the incrementally learning code

## 4 结 语

文中提出了一款基于三维建模的智能监控婴儿服设计方案,使婴儿的动作以三维婴儿模型的方式显示在监护人手机上。该智能婴儿服注重硬件的小巧性、精确性和柔性,对传感器模块进行封装设计以提高智能监控婴儿服的服用性;同时根据婴儿服国家标准和实际应用需求,选择纯棉针织面料的连体衣为婴儿服基础款式进行设计,并在连体婴儿服上优化硬件的布局和集成方式,减小硬件对婴儿服舒适性的影响;此外,设计了智能婴儿服软件的架构和界面的设计,并提出了基于增量学习的实时监控策略,提高智能婴儿服监控的实时性、高效性和准确性。

## 参考文献:

- [1] 杜宝强,朱传奇,武涛. 基于物联网的智能婴儿床远程监控系统[J]. 物联网技术,2023,13(2):7-10.  
DU Baoqiang, ZHU Chuanqi, WU Tao. Intelligent crib remote monitoring system based on Internet of things[J]. Internet of Things Technologies, 2023, 13(2): 7-10. (in Chinese)
- [2] 牛坚,李宥谋. 基于 S3C6410 婴儿监护系统设计与实现[J]. 现代电子技术,2021,44(6):16-19.  
NIU Jian, LI Youmou. Design and implementation of infant monitoring system based on S3C6410 [J]. Modern Electronics Technique, 2021, 44 ( 6 ): 16-19. ( in Chinese)
- [3] 张佳盛,李光耀. 基于机器学习方法的智能家居安防系统探究[J]. 家具与室内装饰,2021(4):20-22.  
ZHANG Jiasheng, LI Guangyao. Research on smart home security system based on machine learning methods[J]. Furniture and Interior Design, 2021(4):20-22. (in Chinese)
- [4] 陈学军,钟少磊. 基于 GPRS 的智能婴儿服实时监测调温系统[J]. 电子世界,2018(20):121-123.  
CHEN Xuejun, ZHONG Shaolei. Real-time monitoring and temperature adjustment system of Intelligent baby clothes based on GPRS [J]. Electronics World, 2018 (20): 121-123. (in Chinese)
- [5] 石文奇,程凡,王斌,等. 基于层次分析法和感性工学的智能童鞋款式设计[J]. 皮革科学与工程,2023,33(1):75-79.  
SHI Wenqi, CHENG Fan, WANG Bin, et al. Style design of Intelligent children's shoes based on AHP and kansei engineering [J]. Leather Science and Engineering, 2023, 33(1): 75-79. (in Chinese)
- [6] 司少剑,曾劲松,田钊,等. BP 神经网络在人体摔倒趋势识别中的应用[J]. 机械设计与制造,2023(4):167-171.  
SI Shaojian, ZENG Jinsong, TIAN Zhao, et al. Application of BP neural network in human body fall trend recognition [J]. Machinery Design and Manufacture, 2023 (4): 167-171. (in Chinese)
- [7] 林少宏. 车辆智能语音安全监控系统设计与应用[D]. 成都:西南交通大学,2019.
- [8] 杨功银. 基于 ARM 平台的嵌入式流媒体播放系统的研究与设计[D]. 长沙:湖南师范大学,2012.
- [9] 张晖. ARM Linux 嵌入式音视频设备底层开发[D]. 西安:西安电子科技大学,2012.
- [10] 丁建武,卢辉. 膨体聚四氟乙烯(ePTFE)膜的应用与发展[J]. 广东化工,2014,41(9):127-128.  
DING Jianwu, LU Hui. The application and development of expanded polytetrafluoroethylene membrane [J]. Guangdong Chemical Industry, 2014, 41(9): 127-128. (in Chinese)
- [11] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会. 针织婴幼儿及儿童服装:GB/T 39508—2020[S]. 北京:中国标准出版社,2020.
- [12] 吴家瑞. GB/T 39508—2020《针织婴幼儿及儿童服装》标准解析[J]. 中国纤检,2021(11):99-101.  
WU Jiarui. Brief analysis of the standard of GB/T 39508—2020 [J]. China Fiber Inspection, 2021 (11): 99-101. (in Chinese)
- [13] 杨元. 0-1 岁婴儿动作发展研究[D]. 太原:山西大学,2012.
- [14] 贾艳. 1-3 岁婴儿动作发展研究[D]. 太原:山西大学,2013.
- [15] 姜茂欣,鲁虹,黄婉蓉,等. 基于 LilyPad Arduino 的宠物狗智能夜行服研发[J]. 现代纺织技术,2021,29(3):65-70.  
JIANG Maoxin, LU Hong, HUANG Wanrong, et al. Development of intelligent night wear for pet dogs based on LilyPad Arduinio [J]. Advanced Textile Technology, 2021, 29(3): 65-70. (in Chinese)
- [16] 陈登峰,张温,耿建勤,等. 基于 Web 的管廊可视化信息管理系统设计与实现[J]. 计算机测量与控制,2020,28(5):170-174.  
CHEN Dengfeng, ZHANG Wen, GENG Jianqin, et al. Design and implementation of utility tunnel visual information management system based on Web [J]. Computer Measurement and Control, 2020, 28(5): 170-174. (in Chinese)
- [17] 薛萧昱,何佳臻,王敏. 三维虚拟试衣技术在服装设计性能评价中的应用进展[J]. 现代纺织技术,2023,31(2):12-22.  
XUE Xiaoyu, HE Jiazhen, WANG Min. Application progress of 3D virtual fitting technology in fashion design and performance evaluation [J]. Advanced Textile Technology, 2023, 31(2): 12-22. (in Chinese)
- [18] 张飞宇,兰扬,朱伟,等. 基于图卷积网络的儿童坐姿检测学习桌椅设计方法研究[J]. 家具与室内装饰,2024,31(1):96-100.  
ZHANG Feiyu, LAN Yang, ZHU Wei, et al. Research on the design method of children's sitting posture detection study table and chair based on graph convolutional network [J]. Furniture and Interior Design, 2024, 31(1): 96-100. (in Chinese)

(责任编辑:张雪)