

不同领域技术下智能服装的发展现状及趋势

沈 雷, 桑盼盼

(江南大学 纺织服装学院, 江苏 无锡 214122)

摘要: 随着国家对大健康、物联网、人工智能、大数据、云计算等新兴技术提出更高的发展要求, 智能服装也得到了很大的发展。文章主要分析了各种领域的技术及各领域技术在目前国内外智能服装上的发展现状, 提出了当前环境下智能服装在安全性能、实用性能、工艺设计、节能环保及材料选择五个方面存在的问题和解决措施。同时指出在各领域技术迅猛发展的前提下智能服装未来发展的四个方向和趋势, 提出未来智能服装设计将是在多领域技术与学科间交叉的前提下, 做到以人为本。

关键词: 智能安全服装; 电子信息技术; 交互技术; 工艺设计; 发展趋势

中图分类号: TS941.17

文献标志码: A

文章编号: 1001-7003(2019)03-0045-09

引用页码: 031108

Research on development status and trend of smart clothing under technologies of different fields

SHEN Lei, SANG Panpan

(School of Textile and Clothing, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: As the country puts forward higher development requirements for emerging technologies such as big health, Internet of things, artificial intelligence, big data and cloud computing, smart clothing has also achieved great development. This paper mainly analyzes the technologies in various fields and the current development status of the technologies in various fields of the smart clothing at home and abroad, and puts forward the existing problems and solutions in the five aspects of the smart clothing in the current environment, including safety performance, practical performance, process design, energy conservation and environmental protection, and material selection. At the same time, it points out the four directions and trends of the future development of smart clothing under the premise of rapid development of technologies in various fields, and proposes that the future smart clothing design will be people-oriented under the premise of the intersection of multi-field technologies and disciplines.

Key words: intelligent safety clothing; electronic information technology; interactive technology; process design; development trend

随着电子信息技术及通信技术的高速发展, 网络时代逐渐从互联网时代转移到移动网络时代, 再演变到物联网时代, 伴随而来的是人们获取自然和社会关系信息的对象和方式的变化。随着物联网时代的到来及各领域技术的逐渐成熟, 人们越来越追求更时尚、快捷、方便、智能和人性化的功能产品辅

助。并且随着信息化和工业化的发展, 越来越多领域的技术被应用在智能服装上, 使得智能服装由原来被动式的仅作为一种传感器感知环境, 逐渐转变为主动地根据环境的变化而进行反馈操作, 或者根据预先编好的程序进行操作的超智能服装^[1]。现代智能服装正朝着功能更加多样化、健康舒适化、科技多元化、智能材料更加创新化等方向发展。

收稿日期: 2018-07-05; 修回日期: 2019-01-10

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(61503154);

江苏省产学研前瞻性联合研究项目(SBY20132023); “龙城英才计划”第八批领军人才优先支持项目(2016111412)

作者简介: 沈雷(1963—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事智能服装设计研究。

1 智能服装的定义

智能服装简单来讲就是将服装与各领域技术相结合, 创造出人们所需要的并且可以满足人们各方面需求的服装。它具有多学科、多领域技术交叉的

特点,是电子信息技术、人机交互技术、生物化学技术、仿生技术、外骨骼机器人技术、纳米技术相结合的结果,可以实现信息感知、计算和通信等功能,在保障服装的服用性能的前提下,为用户提供智能分析、决策支持和反馈控制^[2]。

2 不同领域技术及其在智能服装上的发展现状

2.1 电子信息技术

随着网络时代的来临,电子信息技术成为当代社会最具影响力的科学技术,被应用在生活的各个领域。智能服装也不例外,基于电子信息技术的智能服装近年来发展迅速。电子信息技术主要包括无线通信技术、无线体域网技术、系统集成技术和传感技术等。

1) 无线通信技术:无线通讯技术指通过蓝牙、3G/4G网络、LORA、IBeacon及NFC芯片等进行通讯和信息传输的一种方式。通过无线技术,人与人之间可以随时随地进行无限交流^[3]。在数据传输及交换的过程中不必受时间和空间的限制,结合无线通信技术的智能服装无疑是给服装添加了一个无线天线,使得智能服装可以与各种设备之间进行“交流”,用来满足消费者的各种需求。目前应用此技术的主要有蓝牙离开报警童装及NFC老年人防走失毛衫等。

2) 无线体域网技术:它是由一系列采集智能生理参数和情景信息的传感器构成,然后将采集到的生理数据通过无线通信技术上传到智能终端上^[4]。由采集信息的传感器到上传终端组成的这一个大网络就叫做无线局域网。目前应用此技术的智能服装主要是监测心电、脉搏、温湿度、呼吸及血氧的服装。

3) 系统集成技术:系统集成是将各个分离的模块及功能通过计算机网络技术集成到一个相互关联的统一的系统之中,以达到资源共享、高效管理的作用^[5]。系统集成技术主要包括模块集成和功能集成两方面,模块集成是指将电子元件整合到极小的单片机中,主要依靠系统及封装微型化技术;而功能集成则是实现设备的互联互通交互操作,使功能配置合理,主要依靠无线体域网技术。

4) 传感技术:传感技术是智能服装实现智能化的关键,起着连接人与机的桥梁作用。传感技术能实现监测心率、血压、步数等生理数据,也能感知温

湿度、压力和位置等环境信息的变化,还能够实现语音、手势识别等体感交互技术功能^[6]。传感器的种类繁多,除了人们熟知的压电传感器、生物传感器及温湿度传感器,还出现了越来越多的柔性传感器。它们有着微型化的元件,而且还具有随意弯曲、延展、便于穿戴等特点。基于传感技术的各类柔性传感器类智能服装也快速占领市场。

电子信息技术下智能服装的发展现状:随着物联网的发展,各种柔性传感器的监测类智能服装迅速占领智能服装市场,同时做到监测人的体温、心率、呼吸、脉搏等,这类服装在智能服装市场中占比较大。图1是由麻省理工学院科学家研制出的可以诊断胃肠道疾病的可吞咽柔性传感器^[7],吞食后的传感器黏附在肠壁或胃壁上,可以用来检测胃部的食物及胃肠道的一些疾病,对于肥胖患者来说还可以监测到他们的食物消耗,帮助他们合理瘦身。



图1 可食用的柔性传感器

Fig.1 Eible flexible sensor

2.2 人机多交互技术

人机多交互技术是以用户需求为出发点的一种与周围环境、其他生物产生交互关系、语言或者行为的一种技术。一直以来用户和可穿戴设备及移动终端的交互方式都是单一化的,信息共享程度低,难以发挥智能产品的功能最大化^[8]。因此,为了更好地提高智能信息处理的效率与提升“以人为本”的理念,需要对信息在智能设备、用户与移动终端间的传输方式进行多交互技术研究,即所谓的多交互方式(Multi-interaction)研究。图2为多交互方式信息共享的典型框架示意。

人机多交互技术下智能服装的发展现状:大部分的智能服装都要涉及到人机多交互技术,基于人机多交互技术的智能服装主要应用在医疗领域,主要是对监测数据进行上传和分析,达到信息共享和数据信号反馈的功能。随着智能服装的发展,医疗健康开始进军智能服装的领域,由博迪加制作的心电衣^[9],能够做到随时监测人的心电并在心电异常

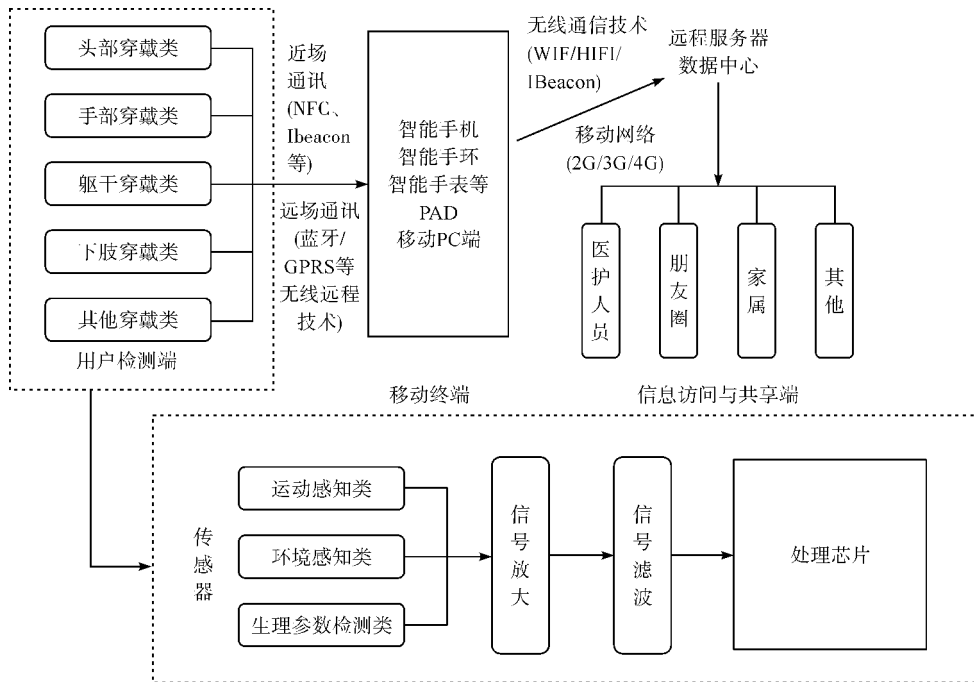


图 2 多交互方式信息共享的典型框架

Fig.2 A typical frame diagram of information sharing in multiple interactive modes

时发出预警信息。该心电衣是将柔性传感器嵌入到衣服中并且匹配相应的计算机应用程序 (APP) 软件, 可以实现对人体长时间的健康监测, 并且 APP 中还会形成监测记录, 有利用人们对自己的健康情况进行分析, 同时 APP 还会对健康状况进行一个反馈, 给出一些良好的建议, 维护身心健康。再者, 当出现严重的心律失常及血压等不正常的特殊事件时, APP 还会进行特殊的标记, 并将心电图数据上传到云端, 云端后台连接有医疗机构^[10], 医生便可根据 Web 端查看数据、报告, 对患者情况进行复核, 并反馈给用户所要使用的药方, 严重时还会提醒及时到医院就医。此心电衣实现了多交互方式的信息共享, 并且连接的医疗机构还能及时做出反馈, 监控病人的身体状况。

2.3 生物化学技术

生物化学技术主要是指一些新材料在服装上的应用, 比如石墨烯、油墨、微胶囊技术, 以及各种新型纤维等在服装上的应用。

1) 石墨烯: 石墨烯是近几年备受欢迎的新型材料, 从它一问世就受到了各领域的欢迎。相关研究者大多从石墨烯的制备技术、生物制造、发热保暖加热片、防腐涂料、大健康等领域进行研究^[11]。随着石墨烯呈现新的特点与趋势, 以及低成本、高性能、规模化应用技术的突破, 石墨烯掀起了一场席卷全球的

产业革命。

2) 新型纤维材料: 近几年市场上出现了各种新型的智能纤维, 比如电子智能纤维、形状记忆纤维、相变纤维、光导纤维、智能变色纤维等^[12]。智能变色纤维主要分为感光变色和感温变色两种, 感光变色是随着阳光的变化而变化, 后者则随着温度的变化而变化, 这种类型的纤维主要应用在各种智趣性的服装上。形状记忆纤维主要应用在乳胶枕上, 可以快速恢复形变, 并且可以治疗颈椎病和改善睡眠。电子智能纤维是在电子信息技术、无线通讯技术、传感技术等高科技交叉融合的基础上开发的一种新型纤维^[13]。其中导电纤维被广泛应用于柔性传感器中。

生物化学技术下智能服装的发展现状: 生物化学技术下的智能服装正朝着功能多样化、材料创新化的方向发展。随着纺织新材料的发展, 这类服装越来越受人们的欢迎。因为这种服装没有电子类服装元件的各种弊端, 还能满足人体舒适性的需求。如美国诺贝尔纤维公司研发了一种智能纤维 CircuiteX, 可以收集人体的呼吸和心率等数据, 并且可以做到 24 h 监控, 随时为患者提供医疗服务^[14]。如图 3 为日本东京大学研究的隐形衣, 利用视觉伪装而起到隐身的作用, 它由回射性纤维构成^[15]。再如意大利时装设计师马乌罗斯·塔里阿尼研制出了一款“懒人衬衫”, 它的主体材料是用形状记忆纤维织造

的,袖子长度能随温度变化而变化,还可根据人体的排汗状态改变廓形^[16]。中国深圳爱裳科技有限公司利用石墨烯加热片设计的智能恒温外套,能够在冬天保持温暖。



图 3 日本隐身衣

Fig. 3 Japanese invisibility cloak

2.4 仿生技术

仿生技术是利用仿生学原理,以细胞为蓝本,开

发出向生物体的多功能靠近、功能上接近甚至超过生物体组织的材料^[17]。仿生是一种模仿,通过模仿生物等其他东西来实现为人类社会服务。

仿生技术的智能服装发展现状:仿生技术的智能服装在生活中出现的还比较多,而且大部分应用在军事领域,发挥了很大的功能作用。仿生技术为智能服装新材料的开发和设计提供了理论依据和设计思路,促进了生物技术和进步。如科学家模仿荷叶的自清洁现象开发了自清洁服装,通过研究蜘蛛丝开发了用于防弹衣中的“生物钢”。如图 4 为伦敦的设计师仿造海葵的形状及特征,发明的一个置于人体两侧肩部的可穿戴设备 Ripple^[18]。当 Ripple 捕捉到对用户投来关注或感兴趣的目光时,便会像海葵一样抖动它的触须来提醒用户,而当用户遇到喜欢或者感兴趣的人时,Ripple 便会轻轻拍打用户的胸膛提醒用户的注意。



图 4 可穿戴设备 Ripple

Fig. 4 Ripple wearable device



2.5 3D 打印技术

3D 打印技术即快速成形技术的一种,它是一种以数字模型文件为基础,运用粉末状金属或塑料等可黏合材料,通过逐层打印的方式来构造物体的技术。过去其常在模具制造、工业设计等领域被用于制造模型,现正逐渐用于一些产品的直接制造。3D 打印的服装一般采用重力铸造的创新技术,通过 3D 打印模具进行打印^[19]。

3D 打印技术下的智能服装发展现状:3D 打印服装近年来发展迅速并且越来越受到人们的欢迎,它降低了定制的成本,为快时尚品牌做出了很大的贡献,并且帮助消费者以更少的成本定制个性化服装,符合当今快时尚的个性定制需求。如图 5 为 3D 打印的蜂巢服装,它是利用一些亲肤、防水、有弹性的硅胶贴片进行打印^[20],并且它们使用的材料一般都是 BioFila Silk 的可生物降解的 3D 打印丝材。这种

材料既环保又可再生,而且持久性好。3D 打印的服装也逐渐进入人们的视野,随着 3D 扫描技术的出现,可以很方便地为客人量体裁衣,减少了材料的浪费。



图 5 3D 打印的蜂巢服装

Fig. 5 3D printed honeycomb clothing

2.6 纳米技术

纳米技术是制备智能服装材料较为常用的技术,主要是将纳米粒子添加到织物中或在织物表面涂覆纳米粒子^[21],经过纳米技术处理的服装材料在防水、防油、防紫外线、抗菌及抗静电等方面都有较大改善。

纳米技术下的智能服装发展现状:人们一直在探索通过纳米技术制备新的纺织品和材料。目前,Nanotex 等公司研究的纳米织物技术^[22],主要是在保证服装舒适性的前提下,在传统织物上添加纳米级涂层,赋予织物更多的功能,使织物可以达到防水、防辐射及监测雾霾或者监测污染气体的功能。

2.7 AR 技术

AR(Augmented Reality)是增强现实的一种全新的人机交互技术,利用这种技术,可以模拟真实的现场景观,它是以交互性和构想为基本特征的计算机高级人机界面。使用者不仅能够通过虚拟现实系统感受到在客观物理世界中所经历的“身临其境”的逼真性,而且还能够突破空间、时间及其他客观限制,感受到在真实世界中无法亲身经历的体验。

AR 技术下的智能服装发展现状:AR 技术主要是增强现实,让用户以更自然和人性化的方式进行身临其境的互动体验。该技术在产生之时主要是运用在游戏等娱乐活动的真实体验上,后来逐渐扩展到智能服装。CaptoGlove 公司研究推出了 CaptoGlove 手套^[23],它是将 Flexpoint 柔性弯曲传感器集成在可清洗、透气的纺织材料手套上,便可实现自动检测手部和手指的移动状态,从而建立起 PC 端和智能手机的联系,进行无缝协作。它的出现可以为身临其境的体验者带来更加全新的现实感,增强真实互动。

2.8 机器人外骨骼技术

机器人外骨骼技术是融合传感、控制、信息、融合、移动计算,为操作者提供一种可穿戴的机械结构的综合技术。一般是指套在人体外面的机器人,也称“可穿戴的机器人”。这种机器人一般是由无线 LAN(局域网)系统、电池组、电机及减速器、传感器(地板反应力传感器、表面肌电传感器、角度传感器)、执行机构等组成,动力传动采用电机-减速器-外骨骼机构的方法,能够根据人体的动作意愿自动调整装置的助力大小。

机器人外骨骼技术的发展现状:机器人外骨骼

技术主要面向高龄护理、残疾人辅助、消防及警察等危险作业的用途,并且加强运动娱乐用途市场的开发力度,将针对各种用途进行 HAL 的设计生产。如图 6 为中国电子科技大学机器人研究中心研发的第四代外骨骼机器人,采用航空铝材料,高约 1 m、质量约 23 kg,从上至下有 6 个关节、7 个传感器。使用者穿戴时,通过胸部、腹部、腿部的绑带将其穿在身上,并将一双拐杖套在双臂上。当行动时,腰部传感器通过测试使用者的上肢倾斜度、倾斜加速度感知人体运动意图,把信息传递给计算机,然后通过控制模块向机器人传达指令,实现电驱关节、智能鞋、腰部支撑及绑缚附件的运转,辅助使用者行动。在向前迈步时,使用者的腿、脚被电驱关节,智能鞋缓缓抬起,拐杖及时配合完成行走动作。机器人外骨骼技术正在逐步进入人们的生活,相信在不久的将来截瘫患者穿上外骨骼机器人便可自如行走。



图 6 穿戴式外骨骼机器人

Fig. 6 Wearable exoskeleton robot

3 智能服装存在的问题

智能服装虽然问世已久,并且发展也非常迅速,但还是存在各种各样的问题。

1) 安全性问题:随着智能服装的发展,越来越多的智能服装出现在人们的生活中,随之而来的也出现了许多弊端和安全性问题。比如电子类智能服装存在着漏电及辐射问题,保暖加热服装存在着温度过高烧伤人体,近场通讯技术存在着信息泄露等问题,使得人们对于智能服装的信任越来越低。所以设计者在今后应该更加注意安全性问题,保护每一位智能服装用户。

2) 实用性能问题: 随着科技的发展, 人们对智能服装的要求越来越高, 越来越多的智能纤维或者元件被添加在衣服上, 较少能够做到保持人体的舒适性及耐洗涤性。智能元素被过度利用, 产品功能被过分夸大, 有的产品极大地伤害了人体, 不能保证热湿舒适性和内外环境差等问题, 缺乏对产品服用性能的考虑; 很多智能服装也不能满足洗涤性的需求, 服用性差。

3) 工艺结合问题: 智能服装从一发展就存在工艺结合问题, 包括各种智能纤维与服装的结合, 智能元件和服装的结合。特别是智能元件的结合显得尤为困难, 很难做到在保持人体舒适性的前提下, 做到功能完善及外形美观。

4) 节能环保问题: 因为目前智能服装还在发展阶段, 很难做到尽善尽美, 也存在着资源浪费, 无法可持续性的问题。比如一些智能元件存在着成本高、功耗大, 要随时充电的弊端, 造成了大量的资源浪费。还有一些元件寿命短, 再利用性不强, 还会造成环境污染, 所以这也是亟需设计师解决的问题。

5) 材料选择问题: 因为目前对高科技技术的掌握不佳, 导致很多产品徒有其表, 真正的功能无法实现, 有的材料寿命不长, 使用一两次就不能再使用。还有一些材料比较硬, 不能满足人体舒适性的需求。

针对这些问题, 可以采取以下措施(可实行的措施): 在可持续设计的理念下, 突破原有的设计模式, 充分掌握新材料、新技术的研究成果, 在保证人体舒适性和美观度的前提下, 将各领域技术交叉融合使用。关注最前沿的科技, 并熟练掌握智能材料测试技术、材料再集成技术及服装制版工艺技术, 更好地解决智能服装各方面的问题, 实现多领域技术的融合创新, 提高自己各方面的综合能力。具体来说, 在选择元件时要首先控制辐射在人体可接受范围内, 用一些软性材料包裹电线防止漏电, 设置温度时尽量保持在中间温度。尽可能使用一些柔性材料, 保证人体舒适性, 对于不能防水的元件可以设计成可拆卸的服装工艺, 尽可能做到节能环保。

4 智能服装未来发展的方向和趋势

4.1 未来发展方向

根据大数据显示智能安全服饰已经占据市场规模的 83%^[24]。智能安全服装主要是从五个方面进行发展: 一是开发智能纤维; 二是利用混纺、交织和

嵌入方法; 三是通过后整理加工; 四是应用特定的组织结构; 五是通过电子信息等前沿技术制造智能电子元件, 使电子元件做到功能更加齐全、更轻薄、体积更小、功耗低, 以及更加柔性、可洗涤性。未来智能服装的发展方向必将是在各领域技术交叉融合的前提下划分为四个方向: 体征检测方向、安全防护方向、热舒适性提升方向及智能变幻方向。

4.1.1 体征监测方向(柔性传感器)

体征监测系列主要是针对用户进行心率、心电图、血氧、体脂、呼吸、脉搏、温度、湿度及压力、脉搏、步数等的检测, 对于运动者来说有助于用户时刻了解自己的身体状况, 记录分析用户的运动数据, 提高锻炼效果。对于老年人或者处于疾病的用户来说有助于随时监测健康数据, 提供饮食建议, 具有保健、预防及防治疾病等的功能。如图 7 为联想开发的 SmartVest 智能心电衣, 产品内置了大量的传感器, 也是全球首款 12 导联(目前大部分医院使用的心电图都为 12 导联)的医疗可穿戴设备。这件智能衣可以对心脏进行 360°扫描, 持续续航可以达到 2 周的时间, 并且能够做到实时监测用户 12 导联的心电图^[25], 还能够提供心率、血氧、呼吸、脉搏及温湿度等数据。当用户穿着时便可随时测量得到数据, 并且通过匹配的手机 APP 可以随时掌握身体状况, 为健身者提供训练方案及身体状况分析, 在身体出现异常时 APP 还会发出警报提醒用户。对于服用性来说, 此心电衣可以水洗, 不会影响功能并且符合人体工学, 满足人体舒适性。未来的体征监测方向的服装将朝着元件更加柔性化、结合工艺更加舒适性、功能更加多样性、数据更加准确性方向发展。



图 7 SmartVest 智能心电衣

Fig.7 SmartVest smart electrocardiograph

4.1.2 安全防护方向

安全防护类服装针对的群体主要是儿童、老年人、残疾人及一些特殊行业的从业者,根据特定的要求对用户进行安全防护。比如近年来李宁推出的 GPS 定位芯片智能运动鞋,还有江南大学研究的蓝牙离开定位报警童装及尿湿感应儿童内裤,在市场上都获得了广泛的推广。如图 8 是沈雷等^[26]研究的定位防狼礼服,主要是运用 NFC 芯片匹配对应的 APP。当女性在晚上或者无人的地方发生危险时,可将手机靠近腰部嵌入的 NFC 芯片即可实现报警并将女子位置信息发送到预先存储在 APP 里的紧急联系人手机上,提醒亲人根据位置定位找到受害者,防止意外事故的发生,确保人身安全。未来的安全防护性服装将朝着信息更加安全化、数据更加精准、反应更加快速等方向发展。



图 8 定位防狼礼服

Fig. 8 Wolf suit with positioning function

4.1.3 热舒适性提升方向

热舒适性提升方向主要包括利用石墨烯等新材料做成的恒温服装,有发热理疗保暖服、“空调”服^[27]、变色服等,其中发热理疗服主要针对用户在寒冷的冬天及炎热的夏天可以保持恒温状态,实现冬暖夏凉。这类服装在保暖的基础上还可以实现理疗的功效,比如促进血液循环、新陈代谢等。如图 9 为 Lesitsmart 研究出的智能恒温衣^[28],能解决传统服装薄而不暖的问题,让穿衣有风度又有温度,还可以匹配 APP 远程操控,输入想要的温度,衣服内部会自动调节到该温度并保持在恒温状态。未来的热舒适性服装将朝着服装更具安全性、温度更具舒适性、结合工艺更加多样性、服装更加时尚化方向发展。



图 9 Lesitsmart 智能恒温衣

Fig. 9 Lesitsmart smart thermostat

4.1.4 智能变幻方向

智能变幻方向的智能服装主要与生活中某些行为相结合,解放双手、方便人们的生活或带来一种独特的生活体验方式或增加趣味性。如图 10 为深圳智裳科技有限公司推出的发光变色智能衣^[29],通过 APP 自动调节裙子的颜色,满足人们对于颜色的需求。美国牛仔品牌李维斯(Levi's)推出的音乐外套——Project Jacquard 夹克可能是智能服装中的佼佼者^[30],它使人们解放了双手,直接通过按一下袖口,就可以实现听音乐、接听电话及控制智能手机。这极大地方便了人们的生活,后续开发者还可通过整合资源优化配置,让夹克袖口实现更多功能,这是一件非常有趣的智能产品。这类产品的实用性和智能性都比较高,有助于提高人们对于生活高品质的追求,使其成为用户生活中精彩而重要的一部分。未来的智能变幻类服装将朝着颜色更加多样性、款式更加多变性、服装更加绚丽多彩,以及能够跟随环境而发生变化的方向发展。



图 10 发光变色智能衣

Fig. 10 Luminous and color-change smart clothes

4.2 未来发展趋势

未来智能服装的发展趋势将由仅作为某种传感装置感知服装微环境和外界环境载体的被动式智能服装发展为主动式智能服装,使得智能服装不仅可以感知穿戴者服装微环境和周围环境,而且还能够利用执行器做一定的操作。进而再发展成为能够根据服装微环境和外界环境的变化智能地采取一些操作并做出反馈,或者执行预先在微型计算机系统编好操作程序的超智能服装。未来的智能服装将是各领域技术互相融合的产物,将具备更大的发展潜力。

5 结 语

本文通过研究国内外各领域技术与在各领域技术下智能服装的发展现状,分析得出了在高科技的发展下智能服装在五个方面存在的不足,并且提出智能服装未来发展的四个方向。在坚持现代科技和工艺技术的结合下,加强多领域学科间的融合发展,以自主创新设计能力为核心,从而提升中国服装安全设计的国际竞争力。

参考文献:

- [1]刘辉珞. 微型计算机组成原理教程与实训[M]. 北京: 北京大学出版社, 2007: 11-20.
LIU Huiluo. Principles of Microcomputer Composition and Practical Training [M]. Beijing: Peking University Press, 2007: 11-20.
- [2]沈雷, 方东根, 唐颖, 等. 智能服装材料的研究现状与发展趋势[J]. 上海纺织科技, 2016, 44(2): 1-4.
SHEN Lei, FANG Donggen, TANG Ying, et al. Research progress and development trend of smart garment materials [J]. Shanghai Textile Science & Technology, 2016, 44(2): 1-4.
- [3]刘力源. 面向电子智能服装的关键技术研究及实现[D]. 北京: 北京服装学院, 2016.
LIU Liyuan. Research and Implementation of Key Technologies for E-Smart Clothing [D]. Beijing: Beijing Institute of Fashion Technology, 2016.
- [4]轩运动, 赵湛, 方震, 等. 基于无线体域网技术的老人健康监护系统的设计[J]. 计算机研究与发展, 2011, 48(S2): 355-359.
XUAN Yundong, ZHAO Zhan, FANG Zhen, et al. A wireless body sensor network for the elderly health monitoring [J]. Journal of Computer Research and Development, 2011, 48(S2): 355-359.
- [5]芮明杰, 刘明宇, 任红波. 论产业链整合[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2006: 9-25.

- RUI Mingjie, LIU Mingyu, REN Hongbo. On Industrial Chain Integration [M]. Shanghai: Fudan University Press, 2006: 9-25.
- [6]吴彩芳, 谢钧, 周开成. 基于手势识别的人机交互技术研究[J]. 计算机时代, 2016(2): 29-32.
WU Caifang, XIE Jun, ZHOU Kaijian. Overview of human-computer interaction technology based on gesture recognition [J]. Computer Era, 2016(2): 29-32.
- [7]BAHADLR Kurğun S. Decision of sensor location and best classification method for entrapment and muscle disease detection in healthcare smart clothing based on acceleration measurements [J]. Transactions of the Institute of Measurement and Control, 2015, 37(8): 999-1008.
- [8]薛哲彬, 沈雷, 任祥放. 基于儿童安全的智能服装系统研发模式[J]. 服装学报, 2016, 1(5): 470-476.
XUE Zhebin, SHEN Lei, REN Xiangfang. Study on research mode of intelligent safety clothes system for children [J]. Journal of Clothing Research, 2016, 1(5): 470-476.
- [9]张慧敏. 电子科技在智能服装设计中的应用[J]. 国际纺织导报, 2012(3): 67-70.
ZHANG Huimin. Applications of electronics technology in intellectual fashion design [J]. Mellian China, 2012(3): 67-70.
- [10]严妮妮, 张辉, 邓咏梅. 可穿戴医疗监护服装研究现状与发展趋势[J]. 纺织学报, 2015, 36(6): 162-168.
YAN Nini, ZHANG Hui, DENG Yongmei. Research progress and development trend of wearable medical monitoring clothing [J]. Journal of Textile Research, 2015, 36(6): 162-168.
- [11]黄旭, 李双, 邢倩荷, 等. 石墨烯薄膜的发热特性及在服装材料中的应用[J]. 服装学报, 2017, 2(4): 288-293.
HUANG Xu, LI Shuang, XING Qianhe, et al. Thermal characteristics of graphene film and its application in garment materials [J]. Journal of Clothing Research, 2017, 2(4): 288-293.
- [12]张希莹, 方东根, 沈雷, 等. 智能纤维及智能纺织品的研究与开发[J]. 纺织导报, 2015(6): 103-106.
ZHANG Xiying, FANG Donggen, SHEN Lei, et al. Research and development of intelligent fibers and intelligent textiles [J]. China Textile Leader, 2015(6): 103-106.
- [13]沈雷, 方东根. 智能纤维及其在服装中的应用研究[J]. 棉纺织技术, 2015, 43(5): 76-79.
SHEN Lei, FANG Donggen. Intelligent fiber and its application research in clothing [J]. Cotton Textile Technology, 2015, 43(5): 76-79.
- [14]TANG Zhenhua, JIA Shuhai, SHI Si, et al. Coaxial carbon nanotube/polymer fibers as wearable piezoresistive sensors

- [J]. *Sensors & Actuators: A Physical* ,2018 284: 85-95.
- [15] GHASEMI R , DUBROVINA N , TICHIT P H , et al. Transformation optics and infrared metamaterials for optical devices [J]. *Applied Physics A* ,2012 ,109(4) : 819-823.
- [16] ZHANG X. Heat-Storage and Thermoregulated Textiles and Clothing: In Tao(ed) , *Smart Fibres , Fabrics and Clothing* [M]. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd ,2001: 34-57.
- [17] 李卓. 试论仿生设计在展示设计中的应用 [J]. *包装世界* ,2009(4) : 107.
LI Zhuo. On the application of bionic design in display design [J]. *Packaging World* ,2009(4) : 107.
- [18] 周聪聪. 穿戴式生理参数监测关键技术研究及系统设计 [D]. 杭州: 浙江大学 ,2016.
ZHOU Congcong. Research on Key Technologies and System Design of Wearable Physiological Parameter Monitoring [D]. Hangzhou: Zhejiang University ,2016.
- [19] 李青,王青. 3D 打印: 一种新兴的学习技术 [J]. *远程教育杂志* ,2013 ,31(4) : 29-35.
LI Qing , WANG Qing. 3D printing: a new technology for learning [J]. *Journal of Distance Education* 2013 ,31(4) : 29-35.
- [20] 刘俊,孙璐姗,王钱钱,等. 3D 打印生物质基复合材料研究进展及应用前景 [J]. *生物产业技术* ,2017(3) : 68-81.
LIU Jun , SUN Lushan , WANG Qianqian , et al. The advancements and prospects of 3D printing material using biomass-based composites [J]. *Biotechnology & Business* , 2017(3) : 68-81.
- [21] 陈梦君,杨万泰,尹梅贞. 纳米粒子的分类合成及其在生物领域的应用 [J]. *化学进展* ,2012 ,24(12) : 2403-2414.
CHEN Mengjun , YANG Wantai , YIN Meizhen. Synthesis and applications of nanoparticles in biology [J]. *Progress in Chemistry* ,2012 ,24(12) : 2403-2414.
- [22] 孙长娇,崔海信,王琰,等. 纳米材料与技术农业上的应用研究进展 [J]. *中国农业科技导报* ,2016 ,18(1) : 18-25.
SUN Changjiao , CUI Haixin , WANG Yan , et al. Studies on applications of nanomaterial and nanotechnology in agriculture [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology* ,2016 ,18(1) : 18-25.
- [23] 张金钊,张金镛. VR/AR/智能可穿戴交互设备实现(产业化) [J]. *电脑编程技巧与维护* ,2016(15) : 71-78.
ZHANG Jinzhao , ZHANG Jindi. Realization of VR/AR intelligent wearable interactive equipment (industrialization) [J]. *Computer Programming Skills & Maintenance* ,2016(15) : 71-78.
- [24] 方东根,沈雷. 智能服装材料研究概述 [J]. *针织工业* ,2016(1) : 42-46.
FANG Donggen , SHEN Lei. A research overview of smart garment material [J]. *Knitting Industries* ,2016(1) : 42-46.
- [25] SHEA J T. How Wearable Technologies Will Impact the Future of Health Care: New Generation of Wearable Systems for Health [M]. *Dise: University of Pise* ,2013: 34-40.
- [26] 李仪. 基于绿色理念下的智能童装设计研究 [D]. 无锡: 江南大学 2018.
LI Yi. Research on Intelligent Children's Wear Design Based on Green Concept [D]. Wuxi: Jiangnan University , 2018.
- [27] 董家瑞. Outlast 空调纤维的性能及其应用 [J]. *针织工业* ,2007(3) : 32-34.
DONG Jiarui. Performance and application of Outlast air conditioning fiber [J]. *Knitting Industries* ,2007(3) : 32-34.
- [28] 谌玉红. 人体—服装—环境系统热湿传递特性及测试与评价方法研究 [D]. 北京: 中国人民解放军军事医学科学院 2006.
CHEN Yuhong. Research on Heat and Humidity Transfer Characteristics and Test and Evaluation Methods of Body-Body-Environment System [D]. Beijing: Chinese Academy of Military Medical Sciences 2006.
- [29] 陈之瑜. “科技+时尚”: 可穿戴技术到智能服装的发展浅析 [J]. *艺术科技* 2017 30(6) : 78-110.
CHEN Zhiyu. “Technology + fashion”: a brief analysis of the development of wearable technology to smart clothing [J]. *Art & Technology* 2017 30(6) : 78-110.
- [30] GNADE B T , KINWANDE A. Active Devices on Fiber: the Building Blocks for Electronic Textiles [C]. Cambridge: Proceedings of International Interactive Textiles for the Warrior Conference ,2002: 9-11.