

智能服装的发展现状与问题解析

黄豆豆¹,王敏^{1,2,*}

(1. 东华大学 服装与艺术设计学院,上海 200051;

2. 东华大学 现代服装设计与技术教育部重点实验室,上海 200051)

摘要:智能服装的发展得益于社会经济文化高速前进的推动,是数字化时代的必然需求。从构成智能服装系统的智能纱线、传感器、连接技术、供电方式和服装材料等五个要素出发,论述了智能服装开发的关键技术发展现状,介绍了智能服装在体育、军事和医疗领域的应用进展,结合时代需求分析了智能服装发展所遇到的问题。未来,通过压电材料、柔性技术材料和服用性能较好的电子设备与智能安全的集成和连接技术结合,会设计出更加安全高效且适合人类的高性能智能科技服装。

关键词:智能服装;发展现状;应用进展;柔性技术

中图分类号:TS941

文献标识码:A

文章编号:1673-0356(2022)02-0008-04

智能服装正随着经济的迅猛发展展露出其特点,它以惊人的影响力渗透于各个行业之中。智能服装的出现是数字化信息时代的产物,它体现着人们对高效率高水平生活的追求和向往。智能服装可以帮助人们感知人体自身和外界环境的变化和刺激,通过一系列信号的采集合成反馈到人们可视化的范围,人们依靠反馈信息做出合理的调整措施,是集信息采集、收纳、整理、反馈和调节于一体的多功能服装^[1]。从最基础的纤维纱线到传感器和电源,智能服装的开发正迈出重要的一步。如今,各个领域都在大力开发智能微型设备和服装,依据不同的功能要求设计研发可穿戴式的智能服装,使其朝着轻量化、智能化、舒适化和多元化的方向不断发展。

随着科技的不断发展进步,智能服装的组成元件有了更广泛的选择,其应用领域也得以拓展。从智能服装的设计元素出发,总结了其设计元素的发展现状,并结合体育、军事和医疗领域的需求现状,对其在这些领域的应用加以分析,同时得出前阶段智能服装发展的问题所在。通过对智能服装的发展和应用的论述,将进一步促进其需求化发展,以及智能组件和连接集成方式的进一步智能优化。

1 智能服装的组成要素

1.1 智能导电纱线

电子纺织品所用的纱线要求有导电能力同时具备

纱线本身的特性。智能导电纱线在生产合成过程中会增加一些特性,例如,亲水性、疏水性、抗菌性能和屏蔽功能等。

当前智能纺织品和服装中使用最多的导电纱线是铜、不锈钢、银、黄铜镍及其合金制作的金属纱线或纤维。这些金属纱线满足了较高电导率的要求,但通常比以锦纶、羊毛和棉花等材料为基础的商业纺织纱线更重更硬。聚合物导电纱的应势出现,改变了导电纱线的发展方向,这类聚合物纱线可分为三类:本质上导电的聚合物纱线、金属丝缠绕或嵌入的聚合物纱线以及用导电添加剂填充的聚合物纱线,如炭黑、碳纳米管或导电聚合物^[2-3]。

1.2 传感器

为了顺利监测到身体的反应信号,在整个智能服装系统中,传感器发挥着极其重要的作用。可以说,智能服装是将基于纺织品和服装设计的传感器和纱线等准确无误地集成于服装中,进而产生感知和积极反馈周围环境的的行为。根据其行为,智能纺织品可具备传感、驱动和自适应等功能^[4]。

为了实现纺织一体化,在保证纺织工艺可操作性的同时,也要兼顾生产过程中传感器的集成。为了同时感知不同的刺激和影响,传感器之间应该是可组合的。此外,模块化的构造方法保证了对操作条件的最佳适应。根据这些模块连接,加上材料的组合、生产纤维的方式和后整理等方式,使得传感器拥有了更多的特性和可能性。

许多关于智能纺织品的研究项目集中在开发基于纺织品的传感器和执行器上^[5-6],这些传感器和执行器可以绑定到防护服或医用纺织品的可穿戴系统上。

收稿日期:2021-09-16

作者简介:黄豆豆(1997-),女,硕士研究生,主要研究方向:服装舒适性及功能防护服装。

* 通信作者:王敏(1984-),女,高级实验师,博士,主要研究方向:服装舒适性及功能防护服装,E-mail:minmin1202@dhu.edu.cn。

1.3 连接技术

智能纺织品通常被描述为由两个基本组件组成的复杂系统,包含有特定功能的织物结构和相应的电子部件。智能服装的基本组件称为智能服装单元,其形态学在此类系统的开发中发挥着重要作用,通常一个单元具有多层结构,包括传感器、电路、保护层和其他相关化合物,由此可知,连接技术在智能纺织品生产中发挥着至关重要的作用。连接的方法和相应的技术取决于所需要的功能,这些不同的功能,每个都有独特的连接需求。

传统的纺织品可使用引导电路导线和控制纺织品与微芯片、电阻和二极管等元件之间的电接触,这些技术可以通过刺绣^[7]、缝纫或打印等技术来实现。由于导电材料的多样性,包括单丝金属线和导电纱,导电电路可以通过编织等技术直接安放于纺织结构中。此外,纺织粘合^[8]和电子接口能确保可预测、导电和可靠的布线线路,并可以设计为永久的或可逆的。

1.4 供电方式

事实上,将电子功能融入织物的电子纺织品或智能纺织品都需要电源的支持。目前使用较为广泛的依然是蓄电池,除此之外,一些较为新型的供能方式正处于研发完善阶段。新型功能方式包括太阳能、运动(如压电转换器)和热量(如热电转换器)等。

1.4.1 蓄电池

蓄电池是最简单基础的供能方式,它在加入智能服装系统时,考虑最多的便是安全性和舒适性。为了增加服装的利用率,蓄电池往往选择可充电电池,而且接入电路多采取灵活便捷的形式,便于接入和拔出。因为体积的问题,电池的嵌入或多或少都会影响服装整体的舒适性,未来轻量型可持续型的电池将是发展主趋势。

1.4.2 光伏电池

太阳可以提供充足的辐射来满足我们所有的能源需求。当然,辐照度的间歇性和变异性需要一种高度技术性的方法来收集和转换它,最有效的太阳辐射转换可由光伏电池提供。通常,太阳能电池会夹在坚硬的玻璃或聚碳酸酯板之间,或被玻璃片或聚碳酸酯板覆盖^[9]。玻璃和聚碳酸酯板相当重,而且玻璃很脆弱,因此,越来越多的注意力转向了更轻、更灵活的电池构造,现在大量的太阳能电池应用柔性塑料或金属薄膜的例子^[10]。

制作太阳能服装的方法有多种,其中一种是将传统的太阳能电池板附着在服装上,例如,一些太阳能背

包^[11];另一种广泛使用的方法是在织物上附加一层太阳能塑料薄膜。此外,将薄膜附着在织物上的方法,如缝纫、焊接或层压,在商业上都已很成熟。

1.4.3 压电电池

压电现象指的是施加于压电材料上的力转化为电。压电陶瓷是一类重要的压电材料,是具有多晶结构的铁电材料,压电聚合物是一种极具吸引力的压电材料,具有良好的压电性能和比压电陶瓷高得多的弹性。天然聚合物,如多糖、蛋白质和多核苷酸已经显示出一些压电性能^[12]。

智能服装中使用压电电池的优势在于可以将运动和呼吸等对服装造成的形变收集起来,变成电子组件所需的电能。这种方式既节省了资源,同时也对人体自身的活动进行了利用,在保证安全可靠的前提下,这种供电方式是较好的选择。

1.5 服装材料

智能服装中最主体的是服装面料,使用具有功能性的面料可以配合电子元件完成监测和反馈的性能,例如,抗菌、防水、防辐射的材料。其次,一些特殊的纤维面料可以对外界刺激产生反馈,例如,吸湿发热和光敏变色、电致变色等面料。当服装面料具备了某种功能,集成于服装中的电子设备就可以简化设计,这样对智能服装的结构设计要求较低,同时简化的布线线路会减少对人体的潜在伤害。

2 应用研究进展

2.1 军事领域

目前对军用智能纺织品的研究包括提高防弹水平,以及在服装、背包或帐篷中开发具有集成传感器和嵌入式传感技术的新设计。智能纺织品正在取得进展的各种功能包括健康监测、通信(有线和无线)、增强的机动性、生存能力、减少热应激、减轻后勤负担和伪装^[13]。

智能服装的环境感应要准确探测到敌人的存在或潜在的生化威胁。适当的传感器可以识别爆炸情况并报告是否存在任何健康风险^[14-15]。智能纺织品融入军服有助于实现生理状态监测、可穿戴电源和电阻加热等复杂功能,健康监测有助于士兵更好地执行任务和及时提供医疗援助。

智能服装融入军事领域需要完成的最重要任务之一就是预警。其设计点在于各种系统提供的弹道导弹攻击、空中攻击或其他潜在威胁的早期预警^[16]。预警系统的主要目的是在提前预知潜在威胁,这样可以拯

救士兵和平民的生命或防止其他类似的大规模破坏。

智能服装的开发可以包括研制具有变色龙特性的伪装制服。例如,当一个士兵从沙漠转移到城市时,这种衣服可能会改变颜色,同样,衣服的颜色也会随着时间或其他环境因素而改变,这可以通过整合电子纺织品和形状记忆材料来实现。

2.2 体育领域

运动服装领域开发的一些产品,传感器通常戴在胸部、手臂或手腕上。这些产品不仅能监测重要的信号,而且还提供性能分析,如燃烧的卡路里和位置、时间等信息。有些系统还可以根据收集到的生命体征和表现数据来指导个人培训。

2.2.1 生命监测服装

LifeShirt[®]是21世纪初较早进入市场的可穿戴健康监测系统,该系统包括服装、手持设备和基于电脑端的分析软件。这种衣服通常以背心或胸带的形式出现,持续监测心电图、呼吸、活动和姿势的传感器与手持设备连接,将采集的数据上传至数据库进行分析。脑电图、皮肤温度、血氧饱和度和血压传感器可通过插入系统内的其他端口获取,以实现多种功能。

2.2.2 智能膝盖套筒

智能膝盖套筒是一种用于预防伤害的设备,它为佩戴者提供关于膝盖角度的即时反馈。智能护膝的主要市场是运动领域,如篮球和足球,其中膝盖由于经常性的跳跃和着陆活动受伤频繁。该系统帮助运动员和教练员预防损伤,特别是韧带损伤,也可作为损伤后的康复辅助,在治疗过程中反复教导患者正确进行关节运动。

2.3 医疗领域

智能服装在医疗卫生领域的应用包括健康监测、防护修复和安全监护。针对老年人开发的智能服装要求更加严格^[17],在面向老年人群体的时候,考虑舒适性和功能性需要更加全面。例如,许黛芳等^[18]设计的阿尔茨海默病老人针织智能安全监护服装,从各个层面分析,设计出具有辅助全球卫星定位系统、跌倒检测、语音提醒功能和健康监测的适用于特殊群体的服装。其中石墨烯柔性材料的制备与应用是智能服装材料使用的新目标。老年人面临的另一大难题便是骨质疏松,张树梅等^[19]研究出骨质监测传感器,并采用合适的方法放置在服装上,达到骨质健康监测和反馈的作用。

最贴近人体的衣物是最容易收集身体信号的,智能内衣的发展和完善将会对我们的生活产生更加积极

的影响。智能内衣在长期监测人体信号的过程中,可以有效预防疾病和解决突发事件^[20]。腰部肌肉劳损是日常生活中运动时可能会遇到的情况,李怪安等^[21]提出结合表面肌电信号与肌肉疲劳的联系,在肌肉疲劳到损伤时及时做出预测和反应以此来保护腰部。

3 问题分析

3.1 技术模式

智能服装纺织品研发的关键问题之一是研究如何将各电子组件集成于纺织品中。设计的产品应该结合诸如纺织品的可洗涤性和耐穿性以及电子产品的智能等特性。智能服装开发商面临的另一个挑战是电子元件的微型化和柔性化以及生产方式的改变。此外,智能服装的传感系统和供电系统材料的选择、灵敏度和安全性也是需要慎重考虑的方面。

3.2 可持续利用

现阶段,大力倡导绿色经济和可持续发展,建设环境友好型社会。智能服装中所使用的各种元件以及智能服装本身的加工生产存在着污染环境的危害因素,同时,纺织品的回收也是一个比较棘手的问题。在此后的设计中,智能服装系统的供电方式由传统的蓄电池转变为环保的光伏供电和压电供电是必然的趋势,在解决了技术问题之后,这一供电方式的转变将在很大程度上实现资源的节约。同时,智能服装的各个元件以及面料在后期都要保证高效率的回收。

3.3 服用性能

智能服装中所用的大多数电子产品在使用时会靠近人体,这样可能会存在一定的安全隐患。穿着智能服装时,安全是首要考虑的问题。其次,穿着过程中有关舒适感觉的各个层面在前期设计中都需要考虑到。

智能服装穿着舒适性的测试指标可能与普通服装不同,因为有电子产品的加入可能会使得检测方法变得更加复杂,成熟完善的监测手段和方式需要进一步研发。同时,使用过程中纺织品和电子设备的磨损老化也是真实存在的问题。

4 结语

从智能服装系统的组成要素出发,分析了智能服装开发的关键技术及其发展,阐述了智能服装在军事、运动和医疗等领域的发展。目前智能服装的技术仍有待完善,其市场需求也在不断变化。随着可穿戴式传感系统的飞速发展,技术集成程度不断提高,未来可穿戴式传感器的发展也将顺应这一趋势。前沿技术的进

一步发展,技术集成的程度将成为智能服装产品的关键问题,降低产品的侵入性和笨拙性,从而提高用户友好性和适销性。未来柔性材料、压电材料等会广泛应用于科技服装领域,以便于解决智能服装舒适性和可持续性发展的问题。

参考文献:

[1] 顾伟,侯成义,张青红,等. 智能服装的现状及其发展趋势[J]. 东华大学学报(自然科学版),2019,45(6):837-843.

[2] STOPPA M, CHIOLERIO A. Wearable electronics and smart textiles: A critical review[J]. *Sensors*, 2014, 14(7):11 957-11 992.

[3] 苗冰杰,左祺,王春红,等. 电子智能纺织品在人体监测方面的研究进展[J]. 纺织导报,2019,(5):46-50.

[4] TAO X. Smart technology for textiles and clothing—introduction and review[M]. Woodhead Publishing, 2001.

[5] 刘欢欢. 柔性传感器在纺织品中的应用[J]. 纺织报告,2018,(12):40-42.

[6] 刘成扬. 纤维基柔性智能可穿戴技术在智能运动服装上的应用[J]. 毛纺科技,2020,48(5):66-70.

[7] LINZ T, GOURMELON L, LANGEREIS G. Contactless EMG sensors embroidered onto textile[C]// 4th International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks, 2007.

[8] KRSHIWOBLOZKI M, LINZ T, NEUDECK A, *et al.* Electronics in textiles—adhesive bonding technology for reliably embedding electronic modules into textile circuits [J]. *Advances in Science and Technology*, 2012, 85: 1-

10.

[9] 罗钟鑫磊,丁慧慧,王薇,等. 太阳能光伏设备在智能服装设计中的应用[J]. 天津纺织科技,2018,(6):27-29.

[10] 林秀瑶. 薄膜太阳能电池研究进展[J]. 电子技术与软件工程,2016,(3):254.

[11] 颜英超,刘咏梅. 太阳能电池及其在服饰设计上的应用[J]. 国际纺织导报,2015,43(9):70-72.

[12] FUKADA E. History and recent progress in piezoelectric polymers[J]. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 2000, 47(6):1 277-1 290.

[13] SCOTT R A. Textiles for protection[M]. Woodhead Publishing, 2005.

[14] BERZOWSKA J. Electronic textiles: Wearable computers, reactive fashion, and soft computation[J]. *Textile*, 2005, 3(1):58-75.

[15] WILUSZ E. Military textiles[M]. Woodhead Publishing, 2008.

[16] CHAPMAN R. Smart textiles for protection[M]. Cambridge: Woodhead Publishing, 2012.

[17] 金薇薇,辛斌杰,艾露,等. 中老年智能服装需求与设计研究[J]. 西部皮革,2020,42(5):81-82.

[18] 许黛芳,赵卫国. 阿尔茨海默病老人针织智能安全监护服装的设计[J]. 染整技术,2020,42(4):51-56.

[19] 张树梅,刘福寿,钟安华. 可监测脊椎健康状态的功能性服装设计[J]. 服饰导刊,2020,9(1):65-69.

[20] 梁素贞,许鹏俊. 基于生理信号监测的智能内衣设计[J]. 武汉纺织大学学报,2018,31(6):36-40.

[21] 李桢安,鲁虹. 腰部运动损伤防护智能服装的研发[J]. 纺织学报,2020,41(2):119-124.

Development Status and Problem Analysis of Intelligent Clothing

HUANG Dou-dou¹, WANG Min^{1,2,*}

(1. College of Fashion, Donghua University, Shanghai 200051, China;

2. Key Laboratory of Clothing Design and Technology, Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 200051, China)

Abstract: The development of smart clothing benefited from the rapid progress of social economy and culture, which was the inevitable demand of the digital age. Starting from the five elements of intelligent yarn, sensor, connection technology, power supply mode and clothing materials, the development status of key technologies in the development of intelligent clothing were discussed. The application progress of intelligent clothing in sports, military and medical fields were introduced. The problems encountered in the development of intelligent clothing were analyzed combined with the needs of the times. In the future, through the combination of piezoelectric materials, flexible technical materials, electronic equipment with good wearability and intelligent safety integration and connection technology, high-performance intelligent technology clothing that is more safe, efficient and suitable for human will be designed.

Key words: smart clothing; development status; application progress; flexible technology