

智能服装理论与应用

丁永生 吴怡之 著
郝矿荣 任立红



科学出版社

智能服装理论与应用

丁永生 吴怡之 著
郝矿荣 任立红

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书对智能服装的理论与应用进行了较系统的阐述和讨论。全书共分为 10 章,第 1 章介绍了智能服装的背景和相关技术,第 2 章对智能服装的体系结构进行了介绍,第 3~6 章对智能服装的各个子系统进行了详细设计,第 7~10 章给出了智能服装的一些典型应用,为智能服装的关键技术和应用研究提供了有力的理论框架与系统原型平台。本书取材新颖,内容深入浅出,材料丰富,理论密切结合实际,具有较高的学术水平和实际参考价值。

本书可作为相关专业高年级本科生或研究生的教材,也可从事信息科学、纺织服装等领域研究的教师 and 科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能服装理论与应用/丁永生等著. —北京:科学出版社,2013.9
ISBN 978-7-03-038687-8

I. ①智… II. ①丁… III. ①服装—智能设计②服装—智能制造系统 IV. ①TS941

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 226173 号

责任编辑:朱雪玲 王迎春 / 责任校对:包志虹

责任印制:张 倩 / 封面设计:迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

文林印务有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 9 月第 一 版 开本:720×1 000 1/16

2013 年 9 月第一次印刷 印张:14 3/4

字数:296 000

定价:60.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

随着人类社会的进步，人们对服装的要求已不仅仅局限于御寒和美观，而是进一步要求其具有实时信息处理与交换功能，如能记录、分析、存储、传递和显示信息资料等，使得穿着者能够随时随地获得需要的信息。近年来，智能服装/电子纺织技术得到了多个国家，尤其是欧美国家的重视，并且将给人类社会的许多方面带来革命性的影响。

智能服装是传统的纺织服装工艺、纤维成型加工工艺、信息传感技术、通信技术、人工智能和生物技术等诸多科学领域的有机结合。它采用先进的电子信息技术，结合材料技术和纺织技术，将检测、处理、存储、通信、输入和输出等电子元器件进行微型化、柔性化，并植入服装，在不影响服装穿着舒适性的条件下，实时采集信号，并处理、存储和传输数据，向用户提供智能分析、决策支持和反馈控制，实现各种应用功能。随着电子信息技术与智能纺织品领域交叉学科的不断发展，在未来的世界中，二者的结合将无处不在，在赋予服装新时尚的同时，也给予了常规纺织品远不能及的额外功能和智能。智能服装无疑是未来纺织品发展的重要方向，并将成为人们日常生活的一部分。

智能服装通过将计算机、传感器、网络传输和输入/输出装置等“编织”到可穿戴的纺织面料中，为穿着者提供在任何时间、任何地点的各种现代信息服务，从而大大提高人类的生活质量和生产力水平。因此，新型智能服装技术将是信息技术的一个巨大机遇和挑战。就目前的发展水平来看，3个信息技术子领域与智能服装的关系尤为密切，已成为当前智能服装的3个关键研究领域，即可穿戴计算提供了智能服装的计算平台，传感器网络提供了智能服装的网络通信平台，信息融合提供了信息服务的决策分析平台。

本书介绍了集感知、处理和传输于一体的可穿戴微系统平台。该平台通过布置在服装中的各种传感器采集生理、运动等人体信号和周围环境信息，把体域传感器网络引入智能服装中，构成生理信息感知、传输和健康监护的网络平台；把分布嵌入式计算模型引入智能服装中，构成由简单节点组成的具有强大计算能力的可穿戴计算平台，采用分布式计算和多目标优化技术提高系统性能，实现在线即时处理和决策，降低系统能耗，满足实用化要求；把机器学习智能算法引入智能服装中进行信息融合，结合信息融合技术、上下文感知技术和智能计算方法来提高系统运行的正确性和可靠性；基于智能服装系统平台创建了情绪判别、亚健康评估、面向空巢老人的健康监护、心电监护、疾病诊断、人体运动风险评估等应用系统原型，实现了人体生命信号的监控、

医疗健康监护和疾病诊断的决策支持，为智能服装的相关应用研究奠定了基础，并为进一步开展智能服装与生物信息、微机电、可再生能源等多学科领域的合作，为促进该项技术的实用化和产业化打下了坚实的基础。

本书内容是多学科交叉的前沿研究，学术思想先进，理论密切结合实际，材料丰富，结构安排合理，既能照顾到面，又能照顾到点，既有深度又有广度。读者既可以了解到这一领域的前沿研究进展，又可以深入到某一较深的研究方向。

本书的研究成果相继得到了国家自然科学基金(61134009、60975059)、教育部高等学校科技创新工程重大项目培育资金(706024)、教育部高等学校博士学科点专项科研基金(20090075110002)、上海市科学技术委员会重点基础研究基金(11JC1400200)、上海市科学技术委员会技术标准专项基金(10DZ0506500)、上海市国际科技合作基金(061307041)、上海市优秀学术带头人计划(11XD1400100)和上海市领军人才队伍建设专项资金等项目的资助，在此表示深深的谢意。

感谢美国韦恩州立大学电气与计算机工程系的应浩教授、东华大学信息科学与技术学院的邵世煌教授，他们多年来一直支持我们的研究工作，并提出了许多宝贵的意见和建议。感谢东华大学提供的科研和工作条件，使我们能顺利地完成其中的研究工作。另外，还要感谢东华大学信息科学与技术学院的同仁对我们工作的一贯支持。东华大学智能系统与网络智能研究所的工作人员努力工作，协同进步，取得了许多具有重要意义研究成果，这里尤其要感谢李龙飞、胡一帆、韩华、祝博荟、王彤等博士生和徐琳琳、陈环、石金兰、高翔、吴学奎、邹林刚、何富祥、胡晓娜、熊昌慧、包旭利等硕士生对本书重要研究成果的贡献。

感谢科学出版社朱雪玲编辑为本书的出版所付出的辛勤工作，没有她耐心细致的工作，本书的出版不会如此顺利。

由于本书内容涉及多个学科前沿，知识面广且时间仓促，再加上作者学识有限，书中有些观点和提法难免有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

著 者

2013年6月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.1.1 智能服装——信息技术的机遇和挑战	1
1.1.2 可穿戴计算——智能服装的计算平台	3
1.1.3 无线传感器网络——智能服装的信息感知和通信平台	3
1.1.4 信息融合——智能服装的决策平台	4
1.2 智能服装系统	5
1.2.1 硬件平台	5
1.2.2 通信网络平台	7
1.2.3 软件平台	8
1.2.4 材料和纺织等相关技术	9
1.3 无线传感器网络	10
1.3.1 发展现状与特点	10
1.3.2 相关研究内容和方法	11
1.4 多传感器的信息融合	13
1.4.1 产生背景与基本原理	13
1.4.2 相关研究内容	13
1.5 小结	15
参考文献	17
第 2 章 智能服装的体系结构	26
2.1 引言	26
2.2 智能服装体系结构的设计	26
2.2.1 体系结构	27
2.2.2 系统功能	28
2.2.3 面向生理信息融合的智能服装原型系统	30
2.3 智能服装软件平台及其优化	32
2.3.1 Pareto 多目标优化	33
2.3.2 智能服装分布式计算的多目标优化模型	34
2.3.3 任务分配调度优化的遗传算法设计	37

2.4	模拟结果分析	40
2.5	小结	43
	参考文献	44
第3章	可穿戴传感与检测系统	46
3.1	引言	46
3.2	可穿戴传感与检测系统的定义与分类	46
3.2.1	可穿戴生物医学传感器	47
3.2.2	人体运动姿态检测系统	47
3.2.3	人体周围环境监测系统	48
3.3	可穿戴传感与检测系统的特点	48
3.3.1	长期性	48
3.3.2	集成化	49
3.3.3	微型化	50
3.4	可穿戴心电检测	51
3.4.1	电极和导联	51
3.4.2	心电信号检测模型和分析	54
3.4.3	新型可穿戴心电电极	57
3.4.4	基于柔性机织电极的心电信号检测	60
3.5	可穿戴体温检测	69
3.5.1	基于智能数字化温度传感器的可穿戴体温检测	69
3.5.2	基于机织结构的柔性温度传感器	70
3.6	可穿戴人体运动检测	77
3.6.1	运动倾角传感器	77
3.6.2	运动传感器的部署	78
3.6.3	人体坐标定位	80
3.7	小结	82
	参考文献	82
第4章	智能服装嵌入式在线处理系统的设计和实现	85
4.1	引言	85
4.2	系统硬件设计	86
4.2.1	硬件总体设计	86
4.2.2	微控制器	86
4.2.3	存储器扩展模块	87
4.2.4	OLED 接口电路设计	88
4.2.5	无线远程通信模块的扩展	90

4.2.6	ZigBee 模块 CC2430 连接方案	95
4.2.7	其他外围电路模块	96
4.3	系统软件整体结构	97
4.4	嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$	97
4.4.1	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 简介	98
4.4.2	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的内核结构	99
4.4.3	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 在 LPC2212 平台上的移植	100
4.5	驱动程序设计	101
4.5.1	OLED 驱动程序	101
4.5.2	NAND-Flash 驱动程序	102
4.6	应用程序层的软件设计	103
4.6.1	系统监控任务	103
4.6.2	按键扫描任务	104
4.6.3	心电数据采集	105
4.6.4	体温数据采集	105
4.6.5	数据分析处理	106
4.6.6	OLED 显示任务	106
4.6.7	数据存储任务	106
4.7	智能服装无线数据传输	106
4.7.1	智能服装无线数据传输网络体系结构	107
4.7.2	自定义通信协议	109
4.7.3	GPRS 数据传输	110
4.7.4	短信收发	112
4.7.5	语音通信	113
4.7.6	GPS 数据的接收与处理	114
4.8	小结	114
	参考文献	115
第 5 章	智能服装的体域网络	117
5.1	引言	117
5.2	体域医学无线传感器网络	118
5.2.1	医学无线传感器网络与需求分析	118
5.2.2	基于 IEEE 802.15.4 的人体生理信号监测无线体域网的设计	121
5.3	网络性能仿真和评估	122
5.3.1	IG-WBASN 仿真系统	123
5.3.2	网络吞吐量分析	123

5.3.3	网络丢包率分析	125
5.3.4	网络延迟分析	126
5.3.5	网络可扩展性评估	127
5.3.6	协议参数对性能的影响	128
5.4	体域医学无线传感器网络的设计与实现	129
5.4.1	传感器节点设计	129
5.4.2	体域网中心节点设计	130
5.4.3	无线传输协议实现细节	130
5.5	体域传感器的自适应能耗优化	132
5.5.1	体域网能耗控制需求分析	132
5.5.2	设计方案	133
5.5.3	体域网能耗优化方案的具体实现	134
5.6	无线体域传感器网络的分布式计算性能优化	137
5.6.1	IG-WBASN 任务调度问题模型	137
5.6.2	基于遗传算法和模拟退火的任务调度算法	138
5.6.3	实验结果与分析	139
5.7	小结	143
	参考文献	143
第 6 章	智能服装的后台处理与分析系统	145
6.1	引言	145
6.2	后台总体设计	145
6.3	实时显示模块	147
6.3.1	信号波形显示	148
6.3.2	生理信号基本参数显示	148
6.4	数据通信模块	148
6.4.1	基于 TCP 的 VI 网络通信	148
6.4.2	串口通信	149
6.5	数据存储与回放模块	150
6.5.1	数据库访问包 LabSQL	150
6.5.2	LabVIEW 访问数据库	150
6.5.3	数据库存储	151
6.5.4	数据文本存储	152
6.5.5	数据回放模块	152
6.6	数据分析模块	153
6.6.1	运动心电信号消噪	153

6.6.2	心电信号波形检测与识别	157
6.6.3	常规心电数据的特征提取	159
6.6.4	自适应心电异常分析	160
6.6.5	基于模糊模式识别的智能服装心电异常诊断	163
6.7	小结	164
	参考文献	164
第 7 章	基于智能服装的情绪判别应用	167
7.1	引言	167
7.2	面向情绪判别的多源生理信号分析	167
7.2.1	多源生理信号关联分析	168
7.2.2	基于生理信号融合的情绪判别	171
7.3	多生理信息融合的情绪判别模型	172
7.3.1	多源信息融合算法	172
7.3.2	生理信号的特征选择	174
7.3.3	基于智能服装的情绪判别模型	175
7.4	实验数据采集和结果分析	176
7.4.1	情绪实验数据的采集	176
7.4.2	主观感受情绪调查表	177
7.4.3	特征参数的提取	178
7.4.4	特征分类与情绪判别	179
7.5	小结	179
	参考文献	180
第 8 章	嵌入智能服装的亚健康评估应用	182
8.1	引言	182
8.2	亚健康评估的需求分析和体系结构	184
8.2.1	亚健康评估系统的需求分析	184
8.2.2	嵌入智能服装的亚健康评估体系结构	184
8.3	基于支持向量机的心电特征融合分类	186
8.3.1	二类支持向量机	186
8.3.2	多类支持向量机	188
8.3.3	模糊支持向量机	189
8.3.4	基于主成分分析的特征集解相关	189
8.4	数据采集和结果分析	190
8.4.1	生理数据采集和亚健康评测数据库	190
8.4.2	工具包和样本集	191

8.4.3	分类器性能指标参数	191
8.4.4	MSVM 分类器性能分析	192
8.4.5	基于主成分分析的特征解相关	192
8.4.6	FSVM 分类器性能分析	193
8.5	小结	194
	参考文献	194
第 9 章	基于智能服装的人体运动风险评估应用	197
9.1	引言	197
9.2	基于 AHP-FCE 的风险评估模型	198
9.2.1	模糊综合评价	198
9.2.2	层次分析法	200
9.2.3	层次化模糊运动风险评估模型	200
9.3	基于 F ³ ERE 的运动风险评估实现	204
9.3.1	人体运动风险因素分析	204
9.3.2	因素风险度值的模糊计算	205
9.3.3	个性化的因素相对权重	205
9.4	运动风险评估实例	207
9.5	小结	210
	参考文献	210
第 10 章	基于智能服装的人体姿态检测应用	212
10.1	引言	212
10.2	基本原理	212
10.2.1	倾角传感器与姿态检测原理	212
10.2.2	RBF 神经网络算法	213
10.2.3	核函数 SVM 分类算法	214
10.3	穿戴式人体运动检测系统的框架	215
10.4	运动数据处理与分析	216
10.4.1	传感数据的读入	216
10.4.2	特征提取与规范化	216
10.5	结果与分析	217
10.6	后台监控模块的实现	219
10.7	小结	220
	参考文献	220
	缩略语表	222

第1章 绪 论

1.1 引 言

1.1.1 智能服装——信息技术的机遇和挑战

信息和纺织服装的结合由来已久^[1]。远在第一次工业革命时期,新型纺织业便在促进着信息技术的萌芽。1801年,Jacquard对织布机的设计进行了改进,使用了一系列打孔的纸卡片作为编织复杂图案的程序。Jacquard式织布机在许多方面触发了计算机设计的灵感。1820年,Babbage受它的启发,构想和设计了人类历史上第一台完全可编程计算机。Jacquard式织布机的出现被认为是现代计算机发展过程中重要的一步。现在人们通过将计算机程序“编织”到可穿戴的纺织面料中,从而将信息和纺织服装紧密结合起来。目前,智能服装或电子纺织(electronic textiles, e-textiles)^[2-7]日益得到许多国家,尤其是欧美国家的重视,它将给人类社会的许多方面带来革命性的影响。

就目前的研究现状来看,智能服装大体上可划分为以下两个范畴。

(1) 对服装材料进行改良,通过化学、物理手段改变纺织材料的结构,使之具备普通材料所不具有的功能^[8]。例如,以形状记忆材料织成的服装,可以根据外界温度的变化而自行调整织物结构,以使穿着者能够抵御冷热气候的侵袭;以储能纤维织成的服装能够辐射红外线,从而达到保暖的目的。

(2) 智能服装与信息技术紧密地交织在一起,将信息技术以不影响穿着舒适性和不被察觉的方式嵌入服装中,使之具有信息感知、计算和通信能力,满足各种应用需求^[9]。

本书着重研究智能服装的第二个范畴。人们认为真正的智能服装应该是一个复杂的信息载体。纺织、材料、服装与信息技术的成功结合使得智能服装的开发成为可能。

电子纺织和智能服装是相关的技术领域,同时也有区别。电子纺织目前具有两种形式——穿戴式和非穿戴式,分别具有不同的性能需求。前者与智能服装相同,如健康监护服^[10]、情绪衣、地图服装(map garment)^[11];后者有声音检测集束阵列织物(beamforming array)^[12]等。

智能服装以信息技术与服装的结合为出发点,采用材料、纺织、服装等领域的先进技术,将检测、处理、存储、通信、输入和输出等部件进行微型化、柔性化,并植入服装,在不影响服装穿着舒适性的前提下,实时采集信号,处理、存储和传输数据,向用户提供智能分析、决策支持和反馈控制,实现各种应用功能。

智能服装的发展将为信息技术带来巨大的机遇,原因有以下几点。

(1) 服装是最普遍、最统一的人机交互界面之一,它是人们最熟悉和最亲近的载体,它可以针对个人的尺寸、品位、经济状况进行裁剪,适应于不同的气候条件,因此服装可成为信息系统的天然载体和最佳接口。

(2) 纺织品也为信息系统的设计提供了最大的灵活性,从纤维、纱线、织物到制造技术等都具有广泛的选择范围。

(3) 织物和面料均具有很大的空间用以嵌入大量的传感器和处理器。

(4) 服装的尺寸能够容纳冗余系统以确保容错,获得系统的高可靠性。

但智能服装这一特殊的研究领域也存在巨大的挑战。从信息技术的角度来讲,智能服装研究当前面临的主要难题有以下几个。

(1) 系统复杂性。服装作为信息系统的载体和接口,需要容纳大量的异构系统模块和功能,系统复杂性高。

(2) 动态移动性。人体是动态的,传感器的位置、人体的姿态和系统所处的温湿度及电磁环境都在时刻变化,这使得信号采集分析、网络拓扑路由和无线信道的有效传输等面临着与以往不同的挑战。

(3) 适应多变性。信息技术已渗透到人们生活和工作的各个方面,一般需要人参与的应用都可以利用智能服装加以实现,这也对智能服装系统的通用性提出了很高的要求。而且人体既是智能服装系统的载体,也是主要的信息源和处理对象,人体本身存在着巨大的差异,这就要求智能服装具有很强的适应性。

(4) 环境严酷性。智能服装由于穿着时不可避免地拉扯撕拽而受应力作用,加之因环境而受到腐蚀作用,尤其是因洗涤而受到破坏,系统的容错性和抗毁性会遭受严重挑战,因此,需要在研究中着重考虑如何提高系统的可靠性。

(5) 信息多源性。出于智能服装自身的容载条件和应用需要,它将嵌入几十甚至上百个传感器节点来感知人体内外信息,这些感知信号组成了一个巨大的实时多源传感数据流。如何有效感知、处理和分析这一海量的多源流数据,从而形成有效的决策知识,也是智能服装面临的重要问题。

(6) 穿戴舒适性。由于加载了必要的电子器件、电源系统、电缆和信号传输线,智能服装的舒适性不可避免地会受到影响,因此,提高智能服装的穿戴舒适性成为一个独特的挑战。

(7) 能源受限性。由于人体会不断移动,所以智能服装无法使用持久电源供电,穿戴的舒适性要求尽可能采用功率小的电源供电,因此,低功耗及能源优化研究是智能服装重要的研究课题。

(8) 学科交叉性。智能服装的研究具有多学科交叉的特点,涉及信息、纺织、材料和微机电等相关技术领域,是传统的纺织服装技术与材料科学、结构机理、传感技术、先进的加工工艺、通信技术、人工智能和生物技术的有机结合。作为一个全新的领域,智能服装研究的出发点和方法学需要摸索。智能服装有相当多的问题需要解决,目前与智能服装最相关的信息技术包括嵌入式微系统设计开发、网络通信技术(尤其是

低功耗无线数据传输技术)、信号分析处理及决策技术,将分别为智能服装应用系统提供计算、通信和决策平台。

(9) 强调人性化。由于智能服装与穿着者全天候亲密无间地相伴,以人为本成为该研究的出发点和重要准则。从信息技术研究的角度来看,智能服装是一个复杂而全面的系统平台,几乎可以涵盖信息系统的所有方面,如何协调组织各种信息技术在这一特定领域的应用是一个难题。例如,在计算平台的研究中,要求系统进行微型化和柔性化,以提高智能服装的穿戴舒适性;在通信平台中要求低功耗,以降低电磁辐射,保护穿着者的安全;在信息处理分析中要着重研究人体生理信号的监测和识别。因此,智能服装的研究要遵循“以人文本”的指导思想,利用信息技术在微电子、软件开发、无线通信和智能信息分析等方面的最新进展,应对智能服装在复杂、多变、动态、多源信息、能源受限等方面提出的挑战,着重解决计算平台、网络传输和信息集成方法等具体问题,形成有效的决策信息,达到通用、灵活、适应性强、可靠性高和功耗低的系统性能。

智能服装目前还处于发展初期,却为人们的日常生活提供了丰富多彩的体验,在赋予服装新时尚的同时,也给予了常规纺织品远不能及的额外功能和智能,这无疑是未来纺织品发展的重要方向,并将成为人们日常生活的一部分。

1.1.2 可穿戴计算——智能服装的计算平台

信息技术的发展促成了一种崭新而独特的计算模式,即可穿戴计算(wearable computing)^[13],它在计算概念、人机关系、交互方式、功能和用途等诸多方面都不同于传统的固定和移动计算模式,这种计算模式强调以自然的穿戴形式提供的计算功能,弱化了机器的概念。计算系统不是以机器形式出现的,机器将最终从人们的视线中消失,人们体验到的只是服务。在这种新的计算模式下,以弱化“传统计算”为主要任务,且以增强人的能力和辅助人为目的。可穿戴计算使人机合一,这种新型的计算模式与传统计算模式最大的不同之处在于其载体不同,要求与人体密切、柔性、无隔阂和全天候地接触,服装便成为其天然的载体。因此,在可穿戴计算和智能服装的关系上,智能服装是可穿戴计算的最佳载体,可穿戴计算也为智能服装提供了信息处理的计算平台。

1.1.3 无线传感器网络——智能服装的信息感知和通信平台

21 世纪信息社会的三大支柱是计算、通信和传感器,无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)正是它们相结合的产物^[14]。近年来,微机电系统和低功耗高集成数字设备的发展,导致了低成本、低功耗、微型传感器节点的出现,这种微型传感器节点能完成数据采集、信息处理和传送的任务。无线传感器网络就是由一组传感器节点通过无线介质连接构成的无线网络,它采用 Ad Hoc 方式配置大量微型智能传感器节点,通过节点的协同工作来采集和处理网络覆盖区域的目标信息。无线传感器网

络不需要任何固定网络的支持,具有快速展开、抗毁性强等特点,引起了人们的广泛关注,无线传感器网络的应用前景十分诱人。可以说,无线传感器网络是信息感知和采集技术的一场革命,是 21 世纪最重要的技术之一。无线传感器网络的传统应用有军事、监控、应急、环境、防空等领域,新兴应用将涉及家用、企业管理、保健、交通等领域。可以预计,无线传感器网络将无处不在。无疑,人体也将是传感器网络的重要舞台,借助它,穿着者将大大增强对自身及周遭环境的感知能力,从而实现物理世界、计算世界与人类社会的连通。

1.1.4 信息融合——智能服装的决策平台

多传感器信息融合是人类或其他生物系统中普遍存在的一种基本功能。人类通过应用这一能力把来自人体各个传感器(眼、耳、鼻、四肢等)的信息(外物、声音、气味、触觉等)结合起来,并采用先验知识统计,理解周围环境和正在发生的事件。多传感器信息融合技术的基本原理就像人脑综合处理信息一样,充分利用多个传感器资源,通过对这些传感器及其观测信息的合理支配和使用,将多个传感器在时间和空间上的冗余或互补信息依据某种准则进行组合,以获取被观测对象的一致性解释或描述。数据融合的基本目标是通过数据优化组合导出更多有效信息,它的最终目的是利用多个传感器共同或联合操作的优势来提高多个传感器系统的有效性。近 20 年来,数据融合技术已广泛应用于军事与民用领域^[15-17]。军事领域应用包括海上监视、空-空和地-空防御、战场情报、监视和获取目标、战略预警和防御等。民用领域应用包括遥感、设备自动监视、医疗诊断、机器人技术、智能检测系统等^[18]。如前所述,嵌入服装中的传感器网络感知的是人体内外全方位的多源信息,基于信息融合的理论和方法,这些感知的信息才能真正有效地被处理分析,形成正确决策。因此,信息融合为智能服装提供处理多源传感器信息的手段和方法,并为智能服装提供决策平台。

如前所述,可穿戴计算、无线传感器网络和信息融合分别为智能服装提供了计算平台、感知和通信平台、决策平台,如图 1.1 所示。智能服装紧密围绕人体这一中心,形成一个独特的研究领域,具有十分重要的理论意义和应用前景。

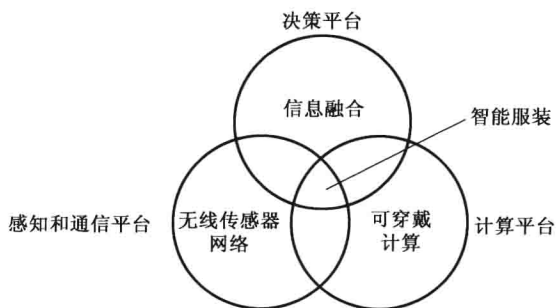


图 1.1 智能服装及相关研究领域

1.2 智能服装系统

对智能服装的研究热潮起源于 1996 年美国海军资助项目——Georgia Tech Wearable Motherboard (GTWM)^[3], 目的是用于作战伤亡护理, 它能准确、及时地监测穿着者的心率、呼吸、体温和其他生理指标, 又被称为智能医护衬衫。这种衬衫利用光纤探测枪伤, 利用特殊的传感器和互连线在作战环境下监护人体的生理信号。

虽然可穿戴系统的研究(著名的研究机构有美国卡内基梅隆大学和麻省理工学院^[1])早在 1991 就已开始了, 但是 GTWM 智能衬衫将智能纺织与计算融合, 将信息技术嵌入服装(事实上是“编织”入服装), 为真正意义上的可穿戴系统开创了一片新天地。随着研究的深入, 智能织物不仅限于军事应用, 而且在多个领域取得了广泛应用。这些应用包括监测外科手术患者的术后护理、高龄老年护理、新生儿的儿科护理、运动员的训练或比赛、航天飞行中的宇航员以及消防队员和执法人员的身體监测等。

智能服装系统可以分为硬件平台、通信网络平台和软件平台。

1.2.1 硬件平台

智能服装系统的硬件平台由嵌入服装的分布式处理单元、各种传感器、人机交互设备和电源系统组成。

1. 处理单元

随着电子系统的微型化, 原本大型复杂的集成电路被微型硅芯片代替, 电子装置的体积明显减小, 在服装中置入电子装置的能力不断提高, 电子装置将无需通过在衣服上缝小口袋之类的手段使其附在服装上, 而是把它们直接置入实际的服装面料中。目前微处理芯片的功能越来越强, 尺寸可以小到只有几平方毫米或更小^[1]。如在无线传感器节点 Mote 中使用的 Mica 的 ATMEL Atmega 8 bit 微处理器, 工作在 4 MHz, 具有 4 MIPS 的计算能力, 它还具有 128 KB Flash 程序空间和 4 KB SRAM, 且在内部集成了 8 通道 10 bit DAC 和 48 输入/输出端口^[19]。其他可用在可穿戴计算系统中的功能强大的处理芯片有 Intel PXA27x (14 mm×14 mm×1.5 mm) 和 TI MSP430 (4 mm×4 mm)。

2. 传感器

嵌入服装中的传感器一般可分为 3 类: 生理传感器、运动传感器和环境传感器。

生理传感器利用先进的信息和仪器设备制造技术, 将原本大型的医疗检测设备(如心电图 ECG、脑电图 EEG、肌电图 MEG 等)小型化、微型化, 便于携带和嵌入服装中, 采集人体各种生理信息, 如血氧、呼吸、脉搏、皮肤温度、血压等, 其他常用的生理传感器还有识别心音和肺音的声音传感器、汗腺排泄传感器、皮肤脱屑物传感器等。生理传感器的研究和开发应考虑能耗和信息分辨率的权衡^[20]。

运动传感器有加速度计、陀螺、倾角传感器等。例如, 感知人的动作的可穿戴加

速计(accelerometer)^[21],感知人体姿态、行为的“脊椎”型的加速计(spine accelerometer)和“豪猪”型的球形开关^[22],它们各有其使用场合。

环境传感器能感知光线、温度、压力、声音、图像和视频等,如何将其微型化以便嵌入衣物,不影响穿着,且具有耐久性、耐洗涤、耐拉伸等特性是研究的难题。可穿戴传感器还可以与材料和生物技术相结合,如用新型压电材料研制的传感器用以感知变形、声音,现已开发了手套原型感知手的运动^[4]。基于泡沫塑料的压力传感器用于检测呼吸频率,易于嵌入服装^[15]。目前还没有开展研究的可穿戴生物传感器,如DNA、血糖、血氧传感器等可以帮助诊断治疗糖尿病、心脏病等慢性疾病,也将在可穿戴计算领域被广泛应用,如嵌入救火服、井下作业服、战斗服中的化学传感器能检测各种化学物质,保护人体。

3. 人机交互设备

人机交互设备(Human Computer Interface, HCI)是目前可穿戴计算领域的研究热点和难点。智能服装需要新颖的交互模式,以满足穿着舒适性、移动性、隐蔽、不干扰人的其他活动、多媒体等性质。Infineon Technologies公司的MP3服装的输入设备采用缝制在衣袖中的键盘衬垫,单击输入设备——新型鼠标能满足可穿戴环境下的使用^[23]。另外,输入设备还可以利用声音、手势信号等特殊的输入方式,如FreeDigiter可以快速通过手势输入数字^[24]。输出设备主要有头戴式、手表式和眼镜式显示屏。可穿戴计算系统利用特殊的显示面料显示广告。为了不妨碍用户工作,以特殊的方式中断用户,进行事件或信息告知,也是研究的热点^[25]。

4. 电源系统

可穿戴系统传感器节点所需的电源系统近年来逐渐成为研究热点。除了传统的高效能电池外,还研究了如何收集人体能量、太阳能为系统供电等。可穿戴系统供电的方式可以分为分布式电池供电和集中式电池供电两种。可穿戴系统通常包括多电源系统,尚缺乏模型和模拟系统^[7]。

5. 模块接口协议

硬件模块间的数据通信接口需要确定通信接口协议和连接拓扑结构。为了抗干扰和提高带宽性能,需要采用数字传输。可选择的通用接口技术在智能服装中的适用性分析被归纳在表1.1中^[26]。

表 1.1 主要接口标准在智能服装中的适用性分析

类 型	优 点	缺 点
1-wire	简单	数据传输速率较低
I ² C	微控制器支持,4线接口(+、-、时钟、数据)	面向板内连接,距离有限,电磁干扰
SPI	微控制器支持,数据时钟线分离	附加设备选择线
异步串行总线(RS-232.CAN总线)	面向板间的连接,在噪声环境中较可靠	需要收发器
高速总线(USB、FireWire)	高数据传输率,支持高层协议	硬件复杂,需要电缆
并行	高带宽	专用连接,线路数量多、复杂,电磁干扰