

# 可穿戴计算

基于人体传感器网络的可穿戴系统建模与实现

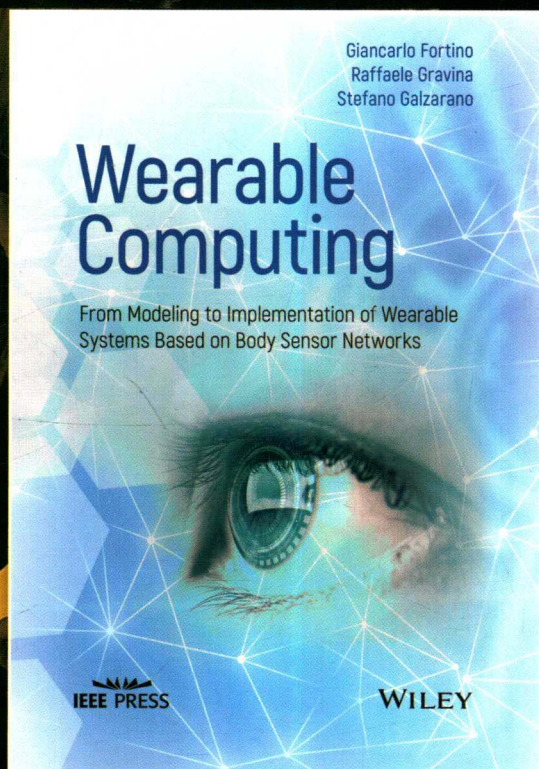
詹卡洛·福尔蒂诺 (Giancarlo Fortino)

[意] 拉法埃莱·格雷维纳 (Raffaele Gravina) 著 冀臻 孙玉洁 译

斯特凡诺·加尔扎拉诺 (Stefano Galzarano)

## Wearable Computing

From Modeling to Implementation of Wearable Systems Based on Body Sensor Networks



计 算 机 科 学 丛 书

# 可穿戴计算

基于人体传感器网络的可穿戴系统建模与实现

詹卡洛·福尔蒂诺 (Giancarlo Fortino)

[意] 拉法埃莱·格雷维纳 (Raffaele Gravina) 著 冀臻 孙玉洁 译

斯特凡诺·加尔扎拉诺 (Stefano Galzarano)

## Wearable Computing

From Modeling to Implementation of Wearable Systems Based on Body Sensor Networks

Giancarlo Fortino  
Raffaele Gravina  
Stefano Galzarano

## Wearable Computing

From Modeling to Implementation of Wearable  
Systems Based on Body Sensor Networks

IEEE PRESS

WILEY



机械工业出版社  
China Machine Press

## 图书在版编目 (CIP) 数据

可穿戴计算: 基于人体传感器网络的可穿戴系统建模与实现 / (意) 詹卡洛·福尔蒂诺 (Giancarlo Fortino) 等著; 冀臻, 孙玉洁译. —北京: 机械工业出版社, 2019.3  
(计算机科学丛书)

书名原文: Wearable Computing: From Modeling to Implementation of Wearable Systems Based on Body Sensor Networks

ISBN 978-7-111-62274-1

I. 可… II. ①詹… ②冀… ③孙… III. 便携式计算机 IV. TP368.33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 050789 号

本书版权登记号: 图字 01-2018-7387

Copyright © 2018 John Wiley & Sons, Inc.

All rights reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, entitled Wearable computing: from modeling to implementation of wearable systems based on body sensor networks, ISBN 9781118864579, by Giancarlo Fortino, Raffaele Gravina, Stefano Galzarano, Published by John Wiley & Sons. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

本书中文简体字版由约翰·威立父子公司授权机械工业出版社独家出版。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

本书封底贴有 Wiley 防伪标签, 无标签者不得销售。

本书关注基于人体传感器网络 (BSN) 的高级编程方法, 支持读者开发自己的 BSN 应用系统, 并涵盖 BSN 的新兴主题, 如协作 BSN、BSN 设计方法、自主 BSN、BSN 与普及环境的集成以及 BSN 与云计算的集成。本书描述了一个真实的 BSN 原型, 并包括更多实际应用的案例研究。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 杨宴蕾

责任校对: 殷虹

印刷: 北京市兆成印刷有限责任公司

版次: 2019 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 185mm × 260mm 1/16

印张: 13

书号: ISBN 978-7-111-62274-1

定价: 79.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88379833

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294

读者信箱: hzsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

## 内容简介

本书具体分为12章：

第1章介绍关于可穿戴传感器节点、网络架构/协议/标准以及应用/系统的最新情况

第2章分析用于编写BSN应用程序/系统的软件框架的最新情况

第3章从体系结构和编程的视角详细介绍SPINE框架

第4章讨论通过SPINE2进行面向任务的BSN应用程序编程

第5章探讨如何通过SPINE\*让BSN自主化

第6章介绍用于BSN系统编程的智能体范式的使用

第7章介绍能够使BSN相互交互以支持多用户BSN应用的方法和体系结构

第8章介绍用于实现BSN与基础架构WSN之间互通的网关解决方案

第9章提出一种基于Google App Engine集成BSN和云的人体云架构

第10章描述一种基于SPINE的BSN系统开发方法

第11章介绍几个通过SPINE开发的应用程序

第12章为使用SPINE框架的BSN程序员提供快速参考

相对而言，可穿戴计算是一个比较新的研发领域，它旨在为不同应用领域提供支持，这些领域包括：医疗保健、健身、社交互动、电子游戏和智慧工厂。可穿戴计算的实现基于可穿戴传感器设备（例如测量心率、温度或血氧的设备）、普通生活用品（如手表、皮带或鞋子）以及个人手持设备（如智能手机或平板电脑）。最近，由于人体传感器网络（BSN）的引入，可穿戴计算技术得以向前推进。这种由无线可穿戴传感器节点构成的网络通过功能更为强大的协调器（智能手机、平板电脑和个人电脑）来协调运行。

尤其是在不同的行业部门，BSN 支持非常广泛的应用场景。我们可以将它们分类为不同的领域：电子健康、电子应急、电子娱乐、电子运动、电子工厂和电子社交。

电子健康领域的应用包括从疾病的早期检测或预防、老年人家庭助理，到手术后创伤康复。电子应急领域的应用包括的 BSN 系统可以在由地震、山体滑坡、恐怖袭击等造成的大规模灾害中，为消防员或应急团队给予支持。电子娱乐领域通常是指基于 BSN 进行实时运动和手势识别的人机交互系统。电子运动领域的应用虽然关注的重点并非医疗，但是与电子健康领域相关。具体来说，该领域包括用于业余和专业运动员的个人电子健身应用，以及用于健身俱乐部和运动队的企业级系统，该系统可以为运动员提供先进的训练情况监测服务。电子工厂是一个新兴的，并且非常有前景的领域，该领域涉及工业过程管理和监控，以及工人安全和协作支持。最后，电子社交应用可以使用 BSN 技术来识别用户的情绪和认知状态，并以此启用与朋友和同事的新型社交互动形式。一个有趣的例子是，有一个涉及两个人的 BSN 之间交互的系统，该系统可以通过检测握手来监控其社交和情绪的互动情况。

虽然已经能够获得（至少从商业角度来看）BSN 的基本要素（传感器、协议和协调器），但开发 BSN 系统 / 应用程序仍然是一项复杂的任务，因为它需要一套设计方法，这套方法要基于有效且高效的编程框架。在本书中，将提供有效开发高效 BSN 系统 / 应用程序的编程方法。此外，我们还提供了新的技术，将基于 BSN 的可穿戴系统与更加通用的无线传感器网络系统和云计算集成起来。

本书以受 SPINE 项目 (<http://spine.deis.unical.it>) 支持的集中而广泛的基础和应用型研究活动为基础, 其作者是该项目的共同创始人、负责人和主要开发人员。因此, 本书可通过链接到 SPINE 网站来为读者提供开发可穿戴计算系统的软件和工具。

本书针对可穿戴计算领域的广大读者, 尤其是正在产生研究兴趣和动力的那些读者; 对于学术研究人员, 尤其是商业开发人员, 本书也能够提高他们的兴趣。读完本书后, 读者将会有以下收获:

- 了解可穿戴计算、无线 BSN、集成移动计算的可穿戴系统、无线网络以及云计算等方面的最新研究与开发动向。
- 通过学习先进技术和开放式研究问题获取未来的路线图。
- 收集解决关键问题的背景知识, 这些问题的解决方案将会推动下一代可穿戴系统的发展。
- 将本书作为相关行业技术专家的宝贵参考资料。
- 将本书作为准备从事该领域的研究工作, 或打算在相关行业工作的本科生或研究生的教材。

本书的主要内容如下:

- 可穿戴计算, 是指对发明、设计、构建或使用微型可穿戴式计算和感应设备的研究或实践。可穿戴式计算机可以附在衣服的里面、表面或内部, 甚至本身也可以是衣服。
- 无线传感器网络 (WSN), 是指微型设备的集合体, 这些设备具备感知、计算和无线通信能力, 能够在特定环境下, 以分布式方式对感兴趣的事物进行监视和控制, 并协同对紧急情况做出反应。WSN 应用涉及多个领域, 例如对环境和建筑物的监控、污染监测、农业、医疗保健、家庭自动化、能源管理、地震和火山喷发的监测等。
- 人体传感器网络 (BSN), 是指无线可穿戴生理传感器, 这些传感器应用在人的身体上, 用于医疗和非医疗目的。特别是它们允许使用者在日常生活中对身体动作和生理参数进行连续测量, 其中被测的生理参数包括心率、肌肉张力、皮肤电导率、呼吸速率和肺活量。
- 节点内信号处理, 是指一种应用于高级无线传感器平台的中央计算方法。通

过这种方法，数据处理过程直接在传感器节点上进行，从而对传感器获取的数据进行预处理，并对来自其他传感器节点的数据进行融合处理，尤其是还将执行诸如分类和决策等更高级的计算。

- 移动计算，是指人机交互，利用这些能力，计算机能够在正常使用期间四处移动。移动计算涉及移动通信、移动硬件和移动软件。通信问题包括自组织网络和基础架构网络以及通信属性、协议、数据格式和具体技术。硬件包括移动设备或设备组件。移动软件处理移动应用的特性和需求。
- 云计算，是指对通过网络（通常是 Internet）以服务形式交付的计算资源（硬件和软件）的使用。该名称的来源是，在系统图中，使用一个类似云朵形状的符号作为对其所包含的复杂基础架构的抽象。云计算利用用户数据、软件和计算提供远程服务。
- 基于平台的设计（PBD），是指一种嵌入式计算设计方法，由一系列设计 / 开发步骤组成，这些步骤从数字系统的初始高级描述，循序渐进地完成最终实现。每个步骤都是一个改进过程，可以将设计从高级描述转换成较为低级的描述，进而逐渐接近最后的实现。
- 软件框架，是指一种抽象，其中，可以通过用户代码有选择地改变提供通用功能的软件，从而提供针对不同应用定制的专用软件。软件框架是一种通用、可重复使用的软件平台，用于开发应用程序、产品和解决方案。软件框架包括支持程序、编译器、代码库、应用程序编程接口（API）以及工具集，工具集将所有不同的组件汇集在一起，以支持项目或解决方案的开发。
- 自主计算，是指一种用于应对计算系统管理中不断增长的复杂性的范式。它通过将一系列“自我特性”（自我配置、自我修复、自我优化和自我保护）引入复杂系统中来解决问题，通过这种方式，这样的系统能够在没有任何人为干预的情况下执行若干自我管理动作。
- 动作识别，旨在通过观察智能体的行为及其周围环境条件，来辨识一个或者多个智能体的动作或者意图。自 20 世纪 80 年代以来，这个研究领域已经引起几个计算机科学团体的关注，其优势在于能够为多种不同的应用提供个性化支持，以及加强与许多不同研究领域的联系，这些领域包括医疗、人机交互、社会学等。具体来说，我们的兴趣点主要是基于传感器的单用户和多用户动作识别，它通过将传感器网络的新兴领域与新颖的数据挖掘以及机器学习技术集成在一起，为各种各样的人类活动建模。

具体来说，本书分为 12 章：

- 第 1 章介绍关于可穿戴传感器节点、网络架构 / 协议 / 标准以及应用 / 系统的最新情况。
- 第 2 章分析最常见的用于编写 BSN 应用程序 / 系统的软件框架（CodeBlue、Titan、RehabSPOT 以及其他框架）的最新情况。
- 第 3 章从体系结构和编程的视角详细介绍 SPINE 框架 (<http://spine.deis.unical.it>)。
- 第 4 章讨论通过 SPINE2 进行面向任务的 BSN 应用程序编程。
- 第 5 章说明如何通过使用 SPINE\*（对 SPINE2 的扩展）让 BSN 自主化。
- 第 6 章介绍用于 BSN 系统编程的智能体范式的使用。具体来说，MAPS（SunSPOT 移动智能体平台）框架用于设计和实现基于智能体的 BSN。
- 第 7 章介绍能够使 BSN 彼此交互以支持多用户 BSN 应用的方法和体系结构。
- 第 8 章介绍用于实现 BSN 与基础架构 WSN 之间互通性（例如，建立室内传感器网络）的基于网关的解决方案。这将使 BSN 穿戴者能够与周围环境进行“看不见”的交互。
- 第 9 章提出了一个基于 Google App Engine 集成 BSN 和云的架构，称为人体云。现在至关重要的是，把在人体上所获得的或经过预处理的数据移动到云上，进行存储和非实时分析。
- 第 10 章描述一种基于 SPINE 的 BSN 系统开发方法，该方法从需求分析到实现和部署等方面对 BSN 系统开发人员进行指导。
- 第 11 章介绍几种通过 SPINE 开发并用在不同应用领域的应用程序（动作识别：识别人体姿势和动作；情感识别：识别压力和恐惧；握手检测：协同识别两个人的握手；康复：实时计算肘 / 膝的伸展角度）。
- 第 12 章为那些对使用 SPINE 框架开发应用程序感兴趣的 BSN 程序员提供快速有效的参考。本章为设置 SPINE 环境以及如何个性化和扩展框架本身提供必要的信息。



本书是许多研究人员、学者和业界专家直接和间接参与的成果。

衷心感谢 SPINE 团队的所有其他成员：Fabio Bellifemine、Roberta Giannantonio、Antonio Guerrieri、Roosbeh Jafari 和 Alessia Salmeri。也要感谢所有国际研究人员，以及通过研究、编程工作和新颖想法为 SPINE 项目做出贡献的内部校友，特别要提及 Andrea Caligiuri、Giuseppe Cristofaro、Philip Kuryloski、Vitali Loseu、Ville-Pekka Seppa、Edmund Seto、Marco Sgroi 和 Filippo Tempia。

本书的出版工作有一部分是在 INTER-IoT、研究和创新行动（由欧盟资助的地平线 2020 欧洲项目，Grant Agreement 687283）的框架下完成的。

感谢 Wiley 的出版人员对于本书出版的付出和支持。

希望本书能够成为学术研究人员，特别是从事可穿戴计算工作的商业开发人员的宝贵参考资料。

### 詹卡洛·福尔蒂诺

( Giancarlo Fortino )

意大利卡拉布里亚大学信息学、建模、电子和系统学系的计算机工程教授，他于2000年获得卡拉布里亚大学的计算机工程专业博士学位。他的研究兴趣包括基于智能体的计算、无线（人体）传感器网络和物联网，他通过国际期刊、会议和书籍发表了350多篇论文。他是意大利国家研究委员会ICAR研究所的高级研究员，是SenSysCal S.r.l.（隶属于卡拉布里亚大学，专注于创新物联网系统）的联合创始人兼首席执行官，还是武汉理工大学的兼职教授。他目前是IEEE SMCS BoG的成员，是IEEE SMCS意大利分会的主席。

### 拉法埃莱·格雷维纳

( Raffaele Gravina )

意大利卡拉布里亚大学信息学、建模、电子和系统学系的计算机工程助理教授，他于2012年获得卡拉布里亚大学的计算机与系统工程专业博士学位。他的研究兴趣包括无线人体传感器网络、智能健康和物联网技术，他通过国际期刊、会议和书籍发表了60多篇论文。他是SenSysCal S.r.l.的联合创始人兼医疗保健部门首席技术官。

### 斯特凡诺·加尔扎拉诺

( Stefano Galzarano )

于2014年获得意大利卡拉布里亚大学的计算机工程专业博士学位，目前是卡拉布里亚大学的外部研究合作者。他在期刊、会议和书籍上发表了多篇研究论文，他的研究兴趣集中于无线传感器网络的高级编程方法，特别是用于自主无线人体传感器网络的最新方法和框架。

# 目 录

Wearable Computing: From Modeling to Implementation of Wearable Systems Based on Body Sensor Networks

前言  
致谢

## 第 1 章 人体传感器网络 ..... 1

1.1 介绍	1
1.2 背景	1
1.3 典型的移动健康系统架构	4
1.4 传感器节点的硬件架构	5
1.5 通信媒介	6
1.6 功耗考虑	6
1.7 通信标准	7
1.8 网络拓扑	9
1.9 商用传感器节点平台	11
1.10 生理信号和传感器	13
1.11 BSN 应用领域	15
1.12 总结	17
参考文献	17

## 第 2 章 BSN 编程框架 ..... 20

2.1 介绍	20
2.2 开发 BSN 应用	20
2.2.1 特定于应用和平台的编程	21
2.2.2 自动代码生成	22
2.2.3 基于中间件的编程	22
2.2.4 编程方法的比较	24
2.3 编程抽象	25
2.4 BSN 框架需求	27
2.5 BSN 编程框架	30
2.5.1 Titan	30
2.5.2 CodeBlue	31
2.5.3 RehabSPOT	31
2.5.4 SPINE	31
2.5.5 SPINE2	31

2.5.6 C-SPINE	32
2.5.7 MAPS	32
2.5.8 DexterNet	32

2.6 总结	32
参考文献	33

## 第 3 章 节点环境内的信号处理 ..... 36

3.1 介绍	36
3.2 背景	36
3.3 动机和挑战	37
3.4 SPINE 框架	37
3.4.1 架构	38
3.4.2 程序设计视角	41
3.4.3 可选的 SPINE 模块	41
3.4.4 高级数据处理	41
3.4.5 多平台支持	43
3.4.6 总结	45
参考文献	45

## 第 4 章 BSN 中的面向任务编程 ..... 46

4.1 介绍	46
4.2 背景	46
4.3 动机和挑战	47
4.3.1 对独立于平台的中间件的需求	47
4.3.2 设计面向任务的框架面临的挑战	47
4.4 SPINE2 概述	48
4.5 SPINE2 中的面向任务编程	50
4.6 SPINE2 节点端中间件	52
4.7 SPINE2 协调器	54
4.8 SPINE2 通信协议	54
4.9 在 SPINE2 中开发应用程序	56

4.10 总结	57	7.6.1 BSN 间通信	93
参考文献	57	7.6.2 BSN 接近检测	94
<b>第 5 章 自主人体传感器网络</b>	<b>58</b>	7.6.3 BSN 服务发现	95
5.1 介绍	58	7.6.4 BSN 服务选择和激活	95
5.2 背景	58	7.7 总结	96
5.3 动机和挑战	59	参考文献	96
5.4 最新技术	59	<b>第 8 章 集成人体传感器网络与 楼宇网络</b>	<b>98</b>
5.5 SPINE-*: 基于任务的自主 架构	61	8.1 介绍	98
5.6 自主身体活动识别	64	8.2 背景	98
5.7 总结	68	8.2.1 楼宇传感器网络和系统	98
参考文献	68	8.2.2 楼宇管理框架	101
<b>第 6 章 面向智能体的人体传感器 网络</b>	<b>70</b>	8.3 动机和挑战	101
6.1 介绍	70	8.4 集成的层次	103
6.2 背景	70	8.5 最新技术: 描述与比较	104
6.2.1 面向智能体的计算和无线 传感器网络	70	8.6 一种基于智能体的集成网关	105
6.2.2 Sun SPOT (MAPS) 移动 智能体平台	72	8.7 应用场景	108
6.3 动机和挑战	74	8.8 总结	110
6.4 最新技术: 描述与比较	76	参考文献	110
6.5 BSN 领域基于智能体的建模和 实现	78	<b>第 9 章 集成可穿戴与云计算</b>	<b>112</b>
6.6 基于智能体的工程化 BSN 应用: 案例研究	79	9.1 介绍	112
6.7 总结	82	9.2 背景	112
参考文献	82	9.2.1 云计算	112
<b>第 7 章 协同人体传感器网络</b>	<b>85</b>	9.2.2 传感器流管理架构	113
7.1 介绍	85	9.3 动机和挑战	114
7.2 背景	85	9.3.1 BSN 挑战	115
7.3 动机和挑战	86	9.3.2 BSN/ 云计算集成的挑战	116
7.4 最新技术	88	9.4 云辅助 BSN 参考架构	117
7.5 协同 BSN 参考架构	89	9.4.1 传感器数据采集	118
7.6 C-SPINE: 一个 CBSN 架构	91	9.4.2 传感器数据管理	119
		9.4.3 可扩展的处理框架	119
		9.4.4 永久性存储	119
		9.4.5 决策过程	120
		9.4.6 开放标准和高级可视化	121
		9.4.7 安全	121
		9.5 最新技术: 描述与比较	122

9.5.1 WSN 与云计算的集成	122	11.3.1 相关工作	153
9.5.2 BSN 与云计算的集成	123	11.3.2 基于 SPINE 的活动识别系统	155
9.5.3 对比	124	11.4 计步器	157
9.6 人体云: 用于集群 BSN 应用的基于云的平台	126	11.4.1 相关工作	157
9.7 工程化人体云应用程序	128	11.4.2 基于 SPINE 的计步器	158
9.7.1 ECGaaS: 心脏监测	129	11.5 情绪识别	159
9.7.2 FEARaaS: 基本的恐惧检测	131	11.5.1 压力检测	159
9.7.3 REHABaaS: 远程康复	134	11.5.2 恐惧检测	162
9.7.4 ACTIVITYaaS: 集群活动监测	135	11.6 握手检测	166
9.8 总结	140	11.6.1 相关工作	166
参考文献	140	11.6.2 基于 SPINE 的握手检测系统	166
<b>第 10 章 BSN 系统开发方法</b>	<b>145</b>	11.7 身体康复	169
10.1 介绍	145	11.7.1 相关工作	169
10.2 背景	145	11.7.2 SPINE 运动康复助理	170
10.3 动机和挑战	147	11.8 总结	172
10.4 基于 SPINE 的设计方法	147	参考文献	172
10.4.1 模式驱动的应用级设计	148	<b>第 12 章 使用 SPINE</b>	<b>176</b>
10.4.2 系统参数	149	12.1 介绍	176
10.4.3 流程图	150	12.2 SPINE 1.x	176
10.5 总结	152	12.2.1 如何安装 SPINE 1.x	178
参考文献	152	12.2.2 如何使用 SPINE	180
<b>第 11 章 基于 SPINE 的人体传感器网络应用</b>	<b>153</b>	12.2.3 如何使用 SPINE1.3 运行简单的桌面应用程序	183
11.1 介绍	153	12.2.4 SPINE 日志功能	187
11.2 背景	153	12.3 SPINE2	188
11.3 身体活动识别	153	12.3.1 如何安装 SPINE2	190
		12.3.2 如何使用 SPINE2 API	191
		12.3.3 如何运行一个使用 SPINE2 的简单应用程序	194

# 人体传感器网络

## 1.1 介绍

本章概述无线人体传感器网络 (BSN) 领域的最新动态及技术。在介绍完这一新兴技术的动机和潜在应用后, 重点分析传感器节点的架构、通信技术和功耗问题。然后介绍和比较一些在无线传感器网络 (WSN) 领域最常用的可编程传感器平台, 尤其是那些用于对患者进行远程监控的传感器平台。本章还会分析相关重要人体信号, 以及用于记录这些信号的物理传感器。最后, 本章介绍在基于 BSN 的医疗保健监控系统的设计阶段必须考虑的硬件 / 软件特征。例如, 一些重要的特征包括传感器的耐磨性、生物相容性、功耗、安全性以及获取的生物物理信息的隐私性等。

## 1.2 背景

过去几年间, 移动应用在病人监护领域得到广泛应用, 从根本上改变了医疗保健的方式。在当今社会, 移动应用在预防疾病方面正在发挥越来越重要的作用, 尤其在诸如医疗保健成本方面的便利性是非常显著的。BSN 技术充分利用移动应用的优势, 让生命体征和身体活动 (动作和手势) 等信息能够传输到诸如智能手机或平板电脑这样的协调器节点<sup>[1, 2]</sup>。小型化和生产成本的降低正在产生具备高处理能力的极小尺寸的传感器和计算设备, 从而对无线传感器网络的发展起了很大的推动作用, 并对人体传感器网络产生了直接的积极影响。各种不同类型的信息和多样化的生物信号可以经过传感器融合技术<sup>[3]</sup>处理之后, 由传感器节点传输到协调器设备。

下页的图 1.1 显示一些可穿戴传感设备及其在身体上的典型位置。

1) 心电图 (ECG): ECG 用放置在皮肤上的电极来记录一段时间内心脏的活动 (包括心率)。

2) 血压计: 又称脉搏计, 是一种用于测量血压 (一般包括舒张压和收缩压) 的装置。

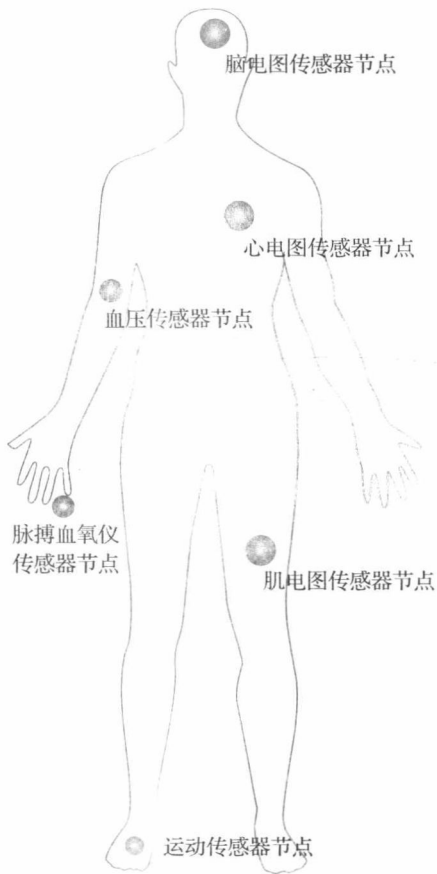


图 1.1 一些常见的可穿戴传感器及其在人体上的位置分布

3) 脉搏血氧仪: 血氧仪是一种能够对血液中的血红蛋白量进行无创测量的医疗设备。血红蛋白会与氧结合, 因此可以获得血液中含氧量的估计值。

4) 肌电图 (EMG): EMG 传感器用于监测肌肉活动, 它利用插入肌肉的针电极来获得较高的精度, 或者用简单的皮肤电极来获得更佳的实用性和无创性。它记录肌肉纤维在不同条件下的活动: 在放松状态下, 在自发性收缩达到最大程度时, 以及在保持平均收缩状态期间。

5) 脑电图 (EEG): EEG 传感器使用放置在头皮上的电极来监测大脑活动, 捕捉不同类型的脑电波。

6) 运动惯性传感器 (例如, 加速度计和陀螺仪) 监视人体动作, 甚至姿势。

BSN 系统通常具有多项硬件和软件方面的特征:

1) 互操作性: 必须确保能够通过不同的标准 (例如, 蓝牙和 ZigBee) 进行数据

的连续传输，以促进信息的交换，并确保设备之间的交互。此外，它还应该提供与传感器节点数量和 BSN 工作负荷相关的足够的可伸缩性。

2) 系统设备：传感器必须具有较低的复杂度、体积小、重量轻、节能、易于使用且可重新配置的特性。另外，病人生物信号的存储、检索、可视化和分析必须便利。

3) 设备和系统级别的安全性：必须特别关注对这些敏感数据的安全传输和授权访问。

4) 隐私：如果应用的目的“超出”了医疗目的，BSN 可被视为对个人自由的“威胁”。社会对这些系统的接受程度是其更广泛传播的关键。

5) 可靠性：整个系统在硬件、网络和软件方面必须可靠。可靠性直接影响监控质量，因为（在最坏的情况下）未能观察并且 / 或者未能成功通知“关键风险事件”对患者来说可能是致命的。由于对通信、功耗的限制和要求，传统网络领域中使用的可靠性技术不再简单地适用于 BSN 领域，在设计和实施阶段，都必须认真考虑这一点。

6) 传感器数据的验证和准确性：硬件约束可能影响所采集的数据的质量，而这会制约传感器设备；有线和无线连接并不总是可靠的；环境干扰和供电的有限性也会影响这个方面。这些因素会导致传输数据的不一致，甚至可能在数据的解释过程中导致严重问题。所有从传感器节点传输到协调器的数据都要在硬件或软件中经过充分“验证”，并尝试找出系统的“关键点”，这一点非常重要。

7) 数据一致性：对于具有数量众多且不同类型传感器的大规模 BSN，单个生物物理现象可能显得有些“支离破碎”，并且在单个信号中，只有一部分可能被检测到。这会导致信息的一致性问题的，必须通过适当的同步策略、数据融合技术<sup>[3]</sup>以及 / 或者数据访问中的互斥等方式来解决。

8) 干扰：BSN 中使用的无线链路应该尽量减少干扰问题，并且使传感器节点能够与无线电频率范围内可用的其他网络设备共存，而不会相互干扰。

9) 生物相容性：可穿戴传感器和皮肤电极必须具备生物相容性和稳定性，因为它们可能会在使用者身上不中断地连续工作很长一段时间。

除了硬件和软件方面的特征之外，我们还将重点介绍其他一些方面，它们可能会促进 BSN 系统的广泛传播及其开发活动：

1) 成本：用户期望所用设备能够具备较高的性能，同时具有较低的健康监测成本。



2) 不同级别的监测: 用户可能需要不同级别的监测, 例如, 控制缺血性心脏病或在行动过程中跌倒的风险。根据不同的工作模式, 设备供电的水平也会随之变化。

3) 无创且易用的设备: 设备必须是可穿戴、轻便和无创伤的。它们不应该妨碍用户的日常活动; 其操作对于用户来讲应该是“透明的”, 用户应该不需要知道监控任务的细节。

4) 性能的持续性: 传感器必须经过校准, 而且即便 BSN 停止工作并且多次重启, 它们也应该提供持续的测量。无线链路应尽可能健壮, 并能够在不同(嘈杂)的工作环境中正确运行。

### 1.3 典型的移动健康系统架构

图 1.2 显示一个基于 BSN 技术的移动健康系统的典型架构。它通常由三个不同的层组成, 各层之间通过无线(有时是有线)通道进行通信<sup>[4]</sup>。

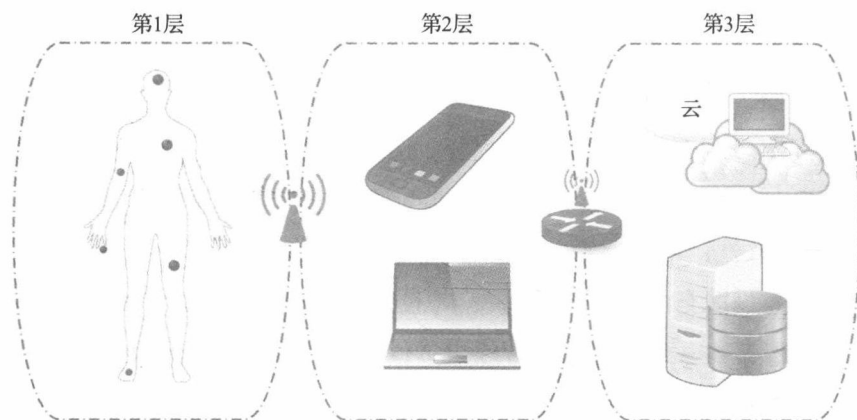


图 1.2 一个三层的分层 BSN 架构: ①人体传感器层, ②个人局域网层, ③全球网络层

第 1 层代表人体传感器层, 包括组成 BSN 的一组无线可穿戴医疗传感器节点。每个节点都能够检测、采样并处理一个或多个生理信号。例如, 运动传感器能够辨别姿势、手势和动作; 心电图 (ECG) 传感器可用于监测心脏活动; 脑电图 (EEG) 传感器用于监测脑电活动等等。

第 2 层是个人局域网层, 包含运行最终用户应用程序的个人协调设备 (通常是智能手机或平板电脑, 也可能是一台 PC)。该层负责一系列功能, 提供与 BSN、用户以及上一层的透明接口。与 BSN 的接口提供配置和管理网络的功能, 例如传感器的