

## 体域网 BSN 的研究进展及面临的挑战

官继兵<sup>1,2,3</sup> 王睿<sup>1</sup> 崔莉<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(中国科学院计算技术研究所 北京 100190)

<sup>2</sup>(燕山大学计算机科学与工程系 河北秦皇岛 066004)

<sup>3</sup>(中国科学院研究生院 北京 100190)

(gongjibing@ict.ac.cn)

### Research Advances and Challenges of Body Sensor Network (BSN)

Gong Jibing<sup>1,2,3</sup>, Wang Rui<sup>1</sup>, and Cui Li<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

<sup>2</sup>(Department of Computer Science and Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei 066004)

<sup>3</sup>(Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

**Abstract** As one branch of WSN and important part of the Internet of Things, Body Sensor Network (BSN) is utilized to improve people's Healthcare and Medicine by pervasive computing, intelligent information processing, new network technologies and services. So, it is paid more and more attention to by researchers and enterprises. Existing survey researches have given full discussion on the advances and challenges of BSN's biosensor, wireless communication architecture and data security. However, focused on in this paper are BSN's data fusion, context-aware sensing, and system technologies from perspectives of technology challenges, research advance and development trend. It introduces basic concepts and research situation of BSN are introduced. Besides, BSN's system architecture, representative applications and research projects are introduced. At the same time, future research and application prospects of BSN are given. Some practical problems about restriction on BSN research and development are also presented. The contributions are to propose the BSN architecture, analyze the challenges of BSN, and point out the practical problems restricting BSN's development. Through studying abundant references and designing effective introduction structure, the hot and key scientific issues about BSN are given clearly and thus helps other researchers, especially beginners, to know BSN's situation well. At last, although lots of challenges still exist, the developing trend of BSN will be that multi-techniques are integrated to achieve intelligence, effectiveness and usability of it. And, BSN will become an inevitable choice for future healthcare monitoring service.

**Key words** body sensor network (BSN); information fusion; context-aware sensing; system technologies of BSN; Internet of things

**摘要** 作为 WSN 的分支和物联网的重要组成部分,BSN 通过应用泛在计算、智能信息处理和新型网络化等技术来提高人民医疗保健的水平,并因此日益受到研究人员和企业的关注.已有的研究综述分别在 BSN 的生物传感器、无线通信架构和数据安全等方面给出了充分讨论.将着重在数据融合、情景感知

收稿日期:2009-12-11;修回日期:2010-03-25

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划重点项目(2006BAI08B01-02);国家“九七三”重点基础研究发展计划基金项目(2006CB303000);国家“八六三”高技术研究发展计划基金项目(2007AA01Z2A9);中国科学院“低成本全民健康工程”专项基金项目;北京市自然科学基金项目(4092045)

和系统技术这 3 个方面总结 BSN 领域的技术挑战、研究现状和发展趋势,并给出了 BSN 基本概念和研究状况分析,讨论了 BSN 系统架构、代表性应用及项目研究,阐述了 BSN 未来研究展望和应用前景,提出了限制 BSN 发展的实际问题.虽然 BSN 还面临诸多挑战,但必然会朝着多种技术相结合的智能化方向发展,并成为未来医疗健康监护的必然选择.

**关键词** 体域网;信息融合;情景感知;BSN 系统技术;物联网

**中图分类号** TP393

## 0 引言

作为无线传感器网络(wireless sensor networks, WSN)<sup>[1-4]</sup>的一个分支<sup>[5]</sup>和在生物医疗等领域内的应用<sup>[6]</sup>,体域网(body sensor network, BSN)是一种重要的公众应用网络,并在远程医疗保健、特殊人群监护和社区医疗等服务领域有着巨大的应用意义和需求,并日渐成为研究和应用的热点.首先,随着全世界老龄化人口的不断增加,由于医疗资源(预算支出、医生、护士和病床等)相对不足,使得医疗保健系统的发展成为全球需求<sup>[7]</sup>.其次,中国作为 13 亿人口的大国,对于能够切实解决广大社区(特别是偏远山区)看病难、看病贵的 BSN 技术更是需求迫切.此外,传统的医疗方法多为病发后治疗,不能很好地作到预防和实时诊疗,而 BSN 代表的新技术则能通过对已有生理参数数据的分类学习、对实时信号或数据进行分析从而对发病进行预警,或在发病时采取及时的报警,并将发病过程中重要的生理信息保存下来,以供后续的诊断治疗.

BSN 技术不仅用于医疗保健、健康恢复和助老

助残方面,应用的领域还可扩展到娱乐业(如动漫产业、舞蹈设计和训练)<sup>[8-9]</sup>、体育运动(如击剑教学模拟及分析)<sup>[10]</sup>、其他工业(如汽车发动机和机床的状态监控及故障检测),甚至是军事领域(如战士生理状态监控及救助)<sup>[11]</sup>和社会公共领域(如大规模突发事件的监控和心理救助等)<sup>[12]</sup>.

当前,BSN 仍处在初级发展阶段,多数研究都集中在建立系统架构和服务平台上<sup>[13]</sup>,仍面临诸多关键技术挑战,如图 1 所示.在用于减少冗余并获得特征和决策的数据融合方面,包括轻量级数据融合算法的设计及实现<sup>[14]</sup>和生理信号的实时处理<sup>[15]</sup>等;在用于提高识别精度和实现自动感知的情景感知方面,包括上下文计算、环境感知及监控<sup>[16]</sup>和特征提取及降维技术等;在用于防止入侵的数据安全和隐私数据保护方面,包括数据安全协议、数据加密算法设计及隐私保护机制等;在用于搭建 BSN 应用的系统技术方面,包括低能耗的无线通信<sup>[17]</sup>、身体上及身体周围的无线传输<sup>[5]</sup>、体上传感器节点的可穿戴性<sup>[15,17]</sup>、传感器(特别是植入体内)的尺寸大小及低能耗问题<sup>[16,18-19]</sup>等.这些关键技术都是构建完整 BSN 系统所必须涉及到的,不仅有研究价值,还具有重要的实际应用价值.

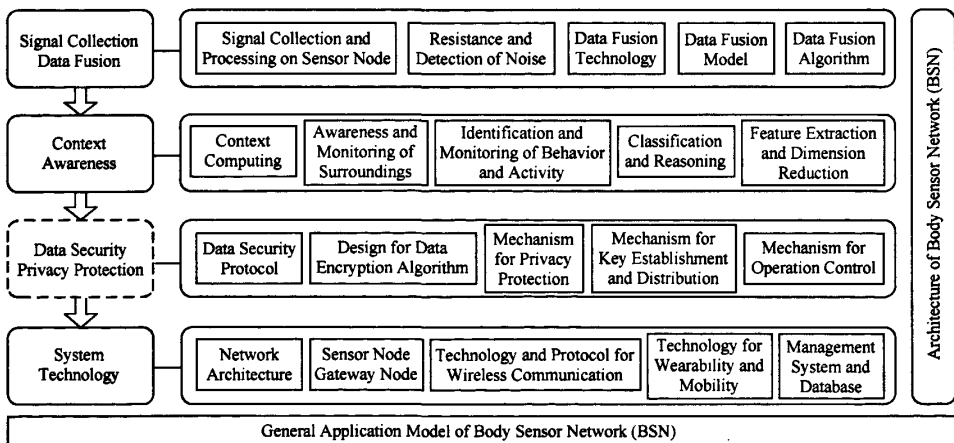


Fig. 1 Overview of Key technologies in BSN.

图 1 BSN 关键技术点概况

已有的研究综述分别就 BSN 的生物传感器设计和自动感知<sup>[20]</sup>、无线通信架构<sup>[5]</sup>、情景感知<sup>[21]</sup>、医疗保健领域的发展趋势<sup>[12]</sup>、数据安全<sup>[22]</sup>和无缝系统集成技术<sup>[16]</sup>给出了充分讨论。本文将着重在数据融合、情景感知和系统技术方面总结 BSN 领域的技术挑战、最新进展和发展趋势,还就 BSN 系统架构展开讨论。

## 1 BSN 概念与研究状况分析

### 1.1 体域网的概念

体域网(wireless body sensor network, WBSN 或 BSN)是基于无线传感器网络(WSN)的<sup>[13]</sup>,是人身上的生理参数收集传感器或移植到人体内的生物传感器共同形成的一个无线网络<sup>[23]</sup>,它不仅是一种新的普适医疗保健、疾病监控和预防的解决方案,还是物联网(Internet of things)<sup>[24]</sup>的重要感知及组成部分。其目的是提供一个集成硬件、软件和无线通信技术的泛在计算平台,并为普适的健康医疗监控系统的未来发展提供必备的条件。它特别强调可穿戴或可植入生物传感器的尺寸大小及它们之间的低能耗无线通信。这些传感器节点能够采集身体重要的生理信

号(如温度、血糖,血压和心电信号等)、人体活动或动作信号以及人体所在环境信息,处理这些信号/信息并将它们传输到身体外部附近的本地基站<sup>[18]</sup>。BSN 还有其他的称呼,分别是生物医疗传感器网络(biomedical sensor network)<sup>[25]</sup>和无线体域网(wireless body area sensor network, WBASN 或 BAN)<sup>[22]</sup>。

根据相对于人体所在位置可将 BSN 中传感器节点分为 3 类:1. 可植入体内的传感器节点,包括可植入的生物传感器和可吸入的传感器(如摄像药丸)<sup>[18,26]</sup>;2. 可穿戴在身体上的传感器节点,如葡萄糖传感器、非入侵血压传感器、血氧饱和度传感器和温度传感器等<sup>[6,8,26-28]</sup>;3. 在身体周围并距离身体很(较)近的用于识别人体活动或行为的周围环境节点<sup>[20,29]</sup>。在以上分类的基础上,根据传感器节点的监控/检测目标,可将 BSN 网络分为:1. 仅包含第 1 类传感器节点的植入式 BSN 网络(implanted BSN)<sup>[18]</sup>;2. 仅包含第 2 类传感器节点的可穿戴式 BSN(wearable BSN)<sup>[6,8,26-27,30-34]</sup>;3. 以上 3 类传感器节点任意组合的混合式 BSN(hybrid BSN)<sup>[29,31,35]</sup>。图 2 示意了 BSN 中所包含的传感器节点及其所在人体上(内)的大致位置:

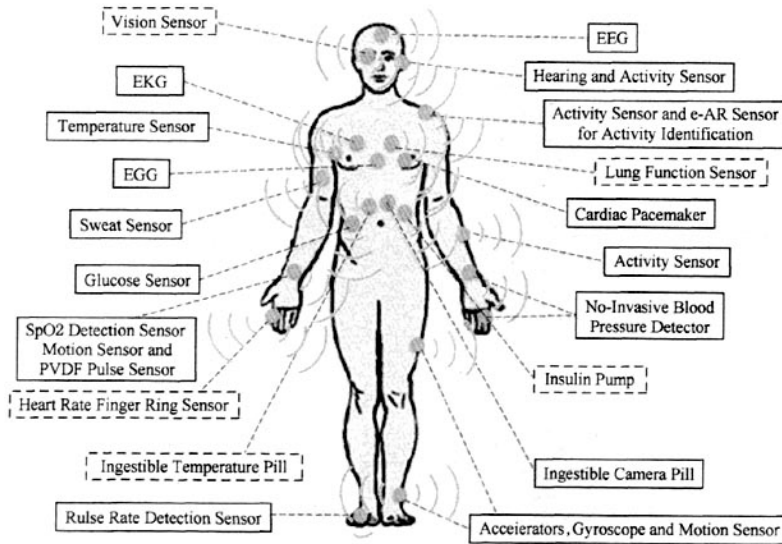


Fig. 2 Appropriate distribution of sensors in BSN.

图 2 BSN 中传感器节点示意图

BSN 中传感器节点(或设备)所要监控的人体(生理)信号分为 3 类:1. 连续型时变生理信号,一般为各种波形居多,如肌电图<sup>[6]</sup>和脉搏波<sup>[36]</sup>等,对应的传感器(设备)包括脑电图扫描仪<sup>[26]</sup>、视觉传感器、听

觉传感器<sup>[26]</sup>、心动电流仪<sup>[37]</sup>、心电图仪<sup>[30,33,38-39]</sup>、PVDF 压电脉象传感器<sup>[36]</sup>、心脏起搏器<sup>[26]</sup>和吸入式药丸摄像机<sup>[26]</sup>;2. 离散型时变生理信号,如体温<sup>[7]</sup>、血压<sup>[27]</sup>和血氧饱和度<sup>[40]</sup>等生理参数值,对应的传感

器(设备)包括吸入式药丸温度测量仪<sup>[11]</sup>、胰岛素泵<sup>[26]</sup>、肺功能传感器<sup>[41]</sup>、葡萄糖检测传感器<sup>[26]</sup>、出汗量检测传感器<sup>[41]</sup>、指环式心率感知器<sup>[42]</sup>、血氧饱和度传感器<sup>[22,43]</sup>、体温传感器<sup>[44]</sup>、非入侵血压监测仪<sup>[17,27]</sup>和脉搏率检测传感器<sup>[22]</sup>;3. 人体活动及动作信号,用于监控病人的日常活动或人体活动,对应的传感器(设备)包括人体活动传感器<sup>[20,31]</sup>、加速度传感器<sup>[6,8,26,31,45]</sup>、动作传感器<sup>[30]</sup>、耳戴式活动识别传感器<sup>[35]</sup>和螺旋仪<sup>[8,45]</sup>。

## 1.2 BSN 研究状况及分析

由于 BSN 的重要性及对未来医疗保健和助老助残等社会问题的深远影响,越来越多的人投入到 BSN 的研究中。其中,英国帝国理工大学对 BSN 中情景感知和周围环境感知的研究<sup>[32,35,38,46]</sup>;美国加州大学和伯克利大学等重点对 BSN 可穿戴性、可扩展性和资源优化等进行研究<sup>[7,9,17,29-30,37,47]</sup>;中国香港中文大学等基于多种通信方式构建混合的 BSN,并对移动 BSN 中跟踪和能量感知 MAC 进行了相关研究<sup>[27,41-42,48]</sup>;韩国信息通信大学等从低功耗和通信的角度构建新型的 BSN 系统<sup>[6,49-51]</sup>;新加坡国立大学等对 BSN 的架构展开了深入研究<sup>[5,39]</sup>;中国科学院计算技术研究所构建了新型的 BSN 平台并对 BSN 中数据融合技术展开了研究<sup>[14,36]</sup>;中国科学院自动化研究所研究 BSN 对人体活动的监控<sup>[31,52]</sup>;此外,中国台湾<sup>[53-54]</sup>、东南大学<sup>[55]</sup>以及世界的其他地方如加拿大<sup>[11,56]</sup>、德国<sup>[28,57]</sup>、爱尔兰<sup>[8]</sup>、巴西<sup>[58]</sup>、比利时<sup>[59]</sup>和瑞士<sup>[34]</sup>等国家在 BSN 的自适应性和可调节性、中间件、信号处理算法、健康及活动监控和网络可靠性等方面的研究也取得了进展。

本文分别从研究角度(关键技术)和应用领域对 BSN 研究状况进行了统计分析(分别如图 3 和图 4 所

示),所用参考文献是从 IEEE 检索、SpringLink 检索以及 ACM 检索获得,日期从 2004 年到 2009 年。

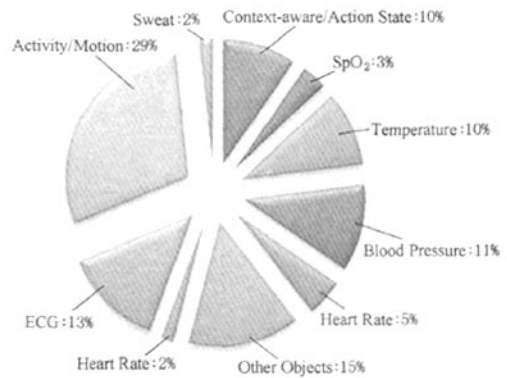


Fig. 4 Statistics of monitoring objects in BSN.

图 4 BSN 应用领域(监控目标)统计

从图 3 可以看出,不同的研究实体对于设计和实现新型的、供自己研究和使用的 BSN 研究平台给予了更多关注。BSN 的关键技术研究热点依次是数据融合技术、情景感知技术和 BSN 能量控制。由于基于加速度计的传感器易用性和实现方便,图 4 说明 BSN 用于“人体活动/动作”领域的研究比例最大,“心电”、“血压”和“体温/温度”的应用也与此类似。特别指出,图 4 中“人体活动/动作”和“环境感知及行为状态”的应用领域比例大,这与图 3 中“新型 BSN”和“情景感知”技术热点是一致的,并从不同侧面说明了同一个事实:研究者们提出新的 BSN 系统架构将人体活动/动作和“环境感知及行为状态”相结合,实现情景感知和智能识别,进而达到长期的实时病人监控和医疗保健的目的。

## 2 BSN 系统架构的代表性应用及研究项目

### 2.1 BSN 系统架构

BSN 应用系统或服务平台都会有自己的系统架构,目前多采用先分布式采集或感知、再集中式处理的方式。考虑到 BSN 的网络规模较小,并且每对传感器节点之间的通信也不是必须的,因此分布式采集部分经常采用星形拓扑结构<sup>[60]</sup>。为了更好地概括和总结各种已有的 BSN 系统架构,通过兼容性地整合这些结构<sup>[6,13,25-26,30-31,54,61-63]</sup>,本文给出一种全面的架构形式,如图 5 所示。该图表示了 BSN 的物理模型,不仅兼顾到已有不同种类 BSN 系统架构,还更好地突出了 BSN 系统的特点。

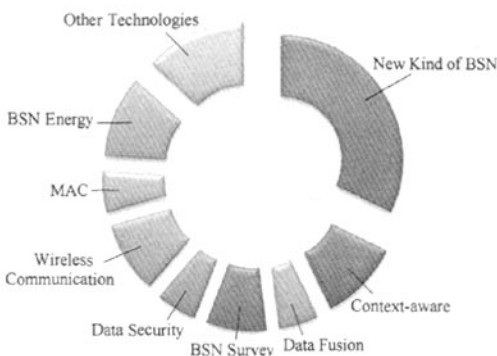


Fig. 3 Statistics of key technologies in BSN.

图 3 BSN 研究角度(关键技术)统计

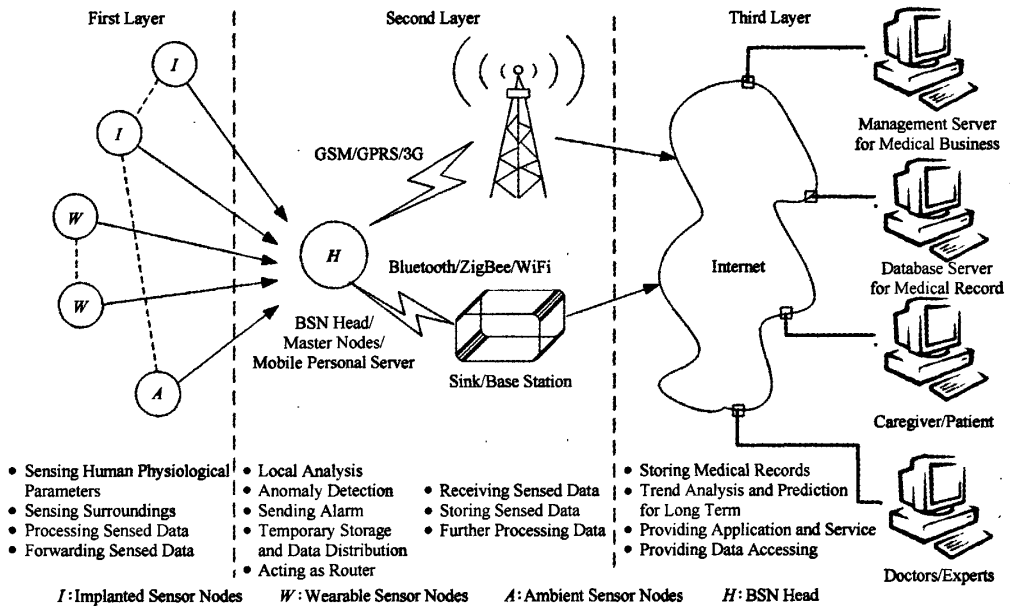


Fig. 5 Architecture of BSN.

图 5 BSN 系统架构

图 5 所示 BSN 的系统架构包含 3 个层次<sup>[64]</sup>：第 1 层包含一组具有检测功能的传感器节点或设备，由于受资源限制，它们的功能经过了简化设计。在医疗领域，传感器能够测量和处理人体的生理信号或所在环境信息，然后将这些信息传送给外部控制节点或头节点，还可以接收外部命令以触发动作。在非医疗领域，可穿戴的设备（如耳机、MP3 播放器和游戏控制器等）都可以包含进来。第 2 层是具有完全功能设计的移动个人服务器（mobile personal sever）<sup>[64]</sup>或 BSN 头节点（BSN Head）<sup>[54]</sup>或主节点（master nodes）<sup>[60]</sup>，进一步还包括 Sink 节点或基站（base station）。它负责和外部网络进行通信，并临时存储从第 1 层收集上来的数据。它以低能耗的方式管理各个传感器节点或设备，接收和分析感知数据以及执行规定的用户程序<sup>[65]</sup>。基站可以是资源相对丰富的移动电话，能够上网的 PDA 或其他手持设备<sup>[10]</sup>。一般情况下，当 BSN 网络节点个数不多时，图 5 所示架构中“H 节点”部分与 Sink/Base Station 部分是合二为一的，只有在 BSN 网络节点较多的情况下会存在多个 BSN 头节点，此时就需要一个 Sink 节点或基站来负责收集由这些头节点发送的信息，并作为路由器与外部网络进行连接。第 3 层是包括提供各种应用服务的远程服务器的外部网络，例如，医疗服务器保留注册用户的电子医疗记录，并

向这些用户、医务人员和护理人员提供相应服务。

人们通常认为 BSN 中只需有基站和各节点通信就可以了。但在一个拥有较多传感器节点的混合 BSN 中，由于其网络架构同 WSN 类似，就要有 BSN Head 来集合从所管辖节点所搜集到的生理参数或周围环境数据，并用 Sink 节点来和各 BSN Head 进行通信和收集数据。这种情况下，Sink 节点也可以看作是一个基站，它具有全局性。BSN Head 可以是普通的 BSN 节点，也可以是便携式的带有充分计算能力的 PDA 或 Cell phone，仅具有局部性，能够进行本地数据分析、检测病人生理状况的异常，执行相关的安全任务以及及时发出警报。它还可以充当节点和服务器之间的路由器，连接短距离网络（Bluetooth/ZigBee/WiFi）和远程网络（GSM/GPRS/3G）<sup>[54]</sup>。

### 2.2 BSN 代表性应用及研究项目

体域网(BSN)有着广阔的应用前景,应用领域包括医疗保健、身体康复、助残助老、军事、体育运动、目击者救护、娱乐业,建筑业和工业等<sup>[6,10,28,66]</sup>。以下仅列出其中几个代表性应用为例,包括医疗健康监测<sup>[54]</sup>、身体活动运动监控<sup>[29-31,67-68]</sup>、人体活动姿态识别<sup>[35,45,52]</sup>、老人生命体征家庭监控<sup>[39]</sup>、H-shirt 实时测量血压<sup>[27,33]</sup>、结合体温和加速度传感器检查心脏状态<sup>[6]</sup>、交互式舞蹈表演<sup>[8-9]</sup>、Celerita 可穿戴

无线交互舞蹈表演系统<sup>[8-9]</sup>、婴儿监控<sup>[9]</sup>、战士生理状态监控及救助<sup>[11]</sup>、医院/家庭术后病人康复监控<sup>[32]</sup>、智能识别和辅助身体康复<sup>[30]</sup>、用于非入侵健康监测的“Smart Clothes”<sup>[34]</sup>、真实环境下防跌倒监测<sup>[45]</sup>和提供普适监控的“智能家庭”<sup>[69]</sup>等等。

代表性的 BSN 研究项目包括用于中医脉象信息收集及分析的无线网络远程医疗系统<sup>[14,36]</sup>、医疗护理的 CodeBlue 项目<sup>[70]</sup>、远程健康保健的 MobiHealth<sup>[71]</sup>、制造可穿戴传感器的 MIThril 项目<sup>[72]</sup>、“智能衣服”研究的欧洲 MyHeart 项目<sup>[34]</sup>和 ANGEL 项目<sup>[57]</sup>等等。其中,中医脉象信息收集及分析无线网络远程医疗系统<sup>[14,36]</sup>通过搭建一种新的 BSN 网络,应用无线通信技术,轻量级的数据融合模型以及一系列处理、分析和识别算法,能够采集中医脉象信息、抽取脉搏波波形特征点,智能处理和分析特征点信息,并给出诊断结果(如高血压和冠心病等)。

### 3 BSN 面临的技术挑战、研究现状和发展趋势

#### 3.1 信号采集及数据融合

由于在实际应用中 BSN 将会产生大量的用于处理、传递和访问的生理参数数据,传感器节点如何操作这些数据就成了一个基本问题。数据融合技术的意义在于不仅能够提高传感器节点处理数据过程中的反应速度,如果考虑这些数据之间的协同操作,数据融合还能够减少数据流量,进而提高节点(特别是植入式生物节点)和 BSN 网络生命周期,还可以过滤噪声成分并对所监控对象作出预测和推理。

信息/数据融合(information/data fusion)是一个多级的、多方面的、将来自于多个数据源(或多个传感器)的数据进行处理的过程。它能够获得比单独一个传感器更高的准确率、更有效和更易理解的推论。同时,它又是一个包含将来自不同节点数据进行联合处理的方法和工具的架构。关于数据融合模型(如 JDL 模型和 DFD 模型)及其分类的专门讨论详见参考文献[73]。

##### 3.1.1 技术概述

无论是在研究还是应用上,BSN 都是 WSN 的一个分支或子集,因此很多 WSN 中的数据融合技术同样适用于 BSN<sup>[5]</sup>。WSN 中已有的数据融合方法、模型及其分类都为 BSN 中数据融合的研究提供了重要的参考和理论依据。BSN 中数据融合技术/方法包括 3 个方面<sup>[73]</sup>:推理方法、估计方法和特征映

射方法。推理方法常被应用在决策融合中,基于对周围情况的感知所获得的知识来采取决策,包括贝叶斯推理、D-F 推理、模糊逻辑、神经网络、溯因推理和语义数据融合;从估计方法角度,BSN 中数据融合技术包括极大似然估计、最大后验估计、最小二乘估计、移动平均滤波、卡尔曼滤波和粒子滤波;对有些 BSN 应用而言,直接使用原始的未经处理的传感器数据是不可行的。这种情况下可以将表示环境各方面的特征抽取出来,通过评估和推理的融合方法产生一个特征映射,常用的特征映射类型为 Occupancy Grid 和 Network Scans<sup>[73]</sup>。

##### 3.1.2 面临挑战

BSN 应用系统在收集和和处理生理数据时具有以下特点<sup>[14]</sup>:1. 人体的不规则呼吸或突然的动作而产生低信噪比的不规则信号;2. 由于节点的通信、计算和存储能力受限于硬件资源,从而不能进行复杂的处理;3. 在电子和信息化社会中,人们所处环境中常包含其他的电子仪器和设备,对无线通信造成严重干扰,从而使 BSN 系统的噪音增大。BSN 中数据融合技术面临以下挑战<sup>[14,36,52,73]</sup>:

1) 节点信号处理。这里的“信号处理”含义包括信号分析、抗干扰,信号分离以及滤波等技术。这些技术有两种实现方式:节点上实现和基站(服务器或 PDA)上实现。前者是值得特别提倡的,其优点是具有实时性,减少了不必要的数据流量和传输过程中能量的消耗。但由于节点资源受限,在节点上实现将面临要求低算法复杂度的挑战,而在资源丰富的服务器(基站或 PDA)上实现则能够处理较复杂的信号,还可以进行分类学习或模式识别,信号处理效果会更好,而面临挑战则是如何减少网内数据流量以及传输过程中的能量消耗,并尽可能降低由服务器存在而增加的网络成本。

2) 生理感知数据特征提取。生理感知数据特征提取是从 BSN 采集到的感知数据(如 ECG 和 EEG)中找到具有生理意义或代表状态的特征点,如人体脉搏波中的主峰峰值点和重搏前波峰值点等<sup>[14]</sup>,因此设计和实现满足具体应用的特征提取算法成为 BSN 数据融合的又一个挑战。其困难在于:(1)由于人体自身活动及生理因素(如呼吸或心跳)而使感知设备产生无法避免的噪音。(2)BSN 系统所在的家庭或医院环境中存在大量的电器或电子设备,会对 BSN 系统中的感知设备产生干扰。这些因素都会导致在 BSN 医疗或监控过程中所采集到信号质量差,从而大大增加了提取特征点的难度。

3) 轻量级数据融合算法. 同 WSN 一样, BSN 中传感器节点中的资源(包括存储能力、计算能力、无线通信能力和能量等)往往也是受限制的,因此要构造可穿戴的、简单易用和低成本的 BSN 应用系统,就必须考虑内嵌式轻量级的数据融合算法的设计和实现,以解决有限资源处理大量传感器所产生数据的问题. 特别是对于植入体内的传感器,轻量级算法所减少的能量消耗的意义更加明显,甚至关系到 BSN 应用系统可行性和可用性. 此外,BSN 中数据传输比数据处理的能量消耗要大得多,因此通过传感器节点上的轻量级数据融合算法使得待传输的数据量变为最小就能够从根本上降低整个系统的能耗<sup>[50]</sup>.

### 3.1.3 研究现状及发展趋势

BSN 数据融合的研究取得了丰硕的成果,在数据融合技术方面,除了已有的分段聚合逼近(PAA)、整合平均值(IAV)和主成分分析法(PCA)等方法可以抽取有效的特征外<sup>[74]</sup>,常见的数据约简分类技术还包括高斯混合模型、贝叶斯网络和 Markov 模型(HMM)<sup>[20]</sup>. 已有的传感网络数据融合技术依赖于分类器的推理能力<sup>[43]</sup>,往往先采用一些数据融合技术对多传感器产生的数据进行融合或者(预)处理,然后再应用贝叶斯网络对感知的数据进行分类,或者采用 Kalman 滤波和 Markov 模型来识别一连串的动作或活动<sup>[52,75]</sup>. 有的 BSN 应用则先进行降维操作(如主成分分析),然后再进一步使用前面的分类技术<sup>[35]</sup>;在数据融合模型方面,一般应用比较成熟的 WSN/BSN 数据融合模型<sup>[73]</sup>对多个源产生的数据进行融合. 针对 BSN 应用系统具体的需求,从系统任务或输入输出的角度建立数据融合架构,为保证获得实时的数据融合解决方案,需要在架构中给出一系列轻量级的数据融合算法,所提出的数据融合架构不仅要能够更精确地描述该 BSN 应用系统中数据特点及其处理过程,还要清晰地体现出轻量级数据融合算法和不同数据融合过程之间的关系<sup>[14]</sup>. 源信号分离(source separation)也可以看作是一种数据融合方式,为达到分离信号数据的目的,先应用一些线性或非线性的“盲数据”<sup>[76]</sup>分离模型或工具(“盲数据”是指感知信号中混入了未知的其他感知数据或噪音),然后用数据融合技术评估该模型,最后计算对比并输出被分离的有用数据,被分离的数据可以用于进一步的处理<sup>[77]</sup>,如将 ICA 模型(independent component analysis)作为数据分离的工具,对跑步和呼吸活动数据进行分离,并用极大似然

模型来估计该模型<sup>[78]</sup>. 在大多数 BSN 应用中,使用多个传感器来推断信号特征和收集这些信号所在的情景环境信息,应用 ICA 技术能明显地简化随后的分类处理过程<sup>[78]</sup>. 此外,数据融合技术还被用在数据安全中,如在组安全 BSN(security group BSN)中它的角色很重要,不但节省了带宽和能量,还可以识别网络中可疑的活动和潜在的攻击,从而提高网络安全性<sup>[10]</sup>. 多传感器融合还在临床相关事件起到重要的作用,如通过抽取生理及其相关情景信息来准确识别临床病情的变化<sup>[78]</sup>.

BSN 中数据融合技术主要发展趋势为:1. 设计和实现能够在节点上运行的轻量级数据融合算法<sup>[35]</sup>,此类算法可以进行维数约简、特征选择或直接的信号处理. 2. 发展协作式数据融合策略,不能依赖单个节点进行数据融合任务,通过协作的方式达到减少数据传输量和提高识别精度的目的. 比如在监控人体多个生理参数(如体温、心率和脑电波)的 BSN 应用中,正常状态下每个节点以低采样率和低功耗进行工作,而一旦某个传感器发现异常(如心率超过某个阈值),则通知其他节点调高采样率和功率以进行更全面细致的检测,确保及时发现疾病. 3. 提高周围环境传感器鲁棒性学习能力<sup>[35]</sup>,在轻量级算法的基础上,结合与 Sink 节点或基站的交互,对周围环境传感器的学习结果进行比对和校正,进而调整学习模型的参数,以确保 BSN 鲁棒性的学习能力.

### 3.2 情景感知

由于情景感知能够解释来自于 BSN 中的物理信号和生物化学信号,对外界不同事件作出决策以及调整自身的监控行为,因此已成为在实现健康保健监控 BSN 应用系统中不可或缺的一部分<sup>[21,68]</sup>. BSN 中情景感知的重要性还在于将用户生理活动和周围环境信息结合起来以形成被感知的信号,这种情景信息可以被用在普适医疗、特别是用于精确病情检测<sup>[21]</sup>. 最后,情景感知能让 BSN 中的一些数据处理以低能耗方式在本地的资源受限的传感器节点上执行,从而让整个网络的能耗和通信带宽最小化<sup>[68]</sup>.

情景是能够描述当前实体情况的任何信息,这里,实体可以是一个人、地方或者是物理对象. 情景感知(context-aware sensing, CAS)能被定义为感知或监测用户的内部或外部状态<sup>[21]</sup>. 情景感知计算(context aware computing, CAC)描述了一个可穿戴可移动的、传感器能够感知到用户状态和周围环境,并在任务中利用这些信息来改变其行为的计算<sup>[79]</sup>. 情景信息可以是周围传感器获得的信息<sup>[20]</sup>,

也可以是身体活动信息,还可以是血压、周围环境温度、体温或大脑活动等<sup>[26]</sup>。情景感知技术就是利用这些情景信息来检测或监控目标生理参数(如 ECG)是否出现异常<sup>[26]</sup>。

### 3.2.1 技术概述

对 BSN 中情景信息进行推理主要包含 3 种方法<sup>[21]</sup>:神经网络、贝叶斯网络和 Markov 模型。神经网络作为一个稳定的分簇算法被用于 BSN 的情景感知中,原因在于它能够表现良好却不需要对输入数据进行监管训练,但会在底层传感器产生一些无可避免的噪音。自组织映射(self-organising maps, SOM)<sup>[80]</sup>是属于神经网络方法的一种,除了具有人工神经网络的特性外,它还提供了使数据可视化和分簇的高效方法<sup>[68]</sup>,该特性决定它不但能够保持连续工作,与其他方法结合则更有利于日常活动识别<sup>[29,31,45,67]</sup>;贝叶斯网络被用来将 BSN 中感知数据的情景进行分类,因此是一个十分合适的用于情景感知的推理方法。贝叶斯网络遵循图中各项点之间严格独立的假设,当独立假设成立的情况下它能获得最高的准确率;为了能够在真实世界的 BSN 中应用情景感知技术,需要一个持续时间段而非某个确切时间点上的连续识别,由此将隐 Markov 模型(HMMs)引入到监督层以获得情景转换的模型。由于系统能够识别一连串的动作或活动,因此应用隐 Markov 模型是能够对人的行为实现精确建模的情景识别技术。

### 3.2.2 面临挑战

BSN 中情景感知仍然面临着一些分类学习及推理、情景感知架构、环境感知及监控等方面的技术挑战,具体表现如下<sup>[21]</sup>。

1. 分类学习及推理。这包含 3 个方面的挑战:1)在平滑约束和自适应学习方面,人类活动包括自然持续的身体动作,如果在情景中也引入这种平滑约束特性,那么对人体自然行为识别精度将会变得更高<sup>[81]</sup>。此外,既然实际的 BSN 应用需要长期的连续时间工作,这就要求系统具有自适应性,不仅能够学习新出现的情景信息,而且还能忘记以前发生过并已经学习的情景信息,这样它就不必重新学习<sup>[21]</sup>。2)在分类器设计方面,传统的传感器融合技术主要依赖于分类器的推理能力,如用于活动识别的朴素贝叶斯分类器、用于日常活动跟踪的分级 Markov 模型和用于识别心率紊乱的基于贝叶斯框架的人工神经网络分类器<sup>[43]</sup>。因此分类器设计是至关重要的,其目的是基于所有感知数据来产生最优的结果,

而不考虑分类结果的相关性,从而更好地对目标进行分类。3)在训练数据方面,训练数据是分类器准确率的重要保障,因此也是在情景感知中的另一个挑战。一方面在很多场景中,要求病人进行一些特定活动以获得足够大训练数据集是不现实的。另一方面,大量使用传感器来获得真实的训练数据将会面临实际的部署困难<sup>[46]</sup>。

2. 情景感知架构建立。用于医疗健康监控的 BSN 系统,特别是真实的健康医疗的 BSN 应用将会涉及到设计、开发、部署和管理上下文信息及各项系统任务的需求。这要从架构的角度进行考虑,必须设计一个通用合理的情景感知架构来解决以上问题。建立这样的情景感知架构的挑战在于<sup>[82]</sup>:1)架构中需要考虑的因素多且关系复杂,这些因素包括情景感知系统的模拟、安装、调试、维护以及加入新感知设备或节点,移除旧的感知设备或节点,更新系统组件等;2)合理的情景感知架构不仅要能够高效地获取上下文信息,还要有效地将它们进行融合和推理。

3. SOM 的不稳定性和训练数据依赖性。自组织映射(SOM)的不稳定性表现在它是基于神经元输入属性或特征的快照进行匹配的,准确性极易受特征变化的影响。在一些情景应用中,每个活动可以包含一系列的子活动,受其影响,这种情况下的结果活动模式不再受到本地神经元簇的限制,它往往会跨过大片区域的映射而和其他活动的神经元产生重叠,这将对 SOM 总的识别精度起到相反的影响效果<sup>[61]</sup>。SOM 依赖性表现在受过训练映射的神经元活动模式高度依赖训练数据的分布<sup>[83]</sup>。如果输入空间的某个区域包含频繁激励,它会被 SOM 大片区域所表示,并因此会出现依赖于训练数据中类的记录个数的偏差。由于动态和静态混合激励的存在,因此控制分类识别率是困难的,类误匹配也无法避免<sup>[68]</sup>。

### 3.2.3 研究现状及发展趋势

情景感知在 BSN 应用中所处的位置非常重要,因此其研究成果也比较丰富。代表性的应用大致分为 3 类:第 1 类是在已有的 BSN 系统基础上,通过整合已有的情景感知技术或提出算法来构建新的具有情景感知能力的 BSN 系统。如基于情景感知 QRS 检测的 BSN 系统<sup>[26]</sup>和用于家庭护理和健康监护的非入侵情景感知 BSN 系统<sup>[84]</sup>等。第 2 类是应用情景感知技术识别人体活动,进而实现医院或家庭中对病人护理监控目的。如通过佩戴加速传感器识别病人的活动<sup>[31,85-87]</sup>,提出基于隐 Markov 的行为模



型方法以高效监控家庭中病人的日常活动<sup>[46]</sup>,以及通过将耳戴式活动识别传感器(e-AR)和基于 Blob 的周围环境传感器相结合,以提高活动识别精度<sup>[35]</sup>等。在此类应用中都需要建立用于识别的模型架构<sup>[88]</sup>、定义活动模式和设计学习算法<sup>[89-90]</sup>。第 3 类是直接或间接应用自组织映射(SOM)技术来实现情景感知功能的 BSN 应用,如将 SOM 与 K 近邻方法相结合对不同的人体活动进行分类<sup>[89]</sup>;基于 SOM 提出了对复杂病症进行分类的方法以检测病人心率不齐<sup>[86]</sup>、建立自适应机制的 SOM 架构以解决 BSN 中类分离和节点扩展问题<sup>[68]</sup>,以及建立基于时空自组织映射(ST-SOM)的分布式推理模型<sup>[91]</sup>等。

当前情景感知技术一般应用加速度传感器来识别病人的日常活动并提供情景信息<sup>[26]</sup>,理由是考虑到生理参数不断发生变化是任何用于监控的 BSN 系统的必然现象,而加速度传感器却能够显示当病人出现异常情况(如心率上升)时活动状态,使得 BSN 通过情景感知技术能够更精确地判断病人的“正常”和“非正常”信息<sup>[32]</sup>。总之,考虑将周围环境和可穿戴感知设备相结合,使得开发一个高效的能够监控家庭中日常活动的可视化架构才有可能<sup>[46]</sup>。

BSN 中情景感知技术主要发展趋势为:1. 研究灵活配置和自适应的统一情景感知模型或架构以指导 BSN 设计,该架构能够提供统一的接口和服务。具体的 BSN 应用只需提供情景相关参数,选择恰当的分类识别技术,最后即可获得决策级的反馈结果。2. 情景感知将是分布式协作的进一步发展,是对情景感知计算的充分表达,因此情景感知未来的另一个发展趋势是和无线通信技术、数据融合技术以及数据安全技术更好地结合在一起,构造出功能强且安全的 BSN 应用系统。3. 自动情景感知也是一个发展趋势,因为传统的获得用户情景信息的方法既费时又不可靠,通过专业设备和试验条件下的临床观察又不能准确反映病人的行为,这些问题都促进了对自动情景识别系统的需求和发展<sup>[68]</sup>。

### 3.3 系统技术

#### 3.3.1 网络架构

BSN 网络架构(network architecture)是本文上述系统架构的重要组成部分,它是系统中通信设备(如传感器节点)的逻辑组织。一般的网络架构包括星形拓扑、网状拓扑,环形拓扑和总线拓扑。网络架构的选择受系统特性的影响,并能够影响系统的很多性能,如能耗、流量负载处理能力、节点失败鲁

棒性和 MAC 协议选择等<sup>[5]</sup>。选择 BSN 网络架构的目的就是为了更好地保证无线通信低能耗及可靠性数据传输,架构的选择需要考虑以下因素<sup>[5]</sup>:能量消耗、传输延迟、用户间干涉、节点失败和移动性。

一般情况下,星形拓扑网络结构对应一跳无线通信方式,而网状拓扑结构则对应着多跳无线通信方式。传统的 BSN 网络拓扑一般采用简单的星形拓扑结构,但也会存在网状或混合拓扑结构的情况,比如当节点远离身体或被身体挡住时就需要多跳的通信方式,在(较)大规模 BSN 网络中也是如此。网络架构的选择依据不是单一的。从实际应用的角度而言,一般情况下 BSN 网络的规模和复杂程度是架构选择的主要依据。节点少功能简单的 BSN 应用会首选一跳无线通信方式的星形拓扑架构<sup>[17,92-93]</sup>。也有根据 BSN 应用目标选择来星形拓扑结构的情况,如用于监控病人健康为目标的 BSN 生理数据采集系统<sup>[7]</sup>、基于超带宽通信的医疗保健监控 BSN 应用架构<sup>[67]</sup>和用于实现低能耗或轻量级的无线通信协议的 BSN 系统<sup>[18,94]</sup>。相对而言,对于节点较多或大规模 BSN 网络就要选择网状拓扑结构或混合拓扑结构<sup>[5,59]</sup>。

带有网状或混合拓扑结构的 BSN 网络会具有更多的研究价值,在这种网络中有很多工作要做,一方面,在多跳的 BSN 网络中提出概率连接模型,而不使用圆形覆盖模型考虑无线通信连接问题<sup>[59]</sup>。此外,在多跳通信架构中每两个实体间可能会有多个通信链路,因此网状拓扑结构可提高系统的可靠性<sup>[6]</sup>。另一方面,网状或混合拓扑结构对应的多跳通信方式还便于将可穿戴传感器和周围传感器相结合,再利用分布式推理的方法或策略实现智能识别和监控<sup>[91]</sup>,多跳无线通信另一个作用是还能够构建针对 BSN 网络的控制系统<sup>[53]</sup>。

#### 3.3.2 传感器节点和网关

BSN 网络具有很强的异质(或异构)性<sup>[78]</sup>,所包含的几乎都是不同种类的,完成某个具体感知功能的传感器节点。BSN 中传感器节点一般由各类传感器、处理器、内存,收发器和能量单元构成<sup>[23]</sup>,其基本功能包括生理信号检测、信号处理和无线通信<sup>[13]</sup>,并具有能量低、内存受限,计算能力低和通信速率低的限制<sup>[23]</sup>。生物传感器被植入人体用于健康监控、诊断或者成为人工器官,当其所在环境出现生理上的变化时它可以检测、记录和传输这些变化信息<sup>[18]</sup>。BSN 传感器节点的无线电辐射及其相应能耗必须保证降低到最小程度,以避免对人体产生潜在

的危害.而对于植入体内的生物传感器节点,其体积还必须保证很小,因此生物传感器节点设计是BSN在医疗保健应用中的挑战之一<sup>[43]</sup>,其内容包括天线设计、无线电接口设计、收发器设计、转发器设计以及超低能耗设计.难点在于传感器节点大小及其低能耗设计<sup>[18]</sup>.

目前已有许多不同用途和功能的传感器节点,如用于测量温度和脉搏率的传感器<sup>[7]</sup>、感知脉搏压力的PVDF压阻式脉象传感器<sup>[36]</sup>、监控人体动作的活动传感器<sup>[30]</sup>、报告人体运动方向的三维加速度和陀螺仪传感器<sup>[67]</sup>、基于超宽带通信协议的超低能耗传感器<sup>[19]</sup>、超紧密可扩展的Eco节点<sup>[9]</sup>和可穿戴的生理信号传感器节点<sup>[40]</sup>等.针对以上节点设计中所面临的技术挑战,可以从节点的电子电气特性以及功能最优化设计等方面考虑,还可以考虑到增加电池寿命来应对植入体内的传感器节点长期工作(一般为10~15年),而不需要更换电池的能量消耗问题<sup>[93]</sup>.另一个考虑是设计低功率低电压,高集成度和高性能的转发器(transmitter)<sup>[95]</sup>来应对以上传感器节点低能耗的挑战.此外,面对植入式节点能量消耗必须减少到100  $\mu$ W的需求,无线电接口也是一个挑战<sup>[19]</sup>,一个好的无线电接口及其优化策略的设计也能很好地促进传感器节点操作上下低能耗的性能<sup>[95]</sup>.

考虑到BSN实际应用,天线设计是其中一个重要问题<sup>[46]</sup>,是BSN医疗保健系统中可靠和高能效无线通信链路的一个决定性因素,还是迷你型植入体内的生物传感器进行长期监控的保证,天线设计具有挑战性的原因在于天线体积必须要小、低能耗和高能效,并且还不能受到身体的影响<sup>[96]</sup>.BSN应用中需要的可穿戴天线要应该尽可能体积小和扁平<sup>[96]</sup>,而体积小的天线却难以使用较低的频率,因此有的天线被设计成紧贴在电路板上围绕的环形线状<sup>[7]</sup>,或者是迷你化的平面压缩天线结构<sup>[97]</sup>.还有人专门比较BSN中不同类型的天线在人体各部位性能表现,以此说明天线与其所处的人体位置也有很大关系<sup>[96]</sup>.

作为BSN系统重要组成部分,网关(gateway)也是一种节点,主要用来以多种接入方式(如USB线缆、TP双绞线,无线通信和Bluetooth等)将感知数据转发或传递到外部有线网络、无线网络或互联网中.在图5系统架构中,BSN Head, Sink节点或Base Station都可充当网关.对于大多数BSN网络而言,网关与一般传感器节点不同之处在于它只用

来收集数据,而不进行数据采集,因此网关节点不包含采集模块,但包含两个通信模块,一个是与一般传感器节点通信的无线模块(wireless module),另一个就是连接外部网络的通信模块,例如,在无线中医远程医疗BSN系统<sup>[36]</sup>中, Sink节点通过无线收集由传感器节点发来的人体脉搏波数据,同时又将这些生理数据通过USB线缆导入PC机中,以供进一步的诊断或远程医疗.

### 3.3.3 无线通信技术

常见的BSN无线通信技术包括CC10000<sup>[98]</sup>、无线射频(RF)<sup>[27-28]</sup>、Bluetooth<sup>[99]</sup>、IEEE 802.15.4 (ZigBee)<sup>[100]</sup>和红外线通信(IrDa)<sup>[101]</sup>,此外还有超宽带(Ultra WideBand, UWB)<sup>[102]</sup>和无线USB<sup>[16]</sup>,而体上通信(on-body communication)<sup>[94]</sup>和体内通信(intra-body communication, IBC)<sup>[101]</sup>则是新兴的人体生物信道通信技术.在同一个BSN网络中,可以根据具体应用来使用一种或多种通信技术<sup>[27]</sup>.此外,涉及BSN中的无线通信技术也称作医疗信息通信技术(medical information and communication technology, medical ICT)<sup>[12,102]</sup>.

在选择公开的BSN无线通信技术时,ZigBee<sup>[6,30-31,33,40,93]</sup>最受青睐,原因在于其低速率(最大数据传输率为250 Kbps)和低功耗的特性,同时也是新出现的工业应用标准,不但可以满足智能健康监控传感器的需求,在家庭自动化、工业控制和个人医疗保健也极具应用潜力<sup>[16]</sup>.Bluetooth<sup>[34,103]</sup>和Ultra Wideband (UWB)<sup>[19,67,102]</sup>则是BSN无线通信技术的第2个选择,虽然相对ZigBee而言,Bluetooth能耗较高并对自组织网络的特性支持较少<sup>[103]</sup>,但其也是商业上广泛应用的成熟技术,较高数据传输率(最大数据传输率为720 Kbps)对于那些智能传感器而言已经足够<sup>[16]</sup>,能够更好地满足一些特定的应用,并且BSN应用网络一般是非自组织的.超宽带通信(UWB)的吸引力在于其脉冲极短而且频谱宽,它能够保证高数据传输率通信、高精度测距和低能耗接收转发能力等,可以作为BSN网络和Medical ICT系统的物理层技术<sup>[102]</sup>.BSN有时也采用人体生物通道(body channel communication)<sup>[28,104]</sup>进行通信,与前面无线射频技术相比,生物信道通信技术的最大好处是低能耗并提供更安全数据传输路径,同时也不需要有线技术作为外部连接,但生物信道通信难于像无线技术那样能在拥挤环境中使用不同的通信模式<sup>[27]</sup>.

### 3.3.4 无线通信协议

BSN中设计能量高效的无线通信协议<sup>[13,17,105]</sup>

受到一定程度的关注,超低能耗和高能效设计一直是 BSN 无线通信中最重要的挑战之一<sup>[18]</sup>。在医疗保健应用领域中能量高效是至关重要的,高能效的无线通信协议则意味着高能效的 BSN<sup>[57]</sup>,其困难在于低能耗无线射频容易产生信道衰减和受到干涉,特别是受人体因素影响尤其明显<sup>[47]</sup>;另一个难点在于在资源严重受限的生物传感器节点中,实现低能耗和高能效的通信协议就意味着该协议必须是轻量级的,这毫无疑问会对通信安全性产生很大的负面影响,因此在很多时候在无线通信协议的低能耗高能效和轻量级之间只能采取折中(trade-off)的解决方案,这取决于具体的 BSN 应用。对于较大规模的 BSN 网络而言,无线通信方式是多级的,其系统复杂性和成本开销就会相应增加<sup>[67]</sup>,这就需要协议进行优化以保证其低功耗和高能效。由此,自适应的优化通信协议设计<sup>[105]</sup>就变得很重要,其困难在于需要考虑数据融合、分簇和路由选择等优化问题,并尽可能减少数据通信量和重复传送。

### 3.3.5 管理系统及数据库

作为 BSN 应用不可或缺的组成部分,数据库(database)负责存储由 BSN 网络收集到的感知数据,所用到的数据库管理系统(DBMS)可选择面向小规模 BSN 网络的小型 DBMS(如 Mysql, Microsoft Access 和 Adaptive Server Anywhere)和中型 DBMS(如 Informix),以及面向(较)大规模 BSN 网络的大型 DBMS(如 DB2, Oracle, Sybase 和 SQL Server)。当然,还可以用文本文件(如 TXT 和 INI 等类型文件)存储数据,如无线中医远程医疗 BSN 系统中将数字化的人体脉搏波样本数据存储在本地的 TXT 文件中<sup>[14]</sup>。数据库可以采用本地的集中式存储,在无线中医远程医疗 BSN 系统中,解码和分析后的数据通过 JDBC 接口连接到指定数据库(Access 或 SQL Sever)中<sup>[36]</sup>,还可以采用远程的分布式存储。

管理系统能够将已存储数据的可视化显示、管理数据(包括数据的添加、修改,删除和查询操作)以及进一步的分析和处理数据(生成决策和数据挖掘等),如故宫文物保护及环境监测<sup>[106]</sup>中采用 SQL Server 存储采集到的温度、湿度和光照强度等环境数据,并通过 Java 实现管理系统,提供实时监测的可视用户界面和数据分析处理等功能。可以根据 BSN 应用需求和开发人员熟悉程度选择管理系统的开发工具和编程语言,如面向互联网的 ASP 和 JSP 开发环境以及面向局域网或单机的 Delphi, Visual Basic 和 Visual C++ 等开发工具,编程语言

可包括 Java, C, C++ 和 Perl 语言等,还可以选择 Matlab 实现可视化监控及结果显示界面、数据分析及智能处理功能<sup>[14]</sup>。

未来,特别是对于长时间连续监控的 BSN 应用或多个 BSN 构建的信息共享平台,考虑到系统性能及访问量的需求,要将海量数据存放到大型分布式数据库中以进行高效管理,并要在 BSN 中发展针对海量数据的并行计算技术或高性能大型计算技术。

### 3.3.6 发展趋势

随着社会经济以及大众医疗消费理念的发展,BSN 将在系统异构性、学习能力及网络通信等方面对关键技术提出更高的要求,其发展趋势包括:

1. 异质网络互联技术。异质网络互联(Internet-working with heterogeneous networks)是 BSN 发展必须面临的挑战,与其对应的性能建模和评估(performance modeling and evaluation)、服务质量和容错性(quality of service, security and fault tolerance)、BSN 标准的制定和整合、复杂 BSN 系统中路由选择协议的设计和面向老人和残疾人的辅助技术(assistive technologies for aging and disabled)等方面都需要进一步的研究。

2. 协同机制及分类学习技术。协同机制及分类学习<sup>[29,69]</sup>技术也是 BSN 未来的研究热点。正如同疾病并不是由一种因素引起的一样,用于医疗保健的 BSN 也不会仅通过所监控某一个生理参数的异常而作出决策,必须要多个参数综合作用才可完成。因此协同处理机制很重要。即使对于连续监控的某一生理参数而言,也需要识别出异常情况才能发出警报或触发协同机制,这样能够降低 BSN 节点能耗并进一步延长网络的生命期。BSN 中分类或识别技术的正确率会直接影响到 BSN 应用的可用性和可靠性。分类学习还包括在通过训练学习机制获得模型,用来实时识别具体的疾病和活动行为特征<sup>[69]</sup>,并在海量数据上进行数据挖掘,从而获得更高层次的知识和规律。

3. 人体生物信道通信技术。人体生物信道通信会得到更多的关注,因为 BSN 以人体为中心的特点,以及距离人体非常近,未来的通信将越来越多地利用人体生理特征<sup>[92]</sup>或信道来产生更巧妙、更节能的 BSN 通信技术。目前人们已经在使用三维电磁分析模型对人体信道模型分析/评估,以进一步改进和发展人体通信信道以满足更高的要求,还研究了生物信道的稳定性和可靠性、生物信道与其他 RF 更紧密的耦合工作以及建立更加优化的信道模型等。

## 4 BSN 未来研究展望及应用前景

### 4.1 BSN 未来研究展望

随着电子及计算机技术、无线通信技术以及智能信息处理技术的飞速发展,BSN 将在可穿戴可移动、低成本高性能、高可靠性和安全性等方面提出更高的要求,其未来研究的展望如下:

1. 可穿戴可移动 BSN 网络. 虽然还存在着很多问题和挑战,如人机交互、可植入传感器 BSN、植入传感器生物兼容性、多传感器整合技术以及节点内处理器和无线接口的整合<sup>[30]</sup>等,但在移动通信技术普及的今天,BSN 应用系统的可穿戴可移动性成为发展的必然选择. 一方面,可穿戴可移动 BSN 网络是用户的迫切需求,它既能够为用户带来便利,还可让受监控的病人或老人能够更快恢复和保持健康. 另一方面小型化和高集成的 BSN 医疗设备是未来发展的必然选择,在医疗监控保健 BSN 应用中必然会涉及到生物传感器的设计、电源最小化、轻量级多传感器数据融合算法设计、自动感知和智能识别以及安全的轻量级通信协议等,这些技术都有力地促进了 BSN 网络的可穿戴和可移动性的发展.

2. 可靠和安全的 BSN 网络. 可靠和安全的 BSN 的重要性在于:1)敏感医疗数据必须要得到保护,以防止被非授权的利用和非法的可能伤害用户的活动<sup>[22]</sup>;2)生理数据属于受到法律保护的个人隐私,收集他人的生理数据不仅侵犯了隐私,而且还会影响诊断结果或治疗方法.

3. 低成本和高性能的 BSN. 如同桌面计算机和手机一样,只有低成本、物美价廉的 BSN 医疗产品才能在惠及大众的同时获得长足高速的发展. 性能是对低成本的基本保障,在切实解决了“看病难看病贵”等社会医疗保障的问题之后,BSN 才会受到更广泛的认可.

### 4.2 BSN 应用前景

从应用领域角度看,BSN 会拥有更广阔前景. 由于 BSN 对人体生理参数的检测,人体活动行为的监控以及对周围环境的测量都体现了感知的作用和理念,因此,进一步与物联网相融合将是 BSN 未来的应用方向. 在社区医疗方面,BSN 可以针对常见病对社区进行监控,如通过佩戴整套的可穿戴 BSN 系统设备,居民可以在一段连续的时间内监控或治疗某一疾病(如高血压),并能够将有用的感知数据信息存档. 在偏远山区医疗保健方面,可以利用可穿

戴可移动的 BSN 系统监控疫情和大规模流行疾病的爆发,还可以为偏远山区居民提供丰富的诊断服务,如通过基于脉诊理论的 BSN 系统能够识别高血压或冠心病等疾病. 在学龄前儿童致命危险预防和监控方面,BSN 在监控儿童的同时,还可有效预防和监控入室盗窃或抢劫犯罪的发生. 在紧急或突发的公共事件预防和报警方面,BSN 系统可用于监测紧急状态下个体和群体的心理与行为反应规律,这些都构成了一个用于“情景-应对”的以 BSN 为主体的传感网络,通过情景感知和数据融合等关键技术能够识别环境中的突发事件(包括骚乱、紧急公共事件或公共场合个体突发疾病等)并提供决策支持.

总之,BSN 将会朝着智能化、传感器节点微型化、可移动、可穿戴,可植入和强交互性的方向发展,并将多种通信技术和组网技术相结合,能构造可调整精度、大规模、全面的 BSN 医疗健康监护平台. 在功能上能够测量脉搏、血压、心电、脑电、胎心、血氧饱和度、体温、血糖浓度、动作、周围环境信息甚至情绪等,还能够进行图像识别和智能信息处理,提供预警和专业程度的诊疗. 在技术上将会越来越多地涉及数据融合、MAC 协议、能量、并行及分布式算法等研究领域. BSN 不仅可以用于在普适健康和病人医疗监控,还可用于孕妇保健、监护、独居老人全天候疾病预防及危险活动报警,并在军事、体育运动、娱乐、车辆状况监测和机器异常预警(如在发动机上装传感器节点监测异常,提示及时维修以免发生故障)等.

## 5 结 论

BSN 不仅是医疗健康领域的必然选择,能够克服传统的发病后诊疗的缺点,做到疾病的预防、监控以及实时治疗,为解决广大社区和偏远山区看病难、看病贵等社会问题提供解决方法,还是解决老龄化社会医疗资源紧张问题的首选方案之一,并在其他领域(如娱乐、体育运动,军事和工业等)发挥越来越大的作用,是未来科技发展战略支撑及核心内容.

BSN 虽然具有广阔的应用前景且研究意义重大,并已成为当前的研究热点,但迈向成熟还有一段路要走,它在面临一些自身技术挑战的同时还存在一些不能独力解决的问题和限制,如作为涉及生命安全的医疗健康产品会受到法律上的严格约束,特别是在植入体内 BSN,首要考虑的是安全问题和不伤害人体组织<sup>[12]</sup>. 其次,研究机构与医疗单位不能

共享医疗数据和研究成果也成为限制 BSN 发展的一个瓶颈。最后,持续监控的 BSN 应用系统将会产生和处理大量数据<sup>[45]</sup>,如何更好地整合和利用这些海量数据也是面临的一个难题。总之,BSN 的发展不仅需要攻克很多内在的关键核心的共性技术,还需要其他学科(如数据挖掘、人工智能、材料学、生理学甚至心理学等)的共同发展。

本文围绕 BSN 的概念、总体状况、关键技术、面临挑战、研究现状和发展趋势给出了较全面的介绍和分析,还着重对 BSN 未来研究给出了展望。关于 BSN 中数据安全及隐私保护是一个较大的研究领域,且具有一定的独立性,所以作者拟就 BSN 数据安全问题另作专门介绍。

### 参 考 文 献

- [1] Cui Li, Ju Hailing, Miao Yong, et al. Overview of wireless sensor networks [J]. Journal of Computer Research and Development, 2005, 42(1): 163-174 (in Chinese)  
(崔莉,鞠海玲,苗勇,等.无线传感器网络研究进展[J].计算机研究与发展,2005,42(1):163-174)
- [2] Li Jianzhong, Gao Hong. Survey on sensor network research [J]. Journal of Computer Research and Development, 2008, 45(1): 1-15 (in Chinese)  
(李建中,高宏.无线传感器网络的研究进展[J].计算机研究与发展,2008,45(1):1-15)
- [3] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramanian Y, et al. Wireless sensor networks; A survey [J]. Computer Networks; The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, 2002, 38(4): 393-422
- [4] Ren Fengyuan, Huang Haining, Lin Chuang. Wireless Sensor Networks [J]. Journal of Software, 2003, 14(7): 1282-1291(in Chinese)  
(任丰原,黄海宁,林闯.无线传感器网络[J].软件学报,2003,14(7):1282-1291)
- [5] Natarajan A, Motani M, de Silva B, et al. Investigating network architectures for body sensor networks[C] //Proc of the 1st ACM SIGMOBILE International Workshop on Systems and Networking Support for Healthcare and Assisted Living Environments(HealthNet'07). New York: ACM, 2007: 19-24
- [6] Yun D, Kang J, Kim J E, et al. A body sensor network platform with two-level communications[C] //Proc of IEEE Int Symp on Consumer Electronics. Washington, IEEE, 2007: 1-6
- [7] Yuce M R, Ng S W P, Myo N L, et al. A MICS band wireless body sensor network[C] //Proc of IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Washington, IEEE, 2007: 2475-2480
- [8] Torre G, Fernstrom M, O'Flynn B, et al. Celeritas: Wearable wireless system [OL]. [2009-08-10]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.129.1658&rep=rep1&type=pdf>
- [9] Park C, Chou P H. Eco: Ultra-wearable and expandable wireless sensor platform[C] //Proc of the 3rd Int Workshop on Body Sensor Networks (BSN'06). Washington: IEEE, 2006: 162-165
- [10] Cai Y, Tan J. Secure group communication in body area networks [C] //Proc of IEEE Int Conf on Information Acquisition (ICIA). Washington: IEEE, 2008: 555-559
- [11] Tatbul N, Buller M, Hoyt R, et al. Confidence-based data management for personal area sensor networks [OL]. [2009-08-10]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.67.3240&rep=rep1&type=pdf>
- [12] Li H, Takizawa K, Kohno R. Trends and standardization of body area network (BAN) for medical healthcare[C] //Proc of European Conf on Wireless Technology (EuWiT'08). Washington: IEEE, 2008: 1-4
- [13] Bao S D, Carmen C Y P, Shen L F, et al. Authenticated symmetric-key establishment for medical body sensor networks [J]. Journal of Electronics, 2007, 24(3): 421-427
- [14] Gong Jibing, Wang Rui, Lu Shilong, et al. A light-weight scheme for real-time information fusion in BSN sytem [C] // Proc of the 4th Int Symp on Innovations and Real-time Applications of Distributed Sensor Networks (IRADSN'09). Hangzhou: Zhejiang University Press, 2009: 62-69
- [15] Ayyagari D, FuYongji, Xu Jingping, et al. Smart personal health manager: A sensor BAN application[C] //Proc of the 6th IEEE Consumer Communications and Networking Conference(CCNC'09). Washington: IEEE, 2009: 1-2
- [16] Jovanov E. Wireless technology and system integration in body area networks for m-health applications[C] //Proc of the 27th Annual Int Conf on Engineering in Medicine and Biology Society (IEEE-EMBS'05). Washington: IEEE, 2005: 7158-7160
- [17] Li H M, Tan J D. An ultra-low-power medium access control protocol for body sensor network [C] //Proc of the 27th Annual Int Conf on Engineering in Medicine and Biology Society(IEEE-EMBS'05). Washington: IEEE, 2005: 2342-2346
- [18] Fereydouni Forouzandeh F, Mohamed O A, Sawan M. Ultra low energy communication protocol for implantable body sensor networks[C] //Proc of Joint 6th International IEEE Northeast Workshop on Circuits and Systems and TAISA Conference (NEWCAS-TAISA'08). Washington: IEEE, 2008: 57-60
- [19] Ryckaert J, Desset C, de Heyn V, et al. Ultra-WideBand transmitter for wireless body area networks [OL]. [2009-08-12]. <http://www.eurasip.org/proceedings/ext/ist05/papers/266.pdf>

- [20] Lo B, Yang Guangzhong. Body sensor networks; Research challenges and opportunities[C] //Proc of the IET Seminar on Antennas and Propagation for Body-Centric Wireless Communications. Washington; IEEE, 2007; 26-32
- [21] Korel B T, Koo S G M. Addressing context awareness techniques in body sensor networks[C] //Proc of the IEEE 21st Int Conf on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW 2007). Washington; IEEE, 2007; 798-803
- [22] Poon C C Y, Zhang Y T, Bao S D. A novel biometrics method to secure wireless body area sensor networks for telemedicine and M-health [J]. IEEE Communications Magazine, 2006, 44(4); 73-81
- [23] Cherukuri S, Venkatasubramanian K K, Gupta S K S. BioSec—A biometric based approach for securing communication in wireless networks of biosensors implanted in the human body[C] //Proc of the Int Conf on Parallel Processing Workshops. Washington; IEEE, 2003; 432-439
- [24] ITU Internet Reports 2005, The Internet of Things[OL]. (2005-11-01) [2009-10-12]. [http://www.itu.int/osg/spu/publications/internetofthings/InternetofThings\\_summary.pdf](http://www.itu.int/osg/spu/publications/internetofthings/InternetofThings_summary.pdf)
- [25] Sharmilee K M, Mukesh R, Damodaram A. Secure WBAN using rule-based IDS with biometrics and MAC authentication [C] //Proc of the 10th IEEE Intl Conf on e-Health Networking, Applications and Service (HealthCom). Washington; IEEE, 2008; 102-107
- [26] Li H, Tan J. Body sensor network based context aware QRS detection[C] //Proc of the 28th IEEE Annual Int Conf in Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS'06). Washington; IEEE, 2006; 3266-3269
- [27] Chan C H, Poon C C Y, Wong R, et al. A hybrid body sensor network for continuous and long-term measurement of arterial blood pressure[C] //Proc of the 4th IEEE/EMBS Int Summer School and Symp on Medical Devices and Biosensors. Washington; IEEE, 2007; 121-123
- [28] Falck T, Baldus H, Espina J, et al. Plug 'n Play Simplicity for Wireless Medical Body Sensors [M]. Hingham, USA: Kluwer Academic Publishers, 2007; 143-153
- [29] Vehkaojal A, Iyengar S, Zakrzewski M, et al. A resource optimized physical movement monitoring scheme for environmental and on-body sensor networks [C] //Proc of the 1st ACM SIGMOBILE International Workshop on Systems and Networking Support for Healthcare and Assisted Living Environments. New York; ACM, 2007; 64-66
- [30] Jovanov E, Milenkovic A, Otto C, et al. A wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation [J]. Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation, 2005, 2(1); 1-10
- [31] Liang Dong, Wu Jiankang, Bao Xiaoming, et al. Extraction of gait features using a wireless body sensor network (BSN) [OL]. [2009-10-16]. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4068752>
- [32] Aziz O, Lo B, King R, et al. Pervasive body sensor network; An approach to monitoring the post-operative surgical patient[C] //Proc of the IEEE Int Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN'06). Washington; IEEE, 2006; 1-4
- [33] Espina J, Falck T, Muehlsteff J, et al. Wireless body sensor network for continuous cuff-less blood pressure monitoring [C] // Proc of the 3rd IEEE/EMBS Int Summer School on Medical Devices and Biosensors. Washington; IEEE, 2006; 11-15
- [34] Luprano J, Sola J, Dasen S, et al. Combination of body sensor networks and on-body signal processing algorithms; The practical case of MyHeart project[C] //Proc of the Int Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks(BSN'06). Washington; IEEE, 2006; 1-4
- [35] Pansiot J, Stoyanov D, Mcilwraith D, et al. Ambient and wearable sensor fusion for activity recognition in healthcare monitoring systems [C] //Proc of the Int Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks. Berlin; Springer, 2007; 208-212
- [36] Lu Shilong, Wang Rui, Cui Li, et al. Wireless networked Chinese telemedicine system; Method and apparatus for remote pulse information retrieval and diagnosis[C] //Proc of the 1st Int Workshop on Pervasive Digital Healthcare (PerCare'08) in Conjunction with IEEE Percom. Washington; IEEE, 2008; 698-703
- [37] Zhou G, Wan C Y, Yarvis M D, et al. Aggregator-centric QoS for body sensor networks[C] //Proc of the 6th Int Symp on Information Processing in Sensor Networks (IPSN'07). New York; ACM, 2007; 539-540
- [38] Lo B, Thiemajarus S, King R, et al. Body sensor network—A wireless sensor platform for pervasive healthcare monitoring [C] //Proc of the 3rd Int Conf on Pervasive Computing. Berlin; Springer, 2005; 77-80
- [39] Guo D G, Tay F E H, L Xu L, et al. A long-term wearable vital signs monitoring system using BSN [C] //Proc of the 11th Euromicro Conf on Digital System Design Architectures, Methods and Tools. Washington; IEEE, 2008; 825-830
- [40] Jung J, Ha K, Lee J, et al. Wireless body area network in a ubiquitous healthcare system for physiological signal monitoring and health consulting [J]. International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition, 2008, 1(1); 47-54
- [41] Ren Hongliang, Meng Q-H M. Understanding the mobility model of wireless body sensor networks[C] //Proc of IEEE Int Conf on Information Acquisition. Washington; IEEE, 2006; 306-310
- [42] Zhang Yuanqing, Xiang X Y, Poon C Y C. The evaluation of nodes of body sensor networks; Wearable blood pressure measuring devices [C] //Proc of the Int Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks. Berlin; Springer, 2006; 158-161

- [43] Lo P L B, Yang Guangzhong. Key technical challenges and current implementations of body sensor networks[C] //Proc of the 2nd Int Workshop on Body Sensor Networks. Washington; IEEE, 2005; 1-5
- [44] Masahiro K, Yasuhiro T, Ryuji K, et al. Empirical evaluation of zero-admin authentication for vital sensors in body area networks[C] //Proc of the 30th Annual Int Conf of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Washington; IEEE, 2008; 2349-2352
- [45] Liang Yun, Ju Lei, Chakraborty S, et al. Cache-aware optimization of BAN applications[C] //Proc of Int Conf on Hardware/Software Codesign and System Synthesis. New York; ACM, 2008; 149-154
- [46] Atallah L, Elhelw M, Pansiot J, et al. Behaviour profiling with ambient and wearable sensing[C] //Proc of the 4th Int Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks. Berlin; Springer, 2007; 133-138
- [47] Zhou Gang, Lu Jian, Wan C Y, et al. BodyQoS: Adaptive and radio-agnostic QoS for body sensor networks[C] //Proc of INFOCOM. Washington; IEEE, 2008; 1-9
- [48] Ren Hongliang, Meng Q H M, Chao H. Tracking service for mobile body sensor networks based on transmission power aware medium access control[C] //Proc of the Int Conf on Mechatronics and Automation (ICMA'07). Washington; IEEE, 2007; 1-4
- [49] Choi S, Song S J, Sohn K, et al. A 24. 2- $\mu$ W dual-mode human body communication controller for body sensor network [C] //Proc of ESSCIRC Digital Technology. Washington; IEEE, 2006; 227-230
- [50] Kim H, Choi S, Yoo H J. A low power 16-bit RISC with lossless compression accelerator for body sensor network system[C] //Proc of the 4th Int Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks. Washington; IEEE, 2006; 207-210
- [51] Choi S, Sohn K, Kim H, et al. An ultra low-power body sensor network control processor with centralized node control [C] //Proc of Int Symp on System-on-Chip. Washington; IEEE, 2006; 1-4
- [52] Dong Liang, Wu Jiankang, Chen Xiang. Real-time physical activity monitoring by data fusion in body sensor networks [C] //Proc of the 10th Int Conf on Information Fusion. Washington; IEEE, 2007; 1-7
- [53] Chen S L, Lee H Y, Chu Y W, et al. A variable control system for wireless body sensor network[C] //Proc of IEEE Int Symp on Circuits and Systems. Washington; IEEE, 2008; 2034-2037
- [54] Chen S L, Lee H Y, Chen C A, et al. A wireless body sensor network system for healthcare monitoring application [C] //Proc of IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference(BIOCAS). Washington; IEEE, 2007; 243-246
- [55] Bao S D, Zhang Y T, Shen L F. A design proposal of security architecture for medical body sensor networks[C] //Proc of the Int Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN '06). Washington; IEEE, 2006; 1-4
- [56] Messier G G, Finvers I G. Traffic models for medical wireless sensor networks[C] //Proc of the Communications Letters of IEEE. Washington; IEEE, 2007; 13-15
- [57] Willig A, Hauer J H, Karowski N, et al. The ANGEL WSN architecture [C] //Proc of the 14th IEEE Int Conf on Electronics, Circuits and Systems (ICECS). Washington; IEEE, 2007; 633-636
- [58] Talles M G de A Barbosa, Iwens G Sene Jr, Adson F da Rocha, et al. A new model for programming software in body sensor networks[C] //Proc of the 29th Annual Int Conf of the IEEE on Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS). Washington; IEEE, 2007; 1515-1518
- [59] Bart Braem, Bent Latré, Chris Blondia, et al. Improving reliability in multi-hop body sensor networks[C] //Proc of the 2nd Int Conf on Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM). Washington; IEEE, 2008; 342-347
- [60] Bao S, Poon C C Y, Zhang Y, et al. Using the timing information of heartbeats as an entity identifier to secure body sensor network [J]. IEEE Trans on Information Technology in Biomedicine, 2008, 12(6): 772-779
- [61] Tan C C, Wang H D, Zhong S, et al. Body sensor network security: An identity-based cryptography approach[C] //Proc of ACM Conf on Wireless Network Security. (WiSec). New York; ACM, 2008; 148-153
- [62] Lymberis A, Rossi de D. Wearable eHealth Systems for Personalised Health Management: State of the Art and Future Challenges [M]. Amsterdam, Netherlands; IOS Press, 2004; 142-148
- [63] Richard Bults, Katarzyna Wac, Aart Van Halteren. Body area networks for ambulant patient monitoring over next generation public wireless networks [OL]. [2009-09-10]. [http://cui.unige.ch/~wac/publications/Wac\\_MobileSummit\\_2004.pdf](http://cui.unige.ch/~wac/publications/Wac_MobileSummit_2004.pdf)
- [64] Jang C S, Lee D G, Han J W. A proposal of security framework for wireless body area network[C] //Proc of the IEEE Int Conf on Security Technology. Washington; IEEE, 2008; 202-205
- [65] Choi S, Song S J, Sohn K, et al. A multi-nodes human body communication sensor network control processor[C] //Proc of IEEE 2006 Custom Intergrated Circuits Conference (CICC). Washington; IEEE, 2006; 109-112
- [66] Li H B, Takizawa K, Zhen B, et al. Response to IG-BAN's call for applications [OL]. [2009-08-16]. <http://www.springerlink.com/content/h3715768w871590j/>
- [67] Jafari R, Gilani K. Body sensor networks and ultra wideband communication [C] //Proc of IEEE Int Conf on Ultra-Wideband(ICUWB). Washington; IEEE, 2008; 9-10
- [68] Thiemjarus S, Lo B, Yang Guangzhong. A spatio-temporal architecture for context aware sensing[C] //Proc of the Int Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks(BSN). Washington; IEEE, 2006; 1-4

- [69] Gu Tao, Wu Zhanqing, Tao Xianping, et al. epSICAR: An emerging patterns based approach to sequential, interleaved and concurrent activity recognition[C] //Proc of IEEE Int Conf on Pervasive Computing and Communications (PerCom). Washington: IEEE, 2009: 1-9
- [70] CodeBlue project [OL]. [2009-08-20]. <http://www.eecs.harvard.edu/~mdw/proj/codeblue/>
- [71] MobiHealth project [OL]. [2009-08-20]. <http://www.mobihealth.org/>
- [72] DeVaul R, Sung M, Gips J, et al. MIThril 2003: Applications and architecture[C] //Proc of the 8th IEEE Int Symp of Wearable Computers (ISWC). Washington: IEEE, 2003: 4-11
- [73] Eduardo F N, Antonio A F L, Alejandro C F. Information fusion for wireless sensor networks: Methods, models, and classifications [J]. ACM Computing Surveys, 2007, 39(3): A1-A9
- [74] Lambert D A. Grand challenges of information fusion[C] // Proc of the 6th Int Conf of Information Fusion. Washington: IEEE, 2003: 213-220
- [75] Mantyjarvi J, Himberg J, Seppanen T. Recognizing human motion with multiple acceleration sensors[C] //Proc of IEEE Int Conf on Systems, Man and Cybernetics. Washington: IEEE, 2001: 747-752
- [76] Cichocki A, Amari S I. Adaptive Blind Signal and Image Processing [M]. Learning Algorithms and Applications. New York: John Wiley & Sons, 2002: 20-26
- [77] Yang Guangzhong, Lo Benny, Wang Jeffery Liang, et al. From sensor networks to behaviour profiling: A homecare perspective of intelligent building [OL]. [2009-09-10]. <http://pubs.doc.ic.ac.uk/sensor-network-intelligent/>
- [78] Lo B, Deligianni F, Yang G Z. Source recovery for body sensor network[C] //Proc of the Int Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks(BSN). Washington: IEEE, 2006: 1-4
- [79] Krause A, Siewiorek D, Smailagic A, et al. Unsupervised, dynamic identification of physiological and activity context in wearable computing [OL]. [2009-10-12]. <http://www.cs.cmu.edu/~aura/docdir/ISWCUnsupervisedFinal.pdf>
- [80] Barreto G, Araujo A, Ritter H. Time in self-organizing maps: an overview of models [J]. International Journal of Computer Research, 2001, 10(2): 139-179
- [81] Thiemjarus S, Lo B P, Yang Guangzhong. A distributed Bayesian framework for body sensor networks[C] //Proc of the 2nd Int Workshop on Body Sensor Networks (BSN). Washington: IEEE, 2005: 1-4
- [82] Yoosoo O, Schmidt A, Woontack W. Designing, developing, and evaluating context-aware systems[C] //Proc of Int Conf on Multimedia and Ubiquitous Engineering (MUE'07). Washington: IEEE, 2007: 1-6
- [83] Yin H, Allinson N M. Towards the optimal Bayes classifier using an extended self-organising map[C] //Proc of the Int Conf on Artificial Neural Networks. Washington: IEEE, 1995: 1-5
- [84] Chaczko Z, Klempous R, Nikodem J, et al. Applications of cooperative WSN in homecare systems[C] //Proc of the 3rd Int Conf on Broadband Communications, Information Technology & Biomedical Applications. Washington: IEEE, 2008: 215-220
- [85] Ward J A, Lukowicz P, Troester G, et al. Activity recognition of assembly tasks using body-worn microphones and accelerometers [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006, 28(10): 1553-1567
- [86] Bao L, Intille S S. Activity recognition from user-annotated acceleration data[C] //Proc of the 2nd Int Conf on Pervasive Computing. Berlin: Springer, 2004: 1-17
- [87] Barnes J, Ramachandra V, Gilani K, et al. Locomotion monitoring using body sensor networks[C] //Proc of the Intl Conf on Information Processing in Sensor Networks (IPSN). Washington: IEEE, 2008: 555-556
- [88] Thiemjarus S, Yang Guangzhong. An autonomic sensing framework for body sensor networks[C] //Proc of the 2nd Int Conf on Body Area Networks. Belgium, Germany: ICST, 2007: 1-8
- [89] Van Laerhoven K, Gellersen H W. A study in distributed wearable activity recognition[C] //Proc of the 8th IEEE Int Symp on Wearable Computers (ISWC). Washington: IEEE, 2004: 142-149
- [90] Stauffer C, Grimson W E. Learning patterns of activity using real-time tracking [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(8): 747-757
- [91] Thiemjarus S, Pansiot J, McIlwraith D G, et al. An integrated inferencing framework for context sensing[C] // Proc of the 5th Int Conf on Information Technology and Applications in Biomedicine. Washington: IEEE, 2008: 270-274
- [92] Li H, Tan J. Heartbeat driven medium access control for body sensor networks [OL]. [2009-10-15]. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1248062>
- [93] Timmons N F, Scanlon W G. Analysis of the performance of IEEE 802.15.4 for medical sensor body area networking[C] //Proc of the IEEE Conf on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks. Washington: IEEE, 2004: 16-23
- [94] Yoo H, Song S, Cho N, et al. Low energy on-body communication for BSN [C] //Proc of Int Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Network (BSN). Washington: IEEE, 2007: 15-20
- [95] Gu Jiangmin, Lim Weimeng, Yeo K S, et al. Low power transmitter design for BAN[C] //Proc of the IEEE Conf on Biomedical Circuits and Systems (BIOCAS). Washington: IEEE, 2007: 175-178
- [96] Alves T, Augustine R, Grzeskowiak M, et al. BAN antenna design using ferrite polymer composite[C] //Proc of the 3rd European Conf on Antennas and Propagation (EuCAP). Washington: IEEE, 2009: 965-968



- [97] Alomainy A, Hao Y, Pasveer F. Modelling and characterisation of a compact sensor antenna for healthcare applications[C] //Proc of the 4th Int Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN). Washington; IEEE, 2007
- [98] Chipcon CC1000 Low Power Radio Transceiver [OL]. [2009-08-20]. <http://www.chipcon.com>
- [99] IEEE std 802. 15. 1, Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for wireless personal area networks (WPANs) [S/OL]. 2002 [2009-09-08]. [http://www.ieee802.org/15/Bluetooth/802-15-1\\_Clause\\_05.pdf](http://www.ieee802.org/15/Bluetooth/802-15-1_Clause_05.pdf)
- [100] IEEE std 802. 15. 4, Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) [OL]. 2003 [2009-09-08]. <http://profsite.um.ac.ir/~hyaghmae/ACN/WSNMAC1.pdf>
- [101] Gao Yueming, Pun S H, Du Min, et al. A preliminary two dimensional model for intra-body communication of body sensor networks [C] //Proc of Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP). Washington; IEEE, 2008; 273-277
- [102] Ohno K, Watanabe K, Yamada T, et al. Wideband measurement for body effect of BAN channel[C] //Proc of IEEE 10th Int Symp on Spread Spectrum Techniques and Applications (ISSSTA). Washington; IEEE, 2008; 292-296
- [103] Zhong Lin, Sinclair M, Bittner R, et al. A phone-centered body sensor network platform: Cost, energy efficiency & user interface[C] //Proc of the Int Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN). Washington; IEEE, 2006; 1-4
- [104] Yoo H J, Cho N. Body channel communication for low energy BSN/BAN[C] //Proc of the IEEE Asia Pacific Conf on Circuits and Systems (APCCAS). Washington; IEEE, 2008; 7-11
- [105] Shankar V, Natarajan A, Gupta S K S, et al. Energy-efficient protocols for wireless communication in biosensor network[C] //Proc of the 12th IEEE Int Symp on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication. Washington; IEEE, 2001; D-114-D-118
- [106] Li Dong, Liu Wei, Hui Chunli, et al. Wireless sensor networks in relic protection: Deployment methodology and cross-layer design [J]. High Technology Letters, 2009, 15 (11); 59-64



**Gong Jibing**, born in 1975. PhD candidate in Institute of Computer Technology, Chinese Academy of Sciences, and a lecturer in the Computer Department of Yanshan University. Student member of China Computer Federation. His research interests include information fusion and wireless sensor network.

宫继兵, 1975年生, 博士研究生, 讲师, 中国计算机学会学生会员, 主要研究方向为信息融合和无线传感器网络。



**Wang Rui**, born in 1975. PhD and assistant professor. A member of China Computer Federation. His research interest covers wireless sensor networks, self-organization and information fusion.

王睿, 1975年生, 博士, 助研, 中国计算机学会会员, 主要研究方向为自组织、信息融合和无线传感器网络。



**Cui Li**, born in 1962. Professor and PhD supervisor, senior member of China Computer Federation. Her current research interests include sensor technology and wireless sensor networks.

崔莉, 1962年生, 博士, 研究员, 中国计算机学会高级会员, 主要研究方向为传感器技术和无线传感器网络。

## Research Background

Body Sensor Network (BSN) is significant both in theory and application, and there are enormous demands for it. At the same time, BSN increasingly becomes the focus of both research and application. Recently, researchers not only make greater progress, but also achieve abundant research results in both theoretical study and practical application of BSN. However, systematic surveys about BSN are not reported yet. On the foundation of our previous researches about WSN and BSN, this work emphatically introduces its technology challenges, research advance and development trend on data fusion, context-aware sensing, and system technologies. Through analyzing the latest BSN's research achievements, future research and application prospects of BSN are also given. As a wireless network research entity of the Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, we have focused on BSN-related research for many years. To be specific, we have developed BSN-based Wireless Networked Chinese Telemedicine System (WCNT-BSN), and achieved better research and application results. This work is supported in part by the Key Project in the National Science & Technology Pillar Program in the Eleventh Five-year Plan Period under grant No. 2006BAI08B01-02, the National 973 Basic Research Program of China under grant No. 2006CB303000, the National 863 High-Tech Research and Development Plan of China under grant No. 2007AA01Z2A9, and the Beijing Natural Science Foundation under grant No. 4092045.

# 体域网BSN的研究进展及面临的挑战

作者: [宫继兵](#), [王睿](#), [崔莉](#), [Gong Jibing](#), [Wang Rui](#), [Cui Li](#)

作者单位: [宫继兵, Gong Jibing\(中国科学院计算技术研究所, 北京, 100190; 燕山大学计算机科学与工程系, 河北秦皇岛, 066004; 中国科学院研究生院, 北京, 100190\)](#), [王睿, 崔莉, Wang Rui, Cui Li\(中国科学院计算技术研究所, 北京, 100190\)](#)

刊名: [计算机研究与发展](#) 

英文刊名: [JOURNAL OF COMPUTER RESEARCH AND DEVELOPMENT](#)

年, 卷(期): 2010, 47(5)

## 参考文献(106条)

- [Krause A;Siewiorek D;Smailagic A](#) [Unsupervised, dynamic identification of physiological and activity context in wearable computing](#) 2009
- [Thiemjarus S;Lo B P;Yang Guangzhong](#) [A distributed Bayesian framework for body sensor networks](#) 2005
- [Barreto G;Araujo A;Ritter H](#) [Time in self-organizing maps:an overview of models](#) 2001(02)
- [Gao Yueming;Pun S H;Du Min](#) [A preliminary two dimensional model for intra-body communication of body sensor networks](#) 2008
- [Richard Bults;Katarzyna Wac;Aart Van Halteren](#) [Body area networks for ambulant patient monitoring over next generation public wireless networks](#) 2009
- [Lymberis A;Rossi de D](#) [Wearable eHealth Systems for Personalised Health Management:State of the Art and Future Challenges](#) 2004
- [Yuce M R;Ng S W P;Myo N L](#) [A MICS band wireless body sensor network](#) 2007
- [IEEE std 802.15.4, Wireless Medium Access Control \(MAC\) and Physical Layer \(PHY\) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks \(LR-WPANS\)](#) 2009
- [Choi S;Song S J;Sohn K A](#) [24.2-μW dual-mode human body communication controller for body sensor network](#) 2006
- [Ren Hongliang;Meng Q H M;Chao H](#) [Tracking service for mobile body sensor networks based on transmission power aware medium access control](#) 2007
- [Zhou Gang;Lu Jian;Wan C Y](#) [BodyQoS:Adaptive and radio-agnostic QoS for body sensor networks](#) 2008
- [Espina J;Falck T;Muehlsteff J](#) [Wireless body sensor network for continuous cuff-less blood pressure monitoring](#) 2006
- [IEEE std 802.15.1, Wireless medium access control \(MAC\) and physical layer \(PHY\) specifications for wireless personal area networks\(WPANS\)](#) 2009
- [Chipcon CC1000 Low Power Radio Transceiver](#) 2009
- [Alomainy A;Hao Y;Pasveer F](#) [Modelling and characterisation of a compact sensor antenna for healthcare applications](#) 2007
- [Alves T;Augustine R;Grzeskowiak M](#) [BAN antenna design using ferrite polymer composite](#) 2009
- [Gu Jiangmin;Lim Weimeng;Yeo K S](#) [Low power transmitter design for BAN](#) 2007
- [Yoo H;Song S;Cho N](#) [Low energy on-body communication for BSN](#) 2007
- [Timmons N F;Scanlon W G](#) [Analysis of the performance of IEEE 802.15.4 for medical sensor body area networking](#) 2004

20. [Aziz O;Lo B;King R Pervasive body sensor network:An approach to monitoring the post-operative surgical patient](#) 2006
21. [任丰原;黄海宁;林闯 无线传感器网络\[期刊论文\]-软件学报](#) 2003(07)
22. [Korel B T;Koo S G M Addressing context awareness techniques in body sensor networks](#) 2007
23. [Park C;Chou P H Eco:Ultra-wearable and expandable wireless sensor platform](#) 2006
24. [Torre G;Fernstrom M;O'Flynn B Celeritas:Wearable wireless system](#) 2009
25. [Li H;Tan J Heartbeat driven medium access control for body sensor networks](#) 2009
26. [Thiemjarus S;Pansiot J;McIlwraith D G An integrated inferencing framework for context sensing](#) 2008
27. [Stauffer C;Grimson W E Learning patterns of activity using real-time tracking\[外文期刊\]](#) 2000(08)
28. [Van Laerhoven K;Gellersen H W A study in distributed wearable activity recognition](#) 2004
29. [Thiemjarus S;Yang Guangzhong An autonomic sensing framework for body sensor networks](#) 2007
30. [Barnes J;Ramachandra V;Gilani K Locomotion monitoring using body sensor networks](#) 2008
31. [Bao L;Intille S S Activity recognition from user-annotated acceleration data](#) 2004
32. [Ward J A;Lukowicz P;Troester G Activity recognition of assembly tasks using body-worn microphones and accelerometers\[外文期刊\]](#) 2006(10)
33. [Chaczko Z;Klempous R;Nikodem J Applications of cooperative WSN in homecare systems](#) 2008
34. [Yin H;Allinson N M Towards the optimal Bayes classifier using an extended self-organising map](#) 1995
35. [Yoosoo O;Schmidt A;Woontack W Designing, developing, and evaluating context-aware systems](#) 2007
36. [Lo B;Yang Guangzhong Body sensor networks:Research challenges and opportunities](#) 2007
37. [Ryckaert J;Desset C;de Heyn V Ultra-WideBand transmitter for wireless body area networks](#) 2009
38. [Ohno K;Watanabe K;Yamada T Wideband measurement for body effect of BAN channel](#) 2008
39. [Lo B;Deligianni F;Yang G Z Source recovery for body sensor network](#) 2006
40. [Yang Guangzhong;Lo Benny;Wang Jeffery Liang From sensor networks to behaviour profiling:A homecare perspective of intelligent building](#) 2009
41. [Cichocki A;Amari S I Adaptive Blind Signal and Image Processing](#) 2002
42. [Mantyjarvi J;Himberg J;Seppanen T Recognizing human motion with multiple acceleration sensors](#) 2001
43. [Lambert D A Grand challenges of information fusion](#) 2003
44. [Eduardo F N;Antonio A F L;Alejandro C F Information fusion for wireless sensor networks:Methods, models, and classifications](#) 2007(03)
45. [DeVaul R;Sung M;Gips J MIThril 2003:Applications and architecture](#) 2003
46. [MobiHealth project](#) 2009
47. [CodeBlue project](#) 2009
48. [Gu Tao;Wu Zhanqing;Tao XianPing epSICAR:An emerging patterns based approach to sequential, interleaved and concurrent activity recognition](#) 2009
49. [Thiemjarus S;Lo B;Yang Guangzhong A spatio-temporal architecture for context aware sensing](#) 2006

50. [Jafari R;Gilani K Body sensor networks and ultra wideband communication 2008](#)
51. [Li H B;Takizawa K;Zhen B Response to IG-BAN's call for applications 2009](#)
52. [Choi S;Song S J;Sohn K A multi-nodes human body communication sensor network control processor 2006](#)
53. [Jang C S;Lee D G;Han J W A proposal of security framework for wireless body area network 2008](#)
54. [Yun D;Kang J;Kim J E A body sensor network platform with two-level communications 2007](#)
55. [Natarajan A;Motani M;de Silva B Investigating network architectures for body sensor networks 2007](#)
56. [Tan C C;Wang H D;Zhong S Body sensor network security:An identity-based cryptography approach 2008](#)
57. [Bao S;Poon C C Y;Zhang Y Using the timing information of heartbeats as an entity identifier to secure body sensor network\[外文期刊\] 2008\(06\)](#)
58. [Bart Braem;Bent Latré;Chris Blondia Improving reliability in multi-hop body sensor networks 2008](#)
59. [Talles M G de A Barbosa;Iwens G Sene Jr;Adson F da Rocha A new model for programming software in body sensor networks 2007](#)
60. [Willig A;Hauer J H;Karowski N The ANGEL WSN architecture 2007](#)
61. [Messier G G;Finvers I G Traffic models for medical wireless sensor networks 2007](#)
62. [Bao S D;Zhang Y T;Shen L F A design proposal of security architecture for medical body sensor networks 2006](#)
63. [Chen S L;Lee H Y;Chen C A A wireless body sensor network system for healthcare monitoring application 2007](#)
64. [Chen S L;Lee H Y;Chu Y W A variable control system for wireless body sensor network 2008](#)
65. [Dong Liang;Wu Jiankang;Chen Xiang Real-time physical activity monitoring by data fusion in body sensor networks 2007](#)
66. [Choi S;Sohn K;Kim H An ultra low-power body sensor network control processor with centralized node control 2006](#)
67. [Kim H;Choi S;Yoo H J A low power 16-bit RISC with lossless compression accelerator for body sensor network system 2006](#)
68. [Atallah L;Elhelw M;Pansiot J Behaviour profiling with ambient and wearable sensing 2007](#)
69. [Liang Yun;Ju Lei;Chakraborty S Cache-aware optimization of BAN applications 2008](#)
70. [Masahiro K;Yasuhiro T;Ryuji K Empirical evaluation of zero-admin authentication for vital sensors in body area networks 2008](#)
71. [Lo P L B;Yang Guangzhong Key technical challenges and current implementations of body sensor networks 2005](#)
72. [Zhang Yuaning;Xiang X Y;Poon C Y C The evaluation of nodes of body sensor networks:Wearable blood pressure measuring devices 2006](#)
73. [Ren Hongliang;Meng Q-H M Understanding the mobility model of wireless body sensor networks 2006](#)
74. [Jung J;Ha K;Lee J Wireless body area network in a ubiquitous healthcare system for physiological signal monitoring and health consulting 2008\(01\)](#)

75. [Guo D G;Tay F E H;L Xu L A long-term wearable vital signs monitoring system using BSN 2008](#)
76. [Lo B;Thiemajarus S;King R Body sensor network-A wireless sensor platform for pervasive healthcare monitoring 2005](#)
77. [Zhou G;Wan C Y;Yarvis M D Aggregator-centric QoS for body sensor networks 2007](#)
78. [Lu Shilong;Wang Rui;Cui Li Wireless networked Chinese telemedicine system:Method and apparatus for remote pulse information retrieval and diagnosis 2008](#)
79. [Pansiot J;Stoyanov D;Mcilwraith D Ambient and wearable sensor fusion for activity recognition in healthcare monitoring systems 2007](#)
80. [Luprano J;Sola J;Dasen S Combination of body sensor networks and on-body signal processing algorithms:The practical case of MyHeart project 2006](#)
81. [Akyildiz I F;Su W;Sankarasubramaniam Y Wireless sensor networks:A survey 2002\(04\)](#)
82. [李建中;高宏 无线传感器网络的研究进展\[期刊论文\]-计算机研究与发展 2008\(01\)](#)
83. [Liang Dong;Wu Jiankang;Bao Xiaoming Extraction of gait features using a wireless body sensor network \(BSN\) 2009](#)
84. [Jovanov E;Milenkovic A;Otto C A wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation 2005\(01\)](#)
85. [Vehkaojal A;Iyengar S;Zakrzewski M A resource optimized physical movement monitoring scheme for environmental and on-body sensor networks 2007](#)
86. [Falck T;Baldus H;Espina J Plug 'n Play Simplicity for Wireless Medical Body Sensors 2007](#)
87. [Chan C H;Poon C C Y;Wong R A hybrid body sensor network for continuous and long-term measurement of arterial blood pressure 2007](#)
88. [Li H;Tan J Body sensor network based context aware QRS detection 2006](#)
89. [Sharmilee K M;Mukesh R;Damodaram A Secure WBAN using rule-based IDS with biometrics and MAC authentication 2008](#)
90. [ITU Internet Reports 2005:The Internet of Things 2009](#)
91. [Cherukuri S;Venkatasubramanian K K;Gupta S K S BioSec-A biometric based approach for securing communication in wireless networks of biosensors implanted in the human body 2003](#)
92. [Poon C C Y;Zhang Y T;Bao S D A novel biometrics method to secure wireless body area sensor networks for telemedicine and M-health\[外文期刊\] 2006\(04\)](#)
93. [Fereydouni Forouzandeh F;Mohamed O A;Sawan M Ultra low energy communication protocol for implantable body sensor networks 2008](#)
94. [Li H M;Tan J D An ultra-low-power medium access control protocol for body sensor network 2005](#)
95. [Jovanov E Wireless technology and system integration in body area networks for m-health applications 2005](#)
96. [Ayyagari D;FuYongji;Xu Jingping Smart personal health manager:A sensor BAN application 2009](#)
97. [Gong Jibing;Wang Rui;Lu Shilong A light-weight scheme for real-time information fusion in BSN system 2009](#)
98. [Bao S D;Carmen C Y P;Shen L F Authenticated symmetric-key establishment for medical body sensor](#)

networks[期刊论文]-Journal of Electronics 2007(03)

99. Li H;Takizawa K;Kohno R Trends and standardization of body area network (BAN) for medical healthcare 2008

100. Tatbul N;Buller M;Hoyt R Confidence-based data management for personal area sensor networks 2009

101. Cai Y;Tan J Secure group communication in body area networks 2008

102. Li Dong;Liu Wei;Hui Chunli Wireless sensor networks in relic protection:Deployment methodology and cross-layer design 2009(11)

103. Shankar V;Natarajan A;Gupta S K S Energy-efficient protocols for wireless communication in biosensor network 2001

104. Yoo H J;Cho N Body channel communication for low energy BSN/BAN 2008

105. Zhong Lin;Sinclair M;Bittner R A phone-centered body sensor network platform:Cost, energy efficiency & user interface 2006

106. 崔莉;鞠海玲;苗勇 无线传感器网络研究进展[期刊论文]-计算机研究与发展 2005(01)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_jsjyjfz201005001.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jsjyjfz201005001.aspx)