

## 体域网关键技术与新挑战

方效林, 罗军舟

(东南大学计算机科学与工程学院, 江苏 南京 211189)

**摘要:** 随着传感器技术、低功耗集成电路技术以及无线通信技术的飞速发展, 体域网成为监测人体生理参数的一个新的技术, 为信息化医疗提供了新的解决方案。介绍了体域网的关键技术, 并围绕能耗问题、数据传输问题、安全与隐私问题以及人体感知数据处理问题展开阐述, 最后, 提出了若干体域网系统需要解决的新的具有挑战性的问题。

**关键词:** 体域网; 人体健康监测; 人体感知数据; 数据处理

**中图分类号:** TP393

**文献标识码:** A

**doi:** 10.11959/j.issn.2096-3750.2018.00042

## Key technologies and new challenges on body area networks

FANG Xiaolin, LUO Junzhou

School of Computer Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, China

**Abstract:** As the rapid development of sensing, low-power integrated circuit and wireless communication techniques, body area network becomes a new technology to monitor human health, which provides a new solution for information medical treatment. The key technologies of body area network was firstly introduced, including energy consumption, data transmission, security and privacy and human health data processing. Finally, a series of new challenges in body area network systems was proposed.

**Key words:** body area network, human health monitoring, body sensing data, data processing

### 1 引言

据报道, 2050 年全球老年人口数将达到 20.2 亿人。目前我国各类慢性病 (如呼吸系统疾病、神经系统疾病、心脏病等) 患者已有 2 亿多人, 全球视力、听力、语言、精神以及肢体等各类残疾人口数已经超过了 10 亿<sup>[1,2]</sup>。针对日益严峻的老年人护理、慢性病监测以及康复医疗的巨大需求, 人们需要一种便携的、较低成本的、能够长期实时对人体进行监测的技术方案。随着传感器技术、低功耗集成电路技术以及无线通信技术的飞速发展, 基于体域网 (body area network) 进行人体健康监测成为一个

重要的发展方向<sup>[3]</sup>。

体域网的传感器通常由人体佩戴或被安装到活动区域内, 实时收集各种感知数据, 发现生理参数变化, 从而监测人体健康状况, 可用于辅助病人健康恢复或提前发现健康异常<sup>[4]</sup>。体域网结构示意图如图 1 所示, 传感器采集到的数据发送到边缘处理单元, 并通过网络发送给医生、亲属或数据中心。一方面, 当健康状况异常时, 可向用户建议处理措施或就医指导。另一方面, 数据中心也可以原始数据为基础, 使用大数据计算技术, 统计、分析和挖掘各种病情现象和发生原因, 以便更好地为人类医疗事业服务。

收稿日期: 2018-02-20; 修回日期: 2018-03-06

通信作者: 罗军舟, jluo@seu.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.61502099, No.61632008)

**Foundation Item:** The National Natural Science Foundation of China (No.61502099, No.61632008)

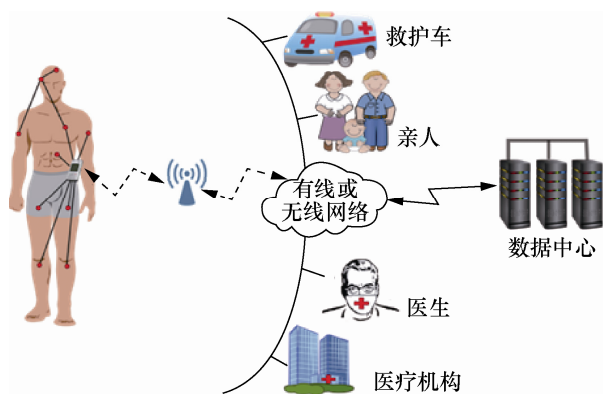


图1 体域网结构示意图

体域网系统可广泛应用于人体健康监测、伤残辅助以及运动监测。例如，在人体健康监测方面，可对宇航员、消防员以及士兵等作战人员的人体参数进行实时监测，提前发现异常事件并做出响应；在伤残辅助方面，可对听力受损者、独居老年人、脱臼者康复状况等进行辅助；在运动监测方面，可对足球、高尔夫球、标枪和自行车等运动员训练动作进行监测，评估动作是否标准，提高训练效果。

## 2 体域网关键技术

为实现高效安全的人体参数监测，体域网需解决能耗、数据传输、安全隐私以及感知数据处理等关键技术。下面将从这4个方面的现状分别进行阐述。

### 2.1 能耗

能耗问题是体域网系统设计最重要的研究内容之一。由于体域网数据感知、传输以及处理均会耗费大量能量，但是为了便捷性以及易用性，体域网系统一般均是通过大小和重量均受限的电池供电。在有限的电池容量条件下提供长时间的供电需求，导致能耗成为体域网的核心问题。解决能耗问题一般通过“节流”或“开源”方式实现。“节流”方式通过采用低功耗路由和MAC地址协议、自适应采样传输策略、降低感知数据的采样频率以及感知数据共享等方法降低能量开销<sup>[5,6]</sup>。“开源”方式采用能量采集方式进行供电，从环境中广泛存在的太阳能、热能、机械能以及无线电波吸收能量并转换成可供感知设备运行的电能<sup>[7]</sup>。

能量采集技术的发展为人体健康监测系统带来新的契机，如何权衡能量收集以及数据传输是一个重要的研究课题。通过分析能量采集速率（在满足任务时间约束的前提下最小化能量采集速率）和

调整发送功率来降低能量采集及消耗的影响<sup>[8,9]</sup>。

无线能量传输是近年新兴的设备能源解决方案，可为无线设备不间断地进行能量供给。无线设备可以从环境中的Wi-Fi广播信号、电视塔广播信号或移动通信蜂窝广播信号中采集无线电波负载能量作为充电来源<sup>[10,11]</sup>，这成为一个新兴的研究领域，可极大提高体域网设备供电能力。

### 2.2 数据传输

体域网常用的通信协议有Wi-Fi、蓝牙、ZigBee、3G、4G以及未来的5G等，因需求不同而选用不同的通信协议。体域网系统可由多个感知节点组成，因此，可能形成局部网络。数据需通过局部网络到达基站，可通过构建簇状拓扑进行数据传输（如LEACH），也可通过机会路由或概率路由方法进行数据传输，充分利用感知节点有限资源，通过选择代价最优路径进行数据传输<sup>[12,13]</sup>。

体域网数据传输需考虑对人体组织伤害问题。无线传输时会在附近产生电场和磁场，人体组织长时间暴露在电磁场附近，会导致温度升高，从而影响血液的正常流动，造成人体正常生理功能紊乱，甚至导致人体组织坏死，因此，有人提出温度敏感的数据传输算法<sup>[14,15]</sup>。通常研究通过选择低温区域转发避免造成组织损伤、最小化总温度效应路由传输问题、维护数据转发表避免总是选择通过低温区域导致的传输失败问题以及考虑由于温度敏感导致的数据时延问题。

### 2.3 安全隐私

由于体域网感知数据直接涉及人的隐私、数据安全甚至生命安全，因此体域网系统的安全问题显得尤为重要<sup>[16]</sup>。由于体域网系统会连接到开放的互联网上，因此，人体感知数据会面临敏感隐私数据泄露甚至被恶意篡改的风险。要实现体域网系统的安全，必须保证数据机密性、完整性、身份认证、不可否认性、访问控制、可用性、隐私保护和数据新鲜性<sup>[17]</sup>，并且能够防止窃听、阻塞、篡改、未授权访问以及否认等多种攻击<sup>[18]</sup>。

文献[19]对各种安全威胁进行了总结，并给出了一系列可能的解决方案。该文介绍了使用基于随机密钥分配和公钥加密方法来阻止未经证实或未授权的访问，使用链路层或网络层加密和访问控制来防止信息泄露，使用安全散列函数和数字签名防止消息篡改，基于入侵检测和冗余路由技术防止拒绝服务DoS攻击，通过一致性检查、节点撤销和防

篡改技术防止节点受损和被恶意捕获以及通过完全组通信和入侵检测技术防止高级别完全攻击等。

## 2.4 感知数据处理

根据美国国家标准和技术局 (NIST) 提供的信息, 全世界 20% 的医疗保健开销 (约 5 000 亿美元) 被用于医疗信息的感知与处理。可见, 数据感知与处理是人体健康监测系统的重要研究内容。由于健康系统对人体健康状况的分析建立在正确的数据之上, 因此, 亟待解决数据失真以及错误数据检测问题。

离散数据采集存在信息失真等问题, 这将对健康监测产生严重的影响。理想环境下, 数据失真与数据采集频率有一定关系。目前, 大多数感知数据采集、分析方法均基于等频采集, 由于采集时间是离散的, 这可能使某些重要的数据未被采集到, 从而导致严重的数据失真问题。可通过基于平滑技术及统计模型的方法自适应调整感知部件采集频率, 尽可能将重要的数据采集到<sup>[20,21]</sup>。文献[22]基于傅里叶变换提出了一种可自适应传感器节点数据采集频率调整方法, 该方法考虑如何预测客观曲线的变化, 从而降低数据失真问题。

由于人们活动的动态性强以及人们生活环境的复杂性高, 感知部件监测到的数据总是存在各种各样的误差甚至错误。因此, 错误数据检测在人体监测系统中是一个重要的问题。离群点计算方法是一个针对错误数据检测的可行方法<sup>[23-25]</sup>。不同的离群点计算方法有各自的优缺点, 适用于不同的场景。基于统计模型的离群点计算方法为感知数据建立时空统计分布模型, 该方法由于人体参数的变化及其复杂性, 数据的时空分布很难获得, 并且难以建立有效的统计模型。基于聚簇的离群点计算方法在某个感知数据不属于任何簇, 或所在簇的规模过小时, 则其被视为离群点, 但是人体感知数据的复杂性、簇的规模以及距离很难界定。多重感知离群点计算方法是当某一感知值与其他感知值差异很大时, 则其被视为离群点, 但该方法需要增加感知部件, 而且感知部件之间的数据交互会造成通信开销以及能量开销。基于支持向量机与贝叶斯分类的离群点计算算法的复杂度比较高, 不适合在资源有限的感知部件上进行。

人体感知数据处理的目的是检测特定的事件, 发现人体生理、心理及情感变化, 这就需要对人体的生理状况和运动状态进行识别。常用的健康状态

以及活动状态识别方法包括决策树、支持向量机、深度学习以及数据融合等<sup>[26,27]</sup>。

## 3 体域网新挑战

体域网是一个跨学科领域, 它可以实现以较低的成本实时持续地监测人体健康状况。目前, 许多体域网感知系统还处于“从无到有”较低层次的原型研究发展阶段。未来体域网将向“从有到好”的目标发展, 面临设计方案以及数据深度分析与充分利用低质量感知数据等方面的挑战。

### 3.1 隐式感知

将感知器件直接佩戴或植入人体, 会极大降低使用体验, 甚至可能为用户带来其他问题, 如影响用户的正常生活、阻碍用户正常活动、降低生活质量等。另外, 由于将感知器件佩戴或植入人体, 随着人体移动以及环境动态变化, 也会引起充电以及数据传输等问题。基于非接触方法的隐式感知数据间接分析处理技术可能是解决这一问题的有效方法, 但隐式感知会导致感知信号微弱以及感知数据干扰大等问题。因此, 如何实现微弱隐式感知数据处理技术, 间接对人体感知数据进行处理和分析, 获得有效的人体感知参数, 是未来需要解决的问题之一。

### 3.2 多源感知数据融合

单源人体感知数据可用性通常较低, 其表现为感知数据精确度低、感知数据缺失度高以及感知数据稳定性低。但是, 人们可通过布置多个或多种类型感知器件对人体状况进行感知。单源弱可用感知数据也许不具备有效的价值信息, 然而多源感知数据却有可能反映出人体的健康状况。通过融合多种来源的弱可用数据, 极大提高感知数据的可用性。因此, 如何针对多源弱可用的人体感知数据设计有效的融合机制和方法, 实现人体健康状况监测, 是当前需要解决的问题之一。

### 3.3 低质量感知数据挖掘

随着人体感知数据的实时不间断获取, 人体感知数据量将呈现爆炸式增长趋势, 因此, 其具有大数据性质。然而, 虽然人体感知数据量大, 其价值密度却很低。这是由于高价值的人体感知数据只发生在某些特定的时刻, 而大部分用户以及大部分时间产生的感知数据的价值极低。但是, 由于人口基数大, 即使很少比例的用户反馈有限信息, 通过长期的学习, 也可形成一定有用的知识, 从而获取有

用的信息。因此,如何在低价值密度的人体感知大数据中充分利用用户的反馈,发现并自动学习有用的信息,是目前的一大挑战。

人体感知数据极易受感知设备、外部环境以及人的心理与生理影响,从而导致感知数据波动较大,不能完全表现人体健康的真实状态。这些数据具有高度不确定性,在某些情况下甚至反映错误的人体健康状况。然而,这些不确定数据并非毫无所用,其虽在局部时间不能显示出人体健康的真实状态,却可在一段较长的时间表现出人体健康变化的趋势。因此,如何针对体域网数据的高度不确定性设计有效分析处理方法,实现人体健康状况变化趋势发现技术,是一个重要的研究内容。

#### 4 结束语

体域网是信息化医疗以及人体健康实时监测的新产物,它将会产生海量实时数据,因此,其发展也伴随着传感器、移动互联网、云计算和大数据的发展。体域网在感知、传输、存储与计算全过程中会出现大量的科学与工程问题,其在能量自供应、感知数据传输、安全与隐私以及感知数据处理技术等方面取得一定进展,但还有待进行深入研究。随着体域网的继续发展,它还将面临设计新的感知方案以及如何充分利用已获取的海量低质量数据并从中挖掘有效信息等方面的问题。

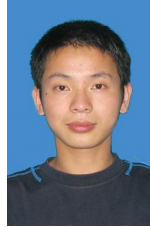
#### 参考文献:

- [1] 吴玉韶, 党俊武. 中国老龄事业发展报告(2013)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2013.  
WU Y S, DANG J W. China aging development report (2013)[M]. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2013.
- [2] 朱恒顺. 我国残疾人权利保障的理念更新与制度重构[D]. 济南: 山东大学, 2016.  
ZHU H S. Idea renewal and institutional reconstruction on the protection of rights of the disabled in China[D]. Jinan: Shandong University, 2016.
- [3] GHAMARI M, JANKO B, SHERRATT R S. A survey on wireless body area networks for eHealthcare systems in residential environments[J]. *Sensors*, 2016, 16(6):831.
- [4] MOVEASSAGHI S, ABOLHASAN M, LIPMAN J. Wireless body area networks: a survey[J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2014, 16(3):1658-1686.
- [5] SHI X, STROMBERG G. SyncWUF: an ultra low-power MAC protocol for wireless sensor networks[J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2007, 6(1): 115-125.
- [6] GAO H, FANG X L, LI J Z. Data collection in multi-application sharing wireless sensor networks[J]. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2015, 26(2): 403-412.
- [7] PANG A, BANNATYNE R. The energy harvesting tipping point for wireless sensor applications[J]. *Instrumentation, Measurement, Circuits and Systems*, 2012(127):387-391.
- [8] BANSAL N, CHAN H L, PRUHS K. Speed scaling with a solar cell[J]. *Theoretical Computer Science*, 2013, 410(45): 4580-4587.
- [9] SHAN F, LUO J Z, SHEN X J. Optimal energy efficient packet scheduling with arbitrary individual deadline guarantee[J]. *Computer Networks*, 2014, (75): 351-366.
- [10] SAKR A H, HOSSAIN E. Analysis of  $K$ -tier uplink cellular networks with ambient RF energy harvesting[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2015, 33(10):2226-2238.
- [11] WU T Q, YANG H C. On the performance of overlaid wireless sensor transmission with RF energy harvesting[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2015, 33(8):1693-1705.
- [12] PAN R, CHUA D, PATHMASUNTHARAM J S. An opportunistic relay protocol with dynamic scheduling in wireless body area sensor network[J]. *IEEE Sensors Journal*, 2015, 15(7):3743-3750.
- [13] QUWAIDER M, BISWAS S. DTN routing in body sensor networks with dynamic postural partitioning[J]. *Ad Hoc Networks*, 2013, 8(8): 824-841.
- [14] TANG Q, TUMMALA N, GUPTA S K S. Communication scheduling to minimize thermal effects of implanted biosensor networks in homogeneous tissue[J]. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2009(52): 1285-1294.
- [15] OEY C H W, MOH S. A survey on temperature-aware routing protocols in wireless body sensor networks[J]. *Sensors*, 2013, 13(8): 9860-9877.
- [16] KARTHIKEYAN M V, MANICKAM J M L. Security issues in wireless body area networks: in bio-signal input fuzzy security model: a survey[J]. *Research Journal of Pharmaceutical Biological & Chemical Sciences*, 2016, 7(6):1755-1773.
- [17] LI M, LOU W J, REN K. Data security and privacy in wireless body area networks[J]. *IEEE Wireless Communications*, 2010,17(1): 51-58.
- [18] SALEEM S, ULLAH S, KWAK K S. A study of IEEE 802.15.4 security framework for wireless body area networks[J]. *Sensors*, 2011, 11(2):1383-1395.
- [19] SALEEM S, ULLAH S, YOO H S. On the security issues in wireless body area networks[J]. *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, 2009(3): 178-184.
- [20] JINDAL A, PSOUNIS K. Modeling spatially correlated data in sensor networks[J]. *ACM Transactions on Sensor Networks*, 2013, 2(4): 466-499.
- [21] LI J Z, CHENG S Y.  $(\epsilon-\delta)$ -approximate aggregation algorithms in dynamic sensor networks[J]. *IEEE Transaction on Parallel Distributed*

- Systems, 2012, 23(3): 385-396.
- [22] ALIPPI C, ANASTASI G, FRANCESCO M D. An adaptive sampling algorithm for effective energy management in wireless sensor networks with energy hungry sensors[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2013, 59(2): 335-344.
- [23] WU W, CHENG X, DING M. Localized outlying and boundary data detection in sensor networks[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2010, 19(8):1145-1157.
- [24] GUPTA M, GAO J, AGGARWAL C C. Outlier detection for temporal data: a survey[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2014, 26(9):2250-2267.
- [25] HUBERT M, ROUSSEEUW P J, SEGAERT P. Multivariate functional outlier detection[J]. Statistical Methods & Applications, 2015, 24(2): 177-202.
- [26] PIRES I M, GARCIA N M, POMBO N. From data acquisition to data fusion: a comprehensive review and a roadmap for the identification of activities of daily living using mobile devices[J]. Sensors, 2016, 16(2): 184.
- [27] GRAVINA R, ALINIA P, GHASEMZADEH H. Multi-sensor fusion in

body sensor networks: state-of-the-art and research challenges[J]. Information Fusion, 2016(35):68-80.

#### [作者简介]



方效林（1984-），男，博士，东南大学讲师，主要研究方向为传感网数据传输协议、传感网大数据分析处理技术以及传感器网络的应用等。



罗军舟（1960-），男，博士，东南大学教授、博士生导师，主要研究方向为下一代网络体系结构、协议工程、网络安全、无线网络、云计算与大数据等。