

专家介绍

李建清,男,汉族,博士,教授,博士研究生导师,南京医科大学副校长,江苏省远程测控重点实验室副主任,东南大学复杂信号检测、传输及系统研究所所长,江苏省“333”人才工程和“六大”人才高峰,《智慧健康》杂志编委,国家自然科学基金委通讯评审专家。主要从事传感器与传感网络技术、医疗大数据采集与处理方面的研究。近年来,作为项目负责人先后承担了国家自然科学基金面上和主任项目、国家 863 项目、江苏省自然科学基金项目、教育部博士点基金项目等 7 项项目;研究成果获得省部级科技进步一等奖 1 项,二等奖 2 项。获国家发明专利授权 20 余项,获国家计算机软件著作权 2 项,发表论文 100 多篇。

可穿戴设备的现状及未来发展方向

秦 钦¹,李 淮¹,朱松盛^{1,2},李建清^{1,2*}

(¹东南大学仪器科学与工程学院,江苏 南京 210096;²南京医科大学基础医学院生物医学工程系,江苏 南京 211166)

[摘 要] 穿戴式技术是当前重要的研究热点,可以应用于医院内患者实时监测和家庭健康护理领域,具有广泛的应用前景和巨大的市场潜力。穿戴式技术对设备的可穿戴性和数据传输的可靠性、安全性提出了更高要求,技术发展中存在一些需要深入研究和解决的问题。文章对穿戴式技术的研究现状和产业化进展进行了综述,并对穿戴式技术的未来研究和前景进行了展望。

[关键词] 可穿戴技术;无线体域网;数据传输;健康医疗

[中图分类号] R318.6

[文献标志码] A

[文章编号] 1007-4368(2017)02-149-05

doi:10.7655/NYDXBNS20170203

Current situation and future development of wearable devices

Qin Qing¹, Li Wei¹, Zhu Songsheng^{1,2}, Li Jianqing^{1,2*}

(¹School of Instrument Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096; ²Department of Biomedical Engineering, School of Basic Medical Sciences, NJMU, Nanjing 211166, China)

[Abstract] Wearable technology is one of the research hotspots, which can be used in real-time monitoring of hospital patients and family health caring, and it has broad application foreground and huge marketing potentiality. Wearable technology puts forward higher requirements on the wearability of devices and the reliability and security of data transmission. There are some problems needed to be studied and solved in the development of this technology. In this paper, the research status and industrialization progress of wearable technology are reviewed, and the studies and development of wearable technology in the future are prospected.

[Key words] wearable technology; wireless body area network; data transmission; health care

[Acta Univ Med Nanjing, 2017, 37(02): 149-153, 230]

伴随着我国工业化、城镇化、人口老龄化进程的加快,慢性病发病人数快速上升,并逐渐成为居民健康的主要威胁,慢性病预防和管理也成为了重

大的公共卫生问题^[1]。统计数据显示,当前我国已确诊的慢性病患者高达 2.6 亿人,慢性病导致的死亡已经占总死亡的 85%,而由慢性病导致的疾病负担已占疾病治疗总负担的 70%。因此,若不及时有效控制慢性病,将会带来严重的社会问题和经济问

*通信作者(Corresponding author):E-mail:jqli@njmu.edu.cn

题。虽然慢性病可能会导致严重后果,但如果能对患者进行科学有效的生命体征监测,很多重大慢性病是可以提前预知并加以治疗的。无线体域网(wireless body area network, WBAN)^[2-5]的出现,为慢性病患者的健康监测提供了一种简单、低成本的手段^[6-8]。基于 WBAN 技术,通过在慢性病患者体表或者体内布置能自动采集人体心电、脑电、肌电、体温、血压、血糖、血氧等生命体征参数的传感器,实现实时、方便、全天候的可穿戴健康监测。

作为可穿戴设备的标志性产品之一,Google Glass 虽然早在 2012 年 4 月就已发布,但是直到 2014 年 4 月中旬 Google Glass 才第一次面向美国居民正式发售,而且此次发售仅有 24 h,所以很可能只是清空存货为下一代设备发布做准备。在 Google Glass 发布的这 2 年内,人们对它的反应并不强烈,没有公开发售只是一方面,更大原因是大多试用过的测试者表示 Google Glass 没有太多亮眼之处,可以说目前基本上仅仅是作为移动智能手机的延伸而已,而且还存在价格昂贵、涉及隐私等问题。可穿戴设备的一些功能如定位、摄像、搜索等都是智能手机可以实现的,而身体健康指数监测也不过是体温计、血压仪等家用设备的延伸。这是因为可穿戴设备这项新产品在资源整合、满足用户刚性需求方面做的还不够。可穿戴设备跟手机、PC 等其他电子设备相比有着便携、可接触身体等得天独厚的优势,但是目前来看它还没有能真正完全发挥其作用,还没有找准产品的核心竞争力。

1 WBAN 技术研究现状

1.1 低功耗技术

低功耗对延长 WBAN 设备的续航时间和减少特定吸收率(specific absorption rate, SAR)均有益处, WBAN 的近人体传输特性要求 WBAN 设备的发射功耗必须严格受限^[9]。文献认为如果不对 Zig Bee 协议的功耗进行改进,将无法很好地用于体域网场景^[10-11]。Rebeiz 等^[12]提出了一种适用于体域网应用的 Bluetooth 动态调度策略,传感器节点通过自适应地在连接状态和睡眠状态间切换实现功耗节省。BSN-MAC^[13]提出了一种自适应超帧结构机制,协调器根据传感器节点反馈的信息自适应地调整保护时隙(guaranteed time slot, GTS)和竞争接入期(contention access period, CAP)的长短,实现减少接入冲突和空闲侦听,达到节省功耗的目的。近年来,学术界又提出了一些专门应用于 WBAN 系统的低功耗

MAC 协议,包括 CICADA^[14]和 H-MAC^[15]。CICADA 是一种适用于无线多跳、移动 WBAN 的 MAC 协议,采用数据即时传输的方式提高吞吐量,减少传输时延。H-MAC 是一种多时分址(TDMA)MAC 层协议,结合心率监测应用,传感器节点根据心跳节奏自动进行时间同步,节省开启射频(radio frequency, RF)和接收时间同步信息的功率消耗。作为世界上唯一发布的 WBAN 标准 IEEE 802.15.6^[16],分别从宏观、微观角度提出了 WBAN 的功率管理策略。宏观功率管理指的是“冬眠”:当节点在非唤醒超帧内处于非激活状态时,节点进入“冬眠”;微观功率管理指的是“休眠”:当节点在唤醒超帧内且不需接收信标帧时,节点在信标传输时间内处于非激活状态,即进入“休眠”。

除了研究高能效的 MAC 协议, Xiao 等^[17]从功率控制的角度追求能耗节省:在信道条件差的时候,在保证满足辐射功率的条件下提高节点的发送功率,以保证数据被正确接收;在信道条件好的时候,适当降低节点的发射功率,以节省能量,延长节点的工作寿命。Carmen 等^[18]研究了最优化的数据包载荷长度设置,在不同的信道环境下采用不同长度的数据包载荷进行传输,实现最大化能量效率的目标。翟继强等^[19]建立了正交幅度调制(MQAM)、相移键控(PSK)、频移键控(FSK)、开关键控(OOK)等调制方式的能耗模型,根据不同的应用场景选择不同的收发机架构和调制方式,实现频谱效率和能量效率之间的折中。

上述文献研究表明,低功耗技术,低功耗设计的思想应该贯穿 WBAN 系统的各个层面,从单一的协议层或收发机设计进行功率节省无法获得最大化的功率节省,因此,需要研究跨协议层、软硬件联合优化的低功耗设计方法。

1.2 安全保密技术

WBAN 所采集传输的数据都是与人体密切相关的生理参数,同时, WBAN 中数据的保密性也是必不可少的,因为健康监测数据属于个人隐私数据,必须严格限制仅有授权的用户才能访问和使用。文献对 WBAN 的安全需求进行了分析,提出 WBAN 系统的安全性目标是确保体征信息的机密性、完整性、容错性、新鲜性及鲁棒性^[20-22]。WBAN 中安全性攻击可以分为:①对机密性和认证的攻击,攻击者采取窃听、欺骗和重放等攻击行为;②对完整性的攻击,攻击者修改信息内容,导致接收错误信息;③对网络可用性的攻击,例如服务拒绝(denial

of service, DoS)^[23],攻击者使用这种方式耗尽网络资源。为了对抗 WBAN 中的攻击,有研究提出了将时变的人体生理状态信号用于加密算法的输入参数,保证数据传输安全性的方法^[24-26]。

由于传感器节点具有严格的低功耗限制,如果采用复杂的安全加密措施,势必导致能耗过大,并且容易影响传感器节点的正常通信,进而影响患者体征数据的采集。IEEE 802.15.6 体域网标准定义了多层次安全级别(级别 0~2)的通信,每种安全级别各自对应不同的保护级别与帧格式^[16]。级别 0:不安全的通信,通信过程中不对数据进行认证,也没有完整性保护;级别 1:只认证,数据传输在安全认证模式下进行,但数据不加密;级别 2:认证并且加密,这是最高安全级别的通信模式。轻量级的安全性加密机制可以有效保证隐私数据的安全传输,同时具有低复杂度^[27-28]。采用跨协议层的安全机制可以从底层直接保证数据传输的安全性^[29]。

从当前研究现状来看,关于 WBAN 通信的安全保密与隐私性的研究,在集成合适的安全机制之前,必须理解 WBAN 的不同应用类型的需求,另外还要考虑社会、法律法规的限制,而现有 WBAN 的研究没有完全考虑这些因素。

1.3 QoS 保障技术

现有的针对传统 WSNs 的 QoS 保障机制通常都以单一的 QoS 参数为优化目标,例如:可靠性、时延、数据速率和移动性等,不适合直接应用到 WBAN 中。为此,Latre 等^[14]评估了 CIADIA 协议的可靠性,并在此基础上提出了改进的机制,进一步提高了传输可靠性。Zhou 等^[30]研究了 WBAN 中的自适应资源调度机制,保证了可靠的数据传输。Otto 等^[31]通过对 WBAN 原型系统实际接收性能的评估,分析得出了可能会引起网络传输可靠性下降的因素。Wu 等^[32]提出了一种信道预留机制,能够在非理想的 WBAN 信道环境下提高传输的可靠性。还有研究将用户优先级分成了若干个等级,在进行信道接入的时候区分用户优先级,保证高优先级的用户优先接入网络^[33-34]。Medwin 还定义了多种信道接入方式:定时接入、非定时接入、临时接入和竞争接入(CSMA/CA、时隙 Aloha),分别适用于具有不同类型、不同 QoS 需求的业务。

关于 WBAN 的 QoS 保障的研究,上述文献都是针对单个 QoS 性能指标的优化方法,鲜有针对多个 QoS 性能指标联合优化的研究。WBAN 系统对传输可靠性、能量效率、时延的需求高于以往任何通信

系统,这些 QoS 性能指标同等重要,如果只针对单个 QoS 性能指标进行优化,往往会导致其他 QoS 性能的下降,不利于医疗业务的可靠和有效传输。因此,为了保证 WBAN 中数据的高质量传输,迫切需要研究基于多 QoS 性能指标的多目标联合最优化方法。

2 可穿戴设备现存问题

2.1 价格昂贵

Google Glass 售价 1 500 美元,Jawbone 智能手环和三星 Galaxy gear 的定价也都达到了人民币四位数,这样的价格不免让普通大众消费者望而却步。如果要大规模扩展市场,打造平民级应用,就必须降低成本、实现量产。可以考虑打造多层次的产品,实现差异化定价,不仅要有为高收入人群、电子产品爱好者打造的高配置、高价产品,还要设计专门为平民打造的价格更友好的产品,充分挖掘用户群体的消费潜能,满足不同人群的消费需求。

2.2 续航短、芯片不够小

对于现有的产品来说,电池的续航能力还不够,如果要连续使用很可能几个小时就要充一次电,非常不方便,严重影响了用户体验。而且芯片体积不够小,影响了整个设备的外形和体积的灵活性。受芯片影响的可穿戴设备体积不够小,使得其可依附的支撑点有限,限制了其作为细小配件与服装或其他配饰结合的方式。可穿戴设备的一个重要特点是易用性,也就是便携性和小型体积以及与其他相关设备互联使用时的便捷性。由于可穿戴设备与用户的粘性程度较以往的产品更高,使用时间往往更长,因此对于外形、体积、重量方面的要求更加严格。因此,若要被消费大众接受,进一步提升用户体验,需要更低功耗的电池和芯片。

2.3 数据安全和隐私保护

除了可穿戴设备感知和记录用户身体和行为的数据外,还包括其他相关用户的信息,如用户联系人,或是有摄像功能的设备所拍到的画面中的事物,也正是因此,一些使用有摄像记录功能的可穿戴设备(如 Google Glass 等)的用户会遭到周围人的排斥,出于其不想泄露自己的行为信息。不管是用户本身还是他人数据,这些被感知和记录的数据越多,信息量越大,其背后隐藏的安全隐患就越大。大量的数据背后隐藏的不仅仅是用户的个人信息,还有可能牵涉社会、国家的利益。一旦被泄露,就可能被不法分子用于非法途径,对群体和个人造成巨大危害。

3 可穿戴设备未来发展趋势

从消费者对目前市场上存在的可穿戴设备产品的期许和已有的产品概念设计里可以看出,未来的可穿戴设备将立足于一个大的产业链整合,充分满足消费者对于便携易用、健康娱乐、信息传递与获取的需求。可穿戴设备必须要有自己的独立性,用户体验将会由软件和硬件共同决定,而贯穿整个从芯片到系统过程中的是人机交互。市场上虽然已经有数量可观的可穿戴设备,但是未来仍有很长的路要走,发展方向主要有以下 4 点。

3.1 产业链进一步整合

可穿戴设备现阶段大多数作为手机、电脑等终端的附属设备,其真正的利用价值并未完全实现。若要充分挖掘其价值,就需要打造一条完整的产业链。可穿戴设备的产业链不仅关乎硬件厂商,软件支持平台的重要性也不可忽视。可穿戴式设备对软件后台支持和数据发掘分析能力的要求尤其高。2014 年 3 月,谷歌推出了 Android Wear 智能平台,Android Wear 和 Android 一样是一个开放平台,它允许第三方厂商加入其中生产各式各样的 Android Wear 兼容设备(主要是各种智能手表)。对于一些硬件厂商来说,这是一个很好的开始。可穿戴产品需要和其他设备之间进行数据交换,实时、无线的互联技术将不断发展创新以满足便利化这一维度。

3.2 外形和舒适性设计

可穿戴设备是直接穿戴在身上的,要满足用户的爱美之心,这就要求其设计必须要友好、美观大方,同时满足用户的舒适性体验。苹果产品之所以受欢迎,很大程度上得益于其简约大方、经典美观的设计,这样的设计使得苹果产品在任何环境中都具有时尚感,就像时装、腕表一样能给人的气质和层次加分,从心理上满足了用户对于美、时尚的追求。外露的可穿戴设备需要在用户的整体搭配上显得不突兀,就要求尽可能的“百搭”,当然,如果作为时尚单品,还可以有更新颖的设计。目前多数的可穿戴设备的佩戴舒适度普遍较低,比如 Google Glass 的发热问题,手环类产品的设计和材质与传统手表相比,舒适度很低(不仅仅是 Fitbit 的过敏问题,还有特殊情况下,如出汗时的佩戴感觉)。因此,对于亲肤类可穿戴设备,需要舒适型穿戴设备;对于健康设备甚至是在睡觉时都会戴着,更需要全天候的舒适度。

3.3 挖掘用户刚性需求

外观精美、价格亲民虽然重要,但真正推动产

品发展、保证产品销量的是用户需求。可穿戴设备之所以没有得到大规模应用的根本原因是它现在基本还只是智能手机功能的延伸,没有实现其存在的真正意义。可穿戴设备可从两个方向来挖掘需求,即医疗仪器化和个性化。短期来看,可穿戴智能设备可能首先会作为体温计、血压计等检测人体基础健康指数的设备存在,加以定位功能、运动指数检测功能,就满足了人基本的健康检测、健身追踪功能。随着人们健康意识的增强和设备性能的提高,可穿戴设备成为医院诊断的辅助设备,这会成为消费者的刚性需求,而且是高频需求。对于不同人群支持个性化定制,如根据生理指标提醒用户是否需要涂抹防晒霜或保湿乳,根据糖尿病用户的血糖指数结合某种食物的特性提醒其是否可食用等等,满足用户的个性化需求。除了医疗和健身之外,可穿戴设备会更趋向娱乐化,由于可穿戴产品支持摄像、多媒体文件播放,未来可以与现实增强、情境感知等创新性技术结合,相比传统电子设备,可以给用户提供更好的多媒体资源享受体验,并给用户更强更好的感官体验。

3.4 为特殊行业设计

除了很多民用功能之外,可穿戴设备可以专门为一些特殊行业 and 用户群体设计。其实这并不花费很多成本,可能只需要做一些小小的改动,比如替换系统,就可以使同样的可穿戴设备在不同领域大放异彩。比如,以 Google Glass 为例,学校可以把可穿戴设备的系统替换为教学专用系统,这样 Google Glass 就不会连接到社交网站和搜索引擎,也不能在除了学校特定无线网络设置之外的网络环境下运行。教师可以在去教室的路上浏览该班所有学生的信息,这样就可以省下在电脑前查阅资料的时间;每当课堂讨论或是为某个学生解答问题时,系统就会及时推送该学生的相应资料,包括专业、成绩、优势学科、弱点等等,老师可以有针对性的进行教学;学生对于某个问题或课程的反馈(如作业),都可以直接通过该设备传输给老师。这种特殊化的需求和相关的用户群体还有很多,尤其存在于需要时刻被照看的老人、小孩和宠物等等。越来越多的家庭,包括老年人本身,选择养老院的方式为父母养老,而移动医疗面临的一个新问题便是患者及临终老人的猝死。从家属的角度考虑,这种突发事件往往归咎于社区、医院等医疗或养老机构,而医疗机构通常无法有力证明患者的猝死并不是由于医疗操作失误引起的,因此医患纠纷

油然而生,而移动医疗为医患纠纷提供了一种很好的解决办法。一方面,移动医疗为家属提供患者完整的 24 h 生理信息,另一方面,这些全天候的生理信息又可以清晰地反映医疗机构的日常看护情况,从而也为医院提供强有力地证据来证明医护人员是否存在医疗操作失误。尤其是针对临终老人的监护,健康医疗将会起到更为重要的作用,不仅能够使患者家属全面了解逝者的死因,同时还能够及时提醒医护人员对临终老人做出相应的应急措施。

可穿戴设备的存在使得科技能够最大程度,以最好的方式为人类服务,其美好前景也让国际科技巨头公司纷纷投身其中抢占市场。未来的可穿戴设备与智能移动终端设备的组合将加速物联网的形成,在其中产生和流动的数据将进一步增加其价值。目前可穿戴设备虽然仍存在一些问题,但是很有发展潜力,相信随着工业和移动通信技术的发展,未来可穿戴设备很可能普及人们生活的方方面面。

[参考文献]

- [1] Morabia A, Abel T. Preventing chronic diseases: A vital investment[J]. *International Journal of Public Health*, 2006, 51(2): 70-74
- [2] Lont M, Kiyani NF, Dolmans G. System considerations for low power design in wireless body area networks [C]// *IEEE 19th Symposium on Communications and Vehicular Technology*, 2012: 1-5
- [3] Li M, Lou WJ, Ren K. Data security and privacy in wireless body area networks [J]. *IEEE Wireless Communications*, 2010, 17(1): 51-58
- [4] Saleem S, Ullah S, Kwak KS. Towards security issues and solutions in wireless body area networks [C]// *6th International Conference on Networked Computing*, 2010: 1-4
- [5] Ameen MA, Nessa A, Kwak KS. QoS issues with focus on wireless body area networks [C]// *Third International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology*, 2008: 801-807
- [6] Monton E, Hernandez JF, Blasco JM, et al. Body area network for wireless patient monitoring [J]. *IET Communications*, 2008, 2(2): 215-222
- [7] Patel M, Wang Jianfeng. Applications, challenges, and prospective in emerging body area networking technologies [J]. *IEEE Wireless Communications*, 2010, 17(1): 80-88
- [8] Seyedi M, Kibret B, Lai DTH. A survey on intrabody communications for body area network [J]. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2013, 60(8): 2067-2079
- [9] C95.1-2005, IEEE standard for safety levels with respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3kHz to 300GHz
- [10] Golmie N, Cypher D, Rebalá O. Performance analysis of low rate wireless technologies for medical applications [J]. *Comput Commun*, 2005, 28(10): 1266-1275
- [11] Cavalcanti D, Schmitt R, Soomro A. Performance analysis of 802.15.4 and 802.11e for body sensor network applications [C]// *4th International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks*, 2007: 9-14
- [12] Rebeiz E, Caire G, Molisch AF. Energy-delay tradeoff and dynamic sleep switching for blue tooth-like body-area sensor networks [J]. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2012, 60(9): 2733-2746
- [13] Li HM, Tan JD. An ultra-low-power medium access control protocol for body sensor network [C]// *IEEE Engineering in Medicine & Biology Society Conference*, 2005: 2451-2454
- [14] Latre B, Braem B, Moerman I, et al. A low-delay protocol for multihop wireless body area networks [C]// *Fourth Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking & Services*, 2007: 1-8
- [15] Li HM, Tan JD. Heartbeat-driven medium-access control for body sensor networks [J]. *IEEE Trans Inf Technol Biomed*, 2010, 14(1): 44-51
- [16] 802.15.6-2012. IEEE Standard for local and metropolitan area networks-Part 15.6: Wireless body area networks [S]. 2012
- [17] Xiao S, Dharndhere A, Sivaraman V, et al. Transmission power control in body area sensor networks for healthcare monitoring [J]. *IEEE J Sel Area Comm*, 2009, 27(1): 37-48
- [18] Carmen Domingo M. Packet size optimization for improving the energy efficiency in body sensor networks [J]. *ETRI Journal*, 2011, 33(3): 299-309
- [19] 翟继强, 李 焯. 低功耗无线传感器网络射频前端系统架构研究 [J]. *先进技术研究通报*, 2009, 3(11): 23-26
- [20] Venkatasubramanian KK, Banerjee A, Gupta SK. PSKA: usable and secure key agreement scheme for body area networks [J]. *IEEE Trans Inf Technol Biomed*, 2010, 14(1): 60-68
- [21] Cai Y, Tan JD. Secure group communication in body area network [C]// *Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Information and Automation*, 2008: 555-559
- [22] Stuart E, Moh M, Teng-Sheng M. Privacy and security in biomedical applications of wireless sensor Networks [C]// *1st International Symposium on Applied Sciences in*