

# 初探普适时代的健康穿戴系统

## Preliminary Study on Wearable Healthcare in Ubiquitous Computing Age

朱建新 高蕾娜 张新访 ( 华中科技大学 机械学院信息与系统技术研究所 湖北 武汉 430074 )

**摘要:** 普适时代的健康穿戴系统是一种新概念的未來个人化医疗模式,能在疾病预防、早期诊断和有效治疗方面发挥重大作用,将给个人和社会带来可观收益。本文提出了普适健康穿戴系统的概念模型,根据现有技术条件给出了一种普适穿戴医疗健康服务的应用模式及实验原型。针对涉及的关键技术,分析讨论相关软硬件研究内容和发展方向。

**关键词:** 普适计算 可穿戴式医疗 个人化医疗服务 移动医疗 Pocket PC

计算技术的发展伴随与之适应的计算模式<sup>[1]</sup>:大型机计算时代,多人共享一台计算机( N : 1 ); PC 时代,人手一台计算机( 1 : 1 ); 后 PC 时代( 即普适计算 ),多人使用多台计算设备( N : M )。普适计算思想最早是 1991 年由 Mark Weiser 在《Scientific American》的“ The Computer for the 21st Century ”一文中提出的<sup>[2]</sup>,它强调和环境融为一体,人们能够在任何时间、任何地点、以任何方式进行信息的获取与处理,计算机硬件、网络、通信、软件体系和人机交互等技术的不断发展使普适时代的到来成为可能。穿戴式计算( Wearable Computing )可看成是普适计算的一个分支,它也是一种新概念的個人移动计算系统,加拿大 Toronto 大学的 Mann 教授认为<sup>[3]</sup>Wearable Computing 是被穿戴者控制,同时具有操作和互动的持续性且属于用户个人空间的计算机系统,将在军事、医疗、商业、工业、农业、抢险救灾及日常生活等领域发挥重要而特殊的作用。

社会发展和生活水平的提高使得人们越来越重视对自身健康的关注,医疗方式也由被动治疗转向主动预防及监测,普适健康穿戴技术就是一种新兴的很适合这一时代特征的模式,它体现着移动医疗和远程医疗观念,能给人们提供个性化的无时不在的医疗保健服务。许多大学及研究机构都在致力于穿戴式医疗的研究。日本 Toshiba 公司开发的“LifeMinder”<sup>[4]</sup>是一种可穿戴式的医疗支持系统原型,按照病人当前情境给出及时指示。“LifeMinder”由一个腕式的可穿戴传感器模块和一个 PDA 组成。传感器模块测量的参数有 3

轴加速度、脉率、皮肤电反应( GSR )和皮肤温度。PHA<sup>[5]</sup>由可穿戴的传感通信系统组成,并无缝嵌入个人的日常装备中。附于身体上的传感器持续识别穿戴者的生物测定和情境状态。MobiHealth<sup>[6]</sup>是由欧洲委员会出资 500 万欧元支持的项目,它按照个人健康需求定制轻量级的 BAN 健康穿戴系统。Imperial College London 的 UbiMon<sup>[7]</sup>提出使用可穿戴和可植入的医学传感器用于分布式移动监测。MIT 的 d'Arbeloff 信息系统技术实验室的科学家们开发了一种“指环传感器”( ring sensor )<sup>[8]</sup>,利用 PPG 信号持续监测心率并将数据通过无线方式送至主机。美国 Alabama 大学开发了符合 802.15.4 标准用于健康监测的可穿戴式无线人体区域( WWBAN )传感器网络原型系统<sup>[9]</sup>,通过两个正交双轴加速仪和一个 ECG 放大器实现对运动和心脏的监测。普适时代的健康穿戴技术提供了一种全新的医疗模式,使人们随时随地可接受到个性化的医疗服务。伴随大量的嵌入式和移动信息工具,将会出现智能医院和智能医生。

### 1 普适健康穿戴系统概念模型

针对普适时代的健康穿戴系统,我们提出了一个总体上的概念模型(如图 1),该模型由 5 部分组成:硬件平台、操作系统、网络连接、中间件及应用软件。

#### 1.1 硬件平台

硬件平台主要完成医学健康参数的采集工作,主要由医学传感器和执行元件、MCU、数据存储和输出设

备等部分组成。由于穿戴轻便舒适的要求,传感器、执行元件和 MCU 需要微型化和低功耗。采集的医学数据主要包括血压、脉率、血糖、心电图( ECG )、体温、体重、腰围、血氧、脑电图描记器( EEG )等参数。无线通信模块为穿戴监测仪和外界信息系统之间搭起了一座桥梁。

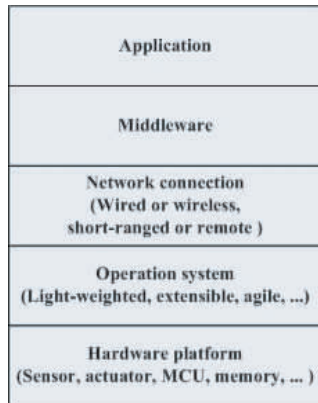


图 1 概念模型

## 1.2 操作系统

普适健康穿戴系统的有限数据处理能力和实时性要求操作系统必须具有高效和轻量级等特点。开发专用操作平台无疑是很适合可穿戴式计算机的。Windows CE 这种适合于掌上机的操作系统是可以借鉴和采用的,但它的功能有限。目前不少人尝试采用 Linux 开发 Wearable Computing 专用操作系统。TinyOS 是加州大学伯克利分校的研究人员开发的新型操作系统,它采用了在软件系统结构上一些已有的研究成果,如轻量线程( light - weight thread )技术、主动消息通信( active message )技术、事件驱动( event - driven )模式及组件化编程( component - based programming )等。

## 1.3 网络连接

网络连接完成数据通信和交互功能。将所有穿戴式计算设备连接在一起形成网络,包括有线网络和无线网络。从轻便和移动性的角度看,无线网络更为合适。从网络传输范围看,存在将传感器连接在一起的近程通信网络如 Bluetooth、Zigbee/IEEE 802. 15. 4、UWB、IEEE 802. 11 等;将采集数据传至远程医学专业人员从而实现远程医疗的广域通信网络如 GPRS、Internet 等。

## 1.4 中间件

中间件的主要功能是使应用层中的各种应用成分之间实现跨网络的协同工作<sup>[10]</sup>。在普适计算环境的健康穿戴技术中引入中间件结构,能屏蔽下层设备的异构性,管理低层事务,提供应用程序在普适计算环境下移动所需要的基础设施。它具有三种基本功能:支持用户任务的移动,支持设备和服务动态的加入和离去,能自动利用本地和远程的资源进行最佳组合,完成用户任务,在环境的改变中尽量减少用户干预。

## 1.5 应用软件

针对病人的可穿戴式医疗监测系统配上各种微型生物信号传感器,可方便地监测行动病人的心率、血压及呼吸,同时还可与医护人员构成一个动态的诊断与监护信息网络体系,及时提醒病人并给出医学指导。根据监测数据和使用人员的不同定制不同功能的应用软件。

## 2 基于 Pocket PC 的健康监测系统及原型

目前,各类便携、移动以及 3C 融合产品都是普适计算思想的具体体现,手机和 PDA 就是很好的用例,它们解释了普适计算的现时实现。针对现有技术现状,本文设计了一个基于 Pocket PC 的健康监测系统应用模式,Pocket PC 是一种可以集电子记事本、便携式计算机及移动通信设备为一体的便携式手持设备。与其它信息处理设备相比,Pocket PC 的信息处理能力较弱,但却具有体积小、重量轻等特点。作为该系统的枢纽,Pocket PC 起着承上启下的作用,采集的生理数据通过无线通信接口传输到 Pocket PC,Pocket PC 通过 GSM、GPRS 或其他无线宽带数据传输技术将数据传至医院或社区卫生站的监测中心服务器。从功能上看该系统主要由医学传感器、Pocket PC 和监测中心服务器组成,医学传感器和 Pocket PC 形成分布式结构向监测中心传输医学数据。总体框架如图 2 所示。

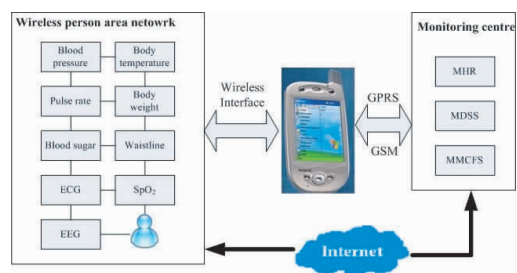


图 2 健康监测系统总体框架

### 2.1 无线个人域网内的医学传感器

常见的健康监测参数传感器集中在被监测者周围,采集相关的生理数据,执行某些数据的本地处理,连同传感器上的无线通信接口,形成短程无线个人区域网。目前可用于无线个人区域网的通信技术标准有蓝牙(IEEE 802.15.1)、UWB(IEEE 802.15.3)、Zigbee/IEEE 802.15.4等,采用标准化的通信标准有助于系统的互操作性。

目前可用于无线个人区域网的通信技术标准有蓝牙(IEEE 802.15.1)、UWB(IEEE 802.15.3)、Zigbee/IEEE 802.15.4等,采用标准化的通信标准有助于系统的互操作性。表1是几种短程无线通信技术的比较。

表1 几种短程无线通信技术的比较

	802.15.1	802.15.3	802.15.4
Frequency band(GHz)	2.4	2.4	0.868,0.915,2.4
Range(m)	10~100	10~100	10
Data rate(Mbps)	1~3	11~55	0.02~0.25
Power consum.(mW)	1~100	1~10	1~3
Nodes/network	7	245	$2^{16}$ ~ $2^{64}$
Security	two keys	AES-128	AES-128
Cost(\$)	5	14	<1
Size	smaller	small	smallest

### 2.2 数据传输枢纽——Pocket PC

Pocket PC 软件功能设计包括个人信息管理、采集数据通信、文件管理和分析显示等模块。个人信息管理主要针对个人基本情况和需监测数据项等。采集数据通信模块主要完成从无线个人域网内的医学传感器收集数据,并传至远程监护中心的功能。文件管理实现监测数据的本地管理,便于在网络不畅时的数据存储。分析显示模块有助于医护人员对被监测对象的数据做出快速有效地判断。

### 2.3 监测服务中心

监测服务中心是整个数据的存储和处理仓库,是整个系统的汇聚点。主要包括个人电子医学健康记录(MHR)、医学决策支持系统(MDSS)及多方式监控关怀反馈系统(MMCFs)等。医学决策支持系统提供辅助诊断、治疗和处方决策信息的存储及分析,对于基于证据的医学及医疗信息系统将是必要的补充,改进了在诊断、预测、处方及治疗选项中的可用信息。采用B/S结构将有助于医疗诊断、咨询及信息化的远程交换和传送。浏览器端(客户端)的智能卡接入,支持跨地区的医疗服务,保障个人身份认证,保护隐私。将来带有病人完整健康纪录智能卡将被传播。多方式监控关怀反馈系统根据决策支持系统提供的信息,给出相

应的药物处方、饮食推荐、运动提示等信息,并以语音或短信等方式反馈给被监护者。

本文选取血压和脉率为监测参数实施了一个系统原型。中国是高血压大国,目前高血压患者已超过一亿五千万人上,加强对血压的监测对早期预防和及时治疗有极其重要的意义。个人域网内的无线通信技术采用 Zigbee/IEEE 802.15.4。Pocket PC 的软件设计实现了数据通信接口、文件存储、图表显示、简单诊断和远程传送等功能。图3表示数据通信、存储及图形显示界面。



图3 原型系统 Pocket PC 部分界面

## 3 关键技术及发展方向讨论

普适时代的健康穿戴技术能给人们提供随时随地的个性化医学服务,从而保证更好的生活质量。其最终实现依赖许多关键技术的发展,如:嵌入式硬件、软件体系、人机交互、智能 Multi-agent、医学信息化及其他方面。以下将列举其中的几个方面。

### 3.1 微型化的医学传感器

微纳米、MEMS 及 SoC 等技术的发展促进了微型化、低功耗、非侵入或植入的医学传感器的出现。2004年出现了基于 MEMS 的回转仪,仅有  $7 * 7 * 3\text{mm}$  大小的单轴 ADXRS3000 可用于追踪身体移动,消耗电流和电压为 6mA 和 5V。低功耗温度传感器的体积仅为  $3 * 3 * 1.5\text{mm}$ 。

### 3.2 智能健康衣(Smart clothing)

智能健康衣采用电子织物技术,并将医学传感器织入服装中,能随时随地对相关人员进行生理参数的监测并做出反馈。目前的电子织物技术主要有两种实现方法:一种是将传统意义上的传感器、微控制器等电子元件集成到衣料中;另一种是开发基于有机材料的新的电活化聚合物纤维,能因作用于其上的电刺激产

生形变的特性来制造传感器。MIT Media 实验室采用市场上可买到的普通材料,如用于装饰衣物的金属纱线、绝缘纱线和电子元器件等,编织成用于构建可穿戴计算的电子织物<sup>[11]</sup>。美国、欧盟和中国香港都相继开发出有传感监测功能的电子智能衣。美国 George 理工学院在美国海军的资助下率先开展了穿戴式主板的研究并提出智能衣的概念。欧盟的 IST FP5 项目—WEALTHY 通过把纤维或纱线形式的智能传感器、信号处理及通信技术结合在一起,实现关键生理参数的连续监测,该项目开发出的服装具有非常好的弹性,其中的传导元件可以很好的与身体接触。香港中文大学生物医学工程联合中心多年来致力于研发可穿戴式生物传感系统—Wearable Intelligent Sensors and Systems for e-Health(WISSH),它集成穿戴式节点上的多个小型化生物医学传感器和 Body sensor network。

### 3.3 Body area network(BAN)

BAN<sup>[12]</sup>是由附着在人体上的各种计算部件组成的网络,它和可穿戴计算机密切相关,这些计算部件分布在人身体的各个部位。健康穿戴系统中的 BAN 是实现人体生理信号获取、分析与处理的基本平台,它是移动医疗中不可或缺的重要组成部分。通过 BAN,穿戴式或植入式微型医疗传感器与外部网络之间可互联并进行数据交换。

### 3.4 远程电子病历(Remote electronic medical record)

随着信息和通信技术的发展,医疗记录的发展也逐渐网络化、电子化,也更容易提供渠道供病人掌控自己的健康信息。分布式诊断和远程医疗将病人信息从中心医院系统提取出来传送到分散的家庭和社区以提高病人健康质量。为促进健康资料在私人与公众之间的信息交互,美国总统布什签署了这方面的激励政策协议<sup>[13]</sup>。使用以病人为中心的个性化电子病历,病人可以在他们方便的时候撤消、更新和共享这些数据。在提高医疗保健效率和质量的同时,也大大提高了对医疗状况的了解程度、规范性和管理。

### 3.5 上下文感知(Context awareness)

作为普适计算的核心子领域之一,上下文感知是指系统能发现并有效利用上下文信息(如用户位置、时

间、环境参数、邻近的设备和人员、用户活动等)进行计算的一种计算模式<sup>[14]</sup>,主要负责对设备、上下文、物理环境等构成的计算环境进行管理、协调和调度,建立实体对象间互操作(interoperation)的基础,同时屏蔽计算环境的复杂、多样和动态性,为应用开发提供统一的框架和应用程序接口。在普适健康穿戴技术的上下文感知系统,可以根据被监测方的生理数据情境作出适当的反应,将数据传输至个人电子病历,在非正常情况下通知医护人员或看护方,在紧急事件时进行报警。Twente 大学的 Tom Broens 等人开发了一个 Epilepsy BAN 上下文管理系统。

### 3.6 标准化和互操作性(Standardization and interoperability)

普适健康穿戴技术的标准化还处在起步阶段,工作内容应包括医学传感器硬件、通信、中间件等方面。系统级和设备级的标准化和互操作性在降低设备成本的同时增加健康穿戴系统的接受度。目前可利用的标准有 Jini、UpnP(Universal Plug and Play)、ISO/IEEE 11073、Health Level 7、Zigbee、Bluetooth、XML、CORBA、TinyOS 等。

### 3.7 安全性(Security)

由于医学领域对数据的敏感性,安全性成为普适健康穿戴技术非常重要的方面。安全隐患主要存在于传输和存储两方面<sup>[15]</sup>,具有的特性有:其一,普适环境是以多种无线网和移动网接入互联网实现的异构集成网络,易受到多方恶意攻击;其二,普适计算是以人的需求为中心主动提供服务,其中必定存储着大量普适计算中特需的、包含个人隐私和保密性很强的一些信息;其三,在普适计算环境下移动实体很可能要离开他们的局域网络或者个人网络,因此这就要求移动实体能够在不依靠一些特殊的安全设施时自动做出安全决定。基于信任的安全模型可能是适合的方案之一。

## 4 结论

实现预防保健、医疗服务和管理一体化的医疗信息网络是我国医疗信息化的发展目标之一,而远程医疗是其核心内容,穿戴式健康医疗系统将成为未来区

域化医疗信息网络中不可或缺的部分。总体来讲, 普适时代的健康穿戴技术研究与产品开发尚处于起步阶段。随着电子元器件超微型化、微机电系统、智能织物、先进交互技术等研究成果的不断涌现, 健康穿戴技术出现重大突破的条件日趋成熟。个人及医护人员构成动态的穿戴式远程诊断与监护信息网络体系能在病人恢复期及慢性病监测方面发挥重要作用, 从而减少入院时间, 减低医疗成本, 提高生活质量。

### 参考文献

- 1 Xu Guangyou, Shi Yuanchun, Xie Weikai. Pervasive/Ubiquitous Computing. Chinese Journal of Computers, 2003, 26(9): 1042 - 1050.
- 2 Weiser M. The Computer for the Twenty - first Century. Scientific American, 1991, 265(3): 94 - 104.
- 3 Mann S. Humanistic Computing: WearComp as a New Framework and Application for Intelligent Signal. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(11): 2123 - 2151.
- 4 Kazushige Ouchi, Takuji Suzuki, Miwako Doi. Lifeminder: A Wearable Healthcare Support System with Timely Instruction Based on the User's Context. 8th IEEE International Workshop on AMC, 2004: 445 - 450.
- 5 Tröster G. The Agenda of Wearable Healthcare. IMIA Yearbook of Medical Informatics 2005: Ubiquitous Health Care Systems, Stuttgart: Schattauer, 2004: 125 - 138.
- 6 The MobiHealth Project. [ On - line ] Available: <http://www.mobihealth.org/>.
- 7 Body Sensor Network - A Wireless Sensor Platform for Pervasive Healthcare Monitoring. [ On - line ] Available: [http://www.pervasive.ifi.lmu.de/adjunct-proceedings/demo/p077 - 80. pdf](http://www.pervasive.ifi.lmu.de/adjunct-proceedings/demo/p077-80.pdf).
- 8 Asada H, Shaltis P, Reisner A, Rhee and S, Hutchinson RC. Mobile Monitoring with Wearable Photoplethysmographic Sensors. IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, 2003, 22(5/6): 28 - 40.
- 9 Milenkovic A, Otto C, Jovanov J. Wireless Sensor Networks for Personal Health Monitoring: Issues and An Implementation. Computer Communications, 2006, 29: 2521 - 2533.
- 10 Zhang Yunyong, Zhang Zhijiang, Liu Jinde, Liu Yunjie. The Theory and Application of Middleware Technology. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.
- 11 Chen Dongyi. The Evolution and Trend of Wearable Computer. Journal of Chongqing University, 2000, 23(3): 119 - 124.
- 12 Teng Xiaofei, Zhang Yuanting. M - Health: Trends in Wearable Medical Devices. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2006, 30(5).
- 13 Health IT in Government - Transforming Healthcare and Empowering Citizens. [ On - line ] Available: [http://colab.cim3.net/file/work/IAB/HIT% 20in% 20Govt% 20Report% 203. 06. pdf](http://colab.cim3.net/file/work/IAB/HIT%20in%20Govt%20Report%203.06.pdf).
- 14 Li Rui Li Renfa. A Survey of Context - Aware Computing and Its System Infrastructure. Journal of Computer Research and Development, 2007, 44(2): 269 - 276.
- 15 Wang Li, Huichuan Duan, Qingyan Si. Research on Security Model Based on Trust in Pervasive Computing Environment. Network Security Technology and Application, 2007, (3): 62 - 64.