基于智能可穿戴设备的个性化健康监管平台的构建

贾 宁 李瑛达
(大连东软信息学院 辽宁 大连 116023)

摘 要 由于以“预防、保健、预诊”为主导的社区医疗模式易受到专业知识、信息技术等诸多因素的限制,为辅助非专业医护人员及时获取健康信息,文中设计了基于可穿戴设备的个性化健康监管平台。该平台涉及新型健康领域,将专业医疗信息与物联网技术、大数据技术完美融合在一起。个性化健康监管平台由智能可穿戴设备、终端应用和医疗信息处理服务器 3 部分构成,主要包含日常健康监测、异常信息报警、病理影像沟通和位置快速信息获取等功能。智能可穿戴设备可用于体温、血压、血氧、血糖、心电、定位、体重、运动等数据的获取,终端应用主要为 Android App、iOS App 和微信小程序,医疗信息处理服务器采用 Hadoop 结构,使用 Spark 计算框架,利用分布式数据库 SequoiaDB 存储信息。三者之间可采用 ZigBee+WIFI 无线传输、GPRS 或蓝牙传输等通信方式通信。通过实验验证,智能可穿戴设备的准确性较高,而且 3 种通信方式均可在不同条件下相互切换,信息传输与存储的正确性可得到保证。

关键词 可穿戴设备,心率检测,健康监管平台,Spark,Hadoop
中图法分类号 TP368.1 **文献标识码** A

Construction of Personalized Health Monitoring Platform Based on Intelligent Wearable Device

JIA Ning LI Ying-da
(Dalian Neusoft University of Information,Dalian,Liaoning 116023,China)

Abstract Nowadays,the community health care mode dominated by prevention,health care and pre diagnosis is vulnerable to many factors,such as professional knowledge,information technology and many other factors. In order to assist non-professional medical staff to acquire health information in time,a personalized health-monitoring platform based on wearable devices was designed. The platform involves new health field,and it integrates medical information with Internet of things and big data technology perfectly. The personalized health-monitoring platform consists of three parts:intelligent wearable equipment,terminal application and medical information processing server,which mainly includes daily health monitoring,abnormal information alarm,pathological image communication and rapid acquisition of position. Intelligent wearable devices can be used for data acquisition of body temperature,blood pressure,blood oxygen,blood sugar,ECG,location,weight and motion. The terminal applications are mainly Android App,iOS App and WeChat applet. The medical information processing server adopts Hadoop structure,uses Spark computing framework,and uses distributed database SequoiaDB to store information. The three parts can be transmitted by means of ZigBee+WIFI, GPRS or Bluetooth transmission. It is proved by experiments that the accuracy of the smart wearable device is high,and the three communication modes can switch each other under different conditions to ensure the correctness of the information storage.

Keywords Wearable device,Heart rate detection,Health monitoring platform,Spark,Hadoop

1 引言

随着人们生活品质的提升和医疗环境的改善,每个人对自身健康的关注程度正在逐步加强,而就医方式也开始从被动“有病医病”的方式转型为以“预防、保健、预诊”为主导的模式[1]。这种转型意味着以小群体(社区、小区、家庭)为单位的疾病集中预防与监管将成为未来的热点行业[2]。然而,在现实生活中无法为每一个小群体配备专业医生指导,因此利用现有医疗技术,结合现代科技,为非专业人员提供远程信息化交流与技术支持显得尤为重要[3]。

目前,物联网技术的普及度逐渐增强,互联网+行业正在蓬勃发展,医疗行业通过与物联网技术的融合形成了新型健康领域——远程移动医疗交互[4]。目前,基于此领域的研究主要围绕在远程医疗、个人健康检测、疾病档案、一体化就诊流程和医患沟通等方面。例如,Tang 等开发的远程医疗家庭护理系统,实现了连续长时间对用户的身体数据进行跟踪与统计[5];Shahryar 等设计了智能移动医疗监测系统,利用相关传感器获得各项身体指标,并及时通知病人[6];Thomas 等针对心脏病人,设计了一款实时监控系统,针对特定病人实施监测[7]。除此之外,还有很多的 IT 公司与指定医院合作开发了

本文受智能健康监管平台设计项目资助。

贾 宁 女,讲师,主要研究方向为嵌入式软、硬件开发、移动应用开发,E-mail:jianing@neusoft.edu.cn(通信作者);**李瑛达** 女,讲师,主要研究方向为嵌入式软、硬件开发。

基于医疗辅助、在线问答、就医流程等功能的移动 App[8]。

现如今，远程移动医疗在行业内产生了极大的应用价值，帮助人们纠正传统的就医理念，逐步形成关注生活保健、预防常见疾病的健康意识，同时降低了就医的成本。然而，由于现有医疗条件的限制以及通信技术的制约，此类移动医疗系统并未实现真正的“物联网”融合，大部分系统只是停留在手机客户端的开发和少量传感器的信息传输，数据获取流程单一，数据分析肤浅无深度，无法实现通用化的健康检测、个性化的专项检测与个性指导[9]。

为了适应这种医疗形式的改变，可设计一个个性化的健康监管平台。本文将物联网技术、信息技术、数据处理与分析技术相融合，设计了一套可开放使用的通用自助信息采集设备和终端，利用物联网技术将各项检测服务地点延伸至社区、家庭，通过此终端设备可获得体温、血压、血氧、血糖、心电、定位、体重、运动等数据信息，为医生的诊断提供辅助信息，同时该平台可以为每位用户订制个性化指标数据指导，在数据模型获取、整合、分析的基础上，提供智能会诊、影像数据分析、远程监控等功能，很大程度上提高了工作人员的工作效率和用户信息的可靠性。

2　个性化健康监管平台总体设计

2.1　总体框架设计

个性化健康监管平台的主要功能是利用相关设备获取社区和家庭成员的身体数据，利用数据整合和处理技术分析相关异常数据，并为用户提供专业知识指导。此平台由智能可穿戴设备、终端应用和医疗信息处理服务器 3 部分构成，系统框架如图 1 所示。

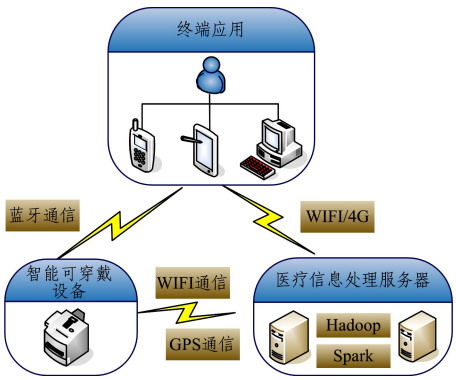

图 1　系统框架图

智能可穿戴设备与终端应用、医疗信息处理服务器之间均可实现信息传递，传输方式可以为 WIFI、蓝牙、GPRS 中的任意一种，设备模式具有多样性，而且切换较为灵活。

2.2　系统功能

此个性化健康监管平台主要包含日常健康监测、异常信息报警、病理影像沟通和位置快速获取等功能。

(1)日常健康监测

日常健康监测是基于智能可穿戴设备实现的功能，在此平台中，用户可以选择大众化传感器设备进行日常监测，针对中老年或慢性病人，也可以有针对性地选择部分项目定期监控，通过专门为其定制设备实现个性化预诊。

(2)异常信息报警

在日常检测的基础上，医疗信息处理服务器着手数据整合和加工，并进行模型分析，为用户的每项信息设定基础数值和临界阈值，当服务器获取异常信息时，会在三端同时进行信息警告。

(3)病理影像沟通

此功能主要体现在终端应用中，用户可事先安装终端应用，在就医时，应用程序会提供就医环节的全面指导，包括挂号、就医路线、诊疗路线、在线缴费、排队情况、病理分析、医护沟通等，该应用操作方便，可及时为用户提供专业知识的解答，节省了大量的排队时间。

(4)位置快速获取

此功能专门为特殊用户和医护人员设计，通过佩戴相关设备及时获取就诊异常用户的行车路线，为其提供紧急医疗通道。此外，针对医护人员，可实时获取其位置信息，方便就诊患者快速地搜寻医师为其服务。

3　硬件设计

该平台硬件设计的主要对象是智能可穿戴设备，主要实现对身体各项数据的信息采集，可获取的信息有：体温、血压、血糖、血氧、心电、定位、体重、运动等，采集信息的频率可由用户自行定制。智能可穿戴设备中的每个模块均备有电源，用户可自行拆卸或组装，这些健康数据可选择被传送至终端应用或者医疗信息处理服务器，当选择模块独立使用时，传感器数据将通过蓝牙模块自动上传至终端应用，否则，传感器将根据当前环境将数据上传至医疗信息处理服务器，此时的传输方式可为 WIFI 或者 GPRS。图 2 为可穿戴设备的设计框架图。

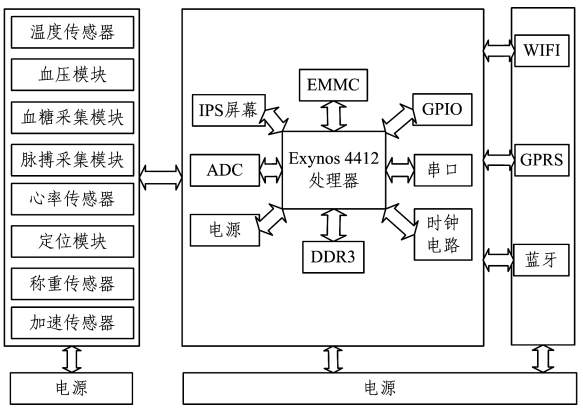

图 2　可穿戴设备的设计框架图

如图 2 所示，可穿戴设备的硬件结构主要由核心处理器、嵌入式传感设备、通信模块构成。

3.1　核心处理器

此平台采用三星公司的基于 ARM9 内核的 Exynos 4412 处理器，此处理器包含 4 个 Cortex-A9 和 1 个 Cortex-A5[10]，运算能力达到了 16000DMIPS，其内部支持多种封装形式的核心板，包含 IPS 高清屏幕、EMMC 存储器，可以实现动态电压频率调整，同时提供 HDMI、MIPI、网口和 GPIO 等多种接口，为移动通信和 WIFI 通信提供了良好的基础。

3.2　嵌入式传感设备

(1)温度传感器

此平台选用 DS18B20 温度传感器模块作为体温数据的采集设备，同时集成 BL620-SA 蓝牙模块，温度传感器转换信号为电压值，对其进行滤波去噪和电压放大后，再进行数字转换，从而得到温度信息[11]。

(2)血压模块、血糖采集模块

平台使用电容式压力传感器 HKB-08 血压模块,测量模式主要为臂式测量模式,可通过串口、蓝牙、Zigbee 等形式输出结果。该模块配有独立的电池和电源,拆卸方便。

血氧采集功能主要使用 LR-SP-A21 血糖模块,该模块具有超低功耗、超高精度、检验快速等特点。

(3)脉搏采集模块

脉搏检测采用 AFE4400 血氧模块,该模块是一款适用于脉冲血氧应用的完全集成模拟前端,此器件是一款可配置的定时控制器,包含 1 个具有集成模数转换器的低噪声接收器通道和 1 个 LED 发射部件,可通过外接串口与处理器进行通信。

(4)心率传感器

心率检测采用 SON7015 心率传感器,此模块包含低噪声前置放大器,功耗较低,灵敏度较高,其利用光电式容积描记(PPG)技术完成心率的监测,其主要原理是可通过光电传感器判断血液在吸收前后反射光强的变化,从而判断血管在一个心跳节拍过程中的容积差,获得脉搏波形,通过此映射检测对象的心率信息。心率传感器模块结构图如图 3 所示。

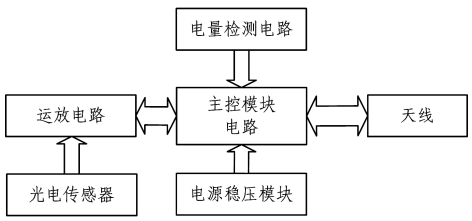

图 3 心率传感器模块结构图

通过滤波,SON7015 传感器的原始检测信号变为锯齿波形,可利用算法对其进行处理,形成方波波形,每一个方波对应一次心跳。为保证心率信号的准确性,可对该锯齿信号的波峰、波谷重博波峰进行处理,算法的具体设计如下。

(1)假定波形信号的采集频率为 1 ms,每次更新其信号的波峰值 M_p 和波谷值 M_t。假定阈值为 M_{thread},心隔节拍为 M_b,从而有式(1):

$$M_{\text{thread}}=(M_p-M_t)\div 2+M_t \tag{1}$$

(2)当波形信号的电压值在阈值范围与波峰 M_p 之间,而且持续超过 60%的心隔节拍时长时,可将该信号设置为心跳值 M_h,与此同时,开启两个定时器 T_1 和 T_2,分别记录第 2 个与第 1 个心跳的时间差值、两次 T_1 时间差值(即有效的心跳间隔时间)。当超过指定时间未出现新的心跳值时,将所有的波形信息还原为初值,重新计算。

(3)按照步骤(2)的思路,统计连续 20 次有效心隔节拍的均值 M_{average},假定此期间心拍数为 N_i,则有式(2):

$$H_1=[N_1,N_2,N_3,\cdots,N_i] \tag{2}$$

其中,H_1 是有效心拍数组。T_{total} 表示连续 20 个有效心隔节拍的时间间隔。

(4)统计在 T_{total} 时间内,脉冲信号的电压值超过 M_{thread} 的数量 M_i,此时的数组为 H_2,于是有式(3):

$$H_2=[M_1,M_2,M_3,\cdots,M_i]*(60\div T_{\text{total}}) \tag{3}$$

(5)执行式(2),并将其进行中值滤波,取平均值后,去除奇点,将其与 H_2 数组中的元素进行比较,去除 H_2 中精确度较低的数据,计算 H_1 数组的均值,获得平均心率 P_{mean}。将 H_1 中的每一个元素与 P_{mean} 进行比较,得到 ΔP 数组,即有式(4):

$$P=P_{\text{mean}}+\Delta P \tag{4}$$

其中,P 为最终得到的心率数值。

在使用此算法进行心率计算时,需要等待 SON7015 传感器稳定一段时间后再进行测量,避免出现较大的误差。同时,当检测 90s 内无新的数据到达时,会自动关闭模块电源,开启节电模式。

表 1 为此种心率计算方法与传统心率计算方法的实验对比数据。可以看出,在 10 组统计数据中,两者的差异性控制在 6%以内,差异性较小,准确率较高。

表 1 心率计算方法的对比数据

传统搭脉法计数/次	心率检测算法计数/次	误差/%
62	60	−3.33
68	65	−4.40
72	75	4.17
75	71	−5.30
66	68	3.03
84	81	−3.57
76	72	−5.26
70	68	−2.86
80	83	3.75
65	68	4.62

(5)定位模块

此平台选用基于 NEO-7N 内核的 GPS 模块,此模块精度较高,自带 USB 接口,板载陶瓷天线,搜星能力较强,能够基本满足医疗环节产生的定位需求。

除了上述的硬件模块,此平台还采用了 YZC-161E 称重传感器用于体重测量,利用 LIS2DS12TR 加速传感器进行运动步数测量。

3.3 通信模块

此平台提供 3 种方式实现智能可穿戴设备、终端应用和医疗信息处理服务器之间的通信,分别为:ZigBee+WIFI 无线传输、GPRS 数据传输和蓝牙通信。具体应用方式如下。

(1)ZigBee+WIFI 无线传输

当智能可穿戴设备中的模块未剥离而且处于 WIFI 环境时,会自动切换至 WIFI 无线传输方式,这是系统默认的数据传输方式。此时各个硬件模块作为 ZigBee 结点与网关进行消息传递,网关汇总消息后,通过 WIFI 方式与无线路由器相连接,将消息直接传输至医疗信息处理服务器。其网络结构如图 4 所示。

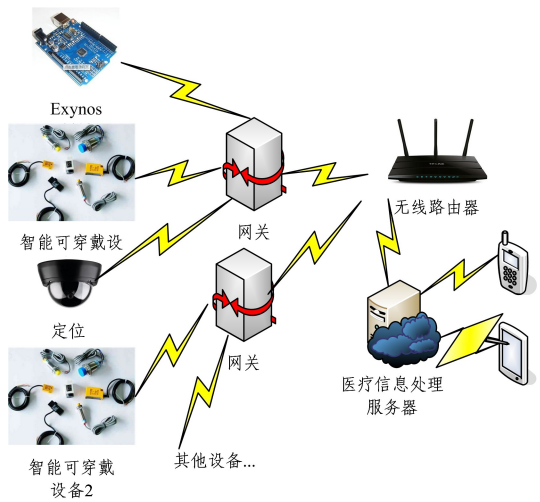

图 4 ZigBee+WIFI 无线传输网络结构

(2)GPRS 数据传输

当智能可穿戴设备中的模块未剥离而且不具备 WIFI 时，设备会主动唤醒 GPRS 模块，将消息直接传输至医疗信息处理服务器。

此平台采用有人科技 USR-GPRS-730 模块，该 GPRS 模块利用 USR-GM3 开发，可采用 RS232 或 RS485 串口通信，实现设备与 GPRS 网络之间的双向信息传输，而且传输效率和准确性较高。

采用此种形式传输数据时，用户可手动选择节约模式，此时会自动过滤正常的信息，只提交异常信息，由于传输信息耗费流量有限，采用最基本的流量资费套餐即可满足日常检测的需求。

(3)蓝牙通信

智能可穿戴设备中的每个模块均自带备用电源，当模板被剥离时，会自动切换至蓝牙传输方式，此时单个模块将与终端应用自动配对，并将数据直接传送至终端应用中。

此平台采用了 BL620-SA 蓝牙模块，它是 Laird 公司推出的一款单模低功耗而且支持蓝牙 4.0 协议的模块，该模块内部集成 nRF51822 芯片，2.4GHz 频率，灵敏度较高，收发距离较远，且提供 I2C，SPI，UART 等多种接口。此模块功耗较低，使用时电流仅为 10mA，待机和休眠时的电流仅为 10^{-6} A 级别，目前，此模块已经广泛应用于物联网相关行业中。

上述 3 种数据通信方式均应用于不同的场景中，用户可主动选择某种模式，或由系统进行实时检测与切换。表 2 为 3 种数据通信方式的效率统计与特征分析。

表 2　3 种数据通信方式的效率统计与特征分析

通信方式	传输速度	优势	劣势
ZigBee＋WIFI	200 Kbps	免费	无法拆卸模块 脱离 WIFI 不可用
GPRS	50 Kbps	空旷场地可用	无法拆卸模块 需要消耗流量
蓝牙	1000 Kbps	便于模块拆卸	传输距离短

4　终端应用设计

作为个性化健康监管平台的信息接收者，终端应用软件主要用于接收智能可穿戴设备和医疗信息处理服务器发送的信息，包括传感器数据、异常警告信息、就医流程、影像报告等。

此平台涉及的终端应用软件分为 3 种形式：Android App、iOS App 和微信小程序。终端用户可根据手机设备类型自行下载终端应用。这 3 种形式的功能基本相同，主要包括登录、注册、产品定制、蓝牙连接、定时检测、异常报警、人员定位、医院绑定、挂号、付款、病例影像查看、远程医师沟通、保健信息推送、设置等。

由于需要将终端软件与智能可穿戴设备配套使用，用户在选择设备模块的同时，可私人定制终端软件的功能。当设备中的模块未被取下时，终端软件的数据主要来源于医疗信息处理服务器。有时为了操作便利，用户选择单个模块使用，例如血压、血糖模块等，此时终端软件直接从设备模块获取数据，并将数据转发至医疗信息处理服务器进行存储。

在开发过程中，需要确保终端应用软件的安全性和可靠性，此平台对 Android App 和 iOS App 的上架、更新、下架等环节进行了严格监控，对用户使用时产生的数据进行了加密处理，以保证数据的安全，防止用户个人信息、病例、档案外流。

图 5 为 Android 端与智能可穿戴设备进行蓝牙连接的界面。

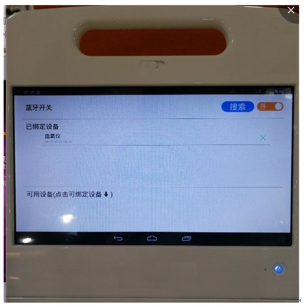

图 5　Android 端与可穿戴设备蓝牙连接

5　医疗信息处理服务器设计

作为此平台的信息中转站，医疗信息处理服务器主要实现了与智能可穿戴设备、终端应用之间的双向通信。该服务器提供了大量数据接口，主要类别包括：用户信息、监测设备信息、异常信息、影像报告信息等。在提供数据接口的同时，搭建分布式数据库 SequoiaDB 以存储相关的数据信息。医疗信息处理服务器主要由 3 个层次构成：信息采集层、信息处理层、信息应用层。图 6 给出了服务器端的总体框架图。

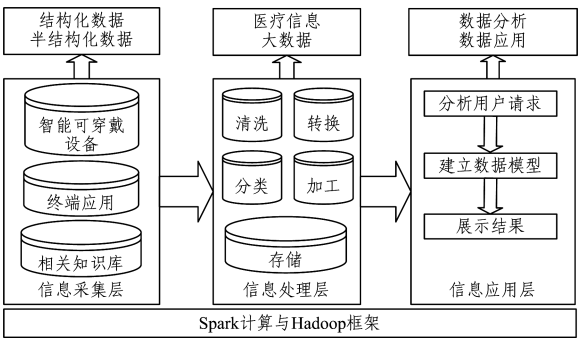

图 6　医疗信息处理服务器的总体框架

信息采集层主要利用智能检测设备获取相关的医疗数据，采集结构化和半结构化的数据，同时从疾病知识库中调取相关的知识，并将采集到的信息加工后送到分布式数据库 SequoiaDB 中[12]。

信息处理层主要完成数据的整合与存储操作。由于获取到的信息具有很强的多样性，首先要对信息进行清洗、转换、分类和加工，然后再进行数据存储。由于 SequoiaDB 分布式数据库中采用节点的形式协调数据，因此，在存储数据之前，首先要计算最佳的节点位置，并行多个任务分别进行查询和计算，再将指定的查询结果通过接口呈现给终端应用。

此服务器应用 Spark 计算框架与 Hadoop 结合设计信息应用层，在 Hadoop 集群中可共享相关数据和资源，在 Spark 框架中通过计算得到访问频率较高的信息，并将这些信息存储在内存中，方便近期的数据访问，提高工作效率[13]。

除此之外，用户可在终端应用上提交相关请求，在应用层分析用户提交的请求，快速计算相关数据，形成数据表格，建立相关的数据模型，最终以图形化的形式为用户展现结果。图形的相关数据来源于后台数据库，由于数据库读写效率较高，可实现即时信息交互。图 7 为医疗信息处理服务器的咨询页面。

图 7 医疗信息处理服务器的咨询页面

结束语 本文设计了一个基于可穿戴设备的个性化健康监管平台，主要包含日常健康监测、异常信息报警、病理影像沟通和位置快速获取等功能。此平台由智能可穿戴设备、终端应用和医疗信息处理服务器 3 部分构成，根据当前环境的不同，可手动或自动选择 ZigBee＋WIFI 无线传输、GPRS 传输或者蓝牙通信方式，通过实验验证了心率等模块的准确性，确定了医疗信息处理服务器作为信息中转站的重要性和分布式存储的正确性。

在未来的开发过程中，将继续延伸大数据技术在此平台上的应用，逐步完善精准医疗、患者特征分析、智能影像诊断、医疗质量分析等功能。

参 考 文 献

[1] 王磊，张涛. 基于云的高校移动校园生态链的构建研究[J]. 华东师范大学学报(自然科学版)，2015，2015(S1)：55-60.

[2] 岳蜀华，王美涵，郭飞，等. 可穿戴式无线心电监测仪的研究现状[J]. 生物医学工程与临床，2006，10(4)：262-266.

[3] 罗祖秋，金纯，陈峰，等. 基于蓝牙和 ZigBee 技术的可穿戴网络设计[J]. 电子技术应用，2006，32(3)：29-31.

[4] 蒋跃文，黄恒发，何文康，等. 基于 ZigBee 的可穿戴心电监护系统设计[J]. 微型机与应用，2015(16)：83-86.

[5] PAIK S，SHAK S，TANG G，et al. A multigene assay to predict recurrence of tamoxifen-treated，node-negative breast cancer. [J]. New England Journal of Medicine，2004，351(27)：2817-2826.

[6] SARIKHAN M，SHAHRYAR H A，GHOLIZADEH B，et al. Effects of insoluble fiber on growth performance，carcass traits and ileum morphological parameters on broiler chick males. [J]. International Journal of Agriculture & Biology，2010，12(4)：531-536.

[7] JACKSON，BROOKS J，MUSOKE，et al. Intrapartum and Neonatal Single-Dose Nevirapine Compared With Zidovudine for Prevention of Mother-to-Child Transmission of HIV-1 in Kampala，Uganda：18-Month Follow Up of the HIVNET 012 Randomized Trial[J]. Obstetrical & Gynecological Survey，2004，59(3)：183-185.

[8] 张硕晨，张柏雯，林岚，等. 基于多参数可穿戴设备的健康管理平台的设计与实现[J]. 智慧健康，2016，2(8)：8-15.

[9] 徐高超. 基于 GIS 云平台的网络视频健康监管运维服务系统[J]. 工程技术(全文版)，2017，12(3)：294-295.

[10] 张煜. 可穿戴动态心电监护系统与心电信号处理方法研究[D]. 成都：电子科技大学，2014.

[11] 刘璐，谢桦，范启勇，等. 基于健康档案和区域卫生平台医疗服务监管系统的研究与实现[J]. 中国卫生信息管理杂志，2015，12(1)：43-48.

[12] 陈康，王彬，冯琳. Spark 计算引擎的数据对象缓存优化研究[J]. 中兴通讯技术，2016，22(2)：23-27.

[13] 陈丽，王锐，胡刚. 一种基于 SSD 的高性能 Hadoop 系统的设计与应用[J]. 广东水利电力职业技术学院学报，2016，14(1)：39-44.

(上接第 557 页)

制问题是可行的，后续工作将围绕更复杂的控制问题展开，如四足机器人在复杂地形的步态规划和控制问题。

参 考 文 献

[1] SILVER D，HUANG A，MADDISON C J，et al. Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search[J]. Nature，2016，529(7587)：484.

[2] SILVER D，SCHRITTWIESER J，SIMONYAN K，et al. Mastering the game of Go without human knowledge[J]. Nature，2017，550(7676)：354-359.

[3] MNIH V，KAVUKCUOGLU K，SILVER D，et al. Playing Atari with Deep Reinforcement Learning[J]. Computer Science，2013.

[4] MNIH V，KAVUKCUOGLU K，SILVER D，et al. Human-level control through deep reinforcement learning[J]. Nature，2015，518(7540)：529.

[5] SILVER D，LEVER G，HEESS N，et al. Deterministic policy gradient algorithms[C]// International Conference on Machine Learning (ICML). 2014.

[6] LILLICRAP T P，HUNT J J，PRITZEL A，et al. Continuous control with deep reinforcement learning[J]. Computer Science，2015，8(6)：A187.

[7] SCHAUL T，QUAN J，ANTONOGLOU I，et al. Prioritized Experience Replay [OL]. http://mailer. oailer. net/paper/4054420.

[8] 周志华. 机器学习[M]. 北京：清华大学出版社，2016：377-382

[9] SCHULMAN J，MORITZ P，LEVINE S，et al. High-Dimensional Continuous Control Using Generalized Advantage Estimation [OL]. http://arXiv. org/pdf/1506. 02438v1. pdf.

[10] SUTTON，RICHARD S，BARTO，et al. Introduction to Reinforcement Learning[J]. Machine Learning，2005，16(1)：285-286.

[11] KONDA V. Actor-critic algorithms[J]. Siam Journal on Control & Optimization，2006，42(4)：1143-1166.

[12] VAN H V，GUEZ A，SILVER D. Deep reinforcement learning with double q-learning[C]// Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. Phoenix，USA，2016：2094-2100

[13] THRUN S，SCHWARTZ A. Issues in using function approximation for reinforcement learning[C]// Proceedings of the 1993 Connectionist Models Summer School. Hillsdale，NJ，1993.