

# 基于可穿戴的运动强度监测系统<sup>①</sup>

李冰冰, 俞帅东, 杨象校, 郑雅羽

(浙江工业大学 信息工程学院, 杭州 310000)

**摘要:** 目前学生体质与健康状况连续呈下降趋势. 运动强度过高或者过低都会对学生的体质与健康造成不利的影响. 为满足监测学生运动强度并促使他们进行适度运动的需求, 设计并实现了一套基于可穿戴的人体运动强度监测系统. 利用三轴加速度传感器采集人体运动加速度并作预处理, 通过无线蓝牙方式传输到 GPRS 基站, 进而自动上传到服务器, 设计一种运动强度分类算法来监测运动强度并促使学生进行中等强度运动. 讨论了该系统的软硬件设计和实现, 包括可穿戴设备、基站、Flash 存储方法和服务器软件. 测试结果表明, 系统运行稳定, 安全可靠, 能满足学生运动强度监测和促进的需要.

**关键词:** 学生体质; 可穿戴技术; 加速度; Flash 存储; 无线传输; 运动强度

## Exercise Intensity Monitoring System Based on Wearable Device

LI Bing-Bing, YU Shuai-Dong, YANG Xiang-Xiao, ZHENG Ya-Yu

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310000, China)

**Abstract:** Currently students' fitness and health status continually declines. Low and high intensity exercise will have a bad effect on students' physical fitness and health. In order to meet the needs of monitoring exercise intensity and encouraging students to do moderate exercise, a set of exercise intensity monitoring system based on wearable device is proposed and implemented. It uses three-axis acceleration sensor to capture the acceleration signal of human motion and preprocesses it, transmits it to the base station of GPRS via wireless Bluetooth and uploads it to the server automatically. An exercise intensity classification algorithm is designed to monitor exercise intensity, so teachers urge students to do moderately intense exercise. Details on hardware and software of the system are discussed, including wearable device, base station, a method of Flash storage and server software. The test results show that the system runs normally and safely. The system satisfies the needs of monitoring exercise intensity and promoting students to do moderate exercise.

**Key words:** students' fitness; wearable technology; acceleration; Flash storage; wireless transmission; exercise intensity

## 1 引言

近年来学生的体质与健康问题引起了社会的广泛关注, 学生体质与健康状况下降已成为不争的事实. 由我国教育部牵头实施的体质调查结果显示: 我国学生营养状况继续改善, 但是学生体质与健康状况连续呈下降趋势, 肥胖检出率继续上升, 视力不良检出率仍居高不下<sup>[1,2]</sup>. 更为严重的是高血压、高血脂、糖尿病等这些与肥胖相关的病症, 近年来在青少年身上时有发生<sup>[2]</sup>. 美国政府发布的《身体活动与健康医学总监

报告》指出, 缺少身体活动是人类面临健康的最大的威胁因素, 所以学生需要通过适度的运动来锻炼身体, 才可以更加茁壮成长<sup>[3]</sup>.

中等强度的身体锻炼能够取得较好的锻炼效果和心理效应, 强度过高反而不会产生良好的心理效果<sup>[4]</sup>. 中等强度的运动能够减少肥胖的危险<sup>[5]</sup>. 肥胖的学生参与中等强度的运动会比参与标准的体操类节目和健康教育计划有更多的好处, 包括减少脂肪, 降低身体质量指数, 较大增加心肺功能<sup>[6]</sup>. 而且运动强度不足不

① 收稿时间:2014-08-25;收到修改稿时间:2014-09-30

仅影响健身效果,还会造成运动器官的无谓的磨损;但是强度过大,一旦超过人体机能能力将会对机体造成损害,导致人体免疫机能下降<sup>[7]</sup>.

目前有研究者利用可穿戴设备或者手机来对人体跌倒、步行上下楼等日常行为、上肢活动进行识别<sup>[8-10]</sup>,但是并没有提出一个方法可以自动监测人体运动强度并促使教育局、学校、老师等对学生的体育活动作出更好的决策.

本文提出了一种基于可穿戴的运动强度监测系统,设备采集端采集人体运动时的三维加速度数据并进行预处理,通过蓝牙发送到中转基站并自动转发到服务器上,服务器软件运用运动强度分类算法对这些数据进行运动强度分类,并具备显示和统计前段时间的运动强度的功能,从而促使学生进行中等强度运动,达到改善体质的目的.

## 2 运动强度监测系统设计与实现

针对现有国内外研究状况,开发的系统普遍存在一定的局限性,如设备的功能越多,则往往成本高、体积大、使用过程复杂.而一些可穿戴设备往往实现的功能较少,比如只能作简单计步,并不能很好地评估中小学生的体质健康.这些设备需要与智能手机或者平板连接才能看到数据,且传输的数据量比较小,以及可充电的模式相对减少了设备的便携性.

可穿戴技术具有可移动操作、使用简便、支持长时间连续工作和无线数据传输等特点<sup>[11]</sup>,本文设计和实现了一个基于可穿戴的人体运动强度监测系统.人体运动强度监测系统包括设备采集端、中转基站和服务器软件.其中,设备采集端数据和中转基站的数据均采用无线传输方式,无需布线.本文提出的基于可穿戴的人体运动强度监测系统的主要功能是设备采集端采集被测试者运动时的人体运动加速度,并进行预处理,并到离他们最近的中转基站将数据通过无线蓝牙方式转发到基站;服务器软件接收中转基站转发的数据并保存到数据库中,运用运动强度分类算法对这些数据进行运动强度分类并进行显示,以及用户个人信息管理、设备采集端和中转基站的管理.教师等登陆进去便可以查看学生最近的运动强度,并促使学生进行中等强度的运动.运动强度监测系统的整体网络拓扑结构图如图 1 所示.

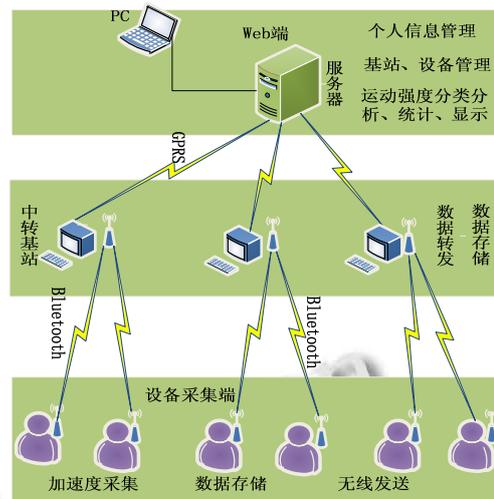


图 1 运动强度监测系统网络拓扑结构图

### 2.1 系统硬件设计

本文将人体运动强度监测硬件系统分为设备采集端和中转基站两部分.

#### 2.1.1 设备采集端设计

为了保证不影响可穿戴的人体运动强度监测系统的性能(如质量、可靠性、副作用等),设备采集端采用低功耗设计;为了让人穿戴的舒适,主控硬件平台的体积要小、质量要轻;在信息传送和处理方面还应该考虑高效、方便<sup>[11,12]</sup>.

设备采集端的硬件部分主要包括加速度信号采集模块、蓝牙射频模块以及 CC2541 为核心的微控制器模块等.设备采集端的硬件框图如图 2 所示.

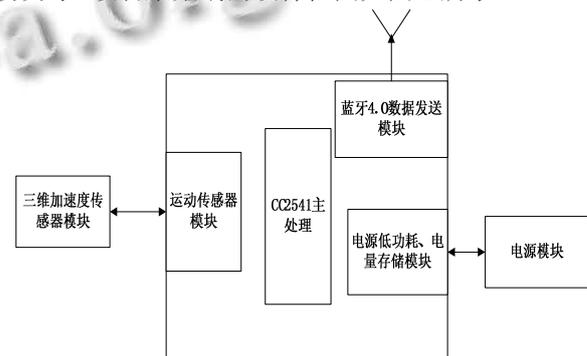


图 2 设备采集端硬件结构图

加速度信号采集模块的核心部分是基于 MEMS 的单芯片三轴加速度传感器 ADXL362.它是一款超低功耗、3 轴 MEMS 加速度计,它可以进行可调阈值睡眠和唤醒操作,体积小,非常适合本设计低功耗的应用.

ADXL362 器件工作时有个特性：只要断开 ADXL362 的电源或工作电压降至额定范围以下，电源 (VDD 和任何旁路电容)就必须完全放电后才能再给器件供电。要使 ADXL 电源放电完全，建议从微控制器 GPIO 为器件供电，另一个 GPIO 连接 CMOS 管连接到电源(如图 3(a))，但是这样设计要增加 CMOS 管且需要两个 GPIO 配合工作。所以我们设计了另外一种更加简洁的方法(如图 3(b))，即用微控制器上一个可配置成输入模式内置下拉电阻的 GPIO 来为器件供电，刚上电初始，将此 GPIO 配置成输入模式内置下拉电阻，此时 ADXL362 的 VDD 通过电阻构成放电回路，确保完全放电。再将 GPIO 配置成输出模式高电平给器件供电，这样就可以确保 ADXL 能够正常工作。

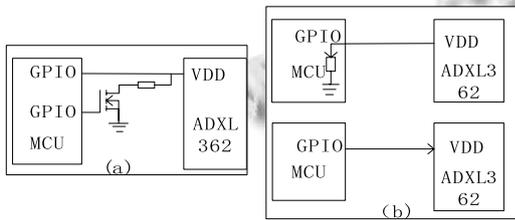


图3 ADXL362 充放电设计

设备采集端的核心控制和计算选用 TI 公司的 CC2541 单片机。该单片机集成了微处理器，存储器和射频模块，具有高集成度、低功耗、小体积、低成本等特点，非常适合电池供电的便携产品。

蓝牙射频模块采用 CC2541 自带 2.4GHz 蓝牙通讯模块。它可以满足数据的无线传输，其完全支持蓝牙 4.0 低功耗协议(BLE stack)，可以保证设备的低功耗，而且蓝牙 4.0 还具有数据传输量大、不易丢包等特性，保证了数据传输的高效、有效性。

设备采集端是以 CC2541 为平台，上面集成三维加速度传感器来采集人体运动时的加速度数据。并将采集到的数据送往 CC2541 上做数据预处理。考虑到运动数据比较大以及设备的低功耗，由于 SPI 传输的高效性，使用 SPI 总线将预处理后的数据从 CC2541 上转存到内部 Flash 上。

### 2.1.2 中转基站设计

中转基站主要完成对设备采集端蓝牙发送的数据接收并临时存储转发到服务器上。中转基站的硬件系统主要包括无线蓝牙模块、与服务器通信模块以及以 STM32 为核心的微控制器模块等。中转基站的设计

框图如图 4 所示。核心控制模块选择 STM32F103 单片机作为主处理器，其工作最高主频可达 72MHz。通信模块选择 GPRS G620 模块，通过便利的无线方式将数据转发到服务器。G620 模块支持四频，内置 TCP/IP 协议栈，GPRS 数据连接可靠。

CC2541 蓝牙模块负责蓝牙数据的接收，主处理器通过串口读取蓝牙接收到的数据。

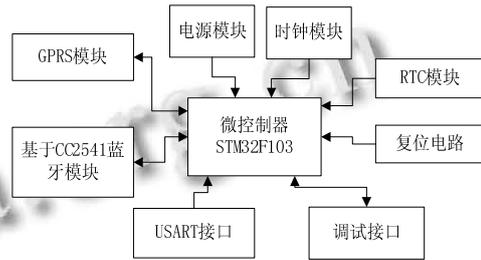


图4 数据中转基站的硬件结构图

## 2.2 系统软件实现

### 2.2.1 设备端软件实现

设备采集端的软件部分主要实现对三维加速度传感器数据的采集、处理、存储以及发送，以及对电池电量的监测程序，但是低成本的单片机往往数据处理能力有限、数据存储容量小，而且还得满足设备低功耗的要求，所以软件设计上程序做到优化，使得功耗降到最低。设备采集端的软件主要基于 TI 的 BLE 协议栈进行开发，其核心架构由 OSAL 和 HAL 两部分组成，主要基于事件、任务和消息来实现相关的业务。

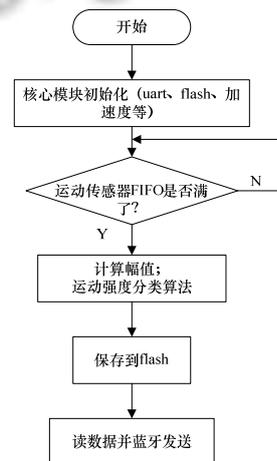


图5 采集端软件流程

软件开发的主要任务就是完成加速度数据采集、

预处理、Flash 数据存储和蓝牙数据发送。当被测者佩戴设备处于运动状态时，三维加速度传感器被唤醒并以 25Hz 的采样率采集人体运动时的加速度且连续运动一秒钟后，加速度传感器 FIFO 数据量大小达到设定的阈值产生中断，然后由 CC2541 处理器读取 FIFO 数据，对读取到的 X、Y、Z 三轴数据进行预处理和加速度幅值计算，当系统时间到新的一分钟时统计前一分钟的数据并进行存储。但是由于单片机内部的存储比较麻烦而且数据量比较大，需要根据单片机内部的 Flash 的编程方式设计一个高效的循环存储策略。每一个设备可以由两种方式上传数据。第一种是手动按键，打开蓝牙广告，连续广告 15s 使得基站扫描到设备并上传数据。第二种方式是每个设备都有定时自动上传数据(当数据量达到一定的值)。设备采集端是以纽扣电池供电，所以软件上优先考虑设备的低功耗特性，尽量优化程序设计。图 5 是设备采集端的软件流程图。

### 2.2.2 中转基站软件实现

该部分主要实现对 CC2541 上经过预处理后的运动传感数据的接收，最后通过网络发送到远程服务器上。该部分主要是以 STM32 为平台，设计相应的软件架构，实现 GPRS 模块、USART 等的驱动，设计内部 Flash 的存储管理，设计并实现与服务器的网络交互协议。中转基站调用 TI 的自带蓝牙模块可以实现对设备采集端数据的无线接收。TI 提供的蓝牙低功耗协议栈 (BLE stack)，方便开发者进行移植和开发，保证数据传输的高效性、有效性。

中转基站 STM32 软件设计采用嵌入式操作系统 uCOSII。uCOSII 具有内核小、实时性和可移植性较好的优点，可以满足系统对实时性的要求。目前 uCOSII 在嵌入式产品中应用广泛。中转基站有以下 5 个任务：

- ① 蓝牙接收任务：优先权最高任务，时刻接收蓝牙传送过来的数据并作解析，完成时间同步机制。收到蓝牙传送过来的运动数据保存在内部的 Flash 中；
- ② GPRS 任务：消息通过 GPRS 发送到服务器上，并接收和转发服务器发送过来的消息；
- ③ 数据上传任务：时刻检查内部的 Flash 中是否有数据，并将 Flash 存储的数据转发到服务器上；
- ④ 心跳包任务：定时往服务器发送心跳包，检测线路的连通性；
- ⑤ 系统任务：设置中转基站的参数，以及重启 GPRS 连接服务器。例如时间，ID 等。

在中转基站与服务器上建立 GPRS 网络连接时，本系统选用可靠稳定的 TCP 协议。具体内容就是 STM32 控制 GPRS 模块，通过串口发送 AT 命令主动向某个固定的 IP 地址发起 TCP 连接。建立 TCP 连接之后，在透明传输的模式下，服务器与中转基站之间就可以进行数据交互。中转基站与服务器之间的数据通信要约定一个传输协议，如中转基站数据请求时的标志符、服务器收到标志符后给中转基站发送数据包的起始符和终止符等。

### 2.2.3 蓝牙数据帧传输

设备采集端与基站的蓝牙连接过程：基站一直处于扫描状态，试图发现设备采集端；确认设备采集端进行广播并没有处于锁住状态；发送 IP 地址；基站收到并解读设备采集端发送过来的数据；建立并保存连接。低功耗蓝牙协议规范允许正在进行广播的设备连接到正在扫描的设备上，这就有效避免了重复扫描，而通过对连接机制的改善，低功耗蓝牙下的设备连接建立过程已可控制在 3ms 内完成，同时能以应用程序迅速启动链接器，并以数毫秒的传输速度完成经认可的数据传递后并立即关闭连结。蓝牙协议中最具独创性的通信方式——调节性跳频技术可以处理同在有效传输范围内的这些蓝牙设备之间的相互干扰。

人体运动强度监测系统中设备采集端 ID 采用统一的编码方式，占用 2Byte，每个设备采集端对应唯一的设备 ID 号。每个设备采集端可以监测人体的加速度幅值，用 8bit 区分不同的参数，蓝牙之间的数据格式如表 1、表 2 所示。蓝牙应用数据的传输流程如图 6 所示。

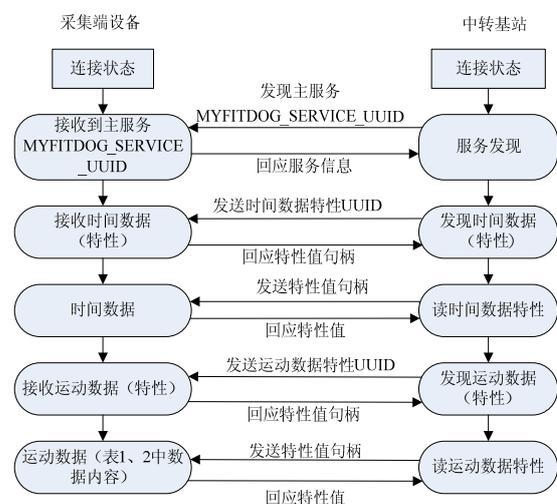


图 6 蓝牙应用数据传输流程

表1 数据传输帧格式

2Byte	4Byte	2Byte	4Byte
设备ID	当前运动时刻(分钟)	加速度幅值	1分钟内4等分的幅值(见表2)

表2 1分钟的数据格式

1Byte	1Byte	1Byte	1Byte
0~14秒的平均加速度幅值	15~29秒的平均加速度幅值	30~44秒的平均加速度幅值	45~59秒的平均加速度幅值

### 2.2.4 服务器软件设计

服务器软件接收中转基站的数据并保存在数据库中, 学生和教师登陆进去可以获得学生前段时间的运动情况, 校长和教师就可以促使学生做些中等强度的运动来增强体质. 本系统的服务器采用 Ruby on Rails 框架, 数据服务器采用 ACE(adaptive communication environment)框架, 综合利用 MySQL、MongoDB 等数据库来设计. 服务器软件包括三部分: WEB 服务器层, 数据库服务器层, ACE 数据服务器层. 服务器软件框图如图 7 所示.

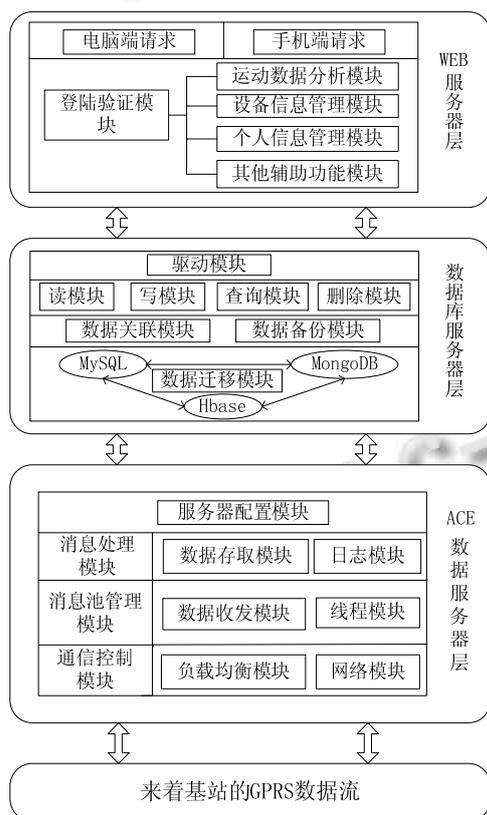


图7 服务器软件框图

WEB 服务器层主要分为登陆验证模块、运动数据分析模块、设备信息管理模块、个人信息管理模块等.

根据用户的类型分为学生用户、教师用户和管理员三大类. 运动数据分析模块主要功能是从数据库中读取用户每个时间点的运动信息, 经过汇总计算以表格的形式为用户呈现任意时间段的运动信息, 同时绘制运动趋势图供用户参考. 设备信息管理模块主要管理的是自身可穿戴式设备 ID 的绑定和解绑, 基站设备 ID、IP 及地理信息等信息, 既能添加、编辑基站的各项信息, 也能查看基站的运行状况.

数据库服务器主要接受来自 WEB 服务器和 ACE 数据服务器对数据库的读写操作, 将个人信息等的结构化的数据存储到 MySQL, 将运动数据的非结构化的数据存储到 MongoDB 和 HBase<sup>[13]</sup>. MongoDB 是基于内存的存储方式, 数据存储空间会随着数据的增加而增加, MongoDB 自带的回滚模式, 能自动覆盖最旧的数据.

ACE 数据服务器层主要包括四个模块, 由服务器配置模块、消息处理模块、线程池管理模块和通信控制模块, 消息处理模块有数据存取模块和日志模块组成, 线程池管理模块有数据收发模块和线程管理模块组成, 通信控制模块有负载均衡模块和网络模块组成. ACE 数据服务器底层的通信控制模块主要解决的是建立连接请求的问题, 对来自基站的数据流进行预处理(负载均衡)<sup>[14]</sup>, 并建立相应的 Socket 连接, 在线程池管理模块中形成消息队列, 等待消息处理模块的解析, 通过解析命令, 获得命令请求, 如果是写的操作, 将数据存储到数据库中. 如果是发送的命令, 将数据从数据库中读出, 并且进行数据的封装, 传给底层的网络通信模块进行发送.

### 3 flash存储方法

Flash 主要存在两个缺陷: 在重写前必须进行页擦除操作; 擦除操作次数有限. 这样以擦除次数表征的 Flash 使用寿命也无法满足产品生命周期的要求. 而 FAT 文件系统本身的系统信息集中存放, 频繁地对相应区域进行擦除操作, 很容易达到上限, 会导致 Flash 无法使用<sup>[15]</sup>. 所以本文设计了一种利用 MCU 的内部数据 Flash 存储非易失性数据的方法, 它不仅操作方便, 应用接口简单, 而且尽量避免擦除操作提高存储效率, 同时提高 MCU 内部 Flash 的使用寿命.

本文将数据 Flash 的若干个连续的页作为数据区, 设计了 Flash 的存储结构, 包含 Flash 起始地址、当前

的读写指针情况以及当前存在 Flash 中的字节数, 避免了对 Flash 固定地址的反复擦除, 提高 Flash 的使用寿命, 同时通过数据读写方法的设计避免了对 Flash 扇区的不必要擦除。

在数据读操作进行时, 根据 Flash 中存储的字节数, 直接读取 Flash 读指针地址起的若干数据, 同时并考虑读指针是否会溢出, 溢出就将读指针置回到起始地址, 并调整 Flash 中结构体中的字节数。

在数据写操作进行时, 首先判断 Flash 数据区中是否可以存储下要写入的字节数, 若是不够存储, 我们就按照类似操作系统上的先进先出页面置换算法的方法, 把读指针起始的相应数据删掉, 保存比较新的数据。考虑到 Flash 的页擦除操作, 并计算和移动读指针使它处于某个页的起始地址上, 调整 Flash 中结构体中的字节数, 调用写数据子函数。在写数据子操作进行时, 首先根据写指针计算 Flash 存储地址, 然后判断数据所在的 Flash 存储地址是否已经被擦除, 如果写入位置已经擦除, 直接将数据写入; 如果未经擦除, 需要擦除当前页的内容, 并将数据写入。同时并考虑写指针是否会溢出, 溢出就将写指针置回到起始地址。Flash 写操作流程如图 8 所示。

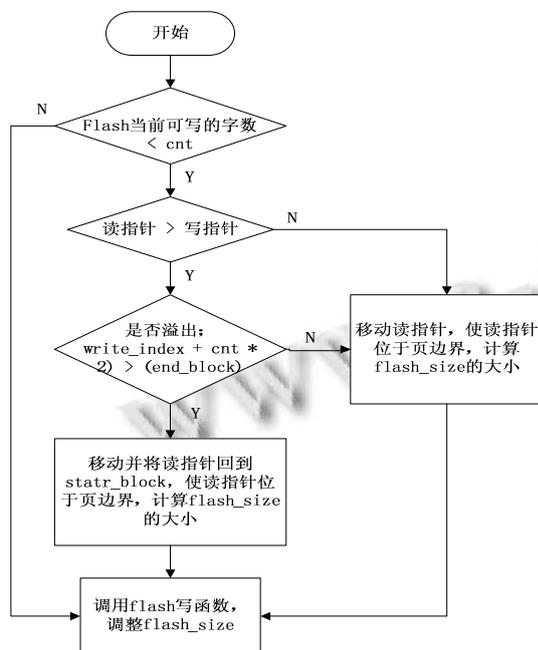


图 8 Flash 写流程

一种嵌入式 Flash 数据存储方法, 将 Flash 存储结构体当做函数的参数传递进去。这样就可以实时调

整 Flash 结构体中的读写指针的位置和当前 Flash 存储的字节数, 可以连续地进行读或者写操作, 而不需要考非连续写的情况。采用这样的方法既可以提高写的性能, 使擦写操作均匀地分布在每个擦除页中, 又避免了频繁无用的搬移老数据的操作, 延长了 Flash 的使用寿命。

#### 4 运动强度分类算法

双标水和间接热测定法是准确测定能量消耗的“金标准”, 但是它们在测量人体自由条件下身体运动能耗以及运动强度存在诸多限制<sup>[16]</sup>。三维传感器为实验室提供了更好的选择, 它从物理角度对人体运动的客观评价提供了新方法, 也为构建新型的运动数据分析和处理提供了新思路。

大量实验证明: 身体运动加速度绝对值对时间的积分与能量或耗氧量呈线性关系, 这为用三维加速度传感器评估人体运动提供理论依据。

人体加速度向量幅值 SVM(signal vector magnitude)是区分人体运动状态的重要参量<sup>[17]</sup>, SVM 通过加速度幅度表征人体运动的剧烈程度, 其值越大表明运动越剧烈。其定义为:

$$SVM = |a_x| + |a_y| + |a_z|$$

考虑到设备采集端的低功耗的特性, 以及从加速度传感器获得数据中包含有噪声, 采用滑动平均滤波器的方法做预处理, 利用 SVM 的计算公式计算每一秒的三轴加速度的平方和作为一个统计量。之后将 1 分钟划分成四个等分, 计算每 15 秒内 SVM 的平均值作为这 15 秒内的 SVM 值。底层统计一分钟的四个平均 SVM 值, 将这些 SVM 通过基站上传服务器, 经过设定合适的阈值来将运动强度划分为低等强度、中等强度、高等强度和剧烈强度。

本文采用运动三维传感器设备采集了一些比较明显的运动, 例如静坐、行走、800 米跑步、100 米快速跑、慢跑、骑车、打篮球、羽毛球等运动, 重复采集上述运动 10 次。除了 800 米、100 米这两种之外, 每种运动持续 20 分钟, 并通过上位机软件将这些实时记录下来, 利用上述算法计算出每一秒的加速度幅值, 进而计算出每一分钟内四个平均加速度幅值, 通过这些值, 统计出区分这四种强度的阈值。所以得出中等强度的建议值是 800mg。

### 5 系统测试结果

#### 5.1 设备采集端功耗测试

测试方法: 在设备采集端休眠、运动等多种情况测量出设备采集端的电流, 从而计算出功耗.

① 休眠: 电流 2uA, 用 24 个小时估算, 休眠一天功耗为 0.048mA\*h.

② 运动状态: 每一秒 6ms 来处理终端程序, 电流平均值大小为 6.5mA, 一天运动 10 个小时的功耗为 0.39mA\*h.

③ 蓝牙唤醒状态: 1 小时唤醒一次, 唤醒一次最多 30s 内连接上基站, 一天唤醒 10 次, 广告一秒的平均电流为 0.45mA, 一天蓝牙唤醒功耗为 0.0375mA\*h.

④ 数据传输: 1s 平均电流 0.42mA, 1 小时的运动数据 2.5s 完成, 一天内进行数据传输的功耗为 0.0032mA\*h.

#### 5.2 无线距离通信测试

把中转基站放置在一个无障碍干扰或网络干扰的 15\*10m 的教室, 一名测试者佩戴设备在教室的各个位置进行测试, 测试结果表明, 设备采集端的数据可以上传到基站进而转发到服务器, 可以在 WEB 端查看运动强度信息.

#### 5.3 多用户性能测试

我们在大学的 4 个教室(教室可容纳 30 个学生)的正中央放置一个基站, 30 个被测试者(每人一个设备)可以在腰部或者手腕处佩戴设备一天, 第二天这些测试者平均分配到放有基站的教室来学习. 这些设备自动、定时地打开蓝牙广告, 并将数据通过基站上传到服务器, 在 WEB 端查看数据. 这样连续测试了一周的时间, 老师了解了班级学生的运动强度之后, 督促学生每天在固定时间进行中等强度的运动, 表明系统适合多用户使用.

WEB 端学生的运动强度信息表 3、表 4 所示. 表 3 中显示了单个学生的运动时间、这个一分钟四个 SVM 值, 以及建议的中等强度运动的 SVM 值, 距离中等强度的差值, 这样学生就可以知道当前运动强度还不够到中等强度, 需要加强运动; 表 4 中显示班级内的一个学生的当前一段时间每天的四个 SVM 值信息总和, 教师就可以知道哪些学生没有达到中等强度运动. 方便教师对这些学生加强运动训练.

表 3 单个学生的运动强度信息

运动时间	2014-6-20 07:30:00	2014-6-20 07:31:00	2014-6-20 07:32:00
0-14 秒的平均加速度幅值(mg)	82.0	100.0	220.0
15-29 秒的平均加速度幅值(mg)	53.29	98.0	200.0
30-44 秒的加速度幅值(mg)	56.1	95.0	220.0
45-59 秒的加速度幅值(mg)	36.0	96.0	251.0
中等强度建议值(mg)	800	800	800
平均差值(mg)	743	702	577

表 4 班级内学生的运动强度统计信息

序号	1	2	3	4	5	.....
运动时间(2014)	6-14	6-15	6-16	6-17	6-18	.....
接收时间(2014)	6-14	6-15	6-16	6-17	6-18	.....
0-14 秒的加速度幅值(mg)	34.0	50.0	82.0	100.0	90.3	.....
15-29 秒的加速度幅值(mg)	34.0	50.0	79.0	100.0	93.19	.....
30-44 秒的加速度幅值(mg)	34.0	50.0	78.0	98.2	88.3	.....
45-59 秒的加速度幅值(mg)	34.0	50.0	80.0	97.29	87.4	.....

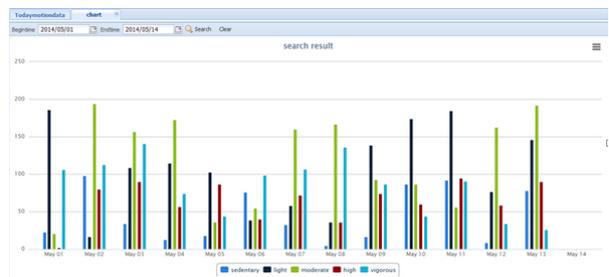


图 9 运动强度监测系统整体框图

本系统的设备采集端、中转基站以及服务器软件实物图如图 9 所示. 图 9(c)中以图表的方式显示一个

学生当前一段时间内每天的各种运动强度(低等强度、中等强度、高等强度和剧烈强度)的统计信息. 实验结果表明, 被测试者的数据通过无线蓝牙自动上传到基站, 基站自动地把数据上传到服务器, 服务器软件上可以查看这 120 位被测试者前段时间的运动强度. 设备采集端可以以 25Hz 的采样率来采集人体的运动加速度, 表明本文设计的运动系统安全可靠, 运行正常.

## 6 结语

经过实验测试验证, 本文设计的基于可穿戴的人体运动强度监测系统可以安全、可靠地运行, 在服务器软件查看运动强度分类并促进学生参与中等强度运动. 后续可以在设备采集端进行一些运动特征值的提取算法, 将运动特征数据通过基站上传到服务器, 在服务器端运用运动模式分类算法进行运动模式的检测, 进一步完善运动强度监测系统.

### 参考文献

- 1 周爱光, 陆作生. 中日学生体质健康状况的比较及启示. 体育学刊, 2008, 15(9): 1-7.
- 2 樊莲香, 张德新, 李静波. 学生体质与健康事关中华名族未来的兴衰与存亡—对学生体质与健康状况下降问题的思考. 北京体育大学学报, 2006, 29(12): 1661-1662, 1668.
- 3 马松岩. 基于 ios 的平台的健身应用的设计与实现[硕士学位论文]. 北京: 北京邮电大学, 2013.
- 4 邓文才. 不同运动项目和强度对大学生体育态度及体育锻炼感觉影响的研究[硕士学位论文]. 苏州: 苏州大学, 2003.
- 5 Ramirez-Velez R, Gonzalez-Ruiz K, Garcia S, Agredo-Zuniga RA. Sex differences in the relationship between vigorous vs moderate intensity exercise and risk markers of weight and obesity in health adults. *Endocrinologia Nutricion (English Edition)*, 2012, 59(8): 491-495.
- 6 Field T. Exercise research on children and adolescents. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 2012, 1(18): 54-59.
- 7 万发达, 张翔. 过度运动、适度运动与免疫. 南京体育学院学报(自然科学版), 2004, 3(2): 26-29, 37.
- 8 Godfrey A, Bourke AK, O'laighin GM, Van de Ven P, Nelson J. Activity classification using a single chest mounted tri-axial accelerometer. *Medical Engineering & Physics*, 2011, 33(9): 1127-1135.
- 9 徐明. 基于传感器的上肢运动识别系统[硕士学位论文]. 合肥: 安徽大学, 2013.
- 10 Hong YJ, Ig-Jae K, Sang CA, Hyong-Gon K. Mobile health monitoring system based on activity recognition using accelerometer. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2010, 4(18): 446-455.
- 11 张金榜, 吴荣春, 何骞, 于晓琳. 可穿戴的生理监测系统设计. 微型机与应用, 2013, 32(20): 29-31.
- 12 陈靓, 申卫昌, 郭军, 张蓓, 朱莉明. 基于 GPS 可穿戴医用监控系统的设计与实现. 微计算机信息, 2006, 22(11-1): 264-266.
- 13 邓自立. 云计算中的网络拓扑设计和 Hadoop 平台研究[学位论文]. 合肥: 中国科学技术大学, 2009.
- 14 冯驾骏. 基于 WIFI 技术的公交媒体文件更新系统研究[学位论文]. 杭州: 浙江工业大学, 2011.
- 15 刘会忠, 程昱, 袁达. Flash 存储管理在嵌入式系统的实现. 计算机工程, 2010, 36(8): 88-90.
- 16 管培培, 丁宁炜, 汤强, 刘春辉. 三维加速度 counts 估算不同步速能量消耗应用初探. 山东体育科技, 2013, 35(1): 72-75.
- 17 曹玉珍, 蔡伟超, 程旸. 基于 MEMS 加速度传感器的人体姿态检测技术. 纳米技术与精密工程, 2010, 8(1): 37-41.