

基于 GPS/GPRS 的跌倒监测终端^①

李梦华¹, 熊显名¹, 赵国如²

¹(桂林电子科技大学 电子工程与自动化学院, 桂林 541004)

²(中国科学院深圳先进技术研究院 生物医学与健康工程研究所, 深圳 518055)

摘要: 跌倒是导致我国 65 岁以上老人意外致死的首要原因. 为了给老年人尤其是独居老人提供及时的跌倒报警和救助服务, 本文提出一种基于 GPS/GPRS 的远程跌倒监测终端. 该终端融合了三轴加速度计、三轴陀螺仪, 实时检测人体运动状态并进行相应的算法分析, 在检测到跌倒后, 将位置和报警信息通过 GPRS 传输至远程的监控中心. 此外, 该终端设有手动报警和取消报警按键, 避免漏报和误报. 经测试, 当合加速度与合角速度的阈值分别为 5m/s^2 、 25m/s^2 和 2rad/s 时, 该监测终端能够准确无误的区分正常人体活动与跌倒事件并报警, 并取得了较好的定位精度和通信效果.

关键词: 跌倒检测; 三轴加速度计; 三轴陀螺仪; 远程监测; GPS; GPRS

GPS/GPRS-Based Remote Monitoring Terminal for Fall Detection

LI Meng-Hua¹, XIONG Xian-Ming¹, ZHAO Guo-Ru²

¹(School of Electronic Engineering and Automotion, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

²(Insitute of Biomedical and Health Engineering, Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China)

Abstract: Falls are the leading reason for accidental death among people at age over 65. In order to provide the real-time fall alarm and rescue service for the elderly, especially the one who live alone, in this paper we propose a GPS/GPRS-based remote monitoring terminal for fall detection. It uses sensors which combine three-axis accelerometer and three-axis gyroscope. The terminal is intended to monitor human motions and can recognize events of fall in real time. Falls are recognized using a dedicated algorithm. Once a fall has been detected, the terminal transmits alarm information together with location information to the remote monitoring center through GPRS. In order to avoid false or missed alarms, the terminal also supports manual mode of operation and buttons to send or cancel an alarm. The test results showed that the monitoring terminal can accurately distinguish between normal human activities, condition of fall event and generate alarm when the thresholds of resultant acceleration and resultant angular velocity are, respectively, 5m/s^2 , 25m/s^2 and 2rad/s . The terminal has demonstrated good location accuracy and communication efficiency.

Key words: fall detection; three-axis accelerometer; three-axis gyroscope; remote monitoring; GPS; GPRS

随着我国老龄化进程加剧和空巢老人日益增多, 老年人的身心健康问题成为我们亟需关注的重大问题. 老年人因身体机能下降等原因, 发生跌倒的概率非常高. 据估计, 每年约有 1/3 的 65 岁以上老人发生过跌倒^[1], 而且比例随着年龄增长而增加. 相关资料表明, 很多因跌倒造成的死亡并非直接源自跌倒本身, 而是

在跌倒后没有及时得到救治造成的. 针对老年人易跌倒的情况, 除了事前预防, 更重要的是在跌倒后及时通知家人或监控中心, 从而缩短救助时间.

目前国内外学者已经提出了多种基于加速度传感器、陀螺仪、磁力计等的跌倒检测装置^[2,3], 虽然这些装置解决了传统的基于视频和基于环境的跌倒检测装

① 基金项目: 国家自然科学基金(51105359)

收稿时间: 2014-04-09; 收到修改稿时间: 2014-05-23

置使用范围受限等缺点,但更多地是侧重于对跌倒检测算法的研究.付蔚等人提出了一种智能家居中老人跌倒远程监护系统^[4],但该系统并不具备定位功能.陈均等人是采用 GSM 无线网络以短信方式发送报警和位置信息,但采用的是基于 zigbee 的室内定位技术,只能在特定区域使用^[5].

基于上述分析,本文利用 GPS 和 GPRS 设计了一种便携式跌倒远程监测终端,在检测到用户跌倒时将位置和报警信息通过 GPRS 无线传输至远程监控中心.

1 系统总体设计

整个跌倒监测系统由可穿戴式跌倒监测终端、监控中心服务器和建立两者通讯的 GPRS 网络和 Internet 网组成,系统框图如图 1 所示.

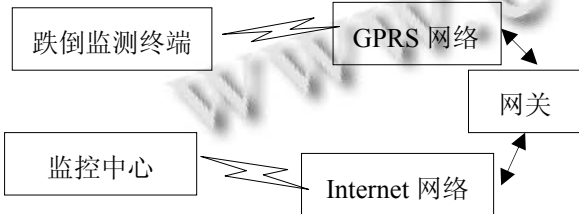


图 1 总体设计框图

在跌倒监测终端中,佩戴在腰部的传感器实时采集人体运动的加速度和角速度数据,这些数据经 MCU 处理,通过相应的阈值算法分析可判断人体的姿态是否正常,当检测到人体为跌倒状态时,MCU 获取 GPS 模块的定位信息或基站定位信息,并结合报警信息经打包发给 GPRS 通讯模块,然后再经 GPRS 网络、Internet 网传送至远端的监控中心服务器上;此外,根据实际需要,终端还设置有手动报警和取消报警按键.

监控中心服务器接收到报警信息和位置信息后,结合地图,便能得到用户具体的位置,进而及时展开救助行动.

2 跌倒监测终端主要硬件设计

终端硬件设计框图如图 2 所示.

2.1 MCU 模块的选择

MCU 采用 TI 公司的 MSP430F2418 单片机,该单片机具有低电源电压(1.8V-3.6V)的特性,超低功耗,在待机模式下电流仅为 0.5uA,在关断模式下电流为 0.1uA,满足该终端对低功耗的要求,数字控制振荡器可在不到 1μs 的时间里从低功耗模式唤醒至运行模式.

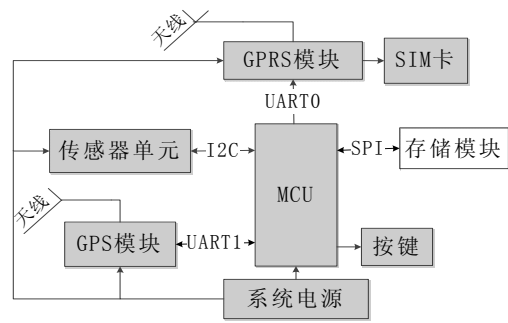


图 2 终端硬件设计框图

其 CPU 采用了面向控制的结构和指令系统,可以提高指令执行速度和效率.MCU 通过 IIC 总线读写传感器 MPU6050 的数据,通过 SPI 总线完成对存储模块 TF 卡的读写操作.

2.2 GPS 模块的选择与设计

该监测终端选用了 UBLOX 公司的性价比较高的 NE0-6M-0-001GPS 模块,其体积小,灵敏度高,含有 50 个通道的 u-blox 引擎,可同时追踪多达 50 颗卫星,热启动和辅助启动首次定位时间小于 1 秒,并拥有 UART、SPI、USB 等接口,可方便的与微控制器建立连接.该模块供电电压设为 3V,在上电工作后,GPS 模块通过串口 UART1 与 MCU 通讯,两者的 TXD 和 RXD 引脚交叉相连即可.

2.3 GPRS 模块的选择与设计

本设计采用内嵌有 TCP/IP 协议的 SIM900 作为通信模块,该模块是 SIMCOM 推出的一款新型无线四频 GSM/GPRS 模块,功耗低,在待机模式下功耗只有 1.0mA;采用 ARM926EJ-S 架构,性能强大;支持标准的 AT 命令并带有基站定位功能.SIM900 模块通过 UART0 接收 MCU 发送的 AT 指令,进而实现一系列的功能,两者的 TXD 和 RXD 引脚交叉相连即可.

SIM900 的供电电压范围为 3.2V 到 4.8V,在本系统中采用 4V,电源的供电电流不能低于 2A,因为在 SIM900 突发传输时,会导致电压降,峰值电流达到 2A.在上电之后,可以通过控制 MCU 的 P2.0 引脚使 PWRKEY 引脚拉低至少 1 秒然后释放,从而启动 SIM900 模块.本设计采用 6 针 SIM 卡连接器,在设计时,SIM 卡外围电路要靠近 SIM 卡插槽.

3 跌倒监测终端软件设计

根据该跌倒监测终端的主要功能,采用模块化编

程的思想,其软件设计可分为三部分:①能区分日常行为和跌倒行为的跌倒检测算法;②跌倒时位置信息、时间信息的获取及处理;③报警信息位置信息等相关信息的 GRPS 远程传输. 总体软件流程如图 3 所示:

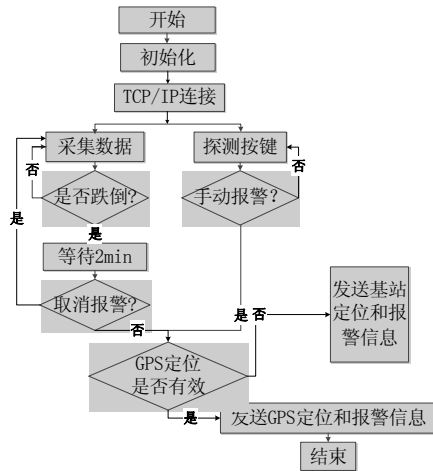


图3 监测终端总体软件流程

3.1 跌倒检测算法设计

已有研究表明合加速度(Acc)能够用来区分跌倒行为和日常行为^[6],但仅采用单一的加速度信号,在分析一些剧烈的动作如快速坐下、跑步等时会出现很高的误判率.陀螺仪输出信号(Gyr)的合成结果可以用来检测跌倒的姿态^[7].因此为了提高检测的灵敏度和特异度,在本设计中采用了基于加速度阈值和角速度阈值的跌倒检测算法.用到的计算公式如下:

$$Acc = \sqrt{Acc_x^2 + Acc_y^2 + Acc_z^2} \quad (1)$$

Acc_x、Acc_y、Acc_z 是三轴加速度计在 x、y、z 轴三个轴向上的输出信号.

$$Gyr = \sqrt{Gyr_x^2 + Gyr_y^2 + Gyr_z^2} \quad (2)$$

Gyr_x、Gyr_y、Gyr_z 是三轴陀螺仪在 x、y、z 轴三个轴向上的输出信号. 跌倒检测算法流程如图 4 所示.

3.2 定位信息获取软件设计

该终端采用 GPS 定位和 SIM900 的基站定位相结合的方法,在能够接收到 GPS 信号时用 GPS 定位,在 GPS 定位无效时采用基站定位.

3.2.1 GPS 定位

GPS 输出的数据格式遵循美国国家海洋电子协会制定的 NMEA0183 协议,这种格式所输出的语句采用

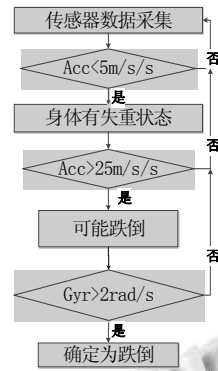


图4 跌倒检测算法流程图

的是 ASCII 字符码,以"\$"开头,以回车、换行字符结束,包含 GPGGA,GPGSA,GPGSV,GPRMC,GPVTG,GPGLL,GPZDA 共七条语句^[8],在该设计中仅采用了 GPRMC 语句,其包含了我们所需的经纬度信息和时间信息,数据帧长度最长达 72 个字符.

GPS 模块正常工作时,每隔一秒向 MCU 发送定位信息,MCU 通过 UART1 仅接收 GPRMC 语句的信息.由于帧中各字段数据以逗号为分割,所以可以根据接收到的逗号个数来判断此时接收的是哪个字段的信息,从而将经纬度和时间信息等提取出来. GPS 定位信息接收解析流程如图 5 所示.

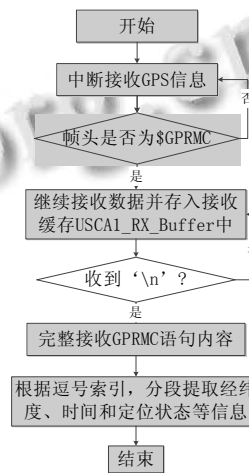


图5 GPS 定位信息接收解析流程图

通过判断信号有效标志位是否为‘V’,便能完成 GPS 模块丢星的校验^[9],该定位状态标志位及其它字段信息获取程序如下:

```
char GPRMC_data_field_extract(char
*GPRMC_PACKET)
```

```

{ statistical_comma(GPRMC_PACKET); //先把接收到的数据流中的逗号索引保存起来
  char i,count=0;
  if((comma_index_buffer[0])!=(comma_index_buffer[1]-1))
  {
    for(i=comma_index_buffer[0]+1;
    i<=comma_index_buffer[1]-1; i++)
    GPRMC_buffer_data.UTC_Time_buffer[count++]=GPRMC_PACKET[i]; //提取时间信息
  }
  count=0;
  .....//提取经纬度、速度、航向等信息方法如上
  return GPRMC_buffer_data.location_state; //返回定位状态
}

```

3.2.2 基站定位

当 GPS 定位无效时, 通过 MCU 的串口 UART0 向 SIM900 发送相应的 AT 指令实现基站定位功能, 是对 GPS 定位的补充. 用到的 AT 指令如下:

- 1)AT+SAPBR=3,1,"Contype","GPRS":设置网络参数.
- 2)AT+SAPBR=3,1,"APN","CMNET":设置 ANP 接入点.
- 3)AT+SAPBR=1,1: 激活网络场景.
- 4)AT+SAPBR=2,1: 获取分配的 IP 地址.
- 5)AT+CIPGSMLOC=1,1: 获取经纬度和时间信息.

调试时, 可以借助串口调试助手来观察发送 AT 指令后 SIM900 模块的返回值, 其经纬度和时间提取解析方法如 GPS 模块.

3.3 GPRS 模块无线通信软件设计

GPRS 模块无线通信软件设计包括两个阶段: 一是 SIM900 上电启动后的初始化, 二是网络连接操作. 这两个阶段都是由 MCU 通过 UART0 发送 AT 指令控制 SIM900 模块完成, 完成这两个操作后, GPRS 模块和监控中心服务器便可进行数据交换.

SIM900 初始化用到相关 AT 指令如表 1 所示.

表 1 GPRS 模块初始化相关 AT 指令

AT+CSMINS?	查询 SIM 是否插入
AT	测试模块是否运行正常
ATE0	清回显
AI+IPR	设置波特率
AT+CSQ	查询当前信号强度
AT+CSMINS	查询 SIM 卡是否插入
AT+CREG	查询网络注册情况

GPRS 模块工作软件流程如图 6 所示.

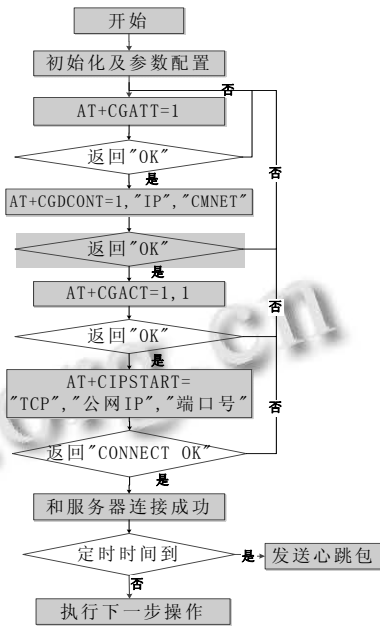


图 6 GPRS 模块软件流程图

各 AT 命令的返回时间不同, 且受网络状态影响每次返回也不同, 相比于延时固定时间的方法, 采用如下方法保证了系统的实时性和可靠性.

```

send_string(AT 命令);
while(1)
{ if(strstr(USCA0_RX_Buffer,"OK\r\n"))break; }
自定义通信数据帧格式有三种,1)#agps_location, 经度,纬度,日期,时间* 2)#gps_location,经度,纬度,日期,时间*3)#FF*(心跳包).

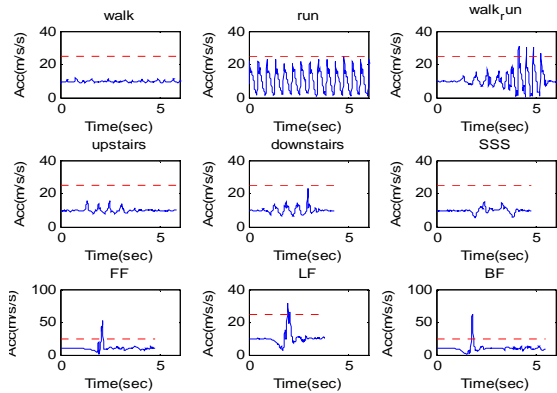
```

网络连接建立后, 采用 AT+CIPSEND 命令将发送数据到监控中心服务器. 在本次设计中采用 TCP/UDP Socket 调试工具来模拟监控中心服务器, 所处局域网中具有公网 IP 的服务器 IP 地址为 210.75.252.106, 本机 IP 地址 172.20.14.242, 在 NAT 网关上开放一个固定的映射端口为 2401, 在跌倒监测终端发起连接命令之前, 先用 Socket 调试工具创建一个 TCP Sever, 侦听 2401 端口即可.

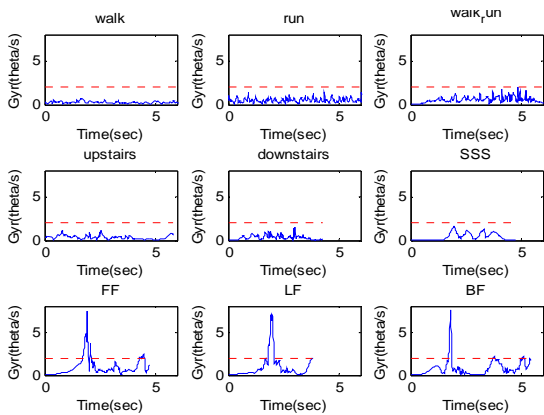
4 测试与结果分析

为了将跌倒与日常行为区别开来,由 9 名年龄在 23-26 岁之间的年青志愿者在实验室对老年人的行为进行了模拟测试. 测试时将该监测终端束在腰部, 执行动作包括慢走、慢跑、走跑变换、上下楼梯站变

换、前向跌倒、后向跌倒和侧向跌倒. 上述行为各测试 3 次. 合加速度与合角速度测试结果如图 7(a)和(b)所示.



(a) 日常行为和跌倒行为时的合加速度信号



(b) 日常行为和跌倒行为时的合角速度信号

图7 合加速度与合角速度测试结果

经分析, 当合加速度阈值一为 5m/s^2 , 日常跑和走跑变换不能和跌倒行为区分开来; 合加速度阈值二为 25m/s^2 , 走跑变换不能和跌倒行为区分开; 当合角速度阈值为 2rad/s 时, 走跑变换与跌倒行为能区分开, 跌倒检测的可靠性大大提高.

在 Google earth 上输入定位测试结果和实际位置经纬度, 分析结果如表 2 所示. 由表 2 可得, 该终端室内外定位误差均在可接受范围之内; 由于篇幅有限, 仅给出部分 GPRS 测试结果, 如图 8 所示.



图 8 GPRS 测试结果

表 2 GPS 定位和基站定位测试结果分析

测试地点	测试均值(10 次)	实际经纬度	误差(米)
室外地点 1	N22°35'36.43"	N22°35'36.28"	7.24
(GPS 定位)	E113°58'56.05"	E113°58'55.86"	
室外地点 2	N22°35'39.62"	N22°35'39.42"	7.87
(GPS 定位)	E113°58'56.22"	E113°58'56.04"	
室外地点 3	N22°35'43.28"	N22°35'43.20"	8.23
(GPS 定位)	E113°59'0.65"	E113°59'0.25"	
室内地点 1	N22°35'46.16"	N22°35'49.31"	98.24
(基站定位)	E113°59'9.16"	E113°59'9.56"	
室内地点 2	N22°35'46.15"	N22°35'49.23"	97.04
(基站定位)	E113°59'9.16"	E113°59'8.64"	

5 总结

本文提出的由低功耗 MSP430F2418 单片机、MPU6050 传感器、GPS 模块和 GPRS 模块等构成的远程跌倒监测终端, 通过实时采集和分析加速度和角速度信号, 能够准确可靠的实现跌倒检测并自动发送跌倒报警信息和位置信息, 采用 GPS 定位和基站定位相结合的方法, 在室内外均可以获取较为准确的定位数据, 进而为老年人尤其是独居老人提供及时的跌倒报警和救助服务.

参考文献

- 1 张玉, 陈蔚. 老年跌倒研究概况与进展. 中国老年学杂志, 2008, (28): 929-931.
- 2 陈炜, 佟丽娜, 宋全军, 葛运建. 基于惯性传感器的跌倒检测系统设计. 传感器与微系统, 2010, 29(8): 117-119, 125.
- 3 Bourke AK, Lyons GM. A threshold-based fall-detection algorithm using a bi-axial gyroscope sensor. Medical Engineering & Physics, 2008, (30): 84-90.
- 4 付蔚, 肖丽, 王平. 智能家居中老人跌倒远程监护系统的设计. 电视技术, 2012, 36(13): 131-134.
- 5 陈均, 王忆文. 基于 Zigbee 的定位和人体跌倒检测系统. 电子技术应用, 2012, 38(12): 29-31, 35.
- 6 赵祥欣. 基于三维加速度传感器的跌倒监测研究[学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- 7 Nyan MN, Tay FEH, Murugasu E. A wearable system for pre-impact fall detection. Biomech, 2008, 41(16): 3475-3481.
- 8 曹婷婷. GPS 中 NEMA-0183 协议的应用. 电子工程师, 2006, 32(10): 8-11.
- 9 刘淑蓉. 基于 GPS 与 GPRS 的公交车辆监控调度系统的设计与实现[学位论文]. 沈阳: 东北大学, 2007.