

基于体域网的个人健康监护系统设计

摘要：体域网(BSN, body sensor networks)是以人为中心, 由分布在人体表、贴身衣物上, 或身体内部检测人体生命体征的多个传感器节点以及个人智能终端组成的无线通信网络。介绍了一种基于 ZigBee 和蓝牙无线通信协议的个人健康监护体域网系统, 该系统通过 3G 智能手机终端控制穿戴在人体上的传感器节点, 实时采集人体血氧、心音、心电和血压等生命体征参数, 并以无线通信方式依次传送至智能终端显示, 进一步实现与社区医院或中心医院的远程数据交互。系统终端应用程序运行在 Android 操作系统下, 界面设计友好, 适用于所有 Android 操作系统的 3G 智能手机用户。

随着日益增加的工作生活压力, 高血脂、高血压和糖尿病等疾病的发病率呈逐年上升并呈现年轻化趋势, 这些疾病已经越来越严重地威胁着人们的身体健康甚至生命。如何及时发现病情并采取有效措施, 防止发生意外, 降低生命财产损失的风险, 成为人们普遍关心的问题。

目前, 我国健康监测医疗资源主要集中在医院, 这些监测设备往往体积大/价格昂贵且操作复杂, 不适合家居式日常健康监测。随着嵌人式技术、传感器技术、移动网络通信技术的快速发展, 一种由多个无线医疗传感器组成的个人体域网络 BSN 为面向家庭的个人健康监护提供了有效的解决途径。

笔者提出了一种基于体域网的个人健康监护系统的总体架构, 其中包括基于 ZigBee 的无线体域网节点的设计以及无线体域网的搭建。该系统的无线体域网节点包括无线心电采集节点、无线血氧脉搏节点、无线血压采集节点和无线心音采集节点。最后给出了生理参数的检测结果以及智能终端的处理与显示结果。

1 系统总体架构

基于体域网的个人健康监护系统、能够实现用户的健康状况实时数据动态采集和传输, 让用户方便快捷地享受医疗资源。本系统由体域网、远程医疗服务中心两部分组成, 其中体域网的系统结构图如图 1 所示。



图 1 体域网系统的结构图

2 体域网传感器节点设计

体域网系统由基于 ZigBee 的无线传感网络节点和移动 3G 智能手机终端构成。无线传感网络节点能够实时周期性地采集生命体征数据，完成数据的无线传输。为满足通用 3G 智能手机应用，设计了 Zig-Bee/蓝牙网关实现生命体征数据的汇聚，将生命体征数据传输到 3G 智能收集终端。体域网传感器节点分布示意图如图 2 所示。

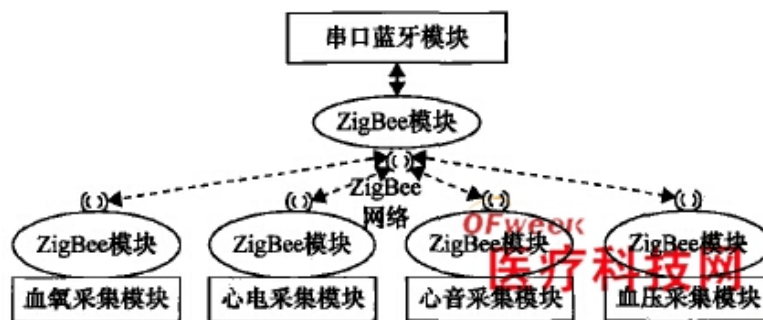


图 2 体域网传感器节点分布示意图

2.1 ZigBee 无线传输模块设计

ZigBee 无线传输协议因其可靠性高、功耗低、时延短而被广泛用于无线传感网络设计，此处无线传感网络节点的数据通信采用基于 ZigBee 协议的无线通信方式。

系统传感器终端节点主要由体征参数采集模块和 ZigBee 模块组成。其中 ZigBee 模块采用 TI 公司低功耗 CC2530 芯片和相应外围接口电路设计，体征参数如心电、血压、血氧、心音分别由各自独立的控制采集系统设计。ZigBee 模块数据无线传输框图如图 3 所示。

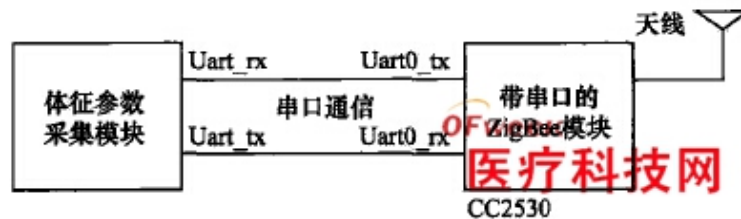


图 3 ZigBee 模块无线传输结构图

由于市面通用 3G 手机无 ZigBee 硬件模块，而蓝牙模块是通用手机的标准配置。为实现手机与传感器节点的数据通信，系统还需要设计 zigBee 协议和蓝牙协议的转换。

2. 2 ZigBee/蓝牙网关的设计实现

设计 ZigBee/蓝牙网关是为了实现 ZigBee 通信协议和蓝牙协议之间的协议转换，从而实现 ZigBee 协调器节点与智能手机蓝牙设备之间数据透明传输。

2. 2. 1 ZigBee/蓝牙肖制硬件设计

ZigBee/蓝牙网关在本系统中起桥梁作用，主要由 ZigBee 模块、串口蓝牙模块及协议转换处理单元构成。ZigBee 网关硬件结构如图 4 所示。



图 4 ZigBee/蓝牙网关结构图

考虑到 ZigBee/蓝牙网关需要使用电池供电，而且在无线通信过程中需要提供较大电流，为降低系统系统功耗，选择低功耗 STM32F103ZET6 微控制器作为网关协议转换处理的主控单元，使用 TI 公司低功耗无线通信芯片 CC2530 完成 ZigBee 模块设计，串口蓝牙模块选用了英国 CSR 公司

BlueCore04 芯片完成设计，该网关能实现 ZigBee 模块与串口蓝牙模块之间的协议和数据透明转换。

2.2.2 ZigBee/蓝牙网关协议转换

在本系统中，ZigBee/蓝牙网关协议转换模型如图 5 所示，当智能手机发送控制生理信号采集节点命令给 ZigBee 网络路由节点，数据解析流程图如图 6 所示。ZigBee/蓝牙网关会按顺序进行以下处理：从智能手机蓝牙适配器接收到的命令数据去掉物理层头的蓝牙分组，去掉 L2CAP 头的蓝牙分组，添加网络层头的 ZigBee 分组，添加 MAC 头的 ZigBee 分组，添加物理层头的 ZigBee 分组，命令数据以 ZigBee 协议格式发送到 ZigBee 网络路由节点。ZigBee 网络路由节点有生理数据传输到智能手机蓝牙适配器，过程相似。

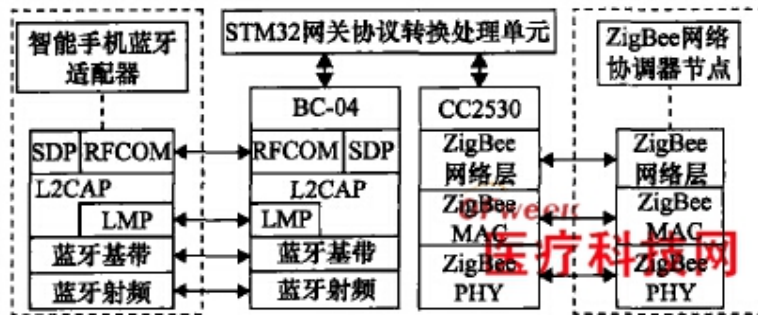


图 5 ZigBee/蓝牙网关协议转换模型

STM32 网关协议转换处理单元主要处理两个问题：分组处理和地址处理。分组处理上文已经实现，地址处理则是产生智能手机蓝牙适配器和 ZigBee 网络协调器节点建立连接的唯一标识，从而实现两个设备的连接。智能手机蓝牙适配器与 ZigBee 网络协调器节点间的传输过程中，蓝牙适配器向网关发送一个连接请求，连接请求数据包中包含所要连接的 ZigBee 协调器节点地址信息。一旦对方的 ZigBee 设备接收到连接请求命令之后，它就做出决定是否接收连接请求命令。如果 ZigBee 设备接受连接请求命令，则蓝牙设备和 ZigBee 设备之间就建立起连接。

智能手机蓝牙适配器与 ZigBee 网络协调器节点建立连接后，开始进行数据的收发。生理数据协议解析流程如图 6 所示。当智能手机蓝牙适配器向 ZigBee 网络路由节点发送控制信息时，根据智能手机程序设计部分设计的控制信息帧格式，设置控制标志位为“01”，单个控制节点目的短地址由 4 B 的 ID 值确定，蓝牙协议封装完成后，由 STM32 网关协议处理单元通过串口将数据信息发送给 ZigBee 设备，并进行 ZigBee 协议封装，最后发送到 ZigBee 网络的路由节点。ZigBee 终端节点采集到的生理数据，通过网络中的路由节点转发到网关内的协调器节点后，经 STM32 网关协议转换处理单元解析后，根据自己设计的数据帧格式，通过观察数据帧的最高位是否为

“1”来判断生理数据的发送方向，若是为“1”，则将生理数据通过串口发送给蓝牙设备，进行蓝牙协议封装，发送给智能手机蓝牙适配器。

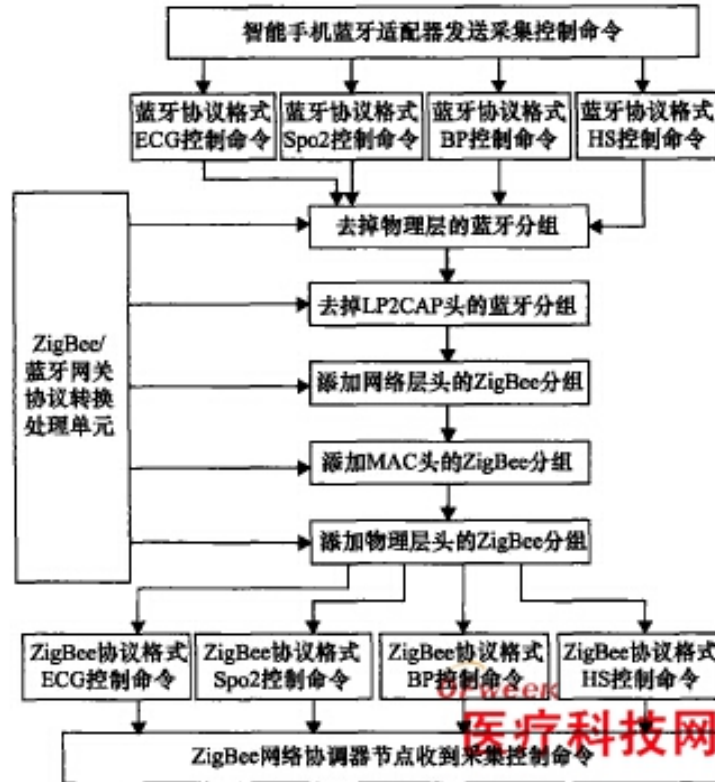


图 6 生理数据协议解析流程

3 监护软件设计与实现

本系统软件设计在 Android4.0 操作系统平台下开发完成，主要有控制界面设计和功能应用程序设计。软件主要实现各个传感器模块的生理数据传输、存储、接收、人机互换数据上传等功能。

3.1 交互界面设计

交互界面用来和用户友好地进行信息交互，根据实现的功能分析，最终确定有以下主要界面：主功能界面、连接远程中心界面、血氧监控、血压监控、心电监控、心音监控界面、蓝牙连接界面、蓝牙设备列表界面、体征数据查询界面及数据存储界面。在交互界面设计中，各个交互界面布局采用 XML(扩展标记语言)语言设计完成，交互界面的动态显示代码采用 Java 语言设计完成。这种交互界面静态设计与动态显示完全分离的设计方式，可增加交互界面的灵活性。

3.2 功能应用程序设计

功能应用程序设计主要完成生命体征数据的接收与处理。Android 手机通过蓝牙与 ZigBee/蓝牙网关完成通信，实时显示采集的生命体征数据和波形，并完成数据的存储和上传。

3.2.1 生命体征数据接收

首先手机蓝牙与 ZigBee/蓝牙网关建立连接，连接成功后，智能手机发送控制传感器节点命令实现各个传感器节点采集生理数据。ZigBee/蓝牙网关获取的生命体征数据通过蓝牙发送给智能手机显示。

在 Android 中，两个 Activity 之间需要通过 Handler 机制实现信息的交互。利用 Input Stream，read(byte[]) 方法接收各个传感器节点采集到的生命体征数据，通过 OutputStream.write(bytes[]) 方法发送写控制命令给传感器节点。

```
private final Handler mHandler = new Handler() {
    .....
    //写命令控制传感器节点
    case MESSAGE_WRITE:
        byte[] writeBuf = (byte[]) msg.obj;
        String writeMessage = new String(writeBuf);
        mConversationArrayAdapter.add("Me:" + writeMessage);
        break;
    //读取传感器节点采集的生命体征数据
    case MESSAGE_READ:
        byte[] readBuf = (byte[]) msg.obj;
        String readMessage = new String(readBuf,0,msg.arg1);
        mConversationArrayAdapter.add("xueyangzhi:" + readMessage);
        break;
    }
    .....
}
```

在系统设计过程中，为了区分控制传感器节点命令和生命体征数据采集命令的信息内容，定义了不同的帧格式。

表 1 主要区分不同的传感器节点的控制命令信息，显示系统控制的是哪个传感器节点信息。表 2 主要区分不同的传感器节点的数据信息，显示系统测量的是哪个生命体征信息。

帧头	标志位	ID(4B)	数据包内容	帧尾
		0001:血氧脉搏节点	0X31	
MAMA	01:控制帧	心电节点	0X32	3AA3
		心音节点	0X33	
		血压节点	0X34	

表 1 控制节点信息帧格式

帧头	标志位	ID(4B)	数据包长度	数据包内容	帧尾
		0001:血氧脉搏节点	5 字符	血氧 2 脉搏 3	
MAMA	02:数据帧	0010:心电节点	字符串序列	心电	3AA3
		0100:心音节点	3 字符	心率 3	
		1000:血压节点	6 字符	收缩压 3 张压 3	

表 2 生命体征数据帧格式

3.2.2 生命体征数据处理

生命体征数据处理主要是实现数据的存储和远程传输，智能手机接收到的生命体征数据以文件的形式存储在手机的 SD 卡的文件夹内并通过 3G 网络实现远程传输，这样医护人员可以通过远程传输过来的数据，对用户的身体状况做一个评估。

4 实验结果显示与分析

通过接收从 ZigBee/蓝牙网关上发送来的多个生理数据，智能手机不断监听本地蓝牙端口，并通过 BluetoothSocket 接收远程蓝牙模块上发送来的数据，在智能手机上显示血氧值、脉搏、收缩压和舒张压，以及单导联模式下心电图的效果，并采用支持双缓冲、多线程技术的 SurfaceView 在屏幕上绘出相应的心电波形。

测量出的血氧、心率、舒张压/收缩压参数如表 3 所示。

表 3 血氧、心率等生理参数

参数名称	可测范围	测量精度
血氧	70% ~ 99%	1%
心率	40 ~ 150 次/min	2%
舒张压/收缩压	80 ~ 120mmHg/ 90 ~ 140mmHg	2%

5 结束语

提出的利用蓝牙无线传感网、安卓手机实施对病人的血氧饱和度、心电图音和血压等多生理参数进行远程监测。该系统具有快速构建网络、流动诊断和无创等优点。当病人某一生理机能参数超出正常数时，监护系统可以报警，从而提醒医护人员与病人家属进行抢救或医治，保证病人生命安全。

作者：马恒 陈军波 田军 陈心浩