

基于体域网的低能耗多协议转换网关设计

高丽¹, 王杨², 赵翼², 张鑫²

(1. 安徽师范大学皖江学院, 安徽 芜湖 241008;

2. 安徽师范大学计算机与信息学院, 安徽 芜湖 241002)

摘要:针对体域网中多传感设备之间存在不同协议转换的实际需求,设计了一个多元异构传感设备之间数据集成协议转换的网关。该网关由基于 ARM Cortex-M3 内核的主控模块、基于 CC2530 的 ZigBee 模块、Wi-Fi 模块、电源模块四个部分组成。首先给出了一种面向体域网应用的系统网关总体设计体系,然后介绍了硬件和软件设计过程,同时阐述了硬件工作原理、网关工作流程和数据上云的过程。最后利用串口调试助手和网络调试助手抓取数据并上传至云平台,对网关的丢包率、延迟等性能指标进行了实验仿真。通过对 30 轮次多组数据包的抓取测试,最终计算出 500 个数据包丢包率低于 1,并计算其时延、能耗,结果均比较理想。实验表明,文中设计的网关在体域网协议转换与数据上云过程中具有有效性和可用性。

关键词:体域网;云计算;Wi-Fi;多协议;网关

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2021)08-0076-06

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2021.08.013

Design of Multi-protocol Conversion Gateway in Low Energy-consuming Based on Body Area Network

GAO Li¹, WANG Yang², ZHAO Yi², ZHANG Xin²

(1. Wanjiang College of Anhui Normal University, Wuhu 241008, China;

2. School of Computer and Information, Anhui Normal University, Wuhu 241002, China)

Abstract: For the requirement of different protocol conversion among multiple sensor devices in body area network (BAN), we design a gateway for data integration protocol conversion among multiple and heterogeneous sensor devices. The gateway consists of a main control module based on the ARM Cortex-M3 core, a ZigBee module based on CC2530, a WiFi module and a power module. An overall design of system gateway for BAN is firstly designed. Then the hardware and software design process are introduced, and the hardware working principle, gateway workflow and the process of cloud on data are described. Finally, the serial assistant and network assistant are used to grab the data and upload them to the cloud platform. The packet loss rate, delay and other performance indicators of the gateway are simulated. After more than 30 rounds of data packet capture are tested, the packet loss rate of 500 packets is less than 1, and the delay and energy consumption are satisfactory. The experiment indicates that the designed multi-protocol conversion gateway has effectiveness and usability in the BAN.

Key words: body area network; cloud computing; Wi-Fi; multi-protocol; gateway

0 引言

随着嵌入式技术、无线传感网络的不断发展,物联网(internet of things, IoT)开始覆盖生活的方方面面。物联网正被广泛地应用在家居、物流仓储、城市交通、医疗等领域^[1]。对于人体数据的实时监测和健康状态的可视化,传统的医疗方法很难做到。体域网(body area network, BAN)的出现,对于解决这一问题起到了

很大的作用。

体域网由一套可移动、外型小且轻便、能够采集并可以传输信息的传感器和 BAN 协调器组成^[2],是一种附着在人体上的网络^[3]。网络中的传感器,既可以随身携带,也可以植入体内^[4]。在体域网系统中,具备无线通信功能的采集设备能够同时具有更大的流动性、灵活性^[5]。体域网的数据工作过程一般分成两个

收稿日期:2020-08-23

修回日期:2020-12-28

基金项目:安徽省高校自然科学研究重点项目(KJ2019A0938);安徽师范大学皖江学院科研重点项目(WJKY-201921)

作者简介:高丽(1990-),女,硕士,讲师,研究方向为物联网技术、无线传感网络及定位技术;王杨,博士,教授,CCF 高级会员(14866S),研究方向为物联网与数据挖掘。

阶段:一是体域网内部数据传输,二是体域网与互联网之间的数据传输^[6]。在阶段一中,通常采用 ZigBee 技术。ZigBee 是一种无线通信技术,其低成本、低功耗、低复杂度的特点非常适用于体域网这一特殊的应用环境^[7-9]。在阶段二中,通常采用 Wi-Fi 实现无线联网,以满足体域网实时传输数据的需要。由于大量的体域网数据存在数据冗余、噪声大等不足,所以需要对其进行清洗。除此之外,鉴于 STM32 计算能力不足,需要将采集的数据传送至云平台进行处理^[10]。

1 基于体域网的多协议转换网关

可以看出,无线体域网能够将不同的传感器节点采集到的数据进行汇聚、传输,如图 1 所示。

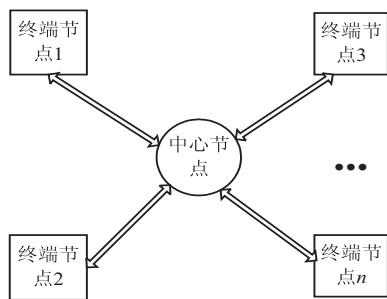


图1 无线体域网

为了可以让用户能够随时随地地看到自身的身体状况,必须将传感器采集的数据进行存储、传输及可视化。在此处理过程中需要用到 ZigBee、Wi-Fi 等无线技术。由于不同的技术之间存在差异性,数据处理过程中多协议转换网关是解决异构网络间信息共享的关键设备之一^[11]。针对多协议转换网关,已有多位学者对其进行研究。文献[12]用 ZigBee 和 Wi-Fi 完成了对家庭网关的设计,并且提供简单灵活的用户界面和对系统的远程访问请求。另外此系统还对在两种协议下的设备响应的时延做了比较,完成了系统时延测试。文献[13]提出了一种基于 ZigBee 的心率监测系统的跌倒检测和身体定位系统,可以通过安卓 APP 看到人体的信息。当用户跌倒时或者心率不正常时可以直接通知医疗机构和用户的家人。文献[14]在基于 3G/Wi-Fi 的协议下加强体域网的服务质量,保证体域网的高效性。

对于公共服务的网关研究,文献[15]设计了一种基于 ZigBee 和 Wi-Fi 的铁路监视优化系统。文献中提出了分层优化的思想,巧妙利用了 ZigBee 和 Wi-Fi 的优点设计了整个系统,减少了网关传感器节点和中间的无线传感器节点的不平衡负载。文献[16]提出了一种基于 ZigBee 和 Wi-Fi 网络的建筑火灾监控系统设计。通过 ZigBee 定位火灾现场,通过 Wi-Fi 上传现场信息,给建筑安保人员制定救援方案。文献[17-

18]提出了一种多协议的智能物联网安全网关,不仅可以多协议(Wi-Fi、ZigBee、Bluetooth 等)设备与以太网互联,还能够将传感器采集的数据上传到云端,进行数据分析并且提供本地数据存储功能,以便审计分析。

文中主要针对体域网这一特殊的应用场景,在综合前期相关研究的基础上,设计一种基于体域网的多协议网关,实现数据实时、有效传输。

2 多协议转换网关设计

2.1 网关总体架构设计

基于 IoT 的体域网从上至下可以分为应用层、网络层、感知层。其中网络层的网关既为下层提供接口,也为上层提供服务,是整个系统的中枢。本系统利用 ZigBee 协议模块,将传感器采集的数据发送给网关,通过网关将数据上传到云平台,实现数据的可视化。系统网络结构如图 2 所示。

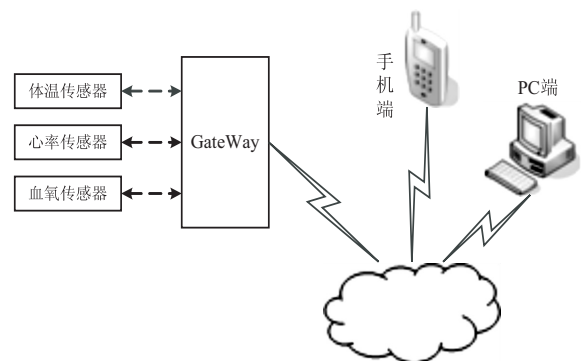


图2 系统网络结构

对体域网的各个 ZigBee 感知节点而言,网关起到了接收各个节点采集的数据并且上传到云端的作用。云端接收到数据后,进行数据融合并将实时数据反馈到用户端。用户可以通过登录网页来查询自身的身体状况,还可以浏览历史记录来获取更多的信息。

2.2 网关的硬件设计

网关的硬件模块部分主要对其由主控模块、无线通信(ZigBee 模块、Wi-Fi 模块)部分进行设计。

2.2.1 主控模块

主控模块是整个网关的核心,主要负责数据的接收、存储、转发,同时还要完成各个协议之间的转换,是网关设计的核心部分。本系统利用的主控器是基于 Cortex-M3 的 STM32F107 处理器。

图 3 为网关的设计框图。核心处理器利用串口接收 ZigBee 汇聚节点收到的传感器数据,然后通过 Wi-Fi 模块将数据发送至云平台,完成 ZigBee 与 WiFi 之间的协议转换。网关实际接线时,需要将 ZigBee 汇聚节点的 UART0_TX 接口通过杜邦线直连 STM32 的 USART1_RX 接口,实现设备间的相互通信。

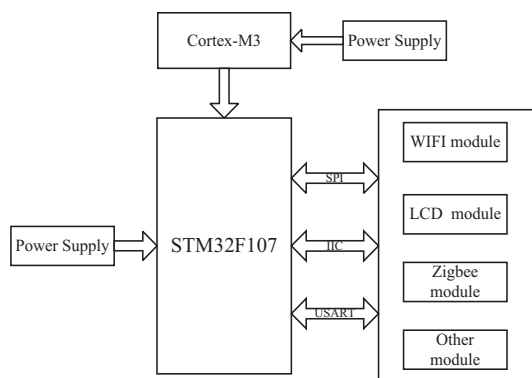


图 3 网关硬件设计框图

2.2.2 ZigBee 模块

ZigBee 模块是 BAN 进行无线数据传输的必需设备,作用是将 BAN 中传感器采集的数据传输到汇聚节点。经过筛选,选用了 TI 公司的 CC2530 芯片实现 ZigBee 协议。CC2530 与 F107 可以通过串口进行通信。CC2530 集成了两个 USART, F107 集成了五个串口,完全可以实现设备之间的相互通信。

2.2.3 Wi-Fi 模块

无线通信部分主要是 Wi-Fi,选择的 Wi-Fi 模块是 ESP8266。采用的 ESP8266 是 ALIENTEK 推出的一款高性能的 UART-Wi-Fi 模块 ATK-ESP8266,该模块通过 FCC,CE 认证,可直接用于产品出口欧美地区。ESP8266 采用 LVTTTL 与 MCU(也可以是其他串口设备)完成通信,串口与 WI-FI 之间的协议转换主要由内置 TCP/IP 协议栈完成。ATK-ESP8266 模块,传统的串口设备只是需要简单的串口配置,就可以让设备使用互联网传输数据。

2.3 多协议转换网关软件设计

体域网中的设备通过 ZigBee 与网关连接。在网关模型设计中将体域网分为感知层、网络层、应用层。感知层的主要功能是完成各个传感器的驱动,使每个传感器都可以正常工作。网关层的主要作用是将感知层传输的数据上传到云端,为上层提供数据支撑。应用层为用户提供专门的服务和管理平台,为用户提供数据可视化服务。硬件模块设计并完成搭建后需要对其相关软件部分进行设计。

2.3.1 系统软件工作流程设计

由于 UC/OS-II 是一款极其优秀的开源的嵌入式实时操作系统,本系统开发工具选用 UC/OS-II 的操作系统。因为体域网(BAN)中的每个数据都至关重要,所以网关的工作是系统的核心。

图 4 为网关系统主控流程。上电或者复位后,立即启动 Flash 中的代码,开始执行各种硬件资源及 UC/OS-II 的初始化,包括创建空闲任务、统计任务、定时器任务,然后创建第一个用户任务 Task1,设置优

先级及堆栈大小,之后运行多任务,等待汇聚节点传过来的数据,并将数据放到设置的任务中,从设置的任务及定时器任务、统计任务和空闲任务中找到优先级最高的任务去执行,当执行结束后,会重复上述动作。由于 UC/OS-II 是基于优先级调度的抢占式实时内核,当接受来自不同的采集节点采集的数据时 UC/OS-II 会根据设置的优先级进行调度并上传数据到云端,保证数据的完整性、实时性。

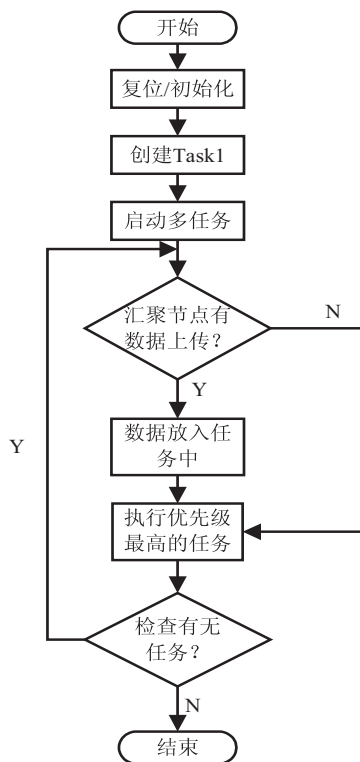


图 4 系统主控流程

2.3.2 云端数据格式设计

数据上云是未来的趋势之一,不仅能够解决大数据难以在个人用户端上存储的问题,更能省去搭建服务器以及后期维护的时间。通过对比,选择阿里云平台作为系统数据存储解析的工具。在整个系统的运行中,数据上云是整个网关的功能之一。从汇聚节点发送数据到数据传输至云端主要按照如下四个步骤进行:

Step0:汇聚节点发送数据对传感器的汇聚节点发送数据进行判断。若正确,直接进行 USART1 中断;否则需要在任务调度器进行任务的重新调度;

Step1:开启 USART1 中断后,对接收的数据进行存储,直至存储完毕,中断结束;

Step2:等待任务调度器调度此次任务,并将存储的数据放入 UART2A->DR 中;

Step3:数据正确存储过后,实现云端传输。

为了解决体域网中不同传感器传输的数据类型不同的问题,需要对其进行分类。在底层设计数据报文

格式,将得到的传感器数据加上帧首部表示不同的数据类型,云端数据设计格式如表1所示。图中字段依次表示开始、数据长度、标识码、地址、数据格式、检验

序列。对于异种类型的传感器,主要表现在其标识位、网络地址、数据位的不同。

表1 云端数据格式设计

标识	FLG	LEN	CMD	ADDR	DATA	FCS
长度(B)	1	1	2	2	N	1

2.3.3 服务调度模式设计

为减轻CPU负担及避免数据的重复上传,需要对网关的任务优先级进行设计,以适应体域网环境的特殊应用。在uC/OS-II的操作系统中,可以在创建任务的同时设置当前任务的堆栈、任务优先级等参数。为了提高CPU利用率,需要将任务的优先级在初始化时进行一定的设置;为了提高系统的实时性,任务的优先级需要做调整并且在数据上云结束后将任务的优先级更改为原来的优先级。部分伪代码设计如下所示:

Input: Data collected by the sensor

Output: The data is uploaded to the cloud platform

Function: Upload the data collected by the sensor to the cloud

Step0: Create task x and set the priority to TaskxPrio

Step1: Perform the following operations on the received data;

Step1.0: if each data received is the same as each data previously saved; Flag=0;

Step1.1: if each data received is different from each data previously saved; Save every data; Flag=1;

Step2: When Flag=1, perform the following operations;

Step2.1: Change the priority of task to TaskxPrio1 (TaskxPrio1>TaskxPrio);

Step3: When Flag=1, perform the following operations;

Step3.1: Data is uploaded to the cloud platform;

Step4: Delay of 1 second

Step5: When Flag=0, perform the following operations;

Step5.1: Change the priority of task to TaskxPrio;

网关在接收汇聚节点传输的多种传感器采集的数据之前,可以设置各个任务的优先级,并按照数据的重要程序更改对应任务的优先级和延时,保证重要的数据及时传输。

3 运行结果分析

网关的实际测试是在本地win7环境下进行的,其丢包率、时延均通过XCOM串口调试助手和网络调试助手完成测试。另外,网关的有效性在阿里云平台进行测试。调试工具抓取数据如图5所示。

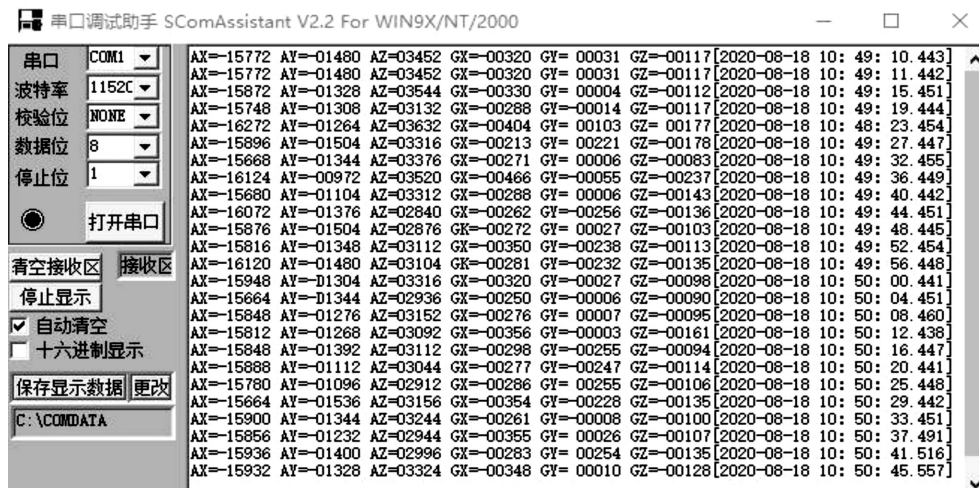


图5 调试工具抓取数据

3.1 丢包率测试

数据在网络传输过程中,通常会发生网关丢包的现象。对于本系统中网关数据丢包主要发生在网关接收数据与通过Wi-Fi发送数据时。其中,网关通过Wi-Fi发送数据,经过实际多次对5000个数据包的测试,基本无丢包现象。

当汇聚节点将数据传输给网关,网关接收数据时,测试了30轮次数据,每轮分别测试了500和2000个数据包,测试结果如图6所示。对测试结果进行统计

计算,30轮次数据接收,每轮次2000个,实际平均丢包率为1.42%;每轮次500个,实际平均丢包率为0.53%。所以后期测试均采用每轮次500个数据包进行实验。

当然在此测试过程中,由于网关是异构网络间信息共享的关键设备之一,因此需要长时间有效、稳定的运行,所以稳定性成为了网关性能中的重要一环。经过测试,网关在连续运行24小时内并未出现系统死机、丢包率急剧上增等现象。

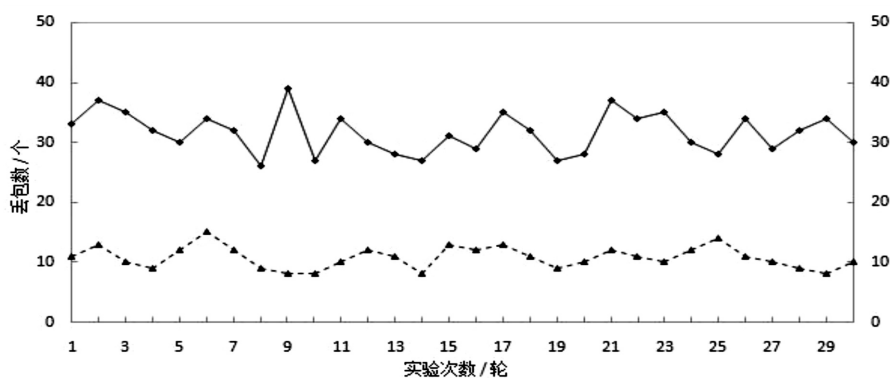


图6 丢包数统计

3.2 时延测试

网关工作时,其时延包括发送、处理、传播、排队四种时延。根据网关数据实时性的需要,系统主要计算网关的总时延以及发送时延。总时延不仅包括以上4点,还包括处理器处理时间以及任务调度的时间。发

送时延主要发生在数据从发送器发送到完全进入信道上,影响到信道的利用率。如图7所示,实验测试的是30轮网关的总时延和发送时延并对其进行计算统计,每轮接收500个数据包。

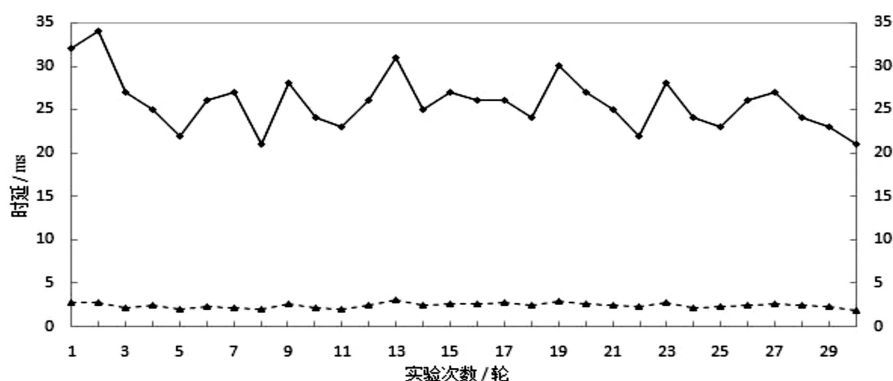


图7 网关总时延统计

其中,横坐标展示为30个实验轮数,纵坐标展示为对应轮次时延值大小,单位为ms。经计算,30轮次的平均总时延为23.734 ms,发送时延为2.433 ms。总体来说时延值较低,网关能够满足一定条件下的实时性需要。

3.3 能耗测试

数据在网络中传输需要能量,而节能一直是网关

研究的一个热点。因此在丢包率、时延良好的情况下,对本系统发热能耗进行测试分析,图8为系统能耗统计图。其中,横坐标是实验次数,测试时长为1小时;纵坐标是消耗的能量,单位为J。对系统进行30轮次实验,每次数据包大小为500,从图中可以看出,每轮次的能耗为20 J至25 J,能耗较低且平稳,说明网关具有低能耗的特点。

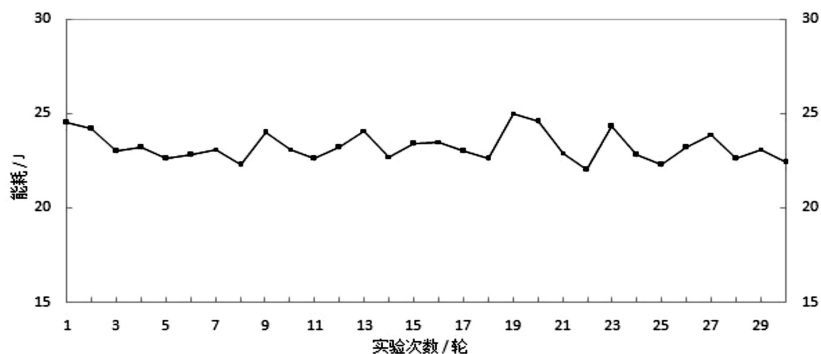


图8 能耗统计

3.4 有效性测试

传感节点采集的数据通过设计的网关发送到阿里

云服务器端,通过云服务器的计算处理,对数据进行可视化处理并展示,其中采集用户心率和血氧的数据计

算可视化后如图9所示。虽然传感器自身精度以及人为检测时的不正当操作会导致数据有一定的误差,但图9的折线图基本符合人体心率和血氧的标准。说明网关数据在不同协议之间的转换后能够正常运行。

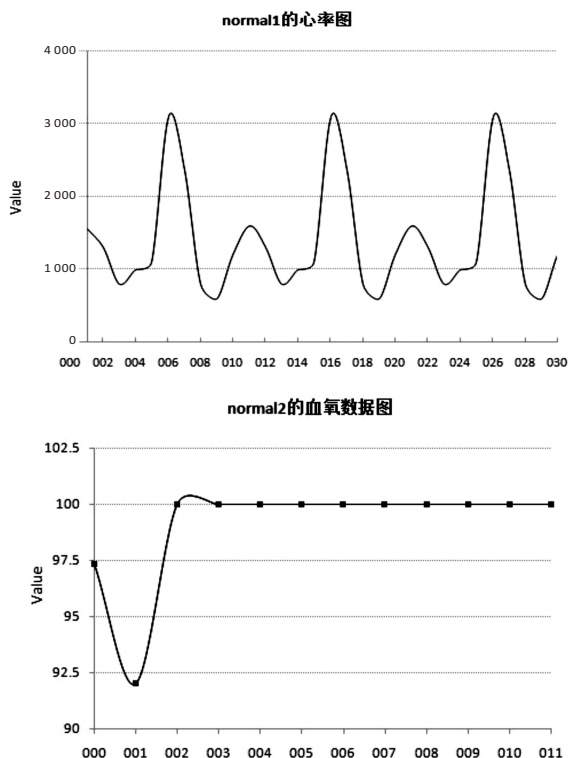


图9 用户身体数据测试

4 结束语

文中利用 STM32 核心组件,通过 ZigBee 模块、串口与 WiFi 通信,设计了一种低能耗多协议网关,实现异构网络的数据相互操作。通过对软硬件的详细设计,传感器不仅能够采集异种类型的数据,同时也能将采集到的数据通过网络上传到云平台,进行集中处理存储。最后对数据的各项性能指标进行测试分析,并对云端的用户身体数据进行可视化展示,测试结果良好。该设计虽在网关的研究上具有一定的重复性,但是在体域网这一特殊的应用场景中仍具有一定的应用价值,能够对网关的各种性能参数进行实验分析,体现了良好的应用指标。发掘网关的特色与提升网关的性能将是下一步的研究方向。

参考文献:

- [1] 郭荣佐,郭进,黎明.智能家居中异构设备无缝集成的多协议网关设计[J].小型微型计算机系统,2015,36(10):2395-2402.
- [2] 王明宇,杨吉江,陈昊,等.基于体域网和云平台的远程数字健康系统发展的研究[J].计算机科学,2012,39(S1):195-200.
- [3] 赵安华,王英龙,舒明雷,等.一种改进的无线体域网 MAC 协议[J].计算机技术与发展,2017,27(2):167-170.
- [4] 李瑞昌,廖璠.基于体域网的医疗监测系统研究[J].现代电子技术,2013(17):49-51.
- [5] 何智勇.基于全局能量均衡的 ZigBee 网络路由算法优化[J].计算机应用研究,2018,35(2):579-581.
- [6] 陈磊.基于优先级和休眠机制的无线体域网 MAC 协议的能效优化[D].北京:北京交通大学,2014.
- [7] LIN Yuanguai, XIE Haixia, YANG Wei, et al. Design of Zigbee gateway in intelligent monitoring system for agriculture [C]//International conference on mechatronic science. Jilin, China: IEEE, 2011.
- [8] WANG J, HAN K, FAN S, et al. A logistic mapping-based encryption scheme for wireless body area networks[J]. Future Generation Computer Systems, 2020, 110: 57-67.
- [9] ULLAH F, ULLAH Z, AHMAD S, et al. Traffic priority based delay-aware and energy efficient path allocation routing protocol for wireless body area network[J]. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 2019, 10(10): 3775-3794.
- [10] 陈康,郑纬民.云计算:系统实例与研究现状[J].软件学报,2009,20(5):1337-1348.
- [11] 王超,骆德汉,郑魏,等.基于 STM32 的嵌入式智能家居无线网关设计[J].计算机技术与发展,2013,23(3):241-244.
- [12] GILL K, YANG S H, YAO F, et al. A zigbee-based home automation system[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2009, 55(2): 422-430.
- [13] MALHEIROS L, NZE G D A, CARDOSO L X. Fall detection system and body positioning with heart rate monitoring [J]. IEEE Latin America Transactions, 2017, 15(6): 1021-1026.
- [14] CHERKAoui E H, AGOULMINE N. Context-aware mobility management with WiFi/3G offloading for ehealth WBANs [C]//IEEE international conference on e-health networking. Natal, Brazil: IEEE, 2014.
- [15] TOLANI M, SHARMA S, SINGH R, et al. Two-layer optimized railway monitoring system using wi-fi and zigbee interfaced wireless sensor network[J]. IEEE Sensors Journal, 2017, 17(7): 2241-2248.
- [16] LIU Yunhong, QI Meini. The design of building fire monitoring system based on zigbee-wifi networks [C]//Eighth international conference on measuring technology & mechatronics automation. Macau, China: IEEE, 2016.
- [17] AMIRUDDIN A, RATNA A P, HARWAHYU R, et al. Secure multi-protocol gateway for Internet of Things [C]//2018 wireless telecommunications symposium (WTS). Phoenix, AZ, USA: IEEE, 2018.
- [18] WU Shuang, ZENG Guigen. Design and realization of wireless home gateway based on 3G and zigbee [C]//International conference on multimedia communications. Hong Kong, China: IEEE, 2011.