

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2022.0001.008

基于 LoRa 技术的便携式健康监测系统设计

张金润, 胡森荣, 洪 炎

(安徽理工大学 电气与信息工程学院, 安徽 淮南 232001)

摘要:针对传统老年监控护理系统功耗大、实时性差、数据传输效率低等问题,提出了一种基于低功耗广域网的智能无线传感器网络系统;系统中,通过依靠 STM32 处理器和传感器对环境与体征数据信息进行采集,然后利用 LoRa 技术将采集的数据通过 SX1278 模块发送至网关,再通过网关上传数据到云服务器;将处理后的数据通过云服务器显示给用户,实现实时监测社区老年人身体健康状况,利用节点通信自适应机制优化算法实现老人健康数据稳定传输,实现低功耗、低延时、高数据传输率的监测效果;总结出老年护理网络中数据发送与延时是非常敏感的,为提高数据传送速率(DTR),降低数据传输延时(DTD),提出了一种优化的网络流量自适应通信机制,以改进 DTR 与 DTD 等功能,在节点能耗、网络数据传输实时性等性能方面均得到提升,系统能够稳定检测老年人的相关体征健康状态。

关键词:老年监控护理;低功耗;广域网;STM32 处理器;通信自适应;健康监测

中图分类号: TN914

文献标志码: A

文章编号: 1672-058X(2022)01-0056-06

0 引言

随着社会人口老龄化问题的日益严重,老年护理工作进入了一个新的发展阶段。问题在逐渐改善的卫生服务利用率^[1]的背景下依靠更好的政策进一步解决。在监测系统中,大多数研究人员在设计或改善物联网无线通信方案时常使用 ZigBee 和 GPRS 等技术^[2]。例如:马恒等^[3]基于体域网的个人健康监测系统设计,系统利用 ZigBee 和蓝牙无线通信协议技术来实现监护。针对传统老年监控护理系统功耗大、实时性差、数据传输效率低等问题,提出一种基于低功耗广域网的智能无线传感器网络系统。在养老社区环境中构建 LoRa 无线传感网络^[4],设计完整的监测系统,对社区中老年人的身

体健康状况进行监控。系统能提供一定范围的数据感知,数据可靠传输,终端数据接收、存储、处理、访问等功能。研究在节点能耗、网络数据传输实时性等性能均得到提升,系统能够稳定检测老年人的相关体征健康状态,这对中老年人的身体健康监控护理具有很大的现实意义,能满足绝大部分中老年人的基本需求。

1 系统架构设计

系统集成身体健康监测以及环境检测功能。由传感器模块、定位模块、STM32 主控模块、LoRa 网关和终端应用等部分组成。其中,心率血氧传感器、体温传感器、紫外线传感器和定位模块构成终端节点由 MCU 驱动用于检测体征数据与位置信息;通过

收稿日期:2020-12-15;修回日期:2021-03-09.

基金项目:2018 安徽省自然科学基金面上项目(1808085MF169);2018 年度安徽高校自然科学研究项目(KJ2018A0086);
光纤器件生产厂国家标准制造地方政府奖励基金(1C067).

作者简介:张金润(1993—),男,安徽安庆人,硕士研究生,从事物联网技术研究.

通讯作者:洪炎(1979—),男,重庆万州区人,教授,硕士生导师,从事计算机监测、物联网及大数据分析研究.

LoRa 网关组成无线传感器网络,实现终端节点在无线传感网络中的通信。LoRa 网关将检测到的数据通过无线通信发送到社区老人安全监测系统中心进行储存与处理,并利用定位模块用户在上位机查看老人在社区中的位置,实现对社区老人健康监测^[5]。

2 系统硬件设计

2.1 终端节点硬件设计

在设计中选用 STM32F103 单片机^[6]作为核心控制器,用来驱动心率血氧传感器、体温传感器、紫外线传感器和定位模块,获取检测到的人体特征数据与位置信息。终端节点硬件原理如图 1 所示。

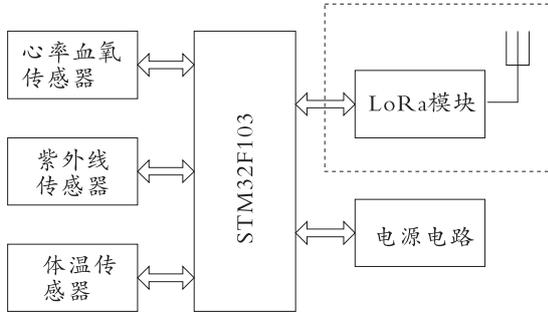


图 1 终端节点硬件原理框图

Fig. 1 Schematic diagram of terminal node hardware

在设计中采用心率血氧传感器来监测老人平时的心率数据以及血氧含量,采用 MAX301 模块^[7]。模块集成脉搏血氧仪和心率监测仪传感器的模块,为了实现低功耗可通过控制器向其发送中断指令来实现开关。

在设计中采用 MAX302 人体温度传感器模块来检测体温。传感器可以高精度测量人体温度,在 37 ~ 39 °C 范围内精度可达到 0.1 °C,其温度分辨率为 16 位。传感器利用其模/数转换器(ADC)将温度测量值转换为数字形式,方便数据的采集。

为检测室外紫外线指数是否适合老人外出活动,设计中选用 S_i1145 芯片的紫外线传感器。芯片内置 ADC,采用标准 IIC 接口,输出大气中紫外线指数数据,可测量大气中紫外线以及环境光强。

为准确掌握社区内老人的活动位置,设计采用 SKG09A 模块用于获取位置信息。定位模块电路如图 2 所示。模块针对不同定位需要可选择适合健康低功耗模式,设计中采用跟踪式定位需要,在模式下其跟踪电流仅为 5 mA,可以通过识别运动速度来调

节功耗进行定位。模块通过 UART 接口与 MCU 实现数据传输。在检测到老人身体健康状态出现异常时,通过应用程序来获取老人相应的地理位置,达到及时处理功能。

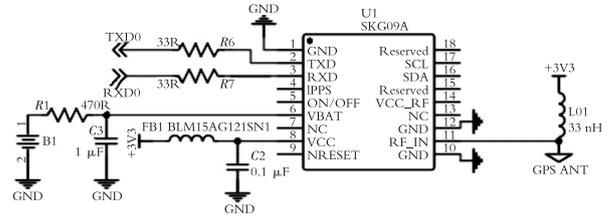


图 2 定位模块电路图

Fig. 2 Circuit diagram of positioning module

2.2 通信模块设计

由于人体健康数据和定位数据采集处于复杂环境中,为解决布线问题采用 LoRa 调制集成微控制器 SX1278 作为调制解调模块^[8]。通信模块电路如图 3 所示。目前芯片的发射功率可高达 20 dBm,基本满足本设计的需要,在设计中 LoRa 网关用于云和 LoRa 设备之间的数据转发。在接收来自设备数据信号时,通过 UDP 协议^[9]将数据传送到云端服务器储存和处理;在接收来自服务器端数据指令时,先通过传输一段数据指令到调制解调模块,再发送数据包,实现数据传输。在设计中,系统备份需要在低功耗的环境中运行,所以选择 A 类模式作为 LoRa 装置工作模式。

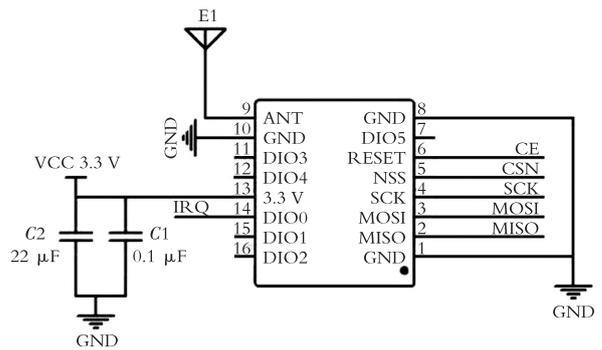


图 3 通信模块电路图

Fig. 3 Circuit diagram of communication module

3 系统软件设计

3.1 数据传输软件设计

在设计中为实现通信系统高效、低功耗功能,通过调整系统节点工作周期,在工作时唤醒终端节点,

无数据传输时进入休眠状态来平衡能源功耗和网络性能。通信网络的软件实现如图 4 所示。

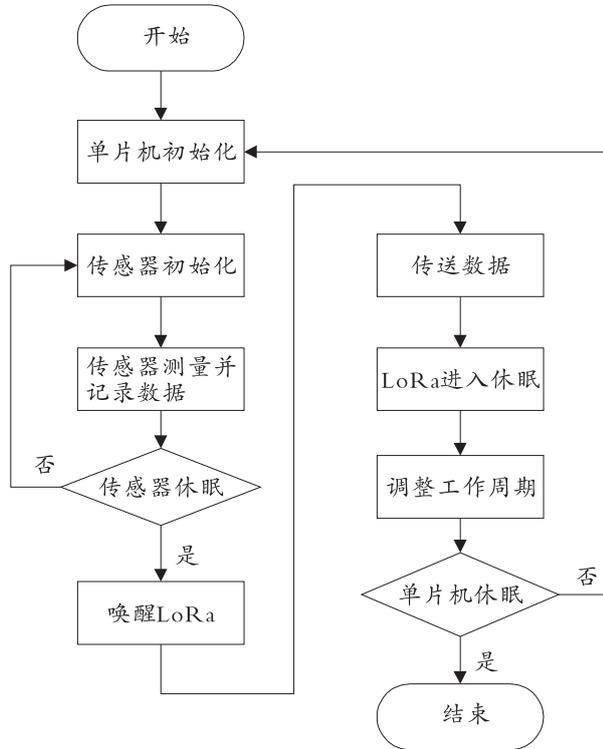


图 4 数据传输流程图

Fig. 4 Data transmission flow chart

数据的接收与发送具体步骤如下:首先,唤醒单片机,传感器中获取数据并记录,待传感器完成数据的收集后通过负载开关将其关闭。然后,通过发送初始数据唤醒 LoRa 装置,待唤醒后传输检测到的相关数据,完成数据发送后,让 LoRa 装置再次进入休眠状态,等待下一次的唤醒。最后调整系统的工作周期,等待每一次的数据收集工作。

3.2 数据传输算法设计

为了避免通信拥挤,实现高效通信。在设计中根据通信优先级的不同,采用节点通信自适应机制。在不同信号通信中采用选取优化簇头,通过数据融合来降低网内节点的通信量,并通过合理优化分配无线通信协议^[10],使其满足范围大的社区养老的需求。

根据网络数据传输系统能耗公式:

$$E = BT \cdot (E_{T\text{-bit}} + E_{R\text{-bit}})$$

知,假设网络检测覆盖的区域为 $L \times L$,区域内节点总个数为 N ,簇头个数为 M ,则单个簇内节点的个数为 N/M 。在每个簇内,普通节点传输到簇头平均需要 P 跳,节点传输数据为 Q bit,则数据总量为

$$BT = M \cdot \left[\left(\frac{N}{M} - 1 \right) \cdot P \cdot Q \right] + M \cdot K \cdot \left[\alpha \cdot \left(\frac{N}{M} \right) \cdot Q \right]$$

其中 α 为每簇内节点采样数据的相关性, K 为网内节点到 sink 节点的平均跳数,由簇内节点传输数据到簇头的平均跳数为 P :

$$P = \frac{K}{\sqrt{M}} \quad (1)$$

由式(1)得结果为

$$BT = (N - M) \cdot \frac{K}{\sqrt{N}} \cdot Q + M \cdot K \cdot \left(\alpha \cdot \frac{N}{M} \cdot Q \right) \quad (2)$$

通过分析知,在满足 $\alpha = M/N$ 时,可减少网内节点的数据通信量。

在系统中终端节点数据通道的扩频因子根据信号强度和信噪比调整。据实验知,接收信号强度与信噪比越高,此时终端节点距离网关越近,为保证数据率高则分配的扩频因子要低。

$$T_{\text{RSSI}} = -(A + 10n \log_{10} d) \quad (3)$$

根据式(3)确定扩频因子,其中 RSSI 是接收信号强度, d 计算所得距离(单位:m), A 是发射端和接收端相隔一个单位距离时的信号强度, n 是环境衰减因子。

据研究表明:LoRa 网络中的流量大小与终端节点的在线量成正比,且与节点延时计数器停止计数次数也成正比。文中,LoRa 网络流量均值(average network traffic)如式(4)所示,式中的 DC 是网络流量数据在传输过程中发生延时和碰撞的计量总和。设网络流量(NT)的阈值为高(QH)、低(QL),因此,网络流量的判定可依据式(5)。

$$\overline{A_{\text{NT}}} = \sum_{i=1}^n \frac{DC_i}{n} \quad (4)$$

$$NT_Q = \begin{cases} -1, & \overline{A_{\text{NT}}} \leq NT_{\text{QL}} \\ 0, & NT_{\text{QL}} \leq \overline{A_{\text{NT}}} \leq NT_{\text{QH}} \\ +1, & \overline{A_{\text{NT}}} \geq NT_{\text{QH}} \end{cases} \quad (5)$$

在设计中,根据不同时期数据差异采取不同的上传方案,通过选择合适的扩频因子(SF),提高数据率,缩短数据上传时间。

更优的传输路径决定这数据包的传输效率,根据网络中数据传输的大小抉择出更优的传输路径。

步骤 1:当网络流量判定为 -1 时,系统选择最近的簇头,通过单线路径上传数据。

步骤 2:当网络流量判定为 0 时,系统根据流量自适应传输机制,提高数据波动大的节点信道竞争,达到优先传输,其他数据较稳定节点侦听到信道忙时停止传输。

步骤 3:当网络流量判定为 1 时,系统采用多通道自适应传输,通过竞争选择合适的簇头,优先级高的竞争先传输,且网关返回确认帧。

步骤 4:如果数据传输失败则返回并再次分配合适的 SF 进行数据传输直至数据传输成功结束。

4 系统实验测试

4.1 通信测试

设计检测在 4 种不同扩频因子(SF)下系统中数据传输过程中能耗以及延时,系统能耗及延时测试如图 5 所示。

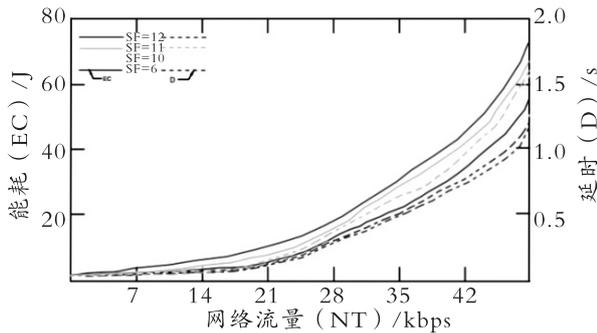


图 5 数据传输能耗及延时曲线图

Fig. 5 Data transmission energy consumption and delay curve

由图 5 结果可知,在不同的扩频因子下数据传输过程中其能量损耗及延时时间完全不同,随着扩频因子的增大,数据在传输的过程中能耗和延时时间都会增加。

设置测试功率同上,信道带宽为 125 kHz,分别在 4 种数据率、距离为 2 000 m、数据包为 40 bit 情况下进行测试结果如图 6 所示。

由上述测试结果及式(1)表明,SF 与信号强度指标(T_{RSSI})和信噪比(SNR)成正比。随着通信距离的增加, T_{RSSI} 值在不断减小。同时, T_{RSSI} 和信噪比测试点在一些复杂建筑物出,其信号质量有波动,随着设备通信距离的增加,数据率增大,丢包率上升,但在设备距离网关 2 km 时,仍然具有良好的通信性能,能提供可靠的传输更大的距离。

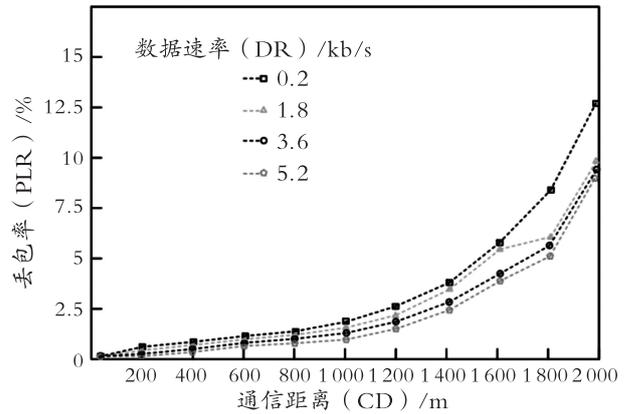


图 6 丢包率(PLR)曲线

Fig. 6 Loss rate (PLR) curve

4.2 监控测试

设计装置通过穿戴在人身上,最上层为紫外线传感器所在层,中间层有 LoRa 模块,最下层集成有心率血氧传感器和体温传感器。通过采集身体特征数据以及身体外部环境数据来实现对人体健康的监测。

图 7 为试验者在校园里走动时,利用穿戴装置实时监测外部环境紫外线指数以及人体温度。从 0~5 min 内,装置检测到的外部环境紫外线指数波动大且较高,此时的人体温度明显高于人体正常温度,表明试验者处于阳光照射下,从 5~8 min 内,紫外线指数波动小且低,此时人体温度趋近于体温,表明试验者处于阴凉地方或建筑物内。

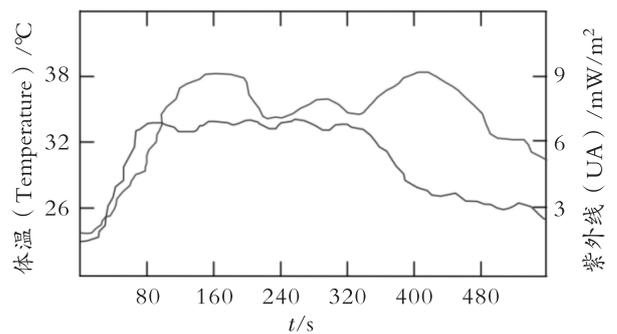


图 7 体温与紫外线检测曲线

Fig. 7 Temperature and UV detection curve

图 8 为试验者在校园里走动时,利用该穿戴装置实时监测心率和血氧含量,在 0~5 min 内,让试验者以平稳的步伐行走,试验者的心率以及血氧饱和度处于平稳状态。在 5~8 min 内,让试验者开始慢跑并维持 3 min,此时试验者体征检测发生明显变化,心率逐渐升高,血氧饱和度下降,结果如图 8 所示。

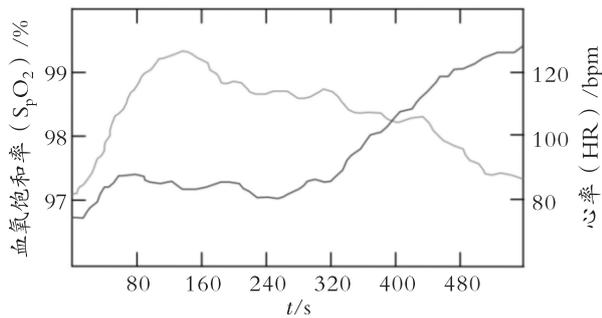


图 8 血氧饱和度与心率检测曲线

Fig. 8 Measurement curves of blood oxygen saturation and heart rate

5 结 论

针对社区养老的需求,提出了一种基于 LoRa 的老年人智能无线传感器网络,由人体特征监测传感器、环境检测传感器和 LoRa 无线网络系统组成的人体健康整体监测系统。系统中,通过依靠 STM32 处理器和传感器对环境与体征数据信息进行采集,然后将利用 LoRa 技术将采集到的数据通过 SX1278 模块发送至网关,再通过网关上传数据到云服务器。接着将处理后的数据通过云服务器显示给用户,实现实时监测社区老年人身体健康状况,利用节点通信自适应机制优化算法实现老人健康数据稳定传输,实现低功耗、低延时、高数据传输率的监测效果。在设计中,老年护理网络中数据发送与延时是非常敏感的,为提高数据传送速率(DTR),降低数据传输延时(DTD),研究提出一种优化的网络流量自适应通信机制,以改进 DTR 与 DTD 等功能。结果表明,在节点能耗、网络数据传输实时性等性能均得到提升,系统能够稳定检测老年人的相关体征健康状态。

参考文献(References):

- [1] 宋强玲,零东智,莫云仙,等. 广西人口老龄化对卫生服务需求及利用的影响[J]. 中国老年学杂志,2016,36(24):6273—6274.
SONG Qiang-ling, LING Dong-zhi, MO Yun-xian, et al. The impact of population aging on the demand for and utilization of health services in Guangxi [J]. Chinese Journal of Gerontology, 2016, 36(24): 6273—6274.
- [2] 李大海,张亚超,陈素. 基于 ZigBee 和 GPRS 技术的油

田抽油机无线数据采集传输系统[J]. 仪表技术与传感器,2018(11):93—96.

LI Da-hai, ZHANG Ya-chao, CHEN Su. Wireless data acquisition and transmission system of oil field pumping unit based on ZigBee and GPRS technology [J]. Instrument Technology and Sensors, 2018(11): 93—96.

- [3] 马恒,陈军波,田军,等. 基于体域网的个人健康监护系统设计[J]. 测控技术,2015,34(1):24—27.

MA Heng, CHEN Jun-bo, TIAN Jun, et al. Design of personal health monitoring system based on body domain network [J]. Measurement and Control Technology, 2015, 34(1): 24—27.

- [4] 张新. LoRa 技术及其在煤矿中的应用分析[J]. 煤炭工程,2019,51(3):79—82.

ZHANG Xin. Analysis of LoRa technology and its application in coal mine [J]. Coal Engineering, 2019, 51(3): 79—82.

- [5] 吕成成,张龙,邓茜,等. WEB 应用程序搜索功能的组合测试[J]. 计算机科学与探索,2019(8):1—16.

LV Cheng-cheng, ZHANG Long, DENG Qian, et al. Combination test of WEB application search function [J]. Computer Science and Exploration, 2019(8): 1—16.

- [6] 胡平,曾博才,雷霆,等. 基于 STM32F103 微控制器的短信报警温湿度记录仪的设计[J]. 中国测试,2015,41(S1):113—116.

HU Ping, ZENG Bo-cai, LEI Ting, et al. Design of short message alarm temperature and humidity recorder based on STM32F103 microcontroller [J]. China Test, 2015, 41(S1): 113—116.

- [7] 孙斌,邱俊强,衣龙燕,等. 不同急性低氧环境摄氧量峰值下降与峰值负荷时肺通气量、血氧饱和度、心率的关系[J]. 中国运动医学杂志,2016,35(11):1010—1013.

SUN Bin, QIU Jun-qiang, YI Long-yan, et al. The relationship between peak oxygen uptake in different acute hypoxic environments and pulmonary ventilation, blood oxygen saturation, and heart rate under peak load [J]. Chinese Journal of Sports Medicine, 2016, 35(11): 1010—1013.

- [8] 李时杰,何怡刚,罗旗舞,等. 基于 LoRa 的电气设备温湿度监测终端设计[J]. 传感器与微系统,2018,37(4):89—91.

LI Shi-jie, HE Yi-gang, LUO Qi-wu, et al. Design of

- temperature and humidity monitoring terminal of electrical equipment based on LoRa [J]. *Sensors and Microsystems*, 2008,37(4):89—91.
- [9] 万玉铸,徐志江,卢为党,等. 具有高吞吐量的可靠 UDP 协议[J]. *计算机工程与设计*,2017,38(12):3202—3206.
- WAN Yu-zhu, XU Zhi-jiang, LU Wei-dang, et al. Reliable UDP protocol with high throughput[J]. *Computer Engineering and Design*, 2017, 38 (12): 3202—3206.
- [10] 刘云翔,张伟. 矿井无线通信网络中 LEACH 协议的改进[J]. *现代电子技术*,2017,40(9):66—69.
- LIU Yun-xiang, ZHANG Wei. Improvement of LEACH protocol in mine wireless communication network [J]. *Modern Electronic Technology*,2017,40(9):66—69.

Design of Portable Health Monitoring System Based on LoRa Technology

ZHANG Jin-run, HU Sen-rong, HONG Yan

(School of Electrical and Information Engineering, Anhui University of Science and Technology, Anhui Huainan 232001, China)

Abstract: Aiming at the problems of the traditional elderly monitoring and nursing system, such as high power consumption, poor real-time performance and low data transmission efficiency, an intelligent wireless sensor network system based on low-power wide area network is proposed. In this system, the environmental and physical data information is collected by relying on STM32 processor and sensor, and then LoRa technology is used to send the collected data to the gateway through SX1278 module, and then the data is uploaded to the cloud server through the gateway. Then, the processed data is displayed to users through the cloud server to realize real-time monitoring of the physical health status of the elderly in the community. The node communication adaptive mechanism optimization algorithm is used to realize stable transmission of the health data of the elderly, so as to realize the monitoring effect of low power consumption, low delay and high data transmission rate. Summarizing aged care network data with time delay is very sensitive. In order to improve data transfer rate (DTR) and reduce the data transmission delay (DTD), this paper puts forward an optimized network traffic adaptive communication mechanism to improve the DTR and DTD. Other functions in the node energy consumption and network data transmission has been improved, and real-time system can stably test the related signs of the elderly health.

Key words: elderly monitoring and nursing; low-power consumption; wide-area network; STM32 processor; communication adaptation; health monitoring

责任编辑:田 静

引用本文/Cite this paper:

张金润,胡森荣,洪炎. 基于 LoRa 技术的便携式健康监测系统设计[J]. *重庆工商大学学报(自然科学版)*,2022,39(1):56—61.

ZHANG Jin-run, HU Sen-rong, HONG Yan. Design of Portable Health Monitoring System Based on LoRa Technology[J]. *Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition)*,2022,39(1):56—61.