

基于 LoRa 的智能图书馆座位管理系统设计与实现

罗志鹏¹, 张 伟¹, 陈琪玮¹, 沈琼霞²

(1. 湖北大学 计算机与信息工程学院, 武汉 430062;

2. 烽火通信科技股份有限公司 业务与终端产线, 武汉 430073)

摘要: 针对当前图书馆在采取传统无人管理座位模式时, 出现的座位有效使用率低, 占座情况频发等突出问题, 提出一种基于 LoRa 协议的智能图书馆座位管理系统的设计方案; 该系统的感知层部署座位管理节点, LoRa 网络采用星型拓扑结构, 构建低功耗广域网智能图书馆座位管理系统; 从系统总体设计、系统网络架构设计、系统功能设计、LoRa 座位管理节点与 LoRa 基站软硬件设计以及通信协议设计等方面详细论述设计要点, 并且对系统进行了功能及性能两方面的测试, 结果表明, 基于 LoRa 的智能图书馆座位管理系统相比传统的无人管理座位模式, 座位有效使用率更高, 读者寻找座位时间明显缩短, 占座情况也得到改善, 非常适合在图书馆的座位管理中推广应用。

关键词: LoRa 网络; 图书馆; 座位管理系统; 数据采集

Design and Implementation of Intelligent Library Seat Management System based on LoRa

Luo Zhipeng¹, Zhang Wei¹, Chen Qiwei¹, Shen Qiongxia²

(1. School of Computer and Information Engineering, Hubei University, Wuhan, Hubei 430062, China;

2. Service and CPE Business Unit, Fiberhome Telecommunication Technologies Co. Ltd., Wuhan, Hubei 430073, China)

Abstract: Aiming at the problems of low effective utilization rate and frequent occupancy of seats in the traditional unattended seat mode, this paper proposes a design scheme of Intelligent Library seat management system based on LoRa protocol. The perception layer of the system deploys seat management nodes. LoRa network uses star-shaped topology structure to build a low-power Wide Area Internet of Things Intelligent Library seat management system. The main points of the design are discussed in detail from the aspects of system overall design, system network architecture design, system function design, software and hardware design of LoRa seat management node and LoRa base station, and communication protocol design. The function and performance of the system are tested. The results show that the seat management system of Intelligent Library Based on LoRa is better than the traditional seat management mode without seat management. Bit efficiency is higher, the time for readers to find seats is obviously shortened, and the occupancy of seats has also been improved, which is very suitable for the promotion and application of seat management in libraries.

Keywords: LoRa network; library; seating management system; data acquisition

0 引言

图书馆在使用传统的无人管理座位模式时, 座位使用情况的相关参数难以实时采集, 因而很难对图书馆的座位形成有效的管理。随着 LoRa 技术的普遍应用^[1], 基于 LoRa 的智能图书馆座位管理系统也应运而生^[2]。LoRa 技术融合了数字扩频、数字信号处理、超强的链路预算和前向纠错编码技术^[3], 并且 LoRa 技术传输距离远、功耗低^[4]、抗干扰能力强、穿透性好的特点完美契合本系统的需求^[5]。

本文设计实现了一套基于 LoRa 技术的智能图书馆座位管理系统, 能够实时采集座位状态信息, 远程控制相关设备并且与用户实时对接。测试结果表明, 本系统可以显著

提升图书馆座位有效使用率, 缩短人均寻找座位时间, 具有良好的推广前景。

1 系统总体设计

系统总体设计如图 1 所示, 基于 LoRa 的智能图书馆座位管理系统整体上由四部分组成, 即: 座位管理节点、LoRa 基站、智能图书馆云平台服务器以及用户访问平台。座位管理节点包括采集模块以及显示模块两部分, 对采集座位状态信息的模块称为采集模块, 对显示座位状态信息的模块称为显示模块。LoRa 基站保证了智能图书馆云平台服务器与座位管理节点之间的数据交互。智能图书馆云平台服务器对整个系统产生的数据进行处理, 将其存入数据库, 在需要时随时提取出来供用户使用。用户访问平台包括 Web 与手机 APP。另外, 一个 LoRa 基站覆盖一整栋图书馆的所有座位管理节点, 一个智能图书馆云平台服务器可连接多个 LoRa 基站, 实现多图书馆统一管理。本系统总体设计支持数据双向传输。由下至上时, 由采集模块检测座位状态信息, 通过 LoRa 网络传输到 LoRa 基站, 再经过 4G

收稿日期: 2018-12-13; 修回日期: 2019-01-09。

基金项目: 国家自然科学基金(61301144; 61601175)。

作者简介: 罗志鹏(1999-), 男, 湖北武汉人, 主要从事物联网、嵌入式系统方向的研究。

通讯作者: 张伟(1979-), 男, 湖北武汉人, 博士, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事无线通信、物联网、嵌入式系统方向的研究。

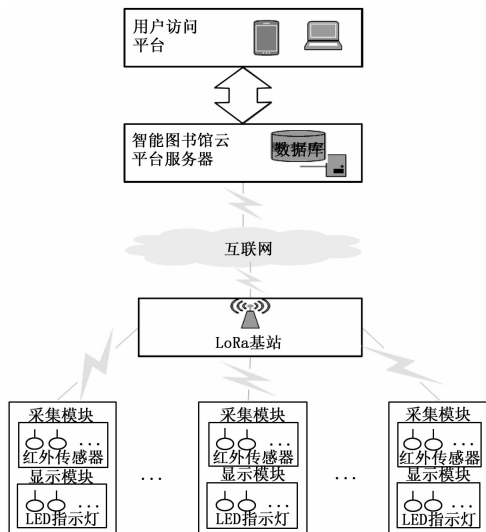


图 1 系统总体设计

网络上传到智能图书馆云平台服务器，最终用户就可以获取到实时座位状态信息。由上至下时，由用户通过 Web 或移动前端发送指令给智能图书馆云平台服务器，再经过 4G 网络将指令发送给 LoRa 基站，最后经过 LoRa 网络发送给显示模块，通过 LED 指示灯来显示座位状态。

2 系统网络架构设计

在本系统中，LoRa 技术采用 LoRaWAN 网络协议^[6]，而 LoRaWAN 的网络架构^[7]是一个典型的星形拓扑结构，在这个网络架构中，LoRa 基站是传输的中继，连接终端设备和后端中央服务器。在该智能图书馆座位管理系统中，终端设备为座位管理节点，后端中央服务器为智能图书馆云平台服务器。

另外，LoRa 基站与智能图书馆云平台服务器通过 4G 网络建立通信链路，在此过程中采用 TCP/IP 协议^[8]。

3 系统功能设计

3.1 座位的预约

1) 通过 Web 网页、手机 APP 实现在线预约^[9]。

2) 座位预约成功后，LED 指示灯为蓝色，读者会有 30 分钟的时间到达座位就坐。若 30 分钟后红外传感器检测到无人就坐，会自动释放该座位，并判定为一次违规；读者到达指定座位后，点击“确认到达”后即可就坐，LED 指示灯变为绿色，若点击了确认达到，但 30 秒后红外传感器检测到无人就坐会自动释放该座位，并判定为一次违规。

3) 若他人强行就坐已经被预约的座位，红外传感器检测到有人会直接将其判定为占座，LED 指示灯变为红色，并将信号发送给值班管理员，管理员查明后，判定为一次违规。

3.2 座位的使用

1) 可通过 Web 网页或者 APP 实现暂离座位、释放座位以及查看个人账号信息。

2) 若要暂时离开座位必须点击“暂离”，LED 指示灯变

为蓝色，暂离时间是 25 分钟，若超过规定时长，人体热释电红外传感器检测到还无人就坐会自动释放该座位，并判定为一次违规（12:00—13:00 和 17:30—18:30 两个时段保留 60 分钟）。若离开时没有点击“暂离”，则 30 秒内红外传感器检测到无人会自动释放该座位，并判定为一次违规。

3) 若要释放座位必须点击“释放”，LED 指示灯熄灭；若没有点击“释放”便离开，则 30 秒内红外传感器检测到无人会自动释放该座位，并判定为一次违规。若到了图书馆闭馆时间，可直接离开图书馆，无需手动释放该座位。

3.3 违规说明

1) 读者预约座位却未在规定时间内到达或者点击了“确认到达”，却无人就坐。

2) 读者没有预约座位，却强行就坐已经被预约的座位。

3) 读者离开时没有点击“暂离”或者点击了“暂离”但未在规定时间内返回。

4) 读者提前离开图书馆但未释放座位。

5) 若读者有三次违规操作，则智能图书馆云平台服务器系统自动将该名读者列入黑名单，读者等待三天后会被移出黑名单。在黑名单期间，读者不能在线预约座位。

3.4 注意事项

1) 账号与借书卡账号绑定。

2) 每日可在线预约座位数量限额为座位总数 30%。每日只要超出在线预约限额，便会关闭在线预约座位窗口，此时读者只能到图书馆现场就座。

4 系统平台设计

4.1 系统硬件设计

根据本系统总体设计可知，硬件部分包括座位管理节点和 LoRa 基站。

4.1.1 座位管理节点硬件设计

本系统的座位管理节点设计包括采集模块和显示模块两部分。如图 2 所示，采集模块由人体热释电红外传感器^[8]、主控芯片、电源、LoRa 无线通讯模块四部分组成，其主要任务是将采集到的座位就坐状态信息数据上传给 LoRa 基站。显示模块由 LED 指示灯、电源、主控芯片、三部分组成，主要任务是响应 LoRa 基站下发的控制^[9]指令来控制 LED 指示灯的状态。其中出于低成本，小体积等因素的考虑，采集模块与显示模块共用主控芯片、电源。对于座位管理节点，并不需要复杂的计算，但考虑其低功耗需求，座位管理节点选取 STC 公司生产的 STC89C52RC 单片机^[10]为主控芯片。STC89C52RC 是一款低功耗、高速、超强抗干扰的 CMOS 8 位微处理器，在传统的 51 单片机上做了许多改进，使其为更多嵌入式系统提供有效的解决方案。另外，人体热释电红外传感器采用 HC-SR501 型红外传感器，其感应角度在 100° 的锥角内可调，感应距离在 3m 内可调，均符合功能需求。LoRa 无线通讯模块采用 Rejee 公司的 M-GW1 全双工 LoRa 无线通讯模块。M-GW1 功耗低，是高性能工业级芯片，可快速部署 LoRa 网络，实现远

距离低功耗的控制和数据采集的目的。

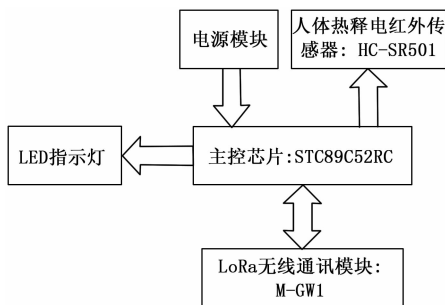


图2 座位管理节点示意图

4.1.2 LoRa 基站硬件设计

本系统 LoRa 基站设计如图 3 所示, 由网络接口模块、电源模块、主控芯片、LoRa 无线通讯模块四部分组成。LoRa 基站一方面将座位管理节点中的采集模块采集到的座位状态信息数据发送给智能图书馆云平台服务器, 另一方面响应智能图书馆云平台服务器下发的指令, 并让座位管理节点中的显示模块执行。对于 LoRa 基站, 除了低功耗特性外还需要满足一定复杂计算能力, 因此 LoRa 基站选取 ST 公司的 STM32F103^[11] 为主控芯片。STM32F103 是一款 ARM Cortex-M3 内核的 32 位微处理器, 内置高速存储器, 有睡眠、停机、待机 3 种低功耗模式等特点。LoRa 无线通讯模块采用 M-GW1 全双工 LoRa 无线通讯模块, 与座位管理节点相同, 在此不再做详细说明。

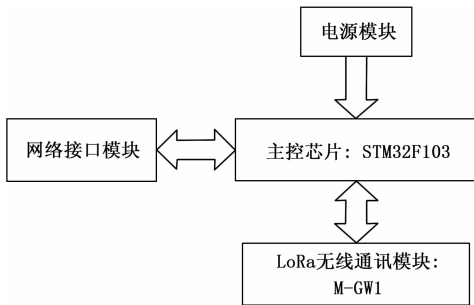


图3 LoRa 基站示意图

4.2 系统软件设计

为确保各个部分间的正常通信, 本系统在软件部分对座位管理节点、LoRa 基站和通信协议 3 个部分进行了详细设计, 实现座位管理节点、LoRa 基站、智能图书馆云平台服务器三者之间数据传输的准确性与可靠性, 以下分别介绍。

4.2.1 座位管理节点软件设计

LoRa 节点在 LoRaWAN 协议里被分为 Class A、Class B 和 Class C 三类不同的工作模式。本系统中的座位管理节点 Class B 模式是固定周期时间同步, 兼顾实时性和低功耗。如图 4 所示, 启动 LoRa 无线通讯模块后, 每当结束字节完成时, 则进行数据帧类型的判断。对来自采集模块的数据, 先封装成帧, 添加帧头、帧尾, 然后通过 LoRa 网络发送至 LoRa 基站; 对来自 LoRa 基站的数据, 先解帧, 拆除帧头、帧尾、然后把数据发送给显示模块, 后者接收到

数据后, 调整 LED 灯显示状态。至此, 便实现了采集模块数据的上传与 LoRa 基站指令的下达。

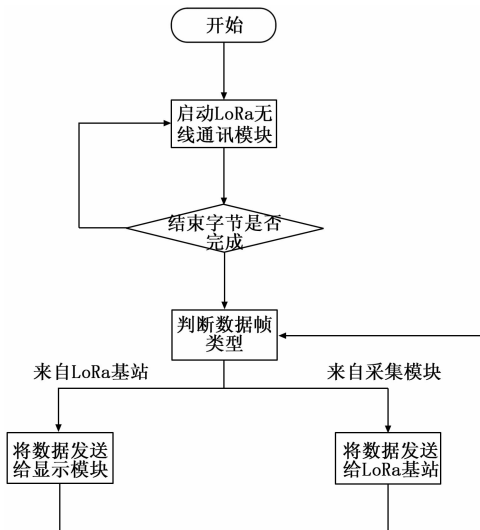


图4 座位管理节点流程图

4.2.2 LoRa 基站软件设计

如图 5 所示, 启动 LoRa 无线通讯模块后, 每当结束字节完成时, 则进行数据帧类型的判断。对来自智能图书馆云平台服务器的数据, 先封装成帧, 添加帧头和帧尾, 然后通过 LoRa 网络发送至座位管理节点; 对来自座位管理节点的数据帧, 先解帧, 拆除帧头、帧尾, 然后通过 4G 网络接口模块发送至智能图书馆云平台服务器, 后者接收到数据后, 实时地推送给用户访问平台。至此, 便实现了 LoRa 基站数据的上传与智能图书馆云平台服务器指令的下达。

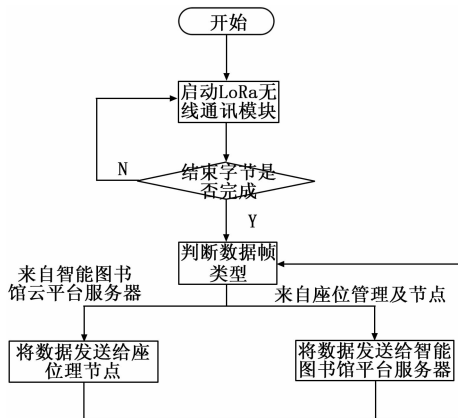


图5 LoRa 基站流程图

4.2.3 通信协议的设计

为了实现本系统中数据传输的准确性与可靠性, 根据系统需求设计出 4 种类型的数据帧, 分别为上行数据帧、下行反馈帧、下行指令帧、上行反馈帧。上行数据帧表示下层采集模块将采集到的座位状态信息发送给上层智能图书馆云平台服务器; 下行反馈帧表示下层座位管理节点在收到该帧后可以得知上层智能云平台服务器是否接收到上行数据帧; 下行指令帧表示上层智能图书馆云平台服务器

发送给显示模块的指令；上行反馈帧表示上层智能图书馆云平台服务器收到该帧后可以得知下层座位管理节点是否接收到了下行指令帧。

另外，根据本系统的性能以及功能需求，设计了一条通用数据帧，帧内每一个字段的数据以十六进制方式存储。如表 1 所示，每一帧都包含帧头、数据字段、帧尾 3 个部分。其中，帧头由帧首、数据长度、数据帧类型三部分组成。数据字段由座位管理节点 ID、MAC 地址、有效数据、校验位这 4 个部分组成。如表 1 所示，帧的定界由帧首，帧尾来完成。帧首表示帧起始的地方，用 0x01 表示。帧尾表示帧结束的地方，用 0x04 表示。数据长度表示数据字段的长度。数据帧类型表示数据帧的类型。座位管理节点 ID 表示一个座位管理节点的编号。MAC 地址表示对应座位管理节点的物理地址。有效数据表示真正有用的数据，长度不定。校验位表示从数据长度域开始到客户数据字段结束。

表 1 通用数据帧

帧首	0x01	1byte
数据长度	n	1byte
数据帧类型	...	1byte
MAC 地址	...	6byte
有效数据	...	nbyte
座位管理节点 ID	...	2byte
校验位	...	2byte
帧尾	0x04	1byte

5 系统测试与分析

本文从功能测试与性能测试两方面来验证基于 LoRa 的智能图书馆座位管理系统的实际效果。以湖北大学图书馆为例（共十二层楼），在图书馆的每一层都划分出该层座位总数（每层座位总数为 300 个左右）30% 的座位作为智能座位管理区域。为了更好的验证系统的功能与性能，每一层楼除了将智能座位管理区域划分在中心区域，还特地在最偏远的一些角落也按照比例选取了一些座位。剩下的座位总数为 70% 的区域为传统的无人管理座位区域。具体实现为：首先在图书馆楼顶架设一个 LoRa 基站，然后在智能座位管理区域布置好座位管理节点，最后搭建一个图书馆云平台服务器和用户访问平台。下面详细介绍用户访问平台（以网页界面为例）。

预约座位：如图 6 所示，进入预约座位界面可以预约空余的座位。

确认到达：如图 7 所示，到达预定座位之后，点击“确认到达”按钮即可就坐。

暂时离开：如图 8 所示，要暂时离开的话，先点击“暂时离开”按钮，离开之后会进入保留座位 25 分钟的倒计时。

释放座位：如图 9 所示，离开之前先点击“释放座位”按钮，然后离开。

5.1 系统功能测试

功能测试主要从系统功能的完整性、系统运行稳定性、

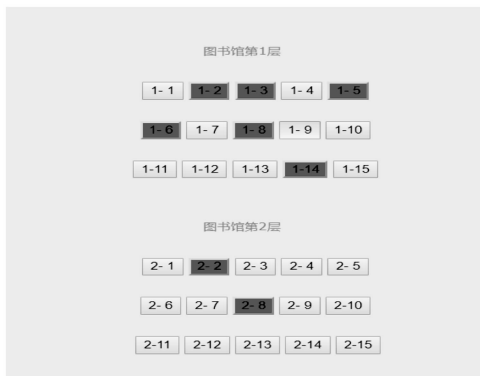


图 6 预约座位界面



图 7 使用座位界面



图 8 暂时离开界面



图 9 释放座位界面

两种模式下座位的有效使用率以及人均寻找座位时间，一共 4 个方面来考察。第一组对比为传统无人管理模式区域与智能座位管理区域的座位有效使用率对比（座位有效使用率 = 实际座位平均使用时长 / 理论最大座位平均使用时长），测试结果如表 2 所示。按照各院校中的各年级的人数比例，随机选取一共 200 人作为样本对象。样本对象第一个星期使用传统的无人管理模式，第 2 个星期使用智能图书馆座位管理系统，将人均寻找座位时间进行对比，这是第二组对比，测试结果如表 3 所示。

表 2 座位有效使用率统计

有效使用率(%) 管理方案	日期						
	周一	周二	周三	周四	周五	周六	周日
无人管理	50	49	48	50	51	59	58
智能管理	73	71	70	73	71	79	80

表 3 人均寻找座位时间统计

人均寻座时间(min) 管理方案	日期						
	周一	周二	周三	周四	周五	周六	周日
无人管理	25	24	25	23	25	25	23
智能管理	6	7	8	6	7	8	6

经过两个星期的功能测试, 结果表明基于 LoRa 的智能图书馆座位管理系统实现了所有的设计功能且运行稳定。相比传统的无人管理座位模式, 座位有效使用率有了显著提升, 人均寻找座位时间有了明显缩短。

5.2 系统性能测试

主要从该系统的覆盖率以及对座位管理节点的最大负载两方面来考察。在图书馆内测试距离以楼层序号为单位, 考虑到对整栋图书馆的覆盖, 选取 12 楼、8 楼、4 楼、1 楼为测试样本, 测试楼层选取一个星期 7 天, 每天在 8:00-12:00、14:00-17:30、18:30-21:30 3 个时段连续收发 10000 个数据包, 分别统计数据传输过程中的丢包率与误码率, 测试结果如表 4 所示(考虑到每天测试结果大体相同, 该表只给出了星期二的测试结果)。另外, 对该系统进行拓展覆盖率测试, 在图书馆外选取 200 m、400 m、700 m、1000 m 为样本测试距离。如表 4 所示, 即使是在晚自习 18:30-21:30 最高峰的时段, 最偏远的角落里, 该系统对图书馆内的覆盖率为 100%, 数据的丢包率和误码率均为零。如表 5 所示, 在图书馆外, 随着 LoRa 网络通信传输距离的增加, 数据的丢包率和误码率逐渐增加, 值得注意的是, 距离为 1000 m 时的丢包率仅为 1.0%, 误码率仅为 1.15%。

表 4 图书馆内丢包率与误码率统计

组数	距离 (楼层 序号)	时段	接收 数据包	丢包率 (%)	误码率 (%)
1	12	8:00-12:00	10000	0	0
		14:00-17:30	10000	0	0
		18:30-21:30	10000	0	0
2	8	8:00-12:00	10000	0	0
		14:00-17:30	10000	0	0
		18:30-21:30	10000	0	0
3	4	8:00-12:00	10000	0	0
		14:00-17:30	10000	0	0
		18:30-21:30	10000	0	0
4	1	8:00-12:00	10000	0	0
		14:00-17:30	10000	0	0
		18:30-21:30	10000	0	0

经过性能测试, 上述结果表明 LoRa 网络传输距离远,

表 5 图书馆外丢包率与误码率统计

组数	距离	接收数据包	丢包率(%)	误码率(%)
1	200	10000	0	0
2	400	10000	0	0
3	700	10000	0.09	0.11
4	1000	10000	1.0	1.15

且有较好的穿透性, 完全能够 100% 无死角覆盖整栋图书馆。另外, 该系统在最高峰时段, 依然能够满足 1000 个左右的座位管理节点的正常通信。由此可见, 基于 LoRa 无线组网的智能图书馆系统具有很好的性能。

6 结束语

本文旨在将 LoRa 技术应用在智能图书馆座位管理系统中, 实现底层座位管理节点, 中继 LoRa 基站, 上层智能图书馆云平台服务器三者之间的实时通信, 满足智能图书馆座位管理系统的功能与性能需求。文中对系统总体架构设计、系统功能设计、软硬件设计以及通信协议设计做出了详细的研究。该系统便于组网, 成本与功耗也很低, 而功能与性能测试的结果也表明该系统不仅显著提升座位有效使用率, 缩短人均寻找座位时间, 还具备抗干扰能力强, 穿透性强, 传输距离远的优点, 这使得该系统具有良好的前景与市场。

参考文献:

- [1] LoRaWan 技术白皮书 [DB/OL]. <https://www.lora-alliance.org/lorawan-white-papers>.
- [2] 陈彪, 揭晶方, 张伟, 等. 基于 LoRa 的智能农业系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (10): 128-131.
- [3] 3GPP TR 45. 820 V2. 1. Cellular System Support for Ultra Low Complexity and Low Throughput Internet of Things (Release 13) [S]. 2015.
- [4] Kim D Y, Kim S, Hassan H, et al. Adaptive Data Rate Control in Low Power Wide Area Networks for Long Range IOT Services [J]. Journal of Computational Science, 2017, 22 (22): 172-178.
- [5] Augustin Aloÿs, Yi Jiazi, Clausen Thomas, et al. A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things [J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2016, 16 (9).
- [6] Maitra T, Roy S. A comparative Study on Popular MAC Protocols for Mixed Wireless Sensor Networks: From Implementation Viewpoint [J]. Computer Science Review, 2016, 22 (22): 107-134.
- [7] 孙曼, 张乃谦, 金立标等. 基于 LoRa 标准的 MAC 层协议研究 [J]. 电视技术, 2016, 40 (10): 77-81.
- [8] 李锦新. 新一代无线移动通信基站天线关键技术研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2017.
- [9] 周瑶, 刘畅, 李建东. 图书馆微信座位预约应用开发——以西北民族大学为例 [J]. 现代图书情报技术, 2015, (Z1): 155-159.
- [10] 周鹏. 基于 STC89C52 单片机的温度检测系统设计 [J]. 现代电子技术, 2012, 35 (22): 10-13.
- [11] 勾慧兰, 刘光超. 基于 STM32 的最小系统及串口通信的实现 [J]. 工业控制计算机, 2012, 25 (9): 26-28.