

基于 IPv6 和 LoRa 的智能门锁系统设计

胡乃平, 贾浩杰, 袁绍正

(青岛科技大学 信息科学技术学院, 山东 青岛 266061)

摘要: 目前在智能锁通信架构普遍采用 WiFi、蓝牙、ZigBee 等通信技术和 IPv4 协议, 不能兼顾长距离传输和低功耗的需求, 存在管理不便、安全性较低、IP 地址匮乏等问题; 针对这些问题, 设计了一种基于 IPv6 和 LoRa 的智能门锁系统, 系统由执行层、网络层、服务层和应用层四部分组成; 门锁终端采用 STM32L151CUB6 微控制器为主控制器, 在云服务器上部署 LoRa 服务器和 Java Web 应用实现系统的管理和控制; 测试表明, 一个网关可覆盖一栋约 11 层楼的有效区域, 一节 1 000 mAh 电池可用 1.8 年, 该系统拥有功耗低、通信距离长、安全性高等优点。

关键词: 智能门锁; IPv6; LoRa; 长距离通信; 低功耗

Design of Intelligent Door Lock System Based on IPv6 and LoRa

HU Naiping, JIA Haojie, YUAN Shaozheng

(College of Information Science and Technology, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: Communication technology, also known as WiFi, Bluetooth, ZigBee and IPv4 protocol, is widely used in the intelligent lock communication architecture, the needs of long-distance transmission and low power consumption cannot be considered, resulting in problems such as the inconvenient management, low security and lack of IP addresses. In order to solve these problems, an intelligent door lock system based on the IPv6 and LoRa is designed. The system consists of four parts: execution layer, network layer, service layer and application layer. The lock terminal for the primary controller is used by the STM32L151CUB6 microcontroller, and the LoRa server and Java Web application are deployed on the cloud server to manage and control the system. The test data shows that a gateway can cover the effective building of about 11 floors, and a 1 000 mAh battery can be used for 1.8 years. The system has the advantages of low power consumption, long communication distance and high security.

Keywords: intelligent door lock; IPv6; LoRa; long-range traffic; lowpower dissipation

0 引言

智能锁经历了电子锁、单机智能锁、无线智能锁 3 个阶段^[1]。第一阶段从 20 世纪末开始, 这一阶段的锁不是真正意义上的智能锁, 只是取消了传统意义

上的机械式开锁, 改为 NFC 刷卡开锁; 第二阶段从 2010 年开始, 锁具上配备了显示屏, 可用密码、指纹和人脸开锁; 第三阶段从 2015 年开始, 将无线通信协议应用于智能锁上, 实现了无线开锁^[2]。

目前, 智能门锁的无线通讯方案, 大多数采用蓝

收稿日期:2021-08-11; 修回日期:2021-09-01。

基金项目:赛尔网络下一代互联网技术创新项目(NGII20190610)。

作者简介:胡乃平(1968-),男,山东临沂人,博士,教授,主要从事计算机控制技术、工业信息化技术、先进控制、机电一体化、物联网等方向的研究。

通讯作者:贾浩杰(1997-),男,山东青岛人,硕士研究生,主要从事物联网方向的研究。

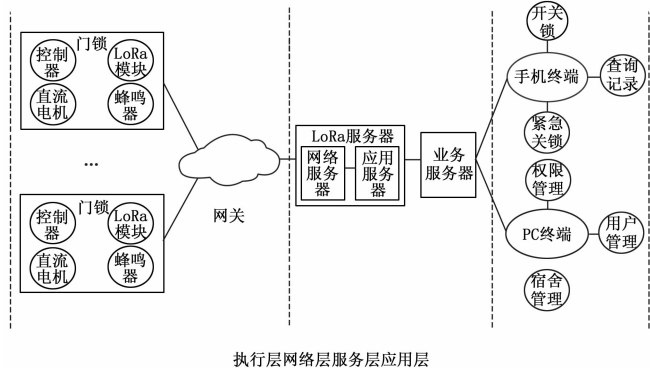
引用格式:胡乃平,贾浩杰,袁绍正. 基于 IPv6 和 LoRa 的智能门锁系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(2): 252-256, 262.

牙、ZigBee、WiFi 等^[2]。盛平等将 WiFi 应用于智能锁系统中^[3], 便于管理, 并且可以实现视频监控, 但是 WiFi 功耗较大, 导致充电的频率较高。应时彦等设计了一种基于 ZigBee 的联网型无线门锁系统^[4], ZigBee 功耗较低, 但是 ZigBee 传输距离较近。金志刚等研究了蓝牙在物联网智能锁中的安全机制^[5], 蓝牙安全性较高且功耗低, 但是蓝牙通信也存在传输距离较近的问题。沙涛等人将 NB-IoT 应用于公租房背景下的智能锁^[6], NB-IoT 功耗极低, 传输距离远, 但是 NB-IoT 由运行商运营, 使用 NB-IoT 成本较高。张铮等人将 LoRa 通信协议应用到大面积渔业环境监测^[7], 通信距离长、功耗低并且成本低。

现有智能锁传输方案大多使用 IPv4 接入网络, IPv6 与 IPv4 相比, 安全性更高^[8]且 IP 地址不会出现匮乏的局面^[9]。本文将 LoRa 与 IPv6 结合, 设计了一种基于 LoRa 和 IPv6 的智能锁系统, 该系统具有功耗低、通信距离长、便于管理、安全性高、成本低等优点。

1 系统架构

系统设计采用自顶向下的模块化思想, 将系统分为 4 个部分: 执行层、网络层、服务层和应用层, 图 1 所示为系统总体架构。执行层是智能锁的硬件部分, 实现锁的各种功能; 网络层是 LoRa 的网关设备, 实现执行层和服务层之间的数据通讯; 服务层运行在云服务器上, 实现业务处理和设备管理; 应用层运行在 PC 和手机终端, 实现系统与用户交互功能。



执行层网络层服务层应用层

图 1 系统总体架构

2 系统设计

2.1 执行层

执行层的设计分为硬件和软件两部分, 硬件设计

的关键是低功耗设计, 核心是控制器的通讯协议的选择。本系统选用低功耗的 STM32 系列微控器和 LoRa 通讯协议。

2.2.1 硬件部分

执行层硬件是基于嵌入式技术设计的门锁节点, 由控制器、LoRa 通讯模块、键盘模块、蜂鸣器模块和直流电机模块组成, 如图 2 所示。

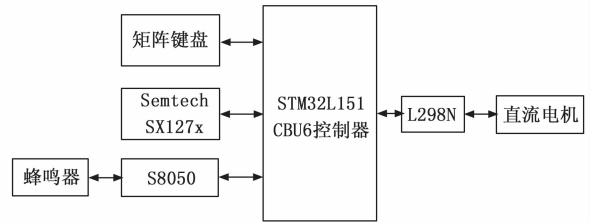


图 2 硬件结构图

由于门锁必须采用电池供电, 因此低功耗设计是系统设计的基本要求, 通讯是整个系统降低功耗的关键。目前低功耗通信协议主要有蓝牙、WiFi、ZigBee、NB-IoT 和 LoRa 等^[10], 对比情况如表 1 所示, LoRa 与其他通信协议相比功耗低、传播距离远、安全性高并且免费^[11], 因此本系统选用 LoRa 通信协议。

表 1 LoRa 和与其他通信协议对比

协议	功耗	距离	带宽	可靠性	免费
蓝牙	低	30 m	低	高	是
WiFi	高	90 m	高	低	否
ZigBee	高	300 m	中等	高	是
NB-IoT	低	20 km	低	高	否
LoRa	低	15 km	低	高	是

执行层控制器的选择既要考虑低功耗还要考虑对 LoRa 协议的支持, 选用了 STM32L151CBU6 微控制器, 该系列微控制器功耗低、性价比高、可靠性高。LoRa 射频部分采用基于 Semtech SX127x 芯片的模块。

2.2.2 软件部分

执行层软件由 uVision5 进行开发, 使用 C 语言编程。软件设计必须考虑低功耗设计, 让控制器大部分时间处于休眠状态。软件的设计思路是主程序完成系统初始化和设备注册等功能后, 打开中断后转入低功耗休眠状态, 系统所有功能通过中断在中断服务程序中实现。

主程序流程如图 3 所示, 主要完成系统初始化、

MAC 初始化、设备入网和设备注册后进入到无限循环, 在无限循环中将系统设置为低功耗休眠状态。这样系统如果没有中断产生, 就一直处于休眠低功耗状态, 实现最大限度的节能, 当有中断事件发生后, 执行中断服务程序, 中断服务程序执行完后, 系统重新进入低功耗状态。

系统的子程序模块, 主要包括两部分: 指令执行模块和键盘密码开锁模块。

1) 执行指令模块: 该模块功能通过设置每隔 0.5 秒产生定时器中断来实现。每隔 0.5 秒在定时器中断中启动门锁节点设备上的 LoRa 接收机进行信道活动检测 (CAD), 检测空中是否有呼叫信号, LoRa 接收机检测完成后产生 CADdetected 中断信号。该中断信号接入微控器, 产生外部中断, 在中断服务程序中, 实现执行指令的功能。在 CADdetected 中断中, 首先要清除定时器中断, 然后将执行层设置为接收数据状态, 接收应用层下发的指令, 指令分为 4 种: "0", "1", "2", 或者是六位数字, 分别对应开锁、关锁、紧急关锁 (蜂鸣器响) 和新密码。开锁功能执行后, 如果与按键相连的 CPU 引脚为输出模式, 则置为输入模式, 恢复键盘功能, 系统的执行结果发送给服务层后进入低功耗状态。

2) 键盘密码开锁模块: 键盘的 "*" 键接入微控器的外部中断, 按下 "*" 键会触发外部中断, 开启 10 s 定时器, 在 10 s 的时间内, "# 键被按下则密码输入结束, 若输入密码正确, 执行开锁并发送锁状态给服务层, 关闭定时器, 程序返回。若输入密码错误, 则蜂鸣器提示, 定时器复位, 用户可重新输入, 如果错误次数大于 5 次, 则键盘锁死 (与按键相连的引脚改为输出模式), 用户不能再使用密码开锁, 只能使用 APP 开锁。在 10 s 的时间内, "# 键未被按下, 程序返回。

2.2 网络层

网关开发选用 HT-M01, 基于 Semtech SX1301 芯片。网关的功能是协议转换, 实现 LoRa 协议和以太网协议的转换, 用来连接门锁节点和云服务器。网关结构如图 3 所示, 网关将门锁节点上传的数据通过 packet_forwarder 服务, 使用 UDP 发送到网关本地的 1700 端口上。LoRa-gateway-bridge 服务使用 UDP 从网关本地的 1700 端口接收 packet_forwarder 服务发送的数据, 并解析成有效数据, 将数据打

包成 json 格式, 打包完成之后, LoRa-gateway-bridge 服务将打包数据使用 MQTT 协议^[12]从网关通过 IPv6 地址发布到云服务器中的 Mosquitto 消息代理服务器, 供服务层订阅。

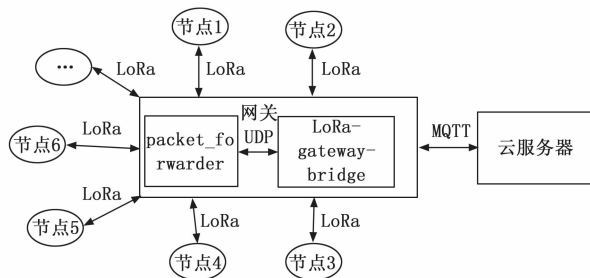


图 3 网关结构图

2.3 服务层

服务层一共包含两部分: LoRa 服务器和业务服务器。LoRa 服务器负责管理和对接 LoRa 底层网络, 业务服务器实现整个系统管理和控制功能。

2.3.1 业务服务器

用户开锁使用 APP 简便快捷, 而使用 PC 对人员信息进行处理更加直观, 因此业务服务器使用混合架构, 包含两部分: 一部分是管理端, 基于 B/S 架构实现; 前后端都部署在服务器。另一部分是用户端, 基于 C/S 架构实现, 通过手机 APP 操作。

管理端使用 IDEA 进行设计开发, 功能有权限设置、注册人员信息修改、宿舍人员信息修改。管理端的后端使用 MySQL 数据库存储信息, 并用 MyBatis 管理数据库。UI 界面使用 Element UI 进行设计, 并使用 Layout 进行布局, 采用 Icon、Button、Form、Avatar、NavMenu、Dropdown、Dialog 等组件用于展示数据并与用户交互。

业务服务器的数据库由 device、device_user、record、user_info、user_password 等数据表组成, device、device_user 用来存储设备、键盘锁定状态和设备所属用户的信息, record 用来存储设备开关锁记录的信息, user_info、user_password 用来存储注册用户的信息和密码。

服务器运行时监听是否有应用层传来的 http 请求, 如果有的话, 拦截器进行拦截查看请求头内携带的 token 是否过期, 没有过期则进行路由匹配, 匹配成功之后处理业务, 处理完成之后将 response (处理结果) 返回给前端。业务服务器除了进行逻辑处理之外, 还开启了 MQTT 协议, 使用 mqttv3 架包, 编

写 MQTT 客户端与云服务器中的 MQTT 消息代理服务器 Mosquitto 连接, 方便订阅和发布消息。

2.3.2 LoRa 服务器

LoRa 服务器使用的是开源的物联网服务器, 包含网络服务器和应用服务器两部分^[13]。网络服务器负责将订阅的信息汇总并存储在相应的数据库中, 应用服务器通过 GRPC 从网络服务器中读取数据^[16], 并对外提供 http、MQTT 之类的数据接口。MQTT 是基于订阅/分布模式^[14]的一种轻量级物联网通信协议^[15]。部署 LoRa 服务器之前需要在云服务器上安装 Mosquitto (MQTT 消息代理服务器)、PostgreSQL 数据库 (存放长期数据) 和 redis 数据库 (存储短期数据或者临时数据)。安装完成之后在网络服务器和应用服务器的 toml 配置文件下修改数据库地址和 Mosquitto 用户名、密码, 即可完成 LoRa 服务器的安装和配置^[17]。

2.4 应用层

应用层负责与用户交互及数据的呈现, 通过图片、文字等向用户展示目前的状态。应用层包括管理端和用户端两部分。管理端采用 B/S 架构, 所有软件在服务端设计, 用户只需浏览器即可使用。用户端基于服务层实现了安卓 APP。APP 的主要功能有开关锁、紧急关锁、查询记录、修改密码。为了刷新门锁状态, APP 会每隔 1s 向服务层发送指令, 来获取并更新当前锁的状态。

APP 和服务器之间采用 C/S 架构, 采用 http 协议进行通信。APP 使用 AndroidStudio 进行设计开发, 界面层和业务逻辑层分开设计, 属于不同的线程, 主线程负责页面的描绘和切换, 子线程负责 HTTP 通信和业务处理。APP 登录成功之后子线程连接服务器, 通过 HTTP 协议向服务器发送指令, 接收服务器传来的门锁数据, 将此数据发送给主线程, 主线程根据此数据显示当前门锁的状态。

人机界面设计使用 XML 进行 UI 设计。主页面采用 LinearLayout 结合 RelativeLayout 进行布局, 并采用 Button、TextView、ImageView、ListView 等控件展示数据并与用户进行交互。除 ListView 外, 其他控件的数据均通过静态加载方式加载, 数据存放在资源文件里。ListView 用于显示一周内的开关锁记录, 数据较多, 采用动态加载方式加载数据, 数据存放在数据库中。

3 系统测试

本节在真实环境下对系统进行功能测试、丢包率测试和低功耗测试。

3.1 功能测试

在节点上电时, 上发的数据是设备 id 等信息, 下发数据为指令信息。在云服务器上, 在命令行中输入命令 `sudo mosquitto -t "application/123/device/+ /tx" -v -u loraroot -P 62374838`, 来查看 Mosquitto 数据的日志信息^[18], tx 指的是下行数据, 可换为 rx 来查看上行数据。并将 "data" 对应的数据进行 Base64 解密, 查看数据是否正确。日志信息如图 4 所示。将解析的指令与开关锁状态进行对照, 查看指令与动作是否一致。并且当解析出指令为 "2" 时, 能听见蜂鸣器发出警报。

```
application/1/node/2232330000010203/rx {"applicationID":1,"applicationName":"data-rcvler","deviceName":"L151-112233","devEUI":"2232330000010203","txInfo":{"frequency":471300000,"dataRate":{"modulation":"LORA","bandwidth":125,"spreadFactor":12},"adr":true,"codeRate":"4/5"},"fCnt":22,"fPort":2,"data":"QUIZNC4zM0NEMEVG NjUUNA=="}
```

图 4 日志信息

用户每一次开关锁都会记录在服务层数据库。对门锁进行多次开关锁操作, 通过 APP 查看一周内的开关锁记录, 如图 5 所示。



姓名	学号	动作	时间
jli	4019110006	关锁	2021-05-13 07:28:07
jli	4019110006	开锁	2021-05-13 07:28:16
jli	4019110006	关锁	2021-05-13 07:28:25
jli	4019110006	开锁	2021-05-13 07:29:40
jli	4019110006	关锁	2021-05-13 07:29:58
jli	4019110006	开锁	2021-05-13 07:30:39
jli	4019110006	关锁	2021-05-13 07:30:49

图 5 开关锁记录

3.2 丢包率测试

每一种通信协议都会产生丢包的风险, 特别是长距离通信, 环境、障碍物等都会影响通信的效果。本文设计的智能

锁系统, 安装在室内, 因此实例测试的环境选取宿舍楼 (11 层), 网关安装在 1 层, 分别对奇数楼层进行了测试。在带宽和传输速率一致的情况下, LoRa 扩频因子使用 SF12, 一对多下发数据共测试 10 次, 信号强度 (RSSI) 和丢包率计算公式如 (1) 和 (2) 所示:

$$RSSI = -164 + 16/15 * PacketRssi^{[19]} \quad (1)$$

$$\text{丢包率} = 1 - \text{接收字节数} / \text{发送字节数} \quad (2)$$

其中: 16/15 为校正系数, $PacketRssi$ 指单个包的信号强度, 是收包这段时间内的 $RSSI$ 的平均值^[20], $PacketRssi$ 的值可由串口打印获得^[21]。根据分析测试结果(表 2)可知, 为了平衡信号强度和丢包率, 可在一栋 11 层高的宿舍楼的中间部分安装网关来控制整栋楼的门锁节点。

表 2 丢包率测试结果

间隔层数	测试次数	信号强度/dBm	丢包率/%
1	10	-50~55	0
3	10	-54~60	0
5	10	-55~62	0
7	10	-59~65	0
9	10	-63~70	1
11	10	-66~75	2

3.3 低功耗测试

处于执行端的智能锁节点, 由于采用电池供电, 因此能耗是关键的要害, 按照一天正常开关锁 10 次, 紧急关锁 1 次, 密码开锁 1 次, 0.5 s 空中唤醒一次 LoRa 通讯, 其余时间待机, 测试结果如表 3 所示。

表 3 电池损耗测试结果(24 小时)

智能锁工作状态	工作时间	电池损耗电流
开锁	20 s	67.3 mA
关锁	20 s	64.8 mA
紧急关锁(开锁)	2 s	66.4 mA
紧急关锁(警报)	10 s	43.5 mA
密码开锁(输入密码)	10 s	17.2 mA
密码开锁(开锁)	2 s	64.2 mA
待机	23.98 h	17.7 μ A
CAD	28 s	11.2 mA

通过公式 $Q = \int_0^t Idt$, 可计算一天耗电 Q 约 1.504 mAh, 采用 1 000 mAh 的电池大约可使用 1.8 年。

4 结束语

本文针对目前大多数智能锁存在的问题进行了分析, 从实际应用出发, 结合 LoRa 通信技术的优势和特点, 将 LoRa 通信技术应用到智能门锁上, 设计了一种基于 LoRa 和 IPv6 的智能锁系统, 将系统划分为执行层、网络层、服务层、应用层 4 个部分, 对每一部分使用的关键技术和功能进行了详细的描述。本

系统操作简便、成本低还具备功耗低、通讯距离远等优点, 使用 IPv6, 安全性更高而且避免出现 IPv4 地址匮乏的局面。一个网关可以覆盖一栋楼的监测区域, 近 200 个门锁节点的网络规模, 1 000 mAh 电池可使用 1.8 年之久, 满足低功耗、低延迟和安全性高的需求。今后的研究工作会将 LoRa 结合 IPv6 的模式应用到智慧城市、智慧校园等领域。

参考文献:

- [1] 田红鹏, 肖瑾, 张媛, 等. 基于无线安全的智能锁具及其软件控制系统 [J]. 软件导刊, 2016, 15 (9): 94-96.
- [2] 许鸿飞, 林琪琪, 魏海影. 智能锁具的设计发展趋势研究 [J]. 决策探索 (中), 2020 (8): 53-54.
- [3] 盛平, 宋志敏. 基于 WiFi 的远程视频测控系统设计与实现 [J]. 软件导刊, 2015, 14 (6): 83-86.
- [4] 应时彦, 周泽育, 梅一珉. 一种基于 ZigBee 的联网型无线门锁系统设计 [J]. 浙江工业大学学报, 2017, 45 (2): 153-158.
- [5] 金志刚, 吴桐, 李根. 基于短距离无线通信的物联网智能锁安全机制研究 [J]. 信息网络安全, 2019 (10): 16-23.
- [6] 沙涛, 刘梦君, 李丹, 等. 公租房背景下 NB-IoT 安全智能锁系统解决方案 [J]. 计算机应用研究, 2019, 36 (6): 1797-1802.
- [7] 张铮, 曹守启, 朱建平, 等. 面向大面积渔业环境监测的长距离低功耗 LoRa 传感器网络 [J]. 农业工程学报, 2019, 35 (1): 164-171.
- [8] 马云龙, 张千里, 李风华, 等. 基于 IPoE 的校园网 IPv4/IPv6 双栈准入认证设计与实现 [J]. 深圳大学学报 (理工版), 2020, 37 (s1): 1-5.
- [9] 胡国强, 杨彦荣. 基于 6LoWPAN 和 IPv6 的猪舍环境远程监测系统 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (5): 9-12.
- [10] 赵静, 苏光添. LoRa 无线网络技术分析 [J]. 移动通信, 2016 (21): 50-57.
- [11] 冯驰, 吴丽莎, 丁蕾, 等. 基于 LoRa 自组网无线传输技术实现用电信息采集系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2021, 29 (4): 175-179.
- [12] 龙巧玲, 牛德雄, 林利云. 基于 OneNET 云平台与物联网 MQTT 协议的智慧节能控制系统 [J]. 计算机测量与控制, 2021, 29 (7): 127-130.

(下转第 262 页)