

# 基于 NB-IoT 的智能网关设计

于 滢<sup>1</sup>, 谢 涛<sup>1</sup>, 矫鲁平<sup>2</sup>, 苏维均<sup>1</sup>

(1. 北京工商大学 计算机与信息工程学院, 北京 100048;

2. 烟台市产品质量监督检验所, 山东 烟台 264009)

**摘要:** 为解决家庭物联网水、电、气三表数据广域传输中低功耗、低成本的问题, 设计了基于 NB-IoT 网络的智能网关, 以 STM32F103 芯片为核心控制器, 主要包括三表数据采集接口、NB-IoT 网络接口和家庭智能终端扩展接口, 实现了家庭三表数据采集及对智能云端平台的传输功能, 并为智能家居服务数据提供网络支撑; 所设计智能网关针对性的解决了三表数据的统一管理问题, 创新性的将三表接入网关设计成 86 型底盒的方式, 在较小改变房屋电气布局基础上实现了智能网关的安装; 实验及应用测试结果表明, 所设计智能网关具有性能稳定、功耗较低、便于安装的优势, 可快速实现家庭物理信息系统的构建。

**关键词:** NB-IoT; STM32; 智能网关; 低功耗; 无线网络

## Intelligent Gateway Design Based on NB-IoT

Yu Ying<sup>1</sup>, Xie Tao<sup>1</sup>, Jiao Luping<sup>2</sup>, Su Weijun<sup>1</sup>

(1. School of Computer and Information Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China;

2. Yantai Product Quality Supervision and Inspection Institute, Yantai 264009, China)

**Abstract:** To solve family connected to the water, electricity, gas three table data wide-area transmission problem of low power consumption, low cost, design the intelligent gateway based on NB-IoT networks, STM32F103 chip as the core controller, mainly including three table data acquisition interface, NB-IoT network interface and home intelligent terminal extension interface, realized the family three tables of intelligent data acquisition and transmission function of the cloud platform, and provide network support for intelligent household service data. The designed intelligent gateway can solve the problem of the unity of the three table data management, the innovative designs three table access gateway type 86 bottom box, on the basis of small change building electrical layout implemented the installation of the intelligent gateway. The experimental and application test results show that the designed intelligent gateway has the advantages of stable performance, low power consumption and easy installation.

**Keywords:** NB-IoT; STM32; intelligent gateway; low power consumption; wireless networks

## 0 引言

智能网关采用物联网主流技术 NB-IoT 技术, 主要设计用于小区家庭中水、电能、燃气三表数据的共同采集, 达到家庭物联网中数据广域传输中节能降耗的初衷。传统智能网关通常采用 GPRS、ZigBee、LoRa 等技术进行数据传输至智能云平台。文献 [1] 中使用 GPRS 技术完成了小区电力智能抄表的设计, 但受到一定阻碍, 如信号覆盖不稳定、传输距离受限、功耗大及数据量大造成的终端数据饱和等因素。文献 [2] 中使用 ZigBee 技术完成了智能网关的设计, 但 ZigBee 无线模块价格昂贵, 且对信道带宽要求较高, 导致海量部署困难。LoRa 技术发展较为成熟, 但目前全面部署面临一定阻碍, 且所用频段目前处于受制状态, 因此 NB-IoT 成为主流之选<sup>[3]</sup>。支持 3 种方式部署的窄带物联网 NB-IoT 技术, 在相同发射功率下覆盖比 LTE 增加

20dB, 信号穿透性强, 低功耗待机时间可维持 10 年之久, 单个小区用户连接可达 5 万余, 适用于刚需智能家居设备<sup>[4-5]</sup>。

本文设计了基于窄带物联网 NB-IoT 技术的“三表合一”智能网关, 采用国内已搭建完成的公共射频网络, 应用 Cortex-M3 内核的 STM32F103 芯片, 可以精确获取三块表的使用数据, 配合智能云平台, 采用上位机程序智能调控各网关, 构成智能网关<sup>[6]</sup>, 解决了家庭物联网中数据广域低成本传输中节能降耗的问题。

## 1 系统总体架构

根据 NB-IoT 发展现状, NB-IoT 智能网关部署架构包括智能网关采集终端、智能云平台及用户接收终端, 如图 1 所示。

智能网关采集终端即由智能网关连接三表构成, 采用 485 通讯, 与 NB-IoT 基站通过 CoAP 协议传输, 经由智能云平台通过虚拟专用拨号网 (VPDN) 运营商专属的网络转发至接收终端, 形成完整架构部署。

采集终端主要由主控制器电路、RS-485 通信电路和 NB-IoT 网络接入电路构成。工作中, 由主控制器控制依

收稿日期: 2018-06-11; 修回日期: 2018-07-16。

基金项目: 北京市教委科技创新平台项目 (PXM2018\_014213\_000033)。

作者简介: 于 滢 (1995-), 硕士研究生, 主要从事 NB-IoT 技术在家居物联网等方向的研究。

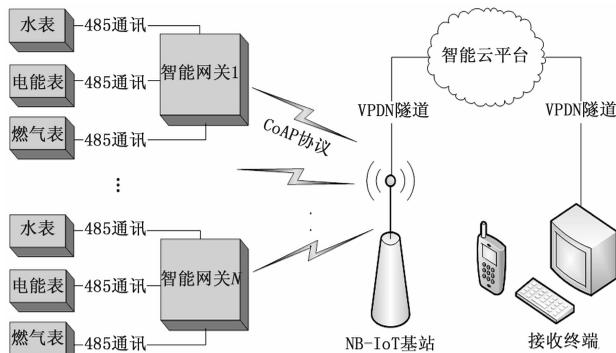


图 1 基于 NB-IoT 的智能网关总体部署架构图

次将三块表数据采集至智能网关中, 存储于主控制器中, 由 CoAP 协议组装、解析, 由 USR-NB75 模组向 NB-IoT 基站传输。

智能网关设备可接入智能云平台, 利用 SDK 和 API 接口实现自主开发软件功能, 由智能云平台对智能网关进行调控, 实现存储数据并实时监测各智能网关, 通过微信公众号等方式即时报警功能, 并通过 HTTPS 协议传输水、电能、燃气三块表数据至接收终端。

用户接收终端主要由 PC 端或手机端构成, 接收终端上位机程序将对数据进行解析、校验、处理并给予反馈, 亦可采用 PC 端或手机端实时监控数据收发情况, 接收终端根据用户需求查看或下载数据, 并可将调控指令反馈至智能云平台进行命令转接, 对智能网关进行调控。

## 2 智能网关硬件设计

### 2.1 智能网关硬件功能设计

智能网关由电源模块、主控制器、三表对应的 RS-485 接口、NB-IoT 模组及液晶显示器构成, 并包含 SPI 蓝牙模块接口, 增强智能网关可扩展性, 总体结构设计如图 2 所示。

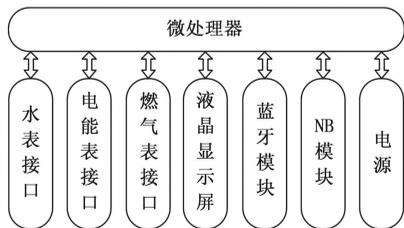


图 2 智能网关结构设计框图

智能网关采用 AMS1117 电压转换器进行全局供电, 主控制器通过 UART 接口与 3 选 1/I/O 选择器与三表进行异步通信, 定时向三表依次发出采集数据指令, 三表接收指令后回复数据; 同时主控制器控制 NB-IoT 模组定时向已部署的 NB-IoT 基站传输三块表采集的数据。智能网关报警时液晶显示器显示报警情况, 同时报警信息即时传输至用户手机终端。此外, 蓝牙模块接口可用于智能家居, 如监测智能穿戴设备, 实时监测家庭中老人状况, 各模块协同

合作构成智能网关。

智能网关经由采集接口直接连接水、电能、燃气三块表, 由家庭电压 220 V 供电, 电压进入智能网关前经过 AC/DC 模块转换, 将 220 V 电压转为 5 V 电压, 再经过 AMS1117 电源元件将 5 V 电压转为 3.3 V 对智能网关中各模块全局供电, 通过主控制器控制数据的定时采集, 并将数据传输至 NB-IoT 模块, 对数据进行打包并通过 NB-IoT 模块绑定的 CoAP 协议进行数据传输。智能网关报警、时钟及各表工作情况均通过液晶显示屏显示。蓝牙模块作为物联网智能家居扩展接口, 可连接老人防摔倒设备, 监测老人安全动态。

智能网关封装选取 86 盒规格, 大小为 86 mm×86 mm 的正方形底盒, 并将 TLT-LCD 液晶显示器嵌于正表面。该底盒可有效防范漏电, 并在较小改变房屋电气布局基础上实现了智能网关的安装, 符合智能网关在家庭应用中安全且便捷的需求。

### 2.2 主控制器电路设计

主控制器采用 STM32F103 内核 Cortex-M3 微处理器与三路 RS-485 差分信号负逻辑芯片进行数据采集, 分别获取三块表的数据。系统工作时钟为 72M, 工作电压 3.3 V, 外围设备丰富, 抗干扰能力强。智能网关进行系统初始化后, STM32F103 芯片进入低功耗模式, 等待定时中断唤醒 STM32F103 芯片, 并在传输数据前唤醒 NB-IoT 模块。同时, Cortex-M3 微处理器可根据报警信息即时控制各表关停, 避免各表持续异常工作, 并将报警信息显示在 TLT-LCD 液晶显示器模块上。主控制器原理图如图 3 所示。

主控制器电路设计包含看门狗电路, 防止主控制器进入死机状态。并包含 RS-485 芯片接口及 I/O 选择器电路。要求当且仅当 I/O 选择器选中的发送口 R0/R1 与接收口 T0/T1 为同一块表的收发接口时, 该表被选通, Cortex-M3 微处理器可通过指令对该表进行数据采集。主控制器芯片中亦包含 NB-IoT 模组接口、蓝牙模块接口及 TLT-LCD 模块接口。

### 2.3 NB-IoT 网络接入电路设计

NB-IoT 网络接入电路包含物联网模块系列的 USR-NB75 模块及外围电路, 在智能网关初始化后, 等待 NB-IoT 模块被唤醒后, 与绑定了运营商 IP 的 NB-IoT 网络专用卡进行数据交互, 再经由已部署的 NB-IoT 网络即 800 MHz 射频频段将数据传输至 NB-IoT 基站。USR-NB75 模组采用 5-16 V 供电, 与 Cortex-M3 微处理器 UART 接口连接, 实现 NB-IoT 模组与主控制器之间的异步通信, NB-IoT 网络接入电路设计如图 4 所示。

在 NB75 模块中内嵌心跳包, 定时对其进行唤醒, 保证传输数据的稳定性。并设置复位接口, 使主控制器可通过 AT 指令集控制 NB75 模块, 在智能网关初始化时选通复位接口, 使 NB-IoT 网络接入电路复位。NB75 模块与主控

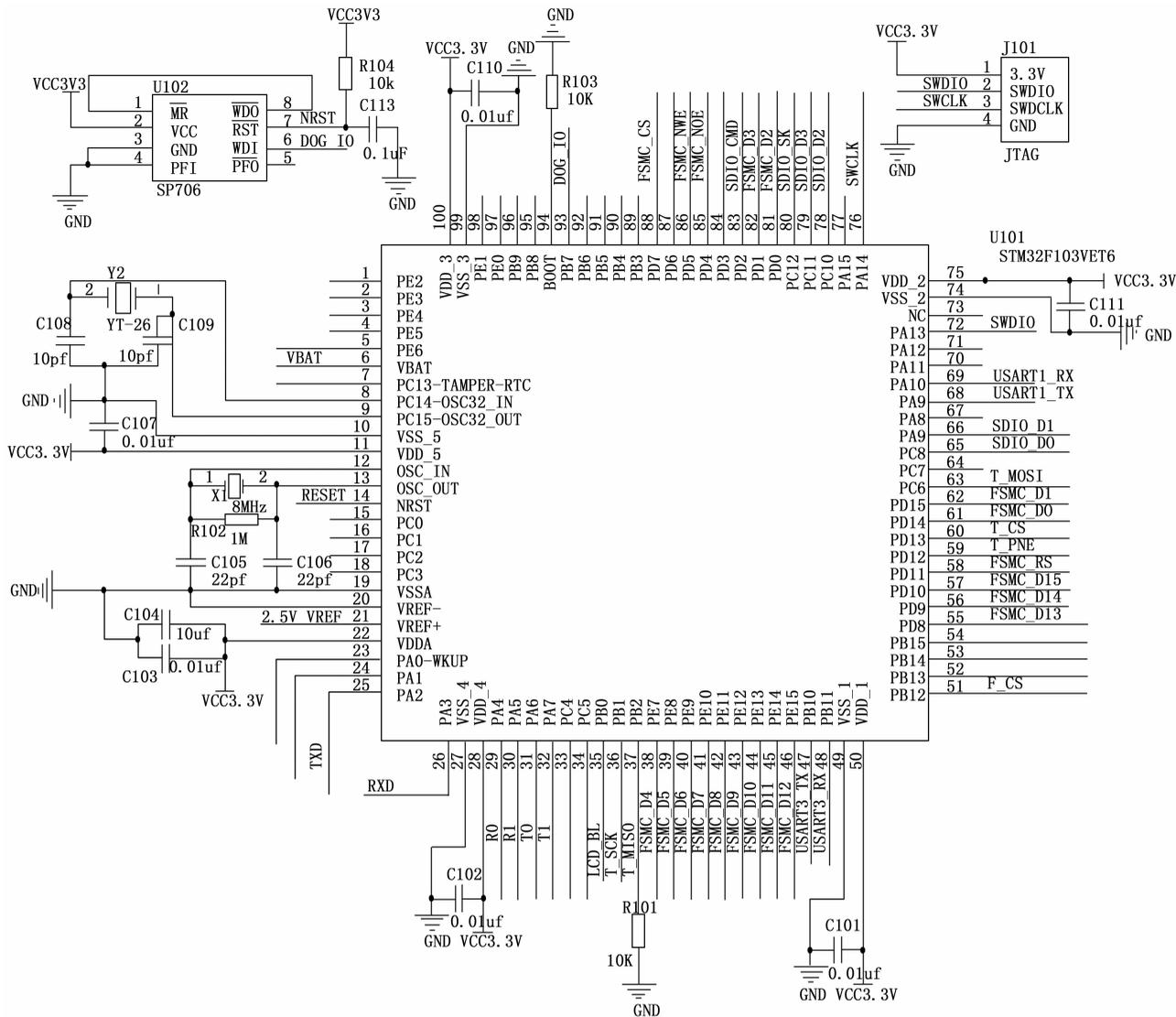


图 3 主控制器原理图

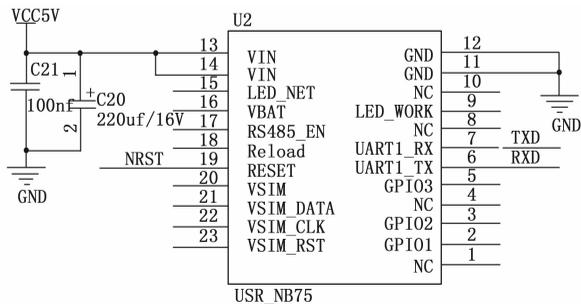


图 4 NB-IoT 网络接入电路设计

制器通过 UART 串口异步通信，TXD 口数据发送，RXD 口用于数据接收。

NB-IoT 网络接入电路将 NB-IoT 网络与微控制器系统相连接，使微控制器在采集水、电能、燃气三表数据后可将数据打包，控制数据包经由 NB-IoT 网络传输至基站。

### 2.4 扩展接口：蓝牙模块功能设计

STM32 芯片上已预留串口，串口扩展接口可连接蓝牙或其他模块，扩展智能网关功能，以蓝牙模块为例，蓝牙模块可连接智能家居如智能穿戴设备等装置，加强智能网关可扩展性同时提升智能家居普及度。在连接智能穿戴设备，防止老人摔倒的扩展应用中，智能网关使用 SPI 串口连接蓝牙模块 5.0，采用主从模式，主模块连接 UART 串口至智能网关中，从模块接入智能穿戴设备中，主模块通过广播模式监听从机信号，实时监测老人动态。一个主机可连接个 3 个从机，当从机模块报警时，信号由 NB-IoT 网络接入电路传输，通过智能云平台及时推送至手机端，通知家人。

## 3 系统软件设计及系统测试

### 3.1 NB-IoT 采集终端软件设计

采集终端由主控制器全局掌控，定时进行数据采集并

与 NB-IoT 网络接入电路进行数据交互, 采集终端软件流程如图 5 所示。

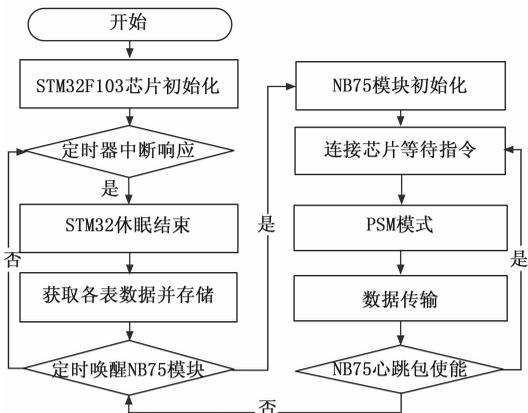


图 5 采集终端软件流程图

采集终端进行采集系统初始化后, STM32F103 芯片进入低功耗模式, 等待中断定时器每半小时对其唤醒一次, 唤醒后进行数据采集并存储; 同时中断定时器每 6 小时控制 NB-IoT 模块初始化一次, 并连接 STM32F103 芯片等待数据传输, 数据采集完成后退出 PSM 模式, Cortex-M3 微处理器写入心跳包使能时延, 通过心跳包使能保持 NB-IoT 模块与 STM32 芯片的正常连接, 数据通过 AT 指令集发送至 NB-IoT 基站。

### 3.2 用户接收终端测试软件设计

用户接收终端测试软件使用管理者权限登陆系统, 使接收终端服务器与智能云平台连接, 系统可实现数据包下载从而获取全部用户家庭各表使用情况, 亦可在界面中查询单个用户的使用数据, 用户接收终端测试软件界面如图 6 所示。



图 6 用户接收终端测试软件界面

用户终端测试软件由管理者登陆栏和用户数据栏构成。其中管理者登陆栏包括用户名及密码输入框及登陆/断开按钮, 用户数据栏包括用户 ID 框、查询按钮、数据包下载按钮及三表已使用和账户剩余显示框。用户 ID 框可手动输入或下拉选择 ID。

管理者输入在程序中已设置好的用户名及密码, 点击登陆即可登陆用户终端测试软件, 连接智能云平台, 用户 ID 为智能网关中 NB-IoT 专用卡的 ID, 可下拉选择或手动

输入, 点击查询即可查询该 ID 对应用户家庭中各表数据使用情况及预存账户剩余情况。点击数据包下载即可下载智能云平台中该管理者账号已授权的所有用户 ID 的数据。方便管理者查询各用户情况及下载数据包进行处理。

用户接收终端测试软件可直观体现智能网关采集到的数据, 并将用户家庭账户中已购买的水、电能、燃气已用及剩余量值均以表格形式体现, 可明确与水、电能、燃气三表进行对比, 查验接收终端所接受数据是否有误, 从而监测智能网关及整体传输系统正确率。同时, 终端测试软件可随时通过登陆软件, 连接至智能云平台, 向智能云平台调取数据, 将数据包下载至接收终端服务器中, 便于及时对最新数据进行下载分析处理。

### 3.3 数据帧校验及数据包定义

#### (1) 数据帧校验方式。

各表数据由 STM32F103 芯片通过 RS-485 芯片采集, 在智能网关向 NB-IoT 基站传输数据过程中可能发生丢包导致数据异常。因此在数据包定义时采用循环冗余校验码 (CRC) 校验方式, 设置循环冗余校验码置于数据最后 2Byte, 使校验位与数据一同打包、传输、解析, 解析后的数据采用与设置校验码相同运算方式进行计算, 得出校验位与解析得到校验位比较, 判断数据是否异常, 异常则由智能云平台向智能网关进行反馈重传。

#### (2) 数据包定义及数据传输。

本文采用自定义数据包对传输数据帧进行定义, 数据包由帧头、用户 ID、三表数据、扩展接口数据、CRC 校验位和帧尾构成, 由 CoAP 协议将自定义数据包打包传输, 向 NB-IoT 基站传输, 具体传输帧定义如表 1 所示。

表 1 传输数据帧定义

序号	功能定义	字节数
1	帧头	1 Byte
2	用户 ID	1 Byte
3	水表数据	2 Byte
4	电能表数据	2 Byte
5	燃气表数据	2 Byte
6	扩展接口数据	2 Byte
7	CRC 校验	2 Byte
8	帧尾	1 Byte

在数据采集及传输时, 水表数据及电表数据分别保留 1 位小数, 燃气表保留 3 位小数, 校验位保留 3 位小数。帧头、帧尾、校验码及各数据共同打包, 选用 CoAP 协议中的需要确认消息 (CON) 类型进行传输, 即智能网关传输数据后需要收到智能云平台的确认。

### 3.4 实验结果与分析

搭建实验环境: 将网关接入一户家庭中, 分别将 485 总线接入水表、电能表及燃气表中, 构成智能网关采集环境。三表数据经智能网关采集后通过 NB-IoT 网络上传至

智能云平台,并由智能云平台进行转发,经由测试软件显示数据情况。

测试过程:初始化智能网关,微控制器向各表发出指令采集水、电能、燃气三表数据,智能网关连续工作 15 天,每半小时采集一次数据,间隔 6 小时传输一次数据,通过测试软件监测数据接收情况。测试结果表明:

- (1) 数据采集端采集时间及采集数据准确,未发现存在误差数据,满足智能网关设计要求;
- (2) 数据传输时延可控制在 10s 之内,在远端服务器接收准确,未发生丢包现象,满足行业使用标准;
- (3) 监控数据采集系统长时间运行稳定,可稳定支持智能网关运行。

测试结果及分析:在一周时,登陆测试软件,通过云平台调取智能网关采集的水、电能、燃气三表数据,此用户家庭中一周使用水、电、气使用如图 7 所示。



图 7 测试家庭一周用水、电能、燃气情况

如图 7 所示,该测试家庭一周中所用电量为 23 千瓦时,用水量为 4 立方米,用燃气量为 8 立方米,经查验,接收终端测试软件所接收数据与水、电能、燃气三表上显示数据相同。因此,说明智能网关在采集数据、传输数据至

智能云平台及数据从智能云平台透传至服务器时工作稳定。用户家庭接入智能网关后,电能消耗未见明显提升,说明智能网关功耗较低,满足用户家庭中正常使用条件,并且相对水、电能、燃气三表分别采用一套数据采集系统而言,功耗在理论上降低了三分之二。

#### 4 结术语

本文针对水表、电能表、燃气表数据采集与传输功耗较高的问题设计了智能网关。所设计智能网关基于 NB-IoT 通信技术,对三表使用数据进行定时采集并传输,使用 STM32F103 芯片采集数据,并采用 CoAP 协议经由 NB-IoT 模组传输,安全性能较高。数据经由智能云平台转发,到达接收终端,便捷采集海量家庭中的各表数据并管理相关数据。测试表明所设计家庭智能网关数据采集准确、传输距离不受限、系统运行稳定、实用性强,可以有效解决海量家庭中采集各表数据、智能调控各表的问题,可扩展性强。

#### 参考文献:

[1] 董智勇. 基于 GPRS/GSM 的小区电力智能抄表系统 [J]. 中原工学院学报, 2006 (3): 48-50.

[2] 黄布毅, 王俊, 常亚军, 等. 基于 ZigBee 技术家庭网关的设计与实现 [J]. 通信技术, 2009, 42 (6): 71-73.

[3] 赵静, 苏光添. LoRa 无线网络技术分析 [J]. 移动通信, 2016, 40 (21): 50-57.

[4] 周武, 金良. NB-IoT 应用方案浅析 [J]. 中国新通信, 2017, 19 (20): 116.

[5] 李建军. NB-IoT 组网方案研究 [J]. 移动通信, 2017, 41 (6): 14-18.

[6] 张紫谦, 衷卫声, 梁凯. 基于 Android 终端的物联网家居环境监测系统设计 [J]. 测控技术, 2016, 35 (2): 108-111.

[7] 不确定类别质量分析 [J]. 航空学报, 2015, 36 (9): 3128-3136.

[8] 黄赓, 唐小明, 李洪高. S 模式应答信号多通道接收解码技术研究 [J]. 现代电子技术, 2012, 35 (23): 6-9.

[9] Rekkas C. Status of WAM, ADS-B out and ATSAW deployment in Europe [A]. Digital Communications - Enhanced Surveillance of Aircraft and Vehicles (TIWDC/ESAV), 2014 Tyrrenian International Workshop on [C]. IEEE, 2014: 1-5.

[10] Strohmeier M, Lenders V, Martinovic I. Security of ADS-B: State of the Art and Beyond [J]. Rr-13-, 2013.

[11] 刘晓静. ADS-B 技术在空管中的应用研究 [J]. 空中交通管理, 2011, 9 (6): 22-25.

[12] 康南, 刘永刚. ADS-B 技术在我国的应用和发展 [J]. 中国民用航空, 2011, 15 (11): 36-38.

[13] Eli Perl. Review of Airport Surface Movement Radar Technology [J]. Sensis Corporation IEEE A&E Systems Magazine, 2006, 8 (3): 24-27.

[14] 罗文田, 赵泽荣, 张德银. 基于 ADS-B 的飞机预警避撞算法研究 [J]. 控制工程, 2015, 18 (4): 559-563.

[15] 陈惠锋. ADS-B 技术在民航空管中的应用及前景展望 [J]. 软件导刊, 2012 (3): 40-41.

[16] 沈笑云, 唐鹏, 张思远, 等. ADS-B 统计数据的位置导航