

# 智能家居无线网络通讯协议<sup>①</sup>

应时彦, 朱小挺, 汤 顺

(浙江工业大学 智能控制与信息处理系, 杭州 310023)

**摘要:** 基于 ARM 微控制器技术, 提出了智能家居的远程监控系统的有效方法。实际应用中该方法以 Web 浏览器作为操作界面, 实现远程数据通信监控操作。利用 nRF24L01 射频模块为智能家居终端设备构建了无线数据通讯平台, 其中 nRF24L01 射频模块有 32 个字节的数据载荷长度。通过对载荷数据帧格式的定义, 完成了无线通讯协议的设计, 统一了底层设备的应用程序接口, 为智能家居的开发增加了灵活性。该远程监控平台对家居环境及各布控系统进行了有效监控, 丰富并扩展了家居智能化的可操作性。

**关键词:** 智能家居; API 接口; nRF24L01; 通讯协议; 模式设计

## Wireless Communication Protocol for Smart Home

YING Shi-Yan, ZHU Xiao-Ting, TANG Shun

(Department of Intelligent Control and Information Processing, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

**Abstract:** Based on the ARM microcontroller technology, an effective method to monitor smart home remotely is presented in this paper. In practical applications, to achieve remote data communications monitoring operation, this approach uses Web browser as operating interface. The nRF24L01 Radio Frequency modules which can involve 32 bytes payload, setup the wireless data communication platform for smart home terminal device. By the definition of data frame format, the approach finishes the design of the wireless communication protocols and unifies the application interface of basic devices, which increases the flexibility of smart home development. The remote monitoring system play an important role on monitoring house environment and other distributed sub-system, enrich and extend the operation for house intelligentize.

**Keywords:** smart home; API interface; nRF24L01; communication protocol; mode design

“智能家居”(smart home)又称智能住宅,它利用先进的计算机技术、嵌入式系统技术、网络通讯技术与传感器技术等<sup>[1-3]</sup>,把家中的各种设备有机的结合起来,优化用户生活方式,方便用户管理设备,并能通过场景设定使多个设备间形成联动<sup>[4]</sup>。

家庭网络的分层结构中,整个系统分成 5 层<sup>[5]</sup>:物理媒体层(Media),底层协议层(Protocol)、应用程序接口层(API)、应用程序层(APP)和最终用户接口层(UI)。其中第一、二层标准已经颁布并在实际中应用;第三层(API)是家庭网络技术发展的关键,是当前业界研究的热点;第四层是应用程序层,是在第三层

的基础上由技术人员开发的各种应用程序;第五层是各种用户接口(UI)工具,包括各种遥控装置、应急开关、求助按钮以及其它可视接口设备,对整个系统性能的发挥和使用至关重要。本文主要针对第三、四层结构,设计符合智能家居系统平台的数据通讯协议<sup>[4-8]</sup>。

## 1 系统总体方案

### 1.1 总体设计方案

图 1 中 ARM 主控制器作为智能家居远程 Web 服务器,通过以太网芯片 ENC28J60 接收远程控制数据包<sup>[1]</sup>,完成数据解析后通过射频模块发送控制命令,

① 基金项目:浙江省科技厅面上项目(2008C21145)

收稿时间:2010-10-14;收到修改稿时间:2010-12-12

延时并接收节点应答数据，将应答数据以 json 数据格式（一种数据保存格式）通过网关发送局部更新 Web 信息，达到监测控制家居环境的效果。

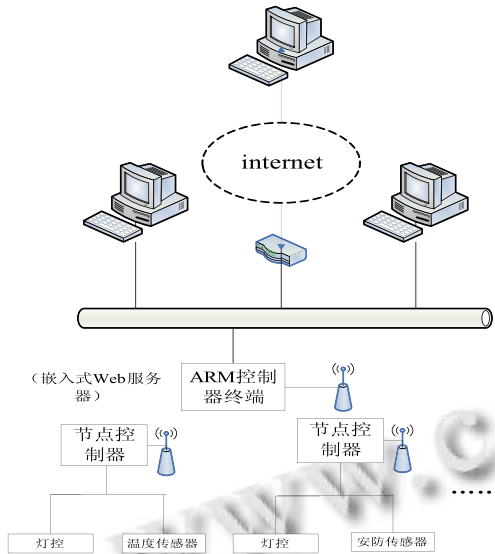


图1 智能家居远程监控方案

个频道，满足多点通信和跳频通信的需要；内置硬件 CRC 校验和点对多点通信地址控制<sup>[9]</sup>。其中至少两个模块组成了通信系统，图3中，一个作为主控制器数据发送端；其它作为节点设备数据接收端。接收端完成命令数据接收，依据命令内容联动对应设备；完成命令后节点射频模块进入发送状态，返回当前节点设备状态。

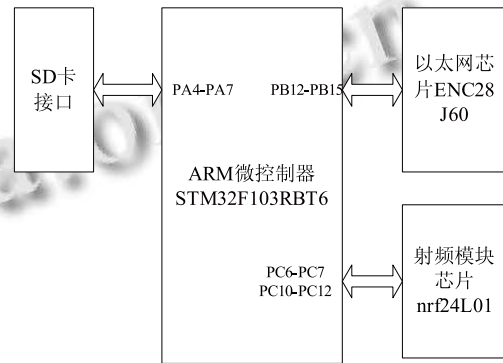


图2 系统控制单元设计

### 1.2 控制单元

控制单元采用 ARM 微控制器 STM32F103RBT6, Cortex-M3 内核, 64 引脚 LQFP 封装。具有 128K 字节的程序存储空间, 20K 字节的 RAM, 最高工作时钟 72MHz, 具有丰富的片上资源, 有 7 通道 DMA 控制器, 能够支持 SPI, USART 等外设。适合低成本, 低功耗的嵌入式系统的开发与设计。

图2中, 该芯片通过 SPI 串口共连3外设: SD 卡接口、以太网芯片 ENC28J60 以及射频模块芯片 nRF24L01。ARM 微控制器的 PA4-PA7 口分别作为 SD 卡的片选信号, 时钟信号引脚, MISO 和 MOSI 口; PB12-PB15 分别作为以太网芯片 ENC28J60 的片选信号, 时钟信号引脚, MISO 和 MOSI 口; PC6 为射频模块 RX/TX 模式使能端, PC7 为 SPI 使能引脚, PC10-PC12 分别作为射频模块 nRF24L01 的 MOSI, MISO 和时钟信号引脚, 结合 MCS-51 单片机的微控制应用能力, 设计了一种简单、实用的嵌入式智能家居网关及终端控制方案。

### 1.3 射频通讯单元

接收部分采用无线射频模块 nRF24L01, 该模块在 2.4GHz 全球开放 ISM 频段使用; 最高工作速率 2Mbps, 高效 GFSK 调制, 抗干扰能力强; 共有 126

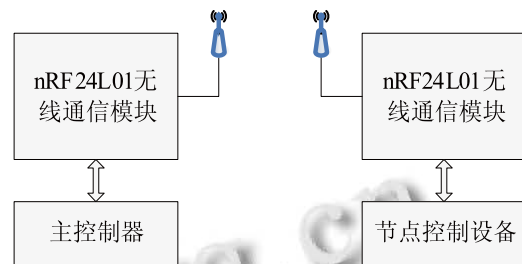


图3 无线通信系统

## 2 软件设计

### 2.1 射频工作模式选择

nRF24L01 射频模块的收发模式有三种: Enhanced ShockBurst TM 收发模式、ShockBurst TM 收发模式和直接收发模式三种<sup>[10]</sup>。Enhanced ShockBurst TM 收发模式由器件 EN\_AA 寄存器配置内容决定。

在 Enhanced ShockBurst TM 收发模式下, 使用片内先入先出堆栈区, 数据从微控制器低速送入, 高速发射, 速率为 1Mbps, 通过这种节能方式即使使用低速的微控制器也能得到很高的射频发射速率。并且与射频协议相关的所有高速信号处理都在片内进行, 这样有三大优点: 节能; 系统费用低; 数据空中停留时间短, 抗干扰性高。同时也减小了整个系统的平均工作电流<sup>[11]</sup>。

## 2.2 数据发送接收流程

### 2.2.1 主控制器射流程

本文设计的无线通信系统是在同一信道下，初始状态下只有一个发射节点，多个接收节点，主控制器射频流程如图 4。

(1) 等待网络数据包的到来，nRF24I01 射频模块启动发送模式，在配置信道上通过广播方式发送，延时 50ms，保证每个从控制器都能接收数据包。

(2) 数据发送完成后射频模块立即配置为接收模式，接收从控制器设备的状态数据帧，并定时 2 秒，超时或成功接收从控制器设备应答数据则重新自动配置成发送模式并返回第 1 步，防止射频模块全部进入接收模式出现互锁“假死”状态。

(3) 如果成功接收从控制器设备应答数据，射频模块进入等待状态。

### 2.2.2 从控制器射频流程

所有接收节点接收该数据包，并对该数据包的驱动接口数据进行解析校对，比如接收地址匹配，命令码，操作文件？有匹配节点则进入驱动应用程序并执行操作。该射频模块多数情况下处于接收模式，具体流程如图 4：

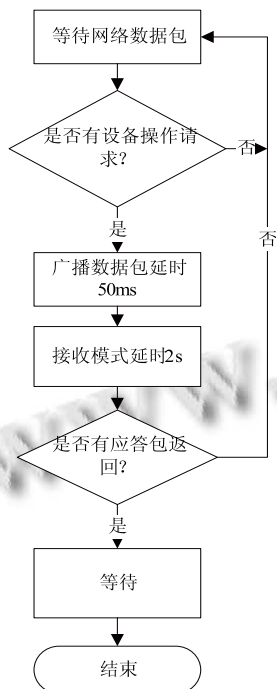


图 4 主控制射频流程

(1) 从控制器节点 nRF24I01 射频模块配置成接收模式，直到接收数据包。

(2) 对数据包的驱动接口部分进行解析，接收地址是否匹配，如不匹配则返回步骤 (1)，再判断命令操作码及文件标志，如出现非法操作码或文件标志，则返回步骤 (1)，有对应驱动接口则进入驱动应用程序。

(3) 根据输入的应用数据(记录控制数据和记录数据)，操作设备将设备状态写入发送数据帧。完成后，射频模块配置进入发送模式，将发送数据帧返回主控制器，并延时 1 秒。

(4) 判断是否发送成功，失败则重新进入步骤(1)，成功则结束，同样进入初始化状态。

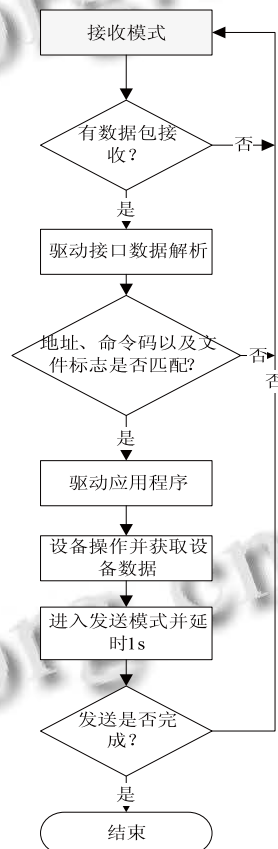


图 5 从机节点射频流程图

## 3 无线通讯协议

智能终端设备品种繁多，且功能不一，不同设备要进行统一控制，必须对各种设备进行抽象处理，提取它们的共同特征。可以把终端设备抽象成文件，在控制端分配一块内存描述该设备当前状态，利用设备控制方法读取或修改当前状态，控制方法可分为三类：文件读取 (Read)，文件修改 (Write)，文件控制 (Control)。

**Read:** 读设备文件操作, 即对节点设备状态扫描查询, 程序设计 API 如下:

```
void drv_lit_read(rxp_cmdreq req)
```

以上为读设备 API 入口, 参数 req 为结构体指针, 写、控制设备操作类似。

**Write:** 写设备文件操作, 即对节点设备状态修改, 程序设计 API 如下:

```
void drv_lit_write(rxp_cmdreq req)
```

**Control:** 控制设备文件操作, 即对节点设备状态的调节。程序设计 API 如下:

```
void drv_lit_cnt(rxp_cmdreq req)
```

并不是所有的文件都支持这三种控制方法, 多数文件只支持前两种控制方法, 下文以灯控设备为例。

### 3.1 通讯协议

无线射频模块 nRF24I01 对收发模式的数据有效负载最大为 32 个字节, 该数据包作为一帧数据, 其中可分成三类数据: 驱动接口数据, 记录控制数据以及记录数据, 输入帧与输出帧数据类型相同。数据格式如表 1。

表 1 帧数据格式

驱动接口数据			
Dest	Src	Cmdid	Fileid
记录控制数据		记录数据	
Result	Start	Len	Records

#### (1) 驱动接口数据

**Dest:** 接收端地址, 1 字节表示, 属性值从 0-255, 可以表示 256 个节点地址, 满足多数智能家居的节点资源。

**Src:** 发送端地址, 1 字节表示, 与 Dest 意义相同。

**Cmdid:** 节点命令码, 1 字节表示, 如上文表示, 共有三种类型: 0x01, 表示读命令 (read); 0x02, 表示写命令 (write); 0x03, 表示控制命令 (control)。节点即对应从控制器编号。

**Fileid:** 文件标志符, 1 字节表示, 即节点地址上对应的设备号, 最大支持 0x00—0xFF 256 个文件。

#### (2) 记录控制数据

**Result:** 操作结果码, 1 字节表示, 当有数据返回时, 要求填写该字节。0x00, 操作成功; 0x10, 非法节点; 0x11, 非法文件标识符; 0x12, 非法初始记录值; 0x13, 非法记录。0xFF, 默认无效值

**Start:** 记录开始值, 1 字节表示, 当有多条记录操作时, 该值即对应的记录序。

**Len:** 记录长度, 1 字节表示, 当作为输入数据时, 表示记录操作的长度, 如果 Len 值大于当前节点的最大记录长度, 则取当前节点记录长度最大值; 当作为输出数据时, 表示当前节点操作的记录长度。

#### (3) 记录数据

**Records:** 记录数据缓冲, 缓冲区达 25 个字节。该缓冲区可存放多条记录, 记录格式如表 2, 每条记录字节长度不一, 一般在 3-5 个字节左右, 最多能存放 8 条记录。

表 2 记录数据格式

记录字节长度	记录选项	记录内容
Len	Opt	Content

该 Len 值与记录控制数据中的 Len 值意义不同, 表示该条记录的字节长度, 其中并不包含本身字节长度, 1 个字节长度; Opt 值为保留字节, 一般无意义, 控制命令与该字节相关, 1 个字节度; Content 为设备文件的记录值, 记录字节长度不定, 一般 1-2 字节长。

### 3.2 协议扩展与特点

地址资源, 单字节的 Dest 与 Src 地址分配对于普通的智能家居用户完全能满足要求, 对于家居环境复杂, 地址分配点较多的用户, 可能会出现资源不够的情况, 该情况可将 Dest 与 Src 地址扩展至 16 位, 即 2 字节。满足 65535 个节点要求。

节点命令码, 三种命令类型只占用 Cmdid 的二位, 其余的高六位值保留, 以备协议扩展所需。同理。

记录选项, Opt 为保留字节, 默认值为 0x00, 该字节主要针对控制操作, 用于记录控制操作符, 如表 2 说明, 主要针对灯控文件的变亮, 变暗操作。

该通讯协议的设计主要有以下特点:

(1) 统一外设, 将外部设备抽象成标准文件, 并在控制器内存记录文件内容, 操作指定设备只需访问该设备映射文件所处内存空间数据即可, 规范外设标准, 提高通讯效率。

(2) 通讯协议的制定极大的优化了主控制器与射频模块之间的数据传输性能, 主控制器只需根据固定的通讯协议格式填充即可, 简化其处理过程。

(3) 同样简化了从控制节点的数据处理过程。

#### 4 通讯协议实现结果

按照系统功能需求的划分,可分为智能温度的控制,智能安防的控制,智能家电的控制,智能照明的控制等。

**智能温度控制:**系统实时采集室内的温度,并能以图形方式展示给用户,用户可以根据需要自行控制室内温度。

**智能安防控制:**系统集成防盗、防劫等功能,能够通过网页远程监控家居状况,并能查询控制报警器的状态。

**智能照明控制:**用户可以根据需要控制家庭的灯光效果,具有调光功能,不仅能够满足用户的需求,还能达到节能和环保的功能,其记录数据说明见表 3。

表 3 灯控记录数据

Len	Opt	Content
0x02	0x00/0x01	0x00-0x09

记录数据的首字节 Len 表示当前记录字节长度,照明的三种控制方法具体说明如下:

**Read:** 读当前灯的亮度。

输入: 无。

输出: Opt 保留字节 0x00。Value 表示当前灯的亮度值(0x00-0x09),值越大,亮度越高,下同。

**Write:** 设置灯的亮度值。

输入: Opt 保留字节 0x00。Value 为要设置的亮度值。

输出: Opt 保留字节 0x00。Value 表示当前灯的亮度值(0x00-0x09)。

**Cnt:** 调节灯的亮度。

输入: Opt 的最低位为 1,表示减少亮度;Opt 的最低位为 0,表示增加亮度。Value 省略无意义。

输出: Opt 为保留字节 0x00。Value 表示当前灯的亮度值(0x00-0x09)。

灯控设备支持多条记录同时读取与返回,设备的读操作无记录输入,有记录输出;写操作与控制操作有记录输入,同时有记录输出。假设当前操作节点为 0x00,主控节点为 0xFF,Value 值为 0x03。

以灯控控制命令为例:

**控制命令(0x03):**假设当前亮度值为 0x03,将灯亮度值加 1,则输入数据帧如表 4,输出数据帧如表 5。

表 4 输入数据帧

驱动接口数据	Dest	Src	Cmdid	Fileid
	0x00	0xFF	0x03	0x00
记录控制数据	Result	Start	Len	
	0xFF	0x00	0x01	
记录数据	Len	Opt	Content	
	0x02	0x00	0x00	

表 5 输出数据帧

驱动接口数据	Dest	Src	Cmdid	Fileid
	0xFF	0x00	0x03	0x00
记录控制数据	Result	Start	Len	
	0x00	0x00	0x01	
记录数据	Len	Opt	Content	
	0x02	0x00	0x04	

输入数据帧与输出数据帧进行相互转换时,发送主体不同,因此发送地址与接收地址对调。由于是控制命令,Cmdid 设置为 0x03,如果是读命令或写命令,则该字节设置为 0x01 或 0x02。由上已知当前操作节点为 0x00,即 Fileid 的设置值。Result 表示数据返回结果码,0x00 表示操作成功。在输入数据帧中无意义。本例中,只有 1 个记录值,因此在数据输入、输出帧记录地址 Start 从 0x00 开始,数据帧长度 Len 为 0x01。读命令、写命令数据帧类似,参照控制命令格式。

#### 5 结论

本系统中,以嵌入式 Web 服务器为架构,实现了对智能家居终端设备的远程监测与控制,并以 nRF24L01 射频模块 32 字节的数据帧为基础,最终完成了针对低成本智能家居的通讯协议设计。在实际操作过程中,也能够通过网页 Web 的调节控制,最终能够达到对终端文件设备的控制,实现对灯控设备的开关,调亮,调暗等功能。能在发出命令后 1 秒内返回准确数据信息,保证该系统的实时控制,具有较高应用价值。

#### 参考文献

- 汪成义,田峰.基于嵌入式 Web 服务器的智能家居远程控制.科技信息,27-28.
- Saizmaa T, Kim HC. Smart Home Design: Home or House?

(下转第 128 页)



注意的是在配置窗体中函数部分需将线程设置为在任意线程中运行，否则程序在读写串口时将独占线程，致使 LabVIEW 程序中其他线程无法运行进而易导致程序卡死。配置好的 CLF 节点如图 5 所示，各输入输出的数据类型和含义和 DLL 中定义的导出函数一致。

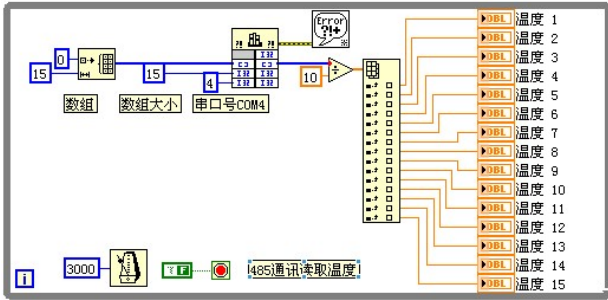


图 5 LabVIEW 读取智能仪表程序框图

### 2.3 LabVIEW 与数据库通讯模块

LabVIEW 与数据库通讯的方式亦有多种，如可以直接使用 NI 的 LabVIEW SQL Toolkit 工具包、或利用 LabVIEW 的 ActiveX 功能调用 Microsoft ADO 对象从底层编程实现、亦可用 VC++ 编写 DLL 访问数据库，而本文使用第三方工具包 LabSQL 实现访问，该方法相比以上三种有免费、方便、简单实用等优点，其原理也是利用 Microsoft ADO 以及 SQL 语言来完成对数据库的访问，只是将复杂的底层 ADO 及 SQL 操作封装成一系列 LabSQL VIS<sup>[4]</sup>，LabSQL 对数据库操作的一般步骤为：连接数据库→连接记录集→对表进行各

种操作→断开记录集→断开数据库，提取数据库表 fjl 中所有数据的程序框图如图 6 所示。

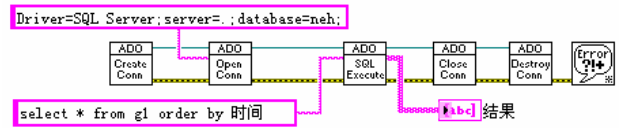


图 6 LabVIEW 读取数据库程序框图

### 3 总结

本文设计并实现了一种黄酒发酵过程控制系统。该系统不仅有助于提高黄酒的产量和质量，而且对于推广黄酒发酵自动化有着重要的意义。

本文作者创新点：基于 LabVIEW 开发平台，配合 PLC、智能仪表等现代测控技术设计开发了黄酒过程控制系统。文章根据黄酒发酵的工业要求，设计了相应的硬件结构和软件系统。

### 参考文献

- 1 陈斌,袁雪,管国强,等.基于 LabVIEW 的生物发酵过程远程在线监控系统设计.农业工程学报,2008,24(8):174-177.
- 2 朱青,王直,李垣江,等.基于 LabVIEW 与 OPC 的船舶机舱报警系统设计.现代电子技术,2009,288(1):129-131.
- 3 许剑,邹小芳,王建华.在 LabVIEW 中利用 DLL 实现数据采集.数采与监测,2008,570(5):95-96.
- 4 郭铁桥,闫迎志.基于 LabVIEW 的电梯远程监控系统.仪表技术与传感器,2008,1841(7):54-56.
- 7 杨晨.嵌入式智能家居控制系统的研究.哈尔滨:哈尔滨理工大学,2007.
- 8 Wu CL, Fu LC. A human-system interaction framework and algorithm for UbiComp-based smart home. IEEE HIS 2008 Poland: Krakow, 2008:257-262.
- 9 苑康强.嵌入式家庭网关设计及其在智能家居系统中的应用.北京:北京工商大学,2005.
- 10 谭晖.nRF 无线 SOC 单片机原理与高级应用.北京:北京航空航天大学出版社,2009.10-32.
- 11 马跃坤,应时彦,肖林荣.基于 nRF24LE1 芯片的一对多无线数据传输的实现.解决方案,2009,(3):26-29.

(上接第 121 页)

- IEEE Computer Society Korea:Kimhae, 2008:143-148.
- 3 丁志文,周悦,韩中华.基于 ARM 的智能家居监控系统设计.科技广场,2008,(12):179-181.
- 4 柴政.基于嵌入式技术的智能家居远程监控系统.南昌:南昌大学,2009.
- 5 Papadopoulos N, Meliones A, Economou D, Karras I, Liverezas I. A connected home platform and development framework for smart home control applications. IEEE International Conference on Industrial Informatics Greece: Athens, 2009: 403-409.
- 6 柳卫林.基于 ZigBee 技术的智能家居控制系统的设计与实现.东华大学,2010.