

基于 ARM 和 nRF905 组网的智能家居系统设计

曾明如, 罗 浩, 徐小勇, 徐志敏

(南昌大学 信息工程学院, 南昌 330031)

摘要: 针对家居中电器种类和数目繁多且分散于各室造成控制不便, 提出了一种利用 nRF905 射频模块实现无线通信的智能家居控制系统; 系统对射频数据传输协议进行了设计, 给出了室内多个微控制器的组网方案; 用户通过手机短信或万能遥控器把对家电的控制信号发送至基于 ARM 平台搭建的主控中心, 再由主控中心发送至若干个通信节点或智能插座, 万能遥控器通过射频信号实现对家电的近距离遥控, 手机通过 GSM 通信实现对家电的远程遥控; 通信节点基于 STC89C52RC 单片机设计, 能够实现对多种红外家电的控制并具备安防报警功能, 智能插座则用于控制非遥控家电; 实验表明, 该系统可使网络中各节点、插座得到有效的控制, 数据传输稳定、功能丰富、可扩展性强, 具备较高的应用价值。

关键词: nRF905; 无线通信; 智能家居; ARM; GSM; 万能遥控器

Design of a Smart Home System Based on ARM and Network Communication by nRF905

Zeng Mingru, Luo Hao, Xu Xiaoyong, Xu Zhimin

(School of Information Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract: The variety and the number of household electrical appliances increase nowadays, meanwhile they disperse in many rooms. It is inconvenience to control them, in view of this, a Smart Home control system using nRF905 RF module for wireless communication is proposed. The system designs the RF data transmission protocol and gives out networking solutions of many micro-controllers inside the rooms. The control signals of appliances are sent to the main control center based on ARM platform by SMS or universal remote control, then they are sent to several communication nodes or smart sockets from the main centre. Universal remote control achieves its near-distance remote control by radio frequency signals, mobile phone achieves its remote control by GSM. Communication nodes are based on STC89C52RC, they can control a variety of infrared control appliances and have security alarm functions. The intelligent sockets are used to control the non-remote control appliances. Experimental results show that the system enables to control the nodes and sockets in the network effectively. The system is scalable, feature-rich and it has a high value.

Keywords: nRF905; wireless communication; smart home; ARM; GSM; universal remote control

0 引言

智能家居的出现提高了人们生活的舒适性、便利性及安全性等, 其有线连接的组网方式存在施工复杂、维护困难和成本高等不足, 因此基于无线技术的组网方式体现出了优越性。无线方式包括 RF 射频技术、蓝牙、WIFI 和 Zigbee 等^[1], RF 射频技术相比其余技术具有更强的穿透能力且成本低廉, 本文所述的是基于 nRF905 射频模块组建的无线控制网络, 给出了其射频数据传输协议的设计, 主控中心通过该网络与各通信节点、智能插座实现了数据通讯。红外学习模块和智能插座的运用能够实现对各类家电的有效控制, 各通信节点处摄像头、人体感应模块和报警装置的设置使得系统具备安防报警功能, GSM 模块的使用和万能遥控器的设计则丰富了用户的控制手段。

1 系统结构及原理

系统由一个主控中心控制若干个通信节点和智能插座, 结

构如图 1 所示。主控中心以 S3C2440 处理器为核心处理器, 利

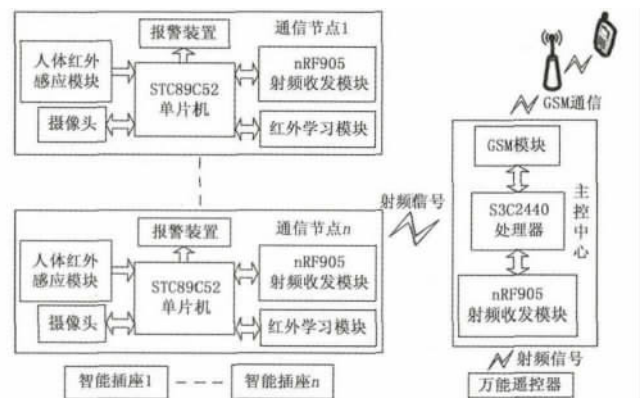


图 1 系统结构框图

用 GSM 模块和 nRF905 射频收发模块传输用户命令并回传信息给用户。通信节点以 STC89C52RC 单片机为控制核心, 与之连接的 nRF905 射频收发模块用于与主控中心之间的信号传输, 红外学习模块能够学习、替代各类红外遥控器, 实现对各种红外家电 (如空调、电视机等) 的控制。人体红外感应模块、摄像头和报警装置能够在有人非法入侵时采集人员图像并声光报警, 系统同时会向指定手机发出短信提醒。智能插

收稿日期: 2014-09-25; 修回日期: 2014-10-16。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50747025)。

作者简介: 曾明如(1964-), 男, 江西宜春人, 硕士, 教授, 硕士生导师, 主要从事嵌入式系统应用方向的研究。

座能够实现对家电的电源遥控^[2], 是专门为不具备遥控操作的家电(如灯光、热水器等)而设置。

主控中心、通信节点和智能插座的地址在系统设计时采用统一的 8 位的二进制编码, 理论上总共可设置 2^8 个地址, 结合实际需求共设置了 64 个, 若是节点、插座的数目增多可重新设置。用户对系统的控制有两种方式: 手机短信远程遥控和室内万能遥控器控制。若用户使用短信控制, 则在家电的控制命令成功发出后手机会收到短信回复。若用户使用万能遥控器控制, 则在家电的控制命令成功发出后遥控器的灯光将闪烁 3 s。

2 系统硬件设计

2.1 处理器的选择

主控中心将三星公司推出的 ARM9 处理器 S3C2440 作为控制核心, 它采用 16/32 位 RISC 架构, 内部集成了 ARM920T 内核, 拥有功耗低、体积小和功能强大等特点, 特别适合开发低成本、高性能的嵌入式系统^[3]。通信节点的微控制器选择 STC 公司生产的 STC89C52RC, 它使用 MCS-51 内核, 拥有灵巧的 8 位 CPU、8 K 在系统可编程 Flash、512 字节 RAM、32 位 I/O 口线和全双工串行口^[4], 在嵌入式应用系统的开发中能够提供灵活、有效的实施方案。

2.2 通信模块的选择

在系统中负责信息传输的有 GSM 通信模块和 nRF905 射频收发模块。主控中心 GSM 通信模块选取 SIMCOM 公司生产的 SIM900A, 它是完全采用 SMT 封装形式的双频 GSM/GPRS 模块, 支持 EGSM 900 MHz 和 DCS 1800 MHz 频段, 扩展的 TCP/IP AT 命令便于用户使用 TCP/IP 协议^[5], 实现短信收发、GPRS 网络数据收发等功能。

nRF905 是由 Nordic 公司推出的单片射频收发器, 该芯片工作在 433/868/915 MHz 的 ISM 频段, 具备功耗低、距离远、抗干扰性强等特点。芯片内部集成了频率合成器、带解调器的接收器、晶体振荡器、功率放大器和调节器等模块, 由片内硬件自动实现曼彻斯特编码/解码^[6]。它有 ShockBurstTM 接收和 ShockBurstTM 发送两种工作模式, 关机模式和空闲模式两种节能模式, 通过 PWR_UP、TRX_CE 和 TX_EN 3 个引脚共同决定^[7]。nRF905 使用 SPI 接口与微控制器通信, 通过程序设置通信地址和输出功率, STC89C52RC 与 nRF905 连接如图 2 所示。

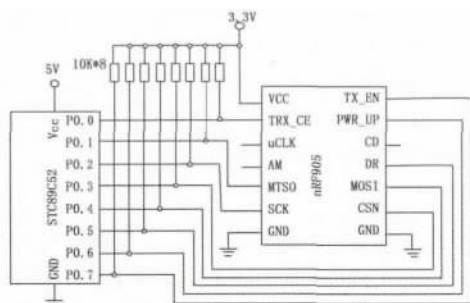


图 2 nRF905 与 STC89C52RC 连接图

2.3 红外学习模块与智能插座

选用具有学习功能的红外模块 IRD001, 它能够学习载波频率在 16~80 kHz 范围的红外遥控器, 具有扩展性强、操作

方便等特点, 搭配相应的无线 2.4 G、WIFI、蓝牙等模块可以方便地搭建智能家居控制系统。该模块采用收发一体的红红外接头, 可以学习 1 000 个左右的红外遥控器按键, 遥控距离在 15 m 以内, 通过串口与 MCU 相连。

利用 WY02 型无线遥控转换插座实现对非遥控家电的电源控制, 从而控制非遥控家电的开与关。该插座采用数字 RF 技术和微处理技术研发而成, 遥控频率为 433 MHz, 最大阻性负载为 500 W, 容性和感性负载为 250 W。信号采用无线编解码技术, 可穿墙, 抗干扰性好, 最远遥控距离在 20 m 左右。主控中心和万能遥控器中的射频模块需要与所控插座分别进行对码学习, 通过发送 433 MHz 信号可实现对各插座的独立控制^[8]。

2.4 报警部分

系统在各通信节点处具备安防报警功能。当有人进入节点处监控范围时, HC-SR501 型人体感应模块将传递开关量信号给 STC89C52RC, STC89C52RC 接着控制 ZC301P 型摄像头完成图像的采集并将其传送至相应的存储器。HC-SR501 型人体感应模块是基于红外线技术的全自动感应功能模块。该模块具有灵敏度高, 可靠性强, 超低压工作等特点, 其监控区域为小于 100° 视角且 7 m 以内。XDD-905 型报警器负责现场灯光、警笛联动, 同时能够给摄像头提高光源, 保证监控效果。用户通过拨码可以设定声光报警持续时间, 最短时间为 5 秒, 最长为 10 min, 精确到 5 s。

3 系统软件平台设计

采用 Linux 系统搭建系统软件平台, 其具备源代码开放、易于裁剪、移植方便、安全稳定等特点^[9]。主控中心及通信节点处的应用程序由 C 语言编写, 其中主控中心的程序需要经过交叉编译后移植到 S3C2440 处理器。软件平台设计包括 GSM 通信部分、射频数据传输协议设计、万能遥控器设计和红外学习部分。

3.1 GSM 通信部分

用户手机通过 GSM 模块实现对主控中心的远程控制, 主控中心则通过 GSM 模块向手机发送确认或报警信息。SIM900A 模块通过串口与 S3C2440 处理器相连, 参数设置为: 波特率 115 200 bps, 8 位数据位, 无奇偶校验位, 1 位停止位, 无数据流控。采用 PDU 格式发送短信, 使用相应的 AT 指令对短信收发进行设置^[10]。

对于短信接收, 向模块依次发送的 AT 指令及作用为: AT+CNMI=2, 1 用于设置短信提示功能; AT+CMGF=0 用于读出 PDU 格式的短信; AT+CMGR=7 用于读取 SIM 卡第 7 个位置上的信息。在主控中心程序中需建立短信的 PDU 码与对应的被控地址和控制信息间的转换映射表, 解析短信后可直接调用相对应的控制命令, 之后将其调制到 433 MHz 的无线电波中以射频信号的形式发出。为便于程序设计, 指定用户编辑两种格式的短信: “R+数字+控制命令”, 其中数字范围为 1 到 63, 对应通信节点和智能插座的 63 个地址; “R+数字+G+数字+控制命令”, 此类短信针对红外家电的多种升降功能而设置, R 后数字范围不变, G 后数字范围为 1 到 3。这里要求用户建立一张家电分布表, 用以查看各数字所代表的家电, 控制命令有“开”、“关”、“升”和“降”4 种。对于短信发送, 设置步骤为: 由 AT+CMGF=0 设置发出 PDU 格式

的短信；由 AT+CMGS=23 (15+短信字数*2) 设置发出 4 个字的短信；向模块写入短信“命令发出”和“有人入侵”的 PDU 码；发送 0x1a 给模块，执行短信发送命令。

3.2 射频数据传输协议设计

主控中心与各通信节点、智能插座之间需构成完整的通讯网络以保证射频通信的可靠性，而 nRF905 芯片本身不带组网协议，为此系统设计了如图 3 所示的 nRF905 通信协议格式。系统采用的是一点对多点的通信结构，节点和插座只能与主控中心进行双向通信，各自之间不通信，主控中心、各通信节点和插座在网络中具有唯一的地址。

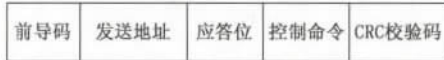


图 3 nRF905 通信协议格式

其中：发送地址采用 8 位二进制编码，主控中心地址设置为 00000000，节点地址设置为 00000001~00011110（选择时用对应的十进制数 1~30 表示），智能插座地址设置为 00011111~00111111（选择时用对应的十进制数 31~63 表示）。用 1 位表示主控中心与通信节点、插座之间的应答机制，1 表示数据从中心传送至节点或插座，相应地址接收到数据后将应答位设置为 0，发送地址设置为 00000000，控制命令不变，数据回传至主控中心后系统将发确认信号给手机或遥控器。控制命令占用 4 位，包括家电的开或关、报警功能开或关和红外家电的 3 种升降控制（如电视机音量键、频道键等）7 项，由帧格式可知系统最多可支持 16 项功能，后续根据需要可进行扩展和丰富。当 nRF905 处于发送模式时，发送地址、应答位、控制命令由处理器按顺序传入射频模块，前导码和 CRC 校验码则由 nRF905 自动完成加载；当 nRF905 处于接收模式时，nRF905 先对前导码、地址和 CRC 校验码进行验证，若验证正确，则将应答位和控制命令传送至处理器^[11]。

若出现数据传输干扰发出错误或是现场停电等状况，主控中心则不能接收到回传的应答信息。针对这一问题，系统采用了数据重发机制^[12]，主控中心在发出数据 2 s 内未收到应答信息，则进行数据重发。系统设置了最多发送次数为 3 次，主控中心在 3 次发送数据后仍未收到应答信息，则认为本次控制失败，手机或遥控器不能收到回复信息。

3.3 万能遥控器设计

万能遥控器是基于 nRF905 芯片设计而成，能够完成射频信号的发送与接收，如表 1 所示为遥控器面板设计。

表 1 万能遥控器控制面板

R		显示灯
G	O	1
2	3	4
5	6	7
8	9	OK
ON	UP	ALARM ON
OFF	DOWN	ALARM OFF

其中：“R 键+数字键（1 到 63）”能够进行地址选择，OK 键进行地址确认，如选择控制第 1 个地址处节点，则按 R 键，接着按 1 键，最后按 OK 键即可。“G 键+数字键（1 到 3，代表学习先后）”是配合 UP 键和 DOWN 键使用来控制红

外家电的，例如依次学习电视机的频道加减键和音量加减键，控制步骤如下：若想加频道则先按 G 键，接着 1 键，最后按 UP 键；若想减小音量，则先按 G 键，接着按 2 键，最后按 DOWN 键。ON 键和 OFF 键控制家电的开或关，ALARM ON 键和 ALARM OFF 键控制安防报警功能的开或关。节点处或是插座处控制信号发出后，遥控器将收到回复的射频信号并控制显示灯闪烁 3 s 以便告知用户操作成功。

3.4 红外学习部分

通信节点处红外模块 IRD001 与 STC89C52RC 处理器采用串口通信，参数设置为波特率 9 600 bps，8 位数据位，无奇偶校验，1 位停止位^[13]。在学习红外遥控器的按键之前，设定所学键值为 0 到 999 之间的任意整数，该整数在程序中用 16 位二进制数表示，用 H 表示其高 8 位，L 表示其低 8 位。模块用到的指令及作用为：

- 1) 学习指令 AA H L L H AA，在模块返回相同数据时说明其进入学习状态；
- 2) 测试指令 05 FF FF FF FF 05，用于测试所学指令是否有效；
- 3) 保存指令 0A FF FF FF FF 0A，用于保存键值对应的数据到存储器；
- 4) 控制指令 5A H L L H 5A，用于发送已经学习和保存的键值。

4 系统测试

在 3 个长 12 m 宽 8 m 且相邻的实验室中对系统的各项功能进行测试。将各室依次命名为室 A、室 B、室 C，主控中心设置在室 B 中央，各室分别设置一个通信节点和一个智能插座，通信节点地址对应的十进制数为 1、2、3，插座地址对应的十进制数为 31、32、33。选用 3 台相同型号的电视机 A1、B1、C1 作为红外家电代表，3 座相同型号的台灯 A2、B2、C2 作为非遥控家电代表，分别安置在各室中央，电视机打开开关连接于普通插座，台灯打开开关连接于智能插座。

将电视机遥控器对准学习模块的红外发射头，距离在 4~8 cm，依次对其开关键、频道加减键和音量加减键进行学习，之后测试所学按键以保证各按键学习成功。主控中心射频模块和万能遥控器依次与各智能插座进行对码学习，系统各模块参数设置成功后上电，短信编辑格式依 3.1 所述，万能遥控器操作步骤依 3.3 所述，依次控制各室电视机开关、频道、音量以及台灯的开关。万能遥控器打开报警功能，在有人进入室内时对应节点处声光报警且手机收到短信：“有人入侵”，关闭报警功能则不会出现报警，体现出系统安防报警功能的可靠性。经多次操作显示，系统能够响应每次控制命令，验证了手机短信和万能遥控器两种控制手段的可行性。

5 结束语

本文利用 nRF905 实现 ARM 对多个通信节点、智能插座的组网控制，设计了一个智能家居控制系统。系统具有手机短信和万能遥控器两种控制方式。节点处红外模块能够学习、替代各类红外遥控器，同时具备安防报警功能。智能插座的设置解决了对其它非遥控家电的开关控制问题。文中对网络的传输协议进行了设计，给出了射频数据的格式，保证了通信的稳定性和有效性。该系统功能多样、使用方便、成本低，拥有一定

(下转第 1427 页)

1) 对于仅在本文件中使用的变量和函数, 将其声明为静态的存储属性。

2) 在模块中不用指针, 直接声明引用来自其他模块的变量和数组。

3) 在模块中增加访问变量和数组的函数, 其他模块通过接口函数访问这些变量和数组。

3 在线升级系统的应用和演示

基于在线升级系统, 我们在 VxWorks 操作系统上设计实现了星务管理软件^[9], 为数管、姿轨控、载荷等软件实现了在线升级, 并利用 Tornado 的测试工具对系统的并发任务、CPU、内存、堆栈进行了测试, 验证了基于在线升级系统的星载软件负荷轻, 运行正常、高效。

星载软件工作之后, 启动上位机接收数据并实时显示图像, 演示过程如下:

1) 模拟故障注入, 在线替换了错误的图像处理算法模块, 软件显示的图像立即发生异常;

2) 在线升级正确的图像处理算法模块, 软件显示的图像立即恢复正常。

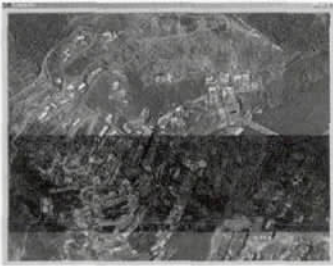


图 3 基于在线升级系统的软件升级效果

从图 3 可以看到图像的扫描线连续, 整幅图像的拼接和刷新连贯, 充分体现了在线升级的优势。

4 结论

本文设计实现的在线升级系统以模块为基本单位构建目标

软件, 支持了软件的在线升级; 提出了模块状态识别和恢复方法, 在软件升级前后保持状态的稳定性具有良好效果; 设计实现的活性检查算法可以找到对目标代码升级的安全的升级点; 提出的检查升级安全性的规则可以有有效的识别源代码中影响安全的隐患, 进一步保证升级安全。

测试表明基于在线升级系统的功能和性能符合设计要求, 证明了本文研究实现的在线升级系统具有较好地可用性、通用性和安全性, 可以较好地支持真实的嵌入式软件的设计和开发, 具有较好的工程实用价值。

参考文献:

- [1] 朱虹, 王海燕. 一种星载软件在轨编程功能的设计和实现技术 [J]. 上海航天, 2004, 21 (1): 26-31.
- [2] 郭勇, 朱宏明, 贺彦博. 基于 ADA 语言的星载软件在轨编程技术研究 [J]. 电脑知识与技术, 2008, 3 (12): 1641-1644.
- [3] 李磊霞, 王宇, 林宝军, 等. 基于宏定义动态链接的模块化星载软件升级方法研究 [J]. 空间科学学报, 2010, 30 (2): 180-184.
- [4] Felser M, Kapitzka R, Kleinoder J, et al. Dynamic software update of resource-constrained distributed embedded system [A]. Processing of IFIP International Federation for Information [C]. 2007, 231: 387-400.
- [5] Neamtiu I. Practical dynamic software updating [D]. University of Maryland, 2008.
- [6] Abrial J R. The B-Book assigning programs to meanings [M]. 裘宗燕, 译. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [7] Necula George C, McPeak S, Rahul S P, et al. CIL: intermediate language and tools for analysis and transformation of C programs [A]. Proceedings of Conference on Compiler Construction [C]. 2002.
- [8] CIL online documentation (Ver 1.4.0) [EB/OL]. <http://sourceforge.net/projects/cil>
- [9] 叶伟松, 陈志明, 刘海颖. 基于 VxWorks 的星务管理软件设计与在轨验证 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (12): 3387-3389.

(上接第 1420 页)

的市场前景。改进的方向是研究将互联网技术运用到系统中, 使得用户能够通过电脑或手机上网实现对系统的控制。

参考文献:

- [1] 庞泳, 李光明. 基于 ZigBee 的智能家居系统改进研究 [J]. 计算机工程与设计, 2014, 35 (5): 1547-1550.
- [2] 卢超. 基于 GSM 多通道远程遥控开关的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (3): 905-908.
- [3] 熊少义. 基于 ARM9 的无线传感器网络设计 [D]. 成都: 电子科技大学, 2012.
- [4] 余炽业, 宋跃, 曾国敬, 等. 一种智能家居远程监控系统设计 [J]. 电测与仪表, 2011, 48 (2): 36-39.
- [5] Yang X, Zhang L, Sun J. The control system for smart home based on GSM and the radio [A]. 2010 International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering (CMCE) [C]. IEEE, 2010, 6: 134-137.
- [6] 葛志军, 郝永生, 姜勉. 基于 RFID 技术的车载武器信息采集系

- 统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 10 (20): 2722-2724.
- [7] Xing Z H, Wang H W, Wang X N, et al. Design of wireless temperature sensor network based on nRF905 [J]. Advanced Materials Research, 2012, 430: 1988-1991.
- [8] 刘杰, 章韵, 陈建新. 利用 433 MHz 射频通信技术实现智能家居系统 [J]. 计算机应用, 2013, 32 (A02): 68-72.
- [9] 董宇, 杨强, 颜文俊. 基于 nRF905 和 GPRS 的智能家居用电监测系统 [J]. 电子技术应用, 2012, 38 (9): 78-81.
- [10] 董建勋, 李锦明, 李鹏, 等. 一种融合嵌入式 Linux 和 GPRS 的手机通信系统 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 19 (11): 2804-2806.
- [11] Dong Y, Sun Y, Ma B. Design of embedded smart home monitoring system [J]. Digital Communication, 2013, 3: 029.
- [12] 计芳, 张小鸣. 基于 nRF905 无线通信的 MAC 协议研究 [J]. 常州大学学报: 自然科学版, 2013, 24 (4): 63-67.
- [13] 曾国敬, 宋跃, 何志辉. 一种智能家居远程控制系统的硬件设计 [J]. 电子技术应用, 2011, 37 (4): 81-84.