

文章编号:1007-2780(2015)03-0451-08

无线分布式 LED 交通诱导屏设计

张 飙¹, 周国清^{2*}, 杨小平¹, 刘 源¹, 程小辉¹, 周 祥³, 刘毅龙³

- (1. 桂林理工大学 信息科学与工程学院, 广西 桂林 541004;
2. 桂林理工大学 广西空间信息与测绘重点实验室, 广西 桂林 541004;
3. 桂林理工大学 机械与控制工程学院, 广西 桂林 541004)

摘要:针对当前 LED 交通诱导屏要求高可靠、高稳定、少维修的特点, 本文将整块显示屏分为多个子区域, 利用 ZigBee 无线网络对各子区域进行分布式控制。每个子区域作为一个 ZigBee 节点由一片 CC2530 控制实现显示、通信、检测等功能。所有节点硬件设计相同, 均含高频核心板与低频底板。主控制模块与远程控制中心通信, 生成各子区域的点阵显示数据并传送给协调器。使用 Z-Stack 协议栈在基于事件处理的多任务构架下设计了用户程序, 实现了单播和广播通信, 以及基于有限状态机的串口通信。高频核心板+低频底板的结构可降低 PCB 制板成本并提高电路板通用性和互换性。该设计增加了系统稳定性和可靠性, 防止了故障扩散, 减少了维修频度, 还能将数据吞吐量分担到多个 CPU 上, 使整个系统成为多核并行处理机。

关 键 词: ZigBee 网络; 分布式系统; 底板+核心板; 单播; 广播; 交通诱导屏

中图分类号: TN873 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20153003.0451

Design of distributed LED variable message sign with wireless network

ZHANG Biao¹, ZHOU Guo-qing^{2*}, YANG Xiao-ping¹,
LIU Yuan¹, CHENG Xiao-hui, ZHOU Xiang³, LIU Yi-long³

- (1. *Department of Information Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China*; 2. *GuangXi Key Laboratory for Geospatial Informatics and Geomatics Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China*;
3. *Department of Mechanical and Control Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China*)

Abstract: According to the character of LED variable message sign which requires high reliability, high stability and less maintenance, in this paper, the whole LED variable message sign is divided into multiple sub areas, and ZigBee wireless network is applied in each sub-area to realize distributed control. Each sub-area becomes a ZigBee node which is controlled by CC2530 to complete display, com-

收稿日期: 2014-09-11; **修订日期:** 2014-09-21.

基金项目: 广西空间信息与测绘重点实验室基金项目 (No. 13-051-14-14); 广西区自然科学基金重点项目 (No. 2012GXNSFCB053005); 国家自然科学基金项目 (No. 41162011); 广西空间信息与测绘重点实验室基金项目 (No. 14-045-24-14)

* 通信联系人, E-mail: glitezhou@yahoo.com

munication, sensing and so on. The hardware design for every node is the same, which consists of high frequency core board and low frequency base board. Master control module communicates with remote control center, generates dot matrix display data for each sub-area and transmits these display data to coordinator. User program which is based on event process of multitask architecture is designed by employing Z-stack protocol. The user program includes point to point communication, broadcast communication and serial communication that is based on finite state machine. Structure of high frequency core board and low frequency base board is beneficial to lower manufacture cost of print circuit board and improve universality and interchangeability. This design enhances reliability and stability, avoids fault spread, reduces maintenance frequency, allocates total data throughout to multiple CPUs, makes the whole system become a multi-core processor.

Key words: ZigBee wireless network; distributed system; core board and base board; point to point communication; broadcast communication; variable message sign

1 引 言

LED 交通诱导屏广泛应用于城市道路和高速公路上,随着人力成本增加,诱导屏维修成本也逐年提高,研发高可靠性、高稳定性、低维修率的交通诱导屏已成为市场的必然。目前无线技术已经在交通诱导屏中得到应用^[1-2],但这些应用仅局限于采用无线技术,包括 GSM,GPRS,3G,Zig-Bee 等代替有线的串行通信实现对诱导屏的无线控制。分布式控制也在诱导屏上得以应用,不过这些应用是基于 485 通信的^[3-4]。本文拟将物联网中具有自组织、零费用的无线短距 ZigBee 网络和分布式控制技术相结合应用于诱导屏,设计基于 ZigBee 网络的分布式 LED 交通诱导屏系统。

2 系统结构

常规的 LED 交通诱导屏是由单个 CPU 控制,所有单元模块采用串行方式级联,一旦某个单元模块发生故障,必然发生故障扩散,影响其后续模块的显示,造成大面积显示失效。本设计运用分布式控制架构将诱导屏划分为 N 个子区域,每个子区域由独立的 CPU 进行控制,如果某个子区域发生故障,则故障只影响该子区域,其他子区域不受影响,可见分布式控制能将故障限定在子区域内,有效防止故障扩散。各子区域分开控制后必须解决子区域中的 CPU 与主控 CPU 的数据通信问题,该问题存在有线和无线两种解决方案。有线方式下各子控制区域中的 CPU 都挂在

总线上,其缺点是:需要额外的通信电缆和总线收发器,一旦总线发生故障会造成整个显示系统失效。无线方式下不使用总线可避免总线故障引发的全屏显示失效,提高了系统可靠性与稳定性,同时还能节省通信线缆成本。本设计利用物联网技术中的 ZigBee 无线短距网实现交通诱导屏内部各子区域的通信。

CC2530 用于 2.4 GHz 频段,遵循 IEEE. 802.15.4 标准,其内部集成高性能射频收发器、增强型 8051 CPU、两个多功能串口、12 位 ADC 和 21 个 I/O 等,是美国 TI 公司 ZigBee 技术应用的 SoC 解决方案,具有自组织特性,能够自动组建低成本 ZigBee 网络^[5],经本项目试验测定其可靠通信距离超过 60 m。本设计系统结构如图 1 所示,设计中将 LED 显示屏划分为 N 个小区域,每个小区内包含一片 CC2530,构成一个 Zig-Bee 网络节点,CC2530 控制 16×16 LED 点阵的显示,还负责采集温度、湿度,并实现与协调器通信。协调器一方面负责与网内各个 ZigBee 节点进行通信,另一方面与主控制模块通信以获取显示及控制信息。主控制模块从远程通信模块获取显示及控制信息,采集环境亮度,再经内部处理后下发给协调器,以实现 LED 显示屏的显示、控制、亮度调节等功能。远程通信模块用串口与主控制模块相连,负责接收来自远程控制中心的数据。远程通信模块形式多样,可以是光纤转串口,也可能是 3G 或 GPRS 模块转串口,还可能是 RS485 转串口等,具体为何种形式则由实际项目中的交通诱导屏网络确定。

系统结构的核心是 ZigBee 节点,各节点具有

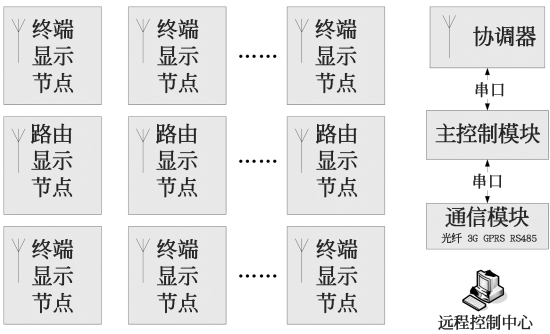


图 1 系统结构框图

Fig. 1 Diagram of system architecture

通用性,均具备终端、路由和协调器功能,具体成为何种节点只需软件配置,终端节点没有路由功能,路由节点或协调器节点时仍可实现终端节点的功能。由于每个 ZigBee 子网只能有一个协调器节点,因此本项目除配置一个协调器节点外,其余节点均具备控制 LED 显示的功能,其中 1/3 的节点设置为路由显示节点,2/3 的节点设置为终端显示节点,该配置方式具有较多的路由节点,使每个终端显示节点都有多条路径与协调器通信,即使某个路由节点失效,终端显示节点仍然能通过其它路由节点与协调器通信,可有效避免大面积显示失效,提高了显示屏工作可靠性与稳定性,减少维修频度。但路由显示节点需对其他节点发来的信息存储、融合和转发,会使其数据吞吐量增加,不过交通诱导屏信息更新快速性要求不高,这样实现完全可行。

3 硬件设计

3.1 节点硬件结构设计

系统硬件的核心也是 ZigBee 节点,为提高节点硬件电路通用性和互换性并降低印刷电路板开模成本,每个节点都包含插接在一起的两块印制板:高频核心板和低频底板。CC2530 单独设计成核心板,高频核心板设计为 4 层印刷电路板,面积较小,可节约制板成本,且所有节点的高频核心板都相同。低频底板使用双层印制板,且所有节点的低频底板都是通用的。

本系统 ZigBee 节点硬件结构如图 2 所示,每个节点由 CC2530、LED 显示控制模块、温湿度采集模块、串行通信模块及电源模块组成。CC2530 是整个节点的中枢,负责建立、维护通信网络,

实现无线信号传输、处理、转发和控制等功能;LED 显示控制模块用于控制 16×16 点阵 LED 显示;温湿度采集模块采集该节点处的温度和湿度;串行通信模块用于节点硬件调试,对于协调器还通过串行通信模块与主控制器通信;电源模块负责节点供电。

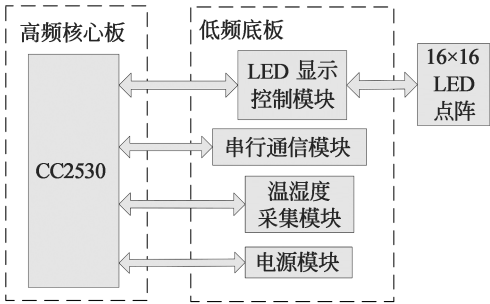


图 2 节点硬件框图

Fig. 2 Block diagram of node hardware

3.2 核心板电路设计

核心板电路原理图如图 3 所示。CC2530 的 P1.1、P1.2 连接主控制模块的串口, P1.4、P1.5 用于调试实现上位计算机与 CC2530 串口通信; P2.0、P2.1 分别连接温度、湿度传感器的数字输出端; P0.0~P0.6 用于驱动 16×16 LED 点阵。RF_P 和 RF_N 为射频信号输出端, P1 为天线。

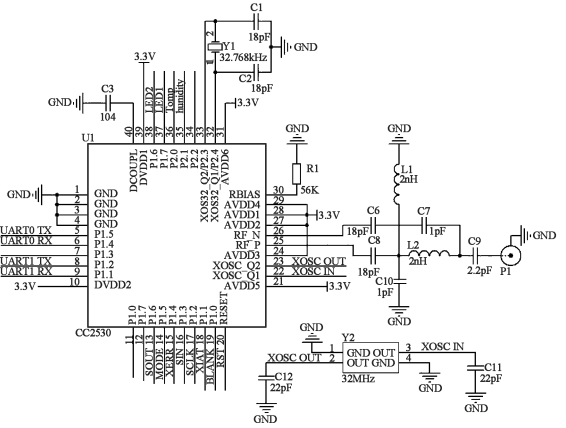


图 3 核心板电路原理图

Fig. 3 Schematic of core board

3.3 底板电路设计

底板电路连接核心板与 16×16 LED 显示面板,核心板控制生成 16×16 LED 点阵显示时序,并读取温、湿度传感器的值。底板上含有两个串行通信插座,分别用于程序调试及与上位机通信。底板上还包含指示 ZigBee 网络连接状态和

程序运行的 LED 指示灯;系统供电由底板输入,经 1117M3 电压转换芯片获得 3.3 V 电压给 CC2530 供电。

3.4 LED 显示控制设计

LED 驱动芯片采用含有 7 bit 点校正功能的 16 通道恒流驱动器 TLC5923,该芯片可以独立调节 OUT0~OUT15 通道的电流值,调节级数为 128 级,各通道调整后的灌电流为: $I_{OutN} = I_{MAX} \times DC_N / 127$,其中 I_{MAX} 是能够设定的最大值,DC_N 表明第 N(N=0~15)通道输出电流被调节在哪一级^[6]。此项功能可以保证整个显示屏具有均匀亮度。各通道的调节值是根据 LED 亮度测量值确定的,这是本文作者另一篇论文所研究的内容,在此不再赘述。TLC5923 还具有 LED 开路检测和芯片温升超限检测功能,利用开路检测与温升超限检测功能协调器可以获知故障通道与故障驱动器,并将故障信息传到控制中心。16×16 LED 显示控制原理如图 4 所示。

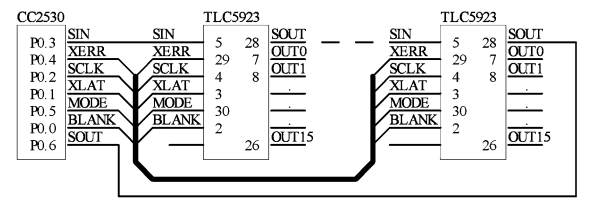


图 4 16×16 LED 显示控制原理图

Fig. 4 Schematic of display control for 16×16 LED pixel matrix

TLC5923 中的 MODE(9 脚)置 H、L 电平分别选择点校正数据输入与显示数据输入。当发生芯片温升超限或 LED 开路故障 XERR(连接在 CC2530 的 P0.4)自动被 TLC5923 拉低,CC2530 通过定时查询 P0.4 脚可及时发现故障,并可通过 P0.6 脚(TLC5923 SOUT 脚)串行读入开路故障信息,从而判断出发生开路故障的通道号。

由于采用分布式控制方式,按照交通诱导屏为红、绿、黄三色计算,CC2530 最多控制 16×16 点阵的显示区域,即 48×48 LED 管,共有 144 片 TLC5923。交通诱导屏信息更新快速性要求不高,经验算和实际测试 CC2530 内置增强型 51 内核的速度已经足够,可见 CC2530 既能实现 ZigBee 通信协议又能胜任 16×16 LED 点阵的显示,这也是分布式系统将数据吞吐量转换到多个 CPU 同时处理,从而降低单个 CPU 数据吞吐量

优点的体现。

3.5 主控制模块设计

主控制模块采用 ST 公司推出的 ARM Cortex-M3 架构的 STM32F103ZET6 处理器作为 CPU,其一端连接协调器,另一端连接远程通信模块,主控制模块框图如图 5 所示。主要功能为:(1)解释和处理诱导屏与远程控制中心的通信协议;(2)根据显示内容在片内点阵字库 Flash 中读取待显示文字的点阵数据,并按照诱导屏所划分的各个 16×16 LED 点阵子区域分别打包。(3)将各子区域对应的点阵数据包经串行口发送给协调器。随后协调器使用单播方式将这些数据包分别转发给控制各子区域的终端显示节点和路由显示节点,最后各显示节点中的 CC2530 负责在各自的 16×16 LED 点阵上显示信息。

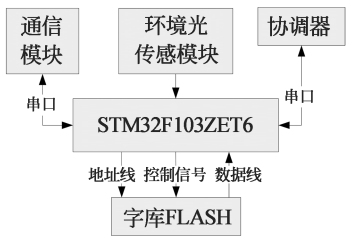


图 5 主控制模块框图

Fig. 5 Block diagram of master control module

本设计采用并行总线 W29C040 Flash,需要使用 STM32F103 处理器的 FSMC(灵活的静态存储控制器)。FSMC 接口支持 SRAM、NAND FLASH、NOR FLASH 等存储器,支持 8/16/32 位数据宽度。FSMC 总共管理 1 Gb 外部存储空间,分为 4 个存储 Bank,每个 Bank 又分为 4 个区,每个区 64 Mb 的存储空间^[7]。本设计使用 Bank1 的第 4 区,采用 8 位并行数据总线,使用异步 Mode1 方式控制。

4 应用软件设计

4.1 Z-stack 协议栈编程概述

基于 Z-stack 协议栈编程虽然在一些论文中已提及,但都没有深入研究^[8-9],本文将深入探究 Z-stack 协议栈用户程序设计方法。采用 CC2530 构建的 ZigBee 无线网络,其软件系统是建立在 TI 公司开发的 Z-stack 协议栈上的。Z-stack 协议栈本质上是 ZigBee 协议的具体实现形式,同时

也是 ZigBee 协议和用户之间接口。按照现代软件分层设计思想, TI 在 Z-stack 协议栈中实现了 ZigBee 协议物理层、MAC 层和网络层,但实现代码不公开,用户程序则在应用层上开发,需要使用底层服务时可调用 Z-stack 协议栈提供的 API 函数。

在 Z-stack 协议栈中,用户只需实现应用程序框架,该框架最多可包含 240 个应用程序对象,每个应用程序对象就是一个任务,每个任务又可以响应 1 个系统事件和 15 个用户事件,可见应用程序框架包含一个支持多任务的资源分配机制,因此 Z-Stack 协议栈提供一个 OSAL(操作系统抽象层)来调度程序,OSAL 实现了操作系统才具备的以多任务为核心的任务调度及系统资源管理。因此 CC2530 与常规单片机编程方式完全不同,必须通过创建 OSAL 任务来运行应用程序,而且用户程序设计是通过对例程代码修改、增删来实现的^[10]。

4.2 本设计用户任务工作流程

本项目设计的用户任务在 Z-stack 协议栈中的工作流程如图 6 所示,其中“系统初始化”由函数 osal_init_system() 实现,该函数包含 6 个初始化函数,其中任务初始化函数 osalInitTasks() 是用户程序必须修改的。本设计在该函数最后增加用户任务初始化函数 SampleApp_Init(taskID), 该函数内部分配任务号,初始化串行口,设置周期信息广播地址和周期信息单播地址。周期信息广播目标地址为:0xFFFF,用于协调器向所有显示节点广播信息;周期信息单播地址为:0x0000,用于显示节点向协调器发送信息。运行操作系统由函数 osal_start_system()实现,该函数是任务系统轮询函数,永远不会返回,它负责查找发生的事件然后调用相应任务对该发生事件的处理函数,该函数中核心语句“events= tasksEvents[idx];”用来提取需要处理的任务事件,另一核心语句“events = (tasksArr[idx])(idx,events);”通过指针调用相应事件的任务处理函数。如果没有事件发生,CC2530 会自动进入省电模式。

4.3 串口通信程序设计

串口在用户程序开发中有非常重要的作用,它是 Z-stack 协议栈与上位机的通信接口,本设计中,协调器通过串口与主控制模块双向通信;上位机通过串口实现显示节点内部程序调试。使用

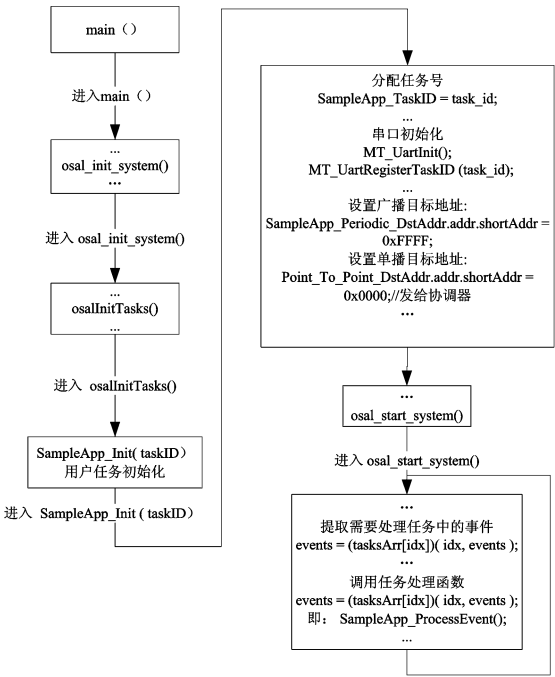


图 6 用户任务工作流程图

Fig. 6 Flow diagram for user task

CC2530 串口与普通单片机不同,需要在 Z-stack 协议栈中加入串口功能,使其纳入 OSAL 统一管理中。

串口使用前需要两个初始化步骤:①串口初始化(设置波特率,是否使用流控制等),②登记任务号,如图 7 所示这两个步骤是在用户任务初始化函数 `SampleApp_Init(TaskID)` 进行的。由于串口已封装在协议栈中,节点向串口发送数据包只需调用函数 `HalUARTWrite(uint8 port, uint8 * buf, uint16 len)`,其中 `port` 指串口号,本设计协调器使用串口 0、1,显示节点只使用串口 0; `* buf` 是数组缓冲区指针,节点发送的数据需事先写入这个缓冲区; `len` 指字节为单位的数据长度。串口通信帧格式可自定义为:“帧头+地址+命令字+数据长度+数据包+校验+帧尾”。串口数据接收函数“`MT_UartProcessZ-ToolData(...)`”根据自定义帧格式修改为有限状态机方式接收模式,实现过程如图 7 所示,当正确接收帧尾后调用函数 `osal_msg_send(...)` 将数据包发送到 OSAL 层非常重要,调用该函数后,会产生触发用户任务的事件,响应触发事件时,协调器可调用 `AF_DataRequest(...)` 函数把串口接收的数据包发给各个显示节点。

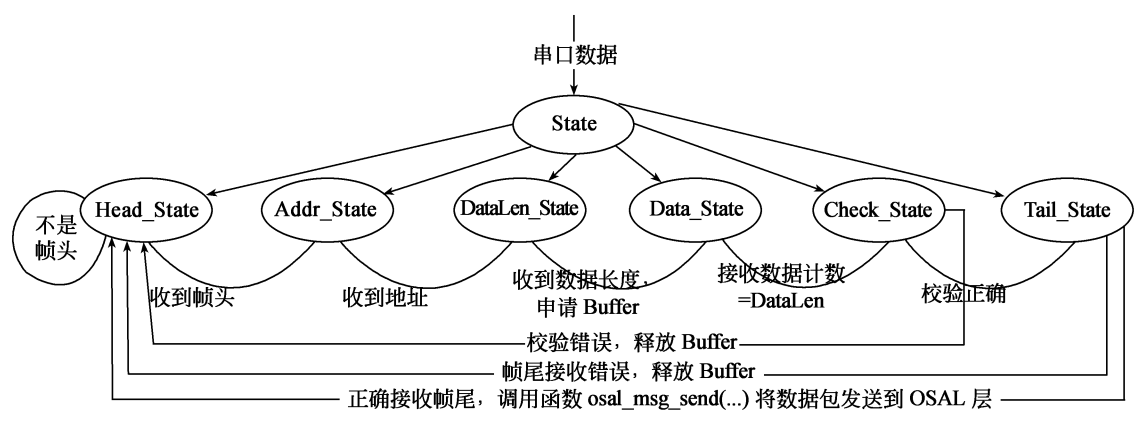


图 7 有限状态机实现串口数据帧接收
Fig. 7 Receiving serial data frame by FSM

4.4 协调器通信程序设计

协调器通过串口实现与主控模块通信, 还接收显示节点上传的 LED 故障信息和温、湿度数据, 而且协调器能以广播方式发数据包给显示节点, 主要实现两个广播功能, 第一: 协调器设置各显示节点采集温、湿度或读取 LED 故障信息的周期值, 一经设置显示节点就按新的周期采集或读取信息然后以单播方式上传协调器, 协调器收到信息后则上传主控制模块。第二: 主控制模块通过协调器获取显示节点是否正常连接在网络上, 这是通过发送广播命令获取各显示节点编号实现, 每个收到该命令的显示节点以单播方式发送本节点编号给协调器。协调器程序实现流程如图 8 所示。

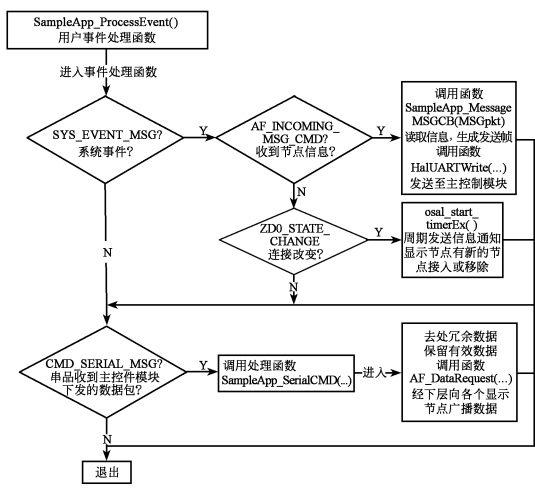


图 8 协调器用户软件运行流程图

Fig. 8 Flow diagram of user software for coordinator

4.5 显示节点通信程序设计

显示节点采用单播(点对点)方式定时向协调器传送 LED 故障信息和温、湿度数据。定时时间由协调器设定。单播与广播程序代码类似, 只是目标地址不同。各显示节点要实现串口通信, 温、湿度检测, LED 故障信息读取, 协调器要实现与主控制器通信。节点应用软件运行流程如图 9 所示。由图 8 和图 9 可见, 无论单播通信还是广播通信都使用同一个核心处理函数 AF_DataRequest (afAddrType_t * dstAddr, endPointDesc_t * srcEP, uint16 cID, uint16 len, uint8 * buf, int8 * transID, uint8 options, uint8 radius), 单播与广播方式由第 1 参数(目的地址), 第 3 个参数(传输编号)决定, 单

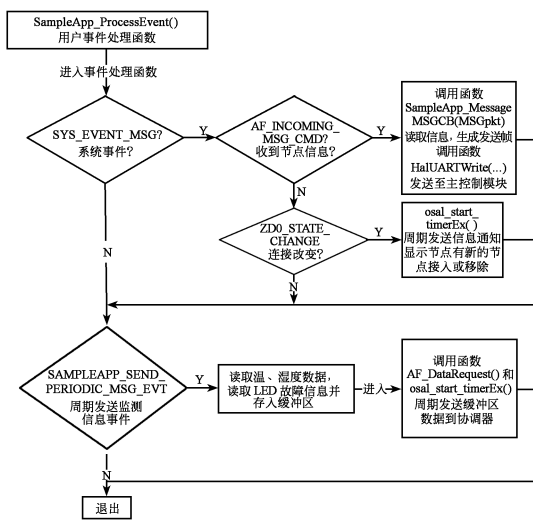


图 9 显示节点用户软件运行流程图

Fig. 9 Flow diagram of user software for display node

播时显示节点发送数据到协调器,目的地址=0x0000;广播时协调器发送信息至所有显示节点,目的地址=0xFFFF。传输编号由用户程序定义,单播与广播必须定义不同的传输编号。

4.6 字库及交通位图读取

为节省带宽和提高轮询速度,远程控制中心与主控制模块间传输的汉字或交通位图不是用点阵表示,而是用汉字内码和位图编号表示。本系统采用 GBK 汉字编码,每个汉字包含 2 个字节,高字节为区码,范围为 0x81~0xFE,低字节为区内偏移码,范围为 0x40~0x7E 和 0x80~0xFE。GBK 编码总共 126 个区,每区 190 个汉字。点阵字库是按照此编码规则从 0x8140 开始逐一建立,本设计显示的汉字为 16×16 点阵,选用台湾华邦的 512k Flash 芯片 W29C040,字库从 W29C040 的 0 地址开始存放,字库后接着存放交通上使用的位图。主控制模块由远程通信模块接收到远程控制中心发出的待显示内容后,则根据汉字内码或位图编号计算出这些汉字或位图在 Flash 中存储的首地址,然后读出相应汉字或位图的点阵信息。

参 考 文 献:

- [1] 黄刚. 无线射频技术在旋转 LED 显示系统设计应用[J]. 液晶与显示, 2013, 28(6): 901-905.
Huang G. Application and design of radio frequency technology in rotating LED display system [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(6): 901-905. (in Chinese)
- [2] 张伟, 徐君鹏, 王士恒. 基于 GSM 控制的 LED 显示控制系统设计[J]. 广东农业科学, 2010, 37(8): 220-221.
Zhang W, Xu J P, Wang S H. Design of LED display and control system based on GSM [J]. *Chinese Journal of Guangdong Agricultural Sciences*, 2010, 37(8): 220-221. (in Chinese)
- [3] 周燕, 余焱, 马殿光. 分布式 LED 显示屏控制器的设计与实现[J]. 仪表技术与传感器, 2008, (9): 70-72.
Zhou Y, She Y, Ma D G. Design and implement of a distributed LED display screen system [J]. *Chinese Journal of Instrument Technique and Sensor*, 2008, (9): 70-72. (in Chinese)
- [4] 张飙, 徐和飞, 牛秦洲, 等. LED 光带型交通诱导屏的设计[J]. 液晶与显示, 2009, 24(1): 103-104.
Zhang B, Xu H F, Niu Q Z, et al. Design of LED light ribbon traffic guiding panel [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2009, 24(1): 103-104. (in Chinese)
- [5] Texas Instruments. CC253x System-on-Chip Solution for 2.4 GHz IEEE 802.15.4 and ZigBee Applications User's Guide[EB/OL]. [2009-04-15]. <http://www.ti.com>.
- [6] Texas Instruments. TLC5923 datasheet [EB/OL]. [2005-03-30]. <http://www.ti.com>.
- [7] 张洋, 刘军, 严汉字. 原子教你玩 STM32(寄存器版)[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2013.
Zhang Y, Liu J, Yan H Y. *Yuanzi Teach you to Learn STM32 (Register Edition)* [M]. Beijing: Beihang University Press, 2013. (in Chinese)
- [8] 杨信廷, 吴滔, 孙传恒, 等. 基于 WMSN 的作物环境与长势远程监测系统[J]. 农业机械学报, 2013, 44(1): 167-170.
Yang X T, Wu T, Sun C H, et al. Remote monitoring system of crop environment and growing based on WMSN [J]. *Chinese Journal of Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(1): 167-170. (in Chinese)

5 结 论

本文完成了基于 ZigBee 技术的无线分布式 LED 交通诱导屏设计, 整块交通诱导屏被分为多个子区域。每个子区域都成为一个 ZigBee 节点由一片 CC2530 控制实现显示、通信、检测等功能。设计制作了具有通用性和互换性的核心板+底板结构的节点硬件电路, 节约了 PCB 板开模成本。在 Z-stack 协议栈应用层编写了基于事件处理的用户程序, 实现了协调器与各节点的单播和广播程序, 以及基于有限状态机的串口通信程序。本文将 ZigBee 技术与分布式控制相结合用于交通诱导屏设计, 可将数据吞吐量分担到多个 CPU 上, 使整个系统成为多核并行处理机, 既能有效防止故障扩散, 又增加了交通诱导屏稳定性和可靠性, 还减少了维修频度, 为诱导屏系统提供了新的设计思路。经实际运行证实: Zigbee 无线网路可靠性高, 系统工作稳定, 整体性能达到预期设计目标。

[9] 樊静,王建明. 基于 CC2530 的博物馆状况无线监测系统设 计[J]. 电子测量技术, 2011,34(6):105-107.
Fan J, Wang J M. Design of wireless monitoring system for environment status of museum based on CC2530 [J]. *Chinese Journal of Electronic Measurement Technology*, 2011,34(6):105-107. (in Chinese)

[10] Drew G. *ZigBee Wireless Networking*[M]. Boston:Newnespress,2010:111-176.

作者简介:张 飙(1969—),男,四川人,硕士,主要从事 LED 显示技术、激光雷达技术的研究。E-mail: 75990383@qq. com

周国清(1965—),男,江西人,博士,教授,博士生导师,主要从事遥感技术的研究。E-mail: glitezhou@yahoo. com