

# 基于 ZigBee 的建筑物照明控制网络设计

孙 刚<sup>1</sup>, 徐 元<sup>2</sup>, 王佐勋<sup>2</sup>

(1. 济南泉瑞大田电子有限公司, 山东 济南 250353;

2. 山东轻工业学院 电子信息与控制工程学院, 山东 济南 250353)

**摘 要:** 为了改善建筑物内部照明控制网络通信过程的实时性和可靠性, 在分析 ZigBee 网络层各项关键技术的基础上, 提出了基于 ZigBee 的建筑物照明网络控制体系结构, 并对每层的具体实现都做了详细地说明。仿真证明该方案具有较高的分组成功率和低传递延时, 实践证明该方案能够解决传统方案布线困难的问题, 实现对建筑物内部照明进行远程无线监控。

**关键词:** 无线传感器网络; ZigBee 技术; 智能建筑; 照明控制

中图分类号: TP393

文献标识码: A

## Design and implement of control architecture of the light management of building based on ZigBee

SUN Gang<sup>1</sup>, XU Yuan<sup>2</sup>, WANG Zuo Xun<sup>2</sup>

(1. Jinan Quanrui Electronics Co. Ltd, Jinan 250353, China;

2. School of Electronic Information and Control Engineering, Shandong Institute of Light Industry, Jinan 250353, China)

**Abstract:** A control architecture of light management was proposed and implemented to improve the real-time character and the reliability of the process of communications in the building light management. Basing on the analyses of the network layer technology used by ZigBee, the control architecture was designed. Simulation proved that it has high packet deliver fraction and low average delay. Practice has proved that the program was able to resolve the difficulties of wiring problem in traditional programs. Wireless monitoring for light magement in building is realized.

**Key words:** wireless sensor network; ZigBee; intelligence building; light management

目前,随着高校规模的不断扩大,传统的校园里建筑物内部照明设备的用电问题越来越突出,不仅增加了管理维护费用,而且浪费大量电能。传统的解决方法是聘用管理人员严格记录、日夜轮回值班巡查以控制照明设备的使用情况。这种方法既浪费人力物力,可靠性也不高。随着现代无线通信技术、计算机技术的高速发展,自动控制技术、传感技术逐渐被广泛地应用在工业上,为建筑物内部照明设备的节电提供了一个新的方案。但是传统的传感器网络会受到布线的限制,不能更加灵活准确地对室内的温度和人数进行测量,因此就需要运用新的无线网络摆脱布线的限制。

### 1 ZigBee 协议

ZigBee 是一种新兴的近距离、低复杂度、低功耗、低数据速率、低成本的无线传感器网络技术<sup>[1]</sup>。它采用了

OSI 分层结构,MAC 层和物理层采取了 IEEE802.15.4 协议,ZigBee 联盟增加了网络层、会聚层和应用层,组成了 ZigBee 协议。ZigBee 协议支持星形、树形和网状等网络拓扑结构,其总线容量:子网 254 个节点;主网 65 000 个节点。ZigBee 的传输速率:2.4 GHz 时为 16 信道,250 Kb/s; 915 MHz 时为 10 信道,40 Kb/s;815 MHz 时为 1 信道,20 Kb/s。ZigBee 的通信协议为 IEEE802.15.4。ZigBee 的作用距离为 1~100 m。ZigBee 的物理层采用了直接序列扩频(DSSS)技术,工作在免申请的 ISM 频段,在 2.4 GHz 频段,采用 O-QPSK 调制方式;在 915 MHz 和 869 MHz 频段,采用 BPSK 调制。MAC 层采用了 CSMA-CA 的碰撞避免机制,同时为需要固定带宽的通信业务预留了专用时隙,避免了发送数据时的竞争和冲突。

ZigBee 协议定义了以下 3 种设备:全功能设备

# 网络与通信 Network and Communication

(FFD)、精简功能设备(RFD)和网络协调器设备<sup>[2]</sup>。网络协调器实际上是 FFD 设备的一种,只是拥有更多的计算能力和系统资源;RFD 在网络中通常作终端设备,仅通过简单的 8 位微处理器和 4 KB 的系统资源就能完成其协议功能,但 RFD 相互之间不能直接通信,只能与 FFD 设备和协调器通信。FFD 设备可以担任网络协调者,形成网络,并让其他的 FFD 或 RFD 装置连接,具备控制器的功能<sup>[3]</sup>。

## 2 照明控制网络的体系结构

### 2.1 网络结构总体设计

网络控制体系结构主要解决的是被测数据的无线高效传输和整个通信网络的能量分配问题。教学楼的空间比较广大,为了更好地覆盖较广的范围,减少整个网络的功耗,保证网络中各节点的寿命,整个网络采用多层分簇(Cluster-Tree)结构,系统的整体布局如图 1(a)所示。网络中的节点按照距离的远近划分成簇,每个簇由相互靠近的节点组成。对网络中节点能源的限制随着其所在网络层等级的降低而逐步增加。最底层的节点采用小功耗(如电池供电)、传输距离近的节点完成对目标的检测,网络中处于簇首位置的节点则没有能量限制。整个网络的管理中心在教学楼的入口处,有一个无线网络的协调器(PAN Coord),PAN Coord 通过串口和监控中心的 PC 机连接组成中央控制单元,与 PC 机进行数据交换,对采集到的数据进行处理并根据检测结果完成对整个网络的控制。网络中的其他节点都直接或间接的把数据传送到中央控制单元的 ZigBee 协调器,数据最终由 PC 机存储和处理。在每个教室里,都会有两个处于最底

层的终端节点(ED)与光线/人数采集设备相连,这些节点主要负责采集相应教室的数据并分析,或者根据中央控制单元的要求,对相应教室的灯光进行控制。每层的走廊里按一定距离布置多个没有能量限制的 FFD 节点,如图 1(b)所示。这些节点将作为簇首节点把它周围的 ED 节点划入自己的簇中,并负责这些节点的数据采集以及上层节点对这些节点的控制。每层的 FFD 节点同属于一个簇,供上一层 FFD 节点控制。FFD 将采集到的数据收集完后逐层向上一层作为簇首的 FFD 节点传输数据,最后将数据传输到中央控制单元。

### 2.2 网络的组建

第一个进入 PAN (Personal Area Network) 具有协调能力且当前未加入任意网络的节点可以发起建立 Zig-Bee 网络,这个节点就是该网络的 PAN 协调点。PAN 协调点首先进行信道扫描,选择一个未探测到网络的空闲信道,然后确定自己的 16 bit 网络地址、网络的 PAN ID、网络的拓扑参数等。当各项参数选定后,PAN 协调点便可以接受其他节点为子节点。

当一个未加入网络的节点 A 想要加入 PAN 时,便向网络中的节点发送关联请求,收到关联请求的节点如果有能力接受节点 A 为其子节点,就为节点 A 分配一个网络中唯一的 16 bit 网络地址,并发出关联应答,收到关联应答后,节点 A 成功加入网络,并可以接受其他节点的关联。一个节点是否具有接受其他节点与其关联的能力,主要取决于此节点可利用的资源,如存储空间、能量等。如果网络中的节点想要离开网络,同样可以向其父节点发送解除关联的请求,收到父节点的解除关联

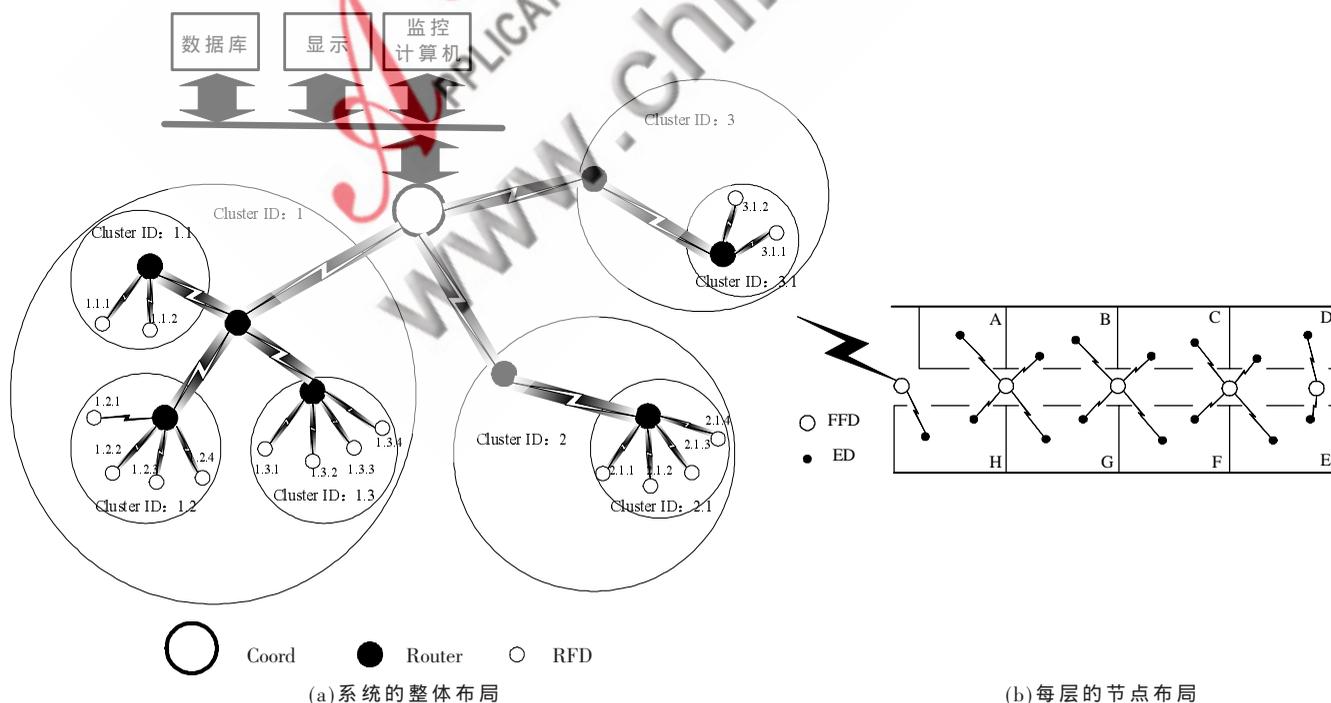


图 1 网络结构总体设计

应答后,便可以成功离开网络,但如果此节点有一个或多个子节点,在其离开网络之前,首先要解除所有子节点与自己的关联。

节点进入网络之后就进入系统睡眠状态以降低功耗。当有外部中断产生(串口中断或者接收中断)时,节点会从睡眠状态中唤醒,再根据中断的类型执行相应的操作。完成具体的操作之后节点会重新回到睡眠状态,等待新的中断唤醒。当网络中某一个节点死亡(断电等原因引起)或超出任何一个节点的通信范围时,可通过网络刷新检查该节点的状态,有两种刷新方式供选择:立即刷新、定时刷新(可设置定时刷新时间)。

### 2.3 网络地址分配机制

加入 ZigBee 网络的节点通过 MAC 层提供的关联过程组成一棵逻辑树,当网络中的节点允许一个新节点通过它加入网络时,它们之间就形成了父子关系,每个进入网络的节点都会得到父节点为其分配的一个在网络中唯一的 16 bit 网络地址,分配机制如下。

规定每个父节点最多可以连接  $C_m$  个子节点,这些子节点中最多可以有  $R_m$  个路由节点,网络的最大深度为  $L_m$ ,  $Cskip(d)$  是网络深度为  $d$  的父节点为其子节点分配的地址之间的偏移量,它的值可按如下公式计算:

$$Cskip(d) = \begin{cases} 1 + C_m \cdot (L_m - d - 1), & R_m = 1 \\ \frac{1 + C_m - R_m - C \cdot R_m^{L_m - d - 1}}{1 - R_m}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

当一个路由节点的  $Cskip(d)$  为 0 时,就不再具备为子节点分配地址的能力,即就不能再使别的节点通过它加入网络;如果一个路由节点的  $Cskip(d)$  大于 0,则可以接受其他节点为它的子节点,并为其子节点分配网络地址。它会为第一个与它关联的路由节点分配比自己大 1 的地址,之后与之关联的路由节点的地址之间都相隔偏移量  $Cskip(d)$ 。每个父节点最多可以分配  $R_m$  个这样的地址。为终端节点分配地址与为路由节点分配地址不同,假设父节点的地址为  $A_{parent}$ ,则第  $n$  个与之关联的终端子节点地址为  $A_n$ :

$$A_n = A_{parent} + Cskip \times R_m + n, 1 \leq n \leq (C_m - R_m) \quad (2)$$

### 2.4 网络中使用的数据帧

网络中使用的数据帧结构如表 1 所示。当有子节点加入网络,数据帧的子节点加入网络字段填 1,后面四个字节描述加入节点的网络号和简单描述。若没有子节点加入,加入网络字段填写 0,后面直接填写子节点离开网络字段。子节点离开网络字段的含义和子节点加入网络字段的含义一样。光照和人数信息各占一个字节。这样组织的数据帧,每次只能报告一个节点的加入和离

开网络的信息,帧结构稳定,数据的组织和处理比较简单。

### 2.5 网络性能分析

在网络仿真软件 NS-2-2.33 中对一个采用本网络体系结构包含 50 个节点的简化 ZigBee 网络进行了仿真<sup>[5]</sup>,仿真时间为 500 s,采用 CBR(Continuous Bit Rate)业务源,分组大小为 70 B,Cluster-Tree 参数为:  $R_m=5$ ,  $C_m=20$ ,  $L_m=4$ ,不同的 CBR 数据流个数下的网络的平均延时情况如图 2(a)所示,不同发包率下网络的分组成功率情况如图 2(b)所示。

从图 2(a)中可以看出随着 CBR 数据流个数的增加,Cluster-Tree 的平均端到端时延略高于 0.05 s,能够很好地实现实时控制。方案中使用的 Cluster-Tree 算法只能按照父子关系传输分组,深度较低的节点往往需要处理比深度较高节点更多的分组,在 MAC 层产生碰撞的概率相对较大,导致 MAC 层丢包率相对较高,通过图 2(b)可以看出不同的发包速率下该方案的分组成功率基本能够保证在 0.995~0.998 之间,完全能够满足对照明设备控制的需要。由于 Cluster-Tree 算法不需要发送控制分组,因而它的控制开销为 0,降低网络的功耗。

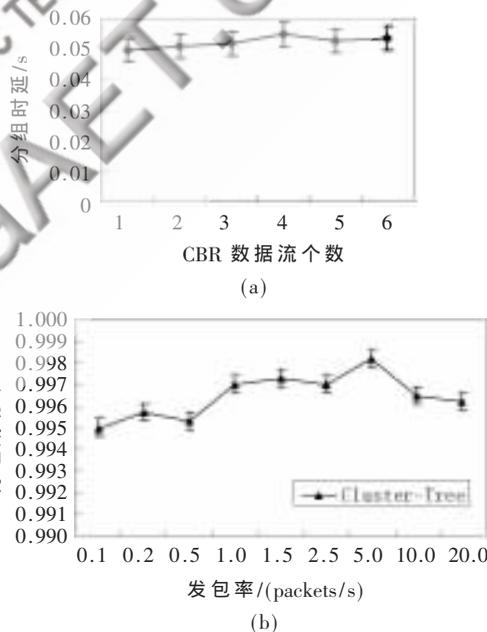


图 2 网络性能分析

### 3 ZigBee 节点的硬件实现

无线传输网络采用 Chipcon 公司的片上系统 CC2430,它集成了 CC2420 RF 收发器、增强工业标准的 8051 MCU、128 KB 闪存、8 KB SRAM 等高性能模块,并内置了 ZigBee 协议栈。ZigBee 节点的电流消耗小,当微控制器内核运行在 32 MHz 时,RX 为 27mA,TX 为

表 1 数据帧的载荷格式

子节点加入网络	子节点 ID	子节点简单描述	子节点离开网络	子节点 ID	子节点简单描述	光照信息	人数信息
1 bit	2 B	2 B	1 bit	2 B	2 B	1 B	1 B

## 网络与通信 Network and Communication

25mA,在掉电方式下,电流消耗只有 0.9  $\mu\text{A}$ ,外部中断或者实时时钟能唤醒系统;在挂起方式下,电流消耗小于 0.6  $\mu\text{A}$ ,外部中断能唤醒系统。它采用 QLP-48 封装,尺寸仅有 7 mm $\times$ 7 mm,只需极少的外接元件就可以正常工作。节点尺寸只有 30 mm $\times$ 29 mm。受到物流中心现场情况的限制,处于上层的 PAN Coord 节点和 FFD 节点采用稳定能源供电,没有能量限制。而处于底层的终端节点则由电池供电。整个网络中的节点只在查询和控制教室照明状态时传送少量信息,减少了整个网络的能量消耗。终端节点的结构如图 3 所示。

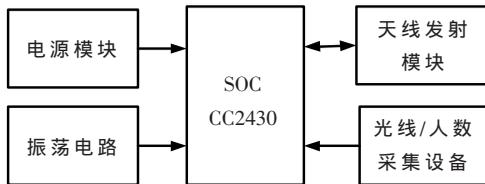


图3 终端节点硬件结构图

本文介绍了基于 ZigBee 的建筑物照明网络控制体系结构,并对每层的具体实现都做了详细说明。仿真证明该方案具有较高的分组成功率和较低的传递延时,控

制开销极低。实践证明系统的功耗很小,ED 节点采用电池供电,在睡眠-唤醒模式下工作可以维持一年多的时间。随着无线传感器网络市场的进一步发展,ZigBee 技术因其低成本、低功耗、自动组网、应用简单等特征,将逐渐成为主流技术标准,获得越来越广阔的发展空间。

### 参考文献

- [1] 詹杰,吴伶锡,唐志军.基于 ZigBee 的智能照明控制系统设计与实现[J].电力电子技术,2007,41(10):25-26.
- [2] IEEE Standards 802.15.4TM-2003, Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks(LR-WPANS)[S].
- [3] ZigBee Alliance, ZigBee Specification, ZigBee Document 053474r06 Version 1.0[S]. 2004.
- [4] 原羿,苏鸿根.基于 ZigBee 技术的无线网络应用研究[J].计算机应用与软件,2004(6):89-91.
- [5] 王宇,赵千川.用网络仿真软件 NS-2 进行 IP 网络的仿真[J].计算机应用与软件,2003,20(2):28-30.
- [6] 回楠木,李永刚,王成.基于 ZigBee 的无线农田测控系统[J].微计算机信息,2008(8-3):52-54.

(收稿日期:2009-03-09)