

Internet of Things in the Street Lighting Using PLC Technologies

Zhouming Mao¹, Peng Jin², Wenping Zhan³

¹Shenzhen Chinawisest Technology Co., Ltd., Shenzhen

²School of Environmental and Energy, Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen

³Wuxi Rave Optoelectronics Co., Ltd., Wuxi

Email: jinpeng@pkusz.edu.cn

Received: Dec. 12th, 2012; revised: Dec. 30th, 2012; accepted: Jan. 8th, 2013

Abstract: This paper introduces the basic features of Power Line Carrier technologies (PLC) and the Internet of Things (IOT), and brings up an integrated street-lighting IOT model based on PLC. The paper also gives a thorough analysis of this model including its principles, network mapping, basic functionalities, and implementations to some key features. It concludes that combining LED and PLC technologies for the smart street lighting is a right way to go based on maturing technologies and coming standardizations.

Keywords: Power Line Carrier (PLC); Internet of Things (IOT); Street Lighting; Remote Terminal Unit (RTU)

基于电力线载波的道路照明物联网技术

毛周明¹, 金鹏², 詹文平³

¹深圳华智测控技术有限公司, 深圳

²北京大学深圳研究生院, 环境与能源学院, 深圳

³无锡瑞威光电科技有限公司, 无锡

Email: jinpeng@pkusz.edu.cn

收稿日期: 2012 年 12 月 12 日; 修回日期: 2012 年 12 月 30 日; 录用日期: 2013 年 1 月 8 日

摘要: 本文分析了电力线载波技术和物联网的基本特征, 提出了一个完整的基于电力线载波技术的道路照明物联网模型; 详细介绍了此模型的原理、架构和基本功能要求, 并针对其中的一些重要功能, 给出了其设计和实现。结合 LED 和电力线载波的物联网道路照明在技术、标准和市场上日趋成熟, 也代表了城市道路照明技术和管理模式的发展方向。

关键词: 电力线载波; 物联网; 道路照明; 远程终端装置

1. 引言

国内道路照明管理已经呈现出显著的智能化趋势, 物联网(Internet of Things, IOT)技术作为智能化的一个重要手段, 已经被广泛地应用到路灯智能管理领域。道路照明具有以户外为主、通讯距离不定、干扰源多、节点多、可靠性要求高等特点。虽然无线通讯技术的解决方案如 Zigbee 和蓝牙、红外线、GPRS/CDMA 等在道路照明管理领域已做过有意义的尝试,

但验证的效果均不理想。无线通讯的缺点主要表现在成本高, 随车流和灰尘干扰造成的通信可靠性降低等。基于有线通讯技术的道路照明物联网的基础通信平台, 包括 DALI(Digital Addressable Lighting Interface, 数字可寻址照明接口), RS-485, 电力线载波(Power-Line Carrier, 以下简称 PLC), 已逐渐成为公共照明智能控制系统中主流通信模式。其中基于道路照明电网系统中的电力线, 通过 PLC 通讯技术和无线互

联网技术构建的道路照明物联网模式以其施工方便、成本低等优势，逐渐成为主流。

2. 电力线载波技术简介

目前我国道路照明使用的电力线多是 380 V/220 V 的低压电力线，经过国家电网及南方电网多年的布局和建设已覆盖全国，铺设总量世界第一。PLC 通讯是电力系统独有的一种通讯方式，其最大的特点是用现有电力系统网络中的电力线进行数据传输，不需要单独布线和架设网络，只要有电力线的地方，通过一定的调制和解调就可以实现数据的传输。从成本上和施工复杂度上，PLC 通信相较其他的有线数据传输模式也具有非常大的优势。

PLC 通信技术最早出现在上世纪二十年代，最初的 PLC 只能传输一些简单低速率的数据。经过近百年的发展，PLC 通讯技术向宽带化和高速化方向飞速发展，并取得可观的成绩。2004 年西班牙 DS2 公司(2010 年 3 月被 Marvell 收购)率先推出了物理带宽高达 200 Mbps 的宽带 PLC 芯片，实际使用中达到 80 Mbps。当前较流行的电力猫，如台湾 Zinwell 公司的 ZPL-5100 和 PLQ-5100^[1]，可以达到最高 500 MBps 的通讯速率，如图 1 所示。在实际应用中，电力猫已经可以取代传统的路由器、交换机和以太网线，并且具有很多无线网络和有线网络难以比拟的优势，主要体现在：高达 500 Mbps 传输速度、无需单独布网线、最高达 500 米的远距离稳定传输、网络拓展性强、无电磁辐射，节能环保。

PLC 通信技术在用电管理 AMR(Automatic Meter Reading, 自动抄表)领域已取得成功和大规模应用，而在电力线上网、智能家居、路灯控制等领域也刚起步。其主要原因有以下几点：



Figure 1. Zinwell 500 Mbps PLC modem^[1]
图 1. Zinwell 500 Mbps 电力猫^[1]

第一，PLC 信号一般在配电变压器一侧传输，即“无法跨变电器”，因为配电变压器对载波信号有明显的阻隔作用。

第二，电力线本身固有的脉冲干扰。国内广泛使用的低压电力线上的交流电频率为 50 Hz 和 60 Hz，其周期为 20 ms 和 16.7 ms；在每一交流周期中，出现两次峰值，从而会带来两次脉冲干扰，持续的时间约为 2 ms^[2]。对 PLC 通信中这些固有干扰的处理一直是具有挑战性的课题。

第三，PLC 信号在传输过程中的衰减。低压电力线面对的是终端的市电用户，用户电力线上的负载状况复杂，各个节点之间的阻抗匹配差异性大，造成载波信号易产生反射、谐振现象^[3]，从而使得 PLC 信号的衰减规律变得极为复杂。

3. 道路照明物联网介绍

物联网，The Internet of Things，是指“物物相连的互联网”。物联网的概念最早是由 Kevin Ashton 于 1999 年在 P&G 公司内部的一份演示文稿中作为标题提出来的^[4]；而其在国际上正式被明确提出是在 2005 年在突尼斯举行的信息社会世界峰会(W SIS)上，当时发布了一份《国际电信联盟互联网报告 2005: 物联网》^[5]。物联网的定义和范畴已经远远超过了当初的 RFID 领域，其应用模式的具有如下特征：

1) 互联网的特征

物联网本质上是基于互联网的，故物联网中所有的“物”必须具备可以接入互联网的特性。有些设备可能本身无法直接接入互联网，但是可以通过连接其他的设备达到此目的。如路灯本身无法接入互联网，但通过带 GPRS/CMDA 连接功能的集中控制器接入互联网。

2) 识别性和互连的特征

物联网中的各个设备在标识上应该具有唯一性，即各设备均有一个 UID(Unique Identification)，并以此 UID 达到自动识别的目的。UID 是物联网中设备间数据相互传递的基础。

3) 智能化的特征

智能化是指物联网中的设备，通过嵌入式技术手段可以实现智能控制和操作。如道路照明系统中远端控制装置(Remote Terminal Unit, RTU)，具有自动组

网、自动路由的功能，集中控制器具有自动下发离线的定时任务的功能等。

通过引入互联网技术、自动控制技术、无线通信技术和数据库技术的道路照明管理可以做到对单灯的远程监控、数据采集、故障报警、进而可对整个系统资产管理、统计分析等，完全具备了物联网的各项特征和要求。基于物联网技术的道路照明管理理念经过短短几年发展，已经成为道路照明管理的新模式和发展趋势。在道路照明管理物联网中，“物”的定义不再局限于路灯本身，而应该扩展为一切与路灯及路灯控制相关的设备。例如，安装路灯的物理载体灯杆、路灯的驱动电源、对路灯灯具进行智能控制时需要用到的远端控制装置(RTU)、对 RTU 进行统一管理用的集中控制器、还有配电柜里用到的变压器、交流接触器、用于采集电量的电能表、位于监控中心的服务器、客户端的 PC、手机、平板电脑等，均应该纳入道路照明物联网中“物”的范畴，如图 2 所示。



Figure 2. Street light IOT
图 2. 路灯“物”联网

4. 基于 PLC 技术的道路照明物联网的设计和实现

在这一部分，笔者通过对 PLC 技术和物联网技术的整合，提出了一个完整的基于 PLC 的路灯物联网平台模型的设计和实现。

4.1. 设计原理和架构

本平台模型的设计基于 PLC 技术和物联网技术，充分利用 PLC 技术无需布线的优势和无线互联网技术的优势。根据多年的路灯工程现场施工经验，笔者将此平台模型的架构分为三层，分别是：路灯端、配电柜端、监控中心端，如图 3。

位于监控中心端的服务器通过无线网络(如 GPRS/CDMA 公用信道)与配电端的集中控制器进行通信；而集中控制器通过低压电力线与路灯端的 RTU 相连，通过 PLC 技术进行通信。

4.2. RTU

根据物联网的要求，每一盏路灯必须具有可以识别和互连的特性。路灯作为一种道路照明用的独立设备，本身无法做到互相识别和互连，但可以在灯具端加上 RTU 实现。RTU 应该是基于 LonWorks 国际标

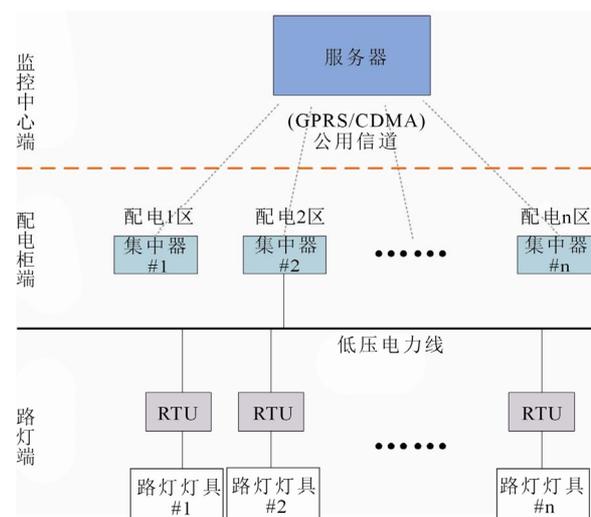


Figure 3. Street light IOT structure based on PLC
图 3. 基于 PLC 的道路照明物联网架构

准设计，即兼容 EIA-709.1 和 EIA-709.2 规范或者 GB/Z 20177.1 和 GB/Z 20177.2 规范^[6-9]。EIA-709.2 定义了电力线媒体上实现数据和控制信息交换的基本规范，包括网络拓扑和配置规则、物理媒体规范、频段分配规范、媒体物理和电气规范、节点的物理媒体规范等。EIA-709.1 规定了基于电力线的控制网络的通信协议，基于 OSI 七层协议，定义了第 2~7 层的规范。按照 LonWorks 标准设计的路灯 RTU，可以保证

各个控制器在低压电力线网络中的可识别性和互连互通性。

RTU 的基本功能要求包括两个方面：一是对路灯的开灯、关灯和调光(主要针对 LED 路灯)的控制；另一个是对路灯的一些基本电气数据的采集，包括对路灯当前的电流、电压、功率、功率因数、温度等的采集。

各 RTU 之间，以及 RTU 与集中控制器之间通过低压电力线进行通信。根据 EIA-709.1 规范，每个 RTU 应具有自动组网、自动路由、自适应、冲突检测的功能。从集中控制器发过来的控制信号通过 RTU 的自动路由和转发，可以到达更远距离的 RTU。

基于上述 RTU 基本功能要求的分析，笔者提出如下 RTU 设计模型，如图 4。

MCU 部分：MCU 为 RTU 的控制核心，执行如下多项任务：

- 1) 读取电压、电流、功率等数据；
- 2) 与载波模块通信；
- 3) 控制继电器动作；
- 4) 过流保护(报警)和负载短路报警；
- 5) 输出 PWM 调光信号。

系统电源部分：采用开关电源设计，其工作电源输入为 220 V_{AC}，50 Hz。具备过压保护功能，在输出短路以及反馈回路开环时进入保护状态。输出一组

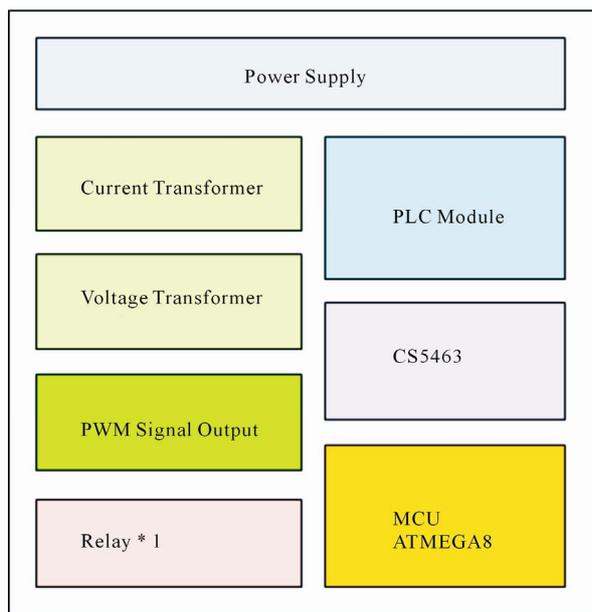


Figure 4. RTU internal structure
图 4. RTU 内部架构

+5 V_{DC} 和一组+16 V_{DC}，其带载模式的电源效率≥75%，能提供至少 8 W 功率，16 V_{DC} 绕组能提供高达 1 A 瞬时电流。

载波通信模块：在本 RTU 设计模型中，载波通信模块采用 RISE3501 芯片。此芯片根据 EIA-709.1 和 EIA-709.2 协议进行改进，目前已经形成一套网络协议用于电力载波系统，同时加入自动路由技术，可兼容国际上通用标准，该算法的实现可靠的保障载波系统的稳定性，可稳定的运行在电力载波控制系统上。载波通信模块的设计如图 5。

电流变换器：又称电流互感器，用于获取灯具电流参数，以此来判断系统是否工作正常。

电压变换器：又称电压互感器，用于获取灯具电压参数，结合电流互感器采集的电流参数来判断系统是否出现故障。

测量芯片：RTU 内部整合电压/电流数据采集的专用集成芯片 CS5463，通过处理来自电流/电压互感器采集的电流/电压数据，实时地提供路灯工作情况，如电压参数、电流参数等，用户可以在后台软件上读取这些数据，用于作为状态判断的依据。

PWM 调光信号输出：针对 LED 路灯的调光功能，笔者在 RTU 上设计提供 1 路 PWM 信号输出。其 PWM 信号频率为 400 Hz，占空比 0%~100%可调。PWM 调光信号为 5 V 电压的 TTL 输出。PWM 调光为比较重要的功能，这里给出其实现的原理图，如图 6。

继电器开关：提供 1 路继电器开关，可以控制单灯的开关。其中功率继电器的触点容量为 16 A/250 V。另外设计有专门的电路消除触点动作时可能产生的电弧，保证工作的可靠性，延长使用寿命。

RTU 的基本电气参数规格表 1。

4.3. 集中控制器

针对 PLC “无法跨变压器”通信的问题，笔者将

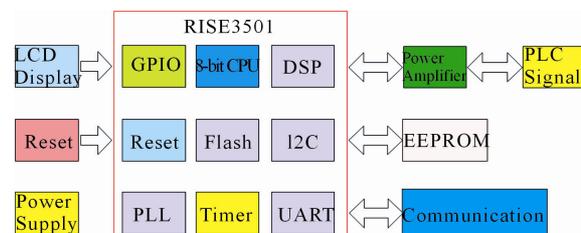


Figure 5. PLC module internal structure
图 5. 电力线载波模块内部架构

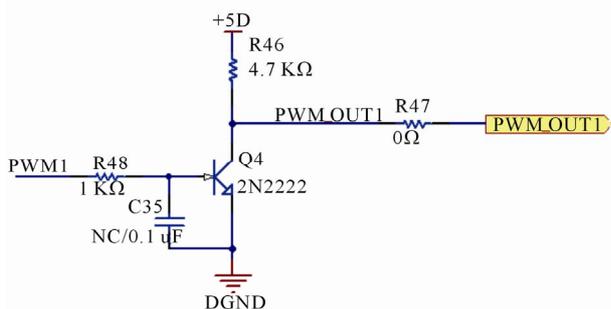


Figure 6. PWM dimming diagram
图 6. PWM 调光原理图

Table 1. RTU parameter table
表 1. RTU 参数表

序号	描述	规格			
		Min	Typ.	Max	Unit
1	额定工作电压	180	220	250	V _{AC}
2	工作功耗	1	2	5	W
3	额定负载功率	0	500	600	W
4	电压测量范围	0	220	260	V _{AC}
5	电压测量误差	1	3	5	%
6	电流测量范围	0	-	10	A
7	电流测量误差	1	3	5	%
8	继电器触点类型	常闭			
9	继电器触点容量	-	16	-	A

路灯按配电变压器进行分区管理，即在每一个配电变压器的同一侧配备一个集中控制器。

集中控制器里内置一个无线通讯模块，如 2G 的 GPRS 或者 CDMA 模块、3G 的 WCDMA 或者 CDMA2000 模块，或者 4G 的 LTE 模块。集中控制器通过公共无线互联网直接与位于监控中心进行通信，接收来自监控中心的控制指令，并反馈从 RTU 采集的数据，由监控中心的管理系统通过互联网来完成跨变压器的部署和操作。

集中控制器与各 RTU 之间通过电力线媒介通信。根据最新的 PLC 技术，一个集中控制器可以控制多达 1024 个 RTU^[10](在电力线环境较为纯净的情况下)。

如果把整个道路照明物联网系统比做整个人体，那么监控中心相当于人的“大脑”，电力线相当于人体内的“血管”，RTU 相当于人的“四肢”，而集中控制器则充当着人的“心脏”的角色。大脑发出指令，

由心脏通过血管把血液输送到四肢。

集中控制器不仅要负责与监控中心和 RTU 的通信，还需要能够处理各种离线操作和定时任务。这些操作和任务包括：监控电力线网络的运行状态、收集各 RTU 反馈回来的电气数据和状态信息、连接电能表实现用电量的统计和存储、通过外置接口如 RS-232, RS-485 或者 USB 等来连接一些外接设备如光照度传感器、交通流量检测器等。

要实现这些功能，集中控制器需要内置一个实时嵌入式操作系统，为便于现场操作和离线维修操作，应考虑在集中控制器设计时增加 LED 屏幕和多功能按键板。

基于以上对集中器的基本功能需求分析，笔者设计集中器模型如图 7。

ARM 板：这里我们采用采用 32 位 ARM9 处理器 AT91SAM9260 作为内核 CPU。片内集成了 USB、以太网、EBI、MCI、SSC 和 SPI 等多种通信接口，200 MIPS 的处理速度和先进电源管理使芯片非常适合于系统控制和通信领域。主控部分含有 32 MB SDRAM 以及 32 MB NAND FLASH。支持庞大的数据分析和管理能力。

电源供电部分：支持单相电源输入供电或者三相四线制供电方式，也可支持外部 DC 备用电源输入。其参数规格如表 2。

PLC 模块：跟 RTU 中的 PLC Module 相同，用于集中器与 RTU 之间的通信。

接口部分：1 路 RS-485(用于连接多功能电能表、光照探头等)、1 路 USB(用于本地维护)、1 路 Ethernet(用于有线通信)。

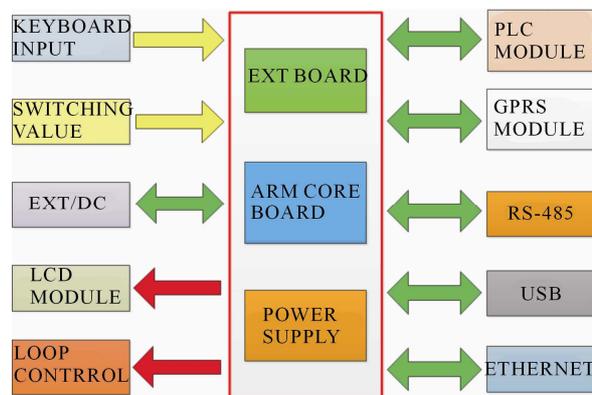


Figure 7. Concentrator internal diagram
图 7. 集中器内部架构

Table 2. Concentrator power parameter table
表 2. 集中器电源参数表

符号	描述	规格			
		Min	Typ.	Max	Unit
V _{AC}	交流输入电压	198	220	242	V
f	工作频率	47	50	63	Hz
W	整机功耗	-	-	-	W
V _{DC}	直流输入电压	12	13	14	V
V _{DC_O}	直流输出电压	14	15	16	V
V _{AC_O}	回路控制电源	198	220	242	V

4.4. 监控中心

鉴于道路照明的户外特性以及布线成本的考虑，各条道路配电区中的集中控制器一般是通过公共无线网络与监控中心进行通信。目前国内公共无线网络已经覆盖全国，以中国电信为例，其天翼 3G 无线宽带早已覆盖国内全部 31 个省市自治区^[11]。公共无线网络自从进入 3G 时代以后，通讯速率得到成倍的提升。根据中国电信的数据，在 CDMA 网络下，可实现最高速度达 3.1 M(3G)，153.6 K(1×，平均速度在 70 K~110 K 左右)的上网服务，并且信号稳定；用户即使在高速的磁悬浮列车上，仍能稳定地上网^[12]。因此，在道路照明物联网中全方位使用无线网络来管理集中控制器已经成为一种切实可行的方案。

监控中心一般设在路灯管理处。基于多年的路灯控制管理经验，笔者设计如下监控中心模型，如图 8 所示。本模型监控中心的基本配置主要由以下几部分

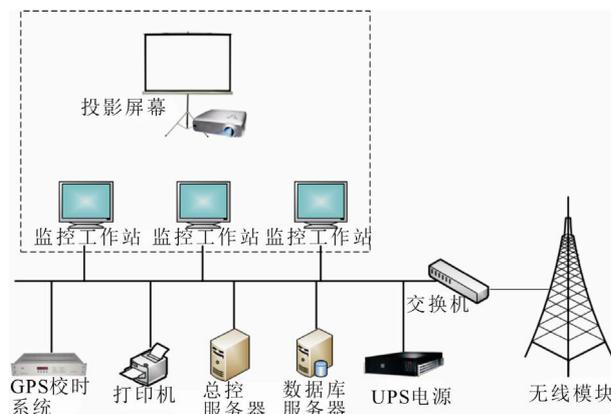


Figure 8. Monitoring center
图 8. 路灯监控中心

组成：总控服务器、数据库服务器、监控工作站、GPS 校时系统、UPS 电源、投影显示设备、公共无线网络发射模块等。

运行道路照明管理平台软件的总控服务器，一般要求双机热备份；数据库服务器一般要求内置 RAID5 技术，可以视项目规模相应提高处理器、内存和硬盘的配备。GPS 校时系统主要是用于自动校时，尤其是集中控制器需要准确时间，从而保证定时任务的可靠执行。投影和显示的设备可以视预算和监控中心的环境选配，预算充分的情况下，可以选择大尺寸 LED 显示屏。公网无线模块是用来给用户手机发送故障通知类的短信和互通手机远程管理界面。

道路照明管理平台软件的基本功能包括下面几大部分：路灯实时控制、实时查询、地图功能、用户管理、任务管理、设备管理、参数设置、自动校时、报警信息管理等。路灯资产管理、统计报表、数据库管理、日志管理等。如图 9 所示。

5. 总结

基于 PLC 技术的道路照明物联网方案能成为当前路灯智能控制的发展方向，展示出强劲的发展潜力，自有其他方案不可替代的优越性。在发展 PLC 技术的道路照明物联网方案的同时，充分认识此方案的特点以及潜在的风险，对于此方案的成功推广，甚至对 PLC 技术和物联网行业的发展，都具有很大的现实意义。本文基于笔者多年的路灯照明控制系统开发和工程施工经验，总结归纳了一套完整的适用于道路照明的物联网智能控制模型，希望能为国内道路照明产



Figure 9. Street light management system
图 9. 路灯平台管理软件功能

业的发展起到抛砖引玉的作用。

基于 PLC 技术的道路照明物联网管理模式的实施和发展顺应了“节能减排”的趋势，代表着现代道路照明管理模式的发展方向，具有远大的发展前景。如果能在产业标准化方面注入更多的力量，基于 PLC 的道路照明物联网技术完全有资格形成道路照明管理领域的国家标准甚至国际标准。在广东省政府，省科技厅和质监局支持下，广东省 LED 照明标准技术联盟即将颁布相关行业产业标准，并积极向国家标准过度，这必将规范和引导产业有序有效快速发展。我们翘首以待！

参考文献 (References)

- [1] 捷赫电子. 电力通全球. 网络任你游ZINWELL PLQ-5100 电力猫评测[URL], 2012.
<http://www.ctlink.com.cn/xinwenzhongxin/2012-11-08/424.html>
- [2] 刘源, 王洪义. 波形过零点的电力载波通信系统的研究[J]. 电测与仪表, 2001, 38(7): 12-14.
- [3] 孙海翠, 张金波. 低压电力线载波通信技术研究与应用[J]. 电测与仪表, 2006, 43(8): 54-57.
- [4] K. Ashton. That “internet of things” thing. RFID Journal, 2009. <http://www.rfidjournal.com/article/view/4986>.
- [5] The internet of things-executive summary. ITU Internet Reports 2005.
http://www.itu.int/osg/spu/publications/internetofthings/InternetofThings_summary.pdf
- [6] Control Network Protocol Specification. EIA-709.1-A, EIA Standard, 1999.
- [7] Control Network Power Line (PL) Channel Specification, EIA-709.2-A, EIA Standard, 1999.
- [8] GB/Z 20177.1-2006, 控制网络 LONWORKS 技术规范第 1 部分: 协议规范[S]. 中国国家标准化管理委员会, 2006.
- [9] GB/Z 20177.2-2006, 控制网络 LONWORKS 技术规范第 2 部分: 电力线信道规范[S]. 中国国家标准化管理委员会, 2006.
- [10] CWEC-CC60-01 集中控制器主要特点和功能[URL].
http://www.chinawisest.com/pro_detail.asp?id=156
- [11] 中国电信vnet. 3G覆盖图[URL].
<http://www.vnet.cn/cwclient/map.htm>
- [12] 中国电信vnet. 无线宽带业务介绍, 业务优势[URL].
<http://www.vnet.cn/cwclient/intro.htm>