

CSA/TR

国家半导体照明工程研发及产业联盟技术报告

CSA/TR 001- 2014

LED 照明控制系统标准化综述

Overview on standardization of the LED lighting control system

版本：V01.00

2014-11-04 发布

国家半导体照明工程研发及产业联盟发布

目 录

前 言	III
1 LED 照明控制系统.....	1
1.1 LED 照明控制系统介绍	1
1.2 LED 照明控制系统架构	1
1.3 LED 照明控制系统组成	2
1.3.1 中心控制管理系统-CMS	2
1.3.2 现场控制管理器-Commissioner.....	2
1.3.3 集中控制器（网关）-Gateway.....	2
1.3.4 单灯控制器-Light Controller.....	3
1.3.5 LED 电源-LED Driver.....	3
1.3.6 LED 光源-LED Source	3
1.3.7 传感器-Sensor.....	3
1.4 LED 照明控制系统接口	3
2 LED 照明控制系统标准化情况.....	4
2.1 国际照明控制系统标准化情况	4
2.2 中国照明控制系统标准化情况	4
2.3 照明控制系统标准化总结	5
3 LED 照明系统控制协议.....	6
3.1 LED 照明系统控制协议介绍	6
3.1.1 0-10V.....	6
3.1.2 PWM	7
3.1.3 DALI	8
3.1.4 DMX512.....	10
3.1.5 KNX/EIB.....	11
3.1.6 BACnet.....	13
3.1.7 ModBus	15
3.1.8 PLC-Lonworks	16
3.1.9 Wi-Fi.....	18
3.1.10 Bluetooth	19
3.1.11 6LoWPAN	21
3.1.12 POE	22
3.1.13 ZigBee	23
3.1.14 Z-Wave	25
3.1.15 EnOcean	27
3.1.16 UPnP.....	28
3.1.17 IGRS	29

3.2	现有主流使用协议	29
4	LED 照明控制系统标准化问题与挑战	30
4.1	缺乏统一接口协议标准	30
4.1.1	集中控制器（网关）和单灯控制器之间接口（Ib）协议的多样性	31
4.1.2	缺乏中心控制管理系统和集中控制器（网关）之间接口(Ic)应用层统一标准..	31
4.1.3	缺乏中心控制管理系统的服务层开放的 API 接口	31
4.1.4	缺乏统一的传感器的接口（Id）标准	31
4.2	单灯控制器和 LED 电源的集成和分离	32
4.3	缺乏与传统照明开关、灯具的互操作规范	33
4.4	缺乏 LED 照明系统网络安全及验证标准	33
4.5	缺乏智能照明功能要求及检测标准	33
4.6	和其它系统兼容	33
4.6.1	家居照明控制系统和智能家居系统的兼容	33
4.6.2	专业照明控制系统和楼宇控制协议的兼容	33
4.6.3	户外照明控制系统和与智能城市未来的兼容	34
5	LED 照明控制系统标准体系规划	34

前 言

本技术报告为资料性文件，并非标准（规范性文件）。制定本技术报告的目的是梳理 LED 照明控制系统的架构、组成、接口以及标准化的现状，分析 LED 照明控制系统标准化存在的问题，提出 LED 照明控制系统的标准化架构，为下一步标准化工作提供技术支持。

本技术报告由国家半导体照明工程研发及产业联盟（CSA）制定发布，版权归 CSA 所有，未经 CSA 许可不得随意复制；其它机构采用本技术报告内容制定标准需经 CSA 允许；任何单位或个人引用本技术报告的内容需指明本技术报告的编号。

到本技术报告正式发布为止，CSAS 未收到任何有关本文件涉及专利的报告。CSAS 不负责任确认本文件的某些内容是否还存在涉及专利的可能性。

本技术报告主要起草单位：杭州鸿雁电器有限公司、飞利浦(中国)投资有限公司、半导体照明联合创新国家重点实验室、北京半导体照明科技促进中心、深圳雷曼光电科技股份有限公司、晶元光电股份有限公司、厦门华联电子有限公司、三安光电股份有限公司、上海三思电子工程有限公司、惠州雷士光电科技有限公司、常州市武进区半导体照明应用技术研究院。

本技术报告主要起草人：王晓东、黄峰、董建飞、高伟、徐文斌、陈金源、张帆、蔡伟智、陈春根、徐开国。

LED 照明控制系统标准化综述

1 LED 照明控制系统

1.1 LED 照明控制系统介绍

LED 照明控制系统是一套照明设备及相关辅助设备控制的系统，其主要功能是实现 LED 照明系统的整体控制和管理。LED 照明控制系统可以使照明设备更加节能、照明设计更加灵活，提供更多的功能。智能化成为 LED 照明控制系统的发展趋势，为未来智能家居、智能楼宇，以至于智能城市的实现提供支撑。

LED 照明控制系统主要由系统软件和硬件组成。系统软件不仅是 LED 照明设备和控制设备之间的通信控制，还是 LED 照明系统的人机交互窗口，通过软件实现照明系统的集中控制和管理。系统硬件包括：中心控制管理系统，可选的集中控制器（网关）、单灯控制器、LED 电源、LED 光源及相关辅助设备。中心控制管理系统是对照明系统进行控制管理的中心控制平台；可选的集中控制器（网关）是网络协调器和协议转换器，其对多个单灯控制设备进行控制，并和中心控制管理系统进行通信，其对不同照明控制协议和网络通信协议进行协议转换；单灯控制器是接收来自控制系统的控制信号，或处理辅助设备中的传感器的信号，从而配置、控制照明电源，还可以对照明电源和灯具的运行情况进行监测；LED 电源单元是负责接收照明控制器的控制和配置信号，并执行相应的开关、调光、调色等动作；LED 光源是实现照明发光的重要部分；相关辅助设备可以是各种传感器，对灯具或环境进行探测。

如何将 LED 照明控制系统的各个组成单元连接起来，实现照明系统的人性化、智能化管理，关键在于控制系统的各个单元：中心控制管理系统、集中控制器（网关）和单灯控制器之间的通信方式。不同的网络通信方式，其通信媒介、拓扑结构、通信协议等都是不同的，因此对于 LED 照明控制系统的通信方式需要考虑不同的应用场合、不同用户的需求，如家居照明、专业照明、户外道路照明等，来确定合适的通信方式。

1.2 LED 照明控制系统架构

LED 照明控制系统的架构如图 1 所示，从左到右依次是中心控制管理系统、现场控制管理器（Pad、手机、电脑等，这些设备可以通过广域网控制照明网络，也可以通过本地接入方式控制照明网络）等控制终端和管理软件，集中控制器（网关-可选，其可以控制多个单灯控制器）、单灯控制器、传感器、LED 电源和光源，LED 电源和光源组成灯具。

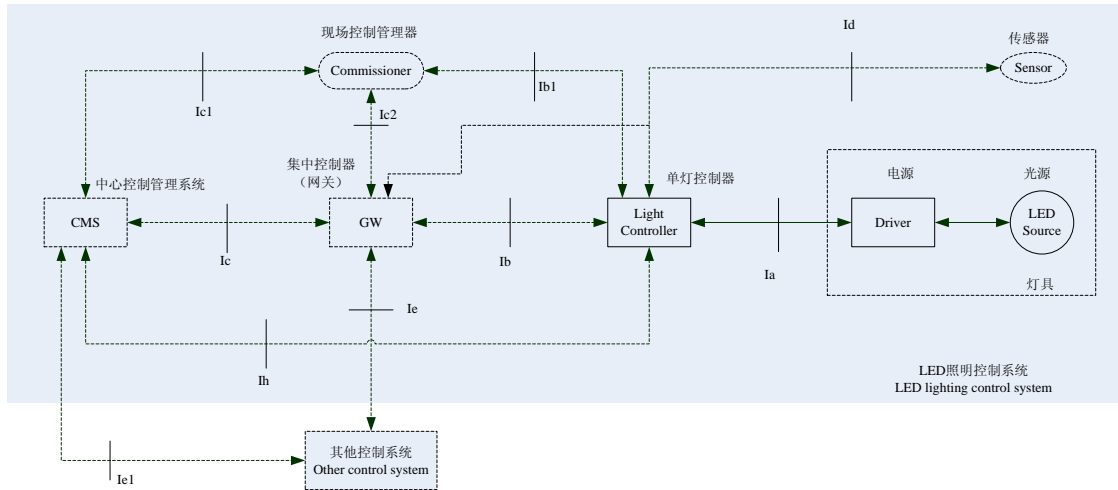


图 1 LED 照明控制系统的总体架构

1.3 LED 照明控制系统组成

1.3.1 中心控制管理系统-CMS

中心控制管理系统(CMS, Central Management System)可以对照明设备、服务和网络进行管理。CMS 主要功能：设备控制、场景编程、定时预约、设备关联、策略制定、数据采集和存储、报表分析、故障报警以及可视化界面等。

CMS 发现和管理多个集中控制器（网关），对其进行注册、地址分配以及服务管理。通过集中控制器，CMS 对智能照明系统内部的设备终端进行集中控制和管理。

CMS 也可以直接对单灯控制器进行管理，这时不需要网关设备。

CMS 对通信接入进行管理，为各种终端和操作定义数据模型与实现流程，实现智能照明系统内多种终端的统一管理和交互式软件升级、业务配置和故障排除等功能。

CMS 可以架构在单独的服务器上，也可以架构在云服务上。

1.3.2 现场控制管理器-Commissioner

现场控制管理器包括现场调试工具、手机/平板电脑 APP、面板开关或遥控器等，其可以在现场或远程接入对照明系统进行调试和控制。现场控制管理器可以现场接入集中控制器或远程接入中心控制管理系统，通过单灯控制器对灯具进行控制。

1.3.3 集中控制器（网关）-Gateway

集中控制器（网关）担负着对内管理照明系统内部网络的功能，同时提供连接中心控制管理系统的任务。包括以下功能：

集中控制器（网关）发现并记录灯具中存在的各种服务资源，维护这些资源的可用性信息，并提供对这些资源的访问控制。通过与集中控制器（网关）相连接的系统软件实现照明系统内部对服务资源状态的查看及功能控制。

中心控制管理系统或现场控制管理器通过公网远程或现场接入集中控制器（网关），对灯具进行控制，集中控制器（网关）需通过访问控制技术确保外网访问的安全性。

1.3.4 单灯控制器-Light Controller

单灯控制器接收中心控制管理系统或集中控制器（网关）的命令，对灯具进行控制，或接收传感器的信息，反馈灯具运行状况，通告灯具故障，发出报警信息。

1.3.5 LED 电源-LED Driver

LED 电源接收单灯控制器的控制，通过调整电源的电流或开关周期，实现对 LED 光源的开关、调光、调色等控制。

1.3.6 LED 光源-LED Source

LED 光源是照明发光模块。

1.3.7 传感器-Sensor

传感器探测环境信息，比如光照度、温度、人/车流量、CO/CO₂ 等，反馈给控制系统，控制系统根据环境对系统进行控制。

1.4 LED 照明控制系统接口

LED 照明控制系统定义了下列接口：

- Ia:** 单灯控制器和 LED 电源之间接口；
- Ib:** 集中控制器（网关）和单灯控制器之间接口；
- Ib1:** 现场控制管理器和单灯控制器之间接口；
- Ic:** 集中控制器（网关）和中心控制管理系统之间接口；
- Ic1:** 现场控制管理器和中心控制管理系统之间接口；
- Ic2:** 现场控制管理器和集中控制器（网关）之间接口；
- Id:** 传感器和单灯控制器或集中控制器（网关）之间接口；
- Ie:** 集中控制器（网关）和其它控制系统（智能家居、楼宇控制、智慧城市）之间接口；
- Ie1:** 中心控制管理系统和其它控制系统（智能家居、楼宇控制、智慧城市）之间接口；
- Ih:** 单灯控制器和中心控制管理系统之间接口。

不同的应用场合使用不同的接口 **Ib** 和 **Ic** 协议，下面章节介绍不同的应用场合所使用的接口协议，其中 **Ic**、**Ic1**、**Ic2**（现场控制管理器是面板开关和遥控器除外）应用层协议一般一致，都是架构在 TCP/IP(传输控制协议/因特网互联协议)上的，只是底层传输层不一样，比如采用无线通信 GSM/3G/4G，或以太网/Wi-Fi 等，在下面章节中不加以区分。

如果现场控制管理器是面板开关，其和集中控制器（网关）之间接口 **Ic2** 和 **Ib** 接口相同。如果现场控制管理器是遥控器，其和集中控制器（网关）之间接口 **Ic2** 为私有接口。

现场控制管理器与单灯控制器之间接口 **Ib1** 和 **Ib** 接口一样。

在道路照明控制系统中，也可以不需要集中控制器（网关），单灯控制器直接接入中心控制管理系统，它们之间的接口 **Ih** 是通过 GSM/3G/4G 传输的轻量协议。

Ie/Ie1 接口必须采用其它系统（比如智能家居、楼宇控制系统等）支持的协议。

本报告主要研究 **Ia**、**Ib**、**Ic** 和 **Id** 接口的标准化。

2 LED 照明控制系统标准化情况

2.1 国际照明控制系统标准化情况

在不同的应用场合，不同的控制单元间有不同的通信协议和方式，LED 照明控制系统的标准化工作也集中在这方面。

照明领域影响较大的国际标准化及学术组织包括 IEC/TC34 灯及相关设备技术委员会、国际照明委员会（CIE）、北美照明学会（IESNA）等，他们发布了 IEC 60929 管形荧光灯用电子镇流器性能要求（0-10V 调光）、IEC 62386 数字可寻址照明接口（DALI, Digital addressable lighting interface）。DALI 和 0-10V 主要应用于单灯控制器和电源之间的接口，或在小型的网络中，单灯控制器和单灯控制器之间的接口。

在舞台灯或景观照明的应用场合，USITT（美国剧院技术协会）定义了从控制台用标准数字接口控制调光器的方式 DMX512。

在工业控制和楼宇控制领域，国际化标准组织也定义了一些控制协议，可以应用在照明控制领域，比如总线协议：KNX、BACnet、Modbus、LonWorks、C-BUS。

在家居照明领域，Wi-Fi、Bluetooth、ZigBee、Z-Wave 和 EnOcean 等都有广泛应用，但是目前市场上影响力较大的是基于 ZigBee 协议的 ZigBee Light Link 标准协议，主要由国际照明巨头飞利浦、欧司朗、GE 等牵头发起，并在全球范围推广。ISO/IEC JCTC1 也发布了 UPnP 协议，意在使家庭网络变得简单，其正在由 DLNA（数字生活网络联盟）进行推广。

在道路照明领域，单灯控制器和集中控制器（网关设备）之间主要采用基于电力载波（PLC）Lonworks 类似和 ZigBee 类似通信方式，集中控制器（网关）与中心控制管理系统之间通过 GSM/3G 接入。在无集中控制器（网关）系统中，单灯控制器可以直接通过 GSM/3G 等方式接入中心控制管理系统。道路照明控制协议方面，TALQ 组织正在制定 TALQ 协议，应用在中心控制管理系统和集中控制器（网关）之间。

作为基础标准，如 Wi-Fi、Bluetooth、6LoWPAN、POE 等通信领域协议，由于其灵活方便和大量应用，也可以作为照明控制协议的底层协议；如 ZigBee、Z-Wave 和 EnOcean，为专业的国际标准论坛组织制定的控制协议，在照明控制上应用广泛。

对于照明控制系统中的传感器，作为物联网的一部分，Zigbee 联盟在开发相应的基于 IEEE802.15.4 的协议，IPSO 也在积极推广基于 IPv6 的协议。

由于照明控制是一个典型的物联网应用，国际巨头纷纷制定物联网协议，将照明控制包括其中，比如有 Google-NEST 牵头的 Thread，Qualcomm 牵头的 Allseen 组织的 AllJoyn 协议，Samsung 等组建的 OIC 联盟，APPLE 发布的 HomeKit。

2.2 中国照明控制系统标准化情况

国内智能照明行业已发展多年，但产业化发展一直比较缓慢，原因有很多方面。一方面国内对智能照明的需求不够强烈，国家没有任何强制性的标准，产业发展一直处于被边缘化状态，导致技术方面无法得到市场的检验和提升；另一方面，各个行业向照明控制领域进行大力渗透，比如从楼宇控制领域进入照明控制，从通信控制领域进入照明控制，并已有多种

解决方案并形成多种标准，对于国内照明行业，其前期集中在 LED 照明灯具本身，还没有大规模开发智能照明系统。到目前为止，国内智能照明行业几乎没有一套有竞争力的适合大规模推广应用的系统，也没有形成完整的国家标准。

在照明控制协议方面，SAC/TC224（全国照明电器标准化技术委员会）已经发布了 DALI 国家标准。一些已经发布的控制协议标准可以借鉴，比如文化部发布的 DMX512 国家标准，SAC/TC124（全国工业过程测量和控制标准化技术委员会）已经发布的 KNX 和 Modbus 国家标准，SAC/TC246（全国电磁兼容标准化技术委员会）正在制定的 BACnet 国家标准。

家居照明作为智能家居的一部分，闪联发布了 IGRS 协议，e 家佳也准备发布 Itophome 协议。中国智能家居产业联盟 CSHIA，SAC/TC426（全国智能建筑及居住区数字化标准化技术委员会）也在进行智能家居方面的标准化工作。海尔也正在大力进行 U+推广，京东进行超级 APP 推广。

为了满足城市道路控制系统市场需求，基于 433M 无线协议已经有大量应用，但是没有进行标准化。住建部在 2012 年开始制定城市道路控制系统标准要求，该标准正在发布当中。CSA 在 2013 年 4 月发布 CSA018《LED 公共照明智能系统接口应用层通信协议》，并于 2013 年 12 月纳入国家标准委国标计划项目。半导体照明技术评价联盟（TEAS）也在进行一些尝试，还有一些地方也在制定一些道路照明控制标准，比如上海、广东。

对于照明控制系统中的传感器标准，传感器作为物联网的一部分，SAC/TC28（全国信息技术标准化技术委员会）的 WGSN 工作在开发相应的协议，SAC/TC124（工业控制和测量标准化委员会）也在进行标准化工作。

随着 LED 照明产业的发展，智能控制与 LED 照明的有机融合必将成为未来照明行业的发展趋势。面对这个新的市场机遇，无论是照明厂家还是智能控制的企业都不应该单打独斗，一盘散沙，应该团结起来，使各个厂家之间的系统、产品真正实现互联互通，相互兼容，共同推进 LED 智能照明行业的高效发展。

2.3 照明控制系统标准化总结

应用在照明控制系统中的协议多样，不同的协议应用在不同的应用场合，涉及到的系统接口协议总结如表 1 所示。

表 1 智能照明控制系统接口协议总结

应用	Ia	Ib	Ic	Id
家居照明	0-10V PWM	DALI Wi-Fi Bluetooth 6LoWPAN Zigbee-ZLL Z-Wave EnOcean UPnP IGRS Itophhome Thread AllSeen (AllJoyn) OIC	架构在TCP/IP上的应用层协议： UPnP IGRS 自定义	Zigbee 基于IEEE802.15.4的IPv6/6LoWPAN RS485 自定义
专业照明	0-10V PWM DALI	DALI KNX BACnet PLC-Lonworks Wi-Fi Bluetooth 6 LoWPAN POE Zigbee-ZHA/ZBA Z-Wave EnOcean	架构在TCP/IP上的应用层协议： KNX BACnet Lonwork 自定义	Zigbee 基于IEEE802.15.4的IPv6/6LoWPAN RS485 自定义
道路照明	0-10V PWM DALI	433M DALI PLC- Lonworks Zigbee类似	架构在TCP/IP的应用层协议： XML/JSON Modbus CSA018 自定义	Zigbee 基于IEEE802.15.4的IPv6/6LoWPAN RS485 自定义
景观照明	0-10V PWM	DMX512 总线协议	DMX512 over TCP/IP 基于TCP/IP或UDP上的总线协议	Zigbee 基于IEEE802.15.4的IPv6/6LoWPAN RS485 自定义

3 LED 照明系统控制协议

3.1 LED 照明系统控制协议介绍

3.1.1 0-10V

0-10V 是一种模拟方式的灯光控制标准。实际上是改变一个 0/1~10V 的电压信号，从而

控制灯光亮度。按照标准规定，当控制信号在 10V 时驱动器输出应该是 100%，通过控制器调小 1~10V 信号，光线将减小，当信号<1V 时光线为最小，当 0V 时有些驱动器将会 OFF。最小 Level 意思是驱动器的最小输出，了解驱动器的最小值非常重要。对于不能在最小时关闭的驱动器，在 AC 回路中增加开关是必须的。

另外，IEC 60929 标准中考虑了控制系统的电流容量问题，规定各驱动器 0/1~10V 信号输入端消耗电流<2mA，意味着一个 50mA 的控制器可以控制 25 个驱动器。

受控制的灯具接收控制器的模拟式 0/1~10V 控制信号范围须符合以下规范（IEC 2729/03 -2731/03）：

- 最高输入电压：10~11V；
- 最低输入电压：0~1V；
- 最小光输出到最大光输出对应的输入电压范围：1~10V；
- 灯具可稳定光输出对应的输入电压范围：0~11V；
- 安全输入电压范围：-20~+20V；
- 受控灯具输入端须具有反向电极保护功能，即受控灯具只能产生最小光输出或者不受控；
- 一个单灯控制器可控制一个或者多个灯具，只要输入到这些灯具的模拟式 0~10V(1~10V)控制信号电压符合以上规范；
- 受控制的灯具不能对单灯控制器产生超出-20~+20V 的电压范围，同时电流也应在 10uA~2mA 之间；
- 受控制的灯具可在任意允许输入的电压下打开(switch on)。

优点：0/1~10V 是目前 LED 驱动电源的主流调光接口，调光平滑、均匀，作为 DALI 等控制系统的调光接口标准。

缺点：电压信号传递可靠性较差，不适合较远距离。对 LED 应用来说，采用 0~10V 调光，意味着需要多种弱电电源，除了 3.3V 或者 5V 外，需要另配 12V 左右的电源，增加了可调光 LED 灯具的成本。

3.1.2 PWM

脉冲宽度调制（Pulse Width Modulation, PWM）是一种对模拟信号电平进行数字编码的方法。PWM 的一个优点是从处理器到被控系统信号都是数字形式的，无需进行数模转换。让信号保持为数字形式可将噪声影响降到最小。

受控制的灯具接收控制器的数字调光信号范围须符合以下规范（IEC 2729/03 - 2731/03）：

- 信号高电平：5V~100V；
- 信号低电平：0~1.5V；
- 信号周期：1~10ms；
- 受控灯具输入端须具有反向电极保护功能，即受控灯具在反向电压输入下不受控；
- 受控灯具的阻抗范围在 1k~10k 欧姆之间；
- 高电平在整个信号周期中持续时间的比例决定受控灯具光输出的百分比。灯具实现

100%的光输出对应的高电平在整个信号周期中持续时间的比例为 0%~6%；灯具实现 1%的光输出或者最低光输出对应的高电平在整个信号周期中持续时间的比例为 94%~96%。当高电平在整个信号周期中持续时间的比例大于 95%时灯具关断；

- 在电流承载范围内，一个单灯控制器可控制一个或者多个灯具，只要输入到这些灯具的 PWM 控制信号电压符合以上规范。

优点：常用于 LED 的调光、调色温和调色彩的数字化控制，控制精度高、成本低、无色偏。

缺点：存在频闪的问题。要求 LED 驱动电源的输出电压不能突变，否则会影响 LED 光源可靠性。一对多的调光时，PWM 的信号可靠性受影响。

3.1.3 DALI

数字可寻址灯光接口 (Digital Addressable Lighting Interface, DALI)，原来在国际标准 IEC60929 中定义，2009 进行了扩充称为 IEC62386，定义的 DALIv1，现在对该标准进行修订，以定义 DALIv2。DALI 定义了电子镇流器与设备控制器之间的通信方式，可以兼容不同厂家符合 DALI 标准的 LED 照明和镇流照明设备。

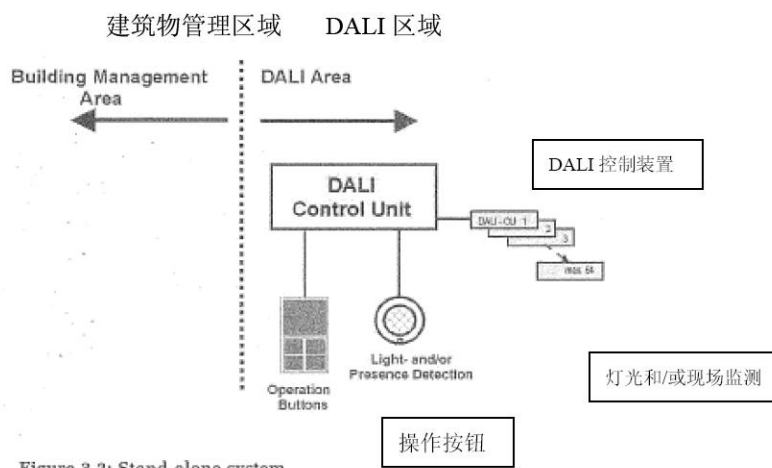


图 2 DALI 系统的架构图



图 3 DALI 控制系统的示意图

DALI 系统典型结构为主从结构，一个 master (主机) 最多可以寻址 64 个 slave (从机)，

DALI 的带宽是 1200bps, 最大传输距离是 300m。智能照明系统中, 产品可以单独存储数据。每个灯具或控制节点部分都有相应地址, 它们会判断相应自己的数据, 可以实现双向通讯方式。DALI 系统仅仅只是作为一个灯光控制的子系统应用, DALI 系统是 KNX 重要的补充系统, KNX 有对应的 DALI 网关支持。

表 2 DALI 协议的分析

类型	DALI 协议
应用范围	控制器之间、控制器和网关
OSI 协议层	物理层, 应用层
拓扑结构	总线和星形
网络类型	主从方式, 中继方式
通信协议	物理层、应用层, 采用低压载波方式作为通信总线, 总线最大可以提供 250mA 的电流给 DALI 设备使用
设备类型	驱动器、控制器、主机
信道访问机制	无 (需自定义)
网络节点数	64 个
传输介质	双绞线
传输速率	1200 bit/s
传输距离	最长距离为 300 米, 并要求最远两端的总线电压降不能超过 2V
系统功耗	低功耗, 长距离通信功耗较高
开发难易	易
参考模块成本	30 元
优点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 控制线路的简单布线; 2. 单个装置 (单一地址) 或类组 (组地址) 的控制是可能的; 3. 在任何时候 (内置的初始运行功能), 整个广播地址所有装置的同时控制是可能的; 4. 由于是简单的数据结构, 因此数据通讯不受干扰; 5. DALI 使用的方式, 特点是无频闪、电磁干扰问题小; 6. DALI 协议为数字信号, 且 1 对应的高电平 >9V, 和 0 对应的低电平 <6.5V 差值较大, 抗干扰能力强, 适合多种干扰较大的地方, 适应性广。
缺点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 协议复杂, 共有 200 多条协议, 不同的灯具还具有特殊功能的扩展协议; 2. 系统支持的节点数较少, 只有 64 个。
发展趋势	DALI 从一开始设计的定位上就定义在非常专业的照明控制系统, 而且是 KNX/EIB、Lonworks 等大型系统的补充。其在 EIB 等大型总线在支持单灯调光控制器上有着自己独特的优势, 而且可以比较有效地利用已经布好的现有的控制线, 对于改造以往的模拟镇流器等是个很好的解决方案。
应用领域	调光照明
代表厂家	西门子(Siemens)、施耐德 (Schneider)、飞利浦、欧司朗、GE

3.1.4 DMX512



图 4 DMX512 控制系统的示意图

DMX512 数据协议是美国舞台灯光协会（USITT）于 1990 年发布的一种灯光控制器与灯具设备进行数据传输的标准。它包括电气特性，数据协议，数据格式等方面的内容。DMX512 电气特性与 RS-485 完全兼容，驱动器/接收器的选择，线路负载和多站配置等方面的要求都是一致的。DMX512 数据协议规定使用 250kbps 的波特率。DMX512 是单向通信，不能反馈执行的状态，但目前通过一对扩展信号线可以全双工（双向通信、同时收发）传输信息。

表 3 DMX512 协议的分析

类型	DMX512 协议
应用范围	控制器之间、控制器和网关
OSI 协议层	1-2 层+应用层
拓扑结构	总线和星形
网络类型	主从方式
通信协议	物理层、应用层，采用 RS485 作为通信总线
设备类型	驱动器、主机
信道访问机制	无（需自定义）
网络节点数	512 个
传输介质	双绞线
传输速率	250kbps
传输距离	500 米
系统功耗	低功耗，长距离通信功耗较高
开发难易	易
参考模块成本	50 元

优点	1. 最大刷新率 44 帧/秒(动态效果), 分组、场景、渐变时间等参数都是储存在主机中, 主机工作量大; 2. 适用于舞台灯光和景观灯光的动态照明领域。
缺点	信号传输率低、传输信号错误率高、只能单向传输 (DMX512-A 标准可以双向传输)、单个控制系统数量有限 (只有 512 个)、琐碎的地址码设定
发展趋势	在景观照明领域得到了较大的发展
应用领域	舞台灯光、景观照明
代表厂家	永林 (Lite-Puter)、光联

3.1.5 KNX/EIB

KNX/EIB (Konnex/ European Installing Bus) 能用于住宅和楼宇控制中所有可能的功能/应用, 包括照明、多种安全系统的关闭控制、加热、通风、空调、监控、报警、用水控制、能源管理、测量, 以及家居用具、音响及其它众多领域。KNX 既能用于小户型住房也能用于大型楼宇 (办公楼、宾馆、会议中心、医院、学校、公寓楼、仓库、机场...)

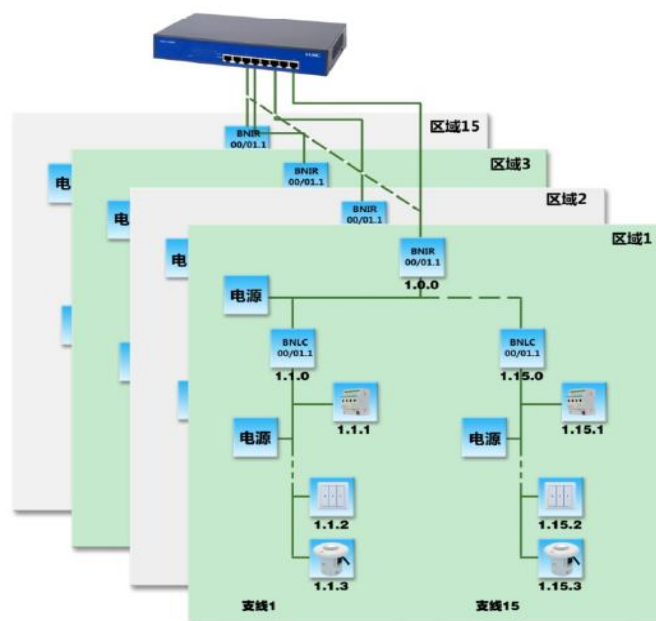


图 5 KNX/EIB 系统的架构图

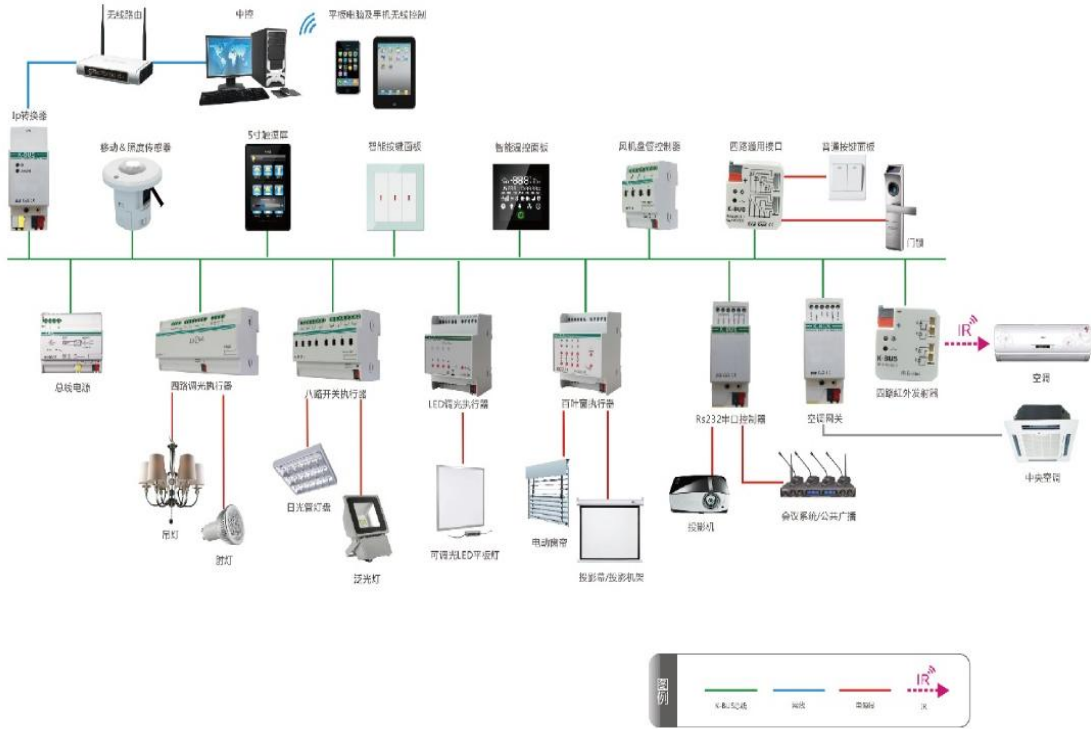


图 6 KNX/EIB 控制系统的示意图

KNX/EIB 支持多种配置模式：

- 简易安装 (E-mode)：不必使用 PC，使用一台中央控制器、编码轮或推钮即可完成配置。E-mode 兼容产品一般都具有有限的功能性和倾向于最小化安装；
- 系统安装 (S-Mode)：通过一台 PC 和已安装的 ETS 软件完成安装和配置计划，ETS 数据库中包含厂商的产品数据。S-mode 倾向于 KNX/EIB 认证计划者和承包商以及大型装置。

KNX/EIB 支持多种通信介质，每种通信介质都能通过一个或多个配置模式连接，每位厂商都可以根据目标市场部分和应用选择适合连接。

- 双绞线 (KNX TP)：可与独立总线电缆交叉传送 KNX，在线路和区域内分级体系；
- 电源线 (KNX PL)：可在现有主要网络上传送 KNX；
- 射频 (KNX RF)：通过无线电信号传送，设备可以是单向或双向的；
- IP/Ethernet (KNX IP)：分布广泛的通信介质可用于符合“KNXnet/IP”规范的联网中。

表 4 KNX/EIB 协议的分析

类型	KNX/EIB 协议
应用范围	控制器之间、控制器和网关、网关和管理控制系统
OSI 协议层	1-7 层
拓扑结构	总线形、星形、树形
网络类型	无中心，对等控制方式
通信协议	EIB 通讯协议遵循 OSI（开放式系统互联参考模型）模型

设备类型	驱动器、传感器、系统设备
信道访问机制	CSMA/CA（具有冲突检测的载波监听多路访问）
网络节点数	一条支线可以接 64 个元件，通过线路耦合器最多可以 15 条支线连接为一个区域，通过干线耦合器（Backbone Line Coupler）可以将 15 个区域连接成一个最大的系统，系统最大可以容纳高达 14400 个元件
传输介质	双绞线、射频、电力线或 IP/Ethernet
传输速率	9.6kbps
传输距离	<1000m
系统功耗	低
开发难易	难
参考模块成本	很高
优点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 线路简单，安装方便，易于维护； 2. 系统具有开放性，可以和其它物业管理系统（BMS），楼宇自控系统（BA），保安及消防系统结合； 3. 可实现单点、双点、多点、区域、群组控制、场景设置、定时开关、亮度手自动调节、红外线探测、集中监控、遥控等多种控制任务； 4. 网络拓扑结构多样； 5. 系统规模较大，适合于大型公建项目。
缺点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 开发难度大； 2. 认证费用较高； 3. 成本较高。
发展趋势	EIB（European Installing Bus）在欧洲的楼宇/家庭自动化标准中占主导地位，全球有 300 余家制造厂商生产 5000 余种 EIB 兼容产品，占据欧洲楼宇，家庭自动化设备销售总额的 80%。
应用领域	用于控制楼宇管理装置，如：照明、遮光/百叶窗、保安系统、能源管理、供暖、通风、空调系统、信号和监控系统、服务界面及楼宇控制系统、远程控制、计量、视频/音频控制、大型家电等；不能用于工业控制
代表厂家	ABB、西门子（Siemens）、施耐德(Schneider)、海格（Hager）

3.1.6 BACnet

楼宇自动控制网络数据通讯协议（A Data Communication Protocol for Building Automation and Control Networks，简称《BACnet 协议》），是由美国暖通、空调和制冷工程师协会(ASHRAE)组织的标准项目委员会 135P(Stand Project Committee, 即 SPC 135P)历经八年半时间开发的。协议是针对采暖、通风、空调、制冷控制设备所设计的，同时也为其它楼宇控制系统（例如照明、安保、消防等系统）的集成提供一个基本原则。

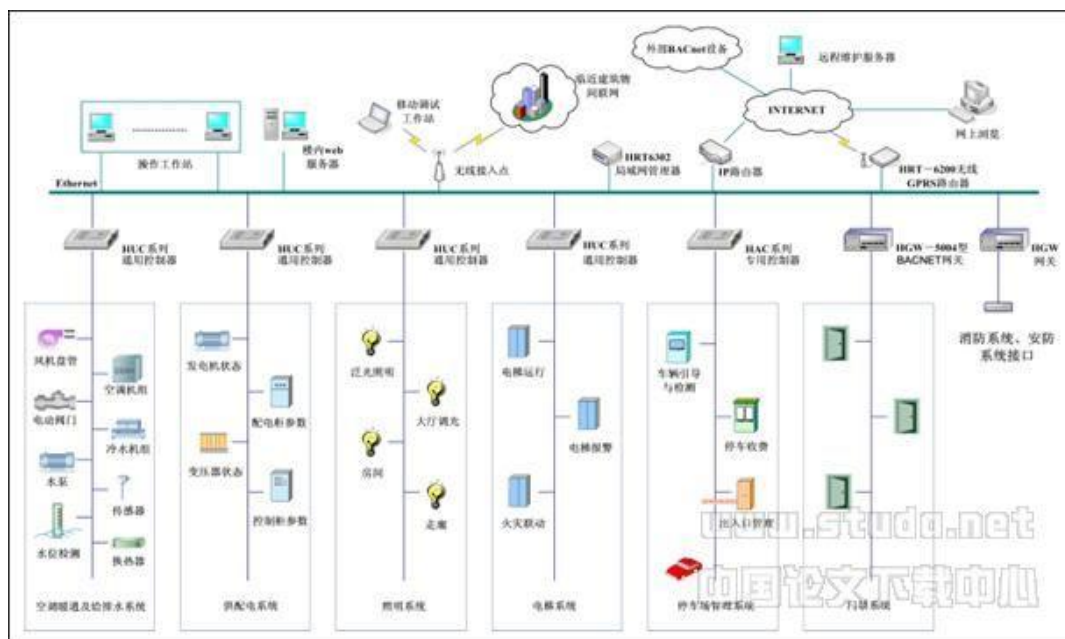


图 7 BACnet 系统架构图

表 5 BACnet 协议的分析

类型	BACnet 协议
应用范围	控制器之间、控制器和网关、网关和管理控制系统
OSI 协议层	应用层、网络层、数据链路层、物理层
拓扑结构	总线形、星形、树形
网络类型	除了主从/令牌传递式从属机 (MS/TP slaves: master-slave/token-passing slaves) 以外，都是对等的 (Peer)
通信协议	BACnet 协议
设备类型	网桥、路由器、中继器、半路由器
信道访问机制	
网络节点数	不限制
传输介质	ARCNET (ARCNET)、以太网、BACnet/IP、RS-232 上的点对点通信 (Point-to-point (telecommunications))、RS-485 上的主站 - 从站 / 令牌传递 (Master-Slave/Token-Passing, 简称 MS/TP) 通信、LonTalk (LonTalk)
传输速率	2.5Mbps 同轴电缆, 100Mbps 以太网
传输距离	/
系统功耗	低
开发难易	难
参考模块成本	/
优点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完全开放的协议，由非盈利组织制定； 2. 专用于楼宇自控网络； 3. 具有良好的互连特性和扩展性；

	4. 良好的伸缩性，没有限制系统节点数。
缺点	<ol style="list-style-type: none"> 1. BACnet 在定义了公用的强制使用属性外，还有选项属性。原来为了锁定用户在自己的产品上，生产厂家都致力于开发自有的可选择属性，这些属性具有专一性。那么，公用的对象属性可以由不同的厂家的产品共享。而专有的属性就不能共享。这为开放性带来了负面的影响； 2. 另外，BACnet 定义了庞大的复杂的对象及属性。这使得用户配置控制系统很难。这样供应商又成了系统的维护者，用户必须不断投资来保证系统的更新与扩展。
发展趋势	近几年发展不如 KNX
应用领域	针对暖通空调、给排水、消防、保安等楼宇系统设计，它提供各种楼宇设备模型，使各种设备能互操作和协同工作
代表厂家	霍尼韦尔（Honeywell）

3.1.7 ModBus

Modbus 是由 Modicon（现为施耐德电气公司的一个品牌）在 1979 年发明的，是全球第一个真正用于工业现场的总线协议。标准的 Modbus 口是使用 RS-232-C 兼容串行接口，它定义了连接口的针脚、电缆、信号位、传输波特率、奇偶校验。控制器能直接或经由 Modem 组网。

控制器通信使用主从技术，即仅一设备（主设备）能初始化传输（查询）。其它设备（从设备）根据主设备查询提供的数据作出相应反应。典型的主设备：主机和可编程仪表；典型的从设备：可编程控制器。

主设备可单独和从设备通信，也能以广播方式和所有从设备通信。如果单独通信，从设备返回一消息作为回应，如果是广播方式查询的，则不作任何回应。Modbus 协议建立了主设备查询的格式：设备（或广播）地址、功能代码、所有要发送的数据、错误检测域。

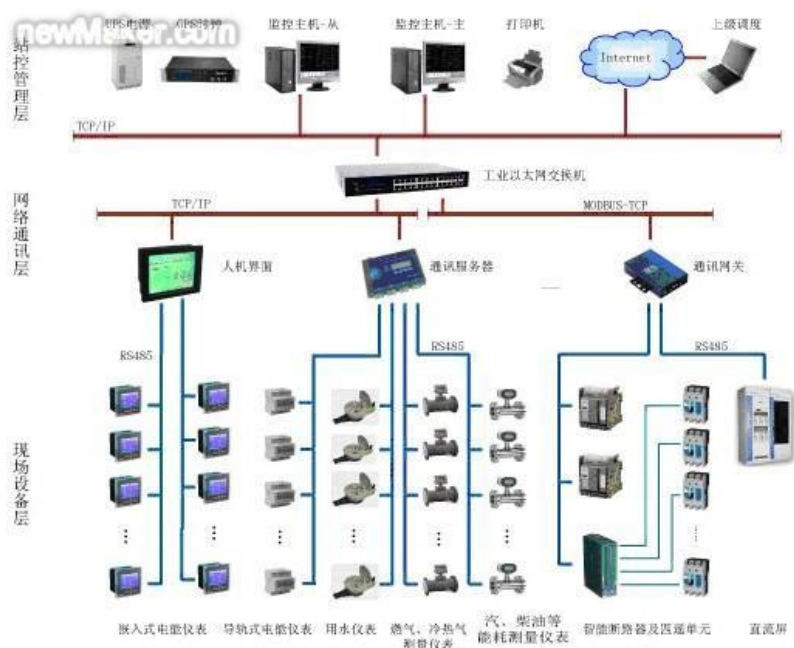


图 8 基于 ModBus 协议的系统网络架构

从设备回应消息也由 Modbus 协议构成，包括确认要行动的域、任何要返回的数据和错误检测域。如果在消息接收过程中发生错误，或从设备不能执行其命令，从设备将建立错误消息并把它作为回应发送出去。

表 6 ModBus 协议的分析

类型	Modbus 协议
应用范围	控制器之间、控制器和网关、网关和管理控制系统
OSI 协议层	物理层，链路层，应用层
拓扑结构	总线形
网络类型	主从方式
通信协议	架构在 RS485 上的 Modbus 和架构在 TCP/IP 上的 Modbus
设备类型	电气节点 ECU，终端匹配
信道访问机制	无（需自定义）
网络节点数	32 个
传输介质	双绞线
传输速率	300~115.2kbps
传输距离	<1.2km
系统功耗	低功耗，长距离通信功耗较高
开发难易	易
参考模块成本	10 元
优点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 为检测仪表间通信所设计，差动基带方式，线路简单，造价低廉适宜作近距离通信； 2. 主从控制方式简单，比较适合于一个集中区域的工业设备的控制及监测，较多的工业设备支持该协议。
缺点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 主站轮询的方式进行，系统的实时性、可靠性较差； 2. 网络节点数量只有 32 个； 3. 信号幅度小，峰值只有零点几伏，抗干扰能力差； 4. 当系统有错误，出现多节点同时向总线发送数据时，导致总线瘫痪； 5. 不能连接树状总线。
发展趋势	随着计算机网络的发展，RS-485 网络总线将完全被 CAN-bus 取而代之
应用领域	各种控制领域
代表厂家	河东（HDL）

3.1.8 PLC-Lonworks

电力载波通讯（Power line Communication，PLC）是电力系统特有的通信方式，电力载波通讯是指利用现有电力线，通过载波方式将模拟或数字信号进行高速传输的技术。

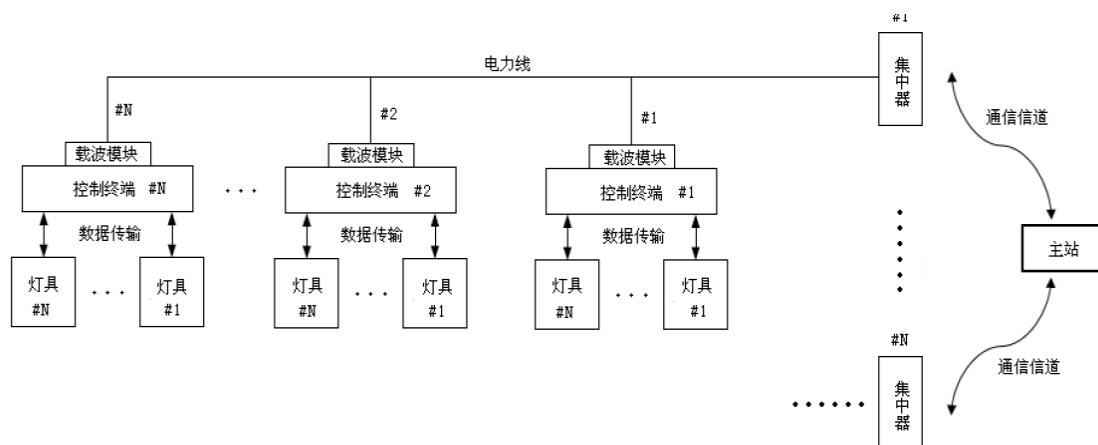


图 9 PLC 道路控制系统的架构图

PLC 的最大特点：不需要重新架设网络，只要有电线，就能进行数据传递，无疑成为解决智能家居数据传输的最佳方案之一。同时因为数据仅在家庭这个范围中传输，束缚 PLC 应用的 5 大困扰将在很大程度上减弱，远程对家电的控制也能通过传统网络先连接到 PC 然后再控制家电方式实现。

表 7 PLC 协议的分析

类型	PLC 协议
应用范围	控制器之间、控制器和网关之间
OSI 协议层	Lonworks: 1-7 层
拓扑结构	不限
网络类型	多主方式
通信协议	基于芯片的 PLC-BUS 通信协议 Lonworks-ISOIEC14908-x
设备类型	发射器、接收器和系统配套设备
信道访问机制	CSMA-CA
网络节点数	9999 台集中控制器，256 万单灯
传输介质	电力线，4~60Hz 跳频，同相线
传输速率	5500bps，载波频率 132kHz
传输距离	<500m
系统功耗	低
开发难易	难
参考模块成本	100 元
优点	复用电源线来传输数据，不用重新再铺通讯线，施工方便
缺点	受电网的干扰较大，同时也会污染电网，需在电网中同一个变压器范围内进行数据传输，通过变压器需要特殊设备
发展趋势	道路控制系统中的应用趋势比较明显
应用领域	道路控制等照明控制领域
代表厂家	深圳华智测控（Chinawisest）、浙江方大（Fonda）

3.1.9 Wi-Fi

无线网络是一种能够将个人电脑、手持设备（如 PDA、手机）等终端以无线方式互相连接的技术。Wi-Fi 是一个无线网络通信技术的品牌，由 Wi-Fi 联盟(Wi-Fi Alliance)所持有。目的是改善基于 IEEE802.11 标准的无线网络产品之间的互通性。有人把使用 IEEE 802.11 系列协议的局域网就称为无线保真，甚至把无线保真等同于无线网际网络（Wi-Fi 是 WLAN 的重要组成部分）。



图 10 Wi-Fi 网络的示意图

一般架设无线网络的基本配备就是无线网卡及一台 AP，如此便能以无线的模式，配合既有的有线架构来分享网络资源，架设费用和复杂程度远远低于传统的有线网络。如果只是几台电脑的对等网，也可不要 AP，只需要每台电脑配备无线网卡。AP 为 Access Point 简称，一般翻译为“无线访问接入点”，或“桥接器”。它主要在媒体存取控制层 MAC 中扮演无线工作站及有线局域网的桥梁。有了 AP，就像一般有线网络的 Hub 一般，无线工作站可以快速且轻易地与网络相连。特别是对于宽带的使用，无线保真更显优势，有线宽带网络(ADSL、小区 LAN 等)到户后，连接到一个 AP，然后在电脑中安装一块无线网卡即可。普通的家庭有一个 AP 已经足够，甚至用户的邻里得到授权后，则无需增加端口，也能以共享的方式上网。

表 8 Wi-Fi 协议的分析

类型	Wi-Fi 协议
应用范围	控制器之间、控制器和网关之间
OSI 协议层	物理层、链路层
拓扑结构	星形，Adhoc 自组网结构
网络类型	主从方式

通信协议	IEEE 802.11a/b/g/n
设备类型	AP、P2P
信道访问机制	CSMA/CD
网络节点数	每个路由器可支持十几个节点
传输介质	2.4 GHz
传输速率	几十 M-几百 Mbps, Gbps
传输距离	10~75m
系统功耗	功耗较大, 但是目前应用在控制领域的 Wi-Fi 功耗较低
开发难易	中
参考模块成本	40 元
优点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 全球通用的无线宽带网络标准; 2. 几乎所有智能终端设备都支持 Wi-Fi 通信; 3. 无需额外的网关接入互联网。
缺点	<ol style="list-style-type: none"> 1. Wi-Fi 传输的安全性较低; 2. 无线 AP 支持的节点数量有限; 3. Wi-Fi 功耗还是较大, 有待改进, 手持式设备待机时间短。
发展趋势	随着 Wi-Fi 芯片的价格和功耗不断降低, Wi-Fi 在智能家居等领域发展的速度相当快
应用领域	智能单品、智能家居等领域
代表厂家	庆科 (MXCHIP)、博联 (BroadLink)、汉枫 (HF)

3.1.10 Bluetooth

蓝牙系统采用一种灵活的无基站的组网方式,使得一个蓝牙设备可同时与 7 个其它的蓝牙设备相连接。基于蓝牙技术的无线接入简称为 BLUEPAC (Bluetooth Public Access), 蓝牙系统的网络结构的拓扑结构有两种形式: 微微网 (Piconet) 和分布式网络 (Scatternet)。

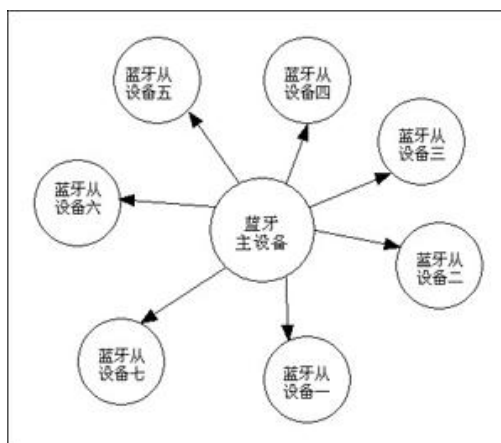


图 11 Bluetooth 系统的架构图

微微网是通过蓝牙技术以特定方式连接起来的一种微型网络,一个微微网可以只是两台相连的设备,比如一台便携式电脑和一部移动电话,也可以是 8 台连在一起的设备。在一个

微微网中,所有设备的级别是相同的,具有相同的权限。蓝牙采用自组式组网方式(Ad-hoc),微微网由主设备(Master)单元(发起链接的设备)和从设备(Slave)单元构成,有一个主设备单元和最多7个从设备单元。主设备单元负责提供时钟同步信号和跳频序列,从设备单元一般是受控同步的设备单元,接受主设备单元的控制。

分布式网络是由多个独立的非同步的微微网组成的,以特定的方式连接在一起。一个微微网中的主设备单元同时也可以作为另一个微微网中的从设备单元,这种设备单元又称为复合设备单元。蓝牙独特的组网方式赋予了它无线接入的强大生命力,同时可以有7个移动蓝牙用户通过一个网络节点与因特网相连。它靠跳频顺序识别每个微微网。同一微微网所有用户都与这个跳频顺序同步。

蓝牙分布式网络是自组网(ad hoc networks)的一种特例。其最大特点是可以无基站支持,每个移动终端的地位是平等的,并可独立进行分组转发的决策,其建网灵活性,多跳性、拓扑结构动态变化和分布式控制等特点是构建蓝牙分布式网络的基础。

表 9 Bluetooth 协议的分析

类型	Bluetooth 协议
应用范围	控制器之间、控制器和网关之间
OSI 协议层	物理层、链路层
拓扑结构	点对点、星型
网络类型	多主方式,实现网状结构通信
通信协议	IEEE802.11.6, Bluetooth4.0
设备类型	主节点、从节点
信道访问机制	/
网络节点数	7 个
传输介质	2.4 GHz
传输速率	24Mbps
传输距离	10m
系统功耗	低功耗
开发难易	中
参考模块成本	20 元
优点	1. 支持语音和数据传输; 2. 采用跳频展频技术,抗干扰性强,不易窃听; 3. 功耗低、成本低。
缺点	网络节点支持数量少。不支持路由功能。
发展趋势	智能手环、智能单品、智能照明等智能家居领域得到广泛应用,尤其是蓝牙音箱等产业得到快速发展
应用领域	手机、游戏机、手表、PC、医疗保健、汽车、家用电子、自动化和工业等
代表厂家	Yeelight(伊登)、飞利浦(Philips)

3.1.11 6LoWPAN

6LoWPAN是IETF定义在无线微功率IEEE802.15.4上支持IPv6协议，其定义了IPv6到IEEE802.15.4的封装协议，IPv6上的路由协议Roll和应用层协议语言COAP。

虽然关于6LoWPANW网络的一些技术标准相继颁布，但由于无线传感器网络需求本身的多样性和复杂性，仍存在大量的与实际应用需求密切相关的关键技术问题亟待解决，主要包括：

- 低功耗有损网络环境下的 IPv6 适配层协议。6LoWPAN 标准只制定了 IPv6 报文在 IEEE 802.15.4 上的无线链路报文传输协议，主要包括报文封装格式、压缩和分片等。但是无法支持更多的服务质量需求，尚无法涵盖实时性、确定性等性能指标；
- 低功耗有损网络环境下的路由协议。ROLL 工作组所制定的 RPL 路由机制考虑了无线传感网的节点资源受限、低功耗，可靠性、以及资源动态变化等特点，但是在 MESH 网络中可能存在更多的路由协议衡量指标，这些指标是某些应用环境下的重要服务质量指标；
- 资源受限环境下的 IPv6 安全技术。在 IPv6 无线传感网中如何制定安全的访问方法和如何实施加密机制，并且考虑 IPv6 传感器节点的资源受限特点，值得进行深入的研究和探索；
- 适用于 IPv6 无线传感网的网络管理协议。IPv6 协议的应用使得无线传感器节点也能够使用基于 IP 的各种网络管理协议。这些协议经过互联网多年的实践验证和检验，具有成熟度高、管理效果好的特点。但考虑到传感器节点的存储空间和计算能力受限，一些在 Internet 上运行良好的网络管理协议，需要加以改进和拓展才能满足传感器节点管理的需求，这就提出了 IPv6 无线传感网网络管理及其优化的问题；
- 基于 IPv6 技术的物联网应用层协议。在互联网中，应用层和底层通信采用套接字接口，但是在 IPv6 传感网中，子网还需要进行网络性能管理和设备管理等服务，所以有必要为应用层制定统一的应用子层协议，作为统一的服务接口；
- IPv6 移动性支持。在互联网中，主机通常是固定的，但是在无线网络中，通常无线节点都是移动的。当前的 IPv6 移动性支持协议都比较复杂，不适合于资源受限的传感器节点，所以需要研究 IPv6 传感网的移动性支持方案；
- IPv6 无线传感网与 Internet 的互联互通框架与关键技术。物联网与 Internet 之间的互联互通与融合是网络发展的趋势。为了实现这一目标，基于 IPv6 技术的异构网络互通体系结构与关键技术成为需要重点解决的问题。

表 10 6LoWPAN 协议的分析

类型	6LoWPAN 协议
应用范围	控制器之间、控制器和网关之间
OSI 协议层	2-3 层
拓扑结构	星型、树状、线性
网络类型	多主方式
通信协议	基于 802.15.4 MAC 和 PHY 以及 6LoWPAN IPv6 IETF 标准，向后兼容 IPv4
设备类型	协调器，路由，终端
信道访问机制	CSMA-CA（载波监听多路访问-避免碰撞的信道访问机制）
网络节点数	基于自我修复的树状结构，“mesh-under”路由支持多达 500 个节点
传输介质	2.4 GHz
传输速率	10~250kbps
传输距离	100m
系统功耗	活动时最低功耗可达 18mA,深度睡眠时可达 01.uA (终端可休眠，路由设备选择性休眠)
开发难易	中
参考模块成本	80 元
优点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 低功耗，低成本，高级网络管理和自我修复机制 2. 针对照明和建筑优化设计； 3. 基于标准的因特网协议，支持 IPv6 和 IPv4； 4. 支持在线 OND，通过网络进行固件升级； 5. 协调器交换机制，无单点故障。
缺点	<ol style="list-style-type: none"> 1. IPv6 在国内应用普及不高，主要使用 JenNet-IP 中的 IPv4 部分； 2. 推出时间较短，国内市场验证度不足。
发展趋势	被认为是下一代新兴智能应用的理想无线通信协议，该技术有助于进一步实现物联网理念
应用领域	智能照明、智能建筑、智能家庭
代表厂家	恩智浦（NXP）、IBM、立达信（Leedarson）、强凌（TCP）

3.1.12 POE

以太网供电（Power Over Ethernet, POE）系统是通过以太网交换机传输照明控制信号的同时还给照明电器供电，其安装简单，成本低，其示意图如图 12 所示。

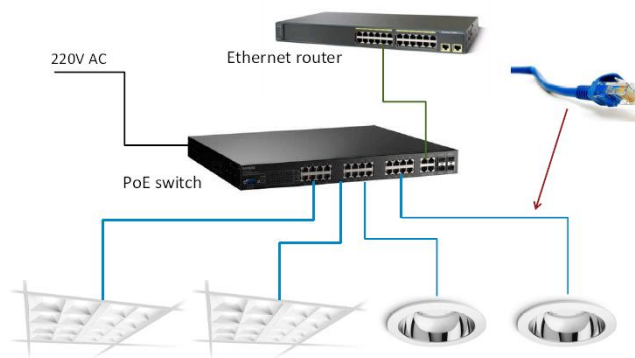


图 12 POE 照明控制系统的示意图

POE 遵循 IEEE802.3af 和 IEEE802.3at, 具体参数如表 11 所示。

表 11 POE 标准

分类	802.3af(PoE)	802.3at(PoE Plus)
分级	0~3	4 only and Layer 2
伏特数	44~57V DC	50~57V DC
缆线	Unstructured	CAT-5 or better
对线数	2	2
受电设备功率 (W)	13	30
电流 (0mA)	350	720
主要应用	网络电话 (3-7W)、WLAN 接入点 (8-12W) 等	LED 照明, 视频网络电话 (10-20W)、PTZ 视频监控系统(20W)、WiMAX 和 802.11n 接入器(8~45W)、个人电脑 (30W+) 等

3.1.13 ZigBee

ZigBee 是一种新兴的短距离、低功耗、低数据速率、低成本、低复杂度的无线网络技术; ZigBee 继承了 IEEE 802.15.4 强有力的无线物理层所规定的全部优点: 省电、简单、成本又低的规格; ZigBee 增加了逻辑网络、网络安全和应用层; ZigBee 和 802.15.4 标准都适合于低速率数据传输, 最大速率为 250kbps, 与其它无线技术比较, 适合传输距离相对较近的场所。

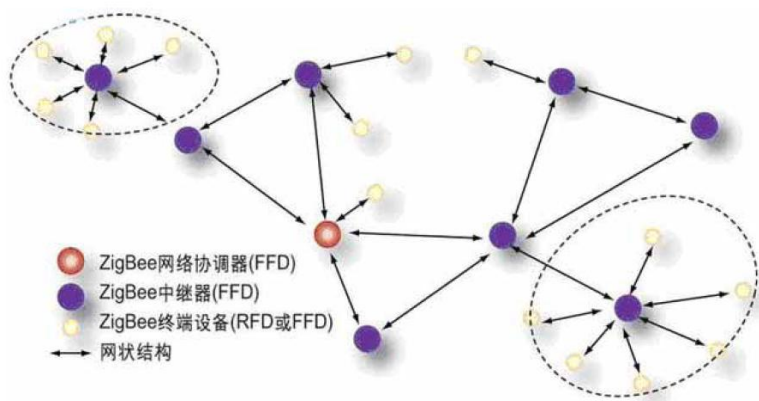


图 13 ZigBee 无线网络的拓扑结构

ZigBee 无线技术适合组建 WPAN 网络，就是无线个人设备的联网，对于数据采集和控制信号的传输是非常合适的。

ZigBee 技术具有强大的组网能力，可以形成星型、树型和 MESH 网状网，可以根据实际项目需要来选择合适的网络结构。MESH 网状网络拓扑结构的网络具有强大的功能，网络可以通过“多级跳”的方式来通信；该拓扑结构还可以组成极为复杂的网络；网络还具备自组织、自愈功能；星型和族树型网络，适合多点到多点、距离相对较近的应用。

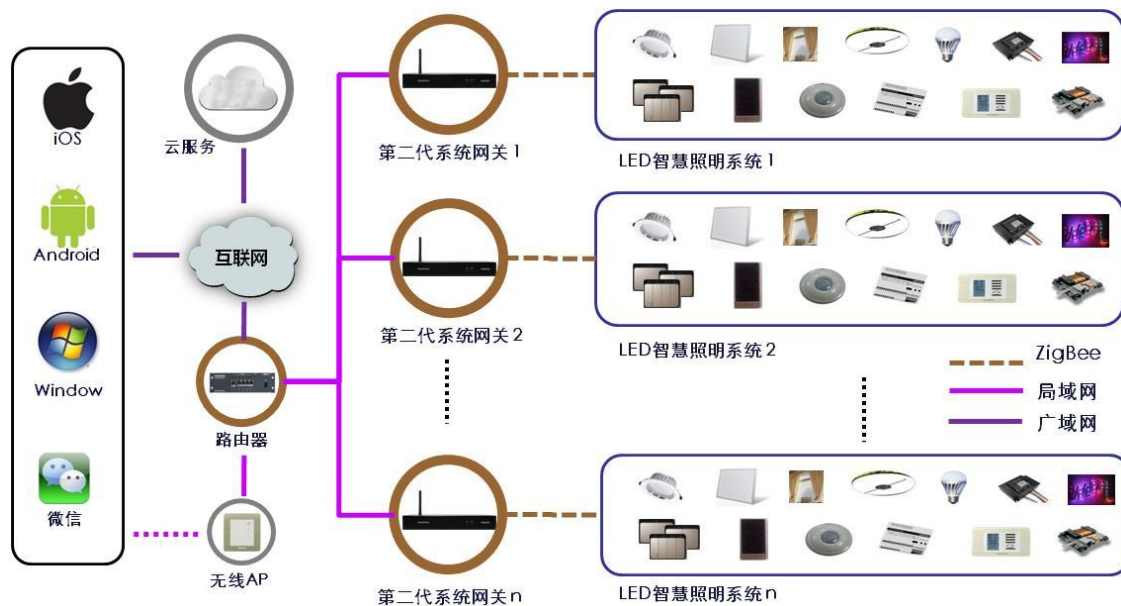


图 14 ZigBee 照明控制系统的示意图

表 12 ZigBee 协议的分析

类型	ZigBee 协议
应用范围	控制器之间、控制器和网关之间
OSI 协议层	物理层、链路层、网络层、应用层
拓扑结构	星形、树形、网状
网络类型	多主方式，实现网状结构通信
通信协议	基于 802.15.4 的短程无线通信协议，包括物理层、数据链路层、网络层和应用层
设备类型	拥有一个协调器，多个路由器和多个终端设备
信道访问机制	CSMA-CA（载波监听多路访问-避免碰撞的信道访问机制）
网络节点数	每个路由器可支持 256 个节点，一个协调器支持 256 个路由器（也就最多可支持 65536 个节点）
传输介质	2.4GHz
传输速率	10~250 kbps
传输距离	10~75m
系统功耗	非常小（单节点两节 5 号干电池可工作 6 个月~2 年）
开发难易	中
参考模块成本	40 元
优点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 低功耗、低成本，网络规模大； 2. 提供数据加密，安全性好； 3. 自由组网，可扩展性好； 4. 多主通信，效率较高； 5. 无线通信，无需布专线，安装方便，故障隔离性好。
缺点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 需单独节点供电； 2. 相对于有线方式，无线通信受干扰概率高，可靠性相对低； 3. 通信距离较短(<100m)； 4. 通信速率较低(<250Kbp/s)。
发展趋势	芯片解决方案已步入商用。在中国，ZigBee 技术有可能率先在家居智能控制领域得到应用
应用领域	无线传感器网络应用领域、各种传感器信息采集，三表抄收等智能建筑领域
代表厂家	飞利浦（Philips）、欧司朗（OSRAM）、TI、ATMEL

3.1.14 Z-Wave

Z-Wave 是一种新兴的基于射频的、低成本、低功耗、高可靠、适于网络的短距离无线通信技术。工作频段为 908.42MHz(美国)，868.42MHz(欧洲)，采用 FSK(BFSK/GFSK)调制方式，数据传输速率为 9.6 kbps，信号的有效覆盖范围在室内是 30m，室外可超过 100m，适合于窄带宽应用场合。随着通信距离的增大，设备的复杂度、功耗以及系统成本都在增加，

相对于现有的各种无线通信技术，Z-Wave 技术将是最低功耗和最低成本的技术，有力地推动着低速率无线 TKBHOME 的个人区域网发展。



图 15 Z-Wave 系统的架构图



图 16 Z-Wave 控制系统的示意图

表 13 Z-Wave 协议的分析

类型	Z-Wave 协议
应用范围	控制器之间、控制器和网关之间
OSI 协议层	物理层、链路层、网络层、应用层
拓扑结构	网状
网络类型	多主方式，实现网状结构通信
通信协议	Z-Wave 协议
设备类型	控制节点和受控节点
信道访问机制	CSMA-CA（载波监听多路访问-避免碰撞的信道访问机制）
网络节点数	232 个节点(Slave)
传输介质	908.42MHz(美国)，868.42MHz(欧洲)
传输速率	最高 100kb/s
传输距离	室内是 30m，室外可超过 100m

系统功耗	低功耗
开发难易	中
参考模块成本	80 元
优点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 采用更简单的协议，开发更快也更简单； 2. 始终专注于家庭应用，目标应用领域更明确，因而其协议结构也相对简单的多； 3. 运行在更低的工作频率下，因此 Z-Wave 传输距离比 ZigBee 更大，连接也更稳定。
缺点	<ol style="list-style-type: none"> 1. Z-Wave 芯片只能通过 SigmaDesigns 这一唯一来源获取； 2. SigmaDesigns 只卖给 OEM、ODM 和其它主要客户； 3. Z-Wave 则相对封闭、门槛较高，所以采用 Z-Wave 技术的设计、生产厂商相对 Zigbee 少得多。
发展趋势	Z-Wave 是一种结构简单，成本低廉，性能可靠的无线通信技术，通过 Z-Wave 技术构建的无线网络，不仅可以通过本网络设备实现对家电的遥控，甚至可以通过 Internet 网络对 Z-Wave 网络中的设备进行控制
应用领域	Z-Wave 凭借在低成本、组网的安全性和灵活性（地址分配）等方面的优势，加快了产品的商业化，抢占家用市场。随着技术的进一步发展，有望打造出具备无线家庭网络及相关应用所需的覆盖范围、数据率和信号强度的完整解决方案，相信在不远的将来，越来越多的 Z-Wave 产品不仅将进入人们的生活，也会进军工业、医疗等其它领域
代表厂家	思科(CISCO)、英特尔 (Intel)

3.1.15 EnOcean

2012年3月，国际电工委员会(IEC)将 EnOcean 无线通信标准采纳为国际标准“ISO/IEC 14543-3-10”，这也是世界上唯一使用能量采集技术的无线国际标准。该标准规范了协议栈中最底3层：物理层、数据链路层和网络层的通讯协议。易能森(EnOcean)无线能量采集模块由德国易能森有限公司(EnOcean GmbH)生产销售，并为易能森联盟(EnOcean Alliance)成员提供技术支持。基于这个平台，原始设备生产商可以轻松且快速实现定制化的基于无线能量采集技术的无线开关传感解决方案。



图 17 EnOcean 系统的架构图

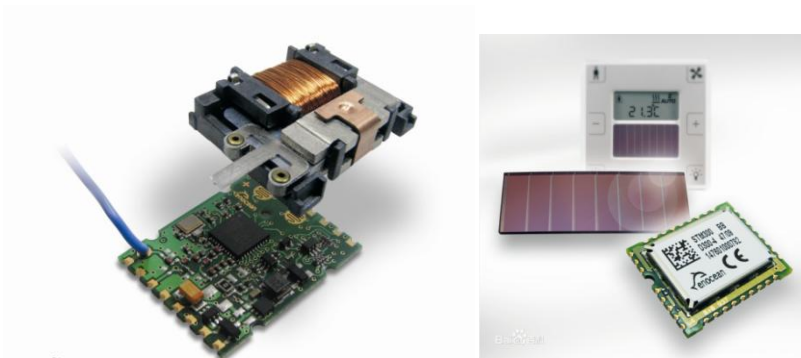


图 18 EnOcean 系统的产品示意图

3.1.16 UPnP

通用即插即用(Universal Plug and Play, UPnP)是各种各样的智能设备、无线设备和个人电脑等实现遍布全球的对等网络连接 (P2P) 的结构。UPnP 是一种分布式的、开放的网络架构。UPnP 是独立的媒介,任何操作系统中,利用任何编程语言都可以使用 UPnP 设备。

UPnP 定义了服务、设备和控制点的基本组件。其组件图如图 19 所示。

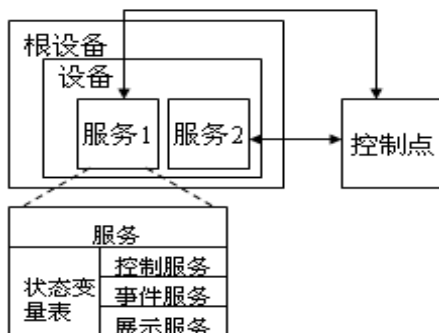


图19 UPnP组件图

UPnP 定义了设备之间、设备和控制点、控制点之间通讯的协议。完整的 UPnP 由设备寻址、设备发现、设备描述、设备控制、事件通知和基于 Html 的描述界面几部分构成。UPnP 设备协议栈如图 20 所示。

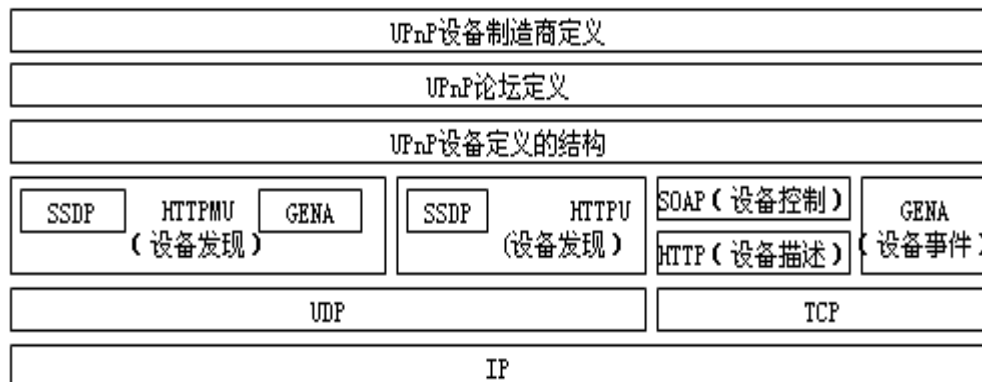


图20 UPnP协议栈

UPnP 协议结构最底层的 TCP/IP 协议是 UPnP 协议结构的基础。IP 层用于数据的发送

与接收。对于需要可靠传送的信息，使用 TCP 进行传送，反之则使用 UDP。UPnP 对网络物理设备没有要求，可以使用以太网、无线网、IEEE1394、红外进行连接，只要支持 IP 协议即可。同时，UPnP 还可以使用 TCP/IP 协议族中的其它协议，如 ARP、IGMP、DHCP、DNS 等。

构建在 TCP/IP 协议之上的是 HTTP 协议及其变种，这一部分是 UPnP 协议的核心部分，所有 UPnP 消息都被封装在 HTTP 协议及其变种之中。HTTP 协议的变种是 HTTPU 和 HTTPMU，这些协议的格式沿袭了 HTTP 协议，只不过与 HTTP 协议不同的是它们通过 UDP 而不是 TCP 来发送消息，并且可以用于多播通信。□

3.1.17 IGRS

2003 年 7 月 17 日，由信息产业部科技司批准，以联想、TCL、康佳、海信、长城五家企业发起、7 家单位共同参与的“信息设备资源共享协同服务”标准工作组正式成立（简称 IGRS 标准工作组），该工作组制定了 IGRS1.0 协议，正在制定 IGRS2.0。IGRS 由三部分组成：核心基础协议组、智能应用框架和特色应用。

IGRS 标准是建立在 TCP/IP 协议之上的应用层协议，它是在更高一级实现不同的硬件和软件系统的一个统一，可以方便地将信息设备和传统的电器有效互联，自动发现和寻找可以利用的设备和功能，以一种简单的方式安装并使用。

其主要控制对象为：家庭中的 3C 设备（互联网使能电视、家庭存储 NAS、电子相框、家庭控制中心、IPCamera），移动中的 3C 设备（MID/UMPC、手机），办公室中的 3C 设备（网络打印机、笔记本电脑、VoIP 电话）。应用场景如图 21 所示。

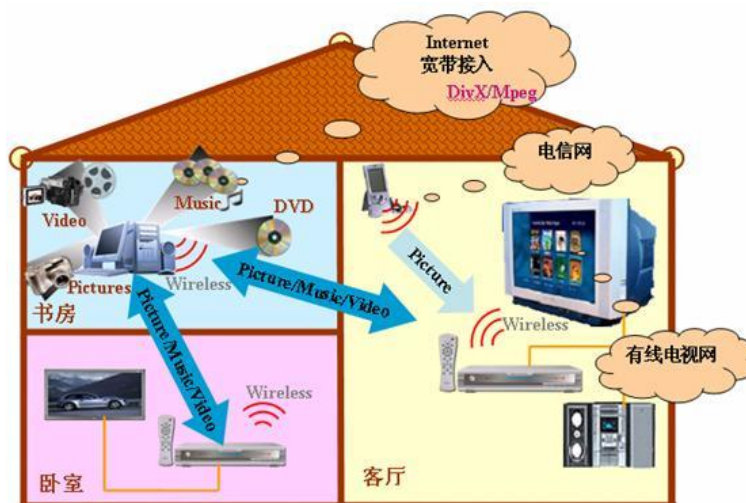


图21 IGRS应用场景

3.2 现有主流使用协议

在3.1部分为LED照明系统涉及的协议，而并不是所有协议均在LED照明系统中广泛应用，本部分对现有主流使用的协议做一个简单分析，随着不同协议技术发展的不均衡性，主流使用协议可能会有变更，这里的分析供参考。

单灯控制器和电源之间接口Ia协议基本上使用0-10V和PWM或DALI;单灯控制器和传感器之间接口Id协议主要是自定义协议;对于家居照明、专业照明、道路照明、景观照明系统中的接口Ib和Ic协议的现有主流使用协议分析如表14所示。

表 14 LED 照明控制系统接口现有主流使用协议

应用	Ia	Ib	Ic	Id
家居照明	0-10V PWM	Wi-Fi ZLL	定义基于 TCP/IP 上的应用层协议	自定义
专业照明	0-10V PWM DALI	DALI KNX BACnet ZHA/ZBA POE	定义基于 TCP/IP 上的应用层协议 KNX BACnet	自定义
道路照明	0-10V PWM DALI	PLC 改进 Zigbee 改进	定义基于 TCP/IP 上的应用层协议	自定义
景观照明	0-10V PWM	DMX512	TCP/IP 或 UDP 上的 DMX512	自定义

家居照明系统中,单灯控制器和集中控制器(网关)之间的控制协议Ib广泛使用的为 Zigbee light Link、Wi-Fi协议,而中心控制管理系统CMS和集中控制器(网关)之间的通信网络是基于现有的TCP/IP协议,不涉及到底层的通信网络,因此可以作为标准的突破口,定义应用层协议,例如采用目前通用的数据通信协议语言XML(可扩展标记语言)作为通信协议的标准格式,通过HTTP传输协议进行数据的传输,实现不同设备和系统能通过服务器实现互联互通。

专业照明控制系统中,要充分考虑和楼宇系统的对接和兼容,单灯控制器和集中控制器(网关)之间的控制协议Ib可以采用DALI、Zigbee-ZHA/ZBA、BACnet、KNX、POE等。对于集中控制器(网关)和中心控制管理系统之间是基于TCP/IP的,不涉及到底层的通信网络,可以考虑使用KNX、BACnet或定义应用层协议。

户外道路照明系统中,集中控制器(网关)和单灯控制器之间的接口Ib采用改进的Zigbee或PLC协议,集中控制器(网关)和中心控制管理系统CMS之间接口Ic定义基于TCP/IP协议上的应用层协议,比如自定义或例如采用目前通用的数据通信协议语言XML(可扩展标记语言)作为通信协议的标准格式,通过HTTP传输协议进行数据的传输,实现不同设备和系统能通过服务器实现互联互通。

景观照明系统中的Ib接口采用DMX512,Ic接口建议采用架构在TCP/IP或UDP上的DMX512,在低成本的解决方案中,也可以采用总线协议。

4 LED 照明控制系统标准化问题与挑战

4.1 缺乏统一接口协议标准

4.1.1 集中控制器（网关）和单灯控制器之间接口（Ib）协议的多样性

目前，行业内没有通用的通信协议，有多种通信协议，每种通信协议都有相应的产业链支持，而且其应用层协议不一样。各厂家之间的灯具和控制设备不可替换。LED 照明系统采用不同的或相同的通讯协议，如 DALI、Zigbee、PLC，还有楼宇自动化控制协议等，无论是相同协议还是不同协议，均存在系统的可互换、可通信等问题。不同场景照明系统的应用层通信协议通信方式、地址维护方式、数据包格式、命令格式和交互方式不统一。

需要制定该接口的协议标准，促进照明控制系统向模块化、标准化、可替换、适用范围广的方向发展。标准化工作可参考一般通信协议的分层模式，首先确定一种或几种物理通信介质的规范，即选定物理层通信方式。依次确定数据链路层、网络层、传输层、直到最后的应用层规范。只有这样才能做到通信方式和通信协议的互联互通。可以利用 DALI、Zigbee、PLC、POE 等协议，也可以借用 KNX、BACnet 等楼宇控制协议。

4.1.2 缺乏中心控制管理系统和集中控制器（网关）之间接口（Ic）应用层统一标准

中心控制管理系统与集中控制器（网关）之间的接口Ic，或单灯控制器和中心控制管理系统之间接口Ic1，现场控制管理器 and 中心控制管理器之间的接口Ic2，都是架构在物联网上的，都是架构在TCP/IP层上，但是没有统一的照明控制应用层协议，IGRS、UPnP主要应用在家电和信息领域，KNX和BACnet主要应用于楼宇控制协议，这些应用层协议可以借鉴。由于目前没有统一的标准，不同厂家的系统的应用协议还是有所不同，无法实现互联互通。

针对照明控制系统接口Ic，需要定义基于TCP/IP层上的应用层协议，这样才能互联互通。

4.1.3 缺乏中心控制管理系统的服务层开放的 API 接口

对于照明控制系统，如果要维护良好的应用层 APP 生态环境，还需要开发应用服务层 API，通过制定统一的 API 接口标准，完成系统之间的相互访问。通过制定统一的 API 接口方式，互联网公司如阿里巴巴、京东、Apple 等在努力。

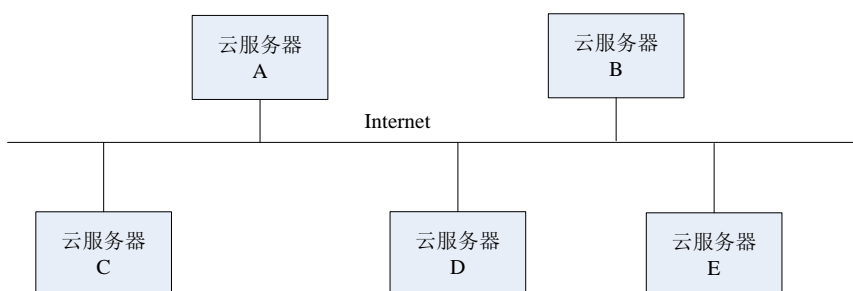




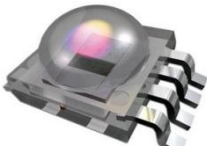
图22 云服务器之间的互联互通框架图

同时，如图 22 所示，中心控制管理系统可以架构在云服务上，云服务器之间的互联互通是实现现有独立照度系统之间快速实现互联的方法之一。更要通过制定标准的 API 接口，这样可以基于 TCP/IP，通过 LAN 或 Wi-Fi 或移动网络（GSM/CDMA/3G/4G 等）接入互联网，对应用层数据进行相互访问。

4.1.4 缺乏统一的传感器的接口（Id）标准

照明控制系统中需要传感器感知周围的环境，根据环境对照明进行控制，常用的传感器如表 15 所示。

表 15 传感器技术分析

序号	传感器类别	图片	分析
1	红外传感器		<ul style="list-style-type: none"> ● 检测范围小，检测精度低； ● 只能检测某一范围内是否有人，不能检测人的动作，如摆手。
2	超声传感器		<ul style="list-style-type: none"> ● 当有多个发射器和接收器的时候，需要合理协调各发射器的发射间隔使得接收器在不会其监听时间内收到错误的发射器的信号； ● 由于成本原因，发射器时钟的精度低。需要保证在有时钟漂移的情况下各传感器之间时钟同步； ● 受应用场合的环境影响较大，各平面的反射容易产生杂波干扰，鲁棒性能较差。
3	光传感器		<ul style="list-style-type: none"> ● 只能检测有限范围内的照度； ● 精度很大程度上决定于传感器在室内的位置，室内平面材料和日光强度的大小； ● 一般安装在天花板上，在晚上定标照度和测量值的映射关系。这种定标过程通常只在系统安装之后进行一次，但这种映射关系会不时随着反射面的变化而变化，如环境中用户或物体的运动。

传感器可以分两大类：智能和非智能。智能传感器是指带通信接口以及数据处理能力；非智能传感器是指传感器采集探头没有通信接口和数据处理能力，一般作为智能传感器的组成部分。非智能传感器的数据接口主要有数字式和模拟式，不同的传感器采用的方式不同。

作为标准化的讨论，传感器部分建议不考虑非智能传感器，主要是智能传感器的通信接口标准，该接口 Id 没有一个统一的成熟标准，ZigBee、SAC/TC28/WGSN、SAC/TC124 正在制定传感器标准，该接口标准可以和集中控制器（网关）与单灯控制器接口 Ib 执行一个标准。

4.2 单灯控制器和 LED 电源的集成和分离

针对具备调光控制功能的 LED 灯具，驱动电源集成单灯控制器，如图 23 所示，那么单灯控制器和驱动电源之间的接口就不需要定义，而单灯控制与集中控制器（网关）之间 Ib 的通信协议必须要规定。

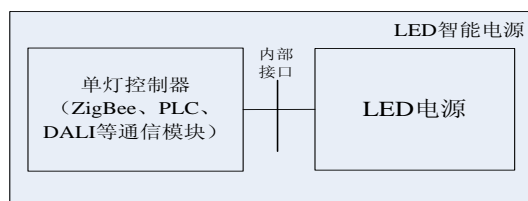


图 23 集成单灯控制器和 LED 电源之间的接口协议

对于驱动电源和单灯分离的情况，如图 24 所示，这两者之间需要定义 Ia 接口标准，包括开关和调光，如 0/1~10V、PWM、DALI 等。但是系统与控制标准中不能限定各种灯具的接入，应该制定面向不同灯具的接入方式规范，这样做可增加控制标准的适用范围。



图 24 单灯控制器和驱动电源之间的接口协议

单灯控制器和电源是否是集成还是分离根据应用而不同，比如在家居照明的球泡灯中，单灯控制器和电源往往是集成在一起的，在道路照明的路灯中，单灯控制器和电源往往是分立的。

4.3 缺乏与传统照明开关、灯具的互操作规范

LED 照明控制系统的快速发展必然影响传统照明开关的市场，如何更好的实现 LED 照明控制系统与传统照明系统的互换和互操作，比如传统的可控硅调光开关如何支持 LED 灯具的调光控制，甚至调色温、调色彩等功能。

LED 照明控制系统如何实现在传统照明控制的布线基础上实现智能化的功能，这也是智能照明产业发展必须考虑的问题。

4.4 缺乏 LED 照明系统网络安全及验证标准

LED 照明控制系统一旦接入互联网必然会牵涉到网络安全的问题，如何防止系统的数据不被黑客窃取，系统不被恶意攻击，用户的隐私得到保障，这些问题都必须在网络设计时充分考虑和规避。以及当系统规模到达一定程度后，如何保证用户操作的实时性、有效性以及稳定性等，物联网的网络安全远比互联网的安全要求高的多。

4.5 缺乏智能照明功能要求及检测标准

在面向不同的应用时，LED 照明系统所需实现的功能并不相同，而 LED 照明系统真正满足了用户的需要，才会开启智能照明的规模市场。不同场景的功能照明，道路/隧道照明、办公照明、家居照明、商业照明、楼宇装饰照明等，均有对于智能照明不同的功能要求。需要考虑保证不同的照明系统之间的互通互联，在检测方面，包括调试与验证、可靠性等方面的标准，实现各标准之间的协调统一。

4.6 和其它系统兼容

4.6.1 家居照明控制系统和智能家居系统的兼容

家居照明控制系统是智慧家居的一部分，在智能家居领域，有相应的控制协议，比如 IGRS、UPnP 等，是需要定义独立的控制系统，通过家庭网关和其进行对接，还是使用智能家居控制协议，有待讨论。

4.6.2 专业照明控制系统和楼宇控制协议的兼容

专业照明控制系统是楼宇控制系统的一部分，在楼宇控制领域，有相应的控制协议，比如 KNX、BACnet 等，是需要定义独立的控制系统，通过网关和楼宇控制系统进行对接，还是使用楼宇控制协议，需要进一步的分析和探讨。

4.6.3 户外照明控制系统和与智能城市未来的兼容

LED 照明控制系统将微电子技术、传感技术与 LED 发光技术融合，实现照明智能化，人性化，未来 LED 将渗透到能源、信息、交通、生命健康、畜禽渔业等众多领域，智能照明终端将与计算机、物联网、云计算、移动互联网和大数据等技术深度融合，成为智慧城市、智能社会不可或缺的组成部分。作为智慧城市的子系统-LED 照明控制系统，如何和智慧城市中其它的系统，比如智能交通等系统进行兼容、交换数据和互动，需要考虑户外照明控制系统的可扩展性、易开发性等。

5 LED 照明控制系统标准体系规划

LED 照明控制系统的标准化体系的整体规划如图 25 所示。涉及的标准主要包括：

- A. 基础标准：**术语、定义**（中心控制管理系统、现场控制管理器、集中控制器（网关）、单灯控制器、传感器、电源、光源）；
 - **架构**：家居照明系统，专业照明系统，道路照明系统，景观照明系统；
 - **需求**：照明控制系统需求。
- B. 组件标准（电源，传感器，单灯控制器，集中控制器（网关），现场控制管理器，中心控制管理系统）。
- C. LED 照明控制系统所涉及接口协议标准：
 - 中心控制管理系统服务层接口协议；
 - 中心控制管理系统与集中控制器（网关）之间的通信协议及测试标准；
 - 集中控制器（网关）与单灯控制器之间的通信协议及测试标准；
 - 单灯控制器与驱动电源之间的接口标准及测试标准；
 - 单灯控制器与传感器之间的接口标准及测试标准；
 - 与传统照明开关、灯具的互操作规范。
- D. LED 照明控制系统的设计要求标准。
- E. LED 照明控制系统安全要求标准。

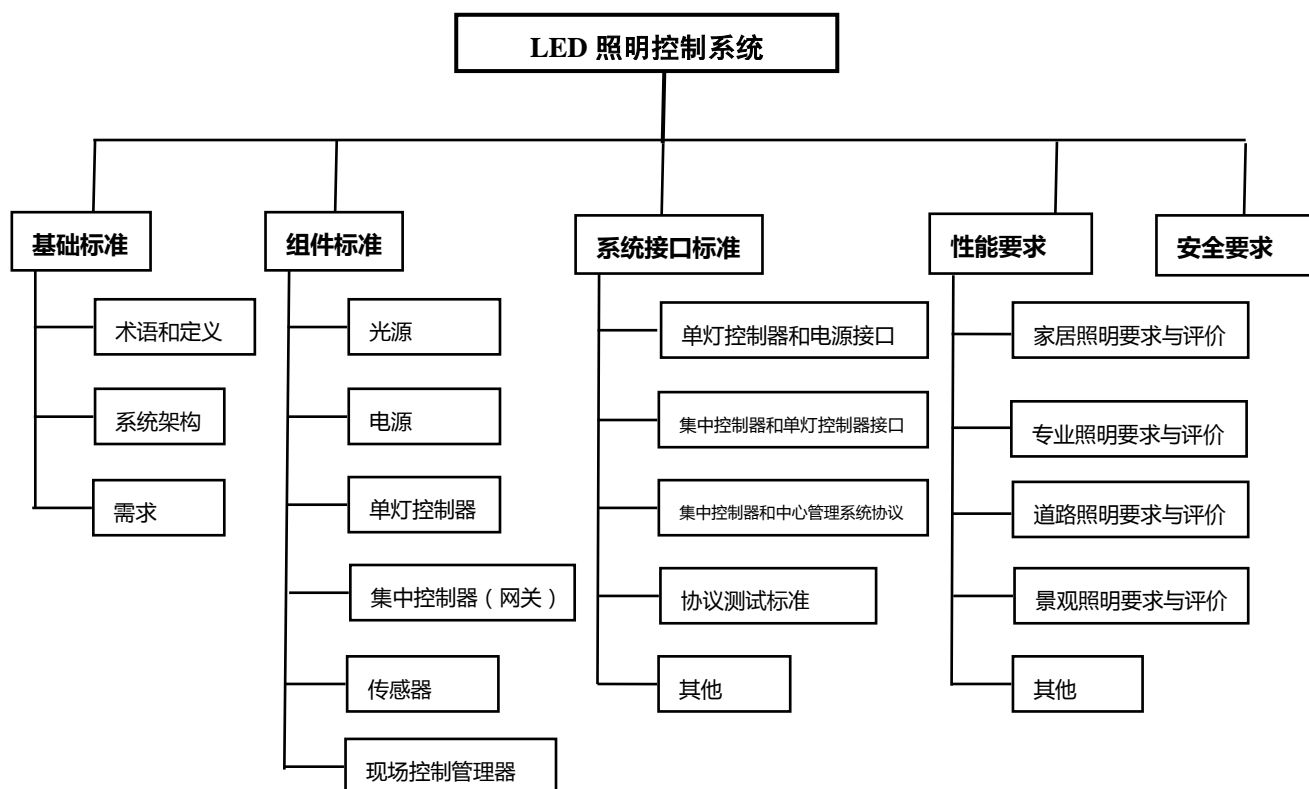


图 25 LED 照明控制系统标准体系规划

LED 照明的灵活可控性使得照明系统可实现的功能多样化，同时，LED 发光技术的应用呈现出超越照明的特点，如光通信、健康医疗、植物生长、动物养殖等，使得智能照明产业具有良好的前景。按需照明是 LED 智能照明系统的目标，对光的需求需要更多研究数据的支撑产品的设计，同时，系统主流的技术路线未定，技术方案呈现出个性化、定制化的特点，标准化和产业发展需要协调推进。

标准化工作的开展在分析现有主流的技术解决方案，梳理已有标准，确定标准化工作内容，做好标准化工作的近期和中长期规划，开展产业急需标准文件的制定，并保证其合理性、广泛性和可实施性，以支撑智能照明领域产业链构筑与协调发展，明确产品设计定位，促进创新技术融合，助力市场开拓与应用推广。

