

(2018 年度“和勤杯”获奖论文二等奖)

基于 NB-IoT 和大数据分析的智能路灯控制云端系统的研究

董 铮 陈 思 叶 韬 汪霏菲 杨春泽

中国电信股份有限公司南京分公司

摘 要: 目前, 国内各大中型城市的路灯控制系统, 已经从传统的成组控制方式向更加精细化的单灯控制方式转变, 但在单灯控制方面, 存在通信成本高、海量数据并发处理难且平台扩容难度大等问题。本文提出基于 NB-IoT 和大数据分析的智能路灯控制云端系统, 该方案可作为单灯控制系统未来发展思路的参考。

关键词: 智能路灯; 单灯控制系统; 窄带物联网; 大数据; 云平台

0 引言

单灯控制系统是对传统的路灯控制系统的智能升级, 通过对现有的路灯检测控制方式进行集约化和智能化设计, 将每盏路灯的监控装置分别安装在每个路灯杆上, 从而实现对每盏路灯的单独检测和控制。单灯控制的手段主要有三种: (1) 单灯的检测; (2) 单灯的监控; (3) 单灯的调光。

传统的单灯控制系统存在着以下不足: (1) 传统的单灯控制系统尽管能够做到精确的监控每盏路灯的运行参数情况, 但也会导致一个新的问题, 即当外部环境发生变化, 导致路灯的运行参数出现异常变化的时候, 单灯控制器将会监测到这些变化, 并随着时间的推移而发出海量的告警信息, 采用传统的方法无法处理这样的海量数据; (2) 单灯控制系统后台数据的处理压力越来越大, 使得管理部门只有通过持续扩展硬件、升级软件平台的方式, 才能应付日益庞大的运维数据的存储和处理需求; (3) 终端成本很高, 例如按照单灯控制器使用的 4G 模组每套 200 元的价格来计算的话, 一个中型城市 3 万套“单灯终端”一次性投入成本费用约为 600 万元, 这样的一次性投入成本是比较大的。因此, 急需一种基于 NB-IoT 和大数据分析的智能路灯控制云端系统。

1 智能路灯关键技术

1.1 智能路灯的技术优势

智能路灯技术依托于城市路灯监控系统平台, 将集成了调光节能、参数监控等功能的控制模块安装到路灯杆上, 对单个路灯或成组路灯实现开关控制、功率控制、单灯参数采集等一系列精细化作业, 从而实现对单个路灯或成组路灯的

远程监控功能。

智能路灯技术有着明显的技术优势: (1) 与降压、降功率等传统方式相比, 有着更高的节电率; (2) 有着更加灵活的开关灯策略, 比如可实现按照工作日和节假日来分组, 设置不同的节能模式, 真正实现精细化管理; (3) 通过 LED 的无级调光方式, 可对单盏路灯实现任意控制功率输出 (0 ~ 100%); (4) 可以将单灯电能消耗限定在目标值, 从而实现城市的总体节能减排目标, 比如某中型城市有 3 万盏路灯, 通过调节路灯功率、深夜关闭辅道的路灯、隔盏亮路灯等单灯智能控制手段, 以平均每盏路灯每天可节约用电 50W 为例, 每年可以节省电费将近 500 多万元, 实际节能比率可以接近 40%。

1.2 大数据分析技术

关系型数据库技术在大数据时代没有能够把握住互联网搜索浪潮的主要原因是: 关系型数据库的扩展性存在障碍, 无法胜任大数据分析的需求。对互联网海量数据的分析需求无法仅仅通过扩展硬件 (CPU、内存和硬盘) 的方式来扩展单个计算节点的运算能力 (单个超级计算节点), 更为经济的解决办法是将系统连接成集群 (需要将软件改写为分布式运算的方式), 当扩容时只需要在集群中增加节点即可。

2004 年 Google 公司提出了非关系型数据管理技术——MapReduce 技术 (面向大数据分析和处理的并行计算模型)。用户在使用 MapReduce 技术时, 只需要通过编写 Map 和 Reduce 函数来处理用户数据, 就可以在可伸缩 (scalable) 的大型集群上执行, 从而实现海量数据的分析和处理。Google 公司提供了一系列基于 MapReduce 技术的互联网服务业务 (如基于统计方法的机器翻译、基于主机的名词向量分析等)。

Google 公司每天处理的数据超过 20PB，传统的关系型数据库技术是无法实现如此海量的数据处理的。

1.3 NB-IoT 技术

NB-IoT (Narrow Band Internet of Things, 窄带物联网) 技

术是一种主要应用于低功耗广覆盖 (LPWA) 物联网 (IoT) 市场的新兴技术。NB-IoT 技术具有连接多、功耗少、覆盖广、成本低、速率低、架构优等特点。NB-IoT 使用 License 频段，可采取带内、保护带或独立载波等三种部署方式，与现有网络共存。

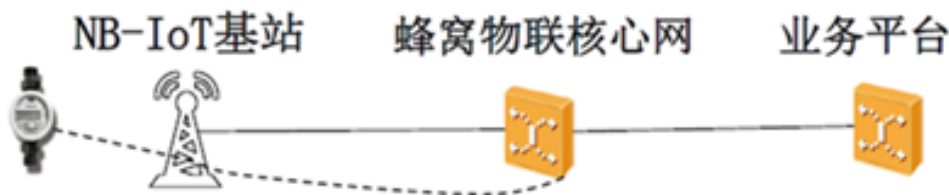


图 1 基于 NB-IoT 的物联网应用的网络架构图

上图左侧的 NB-IoT 终端通过 NB-IoT 基站接入至蜂窝物联核心网，再通过电信专线接至客户侧的业务平台。

NB-IoT 技术拥有以下关键的特性：

(1) **广泛的覆盖范围**：NB-IoT 技术空口最大耦合损耗 (MCL) 相比 GPRS 提升 20dB，室外单站覆盖距离可达 2300 米，约为 C 网 1X 覆盖距离的 2 倍，是 LTE 1.8G/GPRS 覆盖距离的 4 倍。

(2) **超低的待机功耗**：NB-IoT 通过采用 eDRX (Extended idle mode DRX, 扩展不连续接收模式) 和 PSM (power saving mode, 省电模式) 等技术，实现了终端的低功耗，满足典型 NB-IoT 业务 5-10 年电池寿命的需求。

(3) **较低的模组成本**：通过采用 180kHz 窄带、半双工、单天线、低采样率等技术，NB-IoT 芯片的复杂性约为 LTE (Long Term Evolution, 长期演进技术) CAT4 终端的 15%，成本可控制在 5 美元以下。

(4) **很大的并发连接**：按照协议中定义的“平均每个用户每 2 小时一次数据传输，其他时间休眠”的 NB-IoT 话务模型，每小区同时支持的 NB-IoT 用户数可达 5 万个。

1.4 云平台技术

随着海量的终端上报信息数据的不断增加，服务器平台的运行压力会越来越大，所以传统的系统平台需要不断地投入资金进行扩容（服务器平台软硬件设施需要不断地升级和更新）。基于大数据技术的云平台，尤其适合物联网智能路灯控制系统的服务器平台部署使用。下面介绍两家主流的商业云管理平台——华为的 FusionSphere 和华三的 Cloud OS。

(1) 华为 FusionSphere

FusionSphere 是华为公司面向多行业客户推出的云操作系

统产品，基于 OpenStack 架构开发，整个系统专门为云设计和优化。它提供强大的虚拟化功能和资源池管理、开放的 API 接口、丰富的云基础服务组件和工具等，帮助客户水平整合数据中心物理和虚拟资源，垂直优化业务平台，让企业的云计算建设和使用更加简捷。华为 FusionSphere 整体解决方案主要由 5 个模块构成，分为 FusionCompute、FusionManager、FusionNetwork、FusionStorage、FusionSphere OpenStack 五大组件。中国电信天翼云 3.0 技术实现的底层技术为华为 FusionSphere。

(2) 华三 Cloud OS

H3Cloud OS 云操作系统以 OpenStack 为基础，将 OpenStack 与 Docker 技术融合，在此之上进行了大量的开发，定制出符合国内用户实际的需求的功能。通过 H3Cloud OS 云操作系统，能够实现将传统 IT 资源以云服务的方式向用户提供，用户通过统一的 Portal 即可完成云资源的申请、使用、管理、销毁，这些云资源使用起来与传统 IT 资源没有任何区别。H3Cloud OS 云操作系统还支持 VLAN (VxLAN) 的部署方式，通过虚拟数据中心功能很好地解决了大家通常所担心的云安全问题。此外，还可以通过 H3Cloud OS 云操作系统对数据中心基础设施进行运维。

2 系统架构设计

2.1 组网架构

(1) 网络结构

网络结构总体由 NB-IoT 终端（单灯控制器）、电信 NB-IoT 接入网络、GRE 隧道、防火墙、智能路灯控制云端系统组成。具体网络结构图如下图所示：

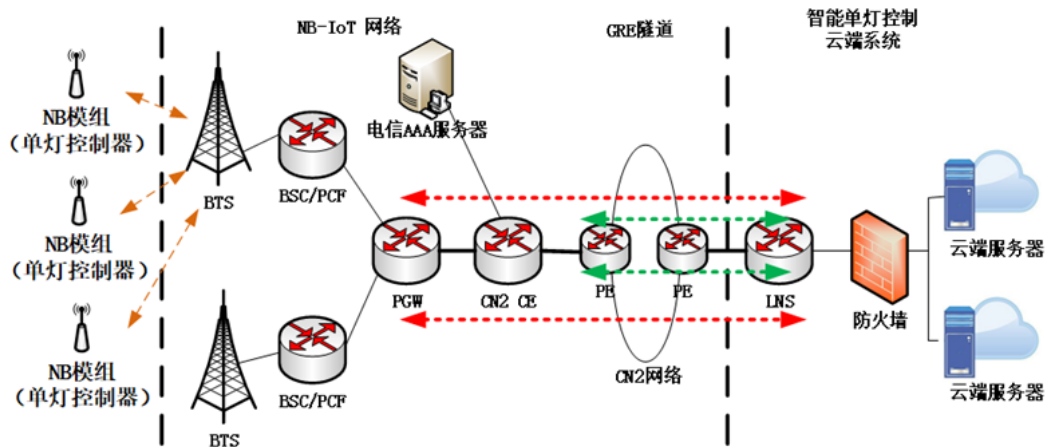


图2 基于NB-IoT和大数据分析的智能路灯控制云端系统网络结构图

物联网接入技术采用中国电信NB-IoT移动网络实现；传输网络承载在中国电信CN2网络上，通过GRE隧道实现数据传输的封装；智能路灯控制云端系统基于中国电信天翼云3.0技术实现。

(2) NB-IoT网络节能参数设置

PSM/eDRX/DRX（Extended idle mode DRX，扩展不连续接

收模式）模式可配置是NB-IoT解决方案中支持终端低功耗的重要特性。NB-IoT采用多种技术支持终端低功耗，其中包括PSM和eDRX模式。

NB-IoT技术可同时使用PSM和eDRX两种方式，既使用PSM获取极低功耗，又能降低空闲态功耗。NB-IoT性能参数的优化示意图如下所示：

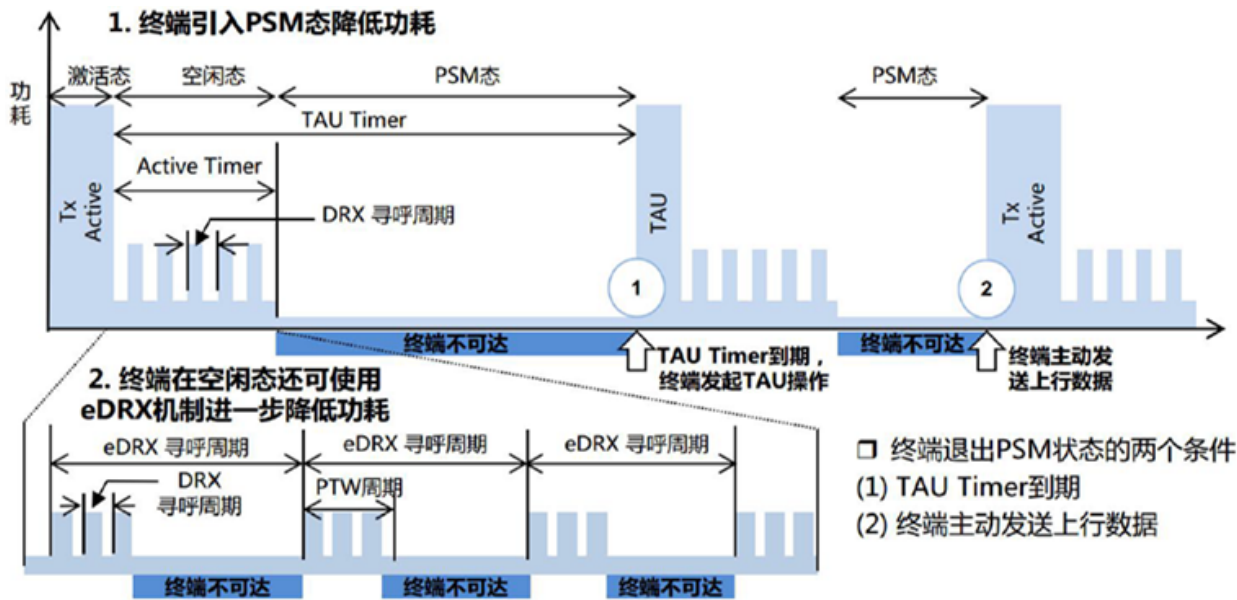


图3 NB-IoT性能参数的优化示意图

其中，主要有如下参数：

- (1) TeDRX：eDRX周期，即在eDRX模式下NB-IoT终端监听网络寻呼的周期；
- (2) TDRX：DRX周期，即DRX模式下NB-IoT终端监听网络寻呼的周期；
- (3) TPTW：PTW周期，即NB-IoT终端寻呼窗口的时间；

- (4) T3324：激活定时器周期，即在PSM模式下NB-IoT终端主动唤醒本身的周期。

由于具备低功耗的特点，所以NB-IoT技术适用于反向控制业务（终端主动上报各项参数到平台服务器）。在生产实践中发现，反向控制业务的业务数据上报成功率指标、终端功耗、时延和NB-IoT的各项参数有如下的相关性特性：

业务数据各项性能参数和 NB-IoT 的各项参数相关性关系表

参数	业务数据上报成功率指标	终端功耗	时延
TeDRX	反相关	反相关	正相关
TDRX	反相关	反相关	正相关
TPTW	正相关	正相关	反相关
T3324	反相关	反相关	正相关

由于绝大多数单灯控制器都具备外接电源的条件，对终端功耗的要求较低，所以针对单灯控制器数据上报和参数下发的成功率和实时性的要求，经过实践检验，系统对应的电信运营商 APN（Access Point Name，接入点名称）网络最终采用的参数情况如下：

- TeDRX=20.48 秒；
- TDRX=1.28 秒；
- TPTW=10.24 秒；
- 关闭终端模组的 PSM 模式（无需设置 T3324 参数）。

2.2 实施方法

该系统包含以下模块：网络通信模块、终端管理模块、动态监控和故障分析模块、业务派单模块、工单过程监管模块、数据分析模块和资产管理模块。

基于 NB-IoT 和大数据分析的智能路灯控制云端系统的模块运行流程图如下图所示。

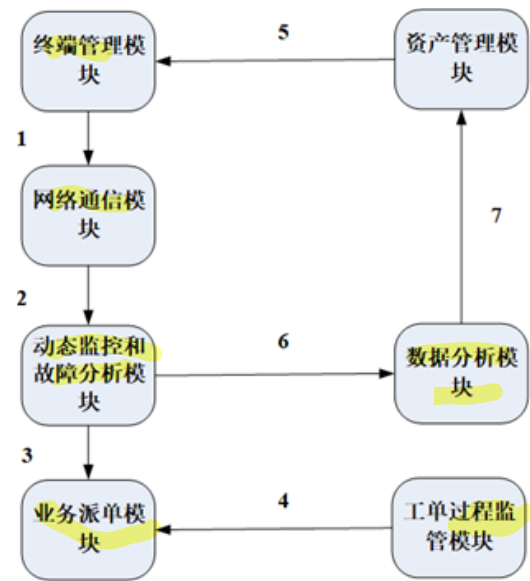


图 4 基于 NB-IOT 和大数据分析的智能路灯控制云端系统的模块运行流程图

第一步，终端管理模块设定全网单灯控制器数据上报和命令下发的顺序，将单灯控制器产生的数据信息通过运营商的 NB-IoT 网络进行传输；

第二步，网络通信模块基于 NB-IoT 无线接入网络，借助 GRE 隧道技术封装数据，将单灯控制器产生的数据信息发送到动态监控和故障分析模块；

第三步，动态监控和故障分析模块分析产生故障信息，并由业务派单模块派单维护人员处理；

第四步，工单过程监管模块实时对派单给维护人员处理的工单进行管控，对于工单超时情况进行升级处理；

第五步，数据分析模块调用动态监控和故障分析模块中保存的各项基础数据，自动计算亮灯率、工单完成及时率、设施完好率等维护指标，自动计算和统计节电率节能指标；

第六步，资产管理模块调用数据分析模块中各项单灯参数指标的分类、汇总和分析数据，分析得出路灯的质量性能、路灯设备故障共性等信息；

第七步，资产管理模块将路灯的质量性能、路灯设备故障共性等信息反馈到终端管理模块之中，为后期遴选优秀的供应商、编制路灯维护作业计划、系统大修和改造等后期优化措施的科学决策提供可靠的数据支撑。

3 系统主要功能

3.1 终端管理

通过终端管理模块实现了单灯控制器终端的远程管理、参数上报和命令下发（如设定全网单灯控制器上报数据的时间顺序，维护作业计划命令下发时间安排等）。

3.2 动态监控和故障分析

动态监控和故障分析模块通过基于中国电信天翼云 3.0 MapReduce 技术的大数据分析方法，实现对单灯控制器的智能化动态监控和故障分析功能，根据获取的单灯电压和电流、单灯历史监控上报数据、单灯告警信息等进行大数据分析和处理，实时判断路灯网络的整体运行状态。

3.3 业务派单

业务派单模块实现了智能化、集约化的业务派单功能，实现了城市路灯故障的处理模式从“巡检发现问题再修复”向“确定故障点位后定点修复”的转变，首先从平台系统中精确地获取到每盏路灯的故障信息，再通过 GIS 系统（地理信息系统）来精确定位位置，结合车辆位置信息调度最近的维护作业班组前去处理障碍，并由系统自行完成工单的派发。

3.4 工单过程监管

工单过程监管模块实现智能化的过程监管：建立从工单派发、工单处理状态监督，到工单结果反馈的闭环监控系统。

（下转第 62 页）

某个目录节点中，然后监控配置所有需要修改的应用机器的信息状态，一旦配置信息发生变化，每台应用机器就会收到 Zookeeper 的通知，然后从 Zookeeper 获取新的配置信息应用到系统中。

2.5 运维提升

基于消息的云化计费系统，物理主机多、平台架构复杂、应用配置部署灵活，在提升性能的同时也会带来未知的风险，所以需要运维能力同步提升，重点进行以下监控：（1）加强刀片机和应用进程的管理，通过前台工具，快速灵活地实现分组和路由的配置管理。（2）加强内存网格管理，将主机代理 RA 收集的主机内存使用情况、CPU 利用率、业务通道消息队列等信息及时展现，根据资源使用情况，对分组和路由进行调整。（3）加强负载均衡管理，根据负载均衡算法，定时统计当前各刀片机和应用进程的实际负载情况，调整应用进程的主机分布，做到负载均衡。（4）加强路由优化管理，提供路由参考数据给消息代理优化路由能力，这部分功能在主机代理模块 RA 已有实现，将管理域收集的信息作为补充。（5）加强统计分析功能，提供报表数据源管理、报表模板管理和多种统计视图。（6）提供监控管理功能和对外网管系统接口，全面管控计费相关的平台和应用。

3 基于消息的云化计费系统应用效果

基于消息的云化计费系统已在江苏联通正式上线，通过

与原有传统架构计费系统进行比较，新架构系统优势明显：（1）基于消息的云化架构使用 x86 主机，其价格相对低廉，可以横向扩展，解决传统架构扩展的“天花板”问题；（2）合并计费的中间环节，并且采用内存排重方式，提升了系统处理性能；（3）采用 Kafka 消息传输代替原有的文件传输，减少了文件读写耗时，处理效率显著提升；（4）采用集群方式进行部署，节点出现异常时可以立刻被其他节点接管，显著提升了系统可靠性。

系统部署后，计费耗时显著降低，计费平均耗时比原有系统下降 80%；流量提醒和信控停机耗时下降 90%，提升了用户感知，降低了欠费风险；用户话单消息化提供给外围实时服务系统，耗时下降 95%，大大提升了实时服务的及时性。

4 结束语

使用基于 kafka 消息的 x86 云化计费系统，有效提升了批价效率，信控停机、短信提醒等业务的及时性也成倍提高，对目前行业的投诉热点“流量提醒”将有显著改善。同时，批价效率提升，用户实时的详单查询、费用查询的准确性也得到提升，可以进一步增强客户感知及品牌口碑。总之，运用最新的互联网化的体系结构，可以解决原有架构扩展难、效率低的问题，满足客户互联网化实时体验需求，为广大客户提供极致的体验。

（收稿日期：2018-12-14；

技术审稿：姚国章；责任编辑：赵明亮）

（上接第 40 页）

3.5 数据分析

数据分析模块，通过基于中国电信天翼云 3.0 MapReduce 技术的大数据分析方法，实现智能化的数据分析平台。系统调用各项基础数据，自动地计算全网亮灯率、系统中工单完成及时率、全网设施完好率等参数，以此实现智能化的考核。系统自动统计并计算全网节电率，为实现总体节能目标提供节电计划安排。

3.6 资产管理

资产管理模块实现全生命周期的资产管理：以单盏路灯为单位，建立设计、施工和维护全生命周期的动态路灯管理机制；通过对单盏路灯数据库的分类、汇总和分析，掌握路灯的质量性能、路灯设备故障共性等参数，为后期遴选优秀的供应商、编制路灯维护作业计划、系统大修和改造等后期

优化措施的科学决策提供可靠的数据支撑。

4 结束语

本系统采用了 NB-IoT 方式作为物联网接入方式，大大降低了终端成本，提高了系统的容量；服务器平台侧采用了云平台服务器，解决了需要不断扩展硬件投入、升级平台软件来支撑庞大的运维数据的问题；采用了大数据分析的方法，解决了物联网终端（单灯控制器）产生的海量信息数据难以处理的问题。该系统尤其适用于城市规模大、路灯数量多、维护压力大、节能要求高的大中型城市，对路灯照明行业物联网接入系统方案的发展方向具备较大的借鉴意义。

（收稿日期：2018-12-14；

技术审稿：丁飞；责任编辑：赵明亮）