

# 基于边缘计算的电力物联网组网方案研究

Original 赵珩, 苗堃 等 嵌入式系统专家之声 2025年06月07日 08:04 北京

[点击上方"蓝字"](#) [关注我们吧!](#)



嵌入式系统专家之声

嵌入式系统专家之声依托嵌入式系统联谊会专家团队, 汇集嵌入式系统产、学、研和媒体...  
180篇原创内容

公众号

2025.06.07

本文字数: 5136

预计阅读时长: 13分钟

## 摘要

根据边缘计算和组网平台技术, 设计了一种电力物联网组网系统, 能够完成电力物联网的智能自动组网, 采用多通道采集技术对电力物联网数据进行信息采集和数据归纳, 在边缘计算的基础上融入正交离散多小波变换算法, 使系统能够快速判断数据, 并进行组网。最后, 通过对比验证分析列出三种不同组网方案的数据, 从而直观看出本设计的优越性, 通过列出的柱状图和描点图发现本研究的电力物联网组网方案延时时间更短, 组网效率更高, 证明了本设计方案的可行性。

## 关键词

边缘计算; 多通道采集; 正交离散多小波变换算法; 电力物联网组网系统

作者: 赵珩, 苗堃, 陈垒, 霍明霞, 张永乐, 刘洋

中图分类号: TP29

文献标识码: A



## 0 引言

在电力技术、物联网技术迅速发展的形势下, 各级电网公司将矛头对准该技术领域, 电力物联网的组网问题仍旧是炙手可热的话题, 也是目前电力电网技术中必不可少的技术环节, 电网组网问题的好坏直接关系到电力电网运行的状况。现有组网方案主要通过云计算进行大数据的筛选, 但是这种方法通信线路复杂, 通信延时较长, 服务端口过多时容易造成资源浪费。

针对上述问题，各研究所设计了不同方案的组网技术，参考文献<sup>[1]</sup>利用光纤通信的方式实现电力物联网的组网，这种方案根据不同设备调整光纤频率，从而实现精确数据通信，但是本方法只适用于少数设备组网，对于多种设备的组网无能为力；参考文献<sup>[2]</sup>设计了一种终端准入系统进行电力物联网的组网控制，这种方案通信线路简单，多个模块配合完成组网，提高了组网效率，但系统延时过长，容易导致误差，而且应用模块较多，成本较高。



## 1 电力物联网组网系统设计

电力系统应用物联网的主要方式就是电力物联网，该系统能够应用传感器等数据采集设备实现电力运行过程中的各种信息量采集，以获取电力系统运行的不同数据信息，以数据分析的形式实现电力系统的监控和监测<sup>[3]</sup>。由于电力系统电路复杂，数据庞大，数据处理压力过大，因此本文设计了基于边缘计算的电力物联网组网系统。该系统区别于常规技术，能够实现电力系统中各种数据的即时采集和计算，系统包括主控中心、监控设备、组网平台、边缘计算和通信模块等。总体架构示意图如图1所示。

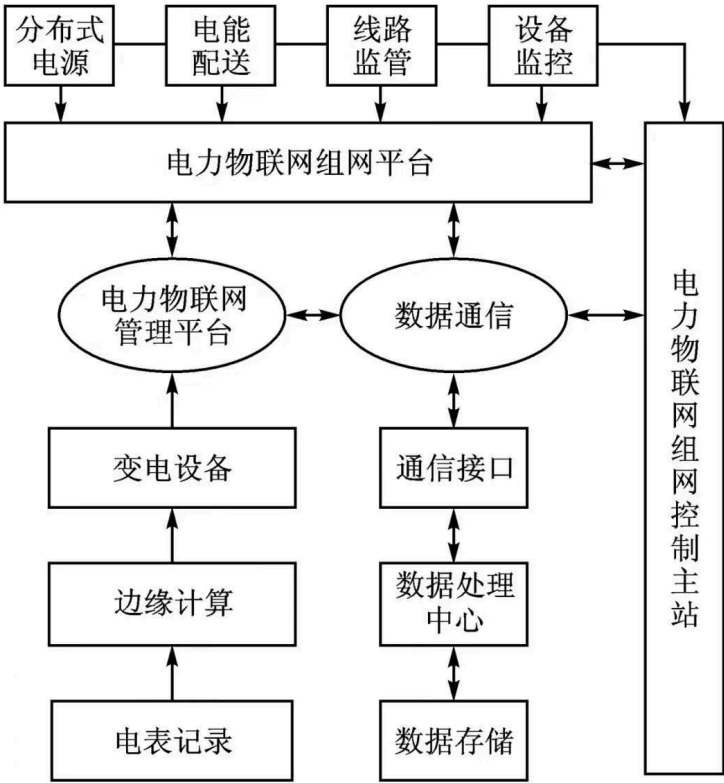


图1 边缘计算的电力物联网组网系统图

边缘计算的电力物联网组网系统由主控中心完成整个系统的集中控制，能够随时监控各个模块的运行状态<sup>[4]</sup>。系统在工作时，先通过分布式电源对电力系统进行供电，然后电力系统通过高压输电线路完成电能的配送，高压输电线路由线路监管部门负责电能的输送和监测，二次侧设备的运行主要由设备监控部门负责调试和运行状态的监控。电力物联网组网平台通过传感器网络技术完成电力系统的组网和电力数据的入网<sup>[5]</sup>。电力物联网监管平台通过多通道数据采集技术完成变电设备、边缘计算和用户电表产生的数据收集，其中边缘计算通过正交离散多小波变换算法完成用户电表和变电设备的数据融合。监管平台收集到的数据通过通信接口传输到数据处理中心，经过处理最后完成数据存储<sup>[6]</sup>。



2.1 多通道数据采集技术

本研究采用了多通道数据采集的方式<sup>[7]</sup>，该方式能够大幅提高数据采集和通信速度，提高电力系统的工作效率。多通道数据采集技术结构示意图如图2所示。

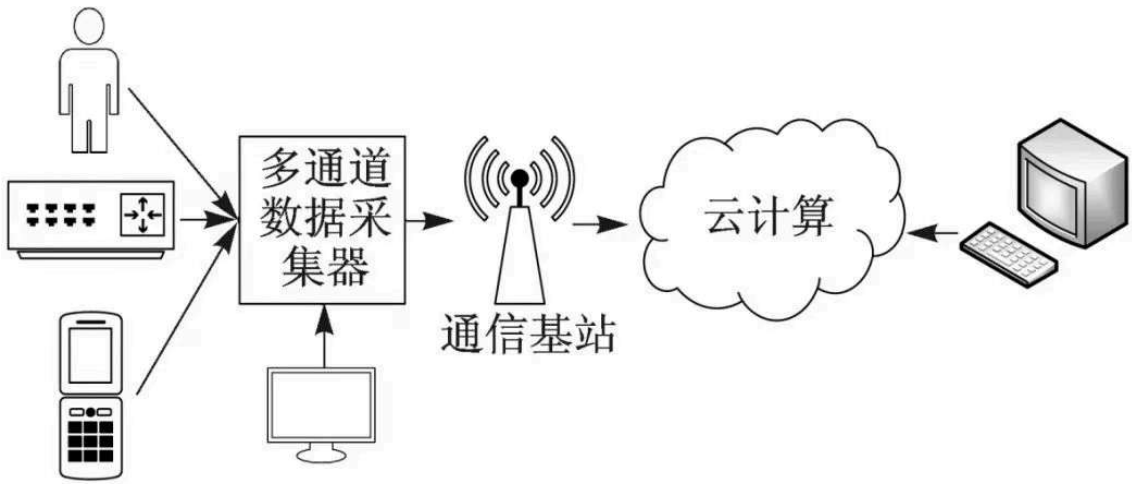


图2 多通道数据采集技术结构图

在图2的设计中，本研究通过多通道数据采集器实现多种数据的采集和数据传递<sup>[8]</sup>，最终采集输出的数据信息通过云端实现数据的计算和分析，由于采用了多通道数据采集技术，数据采集量大幅增加，提高了系统运行的整体效率，并且整个过程能够远程监控，实现了电力组网方案的数据采集和运行。在该组网设计中，多通道数据采集器的设计如图3所示。

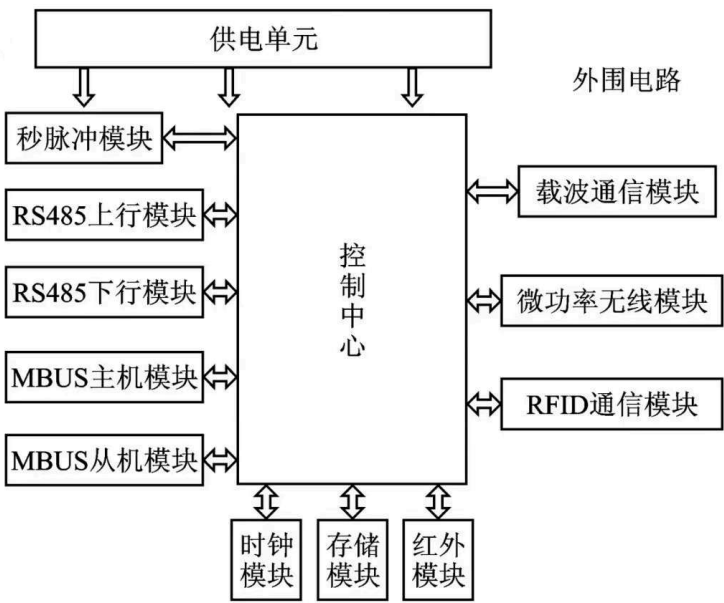


图3 多通道数据采集原理示意图

本研究设计中的控制中心主控模块为基于单片机控制的微控制电路，其中单片机的型号为32位的STM32F103VCT6,该芯片具有强大的数据通信功能，包括多个不同的将模拟信号转换为数字信号的12位A/D转换模块和将数字信号转换为模拟信号的D/A转换模块，并具有多个通用不同类型的16位定时器，能够实现多达13种甚至以上的通信方式，并具有多种不同型号的数据接口，从而实现多通道数据采集。32位的STM32F103VCT6型号的芯片还具有存储多种大量数据采集信息的存储功能，其采用的芯片存储器型号为AT25DF321，这种型号的存储器兼具了SPI 串行Flash存储器的功

能，不仅能够存储大量的数据信息，还具有较强的信号可擦除功能，反应速度快，具有较长的使用寿命。本研究设计的多通道数据采集器能够兼容多种数据通信接口，比如MBUS通信、RS485通信、载波通信、RFID通信和微功率无线通信方式等，进而实现了数据的多通道采集和通信。

2.2 边缘计算技术

本研究还采用了边缘计算技术。边缘计算网络模型主要由云计算、通信网络、边缘服务器和电力终端组成，这种计算网络通过各层设备的性能决定整体的数据处理能力和数据存储能力，各层级之间通过通信网络完成层级的数据交互<sup>[9]</sup>，边缘计算的网路结构如图4所示。

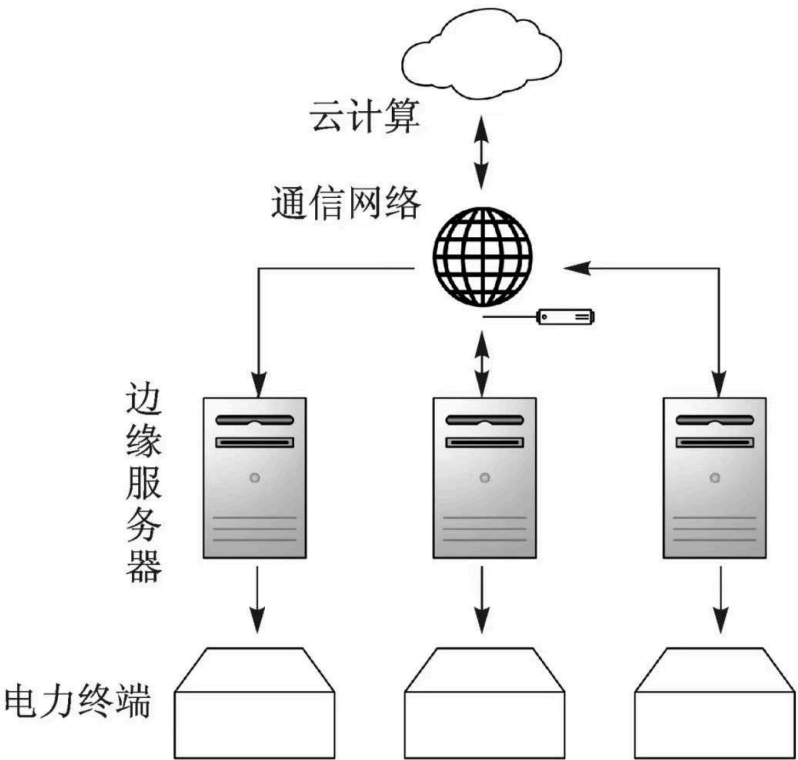


图4 边缘计算的网路结构

边缘计算的终端层由各种传感器组成，通过传感器完成数据的收集和电力物联网组网设备的信息采集。电力终端只负责数据的收集，不涉及分析处理，所以终端数据比较庞大和冗杂<sup>[10]</sup>。电力物联网所有用户和设备通过终端进行数据的采集，采集到的终端数据作为系统的输入量。

边缘服务器运行框架图如图5所示。边缘计算的运行框架由系统控制中心、系统数据处理和系统数据安全三部分进行整个系统的控制和运维，系统的运行过程分为云计算、边缘计算和用户设备三个过程。其中云计算通过系统研究开发和设备运营管理把数据传输到云数据，而云计算主要由云数据和云应用组成。边缘计算主要由正交离散多小波变换算法完成数据的处理，小波包算法主要负责边缘控制数据、边缘分析数据和边缘优化数据三类数据的节点计算、结果存储和资源入网。用户设备主要由通信接口和设备终端组成，是系统数据的输入端。

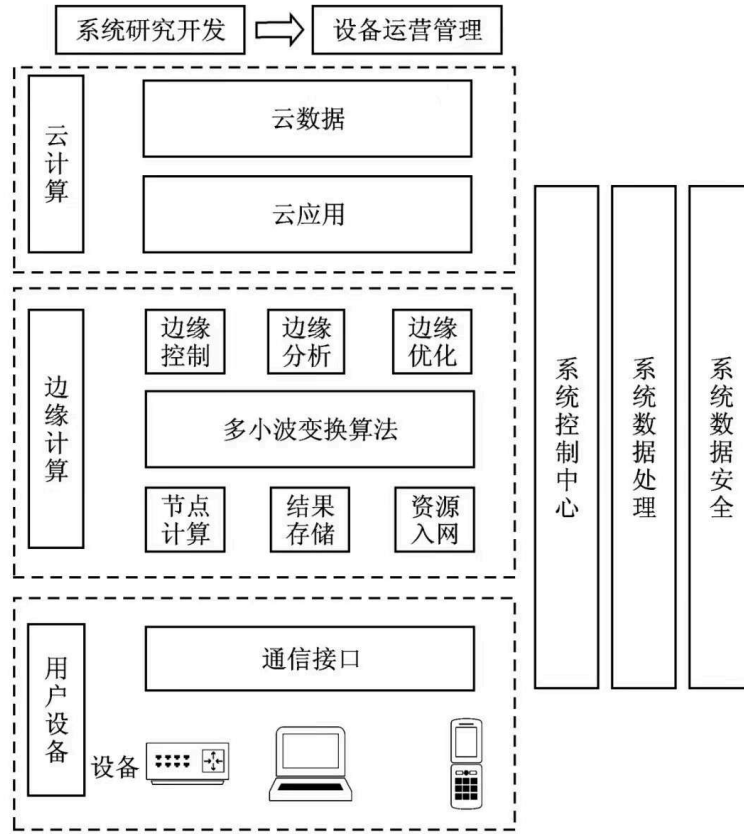


图5 边缘计算运行框架图

### 2.3 正交离散多小波变换算法

借助于多分辨分析 的方式，能够对多小波函数运动空间通过以下公式进行分析：

$$\begin{aligned} V_0 &= V_1 \oplus W_1 = V_2 \oplus W_2 \oplus W_1 \\ &= V_L \oplus W_L \oplus W_{L-1} \oplus \cdots \oplus W_1 \end{aligned} \quad (1)$$

其中， $L$ 表示空间基的个数，为整数。根据上式电力边缘计算输入的数据符合多小波算法的都可以用尺度函数和多小波空间函数的正交表示：

$$\begin{aligned} f &= f_1 + g_1 = f_2 + g_2 + g_1 \\ &= f_L + g_L + g_{L-1} + \cdots + g_1 \end{aligned} \quad (2)$$

式中， $f_1$ 和 $g_1$ 表示多分辨分析中多小波函数移动空间的初始函数和末端函数。两者进行数据上的展开，表达式为：

$$f_J(x) = \sum_k C_{J,k}^T \varphi_{J,k} \quad (3)$$

$$g_J(x) = \sum_k C_{J,k}^T \psi_{J,k} \quad (4)$$

在式（3）和式（4）中，多小波空间移动初始函数在计算应用过程中称为尺度函数，将应用过程中出现的末端函数在本算法中称为小波函数，下面借助于正交原理 的方式输出二者之间的函数

关系式：

$$C_{J,k}^T = \langle f(x), \varphi_{J,k} \rangle \quad (5)$$

$$D_{J,k}^T = \langle f(x), \psi_{J,k} \rangle \quad (6)$$

通过式(5)和式(6)可以看出，二者之间的关系中，还存在以下问题：尺度函数和小波函数只能通过始末函数来反应空间上的移动，还要求解出空间函数的分解系数，这需要对本研究所提方法中空间函数进行分解才能获取。分解后的函数为：

$$\varphi(x) = \sqrt{2} \sum_m H_m \varphi(2x - m) \quad (7)$$

分解后的函数中，其空间分解系数还需要在空间上进行数据平移和伸缩变换，最终输出双尺度函数，通过以下函数来表示：

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \varphi\left(\frac{x}{2} - k\right) = \sum_m H_m \varphi(x - m - 2k) \quad (8)$$

其中，表示双尺度函数的角度系数，根据

$$\varphi_{J,k}(x) = [\varphi_{1,J,k}(x), \dots, \varphi_{r,J,k}(x)]^T \quad (9)$$

计算出角度系数为：

$$\varphi_{1,k}(x) = \sum_m H_m \varphi_{0,2k+m}(x) \quad (10)$$

通过式(1)~式(10)的论述，可以输出多小波函数空间移动初始函数，也就是尺度函数，通过函数关系式，利用下式表示：

$$C_{1,k}^T = \sum_m H_{m-2k}(x) C_{0,m} \quad (11)$$

由于上式计算复杂，为方便计算，进行简化处理得到：

$$C_{J,k} = \langle f(x), \varphi_{J,k} \rangle^T = \sum_m H_{m-2k} C_{j-1,m} \quad (12)$$

简化后的小波函数通过以下公式来表示：

$$D_{J,k} = \langle f(x), \psi_{J,k} \rangle^T = \sum_m G_{m-2k} C_{j-1,m} \quad (13)$$

再次利用数据空间投影方式对移动信号进行空间分解，可以输出以下函数：

$$f(\mathbf{x}) \in V_0 = V_1 \oplus W_1 \quad (14)$$

上式表示空间移动原信号可以由空间上的函数求和得到，即可以表示为：

$$f(\mathbf{x}) = \sum_m C_{1,m}^T \varphi_{1,m}(\mathbf{x}) + \sum_m C_{1,m}^T \psi_{1,m}(\mathbf{x}) \quad (15)$$

根据尺度函数的推导过程得到空间分解存在关系式表示为：

$$C_{0,k}^T = \langle f(\mathbf{x}), \varphi_{0,k}(\mathbf{x}) \rangle \quad (16)$$

将上式代入空间移动分解公式，最终得到：

$$C_{0,k} = \sum_m H_{k-2m}^T C_{1,m} + \sum_m G_{k-2m}^T D_{1,m} \quad (17)$$

然后对尺度空间函数和小波函数进行正交变换，可以输出多小波函数的重构表达式，通过以下函数表示：

$$C_{J-1,k} = \sum_m H_{k-2m}^T C_{j,m} + \sum_m G_{k-2m}^T D_{j,m} \quad (18)$$

上式为正交离散多小波函数的表达式，边缘计算可以根据多通道采集到的设备数据完成数据的计算，将得到的数据进行处理，从而完成电力物联网的组网。



### 3 电力物联网组网流程

整个系统能够进行电力物联网数据的采集，并能够进行数据的判定，通过边缘算法和正交离散多小波变换算法进行数据的分析处理，最后进行电力物联网组网的实现，电力物联网组网流程如图6所示。



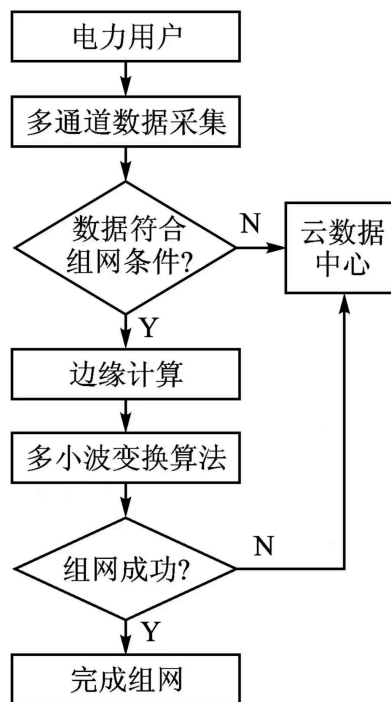


图6 电力物联网组网流程图

电力物联网组网系统首先通过多通道数据采集对电力用户进行数据采集，然后判定采集的数据是否符合组网条件，判定为否，数据直接存储到云数据中心，如果符合条件，后续通过边缘计算和多小波变换算法进行数据处理完成数据组网。最后进行组网的判定，若判定为否则不再重复组网。数据将保存在云数据中心，如果组网成功，整个流程结束，完成电力物联网数据的组网。



## 4 试验结果与分析

通过MATLAB2017模拟仿真电力组网效果图。试验的硬件环境采用Intel(R) Core(TM)i7-3770 C PU@3.40GHz类型的处理器，数据内存为160 GB，服务器操作系统为 Windows Server2017。其中本研究的组网架构试验环境对比表如表1所列。

表1 组网架构试验环境

试验环境	组网线路 /条	组网延时 /ms	电力装机容量 /MVA
光纤方式	43	65.6	6.48
终端方式	40	62.6	6.68
边缘方式	50	46.0	7.23

从表1中可以看出，边缘计算组网方式所用组网线路是最多的，这表明能够进行多组数据同时组网，提高了组网效率；光纤通信组网和终端准入组网方式的延时时间都在60ms之上，边缘计算组网方式延时时间在40ms左右；装机容量也是三种方式中最高的。综合以上数据能够表明，本文设计的边缘计算组网系统明显优于其他两种方式。

选择网络中20个不同的数据节点进行试验，在相同的200s的时间内，三种不同方式接收数据的信息情况如表2所列。



表2 信息数据集

通信节点	光纤方式 数据量/GB	终端方式 数据量/GB	边缘方式 数据量/GB
1	234	512	1932
2	327	493	824
3	333	521	1931
4	891	512	1731
5	932	564	861
6	981	672	917
7	1521	1121	832
8	1492	1032	732
9	1532	1112	1301
10	1521	1092	831
11	2213	1082	731
12	2206	981	981
13	2223	938	1911
14	234	512	932
15	327	493	824
16	333	521	731
17	891	512	1731
18	932	564	861
19	981	672	917
20	1521	1121	1832

通过表2的数据样本集合，再对组网的成功率进行对比分析。为了使对比更加形象，本研究将上述数据信息的组网率通过条形图进行显示，得出的柱状图形如图7所示。

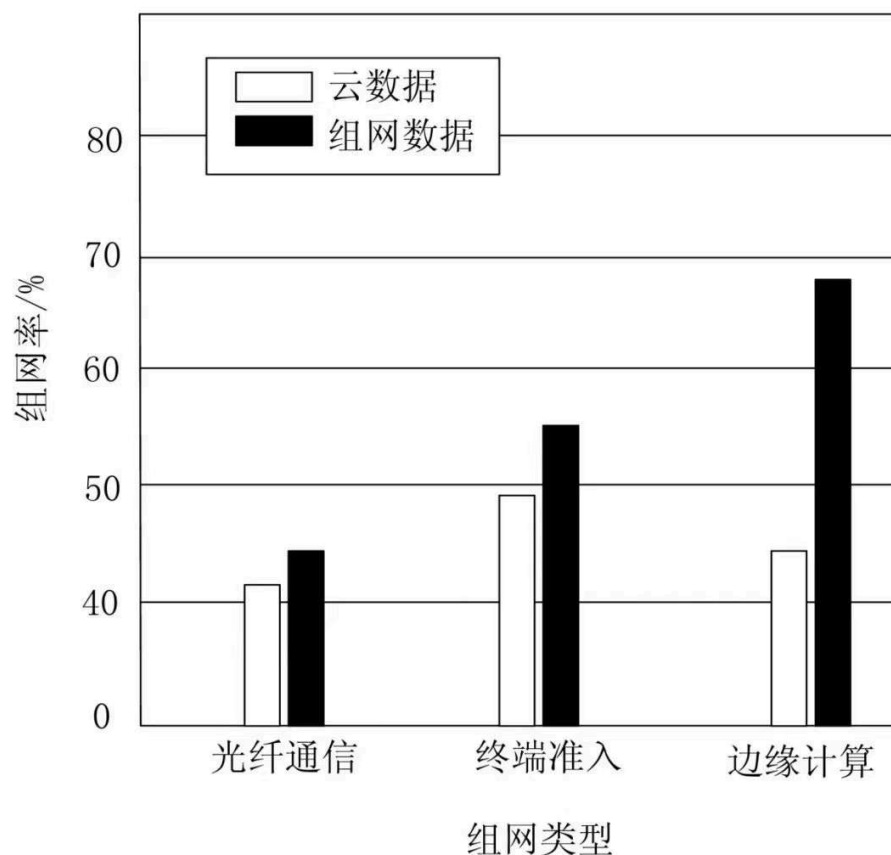


图7 三种不同组网方案组网率条形图

由条形图可以看出，边缘计算在云数据的组网成功率相比另外两种方式并没有优势，组网成功率为40%~50%，但是组网数据的成功率要明显高于光纤通信和终端准入组网方案，边缘计算的组网成功率能够达到70%，而终端准入组网成功率在55%左右，光纤通信只能达到45%。通过条形图组网成功率的对比分析，边缘计算相比较其他方式更加稳定，成功率更高。

由试验分析出三种方案的组网延时，根据大量数据计算平均值，得到三种方案组网延时随组网数据量变化的描点图，如图8所示。

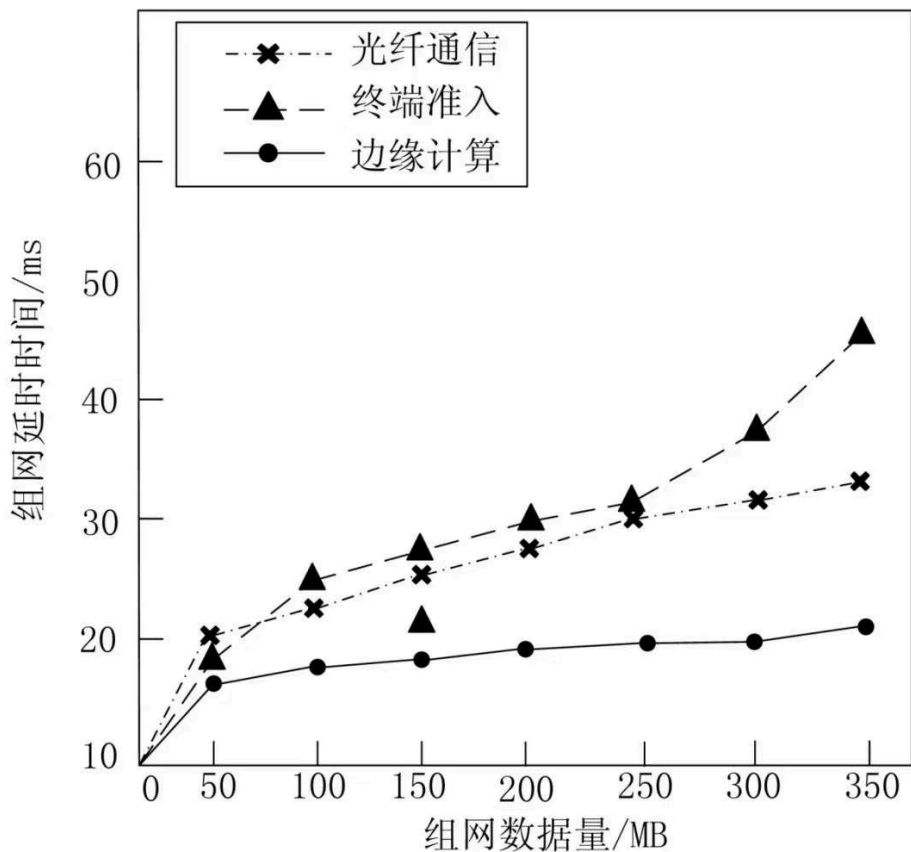


图8 三种组网方案延时时间描点图

图8中表明通过边缘计算方案进行电力组网所用时间最短，效率更高，解决了传统组网方式延时时间长、效率低的问题，证明了本设计的可行性。



## 5 结语

本文针对电力物联网组网方案的研究，利用边缘计算技术设计了一种边缘计算的电力物联网组网系统，这种系统通信延时较短、通信脉宽较大，不仅能够解决传统组网方式延时时间较长的问题，而且所用通信线路较少，节省了电力资源。

## 参考文献



- [1]唐永明. 通信工程传输线路的质量控制对策[J]. 通信世界, 2018(6):56-57.
- [2]唐伟, 张裔. 通信传输线路的质量控制策略分析[J]. 数字技术与应用, 2018,36(6):25-27.
- [3]王莉军. 通信线路的现状和对策探析[J]. 通信世界, 2015(5):4-5.
- [4]朱江, 段昂, 熊加毫, 等. 认知无线网络中准入控制和功率控制联合优化[J]. 系统工程与电子技术, 2017,39(3):641-648.
- [5] Keke,Gai,Meikang,et al.Dynamic energy- aware cloudlet -based mobile cloud computing model for green computing [J].Journal of Network &Computer Applications, 2016.


(作者单位：国网河南省电力公司济源供电公司，济源 454650)

(本文由《单片机与嵌入式系统应用》杂志社授权发表，原文刊发在2021年第10期)

END

 嵌入式系统专家之声推荐搜索

物联网 | 嵌入式系统 | 边缘计算

【点击上方  搜索词条可查看号内更多其他内容】






# 微信搜一搜

 嵌入式系统专家之声

 ----- 关注我们，了解更多精彩内容 ----- 

 转发，点赞，在看，安排一下？

期刊论文·目录

上一篇

SOPC嵌入式系统中软件的分段加载程序设计

下一篇

基于深度学习的交通标志识别研究

Reads 108

Comment

Comment

