

# 一种电网云平台资源调度算法的研究

蔡玺<sup>1</sup> 屈伟<sup>2</sup> 李秋燕<sup>1</sup>

(1. 甘肃同兴智能科技发展有限公司, 甘肃 兰州 730000;

2. 国网兰州供电公司, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 针对规模快速扩大的电网云平台所暴露出能源成本高和计算调度资源效率低的问题, 基于负载均衡的概念和原理, 提出了一种节能负载均衡全局优化算法, 用于优化电网云平台的计算资源调度。首先云平台的资源调度问题是一个旨在优化能源消耗和负载均衡组合优化问题; 然后提出了基于负载均衡策略和克隆选择原则的资源调度算法; 最后实验表明, 该算法能有效降低云平台的能耗, 提高其资源调度效率。

**关键词:** 电网云平台; 能耗约束; 数据中心; 组合优化问题; 资源调度算法

中图分类号: TP302.1 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2018)04-0019-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.04.005

## Research on Power Grid Cloud Platform Resource Scheduling Algorithm

Cai Xi<sup>1</sup> Qu Wei<sup>2</sup> Li Qiuyan<sup>1</sup>

(1. Gansu Tongxing Intelligent Technology Development Co., Ltd., Gansu 730000, Lanzhou, China;

2. State Grid Lanzhou Power Supply Company, Gansu 730050, Lanzhou, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of high energy costs and low computation efficiency of scheduling resource in the rapidly expanding power grid cloud platform, an energy-saving load balancing global optimization algorithm is proposed for optimizing power grid cloud based on the concept and principle of load balancing. Firstly, the resource scheduling problem of cloud platform is a problem that aims to optimize the combined optimization of energy consumption and load balancing. And then, a resource scheduling algorithm based on load balancing strategy and clonal selection principle is proposed. Finally, experiments show that the proposed algorithm can effectively reduce the energy consumption of cloud platform and improve its resource scheduling efficiency.

**Key words:** power grid cloud platform; energy consumption constraint; data center; combinatorial optimization problem; resource scheduling algorithm

## 0 引言

随着电网云平台技术的飞速发展, 作为电网云平台载体的数据中心服务器数量也越来越多, 由此引发数据中心资源调度成为电网云平台管理者关注的问题。电网云平台的资源调度问题需要在低能耗和高性能之间做出妥协, 面向单一低能耗的资源调度可能会导致服务响应延迟、性能降低等问题; 面向单一计算性能的资源调度算法也会导致过于糟糕的能耗问题<sup>[1]</sup>。

云平台资源调度近年来一直是一个活跃的研究领域, 许多资源调度研究成果可作为电网云平台资

源调度的借鉴。文献[2]在云计算环境中提出了一种基于时间成本和能耗模型的改进克隆选择算法(improved clonal selection algorithm, IC-SA), 并通过实验结果表明, 所提出的 IC-SA 方法可以有效地满足用户要求的服务等级协议。文献[3]从系统资源分配角度分析如何减少能源消耗, 并提出了一个云基础设施资源自动管理框架。文献[4]提出了一种以带宽为中心的任务调度模型和算法。该算法没有考虑系统的负载均衡, 导致任务分配不均衡。文献[5]设计了一种称为成本调度算法(cost conscious scheduling, CCS)的调度批处理作业的算法。该算法使用改进的差分进化算法(improved differential evolution algorithm, IDEA)对一个涉及任务调度和资源

分配的并行机制调度进行了研究。

文献 [6] 提出了一种面向云平台的虚拟桌面调度算法,旨在优化资源利用率,提高客户满意度。通过优化操作,该算法可以提高 29% 的资源利用率。文献 [7] 提出了云计算环境下的能量效率模型和度量方法,可以有效地计算单个计算机和云环境下的能源效率。基于公共和私有云数据传输中的能耗以及测量和详细统计数据的转换,文献 [8] 详细分析了云计算软件作为服务、存储即服务和平台即服务的能耗情况。文献 [9] 提出了一种实时能量管理系统,它可以实时监控 CPU 的利用率,并根据服务性能需要调整时钟频率和电压供应,使 CPU 保持在占用率的 80% 左右来处理负载变化。

基于对上述研究成果的总结,提出了一种基于克隆选择算法的资源调度算法,用以优化电网云平台的资源调度。克隆选择算法是一种基于免疫系统克隆选择理论的进化优化算法,通过迭代仿真生物进化从而实现全局寻优策略。该算法适合于解决一些使用传统数学规划方法无法解决的复杂环境下的优化问题。实验结果表明,所提出的算法可以合理优化电网云平台中的数据中心的资源节点的调度,降低数据中心能耗,降低电网云平台的运行成本。

## 1 动态优化模型

负载均衡是优化资源利用率,最大化吞吐量,减少延迟并确保容错配置的常用技术<sup>[10]</sup>。在电网云计算环境中,负载均衡是一种技术,用于在多个数据中心或其他资源节点之间传播工作负载,以避免单个资源过载。图 1 显示了云平台的计算模型。

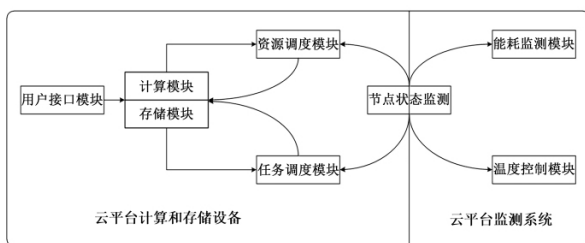


图 1 云计算模型

为了更好地描述负载均衡和能耗优化模型的设计,可以给出动态能耗优化模型如下。数据中心通常由电网云平台中分布在不同地理位置的多个资源节点组成。实际上,每个子任务  $t_i (i = 1, 2, \dots, m)$  可以得到资源节点  $R_j$  以满足基本实现条件,其

中  $m$  表示满足子任务  $t_i$  的资源数量。泊松分布适用于描述在单位时间内(或空间)发生的随机事件的数量。因此,云平台环境中资源分配和任务调度的动态过程可以看作一个泊松分布。

定义 1: 假设云平台模型  $G_{\text{Cloud}} = (D, T, P, G)$   $D = \{D_1, D_2, \dots, D_d\}$  是  $d$  个云服务器数据中心的集合;  $T$  是随机任务和计算节点,  $T_{ij}$  表示任务  $t_i$  在节点  $j$  上执行;  $P_i$  是闲置时节点  $i$  的功率,  $G_i$  是节点  $i$  的峰值功率。

定义 2: 假设每个数据中心的网络带宽矩阵在电网云平台中为  $B$ ,  $b_{ij}$  为数据中心各节点的传输带宽。

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1d} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ b_{d1} & b_{d2} & \cdot & b_{dd} \end{bmatrix} \quad (1)$$

为了尽量减少成本约束下的能源消耗,成本约束下的能源优化就是计算完成云计算过程中的能源消耗成本。

定义 3: 假设  $Q_i$  表示任务  $t_i$  的指令数量,  $\mu_i$  是节点  $i$  的使用率,  $f_i$  是节点  $i$  的频率,那么节点  $i$  上任务  $t_i$  的执行时间为  $Q_i / V_j^i$ 。服务器执行任务的能量  $t_i$  可以给出

$$\begin{cases} E_j^i = \lambda \times \mu_i \times (Q_i / V_j^i)^{\beta_i - 1} \times e^{f_i} \\ \beta_i = 1 + \frac{1}{\alpha_i} \geq 2 \\ \alpha_i \in (0, 1] \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 。

为了减少计算节点的能耗,可以通过减少空闲节点  $X$  的百分比来实现。电网云平台的能耗计算公式为

$$E = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \lambda \times u_i \times (Q_i / V_j^i)^{\beta_i - 1} \times e^{f_i} \quad (3)$$

随着云计算的快速发展,云数据中心的服务器规模每年都在不断扩大,造成巨大的功耗。此外,不合理的调度策略导致能源浪费,使电网云平台数据中心的运行成本不断增加。

资源算法的变异算子如算法 1 所示。

算法 1: 变异算子

输入: 变异概率  $P_m$

输出: 优化个体  $a_i$

1)  $k = \text{INT}(P_m \times \text{Size})$ ;  $\text{INT}(\cdot)$  是整数函数;

2)  $a'_i = \beta_k(a_i) = \beta_k(\varphi_1 \varphi_{l-1} \dots \varphi_k \dots \varphi_1) = \varphi_1 \varphi_{l-1}$

- ... $\varphi_k$ ... $\varphi_1$ ;  
 3)  $a''_i = \beta^k(a_i) = \beta^k(\varphi_1\varphi_{l-1}\dots\varphi_k\dots\varphi_1) = \varphi_k\varphi_{l-1}$   
 ... $\varphi_l$ ... $\varphi_1$ ;  
 4) 生成随机数  $r = \text{random}(0, 1)$ ;  
 5) 比较  $a_i, a'_i, a''_i$ , 如果  $P_m > r$ , 用三者中最大值替换  $a_i$ ;  
 6) 返回  $a_i$ 。

资源调度算法的选择算子如算法2所示。

算法2: 选择算子

输入: 选择概率  $P_s$ 。

输出: 优化个体  $a_k$ 。

- 1)  $k = \text{INT}(P_m \times \text{Size})$ ;  $\text{INT}(\cdot)$  是整数函数;
- 2) 根据抗体群体的降序亲和和力值, 直接选择第  $k$  个抗体  $a_k$ ;
- 3) 生成随机数  $r = \text{random}(0, 1)$ ;
- 4) 如果  $P_s > r$ , 将  $a_k$  保存作为下一代入口;
- 5) 返回  $a_k$ 。

图2显示了电网云平台的任务调度过程。

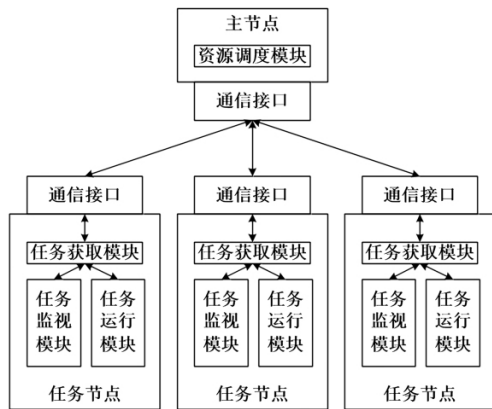


图2 电网云平台的任务调度

## 2 实验验证

为了测试算法在不同环境下的性能和效率, 使用具有 10 GB RAM 和 4 TB 存储 6 台物理机器搭建电网云计算平台, 其中每台机器具有 8 个容量为 10 000 MIPS 的 CPU。在电网云计算实验平台上设置 CloudSim 仿真环境, 其中包括作业调度程序、资源规划程序、云和虚拟机实例。CloudSim 平台提供的虚拟化引擎可以帮助用户构建和管理数据中心节点<sup>[11-12]</sup>。通过比较了 ICESA、CCS 和所提算法在实验云计算环境中的运行情况, 来验证所提算法的性能。

图3显示了不同数量任务的响应时间比较, 可以看出: 在初始阶段, 所提算法的响应时间略高于 CCS

和 ICESA 随着任务数量的逐渐增加, 这一差距逐渐减小; 在后期阶段, 所提算法的响应时间远低于其他两种算法。图4显示了不同迭代次数的响应时间比较, 可以看出, 所提算法与其他两种算法相比具有明显的优势。这是因为所提算法充分利用了克隆选择原则。

为了验证所提算法的有效性, 比较了3种算法的执行时间, 如图5所示, 可以清楚地看出, 所提算法的执行时间在处理过程中是最小的。

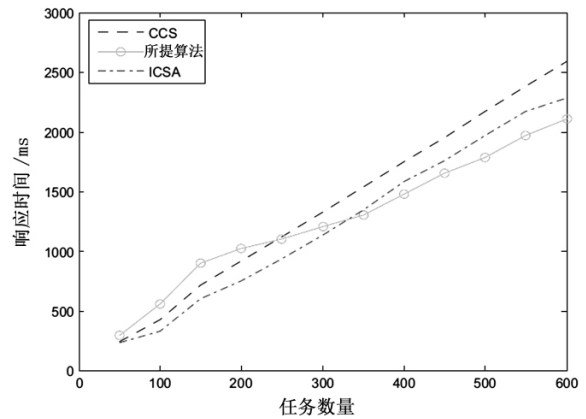


图3 不同任务数的响应时间比较

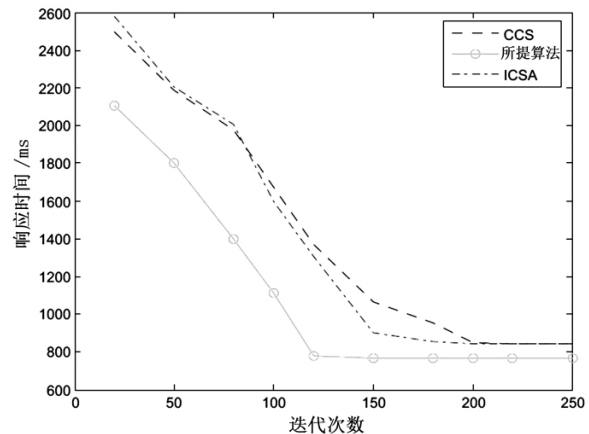


图4 不同迭代次数的响应时间比较

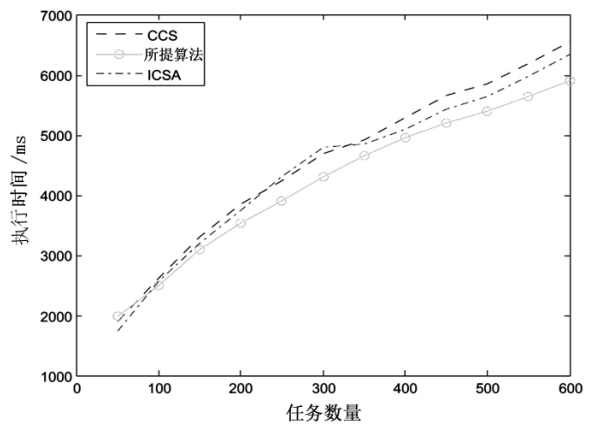


图5 执行时间比较

图6显示了不同调度周期的能耗比较。值得一

提的是,CCS、所提算法和 ICSA 分别在每个调度周期平均消耗 2.35、1.91 和 2.36 kW/h,其中所提算法的最低能耗为 1.62 kW/h。

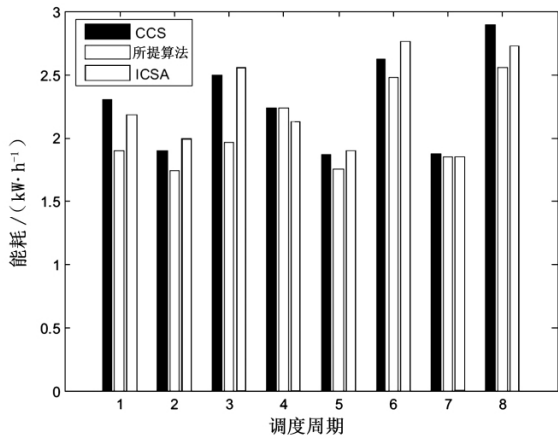


图6 不同调度周期的能耗比较

图7显示了不同数量任务的平均能耗比较,可以看出,所提算法在大多数情况下表现出更优异的性能,并且实现了极大的节能。由于所提算法同时从几个初始值开始,有效减少了对初始值的依赖,并加快了整体搜索速度。

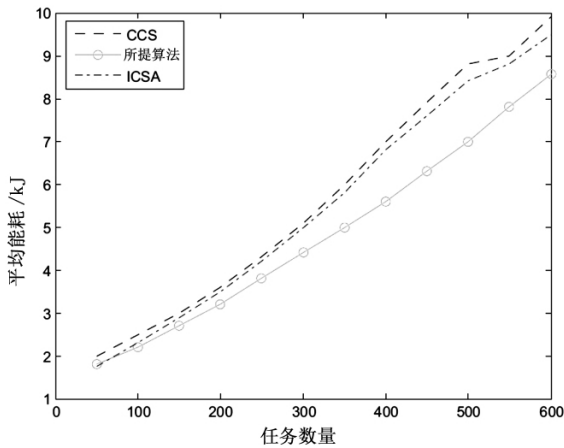


图7 不同数量任务的平均能耗比较

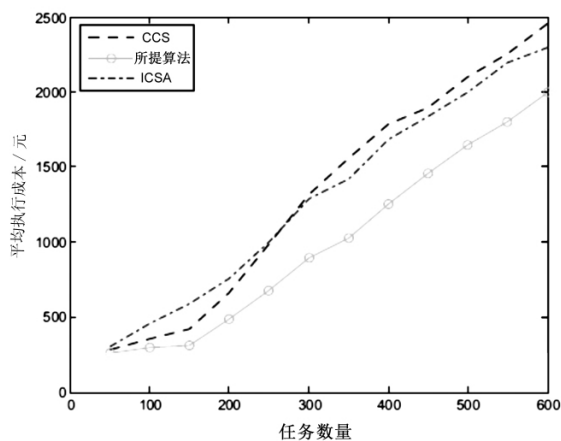


图8 不同数量任务的平均执行成本比较

图8显示了不同数量任务的平均执行成本的比较。值得一提的是,这3种算法的初始成本是相同的,随着任务数量的增加,这3种算法有不同的增长趋势。

图9显示了不同数量任务的平均执行功率比较的实验结果,不难看出所提算法的曲线波动幅度最小,说明所提算法的平均执行力较好,而CCS和ICSA波动较大。

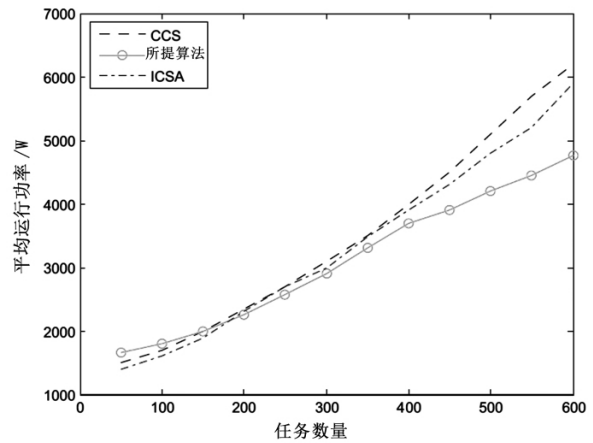


图9 不同数量任务的平均执行功率比较

### 3 结论

电网云平台由一系列互联和虚拟化计算机组成,通过计算机动态虚拟化提供一个或多个统一计算和存储资源。针对资源优化调度和能耗降低目标,提出了基于负载均衡策略和克隆选择理论的资源调度算法。实验结果表明,该资源调度算法具有较好的云平台数据中心能耗降低能力。

#### 参考文献

- [1] 彭小圣,邓迪元,程时杰,等.面向智能电网应用的电力大数据关键技术[J].中国电机工程学报,2015,35(3):503-511.
- [2] 贾嘉,慕德俊.基于粒子群优化的云计算低能耗资源调度算法[J].西北工业大学学报,2018,36(2):339-344.
- [3] 徐健锐,朱会娟.云计算环境中面向DAG任务的多目标调度算法[J].计算机应用研究,2019,36(1):1-2.
- [4] 周静,董守斌,唐德玉.基于入侵肿瘤生长优化的云计算调度算法[J].计算机学报,2018(6):1140-1155.
- [5] 王桂凤,耿向华.云技术在电网资源调度系统中的应用研究[J].电源技术,2017,41(11):1652-1653.
- [6] 陈俊,胡悦,杨娇,等.云计算数据中心实时能耗建模[J].计算机工程与设计,2017,38(9):2494-2497.

(下转第27页)

### 3.5 线路保护配置

自环互联式接线模式不会造成线路过长,分段较多的情况,保护配合比较容易。可以在线路两个分支的第1级分段开关处安装保护装置,在故障情况下减少停电影响。

## 4 建议

通过对自环互联式接线模式的研究分析,可以看出在负荷较为密集且饱和的地区比较适合建设和发展此类型的10 kV 互联接线模式,尤其是用户分布按块状结构划分的地区。在城市新开发地区可按照自环互联式网架结构进行规划,电网建设初期,若暂时无条件形成多路互联的网架结构,可以先期建成单路自环结构(开环运行),后期逐步发展成为自环互联式网架结构。在发展较为成熟区域,可以通过工程改造逐步将传统的互联结构发展为成熟的自环互联式网架结构。

## 5 结语

通过对北京地区传统10 kV 架空线路联络方式的研究,指出了它们的共性缺陷,并在此基础上提出了自环互联式架空线路接线模式,从可靠性、异常方式对互联线路的影响(负荷转移)、负载率等方面论证了自环互联式架空线路接线模式的优势。关于自环互联式架空线路接线模式的分析研究对城市地区

10 kV 架空线路网络的建设和发展具有重要的指导与参考意义。

### 参考文献

[1] 姚福生,杨江,王天华. 中压配电网不同接线模式下的供电能力[J]. 电网技术, 2008, 32(2): 93-95.

[2] 熊振东,程鹏. 中压配电网供电方案经济性分析[J]. 电力系统及其自动化学报, 2010, 22(1): 150-155.

[3] 陈庭记,程浩忠,何明,等. 城市中压配电网接线模式研究[J]. 电网技术, 2000, 24(9): 35-38.

[4] 谢晓文,刘洪. 中压配电网接线模式综合比较[J]. 电力系统及其自动化学报, 2009, 21(4): 94-99.

[5] 李历波,王玉瑾,王主丁,等. 规划态中压配网供电可靠性评估模型[J]. 电力系统及其自动化学报, 2011, 23(3): 84-88.

[6] 吴涵,林韩,温步瀛,等. 中压配电网接线模式技术性研究[J]. 电网与清洁能源, 2011, 27(9): 16-20.

[7] 胡列翔,王伟,麻秀范,等. 中压配电网的衍生接线模式[J]. 现代电力, 2006, 23(3): 26-30.

[8] 姚莉娜,张军利,刘华,等. 城市中压配电网典型接线方式分析[J]. 电力自动化设备, 2006, 26(7): 26-29.

[9] 王伟,张粒子,麻秀范. 基于结构元理论的中压配电网接线模式[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(11): 35-39.

[10] 王成山,王赛一,葛少云,等. 中压配电网不同接线模式经济性和可靠性分析[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(24): 34-39.

### 作者简介:

刘保全(1986), 硕士、工程师, 研究方向为电力调度、电力系统。

(收稿日期: 2018-01-02)

(上接第22页)

[7] 常晓荣,张春光,王思宁,等. 电网云测试服务平台的设计与应用[J]. 电信科学, 2017, 33(7): 176-182.

[8] 陈俊,王录通,胡悦. 云平台调度能耗测量研究[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(17): 272-276.

[9] 张素芹. 云计算任务资源高效调度算法研究[J]. 计算机仿真, 2016, 33(11): 410-413.

[10] 罗滇生,王新坤. 基于云计算的智能电网负荷预测平台架构研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2016, 43(2): 101-108.

[11] 林伟伟,吴文泰. 面向云计算环境的能耗测量和管理方法[J]. 软件学报, 2016, 27(4): 1026-1041.

[12] 彭小圣,邓迪元,程时杰,等. 面向智能电网应用的电

力大数据关键技术[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(3): 503-511.

[13] 曹子健,林今,宋永华. 主动配电网中云计算资源的优化配置模型[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(19): 3043-3049.

### 作者简介:

蔡玺(1982), 高级工程师、硕士, 研究方向为电力系统及其自动化;

屈伟(1980), 助理工程师、本科, 研究方向为电力系统自动化;

李秋燕(1986), 工程师、大专, 研究方向为电力企业信息化建设与运维。

(收稿日期: 2018-06-11)