

文章编号: 1000-8152(2008)01-0151-04

基于多Agent系统的分散发电调度规划

柳澹, 吴捷, 曾君, 郭红霞, 余晓明

(华南理工大学 电力学院, 广东 广州 510640)

摘要: 根据分散发电、分布式供能的特点提出了混合发电的数学模型, 并将分布式多Agent系统的原理应用其中, 对多种可再生能源混合发电的方式进行了探讨, 提出了一种基于Agent框架下的单体分层、模块式结构. 从宏观的角度对混合发电的问题进行了规划设计, 赋予了Agent自主性和协调能力, 有关联合目标的分解规划算法, 在一定程度上克服了自然资源随机变化带来的不确定性. 给出的算例说明该方法具有较强的实用性.

关键词: Agent; 分布式; 协作系统; 联合规划

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A

Dispatch management in distributed power generation on multi-agent system

LIU Dan, WU Jie, ZENG Jun, GUO Hong-xia, YU Xiao-ming

(Electric Power College, South China University of Technology, Guangzhou Guangdong 510640, China)

Abstract: Based on the characteristics of decentralized power generation and distributed power supply, we studies in this paper a hybrid power generation mode for various reproducible energy sources, and developed a mathematical model for it. By applying the principle of distributed multi-agent system, the hybrid power generation was planned in a macroscopic point of view. The agent is endowed with the independence in operation as well as the cooperation ability to cope with the random variations in natural resources. An example was given in this paper to demonstrate the effectiveness of the proposed method.

Key words: Agent; distributed; cooperation system; unite planning

1 引言(Introduction)

面对地球资源的日益枯竭和人口、环境压力的增加, 人们认识到可持续发展的重要意义. 发展高效、清洁的电力, 是解决经济、能源生产与消费和环境间矛盾的一项重要措施. 以风能、太阳能为代表的新能源发电与传统发电方式相比, 在空间上是分散的, 这种分散的、分布式的供能方式具有以下特点: 1) 充分利用分散的资源满足分散的实际需求; 2) 可就地建在负荷中心, 节省投资提高效率; 3) 环境友好; 4) 调峰性能好; 5) 运行环境、使用条件有特殊性.

各个电源组合问题是一个高维数、非凸的、离散的非线性的优化问题, 很难找出理论上的最优解. 文献[1]对机组调度的各种方法作了分类综述, 比较了各种方法的优缺点. 由于分散电源组调度问题复杂, 各个电源在空间上处于分散状态, 又具有信息种类多、分布广、信息随机不确定、各电源的运行状态

不同和环境动态变化等特点. 传统的集中式处理方法不适应求解处于开放的、动态变化环境中的分布式发电机组调度问题.

为解决上述问题, 将Agent及MAS的原理和技术引入机组调度决策中. Agent是一种能在环境中自治的感知信息, 并通过决策推理生成相应的规划, 作用于环境的计算实体或者功能单元, 其具有学习能力, 协调能力, 适应性和自治性. 它可以是控制器、计算机系统、软件系统或软硬件结合体. MAS主要研究一组自治的Agent在分布式开放的动态环境下, 通过交互、合作、竞争、协商等智能行为完成复杂的控制或任务求解^[2,3]. 把每一个电源节点封装成一个智能Agent. 充分利用Agent的自治性和他们之间的协调功能, 达到优化调度的目的, 以提高系统的稳定性、可靠性、灵活性, 且当部分系统瘫痪时, 其余部分仍可正常工作.

2 问题描述(Description of the problem)

首先,引入两个变量—正、负偏差变量 d^+, d^- . 正偏差变量 d^+ 表示决策值超过目标值的部分;负偏差变量 d^- 表示决策值未达到目标值的部分. 因为决策值不可能既超过目标值同时又未达到目标值,所以恒有 $d^+ \times d^- = 0$ 成立^[4],目标约束中加入正、负偏差变量,在达到目标值时允许发生正或负偏差. 作为供电系统,其最主要的目标就是“安全、经济、优质地供电”^[5],而要达到这些目标,是有主次或轻重缓急地不同. 定义 P_1 为安全因子,并将赋予第一位要达到的目标—供需平衡,要求总电量平衡就是要求恰好达到负荷需求值 $\sum P_D$,即对于正、负偏差都要尽可能地小,这时有 $\min z_1 = P_1(d_1^+ + d_1^-)$. 定义 P_2 为经济因子,赋予次位的经济目标,要求不超过给定的成本目标 b ,即允许达不到目标值,但必须是正偏差变量要尽可能地小,这时有 $\min z_2 = P_2 d_2^+$. 定义 P_3 为质量因子,赋予电能质量目标,要求不超过给定的电能质量目标 c ,即允许达不到目标值,就是正偏差要尽可能地小,这时有 $\min z_3 = P_3 d_3^+$. 同时规定 $P_i \gg P_{i+1}, i = 1, 2, \dots, I$,表示 P_i 比 P_{i+1} 有更大的优先权. 即首先保证供需平衡目标的实现;其次才考虑经济目标;最后才是考虑质量目标的约束. 这样,就得到了一个关于问题描述的数学模型:

$$\min z = P_1(d_1^+ + d_1^-) + P_2 d_2^+ + P_3 d_3^+, \quad (1)$$

$$\sum a_{1i} + d_1^- - d_1^+ = \sum P_D, \quad (2)$$

$$\sum a_{2i} + d_2^- - d_2^+ = b, \quad (3)$$

$$\sum a_{3i} + d_3^- - d_3^+ = c, \quad (4)$$

$$a_{1i}^{\min} \leq a_{1i} \leq a_{1i}^{\max}, \quad (5)$$

$$d_k^-, d_k^+ \geq 0, k = 1, 2, 3, \quad (6)$$

$$x_i = 0 \text{ or } 1. \quad (7)$$

对于编号为 i 的Agent, a_{1i} 表示输出功率; a_{2i} 表示运行成本; a_{3i} 表示电能质量度量参数; a_{1i}^{\min} 表示最小出力; a_{1i}^{\max} 表示最大出力; x_i 表示Agent $_i$ 在 t 时段的状态, 1表示开机, 0表示停机. 对于以上混合发电的问题应用专家评定法^[6]来确定各项参数.

为了区分各个电源的宏观运行模式, 定义一个离散的运行模式集合 $M = \{m_1, m_2, m_3, m_4\}$, 其中: m_4 为并网运行模式, 各个Agent到达自己的额定出力, 并且向负荷发出电力; m_3 为热备用模式, 发电机组能达到最大出力, 但并未向负荷输送电力; m_2 为冷备用模式, 外部自然资源(如风速, 光照强度)不能使发电机组能达到最大出力, 从而使机组处于待机状态, 一旦自然资源充足, 机组能马上启动运行; m_1 为停机检修模式, 发电设备完全停止运行(如果是风机则风轮停止转动, 同时制动闸将转轴固定住). 这4个运行模式的转换关系如图1所示.

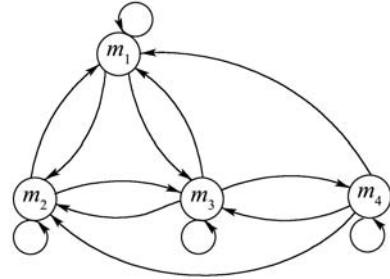


图1 运行模式转换关系

Fig. 1 Operation mode change

3 Agent的结构(Introduction)

本文的重点在于单个发电机组Agent体系结构的研究. 文献[7]提出了面向多机器人协作系统的三层结构形式. 为了使单体Agent能够呈现出较强的协作性和相应于环境所做出的自主性, 考虑到分散式发电系统越来越复杂的应用环境, 下面给出一种4层的发电机组控制体系结构, 如图2所示. 单体控制体系结构包括Agent监控层、联合任务规划层、冲突调节规划层和决策层.

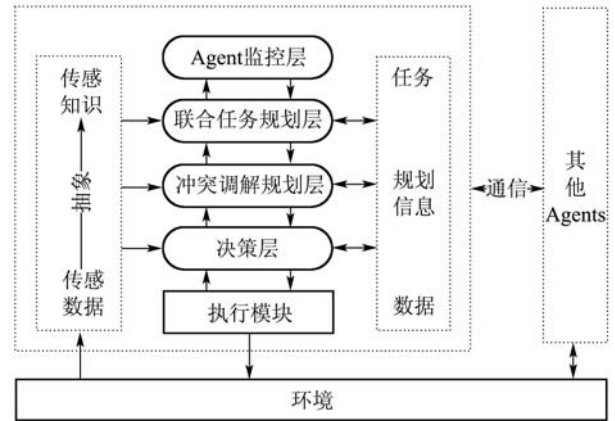


图2 MAS框架结构

Fig. 2 MAS framework block diagram

Agent监控层不参与正常情况下具体的规划, 除了给操作人员提供自身运行状态信息外, 当系统发生异常情况使得联合任务规划层、冲突调解规划层和决策层都无法解决时, 该层将通知操作人员处理这些异常、冲突或者死锁, 如改变任务的执行状态(热备用、冷备用、停机、并网). 联合任务规划层赋予Agent一定的合作能力, 根据任务的要求创建和组织合适的Agent群体, 解决多Agent之间的任务级合作问题. 冲突调解规划层在任务的执行过程中负责检查冲突和采取有效的措施来消解冲突. 决策层主要是根据当前的任务状态, 以及来自上层的有关命令, 结合对工作环境的了解进行决策, 为Agent选择不同的运行模式, 以实现具体的动作控制.

4 协作算法(Cooperation algorithm)

单体Agent $_i$ 采用的协作规划算法如下所述:

Step 1 任务承接. 发起人将任务描述Task_description以消息的形式传送给 H_i , 其中 H_i 表示处于热备用状态集合的Agent $_i$.

Step 2 任务分解. 对于给定的任务, 根据类型和难易程度进行分解, 产生新子任务的逻辑关系网, 确定子任务进一步分解的串行关系与分解顺序. 若不需要分解则转Step 3.

Step 3 任务规划. 对每一个子任务Task_description, H_i 将自己添加进入一个多元组($\dots, H_i, \dots, \text{Task-description, Dependence}$), 其中Dependence表示Agent和任务之间的关系. 例如, ($H_i, T_i, \cup(H_{jk}, T_{jk})$)表示处于热备用状态的 H_i 是联合任务 T_i 的协作者, 它将与相应的其他个体 H_{jk} 协作执行.

Step 4 任务确定. 采用协商方法实现任务的动态分配, 协商(Negotiation)可以表示为一个多元组 $[7]$, 设 D 为一个协商域, 则有 $\text{Negotiation} = (A, M, \rho, N, U, P, S)$. 式中: $A = \{\text{Agent}_1, \dots, \text{Agent}_k\}$ 为Agent群体. $M = \{m_1, \dots, m_l\} (k \geq 2)$ 为离散的运行模式集合. ρ 为模式转换函数, 用于转换Agent的运行模式, $\rho(\text{Agent}) = m, \text{Agent} \in A, m \in M$. $N \subseteq D$ 为协商集. $U = \{u_1, \dots, u_k\}$, u_i 是Agent $_i$ 的约束函数. $P = (K, \{\pi : M \times K_a \rightarrow 2^k | m \in M\})$ 表示协商协议, 其中, $K = \{k_1, \dots, k_m\}$ 表示通信原语的集合, π 表示一种映射关系, 实现从通信原语到考虑协议中特定模式所容许反应的转换. $S = \{\sigma_i : P \times M \times K \times 2^D \times U_a \times K \times N | 1 \leq i \leq k\}$ 表示一个协商策略集合.

Step 5 的任务分解完成.

5 任务的分解(Task disassemble)

在分布式的多Agent系统中, 由于没有一个集中的管理的Agent, 总发电量需要被分解到独立的Agent上去, 通过上面的叙述已经将问题的求解放在了处于热备用状态的Agent集合之中, 这样就避免了随机的自然资源所产生的不确定性. 各个Agent形成一定的熟人链, 这样任务发起Agent, 可以以消息形式将目标任务发布. 某个Agent得到目标任务后, 判断自己是否加入联合规划, 如果可以加入, 则将自己加入执行人链表, 目标任务由于自己的加入而被缩小, 这个新的目标任务被发送给熟人表上的朋友, 由他们进行接下来的任务分解. 而当外部环境变化造成联合运行规划中的Agent要退出时, 他可以通过自己的熟人表格, 迅速找到合适的替代者. 为了尽可能的利用单机容量, 熟人表格按单机容量的大小排定, 从而确定了一个规则—构成联合发电规划集合的Agent, 应首先考虑容量较大的入选.

如图3所示, S 为任务发起Agent将向热备用集合

发送任务消息, 1号Agent接受到任务之后, 进行任务评估, 将自己加入联合规划, 然后将总发电量按照自己的出力进行缩小, 将缩小的任务按照熟人链关系交给2号Agent, 以此类推, 直到任务分解完成.

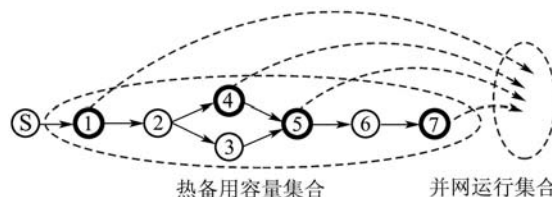


图 3 联合任务传递分解的过程

Fig. 3 Process of unite task's transferring and decomposing

规划完成后生成了一个新的热备用集合和一个联合规划并网运行集合, 如图4所示. 如果一次规划不能将任务彻底分解完全, 则将任务交还给上一个预定加入并网运行集合的Agent重新规划, 即此Agent不加入并网运行集合, 继续执行任务分解. 如果遇到同时满足条件的Agent, 考虑到式(1)至式(7)的数学模型, 电价与电能质量可作为约束条件加以综合考虑, 即可解决此类冲突.

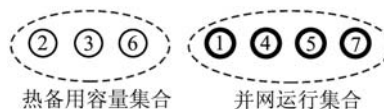


图 4 联合任务分解完成后的状态

Fig. 4 State after unite task's decomposing accomplished

6 算例分析(Application example)

本文算例取自某一种简化的运行状态. 系统现有发电机组6个. 总容量71 kW, 其主要参数见表1, 系统负荷需求为63 kW, 其中长期运行的一类负荷50 kW, 间歇性接入的二类负荷13 kW.

表 1 系统机组主要参数

Table 1 System set data

发电机组序号	类型	单机容量/kW
1	风电	15
2	风电	14
3	风电	13
4	风电	12
5	太阳能	9
6	太阳能	9

一类负荷Agent发出任务消息之后, 任务的分解过程如图5所示.

第1次规划在4号Agent不能达到功率数值的匹配, 则返回到3号Agent重新规划, 将3号从规划序列中去除, 保持并将当前的任务继续下传分解, 直至分解完成. 图中黑框标识了进入联合发电规划

的Agent集合. 表2给出了一类负荷情况下的机组稳定运行的结果.

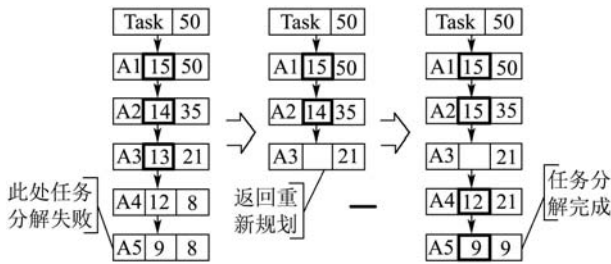


图5 任务规划过程

Fig. 5 Process of task planning

表2 系统一类负荷接入后机组分配结果

Table 2 Unit dispatch result of steady load

机组序号	类型	机组出力/kW	状态
1	风电	15	并网运行
2	风电	14	并网运行
3	风电	13	热备用
4	风电	12	并网运行
5	太阳能	9	并网运行
6	太阳能	9	热备用

表3 环境因素变化时机组分配结果

Table 3 Unit dispatch result of environment changing

机组序号	类型	机组出力/kW	状态
1	风电	15	并网运行
2	风电	14	并网运行
3	风电	13	并网运行
4	风电	12	并网运行
5	太阳能	0	冷备用
6	太阳能	9	并网运行

当环境因素发生改变(如5号机组太阳光照强度

变化)而导致机组不能运行, 各个Agent重新规划后结果如表3所示.

7 结论(Conclusion)

分散发电、分布式供能方式方兴未艾. 本文根据其特点对基于多种可再生能源混合发电的方式进行探讨, 提出了混合发电的数学模型, 从宏观的角度对混合发电的问题进行了规划设计, 在一定程度上克服了自然资源随机变化带来的不确定性. 并且初步实现了分布式供能方式下的任务分解, 给出的算例说明该方法具有较强的实用性.

参考文献(References):

- [1] 陈皓勇, 王锡凡. 机组组合问题的优化方法综述[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(4): 51 - 56.
(CHEN Haoyong, WANG Xifan. A survey of optimization-based methods for unit commitment[J]. *Automation of Electric Power System*, 1999, 23(4): 51 - 56.)
- [2] GASSER L. Social conceptions of knowledge and action: DAI foundations and open systems semantics[J]. *Artificial Intelligence*, 1991, 47(1-3): 107 - 138.
- [3] 胡舜耕, 张莉, 钟义信. 多Agent系统的理论、技术及应用[J]. 计算机科学, 1999, 26(9): 20 - 24.
(HU Shungeng, ZHANG Li, ZHONG Yixin. Theories, technologies and applications of multiagent systems[J]. *Computer Science*, 1999, 26(9): 20 - 24.)
- [4] 赵可培. 目标规划及其应用[M]. 上海: 同济大学出版社, 1987.
(ZHAO Kepei. *Objective Planning and Application*[M]. Shanghai: Tongji University Press, 1987.)
- [5] 华智明, 张瑞林. 电力系统[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1997.
(HUA Zhiming, ZHANG Ruilin. *Electric Power System*[M]. Chongqing: Chongqing University Press, 1997.)
- [6] 王宗军. 集成式多目标权重系数赋值方法[J]. 系统工程理论与实践, 1996, 8(8): 12 - 19.
(WANG Zongjun. The integrated multiobjective weights assigning method[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 1996, 8(8): 12 - 19.)
- [7] MULLER J P. *The Design of Intelligent Agents: a Layered Approach*[M]. New York: Springer-Verlag, 1996.