



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105225017 A

(43) 申请公布日 2016. 01. 06

(21) 申请号 201510728777. 4

(22) 申请日 2015. 10. 30

(71) 申请人 南京南瑞集团公司

地址 210003 江苏省南京市鼓楼区南瑞路 8 号

申请人 国网电力科学研究院

(72) 发明人 唐海东 芮钧 吴正义

(74) 专利代理机构 南京纵横知识产权代理有限公司 32224

代理人 董建林

(51) Int. Cl.

G06Q 10/04(2012. 01)

G06Q 50/06(2012. 01)

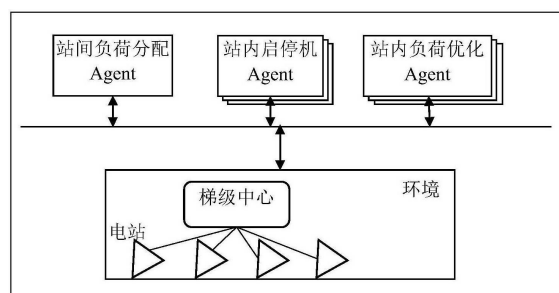
权利要求书3页 说明书9页 附图3页

### (54) 发明名称

一种多 Agent 的水电站群短期优化调度方法

### (57) 摘要

本发明公开了一种多 Agent 的水电站群短期优化调度方法,着重提高水电站群优化调度求解速度和运行效率,解决现有求解技术无法满足大规模水电站群短期优化调度问题,本发明将会使整个水电站群的发电效益达到最大,对推动梯级水电站优化调度的发展、提高经济运行水平都具有重要意义。



1. 一种多 Agent 的水电站群短期优化调度方法, 其特征在于, 包括以下步骤,  
步骤 (1), 建立水电站群短期优化调度模型

$$\text{目标函数: } E = \min \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K Q_{k,t} (P_{k,t}, H_{k,t}) \times H_{k,t}$$

式中, E 为各电站各时段耗能之和; T 为调度周期; K 为电站个数;  $Q_{k,t}$  为第 k 电站 t 时段的发电流量;  $P_{k,t}$  为第 k 电站 t 时段的出力;  $H_{k,t}$  为第 k 电站 t 时段的水头;

约束条件:

$$(1) \text{ 系统负荷平衡约束 } P_t = \sum_{k=1}^K P_{k,t}, \quad t = 1, 2, \dots, T$$

$$(2) \text{ 各水电站出力限制 } P_{k,t}^{\text{down}} \leq P_{k,t} \leq P_{k,t}^{\text{up}}, \quad k = 1, 2, \dots, K \quad t = 1, 2, \dots, T$$

$$(3) \text{ 水量平衡方程 } V_{k,t+1} = V_{k,t} + (Q_{\text{in},k,t} - Q_{\text{gen},k,t} - Q_{\text{dis},k,t}) \Delta t, \quad k = 1, 2, \dots, K \quad t = 1, 2, \dots, T$$

$$(4) \text{ 水库库容约束 } V_{\min,k} \leq V_{k,t} \leq V_{\max,k}, \quad k = 1, 2, \dots, K \quad t = 1, 2, \dots, T$$

$$(5) \text{ 梯级电站水流滞后约束 } Q_{\text{in},k,t} = Q_{q,k,t} + Q_{\text{out},k-1,t-\tau_k}, \quad k = 1, 2, \dots, K \quad t = \tau_k, \dots, T$$

式中,  $P_t$  为 t 时段梯级负荷,  $P_{k,t}$  为 k 电站 t 时段的出力;  $P_{k,t}^{\text{down}}$  是第 k 电站在第 t 时段出力下限,  $P_{k,t}^{\text{up}}$  是第 k 电站在第 t 时段出力上限;  $V_{k,t}$  是第 k 电站在第 t 时段库容,  $V_{k,t+1}$  是第 k 电站在第 t+1 时段库容,  $Q_{\text{in},k,t}$  是第 k 电站在第 t 时段来水流量,  $Q_{\text{gen},k,t}$  是第 k 电站在第 t 时段发电流量,  $Q_{\text{dis},k,t}$  是第 k 电站在第 t 时段弃水流量,  $\Delta t$  为单位时段的时间长,  $V_{\min,k}$  为第 k 电站最小库容约束以及按中长期规划约束的综合,  $V_{\max,k}$  为第 k 电站最大库容约束以及按中长期规划约束的综合;  $Q_{q,k,t}$  为第 k 电站在第 t 时段上游区间来水;  $Q_{\text{out},k-1,t-\tau_k}$  为第 k 电站在第 t 时段流入上游电站的泄流;  $\tau_k$  为第 k-1 电站到第 k 电站的径流传播时间;

步骤 (2), 建立短期优化调度子模型

$$\text{目标函数: } Q = \min \sum_{t=1}^T \left\{ \sum_{i=1}^n Q_{\text{gen},t,i} (N_{t,i}, H_t) + Q_{\text{dis},t} \right\}$$

式中, Q 为电站 T 周期内耗水流量之和, T 为调度周期, n 为机组数,  $Q_{\text{gen},t,i}$  为 t 时刻 i 机组的发电流量,  $N_{t,i}$  为 t 时刻 i 机组的出力,  $H_t$  为电站 t 时刻净水头,  $Q_{\text{dis},t}$  为电站 t 时刻弃水流量;

约束条件:

$$(1) \text{ 功率平衡 } N_s = \sum_{i=1}^n N_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$(2) \text{ 水量平衡约束 } V_{t+1} = V_t + (Q_{\text{in},t} - Q_{\text{gen},t} - Q_{\text{dis},t}) \Delta t, \quad t = 1, 2, \dots, T$$

$$(3) \text{ 出力约束, 为水轮机效率和水头决定 } N_{i,\min} \leq N_i \leq N_{i,\max}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$(4) \text{ 引用流量约束 } Q_{\text{out},\min} \leq Q_i \leq Q_{\text{out},\max}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$(5) \text{ 机组不可运行区域 } N_i \in \{N_i^{\text{down}} \leq N_i \leq N_i^{\text{up}}\}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$(6) \text{ 库容约束 } V_{\min} \leq V_t \leq V_{\max}, \quad t = 1, 2, \dots, T$$

式中,  $N_s$  为梯级给电站分配的出力,  $N_i$  为电站 i 机组出力,  $V_t$  是电站在第 t 时段库容,

$Q_{in_t}$  是电站在第  $t$  时段来水流量,  $Q_{gen_t}$  是电站在第  $t$  时段发电流量,  $Q_{dis_t}$  是电站在第  $t$  时段弃水流量,  $\Delta t$  为单位时段的时间长,  $N_{i,min}$  为  $i$  机组最小出力,  $N_{i,max}$  为  $i$  机组最大出力,  $Q_{out_{max}}$  为机组最大过流量,  $Q_{out_{min}}$  为机组最小过流量,  $N_i^{down}$  为  $i$  机组可运行区下限,  $N_i^{up}$  为  $i$  机组可运行区上限,  $V_{min}$  为电站最小库容约束以及按中长期规划约束的综合最小库容,  $V_{max}$  为电站最大库容约束以及按中长期规划约束的综合最大库容;

步骤 (3), 根据步骤 (1)、步骤 (2) 中的模型建立 Agent 模型, 所述 Agent 模型包括站间负荷分配 Agent、站内启停机 Agent 和站内负荷优化 Agent,

所述站间负荷分配 Agent 的任务是监听梯级中心是否接收了新的次日负荷曲线, 一旦监听到新的次日负荷曲线  $N_p = (N_{p1}, N_{p2}, N_{p3}, \dots, N_{p96})$ , 站间负荷分配 Agent 立即将新的次日负荷曲线按预定算法分配给各电站, 待站内启停机 Agent 和站内负荷优化 Agent 分别为电站机组计算启停计划、分配负荷之后, 站间负荷分配 Agent 存储结果, 继续重复分配直到结果满意为止, 所述站间负荷分配 Agent 还用于删除多余的 Agent、增加 Agent, 以达到适应优化计算的目的;

所述站内启停机 Agent 的任务是制定启停机计划和寻找最少穿越振动区的机组可行域, 所述站内启停机 Agent 监视各个电站是否有新的负荷曲线, 若监视范围内的电站被分配好新的负荷曲线, 则立即对其展开计算;

所述站内负荷优化 Agent 的任务是根据启停机计划和机组可行域, 以最少耗水准则优化分配负荷到各台机组, 然后站内负荷优化 Agent 将调度时段内的耗水能发送给站间负荷分配 Agent;

步骤 (4), 建立 Agent 算法库, 算法库中包含两类算法, 经典算法和启发性智能优化算法, 每次计算随机选择一种经典算法和一种智能优化算法, 并行计算, 对计算结果进行比较, 然后反馈给 Agent 算法库, Agent 算法库做好算法的优劣统计, 优秀的算法被选择的概率增大, 效率低的算法被选择的概率小, 最后逐渐淘汰;

步骤 (5), 将步骤 (3) 中建立的 Agent 模型调用步骤 (4) 中建立的 Agent 算法库, 实现多 Agent 的水电站群短期优化调度。

2. 根据权利要求 1 所述的一种多 Agent 的水电站群短期优化调度方法, 其特征在于, 所述站间负荷分配 Agent 设为一个, 设置于计算机的 Agent 主容器内, 所述计算机内设有 Agent 平台, 设有 Agent 主容器的计算机连接于若干个其它计算机, 其它计算机内均设有 Agent 平台, 与设有 Agent 主容器的计算机内的 Agent 平台形成多 Agent 平台, 所述 Agent 主容器内还设有管理 Agent, 所述管理 Agent 负责整个多 Agent 平台的状态管理、Agent 管理和主程序的启动, 其它计算机的 Agent 平台内相对应的设有副 Agent 容器, 所述副 Agent 容器内设有站内启停机 Agent 和站内负荷优化 Agent。

3. 根据权利要求 1 所述的一种多 Agent 的水电站群短期优化调度方法, 其特征在于, 使用启发性智能优化算法时多 Agent 的优化过程为,

(1) 给定站内启停机 Agent 规模为  $N_1$ , 站间负荷分配 Agent 规模为  $N_2$ , 初始站间负荷分配方案规模为  $M$ ;

(2) 站间负荷分配 Agent 收到水电站群负荷曲线后, 随机  $M$  个初始的电站负荷分配方案, 分配其负荷曲线到各个电站, 然后监视各电站是否分配完, 若分配结束, 就立即根据上一次下发的  $M$  个方案及结果, 更新这  $M$  个方案, 然后继续下发到水电站, 如此反复, 直到找到

收敛的最优方案；

(3) 站内启停机 Agent 监测到有电站被分配了新的负荷曲线,就立即进行启停机计划的制定,然后寻找最小穿越振动区的可行域,反馈到电站,N1 个站内启停机 Agent 采用抢占式对电站进行处理,也即对于单个电站的 M 个负荷方案,可能由单个站内启停机 Agent 完成,也可能多个站内启停机 Agent 完成,当某 Agent 完成某电站的任务,则继续滚动扫描剩余电站,若有未完成的任务,立即加入执行任务；

(4) 当有任何一个站内启停机 Agent 完成了某电站的某个方案的启停机计划和最少穿越振动区可行域后,站内负荷优化 Agent 就会立即监测到任务,并立即对电站的该方案进行机组负荷优化分配,同样采用抢占式完成任务,空闲的站内负荷优化 Agent 自动监视各电站未分配到机组的负荷曲线,一旦监视到,就立即对其优化分配,然后继续监视,如此重复循环。

## 一种多 Agent 的水电站群短期优化调度方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于测试技术领域,具体涉及一种基于任务自动分配型多 Agent 的水电站群短期优化调度方法。

### 背景技术

[0002] 随着目前国内水电站群规模的日益扩大以及流域滚动开发公司相继成立,大规模、跨流域、跨省、跨区域已经成为我国水电调度的显著特征,产生了很多新的复杂调度和运行技术难题,突出表现在系统求解和运行效率方面。大规模水电站群优化调度问题具有高维、非线性、多阶段、强约束等特点,求解过程十分困难,而不断扩大的水电系统使电站间、梯级间存在着更为复杂的水力和电力联系,增加了问题的约束条件数目。对于常规求解方法而言,其计算量和计算时间随电站及约束数目会呈指数增长,无法有效解决大规模水电站群优化调度问题。此外,随着流域内水电站数量的逐渐增多,电站间的水力、电力耦合也越来越紧密,导致水电站群短期优化调度问题的越来越复杂。优化规模的巨大和复杂直接导致了计算需要花费更多的时间,但是水电站群的短期优化调度对求解速度要求非常高,常规计算方法已经不能满足其计算速度的要求。现有的各种求解技术已经越来越难以满足实际应用的巨大规模水电站群短期调度求解速度需求,也即求解时间无法满足需求。

[0003] Agent 智能技术在计算机领域的研究应用起源于 20 世纪 70 年代中期美国的研究人员开展的一系列关于分布式人工智能的研究,他们发现 Agent 通过协作将一些简单的信息系统组成一个大的整体系统可以有效的提高其处理复杂问题的能力,并且通过定义相适应的协作机制可以提高整体系统的智能水平。由此产生了具有人工智能性并能被动地感应问题处理的信息还能够主动地预测、分析甚至积极寻找解决途径以支持用户完成任务的 Agent 系统理念与方法。

[0004] 多 Agent 系统 (Multi-Agent System, MAS) 是指由多个可执行的 Agent 子系统组合而成。多 Agent 系统能够进行目标问题的求解,随环境变化而修改自己的行为,并能通过网络与其它 Agent 个体进行通信、交互、协调共同完成同一项任务。通常,每个 Agent 被定义为一个实物的或者抽象的现实体。在网络与分布式环境下,每个 Agent 个体都是独立的,能作用于个体本身和外部环境变化,能操纵外部环境变化的部分表述,能对外部环境的变化做出相应的反映,更为重要的是能与其它 Agent 个体进行通信、交互、协调共同完成既定的任务目标。所以,Agent 应具有自主性、交互性、反应性和主动性等特性。多 Agent 系统能模拟大型组织机构的群体工作,并能运用其独特的方式、方法,解决群体中的复杂问题。多 Agent 系统的结构如图 1 所示。

[0005] 目前,梯级水电站群短期优化调度的求解模型分为两大类。第一类是以水定电模型,以给定的水优化分配使其生产更多电能;第二类是以电定水模型,基于电网给定水电站群实时负荷或负荷曲线进行分配到各个电站,然后分配到各台机组,使得整个水电站群耗水能最少。

[0006] 目前 Agent 技术应用到水电站群优化调度的技术方案的结构图如图 2 所示,其具

体内容如下：

[0007] (1) 建立两种 Agent, 第一种是梯级中心 Agent, 代表整个梯级中心, 用作管理协调作用; 第二种是电站 Agent, 拥有电站基本数据, 能够进行启停机安排和机组负荷优化。每个 Agent 内都具有优化算法。梯级中心下, 每个电站都建为电站 Agent。

[0008] (2) 优化计算时, 梯级 Agent 接收上级电网的负荷调度信息并通过优化算法分配负荷到电站 Agent, 然后等待电站 Agent 反馈优化结果。

[0009] (3) 各个电站 Agent 接收梯级 Agent 分配的负荷信息, 然后各自针对其电站进行启停机计算、负荷分配优化, 然后将结果发送回梯级 Agent。

[0010] (4) 梯级 Agent 根据各个电站 Agent 反馈回来的数据, 进行运算更新调整, 然后再发送负荷信息到电站 Agent; 或者当达到优化要求时, 就结束, 不再通信。

[0011] 现有的短期优化调度模型求解要么使用单台计算机单线程计算、单台计算机多线程并行计算、多台计算机并行计算和多 Agent 协同计算。显然由于梯级水电站群规模日益扩大, 单台计算机计算方式无法满足计算速度的需要; 目前的多台并行计算是简单的划分任务, 可以在一定程度上缩短计算时间, 但不能做到智能分配任务、智能协调等, 导致计算结果不理想。现有的多 Agent 协同计算是按水电站个数来规划 Agent 个数, 与传统多台机并行计算无较大差异, 计算速度无法继续提高。而且对新增水电站和新增机组的情况无法适应需要重新编写编译 Agent。水电站群短期优化调度求解算法一般分为两类, 一类是使用的经典算法或其改进算法, 经典算法如动态规划对于大型水电站群的优化计算, 需要遍历所有可能的解。所以易发生“维数灾”, 计算时间过长。另一类是使用的现代智能优化算法, 其因计算速度快收敛快等特点被众多学者研究, 但由于它由初始解是随机产生的以及迭代过程有大量随机量, 导致其无法保障 100% 收敛, 而且易陷入局部极值。所以两类算法各有缺点, 经典算法及其改进算法缺点就是当机组数或电站数增多时, 易发生“维数灾”, 导致计算时间急剧增长。而现代智能优化算法的缺点是不能保障每次都收敛, 而且易收敛到局部极值而非全局极值。因此需要进行进一步的研究。

## 发明内容

[0012] 为了解决现有技术中存在的不足, 本发明提供了一种基于任务自动分配型多 Agent 的水电站群短期优化调度方法, 本发明着重提高水电站群优化调度求解速度和运行效率, 解决现有求解技术无法满足大规模水电站群短期优化调度问题, 本发明将会使整个水电站群的发电效益达到最大, 对推动梯级水电站优化调度的发展、提高经济运行水平都具有重要意义。

[0013] 为解决上述问题, 本发明具体采用以下技术方案:

[0014] 一种多 Agent 的水电站群短期优化调度方法, 其特征在于, 包括以下步骤,

[0015] 步骤 (1), 建立水电站群短期优化调度模型

[0016] 目标函数: 
$$E = \min \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K Q_{k,t} (P_{k,t}, H_{k,t}) \times H_{k,t}$$

[0017] 式中, E 为各电站各时段耗能之和; T 为调度周期; K 为电站个数;  $Q_{k,t}$  为第 k 电站 t 时段的发电流量;  $P_{k,t}$  为第 k 电站 t 时段的出力;  $H_{k,t}$  为第 k 电站 t 时段的水头;

[0018] 约束条件:

[0019] (1) 系统负荷平衡约束  $P_t = \sum_{k=1}^K P_{k,t}$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$

[0020] (2) 各水电站出力限制  $P_{k,t}^{down} \leq P_{k,t} \leq P_{k,t}^{up}$ ,  $k = 1, 2, \dots, K$   $t = 1, 2, \dots, T$

[0021] (3) 水量平衡方程  $V_{k,t+1} = V_{k,t} + (Q_{in_{k,t}} - Q_{gen_{k,t}} - Q_{dis_{k,t}}) \Delta t$ ,  $k = 1, 2, \dots, K$   $t = 1, 2, \dots, T$

[0022] (4) 水库库容约束  $V_{min_k} \leq V_{k,t} \leq V_{max_k}$ ,  $k = 1, 2, \dots, K$   $t = 1, 2, \dots, T$

[0023] (5) 梯级电站水流滞后约束  $Q_{in_{k,t}} = Q_{q_{k,t}} + Q_{out_{k-1,t-\tau_k}}$ ,  $k = 1, 2, \dots, K$   $t = \tau_k, \dots, T$

[0024] 式中,  $P_t$  为  $t$  时段梯级负荷,  $P_{k,t}$  为  $k$  电站  $t$  时段的出力;  $P_{k,t}^{down}$  是第  $k$  电站在第  $t$  时段出力下限,  $P_{k,t}^{up}$  是第  $k$  电站在第  $t$  时段出力上限;  $V_{k,t}$  是第  $k$  电站在第  $t$  时段库容,  $V_{k,t+1}$  是第  $k$  电站在第  $t+1$  时段库容,  $Q_{in_{k,t}}$  是第  $k$  电站在第  $t$  时段来水流量,  $Q_{gen_{k,t}}$  是第  $k$  电站在第  $t$  时段发电流量,  $Q_{dis_{k,t}}$  是第  $k$  电站在第  $t$  时段弃水流量,  $\Delta t$  为单位时段的时间长,  $V_{min_k}$  为第  $k$  电站最小库容约束以及按中长期规划约束的综合,  $V_{max_k}$  为第  $k$  电站最大库容约束以及按中长期规划约束的综合;  $Q_{q_{k,t}}$  为第  $k$  电站在第  $t$  时段上游区间来水;  $Q_{out_{k-1,t-\tau_k}}$  为第  $k$  电站在第  $t$  时段流入上游电站的泄流;  $\tau_k$  为第  $k-1$  电站到第  $k$  电站的径流传播时间;

[0025] 步骤 (2), 建立短期优化调度子模型

[0026] 目标函数:  $Q = \min \sum_{t=1}^T \left\{ \sum_{i=1}^n Q_{gen_{t,i}}(N_{t,i}, H_t) + Q_{dis_t} \right\}$

[0027] 式中,  $Q$  为电站  $T$  周期内耗水流量之和,  $T$  为调度周期,  $n$  为机组数,  $Q_{gen_{t,i}}$  为  $t$  时刻  $i$  机组的发电流量,  $N_{t,i}$  为  $t$  时刻  $i$  机组的出力,  $H_t$  为电站  $t$  时刻净水头,  $Q_{dis_t}$  为电站  $t$  时刻弃水流量;

[0028] 约束条件:

[0029] (1) 功率平衡  $N_s = \sum_{i=1}^n N_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$

[0030] (2) 水量平衡约束  $V_{t+1} = V_t + (Q_{in_t} - Q_{gen_t} - Q_{dis_t}) \Delta t$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$

[0031] (3) 出力约束, 为水轮机效率和水头决定  $N_{i,min} \leq N_i \leq N_{i,max}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$

[0032] (4) 引用流量约束  $Q_{out_{min}} \leq Q_i \leq Q_{out_{max}}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$

[0033] (5) 机组不可运行区域  $N_i \in \{N_i^{down} \leq N_i \leq N_i^{up}\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$

[0034] (6) 库容约束  $V_{min} \leq V_t \leq V_{max}$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$

[0035] 式中,  $N_s$  为梯级给电站分配的出力,  $N_i$  为电站  $i$  机组出力,  $V_t$  是电站在第  $t$  时段库容,  $Q_{in_t}$  是电站在第  $t$  时段来水流量,  $Q_{gen_t}$  是电站在第  $t$  时段发电流量,  $Q_{dis_t}$  是电站在第  $t$  时段弃水流量,  $\Delta t$  为单位时段的时间长,  $N_{i,min}$  为  $i$  机组最小出力,  $N_{i,max}$  为  $i$  机组最大出力,  $Q_{out_{max}}$  为机组最大过流量,  $Q_{out_{min}}$  为机组最小过流量,  $N_i^{down}$  为  $i$  机组可运行区下限,  $N_i^{up}$  为  $i$  机组可运行区上限,  $V_{min}$  为电站最小库容约束以及按中长期规划约束的综合最小

库容,  $V_{\max}$  为电站最大库容约束以及按中长期规划约束的综合最大库容;

[0036] 步骤 (3), 根据步骤 (1)、步骤 (2) 中的模型建立 Agent 模型, 所述 Agent 模型包括站间负荷分配 Agent、站内启停机 Agent 和站内负荷优化 Agent,

[0037] 所述站间负荷分配 Agent 的任务是监听梯级中心是否接收了新的次日负荷曲线, 一旦监听到新的次日负荷曲线  $N_p = (N_{p1}, N_{p2}, N_{p3}, \dots, N_{p96})$ , 站间负荷分配 Agent 立即将新的次日负荷曲线按预定算法分配给各电站, 待站内启停机 Agent 和站内负荷优化 Agent 分别为电站机组计算启停计划、分配负荷之后, 站间负荷分配 Agent 存储结果, 继续重复分配直到结果满意为止, 所述站间负荷分配 Agent 还用于删除多余的 Agent、增加 Agent, 以达到适应优化计算的目的;

[0038] 所述站内启停机 Agent 的任务是制定启停机计划和寻找最少穿越振动区的机组可行域, 所述站内启停机 Agent 监视各个电站是否有新的负荷曲线, 若监视范围内的电站被分配好新的负荷曲线, 则立即对其展开计算;

[0039] 所述站内负荷优化 Agent 的任务是根据启停机计划和机组可行域, 以最少耗水准则优化分配负荷到各台机组, 然后站内负荷优化 Agent 将调度时段内的耗水能发送给站间负荷分配 Agent;

[0040] 步骤 (4), 建立 Agent 算法库, 算法库中包含两类算法, 经典算法和启发性智能优化算法, 每次计算随机选择一种经典算法和一种智能优化算法, 并行计算, 对计算结果进行比较, 然后反馈给 Agent 算法库, Agent 算法库做好算法的优劣统计, 优秀的算法被选择的概率增大, 效率低的算法被选择的概率小, 最后逐渐淘汰;

[0041] 步骤 (5), 将步骤 (3) 中建立的 Agent 模型调用步骤 (4) 中建立的 Agent 算法库, 实现多 Agent 的水电站群短期优化调度。

[0042] 前述的一种多 Agent 的水电站群短期优化调度方法, 其特征在于, 所述站间负荷分配 Agent 设为一个, 设置于计算机的 Agent 主容器内, 所述计算机内设有 Agent 平台, 设有 Agent 主容器的计算机连接于若干个其它计算机, 其它计算机内均设有 Agent 平台, 与设有 Agent 主容器的计算机内的 Agent 平台形成多 Agent 平台, 所述 Agent 主容器内还设有管理 Agent, 所述管理 Agent 负责整个多 Agent 平台的状态管理、Agent 管理和主程序的启动, 其它计算机的 Agent 平台内相对应的设有副 Agent 容器, 所述副 Agent 容器内设有站内启停机 Agent 和站内负荷优化 Agent。

[0043] 前述的一种多 Agent 的水电站群短期优化调度方法, 其特征在于, 使用启发性智能优化算法时多 Agent 的优化过程为,

[0044] (1) 给定站内启停机 Agent 规模为  $N_1$ , 站间负荷分配 Agent 规模为  $N_2$ , 初始站间负荷分配方案规模为  $M$ ;

[0045] (2) 站间负荷分配 Agent 收到新的次日负荷曲线后, 随机  $M$  个初始的电站负荷分配方案, 分配其负荷曲线到各个电站, 然后监视各电站是否分配完, 若分配结束, 就立即根据上一次下发的  $M$  个方案及结果, 更新这  $M$  个方案, 然后继续下发到水电站, 如此反复, 直到找到收敛的最优方案;

[0046] (3) 站内启停机 Agent 监测到有电站被分配了新的负荷曲线, 就立即进行启停机计划的制定, 然后寻找最小穿越振动区的可行域, 反馈到电站,  $N_1$  个站内启停机 Agent 采用抢占式对电站进行处理, 也即对于单个电站的  $M$  个负荷方案, 可能由单个站内启停机 Agent



完成,也可能多个站内启停机 Agent 完成,当某 Agent 完成某电站的任务,则继续滚动扫描剩余电站,若有未完成任务,立即加入执行任务;

[0047] (4) 当有任何一个站内启停机 Agent 完成了某电站的某个方案的启停机计划和最少穿越振动区可行域后,站内负荷优化 Agent 就会立即监测到任务,并立即对电站的该方案进行机组负荷优化分配,同样采用抢占式完成任务,空闲的站内负荷优化 Agent 自动监视各电站未分配到机组的负荷曲线,一旦监视到,就立即对其优化分配,然后继续监视,如此重复循环。

[0048] 本发明的有益效果为:

[0049] 由于本发明对求解水电站群短期优化调度双层模型采用了多 Agent 技术的多台计算机多个 Agent 异步并行计算方式,所以该方法对大型水电站群短期调度计算相比传统的计算方式能够大大的缩短计算时间;

[0050] 由于本发明中 Agent 具有算法库智能选择算法策略,相比单一的不变的算法更智能,优化效果更好,经典算法与现代智能算法异步并行计算的功能,可以一方面利用现代智能算法的优点,又能利用经典算法来弥补智能算法的不足,所以本方法对水电站群短期优化调度的优化效果更好,结果更为可靠;

[0051] 由于本发明中对于水电站群的各个水电站的优化任务分别划分到不同的计算机上的各个 Agent 完成的,任务进行了细化分离,最后分布式完成任务,所以本方法避免了传统算法的“维数灾”问题;

[0052] 由于本发明中采用任务自动分配 Agent, Agent 是面向任务的而不是相似方案中的面向对象,对于水电站群中新增电站、故障电站、某电站新建机组等情况具有更好的适应能力,而相似方案面对增减电站或机组需要重新编写编译 Agent,从而会造成不便,所以本发明具有应对电站或机组变化的适应能力的优点。

## 附图说明

[0053] 图 1 为多 Agent 系统示意图;

[0054] 图 2 为目前 Agent 技术应用到水电站群优化调度的技术方案的结构图;

[0055] 图 3 为本发明的多 Agent 梯级水电站群优化调度结构图;

[0056] 图 4 为本发明的站内负荷分配 Agent 运行示意图;

[0057] 图 5 为本发明的多 Agent 平台分布图;

[0058] 图 6 为本发明的主程序流程图;

[0059] 图 7 为本发明的站间负荷分配 Agent 流程图;

[0060] 图 8 为本发明的站内 Agent 流程图;

## 具体实施方式

[0061] 下面结合实施例和附图对本发明作进一步描述。

[0062] 本发明针对的是以电定水模型。

[0063] 一种基于任务自动分配型多 Agent 的水电站群短期优化调度方法,包括以下步骤,

[0064] 步骤 (1),建立水电站群短期优化调度模型

[0065] 目标函数： $E = \min \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K Q_{k,t}(P_{k,t}, H_{k,t}) \times H_{k,t}$

[0066] 式中, E 为各电站各时段耗能之和; T 为调度周期; K 为电站个数;  $Q_{k,t}$  为第 k 电站 t 时段的发电流量;  $P_{k,t}$  为第 k 电站 t 时段的出力;  $H_{k,t}$  为第 k 电站 t 时段的水头;

[0067] 约束条件:

[0068] (1) 系统负荷平衡约束  $P_t = \sum_{k=1}^K P_{k,t}$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ ,

[0069] (2) 各水电站出力限制  $P_{k,t}^{down} \leq P_{k,t} \leq P_{k,t}^{up}$ ,  $k = 1, 2, \dots, K$   $t = 1, 2, \dots, T$

[0070] (3) 水量平衡方程  $V_{k,t+1} = V_{k,t} + (Q_{in_{k,t}} - Q_{gen_{k,t}} - Q_{dis_{k,t}}) \Delta t$ ,  $k = 1, 2, \dots, K$   $t = 1, 2, \dots, T$

[0071] (4) 水库库容约束  $V_{min_k} \leq V_{k,t} \leq V_{max_k}$ ,  $k = 1, 2, \dots, K$   $t = 1, 2, \dots, T$

[0072] (5) 梯级电站水流滞后约束  $Q_{in_{k,t}} = Q_{q_{k,t}} + Q_{out_{k-1,t-\tau_k}}$ ,  $k = 1, 2, \dots, K$   $t = \tau_k, \dots, T$

[0073] 式中,  $P_t$  为 t 时段梯级负荷,  $P_{k,t}$  为 k 电站 t 时段的出力;  $P_{k,t}^{down}$  是第 k 电站在第 t 时段出力下限,  $P_{k,t}^{up}$  是第 k 电站在第 t 时段出力上限;  $V_{k,t}$  是第 k 电站在第 t 时段库容,  $V_{k,t+1}$  是第 k 电站在第 t+1 时段库容,  $Q_{in_{k,t}}$  是第 k 电站在第 t 时段来水流量,  $Q_{gen_{k,t}}$  是第 k 电站在第 t 时段发电流量,  $Q_{dis_{k,t}}$  是第 k 电站在第 t 时段弃水流量,  $\Delta t$  为单位时段的时间长,  $V_{min_k}$  为第 k 电站最小库容约束以及按中长期规划约束的综合,  $V_{max_k}$  为第 k 电站最大库容约束以及按中长期规划约束的综合;  $Q_{q_{k,t}}$  为第 k 电站在第 t 时段上游区间来水;  $Q_{out_{k-1,t-\tau_k}}$  为第 k 电站在第 t 时段流入上游电站的泄流;  $\tau_k$  为第 k-1 电站到第 k 电站的径流传播时间;

[0074] 步骤 (2), 建立短期优化调度子模型

[0075] 目标函数： $Q = \min \sum_{t=1}^T \left\{ \sum_{i=1}^n Q_{gen_{t,i}}(N_{t,i}, H_t) + Q_{dis_t} \right\}$

[0076] 式中, Q 为电站 T 周期内耗水流量之和, T 为调度周期, n 为机组数,  $Q_{gen_{t,i}}$  为 t 时刻 i 机组的发电流量,  $N_{t,i}$  为 t 时刻 i 机组的出力,  $H_t$  为电站 t 时刻净水头,  $Q_{dis_t}$  为电站 t 时刻弃水流量;

[0077] 约束条件:

[0078] (1) 功率平衡  $N_s = \sum_{i=1}^n N_i$   $i = 1, 2, \dots, n$ ,

[0079] (2) 水量平衡约束  $V_{t+1} = V_t + (Q_{in_t} - Q_{gen_t} - Q_{dis_t}) \Delta t$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$

[0080] (3) 出力约束, 为水轮机效率和水头决定  $N_{i,min} \leq N_i \leq N_{i,max}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$

[0081] (4) 引用流量约束  $Q_{out_{min}} \leq Q_i \leq Q_{out_{max}}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$

[0082] (5) 机组不可运行区域  $N_i \in \{N_i^{down} \leq N_i \leq N_i^{up}\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$

[0083] (6) 库容约束  $V_{min} \leq V_t \leq V_{max}$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$

[0084] 式中,  $N_s$  为梯级给电站分配的出力,  $N_i$  为电站  $i$  机组出力,  $V_t$  是电站在第  $t$  时段库容,  $Q_{in_t}$  是电站在第  $t$  时段来水流量,  $Q_{gen_t}$  是电站在第  $t$  时段发电流量,  $Q_{dis_t}$  是电站在第  $t$  时段弃水流量,  $\Delta t$  为单位时段的时间长,  $N_{i,min}$  为  $i$  机组最小出力,  $N_{i,max}$  为  $i$  机组最大出力,  $Q_{out_{max}}$  为机组最大过流量,  $Q_{out_{min}}$  为机组最小过流量,  $N_i^{down}$  为  $i$  机组可运行区下限,  $N_i^{up}$  为  $i$  机组可运行区上限,  $V_{min}$  为电站最小库容约束以及按中长期规划约束的综合最小库容,  $V_{max}$  为电站最大库容约束以及按中长期规划约束的综合最大库容;

[0085] 步骤 (3), 根据步骤 (1)、步骤 (2) 中的模型建立 Agent 模型, 梯级水电站短期优化调度的多 Agent 体系结构设计为 Agent 网络结构。针对类似本发明的方案的模型是面向水电站的, 一个水电站建立一个 Agent, 若新投入电站则需要从新编写编译梯级 Agent 和新的电站 Agent, 同样, 若某电站新增机组, 也将导致整个程序的部署, 另外单个电站 Agent 的计算能力有限, 如欲提速则无法完成, 本发明针对这些问题以梯级中心以及各水电站为多 Agent 环境, 建立站间负荷分配 Agent、站内启停机 Agent 和站内负荷优化 Agent。这样既方便电站及机组的增减而不影响 Agent 的部署, 又可以通过增加 Agent 来加快任务完成进度, 使总的计算时间减少, 详细为,

[0086] 所述站间负荷分配 Agent 的任务是监听梯级中心是否接收了新的次日负荷曲线, 一旦监听到新的次日负荷曲线  $N_p = (N_{p1}, N_{p2}, N_{p3}, \dots, N_{p96})$ , 站间负荷分配 Agent 立即将新的次日负荷曲线按预定算法分配给各电站, 待站内启停机 Agent 和站内负荷优化 Agent 分别为电站机组计算启停计划、分配负荷之后, 站间负荷分配 Agent 存储结果, 继续重复分配直到结果满意为止, 所述站间负荷分配 Agent 还用于删除某些多余的 Agent、增加某些 Agent, 以达到适应优化计算的目的; 由于该 Agent 完成的主要任务是站间负荷分配, 追求的是最少耗水能, 耗水能越少, 效果就越好, 所以设计该 Agent 为效果型 Agent;

[0087] 所述站内启停机 Agent 需要完成的两个任务, 制定启停机计划和寻找最少穿越振动区的可行域。站内启停机 Agent 的任务是监视各个电站是否有新的负荷曲线, 若监视范围内的电站被分配好新的负荷曲线, 则立即对其展开计算。具体过程为依据启停规则制定启停机计划, 然后根据各台机组不同的可行域组合, 寻找最优可行域, 若无可行域, 则重新制定启停机计划;

[0088] 所述站内负荷优化 Agent 的任务是根据启停机计划和机组可行域, 以最少耗水准则优化分配负荷到各台机组, 然后站内负荷优化 Agent 将调度时段内的耗水能发送给站间负荷分配 Agent; 站内启停机 Agent 为反应型, 站内负荷优化 Agent 为效果型;

[0089] 步骤 (4), 建立 Agent 算法库, 算法库中包含两类算法, 经典算法和启发性智能优化算法, 每次计算随机选择一种经典算法和一种智能优化算法, 并行计算, 对计算结果进行比较, 然后反馈给 Agent 算法库, Agent 算法库做好算法的优劣统计, 优秀的算法被选择的概率增大, 效率低的算法被选择的概率小, 最后逐渐淘汰;

[0090] 步骤 (5), 将步骤 (3) 中建立的 Agent 模型调用步骤 (4) 中建立的 Agent 算法库, 实现多 Agent 的水电站群短期优化调度。

[0091] 在水电站群短期优化调度中, 多 Agent 模型结构如图 3。由一个站间负荷分配 Agent、多个站内启停机 Agent、多个站内负荷优化 Agent 以及电站环境组成。各个 Agent 通过网络相互联系, 电站和梯级中心为多 Agent 监视环境, 各 Agent 通过监视相应目标和协同

配合,来完成对应任务。

[0092] 联合优化运行中,一般情况下只有一个站间负荷分配 Agent,负责整个水电站群的负荷分配及协调,有多个站内启停机 Agent 和站内负荷优化 Agent,而且各个站内 Agent 分布在不同的计算机上。以使用启发性智能优化算法为例说明多 Agent 优化过程如下:

[0093] (1) 给定站内启停机 Agent 规模为  $N_1$ ,站间负荷分配 Agent 规模为  $N_2$ ,初始站间负荷分配方案规模为  $M$ ;

[0094] (2) 站间负荷分配 Agent 收到新的次日负荷曲线后,随机  $M$  个初始的电站负荷分配方案,分配其负荷曲线到各个电站,然后监视各电站是否分配完,若分配结束,就立即根据上一次下发的  $M$  个方案及结果,更新这  $M$  个方案,然后继续下发到水电站,如此反复,直到找到收敛的最优方案;

[0095] (3) 站内启停机 Agent 监测到有电站被分配了新的负荷曲线,就立即进行启停机计划的制定,然后寻找最小穿越振动区的可行域,反馈到电站, $N_1$  个站内启停机 Agent 采用抢占式对电站进行处理,也即对于单个电站的  $M$  个负荷方案,可能由单个站内启停机 Agent 完成,也可能多个站内启停机 Agent 完成,如图 4 所示,当某 Agent 完成某电站的任务,则继续滚动扫描剩余电站,若有未完成任务,立即加入执行任务;

[0096] (4) 当有任何一个站内启停机 Agent 完成了某电站的某个方案的启停机计划和最少穿越振动区可行域后,站内负荷优化 Agent 就会立即监测到任务,并立即对电站的该方案进行机组负荷优化分配,同样采用抢占式完成任务,空闲的站内负荷优化 Agent 自动监视各电站未分配到机组的负荷曲线,一旦监视到,就立即对其优化分配,然后继续监视,如此重复循环。如图 4,各 Agent 对电站的计算是随机的。

[0097] 多 Agent 的联合优化运行类似于一群蜜蜂采食过程,蜂王协调并发布任务,工蜂对某个区域寻找花朵,一旦发现,就立即对其采食花粉。可能多只蜜蜂对一朵花进行采摘,也可能只有 1 只蜜蜂。若完成了对花朵采食,就立即寻找下一朵花。一直重复循环。

[0098] 所述站间负荷分配 Agent 设为一个,设置于计算机的 Agent 主容器内,所述计算机内设有 Agent 平台,设有 Agent 主容器的计算机连接于若干个其它计算机,其它计算机内均设有 Agent 平台,与设有 Agent 主容器的计算机内的 Agent 平台形成多 Agent 平台,所述 Agent 主容器内还设有管理 Agent,所述管理 Agent 负责整个多 Agent 平台的状态管理、Agent 管理和主程序的启动,其它计算机的 Agent 平台内相对应的设有副 Agent 容器,所述副 Agent 容器内设有站内启停机 Agent 和站内负荷优化 Agent。其实,多 Agent 系统可以运行在任何计算机操作系统上,只要在该系统上安装了 Agent 平台就可以运行 Agent。Agent 运行于该平台,而不依赖于操作系统,所以只需一次编程即可。各个 Agent 平台中需有一个 Agent 容器,整个多 Agent 系统需要一个主容器,主容器中有一个管理 Agent,用来管理协调其他计算机中的 Agent 容器。多 Agent 联合运行硬件结构示意图如图 5。在图 5 中管理 Agent 负责整个多 Agent 平台的状态管理、Agent 管理和主程序的启动,其中主程序的启动流程图如图 6。在 Agent 主容器里布置站间负荷分配 Agent,在其他平台的 Agent 容器内布置站内 Agent 即站内启停机 Agent 和站内负荷优化 Agent。主程序及各个 Agent 的计算流程如图 6、图 7、图 8。特别的,Agent 是一直存在的,所以,它应不停地对目标进行监视。

[0099] 本发明提出了一种基于任务自动分配型多 Agent 技术在水电站群短期优化调度中的并行计算方法。本发明提出的多 Agent 应用于水电站群短期优化调度方法可用于梯级

或流域水电站群短期优化调度,Agent 设计为以完成某种任务的自主运行的软件,以抢占的方式自主完成优化过程中各个子任务。多个 Agent 可同时对同一水电站进行运算处理,以达到缩短求解时间的目的。水电站群电站个数的增加可通过增加计算机和 Agent 来解决,总的计算时间增加很少。

[0100] 此外,多 Agent 融合多种算法,形成算法库。本发明中算法库采用优胜劣汰思想,算法被选择的概率随其计算优化效果的评估而增减。本发明中采用经典与现代智能优化算法结合,异步并行计算,以防止智能优化算法极少数无解的情况。

[0101] 以上显示和描述了本发明的基本原理、主要特征及优点。本行业的技术人员应该了解,本发明不受上述实施例的限制,上述实施例和说明书中描述的只是说明本发明的原理,在不脱离本发明精神和范围的前提下,本发明还会有各种变化和改进,这些变化和改进都落入要求保护的本发明范围内。本发明要求保护范围由所附的权利要求书及其等效物界定。

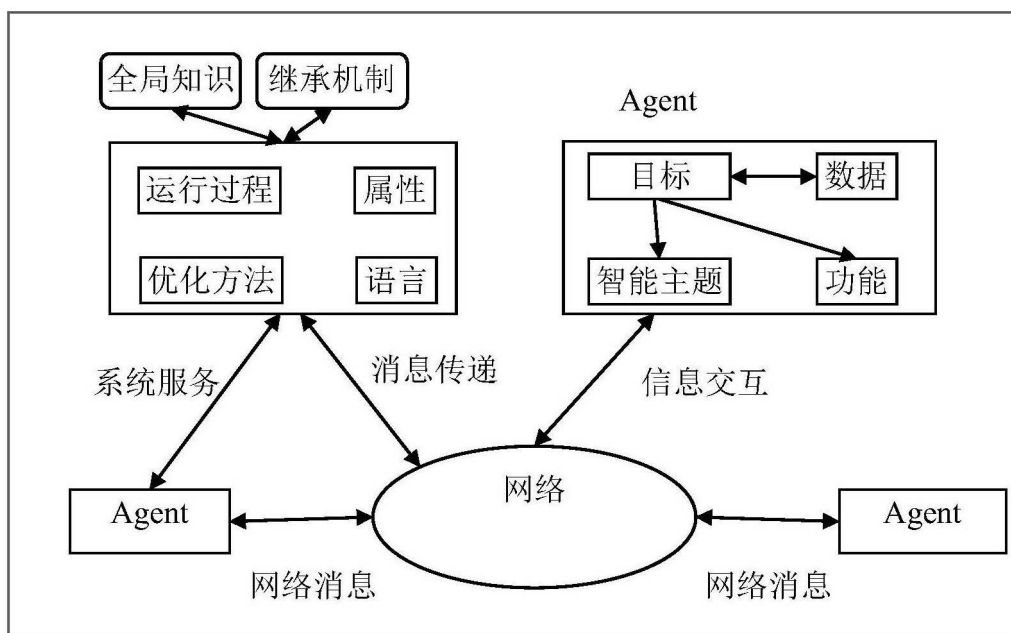


图 1

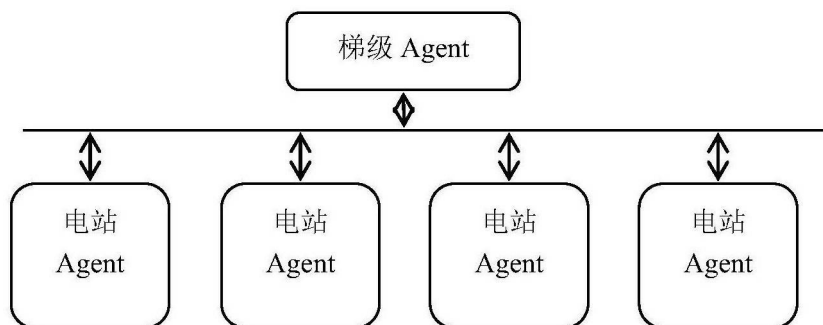


图 2

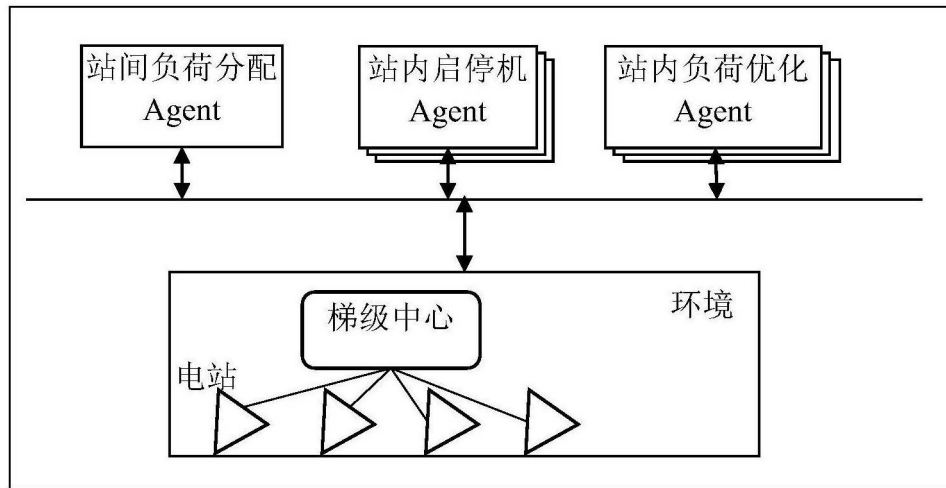


图 3

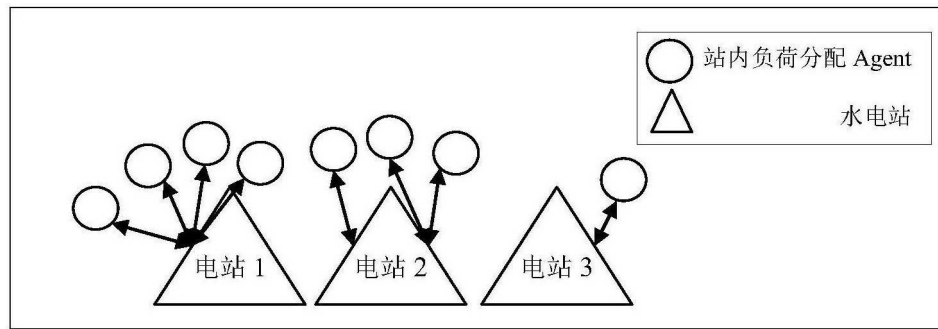


图 4

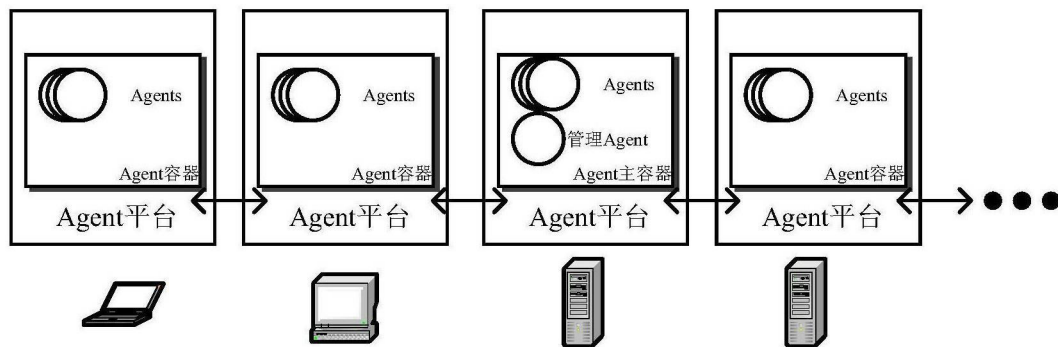


图 5



图 6

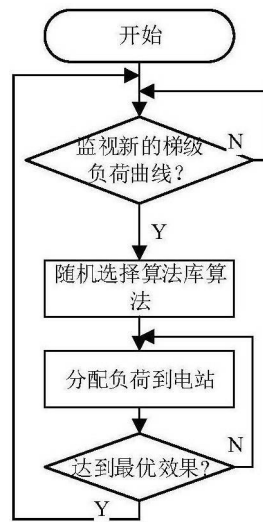


图 7

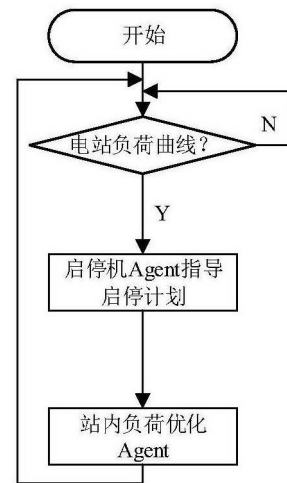


图 8