文章编号：2095-4980(2023)09-1171-07

基于用户画像与关联规则的全域电力资源调度算法

杨晓燕，苏宏宇，周　平，代　颖，孙乐平
(广西电网有限责任公司 南宁供电局，广西 南宁 530000)

摘　要：为解决应用调度算法进行全域电力资源调度，资源剩余率依旧较高的问题，提出结合用户画像与关联规则的新型调度算法，实现全域电力资源的合理分配。运用双聚类算法，对整个调度区域内所有用户用电数据进行分析，构建电力用户画像从而描述用户用电个性化需求；以用户画像为基础，建立以满足用户需求为核心的全域资源分配模式；总结全域内资源调度子任务，计算不同子任务之间的支持度和置信度，结合关联规则实现子任务的分组；根据子任务组进行资源分域，在每个分域中设置二级调度中心，再与全域一级调度中心相连接，实现全域资源集中调度。实验结果表明，所提调度算法应用后，电力测试系统每日的全域资源剩余率出现了大幅降低，仅保持在12%左右。该算法具有较好的实际应用价值。

关键词：用户画像；关联规则；电力需求；资源共享；资源调度；分域管理
中图分类号：TP393.02　　**文献标志码：**A　　**doi：**10.11805/TKYDA2023051

Global power resource scheduling algorithm based on user portrait and association rules

YANG Xiaoyan，SU Hongyu，ZHOU Ping，DAI Ying，SUN Leping
(Nanning Power Supply Bureau of Guangxi Power Grid Co.，Ltd，Nanning Guangxi 530000，China)

Abstract：To solve the problem of high resource surplus rate in the application of scheduling algorithms for global power resource scheduling, a new scheduling algorithm combining user profiles and association rules is proposed to achieve reasonable allocation of global power resources. By using the dual clustering algorithm, the electricity consumption data of all users in the entire dispatch area is analyzed, and a power user profile is constructed to describe the personalized electricity consumption needs of users. Based on the user profiles, a global resource allocation model is established centered on meeting user needs. The resource scheduling subtasks are summarized within the entire domain, the support and confidence between different subtasks are calculated, and association rules are combined to achieve grouping of subtasks. The resources are divided into different domains according to the subtasks group. A secondary dispatching center is set up in each domain, and then is connected with the primary dispatching center in the whole domain to realize the centralized scheduling of resources in the whole domain. The experimental results show that after the application of the proposed scheduling algorithm, the daily global resource surplus rate of the power testing system has significantly decreased, only maintaining around 12%. This algorithm has good practical value.

Keywords：user portrait；association rules；power demand；resource sharing；resource scheduling；domain management

当前智能电网的建设核心主要在配电方面。很多电网公司为了实现智能化供电，引入了控制、双向交互等多种技术[1-2]，在满足用户用电需求的同时，减少了电力能源浪费。南方电网已针对智能化供电工作展开了大量研究，并提出了以资源共享为核心的现代供电服务体系。该服务体系的顺利实行，需要解决的主要问题是全域电力资源调度。

为了加强资源调度合理性，提升终端电力用户的幸福感，专业人员提出了各种各样的全域资源调度算法。

收稿日期：2023-03-01；修回日期：2023-05-14

文献[3]通过一阶矩信息和二阶矩信息，描述配电网分布式发电的不确定性特点，结合配电网有功、无功功率之间的关联性，设计出一种分布式电力调度策略。测试结果表明，该算法的调度成本较高。文献[4]考虑到当前配电网中存在多种能源形势，依托于协同增效经济运行要求，构建资源调度博弈模型，再通过两阶段松弛算法求出最优资源调度方案。验证结果显示，该算法调度过程中存在不确定性。文献[5]为了实现经济性电力资源调度，在操作过程中应用了改进下垂控制技术，在不影响供电质量的基础上，控制发电机运行时输出合理的功率，从而达到降低发电机运行成本的目的。但该算法应用后资源利用率依旧较低。

为了解决上述文献中提出的资源调度算法的不足，本文提出结合用户画像与关联规则的新型调度算法，可以实现电力系统覆盖全区域的资源集中调度。实验验证结果表明，所提算法应用后形成的调度结果符合用户资源需求，且有效提高了资源利用率。

1 以用户画像与关联规则为基础设计全域资源调度算法

1.1 构建电力用户画像

针对电力系统覆盖全区域内的所有用户，分别获取其用电数据和电力业务往来数据。在画像算法的支持下，从用电类别、扩报装需求、需求响应3项特征入手，构建电力用户画像[6-7]，从而明确该用户未来一段时间内个性化资源需求，作为资源调度的依据。用户画像构建过程如图1所示。

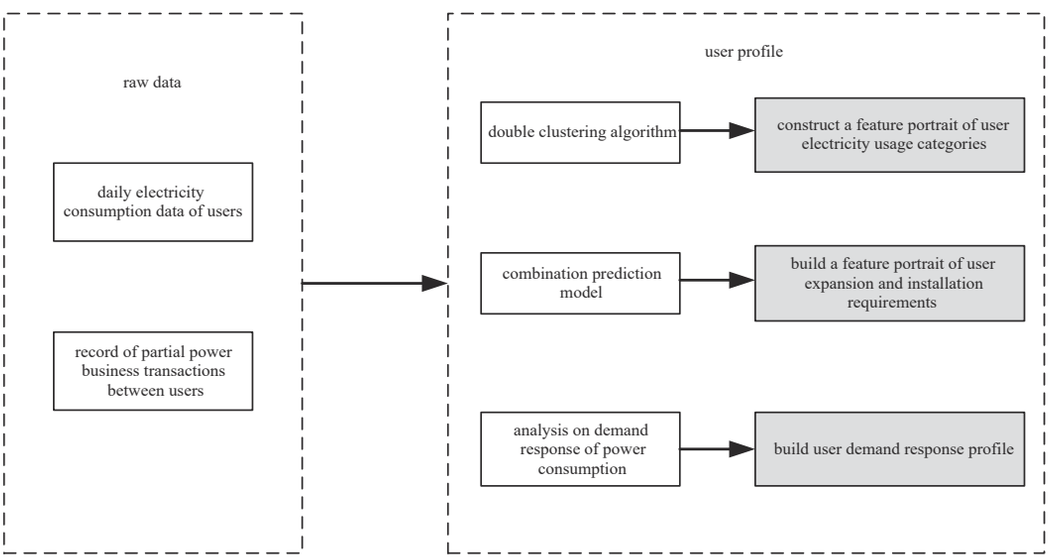

Fig.1 Construction process of user portrait

图1 用户画像构建流程

在构建用户画像之前，需要先对原始采集数据进行处理。本文采用双随机归一化方法，同步处理行数据和列数据，在不影响数据特征的基础上，去除干扰数据[8-9]。这一操作过程需要数次迭代。将原始数据描述为数据矩阵，再定义2个对角矩阵，用来描述数据矩阵的行方向和以及列方向和。为了保存每一次迭代计算结果，定义辅助计算矩阵为：

$$\boldsymbol{\theta}^{\alpha}=\boldsymbol{E}^{-1}\boldsymbol{B}^{\alpha}\boldsymbol{G}^{-1} \tag{1}$$

式中：α为迭代次数；$\boldsymbol{\theta}$为辅助计算矩阵；$\boldsymbol{E}$、$\boldsymbol{G}$为对角矩阵；$\boldsymbol{B}$为归一化用电数据矩阵。

针对归一化处理前的数据和处理后的数据，计算二者之间的欧几里德范数值，建立式(2)所示的数据差异矩阵。

$$\boldsymbol{\psi}^{\alpha}=\boldsymbol{B}^{\alpha}-\boldsymbol{\theta}^{\alpha} \tag{2}$$

$$\eta_i^{\alpha}=\left\|\boldsymbol{\theta}_i^{\alpha}\right\|=\sqrt{\sum_{j=1}^{p}(\boldsymbol{\theta}_{ij}^{\alpha})^2} \tag{3}$$

式中：$\boldsymbol{\psi}$为差异矩阵；η为欧几里德范数；p为数据差异矩阵的列数；i、j为数据差异矩阵的行和列。

每次迭代更新后，数据矩阵都会发生改变。当欧几里德范数中随机选的值，都小于预先设定的判断阈值后，

可以停止迭代计算，输出归一化数据处理结果。对处理后的数据进行分解，得到数据特征向量，并将其与归一化数据矩阵相乘，实现数据转换处理。

$$\boldsymbol{\varphi}=\boldsymbol{B}\times\boldsymbol{V} \tag{4}$$

式中：$\boldsymbol{\varphi}$为特征向量与数据矩阵相乘结果；$\boldsymbol{V}$为特征向量组。

对转换后的数据进行双聚类分析，从用户用电时间、用电量两方面同时入手，了解用户每日的用电情况，并分析其用电习惯，得到全域内每个用户的用电类别画像。

1.2 设计用户画像视角下的资源分配模式

在用户画像的辅助下，明确了全域每个用户的电力需求，以此为基础可以分析出该调度给每个用户的资源。为了简化计算过程，设计了一种用户画像视角下的资源分配模式。根据用户画像特征为该用户打上对应标签，再按照标签划分相似群体用户，结合当前全域资源分布情况，为每一类用户群体分配对应的电力资源。具体的资源分配形式如图2所示。

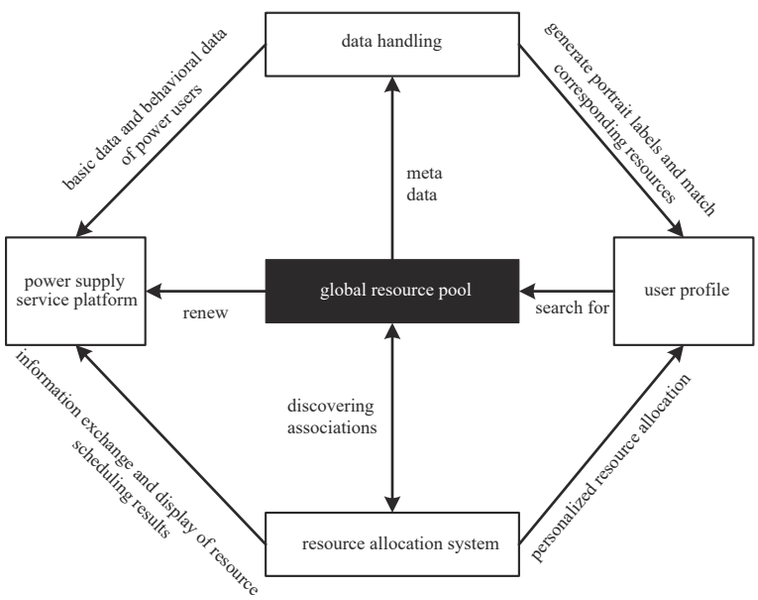

Fig.2 Schematic diagram of the resource allocation based on the user portrait

图2 基于用户画像的资源分配示意图

考虑到随着时间的变化，全域内用户的资源需求可能会发生改变，为了保证资源调度结果满足用户需求，需要及时采集用户数据构建新的用户画像[10-11]，并生成对应的个性化资源分配方案。

1.3 建立基于关联规则的资源配给任务分组模型

在全域资源调度算法设计过程中，为了提升资源调度质量，将每个用户资源分配方案看作一个子任务，再应用关联规则，建立资源配给任务分组模型，分析子任务之间的耦合度，明确全域内不同资源调度任务之间的牵制作用，将所有子任务切分为不同的组，再分别进行资源配给。

基于关联规则进行子任务分组时，需要先通过支持度矩阵、置信度矩阵进行计算，确定子任务之间的关联性。其中，支持度计算公式为：

$$Y_{e1,e2}=\left|\left\{H_o\middle|e1\in H_o\wedge e2\in H_o\right\}\right| \tag{5}$$

式中：$e1$、$e2$为2个资源调度子任务；Y为支持度；H_o为第o个对元素有影响的简单变换集合。

支持度矩阵计算结果，即为子任务自执行次数。将式(5)计算结果汇总起来，可得到全域资源调度子任务之间的耦合关联表。而后，通过置信度矩阵进一步了解耦合强度值，从而确定一个资源调度子任务的开启对其他子任务的影响。

$$\boldsymbol{\omega}_{e1,e2}=\frac{Y_{e1,e2}}{Y_{e1,e1}} \tag{6}$$

式中 $\boldsymbol{\omega}$ 为支持度矩阵。

设置合理的粒度索引值和耦合度索引值，通过这 2 个值来描述资源配给任务分组过程中，不同子任务之间的粒度与耦合度。先从粒度索引值入手，其计算结果越高，表示子任务对拥有越低的独立性，具体计算公式为：

$$D=\frac{\left|\left\{(e1、e2)\middle|Y_{e1,e2}\geqslant 0\wedge e1\neq e2\right\}\right|}{|\upsilon|^2-|\upsilon|} \tag{7}$$

式中：D 为粒度索引值；υ 为子任务集。

对于任意子任务集中的 2 个子任务，若二者之间的独立性较低，可能会表现出外部依赖性、内部依赖性两种特点，具体的计算公式为：

$$\Phi=\left\{(e1、e2)\middle|e1\in\upsilon_r,e2\in\upsilon_t,r\neq t\right\} \tag{8}$$

$$\mu=\left\{(e1、e2)\middle|e1\in\upsilon_r,e2\in\upsilon_t,r=t\right\} \tag{9}$$

式中：Φ 表示外部依赖性；μ 表示内部依赖性；υ_r 表示第 r 个子任务集；υ_t 表示第 t 个子任务集。

之后，引入另一个耦合度索引值，描述存在外部依赖性的子任务对数量，以及存在内部依赖性的子任务对数量之间的比值，具体计算公式为：

$$Z=\frac{\left|(e1、e2)\in\Phi\middle|Y_{e1,e2}\geqslant 0\right|}{\left|(e1、e2)\in\mu\middle|Y_{e1,e2}\geqslant 0\right|} \tag{10}$$

式中 Z 表示耦合度索引值。

通常情况下，耦合度索引值计算结果越小，表明基于关联规则的子任务切分结果越合理。为了避免弱依赖性引起切分质量下降，设置合理的支持度阈值和置信度阈值，对式(10)进行改进。

$$Z_{\omega}^{Y}=\frac{\left|(e1、e2)\in\Phi\middle|Y_{e1,e2}\geqslant f\wedge\omega_{e1,e2}\geqslant q\right|}{\left|(e1、e2)\in\mu\middle|Y_{e1,e2}\geqslant f\wedge\omega_{e1,e2}\geqslant q\right|} \tag{11}$$

式中：f 为支持度阈值；q 为置信度阈值。

结合上述关联规则，可以实现对全域资源调度子任务的分组处理。确定上述切分关联规则后，可以设置其固定不变，保证所有任务划分标准统一。

1.4 生成全域资源调度管理机制

在处理同步发出的多个资源调度任务时，为了保证其调度结果依旧具有合理性，设计了一种资源分域调度管理机制。根据基于关联规则的子任务切分结果，将每个任务组看作一个运行单元，基于此对全域资源进行分域处理，并在每个分域中选取一个动态节点，充当二级调度中心，安排调度该分域的资源调度工作；同时在全域范围内布置 1 个一级调度中心，该调度中心与所有二级调度中心相连接，确保全域资源调度结果同时满足最优全局和最优局部要求。此外，一级调度中心可以在某个二级调度中心停止工作时，迅速接替其进行分域资源调度，保证资源调度的稳定性。资源调度分域管理机制的完整结构如图 3 所示。资源调度分域管理机制中只存在一个调度中心，其中包含数个服务器群，在通过用户画像生成众多全域调度子任务后，结合基于关联规则的资源配给任务分组结果，由一级调度中心观察全域空闲资源分布情况，生成统一的资源调度方案，并找到提交资源调度申请的用户所处分域，将空闲资源转入该分域内，由二级调度中心继续工作。

二级调度中心与一级不同，本质上是动态节点，只是具有管理分域的功能，在接收到一级调度中心下达的调度命令和传输的资源后，根据域内常规调度规则，执行资源调度子任务，并将最终调度结果反馈给一级调度中心。此外，二级调度中心还有一项特殊的功能，可以监测所有计算节点的资源调度执行情况，保证调度工作的顺利进行。

每个分域内都存在数个计算节点，这些计算节点领到资源调度子任务后，将其描述为执行代码，实现资源的传送。考虑到计算节点是全域资源调度的最终环节，其工作状态会对全域资源调度效率产生直接影响，因此在设计全域资源调度算法时，对计算结果做进一步设计，使其可以实时掌握自身负载信息，当无法正常执行工作任务后，实时通知二级调度中心转移资源调度子任务。

至此，在用户画像和关联规则的共同作用下，全域资源调度算法整体完成。

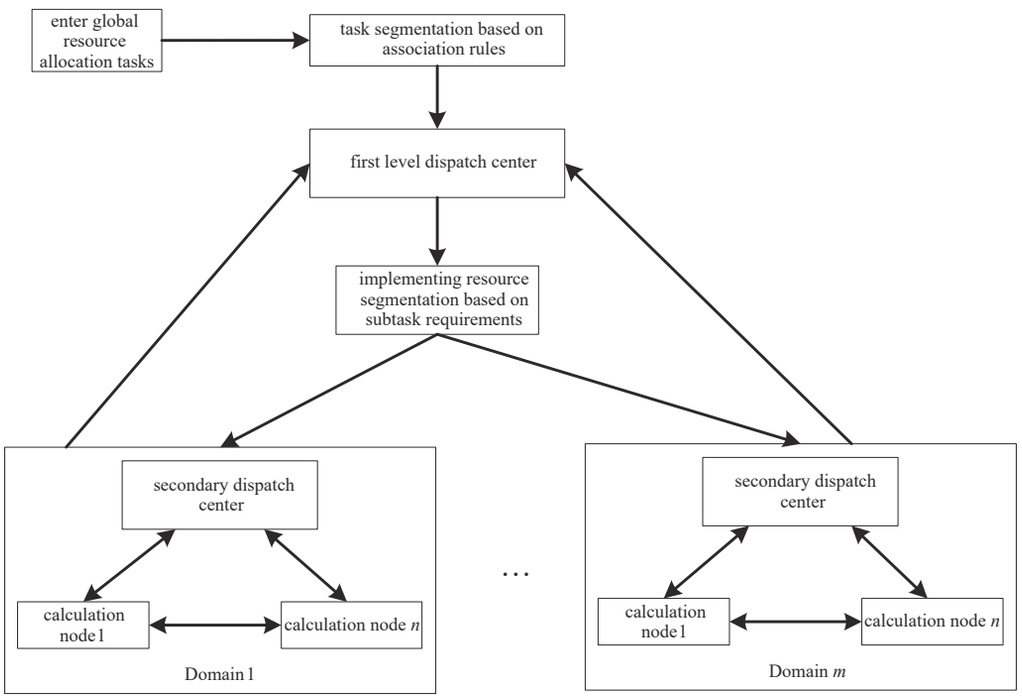

Fig.3 Regional management mechanism of resource scheduling
图3 资源调度分域管理机制

2 实验

2.1 实验条件

为了检验基于用户画像与关联规则的全域电力资源调度算法的实际应用效果，本文参考南方电网的网络拓扑结构，搭建如图4所示的电力测试系统。该系统中共包含3个节点，节点1与节点3分别连接了1个发电商和1个负荷，这个负荷用来代表正常电力系统内的电力用户；节点2连接了一个发电商与一个虚拟电厂，虚拟电厂承担起电力资源存储的责任。

图4中包含的3个发电商，发电能力与成本系数均保持一致，具体的发电侧参数信息如表1所示。

设置电力测试系统保持正常状态运行，并采集电力运行数据，从而了解电力测试系统中2个负荷节点的前24时段负荷变化情况，并绘制图5所示的各节点日前负荷预测曲线。

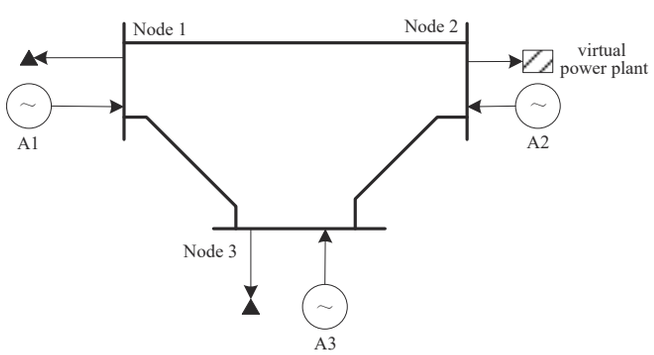

Fig.4 Network topology diagram of the power test system
图4 电力测试系统网络拓扑图

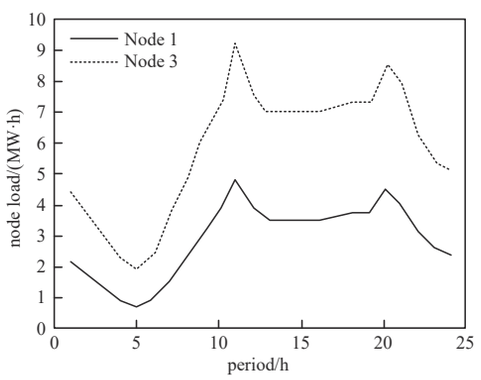

Fig.5 Day-ahead load prediction curve of each node
图5 各节点日前负荷预测曲线

为了提升电力测试系统的电力资源利用率，将所提调度算法应用到该系统内，针对全域资源进行合理调度，通过观察调度结果，分析所提算法的合理性。

表1 发电侧参数信息

Table1 Parameter information of power generation side

parameter item	generator parameter value		
	A1	A2	A3
the node	1.00	2.00	3.00
first-term coefficient of fuel cost(yuan/MW^2)	0.22	0.14	0.16
quadratic coefficient of fuel cost(yuan/MW)	362.00	438.00	387.00
maximum output/MW	55.00	35.00	45.00
quotation coefficient	1.05	1.05	1.05

2.2 调度结果

按照上文研究内容，为2个负荷绘制用户画像，明确二者的资源需求，而后在关联规则算法的辅助下，实现全域资源集中调度处理。在完成调度后，电力测试系统的功率平衡验证结果如图6所示。从图6可知，资源调度处理的功率值完全符合总负荷要求，符合电力平衡约束条件，并且绝大部分时间段在满足电力负荷要求后，并未剩余很多电力资源，很大程度上避免了资源浪费现象。这一调度结果表明所提全域调度算法的可行性。

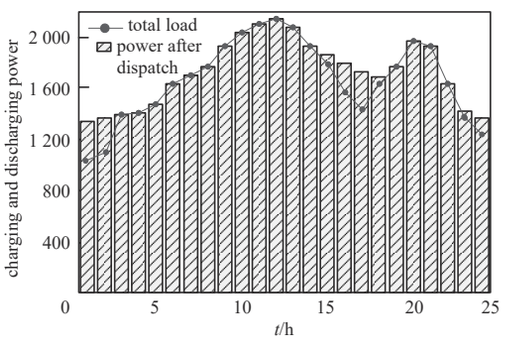

Fig.6 Power balance verification results after global resource scheduling and processing

图6 全域资源调度处理后功率平衡验证结果

2.3 算法性能分析

对于现代智能化电网建设工程，全域电力资源的调度，本质上是为了合理利用所有资源，使电力资源利用率得到提高。本次实验中，将资源剩余率选定为评价指标，进一步检验所提算法的应用性能。剩余资源率计算公式为：

$$\vartheta_\beta=\frac{\left(K_\beta+L_\beta\right)-\varsigma_\beta}{K_\beta+L_\beta}\times 100\% \tag{12}$$

式中：β表示电网运行时刻；ϑ表示资源剩余率；K表示发电总功率；L表示调度功率；ς表示总负荷。

为了加强实验测试结果的说服力，选择基于零和博弈的调度算法、基于差分进化的调度算法，作为2个对照组，分别应用在电力测试系统中进行全域资源调度。运用式(12)对调度结果进一步计算后，得到图7所示的资源剩余率对比结果。从图7可知，在为期7天的实验周期内，应用本文设计的调度算法后，每天的资源剩余率都稳定在12%左右，且波动不大。而应用其他2种调度算法后，资源剩余率呈现出增长趋势，且二者的资源剩余率平均值分别在28%、35%。

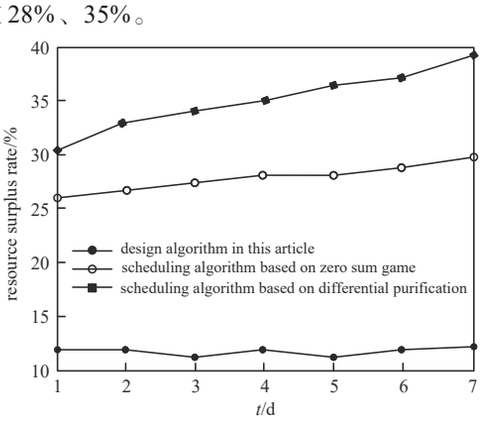

Fig.7 Comparison of the global resource residual rate after the application of different scheduling algorithms

图7 不同调度算法应用后全域资源剩余率对比

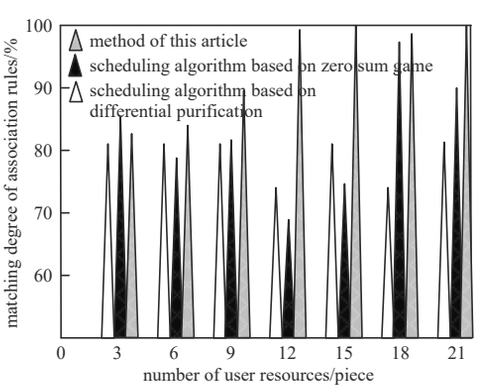

Fig.8 Association rule matching results

图8 关联规则匹配结果

全域资源调度子任务的分组处理下，由于本文将每个用户资源分配方案看作一个子任务，即每个子任务对应一组用户资源。随机抽取一组用户资源(300个关联规则)，测试其调度任务划分过程中的关联规则匹配结果，如图8所示。从图8中可知，本文方法的关联规则匹配符一直高于其他方法，说明其可以保证每个用户都能分配到一个用户资源分配方案。

综上所述，在现代化供电体系中应用本文所提算法进行全域资源调度，可以使电力系统内剩余资源大幅缩减，一定程度上解决了能源浪费问题。

3　结论

为了满足南方电网基于“资源共享、能力复用”的现代供电服务体系建设要求，本文针对全域资源调度问题进行了研究，提出将用户画像与关联规则应用其中，形成新的调度算法，在满足用户智慧用能需求的同时，降低了全域资源利用率。

参考文献：

[1] 谭耿. 城市轨道交通线网级智能调度业务需求研究[J]. 城市轨道交通研究, 2022,25(11):43-47. (TAN Geng. Research on business requirements of urban rail transit network level intelligent dis-patching[J]. Urban Mass Transit, 2022,25(11):43-47.)

[2] 陈振宇,王子悦,李新宇,等. 基于引力搜索-粒子群优化算法的电力系统经济调度[J]. 济南大学学报(自然科学版), 2022,36(5): 603-608. (CHEN Zhenyu, WANG Ziyue, LI Xinyu, et al. Economic dispatching of power systems based on gravitational search-particle swarm optimization algorithm[J]. Journal of University of Jinan(Science and Technology), 2022,36(5):603-608.)

[3] 马临超,齐山成,刘毅,等. 考虑分布式可再生能源的配电网电力调度优化模型研究[J]. 可再生能源, 2022,40(5):703-710. (MA Linchao, QI Shancheng, LIU Yi, et al. Research on distribution network power dispatching optimization model considering distributed renewable energy[J]. Renewable Energy Resources, 2022,40(5):703-710.)

[4] 董燕,杨俊林,朱永胜,等. 基于零和博弈的电力系统鲁棒优化调度研究[J]. 电力系统保护与控制, 2022,50(5):55-64. (DONG Yan, YANG Junlin, ZHU Yongsheng, et al. Robust optimal dispatch of a power system based on a zero-sum game[J]. Power System Protection and Control, 2022,50(5):55-64.)

[5] 徐晨,王刚,肖润龙,等. 基于改进下垂控制的综合电力系统优化调度[J]. 舰船科学技术, 2020,42(19):123-128. (XU Chen, WANG Gang, XIAO Runlong, et al. Integrated power system optimization scheduling based on improved droop control[J]. Ship Science and Technology, 2020,42(19):123-128.)

[6] 陟晶,张高航,邵冲,等. 含大规模风电及光热电站的电力系统优化调度方法[J]. 电力工程技术, 2021,40(1):79-85. (ZHI Jing, ZHANG Gaohang, SHAO Chong, et al. Optimal dispatching method for power system with large scale wind power and concentrated solar power plant[J]. Electric Power Engineering Technology, 2021,40(1):79-85.)

[7] 王锋,高欣,贾欣,等. 一种基于对数区间隔离森林的电力调度数据异常检测集成算法[J]. 电网技术, 2021,45(12):4818-4827. (WANG Feng, GAO Xin, JIA Xin, et al. An anomaly detection ensemble algorithm for power dispatching data based on log-interval isolation[J]. Power System Technology, 2021,45(12):4818-4827.)

[8] 李荣,贺兴时,杨新社. 基于差分进化的飞蛾算法在电力调度中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2021,57(13):258-268. (LI Rong, HE Xingshi, YANG Xinshe. Application of moth algorithm based on differential evolution in power dispatch[J]. Computer Engineering and Applications, 2021,57(13):258-268.)

[9] 覃禹铭,卢颖. 电力系统多模态低碳电力调度策略分析[J]. 实验室研究与探索, 2020,39(7):53-57. (QIN Yuming, LU Ying. Analysis of multi-modal low-carbon power dispatching strategy for power system[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2020,39(7):53-57.)

[10] 罗顺根,郭秀萍. 用改进的MOEA/D算法求解微电网电力调度多目标优化问题[J]. 系统科学与数学, 2020,40(1):81-104. (LUO Shungen, GUO Xiuping. Multi-objective optimization problem of the microgrid power dispatch using improved multi-objective evolutionary algorithm based on decomposition[J]. Journal of Systems Science and Mathematical Sciences, 2020,40(1): 81-104.)

[11] 聂昕磊,樊艳芳. 基于改进烟花算法的电动汽车与新能源协同调度[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2022,20(7):738-745. (NIE Xinlei, FAN Yanfang. Coordinated scheduling of large-scale electric vehicles and renewable energy based on improved fireworks algorithm[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2022,20(7):738-745.)

作者简介：

杨晓燕(1985-)，女，学士，高级工程师，主要研究方向为电气工程及其自动化.email:yangxx5778@163.com.

苏宏宇(1989-)，男，学士，工程师，主要研究方向为电气工程及其自动化.

周　平(1986-)，女，学士，工程师，主要研究方向为发电厂及电力系统.

代　颖(1988-)，女，学士，工程师，主要研究方向为电气工程及其自动化.

孙乐平(1992-)，男，硕士，工程师，主要研究方向为电气工程及其自动化.