

数据驱动的业务过程角色与任务重分配方法研究

李 坤, 余军合*, 战洪飞

(宁波大学 机械工程与力学学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 针对现有任务分配方法难以考虑人员执行任务的效率差异性和偏好性问题, 以生产和服务系统执行历史数据为基础, 提出基于人员行为差异性的任务分配方法, 建立以业务执行过程中流程执行时间最少和人员之间负荷均衡为多目标的任务分配优化模型. 基于NSGA II算法, 提出将约束优化模型转换为无约束优化模型, 并给出优化模型的求解方法. 结合业务过程挖掘领域中事件日志的应用实例, 对业务过程中的任务和角色进行重分配, 比较任务重分配前后业务过程的变化情况, 为以后的任务分配提供依据.

关键词: 任务分配; 人员行为差异性; 事件日志; 非占优排序遗传算法

中图分类号: F270; TP39

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2017) 02-0049-06

客户需求多样化必然会带来企业内部运作过程的多样化, 从执行任务角度来看, 意味着企业业务人员需要解决和承担执行的任务种类会更多, 将导致人员执行任务效率的下降, 此时应该对人员执行任务的种类进行细分, 以提高人员执行任务的效率, 并为将来任务的合理分配提供依据. 企业大量信息系统的使用在提高制造系统运行效率的同时, 也通过大量数据记录下系统运行的历史^[1], 通过对系统历史数据的分析能够更准确客观地反映任务、角色和人员之间的匹配关系, 将能为人员、角色和任务的合理分配提供支撑, 这是本文的出发点.

任务分配涉及到生产计划、成本核算以及人力资源管理等多个方面. 当前企业实践过程中任务分配更多由管理人员根据经验进行分配, 主要根据工作经历、个人意愿、专业背景等^[2], 存在一定的弊端. 比如根据工作经历分配, 存在难以获得准确的工作经历的问题; 根据个人意愿, 有些人会不考虑自身条件, 盲目选择职位; 根据专业背景, 有些人可能专业知识匮乏等^[3]. 在企业运作过程中, 管理人员会根据自己的判断, 适时动态调整人员

角色和任务分配方法, 使任务分配更趋合理. 这些调整分配的过程通过信息系统辅助执行过程进行记录, 通过对历史记录数据分析能为管理人员提供更合理的数据决策支持. 多人执行多项任务是以任务执行效率最高为目标进行任务分配, 是典型的指派问题, 此类问题目前研究主要集中在任务分配的求解方法上. 其大致分成两类: 一类是像匈牙利法这样的精确求解算法^[4]; 另一类是采用遗传算法^[5]、蚁群算法^[6]、人工蜂群算法^[7]、模拟退火算法^[8]等这样的进化算法来求解大型的任务分配问题. 这些求解方法主要研究解决算法效率和成本, 而不是任务分配的策略.

生产和服务系统是一个机构构成的复杂系统, 人的主观能动性决定了任务分配过程中将不仅考虑人员工作能力效率的差异性, 还要考虑人员的主观意愿和人员的偏好性等情况, 这些都难以通过模型来表达. 本文通过对系统执行过程的历史数据分析来间接表征任务分配过程的各种影响因素, 从而提出人员角色和任务重分配的合理方法. 企业信息系统运作时, 记录过程的信息被称为事件日志^[9]. 根据事件日志可统计分析出业务过程中

收稿日期: 2016-01-18.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journallg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(71071081); 浙江省自然科学基金(LY14G010003, LY16G010004); 浙江省公益性技术应用研究计划项目(2014C31087, 2016C31047).

第一作者: 李坤(1990-), 男, 安徽六安人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 业务过程管理. E-mail: 296921604@qq.com

*通信作者: 余军合(1971-), 男, 湖北天门人, 博士/副教授, 主要研究方向: 产品生命周期、数据挖掘等. E-mail: yujunhe@nbu.edu.cn

人员执行任务的差异性以及偏好性等特征。本文基于这些特征,以业务过程执行效率更高和每个角色中人员工作负荷更加均衡为目标,构建多目标角色任务分配模型,并运用非占优多目标遗传算法 NSGAI^[10]进行模型求解。通过对比分析角色和任务重新分配后对业务过程执行效率以及角色的影响,从而为后续人员角色和任务分配提供合理的依据和指导。

1 考虑人员执行任务差异性的角色与任务重分配的基本步骤

先基于业务过程执行的历史日志数据,分析出人员执行任务的种类、次数和效率等多种差异性特征;然后根据人员执行任务之间的关联性,对人员角色进行初分配;最后在考虑任务执行效率和人员负荷均衡的基础上对角色进行进一步细分,并对任务进行重分配。

1.1 业务过程中人员执行任务差异性特征

基于过程日志数据不仅能够重建业务执行过程^[1],还能进行组织的角色发现等。管理者在任务分配过程中,一般会根据经验考虑到每个人的特征进行任务分配。利用事件日志中记录的信息可以获得不同人员执行任务的差异性特征,这是进行角色和任务重分配的基础支撑数据。本文主要考虑以下几个方面特征:

(1)人员执行任务种类和次数不同。通过统计分析事件日志中的信息,可以发现每个人员执行任务的种类以及次数,为角色的划分和任务分配矩阵的构建提供依据。

(2)人员执行任务的效率会有所差异。当不同的人员执行相同的任务时,由于人员自身偏好性的原因或者能力差异等原因,会出现执行效率的差异性。人员执行任务效率的差异为任务的分配提供数据依据。

(3)人员执行任务的负荷存在差异性。任务分配的过程中除了需要考虑效率的问题,也应该考虑人员负荷均衡的问题。利用事件日志中的信息,可以统计分析出人员之间执行任务负荷的差异性,为角色内人员负荷的均衡性提供一定的数据支持。

这些差异性的分析和挖掘,为本文角色和任务重分配模型构建提供数据支撑。

1.2 基于任务相似性的角色初分配

在一个业务过程中,由于人员执行任务种类的不同,会出现不同角色的概念。在同一个角色中,人员执行的任务种类是比较相近的。角色的划分可基于人员执行任务的相似度来进行,而相似度则根据人员执行任务的种类以及执行任务的次数来计算。通过事件日志对人员执行任务种类和次数的统计,根据组织结构挖掘中比较常用的皮尔森相关系数法^[11]对人员角色进行初分配。皮尔森相关系数法是计算空间内两点或者个体相似性的常见方法,值域为 $[-1,1]$,系数越接近1说明相似度越高。在使用皮尔森相关系数法计算人员执行任务间的相似度时,可选择合适的阈值来判断人员间的关系,其具体方法如下式描述:

$$r(O_i, O_k) = \left(\sum_{j=1}^P (n(O_i, T_j) - \overline{n_{O_i}})(n(O_k, T_j) - \overline{n_{O_k}}) \right) / \left(\sqrt{\sum_{j=1}^P (n(O_i, T_j) - \overline{n_{O_i}})^2} \sqrt{\sum_{j=1}^P (n(O_k, T_j) - \overline{n_{O_k}})^2} \right), \quad i, k = 1, 2, \dots, M, \quad (1)$$

式中, $r(O_i, O_k)$ 表示人员 i 和人员 k 之间执行任务的相似度; $n(O_i, T_j)$ 表示 M 个人员中第 i 个人员 O_i 执行 P 种任务中第 j 项任务 T_j 的次数, $\overline{n_{O_i}} = (\sum_{j=1}^P n(O_i, T_j)) / P$ 表示第 i 个人员执行所有 P 种任务的平均次数。

根据人员执行任务情况,可以将一个业务过程中的 M 个人员划分成 N 种角色,每个角色中至少包含一个人员,然后计算人员执行任务之间的相似度。根据计算结果设定一个合适的阈值,把执行活动相似度较高的人员划分至同一个角色内。角色划分完成后,就可根据已经划分的角色构建每个角色的任务集(把每个角色里人员执行的任务集合在一起成为角色的任务集),这是角色和任务重分配的基础。

1.3 角色中人员执行任务效率计算

管理者主要根据人员执行任务的效率合理地分配任务。文中,效率间接用人员执行每类任务的平均时间来表征。假设一类业务过程中,有 N 种角色,各个角色分别拥有 $L_1, L_2, \dots, L_k, \dots, L_N$ 个人员,分别对应地执行 $Q_1, Q_2, \dots, Q_k, \dots, Q_N$ 种任务。

可以根据日志中记录的信息统计人员执行任务的次数,用 n_{ij} 表示人员 O_i 执行某类任务 T_j 的次

数. 每个人员在执行任务的过程中, 对同类任务会执行多次, 则表示人员执行某一任务的效率, 本文采用了人员执行某类任务的平均时间来表示执行任务的效率: $\bar{t}_{ij}$ 表示人员 O_i 执行任务 T_j 的平均时间, 可以表示为:

$$\bar{t}_{ij} = \frac{1}{n_{ij}} \sum_{q=1}^{n_{ij}} t_{ij}^q,$$

其中, t_{ij}^q 表示人员 O_i 第 q 次执行任务 T_j 的时间.

在角色初始分配过程中, 只是考虑了人员执行任务种类的相似性, 没有考虑人员执行任务的效率和人员执行任务的负荷. 通过对数据进行统计, 能够分析出人员执行不同种类任务的效率, 在此基础上再考虑任务的重新分配和过程执行的效率, 以实现角色和任务的重新分配.

2 基于 NSGA II 角色与任务重分配优化模型的构建与求解

2.1 NSGA II 的角色与任务重分配优化模型构建

2.1.1 设计变量

建立优化模型, 实现对任务进行重新分配, 设计变量 n_{ij}^{new} 表示重新分配后人员 O_i 执行任务 T_j 的次数.

2.1.2 目标函数

(1) 流程执行任务总时间最少. 任务和角色重分配目标之一就是减少任务执行的时间以及简化流程等方面, 在这里主要考虑流程执行的效率, 并且以流程中所有人员执行任务的总时间来间接表示流程执行的效率. 本文以所有人员执行任务的总时间最少作为目标, 目标函数如下:

$$\min f_C = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{L_k} \sum_{j=1}^{Q_k} \bar{t}_{ij} \times n_{ij}^{\text{new}} = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{L_k} \sum_{j=1}^{Q_k} \left(\frac{1}{n_{ij}} \sum_{q=1}^{n_{ij}} t_{ij}^q \right) \times n_{ij}^{\text{new}}, \quad (2)$$

其中, f_C 表示执行任务的总时间; L_k 和 Q_k 分别表示 N 个角色中第 k 个角色对应的人员和任务种类.

(2) 流程执行过程人员的负荷均衡用角色内人员之间负荷差异性最小化来表示. 任务分配过程中, 在考虑流程执行效率的同时, 应尽量满足角色内人员之间负荷相对均衡. 选取每个角色内, 每个人员负荷与角色内所有人员平均负荷之间差值的绝对值总和作为目标函数, 目标函数表示为:

$$\min f_D = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{L_k} \left| \sum_{j=1}^{Q_k} \bar{t}_{ij} \times n_{ij}^{\text{new}} - \frac{1}{L_k} \sum_{i=1}^{L_k} \sum_{j=1}^{Q_k} \bar{t}_{ij} \times n_{ij}^{\text{new}} \right|, \quad (3)$$

其中, f_D 表示角色内人员之间负荷差异.

2.1.3 约束条件

基于业务过程执行的历史数据进行人员角色和任务重分配, 必须要遵循以下几个方面约束:

(1) 人员执行任务种类约束. 每个人员在任务重分配过程中, 其分配任务种类不能超过其已经执行过的任务种类. 从历史数据中显示某个人从没有执行过某种任务时, 说明管理者认为他/她执行此项任务没有经验, 因此在建模过程中将进行如下假设: 如果历史数据未记录某人员执行过某任务, 则重新分配过程也将进行相似的假设, 其执行此种任务的次数为 0.

(2) 任务执行完整性约束. 在任务重分配过程中, 必须保证每种任务被执行的次数前后相等, 这样能保证所有任务都被执行, 只是执行的人员不同而已.

(3) 任务执行次数非负性. 很明显, 人员执行任务的分配次数不能为负.

以上约束可以表示成:

$$\begin{cases} n_{ij}^{\text{new}} = 0, \text{ if } n_{ij} = 0, \\ \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{L_k} n_{ij}^{\text{new}} = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{L_k} n_{ij}, \\ n_{ij}^{\text{new}} \geq 0. \end{cases} \quad (4)$$

2.2 NSGA II 的角色与任务重分配优化模型求解

根据前面提出的优化模型, 需要解决的是一个有约束的多目标组合优化问题, 目标函数为(2)式和(3)式: $\min\{f_C(n_{ij}^{\text{new}}), f_D(n_{ij}^{\text{new}})\}$, 约束条件是(4)式. 本文采用基于拥挤距离的非占优排序遗传算法(Non-dominated Sorting in Genetic Algorithms II, NSGAII)进行求解, NSGAII 主要是采用快速非占优排序方法, 降低计算的复杂度, 同时运用拥挤距离方法来保持种群的多样性, 避免了算法陷入局部优化.

NSGAII 一般求解算法如图 1 所示. 求解过程中, 为进一步降低问题的复杂度, 将有约束的多目标组合优化问题转化为无约束的多目标组合优化问题进行求解. 在任务重新分配过程中, 由于每个人员执行任务的次数之间互相约束, 所以在产生

初始种群以及进行遗传操作时, 为保证产生的新个体均为可行解, 每个任务重新分配时, 最后一名人员的执行次数不是随机产生的, 而是该任务被执行的总次数减去分配给其他人员的次数. 如在图1中列出任务重新分配方案的示例, 任务A被多个人员共执行 N 次, 在任务重新分配时, 首先产生一个0~1之间的随机数 R_1 , 分配给人员 O_1 的次数 $N_1 = R_1 \times N$ (进行取整操作, 取整数), 然后产生0~1之间的随机数 R_2 , 分配给 O_2 的次数 $N_2 = R_2 \times (N - N_1)$ (需取整数), 这样依次重新分配任务, 最后分配任务给 O_M 时, 执行次数 $N_M = N - N_1 - N_2 - \dots - N_{M-1}$, 这样可以保证随机产生的所有个体以及进行遗传操作产生的新个体均满足约束. 为保持种群的多样性, 在交叉和变异过程中新产生的个体也需要满足约束条件(4)式, 本文采用与初始种群产生的相同策略进行约束处理.

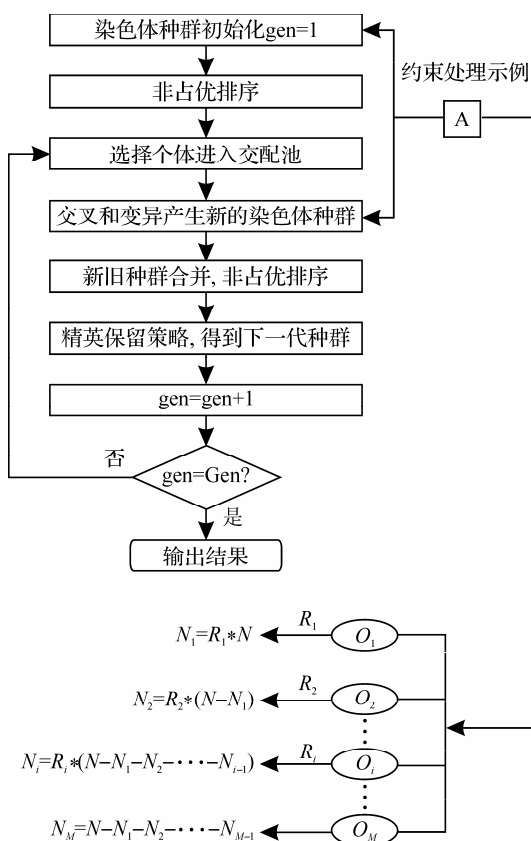


图1 NSGAII 算法求解过程

3 应用案例研究

以业务过程挖掘领域常用的事件日志数据集为例进行实例研究, 通过对已执行的任务重新分

配进行讨论分析, 验证算法合理性. 日志是过程挖掘组织提供的算法验证数据集(<http://data.3tu.nl/repository/>), 这个日志包含1434个案例和8577个业务活动. 首先对日志数据进行清理工作, 除去部分执行次数较少的任务和部分异常数据(记录不完整的流程数据或者是中间间断时间较长的流程数据等). 这里选取其中3个角色进行任务重新分配的优化, 3个角色的划分主要是根据人员之间执行任务的相似性进行. 3个角色中包含了30个人员, 执行了18种任务, 每种任务被执行的情况如下所示: $T_s = (1346, 50, 1295, 957, 1384, 44, 26, 24, 16, 1272, 39, 40, 38, 27, 20, 26, 20, 20)$, 然后根据日志统计得到的每个人员执行任务的种类以及频率, 按照组织挖掘中的皮尔森相关系数算法计算人员之间执行任务的相似度, 设置阈值为0.80, 将业务过程中的30个人员共分成了3个角色(图2).

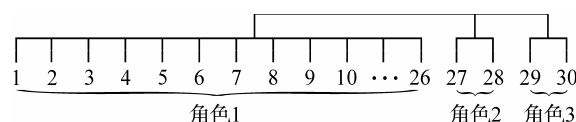


图2 基于任务相似性的角色初分配

编写NSGA II遗传算法程序, 设定种群大小为500, 迭代30000次, 使用MATLAB运行程序, 得到的任务重新分配模型的Pareto优化解, 结果如图3所示. 从图中可见, 随着人员负荷差异的变小, 即人员执行任务更加均衡, 将导致整个流程执行效率的降低; 相反的, 能者多劳会带来流程执行效率的提高, 但是人员执行任务分配将不均衡, 可以看出两个目标之间是相互矛盾的关系.

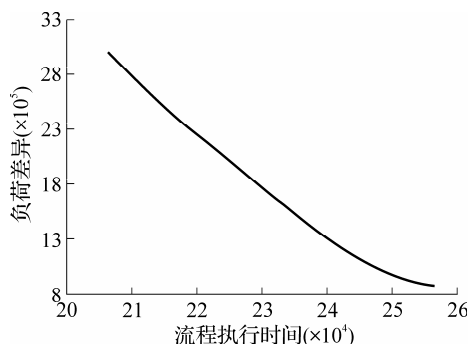


图3 任务重新分配优化结果

(1)任务重分配. 优先考虑人员之间工作负荷的均衡为准则, 选择了一个Pareto优化解进行分析. 一般情况下, 人员执行任务的种类越少, 就能越熟

练地完成任务. 因此, 任务分配时应该根据人员特征合适地分配任务. 任务重新分配时, 需考虑将任务优先分配给执行效率较快的人, 并同时考虑到人员负荷均衡的问题, 所以人员执行任务种类将会相应减少. 最后, 根据任务重新分配结果统计分析, 任务重新分配前后, 所有人员执行任务种类的个数变化情况. 如图4所见, 任务重新分配后, 人员执行任务种类都有下降.

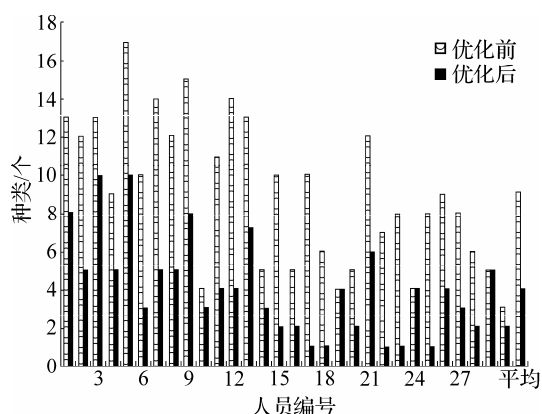


图4 任务重分配前后人员执行任务种类对比

(2)角色重分配. 在任务重新分配基础上, 根据人员执行任务相似性, 在设置同样相似性阈值为0.80的情况下, 同样的30个人员被细分成了6个角色. 角色的增多, 说明每个角色所执行任务的种类减少了, 因此角色中每个人员执行任务的种类也会相对减少. 每个角色人员分布情况如图5所示. 比较图2和图5后可见, 按照此方法重新分配任务后, 人员的角色得到了进一步的细分, 每个人员执行任务的种类数基本上都减少了. 因此按照这种方式分配任务后, 在未来人员执行任务的效率还会得到一定程度的提高.

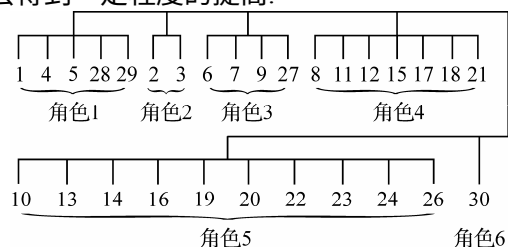


图5 角色重分配结果

(3)负荷更均衡. 在任务重分配后, 通过计算可以得出任务重新分配前后每个人员的工作负荷. 如图6显示, 优化后角色1、角色2和角色3中人员之间的负荷相对变得更为均衡; 对每个人员而

言负荷有所降低, 同时整体的平均负荷也降低了.

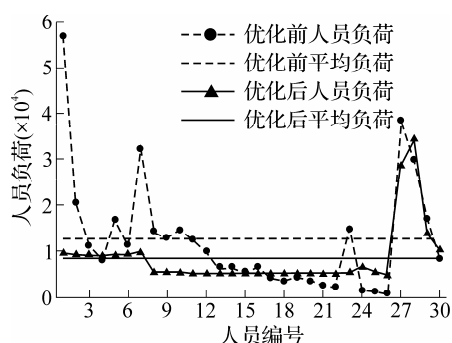


图6 任务重新分配前后人员负荷对比

(4)效率更高. 对于一个业务过程而言, 最重要的还是优化流程执行效率. 因此, 选取了执行次数比较多的几个流程, 对比分析了在任务重新分配前后, 流程效率的变化如图7所示, 由此可见, 任务重新分配后, 每个流程的执行时间都有一定程度上的减少.

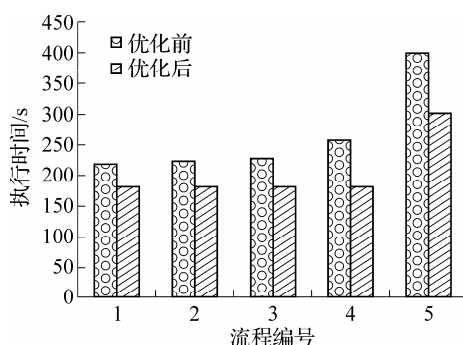


图7 任务重分配前后流程执行时间对比

4 结论

本文提出了基于人员执行任务行为差异性的角色和任务重分配方法, 通过建立多目标组合优化模型来求解业务过程中流程执行效率和人员负荷均衡的优化组合问题. 基于业务过程挖掘领域里常用的事件日志作为实例, 分析了业务过程中任务重新分配前后对业务过程的影响, 验证了算法的可行性, 能够为人员角色和任务重新分配提供一定的依据. 本文的研究基于企业信息系统中记录的事件日志中的数据展开, 事件日志中的数据有时可能因为记录问题会出现不完整情况, 同时文中提出的算法还需通过更多数据集进行验证, 算法的效率等都还有待提高. 此外, 文中提出的方法也没有考虑任务和人员执行任务在时间上可能

发生的冲突,这也是所提出方法需要进一步改善的地方。

参考文献:

- [1] VAN DER AALST W M P, REIJERS H A, WEIJTERS A J M M, et al. Business process mining: An industrial application[J]. Information Systems, 2007, 32(5):713-732.
- [2] 魏晓梅, 崔春生. 人员工作分配的定量优化方法研究[J]. 科技和产业, 2010, 4(10):78-81.
- [3] 崔春生. 基于可拓工程方法的营销人员评价方法[J]. 河南科技大学学报, 2005, 23(3):91-93.
- [4] 郑烨, 王明杰, 樊娟. 基于匈牙利法的企业员工任务分配问题研究[J]. 统计与决策, 2011(5):182-185.
- [5] 吕炎杰, 赵罡, 于勇. 基于模糊集理论和知识相似度的复杂产品设计任务分配方法[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(4):904-913.
- [6] 严珍珍, 邢立宁, 陈英武. 求解任务分配问题的带有推荐功能的蚁群算法[J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19(9):2220-2228.
- [7] 孙晓雅, 林焰. 改进的人工蜂群算法求解任务指派问题[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(1):23-26.
- [8] 罗晨, 李源, 刘勇, 等. 基于模拟退火遗传算法的多agent系统任务分配[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(6):2114-2116.
- [9] 刘健, 马义中, 刘思峰, 等. 基于事件关系表的过程模型与社会关系网络研究[J]. 南京理工大学学报, 2014, 38(3):431-438.
- [10] DEB K, PRATAP A, AGARWAL S, et al. A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGAII[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2002, 6(2):182-197.
- [11] SONG M, Van der Aalst W M P. Towards comprehensive support for organizational mining[J]. Decision Support Systems, 2008, 46(1):300-317.

Data-driven task and role reassignment in business process

LI Kun, YU Jun-he*, ZHAN Hong-fei

(Faculty of Mechanical Engineering & Mechanics, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Existing task assignment methods are hard to consider the differences in efficiency and preference of task executive members. Based on the historical data of production and service system, the task assignment method is proposed based on the difference of staff member behavior using the task assignment optimization model which focuses on achieving the least of process execution time and the balance of the workload. Adopting the NSGAII(Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II), the constrained optimization model is converted into unconstrained optimization model, and thus the solution of optimization model is established. Tasks and roles in the business process are reassigned in a case study extracted from an event log in mining field business. By comparing the changes of business process before and after the assignment, it is expected that the analytical results may provide supportive reference for the future task assignment.

Key words: task assignment; behavior difference; event log; non-dominated sorting genetic algorithm II

(责任编辑 章践立)