第35卷 第21期 计 算 机 工 程 2009年11月
Vol.35 No.21 Computer Engineering November 2009
·软件技术与数据库· 文章编号：1000—3428(2009)21—0057—03 文献标识码：A 中图分类号：TP319

基于负载平衡和经验值的工作流任务分配策略

刘 怡[1]，张 戡[2]
(1. 华中师范大学教育信息化研究中心，武汉 430079；2. 中南财经政法大学，武汉 430073)

摘 要：针对面向角色的工作流管理系统中的任务分配问题，提出一种支持任务参与者负载平衡和经验值的任务分配策略，在角色和任务执行者之间建立联系。该策略在对任务参与者进行负载预测的基础上，综合考虑任务参与者的工作负载、对不同类型任务的完成质量和兴趣等因素，根据预测负载偏差，对任务参与者的负载进行等级划分，把任务分配给轻载集合中经验值最高的参与者。

关键词：工作流；任务分配；负载平衡；经验值

Strategy for Workflow Task Assignment Based on Load Balance and Experiential Value

LIU Yi[1], ZHANG Kan[2]
(1. Research Center for Education Informationization, Huazhong Normal University, Wuhan 430079;
2. Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan 430073)

【Abstract】Aiming at the problem of task assignment in Workflow Management System(WfMS), this paper presents a strategy for task assignment which supports load balance of task actors and experiential value, and bridges the gap between roles and task actors. On the basis of predicting the load of task actors, the strategy takes the following factors into account: the working load of task actors, the quality achieved by them and their interest of different categories of tasks. According to the prediction of load deviation, the load of task actors is divided into several sets, and the task is assigned to the actor who has the highest experiential value in light load set.

【Key words】workflow; task assignment; load balance; experiential value

1 概述

工作流管理联盟(Workflow Management Coalition, WfMC)的工作流元模型和多数工作流管理系统(Workflow Management System, WfMS)都引入了基于角色的任务分配方法，即在工作流定义时，工作流建模者将任务的执行者指定为抽象的角色而不是具体的人。基于角色的工作任务分配方法可以减少工作流程定义的变化，但根据角色定义，一个角色可能对应多个具体的活动任务参与者(下文简称参与者)。因此，在工作流运行时，WfMS必须选择具体的参与者来完成任务。相关研究提出可以通过人工干预或设计特殊的规则来建立角色和具体参与者的映射[1]，文献[2]提出根据参与者能力与任务难度的平衡进行任务分配，文献[3]提出用模糊数替代人的主观估计，以模糊数为参数来处理任务分配问题。上述任务分配策略没有考虑参与者在任务分配时刻未完成的任务。文献[4]考虑了参与者在任务分配时刻未完成的任务，但没有把参与者过去的任务完成记录和质量作为任务分配影响因素。负载平衡算法和实现技术虽然在分布和并行计算、并行数据库系统和进程管理等领域得到研究和应用，但在工作流管理系统中，因为涉及人工参与的任务分配和多种因素相关联，所以相关成果难以被直接采用。

根据WfMS的实际运行情况，可以得到如下结论：(1)参与者在任务分配时刻的未完成任务(或称负载)会对待分配任务的最后完成时间产生直接影响，且参与者负载的不均衡会极大降低整个系统的资源利用率，直接影响系统效能；(2)任务完成质量是评价参与者工作能力不可缺少的基础指标，且任务完成次数与完成质量之间存在良性正反馈关系；(3)参与者对所接受任务类型的兴趣度会对其工作潜能的发挥产生影响。

基于以上结论，本文提出一种支持经验值和负载平衡的工作流任务分配策略，以保证任务被尽早、尽快、高质量地完成。

2 基本概念和问题描述

在多数情况下，会有一个以上的参与者具备执行同某一工作相关联活动的资格，此时，需要工作流引擎选择合适的参与者并对其分配任务。目前解决此类问题的主要方法是在工作流定义时，定义一个人员分配策略，从而在该工作流程中按策略集中规定的规则选择合适人选[5]。而本文策略只需在工作流定义期间选择完成任务的角色，具体参与者由工作流引擎在流程实例化后动态指定。本文策略对工作流管理员屏蔽了企业内部人员筛选机制的复杂性，把管理员关注的焦点集中到工作流程对企业业务流程的模拟上。

定义1(任务) 任务是一个原子过程，一个工作逻辑单位。根据业务范围和任务性质不同，可以在工作流过程建模时将工作项分为 t 类，建立工作流任务项的类型集合 VT，T 为类型数，t=1, 2,…, T。

定义2(工作项) 工作项是工作流管理系统中实际运行的

作者简介：刘 怡(1974－)，女，博士，主研方向：基于信息技术的现代化管理理论与方法；张 戡，博士

收稿日期：2009-05-13 **E-mail：**liuyi136@sohu.com

某个业务流程中的具体任务。

定义 3(角色) 角色是具有某种技能的任务参与者的抽象。一个角色可能有零个或多个执行实体。任务和角色的正确连接可以确保参与者具备相应资格执行特定任务。

3 任务分配策略

3.1 主要思想

任务分配的目标是根据参与者的工作负载和经验来分配与其相称的任务，以最小化任务的执行时间，让任务尽可能并行，并保证任务完成质量。理论上而言，进行任务调度时选择负载最轻的参与者可以保证任务被尽快执行。但为了提高任务完成质量、发挥员工潜能、避免调度倾泻现象，本文策略采用的方法是先根据参与者的负载状况，动态确定一个候选集合，该候选集合由若干负载较轻的参与者组成，然后从候选集合中选择经验值高的参与者，对其进行任务分配。

3.2 负载量化

WfMS 中影响负载的因素很复杂，如参与者待处理工作项的队列长度、交付任务的要求、参与者的兴趣、经验等，因此，负载的量化是调度的关键。考虑到员工本身之外的多方面因素，本文策略以历次完成任务的平均时间衡量某个任务的工作负载。

定义 4 NR 为可以参与者的集合，该集合包括所有符合工作流定义的限定条件的参与者，N 为参与者数，n=1, 2,…, N。

定义 5 V 为参与者预测负载集合，PV 为参与者剩余工作负载集合。V_i^t 为参与者 i 完成 t 类工作项的负载，用该参与者 m 次完成 t 类工作项的平均工作时间计算。如果当前要分配的任务为 t 类工作项，则参与者 i 的预测负载为 $V_i = PV_i + V_i^t$，其中，V_i 为参与者 i 的预测负载；PV_i 为参与者 i 的剩余工作负载。

3.3 任务经验评价值的获取

任务经验评价值与以下 3 个方面的因素有关：(1)任务完成质量，是衡量一个员工工作能力的基础。(2)任务完成次数，与完成质量是良性正反馈关系，随着员工完成某种任务次数的增加，会强化其在熟练程度和工作技巧方面的提高与积累。(3)接受任务的兴趣，同一员工对不同类型任务的兴趣差异是客观存在的，如果分配给员工的任务是其兴趣度较高的类型，将有助于发挥其工作潜能。

定义 6 ET 为候选参与者完成 t 类工作项的经验评价值集合。E_i^t 为参与者 i 完成 t 类工作项的经验估计值，通过如下公式计算：

$$E_i^t = \lambda_1 \times Exp\_quality + \lambda_2 \times Exp\_interest + \lambda_3 \times Exp\_times$$

其中，λ_1, λ_2, λ_3 为预先设定的权值；$Exp\_quality$ 为过去完成 t 类任务的质量评价值；$Exp\_interest$ 为用户接受 t 类任务的兴趣程度；Exp_times 为曾经完成 t 类任务的次数等级，采用等级法计量。

等级划分可以根据具体情况定，例如，划分为 1 等~6 等，在算法中分别以 Exp_times=1.0, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2, 0.0 表示。参与者的工作经验随完成任务次数的增加而不断积累，但其边际效应递减。因此，可以设定当参与者完成某种任务次数超过一定数量时，其任务完成次数的等级不再发生变化。

3.4 分配候选集合的确定

通过相对预测负载偏差，找到相对轻载的参与者集合，可以保证任务很快被处理，并避免调度倾泻现象的发生。

定义 7 $\overline{V}_j$ 为对于要分配的任务 j，参与者的平均预测负载，$\overline{V}_j = \sum_{i=1}^{n} V_i / n$。

定义 8 $\beta(i, j)$ 为参与者 i 对于要分配的任务 j 的相对预测负载偏差，$\beta(i, j) = (V_i - \overline{V}_j)/\overline{V}_j$。

分配候选集合的确定过程如下：

(1)根据参与者的相对预测负载偏差，将角色分成轻载、中载和重载区间。同一区间内的参与者被认为有相似的负载。在实际应用中，对于参与者的相对预测负载偏差区间的数量和划分所依据的参数，可以根据工作环境的具体情况灵活调整。预测负载偏差区间的设定方法如下：设 R 为相对预测负载偏差区间数，$W[R+1]$为相对预测负载偏差数组。其中，$W[0]$=-1, $W[R]$=+1，区间的上界和下界可以由用户根据工作流的要求确定。S_k 为属于第 k 个区间中的参与者集合，k 越大预测负载越重，k=1, 2,…, R。对于任意参与者 i，如果 $W[k\text{-}1] \le \beta(i, j) < W[k]$，那么该参与者被划分到 k 区间。

(2)选择相对轻载的区间内的参与者群体作为调度候选集合。

(3)在此调度候选集合中选择一个具有最大 ET 值的参与者来完成即将被分配的工作项。如果有多个参与者的 ET 值相同，则选择最久没有得到工作项执行的参与者。如果上述条件相同的参与者多于一个，则随机选取。

3.5 算法描述

任务分配算法描述如下：

步骤 1 对到达的工作项 j，获得任务类型标识 t 和任务要求最低经验值 E_t；

步骤 2 根据工作流定义找到符合条件能够承担任务的所有候选活动任务参与者 NR；

步骤 3 for(i=1; i<=n; i++)

{计算出所有候选活动任务参与者的预测负载 V；

计算每个候选活动任务参与者完成 t 类工作项的经验评价值，得到待分配任务经验评价 ET；}

步骤 4 计算系统参与者平均负载 $\overline{V}_j$；

步骤 5 for(i=1; i<=n; i++)

{计算对于任务 j，参与者 i 的负载相对偏差 β(i,j)；

在 W[R]中寻找下标 z，使得 W[z-1]≤ β(i,j) ＜W[z]，如果满足且 ET 不小于 E_t，那么将参与者 i 加入到第 z 个预测负载区间中；}

步骤 6 统计每个负载区间中参与者的数量 h；

步骤 7 for(i=1; i<=R; i++)

{if($h_i \neq 0$) k=i;

break; }

步骤 8 第 k 个预测负载区间 S_k 成为最后的调度候选集合；

步骤 9 从 S_k 中选出 ET 值最高的参与者，形成集合 U。如果 U 的数量大于 1，则选择 U 中最久没有得到任务的参与者；

步骤 10 把工作项 j 分配给找到的参与者，算法结束。

4 仿真实验

4.1 实验方案

轮转调度法是一种无状态调度，其实现和操作过程较简洁，但它简单地把所有参与者视为无差异的，以轮转方式依次将任务分配给参与者，只能实现较低程度的负载平衡。因此，仿真实验选择轮转调度法作为比较对象，分别运用本文策略和轮转调度法对任务数为 200、任务类别为 3 种(T_n, n=1,2,3，其中，T_3 要求接受参与者的经验值不小于 0.7)、符合角色的参与者数量为 4 个(U_n, n=1,2,3,4)的工作流调度问题进行仿真，并对仿真结果进行分析。

表 1 给出了每位参与者完成 3 类任务所需的时间(括号内

逗号前数值，单位为 s)和经验值(括号内逗号后数值，取值区间为[0,1])。表 2 给出了对各参与者任务完成速度由快到慢的排序(括号内逗号前数字)以及经验值由高至低的排序(括号内逗号后数字)。

表 1　参与者完成各类任务的时间、经验值

任务种类	U_1	U_2	U_3	U_4
T_1	(35, 0.80)	(30, 0.85)	(37, 0.90)	(58, 0.80)
T_2	(65, 0.85)	(60, 0.70)	(75, 0.90)	(100, 0.80)
T_3	(105, 0.90)	(100, 0.65)	(115, 0.85)	(170, 0.90)

表 2　参与者完成各类任务的时间、经验值排序

任务种类	U_1	U_2	U_3	U_4
T_1	(2, 3)	(1, 2)	(3, 1)	(4, 3)
T_2	(2, 2)	(1, 4)	(3, 1)	(4, 3)
T_3	(2, 1)	(1, 4)	(3, 3)	(4, 1)

4.2　结果与分析

如图 1 所示，在完成所有任务的时间上，采用本文策略比采用轮转调度法缩短了 28%以上。

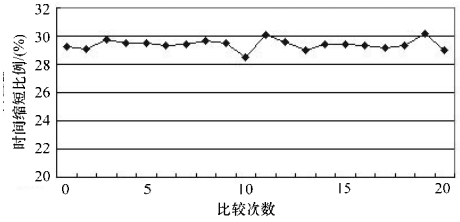

图 1　本文策略时间缩短比例

如图 2 所示，在轮转调度法下，速度慢的参与者 U_4 的工作负载始终最大，速度快的参与者 U_2 的负载始终最轻。随着工作流实例数的不断增大，参与者的工作负载差别不断增大，负载平衡的实现效果不理想。

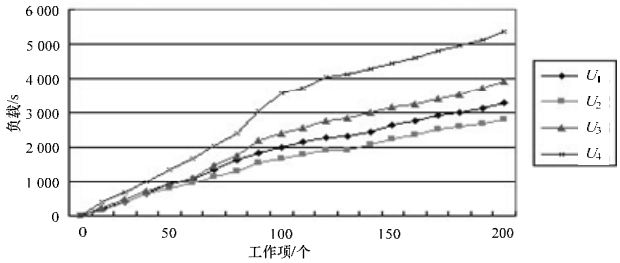

图 2　轮转调度法的工作负载

如图 3 所示，在本文策略下，4 个参与者的工作负载基本相同，其中，U_2 的工作负载有时略小，这是因为 U_2 完成 T_3 类任务的经验值低于该类任务要求的最低经验值，所以遇到 T_3 类任务时，系统不会将 U_2 作为候选参与者，而在遇到其他类型的任务时，系统会将 4 个参与者均作为候选参与者，并找到预测负载偏差相对轻的人，从中选择经验值高的人完成工作项。因此，4 个参与者的工作负载总是相差不大，较好地实现了负载平衡。

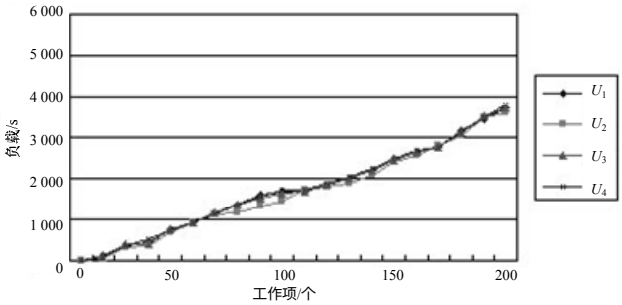

图 3　本文策略的工作负载

如表 3 所示，在本文策略下，合适的任务被分配给合适的人，充分考虑了参与者的特点。

表 3　本文策略下参与者获得的各类任务的数量　个

任务种类	U_1	U_2	U_3	U_4
T_1	0	50	17	2
T_2	8	35	20	8
T_3	31	0	13	16

5　结束语

本文策略使工作量分配与参与者的潜在承载能力呈正比，让任务完成速度快、经验值高的参与者得到较大工作量，调动了参与者发挥潜能的积极性。

参考文献

[1] Huang Yannong, Shan Ming-Chien. Policy-based Resource Management[C]//Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Information Systems Engineering. Heidelberg, Germany: [s. n.], 1999: 422-428.

[2] 段永强，曹　健，张申生. 工作流系统中的动态任务调度[J]. 中国机械工程, 2002, 13(3): 233-235.

[3] Yaakob S B, Kawata S. Worker's Placement in an Industrial Environment[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1999, 106(3): 289-297.

[4] Shen Minxin, Tzeng Gwo-Hshiung, Liu Duen-Ren. Multi-criteria Task Assignment in Workflow Management Systems[C]//Proc. of the 36th Annual Hawaii International Conference. Hawaii, USA: [s. n.], 2003: 202-210.

[5] 曹　健, 张申生, 周晓俊. 面向团队工作的柔性工作流任务分配方法[J]. 计算机集成制造系统, 2003, 9(11): 1006-1032.

编辑　陈　晖

（上接第 56 页）

5　结束语

本文设计了嵌入式软件动态测试数据采集框架，完成了基本路径测试数据采集及简单缺陷分析。但对时间、内存使用性能测试数据采集还需进一步研究。

参考文献

[1] Ahyoung S, Byoungju C. An Interface Test Model for Hardware-dependent Software and Embedded OS API of the Embedded System[J]. Computer Standards & Interfaces, 2007, 29(4): 430-443.

[2] Anastasis A, Andreas S. Automatic, Evolutionary Test Data Generation for Dynamic Software Testing[J]. Journal of Systems and Software, 2008, 18(10): 1016-1032.

[3] Eugenia D, Javier T. A Tabu Search Algorithm for Structural Software Testing[J]. Computers & Operations Research, 2008, 35(10): 3052-3072.

[4] 侯　芸, 顾　刚, 高海昌, 等. 一种路径覆盖自动生成的改进方法[J]. 计算机工程, 2007, 33(4): 67-69.

[5] 乔文军, 万晓冬. 嵌入式软件覆盖测试工具的研究[J]. 计算机测量与控制, 2007, 15(9): 1238-1240.

编辑　张　帆