

多 Agent 系统中基于改进合同网模型的任务分配研究

裘杭萍 覃 焱 胡 洵 管 留

(解放军理工大学指挥自动化学院 南京 210007)

摘 要 任务分配是多 Agent 系统中研究的热点,合同网模型是关于多 Agent 系统中任务分配的经典策略,但传统的合同网模型存在很多不足。在引入基于信任度的招标策略和基于自适应的投标策略的基础上,主要针对传统合同网模型中标阶段存在的问题,从投标 Agent 的负载、能力和信任度 3 个方面进行综合考虑和权衡,提出了一种基于多属性评价中标策略的动态任务分配算法,从而有效地提高了任务分配和执行的效率。最后通过仿真实验验证了基于多属性评价中标策略的正确性和合理性。

关键词 多 Agent 系统,任务分配,改进合同网模型,多属性评价

中图分类号 TP391.9 文献标识码 A

Study on the Task Allocation Based on Improved Contract Net in Multi-agent System

QIU Hang-ping QIN Yao HU Rui GUAN Liu

(Institute of Command Automation, PLAUST, Nanjing 210007, China)

Abstract The research of task allocation in multi-agent system is becoming more and more. The contract net model is a classical method for task allocation in multi-agent system, but traditional contract net model has lots of deficiencies. With the base of bidding announcement based on the credit of agent and bidding based on self-adaptation, a synthetic evaluation strategy based on the load, capability and credit of bidding agent was also proposed, which can effectively resolve the problem during the procedure evaluating bidding. The simulation experiment proves that the performance of the extended contract net is effective.

Keywords Multi-agent system, Task allocation, Improved contract net, Synthetic evaluation

任务分配的策略是多 Agent 系统研究中的热点问题^[1,2]。合理的任务分配有助于降低系统开销,提高系统运作效率。任务分配需要根据系统中各成员的负载状况、能力和任务特性,对随机到达系统中的新任务进行分配。新任务的动态随机性以及系统成员能力的变化性都会给任务分配问题的解决带来困难和挑战。

合同网模型是关于多 Agent 系统中任务分配的经典策略,其基本原理是 Agent 之间通过“招标-投标-中标”这一市场竞争机制进行任务分配,使系统能以较低的代价、较高的质量完成任务分配的合同关系^[3,4]。但传统的合同网模型存在很多不足,很多学者在此基础上进行了改进。针对传统合同网模型招标阶段存在的通信量大、耗费资源多的问题,文献[5,6]采用基于任务熟人集和信任度的方式对候选 Agent 进行筛选,提高了合同网招标阶段的效率;针对传统合同网模型投标阶段存在的不确定性突出、效率低的问题,文献[7]将缓冲池的思想引入到合同网的投标阶段,提出了一种自适应的投标策略,从而提高了合同网投标阶段的效率。

在合同网模型中,任务管理者 Agent 在收到所有投标 Agent 的标书信息之后,应当根据任务本身的约束条件和投标

Agent 的相关属性信息,如投标 Agent 完成任务的能力、Agent 的承诺以及 Agent 当前的状态等因素,进行综合性的评价,然后选择合适的 Agent 来完成任务分配关系。但在传统的合同网模型的中标阶段,缺少相应的综合评价机制。

本文在引入基于信任度的招标策略和基于自适应的投标策略基础上,针对传统合同网模型中标阶段存在的问题,着重考虑投标 Agent 之间的负载均衡,从投标 Agent 的负载、能力和信任度等几个方面进行综合考虑和权衡,提出一种基于多属性评价中标策略的动态任务分配算法。

1 任务分配的形式化描述

在合同网中,当完成了任务招标和任务投标过程之后,管理者 Agent 就要根据当前收到的所有投标 Agent 的相关信息,进行任务分配。任务分配问题主要涉及以下内容:被分配任务的特征、投标 Agent 的工作负载、能力和信任度等因素。首先对任务分配用一六元组进行形式化描述:

$\langle T, A, L, C, V, S \rangle$

式中, T 是一组待分配的任务序列, $T = \{T_1, T_2, \dots, T_N\}$, 每个子任务 T_j 都可以被单个 Agent 独立执行完成。

本文受总装预研基金项目(9140A07020206JB8102)资助。

裘杭萍(1965—),女,博士,教授,主要研究方向为作战信息管理、系统工程等, E-mail: qiuhp8887@sina.com;覃 焱(1986—),男,硕士生,主要研究方向为系统集成与优化;胡 洵(1984—),女,硕士生,主要研究方向为作战信息管理;管 留(1985—),男,硕士生,主要研究方向为基于 Agent 的建模仿真。

A 是一组完成任务的 Agent 序列, $A = \{A_1, A_2, \dots, A_M\}$, 一般情况下 $N > M$ 。

L 是当前投标 Agent 的工作负载, $L = \{L_1, L_2, \dots, L_M\}$, 表示当前投标 Agent 自身还未完成的任务时间总数。

C 是一个 $M \times N$ 的矩阵, 其中元素 C_{ij} 表示 Agent A_i 完成任务 T_j 的能力。

V 也是一个 $M \times N$ 的矩阵, 其中元素 V_{ij} 表示 Agent A_i 对任务 T_j 的投标值, 可以表示为完成该任务的预计时间。

S 也是一个 $M \times N$ 的矩阵, 其中元素 S_{ij} 表示 Agent A_i 对任务 T_j 的信任度。

任务分配的目标是根据投标 Agent 的当前工作负载和能力来分配与其相称的任务, 以最小化任务的执行时间, 使任务尽可能并行, 并保证任务完成的质量。为平衡投标 Agent 的负载, 减少任务的平均等待时间, 投标 Agent 的负载越轻, 分配到任务的可能性越大; 投标 Agent 完成这类任务的能力越强, 分配到这类任务的可能性越大; 投标 Agent 的信任度越高, 分配到任务的可能性也越大。

2 基于多属性评价的中标策略

2.1 Agent 的负载

任务分配中, 影响 Agent 负载的因素很复杂, 如 Agent 当前待处理工作任务的队列长度、交付任务的要求、Agent 完成任务的经验等, 因此, 负载的量化是任务分配的关键。考虑到 Agent 本身之外的多方面因素, 论文以历次完成任务的平均时间来衡量某个任务的工作负载。

对于投标 Agent A_i , 当前任务列表中待完成的任务项共有 r 个, 任务负载的序列为 $TL = \langle (J_1, t_{i1}), (J_2, t_{i2}), \dots, (J_r, t_{ir}) \rangle$, 其中, J_k 表示投标 Agent A_i 任务列表中待完成的任务项, 而 t_{ik} 对应着此项任务的完成时间。由此, 对于投标 Agent A_i 而言, 待完成的任务负载为:

$$TL_{A_i} = \sum_{k=1}^r t_{ik} \quad (1)$$

假设 Agent A_i 要对投标完成某一任务 T_j , 预计完成该任务的时间为 V_{ij} 。那么对于当前 Agent A_i 的总体负载, 应该是当前还未完成的任务负载 TL_{A_i} 和完成任务 T_j 预计时间的总和。用 $WTL_{A_{ij}}$ 表示当前 Agent A_i 的总体负载, 因此有:

$$WTL_{A_{ij}} = TL_{A_i} + V_{ij} = \sum_{k=1}^r t_{ik} + V_{ij} \quad (2)$$

2.2 Agent 的能力

Agent 的能力大小是影响任务分配的一个重要因素。一般来说, 对于某项任务, 在同等负载的情况下, 能力大的 Agent 分配到该任务的可能性越高。论文用 Agent 完成任务的平均时间比值来刻画其完成任务能力的大小。

假设在以往完成任务的情况的记录中, 投标 Agent A_i 完成任务 T_j 的平均时间为 $Time_{ij}$, 而所有 Agent 完成任务 T_j 的最大时间为 $MaxTime_j$, 最小时间为 $MinTime_j$, 那么, 投标 Agent A_i 完成任务 T_j 的能力值为:

$$Cap_{A_{ij}} = \frac{Time_{ij} - MinTime_j}{MaxTime_j - MinTime_j} \quad (3)$$

2.3 Agent 的信任度

Agent 的信任度也是影响任务分配的一个重要因素。一般来说, 对于某项任务, 在同等负载同等能力的情况下, 信任度高的 Agent 分配到该任务的可能性越高。

Agent 信任度的评价与以下因素有关: (1) 任务完成质量, 是衡量一个 Agent 完成任务的基础; (2) 任务完成次数, 与完成质量是良性正反馈关系, 随着 Agent 完成某种任务次数的增加, 其在信任度方面会不断地积累与提高。

假设在以往完成任务的情况的记录中, 投标 Agent A_i 完成任务 T_j 的总次数为 TOT_{ij} , 成功完成它的次数为 SUC_{ij} , 完成任务 T_j 的质量评价值为 $TQuality_{ij}$, 那么, 投标 Agent A_i 完成任务 T_j 的信任度 $Trust$ 值为:

$$Trust_{A_{ij}} = \lambda \times TQuality_{ij} + (1 - \lambda) \times \frac{SUC_{ij}}{TOT_{ij}} \quad (4)$$

式中, $0 < \lambda < 1$ 。

2.4 Agent 的综合评价

在进行综合属性评价的时候, 由于 Agent 的负载、能力和信任度具有不同的物理含义和不同的量纲级别, 因此需要对其进行归一化处理。论文采用线性归一化的方式进行处理, 如 Agent 负载的归一化公式如下:

$$\tilde{Load}_{A_{ij}} = \frac{Max(WTL_{A_j}) - WTL_{A_{ij}}}{Max(WTL_{A_j}) - Min(WTL_{A_j})} \quad (5)$$

式中, $\tilde{Load}_{A_{ij}}$ 表示当前投标 Agent A_i 对完成任务 T_j 的相对负载值, $Max(WTL_{A_j})$ 表示任务 T_j 的所有投标 Agent 负载的最大值, $Min(WTL_{A_j})$ 表示任务 T_j 的所有投标 Agent 负载的最小值。Agent 的能力归一化公式与信任度的类似。

在任务分配中, 使用负载、能力和信任度 3 方面对投标 Agent 进行评价, 每一方面的因素对任务分配决策的影响力都有所不同。为此, 定义因素影响因子来衡量每种因素的影响程度是非常必要的, 分别用 W_{load} 、 W_{cap} 和 W_{trust} 来表示负载、能力和信任度影响力。3 种因子的和为 1, 即 $W_{load} + W_{cap} + W_{trust} = 1$, 且 $0 < W_{load}, W_{cap}, W_{trust} < 1$ 。

对于某一任务 T_j , 假设参与其投标的 Agent 有 $A_{T_j} = \{A_1, A_2, \dots, A_K\}$, 那么对于任何一个投标 Agent A_i ($i \in \{1, 2, \dots, K\}$), 综合评价分数的形式化表示为:

$$Eval_{A_{ij}} = W_{load} \times \tilde{Load}_{A_{ij}} + W_{cap} \times \tilde{Cap}_{A_{ij}} + W_{trust} \times \tilde{Trust}_{A_{ij}} \quad (6)$$

式中, $\tilde{Load}_{A_{ij}}$ 、 $\tilde{Cap}_{A_{ij}}$ 、 $\tilde{Trust}_{A_{ij}}$ 分别表示 Agent 负载、能力、信任度归一化之后的结果。

以上完整定义了合同网中任务分配策略的形式化表示。对于某一任务 T_j , 在对所有投标 Agent 进行综合评价分数计算后, 对评价分数进行排序, 分数最高者将被分配到该任务。

3 仿真实验

3.1 仿真实验的条件

为了评价提出的多属性评价中标策略的性能, 论文做了相应的仿真实验。仿真实验的条件如下:

有一组待分配的任务项, 总数为 200 个, 这 200 个任务可以分为 3 类, 分别是 T_1 、 T_2 、 T_3 , 参与投标的 Agent 也有 3 个, 分别是 Agent1、Agent2、Agent3, 它们都参与所有任务的投标, 完成任务的时间(投标值)、能力和信任度初始值如表 1 所列。基于多属性评价的中标策略中 Agent 的负载、能力和信任度的影响因子权重值分别是 0.4、0.4 和 0.2。传统的合同网模型采用基于轮转法的思想进行任务分配。

表1 Agent完成任务的时间、能力和信任度数值表

Agent	T ₁			T ₂			T ₃		
	时间	能力	信任度	时间	能力	信任度	时间	能力	信任度
Agent1	5	0.9	0.8	15	0.8	0.8	20	0.6	0.7
Agent2	11	0.6	0.7	10	0.9	0.6	8	0.8	0.8
Agent3	16	0.8	0.7	20	0.6	0.8	14	0.9	0.6

仿真实验的目的是:在同等条件下,即在招标和投标阶段都相同的情况下,重点测试比较基于多属性评价的中标策略的改进合同网模型和传统合同网模型,以及它们在任务分配的效率、投标 Agent 平均负载以及投标 Agent 分配到任务的数目与其相应类型任务能力的比例关系 3 个方面的性能区别。

3.2 仿真实验的结果

通过具体的实验测试,得到如下的仿真实验结果。

图1显示了两种合同网模型在任务执行总时间上的对比,发现改进的合同网模型在任务执行时间上要明显小于传统的合同网模型;图2更明确地显示了改进的合同网模型比传统的合同网模型在任务执行时间上缩短的比例平均达到了30%左右。

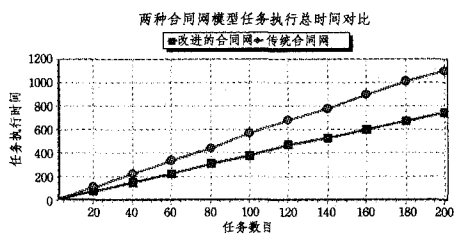


图1 两种合同网模型任务执行总时间对比

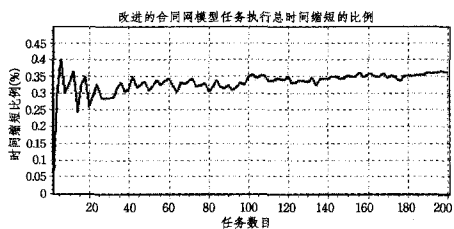
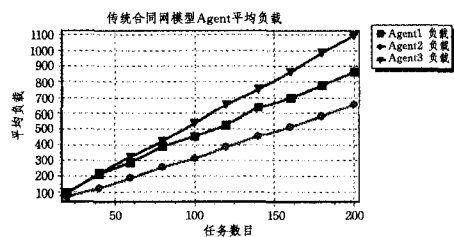
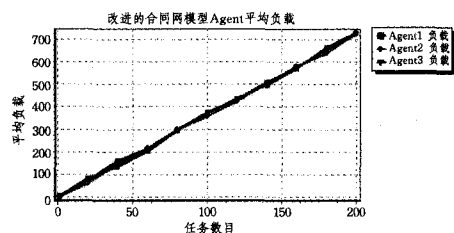


图2 改进的合同网模型任务执行总时间缩短的比例



(a)传统合同网模型 Agent 平均负载



(b)改进的合同网模型 Agent 平均负载

图3 两种合同网模型的 Agent 平均负载对比

图3(a)显示传统合同网模型 Agent 平均负载;图3(b)显示改进的合同网模型 Agent 平均负载,对比两图可以明显看出:在传统的合同网模型中,没有考虑到投标 Agent 的负载均衡,造成了投标 Agent 的负载差别很大;在改进的合同网模型中,3个投标 Agent 的负载几乎是相当的,达到了负载均衡的要求。

为了测试投标 Agent 分配到任务的数目与其相应类型任务能力的比例关系,论文对所有投标 Agent 分配到不同任务类型的数目都进行了统计分析。在此,以投标 Agent1 进行分析。

图4显示的是 Agent1 完成任务的能力与分配到任务关系的比例关系。从图中可以看出,在传统的合同网模型中,Agent1 的能力与分配到相应类型任务的数目是随机的、不成比例的;在改进的合同网模型中,Agent1 的能力与分配到相应类型任务的数目基本是成正比例关系的,即 Agent1 完成某一类型任务的能力越高,分配到该类型的任务数目就会越多。需要说明的是,Agent 的能力是处于[0,1]之间的数值,而分配到的任务数一般都是大于1的自然数,它们是处于不同量纲的数值,但由于考察的是它们之间的比例关系,因此为了对比显示更加明显,在作图的过程中对 Agent 的能力值做了同等程度的放大。

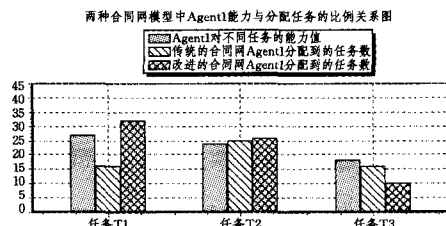


图4 Agent能力与分配到任务的比例关系图

综合上述实验结果表明,基于多属性评价的中标策略的改进合同网模型比基于轮转法思想的传统合同网模型在任务分配的性能上得到了明显的改善:

- (1)改进的合同网模型缩短了任务的执行时间,提高了任务分配和执行的效率;
- (2)改进的合同网模型充分考虑了投标 Agent 之间的负载均衡,负载轻的投标 Agent 分配到任务的可能性大大提高;
- (3)改进的合同网模型中,Agent 能力与分配到相应类型任务的数目是成正比例关系的,完成某类任务的能力越强,分配到该类任务的可能性越大。

结束语 本文在引入基于信任度的招标策略和基于自适应的投标策略基础上,针对传统合同网模型中标阶段存在的问题,着重考虑投标 Agent 之间的负载均衡,从投标 Agent 的负载、能力和信任度等几个方面进行综合考虑和权衡,提出一种基于多属性评价中标策略的动态任务分配算法,从而有效地提高了任务分配和执行的效率。最后通过仿真实验验证了基于多属性评价中标策略的性能。

参考文献

[1] 马巧云,洪流,陈学广.多 Agent 系统中任务分配问题的分析与

建模[J]. 华中科技大学学报:自然科学版,2007,35(1):54-57

- [2] 严建峰,李伟华,刘明. 多 Agent 系统任务分配的研究[J]. 计算工程,2009,35(11):221-225
- [3] 丁芝琴,刘永,王凯. 多 Agent 系统中基于招投标的任务分配优化[J]. 计算机应用,2010,30(7):1906-1908
- [4] Luo He, Hu Xiaojian, Hu Xiao-xuan. Multi Agent Negotiation Model for Distributed Task Allocation[C]// Chengdu: Proceedings of IEEE International Conference on Information Management and Engineering. 2010:54-57

- [5] 赵新宇,林作铨. 合同网协议中的 Agent 可信度模型[J]. 计算机科学,2006,33(6):150-153
- [6] 万武南,张蕾. 基于任务熟人集的合同网模型的改进[J]. 计算机应用,2003,23(3):3-5
- [7] Liu Ning, Gao Fei-yan. Research on the Negotiation Strategy of Multi-agent Based on Extended Contract Net[C]// Proceedings of International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications. 2009:11-18

(上接第 248 页)

改变很小的情况下,能保证较高的执行成功率。实验还可以看出,当候选服务存在 10% 的恶意资源的时候,如果没有考虑资源的信任条件,服务 workflow 执行成功的概率会很不理想,因为当服务 workflow 中每个抽象服务所对应的具体服务被执行成功了才能保证整个 workflow 的成功执行。所以在服务 workflow 中考虑候选服务的信任是至关重要的。

实验二 不同规模的服务 workflow 下,适应度值和执行时间的比较。粒子群算法是一个进化优化算法,在比较合理的时间内求出目标函数比较优化的解,那么问题的求解质量和执行时间是考察一个进化算法优良的重要标准。在本次实验中体现的问题,就是在相同的情况下,算法在约束范围内能求得比较高的适应度的值且使用较短的时间。在本次实验中,用两种算法求解不同规模的服务 workflow 下,目标函数的适应度值和相应的执行时间。式(7)中 3 个属性权重分别取值为 0.3,0.35,0.35,且每个抽象服务所对应候选服务的个数为 50。实验结果如图 2、图 3 所示。

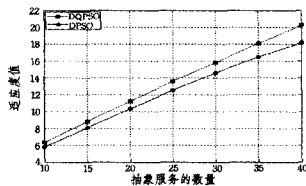


图 2 不同规模的工作流的适应度值

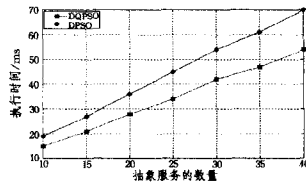


图 3 不同规模工作流执行完成的时间

从图 2、图 3 中可以看出,离散量子粒子群算法比离散粒子群算法能求得更优的适应度值,且用的时间也比较短。说明离散量子粒子群算法在相同问题规模下有更好的寻优能力,且当问题规模不断扩大的情况下这种寻优能力没有降低,反而跟离散粒子群算法所得到的结果差距更加明显。

结束语 本文针对现有的服务选择算法的不足,设计了适应与服务选择过程的基于离散量子粒子群的服务选择算法。服务选择是一个离散问题,以往将解决连续问题的粒子群算法用于解决服务选择问题,缺少一定的科学性。本文将量子的概念结合到服务选择中,增加了解决问题的速度,并通过实验证明了其有效性。

参考文献

- [1] 徐锋. 开放协同软件环境中信任管理研究[D]. 南京:南京大学,2003
- [2] Srivastava B, Koehler J. Web Service Composition-Current Solutions and Open[C]// ICAPS 2003 Workshop on Planning for Web Services. 2003:28-35
- [3] Lu Jiang-guo, Yu Yi-jun, Roy D, et al. Web Service Composition: a Reality Check [C] // Web Information Systems Engineering (WISE2007). 2007:523-532
- [4] Lu Jiang-guo, Yu Yi-jun, Dehashis R, et al. Web service Composition: a Reality Check [C] // Web Information Systems Engineering (WISE 2007). 2007:523-532
- [5] 张成文, 苏森, 陈俊亮. 基于遗传算法的 QoS 感知的服务选择 [J]. 计算机学报, 2006, 29(7): 1029-1037
- [6] 夏虹, 李增智. 粒子群算法求解 Web 服务组合中基于 QoS 的服务选择 [J]. 北京邮电大学学报, 2009, 32(4): 63-67
- [7] 王文彬, 孙其博, 赵新超, 等. 基于非均衡变异离散粒子群算法的 QoS 全局最优 Web 服务选择方法 [J]. 电子学报, 2010, 38(12): 2774-2779
- [8] Jun Sun, Feng Bin, Xu Wen-bo. Particle Swarm Optimization with Particles Having Quantum Behavior [C] // IEEE Proc. of Congress on Evolutionary Computation. 2004:325-331
- [9] 黄德才, 陈姜倩. 基于集对分析的信任评估模型及其在服务选择中的应用 [J]. 计算机科学, 2012, 39(1): 210-214
- [10] Ran S. A model for Web services discovery with QoS [J]. ACM SIGecom Exchanges, 2003, 4(1): 1-10
- [11] WfMC. Workflow management coalition terminology & glossary [R]. Brussels: Workflow Management Coalition, 1999