

合同网协议中的 Agent 可信度模型^{*}

赵新宇 林作铨

(北京大学信息科学系 北京 100871)

摘要 针对经典的合同网协议(CNP),提出非合作型多 agent 系统环境下自私 agent 的可信度模型。为追求利益最大化,自私 agent 在自己能力不足的情况下仍有可能对宣布的任务进行投标。通过引入可信度模型,在对标书进行评价时将结合自私 agent 投标过程的历史记录进行决策,从而减少因自私 agent 能力不足而多次协商导致系统性能下降、任务完成质量不高等缺点。为说明可信度模型的性质,在 JATLite 平台上实现了基于可信度模型的合同网交互协商过程,并进行了对比实验。实验结果表明,基于可信度模型的 agent 协商策略在保证任务完成质量的基础上,尤其是在任务数目较大的情况下,能显著提高系统性能。

关键词 Agent, 合同网协议, 可信度, 能力

DOC: The Degree of Credibility Model in Contract Net Protocol

ZHAO Xin-Yu LIN Zuo-Quan

(Department of Information Science, Peking University, Beijing 100871)

Abstract The Degree of Credibility(DOC)model is proposed in the Contract Net Protocol(CNP)for the non-cooperative multi-agent system. In order to maximize their profiles, the self-interested agents may embellish their bids and delude their manager to get more bids, even if they cannot accomplish the tasks on time. With the DOC model, when the manager evaluates the bids from the contractors, it will make a decision on the contractors' historical credibility, by which can decrease the negation times and enhance the task completion quality. To show the properties of the DOC model, we have implemented the agent interaction processes using CNP on the JATLite platform. The experimental results indicate that the DOC model can improve the performance of the system while preserving the task completion quality, especially in situation of large amount of tasks.

Keywords Agent, CNP, Credibility, Capability

1 引言

合同网协议 CNP(Contractor Network Protocol)^[1]是分布式人工智能(DAI)研究领域一种经典的协作协议,为 agent 之间的协商提供了良好且明确的交互模型,是多 agent 系统中采用最为广泛的控制结构,目前已应用于敏捷制造、空中交通管理等实际系统中^[2,3]。合同网中有两种类型的 agent:管理者(Manager)和承担者(Contractor)。基于合同网的协商过程可以分为 4 个阶段:首先管理者向它认为有能力完成任务的承担者宣布任务(Announcement);承担者根据任务属性和自身资源限制评价任务,并向管理者投标(Bidding);管理者接收标书并对标书进行评估,根据评估结果选择一个承担者,授予合同(Assignment);被授予合同的承担者向管理者确认接受任务(Confirmation)。

CNP 最初被用于完全合作的分布式传感器之间的协调,随后研究者一直致力于提高其交互效率并改善其灵活性,提出各种形式的扩充和改进方案。文[4]提出一个新的改进方案,引入可用度的概念,对标书评价机制做了改进。将管理者 i 得到承担者 p 执行任务的概率定义为 p 当前对 i 的可用度($pe_m(p)$),要求在 p 的标书中包含可用度的信息, i 对 p 的方案期望效用的评价方式结合了可用度,据此排定方案的优

劣。文[5]提出信任度的概念,当管理者分派任务时,根据信任度以一定概率确定任务的承担者,直接通知相关的承担者投标,以达到减少通讯量的目的。若承担者能力不足以完成任务,则不做响应。管理者收不到响应,认为协商失败,更新该承担者的信任度,并重新选择承担者执行任务。

文[4,5]针对的是合作型的多 agent 系统,其中 agent 都是诚实的,并且个体利益服从整体利益。在大多数实际应用中,多 agent 系统中的 agent 是自私并且是资源有限的,文[4]的方法是直接应用到这种环境中的,因为自私的 agent 个体在自己不能按时完成任务的情况下,有可能欺骗任务管理者,进而获得更多任务的机会,以达到自己利益最大化的目的。文[5]的意图是让管理者找到最有可能完成任务的承担者,任务直接发给信任度高的承担者,但是没有考虑任务完成的质量,如任务所用费用、执行需要时间等因素,选择的承担者很可能是非最优的。在这种情况下,任务管理者有必要建立一个关于任务承担者接受任务的许诺和执行任务的能力模型,以提高任务执行质量,并避免不必要的任务延期。

本文第 2 节引入可信度模型,提出基于可信度模型的决策过程;第 3 节介绍可信度模型在 JATLite 平台上的实现。在实现的系统中,对比了采用 3 种不同策略的管理者在诚实的 agent 和自私的 agent 两种环境下,完成任务分配及执行所

^{*} 本工作得到国家自然科学基金(编号:60373002,60496322)和“973”项目(2004CB318000)的资助。赵新宇 博士研究生,主要研究方向:基于 Agent 的管理软件、人工智能;林作铨 教授,博士生导师,主要研究方向:计算机软件,人工智能。

需时间和费用的实验数据;最后给出本文结论。

2 可信度模型

在多 agent 系统中,既有完全协作类型的 agent,又要考虑自私类型的 agent。完全协作的 agent 是理性的,首先考虑的是系统整体利益,由于环境改变或自身资源不足导致其不能完成管理者发布的任务时,不对该任务进行投标。自私的 agent,以到达最大化利益为目的,在自己能力不足以完成任务的情况下,仍有可能在协商过程中承担投标,目的是为了得到更多的被赋予任务的机会。如果在协商过程中完成了正在执行的任务,占用的资源得到释放,在协商过程结束后就有能力完成正在协商的任务。自私 agent 的这种行为对它自身是有利的,但从管理者角度来讲,如果没有考虑到自私 agent 的这种行为特点,根据通常的承担者的投标属性(价格、质量等)来进行决策,将任务赋予系统中某些自私的 agent。而这些 agent 由于自身资源限制,没有能力完成管理者赋予的此次任务,就需要多次协商,导致系统性能下降、任务完成质量不高,甚至任务得不到执行。下面的例子说明了这种情况(见图 1)。

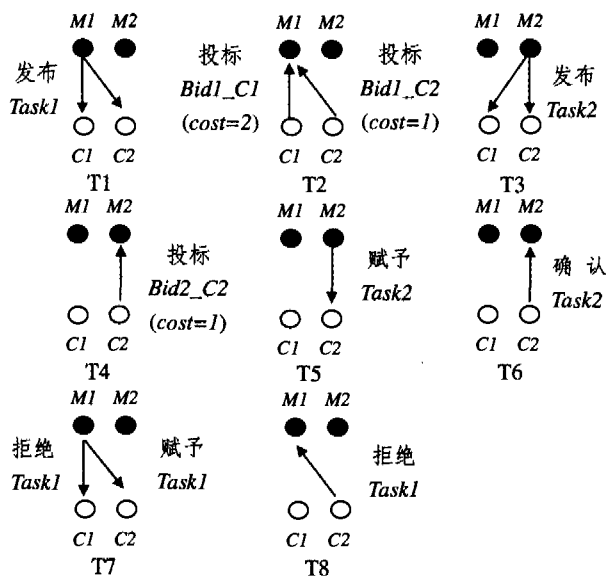


图 1 系统中存在自私 Agent 交互的例子

在有两个管理者 M1, M2 和两个承担者 C1, C2 的系统中, C1 是完全协作 agent, C2 是自私 agent, C1 和 C2 同时只能执行一个任务(能力限制); M1 和 M2 根据承担者的投标价格来确定将任务赋予哪个承担者来执行。

T1: M1 分别向 C1 和 C2 发布任务 Task1。

T2: M1 得到 C1 和 C2 的投标 Bid₁-C1 和 Bid₁-C2。

T3: M2 分别向 C1 和 C2 发布任务 Task2。

T4: C2 对 Task2 进行投标。此时完全协作类型的 C1 已向 M1 投标要完成任务 Task1, 所以 C1 不再对 Task2 进行投标; 而自私类型的 C2 为了增加自己被赋予任务的机会并更多地执行任务, 在自己未来能力可能不足的情况下(只能同时执行一个任务)发出投标 Bid₂-C2。

T5: M2 将任务赋予 C2。

T6: C2 向 M2 发送确认消息, 执行任务 Task2。

T7: M1 经过对 Bid₁-C1 和 Bid₁-C2 进行评估后, 选择了价格相对较低的 Bid₁-C2, 将任务赋予 C2, 并拒绝了 C1 的投标。

T8: 此时 C2 已经在为 M2 执行任务 Task2, 已经没有能力为 C1 执行 Task1 了, 因此向 M1 发送拒绝执行任务 Task1 的消息, 结果导致 M1 的任务 Task1 的进行。

在系统内自私 agent 以及需要协商的任务数目越多, 发生上述情况的可能性就越大, 直接的结果就是协商次数增多, 系统内的通讯量会急剧增加, 导致系统性能下降, 任务完成质量将得不到保证, 甚至是管理者的任务得不到执行结果。我们提出合同网中的可信度模型, 以期解决系统中存在自私类型 agent 的任务分配问题。

合同网中的可信度是任务的管理者对任务的承担者接收、执行任务能力的信任程度, 反映了承担者在交互过程中的诚实度。可信度越大, 说明管理者对该承担者完成任务的信心越充分, 承担者接受任务后由于能力不足而拒绝执行任务的可能性越小。管理者在赋予任务时, 不仅仅是根据标书中任务的属性(例如执行费用、时间等)来选择承担者, 而是结合可信度, 计算任务的执行效用, 根据计算结果进行任务赋予的决策。赋予任务之后, 管理者根据被赋予任务的承担者执行任务的行为更新该承担者的信任度。如果承担者由于自身资源限制, 没有能力完成管理者赋予的此次任务, 管理者会减少对该承担者的信任度, 并重新选择承担者; 若该承担者成功完成任务, 则该承担者的信任度得到加强。

设在 CNP 交互过程中, 管理者 m 已经向承担者发布并完成了 N 个任务。在这 N 个任务的协商过程中, 承担者 c 投标并被赋予任务后由于能力不足而不能执行任务的次数为 $failedNum_m(c, N)$ 。对于任务 $N+1$, 定义管理者 m 对承担者 c 的可信度 $credibility_m(c)$ 为:

$$credibility_m(c) = \frac{N}{N + failedNum_m(c, N)}$$

在基于信任度模型的合作网中, 定义承担者的任务投标为三元组 $Bid = \langle ID, Cost, Time \rangle$, 其中 ID 为任务的标识符, Cost 为任务的执行费用, Time 为任务的执行时间²。管理者 m 在对承担者发出的任务 $N+1$ 的投标进行评估时, 根据决策理论的最大期望效用原理, 会选择具有最大期望效用的投标。管理者 m 对承担者 c 的标书 Bid 的期望效用 $utility_m(c, Bid)$ 由标书的效用 $utility_m(c, Bid)$ 和信任度 $credibility_m(c)$ 共同决定。通常, 对于管理者 m , 同一任务的标书中标明的费用越低, 该标书的效用就越高。因此定义 $utility_m(c, Bid)$ 为任务标书 Bid 中标明的执行费用 Cost 的单调减函数 $func_m(c, Cost)$ ³。计算管理者 m 将任务 $N+1$ 赋予承担者 c 的期望效用 $utility_m(c, Bid)$:

$$utility_m(c, Bid) = func_m(c, Cost) * credibility_m(c)$$

管理者 m 从所接收到的标书中选择最大期望效用 $Max\{utility_m(c, Bid)\}$ 的承担者 c 的标书, 将任务赋予承担者 c 之后, 根据 c 的反映来更新 $failedNum_m(c, N+1)$ 的值:

$$failedNum_m(c, N+1) = \begin{cases} failedNum_m(c, N) + 1, & c \text{ 由于能力不足而拒绝任务 } N \\ failedNum_m(c, N), & c \text{ 接受并成功执行任务 } N \end{cases}$$

² 为阐明可信度模型的思想, 这里只给出一种简单的抽象结构。可以根据特定领域需要做适当扩展, 定义更复杂的任务投标结构, 如完成质量、最早完成时间等。

³ 在第 3 节的实现设计与分析中 $func_m(c, Cost)$ 取 $1/Cost$ 。

下一任务 $N+2$ 到来时,管理者 m 使用更新的 $failed_Num_m(c, N+1)$ 值计算对承担者 c 的可信度 $credibility_m(c)$ 以及期望效用 $utility_m(c, Bid)$ 。

在基于可信度模型的合作网协议中,管理者根据由可信度和标书标明的效用计算得到的期望效用进行决策,而不是简单地使用标书的属性(如任务的执行费用等)选择承担者,并在协商和交互过程中不断更新可信度的值。可以看出,可信度是与 agent 由于能力不足而不能接受任务的次数成反比的。这样,如果自私的 agent 多次在能力不足的情况下接受任务,它的可信度的值将降低,导致管理者对它的标书的期望效用逐渐降低,从而避免了管理者将任务赋予存在自私行为特性的 agent。

在经典的合同网协商过程中,管理者通常是根据承担者标书的属性(如价格、质量等)进行决策,根据决策结果将任务赋予承担者执行。可信度模型与现有的对合同网协议改进的差异主要在于:与文[4]相比,可信度模型不需要任务承担者的配合,即不需要承担者提供其额外的信息,在存在自私类型的 agent 的系统中也是适用的;与文[5]相比,管理者的决策依据是将效用最大化原理与可信度模型相结合,而不是简单地以承担者是否能完成任务作为赋予任务的唯一标准,选择的是效用相对较高的承担者,同时又兼顾它完成任务的能力的历史记录。这些将从实现的实验平台中的数据得到验证。

3 实验设计与分析

下面将用实验设计和数据分析来说明将可信度模型用在合同网协议中的效果。实验平台采用由斯坦福大学研究中心所研发的 JATLite(Java Agent Template, Lite)[6]。我们在该平台上实现了合同网协议的交互过程,agent 之间协商和交互采用 KQML(Knowledge Query Manipulation Language)[7] 通讯语言。在实现的 CNP 中,有 3 种类型的管理者,他们的不同之处在于评价承担者标书的策略,如表 1 所示。类型一的管理者评价承担者标书的策略是随机选取一个参与投标的任务承担者,这是一种简单的策略,目的是用来提供数据与其他两种类型的管理者对比。类型二的管理者根据标书的某一方面或几方面的属性来选择任务承担者。在实验设计中,管理者根据标书标明的任务执行费用来选择承担者,执行费用最低的承担者将被赋予任务。直观上,该类型的管理者在合作型多 agent 系统中选取的承担者在任务费用方面是最优的。类型三的管理者评价标书的策略是基于信任度模型的,并结合效用最大化原理,选择的是期望效用最高的承担者,并且不需要承担者提供其额外的信息,如文[4]中的可用度。

表 1 任务管理者类型

管理者类型	标书评价策略
类型一	随机选取
类型二	基于价格
类型三	基于信任度

表 2 任务承担者类型

承担者类型	投标策略
类型一	诚实,依据能力进行投标
类型二	在能力不足的情况下仍会以 B 的概率对任务进行投标

系统中的任务承担者分为两种类型,它们的不同之处在于投标策略,如表 2 所示。类型一的承担者是完全合作类型

的 agent,它们是诚实的,遵循个体利益服从系统整体利益的原则;其行为特点是在自己能力不足的情况下(例如已对一个管理者的任务进行了竞标或正在执行任务中),不会再次进行投标。类型二的承担者是自私类型的 agent,他们追求自身利益最大化,不考虑系统整体利益和效率;其行为特点是在自己能力不足的情况下(例如已对一个任务进行竞标或正在执行任务中),为得到被赋予更多任务的机会,有可能仍会对新到的任务进行投标。每个类型二的任务承担者内部有一个随机变量 $B(0 < B < 1)$,用于控制其自私的程度,其意义是该承担者在自己能力不足的情况下,会以 B 的概率对任务进行投标。在实验设计和实现中,随机变量 B 服从 $(0, 1)$ 上的均匀分布。

实验的设计目的是考察每种类型的管理者在不同环境下(不同的承担者类型)分配任务的行为表现。在实现的系统中,管理者向承担者发布任务的主要属性包括执行费用及执行时间;承担者根据管理者发布的任务执行费用生成标书并向管理者投标,这里不同的承担者具有不同的投标策略;管理者根据自己的标书评价策略选择一个承担者将任务赋予它执行,同样不同类型的管理者具有不同的标书评价策略。实验评价指标是管理者与承担者协调并将任务赋予承担者执行的过程所用时间和任务执行费用。每次实验随机生成任务数据,3 种类型的管理者分别使用这次实验生成的任务数据进行实验。

第一组实验是在有 5 个承担者,所有承担者都是类型一的系统环境下进行的。

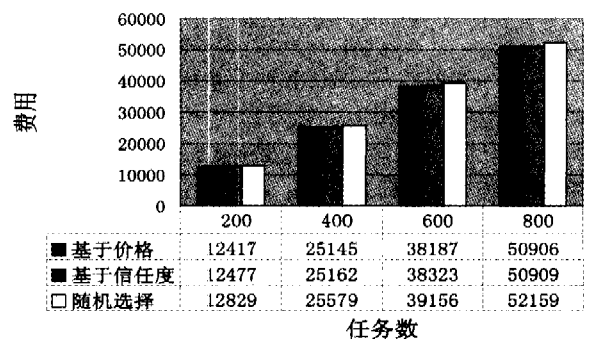
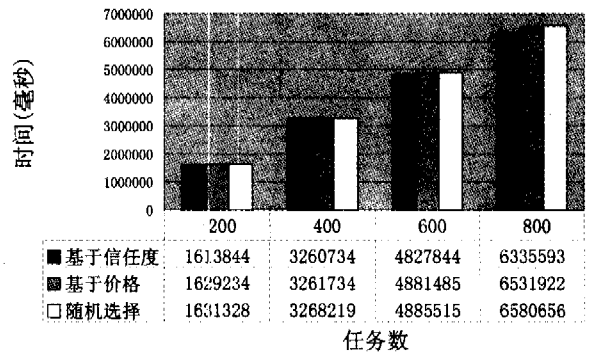


图 2 完全合作环境下不同类型管理者的表现

从该组实验的任务费用图及协商时间图可以看出,在完全合作型 agent 环境下,基于信任度模型的管理者与基于价格的管理者在同样任务数目条件下所花费的任务费用、协商时间相差无几,但仍优于基于随机选择策略的管理者。从可信度模型的定义以及管理者计算任务效用的公式可以看出,在合作型 agent 环境下可信度模型策略等同于基于价格的策略。该实验数据说明了在完全合作的环境下,类型三的管理

者的表现不劣于类型二的管理者。

第二组实验是在有 5 个承担者、所有承担者都是类型二的系统环境下进行的。在该组实验里,我们考察在非合作环境下不同类型的管理者完成不同数目的任务所需要的协商时间、执行费用以及因为承担者由于能力不足而导致多次协商而增加的协商次数。

从该组实验的协商时间-任务图(图 3)中可以看出,在非合作环境下,基于可信度模型策略的管理者与承担者协调并将任务赋予承担者执行的过程所用时间少于采用其他两种策

略的管理者。随着任务数目的增加,其优势越明显。这是因为基于可信度模型策略的管理者对承担者的可信度 $credibility_m(c)$ 是不断被更新的,随着完成任务数目的增加,管理者对承担者完成任务的信任程度越来越准确。协商时间的增加,根本原因是自私的承担者接受任务后由于能力不足而导致对于同一任务需要多次协商才能够被执行。为进一步说明基于可信度模型策略的优越性,下面我们考察增加的协商次数和任务数目之间的关系。

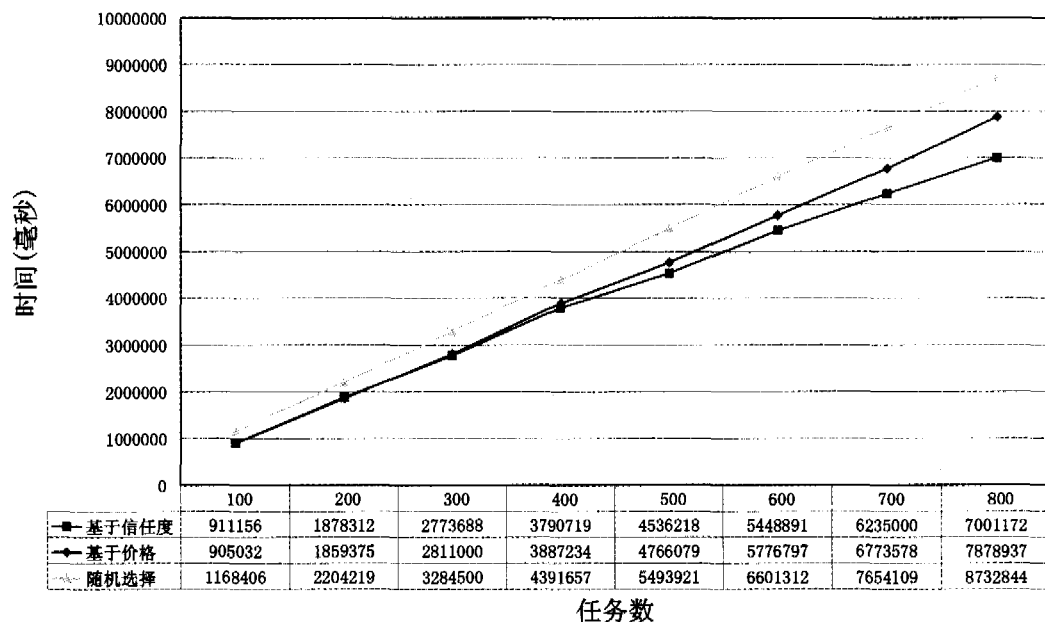


图 3 非合作环境下不同类型管理者的协商时间-任务数图

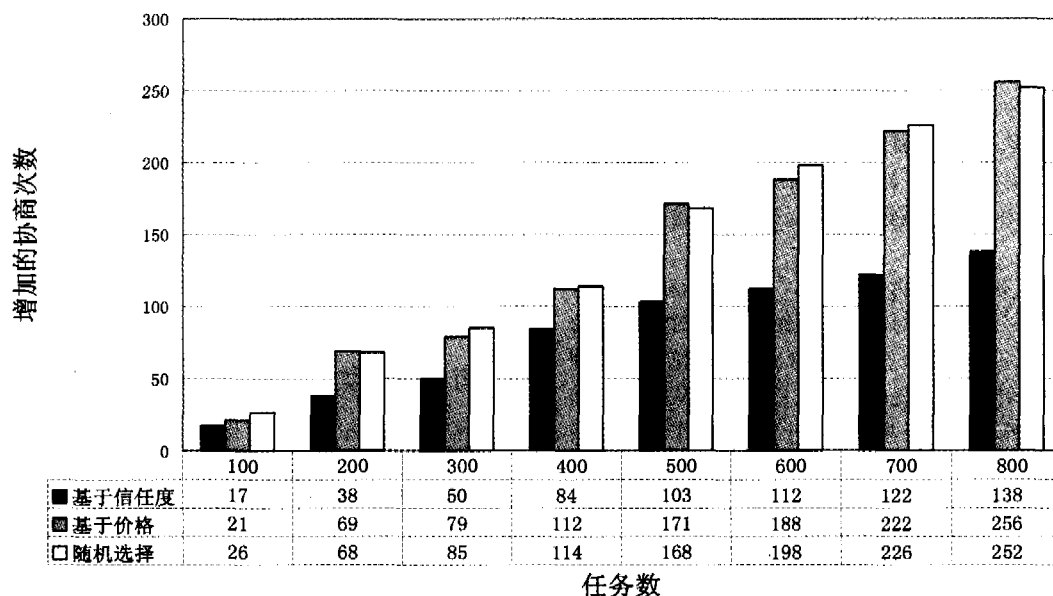


图 4 非合作环境下不同类型管理者的增加协商次数-任务数图

非合作环境下的特征是系统内自私类型的 agent 为追求自身利益最大化,在自己能力不足的情况下进行投标,导致协商次数增多,系统内的通讯量增加,系统性能下降,任务完成质量将得不到保证。从图 4 可以看出,只有基于可信度模型策略的管理者考虑了这种情况,大大减少了协商次数。并且,随着任务数目的增加,这种优势越明显。

由于类型二的管理者采用的是最低价格策略,直观上,其

完成所有任务的费用要低于基于可信度模型策略。实验结果也验证了这种直观想法。从费用-任务图(图 5)上可以看出,类型三的管理者在完成同样任务数目条件下所花费的任务费用稍多于类型二的管理者。采用基于可信度模型策略多出的任务费用仍在可接受的范围内,但将缩短协商时间,减少多次协商的次数,提高系统性能。

(下转第 167 页)

会有 $r_1.A=0$ 。 r_2 和 r_3 可由 R_4 触发可达,且活化路径均为 R'_2 。 R'_2 中任一规则均可由 R_4 触发可达,故不会有 $r_2.A=0$ 和 $r_3.A=0$ 。即在算法 2 中有 $LL=\emptyset$,表明图 1(b)中规则集 $\{r_1, \dots, r_5\}$ 为不可归约规则集。若因为触发环 R_3 的可终止性将其简单地约简掉,则导致不可归约集为 \emptyset ,这有悖于在现有执行模式下规则集的实际运行。

结论 本文提出了一个求不可归约规则集的归约算法,解决了现有方法中存在的不足,从而可以识别更多的可归约规则,取得更准确的结果。为使主动数据库得到更好的应用和发展,用户和开发人员都亟需能进行规则行为分析的工具。故希望本文的工作对主动数据库规则集的设计以及运行时系统辅助分析工具的设计提供帮助。

参考文献

- 1 Baralis E, Ceri S, et al. Compile-Time and Runtime Analysis of Active Behaviors. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 1998, 10(3): 353~370
- 2 Bailey J, Dong Guozhu, et al. On the Decidability of the Termination Problem of Active Database System. Theor Comput Sci, 2004, 311(1-3): 389~437

- 3 Baralis E, Ceri S, et al. Improved Rule Analysis by Means of Triggering and Activation Graphs. In: Sellis T, ed. Proc. Second Workshop Rules in Database Systems. LNCS985, Athens, Greece, 1995. 165~181
- 4 Aiken A, Hellerstein J, Widom J. Static Analysis Techniques for Predicting the Behavior of Database Production Rules. ACM Transactions on Database Systems, 1995, 20(1): 3~41
- 5 Karadimce A P, Urban S D. Refined Triggering Graph: A Logic-Based Approach to Termination Analysis in an Active Object-Oriented Database. In: Proc. Int'l Conf. on Data Engineering (IC-DE), New-Orlean, Louisiana, 1996
- 6 Lee S Y, Ling T W. A path Removing Technique for Detecting Trigger Termination. In: Proc. Int'l Conf. on Extended Database Technology(EDBT), Valencia, Spain, 1998
- 7 Baralis E, Widom J. An Algebraic Approach to Static Analysis of Active Database Rules. ACM Transactions on Database Systems, 2000, 25(3): 269~332
- 8 Comai S, Tanca L. Termination and Confluence by Rule Prioritization. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2003, 15(2): 257~270
- 9 郝忠孝,熊中敏. 计算主动数据库中不可归约规则集的有效算法. 计算机研究与发展, 2005(已录用,待发表)
- 10 Paton N W, et al. Active Database System. ACM Computing Surveys, 1999, 31(1): 63~103

(上接第 153 页)

结论 非合作型多 agent 系统环境下,使用合同网协议在自私的 agent 间进行任务分配的过程中,自私的 agent 个体在自己能力不足的情况下仍有可能对宣布的任务进行投标。若任务的管理者不能识别并处理这种情况,将任务赋予能力不足的 agent 执行,将导致重新分配任务、多次协商甚至任务延迟、系统性能下降等缺点。本文针对这些问题,提出合同网协议中的 agent 可信度模型,反映了任务的管理者对任务的承担者完成任务的信任程度。管理者赋予任务的决策依据是将每个承担者的可信度和该任务的效用相结合,将任务赋予

的是对管理者效用相对较高的承担者,同时又兼顾该承担者完成任务的能力的历史记录。可信度模型的引入是对经典合同网^[1]的改进,也是对文^[4]只适用于合作型多 agent 系统的扩充。

在 JATLite 平台上实现了合同网协议中基于可信度模型的 agent 之间协商、交互的过程,展示了 3 种采用不同标书评价策略的管理者在合作及非合作型多 agent 系统环境下的表现,通过对比实验数据说明了基于可信度模型的任务分派决策过程的优越性;尤其是在任务数目越大的情况下,这种优越越明显,具有实际应用价值。

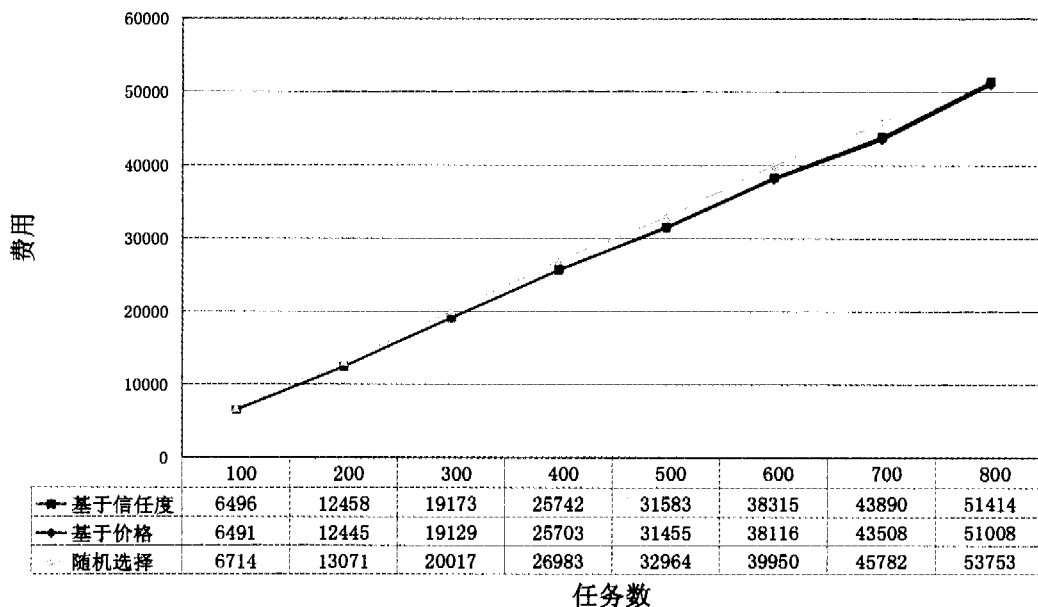


图 5 非合作环境下不同类型管理者的费用-任务数图

参考文献

- 1 Smith R G. The Contract Net Protocol; High Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver. IEEE Transactions on Computers, 1980, 29: 1104~1113
- 2 Shen W, Norrie D. An Agent-Based Approach for Dynamic Manufacturing Scheduling. In: Proceedings of the 3rd International Conference on the Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems, 1998
- 3 Rabelo R, Camarinha-Matos L, Afsarmanesh H. Multi-agent perspectives to agile scheduling. In: Rabelo R, Camarinha-Matos L, Afsarmanesh H, eds. Intelligent Systems for Manufacturing. Kluwer Academic Publishers, 1998. 51~66

- 4 Chen Xueguang, Song Haigang. Further extensions of FIPA Contract Net Protocol; threshold plus DoA. In: Proceedings of the 2004 ACM symposium on Applied computing. ACM Press, 2004. 45~51
- 5 张海俊,史忠植. 动态合同网协议. 计算机工程, 2004, 30(21): 44~46
- 6 Jeon H, Petrie C, Cutkosky M R. JATLite: A Java Agent Infrastructure with Message Routing. IEEE Internet Computing, 2000, 4(2): 87~96
- 7 Finin T, Fritzon R, McKay D, et al. KQML as an Agent Communication Language. In: Proceedings of the Third International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM'94), 1994. 456~463