

# 合同网协议中的 agent 可用度研究<sup>\*</sup>

宋海刚 陈学广

(华中科技大学控制系 系统工程研究所 武汉430074)

**摘要** 本文针对典型的 FIPA 合同网扩展协议 CNCP, 重点研究了其 agent 可用度问题。CNCP 使 agent 可以连续参与任务的招标或接受任务指派, 但同时也增加了系统任务被低效执行或得不到执行的风险。本文通过引入可用度概念, 对 CNCP 的标书评价机制进行改进, 从而有效降低了上述风险的发生, 并可减少大量不必要的计算消耗。

**关键词** 多代理系统, 合同网协议, 合同网确认协议, 可用度, 最大期望效用

## Research on Degree of agent Availability in FIPA Contract Net Protocol

SONG Hai-Gang CHEN Xue-Guang

(Dept. of Control Sci. and Eng., Huazhong Univ. of Sci. and Tech., Wuhan 430074)

**Abstract** Based on one typical research work on FIPA Contract Net Protocol (CNP), which is named as Contract Net with Confirmation Protocol (CNCP), this paper focuses on the issue of the degree of agent availability (DoA) in CNCP. CNCP enables the agents to make proposals or accept offers in a continuous time. But it also increases the risk of getting suboptimal deal or nothing for individual agent. By the concept of degree of availability, we revise the proposal-assessing mechanism of CNCP. The revision can effectively reduce the occurrence of forementioned risk, and may save many unnecessary computational costs with the idea of DoA.

**Keywords** Multi-agent system, Contract net protocol, CNCP, DoA, MEU

合同网协议(Contract Net Protocol, CNP)为 agent 之间的协商提供了良好且明确的交互模型<sup>[1]</sup>。因其易于理解和实现, 所以在解决多代理系统中资源分配和任务指派等问题上得到了非常广泛的应用。本文工作是国家自然科学基金项目《基于知识水平的分布式协调推理机》的一部分, 合同网技术作为 agent 协调的一种重要手段, 充分掌握其技术本质和适用场合是十分必要的。

在 Smith 最先提出 CNP<sup>[2]</sup>之后, 许多致力于改善其灵活性和适应性的学者, 对 CNP 提出了各种形式的改进。如 T. Sandholm 等人为把 CNP 应用于自私 agent 间协商问题而提出的分级承诺合同网协议(Leveled Commitment Contract Net<sup>[3]</sup>); FIPA 组织通过增加“拒绝”和“确认”的通讯, 使 CNP 成为现有各种 agent 实现平台的一个重要标准<sup>[4]</sup>。另一典型 CNP 扩展协议 CNCP (Contract Net with Confirmation Protocol, CNCP)<sup>[5, 6]</sup>解决了 FIPA CNP 中潜在的资源分配问题, 本文基于 CNCP, 对其中的 agent 可用度问题提出新的改进方案; 需声明一点, 本文只针对合作型的 MAS 系统, 即 agent 诚实且个体利益服从整体利益。

### 1 CNCP 简述

CNCP 乃针对如下问题而提出: 当参与者  $p$  与任务发起者  $i$  进行协商时, 二者未达成最终的协议之前,  $p$  的资源将为  $i$  所独占, 因此  $p$  不得不放弃参与其他发起者招标 (“call for proposal, cfp”) 的机会。由于  $i$  最终只需一个参与竞标的 agent 来完成其任务, 因此, 若  $p$  没能得到  $i$  的任务指派, 那么在它参与竞标的时段内, 也失去了获得执行其它任务的机会。相应地, 后面的发起者的任务也可能因此而得不到执行, 尽管

这时系统内仍存在可用的 agent 或空闲资源。可见若此现象大量存在, 会使系统资源不能被合理有效地利用, 这无疑会对整个系统性能造成严重威胁。CNCP 通过在 CNP 的基础上增加“确认”阶段, 较有效地避免了此问题的发生。

#### 1.1 CNCP 与 CNP 的主要区别

首先考虑参与者在资源调配时所使用的策略。CNP 环境下, 在发起者找到最佳的任务执行者之前, 会独占参与其招标的所有 agent 的资源, 尽管这项任务最终只需由其中某个 agent 来完成。而 CNCP 允许参与者们处理并接受其他发起者的任务指派, 只有在正式建立合同关系以后, 参与者才停止接收和处理其它发起者的 cfp。

二者的区别还在于任务被执行的优劣情况。CNP 的发起者必然可把任务指派给参与其招标的最优 agent 来完成; 而 CNCP 中, 发起者的任务很可能会交给非最优的任务执行者, 在更坏的情况下, 任务甚至得不到执行。也正是该问题引出了我们对 CNCP 中 agent 可用度的研究。

另外, CNP 的基本工作模式是  $n$  个参与者竞争一项任务; 而 CNCP 的工作模式产生了较大转变。系统中存在两种形式的竞标活动, 其一与原 CNP 中的竞标没有任何分别, 其二则是多个招标发起者竞争同一个任务执行者。我们称前一种为显式竞标, 因为它是被明确初始化的, 并且由发起者决定最终结果; 后一种由于没有明确的发起者, 其参与者角色由前一种竞标中的若干发起者充当, 因而称之为隐式竞标。这种竞标中, 谁会成为胜出者是随机事件。

表1是对以上两点区别的总结。所谓的保守或称 ad-hoc 策略指 agent 在提交标书的同时, 其资源即被占用, 而延迟承诺策略则意味着, 只有真正建立合同关系以后, agent 才为任

<sup>\*</sup> 本文得到国家自然科学基金项目的资助, 基金编号60274065。宋海刚 博士研究生。

务分配所需资源。

表1 CNCP 与 CNP 的主要区别

资源分配策略	任务指派结果	工作模式
CNP 保守或称 Ad-Hoc	最优的执行者	显式竞标
CNCP 延迟承诺	最优/非最优, 未指派	显式竞标+隐式竞标

### 1.2 CNCP 的不足之处

前面提到 CNCP 中存在某种最坏情况发生的可能。实际上, 若有很多的发起者与非最优的任务执行 agent 确立合同关系, 不仅任务完成的质量会因此而降低, 在确认阶段交换消息(“请求-拒绝”消息)的数量也定会大幅增加。我们可以粗略地估计出额外消息的数量。设有  $m$  个发起者,  $n$  个参与者; 令  $w = |p(i_k)|, 0 < w \leq n$ , 即有  $w$  个 agent 参与发起者  $i_k$  任务招标, 因此,  $i_k$  与它的参与者在确认阶段交换消息的平均数量为  $2 \cdot w/2 = w$ , 所以系统内额外消息数(PM)的平均值为:

$$avg(PM) = \sum_{k=1}^m w = m \cdot w$$

由于  $w$  的平均值为  $n/2$ , 因此,

$$avg(PM) = \frac{m \cdot n}{2}$$

在此特殊的情形下, 每个发起者把任务指派给第  $w/2$  个参与者。

可以看到, 当发起者  $i_k$  评估各参与者的标书时, 某些参与多个招标的 agent 早已接受了其它发起者委派的任务, 因此对  $i_k$  来说, 这些参与者已经不再可用。Agent 同时参与的招标越多, 系统内发生该现象的机会就越大, 而不必要的计算消耗和通讯负载也会随之迅速增加。我们认为, 此时需在标书评价指标中引入可用度概念, 以期缓解此类问题的发生。

## 2 agent 可用度的引入

### 2.1 原理

根据决策理论的最大期望效用原理, agent 是理性的, 当且仅当它在所有可行动集中, 选择那个产生最大期望效用的行动<sup>[7]</sup>。CNCP 协议中, 发起者接收的标书来自两种类型的参与者。一种是完全空闲的, 另一种则处于伪空闲状态。空闲参与者指没有参与任何其他招标的 agent; 伪空闲参与者则是指正在参与其它招标但还没有得到任务指派的 agent。在较理想的状态下, 系统中每个 agent 都在执行某项任务或有若干

任务待其执行, 这意味着整个系统有较高的资源利用率。

CNCP 使参与者能获得更多潜在的工作机会, 但它没能充分考虑对发起者所产生的负面影响。假设发起者  $i$  根据所需的代价对所收到的标书排序, 设参与者  $p$  为代价最小的方案, 那么,  $i$  将首先发送任务指派消息给  $p$ , 而这里就是 CNCP 的主要问题所在。此时我们需要多考虑一种因素— $p$  当前的可用度(用  $DoA(p)$  来表示)。设在  $i$  收到  $p$  的标书之前,  $p$  已经参加了其他 10 个发起者的招标, 即共存在 11 个任务发起者可能把任务指派给  $p$  来完成。由于无法知道  $p$  在每一招标中所具竞争力的强弱, 因此  $p$  将为哪一个发起者服务是随机事件, 故  $i$  得到  $p$  的概率为  $1/11$ 。我们将发起者  $i$  得到参与者  $p$  服务的概率定义为  $p$  当前对  $i$  的可用度。若发起者在未考虑 agent 当前可用度的情况下做出任务的指派, 我们认为, 它的行为是非理性的。

### 2.2 期望效用的计算

当  $p$  参与一项招标后, 我们称该招标的发起者为  $p$  可能的雇主, 用  $pem(p)$  表示。在标书评价机制中引入可用度因素, 需要同时对协议的双方作适当的调整。

首先,  $p$  的标书中需包含  $pem(p)$  信息, 以保证发起者  $i$  可以计算  $DoA(p)$  值; 其次, 计算  $i$  对  $p$  所提方案的期望效用  $eu(p)$ , 据此排定各方案的优劣。 $eu(p)$  由方案所需代价  $cst(p)$  及  $DoA(p)$  共同决定。由于在 CNCP 中, 针对同一任务, 代价越低的方案, 其效用  $u(p)$  越高, 因此我们设  $u(p) = 1/cst(p)$ 。由 2.1 节的定义,  $p$  对  $i$  的当前可用度  $DoA(p) = 1/pem(p)$ 。再根据最大期望效用原理, 有

$$eu(p) = DoA(p) \cdot u(p) = \frac{1}{pem(p) \cdot cst(p)}$$

我们可通过一个实例来更好地理解该机制, 见图 1。

设  $i$  收到来自  $P(i) = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}$  的四份标书, 附有各自的  $cst(p)$  和  $pem(p)$ ,  $p \in P(i)$  信息。 $i$  计算出每份标书的  $eu(p)$  值, 分别是  $\{1/25, 1/27, 1/12, 1/33\}$ , 排序得列表  $(p_3, p_4, p_1, p_2)$ ; 而 CNCP 中, 该列表应为  $(p_1, p_1, p_3, p_2)$ 。可以看到, 虽然  $p_1$  代价最小, 然而, 由于在其发给  $i$  标书之前, 其他 10 个发起者仍在对其进行评价。CNCP 把  $p_1$  作为最优方案并首先发出任务指派消息, 但直觉告诉我们, 此时  $i$  被拒绝的概率相对较高。尽管此时  $u(p_1) = 1/cst(p_1) = 1/3$  是效用最高的参与者, 然而对于  $i$  来说, 它的期望效用  $eu(p_1)$  却是最低的。因此, 作为理性 agent,  $i$  应把  $p_3$  作为最优的任务执行者。

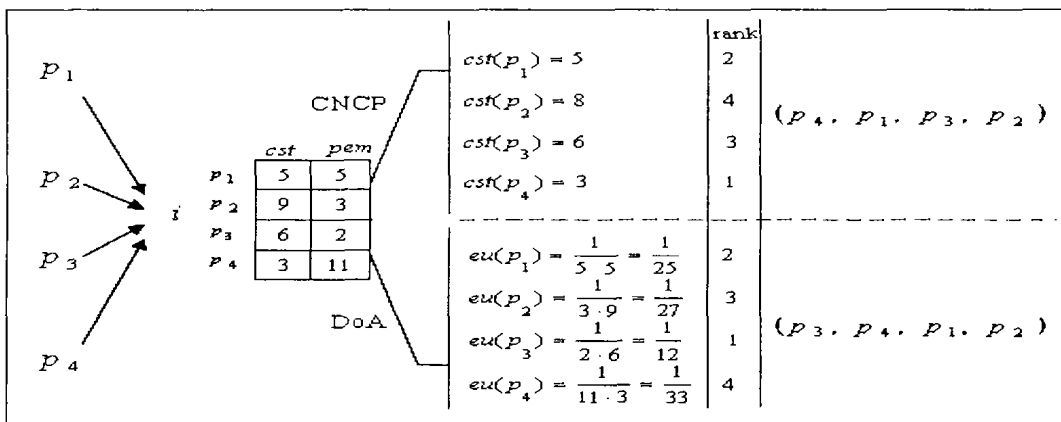


图1 关于 DoA 的例子

### 2.3 需注意的几点问题

利用可用度的概念, 发起者以更加理性的方式评价各方

案的优劣。可用度并不会带来额外的消息交换, 它仅增加了计

(下转第196页)

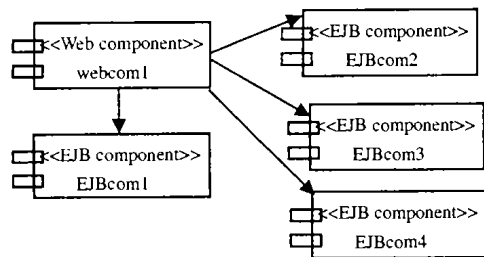


图4 系统组件图

**结论** 本文利用 UML 统一建模语言的语义及扩展机制,深入探讨了建模技术在基于组件的分布式平台上的实现,针对传统的面向对象的系统建模方法的缺陷,提出了相应的 Web 组件和 EJB 组件的解决方案。并总结出组件建模时应当注意的原则:

(1)针对分布式环境的特点,利用其特定的技术规范,对不同类型的组件分别建模,如 Web 组件与 EJB 组件,在系统组件图中,描述出之间的调用关系。

(2)EJB 组件属于进程间组件,执行开销较进程内组件

(上接第128页)

算每个  $eu(p)$  时所需的计算代价。在标书中增加  $pem(p)$  信息造成了少量额外的通讯负载。然而,鉴于整个 MAS 系统环境中所发生的巨大通讯负载量,我们相信,此改进所增加的微量负载几乎是可以忽略不计的。

该方案最可能的弱点在于:当多个发起者  $I(p)$  评价  $p$  的方案时,其中每个  $i$  都具有不同的  $DoA(p)$  值。最先的发起者具有最高的  $DoA(p)=1$ ,后面依次是  $1/2, \dots, 1/|I(p)|$ 。而当  $p$  发送标书到最后一个发起者时,前面发起者的  $DoA(p)$  值也应同时降到  $1/|I(p)|$ 。另外,如考虑时间因素,虽然早来的发起者确实应该得到更高的  $DoA(p)$  值,但若  $p$  在很短的时间间隔内发出多个标书,以如上方式降低各  $DoA(p)$  值就显得不够明智了。下面的特例有助于对该问题的理解。设  $p$  以非常小的时间间隔发出两份标书依次给  $i_1, i_2$ , 那么  $i_1$  的  $DoA(p)$  值为 1, 而  $i_2$  的值却一下子降到了  $1/2$ , 这显然存在一定的不合理性,因为  $i_2$  的值至少应该再高一些,如 0.8、0.9 或者更高。要解决该问题,我们可能需要引入时间参数,但要把时间对  $DoA(p)$  的影响进行量化处理,是非常有挑战性的研究课题。

另外,本文中除可用度以外,我们假设标书评价标准仅参考所需付出的代价,但在实际应用中,评价指标可能会完全不同。它可能是时间消耗、经济成本等一些数量越低越好的指标,也可以是服务质量、收益等越高越好的指标。在更复杂的条件下,还可能要把几项指标综合起来考虑。因此在不同领域,需要良好的机制把它们转换成单一的效用数值,这是与领域密切相关的问题。为了便于阐明思想,本文简单地令  $u(p) = 1/cst(p)$ , 事实上,也可采用其它转换函数,如  $u(p) = 1/\sqrt{cst(p)}$  或  $\lambda/cst(p)$ ,  $\lambda \in R$  等。对于某特定领域,效用转换函数须能较确切地反映各方案的优劣程度,为便于理解这个要求,请看如下反例:我们知道,考试分数 100 优于 70 的程度远高于 70 优于 69 的程度。设有函数  $u: u(100) = 5, u(70) = 3.5, u(69) = 1$ , 可以看到,  $u$  对于反映上述分数优劣程度的差别无能为力。在实际应用中,我们的改进方案在很大程度上还依赖于一个恰当的效用转换函数。

**结论与展望** 本文根据最大期望效用原理,在 CNCP 引入可用度概念,使发起者在评价参与者优劣时,以更加理性的

大,在构建组件模型时,应当尽量衡量利弊,在不影响主要结构的前提下,应避重就轻,尽量以 java Bean 的方式来替代某些 EJB 组件的功能。

(3)建模组件内结构时,引入了 UML 的扩展机制,在使用组件组装系统时,仍然应该极大地利用 UML 传统的优秀建模理论。

多层分布式系统的建模技术还在发展之中,本文仅对组件部分提出了自己的建模思路,但将 UML 的建模思想完全成熟地运用于分布式系统,还有待进一步研究。

## 参考文献

- 1 Tremblett P 著, 潇湘工作室 译. 即时应用 Enterprise JavaBeans. 北京: 人民邮电出版社, 2001
- 2 周秉铨 著. UML 软件建模. 北京: 北京大学出版社, 2001
- 3 吕智林, 苏德富, 郑宇. 基于 UML 的 EJB 组件建模方法的研究. 计算机应用研究, 2002(2)
- 4 Kobryn C. Modeling Components and Frameworks with UML. Communications of ACM, 2000, 43(10)

方式做出决策。这在很大程度上降低了发起者的任务得不到执行的风险,结合在参与者一方增设  $cfp$  阈值(另文详述)的概念,更可减少大量不必要的计算消耗。

本文进一步研究包括如何确定合适的效用转换函数及考虑带时间因素的 agent 可用度问题。另外,如下两方面的工作也有待进一步开展:

1)在文[5]中,CNCP 的设计者通过修正 CNCP 的一个缺陷而使之成为 HCNCN。这个缺陷发生在应用 CNCP 到 HMAS 中(Holonc Multi-Agent System, HMAS)时,参阅文[5,8]。我们相信,经过适当的调整,可用度概念同样可帮助提高 HMAS 的性能。

2)另外,针对 FIPA 新公布的 CNP 扩展协议 FIPA Iterated Contract Net Protocol(ICNP)<sup>[9]</sup>允许多轮重复竞价的情况,需要对可用度机制做进一步探索,以期找到更好的解决方案。

## 参考文献

- 1 Ktting B, Maurer F. A Concept for Supporting the Formation of Virtual Corporations through Negotiation. In: IEEE Post-Proc. of the 8th Intl. Workshops on Enabling Technologies: Infrastructures for Collaborative Enterprises, Stanford (USA), 1999
- 2 Smith R G. The contract net protocol: High level communication and control in a distributed problem solver. IEEE Transactions on Computers, 1980, C-29(12): 1104~1113
- 3 Sandholm T, Lesser V R. Advantages of a leveled commitment contracting protocol. In AAAI, 1996. 126~133
- 4 FIPA. FIPA Contract Net Interaction Protocol Specification. FIPA TC Communication. 2002/12/03. <http://www.fipa.org/specs/pesspecs.tar.gz>
- 5 Knabe T, Schillo M, Fisher K. Improvements to the FIPA Contract Net Protocol for Performance Increase and Cascading Applications. <http://citeseer.nj.nec.com/542858.html>
- 6 Schillo M, Fischer K, Kray C. The Contract-Net with Confirmation Protocol: A solution to a fundamental problem of DAI. DFKI Technical Memo. 15, 2000
- 7 Russell S, Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach, Prentice Hall Series in Artificial Intelligence. Englewood Cliffs, New Jersey, 1995
- 8 Schillo M, Fley B, Florian M, et al. Self-Organization in Multiagent Systems: From Agent Interaction to Agent Organization. [citeseer.nj.nec.com/schillo02selforganization.html](http://citeseer.nj.nec.com/schillo02selforganization.html), 2002
- 9 FIPA. FIPA Iterated Contract Net Interaction Protocol Specification. FIPA TC Communication. 2002/12/03. <http://www.fipa.org/specs/pesspecs.tar.gz>