

基于改进合同网协议的多 Agent 协作模型

林琳¹, 刘锋²

(1. 西安建筑科技大学 信息与控制学院, 陕西 西安 710055;

2. 西安电子科技大学 计算机学院, 陕西 西安 710071)

摘要: 合同网是用于分布式问题求解环境下各 Agent 进行通信和协作的一种协议, 各个 Agent 内部的知识、能力和策略在问题求解过程中总是动态变化的。为了能够得到实用性强且易于实现的协作模型, 分析了传统经典合同网的缺点并进行了改进, 利用熟人模型对投标者进行了合理的筛选。采用 Agent 的主动感知特性, 改进了任务 Agent 接受任务的被动性。在投标过程中引入信任度、感知系数和活跃度等智能参数, 防止了投标者在投标过程中的自私性, 平衡了各个合同承担者的负载。通过实验证明, 改进的合同网降低了网络通信量, 提高了多 Agent 系统协作的效率。

关键词: 多 Agent; 合同网; 熟人模型; 感知; 协作

中图分类号: TP182

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)03-0071-05

A Multi-Agent Cooperation Model Based on Improved Contract Net Protocol

LIN Lin¹, LIU Feng²

(1. Sch. of Information and Control, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;

2. Sch. of Computer, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: Contract net is a communication and collaboration protocol for each of Agent in the distributed problem solving environment. Each Agent with the knowledge, abilities and strategies is always dynamic in the process of solving problems. In order to obtain a collaborative model that is practical and easy to implement, this paper analyzes the shortcomings of the traditional classical contract net and improves them. We had a reasonable selection to the bidders using an acquaintance model. Agent model's proactive perception characteristic improved the passive acceptance of the task Agent. In order to prevent the selfishness in the bidding process and balance the load of each contract holder, introduced the intelligent parameters such as reliance, perception and activity. Proved through experience, the improved contract net reduced the network traffic and improved collaboration of the multi-Agent system efficiency.

Key words: multi-agent; contract net; acquaintance model; perception; cooperation

0 引言

分布式人工智能(DAI, Distributed Artificial Intelligence)是人工智能领域研究的一个热点。DAI 系统由多个 Agent 组成, 因此研究多个 Agent 间的协作是研究和开发基于 Agent 的智能系统的必然要求。在多 Agent 系统中, 协作不仅能提高单个 Agent 以及由多个 Agent 所形成的系统的整体行为的性能, 增加 Agent 及 Agent 系统解决问题的能力, 还能使系统具有更好的灵活性, 通过协作使 Agent 系统能解决更多的实际问题^[1]。

目前多 Agent 研究领域的协作方法有: 基于对策论, 基于熟人, 基于合同网^[2], 基于联合承诺等。在这几种协作方案中, 合同网协议在分布式多 Agent 系统的协作求解方法中具有很明显的优势, 合同网协议可扩充性好, 处理动态环境能力强, 在多智能体系统协商中应用广泛。

1 合同网模型

1.1 合同网的定义

合同网协作模型是 Smith 和 Davis 于 1980 年提出的, 它通过引入市场中的招标—投标—中标机制, 对系统的任务进行委托分配, 从而解决资源、知识的冲突等问题。多 Agent 的层次结构图如图 1。

一个多 Agent 组中, 存在一个组织协调、任务分配

收稿日期: 2009-06-16; 修回日期: 2009-09-13

作者简介: 林琳(1984-), 女, 陕西渭南人, 硕士研究生, 研究方向为嵌入式、人工智能。

的管理 Agent(MA),其他为任务 Agent(TA)。管理 Agent 接到任务,将其分解成多个子任务,对子任务进行招标,各个任务 Agent 对子任务进行投标,管理 Agent 选择合适的任务 Agent 执行子任务,但是执行子任务的任务 Agent 可能由于资源的不足等原因导致无法完成任务,这时任务 Agent 对子任务进行再招标,这样就形成了多 Agent 组的层次结构^[3]。

从图 1 中可以看出,在合同网模型中根据承担责任的不同,可以将合同网中 Agent 分为管理者 Agent 和任务者 Agent^[4],那么传统的基于合同网的协商过程如图 2 所示。

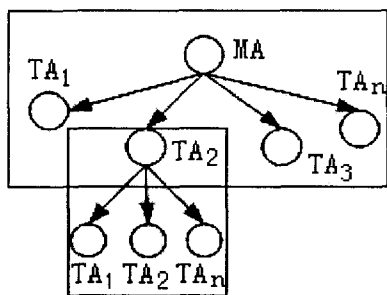


图 1 多 Agent 层次结构图

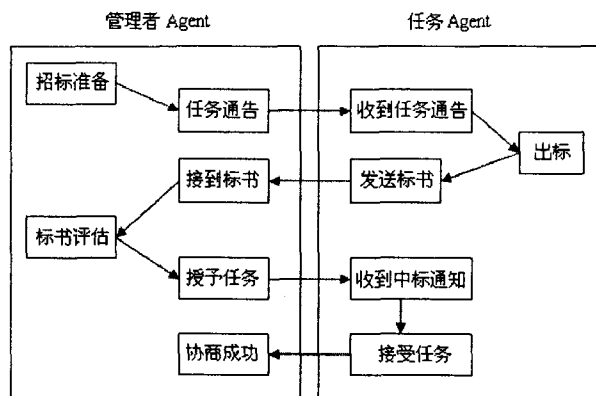


图 2 传统合同网协作过程

1.2 传统合同网模型的缺点

从图 2 给出的传统合同网的协商过程可以总结出传统合同网存在如下六个缺点：

(1)管理 Agent 以广播的方式招标,对每个投标进行评价,很大程度上增加了通信量。

(2)任务固定划分,很难适应动态变化的环境。管理 Agent 对任务进行固定的划分后,对子任务选择一个执行的任务 Agent,并将任务分配给该任务 Agent,任务 Agent 接受任务比较被动。没有一个任务 Agent 根据自己的规划和能力来获得子任务,这样固定的任务分配必然导致低效率。

(3)管理 Agent 为了找到最佳的任务 Agent,从各自利益的角度出发,存在一个反复协商的过程,既造成了系统信息的大量冗余,又造成系统通信资源的浪费。

(4)只考虑了 Agent 静态的求解能力,没有充分考虑如负载、任务的求解质量、代价等动态变化的因素,这些因素随着任务 Agent 的学习能力的提高和自己所处的状态而变化。

(5)非合作型多 Agent 系统环境下 Agent 的自私性导致了系统性能的下降。

(6)当任务最终得不到执行时,传统合同网没有充分考虑对任务所做的处理。

1.3 改进的合同网

针对以上问题,提出了以下六条改进措施:

(1)管理 Agent 在接到任务时,首先在熟人库中查找,若熟人可以完成任务,则直接向熟人发送消息;反之,则通过广播的方式向熟人以外的其他 Agent 进行招标。采用熟人协作能很大程度上缩小招标范围,提高求解效率。

(2)对于任务 Agent 接受任务的被动性,采用 Agent 的主动感知特性。加入公共消息黑板作为合同网的中间媒介,引入感知参数值来衡量任务 Agent 的负载和资源情况,招标 Agent 将标书发布到主控平台的消息黑板上,平台上的任务 Agent 计算自身的感知系数,当自身任务繁重和资源不足时,感知系数降低,以完成当前任务为主要目标,从而不对消息黑板发送消息,反之,则向消息黑板发送消息,获得当前的有效标书。

(3)为了减少任务 Agent 在投标过程中反复协商所带来的信息冗余,提出了将主动权赋予管理 Agent,当管理 Agent 在首次协商过程中认为所有任务 Agent 的投标意向并不是最优的情况下,可以根据其中一个较优任务 Agent 的投标意向修订一个合同任务书^[5],并把这个任务书发给该任务 Agent,任务 Agent 执行合同并将结果返回给管理 Agent。

(4)针对任务 Agent 的动态变化性,引入评估函数,定期对各个 Agent 进行评估,更新其能力,这些 Agent 的能力会随着对任务的承揽和执行而有所改变。例如任务 Agent 通过成功执行管理 Agent 分配的任务,增加了能力,提高管理 Agent 对其的信任度,反之,降低自身的能力描述和管理 Agent 对其的信任度^[6]。

(5)对于非合作型多 Agent 环境下的自私性 Agent,采用可信度、感知系数、活跃度,来综合确定是否投标。如果自私的 Agent 多次在能力不足的情况下接受任务,管理者对它的可信度值将降低,从而避免了管理者将任务赋予存在自私行为特性的 Agent。

(6)当管理 Agent 检测到任务 Agent 没有能力执行合同时,就将该合同任务书打包成一个标书,发布到公共消息黑板上,如果有新的具有完成该任务能力的

任务 Agent 注册成功,Agent 能力注册中心将该任务 Agent 的信息发送给管理 Agent,管理 Agent 请求与其协作^[7]。

以上对传统合同网进行了改进,改进合同网的协作流程图如图3所示。

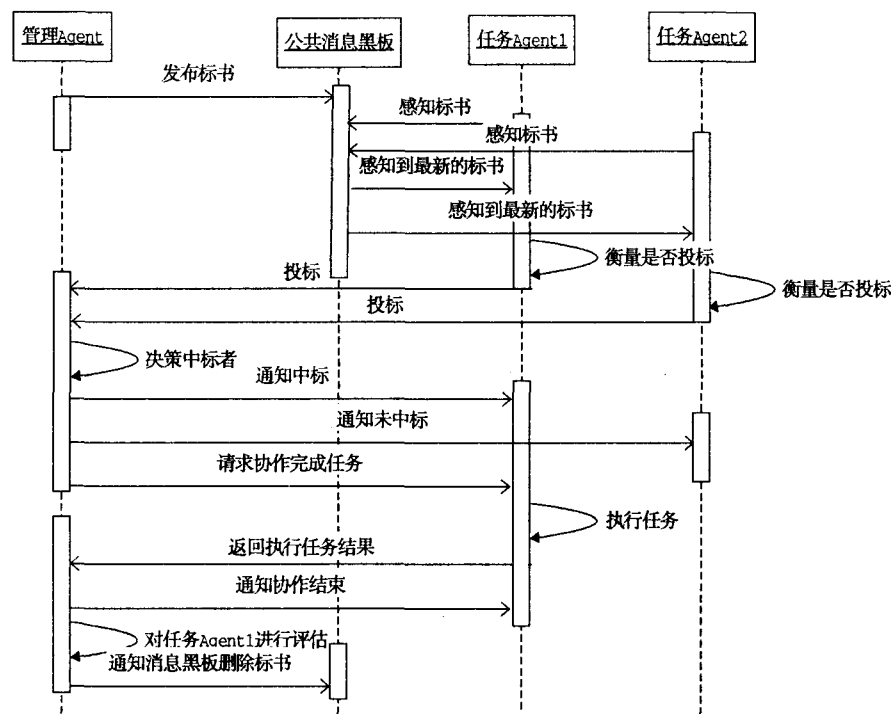


图3 改进合同网协作流程图

2 改进合同网协作策略

假设当前合同网中的管理 Agent 为 Agent_a,负责对任务进行管理,其他的 Agent 为 Agent_i,负责对任务进行投标。改进合同网的多 Agent 协作策略具体进行的任务分配和协商的过程如下:

(1)对投标对象进行选择。首先从自身熟人库中查找,询问熟人是否可以完成任务,若熟人可以完成任务,则直接发送请求协作消息,若熟人能力不足,则管理 Agent 面向所有任务 Agent 进行招标,并限制熟人不能进行招标。

(2)招标。管理 Agent 将标书发布到主控台的公共消息黑板上,所有任务 Agent 定期主动感知公共消息黑板上的标书,并计算自己的能力决定是否投标。

标书的格式为:

Contract = {ContractID、Manger、Prohibit、TaskDescription、Grade、TaskRestriction、ExpireTime} (1)

ContractID 表示标书的 ID 号,是由公共消息黑板统一分配的唯一标号。

Manger 表示发起协作的管理 Agent 的标识。

Prohibit 表示禁止投标的任务 Agent 集合。

TaskDescription 表示对任务的简单描述。

Grade 表示任务所处的等级。

TaskRestriction 表示任务 Agent 进行投标时必须给出的约束信息,由以下因素组成:TaskRestriction = {Time、Reliance、Quality、Perception}。Time 表示完成

此任务所需要的时间,Reliance 表示任务 Agent 对于管理 Agent 的可信度,Quality 表示承诺完成任务的质量,Perception 表示合同承担者对外界的感知程度,称为感知系数,它由以下因素决定:Perception = {Idle、Resource},Idle 表示合同承担者的忙闲程度,Resource 表示合同承担者的本身可用资源。

ExpireTime 表示投标的截止时限。

(3)投标。任务 Agent 根据自身的负载情况、资源的使用情况和对任务约束条件的符合程度决定对任务进行投标,则投标策略为:

$$\begin{aligned} Bid(i,j,t) = & \lambda_1 \times Per(i,j,t) \\ & + \lambda_2 \times Cap(i,j,t) + \lambda_3 \times Rel(i,j,t) + \lambda_4 \times Act(i,j,t) + \lambda_5 \\ & \times Fri(i,j,t) \end{aligned} \quad (2)$$

Bid(i,j,t) 表示 Agent_j 对任务 t 进行投标的期望值。

Per(i,j,t) 表示任务 Agent_j 对标书的感知系数,通常由任务 Agent_j 的自身资源和闲忙程度决定,所以任务 Agent_j 的感知系数可以表示为:Per(i,j,t) = C₁ × R(i,j,t) + C₂ × Idle(i,j,t),R(i,j,t) 表示 Agent_j 本身所具有的可用资源量,Idle(i,j,t) 是此时任务 Agent_j 的忙闲程度,衡量自身任务量繁重程度。C₁ 与 C₂ 是资源和忙闲度各自的权值。

Cap(i,j,t) 表示 Agent_j 完成任务所承诺的自身能力。

Rel(i,j,t) 表示 Agent_j 对 Agent_i 完成任务的信任度。

Act(i,j,t) 表示 Agent_j 的活跃度。Act(i,j,t) = N_i^t / (N₁^t + N₂^t + ... + N_n^t) 表示 Agent_i 发出的 t 类任务,Agent_j 投标的总次数与所有 Agent 投标的总次数的比值称为 Agent_j 在 Agent_i 中关于 t 类任务的积极度。

Fri(i,j,t) 表示 Agent_j 的友好度。Fri(i,j,t) = N_j^t / N_j^t,N_j^t 表示 Agent_j 成功完成 Agent_i 交给的 t 类任务的

次数。 N_t 表示 $Agent_i$ 委托 t 类任务的总次数。

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ 和 λ_5 是感知系数、能力、信任度、活跃度和友好度所占的权值, $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 = 1$ 。

投标 Agent 的忙闲度分为三等:忙、中和闲。对这三种状态分别取值:1、2、3。由此得出自身资源越少,状态越忙,它的感知系数就越小,反之则越大。当投标 Agent 计算自身的投标期望值大于给定的阈值 W 时,则进行投标。当 Agent 在同一时间感知到多份标书时,则只对期望值最大的前两个标书进行投标。当只感知到一份标书时,若期望值大于给定阈值,则进行投标。

(4)中标。管理 Agent 根据众多投标者所提供的投标信息,选择一个管理 Agent 认为最合适的投标者为工作 Agent,并向其发送合同确认请求。但是通常系统中有多个满足要求的 Agent,并且具有最高可信度的 Agent 不只一个,管理 Agent 引入一个评价函数确认招标者,合同管理者通过评价函数修改投标 Agent 的投标值为:

$$M(j, t) = q \times (T - \text{time}) + L \times \text{Rel}(i, j, t) + (1 - L) \times \text{Per}(i, j, t) \quad (3)$$

T 是管理 Agent 要求的完成任务的时间。

time 表示投标 Agent 承诺完成任务的时间。

q 表示时间在投标过程中的权值。

$\text{Rel}(i, j, t)$ 表示信任度。

$\text{Per}(i, j, t)$ 表示感知系数。

L 表示表示可信度在投标决策过程中占的权重,为一个变量。如果任务紧急, L 减少一个常量,则增加了投标者感知系数所占的比重。如果管理者更注重任务的质量, L 增加一个常量,则增加了信任度的比重。

若不能找到这样一个最优的投标者,则转(6)。

(5)选定的最优任务 Agent 收到管理 Agent 发来的合同确认请求后,根据此时的负载状况以及资源使用情况决定是否与管理 Agent 签订合同。

(6)修订标书。经过第四步对投标 Agent 进行评定,发现未能找到一个最优的任务 Agent 来承担任务的执行,管理 Agent 可以根据其中一个较优任务 Agent 的投标意向修订一个合同任务书,并把这个任务书发给该任务 Agent。

(7)签订合同。任务 Agent 与管理 Agent 签订合同后,任务 Agent 开始对任务进行求解,若能完成任务,则将求解结果返回给管理 Agent。并修改任务 Agent 的能力和信任度,如下:

$$\begin{aligned} \text{Cap}(i, j, t) &= \min[\text{Cap}(i, j, t) + \Delta c, 1] \\ \text{Rel}(i, j, t) &= \min[\text{Rel}(i, j, t) + \Delta t, 1] \end{aligned} \quad (4)$$

若对任务不能完全求解,则管理 Agent 修改任务

Agent 的能力和信任度,并且由任务 Agent 决定是否将剩下的任务打包成标书,若打包,这时任务 Agent 成为管理 Agent 开始新一轮的招标。修改任务 Agent 的能力和信任度如下:

$$\begin{aligned} \text{Cap}(i, j, t) &= \max[0, \text{Cap}(i, j, t) - \Delta c] \\ \text{Rel}(i, j, t) &= \max[0, \text{Rel}(i, j, t) - \Delta t] \end{aligned} \quad (5)$$

(8)流标。管理 Agent 发现任务 Agent 因状态发生变化而拒绝签订合同或未能在管理 Agent 规定的接收投标申请的最大时限内完成投标,管理 Agent 宣布任务流标。此时,管理 Agent 将任务挂起,当新加入的具有此能力的 Agent 注册成功后,主控平台的能力注册中心将其信息发送给管理 Agent,管理 Agent 就可以直接请求新注册的任务 Agent 协作完成任务。

3 改进合同网算法

下面给出了改进合同网的算法^[8],其中 $Agent_i$ 表示管理 Agent, $Agent_j$ 表示任务 Agent。

算法:改进合同网算法。

输入:主体集 $A = \{Agent_1, Agent_2, \dots, Agent_n\}$

任务集 $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$

输出:任务完成记录。

步骤:

- (1)初始化: $\text{Trust} = \{\text{tr}_{ij} = 0\} \mid (i = 1 \dots n, j = 1 \dots m)$
//初始信任度都为 0;
- (2)IF ($\text{Per}(i, j, t) > L$) {SendMessage($Agent_j$, CMB, Contract);} //如果 $Agent_j$ 的感知系数大于给定的值 L ,则感知公共消黑板(CMB)上的标书
- (3)IF ($T = \text{null}$) {return false;} //如果任务集为空,则返回
- (4)IF ($\sum_{j=1}^m \text{tr}_{ij} = 0$), 转(6)
ELSE {Search Acquaintance();} //如果各个 Agent 信任度都为 0,则转(6),否则,说明有熟人关系存在
- (5)SendMessage($Agent_i$, Acquaintance, Contract); 转
- (7) //请求熟人协作
- (6)SendMessage($Agent_i$, All, Contract); //向所有任务 Agent 发送标书
- (7)Compute Bid(i, j, t);
IF ($\text{Bid}(i, j, t) > W$)
{SendMessage($Agent_j$, $Agent_i$, bidding);} //根据公式(2)计算投标期望值,如果期望值大于给定的阈值,则进行投标
- (8)Compute $M(j, t)$ //通过公式(3)评价函数修改投标值
- (9)IF ($\text{bidder.best} = \text{null}$)

```

    {Modify(Contract);
    SendMessage(Agenti, Agentj, Contract);} //找不到
最优的投标者,修订一个标书发给次优投标者
ELSE { SendMessage(Agenti, Agentj, Contract);}
//找到最优的投标者,发送消息请求协作
(10)Execute(Agentj, Ti); // Agentj 执行任务 Ti
(11)SendMessage(Agentj, Agenti, Result); //返回执行
结果
(12)IF(Success){用公式(4)修改能力和信任度;}
ELSE{用公式(5)修改能力和信任度;} 转(2)

```

4 试验及分析

为了验证改进合同网协议的有效性,将其用于企业信息集成的多 Agent 采购系统。负责采购的管理 Agent 生成采购清单,首先在自身的熟人库中查找最优的供应商,若存在,直接签订合同。反之,则向其它供应商 Agent 进行招标,限制熟人库中的供应商不能进行投标,供应商 Agent 定期感知标书,并根据自身提供的质量、价格、交货期、服务等进行投标。图 4 给出了传统合同网和改进合同网比较结果。

从图 4 可以看出,在刚开始时,各个 Agent 的能力也相当,由于改进合同网的主动感知特性,改进合同网稍强于传统合同网,随着系统的运行,由于改进合同网形成了熟人关系网,改进合同网协议的性能越来越好。而传统的合作永远是一个静态的、被动的合作。

5 结束语

引进了感知系数改进了任务 Agent 在接受任务时的被动性,引进了熟人模型缩小的投标的范围,引进了奖惩函数从而防止了自私性 Agent 肆意投标。管理 Agent 对投标的结果适当给予一个合适的修订标书,从而可以有效地防止多次协商带来的通信负载加重。

下一步工作将围绕 Agent 在感知任务的智能性展开,同时细化联合 Agent 的奖惩措施,规范熟人的划分。

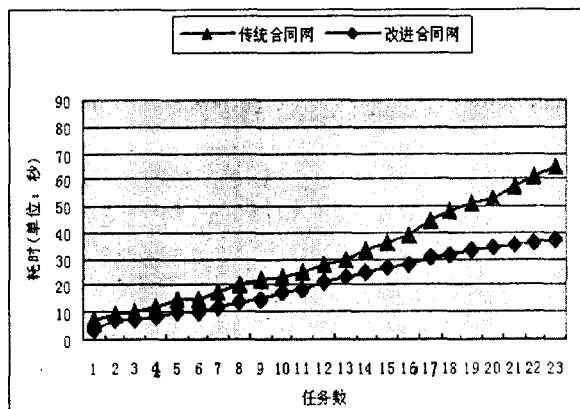


图 4 协商代价测试结果比较图

参考文献:

- [1] 李立,邹华,杨放春.一种基于 Agent 技术的安全能力自动协商机制[J].计算机工程,2007,33(10):126-128.
- [2] 刘俊,曹斌,谭丹丹.基于拍卖机制的改进合同网协商策略[J].计算机应用,2007,27(2):494-496.
- [3] 张秋花,薛惠锋,吴介军,等.多智能体系统 MAS 及其应用[J].计算机仿真,2007,24(6):133-137.
- [4] 王向东,魏蓉,王文杰.基于扩展合同网的多 Agent 协作研究[J].微电子学与计算机,2008,25(4):108-112.
- [5] 甘璐,杨宜民,王建彬.一种基于投标结果修正的合同网协议[J].控制理论与应用,2008,25(2):329-330.
- [6] 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):150-155.
- [7] Pokahr A, Braubach P, Lamersdorf W. JADEX: A BDI Reasoning Engine[J]. Multi-agent Programming, 2005, 15: 149-174.
- [8] 张海俊,史忠植.动态合同网协议[J].计算机工程,2004,30(21):44-47.

(上接第 70 页)

- [2] 刘金定,徐焕良.基于语义本体的反向迭代 Web 服务组合方法[J].科学技术与工程,2008,19(8):1671-1819.
- [3] Yu T, Zhang Y, Lin K-J. Efficient algorithms for Web services selection with end-to-end QoS constraints[J/OL]. ACM Trans. Web 1, 1, Article 6. 2007-05. DOI=10.1145/1232722. 1232728. <http://doi.acm.org/10.1145/1232722.1232728>.
- [4] Oh S, Lee D, Kumara S. Web Service Planner (WSPR): An Effective and Scalable Web Service Composition Algorithm[J]. International Journal of Web Services Research, 2007, 4

(1):1-23.

- [5] Martin D, Burstein M, Denker G, et al. DAML Services[EB/OL]. 2006-03. <http://www.daml.org/services/owl-s>.
- [6] Fensel D. Ontologies: Silver Bullet for Knowledge Management and Electronic Commerce[M]. [s.l.]: Springer, 2001.
- [7] 胡建强,邹鹏,王怀民,等. Web 服务描述语言 QWSDL 和服务匹配模型研究[J].计算机学报,2005,28(4):505-513.
- [8] Blum A, Furst M. Fast planning through planning graph analysis[J]. Artificial Intelligence, 1997, 90: 281-300.