

DOI:10.16356/j.1005-2615.2016.06.018

节拍合同网协议及其在作业车间 AGV 调度的应用

桑泽磊 唐敦兵 郑堃 朱海华

(南京航空航天大学机电学院,南京,210016)

摘要: Agent 技术为制造系统建模提供有了一种有效的方法,并在制造作业车间调度中得到广泛应用。Agent 在基于合同网协议的作业车间 AGV 调度中,存在协商频繁和投标并发操作问题。为了提高合同网协议的工作效率,本文将协议进行简化,提出了一种基于节拍的改进合同网协议。该协议通过节拍有序地处理投标,并利用阈值策略,对竞标报价做出限定。最后,通过基于多 Agent 的作业车间 AGV 调度仿真实例验证了基于节拍的改进合同网协议的效果。

关键词: 合同网协议; Agent; 车间调度; 节拍; 阈值

中图分类号: TH166 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-2615(2016)06-0895-06

Improved Contract Net Protocol Based on Cycle Period and Its Application in Job Shop AGV Scheduling

Sang Zelei, Tang Dunbing, Zheng Kun, Zhu Haihua

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing, 210016, China)

Abstract: Agent technology is regarded as an effective approach for manufacturing system modeling, and it is widely used in manufacturing job shop scheduling. In the job shop scheduling based on contract net protocol, repeated negotiations are required and the problem of concurrent-tendering operation emerges. To increase working efficiency of contract net protocol, the protocol is simplified and an improved contract net protocol based on cycle period is proposed. The protocol deals with the tender orderly, and introduces the threshold value into the negotiations, which limits the bidding price. Finally, the experiments based on multi-agent job shop AGV scheduling validate the effect of the improved contract net protocol based on cycle period.

Key words: contract net protocol; Agent; job shop scheduling; cycle period; threshold value

在技术不断革新的今天,制造系统需要不断提高自身敏捷性、柔性、鲁棒性来保持竞争力。Agent 技术是分布式人工智能的研究热点,被认为

是构建制造系统的重要方法之一^[1]。作业车间调度是制造系统中的基本问题之一^[2],对制造过程有着重要意义。基于 Agent 的车间调度大多采用合

基金项目: 国家自然科学基金(51175262)资助项目;江苏省杰出青年基金(SBK20121032)资助项目;江苏省青蓝工程资助项目。

收稿日期: 2015-05-22; **修订日期:** 2015-06-23

通信作者: 唐敦兵,男,教授,博士生导师, E-mail: d.tang@nuaa.edu.cn.

引用格式: 桑泽磊,唐敦兵,郑堃,等. 节拍合同网协议及其在作业车间 AGV 调度的应用[J]. 南京航空航天大学学报, 2016, 48(6): 895-900. Sang Zelei, Tang Dunbing, Zheng Kun, et al. Improved contract net protocol based on cycle period and its application in job shop AGV scheduling[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2016, 48(6): 895-900.

同网协议^[3] (Contract net protocol, CNP) 作为协商机制。

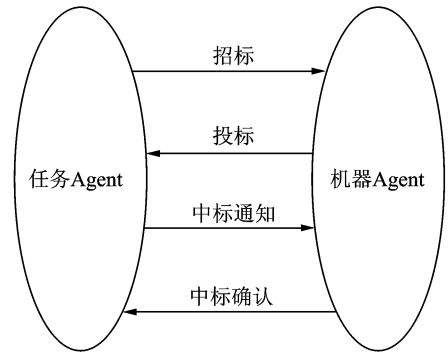
CNP 是一种协作过程,用于分布式求解问题中节点之间的任务分配。节点间任务的发起者和参与者构成合同关系。合同网协议为 Agent 交互提供了一种有效且具有现实意义的协商机制,并在工业上获得了成功应用^[4-5]。尤其是在基于多 Agent 的制造系统中,合同网协议可以灵活应对不同情形,动态地完成资源分配^[6]。在基于多 Agent 的 AGV (Automated guided vehicle) 调度研究中, Mes 等人^[7]在选择最佳 Agent 构架中利用合同网协议作为协商机制; Fazli 等人^[8]根据任务的动态分配提出了改进 FIPA (The foundation for intelligent physical agents) 合同网协议。传统合同网协议在交互过程中需要反复协商,信息通讯量过大导致系统性能下降,许多研究者从多个角度提出了不同的改进方案。Schillo 等人^[9]提出了合同网扩展协议,并对给定问题域下最优机制的决策标准进行了讨论。为了减少 Agent 间通讯量以及评估时间,甘璐等人^[10]提出了一种基于投标结果修正的合同网协议。王世进等人^[11]利用强化学习结合合同网协议来解决调度问题。张广胜等人^[12]提出代价时间 Petri 网以分析合同网协议协商过程。为避免投标并发操作导致调度质量下降的问题,赵良辉^[13]弃用了合同网框架,提出了一种基于时间流的调度模型。该模型虽然保证了调度的正确性,但失去了合同网协议的灵活性。由于招投标双方不能同时从自身角度对调度进行优化,这导致了整体调度性能的降低。

针对上述问题,本文在合同网协议的基础上,提出了基于节拍的改进合同网协议。该协议简化了合同网协议以减少 Agent 间的通讯量,通过节拍保证了投标并发操作的调度质量,并在竞标过程中引入阈值策略,进一步提高改进合同网协议的效率。最后,对一个基于节拍合同网协议的车间 AGV 调度系统进行仿真实验,验证该协议的可行性。

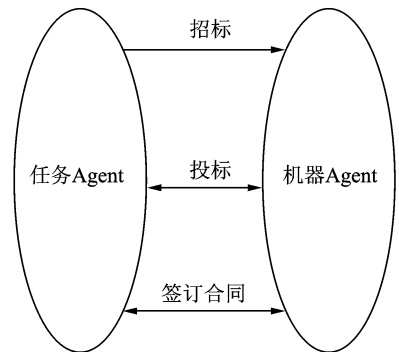
1 问题描述

在基于多 Agent 的作业车间调度中,通常用两类 Agent 分别模拟任务和机器,通过任务 Agent (Task agent, TA) 和机器 Agent (Machine agent, MA) 之间的交互,实现机器在任务上的分配,最终形成调度方案^[13]。TA 和 MA 的协商频繁导致通讯量迅速增加。为了减少通讯量,本文对传统合同网协议进行简化,其结果如图 1 所示。简化合同网

协议可以使每次招投标过程的通讯次数减少至 3 次,这既保留了合同网协议的灵活性,又满足了应用场合的实时性需求。但是,这种简化的合同网协议在招投标过程中存在并发操作,并且可能导致竞标出错。下文以传统合同网协议和简化合同网协议为例,将具体描述招投标并发操作导致恶劣竞标的起因、过程和结果。



(a) Model of simple contract net protocol



(b) Model of simplified contract net protocol

图 1 两种合同网协议模型的协商过程

Fig. 1 Negotiation process of two kinds of contract net protocols

简化合同网协议中共有两类 Agent: TA 和 MA。其中 TA 发起招标并决策, MA 参与竞标并进行投标。TA 和 MA 相互协商、协作共同完成任务,其过程如图 2 所示。其中, $TA = \{TA_i \mid i = 1, 2, \dots, I\}$; $MA = \{MA_j \mid j = 1, 2, \dots, J\}$; 双向实线箭头表示一个 TA 同时向一个或多个 MA 发起招标; 双向虚线箭头表示一个 MA 同时接受一个或多个 TA 招标。TA 从自身利益出发,在所有 MA 中选取投标书最优的 MA 进行合作。由于 MA 对不同 TA 的投标相互独立且具有并发性,这可能导致 MA 同时中标多个任务并导致劣质竞标。

假设 TA_1 和 TA_2 同时向 MA_1 发起招标,且 MA_1 能分别独立完成 TA_1 和 TA_2 的任务,但每次只能执行一个任务。 TA_1 的招标任务为 T_1 ,

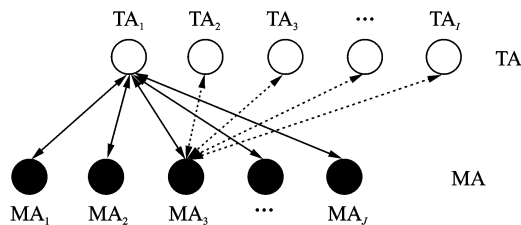


图 2 招投标交互过程

Fig. 2 Interactions of bidding

TA₂ 的招标任务为 T₂, T₁ 和 T₂ 所需工时分别为 5 和 10。简化合同网协议中,TA 与 MA 招投标的具体交互过程如下:

- (1)TA 将任务封装在招标书中,并向 MA 发起招标;
- (2)MA 收到标书后进行评估,然后向 TA 发送投标;
- (3)TA 对投标书进行决策,决定是否签订合同。

两种合同网协议的招投标的过程和结果如图 3 所示。传统合同网协议中,MA₁ 同时中标任务 T₁ 和 T₂,其虽然能够完成任务的调度,但投标书中完工时间和合同完工时间相冲突,缺乏了一定的柔性;简化合同网协议中,MA₁ 同时和 TA₁、TA₂ 签订合同,这虽然能够减少 Agent 通讯次数,但两份合同中加工时间冲突,出现了任务重叠问题,因此不能按时完成任务。为解决此问题,下节提出了一种基于节拍的改进合同网协议。

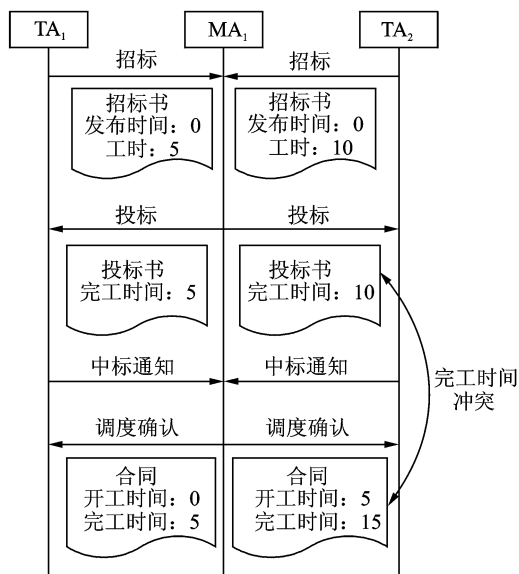
2 改进合同网协议

针对简化合同网协议中投标并发操作,本文提出了一种基于节拍的改进合同网协议,并在 Agent 协商过程中引入了阈值策略,优化了 TA 和 MA。

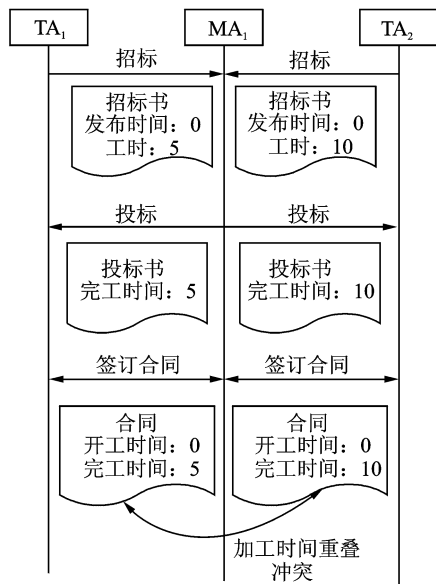
2.1 节拍合同网协议

节拍是一个时间区间,共有两个时间节点。开始节点为一轮招投标的发起时间节点,结束节点为签订合同的时间节点。一旦节拍开始,便不会被打断,直至节拍结束。当招标书处在一个节拍内正在被评估时,新来招标书不会被立刻评估,而是被放入招标书任务集,直至节拍结束才会被全部取出并在下一个新节拍中评估。其中,招标书任务集用于存储在一个节拍评估过程中收到的招标书。新节拍开始节点是上一节拍的结束节点。具体示例如图 4 所示。

图中共有 1 个 MA 和 4 个 TA,带有箭头的横向线段代表 Agent 间的通讯过程。竖线代表时间



(a) Processing example for traditional contract net protocol in multitask situation



(b) Processing example for simplified contract net protocol in multitask situation

图 3 两种合同网协议多任务招投标及竞标结果
Fig. 3 Interactions and biddings of two contract net protocols in multitask situation

轴,其中字母 A~H 分别代表时间节点。MA₁ 在 A 节点收到来自 TA₁ 的招标书代表一个新节拍的开始。MA₁ 接到招标书时,对其进行评估,并在 C 节点向 TA₁ 发出投标书。TA₁ 在 E 节点做出决策,并与 MA₁ 签订合同,此时节拍结束,节拍范围为 A~E。在 A~E 节拍过程中,MA₁ 将 B 和 D 节点收到的招标书放入招标书任务集,并在该节拍结束后评估。因此,E 节点又成为下一个节拍的开

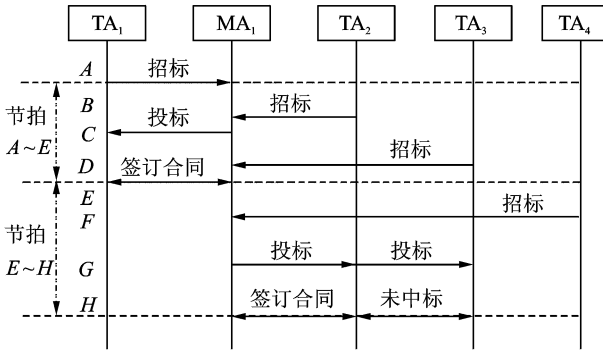


图4 节拍合同网协议招标投标流程

Fig. 4 Procedure of bidding in contract net protocol based on cycle period

始节点, MA_1 提取招标书任务集中全部任务并评估。针对多任务同时竞标情况, MA_1 首先从自身角度评估, 选择最有利于 MA_1 的任务发布投标书, 并放弃其他任务。 MA_1 在 F 节点又收到来自 TA_4 的招标书, 该招标书将被放入任务集暂不评估。在 G 节点, MA_1 将投标书发送至各个 TA 。最终, MA_1 在 H 节点收到竞标通知, 并与发起者 Agent 签订合同。此时节拍结束, 节拍范围为 $E \sim H$ 。

上述流程按节拍依次进行, 避免了因竞标的并发操作而导致出错, 保证了竞标的有序性。利用节拍合同网协议, MA 可以选取最优招标书投标实现自优化。

2.2 阈值策略

除了节拍外, 改进合同网协议还引入了阈值策略以实现 TA 的优化。阈值又称临界值, 是竞标决策中的重要参数之一。假设阈值 MAX 是 TA 能够接受投标书的最高报价。 TA 收到来自 MA 投标书后, 提取标书中报价。若标书中报价高于阈值 MAX , TA 直接拒绝 MA 的报价以提高 TA 效率; 反之, TA 在竞标中选择报价最低的 MA 进行合作。阈值策略在改进合同网协议中的应用如图 5 所示, TA 设定阈值 MAX 以去除高报价投标, 确保任务完成的成本。

在基于节拍的改进合同网协议中, 节拍的引入成功地化解了投标并发而带来的矛盾并实现了 MA 的自优化, 使 MA 在任务集中选择最佳 TA 进行合作; 阈值的引入实现了 TA 的自优化, 使得 TA 从自身利益出发, 选择最佳的 MA 进行合作。

3 仿真实验

3.1 实验设置

本文以基于多 Agent 的作业车间 AGV 调度

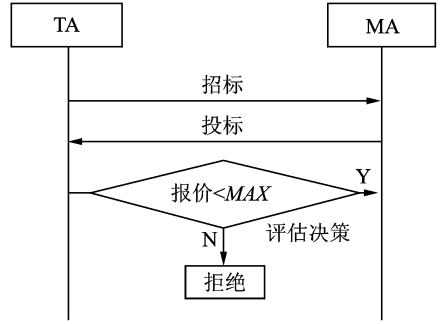


图5 阈值策略在 TA 和 MA 交互过程中的应用流程
Fig. 5 Application of threshold strategy between interactions of TA and MA

系统仿真实验为例, 验证基于节拍的改进合同网协议在 Agent 协商过程中的可行性。实验中, 机床和自动化立体仓库代表 TA , AGV 代表 MA 。 TA 和 MA 相互协商, 共同完成 AGV 调度, 最终生成甘特图。现假设系统中有一组生产任务, 此任务中有 6 个工件, 每个工件有多道工序需要加工, 每道工序需要在相应的机床上加工一定的时间, 工件的运输任务由 2 台 AGV 承担。实验布局如图 6 所示, 生产任务参数如表 1 所示, AGV 运输时间如表 2 所示。其中 J_i 为工件编号, M_j 为机床编号, L/U 为自动化立体仓库。本实验需满足如下约束条件。

表 1 生产任务参数

Tab. 1 Data for tasks

Workpiece No.	Machine tool No.		
J_1	$M_1(10)$	$M_1(18)$	
J_2	$M_2(10)$	$M_4(18)$	
J_3	$M_1(10)$	$M_3(20)$	
J_4	$M_2(10)$	$M_3(15)$	$M_4(12)$
J_5	$M_1(10)$	$M_2(15)$	$M_4(12)$
J_6	$M_1(10)$	$M_2(15)$	$M_3(12)$

表 2 AGV 运输时间

Tab. 2 Travel time for AGVs

L/U	M_1	M_2	M_3	M_4
0	6	8	6	4
4	0	12	10	8
6	2	0	12	10
8	4	2	0	12
6	2	4	2	0

(1) 不考虑机床故障、AGV 故障、碰撞、死锁等情况;

(2) 机床每次只能加工一个工件;

(3)AGV 每次只能运送一个工件,且一开始停靠在 L/U 处。

实验测试的硬件环境为:CPU Intel Core™2、2 GB 内存、Windows 7 操作系统。软件环境采用 Java 编译环境 JDK1.7.0,集成开发环境为 Net-Beans 7.4,JADE4.3,数据库为 MySQL Server 5.5。本次实验将在两种场景下进行。

场景 1:无节拍合同网协议。

场景 2:基于节拍的改进合同网协议。

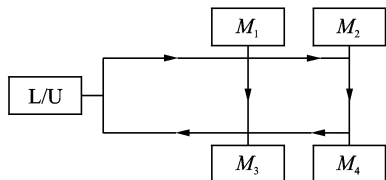


图 6 实验布局

Fig. 6 Experimental layout

3.2 结果分析

通过仿真实验,离线的生产任务计划调度甘特图如图 7 所示,为 AGV 的调度提供了任务与机床的调度计划;场景 1 和场景 2 的 AGV 调度结果分别如图 8 和图 9 所示。图 9 在基于节拍的改进合同网协议下,不仅完成了无逻辑错误的调度,而且完工时间由 100 缩短到 85,大大缩短了完工时间。

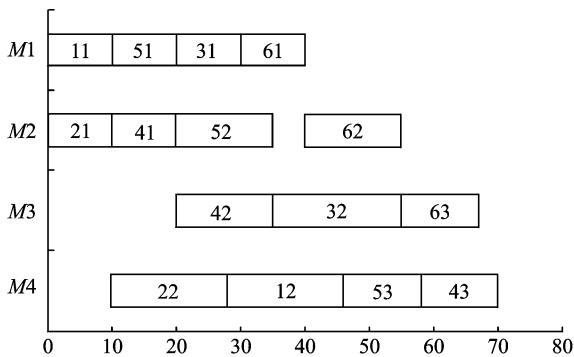


图 7 计划调度甘特图

Fig. 7 Planned scheduling gantt chart

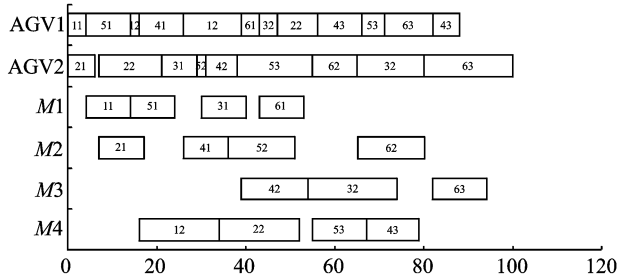


图 8 场景 1 下调度甘特图

Fig. 8 Gantt chart of scheduling in scenario 1

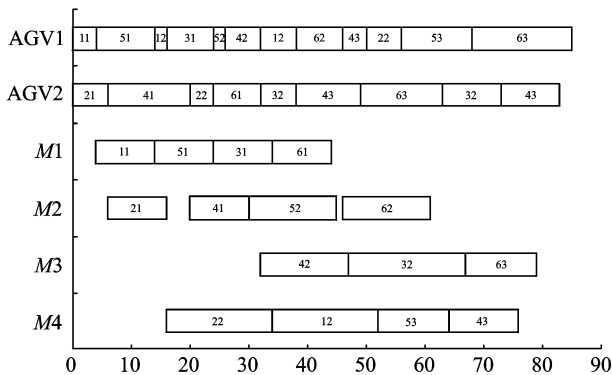


图 9 场景 2 下调度甘特图

Fig. 9 Gantt chart of scheduling in scenario 2

在图 8 和图 9 中,每个任务的分配都是招标一投标-中标的竞标过程。机床对任务发起招标,AGV 依据其工作状态、位置、运输任务等因素评估出竞标报价,机床选择最低报价完成竞标过程。在竞标过程中,阈值策略被用来优化竞标。例如,图 8(场景 1)中任务 22 为 AGV2 的第 2 个中标任务。在节拍合同网协议中引入阈值策略后,由于 AGV2 对于任务 22 竞标报价大于阈值,竞标未能成功。AGV2 对于任务 41 的竞标报价不仅低于阈值而且低于 AGV1,AGV2 中标任务 41,结果如图 9(场景 2)所示。

不同场景下设备利用率如图 10 所示,场景 2 中的利用率明显全部高于场景 1。AGV 理论上完成一次运输任务的平均消耗时间为 10.08。在基于节拍的改进合同网协议的实验中,2 台 AGV 共执行了 21 个运输任务,其消耗时间频数分布如图 11 所示。场景 2 下 76.19%任务消耗时间在 10 以下,95.23%任务消耗时间在 15 以下。上述数据表明 AGV 在多个任务选择时,能够合理地优化 AGV 等待时间和任务选择。

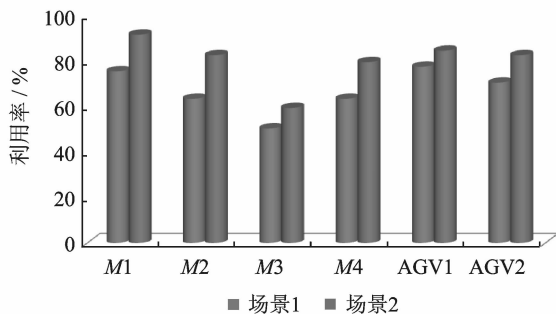


图 10 不同场景下设备利用率

Fig. 10 Utilization ratio of machines in different scenarios

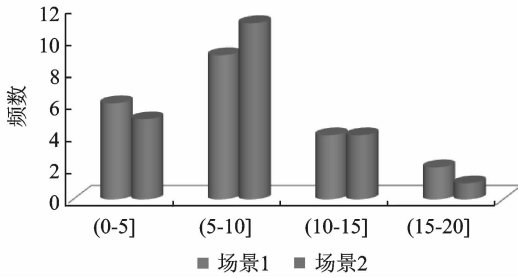


图 11 运输任务消耗时间频数分布图

Fig. 11 Frequency distribution of time consumption of transportation task

对比完工时间、机床利用率、AGV 利用率和运输任务消耗时间频数,基于节拍的改进合同网协议明显优于无节拍合同网协议。

4 结束语

针对传统合同网协议在基于 Agent 的制造系统中的弊端,本文提出了一种基于节拍的改进合同网协议。在这种简化的改进合同网协议中,通讯量和计算量被减少,节拍不仅规避了投标的并发操作导致的错误,而且利用并发操作优化了机器 Agent (MA);通过阈值策略,任务 Agent (TA) 选择低报价 MA 进行优化,最终实现合同双方优化。最后,将该协议应用到基于多 Agent 的车间 AGV 调度实验中。结果表明:该协议能够很好解决 Agent 间合作冲突,起到良好的协商作用并完成任务。

参考文献:

[1] 乔兵,朱剑英.多 Agent 智能制造系统研究综述[J].南京航空航天大学学报,2001,33(1):1-7.
Qiao Bing, Zhu Jianying. A survey on intelligent manufacturing system based on Multi-Agent [J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2001, 33(1):1-7.

[2] Gu Wenbing, Tang Dunbing, Zheng Kun. Solving job shop scheduling problem based on improved adaptive particle swarm optimization algorithm [J]. Transactions of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2014, 31(5): 559-567.

[3] Smith R G. The contract net protocol: High level communication and control in a distributed problem solver[J]. IEEE Transactions on Computers, 1980, 29(12): 1104-1113.

[4] Zhao F Q, Wang J Z, Tang J X. Research on dynamic rescheduling program based on improved contract net protocol[J]. Journal of Software, 2011, 6(5):

798-805.

[5] Owliya M, Saadat M, Anane R, et al. A new agent-based model for dynamic job allocation in manufacturing shop floors[J]. IEEE Systems Journal, 2012; 6(2): 353-361.

[6] Merdan M, Vrba P, Koppensteiner G, et al. Knowledge-based multi-agent architecture for dynamic scheduling in manufacturing systems[J]. IEEE International Conference on Industrial Informatics, 2008; 1075-1080.

[7] Mes M H, Matthieu V D. Design choices for agent-based control of AGVs in the dough making process [J]. Decision Support Systems, 2008, 44(4): 983-999.

[8] Fazli B, Lin H, Murata T. Dynamic task assignment of autonomous AGV system based on multi agent architecture[J]. IEEE International Conference on Progress in Informatics & Computing, 2010, 2: 1151-1156.

[9] Schillo M, Kray C, Fischer K. The eager bidder problem: a fundamental problem of DAI and selected solutions[C]//Proceedings of the first international Joint conference on Autonomous agents and Multi-agent Systems: Part 2. [S. l.]: ACM, 2002: 599-606.

[10] 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(2):329-330.
Gan Lu, Yang Yimin, Wang Jianbin. An improved contract net protocol based on amendatory bidding result[J]. Control Theory & Applications, 2008(2): 329-330.

[11] 王世进.面向制造任务动态分配的改进合同网机制[J].计算机集成制造系统,2011(6):1257-1263.
Wang Shijin. Improved contract net protocol for manufacturing task dynamic assignment[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2011(6): 1257-1263.

[12] 张广胜,蒋昌俊,沙静,等.基于代价时间 Petri 网的合同网模型研究[J].系统仿真学报,2008, 20: 5438-5441.
Zhang Guangsheng, Jiang Changjun, Sha Jing, et al. Research of contract net model based on cost timed Petri Net[J]. Journal of System Simulation, 2008, 20: 5438-5441.

[13] 赵良辉.无拍卖的动态 Agent 调度模型[J].计算机集成制造系统,2013(11):2893-2899.
Zhao Lianghui. Dynamic agent scheduling model without contract net protocol[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2013(11): 2893-2899.