

文章编号: 1673-5196(2007)06-0085-04

# 基于多 Agent 和遗传算法的制造网格资源调度

赵付青<sup>1</sup>, 李瑞生<sup>1,2</sup>

(1. 兰州理工大学 计算机与通信学院, 甘肃 兰州 730050; 2. 甘肃政法学院 计算机科学学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 为了保障用户的多 QoS 要求, 在制造网格资源调度中引入灵活健壮的协商机制和高效的资源调度算法尤为重要. 为此提出基于多 Agent 的制造网格资源调度方法, 运用合同网协议作为多 Agent 的协作协议并根据制造网格资源调度需求运用遗传算法作为资源优化组合的算法. 综合应用多 Agent 开发工具 JADE 和遗传算法工具包 JGAP 进行模拟调度实验, 证明了方法的有效性.

**关键词:** 制造网格; 多 Agent; 资源调度; 遗传算法

**中图分类号:** TP391.9 **文献标识码:** A

## Manufacturing grid scheduling based on multi-agent and genetic algorithm

ZHAO Fu-qing<sup>1</sup>, LI Rui-sheng<sup>1,2</sup>

(1. College of Computer and Communication, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China; 2. College of Computer Science, Gansu Political and Law Institute, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** In order to satisfy the multi-QoS requirement of the users in the manufacturing grid scheduling, a flexible and robust negotiation mechanism and scheduling algorithm were needed. Therefore a multi-agent based scheduling approach for the manufacturing grid was proposed. Contract net protocol for multi-agent cooperation and negotiation mechanism were employed, and then a genetic algorithm as scheduling algorithm was also used. An experiment was conducted based on JADE and JGAP to testify this approach. Simulation result showed that the method was effective.

**Key words:** manufacturing grid; multi-agent; scheduling; genetic algorithm

制造网格是近年来基于网格技术提出的新的网络化制造模式. 但目前由于网格技术本身尚未成熟, 单纯利用现有的网格技术还无法满足网络化制造的需要. 综合运用网格技术、多 Agent 技术、标准和规范技术等构建制造网格是未来网络化制造发展的必然趋势<sup>[1]</sup>.

网格计算与 Agent 计算是两种并行发展的分布式计算范型. 网格侧重于解决多个机构组成的动态虚拟组织间实现安全协作式资源共享的体系结构、协议和规范. 而 Agent 技术侧重于不确定和动态环境下的自治问题解决. 一方面, Agent 系统需要健壮的基础设施的支撑, 另一方面, 网格需要自治和灵活的行为能力. Ian Foster 将网格和 Agent 比作“Brawn”和“Brain”的关系<sup>[2]</sup>, 指出将网格和 Agent

技术进行融合的可能性和必要性.

制造网格环境下, 时间(T)、价格(P)、质量(Q)和可靠度(R)等是评价制造资源优劣的标准<sup>[3]</sup>. 同时, 用户对任务完成有多 QoS (TPQR) 要求即完成整个任务所花费的时间和价格最小, 得到的服务质量和可靠度最高. 为此, 提出基于多 Agent 和遗传算法的制造网格资源调度方法, 为满足制造网格中用户的多 QoS 要求提供了保障.

### 1 基于多 Agent 的制造网格资源调度模型

Agent 是一种功能实体利益的代表, 在制造网格环境中, 根据 Agent 划分粒度的大小可将大到企业(或参与虚拟企业的其他组织), 小到每个制造网格资源用一个 Agent 来表示<sup>[4]</sup>. 每个 Agent 有自己的信念和目标, 可以根据自身的策略和其他 Agent 组成多 Agent 系统, 多个 Agent 通过协商达成 SLA

收稿日期: 2007-07-18

基金项目: 甘肃省自然科学基金(3ZS062-B25-033)

作者简介: 赵付青(1977-), 男, 甘肃酒泉人, 博士, 副教授.

(service level agreement) 协议, SLA 显式规定了资源消费者能从资源提供者得到的服务类型及质量, 资源提供者按照 SLA 的条款为资源消费者提供有质量保证的服务<sup>[5]</sup>.

基于多 Agent 的制造网格资源调度模型中主要包括 3 类 Agent:

1) DF (Directory Facilitator) 联盟. 假定在制造网格环境的每个自治域都有一个本地 DF 为该自治域的各个 Agent 提供黄页服务, 各个 DF 都可以相互注册形成 DF 联盟<sup>[6]</sup>. 每个 Resource Agent 将其提供的服务在本地 DF (或 DF 联盟) 中进行注册.

2) Resource Agent, 代表制造网格资源, 负责获取资源的各种实时信息并与 Broker Agent 交互协商. 每个 Resource Agent 都有自己的局部知识和策略库, 每当 Resource Agent 与 Broker Agent 交互协商进行资源调度时, 根据自身的供求状况制定出价策略, 估计完成新任务所需时间. 如协商成功, 则与 Broker Agent 签定 SLA 协议.

3) Broker Agent, 负责接受用户提交的任务并分解任务, 根据每个子任务的需求通过 DF 联盟查询可用的资源并与候选资源对应的 Resource Agent 交互协商完成资源调度.

## 2 基于合同网协议的多 Agent 协商调度过程

合同网协议是多 Agent 之间有效协作的高层

协议, 运用合同网协议的多 Agent 协商调度过程如下.

1) 用户向 Broker Agent 提交任务, Broker Agent 分解任务.

2) Broker Agent 根据各个子任务的资源需求通过本地 DF (或 DF 联盟) 搜索得到每个子任务的候选资源列表.

3) Broker Agent 向各候选资源对应的 Resource Agent 招标 (发送 call-for-proposal 消息).

4) 收到招标信息的各 Resource Agent 评估完成该招标任务的开始、结束时间以及报价, 并向 Broker Agent 投标 (发送 propose 消息). 不愿投标的各 Resource Agent 向 Broker Agent 发送 refuse 消息.

5) Broker Agent 收到所有投标信息后, 根据各个投标信息提供的时间、价格信息以及由可信任的第三方 Agent 提供的质量、可靠度信息, 运用资源优选算法选择出最优的资源组合并向中标的各 Resource Agent 发出中标通知 (accept-proposal 消息). 中标的各 Resource Agent 向 Broker Agent 回复 inform 消息. Broker Agent 与各中标的资源 Agent 达成 SLA 协议并将 SLA 内容副本发送给第三方 Agent.

6) 招标的 Broker Agent、中标的 Resource Agent 和第三方 Agent 更新相关信息数据库. 图 1 为一个基于合同网协议进行资源调度的基本过程.

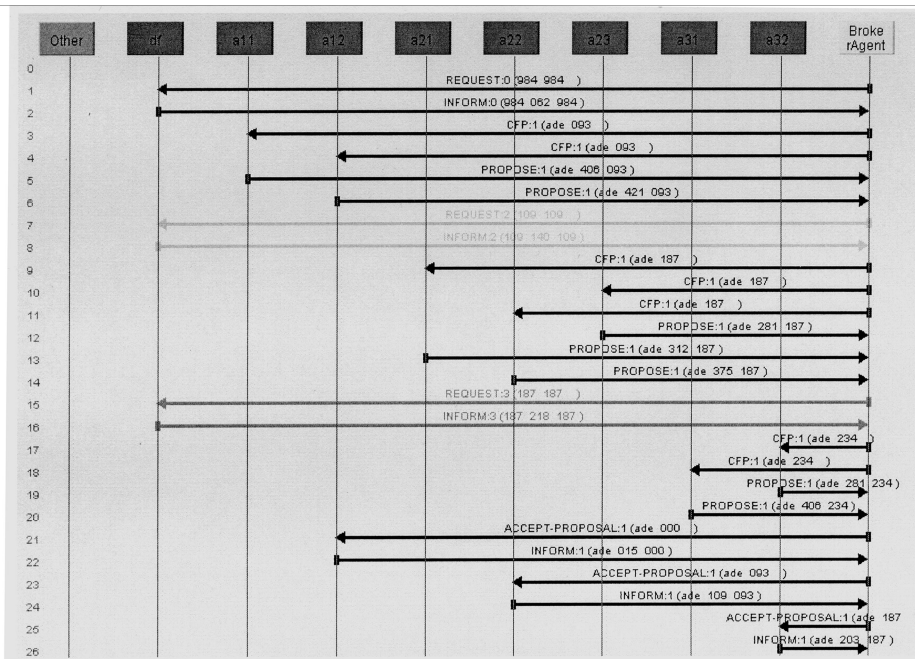


图 1 基于合同网协议的多 Agent 协商交互过程

Fig.1 Multi-agent negotiation and interaction process based CNP

### 3 资源优选目标及算法

当一个用户订单到达制造网格并被某个 Broker Agent 接收, Broker Agent 将该订单任务分解为一系列具有相互依赖关系的子任务. 任务表示为  $T=(t_1, t_2, \dots, t_m)$ ,  $m$  表示子任务的个数. 候选资源表示为  $R=(r_1, r_2, \dots, r_m)$ , 其中  $r_i=(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$ ,  $i \in [1, m]$ ,  $n \geq 1$  表示对应于每个子任务的候选资源数<sup>[7]</sup>. 各候选资源对应的 Resource Agent 表示为  $A=(a_1, a_2, \dots, a_m)$ , 其中  $a_i=(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in})$ ,  $i \in [1, m]$ ,  $n \geq 1$ .

若将第  $i$  个子任务对应的第  $j$  个候选资源的 QoS 属性用  $q_{ij}=(q_{ij^1}, q_{ij^2}, \dots, q_{ij^k})$  来表示,  $i \in [1, m]$ ,  $j \in [1, n]$ ,  $k$  表示候选资源的 QoS 属性的个数, 本文取  $k=4$ . 由于  $q_{ijk}$  所表示的分量可能是效益型的(如质量和可靠度), 也可能是成本型的(如时间和价格), 同时各个分量的表示单位及数量级差别甚大, 因此对  $q_{ij}=(q_{ij^1}, q_{ij^2}, \dots, q_{ij^k})$  按下式处理<sup>[3]</sup>得到  $q_{ij}'=(q_{ij^1}', q_{ij^2}', \dots, q_{ij^k}')$ :

$$q_{ij}^k = \begin{cases} \frac{q_{ijk} - \min\{q_{ijk}\}}{\max\{q_{ijk}\} - \min\{q_{ijk}\}} & \text{(若 } q_{ijk} \text{ 是效益型参数,} \\ & \max\{q_{ijk}\} - \min\{q_{ijk}\} \neq 0) \\ 1 & \text{(若 } q_{ijk} \text{ 是成本型参数,} \\ & \max\{q_{ijk}\} - \min\{q_{ijk}\} = 0) \\ \frac{\max\{q_{ijk}\} - q_{ijk}}{\max\{q_{ijk}\} - \min\{q_{ijk}\}} & \text{(若 } q_{ijk} \text{ 是效益型参数,} \\ & \max\{q_{ijk}\} - \min\{q_{ijk}\} \neq 0) \\ \frac{q_{ijk} - \min\{q_{ijk}\}}{\max\{q_{ijk}\} - \min\{q_{ijk}\}} & \text{(若 } q_{ijk} \text{ 是成本型参数,} \\ & \max\{q_{ijk}\} - \min\{q_{ijk}\} = 0) \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $\max\{q_{ijk}\}$  和  $\min\{q_{ijk}\}$  分别表示第  $i$  个子任务的所有候选资源( $j$  个)的第  $k$  个 QoS 分量的最大值和最小值.

按照上述方法将第  $i$  个子任务对应的第  $j$  个候选资源的 QoS 属性向量  $q_{ij}=(P_{ij}, T_{ij}, Q_{ij}, R_{ij})$  处理得:  $q_{ij}'=(P_{ij}', T_{ij}', Q_{ij}', R_{ij}')$ ,  $i \in [1, m]$ ,  $j \in [1, n]$ . 同时考虑各资源间的连接代价和连接时间<sup>[8]</sup>, 用  $P_{(ij)(kl)}$  和  $T_{(ij)(kl)}$  分别表示第  $i$  个子任务的第  $j$  个候选资源和第  $k$  个子任务的第  $l$  个候选资源同时被选中时二者的连接代价和连接时间, 将  $P_{(ij)(kl)}$  和  $T_{(ij)(kl)}$  也经式(1)处理得到  $P_{(ij)(kl)}'$  和  $T_{(ij)(kl)}'$ , 其中,  $i, k \in [1, m]$ ,  $j, l \in [1, n]$ .

资源优选的目标是选择出最优的资源组合, 使得完成整个任务所花费的时间和代价最小, 得到的服务质量和可靠度最高. 这是一个多目标的组合优化问题, 适合运用遗传算法进行求解. 资源优选的目

标函数是求  $\max(f(x))$ , 其中  $f(x)$  的值如下式所示:

$$f(x) = p_w \left[ \sum_{i,j} x_{ij} P_{ij}' + \sum_{i,j,k,l} x_{ij} x_{kl} P_{(ij)(kl)}' \right] + t_w \left[ \sum_{i,j} x_{ij} T_{ij}' + \sum_{i,j,k,l} x_{ij} x_{kl} T_{(ij)(kl)}' \right] + q_w \left[ \sum_{i,j} x_{ij} Q_{ij}' \right] + r_w \left[ \sum_{i,j} x_{ij} R_{ij}' \right] \quad (2)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{若第 } i \text{ 个子任务的第 } j \text{ 个} \\ & \text{候选资源被选中} \\ 0, & \text{若第 } i \text{ 个子任务的第 } j \text{ 个} \\ & \text{候选资源未被选中} \end{cases}$$

式中:  $p_w, t_w, q_w, r_w$  分别表示价格、时间、质量、可靠度在目标评价中的权重值, 且  $p_w + t_w + q_w + r_w = 1$ , 即将多目标优化转化为单目标优化问题.

### 4 仿真实验

限于篇幅, 本文以一个由 3 个子任务组成的算例为例进行模拟. 表 1 是各子任务及各自对应的候选资源的 PTQR 值. 其中, 质量和可靠度采用 1 到 5 之间的整数来表示. 表 2 和表 3 分别列出了各资源间的连接代价 Plink 和连接时间 Tlink.

表 1 各候选资源的 PTQR 属性表  
Tab.1 PTQR attributes of all candidates

子任务 候选资源	L1		L2			L3	
	r11	r12	r21	r22	r23	r31	r32
价格	1 000	950	4 500	3 900	4 200	800	720
时间	55	60	20	25	30	10	20
质量	4	5	4	5	4	3	5
可靠度	5	3	3	4	5	5	4

表 2 各候选资源间的连接代价表  
Tab.2 Plink between two candidates

候选资源	r11	r12	r21	r22	r23	r31	r32
r11	0	0	50	100	200	0	0
r12	0	0	80	50	150	0	0
r21	50	80	0	0	0	20	18
r22	100	50	0	0	0	40	32
r23	200	150	0	0	0	50	15
r31	0	0	20	40	50	0	0
r32	0	0	18	32	15	0	0

表 3 各候选资源间的连接时间表  
Tab.3 Tlink between two candidates

候选资源	r11	r12	r21	r22	r23	r31	r32
r11	0	0	5	9	12	0	0
r12	0	0	8	20	10	0	0
r21	5	8	0	0	0	8	5
r22	9	20	0	0	0	5	10
r23	12	10	0	0	0	6	9
r31	0	0	8	5	6	0	0
r32	0	0	5	10	9	0	0

遗传算法选用整数编码方案<sup>[9]</sup>,每个基因位的整数代表对应子任务所选的资源编号.编号范围是从 1 到该子任务候选资源个数.而每个基因位的位置编号对应各子任务编号.适应度函数取式(2)中的  $f(x)$ ,  $f(x)$  值越大,适应度越高.用随机遍历抽样方法选择个体.采用精英保留策略使得当前种群

中适应度大的若干个体被连续复制到下一代种群中.交叉采用多点交叉算子,交叉概率选 0.7,变异概率选 0.02.权重向量可按文献[3]中的方法选取(0.565 0, 0.117 5, 0.055 3, 0.262 2).综合运用多 Agent 开发工具 JADE 和遗传算法工具包 JGAP 进行仿真的实验结果如图 1 和图 2 所示.

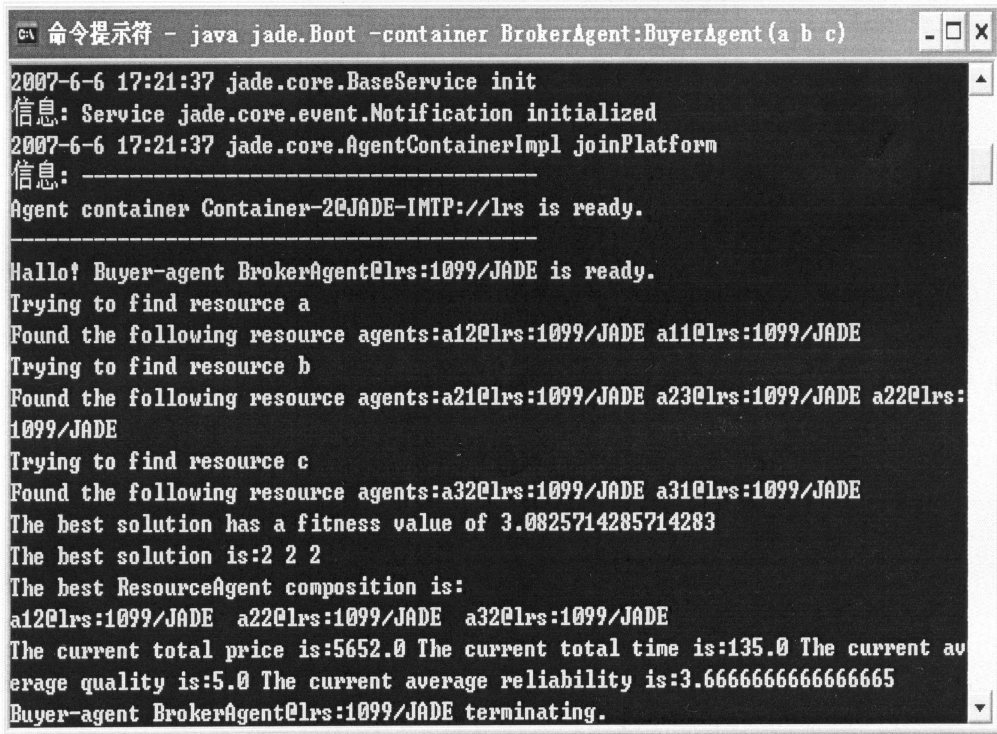


图 2 仿真结果界面  
Fig-2 Snapshot of simulation result

## 5 结语

将网格技术与多 Agent 技术综合应用到网络化制造形成制造网格是未来网络化制造发展的必然趋势.

仿真实验结果表明了本文提出的基于多 Agent 和遗传算法的制造网格资源调度方法的有效性.进一步的工作是提出更完整的基于多 Agent 的制造网格资源管理和调度模型,优化调度算法.同时将仿真实验扩展到网络环境下并分析其性能.

### 参考文献:

[1] 范玉顺,刘飞,祁国宁.网络化制造系统及其应用实践[M].北京:机械工业出版社,2004:258-268.  
[2] FOSTER I, JENNINGS N R, KESSELMAN C. Brain meets brawn; why grid and agents need each other [EB/OL]. (2004-07-23) [2007-05-20]. <http://www.semanticgrid.org/docu->

ments/003-foster\_i\_grid.pdf.  
[3] 刘丽兰,俞涛,施战备.制造网格中基于服务质量的资源调度研究[J].计算机集成制造系统,2005,11(4):475-480.  
[4] 杨叔子,吴波,胡春华,等.网络化制造与企业集成[J].中国机械工程,2000,11(1,2):45-48.  
[5] 沈彬,刘丽兰,俞涛.制造网格中基于 SLA 的资源管理模型[J].计算机应用,2006,26(2):512-514.  
[6] CARIE G. JADE tutorial: JADE programming for beginners [EB/OL]. (2003-12-04) [2007-05-20]. [http://jade.tilab.com/doc/JADE Programming-Tutorial-for-beginners.pdf](http://jade.tilab.com/doc/JADE%20Programming%20Tutorial%20for%20beginners.pdf).  
[7] BELLIFEMINE F, CARIE G, TRUCCO T. JADE programmer's guide [EB/OL]. (2005-11-22) [2007-05-20]. [http://jade.tilab.com/doc/JADE Programming-Tutorial-for-beginners.pdf](http://jade.tilab.com/doc/JADE%20Programming%20Tutorial%20for%20beginners.pdf).  
[8] 冯蔚东,陈剑,赵纯均.基于遗传算法的动态联盟伙伴选择过程及优化模型[J].清华大学学报:自然科学版,2000,40(10):120-124.  
[9] 王淑佩,林亚平,易叶青.一种新的基于小生境的自适应遗传算法[J].兰州理工大学学报,2006,32(5):83-87.