

文章编号: 1001-0920(2005)11-1245-06

基于多 Agent 的人力资源再分配系统协商算法研究

李祥全, 王宁生, 龙文, 吴义生

(南京航空航天大学 CMS 工程研究中心, 南京 210016)

摘要: 针对组织网络化后各项目组存在的过剩任务和过剩人力资源的平衡问题, 提出了基于多 Agent 且具备两种工作模式的人力资源再分配系统。在描述系统结构的基础上, 研究了协商算法, 改进了多标准的协商协议, 并引入了 Agent 结盟机制。最后运用实例说明了多标准协商 Agent 之间如何通过结盟进行协商并最终获取最佳方案。

关键词: 人力资源再分配; Agent; 多标准协商; Agent 结盟

中图分类号: TP311

文献标识码: A

Negotiation Algorithms of Human Resource Redistribution System Based on Multi-agent

L I X iang-quan, W A N G N ing-sheng, L O N G W en, W U Y i-sheng

(CMS Engineering Research Center, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China

Correspondent: L I X iang-quan, E-mail: li_xiangquan@sina.com)

Abstract: For the balance problem of the "surplus resource" and "surplus tasks" among a group of project units, a computer system with two working modes responsible for human resource redistribution to realize the dynamic load balance is presented. The system architecture is based on intelligent agents. The overall multi-agent system architecture is presented and the employed techniques are explained, with emphasis on the specific multi-criteria negotiation and agent coalition formation protocols. In order to support the particularities of the application, the multi-criteria coalition negotiation algorithms and strategies are developed. Finally, an application example is given to illustrate the reached solution for a concrete scenario.

Key words: Human resource redistribution; Agent; Multi-criteria negotiation; Agent coalition formation

1 引言

目前,许多企业引入了扁平化、网络化的组织模式,如制造业、建筑业、电信业和家电服务业等,并由此引入了人力资源再分配问题。在网络化组织中,各个项目组所处的地理位置不同,具备的人力资源种类、能力、数量以及所接受的任务也有所不同,因此在某段时间可能出现过剩人力资源和过剩任务。如何对各小组内的过剩人力资源和过剩任务进行适当平衡,以提高市场响应速度、客户满意度和人力资源的利用率,便成为一个迫切需要解决的问题。

人力资源的再分配涉及到过剩人力资源的种

类、数量、熟练程度、使用成本、状态(闲置程度)、地理位置、最大旅行距离、空闲时间和过剩任务的种类、数量、状态(优先级)、地理位置、工作时间段、对人力资源的技术要求等因素,是一个多目标优化问题。在这些影响因素中,最大旅行距离(网络化组织中的过剩人员在相互调用的过程中,可能需要从一个工作地点调动到另一个工作地点,而他们愿意调动到的工作地与他们目前所处位置之间的最大距离)和时间是强制性约束,其他是软约束。可以使用总成本(人力资源的使用价格)最小、任务完成时间最短、总体人力资源使用率最高等指标来衡量人力资源的动态负载平衡,并使用市场机制对其进行调

收稿日期: 2004-11-10; 修回日期: 2005-01-10

基金项目: 国家科技部基金项目(2002E0691036)

作者简介: 李祥全(1979—),男,山东蒙阴人,博士生,从事计算机集成制造系统、工业建模等研究;王宁生(1936—),男,南京人,教授,博士生导师,从事FM S、CMS 等研究

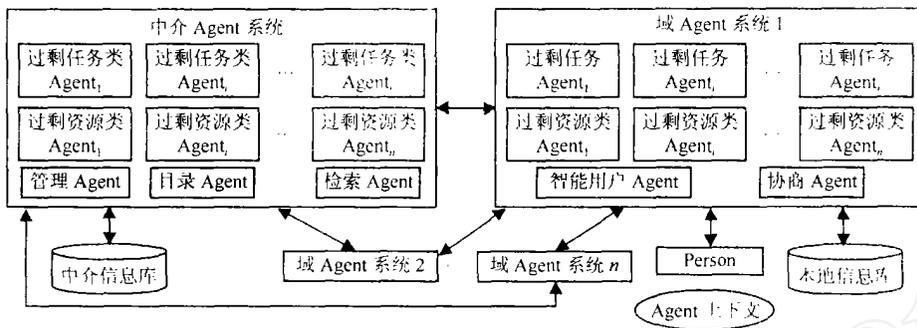


图1 基于Agent的人力资源再分配系统框架

节

本文将多Agent技术应用到人力资源再分配系统来实现人力资源的动态负载平衡,并对其协商算法进行研究,探讨了多标准协商Agent之间的结盟机制

2 系统结构

该系统主要是由一个中介Agent系统和多个域Agent系统互连而成的组织网络。各个域Agent系统设计为局部和全局两种工作模式。在局部模式下,各个域Agent尽可能地解决本地人力资源的分配问题,当本地的人力资源不能满足任务的约束时,就会出现部分过剩人力资源和过剩任务。此时各个域Agent系统进入全局模式,通过中介Agent系统的中介作用向其他能提供合作的各个域Agent系统发布供求信息,通过市场机制实现人力资源的再分配,实现全局人力资源的最大利用和动态平衡。其概念模型如图1所示。

图中各个Agent的职能如下:

1) 中介Agent: 是实现系统分布式透明性的关键,主要负责收集、管理、统计、查询各种Agent信息资源,按功能分类建立各种过剩人力资源类Agent以及短缺人力资源类Agent,同时担当可信任的安全认证中心,保证各Agent子系统之间的安全通信机制。

2) 域Agent: 是各个人力资源部门的代表,由该部门经理通过人力资源的调度,对本部门的人力和工作任务进行匹配后,确定该部门所拥有的过剩人力资源和短缺人力资源。

3) 过剩资源类Agent: 是由中介Agent创建的各种过剩资源的类Agent。每种过剩资源都由一系列的描述参数定义: N 代表资源类型的名称, T 代表资源空闲时间段, P 代表资源的使用价格, K 代表该种人力资源所能完成的任务种类, Q 代表熟练程度, L 代表资源目前所处位置, D 代表该人力资源愿意接受任务的工作地理范围, S 代表资源状态, R 代表使用该资源的风险程度。因此对每种过剩人

力资源的描述是一个9元组 $O\{N, T, P, K, Q, L, D, S, R\}$ 。

4) 过剩任务(短缺资源)类Agent: 是由中介Agent创建的各种过剩任务的类Agent。每种过剩任务都由一系列的描述参数定义: N 代表任务类型名称, T 代表任务实施时间段, P 代表对人力资源的报价, K 代表需要的人力资源种类, Q 代表要求人力资源的熟练程度, L 代表任务实施位置, D 代表任务要求人力资源能工作的地理范围, S 代表任务状态, R 代表对人力资源要求的风险程度。因此对每种过剩任务的描述是一个9元组 $O\{N, T, P, K, Q, L, D, S, R\}$ 。

5) 过剩资源Agent: 是管理过剩资源的Agent。

6) 过剩任务Agent: 是管理过剩任务的Agent。

7) 智能用户Agent: 是为用户提供服务,以友好的方式接收用户请求和返回结果的Agent。

8) 检索Agent: 是中介Agent为各域Agent提供信息检索服务的Agent。

9) 协商Agent: 是各Agent之间进行协商的Agent。各域Agent可以通过它在中介Agent注册,查询所有可以满足本域的过剩资源和过剩任务,并在接收到查询的资源结果集或者当前过剩任务的结果集后,通过查询中介Agent上所提供的地址目录Agent查得可能的合作对象的地址,然后分别与对应协商Agent进行协商,达成一致结果。

3 协商算法

在当前各种多Agent的协商算法中,大多是对价格的评价和协商^[1,2],这虽然符合市场经济的规律^[3],但过于简单化和理想化,特别是在人力资源再分配的过程中,除了价格之外还有很多影响因素。因此该系统的协商应是一个多标准的协商^[4],而不是单一针对价格进行评判。

本文在该系统中引入并改进了多标准协商协议^[5,6],同时引入了Agent结盟机制,具有相当大的灵活性,目前已在一些研究中得到了应用^[7-10]。在该系统运行过程中,采用两种方式来实现人力资源

的再分配: 一种是以过剩任务为先导, 寻求与过剩资源的对接; 另一种是以过剩资源为先导, 寻求与过剩任务的对接

3.1 过剩任务主导的人力资源再分配协商算法

过剩任务主导的人力资源再分配协商算法步骤如下:

Step 1: 资源需求信息发布 域 Agent 首先细化本域的过剩任务, 交给若干过剩任务 Agent, 过剩任务 Agent 并发地向所有能提供相应过剩资源的 Agent 广播

Step 2: 任务评价 相应的过剩资源 Agent 对该任务的技能需求、价格以及风险等属性进行评价和投标

Step 3: 选择阶段 过剩任务 Agent 根据收到的标书和自身的策略进行评价, 拒绝不适合的投标者, 选出具有较好效用值的投标者

Step 4: 市场调控 如果当前没有被拒绝的投标者大于一个而且选择时间没有结束, 过剩任务 Agent 便通知那些没有被拒绝的投标者当前所收到的最好的投标效用值; 否则转到 Step 6

Step 5: 标书修订 收到当前投标最好效用值的过剩资源 Agent, 对自身能提供更好效用值的几率进行评价 如果不能提供更好的效用值, 就退出该投标过程并通知过剩任务 Agent; 如果能提供更好的效用值, 则重新进行投标, 并转到 Step 4

Step 6: 过剩任务 Agent 选择最后留下的一个投标者, 或当时间结束时具有最好投标效用值的过剩资源 Agent, 作为合作者

在以过剩任务为先导的协商过程中, 可能出现几个过剩资源 Agent 结盟的情况 当几个单 Agent 在投标过程中提供的价格和能力等属性不具备优势时, 组成一个同盟去与其他的 Agent 或 Agent 同盟竞争, 则有可能取得优势 例如某项工程有一定量的焊接工作, 在同样的时间段内, 如果由技术等级高的焊工做, 只需 10 人即可完成 (使用价格相对较高, 相应的评价效用值较低); 如果由技术等级低的焊工做, 则需 15 人才能完成 (使用价格相对较低, 相应的效用值较高)。

考虑到在协商过程中允许 Agent 结盟的情况, 上述协商算法要在 Step 3~ Step 5 阶段作相应的修改

Step 3: 选择阶段 过剩任务 Agent 根据收到的标书和自身的策略进行评价, 拒绝不适合的投标者, 由过剩任务 Agent 根据一系列的约束条件计算出一些可能的结盟 Agent, 并通知这些结盟 Agent 中的某一个, 授权其作为该同盟的协调 Agent 由该协调

Agent 通知其他同盟 Agent, 负责该同盟各个 Agent 之间的价格等属性的内部调整, 从而实现该同盟的效用值调整 最后由过剩任务 Agent 选择出当前效用值最高者 同盟可由一个 Agent 组成, 也可由多个 Agent 组成

Step 4: 市场调控 如果当前没有被拒绝的投标协调 Agent 大于一个且选择时间没有结束, 则过剩任务 Agent 通知没有被拒绝的投标协调 Agent 当前所收到的最好的投标效用值; 否则转到 Step 6

Step 5: 标书修订 收到当前投标最高效用值的协调 Agent 对本同盟能提供更好效用值的几率进行评价 它将与同盟内部的其他 Agent 进行协商, 如果不能提供更好的效用值, 就退出该投标过程并通知过剩任务 Agent; 如果能提供更好的效用值, 则重新进行投标, 并转到 Step 4

Step 6: 过剩任务 Agent 选择最后留下的一个协调 Agent, 或当时间结束时具有最好投标效用值的协调 Agent, 作为合作者

3.2 过剩资源主导的人力资源再分配协商算法

过剩资源主导的人力资源再分配协商算法步骤如下:

Step 1: 资源出卖信息发布 域 Agent 首先细化本域的过剩资源, 交给若干过剩资源 Agent, 过剩资源 Agent 并发地向所有需要相应过剩资源的过剩任务 Agent 广播

Step 2: 资源评价 相应的过剩任务 Agent 对该资源的技术等级、价格以及风险等属性进行评价和投标

Step 3: 选择阶段 过剩资源 Agent 根据收到的标书和自身的策略进行评价, 拒绝不适合的投标者, 选出具有较好投标效用值的投标者

Step 4: 市场调控 如果当前没有被拒绝的投标者大于一个且选择时间没有结束, 则过剩资源 Agent 通知没有被拒绝的投标者当前所收到的最好投标效用值; 否则转到 Step 6

Step 5: 价格调整 收到当前投标最高价格的过剩任务 Agent, 对自身能提供更好投标效用值的几率进行评价 如果不能提供更好的价格, 就退出该投标过程并通知过剩资源 Agent; 如果能提供更好的效用值, 则重新进行投标, 并转到 Step 4

Step 6: 过剩资源 Agent 选择最后留下的一个投标者, 或当时间结束时具有最好投标效用值的过剩任务 Agent, 作为合作者

在以过剩资源为先导的协商过程中, 也会出现几个过剩任务 Agent 结盟的情况 当几个单 Agent 在投标过程中提供的任务量、工作距离和价格不具

备优势时, 它们组成的同盟去与其他的 Agent 或 Agent 同盟竞争, 则有可能取得优势 例如某一部门具有一部分钢筋工和泥瓦工在某一时间段内处于过剩状态, 同样的时间段内, 在距离相近的几个工作地点工作比去几个相互分散的地点工作所耗费的成本低; 同时由于几个任务 Agent 的结盟, 它们的工作量比其他单个 Agent 的工作量要大, 因此过剩资源相对处于稳定的工作状态, 会降低风险, 提高效率

考虑到在协商过程中允许 Agent 结盟的情况, 上述协商算法在 Step 3~ Step 5 阶段作相应的修改

Step 3: 选择阶段 过剩资源 Agent 根据收到的标书和自身的策略进行评价, 拒绝不适合的投标者, 由过剩资源 Agent 根据一系列的约束条件计算出一些可能的结盟 Agent, 并通知这些结盟 Agent 中的某一个, 授权其作为该同盟的协调 Agent 由该协调 Agent 通知其他同盟 Agent, 负责该同盟各个 Agent 之间价格的内部调整, 实现该同盟的价格、风险等属性的调整, 从而引起效用值的调整, 最后由过剩资源 Agent 选择出当前效用值最优者 同盟可由一个 Agent 组成, 也可由多个 Agent 组成

Step 4: 市场调控 如果当前没有被拒绝的投标协调 Agent 大于一个且选择时间没有结束, 则过剩资源 Agent 通知没有被拒绝的投标协调 Agent 当前所收到的最好的投标效用值; 否则转到 Step 6

Step 5: 价格调整 收到当前投标最优效用值的协调 Agent 对本同盟能提供更好效用值的几率进行评价, 它将与同盟内部的其他 Agent 进行协商, 如果不能提供更好的效用值, 就退出该投标过程并通知过剩任务 Agent; 如果能提供更好的效用值, 则重新进行投标, 并转到 Step 4

Step 6: 资源 Agent 选择最后留下的一个协调

Agent, 或当时间结束时具有最好投标效用值的协调 Agent, 作为合作者

3.3 标书评价

在协商的过程中, 标书用一个读属性的效用函数来评价, 对每个有资格的标书, 其属性值需验证是否满足约束, 如果这些属性值不满足约束, 则将其值设为零. 每一个属性都被加权, 其效用函数表示如下:

$$E(v) = \sum_{i=1}^n w_i c(v_i), \quad (1)$$

$$c(v_i) = \begin{cases} T[v_i], p_i \text{ 离散,} \\ \frac{v_i - \min_i}{\max_i - \min_i} (T[\max_i] - T[\min_i]) + T[\min_i], p_i \text{ 连续} \end{cases} \quad (2)$$

其中: n 为参数数目, p_i 为第 i 个属性的参数类型, w_i 为第 i 个属性参数的权重, $T[v_i]$ 为评价者给予第 i 个属性的参数值相应评价值, \max_i 为第 i 个属性的参数最大值, \min_i 为第 i 个属性的参数最小值, $c(v_i)$ 为第 i 个属性的参数值对应得到的评价值

4 应用实例

某软件公司在 2005 年 1 月 2 日~ 2005 年 5 月 1 日之间需要引进一批软件开发人员, 每个合作伙伴的属性、约束、值、相应的评价值和权重如表 1 所示

该 Agent 将此需求通知发布给各相应的 Agent, 各 Agent 根据自身情况进行投标回复. 假设有 6 个 Agent 能够提供该种资源并进行投标恢复, 相应的属性和值如表 2 所示

价格和风险的最大调整幅度对于资源引进者是不可见的, 任务 Agent 对这 6 个 Agent 的投标值进行计算, 得出单个 Agent 的资源能力不足. 因此任务 Agent 根据计算的投标值选择一些同盟来承担此项任务, 具体组成的同盟如表 3 所示

表 1 人力资源引进者参数

		资源类型						工作年限		技术等级	
权重		60						15		25	
类型		D						C		D	
值	JAVA	XML	HTML	JAVA	JAVA	XML	JAVA				
				XML	HTML	HTML	XML	2	10	初	中
							HTML			高	
评价值	15	12	8	20	18	15	25	5	15	5	10
	价格		风险		空闲时间段		可获程度		当前地点/kM		能否出差
权重	50		30		30		25		20		15
类型	C		C		C		C		C		D
值	1 000	8 000	10%	100%	2005-01-01	2005-05-01	50%	100%	1	800	Y
评价值	40	5	20	2	20	3	5	10	20	3	15

表 2 各 Agent 的属性、权重及其评价

投标者	Agent-A	Agent-B	Agent-C	Agent-D	Agent-E	Agent-F
资源类型	JAVA HTML	JAVA XML	XML HTML	JAVA	JAVA XML HTML	HTML
工作年限	5	6	4	3	7	2
技术等级	高	高	中	中	高	初
价格/月	5 000	6 000	4 000	3 500	7 000	2 500
价格最大调幅/%	10	15	12	20	20	10
风险/%	70	75	65	60	85	90
最小风险/%	50	45	50	45	50	70
起始时间	2005-01-01	2005-01-01	2005-01-01	2005-01-01	2005-01-01	2005-01-01
结束时间	2005-05-01	2005-05-01	2005-05-01	2005-05-01	2005-05-01	2005-05-01
可获程度/%	100	80	70	80	50	100
当前地点/km	10	100	30	50	100	30
能否出差	Y	N	N	N	N	N

表 3 协商中标书的演化过程

同盟	同盟组	初始标值	第 1 轮	第 2 轮	第 3 轮	第 4 轮	第 5 轮	第 6 轮
1	AB	3 280	3 505	3 555	3 690	3 750	x	
2	AC	3 458	*	3 571	3 683	3 793	*	x
3	ACF	3 180	x					
4	AE	3 229	3 529	3 679	*	x		
5	BC	3 320	3 545	*	3 695	3 755	3 808	x
6	BDF	3 178	3 478	3 628	3 700	x		
7	BF	3 107	3 520	x				
8	CDF	3 358	3 483	3 596	3 703	x		
9	CDE	3 231	3 506	3 581	3 706	x		
10	DE	3 348	3 479	3 611	3 742	*	3 873	*
11	EF	3 053	3 466	3 556	x			

注: * 代表领先同盟不发出任何消息, x 代表该同盟发出退出消息

其他所有可能组成的同盟因为不符合一些约束或者没有足够的能力及能力冗余都立即被删除了。在完成同盟的选择之后, 任务 Agent 还要分别为各个同盟选出其协调 Agent, 在表 3 中以黑体和斜体标示。在对每个同盟进行评价时, 资源能力和价格进行叠加, 风险由资源成本减去违约金与成本的比值计算求得, 因此同盟风险也由总成本减去总违约金与总成本的比值计算求得。而工作年限、技术等级、当前地点及能否出差等都由均值获得, 可获程度由交集获得, 即取最小值。在该协商过程中遵循的一个原则是, 所有同盟的价格每次都以初始成本的 5% 的差额递减, 以求得大于上一轮谈判得到的最佳投标值, 直到降低到工资的最低值为止; 然后继续以 5% 的差额递减风险值, 直到降低到最低为止。

在协商过程中, 当一个 Agent 同时属于多个同盟参与竞争时, 属性值的变化会同时影响到多个同盟的效用值并进而影响到竞争结果, 因此采用冻结策略来处理^[10], 此时, 当前领先同盟的成员在失去领先地位之前不会改变自身的属性值。

在本例中, 通过初始投标得知同盟 2 为领先同盟, 第 1 轮协商开始后, 同盟 2 被建议冻结其属性值, 其他同盟在接到当前的最佳投标值 (3 458) 后, 按照上述两个原则通过计算得出一个更好的标书重新进行投标。从表 3 中可以看出, 第 1 轮协商后得到一个新的最佳投标值 3 545。在这轮协商过程中, 同盟 3 因无法击败当前最佳投标值 3 458 而退出。通过 6 轮协商后此时得到最佳同盟为同盟 10, 其他 10 个同盟都已退出。注意到在每轮协商的过程中, 上一轮的领先同盟不提供新的投标值, 以黑体表示该同盟被冻结。

5 结 语

人力资源再分配问题是现代社会组织网络化、扁平化后迫切需要解决的问题。多 Agent 系统是一种建立在分布自治基础上并集成智能、功能的方法, 利用多 Agent 技术实现人力资源再分配具有实际应用价值。本文描述了基于多 Agent 的人力资源再分配系统, 并研究了协商算法, 引入了多标准的协商协议并进行改进, 同时引入了 Agent 结盟机制, 具有较大的灵活性和创新性。最后运用一个实例, 说明了多标准协商 Agent 之间如何通过结盟来进行协商并最终获取最佳方案的过程。

下一步的研究工作是在人力资源再分配系统中引入本体技术, 在中介 Agent 系统和各个域 Agent 系统中建立人力资源本体, 提高系统之间的交互能

力, 进而提高人力资源再分配系统的整体性能

参考文献(References)

- [1] 郭锐锋, 于东, 刘明烈, 等. 基于合同网的任务分配方法的研究[J]. *小型微型计算机系统*, 1999, 20(10): 740-743
(Guo R F, Yu D, Liu M L, et al. Research of Task of Task Allocation Based on Contract Net[J]. *Mini-micro Systems*, 1999, 20(10): 740-743)
- [2] Collins J, Gini M. A Testbed for Multi-agent Contracting for Supply-chain Formation [EB/OL]. <http://www.cs.umn.edu/Research/airvl/magnet/papers/agents01w>, 2001-08-02
- [3] Wellman M, Wurman P. Market-aware Agents for a Multi-agent World [J]. *Robotics and Autonomous Systems*, 1998, 24(3-4): 115-125
- [4] 钟诗胜, 汤新民. 基于多智能体和合同网的虚拟企业伙伴选择[J]. *计算机集成制造系统*, 2004, 10(9): 1109-1113
(Zhong S S, Tang X M. Partner Selection of Virtual Enterprise Based on Multi-agent and Contract-net Technology [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2004, 10(9): 1109-1113)
- [5] Sierra C, Jennings N, Noriega P, et al. A Framework for Argumentation Based Negotiation [A]. *Intelligent Agents IV: Proc of the 4th Int Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages* [C]. Berlin: Springer-Verlag, 1998: 177-192
- [6] Vulkan N, Jennings N R. Efficient Mechanisms for the Supply of Services in Multi-agent Environments [J]. *Int J of Decision Support Systems*, 2000, 28(1-2): 5-19
- [7] Shehory O, Kraus S. *Coalition Formation Among Autonomous Agents: Strategies and Complexity* [R]. Berlin: Springer-Verlag, 1993: 57-72
- [8] Oliveira E, Fonseca J M, Garcao A S. Multi-criteria Negotiation in Multi-agent Systems [EB/OL]. <http://www.fe.up.pt/~eol/PUBLICATIONS/ceemas99>, 2002-04-24
- [9] Kraus S, Wilkenfeld J, Zlotkin G. Multi-agent Negotiation Under Time Constraints [J]. *Artificial Intelligence*, 1995, 75(2): 297-345
- [10] Oliveira E, Fonseca J M, Garcao A S. MACM - ADA I Based Resource Management System [J]. *Int J on Applied Artificial Intelligence*, 1997, 11(6): 525-550

(上接第1244页)

- [7] 邓卫华, 张波, 丘东元, 等. 电流连续型Boost变换器状态反馈精确线性化与非线性PD控制研究[J]. *中国电机工程学报*, 2004, 24(8): 45-50
(Deng W H, Zhang B, Qiu D Y, et al. The Research of State Variable Feedback Linearization Method on the CCM Boost Converter and Nonlinear PD Control Law [J]. *Proc of CSEE*, 2004, 24(8): 45-50)
- [8] Zhang X K, Jia X L. Simplification of H_{∞} Mixed Sensitivity Algorithm and Its Application [J]. *Automatic Control and Computer Sciences*, 2002, 36(3): 28-33
- [9] 张显库, 贾欣乐. 求PD参数新方法[J]. *系统工程与电子技术*, 2000, 22(8): 4-5
(Zhang X K, Jia X L. A New Method for Solving PD Parameters [J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2000, 22(8): 4-5)
- [10] 张显库, 贾欣乐. 用闭环增益成形算法的精馏塔鲁棒控制[J]. *系统工程与电子技术*, 2001, 23(5): 15-18
(Zhang X K, Jia X L. Robust Control of a High Purity Distillation Column Using Closed-loop Gain Shaping Algorithm [J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2001, 23(5): 15-18)
- [11] 张显库, 张丽坤, 贾欣乐. 非方阵被控对象闭环增益成形算法及其应用[J]. *大连海事大学学报*, 2001, 27(2): 63-67.
(Zhang X K, Zhang L K, Jia X L. Closed-loop Gain Shaping Algorithm with Unsquare Matrix Plant and Its Application [J]. *J of Dalian Maritime University*, 2001, 27(2): 63-67.)
- [12] 张显库, 贾欣乐, 刘川. 响应型船舶运动数学模型的构造[J]. *大连海事大学学报*, 2004, 30(1): 18-21.
(Zhang X K, Jia X L, Liu C. Research on Responding Ship Motion Mathematical Model [J]. *J of Dalian Maritime University*, 2004, 30(1): 18-21.)