

# 基于协商的智能排课系统的研究

王 璐<sup>1</sup> 邱玉辉<sup>2</sup>

(西南大学计算机与信息科学学院<sup>1</sup> 西南大学智能软件与软件工程重点实验室<sup>2</sup> 重庆 400715)

**摘要** 多 Agent 系统作为近年来人工智能领域中的研究热点已在多个应用领域中取得了许多研究成果。多 Agent 系统便于建模和实现复杂、庞大的应用系统,是一种新的软件开发范例。本文提出了一种基于协商的智能排课系统框架就是以高校排课为应用背景来研究多 Agent 系统中的理论和技术实现问题。研究通过多 Agent 之间的协商使得排课系统能够兼顾教师的意愿,提高教师满意度。本文首先介绍一下排课的基本问题;其次介绍研究提出的基于协商的排课系统的构架,说明多 Agent 系统中不同 Agent 的任务;然后给出系统的流程设计;讨论协商在系统中的应用;最后是系统的试验以及结论。

**关键词** 多 Agent 系统,协商,排课系统

## Research of Intellective Class Scheduling System Based on Negotiation

WANG Lu<sup>1</sup> QIU Yu-Hui<sup>2</sup>

(Faculty of Computer and Information Science, Southwest University, Chongqing 400715)<sup>1</sup>

(Key Lab of Intelligent Software and Software Engineering, Southwest University, Chongqing 400715)<sup>2</sup>

**Abstract** Multi-Agent Systems has become the focus of artificial intelligence in recent years. It generates lots of excitements because of the promise as a new paradigm for modeling and implementing complex, large-scale systems. On the purpose of research theories and technologies in Multi-Agent Systems, this research proposes the frame of intellective class scheduling system. Based on the negotiation techniques of Multi-Agent Systems, the study aims to concern about majority teachers' expectations, intending to solve teacher's satisfaction problem of course timetable. First, we present some basic problems about class scheduling. Second, we present a multi-agent model of class scheduling system where heterogeneous agents have different tasks. Third, we define the process of the class scheduling system. Following that, we discuss the application about negotiation for the multi-agent scheduling system. In the next part, some experiments for class scheduling are introduced. Finally, we conclude on the perspectives of future researches and developments for the new generation of our systems.

**Keywords** Multi-Agent system, Negotiation, Class scheduling system

## 1 引言

多 Agent 系统(Multi-Agent Systems)是计算机科学中比较新的一个分支,从 20 世纪 80 年代才开始研究,而直到 20 世纪 90 年代中才得到广泛的认同。从此以后国际上对这一领域的兴趣大为增加。MAS 是由多个 Agent 组成的 Agent 社会,是一种分布式自主系统。MAS 的表现是通过 Agent 之间的交互实现的,这种交互不是简单的交换数据,而是参与某种社会行为,就像我们在每天的生活中发生的那样:合作、协作和协商等。多 Agent 系统主要研究多个 Agent 为了联合采取行动或求解问题,如何协调各自的知识、目标、策略和规则。在表达实际系统时,MAS 是通过各个 Agent 之间的通讯、合作、协调、调度、管理和控制来表达系统的结果、功能和行为特性。由于在同一个 MAS 中的各个 Agent 异构,因此多 Agent 技术对于描述系统具有无可比拟的表达能力,它为各种实际系统的实现提供了一种可行的模型,从而也为各种实际的系统的研究提供了一种可行的框架。对于理解和构造各种所谓的人工社会系统来说,MAS 就是一个非常贴切的比喻。MAS 的思想并不局限于某个特定的领域,它的应用领域十分

广泛,具有潜在的巨大市场。本文提出的智能排课系统框架就是以高校排课任务为背景来研究多 Agent 理论和技术实现问题。

排课系统是学校教务管理中最重要也是最复杂的部分之一,已经成为国内外众多高校研究的课题,也取得了许多这方面的理论成果和实现方法。最常见的求解方法有遗传算法、人工神经网络、二分图及图着色理论、模拟退火法等等<sup>[7]</sup>。但是由于排课需要考虑教师、教室、学生、授课时间、教学设备、教师要求等多方面约束,使得真正能够很好解决排课的软件却很少。近年来,随着人工智能技术的发展,利用多 Agent 技术来实现排课系统已经成为了一个热门的话题<sup>[1,2]</sup>。就排课问题而言,其实质就是要在教师、教室、班级、课程、时间、教学设备等要素一定的条件下,寻求一种合理的复杂的资源分配问题。本研究提出了基于协商的智能排课系统的研究目的就在于探讨如何以多 Agent 之间的协商规划来合理地进行资源分配,弥补排课系统无法兼顾教师意愿的缺失。

## 2 排课中的基本问题

就国内高校规定学制来看,每个学年有两个学期,一周上

王 璐 硕士研究生,主要研究方向为人工智能,协商。邱玉辉 教授,博士生导师,主要研究方向为人工智能,多 Agent 技术。

五天课,一天大概有八节课,上午五节课,下午三节课。排课的时候要考虑同一教师在不同的课程上不应有时间的冲突;同一班级的不同的课程在时间上不应有冲突;一门课程对教室和教学设备的占用,不应浪费资源。考虑一门连堂课程在一周之间的时间间隔等等。禁止在排课的时候发生教室、教师、时间、教学设备的冲突。

研究中把教师看成一类资源,教室以及教学设备看成一类资源,时间看成一类资源。排课问题定义是有时间、空间和课程等元素组合而成的。但是在实际的应用的时候需要引进其他相关元素或者细分一个元素才能构建一个可行的系统。

(1)教师 本研究要考虑在排课的过程中不同的教师在遭遇资源冲突时的优先权的差别。

(2)教室、授课地点和教学设备 本研究要考虑授课的教室、实验室等不能同时被两个授课所使用,而像操场、体育馆等场所却可能同时被多个授课所使用。

(3)班级或学生群体 本研究要考虑同一班级上课的学生授课课程相同,对于同一课程的上课学生可能有所不同,如选修课。

(4)课程 本研究要考虑某些课程在授课课堂的问题,如设备或是使用教室种类不同的授课教室。

(5)时间段 是指一门课程所需要的时间范围。针对高校行课的特点,本研究要考虑在排课的时候尽量把一门课程连堂排序。对于在一周内上两次的课程要考虑它们之间的时间间隔。

### 3 系统的模型构架

本研究的目的在于设计实现一套拟人化的多 Agent 系统的排课系统,重点强调考虑授课教师的个人期望。每一个 Agent 代表一个教师来建立一个多 Agent 环境。研究的关键在于不同教师 Agent 在资源冲突的过程中的协商。研究采用 Java 语言撰写,以 JADE(Java Agent Development Environment)的多 Agent 系统平台实作排课系统。

#### 3.1 系统构架

本系统的构架如图 1 所示。系统中包含用户界面 Agent (User Interface Agent, UIA)、教师 Agent (Teacher Agent, TA)、排课 Agent (Class Scheduling Agent, CSA)。

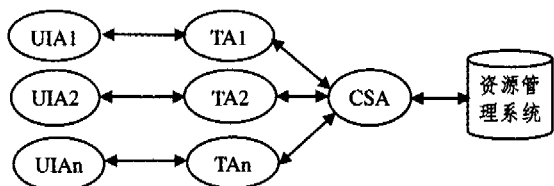


图 1 系统构架图

UIA 是教师与系统直接沟通的人机界面,教师通过 UIA 提交个人排课方案,同时教师通过 UIA 得到经过协商后的最终排课方案。TA 是代表每一个教师的 Agent,直接与排课 Agent CSA 交互协调,枚举每个教师的排课方案,传递教师的排课意愿,同时也将 CSA 排课的结果回传给 UIA;排课 Agent CSA 作为系统中校方代理,将教师群体、教室资源、教学设备资源和学生院系、班级结构等基础信息保存在系统底层的资源管理库,通过智能排课算法,将所有 TA 的方案与在系统基础信息上建立的约束条件进行最大资源协调,尽可能多地满足每个教师的排课期望。同时系统还设立了系统管理

员,管理系统资源库的基础信息及设定约束条件的优先级。

#### 3.2 系统中各个 Agent 主要的任务

用户界面 Agent (User Interface Agent):提供与教师沟通的人机界面,显示排课输入的界面;记录下教师的偏好,与历史偏好相比较;将教师排课期望传给 TA;输出排课结果给教师。

教师 Agent (Teacher Agent):检查教师排课期望;核实教师信息;将来自 UIA 的教师排课期望传给 CSA;与 CSA 进行协商;将排课结果回传给 UIA。

排课 Agent (Class Scheduling Agent):代表教务处来进行排课任务;决定排课班级的优先顺序;在资源冲突情况下,确定教师优先权;为每个教师进行排课,尽可能多地满足每个教师的需求;与各个 TA 进行协商分配资源;产生排课结果;将排课结果回传给 TA。

### 4 系统的流程设计

#### 4.1 排课系统的执行步骤

步骤 1:教师启动 UIA 进行排课,按照自己的意愿输入想要上课的时间、地点、科目和班级等个人信息。UIA 产生输入界面。

步骤 2:UIA 将教师期望的排课方案传给 TA。

步骤 3:TA 判断教师信息,与其他多个 TA 一起进入排课等待队列。TA 将教师排课期望传给 CSA。

步骤 4:CSA 连接资源管理库,更新缓存内的系统基础信息及约束条件。

步骤 5:CSA 按照先进先排的原则,对于同时排课的 TA,从排课等待队列中取出优先级最高的 TA 方案,并根据 TA 所代表的教师期望查找最能满足该 TA 要求的资源,如果有相应的资源提供不会和其他教师要求产生冲突的情况下就回应 TA,可以进行排课,生成课表。

步骤 6:如果 CSA 在查询教师排课要求的时候发现有资源冲突,就按照教师优先权的方式与 TA 进行协商,协商的过程 TA 根据教师的偏好来修改期望,向 CSA 提交新的排课意愿。

步骤 7:CSA 取得 TA 新的排课意愿,进行重新排课,重复步骤 5 和步骤 6,直至将所有的课程排完。

步骤 8:CSA 将更新后的排课结果回传给等待队列中相应的 TA。

步骤 9:TA 将排课结果回传给 UIA。

步骤 10:UIA 将排课结果显示给教师。

#### 4.2 各个 Agent 的详细设计

##### 4.2.1 用户界面 Agent 的详细设计

用户界面 Agent (UIA)用来产生输入界面和课表输出的 Agent。本研究的目的是为了能在排课过程中更好地体现教师意愿最大化的实现。为了向排课系统更好地表达自己的排课要求,教师必须将个人的排课期望完整地输入给 UIA,这些排课要求包括上课的时间、地点、个人的兴趣、特殊的要求等,如:教师 A 希望周一,周三上午排课;教师 B 希望开课的地点仅限于第一教学楼;教师 C 希望上课的时段尽量连排等等。当然教师的排课要求不仅仅只有一项,可以有多个排课期望。但是在多个期望中教师肯定有不同程度的偏好。为了更好地表述这些不同程度的偏好,本研究在设计系统的时候对于不同偏好的有不同权重值选取。我们假定每一个偏好的权重为 0~1。权重值是由输入偏好的教师自己来决

定的。输入的权重数值在规定范围 0~1 之间越高表明偏好的程度越深。教师在输入偏好的时候相应地给出该偏好的权重值。例如某教师在 UIA 输入排课偏好：周一、周三上午 (0.8)，授课地点第三教学楼 (0.2)。这里就可以看出该位教师授课时间的偏好是 0.8，地点偏好 0.2。当 CSA 排课的时候检测到有资源冲突的时候(不能在相应的时间取得相应的教室)我们就可以根据教师偏好的程度来进行协商，该例中，就优先考虑满足教师的时间偏好。这样通过 UIA 来记录教师的排课要求，可以避免将教师私密理由公开化，使得尽量满足教师个人偏好与人性化妥善考虑更好的结合。UIA 将教师的个人偏好记录下来与历史偏好作比较，更地了解教师的排课要求，为下次排课提供相应的历史数据。UIA 将得到的排课信息传送给教师 Agent(TA)进行下一步的处理。排课 Agent(CSA)将处理完的排课结果通过 TA 回传给 UIA。如果一次排课成功，UIA 将显示完成的课表；若排课有问题需要下一步的协商，修改教师的个人偏好，UIA 会显示出现问题的信息，再重新提交教师排课期望。

#### 4.2.2 教师 Agent 的详细设计

教师 Agent(TA)接受来自 UIA 的教师排课偏好将其传送给 CSA。若 CSA 排课成功，TA 将从 CSA 得到的排课结果回传给 UIA，若排课失败，则 TA 将排课失败信息回传给 UIA，根据教师排课偏好与 CSA 进行协商，协商过程在下一节会作详细的介绍。

#### 4.2.3 排课 Agent 的详细设计

排课 Agent(CSA)负责处理排课事宜，首先 CSA 接到 TA 送达的排课要求就连接资源管理库，查看是否有空的教室以及相应的时间等满足教师的排课要求。CSA 依照时段的先后来进行排课处理，时段在前的比在后的优先处理，对于同时进来要求排课的，按照教师优先权来处理。每一个教师的优先权值可以参考标准换算得到。优先权值=职称(教授、讲师、助教)×A+年资×B+职位(行政领导、辅导员)+特殊表现×C+历史权值点数 D。A、B、C 所占的百分系数可有教务处领导或相关人员来决定。对于历史权值点数 D 是指：每位教师在提出排课意愿达成该期望的时候就会消耗一定的权值，而因为与其他教师的排课意愿有冲突的在协商过程中让步后未能达成的教师，则相应的权值可以保留以后使用。这样可以使已经达成排课意愿的教师因消耗权值而不能提出过多的要求，而在这次排课中协商让步的教师则可以累积权值在下次的排课时有更多的机会达成排课意愿，实现公平的排课原则。若 CSA 查看资源满足 TA 的排课要求，就回应排

课成功。若有多个 TA 同时要求排课导致资源冲突而无法完成时，CSA 与各个 TA 协商，修改教师偏好重新排课。协商过程在下一节会作详细的介绍。

### 5 协商在系统中的应用

协商就是在一个系统中的 Agents 相互沟通协调为了某种利益而达成一致的观点<sup>[4,5]</sup>。一般来说，都是 Agent 之间有着利益关系，但是它们之间产生了冲突，需要调解来达成一致。在本研究中，系统中代表教师的 TA 在与 CSA 进行排课的时候，很可能同时有多个 TA 进来要求排课，那么这个时候它们之间就可能产生资源冲突。怎么在这些资源中协调好 TA 之间的利益是我们首要解决的难题<sup>[3,6]</sup>。研究引入了利用协商来进行资源分配的问题。我们可以这样形式化地描述问题：资源集合  $R: \{r_1, \dots, r_n\}$ ，系统中包含的 Agent:  $A: \{a_1, \dots, a_m\}$ ，对于系统中的每一个 Agent 我们定义一个约束条件:  $C_i = \{c_{i,1}, c_{i,2}, \dots, c_{i,m}\}$ ，对于系统中 TA 都有一个权重:  $W_{a_i}$ ，我们期望得到的目标就是:  $\max(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m W_{c_{i,j}} \cdot C_{i,j})$ 。

本研究的重点就在 CSA 与 TA 之间的协商。在排课过程中，CSA 是按照先进先排的原则进行排课，但如果多个 TA 同时进行排课，那么 CSA 就根据教师的优先权来与各个 TA 进行协商。下面我们就 TA 和 CSA 两种不同的协商作详细的介绍。

#### 5.1 TA 的协商

当 TA 收到 CSA 回传的资源冲突，无法进行排课的时候就进行协商。每一个 TA 代表一个教师，TA 根据教师过去累积的历史偏好记录、目前的排课期望主动规划教师理想的授课表初始值。对于教师的每一个偏好都有一个权重值，TA 与 CSA 进行协商的时候会优先考虑权重最大的偏好进行协商。如果 CSA 不能满足 TA 的最大偏好，就选择与第二个权重较大的偏好进行组合协商。协商结束时，如果仍然没有协商成功，TA 可提出与其他 TA 进行时段交换的要求来达成一致。在交换时段协商过程中我们要求交换的时段是等长的。

#### 5.2 CSA 的协商

当 CSA 检测到同时进行排课的 TA 有资源冲突的时候就与各个 TA 进行协商。协商的原则是按照教师的优先权来进行的。先考虑优先权值大的教师，后考虑优先权值小的教师。

具体的协商步骤如下图 2。

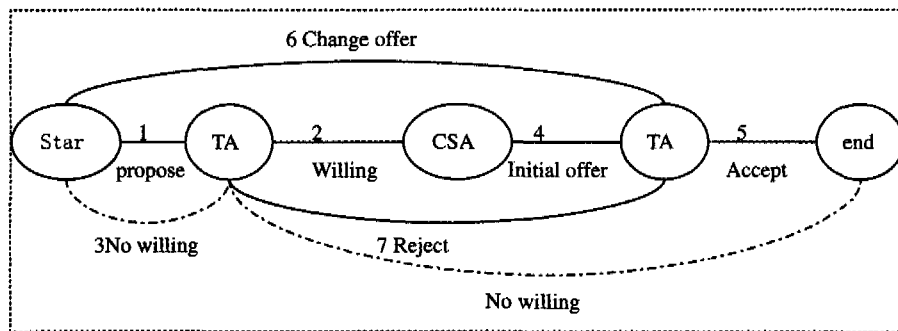


图 2 协商流程图

步骤 1: CSA 向 TA 提出协商信息。

步骤 2: TA 接到协商信息表明自己有参加协商的意愿；

如果在规定的时间内没有收到协商意愿，TA 可要求 CSA 再次发送协商信息。

步骤 3: TA 接到协商信息表明自己没有参加协商的意愿;协商结束。

步骤 4: TA 与有意协商的 CSA 进入协商状态,双方交换初始 offer;交换初始 offer 可以时 CSA 与 TA 同时交换,也可以是其中一方向另一方提供 offer(CSA 根据 TA 的排课期望提供接近的空教室,相邻时间段等资源信息)。

步骤 5: TA 收到 CSA 的 offer 后做出应答,如果同意修改排课偏好,以 Accept 作为应答,协商结束。

步骤 6: 如果参与协商的一方希望变更协商问题(增加或减少一个排课偏好),则可以 Change 作为应答;TA 可根据教师排课期望的偏好值依次增加或减少。

步骤 7: 如果参与协商的一方拒绝对方的 offer;则以 Reject 作为应答,或参与协商的一方退出,或到达协商限定时间,协商结束。

协商结束后没有达成排课要求的 TA,可提出与其他 TA 进行等长时段交换的要求来达成一致。这样确保每一个教师最后都能排课成功。

## 6 系统的试验

研究采用 Java 语言撰写,以 JADE(Java Agent Development Environment)的多 Agent 系统平台实作排课系统。本研究以某一大学一个学期的课程排列进行测试,结果如下:对 40 个班级进行了 120 个课程的排课试验,参加排课的 36 个教师第一次满足教师期望,成功安排教学资源的为 28,第一次排课消耗的时间为 7 分钟,在接下来的 5 次协商中,最长的消耗时间也仅为 25 分钟。与同类排课系统相比,大大提高了工作效率。在试验测试过程中,第一次排课教师满意度达到 86%,通过地点和时间的协商,90%以上的教师满意度都有所提高。这样的测试结果基本满足了学校排课工作的要求,同时在很大的程度上也满足了教师的排课期望,提高了排课质量。

**结论** 本研究是以高校排课为背景研究多 Agent 之间协

商问题。本文提出的系统构架在解决排课问题的基础上满足了教师个人排课的偏好,提高了教师对课表的满意度。本文利用多 Agent 之间的协商来代替教师之间的实际协调,降低了行政单位与教师之间以及教师与教师之间排课协调的时间。研究提出的以教师偏好来协商排课能在不违反公平正义的原则下满足多数教师的个人排课期望,避免教师因排课不公产生不满情绪而影响教学质量。本研究还有许多需要改进的地方。比如对于权值较低先进的 TA 与后进权值更高的 TA 之间怎样协调,使得更好地满足各个 TA 的排课期望;对于 TA 之间等长的时间段交换的协商都需要进一步的研究。

本文已经提出了一个以多 Agent 协商为设计理念的排课系统,也已经初步做出了一些试验结果,后续研究的重点将是实际学校课程作为原始资料来测试系统,验证系统的稳定性以及运作结果是否能达成相关的设计目标。

## 参考文献

- 1 Münch L, Stehli M, Schulz R. An Agent-Based Architecture for Solving Dynamic Resource Allocation Problems in Manufacturing. In: A. Verbraeck, W. Krug, eds. Proceeding 14th European Simulation, (c)SCS Europe BVBA, 2002
- 2 Aronsson M, Kreuger P, Sjöland T. Heterogeneous Scheduling and Rostering (Extended Abstract). <http://www.sics.se/%7Ealf/cotic/2000a.ps>, 2000
- 3 Fatima S S, Wooldridge M. Adaptive Task and Resource Allocation in Multi-Agent Systems. AGENTS'01, Montreal, Quebec, Canada, 2001
- 4 Wang LiChun, Chen ShiFu. A Multi-Agent Multi-Issue Negotiation Model [J]. Journal of Software, 2002, 13(8):1637~07
- 5 Kraus S, Wilkenfeld J, Zlotkin G. Multi-agent Negotiation under Time Constraints. Artificial Intelligence, 1995, 75:297~345
- 6 Kraus S, Schechter O. Strategic-negotiation for Sharing a Resource between Two Agents, Computational Intelligence, 2003, 19(1):9~41
- 7 唐勇,唐雪飞,王玲.基于遗传算法的排课系统[J].计算机应用,2002(10)

(上接第 202 页)

never the twain shall meet"? 参见 TREC 2002([http://trec.nist.gov/data/qa/2002\\_qadata/main\\_task\\_QAdata/t11\\_500-numbered.txt](http://trec.nist.gov/data/qa/2002_qadata/main_task_QAdata/t11_500-numbered.txt)).

相应的中文提问改为:谁提出了《相对论》?

英文提问:What is the name of CEO of Apricot Computer?

相应的中文提问改为:中科院的现任院长叫什么名字?

在这基础上,我们并且增加了对随机限定域下的提问的测试。

目前系统常识库中存在有 27887 条知识,对于 35 次预先设立的主题询问以及 50 次随机产生的限定域下的针对地址、联系方式、人物、数量等方面信息的询问或者错误的、无结果的、过于模糊的询问输入,系统一次做出正确回答的次数达到了 32 和 46 次,CWS(Confidence Weighted Score)=91.76%,高于在 TREC 会议中,一般基于结构数据库问答系统 70%左右的准确率。考虑机器自动生成结构化数据库的正确率 42.32%,系统总体表现性能为  $91.76\% * 42.32\% = 38.83\%$ ,仍然高于 TREC 会议的平均水平 30%。同时,我们将所实现的系统与之前完成的基于关键词的结构数据库 QA 系统的性能相比,基于内容分析的中文问答系统 CWS 提高了 25.3 个百分点(基于关键词的问答系统 CWS 为 66.45%)。这主要是由于采用了语义分析,减少了大量的同义和多义现象的原因。

**结论** 本文设计了 HNC 问答处理系统中的一些关键性算法,并且进行了系统实现。这些算法服务于 HNC 问答处理系统问题理解及问题求解阶段的任务,重点考虑了语言概念空间中的语义相关度计算算法。该算法可以满足 90%的语义相关度计算,其他 10%的特例情况则通过特殊处理规则对其进行修正,达到了较好效果。在这些算法指导下的商用系统取得了令人满意的结果。今后的工作方向和重点将放在结构化常识知识库生成方面,目前的知识库内容萃取是依靠人工干预校正完成的,机器自动处理正确率较低,需要进一步提高。

## 参考文献

- 1 吴友政,等.问答式检索技术及评测研究综述[J].中文信息学报,2005,19(3):1~11
- 2 黄曾阳. HNC(概念层次网络)理论[M].北京:清华大学出版社,1998
- 3 黄曾阳.语言概念空间的基本定理和数学物理表示式[M].北京:海洋出版社,2004
- 4 Kim S-M, Baek D-H, Kim S-B, Rim H-C. Question Answering Considering Semantic Categories and Co-Occurrence Density [R]. In: Proc. of the night Text Retrieval Conf. (TREC-9)
- 5 Cooper R J, Ruger S M. A simple Question Answering System [R]. In: Proc. of the night Text Retrieval Conf. (TREC-9)
- 6 Hermjakob U. Parsing and Question Classification for Question Answering [R]. In: Proc. of the workshop on Open-Domain Question Answering at ACL-2001
- 7 郑实福,刘挺,秦兵,李生.自动问答综述[J].中文信息学报,2002,16(6):46~52