

# 基于 Agent 的智能决策支持系统模型<sup>\*</sup>

樊 玮<sup>1,2</sup> 陈增强<sup>2</sup> 袁著祉<sup>2</sup>

(中国民航学院计算机系 天津300300)<sup>1</sup> (南开大学信息技术科学学院 天津300071)<sup>2</sup>

**摘 要** 本文提出一个用多 Agent 实现的通用智能决策支持系统的框架——AIDSS。该系统由接口 Agent、信息 Agent、策略 Agent、数据挖掘 Agent 及其它构件组成,可用于 Intranet 中的数据仓库环境。讨论了智能决策支持的结构及功能,重点讨论了其核心功能,例如接口 Agent 功能、Agent 之间的通信及知识交换。最后介绍了一个为航空公司收益管理设计的基于 Agent 的智能决策支持系统。

**关键词** 软件 Agent, 决策支持系统, 数据仓库, Petri 网

## An Intelligent Decision-Support System Model Based on Agent

FAN Wei<sup>1,2</sup> CHEN Zeng-Qiang<sup>2</sup> YUAN Zhu-Zhi<sup>2</sup>

(Department of Computer, Civil Aviation University Of China, Tianjin 300300)<sup>1</sup>

(College of Information Technology and Science, Nankai University, Tianjin 300071)<sup>2</sup>

**Abstract** A framework AIDSS for IDSS using multi-agent is puted forward. It is composed by interface agent, information agent, strategy agent, data mining agent and other components, and it can be used in the data warehouse environment in intranet. The structure and functions of AIDSS are discussed, and the core function, just as the function of interface agent, communication and knowledge exchange among agents are discussed at length. At last, a agent-based IDSS which is designed for airlines revenue management is introduced.

**Keywords** Software agent, Decision-support system, Data warehouse, Petri nets

## 1 引言

专门用于决策的计算机系统就是决策支持系统(DSS),这个概念是70年代由 Scott 与 Keen 提出的<sup>[1,2]</sup>,80年代后期至今,随着人工智能、专家系统、知识工程、Internet、数据仓库等计算机技术渗入 DSS 的发展中,使此阶段的 DSS 朝着智能化、分布式、群决策等方向发展,强调对决策全过程进行支持,注重系统的“柔性”,即所谓的智能决策支持系统(IDSS)。

Agent 是一种处于不断变化、不确定的环境中,具有应激型、自治性和自我激发能力的实体,能感知环境并作用于环境<sup>[3]</sup>。软件 Agent 技术为基于网络环境的半结构化和非结构化数据的分布式处理方案提供了强有力的工具,而这一点正好和 DSS 的发展趋势相吻合;软件 Agent 技术独有的主动性,可以充分增强智能决策支持系统的适应性;原有的系统可以包装为新系统下一个或多个独立的 Agent 体,可增强系统的复用性;Agent 技术允许系统的重构,可加强系统的开放性。因此,研究基于 Agent 的 IDSS 模型及实现方法,已成为 IDSS 发展的新动向<sup>[4~6]</sup>。本文给出了一个决策支持过程的 Petri 网模型,讨论了该模型下的多 Agent 协作过程和协作方式,并基于该模型,构建了一个多 Agent 环境下的 IDSS 实现框架 AIDSS,对其实现方法作了详细的论述。最后,简单介绍了一个基于上述框架的实际应用系统。

## 2 基于 Petri 网的决策支持过程模型

参照 Simon 的三段决策模式<sup>[9]</sup>,可以将决策支持过程分解为问题定义、问题求解、辅助决策三个阶段。这三个阶段可

在同步方式下协调工作,可看成三个 Agent 或 Agent 组织,各 Agent 根据统一的事件驱动信号在黑板调度器下同步工作。因此可以采用 Petri 网来描述该模型,并讨论各 Agent 在黑板调度器下的协调工作情况,其 Petri 网结构如图1所示,图中的变迁含义如下:

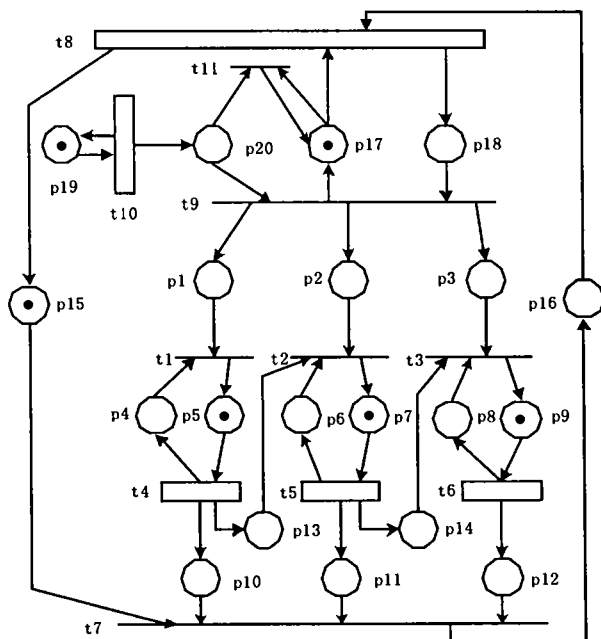


图1 决策支持过程 Petri 网模型

<sup>\*</sup>基金课题:国家自然科学基金项目(N0, 60174021)和中国民航学院数据库与数据仓库实验室(2002-09-18)资助。樊 玮 博士生,副教授,主要研究方向为控制理论与计算机应用。陈增强 教授,博导,研究方向为自适应控制理论及应用。袁著祉 教授,博导,研究方向为智能预测控制理论及应用。

$t_1$ : 问题定义 Agent 开始工作;  $t_2$ : 问题求解 Agent 开始工作;  $t_3$ : 辅助决策 Agent 开始工作;  $t_4$ : 问题定义 Agent 完成工作;  $t_5$ : 问题求解 Agent 完成工作;  $t_6$ : 辅助决策 Agent 完成工作;  $t_7$ : 黑板调度器开始推理;  $t_8$ : 黑板调度器完成推理;  $t_9$ : 黑板调度器发出启动信号;  $t_{10}$ : 用户请求到达或其他激发决策过程执行的事件发生;  $t_{11}$ : 等待新任务到达。

多 Agent 决策支持系统协调过程如下:  $p_{15}$  表示处于空闲状态的黑板调度器,  $p_{10}$ 、 $p_{11}$ 、 $p_{12}$  分别表示各 Agent 送至黑板调度器的事件信号, 当  $p_{15}$ 、 $p_{10}$ 、 $p_{11}$ 、 $p_{12}$  都有托肯时, 变迁  $t_7$  发生, 托肯迁移到表示黑板调度器处于工作状态的库所  $p_{16}$ , 黑板调度器开始工作, 并完成和用户的交流。  $t_8$  是一个时延变迁, 需要延续一定时间后才能发生,  $t_8$  完成后黑板调度器完成了一次决策任务, 托肯迁移到  $p_{18}$ 。  $T_9$  用于同步黑板调度器的启动命令和用户请求任务的到达,  $p_{19}$  表示用户决策请求, 决策请求由专门的任务队列调度并在  $p_{20}$  中产生一个托肯。 当  $p_{20}$  和  $p_{18}$  中都有托肯时, 变迁  $t_9$  发生, 各个 Agent 收到了黑板调度器发出的启动信号, 把托肯迁移到  $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$ 。

各 Agent 的工作过程以辅助决策 Agent 为例说明:  $p_8$  表示处于空闲状态的辅助决策 Agent,  $p_3$  表示来自黑板调度器的启动信号,  $p_{14}$  表示来自问题求解 Agent 的信息,  $p_9$  表示处于工作状态的辅助决策 Agent,  $p_{12}$  表示辅助决策 Agent 发给黑板调度器的事件信号, 当  $p_3$ 、 $p_{14}$ 、 $p_9$  中都有托肯时,  $t_3$  发生, 辅助决策 Agent 开始工作, 之后,  $t_6$  发生, 托肯迁移到了  $p_{12}$ 、 $p_8$ ,

辅助决策 Agent 工作结束。

多 Agent 的协调依靠黑板结构与用户任务队列双重驱动。 在上述模型中, 系统的运行周期由对任务队列的循环调度进行周期性的控制。 当任务队列中有新的任务, 且黑板调度器已完成推理时, 则表示  $p_{18}$  中就有托肯, 此时, 系统根据当前状态启动各 Agent 开始下一轮的预测, 否则说明各 Agent 尚未完成工作, 此时, 黑板调度器不向已经完成任务的各 Agent 发送启动信号, 整个系统必须等待, 直到各 Agent 都已完成任务, 并且对任务队列循环扫描产生新一轮的新任务,  $p_{20}$  中有托肯(对因等待而未能处理的重新放置到队列尾部), 黑板调度器才给各 Agent 发送启动信号, 因此, 该模型通过任务队列的循环扫描机制, 保证了整个系统基于事件驱动的同步性。

上述模型中, 多个 Agent 采用同步方式工作, 各 Agent 的运行周期同步, 减少了系统的复杂程度, 易于实现。

### 3 基于 Agent 的 IDSS 实现框架

#### 3.1 框架的拓扑结构

按照图1的 Petri 网模型, 可以构造如图2所示的基于 Agent 的通用智能决策支持系统框架(AIDSS), 该框架在参考一个自来水公司基础设施维护 DSS 的基础上, 增加了知识库和模型库, 并借助了数据仓库的设计思想。 图中各个 Agent 的功能说明如下。

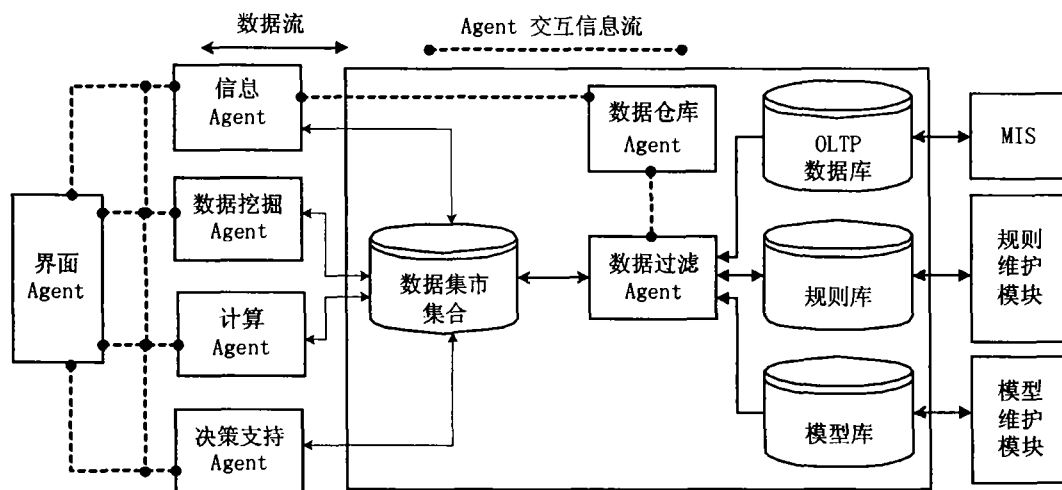


图2 基于 Agent 的通用 IDSS 实现框架 AIDSS

界面 Agent 以易于理解的方式从用户那里接受任务, 并向用户提交决策结果或者建议; 信息 Agent 负责给定任务的内部描述, 并确保数据仓库 Agent 对其他 Agent 需求的及时响应, 信息 Agent 保持当前任务相关的信息, 和其他 Agent 交换信息, 然后依据其他 Agent 的信息请求和数据仓库 Agent 交换信息; 信息 Agent 必须具有模型化其他 Agent 功能的能力, 即承担管理者的角色。 数据仓库 Agent 负责确保整个框架内的数据是可信的, 并确保其他 Agent 能从集成的数据集市获得支持数据。 数据过滤 Agent 负责依据信息 Agent 提供的任务要求, 从分布于企业内部网的支持在线事务处理的数据库中提取相关信息, 将过滤完或者浓缩过的信息按照面向主题的原则组织到系统专用的数据集市集合中。 数据挖掘 Agent 依据模型库中的运算模型, 挖掘数据间潜在的规律, 经界面 Agent 和用户交互, 在用户的指导下进行规则库的扩充。 计算 Agent 依据模型库中的运算模型和相关数

据集市中的临时数据或历史集成数据, 计算决策相关的有关运算目标, 为决策支持 Agent 提供素材。 决策支持 Agent 综合各个计算 Agent 的计算结果, 同时为所有可能的决策结果提供文字性质的解释, 如政策、法规、市场变化、计算参数说明等, 经界面 Agent 转交用户, 完成辅助决策过程, 并将有关决策结果回写到 OLTP 数据库中。 MIS 为分布于企业内部的面向部门级事务处理的管理信息系统, 它们为整个决策支持系统提供 OLTP 数据库。 规则维护模块提供对规则库的维护, 主要是简单的增删改功能。 模型维护模块负责系统模型库的扩展与修正。

AIDSS 中, 界面 Agent 承担了 Petri 网模型的问题定义功能和部分辅助决策功能。 问题求解功能主要由信息 Agent、数据挖掘 Agent、计算 Agent、数据仓库 Agent 共同承担。 Petri 网模型的辅助决策功能由决策 Agent 和界面 Agent 共同完成, 决策 Agent 收集并整理计算 Agent 完成的相关任务

的运算结果,界面 Agent 完成这些运算结果和用户的交互。数据集市集合是所有 Agent 发布信息和获取信息的中心,其中包含了固定的数据存储和临时数据存储区域,相当于模型中的黑板机制。固定数据区域存储面向主题的、集成的、随历史发生变化的面向决策过程的数据,临时数据存储区域存储运算过程中的临时数据、各 Agent 间通信的消息、用于维护系统同步的任务请求队列等。OLTP 数据库、规则库、模型库则保留了传统决策支持系统的三库结构,数据过滤 Agent、数据集市集合、数据仓库 Agent 共同构造了该框架基于数据仓库的技术基础。

规则库、模型库的动态改变和各 Agent 固有的伸缩性保障了整个框架的伸缩性。采用 ODBC 接口的数据过滤 Agent 使得基于企业内部网环境下的分布式数据库管理易于集成。数据挖掘 Agent 使系统可以自主发现运作数据中潜在的规律,独立维护的模型库为决策过程提供灵活的组合方式。

### 3.2 界面 Agent 设计

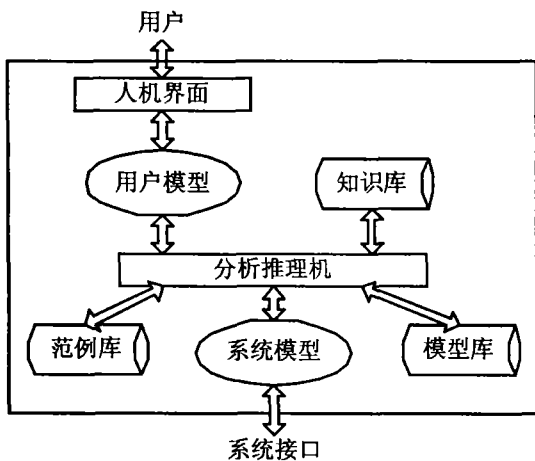


图3 界面 Agent 的参考模型

界面 Agent 一方面可以根据用户的利益为其提供帮助,另一方面,界面 Agent 还可以将用户的定性输入解释为应用系统内部的精确指令。界面 Agent 需要具有关于用户和应用

系统两方面的知识,在用户对系统的使用过程中,界面 Agent 能从与用户的通讯中学习用户的任务及偏好,也可以学习如何更有效地与用户进行通讯,将有用信息以用户喜欢的方式传递给用户<sup>[8]</sup>。

AIDSS 中的界面 Agent 应能够提供下面的一些功能:

1) 提供给用户一个简单易用的界面,帮助决策者与系统中的其他部分进行通讯。

2) 通过用户与系统的交互行为,界面 Agent 可以学习到用户的需求文件(profile),并建立用户模型。

3) 选择应该为用户提供的功能组件。这一功能的实现需要建立在用户模型的基础上,根据模型形式选择用户可能使用的系统功能。

为此,给出一个界面 Agent 的参考模型如图3所示。该参考模型由模型库、知识库、范例库、系统模型、用户模型、分析推理机等部分组成。模型库存放组织人机界面的基本对象,如界面图形控件、if-then 动作表达式对象、ask-if 动作表达式对象等;知识库存放有关用户喜好、界面组织方式、界面功能整合等方面的知识;范例库存放特定的用户模型;系统模型在界面 Agent 创建时建立,在界面 Agent 的生存周期保持基本不变,主要用于建立缺省状态下的用户模型,同时完成界面 Agent 和系统内部的交互;用户模型是针对特定用户使用习惯和领域知识的、经过机器学习的基本对象的重新组织,由分析推理机不断调整,并存入范例库中;分析推理机是界面 Agent 的核心,它可以结合模型库、知识库、系统模型、用户使用历史等不断调整用户模型,达到实现智能化用户界面的目的。

### 3.3 Agent 之间的通信机制

AIDSS 中 Agent 之间采用了黑板系统进行通信。黑板系统是传统的人工智能系统和专家系统的议事日程的扩充,通过使用合适的结构支持分布式问题求解。在多 Agent 系统中黑板提供公共工作区,Agent 可以交换信息、数据和知识。

AIDSS 中 Agent 的通信语言有两种形式,Agent 和数据库的通信采用基于 ODBC 接口的 SQL 语言,Agent 和 Agent 之间的通信语言则比较复杂。目前国际上最著名的 Agent 之

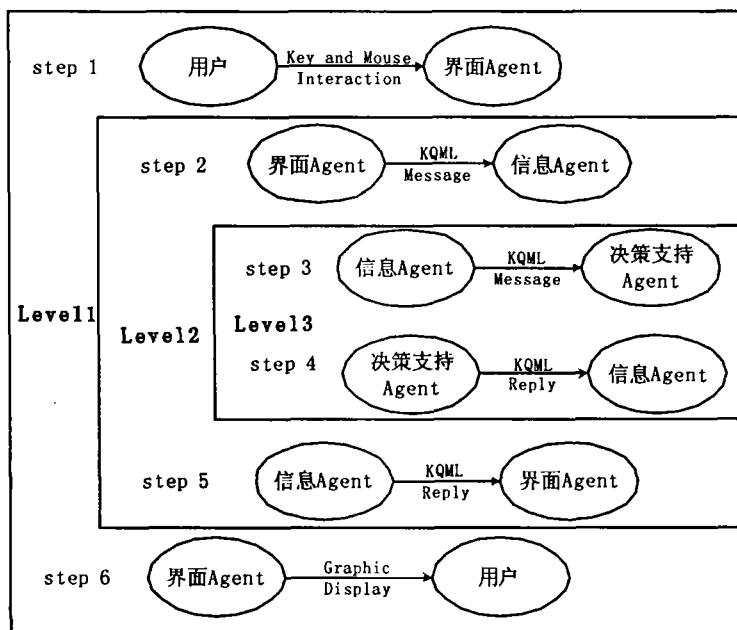


图4 基于 KQML 的 Agent 通信过程

间的通信语言是美国 ARPA 的知识共享计划中提出的两个相关语言:一个是 KQML (Knowledge Query and Manipulation Language), 另一个是 KIF (Knowledge Interchange Format)。KQML 定义了一种主体之间传递信息的标准语法以及一些“动作表达式(performative)”。这些“动作”主要是从言语行为理论中演化来的,例如 Tell、Perform、Reply 等等。KIF 则给信息的内容提供一种语法,它基本上就是用类似于 LISP 的语法书写的一阶谓词演算。

要在 AIDSS 中完全实现 KQML 和 KIF 可能显得过于复杂,但 KQML 是一种开放的标准,各种语言都可以集成在 KQML 中,也可以用各种语言来传送知识。KQML 分为三个层次:通信、消息和内容。全部技术通信参数协议都在通信层规定。消息层规定与消息有关的言语行为的类型。内容层规定消息内容。AIDSS 中通信层的核心内容要求支持点对点的直接消息传递,可以采用成熟的 TCP/IP 协议,用 URL 表示 Agent 的地址。消息层和具体的业务相关,可以在 KQML 的基础上进行扩充,内容层不但和具体的业务相关,而且和 Agent 之间每次的通信有关,可根据不同的应用定义不同的数据结构类型。下面是一个基于 KQML 的动作表达式的例子,界面 Agent 请求信息 Agent 按照航线和日期(flight\_line, date) 查询旅客流量(low, medium, high, fail, null), 信息 Agent 接到这个请求后,经过和其他 Agent 的交互,再将查询结果告知界面 Agent,若运算出错或其他 Agent 未能返回正确的结果,则返给界面 Agent 一个 fail 或 null 消息。

```
ask if
: sender 界面 Agent
: receiver 信息 Agent
: language AIDSS 使用的语言约定
: ontology (flight_line, date)
: reply_with one_of(low, medium, high, fail, null)
: content "market_level(X, Y)"
```

框架 AIDSS 中 Agent 之间的通信流程一般采用分层的嵌套机制,图4给出了决策过程的一次执行流程。用户将决策请求经键盘和鼠标告知界面 Agent,界面 Agent 依据其内部的用户模型、知识库、范例库等完成问题定义,并组织相应的 KQML 语句,告知信息 Agent,信息 Agent 按照相关的问题定义完成任务分解,通知决策 Agent,决策 Agent 协调数据过滤 Agent、数据挖掘 Agent 等完成问题求解,将问题求解结果通知信息 Agent,最后,由信息 Agent 经界面 Agent 将决策支持信息转交用户。

#### 4 一个实例

我们设计的航空公司收益管理决策支持系统采用了 AIDSS 框架<sup>[10]</sup>。其 OLTP 数据库包含来源于计算机定座系统 CRS 的定座数据库、航空公司运营管理系统 FOC 的公司运营数据库、财务管理系统的财务数据库、离港系统的离港数据库、法规法令数据库等;规则库包含了预测过程的规则,如节假日预测规则、气候影响规则、淡旺季规则、价格调整影响规则等;模型库包含了可以组合的预测算法模型与优化算法模型,如 pick-up 模型、回归模型、聚类模型、NN 模型、EMSR 模型等。信息 Agent、数据仓库 Agent、数据过滤 Agent 在界面 Agent 的指导下,从 OLTP 数据库发掘潜在的规律,并将历史数据进行统计整合,存入数据集子集中。图2的数据挖掘

Agent 在收益管理系统中起到了预测计算的作用。用户的一次决策过程简单描述如下:

1) 用户界面 Agent 提交决策要求,一般为给定日期、航班号的优化决策要求。

2) 信息 Agent 明确任务、分解功能,通过数据过滤 Agent 获得特定航班近期的销售状况。

3) 数据挖掘 Agent 按照信息 Agent 的要求,结合模型库中的模型进行预测计算,按照规则库中的规则调整预测结果,调用 EMSR 模型进行座位优化计算,并最终将结果最后反馈给信息 Agent。

4) 信息 Agent 通知界面 Agent,由界面 Agent 将运算结果及运算情况说明提交用户决策参考。

关于规则库、模型库的维护等将另文说明。

基于 AIDSS 模型的航空公司收益管理系统是国内第一套拥有自主知识产权的收益管理系统,目前已经在厦门航空公司投入运行。

**结束语** 本文首先建立了基于多 Agent 的 Petri 网决策模型,该模型依靠黑板调度器下的任务队列驱动解决多 Agent 的同步问题,降低了系统的复杂程度,易于实现。基于该 Petri 网模型,文章给出了一个用多 Agent 实现智能决策支持系统的框架 AIDSS,由界面 Agent、信息 Agent、决策支持 Agent、数据挖掘 Agent 等组成,可应用于企业内联网上的数据仓库环境。AIDSS 为构建企业内部中小型智能决策支持系统提供了理论上的指导。按照这个框架,笔者设计了厦门航空公司收益管理智能决策支持系统,实际运行结果验证了 AIDSS 框架的合理性和可行性。

#### 参考文献

- 1 Scott M S. Management Decision System: Computer Based Support for Decision Making, Division of Research. Harvard University, Cambridge, Massachusetts, MA, 1971
- 2 Keen P G W, Scott M S. Decision Support System: An Organizational Perspective. Addison-Wesley, Reading, MA, 1978
- 3 李燕,樊玮. 基于 Agent 的用户界面模型研究. 计算机工程与应用, 2002, 38(8): 26~28
- 4 Davis D N. Agent-based decision-support framework for water supply infrastructure rehabilitation and development. Computers, Environment and Urban System, 2000, 24: 173~190
- 5 Bui T, Lee J. An agent-based framework for building decision support system. Decision Support System, 1999, 25: 237~255
- 6 Kwon O B, Lee J J. A multi-agent intelligent system for efficient ERP maintenance. Expert System with Application, 2001, 21: 191~202
- 7 Cudlip W, Lysons C, et al. A new information system in support of landscape assessment: PLAINS. Computers, Environment and Urban System, 1999, 23: 459~467
- 8 李英,刘豹. 预测支持系统中的人机界面 Agent 及其机器学习. 系统工程理论与实践, 2000, 12: 73~76
- 9 Simon Herbert A. The New Science of Decision Making, Harper & Row, New York, 1960
- 10 曹平. 收益管理系统功能概述. 民航经济与技术, 1998, 12: 17~20