

# 钻井井控仿真中多 Agent 系统建模研究

王武礼, 王延江

杨 华, 宋媛媛

(中国石油大学(华东)信息与控制工程学院, 山东 东营 257061)

**[摘要]** 针对钻井井控作业特点及传统钻井井控仿真系统的不足之处, 提出利用多智能体 (Agent) 技术, 建立一种新型的基于 Agent 的智能化分布式井控仿真模型。利用 Agent 的自主性、协作性和反应性, 使井控设备的操作在任意状况下都能够及时准确地反映各种井控规律及井控现象。对钻井井控仿真多 Agent 系统模型、各 Agent 的内部结构、Agent 的知识表示方法及 Agent 间通信方式进行了详细阐述。给出了基于 Agent 的正常钻井井控仿真训练实例, 较好地解决了传统井控仿真系统中灵活性和并发性较差的问题, 增强了井控仿真系统的综合训练能力。

**[关键词]** 钻井模拟器; 井控仿真; 智能体; 多智能体系统; 建模

**[中图分类号]** TE28

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1000-9752 (2008) 05-0120-04

石油钻井工程是一个地下隐蔽性工程, 它的信息量大、复杂多变, 难以量化并带有很强的不确定性和非线性<sup>[1]</sup>。因此, 在钻井过程中可能会遇到各种各样的问题, 特别是井涌, 如控制不及时或不当, 则有可能发展成为井喷, 造成严重的钻井事故<sup>[2]</sup>。为使钻井工程人员熟练掌握井内发生异常情况后的处理过程, 优质安全地实施快速钻井, 就需要进行钻前井控培训。

20 世纪 80 年代, 我国各大油田都引进了美国 Simtran 公司的 DS-200 钻井模拟机以及 Digitran 公司的 RS3000/PAWS 钻井模拟机, 但由于其故障率高且仿真功能不完善, 早已处于瘫痪状态。近年来, 国内自主研发的钻井模拟器以其成本低、仿真模块多、图形界面丰富的特点得到各大油田的认可, 但经过几年的应用, 也暴露出了不少问题。如整个仿真过程只能顺序执行, 仿真模型过于简单, 无法模拟井下复杂情况; 另外, 各仿真模块只能单独训练, 仿真模块之间缺少联系, 无法综合反映各种井控现象。

因此, 笔者结合钻井井控作业的特点, 提出运用多 Agent 技术, 对钻井井控仿真系统进行建模, 将设备操作、模型运算、视景播放、声音控制、数据显示等仿真模块都封装成相应的 Agent, 利用 Agent 的自主性、协作型和反应性, 较好地解决了传统井控仿真系统中灵活性和并发性较差的问题, 增强了井控仿真系统的综合训练能力。

## 1 钻井井控仿真 MAS 模型

该系统是在计算机网络环境下建立的多 Agent 协同工作系统, 采用分解和协调的设计原则, 将其划分成若干个易于处理的子系统, 每个子系统就是一个拥有自身知识、规则、目标且能够独立运行的 Agent, 如图 1 所示。图 1 将钻井井控仿真系统中的设备操作、井控模型运算、视景播放、声音控制等仿真模块融入一个多 Agent 的框架中, 利用 Agent 的自主性、社会性和反应性, 提高了整个仿真系统的智能化程度, 增强了井控仿真的综合训练能力。系统中的各 Agent 之间利用黑板和基于 KQML 通信语言进行交互协调。

### 1.1 Agent 结构

1) 系统管理 Agent 系统管理 Agent 在钻井井控仿真系统中处于比较重要的地位, 负责根据用户

**[收稿日期]** 2008-03-03

**[作者简介]** 王武礼 (1978-), 男, 2001 年大学毕业, 讲师, 硕士, 现主要从事计算机控制与仿真、人工智能方面的研究工作。

输入的仿真井的参数构建特定的仿真环境；负责仿真任务的分配；负责仿真结果的评价；负责仿真时钟的协调；负责其他 Agent 状态的监控；负责部分 Agent 的生成与销毁等。其结构如图 2 所示。图 2 中，人机接口相当于感知器，负责对用户操作以及仿真开始时仿真参数信息的接收，通过消息处理器将消息分发给协调器和状态机；协调器根据预先确定的规则，决定要分发的消息，利用消息处理器、决策生成器和通信模块将要分发的消息传给其他 Agent；消息处理器将来自用户、黑板通信区和其他 Agent 的消息，联合系统当前的仿真环境与协调器、状态机一起对获取的信息进行处理、分类，然后送给决策生成器；决策生成器利用消息处理器传来的信息，结合自身的属性和知识制定规划和任务，然后分别将不同的任务利用通信模块传给相应的 Agent 或传送给仿真评价模块和系统监视模块。

2) 模型计算 Agent 模型计算 Agent 中封装了各种仿真训练项目的计算模块，仿真训练过程中，用户操作设备 Agent 的状态信息公布在黑板通信区上，模型计算 Agent 利用自己的感知模块和通信接口获取到用户的目标，根据获取的信息和自身的仿真参数，进行决策得到当前的任务目标，调出相应的计算模块进行仿真参数和系统状态的推理计算，最终将处理的结果再通过黑板通信区和专门的通信语言 KQML 传送给系统管理 Agent 与其他 Agent。其结构如图 3 所示。

3) 反应 Agent 反应 Agent 包括指重表 Agent、声音控制 Agent 和视景 Agent，这类 Agent 在结构上只是根据环境或其他 Agent 传递过来的信息，再结合自身的规则进行简单的响应（虽然 Agent 内部实现起来较困难），完成自身的目标任务。基本结构如图 4 所示。

1.2 Agent 的知识表示

钻井井控仿真系统是一个复杂的系统，需要用到各种类型的知识，如何较好地表达数量较大、种类

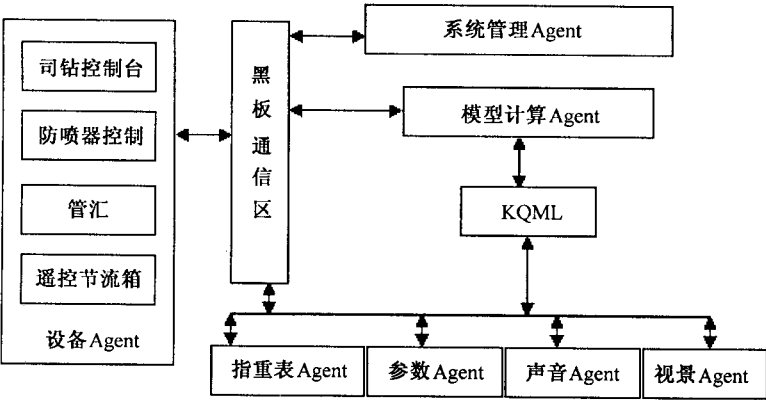


图 1 钻井井控仿真 MAS 模型

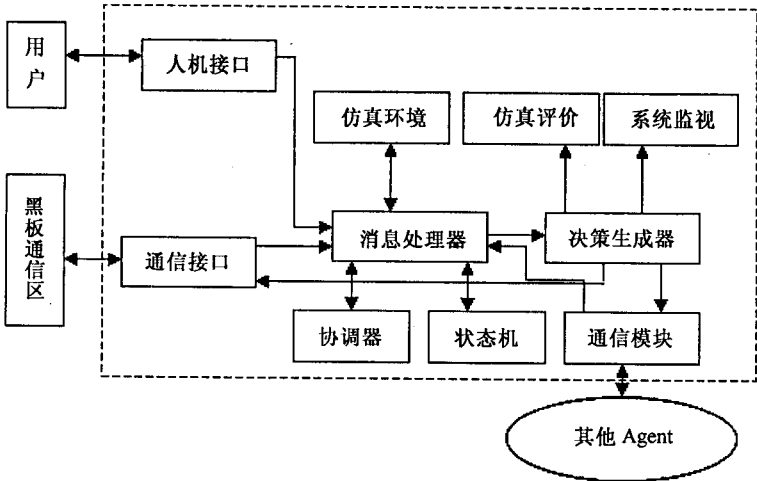


图 2 系统管理 Agent 内部结构

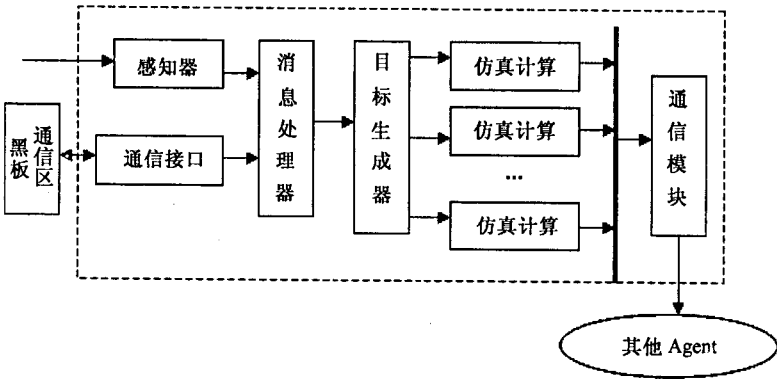


图 3 模型计算 Agent 内部结构

繁多的知识,是系统达到实用化的关键<sup>[3]</sup>。关系模型具有牢固的理论基础,是适合于描述复杂、多变系统的一种模型。一个关系可以认为是一个谓词的外延,一个谓词则可认为是一个关系的内涵,因此,关系可用来表达知识<sup>[4]</sup>。该系统就是采用关系来表示 Agent 内部的各种知识。

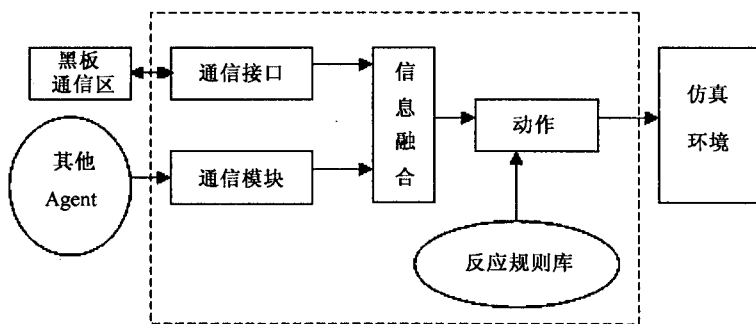


图 4 反应 Agent 内部结构

### 1) 事实性知识的关系表示

事实性知识是用来描述领域内的有

关概念、事实、事物的属性、状态等。井控仿真系统中的事实性知识指:仿真训练时仿真井的有关参数以及仿真过程中设备操作的状态,如地面设备参数、井身结构参数、钻具尺寸参数、泥浆参数、地层参数、绞车、泵、转盘、防喷器以及管汇等设备状态。对于事实性知识,关系模型具有较高的灵活性、高效的描述能力,如“1#泵,2#泵离合器处于合的状态,泵速分别为 50 冲和 30 冲”,“环形防喷器关闭”,“遥控节流阀打开,开度为 0.75”等。

2) 规则的关系表示 Agent 系统是在已知的事实上运用推理规则推出新的结论,因此,推理规则的表示是知识表示的关键。产生式规则是一种比较常用的表示方法,其基本结构是一组产生式的有序集合,且比较适宜于数据库的输入和读取<sup>[5]</sup>,其一般形式为:

$Q \leftarrow P$  或表示成 IF  $P \rightarrow$  THEN  $Q$

其中,  $P$  为规则的前提;  $Q$  为规则的结论。其含义为:如果前提  $P$  满足,则可推出结论  $Q$ 。

该系统采用 WHEN—IF—THEN 结构的关系模式 Rules 来定义规则。

## 1.3 多 Agent 之间的通信

钻井井控仿真系统中,各 Agent 之间需要通过合作、协调共同完成井控仿真这个复杂的任务,因此设计一个简单、可靠、灵活的通信机制是系统实现的关键。多 Agent 之间通信通常有两种方式:一种是黑板系统通信;另一种是点对点的消息通信<sup>[6]</sup>。本系统采用“黑板系统通信”和“消息通信”相结合的通信机制来解决各 Agent 之间的知识共享、相互协调的问题。

1) 黑板系统通信 黑板就是一个共享的存储区,系统中的各 Agent 可以从这个存储区中获取信息,同时也可在存储区中公布自己的信息。对于系统中的仿真井参数、设备状态、各 Agent 的运行状态等公共数据信息,使用黑板系统进行交互,有利于系统管理 Agent 了解和监控其他 Agent 的运行状态,协调整个仿真系统的工作。

2) 消息通信 系统采用基于 TCP/IP 协议的 Windows Socket 技术建立直接的物理连接实现各 Agent 之间基于消息的点对点的通信。KQML (Knowledge Query and Manipulation Language) 是目前 MAS 中最常用的一种 Agent 通信语言,它语法灵活、易于串行化和重新构造,也易于在异构系统中以通用的比特流传输。该系统中对传统的 KQML 语言中的原语参数进行了一定的扩展,并采用 C++ 语言实现了这种扩展的 KQML。根据井控仿真系统的特点和便于程序实现,扩展的 KQML 采用了 5 个保留参数名,如表 1 所示。表 1 中的 URL 是 Agent 的通信地址,系统中采用“IP 地址:端口号”来表示;消息类型用来表示此消息是与哪个部件相关的,例如是与吊卡相关,还是与方钻杆相关,消息传递过程中通过消息类型的判断可以快速解析本条消息,提高系统的反应速度。

表 1 保留参数

| 保留参数名       | 意义            |
|-------------|---------------|
| : sender    | 表示发送者的名字      |
| : receiver  | 表示接收者的 URL 地址 |
| : content   | 表示发送信息的具体内容   |
| : senderurl | 表示发送者的 URL 地址 |
| : msgtype   | 表示消息类型        |

2 仿真实例

2.1 正常钻井井控仿真过程

正常钻井井控仿真是训练学员在正常钻进过程中发现井涌后关井和压井的操作过程。其步骤为：开泵；开转盘；缓慢下放；到井底后加压钻进；发现溢流后报警；停转盘；上提钻具至钻杆接头出转盘面；停泵；开节流管线阀；关环型防喷器；关闸板防喷器；关节流阀；开环型防喷器；计算压井参数，采用工程师法或司钻法进行压井。

2.2 基于 Agent 的正常钻井井控仿真

针对上述设计的钻井井控仿真 MAS 模型，利用面向对象方法和多线程技术编程实现了各个软件 Agent 模型。设备 Agent 包括司钻控制台、防喷器控制台、节流遥控箱和管汇等虚拟设备模型，是由 LabVIEW 开发、可自主运行的一个软件程序，其中司钻控制台和防喷器控制台界面如图 5 所示。

系统管理 Agent 作为仿真系统的核心，存在于整个仿真过程中，作为进程中的主线程，模型计算 Agent、参数显示 Agent 和声音控制 Agent 作为其他线程；指重表 Agent 和视景 Agent 分别作为独立的应用程序运行在系统的其他节点上，各 Agent 界面及仿真井选择窗口如图 6 所示。

以正常钻井井控仿真为例，各 Agent 工作过程如下：开始仿真前，启动系统管理 Agent 设置仿真环境，选择训练项目，然后启动各 Agent；根据当前设置的仿真环境，操作设备 Agent 中的虚拟设备模型，并将其状态通过数据库（黑板系统）与其他

Agent 进行知识、资源共享；模型计算 Agent 通过自己感知器、黑板系统以及消息，从系统管理 Agent 和设备 Agent 中获取到当前仿真环境、设备状态以及训练项目，然后根据自身知识规则进行推理计算，并将计算的仿真数据通过黑板系统和通信语言传递给指重表 Agent、参数显示 Agent、声音控制 Agent、视景 Agent；各 Agent 根据传送的数据信息，及时更新自身的知识库，更改自身的运行状态，并将新的运行信息传递给系统管理 Agent；系统管理 Agent 根据各 Agent 运行状态及仿真任务，协调地控制整个仿真系统的运行，完成正常钻井井控仿真任务。该系统改变了传统井控仿真装置孤立的、基于现象的仿真模式，利用 Agent 的自主性和协作性，使设备操作、井控规律及井控现象融为一体，使井控培训更具有真实感。

(下转第 128 页)

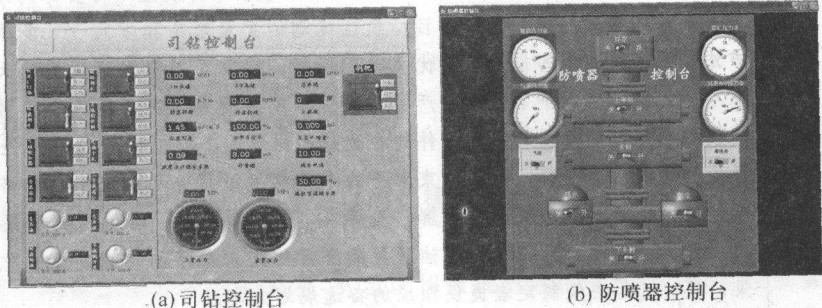


图 5 设备 Agent



图 6 Agent 界面

~~~~~  
(上接第 123 页)

**[参考文献]**

- [1] 张绍槐, 何华灿, 李琪 等. 石油钻井信息技术的智能化研究 [J]. 石油学报, 1996, 17 (4): 114~119.
- [2] 孙振纯, 夏月泉. 井控技术 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 1~25.
- [3] 徐英卓. 基于 XML 的多源异构钻井数据集成与共享平台 [J]. 石油学报, 2006, 27 (4): 110~114.
- [4] 史济建, 俞瑞钊. 专家系统实现技术 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1995. 59~17.
- [5] 王以法. 人工智能钻井实时专家控制系统研究 [J]. 石油学报, 2001, 22 (3): 83~86.
- [6] 史忠植. 智能主体及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2000. 80~108.

**[编辑]** 萧 雨