

文章编号: 0253-2697(2005)03-0090-05

网络化钻井工程协同虚拟设计系统研究

方明¹ 爨滢^{1,2}

(1. 西安石油大学计算机学院 陕西西安 710065; 2. 西安电子科技大学计算机学院 陕西西安 710071)

摘要: 针对网络环境下钻井工程设计的特点, 提出网络化钻井工程协同虚拟设计系统的概念和体系结构。运用计算机支持协同工作和虚拟现实技术, 建立了基于多智能体的钻井协同虚拟设计平台和分布式远程沉浸平台。面向钻井工程群体设计 workflow, 网络化协同虚拟设计系统以钻井工程协同数据仓库为支撑, 能使跨地区部门的钻井工程设计人员在群体协同工作时具有足够的协同性、可视性和临场感, 实现了多方设计人员协同、分散、并行进行远程沉浸式钻井工程异地协同虚拟设计和决策分析工作。详细讨论了系统的功能和关键技术。本系统的应用, 使钻井工程设计实现了资源、信息和知识的共享。

关键词: 钻井工程; 虚拟设计系统; 远程沉浸平台; 可视化; 多智能体; 网络技术

中图分类号: TE249

文献标识码: A

Cooperative virtual design system for drilling engineering based on network

FANG Ming¹ CUAN Ying^{1,2}

(1. School of Computer, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China;

2. School of Computer, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: Based on the characteristics of drilling engineering design under network environment, the concept and system architecture of the cooperative virtual design for drilling engineering based on network are presented. By the use of the computer supported cooperative work and virtual reality technologies, the cooperative virtual drilling design platform and distributed tele-immersion design platform based on multi-agents were developed. For orienting drilling engineering group design workflow, the system supported by cooperative data warehouse of drilling engineering can make a group of designers working in cooperative, distributed and paralleled tele-immersion drilling engineering design and implement distributed cooperative virtual design and decision analysis. The system can also make the designers having sufficient cooperative, visualization and scene feeling when making drilling engineering group design and cooperative work under cross-region departments. The functions and key technologies of the system were discussed in detail.

Key words: drilling engineering; virtual design system; tele-immersion platform; visualization; multi-agents; network technology

钻井工程设计是完成地质钻探目的、开发油气层、保证钻井工程质量并实现安全、优质、高速和经济钻井的重要程序, 其科学性、先进性关系到一口井钻井工程和完井工程的成败和效益^[1]。钻井工程设计对象和设计内容复杂多变, 涉及到地球物理、地质、油藏和钻井工程等多个领域, 须依赖不同的专家经验知识和方法进行群体的和跨学科的分析决策和设计, 是设计者相互协作、共同完成设计任务的协同并行设计过程。由于钻井作业地区大都偏远荒芜、地域辽阔, 各方专家齐聚设计现场协同解决钻井设计问题, 其成本高, 效率低, 难度大; 同时, 由于钻井工程设计需要大量的地质、油藏等图形图像信息并提供直观可视化的辅助设计工具, 因此应充分利用现有的钻井设计经验、方法、知识、

设备和软件以及计算机网络化钻井工程协同虚拟设计系统, 以生动的三维图像实时显示地层模型、地层的岩性特点、井身结构和钻井参数, 提供钻井设计属性的三维分析, 模拟在井下按照选定的设计方案进行漫游, 使设计人员在具有远程临场感的虚拟现实可视化环境下协同进行三维空间钻井工程设计。

1 系统设计原理

目前, 基于计算机网络的钻井信息和钻井工程设计集成软件系统和支撑平台在钻井工程设计中得到广泛的研究和开发应用^[2,3], 并且在网络化钻井工程设计中取得了一定进展, 然而仍存在着一些问题和不足。首先, 这一类型的软件系统将钻井工程设计过程分成

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 50074024)“远程钻井网上会战智能应用系统理论与方法的研究”和陕西省教育厅专项科研计划项目(03jk162)“基于 CSCW 的协同式水平井设计软件的开发与应用”资助。

作者简介: 方明, 男, 1963年1月生, 1998年获西安交通大学博士学位, 现为西安石油大学教授, 副校长, 主要研究方向为计算机网络与钻井信息应用技术。E-mail: mfang@xsyu.edu.cn

了一系列孤立的工作步骤,每个步骤由不同专业设计人员完成,不是一个连续的工作流程,与实际的钻井工程设计过程越来越需要多个设计人员或分布在不同地区的设计人员按照一定的规范和流程进行协同设计有一定的差异;其次,现有软件系统缺少对协同工作环境的支持,而这种协同工作方式正是目前优化钻井工程设计过程、提高效益、控制成本、降低风险和设计人员充分合作、取长补短的一种新的工作方式和组织模式;第三,现有软件系统在支持地处不同地区的设计人员协同设计和结果的展现方面,缺少可视化临场感。构建一个用于钻井工程设计的临场感虚拟现实可视化环境,工程设计人员则可以不用亲临现场,在虚拟的三维环境下直观地共同设计、分析和评估,实现远程沉浸,从而大大改进钻井工程设计的整个过程和设计人员之间的沟通方式,提高设计的直观感觉效果、缩短设计周期及降低设计成本。针对上述问题,采用计算机支持协同工作^[4](CSCW)和虚拟现实^[5](VR)技术,研究构建一个CSCW与VR技术结合在钻井工程设计应用的分布式协同虚拟设计系统。该系统可使设计人员在虚拟环境中同步或异步地从事构造和操作虚拟钻井设计对象活动,并对其进行评估、讨论以及再设计等活动,通过在共享的虚拟环境中协同使用声音、视频工具等进行设计,消除设计缺陷,提高设计效率。

CSCW是一门由计算机科学、心理学、人类工程学、认知科学和社会科学等多个学科综合而成的新的交叉学科。CSCW为在时空上分散的人们提供了一个“面对面”和“你见即我见(WYSIWIS)”的协同工作环境,支持多个时间上分离、空间上分布而工作又相互依赖的协作成员间的协同工作,使计算机系统从传统的只能提高个体工作效率变为能提高群体工作效率^[6,7],非常适用于石油钻井工程设计过程。VR是20世纪末才兴起的一门崭新的综合性信息技术,它融合了数字图像处理、计算机图形学、多媒体技术、传感器技术等多个信息技术分支,在多维空间上创建了一个虚拟信息环境,使用户具有身临其境的沉浸感和友好亲切的人机交互性等特点^[8,9]。

2 系统总体结构

在系统深入地研究和分析钻井工程设计过程组织模式、工作方式和本质特征的基础上,运用计算机支持协同工作和虚拟现实的最新技术,面向钻井工程设计过程,本系统的总体结构包括以下4个部分:①建立不同于传统钻井工程设计过程的、支持以动态联盟和虚拟组织方式协同进行钻井工程设计的过程模型、网络化钻井工程协同设计和分布式协同虚拟现实系统的软

件体系结构;②采用传统CAD的设计思想并结合CSCW和VR技术,建立在虚拟现实环境中。用户可直接使用数据手套选择相应的钻具、钻井工具等,进行协同式的钻井(如钻具组合设计、井眼轨迹设计、井身结构设计、井身剖面设计)辅助设计和分析讨论具有临场感可视化的钻井辅助设计软件平台,从而为钻井工程设计提供一种新的远程沉浸式工作模式,提高设计的效率和直观性;③采用CSCW中的应用共享技术,建立相应的钻井工程设计计算与仿真的应用共享平台,使钻井工程协同设计群体中的各成员,通过各自的机器可以共同控制在一台机器上执行的设计程序,从而扩展已有的大量的钻井工程设计应用软件,使之可由多个用户共同控制,实现信息和软件的应用共享;④采用数据仓库技术,将以往的设计信息按钻井工程设计不同主题,构造为适用于钻井工程协同设计分析决策的协同数据仓库系统,从而提高钻井工程设计的效率、准确性、可靠性和适应性。

在本系统中,分别设计了具有很强专业功能的面向对象的钻具图形数据库和基于该图形数据库的通讯协议、基于钻井工程设计文档的信息平台、基于应用共享的钻井工程协同设计与计算平台、钻井工程设计信息协同数据仓库模型、钻井工程设计临场感可视化平台等。此外,系统要求能够面向设计业务流程驱动、建立在优化设计业务活动的基础上、具有适应设计业务改变而相应改变设计业务组织模型的能力,所以系统的设计是建立在基于工作流的分布式应用的框架上。系统总体结构如图1所示。

整个模型结构由系统管理服务器端、网络通讯平台和客户端组成。服务器端主要是对协同设计过程进行管理、控制和形成最终设计方案。客户端主要是在设计小组主任工程师的控制协调下,在工作流管理平台支持下,基于本次设计的工作流程,完成相应的设计任务,并通过服务器端的钻井协同设计平台和临场感可视化平台实现协同设计过程的“面对面”和“远程沉浸”,通过通讯代理、应用共享平台实现应用软件和数据信息资源的共享。整个系统在计算机网络的环境下,通过系统服务器实现各个子系统之间的通讯、协调和信息交换,从而实现整个系统协同运行,达到整体最优的目标。

3 系统实现的关键技术

网络化钻井工程协同虚拟设计是设计人员实时交流思想和相互激发灵感的过程,这就要求钻井工程协同虚拟设计支撑系统应提供:①丰富的人机交互手段和临场感可视化环境;②充分的协同信息交流及共享

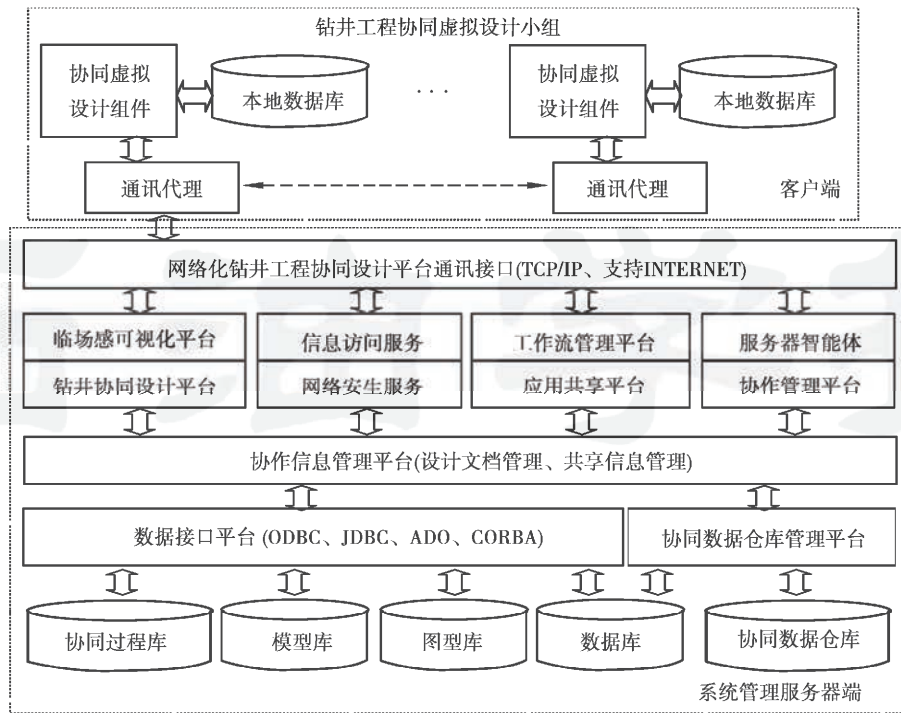


图 1 网络化钻井工程协同虚拟设计系统总体结构

Fig. 1 Framework of the cooperative virtual design system for drilling engineering based on network

支持;③ workflow 管理与多小组之间动态组织与协调。

3.1 临场感可视化钻井工程设计虚拟现实系统体系结构

在石油勘探开发应用领域,虚拟现实系统应用重点集中在油藏描述、地质构造和储集层的三维模型的可视化方面^[10],在支持钻井工程设计方面还缺少深入的研究。而构建 CSCW 与 VR 技术结合于钻井工程设计中应用的分布式协同虚拟设计系统,可使设计人员在虚拟环境中同步或异步地从事构造和操作虚拟钻井工程设计对象活动,并对其进行评估、讨论以及再设计等活动。本系统临场感可视化钻井工程设计虚拟现实系统平台主要解决钻井工程设计虚拟现实系统模型

(包括几何模型、运动模型和物理模型)的管理和协同虚拟交互等方面的问题。系统通过建立虚拟环境数据库用于存放整个钻井设计虚拟环境中所有物体的各方面信息,以集中式的结构进行统一管理,在服务器集中维护共享虚拟世界,负责整个系统的管理控制和调度。协作者通过与虚拟场景的交互改变虚拟场景中的实体属性,并将其导致的虚拟空间或用户状态的改变传播给其他用户,达到实时协同虚拟交互。平台的体系结构如图 2 所示。

图 2 中应用层包含三维数据层位解释、钻具组合、数据属性立体分析(钻柱强度计算和核准、钻井液密度设计)、井眼轨迹设计、井身结构设计、井身剖面设计、

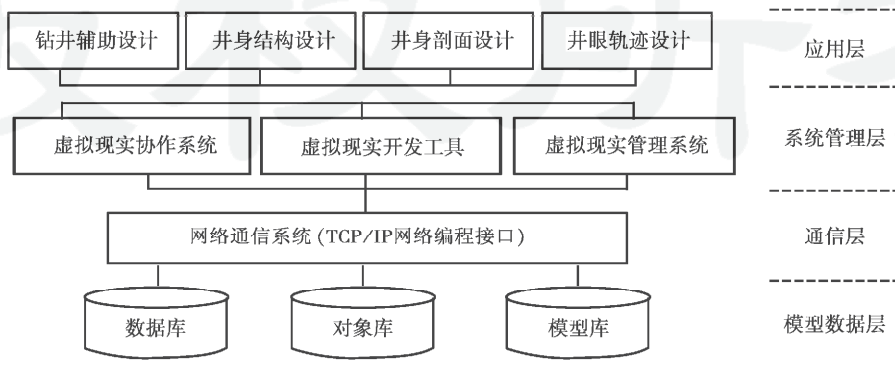


图 2 临场感可视化钻井工程设计虚拟现实系统体系结构

Fig. 2 Architecture of the visual scene feeding virtual realing system for drilling engineering design

属性分析和分频处理等完整的钻井虚拟现实设计功能。在钻井轨迹实时设计时,设计人员可在模拟的三维环境下直观地显示储层模型、属性数据、钻井和测井数据,可以更准确细致地进行钻井轨迹设计、修改和评估。同时,数据体立体显示可以提供真实的三维环境,使得技术人员可以有效地发现数据的空间关系,动态研究数据内部的变化,从而提高解释效率和效果,实现三维可视化分析。此外,随着油田勘探开发的进展,井网逐渐加密,地面建设逐年增多,给井位布置工作带来困难,通过三维绕障定向井剖面设计、动态调整实钻井眼轴线和设计井眼轴线的差距,可使绕障井与障碍井之间保持一定的安全距离。

3.2 钻井协同设计平台体系结构

钻井工程设计过程不同于一般的文本编辑、绘图和 CAD 系统,而有其特殊性和专用性。传统 CSCW 软件工具都难于满足钻井工程设计的要求,须将钻井工程设计的理论和技术与 CSCW 技术相结合,针对其特殊性,开发协同式钻井设计专用软件系统和工具。本系统的钻井协同设计平台由客户层、应用服务层和数据层组成,客户层完成基本的设计过程,应用服务层和数据层完成设计方案协同管理与评价构造过程,并由服务器端底层相应的协同虚拟设计工具和协议支持钻井协同虚拟设计过程。平台的体系结构如图 3 所示。

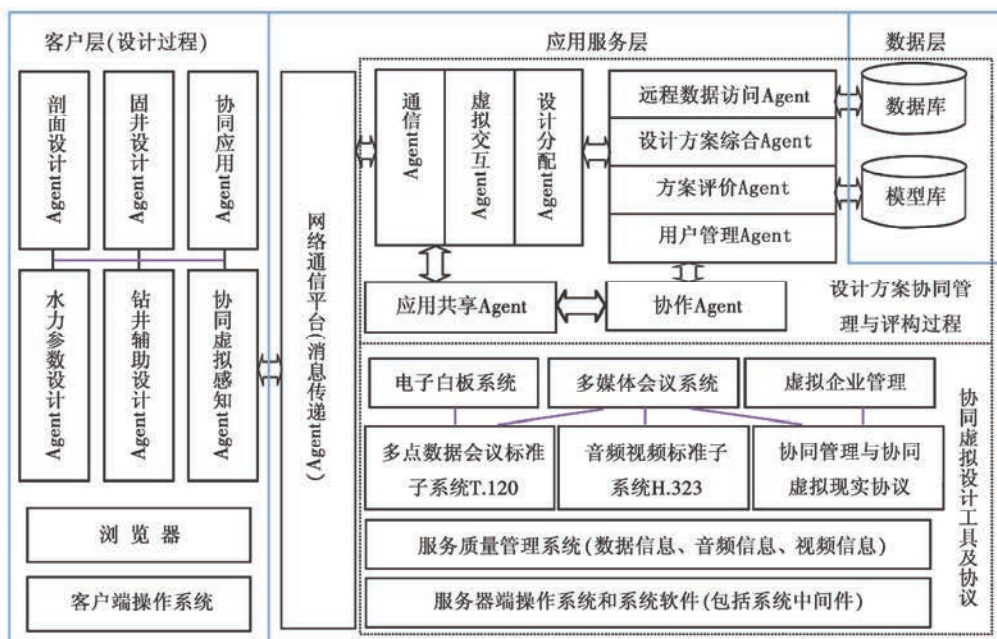


图 3 钻井工程协同设计平台体系结构

Fig. 3 Architecture of the cooperative design platform for drilling engineering

为提高钻井工程设计的智能性和协作性,平台采用分布式多智能体(Distributed Multi-Agent)的并行协作技术和方法。Agent 是一个具有感知能力、问题求解能力和与外界进行通讯能力的一个实体。作为具有自主特性的一种抽象实体。它能作用于自身和环境,并能对环境作出反应^[11]。在本平台中,将钻井工程设计功能构造为能主动为用户服务的、并能在设计过程中持续自主运行的功能 Agent,分别包括剖面设计 Agent、钻井辅助设计 Agent(包括钻具组合设计、钻进参数设计、钻机选择、钻井液设计)、水力参数设计 Agent、固井设计 Agent 等。系统的设计过程是在编制设计方案时,根据当前设计问题,由设计分配 Agent 将其分解为不同的设计子问题;通信 Agent 将不同的设计子问题传给对应的设计 Agent 进行设计,并将设

计结果提供给系统。如果设计问题需要多个设计 Agent 协作设计完成,则由协作 Agent 负责不同设计 Agent 间的协作过程,系统最终再根据设计问题的要求,采用相应的模型,由方案评价 Agent 和设计方案综合 Agent 将这些子设计方案综合为一个完整的钻井工程设计方案。协同虚拟设计工具是支撑和实现设计人员“你见即我见”协同工作的基础环境,并通过协同应用 Agent、协同虚拟感知 Agent、虚拟交互 Agent、应用共享 Agent、协作 Agent 等实现设计人员之间的协同虚拟工作。

3.3 workflow 管理与多小组之间协调模型

为实现钻井工程设计以动态组织模式构成的各虚拟设计部门或合作伙伴间的规范协作管理,在系统中设计了相应的工作流管理平台,使得在多小组的协作

过程中,可以根据不同的设计问题和要求,实现设计流程和设计人员组织的快速重构与层次型协调机制。例如,在设计过程进入设计文档编制时期,系统可以快速形成以文档编制为核心的工作流程和工作小组,从而形成多个小组共存、并行协同的工作模式。这种变化,只须利用 Agent 良好的封装特性,简单更改各个 Agent 的对象类、过程和属性来实现,使得系统具有良

好的可重构性。系统中的 workflow 管理与多小组之间的协调模型如图 4 所示。模型中,通过 workflow 模型定义 Agent、设计过程模型及相应的组织模型构造相应的小组 workflow 模型,模型可以采用约束网络或 Multi-Agent 工具形式化描述。同时对于 workflow 执行时小组之间的协调和冲突解决由协作平台 Agent 采用一定的协作算法知识来实现。

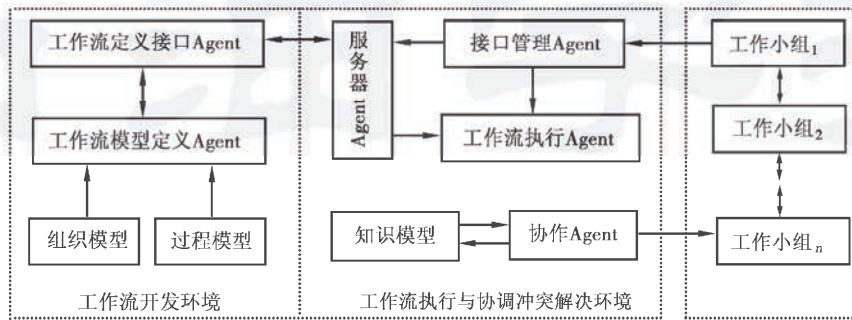


图 4 工作流管理与多小组之间协调模型

Fig. 4 Workflow management and harmonious models among multi-groups

4 结论

网络化钻井工程协同虚拟设计系统的研究为钻井工程设计过程提供了一个全新的计算机支持的协同虚拟辅助设计工作环境和科学、方便、有效的设计工作模式和组织方法,使分布在不同地区、部门、专业的设计人员,以直观、立体、实时的方式实现远程沉浸和协同工作,使钻井工程设计信息以更形象和可视化的方式展现在设计人员面前,实现对钻井工程设计信息的由认知到感知,从而降低钻井开发成本,充分有效地利用各种资源和计算机网络,提高油气田开发的效率,促进经济的发展,因而具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 周开吉, 郝俊芳. 钻井工程设计[M]. 山东东营: 石油大学出版社, 1996: 1-2.
- [2] 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.
- [3] 王魁生, 屈展, 方明. 远程钻井网上会战智能应用系统研究[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 79-82.
- [4] 向勇, 杨光信. 计算机支持的协同工作理论与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000: 5-6.
- [5] 张茂军. 虚拟现实系统[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 1-2.
- [6] Ahmed Mokhtar. Information model for managing design changes in a collaborative environment [J]. Journal of Computer in Civil Engineering, 1998, 2(12): 82-93.
- [7] Lorraine Sherry, Karen Madsen Myers. The dynamics of collaborative design [J]. IEEE Transactions on Professional Communication, 1998, 41(2): 123-137.
- [8] 周万, 李世其, 魏发远. 基于虚拟现实的动态设计与仿真[J]. 计算机仿真, 2002, 19(1): 43-48.
- [9] 陈谊, 盛思源, 战守义. 分布式虚拟现实开发平台的研究与设计[J]. 计算机工程, 2002, 28(4): 36-38.
- [10] 赵改善. 勘探开发中虚拟现实技术的应用与展望[J]. 勘探地球物理进展, 2002, 25(4): 9-20.
- [11] 刘海燕. 多 Agent 系统的研究[J]. 计算机科学, 1995, 22(2): 57-61.

(收稿日期 2004-07-16 改回日期 2004-10-14 编辑 黄小娟)