

8-7-2020

Real-time Visualization Method for Processing Data Stream

Hongqian Chen

1. Beijing Key Laboratory of Big Data Technology for Food Safety, School of Computer and Information Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China;;

Li Hui

2. College of Management, Beijing Union University, Beijing 100101, China;

Fang Yi

1. Beijing Key Laboratory of Big Data Technology for Food Safety, School of Computer and Information Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China;;

Chen Yi

1. Beijing Key Laboratory of Big Data Technology for Food Safety, School of Computer and Information Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China;;

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Real-time Visualization Method for Processing Data Stream

Abstract

Abstract: To visualize the status data of the procedure in real time, *a visualization method supporting by the relating static model* was proposed. The static models were built in the method. The processing status data were divided into some data segment matching to the static model. *The dynamic model for each data segment was built based on the shape of the corresponding static model.* Each part of the model was colorized or texturized based on its type or value. All the dynamic model and static model were linked and assembled due to its logical relation. The final visualization result for each moment was obtained by rendering all the models in the whole system. The oil well injection procedure was selected as the typical instance to exposit the method. The experimental results denote the method can achieve the intuitive and accurate expression for the processing data stream. The method can visualize the dynamic procedure in real time.

Keywords

data visualization, real-time visualization, processing data stream, oil well injection

Authors

Hongqian Chen, Li Hui, Fang Yi, Chen Yi, and Beibei Zhou

Recommended Citation

Chen Hongqian, Li Hui, Fang Yi, Chen Yi, Zhou Beibei. Real-time Visualization Method for Processing Data Stream[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(10): 2560-2566.

一种过程数据流的实时可视化方法

陈红倩¹, 李慧², 方艺¹, 陈谊¹, 周贝贝¹

(1. 北京工商大学计算机与信息工程学院食品安全大数据技术北京市重点实验室, 北京 100048;

2. 北京联合大学管理学院, 北京 100101)

摘要: 为实现过程状态数据的实时可视化, 提出了一种基于静态数据载体的数据可视化方法。该方法建立静态载体模型; 针对不同的数据状态, 建立与载体模型匹配的数据分段展示模型, 并根据数据值设置模型颜色或纹理; 将各静态模型和动态分段模型按逻辑关系顺序连接, 并依次绘制获得可视化结果。以油井灌浆过程为例, 阐述了流式状态数据的同步展示方法。实验结果表明: 文中方法能够实现对动态状态数据的直观准确展示, 且处理效率能满足实时交互需求。

关键词: 数据可视化; 实时可视化; 过程数据流; 油井灌浆

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2015) 10-2560-07

Real-time Visualization Method for Processing Data Stream

Chen Hongqian¹, Li Hui², Fang Yi¹, Chen Yi¹, Zhou Beibei¹

(1. Beijing Key Laboratory of Big Data Technology for Food Safety, School of Computer and Information Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China; 2. College of Management, Beijing Union University, Beijing 100101, China)

Abstract: To visualize the status data of the procedure in real time, a visualization method supporting by the relating static model was proposed. The static models were built in the method. The processing status data were divided into some data segment matching to the static model. The dynamic model for each data segment was built based on the shape of the corresponding static model. Each part of the model was colorized or texturized based on its type or value. All the dynamic model and static model were linked and assembled due to its logical relation. The final visualization result for each moment was obtained by rendering all the models in the whole system. The oil well injection procedure was selected as the typical instance to exposit the method. The experimental results denote the method can achieve the intuitive and accurate expression for the processing data stream. The method can visualize the dynamic procedure in real time.

Key words: data visualization; real-time visualization; processing data stream; oil well injection

引言

可视化(Visualization)是利用计算机图形学和图像处理技术, 将数据转换成图形或图像在屏幕上

显示出来, 并进行交互处理的理论、方法和技术。在 2009 年, Tony Hey 等人主编的《第四范式: 数据密集型的科学发现》^[1]中认为: “现阶段应用于大多数科学学科的数据管理工具都不够成熟, 缺少数据可视化和分析工具。”

2013 年孟小峰教授^[2]明确指出: “可视化技术是数据分析与信息获取的重要手段。”信息可视化能有效抓住人们的注意力。可视化以直观方式表达



收稿日期: 2015-06-10 修回日期: 2015-07-30;
基金项目: 十二五国家科技支撑项目(2012BAD29B01-2);
作者简介: 陈红倩(1982-), 男, 山东, 博士, 副教授, 研究方向为虚拟现实与可视分析; 李慧(1983-), 女, 山东, 博士, 讲师, 研究方向为数据挖掘与知识发现; 方艺(1991-), 女, 安徽, 硕士生, 研究方向为数据可视化。

<http://www.china-simulation.com>

• 2560 •

抽象信息,使得用户能够目睹、探索以至快速理解大量的信息,其已经被证明为一种提高信息获取能力的有效方法,并在实践中得到广泛的应用。

随着计算机仿真系统和传感器网络的兴起,针对过程数据的实时可视化成为一个必要的研究内容。本文以油井灌浆过程为实际应用示例,针对油井灌浆过程中各种流体的状态数据进行可视化。

对于过程数据可视化来说,所主要面临的难点在于两方面。一方面是采集到的原始过程数据往往并不能直接用于最终展示过程;另一方面,数据是以数据流的形式不断产生的,而非一次性提前获取到的,因此必须以流式过程数据为基础进行与过程同步的实时可视化。

本文针对实时产生的流式过程数据,根据数据依托的静态模型建立分段模型,针对每一给定时刻的流体状态数据,分别针对不同的数据状态,建立与静态载体模型匹配的数据分段展示模型,并进一步建立数据绘制信息表;绘制过程中通过纹理映射进行流体类型标识;最终根据逻辑关系进行绘制获得最终的可视化结果。实验结果表明,本文所提出的流体数据实时可视化方法,能够针对计算机仿真过程或传感器实时采集到的数据,根据数据依托的静态模型进行实时可视化。

1 相关工作

国内外许多大学和研究机构致力于流场可视化技术理论及应用的研究,如美国国家宇航局埃姆斯研究中心、奥地利虚拟现实与可视化研究中心、德国斯图加特大学可视化与交互系统研究小组、清华大学、浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室等。

在过程数据可视化的数据源方面,第一类是来自对现实世界的测量结果,如医学上的计算机断层扫描数据和核磁共振数据;第二类来自对现实世界进行模拟计算产生的数据,如工程上有限元分析和计算流体力学的方法产生的各种模拟数据;第三类来自对现实世界相关的物理量进行计算处理后产生的数据,如工程中常用的变换域计算的结果。

在过程数据的可视化表现形式方面,目前的过程/流场可视化方法可以分为五类:直接可视化、基于纹理的可视化、基于空间剖分的可视化、基于特征的可视化以及基于几何的可视化。过程数据可视化属于基于几何的可视化技术,如董延昊^[3]将数据映射到三维空间中,以信息密度高的三维形态呈现多 workflow 实例视图,用于揭示 workflow 数据中隐含的知识。

在可视化方法的实现原理方面,Neumann^[4]给出了一个可视化信息分析技术的框架,根据可视化方法的实现原理,可视化技术主要可分为基于几何的可视化技术、面向像素的可视化技术和基于图标的可视化技术。Keim^[5]同时考虑数据类型、表现功能和交互功能三个方面,增加了标准 2D/3D 显示和重叠显示,并将文本/Web 页、算法/软件作为可视化的数据类型。

信息可视化中的人机交互技术主要可概括为 5 类^[6]:动态过滤技术、Overview+Detail 技术、平移+缩放技术、Focus+Context 技术、多视图关联协调技术。Keim 等人^[7]对可视分析领域的交互框架给出了高层的、概念化的描述,主要对人、机两侧承担的最佳任务范畴进行了划分。Pike 等人^[8]根据任务的多层次特点,从高层与低层映射的维度建立了信息可视化与分析的交互模型,对人、机在可视分析中各自的交互元素给出了较为细化的分类和定义。

Andrews^[9]针对可视交互过程中的空间扩展问题,对比了通过大型高分辨率显示设备进行的物理空间扩展,以及用户通过缩放、平移等交互技术进行交互的虚拟空间扩展之间的差异。Neesha^[10]通过交互式可视推理支持用户决策,并在可视化推理过程中,通过知识连接改善可视化交互过程体验。

随着分析任务越来越复杂,算法的复杂度也在逐步增加,为降低算法运算等待时间,Charles^[11]在 2014 年提出一个渐进可视分析模型,在算法运行的过程中,就显示算法的中间结果,分析人员可以随时来分析这些中间结果并对运算过程进行干

预, 从而降低可视分析过程的等待时间。

流式过程数据的可视化属于过程可视化的一种特殊情况, 本文以油井灌浆过程作为实际应用示例, 通过可视化技术展示油井灌浆过程中的各时刻流体状态。油井灌浆是油气开采过程中的一项重要工作, 灌浆过程中所涉及到的流体种类多, 对于灌浆过程的准确描述也非常复杂。但对于灌浆过程的实时动态可视化仍然缺乏。其不足之处为: 不能实时、直观的还原油井灌浆过程。

本文所提出的方法, 结合可视化技术, 根据传感器采集到的各种数据, 能够展示整个油井中各种浆体的实时状况, 包括油井内筒型浆体的下行状况和环空型浆体的上行状况。首先根据流体数据所依托的静态模型, 将传感器采集到的状态数据, 转换为适合于可视化过程的动态模型数据。并通过不同的纹理, 表示灌浆过程中不同的流体类型。最终在传感器采集过程中, 实时生成直观清晰的过程可视化结果。实验结果表明, 本方法对于油井灌浆过程的实时状态展示提供了算法支持, 能够使油井灌浆过程得以直观表达。

2 流式过程数据实时可视化方法

本文针对流式过程数据的实时状态展示问题, 设计了一种动态可视化方法, 该方法主要包含如下几个步骤:

1) 构建可视化基础数据, 主要包括所需可视化的实时过程数据所依托的静态基础模型, 以及与实时可视化相关的静态信息获取。

2) 针对采集到的实时过程数据, 依托上一步建立的基础模型, 建立分段信息表, 并以此建立分段动态模型, 将模型主要信息保存在当前状态下的绘制信息表中。

3) 根据实际过程中数据所映射模型的逻辑关系, 按逻辑关系绘制各状态中的所有静态模型和数据动态模型, 从而得到各时刻数据可视化结果。

下面以油井灌浆过程数据为例, 依次阐述该数据的可视化方法。详细处理流程如图 1 所示。

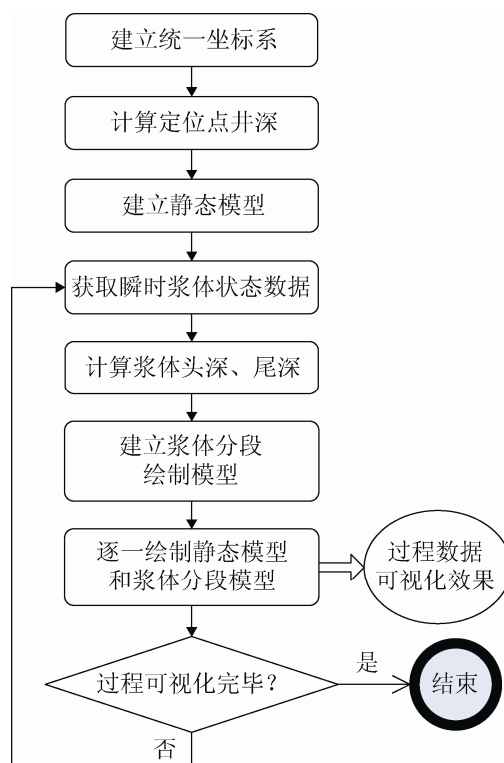


图 1 油井灌浆过程可视化流程

2.1 数据内容分析

在油井灌浆过程中, 所能获取到的数据包含提前给定的静态数据, 以及在灌浆过程中实时采集到的动态状态数据。

在油井灌浆过程数据可视化过程中, 提前给定的静态数据主要包含:

- 1) 表征油井走势的各定位点的坐标;
- 2) 表征油井形状的油井外径;
- 3) 灌浆过程中使用的石油套管的外径、内径。

灌浆过程中实时采集到的动态状态数据包含:

- 1) 当前灌注的浆体类型;
- 2) 当前时刻当前灌注浆体的已灌注量(体积);
- 3) 石油套管内筒中的上液面深度。

2.2 建立静态模型及其绘制信息表

当前的油井钻井过程中, 油井是由多个直线段组成的, 每个直线段称为一个“井段”, 两个井段间形成一个拐角的形状, 油井的井段两端端面中心点称为“定位点”。

油井灌浆过程中的静态模型包含: 1) 油井外筒模型; 2) 石油套管模型。可视化过程所需的基础信息包括: 1) 油井的各定位点信息; 2) 浆体所在的各井段信息。

静态模型及基础信息的建立或获得过程为:

第 1 步: 建立用于计算的统一坐标系。建立坐标系的方法为: 以油井井口中心点为坐标原点; 过井底中心点作一条竖直向上的直线; 以过坐标原点, 并与直线垂直相交的方向为 X 轴; 以过坐标原点垂直向下的方向为 Y 轴; 建立二维直角坐标系。

基于该坐标系和该坐标系内的各定位点坐标, 连接各定位点即可获得油井中心线。图 2 为本例中井段、定位点和坐标系示意图, 图 2 中 A_0 点为油井井口中心点, A_0A_1 , A_1A_2 等直线段称为井筒段, 确定井筒走向和形状的点序列 $A_0A_1A_2A_3A_4$ 为定位点。

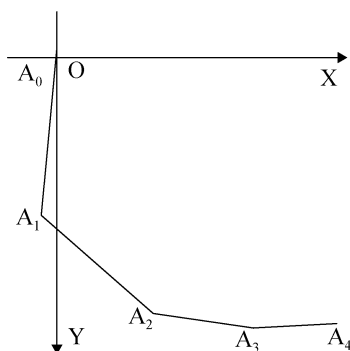


图 2 坐标系建立示意图

第 2 步: 依据给定的各定位点坐标计算各定位点井深, 该计算是为了更为便捷的展现浆体状态数据。第 1 个定位点(即井口位置)井深为 $\text{Depth}_1 = 0$; 当 $n \geq 2$ 时, 第 n 个定位点的井深可根据公式(1)计算得到,

$$\text{Depth}_n = \text{Depth}_{n-1} + \text{Dist}_{n-1} \quad (1)$$

其中 Depth_{n-1} 为第 $n-1$ 个定位点的井深, Dist_{n-1} 为第 n 个定位点与第 $n-1$ 个定位点的距离, 可使用公式(2)计算得到,

$$\text{Dist}_{n-1} = \sqrt{(x_n - x_{n-1})^2 + (y_n - y_{n-1})^2 + (z_n - z_{n-1})^2} \quad (2)$$

其中: (x_n, y_n, z_n) 和 $(x_{n-1}, y_{n-1}, z_{n-1})$ 分别为第 n 个和第 $n-1$ 个定位点坐标。

第 3 步: 建立定位点信息表和井段信息表。

定位点信息表的结构中包含: 定位点唯一编号、定位点 X 轴坐标、定位点 Y 轴坐标、定位点井深等信息。其中, 定位点井深的值是由步骤 3 计算得到, 第 n 个定位点井深的值即为 Depth_n 。油井中的每一个定位点生成一个记录节点(类实例), 添加至定位点信息表中。

井段信息表的结构中包含: 井段唯一编号、井段尾深点坐标、井段头深点坐标、井段尾深、井段头深、井段长度、油井井筒内径(半径)、石油套管外径(半径)、石油套管内径(半径)等信息。其中, 第 n 个和第 $n-1$ 个定位点之间的井段称为第 $n-1$ 个井段。每个井段的井段头深和井段尾深为井段两端的定位点井深, 其中井段头深 > 井段尾深; 每个井段的井段长度的值是由公式(2)计算得到, 第 $n-1$ 个井段的井段长度为 Dist_{n-1} 。油井中的每一个井段生成一条记录, 添加至井段信息表中。

第 4 步: 建立静态模型。在本例中静态模型包括: 油井井筒模型和石油套管模型。

本可视化方法所提出的数据结构, 能够支持 2D 和 3D 展示方法。在 2D 展示方法中, 每一个直线井筒段与其对应的石油分段, 均由两个梯形来表示, 同一层中的相邻两井筒段的梯形, 分别共享一条侧边, 2D 展示方法中的井筒模型示意图如图 3 所示。

图 3 中 $A_1A_2A_3A_4$ 表示油井中心线, 其中 A_2 和 A_3 是定位点, A_2A_3 之间的部分属于一个井段。 D_2D_3 和 G_2G_3 外侧部分属于油井井筒模型部分。

$B_2B_3C_3C_2$ 和 $E_2E_3F_3F_2$ 两部分属于石油井筒的模型表示部分。

在 3D 展示方法中, 每一个井筒段与其对应的石油分段均由一个中空环形筒体模型来表示。每一段模型由两个环形的三角带作为中空环形的底, 内侧面和外侧面分别由三角带形成。

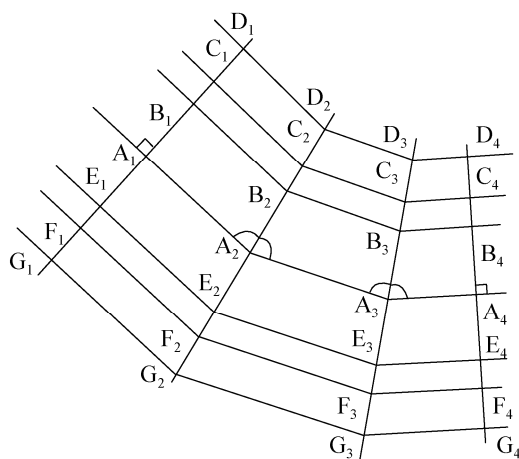


图 3 2D 静态模型表示方法示意图

第 5 步: 指定各静态模型和浆体的纹理。

为井筒、石油套管以及油井灌浆过程中涉及的每一种流体类别设计一种纹理图片, 并为每一种纹理图片编排唯一编号。在本文例的油井灌浆过程中浆体类别包括钻井液、先导浆、冲洗液、隔离液、领浆、尾浆、重泥浆、原泥浆。井筒、石油套管及各种流体与纹理图片一一对应。

2.3 建立浆体动态模型及绘制信息表

在油井灌浆过程中, 各种类型的浆体依次从套管中心灌入, 浆体沿套管中心到达油井底部后, 将沿石油套管和井筒间的缝隙回流至井口。浆体动态模型的具体方法可描述如下:

第 1 步: 根据井筒模型体积和灌浆量, 计算各类型浆体的头深和尾深。

对于内筒型浆体, 第 n 种浆体的头深的计算方法如公式(3)所示,

$$D_H = d + \sum_{i=n}^M V_i / (\pi r_0^2) \quad (3)$$

其中: d 为石油套管内筒中的上液面深度; M 为已

注入的浆体的总种数; V_i 为第 i 种浆体已注入的体积量, $\sum_{i=n}^M V_i$ 为第 n 种浆体及其后灌入的所有浆体的体积; r_0 为石油套管的内径(半径)。

对于环空型浆体, 第 n 种浆体的头深的计算方法如公式(4)所示,

$$D_H = \left(\sum_{i=n}^M V_i - (\pi r_0^2 (D - d)) \right) / (\pi R^2 - \pi r_1^2) \quad (4)$$

其中: d , M , V_i 与公式(3)中的意义相同; D 为油井总深度; $\pi r_0^2 (D - d)$ 为已灌入浆体存在于石油套管部分的体积; R 为油井井筒的内径(半径); r_1 为石油套管的外径(半径)。

对于正在注入的浆体来说, 其尾深即为石油套管内筒中的上液面深度, 其他情况的第 n 种浆体, 其尾深即为第 $n+1$ 种浆体的头深。

根据公式(3)和公式(4), 可依次计算出各种浆体的头深和尾深。

第 2 步: 计算浆体在静态模型上的依附位置。首先根据浆体的头深和尾深, 比对井筒段信息, 获得浆体头深尾深所在的井段信息。然后计算浆体头深点和尾深点的具体坐标。具体坐标的计算方法如公式(5)所示,

$$\begin{cases} x_\mu = x_T + (x_H - x_T) \times \mu \\ y_\mu = y_T + (y_H - y_T) \times \mu \end{cases} \quad (5)$$

其中: (x_H, y_H) 和 (x_T, y_T) 分别是所在井段的井段头深点坐标和井段尾深点坐标; (x_μ, y_μ) 为所求的当前浆体头深点坐标或尾深点坐标; μ 为当前浆体头深点或尾深点所在井段的深度比例, 其计算方法如公式(6)所示,

$$\mu = (D_H^L - D_T) / (D_H - D_T) \quad (6)$$

第 3 步: 建立浆体段信息表。其中浆体段信息表的结构包含: 浆体段唯一编号、浆体形状(内筒型、环空型)、浆体类别、浆体段头深、浆体段尾深、浆体段头深点、浆体段尾深点、浆体段所包含的所有定位点等信息。其中浆体段所包含的所有定位点, 可通过比对定位点信息表, 将定位

点井深在浆体段头深和尾深之间的定位点依次加入即可。已灌入油井中的每一种浆体生成一条记录(类实例), 添加至浆体段信息表中。

第 4 步: 分割浆体段, 建立浆体分段绘制模型。由于相邻井筒段之间存在弯折现象, 在绘制时不便于计算, 因此将跨多个井筒段的浆体段分割为多个绘制段。分割方法为, 根据浆体段所包含的所有定位点, 将浆体段分割为首尾相连的绘制段。绘制段的结构包含: 浆体形状(内筒型、环空型)、浆体类别、浆体绘制段头深点、浆体绘制段尾深点等信息。需要指出的是, 每一个浆体绘制段都是一个直线段, 非常便于绘制过程。

2.4 绘制过程

根据所设置的展示方式, 绘制系统中的静态模型, 并绘制当前时刻所有动态模型。在本例中, 即为绘制静态模型和石油套管模型, 根据各浆体绘制段信息绘制当前时刻的浆体状态。并根据浆体的类型, 设置浆体的纹理。

对于 2D 展示方式, 根据油井灌浆展示系统中各组件的逻辑关系, 按油井井筒→环空型浆体→石油套管→内筒型浆体的顺序进行绘制。对于 3D 展示方式, 除需要按上述顺序进行绘制外, 还需设置需要的观察切面。

3 实验结果与分析

基于本文的算法思想, 已经实现了基于本文系统模型的流式数据可视化, 硬件平台为 intel core i5 2410M 2.3GHz CPU, 4G 内存和 AMD Radeon 6630M 显卡。

本文中所提出的各方法步骤已经应用于油井灌浆的实时可视化中, 所涉及到的灌浆液类型包括: 钻井液、先导浆、冲洗液、隔离液、领浆、尾浆、重泥浆、原泥浆。

图 4 为油井灌浆过程中的一个 2D 可视化效果。通过图 4 能够看出, 本文方法能够快速便捷的对流式过程数据进行可视化, 并能有效的展示油井的形状等, 提供直观、易于理解的可视化效果。

图 5 为基于本文所提出的方法, 实现的 3D 可视化展示效果。从图 5 中能够直观准确的展示各种流体的状态变化。

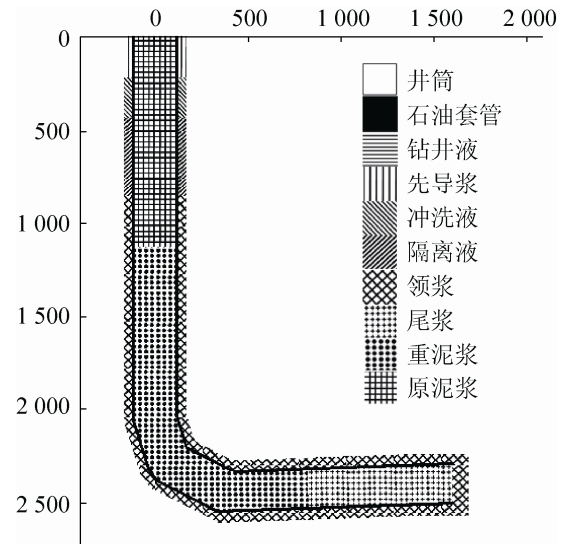


图 4 过程数据 2D 可视化方法效果图

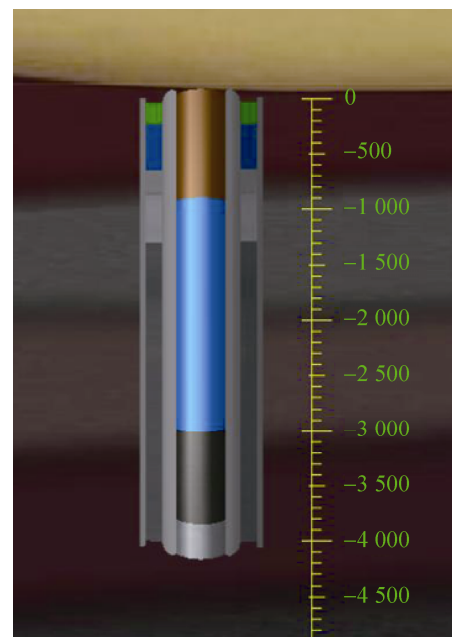


图 5 过程数据 3D 可视化方法效果图

4 结论

本文为解决油井灌浆等过程状态数据的准确描述问题, 提出一种适用的实时动态可视化方法。该方法首先分析实时采集到的数据特征, 基于数据特征建立与数据相吻合的静态模型。在与

数据采集同步的实时展示过程中, 针对采集到的流式状态数据, 建立与数据依附的静态模型相匹配的分段动态模型。将分段动态模型按照逻辑关系进行排序或链接。最终按排序好的模型, 设置对应的纹理图, 按序进行绘制, 获得最终可视化结果。

实验表明, 本文所提出的方法, 能针对现场采集的或仿真生成的流式状态数据进行实时可视化展示, 所提出的数据处理方法能同时支持 2D/3D 展示, 绘制效率能满足实时绘制和交互需求。

致谢

本论文受十二五国家科技支撑项目(2012BAD29B01-2)、北京市自然科学基金资助项目(4154066)、北京市教委科技计划面上项目(PXM2014_014213_000004)、北京市优秀人才培养资助项目(2014000020124G029)、虚拟现实技术与系统国家重点实验室开放基金(BUAA-VR-14KF-04)、2015 年北京工商大学研究生科研能力提升计划资助项目资助。

参考文献:

- [1] Tony Hey. 《e-Science: 科学研究的第四种范式》论文集 [D]. 美国: 微软研究院出版, 2009.
- [2] 孟小峰, 慈祥. 大数据管理: 概念、技术与挑战 [J]. 计算机研究与发展, 2013, 50(1): 146-169. (Meng Xiaofeng, Ci Xiang. Big data management: concepts techniques and challenges [J]. Journal of Computer Research and Development, 2013, 50(1): 146-169.)
- [3] 董延昊, 滕东兴. 基于管道隐喻的工作流可视化方法 [J]. 计算机工程与设计, 2013, 34(1): 327-332.
- [4] Neumann P, Tang A, Carpendale S. A Framework for Visual Information Analysis [R]// Technical Report 2007-87123. Calgary, AB, Canada: University of Calgary, July 2007.
- [5] Keim D, Qu H, Ma KL. Big-Data visualization [J]. Computer Graphics and Applications (S0272-1716), IEEE, 2013, 33(4): 20-21.
- [6] 任磊. 信息可视化中的交互技术研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2009.
- [7] Keim D, Andrienko G, Fekete J, Görg C, Kohlhammer J, Melancon G. Visual analytics: definition, process, and challenges [C]// Kerren A, ed. Proc. of the Information Visualization. LNCS 4950. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2008: 154-175.
- [8] Christopher Andrews, Chris North. The Impact of Physical Navigation on Spatial Organization for Sensemaking [J]. IEEE TVCG (VAST'13) (S1077-2626), 2013, 19(12): 2207-2216.
- [9] Christopher Andrews, Chris North. The Impact of Physical Navigation on Spatial Organization for Sensemaking [J]. IEEE TVCG (VAST'13) (S1077-2626), 2013, 19(12): 2207-2216.
- [10] Neesha Kodagoda, Simon Attfield, B L William Wong, et al. Using Interactive Visual Reasoning to Support Sense-Making: Implications for Design [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (S1077-2626), 2013, 19(12): 2217-2226.
- [11] Stolper C D, Perer A, Gotz D. Progressive visual analytics: User-driven visual exploration of in-progress analytics [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (S1077-2626), 2014, 20(12): 1653-1662.