

文章编号:1673-5005(2008)04-0152-05

基于 Web Services 的分布式储层建模系统的设计与实现

王湘波¹, 王家华¹, 黄本宇¹, 曹春祥²

(1. 西安石油大学 计算机学院, 陕西 西安 710065; 2. 首都经济贸易大学 工商管理学院, 北京 100026)

摘要:针对目前普遍使用的单机版储层建模软件的不足,提出了一个分布式储层建模系统。基于 Web Services 技术,给出了其基于 Web Services 的体系架构设计、业务处理逻辑设计、各处理单元的功能设计及系统的实现模型。该系统能够弥补单机版储层建模软件在海量数据处理、与异构系统的数据共享等方面的不足。

关键词: Web Services; 储层建模系统; 数据共享

中图分类号: TP 311.5; TE 319

文献标识码: A

Design and implementation of Web Services based on distributed system of reservoir modeling

WANG Xiang-bo¹, WANG Jia-hua¹, HUANG Ben-yu¹, CAO Chun-xiang²

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

2. School of Business Administration, Capital University of Business and Economics, Beijing 100026, China)

Abstract: To offset the lack in processing a great deal of data and data sharing between the isomorous systems of the single machine systems of reservoir modeling software wildly used, a distributed system of reservoir modeling (DSRM) was presented with the architecture design, the business process logic (BPL) design, the function design of each process unit and the implementary model of the system based on Web Services technology.

Key words: Web Services; system of reservoir modeling; data sharing

油气储层建模(reservoir modeling)是近 30 年来迅速发展起来的一门学科,目前已得到相关科研人员的关注^[1-6]。它以地质统计学、沉积学、地质构造学等理论为基础,通过测井、地震等技术手段,在三维空间中对油气藏的各种属性进行模拟和描述。现阶段投入使用的储层建模软件主要为单机版软件,且以进口软件为主,如 RMS, Petrel。这些软件在储量分析预测上发挥了重要作用,然而这些系统却面临着一些新的挑战:储层建模所处理的数据以及所产生的中间数据量往往比较庞大,消耗大量的计算机处理时间,如何最大限度地提高系统处理数据的速度,成为摆在人们面前的难题;如何与各油田的现有软件系统共享数据和服务为亟待解决的另一问题;单机版的架构越来越成为该系统进一步发展和

普及的瓶颈。为此,笔者引入 Web Services 技术来构建分布式储层建模系统(distributed system of reservoir modeling, DSRM)。

1 DSRM 的体系结构设计

相对于传统的计算方法,分布式计算方法能更大地提高系统处理数据的速度。早期提出的分布式体系结构都是与底层协议相关的。例如, SUN 公司推出的 JAVA2 规范的企业版 J2EE, 使用了 RMI 协议(RMI 就是关系 (relationship)、映射 (mapping)、反演 (inversion) 的简称)。DCOM (分布式组件对象模型)使用了 RPC 协议(一种通过网络从远程计算机程序上请求服务), CORBA (公共对象请求代理体系结构)使用了 HOP 协议(一种关于网络的

收稿日期:2007-10-11

基金项目:国家自然科学基金项目(50474042)

作者简介:王湘波(1978-),男(汉族),湖南长沙人,硕士,主要研究方向为计算机图形图像处理、油藏建模及可视化。

协议)。这给不同体系结构之间的交互带来了困难,这些体系结构还与编程语言相关。不仅如此,像 DCOM 体系结构,还与操作系统平台相关。为开发出一种能包容各种语言、底层协议及系统平台的体系结构,人们提出了面向服务的体系结构(Service-oriented architecture, 即 SOA)。Web Services^[7-9]正是基于 SOA 的分布式体系结构。它使用 XML 发布、查找、调用服务,能行之有效地将异构系统集成起来,实现异构系统间的数据和服务共享。基于 B/S 结构的 Web Services 的应用,使得软件不再需要安装,就能随时随地在任何连接 Internet 的终端浏览器上使用,为软件系统的发展和普及提供了方便。以 Web Services 为基础,将整个系统设计为三层体系结构(如图 1):前端(客户端)提供原始数据并接收结果数据用于图形显示和分析;中间层进行数据处理,服务都部署在储层服务中心的各服务器上,在储层服务注册中心进行发布;后端为数据库或文件系统,用于保存数据。

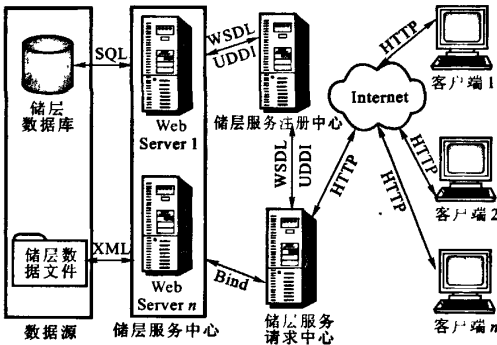


图 1 DSRM 体系架构设计图

设 Requestor 代表储层服务请求中心, Registry 代表储层服务注册中心, Provider 代表储层服务中心(提供储层建模服务,这部分是本系统的核心), Client 代表使用储层建模服务的客户端。

另设 F 为一个用 4 元组定义的操作集合, $F = (S, O, R, P)$ 。其中 O 为操作对象集合, P 为操作所使用的协议集合, S 为施动者集合, R 为受动者集合。同时,令 Register, Request, Send $\in F$ 。其中, Register 为注册操作, Request 为请求操作, Send 为发送消息操作。另外定义 Find(id, r) 为找到标识为 id 的记录 r, Bind(addr) 为绑定地址, Run(id, y) 为运行标识为 id 的服务,并将结果存于 y 中。书写中统一将施动者写在操作的前面,二者之间用“.”隔开,则注册某储层服务 S_{id} 可表达如下:

Provider. Register(S_{id} , Registry, UDDI)。

客户端 Client_i 请求某种储层服务 S_{id} 可简略地表达如下:

Client_i. Request(S_{id} , Requestor, HTTP) → Requestor. Request(S_{id} , Registry, UDDI). →. $\exists x$ [Registry. Find(S_{id} , x) → Registry. Send(x, Requestor, UDDI) → Requestor. Bind(x. soap_addr) → Requestor. Request(S_i , x. soap_addr, SOAP) → x. soap_addr. Run(S_{id} , y) → x. soap_addr. Send(y, Requestor, SOAP)] → Requestor. Send(y, Client_i, HTTP)。

2 储层服务中心的业务处理逻辑设计

原始数据经过各道工序的流水式处理才能得到最终结果。本系统的数据处理任务在服务器(DSRM 的储层服务中心)上完成。多个服务器以资源重叠的方式工作,以缩短数据处理时间,提高处理效率。储层服务中心的业务处理逻辑(business process logic, BPL)设计见图 2。

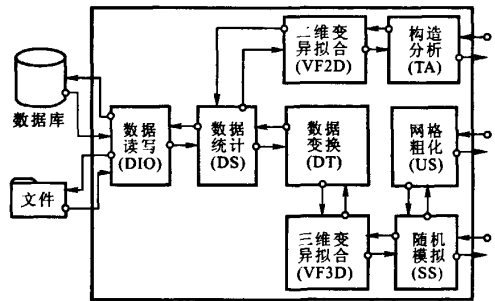


图 2 业务处理逻辑 BPL

BPL 为一个 8 元组, $BPL = (DIO, DS, VF2D, TA, DT, VF3D, SS, US)$ 。BPL 中的各元素称为一个处理单元。

BPL 主要由 TA, US, SS 以及 DIO 提供对外接口。其中, DIO 为对外数据读写的接口, TA 对外提供二维网格化数据, SS 对外提供三维网格化数据体, US 对外提供粗化后的三维网格化数据体。

BPL 内部元素间存在着相互依赖的逻辑关系。为描述 BPL 的这种关系,定义操作 P_x 与状态 F_x 如下:

$$P_x = \begin{cases} 1, & \text{处理事件 } x, \\ 0, & \text{不处理事件 } x, \end{cases}$$
$$F_x = \begin{cases} 1, & \text{已处理事件 } x, \\ 0, & \text{未处理事件 } x. \end{cases}$$

各处理单元的逻辑可描述如下:

DIO 的逻辑 $L_{DIO} = \neg F_{DIO} \rightarrow P_{DIO}$;

DS 的逻辑 $L_{DS} = \neg F_{DS} \rightarrow L_{DIO} \wedge P_{DS}$, 即 $L_{DS} =$

$$\neg F_{DS} \rightarrow (\neg F_{DIO} \rightarrow P_{DIO}) \wedge P_{DS};$$

VF2D 的逻辑 $L_{VF2D} = \neg F_{VF2D} \rightarrow L_{DS} \wedge P_{VF2D}$, 即 $L_{VF2D} = \neg F_{VF2D} \rightarrow (\neg F_{DS} \rightarrow (\neg F_{DIO} \rightarrow P_{DIO}) \wedge P_{DS}) \wedge P_{VF2D}$;

TA 的逻辑 $L_{TA} = \neg F_{TA} \rightarrow L_{VF2D} \wedge P_{TA}$, 即 $L_{TA} = \neg F_{TA} \rightarrow (\neg F_{VF2D} \rightarrow (\neg F_{DS} \rightarrow (\neg F_{DIO} \rightarrow P_{DIO}) \wedge P_{DS}) \wedge P_{VF2D}) \wedge P_{TA}$;

DT 的逻辑 $L_{DT} = \neg F_{DT} \rightarrow L_{DS} \wedge P_{DT}$, 即 $L_{DT} = \neg F_{DT} \rightarrow (\neg F_{DS} \rightarrow (\neg F_{DIO} \rightarrow P_{DIO}) \wedge P_{DS}) \wedge P_{DT}$;

VF3D 的逻辑 $L_{VF3D} = \neg F_{VF3D} \rightarrow L_{DT} \wedge P_{VF3D}$, 即 $L_{VF3D} = \neg F_{VF3D} \rightarrow (\neg F_{DT} \rightarrow (\neg F_{DS} \rightarrow (\neg F_{DIO} \rightarrow P_{DIO}) \wedge P_{DS}) \wedge P_{DT}) \wedge P_{VF3D}$;

SS 的逻辑 $L_{SS} = \neg F_{SS} \rightarrow L_{VF3D} \wedge P_{SS}$, 即 $L_{SS} = \neg F_{SS} \rightarrow (\neg F_{VF3D} \rightarrow (\neg F_{DT} \rightarrow (\neg F_{DS} \rightarrow (\neg F_{DIO} \rightarrow P_{DIO}) \wedge P_{DS}) \wedge P_{DT}) \wedge P_{VF3D}) \wedge P_{SS}$;

US 的逻辑 $L_{US} = \neg F_{US} \rightarrow L_{SS} \wedge P_{US}$, 即 $L_{US} = \neg F_{US} \rightarrow (\neg F_{SS} \rightarrow (\neg F_{VF3D} \rightarrow (\neg F_{DT} \rightarrow (\neg F_{DS} \rightarrow (\neg F_{DIO} \rightarrow P_{DIO}) \wedge P_{DS}) \wedge P_{DT}) \wedge P_{VF3D}) \wedge P_{SS}) \wedge P_{US}$ 。

各处理单元的逻辑有两种处理方式:其一为独立模式,它拥有与它相关的详细的逻辑表达式,可以独立完成逻辑判断,不需要请求其他处理单元的支持;其二为协作模式,它只拥有抽象的逻辑表达式,不能独立完成逻辑判断,需要请求其他处理单元的支持,如对于 L_{TA} ,当 F_{TA} 为假时,它须请求 L_{VF2D} 的逻辑支持,否则不能完成逻辑判断。独立模式的特点是能快速地完成逻辑判断,判断时不需要依赖其他处理单元。其缺点是当其他处理单元的逻辑变更时,它的逻辑如不同步修改就会出错,并且其他处理单元的状态发生改变时,典型的是 F_i 由真变为假或由假变为真,新的状态必须及时汇报给它,否则它的判断就可能与实际不符。协作模式需一层一层地请求相关处理单元的支持才能完成逻辑判断,其缺点是每一次判断都需要相关处理单元的支持,优点是其他处理单元的逻辑变化或状态发生改变时,不影响判断的结果,其灵活性和准确性能得到保证。独立模式相当于知道别人是怎么思考的,为此需要及时更新别人的思维模式和状态条件,从而确保思维结果无误;协作模式不知道别人是怎么思考的,须向别人发出请求才能获得其思维结果。显然协作模式更趋近于社会群体模式,具有更大的可行性,并且人工智能对 Agent^[10-11](一种新闻组阅读软件)的研究取得了很大的成果,目的在于模拟社会群体的行为,这些成果是很值得借鉴的。

3 各处理单元的功能设计

3.1 数据读写 DIO

$DIO = (X, s, D_o, D_i, f_{DIO})$, 其中 X 为 XML 文件集合,为 D_o 与 D_i 的映射规则, D_o 为外部数据格式集, D_i 为内部数据格式集, s 为 XML 模式。一种格式的内部文件可映射为多种格式的外部文件,而多种格式的外部文件均映射为同一格式的内部文件。因此,内部文件格式只有一个,具有惟一性, D_i 定义为: $D_i \neq \emptyset, a \in D_i \wedge b \in D_i \rightarrow a = b$ 。 $f_{DIO} = \{ \langle x, y \rangle \mid x \in D_o \wedge y \in D_i \}$ 。元素 s 中主要定义各种最小的数据单元,如独立的一行、一列或一个个体,以及建立在这些数据单元基础上的运算,如笛卡尔集运算、连接运算。一般情况下,通过分析数据单元的关系,选用适当的运算操作,可以将一种格式的内部文件与多种格式的外部文件进行映射。通过内部文件与外部文件的格式转换,可以实现与其他系统的数据共享,从而增加系统的灵活性。

3.2 数据统计 DS

$DS = (WDS, HS, SCS, CDS)$, 其中 WDS 为井距统计(well distance statistics),统计井距的最大值、最小值、平均值,井距分析结果可用于确定网格步长;HS 为直方图统计(histogram statistics),统计某物性值(或值范围)的出现次数占该物性值总出现次数的百分比;SCS 为散点图统计(scatter chart statistics),分析两个参数的二维空间分布,如井位 x 坐标与 y 坐标构成井位分布;CDS 为累积分布统计(cumulative distribution statistics),分析随机变量 X 的取值不大于实数 x 的(经验)概率分布,即 $F(x) = P(X \leq x)$ 。

3.3 数据变换 DT

$DT = (N, PCA, GF)$, 其中 N 为正态变换。由于一些随机建模方法要求所分析的数据服从正态分布或近似正态分布^[7],所以要对油田的主要物性参数进行相应的正态变换。二维变异函数需要顶面、底面的正态分析结果,而三维变异函数则需要孔隙度、渗透率、含油饱和度、泥质含量的正态变换结果。最后进行的反正态变换在生成网格化数据后由系统自动完成。PCA 为主成分分析,主要完成对沉积相的分析。GF 为相分组,对地质特征中若干相近的微相或亚相进行模糊分类(分组),形成相组,然后以相组为单位进行物性分析。

3.4 二维变异拟合 VF2D

$VF2D = (V2D, F2D)$, 其中 V2D 为二维实验变异函数的计算, F2D 为二维理论变异函数的拟合。

变异函数可用来分析数据的空间相关性。有关变异拟合的详细理论可参考文献[5]。

实验变异函数的定义如下:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N_h} \sum_{k=1}^{N_h} [z(x_k + h) - z(x_k)]^2. \quad (1)$$

式中, N_h 为计算 $\gamma^*(h)$ 所用的数据对的数目。

常见的理论变异函数模型有:球状模型 $r(h) = \frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3}$, 指数模型 $\gamma(h) = 1 - \exp(-3h/a)$, 高斯模型 $\gamma(h) = 1 - \exp\left(-\frac{3h^2}{a^2}\right)$, 幂函数模型 $\gamma(h) = h^\theta, 0 < \theta < 2$ 等, 其中 a 为变程, $0 \leq h \leq a$ 。

目前常用的理论变异函数的拟合方法有带加权系数的最小二乘法拟合、约束极大似然法拟合、模拟退火方法拟合等。

3.5 构造分析 TA

构造分析模块主要用于模拟地层面的构造特征,在相关性分析完成之后进行。其实质是对地层的构造数据进行网格化插值过程,即以变异函数确定的变程为搜索半径,根据拟合后的变异函数对构造数据进行网格化。构造分析的结果主要输出给二维显示(主要绘制等值线)、三维显示和随机模拟等模块。

TA 中用到的网格化方法主要有普通克里金、泛克里金、指示克里金、析取克里金和协同克里金等^[5]。

克里金估值技术是建立在变异函数的基础上的。该估值技术的基本原理是利用空间变量 x 在 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 处的观测值 $z(x_1), z(x_2), \dots, z(x_n)$, 估计该变量在空间一点 x_0 处的观测值。如线性预测

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i). \quad (2)$$

其中参数 λ_i 可由 Kriging 方程组求解。普通克里金方程组为

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(x_i, x_j) - \gamma(x_0, x_i) - \mu = 0, i = 1, 2, \dots, n, \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i - 1 = 0. \end{cases} \quad (3)$$

式中, γ 为变异函数。普通克里金方程组含 $n+1$ 个方程,由此方程组解出 $\lambda_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 及 μ , 其中 λ_i 为普通克里金权系数,将其代入式(2)即可计算出 $Z^*(x_0)$ 。

3.6 三维变异拟合 VF3D

VF3D = (V3D, F3D)。其中 V3D 为三维实验变

异函数的计算, F2D 为三维理论变异函数的拟合。VF3D 的方法和原理与 VF2D 类似,只是搜索空间定义在三维空间中。

3.7 随机模拟 SS

随机模拟以概率为基础模拟地质参数(包括孔隙度、渗透率、饱和度、沉积相等)的空间分布。因为模拟过程中考虑了很多随机因素,故随机模拟更接近客观实际效果。随机模拟为多种模拟方法的集合, $SS = \{IPCS, TGS, RWS, \dots\}$, 其中 IPCS 为指示主成分模拟; TGS 为截断高斯模拟; RWS 为随机游走模拟。

各向同性的地质环境是储层建模最理想的地质条件,然而大多含油气盆地都具有各向异性的地质特征。我国的含油气盆地中,大多为陆相碎屑岩及海相碳酸盐岩为主,这些盆地的非均质性非常严重。在掌握的资料还不太充分的情况下,人们对于非均质的地下储层的认识就存在一些不确定性。随机建模方法承认这种不确定性,并用概率模型来表达这种不确定性,这正是随机建模与确定性建模的显著区别。同时,不同的目标对象有不同的结构特征,如曲河流相有线形的河道、扇形的决口扇、月牙形的点沙坝等沉积微相,在漫长的地质演变过程中,河道不断地摆动、改道、决口,使得沉寂微相处于动态的演变过程当中,并最终形成河道带。因此,针对不同的目标对象,会有不同的认识,而这些不同的认识又可指导人们选用不同的模型来建模。截断高斯、指示模拟可用于离散变量如沉积相的模拟,连续性变量如孔隙度和渗透率的模拟可选用指示模拟,随机游走模拟则主要考虑了河流相的结构特征,用于模拟辫状河与曲流河等沉积相。

3.8 网格粗化 SU

由于精细油藏模拟获得的三维网格化数据的数据量往往十分庞大,通常达到数百万个到千万个。庞大的数据量可能超出普通个人电脑的处理能力,无法直接用于油藏数值模拟。必须用某种方法对网格化数据体进行粗化,使之在规模上能为油藏数值模拟所接受,同时又能尽量保持原模型中油藏的非均质性。SU 为多种粗化方法的集合,其表达式为

$$SU = \{AAU, GAU, HAU, GWAU, \dots\}.$$

式中, AAU 为代数平均粗化; GAU 为几何平均粗化; HAU 为调和平均粗化; GWAU 为基于地质统计学的加权平均粗化。

4 DSRM 的实现模型

如图3所示,系统定义两个顶级接口:服务接口

Dsrn Service 和事物接口 Dsrn Transation, BPL 和 Packager 都分别实现这两个接口。BPL 类为各处理单元类的父类。处理单元类如 DIO, DS 等继承 BPL, 以独立的线程对外提供具体的服务。Packager 用于将 BPL 处理完的最终数据打包成客户端可以直接识别的形式。

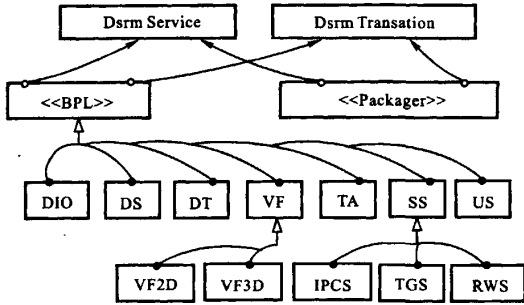


图3 系统粗粒度实现类图

Web Services 使用 XML 进行消息通讯。针对本系统的具体情况,系统实现时将并行分为4个层次:任务间并行、任务内并行、算法间并行、算法内并行。任务间并行:对不同物性参数(如孔隙度、渗透率、饱和度等)和沉积相等的模拟是独立的,对每个参数进行的模拟任务可以并行。任务内并行:对同一任务(如对孔隙度的模拟),通过对多个处理单元(如图2)采用流水线方式运作,实现并行。算法间并行:对于重复进行的计算,可以并行处理。随机模拟一般要求以不同的随机种子对数据进行多次模拟,以获得多个可能的随机结果,故算法间并行也较为常用。算法内并行:对服务单元进一步分解,挖掘并行潜力,实现算法内并行。

其中,“随机模拟 SS”处理单元是消耗计算资源最大的单元,对其进行改进将直接提高分布式处理的效率。由于已将变异函数从这一部分剥离开来,因此这一部分的任务主要是网格化的过程。为最大限度地并行,这部分采用的是任务分解法,即将一个随机模拟任务等分到多个随机模拟服务处理单元,每个处理单元通过模拟求取某一部分网格数据体的值,处理完之后再进行综合得到完整的网格数据体的数据。

本系统要求实时检测事务的状态,而 HTTP 协议本身没有事物设计。为此,需要建立在该协议之上的应用软件完成事务的包装。本系统采用 AJAX 技术(Asynchronous + JavaScript + XML)通过后台反复查询的方式来获知事物的状态。AJAX 技术使用 XMLHttpRequest 对象进行异步数据读取,使用

JavaScript 结合文件目标模型(document object model, DOM)实现对网页内容的动态更新,避免反复刷新页面。

由于源数据相对较小,而中间数据和结果数据巨大,因此数据服务器、储层服务请求中心、储层服务中心的各服务器建议部署在同一局域网内。另外为防止 XML 格式的海量数据进行网络传输明显延时,本系统采用实时数据传输方法。不用等待全部结果数据产生后再进行传输,而是以流的形式将实时产生的结果数据立即传输给下一处理单元。本系统的最小化网络环境要求 100base-T 局域网。Internet 最低接入条件:下行速率为 1Mbps,上行速率为 512 Kbps。

5 结束语

把 Web Services 技术引入储层建模中,设计出了储层建模系统——DSRM。借助 Web Services 架构在分布式计算、异构系统数据交换等方面的特长,DSRM 能较好地解决目前储层建模软件所面临的数据处理速度慢、与其他系统共享数据与服务困难以及单机版系统的应用能力范围有限等问题。目前该架构只是系统的核心架构,通信安全、权限控制等须在今后的工作中进一步补充。BPL 中各处理单元如何进一步细分,以期最大限度地提高并行度,也列为随后须进一步考虑的问题。另外,Web Services 还不成熟,还在发展中,虽然基于 SSL 的 https 协议能提供一定的安全保障,但对于更高的安全要求,这部分仍需加强,对授权认证、数据签名、消息源认证等安全体系应进一步规范。

参考文献:

- [1] 曾新平, 杨自安, 刘碧虹, 等. 地质体三维可视化建模的技术方法研究[J]. 地矿与地质, 2005, 19(107): 103-106.
ZENG Xin-ping, YANG Zi-an, LIU Bi-hong, et al. A study on the technique and methods of 3D visualization modeling of geologic body[J]. Mineral Resources and Geology, 2005, 19(107): 103-106.
- [2] 胡向阳, 熊琦华, 吴胜和. 储层建模方法研究进展[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2001, 25(1): 107-113.
HU Xiang-yang, XIONG Qi-hua, WU Sheng-he. Advancement of reservoir modeling methods[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2001, 25(1): 107-113.

(下转第 160 页)

- [6] 孔捷, 张保民. 激光水下成像技术及其进展[J]. 光电技术, 2006, 26(2): 129-132.
KONG Jie, ZHANG Bao-min. The review of under-water laser imaging technology and its development[J]. Optoelectronic Technology, 2006, 26(2): 129-132.
- [7] ROCKINGER O, FECHNER T. Pixel-level image fusion: The case of image sequences: Signal Processing, Sensor Fusion and Target Recognition Conference No7, Orlando FL, ETATS-UNIS[C]. c1998, 3374: 378-388.
- [8] 赵永强, 张洪才, 潘泉. 基于偏振特征的目标检测[J]. 量子电子学报, 2003, 20(6): 685-688.
ZHAO Yong-qiang, ZHANG Hong-cai, PAN Quan. Object detection through polarization characteristics [J]. Chinese Journal of Quantum Electronics, 2003, 20(6): 685-688.
- [9] WOLFF L B. Applications of polarization camera technology [J]. IEEE Expert, 1995, 105: 30-38.
- [10] MALLAT S G. Multifrequency channel decomposition of images and wavelet models[J]. IEEE Trans Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1989, 37: 2091-2110.
- [11] MALLAT S G. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation [J]. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989, 11(7): 674-693.

(编辑 修荣荣)

(上接第 151 页)

- [8] 赵曙光, 王宇平, 焦李成, 等. 基于自适应遗传算法的无源电力滤波器的综合优化方法[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(7): 173-176.
ZHAO Shu-guang, WANG Yu-ping, JIAO Li-cheng, et al. Adaptive genetic algorithm based optimal design approach for passive power filters [J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(7): 173-176.
- [9] 赵勇, 邓红英, 李建华, 等. 基于机会约束规划的配电网滤波装置优化配置[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(1): 12-17.
ZHAO Yong, DENG Hong-ying, LI Jian-hua, et al. Chance-constrained programming based optimal allocation of harmonic filter on a distribution network [J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(1): 12-17.
- [10] GB/T14549 - 1993 电能质量公用电网谐波[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.
- [11] 林志清, 秦东, 杨洪耕. 基于灵敏度分析的网络固有结构理论的应用研究[J]. 四川电力技术, 2005, 28(B11): 15-18.
LIN Zhi-qing, QIN Dong, YANG Hong-geng. Study on application of the inherent structure theory of network based on sensitivity analysis [J]. Sichuan Power Technology, 2005, 28(B11): 15-18.
- [12] WALKIEH George J. 电力系统谐波——基本原理、分析方法和滤波器设计[M]. 徐政, 译. 北京: 机械工业出版社, 2003: 95-107.

(编辑 修荣荣)

(上接第 156 页)

- [3] 赵敏. 随机建模方法及其在储层建模中的应用[D]. 成都: 成都理工大学理学院, 2005.
- [4] 王家华, 张团峰. 油气储层随机建模[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 45-67.
- [5] 王家华, 高海余, 周叶. 克里金地质绘图技术——计算机的模型和算法[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 45-112.
- [6] 刘永社, 印兴耀, 贺维胜. 空间相关分析因素对储层建模中克里金估计结果的影响[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2004, 28(2): 24-27.
LIU Yong-she, YIN Xing-yao, HE Wei-sheng. Effects of the factors for spatial correlation analysis on Kriging estimation in reservoir modeling [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2004, 28(2): 24-27.
- [7] W3C Working Group. Web services architecture [EB/OL]. <http://www.w3.org/TR/ws-arch/wsa.pdf>, February 2004.
- [8] HEATHER K, IBM Software Group. Web services conceptual architecture [EB/OL]. <http://www-3.ibm.com/software/solutions/webservices/pdf/WSCA.pdf>, May 2001.
- [9] 杨涛, 刘锦德. Web Services 技术综述——一种面向服务的分布式计算模式[J]. 计算机应用, 2004, 24(8): 1-4.
YANG Tao, LIU Jin-de. Survey of Web Services: a service-oriented distributed computing paradigm [J]. Computer Applications, 2004, 24(8): 1-4.
- [10] KHANH H D, MICHAEL W. Comparing agent-oriented methodologies [EB/OL]. <http://www.cs.rmit.edu.au/agents/Papers/aois2003.pdf>, May 2003.
- [11] DAVID K, MICHAEL G. Modelling and design of multi-agent systems [EB/OL]. <http://www.upv.es/sma/teoria/metodologias/articulos/technote59.pdf>, May 2006.

(编辑 修荣荣)