

8-7-2020

Ocean Hydrological Spatio-Temporal Data Visualization Based on Data Awareness

Caixia Li

1. *Satellite Marine Tracking and Control Department of China, Jiangyin 214431, China;;*

Song Yuan

2. *Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China;*

Wang Yi

1. *Satellite Marine Tracking and Control Department of China, Jiangyin 214431, China;;*

Li Zhi

1. *Satellite Marine Tracking and Control Department of China, Jiangyin 214431, 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.

Ocean Hydrological Spatio-Temporal Data Visualization Based on Data Awareness

Abstract

Abstract: Spatio-temporal data mining has emerged as an active research field focusing on the modeling and visualization of ocean hydrological data. *A model of spatio-temporal data awareness (SDAM) was proposed, which gave details from three parts: 1) Description with data semantic tag for spatio-temporal context and value. 2) Awareness of spatial neighborhood semantic features by means of tri-linear interpolation; Awareness of temporal neighborhood semantic features by means of spatio-temporal frequent pattern mining; Developing database with the spatio-temporal coupling characteristics. 3) Developing feature cluster and application dataset by spatio-temporal clustering.* With an application case of China's hydrological database, SDAM visualization on Web3D was demonstrated. Experimental result shows the effectiveness of the method.

Keywords

ocean hydrological data, AM, spatio-temporal clustering, WebGL, 3D visualization

Authors

Caixia Li, Song Yuan, Wang Yi, Li Zhi, and Xiaolin Cheng

Recommended Citation

Li Caixia, Song Yuan, Wang Yi, Li Zhi, Cheng Xiaolin. Ocean Hydrological Spatio-Temporal Data Visualization Based on Data Awareness[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(9): 2150-2155.

基于数据感知的海洋水文时空数据可视化

李彩霞¹, 宋元², 王艺¹, 李智¹, 程小林¹

(1. 中国卫星海上测控部, 江苏 江阴 214431; 2. 海军大连舰艇学院, 辽宁 大连 116018)

摘要: 海洋水文数据建模与可视化过程中充分挖掘数据时空依赖关系是当前研究热点之一。借鉴位置社会感知思想, 提出一种时空数据感知模型(*spatio-temporal data awareness model, SDAM*): 用数据语义标签描述采样点时空信息上下文、温盐密等非视觉物理量值; 用三线性插值法感知空间邻近域数据语义, 通过挖掘时空频繁模式感知(推演)时间邻近域数据语义, 构建表征时空耦合特征的水文感知数据集; 对高分辨率的底层感知数据进行相似性度量, 通过时空聚类构建时空特征类簇, 获取宏观的、低分辨率时空主题应用数据集。通过对中国沿海 2014 年第一季度海洋温盐深数据 Web 环境下三维可视化描述, 验证了水文时空数据感知模型的可行性和有效性。

关键词: 海洋水文数据; 时空数据感知模型; 时空聚类; WebGL; 三维可视化

中图分类号: TP391, P7 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2015) 09-2150-07

Ocean Hydrological Spatio-Temporal Data Visualization Based on Data Awareness

Li Caixia¹, Song Yuan², Wang Yi¹, Li Zhi¹, Cheng Xiaolin¹

(1. Satellite Marine Tracking and Control Department of China, Jiangyin 214431, China; 2. Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China)

Abstract: Spatio-temporal data mining has emerged as an active research field focusing on the modeling and visualization of ocean hydrological data. A model of spatio-temporal data awareness (SDAM) was proposed, which gave details from three parts: 1) Description with data semantic tag for spatio-temporal context and value. 2) Awareness of spatial neighborhood semantic features by means of tri-linear interpolation; Awareness of temporal neighborhood semantic features by means of spatio-temporal frequent pattern mining; Developing database with the spatio-temporal coupling characteristics. 3) Developing feature cluster and application dataset by spatio-temporal clustering. With an application case of China's hydrological database, SDAM visualization on Web3D was demonstrated. Experimental result shows the effectiveness of the method.

Keywords: ocean hydrological data; AM; spatio-temporal clustering; WebGL; 3D visualization

引言

近年来, 国家对海洋战略发展日益重视, 海洋科学调查积累了大量的连续的海洋综合资料, 包括相关海域的地理资料、调查资料、实时观测资料等。



收稿日期: 2015-04-30 修回日期: 2015-08-04;
作者简介: 李彩霞(1977-), 女, 吉林敦化市人, 硕士, 高工, 研究方向为数据可视化; 宋元(1975-), 男, 山东即墨人, 博士, 副教授, 研究方向为系统建模与仿真; 王艺(1987-), 男, 安徽宣城人, 工程师, 研究方向为视觉空间建模。

国家海洋局启动了“数字海洋”工程^[1], 各科研机构也相继建立了各类数据服务平台, 借助信息可视化技术为海洋数据信息集成、业务管理、决策支持提供服务。由于海洋水文数据的应用具有较强的专业背景, 如何利用可视化技术来弱化专业知识要求, 将数据以人类可快速识别的可视化形式展示, 分析挖掘数据特征和演变规律, 降低服务使用难度是业界关注的重点问题之一。许多学者针对海洋水文数据特点进行建模与可视化, 提出了许多的时空建模

方法^[2-3], 数据集成方法^[4-5]、可视化方法^[6-7]。由于时空本体对象间存在一种自然的依赖关系, 如何在时空数据挖掘中结合专业背景知识表征这种相关性仍然是一个开放性问题。

位置社会感知^[8]是一个近年来新兴的学科领域。本文借鉴其中的“位置”概念, 从地理坐标和时间构成的四维概念延伸其“数据性”, 提出水文时空数据感知模型 (spatio-temporal data awareness model, SDAM), 在已有的可视化研究成果基础上, 研究数据场中的非视觉物理量转变为可见形式的模型和具体方法, 实现 Web 环境下轻量级时空数据感知与可视化, 分析挖掘时空特征和演变规律, 为数值分析、仿真重演和预演提供服务。

1 水文时空数据感知模型

中国国家海洋信息温盐数据数据库^[9]、中国海洋信息网^[10]、海洋调查获取资料等不同来源的海洋水文要素信息包含了大量感知数据, 水文数据感知模型设计不仅需要充分考虑不同的数据标准、数据精度、不同海区的数据密度、数据格式产生的多源、异构特点, 还要关注多分辨率特性——既要表征高层次的粗粒度(低分辨率)聚合数据, 描述宏观的、本质的属性, 又要解析低层细粒度(高分辨率)数据, 在微观层次分析采样点及其邻域数据的局部特征。

1.1 感知水文时空数据语义

水文时空数据语义主要包括采样点的地理空间信息上下文、时间信息上下文、温盐密等非视觉物理量值等。为了更好地描述水文时空数据感知的内容和方法, 作出如下定义:

定义 1. 地理空间坐标点记为 $p=\langle x, y, z \rangle$ 是三维地理空间 R^3 的关注点。其中 x, y, z 分别表示该关注点位置的经度、纬度和深度, 一个地理区域记为 $C_p=\{p_1, p_2, \dots, p_n, \dots\}$ 。

定义 2. 包含时间戳的空间关注点记为 $\langle p, t_i \rangle$ 。其中, t_i 代表时间戳, 且 $\forall 0 < i < n, t_i < t_{i+1}$, 将空间

关注点扩展为一个区域构成时空实体, 记为 $V_i=\langle C_p, t_i \rangle$ 。

定义 3. 一个时空实体 V_i 存在多个数据语义标签, 记为 $Tag_i=\langle tag_i^1, tag_i^2, \dots, tag_i^n, \dots \rangle$, $Tag=\{tag^1, tag^2, \dots, tag^n, \dots\}$, 其中 $tag_i^j \in Tag$, Tag 为可采集的水文数据温、盐、密等物理量语义标签集合。

定义 4. 一个时空邻近域包括相邻时间点上所有空间邻近的实体, 记为 $ST(V_i, k)$, 其中时间邻近范围(即时间窗口)表示以时间延迟 k 为时间窗口半径; 空间范围(即空间邻近域)表示在空间上有公共边的所有时空实体。一个时空实体受前 k 个时间点上时空实体的影响, 同时也对后 k 个时间点上时空实体有影响。图 1 表示了 $k=1$ 时, V_i 的时空邻近域。

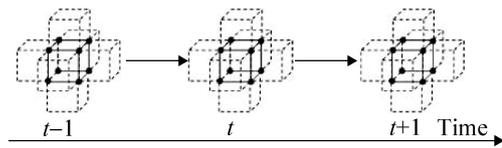


图 1 时空临近域示意图

1.2 水文时空数据感知模型

海洋水文数据具有明显的地学特征, 在空间和时间的分布上构成了一个多维的数据场。根据地理学第一定律, 地理事物或属性在空间分布上互相关联, 因此特定空间位置上的数据语义标签 Tag_i 受到以前时间点上相同空间位置和空间邻近域数据语义标签的共同影响, 具有时空耦合特性。

感知模型 1. 根据水文数据空间分布特征感知空间邻近域数据语义。

在一定的空间分辨率情况下, 水文数据是空间平稳数据, 因此将水文空间数据视为规则三维标量场, 直接采用三线性插值法(tri-linear interpolation)^[11]预测邻域位置数据, 计算邻域时空实体 V_i 的数据语义标签 Tag_i 。

$$Tag_i = Tag_0(1-x)(1-y)(1-z) + Tag_1(1-x)y(1-z) + Tag_2(1-x)(1-y)z + Tag_3(1-x)yz + Tag_4x(1-y)(1-z) + Tag_5xy(1-z) + Tag_6x(1-y)z + Tag_7xyz$$

感知模型 2. 根据水文数据存在的规律性和周期性, 由历史数据感知(推演)时间邻近域数据语义。

水文数据在一定的时间区间内总是遵循相同或近似的变化规律, 展现出一定的周期性, 可用来预测未来的变化趋势。相邻的时空数据实体的数据语义标签相互关联, 其关联规则为: $Tag_1 \wedge Tag_2 \wedge \dots \wedge Tag_m \rightarrow Tag_n$, 其中, $t_1 < t_2 < \dots < t_m < t_n$, $Tag_1 \wedge Tag_2 \wedge \dots \wedge Tag_m$ 称为前缀, Tag_n 称为预测(推演)的数据语义标签。从历史数据中提取出前序数据语义标签序列 $\langle Tag_i, t_i \rangle$, 通过挖掘时空频繁模式(spatio-temporal frequent pattern)^[12], 对数据集中距离当前所选时刻最近的前缀 $Tag_1 \wedge Tag_2 \wedge \dots \wedge Tag_m$ 分析匹配, 来推算时间邻近域水文数据语义。

感知模型 3. 感知水文时空数据的聚类语义。

借鉴多分辨率建模^[13](multi-resolution modeling, MRM)基本思想, 设计水文数据空间金字塔模型(spatial pyramid model, SPM), 进行水文时空数据聚类语义分析, 如图 2 所示。

设金字塔层次为 3 层:

(1) 假设底层感知数据语义标签集合样本数为 n , 将其表示成点序列, 记作 $D_i = \{Tag_1, Tag_2, \dots,$

$Tag_n\}$, 对应于 SPM 的第 1 层。

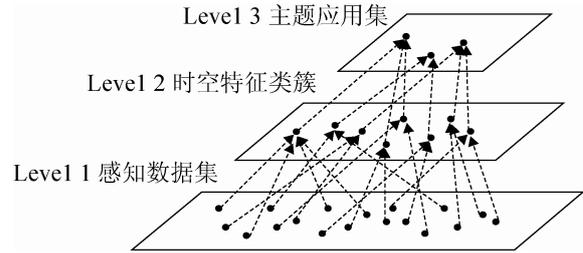


图 2 水文数据空间金字塔模型 SPM 示意图

(2) 基于密度聚类技术得到 r 个时空簇特征词汇 $\{F_1, F_2, \dots, F_r\}$ 。 $P(D_i, F_j)$ 表示数据语义标签的点序列 D_i 隶属于时空簇特征词 F_j 的概率。采用最大语义轨迹模式(MSTP-Similarity)^[14]相似度来度量数据语义标签点序列之间的相似性, 把 D_i 分到 $P(D_i, F_j)$ 值最大的一个时空特征类簇(feature cluster, FC), 时空特征类簇对应于 SPM 的第 2 层。

(3) 根据温、盐、密等物理量数据语义, 划分为 L 个主题 $\{T_l | l=1, 2, \dots, L\}$, 每组分量所对应的时空特征类簇 $\{FC(D_i) | i \in T_l\}$ 构建出一个独立的主题应用集, 对应于 SPM 的第 3 层。

2 基于数据感知的可视化框架

框架由四个模块组成, 如图 3 所示。

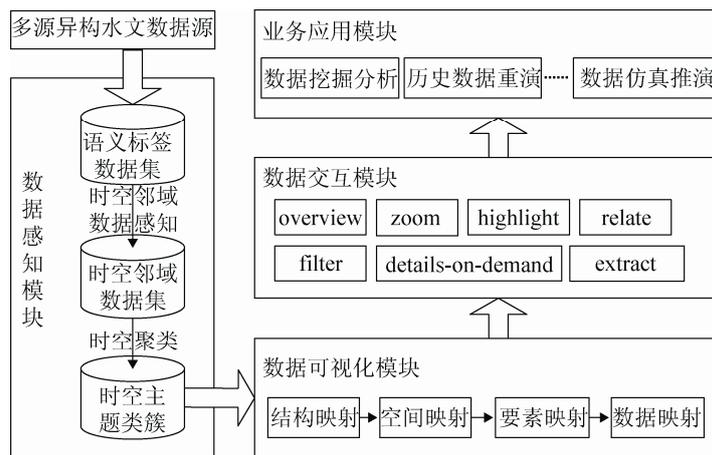


图 3 基于数据感知的海洋水文时空数据可视化框架

(1) 数据感知模块: 首先, 对多源异构水文数据作预处理, 用语义标签数据集描述其温度、盐

度、密度等物理量值。然后, 依据水文时空数据感知模型 SDAM 进行时空邻域数据感知, 用三线性

插值法感知空间邻近域数据语义,通过挖掘时空频繁模式感知(推演)时间邻近域数据语义,构建表征时空耦合特征的水文感知数据集。最后,对高分辨率的底层感知数据进行相似性度量,通过时空聚类构建时空主题类簇,获取宏观的、低分辨率时空主题应用数据集。

(2)数据可视化模块:通过抽取、转换、映射等方式对主题应用数据集进行抽象与整合,将非空间抽象信息(数据语义标签)投影到具有空间结构的平面或多维形式中。首先,将时空主题类簇之间的关系,通过结构映射为相应的可视化结构;然后,根据要素的维度,经过空间映射确定合适的可视化维度;再根据可视化需要,明确要素映射后的可视化形式(如点、线、面基本体素或图标等);最后,根据标签语义将量化值映射为尺寸、色彩、亮度等可视变量。

(3)数据交互模块:通过概览(overview)、缩放(zoom)、过滤(filter)、按需提供细节(details-on-demand)、关联(related)、提取(extract)、高亮(highlight)等技术拓展可视化信息表达空间,解决有限的空间与数据量、复杂度之间的差距问题。

(4)业务应用模块:分析挖掘时空特征和演变规律,为数值分析、仿真重演和预演提供服务。

3 中国沿海温、盐、密数据实验

3.1 数据描述

本文选取中国沿海 2014 年第一季度海洋温盐深数据库进行实例分析。其中温度(TV, Temperature Value)指网格点平均温度,单位为 $^{\circ}\text{C}$,数据有效范围为[0~32];盐度(SV, Salinity Value)指网格点平均盐度,单位为 g/dm^3 ,数据有效范围为[28~35.5];密度(DV, Density Value)指网格点平均密度,单位为 g/dm^3 ,数据有效范围为[10~28]。实验数据的水平方向上为均一网格,经度范围为 $100^{\circ}\sim 129^{\circ}\text{E}$,纬度范围为 $10^{\circ}\sim 39^{\circ}\text{N}$;垂直方向上的分辨率为不等间距,有效范围为[0~5 000],单位为 m。

3.2 构建时空邻近域

根据感知模型 1 和感知模型 2,构建时空邻近域,感知时空邻近域数据语义。设置时间延迟算子为 1,即时间窗口半径为 1 天。在空间邻域方面,深度方向设置时空实体位置点 P 为-5, -10, -15, -20, -25, -30, -35, -50, -75, -100, -125, -150, -200, -250, -300, -400, ……,-1 500, -1 750, -2 000, -2 500, -3 000, -4 000, -5 000,水平方向按照 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 分辨率选取时空实体位置点 P ,按时间区段相似程度和空间上的远近程度对时空实体序列进行重组,采用三线性插值法分别计算时空实体的温度、盐度、密度等物理量值,并用数据语义标签描述。

3.3 时空数据聚类

根据感知模型 3,对水文数据进行时空聚类。时空数据聚类(spatiotemporal clustering)的核心思想是基于空间和时间相似度把具有相似行为的时空对象划分到同一组中,使组间差别尽量大,而组内差别尽量小。由于水文数据在空间采样点上相对固定,空间聚类主要是由子网格点向父网格点汇总,比如将纬度 $35.5\sim 36.4$ 范围的数据融合为以 36.0 为时空体中心点的数据,采用基于空间距离的平均值来实现空间数据聚类。由于数据在时间上存在周期性,在进行以季度为簇单位的数据聚类时,既要考虑每日 24 小时内的数据变化,还要考虑同一时段(如上午 9-10 点)在 90 天内的数据变化。采用算法 1 构建时空主题类簇,获取时空主题应用数据集。

算法 1 的核心是基于点序列的数据语义标签划分算法。首先将数据语义标签表示成点序列,然后基于密度聚类技术得到若干特征词汇,采用最大语义轨迹模式对相似点序列进行相似性度量,再对点序列趋向于某个特征词进行概率统计,最后进行加权平均得到时空特征类簇。根据温、盐、密等物理量数据语义,划分为若干主题,得到时空主题应用数据集(见表 1)。

表 1 时空主题应用数据集

主题	数据标签													
经度	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	...	128.0	128.0	128.0	...	109.0	109.0	...
纬度	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	...	24.00	24.00	24.00	...	19.00	19.00	...
深度	0	-5	-10	-15	-20	-25	...	-1750	-2000	-2500	...	0	-5	...
水温	12.97	12.22	11.51	10.37	9.29	8.55	...	2.22	2.00	1.76	...	25.40	24.74	...
盐度	32.477	32.499	32.520	32.552	32.582	32.599	...	34.582	34.615	34.644	...	33.243	33.292	...
密度	24.35	24.51	24.66	24.92	25.14	25.29	...	27.62	27.67	27.71	...	21.95	22.10	...
.....														

算法 1 时空聚类算法

输入: 感知数据语义标签集合样本 S, 密度阈值 d-lim;

输出: 聚类结果时空主题应用数据集 FC(T_i).

//将感知数据语义标签集合 S 表示成点序列 D_i

① D_i ← encode(S(n));

//第②~④行对 D_i 中的数据根据密度阈值 d-lim 进行过滤, 得到时空簇特征词集 F

② for each term t ∈ D_i

③ if t.frq > d-lim /*frq 在样本中出现的频度*/

④ F ← t;

//解析 D_i 隶属于 F_j 概率分布, 将 D_i 聚类到其所包含 F_j 概率最大的时空特征类簇 FC

⑤ FC(D_i) = F_k ∧ ∨_{j(j≠k)} P(D_i, F_j) < P(D_i, F_k), i ≤ j, k ≤ r;

//划分温、盐、密等 L 个主题进行特征降维

⑥ FC(T_i) ← clustering(FC(D_i));

⑦ return FC(T_i).

3.4 可视化结果

WebGL 是 HTML5 重要的组成部分, 能够与

HTML 内容紧密集成, 支持在浏览器上直接进行 GPU 的调用进行图像绘制, 具有跨浏览器、跨平台的兼容性。本文采用 WebGL 技术构建三维数据场, 实现数据映射和图像绘制。

通过 JavaScript 脚本语言实现远程数据读取以及处理, 将数据存储到时空数据模型对象中, 生成包含经、纬、深信息的三维数据场。其中, X 轴坐标为经度, Y 轴坐标为纬度, Z 轴坐标为水深, Z 轴拉伸 0.01 倍。通过 WebGL 技术在浏览器端依据水文数据的标签语义进行颜色映射, 实现对数据场的颜色填充, 从视觉上感知数据的变化。绘制结果如图 4 所示, 可以看到温度随水深增加而降低、随纬度增高而降低、盐度靠近大陆架附近数值减少等宏观特征。除此之外, 综合概览、过滤、剖面提取、多视图关联等交互方法(如图 5 所示), 实现沿经度、纬度和深度的剖面数据提取与绘制, 通过鼠标拾取获得网格点温、盐、密精确物理量值。

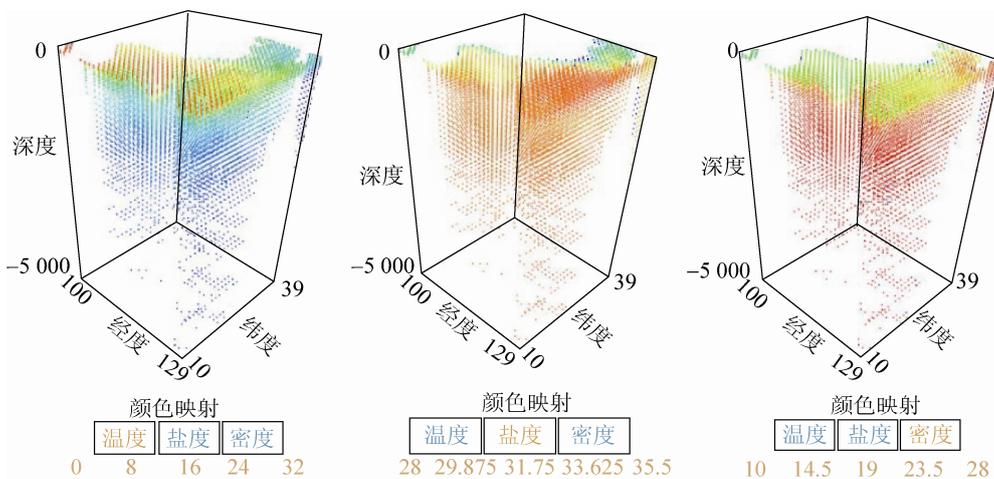


图 4 温度、盐度、密度数据可视化

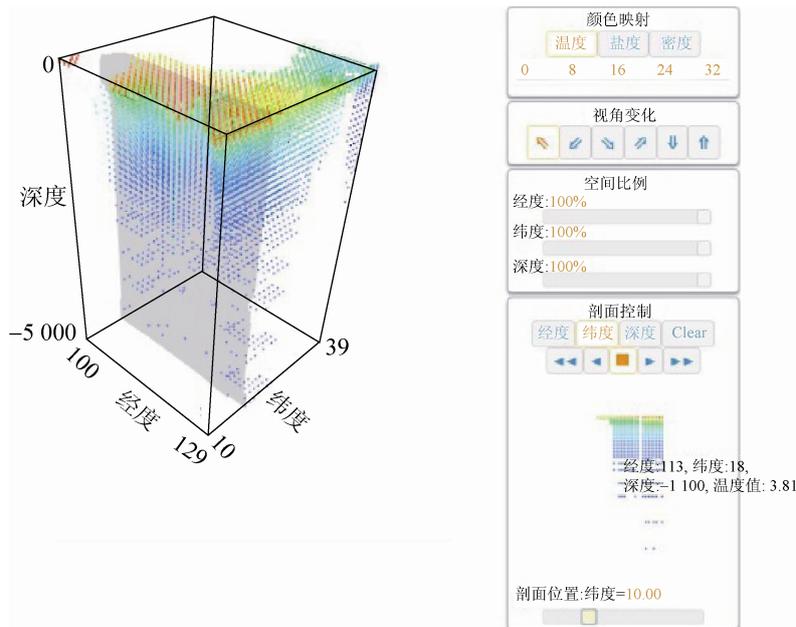


图 5 纬度轴温度剖面数据三维可视化

4 结论

本文从海洋水文时空数据的基本特征出发,提出了一种时空数据感知模型 SDAM,充分表征了时空数据的时空耦合特征,对业务人员分析水文数据具有十分重要的意义。实验结果表明用数据语义标签描述海洋标量场数据时空信息上下文、温盐密等非视觉物理量值解决了多源、异构数据表述问题;根据感知模型 1 和感知模型 2 感知空间和时间邻近域数据语义,充分表征了水文数据的时空相关性;根据感知模型 3 通过时空聚类构建时空特征类簇,获取宏观的、低分辨率时空主题应用数据集,为分析挖掘时空特征和演变规律,进行数值分析、仿真重演和预演提供了支持。下一步的工作将主要针对海洋矢量场数据研究多尺度的时空聚类和可视化方法。

参考文献:

- [1] 张新, 刘健, 石绥祥, 等. 中国“数字海洋”原型系统构建和运行的基础研究[J]. 海洋学报, 2010, 32(1): 153-160. (ZHANG Xin, LIU Jian. The basic research on the construction and implementation of China's digital ocean prototype system [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2010, 32(1): 153-160.)
- [2] 李汉荣, 牛红光, 贾俊涛, 等. 数字海洋三维地球框架

下的通视分析技术[J]. 海洋测绘, 2013, 33(4): 42-44. (LI Han-rong, NIU Hong-guang, JIA Jun-tao. Visibility Analysis Technology Based on Digital Sea [J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2013, 33(4): 42-44.)

- [3] 薛存金, 董庆. 海洋时空过程数据模型及其原型系统构建研究 [J]. 海洋通报, 2012, 31(6): 667-674. (XUE Cun-jin, DONG Qing. Research on the marine spatio-temporal process data model and its prototype system construction [J]. Marine Science Bulletin, 2012, 31(6): 667-674.)
- [4] 黄冬梅, 张弛, 杜继鹏, 等. 数字海洋中海量多源异构空间数据集集成研究 [J]. 海洋环境科学, 2012, 31(1): 111-113. (HUANG Dong-mei, ZHANG Chi, DU Ji-peng. Integration of massive multi-source heterogeneous space-time data in digital sea [J]. Marine Environmental Science, 2012, 31(1): 111-113.)
- [5] 赵雪. 面向海洋环境监测的数据协同服务系统设计与实现 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013: 2-19.
- [6] 张峰, 李昊倩, 刘金, 等. 数字海洋可视化系统研究与实现 [J]. 海洋通报, 2011, 13(1): 87-95. (ZHANG Feng, LI Hao-qian, LIU Jin. Research and realization of visual digital ocean System [J]. Marine Science Bulletin, 2011, 13(1): 87-95.)
- [7] 苏天赞, 吕智涵, 周林, 等. 基于 Web3D 的海底地层三维可视化平台 [J]. 系统仿真学报, 2013, 25(10): 2403-2407. (SU Tian-bun, LV Zhi-han, ZHOU Lin. Web3D Based Seabed Strata Visualization Platform [J]. Journal of System Simulation, 2013, 25(10): 2403-2407.)

(下转第 2162 页)