

文章编号: 1001-1595(2011)05-0655-07

## 指标驱动下以任务流为中心的在线交互制图模型

赵 飞<sup>1,2,3</sup>, 杜清运<sup>1,2,3</sup>, 彭子凤<sup>4</sup>, 任 福<sup>1,2,3</sup>

1. 武汉大学 资源与环境科学学院, 湖北 武汉 430079; 2. 武汉大学 地理信息系统教育部重点实验室, 湖北 武汉 430079; 3. 武汉大学 数字制图与国土信息应用工程国家测绘局重点实验室, 湖北 武汉 430079; 4. 深圳市规划国土房产信息中心, 广东 深圳 518034

### Interactive Model for Web Thematic Cartography: A Indicator-driven and Task Flow-centered Approach

ZHAO Fei<sup>1,2,3</sup>, DU Qingyun<sup>1,2,3</sup>, PENG Zifeng<sup>4</sup>, REN Fu<sup>1,2,3</sup>

1. School of Resources and Environmental Science, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 2. Key Laboratory of GIS, Ministry of Education, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 3. Key Laboratory of Digital Mapping and Land Information Application Engineering, State Bureau of Surveying and Mapping, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 4. Shenzhen Municipal Planning and Land Information Center, Shenzhen 518034, China

Abstract: Online mapping is a complex and interactive process, task flow is a new idea and method in interactive cartographical system. The various cartographic models adapted for Web cartographic interaction application are expounded to seek a more appropriate model. In order to make mapping easier in the context of Web, indicator-driven and task flow-centered online interactive mapping model is put forward based on characteristics of statistical indicators and cartography visualization. According to this model the XML schema of online thematic map symbol is defined. Finally, the Shenzhen online atlas is took as a example to show the application of various technique of Web visualization of statistic data based on this model. It shows that the visualization system and model of visualization functions is worth of spreading.

Key words: statistical indicator; thematic map; cartographic model; interactive mapping; Web services

摘 要: 在线制图是一个复杂的交互过程, 任务流是交互制图系统的一种新理念和新方法。分析不同的地图制图模型, 根据统计数据和专题地图可视化的特点, 提出统计指标驱动下以任务流为中心的在线地图制图模型, 并给出网络地图符号 XML 定义描述, 结合某市在线动态专题地图可视化的应用实例, 研究基于该模型的统计数据 Web 空间可视化的各种方法和应用, 表明该可视化体系和功能流程模式具有很好的推广价值。

关键词: 统计指标; 专题地图; 地图制图模型; 交互制图; 网络服务

中图分类号: P285

文献标识码: A

基金项目: 国家自然科学基金(40871210); 极地测绘科学国家测绘局重点实验室开放基金(200801); 中央高校基本科研业务费专项资金(20102050101000054)

## 1 引言

交互是现代地图可视化的一个关键要素<sup>[1,2]</sup>, 与用户的交互能力是衡量地图可视化效果的重要标志<sup>[3]</sup>。在线制图是一个复杂的交互过程, 按其侧重的交互要素来分有以用户为中心<sup>[4-6]</sup>、以地图为中心<sup>[3,7]</sup>、以任务流为中心(task flow-centered, TFC)<sup>[8]</sup>等三种交互模型。在引入交互设计理念的同时, 许多学者借助网络服务对在线制图的实现方式进行研究。文献[9]对分布式制图接口进行描述, 提出制图本体构架。文献[10]对 OGC 符号编码规范(symbology encoding, SE)进行扩

展, 对现代环境管理中实时制图提供了解决方案。文献[11]尝试通过将制图过程的数据流进行分解, 提出地图制图标记语言的概念与模式。

从交互方式上看三种模型都考虑了用户需求, 在界面交互, 数据表达交互, 上下文交互等方面都各有侧重, 但均未充分对分布式统计数据进行深入分析, 存在诸多不足, 例如可视化方法单一或未成体系, 数据、符号、视觉变量之间三者综合关系体现不充分, 数据与制图的约束关系欠充分考虑, 多采用分区统计图法等。TFC 模型可以通过加入数据模型驱动, 采用服务模式在保证传统制图质量的同时及时地反应数据的更新。为此,

本文在对地图制图模型分析的基础上,根据统计指标的数据特征,提出指标驱动下的以任务流为中心的在线地图制图模型和可视化方法,系统讨论了该模型在 Web 环境下的实现机制,在试验基础上给出相应可视化结果。

## 2 交互制图模型

TFC 是处于最底层的交互制图模型,兼顾用户体验与制图质量。任务是粒度最小的交互要素,每个任务按一定要求级联起来,构成一个能生成预期结果的任务序列<sup>[8]</sup>,即任务流。TFC 模型把整个交互过程划分为单独的任务分别进行交互设计,根据不同交互动态反馈形成任务流以完成交互任务,是一种粒度可控的交互方式。按照 TFC 制图模型对 Web 制图进行任务划分,形成任务流,以任务流为中心进行在线地图可视化(图 1)。

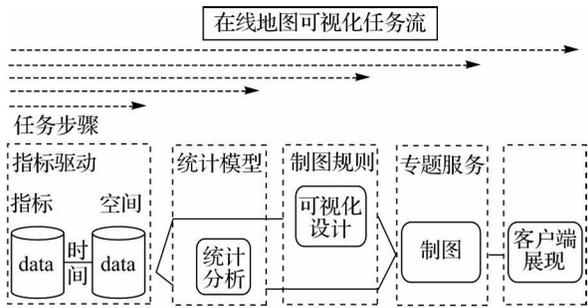


图 1 以任务流为中心的交互制图模型

Fig. 1 Task flow-centered interactive mapping model

任务流开始于制图相关数据的选取<sup>[8]</sup>,包括与该制图任务相关的指标、空间、时间的选取。接下来的任务可以是统计分析、可视化设计、制图、客户端展示,也可以是按指标驱动的统计模型、制图规则直接可视化展示。该在线制图系统能根据用户的身份、需求、上下文信息,动态地为其定制满足专业需求的任务流,并且可以识别用户下一步将要做的任务并做出相应调整,相应的用户交互接口可以通过向导实现。本文在某市在线地图集设计中主要遵循该模型,并加入指标驱动以专题地图服务方式来实现。

## 3 指标驱动下的在线制图模型

指标驱动下的在线制图模型可以满足在线动态制图的需求。该模型由统计指标模型、在线制图规则和专题地图服务三大部分组成,整个模型以指标作为驱动,针对不同的指标特性基于在线

制图规则动态生成不同的专题地图服务,通过用户交互提供最适宜的可视化任务流。

### 3.1 统计指标模型

统计指标是反映客观现象特征的统计思维形式,一般由以下 6 个指标元构成<sup>[12]</sup>:统计单元(space, S)、统计时间(time, T)、统计分类(category, C)、统计指标名(indicator, I)、统计指标值(value, V)、计量单位(unit, U)。对于一个具体的统计指标而言,S、T、I、V 和 U 是不可忽略的必要元素,而 C 则可以是退化的也可以是多重的。其间关系可用一个多元函数表示为

$$F(S, T, C_1, C_2, \dots, C_n, I, U) = V \quad (1)$$

由上式可知,指标元的维度决定指标值,增加或减少任何一个维,都会引起指标含义的变化。IST 模型用指标、空间、时间三个维度来描述统计数据,但其淡化了指标的统计分类,把指标维看成独立的集合,忽略了指标间的关系<sup>[13]</sup>。结合统计指标的时空语义特征,设计一种指标驱动下的统计时空数据模型(图 2),对分布式异质异构的统计数据 and 地理空间数据进行在线动态时空建模,以时间、统计单元编码作为两者的公共域,在数据库中分别动态建立不同时间尺度的空间数据和统计数据快照。空间数据记录不同统计尺度(国家、省、市、县等)和时间尺度的地理数据。统计数据记录基本指标元信息,其中 I 属于汇总属性, C 属于分类属性通过定义统计尺度——名义(如男、女)、顺序(如好、中、差)、间隔(如年龄段)来描述指标的特征,便于后期自动制图。以指标为驱动,属性表中每个具体的指标通过时间、统计单元编码可以查询到相应的空间数据;以时间为轴线,空间表中每个具体的地理数据亦可以通过统计单元编码迅速找到该空间数据尺度下的具体时间或一定时间周期内的统计数据。

### 3.2 在线制图规则

传统印刷版地图尤其是地图集,倾向于在一幅地图上展示尽可能多的数据。这种方法把焦点放在地图阅读上而不是地图分析和交互<sup>[14]</sup>。多变量制图方法则以多种方式聚合视觉变量来交互表达多维数据特征<sup>[7]</sup>。它根据统计指标特征选取适宜表达该指标的视觉变量,以最优的方式聚合并交互式符号化,表现出解决地理数据、统计数据和符号之间“三角问题”的可能性<sup>[7,15]</sup>。本文选择尺寸、形状、色彩、亮度为基本视觉变量,根据所选定统计指标确定其语义类型<sup>[16]</sup>(总量、对比、动态、结构、复

合及相关指标), 针对不同地理数据总结出相应的聚合视觉变量, 对多变量制图方法进行扩展(表 1)。

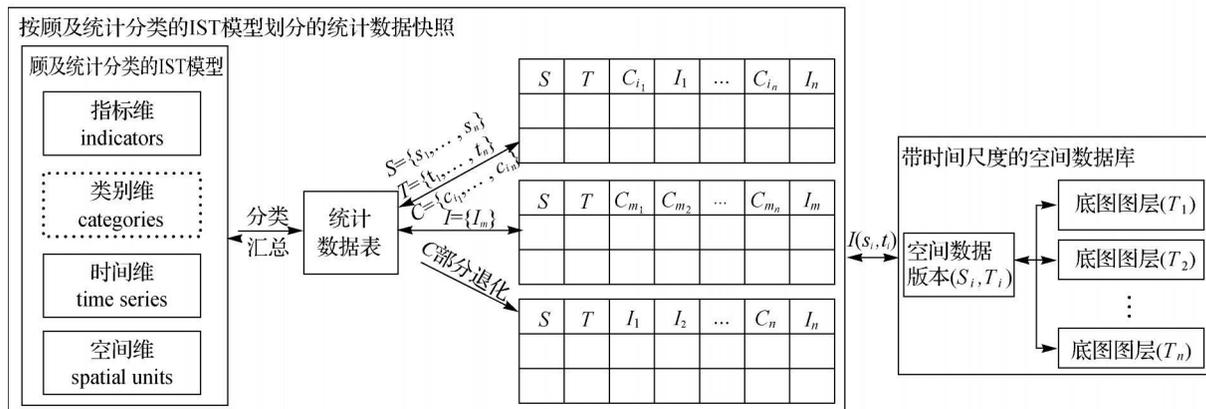


图 2 顾及统计分类的时空统计指标模型

Fig. 2 Spatio-temporal statistical indicator model considering category

表 1 专题地图的通用多变量制图方法

Tab. 1 General multivariate approach for thematic cartography

指标类型	专题图层类型			
	面	线	点	图表
总量指标	色彩、亮度	尺寸、色彩	尺寸、色彩	尺寸、色彩、形状
对比指标			尺寸、色彩、形状	尺寸、色彩、形状
动态指标	尺寸、色彩、形状	尺寸、色彩、形状	尺寸、色彩、形状	尺寸、色彩、形状、亮度
结构指标				尺寸、色彩、形状
复合指标				尺寸、色彩
相关指标				尺寸、色彩

该方法中, 规定了相应的指标类型、专题图层类型及相应的聚合视觉变量。总量指标表示空间统计单元在一定时间尺度上的统计总值, 若统计单元几何特征为面, 则通过色彩和亮度(或者饱和度)两个视觉变量来区分总量指标的定性、定量属性, 若为线、点则通过尺寸和色彩对总量指标进行表示, 尺寸表现为线的宽度、点的半径, 颜色用于定性区分, 亦可用图表的形状、色彩描述总量指标的质量特征, 用尺寸表示其数量特征; 对比指标对应的图层类型为点、图表, 用形状、色彩区分其质量特征, 用尺寸表达其数量差别; 动态指标主要通过运动线法表示线状统计单元的动态变化特征, 加上形状变量区分不同的运动性质, 也可用不同形状、色彩的点状符号表示其质量特征, 用尺寸表示其动态变化, 亦可通过图表用不同形状、色彩的图表描述其质量特征, 用尺寸和亮度聚合变量描

述其数量特征; 结构指标只能用图表通过形状、色彩描述质量特征, 尺寸表示其数量特征; 复合指标、相关指标都只能用图表来表示, 前者用不同色彩的图表描述指标分类的分配情况, 用尺寸变量描述该分类情况下的数量特征, 后者用同一色系或近似色的图表描述相关性, 尺寸变量描述相关程度。图 3(a) 用圈形符号表示某市历年生产总值动态变化情况, 通过半径表示数量、不同颜色亮度区分年份。图 3(b) 为某市历年空气情况, 有二氧化硫、氮氧化物、可吸入颗粒物等三个相关指标, 通过翼状符号表示, 用尺寸表示数量特征, 色彩区分不同指标类型, 亮度区分不同年份。



(a) 历年生产总值



(b) 空气质量情况

图 3 在线图集示例

Fig. 3 Online atlas

### 3.3 指标驱动下的制图模型

#### 3.3.1 在线地图符号定义

在线交互制图过程中,专题符号的生成依赖于用户所选取的指标,符号随着表达指标的不同呈现不同的形态。因此在符号设计时,地图符号的使用者有设置相关指标的机会,并且在地图符号显示时根据相关的指标确定符号的形态,实现基于知识的专题制图等,满足交互任务流过程中对地图符号的要求。OGC 的网络地图服务

(WMS) 结合图层样式描述(SLD)、符号编码规范(SE) 提供了开放的基础地理数据 Web 可视化框架<sup>[10]</sup>。但是 SLD 在专题可视化方面有一定局限<sup>[10,17]</sup>,无法描述复杂的专题要素可视化(如用户自定义点状符号、等值区域图和统计图表)。基于 SE 规范结合本文统计指标模型对在线专题地图符号用 XML 进行如下描述(thematic symbol-ogy encoding, TSE),如图 4。

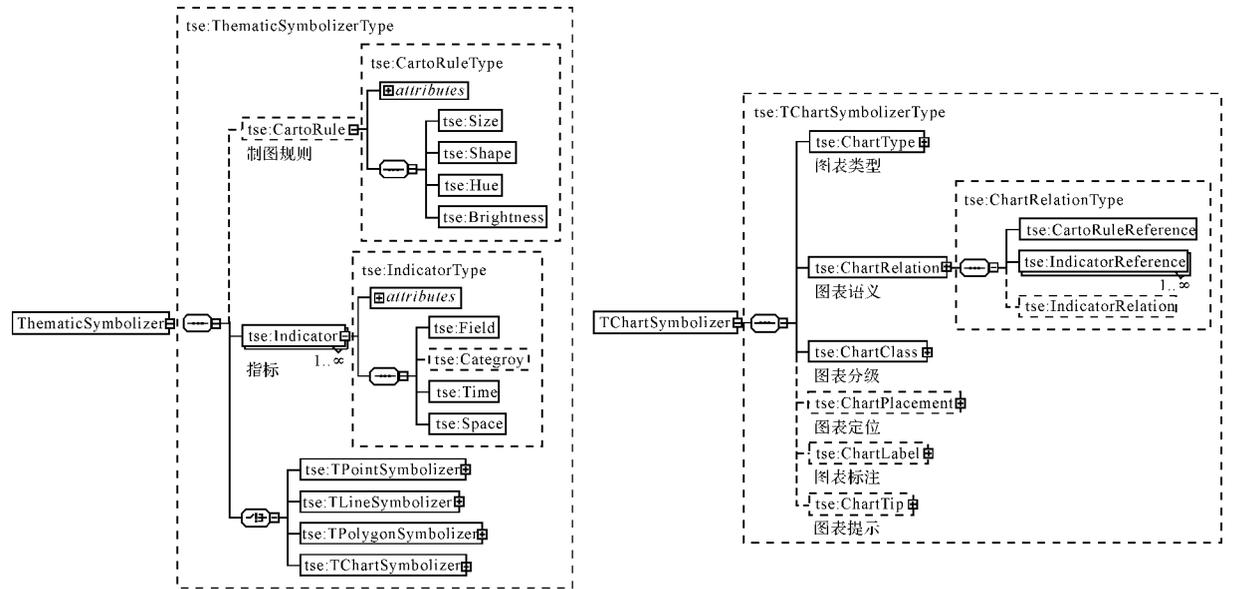


图 4 在线专题地图符号文档结构图

Fig. 4 The XML schema of online thematic map symbol

ThematicSymbolizer 元素包含制图规则、指标、符号或图表等元素。CartoRule 包含尺寸、形状、色彩、亮度等聚合视觉变量。Indicator 包含指标字段、分类、时间及对应的空间信息,符号或图表节点则根据指标空间特性选择对应的点、线、面或统计图表等元素。点、线、面符号元素继承自 SE 规范,加入专题要素分级(tse:ThematicClass)。统计图表元素定义了图表类型、图表语义、图表分级、图表定位、图表标注及图表提示等 6 个元素(图 4)。图表类型描述了统计图表所支持的符号类型,从预先定义的特定的符号名称中选取,基本统计符号类型如表 2 所示。图表语义用于描述图表所引用的制图规则、指标以及指标语义关系,可引用多个指标。指标语义关系见表 1 中的指标类型,根据引用指标个数和语义进行筛选。图表分级则映射为指标数据的分类分级,根据指标数据特性推送最适宜的数据分类分级方

式,等差、等比等。图表定位派生自 SE 规范中的 se:PointPlacement,用于改变图表放置位置,为可选,缺省状态根据指标空间属性及图面配置自动定位。图表标注、提示用于控制统计符号的文本标注、动态提示是否显示,为可选,没做设置则不对符号进行标注、提示。

用户只要通过选取相应指标,或采用系统缺省的配置,或者自己根据制图规则修改相应的配置,定义指标间的语义关系,从而实现符号或图表根据不同指标动态表达。

#### 3.3.2 制图模型服务实现

根据在线地图符号的描述体系,进一步设计了网络专题地图服务(Web thematic map service, WTM),对指标驱动下的制图模型进行系统描述实现。参照 TSE,WTM 对 OGC 的 WMS1.3 规范进行制图拓展,服务接口的 UML 图见图 5,其对应的服务请求操作见表 3。

表 2 统计图表所支持的统计符号类型

Tab. 2 Charts that can be drawn using the TChartSymbolizer

名称	pie	ring	sector	wing	bar	stackedbar	area	rect	dynam icpie	py ramid
符号										

```

<<Interface>>
WebThematicMapService
● GetCapabilities(WTM_GetCapabilitiesRequest):WTM_GetCapabilitiesResponse
● GetIndicator(WTM_GetIndicatorRequest):WTM_GetIndicatorResponse
● GetMap(WTM_GetMapRequest):WTM_GetMapResponse
● GetChart(WTM_GetChartRequest):WTM_GetChartResponse
● GetCartoRule(WTM_GetCartoRuleRequest):WTM_GetCartoRuleResponse
● GetLegend(WTM_GetLegendRequest):WTM_GetLegendResponse
● GetChartTip(WTM_GetChartTipRequest):WTM_GetChartTipResponse
● GetStyle(WTM_GetStyleRequest):WTM_GetStyleResponse
    
```

图 5 网络专题地图服务接口

Fig. 5 The interface of the WTM

表 3 网络专题地图服务接口的操作列表

Tab. 3 The operations of the WTM interface

服务名称	服务描述
GetMap	返回包含基础空间信息和专题信息(点、线、面)的地图图片
GetIndicator	返回服务所提供的专题指标的详细描述
GetChart	返回专题指标统计图表的可视化表达结果
GetCartoRule	返回对应专题图层和指标的制图规则描述
GetLegend	返回专题地图对应的图例图片,包括地理底图和专题符号图例
GetChartTip	返回专题统计图表的提示信息描述
GetStyle	返回与特定专题图层关联的图层样式描述

服务以统计指标模型为入口,按操作列表顺序依次执行。用户通过执行 GetIndicator 操作获取系统所提供的所有或部分指标,也可以按指标模型设置数据,确定制图所需指标。所获取的指标用 tse: Indicator 元素描述,指标的四个维度决定其基础地理数据及适宜的表达方式。指标空间维度为点、线则相应的专题图层为点图层、线图层,专题符号据点、线符号规范设置;空间维度为面,若为单个指标则可据面符号规范设置,亦可通过图表符号表达,若为多个指标或具有类别维度则据图表规范设置。确定表达方式后即执行 GetCartoRule 请求制图规则,其响应结果用 tse: CartoRule 描述,与 Indicator 元素一一对应。点、线、面图层此时即可形成完整的 TSE 符号描述,生成图层样式并提交 GetMap 请求,返回专题渲染后的地图图片,用户也可以对符号进行设置,优

化要素分级,调整图层样式文件,进行交互可视化分析。图表则需选择指标类型确定指标语义,据此按符号表达能力推送适宜符号确定 tse: ChartType,同时对图表分级、定位、标注、提示等进行设置,完成图表类型描述生成图层样式提交 GetChart 请求,返回背景透明的专题统计图表图片。返回的地图图片在客户端通过图层控制进行叠加显示,并集成放大、缩小、漫游等常用地图操作,使用户能够实时生成所需地图。

从宏观视角来看,整个制图模型构建了一种动态推送和使用指标形成制图任务流并最终完成制图任务的机制。图 6 描绘了制图模型的服务框架,包括指标节点、符号描述节点、可视化节点和一个任务流引擎。指标节点负责提供、设置或转换专题指标数据,并依据指标模型选择相关的基础地理数据以及适宜的专题符号,通过 GetIndicator 请求实现。符号描述节点是依据用户请求的指标执行 GetCartoRule 操作获取相应专题符号的规则描述,与基础地理数据、指标整合之后形成完整的专题图层样式描述。可视化节点则包括 GetMap 操作、GetChart 操作,据专题图层样式描述执行上述操作返回专题地图图片在客户端动态展示。

从任务流程上看,由指标到地图可以划分为 4 个不同的层次:选取指标直接成图(1→4);选取指标设置符号、请求图层描述获取地图(1→3→4);选取指标设置符号、修改符号描述获取地图(1→2→4);选取指标设置符号、修改符号描述、请求图层描述获取地图(1→2→3→4)。四个层次以指标作为驱动逐层推进,针对不同功能需求用户定制任务流满足动态制图需要。

### 4 应用实例

结合某市在线动态地图集对本文提出的制图模型及其服务实现进行了验证。图集集中的社会经济专题图组以图组—图幅—地图的组织形式,按人口与劳动力、综合经济、工业、农业等专题进行划分,每个专题下分别选取相关指标,通过 Get-

Indicator 请求获取相应指标数据,其请求结果通过解析并动态选取适宜的符号表达,形成图层描述文件,用户可直接访问每幅地图,获取专题信息,并进行符号定制。图7中选取户籍人口、非户籍人口两个指标,其语义关系为结构指标,系统筛选出相应的图表符号,其服务请求过程及符号描

述文档如图所示。用户可进一步通过交互定制界面对符号类型、符号样式、指标时间等进行重新设置请求地图服务。相应地,用户通过 SetIndicator 请求设置其业务指标数据,按图6所示流程请求服务,交互模板定制及可视化分析。

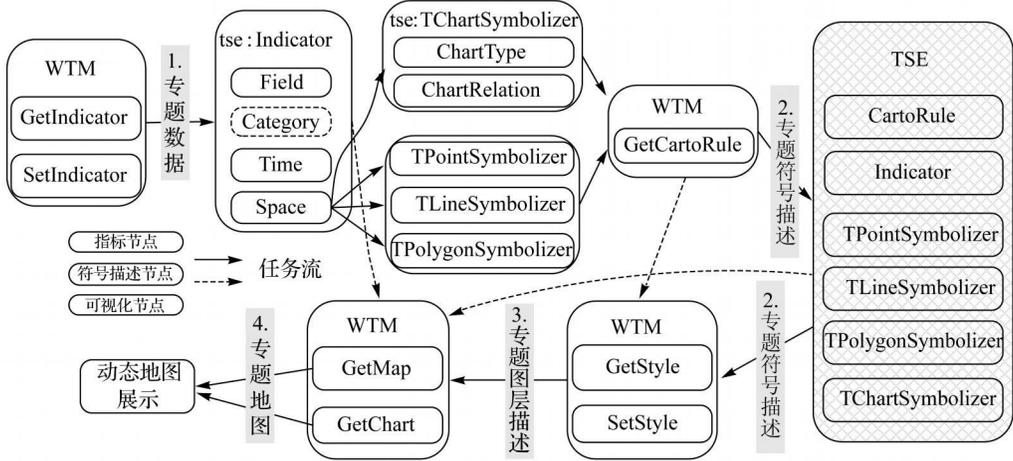


图6 指标驱动下以任务流为中心的交互制图流程

Fig. 6 Indicator-driven and task-flow-centered interactive cartographical process

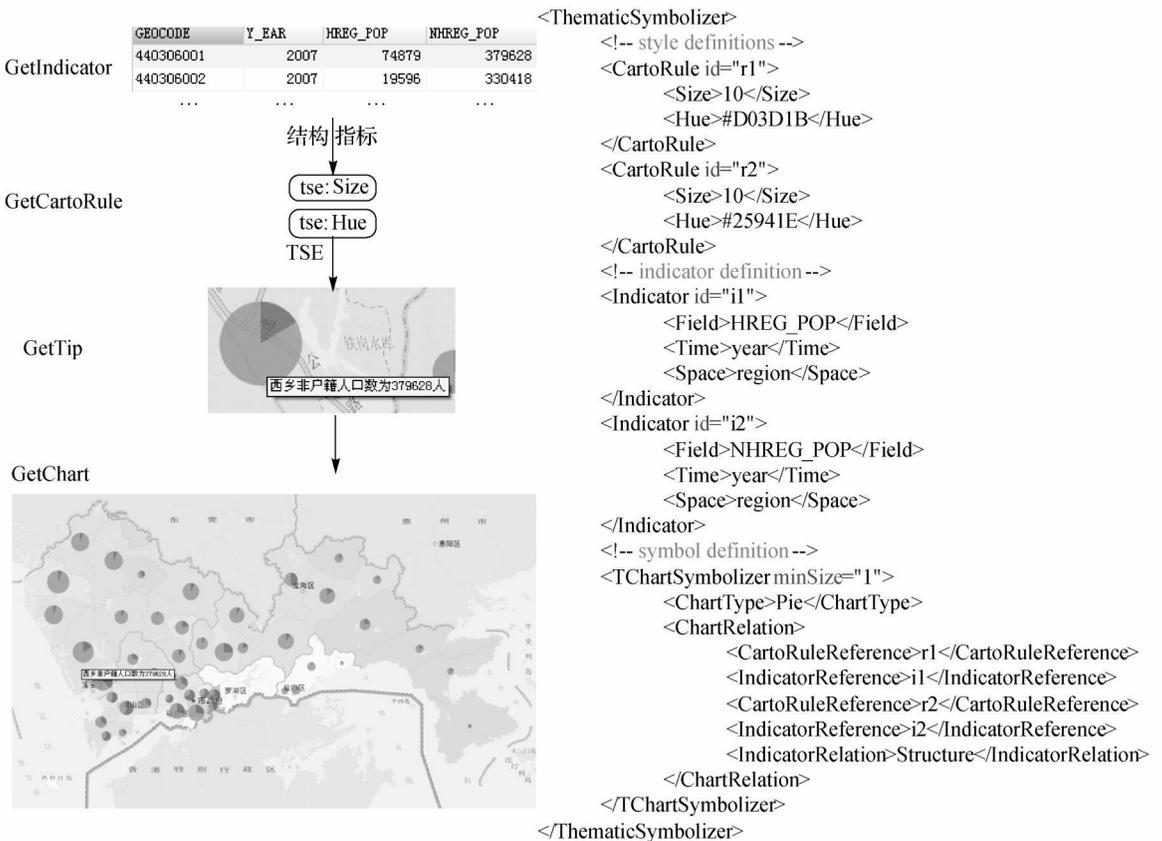


图7 专题地图服务交互制图流程

Fig. 7 The process of interactive cartography based on WTM

## 5 结论

针对目前在线专题制图模型在分布式数据的组织、存储和动态可视化时存在的问题,提出了指标驱动下以任务流为中心的在线交互制图模型,主要研究内容和结论如下:

(1) 提出顾及统计分类的指标模型,在此基础上结合多变量制图方法形成以聚合视觉变量为基础的在线制图规则,将统计指标、视觉变量、符号的关系进行整合。

(2) 研究在线地图符号的定义模式,用XML描述语言对其进行描述。

(3) 依据在线地图符号的描述体系,以及任务流为中心的地图制图模型,设计网络专题地图服务,对指标驱动下的制图模型进行系统描述实现。

(4) 以在线动态地图集为例,对本文模型的实用性进行验证,取得比较好的应用效果。

模型中符号定义与渲染引擎分离,实现网络符号共享与组合拓展,并以Web服务的方式进行验证,对分布式数据动态专题制图的相关问题研究具有一定的借鉴意义。在本文研究的基础上,对网络环境下专题地图的多尺度表达、动态可视化以及专题地图服务的动态聚合规则值得进一步研究。

## 参考文献:

- [1] MACEACHREN A M. Visualization in Modern Cartography [M]. New York: Elsevier Science Inc, 1994: 1-13.
- [2] MACEACHREN A M, KRAAK M J. Exploratory Cartographic Visualization: Advancing the Agenda [J]. Computers and Geosciences, 1997, 23(4): 335-344.
- [3] MADDEN M. Manual of Geographic Information Systems [M]. Bethesda: ASPRS Pubns, 2008: 1-22.
- [4] CRAMPTON J. Interactivity Types in Geographic Visualization [J]. Cartography and Geographic Information Science, 2002, 29(2): 85-98.
- [5] KRAMERS R E. Interaction with Maps on the Internet: A User Centred Design Approach for the Atlas of Canada [J]. The Cartographic Journal, 2008, 45(2): 98-107.
- [6] ALEXANDER P. Use and Users of the ÖROK-Atlas Online [J]. The Cartographic Journal, 2008, 45(2): 108-116.
- [7] HUBER S, SIEBER R, RUEGSEGGER M, et al. Multivariate Mapping in High Quality Atlases [C] // Proceedings of the 23th International Cartographic Conference. Moscow: [s. n.], 2007.
- [8] COOPER M, HANEWINKEL C, SPECHT S. Graphical User Interfaces on the Transition between Information Systems and Interaction Systems [C] // Proceedings of the 21th International Cartographic Conference. Durban: [s. n.], 2003: 1439-1448.

- [9] SYKORA P, SCHNABEL O, IOSIFESCU I, et al. Extended Cartographic Interfaces for Open Distributed Processing [J]. Cartographica, 2007, 42(3): 209-218.
- [10] IOSIFESCU I, HUGENTOBLE M, HURNI L. Web Cartography with Open Standards-A Solution to Cartographic Challenges of Environmental Management [J]. Environmental Modelling and Software, 2010, 25(9): 988-999.
- [11] LI Lin, YIN Zhangcai, ZHU Haihong. Concept and Schema of Map-making Markup Language [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2007, 36(1): 108-111. (李霖, 尹章才, 朱海红. 地图制图标记语言的概念与模式研究 [J]. 测绘学报, 2007, 36(1): 108-111.)
- [12] XUE Wei. Statistical Information System Based Information Technology [M]. Beijing: China Renmin University Press, 2007: 80-96. (薛薇. 基于信息技术的统计信息系统 [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2007: 80-96.)
- [13] YAN Kuankuan, SONG Xueqing, AN Kai. Design and Implementation of National Social and Economic Statistical GIS [J]. Geomatics World, 2005, 8(3): 32-34. (杨宽宽, 宋雪清, 安凯. 国家社会经济统计地理信息系统的设计与实现 [J]. 地理信息世界, 2005, 8(3): 32-34.)
- [14] MUEHRCKE P C, MUEHRCKE J O. Map Use: Reading, Analysis, and Interpretation [M]. 4th ed. Madison: JP Publications, 1998.
- [15] ZHAO Fei, LI Yayan, REN Fu, et al. Task Flow-centered Online Dynamic Atlas Design Research [C] // Proceedings of Chinese Society of Geodesy Annual Conference. Beijing: CSGPC, 2010. (赵飞, 李雅彦, 任福, 等. 以任务流为中心的在线动态地图集设计研究 [C] // 中国测绘学会 2010 年学术年会论文集. 北京: 中国测绘学会, 2010.)
- [16] YU Lianshen, Wang Tao. Map Decoration [M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 1995: 164-170. (俞连笙, 王涛. 地图整饰 [M]. 北京: 测绘出版社, 1995: 164-170.)
- [17] NEUBAUER S, ZIPF A. Suggestions for Extending the OGC Styled Layer Descriptor (SLD) Specification into 3D towards Visualization Rules for 3D City Models [C] // Proceedings of Urban Data Management Symposium. Stuttgart: [s. n.], 2007.

(责任编辑:宋启凡)

收稿日期: 2010-09-06

修回日期: 2011-02-22

第一作者简介: 赵飞(1986—), 男, 博士生, 主要从事空间信息服务、Web交互制图方面的研究。

First author: ZHAO Fei (1986—), male, PhD candidate, majors in geospatial information service and Web interactive cartography.

E-mail: cartographer@yahoo.cn