

芮建勋, 张发勇, 鲍曙明, 等. 面向台风事件与灾害影响评估的时空数据管理模式[J]. 灾害学, 2015, 30(3): 043-046.
[Rui Jianxun, Zhang Fayong, Bao Shuming, et al. The Spatiotemporal Data Management for Typhoon Events and Disaster Assessment [J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(3): 043-046.]

面向台风事件与灾害影响评估的 时空数据管理模式*

芮建勋¹, 张发勇², 鲍曙明^{3,4}, 王丛笑¹

(1. 上海师范大学 地理系, 上海 200234; 2. 中国地质大学(武汉) 信息工程学院, 湖北 武汉 430074;
3. 密西根大学 中国信息研究中心, 美国 安娜堡 48106; 4. 华东理工大学 城市与区域分析实验室, 上海 200237)

摘 要: 准确掌握自然灾害致灾因子强度、影响范围以及持续时间等灾害事件与过程信息, 是开展区域灾害预警预测、减灾救援以及灾后重建等工作的基础。目前还没有一种通用的时空数据模型, 能够对台风等过程性自然灾害事件进行建模。以“201319”号“天兔”台风灾害事件为例, 设计了一种基于元组时间标记法的台风灾害事件与过程的多尺度时空数据管理模式, 并运用扩展 SQL 语言, 将台风灾害影响区域等灾害事件的过程性信息按不同空间尺度同步存储, 为台风灾害事件的历史回溯、数据共享与可视化以及风险区划等提供可靠、高效的过程数据管理方式。

关键词: 台风灾害; 事件; 元组时间标记法; 时空数据管理

中图分类号: P208; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2015)03-0043-05

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2015.03.009

我国是受台风灾害影响严重的国家之一。台风每年给国家带来巨大的损失。2005 年从我国登陆并对我国产生影响的台风有 8 个, 直接经济损失近 800 亿元, 2006 年仅“碧利斯”就造成 266 亿元的损失^[1]。对于台风或飓风灾害, 国内外多是从致灾因子角度进行灾害预报预警, 如联合国全球灾害预警与定位系统(GDACS)、美国国家飓风中心(NHC)的预报系统、上海台风所的台风信息系统等, 这些系统普遍缺少对于台风社会影响和造成损失的分析评估^[2], 不能满足对台风灾害影响历史序列分析的需要。

台风等很多自然灾害事件是以过程的形式呈现的。如“201319”号台风“天兔”, 从诞生、登陆到消亡, 前后持续 7 d, 由于台风中心位置不断变化、路径不断地延伸, 其影响区域(涉及省市、区县、乡镇等)是随之变化的。随着灾害事件的发生发展, 区域灾情、致灾因子强度、持续时间、灾区分布范围等也随时间不断变化。准确掌握包括台风灾害影响范围、影响程度、持续时间等在内的历史灾害事件、过程与状态信息, 将为区域灾害预警预测、减灾救援、灾害影响评估以及灾后重建等工作提供重要参考依据。对于台风灾害,

人们迫切需要了解某个特定时刻台风事件的影响范围, 或者某区县台风累计影响时间和过境时间等。上述地学问题的核心及其解决主要依赖于时空数据的管理模式, 即寻求一种新的能够支持时间序列分析的时空数据模型或方法, 以存储和管理台风灾害事件的序列与过程。而这方面的研究目前鲜有见到。

基于上述现实需求, 本文在关系数据库基础上, 采用元组时间标记法, 设计了一种适用于台风灾害事件过程管理、动态呈现及灾害影响分析的时空数据管理模式。该模式能够用于台风、洪涝、旱灾等自然灾害过程的时空数据建模与管理, 为灾情历史回溯、时空分析等提供数据模型与方法支撑。

1 灾害事件与过程中的时空数据模型

1.1 时空数据模型的发展

时间、空间、属性是空间对象的固有特性。将时间用于空间对象的历史序列, 最简单的方法

* 收稿日期: 2014-11-17 修订日期: 2015-01-08

基金项目: 国家科技支撑计划(2011BAH06B04)

作者简介: 芮建勋(1971-), 男, 甘肃庆阳人, 博士, 副教授, 主要从事地理信息系统建模与灾害学方面的研究。

E-mail: ruijianxun@126.com

通讯作者: 张发勇(1974-), 男, 贵州遵义人, 博士, 副教授, 主要从事地理信息系统及其应用开发、空间智能研究。

E-mail: zhangfayong@163.com

就是采用快照浏览模式,即同样的 GIS 空间数据均按不同时相单独保存。随着时间序列的增长,这种管理方式所产生的数据量惊人。当需要对空间数据进行时间钻取操作以观察历史变化时,由于这种快照方式缺乏时空语义,所以难以反映空间对象时间序列的前后变化及关系。这种地理信息系统只是海量数据的存储系统,无法呈现其空间对象的历史追溯过程。因此,人们开始研究时空数据模型(Spatial-temporal Data Model, STDM)来解决上述问题。

对于时空数据模型的大量研究始于 1990 年代初。Longran 总结了时空立方体、快照序列、基态修正和时空复合等四种时态数据模型^[3], Worboys 建立了时空对象模型^[4], Donna 提出了一种基于事件的时空数据模型 ESTDM,表达了离散时空对象的等级结构,将每个栅格的属性记录到数组中,以表达记录随时间变化的地理现象^[5], Raper 等开发了一种面向对象的地形数据模型 OOgeomorph^[6]。但上述模型均不能表达像森林火灾事件中诸如火场的蔓延、断裂、合并、消亡或重现等动态复杂现象。为此, May 提出了一种集对象模型与连续场模型于一体的概念框架,并以暴雨为例,阐述了表达事件与过程的动态地理现象的方法^[7]。

国内在这方面也做了大量研究,包括面向对象时空数据模型^[8-9]与面向过程的时空数据模型^[10]等。不管是事件驱动的还是面向对象的时空数据模型,均很难保持对象的连续性,同时不能解决仅仅由于属性变化而引起的对象变化的历史回溯及再现^[11]。国内外有关时空数据模型的上述研究,均是针对地理要素空间几何特性随时间不断发生变化的情形,不适合用来对台风灾害事件与过程进行建模。

由于现实世界中的空间对象、事件与过程的复杂性,如台风、移动车辆、森林火灾、宗地等对象尽管都具有时态性,但均属于不同的空间对象,有些适用对象模型,有些适用场模型,有些二者兼备。可见,到目前为止,还没有一个通用的时空数据模型,能有效地解决时态 GIS 中各类空间对象的时空特性管理问题,特别是那些持续的事件对象。

1.2 台风灾害事件与过程的时空特性

事件不仅是某一特定事件(如洪水)或是一个持久的状态(如干旱),也可以是一种趋势(如全球变暖);而过程则是与状态有关的动态序列^[7]。因此,台风灾害是一种过程化的事件序列,且与台风灾情在性质、数据内容、记录方式等方面有着明显区别(图 1)。

1.3 基于元组时间标记法的灾害事件与过程管理

与台风灾害有关的灾情上报、预警预测、灾害救援与灾后重建等工作,在现实中高度依赖于

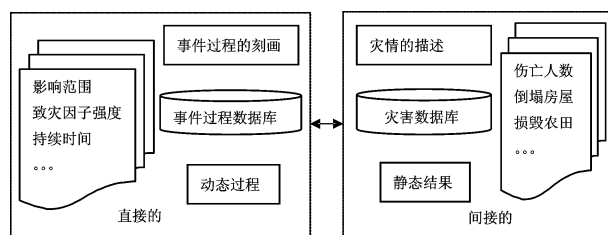


图 1 灾害事件的过程信息与灾情的区别

灾区行政区划(省市、区县、街道等)单元,甚至需要详细到社区或居委会一级,并以它们作为灾情信息统计、聚合与分析的基本社会空间单元。因为台风影响范围,是某时刻台风风圈与行政区划单元叠加分析的一种中间结果。一次台风灾害过程的建模及后续的灾情统计,本质上依赖于各级行政单元子集随时间变化的不同组合,行政单元空间特性并没有随之变化。相对其它众多地物对象,行政单元的变更周期相对较长。所以,对于台风灾害这一类事件,其时空过程的刻画与测度只能以国家基础地理信息中不同空间尺度的行政区划单元为基础,记录每时刻台风影响范围及对应致灾因子,最后作为台风灾害事件的完整过程予以入库。

具体步骤为,按照台风灾害事件出现的次序,以台风编号作为台风灾害事件名称,对某时刻受到影响的行政单元(如乡镇)赋以时间戳,作为灾害事件的时间特性予以记录而不是重新保存为新的快照集,直至该事件结束。因为快照集方式将产生大量的不必要的数据冗余,也不利于历史台风事件的对比分析。这样,借助于行政区划单元的台风灾害事件空间特性,仅作为事件的隐含属性,且高度依赖于行政区划空间对象。

采用时空数据模式管理台风等灾害事件,目前看来仍然是比较科学、合理和可行的做法。因为只需要维护几个实体之间的关系即可,从而简化了灾害事件与过程的管理,而且与事件过程描述等有关的属性数据与空间数据(行政单元和台风路径等专题数据)采用不同的关系存储,由于不再对大容量的空间几何表进行操作,因而将大幅提升关系数据库的查询效率,便于实现多尺度行政单元信息聚合、基于时间距离的台风灾害影响计算以及历史序列影响分析等。完整的台风灾害事件、过程及其时空数据库便于查找与当前台风路径相似的历史台风事件及其灾害影响,可为当前台风灾害影响分析提供重要参考依据^[12]。

1.4 台风灾害影响分析中的地学问题

台风作为气象灾害,对承载体来说是一个持续的时空作用过程。受地形等下垫面影响,随着台风中心位置向大陆不断推进,其风圈半径、中心最大风速、移动速度及影响区域范围等都在发

生变化。台风的三个致灾因子(大风、暴雨、风暴潮)所造成的灾损程度,除了受下垫面影响之外,还取决于台风灾害过程的持续时间及路径。如一次过境与迂回过境、擦边而过等对同一区域带来的灾害损失差别很大。因此,新的时空数据模型必须回答类似如下地学问题:

(1)广东省陆丰市累计受“天兔”台风影响的时间;

(2)2013 年 9 月 22 日 20:00 点“天兔”台风影响哪些乡镇,受影响人口数量等;

(3)福建省 2013 年各乡镇台风影响频次等。

2 台风灾害事件的时空数据库设计

2.1 设计原则

合理的时空数据模型,必须考虑存储空间、存取与时空分析效率、保证时空语义完整等几方面因素。针对灾害事件与过程的时空数据模型,应满足以下条件:①档案功能;②更新功能;③时间、空间与属性的查询及分析功能;④时空数据一致性;⑤支持一定粒度的数据钻取与时间距离的计算;⑥支持数据共享,输出符合 OGIS 空间数据规范与标准的通用数据交换格式,对地理实体各时刻的状态或属性按照演化过程进行空间动态模拟,以支持事件序列的专题地图与动画生成等。

2.2 数据源

本研究中的台风灾害影响分析主要依据以行政区划为主的多尺度国家基础地理空间数据、人口、社会经济数据以及台风历史专题数据。前者包括省自治区直辖市、地市、区县、乡镇街道四级行政区划空间数据库。其中,县级行政区划单元总共 2 872 个,乡镇 43 577 个。人口数据为 2010 年国家人口普查数据(六普),上述数据由密西根大学中国信息研究中心^[13](<http://www.chinadataonline.org/>)提供。台风历史数据主要采用中国台风网“CMA-STI 热带气旋最佳路径数据集”(1949–2011 年),其中 2012 年及以后的台风数据来自温州台风网(<http://www.wztf121.com>)的实时台风信息。基础地理数据与台风历史数据均采用 PostgreSQL 空间数据库管理。

2.3 时空数据库设计

行政区划数据包含区县与乡镇编码、名称以及几何位置(含投影信息)等字段(表 1)。

台风数据包含台风编码(ty_code)、中心位置、对应时间(time)、经纬度(lon, lat)、7 级风圈半径、中心气压和最大风速等属性。以 2013 年登陆并影响粤闽赣三省的“201319”号台风“天兔”(Usagi)为例(表 2)。该台风在当年 9 月 16 日发源于菲律宾以东洋面,发展到 9 月 22 日 00:00 时,7 级

风圈开始影响到广东、福建两省共 26 个县市、244 个乡镇。至当天晚上 20:00 时,影响范围进一步扩大,涉及广东、福建、江西三省共 108 个县市。

表 1 行政单元空间数据

乡镇编码	名称	几何信息	人口信息
town_id	name	geom.	pop

表 2 台风历史数据

ty_code	time	lon	lat	r7/km
201319	2013091620	131.8	17.8	/
201319			
201319	2013092200	119.2	21.2	380

表 3 台风灾害事件与过程(乡镇尺度)

evt_code	time	town_id
201319	2013092200	441581117
201319	2013092200	441581107

表 4 台风灾害事件与过程(区县尺度)

evt_code	time	county_id
201319	2013092200	441581
201319	2013092200	441581

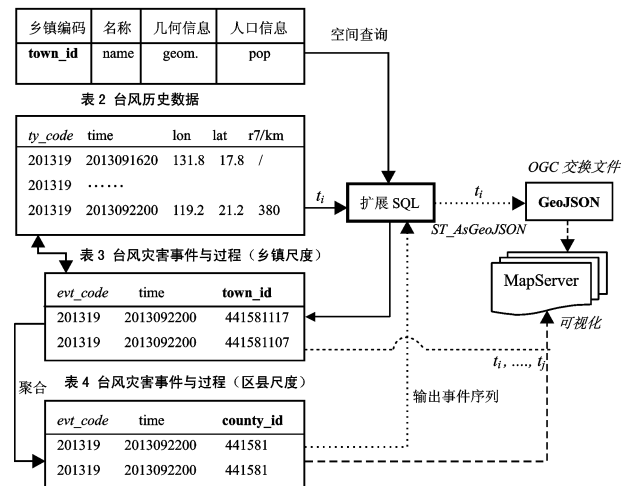


图 2 台风灾害事件与过程的时空数据管理

3 灾害事件与过程的时序分析及其可视化

3.1 扩展 SQL 空间查询语言

扩展 SQL 是一种空间查询语言。它基于 OpenGIS 的九交模型予以实现,在数据库层面定义了很多空间运算函数,包括动态投影变换、数据格式转换、数据操作以及多种面向地学问题的空间分析方法等。PostGIS 空间数据库引擎是 PostgreSQL 对象关系型数据库的扩展,支持基于 GiST 的四叉树空间索引,提供空间分析与地理对象处理的函数^[14],是目前扩展 SQL 最完整的实现。PostgreSQL 对象关系型数据库,通过 PostGIS 空间数据库引擎,完整地支持了扩展 SQL 标准,满足大多数基于数据库脚本与上下文环境的实时、动态、交互性空间分析之需求,为台风灾害事件与过程的时空数据管理、影响范围分析等提供了开放、动态的空间运算函数库。

3.2 交互式空间计算过程与方法

实际操作中,将台风 7 级风圈所影响的行政单元作为当前时刻台风的影响范围。具体方法是取得台风中心的经纬度坐标,运用扩展 SQL 的内置函数,采用脚本进行动态投影转换,将之转换成我国小比例尺地图使用的 Albers 投影,自定义空间投影编码(SRID = 86400),然后基于扩展 SQL 的 ST_DWithin 函数,实现 7 级风圈半径与行政单元图层的空间关系运算,得到当前时刻的台风影响范围。也可以将该时刻的影响范围通过 ST_AsGeoJSON 函数输出为标准地理数据交换文件 GeoJSON,用于台风影响范围的时序分析与可视化。同时在

元组级别上赋予时间戳,作为台风事件的当前状态予以保存,直至该台风事件结束。

3.3 扩展 SQL 支持下的台风影响范围时序分析

地理事件历史序列或过程的可视化,是时态 GIS 的重要组成部分,也是地学研究的重要方法。以台风灾害事件与过程的时空数据模型为基础,采用扩展 SQL 的数据操作函数,可将时间序列的台风灾害影响区域依次输出为地理数据标准交换文件,如 GeoJSON 格式,以实现数据共享(图 3)。最后通过开源制图引擎 MapServer 调用该共享文件以显示台风影响范围,生成一次台风灾害事件的历史序列专题地图(图 4)。如果采用 GRASS 地理信息系统平台,还可将上述事件序列生成动画。

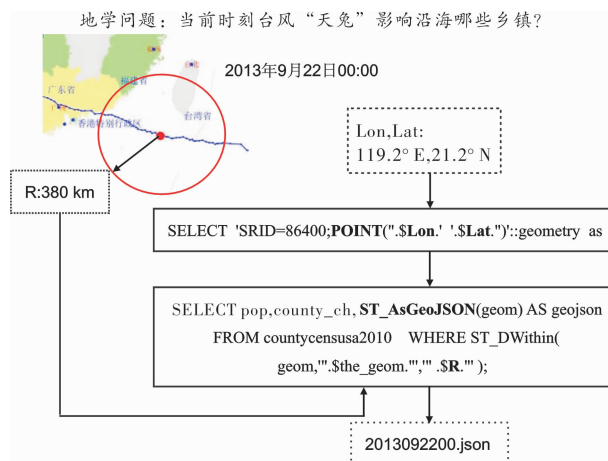


图3 扩展 SQL 支持下的台风影响范围交互式动态计算

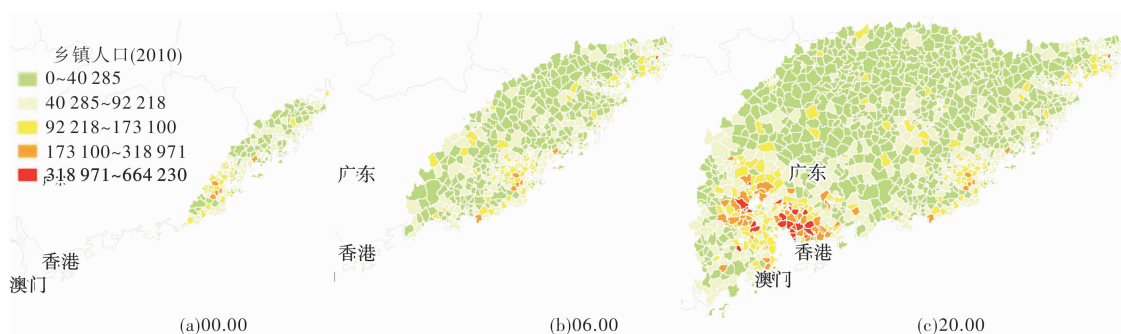


图4 台风“天兔”(2013)9月22日不同时刻的灾害影响范围

4 结论

本文以“201319”号台风“天兔”为例,借助于关系数据库平台与扩展 SQL 语言,以时态 GIS 为参照,设计了一种面向台风灾害事件与过程的时空数据管理模式。该管理模式能有效存储随时间变化的台风灾害影响范围、灾区人口分布等事件序列上的过程信息,便于灾害信息共享以及事件序列的可视化,为台风灾害历史事件的回溯、预警预测、减灾救援、灾害影响及灾后重建等工作提供重要的历史灾情信息与数据管理方法。同时对于洪涝、干旱等其它过程性灾害事件的时空数据管理也有重要的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 陈述彭. 台风防灾减灾信息系统[J]. 地球信息科学, 2006, 8(4): 1-3.
- [2] 方建, 徐伟, 史培军. 台风灾害快速评估信息系统设计与开发[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2011, 47(5): 517-521.
- [3] Langran G. Time in geographic information systems technical issues in GIS[M]. London: Taylor & Francis Ltd., 1992.
- [4] Worboys M F. A unified model of spatial and temporal information[J]. The Computer Journal, 1994, 37(1): 26-34.
- [5] Peuquet, Donna J, Niu Duan. An event-based spatiotemporal data model (ESTDM) for temporal analysis of geographical data[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1995, 9(1): 7-24, DOI: 10. 1080/02693799508902022.
- [6] Raper J, D Livingstone. Development of a geomorphologic spatial model using object-oriented design[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1995, 9(4): 359-384.
- [7] Yuan, May. Representing complex geographic phenomena in GIS[J]. Cartography and Geographic Information Science, 2001, 28(2): 83-96.
- [8] 龚健雅. GIS 中面向对象时空数据模型[J]. 测绘学报, 1997, 26(4): 289-298.
- [9] 曹志月, 刘岳. 一种面向对象的时空数据模型[J]. 测绘学报, 2002, 31(1): 87-92.
- [10] 薛存金, 周成虎, 苏奋振等. 面向过程的时空数据模型研究[J]. 测绘学报, 2010, 39(1): 95-101.
- [11] 徐志红, 边馥苓, 陈江平. 基于事件语义的时态 GIS 模型[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2002, 24(5): 279-283.
- [12] Jeong, Sangman, Taesung Cheong. Web GIS based typhoon committee disaster information system for typhoon disaster risk management[J]. Tropical Cyclone Research and Review, 2012, 1(2): 207-212.
- [13] 密西根大学中国信息研究中心. 中国数据在线[EB/OL]. (2013-03-07) [2014-04-05]. <http://www.chinadata-online.org/>.
- [14] The PostGIS Development Group. PostGIS 1.3.6 Manual[EB/OL]. (2009-05-04) [2014-05-10]. <http://postgis.net/docs/manual-1.3/>.

Numerical Experiment Research on the Progressive Failure Process of the Surrounding Rock of the Tunnel under the Stochastic Medium Theory

Shang Yonghui^{1, 4}, Li Hang², Zhang Bo³ and Fang Qiancheng⁴

(1. *School of Civil Engineering, Central South University, Changsha 410075, China*;
2. *Cuhk Luqiao Group Company, Harbin 150300, China*; 3. *Shenyang Urban and Rural Construction Committee, Shenyang 110013, China*; 4. *Institute of Architecture and Engineering, Huanghuai University, Zhumadian 463000, China*)

Abstract: The strength subtraction is introduced to safety evaluation of tunnel surrounding rock, combining with “the shallow tunnel rapid construction double small spacing tunnels, wear interchange structure under the shield tunnel and the surface of the structure containing joint, irregular fissure of mountain highway tunnel” engineering examples, using real damage of material analysis software RFPA^{-2D}, the finite element model of each strength reduction factor is set up. Viscoelastic artificial boundary is adopted to eliminate the influence of boundary conditions on the calculation precision in model, and the model achieves the mesoscopic structure unit of surrounding rock of the mean and the defects of random distribution by means of random medium theory, it also reveals the dynamic gradual damage process of surrounding rock, the primitive phase change damage evolution mechanism and characteristics of rock mass structural plane under different working conditions, the mesoscopic damage of surrounding rock is thought to be caused by non average of rock nonlinear material macroscopic unit, the calculation results judged in failure of tunnel surrounding rock with different step reduction in crack development trends and the number of cell damage, and calculates safety factor in the sense of the safety reserve. At the same time, combining ABAQUS with RFPA^{-2D} two different finite element models, comparatively analyzing the random medium theory and continuum theory combining strength subtraction in differences of the evaluation of surrounding rock stability.

Key words: random medium; strength reduction; tunnel surrounding rock; failure process; safety coefficient

(上接第 46 页)

The Spatiotemporal Data Management for Typhoon Events and Disaster Assessment

Rui Jianxun¹, Zhang Fayong², Bao Shuming^{3, 4} and Wang Congxiao¹

(1. *Department of Geography, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China*;
2. *Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China*;
3. *China Data Center, University of Michigan, Ann Arbor 48106, U. S.* 4. *East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China*)

Abstract: The detailed information including disaster-inducing factors intensity, affected area and its duration of natural disasters are important for the crises management, including early warning, disaster assistance and post-disaster recovery and reconstruction. So far there are no universal spatial-temporal data model for modeling typhoon events and disaster assessment. We propose a multi-scale spatial-temporal data model for typhoon events based on tuple time stamps. The spatial-temporal information including areas affected by typhoon events can be stored in spatial database synchronously in extended SQL at different spatial scales based on tuple time stamps. It provides a highly efficient approach for managing procedural data, which can be used for historical review of typhoon events, data sharing and spatial-temporal data visualization.

Key words: typhoon disaster; event; tuple time stamp; spatial-temporal data management