

引文格式: 苗双喜, 程承旗, 任伏虎, 等. 地球剖分型GIS数据模型[J]. 地理信息世界, 2020, 27 (4) :22-29.

地球剖分型GIS数据模型

苗双喜^{1,2}, 程承旗³, 任伏虎⁴, 陈 波³, 童晓冲⁵, 濮国梁³

(1. 中国科学院 空天信息创新研究院, 北京 100094; 2. 中国安全生产科学研究院, 北京 100012; 3. 北京大学 工学院, 北京 100871;
4. 北京大数据研究院, 北京 100871; 5. 战略支援部队信息工程大学, 河南 郑州 450001)

基金项目:

国家重点研发计划项目
(2018YFB0505300); 国
家自然科学基金项目
(41801301)资助

作者简介:

苗双喜(1984-), 男, 黑
龙江望奎人, 助理研究员,
博士, 主要从事时空数据组
织与管理方向等研究工作。

E-mail:

miaoshuangxive@163.com

通讯作者:

程承旗(1961-), 男, 重
庆人, 教授, 博士, 博士生
导师, 主要从事地理信息系
统工程与应用、时空大数据
分析与应用等研究工作。

E-mail:

ccq@pku.edu.cn

收稿日期: 2020-05-06

【摘要】数据模型是进行数据管理、计算、分析与表达的基础。传统的数据模型(矢量、栅格、面向对象)是一类以几何要素、影像、实体为对象的面向对象数据模型, 难以满足多模态时空大数据的整合、组织管理需求。对时空过程的离散化, 形成时空单元并按相应编码进行数据快速检索已成为大数据降维处理的重要方法。首次提出一种面向域管理的数据模型—地球剖分型GIS数据模型, 它把事物的发展变化看作是在时间和空间域离散单元的重新聚合, 它打破传统数据模型中因数据格式制约数据融合管理的壁垒, 它是全球剖分地理信息系统的核心。在选取适宜的全时空剖分和编码方法基础上, 建立了时空数据统一组织与管理框架, 设计了逻辑模型和概念模型; 通过低空空域管理和智慧城市部件精细化管理实验, 验证该模型在时空大数据组织与管理中的可行性与高效性。为多源数据统一组织与高效管理, 特别是时空大数据的融合管理提供理论支撑。

【关键词】剖分数据模型; 全球离散网格系统; 数据组织与管理; 全球网格地理信息系统; GeoSOT

【中图分类号】P208

【文献标识码】A

【文章编号】1672-1586(2020)04-0022-08

A GIS Data Model Based on Global Subdivision Grid

MIAO Shuangxi^{1,2}, CHENG Chengqi³, REN Fuhu⁴, CHEN Bo³, TONG Xiaochong⁵, PU Guoliang³
(1. Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Science, Beijing 100094, China; 2. China
Academy of Safety Sciences and Technology, Beijing 100012, China; 3. College of Engineering, Peking
University, Beijing 100871, China; 4. Beijing Institute of Big Data Research, Beijing 100871, China;
5. Strategic Support Force Information Engineering University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Data model is the fundamental of data management, calculation and visualization. Conventional data model such as vector, raster, or object-oriented model is designed for geometric features, images and entities. They can not meet the requirements of integration, organization and management of multi-source spatio-temporal data. Recently, the derivation of spatiotemporal units by discretizing provides possible solutions to dimension reduction. This article overcomes the constraints of data formats and data integration of traditional data models and proposes a new GIS(Geographic Information System) model based on the concept of discrete global grid system. The model is constructed based on the global subdivision grid, which is the core of the global subdivision GIS and works for spatiotemporal data. We propose the unified organization and management framework for spatiotemporal data, and design the logic and concepts models. We apply the proposed model to low-altitude airspace management and refined management of components of smart cities. Results indicate that this model is workable and efficient. The proposed model provides supports for the unified organization and management of multi-source data. It also helps integration of spatiotemporal data.

Key words: subdivision data model; discrete global grid system; data organization and management; global grid GIS; GeoSOT

0 引 言

时空大数据具有格式差异、语义歧义、坐标投影不同以及高时变空变等多模态特征, 海量数据除了带来存储的问题之外, 还带来了时空大数据的组织管理、查询检索的难题, 这些数据特征给时空数据的高效组织与精细化管理带来很大的挑战^[1], 如何高效地组织与管理不均匀的时空数据成为研究的前沿和热点。

数据模型是数据组织管理、存储、计算、分析和空间服务的基础, 随着地理信息系统(Geographic Information System, GIS)的发展不断向前跨越式进步^[2-3]。GIS发展从20世纪60年代加拿大第一套土地地理信息系统开始, 经由模拟GIS、桌面GIS、互联网(Web)GIS、时态GIS、服务型GIS, 向大数据、智能计算时代的云GIS(Cloud GIS)和智能GIS(Smart GIS)发展^[4-5], 本文受科技部

重大专项计划资助, 为全球剖分地理信息系统 (Global Grid GIS, G3IS) 提供了一种新型数据模型, 该模型具有多维时空数据的统一组织与精细化管理能力。传统的数据模型特征如下:

1) 矢量、栅格、矢量栅格一体化数据模型

在模拟、桌面GIS时代, 矢量、栅格、矢量栅格一体化数据模型被提出, 用来管理不同图层中的对象。矢量数据模型是通过记录坐标的方式尽可能精确地表示点、线和多边形等地理实体, 具有定位精度高、属性隐含的特点。栅格数据模型是以规则的阵列来表示空间地物或现象分布的数据组织, 组织中的每个数据表示地物或现象的非几何属性特征。

栅格数据操作简单, 矢量数据操作则比较复杂。前者在坐标位置搜索、计算多边形形状面积等方面优势更明显, 而且易与遥感相结合; 后者对于拓扑关系的搜索则更为高效, 网络信息只有用矢量才能完全描述, 而且精度较高。基于此, 矢量栅格一体化数据模型被提出, 充分发挥两者的优势。但无论是矢量数据还是栅格数据, 其本质都是对每个图层要素的独立表达, 即使想通过元数据管理实现数据共享的目的, 仍然存在实时更新元数据的效率低且存在元数据不一致的问题, 导致多种专题数据整合困难, 难以支撑多模态时空数据的快速检索和综合分析。

2) 面向对象数据模型^[6-8]

矢量栅格数据一般都是对静态的、单一对象的描述, 忽略了事物的发展是时间域内的过去—现在—将来与空间域内的方位—关系的综合体, 面向对象的数据模型开始在时态GIS时代发挥其优势。

面向对象数据模型, 通过版本信息记录图形信息, 拓扑关系和属性变化的描述, 它只需要记录数据库表中变化的属性数据, 冗余低且便于查询。这种面向对象的数据模型, 可以按照统一的模式和方法, 同时考虑空间对象的几何、拓扑、属性, 甚至栅格的时态问题。

3) 其他模型

随着地理信息系统理论与实践应用的不断深入, 基于事件的数据模型、快照数据模型, 时空立方体模型以及其他复合模型被提出, 这些数据模型都是面向特定系统需求而设计的。

基于事件的数据模型把时空变化过程看做是事件

的连续变化, 在时空过程表达时数据冗余大。快照模型的简单易行性和面向对象模型的方便灵活性, 同时避免快照模型的不一致性和冗余性以及面向对象的复杂性, 该模型过于抽象, 限制了模型的扩展性。时空立方体模型将地理事件点聚合到组成时空立方体的一系列时空条柱中, 统计条柱包含的事件点数目, 该时空立方体结构具有行、列和时间步长, 行和列确定立方体的空间范围, 该数据模型早期用于多源数据的表达, 行列号的空间编码方法, 受制于局部行列号编码方法无法实现全球范围的统一高效管理^[9]。因此以上数据模型都无法应用于来源广泛、格式不同、坐标投影不同的时空大数据的统一组织与高效管理。

综上所述, 传统的数据模型(矢量、栅格、面向对象)是一类以几何要素、影像、实体为对象的面向对象数据模型; 另一类数据模型如基于事件、快照等数据模型是面向特定系统需求设计。这些数据模型都难以提供时空大数据整合基础, 无法满足时空大数据的组织管理需求。将时空数据进行离散化, 然后按照相应编码进行数据快速检索已成为大数据时代数据快速检索、表达的主要方式。现有平面空间离散方法缺少对高度维和时间维信息的表达, 且编码方法大都面向海量数据高效检索而设计, 编码方式难以满足高效计算和准确分析的需求。地球剖分型GIS数据模型是一种面向时空管理的数据模型, 包含从时间域和空间域进行四维离散方法, 剖分编码充分利用计算机位运算优势, 为大数据人工智能时代的多源数据融合与高效利用提供了理论支撑, 因此本文根据全球离散网格思路, 拟建立面向时空单元管理的地球剖分型GIS数据模型, 服务于时空大数据的统一组织与高效管理, 并为时空大数据融合管理等应用提供基础理论。

1 地球剖分型GIS数据模型设计及实现

全球离散网格系统通过剖分和编码方法, 能够对大规模、多源、多分辨率、多维、分布式地理空间数据进行集成分析^[10]。面向时空数据的统一组织与高效管理, 通过综合分析传统数据模型特点, 把传统面向对象的管理转变为面向域的管理思路, 基于全球离散网格系统思路, 提出地球剖分型GIS数据模型, 完成对全时空

过程的离散处理。数据模型的框架、模型的概念设计和逻辑设计如下述。

1.1 剖分编码基础

球体立方体网格具有粒度比较均匀，能够无缝覆盖整个地球球体，剖分存储与现有分布式数据库类似，编码形式简单，适合于计算机高效运算。剖分编码可以作为数据库主键，索引表可以根据剖分层级建立多级索引体系，根据剖分单元数据量的增加和减少，子表按照剖分层次向下分割和向上聚合，有利于海量数据的多层次查询检索^[11-12]，因此本文选用地球离散网格系统作为数据模型的理论基础。时空部分编码规则如图1所示。

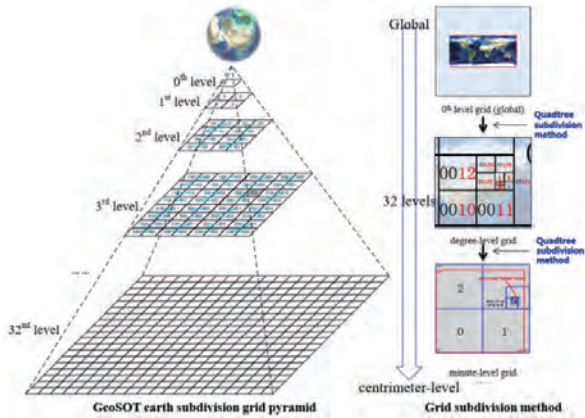


图1 GeoSOT 2D的剖分编码规则
Fig.1 Rules of GeoSOT 2D subdivision and coding

本文以GeoSOT模型为理论基础，GeoSOT (Geographic Coordinate Subdividing Grid with One Dimension Integral Coding on 2^n -Tree) 是由北京大学程承旗研究团队提出的，一种 2^n 一维整型数组全球经纬剖分网格^[13-14]。核心思路是通过3次地球扩展，首先将地球扩展为 $512^\circ \times 512^\circ$ ，再将 1° 扩展为 $64'$ ，最后将 $1'$ 扩展为 $64''$ ，实现整度、整分的四叉树剖分，形成一个上至地球(0级)、下至1.5 cm级面元(32级)的多尺度四叉树网格。GeoSOT网格由32级构成，其0级网格定义为：地球扩展的 512° 方格，对应区域位置是全球范围，网格编码为G，含义为全球(Globe)。1级网格定义为：在0级网格基础上平均分为4份，每个1级网格大小为 256° ，其中层级为0、1、2或3。依次类推，得到2~9级网格。每个9级网格大小为 1° ，9级以上为GeoSOT的度级网格；第10~15级为分级网格，第16~21级为秒级网格。32级网格的大小为 $(1/2\ 048)''$ 。该模型采用了空间Z序的编码方法，一定程度上确保空间相邻的网格单元邻近存

储，如图2所示。

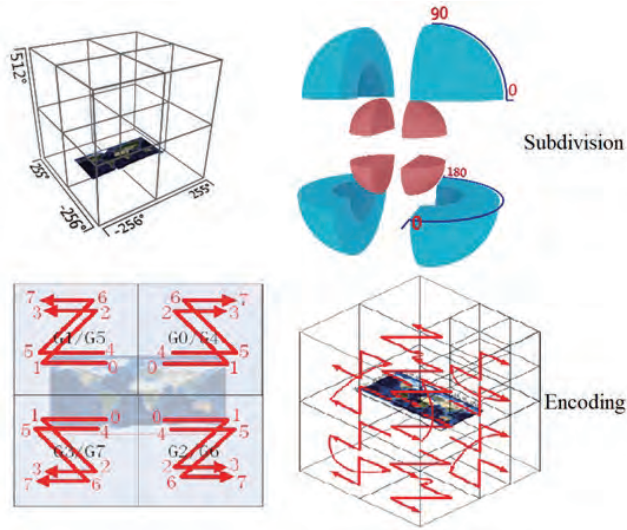


图2 GeoSOT-3D 1级体块
Fig.2 Level -1 block of GeoSOT-3D

1.2 地球剖分型GIS数据模型组织框架

地球剖分型GIS数据模型是借鉴全球离散网格思想并以GeoSOT时空剖分编码方法为基础扩展，针对时空大数据的统一组织与管理需求，以时空立体空间为基本单元，能准确刻画客观事物在时间域、空间域和属性域内发展变化的数据模型。为全球剖分地理信息系统(G3IS)设计。

地球剖分型GIS数据模型不仅能够对事物的空间维度和时间维度进行描述，还能够对剖分编码之间隐含空间关系，并进行不同对象之间的拓扑关系、空间关系语义描述。时空数据模型描述了地理实体与地理实体之间的关系，合理的时空数据模型必须能够节省存储空间、加快存取速度、表现时空语义。其中时空语义包括地理实体的空间结构、时间结构、空间关系、时态关系、地理事件和时空关系等。一个合适的时空数据模型必须考虑以上问题^[15]。

全时空剖分数据模型的概念模型设计如下：

$$SG_{S-T} = \{ (obj, even, topo, attr) | f(SG_{S-T}) \} \quad (1)$$

式中， SG_{S-T} 为剖分网格编码， obj 、 $even$ 、 $topo$ 和 $attr$ 为属于网格编码 SG_{S-T} 的对象、事件集合、拓扑几何和属性集合， $f(SG_{S-T})$ 为从网格 SG_{S-T} 中返回的数据该网格的查询检索结果。在全时空剖分数据模型中，从网格时空编码检索到网格内的全部对象的过程看做是映射 $f()$ 。

多源数据的整合如图3所示, 由于矢量、栅格等数据格式不同、投影不同难以进行统一的组织, 本文通过将多源数据映射到时空网格空间中, 利用离散化的方法将不同数据的时间特征和空间特征落到相应的网格中, 实现多源数据的整合。

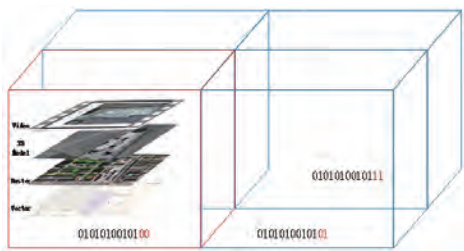


图3 多源数据整合示意图
Fig.3 Diagram of multi-source data integration

1.3 地球剖分型GIS数据模型的概念模型(UML)设计

地球剖分型GIS数据模型的UML设计图如图4所示。传统数据模型关注对象或事件本身, 面向单一图层或对象的管理, 而剖分GIS数据模型以面向时空单元管理为核心, 从本质上说剖分数据模型侧重于对象或事件发生的时间或者空间域(即时空单元), 不同的对象或者过程只能作为剖分单元的一个属性。

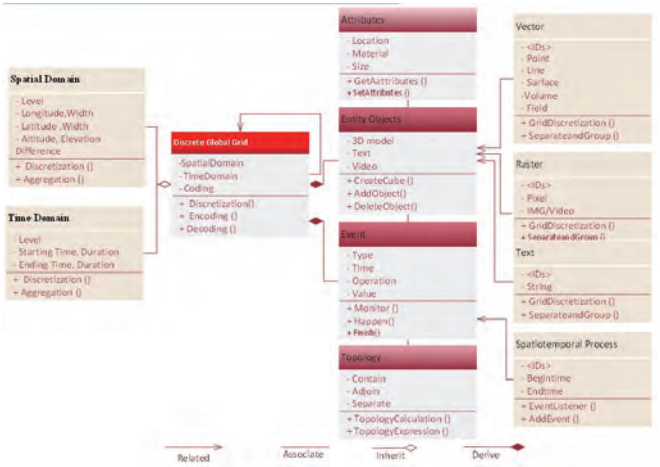


图4 地球剖分型GIS 数据模型的UML设计图
Fig.4 UML design diagram of data model based on discrete global grid system

地球剖分型GIS数据模型的逻辑模型是以GeoSOT为理论基础对时间域和空间域进行扩展, 在剖分与编码层面, 利用经度、纬度和高度在空间域内空间离散, 利用世界协调时(Universal Time Coordinated, UTC)在时间域内进行时间离散, 通过对时间域和空间域的离散实现全时空剖分。编码部分通过二进制编码进行空间Z序的标识。由于剖分编码具有多层次特性, 不同层次的单

元之间存在自相关性, 不同层次能够向下分割和向上聚合。剖分编码具有多粒度特征, 时间编码和空间编码关联实现时空剖分单元的标识, 剖分编码隐含剖分单元的层级, Z序编码一定程度上保证了空间邻近存储也邻近的特征。编码隐含不同层级剖分单元的相邻、包含和相离的简单拓扑, 所以可以表达简单的拓扑关系。剖分单元可以存储在分布式数据库中, 剖分编码作为数据库索引的主键, 发挥二进制编码高效位计算优势。

该数据模型以离散网格单元为中心, 离散网格单元类继承了来自空域类和时间域类的空间剖分与编码方法; 实体、对象属性、事件和简单拓扑关系类派生自离散网格单元类, 继承了离散网格单元的所有成员和方法; 实体、对象、事件和简单拓扑关系类之间通过唯一的数据表主键(网格编码)实现了与属性表的关联; 最终通过编码集合实现对基于矢量的点、线、面对象, 基于栅格的遥感影像数据, 基于时间的地理过程和基于语义的文本数据进行表达。

基于剖分数据模型建立的索引大表如图5所示, 按照网格编码的层次关系可建立基于网格编码作为主键的多层次索引, 在查询检索时, 如父网格没有该对象则不必再向下层查找, 子网格对象的合并就形成了父网格中的对象。不同层次网格通过索引实现向下分割和向上聚合。

父表				子表			
primary key	vector	img	model	primary key	vector	img	model
101010100	L1(p1,p2)	Pix1	Geo1, Tex1	10101010000	L00(p01,p02)	Pix00	Geo10, Tex10
101010101	L2(p3,p4)	Pix3	Geo3, Tex3	10101010001	L01(p03,p4)	Pix01	Geo11, Tex11
101010110	L3(p5,p6)	Pix5	Geo5, Tex4	10101010010	null	Pix10	null
101010111	L4(p7,p8)	Pix7	Geo7, Tex4	10101010011	L11(p7,p8)	Pix11	Geo11, Tex11
时空编码	对象的集合			primary key	Vector	img	model
				10101010100	L20(p30,p40)	Pix30	Geo30, Tex30
				10101010101	L21(p31,p41)	Pix31	Geo31, Tex31
				10101010110	L22(p32,p42)	Pix32	Geo32, Tex32
				10101010111	L23(p33,p43)	Pix33	Geo33, Tex33

图5 多层次索引大表
Fig.5 Table of multi-level indexes

1.4 地球剖分型GIS数据模型的理论优势

根据上述数据模型的数据组织原理分析得到该模型型的如下特征:

1) 时空数据统一组织与高效管理原理

面向时空的数据管理思路, 解决多种数据格式不兼容的问题, 每一个剖分单元都可以包容多种类型的数据对象。多尺度的时空单元可以解决传统快照模型中时间和空间粒度不同的问题。利用二进制编码进行位运算

有助于实现查询检索和计算的高效性。

2) 元数据统一组织与管理的工作原理

维持现有数据产品和地理信息元数据库系统的组织方式不变，在元数据层之上增加基于剖分组织基准的索引层，其本质上是维持一张元数据的剖分索引表。剖分索引表以剖分体元编码作为主键形成行，以数据产品类型作为名称形成列，表中每个单元格中存储由具体体元编码和数据产品类型约束的相关数据产品标识列表。

2 实验与分析

基于全时空数据模型，本文开展了低空空域航路冲突检测的统一管理实验和智慧城市部件精细化管理实验。

2.1 空域统一组织实验

传统航路冲突检测方法包括确定性方法和概率方法等。确定性方法通过轨迹方程的坐标解算来判断飞行器是否存在冲突，遍历解算多元方程的方法计算量大且算法复杂度高。概率方法中，航迹的概率计算过程复杂，这些方法难以满足高/超音速飞行器的低空航迹冲突检测时效性需求。无论是确定性或是概率航迹冲突检测算法，都是以单个飞行器的航迹作为对象，该方法导致计算量过大、计算复杂度高^[16-17]，难以满足高速飞行器航迹冲突检测的时效性要求。本文提出了基于地球剖分型GIS数据模型的低空航迹冲突检测方法，将传统逐一航迹的多元方程冲突解算转化为分布式数据库实时状态查询，对比图如图6所示。

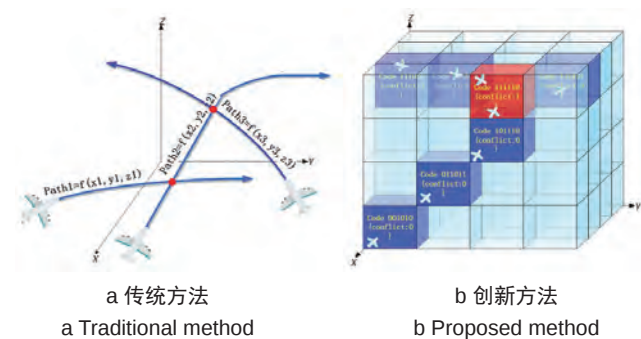


图6 传统方法与创新方法的比较
Fig.6 Comparison of conventional and proposed approaches

2.1.1 实验设计

为了更清晰地描述地球剖分型GIS数据模型在空间统一管理中的作用，根据数据模型设计了空域统一管理类图，时空空域网格是本文数据模型的实例化，如图7所示。

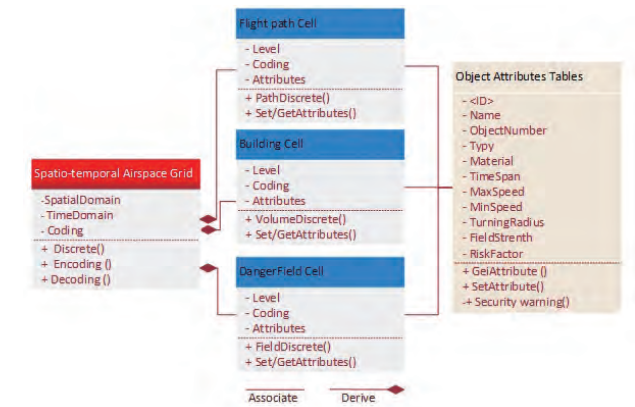


图7 空域统一组织实例类
Fig.7 Instances and classes of airspace under unified organization

实验数据选取东南沿海地区某3个机场起降飞行器1 200条不同时刻的航线数据，东南部地区夏季受风暴影响频繁，对飞行管控的时效性和精准性要求较高。飞行器数据包括属性数据和航线数据，航线数据格式为时间(s)、经度(°)、纬度(°)、高度(m)。数据如下：

2018-08-14 15:21:07, 113.3 080, 23.3 244, 1 097.28
2018-08-14 15:21:27, 113.3 110, 23.3 053, 1 249.68
60个低空障碍物和风暴场建模数据被组织，低空障碍物以多边形体+高程形式。坐标串格式为：开始时间、结束时间，经度(°)、纬度(°)、上高(m)、下高(m)，若为建筑物则开始和结束时间缺省默认一直存在，且下高为0，格式如下：
2018-08-14 10:00:00至2018-08-20 10:00:00, 106.1 100, 34.3 050, 300.0, 10 000.00.
2018-08-14 10:00:00至2018-08-20 10:00:00, 106.1 200, 34.3 310, 300.0, 10 000.00.

2.1.2 原型系统开发

实验首先需要对航线、低空障碍物和危险场数据进行网格化预处理，包括都航线、低空建筑和危险场离散化。其次需要对离散后的数据建立网格数据库。再次建立多尺度网格时空索引，建立时间索引和空间索引优先级机制，实时获取不同方法下飞行器航迹冲突检测结果，并对比不同方法冲突检测结果的查询效率。

2.1.3 实验结果及分析

实验中分别利用传统多项式方程计算方法，BKD Tree检索方法，单层编码检索和利用多尺度网格时空索引(本文方法)测试实时获取当前航线之间或航线与高层建筑及风暴场的冲突检测结果。为测试不同数据量下

不同方法的效率, 分别选取10条航线数据、50条航线数据、300条航线数据和1 200条航线数据进行查询, 如图8所示。

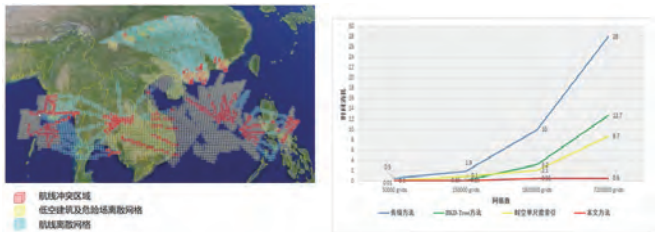


图8 冲突结果展示及不同方法效率对比
Fig.8 Visualization of flight conflicts and comparison of efficiency of different methods

从图8中可以看出传统检测方法, 随着航线的增多, 航旅冲突检测所需时间呈几何基数增长。而把网格的时空编码作为唯一键值进行检索时, 冲突检测效率有所提升, 但仍会随着网格数据量的增加消耗时间会不断增加。而本文方法网格数据量增加时, 冲突检测消耗时间基本在1 s之内保持不变。这是因为随着航线数目的增加, 传统方法遍历计算的数据量随航线增加呈现几何级数增长, 故查询时间呈现几何级数增长。

本文方法将时间编码和空间编码作为两个独立键值进行检索, 在空间域和时间域内利用邻近网格编码的相邻关系和网格多层次递归特性, 能够快速定位到网格编码。在数据时空分布不均匀时自动优化时间索引和空间索引顺序, 数据量增大时进行分表, 充分发挥分布式网格数据库并行查询的优势, 因此随着网格数据量的增加, 冲突检测查询消耗时间基本不变, 实现了空域的统一管理。

2.2 城市部件精细化管理实验

2.2.1 实验设计

当前城市部件管理方法存在数据类型多样、编码混乱、查询困难、低效等缺陷, 城市部件管理信息系统数字化水平低、数据更新时效性差、系统重用性差。另外查询获取的位置是坐标值, 缺乏对查询对象周围环境关系的表达。本文以GIS技术和建筑信息模型 (Building Information Modeling, BIM) 相结合为出发点, 提出基于全时空剖分数据模型的城市部件精细化管理方法, 利用数据模型对底层数据进行城市部件精细化管理。首先, 建立三维展示框架; 其次, 对BIM文件进行解析, 包括建筑的部件坐标、纹理及其各种属性, 同时还需要将其格式转换为Cesium可加载的3D实体格

式。然后, 需要对该文件进行解析, 得到模型内部各个部件的属性、坐标等信息, 并将坐标转换成对应三维球WGS-84地理坐标。最后, 将转换后的BIM三维模型文件加载在网格地理信息系统中, 利用全时空数据模型作为部件数据组织的基础, 对模型的每一个部件进行打码入库, 在网格地理信息系统中通过网格GIS数据模型管理城市部件^[18]。为了更清晰地描述城市部件精细化管理的实现方法, 设计类图如图9所示, 多尺度场景网格类是所提模型的实例化。

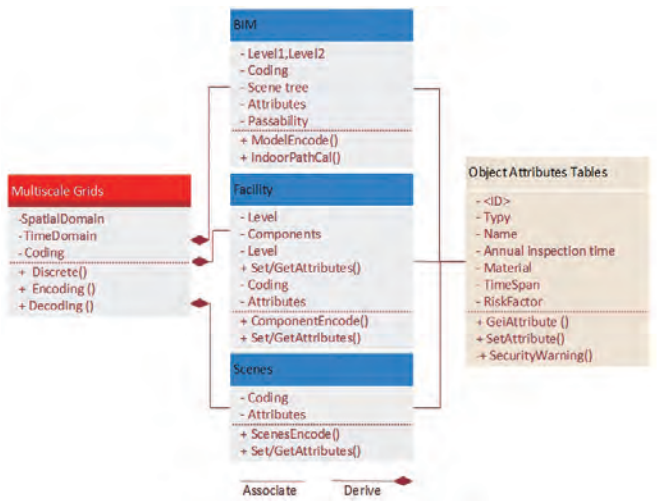


图9 部件精细化管理实例类
Fig.9 Instances and classes of refined management of components

2.2.2 实验实施

对BIM文件解析得到各个部件的坐标信息及属性等信息, 分别用网格GIS数据模型进行网格化处理, 而每个GeoSOT网格就是包含该网格区域内所有部件各方面信息的数据集装箱^[19-20]。实验中, 首先, 对BIM模型解析, 得到建筑模型内各个部件的坐标。然后, 通过Cesium坐标转换处理后, 得到各个部件在三维球上的WGS-84地理坐标。最后, 调用网格绘制函数, 确定层级, 输入纬度、经度及高程, 实现对模型部件打码。如图10所示, 根据消防栓大小, 经过测试得出25层级立体网格 (边长2 m) 大小适合消防栓部件。



图10 部件数据网格化后的场景表达
Fig.10 Scene expression after component discretization

如图11所示,在对消防栓部件打码的基础上,本文实现了模型及部件的分区分层管理,并设计一套从绝对编码到相对编码(编码长度大大减少)再到位置信息的语义编码的编码体系,便于人员(消防人员和设施安装人员)熟悉救助场景和快速采集、定位目标部件。建立网格数据库后,以每个网格编码作为数据库主键,实现双向查询,即消防部件与业务系统数据互联互通,在平台中点击模型中的消防部件,能够查询并弹出业务系统中对于该消防部件的信息,同理在业务系统中搜索到某消防部件,可以直接在平台中显示该消防部件,实现对城市部件的精细化、高效管理。

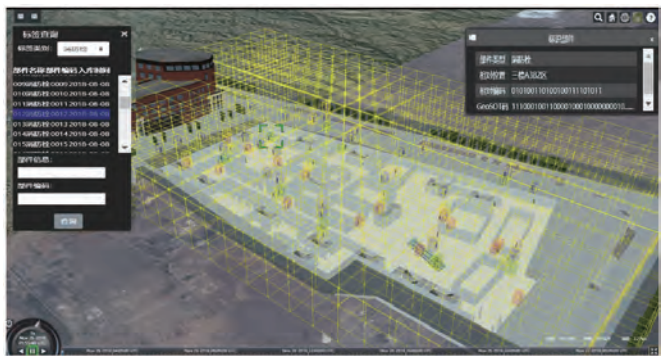


图11 部件分区管理及双向查询
Fig.11 Refined management and component query

2.2.3 结果分析

1) 结合GeoSOT网格和BIM来解决城市部件管理是可行的。BIM缺乏真实的地理位置属性,而全时空剖分网格是一种剖分地球的方式,只有地理位置,缺乏城市信息,而BIM刚好弥补这一点。两者的结合发挥了各自优势,通过全时空数据模型可以精确到厘米级部件管理水平。

2) 该方法确实可以实现对城市部件的精准化管理,并实现三维地球可视化,对于城市部件管理,更加直观,易于操作,如查询组件、添加组件等。精准化主要体现在两个方面:一方面是全时空剖分网格对于真实地理位置表达的准确性;另一方面是BIM模型对建筑物内部件相对位置表达的准确性。

3) 该方法具有高度的可扩展性,在智慧城市部件精细化管理中,不仅可实现消防部件精细化管理,同样可以实现电力、燃气、建构物等部件的精细化管理。

3 结束语

本文面向时空大数据统一组织与高效管理,在综

合分析现有GIS数据模型研究现状基础上,阐述传统数据模型在多模态数据融合管理中的瓶颈,借鉴全球离散网格思路,以GeoSOT剖分编码方法为基础进行扩展,提出面向时空单元管理的地球剖分型GIS数据模型,建立数据模型的框架并完成了概念模型和逻辑模型设计。通过全时空过程离散完成对实体、对象、事件的时空过程和简单拓扑关系的表达,满足多源数据融合的要求。在该模型基础上对飞行路径进行时空离散,按照网格单元进行空域统一组织开展航路冲突检测实验,实验证明该方法能完成受低空复杂时变空变环境(高层建筑或风暴场)影响下的航路冲突结果检测,还能满足单一飞行器或飞行编队的空域统一管理(动态/静态)的时效性和精准性需求;在该模型基础上利用网格多层次特征进行城市部件的精细化管理实验,完成了对消防部件的增、删、查功能和多尺度表达,验证了本文数据模型在数据精细化管理中的有效性。本文阐述了地球剖分型GIS数据模型设计的科学性和合理性,并通过实验验证了该数据模型在时空数据组织与管理中的统一组织、高效管理能力。利用地球剖分型GIS数据模型进行基于编码的计算和分析,以及复杂拓扑关系表达是下一步研究的重点。

参考文献

[1] Taylor J, Bernstein P. Paradigm Trajectories of Building Information Modeling Practice in Project Networks[J]. Journal of Management in Engineering, 2009, 25(2):69-76.

[2] LongleyP. Geographic Information Systems and Science[M], John Wiley & Sons Inc.:West Sussex, UK. 2005.

[3] Wang X, Truijens M, Hou L, et al. Integrating Augmented Reality with Building Information Modelling. Onsite Construction Process Controlling for Liquefied Natural Gas Industry[J]. Automation in Construction, 2007, 40:96-105.

[4] 李德仁. GIS的过去、现在和未来[R]. 上海:华东师范大学, 2019.

[5] Pang M, Yick C, Shi W. Development of a Process-based Model for Dynamic Interaction in Spatio-temporal GIS[J]. Geoinformatica, 2002, 6(4):323-344.

[6] Gong J, Geng J, Chen Z. Real-time GIS Data Model

- and Sensor Web Service Platform for Environmental Data Management[J]. International Journal of Health Geographics. 2015, 14(1):2.
- [7] 龚健雅. GIS中面向对象时空数据模型[J]. 测绘学报, 1997, 26(4):10-19.
- [8] Zhou Y, Suri S. Analysis of a Bounding Box Heuristic for Object Intersection[J]. Journal of the Acm, 1999, 46(6):833-857.
- [9] Worboys M. A Model for Spatio-temporal Information[C]// Proceedongs of the 5th International Symposium on Spatial Data Handling, Columbia:University of South Carolina, 1992:602-611
- [10] Open Geospatial Consortium. OGC Discrete Global Grid System (DGGS) Core Standard[S]. 2015, <http://www.openGIS.net/doc/IS/DGGS/1.0>.
- [11] 周成虎, 欧阳, 马廷. 地理格网模型研究进展[J]. 地理科学进展, 2009, 28(5):657-662.
- [12] 赵学胜, 贲进, 孙文彬, 等. 地球剖分格网研究进展综述[J]. 测绘学报, 2016, 45(S1):1-14.
- [13] Cheng C, Tong X, Chen B, et al. A Subdivision Method to Unify the Existing Latitude and Longitude Grids[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2016, 5(9):161.
- [14] 程承旗, 任伏虎, 濮国梁, 等. 空间信息剖分组织导论[M]. 北京:科学出版社, 2012.
- [15] Goodchild M. Criteria for Evaluation of Global Grid Models for Environmental Monitoring and Analysis[R]. Handout from NCGIA Initiative, 1994, 15:94-7.
- [16] Prandini M, Hu J, Lygeros J, et al. A Probabilistic Approach to Aircraft Conflict Detection[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2000, 1:199-220.
- [17] Miao S, Cheng C, Zhai W, et al. A Low-Altitude Flight Conflict Detection Algorithm Based on a Multilevel Grid Spatiotemporal Index[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2019, 8(6):289.
- [18] Zhang H, Cheng C, Miao S, et al. A Precise Urban Component Management Method Based on the GeoSOT Grid Code and BIM[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2019, 8:159.
- [19] Wang X, Love P. BIM+AR: Onsite Information Sharing and Communication via Advanced Visualization[C]. In Proceedings of the 2012 IEEE 16th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD), Wuhan, China. 2012:850-855.
- [20] Dossick C S, Neff G. Organizational Divisions in BIM-enabled Commercial Construction[J]. Journal of Construction Engineering and Management-ASCE, 2010, 136(4):459-467.