

杨健, 王雨晨, 赵淑红, 等. 基于 GIS 的时空数据可视化研究[J]. 智能计算机与应用, 2025, 15(4): 204–209. DOI: 10.20169/j.issn.2095-2163.250429

基于 GIS 的时空数据可视化研究

杨 健^{1,2}, 王雨晨^{1,2}, 赵淑红³, 赵继军^{1,2}

(1 河北工程大学 信息与电气工程学院, 河北 邯郸 056038; 2 河北工程大学 河北省安防信息感知与处理重点实验室, 河北 邯郸 056038; 3 浙江工业大学 设计与建筑学院, 杭州 310023)

摘要: 为实现高效的时空数据可视化, 基于 Vue.js 框架和 GIS 技术, 设计和开发了一套时空数据可视化系统。本文以红十三军历史事件为例, 运用面向对象思想, 提出了一种适用于历史事件的时空数据模型。通过对事件、轨迹及属性的数据多维度特征研究, 设计了一种时空数据可视化算法, 并完成了时空数据可视化系统的开发。实验结果表明, 该系统能够提高时空数据研究分析的精度和效率, 同时对时空数据可视化提供了一个新的思路和方法。

关键词: GIS 技术; 时空数据; 数据可视化; 历史事件; Vue.js

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2025)04-0204-06

Spatiotemporal data visualization based on GIS

YANG Jian^{1,2}, WANG Yuchen^{1,2}, ZHAO Shuhong³, ZHAO Jijun^{1,2}

(1 School of Information and Electrical Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, Hebei, China;

2 Hebei Key Laboratory of Security Protection Information Sensing and Processing, Hebei University of Engineering,

Handan 056038, Hebei, China; 3 College of Design and Architecture, Zhejiang University of Technology,

Hangzhou 310023, China)

Abstract: In order to realize efficient spatiotemporal data visualization, a spatiotemporal data visualization system is designed and developed based on Vue.js framework and GIS technology. Taking the historical event of the 13th Red Army as an example, this paper puts forward a spatiotemporal data model which is suitable for the historical event by using object-oriented thought. A spatiotemporal data visualization algorithm is designed and the spatiotemporal data visualization system is developed by studying the multi-dimensional characteristics of events, trajectories and attributes. The experimental results show that this system can improve the accuracy and efficiency of spatiotemporal data research and analysis, and provides a new idea and method for spatiotemporal data visualization.

Key words: GIS technology; spatiotemporal data; data visualization; historical event; Vue.js

0 引言

随着物联网、云计算、移动通信等现代信息技术的高速发展和广泛应用, 用于记录人类社会历史和现实世界发展的时空数据量呈爆发式增长, 其规模也愈加庞大, 而以此为基础, 时空数据可视化研究则已然成为目前亟待重点开发的领域项目之一。

时空数据是一种具有时间维度的空间数据, 其特征随时间的推移发生变化^[1]。传统的涉及历史事件时空数据的展示方式大多依靠于图片和文字, 但这种形式很难体现事件中重要的时空信息^[2], 以

及其中暗含的联系, 为此需要将与事件发展关联的时间信息与空间地理信息统一起来。时间与空间的整合早已出现, 但是时间与地理信息系统 (Geographical Information System, GIS) 的结合却是近年来才出现的。在 GIS 的协助之下, 绘制带有时间信息的地图更快速、更精确, 表现形式更多元, 表现内容更丰富。同时, 提取事件的空间信息可以突显事件本身, 并且能利用以往被忽视的空间信息, 挖掘出新的观点和联系。

通过将时间和空间数据相结合, 时空数据可视化能够以动态的方式呈现不断变化的实体和现象,

基金项目: 河北省硕士在读研究生创新能力培养资助项目 (CXZZSS2023120); 浙江省文物保护科技项目 (2020013)。

作者简介: 杨 健 (1998—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 数据可视化。

通信作者: 赵淑红 (1974—), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向: 建筑历史与理论。Email: zshuseu@zjut.edu.cn。

收稿日期: 2023-10-08

从而有效地描述事件和时空对象的产生、发展、演化以及消失的整个过程^[3]。

本文以红十三军历史事件为例,基于现有文献资料获取并进行了数据梳理。一方面,在对红十三军历史分析基础上,提出以历史事件为核心的时空数据模型;另一方面,利用 GIS 技术和 Vue.js 框架展示红十三军历史的时空发展脉络,并最终开发实现相应的时空数据可视化算法。

1 时空数据获取及需求分析

1.1 数据获取

本研究对于红十三军的研究数据主要来自于《红十三军与浙南特委》^[4-5],该书是由中共浙江省委党史资料征集研究委员会、浙江省档案馆、中共温州市委党史资料征集研究委员会共同编写,对红十三军的发展脉络做了较为详尽的分析和研究。同时还查阅了现有学术论文、新闻报道和相关人物的日记等。

在对上述文献进行收集整理后,对每个文献进行评估则尤显重要。其中将涉及到对文献的来源、作者、发布日期、内容的真实性与可靠性等因素进行判断。这可以确保获取的信息是可信赖的,同时能够识别和消除偏见和误解。

在评估后,接下来是提取和记录文献中的关键信息,如事件的时间、地点、参与者、原因、影响等。这需要对文献进行深度阅读和理解,同时也涉及到对信息的记录和组织,方便后续的分析和比较。

在收集到足够的信息后,通过对信息的整合和分析,可以形成对历史事件的全面理解。这可能涉及到比较不同文献中的信息,识别并解决冲突,找出共同点,以及构建历史事件的全面和一致的叙述。

1.2 需求分析

在进行面向历史事件的时空数据可视化系统的需求分析时,首先需确定系统的核心目标,即对历史事件中时空数据进行有效、准确且直观的可视化展示,使得用户能深入理解历史事件的时空发展过程与内在联系。以下是具体的需求分析。

(1)数据处理:面对来自不同源的庞大历史事件数据,系统需要具备高效的数据处理能力,包括数据收集、清洗、整合和存储等。

(2)时空数据模型:由于历史事件具有显著的时空特性,因此系统需要构建合理的时空数据模型,对事件的时间、地点、参与者等关键信息进行适当的抽象和结构化。

(3)可视化技术:系统需要运用先进的可视化技术,将复杂的历史事件信息通过图像、动画、地图等形式展现出来,同时要保证用户界面的友好性和易用性。

(4)交互功能:为了提升用户体验,系统应具备良好的交互功能,例如:缩放、平移、筛选、高级查询等,使用户能按需查看和分析历史事件。

(5)扩展性:考虑到未来可能的改进和升级,系统应设计为模块化且具有良好的扩展性,方便增加新的功能或进行性能优化。

(6)安全性:系统应有足够的安全性能,保护数据的完整性和用户的隐私。

这些需求不仅在系统的设计和实施阶段起着重要作用,而且对于确保系统质量和满足用户需求至关重要。

2 时空数据可视化平台架构设计

在构建历史事件的模型时,其本身的复杂特性就决定了需要全面地考虑涉及到的各种信息,例如:相关的人物角色、时间节点、地理环境、事件本质,以及所有这些因素之间的相互关系。这种全面的信息处理方式有助于更准确地理解和重现历史事件的复杂性。为了详细研究红十三军的时空以及轨迹变化,研究拟将系统的整体架构设计为多级分层架构,遵循前后端分离的原则,并采用模块化组件的开发模式^[6],构建了红十三军的时空轨迹框架,如图 1 所示。可以通过前端浏览器对红十三军进行可视化展示,通过后端数据库对其时空和轨迹数据进行保存和维护。整体框架分为可视化层、应用支撑层、模型层、数据层四个层次。

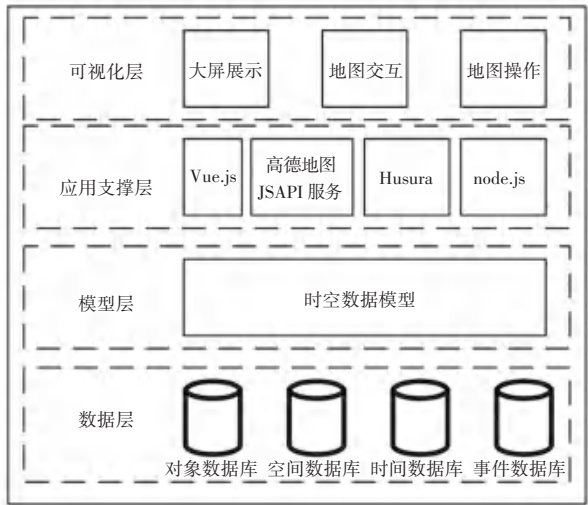


图 1 平台架构图
Fig. 1 Platform architecture diagram

(1)数据层:主要任务涵盖深入的文献研究,重点集中在历史事件的相关资料上,同时充分利用在线资源来填补可能在书面文献中存在的知识不足。这一研究工作旨在全面了解和审查与所研究历史事件相关的已有文献,以获取深刻的见解和详尽的信息。这些资料经过整合后生成数据源,最终存储于相应的数据库中,以备后续分析和研究使用。

(2)模型层:该层通过设计并实现了针对时空数据的特定数据结构,这些数据结构能够有效地捕捉和表达时空信息的多维性和动态变化性,并以此建立时空数据模型。模型层与数据层进行交互,实现了对时空数据的持久化存储,同时也可以根据需要进行数据的更新,以保证数据的实时性和准确性。

(3)应用支撑层:通过 Hasura 数据平台对这些数据结构进行操作,实现了对时空数据的创建、查询、更新和删除等操作,同时也封装了这些数据操作的具体实现,提供了数据访问的 API。随后,采用 Vue.js 作为前端开发框架,并借助高德地图 API,实现将数据转化为地图服务的关键功能^[7]。这一过程包括了与高德地图的集成,以及通过高德地图的 JavaScript API 来调用相关接口^[8],实现在前端浏览器中展示数据与地图之间的交互。

(4)可视化层:对红十三军的时空、轨迹进行详细的分析和可视化展示,并完成知识发现。这种展示方式不仅提供了直观的数据体验,而且加深了用户对于时空数据在地图上的分布和变化规律的理解。

3 时空数据模型构建

在处理关于历史事件的时空数据模型与可视化问题时,必须进行明确定义,以确切描述涉及的时空对象、时间维度、地理位置、运动轨迹和发展过程。这些时空对象不仅具备空间特性、时间特性和属性特性,还需要能够全面、准确地捕捉对象的时空演变,包括瞬时空间状态和属性。这种全面的描述能力是理解和模拟历史事件发展过程的关键。

通过对历史事件概念的分析,构建历史事件时空概念知识框架,包括对象、时间、空间、事件四个核心概念类^[9]。考虑到历史事件的发展过程具有连续性,事件在历史的时间轴上就会出现许多个地理位置。这些地理位置可以被视为具体的地理位置。但是,仅仅只有每个具体位置还不够,历史的发展是线性的,还需要知道每个位置之间发展关系、即空间关系类,因此将空间类定义为包括 2 个子类:空间关

系类和地理位置类。由于相关文献年代久远且部分内容记载并不详细,因此经常会遇到部分事件记载了具体的时间点,部分事件只是记录了一个大致的时间段。考虑到如上原因,为了更好地表达和处理这些时间信息,将时间类细分为 2 个子类:抽象时间类和具体时间类。这种分类有助于更好地理解 and 模拟历史事件的空间特性、时间特性和发展轨迹。

对象类、时间类、空间类、事件类均以事件为核心,通过数据属性描述具体的信息特征,核心概念类层次结构见表 1。

表 1 核心概念类层次结构
Table 1 Core concept class hierarchy

核心概念类	子类
对象(Object)	无
时间(TimeSpan)	抽象时间类(Time Abstract) 具体时间类(Time Specific)
空间(Space)	空间关系类(Space Relation) 地理位置类(Place)
事件(Event)	无

在理解和构建事件本体实体层次结构时,最关键的步骤就是确立概念知识框架和核心概念类别。通过设定多个核心元素参与并建立相关属性,能具体描绘核心概念类,并进一步揭示本体模型间的关联关系,使得详细内容以结构化的方式呈现出来。

在本文构建的模型中,通常采用对象属性和数据属性两种形式来表述实体。对象属性作为关系属性,被用来表征类别间(包括子类与父类内部)的关系;而数据属性作为内容属性,则负责描述类别内部的详细内容信息。这 2 种属性共同丰富了本文的模型描述,使其能够更加精确地刻画实体及其关系。核心概念类数据属性见表 2。

在本研究中,建立了红十三军的本体模型,该模型涵盖了 4 个关键概念类别。这些类别包括空间类和时间类,每个类别下分别包含了 2 个子类别。在这些核心概念类中,定义了 10 个对象属性,包括对象与时间、对象与空间、对象与事件、事件与时间和事件与空间的关系。具体的属性定义见表 3。这样的构建方式使得本文的本体模型具有更好的层次性和更丰富的关联关系,从而能够更准确地刻画红十三军的历史事件。

基于已经构建的对象属性和数据属性,最终形成了一个完整的历史事件时空数据模型。这一数据模型综合考虑了各种时空要素的特性,以及其在历史事件中的关联和演变。

表 2 核心概念类数据属性
Table 2 Core concepts class data attributes

核心概念类	含义	数据属性	数据类型
对象 (Object)	对象基本信息	姓名 (name)	String
		性别 (sex)	
		民族 (nation)	
		生平 (life)	
时间 (TimeSpan)	与对象和事件相关的时间	开始时间 (StartTime)	DATETIME
		结束时间 (EndTime)	
空间 (Space)	与对象和事件相关的空间	旧时地点 (OldPlace)	String
		现今地点 (NowPlace)	
		经纬度 (Longitudeandlatitute)	
事件 (Event)	具体发生的事件	内容 (EventContent)	String
空间关系 (Relation)	事件发展轨迹变化	移动 (Move)	String
		停留 (Stay)	

表 3 核心概念类对象属性
Table 3 Core concept class object attributes

含义	对象属性
对象与时间	存在对象 (existObject)
	所处时间 (existTime)
对象与空间	存在对象 (hasObject)
	所处位置 (isLocated)
对象与事件	包含对象 (containObject)
	发生事件 (happenOEvent)
事件与时间	所处时间 (hasTime)
	发生事件 (happenTEvent)
事件与空间	所处位置 (hasLocation)
	发生事件 (happenLEvent)

该模型以历史事件为核心,以轨迹变化为主线,反映了历史事件的复杂性和动态性。据此,本文创建了相应的数据库表,基于此就可以有效地存储和检索历史事件的信息。这样的模型构建为本文的研究提供了一个全面、且精细的工具,从而能够更好地理解和分析历史事件的时空特性。

4 时空数据可视化算法设计

4.1 现状分析

针对历史事件中的时空数据可视化已有许多科研人员做了具体研究,设计了许多可视化算法,主流的包含以下几种:

(1)时间序列图。该算法将历史事件的发生时间映射到水平轴,将事件的空间位置或其他变量映射到垂直轴。这种算法直观地表达了事件的时间序

列,但对于揭示事件的空间模式和时空交互性的能力有限。

(2)时空立方体^[10]。该算法将事件的时间和空间位置映射到三维立方体中。此种方式可以直观地展现事件的时空模式,但处理大量数据或展现复杂的时空交互性时可能导致视觉混乱。

(3)时态树^[11]。这是一种基于树形结构的可视化算法,用于表现事件的时间序列和事件间的关联性。这种算法适用于展示具有复杂因果关系或序列关系的事件,但对于揭示事件的空间模式和空间交互性的能力有限。

综上,每种可视化算法都有其优点和局限性。在选择时空数据可视化算法时,应根据具体的历史事件、数据特性和用户需求进行综合考虑。

4.2 算法总体思路

本文算法是结合历史事件时态树和时间序列图进行开发,在原本时态树基础上简化了复杂的事件结构,去除了子事件类型,将事件信息与时间轴关联,在事件时间轴上增加了空间信息与处理,在历史事件时空模型的基础上,依照时间轴上事件发生顺序依次加载并可视化。

在可视化的过程中,可以使用不同的符号来表明不同的事件性质,提供交互性的可视化能更好地帮助用户理解历史事件的时空过程。例如,可以通过点击符号来显示关于该事件的更多详细信息,如事件的确切时间、地点、影响以及相关人物等。同时,将所收集到的关于本事件的图片、文字、视频、音频等数据也可以集成到地图中进行展示。

此外,使用颜色和大小编码可以传达更多的信

息。例如,可以使用颜色来标识不同类型的事件,或者使用大小来表示事件的重要性或影响力。由于减少了树结构中关于子事件的分支,系统就可以提供一个时间轴工具,允许用户在时间轴上前进或后退,观察历史事件的演变过程。这将提供一个动态视角来观察事件的时空变化。

4.3 可视化算法

本文研发的可视化算法如图 2 所示。

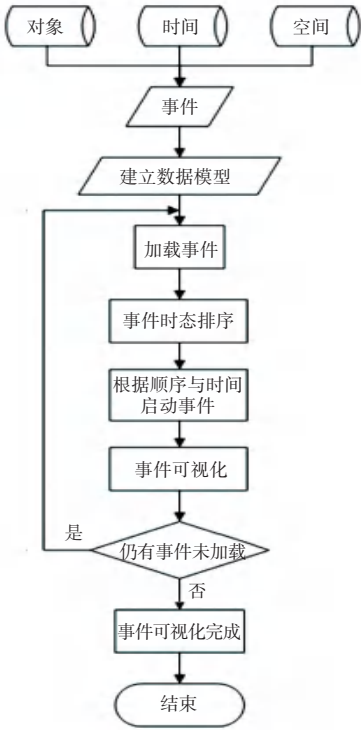


图 2 可视化算法

Fig. 2 Visualization algorithm

具体实现过程如下:

- (1)首先收集数据,来构建以事件为主线的概念知识框架,建立数据模型。
- (2)加载事件。
- (3)根据事件时间发生顺序进行排序。
- (4)根据排好的顺序来读取事件信息,并加载相应事件的对象以及轨迹属性。
- (5)进行事件可视化。根据事件内容和空间关系来使用相应的符号与动画,并加载相应的数据属性进行可视化渲染。
- (6)判断是否还有未加载事件,如有返回执行步骤(2),如果没有执行步骤(7)。
- (7)完成事件可视化。
- (8)结束。

5 时空数据可视化系统实现

5.1 可视化实现流程

本文的可视化系统开发是基于 Vue.js 框架,以及高德地图 JS API。首先采用 Node.js 的 Express 框架,根据数据的特征将其分类并导入到不同的数据表,接着使用本文开发的可视化算法进行数据建模以及调用高德地图服务 API 进行可视化,最后通过 Web 界面来对红十三军历史事件进行动态展示。可视化流程如图 3 所示。

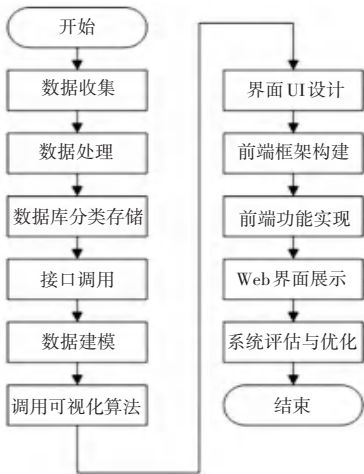


图 3 可视化实现流程

Fig. 3 Visual implementation process

5.2 系统实现

本研究针对红十三军的历史事件进行了深入分析,并据此构建了时空数据架构。基于此架构,进一步形成了历史事件时空数据模型。这种模型构建不仅捕获了历史事件的关键特性,而且还为后续研究提供了强大的理论基础和实用工具。通过高德地图 JS API 提供的地图服务,以及选用 Vue.js 框架为前端开发工具,实现了相应的时空数据可视化算法。实验电脑 CPU 为 Intel i5-12400f,内存 16 GB,显卡为 AMD Radeon RX 6700XT,测试平台为谷歌 Chrome 浏览器。

研究中,以“红十三军 1928 年主要事件”为例,将历史事件中涉及的对象、事件内容、地理位置以及轨迹的时间变化,以符号、图形、文字、视频和动画的形式进行了可视化呈现。同时,本文还以事件的发生顺序为基准,逐步展示了事件的发展轨迹,不仅可以避免让使用者产生错误的认知,还可以直观清晰地展示事件的发展过程。

5.3 可视化结果与分析

研究可知,可视化过程中是将火焰符号作为发

生战斗的标志,以动态直线表示红十三军的行动轨迹,并用人物符号表示事件中的重要人物,同时通过点击人物符号可以直观了解到该人物的生平事迹,恰恰是通过应用这些符号、动画等技术,将历史事件中牵涉的对象、轨迹变化、内容等数据以可视化方式呈现出来,才能够以直观和清晰的形式展示事件的发展过程。

通过本文的研究和最终结果,得出以下结论:
(1)通过可视化结果展示以及用户反馈,借助本研究构建的时空数据模型和时空数据可视化算法,实现了传统历史事件的可视化表达。这种方法将枯燥的历史数据以生动、形象的方式呈现,从而提升了对历史事件的理解和认识;

(2)在可视化的过程中加入符号、动画等技术可以有效地聚焦用户的目光,并且增加趣味性,避免用户对冗长的历史事件叙述感到枯燥,从而让用户一直保有兴趣;

(3)鉴于时空数据的复杂性,基本的符号、动画等表现形式已经无法满足未来可视化技术发展的需求。这种现状要求不断创新和深化数据可视化的理论和技术,以适应日益复杂化的数据分析需求。因此后续的研究考虑引入 3D 建模、以及 AR、VR 等一系列新兴技术。

6 结束语

本研究以历史事件为研究对象,采用面向对象的思想,构建了一种基于事件和轨迹变化的历史事件时空数据模型。这种模型能够描述并再现重大历

史事件中的时空信息及其变化,不仅有利于普通用户或读者查询和理解历史事件的发展脉络,这种方法还将有助于研究者获取更加全面且更具时效性的信息,为相关领域的研究提供了新的思考途径和方法,展示了其广泛的适用性。未来的研究计划在此基础上,结合三维立体模型、AR 和 VR 技术,以探索更为先进的可视化方案。

参考文献

[1] 施志林. 时空数据分布式存储研究[D]. 赣州:江西理工大学, 2015.

[2] 文丰安. 新时代红色文化传承与发展研究[J]. 学习与探索, 2020(11):54-62.

[3] 王占刚. 面向视觉变量感知特征的时空过程可视化模型[J]. 计算机工程与应用, 2020,56(4):50-56.

[4] 夏春涛. 从中国近代史看百年党史的主题主线、主流本质[J]. 近代史研究, 2021(4):10-14.

[5] 中共浙江省委党史资料征集研究委员会. 红十三军与浙南特委[M]. 北京:中共党史资料出版社,1988.

[6] 吴明堂,李星开,房云峰,等. 基于 BIM 与 GIS 融合设计的地质灾害治理系统[J]. 信息技术, 2022(2):83-88.

[7] 李超,于运禄,雷振伍,等. 基于 GIS 的公共安全数据可视化管理研究[J]. 计算机应用与软件, 2022,39(12):47-51.

[8] 王陆. 基于参与式感知的环境检测平台 Web 端数据可视化方案设计与实现[D]. 北京:北京邮电大学,2017.

[9] 高劲松,张强,李帅珂,等. 数字人文视域下诗人的时空情感轨迹研究:以李白为例[J]. 数据分析与知识发现, 2022(9):27-39.

[10] 宋雪雁,霍晓楠,刘寅鹏,等. 数字人文视角下《全唐诗》贬谪诗人的时空轨迹分析[J]. 图书情报工作, 2022,66(7):26-34.

[11] 王占刚,庄大方,王勇. 历史事件时空过程描述及其可视化研究[J]. 计算机工程, 2014,40(11):50-55.