

DOI:10.13203/j.whugis20190350



文章编号:1671-8860(2022)05-0693-07

面向道路积水动态可视化的多源数据集成方法

史 潇^{1,2} 徐家鹏^{3,4} 杜毅贤^{3,4} 沈 婕^{3,4,5} 袁培岳^{3,4}

1 中国气象局交通气象重点开放实验室,江苏 南京,210008

2 江苏省气象局江苏省气象服务中心,江苏 南京,210008

3 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室,江苏 南京,210023

4 南京师范大学地理科学学院,江苏 南京,210023

5 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心,江苏 南京,210023

摘要:随着城市化进程的不断加快及暴雨等极端天气的时有发生,道路积水问题愈发严重,影响了市民的出行和城市正常运行,因此有必要对道路积水信息进行动态可视化,而数据的集成与管理是从多源数据到道路积水信息的关键一环。为了更加直接有效地表达道路积水信息,提出了面向城市内涝动态预警可视化的多源时空数据集成与管理方法,构建了道路积水时空数据模型,探讨了积水数据与道路数据的匹配方法,并设计了面向道路积水动态预警的原型系统,实现了道路积水深度的提取与发布。以南京市主城区某区域对该方法进行了实验案例分析,实验结果表明,提出的数据集成与管理方法在进行道路积水可视化时具有一定的可行性。

关键词:道路积水;动态可视化;多源时空数据;集成与管理;预警

中图分类号:P208

文献标志码:A

暴雨内涝灾害会对城市系统的诸多方面造成影响,影响城市的正常运作^[1-4]。其中,城市交通系统作为城市的骨架和出行的载体,是暴雨内涝中最易受到影响的承载体^[5-8]。随着城市建设的快速发展,排水管网排水能力已不能满足城市发展的需求,道路积水的问题愈发严重,给居民的生活带来困扰,通过对道路积水信息进行动态可视化,可以直观地展示积水时空变化过程,为人们的出行提供参考。

实现面向道路积水预警的时空可视化系统,需要采集包括路网数据、高程数据等基础地理信息数据和降雨、积水等气象数据。采集方式、数据类型的差异性造成了数据在尺度、采样频率、数据精度、空间坐标系、数据模型和数据格式等方面明显的差别,这不仅给空间数据的维护和管理带来困难,还给多源数据的综合应用造成障碍,因此,必须对这些数据进行集成与管理,使其能在统一的时空框架下进行数据的组织和应用^[9]。

在多源数据管理方面,时空数据模型和数据结构的建立使杂乱无章的数据成为有序的数据

集合;时空数据库的建立为经过组织的多源时空数据提供了存储空间,以满足数据可视化过程中的高效查询与提取^[10-12]。龚健雅等^[13]提出一种面向动态地理对象与动态过程模拟的实时全球定位系统时空数据模型,为各个领域的扩展应用提供基本框架。但在对道路积水这一时空过程进行特征分析与可视化表达时,还需要研究时空维度下道路积水时空数据模型的构建。

目前,关于积水可视化的研究主要侧重积水面积和深度的显示^[14-15],如王林等^[16]建立了城市内涝灾害模型,模拟和预测内涝积水的空间分布、深度分布及淹没面积,而积水数据与道路数据异构性给道路情况的综合评估带来了挑战,需要研究道路数据与积水数据的匹配方法,实现积水数据与道路数据的统一。

本文研究了面向道路积水的多源时空数据集成与管理方法,构建道路积水时空数据模型存储多源数据,利用淮河流域暴雨积涝模型仿真得到的面状栅格积水数据与道路数据匹配,开发了面向道路积水预警的动态可视化原型系统,并对其可行性进行了验证,实现道路积水深度的提取

收稿日期:2020-02-19

项目资助:国家重点研发计划(2016YFE0131600);国家自然科学基金(41871371);淮河流域气象开放研究基金(HRM201806)。

第一作者:史潇,博士,主要从事3S集成与气象应用研究。18801580429@163.com

通讯作者:徐家鹏,硕士。jiapengxu18@163.com

与发布。本研究探究了从多源数据过渡到道路积水深度的方法,实现了时空多源数据集成与管理在理论与技术上的创新,为道路积水动态可视化提供了数据和技术支撑,为市民在暴雨内涝情况下的出行提供了便利。

1 道路积水数据模型

构建数据模型是数据集成与管理的重要步骤,时空数据模型的核心问题是研究如何有效表达、记录和管理现实世界的实体及其相互关系随时空不断发生的变化。为了清晰地表达道路积水时空过程中地理对象、事件及时空过程的关系,本文建立了道路积水时空数据模型,采用简要的UML(unified modeling language)类图进行了描述,如图1所示。

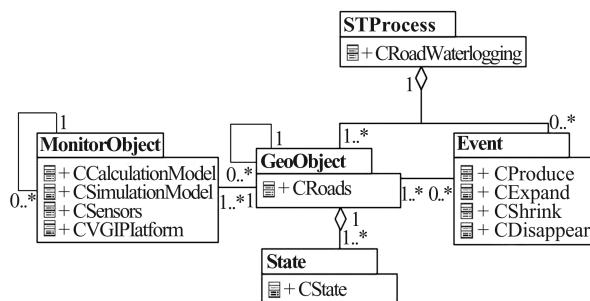


图1 道路积水时空数据模型

Fig.1 Spatiotemporal Data Model of Road Waterlogging

该时空数据模型包括地理对象(GeoObject)、时空过程对象(STProcess)、监测器对象(MonitorObject)、事件类(Event)以及状态类(State)。在道路积水过程中,地理对象包括降雨、城市道路、城市内涝点等;监测器包括传感器、模拟计算模型等,是本文中获取积水数据直接有效的方式,传感器可以实时观测道路积水点深度等属性数据,模拟计算模型可以使用水文模型模拟、机器学习等方法对城市道路积水进行模拟计算并提供模拟结果;事件类则表达了积水在时空变化过程中的语义,根据积水的等级划分为4种时间类型,即无内涝事件、轻度内涝事件、中度内涝事件和重度内涝事件;状态类表示积水实时的状态和未来的发展变化。该时空数据模型从时间和空间上描述了道路积水演变过程:在时间上,主要是通过不同时刻的监测数据,表现道路积水的变化与持续的时间;在空间上,则通过对道路积水的产生、发展与消亡过程的描述,体现道路积水的变化情况。道路积水时空数据模型的建立为数据库组织管理数据提供了便利,本文使用

PostgreSQL的PostGIS拓展实现对地理几何对象的支撑,设计了适用于关系数据库的逻辑模型,通过数据库表的形式存储多源时空数据,便于数据的管理。以降雨数据的存储为例,每个站点列表都对应多个单站点观测列表,站点列表里的字段一般是固定不变的,而单站点观测列表中的字段则是随时间变化,有利于减少数据冗余。

在数据组织和管理的过程中,还会生成一些过程数据。源数据在集成后会用于进行城市内涝模拟及预警,将会产生一个城市范围的积水面,该数据以GeoTiff形式返回,不适用于在关系数据库中存储,因此仅在数据库中建立索引,记录各个文件的生成时间及存储路径。

2 道路积水信息提取

考虑到道路积水动态可视化是对道路积水情况的动态显示,需要提取道路的积水深度信息,而道路积水深度信息获取的前提是进行积水数据与道路数据的匹配与融合。积水传感器获取的数据是点状数据,在整个南京市的布设数量有限,无法满足多粒度道路积水动态可视化的需求,因此本文提出一种道路积水信息提取的方法。通过淮河暴雨积涝仿真模型获取整个研究区域的面状积水深度的预报数据。该暴雨积涝模型适用范围为整个淮河流域,包括江苏地区南京在内的9个市,其中,降雨数据、积水传感器数据、河网水位数据、土地利用数据、地下管线数据、高程数据等作为淮河流域暴雨积涝模型的输入,模型最终输出的是面状栅格的积水深度预报数据,通过数据的加工预处理,可以向公众及决策部门提供积水深度预测数据,提前避开高影响路段。

在系统返回的栅格积水面数据中,各个像元的值表示以其所处空间平均高程为基准的平均积水深度。水作为流体,可以视水面会自动流动而在各处保持水平,需要知道采样点的实际高程与平均高程进行偏移计算,再加入积水面的数据,进行积水深度的修正,对修正后的结果进行存储和可视化,可以体现道路因高程不同而引发的积水深度变化。另外,从可视化角度上看,道路积水情况对同一路段也不是一成不变的,沿其伸展方向存在着连续变化,通过对道路以一定长度进行拆分,再进行积水深度采样工作,才能以更高精度获取道路不同位置的积水深度,且拆分越细致,则获取的信息越丰富。道路积水深度获

取方法如图 2 所示。

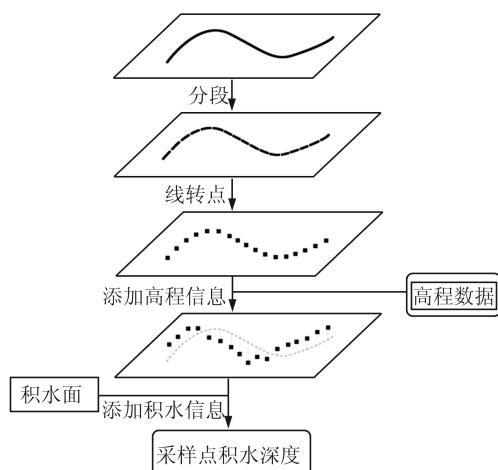


图 2 道路积水深度获取方法

Fig.2 Method for Extracting Road Waterlogging Data

此方法主要步骤如下:(1)将道路以一定的长度进行分段,分段长度取决于数据源的精度和可视化的需求;(2)取拆分后小路段的中心点,作为此路段的采样点;(3)通过高精度高程数据,计算采样点高程与所处像元平均深度的偏差值,存入数据字段补偿值;(4)提取采样点所在像元的深度信息,使用“offset”字段对积水深度进行修正,存入数据字段“深度”。步骤(1)~(3)为单次操作,其计算结果可作为中间数据在数据库中存储供后续复用;步骤(4)则在每次城市内涝计算后均执行一次。通过此方法可获得路网各处的高分辨率积水信息,并根据可视化的需要提供不同子路段的积水深度信息。

3 路段编码结构

由于本文是对道路积水时空可视化系统提供数据支持,对数据处理而言,最终目的是向可视化模块提供多尺度的道路积水深度数据。在数据处理过程中,考虑到一个采样点的积水深度不能代表整条路段的积水深度,需要对路段进行分割,便于计算与处理道路积水深度。为了满足可视化模块中对道路积水信息动态显示的需求,本文设计了一种子路段编码结构如图 3 所示。

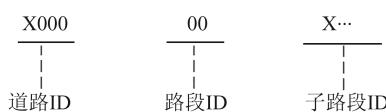


图 3 子路段编码结构

Fig.3 Sub-section Coding Structure

图 3 中,X 表示此处为大写英文字母,0 表示利用阿拉伯数字进行的顺序编码,道路 ID 均以 R 开头,子路段 ID 的字母取决于所处的划分层次,具体规则如表 1 所示。

表 1 子路段 ID 编码规则

Tab.1 Sub-section ID Coding Rules

编码	子路段分割/m	编码	子路段分割/m
A0	500	D00	50
B00	200	E000	10
C00	100	Z0000	1

从图 3 可以看出,不同尺度下的子路段划分存在包含关系,因此高等级子路段的积水情况可以由所拥有的多个低等级子路段合并而来,这种子路段划分方法更节约系统算力,避免了对各个划分粒度进行独立计算。

通过编码,道路上任何一点均可得到所处任意层级子路段的编码,用于生成多尺度路网中的每一个层次划分等级,积水作为一个点状事件,在可视化时,可以用这种方式编码,用积水点的深度代替子路段的积水深度,取某一点为例,完成积水深度提取后的某一采样点所含信息如表 2 所示。

表 2 完成积水深度提取后的某一采样点所含信息

Tab.2 Information in a Sampling Point After Extraction of Depth

字段	值	含义
OBJECTID	17501	对象编号
Shape	Point	几何类型
Name	铜井巷	道路名称
Type	Residential	道路类型
TypeLevel	5	道路等级(本系统)
DisplayLevel	2	道路可视化层次(本系统)
RoID	R394	所属道路 ID
RSID	R39401	所属路段 ID
R500 m	R39401A1	所属 500 m 分割子路段 ID
R200 m	R39401B01	所属 200 m 分割子路段 ID
R100 m	R39401C02	所属 100 m 分割子路段 ID
R50 m	R39401D03	所属 50 m 分割子路段 ID
R10 m	R39401E011	所属 10 m 分割子路段 ID
R1 m	R39401Z0110	所属 1 m 分割子路段 ID
RasterValue	109 cm	从栅格中提取的积水深度
Depth	95 cm	经过高程数据修正的积水深度

表 2 中,对积水深度提取后的任一采样点,在不同的子路段分割粒度下,都有对应的编码。基于提出的路段编码结构,考虑到数据一致性,系统中仅存储最小空间层次下的道路积水数据(即道路积水深度采样点所对应的 1 m 子路段),并通过

过视图功能生成各个层次下的虚拟表。

由于每一个高等级路段都是由多个低级子路段合并而成,这些子路段都具有唯一的编码,它们之间具有对应关系,具体编码结构随区域不同会略有变化。根据高程数据的精度,将道路拆分为1 m长度的子路段,使用Arcpy提供的Extract Values to Points工具,进行面转点的操作,此点视为此路段积水深度的采样点,计算点所在栅格像元的积水深度,基于高程对积水深度进行改正,即可得到每个子路段的实际积水深度。对不同层次下的子路段进行进一步编号,通过不同尺度下对同编号的1 m子路段进行合并,取积水深度平均值为该层次下各子路段的积水深度,生成不同层次的积水子路段路网数据。

以50 m层次下道路积水可视化为例,通过数据库将50 m路段对应的1 m路段积水深度采样数据组合到一起,计算50个1 m路段积水深度的平均值来表示50 m层次中的各个子路段积水深度,并将计算好的“深度”字段放到存储过程中,与原有的数据表组合成新的数据表,由GeoServer实现地图发布服务,发布方法如图4所示。

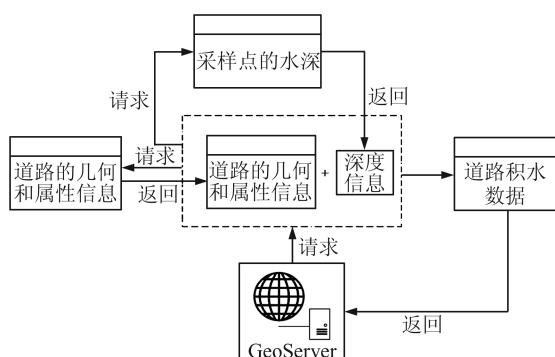


图4 道路积水数据发布方法

Fig.4 Method for Release Road Waterlogging Data

4 方法验证与实现

本文采用JavaScript开发了道路积水可视化原型系统进行验证,该实验的研究区位于南京市鼓楼区南部,如图5所示,包括玄武区西部及秦淮区西北部的小部分区域,北至建宁路,南至清凉门大街,东至中央路及太平路,西至扬子江大道,区域面积约为31 km²。选择依据为:(1)该区域是南京市的商业和科技中心之一,具有发达的道路和公共交通网络,对居民生活造成的影响更为显著;(2)该区域在南京市中处于地势低洼地区,区域内雨水难以自排入河,排水系统压力较大,

更容易出现道路积水的现象。



图5 研究区域

Fig.5 Study Area

实验所用到的数据类型丰富,利用降雨数据、积水传感器数据、河网水位数据、土地利用数据、地下管线数据、30 m分辨率的南京市主城区的高程数据等作为淮河流域暴雨积涝模型的输入数据,模型最终输出的为面状栅格的积水深度预报数据,结合研究区高精度的高程数据与路网数据(高程数据的平面分辨率为1 m,垂向分辨率为15 cm),可以达到道路上不同位置积水深度提取的需求,实现了多尺度下道路积水动态可视化。该暴雨积涝模型模拟出的面状栅格的积水深度预报数据如图6所示。该数据以GeoTiff形式返回,不适用于在关系数据库中存储,因此仅在数据库中建立索引,记录各个文件的生成时间及存储路径。

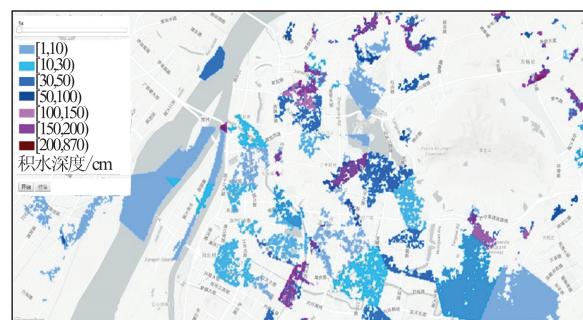


图6 积水面模拟数据

Fig.6 Simulation Data of Ponding Surface

根据本文提出的道路积水深度的提取方法,设计了原型系统和各路段的积水深度之间关系的动态可视化展示,可视化原型系统交互界面如图7所示。



图 7 可视化原型系统交互界面
Fig.7 User Interface of Prototype System

由图 7 可知,该系统会不断更新实验区域在不同时间段的道路积水情况,并用不同的颜色表示各路段的积水程度。《城市内涝风险预警服务业务技术指南》^[17]为了能准确地反映出城市内涝对不同承载体的影响程度,将城市的内涝分为 4 个等级,并根据不同的承载体设定了不同的深度划分标准。由于道路出行中考虑更多的是行驶中的车辆,因此本文参考该指南中对道路交通的等级划分。同时,考虑到地图设计中应保证视觉变量覆盖所有的取值范围,加入 0~5 cm 的等级。道路积水可视化等级划分规则如表 3 所示。

表 3 道路积水等级划分

Tab.3 Grading of Water Depth

等级	深度/cm	含义
0	[0,5)	基本不影响机动车行驶
1	[5,20)	机动车尚可行驶,但行驶缓慢
2	[20,55)	小型车辆无法通行
3	[55,100]	大部分车辆无法通行
4	大于 100	交通彻底中断,可能造成人员被困

在原型系统中,可以通过响应用户的地图缩放操作,进行积水可视化的尺度切换,满足可视化阶段的多尺度要求。该系统通过动画效果实现动态预警功能,伴随地图的缩放,道路会根据层次等级划分出现或消失,子路段的大小也会产生变化;伴随动态展示时间的变化,各个子路段的颜色会根据对应时刻的积水情况自动绘制。在不同尺度下,子路段划分的表现效果见图 8。

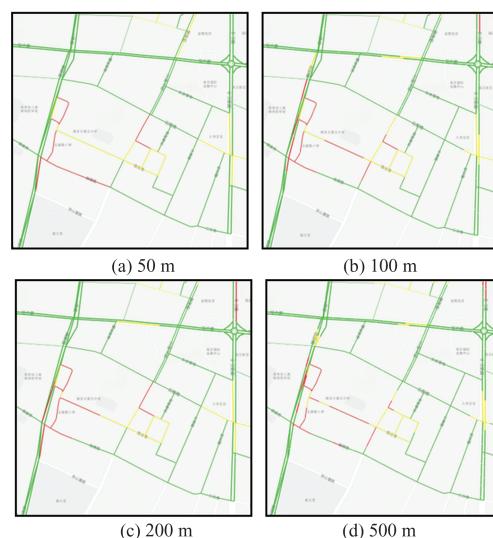


图 8 子路段划分在不同尺度下的表现效果

Fig.8 Performance of Sub-section Division at Different Scales

由图 8 可以看出,子路段尺度划分越小,道路上积水信息的展示情况越准确、越细致。

综上所述,面状的积水栅格数据可以对研究区域积水深度与范围进行展示(见图 6),但无法更直观地使公众了解路段上的积水情况。通过本文提出的面向道路积水动态可视化的多源时空数据集成与管理方法(见图 7),可以满足多尺度下道路积水动态可视化的需求,有助于为防灾减灾部门和交通管理部门制定应急策略,为公众的出行提供参考,说明本文提出的方法在面向道路积水动态可视化时具有一定的可用性。

5 结语

本文探索了基于多源数据的道路积水数据集成与管理方法,分析了道路积水数据组织管理、道路积水信息提取、面向道路积水可视化的路段编码结构等关键方法,设计了面向城市内涝动态预警的原型系统,并且以南京市主城区某区域为例,证明了方法的可用性。

与以往的方法相比,本文方法更加注重从道路积水动态可视化的角度对多源时空数据进行集成与管理,实现积水数据与道路数据的匹配,解决了如何从多源数据过渡到道路积水深度的问题。创新点主要体现在以下3个方面:(1)构建了一个适用于道路积水可视化的时空数据模型;(2)提出了一种道路积水深度的获取方法;(3)设计了一种适用于道路积水可视化的子路段编码结构。下一步研究将加入对实时路况的信息集成与管理,对道路路况和积水情况进行综合表达。

参考文献

- [1] Suriya S, Mudgal B V. Impact of Urbanization on Flooding: The Thirusoolam Sub Watershed: A Case Study [J]. *Journal of Hydrology*, 2012, 412/413: 210-219
- [2] Zhou Q, Mikkelsen P S, Halsnæs K, et al. Framework for Economic Pluvial Flood Risk Assessment Considering Climate Change Effects and Adaptation Benefits [J]. *Journal of Hydrology*, 2012, 414/415: 539-549
- [3] Wu X D, Yu D P, Chen Z Y, et al. An Evaluation of the Impacts of Land Surface Modification, Storm Sewer Development, and Rainfall Variation on Waterlogging Risk in Shanghai [J]. *Natural Hazards*, 2012, 63(2): 305-323
- [4] Su B N, Huang H, Li Y T. Integrated Simulation Method for Waterlogging and Traffic Congestion Under Urban Rainstorms [J]. *Natural Hazards*, 2016, 81(1): 23-40
- [5] Wang Xiao. Research on the Impact of Torrential Rain on Traffic Flow Characteristics of Expressways [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2015 (王笑. 暴雨天气下城市快速路交通流特性研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2015)
- [6] Yin J, Yu D P, Wilby R. Modelling the Impact of Land Subsidence on Urban Pluvial Flooding: A Case Study of Downtown Shanghai, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 544: 744-753
- [7] Shi Xiao, Li Yutao, Huang Liang, et al. Waterlogging Simulation and Runoff Analysis of Urban Rainstorm for Nanjing [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2017, 42(9): 179-185 (史潇, 李玉涛, 黄亮, 等. 南京城市降雨淹没模拟及径流分析[J]. 测绘科学, 2017, 42(9): 179-185)
- [8] Billot R, El Faouzi N E, de Vuyst F. Multilevel Assessment of the Impact of Rain on Drivers' Behavior [J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2009, 2107 (1): 134-142
- [9] Sheng Yehua, Zhang Ka, Yang Lin. Spatial data Acquisition and Management [M]. Beijing: Science Press, 2018 (盛业华, 张卡, 杨林, 等. 空间数据采集与管理[M]. 北京: 科学出版社, 2018)
- [10] Botea V, Mallett D, Nascimento M A, et al. PIST: An Efficient and Practical Indexing Technique for Historical Spatio-Temporal Point Data [J]. *GeoInformatica*, 2008, 12(2): 143-168
- [11] He Yongjian, Cao Yun, Huang Yong. Management and Expression of Meteorological Data Based on GIS [J]. *Journal of Nanjing University of Information Science and Technology (Natural Science Edition)*, 2011, 3(3): 232-237 (何永健, 曹芸, 黄勇. GIS气象数据的管理与表达方法[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2011, 3(3): 232-237)
- [12] Cai Di. Internet Spatial Vector Data Automate Acquisition and Management Method Research [D]. Beijing: Chinese Academy of Surveying and Mapping, 2015 (蔡地. 互联网多源矢量空间数据自动获取与管理方法研究[D]. 北京: 中国测绘科学研究院, 2015)
- [13] Gong Jianya, Li Xiaolong, Wu Huayi. Spatiotemporal Data Model for Real-Time GIS [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2014, 43(3): 226-232 (龚健雅, 李小龙, 吴华意. 实时GIS时空数据模型[J]. 测绘学报, 2014, 43(3): 226-232)
- [14] Li Shihao. Analysis Flood Risk and Study Waterlogging Simulation in Zhengzhou [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2016 (李世豪. 郑州市区洪涝风险分析及内涝积水模拟研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2016)
- [15] Yin Z E, Yin J, Xu S Y, et al. Community-Based Scenario Modelling and Disaster Risk Assessment of Urban Rainstorm Waterlogging [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2011, 21(2): 274-284
- [16] Wang Lin, Qin Qiming, Li Jizhi, et al. Study on the Disaster Analysis Model of Water-Logging in

- City Based on GIS [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2004, 29(3): 48-51 (王林, 秦其明, 李吉芝, 等. 基于GIS的城市内涝灾害分析模型研究 [J]. 测绘科学, 2004, 29(3): 48-51)
- [17] Xu X F. Technical Guide for Urban Waterlogging Risk Warning Service[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2015 (许小峰, 城市内涝风险预警服务业务技术指南[M]. 北京: 气象出版社, 2015)

Multi-source Data Integration Method for Dynamic Road Waterlogging Visualization

SHI Xiao^{1,2} XU Jiapeng^{3,4} DU Yixian^{3,4} SHEN Jie^{3,4,5} ZANG Kaiyue^{3,4}

1 Key Laboratory of Transportation Meteorology, China Meteorological Administration, Nanjing 210008, China

2 Jiangsu Meteorological Service Center, Jiangsu Meteorological Bureau, Nanjing 210008, China

3 Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China

4 School of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China

5 Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China

Abstract: Objectives: With the acceleration of urbanization, problems caused by extreme weather such as heavy rain have become increasingly obvious. As one of the most common meteorological disasters, urban floods have become one of the urban diseases in today's big cities. Therefore, it is necessary to explore the methods and technologies of multi-source spatiotemporal data integration to achieve dynamic road waterlogging visualization. Methods: Firstly, we designed a spatiotemporal data model of road waterlogging and stored the data in the form of database tables to describe the evolution process of road waterlogging in both time and space. Secondly, a matching method for waterlogging data and road data was put forward to obtain road waterlogging depth. Thirdly, we designed a prototype system for dynamic road waterlogging warnings and achieved the extraction and release of road waterlogging depth. Finally, an experiment was carried out in downtown Nanjing City to verify the availability of the proposed method. Results: The results show that the proposed data integration method can meet the multi-scale needs of dynamic road waterlogging visualization. We integrate multi-source spatiotemporal data from the perspective of dynamic road waterlogging visualization to solve the problem of transferring multi-source data into road waterlogging depth. Conclusions: In further studies, real-time traffic will be considered to comprehensively express the road condition and waterlogging condition.

Key words: road waterlogging; dynamic visualization; multi-source spatiotemporal data; integration and management; warning

First author: SHI Xiao, PhD, specializes in 3S integration and meteorological applications. E-mail: 18801580429@163.com

Corresponding author: XU Jiapeng, master. E-mail: jiapengxu18@163.com

Foundation support: The National Key Research and Development Program of China (2016YFE0131600); the National Natural Science Foundation of China (41871371); the Meteorological Open Project of Huai River Basin (HRM201806).

引文格式: SHI Xiao, XU Jiapeng, DU Yixian, et al. Multi-source Data Integration Method for Dynamic Road Waterlogging Visualization[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2022, 47(5):693-699.DOI:10.13203/j.whugis20190350(史瀘, 徐家鵬, 杜毅賢, 等. 面向道路积水动态可视化的多源数据集成方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2022, 47(5):693-699.DOI:10.13203/j.whugis20190350)