

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2009.05.008

流域洪水数字模型标准化研究

郑敬伟,刘 舒,胡昌伟

(中国水利水电科学研究院防洪抗旱减灾研究所 北京 100038)

摘要:为了模型之间数据交互,制定了一套覆盖流域洪水数字模型各个物理过程的标准化接口,通过对各种代表水文学模型和常用 GIS 软件的对象进行分析,剖析其共性与独特性,并在此基础上进行对象的抽象化,提炼各抽象对象的数据交换标准化接口.在流域洪水数字模型模拟应用中,对于流域水循环的各个物理过程,可以择优选用实现标准化接口模型,从而提高模型的通用性,减少重复开发,促进良性的竞争,为流域洪水数字模型的推广和使用降低门槛,促进流域洪水数字模型的发展.

关键词:流域洪水数字模型;标准化接口;概念模型

中图分类号:P208 文献标识码:A 文章编号:1000-1980(2009)05-0534-05

随着流域综合管理的需要,无论面向防洪规划还是防洪应急决策,流域洪水数字模型的研究范围不再局限于单个坡面或河道,而是扩大到整个流域.流域洪水数字模型涉及降水、产汇流、洪水演进等流域洪水的各个物理过程,涵盖了水文学和水力学等多种模型和方法.对于流域洪水的研究,需要根据具体情况对流域的各个子区域(或流域)分别选择最适宜的水文或水力学模型,即需要多模型之间的协同计算.多模型协同计算成为流域洪水数字模型发展的必然要求.为此,本文通过分析国内外主流流域洪水模型,研究一般水文、水力学模型所涉及的各主要对象及其属性、行为和关系,建立初步的对象模型以及模型之间通信的标准化接口,为多模型协同计算提供支持.

1 研究现状

国内外已有许多水文学或水力学模型被广泛应用于实际的防洪业务.然而,不同的模型、方法和技术对问题的理解和抽象都有一套自己的逻辑:不同的计算对象,根据其自身特点采用不同的简化方法或求解假定,对应的基本方程或数值方法有多种分类,甚至对于相同的计算对象,不同的模型之间、模型与工具之间,都有不同的组织、表达、行为方式,这些都导致了模型之间缺乏统一的标准规范,通用性低,不同的模型难以协同起来进行完整的流域洪水模拟.

国内很多流域模型开发者,不得不从最基础的代码开始,重新开发流域模型需要的各种水文或者水力学模型.封闭的技术方案,不可避免地存在低水平重复的问题,不能很好地继承和发展前期优秀成果,也不能为以后的扩展预留空间.此外,由于对象特点、程序编制语言、制作时间以及编制人员特长、知识范围局限性等原因,传统的流域洪水数字模型输入输出复杂,且文本形式的数据晦涩难懂,对模型的使用者要求很高,极大地限制了模型的推广应用.近年来,各研究机构开发的模型开始使用 GIS 技术进行模型前后处理,一定程度上解决了易用性的问题.但是,这些模型前后处理的辅助工具多是基于商业的 GIS 软件平台,一方面,使用者为这些 GIS 辅助软件支付昂贵的经济费用;另一方面,模型与辅助工具之间是分离的,不能形成集成的工作环境,较低的费效比制约了流域洪水数字模型的发展和应用.

在国外,著名的水文或水力学模型公司,在模型标准化方面已做了不少工作.如 Wallingford 公司的软件系列,封装了流域降雨产汇流模型、河道一维模型、城市排水模型等多种模型,集成了 GIS 技术和数据库技

收稿日期:2009-04-08

基金项目:国家自然科学基金重点项目(50739002),国家自然科学基金创新研究群体基金(50721006)

作者简介:郑敬伟(1976—)男,福建顺昌人,工程师,硕士,主要从事防洪减灾等研究.

术^[1],形成了统一的 Wallingford InfoWorks 和 Floodworks 模型系统^[2];DHI 公司也将自己的许多模型封装起来,形成标准模块,集成 GIS 和数据库技术,形成了 MIKE BASIN^[3-4],MIKE FLOOD,MIKE 11 GIS 等不同的应用产品^[5];美国著名的分布式模型——SWAT 模型^[6-7],也建立了与 ArcGIS 之间的标准接口,在 ArcGIS Desktop 下扩展了模型前后处理功能模块 ArcSWAT^[7]。此外,GIS 软件开发商也瞄准了流域洪水数字模型的需求,在自己的商业 GIS 软件中开发了与模型的接口。例如,GIS 行业著名的 ERSI 公司联合得克萨斯大学的水资源研究中心,建立了 Arc Hydro 数据模型^[8],并通过 ArcGIS 的扩展模块 Arc Hydro Tools^[9]提供基本的空间分析和水资源应用中常见的核心功能,为 HEC-HMS^[9-10],HEC-RAS^[10],MIKE 系列等模型系统提供前后处理的支持。无论是模型开发者还是 GIS 软件开发者,为了实现模型与 GIS 技术和数据库技术的集成,均在一定程度上实现了模型的标准化。但这些标准化主要是针对某一软件系统设计的,没有设计并实现计算同步接口,也缺乏数据交换接口的相关考虑,因此不能达到与外部协同耦合计算的要求。而且这些集成于某一软件系统的模型,由于涉及版权限制、费用昂贵等问题,推广应用受到极大限制。

2 模型标准化研究的内容

如果能够在不同的模型之间、模型和工具软件之间建立恰当的标准接口规范,实现数据和功能的共享,模型研究者和使用者就可以根据实际业务需求,灵活地选用不同的模型模拟流域洪水过程的各个物理过程,也可以灵活地选用不同的 GIS 软件工具完成数据的处理,从面向实际业务流程需求的角度对众多模型和辅助工具进行约束和组织协调。流域模型标准化,对于提高模型的通用性,实现模型与其他新技术的集成,减少重复开发,降低国外软件的垄断程度,促进良性竞争,降低模型的推广和使用门槛,促进流域洪水数字模型的发展,具有十分重要的意义。

在不同的模型之间、模型和工具软件之间建立恰当的标准接口规范,实现数据和功能的共享,需要解决几个层次的问题:标准化的内容,即哪些模型及其辅助工具的分析处理对象需要共享,它们有哪些状态和行为需要与外界进行交互;标准化的实现,即以什么样的方式实现标准化;标准化的示例,即建立一套遵循该规范的模型和工具。

这是一个复杂的过程,也是一个开放性的工作。本文仅就水文、水力学模型所涉及的对象及其属性和行为、对象之间的关系进行分析和抽象,得到初步对象模型定义成果及其概念性的实例。

3 数值模型对象分析

数值模型对象分析的目的是总结出主流模型对相关数据的需求并按照面向对象的方法进行抽象概括,包括模型中所涉及的空间对象,如流域、水系、水利工程等等,这些对象之间语义关系、拓扑关系,对象的时间属性、工程调度属性,对象的行为特征及其对其他对象的影响等。

3.1 水文模型

水文模型按其研究对象的不同而分成不同的类型。流域产汇流模型包含的对象包括产汇流分区(小流域、区间流域)、分区内的雨量站点、蒸发站点及出口控制水文站点等;河道汇流演算模型的对象包括河段、上下游站点及水量交汇点等^[11]。ESRI 公司对这些对象进行抽象后,形成针对水文水资源行业定义的通用数据模型 Arc Hydro。模型包含 5 个部分:汇流区(drainage)、河道(channel)、水文地形(hydrography)、水文网络(network)、时间序列(time series)。汇流区、河道、水文地形也可以称为对象集,每个对象集里面包含了一些对象类。汇流区将河流作为多边形来描述;河道描述的是河流的形状特征;水文地形描述水体和水面建筑物的信息;水文网络可以理解为关系类,主要描述的是上述对象之间的拓扑关系,以点和线来组成这个网络;时间序列主要用于测量根据时间而变化的一些特有属性,如流量过程等。

近年来,借助 ArcGIS 强大的功能和市场优势,Arc Hydro 已经被广泛地采纳为水文水资源数据存档和发布的标准形式。因此,本文将直接采用 ArcHydro 数据模型作为水文模型对象组织形式。对于 Arc Hydro 未涵盖的水力学数据模型,则采用类似的方法进行分析。

3.2 一维水力学数据模型

一维水力学数据模型的概念模型应该包含:河道断面(section)、链接(link)、河段(river)、边界条件(boundaries)、工程类(structure)、运行控制(running control)、初始化类(initialization)、输出类(output)等。

河道断面、河段、工程类是对象集,每个对象集包含了一定数据的对象类。河道断面描述的是该横截面的

形状,每个断面包含数据非定值;河段描述连接 2 个河道断面的河道,链接可以理解为关系类,主要描述河段、河道断面对象之间的拓扑关系;边界条件主要描述所需要的输入条件,比如流量过程、水位过程、水位流量关系等;工程对象集中包含水闸、堰等水工建筑物形状特征的描述;初始化类描述对一些对象初态的设置;运行控制类描述各个对象之间的运算衔接;输出类描述要输出的数据的类别、时间间隔、格式等。

3.3 二维非稳定流模型

二维非稳定流模型的概念模型应该包含:节点(node)、边(passage)、网格(mesh)、边界条件(boundaries)、运行控制(running control)、工程类(structure)、初始化类(initialization)、地形拓扑关系类(topological relation)、输出类(output)等。

节点、边、网格、工程类是对象集,每个对象集包含了一定数量的对象类。网格集是研究区域的概化,所有网格对象组成整个研究区域,描述区域空间特性;点与边是对应于网格的,在模型的演算过程中是不可或缺的对象;工程对象集中包含对水闸、堰等水工建筑物形状特征的描述;地形拓扑关系可以理解为关系类,描述节点、边、网格对象之间的拓扑关系,以点、线和面组成;其他同一维水力学数据模型。

4 数值模型对象抽象

参照 OpenMF^[12](开放式模型公共接口)的相关理念,根据流域数值模型的特点,对其所相关的对象、事件、逻辑流程经过抽象和分析,得到下列初步对象模型定义成果。

多个模型之间的数据交换、协同操作逻辑定义的接口、方法、事件和属性见表 1~5。

表 1 模型接口
Table 1 Model interface

方法	方法说明	属性	属性说明
初始化	设置启动环境	说明	模型的简约描述
读 入	读入参数	输入序列个数	所需输入边界条件个数
添加连接	引入外部模型	输出序列个数	输出多少个计算时间过程
删除连接	取消连接运行	基准时间	模型内时间相对于真实的基准值
设置输出	设定输出的对象、间隔、方式	时间步长	只读,模型所采用的时间步长
输 出	按照设定方式输出结果		

表 2 连接接口
Table 2 Connection interface

方法	方法说明	属性	属性说明
遍历监听	列举所有监听器	数字 ID	唯一标识连接的数字 ID
遍历事件	列举所有事件发布源	连接点位置	取得连接点在模型系统中的位置
		连接模型个数	得到本连接相连模型的个数

表 3 监听器接口
Table 3 Monitoring interface

方法	方法说明	属性	属性说明
挂接	挂接事件对象	挂接事件数	所挂接的事件对象个数
断开	断开挂接的事件	支持事件类型数	所支持的所有事件类型的个数
		支持事件类型	给出所有支持的事件类型

表 4 运行管理接口
Table 4 Running management interface

方法	方法说明	属性	属性说明
挂起	暂停模型运行	当前时间	当前模型内时间和对应真实时间
恢复	恢复计算	状态	用来查询当前模型是否挂起
监听	等待某个特定条件满足后运行		
触发事件	自身状态改变时触发事件信号		

表 5 事件接口
Table 5 Event interface

方法	方法说明	属性	属性说明
连接	挂接监听对象	挂接监听器数	所挂接的监听器对象个数
断开	断开所挂接的监听器	类型	事件的类型
		事件描述	对于事件所作的简单描述
		事件时间	事件触发的模型时间及真实时间
		源对象	触发事件的对象接口

5 交换数据接口标准的制订

参考主流模型和软件的交换数据格式,实现标准化的数据接口.接口需要符合各种规范,以保证与已有软件能够交换数据,同时也为数据交互提供了跨操作系统平台的能力.模型之间的数据交换接口以 XML 文件形式进行表达.数据流的实现应达到几个要求:(a)信息顺序非敏感,可采用灵活的存贮与传递次序;(b)同时包括二进制与文本版本,满足不同需求;(c)配备对数据进行解释的描述信息,包括生成时间、计算时间、类型、长度、提供者、使用对象等;(d)具备等待、触发、变化通知等机制;(e)涵盖各种不同的模型计算推进方式;(f)屏蔽模型基本方程、显隐格式、数值求解方法等技术细节所带来的差异.由此接口达到多模型协同耦合计算的目标.

6 展 望

通过对各种类型代表模型的分析,制定一套覆盖流域洪水数学模型各个物理过程的标准化接口,屏蔽数据结构、基本方程、数值方法等技术细节差异,实现该模型和工具之间数据交换和互操作.基于这一标准体系,能够从真正意义上开始建设大范围的模型库,实现模型的“随取随用”.可以根据各个子流域或者对象的具体特点分别选用有针对性的模型,组成一个整体以协同完成大范围的计算任务,这对于利用不同的模型来协同完成整体性的洪水模拟意义重大.

基于标准接口进行模型研发,是一种开放式的可扩展的研究机制,突破了传统模型研究中不同研究机构和研究者之间的封闭状态,可以减少重复开发,降低国外软件的垄断程度,促进良性的竞争,为模型的推广和使用降低门槛,消除模型差异引起的共享难、合并难、扩展难等问题.

参考文献:

[1] 谢莹莹,刘遂庆,信昆仑.城市暴雨模型发展现状与趋势[J].重庆建筑大学学报,2006,28(5):136-139.(XIE Ying-ying,LIU Sui-qing,XIN Kun-lun. Present situation and trend of urban storm water model development[J]. Journal of Chongqing Jianzhu University,2006,28(5):136-139.(in Chinese))

[2] MWH Soft Company. InforWorks RS help[M]. Wallingford:HR Wallingford Ltd,2003.

[3] MIKE BASIN 用户手册[M].哥本哈根:丹麦 DHI 公司,2003.

[4] 陈刚,张兴奇,李满春. MIKE BASIN 支持下的流域水文建模与水资源管理分析:以西藏达孜县为例[J]. 地球信息科学,2008,10(2):230-236.(CHEN Gang,ZHANG Xing-qi,LI Man-chun. River basin modeling and water resources management supported by MIKE BASIN:a case study of Dazi County,Tibe[J]. Geo-Information Science,2008,10(2):230-236.(in Chinese))

[5] SOLEL A,ZUCCARO G. New urban area flood model:a comparison with MIKE11-quasi2d[J]. Advances in Geosciences,2005,2:279-284.

[6] 王林,陈兴伟. SWAT 模型流域径流模拟研究进展[J]. 华侨大学学报:自然科学版,2008,29(1):6-10.(WANG Lin,CHEN Xing-wei. Review of study on watershed runoff simulation based on SWAT[J]. Journal of Huaqiao University:Natural Science,2008,29(1):6-10.(in Chinese))

[7] 王中根,刘昌明,黄友波. SWAT 模型的原理结构及应用研究[J]. 地球科学进展,2003,22(1):79-86.(WANG Zhong-gen,LIU Chang-ming,Huang You-bo. The theory of SWAT model and its application[J]. Progress in Geography,2003,22(1):79-86.(in Chinese))

[8] 朱思蓉,吴华意. Arc Hydro 水文数据模型[J]. 测绘与空间地理信息,2006,29(5):87-90.(ZHU Si-rong,WU Hua-yi. Introduction of ERSI Arc hydro data mode[J]. Geomatics & Spatial Information Technology,2006,29(5):87-90.(in Chinese))

[9] 李燕,陈孝田,朱朝霞. HEC-HMS 在洪水预报中的应用研究[J]. 人民黄河,2008,30(4):50-53.(LI Yan,CHEN Xiao-tian,ZHU

- Zhao-xia. Application of HEC-HMS in flood forecasting[J]. Yellow River, 2008, 30(4): 50-53. (in Chinese))
- [10] 蔡新明, 董志勇, 张永华. HEC 系列水利软件的应用[J]. 浙江水利科技, 2005, 14(11): 20-23. (CAI Xin-ming, DONG Zhi-yong, ZHANG Yong-hua. Use of HEL series water softward[J]. Zhejiang Hydrotechnics, 2005, 14(11): 20-23. (in Chinese))
- [11] 杜迎燕, 夏达忠, 张行南, 等. 基于 GIS 的水文模型对象解析[J]. 东北水利水电, 2006, 24(9): 19-21. (DU Ying-yan, XIA Da-zhong, ZHANG Xing-nan, et al. Analysis of hydrological model object based on GIS[J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2006, 24(9): 19-21. (in Chinese))
- [12] The OpenMI Association. OpenMI[EB/OL]. [2008-05-15]. <http://www.openmi.org/reloaded/about/what-is-openmi.php>.

Standardization for watershed models

ZHENG Jing-wei, LIU Shu, HU Chang-wei

(Department of Water Hazard Research of China Institute of Water Resources and
Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: The standardized interfaces for each water cycle process of basins were established in order to easily exchange data between the models. Through the analysis of representative objects for various hydrological models, hydraulic models and commonly-used GIS software, the common and different characters were discussed. On such a basis, the objects were abstracted, and the standardized interfaces were deduced for the abstracted objects. In practice, different mathematical models for watersheds with appointed standardized interfaces might be preferentially chosen to simulate the physical processes of each water cycle of watersheds. Thus, the applicability of the models is raised, the repeated development is reduced and the satisfactory competition is improved. Therefore, the doorsill for the popularization and utilization of mathematical models for watersheds is reduced so as to promote their development.

Key words: watershed model; standardized interface; conceptual model

《河海大学学报(哲学社会科学版)》征订启事

(CN32-1521/C, ISSN1671-4970, 季刊, 自办发行)

《河海大学学报(哲学社会科学版)》以马列主义、毛泽东思想、邓小平理论和“三个代表”重要思想为指导,认真贯彻落实科学发展观,坚持实事求是的思想路线,贯彻“双百”方针,弘扬时代主旋律,理论联系实际,为社会主义物质文明与精神文明建设服务。

《河海大学学报(哲学社会科学版)》为哲学与社会科学类学术期刊,主要刊登哲学、政治学、文学、语言学、法学、社会学、心理学、经济学、管理学、高等教育学等社会科学方面的研究成果、学术论文、综述等学术性文章。本刊可供上述有关专业的研究人员、管理人员和大专院校师生阅读与参考。《河海大学学报(哲学社会科学版)》为中国学术期刊(光盘版)入编期刊与中国学术期刊网入编期刊。

《河海大学学报(哲学社会科学版)》由河海大学主办,每季末出版,国内外公开发行。2009年每本定价5元,每本邮费1元,全年订费24元。欢迎广大读者直接向编辑部订阅。联系地址:南京市西康路1号《河海大学学报(哲学社会科学版)》编辑部,邮政编码210098。联系电话025-83786376。