

基于 OpenMI 技术的墒情预报模型

雷四华, 陈 鸣, 魏俊彪, 李士鸿

(南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要: 在水科学数字模拟研究中,模型开发与集成技术一直是研究的重点内容.作为模型开发与集成的一种新方法,OpenMI 技术已受到水环境领域专家极大关注,并在许多国际水环境机构项目研究中开始应用.简述了模型集成技术进展及当前常用的模型集成方法,采用统一建模语言详细分析了 OpenMI 关键内容,深入剖析其技术内涵,并从软件设计角度以 3 层蒸发模型为实例,基于 OpenMI 技术研制了墒情预报模型,给出了模型开发与集成的一套实用方法.该方法模型不仅可用于墒情预报系统,更可用于大系统复杂区域,如降雨、产流和洪水预报模型开发与集成.

关键词: OpenMI 技术; 模型开发; 模型集成; 面向对象程序

中图分类号: TP317; S152.7⁺1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-640X(2013)03-0032-06

利用计算机软件模拟自然现象是当今自然科学研究中常用手段之一.如在水文水资源领域,将水循环这一复杂的自然过程划分为:降雨、蒸发、下渗、产流、汇流、洪水演进等几个相对简单的过程,并分别建立数学模型加以描述,这种方法不仅可将复杂问题抽象概化,也有利于抓住问题要点,进行深入研究.然而,因为各模型不是独立的过程,研究人员需要对各模型进行集成,构成一个有机整体,才能全面贴切地掌握自然现象的全过程.可见,数学模型研究开发过程应是由复杂至简单、再由简单至复杂的完整过程,因此,各模型之间的集成方法、通信方式是模型研究中不可回避的问题.模型集成与模型提交方式相关,计算机软件开发的模型可通过执行文件、动态执行库、组件或控件等形式提交,目前常用的模型集成方法有:

(1)以可独立执行的模型文件提交,模型参数、输入输出均以数据文件提供给可执行的模型文件使用.在这种方式下,各数据文件为模型与外界交换的界面,对数据文件处理是模型集成工作重点,在整理各模型所需的数据文件后,按顺序调用执行模型,各模型一次执行整个模拟周期数据,如基于输入文件定制的 SWAT 模型^[1].

(2)模型直接与数据库连接,采用集中式开发,以模型系统形式提供.在这种方式下,各模型以源代码形式提供给集成人员,数据库连接、数据库表的更新等操作由系统集成人员统一开发,在张晓云、杨富平等学者的研究中^[2-3]均有这方面介绍.

(3)模型以动态连接库 DLL 形式提供,在 DLL 中定义公共函数由集成人员调用.模型集成人员在开发中通过声明引用 DLL 函数,实现对模型的调用,控制模型的输入输出及计算等操作.

(4)模型以 COM 组件或可视化控件形式提供.COM 组件实现了面向对象开发,对组件注册后,集成开发便可直接引用组件提供的属性及方法,通过调用其方法控制模型计算及输入输出.此方法在国外一些可视化建模软件有较多应用^[4].

以 COM 组件提供模型时,能同时兼顾模型的可读性与代码封装,根据模型集成或推广需要确定对模型封装的粒度.以 OpenMI 技术为标准接口提供的模型是 COM 组件的一种形式,其模型引擎是单步执行,提供标准的数据接口,模型之间实现数据实时交换处理,整体上各模型处于并行计算状态;OpenMI 技术力求解决

收稿日期: 2012-08-10

基金项目: 水利部“948”项目(201115)

作者简介: 雷四华(1973-),男,江西南昌人,高级工程师,硕士,主要从事水利信息化研究. E-mail: shlei@nhri.cn

计算模型之间的数据实时交换,侧重多模型集成,实现模型开发的标准化.

1 OpenMI 技术

1.1 OpenMI 技术进展

目前成立的 OpenMI 技术协会是一个全球性的非赢利开放组织^[5],主要依靠欧盟环境计划项目资助,该协会设有管理联盟、执行委员会、技术分会及发布与培训分会等机构.在欧洲委员会资助下,欧盟水框架指令于 2001 年成立环境管理领域重点项目 HarmonIT 计划,建立开放式模型接口 (OpenMI) 及操作环境是该项目的组成部分. OpenMI 接口是 OpenMI 组件运行数据交换的标准接口, OpenMI 操作环境是一套软件工具,其功能是构建新的模型或对现有模型进行连接集成编译并运行测试^[6].

2005 年开发出 1.0 版后, OpenMI 技术继续向前推进,2007 年 12 月推出了 1.4 版,紧接着 2010 年 12 月推出 2.0 版,在接口标准保持连续性基础上,开发工具包逐步得到完善提高. OpenMI 技术在国内已有少量应用,周玉文等^[7]虽然提到了 OpenMI 技术应用实例,但只是对国外几个典型模型实例总体描述性地介绍,如何应用 OpenMI 技术细节没有涉及.《时序计算通用模型接口 OpenMI 开发技术及其应用》一书^[8]主要是利用 OpenMI 技术文档编著,对 OpenMI 技术在国内推广应用有一定积极作用.

1.2 OpenMI 结构

OpenMI 技术标准通过面向对象开发语言实现,目前已有 C#和 Java 两个版本;利用面向对象程序开发中的接口约束功能,分别采用接口形式对标准内容进行定义,其命名空间为 org. OpenMI. Standard. 该命名空间主要包括数据接口定义、消息接口定义、交换接口定义、组件接口定义^[9],各接口规定的内容及功能见表 1.

表 1 OpenMI 标准主要接口描述

Tab. 1 The main interface description of OpenMI

| 接口类别 | 内 容 | 作用与功能 | C#接口名 |
|--------|----------------------|--|---|
| 数据定义接口 | 数据的量、单位、值、时间、地址,数据操作 | 用于定义组件之间或内部数据交换的数据信息,数据是包括值、单位、时间、地址等信息的物理量;数据操作包括数据检查、数据编号等 | IQuantity, IUnit, IValueSet, ITime, IElementSet, IDataOperation |
| 消息定义接口 | 监听器、事件 | 用于跟踪引擎计算过程中的事件,一个事件包括来源、时间、类型等 | IListener, IEvent |
| 交换定义接口 | 组件之间的连接 | 用于定义组件连接信息,可将其命名为连接,包括 ID 值、源组件、目标组件、数据操作等 | ILink |
| 组件定义接口 | 模型引擎 | 用于定义计算引擎,包括模型计算的输入输出定义、计算引擎定义、初始化、合理性检查等 | ILinkableComponent |

围绕模型接口标准, OpenMI 协会组织开发了模型连接集成检测工具包,定义了组件描述文件格式标准并归为 OpenMI 标准内容,工具包通过描述文件调用组件,用可视界面及属性表展示组件信息.通过 OpenMI 协会网站可获得工具包开源代码,包括对标准接口封装的 Backbone 类、用于对数据集操作及配置分发组件的 Utilities 工具、与系统交互前后处理的 Tools 工具、可对 XML 文件分析的 DevelopmentSupport 工具^[10](见图 1).然而,需要强调的是该工具包 (OpenMI Environment)并不是开发 OpenMI 标准组件必需的工具.

1.3 模型连接处理

模型之间实现动态数据交换是一个复杂过程,如用基于

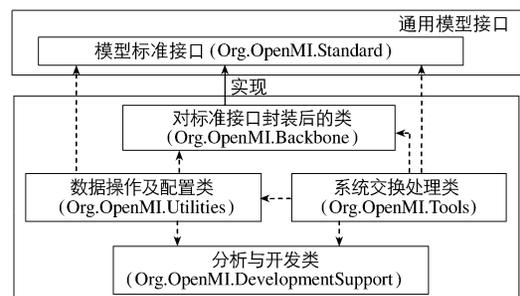


图 1 OpenMI 技术框架命名空间

Fig. 1 OpenMI architecture namespaces

圣维南方程的水力学模型模拟河水流动(水位和流量变化),在单个河段计算中模型上边界、下边界是必需的,通常以已知的水位或流量作为模型边界.然而,在上下游两河段的汇接处水位流量是未知的,如果要将上下游两个河段模型连接,上游模型的下边界水位时间序列需要下游模型计算,而下游模型的入流时间序列由上游模型计算得出,这就意味着上游模型需要水位值与下游模型需要入流值同时发生^[10](见图2).为此,可对上下游河段统一集总式开发,付出的代价是增加模型

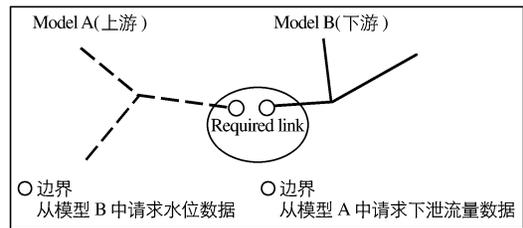


图2 两个河流演算模型之间连接

Fig. 2 Linking two river flow models

开发量、且不利于与更大区域的模型集成. OpenMI 技术出发点就在于解决模型集成问题,其基本思路是以单步计算提交模型,模型的输入输出遵循所规定的标准,多个模型在同一时间步实现集成连接.使用 OpenMI 技术既保持了河段模型单独使用的有效性,并且使得引入多河段模型时能简单集成至大尺度河网模型.

在 OpenMI 中对模型计算边界有详细的定义,边界值本身有标量或向量之分,用三轴来定义可得到唯一的物理量,即何值、何地、何时.边界值表示的什么,单位是什么,通过量和单位表示,一维数据可确保该值有效;这些值在什么地方,通过 OpenMI 提供的 ElementSet 类表示,它包括了有序要素集,每一要素通过节点序号定义,这些节点可以是具有坐标的地理位置;值应用的时间通过 OpenMI 提供 Time 类表示,可以为瞬时值(时间步)或者时间周期(时间跨度).

2 墒情预报模型中的应用

2.1 墒情预报模型

模型选用的合理及可靠性不作为该文探讨内容,此处选用新安江模型中常用的三层蒸散发模型计算土壤蒸散发量^[11],同时假定土壤蒸散发量为土壤水分的唯一损失.该模型认为流域土壤张力水蓄水含量达到最大值 WM 时,实际蒸散发量 $E=EP$ (EP 为流域蒸散发能力);当包气带含水量很小时,表土干燥,但植被根系可以从深层土壤中吸取水分供散发,因此,蒸散发量几乎可以维持在一个常数.在一般情况下, E 将随包气带含水量的增加而增加.计算中假定土壤吸湿及蒸发遵循以下规律:降雨补充土壤蓄水时,先补充上层,上层蓄满,再补充下层;土壤蒸发时,先蒸发上层,上层蒸发殆尽,再蒸发下层.同理,再由下层转至深层.

为了计算下一时段的土壤各层蓄水量,需要计算产流量 r ,此处不赘述,可参阅文献[11-12].墒情监测通常用体积含水量表示,用该模型计算出各层土壤蓄水量后,可经过计算与张力水容量的比值确定体积含水量.主要计算公式如下:

(1) 蒸散发计算

当 $P + WU \geq EP$ 时, $EP = K \times EM$, $EU = EP$, $EL = 0$, $ED = 0$;

当 $P + WU < EP$ 时, $EU = P + WU$.

当 $WL > C \times WLM$ 时, $EL = (EP - EU) \times WL / WLM$, $ED = 0$;

当 $WL < C \times WLM$, 且 $WL \geq C \times (EP - EU)$ 时, $EL = C \times (EP - EU)$, $ED = 0$;

当 $WL < C \times WLM$, 且 $WL < C \times (EP - EU)$ 时, $EL = WL$, $ED = C \times (EP - EU) - WL$.

总蒸发量 $E = EU + EL + ED$.

(2) 土壤蓄水量计算(土湿计算) 根据产流量 r 分两种情况对土湿计算:

(a) 产流量 $r=0$ 时,按以下步骤执行:

当 $P + WU \geq EP$ 时, $WU' = WU + P - E$, $WL' = WL$, $WD' = WD$;

当 $WL - EL > 0$ 时, $WU' = 0$, $WL' = WL - EL$, $WD' = WD - ED$;

当 $WD - ED > 0$ 时, $WU' = 0$, $WL' = 0$, $WD' = WD - ED$.

(b) 产流量 $r>0$,按以下步骤执行:

$WU' = WU + PE - r$, $WL' = WL$, $WD' = WD$, $PE = P - E$.

当 $WU' > WUM$ 时, $WL' = WL + WU' - WUM$, $WU' = WUM$;

如果 $WL' > WLM$, 则 $WD' = WD + WL' - WLM$, $WL' = WLM$, 否则 $WD' = WD$.

以上各式中: K 为蒸散发折算系数, C 为下层蒸散发系数, 均无量纲; 其他变量单位为 mm. P 和 PE 分别为实测降雨量、净雨量; EM 为水面蒸发量; E, EU, EL 和 ED 分别为总蒸发量、上层蒸发量、下层蒸发量、深层蒸发量; WUM, WU, WU' 分别为上层土壤张力水容量、本时段蓄水量、下时段蓄水量; WLM, WL, WL' 分别为下层土壤张力水容量、本时段蓄水量、下时段蓄水量; WDM, WD, WD' 分别为深层土壤张力水容量、本时段蓄水量、下时段蓄水量.

2.2 模型参数及输入输出分析

模型与外部信息交换均依靠参变量进行, 计算引擎通过接口获取和输出各参变量. 墒情预报模型输入有实测雨量 P 和实测水面蒸发 EM ; 输出为各层蓄水量; 各层蒸散发量、净雨量为中间变量; 折算系数、各层蓄水容量等为模型参数, 在模型计算中不发生变化, 各参数及变量在模型中的构成见图 3.

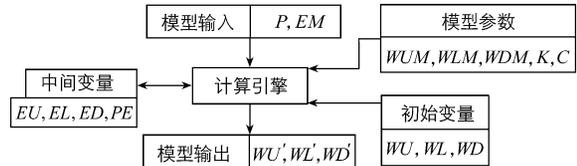


图 3 墒情预报模型参数及变量构成

Fig. 3 Parameters and variables of soil moisture forecast model

2.3 通用模型接口 OpenMI 应用

在 OpenMI 接口中连接组件接口 GetValue 方法定义返回的数据类型是 IValueSet, IValueSet 是由 OpenMI 接口定义的一种类型变量, 若后续应用调用该变量, 则在后续应用中需要引用 OpenMI 接口.

在该模型开发中, 建立一个抽象类 (类名: NhriOpenMIC), 抽象类继承 OpenMI 标准中的连接组件接口 (ILinkableComponent), 在 NhriOpenMIC 抽象类中可定义模型名称、功能描述等属性内容, 并可用抽象函数重定义接口函数. 墒情预报模型引擎继承抽象类 (类名: SoilmoistureForecaseModel), 模型计算引擎功能、参变量属性均在该类实现, 如下图 4 的 UML 图解, 给出了抽象类继承 OpenMI 接口、预报模型引擎继承抽象类, 及引擎的参变量和函数定义.

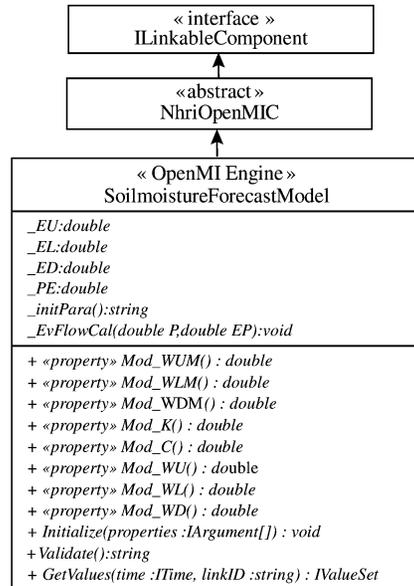


图 4 OpenMI 定义的墒情预报模型 UML 图解

Fig. 4 OpenMI interface definition of the soil moisture forecast model

在 UML 图中, 模型引擎内部变量及函数前为“_”标识, 可供引用的公共变量及函数前为“+”标识, 公共变量及函数即为模型对外提供的接口, 为了便于封装在该模型引擎中接口变量均用属性定义.

2.4 模型参数校正与验证

在墒情预报模型中, 因应用区域的土壤特性差异, 在各测站点模型参数须分别校正, 该模型需校正的参数有地表蒸散发折算系数, 下层蒸散发系数、上层 (下层、深层) 土壤张力水容量等, 对于单个模型具体的校正及验证方法与传统方式相同.

3 分析与建议

本文利用计算简练的墒情预报模型对 OpenMI 技术应用进行例证, 详细分析了预报模型结构、模型参数及输入输出边界, 通过 UML 图对模型接口构成进行描述, 为模型研制开发人员之间的信息沟通提供了便利. 这种采用 OpenMI 技术开发的墒情预报模型, 不仅可应用于墒情预报系统中, 更适于在大系统复杂区域中应用, 如与降雨预报、产流预报及洪水预报模型集成, 极大地提高了模型的可复用性.

采用 OpenMI 接口开发模型,模型研究人员只需提取出模型核心计算内容,时间序列计算过程可简化为将单步计算作为模型引擎,不必关心繁杂的时间处理、多区域处理等,只需专注于模型核心物理机制或数学方法研究,将大部分的外围处理工作交给擅长软件开发的系统集成人员,可极大提高系统集成效率,并能颠覆性地改变模型输入输出前后处理及展示效果。

OpenMI 接口标准仅涉及了少量的面向对象程序(OOP)开发方法、统一构建模型语言(UML)等软件开发知识,模型研究开发人员可以较轻松地掌握。OpenMI 接口技术的用户群体是模型研究及系统集成开发人员,模型研究人员所开发的模型以组件形式提交模型集成使用,而目前由 OpenMI 协会提供的组件检测及连接测试工具,注重于对遗产代码封装处理,其要求的连接信息文件也不便于模型组织。因此,在 OpenMI 技术应用中,模型研究人员可侧重对 OpenMI 标准接口内容的应用,而模型组件检查测试、连接测试工具可由专业研究机构开发。

参 考 文 献:

- [1] 李硕,康杰伟,王志华. 基于输入文件定制的 SWAT 模型集成应用方法研究[J]. 地理与地理信息科学, 2010, 26(4): 16-20. (LI Shuo, KANG Jie-wei, WANG Zhi-hua. Customization of input data for integrated application of SWAT model[J]. Geography and Geo-Information Science, 2010, 26(4): 16-20. (in Chinese))
- [2] 张晓云,彭浩. 地理信息系统与环境模型集成的探讨[J]. 广东化工, 2009, 36(7): 319-321. (ZHANG Xiao-yun, PENG Hao. Discussion on the integration of GIS and environmental models[J]. Guangdong Chemical Industry, 2009, 36(7): 319-321. (in Chinese))
- [3] 杨富平,李林,丰江帆,等. 基于服务组合的 GIS 应用模型集成方法研究[J]. 计算机工程与设计, 2011, 32(1): 133-137. (YANG Fu-ping, LI Lin, FENG Jiang-fan, et al. Research on integration method of GIS-based application model based on web service composition[J]. Computer Engineering and Design, 2011, 32(1): 133-137. (in Chinese))
- [4] TAKUYA A, SHIMPEI Y, HIROSHI O, et al. A visual modeling environment for embedded component systems [C] // Proceedings of 7th International Conference on Computer and Information Technology, 2007: 805-810.
- [5] OpenMI association official website. [2011-11-02]. <http://www.openmi.org/reloaded/association/organisation.php>.
- [6] MOORE R, GIJSBERS P, FORTUNE D, et al. The OpenMI Document Series-Part A-Scope for the OpenMI[H]. 2005.
- [7] 周玉文,王永,王磊. 基于 OpenMI 技术的城市排水模型体系架构介绍[J]. 给水排水, 2009, 35(9): 111-113. (ZHOU Yu-wen, WANG Yong, WANG Lei. Introduction of city drainage model architecture based on OpenMI technology[J]. Water & Wastewater Engineering, 2009, 35(9): 111-113. (in Chinese))
- [8] 雷四华. 时序计算通用模型接口 OpenMI 开发技术及应用[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2011. (LEI Si-hua. Sequential computation general model interface OpenMI development technology and its application[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2011. (in Chinese))
- [9] GREGERSEN J, WESTEN S, HUMMEL S, et al. Standard interface specification for the OpenMI[H]. 2005.
- [10] Peter Gijbbers, WL Delft Hydraulics, The Netherlands Jan Gregersen, et al. The OpenMI Document Series-Part B-Guidelines for the OpenMI[H]. 2005.
- [11] 赵人俊. 流域水文模拟-新安江模型和陕北模型[M]. 北京:水利水电出版社, 1984. (ZHAO Ren-jun. Watershed hydrological simulation model of the Xin'anjiang River and model of North Shaanxi[M]. Beijing: Water & Power Press, 1984. (in Chinese))
- [12] 陶新,许珂艳,王高升. 三水源新安江模型在黄河三小区间的应用[J]. 水利与建筑工程学报, 2009, 7(1): 32-35. (TAO Xin, XU Ke-yan, WANG Gao-sheng. Application of Three-source Xin'anjiang model in San-Xiao reach of Yellow River [J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2009, 7(1): 32-35. (in Chinese))

Soil moisture forecast model based on OpenMI technology

LEI Si-hua, CHEN Ming, WEI Jun-biao, LI Shi-hong

(State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: In the application software development and simulation of water science research, model development and integration technology have become the key research content. As a new method in the model development and integration, OpenMI technology has attracted considerable attention in the field of water environment, and been applied to many projects of international water environment agencies. This paper describes the development of model integration technology and model integration methods commonly used at present. Detailed analysis of the key content of OpenMI by the unified modeling language and in-depth analysis of the connotation of OpenMI technology are carried out. As an example, based on the three-layer evaporation model, OpenMI technology is used to develop soil moisture forecast model with the point of view of software design. A set of practical method is obtained for development and integration in the model. This method not only can be used for the soil moisture forecasting system, but also for much more complex large system areas such as rainfall, runoff and flood forecasting models.

Key words: OpenMI technology; model development; model integration; object oriented program

我院参加的“离岸深水港建设关键技术与工程应用”项目 获 2012 年中国水运建设科技特等奖

“离岸深水港建设关键技术与工程应用”项目由交通运输部组织、中国交通建设股份有限公司牵头,联合行业内 28 家科研、设计、施工、建设单位,开展产、学、研、用联合攻关,取得了丰富的创新成果,获得了 2012 年中国水运建设科技特等奖。

我院负责该项目课题三“风暴潮对港口水陆域及航道安全影响研究”和课题十“港工自密实自养护抗裂型耐久混凝土关键技术研究”研究工作。

课题三“风暴潮对港口水陆域及航道安全影响研究”对风暴潮引起的港口水陆域安全、粉沙质海岸的航道淤积机理及其整治措施开展了研究。在风暴潮联合分布、风暴潮作用下浮托力计算、风暴潮预报模式、波浪潮流和破波条件下的泥沙分布及含沙量计算、波浪与潮流作用下的复合沿岸流输沙和粉沙质海岸航道淤积计算等方面具有创新性。总体上达到了国际先进水平,其中在风暴潮淤积机理、风暴潮淤积模拟技术和复合沿岸流输沙公式等方面具有创新性,居国际领先水平。

课题十“港工自密实自养护抗裂型耐久混凝土关键技术研究”针对离岸深水港建设在混凝土浇筑、养护和质量控制等方面提出的更高需求和应用难点,研究解决了在困难条件下港工混凝土的快速施工、养护和抗裂等技术难题,具有重大技术创新,首次提出了港工自密实自养护抗裂型耐久混凝土成套专用技术,改善了海洋环境条件下钢筋混凝土的抗裂性能,提高了抗侵蚀能力,研究成果总体上达到国际先进水平,其中港工自密实自养护抗裂型耐久混凝土成套专用技术和自修复能力评价方法达到了国际领先水平。研究成果已在依托工程和其他重大交通工程中得到成功应用,社会经济效益显著,推广应用前景广阔。

摘自南京水利科学研究院网站