

基于 SpringBoot 框架的中长期水文 预报系统设计与开发

邵健伟, 梁忠民, 王 军, 胡义明, 李彬权

(河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 鉴于中长期水文预报能有效为宏观防洪形势分析和水资源管理提供科学依据, 提出了 Java 环境下基于 SpringBoot 框架开发的中长期水文预报系统。该系统集成了包含随机森林、支持向量机、小波分析、贝叶斯模型平均等多种模型方法的 Python 模型库以提高开发效率; 采用了基于 RabbitMQ 技术的异种语言调用与基于 RESTful 技术的轻量级接口设计以降低系统响应时间。并搭建了全国主要江河流域共 10 个断面的中长期水文预报系统作为示例进行分析, 实现了中长期水文预报业务化运行, 可为同类系统开发提供参考示范。

关键词: 中长期水文预报; SpringBoot 框架; Python 模型库; 业务化运行

中图分类号: P338+.2

文献标志码: A

1 引言

水利信息化作为国家信息化进程的重要组成部分, 近年来得到越来越多的关注^[1]。我国水利信息化起步于“七五”时期, 通过“九五”到“十二五”时期的不懈努力, 逐步完善了管理制度, 落实了水利信息化顶层设计, 开启了新时代的水利信息化进程^[2]。现阶段, 水利基础信息采集、监测系统的构建已逐步完善, 但相较而言, 基于互联网的水利专业软件系统的开发与应用相对薄弱, 已成为制约水利信息化快速发展的主要因素之一。近年来, 我国已在水利工程管理系统、水资源管理系统、防汛会商系统等方面进行了较多的研究与应用。如李庆云^[3]采用构建应用信息技术平台的方法, 研究了水电工程信息集群管理的标准化、系统化与科学化的解决途径; 鄢文生等^[4,5]将 WebGIS 技术引入水资源信息系统设计中, 实现了水文空间信息的可视化, 增强了系统展示效果; 李春华等^[6]在 JavaEE 平台上应用 Web Service 技术开发了江苏省防汛抗旱会商系统, 实现实时汛情查询、结果可视化、多媒体表达及应急预案管理等功

能。尽管基于互联网的水利业务应用软件系统研制取得了一定进展, 但对于在水资源调度管理和洪旱灾害防治宏观决策中发挥重要作用的中长期水文预报而言, 目前在国家层面尚未建立起统一、成熟的业务化系统。因此, 本文基于 Java 三层架构和 SpringBoot 框架进行开发, 整合 MyBatis、Quartz、Shiro, 应用模型库技术构建了集随机森林、支持向量机、小波分析、贝叶斯模型平均等多种模型方法的 Python 模型库, 采用基于 RabbitMQ 技术的异种语言调用与基于 RESTful 的轻量级接口设计, 完成了 B/S 结构中长期水文预报系统的整体设计与开发。并通过示例, 实现了模型模块化与标准化、预报系统化与智能化、方案合理化与本地化的有机结合, 为中长期水文预报业务化运行提供了支撑和技术范例。

2 系统应用框架

2.1 SpringBoot 框架

SpringBoot 框架属于 Spring 框架的衍生物^[7]。从本质上说, SpringBoot 是一些第三方库的集合, 也叫做框架中的框架, 只需要导入相应的

收稿日期: 2019-05-01, 修回日期: 2019-06-18

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0402707)

作者简介: 邵健伟(1995-), 男, 硕士研究生, 研究方向为水文水资源, E-mail: shaojianweidonald@qq.com

通讯作者: 梁忠民(1962-), 男, 教授、博导, 研究方向为水文不确定性及风险分析、工程水文设计等, E-mail: zmliang@hhu.edu.cn

依赖,就可以将需要的框架在项目构建中得以使用^[8]。Out of Box,译为开箱即用,是 SpringBoot 框架中一个非常重要的概念,集中体现了该框架使编码、配置、部署、监控简易化的四大优势。

当使用 SpringBoot 框架进行 Web 项目开发时, SpringBoot 内置的 Spring 和 SpringMVC 将为系统的开发提供技术保障。其中, Spring 框架作为控制反转(IOC)与面向切面(AOP)的容器支持,其作用是将系统表示层、业务层和持久层三层架构相耦合的“粘合剂”; SpringMVC 框架则应用于系统的表示层,其作用是将模型对象、视图界面与控制器(三者简称 MVC)进行分离,降低系统耦合度,完整体现 MVC 模式在系统设计中的应用。

2.2 MyBatis 框架

MyBatis 框架是一款高效、稳定的数据持久层(ORM)框架,应用于系统开发的持久层,主要作用是将数据库中的数据持久化成应用对象,鼓励用户使用面向对象的增、删、改、查(CRUD),从而达到简化操作,提高开发效率的目的^[9]。

2.3 Quartz 框架

Quartz 框架是一款功能强大且易用的开源任务调度框架,支持多任务的并发运行^[10]。通过对 Quartz 框架中调度器(Scheduler)、触发器(Trigger)、任务数据(JobDetail&Job)三个基本要素的使用,可以实现系统中定时任务的开发。

2.4 Shiro 框架

Shiro 框架是一个功能强大的 Java 轻量级安全框架,与常用的 Spring Security 框架相比,更具操作简单、使用方便的特点。Shiro 框架由 SecurityManager、Subject、Realms 三个核心组件构成,系统中登录验证、用户权限、密码加密等安全管理功能都由该框架实现^[11]。

3 系统设计

3.1 需求分析

针对中长期水文预报业务流程,开展中长期水文预报系统主体功能的需求分析,主要包括如下。

(1)基础信息的实时同步更新与展示。历史水雨情数据、气象因子数据作为中长期水文预报的输入数据,是中长期水文预报系统的关键基础信息,所以要求系统实现观测结果的动态监测与自动同步更新;此外,还应提供基础的统计、查询与展示功能。

(2)中长期水文预报模型库的构建与集成。

中长期水文预报方法可分为两类:①统计预报途径;②水文气象耦合途径。在实际应用层面,统计预报途径因方法简单实用、可操作性强,是目前中长期水文预报的主要方法。智能统计理论和大数据挖掘技术的快速发展也为基于统计途径的中长期水文预报注入了新的活力,本次系统设计中包括预报精度较高的传统统计学方法和现代智能算法,通过 Python 语言进行开发,形成中长期水文预报模型库;同时要求模型库具有可拓展性,以保证其后续模型拓展需求。

(3)预报方案编制与方案信息展示。预报方案编制主要分为预报主控因子筛选、模型率定与模型验证三个方面。其中预报因子主要包括气象因子和水文要素因子,随着资料的更新与累积,模型应具有自动率定与验证功能;此外,系统应做到预报方案的自定义编制,并提供方案相关信息展示的功能。

(4)预报结果的综合评价与展示。由于中长期水文预报结果受到诸多因素的影响,存在较大的不确定性,所以预报结果的评价就显得尤为重要。对于预报结果的分析评价应尽可能综合、全面,同时提高预报结果的可视化程度,以辅助决策。

(5)中长期水文预报业务管理功能。中长期水文预报系统应具备预报方案和结果的查询、发布,旬、月、季、年公文报表生成,基础信息维护等业务功能。

3.2 功能设计

本系统主要分为数据信息、模型管理、方案编制、作业预报、成果分析及系统管理 6 个子系统,系统功能设计见图 1。

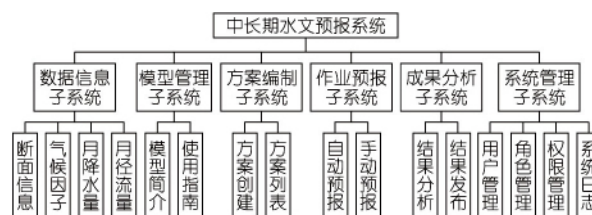


图 1 系统功能设计示意图

Fig.1 Schematic diagram of system function design

(1)数据信息子系统。该子系统的操作对象是预报站点及系统使用到的水文气象数据,包括预报断面信息(站名、站码、经纬度)、气候因子数据、历史水雨情数据等。该子系统可为用户提供:①实现基于 Quartz 框架的数据信息动态监测与实时同步更新;②使用 WebGIS、Echarts 等可视化手段对数据进行查询展示;③对缺失、错误数据提供修改功能。

(2)模型管理子系统。该子系统是模型库在

软件层级的体现。根据需求分析,选取预报精度较高的随机森林、支持向量机、小波分析、贝叶斯模型平均等多种传统统计学方法与现代智能算法,应用模型库技术构建了 Python 模型库。子系统通过模型字典对以 Python 脚本形式存储的预报模型进行管理,为用户提供以下功能:①指导用户迅速准确地查找到有关模型,了解模型结构及其输入输出参数的相关信息;②为用户提供有关模型属性的特征信息,便于用户正确地使用模型,对模型的运算结果作出正确判断;③增加或删除模型。

(3)方案编制子系统。该子系统是中长期水文预报系统的核心业务。针对预报主控因子筛选、模型率定、模型验证的三步流程,子系统将为用户提供:①基于模型库中任意多个模型的方案创建,并可自定义设置率定期、验证期序列长度;②方案信息展示包括预报因子筛选结果、模型参数率定结果、率定期和验证期合格率信息等;③方案的查询、删除功能;④根据方案创建信息,选择最优方案并设置为系统默认方案。

(4)作业预报子系统。该子系统是利用已编制的预报方案实现中长期水文预报的模块,分为自动预报和手动预报两种方式。针对不同断面,调用已编制的方案进行预报,并将预报结果进行存储。该子系统将为用户提供:①设置、更改自动预报时间;②自主选择方案列表中已创建的方案进行手动预报。

(5)成果分析子系统。该子系统是对预报成果进行集中管理和综合评价的模块,可实现对预报结果的查询、展示、分析和发布,为用户提供以下功能:①使用 WebGIS 和图表结合的方式对预报结果进行展示;②对不同预报方案的结果进行对比分析;③将预报结果与历史实测和预报数据进行相似性分析;④预报结果的优选发布与相关公文报表的生成。

(6)系统管理子系统。该子系统是中长期水文预报系统运行的基础,主要具备以下功能:①为其他子系统提供公共权限;②使用 Shiro 框架进行用户角色与权限的分配;③系统的管理和维护。

4 系统整体架构

4.1 设计原则

(1)先进性。系统所采用的编程语言、框架、技术及数据库系统,均是当前较为先进的产品。

(2)可靠性。系统具有较高的稳定性,保证长

时间内不间断运行。

(3)易用性。系统界面操作简洁、易用,风格统一。

(4)可维护性。系统中各组件、各子系统均具有较好的可维护性,各部件之间可进行模块式拆装与调整。

(5)可拓展性。系统采用模块化设计,提前预留未来可能用到的接口。

(6)系统响应快捷性。用户打开界面和提交日常事务的平均响应时间低于 1.5 s。

4.2 系统结构

中长期水文预报系统采用 B/S 架构,按照 Java 分层结构进行设计,分为用户层、应用层、组件层、服务层和数据层,同时引用 MVC 模式,降低系统耦合度。其中,用户层与应用层共同构成系统的表示层,也是系统与用户交互的界面层;组件层与服务层构成了系统的业务层,通过专用组件与通用组件的支撑,为系统核心业务逻辑的稳定运行提供保障;数据层即持久层,负责完成对系统数据库平台中基础数据的持久化操作。系统总体结构见图 2。

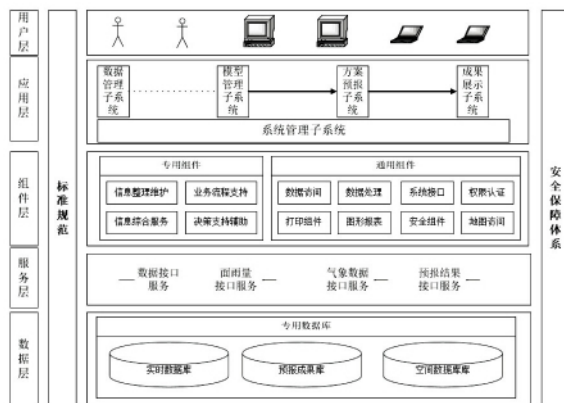


图 2 中长期水文预报系统架构图

Fig.2 Medium and long-term hydrological forecasting system structure chart

5 系统实现及关键技术

系统在 Java 环境下开发,并以 jar 包的形式进行部署,在总体设计的基础上对功能进行实现。根据系统功能与设计原则的需要,系统的关键技术主要体现在模型库技术、基于 RabbitMQ 的异种语言调用技术及基于 RESTful 的轻量级接口设计 3 个方面。

5.1 模型库技术

模型库技术是一种将众多模型方法按照统一

规范格式组织起来,并通过特定的符号信息对模型进行有效利用和管理的技术。模型库技术的优势在于其共享性,模型库内的模型可以在任何系统中得以应用,提高了代码的复用率。此外,模型库技术便于进行库内模型的增、删、改、查。本系统构建基于 Python 语言编写的模型方法库,借用 Python 丰富的函数资源,以提高开发效率。模型库目前集成了随机森林、支持向量机、小波分析、贝叶斯模型平均等多种主要的中长期水文预报模型方法,并通过模型字典对模型方法进行调用。

5.2 基于 RabbitMQ 技术的异种语言调用

不同编程语言有其自身不同的特点,以 Java 和 Python 为例,Java 作为一种跨平台的面向对象编程语言,其优势在于面向互联网的系统搭建;而 Python 的特长为数据分析和数值计算。为综合利用不同编程语言的优势,往往需要进行异种语言调用。本系统以 Java 环境构建框架,Python 脚本运行模型的形式进行开发,通过异种语言调用,综合利用 Java 和 Python 语言的优势,以提供给用户最佳的运行环境。然而,数据传递效率低下是进行异种语言调用必须面对的问题,在不借助任何中间件技术的条件下,Java 端到 Python 端的大数据量传递可能需要数十秒的传输时间,这显然不符合系统开发的要求。为解决该问题,选用 RabbitMQ 技术,以队列的形式进行消息通讯,将数据传输时间降至毫秒量级,为系统提供最快的响应时间。

5.3 基于 RESTful 的轻量级接口设计

RESTful 是一种应用于互联网软件开发的架构模式,其核心思想是将事务、业务流程、关系等抽象资源视作静态资源,为每个资源赋予一个唯一的统一资源标识符(URI),并通过 HTTP 协议中的 GET、POST、PUT、DELETE 四种操作方法,对上述资源进行存取操作。采用 RESTful 架构设计的轻量级接口,将有效解决各子系统间数据共享的难题,提高系统响应速度,简化程序设计,增强子系统兼容性,提高系统整体性能。

6 结论

a.以中长期水文预报系统需求分析为设计依据,运用 Java 三层结构进行系统架构设计;基于 SpringBoot 框架进行系统开发,整合 MyBatis、Quartz、Shiro 框架,提升系统稳定性;系统集成包含了随机森林、支持向量机、小波分析、贝叶斯模

型平均等目前常用的中长期水文预报模型方法的 Python 模型库,并通过模型字典对模型方法进行调用;采用了基于 RabbitMQ 技术的异种语言调用与基于 RESTful 技术的轻量级接口设计,降低系统响应时间。按照上述总体设计,开发完成了 B/S 结构的中长期水文预报系统。

b.该系统实现了全国主要江河流域共 10 个断面未来 1 年的逐月径流预报、预报结果综合分析、查询发布等业务功能,可为相关部门开展中长期水文预报提供技术服务。

c.现阶段,系统中使用模型库仅包括常用的统计及智能算法模型,虽然系统可以方便的增加其他类模型与方法(如陆气耦合模型),但需要对模型的构建和率定进行更有针对性的研究。

参考文献:

- [1] 朱广利,顿新春,郇军艳.水利信息标准化中的问题及规范措施[J].水电能源科学,2012,30(7):147—149.
- [2] 黄风华.浅析水利信息化建设现状与发展[J].科技与创新,2015(24):27—27,29.
- [3] 李庆云.水电施工企业项目集群之信息化管理方法[J].水利水电施工,2012(3):91—93,103.
- [4] 鄢文生.基于 WebGIS 的水资源管理信息系统分析[J].黑龙江水利科技,2018,46(12):40—42,91.
- [5] 赵建飞,梁忠民,王军,等.基于 B/S 和开源框架技术的临安市水文水资源信息系统开发[J].水资源保护,2017,33(5):31—37.
- [6] 李春华,王绍勤,宋炜,等.江苏省防汛防旱会商系统的设计与实现[J].水利信息化,2015(3):50—55.
- [7] SURYOTRISONGKO H, JAYANTO D P, TJAHYANTO A. Design and development of backend application for public complaint systems using microservice spring boot[J]. Procedia computer science, 2017, 124:736—743.
- [8] BUCEAMANEATONIS R, BUCEAMANEATONIS R. How to design a web survey using spring boot with MYSQL: A romanian network case study[J]. Social science electronic publishing, 2017, 17(2):63—72.
- [9] 王艳清,陈红.基于 SSM 框架的智能 web 系统研发设计[J].计算机工程与设计,2012,33(12):4751—4757.
- [10] 刘志鹏,卫晨.基于 Quartz 与 Spring 的动态任务调度系统的设计与实现[J].计算机光盘软件与应用,2014,17(13):263—264.
- [11] 易文康,程骅,程耕国. Shiro 框架在 Web 系统安全性上的改进与应用[J].计算机工程,2018,44(11):135—139.

(下转第 5 页)

5 结论

a.与实测数据相比,TRMM 卫星降雨数据总体偏小,而 GPM 数据偏大,所建立的降雨误差分区融合校正方法具有一定的实用性,降低了实时卫星降雨数据的误差。

b.校正后的卫星降雨数据在洪水模拟过程中精度显著提高,在湿润地区用于洪水预报具有一定的可行性。

参考文献:

- [1] 曹芳芳,李雪,王东,等.新安江流域土地利用结构对水质的影响[J].环境科学,2013,34(7):2582—2587.
- [2] 任英杰,雍斌,鹿德凯,等.全球降水计划多卫星降水联合反演 IMERG 卫星降水产品在中国大陆地区的多尺度精度评估[J].湖泊科学,2019,31(2):560—572.
- [3] CARACCILO D,FRANCIPANE A, VIOLA F,

- et al.Performances of GPM satellite precipitation over the two major Mediterranean islands[J]. Atmospheric research,2018,213:309—322.
- [4] MOU Leong Tan, HARRIF Santo. Comparison of GPM IMERG, TMPA 3B42 and PERSIANN—CDR satellite precipitation products over Malaysia[J]. Atmospheric research,2018,202(1):63—76.
- [5] 廖荣伟,张冬斌,沈艳,等.6 种卫星降水产品在中国区域的精度特征评估[J].气象,2015,41(8):970—979.
- [6] ZHANG SIJIA,WANG DONGHAI,QIN ZHENGKUN, et al.Assessment of the GPM and TRMM precipitation products using the rain gauge network over the tibetan plateau[J]. Journal of meteorological research,2018,32(2):324—336.
- [7] 李立.基于 HEC—HMS 的洪水预报模型研究[J].水利规划与设计,2019(4):76—77,121.
- [8] 程文飞,陈军锋,吴博,等.HEC—HMS 水文模型在圪洞流域洪水模拟中的应用[J].水电能源科学,2018,36(8):52—55.

Accuracy Analysis of Flood Forecasting Based on the Fusion Data of Satellite and Gauge Rainfalls in Humid Region

MIN Xin—yi¹, YANG Chuan—guo¹, LI Ying², CHENG Yu—chun¹

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2.China Meteorological Administration, National Climate Centre, Beijing 100081, China)

Abstract: Recently, satellite rainfall data has become the important source in hydrology research while its accuracy does not meet the requirements of flood forecasting. The TRMM 3B42RT, TRMM 3B42, GPM IMERG Early, and GPM IMERG Late were selected to respectively integrated with the gauged data, and hydrologic engineering center's—hydrologic modeling system (HEC—HMS) model was used to simulate flood so as to improve the accuracy of flood forecasting with the satellite rainfall data. The results show that the error reduces significantly by merging gauge and satellite rainfall data, and the Nash—Sutcliffe efficiency coefficient increases from 0.7 to above 0.9. The accuracy of simulated flood has improved, and it has certain availability in flood forecasting.

Key words: satellite rainfall; data fusion correction; flood forecasting; TRMM; GPM

(上接第 9 页)

Design and Development of Medium and Long—term Hydrological Forecasting System Based on SpringBoot Framework

SHAO Jian—wei, LIANG Zhong—min, WANG Jun, HU Yi—ming, LI Bin—quan

(College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In view of the fact that the medium and long—term hydrological forecasting can effectively provide scientific basis for macro flood control situation analysis and water resources management, a medium and long—term hydrological forecasting system is proposed based on SpringBoot framework in Java environment. The system integrates Python model base including random forest, support vector machine, wavelet analysis, bayesian model averaging and other model methods to improve the development efficiency. The heterogeneous language invocation based on RabbitMQ technology and the lightweight interface design based on RESTful technology are adopted to reduce system response time. The medium and long—term hydrological forecasting system with 10 sections of the major river basins in China is built and analyzed as an example to realize the business operation of medium and long—term hydrological forecasting, which can provide a reference demonstration for the development of the similar systems.

Key words: medium and long—term hydrological forecasting; Springboot framework; Python model base; business operation