

基于模糊逻辑的水闸防洪调度决策

樊宝康¹, 顾正华², 包纲鉴¹

(1. 南京水利科学研究所, 江苏 南京 210029; 2. 浙江大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310028)

摘要: 以三汊河道水闸防洪调度模糊决策为例, 设计了水闸防洪调度模糊系统. 结果表明, 基于模糊逻辑的水闸防洪调度决策方法, 具有决策响应速度快、可以利用调度经验知识、适应非结构化等优点.

关键词: 模糊逻辑; 模糊决策; 河网; 水闸调度

中图分类号: TV87

文献标识码: A

文章编号: 1009-640X(2007)01-0057-04

Decision making of sluice's flood control operation based on fuzzy logic

FAN Bao-kang¹, GU Zheng-hua², BAO Gang-jian¹

(1. *Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*; 2. *College of Civil Engineering & Architecture, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China*)

Abstract: The sluice's fuzzy flood control system is designed by taking the fuzzy decision making system for flood control operation of sluices on a Y-river as an example. Results show that the decision making of sluice's flood control operation based on fuzzy logic has advantages of rapid response, ability to well utilize operation experience and adaptability to unstructural problems.

Key words: fuzzy logic; fuzzy decision making; river networks; sluice operation

水闸是构成河网地区防洪体系的重要组成部分. 如何进行科学的水闸调度、发挥水闸最佳防洪效益, 是河网地区防洪减灾研究的重要课题. 水闸的防洪调度则是具有多目标、多约束的优化决策问题, 应用通常的决策理论就较难解决实际问题. 因此, 某些研究人员开始尝试将智能科学中的一些不确定性理论, 运用到水闸防洪调度决策中^[1]. 如应用人工神经网络理论和河网非恒定流数学模型, 构建河网水闸智能调度辅助决策模型, 由水闸神经网络调度模型输出调度方案, 再通过河网非恒定流数学模型提供调度预案, 并对输出调度方案进行模拟检验. 诞生于 20 世纪 60 年代的模糊逻辑理论, 为进一步解决水闸的防洪调度提供了方便. 模糊逻辑是基于人类模糊思维这一抽象机理, 以描述与人类模糊思维的方式、方法相关的宏观过程. 它适合于复杂的、不确定的、即使采用各种假设和近似仍不能精确模拟的领域^[2]. 近几年来, 模糊逻辑在水科学中广泛应用于水利水电工程中的模糊决策、模糊控制、模糊综合评判、水资源评价以及水质管理等领域^[3-6]. 本文尝试将模糊逻辑理论应用于河网水闸防洪调度决策中, 为河网地区水闸防洪调度决策寻求一种新的途径.

收稿日期: 2006-09-21

基金项目: 水利部现代水利科技创新项目(XDS2004-04); 水利部“948”项目(200312)

作者简介: 樊宝康(1952-), 男, 上海人, 高级工程师, 主要从事水利工程自动化研究与应用.

1 模糊逻辑理论基础

根据模糊逻辑理论构造的模糊系统工作原理见框图 1. 模糊推理机将模糊规则库中的模糊规则转换成某种映射,即将输入空间的模糊集合映射到输出空间的模糊集合,其推理实质是模糊关系的合成运算,这种运算有多种不同的定义方法^[6]. 最常用的是最大-星合成(max-star composition),可描述为:设 $x \in X, y \in Y$ 和 $z \in Z, X, Y$ 和 Z 为论域, R 是 X 到 Y 的一个模糊关系; S 是 Y 到 Z 的一个模糊关系; R 到 S 的合成 T 也是一个模糊关系,记为 $T = R \circ S$,它的隶属度为 $\mu_{R \circ S}(x, z) = \bigvee_{y \in Y} (\mu_R(x, y) * \mu_S(y, z))$,其中“ \bigvee ”是并的符号,它表示对所有 y 取极大值或上界值;“ $*$ ”是二项积算子,通常采用交运算 $x \wedge y = \min\{x, y\}$,就可得到最大-最小合成运算 $R \circ S \rightarrow \mu_{R \circ S}(x, z) = \bigvee_{y \in Y} (\mu_R(x, y) \wedge \mu_S(y, z))$. 模糊规则库是模糊系统的核心部分,系统其他部分的功能在于解释和利用这些模糊规则解决具体问题. 在水科学中用得最多的模糊规则是 if-then 规则,即 $A \rightarrow B$: if x is A then y is B ,其中的 A 和 B 为分别定义在论域 X 和 Y 上的模糊语言变量,模糊关系 $A \rightarrow B$ 称为模糊蕴涵关系,由 $A \rightarrow B$ 所表示的模糊蕴涵是定义在 $X \times Y$ 上的一个特殊的模糊关系,且有不同的运算定义^[6]. 模糊产生器的作用是将一个确定的点,映射为输入空间的一个模糊集合;模糊消除器的作用是将输出空间的一个模糊集合映射为一个确定的点,以达到实际运用的目的. 模糊系统中模糊变量准确描述的关键是隶属度函数的确定. 在水科学中, Gauss 型隶属度函数应用最为普遍,其表达式为 $y = \exp[-(x - c)^2 / (2\sigma^2)]$,其中, c 为函数的中心点; σ 为函数曲线的宽度. 它们决定了 Gauss 型隶属度函数的形状. 对于多输入、多输出(MIMO)的模糊逻辑系统,还需通过连接词“and”,“or”和“also”对系统进行解耦处理,关于这些连接词的计算亦需作出相应的定义^[2].

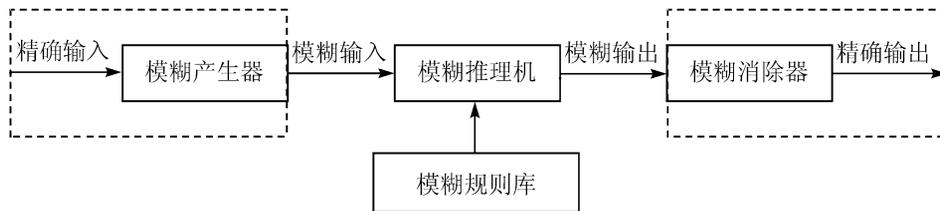


图 1 模糊系统框图

Fig. 1 Sketch of the fuzzy system

2 水闸防洪调度应用实例

2.1 问题描述

以某三汊河道(见图 2)为例,说明基于模糊逻辑的河网水闸防洪调度决策过程. 河道每汊各由 1 座水闸控制,河道内共设 4 个水文站以监测河道水位,每当进入汛期时,有关管理单位通过调度 3 座水闸控制内河水位,以达到防洪减灾的目的. 管理单位在长期的实践中,积累了调度经验并形成了调度规则(见表 1,表中的河道水位分为高、低两种情况;水闸开度有大、小之分;水闸开启时间分长、中、短). 现根据该调度经验建立河网水闸防洪调度决策系统,以便根据水位实时调度水闸,从而更好地发挥水闸的防洪除涝效益. 水闸开启状况用开启度 e ($0 \sim 1$) 和开启时间 t_v ($0 \sim 10$ h) 来描述,水文站点的水位 S_1, S_3 和 S_4 的取值范围为 $1.8 \sim 2.2$ m; S_2 的取值范围为 $-1.0 \sim 4.0$ m.

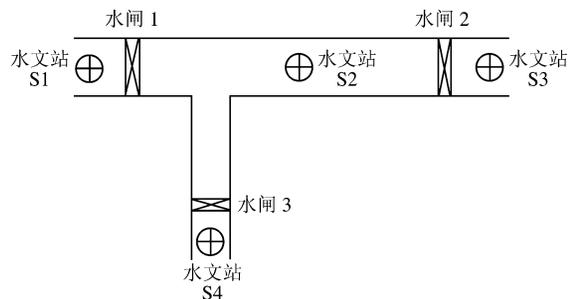


图 2 三汊河道示意图

Fig. 2 Sketch of a Y-river

表 1 调度规则

Tab. 1 Operation rules

调度规则 序号	水 位				水闸闸门开启状况					
	S1	S2	S3	S4	e1	t _v 1	e2	t _v 2	e3	t _v 3
1	高	低	低	低	小	短	大	中	大	中
2	低	低	高	低	大	中	小	短	大	中
3	低	低	低	高	大	中	大	中	小	短
4	高	低	高	低	小	短	小	短	大	长
5	高	低	低	高	小	短	大	长	小	短
6	低	低	高	高	大	长	小	短	小	短
7	高	低	高	高	小	短	小	短	小	短
8	高	高	低	低	大	长	大	中	大	中
9	低	高	高	低	大	中	大	长	大	中
10	低	高	低	高	大	中	大	中	大	长
11	高	高	高	低	大	长	大	长	大	中
12	高	高	低	高	大	长	大	中	大	长
13	低	高	高	高	大	中	大	长	大	长
14	高	高	高	高	大	长	大	长	大	长

2.2 模糊系统的设计

该三汉河道水闸调度模糊系统的模糊变量有:(1)水闸开启度 e1,e2 和 e3,开启时间 t_v1,t_v2 和 t_v3,水文站点水位 S1,S2,S3 和 S4;(2)模糊系统的输入变量有:S1,S2,S3 和 S4;输出变量有:e1,t_v1,e2,t_v2,e3 和 t_v3;(3)水闸 1 开启度大、小相应的模糊集合 large1 和 little1;(4)水闸 2 开启度大、小相应的模糊集合 large2 和 little2;(5)水闸 3 开启度大、小相应的模糊集合 large3 和 little3;(6)水闸 1 开启时间分别为短、长、中等的模糊集合 short1、long1 和 middle1;(7)水闸 2 开启时间相应的模糊集合 short2、long2 和 middle2;(8)水闸 3 开启时间相应的模糊集合 short3、long3 和 middle3;(9)水文站点水位 S1 高、低相应的模糊集合 high1 和 low1;(10)水文站点水位 S2 相应的模糊集合 high2 和 low2;(11)水文站点水位 S3 相应的模糊集合 high3 和 low3;(12)水文站点水位 S4 相应的模糊集合 high4 和 low4. 模糊变量的隶属度全部取 Gauss 函数,根据表 1 的调度规则可以抽取 14 条模糊规则,每条规则的权重值取为 1.

在 MATLAB 6.1 模糊逻辑工具箱上进行仿真实验,选用 Mamdani 型模糊推理系统(具有模糊产生器和模糊消除器)得到具有 4inputs、6outputs 及 14rules 的模糊系统结构(见图 3).

连接词“and”和“or”分别采用最小值法和最大值法;模糊输出合成(连接词“also”)的计算采用最大值法.模糊输出结果的模糊消除方法采用面积中心法(又称重心法,即计算隶属度函数曲线包围区域的重心).对于连续区域,设 U 是某一变量 u 在论域 U 上的模糊集合,则模糊消除的计算式为 $u_c = \frac{\int_U U(u) u du}{\int_U U(u) du}$. 模糊蕴涵定义为 $R_c = A \rightarrow B =$

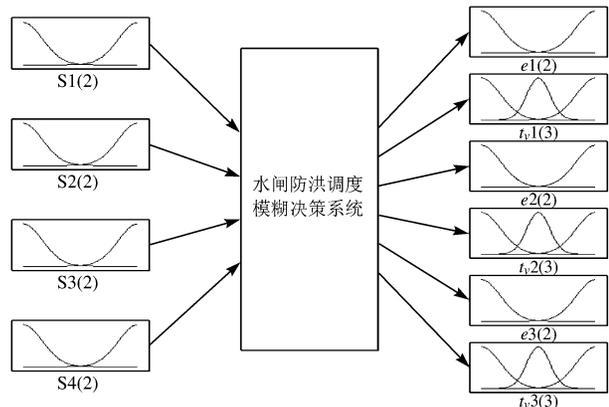


图 3 水闸防洪调度模糊系统结构

Fig. 3 Fuzzy system structure of sluice's flood control

$\int_{X \times Y} \mu_A(x) \wedge \mu_B(y) / (x, y)$, 模糊关系的合成采用最大最小合成运算, 推理方式采用肯定式推理^[2], 则对于规

则 $R: \text{if } x \text{ is } A \text{ then } y \text{ is } B$, 当 x 为 A' , 则模糊推理的结果计算为

$$B' = A' \cdot R_c = \int_Y \frac{\bigvee_{x \in X} [\mu_{A'}(x) \wedge (\mu_A(x) \wedge \mu_B(y))]}{y} \quad (1)$$

式中: $x \in X, y \in Y, A$ 和 A' 是定义在论域 X 上的模糊集合; B 是定义在论域 Y 上的模糊集合.

2.3 模糊系统输出结果及分析

经上述模糊系统的计算和仿真实验, 可得到该三汊河道水闸调度方案. 再根据监测站点的水位情况, 可实时获得河道中 3 座水闸的联合调度方式. 如当 $S1=1.90 \text{ m}, S2=0.27 \text{ m}, S3=2.14 \text{ m}$ 和 $S4=1.97 \text{ m}$ 时, 模糊系统给出的调度方案为 $e1=0.756, t_v1=5.08 \text{ h}, e2=0.244, t_v2=2.44 \text{ h}$ 和 $e3=0.726, t_v3=4.92 \text{ h}$ (见图 4).

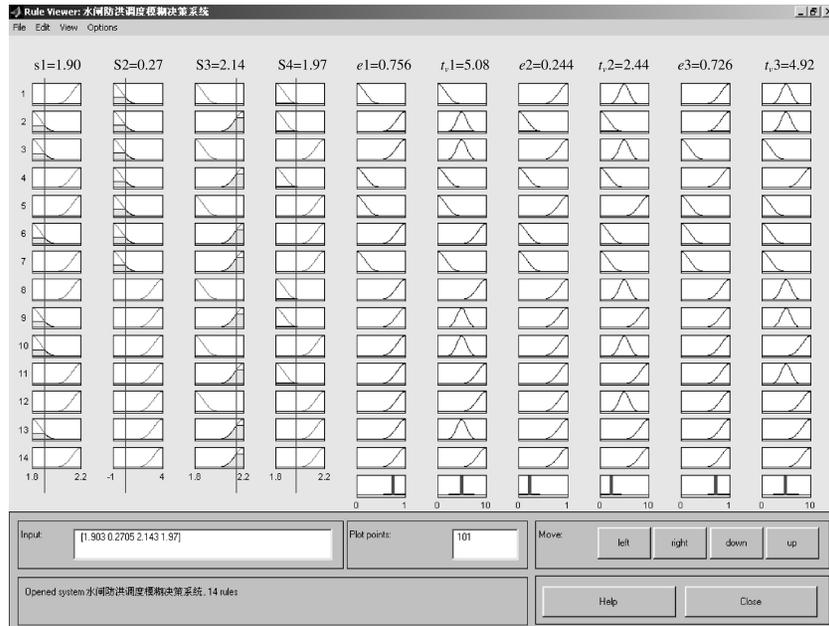


图 4 水闸防洪调度仿真实验

Fig. 4 Simulation of sluice's flood control

通过计算机仿真实验, 可以获得: (1) 模糊规则、隶属度函数的获取, 是应用模糊逻辑方法作出水闸防洪调度决策的关键; (2) 正确的模糊蕴涵及模糊合成计算式是模糊推理结果合理性的重要依据, 必须通过计算机仿真实验选择合适的模糊运算法则; (3) 与人工神经网络相比, 模糊逻辑能充分利用专家知识和信息; (4) 因模糊逻辑是建立在自然语言的基础上, 故对数据的精确性要求不高, 模糊系统数据主要来自语言描述的经验知识, 而不确定性是语言信息的一个重要特点.

参 考 文 献:

- [1] 顾正华. 河网水闸智能调度辅助决策模型研究[J]. 浙江大学学报(工学版), 2006, 40(5): 822-826.
- [2] 陈鸣钊, 张志烈, 樊宝康. 模糊数学及其实用[M]. 南京: 河海大学出版社, 1993. 151-163.
- [3] 许世刚, 索丽生, 陈守伦. 计算智能在水利水电工程中的应用研究进展[J]. 水利水电科技进展, 2002, (1): 62-65.
- [4] Mohammad Karamouz, Seyed Jamshid Mousavi. Uncertainty based operation of large scale reservoir systems: Dez and Karoon experience[J]. **Journal of the American water resources association**, 2003, 39(4): 961-975.
- [5] William Ocampo-Duque, Nuria Ferre-Huguet, Jose L Domingo. Assessing water quality in rivers with fuzzy inference systems: A case study[J]. **Environment International**, 2006, 32(6): 14-63.
- [6] 吴晓莉, 林哲辉. MATLAB 辅助模糊系统设计[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002. 14-63.