

DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640X.2015.05.005

刘国良, 顾正华, 赵世凯, 等. 基于数据驱动的区域水资源智能配置研究[J]. 水利水运工程学报, 2015(5): 38-45. (LIU Guo-liang, GU Zheng-hua, ZHAO Shi-kai, et al. Research on intelligent allocation of regional water resources based on data-driven approach[J]. Hydro-Science and Engineering, 2015(5): 38-45.)

基于数据驱动的区域水资源智能配置研究

刘国良¹, 顾正华¹, 赵世凯¹, 尚淑丽¹, 李永强²

(1. 浙江大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310058; 2. 嘉兴市水利局, 浙江 嘉兴 314000)

摘要: 针对目前存在的水资源短缺、水资源利用不合理、水资源配置理论不完善的问题, 研究了一种基于数据驱动的区域水资源智能配置方法, 以提高区域水资源利用合理性, 为区域水资源规划与管理提供技术支持。首先提出由水资源配置决策模型、水资源配置方案评价模型及配置预案库等构成的水资源智能配置模式, 其中, 水资源配置方案评价模型由基于层次分析-模糊综合评价法的水资源合理配置评价指标体系构建, 用于对水资源配置方案进行评价, 它一方面对配置方案进行预检验, 另一方面为配置决策模型提供配置预案等经验知识; 水资源配置决策模型采用人工神经网络在对配置预案库进行学习的基础上建立, 用于提供初始配置方案。应用嘉兴市 2010 年相关数据对该模式的有效性进行了检验, 结果表明, 在水资源总量不变的情况下, 分别考虑嘉兴市整体协调发展和重点发展兼顾整体的两种用水思路, 基于数据驱动的水资源智能配置模式均能给出符合预期目标的水资源分配方案, 并且具有自适应、容错性、智能化等特征, 从而为区域水资源规划与管理提供有效的支撑工具。

关 键 词: 水资源配置; 数据驱动模型; 层次分析法; 模糊综合评价法; 人工神经网络

中图分类号: TV213

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2015)05-0038-08

目前, 全国 600 多座城市中已有 400 多个城市存在供水不足问题, 其中缺水比较严重的城市达 110 个, 全国城市缺水总量为 60 亿 m^3 , 水资源问题已成为制约我国经济社会可持续发展的主要瓶颈, 引起了社会的广泛关注。自 2011 年起, 我国提出实行最严格水资源管理制度, 通过水资源合理配置提高水资源利用率是实现水资源可持续利用的有效途径^[1], 水资源合理配置目前已纳入水法。

水资源合理配置是一个涉及社会、经济和生态环境多目标优化的开放复杂巨系统^[2], 应用系统科学等现代理论方法对水资源进行配置和综合管理始于 20 世纪五六十年代, 已从最初的单一用水调配问题发展到今天的水资源综合管理^[3]。水资源配置常用的方法主要有单纯优化方法和结合模拟技术的优化技术^[4-5], 水资源配置通常是多目标的, 有时目标会相互冲突, 最优解往往不存在或难以达到, 这时应用模拟和决策支持技术同样需要^[6]。模拟技术偏重于对水资源系统的模拟, 是在详细描述配置规则的基础上建立水资源配置模型, 相比于优化模型, 更加灵活, 适应性也更强^[7-8], 但是由于水资源系统的复杂性, 模型的建立与应用通常只能被专业人员所掌握。另外, 水资源配置由于其复杂性使得一些潜在的物理过程不易被描述, 在实际建模中也就相应的缺乏一定物理机制。

数据驱动模型是以系统状态变量作为模型输入、输出, 建立它们之间的对应关系, 可以在系统状态变量

收稿日期: 2014-11-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50909085); 浙江省水利厅科技计划资助项目 (RC1106); 长江水利委员会长江科学院开放研究基金资助项目 (CKWV2012322/KY); 金华市科学技术研究计划资助项目 (2012-3-003, 2013-3-027)

作者简介: 刘国良 (1988—), 男, 山东泰安人, 硕士研究生, 主要从事水文水资源及生态环境方面的研究。

E-mail: liuguanjun.3@163.com 通信作者: 顾正华 (E-mail: WISE@zju.edu.cn)

和少量物理行为信息结合的基础上应用,对于水资源配置等问题具有很好的适用性^[9-10]。因此,本文基于数据驱动模型提出一种区域水资源智能配置方法,并以嘉兴市作为应用实例,对其有效性进行检验。

1 区域水资源智能配置体系构建

1.1 智能配置框架

根据水信息学模型理论^[11],区域水资源智能配置模式构造如图1所示,该框架由水资源配置决策模型、水资源配置方案评价模型及配置预案库等构成。水资源配置决策模型用于提供配置方案,水资源配置方案评价模型一方面用于对配置方案进行预检验,另一方面用于为配置决策模型提供配置预案等经验知识。该模式的工作流程为:通过水资源配置方案评价模型做成初步的配置预案库,由预案库离线训练出水资源配置决策模型。水资源配置决策模型根据配置目标和水资源社会经济系统状态等输入条件,形成一个水资源初步配置方案,然后经过水资源配置方案评价模型对配置方案进行模拟检验,当模拟结果达到预期目标,这时的配置方案即为可以采纳的配置方案。当模拟结果不能达到预期目标时,需要对方案进行修正,再通过水资源配置方案评价模型进行检验,直到获得一个能满足配置目标的方案。该方案可作为预案添加进预案库,用于今后水资源配置决策模型的求精训练。这种体系一方面可以保证水资源配置工作的安全可靠,另一方面随着配置系统软件的多次运用,预案库的知识将越来越优,伴随系统学习能力的增强,系统需要干预的次数将逐渐减少,从而体现了一种智能化的特征。

1.2 水资源配置方案评价模型

水资源配置方案评价模型,一方面可以通过具有物理机制的数学模型(水资源配置仿真模型)建立,模拟流域或区域内的流量过程、水质变化、输水损耗等,用几个关键部位的数据计算供需、水质、生态用水等水资源利用状况;另一方面可以建立以人工神经网络、模糊逻辑、遗传算法等计算智能方法为代表的驱动模型。本文的水资源配置方案评价模型即是通过建立以指标体系和数据驱动模型为基础的水资源配置方案评价模型来实现的,具体来说,就是建立一套指标评价体系,首先,应用层次分析法(AHP)建立指标之间的层次关系(图2),计算各个指标权重,再应用模糊综合评价法对方案进行评分,评价结果作为水资源配置的模拟结果。

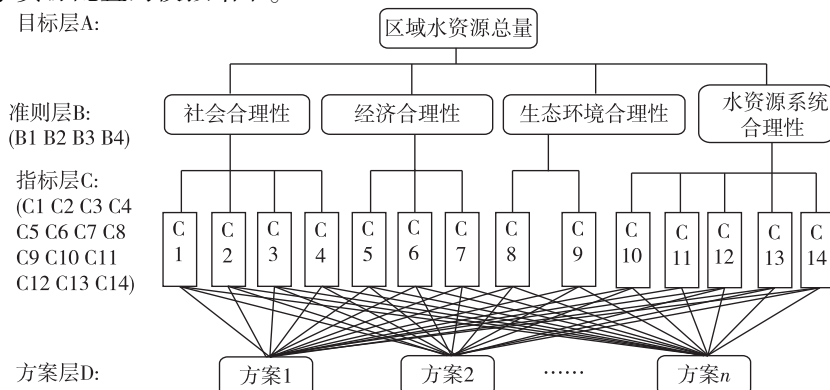


图2 区域水资源配置指标层次关系

Fig. 2 Hierarchical relationships of the indexes of regional water resources allocation

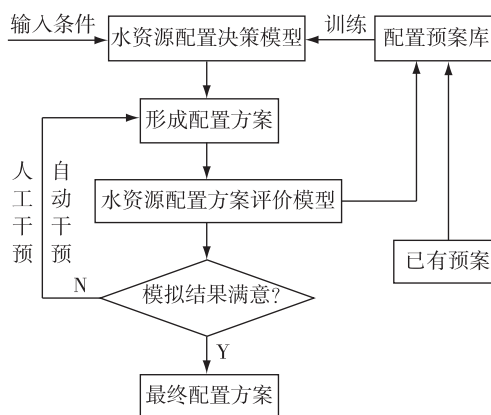


图1 水资源智能配置模式框架

Fig. 1 Framework of water resources intelligent allocation

1.3 水资源配置决策模型

考虑到人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)具有将输入和输出数据联系起来而不需要该现象的任何细节知识以及容错性的优点,本文应用人工神经网络强大的学习和自适应能力建立水资源配置决策模型输入和输出之间的映射关系。人工神经网络的训练样本来自配置预案库。

2 应用实例

2.1 研究区域

嘉兴市位于浙江省东北部、长江三角洲杭嘉湖平原腹心地带,是长江三角洲重要城市之一,全市多年平均水资源总量为 20.068 3 亿 m³,2010 年市区人均水资源量为 631.6 m³(《2010 年嘉兴市水资源公报》),远低于全省人均值和全国人均值。针对嘉兴市存在的水资源短缺情况,应用本文提出的区域水资源智能配置方法对嘉兴市 2010 年的水资源进行科学合理的配置,实现水资源利用效益的最大化。根据嘉兴市行政区划和水资源系统特征,将嘉兴市分为 6 个子区(市区 I,嘉善县 II,海盐县 III,海宁市 IV,平湖市 V,桐乡市 VI,将嘉兴全市标记为 VII),8 个用水部门(生活 D₁,工业 D₂,农田灌溉 D₃,林果灌溉、内塘养殖及牲畜 D₄,河道外生态环境 D₅,城镇公共 D₆,河道内生态环境 D₇,地下水 D₈)。

2.2 评价模型的生成

2.2.1 指标体系建立及量化 根据嘉兴市水资源系统特征,并考虑社会合理性、经济合理性、生态系统合理性、水资源系统合理性 4 个原则,建立与水资源配置方案直接相关的区域水资源智能配置指标体系,见表 1。采用 AHP 法计算区域水资源配置指标权重值,指标体系的层次关系如图 2。

表 1 区域水资源配置指标及计算

Tab. 1 Indexes and calculation of regional water resources allocation

指标层	描述
C1:缺水率(%)	缺水量/需水量×100%
C2:人均用水量(m ³ /人)	总用水量/总人口
C3:河道外人均生态用水量(m ³ /人)	河道外生态用水量/总人口
C4:用水均衡率(%)	人均用水量/上一级区域平均人均用水量×100%
C5:单方水 GDP(元/m ³)	GDP/总用水量
C6:单方水粮食产量(kg/m ³)	灌溉粮食增加总产量/灌溉用水量
C7:灌溉水利用系数	田间用水量/取水口取水量
C8:河道内生态用水比例(%)	河道内生态用水量/水资源总量×100%
C9:最小生态环境用水保障程度(%)	生态环境用水量/最小生态环境用水量×100%
C10:水资源开发利用率(%)	当地水资源总用水量/当地水资源总量×100%
C11:地表水用水比例(%)	地表水用水量/总用水量×100%
C12:缺水均衡率(%)	缺水率/上一级区域平均缺水率×100%
C13:地下水利用指数(%)	地下水实际开采量/地下水可开采量×100%
C14:用水结构系数	生活、工业、农业、生态用水的加权平均

由配置方案及表 1 中相关社会、经济、水资源数据经计算得到各个指标值,将指标分为 11 个等级(表 2),构建各个指标的隶属度函数,得到 14×11 阶的模糊关系矩阵 **R**,再利用模糊合成算子 $M(\cdot, \oplus)$ 将指标权重行向量 **ω** 与 **R** 合成得到模糊评价结果向量 **B**,最后采用加权平均原则对结果向量进行分析,对 1~11 个等级,以 10 为步长分别赋以 100~0 的得分,即 $e=[100\ 90\ 80\ 70\ 60\ 50\ 40\ 30\ 20\ 10\ 0]^T$, $B \times e$ 得到模糊综合评价结果 **A**,分数越高表明评价结果越好。

表2 水资源合理配置评价指标标准

Tab. 2 Evaluation criterion of reasonable allocation of water resources

指标	等级										
	1级	2级	3级	4级	5级	6级	7级	8级	9级	10级	11级
C1	0.2	0.4	0.8	1	3	6	9	12	15	18	20
C2	100	±10	±15	±20	±25	±30	±35	±40	±45	±50	≥±55
C3	100	±10	±15	±20	±25	±30	±35	±40	±45	±50	≥±55
C4	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
C5	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	1
C6	2.5	2.2	1.9	1.6	1.3	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1
C7	600	550	520	480	450	400	380	360	340	320	300
C8	5	4.6	4.2	3.8	3.4	3	2.6	2.2	1.8	1.4	1
C9	0.7	0.6	0.55	0.5	0.45	0.42	0.4	0.38	0.36	0.34	0.32
C10	1	1.05	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3	1.35	1.4	1.45	1.5
C11	80	70	60	55	48	40	38	36	34	32	30
C12	100	94	88	82	76	70	66	62	58	54	50
C13	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30
C14	5	8	10	14	18	22	24	26	28	29	30

注:此表摘自文献[12],表中正、负号数据表示在100的基础上加、减相应数值。

对于缺水率等偏小型指标,隶属度函数为:

$$u_{i1} = \begin{cases} 1, & x \leq l_1 \\ \frac{l_2 - x}{l_2 - l_1}, & l_1 < x < l_2 \\ 0, & x > l_2 \end{cases} \quad u_{ij} = \begin{cases} 0, & x \leq l_{j-1} \\ \frac{x - l_{j-1}}{l_j - l_{j-1}}, & l_{j-1} < x < l_j \\ \frac{l_{j+1} - x}{l_{j+1} - l_j}, & l_j < x < l_{j+1} \\ 0, & x \geq l_{j+1} \end{cases} \quad u_{i11} = \begin{cases} 0, & x \leq l_{10} \\ \frac{x - l_{10}}{l_{11} - l_{10}}, & l_{10} < x < l_{11} \\ 1, & x \geq l_{11} \end{cases}$$

对于人均用水量等偏大型指标,隶属度函数为:

$$u_{i1} = \begin{cases} 1, & x \geq l_1 \\ \frac{l_2 - x}{l_2 - l_1}, & l_1 > x > l_2 \\ 0, & x < l_2 \end{cases} \quad u_{ij} = \begin{cases} 0, & x \geq l_{j-1} \\ \frac{l_{j-1} - x}{l_j - l_{j-1}}, & l_{j-1} > x > l_j \\ \frac{x - l_{j+1}}{l_j - l_{j+1}}, & l_j > x > l_{j+1} \\ 0, & x \geq l_{j+1} \end{cases} \quad u_{i11} = \begin{cases} 0, & x \geq l_{10} \\ \frac{x - l_{10}}{l_{11} - l_{10}}, & l_{10} < x < l_{11} \\ 1, & x \geq l_{11} \end{cases}$$

2.2.2 指标权重和模糊综合评价计算结果 在4个准则之间,社会合理性是第一位的,即水资源应当首先满足居民生活;第二位是生态环境合理性,根据区域可持续发展要求,生态环境方面的考虑应当提上日程;第三位是经济合理性,在保证前两项的条件下,通过行政、经济等手段使水资源满足区域经济增长的需求;最后,认为水资源系统合理性与社会合理性具有相同的重要性。在此基础上建立目标层与准则层之间的专家判断矩阵,准则层与指标层之间的判断矩阵也根据各个指标的相对重要性确定。限于篇幅,AHP计算过程、计算的指标值及模糊关系矩阵不再给出,通过一致性检验后得到指标的权重向量为: $\omega = [0.18, 0.11, 0.04, 0.02, 0.06, 0.04, 0.01, 0.11, 0.06, 0.09, 0.02, 0.03, 0.06, 0.15]$ 。2010年嘉兴市水资源利用模糊综合评价结果 $A_c = [35, 43, 47, 32, 33, 33, 32]$, A_c 代表了嘉兴市6个分区的模糊综合评价得分,其中第7个元素代表了嘉兴全市的模糊综合评价得分。

2.3 决策模型的生成

2.3.1 配置预案库构造 决策模型的恰当训练要求配置预案库拥有足够数量的样本,为此在嘉兴市现有用水方案的基础上采用随机函数对现有的数据进行处理生成不同组数的样本数据,再代入方案评价模型中计算模糊综合评价结果,形成大量的样本数据,从而建立起初始的配置预案库,以供决策模型训练之用。

2.3.2 人工神经网络训练 人工神经网络类型选用 3 层 BP 网络,它是一种多层前向人工神经网络模型,结构简单、算法成熟并且功能强大,在各个领域应用广泛。网络输入层包括评价分数、水资源系统数据(包括各地区地表、地下水量、总水量等)、社会经济系统数据(人口数量、工业产值、农业用水等)共 55 个单元;中间层为隐含层,单元数未知,需试算确定;输出层是各地区各部门分配的水量,即分配方案,单元数为 48 个。在训练之前,采用文献[13]中的公式对输入输出样本进行归一化处理。

经过多次试取,确定决策模型拓扑结构为 55-12-48,学习率均取 0.3,训练次数为 60 000 次,得到决策模型权矩阵(因篇幅所限不再列出)。在决策模型上输入前面的模糊评价结果 A_c 及嘉兴市 2010 年规模数据,生成的配置方案与嘉兴市 2010 年用水方案进行对比,相对误差最大值为 18%、平均值为 6.5%,数据偏离程度见图 3,再由生成的配置方案重新代入方案评价模型中计算模糊综合评价结果为 $A_{rc} = [34, 40, 46, 33, 35, 33, 32]$,与原先模糊综合评价结果 A_c 相比差别亦不大,可见生成的决策模型具有较好的泛化能力。

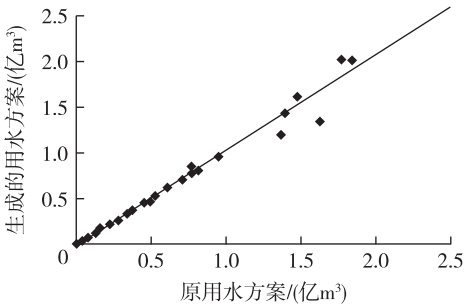


图 3 生成的用水方案与原有用水方案比较

Fig. 3 Comparison between generated and original water solutions

3 算例及其讨论

3.1 算例

在嘉兴市 2010 年水资源模糊综合评价结果 A_c 的基础上,略微调整模糊评价结果数据,提高或降低部分地区模糊综合评价预期 A_{e1}, A_{e2} ,并保持 2010 年各地区规模数据不变,代入决策模型,生成水资源配置方案,再利用方案评价模型重新计算模糊综合评价结果,具体数据见表 3。

表 3 两个算例的生成方案及其干预结果

Tab. 3 Generated water solutions and adjusted results of two cases

模糊评价		分区						
		I	II	III	IV	V	VI	VII
算例 1	原 A_c (2010)	35	43	47	32	33	33	32
	预期 A_{e1}	38	45	47	35	35	33	35
	计算 A_{rc1}	39	47	48	32	36	34	35
	人工干预后 A_{rc1}^i	37	46	47	34	35	33	35
算例 2	预期 A_{e2}	31	35	40	40	37	40	32
	计算 A_{rc2}	35	41	41	33	37	33	32
	人工干预后 A_{rc2}^i	31	36	41	41	37	41	32

对于算例 1,在全区总评价结果略微提高的基础上,保持各分区评价结果不变或略微提高,预期模糊评价结果为 A_{e1} ,由决策模型生成的配置方案计算得到的模糊评价结果为 A_{rc1} ,除第 4 分区外其他分区较为吻合,经人工调整方案后,得到的评价结果为 A_{rc1}^i ,与预期目标十分吻合;算例 2 在全区总评价结果不变的基础上,降低一部分分区评价结果并提高剩余分区评价结果 A_{e2} ,由决策模型生成的配置方案计算得到的评价结

果为 A_{re2} , 与预期目标差别较大, 经人工调整配置方案, 得到的评价结果为 A_{re2}^i , 与预期目标基本吻合。限于篇幅, 只给出算例 2 调整后的水资源配置方案, 与 2010 年原用水方案的对比见表 4。

表 4 2010 年原用水方案与算例 2 的配置方案
Tab. 4 The original water solution of 2010 and the generated one of case 2 (亿 m^3)

分区	用水部门							
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	D ₈
I	0.498 1	1.363 4	2.590 8	0.393 3	0.095 8	0.348 3	0.952 8	0.026 4
	0.365 1	0.977 3	2.289 3	0.339 9	0.074 7	0.269 4	0.952 8	0.026 4
II	0.256 7	0.385 4	1.620 0	0.349 4	0.040 0	0.053 4	0.448 3	0.002 0
	0.186 6	0.348 2	0.964 7	0.280 0	0.033 9	0.042 3	0.448 3	0.002 0
III	0.214 3	0.603 0	1.395 5	0.155 2	0.055 3	0.059 0	0.519 0	0
	0.168 0	0.484 6	0.968 9	0.164 5	0.044 7	0.047 8	0.519 0	0
IV	0.377 9	0.814 4	1.465 8	0.299 3	0.012 0	0.112 4	0.714 7	0.000 2
	0.453 5	1.170 5	1.980 8	0.331 1	0.015 9	0.135 4	0.714 7	0.000 2
V	0.276 7	0.705 7	1.764 8	0.157 2	0.030 0	0.111 2	0.527 6	0.122 9
	0.264 4	0.748 0	2.019 5	0.160 8	0.039 7	0.111 0	0.527 6	0.122 9
VI	0.339 2	0.768 6	1.839 1	0.223 9	0.013 0	0.078 0	0.772 3	0.002 0
	0.426 9	1.062 6	2.524 4	0.275 3	0.015 0	0.087 6	0.772 3	0.002 0

注: 各分区中上一行数据为 2010 年原用水数据, 下一行数据为算例 2 生成的水资源分配数据。

3.2 讨论

本文提出的指标评价体系对嘉兴市 6 个分区及全市分别给出了评价得分, 并把其作为决策模型的输入条件, 这样虽然有多个预期目标, 但却为决策者提供了有效的控制管理手段, 因为在实际水资源管理中, 考虑到各个分区时必然是一个多目标问题, 要使得每一子区均达到最好的配置效果实际上是不可能的, 而且将多目标问题转化为单目标问题时, 必然涉及到各目标之间权重取舍以及一定的约束条件, 这在实际应用中难以确定, 而以模糊综合评价结果 A 作为控制目标直观便捷, 提供了不同模式的控制目标组合, 为决策者提供新的管理思路。例如, 算例 1 在区域整体评分不变的条件下, 略微提高每一子区的评分, 代表了区域整体协调发展的思路; 算例 2 在区域整体评分提高的基础上, 提高一部分子区评分, 降低一部分子区评分, 代表了重点发展兼顾整体的思路。

在设定模糊综合评价预期值 A_e 时, 由于评价过程的复杂性, 使得决策者不容易确定嘉兴市每一分区所能达到的分数。对此可采用两种处理办法, 一是进行大量的数值试验变动已有用水方案和规模数据, 输入方案评价模型计算获得评价结果, 得到不同分区分数的组合情况, 并获得各个分区的分数范围, 以此为基础进行预期值 A_e 的设定; 二是收集历年的水资源利用数据和经济、社会等数据进行整理, 输入方案评价模型计算, 得到每一分区不同年份的评价分数及发展趋势, 在此基础上根据区域发展情况设定 A_e 值。

从上面的结果看, 在水资源总量不变的情况下, 通过分区之间水量的分配以及分区内用水结构的调整, 即人工干预, 可以使方案达到预期目标。当然也可以通过自动干预, 如通过误差控制、对比不同方案误差等方法以达到预期目标。经调整后满足条件的方案加入预案库中使之扩充, 随着预案库样本的增多, ANN 拟合的精度越来越高, 生成的方案也更符合预期目标。

4 结 语

本文提出了基于数据驱动的区域水资源智能配置框架, 建立了由基于层次分析-模糊综合评价法的水资源合理配置评价指标体系构建的水资源配置方案评价模型以及基于 BP 网络的水资源配置决策模型, 两者结合形成了一套具体的区域水资源智能配置模式, 应用嘉兴市 2010 年相关数据对该模式的有效性进行了

检验。计算结果表明,在水资源总量不变的情况下,分别考虑嘉兴市整体协调发展和重点发展兼顾整体的两种用水思路,本文所提的基于数据驱动的水资源智能配置模式均能够给出符合预期目标的水资源分配方案,并且具有自适应、容错性、智能化等特征,这相比于以往的水资源配置理念及方法,具有显著的优点,它一方面避免了具有物理机制的知识驱动模型在计算上的复杂性,另一方面采用指标体系评价在实际中更具适用性,为区域水资源规划与管理提供了有效的支撑工具。尽管如此,本文提出的水资源智能配置方法与传统的优化方法尚未进行对比研究,且在水资源智能配置框架中嵌入知识驱动模型也是值得研究的课题,这在以后的工作中有待进一步研究和完善。

参 考 文 献:

- [1] 王高旭,陈敏建.我国水资源配置研究的发展与展望[J].水资源与水工程学报,2009,20(5):1-4.(WANG Gao-xu, CHEN Min-jian. Research advances and prospect on water resources allocation[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2009, 20(5): 1-4. (in Chinese))
- [2] 刘丙军,陈晓宏.基于协同学原理的流域水资源合理配置模型和方法[J].水利学报,2009,40(1):60-66.(LIU Bing-jun, CHEN Xiao-hong. Water resources deployment model for river basin based on synergetic theory[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 40(1): 60-66. (in Chinese))
- [3] 魏婧,梅亚东,杨娜,等.现代水资源配置研究现状及发展趋势[J].水利水电科技进展,2009,29(4):73-77.(WEI Jing, MEI Ya-dong, YANG Na, et al. Research status and development trend of the modern water resources allocation[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2009, 29(4): 73-77. (in Chinese))
- [4] 游进军,甘泓,王浩,等.基于规则的水资源系统模拟[J].水利学报,2005,36(9):1043-1049,1056.(YOU Jin-jun, GAN Hong, WANG Hao, et al. Simulation of water resources system based on rules[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 36(9): 1043-1049, 1056. (in Chinese))
- [5] 游进军,王浩,甘泓,等.水资源系统模拟模型研究进展[J].水科学进展,2006,17(3):425-429.(YOU Jin-jun, WANG Hao, GAN Hong, et al. Current status and prospect of study on simulation model of water resources system[J]. Advances in Water Science, 2006, 17(3): 425-429. (in Chinese))
- [6] 柳长顺,陈献,刘昌明,等.国外流域水资源配置模型研究进展[J].河海大学学报:自然科学版,2005,33(5):522-524.(LIU Chang-shun, CHEN Xian, LIU Chang-ming, et al. Review of foreign river basin water resources allocation models[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2005, 33(5): 522-524. (in Chinese))
- [7] 朱启林,甘泓,游进军,等.基于规则的水资源配置模型应用研究[J].水利水电技术,2009,40(3):1-3,7.(ZHU Qi-lin, GAN Hong, YOU Jin-jun, et al. Research on application of rules-based water resources allocation model[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2009, 40(3): 1-3, 7. (in Chinese))
- [8] 甘治国,蒋云钟,鲁帆,等.北京市水资源配置模拟模型研究[J].水利学报,2008,39(1):91-95,102.(GAN Zhi-guo, JIANG Yun-zhong, LU Fan, et al. Water resources deployment model for Beijing City[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39(1): 91-95, 102. (in Chinese))
- [9] 李如忠,金菊良,钱家忠,等.基于指标体系的区域水资源合理配置初探[J].系统工程理论与实践,2005,25(3):125-132.(LI Ru-zhong, JIN Ju-liang, QIAN Jia-zhong, et al. Water resources allocation in a region based on evaluation index system[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2005, 25(3): 125-132. (in Chinese))
- [10] SOLOMATINE D P. Data-driven modelling: paradigm, methods, experiences [C] // Hydroinformatics 2002 v.1: Model Development and Data Management. 2002: 757-763.
- [11] GU Zheng-hua, CAO Xiao-meng, LIU Wang. A hydroinformatic model and its application to river networks control[C] // 9th International Conference on Hydroinformatics (HIC 2010), Tianjin, China.
- [12] 耿雷华,卞锦宇,徐澎波,等.水资源合理配置评价指标体系研究[M].北京:中国环境科学出版社,2008:94.(GENG Lei-hua, BIAN Jin-yu, XU Peng-bo, et al. Study on the evaluation index system of rational water resources allocation [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2008:94. (in Chinese))
- [13] 顾正华,徐晓东,曹晓萌,等.感潮河网区水量调控的调水总量计算[J].人民长江,2013,44(11):23-26,71.(GU Zheng-hua, XU Xiao-dong, CAO Xiao-meng, et al. Calculation of total water diversion quantity of tidal river network in water quantity regulation[J]. Yangtze River, 2013, 44(11): 23-26, 71. (in Chinese))

Research on intelligent allocation of regional water resources based on data-driven approach

LIU Guo-liang¹, GU Zheng-hua¹, ZHAO Shi-kai¹, SHANG Shu-li¹, LI Yong-qiang²

(1. *College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China*; 2. *The Water Conservancy Bureau of Jiaxing City, Jiaxing 314000, China*)

Abstract: Aiming at the existing issues of the shortage, unreasonable utilization and incomplete allocation theories of water resources, an intelligent method of regional water resources allocation is investigated on the basis of data-driven approach in order to improve the rationality of utilizing regional water resources and provide technical support for the planning and management of the regional water resources. Firstly, a framework, made up of the decision-making model, scheme evaluation model and plan base of the water resources allocation, is presented. The evaluation model is structured with the evaluation index system of the water resources allocation based on analytic hierarchy process and the fuzzy evaluation method. On one hand, it preliminarily examines the allocation scheme from the decision-making model or after adjustment; on the other hand, it provides allocation plans to the base as the decision-making model's training samples. The decision-making model is built on the basis of artificial neural network being trained according to the plan base, which is used to provide an initial allocation scheme. The effectiveness of the framework is verified using the relevant data of 2010 from Jiaxing city. The results indicate that the intelligent allocation framework of the regional water resources based on data-driven approach can generate the appropriate allocation schemes of the water resources based on two strategies of using water in Jiaxing city, i.e. harmoniously developing and considering both regional and overall water development with a constant amount of water resources. And as an effective support tool for the planning and management of the regional water resources, the scheme is of self-adaptation, fault-tolerance and intelligence.

Key words: water resources allocation; data-driven model; analytic hierarchy process; fuzzy evaluation method; artificial neural network