

非参数解集模型及其在水文随机模拟中的应用*

王文圣 丁晶 袁鹏

(四川大学, 成都, 610065)

摘要 解集模型是水文随机模拟的重要工具之一, 它能保持总量与分量、分量与分量在时间尺度或空间尺度上的方差、协方差结构和其它统计特性。传统解集模型是对序列相依结构和概率密度函数形式作某种假定后用参数来描述的, 因而有其自身的缺陷。文献^[1]提出的非参数解集模型就避开了上述假定, 克服了传统解集模型的不足。本文介绍非参数解集模型并应用于金沙江流域屏山站月径流随机解集。研究结果表明该模型适合于水文随机模拟。

关键词 参数解集模型 非参数解集模型 核密度估计 随机模拟

1 前言

解集模型是水文随机模拟的重要途径。所谓解集, 就是将总量(如年径流量或主干径流量)随机分解成各分量(如月径流量或分支径流量)。由于解集模型能保持总量与分量、分量与分量在时间尺度或空间尺度上的方差、协方差结构和其它统计特性, 且分量之和等于总量, 因此在水文随机模拟中得到了日益广泛的应用^[2]。从 70 年代初 Valencia 和 Schaake^[3]提出线性相关解集模型到现在, 不同结构和参数估计方法的解集模型及其改进方法得到了国内外水文工作者的重视并取得了一定进展^[4]。纵观这些解集模型, 都是在某种假定条件下(如正态分布)用有限个参数来描述的, 因而称为参数解集模型(Parametric disaggregation model, 简称 PDM)。一般参数解集模型可简单地表达为:

$$X = AZ + BE \quad (1)$$

式中, 矩阵 A 表示总量 Z 与分量 X 的分配关系; 矩阵 B 反映分量之间的相关对分配的影响; E 为独立随机向量。从(1)式知, PDM 模型结构简单, 概念清晰, 但缺点也明显: 仅仅考虑了研究变量间的线性相依关系, 而真实水文变量是复杂的非线性系统。总量与分量的概率分布作了某种特定假设, 这种假定概率分布与真实情况可能存在着显著差异。模型参数太多, 在现有资料情况下往往不能满足参数吝啬原则。因此 PDM 模型难以反映真实水文系统的非线性、多峰形态和边际特性。鉴于此, 文献^[1]通过非参数统计法中的核密度估计理论提出了基于数据驱动的非参数解集模型(Nonparametric disaggregation model, 简称 NPDM), 它避开了序列相依结构(线性或非线性)和概率密度函数形式(正态或非正态)的假定, 保留了 PDM 模型的优良特性, 克服了其缺点。

本文主要目的是介绍非参数解集模型并将之应用于金沙江流域屏山站月径流随机模拟, 以验证该模型的实用性。

2 非参数解集模型

设总量(如年径流)为 Z ; 分量为 $X = (x_1, x_2, \dots, x_d)^T$, d 为分量数; $Z = x_1 + x_2 + \dots + x_d$ 。在条件 Z 下, X 的条件概率密度函数为:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_d / Z) = f(X / Z) = \frac{f(X, Z)}{f_m(Z)} \quad (2)$$

式中, $f(X, Z)$ 为 $d+1$ 维联合密度函数, $f_m(Z)$ 为 Z 的边缘密度函数。(2)式就是解集模型的最一般表达式。参数解集模型是式(2)的简单处理。

为避开序列相依结构(线性或非线性)和概率密度函数形式(正态或非正态)的假定, 可由实测资料用非参数核密度估计方法估计(2)式。由于 Z 已知, 且 $Z = x_1 + x_2 + \dots + x_d$, 故(2)式中只有 $d-1$ 个自由度。为处理方便, 进行如下坐标变换:

$$Y = RX \quad (3)$$

式中, $Y = (y_1, y_2, \dots, y_d)^T$, $R = (e_1, e_2, \dots, e_d)^T$ 为单位正交矩阵, 即 $R^T = R^{-1}$ 。定义 $e_d = (1/\sqrt{d}, 1/\sqrt{d}, \dots, 1/\sqrt{d})$, 则 $e_j (j = 1, 2, \dots, d-1)$ 可由 Gram

* 国家自然科学基金: 水文水资源神经智能信息处理系统研究 (编号: 49871018)

Schmidt 变换推求:

$$e_j = \frac{1}{\sqrt{d}} \sum_{k=j+1}^d (e_{kj}) e_k \quad (3')$$

$$e_j = e_j / |e_j| \quad j = d-1, d-2, \dots, 1$$

式中, $i_1 = (1, 0, 0, \dots, 0)^T$, $i_2 = (0, 1, 0, \dots, 0)^T$, ..., $i_d = (0, 0, \dots, 1)^T$ 。由(3)式知, $y_d = (1/\sqrt{d}) \cdot (x_1 + x_2 + \dots + x_d) = Z/\sqrt{d}$ 。定义 $Z = y_d = Z/\sqrt{d}$, $U = (y_1, y_2, \dots, y_{d-1})^T$, 则 $Y = (y_1, y_2, \dots, y_d)^T = (U^T, Z)^T$ 。(2)式的条件概率密度函数就转化为下式:

$$f(U/Z) = \frac{f(U, Z)}{\int f(U, Z) dU} = \frac{f(U, Z)}{f_m(Z)} \quad (4)$$

由核密度估计知(核函数为高斯函数):

$$\hat{f}(U, Z) = \frac{1}{n} \prod_{i=1}^n \frac{1}{(2\pi h^2)^{d/2} \cdot \det(S_Y)^{1/2}} \cdot \exp \left\{ - \frac{\begin{bmatrix} U - U_i \\ Z - Z_i \end{bmatrix}^T S_Y^{-1} \begin{bmatrix} U - U_i \\ Z - Z_i \end{bmatrix}}{2h^2} \right\} \quad (5)$$

式中, h 为带宽; S_Y 为 (U, Z) 的样本协方差矩阵, 见(6)式; U_i 和 Z_i 来自实测样本, n 为样本容量。

$$S_Y = \begin{bmatrix} S_u & S_{uz} \\ S_{uz}^T & S_z \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中, S_u 为 U 的 $(d-1) \times (d-1)$ 阶样本方差矩阵; S_{uz} 为 U 与 Z 的 $(d-1) \times 1$ 阶样本协方差矩阵; S_z 为 Z 的样本方差。 $f(Z)$ 估计如下:

$$\hat{f}(Z) = \frac{1}{n} \prod_{j=1}^n \frac{1}{(2\pi h^2)^{1/2} \cdot S_z^{1/2}} \cdot \exp \left\{ - \frac{(Z - Z_j)^2}{2h^2 \cdot S_z} \right\} \quad (7)$$

将式(5)和式(7)代入(4)式经行列式和矩阵变换得:

$$\hat{f}(U/Z) = \frac{1}{(2\pi h)^{(d-1)/2} \cdot \det(S)^{1/2}} \cdot \prod_{i=1}^n W_i \cdot \exp \left\{ - \frac{(U - b_i)^T \cdot S^{-1} (U - b_i)}{2h^2} \right\} \quad (8)$$

$$\text{其中, } W_i = \exp \left\{ - \frac{(Z - Z_i)^2}{2h^2 S_z} \right\} / \prod_{j=1}^n \exp \left\{ - \frac{(Z - Z_j)^2}{2h^2 S_z} \right\} \quad (9)$$

$$\prod_{i=1}^n W_i = 1.0 \quad b_i = U_i + S_{uz} (Z - Z_i) / S_z$$

$$S = S_u - S_{uz} \cdot S_{uz}^T / S_z \quad (10)$$

由式(8)知, 条件密度函数 $\hat{f}(U/Z)$ 是 n 个 $(d-1)$ 维高斯函数(均值向量 b_i , 方差矩阵 $h^2 S$)的加权(权重为 W_i)平均和。用适当模型模拟总量 Z , 再由式(8)随机模拟 U , 从而获得 Y , 通过(3)式逆变换得模拟分量 $X = R^T Y$ 。

模型模拟步骤如下: 计算分量 X 的样本协方差矩阵 S ; 用最小二乘交叉识别法(LSCV)寻求最

优带宽 $h^{[5]}$; 计算 $S_Y = R S R^T$ 和 S (见(10)式); 分解 $B B^T = S$ 得矩阵 B ; 由总量模型模拟 Z , 用(9)式计算每个实测值的贡献权重 $W_i (i=1, 2, \dots, n)$; 根据 W_i 抽取 i ; 生成 $(d-1)$ 维独立单位高斯分布随机向量 E ; 计算 $U = b_i + h B E$, 可获得 $Y = (U^T, Z)^T$; 逆变换得 $X = R^T Y$, 即获得分量 X 的模拟值; 10 转向第 9 步, 继续模拟; 当满足模拟数时停止。这就是非参数解集模型的基本思想。

3 模型实例验证

将上述非参数解集模型应用于金沙江流域屏山站月径流的随机模拟研究。屏山站具有 1940~1992 年共 53 年年、月径流资料。

3.1 非参数解集模型应用

非参数解集模型分解年径流为月径流之前, 必须先模拟年径流, 年径流模拟模型选用 Shama 等人提出的非参数核密度估计模型^[6]。本文构造了 2 阶非参数核密度估计模型(简称 NP(2))来模拟年径流 Z 。根据非参数解集模型算法便可把 Z 分解成月径流 $X = (x_1, x_2, \dots, x_{12})^T$ 。非参数解集模型的关键是寻求最优全局带宽 h , 经优化计算得 $h = 0.34$ 。

3.2 模型实用性检验

本文采用长序列法对模型进行实用性检验, 模拟序列长度为 5300 年。检验内容有: 年、月径流均值、均方差 S 、 C_V 、 C_S 、一、二阶自相关系数 R_1 、 R_2 和最大值(max)、最小值(min)。成果分别载于表 1、表 2 和表 3 中。

表 1 月径流均值、 S 、 C_V 、 C_S 检验成果表

月份	均值 ($\times 10^8$)		S		C_V		C_S	
	/m ³							
	实测	NPDM	实测	NPDM	实测	NPDM	实测	NPDM
1	44	44	5.1	5.2	0.11	0.12	0.49	0.42
2	34	34	3.5	3.6	0.10	0.11	0.64	0.53
3	35	35	3.4	3.5	0.10	0.10	0.76	0.64
4	39	39	5.6	6.3	0.15	0.16	2.12	1.73
5	60	60	12.4	13.3	0.21	0.22	0.40	0.28
6	127	127	34.2	35.4	0.27	0.28	0.70	0.58
7	250	250	67.2	68.8	0.26	0.28	0.37	0.32
8	270	268	81.8	83.9	0.29	0.31	0.84	0.73
9	258	257	61.5	63.2	0.24	0.25	0.33	0.27
10	178	177	45.3	46.3	0.25	0.26	0.52	0.44
11	90	90	16.0	16.9	0.18	0.19	0.86	0.65
12	58	58	8.3	8.6	0.14	0.15	0.64	0.52

表 1 中, NPDM 模型对各月径流均值、均方差 S 、 C_V 、 C_S 都保持得很好, 但由于核函数的光滑作用导致 C_V 略偏大, C_S 略偏小。表 2 中, 由于解集模型

表2 月径流 R_1, R_2 , 最大值、最小值检验成果表

月份	R_1		R_2		$\max(\times 10^8)/\text{m}^3$		$\min(\times 10^8)/\text{m}^3$	
	实测	N PDM	实测	N PDM	实测	N PDM	实测	N PDM
1	0.963	0.248	0.893	0.283	56	62	36	31
2	0.964	0.964	0.917	0.256	43	46	28	26
3	0.890	0.889	0.860	0.861	44	47	29	26
4	0.630	0.644	0.481	0.487	61	67	29	23
5	0.464	0.456	0.319	0.335	92	104	34	23
6	0.559	0.553	0.194	0.173	212	244	68	42
7	0.487	0.497	0.141	0.148	372	442	156	91
8	0.501	0.496	0.354	0.354	500	567	153	85
9	0.459	0.460	0.244	0.244	417	468	143	98
10	0.493	0.495	0.402	0.402	270	312	110	76
11	0.757	0.767	0.404	0.413	139	151	65	51
12	0.948	0.949	0.793	0.800	80	86	46	38

表3 年径流统计参数检验成果表

类别	均值 ($\times 10^8$)/ m^3	S	C_v	C_s	R_1	R_2	$\max(\times 10^8)/\text{m}^3$	$\min(\times 10^8)/\text{m}^3$
实测	1.444	231.6	0.16	0.59	0.105	0.035	1.951	1.108
N P(2)	1.439	236.5	0.16	0.54	0.100	0.047	2.136	900

非连续模拟致使1月份的一、二阶自相关系数和2月份的二阶自相关系数得不到保持外,其余各月一、二阶自相关系数都保持得非常好。所谓保持,指模拟序列参数与实测样本参数在统计上无显著差异。从N PDM 模型模拟的最大值和最小值情况看都符合流域水文特性。表3列出了年径流统计参数的检验成果,可见非参数核密度估计模型能表征年径流特性。

总之,以上实用性检验和分析表明,非参数解集模型应用于月径流随机模拟是可行的。

4 结 语

通过非参数解集模型和参数解集模型对比分析,可以得出如下结论:

(1) 非参数解集模型是应用核密度估计理论构造的数据驱动模型,避开了变量相依结构和概率密

度函数形式的假定,因而在描述变量相依性和分布形式以及统计特性方面较模型驱动的参数解集模型有更大的优越性,同时又克服了参数解集模型参数太多的毛病。

(2) 实例验证表明,非参数解集模型能反映实测月径流系列的变化状况,因而用于水文随机模拟是可行的。

(3) 非参数解集模型也有不足之处:不能克服一般 PDM 模型带来的首尾自相关结构不一致问题;实测资料长度有限,因而估计的多维密度函数与实际情况有一定误差;带宽 h 对模拟成果有显著影响,而最优 h 的寻求比较困难。随着资料长度的增加和研究工作的深入,这些问题将会得到解决。

本文介绍的非参数解集模型同样适合于空间量分解。

参 考 文 献

- 1 D. G Tarboton et al, Disaggregation procedures for stochastic hydrology based on nonparametric density estimation, Water Resources Research, 34(1), 107~ 119, 1998
- 2 丁晶, 邓育仁 随机水文学 成都科技大学出版社, 1998
- 3 Valencia D. R., and J. L. Schaake, Disaggregation processes in Stochastic Hydrology, Water Resources Research, 9(3), 1973
- 4 D. Koutsoyiannis et al, Simple disaggregation accurate adjusting procedures, Water Resources Research, 32(7), 2105~ 2117, 1996
- 5 B. Rajaopalan et al, Evaluation of kernel density estimation method for daily precipitation resampling, Stochastic Hydrology and Hydraulics, 11, 523~ 547, 1997.
- 6 A. Shama et al Stream simulation: a nonparametric approach, Water Resources Research, 33(2), 291~ 308, 1997.

作者简介

王文圣 男 四川大学水电学院 博士生
丁晶 男 四川大学水电学院 教授
袁鹏 男 四川大学水电学院 副教授

(收稿日期: 1998-09-21)

省学会施工专委会、省水电工程局分会和爆破事务所 联合举办“加筋土及爆破工程技术交流会”

1998年12月24日至25日,省水电学会施工专委会、省水电工程局分会和爆破事务所在绵阳联合举办“加筋土及爆破工程技术交流会”。出席会议的有来自省水电学会施工专委会中10个成员单位的代表以及武引工程管理局、武引沉抗水库管理局和特邀的省学会代表共计52人,省学会常务副理事长兼秘书长樊天龙到会祝贺并参加技术交流。

会议开幕式由省学会常务理事、施工专委会副主任委员、省水电工程局总工程师何荣凡主持,省水电工程局陈政副局长代表主办单位致辞欢迎与会代表的光临。施工专委会夏文泽主任委员在讲话中代表与会人员向主办单位致谢,并简要介绍了会议议程。樊天龙秘书长在讲话中指出施工专委会在1998年的工作卓有成绩,并希望专委会在今后的工作中再接再厉,做出更大的成绩,进一步注重新材料、新工艺的推广应用,充分发挥技术优势,把学会工作做得更好。武引工程管理局李晓东副总工程师也在会上发言,肯定了省水电工程局在

武引工程建设中所起的重要作用。此次会议共收到论文13篇,在开幕式结束后,会议安排了其中8篇论文进行了大会交流,内容涵括了加筋土应用、塑料土工格栅以及微差挤压爆破、微粒多孔硝铵炸药的应用等施工新技术。四川大学王民寿教授还以“工程爆破技术新进展”为题做了专题学术报告,使与会代表受益匪浅。重庆庆兰塑料制品公司的代表也在大会上向代表们介绍了他们的产品。

按主办者安排,与会代表带着大会交流中的问题实地考察了武都引水工程涪梓干渠下段土工格栅应用的施工现场,增加了对加筋土技术的感性认识。随后又马不停蹄地考察了沉抗水库大坝的施工情况,以及坝料采料场,实地听取了省工程局技术人员的详细介绍。

在大会交流、工地考察结束后,会议举行了简短的闭幕式,总结了此次会议所取得的经验。随后,又召开了施工专委会扩大工作会议,研究并讨论了专委会1999年的工作安排。在完成了预定的议程后会议圆满结束。
本刊记者 李燕辉

ABSTRACT

Improvement of the Management And Guarantee of Project Quality

Yang Zongquan

(Sichuan Water Conservancy and Power Research Institute, Chengdu, 610072)

Abstract Construction quality of the Shibanshui Hydropower Station is excellent. According to features of the hydropower station, the Owner takes full responsibility for the project and supervision on project is carried out by Inspector. The construction unit ensures the quality under supervision of the government. Experiences are gained from such a high quality project.

Key words project quality, management system, quality guarantee, supervision

Urgent Development of Sichuan Electric Power Market

Ma Guangwen

(Sichuan University, Chengdu, 610016)

Ai Mingjion

Fan Tianlong

(Sichuan plan committee, chengdu, 610016)

(Sichuan Electric Power Company, Chengdu, 610061)

Abstract The present Sichuan electric power market is weakening. Electric power supply far exceeds electric power demand, even with negative increase. However, Ertan and Guangan Hydropower Stations will put into operation in succession in 1998 and 1999. Electric Power supply in Sichuan network will increase rapidly. The situation will be severe during a short time. Therefore, it is imperative to analyze and develop Sichuan electric power market and search for new market.

Key words electric power, market, economic

Elementary View on the Necessity for New System "Separation of Power Plant from Electric Network, Connection to the National Network by price Competition"

Ding Ruiqing

(Gongzui General Hydropower Plant, Leshan, Sichuan, 614900)

Abstract After 20-year development of power industry, "Seller's market" turns into "buyer's market". To meet the demand of socialist market economic system, seize the chance and reform thoroughly, a new system of "separation power plant from electric network, connection to the national network by price competition and public dispatching of electricity" should be established so as to gain existence in competition and develop splendidly.

Key words power industry, separation of power plant from electrical network, connection to the national network by price competition, necessity

Nonparametric Disaggregation Model and Its Application in Hydrologic Stochastic Simulation

Wang Wensheng Ding Jing Yuan Peng

(Sichuan University, Chengdu, 610065)

Abstract Disaggregation models are one of the important tools for stochastic simulation of hydrologic series. They can preserve variance, covariance and other statistical properties for lower-level variables as well as those for lower-level variables in time or space. Traditional parametric disaggregation models have some drawbacks because they are described based on certain assumption to form of sequential dependence and the form of probability density function. The proposed nonparametric disaggregation model avoids above-mentioned assumption and improves traditional parametric disaggregation model. In this paper, nonparametric disaggregation model was introduced and applied to stochastic simulation for monthly runoff at Ping Shan station in the Sha Jiang River. The results show that the NPDM model applies to hydrologic stochastic simulation.

Key words parametric disaggregation model, nonparametric disaggregation model, stochastic simulation

Avoiding Disputes Arisen in Contracts for Construction

Anthony E. Pugh P. e

(Harza Engineering Company, International, Chicago, U.S.A.)

Zhang Guorong

(Ertan Engineering Corporation, Panzhihua, Sichuan, 617000)

Abstract The paper briefs the background and causes for disputes arisen in contracts for construction of projects with international funds and loans based on I.C.B. procedure. The paper recommends that an Owner should take steps to avoid disputes from the start of preparation of the Tender Documents, and that the Owner should ensure he is prepared to provide the land and money required by the Contractor(s) to once the Notice(s) to commence has (ve) been issued. During the Contract period, he must be ready to make quick decisions on all technical and contractual matters that arise. The paper concludes that it is in neither party's interests to leave potential disputes unaddressed or disputes unresolved. The opinions and recommendations can be referenced by Owners in developing countries.

Key words disputes, contract, Tender Documents, information, tender, settlement of disputes, make quick decisions

Genetic Analysis on Intraformational Faulted Zones of Quartz-acanthonite in Basalt

Zhou Zhidong Su Shengrui

(Chengdu Science and Engineering Institute, Chengdu, 610059)

Abstract In rock mass in dam site areas of numerous hydropower stations at southwest region in China, intraformational faulted zones with low dip angle are generally developed, which play a decisive role in stability of rock mass. At a basalt dam site area, several types of intraformational faulted zones are developed. The genetic analysis on intraformational faulted zones of quartz-acanthonite are discussed preliminarily.

Key words quartz-acanthonite, intraformational faulted zones, genesis