

Precipitation Prediction in the Liusha River Basin Based on Markov Chain

Xuexiang Hu, Qisheng Huang, Kunhai Shu

Xishuangbanna Branch, Hydrology and Water Resources Bureau of Yunnan Provincial, Jinghong Yunnan
Email: 512726499@qq.com

Received: Jul. 22nd, 2018; accepted: Aug. 2nd, 2018; published: Aug. 9th, 2018

Abstract

Precipitation prediction is of great significance to the development, utilization and management of water resources in river basins. Using the precipitation data of Menghai hydrological station from 1958 to 2016, the short-term prediction of the precipitation of the Liusha River was conducted based on the Markov chain. The results show that the predicted abundance in 2015 and 2016 is completely consistent with the actual situation; the Markov chain has high accuracy in the precipitation forecast of the basin. The precipitation in the forecast period of 2017 to 2020 is normal water year, partial dry year, normal water year and partial dry year, the total precipitation during this period is less than usual.

Keywords

Markov Chain, State Prediction, Precipitation, Liusha River Basin

基于马尔可夫链的流沙河流域降水预测

胡学祥, 黄启胜, 舒坤海

云南省水文水资源局西双版纳分局, 云南 景洪
Email: 512726499@qq.com

收稿日期: 2018年7月22日; 录用日期: 2018年8月2日; 发布日期: 2018年8月9日

摘要

降水预测对流域水资源开发利用与管理决策具有重要意义。利用勐海站1958~2016年降水量资料, 结合马尔可夫链对西双版纳流沙河该流域降水进行短期预测。结果表明, 2015年和2016年验证期预测丰枯状态与实际完

作者简介: 胡学祥(1964-), 男, 汉族, 云南景东人, 高级工程师, 从事水文水资源研究与管理。

全吻合, 马尔可夫链在该流域降水预测中具有较高的精度; 2017~2020年预测期降水丰枯状态分别为平水、偏枯、平水、偏枯, 该时段降水量总体偏少。

关键词

马尔可夫链, 状态预测, 降水, 流沙河流域

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

降水丰枯状态是流域水资源开发利用与管理决策的重要依据。大部分地区都以大气降水作为主要补给来源, 因此在水文水资源预测中首先需要对降水进行预测。马尔可夫链是俄罗斯数学家马尔可夫 19 世纪初期提出的一种随机事件预测方法, 在水文气象预测中应用广泛。作为一个典型的自然随机序列, 通过马尔可夫链来预测降水序列的丰枯状态常, 且取得了较好的预测精度[1]-[10]。在马尔可夫链应用过程中, 许多学者根据研究对象的特点和需求, 结合其他方法加以融合, 使得马尔可夫链不断得到改进, 其中加权马尔可夫链[5]-[15]和灰色马尔可夫链[16] [17] [18]应用较为广泛, 这些改进虽然在某些特定的预测对象上取得了更好的预测精度, 但这些改进方法的普适性仍然不明确。由于云南南部山区气象条件复杂, 降水过程存在较大的不确定性, 难以通过物理成因来确定未来某一时段降水量的准确数值, 因此预测出未来某时段降水量的变化区间即可以完全满足精度要求[7]。本文利用马尔可夫链方法, 以勐海站 1958~2016 年降水量资料为基础, 对西双版纳流沙河流域 2017~2020 年降水丰枯状态进行预测。

2. 马尔可夫链预测原理与步骤

马尔可夫链通过统计随机序列过去一定时期内的状态转移概率来预测将来状态变化概率, 其中时间参数集与状态参数集称为马尔可夫链。马尔可夫链是时间离散、状态离散的随机时间序列, 它的特点是无后效性, 即下一步状态只与前一步状态有关, 而与前面其他各时间状态无关。马尔可夫链预测步骤如下:

1) 判断对象序列是否是随机变量。首先初步判断对象序列是否受人为控制, 若受人为控制则不适用于马尔可夫链, 若不受人为控制则通过马氏性检验最终确定是否适用于马尔可夫链。

2) 建立序列状态分级标准, 把将要预测的事件划分为若干状态。水文分析中常用 P-III 型频率曲线法来确定丰枯状态。

3) 建立状态转移矩阵。用 f_{ij} 表示指标值序列 x_1, x_2, \dots, x_n 中从状态 i 转移到状态 j 的频数, 即 $P(E_i \rightarrow E_j) = P_{ij}$ 。对资料序列所对应的状态进行统计计算, 得到各状态的转移规律, 进而建立状态转移概率矩阵

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中: p_{11} 表示 p_1 转移到 p_1 的概率, p_{12} 表示 p_1 转移到 p_2 的概率, \dots , p_{n1} 表示 p_n 转移到 p_1 的概率, p_{nn} 表示 p_n 转移到 p_n 的概率。

若某一事件目前处于状态 E_i , 那么在下一时刻, 它可能由 E_i 状态转向 E_1, E_2, \dots, E_n 中的任何一个状态, 其状态转移概率满足条件

$$\sum_{i,j=1}^n p_{ij} = 1 \quad (0 \leq p_{ij} \leq 1; i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

4) 对随机序列进行马氏检验

将转移概率矩阵 (p_{ij}) 的第 j 列之和除以各行各列的总和所得的值称为“边际概率”, 记为 $P_{.j}$, 即

$$P_{.j} = \frac{\sum_{i=1}^m f_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij}} \quad (3)$$

则当序列长度 n 充分大时, 统计量

$$X^2 = 2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij} \left| \lg \frac{p_{ij}}{P_{.j}} \right| \quad (4)$$

在水文分析中, 一般要求序列长度不少于 30 年, 以保证数据序列具有代表性。给定显著性水平 α , 查表可得分位点 $X_{\alpha}^2((M-1)^2)$ 的值, 计算后得统计量 X^2 的值, 若 $X^2 > X_{\alpha}^2((M-1)^2)$, 则可以认为 $\{X_i\}$ 符合马氏性, 否则认为该序列不适用于马尔可夫链。

状态转移概率矩阵的计算。计算状态转移概率矩阵 P , 得到每个状态转移到其他状态的转移频数和转移概率 $P_{ij} (i, j = 1, 2, \dots, n)$ 。

3. 流沙河流域降水预测

流沙河为澜沧江一级支流, 发源于云南省西双版纳州勐海县格朗河乡板怒山, 流域面积 2052.8 km²。流沙河流域属热带季风气候, 雨季(5~11 月)降水量约占全年降水量的 90%左右, 由于流域内高差达 1900 m, 立体气候特征明显, 山区降水量大于平坝, 下游大于上游。流沙河流域水热条件好, 是西双版纳地区传统农业种植区, 降水对农业发展具有重要影响。勐海水文站位于流沙河中游, 控制流域面积 1032 km², 其降水量接近流域平均值, 具有较强的代表性。本文以勐海站 1958~2016 年降水序列为数据基础, 并将 2015 年和 2016 年降水量作为验证期, 利用马尔可夫链方法预测 2017~2020 年降水量。勐海站马尔可夫链预测计算过程如下:

1) 初步判断勐海站降水序列是否是随机变量。尽管人类活动对全球气候变化有一定影响, 但从流沙河流域所处区域来看, 其降水量主要受到季风气候控制, 尚属随机变量。

2) 建立勐海站年降水序列分级标准。降水序列长度达 59 年, 样本代表性较强, 可采用 P-III 型分布频率曲线法, 分别以保证率 0~12.5%、12.5%~37.5%、37.5%~62.5%、62.5%~87.5%、87.5%~100%将年降水分为丰、偏丰、平、偏少、少 5 个等级, 对应状态 $E = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ (表 1)。根据降水丰枯分级标准, 逐年确定降水量丰枯状态(表 2)。

3) 对表 2 进行状态转移统计, 得到状态转移频数(表 3)和概率矩阵(表 4)。

4) 结合转移概率矩阵和马氏检验计算公式, 求得勐海站 1958~2014 年降水量序列对应的统计量 x^2 为 41.45, 大于 $\alpha = 0.05$ 显著性水平下分位点 $X_{\alpha}^2(16)$ 的值 26.296, 该降水量序列满足马氏性。

5) 计算概率矩阵, 即可得到勐海站降水量 2015 年状态的预测概率; 将 2015 年降水量状态加入原序列, 重复以上步骤, 即可得到 2016 年降水量状态的预测概率。由勐海站降水量马尔可夫链预测验证结果(表 5)可知, 2015 年和 2016 年预测状态与实际状态一致, 表明马尔可夫链方法适用于勐海站降水量预测。

6) 重复以上步骤, 即可得到 2017~2020 年降水量状态的预测概率(表 6)。

Table 1. The standard of precipitation at Menghai station

表 1. 勐海站降水丰枯分级标准

状态	保证率(%)	降水量(mm)	降水等级
1	0~12.5	≥1515	丰
2	12.5~37.5	[1357, 1515)	偏丰
3	37.5~62.5	[1248, 1357)	平
4	62.5~87.5	[1121, 1248)	偏少
5	87.5~100	<1021	少

Table 2. The state of precipitation at Menghai station

表 2. 勐海站降水丰枯状态

年份	E	年份	E	年份	E	年份	E	年份	E	年份	E
1958	3	1968	3	1978	2	1988	5	1998	3	2008	2
1959	2	1969	2	1979	5	1989	4	1999	4	2009	5
1960	2	1970	1	1980	4	1990	4	2000	2	2010	4
1961	2	1971	1	1981	2	1991	1	2001	1	2011	4
1962	5	1972	3	1982	4	1992	4	2002	3	2012	4
1963	3	1973	2	1983	2	1993	4	2003	5	2013	3
1964	1	1974	3	1984	3	1994	1	2004	3	2014	5
1965	3	1975	4	1985	1	1995	3	2005	4	2015	3
1966	2	1976	3	1986	3	1996	3	2006	3	2016	4
1967	2	1977	3	1987	5	1997	4	2007	3		

Table 3. The frequency of precipitation transfer at Menghai station from 1958 to 2014

表 3. 勐海站 1958~2014 年降水量转移频数

状态	1	2	3	4	5	转移频数
1	1	2	2	1	1	7
2	2	2	5	1	2	12
3	2	2	4	7	3	18
4	1	4	5	2	1	13
5	1	0	2	3	0	6

Table 4. Probability matrix of precipitation transfer at Menghai station from 1958 to 2014

表 4. 勐海站 1958~2014 年降水量转移概率矩阵

状态	1	2	3	4	5
1	1/7	2/7	2/7	1/7	1/7
2	2/12	2/12	5/12	1/12	2/12
3	2/18	2/18	4/18	7/18	3/18
4	1/13	4/13	5/13	2/13	1/13
5	1/6	0	2/6	3/6	0

Table 5. Prediction and verification of precipitation status at Menghai station in 2015 and 2016

表 5. 勐海站 2015 年、2016 年降水量状态预测验证

年份	状态 1 概率	状态 2 概率	状态 3 概率	状态 4 概率	状态 5 概率	马氏检验 χ^2	预测状态	实际状态
2015	0.0474	0.2092	0.3595	0.2418	0.1422	39.88	3	3
2016	0.1318	0.2059	0.134	0.4139	0.1144	41.10	4	4

Table 6. Prediction of precipitation status at Menghai station from 2017 to 2020

表 6. 勐海站 2017~2020 年降水量状态预测

年份	状态 1 概率	状态 2 概率	状态 3 概率	状态 4 概率	状态 5 概率	马氏检验 χ^2	预测状态
2017	0.1254	0.1695	0.3618	0.2877	0.0556	41.45	3
2018	0.1490	0.1423	0.2549	0.3199	0.1338	42.03	4
2019	0.0908	0.2617	0.4051	0.1641	0.0783	43.22	3
2020	0.1398	0.1351	0.2392	0.3594	0.1264	44.12	4

4. 结论

降水量预测是防汛抗旱及流域水资源开发利用与管理的主要依据，也一直是水文水资源预报工作的重要方向。从勐海站历年降水数据来看，西双版纳流沙河降水量总体呈减少趋势，特别是 2009 年西南连续大旱以来降水明显减少。马尔可夫链的基本方法就是利用状态之间的转移概率矩阵预测事件发生的状态及其发展变化趋势，概念清晰，计算简便，是降水量短期预测的有效途径。由于马尔可夫链方法基于过去一定时段统计概率进行预测，勐海站预测结果不可避免地受到 2009~2012 年连续干旱这一极端气候变化的影响，但由于所用降水序列较长，较短时期的极端气候变化对预测结果的影响较小。

从勐海站降水量马尔可夫链预测模型验证结果来看，2015 年和 2016 年验证期预测丰枯状态与实际完全吻合，表明马尔可夫链在该流域降水预测中具有较高的精度，能够满足降水短期预测的需要。从勐海站降水马尔可夫链预测结果来看，2017~2020 年预测降水丰枯状态分别为平水、偏枯、平水、偏枯，表明该时段降水量总体偏少，仍将延续降水减少的趋势，流域节水压力将持续增大。由于流沙河流域以农业为主，因此应将加大农业节水力度作为挖掘流域节水潜力的重点。

参考文献

- [1] 潘刚, 芦冰, 邹兵, 等. 马尔可夫链在水库主汛期降雨状态预测中的应用[J]. 水利科技与经济, 2011, 17(6): 33-36.
PAN Gang, LU Bing, ZOU Bing, et al. Application of markov chain in the prediction of rainfall in the main flood season. Water Conservancy Technology and Economy, 2011, 17(6): 33-36. (in Chinese)
- [2] 鲁帆, 蒋云钟, 严登华. 基于多重转移概率的长期降水量预报模型研究[J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(3): 76-78.
LU Fan, JIANG Yunzhong and YAN Denghua. Study on long-term precipitation prediction model based on multiple transfer probability. South-to-North Water Diversion and Water Conservancy Technology, 2010, 8(3): 76-78. (in Chinese)
- [3] 马占青, 徐明仙, 俞卫阳, 等. 年降水量统计马尔可夫预测模型及其应用[J]. 自然资源学报, 2010, 25(6): 1033-1041.
MA Zhanqing, XU Mingxian, YU Weiyang, et al. Annual precipitation statistics of Markov prediction model and its application. Journal of Natural Resources, 2010, 25(6): 1033-1041. (in Chinese)
- [4] 钱家忠, 朱学愚, 吴剑锋. 地下水资源评价中降水量的时间序列——马尔可夫模型[J]. 地理科学, 2001, 21(4): 350-353.
QIAN Jiazong, ZHU Xueyu and WU Jianfeng. Time series of precipitation in groundwater resource evaluation—Markov model. Geoscience, 2001, 21(4): 350-353. (in Chinese)
- [5] 夏乐天. 梅雨强度的指数权马尔可夫链预测[J]. 水利学报, 2005, 36(8): 988-993.
XIA Letian. The index of the strength of meiyu intensity in Markov chain prediction. Journal of Hydrology, 2005, 36(8): 988-993. (in Chinese)

- [6] 夏乐天, 朱元甦, 沈永梅. 加权马尔可夫链在降水状况预测中的应用[J]. 水利水电科技进展, 2006, 26(6): 20-23, 27. XIA Letian, ZHU Yuanshen and SHEN Yongmei. Weighted Markov chain in the condition of rainfall forecast application. Water Conservancy and Hydropower Science and Technology Progress, 2006, 26(6): 20-23, 27. (in Chinese)
- [7] 孙才志, 张戈, 林学钰. 加权马尔可夫链在降水丰枯状况预测中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 2003(4): 100-105. SUN Caizhi, ZHANG Ge and LIN Xueyu. Application of weighted Markov chain in precipitation forecast. System Engineering Theory and Practice, 2003(4): 100-105. (in Chinese)
- [8] 王涛, 钱会, 李培月. 加权马尔可夫链在银川地区降雨量预测中的应用[J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(1): 78-81. WANG Tao, QIAN Hui and LI Peiyue. Application of weighted Markov chain to rainfall prediction in Yinchuan area. South to North Water Diversion and Water Conservancy Science and Technology, 2010, 8(1): 78-81. (in Chinese)
- [9] 张蕊, 夏乐天. 灰色马尔可夫链模型在降雨预测中的应用[J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2012, 26(10): 103-106. ZHANG Rui, XIA Letian. Grey Markov chain model applied to rainfall prediction. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science Edition), 2012, 26(10): 103-106. (in Chinese)
- [10] 沈永梅, 夏乐天. 叠加马尔可夫链模型在雨季强度指数预测中的应用[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2006, 34(4): 477-480. SHEN Yongmei, XIA Letian. Application of superposition Markov chain model in prediction of intensity index of rainy season. Journal of Hohai University (Natural Science Edition), 2006, 34(4): 477-480. (in Chinese)
- [11] 刘新有, 彭海英, 吴捷, 等. 复权马尔可夫链及其在怒江水沙预测中的应用[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(6): 26-32. LIU Xinyou, PENG Haiying, WU Jie, et al. Application of complex Markov chain and its application in the prediction of water and sediment in Nu River. South to North Water Transfer and Water Conservancy Technology, 2017, 15(6): 26-32. (in Chinese)
- [12] 贺娟, 王晓松, 王彩云. 加权马尔可夫链模型在密云水库入库流量中的应用[J]. 南水北调与水利科技, 2015, 13(4): 618-621. HE Juan, WANG Xiaosong and WANG Caiyun. Application of weighted Markov chain model in the reservoir flow of Miyun Reservoir. South to North Water Transfer and Water Conservancy Technology, 2015, 13(4): 618-621. (in Chinese)
- [13] 王亚雄, 黄淑娴, 刘祖发, 等. 变化环境下北江下游年径流量的加权马尔可夫链预测[J]. 生态环境学报, 2011, 20(4): 754-760. WANG Yaxiong, HUANG Shuxian, LIU Zufa, et al. Weighted Markov chain prediction of annual runoff in the lower reaches of the North River under the changing environment. Ecological Environment Journal, 2011, 20(4): 754-760. (in Chinese)
- [14] 赵琳琳, 夏乐天. 模糊加权马尔可夫链模型及其应用[J]. 江西农业学报, 2007, 19(1): 151-153. ZHAO Linlin, XIA Letian. Fuzzy weighted Markov chain model and its application. Jiangxi Acta Agri Sinica, 2007, 19(1): 151-153. (in Chinese)
- [15] 冯耀龙, 韩文秀. 权马尔可夫链在河流丰枯状况预测中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 1999(10): 89-98. FENG Yaolong, HAN Wenxiu. Application of the weighted Markov chain to the prediction of the flood and drought situation of rivers. System Engineering Theory and Practice, 1999(10): 89-98. (in Chinese)
- [16] 赵雪花, 黄强, 吴建华. 基于灰色马尔可夫链的径流序列模式挖掘[J]. 武汉大学学报(工学版), 2008, 41(1): 1-4. ZHAO Xuehua, HUANG Qiang and WU Jianhua. Runoff series pattern mining based on Grey Markov chain. Journal of Wuhan University (Engineering Edition), 2008, 41(1): 1-4. (in Chinese)
- [17] 赵玲萍, 王俊, 张凤娥, 等. 基于灰色残差-马尔可夫耦合模型的农业需水量预测研究[J]. 节水灌溉, 2010(11): 4-6, 10. ZHAO Lingping, WANG Jun, ZHANG Fenge, et al. Prediction of agricultural water demand based on Grey residual Markov coupling model. Water Saving Irrigation, 2010(11): 4-6, 10. (in Chinese)
- [18] 马建琴, 许龙宾, 师琨. 改进型灰色马尔可夫模型在径流预测中的应用[J]. 华北水利水电学院学报, 2012, 33(2): 39-42. MA Jianqin, XU Longbin and SHI Kun. Application of improved grey Markov model in runoff prediction. Journal of North China Water Conservancy and Hydroelectric Institute, 2012, 33(2): 39-42. (in Chinese)