

# 短期洪水预报的新型BP网络模型\*

张翔 丁晶

(四川联合大学,成都,610065)

**摘要** 对河段洪水形成规律的先验认识是制定预报方案的重要基础,这些先验知识对于正确选择神经网络预报模型的结构也有重要的指导意义。本文基于河段先验知识与神经网络结构相结合的思想,给出了一种新的BP网络模型,它比传统模型更符合实际,在紫坪铺河段洪水短期预报中的应用结果令人满意。

**关键词** 先验知识 BP网络 河段洪水预报

## 1 引言

近年来,基于误差反传算法的多层前馈网络(简称BP网络)在水文预报方面已有所应用。传统的BP网络预报模型,大都以流域系统的输入变量(如降雨量、上游各站流量等)做为网络的输入,以预报变量做为网络输出,采用输入层与隐层、隐层与隐层、隐层与输出层之间的全互联方式来构造网络的。然而,由于不同流域的水文规律并不完全相同,洪水成因亦不尽相同,这种单一的网络结构形式就不能完全适用了。对于复杂的水文现象,根据不同的水文规律以及变量间的因果关系来指导神经网络结构的选择显然是非常重要的。

河段洪水预报通常是以干流上游水文站及支流站流量做为预报因子,预报站未来某时刻的流量做为预报变量。本文基于对河段洪水预报规律的认识,在全互联BP网络(记为CBP)的基础上提出了部分互联的BP网络模型(记为PBP),讨论了训练算法,并在紫坪铺洪水预报中进行了实例应用。

## 2 PBP的网络结构

制定河段洪水预报方案前,人们总是要对干流上游站及支流的入流情况事先有所了解,并要分析它们对预报变量的不同影响,这些就构成了我们选择网络结构所需的先验知识。考虑如图1所示的河段情形,干流上游站流量记为 $Q_1$ ,预报站流量记为 $Q_2$ ,区间有人流 $q_1$ ,对于这种情况,通常我们采用具有一个隐层的三层CBP网络来模拟(如图2所示),经训练,认为网络逼近了函数关系(1)式。

$$Q_2^{t+\Delta t} = f(q_1^t, Q_1^t, Q_2^t) \quad (1)$$

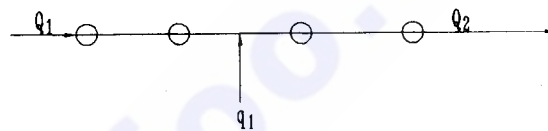


图1 河段简图

式中  $t$  为发布预报的时刻;  $\Delta t$  为预见期;  $f(\cdot)$  为预报因子与预报变量之间的非线性函数关系。

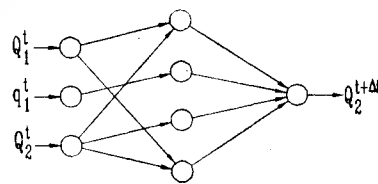


图2 CBP网络结构图

我们知道,预报站流量组成中,干流上游站的流量占主要部分,另外往往存在区间入流的影响,从图2可知, $Q_2$ 与 $q_1$ 是一同由输入层输入以全互联的方式经隐层而至输出层的,因此无法体现两者对预报流量的不同影响。而且,我们知道 $Q_1$ 经河道传播与 $q_1$ 汇合而形成 $Q_2$ , $q_1$ 是不会对 $Q_1$ 产生影响的,而在CBP中,由于全互联方式,两者会存在相互影响,这显然是不合理的。

按以上分析,我们认为有必要依据河段洪水预报的规律,建立一种新的网络模型,充分考虑上游来水和区间入流的影响。现仍以图1所示的河段为例,图3给出了这种新网络的结构。这种新网络(PBP)的最大特点是部分前向互联。上游来水经各隐层以全互联方式至输出层,区间入流以部分互联方式至输出层,体现了两者对预报流量的不同影响,同时,

\* 国家自然科学基金资助项目(编号49571017)

也避免了区间入流对上游来水不合理的“反影响”。

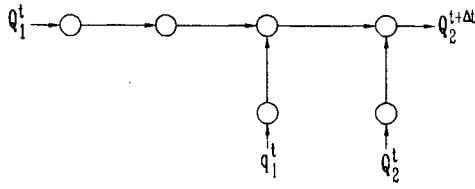


图3 PBP网络结构图

### 3 PBP的训练算法

上面介绍了PBP的物理基础与结构特点,本节介绍它的训练算法。为简便起见,我们考虑具有一个隐层的三层PBP网络。令输入层有 $m$ 个节点经隐层以全互联方式至输出层,有 $n$ 个节点不经隐层而直接与输出层相连,同时令隐层有 $h$ 个节点,输出层有 $g$ 个节点,隐层与输出层节点均采用sigmoid转移函数。PBP的训练算法基本与CBP的相似,其误差标准取为

$$E = \frac{1}{2} \sum_{p_1=1}^P \sum_{t=1}^g (t f^1 - y f^1)^2 \quad (2)$$

式中  $E$  为总的学习误差; $P$  为训练样本数; $t$  为目标输出; $y$  为网络的实际输出。则其输出层误差信号为

$$\delta f^1 = (t f^1 - y f^1) y f^1 (1 - y f^1) \quad (3)$$

与CBP不同的是,该误差信号反传时分为两个方向,一个方向是反传给隐层,记为 $\delta_{ki}$ ,另一方向是反传至直接相连的输入层节点,记为 $\delta_{ji}$ 。对于直接相连的输入层节点与输出层节点的连接权的修正值为

$$\Delta w_{jk} = \eta \sum_{p_1=1}^P \delta_{ki}^p o^j \quad (4)$$

式中  $\eta$  为学习速率; $o^j$  为 $n$ 个节点中第 $j$ 个节点的输出值。另一个全互联方向的隐层节点与输出层节点的权值修正值为

$$\Delta w_{ki} = \eta \sum_{p_1=1}^P \delta_{ki}^p o^k \quad (5)$$

式中  $o^k$  为隐层中第 $k$ 个节点的输出值。此时,隐层误差信号为

$$\delta_{ik} = \sum_{l=1}^g \delta_{li}^p w_{kl} o^k (1 - o^k) \quad (6)$$

则全互联的输入层节点与隐层节点的连接权的修正值为

$$\Delta w_{ik} = \eta \sum_{p_1=1}^P \delta_{ki}^p o^i \quad (7)$$

式中  $o^i$  为 $m$ 个输入层节点中第 $i$ 个节点的输出。

以上给出PBP各层误差信号及连接权修正公式,其训练步骤如下:

step1: 给网络连接权和阈值赋初值,初值可采用均匀分布的随机数。

step2: 从已知训练样本对中,顺序取样本输入到网络中。

step3: 按(2)式计算训练误差。

step4: 按(3)~(7)式计算各层误差信号以及连接权和阈值的修正值。

step5: 修正连接权和阈值。

step6: 判断训练是否结束。若 $|E| < \epsilon$ ,则认为训练达到要求,停止训练;否则,转入step2,继续训练,直至达到训练标准。 $\epsilon$ 为训练标准,一般取为 $10^{-2} \sim 10^{-5}$ 。

### 4 实例应用

以上介绍了PBP的结构和算法,下面结合紫坪铺水库工程短期洪水预报,给出具体的实例。

紫坪铺水库坝址位于岷江上游,距都江堰9 km处,根据实际情况分析,我们选用上游姜射坝水文站至紫坪铺之间为研究河段,研究河段长约85 km。紫坪铺站流量组成中,主要有上游站姜射坝来水(JSQ),支流杂古脑河、渔子溪、寿溪入流,分别由桑坪站(SPQ)、耿达站(GDQ)、寿溪站(SXQ)控制,另外还有未控区间降雨(ZPC)等其它组成。在本文的研究中,考虑的姜射坝与桑坪距离很近,合并为上游来水考虑,记为SJQ;紫坪铺站流量记为ZPQ,河段示意图见图4。经分析可知,紫坪铺流量主要由干流上游来水为主,而区间暴雨往往造成紫坪铺的洪峰,洪水预见期为4~6 h,本文以4 h预见期为例。

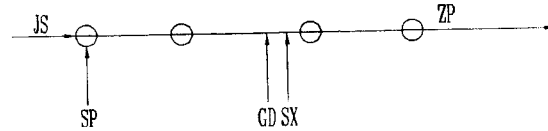


图4 紫坪铺洪水预报河段简图

根据CBP和PBP的概念,我们分别建立了上述预报河段的CBP和PBP模型。CBP采用具有一个隐层的三层网络(如图5(a)所示),结构为5—4—1,输入为 $t$ 时刻的SJQ、GDQ、SXQ、ZPC和ZPQ,输出为未来4 h时的ZPQ值;图5(b)为PBP结构图,其输入为 $t$ 时刻的SJQ和ZPC,经一个隐节点后,再从外部输入 $t$ 时刻的GDQ和SXQ,又经一个

隐节点后,在输出节点处再输入  $t$  时刻的 ZPQ, 最终输出未来 4 h 时的 ZPQ 值。由 CBP、PBP 与河段的比较来看,PBP 较 CBP 更符合河段的实际情况。

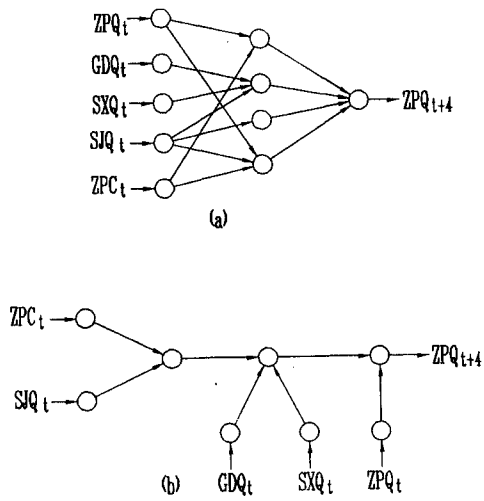


图 5 紫坪铺洪水预报的 CBP(a)和 PBP(b)网络结构图

模型建立后,下一步是对网络进行训练,资料采用 1984~1989 年汛期的实测流量资料,用 1984~1988 年的资料训练网络,选用 1989 年的一次洪水对模型进行检验。对 CBP 采用传统的 BP 算法,对 PBP 则采用本文介绍的算法,经 step1~step6 对其进行训练,训练误差标准均取  $10^{-3}$ 。图 6(a)和(b)分别给出了两种模型的检验结果,由图 6 大致可知,PBP 的检验精度高于 CBP,尤其是第一个洪峰。从实测资料可知,第一个洪峰是由区间暴雨所致,区间入流是形成这一洪峰的主要原因,而 PBP 较 CBP 更好地考虑了区间入流的影响,因此预报精度得到了提高。由附表给出的预报效果评定指标可以看出,PBP 网络的预报结果与实测数据的相关系数大于 CBP 网络的相关系数,PBP 网络预报的平均相对误差小于 CBP 网络的平均相对误差,且合格率高于 CBP 网络,进一步说明 PBP 网络具有较高的预报精度。

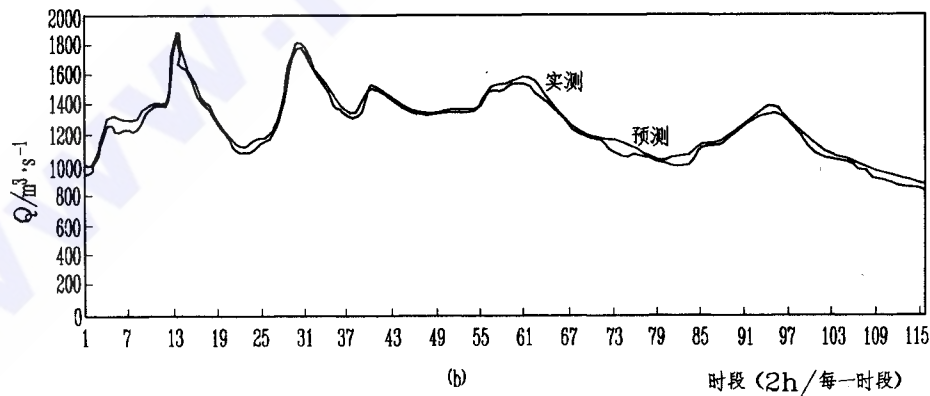
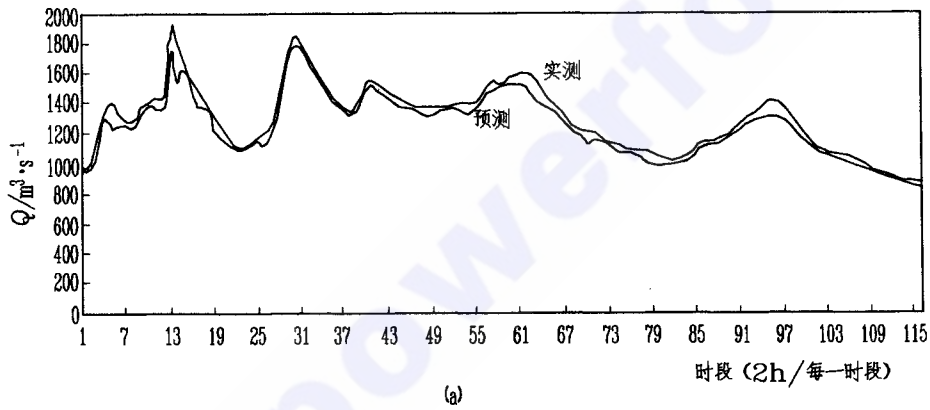


图 6 紫坪铺洪水预报的 CBP(a)图和 PBP(b)图模型检验结果图

附表 CBP 网络与 PBP 网络预报效果评定指标比较表

	CBP 网络	PBP 网络
相关系数	0.978	0.983
平均相对误差	0.032	0.028
合格率 / %	98	99

## 5 结 论

神经网络模型用于解决水文问题的一个关键就是要建立能够真实地反映水文规律的模型,本文基于水文先验知识与神经网络模型选择相结合的思想,提出了模拟河段洪水的 PBP 模型,它比传统的 CBP 模型能更好地反映上游来水、区间入流以及预报站流量间的关系,预报精度得到了提高。

### A New BP Model for Short-time Flood Forecasting

Zhang Xiang Ding Jing

(Sichuan Union University, Chengdu, 610065)

**Abstract** It is important for the formulation of flood forecasting scheme to consider the prior knowledge, and the prior knowledge is also crucial to the selection of the structure of ANN. In this paper, based on the idea of the integration of the prior knowledge and the selection of the structure of ANN, a new BP model is proposed. The application result is satisfactory.

**Key Words** prior knowledge, BP model, flood forecasting

(上接第 11 页)

应当强调指出,上述成果所依据的仅仅是 9 个流域和 6 年同步观测资料,其代表性不足,局限性较大,尚不能据此定论。

## 4 山区河流抗洪减灾对策的几点建议

山区河流的坡度大,洪水传播速度快,洪水上涨迅猛,观测站点少,给抗洪工作带来很大困难。根据上述对 6 个山区流域和 3 个丘陵区流域的降雨洪水过程变化规律的初步探索,建议:

(1)充分利用最大时段降雨量止至洪峰出现之间的时距(一般都大于 1.0 h),通过有效的通信手段提前发出警报;

(2)根据当地实际情况,在经常发生暴雨中心的地方设置雨量观测点,加强对 0.5 h 降雨量的观测;

(3)在流域坡地上,兴建一些滞洪或拦洪工程措施;

- ### 参 考 文 献
- 1 张立明编著. 人工神经网络的模型及其应用. 复旦大学出版社, 1993
  - 2 周金荣、黄道、蒋慰孙. 一种新型神经网络结构模型的应用研究. 自动化学报 Vol. 22, No. 4 1996:7

作者简介

张翔男 四川联合大学水利系 博士研究生

丁晶男 四川联合大学水利系 教授 博士生导师

(收稿日期:1997-07-29)

(4)对已有一定资料条件的山区河流,开展对降雨洪水定量规律的探索与研究,结合流域下垫面因素的分析,可将一些定量规律移用到邻近流域上应用;

(5)与当地气象部门合作,开展小面积降雨量预报研究,争取增长预见期。

- ### 参 考 文 献
- 1 赵松乔等. 现代自然地理. 1988 年;科学出版社,第 166~167 页
  - 2 R. K. 林斯雷等. 工程水文学. 水利出版社,第 415~425 页
  - 3 南京大学地理系等编. 普通水文学. 人民教育出版社,1978 年
  - 4 赵昭炳. 福建山地的自然特点及其开发利用的初步设想. 地理学报,1984 年;第 44 卷,第 4 期
  - 5 M. J. 柯克比. 山坡水文学. 1989 年;哈尔滨工业大学出版社,第 201~260 页

作者简介

林三益男 四川联合大学水利系 教授 博士生导师

易立群女 四川联合大学水利系 硕士

(收稿日期:1997-09-08)

### Characteristics and Prevention of Rainfall and Flood at Rivers in Mountain Area in Sichuan

Lin Sanyi Yi Liqun

(Sichuan Union University, Chengdu, 610065)

**Abstract** Based on analysis and statistics of 245 heavy rainfall and flood at 6 rivers in mountain area and 3 rivers in hill, according to hydrology principle and under lying conditions of rivers, hydrological characteristics of rainfall and flood at rivers in mountain area and in hill are studied and compared. The suggestions for flood relief measures are proposed.

**Key Words** mountain area, rainfall intensity, basin gradient, flood peak delay-time