

优化城市用水量预测模型的探讨

同济大学 环境科学与工程学院 俞国平 段焕丰

摘要 对城市用水需求量的预测,是配水系统为其操作运行系统准备和执行计划在线控制的主要任务。该文运用时间序列法和 BP 神经网络法分别对配水系统的短期和中长期用水量进行预测,并引入遗传算法对这两种预测方法进行了优化改进。从算例结果比较来看,优化后的预测方法具有良好的有效性和实用性。

关键词: 遗传算法 时间序列法 BP 神经网络 用水量预测

对配水系统未来用水量的预测,是进行水规划的一项重要任务。一般来说,用水量预测分为两种:一种是短期预测,以满足操作系统在线实时模拟和给水系统的优化调度;另一种是对水量的中长期预测,用于进行水资源规划和城市整体设计规划。目前,用于预测的方法很多,科学合理地选择预测模型应首先考虑预测的时间间隔,不同的时间间隔应选用不同的预测模型。根据多年来各种预测积累的实践经验和各种预测方法的特点,对短期预测一般用到时间序列法,对中长期预测一般用到 BP 神经网络法或灰色模型法^[1,2](本文只就前者讨论,后者可用同样方法讨论)。但是,预测与实际必然存在一定的误差,如何减少误差,以使得预测结果尽量准确,是目前急需解决的难题。本文针对传统的预测方法,引入遗传算法对其进行参数优化,得到了两种改进预测方法。

1 短期预测优化模型

1.1 时间序列预测法

时间序列法是根据已有的时间序列数据,通过统计分析的方法建立和已有数据尽量拟合的数学模型,如自回归模型 AR(p)序列、滑动平均模型 MA(q)序列以及回归与滑动平均混合模型 ARMA(p,q)序列,并将所得数学模型根据递推预报法对未来的变化趋势进行预测。其一般的预测步骤如下:

1.1.1 取样,即通过观测得到的样本序列 $Q_1, \dots, Q_n$ 。

1.1.2 数据的预处理:

- ①数据序列平稳性检验;
- ②均值归零处理,即作变换:

$$W_i = Q_i - \bar{Q}, i=1, 2, \dots, n,$$

$$\text{其中, } \bar{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i$$

1.1.3 计算出 $\{W_i\}$ 的样本自相关函数 $\hat{\rho}_k$, 样本自协方差函数 $\hat{v}_k$ 和样本偏相关函数 $\hat{\phi}_{kk}$ 。

1.1.4 模型识别,利用 $\hat{\rho}_k$ 和 $\hat{\phi}_{kk}$ 来判断模型的类别 (AR(p)、MA(q)、ARMA(p,q)) 和阶数 (p 和 q 值)。

1.1.5 模型的参数估计,根据以上步骤确立的模型类别和阶数,应用统计分析的方法估计出模型的参数。

1.1.6 写出模型方程,先写出适合 W_t 的模型方程,再用 $Q_t = Q_t - \bar{Q}$ 代入到模型方程中去。

1.1.7 用水量预报,根据已有的模型方程对未来的用水量进行预测。

1.2 改进时间序列法

改进时间序列法,就是对用遗传算法的上述 1.1.5 得到的参数进行优化,使得得到的模型方程更准确,预测结果更有效。其优化的思想方法为:利用得到的参数构造变化区间,以时间序列模型中的离散白噪声的均方误差为目标函数和各参数为变量,再利用遗传算法的搜索优化性能,在区间范围内找出更佳参数解^[3,4]。

优化目标函数:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n E(\xi_i^2) = \min \sum_{i=1}^n [W_i - \sum_{j=1}^p \phi_j W_{i-j} + \sum_{j=1}^q \theta_j \xi_{i-j}]^2$$

其中, $E(\xi_i^2)$ 为离散白噪声均方误差, ϕ_j 和 θ_j 为参数变量。

其优化步骤如下:

- ① 构造变量区间, 设有上述时间序列法得到的某一参数变量为 c_j , 则它的变化区间可构造为 $[a_j, b_j]$, 其中:

$a_j=c_j-d, b_j=c_j+d$, 且 d 为一正常数。

- ② 参数编码, 采用二进制编码, 设编码长度为 $e=10$, 群体规模为 200。

- ③ 生成初始父代个体即初始解并评价适应度, 若适应度满足要求, 则结束; 否则, 继续。

- ④ 选择(采用比例选择法), 杂交($pc=1.0$), 变异($pm=0.10$)等操作。

- ⑤ 进化迭代, 所得到的子代个体作为新的父代个体, 转入步骤③。

1.2.6 加速循环, 把第一次和第二次进化迭代产生的优秀个体参数变化范围作为新的变化区间, 算法转入步骤②, 如此往复循环, 直到给定加速次数。

1.3 应用

以国内某城市 1991 年 6 月份某段时间的用水量为例, 分别用时间序列法和改进时间序列法来预测未来 24h 的小时用水量(由于篇幅限制, 原始数据省略), 其得到预测模型方程分别为:

时间序列法模型:

$$X_t = 7966 - 0.17X_{t-1} + 0.25X_{t-2} + \xi_t$$

改进时间序列法模型:

$$X_t = 7983 - 0.175X_{t-1} + 0.257X_{t-2} + \xi_t$$

预测结果对比如表 1。

从表 1 可以看出, 改进时间序列预测方法比一般的时间序列方法得到的结果更加准确有效。

表 1 预测结果及其误差比较(部分)

时段	实际用水量 (m ³ /h)	时间序列法		改进时间序列法	
		预测量(m ³ /h)	误差(%)	预测量(m ³ /h)	误差(%)
1	5699	5754	0.8	5723	0.6
2	5876	5832	0.7	5865	0.2
3	7743	8413	8.7	8330	4.7
4	8294	7994	3.6	8015	3.4
5	8604	8710	1.2	8670	0.8
6	8657	8484	2.0	8526	1.5
·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·
19	10200	9544	6.4	9986	2.1
20	12248	10885	11.1	11332	7.5
21	9813	8510	13.3	8566	12.7
22	9673	9240	4.5	9396	2.8
23	9075	8523	6.1	8540	5.8
24	8879	8827	0.6	8903	0.3

同时也看出, 这类预测方法在预测短时期的用水量时是比较准确, 误差较小, 而越往后误差越大。

2 中长期预测优化模型

对城市用水量的中长期预测, BP 网络算法使用较为普遍, 并且从实践来看, 结果相对较为理想。BP 神经网络是以样本训练学习而不是用程序指令来完成某一特定任务的, 一般由输入层、隐层和输出层拓扑结构组成, 用来解决模式识别、预测及拟合等问题。利用 BP 神经网络, 解决用水量预测问题的模型如下:

2.1 BP神经网络预测用水量模型

该模型以已有的实际用水量序列以及气温、季节、节假日等影响因素作为输入量, 通过学习训练得到预测模式。具体如下:

$$Q_i = \bar{f}[\sum T_j x_j - Q_i]$$

其中, Q_i 为最终预测用水量, Q_i 为实测系统漏失量, T_j 为 s 层第 j 天输出的预测用水量修正系数, x_j 为 s 层第 j 天输出的预测用水量,

$$\text{且 } x_j = \bar{f}[\sum w_j x_j^{i-1} - Q_j]$$

Q_j 为实测系统漏失量阈值, w_j 为气温及节假日等影响因素权重值,

$$S.t. \quad E = \sum_{k=1}^n e(k) < \varepsilon$$

其中, E 为最终输出系统误差, ε 为系统误差允许值, $e(k)$ 为第 k 个样本系统误差, n 为样本对

数, 且 $e(k) = \sum_{i=1}^m |t_i^k - Q_i^k|$
 t_i^k 为第 k 个样本最终输出期望值, m 为网络节点数, Q_i 为第 k 个样本最终预测用水量。

BP 神经网络算法一般程序流程如图 1:

2.2 优化改进模型

如同改进时间序列模型一样, 引入遗传算法对 BP 网络的参数优化, 这些参数包括各个权值 w_{ij} 和各个阈值 θ_j ,

使得网络全局误差函数极小化。其参数优化步骤同上述 1.2 中步骤相同。其优化目标函数为：

$$\text{Min } E = \min \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Q_j - Q_{ij})/2$$

其中, n 为样本对数, m 为网络节点数, Q_j 为实测量, Q_{ij} 为预测量。

2.3 应用

下面采用国外某城市 1991 年上半年部分日用水量数据, 来预测该年 7 月份的用水量。预测的 BP 网络结构模型中, 网络节点数 $m=40$, 隐层数 $s=1$, 节点作用函数采用 Sigmoid 函数 $y_i=1/(1+e^{-x_i})$, 并设最大循环次数为 5 000 次, 允许系统误差设为 0.01。分别用 BP 网络和改进 BP 网络来预测(由于篇幅限制, 原始数据省略), 得到预测结果如表 2, 并且改进前后输出的全局网络误差分别为 0.008 1 和 0.001 9。

从表 2 的预测结果可以看出, 利用 BP 神经网络法对中长期用水量的预测较为合适, 并且优化改进后的 BP 网络预测更加准确有效。

3 结束语

通过上述实例对比结果可以看出, 采用遗

传算法优化改进的时间序列预测模型和 BP 神经网络预测模型, 在预测精度上有很大的提高, 使得预测结果更加准确, 也证明了该方法的有效性和实用性。而且, 这种方法也同样可以推广应用到其它的预测模型中(如灰色理论预测模型)。至于遗传算法作为优化方法, 其自身的参数确定具有一定的经验性, 仍需进一步的探究。

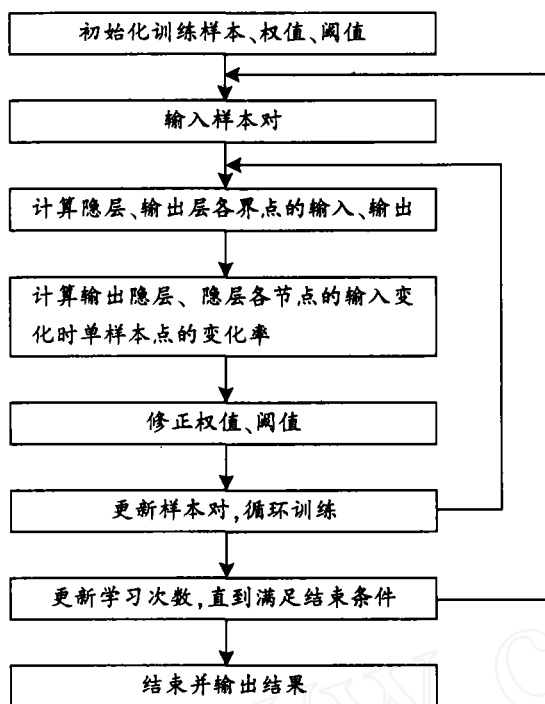


图 1 神经网络算法流程图

表 2 预测结果及误差比较(部分)

日期	气温(℃)		节假日因素 (星期)	实际用水量 (m ³)	BP法		改进 BP 法(m ³)	
	最高	最低			预测量(m ³)	误差(%)	预测量(m ³)	误差(%)
1	30	22	一	15 618.8	16 121.3	3.8	15 882.7	1.7
2	32	23	二	18 450.3	17 968.2	2.6	17 999.3	2.6
3	33	25	三	19 889.2	19 546.2	1.7	19 925.2	0.2
4	33	22	四	19 882.7	19 794.2	0.4	19 769.1	0.6
5	31	23	五	17 302.5	17 854.3	3.2	17 193.5	0.6
6	32	20	六	10 117.5	11 056.2	9.2	10 521.2	4.0
7	33	21	日	19 908.0	19 458.2	2.2	20 001.7	0.5
8	32	19	一	16 576.1	17 158.9	3.3	16 987.2	2.5
9	32	24	二	18 157.1	18 457.4	1.7	18 111.1	0.3
10	34	24	三	20 943.3	21 378.6	2.1	20 556.7	1.8
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
23	33	25	二	20 533.4	21 134.5	2.9	20 345.2	0.9
24	29	22	三	17 324.7	18 002.3	3.9	17 696.5	2.1
25	30	21	四	17 575.2	17 856.2	1.6	17 444.4	0.7
26	29	20	五	16 867.7	17 082.3	1.3	16 831.5	0.2
27	30	21	六	10 653.7	10 335.8	3.0	10 112.3	5.0
28	35	23	日	24 620.9	23 987.2	2.6	24 450.4	0.7
29	35	20	一	22 227.0	23 145.1	4.1	22 514.2	1.3
30	32	21	二	21 419.5	21 987.0	2.6	22 014.0	2.8
31	30	19	三	16 876.5	17 532.8	3.9	17 102.5	1.3

给水管网水力建模实例分析

同济大学环境科学与工程学院 鲁旭

华东交通大学土木学院 董祯恭

上海市卢湾区环境保护局 王磊

摘 要 给水管网水力模型是自来水公司信息化建设的关键技术。该文介绍了国内 3 个城市的自来水公司进行给水管网水力建模的情况,并分析了各自的特点及实际应用效果。

关键词: 信息化 给水管网 水力模型

1 前言

近年来,给水企业的信息化管理迅速发展,国内很多自来水公司已经开始建立给水管网信息系统,对给水管网进行信息管理和辅助决策。给水管网的动态水力模型是管网信息系统的基础。动态水力模型的建立,是利用管网模型软件对给水管网系统建立数学模型,并进行规划设计计算和运行状态的动态模拟,分析、评价管网规划设计的合理程度及运行规律。本文就国内 3 个地区给水管网水力建模的情况和各自的应用效果作一介绍。

2 概况

2.1 项目基础资料

F 市位于我国南方,该市的自来水公司日供水能力 100 万 t。公司信息技术基础较好、管理手段先进:拥有自来水营业收费数据计算机管理系统、供水管网地理信息系统(GIS)、管网压力分布实时采集和监测系统(SCADA)、公司网站、办公网站及 20 多个管理信息系统(MIS)。

P 市为我国东部的新兴城市。该市自来水公司的服务人口 171 万(截止至 2001 年),共有 6 座水厂,日

供水能力 107 万 t。拥有 SCADA 系统等信息化基础。

B 市为老城市,该市自来水公司有 4 座水厂,日供水能力为 118 万 t。没有 GIS 等现代化的信息管理系统。由于自来水管网漏损较严重,因此,希望能借水力模型辅助进行信息化管理,同时达到控制漏损的效果。

2.2 建模软件的基本要求及选择

给水管网水力建模软件的功能要求:①能支持多种操作平台与多种输入输出设备,且人机界面友好;②贴近工程实际,可计算无限个管网节点,且速度快、占内存少(15 000 个节点管网模型要求内存不能超过 35M);③有良好的计算数据输入、输出、模拟计算以及成果表达效果。目前,国内外主要的供水管网模拟软件见表 1。

经从技术、经济、服务质量等方面综合比较后,这 3 个自来水公司都选用了国内的同济宏扬 HY-Model 软件。

2.3 模型规模

3 个城市的供水管网模型规模见表 2。

2.4 模型系统及数据结构

给水管网水力模型系统软件的基本结构如图 1。

水力动态模型的给水管网信息系统数据库结构如图 2。

参考文献

- [1] 金菊良,丁晶. 遗传算法及其在水科学中的应用. 成都:四川大学出版社,2000,68~88.
- [2] 周明,孙树栋. 遗传算法原理及应用. 北京:国防工业出版社,1999,78~89.

- [3] 袁一星,张杰. 城市用水量中长期预测模型的研究. 给水排水,2004,30(6):102~105.

- [4] 俞峰,陶建科. 城市给水系统时用水量预测方法的探讨. 城市公用事业,2003,17(6):23~26.

(收稿日期:2005-04-01)