

电力系统负荷预测的加速基因方法

许世刚，索丽生

(河海大学水利水电工程学院，江苏 南京 210098)

摘要 将改进的基因算法应用于某省电力系统负荷预测，取得了十分满意的效果，并与灰色预测方法进行了比较，证明用基因方法预测是优越的。
关键词 电力系统；负荷预测；加速基因算法；GM(1,1)
中图分类号：TM714 文献标识码：A 文章编号：1000-198X(2001)02-0104-03

国民经济的发展是一个多层次、多因素协调作用的巨系统，特定的电力系统的年负荷是该区域国民经济系统发展的一个综合信息。预报未来时间内年用电量指标，对电力系统调度等具有很高的参考价值。70 年代以来，国内外对电力系统的负荷预报进行了广泛的研究。文献 [1] 应用灰色信息预测理论对某电力系统的年用电量时间数据序列进行了数据处理，并建立了电力系统年用电量预测的数学模型；文献 [2] 把分段最优 GM(1,1) 模型应用于长期电力需求预测，取得了一定的效果。

灰色建模的基本思路是：对非负时间序列 $\{x(k)\}$ ，通过累加生成数列 $\{x^{(1)}(k)\}$ ，其中 $x^{(1)}(1) = x(1)$ ， $x^{(1)}(k+1) = x^{(1)}(k) + x(k+1)$ ， $k = 1, 2, \dots, n-1$ 。用微分方程 $\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} + ax^{(1)}(t) = b$ 来拟合。拟合的方法是将此方程对离散时刻 $k = 1, 2, \dots, n$ 差分化，得一近似线性方程组，计算最小二乘估计 $\hat{a}, \hat{b}$ 。由此得生成数列 $\{x^{(1)}(k)\}$ 的 GM(1,1) 模型：

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x(k) - \hat{b}/\hat{a})e^{-\hat{a}k} + \hat{b}/\hat{a} \tag{1}$$

再累减还原得原始数列 $\{x(k)\}$ 的 GM(1,1) 模型 $\{\hat{x}(k)\}$ ：

$$\hat{x}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \quad \hat{x}^{(1)}(1) = x(1) \tag{2}$$

利用 $\{\hat{x}(k)\}$ 描述实际数列 $\{x(k)\}$ 动态发展的变化规律，进行短、中、长期预测。

灰色预测方法存在一定的局限性，仅适用于原始数据非负、符合或基本符合指数规律变化且变化速度不是很快的场合^[3]，所以有时结果不尽人意。

基因算法 (Genetic Algorithm, 简称 GA) 是解决已知模型结构和观测数据，进行模型参数优化设计问题的通用方法。它不限制模型的结构形式、最优化准则形式、被估参数数目、有无约束。基因方法最初由美国 J. H. Holland 教授 1975 年提出^[4]。80 年代中后期研究进入高潮，在辅助建模、参数识别、系统规划、辅助控制设计等方面得到了广泛的应用，它仅用目标函数在概率规则引导下进行并行多峰全局自适应优化搜索，是一种先进的优化方法，日益得到工程界的重视。本文研究将基因方法应用于电力系统负荷预测。

1 加速基因方法机理

1.1 基因算法的基本步骤

设模型参数优化准则为 $\min f$ ，

$$f = \sum_{i=1}^m |Y(c_1, c_2, \dots, c_k, x_i) - y_i|^\alpha \tag{3}$$

式中： $\{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ —— k 个模型参数； $\{x_i, y_i\}$ —— m 对输入、输出观测数据； α ——任意实常数。

步 1 模型参数编码。设码长为 l ，把模型中每个参数的取值范围等分成 $2^l - 1$ 个子区间，于是模型参数

收稿日期：1999-10-12
作者简介：许世刚(1969—)，男，江苏灌南人，博士研究生，主要从事水电系统优化规划及动能经济研究。

的取值范围被离散成 $(2^l)^k$ 个参数网格点,称每个网格点为一个个体,它对应模型 k 个参数的一种可能取值状态,用 k 个 l 位二进制表示.

- 步 2 生成父代个体.从 $(2^l)^k$ 个网格中随机地选取 n 个个体作为初始父代.
- 步 3 适应性评价.把 n 个个体分别代入式(1), f_i 越小表示适应能力越强.
- 步 4 选择.把父代个体按 f_i 从小到大排序,排序后最前面的 nb 个为优秀个体.构造与 f_i 成反比的函数 p_i ,满足 $p_i > 0$, $p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1$,从这些父代个体中以概率 p_i 选择第 i 个个体,共选取两组各 n 个个体.
- 步 5 杂交.由上面两组个体两两配对成为 n 对双亲,将每对双亲的二进制数的任意一段值互换,得到两组子代个体.
- 步 6 变异.任取上步中的一组子代个体,将它们的随机两位值依概率(变异率 ca)进行翻转(即 $1 \rightarrow 0$ 或 $0 \rightarrow 1$).
- 步 7 迭代.以上得到的子代作为新的父代,转步 3,重新进行评价、选择、杂交和变异,使优秀个体逐步逼近最优点.

以上 7 步构成经典基因算法.经典的 GA 应用中存在以下几方面问题:收敛速度慢,计算量大;易出现“早熟”现象,解的精度受编码长度控制,参数设置尚无好的准则指导,如果实际模型参数取值范围很大或参数较多时,上述情况突出,应用 GA 十分困难.

1.2 加速基因算法原理

经验表明,进化迭代两次已充分发挥基因算法的寻优功能.加速基因算法^[5](Accelerated Genetic Algorithm,简称 AGA)的基本思想是把迭代两次后形成的优秀个体的参数变化区间作为基因方法被估参数的新的变化区间,重新运行基因算法.对最优化准则越敏感的参数的优秀个体的变化区间缩小得越快,从而使算法以较快速度寻优.如此加速循环,时间复杂度大大降低.

2 加速基因方法在电力系统负荷预测中的应用

系统年用电量指标与各层次、各因素相互作用,但准确描述这个定量关系是不可能的,而年用电量时间序列中的这些数据本身就是这些层次、因素互相作用,补充促进以及排斥抵消的结果.所以,不必去研究这些影响因素之间的相互关系,而从年用电量时间序列本身挖掘有用信息,建立适当的模型,并以此作为人工信息源.

为便于比较,引用文献[1]的资料:某省 1978 年用电量数据为 124 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,1979~1985 年用电量数据如表 1 所示.通过初步分析,此年用电量增长基本符合指数规律,建立简化模型 $\hat{X}(t) = c_1 e^{c_2(t-1)}$.用 AGA 优化

表 1 某省用电量实测数据和计算结果

模 型		年 份						
		1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
GM(1,1)	模型值/(亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$)	110.53	118.26	126.56	135.43	144.94	155.13	165.97
	绝对误差/(亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$)	0.47	0.74	0.44	0.57	1.06	2.87	2.03
	相对误差/%	0.423	0.622	0.346	0.419	0.726	1.816	1.208
式(4)	模型值/(亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$)	111.00	118.87	127.30	136.33	146.00	156.35	167.44
	绝对误差/(亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$)	0.0	0.13	0.3	0.33	0.0	1.65	0.56
	相对误差/%	0.0	0.109	-0.236	-0.242	0.0	1.04	0.333
式(5)	模型值/(亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$)	110.62	118.67	127.32	136.59	146.54	157.22	168.67
	绝对误差/(亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$)	0.38	0.33	0.32	0.59	0.54	0.78	0.67
	相对误差/%	0.342	0.277	-0.251	-0.433	-0.369	0.493	-0.398
AGA	模型值/(亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$)	110.53	118.62	127.29	136.60	146.59	157.31	168.82
	绝对误差/(亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$)	0.47	0.38	0.29	0.60	0.59	0.69	0.82
	相对误差/%	0.423	0.319	-0.228	-0.441	-0.404	0.436	-0.488
实 测 值/(亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$)		111	119	127	136	146	158	168

指数模型参数 m 取 500, l 取 10, ca 取 0.8, nb 取 20,加速 60 次.优化准则分别采用残差绝对值和、残差平方和、残差绝对值立方和,对应于式(3)中 $\alpha = 1, 2, 3$,分别记为式(4)(5)(6).参数优化后模型如下:

$$\tilde{X}(t)=103.6491e^{0.0685(t-1)}\qquad\qquad\qquad\alpha=1\qquad\qquad\qquad(4)$$

$$\tilde{X}(t)=103.1051e^{0.0703(t-1)}\qquad\qquad\qquad\alpha=2\qquad\qquad\qquad(5)$$

$$\tilde{X}(t)=103.0041e^{0.075(t-1)}\qquad\qquad\qquad\alpha=3\qquad\qquad\qquad(6)$$

文献 1 采用灰色预测 GM(1,1) ,用 1978 ~ 1984 年数据建立的时间函数为

$$\tilde{X}_{t+1}^{(1)}=1575.35e^{0.0678t}-1451$$

由此得到灰色预测模型为

$$\tilde{X}(t)=103.268e^{0.0678(t-1)}\qquad\qquad\qquad(7)$$

$t=2$ 均对应于 1979 年 ,由此得两模型的拟合和预测结果见表 1(1979 ~ 1984 年为拟合年 ,1985 年为预测年) .

两种算法的拟合标准差、拟合平均绝对相对误差、预测绝对相对误差见表 2 .

从表中不难看出 ,AGA 预测精度明显优于 GM(1,1) 模型的预测精度 ,且实测点落在拟合曲线两侧比较均匀 ,拟合效果好 .即使原数据列是由指数曲线离散得到 ,应用 GM(1,1) 模型时仍会导致一定的误差^[2] .

用 GA 虽然也能得到与用 AGA 相近的结果 ,但收敛极慢 ,AGA 的效率明显高于 GA .

3 结 论

计算结果表明 ,加速基因方法用于电力系统负荷预测是成功的 .该法简便实用 ,对模型结构、优化准则等不作限制 ,这是灰色预测方法无法做到的 .加速基因方法通用性强 ,在其它的工程优化计算中有广阔的应用前景 .

参考文献 :

[1] 刘广吉 ,罗高荣 .应用灰色系统预测理论建立年用电量预报方程[J] .系统工程理论与实践 ,1986 (3) :38 ~ 41 .
[2] 陈章潮 ,熊岗 .应用灰色系统原理进行长期电力需求预测[J] .系统工程 ,1994 ,1(2) :67 ~ 71 .
[3] 吉培荣 ,胡翔勇 ,熊冬青 ,等 .对灰色预测模型的分析与评价[J] .水电能源科学 ,1999 ,17(2) :42 ~ 44 .
[4] Holland J H .Adaptation in natural and artificial system[M] .Michigan :The University of Michigan Press ,1975 .1 ~ 146 .
[5] 金菊良 ,杨晓华 ,储开凤 ,等 .基因算法的应用及改进[J] .河海大学学报 ,1998 ,26(2) :75 ~ 79 .

表 2 计算结果比较

Table 2 Comparison of calculated results

项目	GM(1,1) 模型	AGA 模型		
		式(4)	式(5)	式(6)
拟合标准差	1.33213	0.69827	0.51856	0.52192
拟合绝对平均 相对误差 /%	0.7253	0.2720	0.3630	0.3760
预测绝对相 对误差 /%	1.2083	0.3314	0.4043	0.4904

Accelerated Genetic Algorithm Used to Load Forecasting for Power Systems

XU Shi-gang ,SUO Li-sheng

(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering , Hohai Univ. , Nanjing 210098 ,China)

Abstract Genetic Algorithm(GA) is a kind of adaptive , heuristic , probabilistic and iterated searching algorithm. An improved GA is applied to load forecasting for the power system of a province ,and satisfactory results are obtained. A comparison of the calculated result with that from the gray prediction model indicates that the forecast with GA is satisfying.

Key words power system ;load forecasting ;Accelerated Genetic Algorithm(AGA) ;GM(1,1)