

文章编号:1007-6492(1999)02-0054-03

基于进化规划的电力负荷预测

廖晓辉,秦毅男,杨丽徙,姜和恭

(郑州工业大学电气信息工程学院,河南 郑州 450002)

摘要:讨论了模拟进化优化方法中的进化规划(EP)在电力负荷预测中的应用问题,在基因编码、适应度函数和变异量取值方面进行了研究,引入了优化组合预测模型,进一步拓展了进化规划在电力系统中的应用前景。经实例计算表明,该方法不仅克服了梯度寻优可能陷于局部最优解或在接近最优解时难以收敛的缺点,也省去了常规方法大量、复杂、繁琐的计算,具有全局寻优、并行处理特性、通用性好、稳定性强等优点,因而是行之有效的。

关键词:进化规划;负荷预测;组合预测

中图分类号: TM 751 **文献标识码:** A

进化规划(EP: Evolutionary Programming)方法是应用于电网规划的一种新的优化方法,它与遗传算法(GA: Genetic Algorithm)一样,是模拟进化优化方法的一个分支,同属于随机优化方法。EP是由美国学者 L. J. Fogel 在本世纪 60 年代提出的^[1],但直到 80 年代初期才得到普遍认同。最近几年来,有关 EP 在电力系统中的应用研究工作进展很快^[2]。EP 根据优胜劣汰的原则进行搜索和优化,避免了常规数学优化方法所存在的诸如局部最优、约束条件和目标函数不易处理等问题,为电力系统规划开辟了一条新的途径。

1 进化规划

1.1 基本思想

EP 在原理上与 GA 相似^[3,4],均为对生物的进化过程进行仿真。EP 将生物界中“优胜劣汰”规律引入到工程实际中,可以解决目标函数或约束条件不可微的复杂的非线性优化问题。在具体实现时,EP 与 GA 则有两个方面的差别:

(1) 在基因编码方面:EP 中,问题的解仍用数字串表示,但不象传统的 GA 那样要对变量进行二进制编码和解码,EP 中数字串表示方式是依据解的形式来确定的。

(2) 在遗传操作方面:GA 主要通过交叉运算来模拟两代之间的遗传继承(即染色体继承),而

EP 不采用交叉算子,它仅通过变异操作来维持两代之间的行为联系。

1.2 基本步骤

EP 模拟生物进化过程,通过变异、竞争、选择算子的作用,得到优化结果。其过程可归结为:

(1) 编码:将问题的解用数字串表示,编码方式根据所求解的形式来确定,每个码对应于一个变量。

(2) 初始化:对每个变量在其取值范围内随机取一值赋给相应的串码,形成一个初始解,如此重复 n 次,形成初始解群。

(3) 变异:对当前解群中每个个体进行变异操作,产生子个体。操作是对串中的每个码加一个变异量,变异量的大小采用高斯分布,表现为

$$x' = x + \delta (\delta \sim N(0, \sigma^2))$$

其中: x' , x 分别表示子代及父代中的个体;变异量 δ 取均值为 0, 方差为 σ^2 , 式中 σ^2 可根据该个体的适应函数数值来确定。

(4) 统计:计算子个体的适合度函数值。适合度函数值与所求解的目标函数和约束有关,视具体优化问题的模型而定。

(5) 竞争:利用两两竞争的选择方法选出新一代解群。

(6) 重复(3), (4), (5) 过程,直到获得满意解或达到给定的迭代次数。

收稿日期:1998-12-01;修订日期:1999-02-19

作者简介:廖晓辉(1972-),女,湖北省孝感市人,郑州工业大学硕士研究生。

2 组合预测模型

电力负荷预测是电网规划决策的前提和基础,预测的准确与否直接关系到能否为用户提供安全优质的电力供应以及能否保证系统运行的经济性.因此,寻求合适的负荷预报模型及方法以期最大限度地提高预报精度具有重要意义.为了获得较满意的预测结果,采用组合预测模型.

2.1 基本原理

组合预测方法是对同一预测问题,将多个不同预测模型有机地组合在一起,综合各个模型的优点,以期有效地改善模型的拟合能力,提高预测的精度.

假设在某一预测问题中,某一时段的实际值为 y_t ($t=1,2,\dots,n$),而对该问题有 m 种预测方法,其中利用第 i 种方法对 t 时段的预测值为 f_{it} ($i=1,2,\dots,m$),相应的预测误差为 $e_{it}=y_t-f_{it}$.如果各种预测方法的加权系数为 w_i ($i=1,2,\dots,m$),满足 $\sum_{i=1}^m w_i=1$,则组合预测模型表示为

$$\hat{y}_t = \sum_{i=1}^m w_i f_{it} \quad (t=1,2,\dots,n), \quad (1)$$

或写成 $\hat{\mathbf{Y}} = \mathbf{F}\mathbf{W}$, (2)

其中: $\hat{\mathbf{Y}} = [\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_n]^T$;

$$\mathbf{F} = [f_{it}]_{n \times m};$$

$$\mathbf{W} = [w_1, w_2, \dots, w_m]^T.$$

组合预测方法的关键在于怎样确定组合加权系数.在进行组合预测时,总是希望加权向量 \mathbf{W} 的选择应使误差 e_i 越小越好,为此引进范数性能指标 $J = \min J = \left(\sum_{t=1}^n |e_t|^p \right)^{1/p}$,如果以此绝对误差 e_t 为优化标准,则优化组合问题变成以下条件

的极值问题

$$\begin{cases} \min J = \left(\sum_{t=1}^n |e_t|^p \right)^{1/p}, \\ y_t - \sum_{i=1}^m w_i f_{it} = e_t, \\ \sum_{i=1}^m w_i = 1, \\ w_i \geq 0. \end{cases} \quad (3)$$

2.2 优化求解

(1) 将各模型的组合加权系数作为控制变量,进行基因编码,随机形成初始解群 $X_i = [w_1, w_2, \dots, w_m]$ ($i=1,2,\dots,n$); $w_i \in [w_i^{\min}, w_i^{\max}]$.在形成初始解群以及进行变异操作时应考虑控制变量的约束条件.

(2) 以绝对误差 e_t 最小为优化标准,将 J 作为适合度函数,取范数 $P=2$,计算出每个个体的适应值,并统计出最大、最小适应值 J_{\max} 和 J_{\min} .

(3) 变异操作中,变异量 δ 的大小采用高斯分布,高斯分布的方差 σ^2 的取值直接影响到最终解.本文引入了一种经验计算式,即

$$\sigma_i^2 = \beta(w_j^{\max} - w_j^{\min}) \frac{J_i}{J_{\max}}, \quad (4)$$

其中: β 是变异尺度,在 0 到 1 之间取值; w_j^{\max} 和 w_j^{\min} 是第 j 个元素的上、下限; J_i 为第 i 个个体的适应值; J_{\max} 为旧群体中适应值的最大值.

3 算例

针对河南省某市电力负荷的历史数据,首先应用了线性回归分析等 6 种单个模型进行负荷预测,得到相应历史年份对该市供电量和最大负荷的拟合值见表 1,对公元 2000 年的预测值见表 2.

表 1 负荷历史数据和各模型拟合值

类 型	1993		1994		1995		1996	
	供电量 /MWh	负荷 /MW	供电量 /MWh	负荷 /MW	供电量 /MWh	负荷 /MW	供电量 /MWh	负荷 /MW
历史数据	3.802	11.459	5.233	15.755	4.625	13.373	4.984	14.678
线性回归分析法	4.220	12.733	4.514	13.459	4.808	14.184	5.102	14.910
指数曲线拟合法	4.173	12.586	4.471	13.334	4.790	14.127	5.131	14.967
幂级数曲线拟合法	4.034	12.197	4.547	13.520	4.878	14.359	5.126	14.986
Logistic 曲线拟合法	3.909	11.822	4.619	13.695	4.950	14.523	5.084	14.881
对数曲线拟合法	4.071	12.319	4.586	13.630	4.887	14.396	5.100	14.940
一阶灰色模型预测法	3.802	11.459	5.076	15.182	4.946	14.599	4.819	14.038

在以上负荷预测模型的基础上,建立优化组合预测模型.其中,应用于供电量预测和最大负荷

预测的权系数计算结果见表 3,对公元 2000 年的预测值见表 2,表 4 中给出了各种模型的误差平

方和. 结果表明, 组合预测模型的误差要小于任何单个预测模型的误差.

表2 2000年负荷预测值

预测模型	权系数	
	对供电量	对最大负荷
线性回归分析法	0.001	0.094
指数曲线拟合法	0.356	0.131
幂级数曲线拟合法	0.075	0.481
Logistic 曲线拟合法	0.324	0.001
对数曲线拟合法	0.182	0.236
一阶灰色模型预测法	0.061	0.057

表3 单个模型的权系数

预测模型	误差平方和	
	对供电量	对最大负荷
线性回归分析法	7.39	76.98
指数曲线拟合法	7.67	78.81
幂级数曲线拟合法	6.09	66.97
Logistic 曲线拟合法	5.04	58.66
对数曲线拟合法	5.73	64.56
一阶灰色模型预测法	1.55	22.64
优化组合模型预测法	1.23	10.58

表4 各模型误差平方和

预测模型	误差平方和	
	对供电量	对最大负荷
线性回归分析法	7.39	76.98
指数曲线拟合法	7.67	78.81
幂级数曲线拟合法	6.09	66.97
Logistic 曲线拟合法	5.04	58.66
对数曲线拟合法	5.73	64.56
一阶灰色模型预测法	1.55	22.64
优化组合模型预测法	1.23	10.58

4 结论

(1) 基于 EP 的组合预测模型简单直观, 在电力系统规划中具有广泛的应用前景.

(2) EP 以适应值为依据, 通过变异、竞争、选择等操作, 不仅在每次迭代过程中都能保留一群较好的候选解, 也能在可行解空间有效地产生新的解, 从而克服了常规优化方法中梯度寻优可能陷于局部最优解或在接近最优解时难以收敛的缺点, 也省去了常规方法大量、复杂、繁琐的计算.

(3) EP 具有并行处理特性, 易于并行实现, 而且通用性好、稳定性强.

(4) EP 是框架性的优化方法, 对于适应值和约束条件没有严格的限制, 求解的问题可以是非线性的和不连续的, 许多问题可以灵活处理, 为用户提供了广泛的发挥余地.

参考文献

- [1] FOGEL L J, OWERS A J, WALSH M J. Artificial Intelligence Through Simulated Evolution [M]. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- [2] LAI L L, MA J T. Applications of evolutionary programming to reactive power planning - comparison with non-linear programming approach [A]. IEEE Power Winter Meeting [C]. New York: John Wiley & Sons, 1996. 96.
- [3] 文福栓, 韩祯祥. 模拟进化方法在电力系统中的应用综述 [J]. 电力系统自动化, 1996, 20(1): 59-62.
- [4] 陈根社, 陈新海. 遗传算法的研究与进展 [J]. 信息与控制, 1994, 23(4): 215-222.
- [5] 王应明, 傅国伟. 基于不同误差准则和范数的组合预测方法研究 [J]. 控制与决策, 1994, 9(1): 20-28.

Load Forecasting Based on Evolutionary Programming

LIAO Xiao-hui, QIN Yi-nan, YANG Li-xi, LOU He-gong

(College of Electrical & Information Engineering, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: This paper describes an application of evolutionary programming (EP) to power load forecast. Some technical problems (representation of candidate solutions, evaluation function, mutation operator) are studied; the combined forecasting method is introduced. All these will expand the application of EP in the power system. The result of a practical example demonstrate that this method not only overcomes the local optimization and the difficulties of convergence in general optimization method, but also reduces a large amount of complex calculations. This method has some other advantages of parallel disposal characteristics, versatility and stability.

Key words: evolutionary programming; load forecast; combined forecasting