

遗传算法在供水系统优化调度中的应用

李 梅, 梁慧冰

(广东工业大学 电气工程及自动化系, 广东 广州 510090)

摘要: 首先介绍了遗传算法的原理、步骤, 继而将其用于求解一个实际的供水系统优化调度问题, 取得了良好的结果.

关键词: 遗传算法; 供水系统; 优化调度

中图分类号: TP18

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2000)01-0033-04

城市供水管网系统的优化调度就是根据供水管网系统中检测仪器所获得的系统实时运行状况, 确定今后一个调度期中各时间区间内各种调节装置的运行状况, 在保证系统服务质量的前提下, 使供水费用最低^[1]. 因此供水系统优化调度问题的核心就是求解一个单目标优化问题.

由于供水系统优化调度的费用函数是非线性的, 所以将目标函数分段线性化, 然后用目前比较成熟的线性优化方法对其求解, 难以得到令人满意的准确结果. 而采用非线性优化方法虽可保证得到局部最优解, 但由于费用函数的复杂性, 一般又难以确保所得到的解是全局最优解. 所以不论是线性优化还是非线性优化方法都难以完全满足求解这类问题的技术要求, 因此寻求更好的优化算法是供水系统优化调度中的一个主要内容, 具有重要的理论意义和实用价值.

1 遗传算法(GA)

遗传算法(Genetic Algorithms, 简称 GA) 是基于达尔文的自然选择原理的一种通用搜索算法. 其基本思想是: 系统由一个群体(population)组成, 群体由一组染色体(chromosome)组成, 染色体是一个知识结构, 常用串(string)表示. 每个染色体表示所求解问题的一个可能解. 群体通过竞争和受控变异不断进化, 从而求得越来越好的解. 遗传算法的优越性在于它能以一种高效率的方式得到许多模式的可用性, 使搜索集中在有高适应度个体的区域, 而知识库却分布在整个状态空间, 全局性很好. 遗传算法在优化计算、搜索和人工智能方面有着成功的应用潜力. 近年来, 在国外得到了较广泛的应用, 国内在这方面的理论研究和实际应用还处于起步阶段^[2~4].

GA 的最大特点在于其演算简单, 只是复制数字串、交换部分数字串, 或改变数字串中的某一位. 它有 3 种演算: 复制(Reproduction)、交叉(Crossover)和变异(Mutation)^[5].

复制就是根据目标函数值决定的概率简单地照抄同样的数字串. 交叉是指对一对数字串 A 和 B, 按指定的地方进行交换而产生一对新的数字串 A' 和 B'. 变异像一种保险, 使 GA 更有效地寻找到全局最优解. 通过变异与交叉, GA 比起梯度下降法来说, 表现出了更好的特性^[6]. GA 的算法过程实现如下:

(1) 编码

用有限长的数字串来表示参数. 一般用一定字节数的 0、1 二进制码对自变量进行编码形成

收稿日期: 1999-03-10

作者简介: 李梅(1973), 女, 96 级研究生. 主要研究方向: 微机智能控制.

基因码链, 每一码链代表一个个体, 表示优化问题的一个解。

(2) 产生初始种群

$t = 0$ 时, 随机产生 n 条基因码链组成一个初始种群 $P(0)$ 。该种群代表优化问题的一些可能解的集合, 一般而言, 第一代群体素质都比较差。GA 的任务就是要从这一初始种群出发, 模拟进化过程, 择优去劣, 最后得出优秀的群体和个体, 满足优化的要求。

(3) 复制

按编码规则, 将群体 $P(t)$ 中的每一个体的基因码所对应的字变量取值代入目标函数表达式, 计算出目标函数值。按一定概率从群体 $P(t)$ 中选取 M 对个体, 被复制下来, 作为双亲用于繁殖后代。一般每个个体被选中的概率与目标函数值成反比, 即目标函数值越小越适合于生存环境的优良个体将有越多的繁殖后代的机会, 从而使优良性状得以遗传。

(4) 交叉

首先将复制的数字串任意配对, 然后分别对每对进行交叉操作。最简单的交叉方法是随机地选取一个截断点, 将双亲的基因码链在截断点切开, 然后交换其尾部。

(5) 变异

首先根据给定的变异概率随机选取若干个体。一般而言, 给定变异概率都很小, 一般取 $0 \sim 0.05$ 。对于选中的个体, 随机选取某一位进行取反运算, 即由 $1 \rightarrow 0$ 或由 $0 \rightarrow 1$ 。

(6) 由以上的 (3) 到 (5) 产生了新一代种群后, 对新一代进行评价, 即对每个数字串解码, 并求出目标函数值。

(7) 重复上述的步骤, 直到最优个体的适应度达到某一既定值或最优个体的适应度和种群的平均适应度不再提高, 则迭代过程终止, 计算结束。

2. 遗传算法供水系统优化调度中的应用

2.1 供水系统优化调度的数学模型

供水系统优化调度问题就是在管网系统的结构和参数、系统负荷已知的条件下, 在保证系统服务质量的前提下, 确定各供水泵站的供水流量和各节点压力, 使系统运行最经济。其数学模型表达如下:

$$\min \left\{ f = \sum_{i \in X} [v_i u_i + r_i u_i (p_i - ph_i)] \right\}, \quad (1)$$

$$u_i - Q_i - \sum_{j \in I_i} S_{ij} \operatorname{sgn}(p_i - p_j) |p_i - p_j|^{1/a} = 0, \quad i = 1, \dots, n-1, \quad (2)$$

式中, X 为供水管网系统中供水泵站所在节点标号的集合; u_i 为在第 i 个节点的供水泵站在某时间区间的供水流量; p_i 为第 i 个节点供水压力; v_i 为进入第 i 个供水泵站的水成本价格, 它由取水泵站的电能消耗费用、水处理费用等因素决定:

$$p_i \geq p_i^{\min} \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

$$u_i^{\min} \leq u_i \leq u_i^{\max} \quad i \in X, \quad (4)$$

$$\sum_{i \in X} u_i = \sum_{i=1}^n Q_i. \quad (5)$$

r_i 为考虑泵站运行效率的单位转换系数; ph_i 为在节点 i 的供水泵站入水口的地面标高; Q_i 为第 i 个节点的需水量, 它由历史数据和预测决定; $p_i^{\min}$ 为根据系统服务质量的要求所确定的第 i 个

压力的下限值; $u_i^{\max}$ 和 $u_i^{\min}$ 分他别为第 i 个供水泵站供水流量的上限值和下限值.

2.2 用 GA 求解供水系统的优化调度问题

应用前述的 GA 求解一个具体的供水管网系统优化调度问题, 管网结构图如图 1 所示. 服务质量要求自由水头将水能直接供应到 16m 的高度. 各种管道的参数标在图 1 中, 所有管道的粗糙度均为 0.013. 节点 6 和节点 7 为供水泵站所在节点. 各节点的需水量和地面标高列在表 1 中. 目标函数、约束条件中的系数列在表 2 中.

表 1 各节点的需水量和地面标高

节点号	1	2	3	4	5	6	7
需水量/($\text{s} \cdot \text{m}^{-3}$)	0.70	0.35	0.75	0.20	0.70	0.00	0.00
地面标高/m	3.2	4.0	3.8	3.8	3.2	4.5	4.5

表 2 目标函数、约束条件中的系数

序 号	节点号	V^i	R^i	$u_i^{\max}/(\text{s} \cdot \text{m}^{-3})$	$u_i^{\min}/(\text{s} \cdot \text{m}^{-3})$
1	6	0.1	0.1	2.00	0.00
2	7	0.1	0.1	2.00	0.00

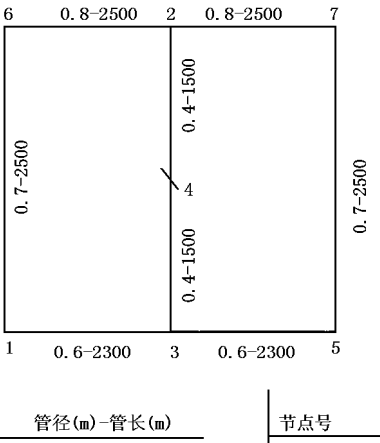


图 1 某供水管网系统结构图

具体的求解步骤如下:

①确定编码方式. 模型中共有 2 个决策变量, 其中 1 个可以利用约束条件(5) 式由另 1 个求得, 所以按照一个决策变量来计算. 由约束条件(4) 可知, 因此可用一个 20 位的二进制串表示一个变量, 即一个解. 这样在区间 $[0, 2]$ 中, 我们可得 $2^{20} = 1048576$ 个离散点, 每个点的取值为

$$0 \leq u \leq 2,$$

$$X_j = \frac{1}{1048576 - 1}(j - 1) \quad j = 1, 2, \dots, 1048576.$$

我们的任务就是要求出这个由 1048576 个解组成的解空间中的最优解.

② $t = 0$ 时, 随机产生包括100个染色体的初始种群. 具体方法为先产生20个0, 1随机数, 然后将这20个随机数组成一个二进制串, 如此产生100个这样的二进制串.

③对100个染色体进行解码, 然后代入目标函数 f 求出各自的目标函数值.

④选出50对染色体进行复制.

⑤进行交叉, 生产100个新染色体. 具体方法为首先随机产生截断的位数, 然后两两交换该位之后的二进制串.

⑥以概率 $p = 0.02$ 从100个新染色体中选取2条染色体进行变异操作. 具体方法为首先随机产生变异的是哪两个数字串, 然后再随机产生需要变异的是哪一位, 最后进行取反运算即可.

⑦ $t = t + 1$ 时, 转第③步. 并将函数值与原有目标函数值进行比较, 若平均值的差值小于 10^{-8} , 而且新解与原解相同时, 则转第⑧步, 否则转第④步.

⑧得出最优解, 计算终止.

在586DX-166微机上, 经过3次迭带计算耗时50s, 得出最优解示于表3, 与文献[1] 所介绍的方法求得的解(列于表3) 相比, 目标函数值减小了1.5414万元, 即减小了20.87%, 可见, 用该

方法所求得的最优解优于传统方法所得来的最优解.

表 3 最优调度方案

节 点 号	传统方法所得的最优解			遗传算法所得的最优解		
	供水流量 $/(\text{s}\cdot\text{m}^{-3})$	供水压力 $/\text{m}$	目标函数 值 / 万元	供水流量 $/(\text{s}\cdot\text{m}^{-3})$	供水压力 $/\text{m}$	目标函数 值 / 万元
6	1.35	30.86	7.3872	1.7161	16.000	5.8458
7	1.35	30.86		0.9839	25.281	

3 结束语

综上所述,用遗传算法解供水系统的优化调度问题得到的结果是令人满意的,这说明遗传算法总体上来说是一种比较好的搜索算法.它快速、准确、全局收敛,而且不用对原问题作过多的分析处理,具有很高的适应性和很强的鲁棒性.但它也存在一些缺点,主要是提前收敛即早熟问题,即在尚未达到全局最优解时,进化过程就已陷入停滞状态.因此要使用此方法投入实际动
用中,还需进一步探索、研究.

参考文献:

[1] 仲伟俊.城市供水系统的计算机调度与设计[M].南京:东南大学出版社,1995.91~125.
[2] 罗永平,陈恩红,蔡庆生.用遗传算法解调度问题[A].第三届中国人工智能联合学术会议论文集[C]:466~471.
[3] 李卉翎,熊范纶,李森.遗传算法及它在灌溉优化问题中的应用[A].第三届中国人工智能联合学术会议论文集[C]:561~565.
[4] 刘首文,冯尚友.遗传算法及其在水污染控制系统规划中的应用[J].武汉水利电力大学学报,29(4):95~99.
[5] 赵振宇,徐用懋.模糊理论和神经网络的基础与应用[M].北京:清华大学出版社,1996.110~112.
[6] Michael Mcinmey,Atam p. Dhawn, Use of Genetic Algorithm with Back Propagation in Training of Feed- Foreword Neural Networks [M], San IEEE Intern ational lonference on Neuarl Network Francisco, 1993. 103~208.

The Application of Genetic Algorithm to the
Optimal Dispatch of Water Supply System

LI Mei, LIANG Hui-bing

(Dept. of Electric Engineering and Automation, GDUT, Guangzhou 510090, China)

Abstract:The principle of Genetic Algorithm was first introduced, and then applied to a practical water supply system optimal dispatch.Good result was achieved.

Key words:genetic algorithms;water supply system; optimal dispatch