

文章编号:1671-8844(2008)03-0082-05

基于面向对象技术的给水管网设计程序优化

张增荣, 刘遂庆, 信昆仑, 李树平

(同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092)

摘要:针对城市给水管网模型组成各部分的特点和相互之间的联系,基于面向对象的类层次关系进行优化设计程序的开发,将遗传算法作为一个假想类,与管网整体类及管网各要素类有机地融合在一起。所编制的应用程序包括数据输入输出模块、管网水力计算模块和遗传算法优化模块三部分。以我国沿海某新建开发区大型管网为实例,采用所编制的程序进行优化计算,结果表明,该程序可使给水管网年费用折算值降低,具有良好的实用效果。

关键词:面向对象;给水管网;优化;遗传算法;程序开发

中图分类号:TU 991 **文献标志码:**A

Programming development and application for optimum design of water distribution network based on object-oriented technology

ZHANG Zengrong, LIU Suiqing, XIN Kunlun, LI Shuping

(College of Environmental Science and Technology, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Based on the characteristics and connection among components of water supply network model, a set of object-oriented classes hierarchy is designed; they syncretize the genetic algorithms together with the whole network class and its components classes as an imaginary class. It is proposed that genetic algorithm can be applied to large-scale water supply network optimum design. Also, an application program is developed including data input and output modules, hydraulic calculation module and genetic algorithm optimization module. A new development zone's network in East China is optimized by the program as a case study; and the network's annualization of expense is reduced. Optimization results show that the program has a good practical effect.

Key words: object-oriented; water distribution network; optimum design; genetic algorithm; programming development

给水管网是城市给水系统的重要组成部分,是由不同材料的管道和附属设施(如水泵、水塔或水库、阀门等)构成的输配水网络。给水管网的投资一般占到整个系统投资的 60%~80%,因此给水管网的优化设计与运行对于我国实现建设成为资源节约型社会的奋斗目标具有非常重要的意义^[1]。

1 面向对象技术在程序设计中的体现

在软件工程中,面向对象(Object-Oriented,简

称 O-O)技术是一种分析问题和解决问题的新方法。与传统的结构化程序设计不同,该方法以类和类的实例化——对象为中心,面向对象的程序设计方法,以其方便性和高水平的软件质量而备受广大软件开发者的欢迎^[2,3]。

给水管网是规模大且复杂多变的网络系统,为便于规划、设计和运行管理,应将其简化和抽象为用图形、数据表达和分析的系统,称为给水管网模型^[1]。在给水管网模型中,真实管网简化和抽象为

收稿日期:2007-11-15

作者简介:张增荣(1982-),男,浙江宁波人,硕士研究生,主要从事给水排水工程设计及运行优化方面的研究。

连接(Link)和节点(Node)2类元素,并赋予工程属性.其中连接分为普通管线(Pipe)、水泵(Pump)和阀门(Valve)3种;节点分为用水节点(Junction)、水库(Reservoir)、水塔(Tank)等.按照面向对象的原理和给水管网模型各部分之间固有的联系,可以表示为如图1所示的类继承关系.

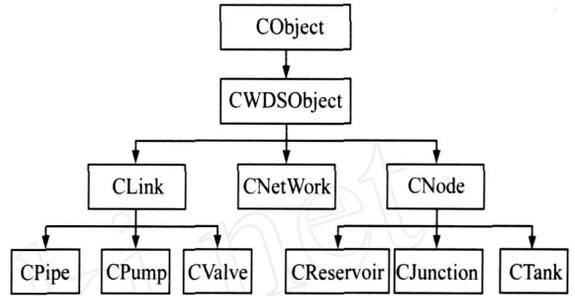


图1 模型各类的继承关系图

图1中 CObject 类是 MFC(Microsoft Foundation Classes,微软基础类库)提供的基类,主要提供类可识别性(Is KindOf)和可读写性(Is Serializable)^[4].

整个给水管网的类设计框架如表1~3所示.

表1 模型中节点类设计框架表

	节点	用水节点	蓄水池	水塔
属性	节点号:整型 是否压力已知:布尔型 节点流量:单精度型 邻接节点链表:节点型	节点用水量:单精度型	节点供水量:单精度型 蓄水容积:单精度型 蓄水深度:单精度型	节点供水量:单精度型 水塔容积:单精度型 水塔水位:单精度型
方法	节点流量设置() 节点流量获取() 邻接节点链表计算()	节点用水量设置() 节点用水量获取()	节点供水量设置() 节点供水量获取() 蓄水深度计算()	节点供水量设置() 节点供水量获取() 水塔水位计算()

表2 模型中连接类设计框架表

	连接	管段连接	水泵连接	阀门连接
属性	连接号:整型 流速:单精度型 水头损失:双精度型	长度:单精度型 直径:单精度型 粗糙系数:单精度型	泵效率:单精度型 泵流量:单精度型 泵出口压力:单精度型	阀门类型:整型 阀门状态:整型
方法	连接号设置() 连接号获取() 流速计算() 水头损失计算()	流速计算() 水头损失计算()	流速计算() 水泵流量计算() 水泵出口压力计算() 水泵水头损失计算()	阀状态设置() 阀门水头损失计算()

表3 模型中管网整体类设计框架表

	给水管网整体
属性	节点链表:节点型 连接链表:连接型 管网年费用总值:双精度型
方法	稀疏矩阵计算() 静态平差计算() 遗传算法优化() 管网年费用总值计算()

2 优化设计方法概述

给水管网优化设计可以认为是在管网布置、连接关系及连通性、用水节点处最低允许压力已定的

情况下,将所有管道的管径作为1组决策变量,求解使整个管网的投资年费用(主要是管道造价和泵站的运行费用)最省^[5]:

$$Obj: \min f(D_1, D_2, \dots, D_n) = \min \left[\left(\frac{1}{T} + p \right) \sum_{i=1}^n c(D_i, L_i) + \sum_{j=1}^m P_j \times Q_j \times H_j \right] \quad (1)$$

$$ST \begin{cases} Q_{in} - Q_{out} = Q_e \\ h_f - E_p = 0 \\ h_f = 10.67 \times \frac{q_i^{1.852}}{C_i^{1.852} D_i^{4.87}} \times L_i \\ H_j \geq H_j^{\min}, j = 1, 2, \dots, M \end{cases} \quad (2)$$

式中: T 为管网投资回收期; p 为管网年折旧和大修费占管网造价的比例, %; D_i 为第 i 条管段的管径; L_i 为第 i 条管段的管长; n 为管网中管段的数目; m 为管网中泵站个数; $c(D_i, L_i)$ 为第 i 条管段的造价公式, $c(D_i, L_i) = (a + bD_i) \times L_i$; a, b 为管道造价公式中的参数; Q_{in} 为流入节点的管段流量; Q_{out} 为从该节点流出的管段流量; Q_e 为外部入流或是节点处的用水量; h_f 为水头损失, 此处采用海曾-威廉公式计算; q_i 为第 i 条管段的流量; C_i 为第 i 条管段的阻力系数; E_p 为水泵输入的能量; H_j 为节点 j 处的自由水头; H_j^{min} 为节点 j 处允许的最低自由水头; M 为管网中节点的个数; P_j 为泵站经济指标, $P_j = \frac{86\,000}{E} \times E$, 为泵站电费变化系数, 即泵站全年平均时电费与最大时电费的比率, E 为泵站最大时用电电价, η 为泵站最大时综合效率, Q_j 为泵站最大时扬水流量, H_j 为泵站最大时扬程, 计为泵站出口绝对压力与吸水井水位标高之差。

通常假设以上各节点处的流量均以流入节点为负, 流出节点为正。

显然, 管网优化设计是一个非线性、离散组合的优化问题, 而且随着管网规模的增大, 优化设计的复杂程度和难度都将大大增加, 属于 NP 复杂度问题^[5]。国内外的学者先后所用的显式枚举、隐式枚举(动态规划)、线性规划、非线性规划等方法, 各有特色, 但存在着各种各样的问题^[5,6]。

3 遗传算法简介

遗传算法是现代优化算法中的杰出代表, 其基本概念和优化机理见参考文献[7]。根据遗传算法相关知识, 结合面向对象的思想, 可设计出如表 4 所示的遗传算法类。

表 4 遗传算法类设计框架表

属性	方法
编码方式: 整型	种群初始化()
种群大小: 整型	选择操作()
进化代数: 整型	交叉操作()
惩罚系数: 长整型	变异操作()
个体适应度: 双精度型	适应度函数计算()
.....

将遗传算法类与给水管网组成的各个要素类以及管网整体类有机地融合在一起, 可提高程序的执行效率。

4 程序组成的各个模块简介

为满足功能上的要求, 给水管网优化设计软件主要采用以下模块: 数据输入输出模块、管网水力计算模块和遗传算法优化模块。管网水力计算模块和遗传算法优化模块是 2 个核心部分, 程序各模块的执行关系如图 2 所示。

4.1 输入输出模块

程序的输入输出均采用 txt 格式的文本文件, 共有 2 个输入文件——管网数据和遗传算法参数数据。管网的数据包括管网整体数据、节点数据、管段数据; 遗传算法参数数据包括种群大小、遗传代数、采用的交叉概率、突变概率等。输出文件为管网年费用值最小时所对应的设计结果。

4.2 管网水力计算模块

管网水力计算模块是本程序的核心部分之一, 水力计算采用节点水压法进行管网的水力分析。在求解管网水力计算的非线性方程组时, 采用高斯迭代法求解。每一步迭代过程中, 用牛顿-拉夫森方法将非线性方程组线性化, 再直接求解。每一步求解线性方程组时, 在系数矩阵进行乔列斯基分解后进行一维变带宽存储, 大大加快了水力计算速度。

4.3 遗传算法优化模块

遗传算法采用整数编码和二进制编码 2 种方法, 采用轮盘赌选择、单点交叉和均匀变异的方式进行。

1) 目标函数

如式(1)所示, 目标函数采用的是管网造价与泵运行费用之和的年折算值。

2) 罚函数

当个体对应的管径经过水力计算后, 节点的水头不满足最低允许水头时, 需要加上一个惩罚项, 以降低该个体的适应度。惩罚项表示为

$$p \times \{\max\{\max(H_j^{min} - H_j, 0)\}\} \quad (3)$$

式中: p 为惩罚系数。

惩罚系数的作用在于将节点水压的不满足程度折算成与管网造价费用处于同一数量级的水平上, 以体现惩罚项对最终适应度的影响。所以, 该系数应随着管网规模的增大而增大。如果节点的水头均满足最低允许水头要求, 则惩罚项为 0。

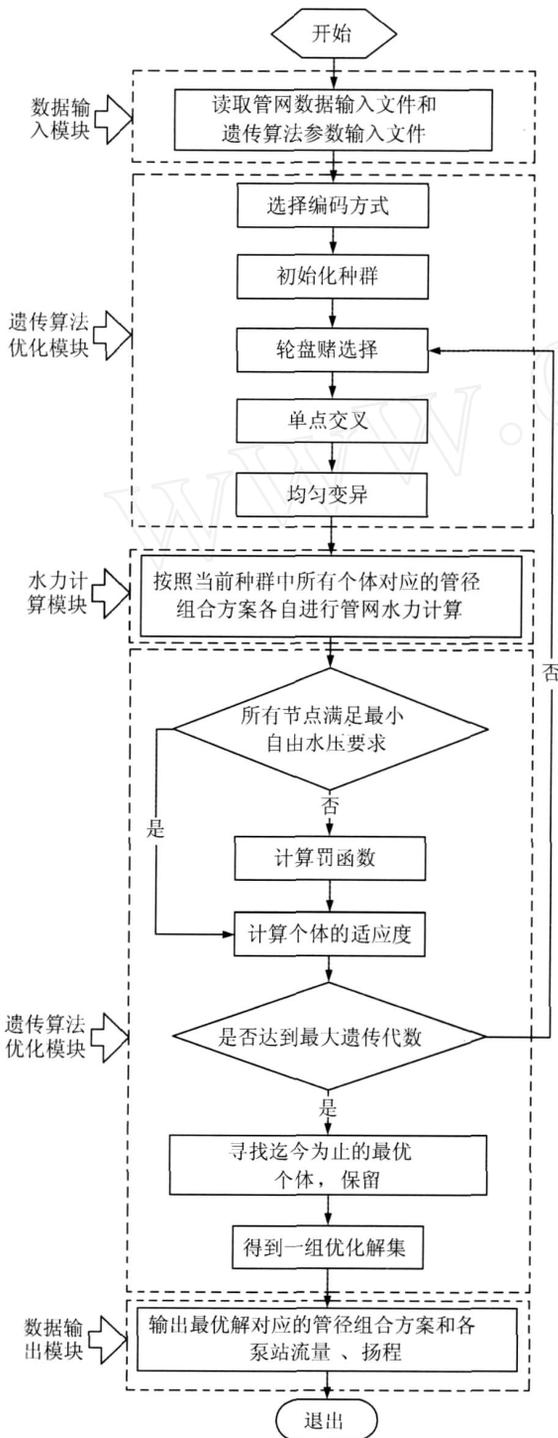


图 2 程序各模块之间的执行流程图

3) 适应度函数

适应度函数的作用在于衡量一个个体(一个管径组合方案)的可行性,适应度越大,该方案的可行性也就越大.本文采取的适应度函数 F 为目标函数和罚函数两者之和的倒数,即

$$F = 1 / [(\frac{1}{T} + p) \sum_{i=1}^n c(D_i, L_i) + \sum_{j=1}^m P_j \times Q_j \times H_j] + p \times \{ \max_j [\max(H_j^{min} - H_j, 0)] \} \quad (4)$$

5 工程实例

以沿海某新建开发区的管网为例,如图 3 所示,对本程序的功能进行测试.开发区由处于北部和东部的 2 座水厂同时供水,管网最高时用水量 47.8 万 t/d,二泵站吸水井水位标高均为 -4.2 m,管网中共有管线 183 条,节点 113 个.设计方案中,采取控制点自由压力为 28 m.该城市所在地的管道造价公式参数及其他相关参数如下所示: $T = 12$ a, $p = 3$, $a = 75.0$, $b = 3\,540.789$, $\alpha = 1.796\,1$, $H_j^{min} = 28$ m, $\beta = 0.40$, $E = 0.48$ 元/(kW·h), $\gamma = 0.76$,水头损失采用海曾-威廉公式计算, C 值取 100.经采用开发的程序进行水力计算,得到该管网的管道造价为 1.82 亿元,年运行费用 596.14 万元,两者折成年费用约为 2 658.81 万元.

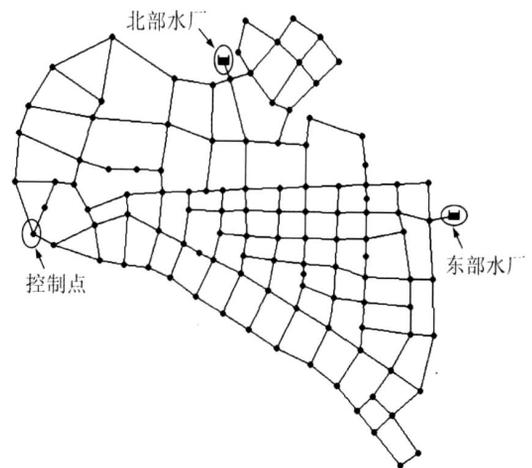


图 3 沿海某新建开发区管网示意图

本文采用整数编码的遗传算法,各项参数如下:种群大小 1 000,进化代数 800,交叉概率 0.55,变异概率 0.01.为了充分发挥罚函数法的作用,达到既降低费用,又不至于使管网不满足约束条件的目的,经过不断调试,惩罚因子 p 取为 310 000 (元/m).设计方案与遗传算法优化结果的对比关系见表 5.经与原设计方案比较,费用节省约 2.83%.最优解的进化过程见图 4.

表 5 现有设计方案与遗传算法优化结果对比表

项目	现有设计方案	经本程序优化方案
管道造价总和/ 亿元	1.82	1.59
泵站运行费用/(万元·a ⁻¹)	596.14	781.46
年费用折算值/(万元·a ⁻¹)	265 8.81	258 3.46
东部水厂供水压力/m	42.03	52.77
北部水厂供水压力/m	46.28	62.92

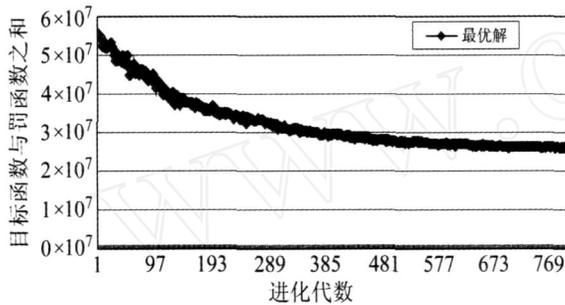


图 4 最优解的进化过程示意图

6 结 论

利用面向对象的设计思想,对给水管网中涉及各类节点、管段以及整个管网进行了类的详细设计,直观且形象地表达了给水管网各要素以及它们之间的联系。在类设计的基础上,经程序编制,实现各个类模块的功能。

遗传算法作为一种人工智能优化算法,可应用

于大型新建管网的优化设计计算。本文设计了遗传算法的类并予以程序实现,将其与已有的给水管网各要素类及整个管网类有机地融合在一起,实现了新建给水管网优化设计的目标。将其应用于沿海某新建开发区管网,优化计算结果表明,开发的给水管网优化设计程序具有一定的实用价值和应用前景。

参考文献:

- [1] 严熙世,刘遂庆. 给水排水管网系统[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [2] 赵冬泉,贾海峰,程声通. 面向对象技术在城市排水管网设计中的应用[J]. 中国给水排水,2003,6(19):82-85.
- [3] 杜雷. 面向对象技术在室外供热管网水力计算中的应用[J]. 中国科技信息,2005,2(20):97-98.
- [4] 候俊杰. 深入浅出 MFC[M]. 第 2 版. 武汉:华中科技大学出版社,2001.
- [5] Savic D A, Walters G A. Cost savings on large water distribution systems: design through genetic algorithm optimization[J]. ASCE,2000,123(2):67-78.
- [6] 伊学农,任群,王国华,等. 给水排水管网工程设计优化与运行管理[M]. 北京:化学工业出版社,2007.
- [7] 王小平,曹立明. 遗传算法——理论、应用与软件实现[M]. 西安:西安交通大学出版社,2002.

(上接第 76 页)

- [2] 周振红,任慧,杜丽平. Fortran DLL 组件集成到 NET 平台(一)[J]. 武汉大学学报(工学版),2005,38(4):100-103.
- [3] 周振红,毕苏萍,张成才. Fortran COM 组件集成到 NET 平台(二)[J]. 武汉大学学报(工学版),2006,39(6):51-54.
- [4] 周振红,颜国红,吴虹娟. Fortran 与 Visual C++ 混合编程研究[J]. 武汉大学学报(工学版),2001,34(2):84-87.
- [5] 徐林春,赵明登,董汉毅. Fortran 与 VB 混合编程及

其在流动数值模拟可视化技术中的应用[J]. 武汉大学学报(工学版),2004,37(2):21-24.

- [6] 任慧,周振红,张成才. Fortran 与 C/C++ 的混合编译[J]. 计算机工程与设计,2007,28(17):4096-4098,4111.
- [7] 周振红,郭恒亮,张君静,等. Fortran 90/95 高级程序设计[M]. 郑州:黄河水利出版社,2005.
- [8] 赵体芳. 在数据采集控件的事件触发中运用安全数组[J]. 工业控制计算机,2003,16(10):39-40.