

基于遗传算法的计算机通信网的拓扑优化设计^{*}

Optimal Design of a Computer Communication Network Based on Genetic Algorithms

陈国龙

(福州大学计算机科学与技术系 福州350002)

Abstract The optimal design of a computer communication network belongs to NP-complete problem. It's hard to get the global solution using the traditional algorithm. Genetic algorithms are a natural evolution-based heuristic search method, which have been successfully applied to a variety of problems. The difficulties in using the algorithm are how a particular problem is to be modeled to fit into the genetic algorithm framework, and how the operators (selection, crossover, mutation) work due to the code strings. In this paper, authors establish a model for optimal design of networks, which is maximization of network reliability subject to a given cost constraint, and offer a corresponding modified genetic algorithms. Two examples are provided. The numerical results show the algorithm given in this paper has an idea solution speed and can get the optimal solution easily, and is also feasible to large scale problems.

Keywords Genetic algorithms (GAs), Network design, Network reliability

1 引言

设计计算机通信网的一个基本要求是网络全局有效性,即连通概率。从网络角度,连通概率指的是网络至少简单连通^[1]。其除依赖于各计算机系统和通信能力外,主要依赖于通信链路的拓扑设计^[2]。对一个给定计算机通信网的最大全局可靠性的网络拓扑优化设计,人们已提出许多启发式算法^[3-6,10],但这些算法并未给出精确解。本文采用遗传算法进行设计,成功地解决了这类问题。

2 数学模型

本文研究的问题是在允许的费用条件下求获得最大全局可靠性的网络优化拓扑。其数学描述如下:

$$\text{maximize } R_n = f(R_1, R_2, \dots, R_n) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

S. t.

$$\sum_{i=1}^n x_i (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{im}) = 11 \dots 1,$$

$$\delta(x) \geq m-1, (\text{连通约束})$$

$$\sum_{i=1}^n c_i x_i \leq C_n (\text{费用约束})$$

其中目标函数 R_n 是网络全局可靠性,其完全依赖于网络拓扑,其对应表达式可通过文[7]获得; m, n 分别是节点数和链路数; $R_i (i=1, 2, \dots, n)$ 是各链路的可靠性; C_i, C_n 分别是各链路的费用和总费用; $(y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{im})$ 是对应于第 i 条链路(记为 L_i)的二进制串。若 L_i 相连于节点 V_p 和 V_q , 则 $y_{ip}=1, y_{iq}=1$, 同时 $y_{ij}=0, \forall j \neq p \neq q$ 。 x_i 与 L_i 相对应,取值为0或者1,且 $x_i (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{im}) = (x_i, y_{i1}) (x_i, y_{i2}) \dots (x_i, y_{im})$; $\delta(x)$ 为向量 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 中非零元素的个数。

3 遗传算法的实现

本文针对计算机通信网的拓扑优化设计的特点和性质,构造出相应的遗传算法和算法实现有关策略。

3.1 编码

计算机通信网的拓扑设计涉及的是两个节点间连接的表示,因而此类问题与染色体之间的编码和解码是非常方便的即采用二进制策略。具体做法是:首先把各待选链路按其两端节点号自然排序,然后按此顺序将每条待选链路作为染色体中的一个基因。当基因值为1时,表示其相应的待选链路被选中加入了网络;否则反之。因此染色体的长度应等于待选链路数,每一染色体则表示一种拓扑设计方案。

3.2 染色体满足连通性过程

计算机通信网的拓扑设计的首要条件是连通,因而我们在构造染色体时对遗传算法过程中得到的每一个染色体进行连通性检查,其过程如下:

若获得的染色体满足 $\sum_{i=1}^n x_i (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{im}) = 11 \dots 1, \delta(x) \geq m-1$, 则返回 true 否则返回 false。

3.3 适应度函数

适应度函数应能反映优化目标和约束情况,为此,将适应度函数定义为

$$F(X) = f(X) + \lambda (C_n - \sum_{i=1}^n c_i x_i), \text{ 其中 } \lambda \text{ 为罚因子。}$$

3.4 选择操作

遗传算法的交叉操作需要选择两个个体进行组合操作。选择个体时按以下概率进行^[8]。

$$p_i = F_i / (\sum_{j=1}^M F_j) > 0$$

具体操作过程:将区间 $I = [0, 1)$ 分成 M (种群规模) 个子区间,每个子区间对应一个个体。 $X_1 \Leftrightarrow I_1 = [0, p_1), X_2 \Leftrightarrow I_2 = [p_1, p_1 + p_2), \dots, X_M \Leftrightarrow I_M = [1 - p_M, 1)$ 。然后产生两个随机数 p_1, p_2 , 其对应的子区间确定个体的选取。

3.5 控制参数的自适应调整

为防止遗传算法的早熟收敛和加快搜索速度,本文采用 M. Strinvas^[9] 的策略即通过根据种群的进化情况来动态调整交叉概率 P_c 和变异概率 P_m 。具体确定过程如下:设 F_{max} 为某

^{*} 基金项目:福建省教育厅科技项目(编号:JA01008)。陈国龙 副教授,博士,主要研究方向为计算机网络,算法设计分析。

$$\sum_{i=1}^{30} x_i (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{im}) = 11 \dots 1$$

together with $\delta(x) \geq 19$,

$$\sum_{i=1}^{30} c_i x_i \leq 596$$

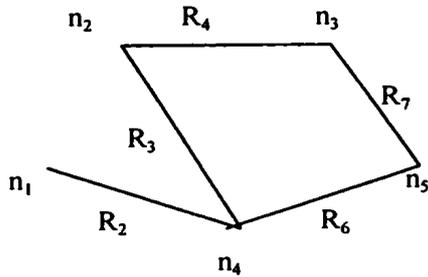


图2 图1的最优拓扑结构

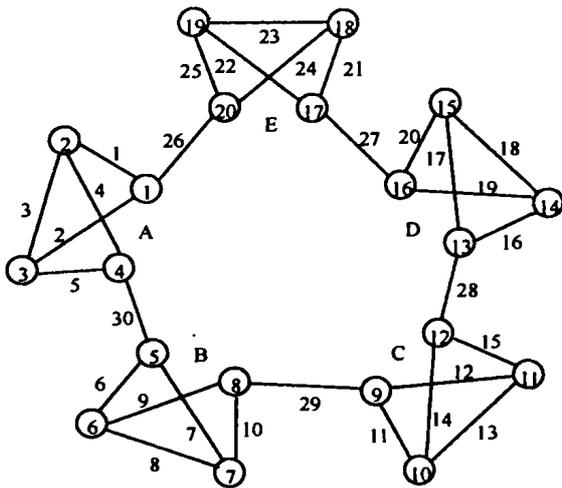


图3 G(20,30)

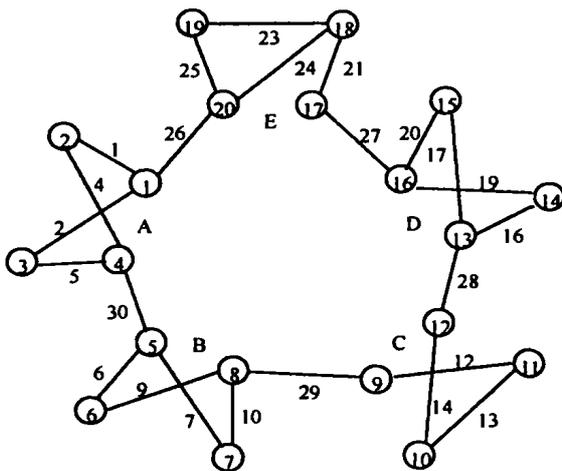


图4 图3的最优拓扑结构

算例2中参数 C_i 值见图3, $R(i) = 0.95$, 最优值 $R_s = 0.919081$ 。

例1和例2的多次实验表明, 相同情况下(初始群体中没有预期的最优解), 采用传统遗传算法, 最优解大约在50代左右出现, 而且出现的代数较为分散; 而采用本文给出的遗传算法, 最优解集中在15代左右出现, 而且出现在50代以内的最为频繁。

对于规模较大算例2, 在相同代价约束条件采用本文算法运行时间比文[10]算法快10倍, 而且文[10]算法具有针对性, 本文算法具有通用性。

结论 本文首先建立计算机通信网的拓扑优化设计的统一数学模型, 其次设计出解此类问题的遗传算法和相应策略。算例结果表明, 本文给出算法能有效地解决此类问题, 且能用于解决一般0-1规划问题, 因而其有很强的推广价值。

参考文献

- 1 Vratka L, Montanari U G. Synthesis of available networks. IEEE Trans. Reliab., 1976, 25: 81~87
- 2 Wilkov R S. Design of Computer Networks Based on a New Reliability Measure. In: Proc. of the Symposium on Computer Communication Network and Teletraffic, 1972. 371~384
- 3 Aggarwal K K, Chopra Y C, Bajwa J S. Topological layout of links for optimizing the S-T reliability in a computer communication system. Micro-electron. Reliab., 1982, 22: 341~345
- 4 Aggarwal K K, Chopra Y C, Bajwa J S J. Topological layout of links for optimizing the overall reliability in a computer communication system. Micro-electron. Reliab., 1982, 22: 347~351
- 5 Sharma U, Misra K B, Bhattacharji A K. Application of an efficient search technique for optimal design of a computer communication network. Micro-electron. Reliab., 1991, 31: 337~341
- 6 Sharma U, Misra K B. Optimization of CCNs: exact and heuristic approaches. Micro-electron. Reliab., 1990, 30: 43~49
- 7 Chen Guo-long, Zhang De-yun, Wang Xiao-dong. An algorithm for Reliability evaluation of communication networks. MINI-MICRO SYSTEM, 2000, 21: 1248~1251
- 8 Chen Guo-long, Cai Jin-ding. On the use of GAs in determining global optimization. Journal of Fuzhou University, 1999, 27: 21~24
- 9 Srinivas M, Patnaik L. Adaptive probabilities of crossover and mutation in genetic algorithm. IEEE Trans. on Systems, 1994, 24: 656~666
- 10 Jan Rong-hong, Hwang Fung-jen, Sheng-tzong. Topological Optimization of a communication Network Subject to a reliability Constraint. IEEE Trans. Reliab., 1993, 42: 63~70