用双种群混合遗传算法求解最优 QoS 划分问题

来卫国[1],李 鸥[1],季中恒[2]
LAI Wei-guo[1],LI Ou[1],JI Zhong-heng[2]

1.解放军信息工程大学 信息工程学院 通信工程系,郑州 450002
2.解放军信息工程大学 国家数字交换系统工程技术研究中心,郑州 450002
1.Communication Engineering Department,Information Engineering University of PLA,Zhengzhou 450002,China
2.National Digital Switching System Engineering & Technological Research Center,Information Engineering University of PLA,Zhengzhou 450002,China
E-mail:laiwg@163.com

LAI Wei-guo,LI Ou,JI Zhong-heng.Dual subpopulations hybrid genetic algorithm for optimal QoS partition problem. Computer Engineering and Applications,2008,44(3):161-163.

Abstract: When ISPs adopt performance dependent cost mechanism,optimal QoS partition will become a key method to optimize network resources and lower the communication cost.Present a dual subpopulations hybrid genetic algorithm for the optimal QoS partition problem(OPQ problem).This algorithm takes advantage of general genetic algorithm's global search ability and simulated annealing algorithm's local search ability.Two subpopulations evolve independently and exchange best chromosome in a periodic way.Simulation results have showed its efficiency.

Key words: performance dependent cost;QoS partition;hybrid genetic algorithm;simulated annealing

摘 要:在取决于性能的价格机制下,最优 QoS 划分用于沿路由路径最优化地分配 QoS 参数值,以使得通信总费用最小。提出了求解最优 QoS 划分问题(OPQ 问题)的双种群混合遗传算法。该算法充分利用了遗传算法的全局搜索优势和模拟退火算法的局部搜索优势,并且两个相互独立的子群体周期性的交流最优染色体,进一步提高了性能。仿真结果表明了该算法的有效性。

关键词:基于性能代价;QoS 划分;混合遗传算法;模拟退火
文章编号:1002-8331(2008)03-0161-03 **文献标识码**:A **中图分类号**:TP393.01

1 引言

为了均衡网络流量与提高网络性能,网络运营商可以采用取决于性能的价格机制(performance dependent cost),即根据链路负载情况来动态确定链路的资费标准。当链路负载过大时,就提高价格,来降低对该链路的有效需求,反之则降低该链路的使用价格以吸引业务流量。这样,同样的 QoS 要求,在不同的时间,不同链路的资费标准可能不同。该机制要求客户应用程序在选择路由时应以最小化通信费用为优化目标或者作为主要优化目标之一。本文假设所有网络运营商采用依赖性能的定价机制。

文中 QoS 要求选定为路径时延。当某个端到端的实时业务的时延要求确定并且通信路径确定后,需要在沿路的各条链路上预定特定的时延参数值(即分配时延参数),来保证总路径的时延值小于给定的时延要求。最优 QoS 划分问题就是在时延要求和通信路径确定后,如何最优化的确定各条链路上分配的时延参数值,从而令使用该路径的总费用最小。

最优 QoS 划分问题最早由 Lorenz 和 Orda 提出[2-4]。Danny Raz 在文献[2]中证明最优 QoS 划分问题是 NP 难问题。文献[3]给出了求解单播最优 QoS 划分问题的贪婪算法和求解组播最优 QoS 划分问题的伪多项式时间算法和多项式时间算法。文献[4]提出了求解最优 QoS 划分问题的可扩展(scalable)的算法,该算法基于动态规划的分割和征服策略,并用预先计算来加速算法的运行。上述文献均没有给出具体的仿真实验。

混合遗传算法是遗传算法同其他的优化算法(例如禁忌搜索、模拟退火、神经网络等)的结合,它克服了基本遗传算法不能有效搜索局部最优解的缺点。多种群混合遗传算法是混合遗传算法的进一步改进,它使用多个独立的子群,不同子群体选用不同参数,因此具有不同的搜索优势。文献[5]首次提出了双种群遗传算法的概念,但是只是利用了 Boltzmann 接收准则来选择子代个体,并没有利用模拟退火算法进行局部最优解的搜索。本文提出了求解单播最优 QoS 划分问题的双种群混合遗传算法,并通过仿真证明了该算法的有效性。

基金项目:中国下一代互联网示范项目(the China Next Generation Internet(CNGI) under Grant No.CNGI-04-10-1D)。
作者简介:来卫国(1972-),男,工程师,博士研究生,研究方向为 QoS 路由、网络组播技术、网络优化研究;李鸥(1961-),男,博士生导师,研究方向为宽带通信网;季中恒(1971-),男,讲师,研究方向为网络通信。

2 相关概念

链路费用函数 $C_l(d_l)$:该链路在确保某个业务流量流经该链路时延不大于 d_l 时，对该业务单位带宽流量所要收取的费用。令 $C_l(d_l)=\frac{k_l}{BW_l\cdot d_l}$,其中 k_l 为该链路的费用系数,BW_l 为该链路的可用带宽。费用函数随可用带宽的变化而变化。

路径总费用 $C(p)$:该路径上各链路使用费用之和,即 $C(p)=A\cdot\sum_{l\in p}C(d_l)$,其中 A 为业务流量的带宽。

给定链路费用函数 $C_l(d_l)$,条通信路径 p 和端到端延迟要求 D,D 的可行 QoS 划分 d_p 是指对该路径上链路时延值的一种分配,该分配满足时延要求 D。即 $d_p=\{d_l\}_{l\in p}$ and $\sum_{l\in p}d_l\leqslant D$。

最优 QoS 划分:的所有可行 QoS 划分中,使得该路径的总费用最小的一个。

3 双种群混合遗传算法

该算法利用两个种群各自独立的进行混合遗传运算,并且种群间周期性交流最优解以提高进化效率。混合遗传运算在进化的每一代均使用模拟退火算法来进行邻域搜索。

3.1 染色体编码

用一条染色体代表一个 QoS 划分，染色体长度等于路径长度 L(包含链路数)。染色体基因对应于路径上的链路,基因值表示该链路分配的时延值。

3.2 适应度函数

染色体 i 的适应度函数用公式表示为:

$$fitness(i)=\begin{cases}\sum_{l=1}^{L}\frac{k_l}{BW_l\cdot d_l(i)}, & \sum_{l=1}^{L}d_l(i)-D\leqslant 0\\ \sum_{l=1}^{L}\frac{k_l}{BW_l\cdot d_l(i)}+10^3*(\sum_{l=1}^{L}d_l(i)-D), & \sum_{l=1}^{L}d_l(i)-D>0\end{cases}\quad(2)$$

其中,$d_l(i)$为在染色体 i 下链路 l 分配的时延值。由此公式可以看出:若该染色体对应于可行 QoS 划分,则适应度函数就是该染色体对应的路径总费用;否则适应度函数中还要加入惩罚项。

3.3 遗传算子

选择算子:使用轮盘赌算法,群体中任意一个个体被选中的几率为 $p(i)=\frac{fitness_{\max}-fitness(i)}{N\cdot fitness_{\max}-\sum_{j=1}^{N}fitness(j)}$,其中 $fit_{\max}$ 为当前群体的最大适应度值,N 为群体的规模。

交叉算子:选用单点交叉算子。随机选择交叉位置,交叉概率为 p_c。

变异算子:选用均匀变异算子。随机选择变异位置,将该位置基因替换为[1,D]间的任意一个整数,变异概率为。

3.4 算法步骤

双种群混合遗传算法如图 1 所示。

单步混合遗传运算如图 2 所示。

3.5 算法分析

由图 2 可知,单步混合遗传运算中模拟退火运算部分(图 2 第 1~10)的时间复杂度为。遗传运算部分(图 2 第 12~17)的选择算子、交叉算子和变异算子的时间复杂度均为,故该部分的时间复杂度为。综上,单步混合遗传运算的时间复杂度为,而双种群混合遗传算法的时间复杂度为。

```
输入:时延要求 D,路径长度 L,种群规模 N,初始温度 t01 和
t0B,进化代数 NG,
输出:最优染色体(即最优 QoS 划分)
初始化:产生两个规模为 N 的种群,其中染色体长度为 L,基因
值在[1,D]间随机产生;
g=0,tkA=t01,tkB=t0B;
while g<NG do
 for i=1 to 20
  对种群 A 进行单步混合遗传运算;
  对种群 B 进行单步混合遗传运算;
  g=g+1;
 end for
 //每进化 20 代,进行一次种群交流
 if 最优染色体在种群 A 中 then
  用最优染色体替换种群 B 中的最劣染色体;
else
  用该最优个体替换种群 A 中的最劣染色体;
end while
输出两种群中的最优染色体;
```

图 1 双种群遗传算法步骤

```
输入:种群 P
输出:种群 Q
1 for each 染色体 i in P
2 利用公式(3)计算 fitness(i);
3 for n=1 to SS //模拟退火运算
4 在 i 的邻域中随机选择一个染色体 j (将 i 的任意一个基因值变
化一个单位);
5 利用公式(3)计算 fitness(j);
6 计算接受概率 Aij(tk)=min{1,exp(-(fitness(j)-fitness(i))/tk)};
7 生成一个(0,1)间的随机数 rand;
8 if Aij(tk)>rand then i←j;//用 j 替换 i
9 end for
10 end for
11 Q←Ø
12 for n=1 to N/2 //遗传运算
13 使用选择算子从 P 中选出两个染色体 m,n;
14 以概率 pc 对 m,n 进行交叉运算,得到 m1,n1;
15 分别以概率 pm 对 m1,n1 进行变异运算,得到 m2,n2;
16 Q←Q∪{m2,n2};
17 end for
18 用 P 中最优染色体替换 Q 中的最差染色体//保优策略
19 tk+1=αtk;//更新当前温度
20 输出 Q
```

图 2 单步混合遗传运算伪码

定理 1 在种群规模足够大的前提下,DHGA 算法不劣于 HGA 算法。

证明 当种群规模足够大时，只替换种群中的最差染色体不会对种群的进化产生显著的影响,故以下证明中我们忽略单个染色体替换对算法性能的影响。分三种情况讨论:

(1)DHGA 算法运行中只发生单方向的染色体替换,不妨设最优染色体始终存在于种群 A 中，则种群 A 中的染色体没有被替换过,种群 A 的输出也就是 DHGA 算法的输出,此时的 DHGA 算法效果等同于只有种群 A 的 HGA 算法。

(2)DHGA 算法运行中的只发生了一次双向染色体替换,不妨设在第 i 步,最优染色体从 A 进入 B,在第 j 步的最优染色体 m 从 B 进入 A,此后,最优染色体始终存在于种群 A 中。若算法结束时最优染色体不是 m 的后代，即 m 的引入没有影响

表 1　三种算法的详细参数表

算法名称	群体规模 N	交叉概率 p_c	变异概率 p_m	进化代数 NG	初始温度 t_0	变温系数 α	内循环次数 SS
GA 算法	1 000	0.99	0.01	200	–	–	–
HGA 算法	40	0.99	0.01	200	10^4	0.9	100
DHGA 算法	60	0.99	0.01	200	$t_{0A}=10^4, t_{0B}=10^3$	0.9	100

种群 A 的进化，此时,DHGA 算法效果等同于只有种群 A 的 HGA 算法;若最优染色体为 m 的后代,也即 m 的引入导致了最优解的产生，此时具有种群交流的 DHGA 算法优于只有种群 A 的 HGA 算法。总之，在只发生一次双向染色体替换时，DHGA 算法不劣于 HGA 算法。

(3)DHGA 算法运行中发生了多次双向染色体替换,不妨设最终的最优染色体来自种群 A,则由(2)每次来自种群 B 的替换均使得 DHGA 算法效果不劣于 HGA 算法,多次替换的效果是单次替换效果的累积,故此时 DHGA 算法不劣于 HGA 算法。证毕。

4　仿真和结果分析

本文仿真程序用标准 C++语言编写,使用了由麻省理工大学 Matthew Wall 开发的遗传算法库[7],以及印第安那大学开发的 Boost C++库[8]中的 graph library 等库。仿真主机的配置为 2.66 GHz、P4CPU,512 MB 内存。操作系统为中文 Windows XP SP2。比较了三种遗传算法,分别为普通遗传算法、混合遗传算法和双种群混合遗传算法。各遗传算法的参数见表 1。另行用 LINGO 语言设计了求解 OPQ 问题精确解的动态规划算法(DP 算法),用以评价各遗传算法的性能。

仿真中令端到端路径时延限制 D=200，链路可用带宽在 $[1, BW_{max}]$间随机选取,BW_{max}=100,$k_i=D*BW_{max}$。首先研究了不同路径长度时各算法的性能。令路径长度从 3~22 递增,分别用三种遗传算法(每种算法重复 10 次取平均)和 DP 算法计算。由于遗传算法是启发式算法,故不能保证遗传算法收敛到全局最优解。令 DP 算法求得的最优解为 Opt_{DP},当遗传算法求得的解不大于 $1.05*Opt_{DP}$ 时,就认为遗传算法求解成功。

图 3 统计了三种遗传算法最优解不大于 $1.05*Opt_{DP}$ 的比例。由图 3 可以看出,GA 算法的比例最低,HGA 算法居中,而 DHGA 算法最高。这是因为 GA 算法不能有效搜索局部最优解,HGA 算法利用模拟退火来有效搜索局部最优解,故性能较 GA 算法好。而 DHGA 算法利用了初始温度相差 10 倍的种群独立进化,既保证了收敛速度,又保持了广阔的搜索空间,从而显著提高了遗传算法的性能。图 4 为三种算法的运行时间。HGA 算法和 DHGA 算法的种群规模与进化代数均远小于 GA 算法,故运行时间较短。

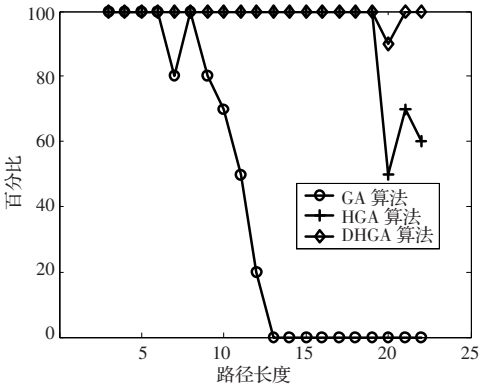

图 3　三种遗传算法最优解不大于 $1.05*Opt_{DP}$ 的比例

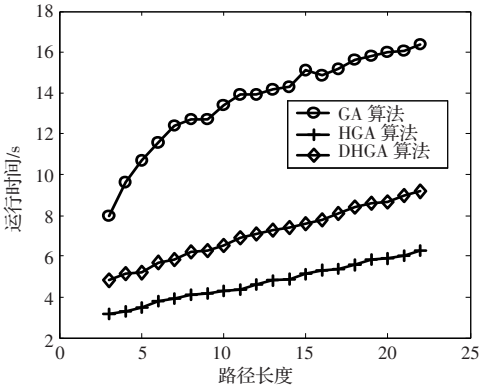

图 4　三种遗传算法的运行时间比较

5　结论

本文用双种群遗传算法实现了单播最优 QoS 划分问题的求解。仿真结果表明该算法的有效性。该算法参数较多且参数值的选取对算法性能有重要影响。如何通过仿真试验来确定各个参数取值并找到参数设置中的一些规律性的东西,期待研究的内容。(收稿日期:2007 年 8 月)

参考文献:

[1] Blake S,Black D,Carlson M,et al.IETF RFC 2362:an architecture for Differentiated Services[S],1998.

[2] Raz D,Shavitt Y.Optimal partition of QoS requirements with discrete cost functions[C]//Tel-Aviv,Israel:INFOCOM 2000,2000.

[3] Lorenz D H,Orda A.Optimal partition of QoS requirements on unicast paths and multicast trees [J].IEEE/ACM Transactions on Networking,2002,10(2):102-114.

[4] Orda A,Sprintson A.A scalable approach to the partition of QoS requirements in unicast and multicast[C]//IEEE Infocom'02,New York,2002:685-694.

[5] 陈品,刘三阳.基于双种群遗传策略的组播路由算法[J].电子与信息学报,2002,24(12):1761-1765.

[6] Lorenz D H,Orda A,Raz D,et al.Efficient QoS partition and routing of unicast and multicast[C]//IWQoS 2000,Pittsburgh,PA,2000:75-83.

[7] Wall M.GAlib[CP/OL].(2007-03).http://lancet.mit.edu/ga/dist/.

[8] boost.org.Boost c++ libraries[CP/OL].(2005-10).http://sourceforge.net/project/showfiles.php?group_id=7586.