

基于遗传算法的选播 QoS 路由算法研究

冯凌凌¹, 李陶深^{1,2}(1. 广西大学 计算机与电子信息学院, 广西南宁 530004;
2. 中南大学 信息科学与工程学院, 湖南长沙 410083)

摘要:针对选播的 QoS 路由选择问题, 提出了一种基于遗传算法的多约束选播路由优化算法。该算法在满足带宽、延时、时延抖动和包丢失率的条件下, 可寻找花费最小的路径。网络仿真实验证明: 该算法操作简单, 结果可行且有效。

关键词: QoS 路由选择; 选播; 遗传算法; 服务质量

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2006)12-0114-03

Research on Anycast Routing Algorithm Based on Genetic Algorithm

FENG Ling-ling¹, LI Tao-shen^{1,2}(1. School of Computer, Electronics and Information, Guangxi University, Nanning 530004, China;
2. School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Considering anycast QoS routing problem, a multi-QoS anycast routing algorithm based on genetic algorithm is proposed in this paper. This algorithm can find a path with the least cost in condition of satisfying bandwidth, delay, delay jitter and package loss constrained. The simulation results show that the algorithm is simple and has a better performance.

Key words: QoS routing; anycast; genetic algorithm; QoS

0 引言

选播(anycast)是 IPv6 中的一种标准通信模型。根据 RFC2373 中给出的定义^[1], 用户通过一个 anycast 地址就能访问到该地址所表示的一组服务器中对用户“最近”的一个。这种通信方式可以满足许多新兴的多媒体业务对网络服务质量(Quality of Service, QoS)提出的不同要求, 例如带宽、时延、时延抖动、可靠性、吞吐量等等。随着用户对网络服务质量的要求越来越高, 多 QoS 约束的路由选择问题受到越来越多的关注。

遗传算法是一种有效的启发式搜索算法, 具有鲁棒性强、并行搜索、群体寻优等特点, 已被广泛应用于解决 NP 完全问题。多约束的路由选择问题已被证明是 NP 完全问题^[2], 用遗传算法来解决是非常适合的。

从目前的选播技术研究情况来看, 选播 QoS 路由选择的研究才刚刚起步。文献[3]提出了利用遗传算法解决多个 QoS 约束的问题; 文献[4]提出了用遗传算法解决时延受限的算法; 文献[5]提出解决网络负载均衡的选播路由算法。这些算法都仅仅是用遗传算法与选播 QoS 路由

的简单结合, 存在着容易收敛于局部解的问题。为此, 文中采用可变长的染色体编码机制, 改进遗传算法的各种算子和利用自适应的适应函数, 提出了一种基于遗传算法的选播路由算法。

1 网络的模型描述

令网络图 $G = \langle V, E \rangle$, 其中 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 是 G 的结点集合, $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ 是 G 的链路集合。其中 $S \in V$ 代表源结点, $D(A) \in |V - \{S\}|$ 为选播目的结点集, R_+ 表示正实数集。对于任一链路 $e \in E$, 定义 3 种度量, 即延时函数 $\text{Delay}(e): E \rightarrow R_+$; 链路代价函数 $\text{Cost}(e): E \rightarrow R_+$; 延时抖动函数 $\text{Delay_Jitter}(e): E \rightarrow R_+$, 则对于给定的源结点 $S \in V$, 选播目的结点集 $D(A)$, 假设 path 是从源结点 S 到选播组 $D(A)$ 任一成员的一条路径, 符合多个 QoS 参数约束的路径必须同时满足以下各式:

$$\text{带宽约束: } \text{Bandwidth}(\text{path}) \geq \text{req-B} \quad (1)$$

$$\text{时延约束: } \text{Delay}(\text{path}) \leq \text{req-D} \quad (2)$$

$$\text{时延抖动约束: } \text{Delay_Jitter}(\text{path}) \leq \text{req-DJ} \quad (3)$$

$$\text{丢包约束: } \text{Pack_Loss}(\text{path}) \leq \text{req-PL} \quad (4)$$

多个 QoS 参数约束的选播路由算法的目标是: 找到从源结点到选播组成员的结点中满足上述条件且使 $\text{Cost}(\text{path})$ 最小的路径。

收稿日期: 2006-03-17

基金项目: 广西“新世纪百千万人才工程”专项基金项目(桂人字 2001213 号); 广西自然科学基金项目(桂科自 0229008)

作者简介: 冯凌凌(1981-), 女, 浙江人, 硕士研究生, 研究方向为网络路由算法、选播技术; 李陶深, 教授, 研究方向为计算机网络。

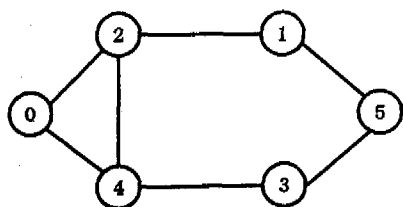
2 多约束 QoS 的遗传算法

2.1 遗传算法的编码方式

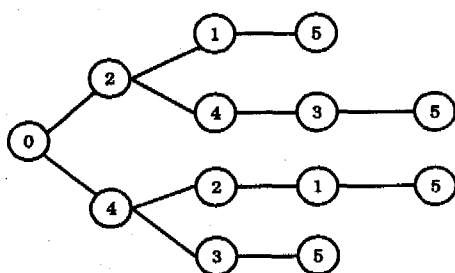
在标准的遗传算法中,如何将问题的解转换为编码表达的染色体是非常重要的。在本算法中,遗传算法的染色体采用基于路径的编码方式进行构造,它由一系列的自然数组成。这种编码方式使得遗传算法的交叉与变异操作只需要对结点序列进行简单的编码与解码过程。染色体的第一个位置总是源结点,中间是这条可行路径经过的结点序列,最后一个位置总是选播组中的任一个目的结点。染色体的长度是变化的,但是不会超过总的结点数目,否则说明在链路中有环路。文中的算法首先构造一种新型的网络搜索树,然后在此基础上进行遗传操作,这样产生的初始种群中的染色体都是可行路径。

下面以图 1(a)所示的网络拓扑图为例,说明网络搜索树的构造方法,其中 0 为源结点,5 为目的结点。构造过程大致如下:

- 1) 将源点 0 作为父结点,与结点 0 相邻的结点 2, 4 作为 0 的子结点构造树;
- 2) 再以结点 2 为父结点、结点 1 为子结点构造树;
- 3) 重复 1)和 2),就可以生成一棵以 0 为顶点的搜索树(如图 1(b)所示)。



(a) 网络拓扑图



(b) 网络搜索树

图 1 网络搜索树的构造示意图

由图 1(b)所示的网络搜索树,可生成 4 个染色体,分别为:0→2→1→5; 0→2→4→3→5; 0→4→2→1→5; 0→4→3→5。然后把这些路径编码形成的染色体存放在遗传算法编码空间的备选路径集中,作为编码空间。

2.2 适应度函数

由于遗传算法在进化搜索中基本不利用外部的信息,仅以适应函数为依据,利用种群中每个个体的适应值来进行搜索,因此适应函数直接影响到遗传算法的收敛速度以及能否找到全局最优解。为了克服选择中出现收敛到局部最优解的情况,可以对适应函数采用适度函数尺度变换

的方法解决,即设原适应度函数为 f ,变换后为 \bar{f} ,则线性变换可以用下式表示^[5]:

$$\bar{f} = \alpha * f + \beta \quad (5)$$

其中 $\alpha = \frac{f_{avg}}{f_{avg} - f_{min}}$, $\beta = \frac{-f_{min} * f_{avg}}{f_{avg} - f_{min}}$, f 为本算法的初始适应度,定义如下:

$$f(T) = f(A * f_d + B * f_{dj} + C * f_{pl}) \quad (6)$$

其中:

$$f_c = \epsilon / \cos(p)$$

$$f_d = \begin{cases} 1, \text{Delay}(\text{path}) \leq \text{req}_D \\ r_d, \text{Delay}(\text{path}) > \text{req}_D \end{cases} \quad (7)$$

$$f_{dj} = \begin{cases} 1, \text{Delay_Jitter}(\text{path}) \leq \text{req}_{DJ} \\ r_{dj}, \text{Delay_Jitter}(\text{path}) > \text{req}_{DJ} \end{cases} \quad (8)$$

$$f_{pl} = \begin{cases} 1, \text{Pack_Loss}(\text{path}) \leq \text{req}_{PL} \\ r_{pl}, \text{Pack_Loss}(\text{path}) > \text{req}_{PL} \end{cases} \quad (9)$$

这里, ϵ 是正实系数, A, B, C 分别是 f_d, f_{dj}, f_{pl} 的正加权系数,分别表示时延、时延抖动和包丢失率在适应度函数中所占的比重,值由系统根据具体的情况应用设定。 f_d 是时延的惩罚函数,当个体小于由网络搜索树中所得较好路径的时延时,其值为 1,否则为 r_d ($0 < r_d < 1$)。 f_{dj} 是时延抖动的惩罚函数,当个体小于由网络搜索树中所得较好路径的时延抖动时,其值为 1,否则为 r_{dj} ($0 < r_{dj} < 1$)。 f_{pl} 是包丢失率的惩罚函数,当个体小于由网络搜索树中所得较好路径的包丢失率时,其值为 1,否则为 r_{pl} ($0 < r_{pl} < 1$)。

2.3 初始种群的生成

初始种群主要是从备选路径集中选取其中的 POP-SIZE 条组成,其中 POPSIZE 为遗传算法所需的种群大小。具体要求是:对备选路径集中的路径中利用式(6)进行排序,选出其中值最好的 POPSIZE 条染色体,也即最好的 POPSIZE 条路径,这样得到的初始种群的起点“较高”,利于遗传算法的收敛。

2.4 选择操作

遗传算法利用选择操作来对个体进行优胜劣汰。本算法采用了最佳个体保留策略,其基本思想是:对群体中适应度高的个体不进行交叉而直接复制到下一代中。采用这种方法的优点是:进化过程中某一代的最优解可不被交叉和变异操作所破坏。如果产生相同的染色体,则只保留一个染色体,将其余的染色体删除,这个过程重复进行直至完成个体的选择。

2.5 交叉操作

交叉操作能提高遗传算法的搜索能力,在适当选择策略下,通过交叉操作能提高全局最优收敛程度。本算法的交叉操作不同于传统的单点交叉,交叉点的选取分为两个阶段,首先,寻找两个父代个体中相同的基因位,即两者的公共结点,然后,从这些公共结点中随机选取其中的一个基因位做为交叉点进行两个亲代的交叉。交叉操作的示例如图 2 所示。

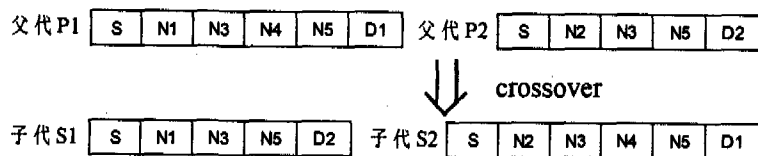


图 2 交叉操作过程

在图 2 中,父代 P1 与 P2 有两个共同的基因位:结点 3 与结点 5,从这两个结点中随机选取一位(假设选结点 3),则父代 P1 与 P2 的后面部分进行交换,形成子代 S1 与子代 S2。

2.6 变异操作

变异操作是遗传算法的一种基本操作,它与选择操作结合在一起,保证了遗传算法的有效性,使遗传算法具有局部的随机搜索能力,同时也使得遗传算法保持种群的多样性,以防止出现非成熟搜索。本算法中的变异搜索的操作过程如图 3 所示。

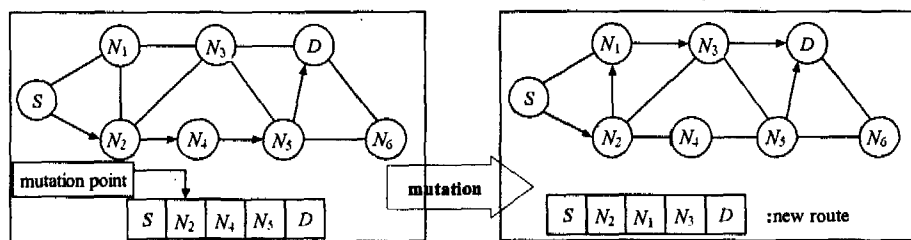


图 3 变异操作过程

3 仿真结果分析

算法的仿真通过特定网络拓扑结构(如图 4 所示)与随机网络拓扑两种方法对图 3 所示的网络拓扑图进行仿真实验。假设源结点 $S = 1$, 目的结点集为 $D(A) = \{4, 7, 8\}$, QoS 路由要求为 $Q = \{2, 8, 10, 20\%$, 分别代表

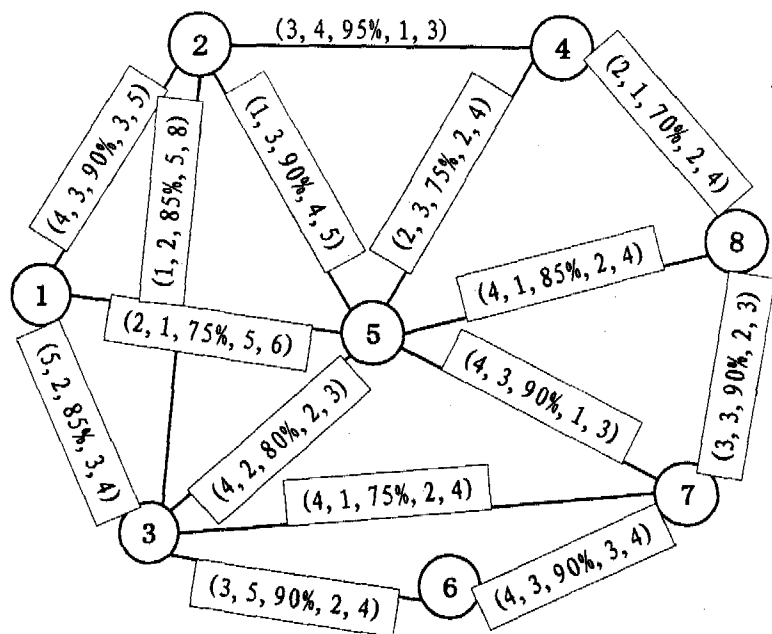


图 4 特定的网络拓扑图

带宽、时延、时延抖动和成功率、成本。子群体的规模为 10, 初始演化代数 10, 交叉率为 0.4, 变异率为 0.04。

表 1 给出了本算法经过遗传优化后的结果。从表中可以看到所得的路径满足时延、带宽、时延抖动、包丢失率等条件, 而且路径的花费最小。

表 1 算法在最小时延上的比较结果

	路由	剩余带宽	时延	时延抖动	成功率	成本
本算法	1→2→4	2, 1	7	8	92.5%	4

下面对遗传算法的收敛性做进一步的实验。首先对网络规模变化情况下算法的收敛性进行实验, 实验中的网络结点数由 20 到 100 变化, 目的结点数固定为 15, 遗传算法初始种群的规模设为 20, 进化 50 代, 遗传算法的交叉概率近似于 0.4, 变异概率为 0.04。其结果如表 2 所示。

从表 2 中可以看出, 当网络规模增大时, 算法的平均演化代数有所增长, 这主要是网络结点增大时, 遗传算法的染色体编码变长, 搜索空间增大, 求解所需进化的代数也增加。

表 2 遗传代数随网络结点数变化

网络结点数	20	30	40	50	60	70	80	90	100
遗传代数	5	7	10	12	12	13	14	16	16

4 结束语

文中提出了一种基于遗传算法的多约束选播路由优化算法。网络仿真模拟实验表明: 该算法有良好的服务性能, 能同时满足多个 QoS 的约束条件, 寻找花费最小的路径, 具有较好的求解效果。

参考文献:

- [1] Hinden R, Deering S. RFC 2373 IPv6 Addressing Architecture[S]. 1998.
- [2] Jia Weijia, Xuan D, Zhao W. Integrated Routing Algorithms for Anycast Messages[J]. IEEE Communications Magazine, 2000, 38(1): 48-53.
- [3] 杨云. 一种基于 TCP/IP 的 QoS 路由多目标遗传算法[J]. 模式识别与人工智能, 2004, 6: 232-238.
- [4] 陈燕, 宋玲, 李陶深. 基于遗传算法的求解时延约束的选播 QoS 路由算法[J]. 微电子学与计算机, 2004, 21(12): 46-49.
- [5] 陈燕, 宋玲, 李陶深. 基于遗传算法的网络负载均衡的选播路由算法[J]. 计算机工程, 2005, 31(8): 93-95.