

基于遗传与蚁群算法融合的选播 QoS 路由算法

李陶深¹, 李长才^{1,2}

(1 广西大学 计算机与电子信息学院, 广西 南宁 530004; 2 南宁市统计局, 广西 南宁 530002)

摘 要: 为有效解决选播通信中的 QoS 路由问题, 提出一种基于遗传算法与蚁群算法融合的选播 QoS 路由算法。算法初期使用遗传算法在链路上分布信息素, 对蚁群算法的控制参数进行编码和优化; 然后通过判断函数来判断遗传算法与蚁群算法融合的时机, 初始化信息素, 并启动混合算法后期的蚁群算法; 引入变异算子, 对由变异操作得出新路径进行局部信息素更新, 更快地引导蚁群算法找到全局最优解。NS2 仿真实验结果表明, 该算法很好的解决多 QoS 选播路由问题, 性能优于其它算法。

关键词: 选播路由; 服务质量(QoS); 遗传算法; 蚁群算法; 混合算法

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)09-0137-04

An QoS Anycast Routing Algorithm Based on the Combination of Genetic and Ant Colony Algorithm

LI Tao-shen, LI Zhang-cai

(1 School of Computer and Electronics Information, Guangxi University, Nanning 530004, China;

2 Nanning Municipal Bureau of Statistics, Nanning 530002, China)

Abstract: To solve anycast routing problem with multiple QoS constraints, an improved hybrid algorithm which combines genetic algorithm and ant colony algorithm is proposed. In the initial period of hybrid algorithm, genetic algorithm was used to distribute pheromones in links and code and optimize control parameters of ant colony algorithm. Through judgment function, this algorithm can judge the time to combine the genetic algorithm with ant colony algorithm, and initialize the pheromones and start the ant colony algorithm at the last period of hybrid algorithm. To avoid falling into local optimal solution at the last period of hybrid algorithm, a mutation operator was introduced in algorithm hybrid to update local pheromones of new path produced by mutation operation and reduced pheromones concentration on optimal path in time. The NS2 simulation results show that this algorithm can commendably solve the anycast routing problem with multiple QoS constraints, and its performance is better than other algorithms.

Key words: anycast routing; QoS; genetic algorithm; ant colony algorithm; hybrid algorithm

1 引言

选播是一种新的网络服务通信模式, 已经被 IPv6 定义为标准的通信服务。选播路由问题是选播服务中合理利用网络资源的关键问题之一, 直接决定了选播服务的质量与效率, 为众多研究者所探讨。研究表明^[1], 多 QoS 约束的选播路由问题是一个

NP 完全问题, 传统的穷举算法不能很好解决大规模网络的 QoS 路由问题。为此人们尝试用一些智能方法去求解, 如遗传算法^[2-3]、蚁群算法^[4-5]等。

遗传算法具有快速随机的全局搜索能力, 但对于系统中的反馈信息利用却无能为力, 当求解到一定范围时往往做大量无为的冗余迭代, 求精确解效率低。蚁群算法是通过信息素的累积和更新收敛于

收稿日期: 2012-02-02; 修回日期: 2012-03-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(60963022); 广西自然科学基金项目(0640026)

最优路径上,具有分布式并行全局搜索能力,但初期信息素匮乏,求解速度慢,且容易陷入局部最优。为了结合蚁群算法和遗传算法的优点,提高收敛速度和寻优性能,人们提出了将遗传算法和蚂蚁算法融合的混合算法(GAAA)^[6],并应用于求解组播的QoS路由问题^[7]。文献[8]则设计了一种基于遗传算法和蚁群算法融合的QoS路由算法。

然而,在求解网络QoS路由问题时,GAAA算法也存在以下问题:(1)当算法中的遗传算法部分得出的路由解集相对较小时,路径信息素的分布效率过低,不利于发挥遗传算法高效求解路径的优点;(2)算法中的转换机制为静态转换,难以把握混合算法的最优算法转换时机;(3)算法后期容易陷入局部最优。为此,本文对GAAA算法进行改进,提出一种基于遗传与蚁群混合算法的选播QoS路由算法。

2 算法的改进

为提高算法的效率和寻优性,本文算法对GAAA算法存在的以上三个问题做了如下改进:

(1)对遗传算法造成的路由分布信息素较慢的问题进行改进。具体做法是:在遗传算法每次迭代中,针对种群中的个体进行局部信息素更新,达到加速网络内两两节点通路上信息素分布的效果。更新公式如下:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho_{GA}) \times \tau_{ij}(t) + \rho_{GA} \times \Delta\tau_{ij}(t+1) \quad (1)$$

其中, $\tau_{ij}(t)$ 是在 t 时刻节点 i 到 j 路径上的信息素; $\Delta\tau_{ij}(t+1)$ 是 $t+1$ 时刻节点 i 到 j 路径上信息素的增量; ρ_{GA} 是遗传算法中的局部信息素挥发系数,其值大小影响到后期蚁群算法的收敛速度。 ρ_{GA} 过小会导致算法陷入局部最优,过大则影响算法的收敛速度,实验表明该值范围为0.5与0.6之间比较合适。

(2)遗传算法与蚁群算法转换时机的判断。遗传算法与蚁群算法混合使用的重点是把握好两个算法的转换时机。图1给出了遗传算法和蚁群算法的求解速度 v 随着时间 t 的增长而变化的情况。从图中可以看出,在 t_1 与 t_2 之间进行算法的转换是比较合适的,特别在两个算法的交汇点是最佳的转换时机,因为此时两种算法的求解速度都保持在一个较好的水平,算法转换前和转换后的求解速度都能保持在速度 v' 之上。

GAAA算法以遗传算法迭代固定次数后就转换到蚁群算法,处理方式简单,但转化很可能在 t_1

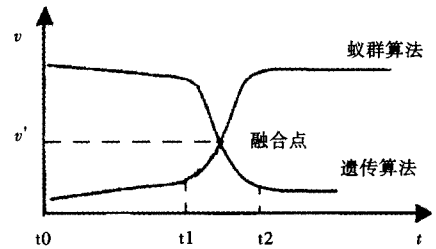


图1 遗传算法与蚁群算法融合时机图

之前或 t_2 之后进行。本文算法通过引入算法转换时机判断函数来判断混合算法转换时机。操作如下:

Step1:设置最小迭代次数 Min-Iteration、最大迭代次数 Max-Iteration、停滞次数 Stagnation_Time。

Step2:当遗传算法迭代次数 generation 大于 Min-Iteration 时,则启用算法转换判断函数, time=0;如果当前迭代的局部最优个体的适应度值 GA-local 小于迭代过程中的全局最优个体的适应度值 GA-best,则 time=time+1;当 time> Stagnation_Time 时,则视为遗传算法的出现了停滞,返回 flag_break=true,结束遗传算法;当迭代次数大于 Max-Iteration 时,返回 flag_break=true,自动结束遗传算法。

Step3:信息素初始化函数:记录网络内各条路径中信息素浓度的最小值 Min_Pheromone,把两个节点存在通路但是信息素为零的路径设置为最小信息素浓度 Min_Pheromone。

Step4:启动蚁群算法。

设置最小迭代次数主要是为了防止在算法初期过早地结束遗传算法,导致未能在网络中分布适量的信息素,致使混合算法退化为单纯的蚁群算法。定义最大迭代次数是用于限定遗传算法最大的迭代次数,避免混合算法因每次迭代都出现最优路径解而不进行算法转化,使混合算法退化为单纯遗传算法。引入最小信息素 Min_Pheromone 操作是为了给在遗传算法迭代的过程中没有被选择的链路赋上一个最小信息素,以增加算法选择这些链路的概率,达到增大搜索空间、避免陷入局部最优、提高算法全局寻优性的目的。

(3)针对混合算法后期出现陷入局部最优的情况,引入变异算子。在遗传算法迭代过程中,若种群路径比较集中于某一部分的节点时,会导致这些节点的信息素浓度过大,蚁群算法过早地收敛于次优解。为此在算法中引入变异算子(判断停滞函数),以解决算法过早收敛的问题。具体操作过程如下:

Step1:当算法连续 T 次收敛于同一条最优路径时,算法有可能陷入局部最优。为此,把路径上的信息素减少 reduce 倍($0 < \text{reduce} < 1$),以增加算法的负反馈能力,使选择其它链路的概率增大。

Step2:对该路径进行变异操作。即在该路径上随机选择变异节点 i ,从该节点开始随机选择下一节点,最终选择出一条与最优路径不一样的路径。

Step3:对由变异操作得出的新路径进行局部信息素更新。

经过多次实验对比分析发现,当 reduce 取值较小时,跳出局部最优解的效果不明显,但 reduce 较大时(如 $\text{reduce}=0.5$),算法过分地减少了链路上的信息素,会削弱蚁群的正反馈特性,难收敛于最优解,所以 reduce 值在 $[0.35 \sim 0.45]$ 之间选取较为合适。

通过对最优路径进行变异操作的方法,选择出一条不同于最优路径的路径并进行分布局部信息素,这样可以增大对其它链路的选择概率,也从另一方面削弱了最优路径上信息素的正反馈。

3 算法的描述

本文算法的大致处理过程如下:算法由遗传算法开始,首先求出从源节点到选播组的路径组作为种群的个体;然后重复进行选择、交叉、变异操作等迭代操作,计算个体的目标函数值;当遗传算法迭代一定次数后,结束遗传算法,并对种群中的个体进行全局信息素更新。算法的蚁群算法首先初始化网路内信息素,然后在源节点释放一只蚂蚁,蚂蚁根据规则选择下一节点,在蚂蚁所经过的路径上进行局部信息素分布。当蚂蚁到达选播组节点后,再释放下一只蚂蚁,计算目标函数值。当释放 M 只蚂蚁以后,结束当前迭代,计算出最优路径的目标函数值,并对最优路径进行全局信息素更新,并进入下一轮迭代。蚁群算法达到设定的迭代次数后,算法结束。本文算法的伪代码如下:

输入:网络拓扑图 $G=(V,E)$,源节点和目标节点;遗传算法的种群数量 $GA_population$ 、变异概率 P_m 、交叉概率 P_c 、 Min-Iteration 、 Max-Iteration 、 Stagnation_Time 、 ρ_{GA} ;蚁群算法的局部信息素挥发系数 ρ_1 、全局信息素挥发系数 ρ_g 、蚁群最大迭代次数 maxgen 、蚂蚁数量 ant_max 、信息素减少倍数 reduce 。

输出:满足 QoS 的最优路径。

```
{
    初始化种群;
    计算种群个体的适应值;
```

```
generation=0, 算法转化时机 flag=0;
while (generation < Max-Iteration && break_flag =
false)
{根据交叉概率  $P_c$  对选择出来的个体 X,Y 进行单点交叉操作;
    根据变异概率  $P_m$  随机对种群内个体进行变异操作;
    计算种群适应值,对各个个体更新局部信息素;对最优解更新全局信息素;
    if(算法转换时间判断函数())
    {break_flag=1;信息素初始化函数();}
    generation++;
}

ant_generation=0;
while(ant_generation < maxgen)
{ant=0;
    while(ant<ant_max)
    {将蚂蚁置于源节点;
        while(! 蚂蚁所在节点是目标节点)
        {选择下一节点;
            if(选择的节点==NULL) 蚂蚁死亡;
            else 选择该节点,并对选择链路进行局部信息素更新;
        }
        计算蚂蚁的适应值; ant=ant++;
    }
    找出当前迭代最优蚂蚁,记录迭代最优解,更新全局信息素;
    if(迭代最优解>全局最优解)
    更新全局最优解;
    else 判断停滞函数();
    if(出现停滞)
    {对最优解上的路径信息素减少  $\text{reduce}$  倍;
        对最优路径进行变异操作,产生一条新的路径;
        对新产生的路径进行全局信息素更新;
    }
    ant_generation++;
}

输出满足 QoS 的最优路径。
}
```

4 实验结果及分析

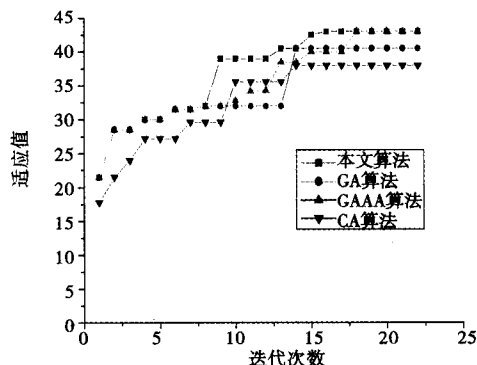
实验在 Linux 平台下的 NS2 模拟器上进行,将本文算法应用于解决时延约束的选播路由问题,并与文献[3]提出的基于遗传算法的选播 QoS 路由算法(GA)、文献[5]提出的基于蚁群算法的选播 QoS 路由算法(CA)和文献[6]提出的 GAAA 算法进行性能对比分析。

本文算法的遗传算法部分采用以下的适应值函数 fitness 来衡量时延约束条件下各个选播路由的优劣:

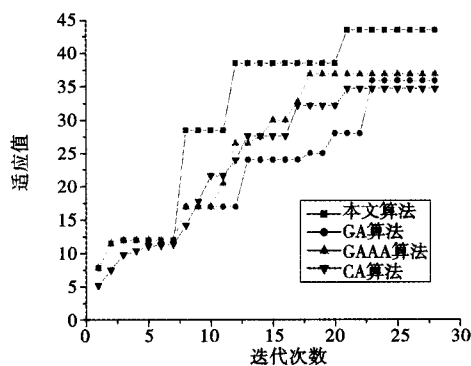
$$\text{fitness} = \frac{n}{(f_c \cdot \text{cost}(p(s,d)) + f_d \cdot \text{Delay}(p(s,d)))} \quad (2)$$

其中 n 是常数, f_c 和 f_d 是路径费用和时延的权重系数, 且 $f_c + f_d = 1$. 可以在满足时延约束的条件下根据实际情况来改变 f_c 和 f_d 的大小, 以满足用户对费用与时延的不同偏重.

实验中, 随机生成 30 个节点和 60 个节点的网络拓扑图. 网络中链路的时延在 $[1, 20]$ 之间随机生成, 费用在 $[1, 10]$ 之间随机产生. 算法的参数设置如下: GA_population = 16, Max-Iteration = 20, $\rho_{GA} = 0.55$, Stagnation_Time = 3, Min-Iteration = 5, $\rho_1 = 0.2$, $\rho_g = 0.2$, maxgen = 40, ant_max = 16, reduce = 0.4, $f_c = 0.4$, $f_d = 0.6$. QoS_delay = 150, QoS_cost = 150. 图 2 是本文算法与另外三个算法最优路径适应值随迭代次数变化的曲线图.



(a) 30 个节点的对比情况



(b) 60 个节点的对比情况

图 2 四个算法的最优路径适应值随迭代次数的变化图

从图 2(a)可以看出, 在小规模的网络结构中, 三个算法都能求解出较好的路径解, 但本文算法和 GAAA 算法的全局搜索能力优于 GA 和 CA 算法, 其中本文算法能较好地避免陷入局部最优, 收敛速度优于 GAAA 算法. 但是, GA 和 CA 算法收敛速度略好于本文算法, 这是因为本文算法需要额外的参数设置、数据结构和存储空间.

从图 2(b)可知, 在较大规模的网络结构中, 由于本文算法拥有较好的全局搜索能力, 求解的最优路径要优于 GA 和 CA 算法. 尽管 GAAA 算法整体的收敛速度要优于 GA 和 CA 算法, 但是由于算法转换机制为静态和信息素分布机制的缘故, 其收敛速度和效果明显不如本文算法. 此外, GAAA 算法容易陷入局部最优, 使得算法过早地收敛于次优解. 本文算法能够根据网络拓扑的复杂度动态地判断出混合算法转换的时机, 其停滞判断函数可较好地解决 GAAA 算法后期容易陷入局部最优的问题.

5 结束语

本文提出一种基于遗传与蚁群混合算法的选播 QoS 路由算法, 可用于解决 QoS 网络选播路由问题. NS2 仿真实验表明, 本文算法能解决多 QoS 约束的选播路由问题, 算法具有很好的收敛性和寻优性, 并且算法能够避免陷入局部最优. 与文献[5, 7, 8]提出的类似算法相比, 本文算法的求解速度高于其它算法, 寻优性较为明显, 全局搜索能力较强.

参考文献:

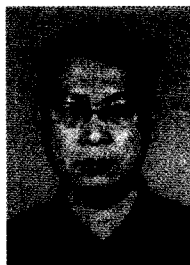
- [1] Weijia Jia, Dong Xuan, Wei Zhao. Integrated routing algorithms for anycast messages[J]. IEEE Communications Magazine, 2000, 38(1):48-53.
- [2] Walkowiak K. Heuristic algorithm for anycast flow assignment in connection-oriented networks[C] // Proceedings of 5th International Conference on Computational Science. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005:1092-1095.
- [3] 陈燕, 胡小春, 李陶深. 基于遗传算法提高网络资源利用率的选播 QoS 路由算法[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(10):140-143.
- [4] 李领治, 郑洪源, 丁秋林. 一种基于改进蚁群算法的选播路由算法[J]. 电子与信息学报, 2007, 29(2):340-344.
- [5] 肖猛, 李陶深. 蚁群算法在时延约束选播路由问题中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(24):121-123, 127.

(下转第 144 页)

- [3] Tsai Wei-Tek, Shao Qihong, Li Wu. OIC: Ontology-based intelligent customization framework for SaaS[C]//SOCA 2010. NewYork: ACM,2010.
- [4] He Hong. Applications deployment on the SaaS platform [C]// proceedings of the 5th International Conference on Pervasive Computing and Applications. NY,USA: ACM, 2010: 232-237.
- [5] Shi Yuliang, Luan Shuai, Li Qingzhong, et al, Wang A flexible business process customization framework for SaaS [C]// 2009 WASE International Conference on Information Engineering NY: ACM, 2009: 350-353.
- [6] Luan Shuai, Shi Yuliang, Wang NewYork: ACM Haiyang. A mechanism of modeling and verification for SaaS customization based on TLA [J]. Lecture Notes in Computer Science, 2009(5854): 337-344.
- [7] Shi Yu-Liang, Luan Shuai, Li Qing-Zhong, et al. TLA based customization and verification mechanism of business process for SaaS[J]. Jisuanji Xuebao/Chinese Journal of Computers, 2010,33(11): 2055-2067.

nese Journal of Computers, 2010,33(11): 2055-2067.

作者简介:



熊伟男, (1973—), 博士生, 讲师, 研究方向为服务计算、复杂网络。

李兵男, (1969—), 博士, 教授. 研究方向为网络化软件、服务计算、复杂系统与复杂网络、人工智能、云计算。

何鹏男, (1988—), 博士生. 研究方向为服务计算、复杂网络。

黄媛女, (1983—), 博士生. 研究方向为服务计算、复杂网络。

董丹丹女, (1986—), 本科. 研究方向为服务计算、复杂网络。

(上接第 140 页)

- [6] 丁建立, 陈增强, 袁著祉. 遗传算法与蚂蚁算法的融合[J]. 计算机研究与发展, 2003, 40(9): 1351-1356.
- [7] 孙力娟, 王汝传. 基于蚁群算法和遗传算法融合的 QoS 组播路由问题求解[J]. 电子学报, 2006, 34(8): 1391-1395.

- [8] 刘萍, 高飞, 杨云. 基于遗传算法和蚁群算法融合的 QoS 路由算法[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(9): 224-227.

作者简介:



李陶深男, (1957—), 博士, 教授, CCF 高级会员 (E200050058S). 研究方向为网络计算与信息安全、无线 Mesh 网络、分布式数据库、选播路由算法与优化设计。



李长才男, (1983—), 硕士, 助理工程师. 研究方向为选播路由算法与优化设计。