

基于遗传多蚁群算法的 QoS 组播路由算法研究

傅 宏¹, 王成良²

(1.重庆大学 计算机学院, 重庆 400030;

2.重庆大学 软件学院, 重庆 400030)

摘 要: 提出了一种基于遗传多蚁群的 QoS 组播路由算法, 前期利用遗传算法的快速性、全局收敛性生成蚁群算法的初期信息素; 后期引入多蚁群思想, 克服蚁群算法容易陷入局部最优, 导致算法停滞的缺点。仿真结果表明, 该算法在多节点情况下具有更强的寻优能力和可靠性, 是一种有效的 QoS 路由方法。

关键词: QoS 组播; 遗传算法; 蚁群算法; 多蚁群

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)19-0082-03

Research on QoS multicast routing algorithm based on genetic multi-ant colony algorithm

FU Hong¹, WANG Cheng Liang²

(1.College of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2.College of Software Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: This paper presents a QoS multicast routing algorithm based on genetic multi-ant colony. During the first stage we generate the initial pheromone by making use of the rapidity and global convergence of ant colony algorithm. Then we introduce the thought of multi-ant colony in the latter stage, which can overcome the problem of algorithm stagnation since it is easy for ant colony algorithm to fall into local optimum. Simulation results show that the algorithm in multi-node cases is an effective QoS routing method, which has a stronger optimization capability and reliability.

Key words: QoS multicast; genetic algorithm; ant colony algorithm; multi-ant colony

随着网络应用越来越广泛, 在传统的 HTTP、FTP、E-mail 等数据业务的基础上增加了各种实时和多媒体业务。要满足这些业务的需求, 特别是要保证一些实时业务的带宽、时延等特殊需求, 仅以目前 Internet 中“尽最大努力交付”的服务是难以完成的^[1]。因此, 组播技术的研究成为这个领域的热点, 同时也对于组播的服务质量提出了更高的要求, QoS 组播的需求已成为 Internet 相关技术的研究热点。QoS 组播路由技术是网络支持 QoS 保证的关键技术之一, 因此, 高效的 QoS 组播路由算法就显得至关重要。而 QoS 路由的目的就是在网络中寻找满足用户对线路的带宽、延迟、延迟抖动、费用要求的路由, 即向用户提供端到端的服务质量保证, 而基于多个不相关可加度量的 QoS 路由问题是 NP 完全问题。目前一般采用智能优化算法来求解, 如遗传算法、蚁群算法、

模拟退火算法等。

遗传算法^[2]GA(Genetic Algorithm)的特点在于具有搜索能力、潜在的并行性及较强的鲁棒性, 计算过程简单, 能很好地解决开发最优解和探寻搜索空间的矛盾; 蚁群算法^[3]AC(Ant Colony Algorithm)是一个增强型学习系统, 通过信息素的积累和更新收敛于最优路径上, 具有正反馈、分布式的计算特性和很强的鲁棒性。

将遗传算法和蚁群算法用于 QoS 组播路由已经取得较好的效果, 但是缺点也很明显。遗传算法对于系统中的反馈信息利用不够, 在中后期往往做大量无谓的迭代, 求最优解的效率降低; 蚁群算法则由于初期蚂蚁的随机活动使得前期信息素的更新较慢、求解速度慢, 由于在后期容易早熟, 而陷入局部最优。

本文针对目前应用蚁群算法解决 NP 完全问题的研

技术与方法 Technique and Method

究现状,以基本蚁群算法为基础,提出一种遗传多蚁群融合算法(GAMAC_QoS)来解决 QoS 多约束组播路由问题,对多个约束 QoS 组播路由问题进行了研究。利用基本蚁群算法的分布式和全局搜索能力,使信息素积累和更新收敛于最优路径上。

1 QoS 路由问题模型

网络可以描述为一个无向赋权图 $G=(V, E)$ 。其中图的顶点表示为网络节点(路由器、交换机等网络设备),图的边为网络链路; V 为网络中所有交换节点集, E 为网络链路集, N 为组播树的目标节点集, $p(s, d)$ 表示从源节点 s 到目的节点 d 的所有路径的集合。 $T(s, N)$ 为组播树, $s \in V$ 为组播树的源节点, $N \subseteq \{V - \{s\}\}$ 为该组播树的目标节点。

一般 QoS 路由问题包含多个约束条件,常见的如时延(Delay)、带宽(Bandwidth)、费用(Cost)、时延抖动(Delay_jitter)和丢包率(Packet_loss)等。对于任意一条链路 $e \in E$,定义延迟函数 $Delay(e)$,带宽函数 $Bandwidth(e)$,费用函数 $Cost(e)$,延迟抖动函数 $Delay_jitter(e)$,丢包率函数 $Packet_loss(e)$;对于任意一个节点 $n \in V$,定义:延迟函数 $delay(n)$,费用函数 $cost(n)$,延迟抖动函数 $Delay_jitter(n)$ 。

(1)时延

$$Delay(p(s, d)) = \sum_{e \in p(s, d)} Delay(e) + \sum_{n \in p(s, d)} Delay(n)$$

(2)瓶颈带宽

$$Bandwidth(T(s, N)) = \min\{Bandwidth(e)\}$$

(3)费用

$$Cost(T(s, N)) = \sum_{e \in T(s, N)} Cost(e) + \sum_{n \in T(s, N)} Cost(n)$$

(4)延迟抖动

$$Delay_jitter(p(s, d)) = \sum_{e \in p(s, d)} Delay_jitter(e) + \sum_{n \in p(s, d)} Delay_jitter(n)$$

(5)丢包率

$$Packet_loss = 1 - \prod_{n \in p(s, d)} (1 - p_loss(n))$$

QoS 组播路由问题是找到一棵满足约束条件的费用最小的组播树 T ,其中约束条件如下:

- ①延迟约束: $Delay(p(s, d)) \leq D_p$, D_p 为延迟约束;
- ②带宽约束: $Bandwidth(p(s, d)) \geq B_p$, B_p 为带宽约束;
- ③延迟抖动约束: $Delay_jitter(T(s, N)) \leq J_p$, J_p 为延迟抖动约束;
- ④包丢失率约束: $Packet_lossy(p(s, d)) \leq L_p$, L_p 为包丢失率约束;
- ⑤费用约束:在满足(1)~(4)约束条件的组播树中, $Cost(T(s, N))$ 为最小。

2 遗传多蚁群 QoS 组播路由算法 GAMAC_QoS

遗传多蚁群 QoS 组播路由算法(GAMAC_QoS)前期采用遗传算法来生成初期信息素分布;后期则充分利用前期信息素分布,采用多蚁群算法进行路径寻优,最终找到 QoS 约束的组播树能够比较接近算法的最优解。

2.1 GAMAC_QoS 中的遗传算法规则

(1)遗传编码

采用树型编码^[4],每个染色体是覆盖源节点和目的节点集合的子树的叶子节点,即个体采用树型结构,遗传算法操作直接作用在该染色体上。

(2)适应度函数

适应度函数定义为:

$$f = \frac{1}{Cost(T(s, N))} (A \cdot f_d + B \cdot f_j + C \cdot f_p) \quad (1)$$

其中, A 为延迟权重系数; B 为延迟抖动权重系数; C 为包丢失率权重系数。

$$f_d = \prod_{d \in N} \Phi_d(Delay(p(s, d)) - D_p), \Phi_d(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ r, & \text{else} \end{cases}$$

$$f_j = \prod_{d \in N} \Phi_j(Delay_jitter(p(s, d)) - D_j), \Phi_j(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ r, & \text{else} \end{cases}$$

$$f_p = \prod_{d \in N} \Phi_p(Packet_loss(p(s, d)) - D_p), \Phi_p(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ r, & \text{else} \end{cases}$$

$\Phi_d(x)$, $\Phi_j(x)$, $\Phi_p(x)$ 为罚函数,当路由满足约束条件时为 1,否则为 r ($0 < r < 1$), r 的值决定了惩罚程度的大小。

(3)初始种群生成

采用随机方法从中选择若干个个体组成初始种群,首先删除不满足 QoS 约束条件的节点以及与之相连的链路,再删除不满足带宽要求的链路,得到一个新的精简后的网络拓扑。利用随机深度优先算法,生成源节点为根,目的节点为叶子的组播树。

(4)选择算子

采用个体最佳保留策略(最佳个体保留个数设置为 2)与采用遗传算法中运用最广的轮盘赌选择机制执行选择功能。

(5)交叉算子

采用 Davis 顺序交叉方法,先进行常规的双点交叉,再进行维持原有相对访问顺序的巡回线路修改^[5]。具体交叉如下:

①随机在父串上选择一个交配区域,如两父串选定为:

old1=12134561789

old2=98176541321

②将 old2 的交配区域加到 old1 的前面,将 old1 的交配区域加到 old2 的前面:

old1'=76541123456789

old2'=34561987654321

③依次删除 old1', old2' 中与交配区相同的数码,得

《微型机与应用》2010 年第 29 卷第 19 期

到最终的两子串:

new1=765412389

new2=345698721

(6)变异算子

采用逆转变异法逆转。如染色体(1-2-3-4-5-6)在区间 2-3 和区间 5-6 处发生断裂,断裂片段又以反向顺序插入,于是逆转之后的染色体变为(1-2-5-4-3-6)。这里的进化,是指逆转算子的单方向性,只有经逆转后,适应值有提高的才接受下来,否则逆转无效。

2.2 GAMAC_QoS 中的多蚁群算法规则

GAMAC_QoS 算法定义了三种类型的蚂蚁:

(1)全智能蚂蚁。蚂蚁按照传统蚁群算法选择规则选择下一节点,此蚂蚁称为全智能蚂蚁,简称为 M1。

(2)非智能蚂蚁。蚂蚁不按照选择规则来选择路径,而是随机地选择下一节点,此蚂蚁称为非智能蚂蚁,简称为 M2。引入非智能蚂蚁是为了在算法陷入停滞时扩大搜索空间。

(3)半智能蚂蚁。在选择下一节点时以 σ 概率按照全智能蚂蚁的选择策略选择下一节点,以 $1-\sigma$ 概率按照非智能蚂蚁的选择策略选择下一节点,此蚂蚁称为半智能蚂蚁,简称为 M3。考虑到算法在陷入停滞的时候,前期的部分次优解还是有价值的,因此引入半智能蚂蚁是最大程度地利用之前的次优解,增加搜索最优解的成功率。

算法开始之时,蚂蚁的初值全为智能蚂蚁,数目为 M ,执行蚁群算法。当算法进行到停滞状态且比当前的参考值差的时刻,全智能蚂蚁发生变化,一部分转变成非智能蚂蚁,一部分转变成半智能蚂蚁,余下部分保持全智能蚂蚁的性质不变,其中半智能蚂蚁由智能蚂蚁和非智能蚂蚁组成,引入参数 $\sigma(0<\sigma<1)$ 来决定其组成比例。蚂蚁状态发生变化后算法得以继续推进,智能蚂蚁的数目逐渐增加,非智能和半智能蚂蚁的数量逐步减少,最终为零,保证算法的收敛。

(1)适应值函数与遗传算法的适应值函数相同。

(2)路径选择策略^[6]。全智能蚂蚁 M1,其选择策略为:

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{s \in allowed_k} [\tau_{is}(t)]^\alpha [\eta_{is}(t)]^\beta}, & q < q_0 \\ s, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

$\tau_{ij}(t)$ 为 t 时刻路径 (i, j) 上的信息量, $\eta_{ij}(t) = 1/Cost(i, j)$ 为能见度(启发式参数),式中 q_0 为预设的一个 $(0, 1)$ 间的常数, q 为随机变量。

$$s = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{s \in allowed_k} [\tau_{is}(t)]^\alpha [\eta_{is}(t)]^\beta}, & j \in allowed_k \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

对于非智能蚁群 M2,选择前进策略是不考虑任何信息素的反馈信息,随机选择下一节点,其前进策略如下:

《微型机与应用》2010 年第 29 卷第 19 期

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} rand(), & j \in allowed_k \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

对于其中的半智能蚂蚁,如果是全智能蚂蚁时,按照智能蚂蚁 M1 的规则选择路径;如果是非智能蚂蚁的时候,则按照非智能蚂蚁 M2 的规则选择路径。

(3)信息素初值设置规则。通过遗传算法得到了一定的路径信息素,所以把信息素的初值设定为:

$$\tau_0 = \tau_c + \tau_G \quad (5)$$

τ_c 是信息素常数, τ_G 是遗传算法所得到的信息素值。

(4)信息素更新规则。

①局部更新

当蚂蚁 k 经过某个链路 (i, j) 时,链路 (i, j) 上的信息素强度 $\tau(i, j)$ 根据式(6)刷新:

$$\tau_{ij}(t+1) \leftarrow (1-\rho_1)\tau_{ij}(t) + \rho_1\tau_0 \quad (6)$$

其中, ρ_1 为信息素挥发强度参数 $(0 < \rho_1 < 1)$, τ_0 为路径上信息量的初值

②全局更新

该算法为了加快收敛速度,对每一代更新后的最优解进行信息素的增加操作,操作公式如下:

$$\tau_{ij}(t+1) \leftarrow (1-\rho_2)\tau_{ij}(t) + \rho_2(c \cdot F_{best}) \quad (7)$$

其中, ρ_2 为信息挥发强度参数 $0 < \rho_2 < 1$, F_{best} 为蚁群当前循环中所求得的最优解适应度的值, c 为调整系数。算法进入停滞状态后,且收敛结果比当前参考解还要差时,不对当前最优解进行信息素更新,按照更新式(8)进行。其他路径更新公式如下:

$$\tau_{ij}(t+1) \leftarrow (1-\rho_2) \cdot \tau_{ij}(t) \quad (8)$$

3 仿真实验以及结果

遗传算法相关参数设置:交叉概率 $P_c = 0.6$,变异概率 $P_m = 0.04$,惩罚参数 $r = 0.5$,最大遗传代数 $N_G = 5$,适应度权重系数 $A = B = C = 1$;融合部分相关参数设置: $\tau_c = 60$;多蚁群相关参数设置: $\alpha = \beta = 1$, $\rho_1 = 0.01$, $\rho_2 = 0.015$, $M = 40$, $N_{cmax} = 20$, $NUM = 1$, $\sigma = 0.5$;网络的延迟约束 $D_p = 46$,带宽约束 $B_p = 70$,延迟抖动约束 $J_p = 8$,包丢失率 $L_p = 0.001$ 。

图 1 表示网络费用与目的集大小的关系,网络费用随着目的节点数的增加而增加,从实验结果发现在节点数目较小的时候,该算法、参考文献[7]和基本蚁群算法的网络费用相差不大,但是随着目的节点数的增加,该算法和参考文献[4]算法的费用值逐渐拉大,说明了本文算法更适合目的节点数较多的情况。

图 2 表示网络费用与迭代次数的关系,目的节点为 20 个,从图中可以看出,随着迭代次数的增加,该算法比基本蚁群算法具有更快的收敛性,最终组播树的费用也更低,与参考文献[7]算法相比收敛速度上相差无几,但是最终最优组播树的费用更低。

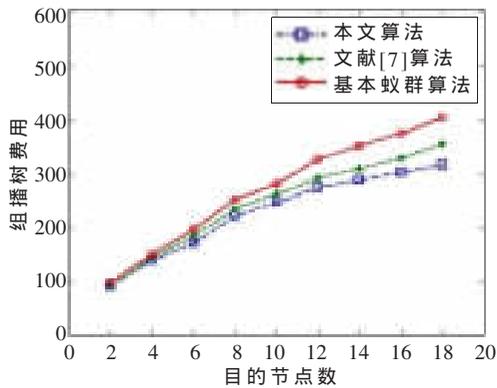


图1 组播树费用和目的节点关系

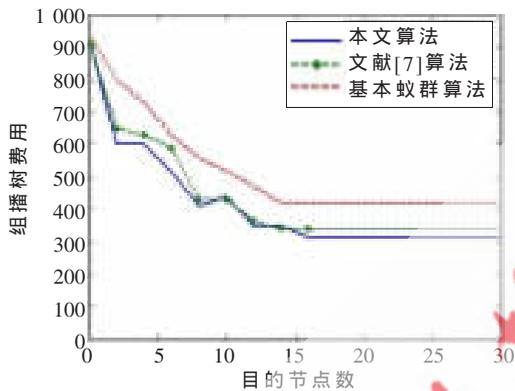


图2 组播树和迭代次数的关系

针对蚁群算法的特点进行了改进,将遗传算法和蚁群算法相融合,并结合多蚁群的行为,提出了GAMAC_QoS组播路由算法。通过仿真实验证明,该算法相比于基本蚁群算法和参考文献[7]算法,在多节点中寻找组播树,具有更好的寻优能力、可靠性更高,是一种解决QoS组播路由的有效算法。该算法涉及参数较多,

对于不同规模模型的网络的最佳参数设置问题,值得今后深入研究。

参考文献

- [1] 孙倩,王新华,刘丽.QoS组播路由算法分析[J].计算机技术与发展,2009,8(19):97-99.
- [2] HOLLAND J H. Adaptation in natural and artificial Systems [M]. Michigan: the University of Michigan Press, 1975.
- [3] DORIGO M, GAMBARDELLA L M. Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1997,1(1):53-66.
- [4] 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.
- [5] WHITE T, PAGUREK B, OPPACHER F. ASGA:Improving the ant system by integration with genetic algorithms[C]. In: Proc.3rd Genetic Programming Conf., July 1998.
- [6] 张凌,毛力.基于一种新的蚁群算法的QoS组播路由问题的研究[J].计算机工程与应用,2009,45(23):123-126.
- [7] GONG B, LI L, WANG X I. A novel QoS multicast routing algorithm based on ant algorithm [C]//International Conference on IEEE Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2007.

(收稿日期:2010-04-01)

作者简介:

傅宏,男,1982年生,硕士研究生,主要研究方向:计算机网络、数据挖掘。

王成良,男,1964年生,博士,教授,主要研究方向:Web技术开发、数据挖掘、图形图像及多媒体技术。