

文章编号:1001-9081(2005)10-2241-03

基于蚁群系统的动态 QoS 多播路由算法

桂志波¹, 吴小泉²

(1. 南京邮电大学 计算机科学与技术系, 江苏 南京 210003;
2. 深圳市中兴通讯股份有限公司 南京研究所, 江苏 南京 210012)
(ghuyi@njupt.edu.cn)

摘 要:基于蚁群系统的自组织能力,提出了一个分布式的动态 QoS 多播路由的算法。与其他算法不同,在该算法中,蚁群从多播组的目的结点出发进行搜索,将每次迭代选中的符合 QoS 约束且具有最小代价的路径加入到多播树中,而多播树以“拉”的模式分布式地被构造。仿真结果表明,与其他两种算法相比,该算法具有更好的性能,能够快速有效地找到动态 QoS 多播路由问题的全局最(近)优解。

关键词:蚁群系统;多播路由;QoS;约束;代价

中图分类号: TP393.07 **文献标识码:** A

Dynamic QoS multicast routing algorithm based on ant colony system

GUI Zhi-bo¹, WU Xiao-quan²

(1. Department of Computer Science and Technology, Nanjing University of Posts and Telecommunications,
Nanjing Jiangsu 210003, China;
2. Nanjing R&D Institute of ZTE Corporation, Nanjing Jiangsu 210012, China)

Abstract: Based on the self-organized capacity of ant colony, a distributed dynamic QoS multicast routing algorithm was presented for next-generation Internet in this paper. In this algorithm, ants started out the destination nodes in a multicast group and searched for multicast tree and selected the lowest cost path meeting its QoS constraints at every step of iteration, and then added this path into the current multicast tree. The multicast tree could be built distributedly in the "Pull" manner. Our tests indicate that as compared with other two algorithms, the presented algorithm gives better performance in terms of the total cost, and can quickly and effectively find globally optimal (or near optimal) solution for dynamic QoS multicast routing problem.

Key words: ant colony system; multicast routing; QoS; constrain; cost

0 引言

QoS 路由选径,旨在满足每个业务的路由的 QoS 需求同时优化网络资源的利用状况^[1]。不同业务有不同的 QoS 约束,如带宽、延迟、延迟抖动等。近十几年,人们在协议和算法上对多约束的 QoS 路由问题进行大量的研究^[2]。多约束的 QoS 多播路由问题被证明是 NP 难的,因而,不存在一个简单而有效的算法^[1,2]。近年来,基于自然法则的算法^[3~8],如遗传算法(Genetic Algorithm, GA)^[3,4],蚁群系统(Ant Colony System, ACS)^[10]/蚂蚁系统(Ant System, AS)^[11],被用来研究多约束的 QoS 多播路由问题。文献[5]比较了 GA 和 ACS/AS 在多约束 QoS 多播路由问题的应用研究,认为前者不能适应网络的扩展,即不能使扩展后的网络利用其扩展前的网络信息;但后者具有可扩展性,换句话说,当网络的结点数发生变化时,后者在求解 QoS 路由问题时能够利用网络变化前的网络信息而不用重新搜索网络的全部结点。

在文献[5~8]中,蚂蚁从源结点出发去寻找目的结点,多播树以“推”的模式被建立。然而,这种模式不能适应多播

组成员的动态变化,如果一个或者多个结点加入或者退出多播组,那么需要再次寻找多播树。也就是说,网络变化前的网络信息不能够适用于网络变化后的多播组。因而,“推”模式不能充分利用 ACS/AS 的可扩展性;文献[4]在基于 GA 研究 QoS 多播路由问题时,虽然以“拉”的模式建立多播树,改善了 QoS 多播路由算法对多播组成员的动态变化的适应能力,但因 GA 不具备良好的可扩展性而限制了“拉”模式的效用。

本文基于蚁群系统,提出了一个分布式的动态 QoS 多播路由的算法。在该算法中,蚁群从多播组的目的结点出发进行搜索,将每次迭代选中符合 QoS 约束且具有最小代价的路径加入到多播树中,而多播树以“拉”的模式分布式地被构造。再者,本文同时考虑带宽、延迟、延迟抖动和代价这些约束或性能指标,而文献[5~8]仅考虑其中的一部分。仿真结果表明,本文算法优于其他两种算法。

1 蚁群系统

蚂蚁算法(AS)和蚁群系统(ACS)是一种由于受自然界生物的行为启发而产生的“自然”算法。具体地说,它们是从

收稿日期:2005-04-08;修订日期:2005-07-07

基金项目:江苏省自然科学基金资助项目(BK2001124);江苏省高校自然科学基金资助项目(01KJB510001)

作者简介:桂志波(1964-),男,江西南昌人,副教授,主要研究方向:网络业务建模分析及 QoS 实现; 吴小泉(1975-),江苏南通人,工程师,硕士研究生,主要研究方向:QoS 路由算法与协议。

对蚂蚁或蚁群的行为及其包含的自然规律的研究中产生的。蚂蚁工作(如寻找食物或者寻找回巢的路径)时,会在它们经过的地方留下一些化学物质(称之为“外激素”或“信息素”)。这些物质能被同一个蚁群中其他的蚂蚁感受到,并作为一种信号影响后到者的行为(具体表现在后到的蚂蚁选择有这些物质的路径的可能性,比选择没有这些物质的路径的可能性大得多),而后到者留下的外激素会对原有的外激素进行加强,并如此循环下去。这样,残留的外激素浓度越大的路径,被后面蚂蚁选中的可能性就越大。由于在一定的时间内,越短的路径会被更多的蚂蚁访问,因而积累的信息素也越多,之后被其他的蚂蚁选中的可能性也就越大。这个过程会一直持续到所有的蚂蚁都走最短的那条路径为止。

近年来,计算机科学家把蚂蚁或蚁群的智能演化用于组合优化问题的蚂蚁系统(AS)^[11]和蚁群系统(ACS)^[10]。与AS相比,ACS在启发式搜索过程中具有更强的鲁棒性和更好的并行计算特性,已被成功地用于求解多种NP难的问题。本文基于ACS,设计一个分布式的动态QoS多播路由的算法。该算法本质上是一种基于ACS的算法,故被简记为ACS算法(ACS Algorithm)。

2 动态 QoS 多播路由模型

动态QoS多播路由旨在寻找一个代价最小的多播树。该树覆盖了源结点和各目的结点且满足各QoS约束条件。为了分析的方便,网络被简化为连通的无向带权图。设 $G(V, E)$ 表示一个网络, V 表示网络的结点集, E 表示网络的边集。 $T(V_1, E_1) \subset G$ 是当前的多播树, $DN \in (V - V_1)$ 是希望加入多播组的目的结点。图 G 中任一边 e 对应四个正实数(D_e, DJ_e, BW_e, C_e)。其中, D_e, DJ_e, BW_e 和 C_e 分别表示 e 的传输延迟、传输延迟的抖动、可用带宽和代价。树 T 上的每个结点 n 对应三个正实数(D_n, DJ_n, C_n)。其中, D_n, DJ_n 和 C_n 分别表示从源结点到当前结点 n 的传输延迟、传输延迟抖动和代价。

对一个申请加入多播组的目的结点 $DN \in (V - V_1)$ 和当前的多播树 $T \subset G$ 来说,多约束的动态QoS多播路由问题就是寻找一条满足以下条件的路径 $P(DN, SN)$:

1) 延迟约束,即:

$$\sum_{e \in P(DN, SN)} D_e + D_{SN} \leq D \quad (1)$$

2) 延迟抖动约束,即:

$$\sum_{e \in P(DN, SN)} DJ_e + DJ_{SN} \leq DJ \quad (2)$$

3) 带宽约束,即:

$$BW_{e \in P(DN, SN)} \geq B \quad (3)$$

$$4) \sum_{e \in P(DN, SN)} C_e = \min$$

这里, D, DJ 和 B 分别是多播树的延迟约束、延迟抖动约束和带宽约束, SN 是当前时刻的多播树 T 上的结点。 SN 和 DN 是无环路径 P 的两个端点。

3 ACS 算法

本文提出的ACS算法的详细步骤如下:

1) 初始化:

令 $LC = 0, \tau_{ij}(t) = c, \Delta\tau_{ij} = 0$,其中 LC 是循环计数器, τ_{ij} 是以 i, j 为端点的边 $e(i, j)$ 上的初始化信息素量, $\Delta\tau_{ij}(t)$ 是每次迭代后蚂蚁在 $e(i, j)$ 上留下的信息素的总量。

在区间 $(0, 1)$ 产生一个随机数 q_0 。

2) 建立路径的堆栈数组:

令 $s = 1$

For $k = 1$ to m

当前结点赋给 $tabu_k(s)$,这里 $tabu$ 是堆栈数组,用来存放每个蚂蚁的历经路径, $tabu_k(s)$ 表示第 k 只蚂蚁历经的第 s 个路由器。

3) 重复这一步,直到蚂蚁到达树上结点或者死亡:

令 $s = s + 1$

For $k = 1$ to m

根据QoS约束,即式(1)、(2)和(3),选择下一跳的结点集合。若该集合为空,蚂蚁死亡,跳出循环;否则,在区间 $(0, 1)$ 产生一个随机数 q ,如果 $q \leq q_0$,依式(5)选择下一跳;否则,依式(6)选择下一跳。

$$p_k(i, j) = \max(\tau_{ij}(t)) \quad (5)$$

$$p_k(i, j) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k \in allowed} [\tau_{ik}(t)]^\alpha [\eta_{ik}]^\beta} \quad (6)$$

这里, i 表示当前结点, j 表示可以前往的下一跳结点, $\tau_{ij}(t)$ 表示 $e(i, j)$ 上的信息素的总量, η_{ij} 是 $e(i, j)$ 的代价 C_e 的倒数。 α 与 β 是信息素和能见性之间相对重要性的控制参数。

依式(7)对被选中的 $e(i, j)$ 上信息素进行局部刷新。

$$\tau_{ij}(t) \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}(t) \quad (7)$$

这里, ρ 是常数,且 $0 < \rho < 1$ 。

4) 记录迄今为止的最优解,并依式(8)对其进行全局刷新。

$$\tau_{ij}(t) \leftarrow (1 - \rho_1) \cdot \tau_{ij}(t) + \rho_1 \cdot con \quad (8)$$

这里, ρ_1, con 均为常数, $0 < \rho_1 < 1$ 。

5) 检查结束条件:

If ($LC < MAX$) and (not develop state)

清空堆栈数组,跳到步骤2);

否则:

输出最小代价路径,结束程序。

这里, MAX 为规定的迭代次数。

4 仿真和分析

本文采用文献[9]提出的研究有关多播路由问题的网络拓扑构造方法。在图1所示的网络模型上进行仿真。在图1中,结点12、13和14组成当前的多播树,结点0是当前时刻申请加入的结点。本文假设树上结点间的延迟差异可以被忽略了。

为了验证本文的算法的有效性,在ns-2网络仿真器上,对该算法、基于AS的QoS多播路由算法^[6](即ant algorithm)和基于探针的QoS多播路由算法^[12](即probe algorithm)进行

仿真分析。设 QoS 约束分别为 $B = 9$ 、 $D = 73$ 和 $DJ = 31$, 仿真时采用的其他参数分别为 $c = 100$, $\alpha = 1$, $\beta = 1$, $q_0 = 0.7$, $\rho = 0.01$, $\rho_1 = 0.2$, $con = 99$, $\tau(O) = 100$ 。图 2 给出了本文的算法 50 次迭代后得到的多播树, 该树由结点 0、2、5、11、12、13 和 14 组成。图 3 给出了上述三种算法逐次迭代时路径代价的变化情况。这里, 多播树的代价是指被选中的路径的代价加上原来的多播树的代价。从图 3 可以看出, 本文的算法寻找多播树时其解的代价最小。这表明, 该算法在性能上优于 ant algorithm 和 probe algorithm。

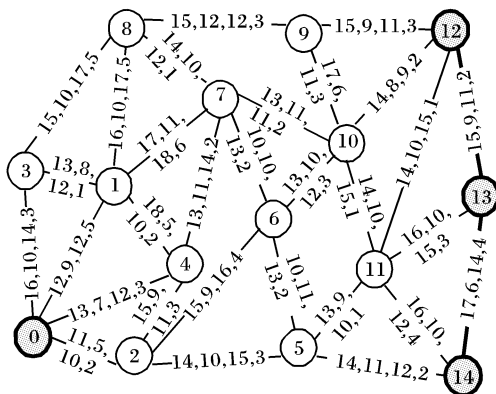


图 1 网络仿真模型

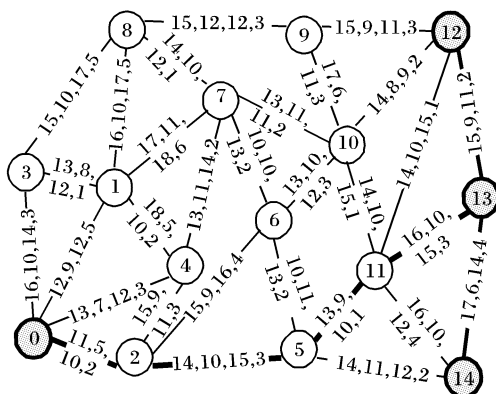


图 2 本文算法 50 次迭代后得到的多播树

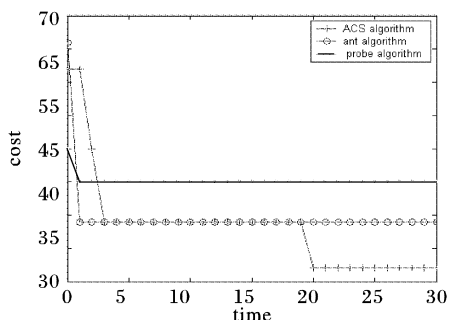


图 3 三种算法求解多播树的代价

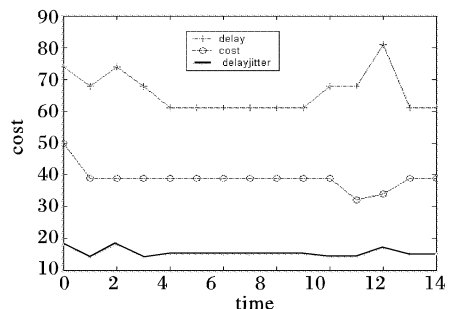


图 4 本文算法寻找多播树时三种参数的变化

图 4 给出了本文的算法寻找多播树时所选中的路径的代价、延迟和延迟抖动随迭代次数的变化情况。从图 4 可以看出, 该算法能够快速有效地找到动态 QoS 多播路由问题的全局最(近)优解。

5 结语

本文基于蚁群系统, 研究分布式的动态 QoS 多播路由的启发式算法。本文所提出的算法, 用“拉”模式代替目前常用的“推”模式以构造多播树, 从而可以充分利用蚁群系统的可扩展性, 提高了算法对多播组的动态变化的适应性。通过与其他两种算法相比较, 仿真结果验证了该算法的有效性。

参考文献:

- [1] CHEN S, NAHRSTEDT K. An overview of quality of service routing for next-generation high-speed networks: problems and solutions[J]. IEEE, Network, 1998, 12(6): 64–79.
- [2] WANG B, HOU JC. Multicast routing and its QoS extension: problems, algorithms, and Protocols[J]. IEEE Network, 2000, 14(1): 23–36.
- [3] 王征应, 石冰心. 基于启发式遗传算法的 QoS 组播路由问题求解[J]. 计算机学报, 2001, 24(1): 55–61.
- [4] YUAN Y, YAN L. QoS-based dynamic multicast routing design using genetic algorithms[J]. The Chinese Journal of Electronics, 2004, 13(4): 575–578.
- [5] CHU C, GU J, HOU XD, et al. A heuristic ant algorithm for solving QoS multicast routing problem[A]. Proceedings of the 2002 Congress on Evolutionary Computation[C], 2002. 1630–1635.
- [6] 张素兵, 吕国英, 刘泽民, 等. 基于蚂蚁算法的 QoS 路由调度方法[J]. 电路与系统学报, 2003, 3(1): 1–5.
- [7] LU G, ZHANG S, LIU Z. Distributed dynamic routing using ant algorithm for telecommunication networks Communication Technology [A]. Proceedings of WCC-ICCT [C], 2000. 1607–1612.
- [8] WANG Y, XIE J. Ant colony optimization for multicast routing[A]. Proceedings of IEEE Asia–Pacific Conference on Circuits and Systems[C], 2000: 54–57.
- [9] WAXMAN BM. Routing of Multipoint Connections[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1988, 10(6): 1617–1622.
- [10] DORIGO M, GAMBARDELLA LM. Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1997, 1(1): 53–66.
- [11] DORIGO M, MANIEZZO V, COLORNI A. Ant system: optimization by a colony of cooperating agents[J]. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics-Part B, 1996, 26(1): 29–41.
- [12] CHEN S, NAHRSTEDT K. Distributed quality-of-service routing in high-speed networks based on selective probing[R]. Technical Report, University of Illinois at Urbana Champaign, Department of Computer Science, 1998.