不确定信息下 QoS 多播路由问题研究

李 飞[1],刘 成[1],赵 辉[2]
LI Fei[1],LIU Cheng[1],ZHAO Hui[2]

1.沈阳航空工业学院 工程训练中心,沈阳 110136
2.中国民航大学 经济管理学院,天津 300300
1.Engineering Practice Center,Shenyang Institute of Aeronautic Engineering,Shenyang 110136,China
2.School of Economic and Management,Civil Aviation University of China,Tianjin 300300,China

LI Fei,LIU Cheng,ZHAO Hui.Research on multicast QoS routing under uncertain information.Computer Engineering and Applications,2009,45(26):104-106.

Abstract: QoS multicast routing is one of the important components in order to guarantee network QoS.But the network state information is uncertain inherently,so it is necessary to research the influence of the uncertainty on QoS multicast routing.The distribution of bandwidth and delay is assumed randomly variable,and the chance constrained programming model is proposed.Parallel Genetic Algorithm (PGA) is used to solve the model,and the simulation results show that the proposed algorithm is able to find a better solution,fast convergence speed and high reliability.It can meet the real-time requirement in multimedia communication networks.
Key words: Quality of Service(QoS) routing;Parallel Genetic Algorithm(PGA);uncertain;probability

摘 要: QoS(Quality of Service)多播路由是保证网络服务质量的重要组件。但是网络状态信息具有固有的不确定性,因此有必要研究不确定信息对 QoS 多播路由的影响。假设网络带宽和延时为符合某种分布的随机变量,建立了问题的机会约束规划模型,并采用并行遗传算法对模型进行了求解,仿真结果证明该算法收敛速度快,可靠性高,能够满足多媒体网络对实时性的要求。
关键词: QoS 路由;并行遗传算法;非确定;概率
DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.26.031 **文章编号:** 1002-8331(2009)26-0104-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391

1 引言

21 世纪是高度信息化的时代,网络的应用也出现了全球化、多样化、商务化的趋势。移动计算、分布式计算的迅速普及,大量新型的多媒体应用如电视会议、视频点播、远程教学等均涉及大量用户的参与,这不仅会消耗大量的网络资源,而且视频、音频等多媒体业务对网络服务质量提出了许多新的要求。因此 QoS(Quality of Service)多播路由问题的研究,已经成为网络领域中一类重要的研究方向[1-2]。

QoS 多播路由问题通常采用多播树结构,形式化为图论中的 Steiner 问题,通过求解 Steiner 最小树来求解代价最小的多播树[3]。大多数已发表的路由算法都假设网络中的每个节点能够通过距离矢量协议或者链路状态协议获得并保持网络全局的精确状态[4-5]。然而在实际的动态网络环境中存在高度的动态性,节点所能获得的网络全局状态是不精确的[6],对路由结果有较大的影响。造成所获状态信息不精确的主要原因有:(1)网络信息的时滞性和动态性;(2)大型网络的状态聚集和信息的隐藏;(3)网络行为的近似计算。文献[2]已证明基于非精确状态信息的 QoS 问题是一个具有 NP 难度的问题。建立了不确定信息下 QoS 多播路由问题的机会约束规划模型,利用并行遗传算法对问题进行求解,仿真结果与其他两种算法相对照,表明该算法能够快速收敛,可靠性高,能更好地屏蔽网络的非确定性,满足多媒体对网络实时性能的要求。

2 问题描述及数学模型

在 QoS 路由问题研究中,将网络用一个加权图 $G(V,E)$来表示,其中 $V=\{V_1,V_2,\cdots,V_m\}$表示网络中的节点集合,$E=\{e_1,e_2,\cdots,e_n\}$表示网络中的链路集合,并假设在网络中一对节点之间最多只有一条链路。如果各传输线路的两个方向数据都有相同的特性,则该网络为对称的;反之为不对称网络。大多数实际网络链路为非对称的。为了简便起见,假设为对称网络,以减少弧的数量。

对于链路中任意两相邻节点 a,b 间通信链路$(a,b)\in E$,链路(a,b)的状态包括:

(1)$D(a,b)$表示链路(a,b)的延时,包括传输延时、排队延时、协议处理延时等;

(2)$B(a,b)$表示链路(a,b)的剩余可用带宽;

(3)$C(a,b)$表示链路(a,b)的代价,用于描述链路的利用率或费用等;

基金项目: 中国民航大学科研启动基金(No.06qd02x)。
作者简介: 李飞(1976-),女,讲师,研究方向:模式识别与智能系统。
收稿日期: 2008-05-20 **修回日期:** 2008-08-21

(4)$\Delta B(a,b)$表示链路(a,b)在相邻两次网络状态更新变化时间内,链路(a,b)的可用带宽最大变化量;

(5)$\Delta D(a,b)$表示链路(a,b)在相邻两次网络状态更新变化时间内,链路(a,b)延时的最大变化量。

对于$\forall(a,b)\in E$,用$D_{old}(a,b)$,$D_{new}(a,b)$分别表示网络更新前后链路(a,b)的延时,$\Delta D_{old}(a,b)$表示上次更新时刻到本次更新时刻链路(a,b)延时的最大改变量;用$B_{old}(a,b)$,$B_{new}(a,b)$表示网络更新前后链路(a,b)的带宽,$\Delta B_{old}(a,b)$表示上次更新时刻到本次更新时刻,链路(a,b)带宽的最大改变。假设对于$\forall u\in V$,节点u能通过距离矢量协议或链路状态协议保留以下全局状态信息:(1)网络的最新拓扑信息;(2)对于$\forall(a,b)\in E$,链路(a,b)的状态信息,包括$D_{old}(a,b)$,$D_{new}(a,b)$,$B_{old}(a,b)$,$B_{new}(a,b)$,$C(a,b)$,$\Delta D_{old}(a,b)$,$\Delta B_{old}(a,b)$。

给定一个非空集$M=\{n_0,u_1,u_2,\cdots,u_m\}$,其中$M\subseteq N$,$n_0$是源节点,$U=\{u_1,u_2,\cdots,u_m\}$为目的节点集。多播树$T=(N_T,E_T)$,其中$N_T\subseteq N$,$E_T\subseteq E$,$T$中存在由源节点$n_0$到每个目的节点$u_i\in U$的路径$P_i(n_0,u_i)$。

根据以上建立的非精确状态网络模型和 QoS 要求,可以将求解问题描述为:给定$G(V,E)$,信源n_0,信宿集合U,求解信源到信宿的多播树T满足如下机会约束规划模型

$$\min\sum_{i=1}^{m}\sum_{(a,b)\in P_i(n_0,u_i)}C(a,b) \tag{1}$$

$$\text{s.t.}\quad \Pr\left(\sum_{(a,b)\in P_i(n_0,u_i)}D(a,b)\leqslant D_{\max},i=1,2,\cdots,m\right)\geqslant f_D \tag{2}$$

$$\Pr(Width(P_i(n_0,u_i))\geqslant W_{\min},i=1,2,\cdots,m)\geqslant f_B \tag{3}$$

其中$\Pr(A)$表示事件A发生的概率,f_D表示给定路径满足延时限制条件的最低允许概率,f_B表示给定路径满足带宽限制条件的最低允许概率,$D_{\max}$为实时业务所要求的延时的上限值,$Width(P_i(n_0,u_i))$为路径$P_i(n_0,u_i)$瓶颈带宽,$W_{\min}$为应用所需的最小带宽。

3 问题求解

遗传算法是一种在种群内部的个体之间有目的地进行随机选择、交叉、变异操作,筛选最优个体的方法。但是由于环境、演化和原有初始生态群体的限制,进化到一定代数之后就达到一种平衡状态,并在一个相当长的时期内维持这种平衡,直到外界打破种群内部的平衡。并行遗传算法就是通过不同的种群来打破彼此间的平衡状态,促进各种群向更高的平衡状态进化,从而得到最优的个体。本章将在上一章建立的非精确状态网络模型的基础上,构造并行遗传算法对该问题进行求解。基于非精确信息的 QoS 多播路由算法求解需要完成如下三个任务:

(1)表达和捕捉网络状态信息的非精确程度;

(2)计算给定路径满足 QoS 要求的概率;

(3)并行遗传算法求解出最优解。

3.1 表达和捕捉网络状态信息的非精确程度

从前面描述中可知,对于$\forall(a,b)\in E$,$\Delta B_{old}(a,b)$描述了链路(a,b)在上次网络更新到本次网络更新时段内可用带宽的最大变化量。为了捕捉网络状态的动态变化,用$\Delta B_{new}(a,b)$表示(a,b)的可用带宽在下一次更新前网络状态的最大变化量。采用文献[6]的估算方法,$\Delta B_{new}(a,b)=\alpha\Delta B_{old}(a,b)+(1-\alpha)|B_{new}(a,b)-B_{old}(a,b)|$,式中$\alpha$由历史信息由历史信息$\Delta B_{old}$被遗忘的速率以及$\Delta B_{new}$聚集到$|B_{new}(a,b)-B_{old}(a,b)|$的速率决定。$D_{new}(a,b)$采用同样的方法进行计算。如果链路$(a,b)$的实际可用带宽用$B(a,b)$表示,实际延时用$D(a,b)$表示,$B(a,b)$在本次更新到下次更新之间的取值应在区间$[B_{new}(a,b)-B_{old}(a,b),B_{new}(a,b)+B_{old}(a,b)]$内,$D(a,b)$在本次更新到下次更新之间取值应位于区间$[D_{new}(a,b)-D_{old}(a,b),D_{new}(a,b)+D_{old}(a,b)]$内。

3.2 计算给定路径满足 QoS 的概率

对于不同的 QoS 参数的非精确性,计算方法也不尽相同。参照文献[6],分别讨论链路可用带宽信息是非精确条件下,给定路径满足带宽要求的概率以及当链路延时信息是非精确条件下,给定路径满足延时要求的概率。

3.2.1 计算给定路径满足带宽要求的概率

假设$B(a,b)$是一个在区间$[B_{new}(a,b)-B_{old}(a,b),B_{new}(a,b)+B_{old}(a,b)]$中均匀分布的随机变量,则对于路径$P_i(n_0,u_i)$ $(i=1,2,\cdots,m)$满足带宽要求的概率为:

$$\Pr(Width(P_i(n_0,u_i))\geqslant W_{\min}=$$

$$\prod_{(a,b)\in P_i(n_0,u_i)}\min\left(\frac{B_{new}(a,b)+\Delta B_{new}(a,b)-W_{\min}}{2\Delta B_{new}(a,b)},1\right) \tag{4}$$

显然,如果$\exists(a,b)\in P_i(n_0,u_i)$使得$W_{\min}>B_{new}(a,b)+\Delta B_{new}(a,b)$,则$\Pr(Width(P_i(n_0,u_i))\geqslant W_{\min})=0$。

3.2.2 计算给定路径满足延时要求的概率

令$D(i)=\sum_{j=1}^{n}D_j(a,b)$为路径$P_i(n_0,u_i)$的总延时,$j$为路径$P_i(n_0,u_i)$上的链路总数,对于$P_i(n_0,u_i)$的第$j$段链路$(a,b)$,它的实际延时$D_j(a,b)$是一个随机变量。假设它在相邻两次网络更新之间服从$(\mu_j,\sigma_j^2)$的正态分布,其中$1\leqslant j\leqslant n$,它在上次网络更新的延时值记为$D_{j,old}(a,b)$,在本次网络更新时的延时值为$D_{j,new}(a,b)$;用$\Delta D_{j,old}(a,b)$表示在上次更新时刻到本次更新时刻,链路$(a,b)$延时的最大改变量,$\Delta D_{j,new}(a,b)$表示本次更新到下次更新时刻,链路$(a,b)$延时的最大改变量。其中$D_{j,old}(a,b)$,$D_{j,new}(a,b)$,$\Delta D_{j,old}(a,b)$为已知变量,$\Delta D_{j,new}(a,b)$可通过3.1 节所述方法进行计算。$\mu_j=D_{j,new}(a,b)$;根据$3\sigma$原则[6],$\sigma_j^2=\left|\Delta D_{j,new}(a,b)/2\right|^2$。根据正态分布的性质,$D(i)$服从参数为$(\mu,\sigma^2)$的正态分布,其中$\mu=\sum_{j=1}^{n}\mu_j$,$\sigma=\sum_{j=1}^{n}\sigma_j^2$。路径$P_i(n_0,u_i)$的总延时满足要求的概率$\Pr(D(j)\leqslant D_{\max})$为:

$$\Pr(D(j)\leqslant D_{\max})=\begin{cases}1 & \mu+3\sigma<D_{\max}\\ 0 & \mu-3\sigma>D_{\max}\\ \int_{\mu-3\sigma}^{D_{\max}}\frac{1}{\sqrt{2\sigma}}\mathrm{e}^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}\mathrm{d}x & \mu-3\sigma\leqslant D_{\max}\leqslant\mu+3\sigma\end{cases} \tag{5}$$

3.3 并行遗传算法

本节中设计了问题的并行遗传算法,分别从编码、适应度、交叉、变异、算法流程几个方面对算法进行了阐述。

3.3.1 编码方案

按照遗传算法的设计流程,当采用遗传算法求解问题时,必须在目标问题的实际表达式和遗传算法染色体位串之间构

建联系,即确定编码和解码运算。

首先对于每个信宿节点 $u_i(i=1,2,\cdots,m)$,利用 k 最短路径算法[7]找出信源 n_0 到信宿节点 u_i 的所有满足约束条件的路径,组成路径集,作为并行遗传算法编码空间的备选路径集。设 U_i 为信宿节点 u_i 满足约束条件的路径集合,则 $U_i=\{P_i^1,P_i^2,\cdots,P_i^k\}$,其中 P_i^j 为信宿节点 u_i 的第 j 条满足约束条件的路径。然后,从每个信宿节点的备选路径集中随机选择一条路径组成一棵多播树,作为初始种群的染色体。其结构为 $s=\{g_1,g_2,\cdots,g_m\}$,其中 g_i 为信宿节点 u_i 的路径。

3.3.2 适应度函数

假设初始种群为 $S=\{s_1,s_2,\cdots,s_N\}$,$C(s_i)$ 为染色体 s_i 的代价值,$C(L)$ 为网络中各链路代价之和,染色体 s_i 的适应度函数定义为

$$Fitness(s_i)=1-\frac{C(s_i)}{C(L)}\quad 0\leqslant Fitness(s_i)\leqslant 1 \tag{6}$$

3.3.3 交叉

交叉操作是进化算法中遗传算法具备的原始性和独创性。遗传算法交叉算子是模拟自然界有性繁殖的基因重组过程,其作用是将原有的优良基因遗传给下一代,并生成包含更复杂基因结构的新个体。

该算法中交叉策略为:对于两条染色体,随机选取一点最为交叉点,保留每条染色体交叉点的前半段基因,对其后半段基因进行交叉。这种交叉策略,即保证了种群的多样性,又能将好的基因序列遗传下去。

3.3.4 变异

变异操作是模拟自然界生物体进化中染色体上某位基因发生突变的现象,从而改变染色体的结构和物理性状,有利于遗传算法跳出局部最优解。

该算法中变异策略为:随机选取染色体中一点作为变异点,对该点在其备选路径集中随即选取一条路径作为该点的变异结果。

3.3.5 算法流程

该算法计算流程如下:

(1)给定初始参数(阈值 ε,种群规模 N_{pop},交叉概率 p_c,变异概率 p_m,最大进化世代数 N_{iter},整数 N_{opt});

(2)令 $gen=0$,进行种群初始化,将初始化的种群分作 F 个子种群;

(3)对每一个子种群分别进行遗传、变异操作;如果当前种群世代数为整数 N_{opt} 的整数倍,则转(4),否则转(5);

(4)从各子种群中的染色体中随机选出 $N_{opt}/5F$ 个染色体,再将选出来的个体随机分配各子种群;

(5)计算连续 5 代染色体平均适应度的差值,记其最大差值为 δ,如果 $\delta\leqslant\varepsilon$ 或者 $gen\geqslant N_{iter}$,则停止进化,输出该子种群中的最优结果;否则 $gen=gen+1$,转(3);

(6)将各子种群的输出结果中最优值作为最终结果输出。

4 实验仿真

为了评估算法的性能,在节点数为 50 的网络中,基于网络仿真器 NS 测试和比较处理基于非精确状态信息的 QoS 多播路由常用的三种算法,即遗传算法(GA)、QMRGA[8]算法和提出的并行遗传算法(PGA)。

图 1 分别在不同的延时约束条件下考察网络的性能,所选用的性能指标丢包率(丢包率=$1-\frac{成功到达目的端包数}{总发包数}$。仿真结果显示,相同条件下,PGA 的计算结果优于 GA 和 QMRGA 的结果,表明了该算法的有效性。

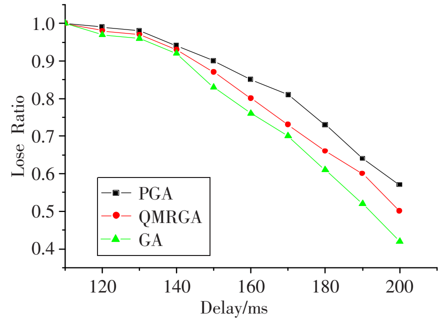

图 1　三种算法在不同延时约束下的丢包率

仿真中采用基于门限的触发机制实现网络更新。例如:对于给定节点 $B_{new}(a,b)$ 为链路 (a,b) 最近获知的可用带宽,$B(a,b)$ 为链路实际可用带宽,若 $|B_{new}(a,b)-B(a,b)|/B_{new}(a,b)>th$,则触发网络更新。$th$ 为给定带宽门限值。图 2 比较了相同条件下三种算法路由成功率随着 th 增加而变化的情况。

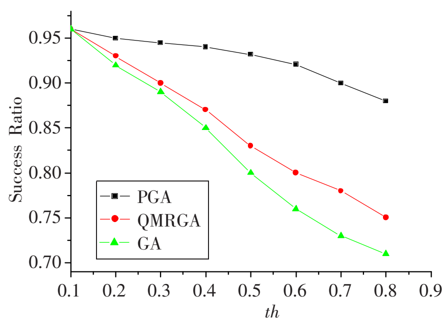

图 2　三种算法在不同门限下的成功率

从图 2 可知,PGA 算法较其他两种算法能更有效地屏蔽网络状态的不确定性,忍受较大的触发门限或较长的网络更新周期,能更好地适应动态变化的实际网络环境。

5 结论

建立了非确定信息下网络 QoS 多播路由的数学模型,构造了求解问题的 PGA 算法。

仿真结果表明,该算法较其他两种算法能够更有效地屏蔽网络状态的不确定性,提高了算法的效率,能更好地适应动态变化的大型网络环境。

参考文献:

[1] Lorenzand D H.QoS routing in networks with uncertain parameters[J].IEEE/ACM Transactions on Networking,2005,6(12):768-778.

[2] Guein R,Orda A.QoS routing in networks with inaccurate information:Theory and algorithms[J].IEEE/ACM Transactions on Networking,2005,6(6):350-364.

[3] Takahashi H,Mutsuyama A.An approximate solution for the Steiner problem in graphs[J].Mathematic Japonica,2006,6(3):573-577.

(下转 130 页)