

文章编号:1001-9081(2005)10-2261-03

## 考虑链路生存时间的 Ad Hoc 网络 QoS 路由优化算法

李 欣<sup>1</sup>, 薛小平<sup>2</sup>

(1. 同济大学 信息与通信工程系, 上海 200331;

2. 北京交通大学 通信工程系, 北京 100044)

(stanley\_xin@163.com)

**摘 要:**在分析 Ad Hoc 网络中 QoS 路由问题的基础上,提出了一种新的基于遗传算法的 Ad Hoc 网络 QoS 路由优化方法,算法中在考虑了其他必须的参数的基础上,进一步考虑了 Ad Hoc 网络特有的 QoS 参数——链路生存时间。并通过计算实例证明了该遗传算法在 Ad Hoc 网络中具有很好的应用前景。

**关键词:**Ad Hoc 网络; QoS 路由; 遗传算法; 链路生存时间

**中图分类号:** TP393.03 **文献标识码:** A

## QoS routing optimal algorithm in Ad Hoc networks based on link existent time

LI Xin<sup>1</sup>, XUE Xiao-ping<sup>2</sup>

(1. Department of Information and Communication Engineering, Tongji University, Shanghai 200331, China;

2. Department of Communication Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** On the basis of analyzing the problem of QoS routing in the Ad Hoc networks, a new QoS routing optimal algorithm in Ad Hoc networks based on genetic algorithm was proposed in this paper. On the basis of considering other necessary QoS parameters, a peculiar QoS parameter in Ad Hoc networks—link existent time was taken into account in this new algorithm. Finally an example proves this algorithm has better foreground in Ad Hoc networks.

**Key words:** Ad Hoc networks; QoS routing; genetic algorithm; link existent time

## 0 引言

当前, Ad Hoc 网络中 QoS 保证的研究热点主要集中于 QoS 路由选择算法, 其核心问题是在满足参数约束条件的基础上对某个参数进行优化。目前, Ad Hoc 网络中 QoS 路由选择算法中主要考虑的 QoS 参数有: 损耗、时延、时延抖动、跳数、数据丢包率、带宽等。文献[1]的启发式算法主要考虑了时延、带宽、损耗等 QoS 参数, 而文献[2]的遗传算法主要考虑了时延和数据丢包率两个 QoS 参数。本文将研究时延、带宽、跳数、费用、丢包率等 QoS 参数, 并同时考虑了 Ad Hoc 网络中的链路生存时间。由于 Ad Hoc 网络中节点是动态可变的, 任何相邻的两个节点的链路都可能因为移动而导致链路的失效, 因此, 本文定义 Ad Hoc 网络中链路存在的时间(单位: s)为链路生存时间。

遗传算法是一种模拟生命进化机制的搜索和优化问题, 是把自然遗传学和计算机科学结合起来的优化方程。遗传算法能够较好的弥补传统固定网络路由算法的缺陷, 文献[3]就利用遗传算法优化了固定 IP 网络的路由方法。与固定网络相比, Ad Hoc 网络中网络拓扑结构变化更频繁, 现有的固定网遗传算法不能直接应用于 Ad Hoc 网络, 本文根据 Ad Hoc 网络的实际情况, 考虑时延、带宽、跳数和链路生存时间等多个 QoS 参数, 建立了一种新的适合 Ad Hoc 网络的遗传算法来进行路由的优化选择。

## 1 网络模型

Ad Hoc 网表示为带权图  $G(V, E)$ , 其中,  $V$  为 Ad Hoc 网的移动节点集,  $E$  为节点间能双向互相通信的双向链路集。在 Ad Hoc 网中  $E$  是动态变化的。对于任意移动节点  $v \in V$ , 节点  $v$  的信息包括: 节点的延时  $D_v$  和节点的丢包率  $L_v$ 。对于  $\forall l_{ij} \in E$ , 链路  $l_{ij}$  的状态信息包括: 链路  $l_{ij}$  的延时  $D_{ij}$ 、费用  $C_{ij}$ 、可用带宽  $B_{ij}$  和生存时间  $T_{ij}$ 。对于任意给定的一条从源节点  $s$  到目标节点  $d$  的路由  $P_{sd}$ , 如果链路  $l_{ij}$  存在并且  $l_{ij} \in P_{sd}$ , 则定义  $P_{ij} = 1$ , 否则  $P_{ij} = 0$ ; 那么, 路由  $P_{sd}$  的延时  $D_{P_{sd}} = \sum_{l_{ij} \in P_{sd}} D_{ij} + \sum_{v \in P_{sd}} D_v$ , 路由  $P_{sd}$  的费用  $C_{P_{sd}} = \sum_{l_{ij} \in P_{sd}} C_{ij}$ , 路由  $P_{sd}$  的可用带宽  $B_{P_{sd}} = \min\{B_{ij} | l_{ij} \in P_{sd}\}$ , 路由  $P_{sd}$  的生存时间  $T_{P_{sd}} = \min\{T_{ij} | l_{ij} \in P_{sd}\}$ 。并且定义  $B_w, D_w, H_w, C_w, T_w$  为 Ad Hoc 网络中选择路由的 QoS 参数要求, 分别代表最小可用带宽、最大延迟、最大跳数、最大费用和最短生存时间。本文的 QoS 优化算法的目的是用最短的时间找到一条满足以上所有 QoS 参数要求的相比较各种开销最小的路由。

假设: 1) 在 Ad Hoc 网中的每个移动节点都有一个唯一的标识符; 每个移动节点  $v \in V$  都能够知道自己所在的位置和移动情况<sup>[4]</sup>。2) 各个节点的有效发射距离相等。因此若两个节点在彼此的发射范围内, 则称这两个节点为邻居节点且它们之间存在一条链路相连。3) 已存在某邻居节点发现

收稿日期: 2005-03-31

作者简介: 李欣(1977-), 男, 上海人, 硕士研究生, 主要研究方向: Ad Hoc 网络; 薛小平(1963-), 男, 江苏常州人, 副教授, 博士, 主要研究方向: IP 路由、拥塞控制、传感器网络等。

协议<sup>[5]</sup>:每个节点周期性地广播 BEACON 包来表示自己,使得任意节点  $v$  不仅知道它的邻居节点集  $N(v)$ ,而且能够知道它与各邻居节点间的链路的当前状态。

## 2 链路生存时间

两个相邻节点之间链路的生存时间主要由两点之间的运动决定。两个节点做反向运动时,当两个节点移动到对方的通信覆盖范围之外时,链路不再有效,到链路不再有效之前的这段时间就是链路生存时间。此外,链路生存时间还与节点的能量有关,当节点没有能量或者能量不足已维持链路存在时,链路也会断开。而且链路生存时间还与当时的环境等其他因素有关。本文中,假设在理想的环境下,并且节点能量正确的情况下,研究链路的生存时间,也就是说本文对链路生存时间的考虑是由于两个节点之间运动而引起的链路生存时间的问题。

### 1) 一个节点运动的情况

如图1所示,假设节点  $B$  延与节点  $A$  之间的链路成  $\alpha$  角度的方向以速率  $v$  进行运动,开始节点  $A$  与节点  $B$  之间的距离为  $d$  (由假设1和假设3可得)。设节点  $B$  移动了距离  $r$ ,则现在节点  $A$  与节点  $B$  之间的距离可由余弦公式得到  $x = \sqrt{r^2 + d^2 - 2rd\cos\alpha}$ ,其中  $r = vt$ ,  $t$  为运动时间,根据假设2,节点  $A$  和  $B$  之间的有效发射距离为  $R$ ,则只有  $x < R$  时,链路有效,代入上面算式,可以得到  $t < \frac{d \cos \alpha + \sqrt{R^2 - d^2 \sin^2 \alpha}}{v}$ 。即链路生存时间  $T = \frac{d \cos \alpha + \sqrt{R^2 - d^2 \sin^2 \alpha}}{v}$ 。

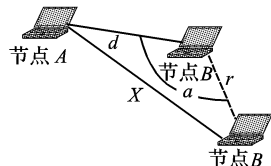


图1 一个节点运动的情况

### 2) 两个节点都在运动的情况

对于两个节点都在运动的情况,只要把其中一个节点作为参照物,将另一节点的运动速度和运动方向改为以这个节点为参照物的运动方式,即另一节点相对参照节点同时做与参照节点方向相反、速率相等的运动,与这个节点本身的运动方向和速率按照平行四边形法则即可得到这一节点相对参照节点的运动情况,由此按上面一个节点运动的情况处理即可得到链路的生存时间。

## 3 Ad Hoc 中基于遗传算法的 QoS 路由算法

### 3.1 编码和解码

可以用一个大小为  $N_n \times N_n$  的采用二进制编码的一维数组作为遗传算法的编码方案,其中  $N_n$  表示 Ad Hoc 网络中节点的数目。当选择的路径中,节点  $i$  与节点  $j$  之间有从  $i$  到  $j$  的单向链路被选中时,数组中的第  $k$  个元素  $x_k$  取值为 1,其中  $k = i \times N_n + j$ 。这种方案是完全的、可行的和非冗余的,每个染色体所占用的空间为  $O(N_n \times N_n)$ 。

按照上述的编码方案,解码就是一个大小为  $N_n \times N_n$  的一维数组转化为二维数组  $O$  的过程,同时构造一个一维数组  $N$ 。其过程如下:

$$O'_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{如果链路}(i,j) \text{ 被选中} \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

$$N'_m = \begin{cases} 1 & \text{如果节点 } m \text{ 在选中的路径上} \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

### 3.2 适应值函数

Ad Hoc 网络中 QoS 路由的适应值函数应满足下述要求:

1) 所选路由的总代价最小;2) 防止不存在的链路被选中;3) 满足用户提出的 QoS 限制。因此构造的适应值为:  $F = A \times F_1 + B \times F_2 + C \times F_3 + D \times F_4 + E \times F_5$ 。其中  $A, B, C, D, E$  为正实数。这里  $F_1, F_2, F_3, F_4$  分别代表路由中除去 QoS 带宽要求的剩余可用带宽、路由中除去 QoS 生存时间要求的剩余生存时间、路由延时中比 QoS 延迟要求节省的时间和路由费用总比 QoS 费用要求节省的费用。 $F_5$  表示路径的跳数限制。则有以下算式:

$$F_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ (i,j) \neq (d,s)}}^n H((B_{ij} - B_w) O'_{ij})$$

$$F_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ (i,j) \neq (d,s)}}^n H((T_{ij} - T_w) O'_{ij})$$

$$F_3 = H(D_w - (\sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ (i,j) \neq (d,s)}}^n D_{ij} O'_{ij}) + (\sum_{i=1}^n D_i N'_i))$$

$$F_4 = H(C_w - (\sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ (i,j) \neq (d,s)}}^n C_{ij} O'_{ij}))$$

$$F_5 = H(H_w - \sum_{i=1}^n N'_i)$$

$$\text{其中: } H(z) = \begin{cases} -\infty & z < 0 \\ z & \text{否则} \end{cases}$$

由上面的算式可以看出,当所选路由不满足任意 QoS 参数要求的时候,根据  $H(z)$  的算式可以知道相应  $F$  值都会变为无穷小,这条路由的适应值  $F$  就不可能成为最大。因此只要选择最大适应值的路由,则一定满足所有的 QoS 参数限制要求。

### 3.3 算法思想

在考虑 Ad Hoc 网络的实际情况,其中每两个节点并不一定是完全互连的,因此未互连的设备反映在染色体上相应位的基因值永远为 0;如果某个节点的处理延迟(或某条连的传输延迟)大于 QoS 请求的延迟,那么在路由计算中是不必考虑该节点(或边)的;另外,由于在用户的 QoS 请求中,带宽是一个重要的限制条件,因此如果在网络中某条边的有效带宽小于请求的带宽,那么这条边就可以首先从互连网络有向图中剪切掉而不会影响最终的计算结果;加上我们前面提出的链路生存时间的概念,如果在网络中某条链路的生存时间小于最终要求的生存时间,那么这条边也可以剪切掉。因此在计算过程中,本文仅仅考虑有设备互连的满足 QoS 限制要求的有效边,也就是仅对有效边进行编码。本文在遗传算法设计时,采用单色杂交和位变异策略。为了加快收敛的进度,在杂交和变异过程中引入局部搜索的概念,使产生的新个体更有效的逼近有效解。采用遗传算法的精华模型,选取群体中具有最大适应值的染色体。根据遗传算法的理论,这种方法是能收敛全局最优解的。

### 3.4 算法步骤

1) 如果某个节点的丢包率大于用户请求的丢包率  $L_w$ , 那么在网络拓扑图中将这个节点删除,并将与这个节点相连的所有链路删除,如果这个节点是源节点或者目标节点,退出并报失败,否则转 2);

2) 对网络有向图进行剪枝,将有向图中所有带宽小于请求带宽  $B_w$  的边和所有生成时间小于请求生存时间  $T_w$  的边剪掉;

3) 生成新的初始群体。设有向图的边数为  $\|E\|$ , 那么每个染色体的基因长度就是  $2 \times \|E\|$ ;

4) 设定迭代次数;

5) 计算适应值  $F = A \times F_1 + B \times F_2 + C \times F_3 + D \times F_4 + E \times F_5$ ;

6) 采用精英模型进行选择,分别根据事先设定的交配概率  $P_c$  和变异概率  $p$  对染色体进行杂交和位变异,并进行局部搜索;

7) 如果迭代次数超过 4) 中所设定的迭代次数则转 9), 否则如果在当前群体中有某个染色体的  $F > 0$  并且其适应值  $F$  在当前群体中最大,那么保存该染色体,把它作为一个候选

解,然后转 8), 否则转 6);

8) 增加  $p$  以产生更多的染色体,然后转 6);

9) 挑选具有最大适应值  $F$  的染色体作为 QoS 路由算法的解。

### 3.5 实例

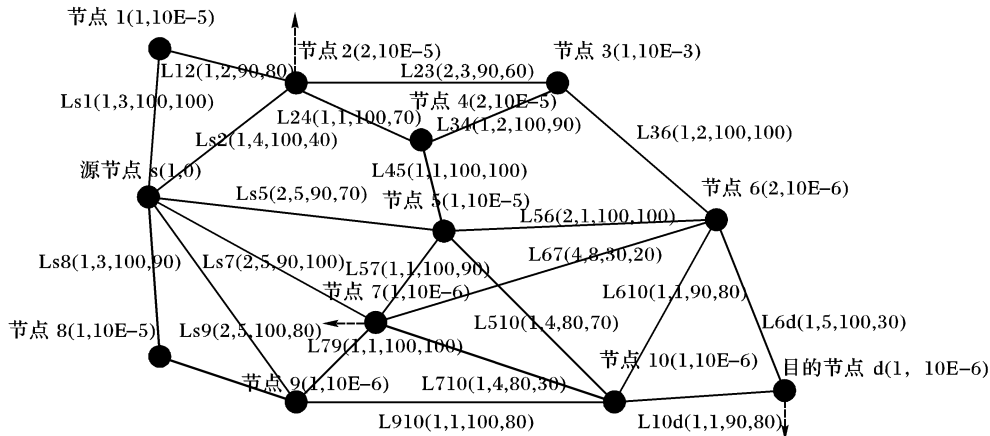


图 2 Ad Hoc 网络拓扑结构及其参数实例

对于图 2 所示的 Ad Hoc 网络,假定寻找一条节点  $s$  发出到节点  $d$  的 QoS 路由,参数定义:图中各节点括号内第一个参数代表节点延时时间(单位:ms),第二个参数代表节点丢包率;图中各链路括号内第一个参数代表链路延时时间(单位:ms),第二个参数代表链路费用,第三个参数代表链路可用带宽,第四个参数代表链路生存时间(单位:s,100 代表最大生存时间,可以根据公式计算出来);QoS 路由要求参数分

别为:  $B_w = 70, D_w = 18, H_w = 5, L_w = 10^{-3}, T_w = 70$ 。遗传算法中设定群体规模为 144,  $P_c = 0.95, p = 0.005, A = 10, B = 150, C = 200, D = 400, E = 400$ 。要求编码长度为 46,循环迭代次数为 144。

如果采用本文提出的简化 Ad Hoc 网中的 QoS 路由算法,则编码长度会减少到 32,只要进行 8 次循环迭代即可得到最优解 ( $s \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 10 \rightarrow d$ ),如图 3 所示。

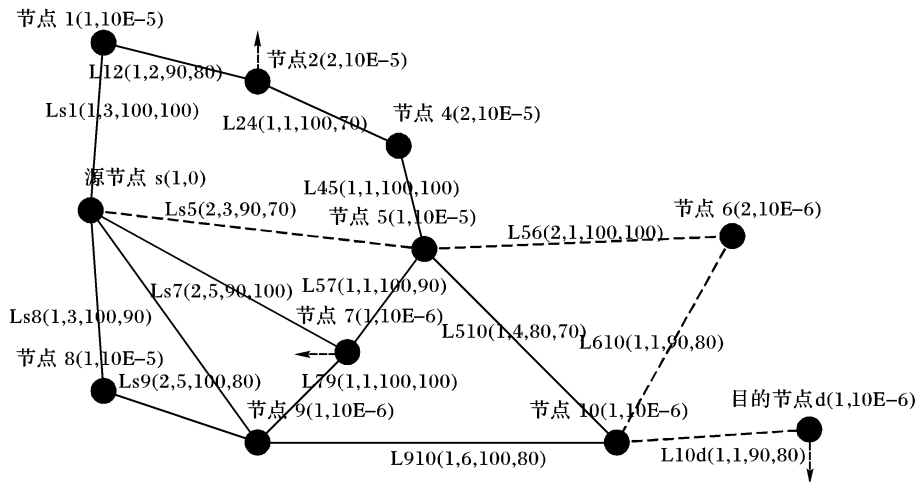


图 3 经过 QoS 剪枝之后的 Ad Hoc 网络拓扑结构实例

## 4 结语

针对 Ad Hoc 网络的特点,提出了一种新的基于遗传算法的 QoS 路由优化算法。算法在考虑一些常见的 QoS 参数(时延、带宽、跳数、费用、丢包率)的基础上,考虑了一种 Ad Hoc 网络中特有的 QoS 参数——生存时间,并且该算法在适应值函数的计算公式设计上充分考虑了 QoS 限制参数的问题,只需进行适应值的计算,选择最大适应值的路由,就一定可以满足所有的 QoS 约束条件。实验表明该算法能够在合理的时间内以较大的概率找到满足用户 QoS 要求的全局最优解,该算法从 QoS 参数考虑到实际算法实现过程都考虑了 Ad Hoc 网络实际情况,适合于 Ad Hoc 网络的动态变化的情况。

### 参考文献:

[1] PANDYA A, POTTIE G. QoS in Ad Hoc Networks[J]. Vehicular

Technology Conference, 2003. VTC 2003-Fall. 2003 IEEE 58th. 2003, 5: 3089 - 3093.

- [2] BAROLLI L, KOYAMA A, SHIRATORI N. A QoS Routing Method for Ad Hoc Networks Based on Genetic Algorithm[A]. Database and Expert Systems Applications[C], 2003. 175 - 179.
- [3] RIEDI A. A hybrid genetic algorithm for routing optimization in IP networks utilizing and width and delay metrics[A]. IP Operations and Management[C]. 2002 IEEE Workshop on, 2002. 166 - 170.
- [4] NICULESCU D. Positioning in Ad Hoc sensor networks[J]. IEEE Network, 2004, 18(4): 24 - 29.
- [5] YANG X, LI H. Local Data Control and Admission Control for QoS Support in Wireless Ad Hoc Networks[J]. IEEE Transactions on vehicular technology, 2004, 53(5).
- [6] 邢文训, 谢金星. 现代优化计算方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.