

基于稳定性预测的 Ad Hoc 网络路由算法设计^①

沈学利 李忠波 (辽宁工程技术大学 电子与信息工程学院 辽宁 葫芦岛 125105)

摘 要: 通过对 Ad Hoc 网络节点可靠性、节点剩余能量等指标状态的规律预测, 提出了基于加权马尔可夫链的稳定性预测路由选择算法 PRAS (Predicted Routing Algorithm with Stability)。该算法对节点单一最优指标值及节点综合最优评价值方面进行研究, 提出对网络 QoS 的路由选择优化方案。经过仿真验证, 应用 PRAS 算法选择的链路, 其节点平均端到端时延和分组平均投递率, 明显优于一般概率路由选择的效果。

关键词: Ad Hoc 网络; 加权马尔可夫链; 预测; 路由选择; 算法

Design of Predicted Routing Algorithm Based on Stability in Ad Hoc Networks

SHEN Xue-Li, LI Zhong-Bo

(College of Electronic and Information Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

Abstract: With the prediction of the rules of node reliability and residual energy, this paper presents a PRAS (Predicted Routing Algorithm with Stability) based on weighted Markov Chain. PRAS makes schemes for the routing of network QoS via researches on single optimal index and comprehensive optimal evaluation of nodes. Simulation results show that the route realized by PRAS routing is obviously better than usual probability in terms of the delivery ratio from average end-to-end delay.

Keywords: Ad Hoc network; weighted Markov Chain; prediction; routing; algorithm

1 引言

Ad Hoc 网络是一系列动态主机节点临时组成的无线网络, 其数据传输受带宽、节点距离、节点状态等多因素影响, 而网络路由是其中一关键问题。当前路由协议中, 不管主动路由协议(如 DSDV), 还是按需路由协议(如 DSR, AODV), 其路由算法多考虑最短路径或能耗最低化, 淡化了对链路稳定性及链路最佳效能的考虑, 从而易发生网络节点拥塞、链路断裂。

我们知道, 链路的稳定性依赖于链路节点的稳定性。实际情况下, 节点的移动具有特定规律性, 可以根据节点某些指标规律, 预测节点在下一时刻的状态。目前已提出许多预测方案, 如基于预测的链路可用性估测模型^[1]、传输链路保持连接时间的预测模型^[2]、节点位置预测模型^[3]以及链路可用性模型^[4]、任意时间链路保持连接的概率预测模型^[5]。但他们在路由选择

方面主要预测下一时刻的路由存在性, 对该路由的概率稳定性缺乏研究。

本文提出了一种基于加权马尔可夫链的稳定性预测路由选择算法 PRAS (Predicted Routing Algorithm with Stability), 该算法通过对节点可靠性、节点能量等指标的规律预测, 得出下一时刻节点状态指标值。实验证明该算法可明显提高节点分组投递率, 减小端到端时延提高网络性能。

2 网络拓扑及参数

2.1 网络拓扑

以图 $G=(V, E_{ij})$ 表示网络拓扑结构^[6], 其中 V 表示网络中节点的集合, E_{ij} 表示节点 i 与节点 j 之间边的集合, i 与 j 可双向通信。

2.2 稳定性参数

根据链路可靠性模型^[7], 一条链路的可靠性可以

^① 收稿时间:2009-06-13

用该链路节点的综合状态参数考察。节点的稳定性是链路稳定的关键。本文中我们选择节点间包递交成功率，传输时延，能量比作为参数。包递交率用于考察节点间数据传输时的连通性，同时检测一些自私节点的拒绝服务；传输时延用于考察节点繁忙程度；能量比用于考察该节点在网络中生存时间。其中能量模型本文采用文献^[8]中提出的能量消耗模型，设节点 i 的电池能量最大值是 $E_{\max}(i)$ ， $E_{\text{remain}}(i)$ 表示当前节点剩余能量， $E_{\text{consume}}(i)$ 表示节点 i 已消耗的总能量，节点的剩余能量比为：

$$\text{Energy}(t) = (E_{\max}(i) - E_{\text{consume}}(i)) / E_{\max}(i)$$

$$(0 \leq \text{Energy}(t) \leq 1)$$

t 表示第 t 时刻。

3 稳定性预测路由选择算法 PRAS

3.1 预测机制

路由选择稳定预测机制是预测传输路径稳定度的基础，现有的基于预测的路由选择算法多是基于能量预测，如以能量耗尽速率为路径衡量尺度的路由协议 (MDR)^[9]，基于生命期预测的多径路由算法 (LMR)^[10]。而在路径选择中，多数以一般概率原则选择，不能有效考虑各参数间相关性。本文提出的基于加权马尔可夫链预测的稳定性的路由算法 PRAS，具有综合评价节点路由选择的能力。

3.2 加权马尔可夫链预测

马尔可夫链预测方法是种较稳健的预测方法，主要有基于绝对分布的马尔可夫链预测方法，叠加马尔可夫链预测方法和加权马尔可夫链预测方法^[11]三类。其中加权马尔可夫链预测方法在叠加马尔可夫链预测方法基础上，考虑各指标值之间相关性，可以进行一步及多步概率转移的预测。

我们知道每条传输路径有一系列节点组成，节点如何从其邻居节点中择优选取下一跳节点，这就是我们要研究的问题。假设一条链路源节点 S ，目的节点 D ， S 与 D 进行通讯，如图 1 所示：

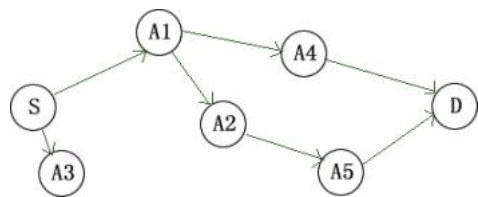


图 1 S-D 链路图

在 S 到 D 的路径中，当节点 $A1$ 收到路由请求包发现自己不是目的节点要继续广播时，首先要从 $A2$ 和 $A4$ 两个邻居节点中选择，看它们是否符合该链路 QoS 的中继节点要求。假设各节点之间周期性发送 hello 消息，彼此交流节点间的包递交率，传输时延，能量比等信息。这样在一定时间内，每个节点都有多张记录表，记录各邻居节点对该节点的包递交率，传输时延，能量比等信息。

如图 1，我们以节点 $A1$ 为例，节点 $A1$ 通过广播确定有 $A2$ ， $A3$ 两个邻居节点符合最低传输条件。但根据链路的 QoS 多路径传输^[12]要求，如何从节点 $A2$ ， $A3$ 再择优呢？

设节点 $A1$ 已建立两个信息表，分别记录节点 $A2$ ， $A3$ 的信息，分别记作表 $\text{Table}_{A1}(A2)$ ，表 $\text{Table}_{A1}(A3)$ 。

信息表格式如表 1：

表 1 节点指标值信息表

时间次序	包递交率	传输时延	能量比
t	$\text{Transmit}(t)$	$\text{Delay}(t)$	$\text{Energy}(t)$
均值	$\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \text{Transmit}(t)$	$\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \text{Delay}(t)$	$\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \text{Energy}(t)$

其中时间次序 t 是指节点 $A1$ 获得邻居节点每条状态信息的时间 ($t > 0$)， $\text{Transmit}(t)$ ， $\text{Delay}(t)$ ， $\text{Energy}(t)$ ，是指时间次序为 t 时的包递交率，传输时延，能量比。

均值计算如式(1): $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x(t)$ (1)

则三个指标值序列的包递交率均值($\bar{x}_{\text{transmit}}$)，传输时延均值($\bar{x}_{\text{delay}}$)，能量比均值($\bar{x}_{\text{energy}}$)为：

$$\bar{x}_{\text{transmit}} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \text{Transmit}(t) \quad (2)$$

$$\bar{x}_{\text{delay}} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \text{Delay}(t) \quad (3)$$

$$\bar{x}_{\text{energy}} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \text{Energy}(t) \quad (4)$$

根据样本方差公式 $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ (5)

可求得包递交率方差(S_{transmit})，传输时延方差(S_{delay})，能量比方差(S_{energy})分别为：

$$S_{\text{transmit}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (\text{Transmit}(t) - \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \text{Transmit}(t))^2} \quad (6)$$

$$S_{\text{delay}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (\text{Delay}(t) - \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \text{Delay}(t))^2} \quad (7)$$

$$S_{energy} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Energy(t) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Energy(t))^2} \tag{8}$$

根据各指标值均差、样本方差 s 及均方差分级法^[11,13], 得各指标值变化区间为: $(0, \bar{x} - \alpha_1 s), (\bar{x} - \alpha_1 s, \bar{x} - \alpha_2 s), (\bar{x} - \alpha_2 s, \bar{x} + \alpha_2 s), (\bar{x} + \alpha_2 s, \bar{x} + \alpha_1 s), (\bar{x} + \alpha_1 s, +\infty)$ 。取适当的 α_1, α_2 值, 将指标值划成 5 个状态: 优、良、中、合格、差。用 $ST_{transmit}(i), ST_{delay}(i), ST_{energy}(i)$ 作为包递交率、传输时延、能量比三个指标的状态标准($ST(i)$), 其中 $i \in [1,5]$ 且 $i \in N$ 。状态划分参看表 2。

表 2 状态划分表

i	ST(i)	标准
1	差	$(0, \bar{x} - \alpha_1 s)$
2	合格	$[\bar{x} - \alpha_1 s, \bar{x} - \alpha_2 s)$
3	中	$[\bar{x} - \alpha_2 s, \bar{x} + \alpha_2 s)$
4	良	$[\bar{x} + \alpha_2 s, \bar{x} + \alpha_1 s)$
5	优	$[\bar{x} + \alpha_1 s, +\infty)$

根据各指标值序列数据及表 2 的判断, 将 $ST_{transmit}(i), ST_{delay}(i), ST_{energy}(i)$ 的值填入指标状态值表(表 3)。

表 3 指标状态值表

时间 次序	状态值		
	包递交率	传输时延	能量比
t	$ST_{transmit}(t)$	$ST_{delay}(t)$	$ST_{energy}(t)$

步长是指节点的某一指标值从一种状态到其它状态の時阶。

根据表 1 状态值中的包递交率, 传输时延, 能量比数据, 我们分别构造步长为 1-5 的转移规律矩阵: $(f_{ij})_{transmit}(k), (f_{ij})_{delay}(k), (f_{ij})_{energy}(k), i, j$ 均为状态值序列号, k 为步长。

根据各步转移规律矩阵及转移概率公式^[14]

$$(P_{ij})_k = \frac{(f_{ij})_k}{\sum_{j=1}^m (f_{ij})_k} \tag{9}$$

我们构造步长为 1-5 的概率转移矩阵。

设包递交率, 传输时延, 能量比的概率转移矩阵为: $(P_{ij})_{transmit}(k), (P_{ij})_{delay}(k), (P_{ij})_{energy}(k), i, j$ 为状态值序列号, k 为步长。

根据文献^[11]的权值方案:

$$R(T) = \left| \sum_{t=1}^{n-1} (x_t - \bar{x})(x_{t+1} - \bar{x}) / \sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2 \right| \tag{10}$$

令 $R_{transmit}(T), R_{delay}(T), R_{energy}(T)$ 分别为包递交率, 传输时延, 能量比的自相关系数。其中, T 表示第 T 时阶(时间滞 T), x_t 是第 t 时段指标值, $\bar{x}$ 是该指标值的均值, n 是该指标值的统计数量。

根据以上信息构建指标状态预测表(如表 4, 表 5)

表 4 指标状态预测表一

时间 次序	状态值	滞时	自相关系数	状态概率
t	ST(t)	T	R(T)	$L_{(e)}$ $P_{(e)}$

$L_{(e)}$ 是状态划分区块, $P_{(e)}$ 是 $L_{(e)}$ 状态时的概率, $e \in [1,5]$ 且 $e \in N$

表 5 指标状态预测表二

时间次序	状态概率				
	1	2	3	4	5
t	$P_{(T) ST(t)}$	$P_{(T) ST(t)}$	$P_{(T) ST(t)}$	$P_{(T) ST(t)}$	$P_{(T) ST(t)}$
加权概率和	P_j	P_j	P_j	P_j	P_j

$P_{(T)|ST(i)}$ 是某一状态的概率值, 其值选取首先是指根据滞时 T , 选择该指标 T 步长的转移概率矩阵 $(P_{ij})_T$, 并参考状态值 $ST(i)$ 选择矩阵中对应行。 P_j 为加权求和, 计算如公式(5):

$$P_j = \sum_{m=1}^n R(T) * P_{(T)|ST(i)}, j \in ST(i) \tag{11}$$

根据表 4 数据, 我们选择 $\max(P_j, j \in SA_i)$ 作某指标下一跳最大发生概率。令 $P_{transmit}(j), P_{delay}(j), P_{energy}(j)$ 为节点 j 的包递交率, 传输时延, 能量比的下一状态最大发生概率。

3.3 节点综合评价

在加权马尔可夫链预测上, 设 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 分别为指标值包递交率, 传输时延, 能量比之间的权重系数。令 $V(j)$ 为第 j 个邻居节点综合评价, 则:

$$V(j) = \beta_1 \frac{P_{transmit(i)}}{\sum_{m=1}^n P_{transmit(j)}} + \beta_2 \frac{P_{transmit(i)}}{\sum_{m=1}^n P_{transmit(j)}} + \beta_3 \frac{P_{transmit(i)}}{\sum_{m=1}^n P_{transmit(j)}} \tag{12}$$

其中 $(\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 1)$

综上, 该算法可以根据网路中各节点的包递交率, 传输时延, 能量比等信息进行加权马尔可夫链预测并进行综合评价, 动态选择最优综合指标值的邻居节点径, 使网络链路的状态达到最优。

4 仿真分析

为了进一步验证本算法的有效性,现建立仿真模型进行分析。假设源节点和目的节点固定,两者距离1000m,以两节点为直径的圆内均匀有50个活动节点,节点匀速移动速率1.5m/s,节点的广播半径为25米,各节点每隔2秒向邻居节点广播数据信息。各节点接收到其它节点信息时,将每个节点信息记录在自节点数据表中。比较各节点以一般概率选择路由和按PRAS预测算法选择路由时的平均端到端时延和节点的分组平均投递率。

图2显示的是平均端到端时延比较:在开始阶段,应用PRAS算法搜索的时延要高于一般概率搜索,但随着时间延长,会慢慢低于一般概率搜索,同时发现应用PRAS算法搜索的时延比一般概率在时延收敛性方面高,但随时间延长,慢慢都趋于一种平衡。

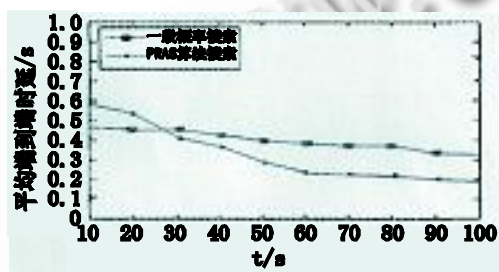


图2 平均端到端时延比较

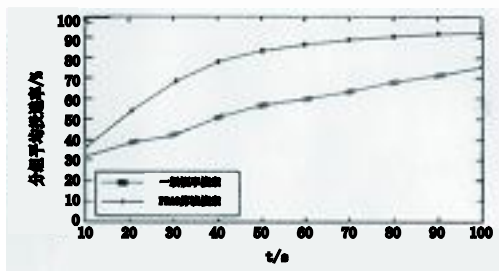


图3 分组平均投递率比较

5 结语

本文通过对Ad Hoc网络节点可靠性、节点剩余能量等指标状态的规律预测,提出了的基于加权马尔可夫链的稳定性预测路由选择算法PRAS (Predicted Routing Algorithm with Stability),该算法可以通过单一最优指标值也可以通过节点综合最优评价价值进行路由选择,给网络QoS提供了保证依据。

参考文献

1 谭长庚,陈松乔,龚晓霞.移动自组网中基于预测机制

的一种稳定路由算法设计.小型微型计算机系统, 2007,(1):9-12.

2 Jiang SM, He DJ, Rao JQ. A prediction-based link availability estimation for mobile ad hoc networks. Proc. of the 20th IEEE INFOCOM, 2001.1745-1752.

3 Su W, Lee SJ, Gerla M. Mobility prediction and routing in ad hoc wireless networks. International Journal of Network Management, 2001,(11):3-30.

4 Shah SH, Nahrstedt K. Predictive location-based qos routing in mobile ad hoc network. Proc. of IEEE International Conference on Communications (ICC 2002), 2002.1022-1027.

5 BRUCE MCDONALD A, TAIEB ZNATI. A path availability model for wireless ad-hoc networks. Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference 1999(WCNC'99). New Orleans, LA. 1999.21-24.

6 许成文,吴晓阳,刘会杰. Ad Hoc网络拓扑与隐藏终端/暴露终端的研究.通信技术, 2008,(2):103-105.

7 吴正宇,宋瀚涛,姜少峰,梁野,徐晓梅.最小能量节点不相交多路径的自组网路由算法.北京理工大学学报, 2007,(5):417-421.

8 孙丹丹,苗建松,丁炜.移动Ad hoc网络中基于能量的自适应广播策略.电子科技大学学报, 2008,(4):534-537.

9 Dongkyun K, GARCIA-LUNA-ACEVES JJ, Etall OK. Power-aware routing based on the energy drain rate for mobile ad hoc networks. Proc. of Eleventh International Conference on Computer Communications and Networks. New Jersey, 2002. 565-569.

10 唐艳芬. Ad hoc网络基于能量预测的多径路由协议研究[硕士学位论文].长沙:湖南大学, 2007.

11 夏乐天.马尔可夫链预测方法及其在水文序列中的应用研究[博士学位论文].南京:河海大学, 2005.

12 郑四海,李腊元. Ad Hoc网络QoS多径路由协议的研究.武汉理工大学学报, 2008,(3):450-453.

13 Hu XJ, Han D. A positive analysis of input and output of xinjiang industrial economy. Proc. of Global Economic Integration and 21st centurial Asian Economy, 1997,(8):123-129.

14 Han D. An analysis of the Markov chain on the stock price and stock speculation. Proc. of ICOTA. Singapore World Scientific, 1995. 810-814.