

基于链路可靠性的 Ad Hoc 网络路由协议研究^{*}

刘宴兵 赵金 黄育松

(重庆邮电大学计算机学院 重庆 400065)

摘要 本文在随机移走(Random Walk-Based)模型的基础上,对 Ad Hoc 网络链路通信的可靠性进行分析,给出链路可靠性的简单数学模型,提出一种基于链路可靠度的路由协议,并通过仿真实验验证了该协议的有效性。

关键词 Ad Hoc 网络,路由算法,随机移走(Random walk-based),链路可靠度

Routing Algorithm Based on Link Reliability for Ad Hoc Networks

LIU Yan-bing ZHAO Jin HUANG Yu-song

(College of Computer Science and Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract This paper analyses link communication reliability, gives a simple mathematical model of link reliability of Ad Hoc networks, presents a routing protocol based on link reliability and verifies the feasibility and performance of the proposed algorithm by simulation experiment.

Keywords Ad hoc network, Routing algorithm, Random walk-based, Link reliability

1 引言

Ad hoc 网络是一种移动节点组成的无线通信自组织系统^[1]。由于其网络的动态拓扑,再加上传输的多跳性和无线信道不可靠性,随着网络规模的增大,网络中用于计算路由的开销将变得难以控制。常规路由协议不能满足 Ad Hoc 网络的需要,这使得动态稳定性成为了影响 Ad Hoc 网络性能的一个关键问题^[2]。路由可靠性研究正是稳定性的一个重要内容。Ad Hoc 网络中节点的移动性和节点状态等不确定因素造成网络在某些时刻会发生分割(Network Partition)^[3],从而中断节点间的链路,而组成路由的任何一条链路的失效都将导致该路由的失效。由于 Ad Hoc 网中的节点可以任意移动,使得节点间的通信链路频繁断裂,造成了路由失效的现象。路由失效是导致路由协议可靠性下降的一个主要因素,同时路由失效必然引起路由再发现和数据重传,这无疑增加了网络的开销和传输的时延。

本文在随机移走(Random Walk-Based)模型的基础上,对 Ad Hoc 网络链路通信的可靠性进行分析,提出一种基于链路可靠度的路由协议。

2 Ad Hoc 网络的路由协议

在现有的大多数 Ad Hoc 按需路由协议中,路由发现仅根据路由的 Fresh 程度和路由跳数等参数进行路由选择,如 AODV^[4,6],这在很大程度上增加了使用不可靠路由的概率。而路由失效将会对协议的性能和网络服务质量造成非常不利的影响,虽说使用泛洪可以提高数据分组到达目的节点的成功率,但是这样带来的开销也会非常大。如何尽量避免路由失效是 Ad Hoc 路由协议研究中一个相当重要的组成部分。

Ad Hoc 网络的节点不仅要具备普通移动终端的功能,还要具备报文转发能力,即具有路由器的功能。人们根据 Ad

Hoc 网络的特点开发了许多 Ad Hoc 网络的路由协议。现有的 Ad Hoc 路由协议主要分为表驱动(Table-driven)路由协议和按需(On-Demand)路由协议。表驱动(Table-driven)的路由协议通过不断检测网络的拓扑和链路的变化情况,动态地更新路由表,在这种路由协议中,每个节点都维护一张或多张表格,这些表格包含到达网络中其它节点的路由信息。当检测到网络的拓扑结构发生变化的时候,节点在网络中发送更新的信息。收到更新信息的节点更新自己的表格,以维护一致、准确、及时的路由信息。按需路由协议只在网络中的节点需要通信的时候才查找路由。在这类路由协议中,每个节点并不保存及时准确的路由信息,只有当源节点要向目标节点发送数据的时候,源节点才向网络中发起路由查找的过程,找到相应的路由之后开始发送数据。由于按需式路由减少了维护路由表的开销,在 Ad Hoc 网络中得到了大量使用。

3 基于链路可靠性的路由协议

3.1 链路可靠度的测量

链路可靠度模型建立在随机移走模型^[7]的基础之上。在随机移走模型中,节点的运动过程由一系列随机长度的时间段组成,该时间段被称为运动周期(Movement Epoch)。在一个时间段内,节点的运动速度和运动方向保持不变。节点 n 的运动属性由三个参数来确定: λ_n , μ_n 和 σ_n^2 。下面是对这三个参数的定义和相关的假设:

(1) 运动周期 T_n^i 的长度服从参数为 λ_n 的指数分布。

(2) 运动周期内的节点运动速度 V_n^i 是一个均值为 μ_n , 方差为 σ_n^2 的随机变量。

(3) 运动周期内的节点运动方向 θ_n^i 服从 $(0, 2\pi)$ 内的均匀分布。

(4) 运动速度 V_n^i 、运动方向 θ_n^i 和运动周期长度 T_n^i 是相互独立的。

^{*} 基金项目:重庆市科委攻关和自然科学基金(CSTC, 2005BB2060),重庆市教委项目(KJ050507)。刘宴兵 博士生,主要从事计算机网络技术研究;赵金 硕士研究生,主要研究宽带无线网络技术。

(5) 节点的运动是不相关的, 链路的失效是独立的。

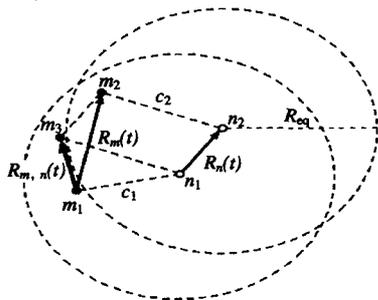
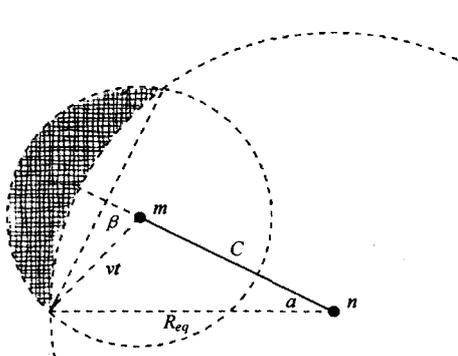


图1 两个节点的相对运动关系

对于两个节点间的运动, 我们可以选定其中一个节点作为参考点, 用另一个节点的相对位移来表示节点间的运动关系, 如图1^[6]所示。图中两个节点的初始位置是 m_1 和 n_1 , 它们之间的距离是 C_1 ; 在经过时间 t 后, 两个节点的位置是 m_2 和 n_2 , 相互距离是 C_2 , 它们的随机移动向量是 $\vec{R}_m(t)$ 和 $\vec{R}_n(t)$ 。若以节点 n 为参考点, 则时间 t 后节点 m 相对于节点 n 的位置是 m_3 , 节点 m 相对于节点 n 的相对随机移动向量为:



(a) $R_{eq} - vt < C < R_{eq}$

$\vec{R}_{m,n}(t) = \vec{R}_m(t) - \vec{R}_n(t)$, 两个节点之间的相对运动速度可表示为:

$$\vec{v}_{m,n}(t) = \frac{d}{dt}(\vec{R}_{m,n}(t)) = \vec{v}_n - \vec{v}_m \quad (1)$$

若节点 m 和节点 n 在时刻 t_0 的相对移动速度为 v , 则在 t 时刻, 节点 m 相对于节点 n 的移动范围可以用半径为 vt 的圆来表示。根据 t_0 时刻节点 m 和节点 n 的距离 C ($C \leq R_{eq}$), 其链路可靠性可以分为三种情况:

(1) 当 $C \leq R_{eq} - vt$ 时, 链路可靠性为:

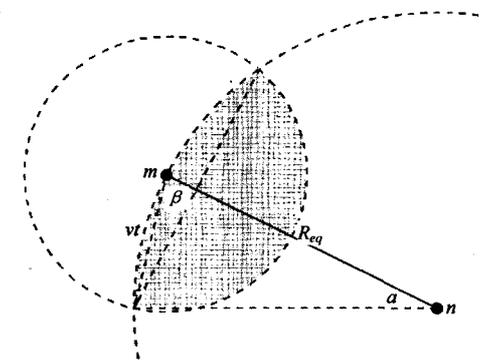
$$A_{m,n}(t) = 1;$$

(2) 当 $R_{eq} - vt < C < R_{eq}$ 时, 如图2(a)所示。链路可靠性为:

$$A_{m,n}(t) = 1 - \frac{\beta(vt)^2 - \alpha R_{eq}^2 + C \sqrt{R_{eq}^2 - b^2}}{\pi(vt)^2} \quad (2)$$

其中, $\alpha = \arccos(\frac{b}{R_{eq}})$, ($0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$), $\beta = \arccos(\frac{a}{vt})$, ($0 < \beta < \frac{\pi}{2}$),

$$a = \frac{R_{eq}^2 - (vt)^2 - C^2}{2C}, b = \frac{R_{eq}^2 - (vt)^2 + C^2}{2C};$$



(b) $C = R_{eq}$

图2 Ad Hoc 网络的链路可靠性

(3) 当 $C = R_{eq}$ 时, 如图2(b)所示。链路可靠性为:

$$A_{m,n}(t) = \frac{\beta(vt)^2 + \alpha R_{eq}^2 - R_{eq} \sqrt{R_{eq}^2 - b^2}}{\pi(vt)^2} \quad (3)$$

其中, $\alpha = \arccos(\frac{b}{R_{eq}})$, ($0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$), $\beta = \arccos(\frac{a}{vt})$, ($0 < \beta < \frac{\pi}{2}$),

$$a = \frac{(vt)^2}{2R_{eq}}, b = \frac{2R_{eq}^2 - (vt)^2}{2R_{eq}}.$$

3.2 基于链路可靠度的路由协议的实现

针对 Ad Hoc 网络节点间的通信链路的不可靠性, 本文在 ADOV 协议的基础上进行改进, 得到一种基于链路可靠性的 Ad Hoc 网络路由协议: LRBA (Link Reliability Based AODV)。其在路由的过程之中, 可以根据链路状况选择可靠性最大的路径作为路由, 从而在很大程度上减少不可靠路由对路由协议的影响并提高通信的质量。为了获取链路的可靠度, 在路由协议的 RREQ, RREP 和 HELLO 分组中都增加了存储节点坐标信息的域, 其他节点在收到这些消息后就可根据公式(1)-(3)进行链路可靠度计算, 并根据结果选择路由或更新路由表。

下面是节点收到 RREQ 分组后的处理步骤:

- Step1: 判断是否重复, 不重复转 Step2, 否则销毁 RREQ 转 Step8;
- Step2: 更新路由请求表, 转 Step3;
- Step3: 获取 RREQ 中的节点坐标信息, 获取邻表中的节点历史信息, 计算链路可靠度, 转 Step4;
- Step4: 更新邻表和路由表中到达源节点的表项, 转 Step5;
- Step5: 到达目的节点则转 Step7, 否则转 Step6;
- Step6: 查找路由表, 找到到达目的节点的路由转 Step7, 否则转 Step8;
- Step7: 构造 RREP 单播至上一跳节点, 销毁 RREQ, 转 Step9;
- Step8: 更新 RREQ 中的节点坐标信息, 广播 RREQ, 转 Step9;
- Step9: 返回。

下面是节点收到 RREP 分组后的处理步骤:

- Step1: 判断是否重复, 不重复转 Step2, 否则销毁 RREQ 转 Step9;
- Step2: 更新路由请求表, 转 Step3;
- Step3: 获取 RREP 中的节点坐标信息, 获取邻表中的节点历史信息, 计算链路可靠度, 转 Step4;

- Step4:更新邻表和路由表中到达源节点的表项, 转 Step5;
- Step5:到达目的节点则转 Step6, 否则转 Step7;
- Step6:更新路由表, 销毁 RREP, 转 Step9;
- Step7:查找路由表, 找到到达目的节点的反向路由转 Step8, 否则销毁 RREP 转 Step9;
- Step8:更新 RREP 中的节点坐标信息, 转发 RREP, 转 Step9;
- Step9:返回。

4 实验仿真

仿真平台为 OPNET 10.0^[8,9], 仿真场景覆盖面积是 10 × 10km², 节点数为 100, 实验配置的业务为 Http, Ftp 和 Da-

tabase, 节点的移动速度为 0~40(km/hr), 仿真时间为 1 小时。收集路由建立时间、端到端延时、分组丢弃数、分组交付率和协议开销 5 个参数。

图 4 是仿真实验的结果。从图中可以看出, 由于改进协议选择最大可靠性的路径作为路由, 明显地减少了分组的丢弃数, 提高了分组的交付率。由于改进协议增加了一些额外的开销, 其协议开销略大于 AODV 协议, 但随着节点移动速度的增大, 改进协议通过减少路由失效从而降低了路由再发现或修复的开销, 因而其协议开销呈下降趋势。此外, 由于需要根据链路的可靠度对路由表进行更新, 避免了 AODV 协议对路由表的频繁更新, 改进协议取得了较好的路由发现时间。但由于选择最可靠路由, 改进协议引入了路径冗余, 造成了传输时延的上升。

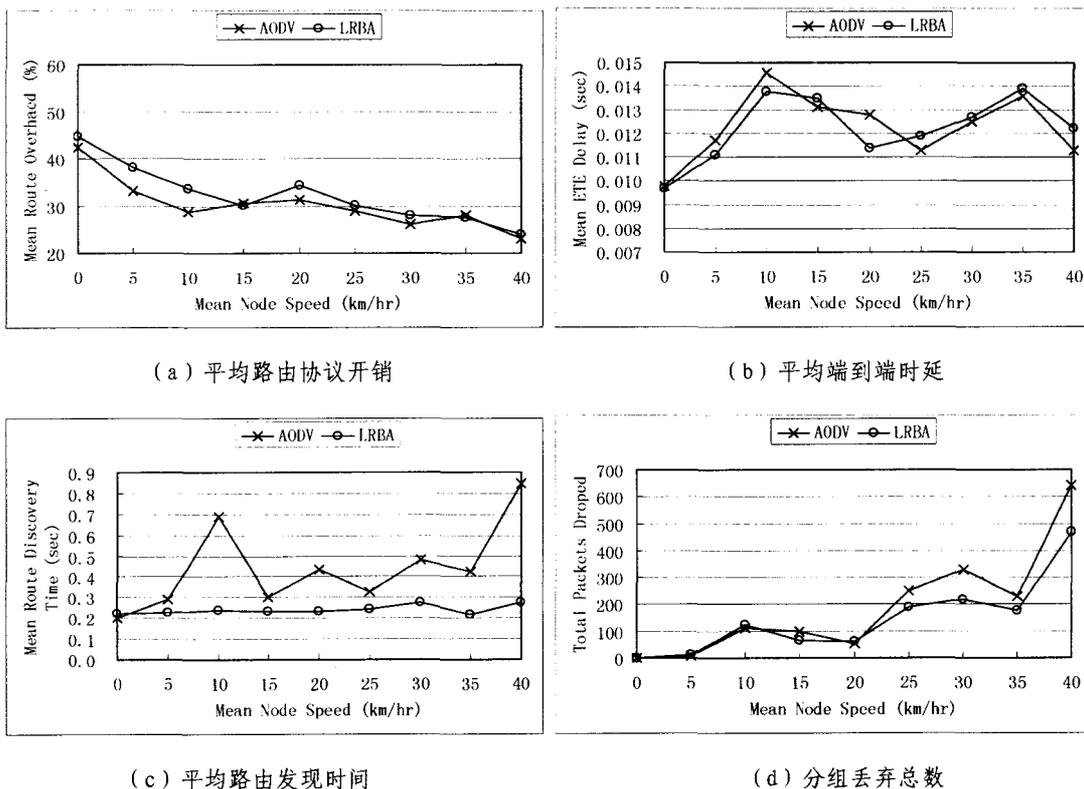


图 4 两种协议仿真结果对比

结束语 本文根据随机移走模型对 Ad Hoc 网络节点间的链路可靠性进行了分析研究, 得到了链路可靠度的简单数学模型, 并提出了一种基于链路可靠度的路由协议。仿真实验表明, 该协议算法能有效减少路由失效, 降低分组的丢弃数, 提高分组交付率, 缩短路由发现的时间。

参考文献

- [1] Chuah M, Yang P. Comparison of Two Intrusion Detection Schemes for Sparsely Connected Ad Hoc Networks [C]. MIL-COM 2006, Washington, D. C. USA, 2006:1-7
- [2] Obana S, Kadowaki N, Davis P. Breakthroughs in Large-Scale Ad Hoc Wireless Networking and Application for Vehicle Safety [C]//7th International Conference on Mobile Data Management. Nara. Japan, 2006:88
- [3] Ritter H, Winter R, Schiller J. A Partition Detection System

- for Mobile Ad Hoc Networks [C]. IEEE SECON 2004, Santa Clara, USA, 2004:489-497
- [4] 许延, 常义林, 刘增基. 多媒体同步技术研究. 西安电子科技大学学报, 2000, 27(4): 504-509
- [5] Richard Stevens W. TCP/IP Illustrated Volume 1: The Protocols[M]. 范建华, 译. 北京:机械工业出版社, 2000:209-268
- [6] Perkins C, Royer E B, Das S. RFC3561: Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing, 2003. Available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>
- [7] Johnson D, Hu Y, Maltz D. RFC4728: The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4, 2007. Available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc4728.txt>
- [8] 李馨, 叶明. OPNET Modeler 网络建模与仿真[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2006
- [9] 孟晨. OPNET 通信仿真开发手册[M]. 北京:国防工业出版社, 2005