

一种 MANET 中的路由可靠性评估方法

范新明

(盐城工学院 实验教学部,江苏 盐城 224051)

摘要:从可靠性的角度,分析对比了移动 Ad Hoc 网络中热门的两个动态寻址路由协议:DART 与 ATR。提出了一种有效的路由可靠性分析方法,并通过仿真验证了方法的有效性,理论分析结果与基于数据包传输率等传统测量结果相一致。表明 ATR 多路径方法适用于可行路由,并且在大规模网络中性能明显优于 DART 最短路径方法。

关键词:移动 Ad Hoc 网络;可靠性;路由协议;终端对可靠性

中图分类号:TP393.04

文献标识码:A

文章编号:1671-5322(2012)02-0038-04

移动 Ad Hoc 网络(Mobile Ad hoc NETworks)也称为 MANET,是随无线通信技术的快速发展而出现的一种新型网络。但如何设计高效灵活的动态路由协议,以适应移动节点的高度移动性导致网络拓扑结构发生的变化已成为当前面临的一个重要问题。传统的静态寻址路由协议中假定节点身份等同,忽视了节点所属等级,如前置的、后置的,或是混合的。由于节点的移动性和链路的不稳定性,这个假定不可能适合于 Ad Hoc 网络。近年来一些学者试图将路由地址和节点的身份标志分离,网络节点在拓扑网络中的实时位置由路由地址决定,这可以用分布式哈希表(DHT)来映射节点身份和路由地。文献[1]介绍了一种基于地址空间建立节点间连通度的逻辑树结构,虽然该结构可以实现简单的路由过程,但是缺乏应对移动和链路失效的能力,而且机动路由选择能力也较弱。

1 动态寻址路由协议

最近,为了保持地址分配机制的简单性同时克服缺乏完整的拓扑信息,提出了一种增强的基于树的路由协议(Augmented Tree-based Routing,ATR)^[2]。ATR 协议通过在节点路由表存储额外信息扩展了基于树的地址分配方案——动态

地址路由(Dynamic Address Routing, DART)协议^[3],例如指向相同节点群的多路由。由于通过下层邻居发现协议每个节点都可以轻易获得信息,ATR 协议相对 DART 协议在节点存储需求上更为节省。该方法的优点在于较充足的拓扑网络信息可以用来实现临时多路策略,保证更好的性能和更高的可靠性。为减少拥塞和端到端延迟,只要稍作改进,ATR 就可以拓展到空间多路径分散数据传输领域。为验证 ATR 协议多路径方法的效率,对此做了可靠性评价方法的研究,证明 ATR 协议优于采用最短路径的 DART 协议,为推广到更普遍的网络结构中分析路由协议奠定了基础。

ATR 和 DART 的地址空间结构相同,该结构为 $l+1$ 层的二叉树,其中是地址使用的二进制数的位数。ATR 和 DART 协议不使用面向过程的数据包,也不需要节点保存路由表。在 DART 中每个节点仅保持通向最终目标的可能的下一跳信息,沿地址空间树结构定义一条独一的路由,而在 ATR 中每个节点通过邻居节点,保持并寻找所有可能通向目标节点的通路,相对 DART 这种方式相当于使用了增强树结构而没有额外的耗费。本文研究了多路径方法的效率,利用可靠性理论与传统的最短路径方法作比较。

2 基于可靠性的路由算法

2.1 路由的概率

为研究单播路由,首先定义一对节点间至少存在一条路由的概率。

$$R_s(G_p) = P(\text{节点 } s \text{ 和 } t \text{ 是连通的}) \quad (1)$$

其中 s 为源节点, t 为目标节点。网络拓扑结构的有向概率图用 $G_p = (V, E)$ 表示, $v_i \in V$ 表示网络中的节点, $e_{ij} \in E$ 表示节点 v_i 和 v_j 间链路以概率 P_{ij} 连通。边 e_{ij} 的失败事件是独立统计的, $q_{ij} = 1 - p_{ij}$, 同时假设顶点有相同的可用概率。

实际网络中存在物理层和链路层容量限制引起的损耗,同时路由是相关联的,但在这假设网络中不存在容量和路由的限制。如果节点 s 和 t 间存在一条拓扑路由,假设该路由可以由消息报发现并使用。并假设传输过程中消息包传输时间间隔小于拓扑变化时间。基于上述假设,使用可靠性作为评价指标来分析路由协议^[6]。

2.2 路由可靠性算法

从路由角度评价网络可靠性,首先要区分网络的物理图和覆盖图。表1展示了在物理图和覆盖图中相邻的顶点,该网络共有8个节点。这些顶点的区别仅在1的数量(即连通的链路)。左边的矩阵表示物理图中节点,比如边 e_{ij} 在节点 i 和 j 之间有一条通信链路。中间和右边矩阵表示物理网络中通过 DART 和 ATR 路由查找过程形成的覆盖图。在 DART 矩阵中比物理矩阵和 ATR 矩阵少10条为“1”的边,表明最短路径路由协议在建立完整网络拓扑图的能力较差。

表1 有8个节点的网络的邻接矩阵

Table 1 Adjacency matrix of the eight - node network

物理邻接矩阵	DART 逻辑邻接矩阵	ATR 逻辑邻接矩阵
01000010	10001111	00011010
00101010	01110111	01001011
11111101	01001110	01000010
10001101	00011010	00101010
01000010	01001010	11100000
01001110	01000010	10001111
00011010	00101010	01110111
01001011	11111101	01001110

覆盖图的边集可以表示为:

$$E = \bigcup_{s,t \in V} E_{st} \quad (2)$$

其中 $E_{st} = \{e_{ij} \in P_{st}\}$ 和 P_{st} 路由协议发现的 s

- t 间的链路集合。

图1展示了在有4个节点的完全 mesh 网络中,不同路由发现协议形成的覆盖图,并且图中也显示了每个节点到目标节点2和4的路由。这种表示方法特别强调了路由发现的一些主要特点,首先显示指向相同目标的多路径;其次表明多路径是可分解的或部分可分解的,并可看出路由可共享多少链路;最后说明如 DART 等分级的最短路径路由协议并非每次都能找到最短路由,原因正是分级特点。

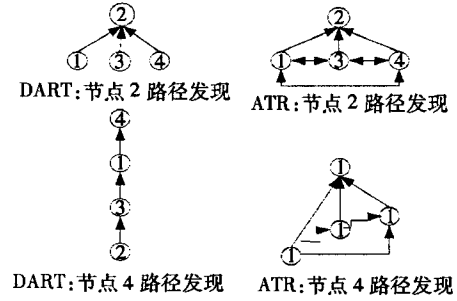


图1 路由发现过程示意图

Fig. 1 Route discovery process sketch map

列举出网络描述图中所有最小,以此来评价路由的可靠性。最小边割集定义:最小边割集是最少的边的集合,其中任意一条边的失效都会有节点与其它节点不再连通。可靠性最小边割集算法,可以方便的计算出不同环境条件下的可靠性,程序如下^[6]。

网络可靠性最小割集算法如下:

Recursive (G, HASH, ss, n, t, notRel, symb)

// Reliability = 1 - Recursive(...) 输出

// G 为覆盖图的邻接矩阵

// HASH 是初始为空的最小割集集合

// ss 是所分析的初始为空的最小割集

// n 用来初始化 s

if (n = t) return;

merge(G, SS, n); //合并 SS 中的节点

absorb(G, SS, t); //合并 SS 中冗余节点

if (HASH.isPresent(SS)) return;

HASH.insert(SS);

find a cutest C of SS;

symbTemp = "(1 - p)^(C.size) + C.size.toString;

temp = 1.0;

symbTemp = symb + " + P * (" + symbTemp;

```

for C 中的每条边
temp = pFailed * temp;
end;
for SS 相邻的每个节点 Recursive(G, HASH,
SS, n, t, temp, symb);
Temp = pSuccess * temp;
end;
symbTemp = symbTemp + " )";
notRel = notRel + temp;

```

根据以上分析,终端对路由可靠性如下:

$$R = \frac{\sum_s \sum_{t \neq s} Z_{st} R_{st}}{n(n-1)} \quad (3)$$

其中 $n = |V|$, Z_{st} 是 $\{s, t\}$ 间有数据流的概率, R_{st} 是在考虑路由的条件下的终端对可靠性,其定义如下:

$$R_{st}(G, p) = 1 - \sum_{i=c}^m C_i(G, s, t) p^{m-i} (1-p)^i \quad (4)$$

其中 $m = |E|$, $G = (V, E_{st})$ 是路由发现过程生成的覆盖图, $p = p_{ij}$ 是链路成功概率(简单起见假设任意节点对都相同), c 是 $\{s, t\}$ 间图的最小割集, C_i 是含边 i 的 $\{s, t\}$ 的割集的数目。

2.3 时间复杂度

以终端对的可靠性作为路由可靠性在计算上有很多困难,极端情况下甚至属于 NP 完全问题的难度^[4]。因此需要寻找可用的界限,通过传统最短路径来降低多路径通路难度^[5]。研究证明所有最短路径路由协议都能得到上限并可用 p 的幂来表示,其指数与网络中节点数目有关。进而可以用多项式求解多路径路由协议可靠性的界限。

3 实验仿真及分析

从评价网络可靠性的角度,对 DART 和 ATR 协议进行仿真、分析及性能比较。

3.1 仿真实验

仿真实验所采用的仿真软件是 NS-2(版本 2.30),操作系统为 Redhat Linux9.0。使用 NS-2 网络模拟器在静态拓扑中测量 DART 和 ATR 协议,根据路由协议,路由查找过程最终得到覆盖图。我们获取了每个节点的路由表中的路径信息,应用该信息及覆盖图,利用公式(3)可以计算网络可靠性,其标准差为 p 的函数。

图 2 比较了有 4 个节点的完全网状拓扑中 DART 和 ATR 的平均网络可靠性,结果显示 ATR

多路径方法在少数节点的冗余路由上具有优势, p 取值在 0.5 附近时多路径方法优势最为明显。

图 3 显示有 16 个节点且密度为每平方公里 64 个节点的随机拓扑网络的可靠性,可以看到 ATR 在多重路径明显优于 DART。而且 p 取任意值时,ATR 在 16 个节点的拓扑(见图 2)的可靠性都高于在 4 个节点的拓扑(见图 3)中,该结果表明在冗余路径数量增长时多路径方法更具优势。

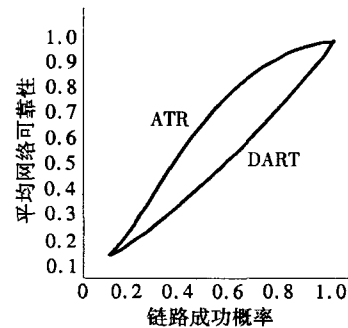


图 2 4 个节点的完全 Mesh 网络可靠性

Fig. 2 The 4 node of the Mesh network reliability

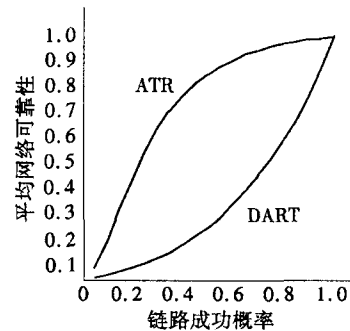


图 3 16 个节点的高密度网络可靠性

Fig. 3 The 16 node of the high density network reliability

3.2 结果分析

用链路层和物理层的标准数据来模仿 IEEE802.11a Lucent 网络中 Two-Ray Ground 信道模型,即在传输范围内链路成功率为 1。

本文仿真实验的结果与基于诸如数据包传输率等的传统路由测量的结果一致,该两种协议的更详细的性能比较参见文献[3]。

所有模拟实验采用 Random Waypoint 移动模型,其速度为 $[0 \text{ s}, 100 \text{ s}]$ 范围内的随机值,其暂停时间为区间。每次实验经历 750 s,开始 450 s 自由移动和传输数据,目的是为寻址配置过程。考虑保持节点密度不变,模拟试验的范围应该是封闭的。模拟实验中密度为每平方公里 64 个节点相应的节点连通度为 12,这个数值在大多数情况

下保证拓扑的连通。传输数据模拟 UDP 协议上的 CBR 数据流,吞吐量保持 250 kbit/s 不变。数据流的开始和结束时间为区间[450 s,730 s]上的随机值且服从平均分布,数据流数量随着节点数量 N 增长而增长。由于没有处理 DHT 层,在模拟实验中使用了全局可知表^[6]。

采用数据包传输速率来比较 DART 和 ATR。图4显示了 DART 和 ATR 中相对发送数据包总

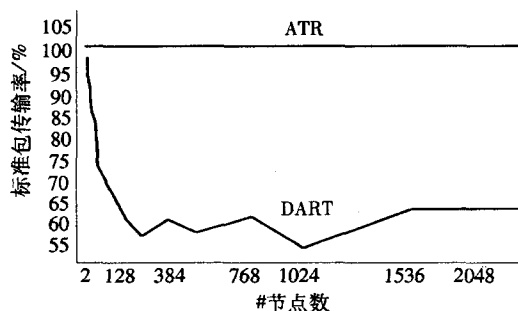


图4 标准化数据包传输率

Fig. 4 Standardization of data packet transmission rate

数而言适当的数据包传输率,相对节点数目规范的 ATR 数值。结果显示 ATR 由于采用了多路径特征,因此在数据包传输率上多数时间比 DART 要好。特别强调的是,随着节点数目的增多,由于移动冲突引起的链路失效的存在使得多路径方法比最短路径方法更有效,证明了 3.1 中的可靠性分析结果是合理的。

4 总结语

本文提出一种有效的路由可靠性分析方法,对当前 MANETs 中热门的 DART 和 ATR 路由协议的可靠性作了理论分析,分析结果与基于数据包传输率等传统测量结果相一致。仿真实验表明 ATR 多路径方法适用于可行路由,并且在大规模的网络中性能明显优于 DART 最短路径方法。因此文中的可靠性评估方法可在更普遍的结构中分析路由协议中应用,对于进一步提高路由可靠性具有十分重要的意义。

参考文献:

- [1] Viana A C, Amorim de M D, Fdida S, et al. Indirect routing using distributed location information[C]. PERCOM 03: Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, 2003:224.
- [2] Caleffi M, Ferraiuolo G, Paura L. Augmented Treebased Routing Protocol for Scalable Ad Hoc Networks[C]. MHWMN 07: Proceedings of the Third IEEE International Workshop on Heterogeneous Multi-Hop Wireless and Mobile Networks, 2007.
- [3] Eriksson J, Faloutsos M, Krishnamurthy S. DART: Dynamic Address Routing for Scalable Ad Hoc and Mesh Networks [J]. IEEE - ACM Transactions on Networking, 2007, 15(1): 119 - 132.
- [4] 毛鸿林, 沈元隆. 一种计算 Ad hoc 网络 K2 终端可靠性的线性时间算法[J]. 电子工程师, 2008, 34(2): 54 - 56.
- [5] 许兆高, 李秉智. 移动 Ad hoc 网络路由协议的研究[J]. 微计算机信息, 2008, 24(2): 144 - 145.
- [6] 何明, 裘杭萍, 胡爱群, 等. 移动 Ad Hoc 网络的可靠性评价方法[J]. 计算机工程, 2009, 20: 47 - 51.

Research on Evaluation Method for Reliability of Routing in MANET

FAN Xin-ming

(School of Department of Experiment Teaching, Yancheng Institute of technology, Yancheng Jiangsu 224051, China)

Abstract: From the angle of reliability, recently proposed DART and ATR routing protocols for MANETs are contrasted and analyzed. An effective method to evaluate routing reliability is proposed. The results of the theoretical analysis are also in agreement with those based on a traditional metric, such as the packet delivery ratio obtained by numerical simulations. More specifically, the results show that ATR multi-path approach is suitable for feasible routing and works always significantly better than DART shortest path one in large networks.

Keywords: MANETs; reliability; routing protocol; terminal-pair reliability

(责任编辑:张英健)