

Ad hoc 网络中的一种动态均匀区域广播算法

张曦煌¹, 钱 舒²

(江南大学 信息工程学院, 江苏 无锡 214122)

(qianshu1982@yahoo.com.cn)

摘 要: Ad Hoc 网络是一种无固定通信设备支持、节点可自由移动的多跳全分布式无线网络。动态均匀区域广播算法是在概率算法和计数器算法的基础上, 通过邻居节点与转发节点发送范围边界上均匀分布点的位置关系, 以及网络中节点的分布密度动态地调整转发概率。文中给出了 NS-2 下的仿真结果。模拟实验表明, 本算法在节省转发率和可达率两个性能指标上均优于概率算法和计数器算法。

关键词: Ad hoc 网络; 动态概率; 广播; 均匀区域

中图分类号: TP393.03 **文献标识码:** A

Dynamically symmetrical area broadcast algorithm in Ad hoc network

ZHANG Xi-huang¹, QIAN Shu²

(School of Information Engineering, Southern Yangtze University, Wuxi Jiangsu 214122, China)

Abstract: Ad hoc network is of no stationary infrastructure, and the node acting as terminal and router can move freely. The dynamically symmetrical area algorithm was based on the probabilistic algorithm and the counter-based algorithm. According to the relative location between the neighboring node and the symmetrical point around the forwarding host and the distribution density of nodes in Ad Hoc network, we dynamically adjusted the rebroadcast probability. The simulation results under NS-2 were presented in the paper. The simulation results show that the algorithm gets higher saved rebroadcast and reachability than the probabilistic algorithm and the counter-based algorithm.

Key words: Ad hoc network; dynamical probability; broadcast; symmetrical area

0 引言

Ad hoc 网络是由一组带有无线收发装置的移动节点或终端组成的一个支持多跳的通信网络^[1], 节点之间不需要经过基站或其他基础设施就可以直接实现点对点的通信。Ad hoc 网络中的节点常常既是一个终端, 又是一个路由器^[2]。Ad hoc 网络可广泛用于救灾工作系统之间、城市车辆之间的通信, 以及其他需要临时快速建立通信网络的场合, 因而具有广泛的应用前景^[3]。

目前已经有了一系列的 Ad hoc 路由算法, 根据发现路由的驱动模式不同将这些路由协议分为表驱动路由协议和按需路由协议^[4]。尽管表驱动路由协议逐步转变为按需路由协议, 但是其路由发现过程仍然运用洪泛实现, 从而导致严重的广播信息冗余, 信道争抢和广播信号碰撞, 即广播风暴问题^[5]。目前已经提出了以下几种解决广播风暴问题的算法: 减少广播转发数目的一个简单的方式是概率算法, 节点根据转发概率 P_c 的值来决定是否转发^[6]。本算法的优点是降低了延时和带宽损耗, 但是需要实时地对节点进行评估。在计数器算法中, 当 RAD (Random Assessment Delay) 期满且广播包的数目没有超过某一门限值时, 节点转发这个广播包; 否则, 节点将丢弃它^[7]。这种算法性能优越, 但它增加了每个节点的延时。在距离算法中, 采用 d_{min} 作为一个度量来评估

是否应该转发^[8]。这种算法提高了网络的可达性, 但增加了许多冗余的广播包。位置算法是指节点计算额外覆盖范围以便决定是否转发这个广播包。这种算法虽然具备很高的可达性, 但还需要如 GPS 这种定位设备的配合。分簇算法会周期性地发送数据包以便判断它与其他节点是否连通^[5]。充当网关的节点将本簇中的广播包传送给其他簇中的节点, 簇中的非网关成员则没有必要转发这个广播包。这种算法的优点是有助于减少冗余的广播包。

本文在概率算法和计数器算法的基础上提出了动态均匀区域广播算法 (以下简称 DSAB 算法), 其主要思路为: 根据邻居节点与转发节点发送范围边界上均匀分布点的位置关系以及网络的密度来确定转发概率。

本算法中, 邻居节点越靠近转发节点发送范围边界上的均匀分布点, 则表明广播的覆盖范围越大, 网络的可达性也随之增强, 这就要求提高节点的转发概率; 否则, 就要求降低节点的转发概率。另一方面, 用计数器算法中广播包计数器去调整概率, 即若计数器的值大, 则表明节点处于密集区域, 它会接收到来自发送者的大量转发包, 这时就应该降低概率的值; 否则, 就应该提高概率的值。仿真结果和分析表明, 改进后的 DSAB 算法相对于概率算法和计数器算法在保证广播可达性的基础上提高了节省转发率。

收稿日期: 2006-12-07; 修订日期: 2006-02-26

作者简介: 张曦煌 (1962-), 男, 江苏无锡人, 副教授, 主要研究方向: 计算机网络、嵌入式系统; 钱舒 (1982-), 女, 江苏南通人, 硕士研究生, 主要研究方向: 无线网络。

1 均匀区域思想

为了尽可能最大化广播转发节点的覆盖范围,必须慎重地选择转发节点的邻居节点。假设每个转发节点的邻居节点数是相同的,并且每个节点的发送半径都为 r 。 X, Y 分别表示两个主机,并且 $|XY| = d$, j 和 n 分别表示广播包从转发节点开始的转发跳数和转发节点的邻居节点数,在 j 跳广播中参与转发的主机数记作 $m(j, n)$, $m(j, n)$ 个主机总转发覆盖范围记作 $S(j, n)$ 。

不妨设 α_i 为 XY_i 和 XY_{i+1} 夹角, B_i 表示邻居节点相互重叠且在转发节点 X 发送范围之外的范围,图1为 $n = 4$ 时的情况。

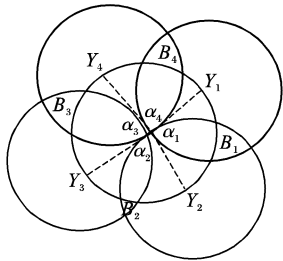


图1 当 $n = 4$ 时,广播总转发覆盖范围

当两个主机 X, Y 相互位于对方的发送范围边界上时,即

$d = r$ 时,额外覆盖范围的最大值为 $r^2(\frac{\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{2})$ ^[5],所以转发节点总转发覆盖范围为:

$$S(1, n) = \pi r^2 + n r^2(\frac{\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{2}) - \sum_{i=1}^n B_i(\alpha_i) \quad (1)$$

显然,当 $\sum_{i=1}^n B_i(\alpha_i)$ 取最小值时,总转发覆盖范围 $S(1, n)$ 最大。由拉式释限法,设:

$$g(\alpha_1, \dots, \alpha_n) = \sum_{i=1}^n \alpha_i - 2\pi$$

$$\begin{aligned} \text{令 } F &= \sum_{i=1}^n B_i(\alpha_i) + \beta g(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \\ &= \sum_{i=1}^n B_i(\alpha_i) + \beta(\sum_{i=1}^n \alpha_i - 2\pi) \end{aligned} \quad (2)$$

其中, β 是拉式乘数。

F 达到最小值必须满足下列条件:

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial \alpha_1} = \frac{\partial B_1(\alpha_1)}{\partial \alpha_1} + \beta = 0 \\ \vdots \\ \frac{\partial F}{\partial \alpha_n} = \frac{\partial B_n(\alpha_n)}{\partial \alpha_n} + \beta = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial \beta} = \sum_{i=1}^n \alpha_i - 2\pi = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{因此, } \frac{\partial B_1(\alpha_1)}{\partial \alpha_1} = \frac{\partial B_2(\alpha_2)}{\partial \alpha_2} = \dots = \frac{\partial B_n(\alpha_n)}{\partial \alpha_n}$$

又因为 $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ 是相互独立的变量,所以(3)式的解是唯一的:

$$\alpha_i = \frac{2\pi}{n}, i = 1, 2, \dots, n$$

由上述分析可知,如果转发节点 X 的邻居节点数 $n \geq 3$,那么当邻居节点 $Y_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 均匀地分布在 X 的发送范

围边界上时,广播总转发覆盖范围 $S(1, n)$ 达到最大值。

在图2中, $Y_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 表示转发节点 X 的邻居节点, $A_j (j = 1, 2, 3)$ 表示假设转发节点的3个邻居节点均匀分布在 X 发送范围边界上的位置,此时, $\angle A_1 X A_2 = \angle A_2 X A_3 = \angle A_3 X A_1 = \frac{2\pi}{3}$,不妨令 l 为一个距离门限值,若 $|XY_i| \leq l$ 时,则 Y_i 表示靠近 X 的发送范围边界上的均匀分布点 A_j ,否则, Y_i 远离均匀分布点 A_j 。对转发节点最大覆盖范围进行分析后,可以推断出,邻居节点越靠近 X 的发送范围边界上的均匀分布点,总转发覆盖范围就越大。例如在图2中,将处于 A_1 附近的邻居节点 Y_1 作为 X 的下一个转发节点的总转发覆盖范围大于远离 A_1 邻居节点 Y_2 的总覆盖范围。

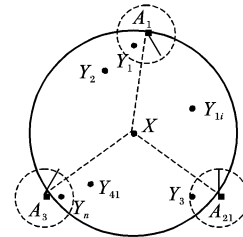


图2 当 $n = 3$ 时, X 的发送范围边界上的均匀分布点

2 DSAB 算法

概率算法将转发概率 P_c 设为固定值,但对于不同的网络结构应该有相应的转发概率门限值 P_c ,每个节点需要动态地调整广播概率。例如在图2中,处于 A_1 附近的邻居节点 Y_1 作为 X 的下一个转发节点时的总转发覆盖范围大于远离 A_1 的邻居节点 Y_2 时的总覆盖范围,也就是说,当 Y_1 作为下一个转发节点比 Y_2 具备更高的网络可达性,这就要求 X 转发给 Y_1 的概率要大于转发给 Y_2 的概率。显然,当邻居节点靠近转发节点发送范围边界上的均匀分布点时,网络的可达性会相应得到增强,转发概率值应该提高;否则,概率值应该降低。

另一方面,在各种现实的网络环境中,节点的分布密度是不尽相同的。计算网络密度的简单方法是采用广播包计数器,即每个节点对所有接收到的广播包进行计算,一旦节点接收到重复的广播包,计数器就加1。计数器的值越大,表明节点的邻居节点数越多。当然计数器的值并不一定就是节点的邻居节点数,因为其中的一些节点可能会根据其自身的转发概率而限制转发。但不管怎样,计数器的值正比于网络环境的节点密度。若广播包计数器的值大,则表明节点处于密集区域,它会接收到来自发送方的大量转发包,这时就应该降低概率的值;否则,应该提高概率的值。

基于上述两点原因,DSAB算法的具体描述为:

若节点第一次接收到广播包,则计数器的值 C 记为1。

若 C 大于计数器的门限值 N_c ,则把转发概率 P_c 减去一个较小的常数 h_1 ;若下一个转发节点与均匀分布点的距离 d 大于距离门限值 l ,则把转发概率 P_c 减去一个较小的常数 h_2 。若 P_c 小于转发概率的下限 P_l ,则 $P_c = P_l$ 。

若时间 t 内, C 大于计数器的门限值 N_c ,则把转发概率 P_c 加上一个较小的常数 h_3 ;若下一个转发节点与均匀分布点的距离 d 小于距离门限值 l ,则把转发概率 P_c 加上一个较小的常数 h_4 。若 P 大于转发概率的上限 P_u ,则 $P_c = P_u$ 。

根据转发概率 P_c 决定是否转发这个广播包。

在本算法中,转发概率 P_c 的选取很重要。如果 P_c 值取得过大,会造成过多的冗余转发包;如果 P_c 值取得过小,对网络的可达性有严重的影响。即便采用动态的方法调整转发概率,但还是要花费一段时间已达到最优值,因此如果本算法的 P_c 初始值十分接近最优值,那么就能很快地将初始值调整为最优值,这个最优值为 0.65^[5]。

3 性能分析

为了对改进后算法的性能做进一步的分析,我们采用当前比较流行的网络仿真软件 NS-2 作为仿真平台^[9]。分别选取 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 个节点随机分布在 $1000\text{m}^2 \times 1000\text{m}^2$ 的区域内,节点采用 Random Waypoint 的运动模型,即每个节点在该区域内从一点向另一点运动,运动速度在 $[0, V_{\max}]$ 内均匀分布,到达目标节点后停留一段时间,然后再选择一个新的目标节点;同时,从 $[0, V_{\max}]$ 重新选择一个新的速度,并向新的目标点运动;以此类推,直至仿真结束。在仿真中,我们选取的 V_{\max} 为 20m/s。每个节点的物理层采用 914MHz 的 Lucent WaveLAN DSSS 无线电接收接口,MAC 层协议采用的是 IEEE 802.11^[10]。另外一些仿真参数见表 1,计数器门限值 C 设为 4,转发概率 P_c 设为 0.65,距离门限值 l 设为 125m。

表 1 仿真参数

Simulation Parameter	Value
Simulator	NS-2 (2.1b9)
Network Range(m2)	1000 × 1000
Transmission Range(m)	250
Number of Mobile Nodes	1000, 2000, 3000, 4000, 5000
Bandwidth(Mbps)	2
Traffic Type	CBR(Constant Bit Rate)
Packet Rate	4
Packet Size(bytes)	512
Simulation Time(s)	900
Number of Trials	10

对于广播算法的性能我们用以下两个指标进行评估:

1) 节省转发率: $(r-t)/r$, 其中 r 代表接收到广播包的节点数, t 代表真正发送广播包的节点数。

2) 可达率: 接收到广播消息的移动主机数与从源主机可以直接或者间接到达的所有移动主机总数的比值。该指标反映了算法的可达性,并且越接近 100% 越好。

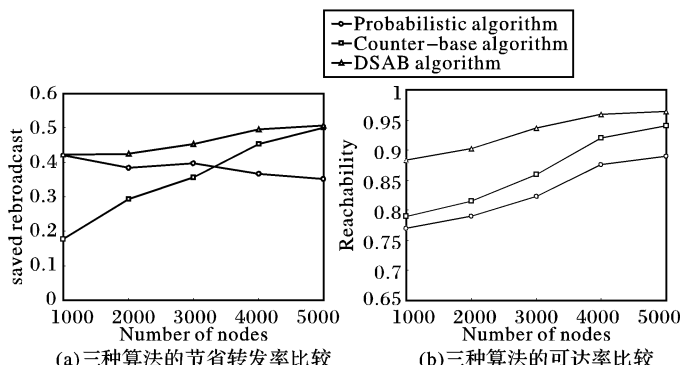


图 3 节省转发率和可达率比较

在上述仿真条件下,我们分别对概率算法、计数器算法和 DSAB 算法进行分析,得到了节省转发率和可达率这两个衡

量广播算法性能的仿真曲线,如图 3 所示。

图 3(a)表明了三种算法下的网络转发广播包的节省转发率。从实验数据分析得到,DSAB 算法和计数器算法、概率算法相比,转发广播包的总数量分别平均提高了 44% 和 21.1%;另一方面,当网络越稠密,改进算法减少冗余广播包的效果越明显。

图 3(b)给出了三种算法的可达率性能的比较结果。实验结果显示,DSAB 算法的可达率比计数器算法和概率算法分别平均提高了 7.8% 和 12.2%,而且可以发现,当网络的节点数不断增多时,DSAB 算法的可达率也不断增大,这是因为在均匀区域附近有更多的可转发节点。

4 结语

本文描述的动态均匀区域广播算法是一种针对 Ad hoc 网络中广播风暴问题的算法。该算法通过邻居节点与转发节点发送范围边界上均匀分布点的位置关系以及网络密度动态地调整转发概率。从仿真的结果看,DSAB 算法相对于概率算法和计数器算法在保证广播的可达性的基础上提高了节省转发率。

参考文献:

- [1] RAMANATHAN R, REDI J. A brief overview of Ad hoc networks: challenges and directions [J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(5): 20-22.
- [2] BROCH J, MALTZ DA, JOHNSON DB, et al. A performance comparison of multi-hop wireless Ad hoc network routing protocols [A]. In Proceedings of the 4th International Conference on Mobile Computing and Networking (ACM MOBICOM'98) [C]. October 1998. 85-97.
- [3] ROYER EM, TOH CK. A review of current routing protocols for Ad hoc mobile wireless networks [J]. IEEE Personal Communication, 1999, 4(2): 46-55.
- [4] RAJU J, GARCIA-LUNA-ACEVES J. A Comparison of On-demand and Table-driven Routing for Ad hoc Wireless Networks [EB/OL]. <http://www.soe.ucsc.edu/ccrg/publications/jyoti.icc00.pdf>, 2000.
- [5] NI S-Y, TSENG Y-C, CHEN Y-S, et al. The broadcast storm problem in a mobile Ad hoc network [A]. In Proceedings of the Fifth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking [C]. August 1999. 15-19.
- [6] HAAS Z, HALPERN J, LI L. Gossip-based Ad hoc Routing [A]. In: IEEE INFOCOM [C]. 2002. 1707-1716.
- [7] TSENG YC, NI SY, CHEN YS. Adaptive approaches to relieving broadcast storms in a wireless multihop mobile Ad hoc network [EB/OL]. [http://www.cs.ccu.edu.tw/~yschen/course/94-1/papers/Broadcaststorm-2\(20\).pdf](http://www.cs.ccu.edu.tw/~yschen/course/94-1/papers/Broadcaststorm-2(20).pdf), 2003.
- [8] WILLIAMS W, CAMP T. Comparison of broadcasting techniques for mobile Ad hoc networks [A]. Proceedings of the Third ACM International Symposium on Mobile Ad hoc Networking & Computing (MobiHoc) [C]. 2002. 194-205.
- [9] UCB/LBNL/VINT Network Simulator-NS (version 2) [EB/OL]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, 2002.
- [10] IEEE Std 802.11. Standards for local and metropolitan area networks: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications [S]. 1999.