

# 应用于 Ad Hoc 网络中的密度自适应泛洪广播策略

盛敏,李建东,史琰

(西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室信息科学研究所,陕西西安 710071)

**摘要:** 针对 Ad Hoc 网络中泛洪广播机制可能带来的大量资源浪费问题,本文提出了一种新型的泛洪广播机制——密度自适应的泛洪广播策略.该策略根据发送节点的邻节点密度,以最密集节点的一次发送将覆盖较多节点为出发点,选取尽可能少的邻节点作为转发节点,减少了分组在网络中的重复传输,大大改善了网络的性能.仿真结果表明,密度自适应泛洪广播策略的性能明显优于普通的泛洪广播策略.

**关键词:** Ad Hoc; 泛洪广播; 密度自适应; 节点密度

**中图分类号:** TN919 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 07-1191-04

## Degree Adaptive Flooding Broadcast Strategy for Ad Hoc Network

SHENG Min, LI Jian-dong, SHI Yan

(The State Key Lab of ISN & Information Science Institute, Xidian University Xi'an, Shaanxi 710071, China)

**Abstract:** In this paper we propose the Degree Adaptive flooding Broadcast (DAB) strategy for *Ad Hoc* networks to efficiently reduce the broadcast overheads in the network. Based on the degree of the nodes, DAB decides which nodes need to re-transmit and which nodes only need to receive. The higher the neighbor node's degree, the more nodes it can cover, so this kind of nodes can be selected to resend the broadcasting messages in the networks. The simulation results show that DAB strategy outperforms the ordinary flooding broadcast method for the *Ad Hoc* networks.

**Key words:** Ad Hoc Networks; flooding broadcast; degree adaptive

## 1 引言

Ad Hoc<sup>[1,2]</sup>网络是一种易于部署、无需固定基础构架的全分布式的无线网络.它主要应用于抢险、抗灾、救援、探险、军事等移动情况.广播策略是 Ad Hoc 网络中最基本的信息传输方式之一(如需要寻找到达一个特定目的节点的路由信息).最简单的一种广播方式是泛洪方式——flooding<sup>[3]</sup>,网络中所有的节点在第一次收到某一信息后,都将再次传输该信息,以确保网络中所有节点都能收到该信息.这种方式虽然简单,但会导致网络出现广播风暴现象<sup>[4]</sup>.目前有一些文献<sup>[5-7]</sup>研究了泛洪广播对网络性能的影响,同时也提出了一些改进策略,如限制广播次数等,但却忽略了网络的规模及节点的密集度.

本文从减少信息的不必要重传为出发点,根据网络节点的密集度,提出了密度自适应的泛洪广播策略 DAB (Degree Adaptive Flooding Broadcast).通过发送节点的最少数邻节点的转发,覆盖发送节点的所有两跳节点.和现有的普通泛洪广播策略 OBM (Ordinary Flooding Broadcast) 相比, DAB 算法减少了转发节点的个数,从而减少了不必要的转发.当网络规模越大时, DAB 算法的优越性越明显.

## 2 DAB 算法

2.1 定义 以节点  $i$  为例:

① 邻节点:可以直接和节点  $i$  相互通信的节点(这里认为链路是双向可达的).

② 邻节点集:节点  $i$  的所有邻节点组成的集合,记为  $NS(i)$ .

③ 节点密度:节点  $i$  的密度定义为其邻节点的数目,记为  $d(i)$ .

④ 两跳节点:需要通过节点  $i$  的邻节点进行一次转发才能和节点  $i$  通信的节点.

⑤ 两跳节点集:由节点  $i$  的邻节点  $j$  提供的两跳节点组成的集合,记为  $THOPS^j(i)$ .

⑥ 总节点集:由节点  $i$  的所有邻节点及两跳节点组成的集合,记为  $TS(i)$ .

⑦ 转发节点集:节点  $i$  认为需要转发其发送信息的邻节点组成的集合,记为  $RS(i)$ .

⑧ 已选节点集:已经被节点  $i$  选中的邻节点及该邻节点提供的两跳节点组成的集合,记为  $SS(i)$ .当节点  $i$  执行完 DAB

算法后,已选节点集  $SS(i)$  应该等于总节点集  $TS(i)$ 。

⑧ 相同密度节点集:节点  $i$  的邻节点中具有相同节点密度的节点组成的集合,记为  $SD^N(i)$ ,其中  $N$  表示  $d(j) = N, j$  为  $i$  的邻节点。

⑨ 邻节点表:节点  $i$  的所有邻节点组成的表格,该表中还记录了节点  $i$  邻节点的邻节点信息,即节点  $i$  的两跳节点信息,记为  $DT(i)$ 。以图 1 为例,图中节点 1 的邻节点表如图 1(b) 所示。

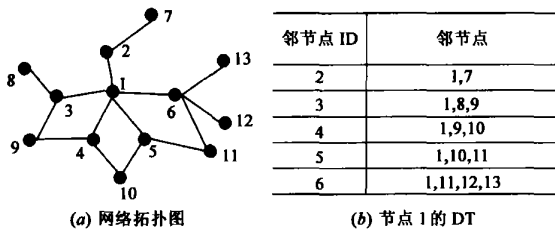


图 1 节点邻节点表

⑩ 交集:两个集合的交集,记为  $IS(A, B)$ ,其中  $A, B$  为任意两个集合。

⑪ 交集元素个数:交集内元素的数目,记为  $nis(A, B)$ ,其中  $A, B$  为任意两个集合。

### 2.2 DAB 算法描述

在 DAB 算法中,网络中所有的节点都周期性的交互自组织信息 SOP(Self Organization Packet),该信息中带有发送节点的邻节点信息。通过交换 SOP 信息,各节点可以建立其邻节点表。SOP 信息不需要邻节点转发。在网络中除了 SOP 外,还有数据分组 DATA Packet,为了便于讨论 DAB 算法,我们仅考虑需要在全网广播的数据。

#### ⑧ DAB 算法的假设条件

为了保证网络中任意节点之间都有可达的路径,我们认为网络是连通的,即网络不存在分隔部分和孤立节点。并且某一节点有效传输距离内的所有节点都可以收到该节点发送的信息。同时,在 DAB 算法中,我们还做了以下假设:

- (1) 网络中广播的所有分组都不需要应答,即重传不会是由于传输出错而导致的。
- (2) 网络中不存在单向链路,即网络中任意两个节点对之间的链路都是双向的。
- (3) 当节点执行 DAB 算法时,该节点已经建立了邻节点表。

#### ⑨ DAB 算法的核心思想

DAB 算法的核心思想是:通过最少邻节点的转发,覆盖发送节点的所有两跳节点。假设有一节点  $a$  将执行 DAB 算法,其实质是通过寻找节点  $a$  的最优化转发节点集  $RS(a)$ ,使得将节点  $a$  发送的信息广播至节点  $a$  的所有两跳节点所需转发的次数最少的问题。

假设节点  $i$  是节点  $a$  的邻节点,即  $i \in NS(a)$ ,令  $x_i$  表示邻节点  $i$  的状态。其取值如式(1)所示,其中 0 表示邻节点  $i$  是非转发节点,而 1 表示节点  $i$  是转发节点。

$$x_i = \begin{cases} 0, & i \notin RS(a) \\ 1, & i \in RS(a) \end{cases} \quad (1)$$

我们需要做以下优化问题

$$\text{目标函数 } \min_{i=1}^n x_i, \quad i \in NS(a) \quad (2)$$

$$\text{约束条件 } \begin{cases} \sum_{i=1}^n [x_i \cdot NS(i) \setminus \{i\}] - \{a\} = TS(a), \\ i \in NS(a), n = d(a) \end{cases} \quad (3)$$

即通过执行 DAB 算法,通过最少邻节点的转发,将节点  $a$  的分组发送到  $a$  的所有邻节点及两跳节点。

#### ⑩ DAB 的具体步骤及详细描述

假设节点  $a$  执行 DAB 算法。

(1) 初始化,即令  $TS(a) = \phi, RS(a) = \phi, SS(a) = \phi, SD^N(a) = u$ ,其中  $N = \max d(i), i \in NS(a)$ ,  $u$  为密度为  $N$  的邻节点个数。

(2) 根据  $DT(a)$ ,将  $a$  的所有邻节点及两跳邻节点加入总节点集  $TS(a)$  中,即  $TS(a) = NS(a) \cup \bigcup_{i=1}^n NS(i)$ ,其中  $n = d(a)$ 。

(3) 将只能通过惟一邻节点  $m(m \in NS(a))$  到达的两跳节点  $n$  选出,将  $n$  对应的邻节点  $m$  加入转发节点集  $RS(a)$ ,即

$$RS(a) = RS(a) \cup \{m\} \quad (4)$$

同时将节点  $m$  及其所对应的节点  $a$  的两跳节点加入已选节点集  $SS(a)$  中。即

$$SS(a) = SS(a) \cup THOPS^m(a) \setminus \{m\} \quad (5)$$

判断是否满足  $SS(a) = TS(a)$ ,如果满足则执行第 8 步。否则执行第 4 步。

(4) 更新节点  $a$  的相同密度节点集  $SD^N(a)$ ,首先将已经选中的节点删除,即

$$SD^N(a) = SD^N(a) - [SD^N(a) \cap RS(a)] \quad (6)$$

然后判断如果  $SD^N(a)$  中元素的个数,若大于 1 执行第 5 步;若等于 0 执行第 6 步;若等于 1 则

$$RS(a) = RS(a) \cup SD^N(a)$$

$$SS(a) = SS(a) \cup SD^N(a) \cup THOPS^{SD^N(a)}(a) \quad (7)$$

判断是否满足  $SS(a) = TS(a)$ ,如果等于则执行第 8 步。否则执行第 6 步。

(5) 对于集合  $SD^N(a)$ ,首先选择节点号最小的邻节点  $k$ ,执行

$$RS(a) = RS(a) \cup \{K\}, \quad SS(a) = SS(a) \cup \{K\} \cup THOPS^k(a) \quad (8)$$

修改节点  $a$  的相同密度节点集  $SD^N(a)$ ,即

$$SD^N(a) = SD^N(a) - \{k\} \quad (9)$$

然后,将集合  $SD^N(a)$  中各元素的邻节点集,即各元素提供的  $a$  的两跳节点集和已选节点集  $SS(a)$  相交,

$$IS(THOPS^j(a), SS(a)) = THOPS^j(a) \cap SS(a), \quad j \in SD^N(a) \quad (10)$$

计算式(10)中最小交集的元素个数

$$nis(THOPS^p(a), SS(a)) = \min_{p, j \in SD^N(a)} (nis(THOPS^j(a), SS(a))), \quad (11)$$

式(11)表明邻节点  $p$  的交集数目最小,这意味着邻节点  $p$  转发后,覆盖范围内节点  $a$  的两跳节点数越多,若

$$nis(THOPS^p(a), SS(a)) < \frac{N}{2}, \quad p \in SD^N(a) \quad (12)$$

则执行第 6 步,否则继续执行第 5 步。

(6)  $N = N - 1$ , 若  $N = 0$ , 至第 7 步, 否则  $SD^N(a) = u$ ,  $u$  为密度为  $N$  的邻节点个数. 执行第 4 步.

(7) 判断是否满足  $SS(a) = TS(a)$ , 若是执行第 8 步, 否则将不属于已选节点集  $SS(a)$  的两跳节点  $l$  加入  $SS(a)$ , 同时将节点  $l$  对应的邻节点  $q$  加入  $RS(a)$  中

$$RS(a) = RS(a) \cup \{q\}, \quad SS(a) = SS(a) \cup \{l\} \quad THOPS^q(a) \quad (13)$$

继续执行第 7 步.

(8) 结束.

### 2.3 DAB 算法的正确性证明

由 2.2 节 DAB 算法描述的假设条件有: 网络中不存在孤立节点, 同时信息的传输不会因为链路的不可靠或信息在接收端发生碰撞而无法被正确接收. 因此, 在下面的证明中认为这两种情况均不会发生.

我们采用反证法对 DAB 算法的正确性加以证明.

证明: 假设网络中有任意一个节点  $d$  收不到正在网络中广播的信息 DATA Packet. 假设广播信息 DATA Packet 是由节点  $s$  转发的. 由前面假设条件可知, 如果节点  $d$  没有收到节点  $s$  转发的广播信息, 这只能是节点  $s$  执行的 DAB 算法没有覆盖节点  $d$ . 从图 2 中我们可以看到, 节点  $s$  通过接收节点  $r$  的 SOP 信息可以获知节点  $d$  是  $s$  的两跳节点. 所以节点  $s$  执行完 DAB 算法后, 将以最少的邻节点转发覆盖它的所有两跳节点, 即并且满足约束条件



图 2 节点  $d$  的邻节点及任意一个两跳节点  $s$  的图例

$$\begin{cases} \{x_i \cdot NS(i) \mid i\} - \{s\} = TS(s), & n = d(s) \\ i \in NS(s) \end{cases} \quad (14)$$

所以, 节点  $d$  可以收到广播的信息. 这显然与我们假设的节点  $d$  收不到广播信息相矛盾. 因此网络中的任意节点最终都可以收到在网络中广播的 DATA Packet.

### 3 DAB 算法性能仿真

#### 3.1 仿真模型

本文主要讨论了 10 个节点、20 个节点和 100 个节点三种不同规模的网络. 仿真工具为 OPNET. 整个仿真过程主要讨论了三种情况, 即不同分组到达率、不同有效传输距离以及不同网络规模对 DAB 算法以及普通的广播算法 (OBM) 性能的影响. 在仿真过程中分组到达服从泊松分布 (即到达时间间隔服从参数为  $\lambda$  的指数分布); 每个数据分组为 560bit, 信道速率为 1Mbit/s; 仿真结果取 3 分钟内的平均值.

#### 3.2 仿真结果

在仿真过程中, 我们主要讨论了以下一些特性: (1) 网络负荷 (Load): 即在平均时间内  $(0, t)$ , 网络中链路上传输的总比特数; (2) 转发次数 (Forward Times): 在一定到达率情况下, 所有 DATA Packet 在网络中转发的总次数.

3.2.1 不同分组到达率对网络性能的影响 参数选择:  $R$  (传输距离) = 300m, 网络规模 10 个节点, 不同的到达间隔 (到达时间间隔) = 0.1s 时, 对应与大业务量; = 0.2s 时, 中等业务量; = 2s 时, 业务量较少).

图 3 反映了随着时间的变化网络负荷变化的曲线. 可以看出, 随着时间的变化, 网络的负荷先呈线性增长, 然后趋于稳定. 对于不同的分组到达间隔, 相同时间段内 DAB 算法网络中的业务量小于 OBM 算法的. 同时从图 3 中可以看出, 分组到达间隔越小 (即分组的到达率越大), DAB 算法性能的优越性就越明显. 图 4 反映了在不同分组到达率情况下, DAB 和 OBM 两种算法的 DATA Packet 在网络中转发的总次数. 可以看出, 随着时间的增长, 曲线呈线性变化. 同时, 对于不同的分组到达间隔, 到达间隔越小, DAB 算法的性能越优越.

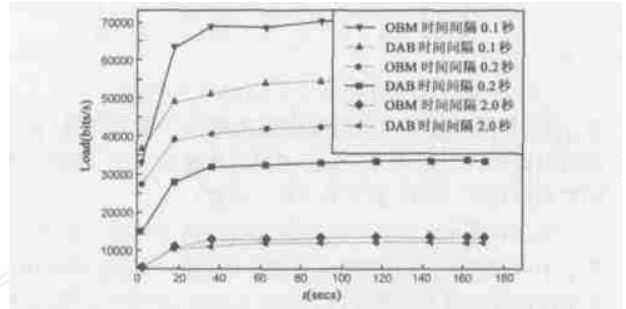


图 3 不同分组到达间隔对网络负荷的影响

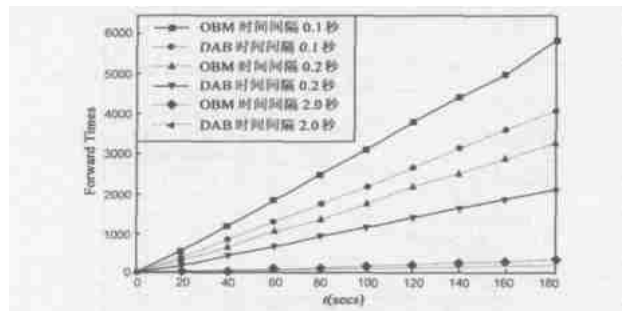


图 4 不同分组到达间隔对分组转发次数的影响

3.2.2 不同有效传输距离对网络性能的影响 参数选择: 相同的分组到达时间间隔 = 0.2, 不同的传输距离  $R$ , 网络中有 10 个节点. 图 5 和图 6 是在分组到达间隔为 0.2s 时网络负荷和分组转发次数与平均时间的曲线. 图 5 反映了不同有效传输距离对网络负荷的影响. 从图 5 中可以看出, 随着时间的变化, 曲线最终趋于一个稳定的值, 同时从图 5 中可以看出, 当减少传输距离后, 对于同样的分组到达间隔, DAB 算法在相同时间段内, 网络中传输的业务量少于 OBM 算法. 图 6 反映了分组在网络中传输的总次数, 可以看出, 对于相同分组到达

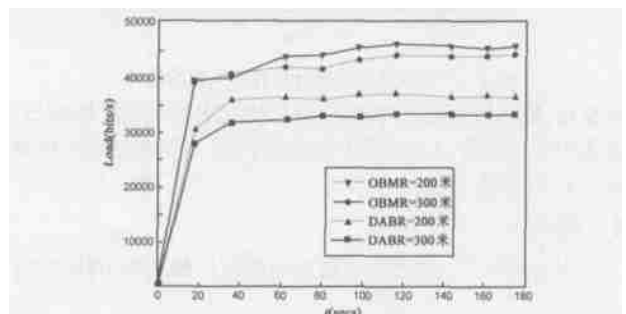


图 5 不同传输距离对网络负荷的影响



间隔, DAB 算法的确优于 OBM 算法。(图 5 和图 6 中 DAB 算法  $R = 200\text{m}$  时的性能甚至优于 OBM 算法  $R = 300\text{m}$  时的性能)。

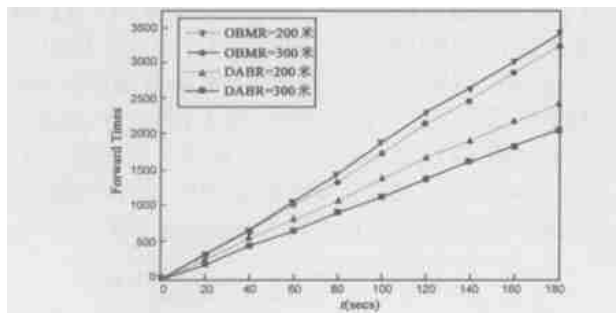


图 6 不同传输距离对分组转发次数的影响

**3.2.3 不同网络规模对网络性能的影响** 参数选择: 相同的分组到达时间间隔  $\tau = 0.2$ , 相同的传输距离  $R = 300\text{m}$ , 不同的网络规模 (10 个、20 个及 100 个节点)。

图 7 和图 8 反映了不同网络规模对网络性能的影响。从图 7 中可以看出, 当分组到达间隔为 0.2 秒 (中等业务量) 时, 随着网络规模的不断扩大 (由 10 个节点至 20 个节点, 最后是 100 个节点的网络), 网络中传输的业务量将随着时间的改变

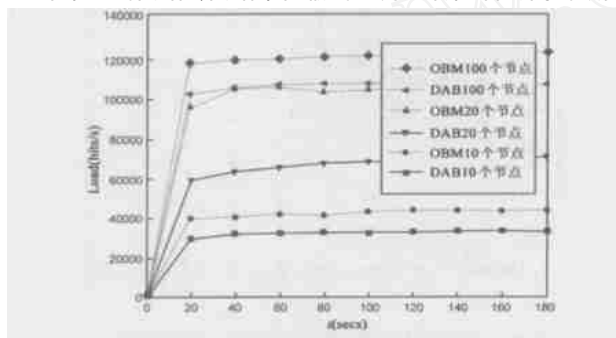


图 7 不同网络规模对网络负荷的影响

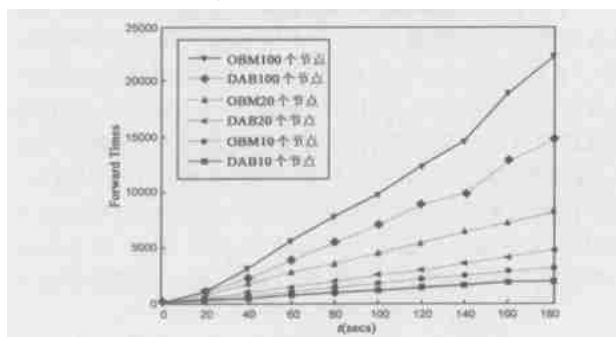


图 8 不同网络规模对分组转发次数的影响

而变化, 最终趋于稳定。而分组的总转发次数将呈线性增长。从图中可以看出, 不论是哪种规模的网络, DAB 算法的性能都优于 OBM 算法。

## 4 结论

本文提出了一种密度自适应的泛洪广播策略 DAB, 它根

据发送节点邻节点的节点密度确定哪些邻节点需要转发, 那些仅仅只是需要接收处理。节点密度越大的邻节点, 其转发的优先级越高, 从而达到以最少转发次数将信息发送至全网的目的。仿真结果表明 DAB 算法的确能够有效的改善网络的性能, 尤其当网络业务量比较大或网络规模比较大时, 改善程度更加明显。

## 参考文献:

- [1] Joseph P Macker, M Scott Corson. Mobile Ad Hoc Networking and the IETF[J]. Mobile Computing and Communications Review, 1998, 2(2): 9-15.
- [2] 刘凯, 李建东, 等. 移动分布式无线网络中的自适应分群协议[J]. 西安电子科技大学学报, 2001, 28(3): 311-314.
- [3] D Bertsekas, R Gallager. Data Network[M]. USA: Prentice-Hall, 1992. 368-370.
- [4] S Y Ni, Y C Tseng, Yuh-Shyan Chen, J P Sheu. The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network[A]. Proceedings of the Fifth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking[C]. Washington: IEEE, 1999. 151-162.
- [5] Wei Peng, Xi-Cheng Lu. On the reduction of broadcast redundancy in mobile ad hoc networks[A]. In Proc. First Annual Workshop on Mobile and Ad Hoc Networking and Computing[C]. Boston: WMNC, 2000. 129-130.
- [6] A Qayyum, L Viennot, A Laouiti. Multipoint Relaying: An Efficient Technique for Flooding in Mobile Wireless Networks[R]. Technical Report 3898, INRIA-Rapport de recherche, 2000.
- [7] G Calinescu, I Mandoiu, P J Wan. Selecting Forwarding Neighbors in Wireless Ad hoc Networks[A]. Proc 5<sup>th</sup> International Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobility[C]. Rome: WDAMM, 2001. 34-43.

## 作者简介:



盛敏 女, 1975 年生于湖南省长沙市, 西安电子科技大学博士讲师, 主要研究方向包括移动 Ad Hoc 网络多址接入协议、QoS 路由、个人通信网络等。



李建东 男, 1962 年生于江苏省阜宁县, 西安电子科技大学博士导师, 中国通信学会会士、IEEE 高级会员、中国电子学会高级会员, 第一届和第四届 863 个人通信技术专业专家组成员, 享受国家政府特殊津贴。从事移动通信、个人通信、软件无线电、分组无线网、自组织网络、宽带无线 IP 技术等方面的研究。