

# 移动 Ad Hoc 网络中定向发送与接收算法的改进

张 筠, 李 颖

(重庆通信学院信息工程系, 重庆 400035)

**摘 要:** 针对定向发送与接收算法(DTRA)在网络节点密度较高、拓扑结构变化缓慢时, 存在的邻节点发现不完全和邻节点频繁重复发现问题, 基于定向通信提出一种 DTRA 改进方案。理论分析结果表明, 异步扫描帧的引入使该方案有效提高了邻节点发现概率和网络数据吞吐量。

**关键词:** 移动 Ad Hoc 网络; 定向天线; 邻节点发现; 邻节点轮询

## Improvement of Directional Transmit and Receive Algorithm in Mobile Ad Hoc Network

ZHANG Jun, LI Ying

(Dept. of Information Engineering, Chongqing Communication Institute, Chongqing 400035)

**【Abstract】** Aiming at the problems of Directional Transmit and Receive Algorithm(DTRA) such as neighbor discovery inadequacy and frequent neighbor rediscovery when the nodes density is high, or the topology of the network changes slowly, this paper puts forward an improved scheme of DTRA based on directional communication. Theoretical analysis results show this scheme can increase the probability of neighbor discovery and the data throughput of the network through the introduction of asynchrony scan frames.

**【Key words】** Mobile Ad Hoc Network(MANET); directional antenna; neighbor node discovery; neighbor node polling

移动 Ad Hoc 网络(Mobile Ad Hoc Network, MANET)是一种自构建、自组织和自管理的无中心多跳无线网络。MANET 网络中的应用定向天线具有增加通信距离、减少干扰、提高空间复用度和增大系统容量等优点。但定向通信的波束有向性要求通信双方的波束方向必须相对, 因此, 邻节点的发现与维护成为定向通信的瓶颈问题。

### 1 相关工作

应用定向天线的 MANET 网络, 其数据一般都为定向传输, 但控制信息的交换大多用到了全向通信。文献[1-3]应用全向控制信息交换来确定邻节点的位置。文献[4]通过定向发送 Hello 消息和全向接收来确定邻节点位置。文献[5]在定向发送控制信息的前提下, 通过功率控制以及定向接收与全向接收相结合的方法, 发现网络中所有邻节点。上述邻节点发现与维护方案都引入了全向通信, 可以简化邻节点发现过程, 但与木桶原理类似, 只要有一个环节引入全向通信, 就会带来一些问题, 诸如空间复用优势减弱、网络连通性受限、网络吞吐量下降等。而在现有异步纯定向通信下的邻节点发现与维护方案中, 节点的发现概率普遍较低、发现周期较长, 且“听不见”问题<sup>[6]</sup>较严重。目前已经可以较方便地通过 GPS 设备或各种同步算法, 实现 MANET 网络的全网时间同步, 同步 DTRA<sup>[7]</sup>方案可以很好地解决以上问题, 但节点特定的扫描模式导致其引入了新的自身问题。本文在拓扑结构变化缓慢、节点数量不多的特定环境下, 研究并解决此类问题。

### 2 DTRA 简介

定向发送与接收算法(Directional Transmit and Receive Algorithm, DTRA)是一种基于全网时钟同步的移动自组网

MAC 协议, 它利用天线特定扫描方式实现在节点密度较小、网络拓扑结构变化较剧烈的环境下, 解决纯定向通信条件下的邻节点发现与维护问题。

#### 2.1 DTRA 时帧结构

DTRA 在邻节点维护时引入了轮询机制, 其时帧结构如图 1 所示。每个帧分为 3 个子帧, 第 1 个子帧用来进行邻节点发现; 第 2 个子帧用于给 2 个已建链的节点重新确认它们的链接并进行资源预留; 第 3 个子帧用于数据传输。每个子帧被分成若干时隙, 每个时隙在邻节点发现/轮询子帧中由多个微时隙组成, 各个微时隙大小相同。

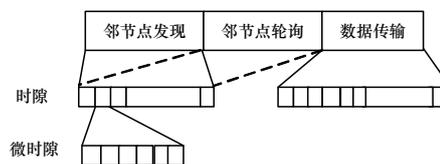


图 1 邻节点维护时 DTRA 轮询机制的时帧结构

#### 2.2 DTRA 发现子帧天线的扫描模式

DTRA 方案邻节点发现时的定向天线为同步扫描模式, 节点的接收方向与发送方向相反, 即某一时刻所有节点的发送波束指向相同方向, 而侦听波束全部指向与其相反的方向。两者按相同方向扫描。

DTRA 发现子帧天线工作模式的选择方案(发送与接收)

**作者简介:** 张 筠(1982—), 女, 硕士, 主研方向: 数据链和无线网络自组织技术; 李 颖, 副教授、博士

**收稿日期:** 2008-09-14 **E-mail:** bi.lin123@163.com

如下：设网络中有  $N$  个节点， $j$  为第  $j$  个节点的 ID，用二进制数表示。二进制的位数由网络节点数  $N$  的二进制位数表示， $j$  不够的位数用 0 补上。例如，当  $N$  为 16， $j$  为 3 时， $j$  的二进制数为 0011。节点的扫描序列数为  $i$ ，当第  $i$  位二进制数为 0 时，其工作模式为侦听，若为 1，则其工作模式为发送。在每个扇区节点上都采取三步握手机制完成邻节点的发现。

### 2.3 DTRA 存在的问题

当节点密度较小时，DTRA 方案在一个发现子帧可以发现多数邻节点，甚至全部邻节点。但当网络拓扑变化不剧烈时，其每个发现子帧基本都发现相同的邻节点。即使网络拓扑变化剧烈，它的每个帧都要对前一帧发现的节点进行重新发现，没有利用历史信息的参考价值或充分利用轮询子帧的功能。且上述方案无法解决以下 2 类冲突：

(1) 序列号属性冲突。由扫描的序列安排造成，即只在所取参考节点处发生冲突。如图 2 所示，以节点 0 为参考节点时，节点 0 无法直接发现节点 4。设节点 0、节点 4、节点 6 的二进制位分别为 0000, 0100, 0110。在第 2 周，节点 4 和节点 6 发送，节点 0 接收，此时在节点 0 处产生冲突。在第 3 周，节点 6 发送，节点 4 和节点 0 接收，节点 0 与节点 6 可以发现彼此，因此，中心节点 0 不能直接发现节点 4。序列号属性冲突与拓扑结构没有直接关系，只要在一个扇区内的邻节点数大于 1，就可能发生。如果将节点 4 的位置换为节点 5，其二进制位为 0101，则节点 0 可以发现节点 5 和节点 6。

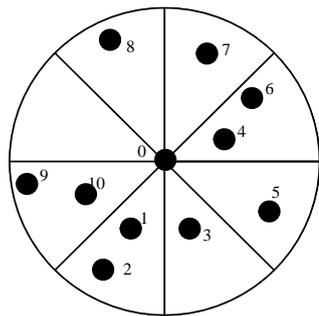


图 2 节点分布示例

(2) 拓扑结构属性冲突。由节点位置及波束宽度等自身属性决定。此情况的特例之一为扇区内多点一线问题，如图 2 所示，节点 0 与节点 1 和节点 2 在同一条直线上，设节点 1 的二进制位为 0001，节点 2 为 0010。此时，在第 3 周发现扫描时，中心节点和节点 1 处于接收状态，节点 2 为发送状态。在节点 2 处会发生回复接收冲突，因此，节点 0 在此扫描周内无法发现节点 1 和节点 2。在第 4 周发现扫描时，节点 0 和节点 2 为接收状态，节点 1 为发送状态。此时，节点 0 可以发现节点 1，但无法发现节点 2。若将节点 2 的位置换为节点 3，则节点 0 将无法发现节点 1 或节点 3。

在 DTRA 中可能出现以下情况：3 个节点在物理位置上不处于同一直线，但在逻辑关系上处于同一直线。例如，节点 0、节点 9 与节点 10 不在一条直线上，但节点 10 在节点 9 对节点 0 的发送波束内，并能接收节点 9 的发送数据。节点 9 接收中心节点的数据时能接收节点 10 的数据。此时，中心节点能发现节点 10，但无法发现节点 9。无论三者序列号怎么变化，中心节点都不能发现逻辑直线上距它最远的节点。

## 3 改进的 DTRA 方案

针对 DTRA 方案存在的轮询子帧利用不充分、浪费历史信息参考价值以及不能发现所有邻节点等问题，本方案引入

一种可以提高邻节点发现与维护效率的异步扫描帧。异步扫描帧与 DTRA 中帧的具体划分一致，只是发现子帧的天线工作模式发生变化，而后 2 个子帧则完全相同。如图 3 所示，每个帧周期中有  $M$  个帧，第 1 个为 DTRA 帧，其他  $M-1$  个为异步扫描帧。



图 3 异步扫描帧周期结构

### 3.1 异步扫描帧中发现子帧的工作方案

在异步扫描帧的发现子帧内，因为 DTRA 帧中进行了全向扫描，所以不需要全向发现。本子帧由 2 个时段组成，它们含有的时隙个数分别为  $u$  和  $v$ ，每个时段所选时隙数不能太多，应满足一定上限。

异步扫描帧中发现子帧的过程如下：

(1) 寻找在上个轮询子帧未取得联系的邻节点。此类时隙数由网络中节点密度和节点的运动情况确定，其具体工作过程如下：断链前为主动发现状态的节点当该发现子帧到来时，在第 1 个时段任选的时隙内(即  $u$  个时隙内任选一个)向丢失节点预测位置发送 Hello 消息，如果取得回应，则继续进行该三步握手通信；如果在估计位置未找到该邻节点，就放弃寻找，等待轮询子帧或下一个发现子帧。在此类时隙内，没有丢失邻节点的节点只在任选的方向侦听，而不进行发送，从而避免由于冲突而断链的节点无法联系。

(2) 寻找遗漏节点。每个节点都在任选方向选择发送或接收，此类时隙的数量  $v$  由节点密度和波束宽度等因素决定。

### 3.2 各帧的组合规则

DTRA 帧与异步扫描帧的组合方式如下：当节点运动速度快、网络拓扑剧烈时，减小异步扫描帧的数量，即整个帧周期缩短，极限就是没有异步扫描帧。当网络节点密度大时，增大异步扫描帧中发现子帧的长度。各种类型帧的大小相同，由于发现子帧长度不同，因此数据传输帧大小不同。

### 3.3 方案性能分析

节点密度较低、网络拓扑结构变化不太剧烈的纯定向网络是确保本方案优越应用性能的前提，本文基于此类网络分析方案性能。

#### 3.3.1 应用环境

(1) 在网络拓扑变化不剧烈时，为了便于分析，假设在一个帧周期内节点位置基本不变。由于帧周期的长短由网络拓扑结构变化的剧烈程度决定，因此当网络拓扑结构运动剧烈时，帧周期较短，甚至只为一个帧。可见，该假设是合理的。

(2) 接收节点的冲突是由多个发送者集中在该方向发送而引起的，此时，可能有多个节点以此节点为定向传送目标，本文认为在接收方发生了冲突。

#### 3.3.2 参量

(1) 发送与接收的波宽都定为  $\frac{2\pi}{K}$ ， $K$  是节点扇区数。

(2) 为了便于分析，设每个节点波束内的邻节点数都为  $m$ 。

(3) 网络中节点总数的二进制数位为  $w$ ，即网络中有  $N = 2^w$  个节点。

(4) DTRA 帧中发现子帧的时隙数为  $w \times K$ 。

(5) 异步扫描帧中发现子帧的时隙数为  $R = u + v$ ，其中，用于发现跟丢邻节点的时隙为  $u$  (在静止前提下，它主要用于寻找由于干扰而失去联系的节点)；用于寻找发现遗漏节点的

时隙数为  $v$ 。

(6)每个帧周期中有 1 个 DTRA 帧和  $M-1$  个异步扫描帧。

### 3.3.3 具体分析

在 DTRA 发现子帧的某个时隙内,只有当参考节点与其扇区内的一个邻节点工作模式互异,而与其他工作模式相同时,才能发现该邻节点。设  $w$  周扫描后即一个发现子帧内,节点发现其邻节点的百分比为  $\beta$ (此时只考虑序号属性冲突,下文将分析拓扑结构属性冲突)。当  $m>1$  时,无论  $m, w$  取何值,  $\beta$  都小于 1。例如,当  $w$  为 3、 $m$  为 2 时,  $\beta = (\frac{8}{21} \times 2 + \frac{13}{21}) \div 2 = \frac{29}{42}$ 。若同一扇区内存在与中心节点构成拓扑结构属性冲突的邻节点,则该算法性能将下降。其原因是中心节点不可能发现一条直线上的所有邻节点,使发现概率  $\beta$  降低。

当  $m \leq 1$ ,即每个扇区只有一个或没有邻节点时,在  $w$  周扫描相同时间内, DTRA 方案发现所有邻节点的概率为 1。此时,由于本方案第 1 个帧为 DTRA 帧,因此发现所有邻节点的概率为 1。

当  $m>1$  时,若 DTRA 帧中没有发现所有邻节点,则在一个帧周期内,由于节点静止,因此 DTRA 方案可能发现全部邻节点的概率为 0。

假设每个扇区内平均有  $z$  个节点在 DTRA 帧中已被发现,有  $x$  个节点未被发现,即  $m = x + z$ 。则  $x$  个未被发现的节点在  $M-1$  个异步扫描帧中全被发现的概率为

$$\phi = [1 - [1 - \frac{1}{2K^2} (1 - \frac{1}{2K})^{m-1}]^{(M-1)v}]^x$$

此时发现一个扇区内全部节点的概率为

$$[1 - [1 - \frac{1}{2K^2} (1 - \frac{1}{2K})^{m-1}]^{(M-1)v}]^x$$

发现整个网络中的所有邻节点概率  $\phi = \phi^k$ 。

与 DTRA 方案相比,本方案可能发现全部邻节点的概率较高。

当网络运动不剧烈、节点密度较小时,  $v$  与  $u$  较小,此时  $R < w \times K$ ,数据子帧将增长。因此,本方案可以提高网络数据吞吐量。

(上接第 110 页)

数的运算,得到  $j(j \leq 5)$  个 Hash key。此时从空闲流 ID 表中申请  $j$  个流 ID,以流 ID 为地址依次将五元组规则添加到动态链表中。最后将所涉及到的计数器数值加 1,同时向对应位置的定时器发送信息,修改其中的流状态位,开始计时。

对于五元组规则的删除请求,主要体现为 2 种情形:

(1)由于流超时所引起的删除请求;(2)数据流最后报文的到达引起的删除请求。当流超时,根据动态链表与定时器表项一一对应的关系,可以直接获得超时流五元组规则在动态链表中的地址信息,并依据该项在链表中的具体位置,删除五元组规则,修改前、后项指针和某些参数。如果是数据流到达的最后报文引起的删除请求,此时仍然需要进行 Hash 计算以及相应的五元组匹配操作。若匹配成功,则需要将规则删除,具体的操作与上一种情况相同;若匹配失败,则不存在规则的删除问题,只需将报文递交到过滤器即可。不论属于何种情况,在删除操作结束后都要进行计数器数值减 1,并释放流 ID。

## 4 结束语

本文研究现有 MANET 中的定向邻节点发现与维护方案。DTRA 是解决现有邻节点发现与维护问题较有效的方案,但它要求特定的天线工作模式,且自身存在的缺陷。本文方案较有效地解决了上述问题。

笔者下一步的工作包括:网络仿真,通过不同仿真结果确定 DTRA 帧与异步扫描帧的最佳比例;在现有方案中充分利用轮询机制,引入节点位置信息交换,利用节点位置信息表发现更多间接发现节点,从而提高方案性能。

### 参考文献

- [1] Nasipuri A. A MAC Protocol for Mobile Ad Hoc Networks Using Directional Antennas[C]//Proc. of WCNC'00. Chicago, USA: ACM Press, 2000: 1214-1219.
- [2] Ueda T. An Efficient MAC Protocol with Direction Finding Scheme in Wireless Ad Hoc Network Using Directional Antenna[C]//Proc. of RAWCON'03. Boston, USA: IEEE Press, 2003: 233-236.
- [3] Pan Yuxin. An Efficient Medium Access Control Protocol for Mobile Ad Hoc Networks Using Antenna Arrays[J]. IEEE Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering, 2007, 32(1): 19-25.
- [4] 赵瑞琴,刘增基.采用定向天线的 MANET 邻居发现算法研究[J].无线电通信技术,2006,32(4): 30-33.
- [5] Zhao Ruiqin. A Trustworthy Neighbor Discovery Algorithm for Pure Directional Transmission and Reception in MANET[C]//Proc. of ICACT'07. Gangwon-Do, Korea: IEEE Press, 2007: 926-931.
- [6] Choudhury R. Deafness: A Mac Problem in Ad Hoc Networks When Using Directional Antennas[C]//Proc. of the 12th IEEE International Conference on Network Protocols. Berlin, Germany: IEEE Press, 2004: 283-292.
- [7] Zhang Zhensheng. DTRA: Directional Transmission and Reception Algorithms in WLANs with Directional Antennas for QoS Support[J]. IEEE Networks, 2005, 19(3): 27-32.

编辑 陈 晖

## 5 结束语

本文主要研究基于 Bloom Filter 的报文分类算法——BFPC 算法以及该算法在 IPS 中的具体应用和实现过程。通过建立相应的 IPS 硬件模型,并针对采用 BFPC 算法思想实现的流信息预处理引擎所用到的数据结构以及其处理流程等进行讨论,确定了该引擎的实现方案,使 IPS 整体性能有所提高。

### 参考文献

- [1] Bloom H. Space/Time Trade-offs in Hash Coding with Allowable Errors[J]. Communications of the ACM, 1970, 13(7): 422-426.
- [2] 田立勤,林 闯.报文分类技术的研究及其应用[J].计算机研究与发展,2003,40(6): 765-775.
- [3] Andrei B, Michael M. Network Applications of Bloom Filters: A Survey[J]. Internet Mathematics, 2004, 1(4): 485-509.

编辑 陈 文

