

## 针对基于忙音的广播方法的仿真研究

徐胜红, 韩庆田, 曹文静

(海军航空工程学院 控制工程系, 山东 烟台 264001)

**摘要:** 在高动态拓扑自组织网络中, 基于常规握手机制的广播方法难以有效进行信息分发, 为此, 提出了一种基于忙音的广播方法。针对此方法, 利用网络仿真平台 OPNET, 建立并实现了该广播方法的模型, 通过仿真实验, 分析了其性能。仿真结果表明, 该基于忙音的广播方法适用于高动态拓扑网络。

**关键词:** 自组织网络; 广播方法; 忙音; 仿真

中图分类号: TP393

文献标识码: B

文章编号: 1000-436X(2012)Z2-0141-05

## Simulation of broadcasting method based on busy tone

XU Sheng-hong, HAN Qing-tian, CAO Wen-jing

(Department of Control Engineering, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China)

**Abstract:** In ad hoc network with high dynamic topology, broadcasting method based on handshake mechanism was not efficient. Therefore, a broadcasting method based on busy tone was proposed. This method was modeled and implemented with the network simulation platform OPNET, and the performance of the broadcasting method was analyzed based on experimental results. Experimental results show that, the broadcasting method based on busy tone is applicable to the network with high dynamic topology.

**Key words:** ad hoc network; broadcasting method; busy tone; simulation

### 1 引言

在高动态拓扑或接收点不确定的自组织网络中, 广播是一种基本的分发信息的方法。为避免信息发送冲突, 在信息分发前, 需要预约信道。当前, 信道预约的一般方法是 RTS/CTS 握手机制, RTS/CTS 握手机制是为了达到发送节点与接收节点的一致, 并避免隐藏终端而采取的措施。目前有许多广播方法采用了 RTS/CTS 握手机制, 包括 BSMA 协议、BWM 协议、BMMM 协议、LMM 协议等<sup>[1-7]</sup>。利用 RTS/CTS 握手机制预约信道的代价是增加了传输大量控制分组的网络负载。

RTS/CTS 握手机制是假设所有相关节点都能接收到 RTS/CTS 控制分组, 但在节点间的相对位置变化迅速的高动态拓扑网络中, 这种假设并不总是成立。利用 RTS/CTS 握手机制预约信道存在以下问题。

1) 由于节点之间相对位置的迅速变化, 广播源节点难以与所有接收节点之间完成完整的 RTS/CTS 握手, 从而导致预约信道的等待时间不可预测且难以可靠地预约信道。

2) 对于即将进行的数据广播, RTS/CTS 握手不仅通过 RTS 通知了源节点一跳范围内的节点, 也通过 CTS 通知了隐藏终端, 因此, 利用 RTS/CTS

收稿日期: 2012-10-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61203168); 中国博士后基金资助项目 (2011M500156); 山东省自然科学基金资助项目 (ZR2011FQ040)

**Foundation Items:** The National Natural Science Foundation of China (61203168); The Postdoctoral Science Foundation of China (2011M500156); The Natural Science Foundation of Shandong Province (ZR2011FQ040)

预约信道的广播协议预约了源节点 2 跳范围内的信道。在节点密度大的情况下，这会导致大量的节点等待接入信道，从而直接影响到接入信道的速度。

总之，利用 RTS/CTS 握手机制预约信道具有信道接入算法复杂、接入速度慢等缺点，难以保证节点密集情况下信息的有效广播。

为克服 RTS/CTS 握手机制在信息广播中的问题，本文提出了一种基于忙音的广播方法。本文针对该基于忙音的广播方法，在 OPNET 平台上建模与实验，分析了其在高动态拓扑时的性能。

## 2 一种基于忙音的广播方法

在本文提出的基于忙音的广播方法中，令忙音信号和数据信号的单跳覆盖距离相同，从而可以利用忙音信号预约广播源节点一跳范围内的信道。

在基于忙音的广播方法中，发送器和接收器都是 2 个信道的：一个信道用于传输数据分组，称为数据信道；另一个信道用于传输忙音信号，称为忙音信道。在任意节点上，该广播方法的运行机制如下。

1) 节点初始时通过接收器侦听数据信道和忙音信道的状态。

① 若侦听到数据信道忙，说明有节点在广播数据，则开始接收数据，接收数据完毕，继续侦听数据信道和忙音信道的状态；

② 若侦听到忙音信道忙，而数据信道闲，意味着本节点一跳范围内有其他节点在竞争信道，则继续侦听数据信道和忙音信道的状态；

③ 若侦听到数据信道闲，忙音信道闲，且本节点有数据发送，则开始预约信道；

④ 若侦听到数据信道闲，忙音信道闲，且本节点无数据发送，则继续侦听数据信道和忙音信道的使用情况。

2) 预约信道的过程如下。

设置定时器，定时长度为  $t$ ， $t=d/c$ ， $d$  为无线信号的单跳覆盖距离， $c$  为无线信号的传输速度，则  $t$  为无线信号传输一跳所需的时间；同时通过发送器发送忙音信号，通过接收器侦听数据信道和忙音信道的状态：

① 若在规定时间内通过接收器侦听到来自其他节点的数据信号，则终止本节点的忙音发送，开始接收数据；

② 若在规定时间内通过接收器侦听到来自其

他节点的忙音信号，而没有侦听到来自其他节点的数据，则取消定时器，终止本节点的忙音发送，退避一段随机时间  $t'$ ， $t' \in [0, t]$ ，继续侦听信道状态；

③ 若在规定时间内通过接收器没有侦听到来自其他节点的忙音信号和数据，则成功预约了信道，开始广播数据，广播数据完毕，继续通过接收器侦听数据信道和忙音信道状态。

## 3 利用 OPNET 建模与实现基于忙音的广播方法

OPNET 是目前应用最广泛的网络仿真平台之一。OPNET 建模包括 3 部分：网络建模、节点建模、进程建模。网络模型描述了网络拓扑和节点移动性等；节点模型描述了网络中各种类型的计算和通信设备；进程模型描述了节点每一部分功能的运行过程。仿真基于忙音的广播方法主要是设计相应的节点模型和进程模型。

### 3.1 节点模型设计

节点模型描述节点的结构和每部分功能，包括许多模块，每个模块完成节点工作的一部分操作，例如数据产生和存储等。在针对基于忙音的广播方法的仿真中，设计节点模型如图 1 所示。该节点模型包括 6 个模块。

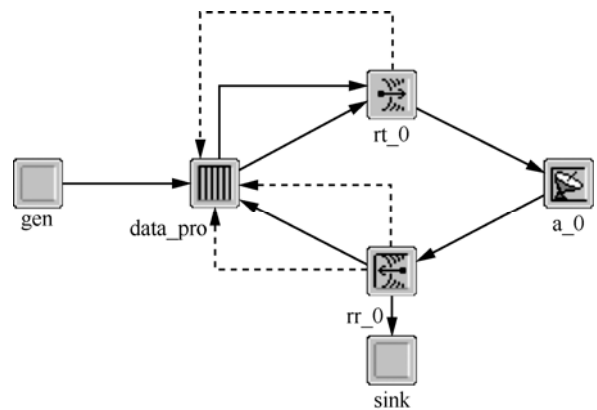


图 1 节点模型

- 1) 模块 gen 用于周期性产生数据分组；
- 2) 模块 rt\_0 是一个无线发送器；
- 3) 模块 rr\_0 是一个无线接收器；

无线发送器和无线接收器都包括 2 个信道：数据信道和忙音信道。

- 4) 模块 a\_0 是天线；

- 5) 模块 data\_pro 实现广播方法，该模块的功能

包括：

- ① 接收来自 gen 模块的数据，选择合适的时间将数据发送给 rt\_0 的数据信道；
  - ② 选择合适的时间产生忙音并将忙音发送给 rt\_0 的忙音信道，利用忙音预约信道，并控制预约信道的过程；
  - ③ 通过 rr\_0 的数据信道接收数据；
  - ④ 通过统计线侦听 rr\_0 的忙音信道和数据信道状态；
  - ⑤ 通过统计线侦听 rt\_0 的数据信道状态，确定本节点的数据是否发送完毕。
- 6) 模块 sink 完成对接收到的忙音信号销毁。

### 3.2 忙音信号的仿真

在 OPNET 中，通过信息分组的传输来模拟实际网络中的信息流动，而理论上，忙音信号是类似于正弦波的模拟信号。为了在 OPNET 平台上设计基于忙音的广播方法，如何利用分组传输来模拟忙音是至关重要的。为了能及时终止忙音信号的发送，释放信道，模拟忙音的信息分组长度应该较短，这里，将发送器忙音信道的发送速率设置为  $10^6\text{bit/s}$ ，模拟忙音的信息分组长度设置为 1bit，则发送 1 个忙音模拟分组的时间为  $10^{-6}\text{s}$ 。为模拟连续的忙音信号，需要按照一定周期产生并发送忙音模拟分组，由于发送 1 个忙音模拟分组的时间为  $10^{-6}\text{s}$ ，则产生忙音模拟分组的间隔时间应该为  $10^{-6}\text{s}$ ，才能模拟忙音信道上持续发送忙音信号的过程。

### 3.3 进程设计

针对节点模型中每个模块，进程模型完成相应模块的功能。下面，针对 data\_pro 模块，设计该模块的进程，即基于忙音的广播方法。

在 OPNET 中，利用状态机描述算法的运行过程，为了设计状态机，需要完成以下步骤。

- 1) 依据算法描述，提取出算法运行中的可停留状态，确保这些状态之间是互斥和互补的。
- 2) 确定算法运行过程中，每个可停留状态下可能发生的事件，并建立事件响应表。
- 3) 基于事件响应表，构造状态机。

#### 3.3.1 进程中的状态和事件设计

所有状态组成进程的状态空间，进程一个时刻只能处于一个状态，在仿真过程中，进程不断地从一个状态迁移到另一个状态。依据以上基于忙音广播方法的运行机制，进程包括 5 个可停留状态，如表 1 所示。

表 1 进程模型的可停留状态

状态	状态描述
IDLE	等待状态，等待信道空闲以及自身产生广播数据
CONTEND	竞争状态，预约信道
SENDDATA	发送数据状态
RECEPT	接收数据状态
BACKOFF	退避状态

事件是状态迁移的动力，每个事件是一个特定类型的中断，依据基于忙音的广播方法的运行机制可能发生的中断如表 2 所示。

表 2 基于忙音的广播方法中的事件和对应的中断类型

事件名	事件描述	中断类型
PK_ARRIVAL_FROMGEN	gen 模块产生的数据到达本模块	流中断
PK_ARRIVAL_FROMRR	rr_0 模块接收的数据到达本模块	流中断
DATACHANNEL_BUSY	通过 rr_0 检测到的数据信道状态从空闲变为忙	统计中断
DATACHANNEL_FREED	通过 rr_0 检测到的数据信道状态从忙变为空闲	统计中断
TDATACHANNEL_FREED	通过 rt_0 检测到的数据信道状态从忙变为空闲	统计中断
BACKOFF_OVER	预约信道的定时器到时	自中断
BACKOFF1_OVER	退避的定时器到时	自中断
INTER_BT_SELFINTRPT	忙音定时器到时	自中断

#### 3.3.2 进程的状态机设计

依据以上基于忙音的广播方法的运行机制、状态表和中断表，可以构造相应的事件响应表，即在一定状态和特定条件下，当发生某种事件时，需要进行的处理操作以及要迁移到的状态。依据事件响应表，可以进一步得到 OPNET 中的进程模型描述形式—状态机，如图 2 所示。

在图 2 中，描述了基于忙音的广播方法的运行机制。⊗ 状态为可停留状态，● 状态为不可停留状态。在不可停留状态下，仅执行相应的操作后即无条件迁移至下一状态。仿真开始后的初始可停留状态为 IDLE，进程只能停留在一个可停留状态上，当发生特定事件时，进程迁移至相应的下一状态。

## 4 实验设计与性能分析

为了验证和评价基于忙音的广播方法的性能，本文在实验中收集了如下的全局统计量。

- 1) 端到端数据传输延时：是指数据产生的时刻与被成功接收到的时刻之间的时差。



持在 1s 以下, 而且能保证绝大部分的邻近节点接收到广播数据。

2) 网络节点移动速度对端到端数据传输延时和平均接收节点的数目没有影响。

表 3 接收节点的平均数目

场景序号	平均接收节点数目
15	29
16	88
17	29
18	88

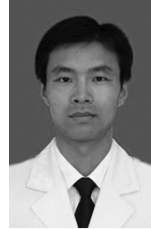
## 5 结束语

本文针对一种基于忙音的广播方法, 在 OPNET 网络仿真平台上进行了建模和实现。实验结果表明该方法能够满足高动态拓扑网络中信息广播的需求。

### 参考文献:

- [1] TANG K, GERLA M. MAC layer broadcast support in 802.11 wireless networks[A]. Proc IEEE MILCOM 2000[C]. Los Angeles, CA, USA, 2000. 544-548.
- [2] TANG K, GERLA M. Random access MAC for efficient broadcast support in ad hoc networks[A]. Proc IEEE WCNC 2000[C]. Chicago, IL, USA, 2000. 454-459.
- [3] TANG K, GERLA M. MAC reliable broadcast in ad hoc networks[A]. Proc IEEE MILCOM 2001[C]. Los Angeles, CA, USA, 2001. 1008-1013.
- [4] SUN M T, HUANG L F, ARORA A, *et al.* Reliable MAC layer multicast in IEEE 802.11 Wireless Networks[J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2003, 3(4):439-453.
- [5] LOU W, WU J. On reducing broadcast redundancy in ad hoc wireless networks[J]. IEEE Trans on Mobile Computing, 2002, 1(2):111-123.
- [6] FARNOUD F, VALAEE S. Reliable broadcast of safety message in vehicular ad hoc networks[A]. Proc IEEE INFOCOM 2009[C]. Rio de Janeiro, Brazil, 2009. 226-234.
- [7] HAAS Z J, DENG J. Dual busy tone multiple access (DBTMA): a medium access control for multihop networks[J]. IEEE Transactions on Communications, 2002, 50(6):975-985.

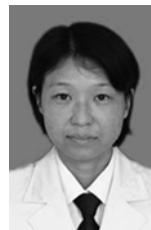
### 作者简介:



徐胜红 (1974-), 男, 安徽望江人, 博士, 海军航空工程学院副教授, 主要研究方向为移动和无线网络、导航与控制。



韩庆田 (1976-), 男, 山东夏津人, 博士, 海军航空工程学院讲师, 主要研究方向为装备保障信息化。



曹文静 (1975-), 女, 山东梁山人, 博士, 海军航空工程学院副教授, 主要研究方向为移动和无线网络。