

# 一种新的无线网络信号干扰累加捕获模型

王 桐

(湖北经济学院信息工程学院,湖北 武汉 430205)

[摘要] 目前的模拟器大都基于传统的无线网络物理层捕获模型,然而,由于无线硬件技术的发展,实际的无线网卡已经具备了在先后到达接口的多个信号中进行有选择捕获的高级接收功能,不论接收的信号是否为最先到达接口的。目前还没看到有模拟器实现高级物理层捕获算法,使得理论研究和实际情况脱节。本文试图解决这样的问题,首先,给出了一个基于信号累加机制的干扰模型,在此基础上提出了一个新的高级捕获模型,用模拟器进行了实现,并给出了仿真分析,其模拟结果证明,节点密度增加不到 3 倍的情况下,丢包率增加了近 5.5 倍,足以说明信号累加效应带来的巨大影响。

[关键词] 干扰模型,物理层捕获模型,信号累加

[中图分类号]TP393.03 [文献标志码]A [文章编号]1672-1292(2015)02-0073-04

## A New Capture Model Based on Cumulative Signal Interferences for Wireless Ad Hoc Networks

Wang Tong

(School of Information Engineering, Hubei University of Economics, Wuhan 430205, China)

**Abstract:** Most of the simulators are based on traditional wireless physical capture model, but with the development of hardware, the wireless card gains the capability of selective receiving among several packet in deferent intervals whatever which packet arrive first. Unfortunately there has no related physical capture model been realized on simulators, leaving the gap between theoretical research and hardware reality. This paper tries to solve such problem. Firstly, an interference model based on cumulative signal effect is proposed and an advanced capture model is then built. Upon this capture model a realization on simulator has been given out. The numerical experiment demonstrate that the packet drop rate increased 5.5 times with the node density add up to 3 times. The result shows that the cumulative signal interference has tremendous effect on packet receiving.

**Key words:** interference model, physical layer capture (PLC) model, cumulative signal

传统的基于 Bianchi 假定<sup>[1]</sup>的物理层捕获模型(Physical layer capture (PLC) model)认为,接收节点在一个数据包接收时间间隔内探测到多个信号的到达时,无论各路信号的强度大小,都默认为是干扰信号,这时会将所有后到达的信号丢弃,而如果后到达的干扰达到一定阈值,则认为发生了冲突,此时会将原来正在接收的信号一起丢掉。这是一种非常保守的模型,这种模型只能对最先到达的数据包进行接收,并认为后到达的信号都为干扰。目前的主流模拟器都是基于这种模型实现的。

随着硬件技术的进步,无线网卡已经具备了诸如 MIM(Message in Message)模式等高级功能<sup>[2]</sup>,能够放弃正在接受的一个数据信号,而对另一个后到达的信号进行接受,或者在同时到达的多个数据包中提取出需要的信号,而不是简单的将后到达的多个信号当成干扰丢弃。这样,即便是后到达的信号强度远大于当前信号强度,需要的信号任然可以被正确提取出来。而 PLC 模型的实现细节则决定了网络上吞吐率的高低。

从理论上而言,当数据包在接收端发生冲突时,有 3 种情况可以出现:(1)所有的数据包被丢弃;(2)强度高并且先到达的数据包被接收,其他被丢弃;(3)强度高的数据包被接收,不论它的到达次序先后与否。

收稿日期:2014-08-16.

基金项目:国家自然科学基金(60970117、61173137).

通讯联系人:王桐,博士,副教授,研究方向:计算机通信与网络. E-mail:wangt.netlab@gmail.com

目前的情况是,物理硬件的发展水平超过了模拟器的捕获模型假定,如文献[3]中指出,在冲突发生时,只要后到的数据包强度够大,并且到达时间位于先到达数据包的物理层 preamble 接受过程中,则依然可以被网卡正确接受,而不是像在 ns2 和 Qualnet 中假定的 PLC 只能对先到的数据包起作用。

在没有使用捕获模型的 Bianchi 模型中,为了使得发送方能成功发送数据,在其发送时周围同时发送的信号强度不能超过给定阈值,不然会导致冲突,因此传统的研究认为在以发送节点为中心的一个区域内所有节点都不能发送数据,即所谓的冲突区域,同时认为,在该区域之外,节点可以发送数据。比如文献[4,5]提供了一个多发送接收节点通讯的模型,然而他们只是假定处在发送节点为中心的一个圆形区域内的节点同时发送数据会导致冲突发生,并会使得所有数据丢失。这种假定很简单,利于使用静态的冲突图(conflict graphs)分析,但是不符合实际情况,尤其是没有考虑到干扰信号会累加导致通讯异常,同时也没有考虑利用物理层捕获效应。

本文认为,干扰信号的强度具有累加性,当多个信号到达接口时,虽然每个信号的强度不足以影响当前接收,但是多信号干扰下就可能造成冲突,同时,目前很少有人研究高级捕获模式下网络性能的变化。因此,本文安排如下:在第 1 节中,对相关工作进行介绍;第 2 节提出了本文的网络模型;第 3 节针对信号累加设计了一个干扰模型;第 4 节提出了新的 PLC 模型;第 5 节对模型进行了模拟分析,最后一节进行总结并展望。

## 1 相关工作

尽管已经有一些研究 802.11MAC 行为的工作,但是大多数都是基于 Bianchi 假定<sup>[1]</sup>,即所有的信号冲突都将导致数据丢失。这个假定的前提条件是数据发送者相隔较近并且干扰信号强大到可以破坏传输。在其他情况下,数据包的发送在时间上可以重叠。

另外一个方向就是在节点周围画一个虚线圆<sup>[4]</sup>。如果任何在该区域内的节点在中心节点发送数据时发送自己的数据,会导致中心节点发送的数据丢失。这样一种假定当且仅当只存在两个发送节点时才有效,显然,现实中很难符合这个条件。

在实际环境下,当超过两个的节点发送时,则它们带来的干扰累加信号就要进行考虑了。随着每个节点传输概率的增加,几个节点同时发送数据的概率就会迅速增加。

传统的 802.11DCF 研究都假定传输过程中的错误概率是一个常数,并且所有节点都一样。然而该假定不能够处理不同距离的传输带来的数据捕获效应差别。文献[6]提出了第一个 IEEE 802.11 DCF 理论分析模型,同时分析了捕获和隐藏节点的问题。然而,其中只是在发送节点和接收节点周围画了一个虚拟的圆,在这个圆内任何其他节点发送数据都会导致该中心发送节点数据失败。这样的模型也在文献[4,5]提到了,在文献[4]中,任何处在发送节点或者接收节点载波感应范围内的节点发送数据,都会导致当前节点发送失败,然而这个假设过于简单,没有考虑数据包捕获的情况。文献[5]也没考虑多节点信号干扰累加的问题。

通过实际的测试发现数据包有捕获效应。在文献[7]中 802.11b 的物理层捕获发送的频率要高于模拟中的数据。在分析了常用的 802.11b 模拟器,如 ns2, qualnet 后发现,实际情况中,吞吐率的不公平要明显高于(约 15%)这些模拟器中的假定。文献[8]中指出,即使使用了 RTS-CTSDATA-ACK 4-way handshake,数据包捕获效应仍然给网络性能带来较大影响。

## 2 网络模型

本文将 MANET 建模成无向图  $G=\langle V,E \rangle$ ,其中  $V=\{v_1,v_2,\dots,v_n\}$  为  $n$  个节点,其均匀分布在 2 维自由空间  $d^2$  中,每个节点都可以在  $d^2$  中独立移动,节点的发射功率相同,且都为  $P$ , $E=\{\langle v_i,v_j \rangle\}$  为图  $G=\langle V,E \rangle$  的边, $\langle v_i,v_j \rangle \in E$  当且仅当节点  $i$  和  $j$  的欧式距离小于无线信号的感知范围,且若有  $\langle v_i,v_j \rangle \in E$ ,必有  $\langle v_j,v_i \rangle \in E$ 。

## 3 累加干扰模型

设  $P_r(d)=\frac{P_t G_t G_r h_t^2 h_r^2}{d^k}$ ,表示两节点距离为  $d$  时节点的接受信号强度。 $P_t$  是节点的发送功率。 $G_t$  和  $G_r$  分

别是接收节点和发送节点的天线增益,  $h_t, h_r$  是天线高度.  $k$  代表信号衰减的快慢, 通常为 2, 一般来说, TWO-RAY GROUND model 中,  $k$  通常为 4, 而对于 open space path loss model 而言,  $k$  通常为 2. 取  $c = G_t G_r h_t^2 h_r^2$ , 则

$$P_r(d) = \frac{P_t \cdot c}{d^k}.$$

设  $P_i$  表示节点受到的干扰功率, 因为在理想环境下噪声可以忽略不计, 因此这时  $SINR(D) = SIR(D) = P_r(D)/P_i(D)$ , 当  $SIR(D) \geq SIR_{Thres}$  时,  $D$  节点可以正确接受数据. 设  $P_{i\_Thres}(D)$  为  $D$  节点的可容忍干扰强度,

$$\text{易知 } P_{i\_Thres}(D) = \frac{P_r(D)}{SIR_{Thres}}.$$

设  $P_i^*(D) = P_{i\_Thres}(D) - P_i(D)$ , 则  $P_i^*(D)$  为节点  $D$  当前还能容忍的剩余干扰强度值, 易知若此时存在一个节点  $F$  以功率  $P_i(F)$  在发送数据, 则节点  $D$  和  $F$  之间的距离  $d_{DF}$  满足约束条件(1)、(2):

$$P_r(d_{DF}) = \frac{P_i(F) \cdot c}{d_{DF}^k} \leq P_i^*(D), \quad (1)$$

则

$$R_{Interfer}(D) = \sqrt[k]{\frac{P_i(F) \cdot c}{P_i^*(D)}} = \sqrt[k]{\frac{P_i(F) \cdot c}{P_{i\_Thres}(D) - P_i(D)}}. \quad (2)$$

因此, 假定节点  $D$  接收数据  $\xi$  的同时, 收到来自于周围节点集  $N = \{N_1, N_2, \dots, N_n\}$  的信号, 则  $\xi$  的捕获条件函数  $\text{Capture}(\xi)$  满足式(3):

$$\text{Capture}(\xi) = \begin{cases} 0, & \sum_{x=N_1}^{N_n} \frac{P_i(x) \cdot c}{d_{Dx}^k} \leq P_i^*(D), \\ 1, & \sum_{x=N_1}^{N_n} \frac{P_i(x) \cdot c}{d_{Dx}^k} > P_i^*(D). \end{cases} \quad (3)$$

## 4 算法实现

本文把最近刚到接收端的帧叫 NEW 帧, 把处于接受状态, 即 PLCP 头部接受正确, 进入 MAC 帧接受的帧叫 RCV 帧.

根据 IEEE802.11 规范, 当一个 NEW 帧到达, 无线网卡不能在发送数据的同时接收数据, 必须在发送和接收两种状态间进行转换. 因此, 在网卡发送数据时, 到达其接口的数据不会被感知到. 算法实现如表 1 所示.

## 5 模拟

本节对捕获模型及算法进行了模拟验证, 使用了自由空间信道衰减模型. 详细模拟参数配置如表 2 所示.

网络范围  $2000 \times 2000$ , DSR 路由协议, 模拟时间为 100 s, 初始能量为 200 j, 发送及接收功率分别为 1、2 W, 空闲功率为 0.5. 当节点数分别为 20、50、80, 且节点移动速度为 20 km/h, 并发连接数为 2 时两种 PLC 模型的性能对比见图 1. 由图 1 可知, 当节点数较少, 如为 20

表 1 捕获算法

Table 1 Capture algorithm

TotalInterf=0 //在 tcl 主程序中初始化
Algorithm: Capture (M)
{
While(节点处于接收模式) do
{
If( rss(NEW) > RX_thres) then //感知强度超过接受阈值
{
If( RCV == ∅) then //信道现在处于空闲, 则接受
{
RCV = NEW //接收该帧
TotalInterf = 0 //信道空闲时要初始化累加干扰值
Allowed_interf = rss( new ) / SINR
Continue; //进入下一循环
}
Else //信道不空闲, 有数据正在接收
{
If( P_RCV / P_NEW ≥ P_capture-thres ) then
{
丢弃 NEW
TotalInterf += Interf_NEW ; //将 New 信息加入干扰累加器
If( TotalInterf > allowed_interf) then
RCV = ∅; //干扰达到上限, 所有信息丢弃
continue; 进入下一轮循环
}
Else if( P_NEW / P_RCV ≥ P_capture-thres ) then //新到的帧能量足够大, 可以被捕获
{
TotalInterf += Interf_RCV; 将 RCV 信息加入干扰累加器
丢弃 RCV
If( TotalInterf > allowed_interf) then
RCV = ∅; 干扰达到上限, 所有信息丢弃
RCV = NEW //接收新帧
}
Else //两个帧能量差不多的情况
{
TotalInterf += Interf_NEW; //将 New 信息加入干扰累加器
If( TotalInterf > allowed_interf) then
RCV = ∅; //干扰达到上限, 所有信息丢弃
continue; 进入下一轮循环
//end if P_NEW / P_RCV ≥ P_capture-thres
//end if P_RCV / P_NEW ≥ P_capture-thres
//信道不空闲, 有数据正在接收
//感知强度超过接受阈值
Else continue;
//while
}
//capture

时,两种 PLC 模型的数据包丢失数几乎相同,而冲突数都为 0,当节点数目逐渐增加时,旧 PLC 由于没有考虑累加干扰的因素问题,其丢包率变化不明显,而对于本文提出的累加干扰模型,可以看到,无论是在丢包率以及冲突次数上,都有一个很明显的增加。

表 2 模拟参数

Table 2 Simulation metrics	
模拟参数	数值大小
RX Threshold	$3.076\ 45 \times 10^{-9}$
CS Threshold	$1.559 \times 10^{-11}$
Tx power	16 dBm
CPthreshold	10 dB
RTSThreshold_	1 000
SINR Threshold	4 dB
Pt_	0.281 838 15

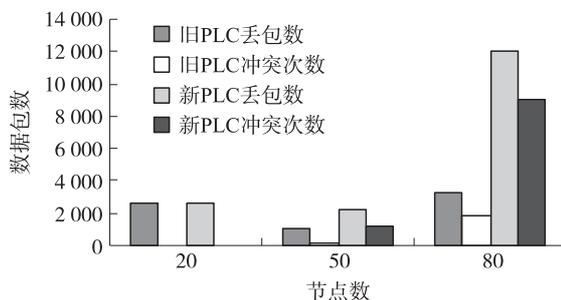


图 1 新旧 PLC 性能对比

Fig. 1 New and old PLC performance comparison

## 6 结语

本文给出了一个基于信号累加机制的干扰模型,在此基础上提出了一个新的高级捕获模型,用模拟器进行了实现,并给出了仿真分析,其模拟结果证明,当节点密度从 20 增加到 80 时,该捕获模型包的丢失率增加了 5.5 倍,明显高于旧 PLC 的 3 倍,由此可见信号干扰累加的效应和节点密度的高相关性。

### [参考文献] (References)

- [1] Bianchi G. Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18(3): 535-547.
- [2] Daneshgaran F, Laddomada M. Saturation throughput analysis of IEEE 802.11 in the presence of non ideal transmission channel and capture effects[J]. IEEE Transactions on Communications, 2008, 56(7): 1 178-118.
- [3] Kochut A. Sniffing out the correct physical layer capture model in 802.11b[C]//12th International Conference on Network Protocols. Berlin: IEEE Press, 2004: 252-261.
- [4] Garcia-Luna-Aceves M M C A. A scalable model for channel access protocols in multihop ad hoc networks[C]//Proceedings of the 10th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. NY: ACM Press, 2004: 330-344.
- [5] Garcia-Luna-Aceves Y W A J. Performance of collision avoidance protocols in single-channel ad hoc networks[J]. Wireless Networks, 2004, 10(5): 495-506.
- [6] Gupta H S C A. Performance modeling of asynchronous data transfer methods of IEEE 802.11 MAC protocol[J]. Wireless Network, 1997, 3(3): 217-234.
- [7] Ware C. Modelling of capture behaviour in IEEE 802.11 radio modems[C]//IEEE International Conference on Network Protocols. Bucharest: IEEE Press, 2001: 213-217.
- [8] Chang H. Fairness and physical layer capture in random access networks[C]//4th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, SECON'07. San Diego: IEEE Press, 2007: 381-390.

[责任编辑:丁 蓉]