

# 非蜂窝宽带无线局域网中的功率—速率联合控制方案

郭宏<sup>1,2</sup>, 段骥<sup>2</sup>, 易克初<sup>1</sup>

(1. 西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室, 陕西 西安 710071; 2. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

**摘要:**以宽带无线 IP 网络的典型代表——宽带无线局域网为研究对象,研究了非蜂窝无线通信典型应用环境下,发射功率和数据传输速率变化对宽带调制方案中误码率的影响。在分析的基础上,结合系统实现难度因素,给出一种实用化功率—速率联合控制方案。

**关键词:**宽带无线局域网; BER; 功率—速率联合控制

**中图分类号:** TN915 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009 - 3516(2005)06 - 0041 - 04

对无线通信系统而言,对系统的功率控制问题一直都在广泛的研究,但这些研究几乎都瞄准传统蜂窝系统,罕见涉及非蜂窝系统,并且使用 Notebook、PDA 等载体设备的用户,对功耗问题始终十分敏感,研究这一系统中的功率控制是十分有意义的。数据速率控制是无线数据系统性能的另一个关键影响因子,对于以语音业务为主的传统蜂窝系统,受系统传输能力和语音压缩性能等因素影响,速率难于进行控制,而以 WLAN 为代表的宽带无线 IP 系统则正好相反,速率对系统性能是一个很大的影响因子,因此应该被同时考虑。

本文在对蜂窝模型和非蜂窝模型进行对比的基础上,广泛分析了宽带 WLAN 的传输性能,详细介绍了功率—速率联合控制方案的理论依据,给出了数值结果并深入进行了分析讨论。

## 1 蜂窝与非蜂窝模型

蜂窝通信模型具有显著改善信道利用率的能力,蜂窝网络的结构特点使得分析冲突模型和信道传输性能不同于其他结构,图 1 给出了标准的蜂窝结构。

蜂窝 1 中的通信会受到来自第一层(蜂窝 2 到蜂窝 7)、第二层(蜂窝 8 到蜂窝 19)及此蜂窝中同时进行的其他通信的干扰。例如对 CDMA 蜂窝结构,上行干扰可归纳为以下模型:

$$E_b/I_0 = \frac{W/R}{\rho_{on}} \frac{P_{0,rx}}{P_0 + P_1 + P_2} \quad (1)$$

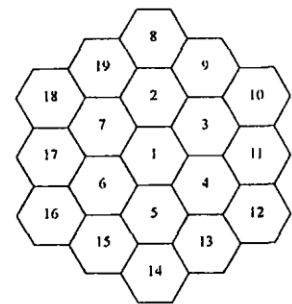


图 1 标准蜂窝结构图

式(1)基于业务按  $N$  个用户、蜂窝均匀分布假定,式中  $E_b/I_0$  为平均干扰功率,  $W$  为总系统带宽,  $R$  为传输数据速率,  $\rho_{on}$  为平均信道活动因子,  $P_0 = (N - 1)P_{0,rx}$  为来自本蜂窝中其他  $(N - 1)$  个用户的总干扰功率,  $P_1 = \sum_{j=1}^{6N} P_{j,rx}$  为来自第一层蜂窝(2 ~ 7)的总干扰功率,  $P_2 = \sum_{j=1}^{12N} P_{j,rx}$  为来自第二层(8 ~ 19)的总干扰功率,  $P_{j,rx}$  为基站接收的来自用户  $j$  的干扰功率,  $P_{0,rx}$  为来自本蜂窝所有用户的等接收功率。

WLAN 所表现的应用特点使得它的实现结构与蜂窝模型有很大不同<sup>[1]</sup>,在典型 WLAN 网络中,可能采用两种结构,即基础结构(Infrastructure)和对等网(Ad hoc)。在形式上接入点(AP)的作用与蜂窝网络的基站类似,AP 的覆盖领域称为基本服务区(BSA),在实际 WLAN 中多个 BSA 可以共存,但 ISM 频段视线传播和低穿透性等射频频特点,导致多个 BSA 信号重叠的概率大大降低,尤其是在室内应用环境下。当然在某些情况下 BSA 之间可能出现部分重叠的情况,这种小区结构与传统意义的蜂窝系统不同,主要体现在 BSA 的

收稿日期:2005 - 07 - 06

基金项目:国家“863”计划基金资助项目(2003AA1Z1240)

作者简介:郭宏(1972 -),男,山西洪洞人,讲师,博士生,主要从事宽带无线局域网研究。

重叠规模,在同一网络中一般仅出现 2~3 小区发生部分重叠,这种情况下仍可通过换用不同信道的方式消除重叠阴影,如 IEEE802.11 网络允许提供 3 个完全不重叠信道,从而最大程度的消除在 BSA 中的小区间干扰。以理想小区结构为例(见图 2),图 2 中各小区(1~19)可以利用不重叠信道(信道 1、6、11)将小区隔离,以使用相同信道(信道 1)的小区为例(小区 1、9、11、13、15、17、19),同信道小区均备其它信道小区完全隔离,可以认为其间的同频干扰为零。再看同一小区中的情况:媒体存取控制(MAC),WLAN 采用 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoid)协议作为它的媒体存取控制(MAC)机制,同时仅允许一个用户(上行)或 AP(下行)占用信道。这意味着多址干扰(MAI)退为次要因素。基于此,传统的蜂窝干扰模型基本不适用于小区体制的 WLAN 网络。因此,在 WLAN 网络中,只需考虑单一小区(BSA)中的传输性能。基于这种认识,我们从分析宽带 WLAN 的传输性能(BER 性能)出发,分析并提出一种功率—速率联合优化方案。

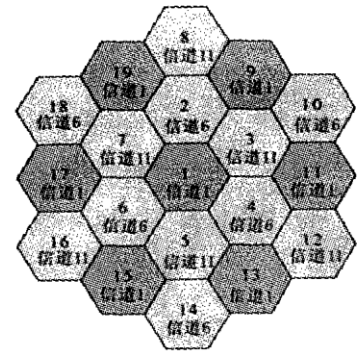


图 2 WLAN 理想小区结构图

### 2 宽带 WLAN 的 BER 性能

宽带 WLAN 必须采用高速调制技术<sup>[2]</sup>,例如 IEEE802.11b\IEEE802.11a\g 中分别采用 CCK 和 OFDM 调制,他们属于多载波调制,HIPERLAN/2 也采用了 OFDM 调制,因此以下分析集中于这两种调制方式。

#### 2.1 功率和速率关系

功率和速率是影响无线系统性能的关键因素,两者之间的关系通过信噪比( $E_b/N_0$ )体现。

$$E_b/N_0 = (E_s/N_0)(R/B_T) = E_b/N_0 \tag{2}$$

其中  $E_s$  是每一信息符号的能量,  $N_0$  为 1 Hz 带宽的热噪声,  $R$  为系统速率(bit/s),  $B_T$  为系统带宽,  $E_b/N_0$  是为了达到给定的 BER 并与噪声功率有关的每比特必须的能量,它依赖于调制方案,换言之,  $E_b/N_0$  直接决定了 BER。

#### 2.2 CCK

在 IEEE802.11b 中采用 CCK 作为高速 PHY 扩展的基础,其速率可达 11 Mbps。实际应用的速率可分为 4 种:1、2、5.5 和 11 Mbps。3 种调制方案分别对应不同的数据速率,BPSK(1 Mbps)、QPSK(2 Mbps)和 CCK(5.5\11 Mbps)。图 3 说明 11 Mbps CCK 的实现原理。

这里,对 1 Mbps 的信号采用 1 bit/symbol 的 BPSK 调制,然后用 11 chip 的 Barker 码调制,以 11 Mchip/s 的速率传输。对 2 Mbps 的信号采用 2 bits/symbol 的 QPSK 调制,然后以如前所示的方式传输。对 5.5 Mbps 的 CCK 模式,输入数据被分成 4 bit 字节,其中 2 bit 选择传输功能,剩余的 2 bit 确定 QPSK 调制符号,扩展序列采用 DQPSK 调制。对于 11 Mbps 的 CCK 调制,输入数据被分成 2 bit 和 6 bit,6 bit 用于选择 64 个复向量中的一个,其他 2 bit 用于全符号的 DQPSK 调制。在 QPSK 和 AWGN 信道下的复杂码的 Chip 错误率为

$$CER_Q = Q\left[\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right] \tag{3}$$

其中  $Q[\ ]$  表示  $Q$  函数。复杂码错误率  $P_{cc}$  为

$$P_{cc} = \sum_{i=1}^8 (CER_Q)^i (1 - CER_Q)^{8-i} \tag{4}$$

其中  $\eta$  为判决阈值(即当收到的复杂码的错误 Chip 数  $< \eta$  时,收到的复杂码被判断为正确)。一个复杂码的错误接收意味着 8 bit 数据错误,因此 11 Mbps 的 CCK 的  $BER_{11} = 8P_{cc}$

5.5 Mbps CCK 的 BER 与 11 Mbps 的分析相同,只是复杂码的长度为 4。基于上述公式可以得到如图 4 所示的  $BER \sim E_b/N_0$  关系曲线图,其中也包括了 2 Mbps 的 QPSK 和 1 Mbps 的 BPSK 调制的 BER 曲线。

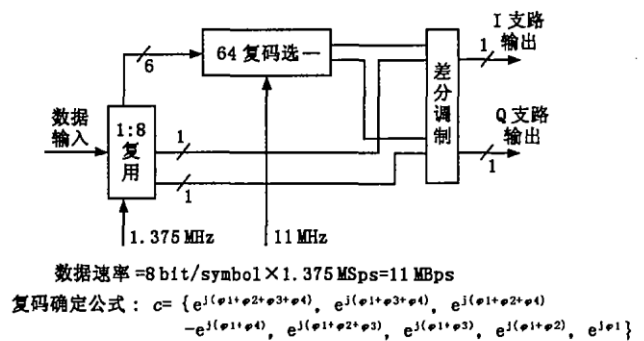


图 3 11 Mbps CCK 形成图

### 2.3 OFDM

作为一种高效调制方式,OFDM 在宽带网络中被广泛采用。IEEE802.11a\g 与 HIPERLAN/2 均吸纳 OFDM 体制作为高速段调制方式。IEEE802.11a\g 的 OFDM 采用 52 个副载波,分别以 1/2、2/3、3/4 的码率与 DBPSK\DQPSK\16-QAM4-QAM 调制结合,形成不同的调制输出速率。

OFDM 作为被广泛研究的热点问题,已有许多研究成果,涉及到多种环境和应用。一般如果我们假定理想环境:在 AWGN 信道上、无互载干扰(ICI)、无码间串扰(ISI),BER 性能与 OFDM 采用的调制方案相同(如公式(3))。参考文献[3~4]中介绍了一些导出 OFDM-MDPSK 系统的平均 BER 公式。导出过程考虑了 ICI、ISI、多通道和多重接收等因素,从而得到 OFDM-MDPSK 系统的平均 BER 为

$$P_b = \frac{1}{\log_2 M} \sum_{i=0}^{N-1} P_s(i) \tag{5}$$

其中  $N$  表示( $S/P$  转换)信息数据的符号数目,  $P_s(i)$  是每个子通道的符号误码率的上界。如果考虑  $L$ -branch 分集接收和 Rician 衰落信道,我们有:

$$P_s(i) = \varepsilon_M \left\{ \text{Prob} \left[ G_i \left( \psi = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{M} \right) < 0 \right] + \text{Prob} \left[ G_i \left( \psi = -\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{M} \right) < 0 \right] \right\} \tag{6}$$

其中  $G_i(\psi) = \text{Re} \left[ \left( \sum_{l=1}^L r_{l,i} r_{l,i}^* \right) e^{j\psi} \right]$ ;  $\varepsilon_M = \begin{cases} 0.5M=2 \\ 1 \quad M \geq 4 \end{cases}$ ;  $r_{l,i} = S_0 + S_1 + S_2 + S_3 + n_{l,i}$  是  $l$ -th branch 的 FFT 处理输出,  $S_0$  和  $S_1$  分别代表视线(主路径)与多径信号能量,  $S_2$  和  $S_3$  分别定义了 ICI 和 ISI,  $n_{l,i}$  代表了零均值的统计独立高斯白噪声,  $N_0$  为方差。

文献[3]中将 Viterbi 码、交织与 OFDM 联合分析,文献[4]公布了 ICI 和 ISI 下的 Rayleigh 衰落信道的 OFDM 编码系统的性能。

图 5 显示了典型调制方案(BPSK、QPSK、16-QAM 和 64-QAM)下宽带 WLAN 的 BER ~  $E_b/N_0$  关系。

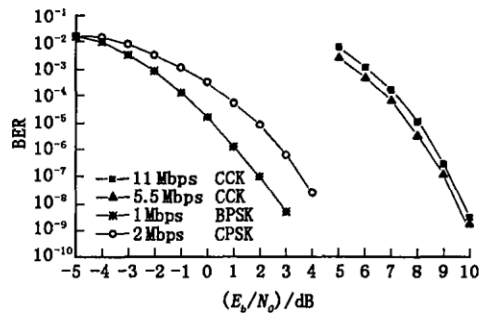


图 4 CCK 中 BER ~  $E_b/N_0$  关系图

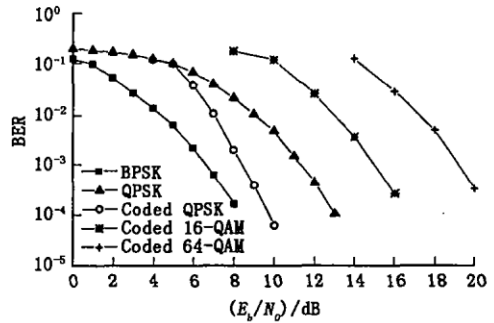


图 5 OFDM 中 BER ~  $E_b/N_0$  关系图

### 3 功率—速率联合控制

从上述结果我们得到一个清楚的结论:功率和速率在很大程度上影响着系统性能,但影响程度不同,其原因是  $E_s$  和  $R$  是信噪比的线性函数,但数据速率是离散变量而功率是连续变量。而在实际应用中,实现准确的发送功率控制是困难的,比特级的数据速率的调整也是如此。同时考虑到 WLAN 用户设备功耗控制问题,因此这两个因素应该被合成调整以达到较高准确度和较宽动态范围,即同时考虑将功率和速率因素共同作为控制环节。但是,目前 WLAN 产品在实现过程中,虽然考虑了功率和速率控制,但均将二者完全隔离,一种典型的发射功率控制方案是:发射机根据发射前测得的天线端信号强度指示(RSSI)或接收上一包数据的 RSSI 估计信道质量,确定当前数据包的发射功率。典型的数据速率控制方案则如图 6 所示。

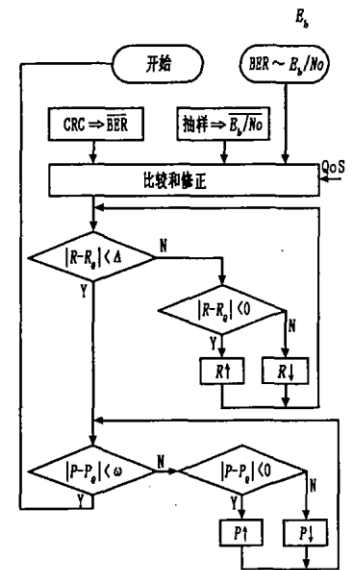
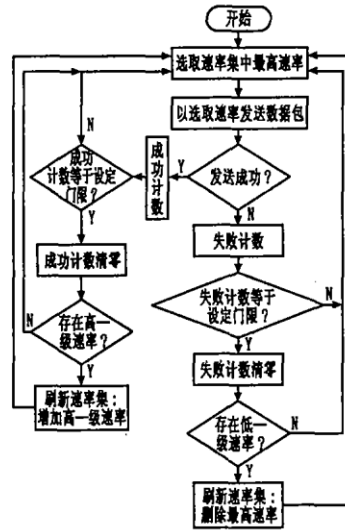
对宽带 WLAN 网络,MAC 协议规定同一时间只允许一个用户(移动终端或 AP)占用信道,如果发送失败,则随机退避后重传,重传次数超过设定门限后,该数据包发送失败。同时,MAC 协议没有采用信道纠错编码,仅采用了 CRC 检错,由 ARQ 机制保证数据正确传输。那么此时将面对这样一个实际情况:(↑表示增加,↓表示减小,⇨表示导致)

发射功率 ↑ ⇨ BER ↑ ⇨ 重传次数 ↑ ⇨ 设备功耗 ↓,反之亦然;发射功率 ↑ ⇨ 设备功耗 ↑,反之亦然;数据速率 ↑ ⇨ BER ↑ ⇨ 重传次数 ↑ ⇨ 设备功耗 ↑,反之亦然;数据速率 ↑ ⇨ 设备功耗 ↓(就传输同样长度数据包而言),反之亦然。

基于这一现实,我们提出一种宽带 WLAN 功率—速率联合控制方案。这一方案的控制目标为:在满足最低 BER 要求(最大容忍 BER,即 QoS 要求)的前提下,采用最小发送功率和数据速率发送数据。方案具体

描述如下。

首先,考虑到 QoS 要求(如业务类型要求)的  $BER \sim E_b/N_0$  关系表应该预先被建立和存储在 AP 和移动终端中,表中的数值来自理论分析(如第三部分中的叙述)和实际测试的修正。链路层的校验机制(如 CRC)能够提供最新的接收数据包的比特错误数值,从而可推算出 BER。为取得实时信号(信道)质量监控,发射机对天线信号连续采样,以获得 RSSI,并将无数据包接收时的 RSSI 作为实时信道质量参考(信道干扰),结合发送功率(初始发送采用中等功率),就能够推算出相对准确的  $BER \sim E_b/N_0$  值,根据此值能够反馈调整发射机的发射功率与速率。上述流程如图 7 所示,其中  $R$  和  $P$  分别表示



实际数据速率和发送功率,  $R_0$  和  $P_0$  分别表示满足 QoS 和 BER 要求的数据速率和发送功率,符号  $\uparrow$  和  $\downarrow$  分别表示增加和减少。

## 4 结论

本文从理论上分析了以 WLAN 为代表的宽带无线 IP 网络的发送功率与数据速率的关系、BER 性能。结果显示功率和速率均对系统传输性能造成显著影响。在对现有 WLAN 系统的功率、速率控制方案及各因素的相互作用关系研究的基础上。提出了一种具有实用意义和可行性的功率-速率联合控制方案,该方案相对于传统方案显著的改进之处在于同时考虑了功率控制与速率控制环节,并且在满足用户业务 QoS 基础上可获得最佳的用户设备使用时间。

### 参考文献:

- [1] Richard van Nee, Geert Awater. New High - Rate Wireless LAN Standards[J]. IEEE Comm. Mag, 1999, 37: 82 - 88.
- [2] Jean - Pierre Ebert, Adam Wolisz. Combined Tuning of RF Power and Medium Access Control for WLANs[A]. Proc. MoMuC99 [C]. San Diego; USA, 1999, 417 - 426.
- [3] Weon - cheol Lee. Performance Analysis of Viterbi Decoder Using Channel State Information in COFDM System[J]. IEEE Trans. on Broadcasting, 1998, 44(4): 488 - 496.
- [4] Heidi Steendam, Marc Moeneclaey. Analysis and Optimization of the Performance of OFDM on Frequency - Selective Time - Selective Fading Channels[J]. IEEE Trans. on Comm, 1999, 47(12): 1181 - 1819.

(编辑: 门向生)

## An Associated Power - Rate Control Scheme in Non - Cell Broadband WLAN

GUO Hong<sup>1,2</sup>, DUAN Tao<sup>2</sup>, YI Ke - chu<sup>1</sup>

(1. ISN National Key Lab, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China; 2. The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

**Abstract:** In this paper, broadband wireless LAN (WLAN), the representative model of broadband wireless IP network, is taken as a target of the research and analysis. The influence of the variation of transmission power and data rate on the bit error rate (BER) performance of the broadband modulation schemes in a typical indoor application environment of non - cell wireless communications is explored and analyzed. An associated power - rate control scheme is presented based on the analysis and the practical design consideration.

**Key words:** broadband wireless LAN (WLAN); BER; an associated power - rate control scheme