

IEEE 802.16d WMAN物理层仿真及性能分析

李武强¹, 刘乃安²

(西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室, 西安 710071)

摘要:作为一种固定宽带无线接入系统, IEEE 802.16d 可以提供高达 70Mbps 的峰值传输速率以支持不同 QoS 类型的综合数据业务的部署。其物理层协议为支持这一宽带特性集合了多种调制和信道编码技术, 包括随机化、RS-CC 编码、交织、多种数字调制技术、OFDM 技术, 还有可选择采用的空时编码技术。这些技术综合起来的系统性能如何, 至今还没有详细准确的结果, 而这些结果却是支持自适应链路技术的重要基础参数。文章按照 16d 协议对物理层进行了仿真和性能分析, 提出并验证了用于性能分析的理论近似公式。

关键词: IEEE 802.16d; 物理层仿真; OFDM; RS-CC 编码

IEEE 802.16d WMAN PHY Simulation and Performance Analysis

LI Wuqiang¹, LIU Naian²

(State Key Lab of ISN, Xidian University, Xi'an 710071)

【Abstract】 As a kind of fixed BWA system, IEEE 802.16d promises to provide the peak data rate of 70Mbps in order to deploy integrated data service with different QoS. To support this wideband feature, the PHY adopts various modulations and FEC technologies including randomization, RS-CC encoding, interleaving, multiple digital modulation, OFDM and the optional space-time coding. There are no accurate results in regard to the performance of all these deployed technologies yet, however, these results is crucial because it lays the basis for the link adaptation technology. A strict simulation of the PHY is conducted and the performance is evaluated, a theoretical performance estimation formula is proposed and validated.

【Key words】 IEEE 802.16d; PHY simulation; OFDM; RS-CC encoding

基于 IEEE 802.16 协议的 WiMax 技术是目前 BWA 系统的热点之一, 该技术被业界认为是 3G 技术的重要补充。IEEE 802.16d 协议作为 IEEE 802.16 协议的版本之一, 详细规定了 802.16 无线城域网的空中接口规范和媒质访问控制(MAC)层协议规范, 其中采用了多种物理层和链路层技术来保证为用户提供高速可靠的语音和数据业务的有中心接入点的无线接入, 这些技术有: 物理层的 OFDM 技术, 链路自适应技术, MAC 层采用上行 DAMA(按需分配)的 TDMA 方式和下行 TDM 方式的多址复用技术。

IEEE 802.16d 协议推出以来, 受到理论界和产业界的广泛关注。针对 IEEE 802.16a 协议物理层, 已经有对 FEC 在衰落信道下的仿真性能分析^[3], 但是并没有给出 FEC 和数字调制方式对系统性能改善的详细结果。IEEE 802.16d 定义了 7 种调制和信道编码方式^[1](见表 1), 这 7 种方式可以根据信道情况自适应地改变。IEEE 802.16d 协议在 MAC 层定义有相应的控制消息交互机制^[1], 但没有规定具体的链路自适应算法。

文献[2]提出了一种利用 TCP 时延作为链路自适应控制基准的方法, 但没有考虑 FEC 编码对减小 TCP 时延的作用, 也没有考虑 TCP 时延这个高层参数作为控制物理层参数时存在的时间滞后性。

1 IEEE 802.16d 协议描述

1.1 概述

IEEE 802.16d 规定了固定无线接入 MAN 系统的空中接口, 它工作在从 11GHz 以下非视距(NLOS)和 10-66GHz 视距(LOS)的许可和免许可频段。整个无线城域网的拓扑结构为点到多点方式(PMP), 网络的中心接入点是 BS, 其覆盖范围内有多个 SS, 任何两个 SS 通信都需要经过 BS 中转, 不能直

接通信。从 BS 发到 SS 的信道被称为下行信道, 而从 SS 发到 BS 的信道称为上行信道。

协议规定了 2 种双工方式: FDD 和 TDD。在 TDD 方式下, 物理帧被分为下行帧和上行帧, 下行帧采用 TDM 将向不同 SS 发送的数据按不同的突发复用到下行信道上, 而上行帧采用了基于 DAMA(按需分配)的 TDMA 多址方式让不同的 SS 共享上行信道。DAMA 方式是指在 SS 发送数据前必须以发送带宽请求信息给 BS, 告诉 BS 需要多少带宽, 然后由 BS 将带宽分配信息装入 UL-MAP 中, SS 读取 UL-MAP 信息就知道自己的时隙(突发)的开始时刻和长度, 实质上是一种动态的 TDMA 方式。

在 TDD 方式下, IEEE 802.16d 协议还规定有 5 种模式: WirelessMAN-SC, WirelessMAN-Sca, WirelessMAN-OFDM, WirelessMAN-OFDMA 和 WirelessHUMAN。单载波方式下的 WirelessMAN-SC 工作在 10GHz ~ 66GHz 频段, WirelessHUMAN 工作在 11GHz 以下的无须许可的 ISM 频段, 其它 3 种都工作在需要许可的 11GHz 以下频段中。

本文主要讨论 TDD 方式下的 WirelessMAN-OFDM 模式。

1.2 PMP 模式下 TDD 物理层帧结构

PMP 模式下 TDD 物理层帧结构如图 1 所示。其中, 每个物理帧包括下行帧和上行帧, 下行帧由处在网络拓扑结构中不同位置的 BS 发向多个 SS, 采用了 TDM 复用方式将发给不同 SS 的数据放在不同的时隙(被称为 Burst), 除了作为入网

基金项目: 通信抗干扰技术国家重点实验室基金项目资助

作者简介: 李武强(1980 -), 男, 硕士生, 主研方向: 无线通信, 无线局域网, WiMax 技术; 刘乃安, 副教授

收稿日期: 2006-03-11 E-mail: liwuqiang@email.com.cn

同步标识的长前导码(long preamble)、FCH 和存有 DL-MAP、UL-MAP、DCD、UCD 信息的 Burst #1 采用固定的调制和编码方式以外, Burst #2 到 Burst #n 都可能采用不同的调制和编码方式。IEEE 802.16d WMAN-OFDM 规定的调制和编码方式共有 7 种组合, 这 7 种组合如表 1 所示。

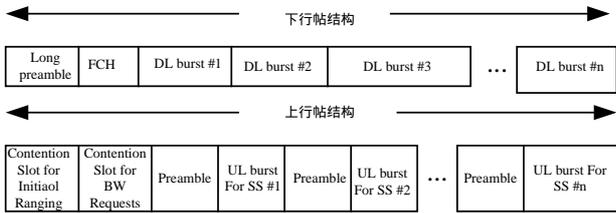


图 1 物理帧结构示意图

表 1 RateID-调制和 RS-CC 编码速率表

Rate ID	调制和 RS-CC 编码速率
0	BPSK 1/2
1	QPSK 1/2
2	QPSK 3/4
3	16QAM 1/2
4	16QAM 3/4
5	64QAM 2/3
6	64QAM 3/4

因为每一种调制和编码方式抵抗干扰的能力和传输速率是不同的, 从 Rate ID 0-6 抵抗干扰的能力依次减弱, 而信息传输速率则是依次提高, 所以系统在选择调制和编码方式的时候就必须在信息传输速率和抗干扰能力之间进行权衡, 显然, 在保证传输质量的情况下, 应该尽量使信息传输速率更大, 这样, 整个系统的容量就提高了, 这种权衡方式要求系统对调制方式和编码方式进行自适应调整, 这就是链路自适应控制, 具体算法另文研究。

2 IEEE 802.16d 协议物理层仿真模型

IEEE 802.16d 协议物理层仿真模型如图 2 所示。

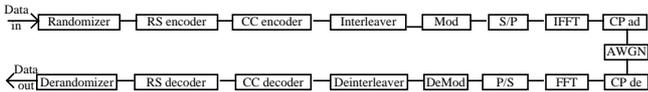


图 2 仿真模型

表 2 调制和编码规则

Modulation	Uncoded block size(B)	Coded block size(B)	Overall coding rate	RS code	CC code rate
BPSK	12	24	1/2	(12,12,0)	1/2
QPSK	24	48	1/2	(32,24,4)	2/3
QPSK	36	48	3/4	(40,36,2)	5/6
16-QAM	48	96	1/2	(64,48,8)	2/3
16-QAM	72	96	3/4	(80,72,4)	5/6
64-QAM	96	144	2/3	(108,96,6)	3/4
64-QAM	108	144	3/4	(120,108,6)	5/6

在发送端, 从 MAC 层来的数据首先经过 Randomizer 进行随机化, 再将随机化后的二进制数据流每 8 个 bits(1 byte) 转化为字节流, 然后按照表 2 中规定的 RS 信息长度将字节流转化为以信息长度为列数的字节矩阵, 进行 RS 编码。802.16d 的 RS 编码采用 GF(2⁸) 伽罗华域, 域生成多项式为^[1]

$$p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1 \quad (\text{整数表示形式为 } 285)$$

将 RS 编码后的数据重新转化为二进制比特流, 然后按照 802.16d 规定的 CC 1/2 编码器(如图 3 所示)进行编码, 输出 2 路(X 和 Y)二进制比特流(编码速率为 1/2, 码约束长度为

7)。不同速率的 CC 编码器是通过 X 路和 Y 路输出数据凿孔(puncture)得到的, 确切的凿孔规则在 802.16d 里面有非常详细的规定, 如表 3 所示。

经过 RS-CC 编码后的二进制数据流成交织块, 交织块的大小按照表 4 的规定给出。不同的子信道(subchannel)模式交织块的大小不同 本文采用 8 子信道模式, 对 BPSK、QPSK、16QAM、64QAM 分别采用 96b、192b、384b 和 576b 的交织块。

交织后的二进制数据流进入调制映射, 结果是一串复数流, 对复数流串并变换, 然后进行 IFFT, 加 CP 后让数据流进入 AWGN 信道。其中 CP 采用 G=1/4 的情况, N_{FFT}=256, N_{used}=200。

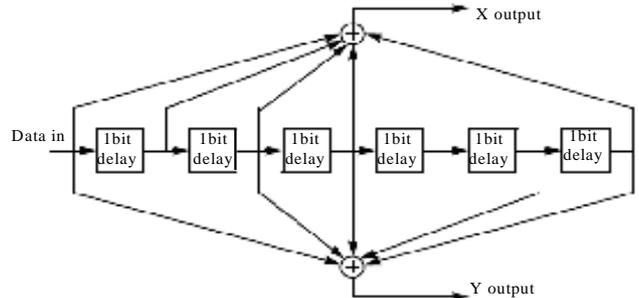


图 3 CC 1/2 编码器网格

表 3 凿孔规则

Rate	Code rates			
	1/2	2/3	3/4	5/6
Degree	10	6	5	4
X	1	10	101	10101
Y	1	11	110	11010
XY	X ₁ Y ₁	X ₁ Y ₁ Y ₂	X ₁ Y ₁ X ₂ Y ₃	X ₁ Y ₁ X ₂ Y ₃ X ₄ Y ₅

表 4 交织块大小

	Default(16 subchannels)	8 subchannels	4 subchannels	2 subchannels	1 subchannels
	N _{cpts}				
BPSK	192	96	48	24	12
QPSK	384	192	96	48	24
16-QAM	768	384	192	96	48
64-QAM	1 152	576	288	141	72

3 仿真结果与性能分析

利用 BPSK 1/2 和 QPSK 1/2 可以对 RS-CC 编码的性能进行比较分析。图 4 和图 5 分别为 BPSK 1/2 方式下 CC 1/2 编码的性能和 QPSK 1/2 方式下 RS-CC 1/2 编码的性能。图 6 为 7 种调制和编码方式下系统 BER-SNR 曲线。

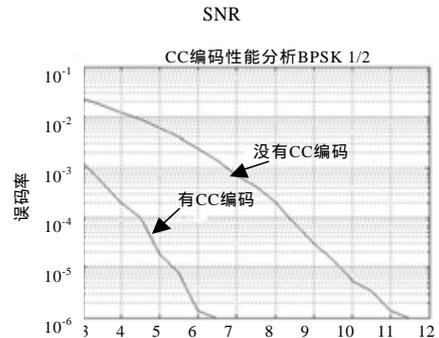


图 4 CC 1/2 编码性能曲线

SNR

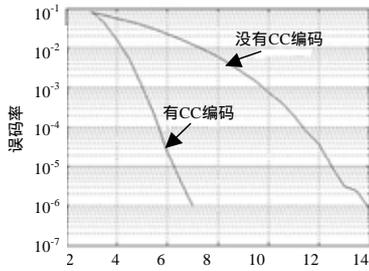


图 5 RS-CC 1/2 编码性能曲线

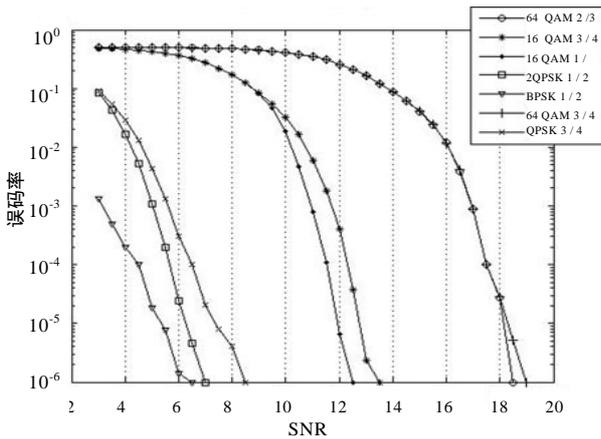


图 6 IEEE 802.16d BER/SNR 性能曲线

由图 4 和图 5 可以得到,在 10^{-6} 误码率的情况下,CC 1/2 编码提升系统性能 5dB,RS-CC 1/2 编码提升系统性能约 7dB。由图 6 可以得到,QPSK 1/2 和 QPSK 3/4 在 10^{-6} 误码率的情况下性能相差约 1.5dB;16QAM 1/2 与 16QAM 3/4 在 10^{-6} 误码率的情况下性能相差 1.7dB;而 64QAM 2/3 与 64QAM 3/4 在 10^{-6} 误码率的情况下性能相差约 0.5 个 dB,见表 5。在相同 RS-CC 编码速率相同情况下的仿真性能差值见表 6。

表 5 相同调制方式不同 RS-CC 编码速率情况下的仿真性能差值

调制和编码方式	QPSK 1/2 与 QPSK 3/4	16QAM 1/2 与 16 QAM 3/4	64QAM 2/3 与 64QAM 3/4
仿真差值(dB)	1.5dB	1.7dB	0.5dB

表 6 相同 RS-CC 编码速率情况下的仿真性能差值

调制和编码方式	QPSK1/2 与 16QAM 1/2	QPSK3/4 与 16QAM 3/4	16QAM3/4 与 64QAM3/4	QPSK3/4 与 64QAM3/4
仿真差值(dB)	5.5dB	6dB	5.5dB	11.5dB

由上面结果得到,在 10^{-6} 误码率的情况下,如果 RS-CC 1/2 提升系统性能为 $RS_CC_1/2_imp(dB)$,则编码速率为 RS-CC_code_rate 的 RS-CC 编码对系统性能的提升为

$$RS_CC_imp = 10 \lg \left[\frac{1/2}{RS_CC_code_rate} \right] + RS_CC_1/2_imp(dB) \quad (1)$$

(上接第 75 页)

- Cai Z, Lu M, Wang X. Channel Access-based Self-organized Clustering in Ad Hoc Networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2003, 2(2): 101-113.
- Hou T C, Tsai T J. An Access-based Clustering Protocol for Multihop Wireless Ad Hoc Networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2001, 19(7): 1201-1211.
- Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. An Appli-

在 10^{-6} 误码率的情况下,同样 RS-CC 编码速率不同数字调制方式之间性能差值近似为

$$Modulation_{def} = 10 \lg \left[\frac{Modulation_Index1}{Modulation_Index2} \right] (dB) \quad (2)$$

式中, $Modulation_Index$ 代表调制指数,对于 BPSK、QPSK、16QAM 和 64QAM,调制指数分别为 2、4、16 和 64。

4 结论

本文通过对 IEEE 802.16d 协议物理层仿真和性能分析,得到了较为准确的物理层仿真数据。根据仿真结果可以看出,在满足 802.16d 协议规定的 BER 小于 10^{-6} 情况下,可以利用式 (1) 和式 (2) 来分别近似计算不同编码速率的 RS-CC 编码和不同的数字调制方式对系统性能的提升值。按照公式计算出来的差值如表 7 和表 8 所示,对比表 5 和表 6 可以看到,理论近似值和仿真值非常吻合。由于仿真 SNR 步长值和运算数据量的限制,因此仿真存在一定的误差是难免的。

表 7 公式 1 计算出来的相同调制方式不同 RS-CC 编码速率情况下的近似性能差值

调制和编码方式	QPSK 1/2 与 QPSK 3/4	16QAM 1/2 与 16 QAM 3/4	64QAM 2/3 与 64QAM 3/4
理论近似值(dB)	1.76dB	1.76dB	0.51dB

表 8 公式 2 计算出来的相同 RS-CC 编码速率情况下的不同调制方式的近似性能差值

调制和编码方式	QPSK1/2 与 16QAM 1/2	QPSK3/4 与 16QAM 3/4	16QAM3/4 与 64QAM3/4	QPSK3/4 与 64QAM3/4
理论近似值(dB)	6.0dB	6.0dB	6.0dB	12dB

本文的结论可以作为自适应链路控制的基础性参数,文中的仿真模型和分析方法也可以用在今后 802.16 系列协议当中,相信以后版本的 16 系列协议将扩充更多的调制和信道编码方式,并更好地支持自适应链路控制以适应更多的信道环境和高速移动。

参考文献

- IEEE 802.16-REVd/D5-2004 IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems[S]. 2004-5-13.
- Bostian C W, Midkiff S F. A Link Adaptation Algorithm for IEEE 802.16[Z]. IEEE Communications Society / WCNC, 2005.
- Shuenn Gi Lee. Performance of Concatenated FEC Under Fading Channel in Wireless-MAN OFDM System[C]//Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications. 2005.
- Ghosh A, Wolter D R. Broadband Wireless Access with WiMax/802.16: Current Performance Benchmarks and Future Potential[R]. SBC Laboratories Inc., 2005-02.

- ation-specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 1(4): 660-670.
- Younis O, Fahmy S. Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-efficient Approach[C]//Proc. of the 13th Joint Conf. on IEEE INFOCOM. 2004-03.
- Min R. Low Power Wireless Sensor Networks[C]//Proceedings of International Conference on VLSI Design. 2001-01.