

无线宽带 802.16/WiMAX 的信道仿真

刘望军, 黄晓宇

(湖南工程学院电气与信息工程系, 湘潭 411101)

摘要: 研究了利用 MATLAB 对非视距(NLOS)和多地形通信环境下的无线宽带 802.16/WiMAX 的信道仿真。通过建立基于 802.16 OFDM PHY 的基带模型后仿真, 评估 NLOS 环境下 802.16/WiMAX 信道在不同调制模式以及两种常用均衡器下的主要性能: 宽带无线信道的多路散射特性(延迟扩展、角度扩展和 Doppler 扩展), 平均信号干扰噪声比(SINR)。该研究为后续的系统层计算机仿真和多用户模式计算机仿真提供了良好的理论基础, 为 FPGA/DSP 设计提供了技术参考。

关键词: 无线局域网; 非视距; 信道; 仿真

Channel Simulation of 802.16/WiMAX

LIU Wangjun, HUANG Xiaoyu

(Dept. of Electrical and Information Engineering, Hunan Institute of Engineering, Xiangtan 411101)

【Abstract】 The channel simulation of 802.16/WiMAX on NLOS and multi-landform communication environment using MATLAB is studied. By simulating the baseband model based on 802.16 OFDM PHY, it evaluates the major capabilities with different modulate modes and two ordinary equalizers: multichannel and dispersion specialties, SINR, etc.. The study offers theory base for computer simulate in system layer and technical reference for FPGA/DSP design.

【Key words】 WLAN; NLOS; Channel; Simulation

无线宽带 802.16/WiMAX 技术的引入, 标志着宽带无线访问(BWA)进入新时代, 其低安装/维护成本对目前有线宽带的优势形成巨大的挑战, 作为城域无线宽带通信(可达 40km)可为 3G 提供一种选择或补充^[1]。由于拓扑和树密度以及多径干扰相当严重, 且室外天线安装成本高, 早期的 BWA 仅成为一种可视距(LOS)应用系统。2003 年 4 月发表的 802.16/WiMAX 标准对媒体访问控制(MAC)修改为支持多个 PHY 规范, 通过可选的网孔(Mesh)模式允许通信量通过其它 SS 发送并能直接在 SS 之间发生, 使非视距传播成为可能。

本研究主要集中在 PHY 层, 目标是采用仿真实现 802.16/WiMAX OFDM PHY 层基带处理, 以便更好地了解该标准和系统性能。建立正确的通道模型后, 通过 MATLAB 仿真分析和估计宽带无线信道的多路散射特性(包括延迟扩展、角度扩展和 Doppler 扩展)、平均信号干扰噪声比(SINR)以及从 BPSK R1/2 到 64QAM R3/4 每种速率模式的性能, 为后续 FPGA 设计打好基础。

1 802.16/WiMAX OFDM -PHY 基带模型

1.1 802.16/WiMAX OFDM 符号概述

802.16/WiMAX OFDM-PHY 基于 OFDM 调制, 数据按 OFDM 符号格式发送。一个 OFDM 符号由 3 种类型的载波组成: 数据载波(用于数据发送), 导频载波(用于各种估计目的)和空载波(用于保护频带和 DC 载波)。

在任何 OFDM 符号期间, 已发射信号(对天线)是一个时间函数:

$$s(t) = R_e \left\{ e^{j2\pi f_c t} \sum_{k=-N_{\text{used}}/2}^{N_{\text{used}}/2} \mathbf{c}_k \cdot e^{j2\pi \Delta f (t-T_g)} \right\}, \quad 0 < t < T_s \quad (1)$$

其中, \mathbf{c}_k 是一个复数, 表示在载波上被发送的其频率偏移索引是 k 的数据, 它确定了 QAM 星座中的一个点;

$\Delta f = F_s / N_{\text{fft}}$ 是载波间隔 (F_s 是采样频率, N_{fft} 是 FFT/IFFT 的点数); N_{used} 是已使用的载波数。

1.2 802.16/WiMAX OFDM PHY 层的结构

802.16/WiMAX OFDM PHY 层的结构分为基带和 RF 频段两部分^[2,3], 本文仅关注基带, 结构如图 1。选择不同信道编码参数模拟真实通信环境, 测试信号在不同通信信道环境(如噪声、延迟、衰落和干扰的影响)下, 发射数据加入不同冗余结构的有限功率谱和有限带宽信道的误码率(BER)性能比较是本文研究的重点, 其结论适用于最佳信道编码的设计。仿真中考虑了信道编码随机化、前向纠错(FEC)和交织。

在 802.16/WiMAX 标准中, 调制模式有 Gray 码映射 QPSK、16-QAM 和 64-QAM 等, 不同调制模式对系统性能的影响也是本文研究的一个方面。在接收机端, 信道均衡器模拟采用了 3 种频域均衡器: 引导辅助 LS 均衡器, 引导辅助 LMMSE 均衡器和长前同步码辅助 LS 均衡器。

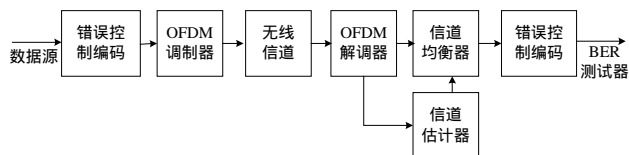


图 1 802.16/WiMAX OFDM PHY 仿真模型

1.3 信道模型与信道性能

常用的固定宽带无线信道模型中地形类别模型有 3 种: A 类模型(丘陵/紧密树密度), 与斯坦福大学临时(SUI)模型的 SUI-5 或 SUI-6 模型对应; B 类模型(中等树密度), 与 SUI-3 或

作者简介: 刘望军(1968 -), 男, 硕士、讲师, 主研方向: 通信与信息处理; 黄晓宇, 硕士、副教授

收稿日期: 2006-09-04 **E-mail:** xtlwj@163.com

SUI-4 模型对应；C类模型(平坦/轻微树密度)，与SUI-1 或 SUI-2 对应^[4]。

宽带无线信道的性能主要由通道损耗、多径延迟扩展、衰落特性、Doppler 扩展、同信道和相邻信道干扰等来衡量。另外，相干性距离、同信道干扰、天线增益减少因子在模拟 MIMO 或多通道通信系统时被考虑。

1.4 信道估计和均衡器

发射后的 OFDM 信号在通过无线信道时将受到多径衰落和 Doppler 效应的影响。为了在接收机端获得正确的解调和译码，其信道传递函数必须被估计。随后的信道均衡器通过估计信道传递函数对所有接收的数据符号作简单的分隔，信道估计既可在时域也可在频域完成。因为 OFDM 系统需要对所有的载波实现 FFT，所以在本研究中选用频域信道估计器和均衡器，主要是 LS 估计器和 LMMSE 估计器，相关算法的证明见参考文献[5,6]。

对于长前同步码辅助的 LS 估计，插入零值载波或非零值载波，信道估计仅可以与非零载波有关。为了区分 LS/LMMSE 估计，插入法也是 802.16 OFDM-PHY 基带模型需要的。由于在长前同步码辅助 LS 估计器中两个插入点之间的距离比引导辅助的 LS 估计器(每两个插入点之间 32 个已插入点)要小得多(每两个插入点之间仅一个插入点)，插入算法的结果将更精确。在时不变或慢衰落信道中由于信道每帧都被估计，长前同步码 LS 估计器将是一种更好的解决方案。而在时变或快速衰落信道中采用信道每符号估计，引导辅助的 LS 估计器将是更好的解决方案。然而基于 LS 的信道估计的计算复杂度要远低于 LMMSE，但考虑估计精度，LMMSE 将给出一个更好的解决方案。

2 802.16/WiMAX OFDM-PHY 模型的仿真

采用 MATLAB 对图 1 所示的 802.16/WiMAX OFDM-PHY 模型进行仿真，并对其仿真性能进行分析。

2.1 信道仿真参数

本研究中的 A 类地形模型与 Stanford University Interim (SUI)信道模型中的 SUI-5 和 SUI-6 对应。采用 3 抽头模拟多通道，使用经改进的 SUI 信道模型参数以重点考虑全向天线和 30°定向天线的情况下对应帧长度、调制模式、CP 长度等对信道性能(帧 BER、星座映射和接收的功率谱等)的影响。

此外还借助了 MATLAB 中 Simulink 工具箱的通信和 DSP 模块，如 Burnuli Binary Source、Reed-Solomon Encoder/Decoder、Convolutional Encoder、Matrix/Block Deinterleaver 等。

2.2 仿真采用的 802.16/WiMAX 参数

采用单一载波，OFDM 256 调制方案(256 点 FFT 变换只使用 200 点，56 个点作保护载波。所使用的点中 192 个用于数据载波，8 个用于导频载波)。其它数据如下：

- 数据速率：4Mbps~70Mbps；
- 带宽：10MHz、20MHz、25MHz；
- 采样速率：RF 带宽的 8/7；
- 调制模式：QPSK，16-QAM 和 64-QAM；
- 循环前导码长度：子载波数的 1/4，1/8；
- 蜂窝半径：小于 10km；

在接收机端天线高度：2m~10m；

基站天线高度：15m~40m；

OFDM 符号持续时间与多径延迟的关系： $T_s < 10\tau_{RMS}$ ；

Doppler 扩展： $f_m = 1 \text{ Hz}$ 至 $f_m = 231 \text{ Hz}$ (在 2.5GHz 测量)，相干时间 $T_c = 0.4 / f_m = 0.4 \text{ s}$ 至 $T_c = 1.731 \text{ ms}$ 。

另外，错误控制编码采用伪随机二进制序列发生器 $1 + x^{14} + x^{15}$ ，错误控制编码采用串联的 Reed Solomon 和卷积编码，在 RS 模式中， $N=255$ 、 $K=239$ 而 $T=8$ ，卷积码速率为 1/2，约束长度为 7。错误控制编码交织器模块采用二步置换模式避免长期处于低可靠位运行。本研究基本估计算法是最小平方(LS)和线性最小均方差(LMMSE)估计算法，重点模拟对象是改进的梳状最小平均均衡(Comb LS)估计算法和码组最小平均均衡(Block LS)估计算法。

2.3 仿真结果与分析

2.3.1 信道环境仿真

A 类地形条件 (SUI-5 和 SUI-6 模型) 下不同调制模式与不同 CP 情况的 BER，如图 2 所示。

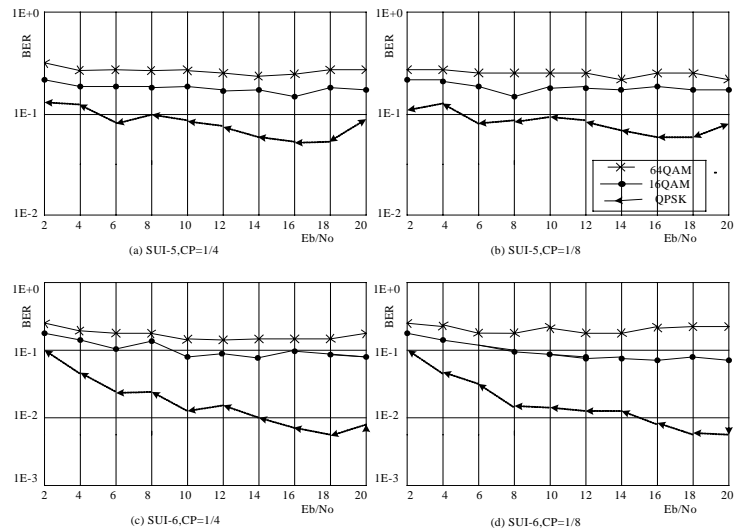


图 2 802.16/WiMAX 不同调制模式的 BER 特性

2.3.2 信道估计仿真

图 3 为 A 类地形条件 (SUI-5 和 SUI-6 模型) QPSK 调制模式下不同信道估计算法的 BER。

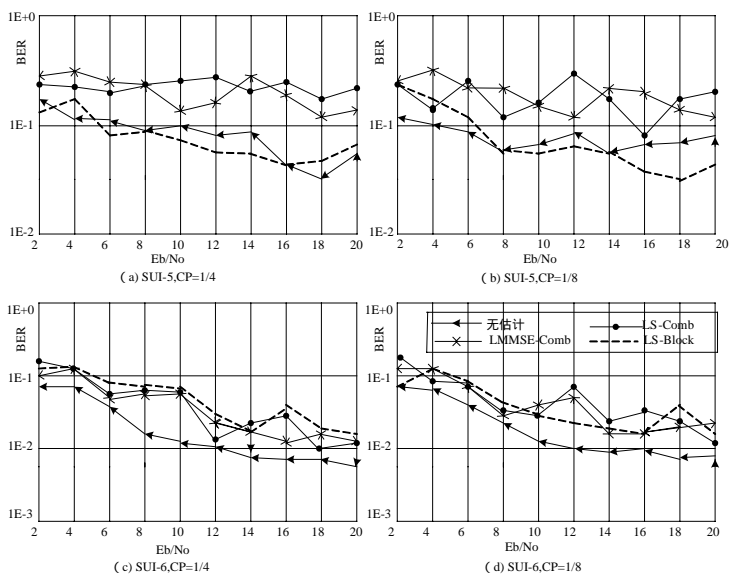


图 3 802.16/WiMAX 不同估计算法的 BER 特性

2.3.3 结果分析

瞬时 BER 被采集作为瞬时 SNR (以每个 MAC PDU 为基准的平均)的函数,平均位误码率被计算作为平均 SINR(全部瞬时测量的平均)的函数,本仿真的结果是一种平均 BER。从图 2 中可以看出在 A 类地形(信道 SNR 变高)条件下,较低速率的调制方案是一种更好的方案。这是因为在星座映射中,相邻点之间的距离越大可以忍受更大的噪声(它造成了该点从原始位置偏移),当然这是以编码速率为代价。在系统设计中,通过设置信道 SNR 的阈值来实现自适应调制可确保系统在满意的 BER 下获得最高传输速度。

若最大信道延迟扩展为 $60 T_s$,则符号间干扰(ISI)出现在 CP 长度为 1/8、1/16、1/32 的发射情况。从图 3 看出发送的 OFDM 符号在 A 类地形条件下的最大多径延迟扩展可以承受 CP 长度分别为 1/4、1/8 (1/16 和 1/32 图略),也就是 64~8 倍 T_s 的情况,并且 CP 长度越长,越能给符号更好的保护,但传输效率则越低。

3 结论

本文讨论了在 A 类地形条件下 802.16/WiMAX 信道的特性。由于 MATLAB Simulink 是一种同步模拟环境,因此尽管在仿真时没有在接收机设置同步器,对 802.16/WiMAX 信道所支持的所有调制方案和 CP 长度下的 BER 性能进行的仿真仍是有效的,而且采用 BER 检验器仿真的 BER 结果是一种观察平均而不是一种精确统计。另外,本研究中 SNR 采用的是多径 Rayleigh 衰落信道,因为多径衰落引起了已发送信号的畸变,所以其 SNR 不能算作全部信道的 SNR(实际的 SNR 应更大)。在本研究中信道变化是动态的、随机的,这样在比较同一信道条件下不同参数性能时会造成某些不公正。

(上接第 104 页)

和待测子网不在同一子网时(如图 1、图 2),标志结点为与此子网相连的路由器端口的 MAC 地址。

第 4 步 通过标志结点来构造各交换机的上行端口和下行端口集合。

第 5 步 根据叶子交换机的定义^[5]获得所有叶子交换机,构成叶子交换机队列,然后从待测的交换机队列中删除这些叶子交换机。(通过这一步骤可以得出那些中间交换机结点)。

第 6 步 通过文中给出的定理,从待测交换机队列中找出下行端口的地址转发表中含记录最少的交换机结点,将该交换机作为当前待测交换机(可知该交换机下行端口地址转发表中的记录所对应的交换机为叶子交换机)。

第 7 步 分析当前待测交换机的各个下行端口的地址转发表,根据定理可以得出该交换机各个端口与其它叶交换机端口之间的连接关系,如果有“哑”设备存在(例如 Hub),也可以通过定理判断出来。

第 8 步 遍历待测交换机队列中所有交换机的下行端口地址转发表,将含有当前待测交换机下行端口地址转发表中所包含的叶子结点的记录删除掉。

第 9 步 经过上一步的操作后,当前待测交换机成为了叶子交换机,将该交换机从待测交换机队列中移出,并添加到叶子交换机队列。

第 10 步 若待测队列不空,重复执行第 6 步~第 9 步,直到剩下一个结点为止,即剩下根结点。

例如在图 1 中,根据定理得出 S_3 是所有非叶子结点中下行端口含记录最少的中间结点, $A_{32} = \{S_6\}$ 从而得到了 S_3 的 2 号端口与 S_6 的上行端口之间的连接关系。然后分别执行第 8 步、第 9 步,使得 S_3 成为了叶子结点。根据定理判断可知,

本研究的意义在于对 802.16/WiMAX 信道在 A 类地形情况下的特性进行了仿真模型和信道估计的研究,包括怎样预定义码组工作模式、怎样使用原始参数集和构建相关的模拟函数/模块等。其初步的结论主要有: SUI-5 是一个最恶劣的无线通信模型,在 A 类地形情况下 QPSK 为最佳的调制模式; LS-Block 算法有最好的均衡效果等。通过修改 A 类地形情况中的 Doppler 扩展参数来仿真实接收端移动的情况可以使研究结果更接近实际,当然,仿真研究所用的模块仍需要作进一步的改进。若加强系统同步的研究,可更加真实地反映实际的接收情况。

参考文献

- 1 WiMAX. IEEE 802.16a Standard and WiMAX Igniting Broadband Wireless Access[Z]. 2003. <http://www.wimax.com>.
- 2 Carl E, Roger B M, Kenneth L S. IEEE Standard 802.16: A Technical Overview of the WirelessMAN Air Interface for Broadband Wireless Access[J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(6): 98-107.
- 3 Juha H, John T. OFDM Wireless LANs: A Theoretical and Practical Guide[M]. Sams Publishing, 2001.
- 4 Steven T, Liesbet V D P, Marc E. Modeling the Channel Time-Variance for Fixed Wireless Communication[J]. IEEE Communication Letters, 2002, 6(8).
- 5 Seog G K, Yong M H, Eon K J. A Comparative Investigation on Channel Estimation Algorithms for OFDM in Mobile Communication[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2003, 49(2).
- 6 Coleri. Channel Estimation Techniques Based on Pilot Arrangement in OFDM Systems[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2002, 39(4).

S_2 是要找的交换机 $A_{22} = \{S_4, S_5\}$ 。同样根据定理判断“哑”交换机的方法可知,与端口 S_{22} 相连的是一台 HUB,由 HUB 与 S_4, S_5 相连接。

5 结论

在网络管理中,由于物理网络拓扑发现占据了十分重要的地位,因此,本文针对这种拓扑进行了全面深入的研究。本文所给出的物理层拓扑发现算法是在阅读了大量关于单子网物理拓扑发现算法文献的基础上提出的改进算法,给出了定理以及证明。该定理不仅解决了网络中出现“哑”(Hub 以及不支持 SNMP 协议的交换机)设备问题,同时能够以非常简单的方式进行物理层拓扑发现。本算法已经在所搭建的实验环境中得以实现,并证明了该定理的正确性。

参考文献

- 1 McCloghrie M Rose. Simple Network Management of TCP/IP Based Internet: MIB- [S]. RFC1213, 1991.
- 2 Definitions of managed objects for bridges[S]. RFC1493, 1993.
- 3 Case J, Fedor M, Schoffstall M, et al. Simple Network Management Protocol[S]. RFC1157, 1999.
- 4 Breitbart Y, Garofalakis M. Topology Discovery in Heterogeneous IP Networks[C]//Proceedings of INFOCOM'00. 2000.
- 5 郑海,张国清.物理网络拓扑发现算法的研究[J].计算机研究与发展,2002,39(3):264-268.

