

OFDM 在 LMS 信道下的 BER 性能研究

姚宏伟, 井庆丰

(南京航空航天大学 航天学院, 江苏 南京 210016)

摘要: 正交频分复用 (OFDM) 应用于卫星宽带通信, 前提需建立适用的卫星信道模型, 目前常用的卫星信道模型主要为窄带模型, 因而宽带系统性能分析的基础, 首先得建立卫星信道宽带模型。对已有陆地移动卫星 (LMS) 信道模型进行研究, 提出了一种便于仿真实现的四状态宽带信道模型, 以此仿真得到 OFDM 在 LMS 信道下的 BER 性能结果。结果表明, 宽带状态和窄带状态下 BER 性能变化较大, 在不同环境下的 BER 性能亦有不同, 可将该模型应用于卫星宽带通信的研究分析。

关键词: 正交频分复用; 卫星移动通信; 阴影衰落; 多径衰落; 马尔可夫链; 误比特率

中图分类号: TN927.2

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2014)06-0218-05

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2014.06.054

Research on BER Performance of OFDM under LMS Channel

YAO Hong-wei, JING Qing-feng

(College of Astronautics, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Using OFDM in satellite wideband communication needs a suitable wideband satellite channel model. At present commonly used models are narrowband ones. The performance analysis of wideband system is based on the correct design of a channel model. Research the existed LMS channel model, and propose a 4-state wideband channel model to get the BER performance of OFDM in LMS channel. The results from simulation demonstrate that BER performance of the wideband state differs from that of the narrowband state. The BER performance of different environments also differs from others'. This model is suitable for studying satellite wideband communication.

Key words: OFDM; satellite mobile communication; shadow fading; multipath fading; Markov chain; BER

0 引言

卫星通信, 能够覆盖全球, 除了军事通信运用, 还能解决人口稀少、通信不发达地区以及灾害或应急地区的移动通信服务, 是全球通信的重要组成部分。宽带通信已经成为无线通信技术发展的必然趋势。就目前而言, 相比于国外发达国家, 我国实际使用的通信卫星有公开报道的高速宽带通信系统速率和频谱利用率都还达不到高速数传的要求^[1]。因而研究高频谱利用率的宽带技术如正交频分复用 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 技术对实现卫星宽带通信具有重要研究意义。然而在卫星通信系统规划及研制过程中, 租用实际卫星链路进行实验代价非常昂贵, 因而进行卫星信道仿真, 将会显著降低研发成本^[2]。

数字视频广播 (DVB) 组织于 2007 年通过的 DVB

-SH 标准是欧洲电信设备厂家推出的包括卫星覆盖的移动数字多媒体标准, 具有许多值得借鉴的地方, 分析研究 DVB-SH 标准对我国制定自己移动多媒体广播标准亦具有很大的参考价值^[3]。文献[4]尝试将 DVB-SH 标准与 3G/TD-LTE 融合。该标准为针对手持设备的卫星服务, 是一个卫星/地面混合标准, 其卫星链路使用了 OFDM 技术, 其陆地移动卫星 (Land Mobile Satellite, LMS) 信道模型选用了多状态 LMS 信道模型, 文中依据 DVB-SH 标准参数对 OFDM 在 LMS 信道下的误比特率 (Bit Error Rate, BER) 性能表现进行仿真研究。

1 多状态 LMS 信道

将 OFDM 宽带技术运用于卫星通信, 则必须建立

收稿日期: 2013-07-30

修回日期: 2013-11-05

网络出版时间: 2014-02-24

基金项目: 国家自然科学基金 (61102069); 中央高校基本科研业务费专项资金资助; 南京航空航天大学研究生创新基地 (实验基地) 开放基金资助项目 (kfj120219); 南京航空航天大学基本科研业务费 (NN2012022)

作者简介: 姚宏伟 (1988-), 男, 硕士研究生, 研究方向为数字通信、卫星通信; 井庆丰, 讲师, 博士, 研究方向为宽带多载波调制技术。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140306.1529.003.html>

LMS 信道宽带模型。LMS 信道是个极其复杂多变的信道,与一般陆地无线信道相比有许多不同之处,因而不能直接使用常用无线信道模型,需要建立能体现 LMS 信道特性的信道模型。本节先描述信道一般特性,再描述适用于 LMS 信道的窄带模型,在此基础上建立宽带模型。

1.1 信道传播特性

由于传播信号被突出地表的山脉、植被、建筑物等遮挡而产生的接收端信号衰落称为大尺度衰落;而无线信号经过多次折射、反射、散射后叠加,或传输媒介改变、接收天线的移动等引起的信号波动称为小尺度衰落^[5-7]。大尺度衰落分为路径损失(Path Loss)和阴影衰落(Shadow Fading),由于这两种因素形成的大尺度衰落变化速率较慢,在较大距离上才会产生较大影响,可视为在一帧信号内没有变化^[7-8];小尺度衰落中,各传播路径分量的包络和相位各不相同,其合成信号起伏很大,又称为多径衰落(Multipath Fading)^[7-8]。

LMS 信道中阴影衰落对通信系统电波传播的影响很大,因而常用的陆地无线信道模型对 LMS 信道不适用,需要建立适用于 LMS 信道的信道模型。目前,在对 LMS 信道的传播特性的研究中有 3 类分析模型被用来描述其信道传播特性,即经验模型(empirical models)、物理模型(physical models,或称几何分析模型)、概率统计模型(probability statistical models,或称概率分布模型)^[9]。

文中选用较容易仿真模拟的统计模型研究分析信道传输特性及 OFDM 系统在 LMS 信道下的性能表现。

1.2 LMS 信道统计模型及其分类

LMS 信道模型,按照其信号流程,接收信号 $r(t)$ 可表示为:

$$r(t) = y(t) + z(t)$$

式中, $y(t)$ 为发送信号 $s(t)$ 经过无线衰落信道后的信号; $z(t)$ 为加性复高斯白噪声。

路径损失一般情况下变化极小,在仿真中可省略,因而在文中的 LMS 信道模型中只包含阴影衰落和多径衰落两部分。卫星信道的统计模型,假设接收信号由两部分组成:直射(Line Of Sight, LOS)分量和扩散部分,即多径(Multipath)分量^[9]。因而, $r(t)$ 由 LOS 分量和多径分量组成,两部分各自受特定概率分布约束,按照各种组合,分为各类统计模型。

国内外较常用的适用于窄带信号的 LMS 信道统计模型,主要分为以下几类^[9-10]:

- 1) 单状态模型,如 Rice 模型、Loo 模型、Corazza 模型、Hwang 模型等;
- 2) 双状态模型,如 Lutz 模型;

3) 多状态模型,如三状态 Fontan 模型。

单状态模型中,Rice 信道模型,假设 LOS 分量固定,多径分量受 Rayleigh 分布影响;Loo 模型,假设 LOS 分量有阴影衰落,受 Lognormal 分布影响,多径分量受 Rayleigh 分布影响;Corazza 模型,相对于 Loo 模型不同之处,即多径分量亦有阴影衰落,同时受 Lognormal 分布和 Rayleigh 分布影响。

双状态模型,最常见为 Lutz 模型,包含两个状态,即理想状态(Good State)和非理想状态(Bad State),理想状态为 Rice 模型,非理想状态为 Lognormal Rayleigh 信道,无 LOS 分量,只有多径分量^[9,11]。国内亦有文献将 Loo 模型和 Corazza 模型结合,组成双状态模型,即理想状态为 Loo 模型,仅直射分量有阴影衰落,非理想状态为 Corazza 模型,直射分量和多径分量均有阴影衰落^[12]。

单状态和双状态模型均不足以充分表现卫星通信信道在各类环境下传播特性的变化,因而只有多状态模型较适用于 LMS 信道^[9]。文中使用多状态模型进行研究。

1.3 多状态 LMS 信道窄带模型

文献[13]根据 ESA(欧空局)的大量实测数据,根据来自英国布拉福大学(University of Bradford, U. K.)的数据,分析了窄带信号通过 LMS 信道后的接收数据的统计特征,得到了 LMS 信道模型参数,并建立了较完整的 Fontan 模型。该模型,由三个状态的马尔可夫链(Markov chain)建模:

- 状态 1-LOS;
- 状态 2-轻阴影(moderate shadowing);
- 状态 3-重阴影(deep shadowing)。

该模型将信号的变化过程,根据变化快慢程度,分为三种变化类型:极慢变化、慢变化、快变化。

1.3.1 极慢变化与马尔可夫链

极慢变化主要由卫星仰角变化所引起,接收信号动态范围可能很大,三状态马尔可夫链用于描述这类变化^[2]。状态帧 L_{fram} 定位为某个状态持续的最小距离,通过对 S 波段实测数据的统计发现最小状态帧为 3~5 m^[2],即终端沿其路径移动 L_{fram} 根据马尔可夫链判定一次状态是否转移。一个状态的转移即为一个极慢变化,用马尔可夫链中各状态的转化,实现极慢变化的过程。

1.3.2 慢变化与 LOS 分量

在一个极慢变化状态中,信号(主要为 LOS 分量)受阴影衰落的影响的变化为慢变化。同一慢变化状态中,LOS 分量受同一个参数的 Lognormal 分布约束,终端移动一个相关距离 L_{Corr} (取 1~3 m)产生一个 Lognormal 分布样点^[2],即一个 LOS 分量功率值,以此实

现慢变化的过程。

1.3.3 快变化与多径分量

一个慢变化状态中,又包含多个快变化过程,快变化,主要由多径衰落引起。每一个快变化状态中,多径分量取值由平均多径功率(Average Multipath Power, AMP)和 Rayleigh 分布决定。

1.4 多状态 LMS 信道宽带模型

文献[13]中,同样根据来自英国萨里郡大学(the University of Surrey, U. K.)的实测数据,分析了宽带模型统计特征,得到的结论为,状态 1 (LOS)有明显不同于窄带模型的宽带模型特征(即多径部分),但实测数据不足以表现状态 2(轻阴影)和状态 3(重阴影)的宽带特征。状态 1 的多径部分分成三类:

- 1) 类型 1. A—代表 APDP(Average Power Delay Profile, 平均功率延迟线分布),只有第一径有明显特征;
- 2) 类型 1. B—代表 APDP 除第一径外,第 2,3,4,...径也有明显特征;
- 3) 类型 2—代表 APDP 中时延较长路径(far echoes)亦可被观察到。

类型 1. A,同窄带模型;类型 1. B,LOS 部分与窄带模型相同,多径部分不同;类型 2,极少出现,可以忽略。类型 1. B 的功率延迟线分布,时间散射效应显著,用泊松(Poisson)分布描述多径数量,指数分布描述多径到达时间,多径功率同到达时间呈线性衰减^[2]。由于 1. B 类型和 1. A 类型的显著差别,须视为两种状态。从而将原来的状态 1 分为 S1-ND 和 S1-D 两个状态,因而原三状态模型变成四状态模型,文献[13]中,仍然使用四状态马尔可夫链描述。但该文献中,无法从实测数据得到四状态马尔可夫链参数,只能得到 S1-ND 和 S1-D 状态的百分比,因而无法进行仿真实现。

从实测数据可得 S1-ND 和 S1-D 状态的百分比,因而文中用开关判决方法,提出了一种简化的四状态模型,如图 1 所示。同时文中提出的模型,对 S1-D 状态(即 1. B 型)的仿真进行了简化改善,使其便于快速仿真,将在下节具体描述。

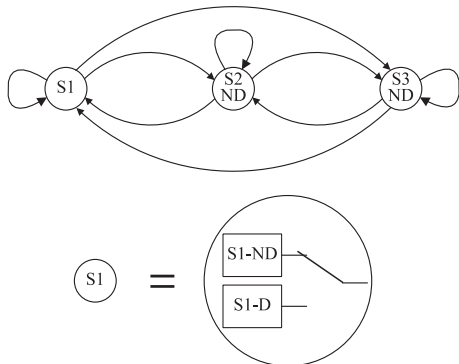


图 1 文中的四状态 LMS 信道宽带模型

2 系统仿真模型

本节描述 OFDM 系统及 LMS 信道模型的仿真实现。

2.1 OFDM 系统仿真

为便于研究 LMS 信道对 OFDM 调制技术的 BER 的影响,将完整的 OFDM 系统^[14]进行了简化,插入导频、信道估计、时间同步等模块均省略,并假设:1) 系统的循环前缀长度大于信道的最大时延;2) 接收端通过信道估计、时间同步模块等手段获取了精确的信道参数,并精确地实现了时间同步,去除了循环前缀。因省略了信道估计,将信道仿真中的信道脉冲响应 $h(t)$ 经过傅里叶变换后得到的 $H(k)$,作为信道均衡的频率响应参数,即接收信号经过 FFT 后的数据除以 $H(k)$,实现信道均衡。

2.2 LMS 信道宽带模型仿真

多状态 LMS 窄带模型,同第一节中描述相同,为便于更快速仿真实现,对宽带模型多径分量的仿真方法进行了改善。并将 OFDM 调制技术应用于 LMS 信道。

极慢变化、慢变化和快变化,三种尺度的仿真结构图,如图 2 所示。

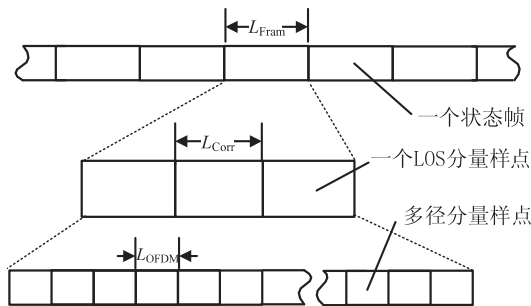


图 2 三种尺度的仿真结构图

图中,一个状态帧,即极慢变化的最小尺度,用 L_{Fram} 设置其仿真长度,并用三状态马尔可夫链来仿真状态变化;LOS 分量样点,即慢变化的最小尺度,由 Lognormal 随机变量产生,用 L_{Corr} 设置其仿真长度;多径分量样点,即快变化的最小尺度,其仿真长度取一个 OFDM 符号帧,各样点值由复高斯随机变量和 APDP 产生。文中仿真参数 L_{Fram} 取 3 m、 L_{Corr} 取 1 m,其余参数,包括马尔可夫链转移矩阵、Lognormal 分布均值和标准差,见文献[13]。宽带信道下,多径分量属于频率选择性慢衰落信道,频率选择性衰落是最重要的因素^[15],而频率选择性慢衰落信道最常用的仿真方法为抽头延迟线(Trapped Delay Line, TDL)模型^[6-8],其中最常用的为 L 个抽头延迟线瑞利衰落模型(L -tap Rayleigh-fading model)^[16]。TDL 模型系统的冲击响应为:

$$h(t) = \alpha_0 \delta(\tau - \tau_0) + \sum_{k=1}^L c_k(t) \delta(\tau - \tau_k)$$

其中,相对延时为 τ_0 的 LOS 分量的增益 α_0 服从 Lognormal 分布,而相对延时 τ_k 的其他多径分量路径增益 $c_k(t)$ 为零均值复高斯随机过程,即 $c_k(t) = \alpha_k(t) e^{j\varphi(t)}$, $\alpha_k(t)$ 表示信道衰落的幅度特性,服从 Rayleigh 分布, $\varphi(t)$ 表示信道衰落的相位特性,服从平均分布^[16]。

TDL 模型中延时为整数倍,因而文献[13]所描述宽带模型的多径分量无法用 TDL 模型仿真。但因该模型 PDP 由指数分布描述多径到达时间,多径功率同到达时间呈线性衰减,可将模型等效成整数倍延迟,路径功率成指数分布即可^[8]。此方法假设各路径之间无相关性,即忽略多普勒频移,降低了模型复杂度,便于仿真,PDP 的延时取 $1/W$ 的整数倍, W 为低通等效发送信号 $s_l(t)$ 的带宽,在 OFDM 系统中即为一个 OFDM 信号的带宽。因而令 $\tau_k = k/W$, 其中 $k=1,2,\cdots,L$ 。低通等效接收信号可表示为:

$$r_l(t) = \alpha_0 s_l\left(t - \frac{1}{W}\right) + \sum_{k=1}^L c_k(t) s_l\left(t - \frac{k}{W}\right) + z(t)$$

文中多径分量的 PDP,窄带模型使用 1-ray 有延时模型(适用于 1. A 类型),宽带部分使用指数分布模型(适用于 1. B 类型)。

3 仿真结果分析

OFDM 在 AWGN 信道和 Rayleigh 多径信道下 BER 性能表现,如图 3 所示。从图中可以看出,仿真结果与理论 BER 吻合,验证了文中 OFDM 系统仿真方法的正确性,在此基础上方可研究 OFDM 在 LMS 信道下 BER 性能表现。

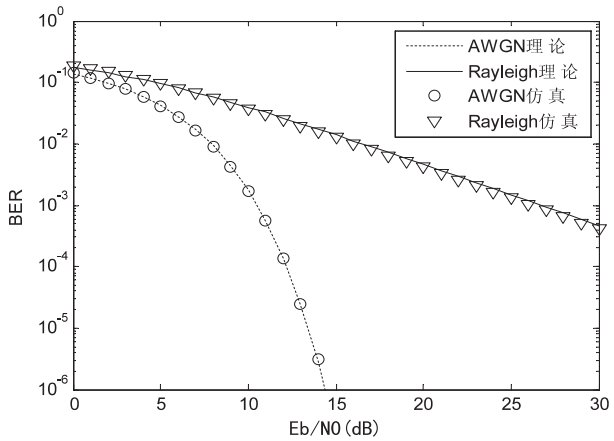


图3 AWGN 和 Rayleigh 信道下 BER 仿真结果

OFDM 在 Rayleigh 信道下,无信道均衡、有信道均衡、加信道编码和交织三种情况的仿真结果,如图 4 所示。从图中可看出,在低信噪比时,信道编码和交织对 BER 无改善,甚至有部分恶化,但当信噪比在 13 dB 以上时改善效果开始明显,在高信噪比情况下,OFDM 的 BER 性能得到大大提高。因而为保证系统 BER 性能,

必须添加信道编码和交织。为便于研究比较,以下均为加信道编码和交织。

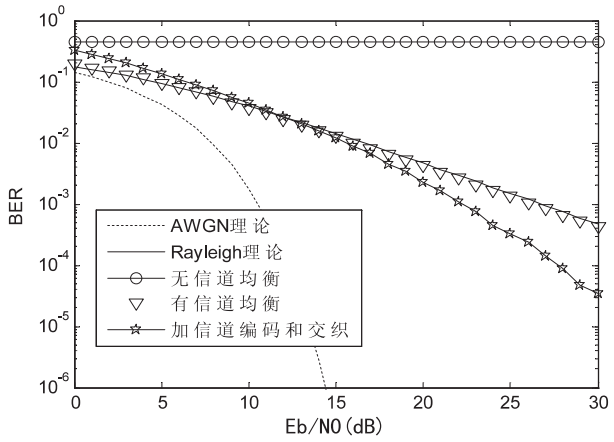


图4 信道均衡、信道编码和交织对 BER 的影响

S1-ND 和 S1-D 单独状态(40°高度角城市区域)下 OFDM 系统的 BER 结果如图 5 所示。从图中可以看出,S1-D 的 BER 性能较差,说明宽带模型的多径衰落较窄带模型影响较大,与文献[13]对 1. A 型和 1. B 型多径分量描述相符,同样说明文中模型的可行性。

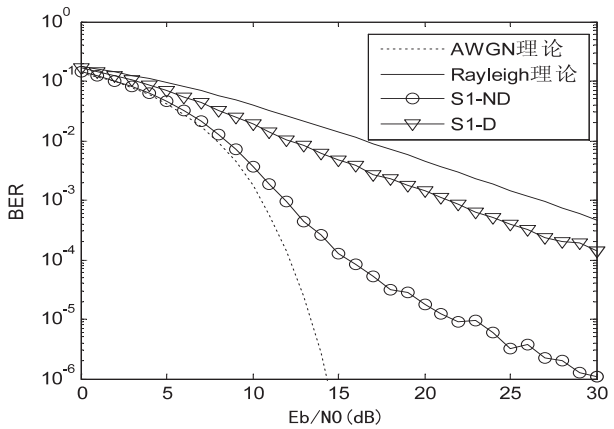


图5 S1-ND 和 S1-D 状态下的 BER 结果

城市环境、郊区环境、开阔环境和中等树阴影环境(40°高度角)的四状态宽带信道下,OFDM 系统的 BER 结果如图 6 所示。

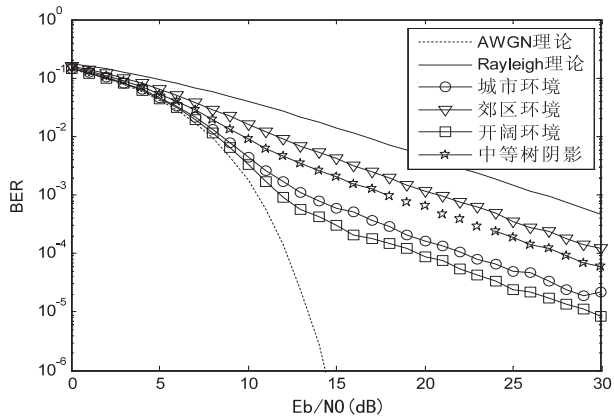


图6 各种环境下的 BER 结果

从图中可以看出,开阔环境下 BER 性能最佳,因

为在这种情况下阴影衰落和多径衰落均较小,与事实相符;郊区环境 BER 性能比城市环境差,一般而言城市区域多径衰落较明显,使得比郊区环境下 BER 性能差,在 LMS 信道下却相反,说明郊区环境的阴影衰落对 BER 性能影响较城市区域的多径衰落更大。

4 结束语

文中提出的四状态 LMS 信道宽带模型,便于仿真实现,以此仿真研究了 OFDM 在该信道下的 BER 性能表现。通过将 OFDM 在 AWGN 和 Rayleigh 多径信道下的仿真结果与理论值比较,得出 OFDM 系统仿真方法,特别是信道均衡的仿真方法的正确性。OFDM 在 LMS 信道下的仿真结果表明,与窄带状态相比,宽带状态下的 BER 性能较差,可由宽带状态下多径衰落较明显解释;不同环境下的 BER 性能差距亦较大。

综上所述可将该模型应用于卫星宽带通信的研究分析。但仿真中使用的参数来自经典文献数据,而该类数据均以国外的测量结果为依据,如果需要研究覆盖我国的卫星通信系统,首先应获取适合我国典型环境的卫星信道模型参数,即必须针对我国的环境做具体测量。

参考文献:

- [1] 张展,张晓林,胡建平,等.星地链路高速数传系统的研究[J].载人航天,2012,18(3):72-78.
- [2] 马 上,胡剑浩,王 剑.基于三状态 Markov 链的卫星信道模拟器设计与实现[J].系统仿真学报,2007,19(17):3961-3965.
- [3] 刘 晨.数字移动多媒体标准 DVB_SH 浅析[J].信息技术

术,2010(12):122-124.

- [4] 连 飞,门爱东.移动电视标准 DVB-SH 与 3G 的融合构想[J].软件,2011,32(10):84-85.
- [5] Tranter W H,Shanmugan K S,Rappaport T S,et al. Principles of communication systems simulation with wireless applications [M]. New Jersey:Prentice Hall,2004.
- [6] Proakis J G. Digital communications [M]. 5th ed. New York: McGraw-Hill,2008.
- [7] Jeruchim M C,Balaban P,Shanmugan K S. Simulation of communication systems [M]. 2nd ed. New York:Kluwer,2002.
- [8] Cho Y,Kang C,Kim J,et al. MIMO-OFDM wireless communications with MATLAB [M]. Singapore:Wiley-IEEE Press,2010.
- [9] RTS/JTC-DVB-307,DVB-SH implementation guidelines [S/OL]. 2011. http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102500_102599/102584/01.03.01_60/ts_102584v010301p.pdf.
- [10] 高电波,戴逸松.卫星移动通信信道模型研究及仿真分析[J].电波科学学报,2001,16(4):508-512.
- [11] 严 艳,张其善,常 青,等. Lutz 卫星信道模型的分析及实现[J].遥测遥控,2007,28(6):11-15.
- [12] 杨明川.卫星移动信道衰落特性模拟研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.
- [13] Fontan F P,Vazquez-Castro M,Cabado C E,et al. Statistical modeling of the LMS channel[J]. IEEE Transactions on VT, 2001,50(6):1549-1567.
- [14] 佟学俭,罗 涛. OFDM 移动通信技术原理与应用 [M]. 北京:人民邮电出版社,2003.
- [15] 夏 昊,沈元隆.移动无线信道仿真分析[J].计算机技术与发展,2011,21(8):217-219.
- [16] Molisch A F. Wireless communications [M]. 2nd ed. New York:Wiley,2011.


(上接第 217 页)

- 1789.
- [6] Heinzelman W B, Chandrakasan A P, Balakrishnan H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications,2002,1(4):660-670.
- [7] Gou H,Yoo Y. An energy balancing LEACH algorithm for wireless sensor networks[C]//Proc of international conference on information technology. [s. l.]: IEEE Press,2010:822-827.
- [8] Li X,Li N,Chen L,et al. An improved LEACH for clustering protocols in wireless sensor networks[C]//Proc of international conference on measuring technology and mechatronics automation. [s. l.]:IEEE Press,2010:496-499.
- [9] Omer F M,Basit D A,Asadullah S G. Multi-hop routing with

low energy adaptive clustering hierarchy [C]//Proc of international conference on sensor technologies and applications. [s. l.]:IEEE Press,2010:262-268.

- [10] Li X,Chen M,Liu W. Application of STBC-encoded cooperative transmissions in wireless sensor networks[J]. IEEE Signal Processing Letters,2005,12(2):134-137.
- [11] Liu Q,Zhou S,Giannakis G B. Cross-layer combining of adaptive modulation and coding with truncated ARQ over wireless links[J]. IEEE Trans on Wireless Communication,2004,3(5):1746-1755.
- [12] Heinzelman W R,Chandrakasan A,Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C]//Proc of Hawaii international conference on system sciences. [s. l.]:IEEE Press,2000:1-10.

OFDM在LMS信道下的BER性能研究

作者: [姚宏伟, 井庆丰, YAO Hong-wei, JING Qing-feng](#)
作者单位: [南京航空航天大学 航天学院, 江苏 南京, 210016](#)
刊名: [计算机技术与发展](#) 
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2014(6)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201406054.aspx