文章编号:1671-4598(2018)09-0149-05 DOI:10.16526/j.cnki.11-4762/tp.2018.09.032 中图分类号:TP391 文献标识码:A

• 149 •

复杂电磁环境下 IEEE802.11g 系统中 OFDM 信号仿真

刘高辉,王恒超

(西安理工大学自动化与信息工程学院,西安 710048)

摘要:为了更好地研究动态多场景下传播环境对 OFDM 系统中信号的影响,对复杂环境下 IEEE802.11g 中 OFDM 信号进行 了仿真;首先,搭建了高速移动、多径传播以及同频干扰等因素对 OFDM 信号传输影响的数学模型;其次,在介绍了 OFDM 发 射信号和接收模型的基础上,分析了 IEEE802.11g 设备面临的复杂信号环境;最后,仿真并分析了复杂环境对 OFDM 通信系统 性能的影响;结果表明高速移动、多径传播以及同频干扰等复杂环境会引起 OFDM 系统性能的恶化;模型不仅可以研究复杂环 境对 OFDM 信号性能的影响,还可以作为下一步 OFDM 系统性能提升的验证平台,具有一定的实用性。

关键词: IEEE802.11g; 正交频分复用; 仿真; 复杂电磁环境

Simulation of OFDM Signal in IEEE802. 11g System under Complex Electromagnetic Environment

Liu Gaohui, Wang Hengchao

(College of Automation and Information Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China) **Abstract**: In order to better study the influence of propagation environment on the signal in OFDM system in dynamic multi-scenario, the OFDM signal in IEEE802. 11g under complex environment is simulated. First of all, a mathematical model of the influence of high-speed mobile, multipath propagation and co-channel interference on OFDM signal transmission is set up. Secondly, based on the introduction of the OFDM transmission signal and reception model, the complex signals that IEEE802. 11g equipment faces Environment. Finally, the influence of complex environment on the performance of OFDM communication system is simulated and analyzed. The results show that the complex environment of high-speed mobile, multipath propagation and co-channel interference will cause the degradation of OFDM system performance. The model not only can study the influence of complex environment on the performance of OFDM signal, but also can be used as the verification platform for the performance improvement of OFDM system in the future, which is of certain practicality.

Keywords: IEEE802.11g; OFDM; simulation; complex electromagnetic environment

0 引言

近年来,随着无线通信技术和计算机技术的快速发展, IEEE802.11系列协议已经成为无线局域网的主要标准。自 从1991年推出IEEE802.11b和IEEE802.11a以来,由于两 者各有所长但却互不兼容,因此争论不断^[1]。在这种情况 下,推出了结合IEEE802.11a和IEEE802.11b两者各自优 点的IEEE802.11g协议标准,IEEE802.11g运行在2.4 GHz频段,既实现了较高的传输数据速率也实现了与 IEEE802.11b产品的兼容。IEEE802.11g主要的调制技术 有:补码键控(CCK)和正交频分复用(OFDM)技术等。 但是,面对用户对数据速率不断地增加的需求,CCK的数 据速率比较低,因此CCK调制方式^[2]已经无法满足用户需 求。因此,本文主要研究IEEE802.11g中使用的OFDM技

基金项目:国家自然科学基金(61671375)。

术。在许多运动场景中,由于发射端和接收端之间相对的 高速移动,导致无线信道的时变特性更加明显,高速移动 引起的多普勒效应会导致多普勒频偏^[3],会破坏 OFDM 系 统子载波之间的正交性^[4],出现明显的载波间干扰 (ICI)^[5]。无线信道不像有线信道固定且对信号影响可预见, 由于信号在无线信道传输的过程中会遇到楼宇、树木等各 种障碍物以及起伏的地形,所以接收端接收的信号不是单 一路径的信号而是许多经过不同路径信号叠加的总和,每 条经过不同路径的信号到达接收端的时间和相位均不相同, 引起接收信号的幅度发生剧烈变化而产生多径衰落。由于 无线通信设备越来越多,频谱这种不可再生资源也越来越 紧张, 多个系统共用同一频段的情况越来越普遍, 特别是 IEEE802.11g 工作的 2.4 GHz 频段,由于该频段是全球免 牌照频段,可以免费使用,例如无线城市的Wi-Fi系统、 医用微波治疗仪、微波炉和2.4G无绳电话等,在这种情况 下出现相互干扰就不可避免了。文献「6]中构建基于 Simulink 的基带 OFDM 无线通信系统的仿真模型,研究了不同 信道以及不同长度的保护间隔时 OFDM 系统的误码率变化

收稿日期:2018-01-19; 修回日期:2018-03-12。

作者简介:刘高辉(1968-),男,陕西西安人,副教授,硕士研究 生导师,主要从事通信信号处理和雷达信号处理方向的研究。

情况。文献[7]中构建了高速移动环境下的 OFDM 仿真系 统模型,通过选择合适的时变信道参数,研究了发射端或 者接收端在不同移动速度的情况下引起的多普勒效应对系 统性能的影响。文献[8]对时变多径衰落信道下的 OFDM 系统性能进行了分析与研究。目前,还未见到文献对综合 高速移动、多径效应、同频干扰等多个复杂环境下 IEEE802.11g中 OFDM 信号进行过仿真。因此,为了研究 多场景复杂电磁环境下 OFDM 系统的性能,本文通过搭建 复杂环境下 OFDM 系统的仿真模型,通过该模型不仅可以 研究高速移动产生的多普勒频移、无线信道障碍物引起的 多径效应以及同频干扰等复杂环境对 OFDM 系统性能的影 响,还可以作为今后 OFDM 系统性能进一步提升的实验和 验证平台。

1 复杂环境下 OFDM 系统的信号模型

1.1 发射端等效基带信号

OFDM 技术是一种多载波调制技术,其主要思想是在 频域将信道划分成许多正交子信道,将高速数据信号转换 成并行的 N 路低速子数据流^[9],在 N 个相互正交的载波上 进行传输,如果某一个子载波在某一频率处取得频率的最 大值,则其余子载波在此处的频率取值为零。解调的过程 就是计算每一个子载波频率谱取值最大的地方,只需要确 定所有子载波在频率上不要出现移动情况,就能够从合成 的信号中无差错的解调出每一个信道上传输的信号,并且 不会因其他信道上调制信号的干扰而造成误码^[10]。

在实际系统中,OFDM 技术的调制和解调是通过 IFFT (逆快速傅里叶变换)和 FFT(快速傅里叶变换)来实现 的,发射端的 OFDM 等效基带信号表示为^[7]:

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} d_i e^{j\omega_i t} \quad (0 \leqslant t \leqslant T)$$
(1)

式中, N 表示子载波个数; T_s 表示采样周期; T 表示 OFDM 符号周期; d_i (i=0, 1, ..., N-1) 表示第 i 个子信 道的数据符号; $\omega_i = 2\pi f_i = 2\pi$ ($f_0 + i * \Delta f$) 表示第 i 个子 载波的载波角频率, 子载波间隔为 $\Delta f = 1/(N * T_s) = 1/T$, 为了方便公式推导, 令 $f_0 = 0$ 。

1.2 多径传播与高速移动因素

k

在无线移动通信中,由于传输路径中障碍物或者地势 的起伏而引起信号在传输过程中发生散射、绕射或者反射 等现象^[11],使得发射端信号通过不同的传输路径到达接收 端,因此接收端接收到的信号是发射端信号在无线传输中 经不同时延的多路径信号叠加的总和。再加上发射端和接 收端之间的相对移动,还加入了多普勒效应,使多径衰落 具有时变性。无线时变衰落信道的冲激响应可表示为:

$$a(t,\tau) = \frac{1}{\sqrt{N_p}} \sum_{p=1}^{N_p} a_p \delta(\tau - \tau_p) e^{j2\pi f_{1p}t}$$
(2)

式中, f_{Dp} : $0 < f_{Dp} < F_D$; τ_p : $0 < \tau_p < \tau_{max}$; F_D 表示最大多 普勒频移, τ_{max} 表示多径传输的最大时延, N_p 表示多径 径数。 式(2) 对 τ 作 FFT 变换,得时变无线衰落信道传输函数为:

$$H(t,\omega) = \frac{1}{N_p} \sum_{p=1}^{N_p} a_p e^{-j\omega\tau_p + j\omega_{tw}t}$$
(3)

式中, $\omega_{D_p} = 2\pi f_{D_p}$, ω 的取值与 ω_i ($i = 0, 1, \dots, N-1$)相同。 OFDM 信号 S(t) 经过 H(t, ω)函数后的信号可表

示为:

$$y(t) = s(t) * h(t,\omega) = \frac{1}{\sqrt{NN_{p}}} \sum_{p=1}^{N_{p}} a_{p} e^{-j\omega_{i}\tau_{p} + j\omega_{iv}t} \sum_{i=1}^{N-1} d_{i} e^{j\omega_{i}t} = \frac{1}{\sqrt{NN_{p}}} \sum_{p=1}^{N_{p}} a_{p} e^{j\omega_{iv}t} \sum_{i=0}^{N-1} d_{i} e^{j\omega_{i}(t-\tau_{p})} \approx \frac{1}{\sqrt{NN_{p}}} \sum_{p=1}^{N_{p}} a_{p} s(t-\tau_{p}) e^{j\omega_{iv}t}$$
(4)

1.3 同频干扰因素

研究干扰信号对 OFDM 信号的影响。按照信号频率, 通常将干扰信号分成非同频干扰信号和同频干扰信号^[12-14], 为了研究更具体,本文只研究同频干扰信号对 OFDM 信号 的影响。本文选取 BPSK 信号作为同频干扰信号,由于表 示 BPSK 信号的两种码元的波形相同,相位相反,故 BPSK 信号在时域中表示为一个双极性全占空矩形脉冲序列与一 个正弦载波的乘积,即:

$$g_{BPSK}(t) = \sum_{n} a_{n}g(t - nT_{s})\cos\omega_{c}t$$
(5)

式中, g(t) 表示脉冲宽度为 T_s 的单个矩形脉冲, a_n 的统 计特性为:

$$a_n = \begin{cases} 1 & \text{概 x b } p \\ -1 & \text{概 x b } 1 - p \end{cases} \tag{6}$$

因此考虑高速移动、多径传播和同频干扰等因素之后 接收端的信号可表示为:

$$y'(t) = \frac{1}{\sqrt{NN_{p}}} \sum_{p=1}^{N_{p}} a_{p} s(t - \tau_{p}) e^{j\omega_{tp}t} + \sum a_{n} g(t - nT_{s}) \cos\omega_{t} t + AWGN$$
(7)

式中,第一项为高速移动与多径传播之后的接收信号,第 二项为同频干扰信号,第三项为高斯白噪声。

2 复杂环境下 OFDM 系统仿真框图

根据上文对 OFDM 的基本原理的分析和研究,在 Matlab 环境下搭建了综合考虑考虑高速移动、多径传播以及同 频干扰等复杂环境下 OFDM 系统的仿真框图,如图 1。

在发射端,对输入的数据经过卷积编码、交织、 16QAM调制、插入导频,再通过N点的IFFT变换等步骤,完成多载波调制,然后再添加CP(循环前缀),之后经过上采样、成型滤波和上变频等,最后进行模数变换使信号进入无线信道中进行传输。

在无线移动通信过程中,信号在无线信道会受到高速 移动、多径传播以及同频干扰信号等复杂环境的影响。为 了研究不同复杂环境对 OFDM 信号的影响关系,在传输过 程中加入对应的影响因素。因为多普勒频偏的大小与发射





图 1 复杂环境下 OFDM 系统仿真框图

端和接收端之间的相对运动的速度有关,设置不同的相对 移动速度就可以模拟实际应用中由于快速移动而产生的多 普勒频移对 OFDM 系统性能产生的影响。为了模拟多径传 输环境,在仿真模型中,设有 1-5 条多径传输的有效路 径,可分别设定每一条路径的冲击响应幅值和归一化延迟 时间(时延值/采样间隔),通过选取不同的径数和延迟时 间来模拟实际应用中由于障碍物的遮挡而引起信号的散射、 绕射和反射产生的多径效应。在临近接收端时,附近的同 频干扰信号会混入有用信号中一同进入接收端,对 OFDM 信号形成干扰,因此在信道中加入同频干扰信号。

在接收端,信号在经过无线传输信道到达接收端之后 进行数模转换、下变频等一系列与发射端相反的逆变换解 调出原始信息。

3 仿真结果及分析

3.1 仿真参数

根据图 1 的仿真框图并结合 IEEE802.11g 的基本参数 规定,给出 OFDM 系统仿真的参数,如表 1 所示。

参数名	参数值
FFT/IFFT 点数	64
数据符号时间/μs	3.2
循环前缀时间/μs	0.8
OFDM 符号时间 $T/\mu s$	3.2+0.8=4
数据子载波数 N _d	48
导频子载波数 N _p	4
总子载波数 N	$N_d + N_p = 52$
子载波间隔 $\Delta f/kHz$	312.5
调制方式	16QAM

表1 IEEE802.11g 中的 OFDM 主要参数

设定 多 径 信 道 的 最 大 时 延 扩 展 为 200 ns,而 IEEE802.11 协议所规定的的保护间隔(即循环前缀)的长 度为最大时延扩展的 3~4 倍,即最大为 800 ns。为了获得 较高的数据传输速率,802.11 协议规定 OFDM 符号长度为 4 μ s(其中 OFDM 数据符号时间为 3.2 μ s,循环前缀时间 为 0.8 μ s),又根据子载波间隔等于 OFDM 数据付好时间的 倒数,决定了 802.11 系列协议子载波的间隔为 312.5 kHz。 3.2 不同移动速度下的接收端星座图

对比高速移动环境和静态环境,通信系统信号的不同 点主要表现在存在较大的多普勒频移和信道时变上。多普 勒频移是由多普勒现象引起的,由于发射端和接收端之间 的相对运动,使得接收信号的频率相对发射端信号的频率 变大或者变小。当接收端相对于发射端远离时,接收到的 信号频率会变小,相反,接收端的信号频率会变大,多普 勒频移也体现了无线通信系统中通信信号的时变性。多普 勒频移和速度的关系:

$$f_d = \frac{v f_c}{C} \cos\theta \tag{8}$$

其中: C为光速, v 为移动速度, f_c为载波频率, θ 为 波到达方向和接收机移动方向的夹角(设其为零)。



为了研究由于高速移动而引起的多普勒频移对

IEEE802.11g 中 OFDM 信号的影响, 根据式 (8), 本文分 别仿真得到移动速度分别为 80 km/h、120 km/h 和 160 km/h下的接收端的星座图。图 2-图 4 分别是在瑞利衰落 信道下发射端和接收端相对移动速度分别为 80 km/h、120 km/h 和 160 km/h 下的接收端的星座图,通过观察图 2-图 4,可以得出:发射端和接收端的相对移动引起的多普勒频 移会导致接收端的星座图发生旋转。当发射端和接收端处 于低速状态时(80 km/h)时,接收端的星座图发生旋转较 小,随着发射端和接收端的相对移动速度不断的增加,接 收端的星座图旋转的角度越来越大。OFDM 系统在接收端 能够正确解调是建立在子载波之间正交性上的,当没有频 率偏移时, OFDM 系统的各个子载波之间保持正交, 可以 无差错的解调,当由于发射端和接收端之间存在相对运动 时,产生多普勒频移,破坏子载波间的正交性,引起载波 间干扰,从而导致系统性能的下降。因此,根据仿真得到 的结果表明随着接收端和发射端之间的移动速度越来越大, IEEE802.11g 中的 OFDM 信号受多普勒频移的不利影响也 随之变大,因此,在今后的研究工作中需要采用分集、信 道估计的技术来减少高速移动对 IEEE802.11g 中的 OFDM 信号的影响。

3.3 不同路径数下的接收端星座图

无线通信的主要特征是多径传播和多径时延。同一发 射端发射的信号由于多径传播的存在导致到达接收端的信 号并不是单一信号而是许多具有不同时延和能量的信号的 综合。为了研究不同路径条数对 IEEE802.11g 中的 OFDM 系统接收端信号的影响,在保持移动速度 140 km/h 不变的 情况下分别选取 1 径 (归一化延迟时间为 1 μ s)、3 径 (归 一化延迟时间分别为 1, 2, 4 μ s)和 5 径 (归一化延迟时间 分别为 1, 2, 4, 5, 7 μ s)三种情况观察接收端信号的星座 图如图 5-图 7。



图 5 为单一路径时接收端的星座图,对比图 6 (3 径) 和图 7 (5 径)的接收端星座图的变化可以看出,随着路径 条数以及各路径延迟时间的增加,接收端的星座点发生随 机扩散,且随着路径和各径延迟时间的增加随机扩散越来 越明显,从而导致 OFDM 系统的性能下降。图 7 显示的接 收端星座图已经很模糊,各个星座点已经无法辨识,误码



图 7 5 径接收端星座图

率极高。这表明多径传播和多径时延对 IEEE802.11g 中的 OFDM 信号有着明显的影响,因此,为了提高 OFDM 系统 的性能,在今后的仿真中需要加入信道均衡来消除多径传 输和延迟对 OFDM 系统的不利影响。

3.4 同频干扰信号对有用信号的频谱影响

随着各种通信设备的爆发式增长,同频干扰信号对有 用信号的干扰越来越严重。为了研究同频干扰信号对 OFDM系统的影响,在无线信道中给有用信号加入同频干 扰信号,本文中取 BPSK 信号作为干扰信号来探究干扰信 号对 OFDM系统的影响。



通过观图 8 和图 9 的频谱图变化,由图可见,在 OFDM系统接收端加入以 BPSK 信号为同频干扰的信号以 后,由于 BPSK 信号在很窄的带宽内信号功率却远高于



OFDM 信号,因此 OFDM 系统的性能将明显恶化。而在实 际应用中,由于需求快速增长和频谱资源不可再生之间的 矛盾,多个无线系统共用同一频段、相互干扰的现象在所 难免,特别是宽带通信系统中,带宽窄、功率高的同频干 扰信号将会对系统性能产生很大的影响,因此,在 OFDM 系统中要加入抑制同频干扰的技术来提高复杂电磁环境下 OFDM 系统的性能。

4 结束语

为了研究高速移动、多径和同频干扰等复杂动态环境 对 IEEE802.11g 系统中 OFDM 信号的影响,本文通过构建 具有高速移动、多径传播以及同频干扰等复杂环境下的 IEEE802.11g的 OFDM 系统仿真模型,研究复杂环境对 OFDM 信号的影响。仿真结果表明高速移动所产生的多普 勒频移、由于无线传输中的障碍物而引起的多径效应以及 窄带宽、高功率的同频干扰信号等对于 IEEE802.11g 的 OFDM 信号影响非常大。因此,在今后的研究工作中,应 加入消除多普勒频移估计、信道均衡及抑制同频干扰等技 术来提高复杂环境下 IEEE802.11g 的 OFDM 系统的性能。

(上接第120页)

在视觉物联网下对信号进行监控,可支持管理者直接 对系统的控制,通过实验验证结果可知,该系统具有良好 控制效果,且最高控制效果可达到 90%,满足养老监控系 统信号控制要求。

3.2 展望

采用视觉物联网下智能养老监控系统信号控制技术, 在未来研究过程中,可作为主要研发机制,广泛应用于电 子行业所生产的某种监控系统之中,为提高大规模养老监 控系统性能奠定坚实基础,也为我国交通监控和航天监控 领域提供科学依据。

参考文献:

- [1] 蔡泽利, 谭振江. 物联网智能无线节点自动监控数据采集系统 设计「J]. 现代电子技术, 2018 (4): 183-186.
- [2] 邓 昀,李朝庆,程小辉.基于物联网的智能家居远程无线监 控系统设计 [J]. 计算机应用, 2017, 37 (1): 159-165.

参考文献:

- [1] 江汉红, 王 征, 李 庆, 等. 基于 IEEE802.11g 标准的 WLAN 性能分析与测试 [J]. 武汉理工大学学报, 2005, 27 (4): 86-88.
- [2] 李 鹏,张春业,韩旭东. 最新 WLAN 协议 IEEE802.11g 物理 层性能分析 [J]. 重庆邮电学院学报, 2004, 16 (6): 97-100.
- [3] 钟晓宇, 戴伏生, 徐晓庆. 正交频分复用系统有效抵抗多普勒 效应的方法 [1]. 科学技术与工程, 2014, 14: 60-63, 81.
- [4] 韩 华,吴乐南. 时频双选信道 OFDM 系统的 ICI 消除与均衡 [J]. 信号处理, 2010, 26 (7): 1039-1043.
- [5] 陆许明,张黎辉,谭洪舟. OFDM 系统中低复杂度的时变信道 迭代均衡算法 [J]. 信号处理, 2013, 29 (1): 17-23.
- [6] 孔令红,都思丹. 多径瑞利衰落信道下 OFDM 系统系统仿真 [J]. 计算机仿真, 2008, 25 (7): 105-108.
- [7] 郑小芳, 鄢楚平, 韩仲华. 高速移动环境下 OFDM 系统仿真平 台设计「J]. 计算机工程与设计, 2011, 32 (3): 792-795.
- [8] Yih Chi-hsiao. BER analysis of OFDM system impaired by phase noise in frequency—elective rayleigh fading channels [J]. Wireless Pers Commun, 2011 (59): 667-678.
- [9] 陈雪艳,韩 琪,刘菲菲. 多径信道下 OFDM 系统采用 2DPSK 技术接收数据研究 [J]. 科技创新导报, 2011 (36): 47 - 47.
- [10] 王志杨. OFDM 系统基本原理及仿真建模分析 [J]. 安徽理 工大学学报:自然科学版,2011,31 (1):51-55.
- [11] 刘博海,吴 怡. 无线移动信道特性分析 [J]. 现代电子技 术, 2010, 33 (23): 45-48.
- [12] 任天鹏,张尔扬. OFDM 解调器在若干干扰样式下的性能分 析 [J]. 电子信息对抗技术, 2006 (6): 31-33.
- [13] 赵婷婷,赵玉萍.一种 OFDM 系统中的同频干扰消除算法 [J]. 电子与信息学报, 2011, 33 (8): 1993-1997.
- 「14] 单 超, 王 娜, 王 萍. OFDM 系统抗干扰性能研究「J]. 系统仿真学报,2006,18(6):1618-1622.
- [3] 张莉敏, 冯英伟. 基于物联网技术的智能电源监测系统研究
 - [J]. 电源技术, 2017, 41 (6): 940-942.
 - [4] 陈 永. 基于物联网的舰船智能控制系统设计 [J]. 舰船科学 技术,2017,10 (16):154-156.
 - [5] 宗 凌. 基于物联网及云计算的广东电信省级动环监控系统设 计思路 [J]. 电信科学, 2017, 12 (S2): 14-16.
 - [6] 高百惠, 徐红亮. 基于物联网的农业生产监控系统设计 [J]. 农机化研究, 2018, 40 (2): 207-211.
 - [7] 王思齐. 基于物联网的智能电网监控系统研究 [J]. 电源技术, 2018, 15 (1): 125-127.
 - [8] 朱 靓,温潇华.基于物联网的建筑设备智能电源监控系统 [J]. 电源技术, 2017, 16 (12): 1775-1777.
 - [9] 陈敏敏, 廉迎战, 黄道燚. 基于 WiFi 物联网的温度监控系统设 计与实现 [J]. 现代电子技术, 2017, 40 (18): 147-149.
 - [10] 张 章,周新淳.无线终端即时通信信号降噪分离策略研究 [J]. 电子设计工程, 2018, 26 (6): 124-127.
 - [11] 王圣俊, 柴小丽, 颜爱良. 双存储控制系统中高速信号完整 性设计 [J]. 电子设计工程, 2018, 26 (4): 114-121.