

一种新的 OFDM-OQAM 的信道估计方法

范文兵, 范程龙, 李海涛, 邢军阳

(郑州大学 信息工程学院,河南 郑州 450001)

摘 要: OFDM/OQAM 系统由于不需要插入保护间隔,有更高的频谱效率,可以同时抵抗符号间干扰和信道间干扰等特点,已成为传统 OFDM 系统的一种替代方案. 基于新的导频序列结构和 OFDM/OQAM 的系统特点,分析了系统相邻子载波之间的相关性,提出了一种新的基于导频序列结构的信道估计方法,通过计算相邻子载波的相关系数,有效降低干扰和噪声对信道估计的影响. 仿真结果表明,这种导频结构有利于降低噪声对信道估计的影响,从而提高系统的性能.

关键词: OFDM/OQAM;信道估计;滤波器;导频

中图分类号: TM614 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2014.01.026

0 引言

正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)技术能够有效对抗多径衰落的多载波技术,因其具有大容量、高速率通信等特点,成为当前和未来无线通信的标准和重要基础. 但传统 OFDM 系统需要插入保护间隔,以牺牲频谱的利用效率为代价来消除符号间干扰(Inter-symbol Interference, ISI);OFDM 的另一个缺点是 OFDM 系统中的时域矩形窗对频率偏移敏感,导致系统的频谱边带较高.

正交频分复用/偏移正交幅度调制(OFDM/Offset QAM, OFDM/OQAM)系统作为 OFDM 的一种改进的替代方案,不需要插入保护间隔,具有更高的频谱效率. 采用良好的时-频特性成形滤波器,可以同时抵抗符号间干扰(ISI)和信道间干扰(ICI). 传统的 OFDM 系统以一定的速率发送复数符号,而 OFDM/OQAM 系统需要将复数符号实虚部以半个符号周期为间隔分开发送,所以两个系统有相近的符号发送速率. 发送信号经过多径信道后,幅度和相位都会发生变化,如果没有进行数据均衡,接收符号会严重的失真. 因此信道估计是一项很重要的工作,其性能严重地影响系统的性能. 然而由于 OFDM/OQAM 的正交性条件只在实数域上成立,OFDM/OQAM 发送的实数符号相

互之间会造成虚部干扰,所以已有的 OFDM 信道估计方法不能直接用于 OFDM/OQAM 系统. 文献[1]提出了一种基于序列的信道估计方式,文献[2]提出了两种基于序列的信道估计方式,前一种方法 IAM 需要三列导频,后一种方法 POP 需要两列训练序列,它节省了导频开销,然而信道估计的性能相比于第一种方法有所下降. 文献[3-4]提出了一种基于离散导频的信道估计方法和一种新的基于离散导频方法,通过对导频点周围数据的线性组合,它有更小的导频能量损耗.

笔者提出了一种新的导频序列结构,相比文献[2]中提出的两种导频序列结构,这种序列结构能够进一步降低噪声对信道估计的影响,提高信道估计的性能.

1 OFDM/OQAM 系统模型

正交频分复用/偏移正交幅度调制系统基带发送信号可以表示为

$$s(t) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n \in Z} a_{m,n} g(t - n\tau_0) e^{j2\pi n F_0 t} e^{j\phi_{m,n}}.$$

(1)

式中: $a_{m,n}$ 是实数符号,通过分别取复数符号的实部和虚部得到. 实部和虚部间隔周期为 $T/2$; m, n 分别为数据的频域和时域序号; $g(t)$ 是系统滤波器,它是一个对称的实滤波器; M 为 OFDM/

收稿日期:2013-09-01;修订日期:2013-11-09
基金项目:河南省教育厅自然科学基金项目(2010A510014);郑州市科技攻关项目(0910SCYG25229-6)
作者简介:范文兵(1969-),男,河南周口人,郑州大学教授,博士,主要从事信号与信息处理、射频识别技术、图像处理等方面的研究,E-mail:iewbfan@zzu.edu.cn.

OQAM 系统子载波的个数; F_0 是 OFDM/OQAM 系统子载波间隔; $\phi_{m,n}$ 为系统的旋转相位.

$$F_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2\tau_0}.$$

(2)

$$\phi_{m,n} = \phi_0 + \frac{\pi}{2}(m+n) \pmod{\pi}.$$

(3)

式中: ϕ_0 可以取任意值,取 $\phi_0 = 0$.

OFDM/OQAM 发送端系统框图如图 1 所示.

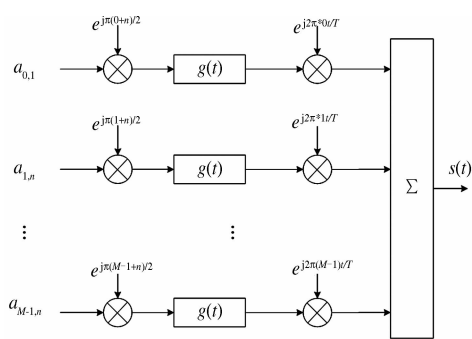


图 1 OFDM/OQAM 系统发送端框图

Fig. 1 Diagram of the OFDM/OQAM system sender

为方便说明,定义 OFDM/OQAM 系统的基发送信号的核函数为

$$g_{m,n}(t) = g(t - n\tau_0) e^{j2\pi m F_0 t} e^{j\phi_{m,n}}.$$

(4)

OFDM/OQAM 系统的正交性条件为

$$R \{ g_{m,n}(t) g_{p,q}^*(t) dt \} = \delta_{m,p} \delta_{n,p};$$

(5)

$$E_{m,n}^{p,q} = \int g_{m,n}(t) g_{p,q}^*(t) dt.$$

(6)

式中: $E_{m,n}^{p,q}$ 的大小仅 $m-p$ 与 $n-q$ 和的值有关. 当 $(m,n) = (p,q)$ 时, $E_{m,n}^{p,q} = 1$; 当两个差值不同时为 0 时, $E_{m,n}^{p,q}$ 是一个纯虚数,其取值如表 1 所示.

表中给出了 9 个位置的 $E_{m,n}^{p,q}$ 值,当 $(m-p) > 1$ 或者 $(n-q) > 1$ 时, $E_{m,n}^{p,q}$ 很小.

OFDM/OQAM 系统的发送信号通过一个多径信道,它的冲激响应为 $h(t)$,同时信道受到高斯白噪声 $\eta(t)$ 的干扰,则接收端收到的信号为

$$y(t) = s(t) \cdot h(t) + \eta(t).$$

(7)

式中, $y(t)$ 为接收端收到的信号.

表 1 $E_{m,n}^{p,q}$ 的数值

Tab. 1 The value of $E_{m,n}^{p,q}$

$E_{m,n}^{p,q}$		$m-p$		
		1	0	1
$n-q$	-1	-0.000 0 -0.250 1i	-0.000 0 -0.318 3i	-0.000 0 -0.250 1i
	0	0.000 0 +0.500 4i	0.999 7 -0.000 0i	0.000 0 -0.500 4i
	1	0.000 0 -0.250 1i	-0.000 0 +0.318 3i	0.000 0 -0.250 1i

解调后的接收信号为

$$y_{m,n} = \int y(t) g(t - n\tau_0) e^{-j2\pi m F_0 t} e^{-j\phi_{m,n}} dt.$$

(8)

上式可以重写为

$$y_{m,n} = H_{m,n} (a_{m,n} + ja_{m,n}^c) + \eta^c.$$

(9)

式中: $a_{m,n}^c$ 为 $a_{m,n}$ 周围的导频点对它的干扰; $H_{m,n}$ 为信道的频率响应.

η^c 离散形式可以写为

$$\eta^c = \sum_{k=0}^{\infty} \eta(k) g(k - n \frac{M}{2}) e^{-j2\pi m k/M} e^{-j(m+n)\pi/2}.$$

(10)

所以 OFDM/OQAM 的信道估计为

$$H_{m,n} = \frac{y_{m,n}}{a_{m,n} + ja_{m,n}^c} + \frac{\eta^c}{a_{m,n} + ja_{m,n}^c}.$$

(11)

2 信道估计导频序列设计分析

对于 OFDM/OQAM 系统所用的升余弦滤波器, $a_{m,n}$ 周围 8 个导频点对它的影响很大,其余导频点的影响相比很小,如果考虑这些导频点,就要增加系统开销,而对系统信道估计的性能影响不

大,所以,这些导频点的影响我们忽略不计. OFDM/QOAM 系统的导频序列一般使用三列数据,时频数据块如图 2 所示.

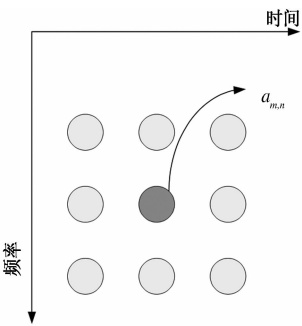


图 2 时频数据块

Fig. 2 Date block of time-frequency

文献[2]中提出了两种 OFDM/OQAM 的导频序列结构 IAM1 和 IAM2. 图 3 为 OQAM 系统的一种帧结构,导频序列 $a_{m,n}$ 是独立同分布随机参数,等概率随机取 $\frac{\sqrt{3}}{3}$ 和 $-\frac{\sqrt{3}}{3}$. 另一种帧结构 IAM2 如图 4 所示.

由信道估计的公式知道, $a_{m,n} + ja_{m,n}^{(*)}$ 幅值越大, 噪声对信道估计的影响越小, 而 $a_{m,n}$ 周围 8 个点对它的影响, 分别是一个固定的虚数见表 1, 所以打破导频序列 IAM1 数据正负的随机性, 就可以增大 $a_{m,n}^{(*)}$ 的值. 通过导频设计来增大 $a_{m,n} + ja_{m,n}^{(*)}$ 的幅值, 从而提高信道估计的性能. 据此笔者提出了一种新的导频序列结构 IAM3.

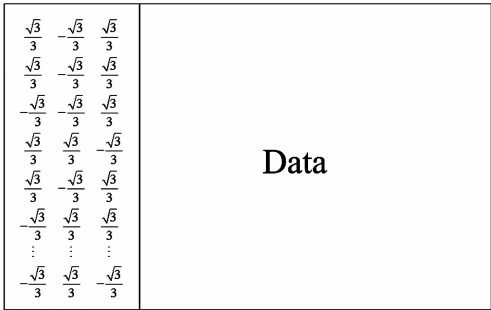


图 3 IAM1 帧结构

Fig. 3 IAM1 frame structure

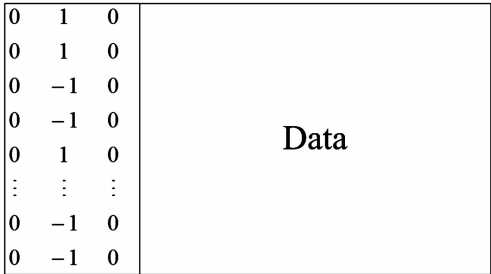


图 4 IAM2 帧结构

Fig. 4 IAM2 frame structure

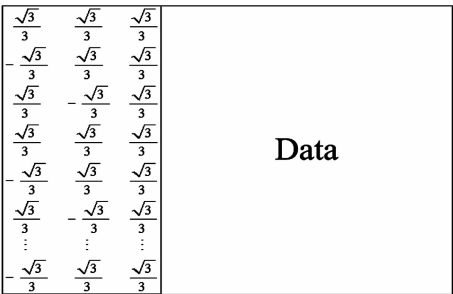


图 5 IAM3 帧结构

Fig. 5 IAM3 frame structure

如图 5 所示, 为了使 IAM3 所使用的导频总能量和 IAM2 相同, 因为 IAM2 导频部分能量为 M , 为了保证新设计的导频能量不变, 由如下公式计算导频点值:

$$a_{m,n}^{(*)} = E_{m,n}^{m-1,n-1} a_{m-1,n-1} + E_{m,n}^{m,n-1} a_{m,n-1} + E_{m,n}^{m+1,n-1} a_{m+1,n-1} + E_{m,n}^{m-1,n} a_{m-1,n} + E_{m,n}^{m+1,n} a_{m+1,n} + E_{m,n}^{m-1,n+1} a_{m-1,n+1} + E_{m,n}^{m,n+1} a_{m,n+1} + E_{m,n}^{m+1,n+1} a_{m+1,n+1}$$

可知每个时频点的幅值都是 $\sqrt{3}/3$. 以 3×3 数据块为单位做一个导频块, 中间的导频点数值为 $\sqrt{3}/3$,

其他的导频点都有固定的导频值. 由表 1 所示, 导频块 8 个点对中间点的影响都是虚数, 而且正负号都是固定的, 所以 $E_{m,n}^{p,q}$ 的正负号是固定的. 如果要使 $a_{m,n}^{(*)}$ 具有最大的绝对值, 那么导频序列必须设计成如下形式.

$$\begin{matrix} \frac{\sqrt{3}}{3} & \frac{\sqrt{3}}{3} & \frac{\sqrt{3}}{3} \\ -\frac{\sqrt{3}}{3} & \frac{\sqrt{3}}{3} & \frac{\sqrt{3}}{3} \\ \frac{\sqrt{3}}{3} & -\frac{\sqrt{3}}{3} & \frac{\sqrt{3}}{3} \end{matrix}$$

3 仿真结果

考虑一个 IEEE802.22 标准的信道模型来比较 OFDM 和 OFDM/OQAM 的系统. 仿真中系统的参数如下: 采样率为 9.14 MHz, 信道的路径个数为 6, 各个路径的功率剖面为: -6.0, 0.0, -7.0, -22.0, -16.0, -20.0, 延时剖面为: -3, 0, 2, 4, 7, 11, 子载波个数为 2 048, 调制方式为 QPSK, 编码方式为卷积编码 ($K = 7, g_1 = (133)_8, g_2 = (171)_8$, 编码率为 0.5), 帧长为 41 个 OFDM 符号, OFDM 保护间隔为 14.22 μ s.

图 6 为不同导频序列下的系统性能仿真. 4 种导频序列的能量相等. 从仿真结果可以看出, OFDM/OQAM 系统 IAM1 序列的信道估计性能比 OFDM 差, 而 OFDM/OQAM 系统 IAM2 序列的信道估计性能比 OFDM 好. 笔者提出的导频序列的信道估计性能优于 IMA2 大约 1 dB.

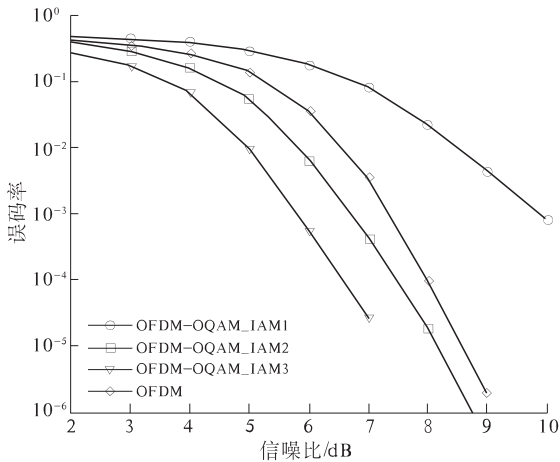


图 6 不同导频序列的性能估计

Fig. 6 Assessment of performance in different pilot frequency sequence

4 结论

笔者研究了 OFDM/OQAM 的信道估计问题,提出了一种新的导频结构,以使得在导频能量有限的情况下,增大 $a_{m,n} + ja_{m,n}^{(*)}$ 的模值,减小噪声对信道估计的干扰. 与传统的 OFDM 系统相比,OFDM/OQAM 系统需要 1.5 个 OFDM 符号开销. 在相同的导频能量下,OFDM/OQAM 系统的信道估计性能要好于 OFDM,这是因为 OFDM/OQAM 系统子载波之间的虚部非正交性,所以子载波的上下两个子载波上的导频能量对它的信道估计也有贡献. 通过仿真发现,IAM3 的信道估计的性能要好于已有的 IAM2 的性能,因此 IAM3 是一种有效的序列导频结构.

参考文献:

[1] KWAK, K, LEE, S, HONG D. et al. A new dFT - based channel estimation approach for oFDM with virtual subcarriers by Leakage Estimation [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2008, 7 (6) :2004 - 2008.

[2] LELE C, JAVAUDIN J P, LEGOUABLE R, et al. Channel estimation methods for preamble-based OFDM/OQAM modulations [J]. European Transactions on Telecommunications,2008,19(7) : 1750.

[3] JAVAUDIN J-P, LACROIX D. ROUXEL A. Pilot-aided channel estimation for OFDM/OQAM [C]//57th

IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference. South Korea: Jeju, 2003 : 22 - 25.

[4] KWAK K, LEE S, MIN H, et al. New OFDM Channel Estimation with Dual - ICI Cancellation in Highly Mobile Channel [J]. IEEE transactions on wireless communications,2010,9(10) :3155 - 3165.

[5] YING Yin-di, YU Xin-wei. ML-Based Channel Estimations for Non-Regenerative Relay Networks with Multiple Transmit and Receive Antennas [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications,2012,30 (8) :1428 - 1439.

[6] HARIS G, MIKA S, FUMIYUKI A, et al. Performance Analysis of Analog Network Coding with Imperfect Channel Estimation in a Frequency-Selective Fading Channel[J]. IEEE transactions on wireless communications, 2012,11(2) :742 - 750.

[7] PREMKUMAR M, SENTHILKUMARAN V N, THIRVVENGADAM S J, et al. BLUE-Based Channel Estimation Technique for Amplify and Forward Wireless Relay Networks[J]. ETRI Journal,2012,34(4) : 511 - 517.

[8] 程国兵,肖丽霞,肖悦,等. 一种改进的 OFDM/OQAM 系统信道估计算法[J]. 电子与信息学报, 2012,34(2) :427 - 432.

[9] 詹朝武. 一种基于导频的 OFDM 信道估计优化算法[J]. 电视技术,2010,34(11) :16 - 18.

[10] 张继东,郑宝玉. 基于导频的 OFDM 信道估计及其研究进展[J]. 通信学报,2003, 24(11) :116 - 124.

A New OFDM-OQAM Channel Estimation Method

FAN Wen-bing, FAN Cheng-long, LI Hai-tao, XING Jun-yang

(School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: It is not necessary for the OFDM/OQAM system to insert the guard interval, with a higher spectral efficiency can be resistance to inter-symbol interference and inter-channel interference characteristics at the same time, the legacy OFDM system has become an alternative. This paper is based on the new pilot sequence structure and the system features of the OFDM / OQAM, the system analyzes the correlation between adjacent sub-carriers, a new channel estimation method based on the pilot sequences structure, by calculating the adjacent the correlation coefficient of subcarriers reduce the interference and noise on the channel estimation. The simulation results show that the structure of this pilot will help reduce the impact of noise on the channel estimation to improve the performance of the system.

Key words: OFDM/OQAM; channel estimation; filter; pilot