

文章编号:1001—893X(2010)03—0023—04

一种基于二次谱线生成的码速率识别方法^{*}

彭 勃,熊 刚

(中国电子科技集团公司第三十研究所,成都 610041)

摘 要:为了提高正交频分复用(OFDM)系统的解调性能,提出了一种用于 OFDM 系统的码速率识别方法。首先对 OFDM 信号分段作快速傅里叶变换(FFT)得到信号谱线序列,选择适当的谱线重构为辅助信号序列,再根据该辅助信号序列进行二次谱线生成。通过第二次生成谱线的间隔值与门限值的比较,可实现对码速率的识别。理论分析和仿真试验证明了本方法的有效性。在信噪比大于 3 dB 时,识别率在 90%以上。

关键词:正交频分复用;盲接收;码速率识别;二次谱线生成

中图分类号:TN92 **文献标识码:**A doi:10.3969/j.issn.1001—893x.2010.03.005

A Symbol Rate Recognition Method Based on Regenerated Spectrum Lines

PENG Bo, XIONG Gang

(The 30th Institute of China Electronics Technology Corporation, Chengdu 610041, China)

Abstract: In order to improve the demodulation performance of OFDM systems, a new method is proposed for the recognition of symbol rate. The spectrum lines of OFDM signals are generated by FFT then chosen appropriately for constructing the auxiliary signal, and the spectrum lines are regenerated. Furthermore, by comparing intervals of the regenerated spectrum lines and the threshold, the recognition can be performed. This method can work with low SNR. Theoretical analysis and simulation verify the effectiveness of the method. The rate of recognition is over 90% when the SNR is more than 3dB.

Key words: orthogonal frequency division multiplexing (OFDM); blind receiving; symbol rate recognition; regenerated spectrum lines

1 引 言

正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)是一种多载波调制技术,由于具有较强的抗多径、抗码间干扰性能和高频谱利用率,近年来在高速数据通信中得到了广泛应用。OFDM 技术还易于和其它多种接入方法结合使用,构成各种 OFDM 系统,其中包括 MC—CDMA 系统、Hop-OFDM 系统,以及 OFDM—TDMA 系统

等。这些与 OFDM 相关的新技术都具有良好的发展前景^[1—3]。与此同时,OFDM 传输系统也给无线电监测等领域带来一系列新的课题,比如怎样实现 OFDM 系统信号的盲接收等。其实,OFDM 系统信号的盲接收技术不仅适用于监测领域,还能用于自适应 OFDM 系统^[4]。自适应 OFDM 系统利用调制方式的灵活性,可以随着信道信息的变化而自适应地调整调制参数,如编码方式、码元速率等,是一种智能化的通信方式。在自适应 OFDM 系统中,为了

^{*} 收稿日期:2010—01—04;修回日期:2010—03—03

提高系统的频谱效率,在接收端也采用了盲接收方式^[6-7]。码速率是数字通信系统的重要参数。码速率未知时,就无法完成 OFDM 系统解调器的设计;其次,如果码速率识别不正确,将 OFDM 信号进行不正确的解调也会部分或者全部破坏信号携带的信息。所以,识别码速率等参数是 OFDM 系统的盲接收过程中一个必不可少的步骤^[8-10]。

通过文献检索尚未搜索到对 OFDM 系统有较好识别率的方法,为此,本文提出了一种识别精度高、实用性强的 OFDM 系统码速率识别方法,核心思想是利用了信号的二次生成谱线特性。信号的二次生成谱线能够提供特有的信号特征用以识别码速率。这种方法在较低信噪比条件下可以实现对 OFDM 系统码速率的有效识别。

2 基于二次谱线生成的 OFDM 系统码速率估计

2.1 OFDM 信号模型

OFDM 系统中的信号是在频域内将信道分成多个子信道,在每个子信道上使用独立的子载波分别调制,并且进行并行传输的一种信号。

在 OFDM 系统中,信号第二次生成的谱线具有更丰富的参数特征。要利用该特性对信号进行码速率识别,则需要首先分析信号的二次生成谱线结构。由于 OFDM 调制方式的灵活性,使得发射端可以有很多组合方式,例如各子载波的信号调制方式可以是 BPSK、QPSK、16QAM 与 64QAM 等。

为描述方便而又不失一般性,OFDM 系统传输的信号可表示为

$$x(t) = \text{Re}\left\{ \sum_{n=-\infty}^{\infty} q(t - nT_0 - t_0) \cdot \sum_{k=-N/2}^{N/2} c_{k,n} e^{j2\pi k \Delta f (t - nT_0 - t_0)} e^{j(2\pi f_0 t + \phi_0)} \right\} \quad (1)$$

式中, f_0 是载频; ϕ_0 是初始相位; $c_{k,n}$ 来自有限符号的星座; $q(t)$ 为成形脉冲; T_0 为脉冲宽度; t_0 为脉冲的起始时间, $|t_0| < T_0/2$; N 代表子载波个数; Δf 为子载波间隔。

$x(t)$ 还可以表示为

$$x(t) = \text{Re}\{r(t) e^{j(2\pi f_0 t + \varphi_0)}\} \quad (2)$$

其中:

$$r(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-N/2}^{N/2} c_{k,n} e^{j2\pi k \Delta f (t - nT_0 - t_0)} q(t - nT_0 - t_0) \quad (3)$$

可以得出:

$$r(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} q(t - nT_0 - t_0) \cdot \sum_{k=-N/2}^{N/2} c_{k,n} e^{j2\pi k \Delta f (t - nT_0 - t_0)} = \sum_{k=-N/2}^{N/2} g_k(t) e^{j2\pi k \Delta f t} \quad (4)$$

$g_k(t)$ 即为子载波上的传输波形,因为 $\Delta f = 1/T_0$, 所以 $e^{j2\pi k \Delta f (-nT_0 - t_0)} = 1$, 故:

$$g_k(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_{k,n} e^{j2\pi k \Delta f (-nT_0 - t_0)} q(t - nT_0 - t_0) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_{k,n} e^{-j2\pi k \Delta f t_0} q(t - nT_0 - t_0) \quad (5)$$

2.2 OFDM 信号的二次生成谱线分析

同样,为描述方便而又不失一般性,假定子载波上的调制方式为 QPSK(若子载波是其它调制方式,也可以得到类似结果);在每个符号周期内,每个子载波上的信号是不相关且相互正交,且信号具有前后不相关性。因此, $r(t)$ 的谱线生成函数 $Y_{rr}^F(f)$ 可以表示为

$$Y_{rr}^F = \sum_{k=-N/2}^{N/2} Y_{gk}^F(f) = \begin{cases} \frac{1}{T_0} \sum_{k=-N/2}^{N/2} [e^{-j2\pi(F-k\Delta f)t_0} Q(f - k\Delta f + F/2) \cdot Q^*(f - k\Delta f - F/2)], & F = m/T_0 \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (6)$$

式中, $q(t)$ 为成形脉冲, $Q(f)$ 是 $q(t)$ 的傅里叶变换, f 为第一次生成谱线刻度, F 为第二次生成谱线刻度。

OFDM 系统的信号二次生成谱线经推导可表示为

$$Y_x^F(f) = \begin{cases} \frac{1}{4T_0} e^{-j2\pi F t_0} \left\{ \sum_{k=-N/2}^{N/2} e^{-j2\pi k \Delta f t_0} Q(f + f_0 - k\Delta f + F/2) Q^*(f + f_0 - k\Delta f - F/2) + \sum_{k=-N/2}^{N/2} e^{-j2\pi k \Delta f t_0} Q(f - f_0 - k\Delta f + F/2) \cdot Q^*(f - f_0 - k\Delta f - F/2) \right\}, & F = m/T_0 \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (7)$$

根据式(7)可以直观地分析出,当 $F = \frac{m}{T_0}$ 时二次谱线呈现周期性的峰值变化,而其它时候为 0,利用这个特征即可识别 OFDM 系统码速率。

2.3 方法步骤和流程

- 该方法包括以下几个基本步骤：
- (1) 利用 OFDM 系统的信号分段进行第一次谱线生成,形成谱线序列组；
 - (2) 对该谱线序列组,利用谱线刻度位置形成新辅助信号；
 - (3) 对该新辅助信号序列进行第二次谱线生成,形成第二次谱线序列；
 - (4) 对第二次谱线序列检测出谱线间隔值,并将该值与设定的门限值进行比较,如果大于门限,即为 OFDM 系统码速率,算法终止;当小于门限时,则回到步骤 2。

基于二次谱线生成的 OFDM 系统码速率识别流程如图 1 所示。

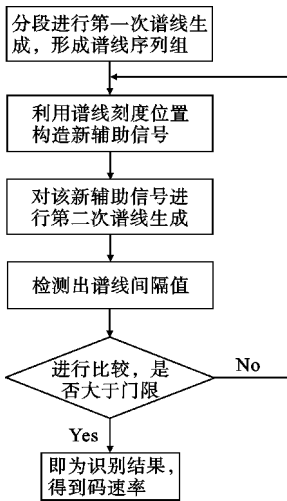


图 1 基于二次谱线生成的码速率识别流程图
Fig. 1 The process of symbol rate recognition based on regenerated spectrum lines

下面以一示例说明基于二次谱线生成的 OFDM 系统码速率识别流程。假设 OFDM 的信号序列长度为 $l=m \times n$,即为 $\{x(1), x(2), x(3), \cdots, x(mn)\}$,先对其分段,每段为 m 点长度序列,一共 n 段,如图 2 所示。

$x(1)$	$x(2)$	$x(3)$	$\cdots$	$x(m)$
$x(m+1)$	$x(m+2)$	$x(m+3)$	$\cdots$	$x(2m)$
$x(2m+1)$	$x(2m+2)$	$x(2m+3)$	$\cdots$	$x(3m)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$x((n-1)m+1)$	$x((n-1)m+2)$	$x((n-1)m+3)$	$\cdots$	$x(mn)$

图 2 OFDM 的信号序列分段示意图

然后,分别对每段序列进行傅里叶变换,得到第一次谱线生成序列,长度为 $l=m \times n$,如图 3 所示。

$x(1)$	$x(2)$	$x(3)$	$\cdots$	$x(m)$
$x(m+1)$	$x(m+2)$	$x(m+3)$	$\cdots$	$x(2m)$
$x(2m+1)$	$x(2m+2)$	$x(2m+3)$	$\cdots$	$x(3m)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$x((n-1)m+1)$	$x((n-1)m+2)$	$x((n-1)m+3)$	$\cdots$	$x(nm)$

图 3 辅助序列构造示意图
Fig. 3 The construction of auxiliary signal sequence

在此基础上,从第一次谱线生成序列中的每段数据中同一频点(频点任选)上的谱线生成值,选取它们出来构造辅助序列,比如可选每段数据第二个频点谱线值构造辅助序列,即 $\{X(2), X(m+2), X(2m+2), \cdots, X((n-1)m+2)\}$,用虚线框标注如图 3 所示。再次对新辅助序列进行傅里叶变换,得到长度为 n 的二次谱线序列可表示为: $Y(1), Y(2), Y(3), \cdots, Y(n)$,从而得到二次谱线间隔。

最后,把得到的二次谱线间隔与根据大量的仿真试验得到的门限相比较,如果大于门限,即可得到识别的码速率结果;如果小于门限,重新选择第一次谱线数据,并构造新的序列,继续进行二次谱线和门限判决,如此循环,直至第一次谱线数据循环完结。

3 仿真验证

通过仿真对基于二次谱线生成的 OFDM 系统码速率识别方法的正确性进行验证。以下为仿真参数:在 OFDM 系统中,信号各路子载波采用 QPSK 调制,一共 16 个子载波,同步载频 1 个子载波,数据调制载频 15 个子载波,每帧信息的采样点为 93 点,采样率为 7 040 Hz,采样率和码速率比值为 3.128,加性高斯白噪声环境。在信噪比为 5 dB 时,对该 OFDM 系统的二次生成谱线进行分析,结果如图 4 所示。

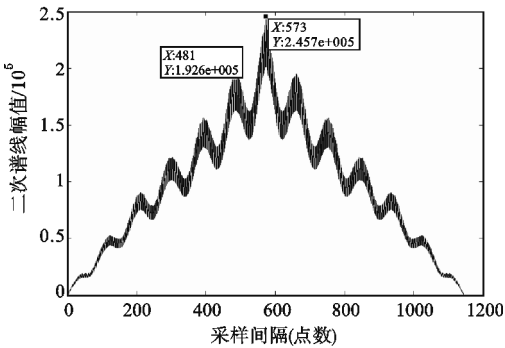


图 4 信噪比为 5 dB 条件下的二次谱线分析图
Fig. 4 The analysis on regenerated lines at SNR of 5 dB

通过图 4 可看出二次谱线出现明显的周期性变

化,计算峰值间隔为 93 个采样点与 OFDM 系统参数相符合,从而可以推算出该 OFDM 系统的码速率。

为了验证该方法的有效性和性能,对 -10~20 dB 范围的信噪比进行了大量仿真。图 5 给出了在不同的信噪比条件下加性高斯白噪声信道中,1 000 次 Monte Carlo 的 OFDM 码速率正确识别概率曲线。

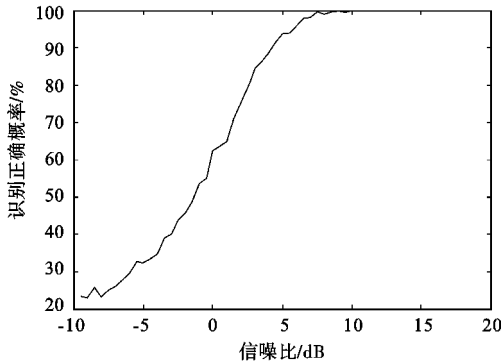


图 5 基于二次谱线生成的码速率识别方法正确率曲线

Fig. 5 The curve of probability of symbol rate recognition on regenerated spectrum lines

从仿真结果可见,在信噪比大于 3 dB 时,识别正确率在 90% 以上。因此,该方法能够在较低信噪比下识别 OFDM 系统信号的码速率。该仿真结果也验证了本文提出的码速率识别方法的有效性。

4 结束语

本文提出了一种基于二次谱线生成的码速率估计方法,通过在各种信噪比下的多次仿真试验证明该方法能够有效地识别 OFDM 系统的码速率,有效地解决了 OFDM 系统码速率识别问题。不仅识别概率高,而且具有较强的抗噪性,能识别各子道相异调制模式,对 OFDM 系统的盲接收和自适应 OFDM 系统的研制等具有很强的实用价值。

同时,本方法稍加改进后也可以对其它多种信号的码速率进行有效估计,能够应用于多种通信系统,这将是笔者今后进一步研究的方向。

参考文献:

[1] 王文博,郑佩. 宽带无线通信 OFDM 技术[M]. 北京:人民邮电出版社,2003.
WANG Wen-bo, ZHENG Pei. The Technology of OFDM wide-band wireless communication[M]. Beijing: People's Posts and Telecom Press, 2003. (in Chinese)
[2] 张贤达,保铮. 通信信号处理[M]. 北京:国防工业出版社,2000.

ZHANG Xian-da, BAO Zheng. Communication signal processing[M]. Beijing: National Defense Industry Press,2003. (in Chinese)
[3] Michael Speth, Stefan A Fechtel, Gunnar Fock, et al. Optimum receiver design for Wireless broad-band systems using OFDM[J]. IEEE Transactions on Communications,1999, 47(11):1668-1677.
[4] Swami A, Sadler B M. Hierarchical Digital Modulation Classification Using Cumulants [J]. IEEE Transactions on Communication,2000,48(3):416-429.
[5] Keller T, Hanzo L. Adaptive modulation techniques for duplex OFDM transmission[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology,2000,49(5):1893-1906.
[6] Umehayashi K, Ishii S, Kohno R. Blind adaptive estimation of modulation scheme for software defined radio[C]//Proceedings of IEEE International Symposium on Personal, Indoor, Mobile Radio Communication. London:IEEE,2000:43-47.
[7] Lottici V, Luise M, Marselli M, et al. Blind Subcarrier Frequency Ambiguity Resolution for OFDM Signals over Selective Channels [J]. IEEE Transactions on Communication,2004,52(9):1532-1537.
[8] Liu C, Li F. Spectrum modeling of OFDM signals for WLAN [J]. IEE Electronics Letters,2004,40(22):1431-1432.
[9] Richard van Nee Ramjee Prasad. OFDM for Wireless Multimedia Communications [M]. Boston, London: Artech House,2000:80-88.
[10] Luise M, Marselli M, Reggiannini R. Low-complexity Blind Carrier Frequency Recovery for OFDM Signals Over Frequency-selective Radio Channels[J]. IEEE Transactions on Communication, 2002,50(7): 1182-1188.

作者简介:

彭 勃(1977—),男,重庆人,硕士,工程师,主要研究方向为软件无线电系统平台设计及数字信号处理;

PENG Bo(male) was born in Chongqing, in 1977. He received the M. S. degree in University of Electronic Science and Technology of China, in 2004. He is now an engineer. His current research concerns digital signal processing and the design of platform for SDR.

Email:goosepeng@163. com

熊 刚(1982—),男,四川自贡人,硕士,工程师,主要研究方向为通信信号处理及软件无线电算法设计。

XIONG Gang (male) was born in Zigong, Sichuan Province, in 1982. He received the M. S. degree in University of Electronic Science and Technology of China, in 2008. He is now an engineer. His current research concerns communication signal processing and the design of algorithm for SDR.

Email:beargangcn@yahoo. com. cn

