

DOI:10.19431/j.cnki.1673-0062.2018.03.009

OFDM 中基于 DFT 信道估计的改进算法

陈 智,王 彦*,蔡 敏

(南华大学 电气工程学院,湖南 衡阳 421001)

摘 要:在正交频分复用(OFDM)系统的估计算法中,基于离散傅里叶变换(DFT)的信道估计因其算法实现简单,性能又优于最小二乘法(LS),常常用于实际 OFDM 系统中.传统的 DFT 算法中通常只抑制了信号中循环前缀(CP)外的噪声,并没有消除循环前缀内的噪声.提出了一种改进型算法,该算法通过加窗降低系统中频谱泄露现象,并对噪声进行估计修正,考虑到 CP 范围内外的噪声分布情况,设置了一个新的阈值点来抑制样本内的噪声.仿真结果表明:该算法较传统的 DFT 估计算法性能更好,更进一步地改善了系统误码率,能获取准确的信道信息.

关键词:信道估计;循环前缀;阈值

中图分类号:TN911 **文献标志码:**B **文章编号:**1673-0062(2018)03-0049-05

An Improved Algorithm Based on DFT Channel Estimation in OFDM

CHEN Zhi, WANG Yan*, CAI Ming

(School of Electrical Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: In the estimation algorithm of orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) system, the channel estimation based on discrete Fourier transform (DFT) is often used in practical OFDM system due to its simple algorithm, and performance is better than the Least Squares (LS). The traditional DFT algorithm usually only suppresses noise outside the cyclic prefix (CP) in the signal, and does not eliminate noise inside the cyclic prefix. An improved algorithm is proposed in this paper, which firstly reduces the frequency spectrum leakage in the system through windowing and estimates and corrects the noise. Secondly, considering the noise distribution inside and outside of the CP range it suppresses the noise in the sample by setting a new threshold. The simulation results show

收稿日期:2018-01-31

基金项目:教育部产学合作协同育人创新创业联合基金项目(201701077014);湖南省教育厅重点项目(16A181);湖南省研究生科研创新项目(CX2016B443)

作者简介:陈 智(1993-),男,硕士研究生,主要从事智能信息处理与通信、软件无线电等方向的研究.E-mail:18188975114@163.com. *通信作者:王 彦(1971-),男,教授,博士,主要从事于宽带无线通信技术方面的研究.E-mail:wangyan5406@163.com

that the proposed algorithm performs better than the traditional DFT estimation algorithm and can further improve the system BER and obtain accurate channel information.

key words: channel estimation; cyclic prefix; threshold

0 引言

正交频分复用(orthogonal frequency division multiplexing, OFDM)是一种并行的多载波调制技术^[1],因其频谱利用率高和抗干扰能力强等特点被广泛应用于4G和即将到来的5G等技术中^[2].信号在传输过程中,由于无线信道的不可控性和随机性,会极大的影响通信的质量^[3],因此通常需要对传输过程中信道状态的估计来进一步的改善所接收到信号.

信道估计技术通常有以下几种:盲信道估计、半盲信道估计及导频辅助的信道估计^[4],一般应用较多的是导频辅助信道估计.导频辅助信道估计是一种通过添加已知的导频或是训练序列来获取整个信道信息的一种估计技术,包括LS估计算法,DFT估计算法以及最小均方误差(MMSE)和奇异值分解(SVD)等几种.其中,基于DFT的信道估计是在LS算法的基础上发展改进而来的一种算法.传统的DFT信道估计算法是先将经过LS信道估计得到的导频位置的信道响应进行离散傅里叶反变换,在时域范围里对其进行降噪处理,然后再恢复至频域得到信道响应.基于DFT的估计算法相较于MMSE和SVD等,实现起来较为简单,

性能也比LS算法好,因此被用于大量的研究与实践中.

文献[5]提出了一种新的门限算法,在一定程度上能够抑制循环前缀之内噪声,但设置的门限值较大,会滤除一部分有用的信号.文献[6]提出的阈值算法性能较好,但是在高信噪比条件下性能改善不明显,而且无法有效应对循环前缀外大脉冲情况.文献[7]只将循环前缀之内样本能量的平均值作为阈值来滤除噪声,没有考虑循环前缀之外的情况.针对以上文献中所提算法,本文提出了一种改进阈值的算法,该算法先分别计算出循环前缀内外样本点的信道响应幅度模的平均值,然后将其和作为新的阈值,通过仿真验证后得知,该算法有效抑制了样本内噪声情况,具有良好的性能和较低的误码率.

1 OFDM 原理

OFDM通过串并转换将高速串行的信号变为低速并行的数据进行传输,由于符号周期变宽,无线信道中多径时延造成的影响变小,通过在信号中插入循环前缀也能避免符号间干扰(ISI)和子载波间干扰(ICI),具体的系统模型如图1所示.

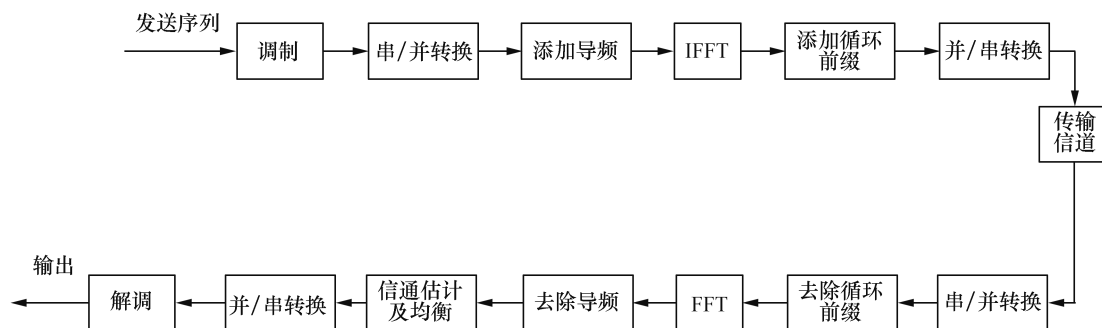


图1 OFDM系统原理图

Fig.1 OFDM system schematic diagram

信号在发射端先进行QAM、BPSK等调制后经过串并变为多路并行的数据,添加导频后进行快速傅里叶反变换,将信号变到时域后再插入CP,通常都是将OFDM中每个符号最后的部分样本点复制到符号前面作为循环前缀使用,信号再

经过并串后送入无线信道进行传输.接收端处理的过程与发送端相反,只是多了一个信道估计与均衡过程,是为了恢复与补偿接收到的信号.根据图1的OFDM原理图,可以得到频域内发送与接收信号过程的关系式:

$$Y = XH + W \quad (1)$$

其中 Y 是接收到的信号, X 是发射端已知的信号, H 是信道的频率响应, W 为传输过程中加入的噪声.

2 信道估计算法

2.1 基于 LS 的信道估计算法

LS 是一种复杂度较低的算法^[8], 是 DFT 和 MMSE 等算法的基础, 其实现原理是先利用接收到的导频 Y 与发射端插入导频 X 的比值来获取导频信号的信道响应, 然后再通过合适的插值算法得到整个信道处的估计.

$$H_{LS}(k) = Y(k)/X(k) = H(k) + W(k)/X(k) \quad (2)$$

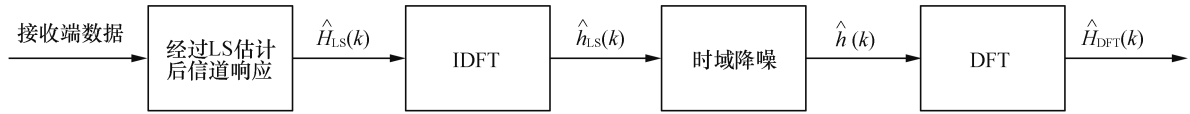


图 2 传统 DFT 信道估计原理图

Fig.2 Traditional DFT channel estimation principle diagram

从式(1)可知,接收端信号经过 LS 估计后导频处的信道响应为 $\hat{H}_{LS}(k)$, 经过 IDFT 后信号变至时域:

$$\hat{h}_{LS}(n) = IDFT(\hat{H}_{LS}(k)) \quad (3)$$

在传输过程中信号的符号周期长度大于信道的多径时延, 经过估计后的信道信息集中在符号前面, 通常取 CP 的长度为 L_{CP} , 而噪声基本都集中在 CP 之外, 因此传统的 DFT 算法是将 CP 外样本点置零, 只保留 CP 内样本, 经过时域降噪后可得到:

$$\hat{h}_{DFT}(n) = \begin{cases} \hat{h}_{LS}(n) & 0 \leq n \leq L_{CP} - 1 \\ 0 & L_{CP} \leq n \leq N - 1 \end{cases} \quad (4)$$

对式(4)DFT 后便可得到信道的频域估计:

$$\hat{H}_{DFT}(k) = DFT(\hat{h}_{DFT}(n)) \quad 0 \leq n \leq L_{CP} - 1 \quad (5)$$

2.3 改进的 DFT 的信道估计算法

在传统的 DFT 估计算法中, 通常认为信道信息都包含在 L_{CP} 内, 在 L_{CP} 外的都是噪声, 因此常常只将 L_{CP} 外信号全部置零, 通过 L_{CP} 内样本点来估计整个信道的信息. 实际中, 信道冲击响应(CIR)的信息主要存在于 L_{CP} 内的部分点中, 其仍包含部分噪声, 因此需要重新设置阈值点, 滤除掉 CP 内无用的噪声. 基于阈值去噪的 DFT 算法首先将 LS 估计得到的 CIR 变至时域, 同时在时域内设置出

这种算法实现起来简单, 但是并没有考虑其中引入的噪声情况, 在噪声较大以及快速变化的信道上实现效果不好, 因此通常都是在此算法的基础上作进一步的估计.

2.2 传统 DFT 的信道估计算法

DFT 算法是在 LS 的基础上进一步发展而来的一种算法, 其原理是先通过 LS 算法粗略估计导频处的信道响应, 然后将得到的信道响应进行 IDFT 变换, 在时域范围内对信号进行降噪, 经过 LS 算法估计得到的信号, 其噪声大部分都集中在循环前缀之外, 因此传统 DFT 算法只保留 CP 内样本的信号, 将 CP 外信号全部置零, 再将其进行 DFT 转换到频域, 其原理如图 2 所示.

合适阈值, 将 L_{CP} 长度范围内大于阈值点的样本点保留, 小于该点的全部置零, 然后再恢复至频域估计出整个信道的信息.

文献[5]曾为了 CP 内样本的噪声设置了一个新的阈值点, 先算出 CP 范围外样本最大点的能量 t_1 :

$$t_1 = \max |h(n)|^2 \quad L_{CP} \leq n \leq N - 1 \quad (6)$$

然后取其 CP 外所有噪声的能量均值的 2 倍 t_2 :

$$t_2 = 2\sigma^2 = \frac{2}{N - L_{CP}} \sum_{L_{CP}}^{N-1} |h(n)|^2 \quad L_{CP} \leq n \leq N - 1 \quad (7)$$

再求其加权系数和作为新的阈值 w , 只保留大于阈值的样本点:

$$t = a \cdot t_1 + (1 - a) \cdot t_2 \quad L_{CP} \leq n \leq N - 1 \quad (8)$$

$$\hat{h}_{DFT}(n) = \begin{cases} \hat{h}_{LS}(n) & |\hat{h}_{LS}(n)| > t, 0 \leq n \leq L_{CP} - 1 \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (9)$$

该方法一定程度上能缓解突发大脉冲的情况, 但阈值设置较大, 可能会去掉一部分有用信号点.

相比于文献[5]只取了 CP 范围外的样本点设置阈值来滤除信号, 文献[6]同时考虑了 CP 内外的噪声点来设置新的阈值, 先求出 CP 内所有样点信道响应幅度模的平均值 t_1 :

$$t_1 = \frac{1}{L_{CP}} \sum_{n=0}^{L_{CP}-1} |h_{LS}(n)| \quad 0 \leq n \leq L_{CP} - 1 \quad (10)$$

再求出 CP 外最大样点的值 t_2 :

$$t_2 = \max(|h_{LS}(n)|) \quad L_{CP} \leq n \leq N - 1 \quad (11)$$

求其平均值后得到新的阈值 t :

$$t = (a + b)/2 \quad (12)$$

该种算法相对于文献[5]所提算法在性能上有一定改善,但是在较高信噪比条件下误码率下降明显,估计准确度下降。

针对以上文献所提算法的不足,本文提出了一种改进型算法:先在频域内加入窗函数,避免频谱泄露^[9]对时域去噪造成影响,然后通过在时域内设置合适的阈值点进一步过滤噪声。

本文选择的窗函数是汉明窗,汉明窗相比于其他窗,更能有效克服泄漏现象^[10],可用式(13)表示:

$$m_w(n) = 0.54 + 0.46\cos(2\pi n/N) \quad (13)$$

其中 $n = 1, 2, \dots, N - 1$ 。在频域插入窗函数后,将经过 LS 估计后的信道响应与窗函数相乘,可得导频处响应为:

$$\hat{H}_w(k) = \hat{H}_{LS}(k) \cdot M_w(k) \quad (14)$$

进行 N 点 IDFT 后可得:

$$\hat{h}_w(n) = IDFT(\hat{H}_w(k)) \quad (15)$$

之后在时域范围内对信号进行去噪。考虑到 CP 内外噪声分布情况,采用了一个新的阈值点来滤除 CP 内部的噪声,CP 外样本仍置零。因为信道内信息集中在少数的样点上,因此先取 CP 范围内所有样点信道响应幅度模的平均值 t_1 ,再算出 CP 外所有样点信道响应幅度模的平均值 t_2 ,求出其和 t 来作为新的阈值点来限制噪声,表达式为

$$t_1 = \frac{1}{L_{CP}} \sum_{n=0}^{L_{CP}-1} |h_{CP}(n)| \quad 0 \leq n \leq L_{CP} - 1 \quad (16)$$

$$t_2 = \frac{1}{N - L_{CP}} \sum_{n=L_{CP}}^{N-1} |h_{CP}(n)| \quad L_{CP} \leq n \leq N - 1 \quad (17)$$

$$t = t_1 + t_2 = \frac{1}{L_{CP}} \sum_{n=0}^{L_{CP}-1} |h_{CP}(n)| + \frac{1}{N - L_{CP}} \sum_{n=L_{CP}}^{N-1} |h_{CP}(n)| \quad (18)$$

$$\hat{h}_{DFT}(n) = \begin{cases} \hat{h}_w(n) & |\hat{h}_w(n)| > t, 0 \leq n \leq L_{CP} - 1 \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (19)$$

最后对 $\hat{h}_{DFT}(n)$ 进行补零,求其 DFT 变换得到 $\hat{H}_{DFT}(k)$,然后去除窗函数便可以获得完整信道的估计值:

$$\hat{H}_i(k) = \hat{H}_{DFT}(k)/M_w(k) \quad (20)$$

该种算法能够在一定程度上能防止大脉冲的影响,也不会因为频谱泄露和所设阈值过大滤除掉有用信号。

3 仿真结果分析

本文的 OFDM 系统中采用的是 16QAM 的调制方式,其中子载波数为 200,OFDM 符号数为 50,循环前缀为 100 个样点,采用的块状插入导频方式,导频间隔为 10。分别采用了 AWGN 和多径信道进行仿真。图 3 给出的是多径信道下各个信道估计算法误码率和信噪比的曲线关系。图 4 是 AWGN 信道下各算法误码率和信噪比的曲线关系。

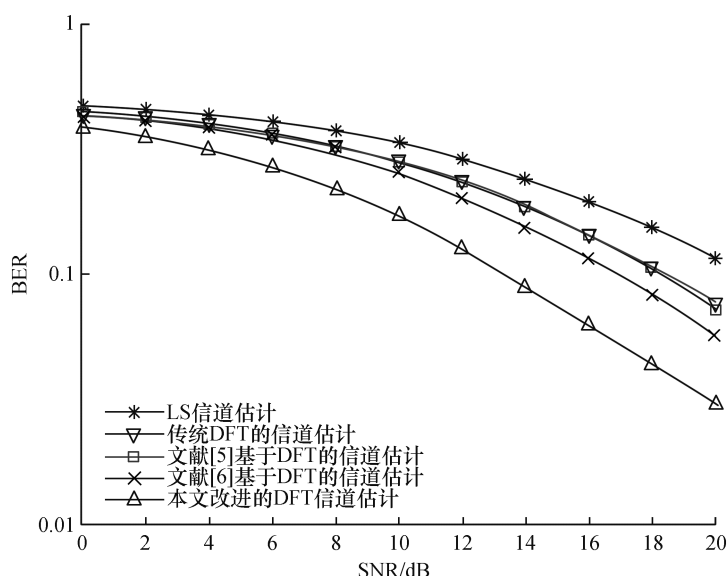


图3 多径信道下不同估计算法 BER 性能比较

Fig.3 Comparison of BER performance of different estimation algorithms in multipath channels

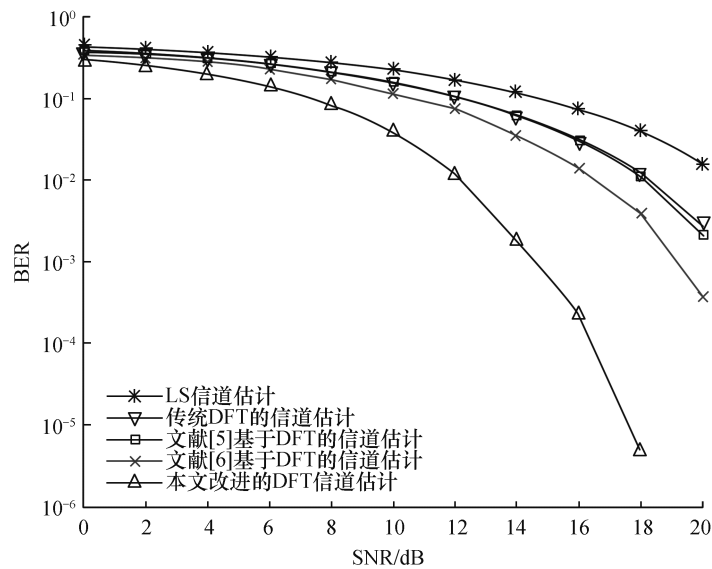


图 4 AWGN 信道下不同估计算法 BER 性能比较

Fig.4 Comparison of BER performance of different estimation algorithms in AWGN channels

分析在不同信道下各个算法的 BER 曲线关系,可以很明显的看到各算法之间误码率的关系,基于 LS 的估计算法虽然实现起来较为简单,但是误码率较大,性能较差,而传统的 DFT 算法在性能上则要好于 LS 估计算法.在此算法基础上改善的基于阈值的 DFT 算法性能则要优于传统算法,其中本文提出的改进 DFT 算法无论是在 AWGN 信道还是多径信道下误码率都是最小,性能最优^[11].

4 结 论

针对传统 DFT 信道估计算法的不足,提出了一种改进型的 DFT 的信道估计算法.该算法通过结合频域加窗技术以及在时域选取合适的阈值点来滤除噪声,能够获取更为准确的信道信息.文中对所提几种算法的误码率在不同的信道下进行了分析与仿真.从仿真结果上看,本文提出的这种算法在性能上明显要优于 LS 算法和传统 DFT 等算法,实现起来也相对简单,具有较高的实际价值.

参考文献:

- [1] 杨昉,何丽峰,潘长勇.OFDM 原理与标准:通信技术的演进[M].北京:电子工业出版社,2013.
- [2] KUMAR A, BHARTI S.Design and performance analysis of OFDM and FBMC modulation techniques[J].Scientific bulletin of electrical engineering faculty, 2017, 17(2): 30-34.
- [3] AL-JZARI A A, KOSTANIC I, MABROK K H M.Effect of

variable cyclic prefix length on OFDM system performance over different wireless channel models[J].University journal communication network, 2015, 3(1): 7-14.

- [4] 何江.OFDM 系统的信道估计研究与实现[D].成都:西南交通大学,2017.
- [5] 郑兆飞,谢跃雷,万杰.混合载波调制系统中的阈值 DFT 信道估计算法[J].无线电工程,2017,47(7): 30-33;98.
- [6] 陈艳杰,王丹.协作通信系统信道估计算法研究[J].计算机仿真,2015,32(8): 217-220;270.
- [7] 吴君钦,赵雪.基于 DFT 降噪的 LTE 下行链路信道估计改进算法[J].电视技术,2013,37(3): 113-117.
- [8] MANSOUR N A A, KADHIM A A.Improved DFT-based channel estimation techniques for OFDM signal[J].International journal of engineering research, 2016, 5(12): 922-926.
- [9] PANDE T, KIM I H, BATRA A A.A method for narrowband interference mitigation in OFDM by minimizing spectral leakage [C]//International symposium on power line communications and it's applications.London: IEEE, 2015: 19-23.
- [10] CHINTAKINDI S R, VARAPRASAD O V S R, SARMA D V S S S.Improved hanning window based interpolated FFT for power harmonic analysis [C]//Tencon 2015-2015 IEEE region 10 conference. Cotai: IEEE, 2016: 1-5.
- [11] 王明华,邓贤君.室内多用户 MIMO 系统下行链路空分多址算法研究[J].南华大学学报(自然科学版), 2016, 30(2): 44-49.

(责任编辑:龙威)