

# OFDM 系统中联合相位噪声抑制与时变信道估计的方法

段 鹏

中国电子科技集团公司第二十研究所 陕西省西安市 710000

**摘要:** 本文提出一种在时变信道下联合相位噪声抑制与信道估计的算法。该方法首先将受相位噪声干扰的时变信道近似为一个联合信道模型，并对此模型在时域进行分段估计，得到模型的各段幅度值；然后，利用高次数据拟合方法对所得离散值进行拟合，获得该模型曲线的拟合多项式，从而实现对相位噪声和时变信道参数的联合估计。仿真结果与理论分析均验证了该方法在时变信道下是可行有效的。

**关键词:** OFDM；时变信道估计；相位噪声；数据拟合

## 1 引言

在 OFDM 系统中，由于收发两端晶振漂移的随机性，导致接收信号受到相位噪声干扰。使其一方面带来共同相位误差(CPE)，即在频域，所有子载波产生一个相同的相位旋转，使数字解调时产生误码，但解决此问题的方法已较成熟。而另一方面引入的子载波间干扰(ICI)，将破坏子载波间的正交性，使 OFDM 系统性能急剧下降，目前，已有研究者对此问题进行了较为深入的研究。文献<sup>[1]</sup>中使用一个有限冲击响应均衡器补偿相位噪声的影响。文献<sup>[2]</sup>在时域利用正弦波作为基函数，并使用最小二乘法对其参数进行估计，实现对相位噪声的抑制。文献<sup>[3]</sup>通过分析相位噪声谱的先验信息降低相位噪声的影响。文献<sup>[4]</sup>分别使用期望最大值(EM)法，软迭代信息以及最大后验概率(MAP)方法进行联合信道估计和相位噪声抑制。然而，以上方法均在时不变或慢变信道下抑制 ICI 的干扰，即仅考虑相位噪声所产生的 ICI，而时变信道本身也将产生 ICI，如果忽略其影响，将会大大降低系统性能。

针对此问题，本文在时域构建一个联合信道模型，将相位噪声和时变信道产生的 ICI 合并，并对此模型进行分段估计，再利用数据拟合方法得到模型曲线的多项式，从而对两者产生的 ICI 做到联合消除。同时本文还分析得出在不同信道环境下，导频参数的最优设定。实验结果表明，新方法在时变信道下有较好的性能，且频谱利用率高，计算复杂度较低。

## 2 系统模型

### 2.1 OFDM 系统模型

OFDM 收发系统发送数据经过多径时变信道后到达接收端。由于接收信号带有相位噪声，则时域接收数据表达式为

$$\mathbf{y}_m = e^{j\Phi_m} \mathbf{H}_m \mathbf{x}_m + \mathbf{v}_m \quad (1)$$

其中， $\mathbf{x}_m$  表示第  $m$  个符号的发送信息， $\mathbf{y}_m$  表示第  $m$  个符号的接收信息， $\mathbf{H}_m$  为时域时变信道， $e^{j\Phi_m}$  表示相位噪声， $\mathbf{v}_m$  为噪声。加入循环前缀，信道为一个  $N \times N$  的循环移位矩阵，且矩阵内的参数可简化为  $N \times L$  个，如 (2) 式所示

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h(0,0) & 0 & \cdots & 0 & h(0,L-1) & \cdots & h(0,1) \\ h(1,1) & h(1,0) & 0 & \cdots & 0 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ h(L-1,L-1) & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & h(N-1,L-1) & \cdots & h(N-1,1) & h(N-1,0) \end{bmatrix} \quad (2)$$

### 2.2 联合信道模型

相位噪声  $e^{j\Phi}$  在时域为一个对角矩阵，所以将 (1) 式中的相位噪声与信道参数在时域合并，简化信道模型，并可以对合并后的参数进行联合估计。此时，(1) 式可简化为

$$\mathbf{y} = \mathbf{E}\mathbf{x} + \mathbf{v} \quad (3)$$

其中  $\mathbf{E} = e^{j\Phi} \mathbf{H}$ ，由 (4) 式表示

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} h_{0,0}e^{j\phi(0)} & 0 & \cdots & 0 & h_{0,L-1}e^{j\phi(0)} & \cdots & h_{0,1}e^{j\phi(0)} \\ h_{1,0}e^{j\phi(1)} & h_{1,0}e^{j\phi(1)} & 0 & \cdots & 0 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ h_{L-1,L-1}e^{j\phi(L-1)} & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & h_{N-1,L-1}e^{j\phi(N-1)} & \cdots & h_{N-1,1}e^{j\phi(N-1)} & h_{N-1,0}e^{j\phi(N-1)} \end{bmatrix} \quad (4)$$

相比较与 (2) 式，(4) 式中参数的个数并没有增加，仍为

$N \times L$  个, 这样只要求出矩阵  $E$  内的参数, 就可以同时做到对相位噪声和时变信道的联合估计。

### 3 联合相位噪声抑与时变信道估计算法

本文利用相位噪声和时变信道的特性, 在时域将其合并。则此时对其估计与补偿可转化为类似时变信道估计问题。基于此思想, 所提算法具体如下: 周期性序列为导频, 并对符号内的信道进行分段估计, 可减少参数; 同时, 提取各段估计信息, 进行拟合, 得到各径信拟合结果, 然后将所对应的时刻带入多项式, 得到联合信道参数信息。

本文提出利用时域基扩展模型建立混合模型, 并得到最小均方意义下的最优解。然而, 要得到最优解的前提是要首先得到噪声功率和信道参数, 因此联合估计方法的精度直接取决于以上两参数的精度。文献<sup>[5]</sup>利用相邻符号的信道平均值, 作为信道的变化率进行估计。本节针对此问题, 在时域以联合模型作为无线信道模型, 提出利用时域周期性导频将联合模型分段, 并在每一段内对联合信道模型进行估计, 可以在噪声功率和信道参数未知的情况下得到较好的估计性能。

## 4 仿真结果分析

### 4.1 模型参数

本文仿真模型选择在 JACK 模型<sup>[6]</sup>下进行。信道幅度衰落服从瑞利分布, 相位服从均匀分布, 且多径个数为 4 条, 归一化最大时延为  $\tau_{\max}/T_s=13$ , 采样频率  $T_s=10^{-6}$  秒。选择  $\varepsilon_{\max}=0.04$ 。基带数字调制选用 8PSK。仿真的子载波个数  $N=1024$ , 频域导频插入间隔  $P=16, 32, 64$ 。相位噪声的方差  $\sigma^2=0.04$ , 拟合次数选择为 3。

### 4.2 性能分析

#### 4.2.1 信道时变特性值 $\varepsilon_{\max}$ 对系统性能的影响

图 1 给出了当  $P=16$ ,  $\text{SNR}=10\text{dB}$ ,  $\sigma^2=0.04$ ,  $R=0.8$  时, 不同  $\varepsilon_{\max}$  情况下拟合曲线的比较结果。在图 1(a) 中可以看出  $\varepsilon_{\max}$  越大, 曲线幅度变化越大, 且拐点个数增加。从图 1(b) 中可以看出随着  $\varepsilon_{\max}$  的增大, BER 都随之下降。这是由于本文选择拟合系数为 3, 在较快时变信道下, 可以通过适当增加拟合系数提高估计精度。

#### 4.2.2 相位噪声方差 $\sigma^2$ 对系统性能的影响

图 2 给出了  $\varepsilon_{\max}=0.04$ ,  $P=32$ ,  $R=0.6$  时, 不同  $\sigma^2$  情况下的 BER 仿真结果比较。可以看出, 本文所提方法

随  $\sigma^2$  的增加, BER 曲线随之升高, 但仍较为接近不

受相位噪声干扰的 BER 曲线, 证明此方法在时变信道下是可行有效的。

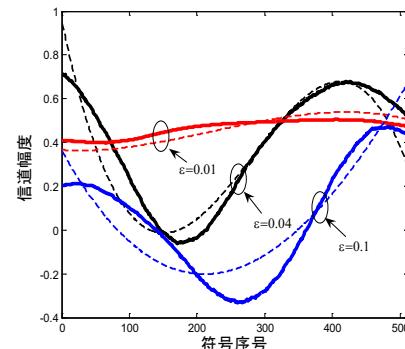


图 1(a) 不同  $\varepsilon_{\max}$  曲线拟合仿真图

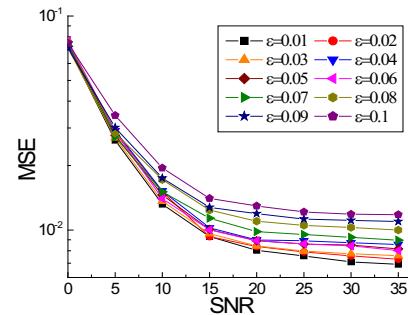


图 1(b) 不同  $\varepsilon_{\max}$  的 BER 仿真图

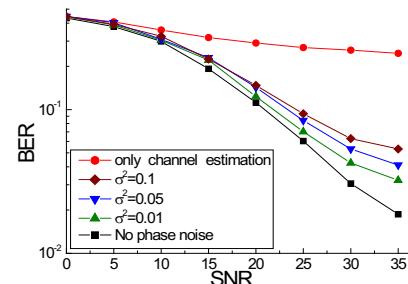


图 1 不同  $\sigma^2$  的 BER 仿真图

## 5 结束语

本章研究了 OFDM 系统中时变信道估计问题, 提出了利用数据拟合方法进行时变信道估计的算法。该方法通过对一个 OFDM 符号内的信道进行分段估计, 并且利用数据拟合方法对时变信道进行拟合, 得到信道参数。进一步提出建立联合信道模型, 在时域将相位噪声与时变信道产生的 ICI 合并, 再利用高次数据拟合方法得到联合模型系数。分析和实验结果表明, 所提出的新方法能够准确估计出时变信道的变化趋势, 并且不明显增加计算复杂度, 具有较优的 BER

性能，尤其在低信噪比下性能较为显著。

#### 参考文献：

[1]R.A.Casas,S.L.Biracree, and A.E.Youtz, “Time domain phase noise correction for OFDM signals,” IEEE Trans. Broadcast., vol.48, no. 3, pp.230 – 236, Sep. 2018.

[2]胡蝶, 何良华, 杨绿溪 . 快时变环境下 OFDM 系统中的信道估计 [J]. 电子信息学报 , vol. 29, no. 1, 2007, pp: 113-116..

[3]D.D.Lin, Y.Zhao, and T.J.Lim, “OFDM phase noise cancellation via approximate probabilistic inference,” in Proc.

IEEE Wireless Commun. Netw. Conf. (WCNC), Mar. 2015, pp. 27 – 32.

[4]Mostofi Y, Cox D C. ICI mitigation for pilot-aided OFDM mobile systems[J]. IEEE Trans. on Wireless Communication, 2015, 4(2): 765 – 774

[5]段鹏, 何明一, 田野, 薛敏彪 . 基于数据拟合的 OFDM 时变信道估计方法 . 通信学报 , vol. 31, no. 4, 2010, pp: 122–127.

[6]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 年 .