

一种新的导频符号辅助下的信道衰落估计方法¹

吴俊 吴伟陵

(北京邮电大学信息工程系 北京 100876)

摘要 本文提出一种新的导频符号辅助下的信道衰落估计方法。它同时利用导频符号和数据符号进行信道衰落估计和补偿,而不同于传统的信道衰落估计只利用导频符号的信息。此方法具有实现简单,延时小的优点。针对16PSK和16QAM调制方式作了仿真,结果显示导频符号辅助下的16QAM的性能优于16PSK,采用信道衰落估计与相干检测结合的16PSK性能又好于采用差分检测的16PSK的性能。

关键词 信道估计, 导频符号辅助, 衰落补偿

中图分类号 TN911.23

1 引言

在无线通信系统和高速数据通信系统中,采用信道估计的方法来补偿衰落的影响是一种行之有效的办法。最常用的信道估计方法是基于导频符号的信道估计,即在发送端将数据分帧,每帧中以一定的间隔插入已知的导频符号,经过信道后,接收端提取这些位置的信道畸变影响。传统的导频符号辅助下的信道估计利用这些位置的信道畸变影响作内插滤波,从而估计出一帧中每个信号点的信道畸变影响。但这种方法存在着计算量大,延时长缺点。在实际应用中往往不可能采用基于最小均方误差准则的内插滤波,而采用一些简化的次优化方法。

本文提出了一种新的导频符号辅助下的信道估计方法,它不仅利用导频符号的信息,而且利用本帧中各个数据符号的信息来进行信道估计。比起传统的只利用导频符号的信息进行内插滤波的方法,它具有实现简单,延时小的优点。

2 系统模型

系统的基带模型如图1所示。在发送端,编码器将二进制数据流 u_n 按16PSK或16QAM的调制方式映射成数据符号,然后再按图2所示的帧结构形成符号序列,帧长为 L ,每帧只在帧头插入一个导频符号 $\{p_{k,0}\}$,另外 $(L-1)$ 个为数据符号 $\{d_{k,i}\}$ 。为了减少加性白高斯噪声的

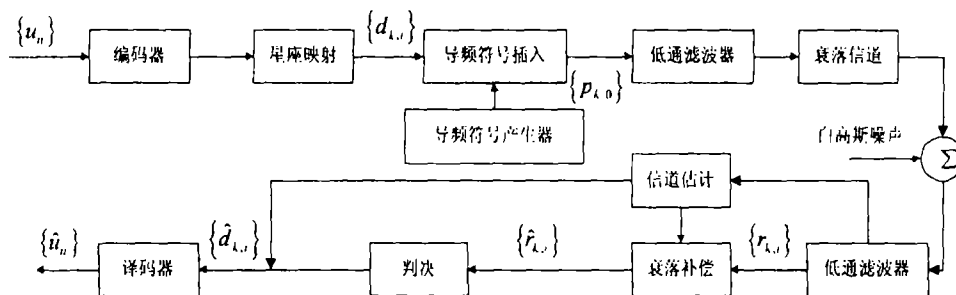


图1 系统框图

¹ 1998-09-17收到, 1998-12-16定稿
国家自然科学基金重大项目资助, No. 69896243

影响, 导频符号均选择信号星座图中能量最大的信号点。在接收端第 k 帧的第 i 个符号可表示为

$$r_{k,i} = q_{k,i}y_{k,i} + w_{k,i}, \quad (1)$$

其中 $q_{k,i}$ 是导频符号或者数据符号, $y_{k,i}$ 是第 k 帧的第 i 个符号的信道衰落影响, $w_{k,i}$ 是第 k 帧的第 i 个符号的加性白高斯噪声。

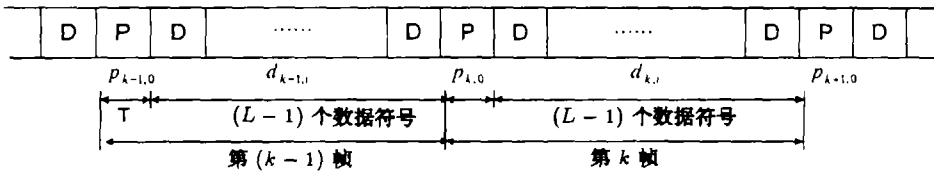


图 2 信号的帧结构

3 信道衰落估计和补偿

在本文提出的信道估计方法中, 数据帧长 L 取为 2 的整数次方, 即 $L = 2^m$, m 为正整数. 而且对于信道的估计和衰落的补偿分两步实现, 第一步先估计和补偿偶数位置 $i = 2, 4, \dots, L-2$ 的信道影响, 第二步再估计和补偿奇数位置 $i = 1, 3, \dots, L-1$ 的信道影响。

3.1 偶数位置的信道衰落估计和补偿 第 k 帧和第 $k+1$ 帧的导频符号位置的信道影响为 $\hat{y}_{k,0}$ 和 $\hat{y}_{k+1,0}$, 根据接收端的信号 $r_{k,0}, r_{k+1,0}$, 可估计到

$$\hat{y}_{k,0} = r_{k,0}/p_{k,0}, \quad (2)$$

$$\hat{y}_{k+1,0} = r_{k+1,0}/p_{k+1,0}, \quad (3)$$

因此第 k 帧的第 $L/2$ 位置处的信道影响可线性估计为

$$\hat{y}_{k,L/2} = (\hat{y}_{k,0} + \hat{y}_{k+1,0})/2. \quad (4)$$

利用这个估计值对第 $L/2$ 位置处的数据符号进行补偿:

$$\hat{r}_{k,L/2} = r_{k,L/2}/\hat{y}_{k,L/2}. \quad (5)$$

对 $\hat{r}_{k,L/2}$ 判决可得数据符号 $\hat{d}_{k,L/2}$.

如果 $L = 4$, 那么对偶数位置的信道补偿完成了. 可以开始奇数位置的信道补偿了。

如果 $L = 8$, 则利用 $\hat{d}_{k,L/2}$ 来继续估计 $\hat{y}_{k,L/4}$ 和 $\hat{y}_{k,3L/4}$

$$\hat{y}_{k,L/4} = (1/2) \left[\hat{y}_{k,0} + r_{k,L/2}/\hat{d}_{k,L/2} \right], \quad (6)$$

$$\hat{y}_{k,3L/4} = (1/2) \left[r_{k,L/2}/\hat{d}_{k,L/2} + \hat{y}_{k+1,0} \right]. \quad (7)$$

再利用这两个估计值对第 $L/4$ 和第 $3L/4$ 位置处的数据符号进行补偿:

$$\hat{r}_{k,L/4} = r_{k,L/4} / \hat{y}_{k,L/4}, \quad (8)$$

$$\hat{r}_{k,3L/4} = r_{k,3L/4} / \hat{y}_{k,3L/4}. \quad (9)$$

并对补偿后的数据符号 $\hat{r}_{k,L/4}$ 和 $\hat{r}_{k,3L/4}$ 作判决, 得到 $\hat{d}_{k,L/4}$ 和 $\hat{d}_{k,3L/4}$.

如果 $L = 16$, 信道估计和衰落补偿过程继续进行, 利用前面的判决值 $\hat{d}_{k,L/4}$ 和 $\hat{d}_{k,3L/4}$,

$$\hat{y}_{k,L/8} = (1/2) [\hat{y}_{k,0} + r_{k,L/2} / \hat{d}_{k,L/4}], \quad (10)$$

$$\hat{y}_{k,7L/8} = (1/2) [r_{k,3L/4} / \hat{d}_{k,3L/4} + \hat{y}_{k+1,0}], \quad (11)$$

$$\hat{y}_{k,jL/8} = (1/2) [r_{k,(j-1)L/8} / \hat{d}_{k,(j-1)L/8} + r_{k,(j+1)L/8} / \hat{d}_{k,(j+1)L/8}], \quad j = 3, 5. \quad (12)$$

这些信道衰落的估计值可用来补偿对应位置的数据符号, 然后再作判决.

按照此方法类推, 可以得到 $L = 32, 64, \dots, 2^m$ 情况下的偶数位置的信道衰落的估计与补偿.

3.2 奇数位置的信道衰落估计和补偿 对于一帧中奇数位置的信道估计可以直接利用前面偶数位置的估计值作线性估计:

$$\hat{y}_{k,1} = (1/2) [\hat{y}_{k,0} + r_{k,2} / \hat{d}_{k,2}], \quad (13)$$

$$\hat{y}_{k,L-1} = (1/2) [r_{k,L-2} / \hat{d}_{k,L-2} + \hat{y}_{k+1,0}], \quad (14)$$

$$\hat{y}_{k,j} = (1/2) [r_{k,j-1} / \hat{d}_{k,j-1} + r_{k,j+1} / \hat{d}_{k,j+1}], \quad j = 3, 5, \dots, L-3. \quad (15)$$

补偿后的数据符号为

$$\hat{r}_{k,j} = r_{k,j} / \hat{y}_{k,j}, \quad j = 1, 3, \dots, L-1. \quad (16)$$

对 $\hat{r}_{k,j}$ 作判决则可得到 $\hat{d}_{k,j}$.

对每一帧数据都重复进行类似的信道估计和衰落补偿. 本算法的优点是实现简单而且延时小, 它只需要两个导频符号就可以补偿一帧中的所有数据符号, 其延时只是一帧的时长.

4 信号功率和带宽的损失

导频符号对于接收端是已知的, 因此它不带有任何信息. 但是为了传送导频符号却需花费一定的功率, 占用一定的带宽. 对于本算法, 由于每帧中只插入一个导频符号, 因此浪费的功率和频率资源较少, 本算法的功率和频率的利用率与帧长 L 有关.

功率的损失可以表示为

$$\Delta E_s = 10 \log \left(\frac{|P_p|}{|P_d|} \frac{1}{L-1} + 1 \right) \quad (\text{dB}), \quad (17)$$

其中 L 为帧长, $|P_p|$ 和 $|P_d|$ 分别表示导频符号和数据符号的平均功率.

对于 16PSK 调制方式, 由于信号星座的每个点功率相同, 因此

$$\Delta E_{s,16\text{PSK}} = 10 \log [L/(L-1)] \quad (\text{dB}). \quad (18)$$

对于 16QAM 调制方式, 导频符号取能量最大的一个信号点, 则导频符号与数据符号的平均功率之比为 $|P_p| : |P_d| = 9 : 5$, 所以

$$\Delta E_{s,16QAM} = 10 \log \left[\frac{9}{5} [L/(L-1)] + 1 \right] = 10 \log \left[\frac{5L+4}{5(L-1)} \right] \quad (\text{dB}). \quad (19)$$

而 16PSK 和 16QAM 信号经过加性白高斯噪声信道后的理论误码性能为^[4]

$$p_{b,16PSK} \approx \frac{1}{4} \text{erfc} \left[\sqrt{\frac{4E_b}{N_0}} \sin \left[\frac{\pi}{16} \right] \right], \quad (20)$$

$$p_{b,16QAM} \approx (3/8) \text{erfc} \left[\sqrt{6E_b/(15N_0)} \right] \times \left[1 - (3/8) \text{erfc} \left[\sqrt{6E_b/(15N_0)} \right] \right]. \quad (21)$$

考虑到由于插入导频符号引入的功率损失, 则其在加性白高斯噪声下的误码性能为

$$p_{b,16PSK} \approx \frac{1}{4} \text{erfc} \left[\sqrt{4[E_b/N_0 - \Delta E_{s,16PSK}] \sin[\pi/16]} \right], \quad (22)$$

$$p_{b,16QAM} \approx (3/8) \text{erfc} \left[\sqrt{6E_b/(15N_0) - \Delta E_{s,16PSK}} \right] \times \left[1 - (3/8) \text{erfc} \left[\sqrt{6E_b/(15N_0) - \Delta E_{s,16PSK}} \right] \right]. \quad (23)$$

插入导频符号后, 不同帧长的 16PSK 和 16QAM 信号的误码性能如图 3 所示, 可以看出, 随着帧长的加大, 性能损失降低, 这是由于帧长 L 增大时, 其功率损失 ΔE_s 减小. 当 $L = 8$ 时, 16PSK 和 16QAM 由于插入导频符号带来的性能损失分别为 0.58dB 和 0.99dB.

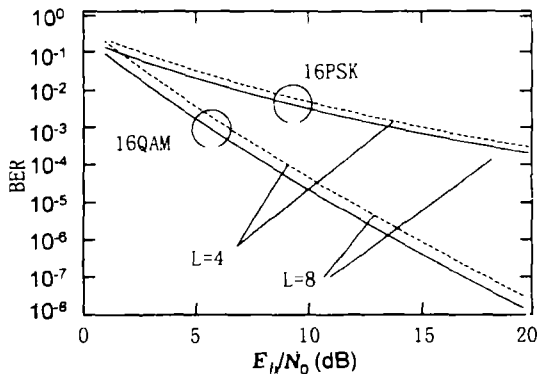


图 3 帧长 $L = 4$ 和 $L = 8$ 的 16PSK 和 16QAM 在 AWGN 信道下的误码率性能

导频符号除了浪费发射功率以外, 还占用一定的带宽. 它带来的带宽损失可表示为 $L/(L-1)$. 当帧长 $L = 8$, 有 12.5% 的损失. 显然, 帧长越小, 由于插入导频符号带来的功率和带宽损失越大, 但是对于信道的估计越准确, 因此帧长 L 需综合考虑两方面的因素折衷选取.

5 仿真结果

用计算机仿真了采用这种新的信道估计和衰落补偿方法的 16PSK 和 16QAM 系统, 在仿真中考虑了导频符号带来的功率损失, 其中帧长 $L = 8$, 信道采用 3 径的瑞利衰落信道. 其误码率与信噪比的曲线图如图 4 所示 (用 PSA-16PSK 和 PSA-16QAM 表示), 可看出,

PSA-16QAM 的性能比 PSA-16PSK 的性能要好。为便于比较, 图中还给出了采用差分检测的 16PSK 的性能(用 DD-16PSK 表示)。在 SNR=50dB 时, PSA-16QAM 的误码率大约为 2.2×10^{-5} , PSA-16PSK 的误码率约为 1.5×10^{-4} , 而采用差分检测的 16PSK 误码率约为 1.8×10^{-3} , 可见, 采用本文提出的信道估计和衰落补偿方法结合相干检测的性能, 好于不采用信道估计的差分检测的性能。

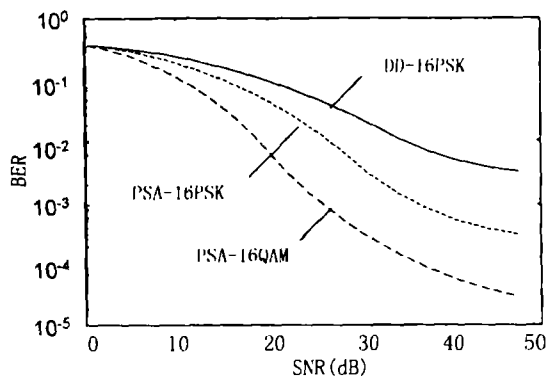


图 4 导频符号辅助下的 16PSK 和 16QAM 与差分检测的 16PSK 经过衰落信道后的性能比较

参 考 文 献

- [1] Cavers J K. An analysis of pilot aided modulation for Rayleigh fading channels. IEEE Trans. on Veh. Tech., 1991, 40(4): 686-693.
- [2] Liu C L, Feher K. Pilot-symbol aided coherent M -ary PSK in frequency-selective fast Rayleigh fading channels. IEEE Trans. on COM., 1994, 42(1): 54-62.
- [3] Lau H K, Cheung S W. A pilot symbol-aided technique used for digital signals in multipath environments. in Proc. IEEE Int. Conf. Comm., New Orleans, USA: May 1994, 1126-1130.
- [4] Jeruchim M C, Balaban P, Shanmugan K S. Simulation of Communication Systems. New York: Plenum Press, 1987, 706-708.

A NEW METHOD OF PILOT-SYMBOL-AIDED CHANNEL FADING ESTIMATION

Wu Jun Wu Weiling

(Dept. of Infor. Eng., Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876)

Abstract A new method of pilot-symbol-aided(PSA) channel fading estimation is proposed, which uses the data symbols and the pilot symbols to perform channel fading estimation and fading compensation, but normally only pilot symbols are used to estimate the signal distortion. The technique has the advantages of simple implementation and short delay time. The simulation based on 16PSK and 16QAM shows the performance of PSA-16QAM is better than that of PSA-16PSK, and the use of PSA technique can improve the performance relative to the differential detection.

Key words Channel estimation, Pilot symbols aided, Fading compensation

吴 俊: 男, 1971 年生, 博士生, 研究方向是并行体制的 CDMA, 编码调制。

吴伟陵: 男, 1938 年生, 博士生导师, 通信学会会员, 从事编码和移动通信方面的研究。