

新的OFDM系统同步联合算法

李兵兵¹, 王雯芳¹, 葛建明¹, 张丰华²

(1. 西安电子科技大学综合业务网理论及关键技术国家重点实验室 西安 710071; 2. 西安航空计算技术研究所 西安 710068)

【摘要】对正交频分复用(OFDM)系统的同步算法进行了研究。提出了一种基于循环前缀和虚载波的联合算法。该算法不需要辅助数据,降低了系统冗余度。该算法首先根据循环前缀的特点,用ML算法完成符号同步和小数频偏估计;其次根据虚载波的位置偏移得到整数频偏估计。仿真表明,该算法能够实现符号同步和大范围的频偏估计、计算复杂度低、系统冗余度小,并且可用于快同步。

关键词 频率同步; 联合算法; OFDM; 号同步; 虚载波

中图分类号 TN919.3 **文献标识码** A

A Novel Joint Synchronization Algorithm for OFDM System

LI Bing-bing¹, WANG Wen-fang¹, GE Jian-ming¹, and ZHANG Feng-hua²

(1. State Key Lab. of Integrated Service Networks, Xidian University Xi'an 710071;

2. China Aeronautics Computing Technique Research Institute Xi'an 710068)

Abstract Synchronization algorithm for orthogonal frequency division multiplex (OFDM) systems is discussed. A joint algorithm is proposed based on cyclic prefix and virtual carriers. This algorithm does not need assistant data hence decreases system redundancy. In the algorithm, the symbol synchronization and the fractional frequency offset are obtained by using ML algorithm based on the cyclic prefix property, and the integral frequency offset is obtained by the position offset of virtual carriers. The results show the proposed algorithm not only achieves symbol synchronization and large range of frequency offset estimation, without increased calculation complexity and system redundancy, but also can be used for fast synchronization.

Key words frequency synchronization; joint algorithm; OFDM; symbol synchronization; virtual carrier

OFDM系统能够有效地抵抗无线信道带来的影响,例如信道的频率选择性衰落、脉冲噪声和信道干扰的影响^[1]。然而,OFDM系统的实现存在一些缺点,其中最重要的是系统对同步的要求很高,对定时误差和频率误差要比单载波技术敏感得多^[2]。因此,OFDM的接收系统应该能够有效地估计符号位置和频率偏移。

目前,OFDM系统的同步算法可以分为数据辅助型和非数据辅助型2种。文献[3]利用2个训练符号实现时域同步,估计能力较强且复杂度不高。文献[4]构造周期性的训练序列同时完成时域和频域同步。文献[5]介绍用离散导频实现频率同步的方法。文献[6]用连续导频加离散导频进一步提高频率同步性能。

非数据辅助型算法中最常见的是基于循环前缀的最大似然估计(ML)方法^[7],可实现定时和频偏估计,但只能估计小数频偏。本文提出一种新的联合估计算法,该算法采用的时域估计算法与文献[7]相同,但通过对解调后信号的特点进行分析,根据虚载波偏移的位置估计整数频偏,使得频偏估计的范围大大增加。

1 OFDM系统模型

设保护间隔长度为 L ,IFFT长度为 N ,OFDM系统模型如图1所示。

设多径衰落信道的信道模型为:

$$h(t) = \sum_i h_i(t) \delta(t - \tau_i) \quad (1)$$

则通过信道后,接收信号可以表示为:

收稿日期: 2006-06-12; 修回日期: 2007-06-08

基金项目: 国家自然科学基金(60496316、60772138); 国家863计划(2007AA01Z288)

作者简介: 李兵兵(1955-),男,博士,教授,主要从事数字电视无线传输方面的研究。

$$r(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X_k H_k e^{j\frac{2\pi}{N}(k+\varepsilon_1+\varepsilon_f)(n+n_0)} + W(n) \quad (2)$$

式中 ε_1 为整数频偏; ε_f 为小数频偏; n_0 为符号偏移; $W(n)$ 为噪声。

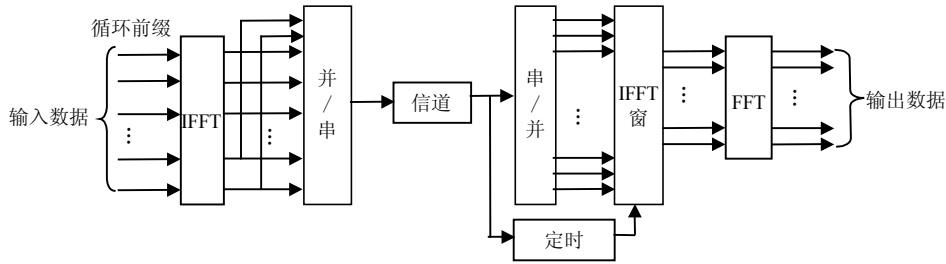


图1 OFDM系统模型示意图

2 联合估计算法

2.1 符号同步和小数频偏估计

符号同步和小数频偏估计采用ML算法^[7], 计算公式可表示为:

$$\hat{\theta}_{ML} = \arg \max \{ |r(\theta)| - \rho\phi(\theta) \} \quad (3)$$

$$\hat{\varepsilon}_{ML} = -\frac{1}{2\pi} \angle r(\hat{\theta}_{ML}) \quad (4)$$

2.2 整数频偏估计

假设经过时域同步之后, 小数频偏被补偿并且精确定时, 仅存整数频偏 ε_1 , 则接收到的解调信号可类似^[8]表示为:

$$Y_m = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} e^{-j\frac{2\pi}{N}mn} \sum_{k=0}^{N-1} X_k H_k e^{j\frac{2\pi}{N}(k+\varepsilon_1)n} + W_m = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k H_k \sum_{n=0}^{N-1} e^{j\frac{2\pi}{N}(k+\varepsilon_1-m)n} + W_m = X_{m-\varepsilon} H_{m-\varepsilon} + W_m \quad (5)$$

式中 W_m 为噪声项。可见, 整数频偏对OFDM信号的影响是解调出来的子载波上的信号发生了循环移位。接收信号FFT变换之后, 各个子载波上的信号能量有一定的变化, 其中虚载波的能量比有用载波上信号的能量小很多, 并且虚载波的位置与频偏密切相关, 如图2所示。

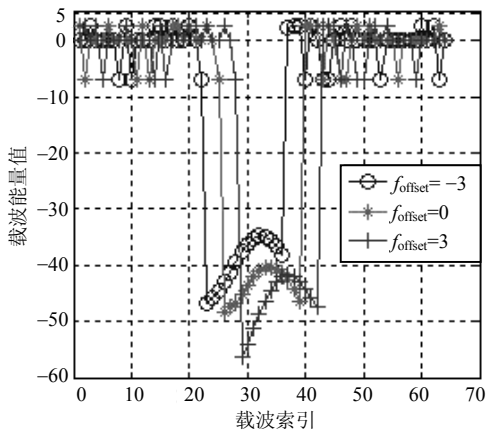


图2 虚载波位置随频偏变化图

由图2可以看出, 虚载波的能量相对于有用信号能量很小, 并且当频偏为正负3倍的子载波间隔时, 虚载波的位置分别向右和向左偏移3个载波。

3 仿真性能分析

为证明联合估计算法的有效性, 本文分别在AWGN信道和瑞利衰落信道下用10 000个OFDM符号进行仿真, 其中瑞利衰落信道采用衰落系数分别为2个-11.787 dB、2个-17.54 dB和2个-39.512 dB的6条多径信道。信号仿真的参数如表1所示。

表1 仿真参数

仿真项目	参数	仿真项目	参数
调制方式	16QAM	保护间隔 $T_g/\mu\text{s}$	0.4
FFT长度	64	符号周期 $T_s/\mu\text{s}$	3.6
有效子载波数	50	子载波间隔/kHz	312.5
保护间隔长度	8	带宽/MHz	20

图3给出了基于虚载波的整数频偏估计算法在AWGN信道、频偏5倍的子载波间(1 562.5 kHz)时, 不同信噪比下频偏估计错误概率分布。由图可以看出, 在信噪比大于3 dB时, 频偏估计几乎完全正确。

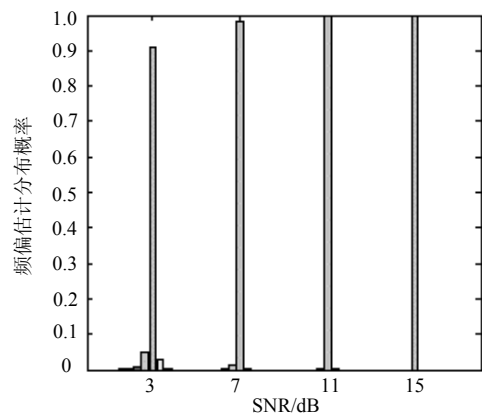


图3 频偏估计错误概率分布

图4给出了AWGN信道下, 频偏1 006.25 kHz时, 联合估计算法在不同信噪比时的估计偏差和估计值

的均方误差曲线。为了清晰的原因,图4a仅显示了10 000个符号中2 201~2 220的符号频偏结果。由图可以看出,联合算法的小数频偏估计保持了ML算法的性能,同时估计出整数频偏,并且精度很高。

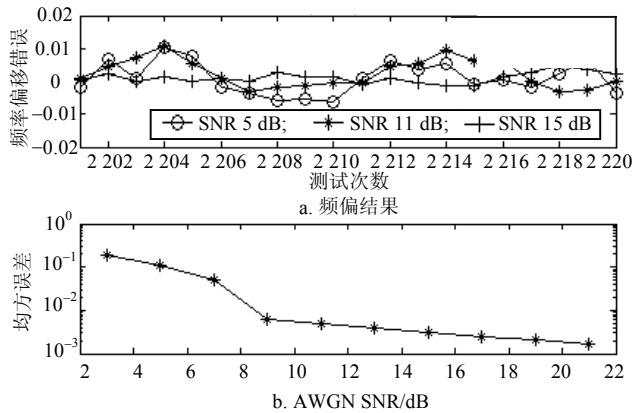


图4 联合算法频偏估计误差和均方误差

AWGN信道和瑞利衰落信道下,最大多普勒频移40 Hz,以及频偏分别为312.5 kHz和1 006.25 kHz时,误码率曲线如图5所示。

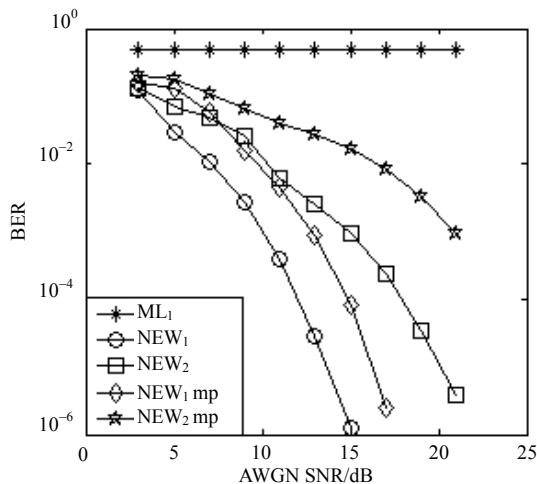


图5 不同信道和频偏的误码率曲线

图中,ML₁代表AWGN信道,频偏312.5 kHz时ML算法的误码率;NEW₁和NEW₂分别代表AWGN信道下频偏312.5 kHz和1 006.25 kHz时本文算法的误码率;NEW₁ mp和NEW₂ mp分别代表瑞利衰落信道下频偏312.5 kHz和1 006.25 kHz时本文算法的误码率。

由图可以看出:无论在那种信道下,联合算法的误码率都比ML算法的误码率大大减小。

4 结 论

(1) 联合算法可以同时实现符号同步和频率同步且不需要额外的训练符号和导频,使系统的冗余度大大减小。(2) 联合算法的符号同步以及小数频偏估计性能保持了ML算法的性能。(3) 联合算法的整数频偏估计算法简单、精度高,并且范围可达1/2的有用子载波间隔。(4) 联合算法同时适用于AWGN信道和瑞利衰落信道。(5) 联合算法仅需要一个OFDM符号就可以实现同步,如果用几个OFDM符号平均则可以进一步提高同步精度,并且算法不会很复杂。

参 考 文 献

- [1] BINGHAM J A C. Multicarrier modulation for data transmission: an idea whose time has come[J]. IEEE Commu Mag, 1990, 28(5): 5-14.
- [2] POLLET T, MOENECLAEY M. Synchronizability of OFDM signals[C]//Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'95). [S.l.]: IEEE, 1995.
- [3] SCHMIDL T M, COX D C. Robust frequency and timing synchronization for OFDM[J]. IEEE Trans on Communications, 1997, 45(12): 1613-1021.
- [4] MINN H, BHARGAVA V K, LETAIEF K B. A combined timing and frequency synchronization and channel estimation for OFDM[J]. IEEE Trans on Communications, 2006, 54(3): 416-422.
- [5] 李明齐, 张文军. 正交频分复用系统中采用离散导频的频偏估计方法[J]. 上海交通大学学报, 2003, 37(8): 1282-1287.
LI Ming-qi, ZHANG Wen-jun. A novel method of frequency-offset estimation using scattered pilots for ofdm system[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2003, 37(8): 1282-1287.
- [6] LIU Peng, LI Bing-bing, LU Zhao-yang, et al. A new frequency synchronization scheme for OFDM[J]. IEEE Trans on Consumer Electronics, 2004, 50(3): 823-828.
- [7] JAN-JAAP van de BEEK, SANDELL M, BORJESSON P O. ML estimation of time and frequency offset in OFDM systems[J]. IEEE Trans on Signal Processing, 1997, 45(7): 1800-1805.
- [8] 王亚莉, 何非, 张海林, 等. 一种适用于瑞利衰落信道的有效的OFDM时频同步体制[J]. 通信学报, 2003, 24(1): 18-24.
WANG Ya-li, He Fei, ZHANG Hai-lin, et al. A burst time and frequency synchronization for OFDM transmission in Rayleigh fading channels[J]. Journal on Communications, 2003, 24(1): 18-24.