

文章编号:1671-6833(2006)03-0098-03

基于 IEEE 802.11a 标准的简单时间同步算法

赵曙光,陈 荣,赵 敏

(中国电子科技集团公司第28研究所,江苏 南京 210007)

摘 要:时间同步是 OFDM 系统的关键技术之一,基于 IEEE 802.11a 标准的训练序列结构,通过改进相关函数和判决条件,提出了一种简单的相关时间同步算法.自相关函数改进之后,明显减小了自相关函数数值的波动范围,为最佳判决门限的选择提供了可能.同时,通过增加判决宽度,使得相关算法在大频偏时也能取得良好的效果.仿真结果显示,帧检测概率为 90%,频偏为 200 kHz 时,提出的算法与传统相关算法相比,SNR 提高了 8 dB.

关键词:OFDM; 训练序列; 时间同步

中图分类号: TN 911.5

文献标识码: A

0 引言

OFDM 具有抗多径干扰能力强、频谱利用率高等特点,因此特别适合于高速无线通信系统. IEEE 802.11a、数字广播(DAB)和数字电视(DVB)等标准中都采用了 OFDM 技术.但是,与传统的单载波系统相比,OFDM 系统对定时误差非常敏感,要实现一个基于 OFDM 的通信系统,必须确保时间的精确同步.

OFDM 系统的时间同步可分为帧同步和符号同步,同步的目的就是要估计出帧和符号的起始时刻. OFDM 的符号同步与帧同步密切相关,如果符号定时建立,帧同步也就随之完成. 利用保护间隔的循环特性可以实现符号同步^[1],但是在多径衰落信道中,保护间隔通常会受到干扰,不能保证正确的符号同步. 通过在每帧数据前插入专用的训练序列也能实现符号的同步^[2,3],并且利用训练序列的重复性,还能实现频率同步^[4].

在 IEEE 802.11a 标准中^[5],每帧数据前都有一个由短训练序列和长训练序列组成的前导,短

训练序列由 10 个重复的短训练符号组成,长训练序列由两个重复的长训练符号组成. 时间同步是通过短训练符号的自相关性实现的^[2,3]. 然而,由于传统算法的归一化自相关函数的波动范围较大,造成在时间同步过程中,判决门限和帧检测率之间难以取得好的平衡.

笔者首先对传统的归一化自相关函数进行了改进,减小了自相关函数的波动,提高了帧检测率. 其次,引入了判决宽度,使得频偏较大时,仍能实现良好的时间同步.

1 信号结构

IEEE 802.11a 的帧结构如图 1 所示,每个数据帧的前导是由 10 个 0.8 μ s 的短训练符号和两个 3.2 μ s 的长训练符号组成,长训练符号前有 1.6 μ s 的循环前缀. 短训练符号的长度为 16,长训练符号的长度为 64,长训练序列中循环前缀的长度为 32. 短训练符号用于信号检测、自动增益控制、粗频偏估计和时间同步,长训练符号用于精确频偏估计和信道估计.

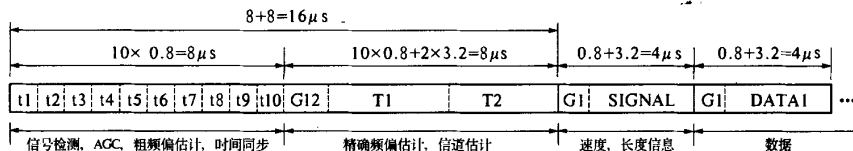


图1 IEEE 802.11a 的帧结构

Fig.1 IEEE 802.11a Frame format

收稿日期:2006-04-12;修订日期:2006-05-18

作者简介:赵曙光(1974-),男,河南禹州人,中国电子科技集团公司第28研究所工程师,博士.主要从事下一代移动通信技术研究.

2 时间同步算法

时间同步分为帧检测和帧同步两个过程,帧检测是对信号有无的判断,检测到数据帧后,需要确定帧的起始时刻,即帧同步。

2.1 传统帧检测算法

帧检测是利用短训练符号的自相关性实现的,即把接收信号延长一个短训练符号的长度($N_s = 16$),然后与接收信号进行自相关,通过判断归一化自相关函数,可以确定有无信号。设接收信号表示为 $r(n)$,归一化自相关函数为^[2]

$$M(\theta) = \frac{\sum_{m=0}^{N_s-1} r(m+\theta) \times r^*(m+\theta+N_s)}{\sum_{m=0}^{N_s-1} |r(m+\theta+N_s)|^2} \quad (1)$$

设定判决门限 TH ,则检测到数据帧的判决条件为: $|M(\theta)| \geq TH$ 。

这种传统相关算法在应用中有两个不足:(1)自相关函数的波动范围较大,受噪声影响,自相关函数值有时甚至大于1,造成判决门限 TH 的选择和帧检测率之间难以取得很好的平衡;(2)帧检测率不高,错误的帧检测将导致一帧数据的丢失或数据恢复错误。为此,本文从自相关函数和判决条件两个方面对传统相关算法进行改进。

2.2 自相关函数的改进

由式(1)可以看出,归一化并不是采用自相关区间内所有信号的能量,这是导致自相关函数波动较大的直接原因,由此提出最大相关算法,归一化自相关函数为

$$M(\theta) = \frac{2 \sum_{m=0}^{N_s-1} r(m+\theta) \times r^*(m+\theta+N_s)}{\sum_{m=0}^{N_s-1} (|r(m+\theta)|^2 + |r(m+\theta+N_s)|^2)} \quad (2)$$

2.3 判决条件的改进

由 IEEE 802.11a 的信号结构可知,短训练序列是由 10 个重复的短训练符号组成的,因此,同步情况下,归一化自相关函数的峰值能够持续 9 个短训练符号的时间。由此,可对判决条件进行改进,设自相关峰值连续出现的时间用个数值表示,为设定的判决宽度,则检测到数据帧的判决条件为:

$$|M(\theta)| \geq TH \& L = width \quad (3)$$

令 $width = 1$,即是前面所述的自相关算法。可见,传统相关和最大相关算法都是式(3)的特例。

2.4 帧同步算法

检测到数据帧后,需要确定数据帧的起始时刻,这可以通过短训练符号与接收信号的互相关运算实现。下面对时间同步算法总结如下:

(1) 对接收信号进行自相关运算,如果满足式(3),则继续下面的步骤。

(2) 本地产生一个短训练符号,并与接收信号进行互相关运算,连续计算个 N_s 互相关值,并找出最大值在 N_s 个数值中所在的位置,则此最大值出现的位置是数据帧中第 $[width/N_s + 2]$ 个短训练符号的结束时刻, $[]$ 表示取整。据此可以推算出数据帧的起始时刻。

(3) 根据上面提供的定时信息,进行频偏估计、信道估计、解调、解交织和解码等运算,最后恢复发送的数据。

3 仿真结果

下面对笔者所提出的算法进行仿真,首先按照 IEEE 802.11a 标准产生数据速率为 12 Mbps 的数据帧,数据长度为 480 字节,然后在数据帧的前面添加 200 个空符号,作为传输时延,多径 Rayleigh 信道的多径时延为 150 ns。

图 2 是 SNR 为 16 dB 时,传统相关和最大相关算法归一化自相关函数的比较,由图可以看出,最大相关算法与传统相关算法相比,归一化自相关函数的波动明显得到了改善。

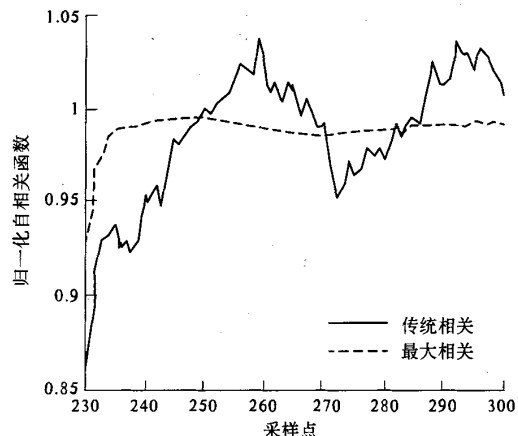


图 2 归一化自相关函数比较(SNR = 16 dB)

Fig. 2 Performance comparison of normalized auto-correlation function (SNR = 16 dB)

图 3 和图 4 是 $width = 1$,两种相关算法帧检测率的仿真结果。由发送数据的结构可知,自相关值应出现在 $[217, 232]$ 样值区间。所以成功检测到数据帧的条件为: $|M(\theta)| \geq TH$ 且 $\theta \in [217, 232]$ 。

图 3 显示,频偏(FO)为 2 kHz 时,门限取 0.8 较为合适,而 FO 为 20 kHz 时,门限则取 0.9 最好,但不论门限如何变化,帧检测率都不能达到 100%. 图 4 中,若门限取 0.8,当 $\text{SNR} \geq 12$ dB 时,无论 FO 为 2 kHz 或 20 kHz,帧检测率都为 100%. FO 为 200 kHz 时,两种相关算法的帧检测率都接近 0. 说明 $\text{width} = 1$ 时,两种相关算法都不能用于大频偏环境,当频偏较小时,最大相关算法明显优于传统相关算法.

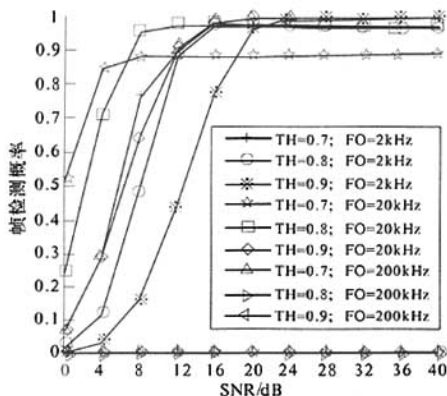


图 3 传统相关算法的帧检测率

Fig.3 Frame detection probability of traditional correlation algorithm

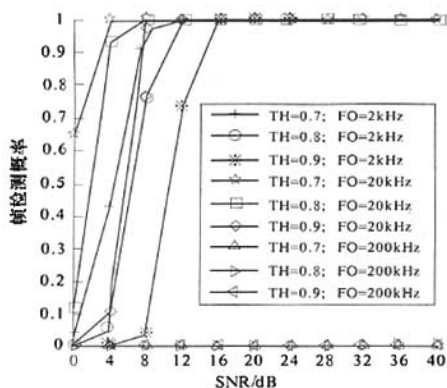


图 4 最大相关算法的帧检测率

Fig.4 Frame detection probability of maximum correlation algorithm

对于 $\text{width} > 1$,成功检测到数据帧的条件为

$$\begin{cases} |M(\theta)| \geq \text{TH} \\ \theta \in [216 + \text{width}, 231 + \text{width}] \\ L = \text{width} \end{cases} \quad (4)$$

通过仿真发现 $\text{width} = 64$ 和 $\text{TH} = 0.3$ 时,传统相关和最大相关算法都能取得最佳检测结果,如图 5 所示.由图可以看出,通过增加判决宽度,使相关算法在大频偏环境也获得了较好的结果,但

最大相关算法的性能仍明显优于传统相关算法.

图 6 所示是 $\text{width} = 64$ 和 $\text{TH} = 0.3$ 时,帧起始时刻的检测概率,从图中可以看出,当信噪比大于 12 dB 时,最大相关算法能准确的估计出数据帧的起始时刻.

从以上的仿真可以得出结论,使用式(3)结合最大相关算法,即使频偏较大时,也能准确的获得帧同步.

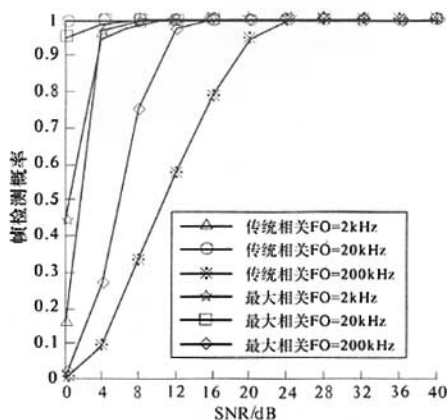


图 5 两种相关算法的性能比较

Fig.5 Performance comparison of correlation algorithms

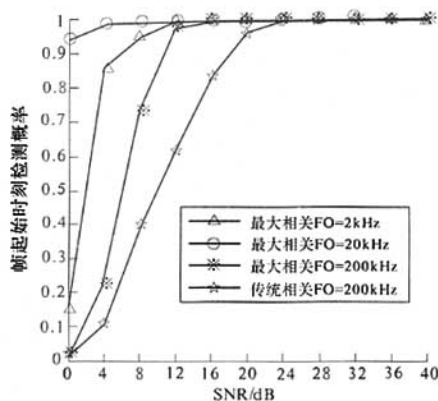


图 6 帧同步检测概率

Fig.6 Frame detection probability

4 结论

IEEE 802.11a 系统中,传统的基于相关的时间同步算法,自相关函数值的波动较大,难以选取最佳的判决门限,并且不能用于大频偏环境.为此,作者从自相关函数和判决条件两个方面对传统相关算法进行了改进.仿真结果显示,改进相关函数和增加判决宽度都能提高帧检测概率,但只有二者结合使用,才能获得最佳同步性能,即在大频偏环境下,保持良好的时间同步.

(下转第 103 页)

- National Institute of Standards and Technology, U. S. Department of Commerce, 1994.
- [3] CHAUM D, CAMENISCH J L, PIVETEAU J M, et al. Blind signature based on discrete logarithm problem [A]. Advances in Cryptology-EUROCRYPT'92 Proceeding [C]. Springer-verlog, 1992, 428 ~ 432.
- [4] CHAUM D. Blind signature for untraceable payment [A]. Advances in Cryptology-EUROCRYPT'82 Proceeding [C]. Plenum Press, 1983, 199 ~ 203.
- [5] Chaum D, FIAT A. Untraceable Electronic Cash [A]. Advances in Cryptology, Crypto'88, LNCS 403 [C]. Springer-Verlag, 1988, 319 ~ 327.

A New Blind Signature Scheme Based on Convertible DSA

GENG Yong-jun^{1,2}, YAN Hong-liang²

(1. College of Computer Science & Technology, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074 China; 2. Department of Computer, Pingdingshan Institute of Technology, Pingdingshan 467001, China)

Abstract: Blind signature plays a more and more important role in digital cash and electronic voting. Currently digital cash mainly adopts the theory of blind signature. This paper converted the DSA signature scheme and proposed a new secure and efficient blind signature based on convertible DSA. The improved algorithm does not involve the inverse calculation any more in the stage of signature.

Key words: digital signature; blind signature; convertible DSA

(上接第 100 页)

参考文献:

- [1] BEEK J J V, SANDELL M, BORJESSON P O. ML estimation of time and frequency offset in OFDM systems [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1997, 45 (7): 1800 ~ 1805.
- [2] MOSTOFI Y, COX D C. Timing synchronization in high mobility OFDM systems [A]. 2004 IEEE International Conference on Communications [C]. New York. 2004. 4: 2402 ~ 2406.
- [3] MINN, ZENG M, BHARGAVA V K. On Timing Offset Estimation for OFDM Systems [J]. IEEE Communications Letters, 2000, 4(8): 242 ~ 244.
- [4] LIU S Y, CHONG J W. A Study of Joint Tracking Algorithms of Carrier Frequency Offset and Sampling Clock Offset for OFDM - Based WLANs [A]. 2002. IEEE International Conference on Communications [C]. New York. 2002. 109 ~ 113.
- [5] IEEE Std 802.11a - 1999(R2003). Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: High - speed Physical Layer in the 5GHz Band [S].

A Simple Timing Synchronization Algorithm for IEEE 802.11a WLANs

ZHAO Shu-guang, CHEN Rong, ZHAO Min

(The 28th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Nanjing 210007, China)

Abstract: Timing synchronization is a key technology in OFDM systems. Based on training sequences of IEEE 802.11a standard, we propose a simple correlation timing synchronization scheme. Improved auto - correlation function reduces stochastic fluctuation of function value significantly. Therefore, it is possible to choose optimal detection threshold. Moreover, increased detection width obviously extends application range of correlation algorithm. Simulation results illustrate that when frame detection probability is 90% and frequency offset is 200kHz, SNR of proposed algorithm improves 8dB compared with that of traditional algorithm.

Key words: orthogonal frequency division multiplexing; training sequence; timing synchronization