

一种基于 IEEE 802.11p 系统的联合粗细时间同步算法*

金 婕^{1,2}, 孙士民², 刘炎华², 景为平²

(1. 中国科学院上海高等研究院, 上海 201210;

2. 南通大学 江苏省专用集成电路设计重点实验室, 江苏 南通 226019)

摘 要: 提出了一种基于 IEEE 802.11p 标准的在高速车载移动环境下保持良好时间同步性能的联合粗细时间同步方法。粗时间同步是基于短前导码的自相关, 细时间同步利用了滑动窗口和互相关技术来完成准确的时间同步。MATLAB 仿真结果表明, 所提出的方案在车辆速度为 89.7 km/h 与 200.1 km/h 时比其他三种同步方案的误比特率减少了 12.5%; 在车辆速度为 126.3 km/h~200.1 km/h 时, 同步位置的均方差比其他三种同步方案减少了 20.1%。

关键词: 时间同步; IEEE 802.11p; 正交频分复用

中图分类号: TN92

文献标识码: A

文章编号: 0258-7998(2013)08-0109-04

A joint coarse and fine timing synchronization method based on IEEE 802.11p system

Jin Jie^{1,2}, Sun Shimin², Liu Yanhua², Jing Weiping²

(1. Shanghai Advanced Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201210, China;

2. Jiangsu Province Key Lab of ASIC Design, Nantong University, Nantong 226019, China)

Abstract: The paper proposes a joint coarse and fine timing synchronization method based on IEEE 802.11p system to cope with the high mobility environment. The coarse timing synchronization is based on short preambles autocorrelation and the fine timing synchronization utilizes the sliding window and cross correlation technique to locate the accurate synchronization position. After simulation by matlab, the result shows that the bit error rate of the proposed scheme is less than others by 12.5% at least at speed from 89.7 km/h to 200.1 km/h; the MSE of synchronization position of the proposed scheme is less than others by 20.1% at least at speed from 126.3 km/h to 200.1 km/h.

Key words: timing synchronization; IEEE 802.11p; OFDM

随着社会的发展,智能交通系统逐渐成为人们生活中不可缺少的一部分。智能交通系统的核心技术之一就是适用于交通领域的短程通信系统^[1]。目前各国非常关注对于交通专用短程通信系统的研究,在各种交通专用短程通信系统中,IEEE 802.11p 标准以其优越的性能得到美国、日本等国家的重视,多个国家表示要将 IEEE 802.11p 作为车间通信的实施标准^[2]。

在高速移动的车载环境下,与传统蜂窝系统的主要不同点在于车车 V2V (Vehicle-to-Vehicle) 通信信道是非静止信道。在高速移动的情况下,由于多普勒频移和信道快速时间选择性衰落导致 OFDM 系统很难取得准确同步和保持正交性,从而导致不能被忽略的 ICI 噪声,造

成传统算法难以实现准确同步,使系统性能下降。在 OFDM 系统中, Schmidl & Cox 提出的数据辅助同步算法^[3-4]应用最为广泛,该算法的缺点是存在平台效应。在此基础上, SUN W. Sh 提出了利用 IEEE 802.11a 中短训练序列的复数相关对称性,取得同步相关峰值,从而消除平台效应的影响^[5]。针对高速移动信道, YASAMIN M 提出了一种循环迭代的同步算法,但是其要求一定要使用三角函数插值的信道估计器^[6]。在 LTE 系统中,利用恒定幅度零自相关序列 (CAZAC) 良好的周期相关特性,能取得准确的时间同步^[7]; PEND D. 提出了利用循环前缀和训练序列联合同步的算法^[8],但这些算法都要求使用相关性好的训练序列。而这对于采用固定长短训练序列的 IEEE 802.11p 系统是不适用的。因此,本文基于 IEEE 802.11p 的长短训练序列,针对快速移动引起的高

* 基金项目: 国家自然科学基金(61201244),南通市科技计划应用研究项目(BK2011039)

多普勒频移信道提出了一种迭代的联合粗细同步算法。

1 联合粗细时间同步算法

本文提出的同步算法如图 1 所示, 包括定时同步(粗时间同步)和细时间同步。在同步完成之后, 都要进行频率偏移的纠正, 包括粗频偏估计和细频偏估计, 在这里就不一一赘述。

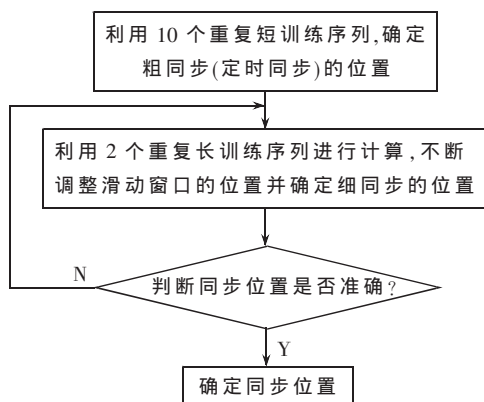


图 1 同步算法示意图

1.1 定时同步

本文提出的算法利用经典的 Schmidl & Cox 算法来进行定时同步。利用 10 个相同的短训练序列和式(1)定义的判决度量公式来判断帧头出现的位置。

$$M(d) = \frac{|P(d)|^2}{(R(d))^2} \quad (1)$$

其中, $P(d)$ 是自相关序列, 而 $R(d)$ 是接收符号的能量, d 表示采样点在符号中的位置。计算的判决度量值大于阈值的第一个采样点的位置是帧头的开始位置。 $P(d)$ 和 $R(d)$ 的计算公式如下所示:

$$P(d) = \sum_{m=0}^{L-1} r^*(d+m)r(d+m+L) \quad (2)$$

$$R(d) = \sum_{m=0}^{L-1} |r(d+m+L)|^2 \quad (3)$$

其中, $r(d+m+L)$ 是接收序列, L 是短训练序列的长度, 其值等于 16。当多普频移是 790 Hz, 信噪比为 10 dB, 在白噪声和瑞利衰落的作用下, 度量的仿真结果如图 2 所示。可以明显地看到出现平台效应, 同时由于瑞利衰

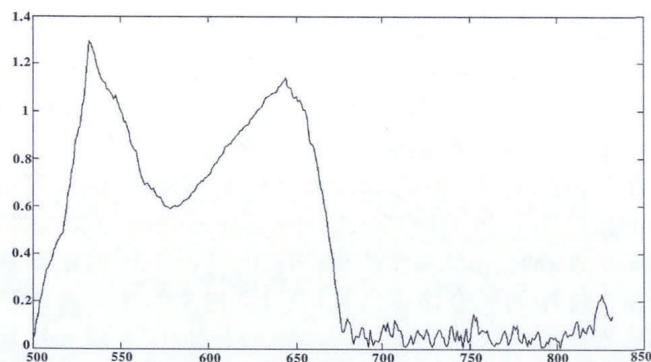


图 2 Schmidl & Cox 的决策度量结果

落的影响判决度量出现变化。

SUN W.Sh. 提出利用短训练序列的共轭对称性实现粗同步的算法, 其中 $P(d)$ 和 $R(d)$ 的计算公式如下:

$$P(d) = \left| \sum_{m=1}^8 r(d+m)r(d+16-m) \right|^2 \quad (4)$$

$$R(d) = \left| \sum_{m=1}^8 |r(d+m)|^2 \right|^2 \quad (5)$$

上面的公式利用了短训练序列的性质, $s(16-n)=j^*s(n)^*$ 。理论上, 在只有白噪声作用的情况下, SUN W.Sh. 的算法可以得到 19 个尖锐的相关峰值。但在多普勒频移为 790 Hz、信噪比为 10 dB 时, 在白噪声和瑞利衰落的作用下, 测试结果如图 3 所示, 相关峰值就不明显了。

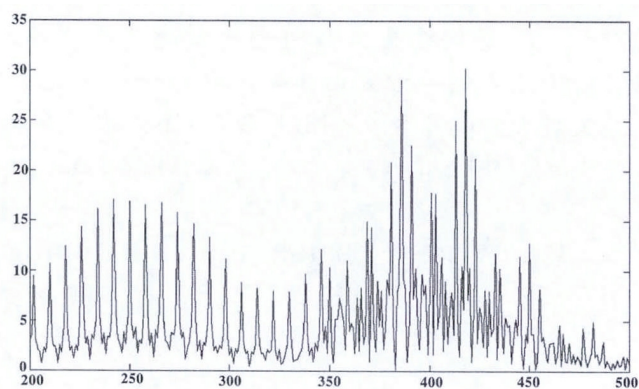


图 3 SUN W.Sh. 方法的决策度量结果

比较图 2 和图 3 可以得出, 在高多普勒频移的信道中, Schmidl & Cox 算法比 Sun W.Sh. 提出的算法更有效。同时, 也可以发现在多普勒频移为 790 Hz 时, 如图 2 所示, 粗同步位置可能出现偏差, 为了得到准确的时间同步点, 本文在粗时间同步的基础上, 使用长训练序列进行细时间同步。

1.2 细时间同步

在粗时间同步和粗频率偏移补偿后, 就可以定位粗同步点。然而, 在高速移动信道, 粗同步点可能无法准确地用于信道估计。在以往的算法中, 长训练序列通常用于信道估计和细频率偏移估计。本文提出利用长训练序列来进行细时间同步, 准确地定位细同步点。细同步步骤如图 4 所示。

其中, 步骤 5 具体包括: 设定预设的滑动窗口的初始值, 根据最大值对应的位置索引与设定的阈值索引确定预设的滑动窗口的滑动方向进行细同步, 确定长前导码的起始位置。若最大值对应的位置索引大于设定的阈值索引, 则将滑动窗口向左移动, 并执行步骤 6 至步骤 8 直到最大值对应的位置索引小于等于设定的阈值索引, 完成细同步, 确定长前导码的起始位置; 否则, 若最大值对应的位置索引小于设定的阈值索引, 且最大值小于设定的阈值, 则将滑动窗口向右移动, 并执行步骤 9 至步骤 11, 直到最大值对应的位置索引大于等于设定

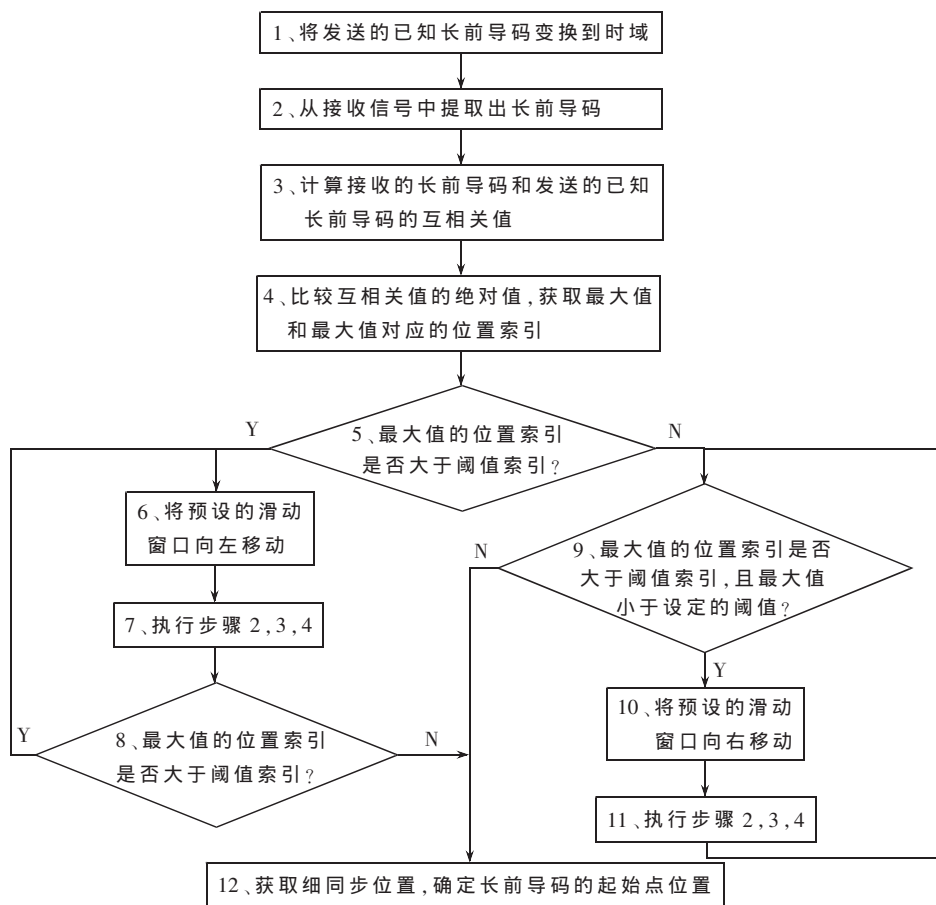


图 4 细时间同步步骤

的阈值索引或最大值大于等于设定的阈值,完成细同步,确定长前导码的起始位置。

步骤 3 中采用如下公式计算互相关值 $M_1(d)$:

$$M_1(d) = \frac{Y(d)}{B(d)} \quad (6)$$

$$Y(d) = \left| \sum_{m=0}^{L-1} y(d+m)b^*(d+m) \right| \quad (7)$$

$$B(d) = \left| \sum_{m=0}^{L-1} y(d+m)y^*(d+m) \right| \quad (8)$$

$Y(d)$ 为互相关序列, $B(d)$ 为接收的时域长前导码符号的能量, $y(d+m)$ 为接收的时域长前导码序列, $b^*(d+m)$ 为已知的时域长前导码序列的共轭, L 为滑动窗口的长度。

2 测试

本文提出的细同步算法计算量相对较小并易于完成。移动搜索窗的步长是自适应的,可以根据信道估计或者误比特率的结果进行调整。细同步算法充分利用了短训练序列和长训练序列不相关的特性,在粗同步之后,找到短训练序列与长训练序列的分界点。测试条件是在多普勒频移为 790 Hz、信噪比为 10 dB、白噪声和瑞利衰落共同作用下,如图 5 所示。当取得同步时,同步点的峰值远远高于其他点,因此可以取得准确的同步位置。

《电子技术应用》2013 年第 39 卷 第 8 期

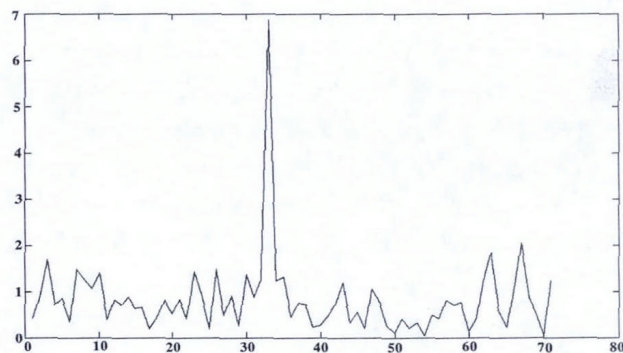


图 5 细时间同步位置

基于 Matlab, 搭建符合 IEEE 802.11p 标准的测试平台,进行本文所提出算法的仿真。带宽为 10 MHz,调制模式是 BPSK, $N=64$, $CP=16$, 其中传输数据的子载波数为 48,信噪比为 10 dB。高速信道的建模采用 AR 模型模拟瑞利衰落信道, 本文重点研究了不同多普勒频移下,所提出算法的有效性。AR 模型的阶数设置为 100,多普勒频移的范围是 0~1 093 Hz,载波频率为 5.9 GHz。

在测试平台下,对 4 种算法(本文提出的算法、SUN W Sh. 和 PENG D 提出的算法以及无线局域网 IEEE 802.11a 协议推荐的算法)进行了仿真,仿真结果如图 6、图 7 所示。

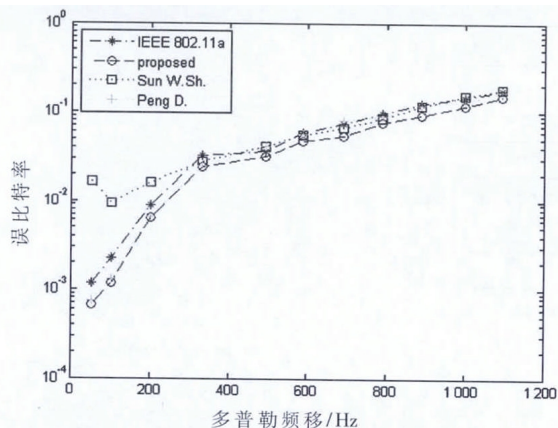


图 6 误比特率 vs. 多普勒频移

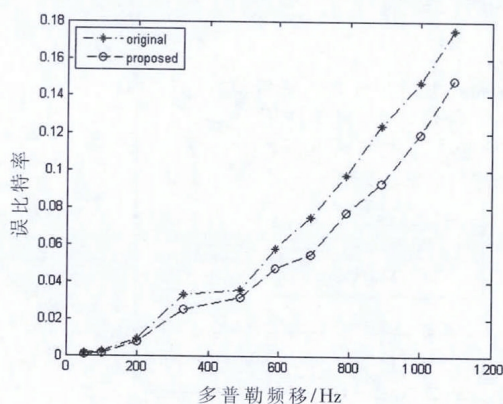


图 7 未改进细同步方法 vs. 改进细同步方法

如图 6 所示, 4 种算法相比较, 本文提出的算法随着多普勒频移的增大, 其误码率要低于其他三种算法。与低速移动的无线局域网 IEEE 802.11a 协议推荐的算法相比较, 随着多普勒频移的增大, 本文提出算法的误比特率要明显低于协议推荐的算法, 如图 7 所示。

4 种算法同步位置的均方差如图 8 所示。从图 8 中可以发现, 本文提出的算法要优于其他 3 种算法。当多普勒频移大于 490 Hz 时, 本文提出算法的误比特率要少于其他三种算法至少 12.5%。当多普勒频移大于 690 Hz, 本文提出算法同步位置的均方差要比其他 3 种算

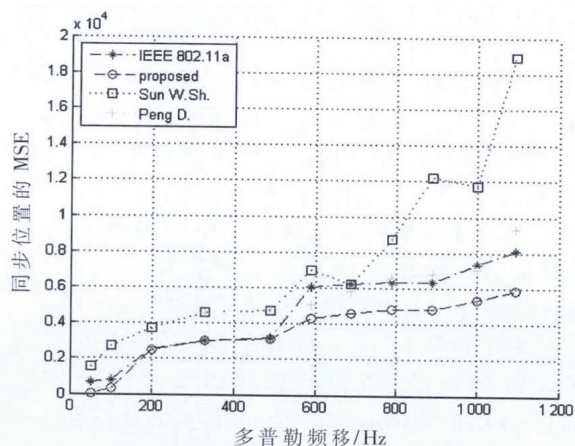


图 8 同步位置的 MSE vs. 多普勒频移

法至少小 20.1%。

本文提出了一种基于 IEEE 802.11p 的联合粗细同步算法, 该算法充分利用了长短序列的性质并结合自适应滑动窗来实现准确的时间同步。与其他同步算法比较, 本文提出的算法在多普勒频移大于 490 Hz 时, 误比特率至少下降了 12.5%。当多普勒频移大于 690 Hz 时, 同步位置的均方差比其他三种算法至少小 20.1%。

参考文献

- [1] Commission decision of 5 august 2008 on the harmonised use of radio spectrum in the 5875–5905 MHz frequency and for safety related applications of Intelligent Transport Systems (ITS)[J]. 2008/671/EC, Aug.2008.
- [2] IEEE 802.11p, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control MAC and Physical Layer PHY Specifications, Amendment 6: wireless access in vehicular environments[S]. IEEE Standard 802.11p, July.15, 2010.
- [3] SCHMIDL T M, COX D C. Robust frequency and timing synchronization for OFDM[J]. IEEE Transactions on Communications, 1997, 45(11): 1613–1621.
- [4] MINN H, BHARGAVA V K, LATAIEF K B. A robust timing and frequency synchronization and channel estimation for OFDM[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2003, 2(7): 822–839.
- [5] Sun Wensheng, Zhang Yuanyuan. A frame synchronization and symbol timing synchronization algorithm in burst OFDM Communication Based on IEEE802.11a[J]. Information Technology and Applications, 2009(1): 190–193.
- [6] YANG W, WEI H, Zhongpei Zh. AZAC sequence and its application in LTE random access[J]. Information Theory Workshop, 2006(10): 544–547.
- [7] MOSTOFI Y, COX D. Robust timing synchronization design in OFDM systems—Part II: high-mobility cases[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2007, 6(12): 4340–4348.
- [8] Peng Duan, Yin Changchuan. An efficient joint algorithm of carrier frequency synchronization for OFDM in high mobile environment[C]. Proceedings of 2005 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 23–26 Sept. 2005: 269–273.

(收稿日期: 2013-03-02)

作者简介:

金婕, 女, 1978 年生, 博士, 助理研究员, 主要研究方向: 智能交通通信算法设计、高速信号处理及 SOC 芯片设计。