

叠加弱能量 PN 序列 DVB-T 帧同步算法

罗仁泽^{1,2}, 敬龙江², 成先涛², 张光玉², 朱维乐²

(1. 电子科技大学中山学院电子工程系, 广东中山 528402; 2. 电子科技大学电子工程学院, 四川成都 610054)

摘要: 本文提出了一种 DVB-T 2K 系统的帧同步新算法以改进高速移动环境同步性能. 该算法利用叠加的训练帧的自相关性和保护间隔的循环特性获得同步信号, 其中训练帧的能量仅为发射端总能量的 1.41%. 仿真表明: 该算法在 150km/h 到 450km/h 的高速移动 DVB-T 系统能获得良好的帧同步性能; 同时, 该叠加的 PN 序列对系统性能的影响可以忽略不计.

关键词: DVB-T 系统; 帧同步; 训练序列; 融合相关检测法

中图分类号: TN94 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2005) 07-1311-03

Novel Frame Synchronization Algorithm for Improving the Performance of the European DVB-T System Using Superimposed PN Sequences with Low Power

LUO Renze^{1,2}, JING Long-jiang², CHENG Xian-tao², ZHANG Guang-yu², ZHU Wei-le²

(1. Dept. of Electronic Engineering, Zhongshan, College, University of Electronics Science and Technology of China, Zhongshan, Guangdong 528402, China;

2. College of Electronic Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan 610054, China)

Abstract: A novel algorithm has been proposed for the European DVB-T 2K system so as to achieve frame synchronization before the timing synchronization and frequency synchronization and improve the performance of the system in the high speed mobile multipath fading channels. In the algorithm the combined correlation detection method has been employed, where the autocorrelation of the superimposed training sequence with the power of 1.41% of the total transmitter power and the cycle characteristic of the guard interval are employed to produce the synchronization signal. Computer simulation shows that the performance of frame synchronization is better than that of the conventional scheme in DVB-T systems with mobile speed from 150km/h to 450km/h. In additional, the superimposed PN sequence exerts little influence on the performance of the system.

Key words: DVB-T systems; frame synchronization; training sequence; the combined correlation detection method

1 引言

众所周知, 欧洲数字电视标准化工作已经完成并为许多国家所采用. 欧洲 DVB-T 系统采用了 COFDM 调制方式, 然而 DVB-T 系统在高速移动的多径环境下同步性能不佳, 所以 DVB-T 系统在高速移动城市环境下不能接收 HDTV 信号.

为了弥补这一问题, 一些附加的改进措施必须采用. 本文中介绍了一种改进欧洲 DVB-T 系统性能的帧同步算法, 该算法使用叠加在信号上的所分配能量仅为总能量的 1.41% 的训练序列的自相关性和保护间隔的循环特性来产生同步信号, 利用融合相关检测方法获得帧同步. 与常规算法特别不同的是: 该算法中使用的训练序列是叠加在信号上的; 而且该序列能量仅占发射总能量的 1.41%, 对系统性能的影响可以忽略.

本文由以下几部分组成: 在第二部分介绍了我们提出的融合算法. 仿真结果在第三部分. 最后, 在第四部分强调了一些结论.

2 融合相关同步算法

OFDM 系统时间离散的基带模型如图 1 所示. 含该同步算法的 OFDM 系统与常规 OFDM 系统的不同之处在于: 该系

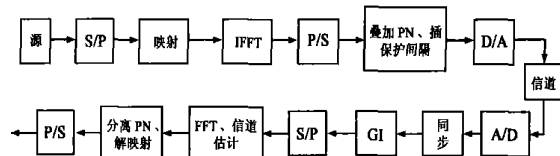


图 1 含同步模块的 OFDM 系统

统发射端在时域叠加了仅占总能量 1.41% 的 PN 序列. 该 PN 序列仅在发射端每帧信号中的一个符号上叠加.

当传输信号通过 M 径的多径信道时, 假设载波频率为 f_c Hz, 当通过模数转换后, 其输出 r_l 可表示为:

$$r_l = \sum_{p=0}^{M-1} S_l \tau_p \rho_p \exp \left[j \left(\frac{2\pi}{N} f_l + \theta_p \right) \right] + n_l, \quad -\infty < l < \infty \quad (2)$$

其中 S_l 是信号, ρ_p , θ_p 和 τ_p 分别是第 p 条多径上的幅度衰减因子、相位旋转因子和延迟.

由接收信号与已知训练序列的相关性可得:

$$Cor_1[k, \theta] = \sum_{n=0}^{N-1} r[k-n] p^* [k-n-\theta] \quad (3)$$

当信道有较大时延时, 用式(3)的相关结果进行峰值检测会产生一定的错误. 这是因为: 此时, 经过发射信号经 M 条多径衰落信道后所接收到的相关信号再也不是一个尖锐的峰

值, 而是一个长度由多径衰落信道各径时延所确定的峰值台阶. 假设第 1 条径时延为 0, 其他 $M-1$ 条径相对第 1 条径的时延分别为 $\tau_i (i=1, \dots, M-1)$, 且 $\tau_1 \leq \tau_2 \leq \dots \leq \tau_{M-1}$, 则第 i 条径与第 $i-1$ 条径这两个相邻的相关过程间有 $N - (\tau_i - \tau_{i-1})$ 个抽样区间的重叠. 所以, 由于多径的影响, 现在的相关信号是由 M 个相邻间隔为 $\tau_i - \tau_{i-1} (i=1, \dots, M-1; \tau_0=0)$ 个抽样的相关峰值叠加而成, 顶部比较平坦.

当然, 以上分析都是建立在 PN 序列的能量没有被有意地抑制时相关峰出现理想的三角形的情形. 在实际情况下, 对于叠加在信号上的弱能量的 PN 序列由于受到相对而言能量较强的信号的干扰, 其优良的相关性受到严重破坏, 同时, 再加上多径信道和高速移动的多普勒效应的影响, 峰值平台早就变成多个起伏的小峰值, 而且很不规则, 此时的门限值很难确定, 相关后采用峰值检测法就无法实现同步. 此时, 采用下式可以在一定程度上避免定位不精确:

$$Cor_2[k, \theta] = \left| \sum_{i=0}^{N-1} Cor_1[k-i, \theta] Cor_1^*[k-t-N-N_g, \theta] \right| \quad (4)$$

其中, $Cor_1[k-i, \theta]$ 是第一次相关的输出. 这是因为在相对静态的信道中, 信道的冲激响应在较短的时间内是比较稳定的. 虽然由于多径的作用, 每次相关的结果都产生了不同的不确定性, 但是把这些信号进行相关, 利用这些峰值波形间存在的相关性可进一步累积能量. 这些波形相隔一个符号间隔, 所以延时为 $(N + N_g)$. 在第一次相关之后相邻相关峰值之间相距 $N + N_g$ 个采样, 这个周期结构可以用于积累更多能量. 同时由于使用了第二次相关, 可在一定程度上抑制噪声. 第二次相关滑动 N 个采样间隔, 以发现第二次相关的最大峰值位置, 积累更多的能量. 注意: 这里假设信道冲激响应的最大延时小于保护间隔的长度.

但是, 在实际的多径信道中多径特性变化并不满足第二次相关所依赖的假设条件, 即: 在高速移动环境多径信道变化是较快的, 这就会导致第一次相关输出的峰值波形间相关性很差, 于是, 在第二次相关之后仍然不能有效得到精确的帧头位置.

为了使相关峰值更加尖锐, 可以进一步融合保护间隔的循环特性. 此时, 帧同步可由下式获得:

$$\theta = \arg \left\{ \max_{\theta} \left[Cor_2[k, \theta] + \sum_{m \neq \theta}^{N-1} r^*[m-\theta] r[m-\theta-N] \right] \right\} \quad (5)$$

本文建议的帧同步算法原理图如图 2 所示.

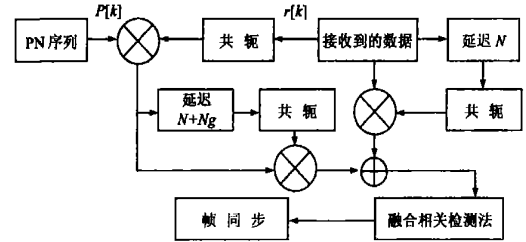


图 2 本文建议的帧同步算法

3 仿真分析

本部分介绍通过计算机仿真来评估建议的同步算法性能. 分别仿真了本算法在最大多径延迟为 5 μ s 的六径瑞利衰落城市信道模型下的性能, 并与常规算法进行了比较. 同时仿真了该算法在 DVB-T 系统中 20 条多径下的性能. 仿真中主要参数为: 子载波数为 2048, PN 序列长度为 2047, 保护间隔长度为 128.

图 3(a) 是信噪比为 0dB 和 5dB、移动速度为 150km/h 的六径城市移动信道环境下建议算法的帧同步性能. 对于信噪比为 10dB、移动速度为 450km/h 的六径城市移动信道环境下建议算法的帧同步性能仍很好. 可见建议的帧同步算法确实能很好的从弱信号中积累出较强的能量, 而常规算法即使是采用非叠加的、能量无任何减少的 PN 序列来进行同步, 其最佳性能也就是与建议算法性能类似, 可见本文算法的强大优势.

图 3(b) 是移动速度分别为 150km/h 和 450km/h 时 20 条瑞利多径信道下不同信噪比时的正确帧同步概率.

在图 3(c) 中采用所分配能量仅占总能量 1.41% 的训练序列叠加在信号上和不在信号上时对系统性能的对比. 由该图可知, 当信噪比在 4dB 以上时, 叠加的能量仅占 1.41% 的训练序列对系统的影响可以忽略.

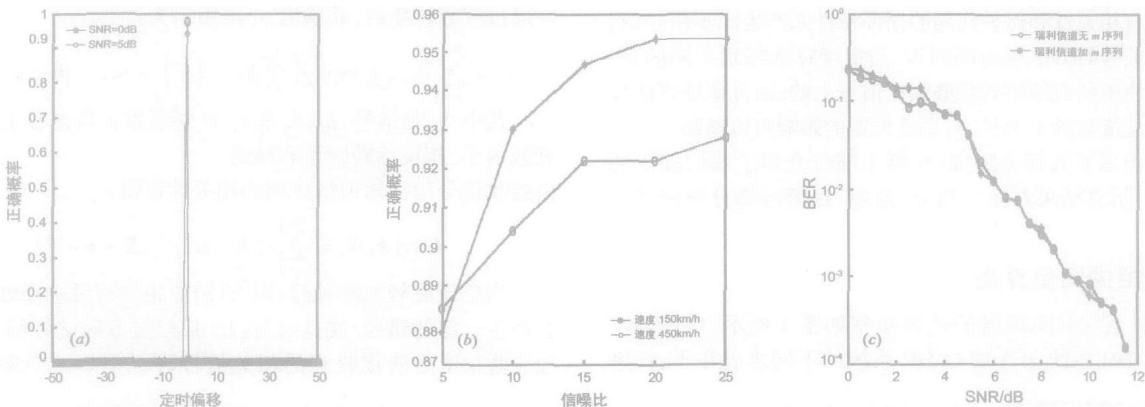


图 3 建议算法性能分析图 (a) 150km/h 时六条多径信道下的帧同步性能; (b) 20 条多径信道不同移动速度下的帧同步性能; (c) 在信号上叠加的训练序列对系统性能的影响

另外, 由于以前所公开的出版物中都没有文章涉及使用过如此弱能量的叠加训练序列进行同步, 所以, 本文中并没有展示与常规算法的同步性能比较. 但是, 由图 3(a) 可以知道, 在信噪比大于或等于 5dB 时, 移动速度为 150km/h 时, 无论是对于 AWGN 信道还是高速移动的多径衰落信道, 本文所建议的帧同步算法均能获得至少 99% 的正确俘获概率. 即使在 DVB-T 系统中, 移动速度从 150km/h 到 450km/h 时, 由图 3(b) 可以知道, 在信噪比为 5dB 以上时, 帧同步正确概率仍较高; 显然, 建议的算法具有良好的帧同步性能.

当然, 该算法中同步信号采用了能量累积方法, 其同步时间就需要两个符号长度. 自然比一些常规算法中仅用一个符号长度就能获得同步所需时间更长. 但是, 在所有常规算法中, 要在 DVB-T 系统中在高速环境下实现同步目前尚没有见到公开报道, 而本算法能实现 DVB-T 系统高速环境的同步, 这就是该建议算法的可贵之处.

4 结论

本文提供了一种适合于 DVB-T 2K 系统的帧同步算法. 该算法利用了叠加的能量仅占总能量 1.41% 的训练序列和保护间隔来产生同步信号, 实现帧同步. 该算法与常规算法相比较最大的优点是: 叠加的 PN 序列对信号和 DVB-T 系统性能的影响可以忽略不计; 该算法可以实现 DVB-T 2K 系统在高速

移动环境的帧同步. 该算法对于实现下一代移动通信目标将起到重要作用.

参考文献:

- [1] European Telecommunications Standards Institute. Digital Video Broadcasting (DVB): Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television[S]. Standard ETSI EN 300 744 vl. 2. 1, ETSI, Geneva, July 1999.

作者简介:



罗仁泽 男, 1973 年 9 月出生于四川省内江市, 工程师, 现为电子科技大学信号与信息处理专业博士生, 从事 3G、4G、DVB-T 及无线通信网络规划研究, 已在国内外核心期刊发表学术论文 14 篇.

朱维乐 男, 1940 年 9 月出生于四川省乐山市, 现为电子科技大学教授、博士生导师, 长期致力于数字视频及移动通信技术方面的研究工作.