

数字电视地面传输技术的研究与仿真

夏菽兰

(盐城工学院 实验教学部,江苏 盐城 224051)

摘要:数字视频地面广播(DVB-T)标准是目前广播电视业以及世界上多国数字地面电视接收测试中评价最高的地面电视广播标准,其技术也已经很成熟。DVB-T系统采用了编码正交频分复用(COFDM)技术,离散导频的插入和数据块本身的循环特性,使得信道估计和均衡的算法简单易行,但同时也降低了系统的频谱利用率。针对该系统接收端的信道估计和均衡这两个问题,进行了理论上的研究,并用Matlab进行了仿真,显示了其在多径信道下的性能。

关键词:数字视频地面广播;编码正交频分复用;导频;信道估计;均衡

中图分类号: TN943

文献标识码: A

文章编号: 1671-5322(2012)02-0022-05

数字电视是指一种电视广播系统,其制作、发送、接收、处理和存储都采用了数字技术。相比传统的模拟电视系统具有更好的抗干扰性能和更好的频谱利用率。DVB为数字视频广播 Digital Video Broadcasting 的缩写,是由 DVB 项目维护的一系列国际承认的数字电视公开标准^[1]。DVB 项目是一个由 300 多个成员组成的工业组织,它是由欧洲电信标准化组织 European Telecommunications Standards Institute (ETSI),欧洲电子标准化组织 European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC)和欧洲广播联盟 European Broadcasting Union (EBU)联合组成的联合专家组 Joint Technical Committee (JTC)发起的。

DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial)属于地面无线传输。

1 DVB-T 系统特征

DVB-T 采用的是编码正交频分复用 COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 调制技术,该调制方式是为了避免在传输过程中产生的多径反射效应和多普勒频移而采用的将内码编码和正交频分复用调制结合在一起的一种调制方法^[2]。为了确保信号传输过程中时钟恢复、信道估计和相位噪声估计,COFDM 调

制技术的核心之一是采用了需要较高能量的导频信号的离散带内导频技术,但这也使得信号白噪声接收的灵敏度和频谱资源的利用率降低,同时利用占用一部分带宽的传输“保护间隔”将“串联”信息“并联”分布到多个子载波上,这样可以在一定的反射延时时间范围内,通过增加 COFDM 的载波数量来减少传输容量的损失,但这也带来了相位噪声灵敏度降低以及增加了数字信号接收机的复杂程度。COFDM 调制技术的核心之二是频域连续周期。

DVB-T 基带模型框图如图 1 所示。

2 DVB-T 传输帧结构

DVB-T 系统传输帧结构采用了分层帧结构,由 4 个 OFDM 符号帧构成一个超帧。68 个 OFDM 符号构成一个 OFDM 符号帧,持续期为 T_F 。每个符号由一组持续期为 T_s 的载波组成。8k 模式的载波数 $K=6817$, 2k 模式的载波数 $K=1705$ 。为了避免符号间干扰,每一个 OFDM 符号间插入了保护间隔,扩大了符号周期。为了避免在整个 OFDM 符号持续时间中相位不连续,在发送端的保护间隔中复制了符号末端的数据,即循环前缀 (Cyclic Prefix, CP)。故 T_s 由持续期为 t_u 的有用部分和持续期为 Δ 的循环前缀两部分组

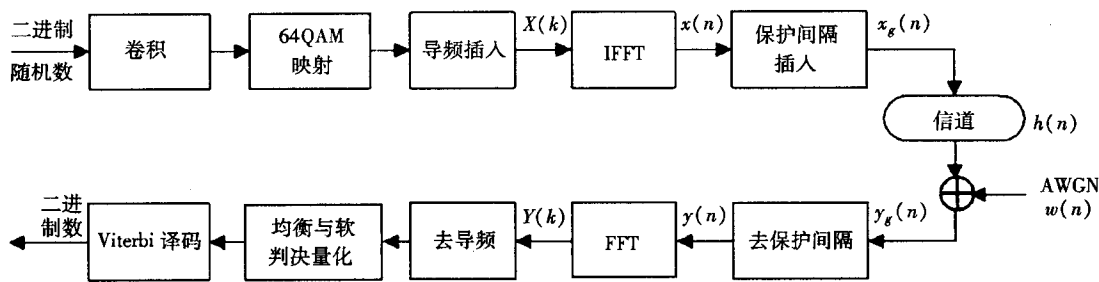


图1 DVB-T系统基带模型框图

Fig.1 The baseband model diagram of DVB-T system

成。循环前缀与有用部分构成周期性的连续段,循环前缀有 $1/4$ 、 $1/8$ 、 $1/16$ 和 $1/32$ 4 个值可选用。在发送数据载波信号的同时,还发送一些附加信息的信号,如分散的和连续的导频信号以及给出传输方案的参数 TPS 载波等等。在 OFDM 技术的符号帧中有固定位置的是分散的和连续的导频信号,它们在信号传输过程中有不同的作用,分散导频在信号传输过程中主要是估值信道特性,连续导频在信号传输过程中主要是同步定时和载波频率,它们在信号传输过程中的幅度相对数据子载波信号而言要高 $+2.5$ dB,从而降低了频谱利用率,但是分散的和连续的导频信号是不可缺少的,在传输过程中被伪随机码序列 PRBS (生成多项式: $x^{11} + x^2 + 1$) 调制。而 TPS 载波用于给出传输方案的参数即信道编码和调制参数。在一个 OFDM 符号中有 17 bit TPS (8k 模式下为 68TPS),且处于符号的固定位置。TPS 载波采用调制。

3 信道估计技术

3.1 导频插入

DVB-T 系统采用的是频域导频符号插入法,即发射端插入导频是在 IFFT 之前 (IFFT 之后插入导频叫时域导频符号插入法),在接收端是经过 FFT 变换,利用接收到的导频信号与已知的参考导频信号进行比较,得到导频信号信道响应的估计值,然后整个 OFDM 符号内的信道响应要通过频域内插得到,这类方法称为频域导频频域内插 (FPFI) 技术^[3,4]。

3.2 导频点的信道估计——最小平方估计 (LS)

根据图 1 的模型,导频点信道估计过程如下:

从 $Y(k)$ 中抽取导频点的值 $Y_p(k)$,而发送的导频值 $X_p(k)$ 是已知的 ($4/3$ 或 $-4/3$), $\hat{Y}_p$ 为均衡

后导频点的值,令 $\varepsilon = Y_p(k) - \hat{Y}_p(k)$,设信道估计值为 $\hat{H}_{p,LS}(k)$,则:

$$\varepsilon^H \varepsilon = (Y_p(k) - X_p(k) \hat{H}_{p,LS}(k))^H (Y_p(k) - X_p(k) \hat{H}_{p,LS}(k)) \quad (1)$$

LS 估计算法是希望方差 $\varepsilon^H \varepsilon$ 最小,令其对 $\hat{H}_{p,LS}(k)$ 求偏导:

$$\frac{\partial \varepsilon^H \varepsilon}{\partial \hat{H}_{p,LS}(k)} = 0 \Rightarrow Y_p(k) = X_p(k) \hat{H}_{p,LS}(k) \Rightarrow$$

$$\hat{H}_{p,LS}(k) = X_p(k)^{-1} Y_p(k) \quad (2)$$

可见,在各个导频点将接受信号除以发送信号,就可以得到导频点的信道频率响应最小平方估计。

LS 信道估计算法简单易行,不需要知道信道统计特性和系统噪声统计特性两个先验信息,但对噪声和频率同步误差较为敏感。此外还有一种 MMSE 估计方法,其优于 LS 估计法,但 MMSE 估计法需要知道信道的统计参数,而由于无线信道是时变信道,故信道的先验统计参数是时变的,因此,如果信道的统计参数不准确,就会引起较大的误差,另外 MMSE 算法是建立在 LS 算法的基础上的,其计算复杂度相对较高。而在误码率能满足条件下,一般采用简单的 LS 估计算法降低复杂度。

3.3 信道插值——线性插值算法

得到导频点位置的信道传输函数的估计值后,数据载波位置的信道响应应通过相邻导频估计信道响应的内插滤波来获得。常用的插值算法有最近插值、线性插值、高斯插值、三次样条插值、低通插值等。考虑到电路的易实现性,这里仅介绍既能满足性能要求而且复杂度不是很高的线性插值。

线性插值算法估计需要内插一个数据载波,这个内插的数据载波是在两个相邻的导频位置之

间,通过信道估计值得到信道响应,又称线性内插。根据线性内插的特点又有一维和二维之分。其中,一维线性内插是利用一个符号中相邻的导频值内插得到本符号其它频率位置的信道估计值。每个符号的导频载波即是信道响应的采样,这时信道可以允许变化很快,因为内插是在每个符号持续时间 t_u 内完成,信道的相关时间很小,可以用于移动接收。由于导频之间的间隔为 $12 \Delta f$,所以如果信道的相关带宽大于 $12 \Delta f$,可完成对信道的估计。线性内插滤波每次估计只需要两个导频符号,在实际应用中非常有效。这种方法只用两个相邻导频位置的信道估计值,内插得到两个导频之间数据载波位置的信道响应。

一维线性内插适合于时变信道,而且设计也较为简单,但是若导频点之间间隔太长,经过内插滤波后并不能准确地反应此间隔内信道响应的变化情况,尤其是在频率方向上变化较快的信道,此时就需要二维线性内插。二维线性内插在时间和频率两个方向上进行,根据导频的类型及其可实现性,可以将其分为两个独立的一维内插过程,首先在时间方向对一部分载波进行内插,然后在频率方向上对所有的子载波进行滤波。

3.4 实验仿真

仿真模型是 2k 模式 DVB-T 基带系统(未编码和交织),其循环前缀长度为 $1/4$,映射为 64QAM,信噪比为 20 dB,信道为 TU(Typical Urban)信道,导频点信道估计采用 LS 估计。图 2 表示的是系统采用一维、二维线性插值时实际信道响应和估计的信道响应(MATLAB 仿真)。可以看到,估计的信道基本上与实际信道基本一致,而二维线性插值的效果要明显好于一维线性插值。

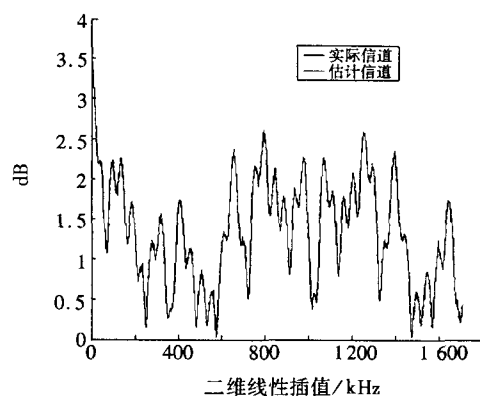
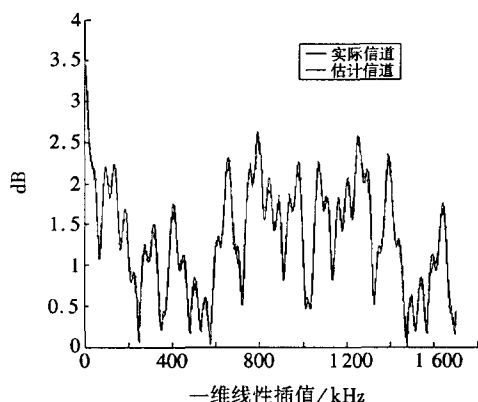


图 2 一维、二维线性插值信道估计结果

Fig. 2 The channel estimation Result of the one-dimensional, two-dimensional linear interpolation

将在不同信噪比下,一维线性插值和二维线性插值算法得到的 MSE 算出,可得到更直观的比较。如图 3 所示。二维线性内插由于加上了时间方向的内插,故信道估计结果要好于一维内插,但是大部分频率点的信道估计要用到前后 7 个符号,所以这也同时要求时间方向上在 7 个符号周期内信道变化要相对缓慢,而一维线性内插则可以用于信道变化较快的场合。除此之外,二维内插的延时也会较一维内插更长一点,需要的存储器也更多。

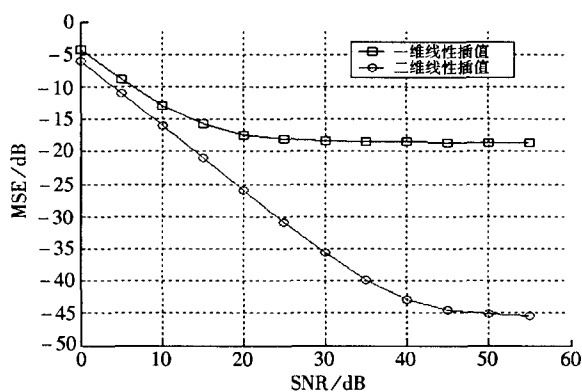


图 3 不同信噪比下两种线性插值算法 MSE 比较

Fig. 3 The MSN algorithm comparison under different SNR

4 信道均衡技术

信道估计与均衡这两个问题是紧密相联的。一般情况下,信道估计的目的是为了进行均衡。在信道的噪声是加性白噪声的情况下,可用迫零准则的均衡技术来消除符号间干扰,恢复原信号。

对经过 FFT 变换和删除循环前缀 CP 后的频域接收数据进行均衡,可以用下面的一般式表示:

$$\hat{X}(k) = W(k)Y(k), 0 \leq k \leq N-1 \quad (3)$$

其中, $W = [W(0), W(1), \dots, W(N-1)]^T$ 为均衡器系数矢量^[5]。

对 ZF 准则而言,均衡器系数是按使通过均衡器的总的抽样脉冲响应应具有最小的 ISI 来调整的,ZF 均衡器抽头收敛的最终结果,是趋于每个子带的频域特性的倒数:

$$W_{ZF}(k) = 1/\hat{H}(k) \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (4)$$

数据的估计值可通过一个简单的除法得到:

$$\hat{X}(k) = Y(k)/\hat{H}(k) \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (5)$$

经过均衡后的数据通过解映射就可以得到映射的星座图,从星座图中数据的分布可以看出各均衡的效果。图 4 是均衡前后数据的 64QAM 星座图,其仿真条件和上节相同。

从图 4 可以看出,在数据未经过信道均衡时,根本不能判断出数据点在星座图上的分布,从而在解映射软判时得不到正确的判决结果,而经过均衡后,衰落信号得到很好的补偿,可以很清晰地判别出各点的分布。

5 结束语

对数字电视地面传输系统中传输技术,包括信道估计和均衡方面进行了学习、研究和仿真。DVB-T 是基于传统的 OFDM 技术。在实际运用中,OFDM 系统可以用对信号进行傅立叶变换/反变换的等效形式来实现,其核心思想是将通常在载频实现的频分复用过程转化为一个基带的数字预处理,这种做法在保持多载波优点的同时,也使得系统结构大大简化。DVB-T 系统采用插入循环前缀的方法来对抗数据块间的符号间干扰 (ISI),假设同步进行的很完美,那么在接收端可直接去除在发射端插入的循环前缀,再利用离散导频实现导频点上的信道估计,然后采用时域和频域上的二维插值来实现整个信道的信道估

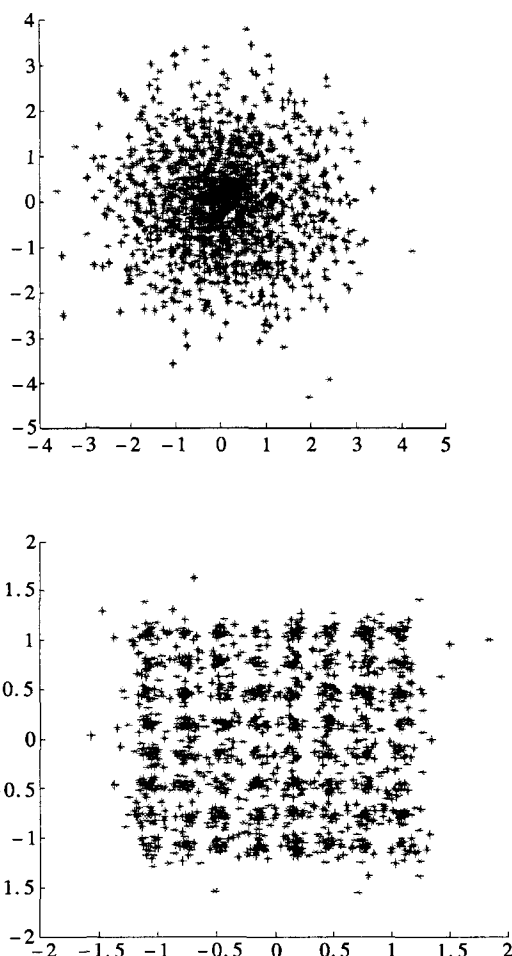


图 4 均衡前后的星座图

Fig. 4 The comparison of the constellation diagram

计。这种信道估计方法简单易行且准确度高,但同时因为导频点是已知信号,没有任何信息量,所以消耗了开销,降低了频谱利用率。在随后进行的信道均衡过程中,DVB-T 的数据块本身具备了循环特性,直接用 FFT 后的数据除以信道响应的 FFT,得到均衡后的结果。从仿真的结果来看,在 TU 信道下,采用上述的方法得到的结果令人满意。

参考文献:

- [1] 刘亚峰. 浅析数字电视系统的关键技术及标准[J]. 电脑知识与技术, 2008(19): 155 - 156 + 159.
- [2] 徐孟侠. DVB-T 标准的工程实现组合介绍与启示[J]. 电视技术, 2007(4): 8 - 9.
- [3] 张丰. 基于 TDS-OFDM 的信道估计算法研究与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009.
- [4] 夏菽兰. 数字电视 DTTB 标准的一种同步设计方案[J]. 电子器件, 2008(6): 1 739 - 1 742.
- [5] 王勇. COFDM 传输系统中信道均衡技术的研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2005.

Research and Simulation of Transmission Technology of Digital Television Terrestrial Broadcasting System

XIA Shu-lan

(Department of Experiment Teaching, Yancheng Institute of Technology, Yancheng Jiangsu 224051, China)

Abstract: DVB-T gets the highest evaluation among all the tested standards of several countries in the broadcasting industry, along with its mature technology. DVB-T system adopts COFDM technology. Both the insert of scattered pilot and the cycle characteristic of data block make the channel estimation and equalization algorithm very easy which this paper will deal with, but meanwhile the pilot reduces the spectrum utilization. The performance of DVB-T in multi-channel will be shown by my simulation using Matlab.

Keywords: Digital Video Broadcasting - Terrestrial (DVB-T); Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing (COFDM); pilot Frequency; channel estimation; equalization

(责任编辑:沈建新)

(上接第 14 页)

- [29] Zou P, Pan C Y. Multiple Vesicle Morphologies Formed from Reactive H-Shaped Block Copolymers[J]. Macromol Rapid Commun 2008, 29: 763-771.
- [30] Zhang B Y, He W D, Li W T, et al. Preparation of Block-brush PEG-b-P(NIPAM-g-DMAEMA) and Its Dual Stimulus-response[J]. Polymer, 2010, 51: 3 039-3 046.
- [31] Yukiya K, Yasuyuki K, Masayoshi O, et al. Preparation of Micrometer-Sized, Onionlike Multilayered Block Copolymer Particles by Two-Step AGET ATRP in Aqueous Dispersed Systems: Effect of the Second-Step Polymerization Temperature[J]. Langmuir, 2010, 26: 7 029-7 034.

Research Progress of Room Temperature Atom Transfer Radical Polymerization (RT-ATRP) Applied to the Synthesis of Block Copolymers

ZHANG Liang, LIU Fang

(School of Material Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng Jiangsu 224051, China)

Abstract: ATRP at ambient temperature should be preferred because of its advantages. The synthesis of hydrophobic, hydrophilic and amphiphilic block copolymers were discussed. Further study of RT-ATRP and application of RT-ATRP technology to the synthesis of block copolymers were predicted.

Keywords: Block copolymer; Atom transfer radical polymerization (ATRP); room temperature; application

(责任编辑:沈建新)