**802.11a同步与均衡模块设计**

**吴浩洋**

**2012年12月25日**

目录

[1 总述 1](#_Toc349500201)

[2 时间同步 1](#_Toc349500202)

[2.1 帧同步 1](#_Toc349500203)

[2.2 符号同步 2](#_Toc349500204)

[3 频率同步 3](#_Toc349500205)

[3.1 频偏数学模型 3](#_Toc349500206)

[3.2 频偏估计 4](#_Toc349500207)

[3.3 频偏补偿 4](#_Toc349500208)

[4 信道估计 5](#_Toc349500209)

[4.1 信道模型与导频 5](#_Toc349500210)

[4.2 基于长训练字的信道估计 5](#_Toc349500211)

[4.3 基于梳状导频的信道估计 6](#_Toc349500212)

[4.4 联合信道估计 6](#_Toc349500213)

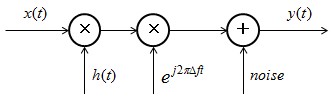
[4.5 信道均衡 6](#_Toc349500214)

[5 模块总流程 7](#_Toc349500215)

# 总述

对于通信系统的接收机来说，同步与均衡是必不可少的模块。其中同步分为时间同步（timing synchronization）与频率同步（frequency synchronization），均衡在这里主要指的是信道估计（channel estimation）。时间同步用于检测到每一帧的帧头部，并定位到该帧的每一个采样数据的具体位置；频率同步用于解决接收机与发射机载波频率之间的偏差；信道估计则用于解决无线传输中不断变化的信道。

无线通信系统的模型可以用下图近似表示：



用数学模型可表达为：



其中，是接收到的数据，是发送的数据。

因为电磁波在空气中传播时会发生反射、绕射等现象，这些效应会导致发送信号发生相位和幅度的变化，并且这种变化是时变的，所以可以用代表这种效应，是一个随时间变化的复数。

又因为发射机与接收机载波频率存在偏差，这种频率的偏差引入了系数，其中代表载波频偏。该系数使得发送端数据的相位持续变化，如果不将其纠正，接收端将无法正确解调。

代表噪声，噪声来源于采样误差、接收机放大器非线性失真、接收机热噪声等诸多因素，是不可避免的。通常可以用增大发射机功率的方式提高信噪比。但是要注意：在GNU Radio中，发射机的增益最大调整到10dB左右就差不多了，增益继续调大可能会由于放大器的截止失真导致错误。

# 时间同步

## 帧同步

根据IEEE802.11a的协议标准，帧同步是利用前导的短训练序列完成的。一般采用的是延时相关算法，即存在两个滑动窗口C和P，在滑动窗口C内计算接收信号和接收信号延时的互相关系数，而在滑动窗口P内计算互相关窗口内接收信号的能量，此窗口用于判决统计的归一化，即：



用于统计判决的为：



该算法利用了前导序列中的10个重复的短训练序列的重复性，并且通过归一化使得统计判决的都在的范围内。当接收到的信号只有噪声的时候，由于噪声是随机变量，所以输出的延时相关值近似为0。当接收到数据分组后，就是相同短训练序列符号的互相关系数，因此迅速跳变为最大值，并且能保持9个短训练序列符号的时间。

根据协议标准，我们很容易知道，D和L的取值为16，判决值要根据实验中的经验来确定，一般可设置为0.5，当大于判决值时，说明有发射信号来到；反之说明接收到的是噪声。

为了防止噪声在某一时间突然使得大于判决值，需另外设置一个计数器，当在某一时刻检测到大于判决值时，计数器开始计数，当连续b时刻都大于判决值时，才认为接收到了该帧，否则计数器清零，并重新计算的值。通过实验，我们可以让持续时间b设置为32。也即连续32个时刻均大于判决值0.5时，我们认为接收端接收到了该数据帧。

## 符号同步

在帧未同步时，接收到的数据是不往后续模块输送的。但一旦帧同步后，符号定时同步还需进一步精确到抽样点的水平。根据短训练序列良好的自相关特性，利用本地已知的一个短训练序列符号产生的统计判决定义为：



同样需要对进行归一化处理：



类似，在公式中，D的值为16。

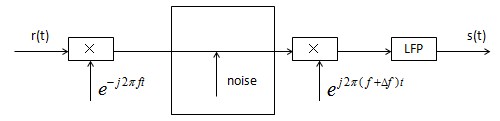
当数据分组到来之后，可以得到若干个相关峰，如果某个互相关峰在出现的同时，帧同步计算出的自相关值低于阈值，则认为短训练字部分已经结束，下一采样值采到的数据即是长训练字段的开始。

# 频率同步

频率同步模块可分为频偏估计和频偏补偿两个部分，作用是估算并补偿发送端与接收端的载波偏差对系统造成的影响。

## 频偏数学模型

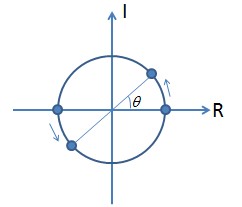
通信系统的调制解调框图可以如下表示：



当发送数据为，发送端的载波频率为，接收端用于解调的载波频率为，则接收到的数据会变为：



可以看出，发送与接收端的载波频偏引入了一个系数，从几何的角度来看，该系数导致了接收到的信号相对于复数的发送信号在星座图上以的角速度绕着原点匀速旋转。



## 频偏估计

一般的设计中，可以采用802.11a前面的短训练字段的自相关性进行频偏估计。为了保证数据的可靠性，在设计中需要预存短训练字段的后80个采样点。

假设、时刻的采样值分别为：



根据短训练字段每16个数据点就重复一次的特性，可知，当时：



上式指的是采样频率。

为了消除噪声的影响，对80个采样点计算64次的值，并求平均值，即：



## 频偏补偿

估算出了当前的频偏之后，只需将接收值与系数相乘，即可抵消频偏造成的影响，即：



由于t是连续的，被乘系数写成离散的形式为。

若忽略频偏估计的误差，补偿后的结果相对于发送端会有恒定的相位偏差，该偏差会在信道估计部分进行处理。

由于在计算中采样率会被抵消，故计算的公式可以改为计算：



频偏补偿的被乘系数改为。

# 信道估计

## 信道模型与导频

前面已经提到，空气中的信道给接收器引入了一个系数，会随时间随机变化。若在时域上变化较快，该信道称为时间选择性信道（快衰落）；若的傅里叶变换在频域上变化较快，该信道称为频率选择性信道（慢衰落）。一般时间选择性信道是由多普勒效应引起的；而频率选择性信道是由多径效应引起的。这两种信道是相对的，一种效应增强时，另一效应会相对减弱。

最简单的信道估计方式是采用基于导频的信道估计。导频的分布模式可分为梳状导频和块状导频。所谓块状分布指导频在时域周期性的分配给OFDM块（即符号），这种导频分布模式适用于慢衰落的无线信道。由于训练序列包含了所有64个频段的导频，所以在频域无需差值，因此这种导频分布模式对频率选择性衰落相对不敏感。

所谓梳状分布是指导频在每个OFDM块中是均匀分布的。由于这种模式在时域上是连续估计的，所以它具有很强的抗快衰落能力。另一方面，因为只有某些特性的子载波携带导频，其它的数据子载波上的信道频响需要通过相邻频子载波上的信道相应差值而得到，所以梳状导频相对于块状导频而言，对频率选择性衰落更为敏感。

在802.11a的波形结构中，既有块状导频，又有梳状导频。块状导频存在于长训练字段中，梳状导频存在于有效的数据中。

长训练字中有从-26~26的导频部分的信息（除0外）。数据部分在-21、-7、7、21这四个位置插入了当前时刻的导频。导频信息是固定的，所以根据接收到的数据，就可以得到每个导频对应的信道特征。

## 基于长训练字的信道估计

该方式适用于频率选择性衰落。当采样率较高时，易表现出这种衰落特性。

这种情况下，和都是已知的，由的数学关系，很容易求出的值。

求出后，在有用数据部分，只要完成如下运算，即可求出发送端信号：



在802.11a的结构中，长训练字段共有160个采样值，去掉循环前缀后又128个，将这128个采样值分为前后两组，每组64个。分别将两组采样值进行64点FFT，得到频域特性，获得两组的值，之后将两组的值进行平均。得到信道的估计值。

## 基于梳状导频的信道估计

该方式适用于快衰落。当采样率较低时，易表现出这种衰落特性。

在这种情况下，只有、、、四个值为已知的，因此可以求出、、、四个导频处的信道数值。为了得到其它频段上的值，最简单的方式是采用线性插值的办法。

当时：



当时：



当时：



通过上述计算即可以求出所有的值。

## 联合信道估计

联合信道估计的思想是将上述两种信道估计的方式综合在一起。假设基于长训练字的信道估计得到的信道参数称为；基于梳状导频的信道估计得到的信道参数称为，设置加权参数与，使得，那么联合信道估计估计出的信道参数为：



当信道属于频率选择性衰落时，需要适量增大的权值；当信道属于快衰落时，需要适量增大的权值。一般来说，的权值随采样率的增大而增大。

最终的信道参数使用的是。

## 信道均衡

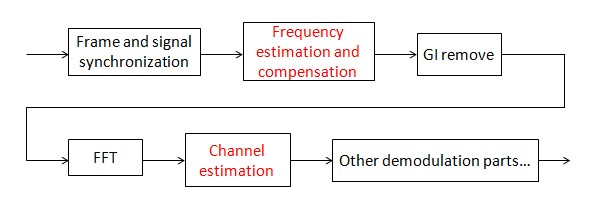
已知了信道的参数后，就可以对接收信号进行处理了。信道估计和信道均衡都应该是在FFT模块之后完成。

在FFT模块之后是64个数据为一组，对每一频段上的数据做一次除法运算，即可恢复出发送数据：



# 模块总流程

以上介绍了所有同步与均衡模块的细节，在接收端，所有模块的流程如下图所示：



接收端的第一个模块是帧同步与位同步。帧同步是需要实时检测的，当帧同步发生后，立即进行位同步。该模块是需要实时计算的，所以该模块必须保证较快的运算速率。该模块完成计算后，将短训练序列的后5个循环以及后面的数据传送给下一个模块。注意在帧未同步时，数据是不会输送至后续模块的。

第二个模块是频率同步，利用短训练序列的后80个采样值进行同步。同步之后，将长训练序列以及之后的数据送往下一模块。

信道估计模块应该放置在FFT模块之后，在频域进行处理。处理后将长训练序列之后的数据送至后续模块处理。