

# 4x4 MIMO Channel Estimation

Ji Fang

July 7, 2012

## 1 4x4 MIMO 信道估计

802.11n 中 4x4 Preamble 正交序列

	t1	t2	t3	t4
P1	1	-1	1	1
P2	1	1	-1	1
P3	1	1	1	-1
P4	-1	1	1	1

Table 1: 802.11n HTLTF 正交化序列

接收端第一根天线在各时刻接收到的信号为（X 为 HTLTF 序列）

$$y_{1,t1} = h_{11}X + h_{12}X + h_{13}X - h_{14}X \quad (1)$$

$$y_{1,t2} = -h_{11}X + h_{12}X + h_{13}X + h_{14}X \quad (2)$$

$$y_{1,t3} = h_{11}X - h_{12}X + h_{13}X + h_{14}X \quad (3)$$

$$y_{1,t4} = h_{11}X + h_{12}X - h_{13}X + h_{14}X \quad (4)$$

解方程

$$y_1 = y_{1,t1} + y_{1,t4} = 2h_{11}X + 2h_{12}X \quad (5)$$

$$y_2 = y_{1,t2} - y_{1,t3} = -2h_{11}X + 2h_{12}X \quad (6)$$

$$y_3 = y_{1,t1} - y_{1,t4} = 2h_{13}X - 2h_{14}X \quad (7)$$

$$y_4 = y_{1,t2} + y_{1,t3} = 2h_{13}X + 2h_{14}X \quad (8)$$

$$h_{11} = (y_1 - y_2)/4X \quad (9)$$

$$h_{12} = (y_1 + y_2)/4X \quad (10)$$

$$h_{13} = (y_3 + y_4)/4X \quad (11)$$

$$h_{14} = (y_4 - y_3)/4X \quad (12)$$

其余信道可由上述方法解出。各天线  $i$  可并行计算各自的信道  $h_{i,j}, j \in \{1, 2, 3, 4\}$

## 2 分布式频偏估计

假设有  $M$  个发送端（STA）， $N$  个接收端（AP），各自的中心频率不相同。设  $\Delta f_{ij}$  为  $STA_j$  与  $AP_i$  之间的频偏。

在 802.11a/g/n 中，使用 legacy long training field（L-LTF）来估计  $\Delta f_{ij}$ 。  $\Delta f_{ij} = -\frac{\arg[y(t-\delta t)y^*(t)]}{2\pi\delta t}$ ，  $\delta t = 3.2\mu s$ 。  $\arg$  被定义为  $\arctan$ ，其取值范围为  $(-\frac{\pi}{2}, +\frac{\pi}{2})$ 。所以利用 L-LTF 估计的频偏范围为  $(-78.125KHz, +78.125KHz)$ 。子载波间隔为  $\Delta f = \frac{20MHz}{64} = 312.5KHz$ 。

在时域接收到的信号为  $y(t) = x(t)e^{j2\pi\Delta ft}$ ，在频域为  $Y = X(f - f')$ 。即时域旋转等价于频域移位。

粗频偏、细频偏应该是纠偏过程之中的概念，感觉两者没有什么实质差别，看的无非是一个纠偏精确度的问题；其实可以把粗频偏和细频偏合到一起做也可以的。当然纠偏也可以采用第一次纠偏之后再跟踪残余频偏的方式进行。

- 整数倍频偏和小数倍频偏是频偏大小的概念。一般用好的天线是不存在整数倍频偏的。整数倍频偏导致的是子载波数据的偏移，而小数倍频偏导致的是 ICI。
- 不能先进行整数倍频偏估计再进行小数倍频偏估计。因为一般整数倍频偏导致的是子载波数据的偏移，其估计方式是在频域估计；而小数倍频偏会导致 ICI，使得频域数据无法提取。所以必须要先估计出小数倍频偏，消除了 ICI，提取出频域子载波数据，然后再做整数倍频偏估计。

发送的时域信号为  $x = [x_0, x_1, \dots, x_{63}]$ ，设频偏为  $\Delta f$ ，则接收到的时域信号为

$$r = [x_0 e^{j \frac{2\pi * 0 \Delta f}{f_s}}, x_1 e^{j \frac{2\pi * 1 \Delta f}{f_s}}, \dots, x_{63} e^{j \frac{2\pi * 63 \Delta f}{f_s}}] \quad (13)$$

接收到的频域信号为  $y = FFT(r)$ 。

以 2x2 为例，每个用户频域上有 4 个 pilot，用户 i 的 pilot 分别为 p1, p2, p3, p4，接收端收到的信号为，接收到的信号为 y1, y2, y3, y4

$$y_1 = h_{11} f_{11} p_{11} + h_{12} f_{12} p_{21} \quad (14)$$

$$y_2 = h_{11} f_{12} p_{12} + h_{22} f_{22} p_{22} \quad (15)$$

$$y_3 = h_{11} f_{13} p_{13} + h_{22} f_{22} p_{23} \quad (16)$$

$$y_4 = h_{11} f_{14} p_{14} + h_{22} f_{22} p_{24} \quad (17)$$

$$(18)$$

p1 和 p2 为已知，解上述方程可得  $f_{11}$  和  $f$