通信原理实验

3 同步处理

姓　名：张翠翠

办公室：西一楼520

邮　箱：zhangcuicui@mail.xjtu.edu.cn

内容回顾

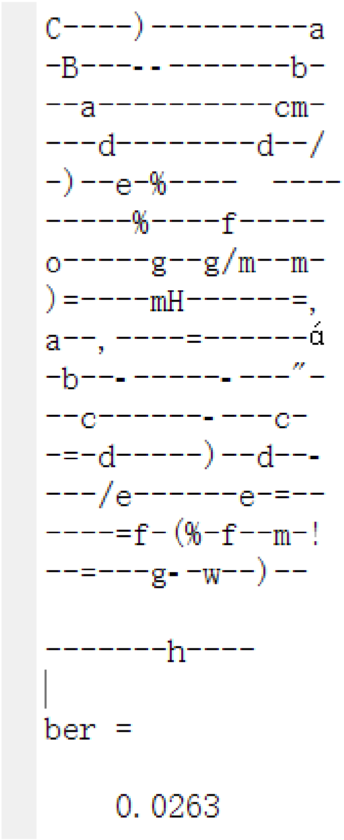
调制解调
差错控制
同步处理
调频收音机

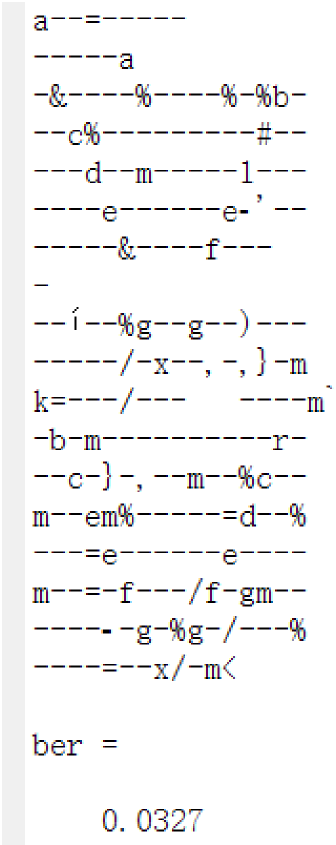
内容回顾

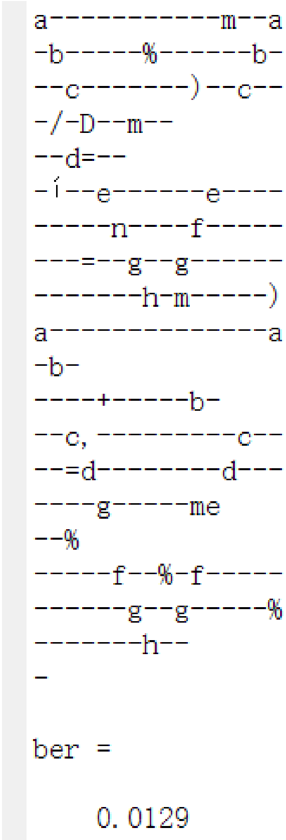

```
msgStr=[
    'a--------------a',...
    '-b------------b-',...
    '--c----------c--',...
    '---d--------d---',...
    '----e------e----',...
    '-----f----f-----',...
    '------g--g------',...
    '-------h--------',...
    'a--------------a',...
    '-b------------b-',...
    '--c----------c--',...
    '---d--------d---',...
    '----e------e----',...
    '-----f----f-----',...
    '------g--g------',...
    '-------h----',...
    ];
```

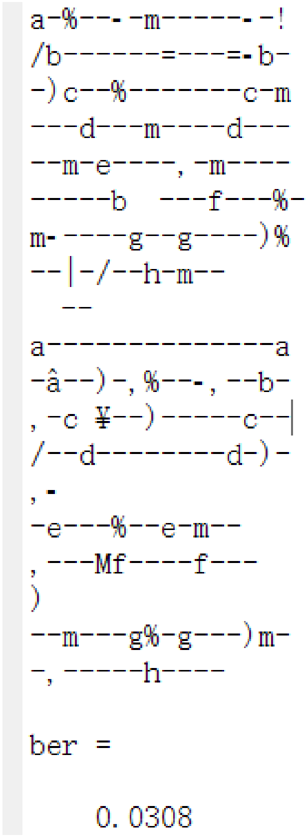
内容回顾

未加信道编解码的收端误码率









内容回顾

加入Golay信道编解码后误码率降低

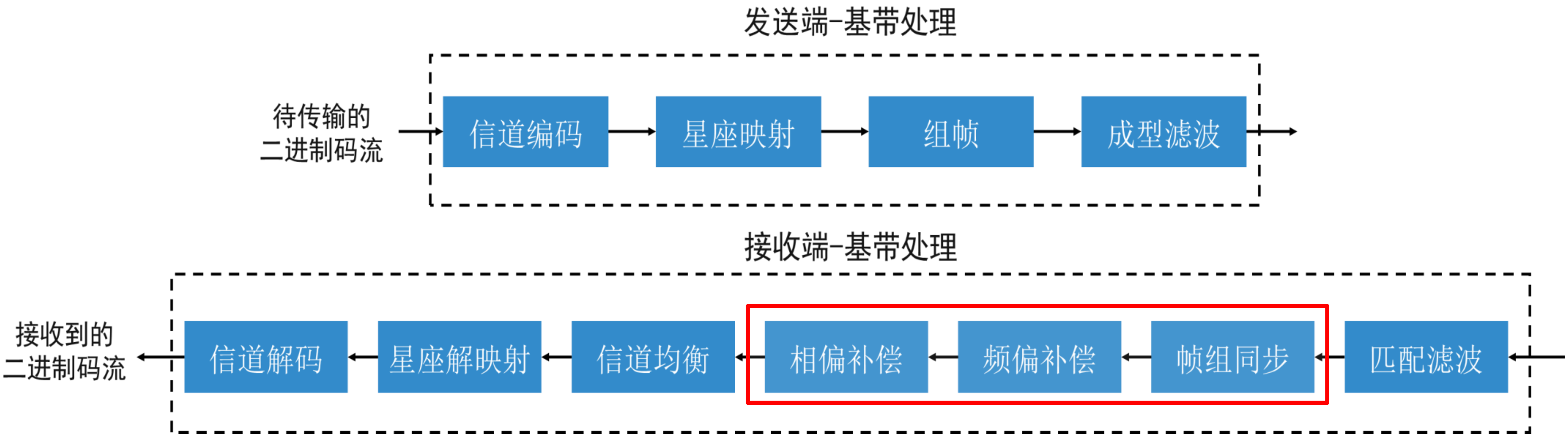
```
a--------------a
-b------------b-
--c---
----m-c--
---d---,----d---
----e------e----
---m-f----f----,
-----,g--g-m----
-------h--------
a-m------------a
-b------------b-
-=c----.---m--c--
---d-------)d---
----e-------%--,-
----mf----f-----
------g--g------
---%---h---,

ber =

     0.0089
```

```
a----%--------%a
-b--/---------b/
--c-------)---!--
---d-/,-----d---
----e-------å----
-----f----f-----
------g--g----.-
-----
-h------
-
a-------------=a
mb------------b-
--c-----------cm-
---d--------d---
-%--e-------a---%
-----f----f-.---
-----mg--g------
-------h----

ber =

     0.0104
```

```
a--------------a
-b------------b-
--c----------c--
---d--------d---
----e------e----
-----f
---f-----
/-----g--g------
-------h-í------
a-
-------------a
-b------------b-
--c----------c--
---D---/----d---
---/e------e----
-----f----f-----
------g--g--
---
-------h----

ber =

     0.0045
```

```
a--------------a
-` -----------,b-
--c----------c--
---d--------d---
----e------e----
-----f----f-----
------g--g,-----
-------h--------
a--------------a
-b-%-%---.----b-
-/c----------c--
---d--------d---
----e------e----
-----f----f---)-
------G--÷------
-----=-h----

ber =

     0.0060
```

实验内容

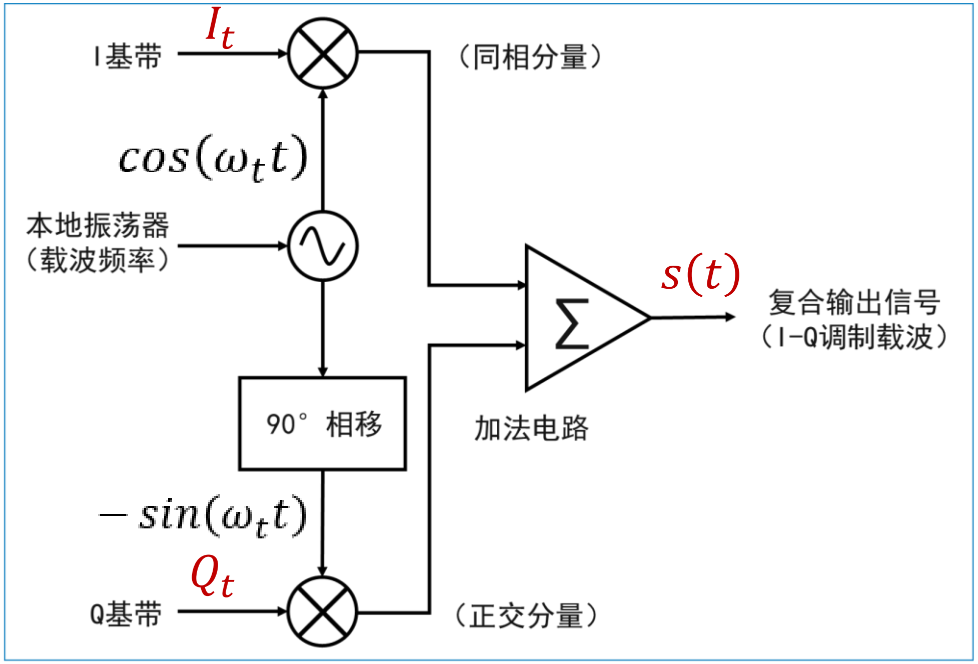


Matlab上基带处理

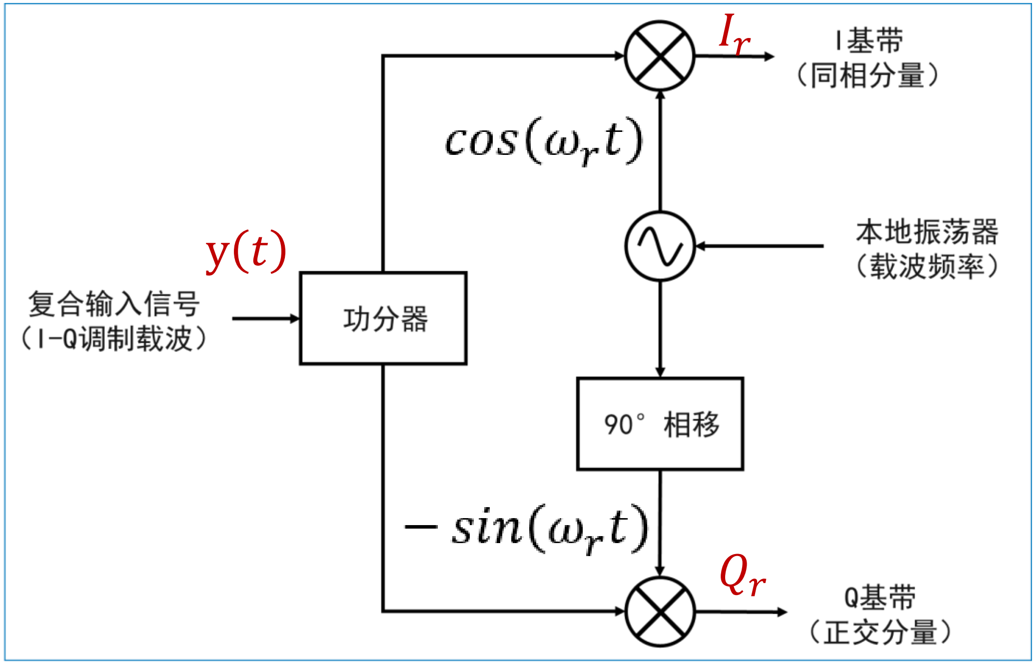
实验内容

- 帧组同步
- 频偏估计和补偿
- 相偏估计和补偿

频偏相偏带来的影响



（a） I-Q调制



（b） I-Q解调

$$s(t) = I_t \cdot cos(\omega_t t) - Q_t \cdot sin(\omega_t t)$$

$$I_r = y(t) \cdot cos(\omega_t t) = [I_t \cdot cos(\omega_t t) - Q_t \cdot sin(\omega_t t)] \cdot cos(\omega_t t); \qquad I_r = \frac{1}{2} I_t$$

$$Q_r = y(t) \cdot [-sin(\omega_t t)] = [I_t \cdot cos(\omega_t t) + Q_t \cdot sin(\omega_t t)] \cdot sin(\omega_t t); \qquad Q_r = \frac{1}{2} Q_t$$

频偏相偏带来的影响

$\omega_t \neq \omega_r$

$$I_r = y(t)\cdot cos(\omega_t t) = [I_t\cdot cos(\omega_t t) - Q_t\cdot sin(\omega_t t)]\cdot cos(\omega_t t);\qquad I_r = \frac{1}{2}I_t$$

$$I_r = y(t)\cdot\cos(\omega_r t - \Delta\varphi)$$

$$= I_t\cdot\cos(\omega_t t)\cdot\cos(\omega_r t - \Delta\varphi) - Q_t\cdot\sin(\omega_t t)\cdot\cos(\omega_r t - \Delta\varphi)$$

$$= I_t\cdot\cos(\omega_t t)\cdot\cos(\omega_t t - \Delta\omega\cdot t - \Delta\varphi) - Q_t\cdot\sin(\omega_t t)\cdot\cos(\omega_t t - \Delta\omega\cdot t - \Delta\varphi)$$

$$= [I_t\cdot\cos^2(\omega_t t)\cdot\cos(\Delta\boldsymbol{\omega}\cdot t + \Delta\boldsymbol{\varphi}) + I_t\cdot\cos(\omega_t t)\cdot\sin(\omega_t t)\cdot\sin(\Delta\boldsymbol{\omega}\cdot t + \Delta\boldsymbol{\varphi})]$$

$$-[Q_t\cdot\sin(\omega_t t)\cdot\cos(\omega_t t)\cdot\cos(\Delta\boldsymbol{\omega}\cdot t + \Delta\boldsymbol{\varphi}) + Q_t\cdot\sin^2(\boldsymbol{\omega}_t t)\cdot\sin(\Delta\boldsymbol{\omega}\cdot t + \Delta\boldsymbol{\varphi})]$$

$$= [I_t\cdot\frac{\cos(2\omega_t t)+1}{2}\cdot\cos(\Delta\boldsymbol{\omega}\cdot t + \Delta\boldsymbol{\varphi}) + \cancel{I_t\cdot\frac{\sin(2\omega_t t)}{2}\cdot\sin(\Delta\boldsymbol{\omega}\cdot t + \Delta\boldsymbol{\varphi})}]$$

$$-\left[\cancel{Q_t\cdot\frac{\sin(2\omega_t t)}{2}\cdot\cos(\Delta\boldsymbol{\omega}\cdot t + \Delta\boldsymbol{\varphi})} + Q_t\cdot\frac{1-\cos(2\omega_t t)}{2}\cdot\sin(\Delta\boldsymbol{\omega}\cdot t + \Delta\boldsymbol{\varphi})\right]$$

$$I_r = \frac{1}{2}I_t\cdot\cos(\Delta\boldsymbol{\omega}\cdot t + \Delta\boldsymbol{\varphi}) - \frac{1}{2}Q_t\cdot\sin(\Delta\boldsymbol{\omega}\cdot t + \Delta\boldsymbol{\varphi})$$

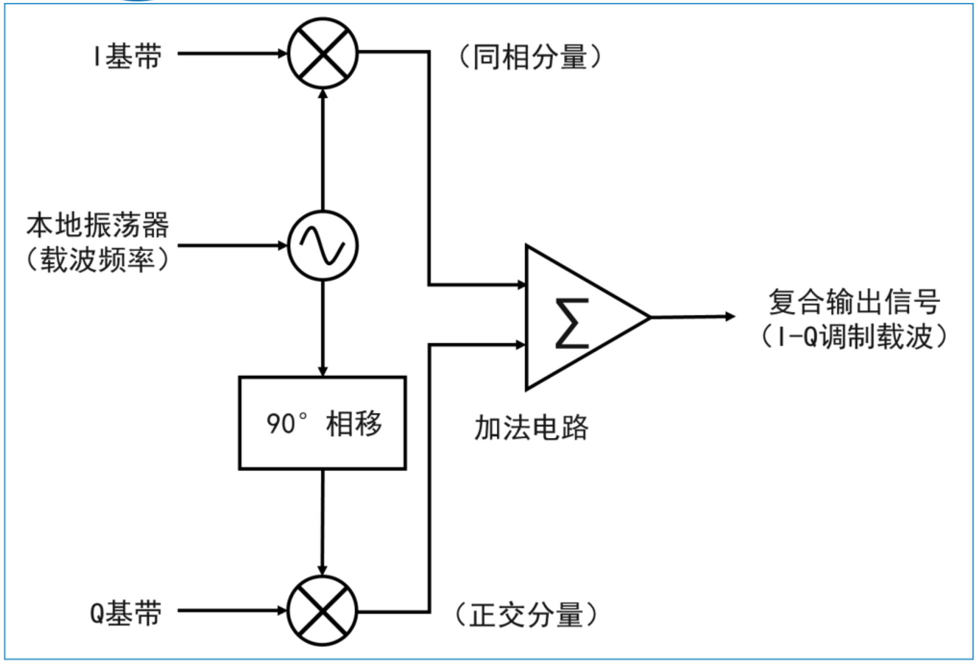
频偏相偏带来的影响

$$Q_r = y(t)\cdot[-sin(\omega_t t)] = [I_t\cdot cos(\omega_t t) + Q_t\cdot sin(\omega_t t)]\cdot sin(\omega_t t)\,; \qquad Q_r = \frac{1}{2}Q_t$$

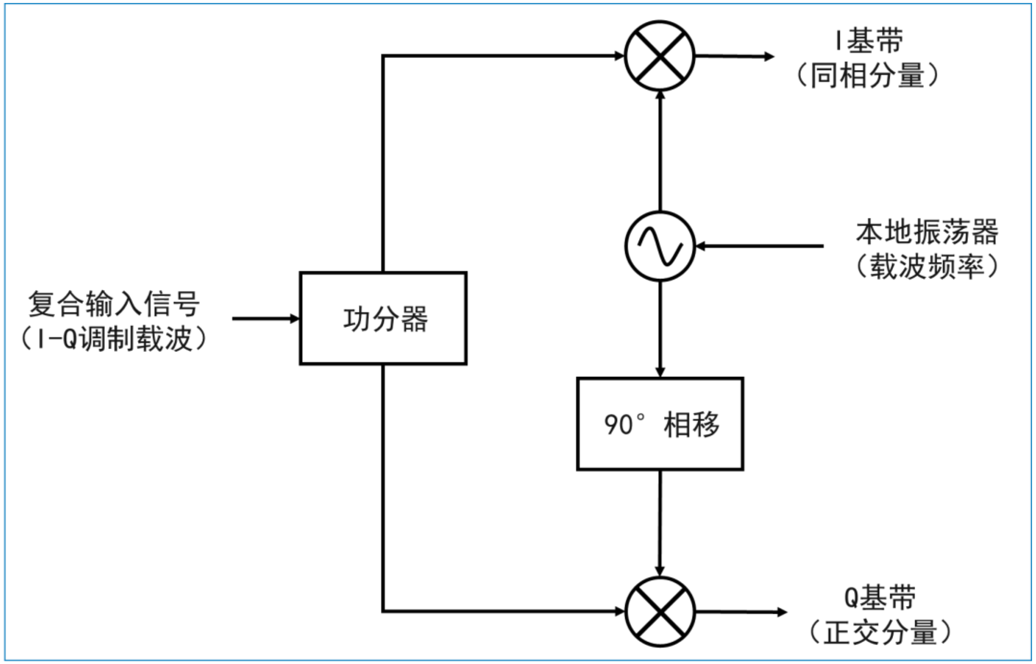
$$\begin{aligned}
Q_r &= y(t)\cdot[-\sin(\omega_r t - \Delta\varphi)] \\
&= -I_t\cdot\cos(\omega_t t)\cdot\sin(\omega_r t - \Delta\varphi) + Q_t\cdot\sin(\omega_t t)\cdot\sin(\omega_r t - \Delta\varphi) \\
&= -I_t\cdot\cos(\omega_t t)\cdot\sin(\omega_t t - \Delta\omega\cdot t - \Delta\varphi) + Q_t\cdot\sin(\omega_t t)\cdot\sin(\omega_t t - \Delta\omega\cdot t - \Delta\varphi) \\
&= -[I_t\cdot\cos(\omega_t t)\cdot\sin(\omega_t t)\cdot\cos(\Delta\omega\cdot t + \Delta\varphi) - I_t\cdot\cos^2(\omega_t t)\cdot\sin(\Delta\omega\cdot t + \Delta\varphi)] \\
&\quad +[Q_t\cdot\sin^2(\omega_t t)\cdot\cos(\Delta\omega\cdot t + \Delta\varphi) - Q_t\cdot\sin(\omega_t t)\cdot\cos(\omega_t t)\cdot\sin(\Delta\omega\cdot t + \Delta\varphi)] \\
&= [\cancel{-I_t\cdot\frac{\sin(2\omega_t t)}{2}\cdot\cos(\boldsymbol{\Delta\omega}\cdot t + \boldsymbol{\Delta\varphi})} + I_t\cdot\frac{cos(2\omega_t t)+1}{2}\cdot\sin(\boldsymbol{\Delta\omega}\cdot t + \boldsymbol{\Delta\varphi})] \\
&\quad + \left[Q_t\cdot\frac{1-\cos(2\omega_t t)}{2}\cdot\cos(\boldsymbol{\Delta\omega}\cdot t + \boldsymbol{\Delta\varphi}) \cancel{- Q_t\cdot\frac{sin(2\omega_t t)}{2}\cdot\sin(\boldsymbol{\Delta\omega}\cdot t + \boldsymbol{\Delta\varphi})}\right]
\end{aligned}$$

$$Q_r = \frac{1}{2}I_t\cdot\sin(\boldsymbol{\Delta\omega}\cdot t + \boldsymbol{\Delta\varphi}) + \frac{1}{2}Q_t\cdot\cos(\boldsymbol{\Delta\omega}\cdot t + \boldsymbol{\Delta\varphi})$$

频偏相偏带来的影响



（a）I-Q调制



（b）I-Q解调

$$
\begin{cases}
I_r = \frac{1}{2} I_t \cdot \cos(\Delta\omega \cdot t + \Delta\varphi) - \frac{1}{2} Q_t \cdot \sin(\Delta\omega \cdot t + \Delta\varphi) \\
Q_r = \frac{1}{2} I_t \cdot \sin(\Delta\omega \cdot t + \Delta\varphi) + \frac{1}{2} Q_t \cdot \cos(\Delta\omega \cdot t + \Delta\varphi)
\end{cases}
$$

频偏相偏带来的影响

- 产生频偏相偏的原因有哪些?

1. 收发两端时钟不同源
2. 收发两端样点不同步导致的相偏
3. 无线信道引入的频偏和相偏
4. 收发信机的一些处理引入的延时导致的相偏

频偏估计和补偿

$$
\begin{aligned}
r_k &= I_r + j * Q_r \\
&= \cos(a_k\pi)\cos(\Delta\omega k T_{sym} + \Delta\varphi) - \sin(a_k\pi)\sin(\Delta\omega k T_{sym} + \Delta\varphi) \\
&\quad + j[\cos(a_k\pi)\sin(\Delta\omega k T_{sym} + \Delta\varphi) + \sin(a_k\pi)\cos(\Delta\omega k T_{sym} + \Delta\varphi)] \\
&= \cos(a_k\pi + \Delta\omega k T_{sym} + \Delta\varphi) + j\sin(a_k\pi + \Delta\omega k T_{sym} + \Delta\varphi) \\
&= e^{j\boldsymbol{a_k}\pi} e^{j(\boldsymbol{\Delta\omega}\cdot k\cdot T_{sym} + \Delta\varphi)}; \quad 1 \le k \le N
\end{aligned}
$$

以4PSK为例，$a_k = \pm 1/4$， $\pm 3/4$。

$$
z_k = {r_k}^M = e^{jM(\Delta\omega\cdot k\cdot T_{sym} + \Delta\varphi)} \quad 1 \le k \le N
$$

使用L&R算法

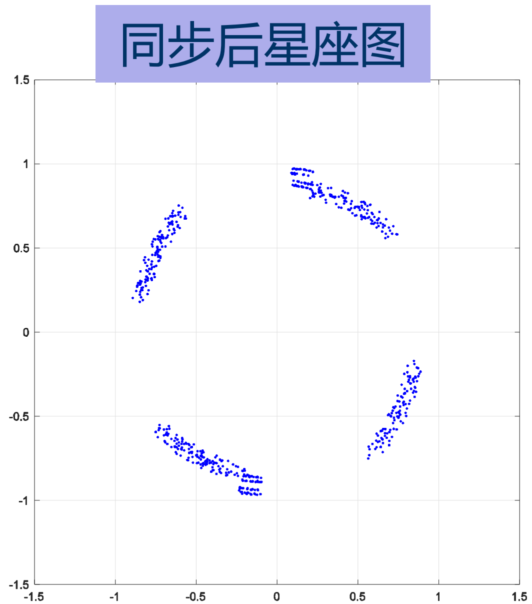
M. Luise and R. Reggiannini. Carrier frequency recovery in all-digital modems for burst-mode transmissions[J]. IEEE Transactions on Communications

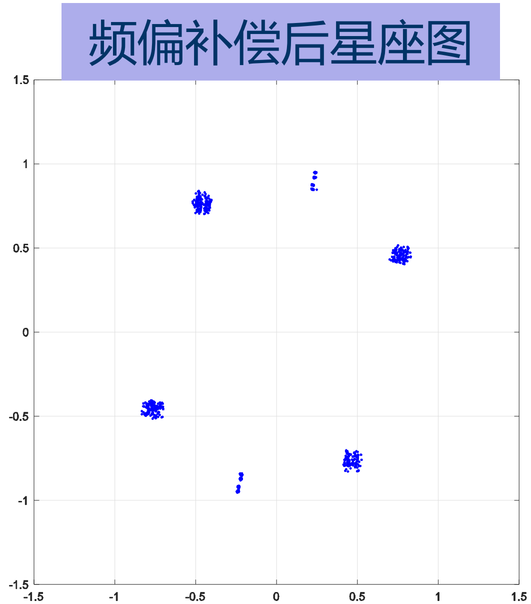
$$
\mathrm{R}(k) = \frac{1}{N-k}\sum_{i=k+1}^{N} z_i z_{i-k}^{*} \quad 1 \le k \le N-1
$$

$$
\Delta\widehat{\omega} \cong \frac{2}{MNT_{sym}} \arg\left\{\sum_{k=1}^{k=N-1} R(k)\right\}
$$

$$
r_k * e^{-j(\Delta\omega\cdot k\cdot T_{sym})} = s_k e^{j(\Delta\varphi)}
$$

频偏估计和补偿


同步后星座图
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5


频偏补偿后星座图
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5

相偏估计和补偿

经过频偏估计后的MPSK训练序列为：

$$r_k = I_r + j * Q_r = e^{ja_k\pi}e^{j\Delta\theta} \quad 1 \le k \le N$$

而本地生成的MPSK训练序列为：

$$(r_{local})_k = e^{ja_k\pi} \quad 1 \le k \le N$$

两者共轭相乘：

$$r_k(r_{local})_k^* = e^{j\Delta\theta}$$

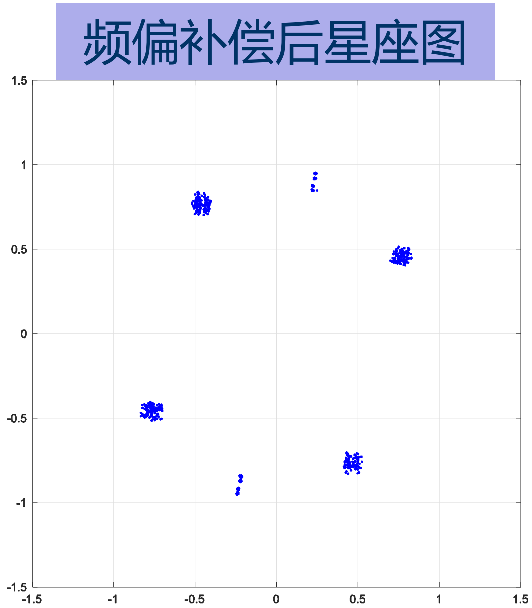
进一步提高精度，对相偏信息序列的幅角求均值：

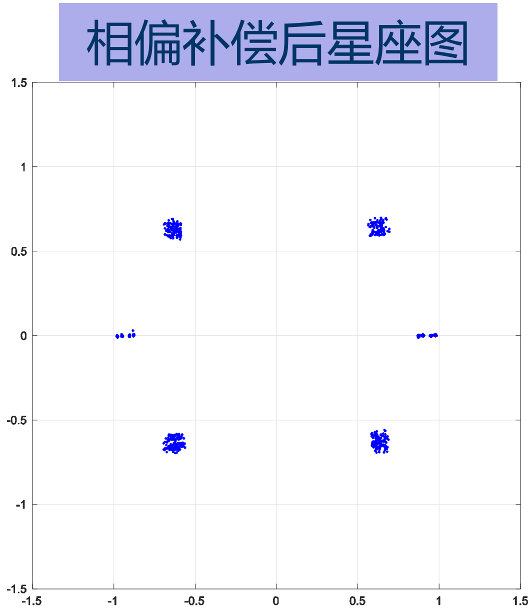
$$\Delta\hat{\theta} = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}\arg\{r_k(r_{local})_k^*\}$$

对接收信号进行相位补偿

$$\hat{r}_k = e^{j(a_k\pi+\Delta\theta)}e^{-j\Delta\hat{\theta}} = e^{ja_k\pi}$$

相偏估计和补偿


频偏补偿后星座图
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5

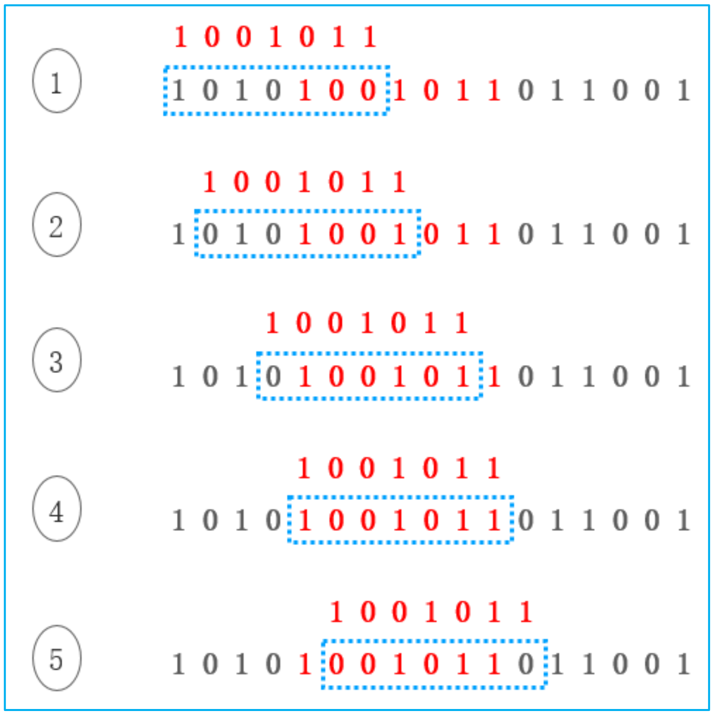

相偏补偿后星座图
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5

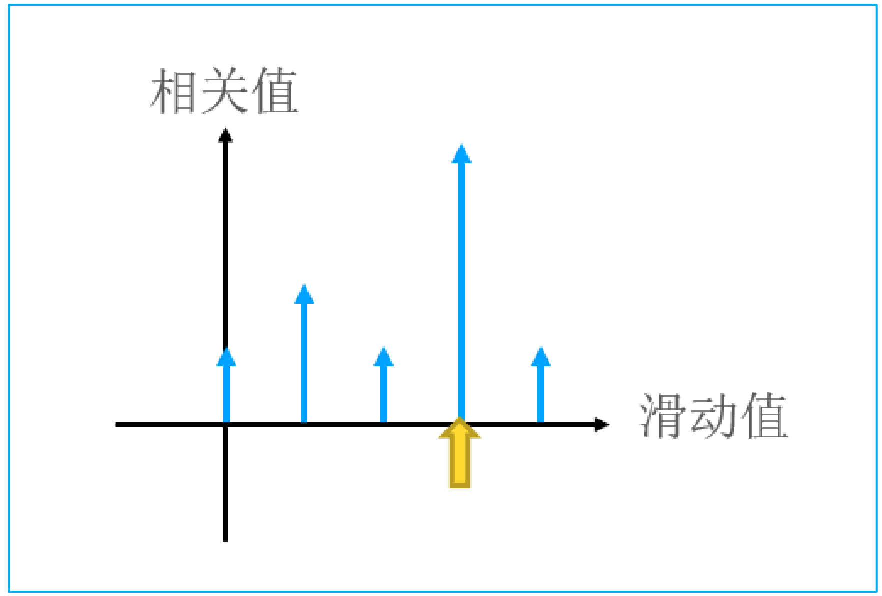
帧组同步

训练序列：127位M序列

帧组同步

利用M序列自相关性强的特点
滑动窗口，接收序列和训练序列求相关

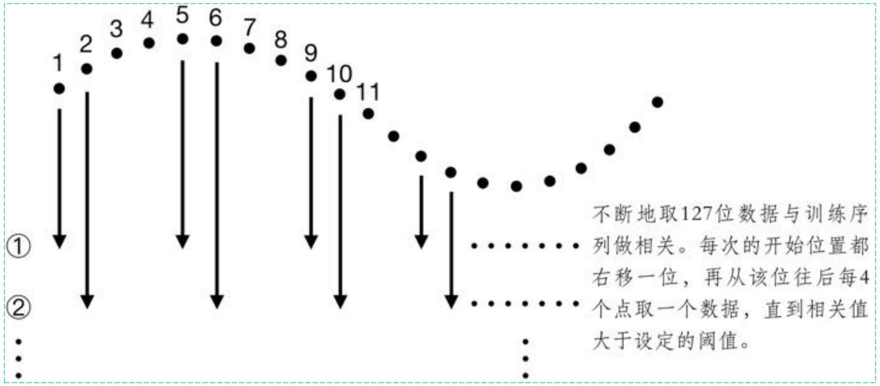




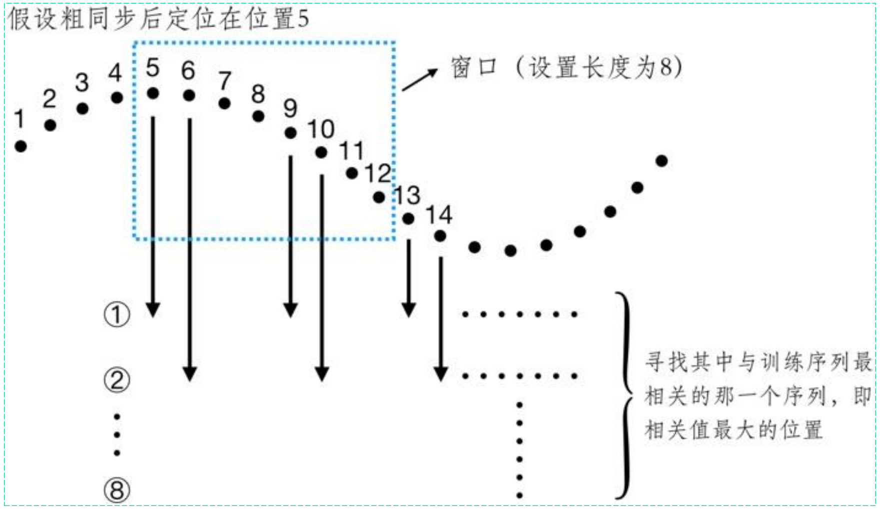
滑动窗口做相关：以M=1001011为例

帧组同步

粗同步

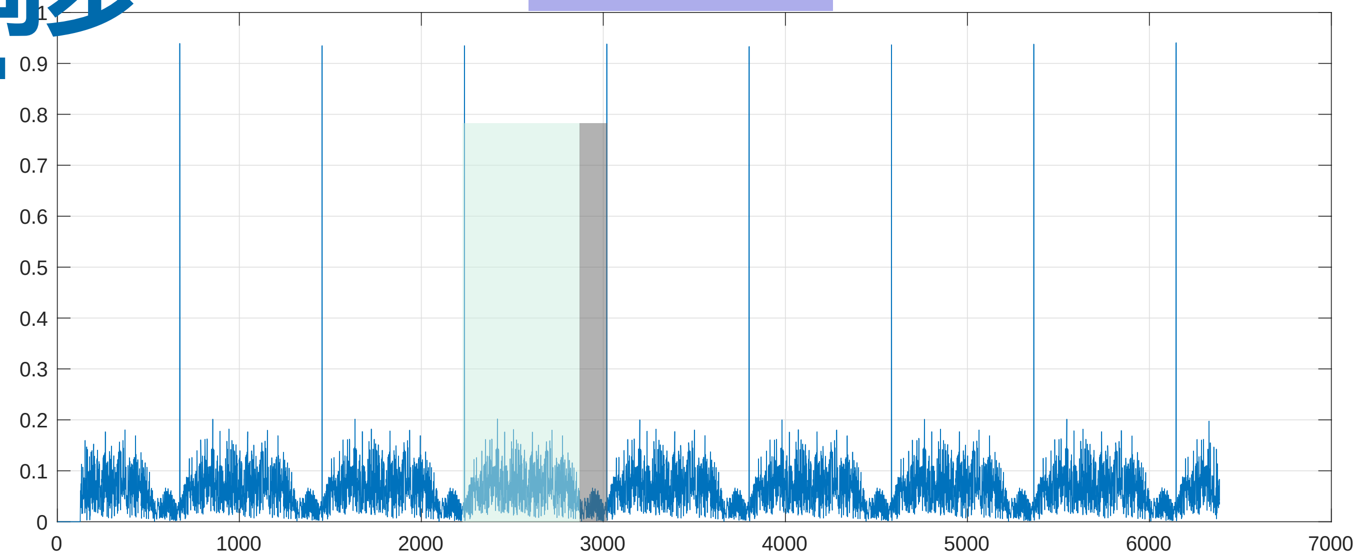

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
①
②
不断地取127位数据与训练序列做相关。每次的开始位置都右移一位，再从该位往后每4个点取一个数据，直到相关值大于设定的阈值。

精同步


假设粗同步后定位在位置5
窗口（设置长度为8）
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
①
②
⑧
寻找其中与训练序列最相关的那一个序列，即相关值最大的位置

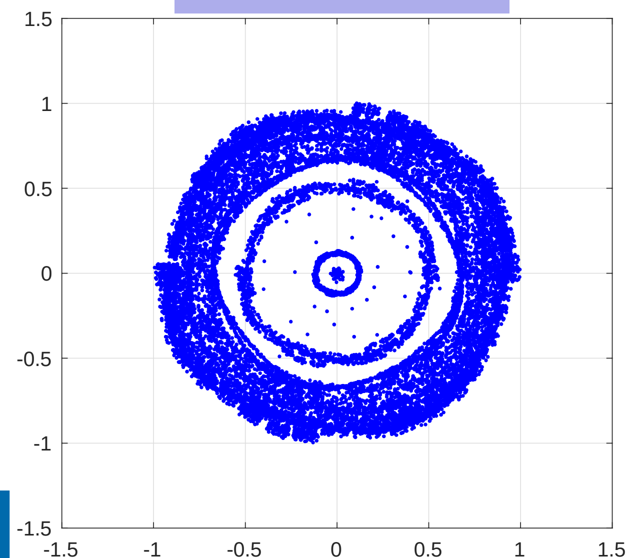
帧组同步

相关值-索引

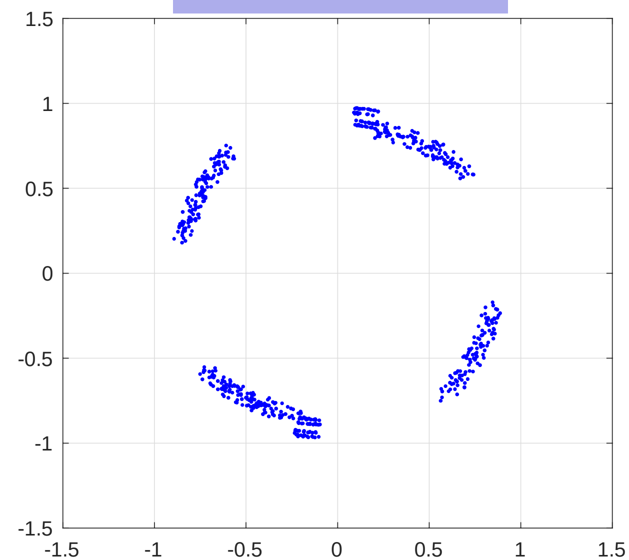


127位M序列
作为训练序列

同步前星座图



同步后星座图



帧组同步

- 帧组同步一定要在频偏估计之前吗？
- 含频偏和相偏的M序列，自相关性会受影响吗？

实验任务

① 在前两次实验课的基础上，进一步理解通信系统的组成

② 深入理解“帧组同步、频偏估计和补偿、相偏估计和补偿” 的原理

③ 参考老师给的帧组同步的代码，学习其具体实现

④ 对帧组同步前后的星座图进行分析和理解

⑤ 参考老师给的频偏估计的代码，学习其具体实现

⑥ <u>补充频偏补偿的代码</u>，并验证

⑦ 对频偏补偿前后的星座图进行分析和理解

⑧ <u>编写相偏估计和补偿的代码</u>，并验证

⑨ 对相偏补偿前后的星座图进行分析和理解

实验报告

一、实验内容

描述本次实验要完成的任务及相关指标

二、实验原理（公式或绘图允许手写）

分别描述帧组同步、频偏估计、相偏估计的原理

三、Matlab具体实现

描述matlab具体实现，切勿贴代码，用流程图或核心代码截图。

四、实验结果及结果分析

各处星座图、及对星座图的理解

五、总结并回答思考题

实验过程中遇到的问题及解决方法

回答思考题