

可能是全宇宙最通俗易懂的通信课

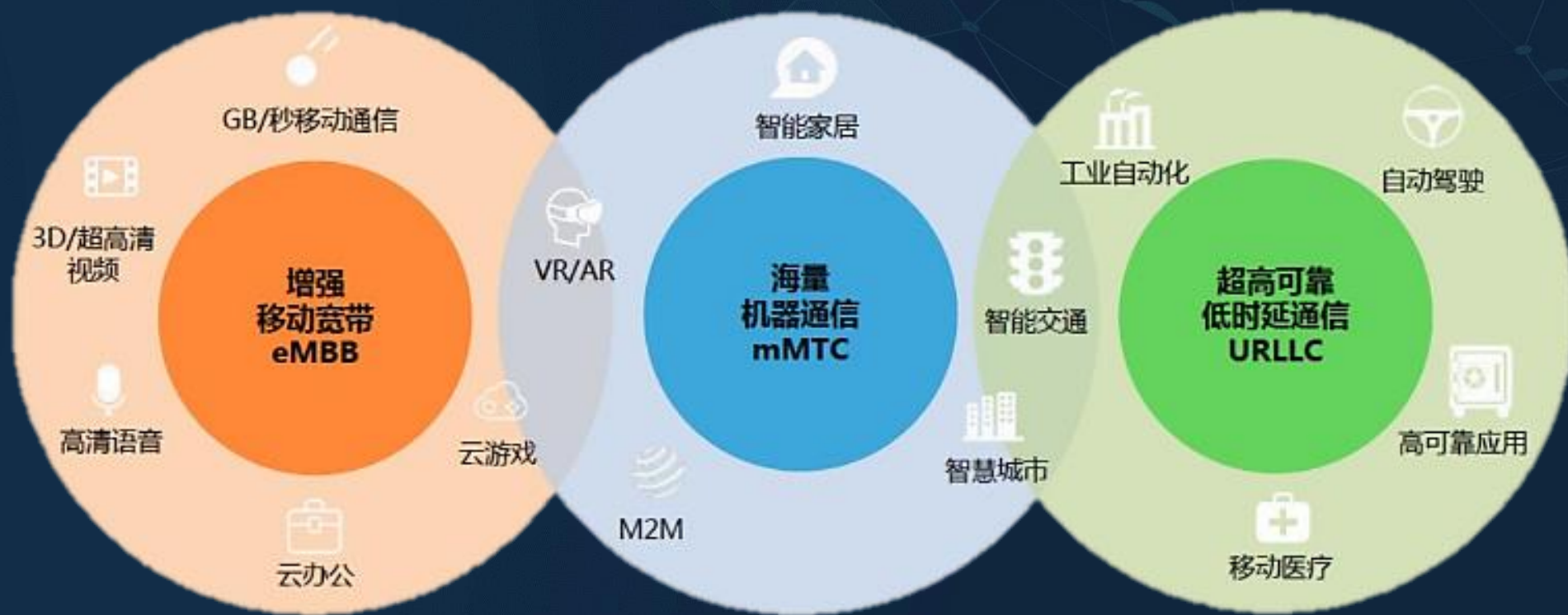
# 5G中的NOMA

Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for NR

@捻叶成剑

2021年12月

# 一切要从5G三大应用场景说起



R15

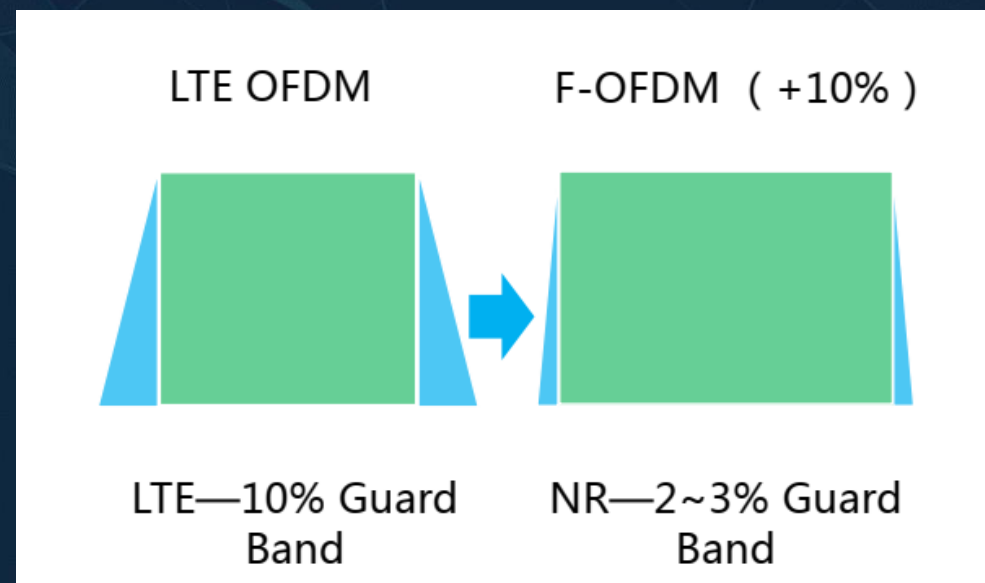
R17 ?

R16

# 5G R15&R16版本多址技术

下行方向上：OFDMA

上行方向上：DFT-S-FDMA



多址技术方面，与4G几乎一样，仅细节上有改进

## mMTC：海量物联网场景

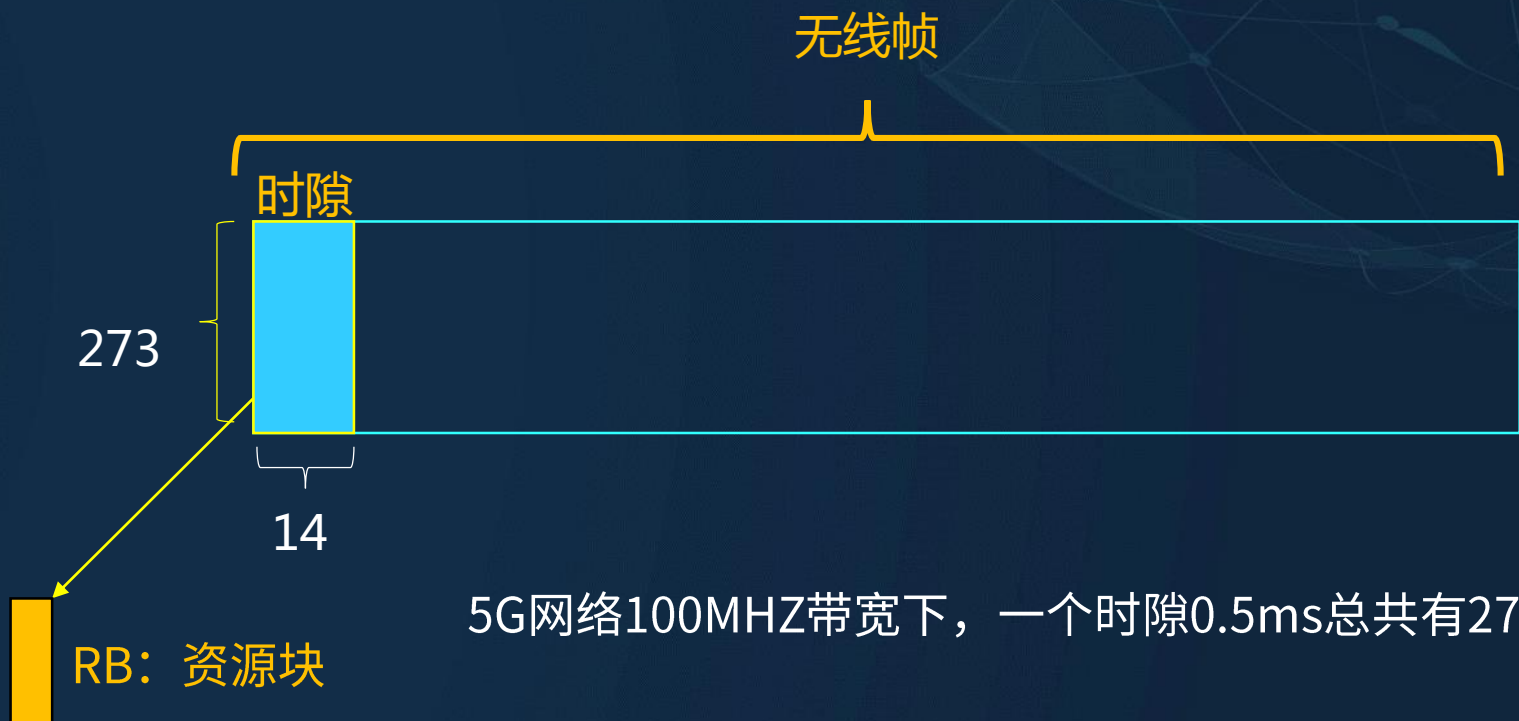
设备数量巨大：3GPP目标是每平方公里能同时接入100万个设备

如此巨大的接入量，现有的OFDMA的资源利用率不足以满足这么多设备的发送需求



用户可以使用的资源的最小单位是RB

5G 现网：20个时隙，TDD模式



5G网络100MHz带宽下，一个时隙0.5ms总共有 $273 \times 14 = 3822$ 个RB

由于不可能所有资源都给用户传输数据，因此，实际的可以给用户使用的RB少于3822

也就是说，最极限的情况下，一个时隙0.5ms也不可能调度用户超过3822个

因此，在mMTC场景下，**上行方向**上，就考虑使用新的多址接入方式，**NOMA**应运而生

为什么mMTC场景下，在**上行方向**上改变多址方式，而不是下行？

是因为，物联网设备，往往对**数据上传的需求大于数据下载的需求**。



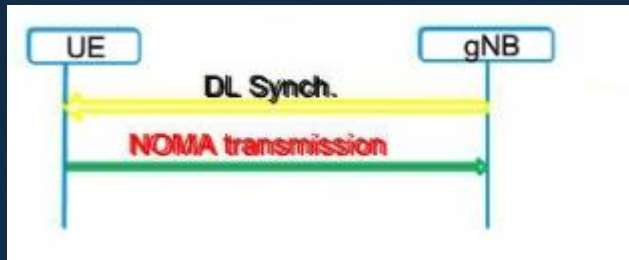
举个例子：

比如**智能电表**，每隔一定的时间，就把电表的度数通过基站，上传到服务器，比如每隔10个分钟上传一次，智能电表不怎么需要通过基站下载什么数据，可能你充值电费之后，基站才会发送数据给电表。（例子不精确，但是意思是这个意思）

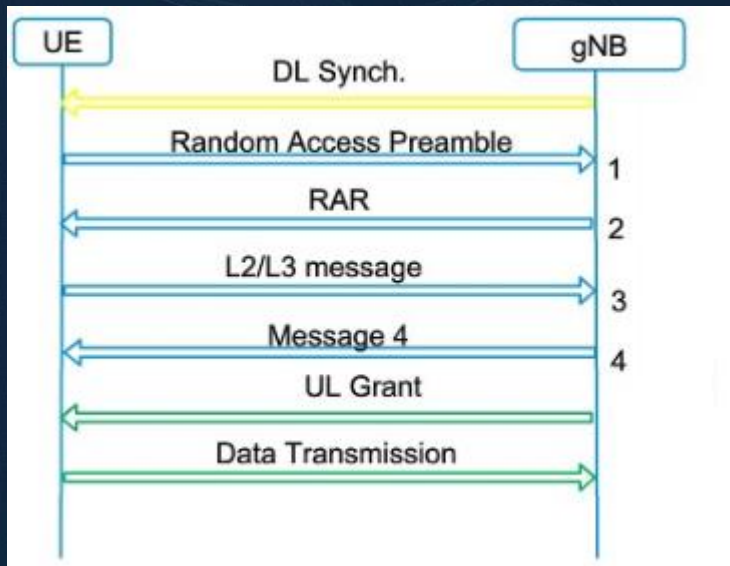
NOMA除了大幅度增加上行用户容量，还改变了**信息调度**方式，实现**免调度**

传统的UE发送数据，需要比较**长的信令交互流程**才能发送数据

NOMA实现不定时的突发小数据包发送，**无需基站的授权或者调度**，想发就发



免调度



传统交互流程

从缩短交互流程这个意义上，这个NOMA应用在**uRLLC场景**也有好处

# NOMA ( non-orthogonal multiple-access )

## 非正交多址接入技术

为了保证上行方向上面，能够接入更多的用户，  
NOMA的**根本思路**，就是让**多个用户占用相同的资源**进行上行传输



思路示意图



# NOMA的技术派别

其实NOMA严格意义上，就是一种“**思路**”，这种思路是需要由**具体的技术**来落地的，

从大类上面，NOMA的技术主要分两种派别：

- **PDM-NOMA**：功率域复用-----功率区分用户
- **CDM-NOMA**：码域复用-----码区分用户

日本NTT DoCoM公司的**NOMA**就属于**PDM-NOMA**技术派别，但是不要脸的采用了NOMA技术的总称我更愿意把日本这个，叫做PDM-NOMA才合理。

华为提出了**SCMA**、中兴提出了**MUSA**，大唐电信的**PDMA**等等属于**CDM-NOMA**技术派别

因此，严格意义上，我们宽泛的说去研究NOMA技术是不对的  
应该具体到学习某一个**落地方案**才有意义！

# NOMA: 3GPP协议编号TR 38.812

3GPP TR 38.812 V16.0.0 (2018-12)


Technical Report

3rd Generation Partnership Project;  
Technical Specification Group Radio Access Network;  
**Study on** Non-Orthogonal Multiple Access **(NOMA)** for NR  
(Release 16)












有意思的是协议名字上，带了**study**（研究）说明，这玩意目前还**没明确**采用哪种方案

# 3GPP协议仅更新到2018年底，之后没有更新过

 [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org) / [ftp](#) / [Specs](#) / [archive](#)

A GLOBAL INITIATIVE

<a href="#">sort by name/desc</a>	<a href="#">sort by date/desc</a>	<a href="#">sort by size/desc</a>
 <a href="#">38812-000.zip</a>	2018/03/16 8:26	26,4 KB
 <a href="#">38812-001.zip</a>	2018/03/16 8:27	30,5 KB
 <a href="#">38812-003.zip</a>	2018/09/06 16:36	53,1 KB
 <a href="#">38812-010.zip</a>	2018/09/06 16:34	53,2 KB
 <a href="#">38812-020.zip</a>	2018/11/03 5:42	2473,3 KB
 <a href="#">38812-030.zip</a>	2018/12/03 15:39	5730,1 KB
 <a href="#">38812-040.zip</a>	2018/12/03 15:39	8862,2 KB
 <a href="#">38812-100.zip</a>	2018/12/03 17:04	9082,5 KB
 <a href="#">38812-g00.zip</a>	2018/12/27 7:47	8712,3 KB

9 items.

# 38.812协议内容实际上是多种落地方案的研究成果归纳总结

Release 16

6

3GPP TR 38.812 V16.0.0 (2018-12)

## 1 Scope

This document is intended to gather all technical outcome of the study item "Study on non-orthogonal multiple access (NOMA) for NR" [2], and draw a conclusion on a way forward.

本文件旨在收集研究项目“NR的非正交多址（NOMA）研究”[2]的所有技术成果，并就未来发展方向得出结论。

This activity involves the Radio Access work area of the 3GPP studies and has impacts both on the Mobile Equipment and Access Network of the 3GPP systems.

## 2 References

The following documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of the present document.



这张仿真对比图，里面有华为，中兴，大唐等技术方案的仿真对比

Release 16

28

3GPP TR 38.812 V16.0.0 (2018-12)

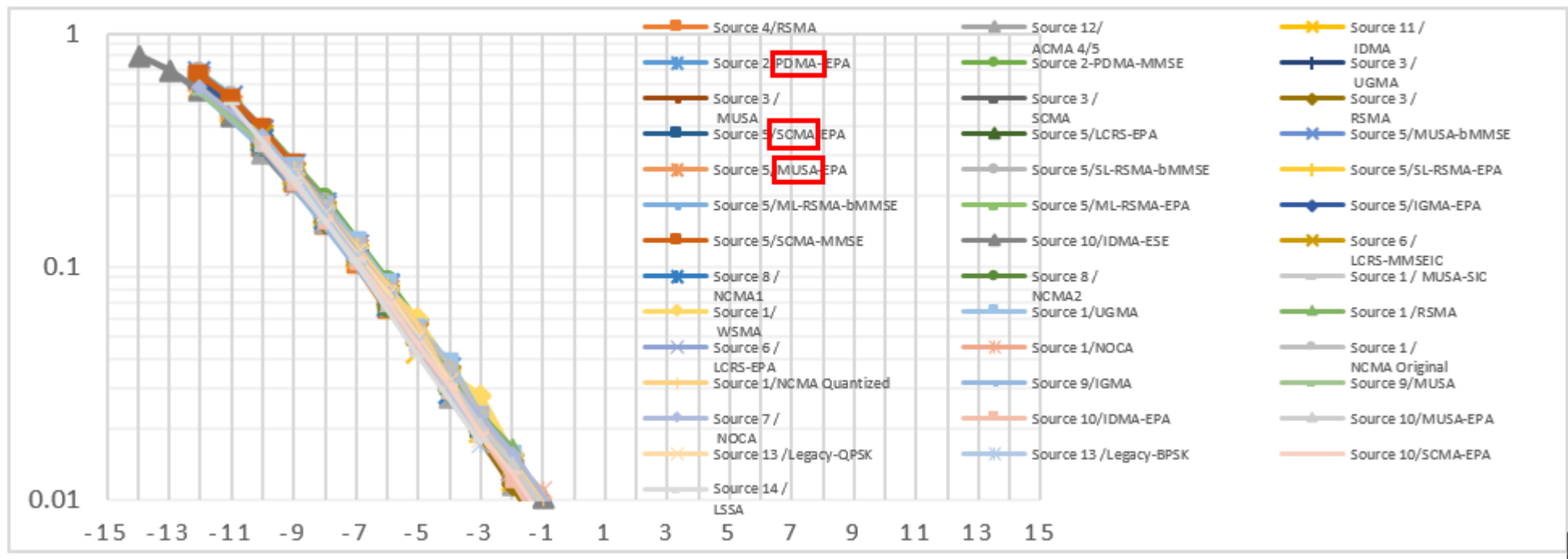


Figure 8.2-1: BLER vs. SNR results for Case 1 with 12 UEs

总而言之，NOMA目前依然在研究讨论当中。。。没有定论！

# 中兴MUSA技术方案

MUSA : Multi-User Shared Access多用户共享接入

MUSA方案有两个核心技术：

复数三元短序列扩频码：complex 3-valued code

SIC：串行干扰删除 Successive Interference Cancellation

# 复数三元短序列扩频码：complex 3-valued code

要实现多用户使用相同的时频资源传输信息，我们第一个想到的是CDMA  
用户使用的频率资源一样，传输时机一样，但是码不一样。  
MUSA也使用类似的思路，使用码来区分用户，但是使用的“码”却与CDMA不一样

为了搞清楚这个复数三元短序列扩频码，我们得进行拆解

复数 三元短序列 扩频码

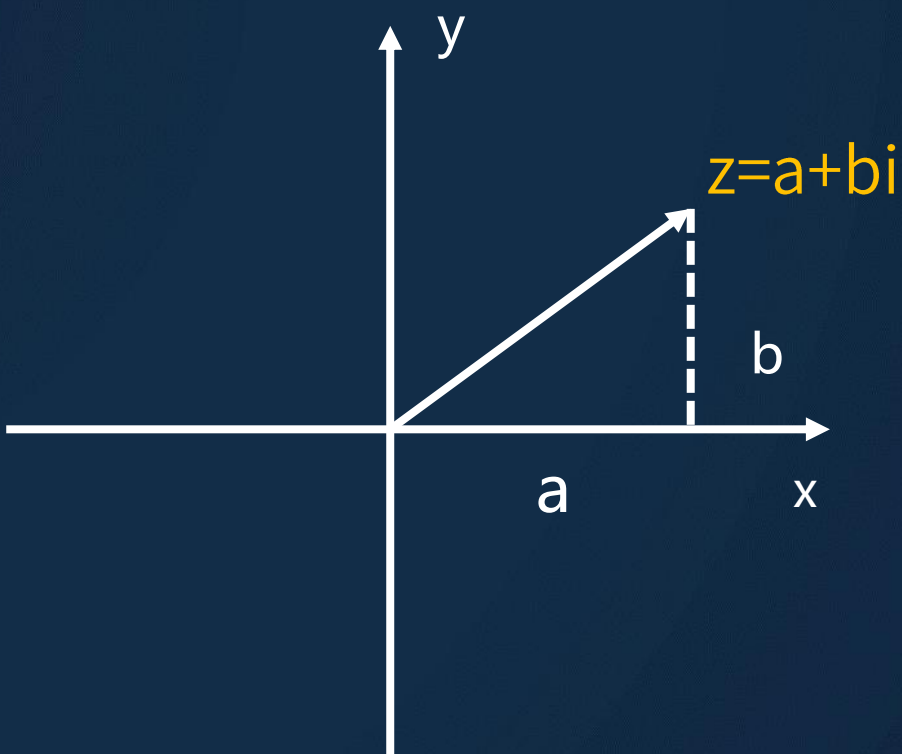
什么是复数？

什么是三元短序列？

怎么扩频的？

# 复数三元短序列扩频码

首先，这个码是复数域的码，这里面我们得简单复习一下高中知识：复数



形如  $z = a + bi$  ( $a$ 、 $b$ 均为实数) 的数称为复数， $a$ 称为实部， $b$ 称为虚部， $i$ 称为虚数单位，复数可以表示为一个平面上的点， $x$ 轴称为实轴， $y$ 轴称为虚轴。

注意， $i$ 也可以用 $j$ 来表示，在通信里面，我们通常用 $j$ 来代替 $i$ 来表示虚数的单位

所以，这里面，我们把复数写成  $z = a + bj$

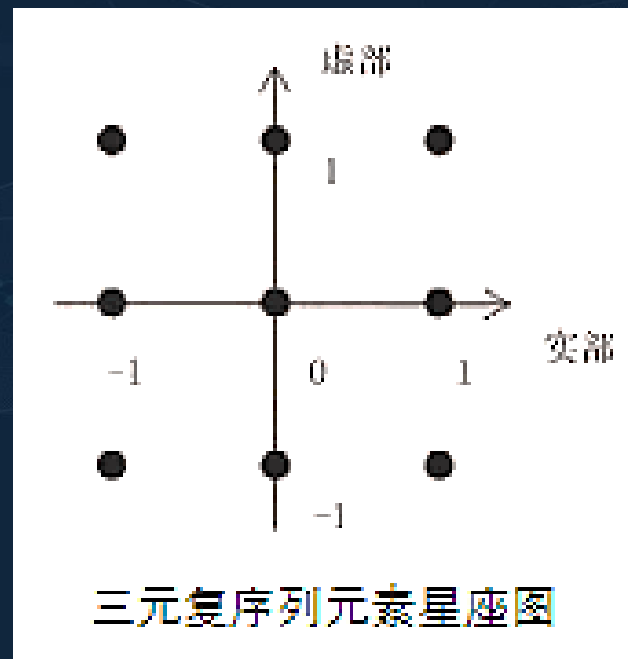


# 复数三元短序列扩频码

首先，什么是序列？类似1,2,3,4就是一个序列，3214也是一个序列，这种是自然数序列

而复数三元短序列，是个序列长度为4的复数序列\*

(这种序列也可以长度不为4，但是目前已查到的ZTE材料中，都是以序列长度4为标准进行设计)



序列中的每一个元素是什么呢？

首先循序一个原则：

其序列中的每一个复数的实部和虚部取之于一个简单的三元集合  $\{-1, 0, 1\}$

原则：

其序列中的每一个复数的实部和虚部取之于一个简单的三元集合  
 $\{-1, 0, 1\}$

我们知道，一个复数就是 $z = a + bj$ ，那么，这里面 $a$ 和 $b$ 的取值就是 $\{-1, 0, 1\}$

我们把 $a$ 和 $b$ 取值为 $\{-1, 0, 1\}$ 带入到公式 $z = a + bj$ 当中，可以得到：

当 $a = -1$ 时， $b = -1$ ，得到复数： $-1 - j$

当 $a = -1$ 时， $b = 0$ ，得到复数： $-1$

当 $a = -1$ 时， $b = 1$ ，得到复数： $-1 + j$

当 $a = 0$ 时， $b = -1$ ，得到复数： $-j$

当 $a = 0$ 时， $b = 0$ ，得到复数： $0$

当 $a = 0$ 时， $b = 1$ ，得到复数： $j$

当 $a = 1$ 时， $b = -1$ ，得到复数： $1 - j$

当 $a = 1$ 时， $b = 0$ ，得到复数： $1$

当 $a = 1$ 时， $b = 1$ ，得到复数： $1 + j$

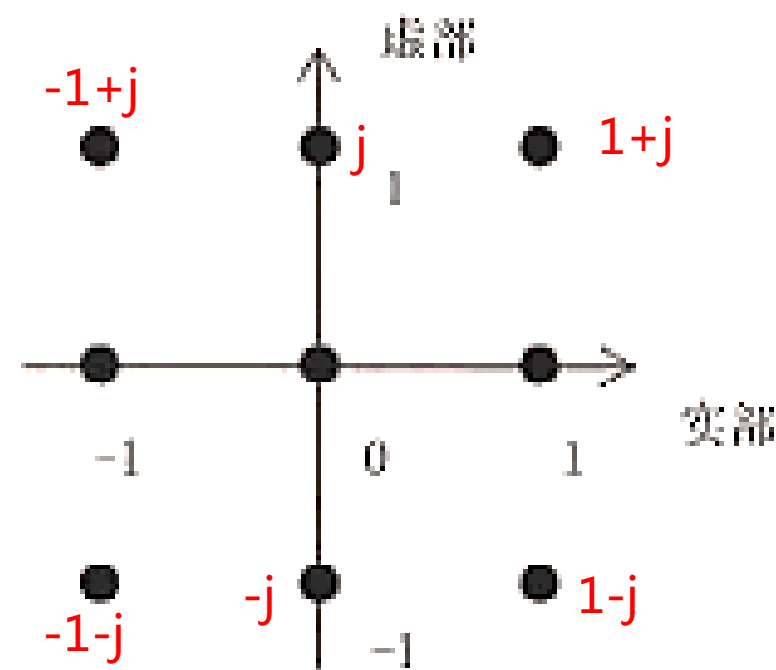
因此，这个长度为4的序列中的每一个元素，  
都是从这九个复数中随机选取的：

$\{-1 - j, -1, -1 + j, -j, 0, j, 1 - j, 1, 1 + j\}$

这九个复数，

$\{-1-j, -1, -1+j, -j, 0, j, 1-j, 1, 1+j\}$

如果使用复数平面来表示的话，就是这样



三元复序列元素星座图

# 复数三元短序列

原则

$z=a+bj$ ，那么，这里面 $a$ 和 $b$ 的取值是三元集合 $\{-1,0,1\}$

结论

这个长度为4的序列中的每一个元素，  
都是从这九个复数中随机选取的：  
 $\{-1-j, -1, -1+j, -j, 0, j, 1-j, 1, 1+j\}$

- 序列长度为4，说明短
- 其次，序列中的元素使用的是复数
- 复数的实部 $a$ 和虚部 $b$ 取值是三元集合，故称三元

复数三元短序列



# 复数三元短序列

结论

这个长度为4的序列中的每一个元素，  
都是从这九个复数中随机选取的：  
 $\{-1-j, -1, -1+j, -j, 0, j, 1-j, 1, 1+j\}$

按照结论，我们在九个里面随机取4个复数，就构成了一个复数三元短序列了  
比如：  $-1+j, 1-j, 1+j, 1$

由于这种序列长度为4，而每个元素可取范围为9，因此，排列组合一下，  
就可以得到，复数三元短序列的序列总个数是： $9^4=6561$ 个

所以，用户可以从这6561个序列集合当中，随机选择扩展序列

实际设备是否应该采用全部的序列，是否有优化的空间？这个是设备商研发的事情了

## 复数三元短序列扩频码

最后一环，如何利用这个码扩频的？先看一下MUSA的上行接入方案

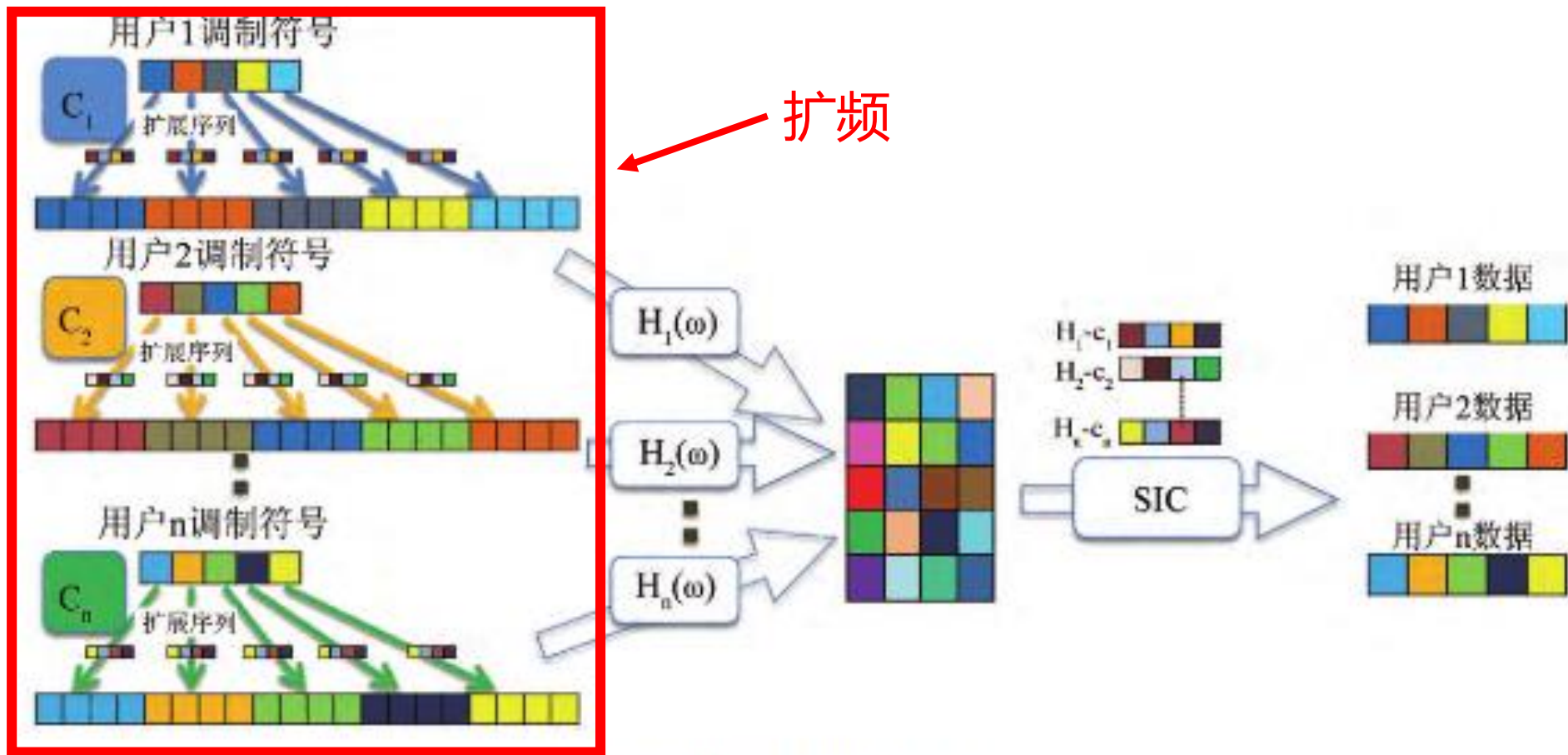
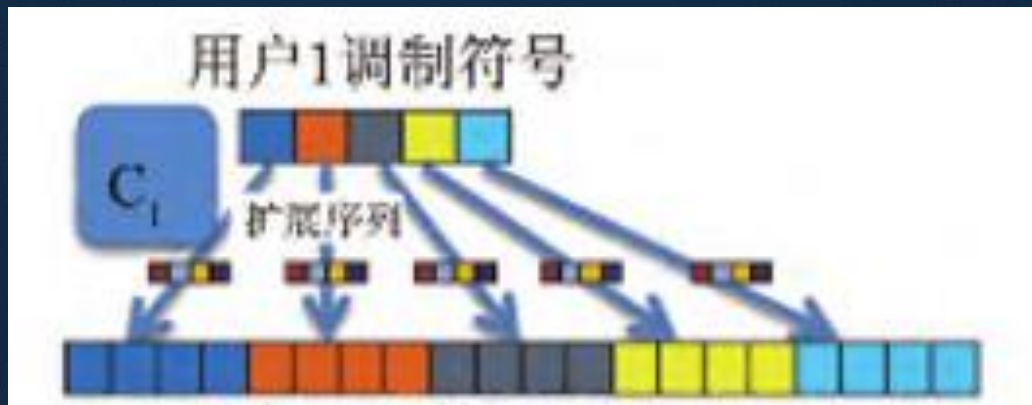


图1 MUSA上行接入方案

我们把其中一个用户的扩频处理单独拿出来



这里面有两个问题：

1. 用户的调制符号？

我们之前讲过调制，说调制就是把数据对应到波型，那么调制符号是什么意思？

2、一个用户的调制符号，与扩展序列进行了怎样的运算？才变成4个符号  
是相乘？还是相加？还是什么别的运算？

# 调制符号

以较为简单的QPSK调制作为例子

## 5.1.3 QPSK

In case of QPSK modulation, pairs of bits,  $b(2i), b(2i+1)$ , are mapped to complex-valued modulation symbols  $d(i)$  according to

在 QPSK 调制的情况下，成对的比特  $b(2i), b(2i+1)$  被映射为复值的调制符号，按照如下公式：

$$d(i) = \frac{1}{\sqrt{2}} [(1 - 2b(2i)) + j(1 - 2b(2i + 1))]$$

$$d(i) = \frac{1}{\sqrt{2}} [(1 - 2 * b(2i)) + j(1 - 2 * b(2i + 1))]$$

成对的bit为 00, 01, 10, 11，我们先拿 (11) 代入上面的公式中，

既： $b(2i) = 1$ ， $b(2i+1) = 1$

得到 $d(i) = \frac{1}{\sqrt{2}} [(1 - 2 * 1) + j(1 - 2)] = \frac{1}{\sqrt{2}} (-1 - j)$

3GPP 38.211协议



我们继续将00, 01, 10 代入  $d(i) = \frac{1}{\sqrt{2}} [(1 - 2 * b(2i)) + j(1 - 2 * b(2i + 1))]$

00代入

$$d(i) = \frac{1}{\sqrt{2}} [(1 - 2 * 0) + j(1 - 0)] = \frac{1}{\sqrt{2}}(1 + j)$$

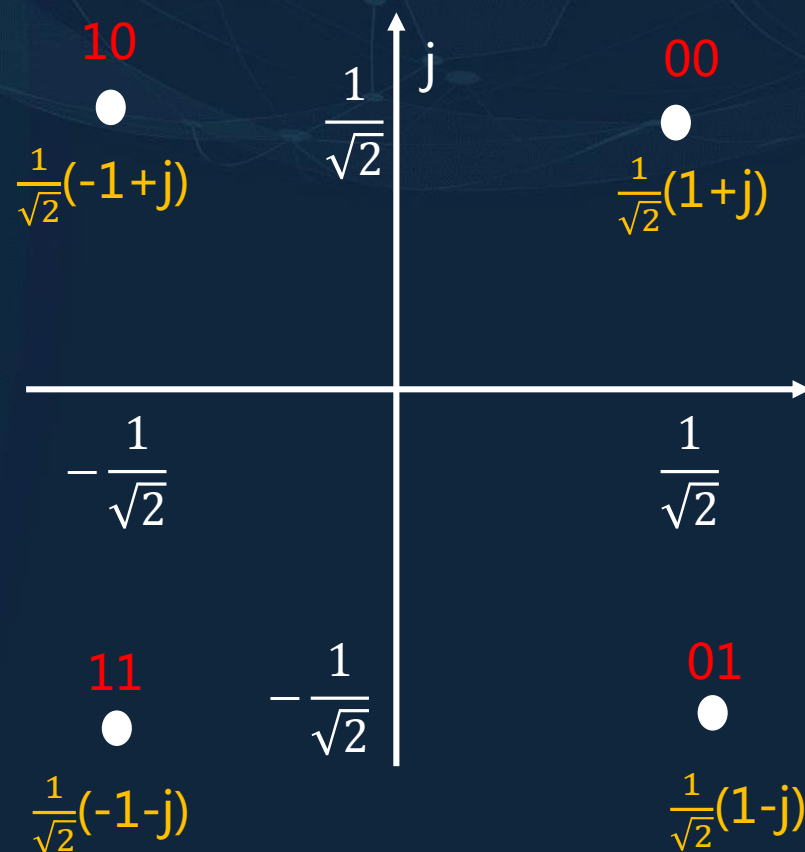
01代入

$$d(i) = \frac{1}{\sqrt{2}} [(1 - 2 * 0) + j(1 - 2)] = \frac{1}{\sqrt{2}}(1 - j)$$

10代入

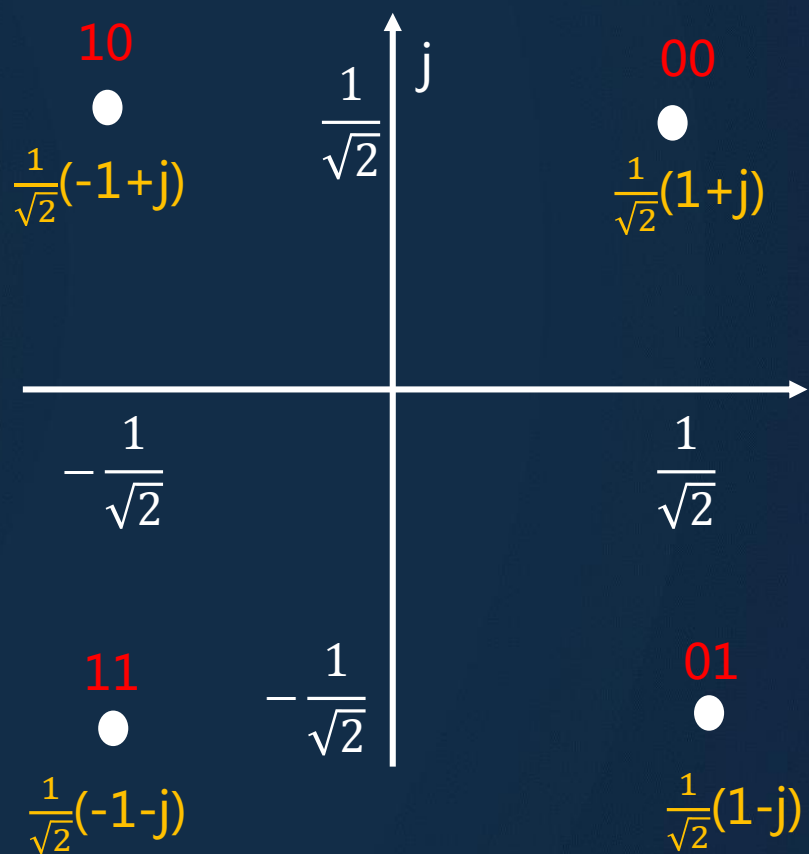
$$d(i) = \frac{1}{\sqrt{2}} [(1 - 2 * 1) + j(1 - 0)] = \frac{1}{\sqrt{2}}(-1 + j)$$

4个值在复平面中表示，就变成了QPSK星座图

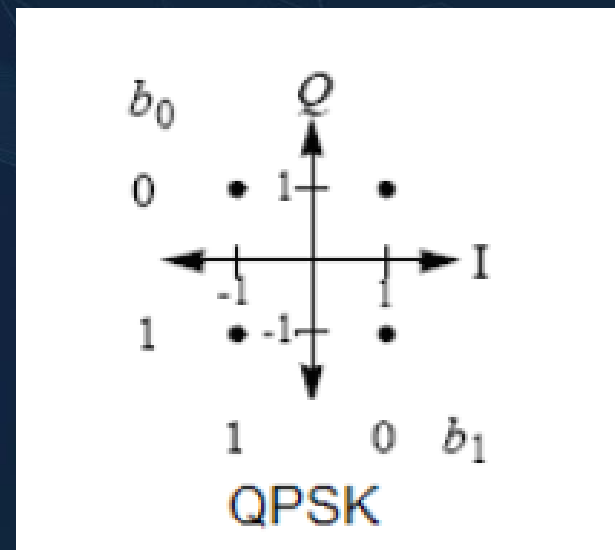


QPSK星座图

# QPSK星座图与之前讲过的图的对比

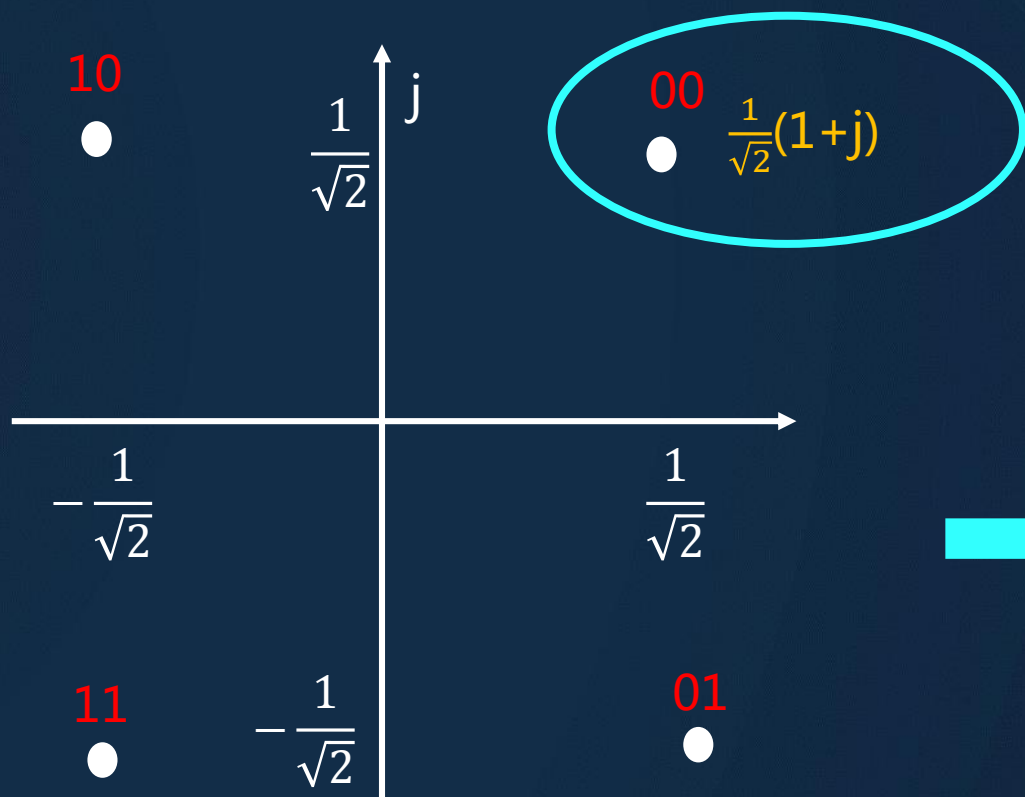


QPSK星座图

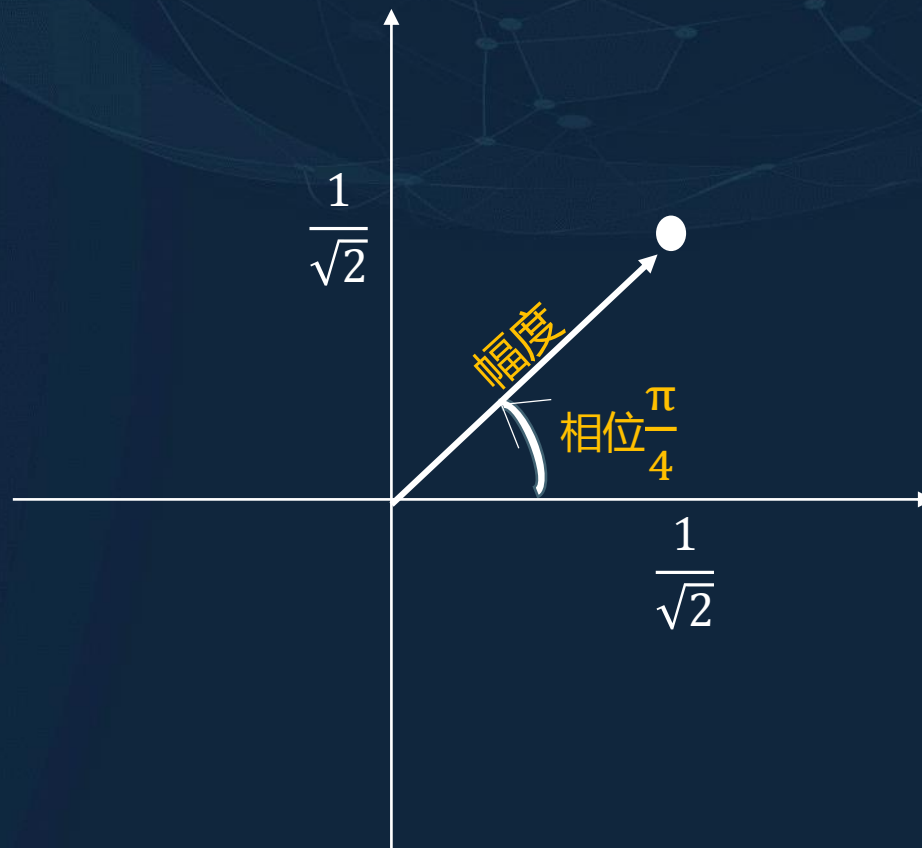


区别仅仅在于横轴和数轴的**刻度不同**

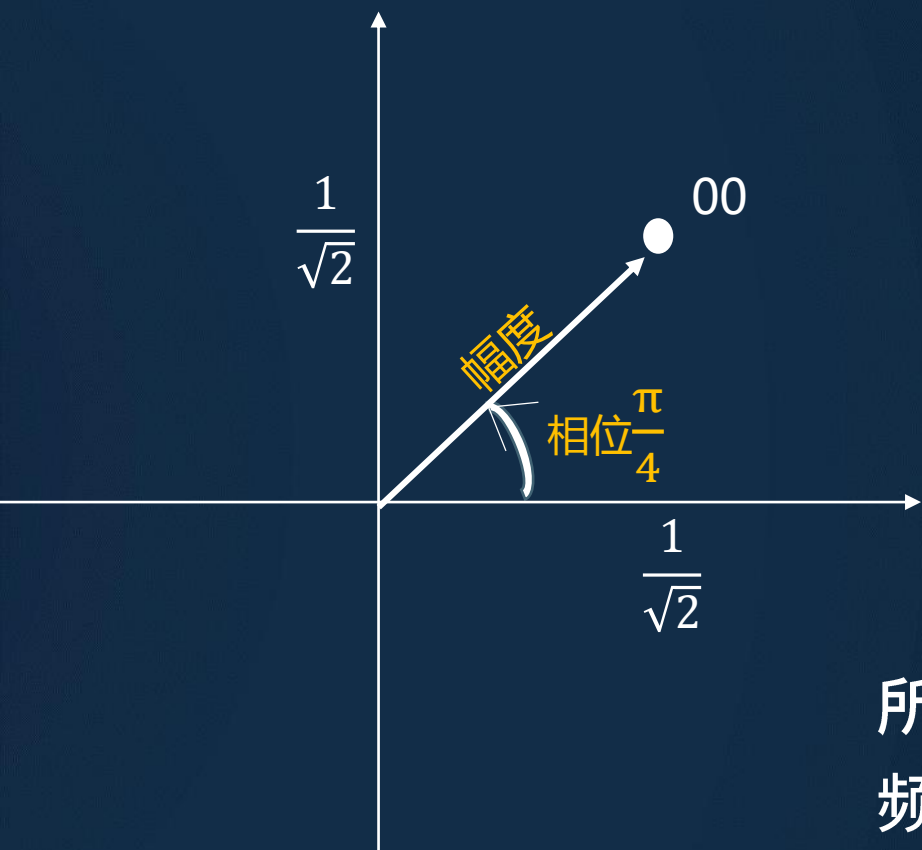
为了逻辑自洽，复数形式的星座图，到底如何表达为波形的？



QPSK星座图



星座图的另一一种看法



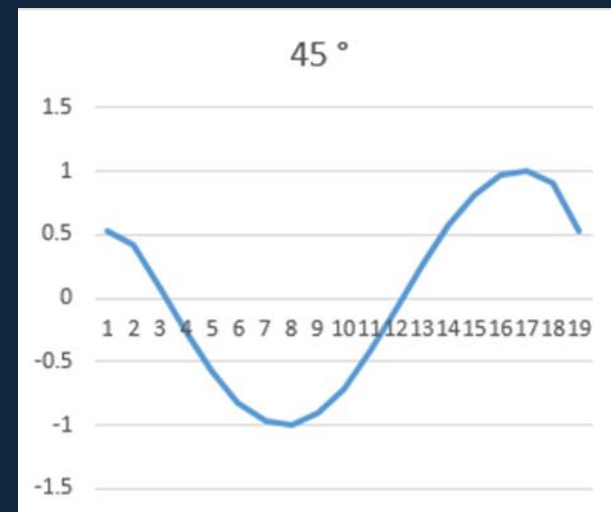
星座图的另一种看法

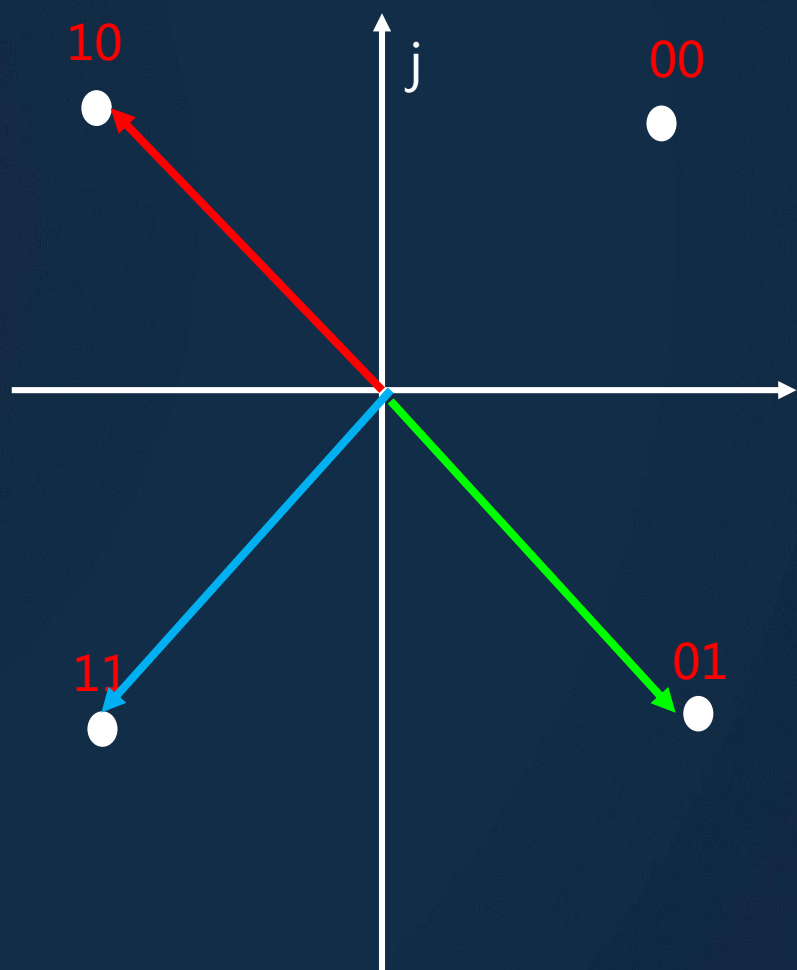
调制的波形使用这样的公式来表达：

$$S = A \cos(\omega t + \varphi)$$

这里面， $A$ 就是波的幅度， $\varphi$ 就是波的相位  
 $\omega$ 是频率

所以，传递数据00的这个波形，就是幅度为1，相位为 $\frac{\pi}{4}$ ，  
频率为 $\omega$ 的余弦波形

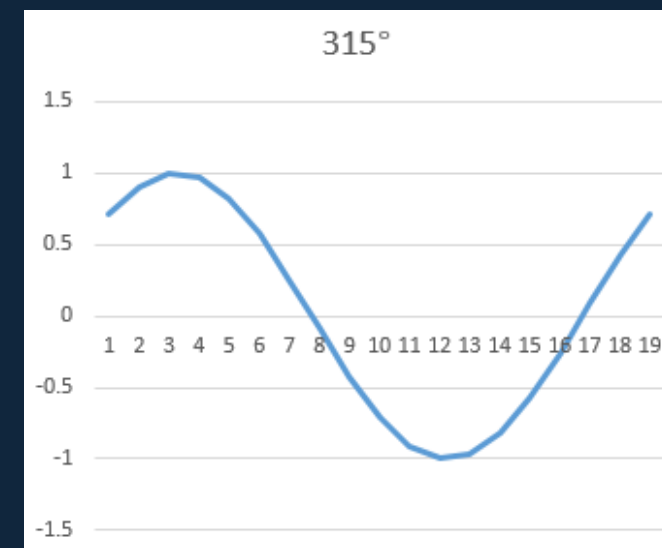
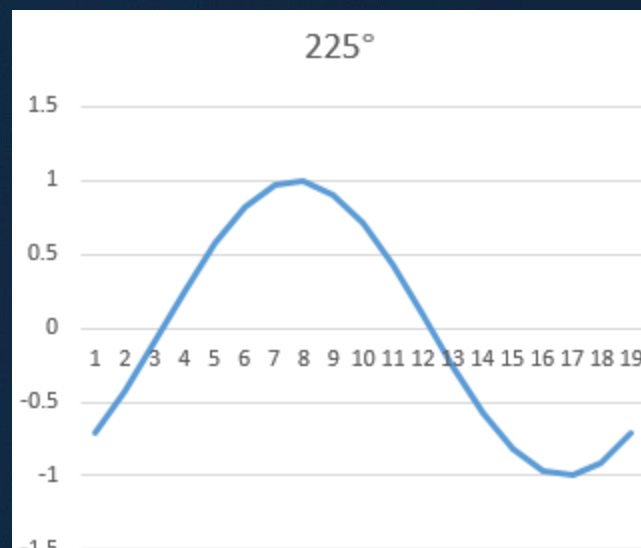
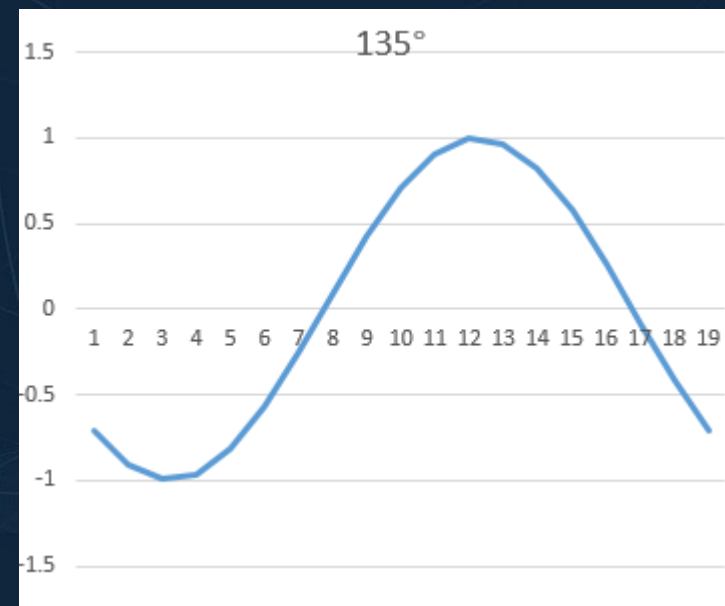




数据10对应的相位为 $\frac{3\pi}{4}$ ，幅度1

数据11对应的相位为 $\frac{5\pi}{4}$ ，幅度1

数据01对应的相位为 $\frac{7\pi}{4}$ ，幅度1

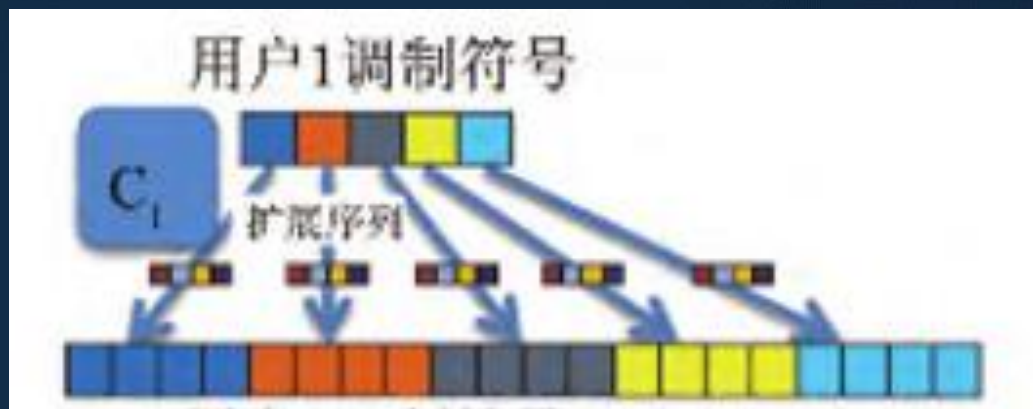




截止到此时此刻，我们知道以下结论：

- 1、用户的数据，其调制可以写成复数形式的符号，比如00调制为  $\frac{1}{\sqrt{2}}(1+j)$
- 2、复数三元短序列，是一种复数形式的序列，比如某一个序列是  $\{-1+j, 1-j, 1+j, 1\}$

由于数学表达形式相同，因此可以进行数学运算操作，那么它的运算规则是什么呢？  
(这句话换种问法就是：如何使用三元短序列扩频码进行扩频的？)



## 复数三元短序列的扩频运算规则

首先看经过信道后的接收信号表示公式\*

$$y = \sum_{k=1}^K h_k s_k x_k + z$$

其中，h是的信道增益，S是用户的扩频序列，  
X是用户调制数据，Z是高斯白噪声

从公式中，我们就知道了，用户的调制数据X与扩频序列S，是进行相乘运算的

\*公式来源于《MUSA系统中一种快速多用户检测算法》--作者武汉，邵凯，庄陵 重庆邮电大学

## 复数三元短序列的扩频运算规则

相乘运算的运算逻辑如下：

假设用户的调制符号为 $X$ ，扩频序列为 $\{S1, S2, S3, S4\}$ ， $S_n$ 代表了序列中的元素

那么，相乘运算的结果是：

$\{XS1, XS2, XS3, XS4\}$

接下来我们举个例子

## 复数三元短序列的扩频运算规则 举例

用户发送数据00，采用QPSK调制，符号为 $\frac{1}{\sqrt{2}}(1+j)$

复数三元短序列，我们随便取一个简单的 $\{1, -1, j, 0\}$

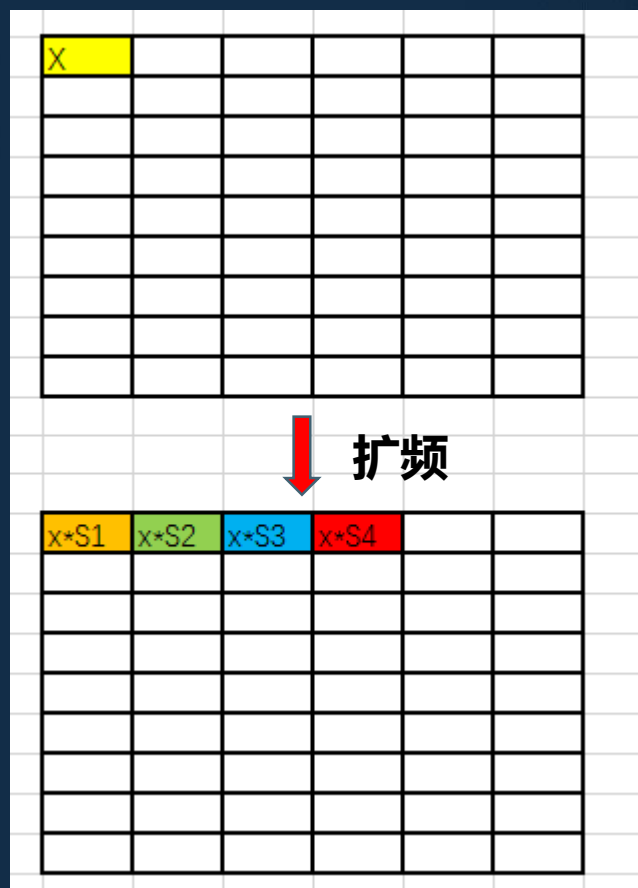
计算结果是： $\{\frac{1}{\sqrt{2}}(1+j), \frac{1}{\sqrt{2}}(-1-j), \frac{1}{\sqrt{2}}(-1+j), 0\}$

\*注： $j*j=-1$

原始的用户调制符号，“一变四”了

接下来的问题是，**单个用户**的原始调制符号**一变四**之后，如何用**RE**去装载扩展的符号呢？

一般有两种方案：**时域扩展**和**频域扩展**



**时域扩展**



**频域扩展**



MUSA的核心思想是多用户占用相同的资源，

那么两个用户的情况下呢？以频域扩展为例：

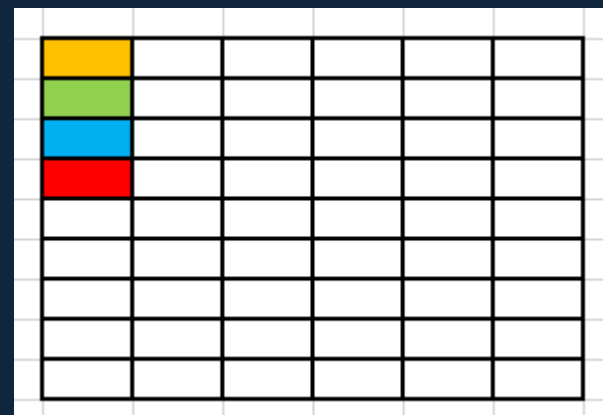


A用户



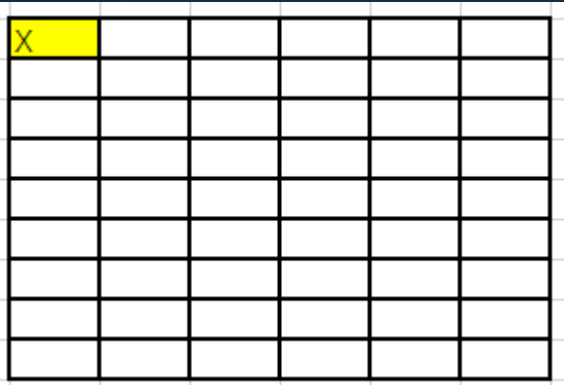
B用户

从基站的角度看，A和B用户的手机，都在这4个RE当中

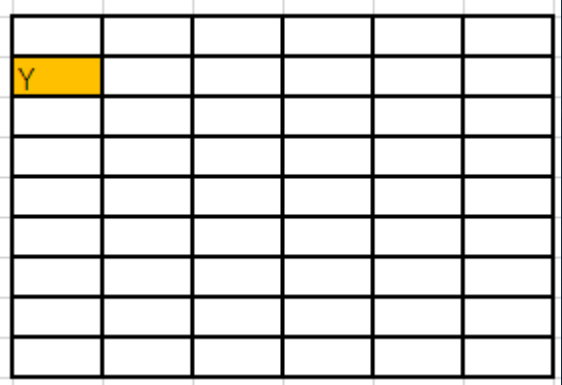


# MUSA与OFDMA的区别：

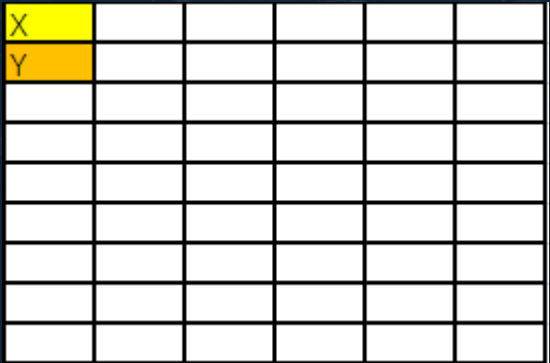
A用户



B用户

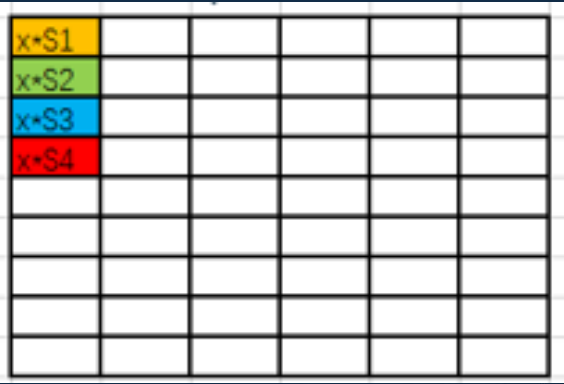


基站侧接收

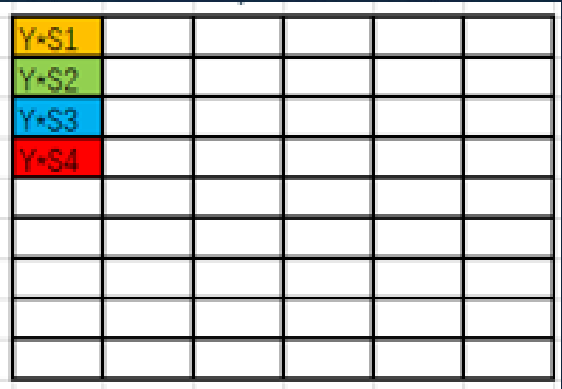


OFDMA

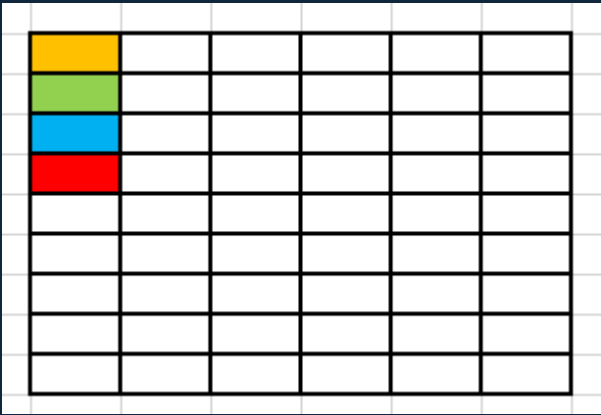
A用户



B用户



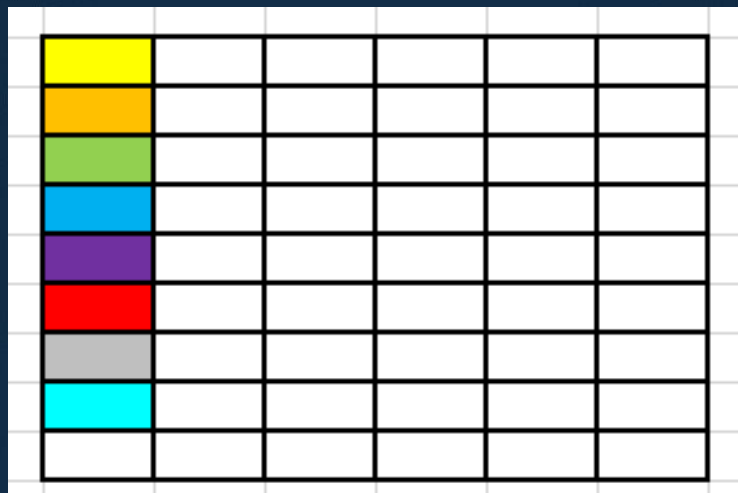
基站侧接收



MUSA

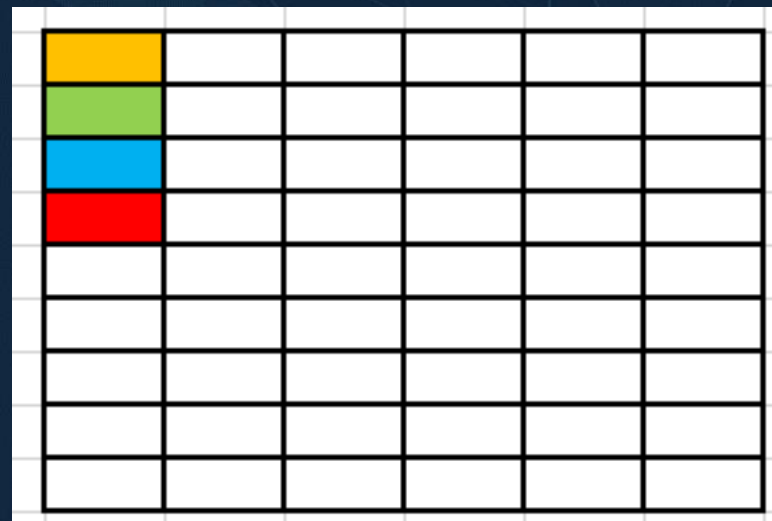
## MUSA与OFDMA的区别：用户越多，MUSA优势越明显

基站侧接收



OFDMA

基站侧接收



MUSA

MUSA每个用户  
使用一套扩频码

单RE，8用户接收的时候，OFDMA占用8RE，而MUSA占用4RE

注意：所有例子，都是为了讲解原理，并不代表一个用户只能占用一个RE，实际上也不可能

## SIC：串行干扰删除

SIC技术是用来解码用户数据的一种技术，因此，是用在用户数据接收端（基站）

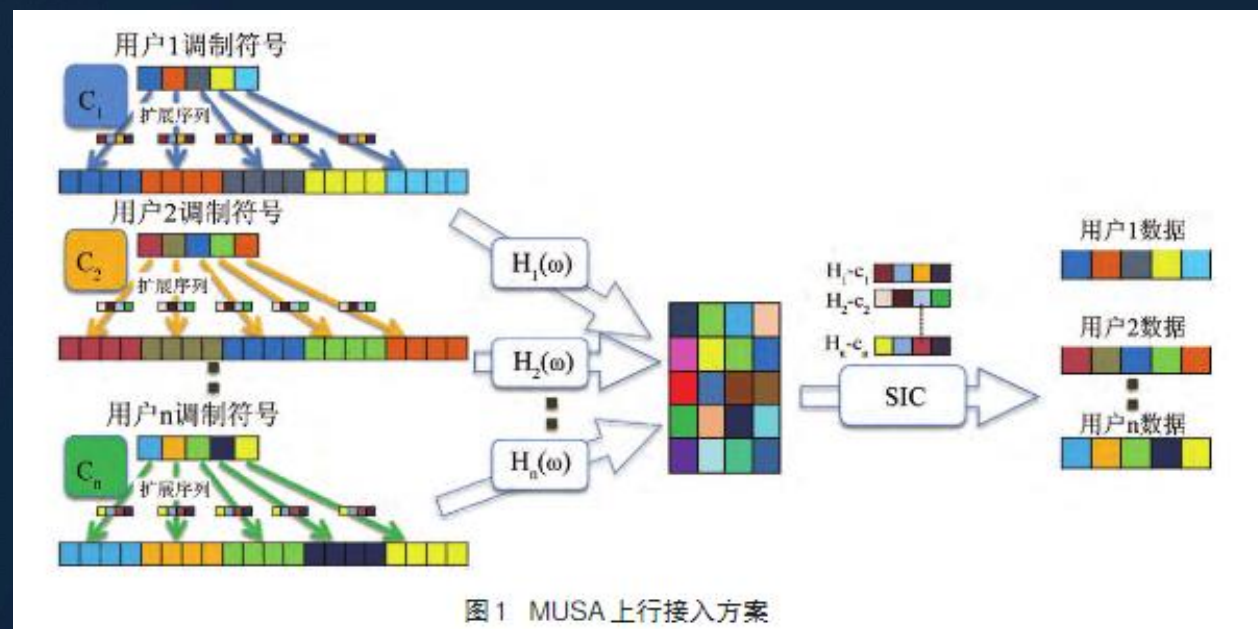
SIC的基本思想：

按照一定的顺序依次检测各个用户的数据，并将检测出的数据依次消去，直到检测出所有的用户数据。

最常用的串行干扰删除算法有两种：

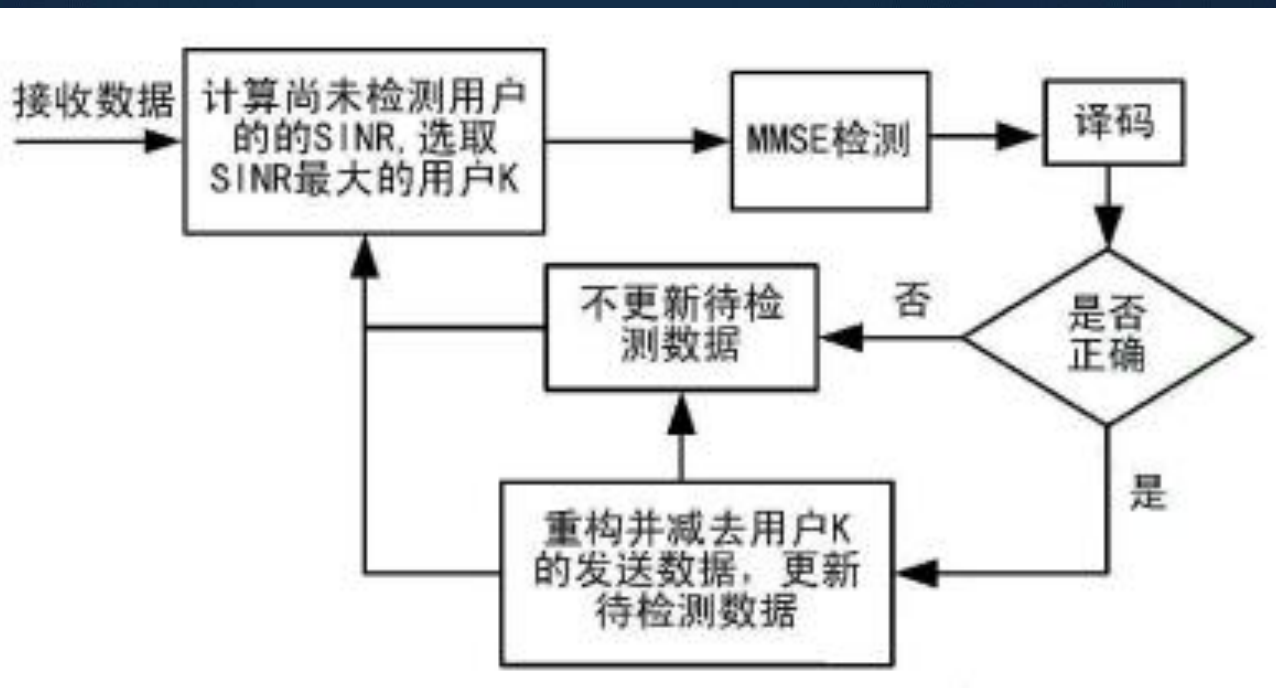
- ZF-SIC:迫零法
- MMSE SIC：最小均方误差

中兴使用的是MMSE SIC



## MMSE SIC : 最小均方误差-串行干扰删除

基本逻辑是：使用MMSE检测算法对接收到的信号进行检测，然后对检测到的信号进行干扰消除（SIC）



MMSE SIC流程图

步骤如下：

1、计算MMSE滤波器系数

$$\mathbf{W}_{\text{MMSE}} = (\mathbf{H}^H \mathbf{H} + \sigma^2 \mathbf{I})^{-1} \mathbf{H}^H$$

2、计算用户的sinr值

$$\text{SINR}_i = \frac{E_x |\mathbf{W}_{i, \text{MMSE}} \mathbf{h}_i|^2}{E_x \sum_{j \neq i} |\mathbf{W}_{j, \text{MMSE}} \mathbf{h}_i|^2 + \sigma^2 \|\mathbf{W}_{i, \text{MMSE}}\|^2}$$

然后根据用户的sinr大小进行降序排列

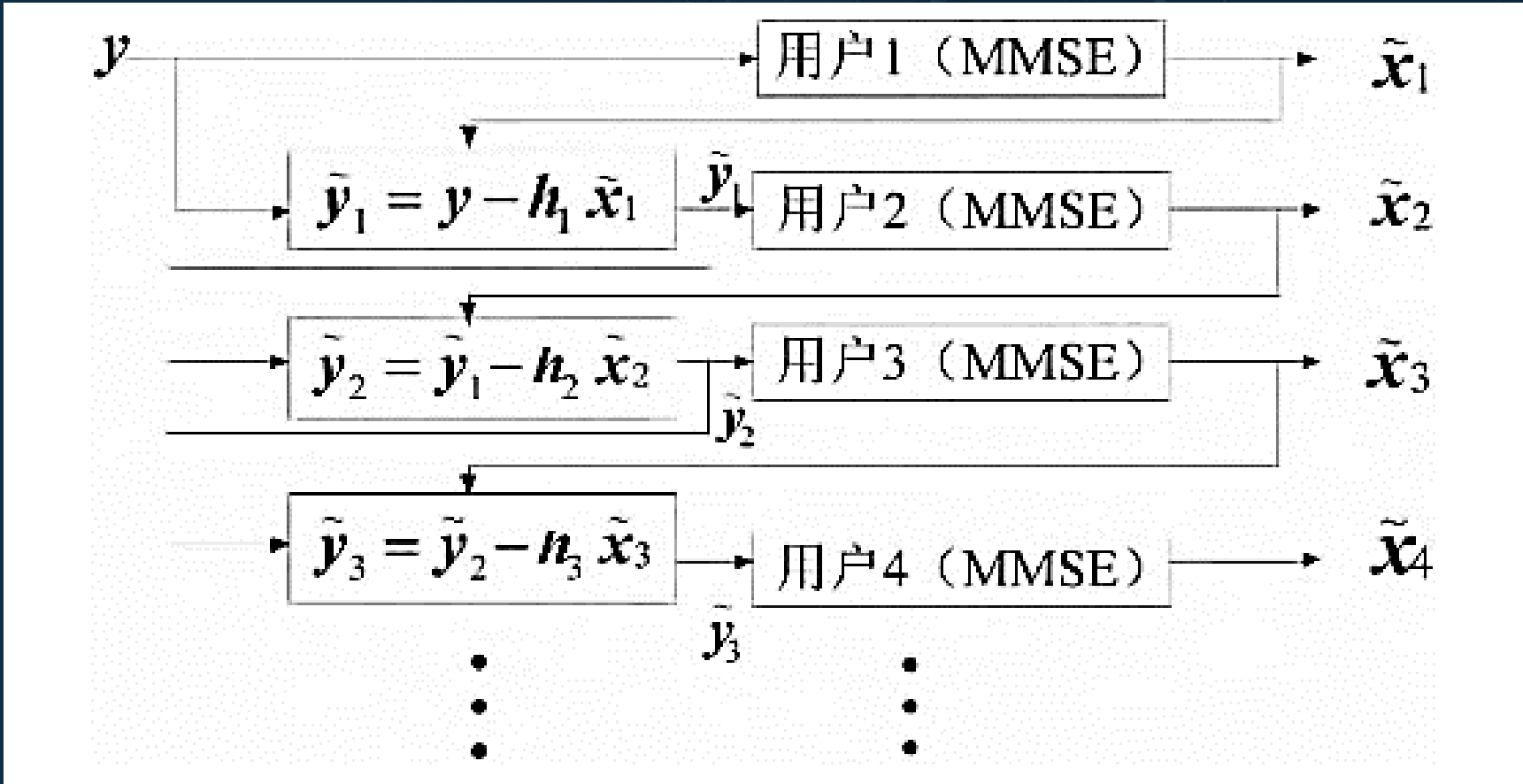
3、选取sinr最大的用户K进行检测

4、对检测结果进行译码，若判决正确，则重构并减去用户K的发射数据，更新待检测数据

5、重复1-4步骤



# MMSE SIC流程另外一种表示形式



关于NOMA我们就讲到这里，本视频也仅作为NOMA的入门视频

如果想再深入研究，里面还有非常多的内容，比如：

下行NOMA，码冲突的处理，免调度接入过程，MMSE PIC（并行接收）等等

如果你不是专门做这方面研究或者研发的同学，就此止步就可以了。

希望大家多多支持我的5G付费课程

可能是全宇宙最通俗易懂的通信课

# 5G核心原理进阶

@捻叶成剑出品

腾讯课堂链接

<https://ke.qq.com/course/3922159>

电脑或者安卓手机打开链接，苹果不支持