

可能是全宇宙最通俗易懂的通信课

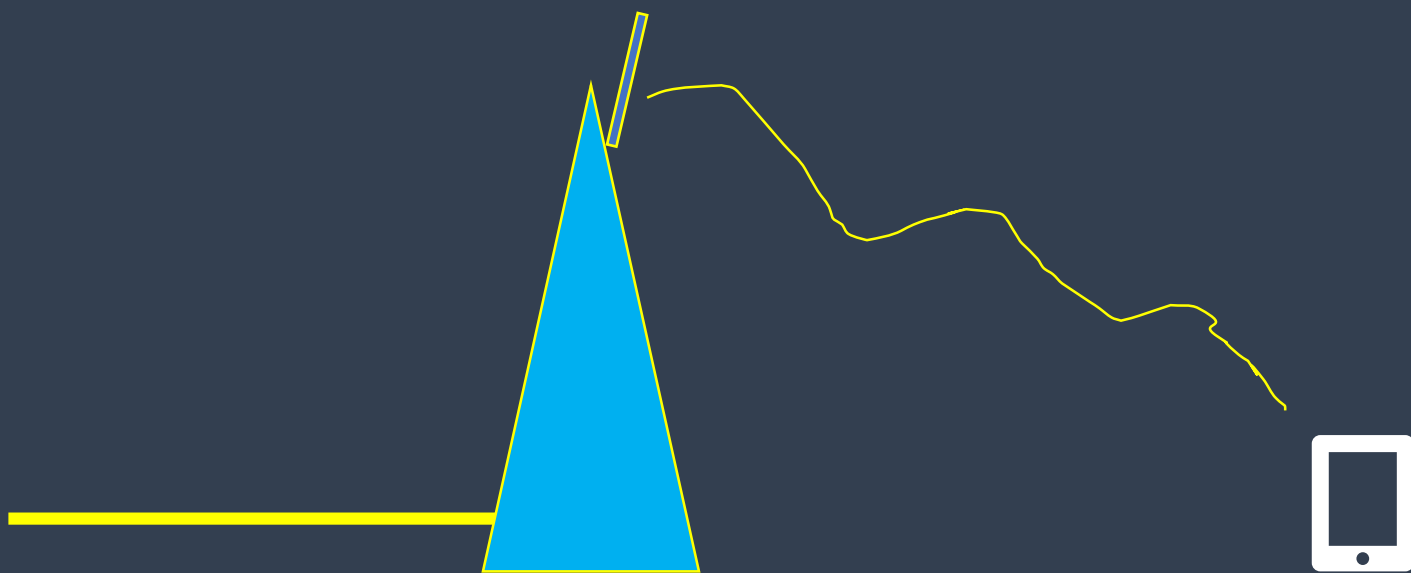
MIMO技术入门

By@捻叶成剑

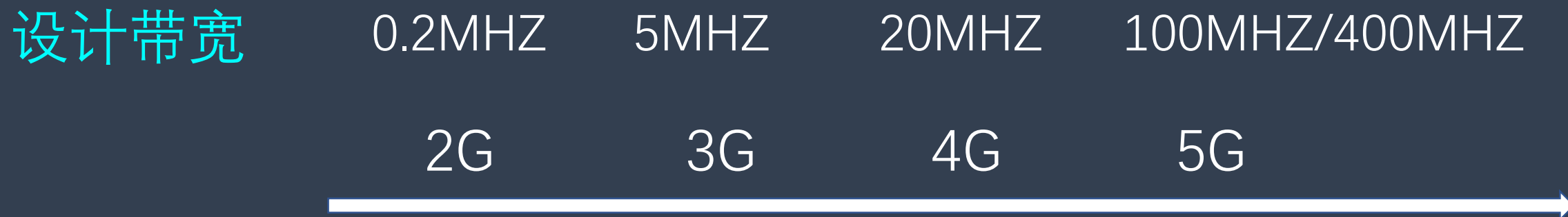
1. MIMO的来龙去脉
2. MIMO的技术原理
3. MIMO的传输模式
4. MIMO的PMI是什么？
5. MIMO的rank是怎么回事？

无线通信的技术进步

不断的提高空口速率



一条路径是不断的增加带宽



载波聚合CA技术，也是变相增加带宽的技术

例如：4G 3CC聚合，相当于60M带宽

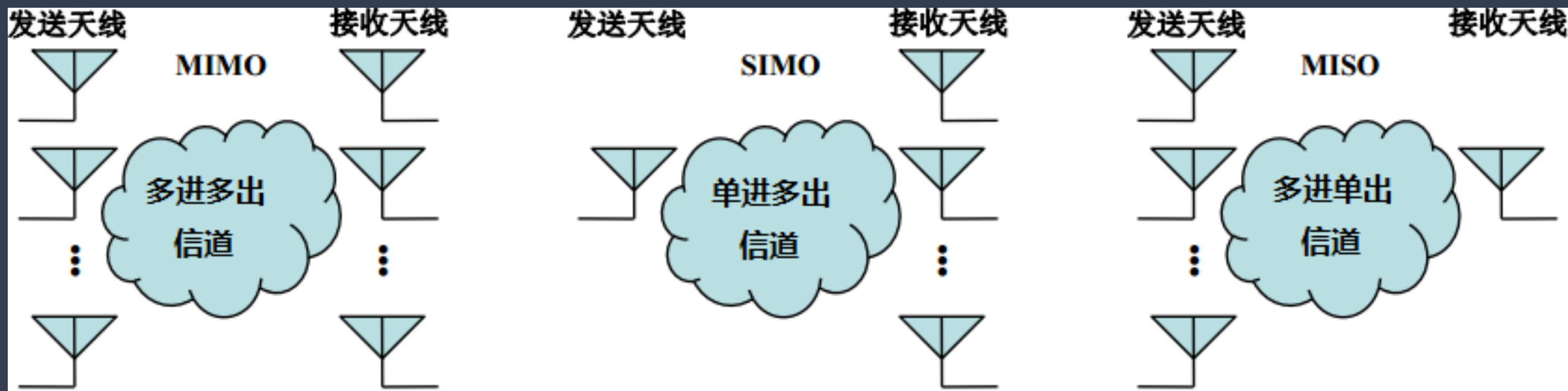
增加带宽的效果



MIMO的思路----双人搬砖



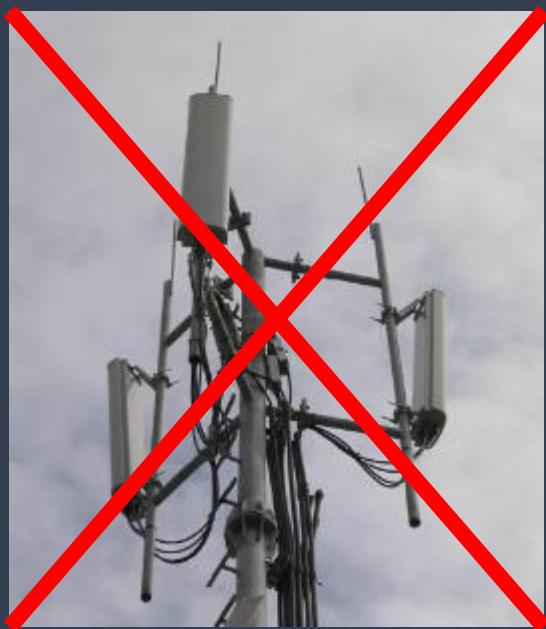
MIMO（多入多出）：多天线技术



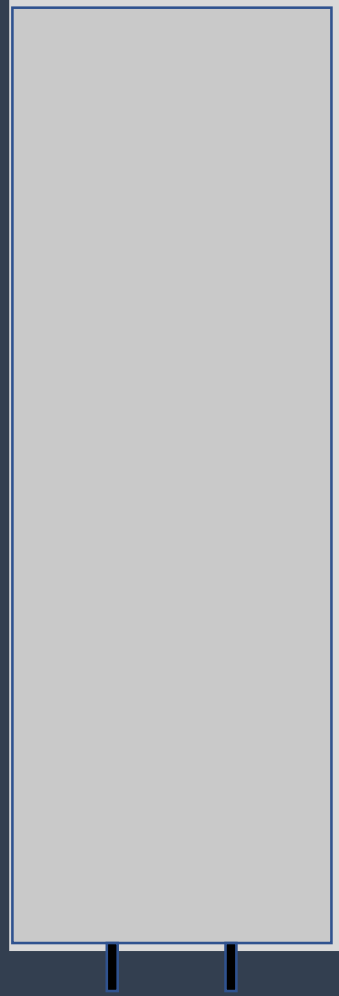
MIMO：发射端和接收端都有多个天线

MIMO（多入多出）：多天线技术

此处的多天线，并不是指有多个天线板



对于基站来讲：
是指天线有**多套振子**，每一套振子
都可以看成一个独立的天线





4G 8天线

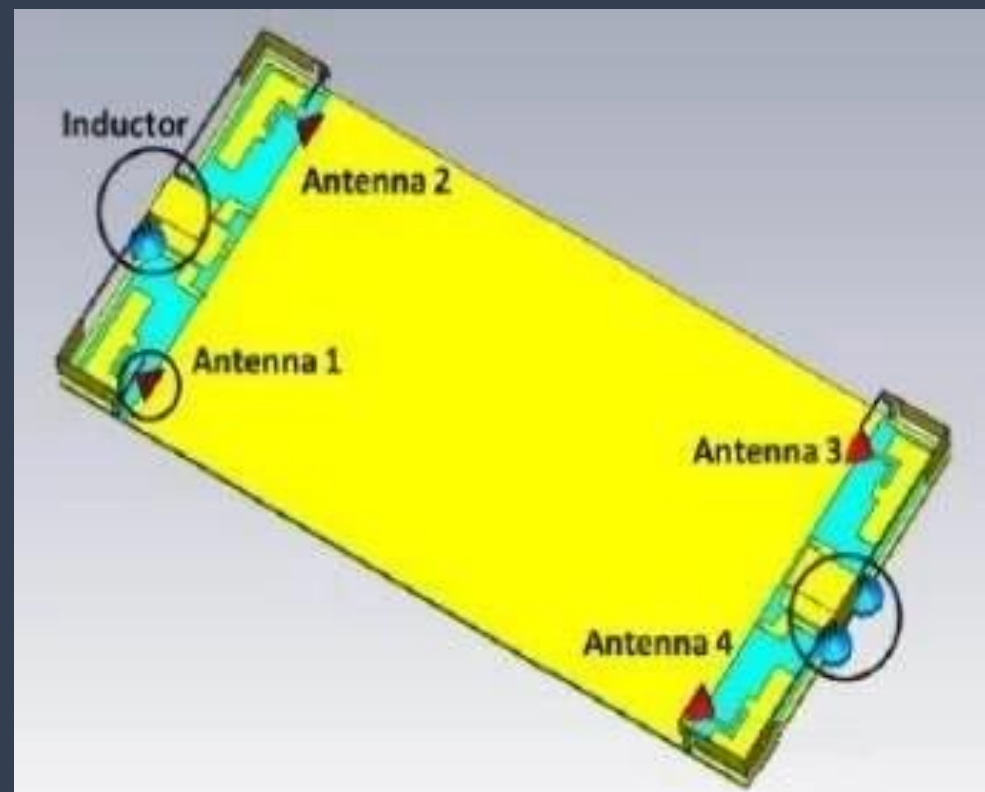


5G 64T64R

是不是MIMO仅仅是指基站天线多（振子多）？

• 答案是：否

手机也是多天线



MIMO实现效果的分类



空间分集

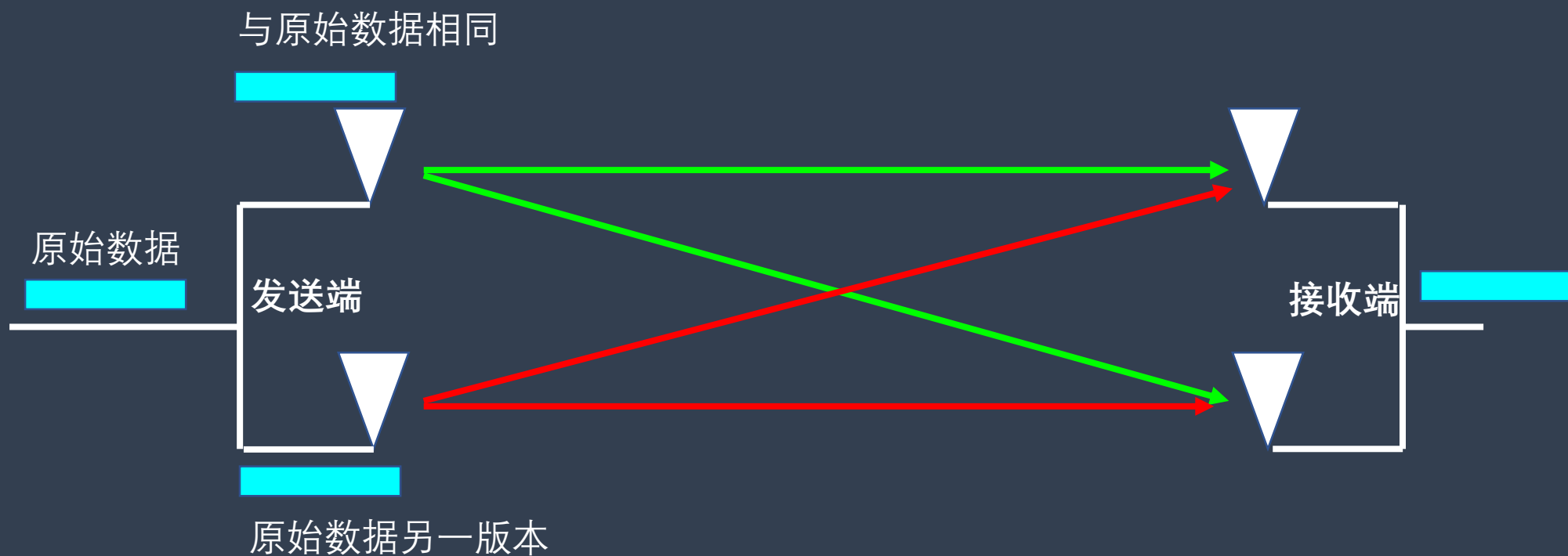
空间复用

波束赋形

空间分集(space diversity)---提升接收质量

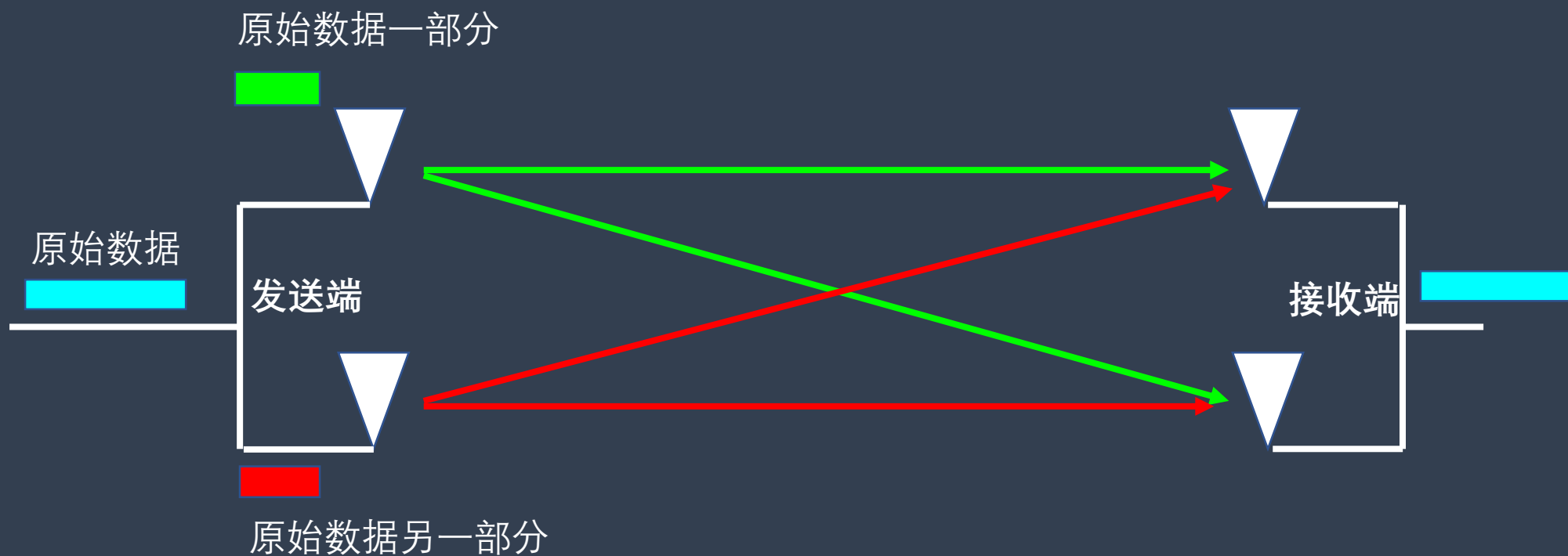
采用多个天线发射或接收一个数据流，避免单个信道衰落对整个链路的影响

一个例子



空间复用(space multiplexing)----提升速率

利用较大间距的天线阵元之间或赋形波束之间的不相关性，向一个终端/基站并行发射多个数据流，以提高链路容量（数据率）

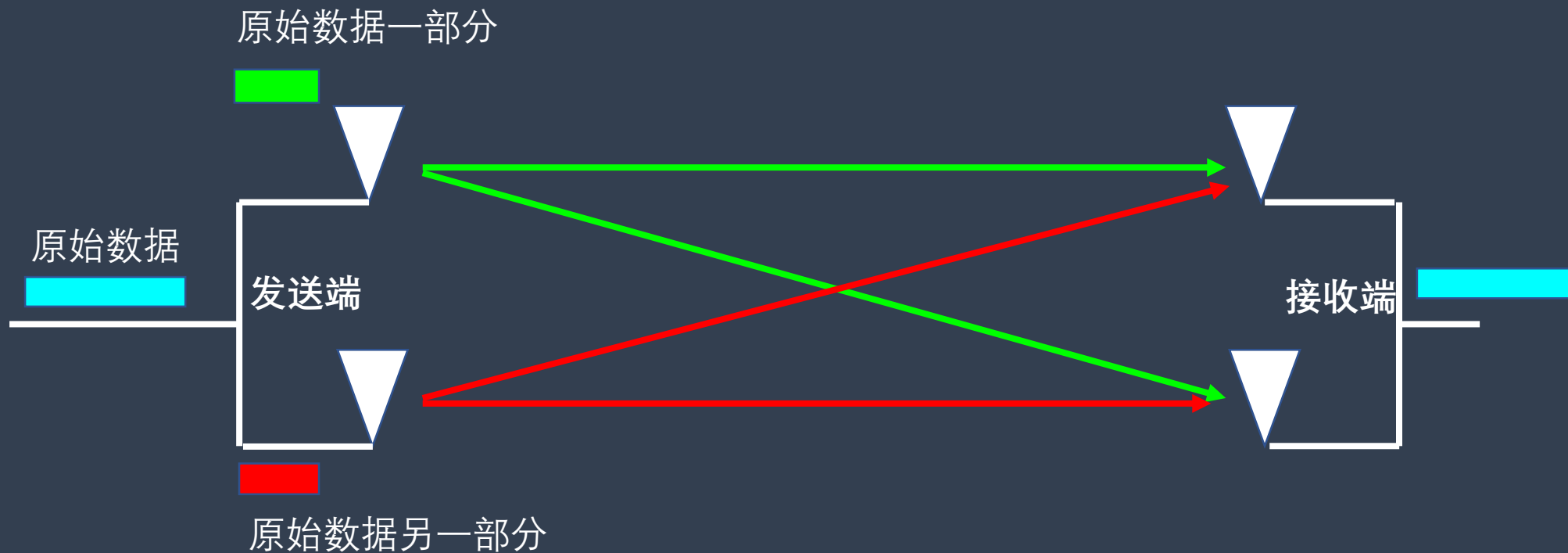


Rank

可以理解成传输信道相关性，只有接收端能够区分不相关的两条独立“信道”，才能能够实现空间复用！

RANK=1，就是信道相关性很强，手机无法区分两路信道，只能发挥空间分集的效果。

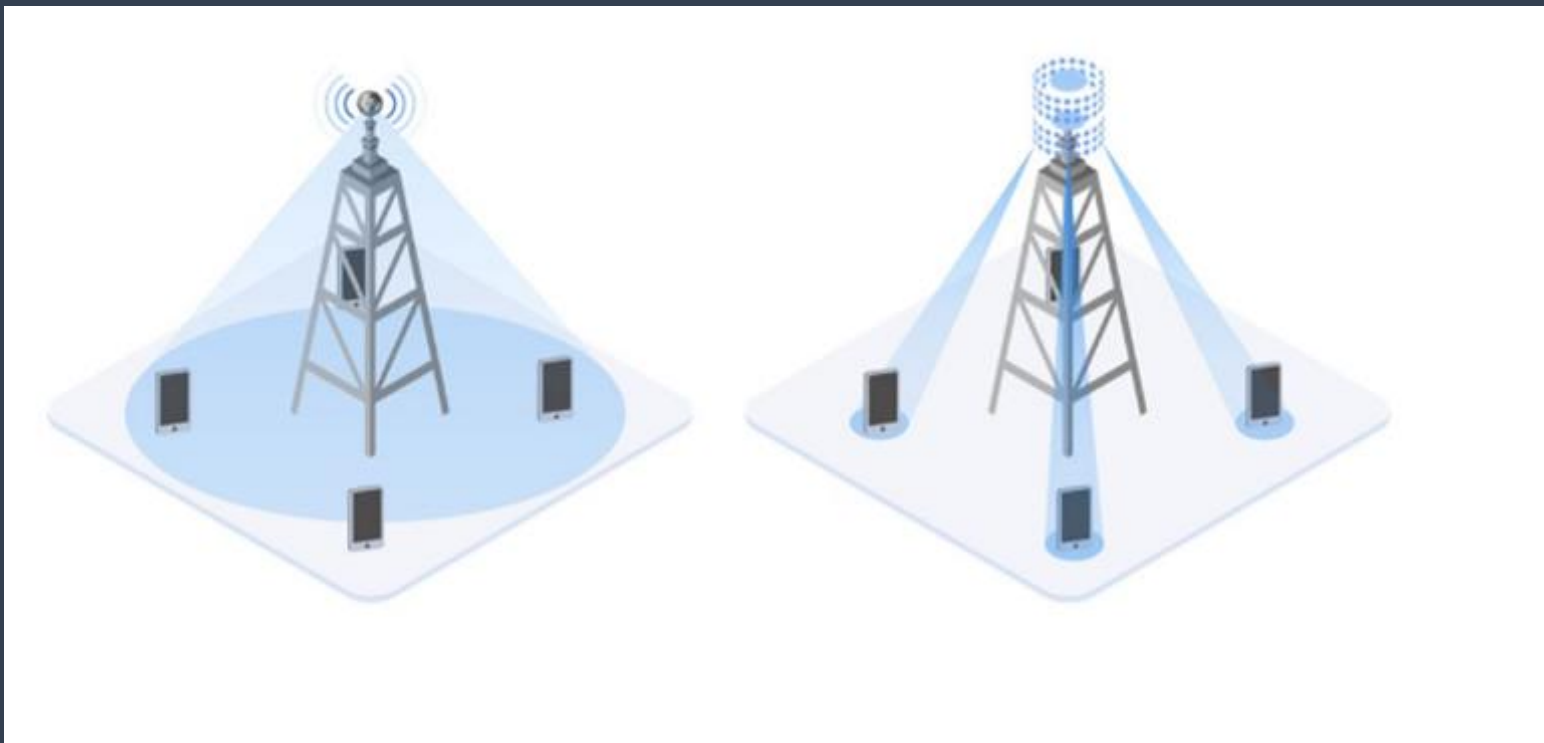
Rank=2，说明手机可以区分两路信道，可以发挥空间复用效果，可以接收两路数据流。



波束赋形（TDD模式）

利用较小间距的天线阵元之间的相关性，通过阵元发射的波之间形成干涉，集中能量于某个（或某些）特定方向上，形成波束，从而实现更大的覆盖和干扰抑制效果。

在移动通信当中，最早期的应用，是在3G技术TD-SCDMA系统当中。



不同制式的天线效果对比



GSM、WCDMA、
CDMA2000



TD-SCDMA
LTE

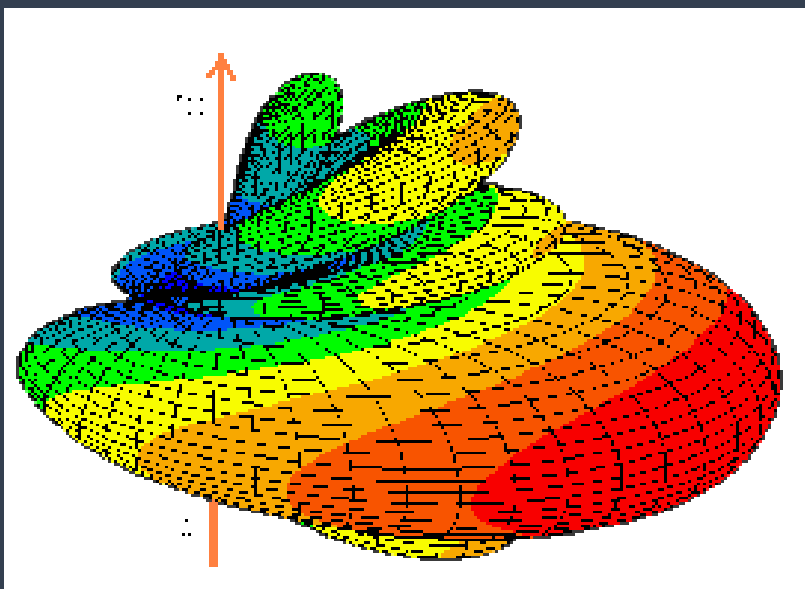
2D



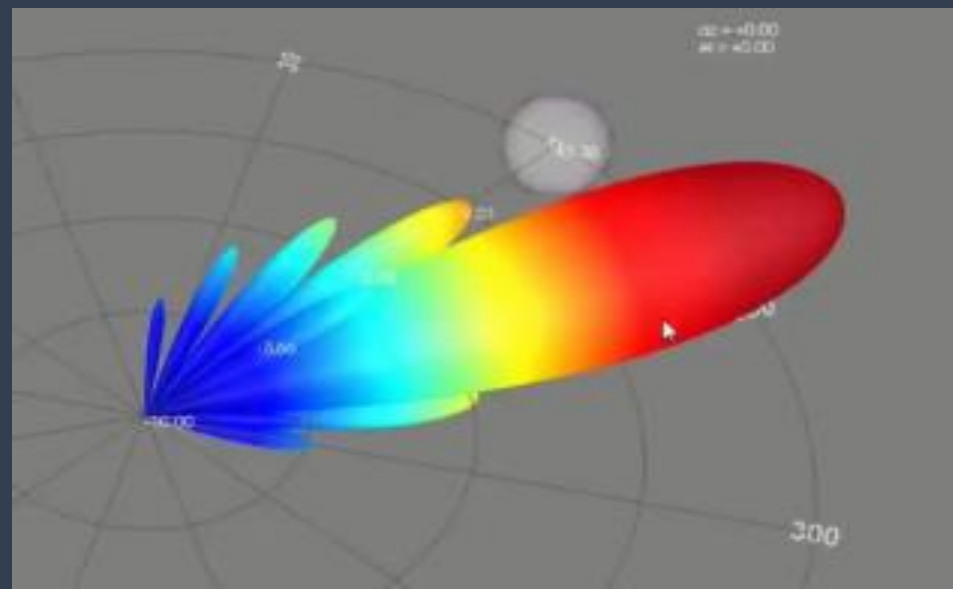
5G NR天线

3D

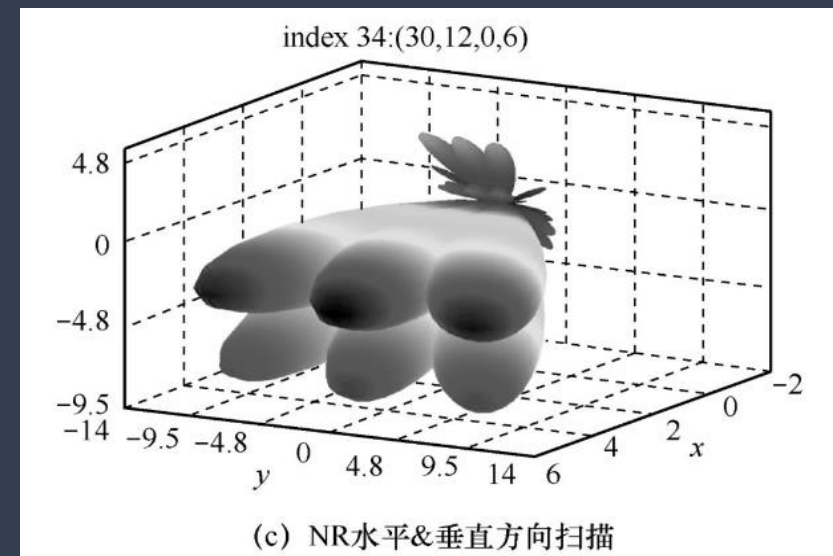
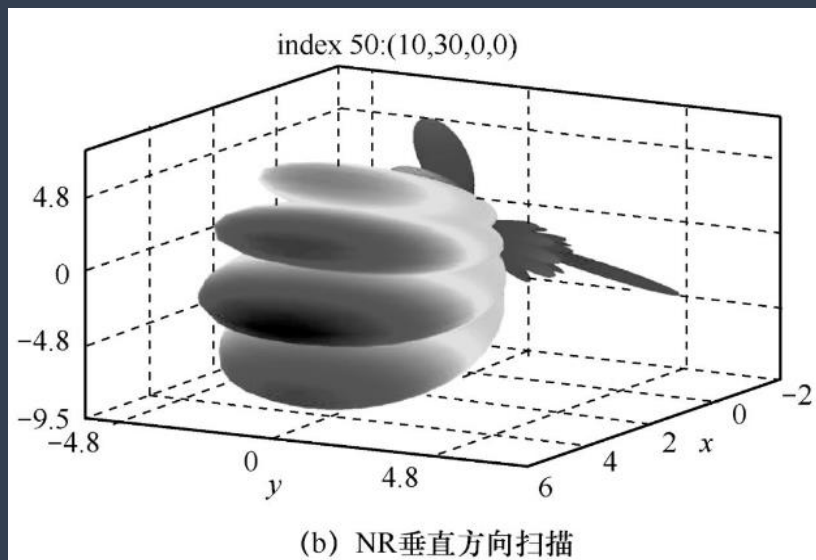
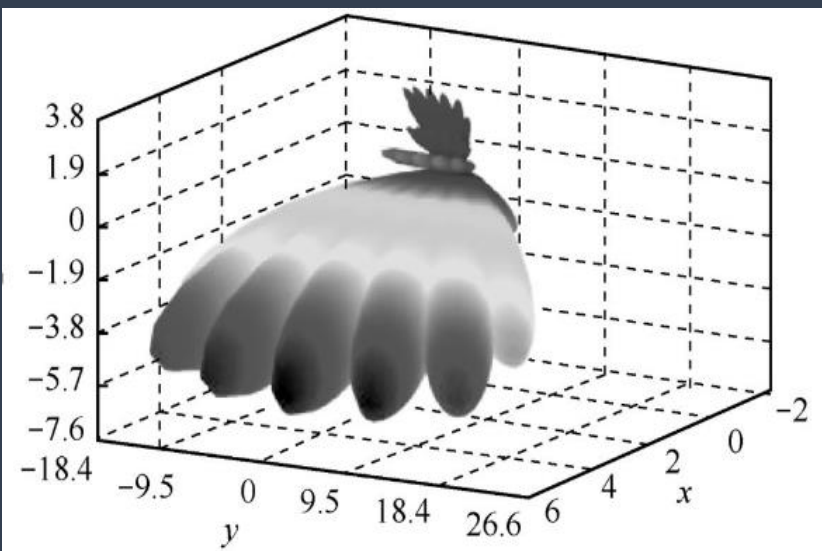
传统天线



3, 4G波束赋形

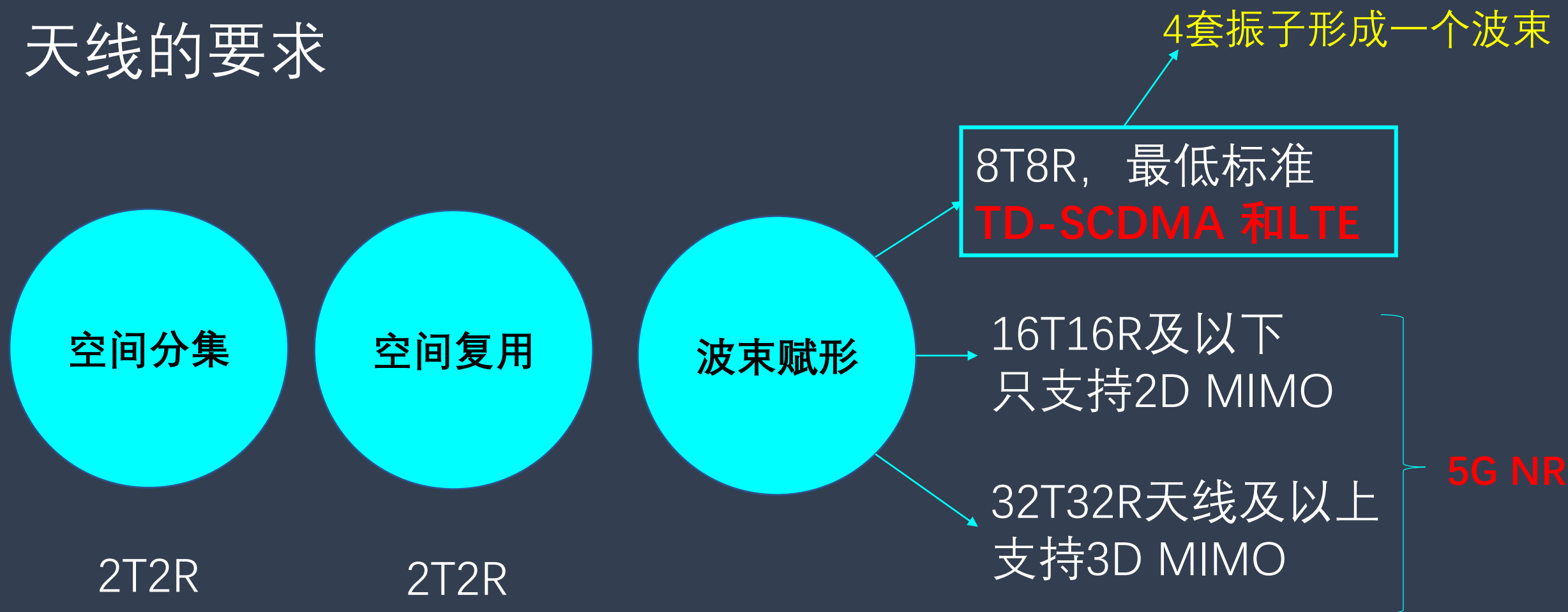


5G NR的波束赋型效果



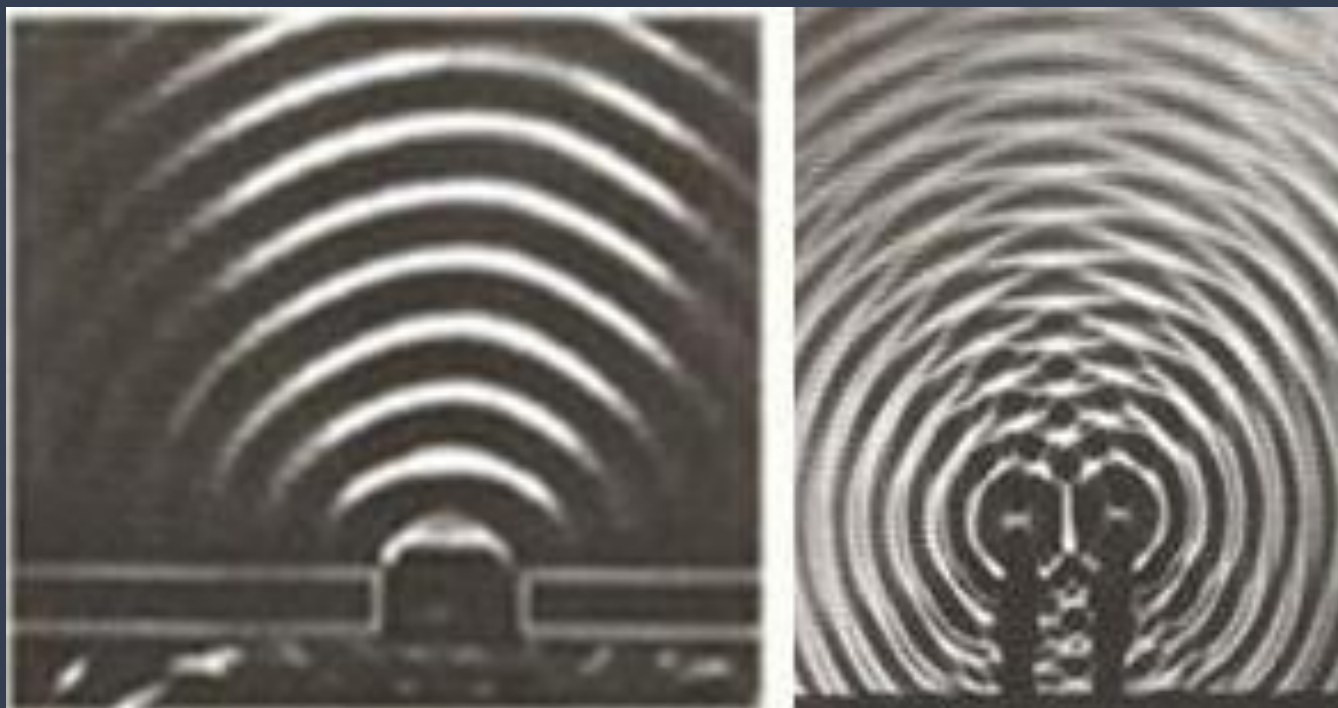
massive MIMO

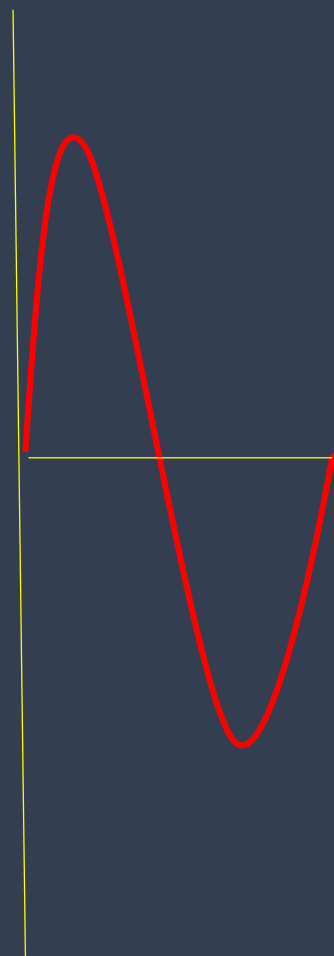
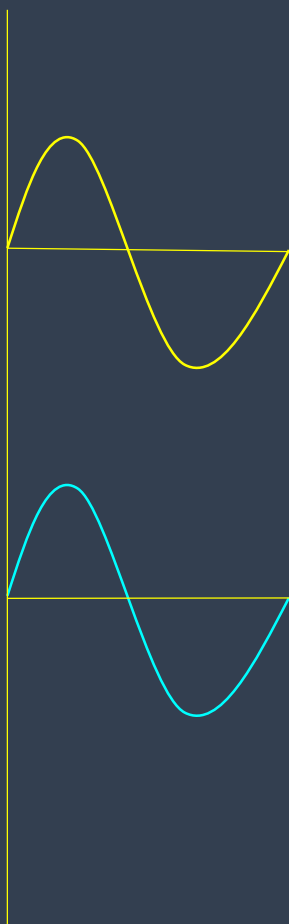
天线的要求

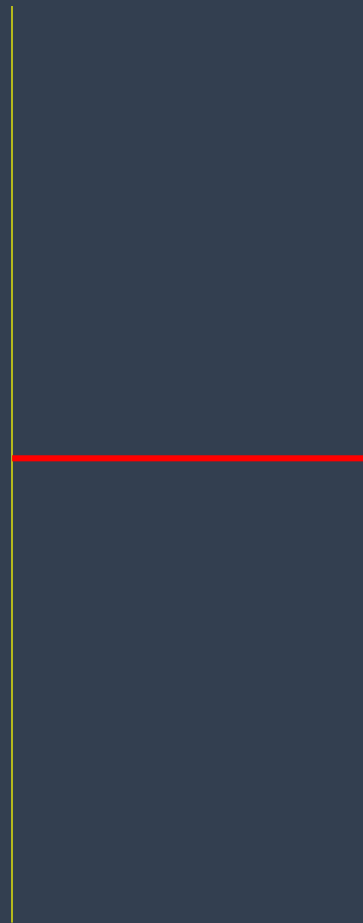
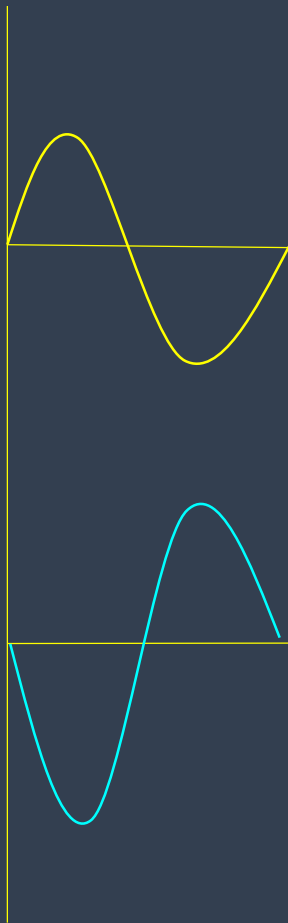


波束赋形

波的干涉是波束赋型的技术思路源泉

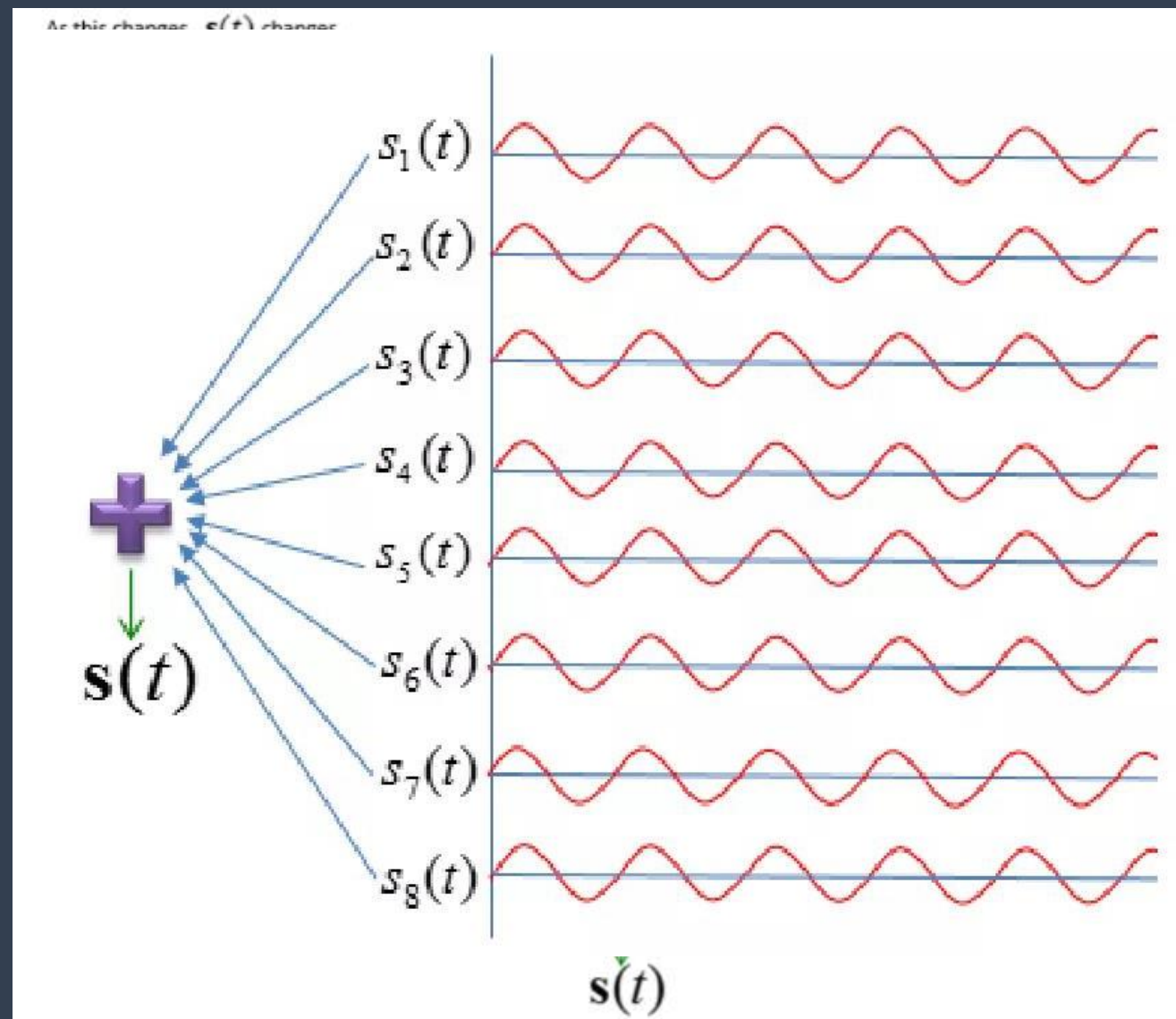






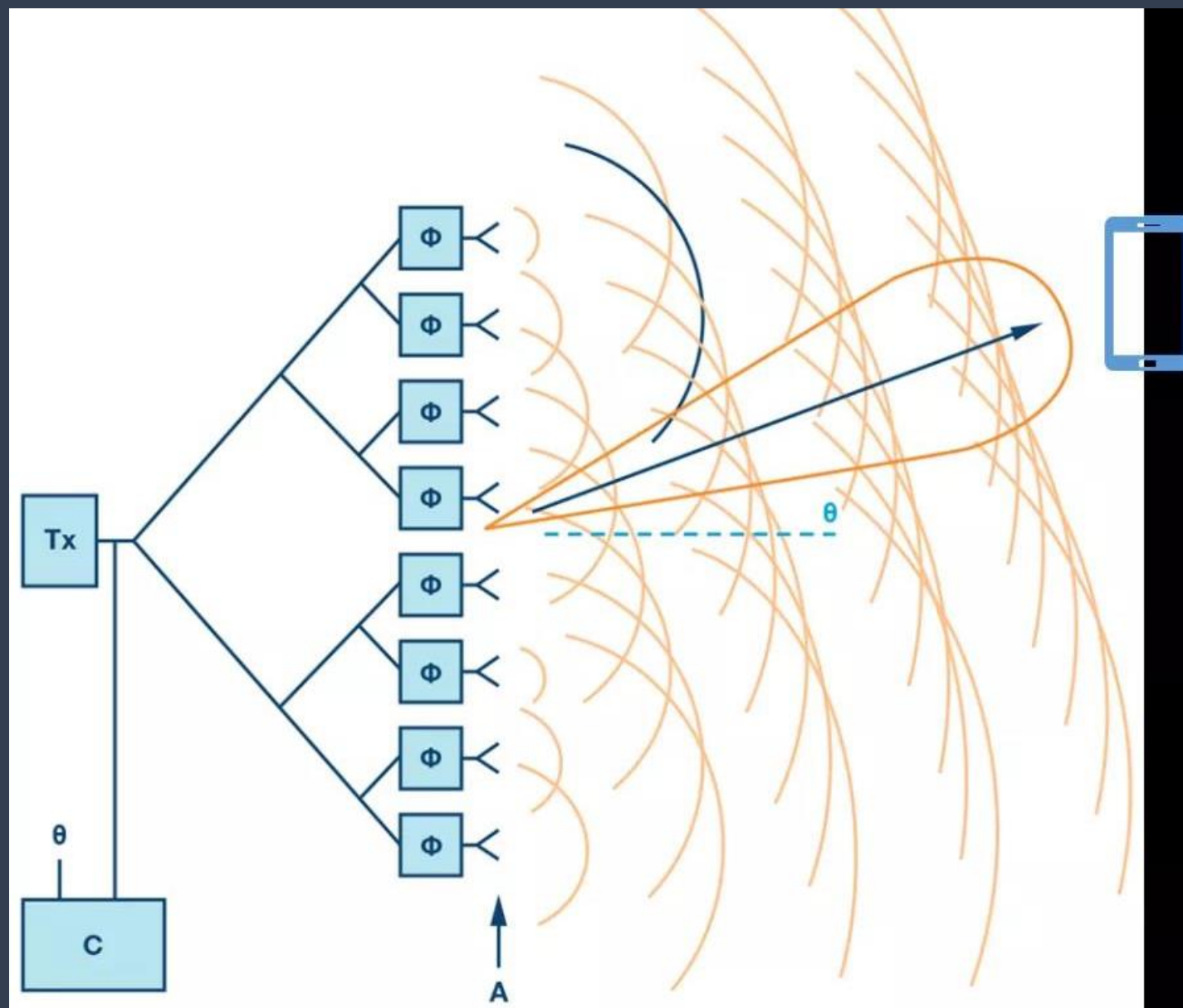
波束赋形

相位是关键因素



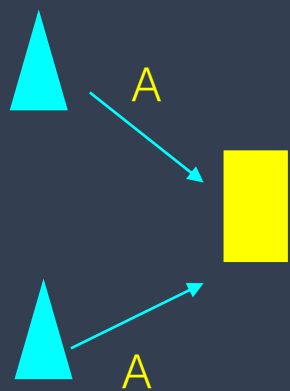
波束赋形

相位的改变，可以带来波束的形成，实际应用中，也伴随着幅度的变化。

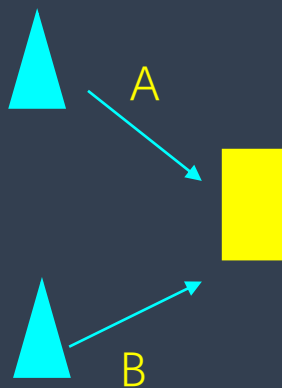


总结一下

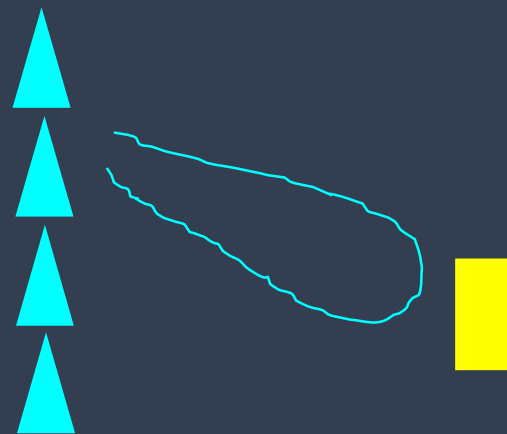
空间分集



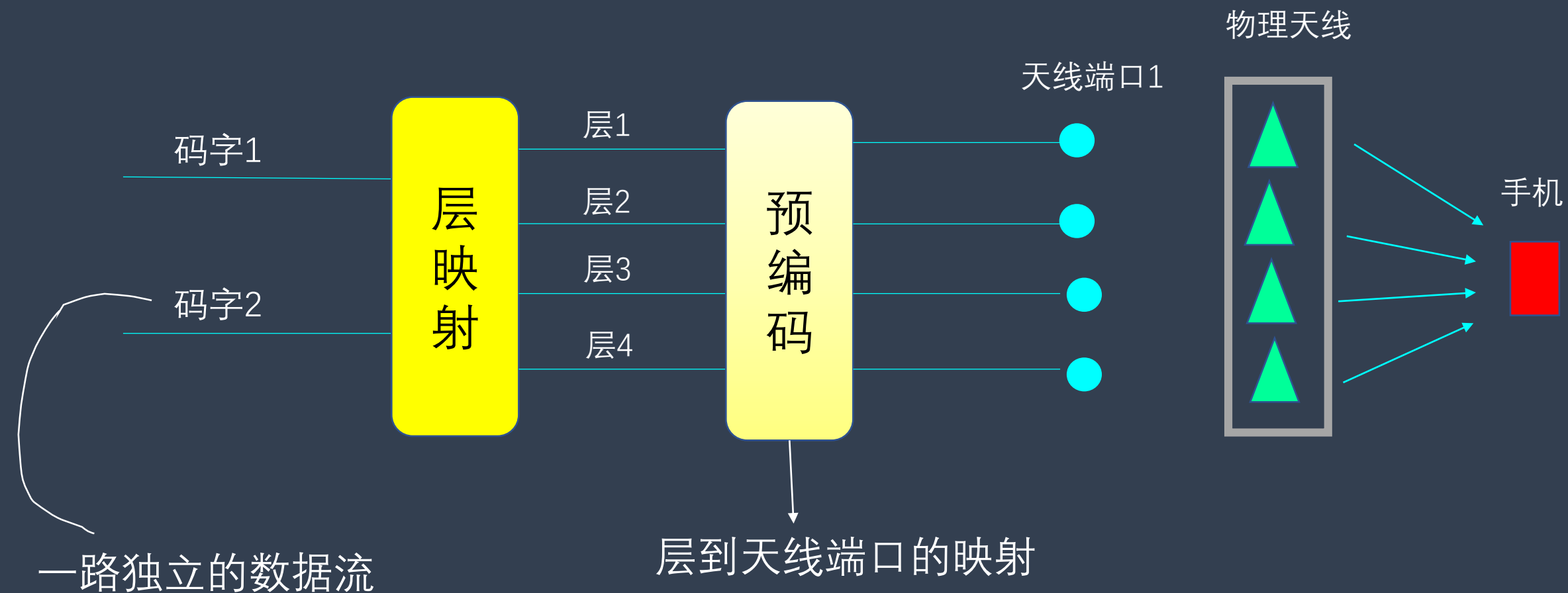
空间复用



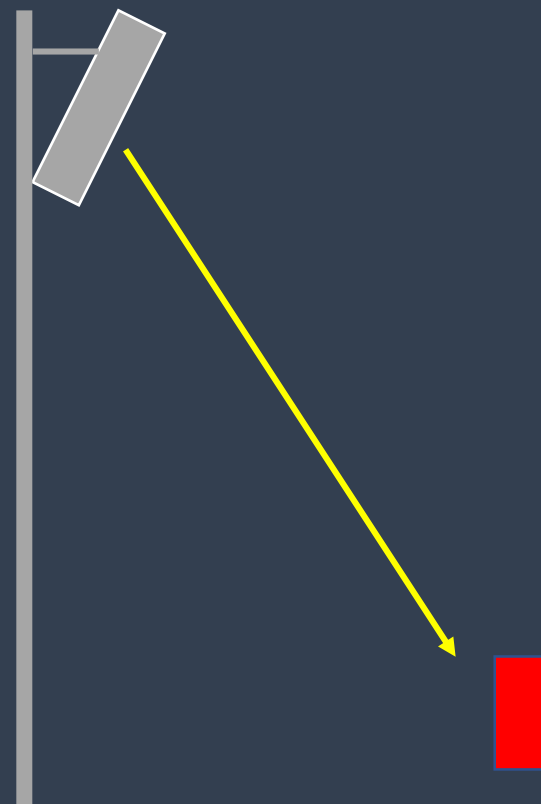
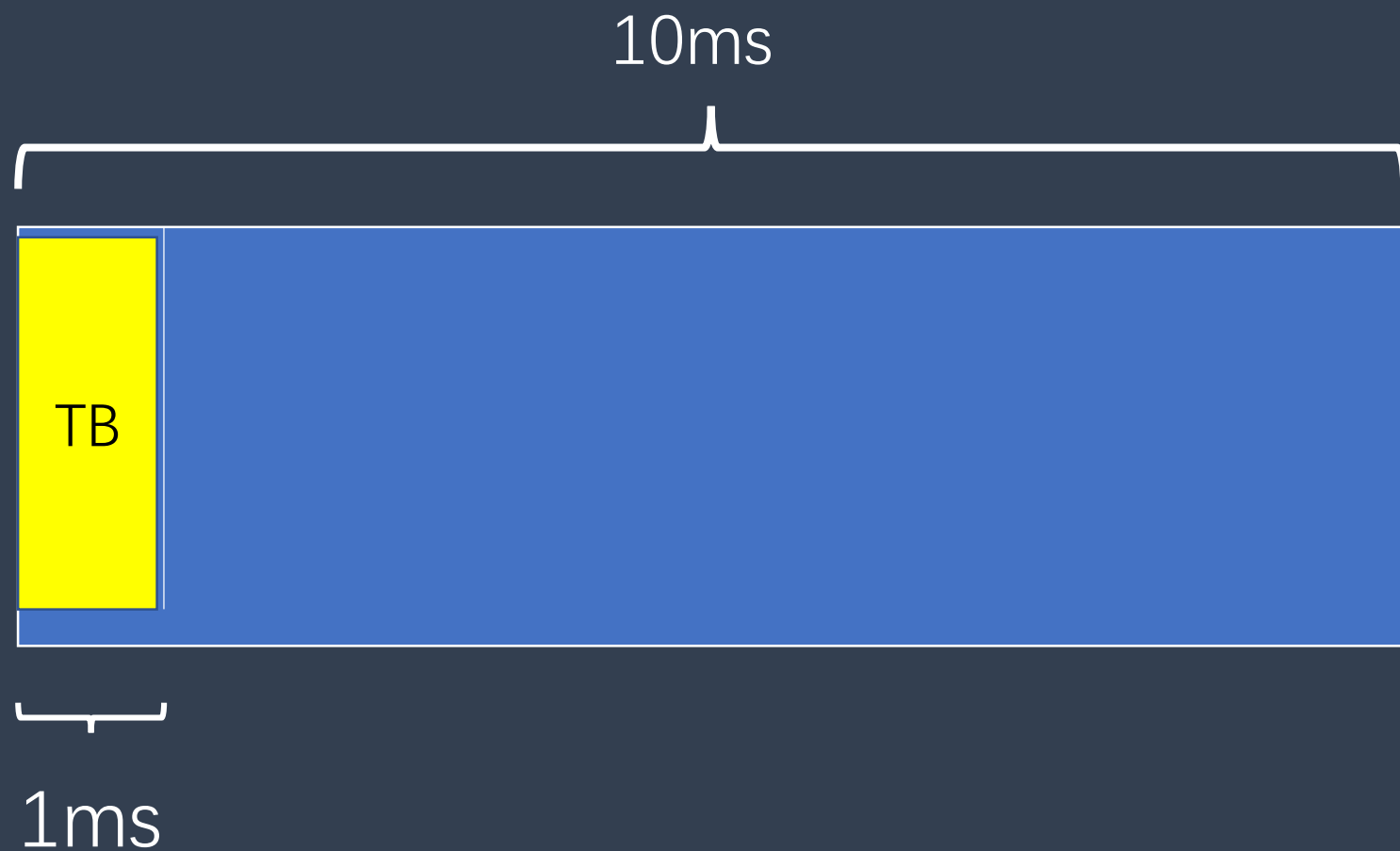
波束赋形



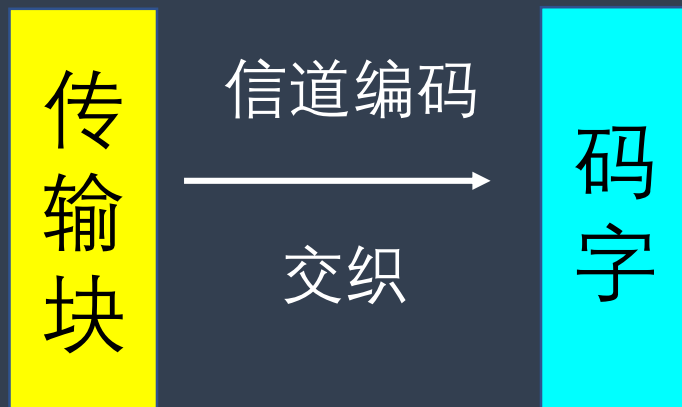
MIMO的信息处理流程



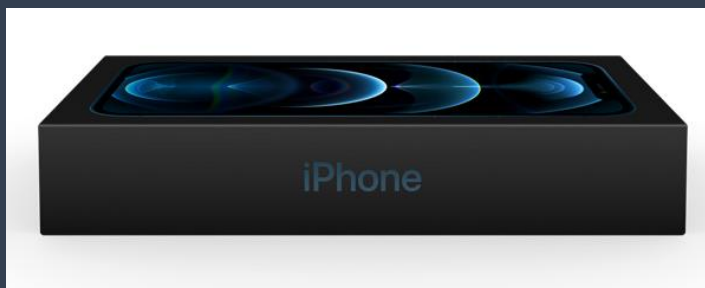
传输块TB：可以简单理解成要给用户发送的原始数据
其实就是一堆0101000100



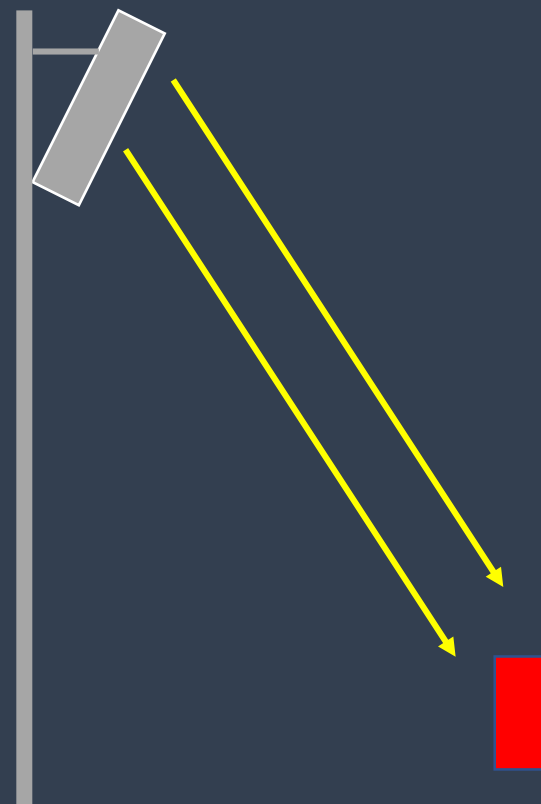
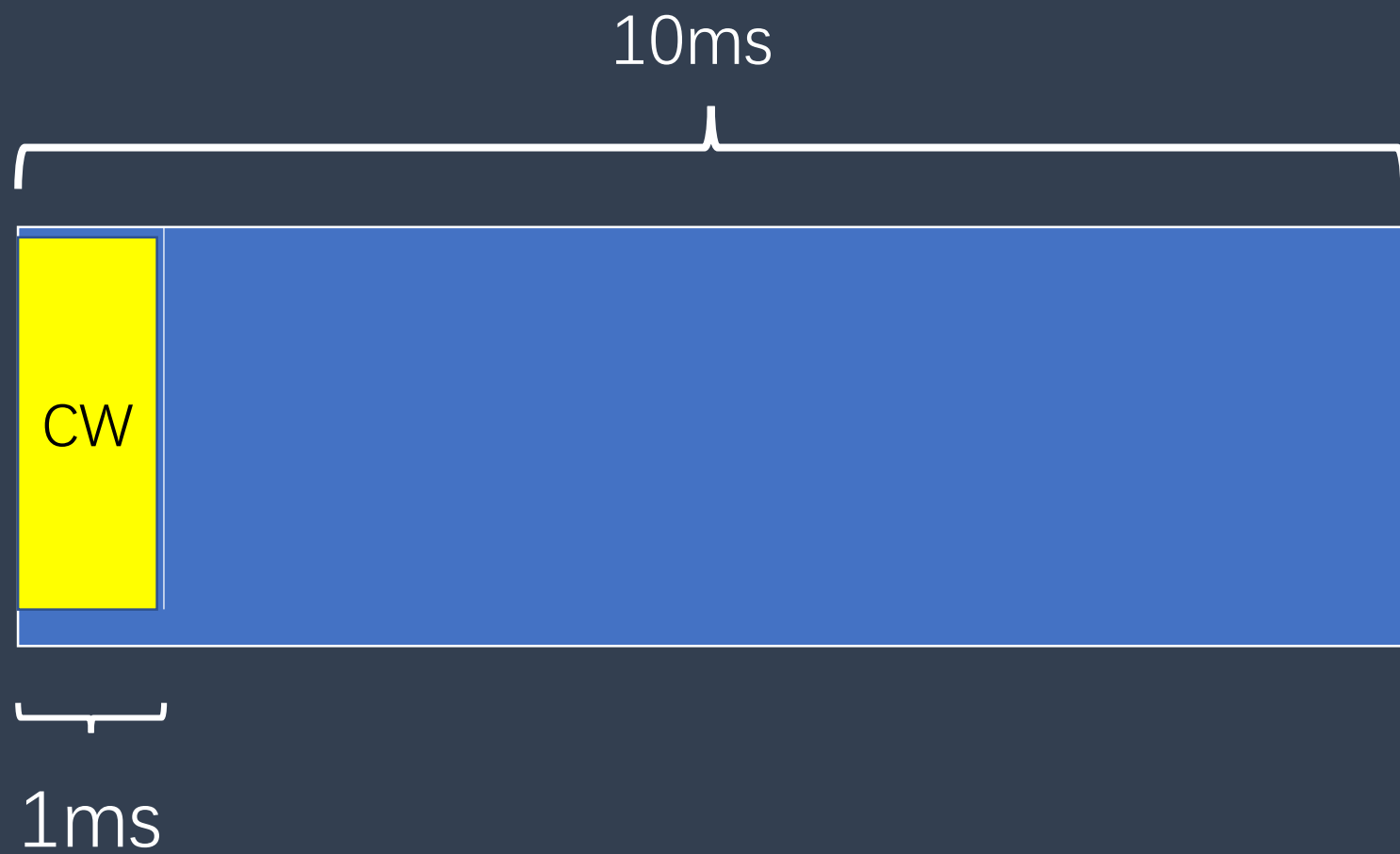
码字：传输块TB经过信道编码，交织之后变成码字



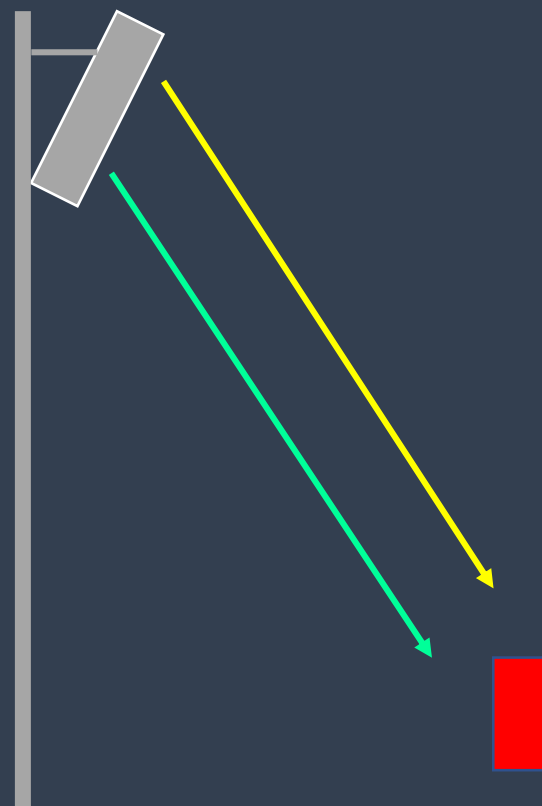
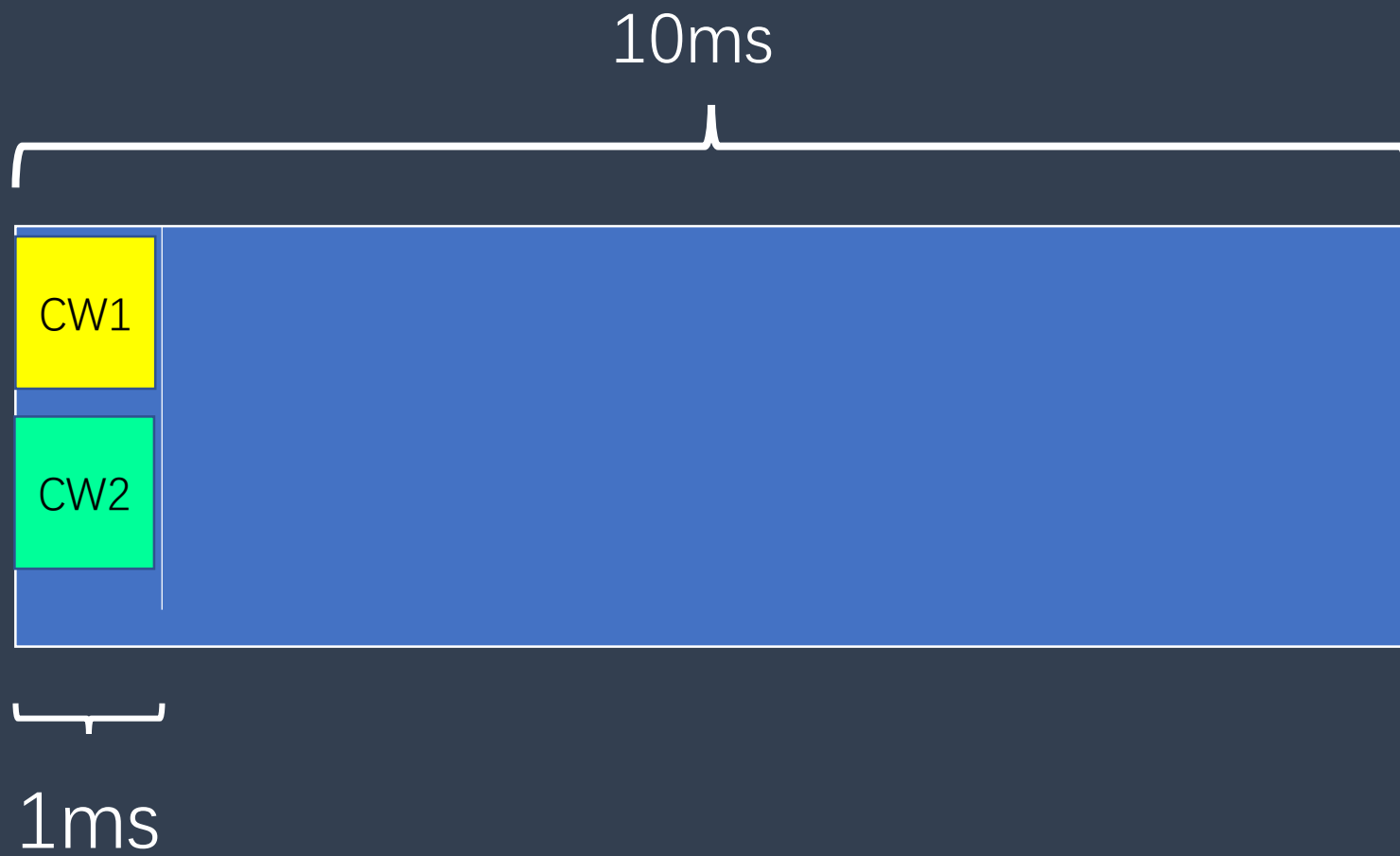
一个码字就是一股数据流



空间分集

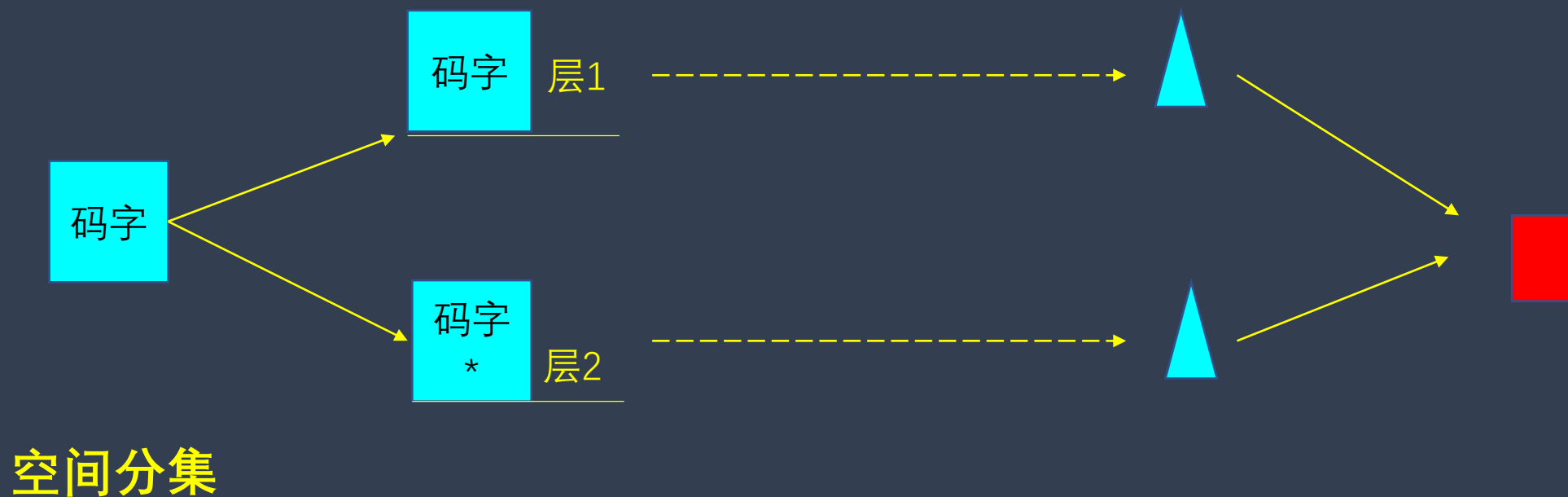


空间复用



层

以空间分集为例，一个码字最后需要两路通道发射出去，因此，构造了层的概念，把原始数据与原始数据的另一个版本，分别放入层当中去，最终放到天线那里发射出去。



层

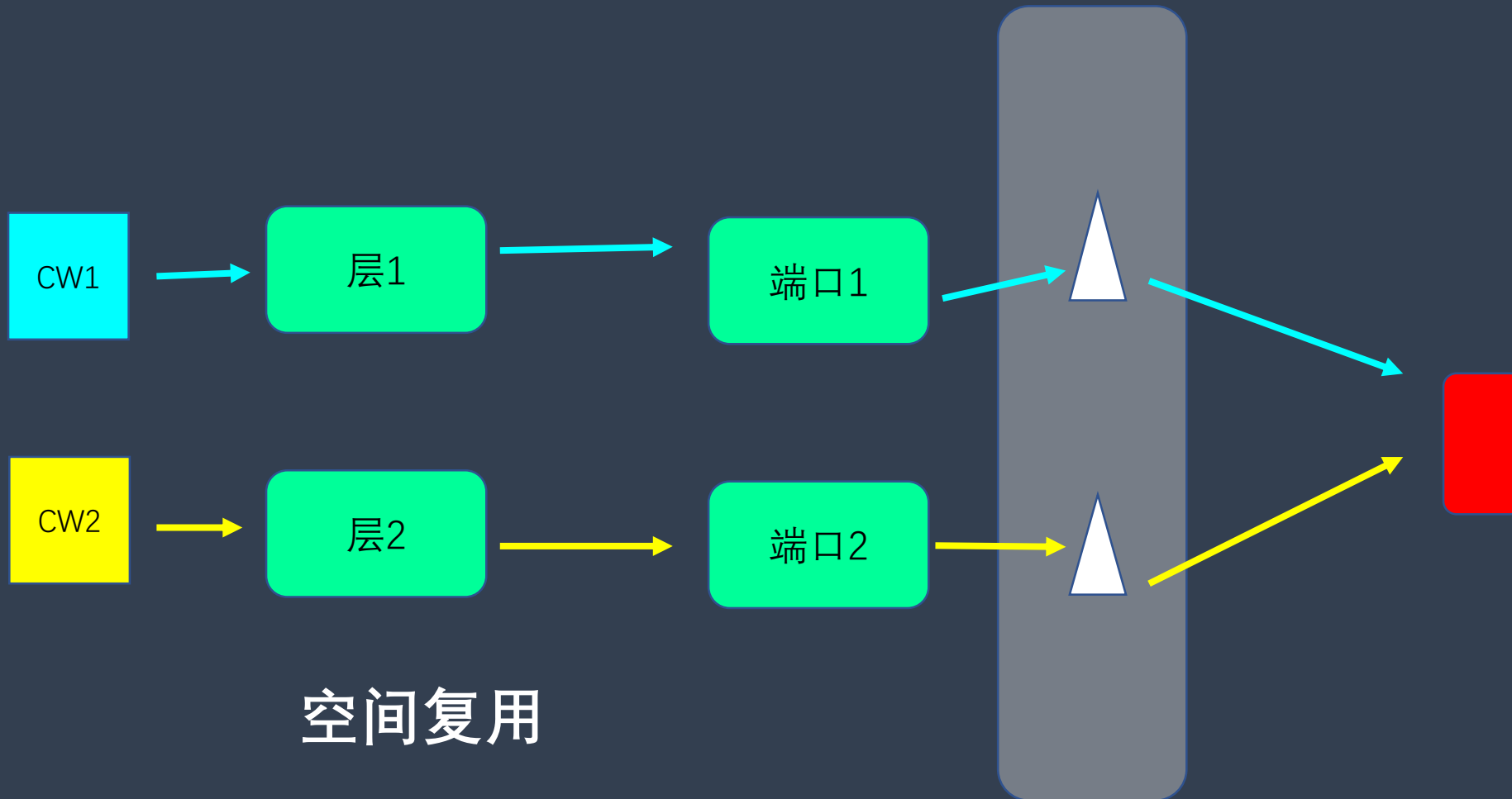
4G最多为4层，按照单码字和双码字，又有如下划分

		单码字	双码字		
单天线	→	1层	2层	空间复用	空间复用
空间分集	[2层	3层		
		4层	4层		

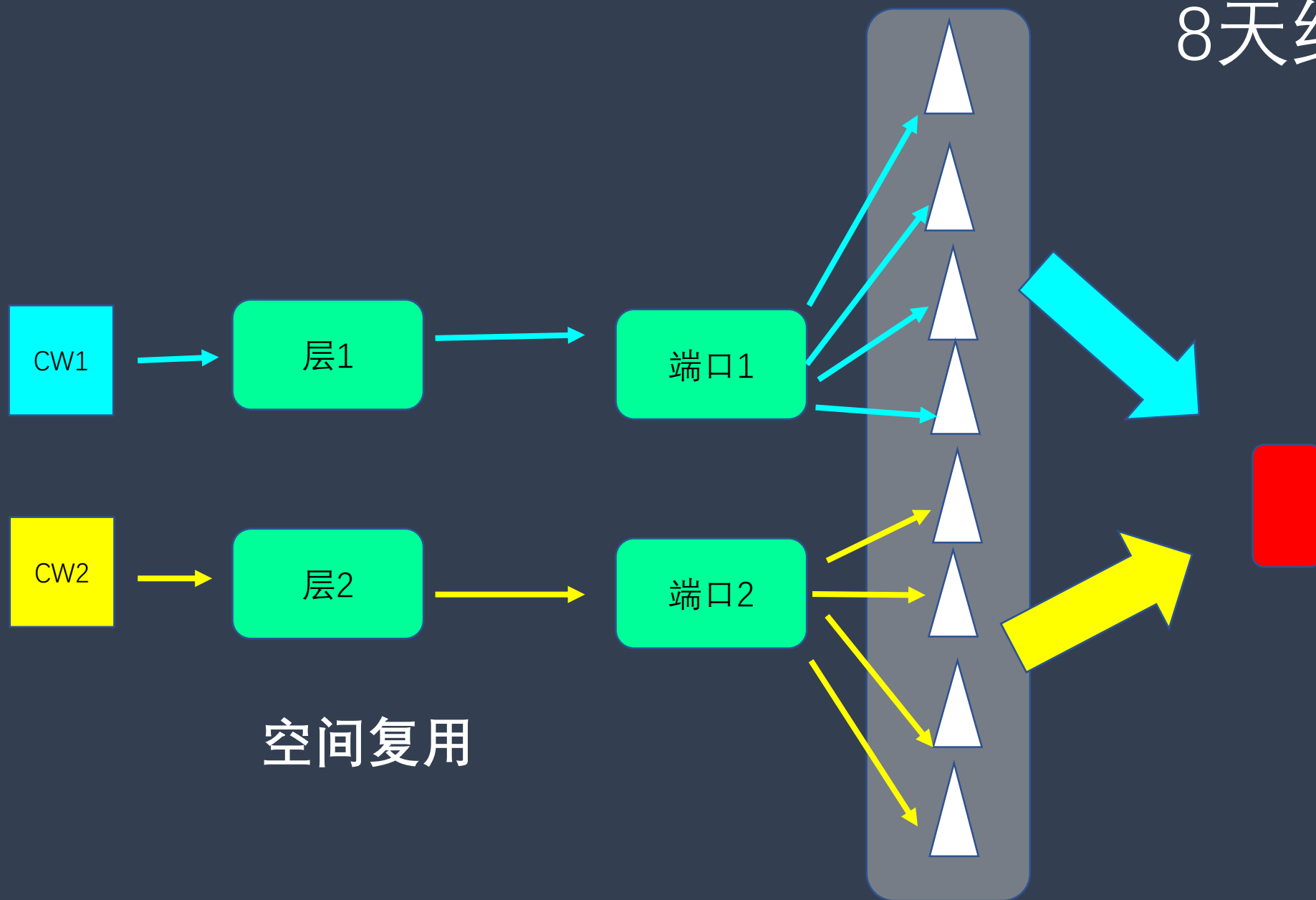
实际上，目前，LTE宏站不管单双码字，都是使用的双层

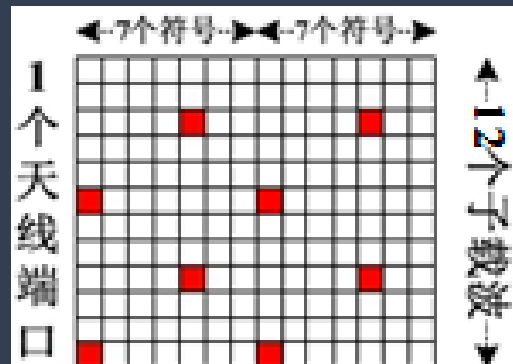
天线端口

可以理解成逻辑通道，并不是实际的天线上的物理端口。
可以分为1,2,4端口，目前只使用单端口和双端口

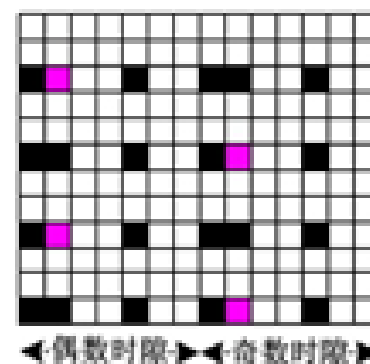
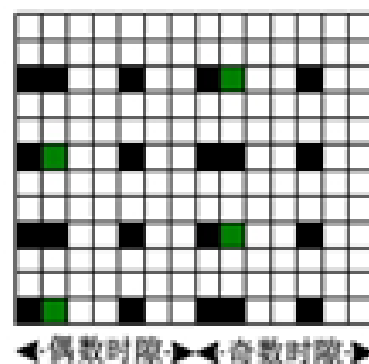
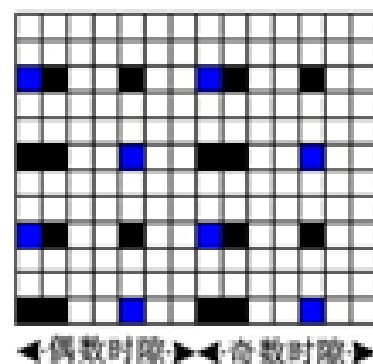
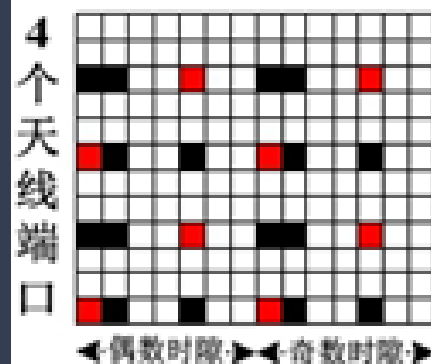
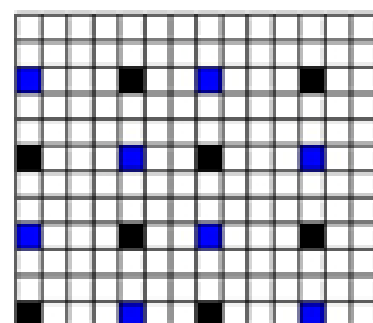
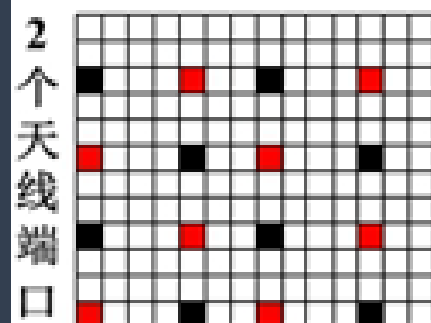


8天线

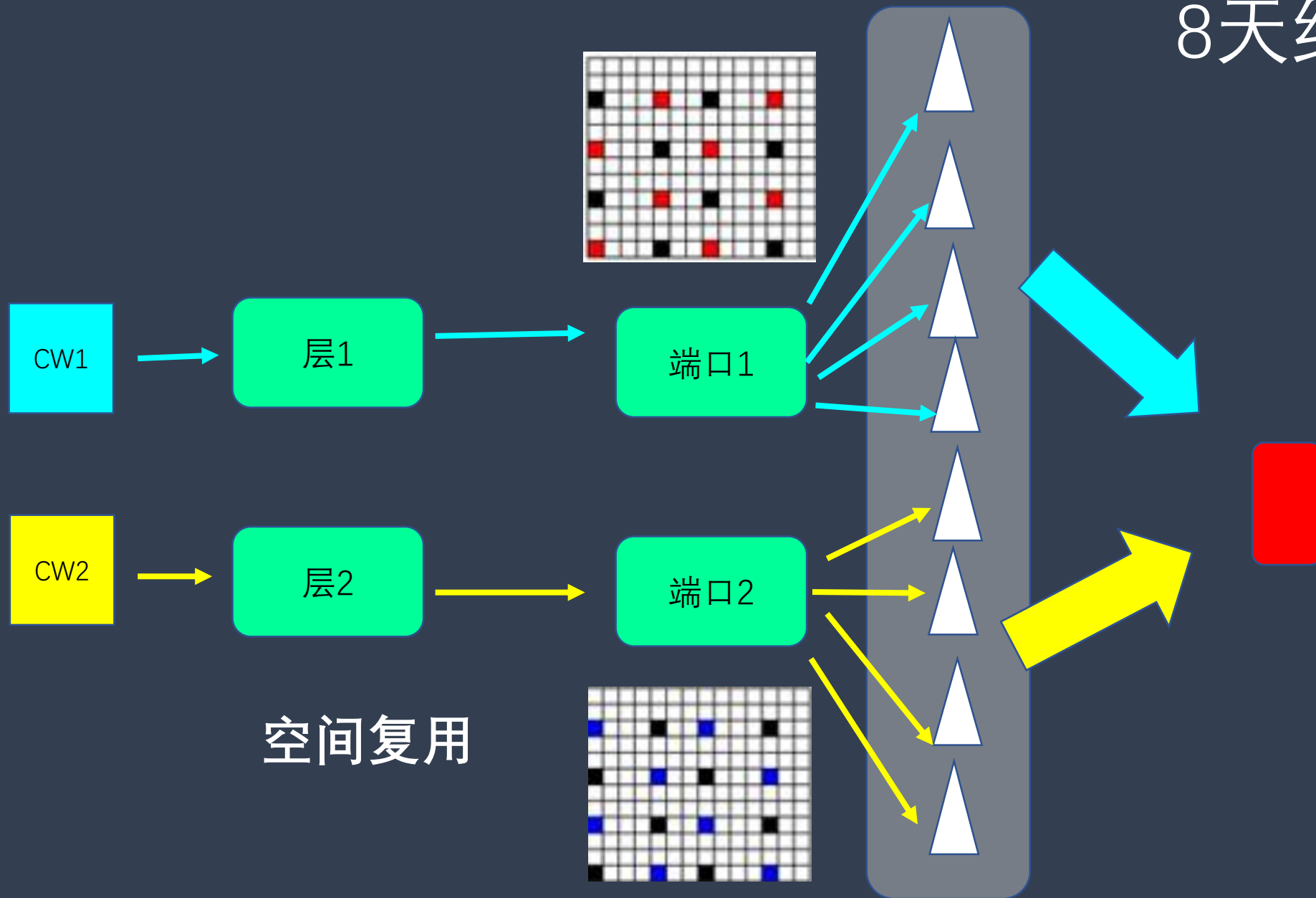




- 该RE不用于发送
- 天线端口0上发送的参考符号
- 天线端口1上发送的参考符号
- 天线端口2上发送的参考符号
- 天线端口3上发送的参考符号



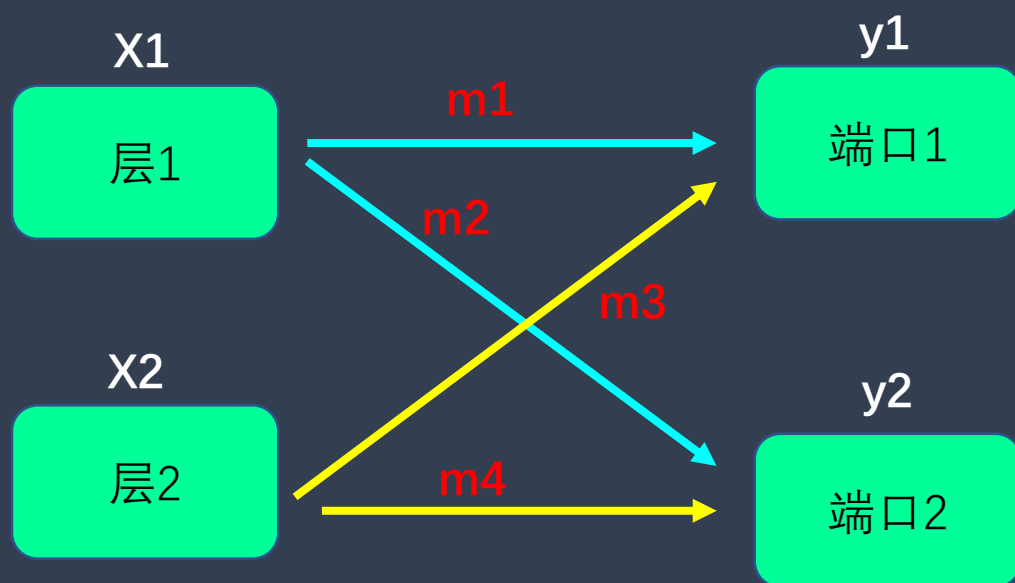
8天线



预编码precoding

使用预编码矩阵将层（layer）映射到天线端口（antenna port）的过程

举个简单的例子



$$y1 = m1 * X1 + m3 * X2$$

$$y2 = m2 * X1 + m4 * X2$$

$$y1 = m1 * X1 + m3 * X2$$

用矩阵表示



$$y2 = m2 * X1 + m4 * X2$$

$$\begin{bmatrix} y1 \\ y2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m1 & m3 \\ m2 & m4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X1 \\ X2 \end{bmatrix}$$

天线端口

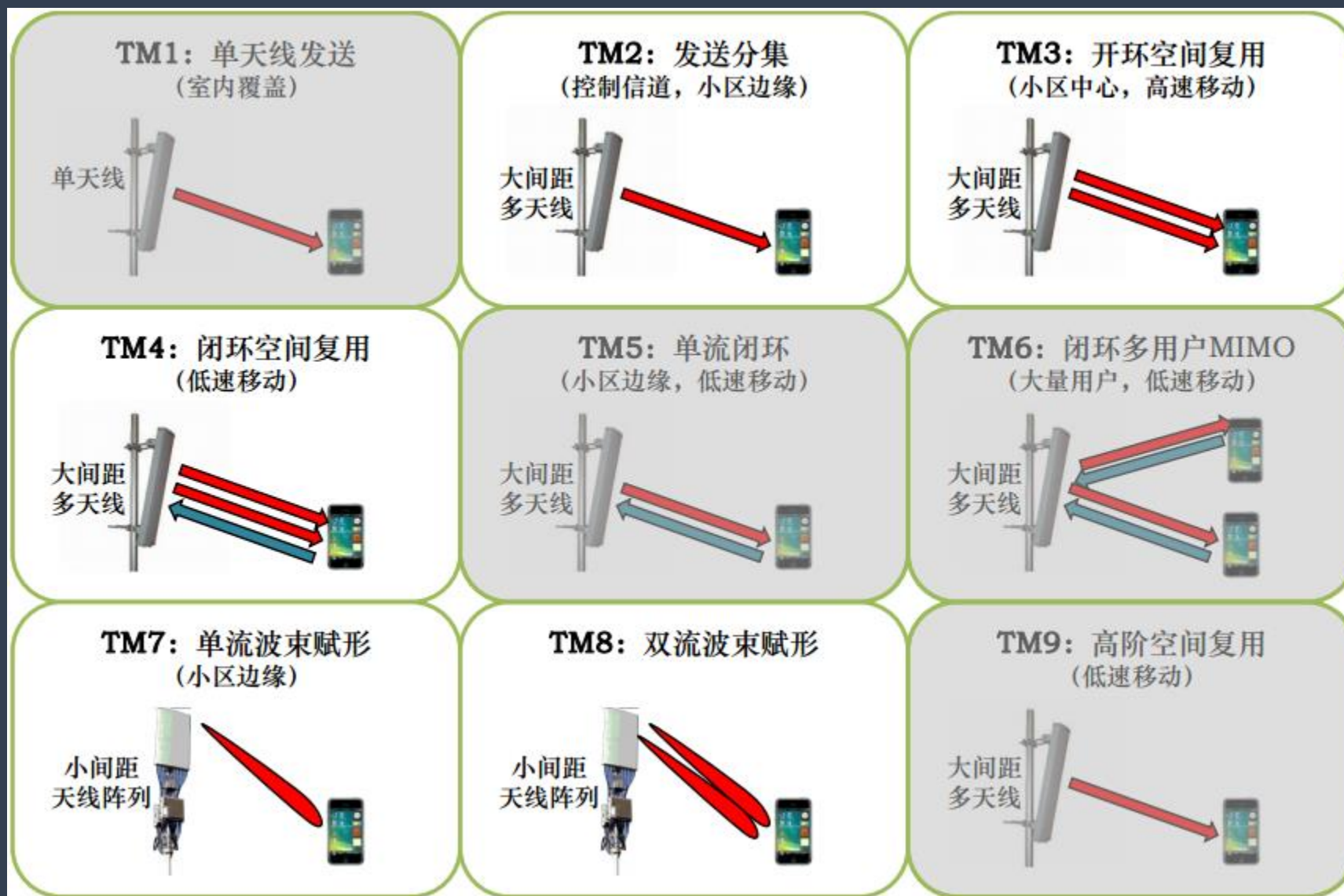
预编码矩阵

层

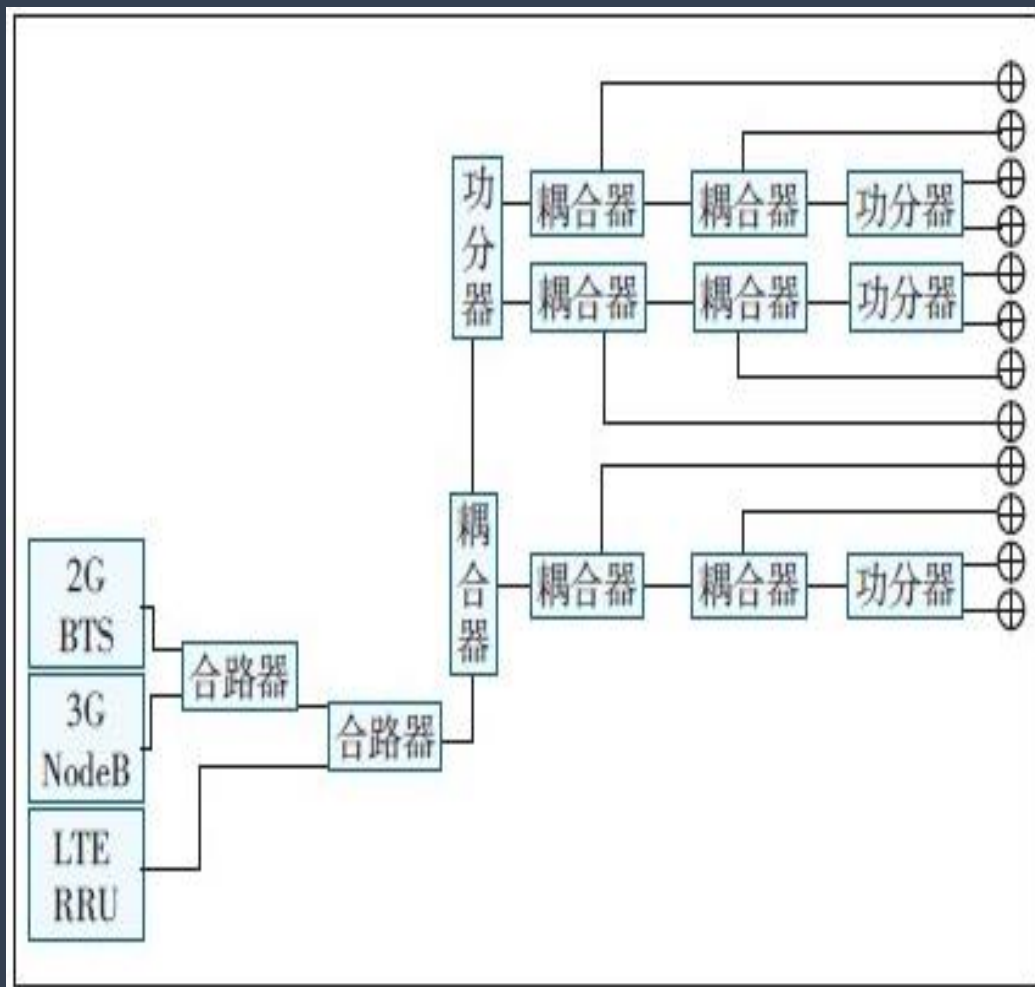
Codebook index	Number of layers ν	
	1	2
0	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$
1	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$
2	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ j \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ j & -j \end{bmatrix}$
3	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix}$	-

码本：预编码矩阵的集合

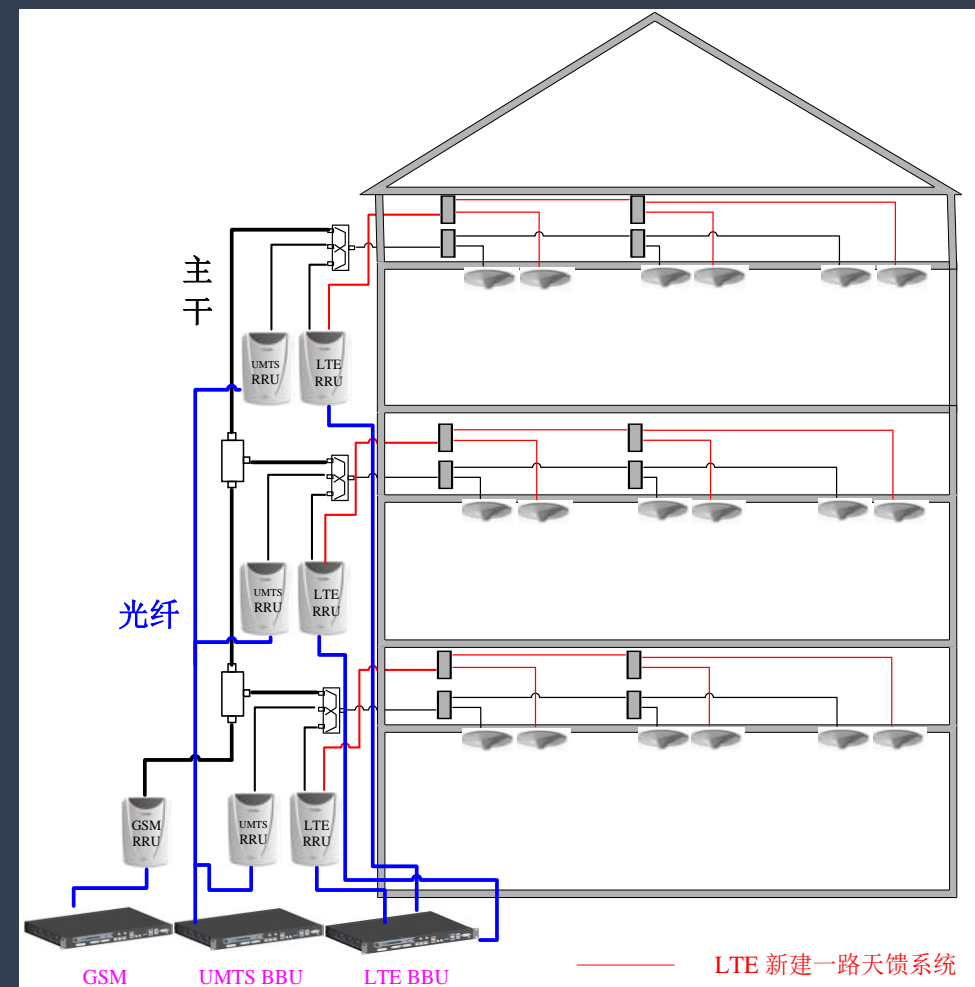
LTE的传输模式TM



TM1：单天线模式

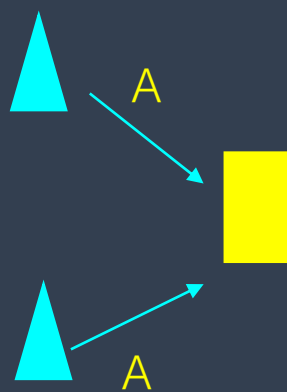


TM1



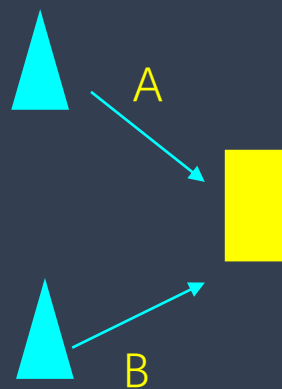
TM2

空间分集



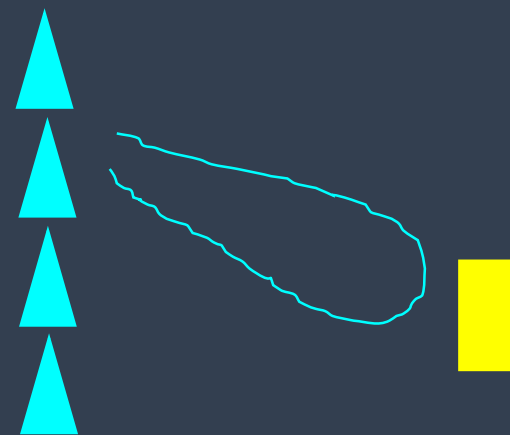
TM3和TM4

空间复用



TM7和TM8

波束赋形



TM3和TM4的区别

PMI：预编码矩阵指示

TM3开环空间复用

- UE不反馈PMI
- UE高速运动

Codebook index	Number of layers ν	
	1	2
0	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$
1	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$
2	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ j \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ j & -j \end{bmatrix}$
3	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix}$	-

TM4闭环空间复用

- UE反馈PMI
- UE低速运动

Codebook index	Number of layers ν	
	1	2
0	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$
1	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$
2	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ j \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ j & -j \end{bmatrix}$
3	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix}$	-

TM7和TM8的区别

TM7，单流波束赋形



一个定向波束

TM8，双流波束赋形



两个定向波束

总结一下

可以实现网速翻倍的模式：TM3, TM4, TM8

可以提升接收质量：TM2, TM7

无任何变化：TM1

网速排名（用户低速）：

TM8 > TM4 > TM3 > TM7 > TM2 > TM1

LTE中实现真正的双流

TM3, TM4、TM8---基站可以发双流

Rank2-----手机能够区分两路信道

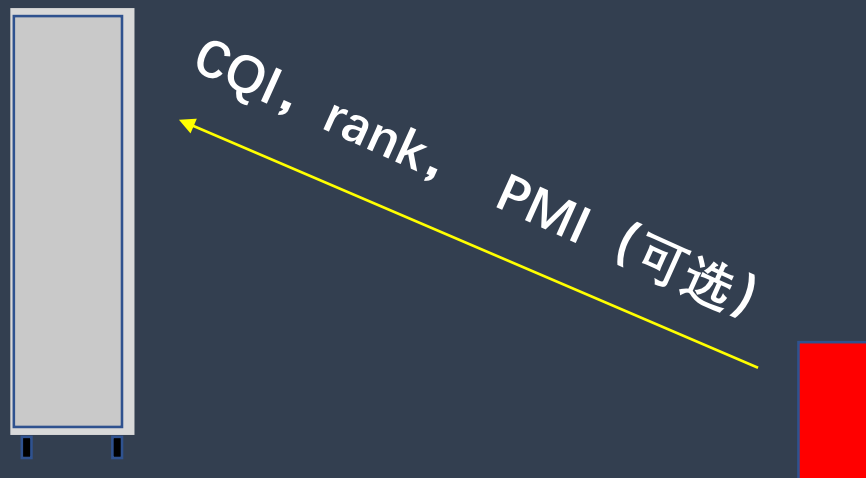
Rank2+ TM3/TM4/TM8== 双流

比如Rank1+TM3, 就是单流。

LTE中TM模式的变化

通过UE反馈，基站选择某一种TM模式，发送信息。
反馈的是CQI, rank和PMI（可选）

CQI是信道质量指示，
表示的是下行信号质量情况
从sinr计算而得出。





协议没有规定SINR与CQI之间的关系，由芯片厂家自有算法决定

CQI index	modulation	code rate x 1024	efficiency
0	out of range		
1	QPSK	78	0.1523
2	QPSK	120	0.2344
3	QPSK	193	0.3770
4	QPSK	308	0.6016
5	QPSK	449	0.8770
6	QPSK	602	1.1758
7	16QAM	378	1.4766
8	16QAM	490	1.9141
9	16QAM	616	2.4063
10	64QAM	466	2.7305
11	64QAM	567	3.3223
12	64QAM	666	3.9023
13	64QAM	772	4.5234
14	64QAM	873	5.1152
15	64QAM	948	5.5547

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