

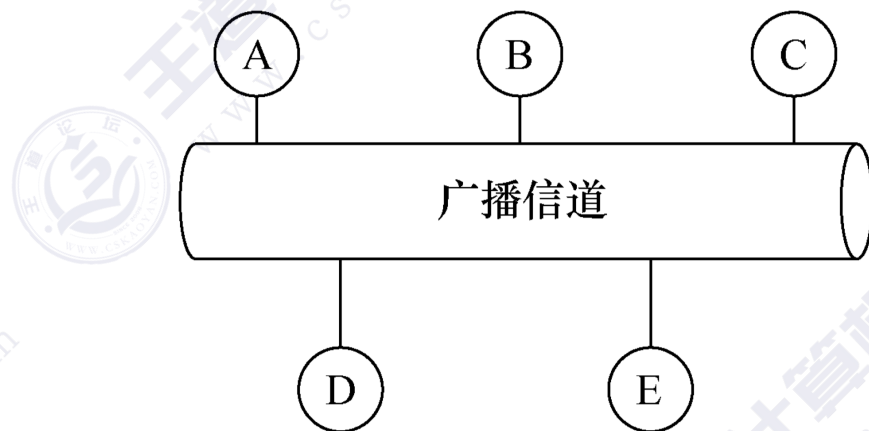
本节内容

信道划分 介质访问控制

什么是“介质访问控制”？

介质访问控制（Medium Access Control, **MAC**）：多个节点共享同一个“总线型”广播信道时，可能发生“信号冲突”。

应该怎么控制各节点对传输介质的访问，才能减少冲突，甚至避免冲突？



有线通信

如：

- 早期的网络中，常用一条同轴电缆连接多个节点
- 用集线器连接多个节点
- WiFi、5G 等无线通信



408考研大纲（链路层部分）

（一）数据链路层的功能

（二）组帧

（三）差错控制

检错编码；纠错编码

（四）流量控制与可靠传输机制

流量控制、可靠传输与滑动窗口机制；停止-等待协议

后退 N 帧协议（GBN）；选择重传协议（SR）

（五）介质访问控制

1. 信道划分：频分多路复用、时分多路复用、波分多路复用、码分多路复用

2. 随机访问：ALOHA 协议；CSMA 协议；CSMA/CD 协议；CSMA/CA 协议

3. 轮询访问：令牌传递协议

（六）局域网

局域网的基本概念与体系结构；以太网与 IEEE 802.3

IEEE 802.11 无线局域网；VLAN 基本概念与基本原理

（七）广域网

广域网的基本概念；PPP 协议

（八）数据链路层设备

以太网交换机及其工作原理

知识总览

信道划分 介质访问控制

时分复用 (TDM)、统计时分复用 (STDM)

频分复用 (FDM)、波分复用 (WDM)

● 码分复用 (CDM)

时分复用 (TDM)



温暖的寝室



A

V我50助我参加肯德基疯狂星期四



D



B

V我20助我拿下金拱门麦辣鸡腿堡



E

看戏



C

爸爸，明天点名你帮我答个到



F

骄傲

时分复用 (TDM)

我有一计：
A、B、C 轮流发言
每人固定发言 1 分钟

温暖的寝室



A

多个节点共享同一个声音信道，若同时发送声音信号，会相互干扰



D



B

我50助我参加肯德基疯狂星期四
我20助我拿下金拱门麦辣鸡腿堡
爸爸，明天点名你帮我答个到



E

看戏



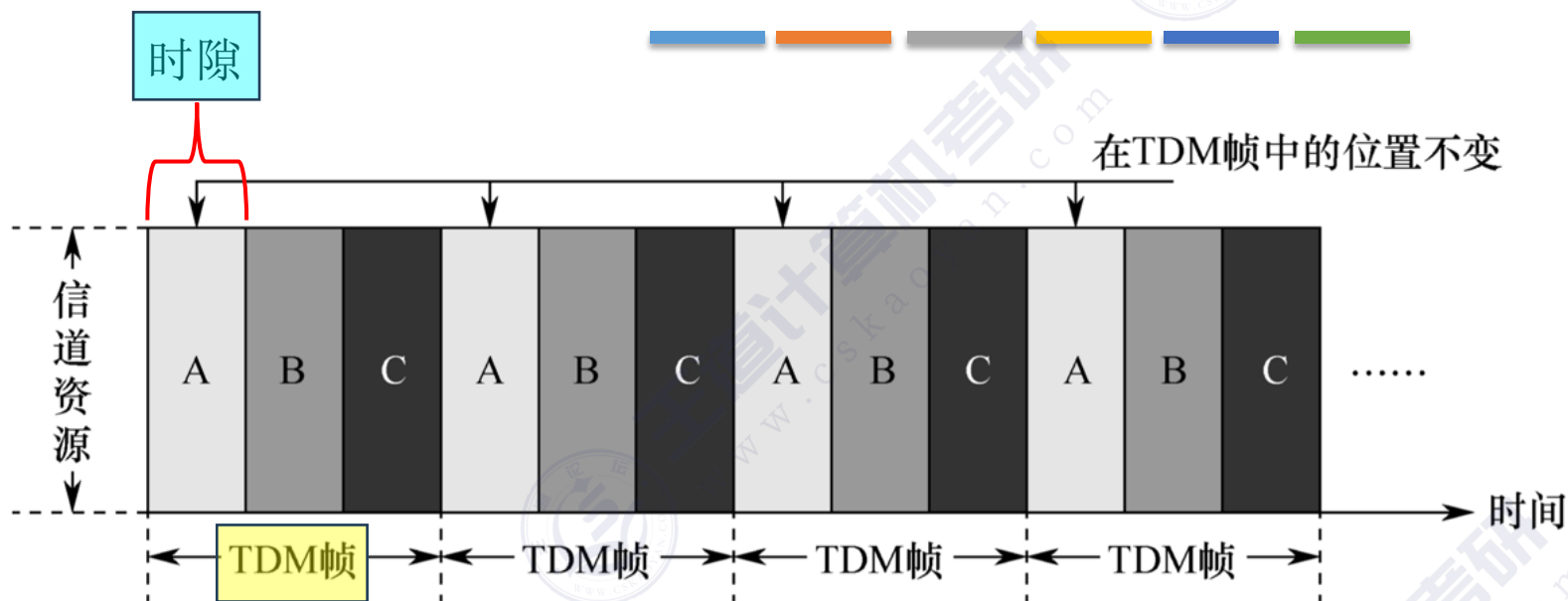
C



F

骄傲

时分复用 (TDM)



如何解决?
可统计每个节点对信道的使用需求,
动态按需分配时隙

时分复用 (Time Division Multiplexing, TDM) —— 将时间分为等长的“TDM帧”，每个“TDM帧”又分为等长的m个“时隙”，将m个时隙分配给m对用户（节点）使用

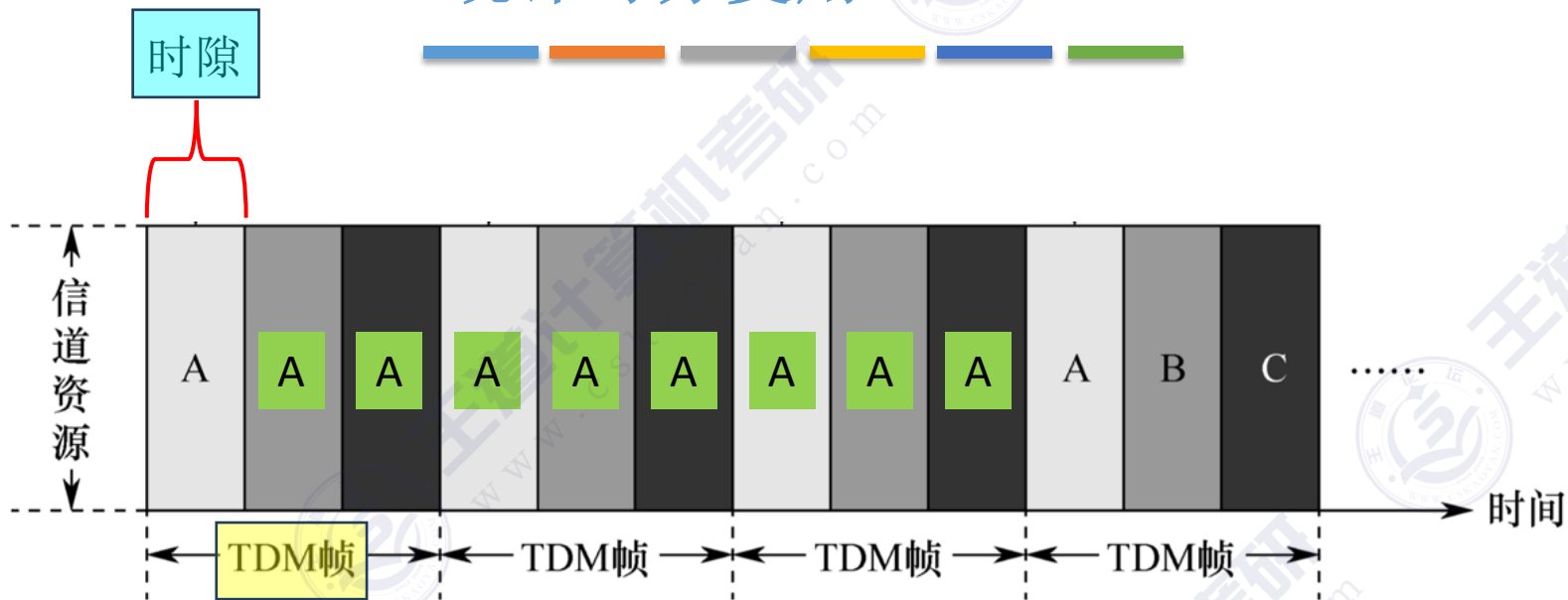


怎么办

TDM的缺点:

- 每个节点最多只能分配到信道总带宽的 $\frac{1}{m}$
- 如果某节点暂不发送数据, 会导致被分配的“时隙”闲置, 信道利用率低

统计时分复用 (STDM)



统计时分复用 (Statistic Time Division Multiplexing, **STDM**) —— 又称**异步时分复用**, 在TDM的基础上, **动态按序分配时隙**

STDM的优点:

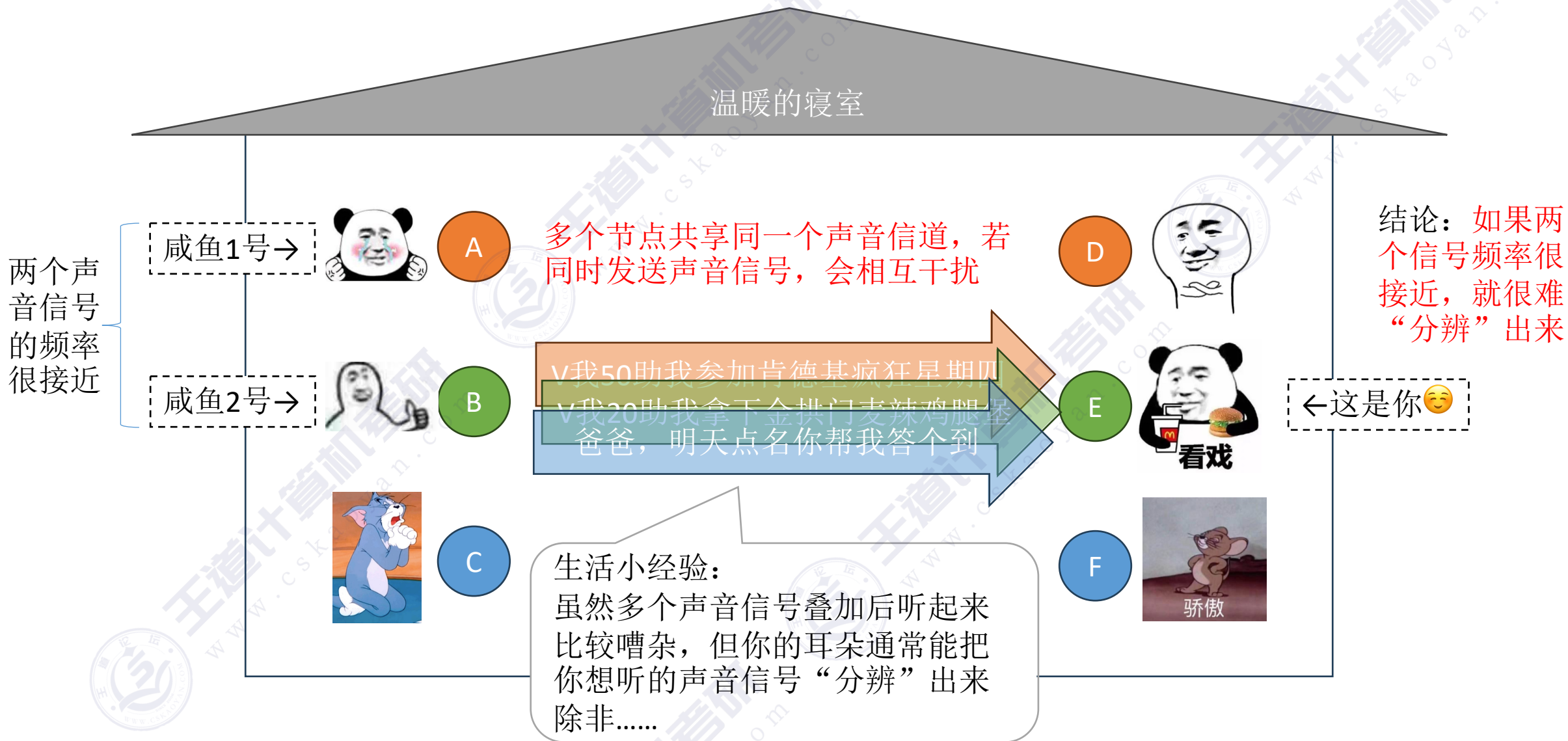
- 如果需要时, 一个节点可以在一段时间内**获得所有的信道带宽资源**
- 如果某节点暂不发送数据, 可以不分配“时隙”, **信道利用率更高**



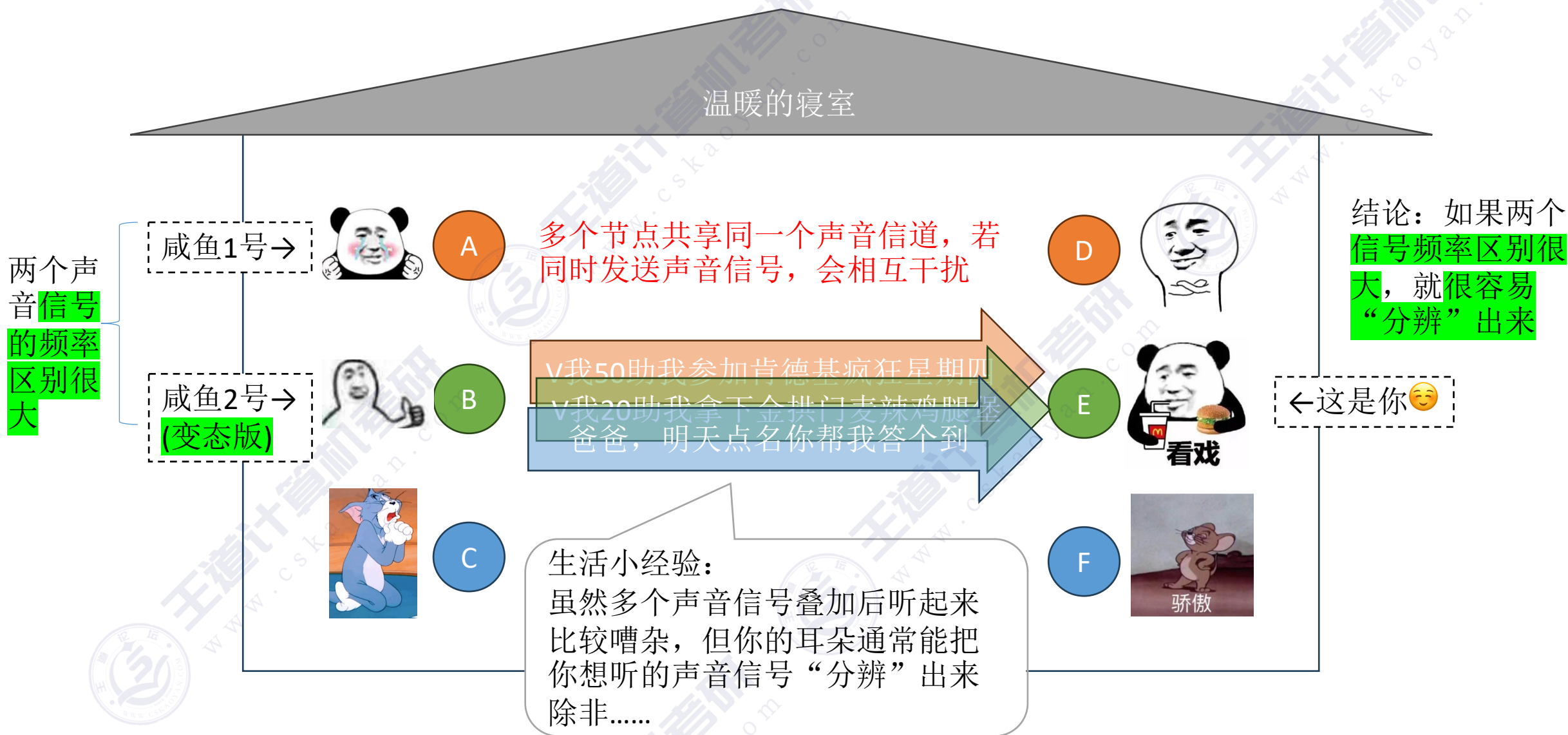
TDM的缺点:

- 每个节点**最多只能分配到信道总带宽的 $\frac{1}{m}$**
- 如果某节点暂不发送数据, 会导致被分配的“时隙”闲置, **信道利用率低**

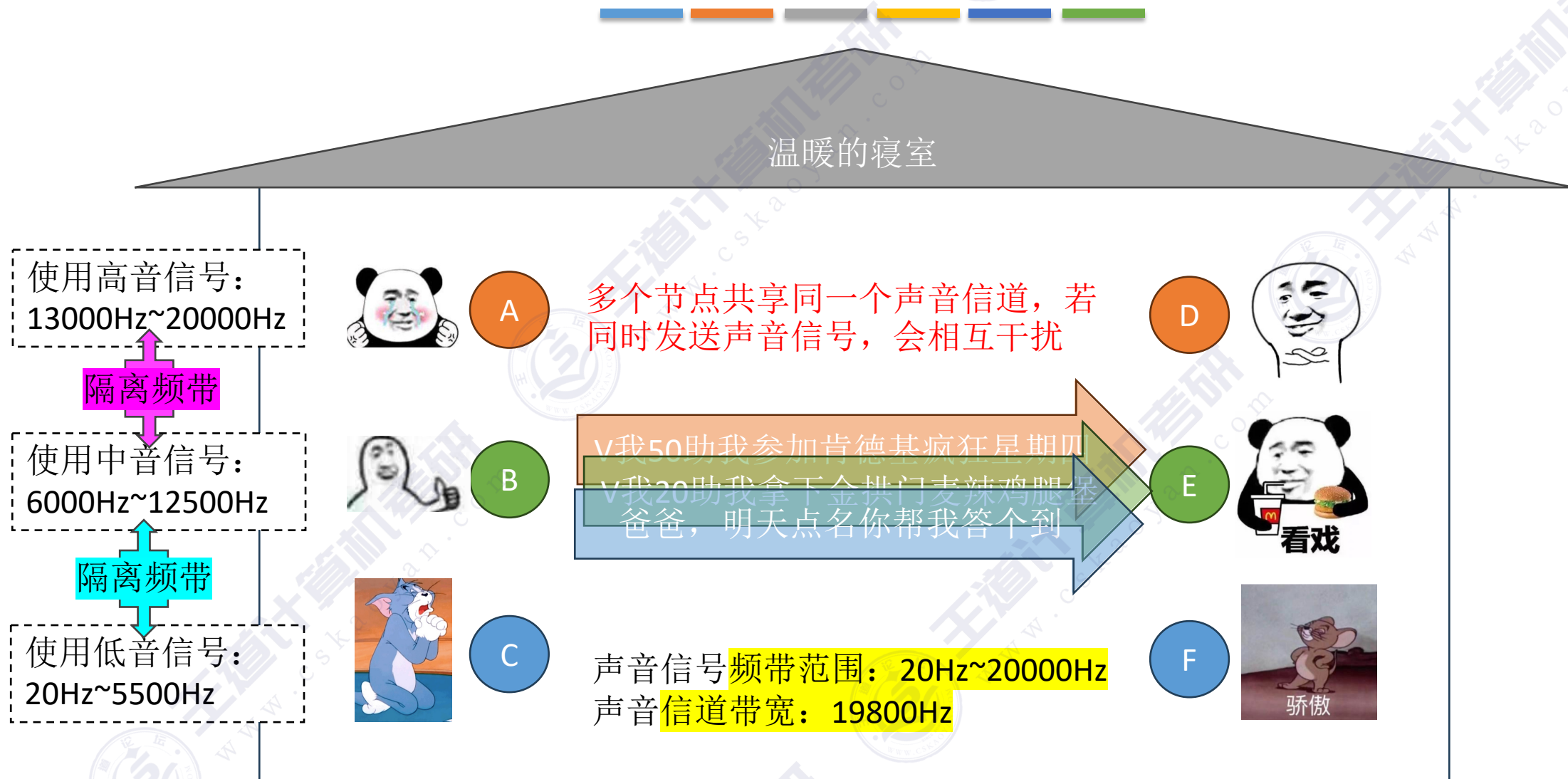
频分复用 (FDM)

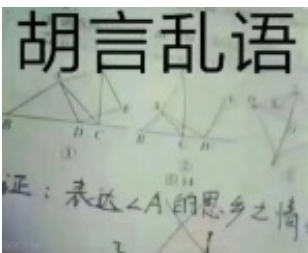


频分复用 (FDM)



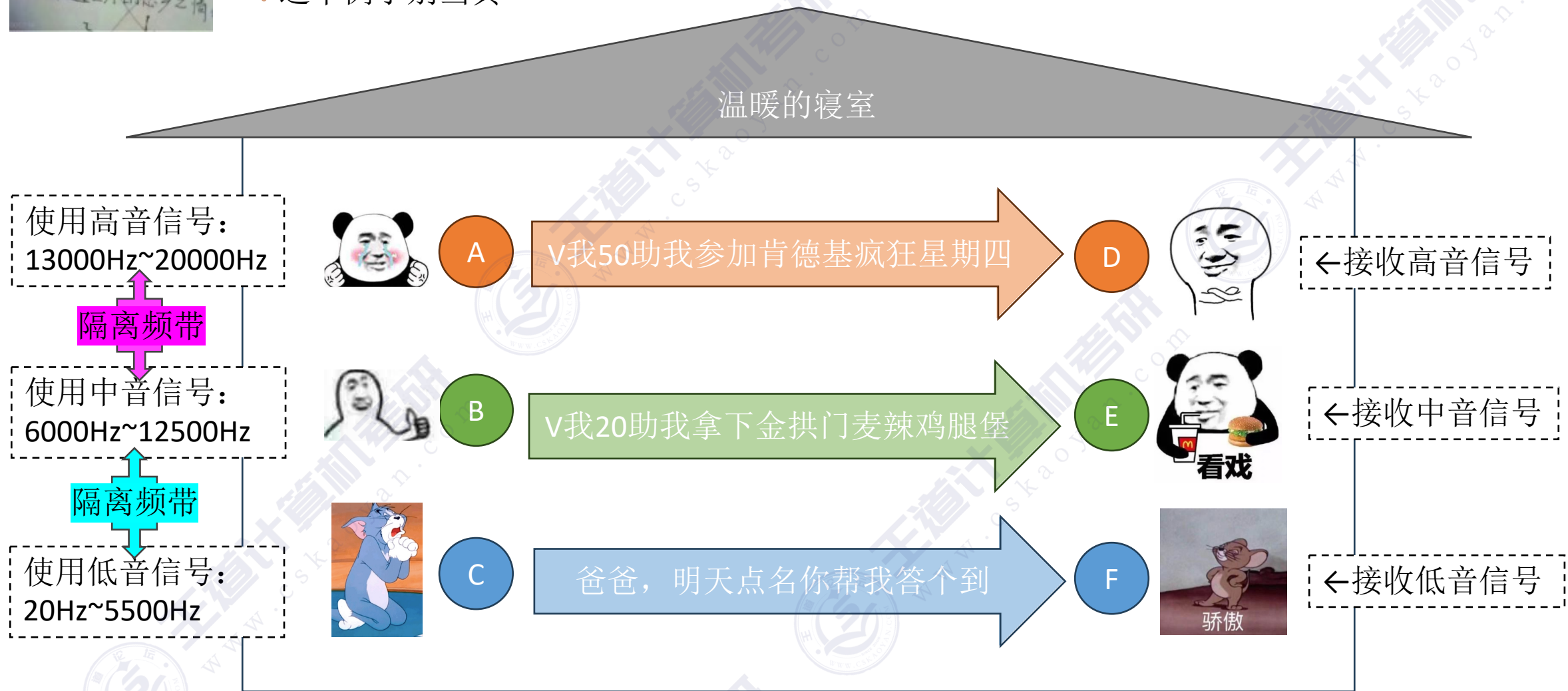
频分复用 (FDM)



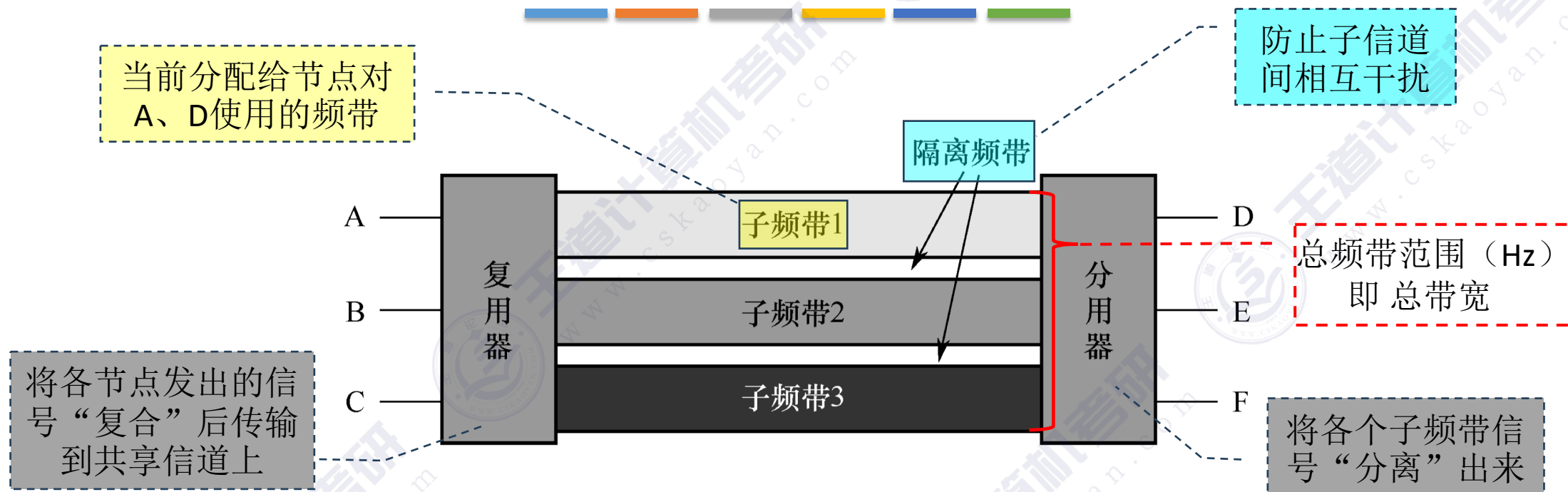


Tips: 正经人类音域
范围是64Hz~2048Hz
👉 这个例子别当真

频分复用 (FDM)



频分复用 (FDM)



频分复用 (Frequency Division Multiplexing, **FDM**) 是将信道的总频带划分为多个子频带，每个子频带作为一个子信道，每对用户使用一个子信道进行通信

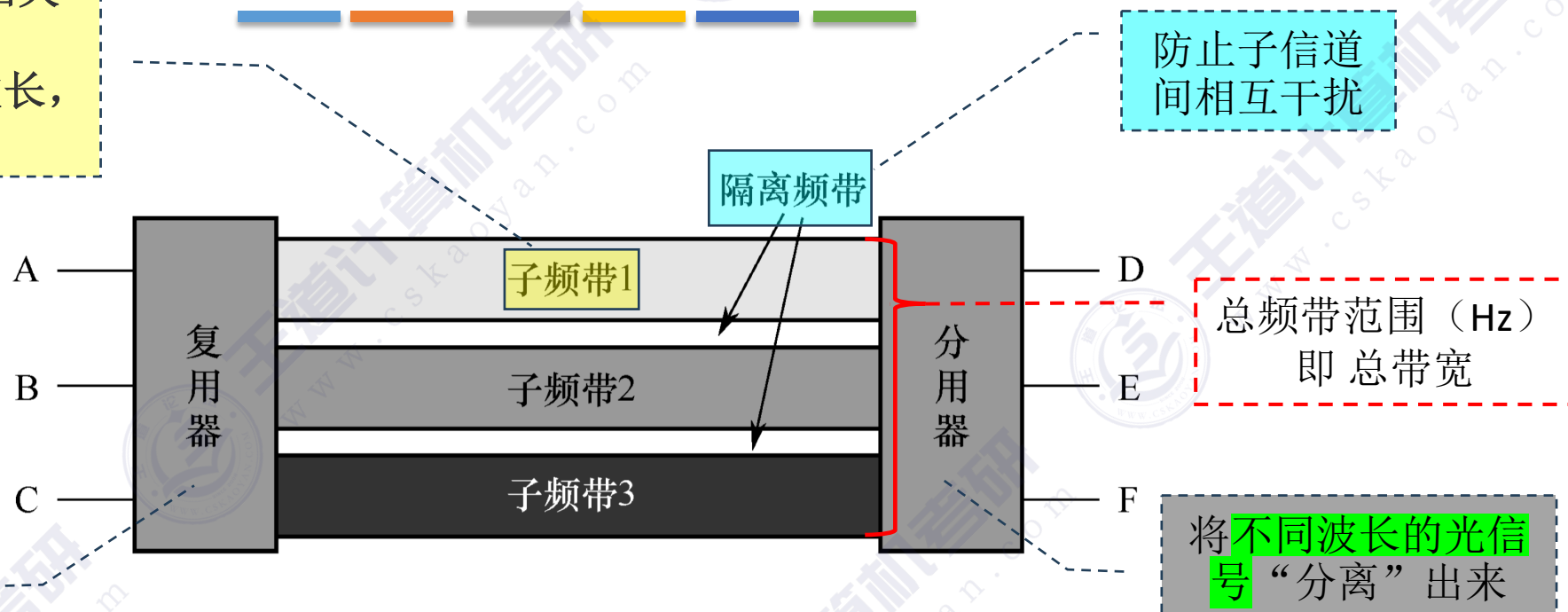
FDM的优缺点:

- 优点: 各节点可同时发送信号; 充分利用了信道带宽 (Hz)
- 缺点: FDM技术只能用于模拟信号的传输

波分复用 (WDM)

光的频率与波长负相关
 $C=\lambda f$
 C 代表光速, λ 代表波长,
 f 代表频率

将各节点发出的不同波长的光信号“复合”后传输到光纤上



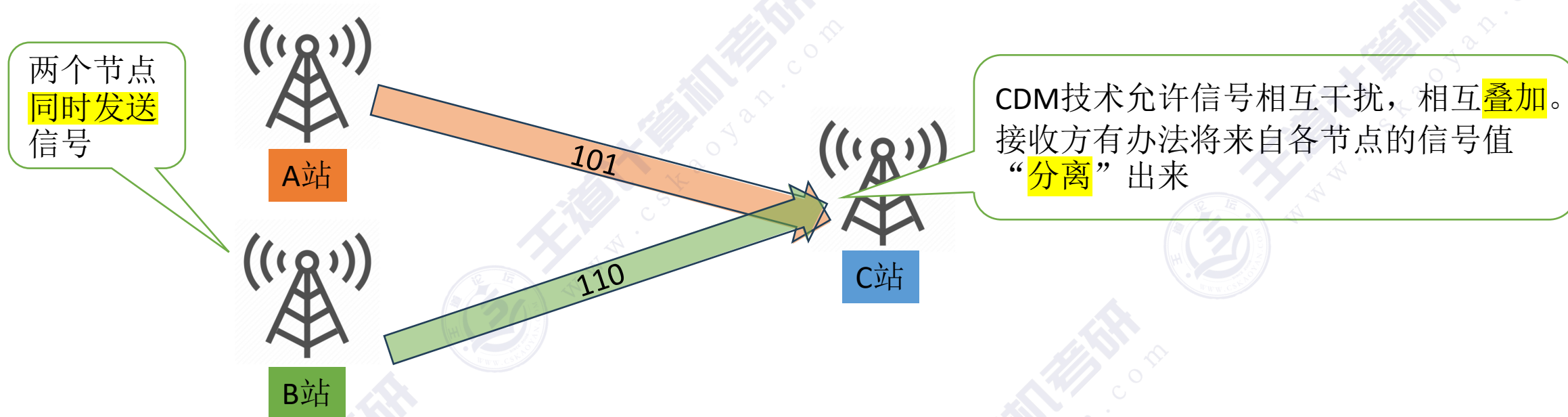
将不同波长的光信号“分离”出来

波分复用 (Wavelength Division Multiplexing, WDM) ——即光的频分复用

Tips: 光信号的频带范围 (带宽) 非常大, 因此很适合采用波分复用技术, 将一根光纤在逻辑上拆分为多个子信道



码分复用 (CDM)



背景：2G、3G移动网络时代，节点和节点之间的通信常使用CDMA（Code Division Multiple Access）技术



想起那天夕阳下的奔跑
那是我逝去的青春

底层原理就是码分复用（Code Division Multiplexing, CDM）

码分复用 (CDM)

码分复用 (CDM)

①给各节点分配专属“码片序列”

“码片序列”包含 m 个码片（信号值），可看作“ m 维向量”
(m 维向量的分量通常取 1 或 -1)

要求：各节点的“ m 维向量”**必须相互正交**

Tips：相互通信的各节点知道彼此的“码片序列”

②发送方如何发送数据

节点发出 m 个信号值与“码片序列”相同，表示**比特1**

节点发出 m 个信号值与“码片序列”相反，表示**比特0**

③信号在传输过程中“叠加”

当多个发送方同时发送数据时，**信号值会叠加**
(注：本质是多个 **m 维向量的加法**)

④接收方如何接收数据

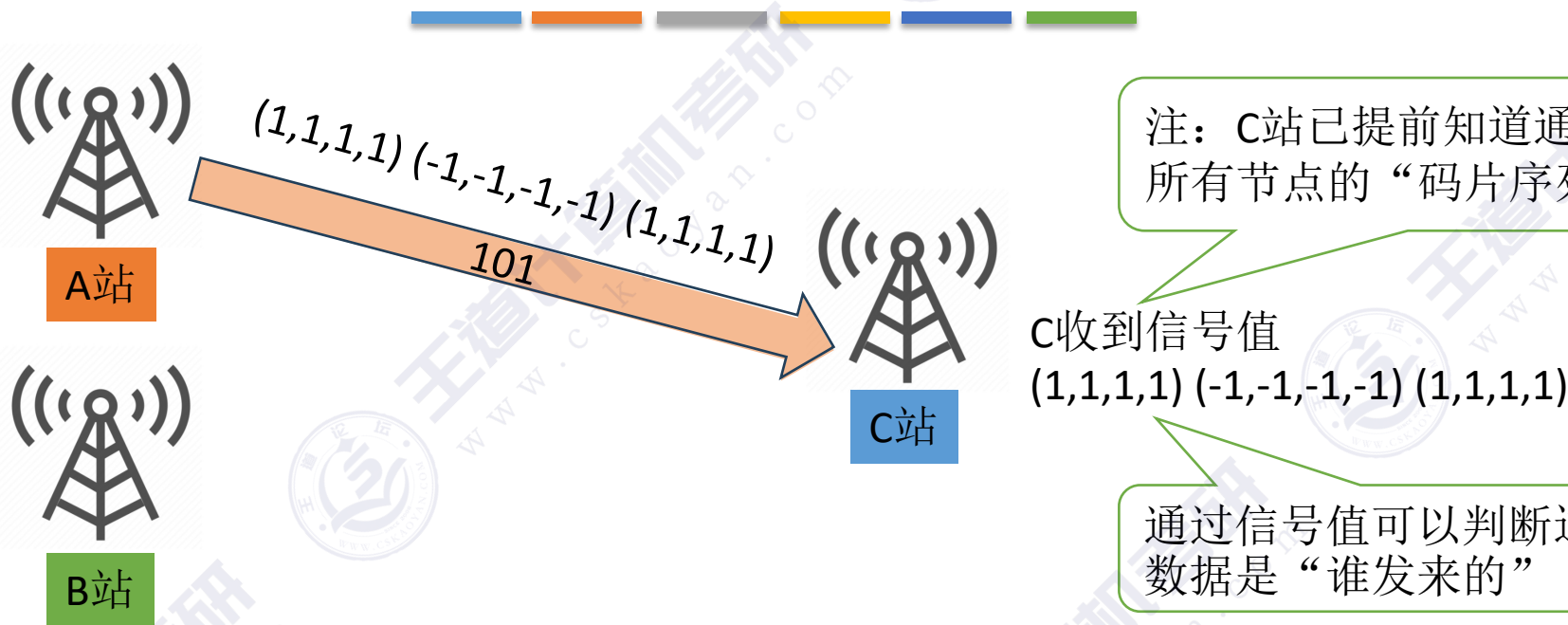
接收方收到的是“叠加”信号，需要从中“分离”出各发送方的数据

叠加信号与**发送方的码片序列**
作“**规格化内积**”

结果为1，表示**比特 1**

结果为-1，表示**比特 0**

各节点用专属“码片序列”发送数据



要求: 相互正交

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = 0$$

$$\vec{a} \cdot \vec{c} = 0$$

$$\vec{b} \cdot \vec{c} = 0$$

A的m维码片序列 $\vec{a} = (1, 1, 1, 1)$

B的m维码片序列 $\vec{b} = (1, -1, 1, -1)$

C的m维码片序列 $\vec{c} = (1, 1, -1, -1)$

A站发送信号值 = $\vec{a} = (1,1,1,1)$ 表示二进制**1**

A站发送信号值 = $-\vec{a} = (-1,-1,-1,-1)$ 表示二进制**0**

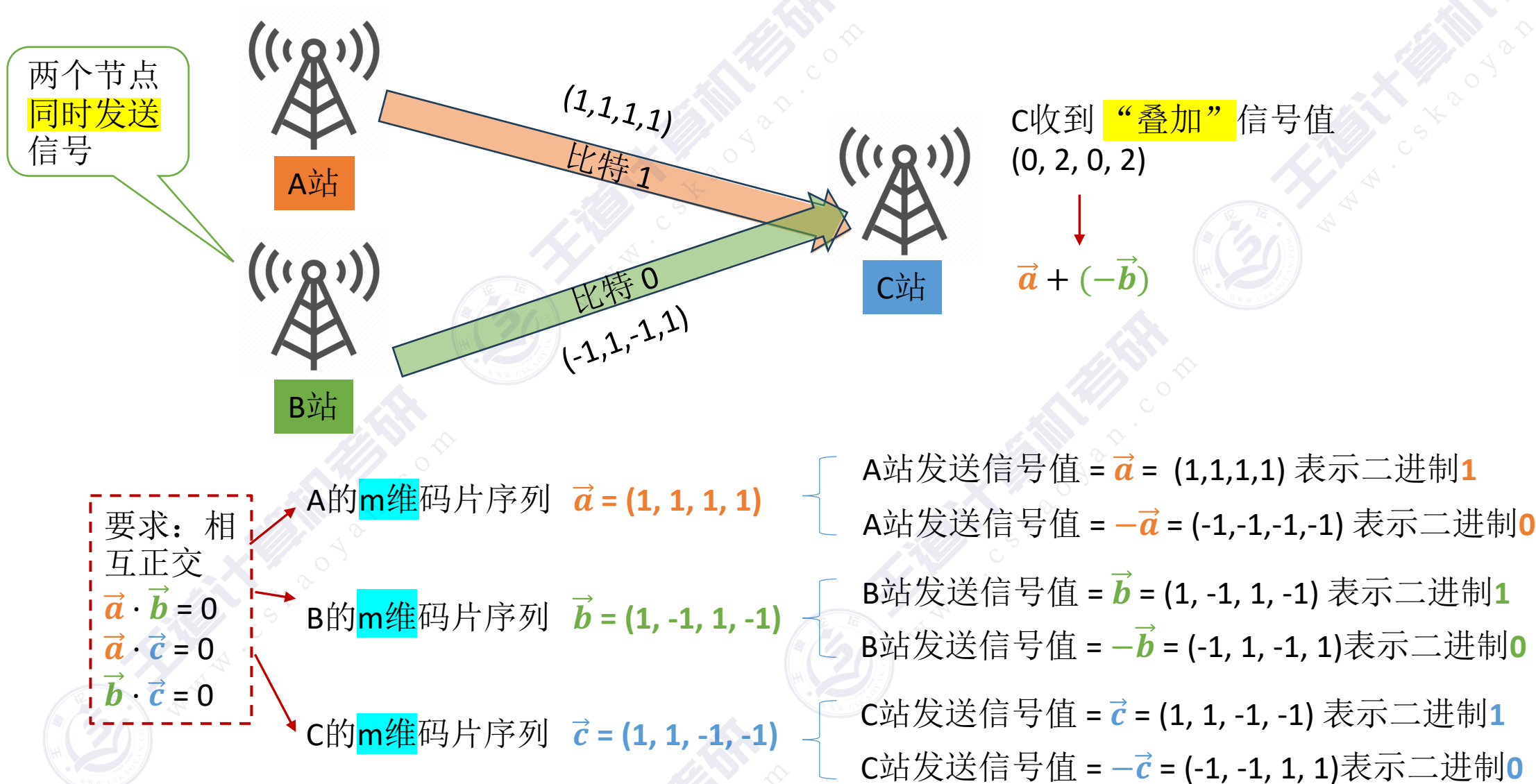
B站发送信号值 = $\vec{b} = (1, -1, 1, -1)$ 表示二进制**1**

B站发送信号值 = $-\vec{b} = (-1, 1, -1, 1)$ 表示二进制**0**

C站发送信号值 = $\vec{c} = (1, 1, -1, -1)$ 表示二进制**1**

C站发送信号值 = $-\vec{c} = (-1, -1, 1, 1)$ 表示二进制**0**

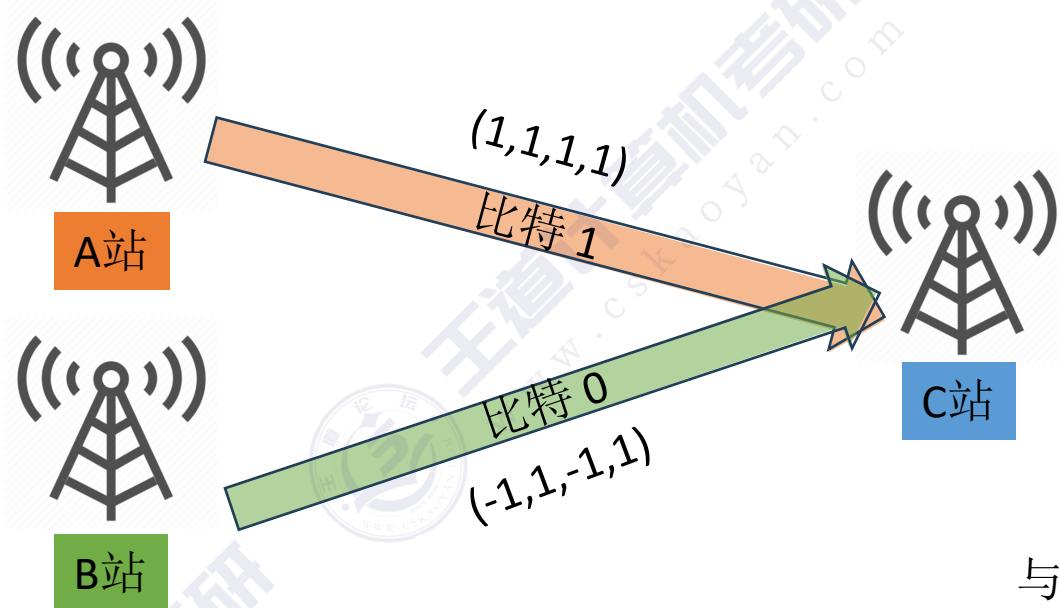
信号在传输过程中“叠加”



从叠加信号中“分离”出各节点发来的数据



两个节点
同时发送
信号



C收到“叠加”信号值
(0, 2, 0, 2)

$$\vec{a} + (-\vec{b})$$

与节点A的码片序列作“规格化内积”

$$\frac{1}{m} \vec{a} \cdot (\vec{a} + (-\vec{b})) = \frac{1}{m} \vec{a} \cdot \vec{a} = 1 \longrightarrow \text{比特1}$$

与节点B的码片序列作“规格化内积”

$$\frac{1}{m} \vec{b} \cdot (\vec{a} + (-\vec{b})) = \frac{1}{m} \vec{b} \cdot (-\vec{b}) = -1 \longrightarrow \text{比特0}$$

要求：相
互正交

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = 0$$

$$\vec{a} \cdot \vec{c} = 0$$

$$\vec{b} \cdot \vec{c} = 0$$

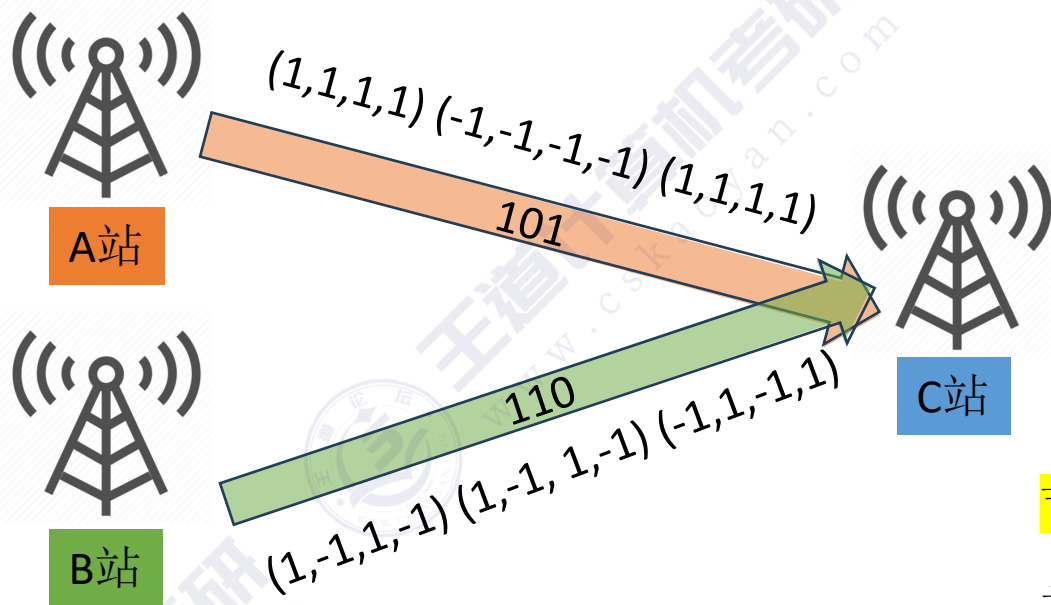
A的m维码片序列 $\vec{a} = (1, 1, 1, 1)$

B的m维码片序列 $\vec{b} = (1, -1, 1, -1)$

C的m维码片序列 $\vec{c} = (1, 1, -1, -1)$

从叠加信号中“分离”出各节点发来的数据

两个节点
同时发送
信号



C收到更多的“叠加”信号值
 $(2, 0, 2, 0)$ $(0, -2, 0, -2)$ $(0, 2, 0, 2)$

$$\vec{a} + \vec{b} \quad -\vec{a} + \vec{b} \quad \vec{a} + (-\vec{b})$$

节点A发了什么数据？

与节点A的码片序列作“规格化内积”

$$\frac{1}{m} \vec{a} \cdot (\vec{a} + \vec{b}) = \frac{1}{m} \vec{a} \cdot \vec{a} = 1 \quad \text{比特1}$$

$$\frac{1}{m} \vec{a} \cdot (-\vec{a} + \vec{b}) = \frac{1}{m} \vec{a} \cdot (-\vec{a}) = -1 \quad \text{比特0}$$

$$\frac{1}{m} \vec{a} \cdot (\vec{a} + (-\vec{b})) = \frac{1}{m} \vec{a} \cdot \vec{a} = 1 \quad \text{比特1}$$

要求：相互正交

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = 0$$

$$\vec{a} \cdot \vec{c} = 0$$

$$\vec{b} \cdot \vec{c} = 0$$

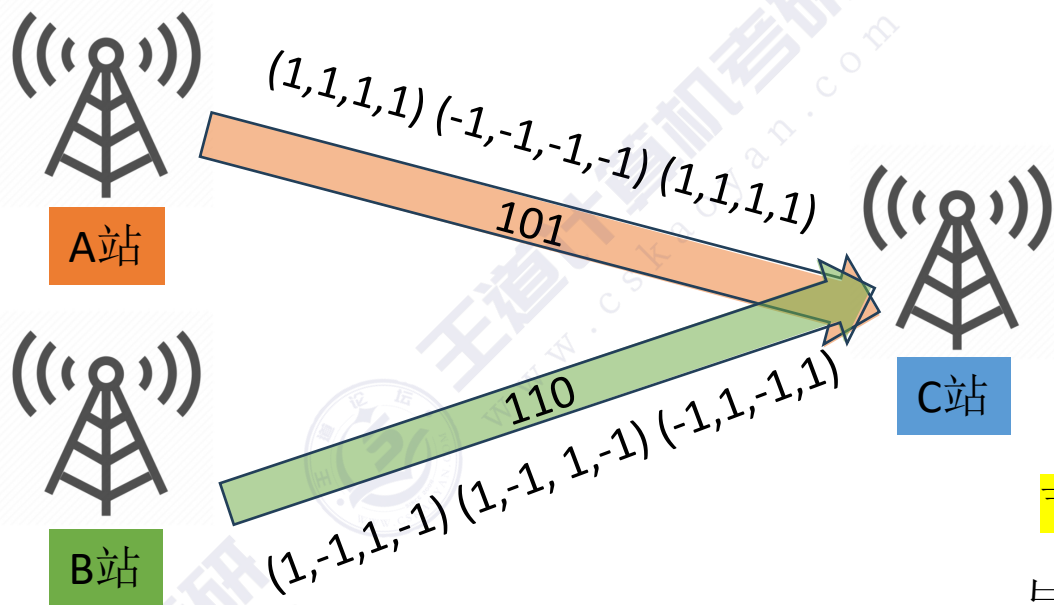
A的m维码片序列 $\vec{a} = (1, 1, 1, 1)$

B的m维码片序列 $\vec{b} = (1, -1, 1, -1)$

C的m维码片序列 $\vec{c} = (1, 1, -1, -1)$

从叠加信号中“分离”出各节点发来的数据

两个节点
同时发送
信号



C收到更多的“叠加”信号值
(2, 0, 2, 0) (0, -2, 0, -2) (0, 2, 0, 2)

$$\vec{a} + \vec{b} \quad -\vec{a} + \vec{b} \quad \vec{a} + (-\vec{b})$$

节点B发了什么数据？

与节点B的码片序列作“规格化内积”

$$\frac{1}{m} \vec{b} \cdot (\vec{a} + \vec{b}) = \frac{1}{m} \vec{b} \cdot \vec{b} = 1 \quad \longrightarrow \quad \text{比特1}$$

$$\frac{1}{m} \vec{b} \cdot (-\vec{a} + \vec{b}) = \frac{1}{m} \vec{b} \cdot \vec{b} = 1 \quad \longrightarrow \quad \text{比特1}$$

$$\frac{1}{m} \vec{b} \cdot (\vec{a} + (-\vec{b})) = \frac{1}{m} \vec{b} \cdot (-\vec{b}) = -1 \quad \longrightarrow \quad \text{比特0}$$

要求：相
互正交

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = 0$$

$$\vec{a} \cdot \vec{c} = 0$$

$$\vec{b} \cdot \vec{c} = 0$$

A的m维码片序列 $\vec{a} = (1, 1, 1, 1)$

B的m维码片序列 $\vec{b} = (1, -1, 1, -1)$

C的m维码片序列 $\vec{c} = (1, 1, -1, -1)$

例题：2014真题_37

37. 站点 A、B、C 通过 CDMA 共享链路，A、B、C 的码片序列（chipping sequence）分别是(1, 1, 1, 1), (1, -1, 1, -1)和(1, 1, -1, -1)。若 C 从链路上收到的序列是(2, 0, 2, 0, 0, -2, 0, -2, 0, 2, 0, 2)，则 C 收到 A 发送的数据是（ ）。

A. 000

B. 101

C. 110

D. 111

$$\frac{1}{4} (1, 1, 1, 1) \cdot (2, 0, 2, 0) = 1 \longrightarrow \text{比特1}$$

$$\frac{1}{4} (1, 1, 1, 1) \cdot (0, -2, 0, -2) = -1 \longrightarrow \text{比特0}$$

$$\frac{1}{4} (1, 1, 1, 1) \cdot (0, 2, 0, 2) = 1 \longrightarrow \text{比特1}$$

A发送的数据

$$\frac{1}{4} (1, -1, 1, -1) \cdot (2, 0, 2, 0) = 1 \longrightarrow \text{比特1}$$

$$\frac{1}{4} (1, -1, 1, -1) \cdot (0, -2, 0, -2) = 1 \longrightarrow \text{比特1}$$

$$\frac{1}{4} (1, -1, 1, -1) \cdot (0, 2, 0, 2) = -1 \longrightarrow \text{比特0}$$

B发送的数据

知识回顾与重要考点

信道划分 介质访问控制

时分复用 (TDM) —— 将时间分片 (时间片大小固定), 各节点依次分配一个时间片

统计时分复用 (STDM) —— 在时分复用的基础上, 按需分配时间片

频分复用 (FDM) —— 将信道的总频带拆分为几条互不相交的子频带, 为每个发送节点分配一条子频带

波分复用 (WDM) —— 本质上是光的频分复用 (光的波长与频率有关)

码分复用 (CDM)

①给各节点分配专属“码片序列”

“码片序列”包含 m 个码片 (信号值), 可看作“ m 维向量” (分量通常取 1 或 -1)

要求: 各节点的“ m 维向量”必须相互正交

Tips: 相互通信的各节点知道彼此的“码片序列”

②发送方如何发送数据

节点发出 m 个信号值与“码片序列”相同, 表示比特1

节点发出 m 个信号值与“码片序列”相反, 表示比特0

③信号在传输过程中“叠加”

当多个发送方同时发送数据时, 信号值会叠加 (注: 本质是多个 m 维向量的加法)

④接收方如何接收数据

接收方收到的是“叠加”信号, 需要从中“分离”出各发送方的数据

叠加信号与 发送方的码片序列 作“规格化内积”

结果为1, 表示比特 1

结果为-1, 表示比特 0