

# 现代通信技术

张欣

北京邮电大学信息与通信工程学院

[zhangxin@bupt.edu.cn](mailto:zhangxin@bupt.edu.cn)



# 第十章 无线通信技术

---

## ■ 10.1 概述

- 无线的优势
- 无线的特殊性
- 发展概况
- 技术应用
- 内容架构

# 无线的优势

- 无线电波具有覆盖特性
- 也可以具有定向特性
- 可以利用无线组成区域覆盖的网络，也可以组成链式的传输通道
- 终端可以移动，可以实现随时、随地的通信
  - 只要电波能够覆盖到



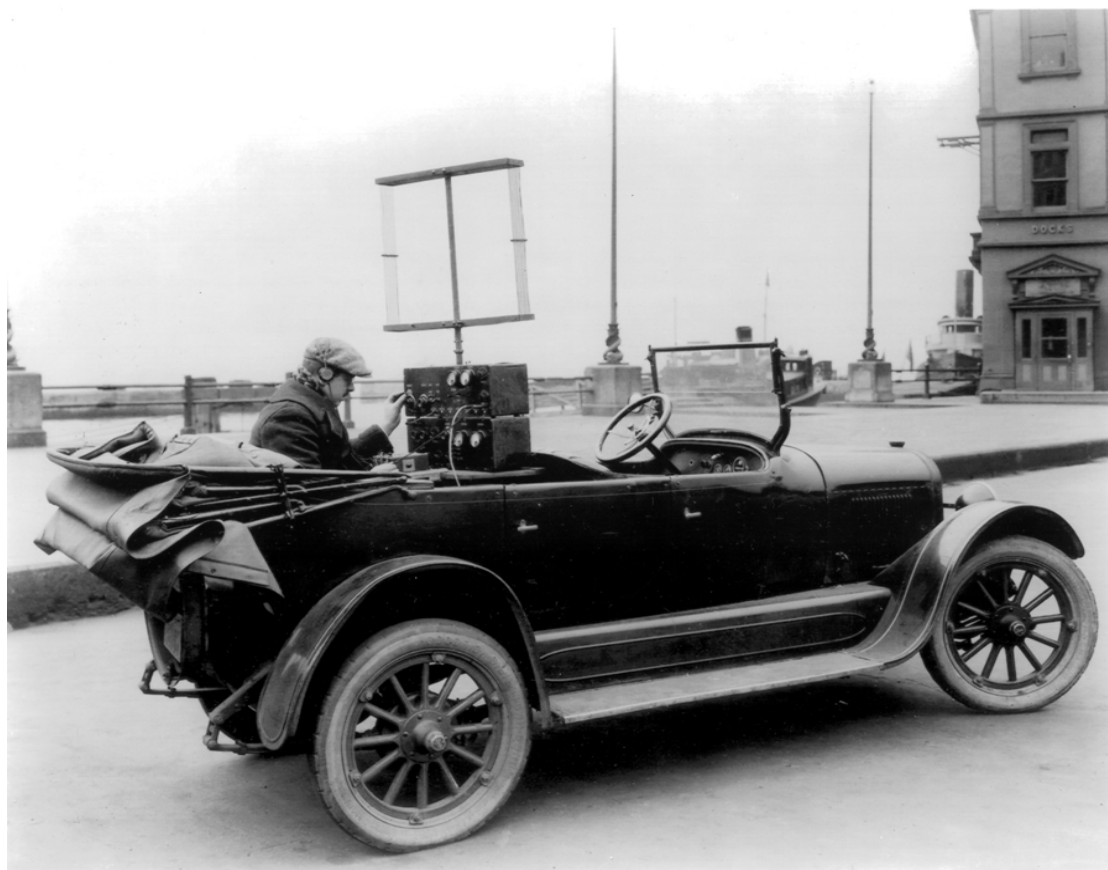
# 无线的特殊性

---

- 频率资源有限，一般需要统一规划
- 电波传播环境复杂
- 环境干扰
- 开放式空间传播，容易受到窃听

# 发展概况

## ■ 第一个移动无线电话 (1924)



Courtesy of Rich Howard

# 发展概况

无线通信  
技术

■ 现在？



转载网络图片

# 发展概况

## ■ 现在？ 将来？



WIKIPEDIA  
Die freie Enzyklopädie



From IEEE CommMag Sep'2010

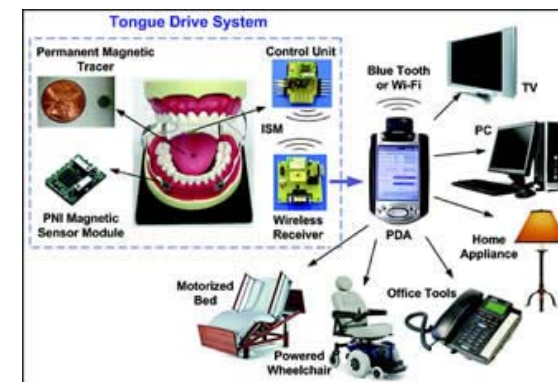
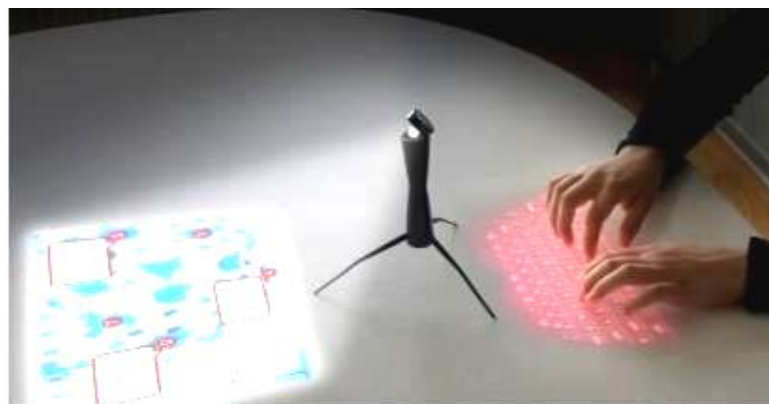




# 发展概况

无线通信  
技术

■ 现在? 将来?



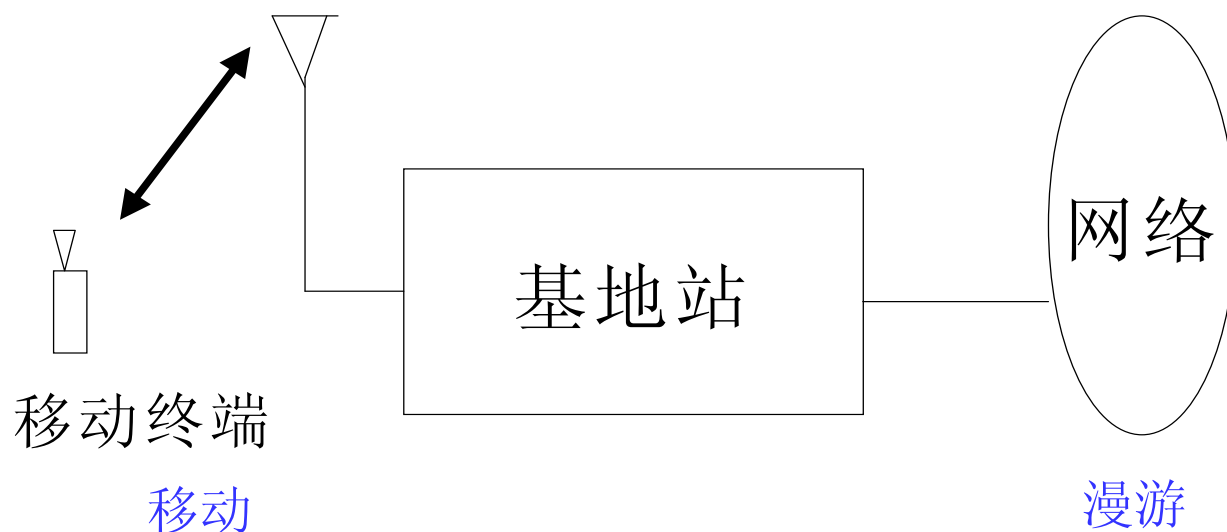


## 技术应用（接入/传输）

- 集群通信—警察、出租车调度
- 蜂窝移动电话—车载、便携、手持机
- 无线寻呼
- 无绳电话—家用、公共无线接入点
- 卫星移动通信—“铱”、全球星等
- 无线局域网(WLAN)
- 数字微波
- 电视广播、电台广播
- 空间通信
- 物联网、车联网.....

# 技术应用（接入/传输）

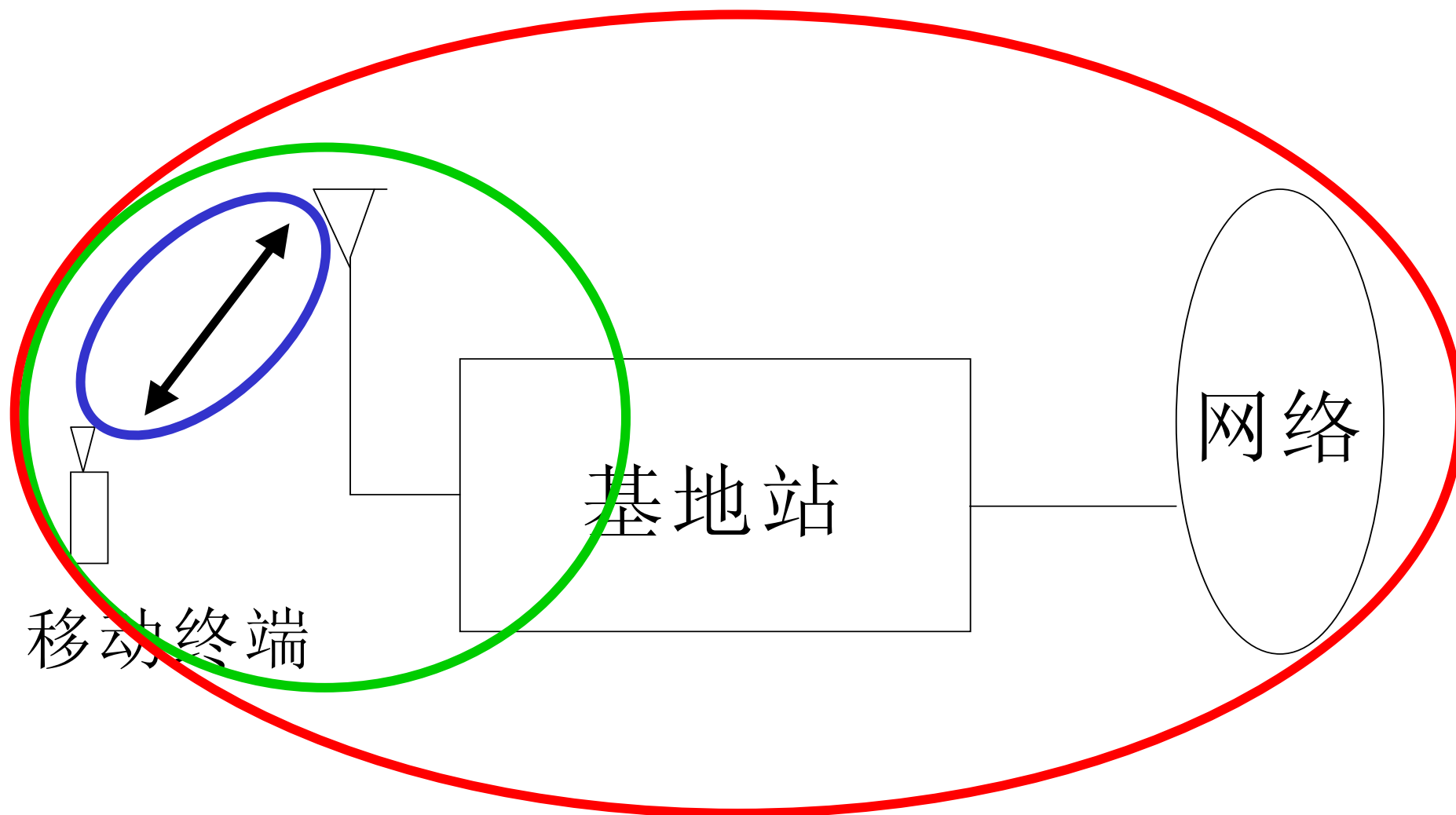
- **移动通信**（与无线通信的关系？）
  - 通信双方至少有一方处在移动情况下(或临时静止)的相互信息传输和交换
  - 移动通信解决因为人的移动产生的动中通信问题





# 内容架构

无线通信



# 现代通信技术

张欣

北京邮电大学信息与通信工程学院

[zhangxin@bupt.edu.cn](mailto:zhangxin@bupt.edu.cn)



# 第十章 无线通信技术

---

## ■ 10.2 无线传播环境及其特性

---

- 天线及其基本概念
- 电波的自由空间传播
- 电波传播的几何模型
- 多径传播和衰落
- 电波传播的预测模型
  - Hata模型
- 通信链路预算



# 天线基本知识

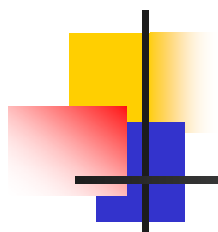
---

- 天线的方向性
- 波瓣宽度
- 天线增益
- 天线极化



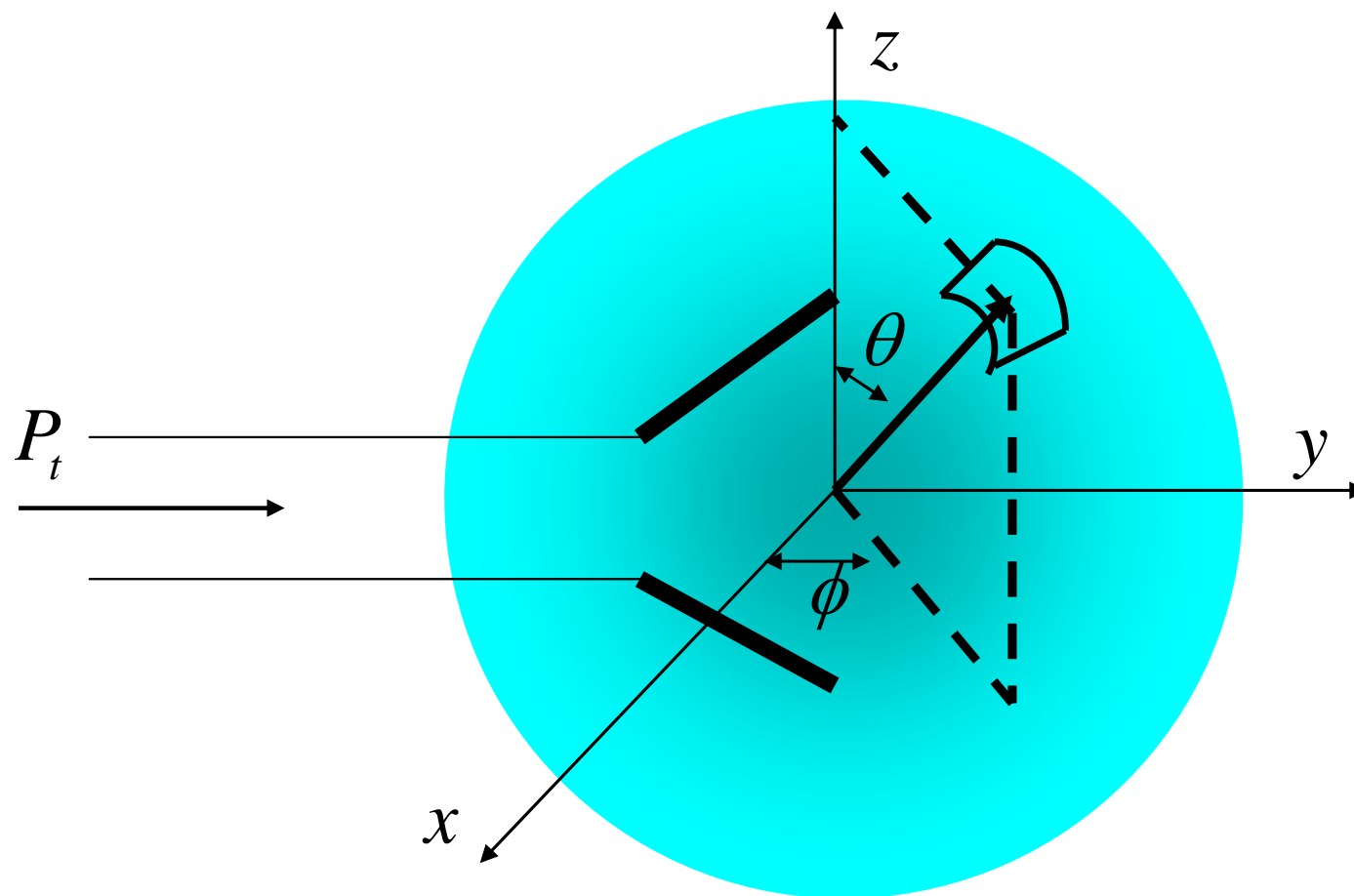
# 天线

- 天线是无线电波辐射、接收的设备
- 天线辐射或接收的信号强度与空间的方位角有关系，这种关系通常用天线的方向图来表示
- 根据天线的方向图可以将天线分成：全向天线和定向天线
  - 全向天线：均匀辐射的天线
  - 定向天线：辐射在一些方向上更强、另外一些方向上弱一些
  - 2D/3D



# 天线方向图

无线通信  
技术



# 天线方向图

- 设某个方向上的功率密度为  $U(\theta, \phi)$  ,  
如果天线无损耗且理想匹配, 则总功率  
 $P_t$  将由天线辐射出去, 即

$$P_t = \int_0^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} U(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi$$

- 平均功率密度为

$$U_{ave} = \frac{P_t}{4\pi} = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} U(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi$$

# 天线方向图

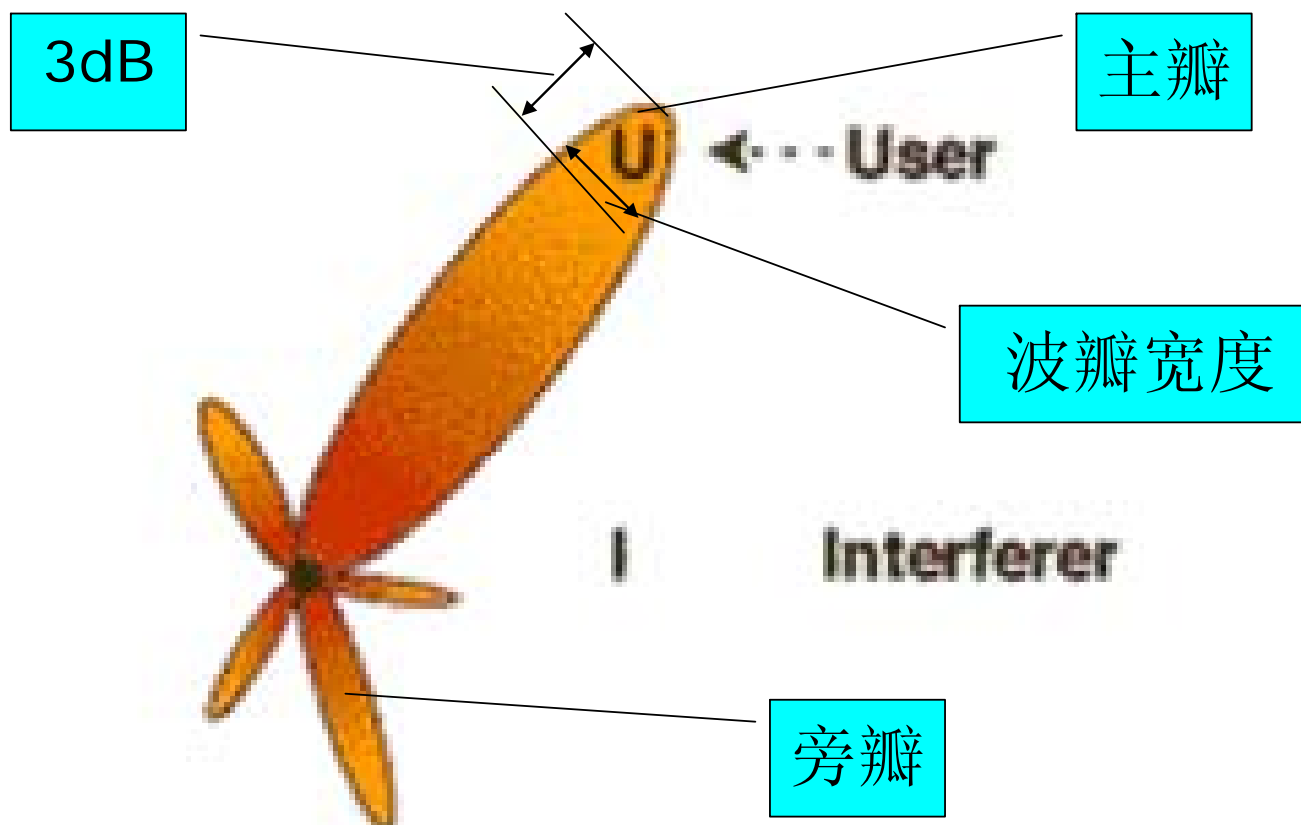
- 定义天线的增益为

$$G(\theta, \phi) = \eta \frac{U(\theta, \phi)}{U_{ave}}$$

- 其中  $\eta$  是天线效率，决定天线的损失
- $G(\theta, \phi)$  称为天线的功率方向图

# 天线增益

- 天线方向图  $G(\theta, \phi)$  的**最大值**，即为天线增益



# 相对全向天线增益dBi

- 如果式 
$$G(\theta, \phi) = \eta \frac{U(\theta, \phi)}{U_{ave}}$$
- 中  $U_{ave} = 1$  , 则  $G(\theta, \phi)$  的最大值, 即为  
相对于均匀点源全向天线的增益, 用dBi表示
- i=isotropic
- dBd (d=dipole) , 两者差2.15dB
  - e.g. 0 dBd=2.15 dBi

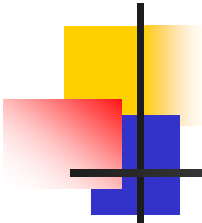




# 天线的方向性

---

- 理想点源天线（全向天线）
  - 电磁波辐射强度各向均匀（三维）
- 定向天线
  - 水平、垂直方向辐射波束具有一定的宽度



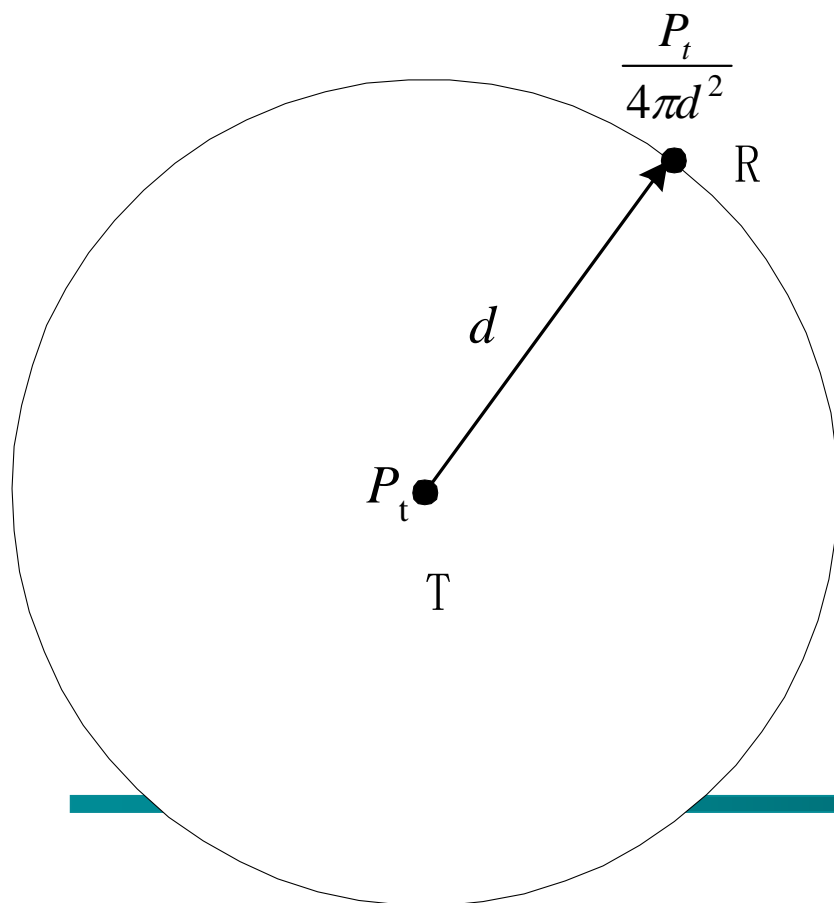
# 天线的极化

---

- 天线辐射时形成的 **电场** 强度方向
- 当电场方向垂直于地面时，称为垂直极化
- 当电场方向水平于地面时，称为水平极化

# 电波的自由空间传播

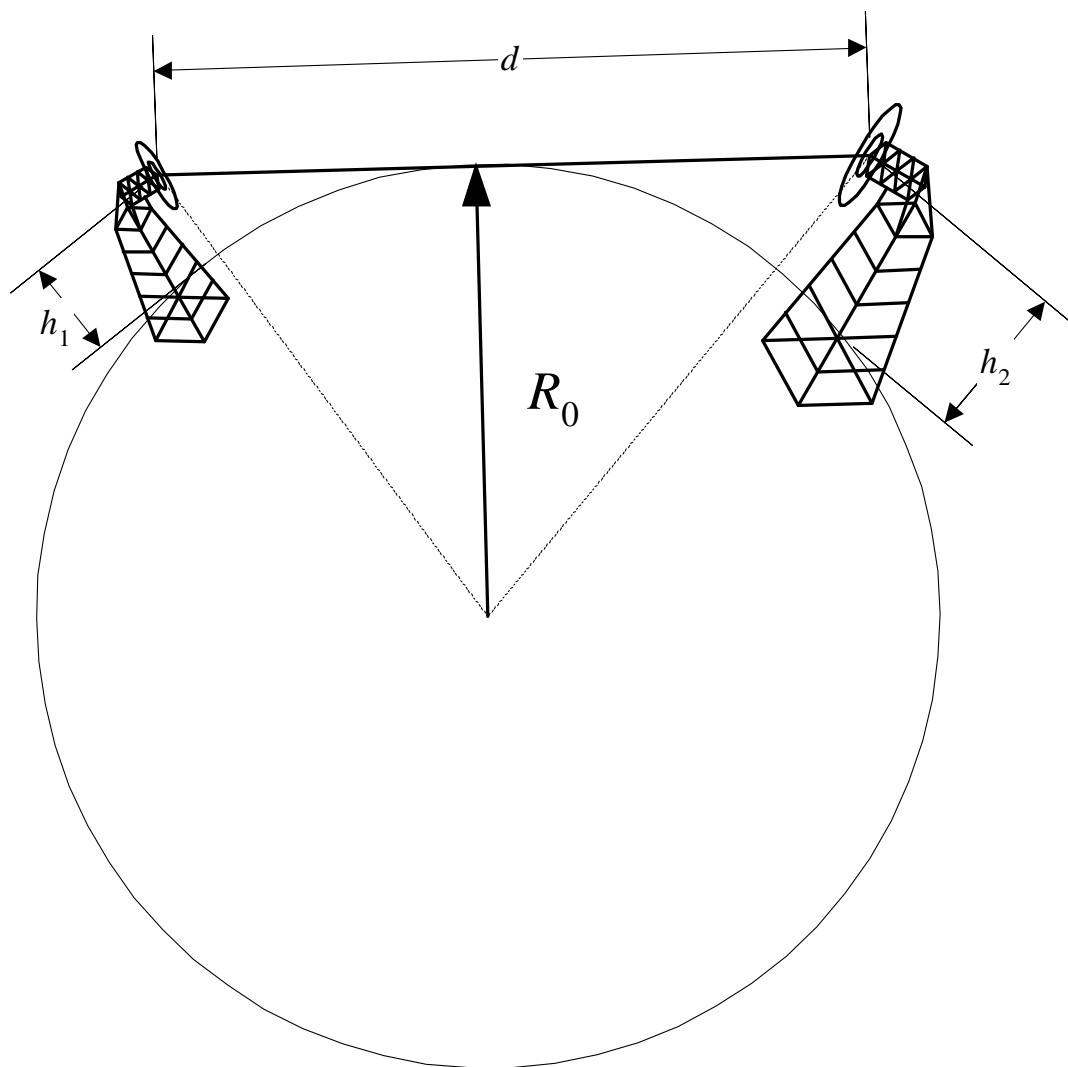
$$P_r = \frac{P_t}{4\pi d^2} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} = P_t \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 = P_t \left( \frac{c}{4\pi d f} \right)^2$$



$$L_s(\text{dB}) = 10\lg \frac{P_t}{P_r}$$

$$= 92.4 + 20\lg d(\text{km}) + 20\lg f(\text{GHz})$$

距离、频率->增益



## 最大视距

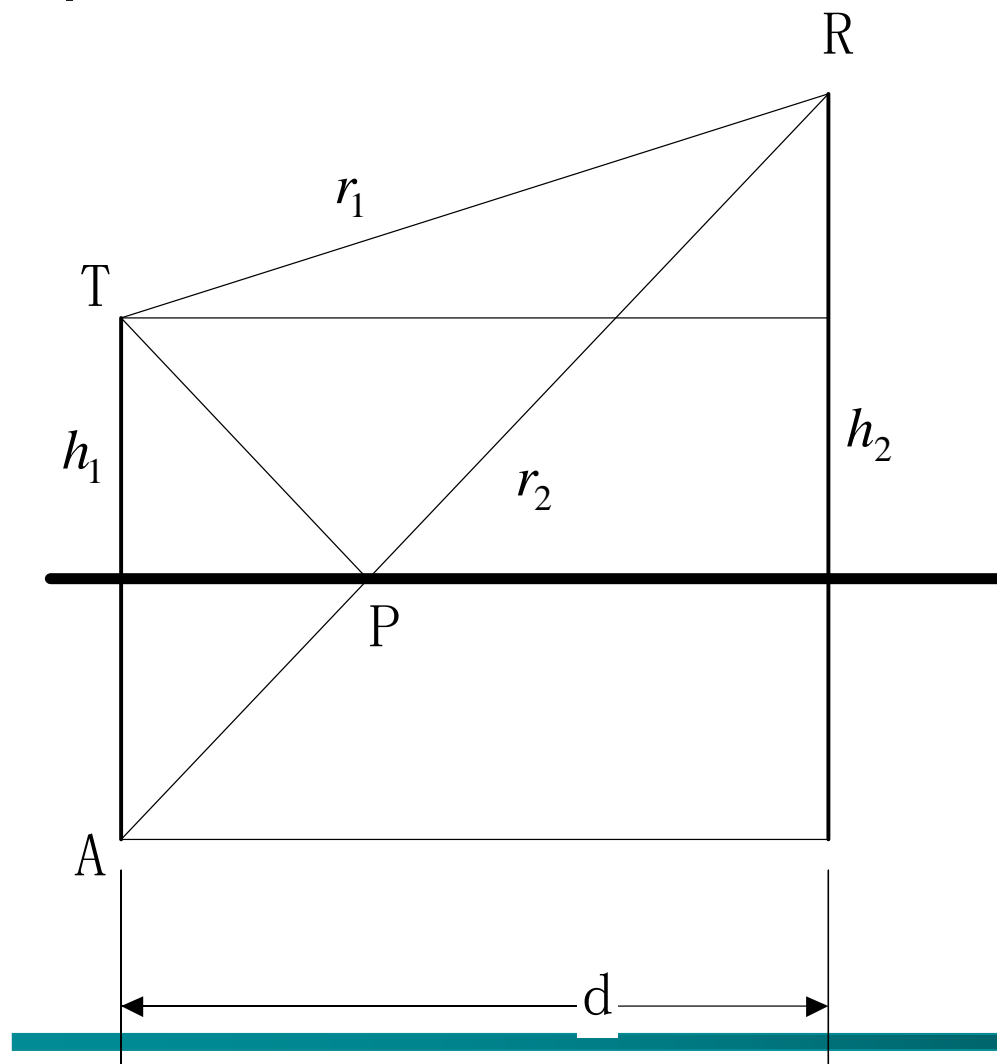
$$d = \sqrt{(R_0 + h_1)^2 - R_0^2} + \sqrt{(R_0 + h_2)^2 - R_0^2} = \sqrt{2R_0h_1 + h_1^2} + \sqrt{2R_0h_2 + h_2^2} \approx \sqrt{2R_0}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

# 大气折射和等效地球半径

- 大气的不均匀导致电波弯曲。从电波的角度看，似乎是地球的曲率发生了变化
- 典型等效地球半径系数  $K=4/3$
- 等效地球半径

$$R_e = KR_0$$

# 电波反射（几何模型）



$$\Delta r = r_2 - r_1$$

$$\Delta r \approx \frac{2h_1h_2}{d}$$

$$d \gg h_1, h_2$$



## 地面反射的影响

- 地面反射波的反射系数为  $\rho$
- 接收信号的合成电场强度为

$$E_r = E_t \left| \alpha(r_1) - \alpha(r_2) \rho e^{-j\phi} \right|$$

$$\phi = 2\pi \frac{\Delta r}{\lambda} \approx \frac{4\pi}{\lambda} \cdot \frac{h_1 h_2}{d}$$

$$\alpha(r_1) \approx \alpha(r_2) \approx \frac{\lambda}{4\pi d} \quad r_1 \approx r_2 \approx d$$

# 地面反射的影响

$$L = \frac{P_r}{P_t} = \left| \frac{E_r}{E_t} \right|^2 \approx \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \left| 1 - \rho e^{-j\phi} \right|^2 = L_0 \cdot L_r$$

$$L_0 = \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

$$L_r = \left| 1 - \rho e^{-j\phi} \right|^2 = (1 + \rho^2 + 2\rho \cos\phi) = (1 - \rho)^2 + 4\rho \sin^2 \frac{\phi}{2} = (1 - \rho)^2 + 4\rho \sin^2 \frac{\pi \cdot \Delta r}{\lambda}$$

## 地面反射的影响

- 当行程差远远小于波长（例如天线较低、或者距离很大、或者频率低）时

$$L_r \approx (1 - \rho)^2 + 4\rho \left( \frac{\pi \cdot \Delta r}{\lambda} \right)^2 \approx (1 - \rho)^2 + 4\rho \left( \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{h_1 h_2}{d} \right)^2$$

$$L \approx \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \left\{ (1 - \rho)^2 + 4\rho \left( \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{h_1 h_2}{d} \right)^2 \right\} = \left( \frac{\lambda(1 - \rho)}{4\pi d} \right)^2 + \rho \frac{h_1^2 h_2^2}{d^4}$$

# 地面反射的影响

$$\rho = 0 \quad L = \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

$$\rho = 1 \quad L = \frac{h_1^2 h_2^2}{d^4}$$



## 地面反射的影响

---

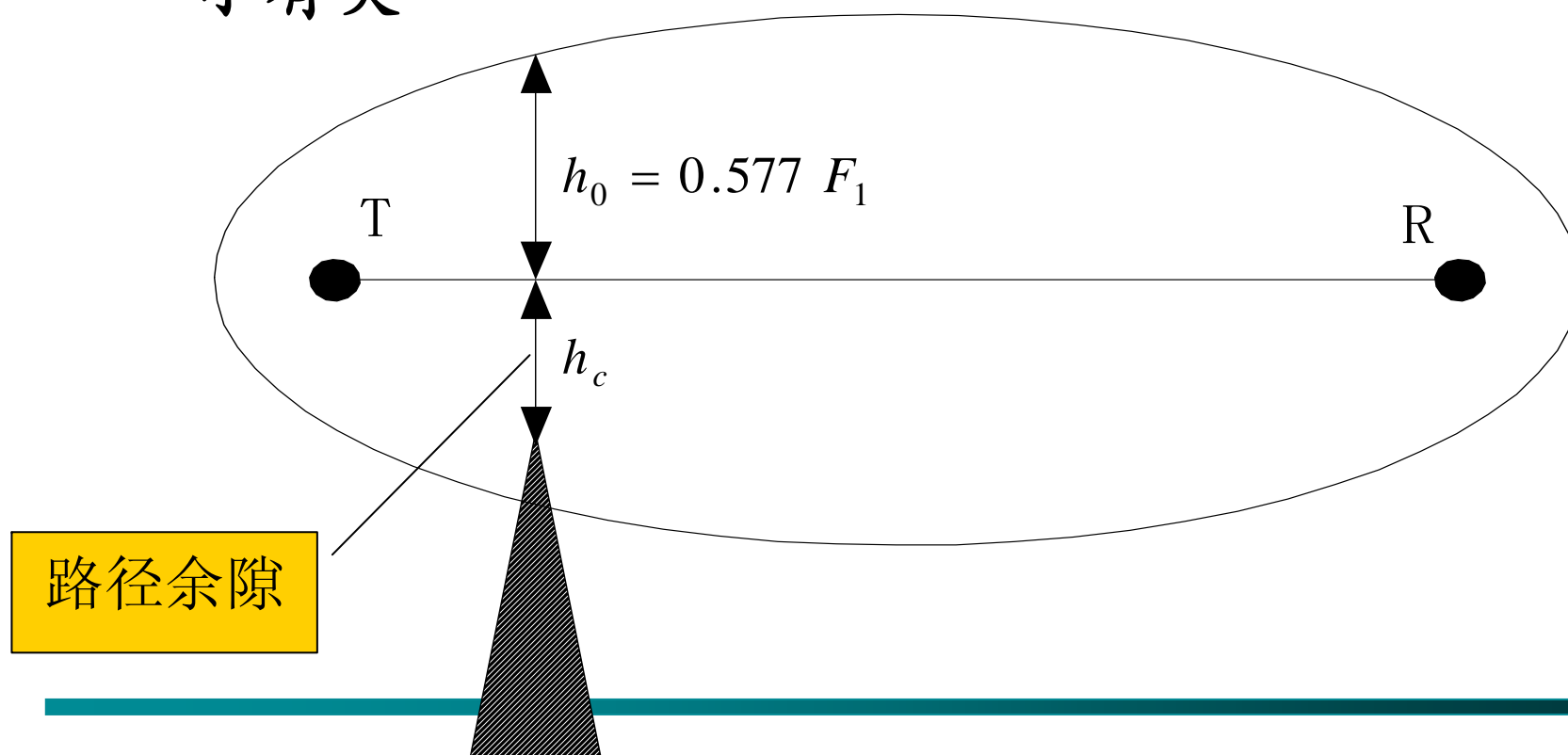
- 平面大地模型  $\rho = 1$

$$L(\text{dB}) = 120 + 40\lg d(\text{km}) - 20\lg h_1(\text{m}) - 20\lg h_2(\text{m})$$

- 水平极化和垂直极化的影响不同

## 电波的绕射（遮挡引起）

- 当T，R之间出现刃形障碍物时，它有可能对电波产生阻挡作用。阻挡引起的损耗与余隙的大小有关





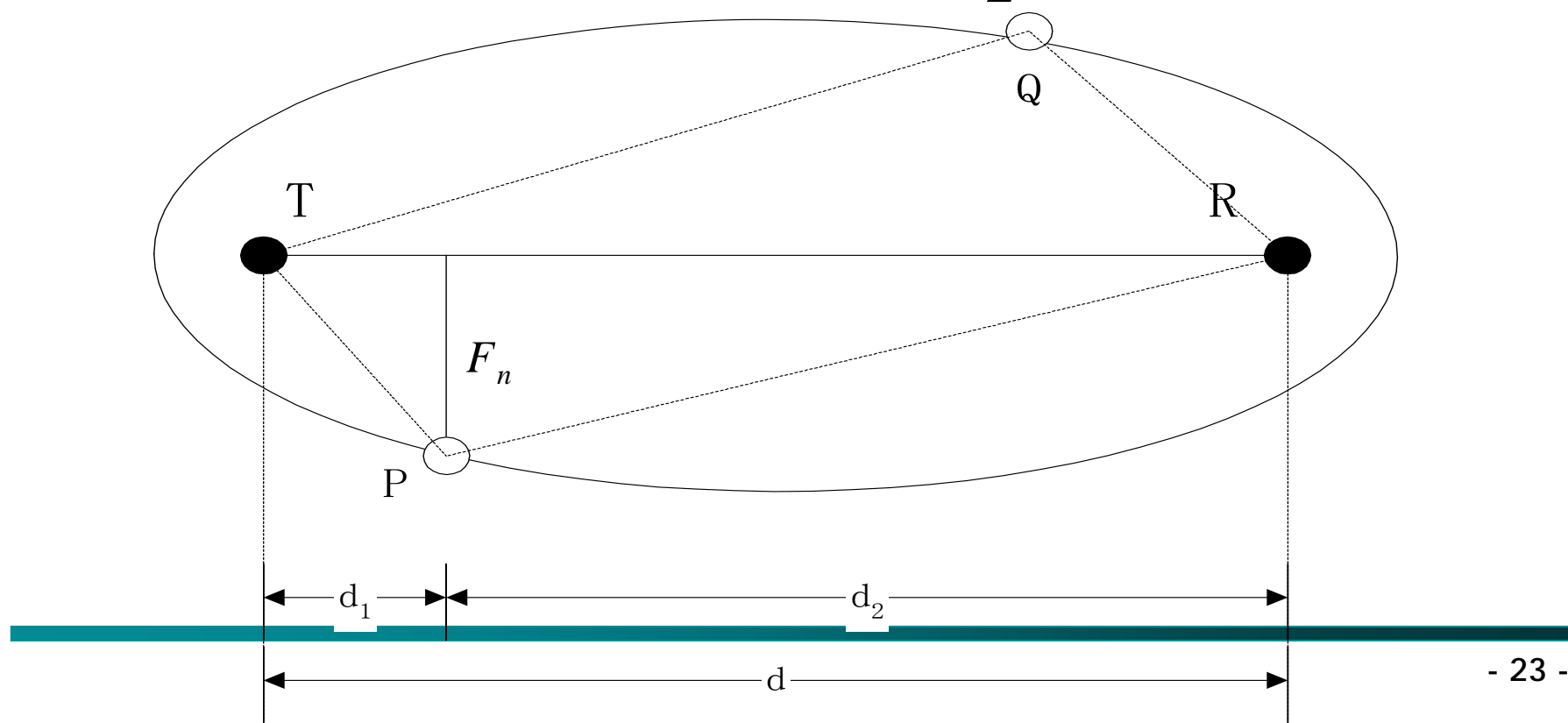
## 遮挡引起的损耗

- 遮挡并不一定引起电波的损耗，视余隙大小而定
- 当余隙  $>$  第一菲涅尔区半径时，遮挡引起的损耗很小，反之损耗将随余隙的减小而急剧下降（书图10.4）

# 菲涅尔区的概念

- 满足以下条件的所有点Q的集合称为第n

菲涅尔区：
$$(TQ + QR) - TR \leq \frac{n\lambda}{2}$$



## 第n菲涅尔区半径

- 第n菲涅尔区边界上的某个点P到TR连线的距离叫第n菲涅尔区半径  $F_n$

$$\left. \begin{aligned} TP &= \sqrt{d_1^2 + F_n^2} \approx d_1 \left( 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{F_n}{d_1} \right)^2 \right) \\ PR &= \sqrt{d_2^2 + F_n^2} \approx d_2 \left( 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{F_n}{d_2} \right)^2 \right) \\ (TQ + QR) - TR &= \frac{n\lambda}{2} \end{aligned} \right\} \longrightarrow F_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d}} = \sqrt{n} F_1$$



$$F_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d}} = \sqrt{n} F_1$$

# 电波传播的路径损耗预测模型

- 路径损耗预测模型的重要性
  - 系统设计时的重要依据
  - 天线架设点的重要参考
- 路径损耗模型的建立
  - 通常通过实际测量，然后通过拟合的方式得到经验公式
  - 目前存在许多经验公式，如Hata模型、Lee模型等，是针对不同的环境得到的经验模型
- 使用不同模型时应注意其适用的范围和条件

# Hata模型

- 移动通信中广泛使用的一种路径损耗预测模型
- 适用于宏蜂窝（小区半径大于1km；或收发天线距离 $d > 1\text{km}$ ）系统的路径损耗预测

# Hata模型

## ■ 150—1500MHz

$$L_s = 69.55 + 26.16 \lg f - 13.82 \lg(h_{te}) - a(h_{re}) + [44.9 - 6.55 \lg(h_{te})] \lg d$$

## ■ 1500MHz—2000MHz (COST-231)

$$L_s = 46.3 + 33.9 \lg f - 13.82 \lg h_{te} - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \lg h_{te}) \lg d + C_M$$

$C_M$ 为城市中心修正因子，市中心3dB，中等城市或郊区0

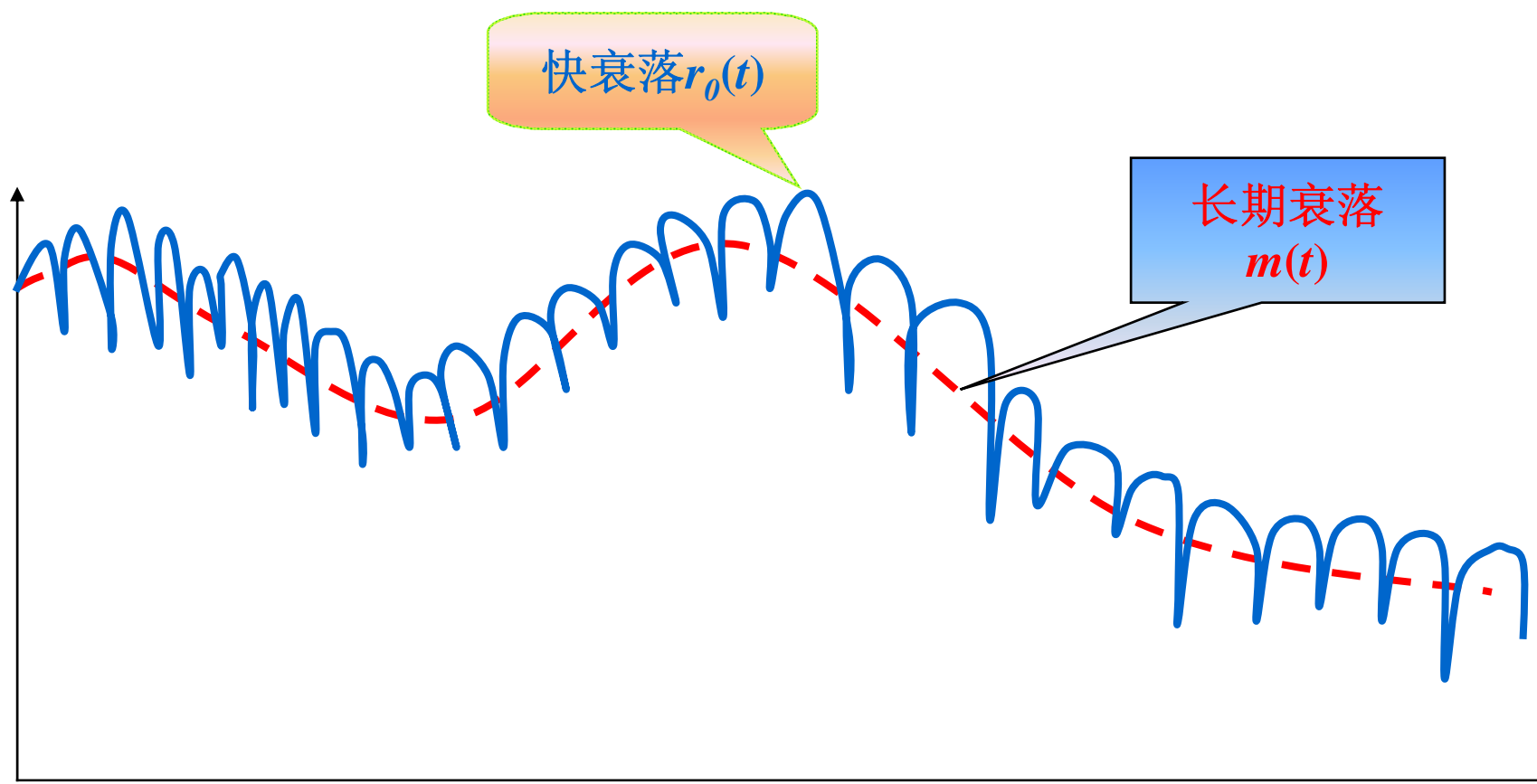
# 多径传播和衰落

## 信道衰落

- 随时间推移，接收信号强度的**随机**起伏称为信道衰落
- 信道衰落的原因：信道参数随时间发生变化，如接收机的移动、周围环境的随时间变化等
- 信道衰落可分成**长期衰落**和**短期快衰落**
  - 通常长期衰落随时间变化慢，也称为长期慢衰落
    - 大尺度 (Large-Scale Fading)
  - 长期慢衰落的原因在于地形地物变化引起
  - 长期慢衰落呈现随机起伏的特点



# 信道衰落



## ■ 长期衰落(Large-Scale Fading)

- 长期衰落又称阴影衰落和慢衰落，长期衰落一般表示为电波传播距离的平均损耗（dB）加一个对数正态分量。移动用户和基站之间的距离为 $r$ 时，传播路径损耗和长期

衰落可以表示为  $PL(r) = \overline{PL(r)} + X_\sigma$

- 式中 $X_\sigma$ 表示一个方差为 $\sigma^2$ 、均值为0的高斯随机变量。

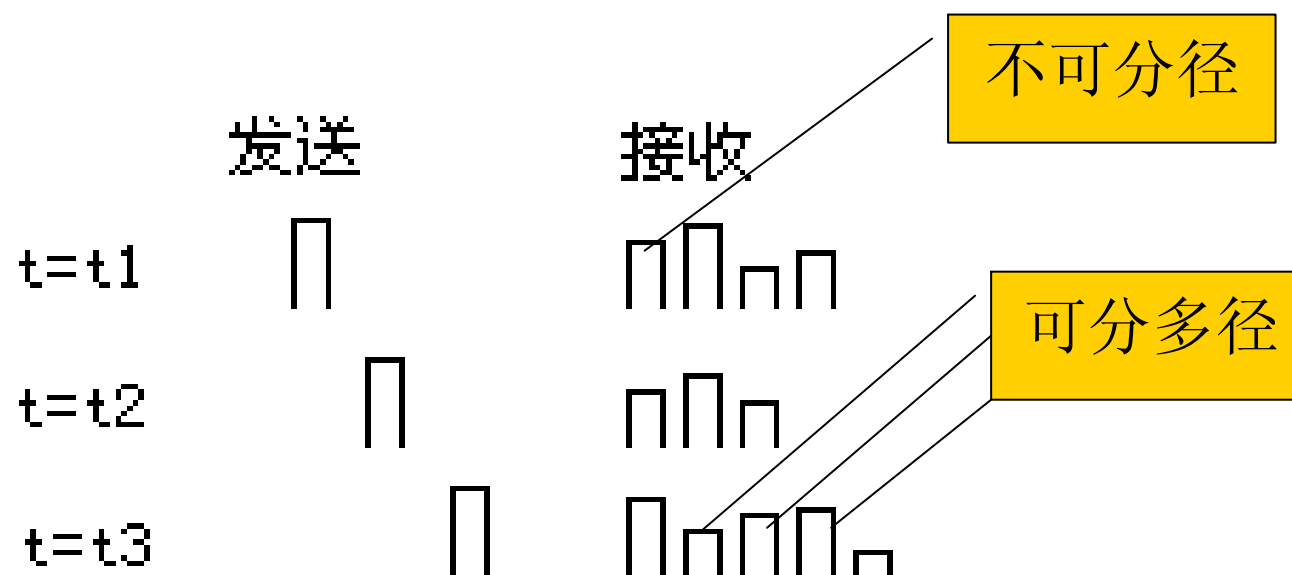
$\sigma$ 的典型值是8~10dB。可以视为对数正态随机变量，其概率密度函数为：

$$p(X_\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{X_\sigma^2}{2\sigma^2}}$$

- 长期衰落(Large-Scale Fading)
  - 衰落速率与工作频率关系不大
  - 与周围地形、地物的分布和高度等有关
  - 和物体的移动速度有关
    - 障碍物
    - 发射机
    - 接收机
  - 其他变化因素，例如天气

# 短期衰落(Small-Scale Fading)

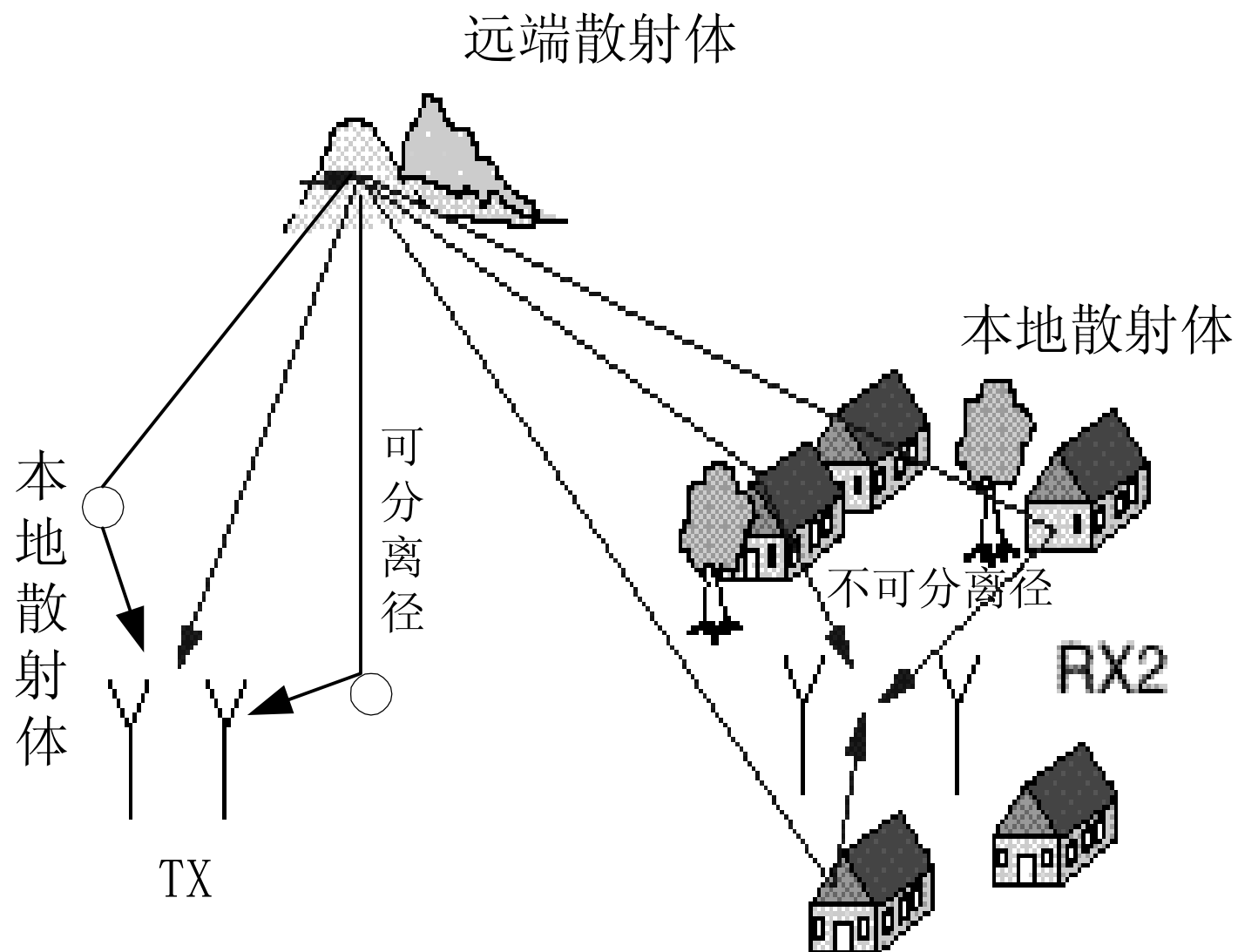
- 多径时变效应（时变主要因为移动）



- 上图中，每径也是经由多条路径接收而得，称之为不可分多径

# 多径

无线通信  
技术

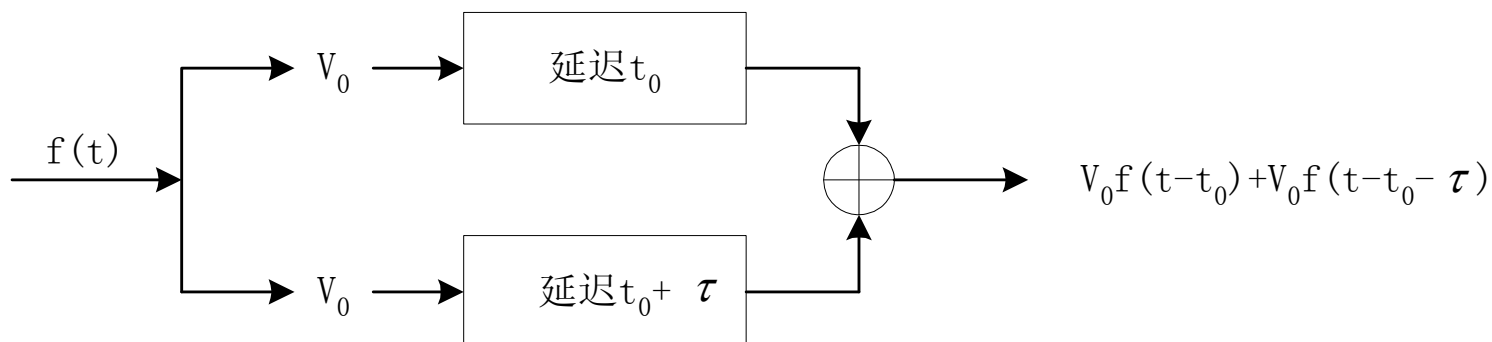


## 多径效应（不可分径）

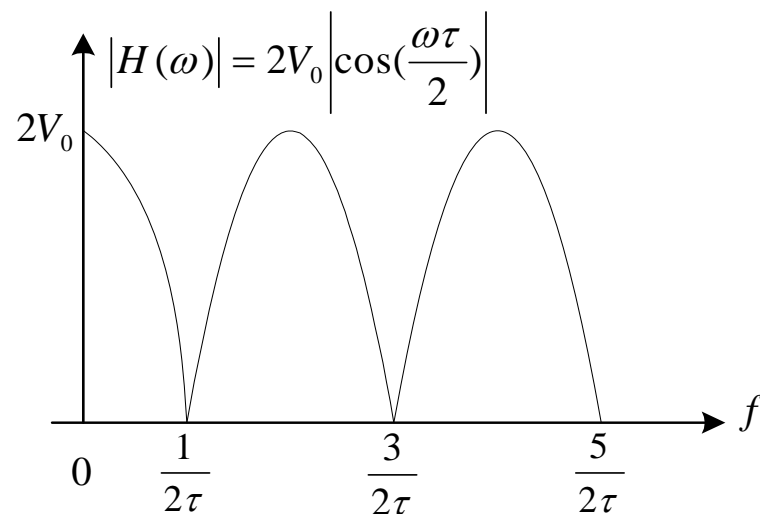
- 若有 $N$ 个多径信道，它们彼此相互独立且没有一个信道的信号占支配地位
- 没有直射波信号，仅有许多反射波信号，接收到的信号包络的衰落变化服从瑞利(Rayleigh)分布
- 但是，当接收到较强的直射波信号且它占有支配地位时，接收信号包络的衰落变化服从莱斯(Rician)分布

# 多径效应（频率选择性）

- 以两条路径且衰减恒定为例



$$\begin{aligned}
 H(\omega) &= V_0 e^{-j\omega t_0} (1 + e^{-j\omega \tau}) \\
 &= V_0 e^{-j\omega t_0} e^{-j\omega \frac{\tau}{2}} (e^{j\omega \frac{\tau}{2}} + e^{-j\omega \frac{\tau}{2}}) \\
 &= V_0 e^{-j\omega t_0} e^{-j\omega \frac{\tau}{2}} \times 2 \cos\left(\frac{\omega \tau}{2}\right)
 \end{aligned}$$



# 多普勒(Doppler)频移

- 当移动体在x轴上以速度v 移动时引起多普勒 (Doppler) 频率漂移

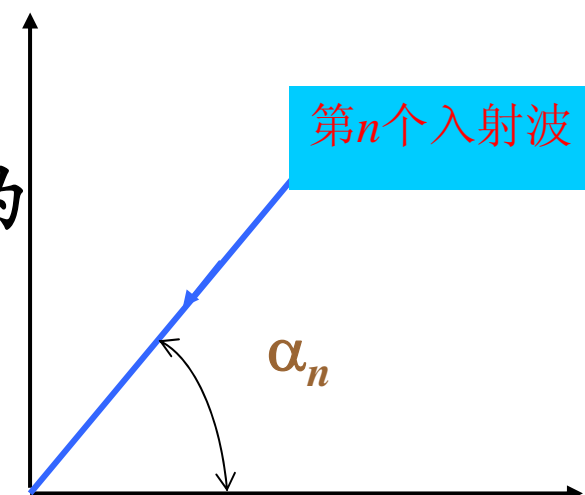
- 多普勒效应引起的多普勒频移表示为

$$f_D = \frac{v}{\lambda} \cos \alpha$$

- 式中，v为移动速度，λ为波长

- α入射波与移动台移动方向之间的夹角

- $\frac{v}{\lambda} = f_m$  为最大Doppler频移





# 表征时变多径信道的参数

## ■ 时延扩展

- 引起码间干扰，导致频率选择性（可分辨多径）

表 1.1 多径环境下主要时间延迟扩展参数的统计数值

参数	市区	郊区
最大延迟时间 ( -30dB )	5.0~12.0us	0.3~7.0us
延迟扩展范围	1.0~3.0us	0.2~2.0us
平均延迟扩展	1.3us	0.5us
最大有效延迟扩展	3.5us	2.0us

## ■ 多普勒频移（与时延扩展并存）

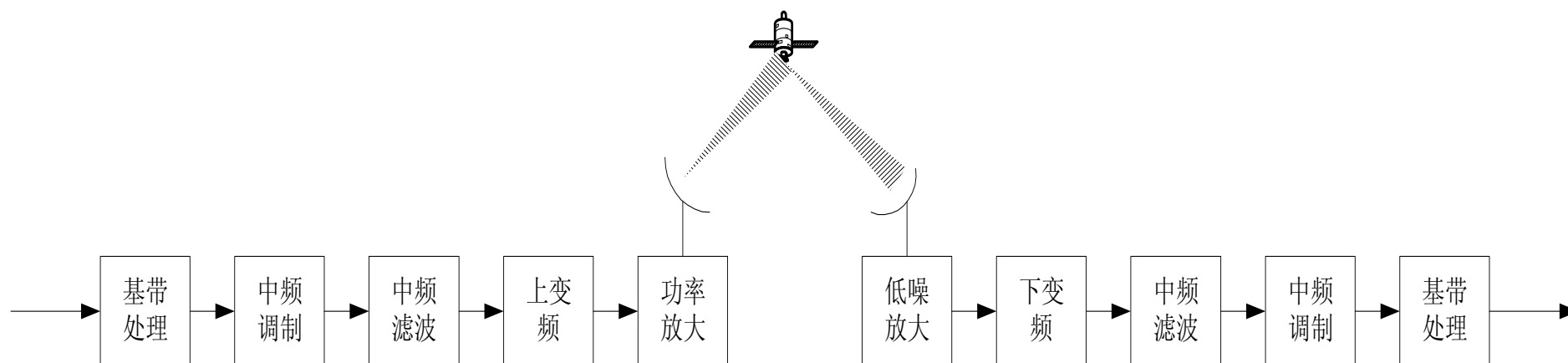
- 引起时变衰落，接收信号强度随时间起伏

# 通信链路预算

- Link Budget
- 通信系统设计的重要环节
  - 发射功率、接收信噪比、传输损耗、覆盖范围等参数的设计
- 不同系统有不同的通信链路预算，主要考虑因素：
  - 路径损耗
  - 余量，与中断（outage）概率有关
  - 接收信噪比（问题的核心）

# 同步卫星通信链路计算

## ■ 卫星链路



# 同步卫星通信链路计算

$$[P_r] = [P_T] + [G_T] + [G_r] - [L_p] - [L_a] - [L_{ta}] - [L_{ra}] \text{ dBW}$$

$P_T$  发射功率

$G_T$  发射天线增益

$G_R$  接收天线增益

$L_P$  路径损耗

$L_a$  大气损耗

$L_{ta}$  与发射天线有关的损耗

$L_{ra}$  与接收天线有关的损耗

# 同步卫星通信链路计算

- 有效全向辐射功率 (EIRP, Effective Isotropic Radiated Power)
  - $EIRP = P_T G_T$  (dBi)
- 接收端噪声
  - $N = 10 \log(KTB)$ 
    - $K = 1.38e-23$  玻尔兹曼常数
    - $T$  为接收机输入端等效噪声温度
    - $B$  为信号带宽

# 同步卫星通信链路计算

## ■ 接收端载噪比

$$\left[\frac{C}{N}\right] = [EIRP] + [G_R] - [L_p] - [L_{ta}] - [L_{ra}] - [T_s] - [B] + 2286 \quad \text{dB}$$

## ■ 接收系统G/T值（性能因数）

$$\frac{G}{T} = G_R / T_s$$

$$\left[\frac{C}{N}\right] = [EIRP] + \left[\frac{G}{T}\right] - [L_p] - [L_{ta}] - [L_{ra}] - [B] + 228.6 \quad \text{dB}$$



例:

---

- 设同步卫星轨道为**36000**公里，发射功率为**18dBW**，卫星天线增益**16dB**，地面站天线增益**40dB**，接收机等效噪声温度**29K**，其他损耗**2dB**，卫星工作在**4GHz**，发射信号带宽为**36MHz**，问地面站接收端的载噪比？

■ 路径损耗

$$L_p = 92.4 + 20\lg 36000 + 20\lg 4 = 92.4 + 90.8 + 12 = 195.57\text{dB}$$

■ 其它损耗2dB

■  **$\text{EIRP} = 18 + 16 = 34\text{dBW}$**

■  **$\text{G/T} = 40 - 10\lg 29 = 25.4 \text{ (dB/K)}$**

$$\left[ \frac{C}{N} \right] = 34 + 25.4 - 195.57 - 10\lg(36 \times 10^6) + 228.6 - 2$$

$$= 59.4 - 195.57 - 75.56 + 228.6 - 2$$

$$= 14.87\text{dB}$$



## 10.2 无线传播环境及其特性

### ■ 小节

- 天线及其基本概念
- 电波的自由空间传播
- 电波传播的几何模型
- 多径传播和衰落
- 电波传播的预测模型
  - Hata模型
- 通信链路预算

## 第十章 无线通信技术

### ■ 10.3 无线传输技术

---

- 调制技术
- 编码技术
  - 信源编码
  - 信道编码
- 抗衰落抗干扰（分集，交织，扩频等）
- **MIMO**
- 多址 / 复用
- 双工
- 随机接入

# 主要技术目标

- 对抗无线信道传播对信号传输的影响：
  - 路径损耗
  - 衰落
    - 慢衰落
    - 多谱勒频移和多径快衰落
  - 干扰和噪声的影响
    - 码间干扰 (ISI)
    - 同频干扰
    - 邻信道干扰
    - 交调干扰
    - 热噪声
- 提高频谱利用率，减少带外辐射，提高可靠性

# 调制 (Modulation)



# 对移动通信的数字调制技术要求

---

- 高的带宽效率
- 高的功率效率
- 低的带外辐射
- 对多径衰落不敏感
- 恒定包络
- 低成本，易实现

# 移动通信中的调制技术

- 一般数字调制方法存在的问题
  - 频谱利用率和功率利用率的矛盾
  - 带外辐射和恒定包络的矛盾
- 希望寻找一类调制方法，具有较好的频谱利用率、功率利用率，同时又具有恒定包络
- **GSM系统采用了GMSK，CDMA系统采用PSK**
- 无线数据系统采用**M-ary QAM, M-ary PSK**
- 分组数据传输采用自适应调制编码（**AMC**）

# 信源编码(Source Coding)

# 信源编码技术

- 信源编码的意义
  - 保证信息质量
  - 提高频谱利用率
  - 提高系统容量
- 有较强的抗噪声干扰和抗误码的性能
- 编译码延时要求
- 编译码器复杂度要求



# 信源编码举例

- 根据业务要求对信源数据进行编码
  - 语音编码 (CELP)
  - 音频编码 (MPEG)
  - 图像编码 (JPEG)
  - 视频编码 (MPEG)

# 信道编码 (Channel Coding)

# 基本概念

- 信道编码的目的
  - 信道编码是为了保证信息传输的可靠性、提高传输质量而设计的一种编码。它是在信息码中增加一定数量的多余码元，使码字具有一定的抗干扰能力
- 信道编码的实质
  - 信道编码的实质就是在信息码中增加一定数量的多余码元（称为监督码元），使它们满足一定的约束关系，这样由信息码元和监督码元共同组成一个由信道传输的码字

CHARACTER	MORSE CODE	TELEPHONY	PHONIC (PRONUNCIATION)
A	• —	Alfa	{AL-FAH}
B	— • • •	Bravo	{BRAH-VOH}
C	— • — •	Charlie	{CHAR-LEE} or {SHAR-LEE}
D	— • •	Delta	{DELL-TAH}
E	•	Echo	{ECK-OH}
F	• • — •	Foxrot	{FOKS-TRUT}
G	— — •	Golf	{GOLF}
H	• • • •	Hotel	{HOH-TEL}
I	• •	India	{IN-DEE-AH}
J	• — — —	Juliett	{JEW-LEE-ETT}
K	— • —	Kilo	{KEY-LAH}
L	• — • •	Lima	{LEE-MAH}
M	— —	Mike	{MIKE}
N	— •	November	{NO-VEM-BER}
O	— — —	Oscar	{OSS-CAH}
P	• — — •	Papa	{PAH-PAH}
Q	— — • —	Quebec	{KEH-BECK}
R	• — •	Romeo	{ROW-ME-OH}
S	• • •	Sierra	{SEE-AIR-RAH}
T	—	Tango	{TANG-GO}
U	• • —	Uniform	{YOU-NEE-FORM} or {OO-NEE-FORM}
V	• • • —	Victor	{VIK-TAH}
W	• — —	Whiskey	{WISS-KEY}
X	— • • —	Xray	{ECKS-RAY}
Y	— • — —	Yankee	{YANG-KEY}
Z	— — • •	Zulu	{ZOO-LOO}

1	• — — — —	One	{WUN}
2	• • — — —	Two	{TOO}
3	• • • — —	Three	{TREE}
4	• • • • —	Four	{FOUR-FR}
5	• • • • •	Five	{FIFE}
6	— • • • •	Six	{SIX}
7	— — • • •	Seven	{SEV-EN}
8	— — — • •	Eight	{AIT}
9	— — — — •	Nine	{NIN-ER}
0	— — — — —	Zero	{ZEE-RO}

# 基本概念

- 信道编码的简单分类
  - 根据监督元与信息组之间关系可分为
    - 分组码
    - 非分组码（例如卷积码）
  - 在现有蜂窝移动通信中大都使用卷积码、Turbo码、LDPC

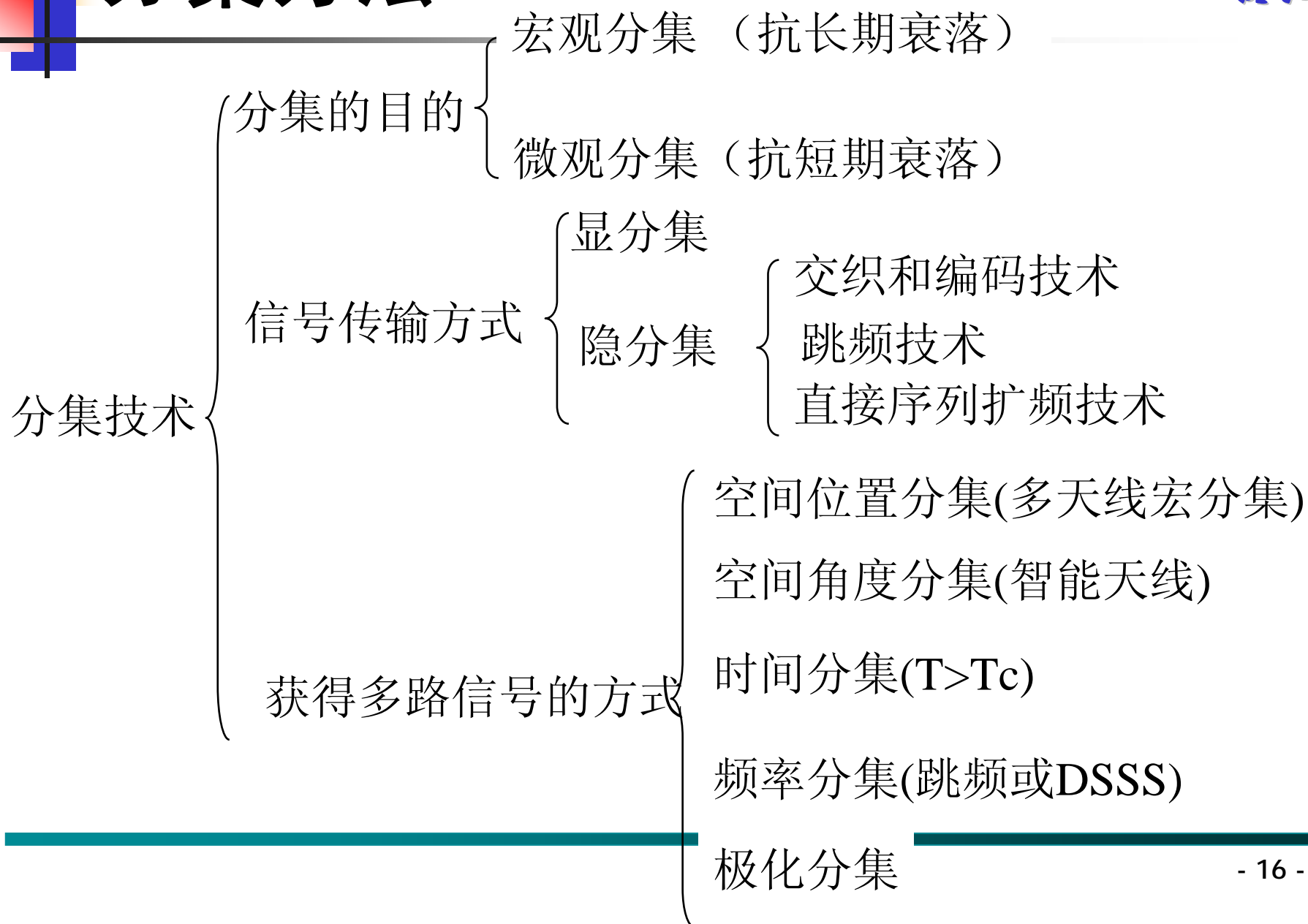
# 抗衰落抗干扰技术 (分集, 交织, 扩频等)

# 分集原理

原理：利用无线传播环境中来自不同途径的多径信号的统计独立性进行合并，从而实现分集

- 首先要找出来自不同途径的多径信号，这些途径可以是不同的时间、不同的频率、不同的空间、不同的极化
- 其次要以某种方法进行合并
- 应该指出：分集技术不仅能改善频率选择性衰落，同时也能改善非频率选择性衰落

# 分集方法





# 分集合并方式

- 合并信号的表达式信号

$$s(t) = k_1 s_1(t) + k_2 s_2(t) + \dots + k_L s_L(t)$$

- 从分集信号中以什么方式合并输出来分
  - 选择式合并：选择最好的支路作为输出，其它支路丢弃
  - 等增益合并：调整各个支路主径的相位，使之同相，然后进行等增益相加
  - 最大比合并：调整各个支路的相位，使之同相，然后按照各个支路的信噪比数值进行加权相加

# 时间隐分集：交织技术

- 原理：在无线通信中由于发生深衰落或遇到突发干扰，误码的分布就不是平稳、纯随机的，而是存在随机误码和突发误码
  - 采用交织可以减少突发误码的影响
- 交织不增加额外比特开销但增加时延
- 交织与纠错编码同时使用，进一步提高传输质量
- 交织器的两种类型：分组交织、卷积交织

# 块交织举例

原始信息: Y O U N E V E R G I V E I T U P ...

交织编码

Y	O	U	N	↓	↓	↓	↓
E	V	E	R	E	V	E	R
G	I	V	E	G	I	V	E
I	T	U	P	I	T	U	P

空中信息: Y E G I O V I T U E V U N R E P ...

交织解码

Y	O	U	N	Y	O	U	N
E	V	E	R	E	V	E	R
G	I	V	E	G	I	V	E
I	T	U	P	I	T	U	P

解码信息: Y O U N E V E R G I V E I T U P ...

# 均衡 (Equalization)

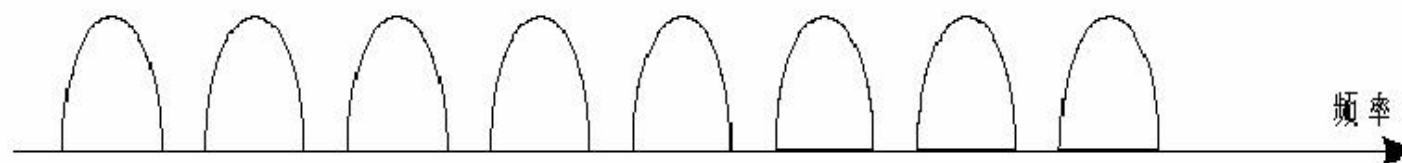
# 均衡原理

- 均衡器是传输信道的逆滤波器
- 由于传输信道的时变性，均衡器必需是参数可变的自适应均衡器
- 均衡器的效果是补偿信道的频率选择性，使衰落趋于平坦、相位趋于线性
- 均衡器不能有效抵销平坦衰落

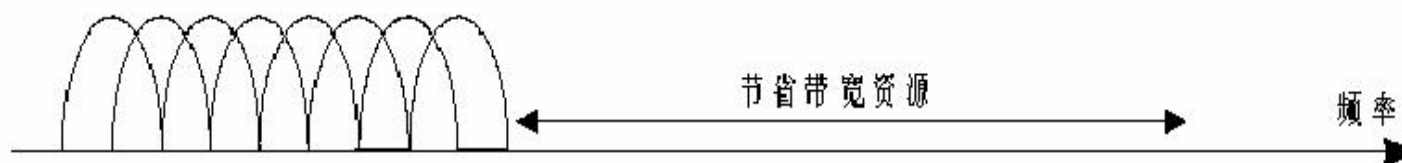
# 多载波和OFDM

# 目的和原理

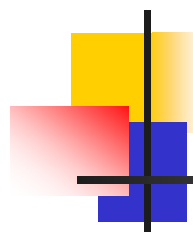
- 对抗频率选择性衰落或窄带干扰
- 各子载波相互正交
  - 减少了载波间干扰
  - 提高了频谱效率



传统的频分复用 (FDM) 多载波调制技术

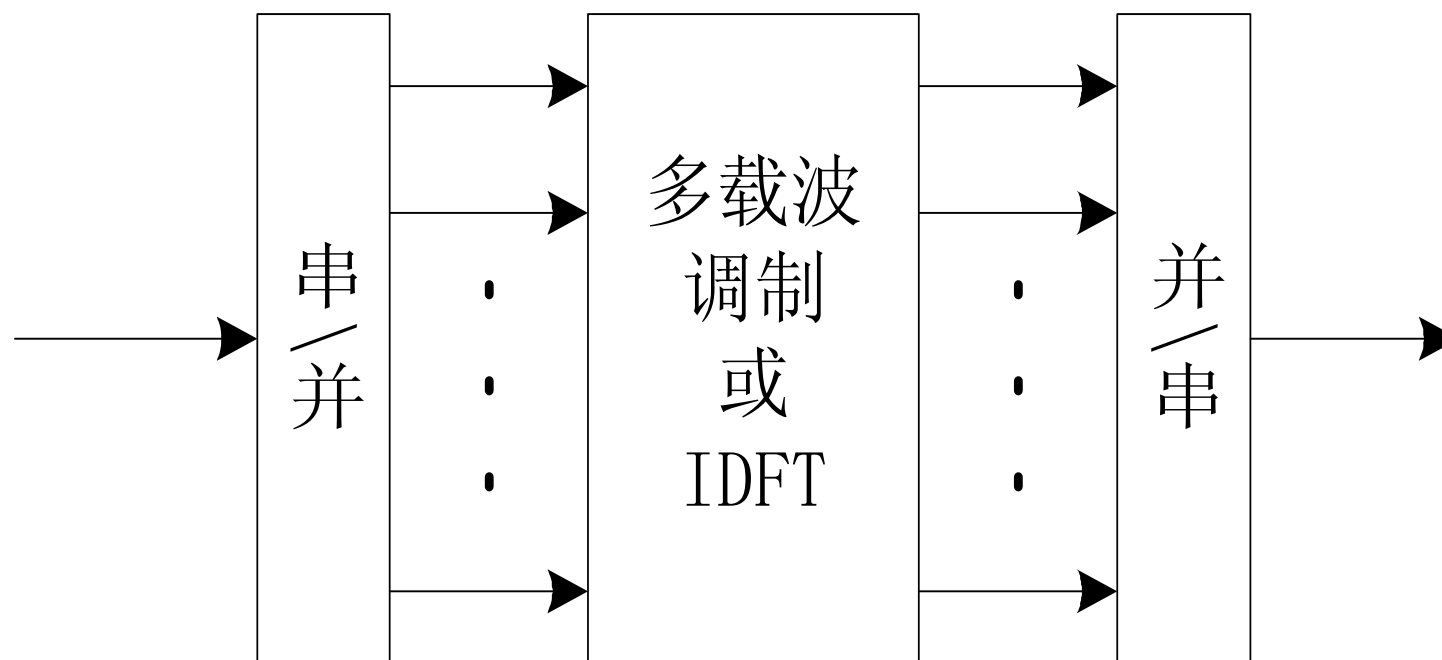


正交频分复用 (OFDM) 多载波调制技术



# 多载波（OFDM）发送机原理框图

无线通信  
技术



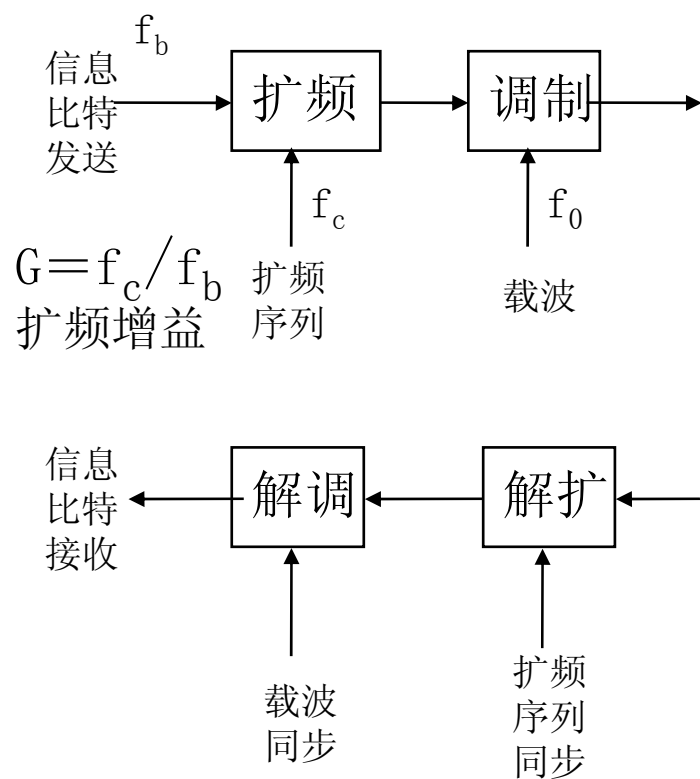


# 直接序列扩频 (DSSS)

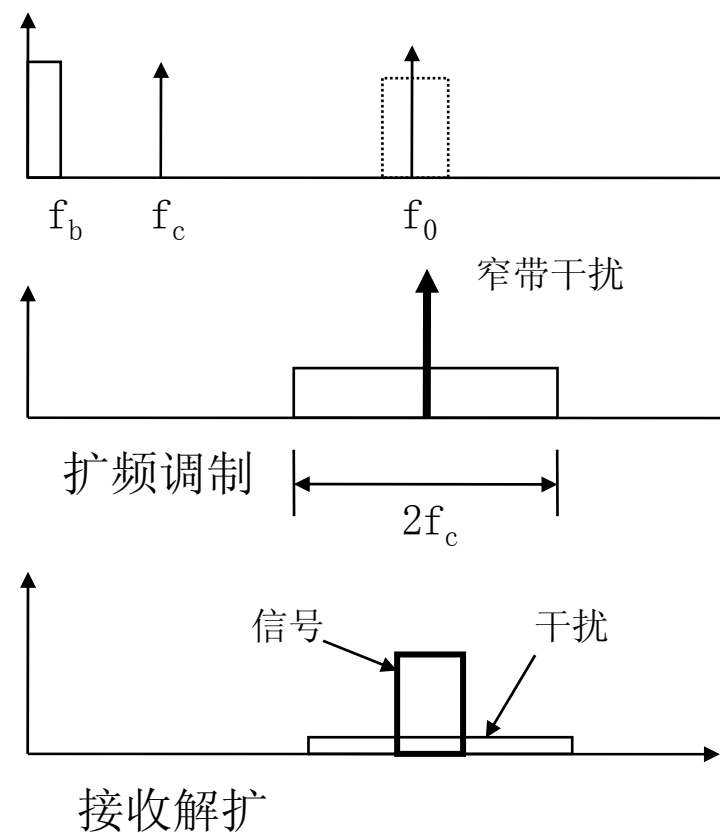
# 直接序列扩频

无线通信  
技术

## 原理框图



## 频谱图



# 直接扩频抗多径

- 当发送的直接序列扩频信号的码片(chip)宽度等于或小于最小多径时延差时，接收端利用直扩信号的自相关特性进行相关解扩后，将有用信号检测出来，从而具有抗多径的能力
  - 若最小多径延迟时间差为  $1\mu\text{s}$ ，则要求直扩信号的码片(chip)宽度  $T_c$  等于或小于  $1\mu\text{s}$ ，即要求码片速率  $R_c$  等于或大于  $1\text{Mchip/s}$
- 若利用直接扩频技术进行多径的分离与合并时，则可构成 **RAKE** 接收机，从而实现时间分集的作用

# 直接扩频抗干扰

- 由频谱扩展对抗干扰性带来的好处，称扩频处理增益，可表示为：

$$G_P = \frac{B_W}{B_S}$$

- 式中， $B_W$ 为发射扩频信号的带宽； $B_S$ 为信码的速率。其中 $B_W$ 与所采用的伪码（伪随机序列或伪噪声PN序列的简称）速率有关
- 直接扩频抗蜂窝系统内部和外部干扰的原理，也是利用直扩信号的自相关特性，经相关接收和窄带通滤波后，将有用信号检测出来，而那些窄带干扰和多址干扰都处理为背景噪声。其抗干扰的能力可用直接扩频处理增益来表征

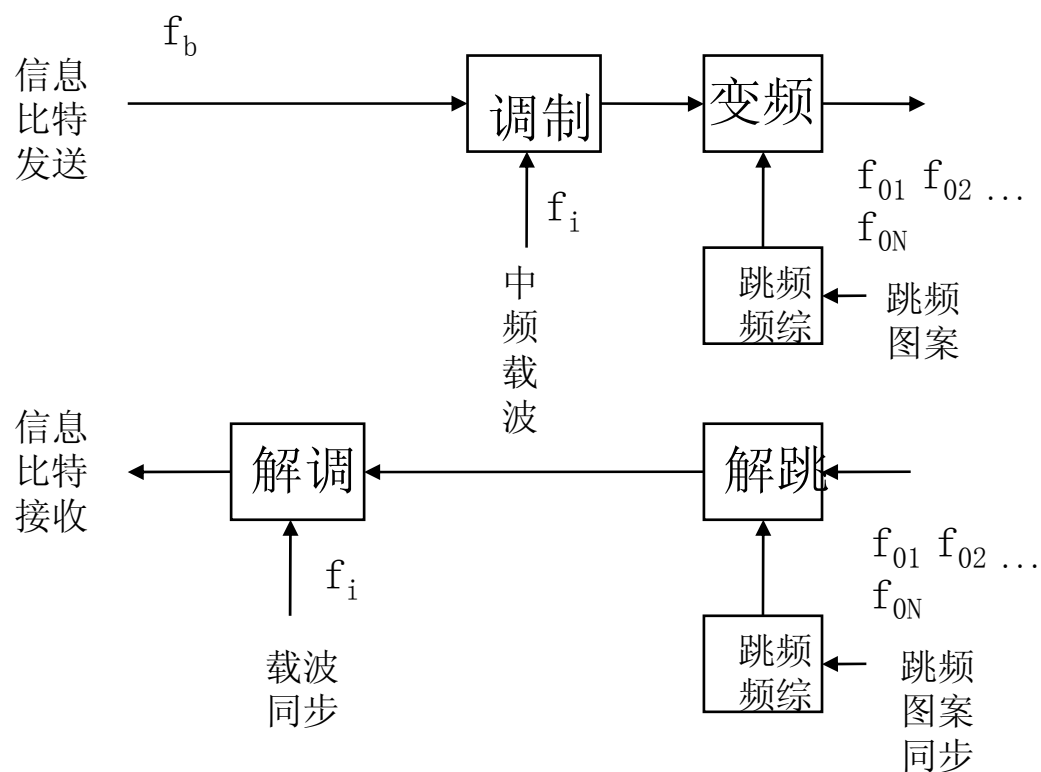
# 直接扩频抗衰落

- 直接扩频抗衰落是指抗频率选择性衰落。
- 当直扩信号的频谱扩展宽度较大时，其频谱成份同时发生衰落的可能性很小，接收端通过对直接扩频信号的相关处理，则起到频率分集的作用

# 跳频扩频 (FHSS)

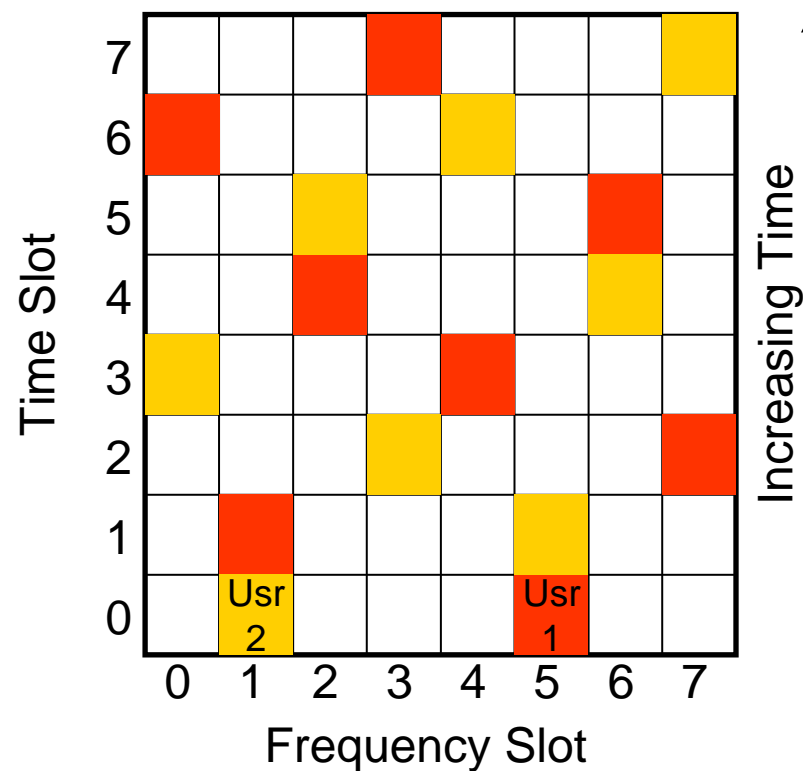
# 跳频扩频

原理框图



跳扩频增益

$$G=N$$



2 users shown

# 跳频扩频

- 抗多径（快跳频而非慢跳频）
  - 对于快跳频系统，应满足传输的符号速率小于跳频速率这一条件，即一位符号是在多个跳频载波上传输，相当于对符号的频率分集
  - 因为跳频是在时间频率域上进行的，所以每一位符号还是在不同时间隙中传输的，这又相当于对符号的时间分集
- 对抗同频干扰
  - 小区间同频干扰的随机化、离散化



# 多发多收 (MIMO) 天线阵 (Antenna Array)



# 天线阵列

---

- 开关波束天线
- 自适应智能天线
- 本质：空间过采样，空间分集/复用技术
- 基本分类：根据天线间的位置
  - 天线信号不相关——分集技术
  - 天线信号相关——智能天线技术（角分集技术）
- 目的：抗多径、抗衰落、抗干扰

# 多天线技术分类

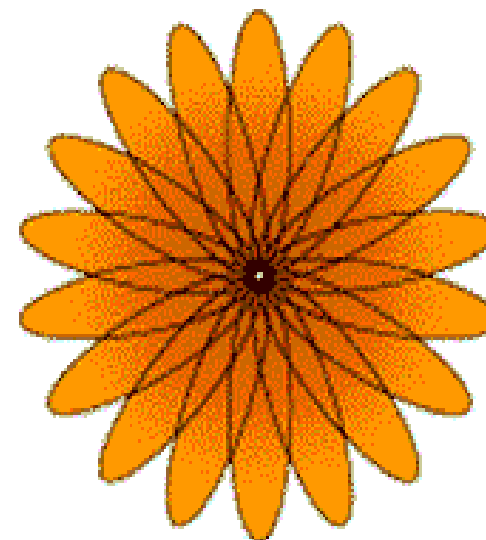
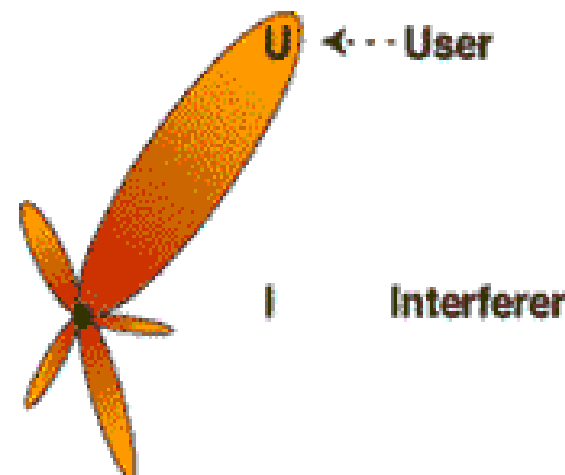
- MISO (array gain)
- SIMO (diversity gain)
- MIMO (多路复用增益与分集增益折中)
- 空时编码
  - STBC (分组码),  $M_t * M_r$  分集
  - STTC (格码), + 编码增益

# 智能天线的基本概念

- 基本概念：基于天线阵列原理利用天线阵的波束赋形产生多个独立的波束，并自适应的调整波束方向来跟踪每一个用户，达到提高信号干扰噪声比(SINR) 增加系统容量的目的
- 利用信号传输的空间特性来抑制干扰
- 利用信号与干扰的来波方向不同区分信号和干扰
- 智能天线形成的波束可实现空间滤波
- 波束随用户移动而变化

# 智能天线的波束成形技术

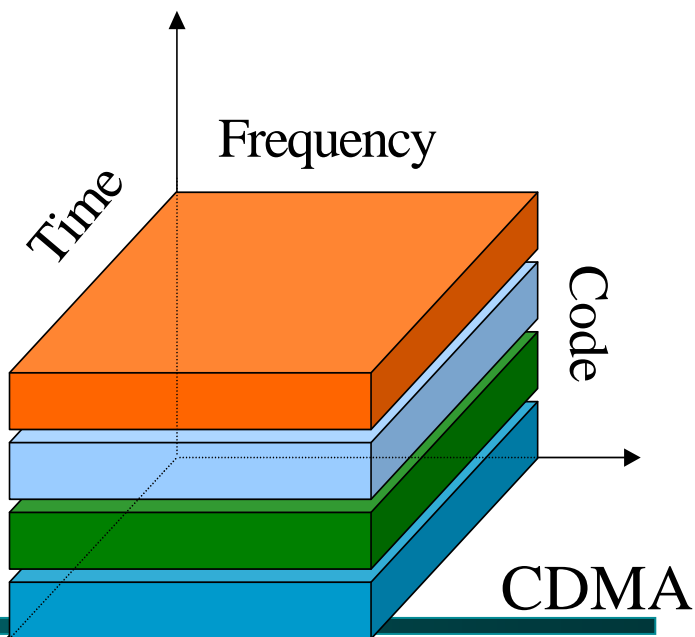
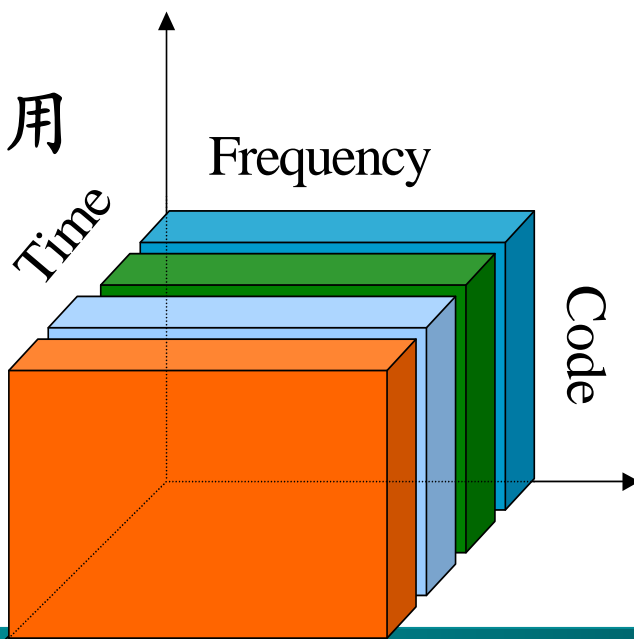
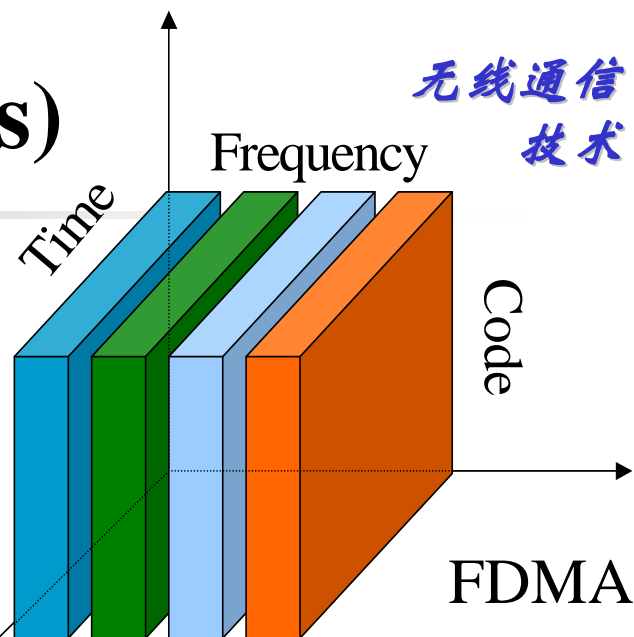
- 形成方向图在不同的到达方向上给予不同的天线增益，可以提高接收信号的信噪比，从而提高系统的容量
  - 可以将频率相近但空间可分离的信号分离开
- 自适应阵天线波束模式
- 开关多波束天线的波束模式



# 多址技术(Multiple Access)

无线通信  
技术

- 频分多址 (FDMA)
- 时分多址 (TDMA)
- 码分多址 (CDMA)
- 空分多址 (SDMA)
- 随机接入
- 多址和复用



# 多址技术

- 基本概念：实现不同地点不同用户接入网络的技术
- 无线信道传输：(F, T, C, S)的函数
- 分类：
  - 频分多址 (FDMA) 频道划分，频带独享，时间共享
  - 时分多址 (TDMA) 时隙划分，时隙独占，频率共享
  - 码分多址 (CDMA) 码型划分，时隙、频率共享
  - 空分多址 (SDMA) 空间角度划分，频率/时隙/码共享

# FDMA

## ■ 优点

- 话音业务为例，每一个信道占用一个载频，相邻的载频之间相隔**25KHz**或**30KHz**
- **FDMA**方式每一个信道同时只传送一路信息，信号的频带较窄。因此所受的多径时延扩展的作用可忽略。由于码间干扰影响而产生的误码很小，不需要均衡器
- 通过减少信息比特率和使用有效的数字编码可获得容量增加

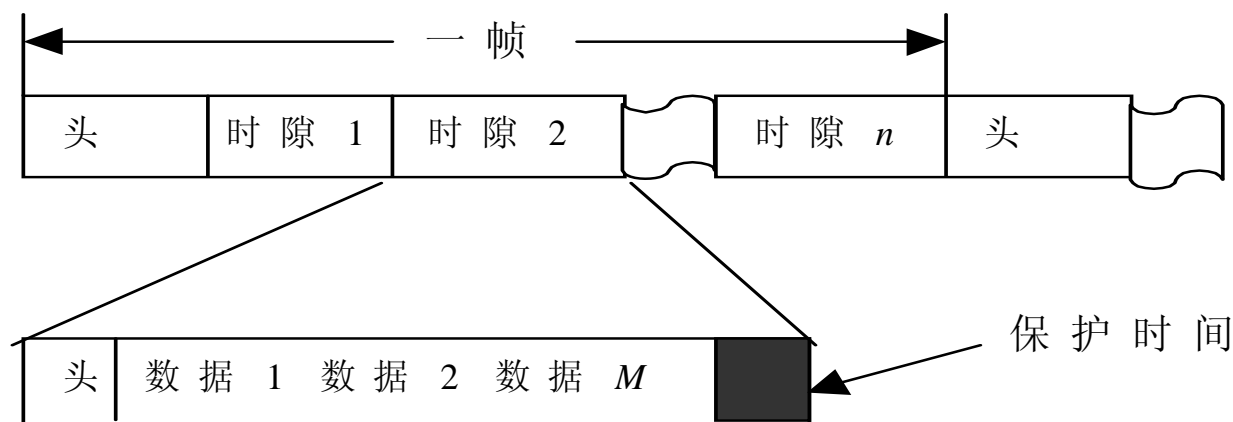
## ■ 缺点

- 基站的结构复杂，共用设备成本较高，功率损耗大
- 发射机功率放大器的非线性会产生交调干扰
- 邻道干扰、硬切换.....



# TDMA

- 在TDMA系统中，每个用户的数据在称为**时隙**的一段时间内传送，几个时隙组成一**帧**。每个时隙由时隙头加信息比特



- 时隙头的作用是提供识别和偶发的信息，在预接收机保证时隙的同步。保护时间用于每个用户的传输时减少信道之间的串话
- 要求系统同步：复帧/帧/时隙/比特



# TDMA

---

## ■ TDMA的优点

- TDMA允许灵活的比特率。既可以是基本单信道速率的几倍，对于低比特率的广播型业务也可以是它的几分之一
- TDMA不需要很多窄带滤波器，可用VLSI集成
- TDMA提供了对帧到帧的信号强度/比特错误率的监视机会，以使移动台或基站能够启动和执行切换
- TDMA能更有效的利用带宽，没有保护频带



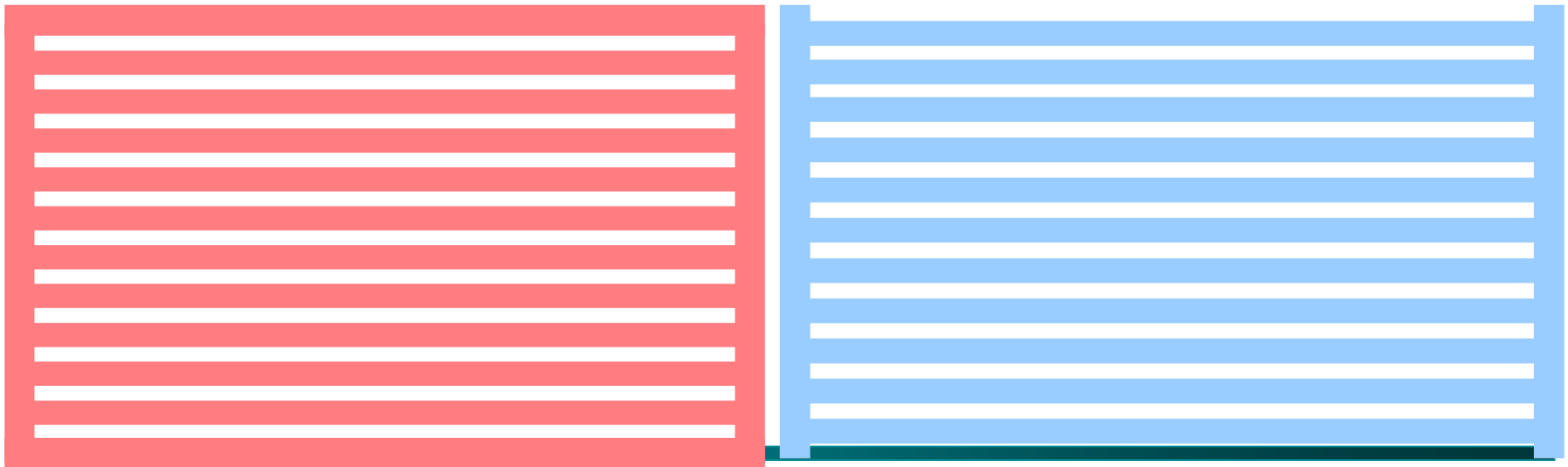
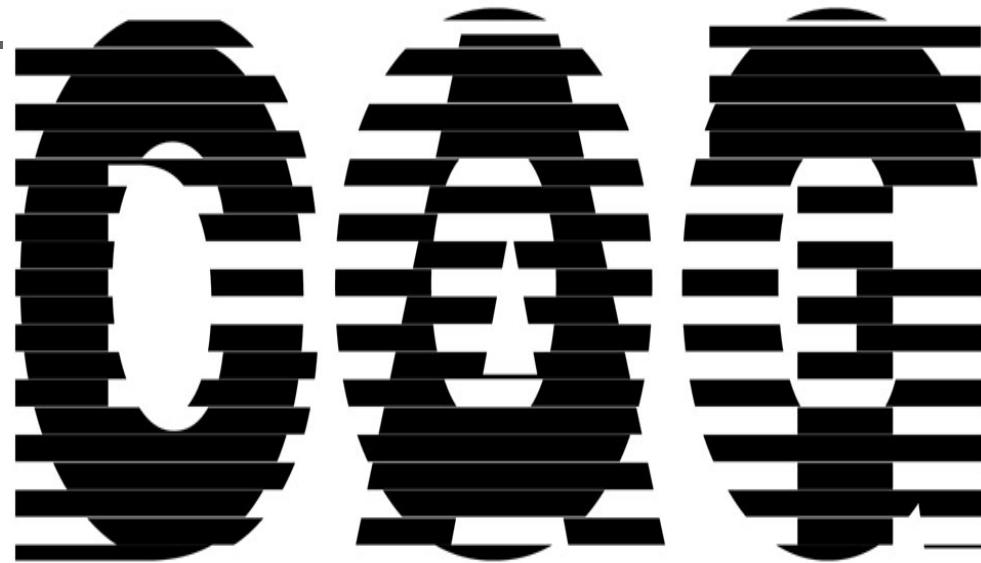
# TDMA

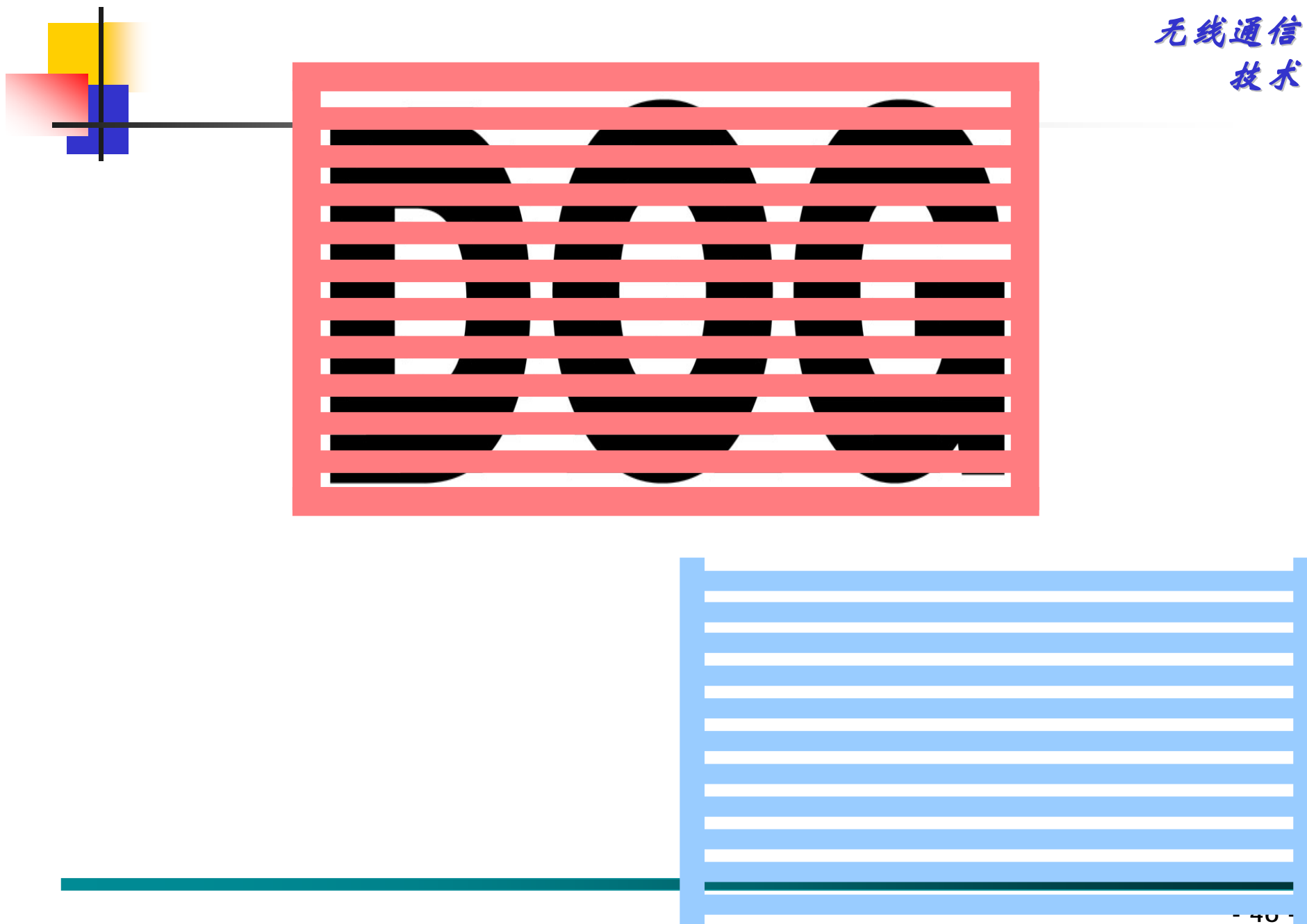
---

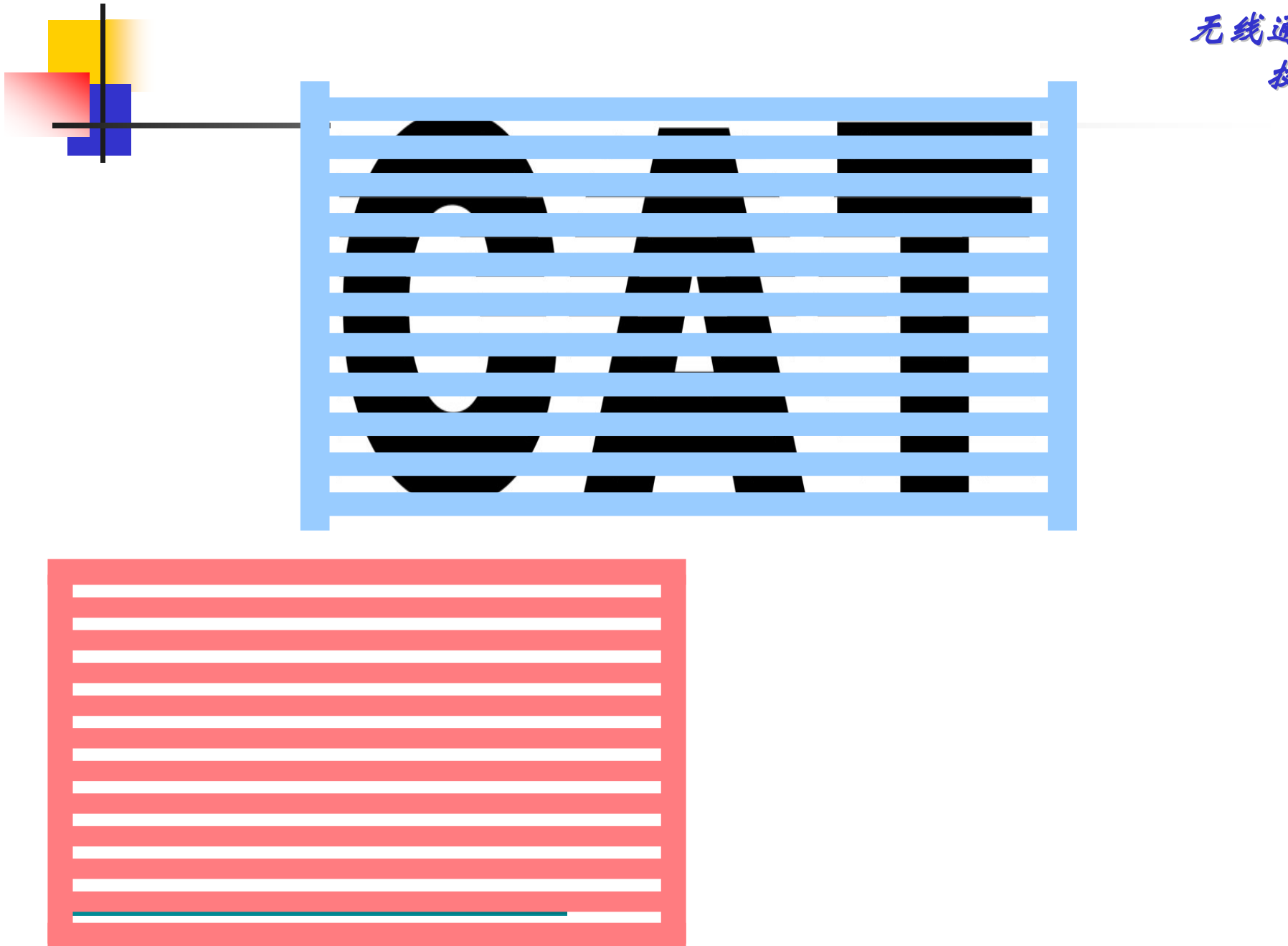
- TDMA的缺点
  - 对手机上行的峰值功率较大，这样减少电池的寿命
  - TDMA为了时隙同步需要匹配滤波器和相关检测等相当多的信号处理
- TDMA系统可以用TDD方式使用一个频带
  - 半连续的双向流，用户不容易感觉到
- TDMA也可以使用FDD方式。

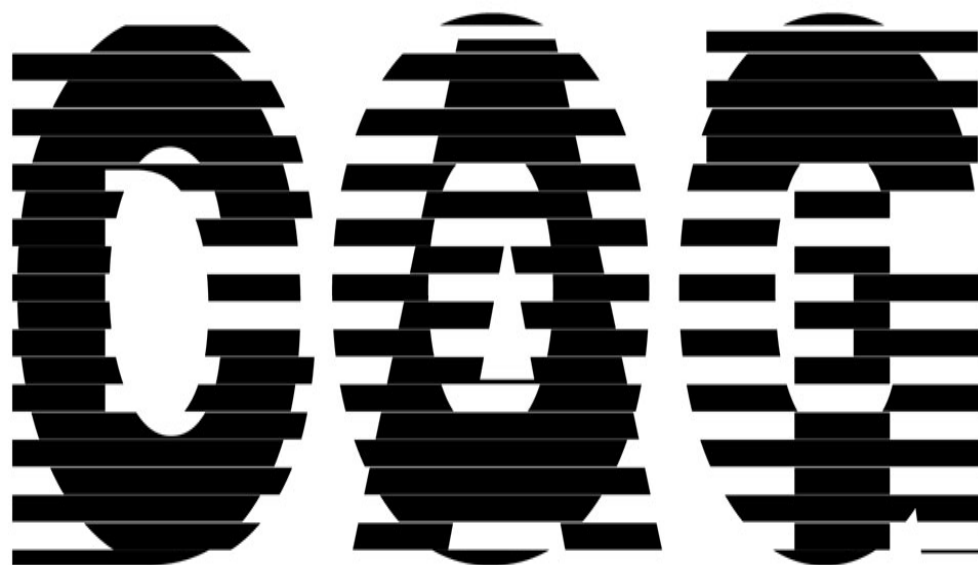
# CDMA

- CDMA技术是基于扩展频谱技术, 用正交的码字来标识不同的用户和信道, 在接收端用相应的码字作相关接收
  - 由于不同信道之间的码字是正交的, 在相关接收时, 只有相应的能量被接收, 其它的信号能量在相关后, 只剩下少量的残余干扰
- CDMA特点
  - 每个基站只需一个射频系统
  - 小区内以CDMA建立信道连接
  - 是一个多址干扰受限系统
  - 需要相当严格的功率控制
  - 具有软容量
  - 具有软切换能力
  - 可变速率声码器











# DS-CDMA系统的参数

- 信息速率：原始信息的速率
- 码片（**chip**）速率：地址码速率
- 扩频比（处理增益）：码片速率和信息速率的比值
- 地址码周期、地址码码长
- 地址码的正交性及数目
- 地址码的同步及捕获性能

## DS-CDMA的优点

- 用户共享一个频率，无需频率规划
- 具有软容量限制，用户越多，性能越差，用户减少，性能就变好
- 抗多径衰落：固有的频率分集
- 利用多径，采用**RAKE**技术提高系统性能
- 利用宏分集可以实现越区软切换
- 功率控制克服远近效应等

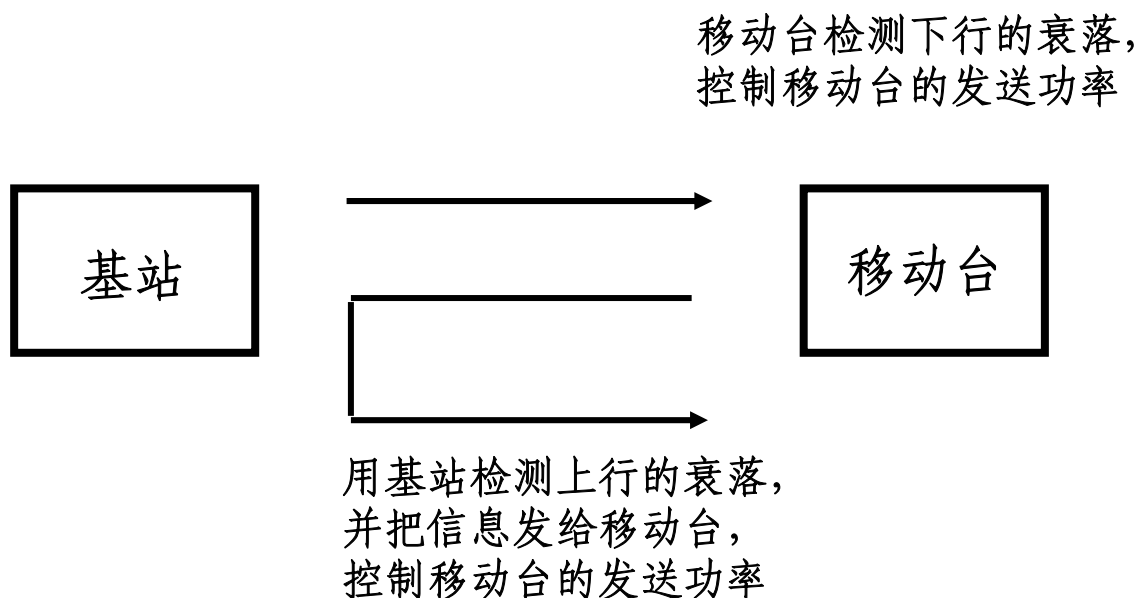
# 远近效应与功率控制

## ■ 远近效应概念

- 首先说明**CDMA**系统是一种干扰受限系统，这是由于地址码不可能完全正交。即使采用理想的正交码和理想的正交分割，但由于信道传输及同步电路的不理想，会产生多址干扰（MAI）
- 假定所有的用户发送功率都一样，则来自不同位置的码型噪声由于传输距离不同（即传输衰减不同）就会有很大的差别
- 距离基站很近的用户，产生的码型噪声将会很大，因而造成接收干扰提高、有效用户数降低

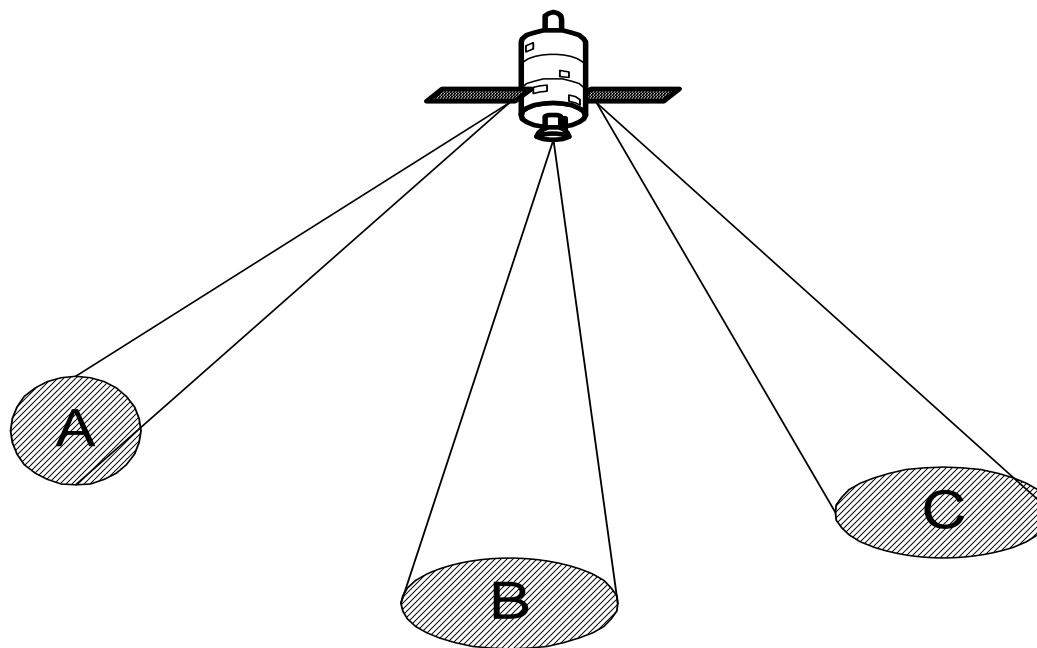
# 远近效应与功率控制

- 解决远近效应的方法之一：功率控制
- 开环功率控制
- 闭环功率控制（内环，外环）



## 空分多址 (SDMA)

- 通过地理空间划分，来实现不同空间共用时间、频率、码资源的一种多址方式。
- 例如：卫星通信中利用定向天线覆盖不同的地区，这些地区可以使用相同的时隙、频率、码型

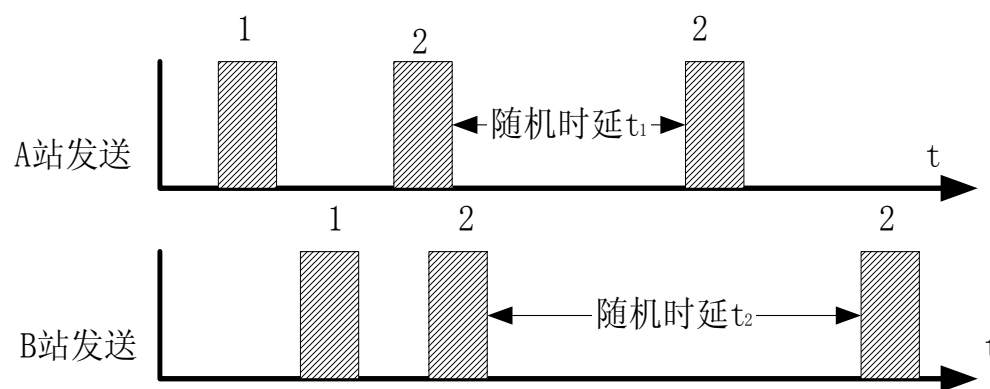


## 双工技术 (Duplex)

- **FDD**: 收发频率分开、接收和发送通过滤波器来完成
  - 特点: 需要合理安排成对的频率
- **TDD**: 收发共用一个频率、接收和发送通过开关来完成
  - 特点: 收发存在时间间隔
  - 上下资源行动态可调

# 随机接入

- 随机接入也可视为一种多址方式，多个用户可以通过随机接入的方式共享相同的通信信道
- **ALOHA方式 (ALOHA = Additive Link On-line Hawaii system)**
  - 多个用户随意发送数据包，如果发现冲突，则各自退后随机时延，重新再发。



# 随机接入

## ■ 时隙ALOHA方式

- 将信道划分成时隙，规定所有用户要发送必须在时隙上发送，与ALOHA方式的任意时刻均可发送不同，可以避免一些冲突，提高信道的利用率

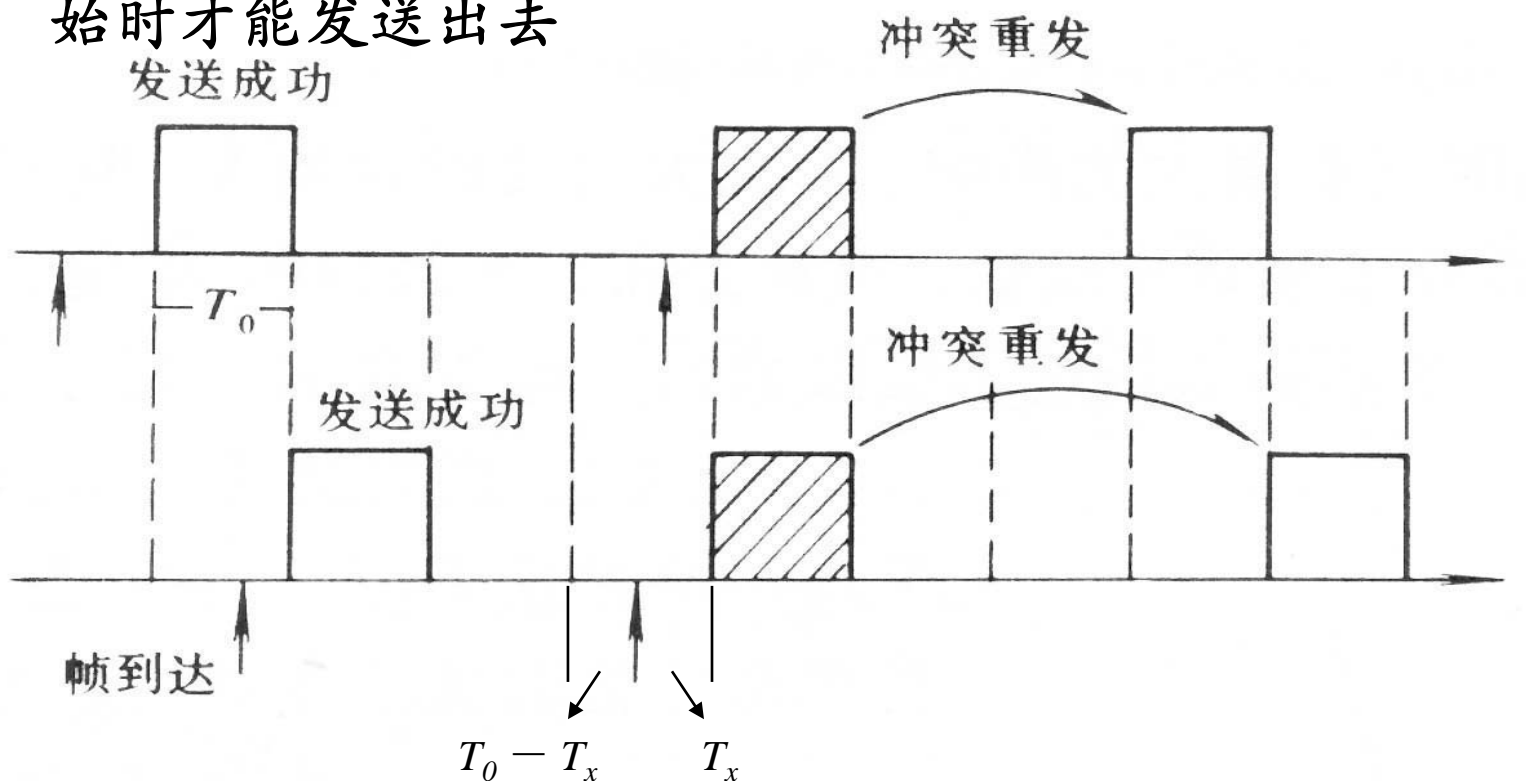
## ■ 预约ALOHA

- 长短报文业务可能同时存在，长报文需要长的传输时间，如果遇到冲突，重发需要的时间也长，另外由于报文长，冲突的概率也大



# 时隙ALOHA (S-ALOHA)

- 为了提高随机接入系统的吞吐量，将所有各站在时间上都同步起来（这需要额外的代价），并将时间划分为一段段等长的时隙（slot），长度记为 $T_0$ 。
- 不论帧何时产生（即到达一个站），它只能在每个时隙开始时才能发送出去



# 随机接入

- 局域网中的CSMA/CD (Carrier Sensing Multiple Access with Collision Detection, 载波侦听/冲突检测)
  - 用户在发送之前先侦听信道的载波，看是否有其他用户正在使用
    - 如果没有，则立即发送
    - 如果有，则退后时延



# 小节

## ■ 10.3 无线传输技术

---

- 调制技术
- 编码技术
  - 信源编码
  - 信道编码
- 抗衰落抗干扰（分集，交织，扩频等）
- **MIMO**
- 多址 / 复用
- 双工
- 随机接入

## 第十章 无线通信技术

### ■ 10.4 陆地移动通信系统

---

- 概况
- 蜂窝的概念
- 系统模型
- 无线资源管理
- 移动性管理
- 安全性管理
- **GSM/CDMA**
- 第三代移动通信系统
- 第三代移动通信系统长期演进及发展



# 概况

- 陆地移动通信技术涉及
  - 无线链路级技术
    - 保证信息在移动过程中可靠传输的各种技术
    - 支持多用户同时接入的多址技术、双工技术等
  - 系统网络级技术
    - 无线网络覆盖技术
    - 各种无线资源管理技术
    - 移动性管理
    - 安全管理
    - 支持网络节点互联的各种协议

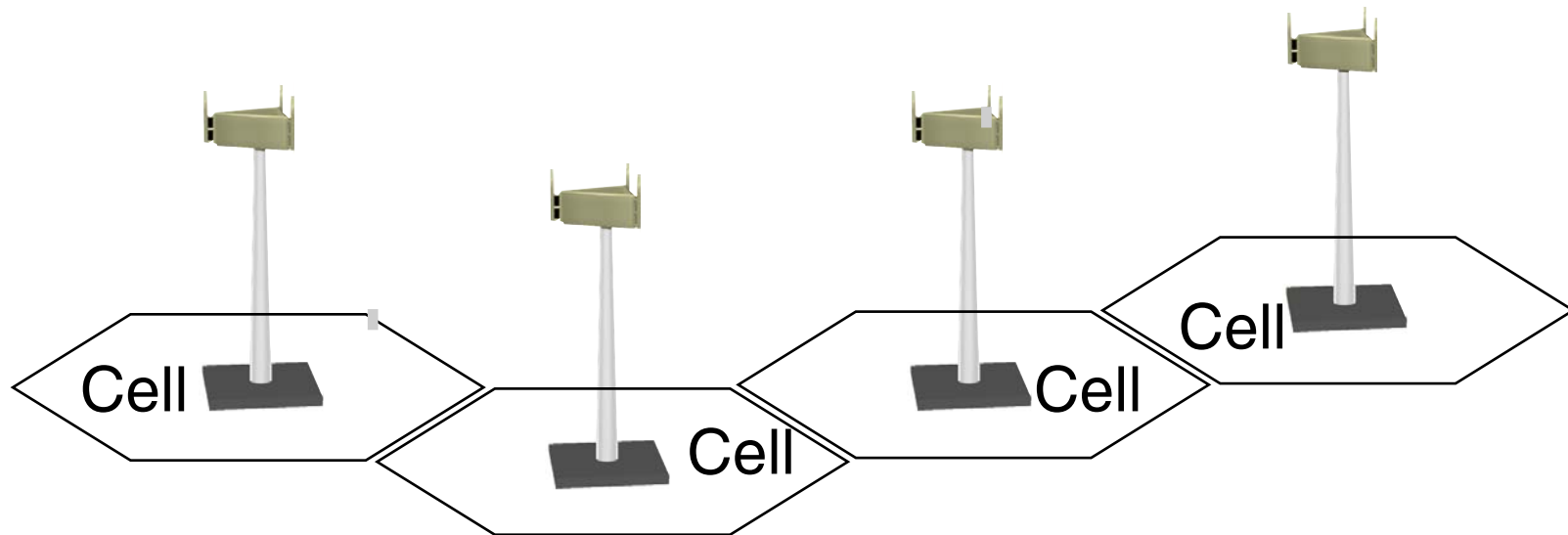
# 概况

- 陆地移动通信系统主要包括
  - 陆地蜂窝移动通信系统
    - GSM、CDMA、3G、B3G/4G.....
  - WRAN/WMAN/WLAN/WPAN（区域、城域、局域，个人域）
  - 集群调度移动通信系统
  - 无绳电话系统（PHS）
  - 无线寻呼系统等
- 下面主要讲述陆地蜂窝移动通信系统

# 蜂窝的基本概念

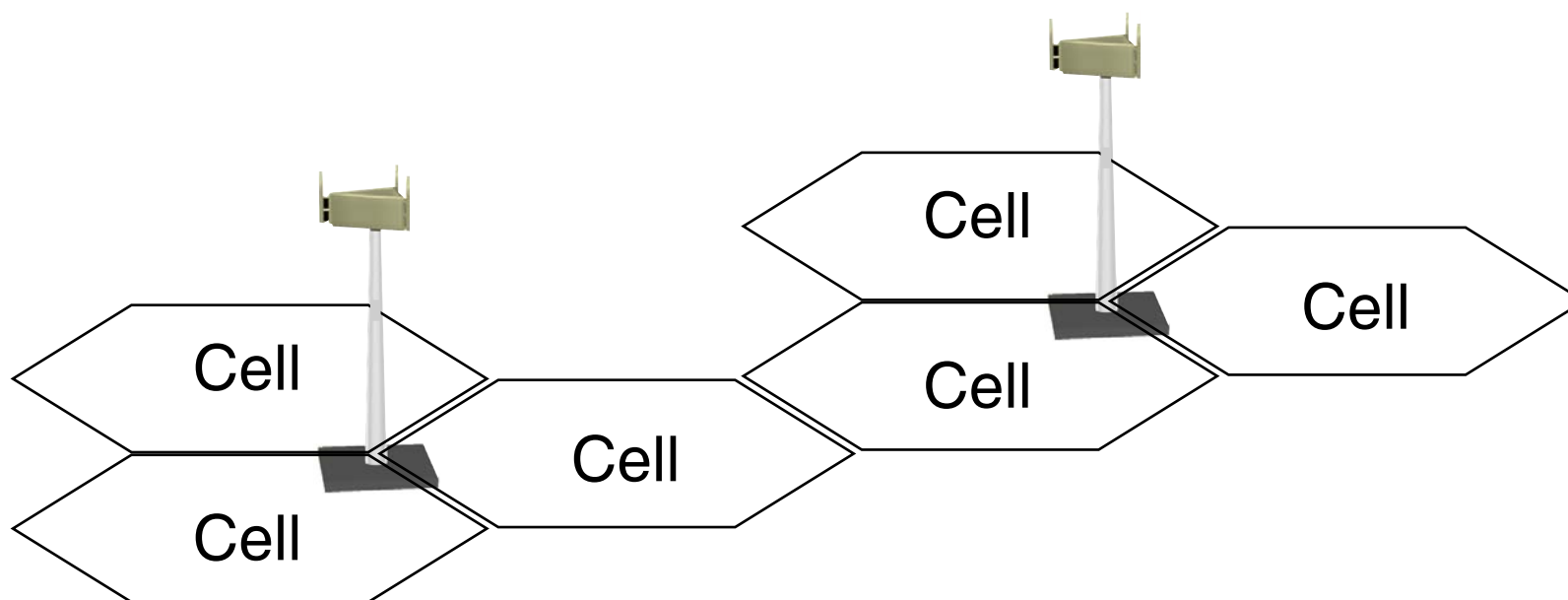
- 蜂窝通信的重要特征：
  - 低功率的发射机和小的覆盖范围
  - 频率再用（重用、复用）
  - 切换和中央控制
  - 小区分裂可用于增加容量
- 蜂窝类型
  - 巨区（Huge）、宏区（Macro）、微区（Micro）、微微区（Pico）、分层蜂窝结构（HCS）、异构网络\*（HetNet）
- 小区群（簇，**cluster**）：一组相邻使用不同频率的小区
- 频率再用因子  $N$ ：一个小区群中小区数（区群的大小）
- 对FDMA、TDMA存在共道（同频）干扰

# Cells and Sectors

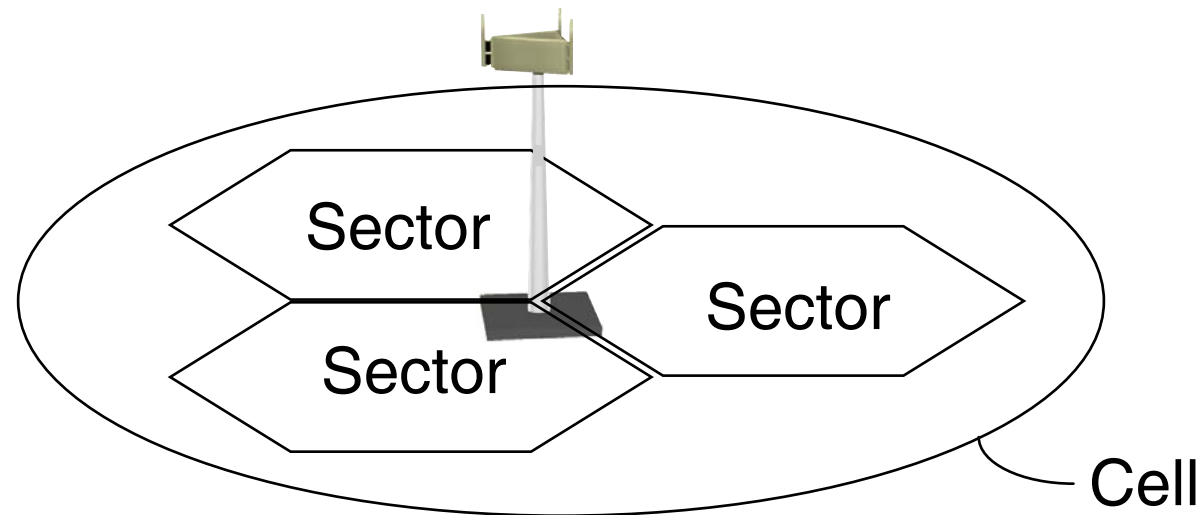




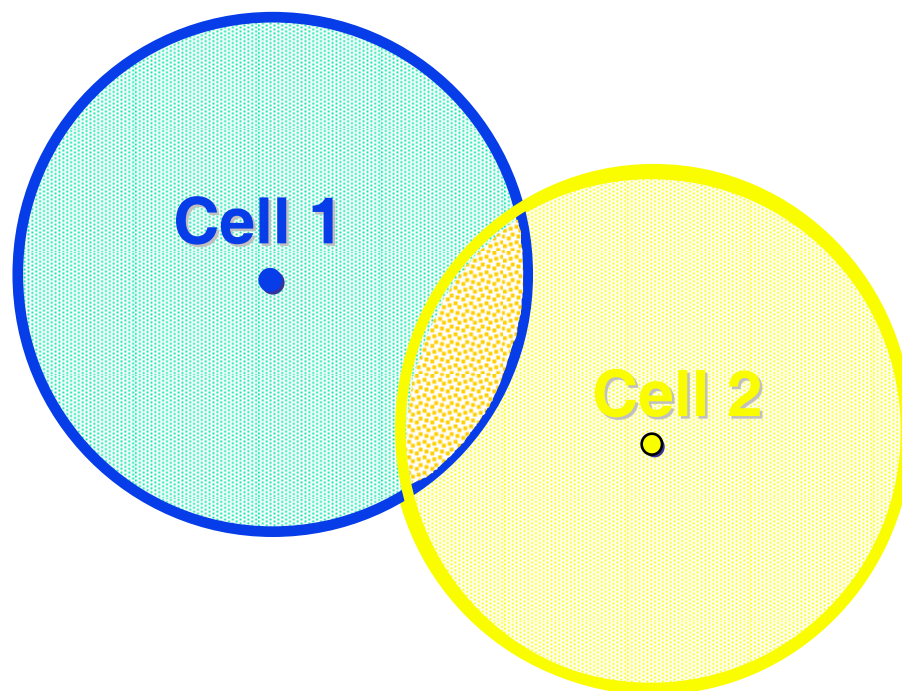
# Cells and Sectors



# Cells and Sectors

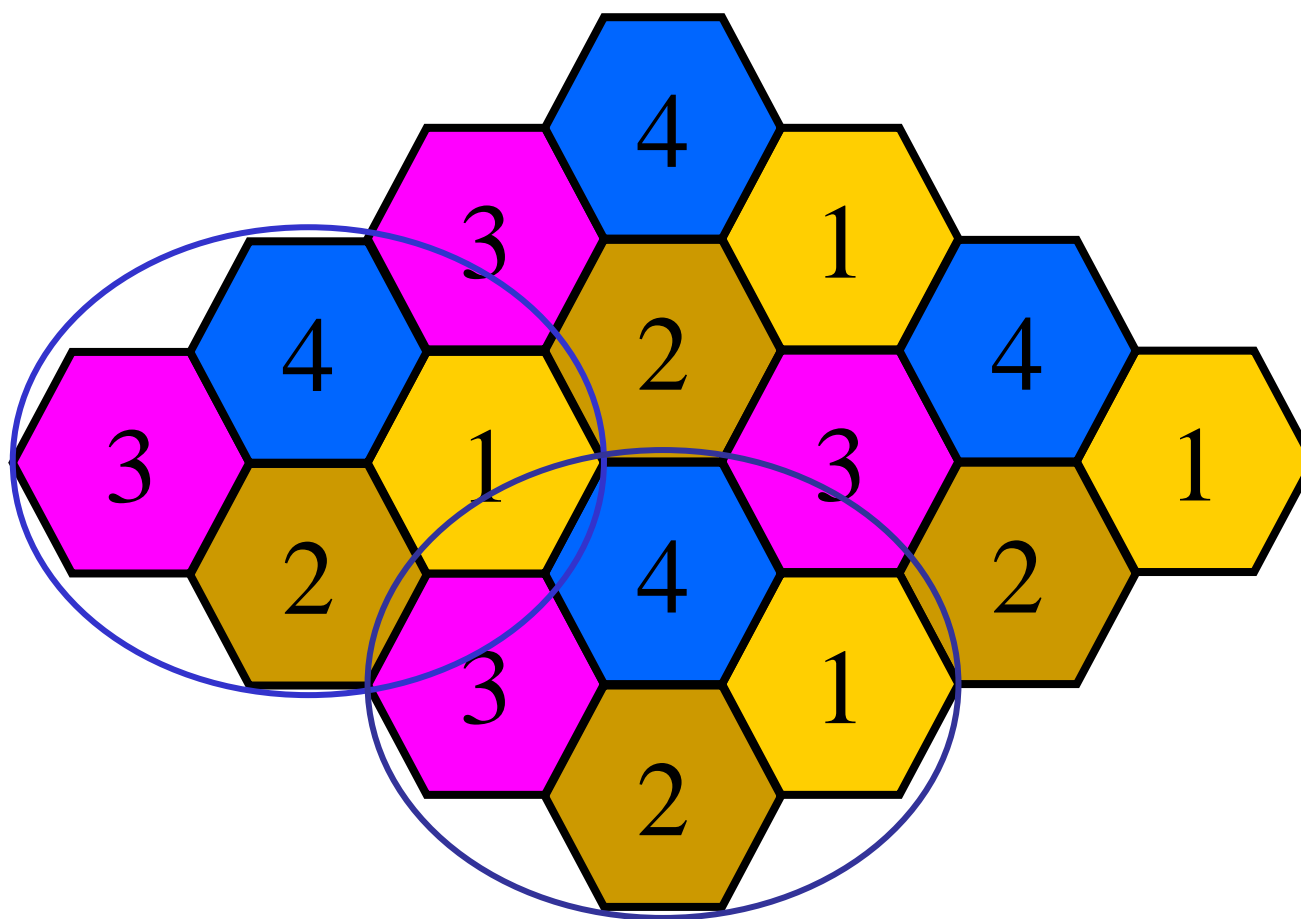


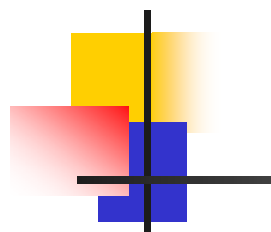
# 频率复用 (Frequency Reuse)



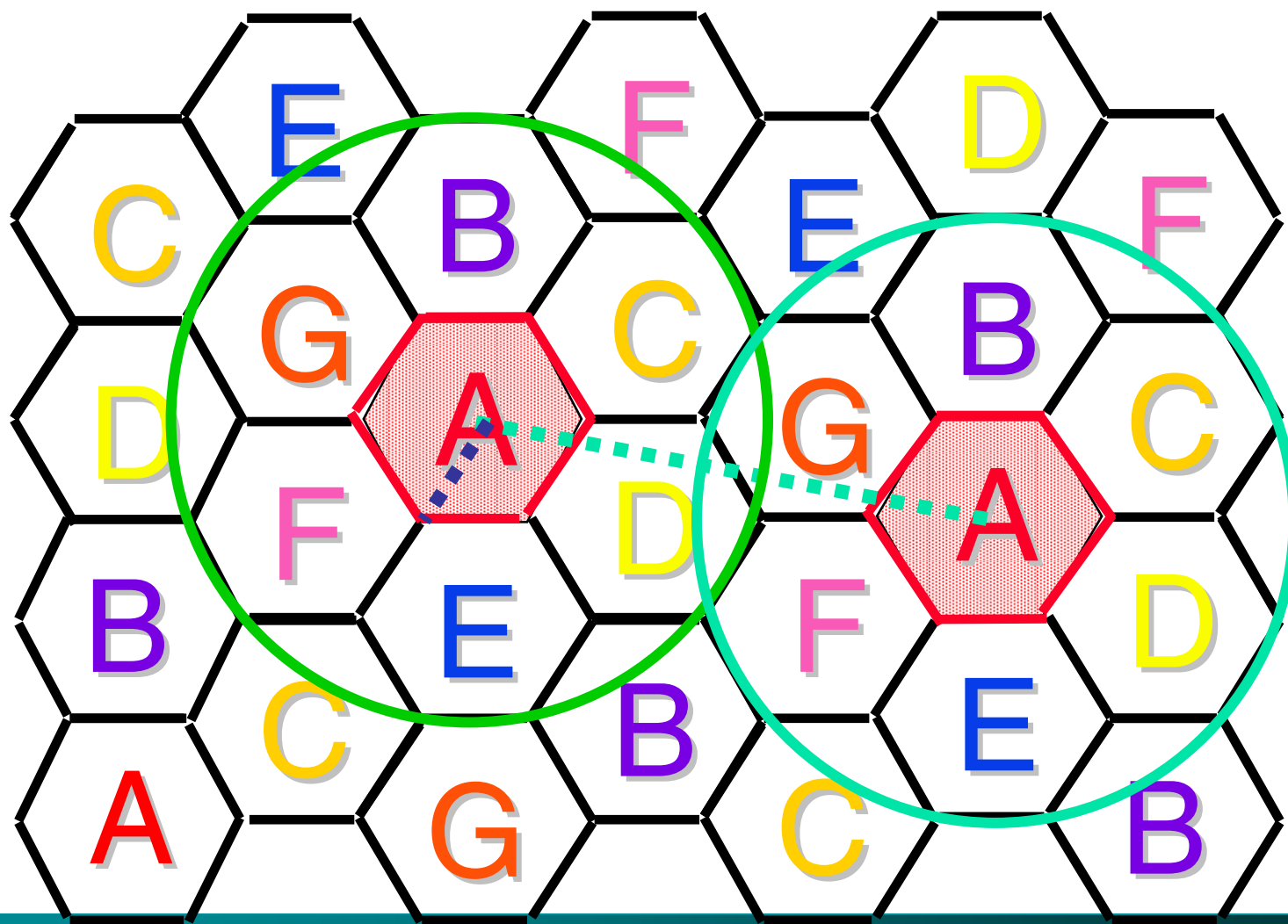
- 传统蜂窝系统中，若小区1和小区2在同一频率上，其重叠区域将存在频率冲突

# Frequency Reuse Pattern of $N=4$





# Frequency Reuse Pattern of $N=7$

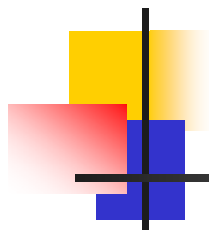


## 同频干扰\*

- 同频再用比  $q$ :  $q = D/R = \sqrt{3N}$
- 小区半径( $R$ )和相距最近的同频小区中心间距离( $D$ )
- 若只考虑第一层干扰, 同频信号干扰比:

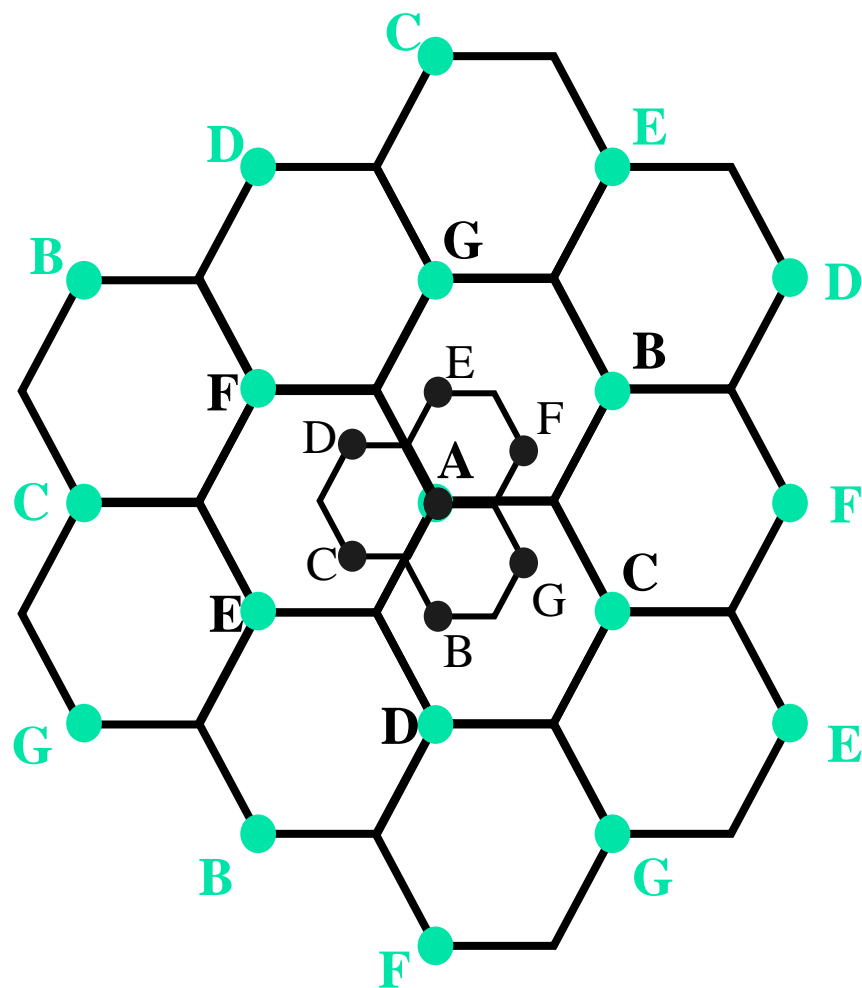
$$\frac{S}{I} = \frac{1}{6(q)^{-\gamma}} = \frac{q^{\gamma}}{6} \quad q = \left[ 6 \left( \frac{S}{I} \right) \right]^{\frac{1}{\gamma}}$$

- $\gamma$ 为传播损耗倾斜率
- 若 $\gamma=4$ 则: 
$$N = \sqrt{\frac{2}{3} \times \frac{S}{I}}$$
- $q$ 的值越小, 则容量越大(复用的密度越高)
- 但是,  $q$ 值增大, 同频干扰减小, 传输性能提高



# 小区分裂

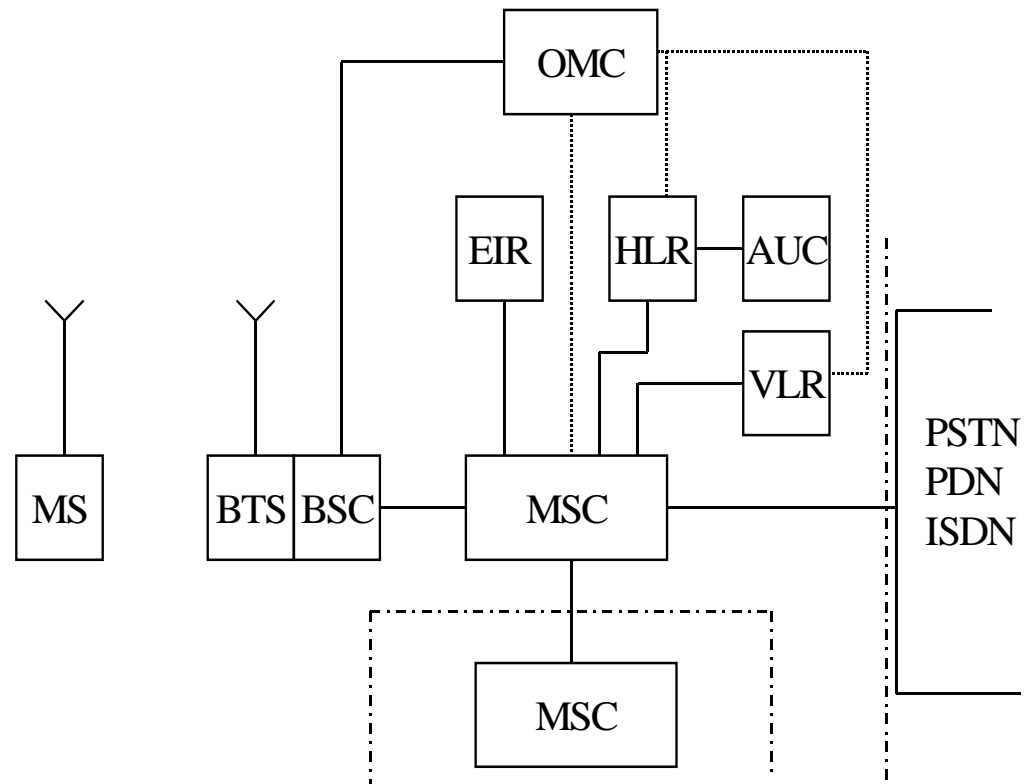
无线通信  
技术



# 系统模型

无线通信  
技术

- MS—Mobile Station
- BSS
  - BTS—Base Transceiver Station
  - BSC —Base-Station Controller
- NSS
  - MSC—Mobile Switch Center
  - HLR—Home Location Register
  - VLR—Visitor Location Register
  - EIR—Equipment Identity Register
  - OMC—Operating Maintenance Center
  - AUC—Authentication Center





# 网络设备的功能

- **BTS:** 实现BTS与移动台 (MS) 之间通过空中接口的无线传输及相关的控制功能
- **BSC:** 信号转换, 各种接口的管理, 承担无线资源和无线参数的管理
- **MSC:** 路由选择管理, 计费 and 费率管理, 业务量管理
- **HLR:** 对移动台的数据库进行管理, 主要功能为: 对HLR中登记的移动台的所有用户参数的管理和修改、计费管理、VLR的更新
- **VLR:** 漫游用户的定位和管理的动态数据库。所谓漫游就是移动用户在不归属区得到服务的能力。VLR主要功能为: 移动台漫游号的管理、临时移动台识别管理、访问移动台用户管理、HLR的更新、通信覆盖区域的管理 (如基站覆盖区、MSC无线交换区等)、无线信道的管理 (比如信道分配表、动态信道分配管理等)
- **EIR:** 存储移动通信设备的设备码, 用于确保系统内所使用的移动用户设备的唯一性和安全性
- **AUC:** 存储用户的鉴权信息和加密密钥, 用于防止无权用户进入系统。AUC属于HLR的一个功能单元
- **OMC:** 完成BSS和NSS的网络运行和维护管理



## 网络各单元接口

---

- BSC与MSC之间为**A**接口
- BTS和BSC之间为**Abis**接口
- BTS和MS之间为**Um**接口
- MSC与PSTN之间为**Ai**接口
- MSC和VLR之间为**B**接口
- MSC和HLR之间为**C**接口
- HLR和VLR之间为**D**接口
- MSC和MSC之间为**E**接口

# 无线资源管理(RRM)

## ■ 无线资源

- 基站、扇区、频率、时间、码道和功率等
- 不同的移动通信系统具有不同的无线资源组合

## ■ 无线资源管理的目标

- 在有限的无线资源条件下，进行资源调整，为网络内无线用户终端提供业务质量保证
- 提高系统容量和利用效率
- 基本出发点是在各种条件变化等情况下，灵活分配和动态调整无线传输部分和网络的可用资源，最大程度地提高无线频谱利用率

# 无线资源管理

- 无线资源管理根据具体目标的不同，分为
  - 面向网络的无线资源管理
    - 接入控制
    - 负载控制
  - 面向连接的无线资源管理
    - 切换控制
    - 功率控制
    - 速率控制
    - 链路自适应技术
  - 无线资源的分配和调度
    - 小区间动态信道分配
    - 小区内动态信道分配
    - 一个物理信道内的调度

# 切换

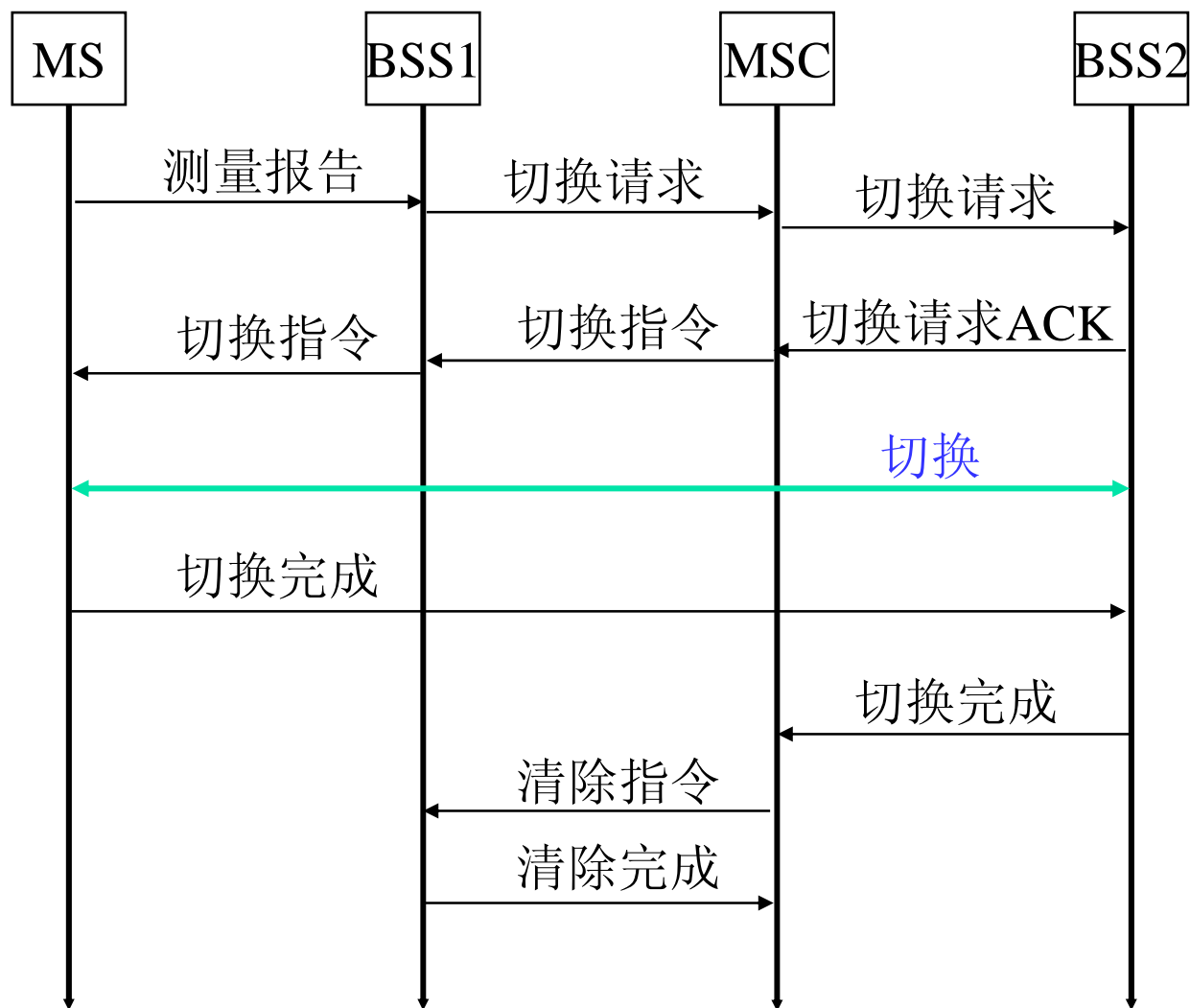
- 切换是使移动台的一个呼叫进程在小区之间移动时能够继续的过程
  - 切换可以基于接收的信号强度或S/I值（在终端、BS、或两者的测量），或基于网络资源管理的需要
  - 切换过程可能涉及终端的注册和鉴权
- **软切换**：当移动终端的通信被连到另一个目标的无线端口时，不需要中断与当前服务的无线端口的通信。在软切换中，移动终端可以同时与两个无线端口通信。特点是先通后断
- **硬切换**：移动终端被连接到不同的无线系统、不同的频率、或不同的空中接口特性或技术。硬切换在空中接口是先断后通的过程



# 切换

- 切换的基本步骤
  - 搜索相邻小区、扇区
  - 监视触发切换的条件
  - 建立新的控制和业务信道
  - 释放旧的业务和控制信道
- 要求
  - 尽可能少的出现，以减少资源的占用
  - 尽可能少的影响用户正在使用的业务
- 接纳切换的策略
  - 视为初始呼叫
  - 比普通初始呼叫更优先

# 举例



# 移动性管理

## 注册（登记）

- 移动台（MS）注册是将MS的特征（如位置或状态）报告给网络。MS和网络均可以发起注册
- 注册是MS通知服务提供者它的存在和希望得到服务。无线分系统通知移动交换中心（MSC）和所需要的其它网络单元。MSC和其它网络单元完成需要的注册功能
- 当MS穿越一个或多个服务商的区域时也发生注册。MS的地理位置被注册后，网络可以给它传递呼叫

## 漫游

- 当移动用户离开登记注册的HLR进入其他HLR时称为漫游



# 安全性管理

- 无线信号通过空中传播开放式环境，信号可以被截获，窃听，信息泄漏（移动商务）
- 安全管理对网络、承载信道和信令信道的保密性、用户数据的安全性、用户授权和业务提供者之间的内部可操作性进行处理
- 网络和终端共同操作支持用户鉴权和信息加密
- 鉴权：确认用户具有的各种权利
  - 用户对基站鉴权
  - 基站对终端鉴权
  - 基站对用户鉴权
  - 基站用户相互鉴权
- 加密：对信息进行加扰，防止第三者窃听
  - 原始信息加密
  - 空中传输信息加密

# GSM

# 概况

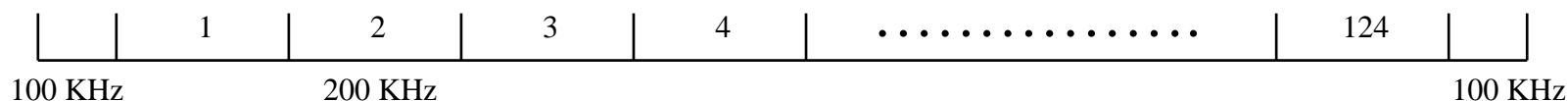
## ■ 频段和带宽/小区结构

Uplink                      890 – 915 MHz    25 MHz

Downlink                  935 – 960 MHz    25 MHz

频分双工 (FDD)

->DSC 1800



## ■ 多址接入技术

- 各载波之间FDMA
- 载波内各用户之间TDMA

## ■ 调制: GMSK



# 信道结构

---

- 控制信道
  - 信令、同步等
- 业务信道
  - 话音
  - 数据

# GSM小节

- 移动台的类型
  - 车载台 (vehicle mounted)
  - 便携式台 (portable)
  - 手持台 (handheld)
  - 发射功率不同
  
- 移动台另外一个重要的组成部分是用户识别模块 (**SIM**)
  - 符合**ISO**标准的“智能”卡
  - 包含所有与用户有关的服务信息
  - 也包括鉴权和加密信息
  - **SIM**卡的应用使移动台并非固定地束缚于一个用户
  - 这为将来发展个人通信打下了基础

# GSM小节

- 小区有大小之分
  - 大者，基站（**BS**）与移动台（**MS**）间距离可达**35**公里，适用于农村区域
  - 小者，小区半径可降至**1**公里或更低，适用于市区
    - 在高密度业务区，例如市中心，可采用扇型小区
- 其它技术简介
  - 自适应定时对齐
  - 功率控制（慢速）
  - 跳频（慢速）
  - **DRX**

## GSM小节

- 完全依据欧洲通信标准化委员会（ETSI）制定规范研制而成的，任何一家厂商提供的**GSM**系统都必须符合**GSM技术规范**
- **GSM**系统作为一种**开放式结构**和面向未来设计的系统具有下列主要特点：
  - 由几个分系统组成的，并且可与各种公用通信网（PSTN、ISDN、PDN等）互连互通
    - 各分系统之间或各分系统与各种公用通信网之间都明确和详细定义了标准化接口规范，保证任何厂商提供的**GSM**系统或子系统能互通
  - 能提供穿过国际边界的**自动漫游**功能，对于全部**GSM**移动用户都可进入**GSM**系统而与国别无关
  - 业务种类多.....

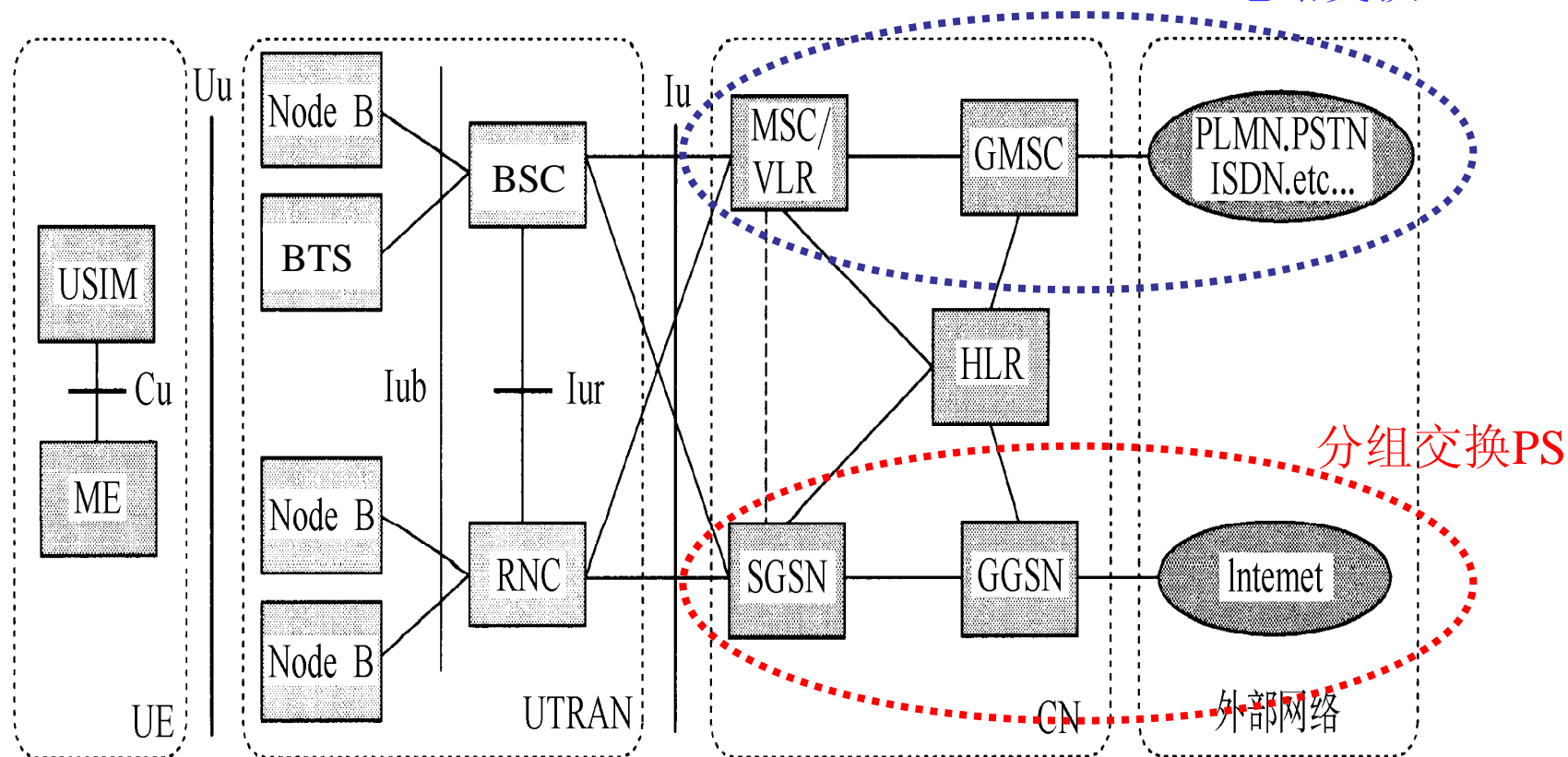
# GSM的发展演进\*

- GPRS作为GSM的升级技术
  - 在现有GSM电路交换模式之上增加了基于分组的空中接口，引入了分组交换，支持无线IP分组数据传输
  - 支持基于GPRS传输的短信业务（SMS）、多媒体彩信业务（MMS）以及终端无线上网业务等
- GPRS对GSM的多个时隙捆绑，可提供的最高数据速率是115 kbps；进一步增加高阶调制即EDGE
- GPRS通过网关与数据网相连
  - 由于GSM是个基于电路交换的网络，GPRS的引入需要对原有网络进行一些改动，需增加新的设备如GPRS业务支持节点（SGSN），网关支持节点（GGSN）和GPRS骨干网
  - 其他新技术还需改进，如分组空中接口、信令、安全加密等
  - GPRS提高了线路利用率，只有当数据传送或接收时才占用无线频率资源，利用了数据通信统计复用和突发性的特点



# GPRS-UMTS 网元结构\*

电路交换CS



- **GMSC**（网关移动业务交换中心）：是UMTS PLMN与外部CS网络连接的交换设备，所有出入的CS交换业务都经过GMSC。
- **SGSN**（服务GPRS（通用分组无线业务）的支撑节点）功能与MSC/VLR类似，但一般用于分组交换（PS）业务，通过SGSN相连接的网络部分通常被称作PS域。
- **GGSN**（网关GPRS支撑节点）：功能类似于GMSC，但用于PS业务。

# CDMA

# 概况

- 由于**CDMA**体制优势
  - 具有抗人为干扰、窄带干扰、多径干扰的能力
  - 可大为提高蜂窝系统的通信容量
  - 这使得**CDMA**数字蜂窝系统成为**TDMA**数字蜂窝系统的强有力的竞争对手
- **IS-95A**是最早商用**CDMA**移动通信空中接口标准
- **IS-95B**是**IS-95A**的进一步发展
  - 主要目的是能满足更高的比特速率业务的需求
  - **IS-95B**可提供的理论最大比特速率为**115kbit/s**
- **IS-95A**和**IS-95B**均有一系列标准，总称为**IS-95**

# 概况

- cdmaOne是基于IS-95标准的各种CDMA产品的总称
  - 即所有基于cdmaOne技术的产品，其核心技术均以IS-95作为标准
- CDMA2000是美国向ITU提出的第三代（3G）移动通信空中接口标准的建议，是IS-95向3G演进的技术体制方案
  - 其中cdma2000-1X 是单个载波的cdma2000标准，可支持384kb/s的数据传输、网络部份引入分组交换，可支持移动IP业务
  - cdma2000-1X与IS-95(A/B)后向兼容，可实现平滑过渡
- 应用蜂窝结构的IS-95 CDMA和cdma2000-1x系统采用码时分多址的接入技术，载频间隔为1.23MHz，码片速率1.2288Mcps，每小区可采用相同载波频率，即频率复用因子为1

# CDMA与蜂窝结构的关系

- 码分多址与蜂窝系统的小区 and 扇区
  - 在扩频CDMA蜂窝系统之间是采用频分的
    - 即不同的CDMA蜂窝系统占用不同频段的1.23MHz
  - 一个扩频CDMA蜂窝系统之内单载波上，则是采用码分多址的(FDMA/CDMA)
    - 即对不同的小区和扇区基站分配不同的码型
    - 在IS-95CDMA和cdma2000-1x中，这些不同的码型是由一个PN码序列生成的，PN序列周期（长度）为 $2^{15}=32768$ 码片（chips）
    - 将此周期序列自每64chip移位序列作为一个码型，共可得到 $32768/64=512$ 个码型



## 频段和带宽

---

- Forward Link: 870-894MHz
  - Reverse Link: 825-849MHz
- FDD
- 
- Band: 1.23MHz/Carrier
  - Frequency Reuse Factor: 1
- 
- CDMA 中的码
    - Walsh code, Short Code 及 Long Code
    - 处理增益: 128, 64 等



# CDMA基本信道结构

---

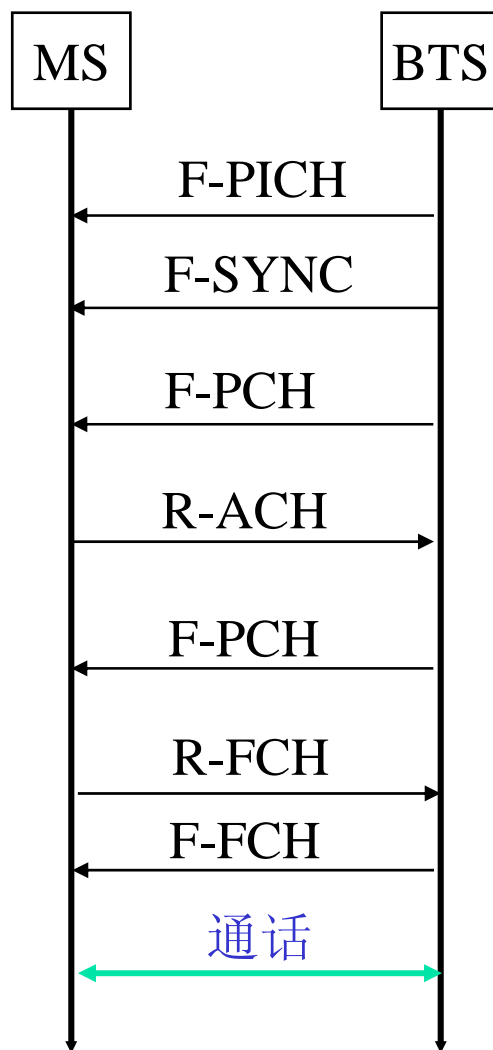
## CDMA Forward Channels （前向/下行）

Pilot Channel	}	<b>Common/Control</b>
Sync Channel		
Paging Channel		
Traffic Channel		<b>Dedicated</b>

## CDMA Reverse Channels （反向/上行）

Access Channel	<b>Common/Control</b>
Traffic Channel	<b>Dedicated</b>

# 呼叫流程举例(MT)





# IS-95 CDMA的主要特点

- 基站间同步工作（例如利用**GPS**）
- 话音激活技术
  - 在通话过程中，单方向有大约**60%**的时间是静默状态，仅**40%**的时间需要传输话音数据，可方便应用于**CDMA**系统，实现变速率传输，减少干扰，增加系统容量
- 多种分集：扩频技术频率分集，基站两接收天线的空间分集，**Rake**接收机构成多径分集，交织构成时分集
- 软切换特性：扇区间的更软切换(**softer handoff**)，由基站自身控制完成；基站间采用软切换(**soft handoff**)，由基站控制器控制实现“先连后断”
- 反向精确的功率控制
  - 开环+快速的闭环功率控制



# CDMA2000 1X 的特点及发展\*

无线通信  
技术

## ■ 与IS-95A/B相比

- 物理信道后向兼容并增强
- 快速前向链路功率控制
- 反向链路相干解调
- 连续的反响链路空中接口波形
- 增强的媒体接入控制能力

## ■ cdma2000标准的发展

- cdma2000-1x的数据速率可达307.2 kbps，按规划最终平滑无缝隙地演进至传输速率可高达2 Mbps，即cdma2000-3x, Nx
  - 这种过渡比较平滑，即很多资源可以继续利用
  - 1x也可以过渡到1x EV-DV，前向峰值速率可达3Mbps以上
- 另外用于专门传输分组数据的cdma2000 1x EV-DO系统峰值数据速率可达2.4Mbps，其演进版本(Rov.A)可达3Mbps以上

# 第三代移动通信系统 (3G)

# 第三代移动通信的主要特点

## ■ IMT-2000或3G

- 是从现有第二代移动通信演进和发展，而不是完全重新建设一个移动通信网
- 初期主要业务仍然是话音业务，数据业务将逐渐增加
- 数据业务将主要是Internet所需要的不对称的、基于包交换(IP)的业务
- 最主要是达到如下目标：
  - 全球漫游
  - 与现存网络互连
  - 可扩展
  - 多媒体服务、QoS保证、分组数据传输
  - 满足通信个人化的要求
  - 高频谱利用率(解决全世界存在的系统容量问题)

# 第三代移动通信的最低要求

- 四种工作环境下提供数据业务的要求
  - 移动卫星
  - 高速移动: 500km/h, 64-144kbps
  - 室内外步行: 384kbps
  - 室内固定用户: 2Mbps
- 全球无缝覆盖
- 主要业务要求
  - 提供高质量话音
  - 电路交换和包交换数据的高质量传输( $BER < 1 \times 10^{-6}$ )
  - 提供增值业务和智能网业务
- 和第二代移动通信系统兼容
- 频率
  - 核心频段1885~2025MHz, 2110~2200MHz
  - 其中1980~2010MHz, 2170~2200MHz为卫星频段

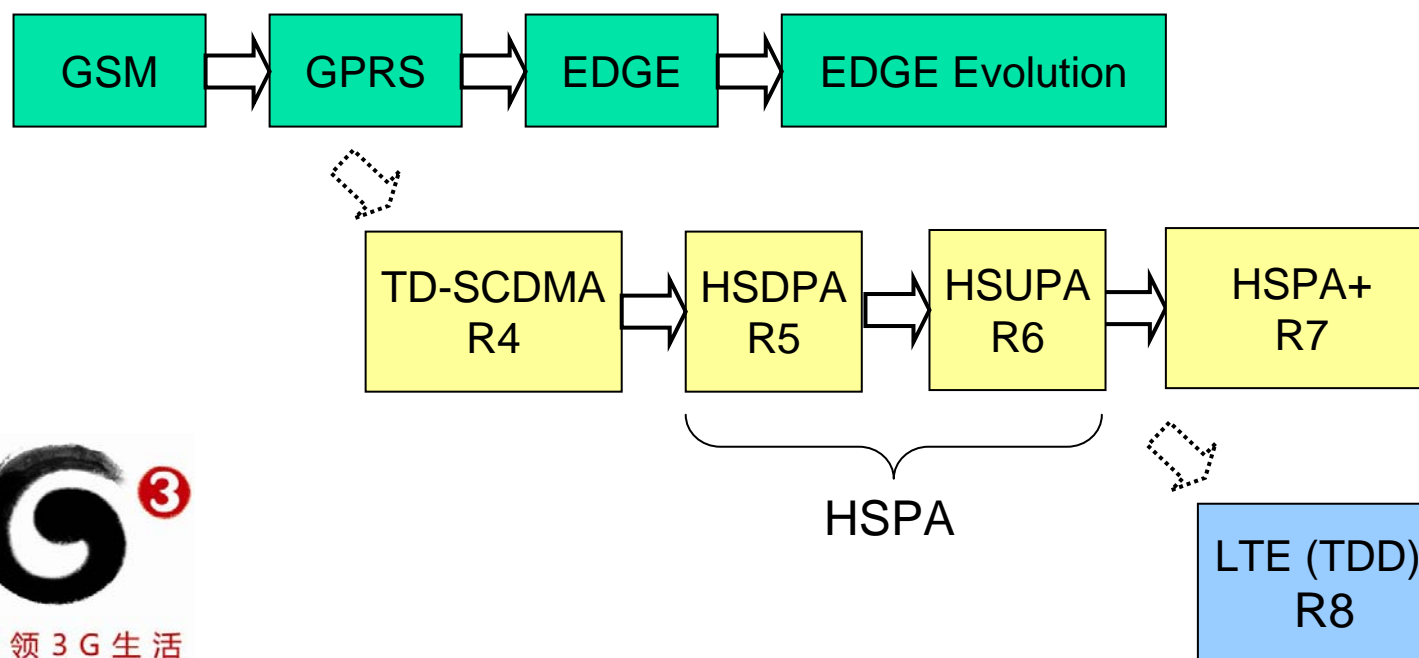
# IMT-2000无线传输技术(RTT)分类

CDMA	FDD DS	<b>WCDMA</b> (UTRA FDD)	<b>3GPP</b>
	FDD MC	<b>CDMA2000</b>	3GPP2
	TDD	TD-CDMA (UTRA TDD)	<b>3GPP</b>
		<b>TD-SCDMA</b>	CWTS <b>CCSA</b>
TDMA	UWC-136、EP-DECT		TIA、 ETSI

- **WiMAX(IEEE 802.16e)** 也成为ITU的**3G**标准之一

# 第三代移动通信系统IMT2000的演进

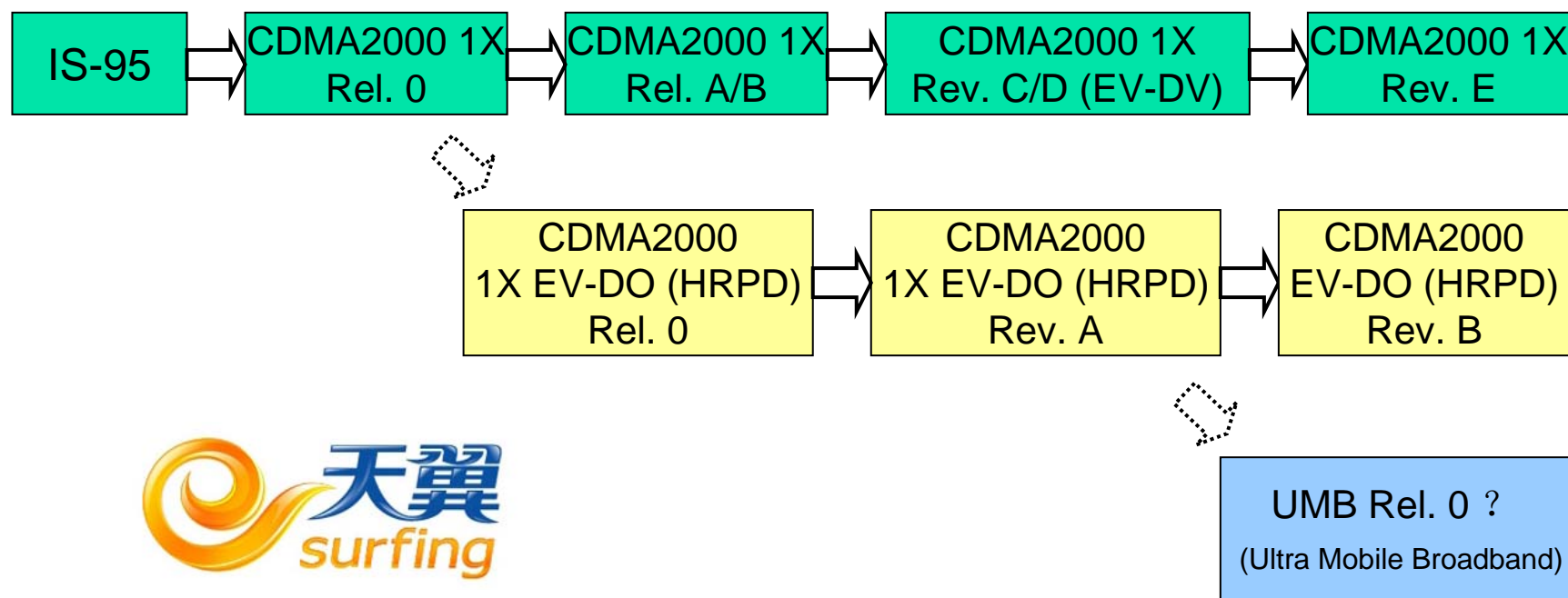
## ■ UMTS – TD-SCDMA



引领 3 G 生活

# 第三代移动通信系统IMT2000的演进

## ■ CDMA2000

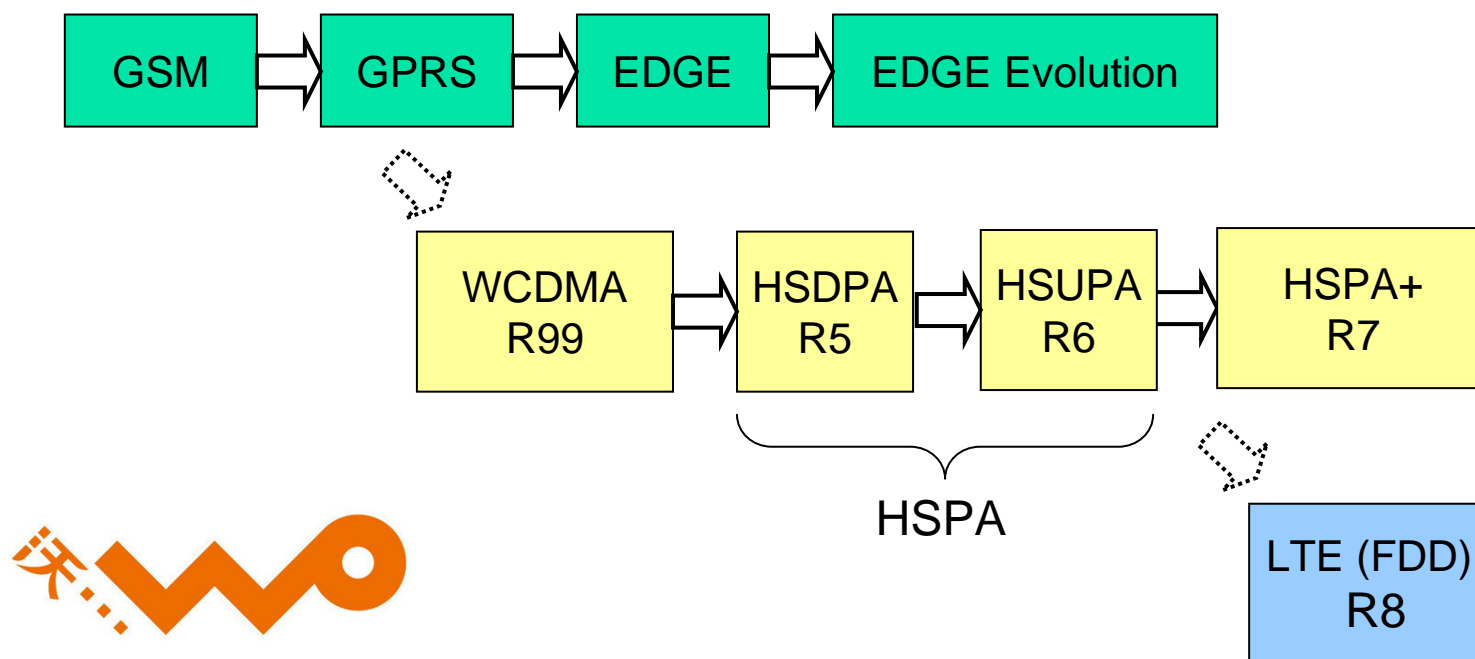


LTE



# 第三代移动通信系统IMT2000的演进

## ■ UMTS – WCDMA



# TD-SCDMA

- 时分复用、时分双工，软件无线电、智能天线、同步**CDMA**技术
  - 7个时隙，可对称配置上、下行信道各3个时隙
  - 每个时隙**16**个地址码
  - 可变的双工信道速率
  - 采用**16QAM**和非对称传输支持**2Mb/s**速率
- 语音传输：**8kb/s**
- 扩频码片速率：**1.28Mc/s**
- 信道编码：语音为**3/4**卷积码

# CDMA2000

- 以IS-95为基础
  - 相同的码片速率、软切换技术、反向功率控制技术
- 技术改进
  - 反向信道连续导频和相干解调
  - 多载波方式提高传输速率
- 基本参数
  - 码片速率:  $1.2288/3.686 \text{ Mc/s}$ ,
  - 波道间隔:  $N \times 1.25/5 \text{ MHz}$
  - 闭环功率控制速率:  $800\text{b/s}$
  - 编码方式: 卷积码  $R=1/4, 1/3, 1/2$ ,  $k=9$ 和Turbo Code



# WCDMA

---

## ■ 特点

- 宽带技术，最小带宽5MHz
- BTS间不需要同步和GPS
- 上、下行信道相干解调

## ■ 基本参数

- 码片速率：3.84Mc/s
- 波道间隔：5MHz
- 功率控制速率：1500b/s
- 编码方式：卷积码  $R=1/3, 1/2$ ,  $k=9$ 和Turbo Code



# B3G: WCDMA/TD-SCDMA的HSPA

---

- AMC (自适应调制编码)
- HARQ
  - Type I
  - Type II(IR,冗余不同)
  - Type III(IR,冗余可自解码)
- FCS (快速小区选择)
- MIMO
- 多载波



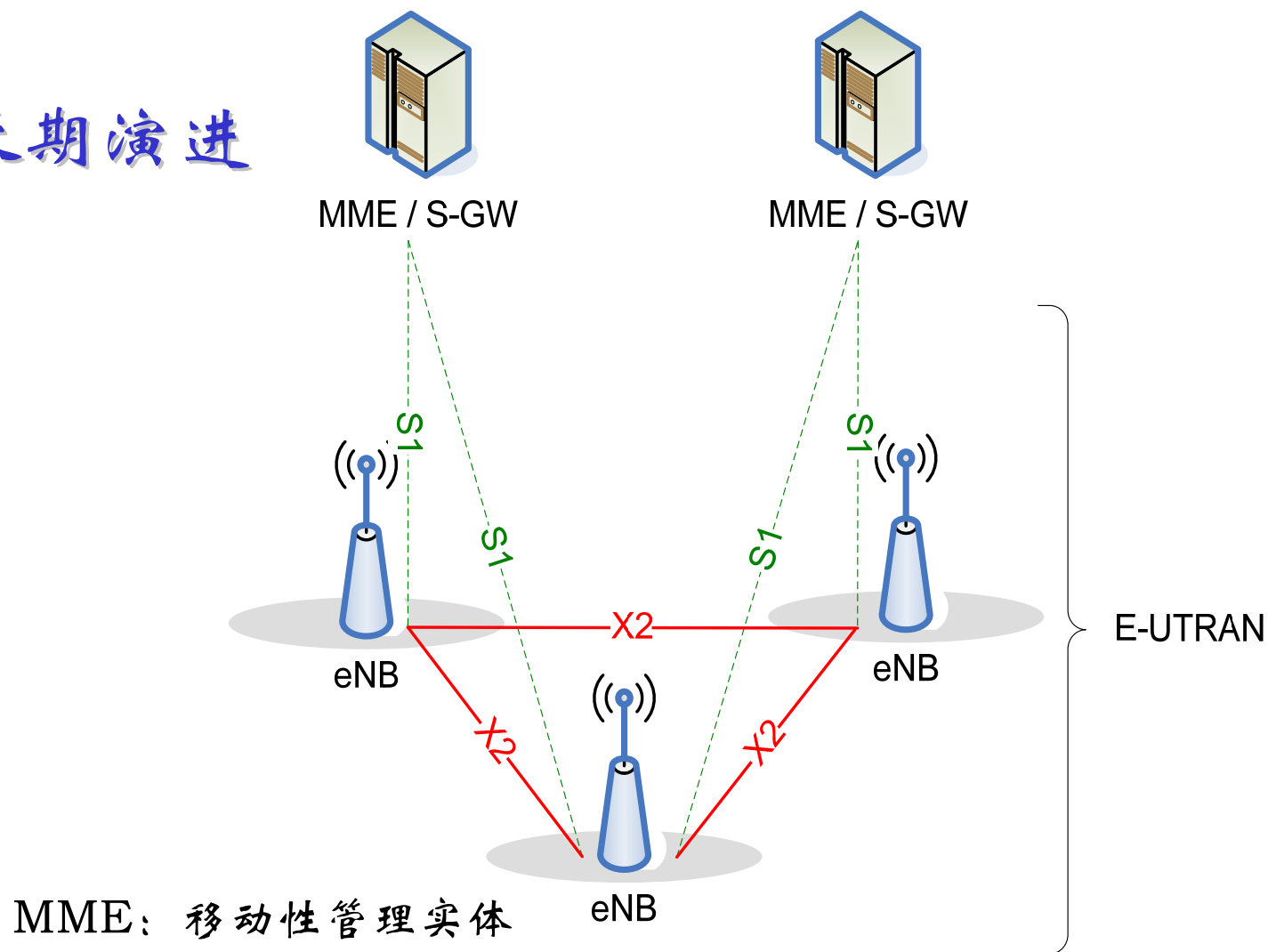
# B3G: CDMA2000 1X EV-DO及演进

---

- 下行满功率
- 动态速率控制
- AMC
- HARQ
- 多用户分集和调度
  - 吞吐量(效率)
  - 公平度
- 多载波Nx EV-DO

# LTE整体网络架构(3.9G?)

LTE: 长期演进



# LTE关键技术\*

- 多址
  - DL, OFDMA
  - UL, SC-FDMA
- 多天线
  - DL, 至少 $2 \times 2$ , SDM, 波束赋形, 开环发射分集
  - UL,  $1 \times 2$ , 虚拟MIMO
- 链路自适应
  - AMC, 带宽, 发射功率
- 宏分集 (下行广播)
- MBMS (多媒体广播多播服务), SFN





# LTE关键技术\*

---

- 功率控制
  - 上行部分补偿路损
- 同步
- 小区间干扰抑制
  - 干扰随机化
  - 干扰消除
  - 干扰协调（软频率复用）

# LTE-Advanced关键技术\* (4G)

- 载波聚合
- 增强多天线
  - DL:8\*8, UL:4\*4
- CoMP
  - 分布式天线系统 (集中处理)
  - 协作MIMO
- 中继
  - AF
  - DF



## 小节

---

### ■ 10.4 陆地移动通信系统

---

- 概况
- 蜂窝的概念
- 系统模型
- 无线资源管理
- 移动性管理
- 安全性管理
- **GSM/CDMA**
- 第三代移动通信系统
- 第三代移动通信系统长期演进及发展



## 第十章 无线通信技术

---

### ■ 10.5 无线移动通信新技术\*

- 无线协同通信
- 无线网络编码
- 认知无线电
- 同频全双工\*\*



## 第十章 无线通信技术

---

### ■ 10.6 数字微波通信

---

- 概述
- 在整个通信网中的位置
- 数字微波线路
- 波道及其射频配置



From google

# 微波通信概述

## ■ 微波通信的发展

### ■ 19世纪30年代—20世纪60年代

- 模拟微波通信，主要采用模拟调频

### ■ 20世纪60年代—90年代初

- 数字微波通信：数字交换技术的出现、数字信号处理技术发展、大规模集成电路发展、调制解调技术
- 更好的长途传输质量、高频谱利用率、高容量



# 微波通信概述

- 微波通信的发展
  - 20世纪90年代—
    - 光纤、卫星通信的冲击
  - 数字微波通信的新趋势
    - 基于SDH的数字微波通信系统
    - 更高的容量（512QAM、1024QAM）
    - 无线接入网（LMDS）、临时通信、应急通信



# 微波通信基本概念

## ■ 微波

- 频率在300MHz—300GHz的电磁波(波长1m到1mm)

## ■ 微波的传播特性

- 似光性

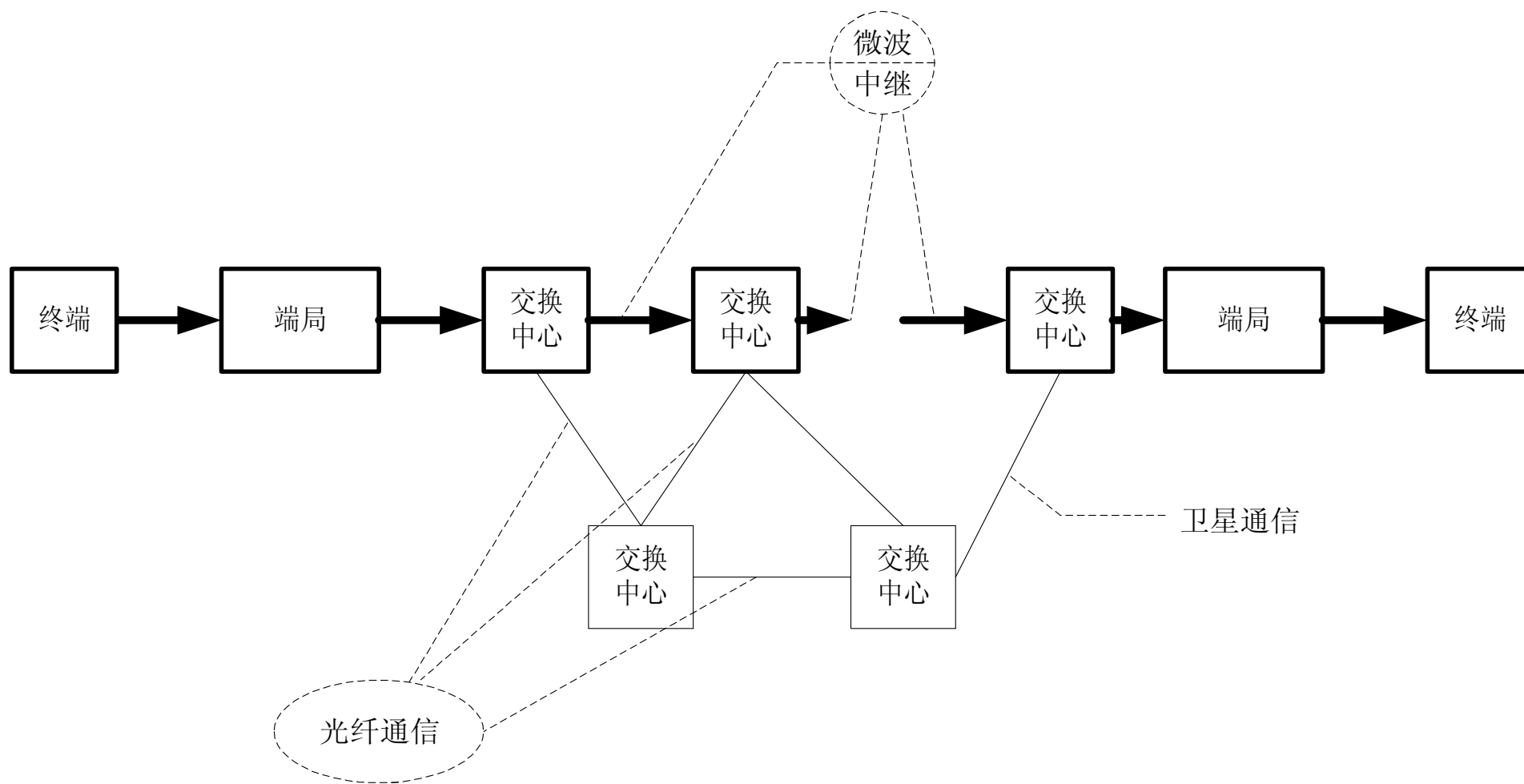
- 直线传播

- 极化特性

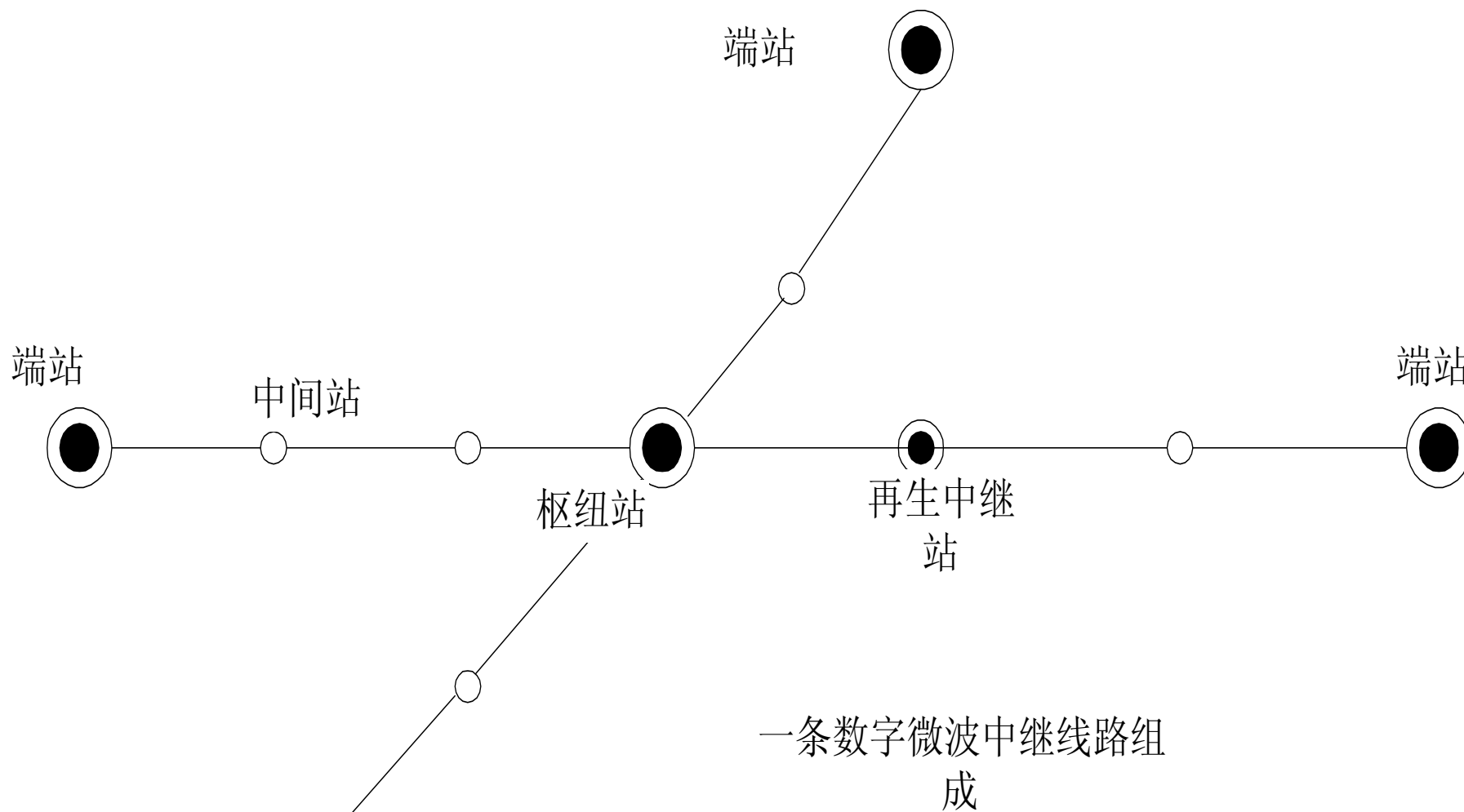
- 线极化（水平极化、垂直极化）

- 圆（椭圆）极化（左旋、右旋）

# 在整个通信网中的位置

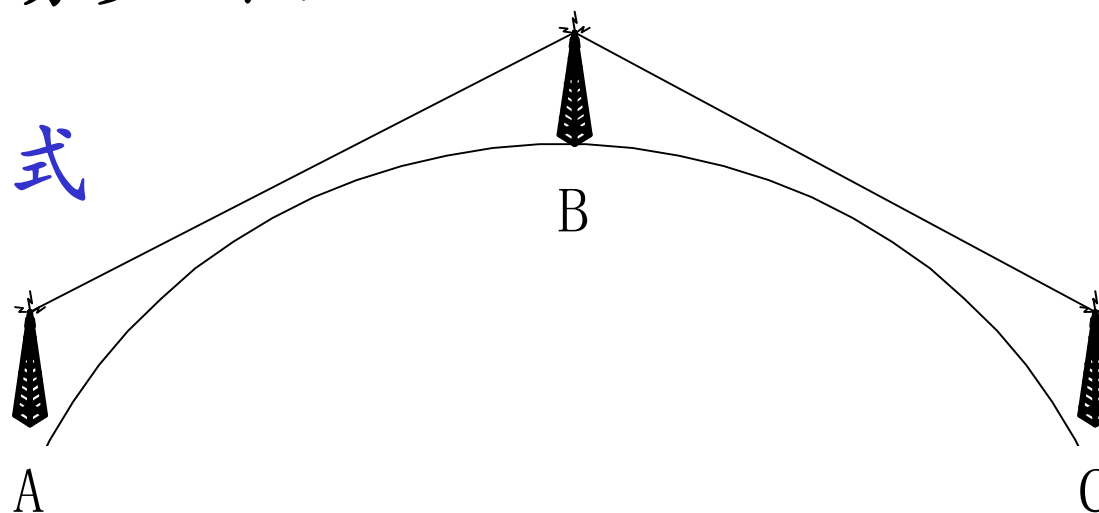


# 数字微波中继线路组成示意



# 数字微波中继

- 中继通信
  - 信号经过长距离传输的恶化
    - 接收、再生、转发
  - 一条通信线路服务多地点
    - 上下话路
- 三种中继通信方式
  - 直接中继
  - 外差中继
  - 基带再生中继



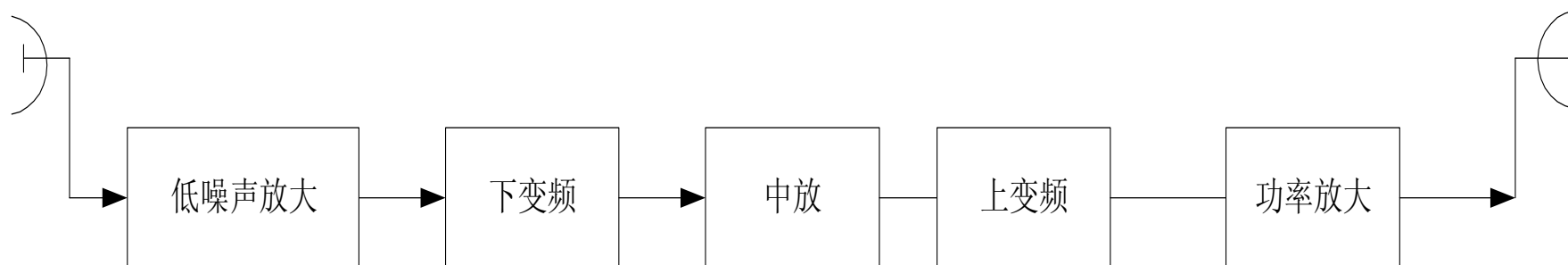
微波中继接力方式示意图

# 直接中继



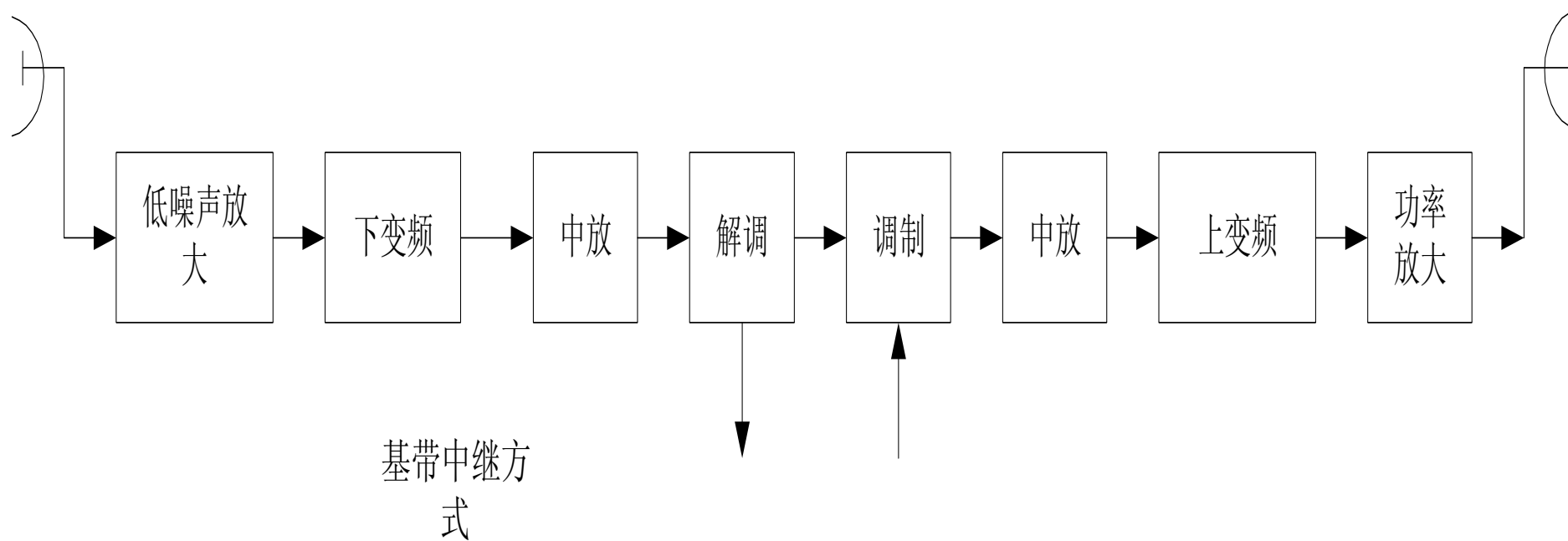
直接中继方  
式

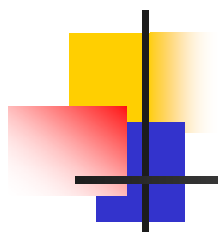
# 外差中继



外差中继方  
式

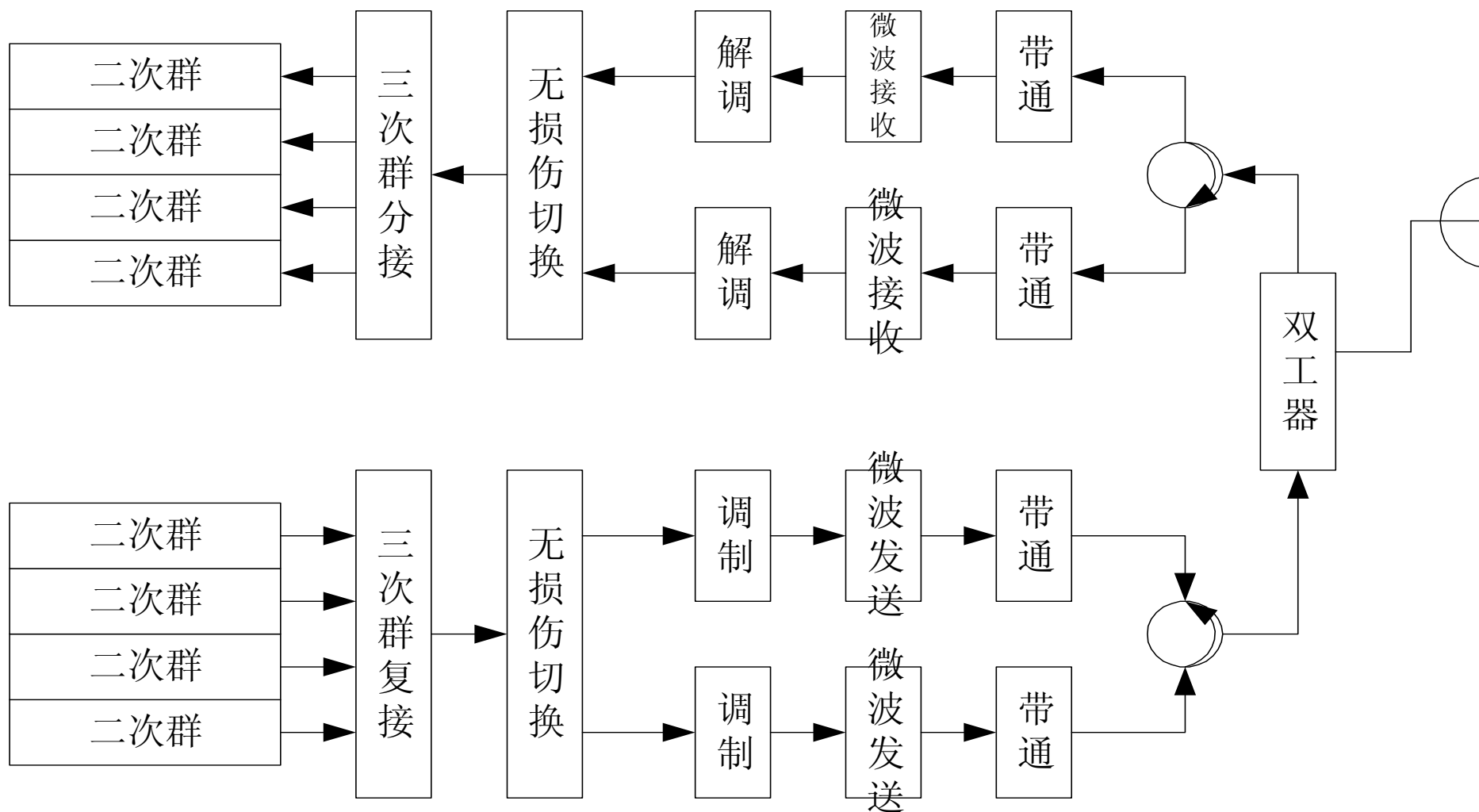
# 基带中继





# 实例

## ■ 一个典型的数字微波通信系统的端站设备





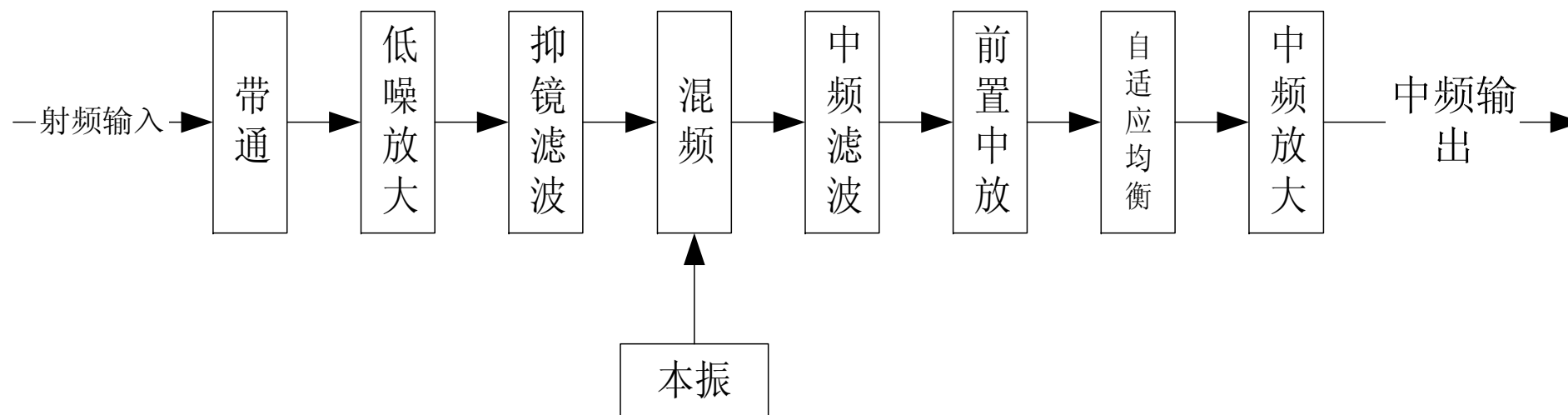


## 部分设备

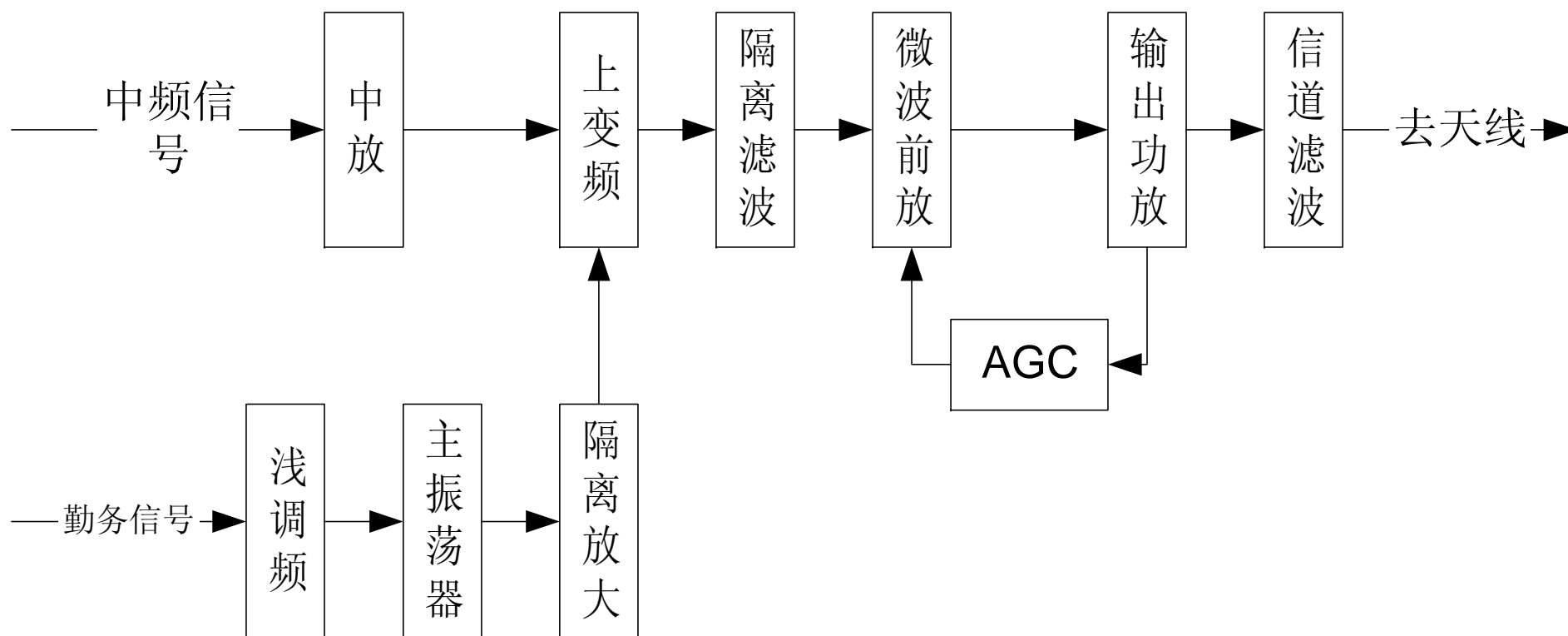
---

- 双工器：将发送和接收的信号分隔开
  - 即从公用天线接收到的信号经过双工器后进入接收设备而不通向发送设备
  - 发送信号经过双工器后直接经过天线发射出去而不通向接收设备
  
- 波道滤波器
  - 分隔各个波道的信号
  - 避免造成波道间干扰

# 微波收信机



# 微波发信机



## 调制解调设备

- 将数字基带信号调制到中频，将中频信号解调为数字基带信号
- 调制方式多为高阶调制（如**DQPSK**、**16QAM**、**256QAM**、**9QPR**等）
- 与数字基带的接口可以为：**AMI**码、**HDB3**码、**CMI**码

# 微波通信的监控和勤务\*

## ■ 监控系统

- 对本地站通信状况进行实时监测和控制，一旦发现通信中断，将恶化波道的信号切换到备用波道
- 监控环境、电源等
- 对远方站的监视和控制

## ■ 勤务

- 用来为线路中各微波站上的维护人员传递业务联络电话，以及为监控系统提供监控数据传输通道
- 三种勤务实现方式：
  - 配置独立的勤务传输波道
  - 在主通道的信息流中插入一定的勤务比特
  - 对主信道的载波进行附加调制来传送勤务信号（如载波用浅调频方式来传输站间话务）

# 无损切换

- 无损切换的两个要求：
  - 切换前主备用波道间的时变时延和残留固定时延能快速均衡，保证主备用码流对齐
  - 即使在快衰落下，全部切换过程必须在门限误码率到来之前完成
- 两路之间切换时，结果就像一路一样
- 要点
  - 时刻调整各路时延，使其一致
    - 经历的信道不一样，所以时延有可能不一样
  - 及时预测各路误码率，以便提前切换到
    - 伪误码技术

# 波道及射频频率配置

## ■ 波道

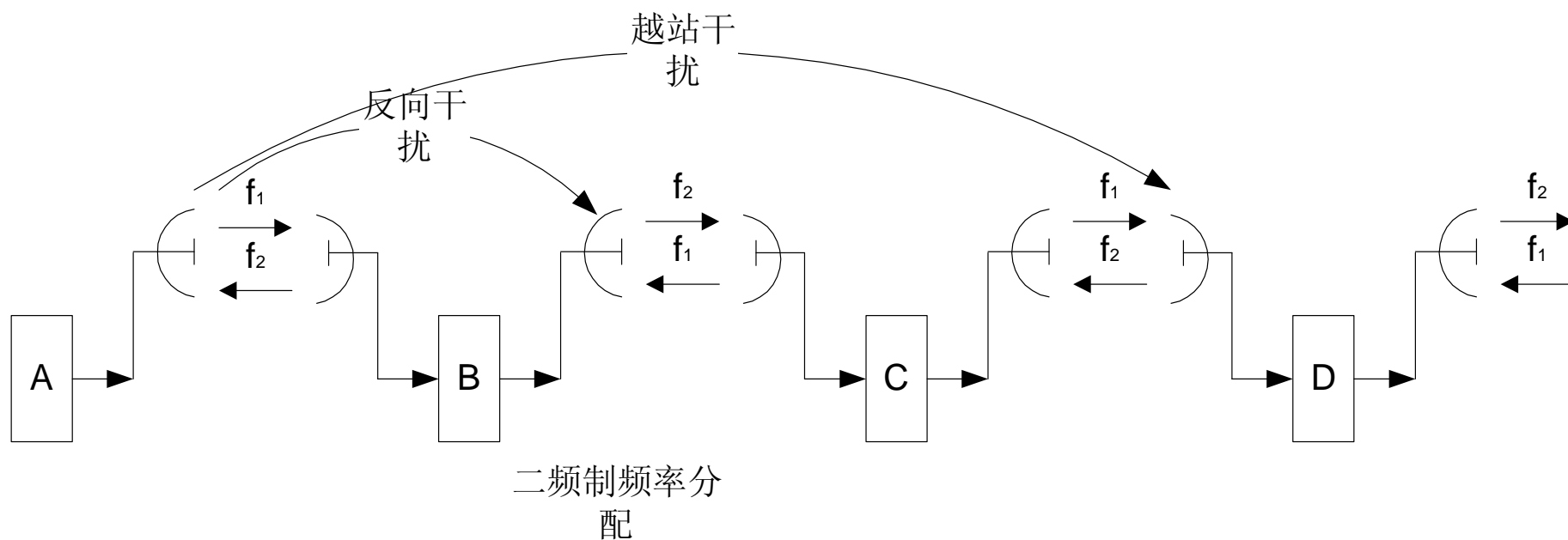
- 微波线路的可用带宽划分成若干频率小段，并在每一个频率小段上设置一套微波收发信机，构成一条微波通信的传输通道

## ■ 波道频率配置

- 一条微波线路上允许有多套微波收发信机同时工作，这就必须对各波道的微波频率进行分配
- 频率的分配应尽可能做到：
  - 在给定的可用频率范围内尽可能多安排波道数量
  - 尽可能减少各波道间的干扰
  - 尽可能地有利于通信设备的标准化、系列化

# 单波道频率配置

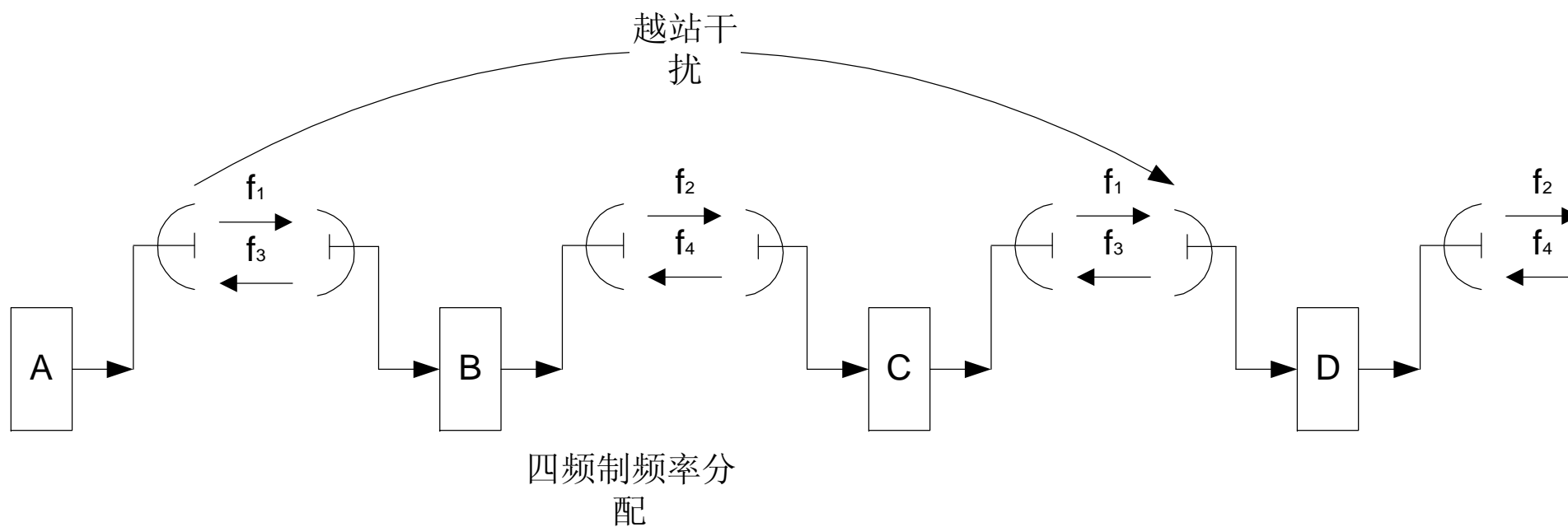
## ■ 二频制



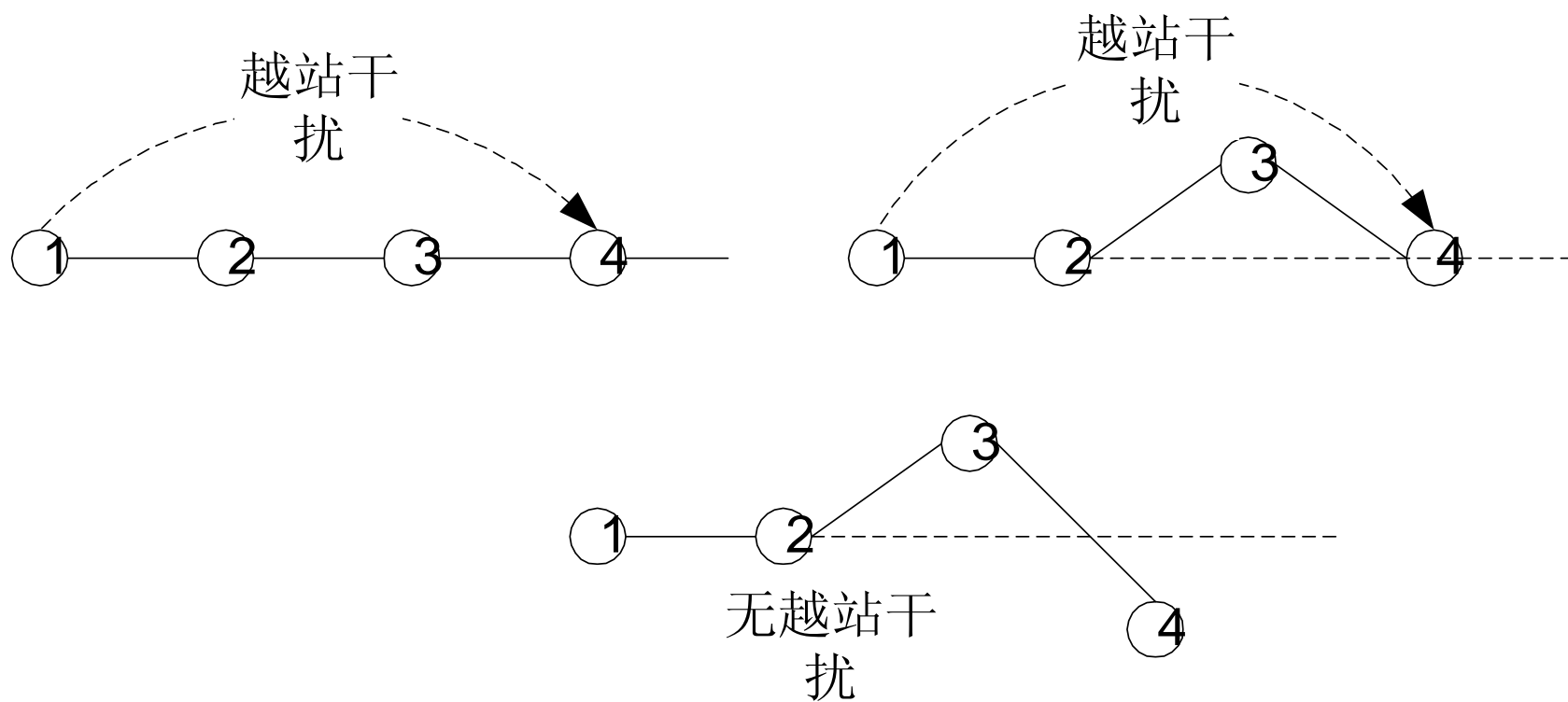


# 单波道频率配置

## ■ 四频制



# 有效减小越站干扰

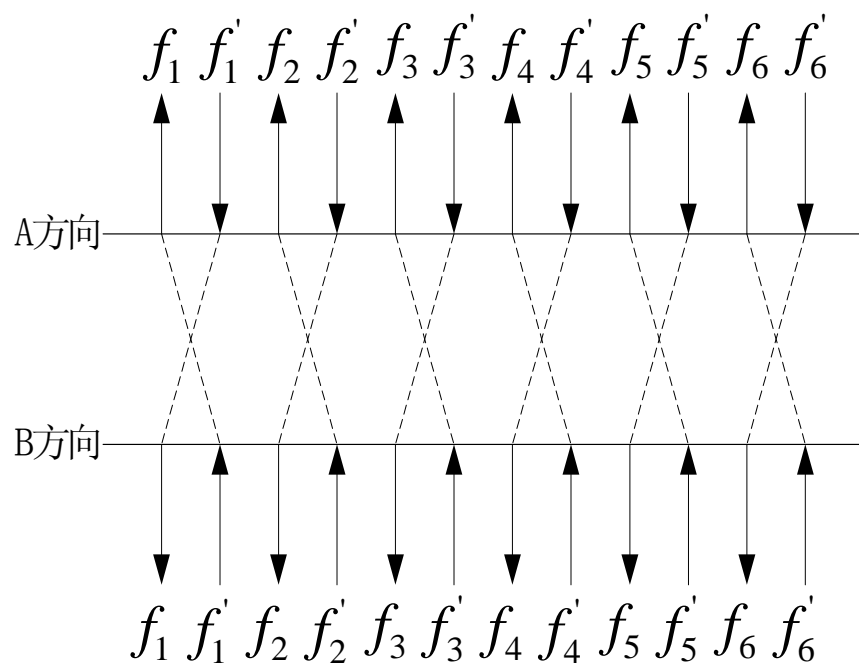


## 二频制 vs. 四频制

- 四频制：多用一倍频率；但二频制有反向干扰的问题
- 天线前后隔离度：好的在40dB上下
- 二频制下，若前向发生衰落，后向没有发生衰落，则发生后向对前向的干扰
  - 因为频率相同

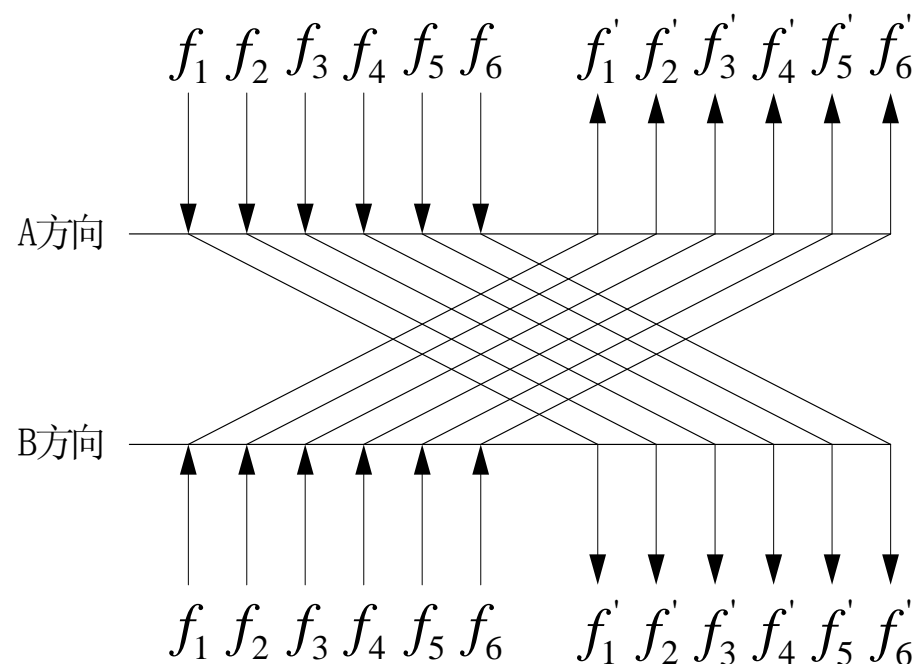
# 多波道频率配置

## ■ 收发频率相间排列



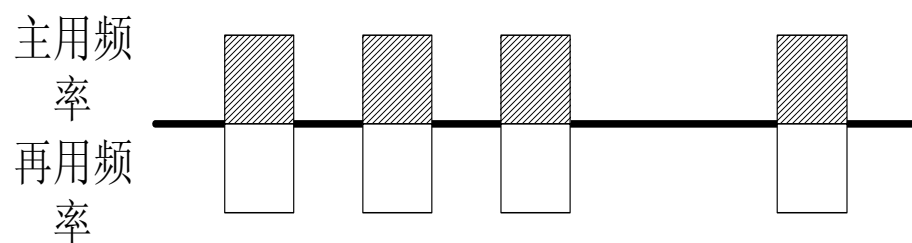
图a、收发频率相间方案

## 收发频率集中排列



图b、收发频率集中方案

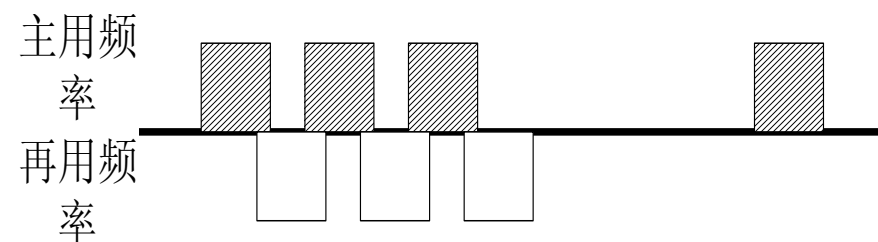
# 射频波道的频率再用



水平极  
化

垂直极  
化

图a、同波道型频率再用



图b、插入波道型频率再用

# 微波通信中的备份与切换

## ■ 备份

- 设备备份
- 波道备份：1:1备份、n:1备份

## ■ 切换

- 人工切换
- 自动切换



## 小节

---

### ■ 10.6 数字微波通信

---

- 概述
- 在整个通信网中的位置
- 数字微波线路
- 波道及其射频配置



## 第十章 无线通信技术

---

### ■ 10.7 卫星通信系统

---

- 概述
- 卫星通信使用的频率
- 卫星通信基础
- 同步卫星通信系统
- 移动卫星通信系统



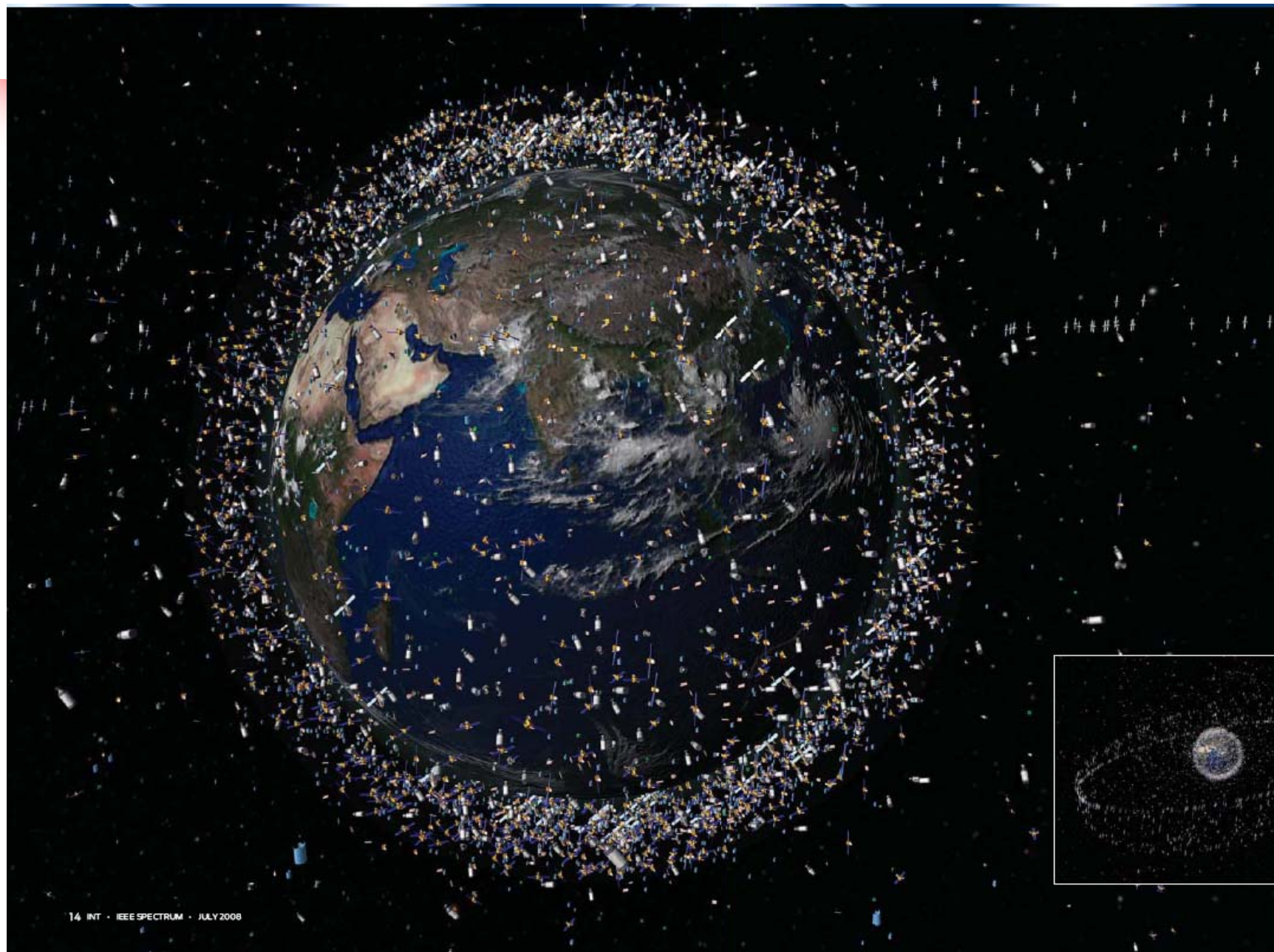
# 什么是卫星通信

- 利用人造卫星构建的通信系统
- 技术相当于中继站（广播电台/基站）升到天空的微波（广播/移动）通信
- 卫星通信可以是
  - 电信网中的传输链路
    - 地位相当于地面接力微波通信、光缆
  - 独立的通信网络
    - 例如：卫星电视广播、卫星移动通信系统、VSAT系统等
    - 可能与公网连接或者不连接









## the big picture

### SNOW GLOBE

Instead of floating inside an orb, these flakes, some of the solar system's newest ornaments, dance around it. The dusting comprises active satellites and tons of thousands of space scraps—including wrenches left behind after extraterrestrial home-repair projects, bits of long-abandoned satellites, and actual trash bags stuffed with the detritus of manned space flight. The number of pieces of junk in this orbiting garbage dump, which circles Earth at speeds up to 7800 meters per second, is multiplying. When the particles collide, they break into smaller pieces that some believe could eventually make it too risky to put satellites into orbit or even to explore outer space.

IMAGES BY EUROPEAN SPACE AGENCY



14 INT • IEEE SPECTRUM • JULY 2008



# 与微波通信的不同之处

---

## ■ 距离长

### ■ 坏处

- 衰减大
- 时延长
- 技术复杂

### ■ 好处

- 可快速建立通信系统，成本与地面距离无关
- 便于广播
- 便于移动，不受地理条件限制
- 便于多址通信



## 与微波通信的不同之处

- 卫星可能在动

- 坏处

- 多普勒
    - 天线跟踪
    - 卫星会转到坏的方向

- 好处

- 卫星会转到好的方向
    - 存储转发模式下，单星可覆盖全球



# 卫星通信的特点

- 通信距离远，通信成本与（地面）距离无关
- 以广播方式，易于实现多址通信
- 通信容量（相对）大，业务种类多
- 需要先进的空间电子技术
- 需要解决信号时延大的影响
- 需要解决卫星姿态控制问题
- 其他
  - 干扰
  - 星蚀



# 星蚀与日凌\*

---

- 星蚀

- 地球挡住了太阳

- 太阳能电池

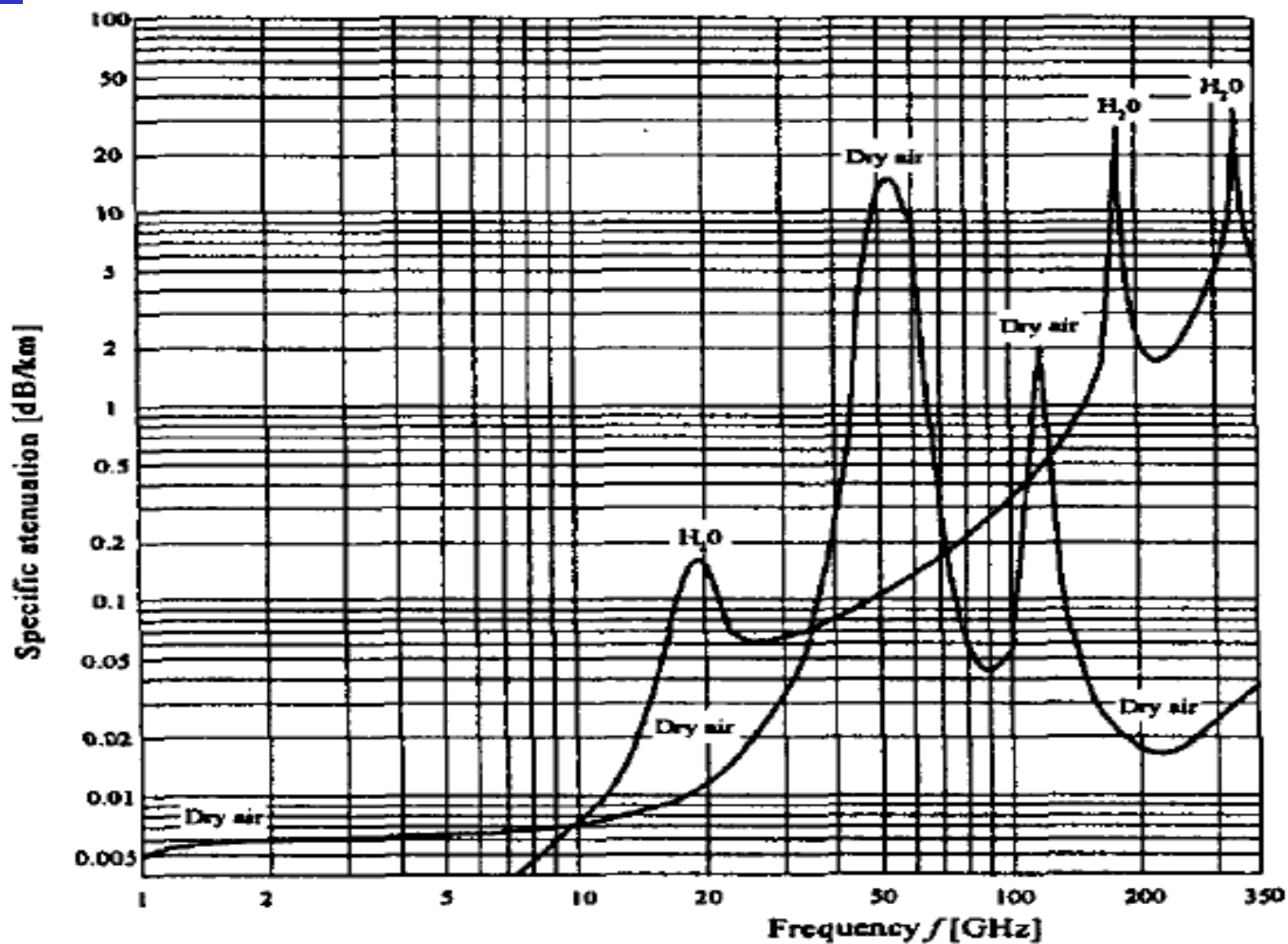
- 日凌

- 地球站、星、日成一条线，地球站直指太阳

- 太阳辐射



# 卫星通信使用的频率



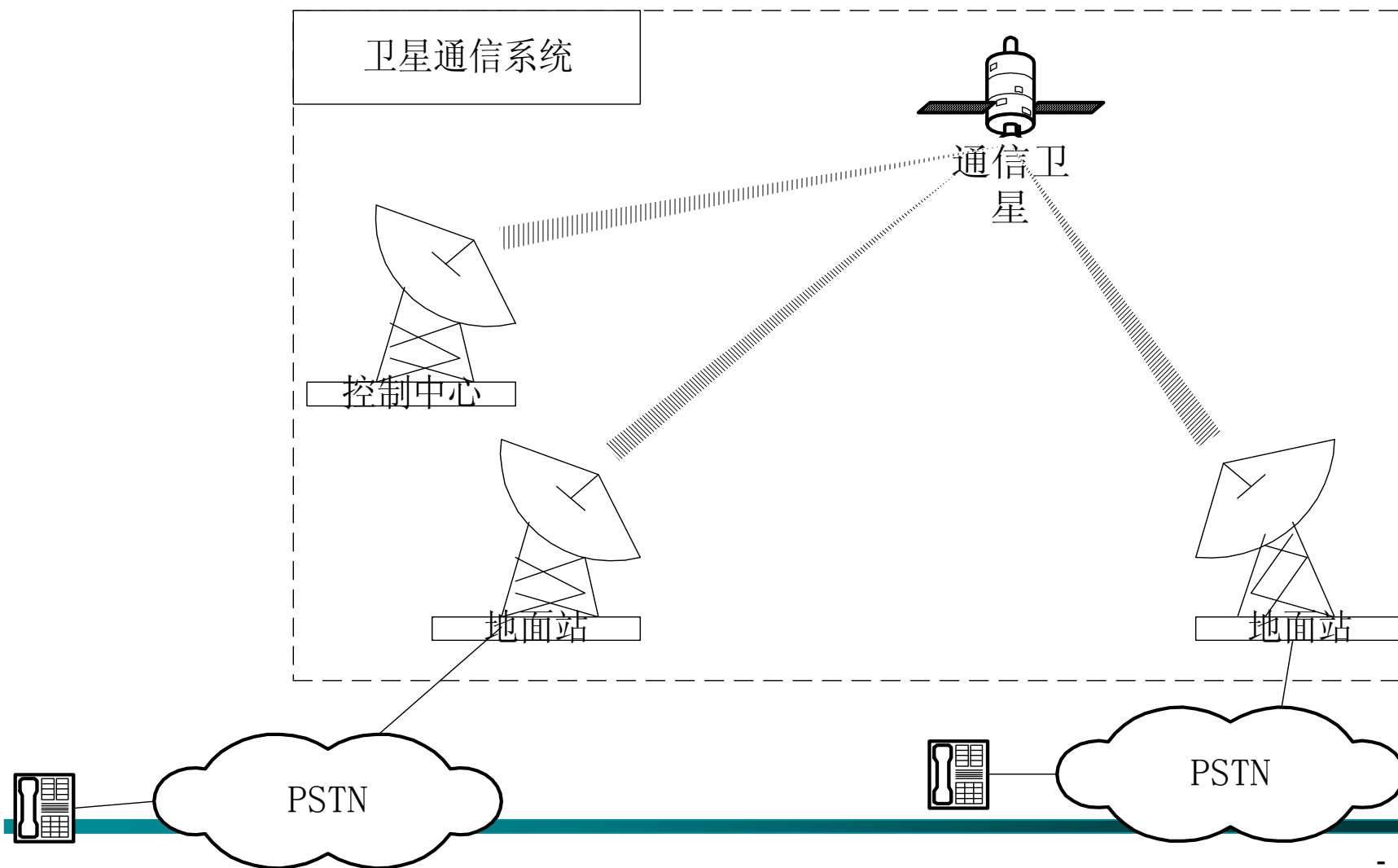


## 频率：无线电窗口

---

- **0.3~10G 最理想**
  - 此频段已分配地面微波
  - 卫星也用，需注意干扰
  
- **10G 以上**
  - 降雨的影响不可忽视
  - 天线可以小一些

# 卫星通信系统组成





# 卫星通信系统组成

---

- 控制与管理系统
- 星上系统
- 地球站



# 卫星通信多址技术

---

- **FDMA**

- 单址载波
- 多址载波
- 单路单载波

- **TDMA**

- **CDMA**

- **SDMA**

- 随机多址\*

# 多址连接:FDMA

- 单址载波
  - Single Destination Carrier
- 多址载波
  - Multiple Destination Carrier
  - 例如北京上星、上海下，然后分路到上海、南京、杭州，从而借助卫星实现了北京分别到上海、南京、杭州的通信
- 制式
  - 模拟: FDM/FM/FDMA
  - 数字: TDM/QPSK/FDMA

# 多址连接: FDMA

- 单路单载波: SCPC
  - Single Circuit Per Carrier
  - 每载波一路话音或数据
    - 灵活, 适用于站址多、各站业务量小的情况
    - 交调干扰严重, 难以大容量工作
- FDMA的缺点
  - 保护带宽
  - 交调
- FDMA的优点
  - 简单
  - 载波的自主性:
    - 无需像TDMA那样需要同其它用户协调



## 多址连接: TDMA

---

- 无交调
- 无需保护带宽
- 无需双工器
- 需要中心控制站以协调全网同步
- 同步的捕获与跟踪
  - 星地时延可能远大于时隙
- 突发方式
- 制式: TDM/QPSK/TDMA



# 多址连接：CDMA

- 依靠正交（或准正交）伪随机序列区分通信方向
  - 多用户共享时间和频率资源
- 下行降低对数字微波的干扰\*
  - 小站往往在城市中，城市中微波频率也用于地面微波系统。扩频使卫星信号的功率谱密度降低
- 上行降低对邻星的干扰\*
  - 小站指向性差



## 多址连接: SDMA

---

- 通过天线的指向性来区别不同的地球站
- 多点波束卫星
- 星上波束切换

## 卫星通信系统的业务\*

- 固定业务 (FSS)
  - 为固定点提供双向通信
    - 话音、数据
- 广播业务 (BSS)
  - 点到面的单向传输
    - 电视广播、音频广播、IP广播
- 移动业务 (MSS)
  - 为移动终端提供通信业务
    - 移动到移动、移动到固定



## 卫星轨道\*

---

- 轨道不同将导致技术的差别
  - **GEO (Geostationary Earth Orbit) :**  
地球同步卫星
  - **HEO (Highly Elliptical Orbit) :**  
高轨卫星
  - **MEO (Medium Earth Orbit) :**  
中轨卫星
  - **LEO (Low Earth Orbit) :**  
低轨卫星
-



## 卫星轨道\*

---

### ■ GEO

- 衰减大，覆盖全球需要的星少，发射成本高

### ■ HEO

- 高倾斜轨道覆盖特定地域

### ■ LEO

- 衰减小，需要的星多

### ■ MEO

- 兼有高低轨的优缺点



## 卫星轨道\*

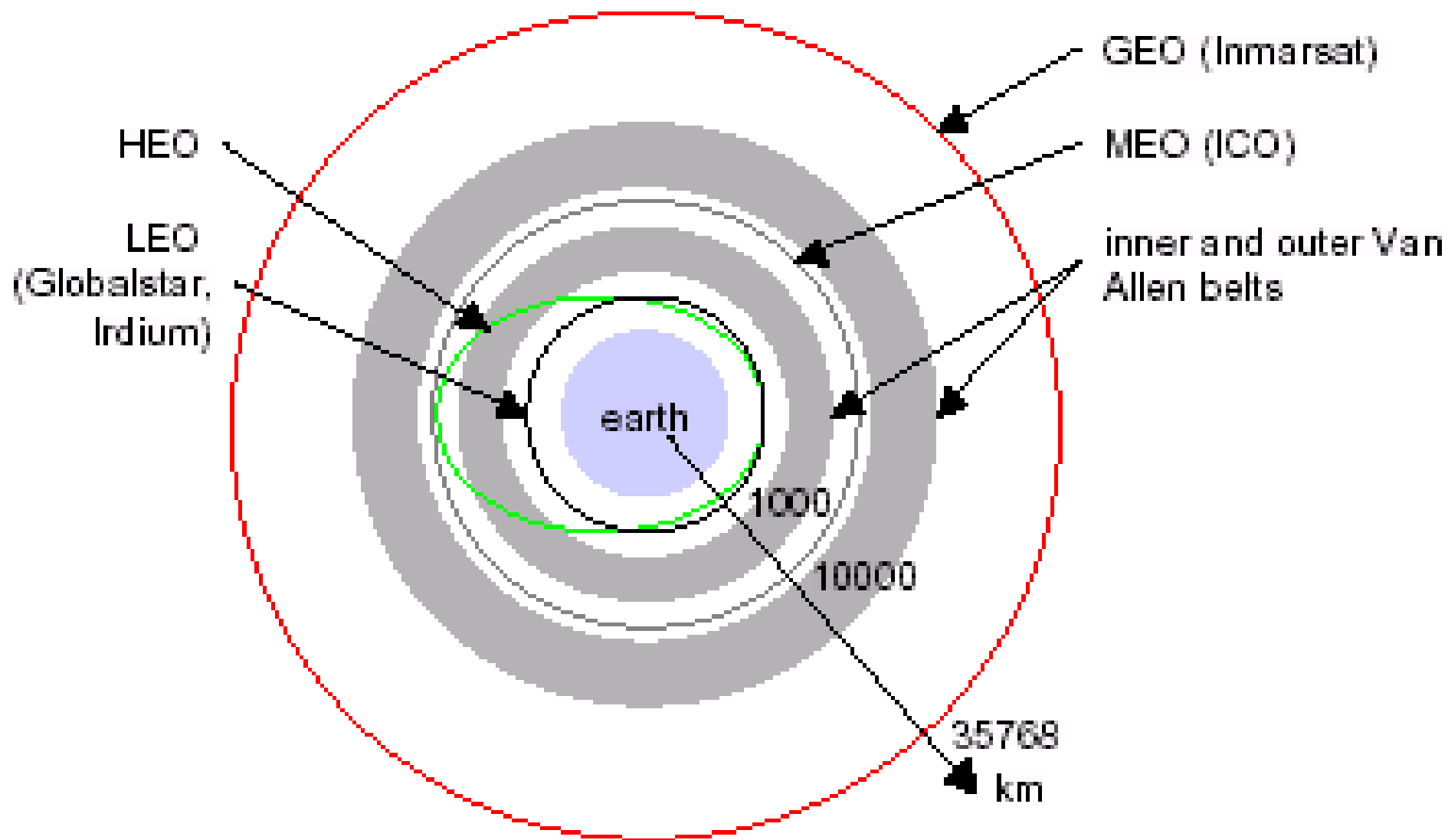
---

- 圆轨道、椭圆轨道
- 赤道轨道、倾斜轨道、极轨卫星
- 高轨道
  - 覆盖好、通信时间长，但距离长
- 低轨道
  - 覆盖小、通信时间短，但距离近

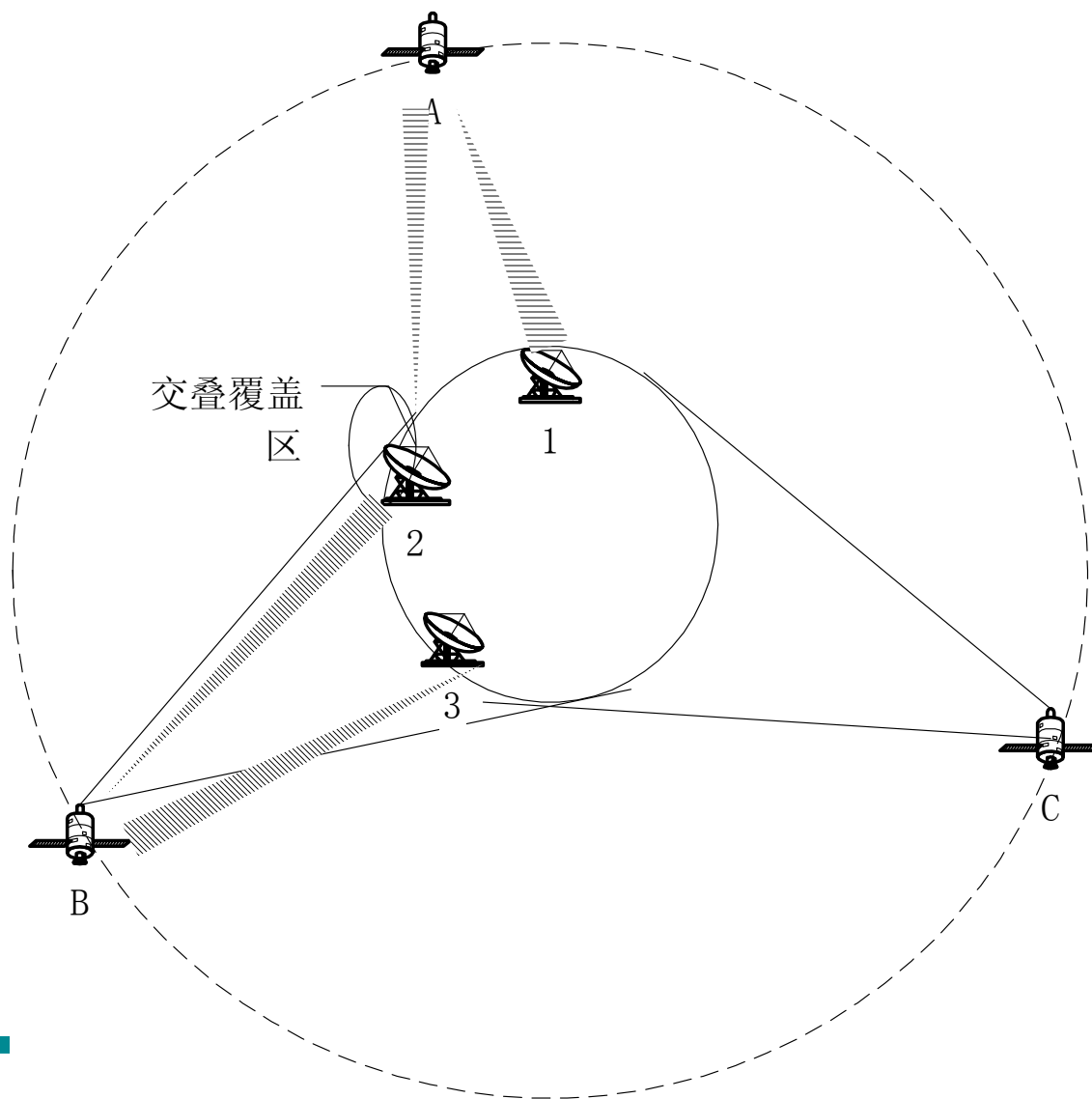


# 卫星轨道\*

无线通信



# 同步卫星通信系统

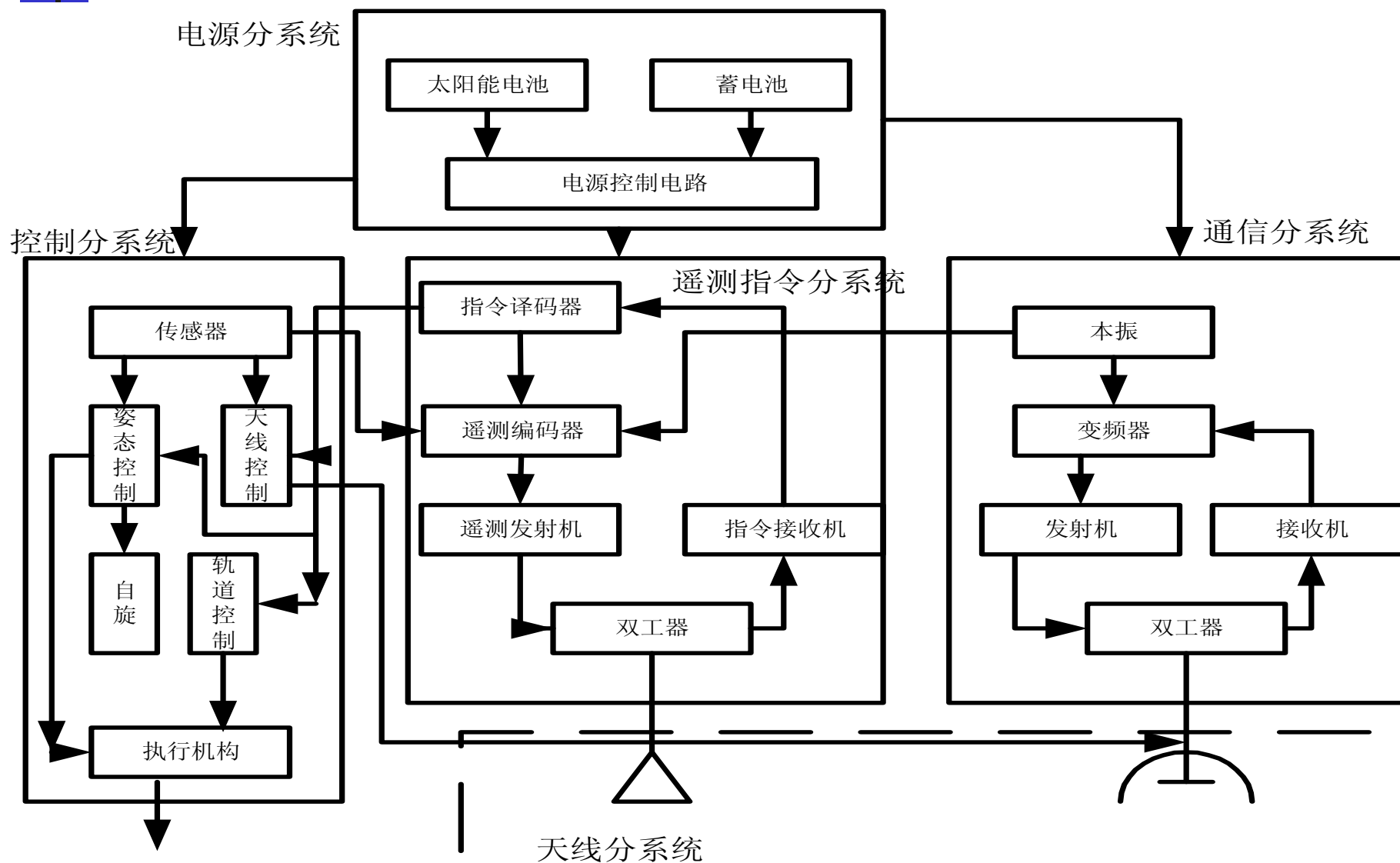




# 同步卫星通信系统

- 三颗星基本覆盖全球
- 不能覆盖极地
- 多数卫星通信系统用**GEO**
  - 例如：
    - 干线传输（电信）
    - **VSAT**（企业）
    - 电视直播
    - 某些移动系统

# 同步卫星系统





# 同步卫星通信系统

---

- 卫星天线分系统
- 卫星通信分系统
- 卫星电源分系统
- 跟踪遥测指令分系统
- 控制分系统



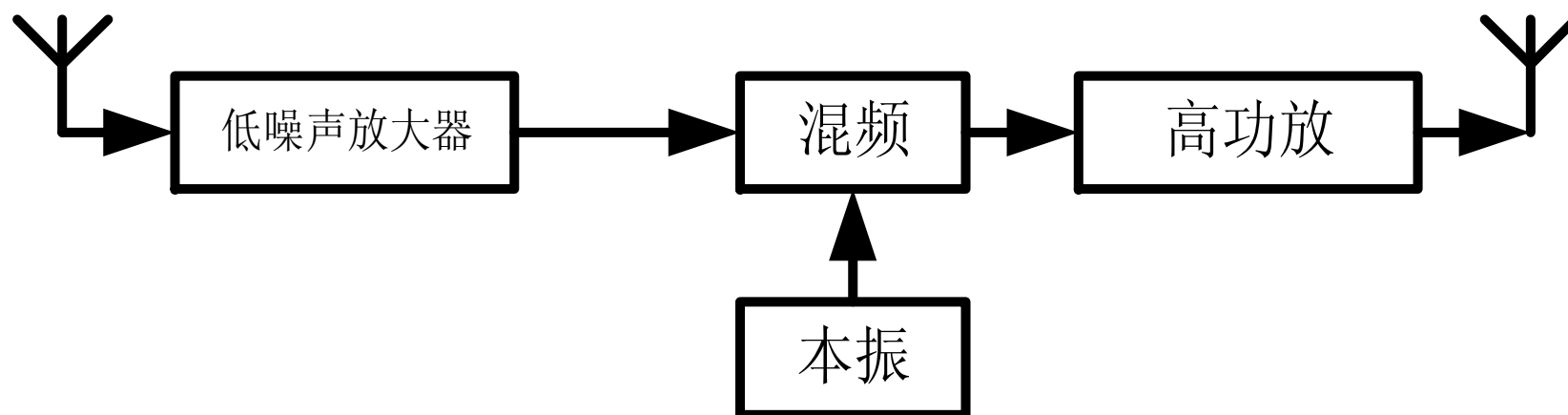
## 若干术语

---

- 转发器：transponder
  - 相当于 数字微波之中继站
  - 转发器一般为射频转接
- 星上处理
  - 使转发器有后处理功能
    - 再生式转发
    - 星上交换

# 卫星通信分系统

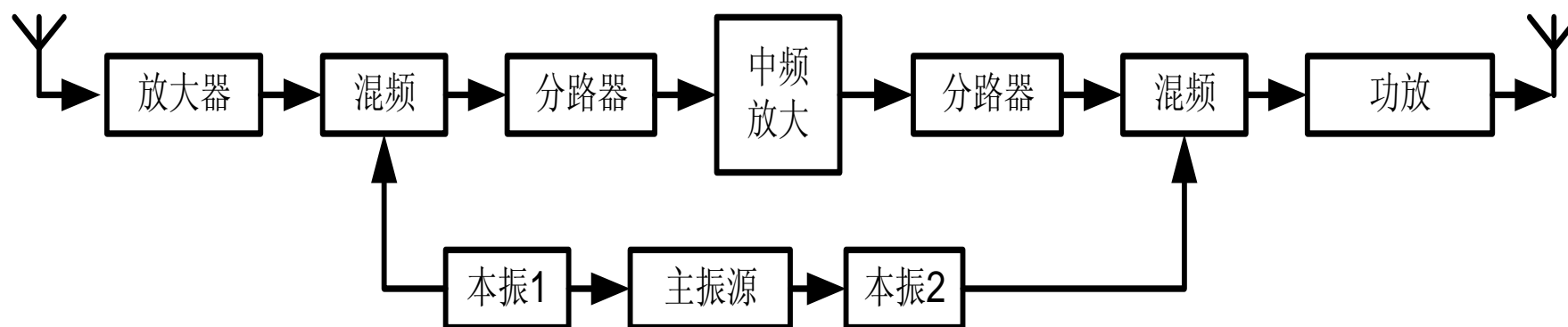
## ■ 单变频转发器



联系：微波中的直接中继方式

# 卫星通信分系统

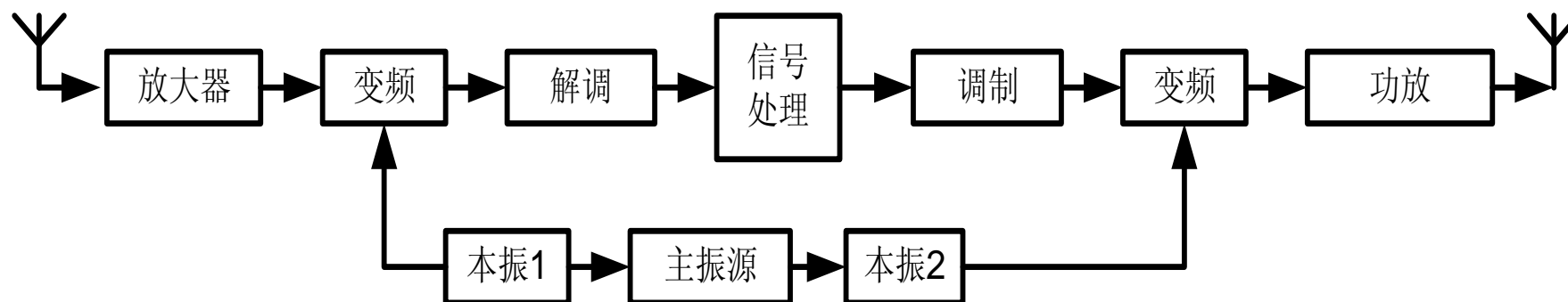
## ■ 双变频转发器



联系：微波中的外差中继方式

# 卫星通信分系统

## ■ 星上处理转发器



联系：微波中的基带中继方式？



# 移动卫星通信系统

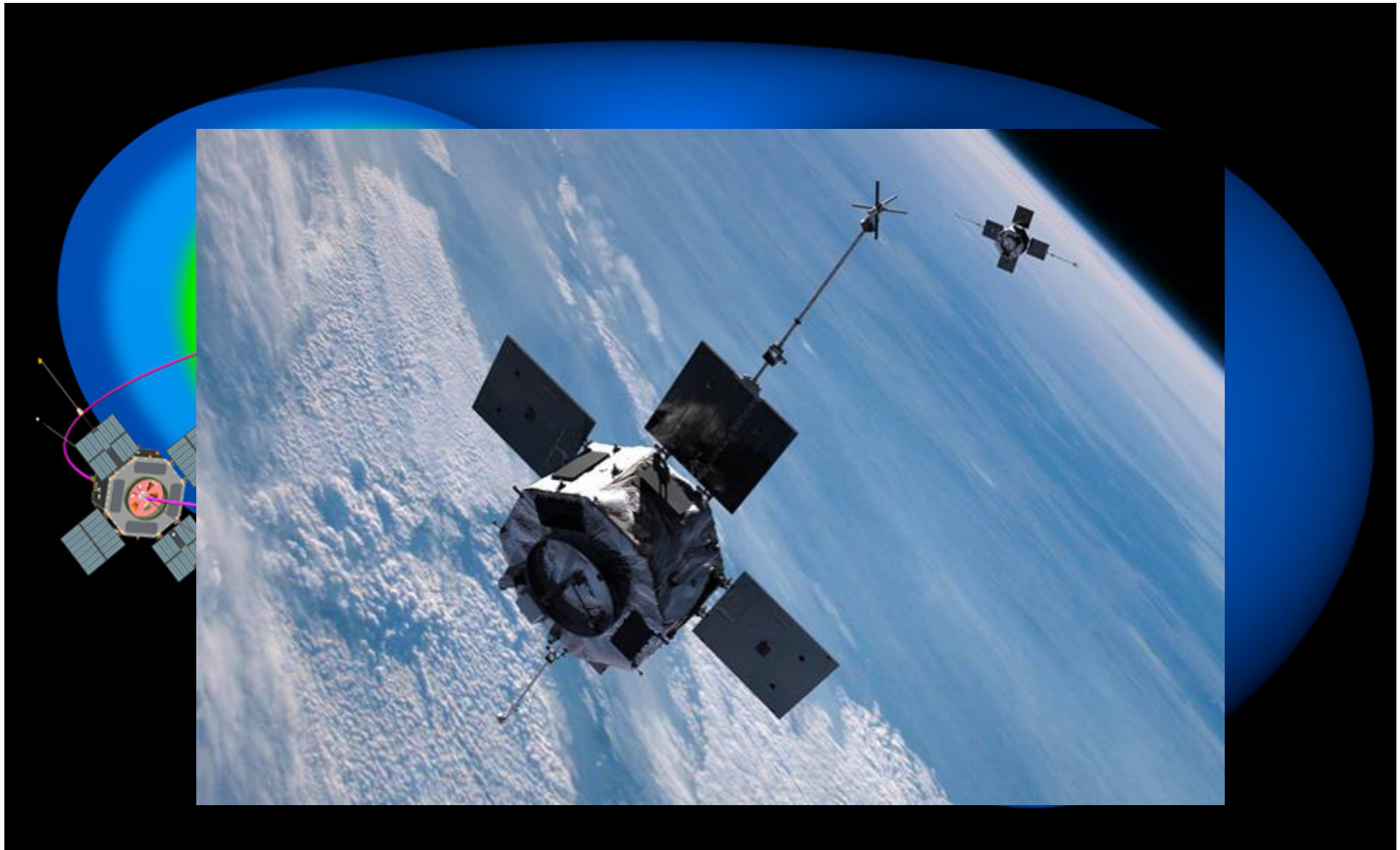
---

- 移动卫星通信系统特点
- 高轨移动卫星通信系统 (**GEO**)
- 中轨移动卫星通信系统 (**MEO**) \*
- 低轨移动卫星通信系统 (**LEO**)



## 移动卫星通信系统特点

- 范·艾伦辐射带（高能粒子带）
  - 1500km—5000km
  - 13000km—20000km
- 卫星多波束技术
- 移动台和卫星在移动，且有多径
- 众多移动台共享卫星，需要合理的多址和信道分配方式、调制、编码
- 移动台要求小型化



- Pair of Probes to Visit Van Allen Belts, Twin spacecraft will help predict space-weather effects on satellites
- By STEPHEN CASS / AUGUST 2012
- Image: Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory
- RADIOACTIVE REGIONS: The probes will pass through both the inner and outer Van Allen belts, where charged particles are concentrated by the Earth's magnetic field, and study how the belts are affected by changes in the solar wind.
- From IEEE



# 高轨移动卫星通信系统 Inmarsat

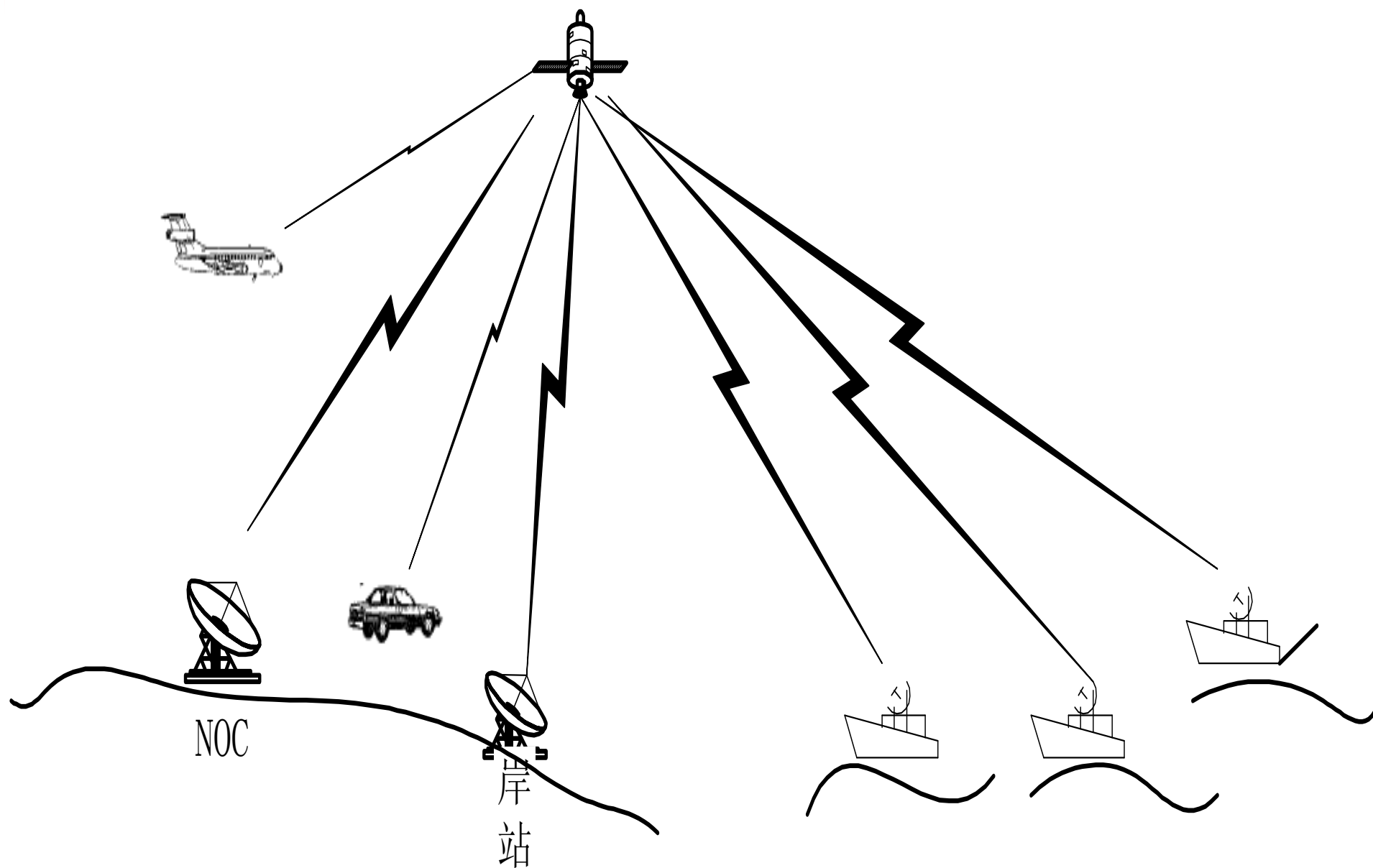
无线通信  
技术

- 高轨道系统，采用同步轨道
- 应用范围
  - 海事、航空、陆地
- 业务
  - 电话、电传、传真、电子邮件和数据连接
  - 飞行数据、位置与状态的报告
  - 运输车队的调度、位置报告、车队管理等



# Inmarsat

无线通信  
技术





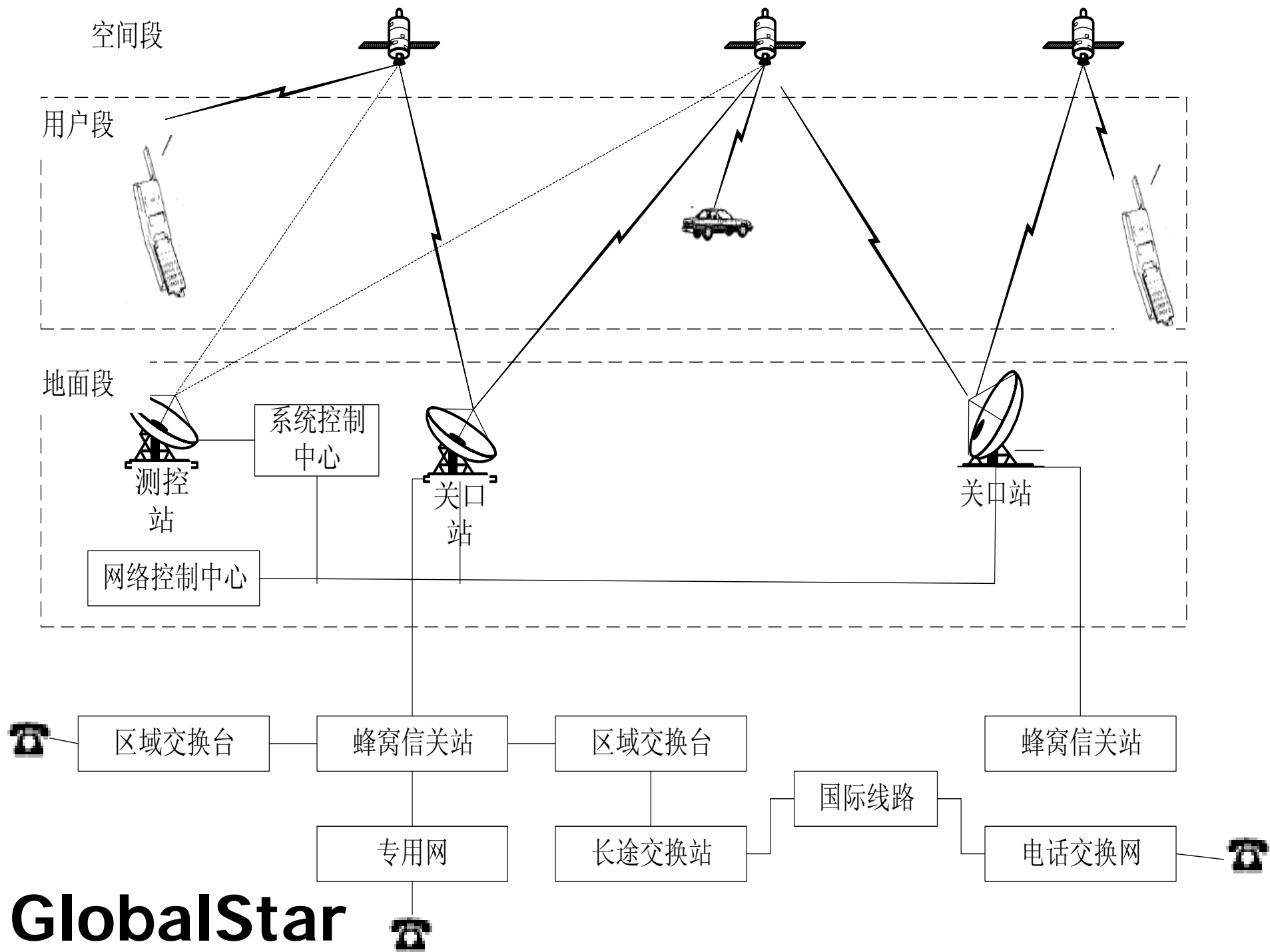
# Inmarsat

---

- 空间段
  - 通信卫星
  - 4颗同步卫星，并有备用星
  - 卫星转发器执行频率转发功能
    - 岸到船：从6GHz → 1.5GHz
    - 船到岸：从1.6GHz → 4GHz

# 低轨卫星移动系统 GlobalStar

- 不单独组网，是地面网的延伸
  - bent pipe transponder
    - 卫星只是一个连接手机到GW的弯管
  - 没有星间链路
- 采用CDMA技术
- 覆盖地球南北纬80度范围
- 终端为多模

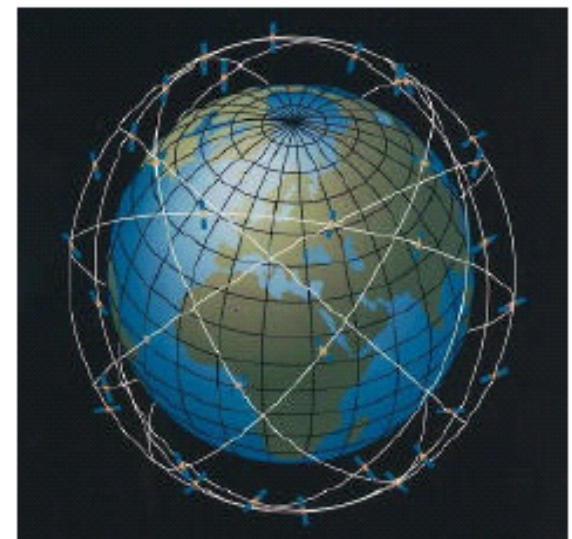
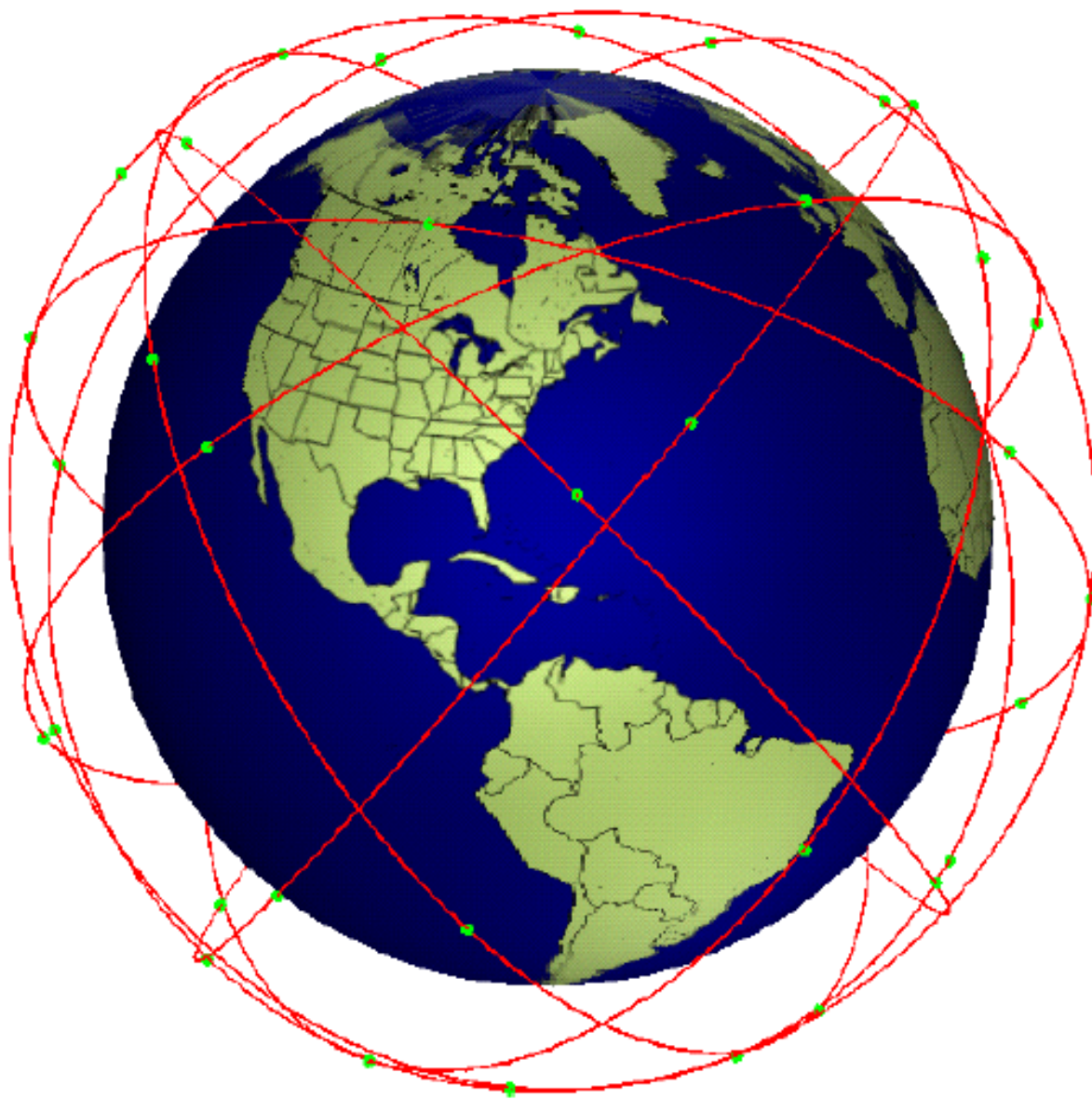






# ***Globalstar Constellation***

---







# GlobalStar: 空间段

---

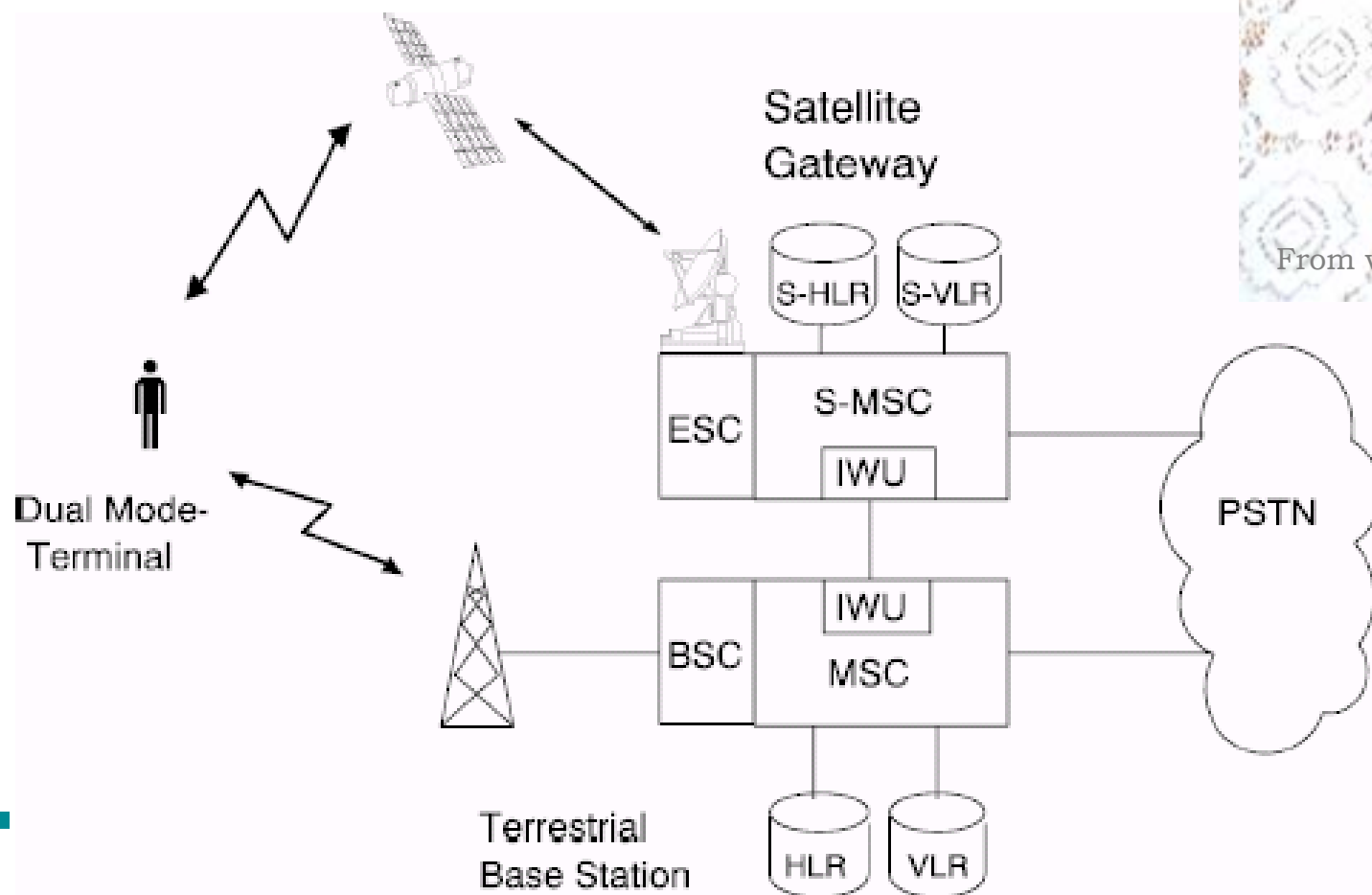
- **48+8颗星**
  - 8条轨道，轨道高**1389km**
  - 倾角**52度**
- **覆盖半径：3800km**
- **可同时看到两颗星**
- **卫星分集**

# GlobalStar: 地面段

- 关口站
  - 与网控中心相连，且与地面网相连
  - 用户至卫星、卫星至关口采用**CDMA**技术
  - 每个关口可与**3**颗星同时通信
  - 呼叫建立和处理在关口进行
- 卫星控制中心
  - 控制卫星姿态、运行轨道纠正、卫星波束切换
- 网络控制中心
  - 通过分组网与各关口站相连
  - 完成数据库管理、计费 and 呼叫路由选择、接入系统管理
  - 各国都有自己的网控中心，控制本国用户

# GlobalStar: 用户段

- 用户设备一般设计成双模模式
- 尽量利用地面网



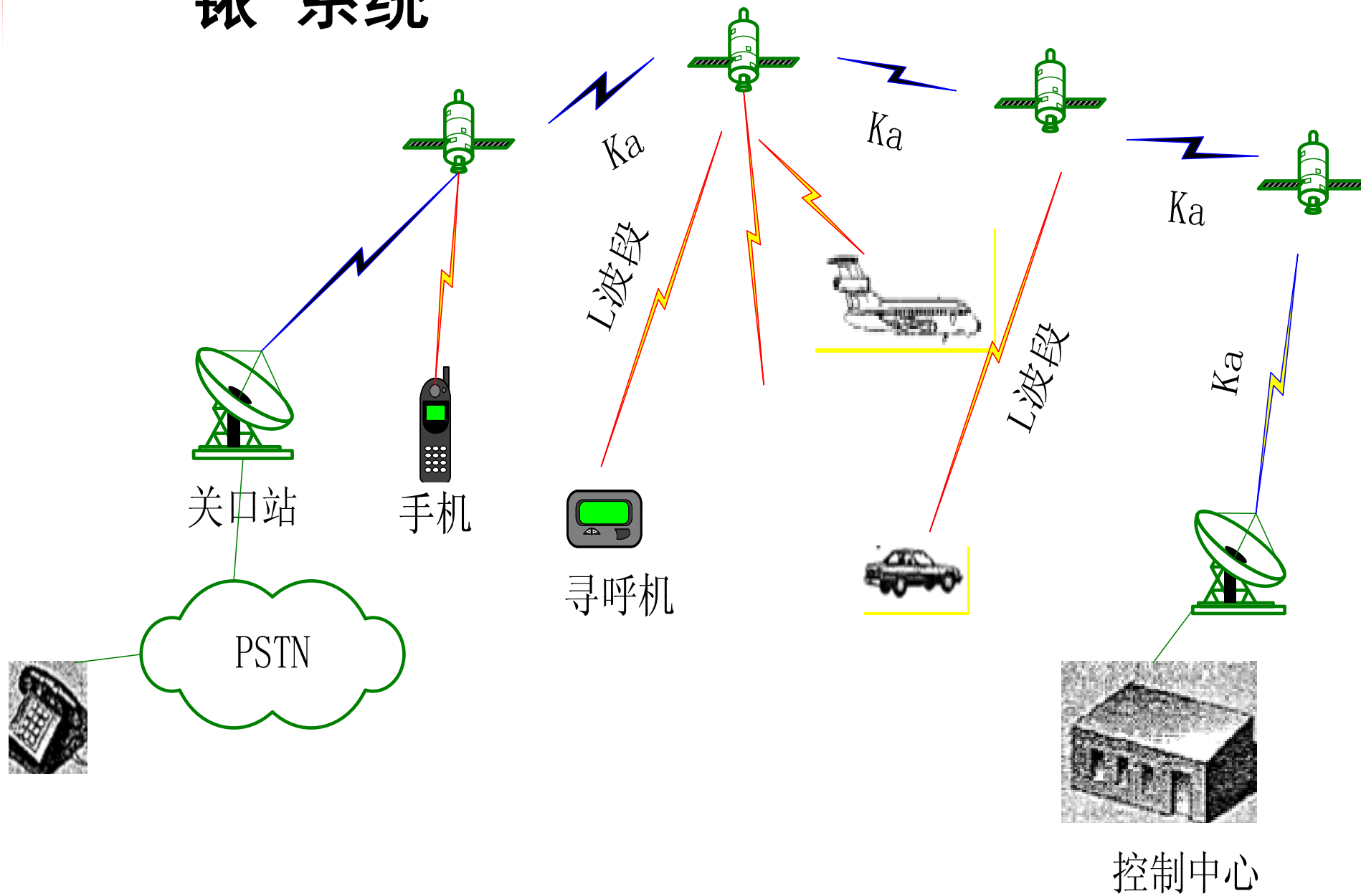
# GlobalStar基本工作原理

- 移动用户1发出呼叫
- 经卫星至关口1
- 关口至网控中心经处理后转到离被叫用户最近的关口2
- 经关口2至卫星
- 卫星至用户2

## 低轨卫星移动系统 “铱”系统

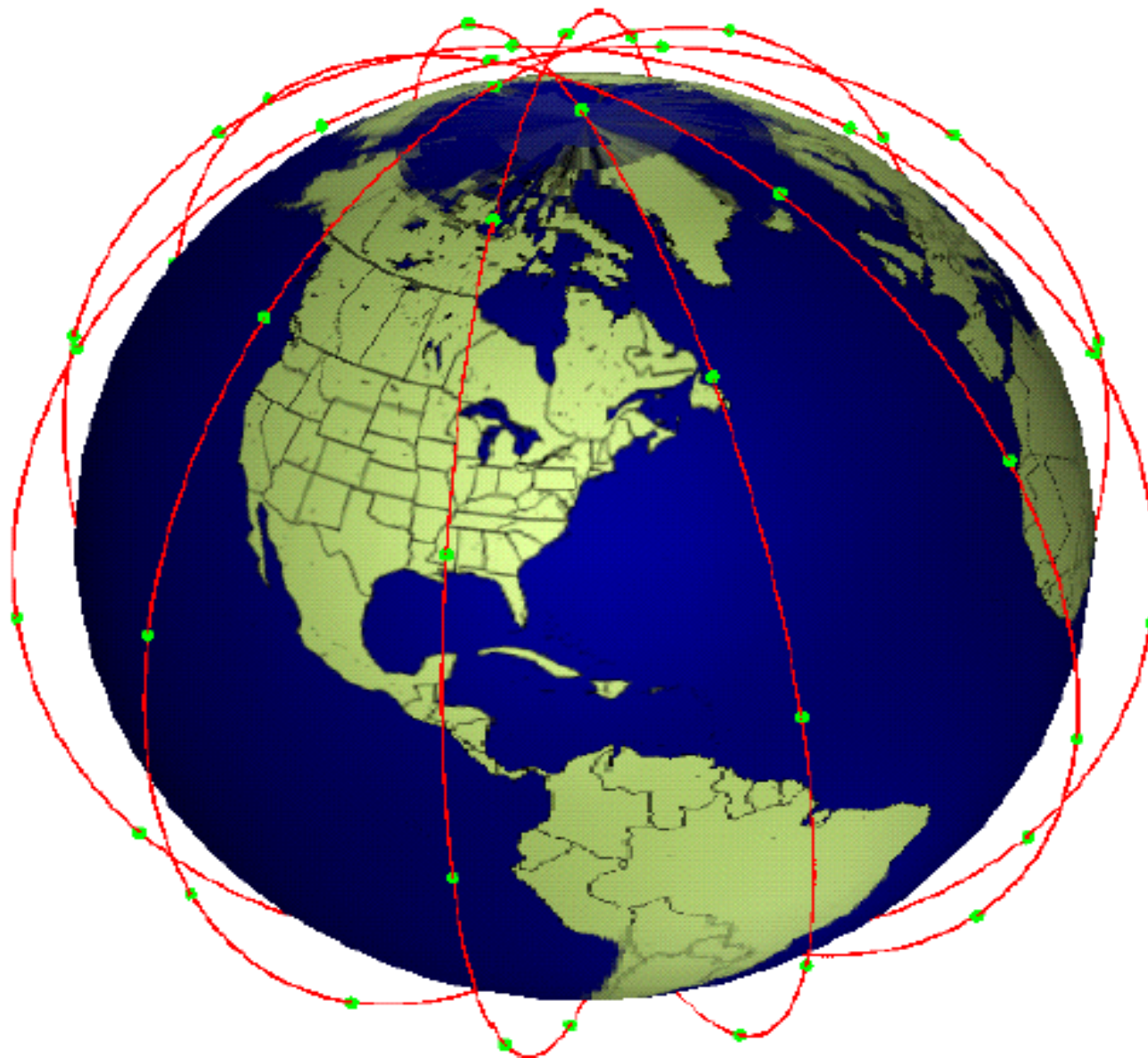
- 采用星上处理及星际链路
  - 用户可以不经过地面网相连
  - 等效于将地面移动系统搬到天上
  - 转发器不是bent pipe
- 极轨卫星
  - 100%覆盖全球
- 可提供地球上任意两点之间的无线连接
  - 真正意义上的全球覆盖

# “铱”系统



# *Iridium Constellation*

通信  
技术

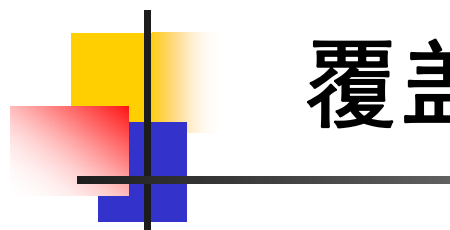




## “铱”系统 空间段

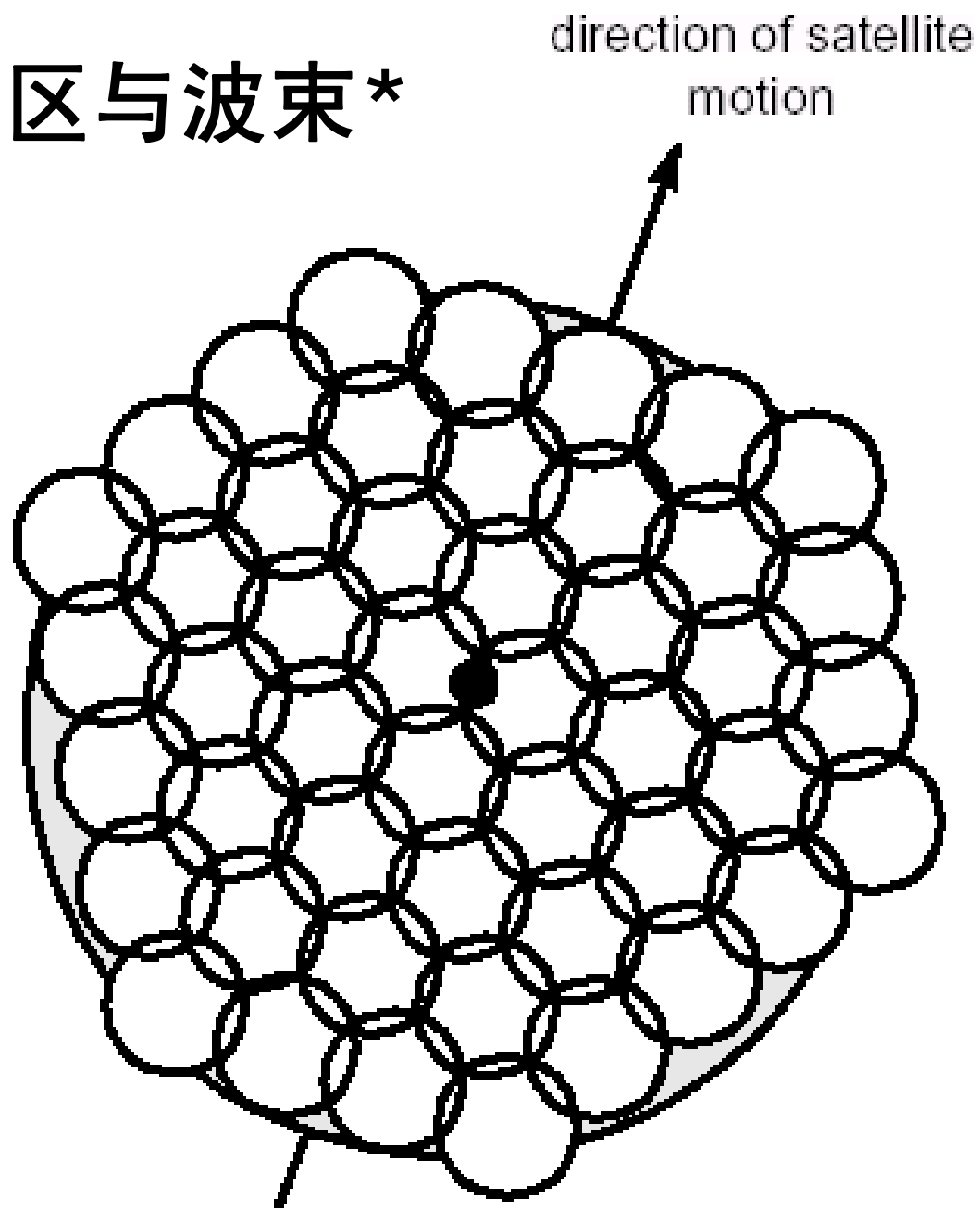
- 6个极地轨道，倾角**86.4度**
  - 每轨**11**星，每星**48**波束
- 覆盖半径：**2209km**
- 轨道周期：**100分钟零28秒**
  - 地面固定点平均可视时间**9分钟**
  - 同时可见**1~2**颗星





## 覆盖区与波束\*

无线通信  
技术



# “铱”系统

- 用户段
  - 用户终端，全球寻呼、语音、低速数据
- 地面段
  - 地面关口
    - 与地面网的接口
  - 地面控制中心
    - 遥控、遥测、卫星姿态控制、轨道控制
  - 网控中心
    - 整个卫星网的管理

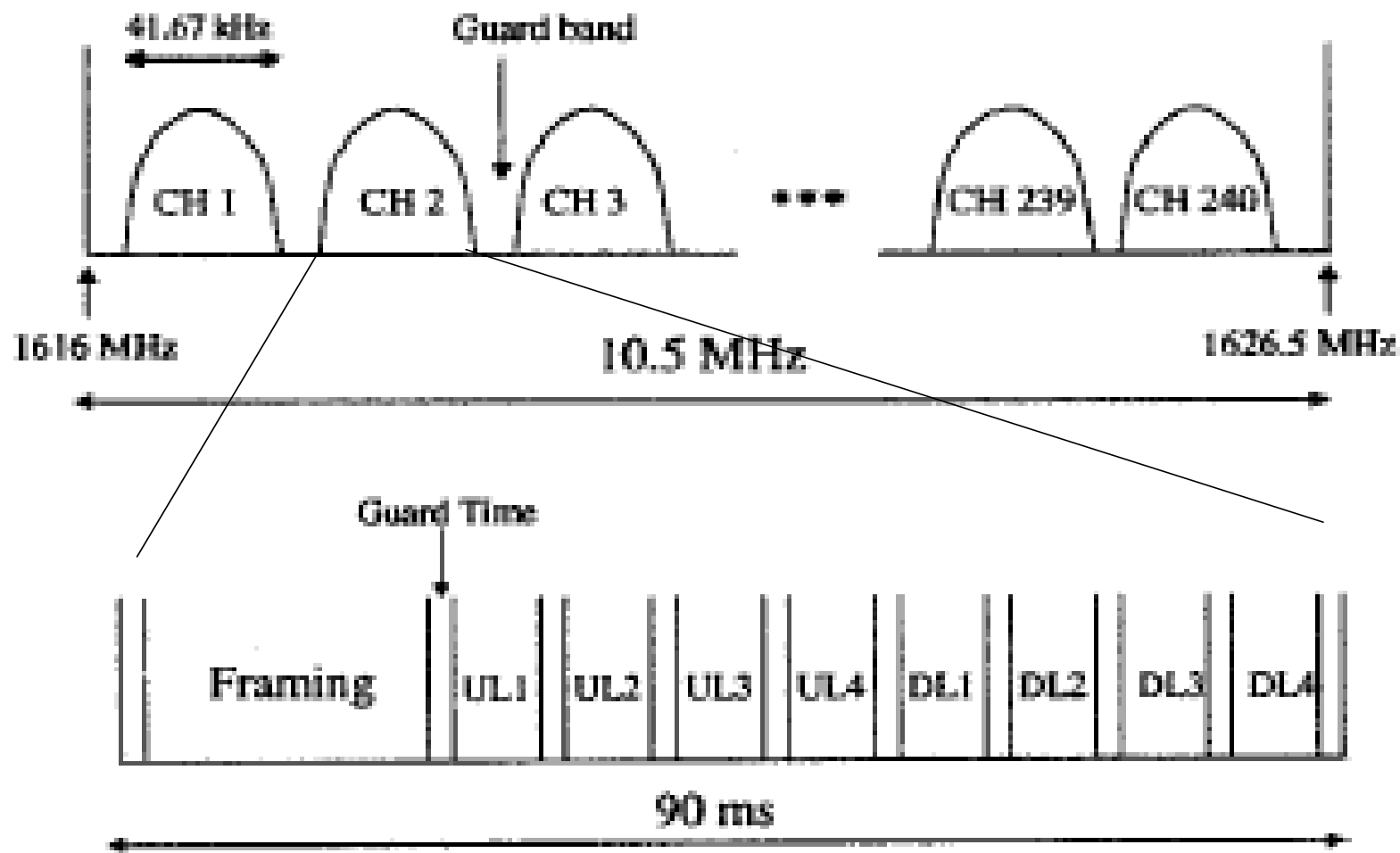


<http://en.oubaigroup.cn>

# “铱系统”：基本工作原理

- **FDMA/TDMA混合多址结构**
  - **10.5MHz带宽分成240条信道**
  - **每条信道TDMA为4个用户**
- **制式**
  - **FDMA/TDMA/TDD/QPSK**
- **突发方式**
  - **50kbps**

# “铱系统”：基本工作原理



# “铱系统”：基本工作原理

- 与GSM系统的处理类似
- 移动用户1呼叫用户2
- 经星至呼叫用户2的归属关口站，读取用户2的位置
- 经关口站至覆盖用户2的星
- 星至用户2



## 小节

---

### ■ 10.7 卫星通信系统

- 概述
- 卫星通信使用的频率
- 卫星通信基础
- 同步卫星通信系统
- 移动卫星通信系统



## 内容的层次

