

5G物理层基础

Transmission Structure传输结构

Numerology参数格式

- SCS子载波间隔
- CP循环前缀

- 都是15KHz的2指数倍
- SCS越宽传输带宽越高
- 为对抗多径效应引入循环前缀
- 低频多径效应强，循环前缀长
- 高频->高带宽->长载波间隔->短循环前缀

时域宽频域窄，时域窄频域宽

Frame Structure帧结构

- 一个帧10ms，包含10个子帧
- 一个子帧1ms，包含SCS/15个时隙
- 一个时隙包含14个OFDM符号
- 迷你时隙mini-slot

Resource Grid资源网格

- 一个时隙和一个子载波构成一个RE
- 将RE按照时域频域横纵排列
- 12个子载波构成一个资源块RB
- BWP

- Resource Element基本资源格
- 构成了RG资源网格

将频带进一步划分

载波聚合

将不同频段的载波聚合在一起，UEs在虚拟的载波上传输数据，获得更大的带宽

双工策略

- 时分双工
- 频分双工

Channel Measurements信道测量

天线端口

- 实现MIMO传输
- 抽象概念，可能对应多个物理天线

CSI- RS

- DL channel measurement
- Beam management

SRS

- UL channel measurement

OFDM

- 正交频分复用
- 特点
  - 码元在子载波上
  - 子载波频域重叠但是不相互干扰
  - 频带利用率高
  - 时域波形峰均比高
- 流程
  - QAM调制，将码元映射成频域波形
  - 将频域波形映射到子载波上
  - 多个子载波叠加成频域图
  - 使用IFFT将频域图转为时域图
  - 加上循环前缀，形成一个OFDM符号

Transport Channel Processing传输信道处理

定义

- 传输信道处理是MAC层到物理层之间的重要数据处理环节
- 将高层的数据映射到物理层资源

信道编码

- CRC
  - Transport Block先加CRC
  - 加完CRC分割TB成CB
  - 每个CB再加CRC
  - 这里的每个小码块都有CRC，这里的CRC和后面的LDPC虽然都是信道编码，但是功能不一样
  - CRC主要是为了定位错误块，并不为纠错
- LDPC
  - CB加完CRC后缀之后重新组合成TB
  - 使用LDPC对TB进行信道编码
  - 主要目的是为了纠错

Rate Matching速率匹配

- 目的是为了将编码后的数据流调整大小，适配传输信道资源
- Bit Selection比特选择
  - 从缓冲区选择特定比特用于传输
- Bit Interleaving比特交织
  - 打散连续的比特，防止突发连续错误

Scramble扰频

- 通过将比特流与伪随机码模二加，从而提高序列随机性
- 扰频码是与特定设备和小区相关的
- 可以使用RNTI作为种子生成扰频码

Modulation调制

- 因为5G采用OFDM技术，所以调制方式使用QAM调制
- 如果信道条件好可以采用高阶QAM，比如256QAM甚至更高
- 如果信道条件差，则采用低阶QAM，甚至QPSK
- 调制方式影响码元信息量

Layer Mapping层映射

- 将调制好的码元映射到不同的传输层
- 最多可以有8个传输层

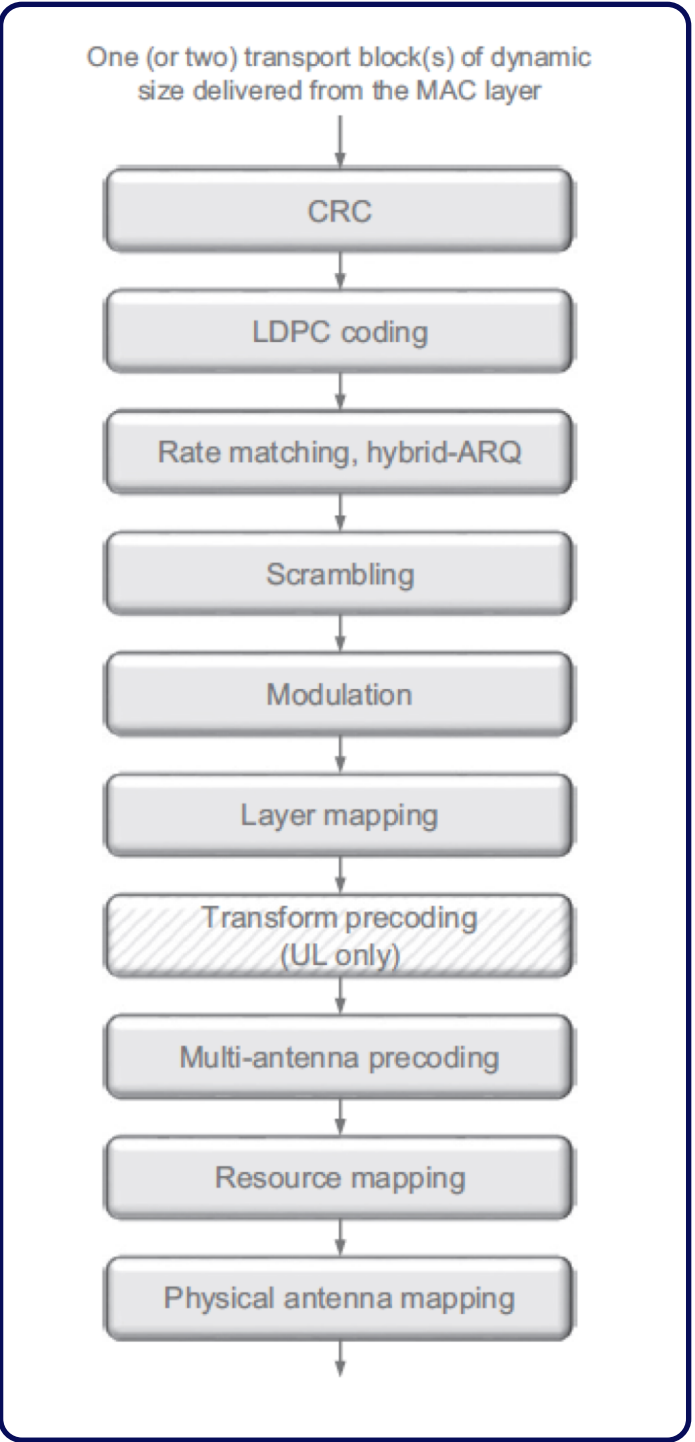
多天线预编码

- 使用一个预编码矩阵将多个传输层映射到多个天线端口
- DM-RS会在这一步被插入

Resource Mapping

- 在这一步，CSI-RS会被插入
- 将传输码元映射到资源网格

流程图



RS参考信号

- 在资源网格RG上特定位置分布的预定义信号
- DM-RS解调参考信号
- PT-RS相位追踪参考信号
- CSI-RS信道状态信息参考信号
- TRS追踪参考信号
- Sounding Reference Signals
- Positioning Reference Signals

Control Signalling  
控制信令

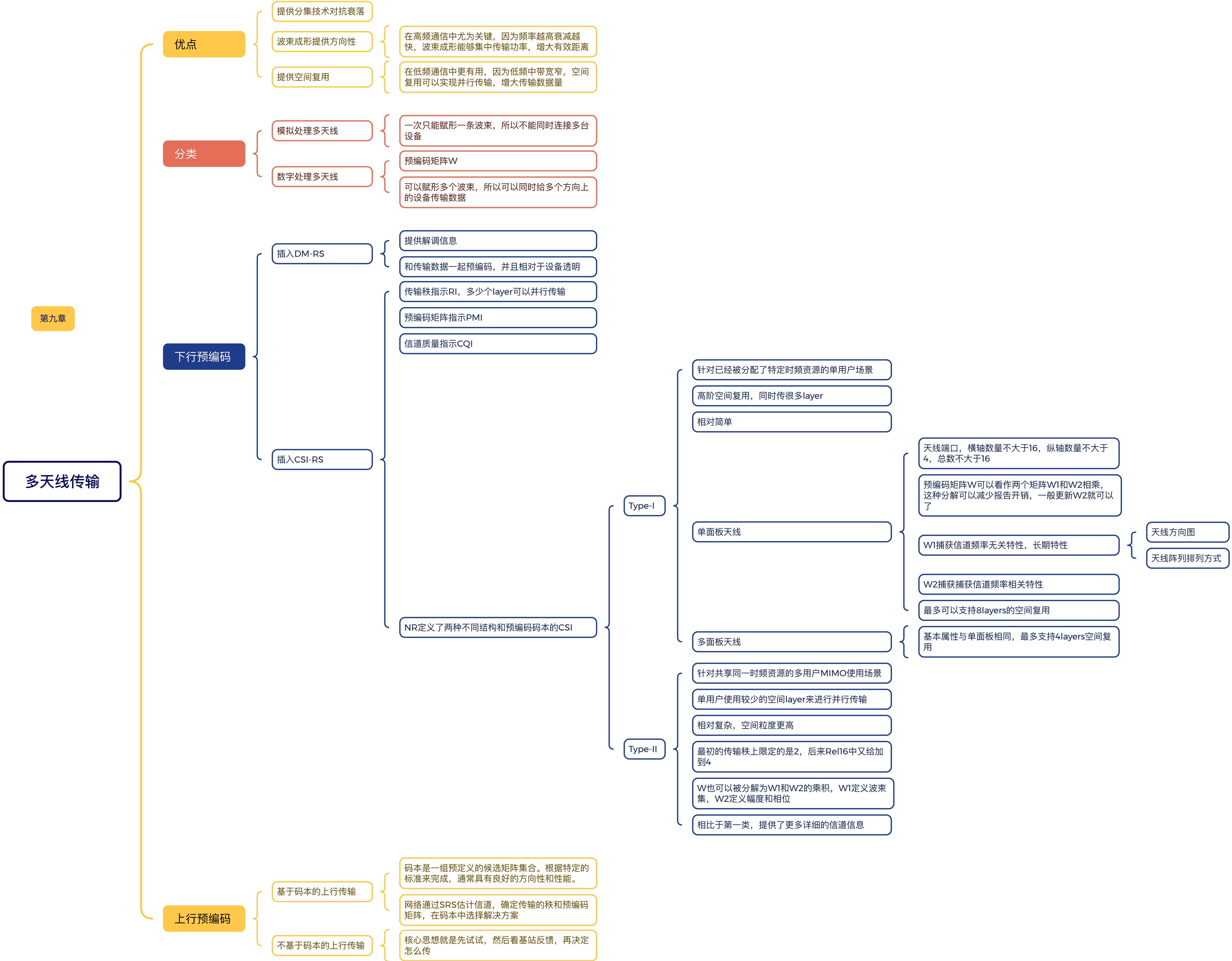
PDCCH物理下行控制信道

- 在PDCCH中传输的载荷是DCI下行控制信息
- RNTI无线网络临时标识符
  - RNTI被用作PDCCH消息的指针，告诉设备哪条消息属于它
- 物理下行信道的信道编码是极化码
- CORESET控制资源集
  - CORESET是PDCCH的容器
  - 为PDCCH提供了一个灵活的资源分配框架
- 盲解码和搜索空间
  - PDCCH中DCI的格式和位置信息对于UE来说可能是未知的，这时候就需要根据DCI的格式来进行尝试性解码，进而获得更多控制信息
  - CRC用于校验盲解码结果
  - 搜索空间是盲解码的范围，由CORESET确定
- Downlink Scheduling Assignment下行调度分配
  - 通知UE如何接收下行数据的控制信息
  - 可能使用4种不同格式的DCI，每个格式可能包含不同的下行调度分配信息（下行的格式是1开头的
  - 上行调度，下行调度，BWP指示等等
- Uplink Scheduling Grants上行调度授权
  - 一种由基站发送给UE的控制信息，授权UE使用信道资源发送信息
  - 可能使用4种不同的DCI格式，以0开头
  - 时域资源信令
    - 用来分配管理传输时域资源的机制
  - 频域资源信令
    - 用来分配管理传输频域资源的机制
  - 三种资源表示
    - 位标图
    - 起始点和长度
    - 支持交错资源分配

PUCCH物理上行控制信道

- Uplink Control上行控制
  - UE通过上行链路发送的控制信息，用于基站和网络的管理、优化、资源分配，类似于反馈和协调
  - 接收PDSCH数据时的Hybrid- ARQ响应
  - 信道状态信息CSI
  - 调度请求
  - 即可以通过PUCCH传，也可以和数据一块在PUSCH上传
- PUCCH结构
  - 短格式
    - 占用最多两个OFDM符号
  - 长格式
    - 4-14个OFDM符号





## 上行功率控制和时间控制

### 概述

- 控制UE上行信号发射功率和传输时间同步
- 保证了上行通信的高效性可靠性和干扰管理

### 上行功率控制

通过一系列的算法和工具控制UE传输的信号，保证他们以合适的功率到达基站

#### 开环功率控制

- 基于UE感知的信道信息进行计算，调控发送功率
- 无需基站反馈，反应迅速，但可能缺乏精度

#### Baseline Power Control

基础的功率控制机制，通过简单的路径损耗估计模型和功率调整算法计算发射功率

#### 闭环功率控制

基站监控上行信号质量，向UE发送功率调整指令

#### Beam Based Power Control

使用如CSI-RS或者SSB等下行参考信号，估计信道损耗

在此基础上基站进行调度分配

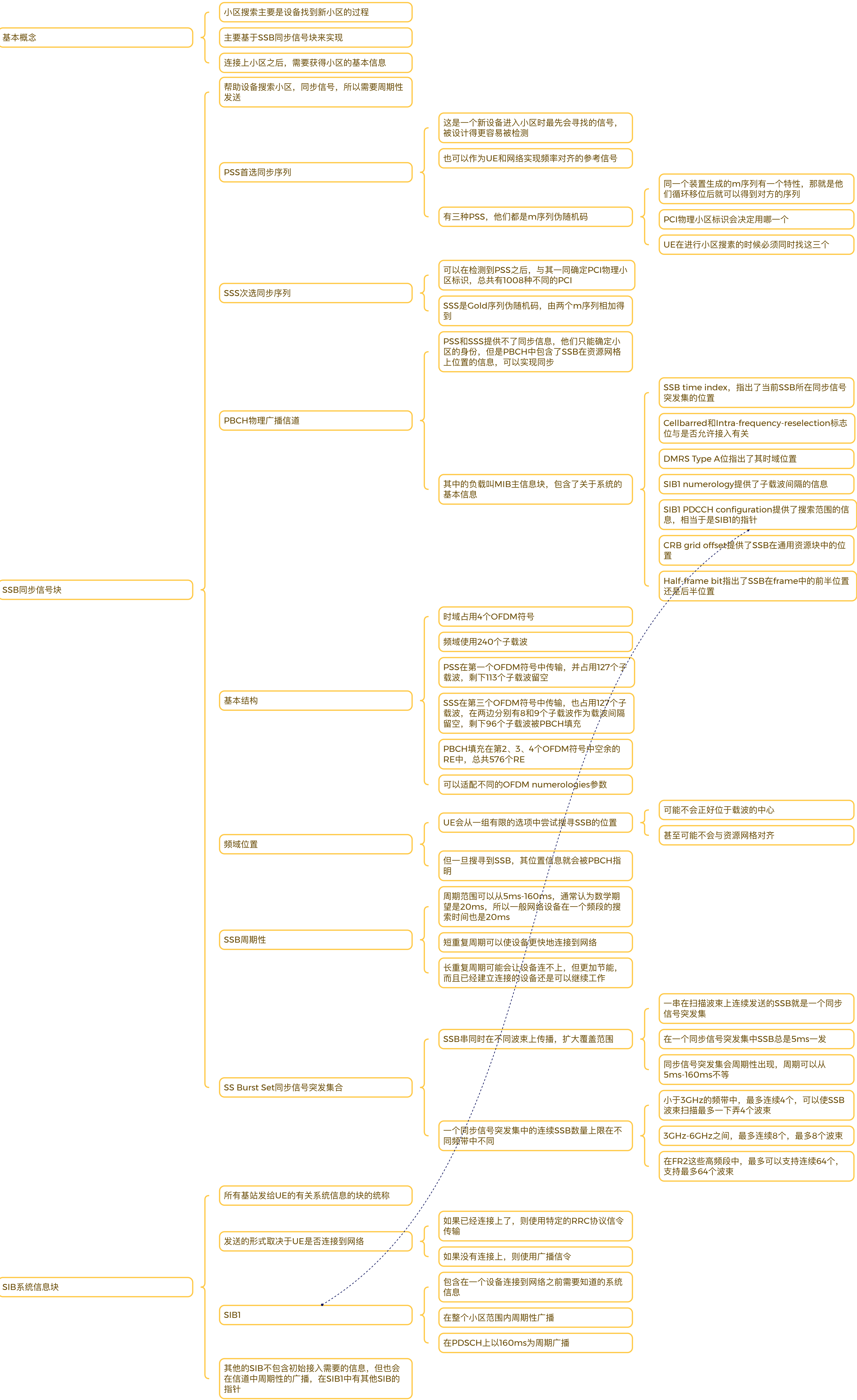
### 上行时间控制

- OFDM为了限制码间干扰引入了Guard Interval
- 每个UE距离基站远近不同，信号到达时间不同
- 为了保证时间差不超出GI的范围，导致干扰，则必须对UE上行时间进行控制，使其对齐

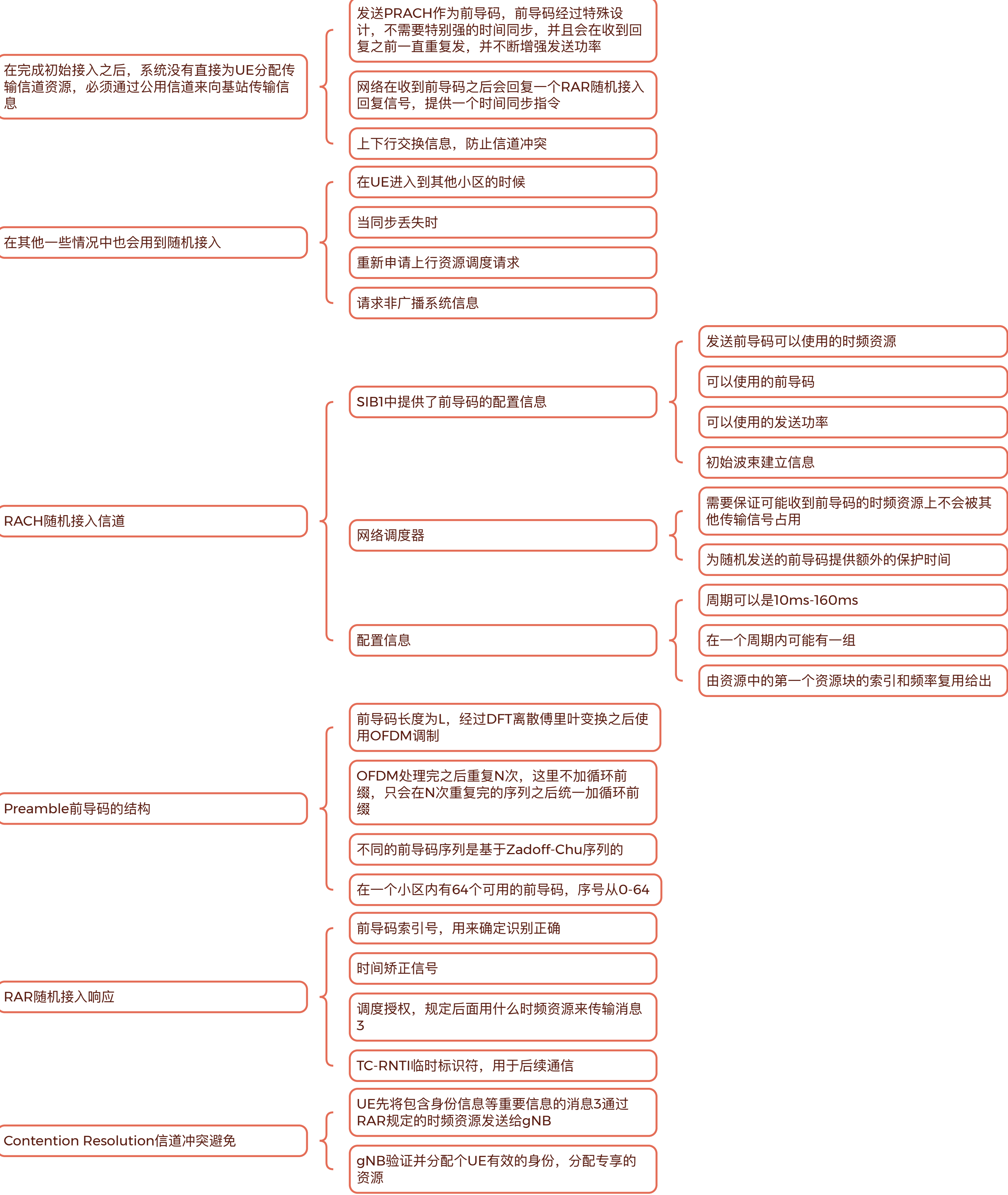


Initial Access初始接入

小区搜索和系统信息



随机接入



Beam Management  
波束管理

概述

- 在发送端和接收端建立波束连接对
- 发送端波束和接收端波束不一定要直接指向对方，可以经过反射绕射之后建立波束对

Initial Beam Establishment  
初始波束建立

- 在小区搜索时，每个SSB是与波束相对应的
- 在随机接入时，网络可以利用上行波束来获得下行波束
- 设备也可以假设接收到SSB的下行波束是合适的传输波束

Beam Adjustment 波束调整

- 在初始波束建立之后根据设备的移动性重新调整波束
  - 发送端重新评估和调整
  - 接收端重新评估和调整
- 下行波束调整
  - 在UE端测量参考信号，反馈给网络，从而实现波束调整
- 上行波束调整
  - 和下行波束调整对称，也是在接收端和发送端都找到一对合适的信号
  - 使用RSR测量信道信息
- Beam Indication波束指示
  - 当网络需要改变传输波束的时候，它应该给UE发指示
  - TCI传输配置指示
    - 不同的下行波束对应不同的TCI状态，在实际中是用不同的周期参考信号
    - 设备追踪一系列参考信号的波束
    - 网络通过PDCCH或者PDSCH来向设备提供TCI状态

Beam Recovery 波束重建

- 主要步骤
  - 检测出波束失效
  - 识别出可以供重新建立连接的波束
  - 发送重新建立连接的请求
  - 网络回应波束重建请求
- 波束失效
  - 当PDCCH的误码率达到一定水平之后，波束就被认为是失效了
  - 根据一定的参考信号来测量误码率
- 备选重建连接波束识别
  - 通过参考信号来找可以重建连接的波束
- 重建连接请求
  - 属于是随机接入