

目录

1 移动通信系统空中接口概述	1-1
1.1 蜂窝网络的演进.....	1-1
1.1.1 第一代移动通信系统.....	1-2
1.1.2 第二代移动通信系统.....	1-2
1.1.3 第三代移动通信系统.....	1-3
1.1.4 第四代移动通信系统.....	1-4
1.2 3GPP 协议版本	1-5
1.2.1 R99 之前协议.....	1-6
1.2.2 R99.....	1-6
1.2.3 R4.....	1-6
1.2.4 R5.....	1-7
1.2.5 R6.....	1-7
1.2.6 R7.....	1-8
1.2.7 R8.....	1-9
1.2.8 R9 和后续协议.....	1-9
1.3 多址技术.....	1-10
1.3.1 频分多址	1-10
1.3.2 时分多址	1-11
1.3.3 码分多址	1-11
1.3.4 正交频分多址.....	1-12
1.4 双工方式.....	1-13
1.4.1 频分双工	1-13
1.4.2 时分双工	1-13
1.5 频谱划分.....	1-14
1.5.1 频段	1-14
1.5.2 现有部署	1-15
1.5.3 LTE R9 频段.....	1-17
1.6 LTE 信道编码.....	1-20
1.6.1 传输块循环冗余校验.....	1-21
1.6.2 码块分段及 CRC 添加.....	1-22
1.6.3 信道编码	1-23

1.6.5 速率匹配	1-29
1.6.6 码块级联	1-30
1.7 OFDM 原理	1-31
1.7.2 频分复用	1-31
1.7.3 OFDM 子载波	1-32
1.7.4 快速傅立叶变换	1-32
1.7.5 LTE FFT 尺寸及载波带宽	1-33
1.7.6 OFDM 符号映射	1-34
1.7.7 时域干扰	1-35
1.7.8 OFDM 优缺点分析	1-37
2 LTE 空中接口物理层	2-1
2.1 Uu 接口	2-2
2.2 LTE 无线接口协议	2-2
2.2.2 Uu 口协议栈	2-3
2.2.3 非接入层	2-4
2.2.4 RRC 层	2-6
2.2.5 PDCP 层	2-7
2.2.6 RLC 层	2-7
2.2.7 MAC 层	2-8
2.2.8 物理层	2-9
2.3 LTE 信道结构	2-9
2.3.2 逻辑信道	2-10
2.3.3 传输信道	2-11
2.3.4 物理信道	2-12
2.3.5 信道映射	2-13
2.4 LTE 帧结构	2-14
2.4.1 无线帧结构 1	2-14
2.4.2 无线帧结构 2	2-16
2.5 OFDM 信号生成过程	2-17
2.5.2 码字、层和天线口	2-18
2.5.3 加扰	2-19
2.5.4 调制映射	2-20
2.5.5 层映射	2-21
2.5.6 预编码	2-22
2.5.7 RE 映射	2-25
2.5.8 生成 OFDM 信号	2-25
2.6 下行 OFDMA	2-25
2.6.1 OFDMA 结构概述	2-25
2.6.2 物理资源块和资源粒子	2-26

2.7 同步信号.....	2-28
2.8 下行参考信号.....	2-31
2.8.1 小区特定参考信号.....	2-31
2.8.2 MBSFN 参考信号	2-33
2.8.3 UE 特定参考信号	2-33
2.9 LTE 下行物理信道.....	2-34
2.9.1 物理广播信道 PBCH (Physical Broadcast Channel)	2-34
2.9.2 物理控制格式指示信道 PCFICH (Physical Control Format Indicator Channel)	2-35
2.9.3 物理下行控制信道 PDCCH (Physical Downlink Control Channel)	2-37
2.9.4 物理 HARQ 指示信道 PHICH (Physical Hybrid ARQ Indicator Channel)	2-41
2.9.5 物理下行共享信道 PDSCH (Physical Downlink Shared Channel)	2-42
2.10 下行控制信令.....	2-43
2.10.2 DCI 格式 0.....	2-43
2.10.3 DCI 格式 1.....	2-44
2.10.4 DCI 格式 1A.....	2-44
2.10.5 DCI 格式 1B	2-45
2.10.6 DCI 格式 1C.....	2-46
2.10.7 DCI 格式 1D.....	2-46
2.10.8 DCI 格式 2.....	2-46
2.10.9 DCI 格式 2A.....	2-47
2.10.10 DCI 格式 3.....	2-47
2.10.11 DCI 格式 3A.....	2-48
2.11 LTE 小区搜索流程.....	2-48
2.11.2 小区搜索.....	2-48
2.11.3 PSS 相关运算	2-50
2.11.4 SSS 相关运算	2-50
2.11.5 主信息块.....	2-51
2.11.6 系统消息.....	2-52
2.11.7 PLMN 选择.....	2-57
2.11.8 小区选择.....	2-59
2.12 上行发射技术.....	2-60
2.12.1 SC-FDMA 信号生成过程.....	2-60
2.13 OFDMA 技术与 SC-FDMA 技术.....	2-63
2.14 LTE 上行物理信道.....	2-64
2.14.2 物理随机接入信道 PRACH (Physical Random Access Channel)	2-64
2.14.3 物理上行共享信道 PUSCH (Physical Uplink Shared Channel)	2-68
2.14.4 物理上行控制信道 PUCCH (Physical Uplink Control Channel)	2-70
2.15 定时关系.....	2-71
2.16 上行参考信号.....	2-72

2.16.2 解调参考信号.....	2-73
2.16.3 探测参考信号 SRS (Sounding Reference Signal)	2-74
2.17 上行控制信令.....	2-77
2.17.2 PUCCH 格式 1	2-78
2.17.3 PUCCH 格式 1a 和 1b.....	2-78
2.18 LTE 随机接入过程.....	2-81
2.18.2 RRC 连接.....	2-81
2.18.3 PRACH 前导	2-82
2.18.4 随机接入过程初始化.....	2-83
2.18.5 随机接入响应窗.....	2-84
2.18.6 随机接入响应.....	2-85
2.18.7 上行传输.....	2-86
2.19 上行功率控制.....	2-87
2.19.2 PUSCH 功率控制.....	2-87
2.19.3 PUCCH 功率控制	2-88
2.19.4 PRACH 功率控制	2-88
2.20 寻呼过程.....	2-89
2.20.1 寻呼非连续性接收 (DRX)	2-89
2.20.2 寻呼帧	2-90
2.21 HARQ 实现	2-91
2.21.1 重传类型.....	2-91
2.21.2 HARQ 方法	2-91
2.21.3 LTE 系统中的 HARQ	2-93
2.21.4 下行 HARQ	2-94
2.21.5 上行 HARQ	2-94
2.21.6 ACK/NACK 发送时机	2-95
2.22 多天线技术.....	2-96
2.22.1 单用户 MIMO 和多用户 MIMO	2-96
2.22.2 MIMO 和传输方式	2-97
2.22.3 MIMO 模式	2-97
2.22.4 LTE 系统中的空间复用.....	2-99
2.22.5 反馈信息上报.....	2-100
3 动态资源分配.....	3-1
3.1 调度原理和信令.....	3-1
3.1.2 分组交换网 QoS	3-2
3.1.3 影响调度的关键因素.....	3-3
3.1.4 调度方法	3-4
3.1.5 下行调度	3-5
3.1.6 PDSCH 资源分配.....	3-6

3.1.7 调制编码方式.....	3-7
3.1.8 上行调度	3-9
3.2 调度器交互.....	3-9
3.2.1 无线承载	3-9
3.2.2 调度器与层 2 和层 1 的交互.....	3-9
3.3 动态和半静态调度	3-10
3.3.1 动态调度	3-11
3.3.2 下行半静态调度.....	3-11
3.3.3 上行半静态调度.....	3-12
4 LTE 系统内移动性.....	4-1
4.1 系统内移动性	4-1
4.1.1 小区重选	4-1
4.1.2 激活态移动性.....	4-4
4.1.3 切换流程	4-5
4.2 测量上报的配置参数	4-6
4.2.2 测量配置参数.....	4-6
4.2.3 配置上报参数.....	4-6
4.3 移动性测量.....	4-8
4.3.1 测量间隙	4-8
4.3.2 测量间隙配置.....	4-9
4.3.3 UE 测量	4-9
5 缩略语.....	5-1

图目录

图 1-1 蜂窝网络的演进.....	1-1
图 1-2 第二代移动通信系统.....	1-3
图 1-3 第三代移动通信系统.....	1-4
图 1-4 第四代移动通信系统.....	1-5
图 1-5 3GPP 协议版本	1-6
图 1-6 HSDPA.....	1-7
图 1-7 HSUPA.....	1-8
图 1-8 HSPA+ （R7）	1-8
图 1-9 HSPA+和 LTE （R8）	1-9
图 1-10 R9 和后续协议.....	1-10
图 1-11 多址技术.....	1-10
图 1-12 频分多址	1-11
图 1-13 时分多址	1-11
图 1-14 码分多址	1-12
图 1-15 正交频分多址	1-12
图 1-16 频分双工	1-13
图 1-17 时分双工	1-13
图 1-18 GSM 部署.....	1-16
图 1-19 关键的 UMTS 部署频段	1-17
图 1-20 EARFCN 计算.....	1-19
图 1-21 实例：下行 EARFCN 计算.....	1-19
图 1-22 LTE 传输信道处理.....	1-20
图 1-23 循环冗余校验概念.....	1-21
图 1-24 CRC 奇偶位	1-21
图 1-25 码块分段及 CRC 添加.....	1-22

图 1-26 分段及填充位计算实例.....	1-23
图 1-27 HI 重复编码	1-24
图 1-28 基本 $\frac{1}{2}$ 速率卷积编码器.....	1-25
图 1-29 卷积编码网格	1-26
图 1-30 维特比解码实例.....	1-27
图 1-31 初始化咬尾卷积编码.....	1-28
图 1-32 LTE 1/3 速率咬尾卷积编码.....	1-28
图 1-33 LTE turbo 编码	1-29
图 1-34 LTE 速率匹配.....	1-29
图 1-35 码块级联	1-30
图 1-36 OFDM 在 LTE 中的使用	1-31
图 1-37 FDM 载波.....	1-31
图 1-38 OFDM 子载波	1-32
图 1-39 快速傅立叶反变换.....	1-33
图 1-40 快速傅立叶变换.....	1-33
图 1-41 OFDM 符号映射	1-34
图 1-42 OFDM 峰均比（Peak to Average Power Ratio）	1-35
图 1-43 时延扩展	1-35
图 1-44 符号间干扰	1-36
图 1-45 循环前缀	1-36
图 2-1 LTE 空中接口.....	2-2
图 2-2 LTE 控制面和用户面.....	2-3
图 2-3 E-UTRA 协议.....	2-3
图 2-4 NAS 信令	2-4
图 2-5 RRC 主要功能	2-6
图 2-6 PDCP 的功能	2-7
图 2-7 RLC 模式和功能.....	2-8
图 2-8 MAC 功能	2-8
图 2-9 物理层主要功能.....	2-9
图 2-10 LTE 信道种类.....	2-9
图 2-11 信道位置.....	2-10
图 2-12 BCCH 和 PCCH 逻辑信道	2-10

图 2-13 CCCH 和 DCCH 信令	2-11
图 2-14 专用业务信道	2-11
图 2-15 3GPP R9 定义的传输信道	2-12
图 2-16 下行信道映射	2-13
图 2-17 上行信道映射	2-14
图 2-18 LTE FDD 帧结构	2-15
图 2-19 普通循环前缀和扩展循环前缀	2-15
图 2-20 配置普通循环前缀的时隙	2-16
图 2-21 LTE TDD 帧结构	2-17
图 2-22 下行物理层处理	2-18
图 2-23 码字映射至层再映射至天线口	2-18
图 2-24 LTE 系统中的加扰	2-19
图 2-25 LTE 系统中的扰码生成过程	2-19
图 2-26 BPSK、QPSK 和 16QAM 调制映射	2-20
图 2-27 64QAM 调制映射	2-20
图 2-28 LTE 系统中的预编码场景	2-23
图 2-29 下行信号生成等式举例	2-25
图 2-30 LTE 的 OFDMA 技术	2-26
图 2-31 物理资源块和资源粒子	2-27
图 2-32 下行小区标识	2-28
图 2-33 FDD 帧中 PSS 与 SSS 的位置	2-29
图 2-34 TDD 帧中 PSS 与 SSS 的位置	2-29
图 2-35 SSS 加扰	2-30
图 2-36 单天线模式下参考信号的位置	2-31
图 2-37 参考信号之间按照物理小区标识设置偏置	2-32
图 2-38 参考信号-双天线口（使用普通 CP）	2-32
图 2-39 参考信号-四天线口（使用普通 CP）	2-33
图 2-40 MBSFN 参考信号	2-33
图 2-41 UE 特定参考信号	2-34
图 2-42 广播信令	2-34
图 2-43 MIB 映射至 PBCH（FDD 模式下使用普通 CP）	2-35
图 2-44 MIB 映射至 PBCH（TDD 模式下使用普通 CP）	2-35

图 2-45 CFI 映射至 PCFICH	2-36
图 2-46 FDD 模式下行控制区域.....	2-37
图 2-47 TDD 模式下行控制区域	2-38
图 2-48 REG 映射至 CCE 再映射至 PDCCH.....	2-38
图 2-49 PDCCH 映射至控制区域	2-39
图 2-50 CCE 分配层级.....	2-40
图 2-51 公共搜索空间和 UE 特定搜索空间	2-40
图 2-52 PHICH 映射	2-41
图 2-53 扩展 PHICH 举例.....	2-42
图 2-54 PDSCH 映射通用图.....	2-42
图 2-55 初始流程	2-48
图 2-56 小区搜索中的 PSS 和 SSS（FDD 模式）	2-49
图 2-57 小区搜索中的 PSS 和 SSS（TDD 模式）	2-49
图 2-58 物理小区标识	2-50
图 2-59 PSS 相关运算.....	2-50
图 2-60 SSS 关联举例.....	2-51
图 2-61 PBCH 和主信息块	2-52
图 2-62 系统信息块-类型 1	2-53
图 2-63 SI 映射举例.....	2-54
图 2-64 系统信息块-类型 2	2-55
图 2-65 系统信息块-类型 3	2-55
图 2-66 系统信息块-类型 4	2-55
图 2-67 系统信息块-类型 5	2-56
图 2-68 系统信息块-类型 6	2-56
图 2-69 系统信息块-类型 7	2-56
图 2-70 系统信息块-类型 8	2-57
图 2-71 系统信息块-类型 9	2-57
图 2-72 PLMN 选择	2-58
图 2-73 LTE 小区选择.....	2-59
图 2-74 SC-FDMA 子载波映射概念	2-61
图 2-75 SC-FDMA 符号生成.....	2-62
图 2-76 SC-FDMA 信号接收.....	2-62

图 2-77 上行信号生成公式.....	2-63
图 2-78 R8 上行物理信道.....	2-64
图 2-79 PRACH 前导.....	2-64
图 2-80 PRACH 保护间隔.....	2-65
图 2-81 FDD 随机接入帧格式.....	2-66
图 2-82 PRACH 配置.....	2-66
图 2-83 每小区 PRACH 配置和前导序列.....	2-68
图 2-84 PUSCH 映射.....	2-69
图 2-85 控制信令复用.....	2-69
图 2-86 PUCCH 物理资源块映射.....	2-70
图 2-87 FDD 定时.....	2-71
图 2-88 TDD 配置 2 定时实例.....	2-72
图 2-89 上行参考信号.....	2-72
图 2-90 DRS 序列组选择.....	2-73
图 2-91 上行解调参考信号（使用普通 CP）.....	2-74
图 2-92 上行解调参考信号（使用扩展 CP）.....	2-74
图 2-93 对 SRS 信号的要求.....	2-75
图 2-94 SRS 跳频.....	2-75
图 2-95 SRS 分配.....	2-76
图 2-96 PUCCH 参考信号.....	2-78
图 2-97 PUCCH 格式 1a 和 1b（使用普通 CP）.....	2-79
图 2-98 PUCCH 格式 2（使用普通 CP）.....	2-80
图 2-99 PUCCH 格式 2（使用扩展 CP）.....	2-80
图 2-100 PUCCH 格式 2a 和 1b（ACK/NACK 编码）.....	2-81
图 2-101 随机接入流程.....	2-81
图 2-102 随机接入 RRC 信令流程.....	2-82
图 2-103 PRACH 探测.....	2-82
图 2-104 A 组和 B 组分配前导.....	2-84
图 2-105 随机接入响应窗.....	2-85
图 2-106 MAC 随机接入响应.....	2-85
图 2-107 随机接入一分配 UL-SCH.....	2-86
图 2-108 MAC 竞争解决流程.....	2-87

图 2-109 上行功率控制.....	2-87
图 2-110 寻呼问题.....	2-89
图 2-111 寻呼消息非连续接收.....	2-89
图 2-112 ARQ 对比 HARQ.....	2-91
图 2-113 SAW 基本原理	2-91
图 2-114 并行的 HARQ 进程	2-92
图 2-115 HARQ 方法	2-92
图 2-116 冗余版本和软比特举例.....	2-93
图 2-117 FDD 模式下的 HARQ 进程.....	2-93
图 2-118 FDD 模式下的下行 HARQ 时机.....	2-95
图 2-119 FDD 模式下的上行 HARQ 时机.....	2-96
图 2-120 单用户 MIMO 和多用户 MIMO	2-97
图 2-121 空间复用 MIMO	2-98
图 2-122 空间复用的干扰问题.....	2-98
图 2-123 单码流 MIMO	2-98
图 2-124 AMS	2-99
图 2-125 PDSCH 处理.....	2-99
图 2-126 反馈信息上报.....	2-100
图 3-1 IP 调度.....	3-1
图 3-2 小区基本调度	3-2
图 3-3 报文分类器和调度器.....	3-3
图 3-4 影响调度的关键因素.....	3-4
图 3-5 可能的调度方法.....	3-4
图 3-6 类型 0 资源分配.....	3-6
图 3-7 类型 1 资源分配.....	3-7
图 3-8 类型 2 资源分配.....	3-7
图 3-9 使用 TBS 大小	3-8
图 3-10 调度器交互	3-10
图 3-11 动态调度.....	3-11
图 3-12 半静态调度	3-12
图 4-1 LTE 系统内移动性.....	4-1
图 4-2 同频和异频小区重选.....	4-2

图 4-3 参数 $S_{intrasearch}$ 4-2

图 4-4 UE 移动方向对 Treselection 的影响4-3

图 4-5 小区排序的 R 准则计算公式4-4

图 4-6 系统内切换过程4-4

图 4-7 LTE 切换流程4-5

图 4-8 测量配置参数4-6

图 4-9 配置上报参数4-7

图 4-10 周期性测量上报机制和事件测量上报机制4-7

图 4-11 不启用测量间隙辅助模式的同频测量场景4-8

图 4-12 启用测量间隙辅助模式的异频测量场景4-8

图 4-13 测量间隙的配置4-9

表目录

表 1-1 2.5G 和 2.75G GSM/GPRS 系统 1-3

表 1-2 IMT Advanced 特性 1-5

表 1-3 GSM 频段 1-14

表 1-4 UMTS FDD 频段 1-15

表 1-5 UMTS TDD 频段 1-15

表 1-6 LTE R9 频段 1-17

表 1-7 传输信道编码选择 1-23

表 1-8 控制信息编码选择 1-23

表 1-9 CFI 编码 1-24

表 1-10 卷积编码实例 1-25

表 1-11 咬尾卷积编码与标准卷积编码的主要差异 1-27

表 1-12 LTE 子块交织器 1-30

表 1-13 LTE 信道和 FFT 尺寸 1-33

表 2-1 NAS EMM 和 ESM 的主要信令流程 2-4

表 2-2 上下行 CP 参数 2-16

表 2-3 无线帧结构 2 及切换时间间隔 2-17

表 2-4 层映射配置 2-21

表 2-5 空间复用场景下码字到层的映射关系 2-21

表 2-6 发射分集场景下码字到层的映射关系 2-22

表 2-7 两天线口配置下使用的传输用码本 2-24

表 2-8 下行 PRB 参数 2-27

表 2-9 SSS 索引举例 2-30

图 2-43 MIB 映射至 PBCH（FDD 模式下使用普通 CP） 2-35

图 2-44 MIB 映射至 PBCH（TDD 模式下使用普通 CP） 2-35

表 2-10 CFI 映射 2-36

表 2-11 CFI 码字	2-37
表 2-12 DCI 格式.....	2-43
表 2-13 DCI 信息比特的模糊尺寸	2-44
表 2-14 四天线口场景下（开环）的预编码信息字段	2-47
表 2-15 小区选择参数	2-60
表 2-16 SC-FDMA 技术与 OFDMA 技术.....	2-63
表 2-17 随机接入前导参数.....	2-65
表 2-18 PRACH 配置索引	2-67
表 2-19 TDD 配置的 K 值	2-71
表 2-20 PUCCH 格式	2-77
表 2-21 随机接入参数	2-83
表 2-22 FDD 子帧样式	2-90
表 2-23 TDD 子帧样式	2-90
表 2-24 TDD 模式下的 HARQ 进程	2-94
表 2-25 上行 HARQ	2-95
表 2-26 基于码本的预编码.....	2-100
表 2-27 4 比特 CQI 表.....	2-101
表 3-1 PDSCH 调制和 TBS 索引表	3-7

1 移动通信系统空中接口概述

课程目标

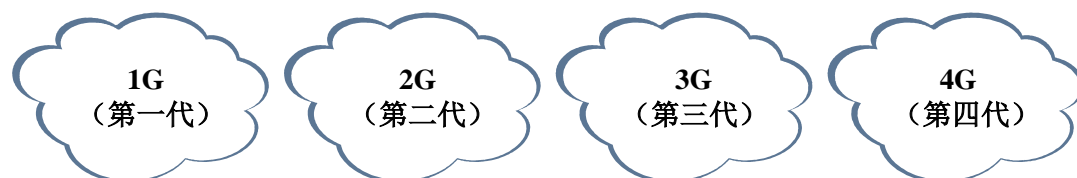
学完本章后你可以：

- 1.1 了解蜂窝网络的演进历史
- 1.2 了解 3GPP 从 R99 到 R8 的各个版本
- 1.3 了解无线接口技术
- 1.4 了解 FDD 和 TDD 模式的不同
- 1.5 了解灵活的频谱使用范围
- 1.6 了解信道编码和 FEC 的概念
- 1.7 了解 OFDM 基本原理

1.1 蜂窝网络的演进

蜂窝移动网络已经演进了很多年。最初的网络被称为“第一代”移动通信系统。“第一代”网络现在已经被“第二代”、“第三代”网络所取代。而 4G 或者说“第 4 代”移动通信系统现在海外已经开始部署，国内已进行了大量的实验网工作，即将部署。

图1-1 蜂窝网络的演进



1.1.2 第一代移动通信系统

1G（即第一代）移动通信系统并非数字系统，而是使用了**模拟调制技术**。第一代移动通信系统主要有以下这些：

- **AMPS**（Advanced Mobile Telephone System，先进移动电话系统）。最早于 1976 年出现在美国。它主要应用于美洲、俄罗斯和亚洲。其主要问题是安全性差，表现在易于遭破解和手机复制。
- **TACS**（Total Access Communications System，全接入通信系统）。它是欧洲版的有少量修改的 **AMPS** 系统，它工作在与 **AMPS** 不同的工作频段。它主要应用于英国和部分亚洲国家。
- **ETACS**（Extended Total Access Communications System，扩展全接入通信系统）。它是 **TACS** 的改进版。它提供更多的信道供更多的用户使用。

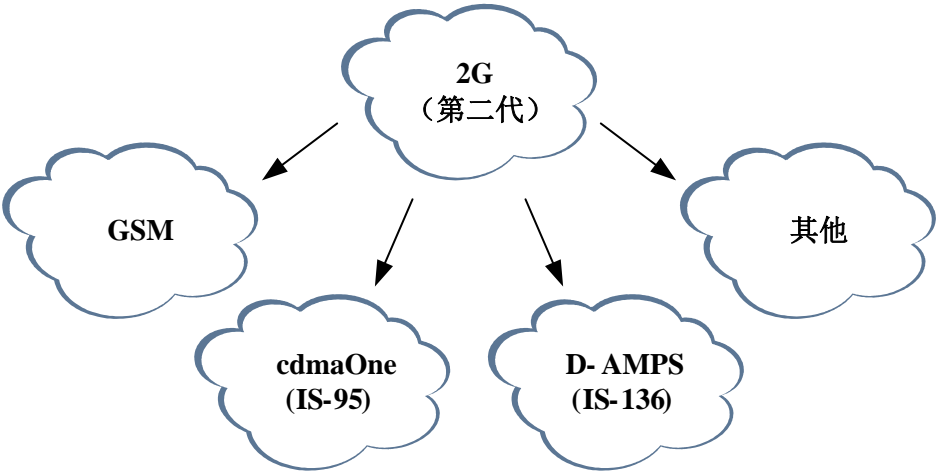
这些模拟系统均是私有系统，其接口不开放。因此，他们的安全性欠佳，也不能处理实际意义上的数据业务和进行国际漫游业务。

1.1.3 第二代移动通信系统

2G（即第二代）移动通信系统采用了**数字多址技术**，包括 **TDMA**（Time Division Multiple Access，时分多址）和 **CDMA**（Code Division Multiple Access，码分多址）。几种 2G 移动通信系统如图 1-2 所示，主要有以下几种：

- **GSM**（Global System for Mobile communications，全球移动通信系统）。它是所有 2G 技术中最成功的。**GSM** 是由 ETSI（European Telecommunications Standards Institute，欧洲电信标准协会）首先提出的，它是为欧洲设计的工作在 900MHz 和 1800MHz 频段的系统。目前，它获得全球范围内的支持并发展到许多其他工作频段，例如：850MHz 和 1900MHz 频段。三频段或四频段手机允许一部手机支持多种频段。**GSM** 采用时分多址技术，即在一个 200kHz 的无线载波上有 8 个时隙。
- **cdmaOne**。它是基于 **IS-95**（Interim Standard 95，过渡性标准 95）的码分多址系统。**CDMA** 采用扩频技术并通过扩频码和时间来区分小区和信道。其系统带宽为 1.25MHz。
- **D-AMPS**（Digital-Advanced Mobile Phone System，数字先进移动电话系统）。它是基于 **IS-136**（Interim Standard 136，过渡性标准 136）开发的。它采用时分多址接入技术，是对于 **AMPS** 系统的有力增强。此系统主要应用于北美大陆，也应用于新西兰和部分亚太地区。

图1-2 第二代移动通信系统



这些 2G 数字系统采用数字技术，增加了系统容量，增强了系统安全性。同时，也能提供增强性业务，比如：SMS（Short Message Service，短信业务）和交换域数据业务。

2.5G 系统

大多数 2G 系统都在演进。例如，为支持更有效地分组数据业务，同时提高数据传输速率，GSM 发展为支持 GPRS（General Packet Radio System，通用分组无线系统）。

由于不满足 3G 要求，GPRS 通常被称为 2.5G。2G 和 2.5G 系统的比较如表 1-1 所示。

2.75G 系统

GSM/GPRS 系统同样也演进到 EDGE（Enhanced Data Rates for Global Evolution，GSM 演进增强数据速率）。该技术几乎把吞吐量提升到了 GPRS 的四倍。473.6bit/s 的理论速率使运营商可以有效提供多媒体业务。与 GPRS 一样，EDGE 也达不到 3G 系统的要求，因此通常被称为 2.75G 系统。

表1-1 2.5G 和 2.75G GSM/GPRS 系统

系统	业务	理论数据速率	典型数据速率
2G GSM	电路域数据业务	9.6kbit/s 或 14.4kbit/s	9.6kbit/s 或 14.4kbit/s
2.5G GPRS	分组域数据业务	171.2kbit/s	4kbit/s 到 50kbit/s
2.75G EDGE	分组域数据业务	473.6kbit/s	120kbit/s

1.1.4 第三代移动通信系统

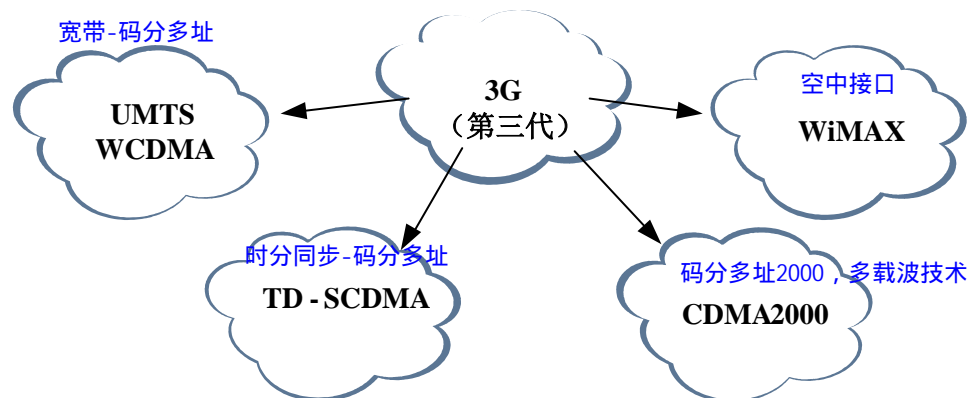
3G（即第三代）移动通信系统是由 IMT2000（International Mobile Telecommunications-2000，国际移动通信 2000）所定义的。IMT2000 还定义了 3G 系统

需提供更高的传输速率，即为静止或移动终端提供 2Mbit/s 的传输速率，为车载设备提供 384kbit/s 的传输速率。

几种主要的 3G 技术如图 1-3 所示，主要包含以下这些：

- **WCDMA**（Wideband CDMA，**宽带 CDMA**）。它是由 3GPP 提出的。这个标准有很多变体，包括 TD-CDMA 和 TD-SCDMA。WCDMA 是 GSM/GPRS 网络的主要演进路径。它是 FDD（Frequency Division Duplex，时分双工）系统，占用 5MHz 载波。当前部署的 WCDMA 主要工作在 2.1GHz 频段，其他低工作频段还包括 UMTS1900、UMTS850 以及 UMTS900 等。大多数 WCDMA 运营商起初为每用户提供 384kbit/s 的速率，虽然 WCDMA 可为语音和多媒体业务提供 2Mbit/s 的初始理论速率。然而，此技术也不断发展。在 3GPP 后续版本中，速率已超过 40Mbit/s。
- **TD-SCDMA**（Time Division Synchronous CDMA，**时分同步 CDMA**）。它是由西门子公司和 CATT（China Academy of Telecommunications Technology，中国电信技术研究院）联合提出的。TD-SCDMA 与 UMTS 规格相关，在 3GPP 协议中被称为 UMTS-TDD。
- **CDMA2000**。它是使用 CDMA 技术的**多载波技术**标准。CDMA2000 是包含 CDMA2000 EV-DO（Evolution-Data Optimized，演进数据优化）的一系列标准集合。EV-DO 有多种“修订”版本。值得注意的是：CDMA2000 与 cdmaOne 后向兼容。
- **WiMAX**（Worldwide Interoperability for Microwave Access）。它是满足 IMT2000 3G 要求的另一种无线技术。**空中接口**是 IEEE（Institute of Electrical and Electronics Engineers，美国电气及电子工程师协会）802.16 标准所定义的。此标准最初定义了 PTP（Point-To-Point，点对点）和 PTM（Point-To-Multipoint，点对多点）系统。后续又增强了移动性和更大的灵活性。WiMAX 的成功主要归功于“WiMAX 论坛”组织，该组织主要致力于推动不同运营商之间的一致性和互通性。

图1-3 第三代移动通信系统



1.1.5 第四代移动通信系统

4G（即第四代）**蜂窝无线通信系统**是 IMT Advanced（International Mobile Telecommunications Advanced，国际移动通信 Advanced）所定义的，必须满足 ITU（International Telecommunications Union，国际电信联盟）所设定的要求。表 1-2 列举了这些要求（特性），使 IMT Advanced 能满足不断提高的用户需求。

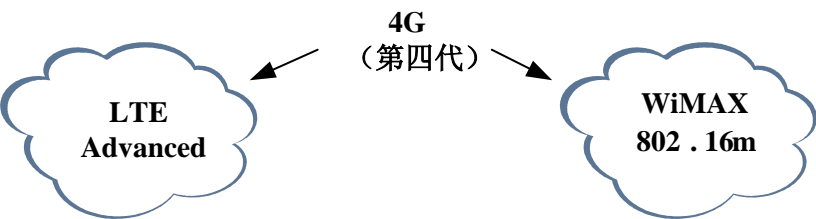
表1-2 IMT Advanced 特性

IMT Advanced 主要特性
在保证低成本、多业务的基础上，满足世界范围内功能性的高度融合
满足 IMT 内部与固网业务的兼容
具有与其他无线接入系统的互通能力
提供高质量移动业务
提供能全球漫游的用户终端
提供用户友好型应用程序，业务和设备
满足终端全球漫游
具有增强型峰值数据速率以支持高级业务和应用程序，例如低速移动业务需达到 1Gbit/s 的速率，高速移动业务需达到 100Mbit/s 的速率。

主要的 4G 系统有以下 3 种：

- **LTE Advanced**（长期演进 Advanced，又称 LTE+或者 LTE-A）。在 3GPP 协议中定义的 LTE 并不满足 IMT Advanced 的全部要求，因此，LTE 有时也被称为 3.99G。而 LTE Advanced 是 3GPP 更晚版本中定义的，是为满足 4G 要求特别设计的。
- **WiMAX 802.16m**。IEEE 和 WiMAX 论坛定义了他们的 4G 系统——802.16m。

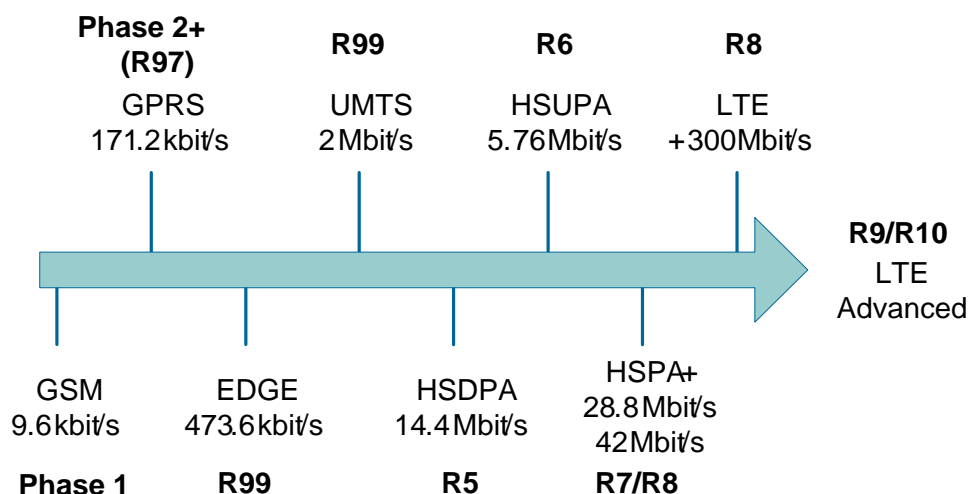
图1-4 第四代移动通信系统



1.2 3GPP 协议版本

GSM、GPRS、EDGE、UMTS、HSPA 和 LTE 是伴随 3GPP 协议版本逐步发展起来的。硬件设备商和软件开发人员使用这些协议来做为他们的开发路标。主要的 3GPP 协议版本如图 1-5 所示，这些协议包含了空中接口的增强特性。

图1-5 3GPP 协议版本



这些 3GPP 协议不仅包含了空中接口的增强特性,也包含了其他方面的增强特性。例如, R5 开始把 IMS (IP Multimedia Subsystem, IP 多媒体子系统) 引入到核心网中。

1.2.2 R99 之前协议

R99 之前协议介绍了 GSM,也介绍了 GPRS。R99 之前的主要 GSM Phase 和 3GPP 协议包括以下这些:

- GSM Phase 1
- GSM Phase 2
- GSM Phase 2+ (R96)
- GSM Phase 2+ (R97)
- GSM Phase 2+ (R98)

1.2.3 R99

3GPP R99 介绍了 UMTS,也介绍了 GPRS 的增强型系统 EDGE。UMTS 包含了由 ITU 定义的满足 IMT-2000 要求的所有特性。它能支持 CS (Circuit Switched, 电路域) 的语音和视频业务,也包含 PS (Packet Switched, 分组域) 的数据业务。数据业务由普通和专用信道承载。UMTS 的初始数据速率是 64 kbit/s、128 kbit/s 和 384 kbit/s。注意它的理论最大速率可以达到 2 Mbit/s。

1.2.4 R4

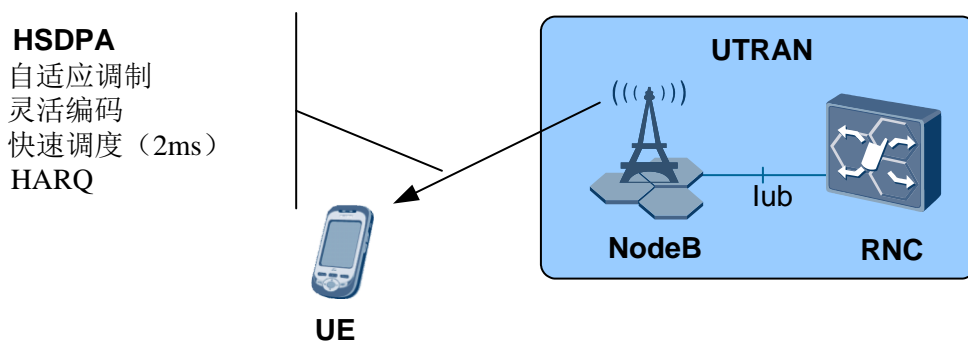
R4 包含了核心网的一些增强特性。R4 提出了“全 IP 网络”的概念,由此业务提供商能部署基于软件交换的网络。例如, MSC (Mobile Switching Centre, 移动交换中心) 由 MSC 服务器和 MGW (Media Gateways, 多媒体网关) 所取代。

1.2.5 R5

R5 首次对 UMTS 空中接口性能作出了有力补充。R5 包含了 **HSDPA** (High Speed Downlink Packet Access, **高速下行分组接入**) 特性。该特性增强了系统容量,提高了频谱效率。R5 中的一些主要特性如图 1-6 所示,包含以下这些:

- **自适应调制**。除了支持原来的 UMTS 调制方式 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying, 正交相移键控) 外, HSDPA 还支持 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation, 正交调幅)。
- **灵活编码**。基于手机以 CQI (Channel Quality Indicator, 信道质量指示) 的形式给予的快速反馈, UMTS 基站, 即 NodeB 能有效修改码率达到增加系统效率的目的。
- **快速调度**。HSDPA 支持 2ms TTI (Time Transmission Interval, 传输时间间隔), 是 NodeB 调度器能快速有效分配资源给手机。
- **HARQ** (Hybrid Automatic Repeat Request, **混合自动重传**)。当数据包无法成功传送到 UE (User Equipment, 用户设备) 时, 系统采用 HARQ 的方式进行重传。HARQ 增加了重传次数, 减少了对 RNC (Radio Network Controller, 无线网络控制器) 的依赖。

图1-6 **HSDPA**



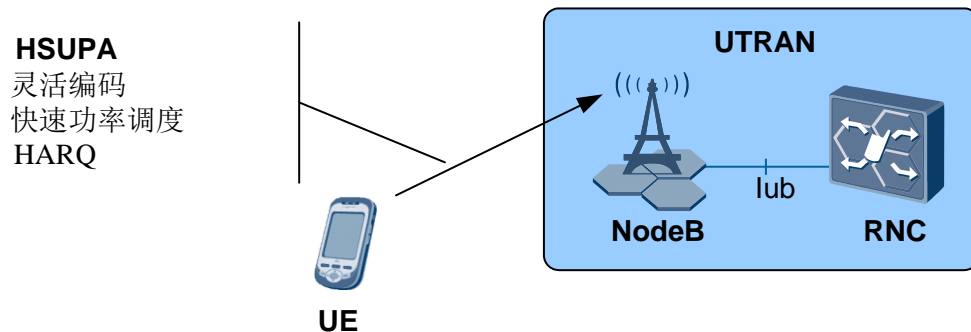
1.2.6 R6

R6 新增了多方面的特性,而其中对 RAN 的发展最有影响的是 **HSUPA** (High Speed Uplink Packet Access, **高速上行分组接入**)。虽然 HSUPA 的称谓广泛传播,但在 3GPP 协议里也被称为“上行增强”。同样值得注意的是: HSDPA 和 HSUPA 通常在一起被称为 **HSPA** (High Speed Packet Access, **高速分组接入**)。

如同 HSDPA 一样, HSUPA 也增加了改进分组数据速率的功能。3 个主要的增强特性如图 1-7 所示,包含下面这些:

- **灵活编码**。HSUPA 能动态调整编码速率来提高系统效率。
- **快速功率调度**。HSUPA 的一个关键点在于它能调度不同手机的功率。这种调度以 2ms TTI 或 10ms TTI 进行。
- **HARQ**。同 HSDPA 一样, HSUPA 也使用 HARQ。主要区别在于重传的时间间隔。

图1-7 HSUPA

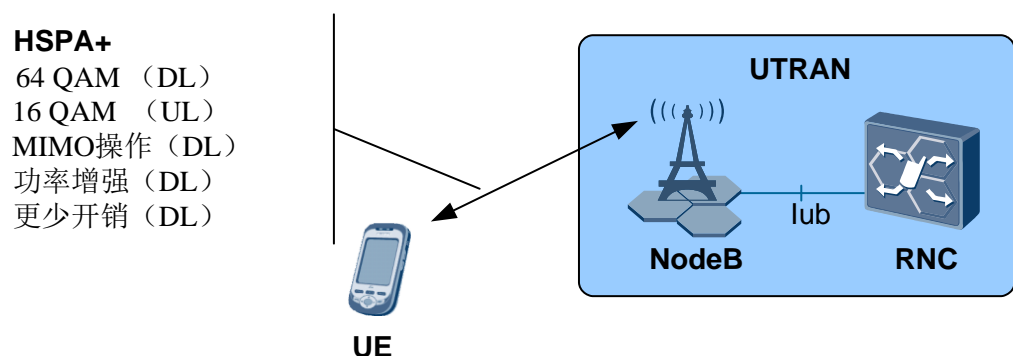


1.2.7 R7

R7 中与 RAN 相关的主要特性是 **HSPA+**。同 HSDPA 和 HSUPA 一样，HSPA+提供了提高分组域数据传输速率的许多增强特性。HSPA+的主要特性如图 1-8 所示，包括以下这些：

- **64QAM**。该特性应用于 DL（Downlink，下行），使 HSPA+能以 21.6Mbit/s 的理论速率工作。
- **16QAM**。该特性应用于 UL（Uplink，上行），使上行达到 11.76Mbit/s 的理论速率。
- **MIMO**（Multiple Input Multiple Output，多入多出）操作。该特性在 HSPA+（R7）中开始体现。MIMO 提供多种好处，包括提供 28.8Mbit/s 的下行理论速率。
- **增强功率**。包括 CPC（Continuous Packet Connectivity，连续包连通性）等众多增强特性。这些特性使 DTX（Discontinuous Transmission，不连续性发射），DRX（Discontinuous Reception，不连续性接收）和 HS-SCCH（High Speed - Shared Control Channel，高速共享控制信道）少操作模式得以实现。总体说来，这些特性减少了手机的电池消耗。
- **更少开销**。HSPA+在下行能对 **MAC**（Medium Access Control，**媒介接入控制**）层进行增强，使需要的包头有效减少。该特性使系统效率得到提高。

图1-8 HSPA+（R7）



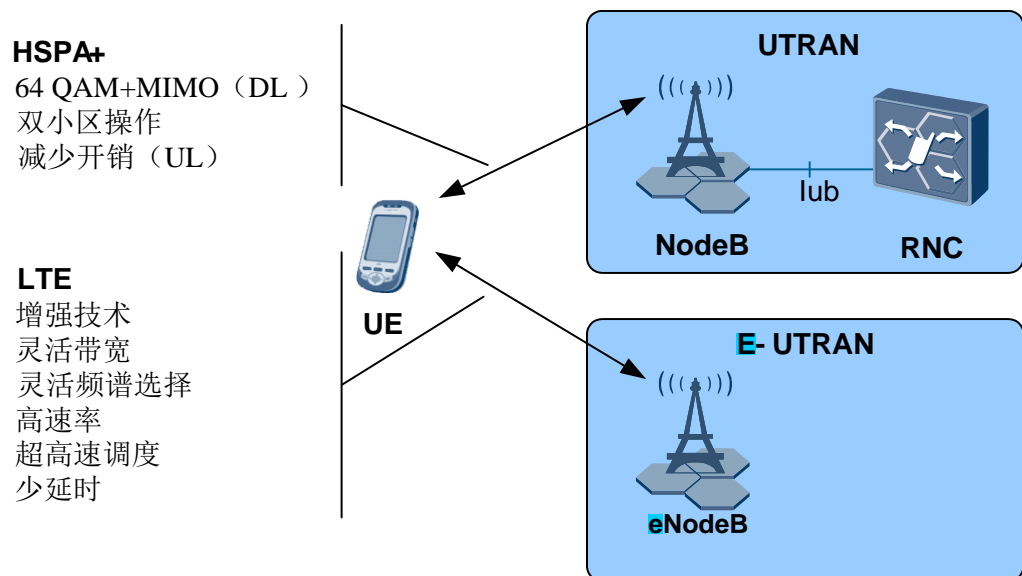
1.2.8 R8

R8 中有许多对 RAN 功能增强的特性，比如对 HSPA+ 的增强。然而，R8 的主要方面是介绍了 **LTE**（Long Term Evolution，长期演进）。R8 中 HSPA+ 和 LTE 的主要特性如图 1-9 所示。

R8 中 HSPA+ 包含了许多关键增强特性，包括以下这些：

- **64QAM** 和 **MIMO**。R8 合并了 64QAM 和 MIMO，使理论速率达到 42Mbit/s，即 2 x 21.6Mbit/s。
- **双小区操作**。在 R8 中引入的特性 DC-HSDPA（DualCell – HSDPA，双小区 HSDPA）在 R9 和 R10 中得到进一步增强。它使手机能有效使用两个 5MHz 的 UMTS 载波。假使这两个载波均使用 64QAM 调制方式（即 21.6Mbit/s 的速率），则最高理论速率能达到 42Mbit/s。注意在 R8 中，手机是无法同时使用 MIMO 和 DC-HSDPA 的。
- **更少上行开销**。与 R7 中的下行开销类似，R8 中减少了上行开销。

图1-9 HSPA+和LTE（R8）

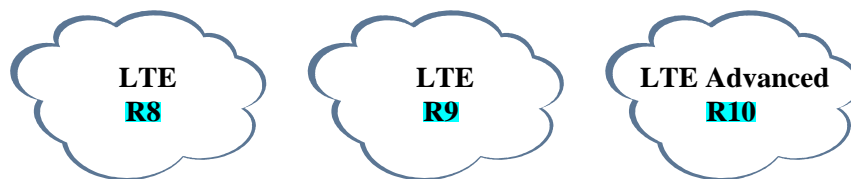


LTE 是一种新的无线接入技术，提供了 E-UTRAN（Evolved – Universal Terrestrial Radio Access Network，演进型通用陆地无线接入网）的增强特性。这些特性在本课程的后面部分将接着讨论。

1.2.9 R9 和后续协议

虽然 LTE 是在 R8 中提出的，它在 R9 中得到了进一步增强。**R9** 中包含了 LTE 的大量特性。其中最重要的一个方面是支持更多的频段。

图1-10 R9 和后续协议

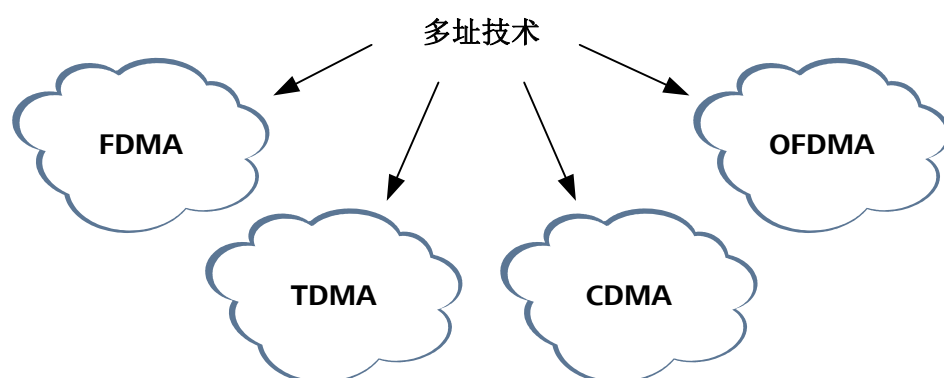


R10 包含了 LTE Advanced 的标准化，即 3GPP 的 4G 要求。这样，R10 对 LTE 系统进行了一定的修改来满足 4G 业务。

1.3 多址技术

在无线蜂窝系统，移动设备必须共用普通介质进行多址传输。多址技术分类繁多，主要有四种技术：**频分多址**（FDMA，Frequency Division Multiple Access）、**时分多址**（TDMA，Time Division Multiple Access）、**码分多址**（CDMA，Code Division Multiple Access）以及**正交频分多址**（OFDMA，Orthogonal Frequency Division Multiple Access）。

图1-11 多址技术

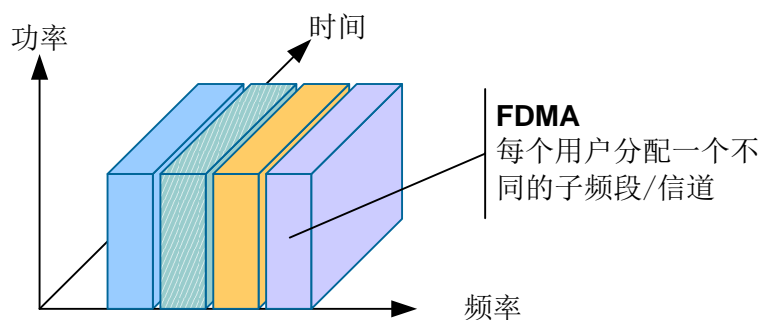


1.3.2 频分多址

为了在同一无线网络上运行各种设备，FDMA 将可用频谱划分成各类子频段或信道。FDMA 的概念如图 1-12 所示。使用 FDMA 技术，一个专用信道可以分配给一个用户，同时，**其它用户占用其它的信道**（即，**频率**）。

在蜂窝系统，移动设备一般会占用多个信道，一个用于下行，一个用于上行。但是，由于**大部分数据应用集中在下行**，因此这会使得 FDMA 效率低下。

图1-12 频分多址

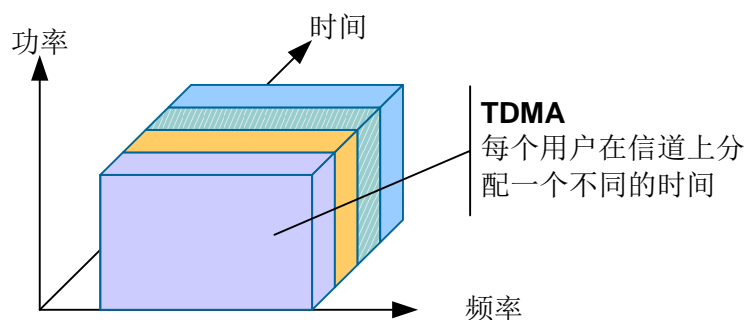


由于来自传输的能量会影响相邻的信道，因此 FDMA 信道无法靠近在一起。在这种情况下，FDMA 信道效率就会受到影响。为了抵抗这种损失，信道间需要增加保护频段。但这会降低系统的频谱效率。

1.3.3 时分多址

在 TDMA 系统，信道带宽在时域进行共享。TDMA 的概念如图 1-13 所示。图中显示了每个设备是如何在信道上进行时间（即，时隙）分配的。然后，这些时隙会组成一个 TDMA 帧。一个 TDMA 帧中时隙的数量依赖于系统，例如，GSM 系统占用 8 个时隙。

图1-13 时分多址



由于设备必须要分配时隙，因此通常需要预留一个或多个时隙用于公共控制和系统接入。

通常，TDMA 系统为数字制式的。因此，它提供了加密和完整性等附加特性。此外，TDMA 系统能够使用包括 FEC（Forward Error Correction）在内的增强错误检测和纠正方案。这使得系统对噪声和干扰能够更灵活处理。因此，同 FDMA 系统相比，TDMA 系统提供了更高的频谱效率。

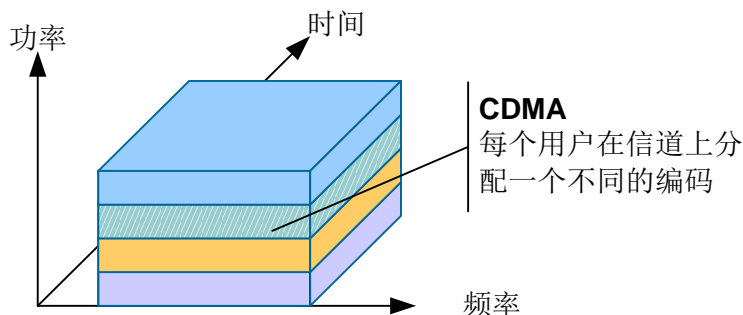
1.3.4 码分多址

CDMA 在概念上与 FDMA 和 TDMA 有些许不同。在 CDMA 系统，设备在时域或频域无需进行资源共享，能够在相同的频率/带宽上同时使用系统。由于每种传输使用唯一的编码进行区分，因此这是可能发生的。

主要有两种类型的 CDMA 技术：**FHSS**（Frequency Hopping Spread Spectrum）和 **DSSS**（Direct Sequence Spread Spectrum）。**所有当前的蜂窝系统使用 DSSS 技术。**

CDMA 的基本概念如图 1-14 所示。窄带信号在传输前使用宽带码进行扩频。通过设计，接收机可以提取含有正确编码的扩频信号，并将其它信号作为噪声进行拒绝。

图1-14 码分多址



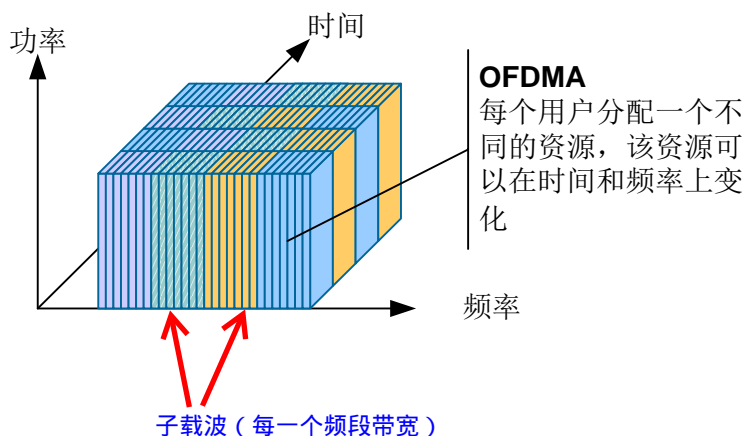
UMTS、cdmaOne 以及 CDMA2000 全部使用 CDMA 技术。但是它们的编码及带宽的实现上是不同的。例如，UMTS 使用 5 MHz 信道带宽，而 cdmaOne 只使用 1.25 MHz 信道带宽。

1.3.5 正交频分多址

蜂窝系统最新增加了 OFDMA（Orthogonal Frequency Division Multiple Access）技术。OFDMA 是一种基于 OFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）的多址技术。OFDMA 的基本视图如图 1-15 所示。从图中可以看到，带宽分成了更小的单元（即，**子载波**）。这些单元按组分在一起并作为一个资源分配给设备。也可以从图中看到，设备能够在时域和频域上分配不同的资源。

有关 OFDM 和 OFDMA 更详细的描述，可参考 1.7 和 2.6 节。

图1-15 正交频分多址



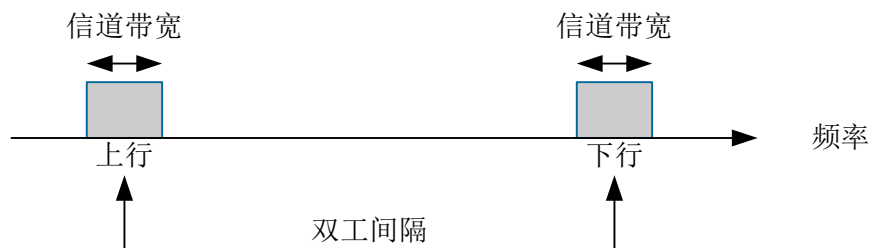
1.4 双工方式

蜂窝系统可以设计工作在两种主要的双工方式下，即，频分双工（FDD，Frequency Division Duplex）和时分双工（TDD，Time Division Duplex）方式。

1.4.1 频分双工

FDD 的概念如图 1-16 所示。上行和下行用不同的频率分离，这使得设备（假设设备提供双工器）可以同时发送和接收数据。上行和下行载波之间的间隔称为双工间隔。

图1-16 频分双工



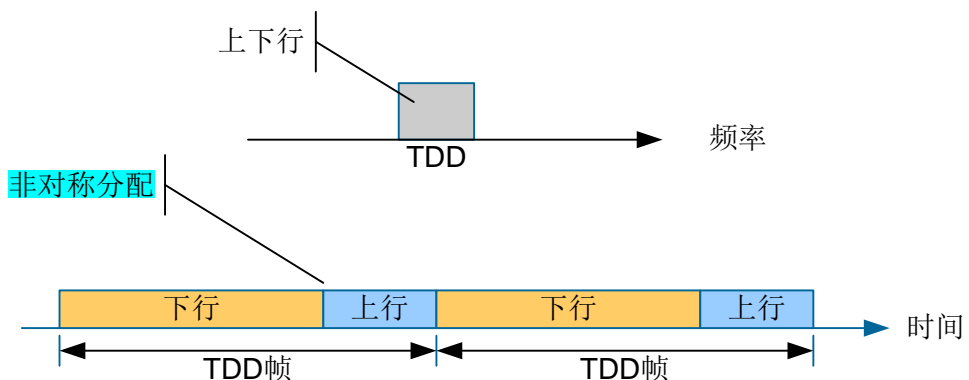
通常，上行载波移动设备发射的频率较低。这样做的目的是因为高频率要比低频率受到衰减的影响大，因此这允许手机使用更低的发射功率，从而降低手机复杂度及成本。

某些系统也提供了半双工 FDD 方式，该方式使用了两个频率。但是移动设备只能发射或接收，即，不能同时发射和接收。由于不要求双工滤波器，因此这种方式可以降低移动设备的复杂性。

1.4.2 时分双工

TDD 方式通过单频段和时分复用上下行信号实现了全双工运行。TDD 的一个优势就是它能够提供非对称上下行分配。TDD 的其他优点还包括动态资源分配、频谱效率提升以及改进波束赋形技术的使用（这是因为上下行频率特性相同）。

图1-17 时分双工



1.5 频谱划分

任何蜂窝系统都需部署频率。大部分 2G、3G 和 4G 系统都提供了多种选择。例如，GSM 系统可以部署在各种频段上，包括 900 MHz、1800 MHz、1900 MHz、850 MHz 等。

1.5.1 频段

每个蜂窝系统都定义了自己可以运行的一套频段。为了识别可能的 LTE 频段，需要说明诸如 GSM 和 UMTS 等其它技术使用的频段。

GSM 频段

针对 GSM 定义的主要频段如表 1-3 所示。但是，由于可能存在监管问题以及某些手机和基站的限制，这些频段不一定可用。

初始 GSM 频段称为 P-GSM（Primary GSM）。主要目的是替代同样存在于 900 MHz 频段中的 TACS 系统。其它增加的 900 MHz 频段包括 E-GSM（Extended GSM）和 R-GSM（Railways GSM）频段，从而提供了更多的信道以及支持基于铁路的变型。在 900 MHz 频段外的其它频段也是可用的。但是，450 MHz 和 480 MHz 支持受限。DCS（Digital Cellular Service）和 PCS（Personal Communications Service）一般分别用于欧洲和北美以标识所采用的更高频率。预计这些频率将在建成区域提供更好的重用，从而提高系统容量。

表1-3 GSM 频段

工作频段	频段（MHz）	上行频率（MHz）	下行频率（MHz）
GSM 400	450	450.4 - 457.6	460.4 - 467.6
GSM 400	480	478.8 - 486.0	488.8 - 496.0
GSM 850	850	824.0 - 849.0	869.0 - 894.0
GSM 900（P-GSM）	900	890.0 - 915.0	935.0 - 960.0
GSM 900（E-GSM）	900	880.0 - 915.0	925.0 - 960.0
GSM-R（R-GSM）	900	876.0 - 880.0	921.0 - 925.0
DCS 1800	1800	1710.0 - 1785.0	1805.0 - 1880.0
PCS 1900	1900	1850.0 - 1910.0	1930.0 - 1990.0

UMTS 频段

像 GSM 一样，UMTS 也定义了许多频段。这些频段有一个工作频段号以及相关的上下行频率范围，如表 1-4 所示。

表1-4 UMTS FDD 频段

工作频段	频段（MHz）	上行频率（MHz）	下行频率（MHz）
I	2100	1920 - 1980	2110 - 2170
II	1900	1850 - 1910	1930 - 1990
III	1800	1710 - 1785	1805 - 1880
IV	1700	1710 - 1755	2110 - 2155
V	850	824 - 849	869 - 894
VI	800	830 - 840	875 - 885
VII	2600	2500 - 2570	2620 - 2690
VIII	900	880 - 915	925 - 960
IX	1700	1749.9 - 1784.9	1844.9 - 1879.9
X	1700	1710 - 1770	2110 - 2170
XI	1500	1427.9 - 1452.9	1475.9 - 1500.9
XII	700	698 - 716	728 - 746
XIII	700	777 - 787	746 - 756
XIV	700	788 - 798	758 - 768

除了上述 UMTS FDD 频段外，也定义了各种 UMTS TDD 频段。主要的 TDD 频段如表 1-5 所示。但是，这些频段中大部分还未实现。

表1-5 UMTS TDD 频段

频段（MHz）
1900 - 1920
2010 - 2025
1850 - 1910
1930 - 1990
1910 - 1930
2570 - 2620

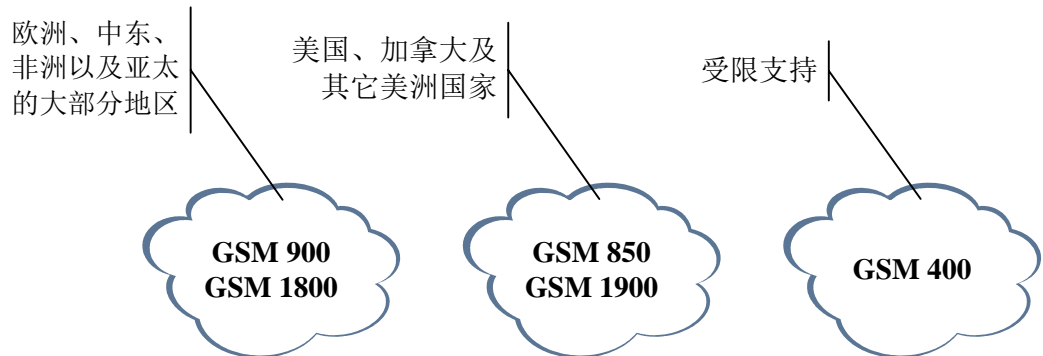
1.5.2 现有部署

当前移动业务提供商的名单在持续增加。最新的 GSM/UMTS 和 LTE 运营商名单由 GSMA（GSM Association）维护。

GSM 部署

主要的 GSM 部署频段如图 1-18 所示。从图中可以看到，GSM 900 和 GSM 1800 在全球的大部分地区（欧洲、中东、非洲以及亚太的大部分地区）使用。相反，GSM 850 和 GSM 1900 主要在北美、加拿大以及其它地方使用。低频段（即，GSM 400/450）支持受限。

图1-18 GSM 部署



主要的 UMTS 部署

主要的 UMTS 部署频段如图 1-19 所示，包括：

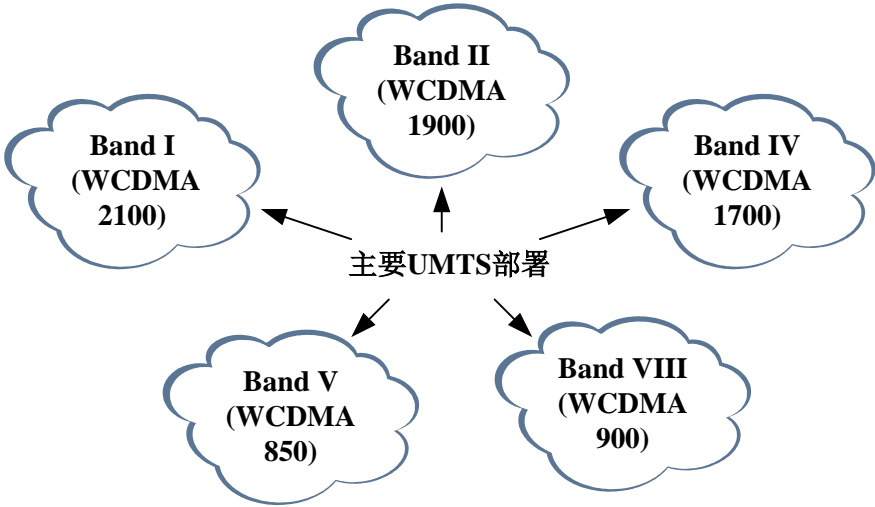
- Band I (WCDMA 2100) – 主要在欧洲、非洲、亚洲、澳大利亚、新西兰和巴西使用。
- Band II (WCDMA 1900) – 在北美和南美使用。
- Band IV (WCDMA 1700) – 通常称为 AWS (Advanced Wireless Services) 频段。北美和加拿大的某些业务提供商已经接入了该频段。
- Band V (WCDMA 850) – 主要在北美、南美、澳大利亚、新西兰、加拿大、以色列、波兰和亚洲使用。
- Band VIII (WCDMA 900) – 目前正在欧洲、亚洲、澳大利亚、新西兰和委内瑞拉使用。



说明

上面列举的这些频段及其使用并不是唯一的。同样，其它国家和其它蜂窝系统可能存在。

图1-19 关键的 UMTS 部署频段



1.5.3 LTE R9 频段

LTE 空中接口，即，**E-UTRA**（Evolved - Universal Terrestrial Radio Access）可以工作在多个不同的无线频段。R9 频段和用于标识中心频率的其它参数如表 1-6 所示。FDD 要求两个中心频率，一个用于下行，一个用于上行。每一个上、下行载波频率都分配一个**无线频率信道数** **EARFCN** (E-UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number)，其取值范围为 0-65535。相反，TDD 只有一个 EARFCN.计算 EARFCN 所要求的参数包括：

- F_{DL_low} – 下行频段的低频率。
- F_{DL_high} – 下行频段的高频率。
- $N_{Offs-DL}$ – 用于下行 EARFCN 计算。
- N_{DL} – 实际下行 EARFCN 号。
- F_{UL_low} – 上行频段的低频率。
- F_{UL_high} – 上行频段的高频率。
- $N_{Offs-UL}$ – 用于上行 EARFCN 计算。
- N_{UL} – 实际上行 EARFCN 号。

表1-6 LTE R9 频段

频段	双工方式	F_{DL_low} (MHz)	F_{DL_high} (MHz)	$N_{Offs-DL}$	N_{DL}	F_{UL_low} (MHz)	F_{UL_high} (MHz)	$N_{Offs-UL}$	N_{UL}
1	FDD	2110	2170	0	0-599	1920	1980	18000	18000-18599
2	FDD	1930	1990	600	600-1199	1850	1910	18600	18600-19199
3	FDD	1805	1880	1200	1200-1949	1710	1785	19200	19200-19949
4	FDD	2110	2155	1950	1950-2399	1710	1755	19950	19950-20399
5	FDD	869	894	2400	2400-2649	824	849	20400	20400-20649

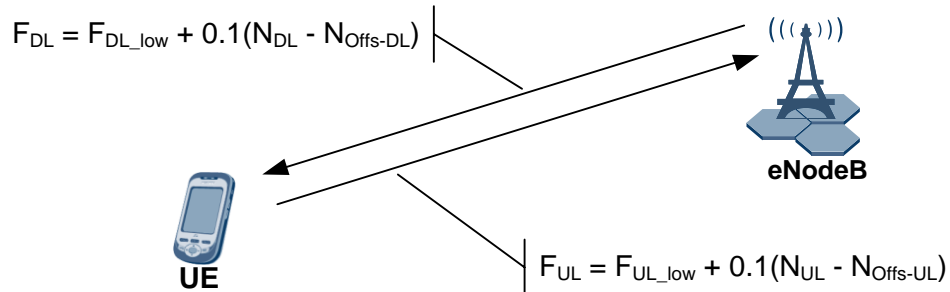
频段	双工方式	F _{DL_low} (MHz)	F _{DL_high} (MHz)	N _{Offs-DL}	N _{DL}	F _{UL_low} (MHz)	F _{UL_high} (MHz)	N _{Offs-UL}	N _{UL}
6	FDD	875	885	2650	2650-2749	830	840	20650	20650-20749
7	FDD	2620	2690	2750	2750-3449	2500	2570	20750	20750-21449
8	FDD	925	960	3450	3450-3799	880	915	21450	21450-21799
9	FDD	1844.9	1879.9	3800	3800-4149	1749.9	1784.9	21800	21800-22149
10	FDD	2110	2170	4150	4150-4749	1710	1770	22150	22150-22749
11	FDD	1475.9	1500.9	4750	4750-4999	1427.9	1452.9	22750	22750-22999
12	FDD	728	746	5000	5000-5179	698	716	23000	23000-23179
13	FDD	746	756	5180	5180-5279	777	787	23180	23180-23279
14	FDD	758	768	5280	5280-5379	788	798	23280	23280-23379
...									
17	FDD	734	746	5730	5730-5849	704	716	23730	23730-23849
18	FDD	860	875	5850	5850 – 5999	815	830	23850	23850 – 23999
19	FDD	875	890	6000	6000 – 6149	830	845	24000	24000 – 24149
20	FDD	791	821	6150	6150 – 6449	832	862	24150	24150 – 24449
21	FDD	1495.9	1510.9	6450	6450 – 6599	1447.9	1462.9	24450	24450 – 24599
...									
33	TDD	1900	1920	36000	36000-36199	1900	1920	36000	36000-36199
34	TDD	2010	2025	36200	36200-36349	2010	2025	36200	36200-36349
35	TDD	1850	1910	36350	36350-36949	1850	1910	36350	36350-36949
36	TDD	1930	1990	36950	36950-37549	1930	1990	36950	36950-37549
37	TDD	1910	1930	37550	37550-37749	1910	1930	37550	37550-37749
38	TDD	2570	2620	37750	37750-38249	2570	2620	37750	37750-38249
39	TDD	1880	1920	38250	38250-38649	1880	1920	38250	38250-38649
40	TDD	2300	2400	38650	38650-39649	2300	2400	38650	38650-39649

载波频率 EARFCN 计算

使用图 1-20 所示的等式和表 1-6 中给出的值计算 EARFCN。

对于所有频段，LTE 的信道光栅都是 100 kHz，即载波中心频率必须是 100 kHz 的整数倍。在等式中通过“0.1”来表示。

图1-20 EARFCN 计算



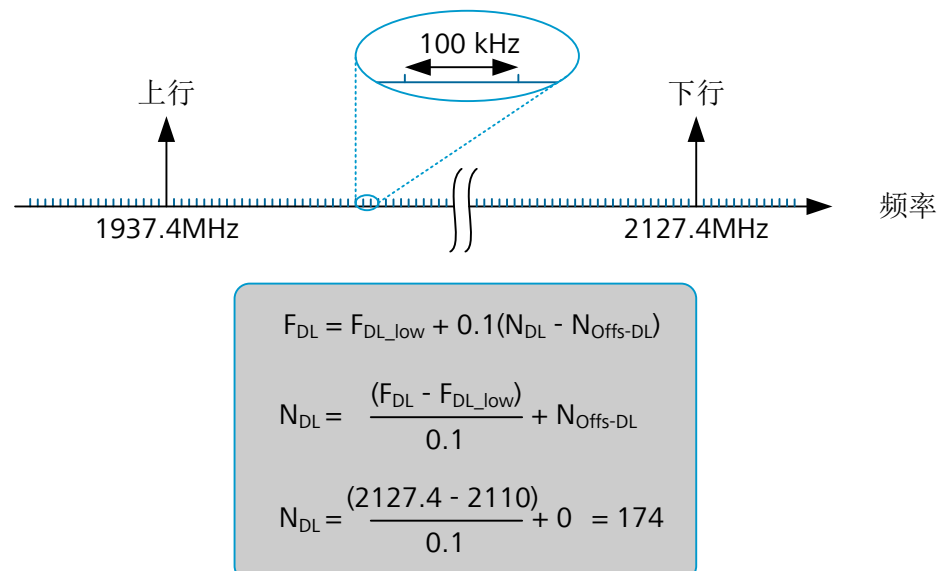
说明

指定了靠近工作频段边缘载波频率的信道号没有使用。这意味着靠近低频段边缘前端的信道号 7、15、25、50、75 和 100 以及靠近高频段边缘后端的信道号 6、14、24、49、74 和 99 没有分别用于 1.4、3、5、10、15 和 20 MHz 的信道带宽。

EARFCN 计算实例

利用前面的等式可以计算一个特定 EARFCN 的频率。也可以计算一个特定频率的 EARFCN。定义了上下行频率的一个实例如图 1-21 所示。从图中可以看到，下行频率为 2127.4 MHz，通过计算可得到 EARFCN 为 174。

图1-21 实例：下行 EARFCN 计算



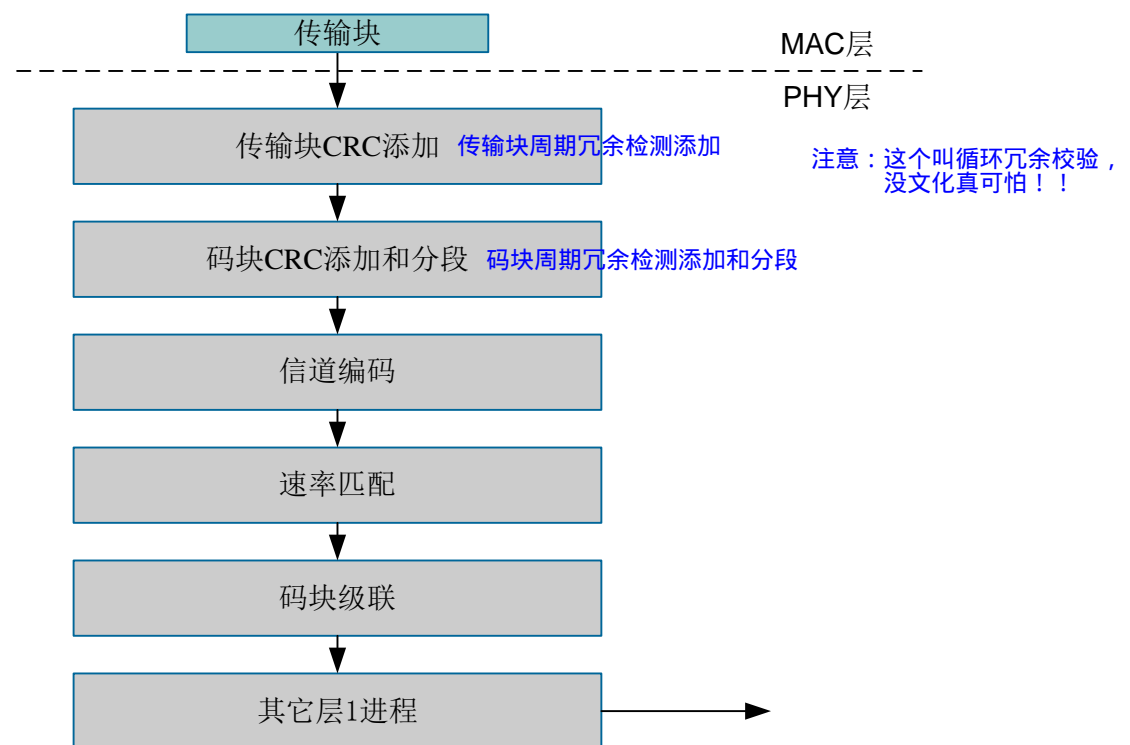
1.6 LTE 信道编码

“信道编码”广义的说是信道的整体编码情况，也可以狭义的指某个阶段的信道编码情况。

通常，LTE 信道编码主要是针对**传输块**（**TB**，Transport Block）。TB 是上层提供的信息块，上层一般指 MAC 层（Medium Access Control）。由物理层（Physical Layer）进行的典型信道处理流程如图 1-22 所示。这些流程包括：

- 传输块 CRC（Cyclic Redundancy Check）添加
- 码块分段及 CRC 添加
- 信道编码
- 速率匹配
- 码块级联

图1-22 LTE 传输信道处理



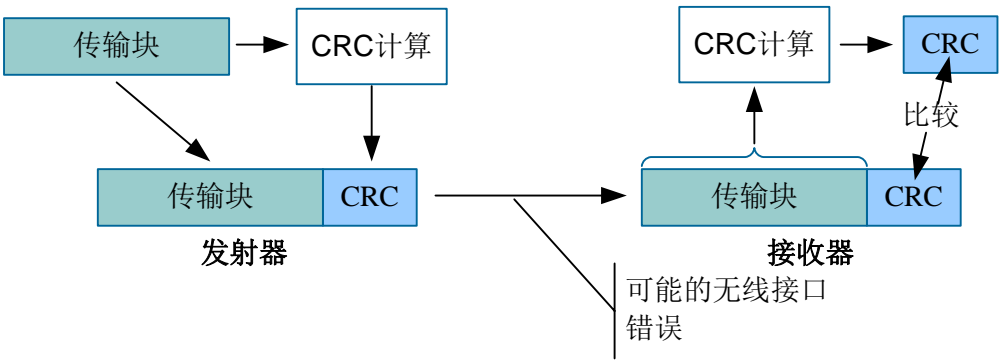
说明

图 1-22 所示编码阶段表示 LTE DL-SCH（Downlink Shared Channel）和 PCH（Paging Channel）。诸如 UL-SCH（Uplink Shared Channel）和 BCH（Broadcast Channel）等其它信道是不同的，但它们仍可以使用相似的流程。例如，它们都有一个信道编码阶段。

1.6.2 传输块循环冗余校验

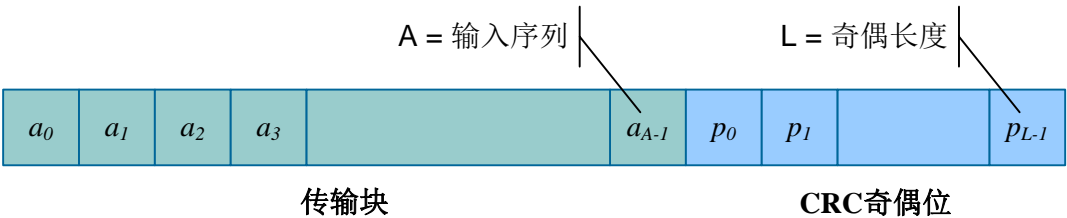
空中接口的错误检测是通过添加 CRC（Cyclic Redundancy Check）实现的。添加 CRC 到传输块的基本概念如图 1-23 所示。使用 CRC 的目的是检测数据发送时可能出现的错误。在 LTE 系统中，CRC 是基于复杂的奇偶校验实现的。

图1-23 循环冗余校验概念



使用 LTE 传输块计算 CRC 奇偶位。CRC 的大小设置为 24、16 或 8 位。通常，CRC 大小通过高层信令，即 RRC（Radio Resource Control）来指定。CRC 奇偶位如图 1-24 所示。其中，A 为传输块的大小，L 为奇偶位的个数。最低阶信息位 a_0 映射到传输块的最高位。

图1-24 CRC 奇偶位



奇偶位由下面其中一项循环生成多项式生成。

$$g_{\text{CRC24A}}(D) = D^{24} + D^{23} + D^{18} + D^{17} + D^{14} + D^{11} + D^{10} + D^7 + D^6 + D^5 + D^4 + D^3 + D + 1$$
$$g_{\text{CRC16}}(D) = D^{16} + D^{12} + D^5 + 1$$
$$g_{\text{CRC8}}(D) = D^8 + D^7 + D^4 + D^3 + D + 1$$

奇偶校验

编码是以系统的形式进行的，这意味着在 GF（2）（Galois Field（2））中，当下面的多项式除以相应的 24 位 CRC 生成多项式时，就会得到一个等于 0 的余数。

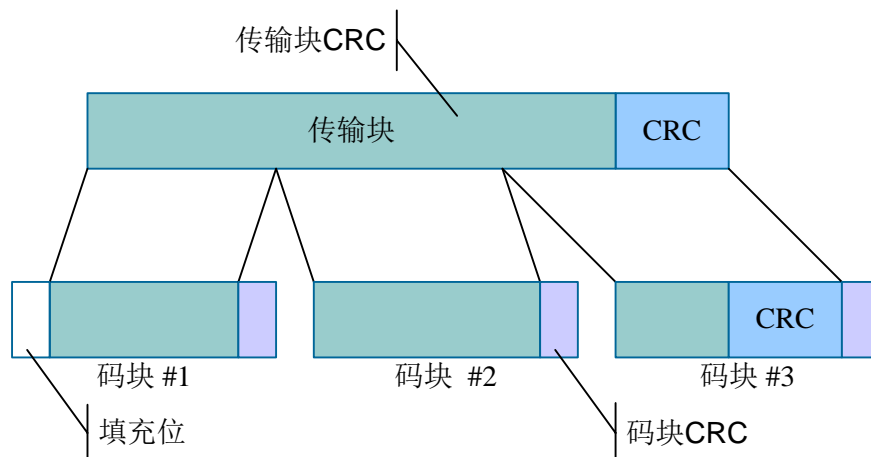
$$a_0D^{A+23} + a_1D^{A+22} + \dots + a_{A-1}D^{24} + p_0D^{23} + \dots + p_1D^{22} + p_{22}D^1 + p_{23}$$

注意：每一个 16 位和 8 位 CRC 生成程序都有一个不同的多项式，它也会得到一个等于 0 的余数。

1.6.3 码块分段及 CRC 添加

传输块处理的下一个阶段就是码块分段及 CRC 添加。码块分段的概念如图 1-25 所示。该流程确保了每个块的大小适用于后续阶段的处理（即 Turbo 码交织器）。每个码块（段）都包含了一个 CRC，用于 turbo 编码。

图1-25 码块分段及 CRC 添加



码块分段输入位序通过 b_0, b_1, \dots, b_{B-1} 表示。如果 B 大于最大码块大小 Z (6144 位)，那么就进行分段。最后，24 位 CRC 序列会添加到每个码块。

说明

如果 $B < 40$ ，填充位就添加到码块的起始处。

码块 CRC 不同于传输块使用的 CRC。多项式为：

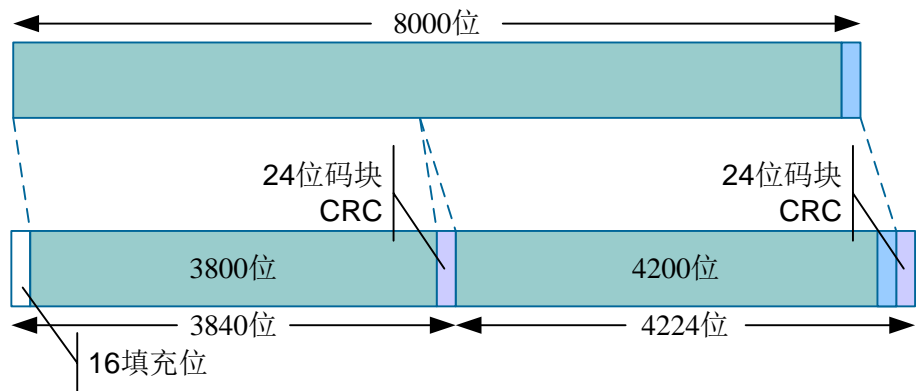
$$g_{\text{CRC24B}}(D) = D^{24} + D^{23} + D^6 + D^5 + D + 1$$

验证多项式与 g_{CRC24A} 传输块使用的一样，也会得到一个等于 0 的余数。

码块分段及 CRC 添加实例

$B=8000$ 时的分段实例如图 1-26 所示。实例中，初始分段大小为 4200 位（包括 24 位传输块 CRC），可得到 24 位码块 CRC。剩余的 3800 位也会得到 24 位码块 CRC。但是，还需要填充 16 位以确保分段满足有效的 turbo 编码块大小。

图1-26 分段及填充位计算实例



在本实例中，发送的总位数是 8064 位。因此，还需额外发送 64 位（24 + 24 + 16）。

1.6.4 信道编码

LTE 信道编码的功能为前向纠错（FEC，Forward Error Correction）。主要有 4 种类型：

- 重复编码
- 块编码
- 咬尾卷积编码
- Turbo 编码

使用的实际方法与 LTE 传输信道类型（表 1-7）或控制信息类型（表 1-8）有关。有关 LTE 信道类型和控制信息的更多描述，可参考 2.1 节。

表1-7 传输信道编码选择

传输信道	编码方法	速率
DL-SCH	Turbo 编码	1/3
UL-SCH		
PCH		
MCH		
BCH	咬尾卷积编码	1/3

表1-8 控制信息编码选择

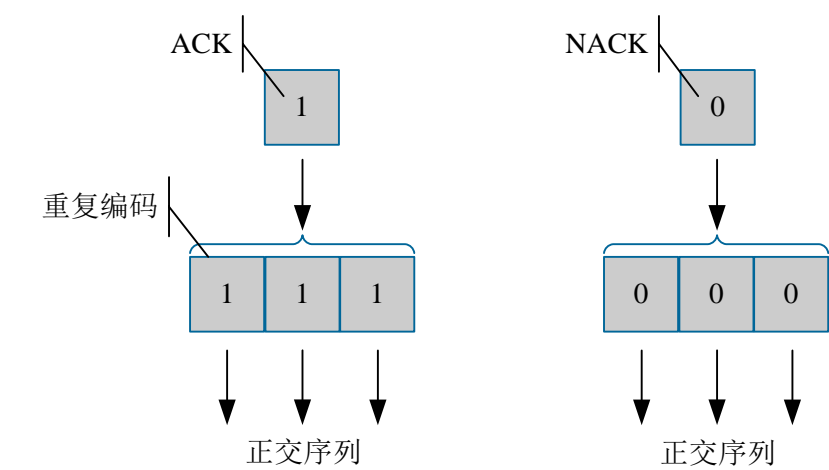
控制信息	编码方法	速率
DCI	咬尾卷积编码	1/3
CFI	块编码	1/16

控制信息	编码方法	速率
HI	重复编码	1/3
UCI	块编码	可变
	咬尾卷积编码	1/3

重复编码

重复编码用于对 HI（HARQ Indicator）位进行编码。HI 位为 1 表示 ACK（Acknowledgement），HI 位为 0 表示 NACK（Negative Acknowledgement）。重复编码过程用于增加信道鲁棒性。同样，对于一个初始位，会生成 3 位。然后，这 3 位就映射到正交序列。有关 HI 位及正交序列的使用方法，可参考 2.15 节。

图1-27 HI 重复编码



块编码

LTE 块编码主要用于 CFI（Control Format Indicator）。该参数指示了有关下行控制区域大小的重要信息。CFI 值编码成 32 位 CFI 码字的方法如表 1-9 所示。

表1-9 CFI 编码

CFI	CFI 码字< b ₀ , b ₁ , ..., b ₃₁ >
1	<0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1>
2	<1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0>
3	<1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1>
4（保留）	<0,0>

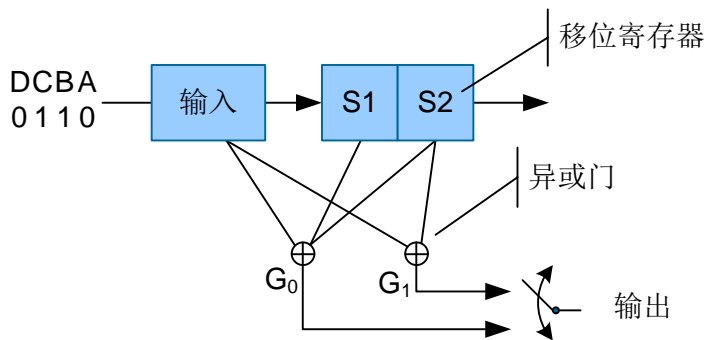
有关 CFI 和物理信道映射的使用方法，可参考 2.9.2 节。

卷积编码概念

在描述 LTE 咬尾卷积编码和 turbo 编码的工作原理之前，有必要了解 CC（Convolutional Coder）及编码过程的基本知识。

一个基本 $\frac{1}{2}$ 速率卷积编码器如图 1-28 所示。输入 1 位，生成 2 位。也有一个约束值 3，即，使用 3 个连续位计算输出信息。在任何信息发送前，标准的卷积编码器都会把寄存器设置为 0。这确保了信道发送的初始信息在接收端是已知的。对于每一个后续输入位，都使用前一个输入位依次加载寄存器 S1 和 S2。

图1-28 基本 $\frac{1}{2}$ 速率卷积编码器



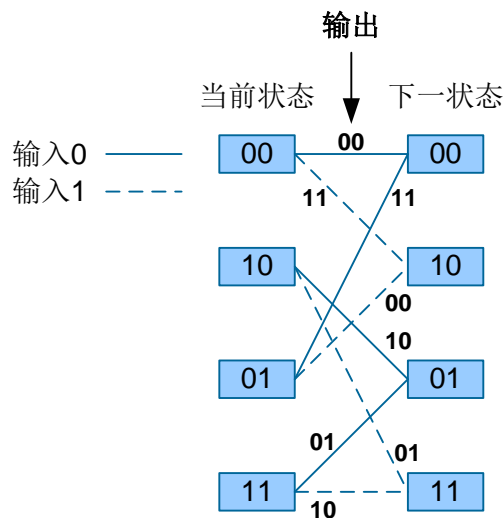
从图中可以看到，在这个简单的编码器中，输出依赖于输入以及特定时间寄存器的状态。理解特定输入下输出的变化情况也是非常重要的。例如，如果第一个输入位为 0 (bit A)，且 S1 和 S2 都设置为 0，那么两次输出都为 0。当下一位 (B 位) 到达时，输出就会受到影响。这种情况下，G₀ 和 G₁ 都设置为 1。通过移位寄存器实现 B 位 (加粗部分) 时钟及特定序列输出，如表 1-10 所示。

表1-10 卷积编码实例

输入	S1	S2	G ₀	G ₁
0	0	0	0	0
1	0	0	1	1
1	1	0	0	1
0	1	1	0	1

在使用图 1-28 所示编码器的情况下，每种状态下有两种可能的输出。输出情况及输入为 0 或 1 时的关系如图 1-29 所示。

图1-29 卷积编码网络

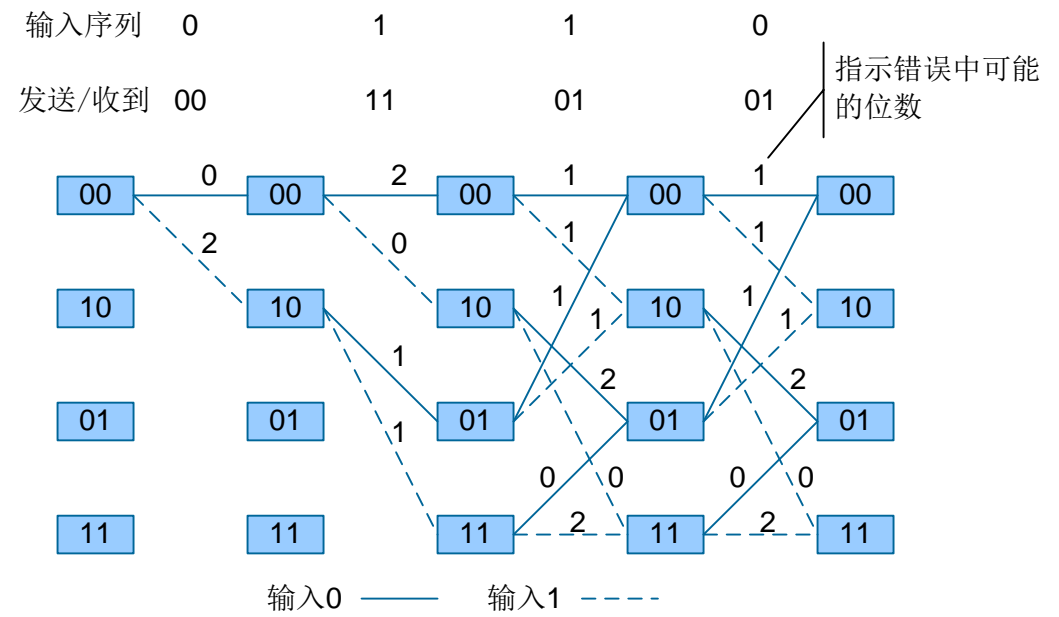


维特比解码概念

维特比算法是用于对标准卷积编码的信号进行解码的主要方法之一，它针对相似编码信号如何能够解码提供了有价值的启示。维特比方法是基于最大可能性解码的概念。网格解码的概念如图 1-30 所示。其中，编码数据和当前状态映射到两个输出中的其中一个输出上。输入行显示的值表示收到的信号和图 1-29 中的编码网络进行比较时的错误个数。例如，第一位“0”编码时的输出为“00”。如果没有错误发生，那么从开始状态（00）就只有两种可能：

- 发送“0” – 属于本例情况，因此在初始输入为 0 这行指示了有 0 个错误。
- 发送“1” – 不属于本例情况，但是在输入为 1 这行的“2”指示了 2 个错误。即，如果原来输入序列为 1（即，编码为“11”），那么两个错误必定已经发生在了空中接口上。

图1-30 维特比解码实例



为了使维特比解码工作，位序列需要考虑所有可能状态。如果错误的确发生了，那么它就是选择的最大可能路径，即，有着最少错误数的路径。

咬尾卷积编码

如前所述，LTE 使用咬尾卷积编码处理下行 BCH (Broadcast Channel) 和 DCI (Downlink Control Information)，还可能处理 UCI (Uplink Control Information)。

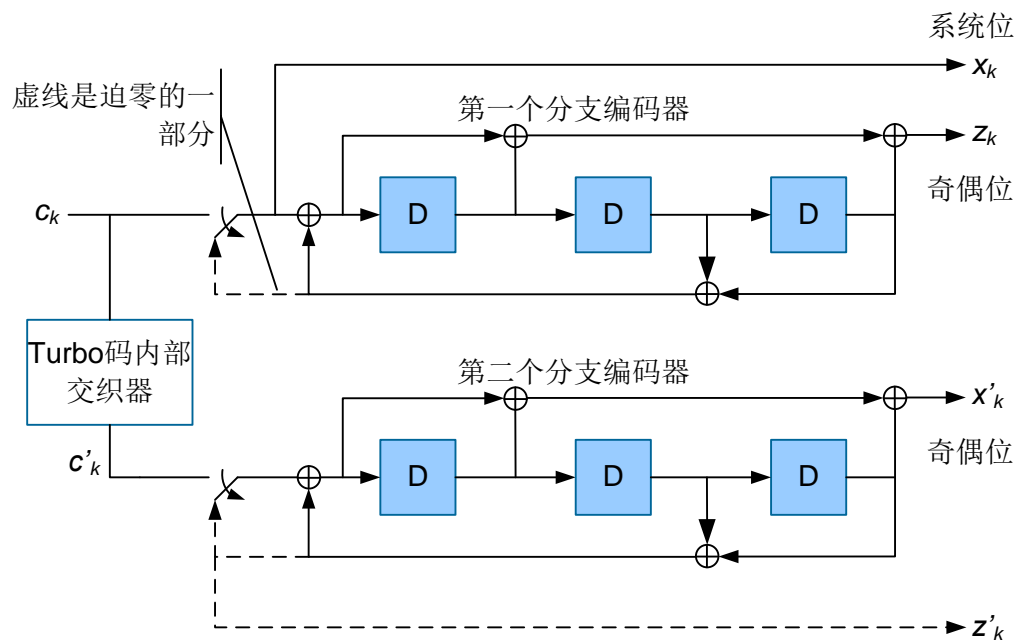
咬尾卷积编码与标准卷积编码的主要差异如表 1-11 所示。

表1-11 咬尾卷积编码与标准卷积编码的主要差异

标准卷积编码	咬尾卷积编码
使用 0 初始化移位寄存器	使用数据流的最后几位初始化移位寄存器，即，初始化不添加 0。
用 0 填充	移位寄存器完成处理，输入的最后几位与用于初始化移位寄存器的相同。

移位寄存器的初始值设置为与图 1-31 所示的输入数据流中最后 6 个信息位对应的值。这确保移位寄存器的初始和终止的状态对于解码过程是相同的。

图1-33 LTE turbo 编码

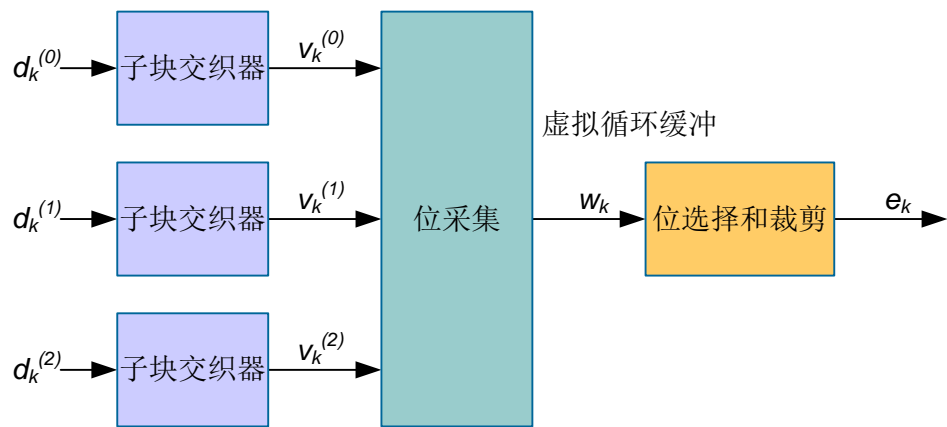


LTE turbo 编码器使用了两个并行连接的递归卷积编码器,在第二个编码器前使用了 QPP turbo 交织器。分支编码器通过穿孔和重复操作完成正确的输出。从图中可以看到, turbo 编码器对输入块进行有交织和无交织的两次编码,从而生成两套截然不同的奇偶位。

1.6.5 速率匹配

就 turbo 编码的传输信道而言,速率匹配是对每个编码块进行定义的。包括对 3 个信息位流 $d_k^{(0)}$ 、 $d_k^{(1)}$ 和 $d_k^{(2)}$ 完成交织,以及后面的位采集和循环缓冲生成,如图 1-34 所示。

图1-34 LTE 速率匹配



子块交织器是一个 32 列的行列交织器。列置换如表 1-12 所示。

表1-12 LTE 子块交织器

列数	列间置换方式
32	< 0, 16, 8, 24, 4, 20, 12, 28, 2, 18, 10, 26, 6, 22, 14, 30, 1, 17, 9, 25, 5, 21, 13, 29, 3, 19, 11, 27, 7, 23, 15, 31 >

子块交织器的工作原理是逐行将每个位流写入 32 列矩阵。同时，行数是基于流大小的。在每个流的前面通过填充确保矩阵的完整性。

子块交织器的输出包括以置换方式（即，0、16、8 等）读出的列。

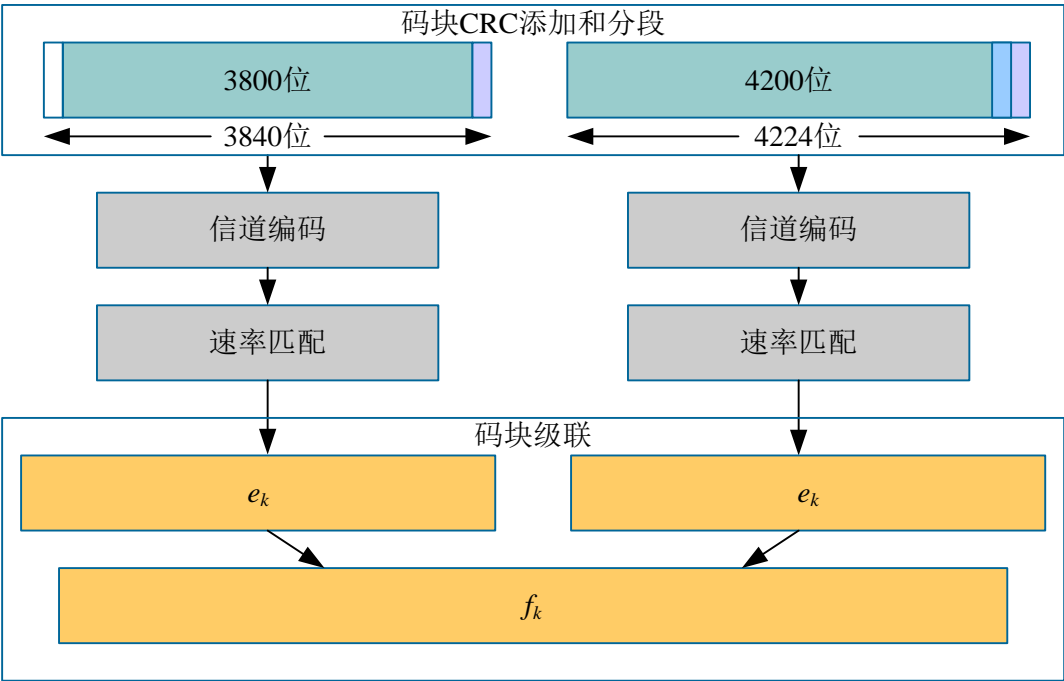
位采集块提供了能够在位选择和裁剪期间读取的循环缓冲。循环缓冲是通过将重新排列的系统位与两个重新排列/交错的奇偶位流进行级联形成的。

最后，位选择和裁剪块会进行一个非常重要的功能。即提供正确长度且使用了正确 RV（Redundancy Version）的速率匹配输出 e_k 。冗余版本通过参数 rv_{idx} 标识，取值为 0、1、2 或 3。同样，该值会影响 HARQ（Hybrid ARQ）操作，允许系统选择和裁剪不同的位集合。

1.6.6 码块级联

码块级联功能可对前面分段的码块进行有效级联。

图1-35 码块级联

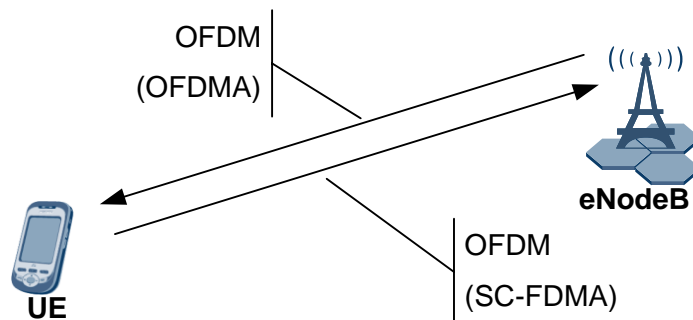


1.7 OFDM 原理

LTE 空中接口使用了两种不同的多址技术,这两种技术都基于正交频分复用技术(OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing)。

- 下行使用正交频分多址(OFDMA, Orthogonal Frequency Division Multiple Access)。
- 上行使用单载波频分多址(SC-FDMA, Single Carrier - Frequency Division Multiple Access)。

图1-36 OFDM 在 LTE 中的使用



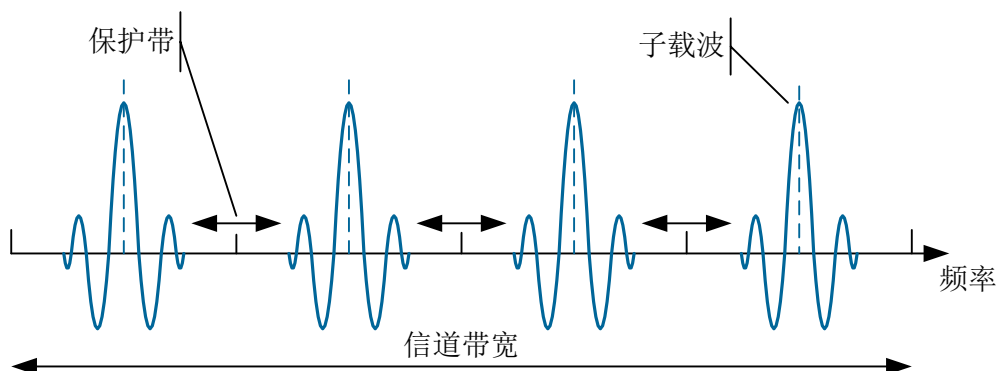
OFDM 的概念不是新出现的。在 LTE 使用该技术之前, Wi-Fi 和 WiMAX 等系统已开始使用。1998 年 WCDMA 曾经也考虑过使用该技术,但鉴于手机的处理能力和电池容量有限,最终该技术没有在 WCDMA 使用。

随着手机处理能力和电池性能的提升, LTE 可以选择基于 OFDM 的接入方式。同时, OFDM 也是为了应对提供更高频谱效率系统的压力。

1.7.2 频分复用

OFDM 基于 FDM (Frequency Division Multiplexing) 技术,它可使用多种频率同时发送信息。一个 4 子载波的 FDM 实例如图 1-37 所示。这些子载波能够用于承载不同的信息,并通过使用保护带确保每个子载波不会与相邻的子载波发生干扰。同时,每个子载波的无线特性略有不同,这可用来提供分集。

图1-37 FDM 载波

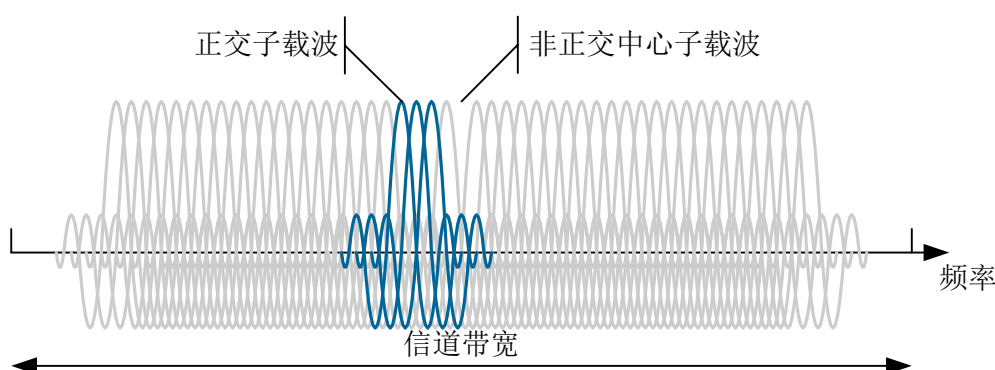


FDM 系统由于要求多个子载波之间有保护带，因此它的频谱效率不如其它系统的高。

1.7.3 OFDM 子载波

OFDM 与 FDM 原理类似，但是它通过降低子载波间的间隔而极大地提高了频谱效率。子载波交叠情况如图 1-38 所示。由于子载波间的正交性（即数学上各子载波不相关），所以它们可以交叠。同样，当某个子载波处于最大值时，其相邻的两个子载波正好通过零点。OFDM 系统仍使用保护带。这些保护带位于整个信道带宽的边缘，用于降低相邻无线系统的干扰。

图1-38 OFDM 子载波



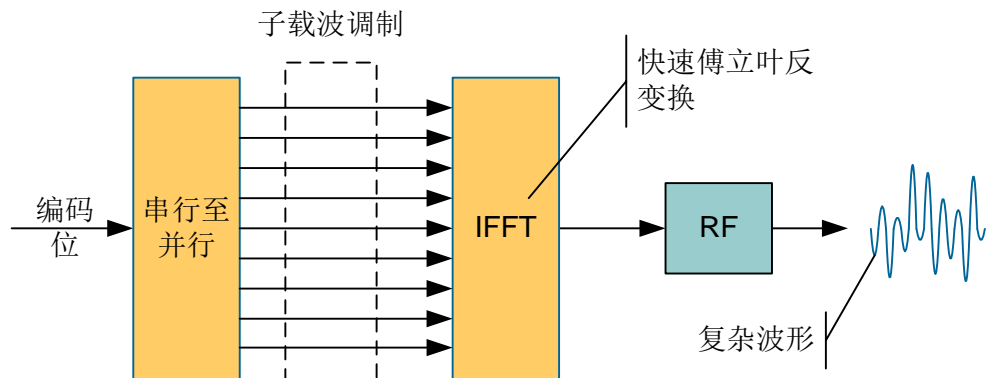
说明

中心子载波，也称直流（DC Direct Current）子载波，由于缺乏正交性，一般不在 OFDM 系统使用。

1.7.4 快速傅立叶变换

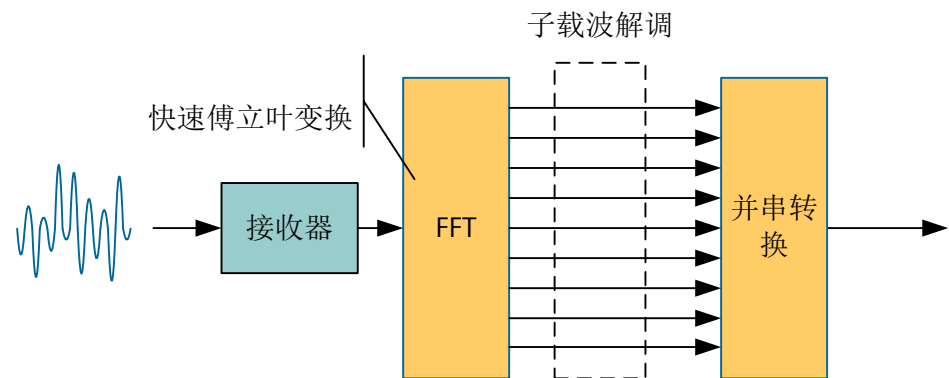
OFDM 子载波是使用数学函数 FFT（Fast Fourier Transform）和 IFFT（Inverse Fast Fourier Transform）生成和解码的。IFFT 在发射侧使用生成波形。在 IFFT 调制和处理前，编码的数据首先映射到并行流，如图 1-39 所示。

图1-39 快速傅立叶反变换



在接收侧，信号传到 FFT，然后 FFT 把复杂/组合波形解析成原始流。FFT 过程如图 1-40 所示。

图1-40 快速傅立叶变换



1.7.5 LTE FFT 尺寸及载波带宽

快速傅立叶变换和快速傅立叶反变换都有一个定义的大小。例如，512 尺寸的 FFT 表示有 512 个子载波。实际上，由于信道保护带以及要求 DC（Direct Current）子载波，所以并非所有 512 个子载波都能够使用。

LTE 载波带宽、FFT 大小以及相关采样率如表 1-13 所示。通过采样率和 FFT 尺寸可以计算子载波间隔，例如， $7.68\text{MHz}/15\text{kHz} = 512$ 。

表1-13 LTE 信道和 FFT 尺寸

载波带宽	FFT 尺寸	子载波带宽	采样率
1.4 MHz	128	15 kHz	1.92 MHz
3 MHz	256		3.84 MHz

载波带宽	FFT 尺寸	子载波带宽	采样率
5 MHz	512		7.68 MHz
10 MHz	1024		15.36 MHz
15 MHz	1536		23.04 MHz
20 MHz	2048		30.72 MHz

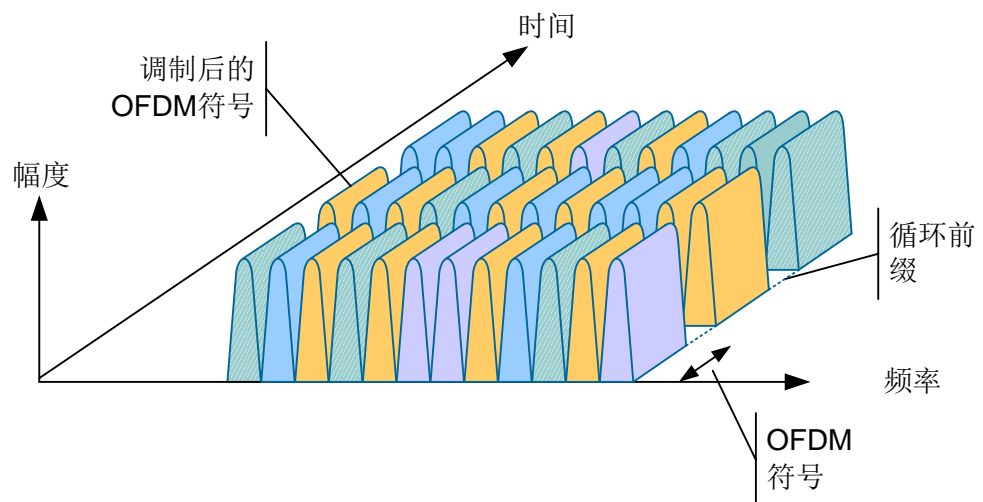


也可以使用 15 kHz 子载波间隔标识 OFDM 符号时长。

1.7.6 OFDM 符号映射

OFDM 符号与子载波的映射依赖于系统设计。OFDM 映射如图 1-41 所示。前 12 个调制 OFDM 符号映射到 12 个子载波，即，它们使用不同的子载波同时发送。紧接着的 12 个子载波映射到下一个 OFDM 符号周期。同时，符号间添加 CP (Cyclic Prefix)。

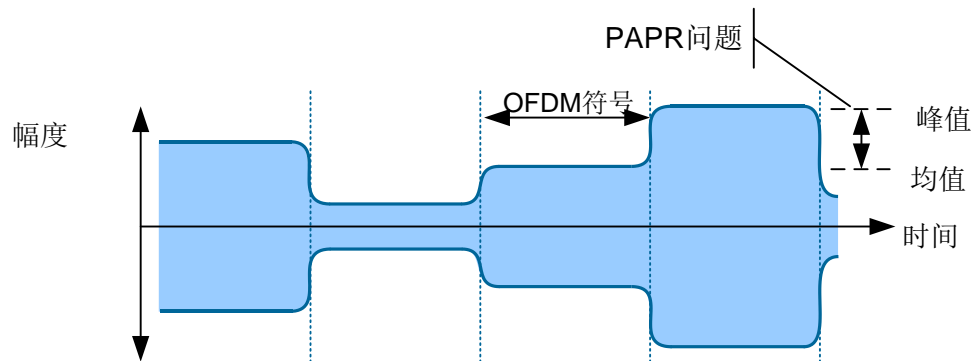
图1-41 OFDM 符号映射



LTE 为每组的 12 个子载波分配资源。这称为 PRB (Physical Resource Block)。

在上面的例子中，12 个不同的调制 OFDM 符号同时发送。其中生成的组合能量会导致积极的峰值（符号相同时）或是消极的空值（符号不同时），如图 1-42 所示。这意味着 OFDM 系统有一个高的峰均比（PAPR, Peak to Average Power Ratio）。

图1-42 OFDM 峰均比 (Peak to Average Power Ratio)

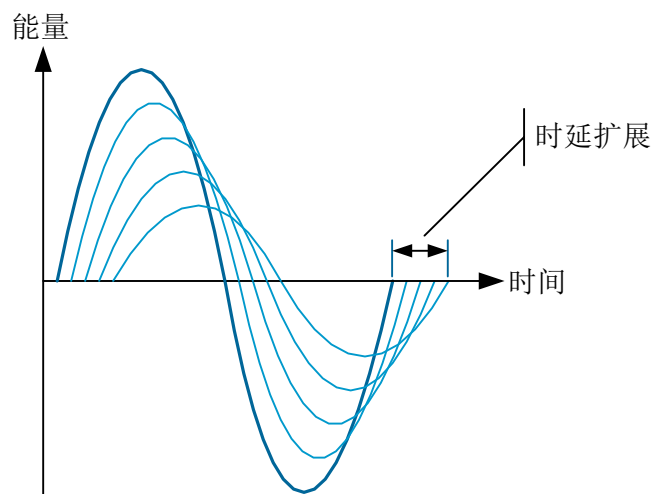


1.7.7 时域干扰

由于子载波的正交性，OFDM 信号在频域上可以提供保护。而在时域方面，LTE 需要克服时延扩展，即多径干扰。

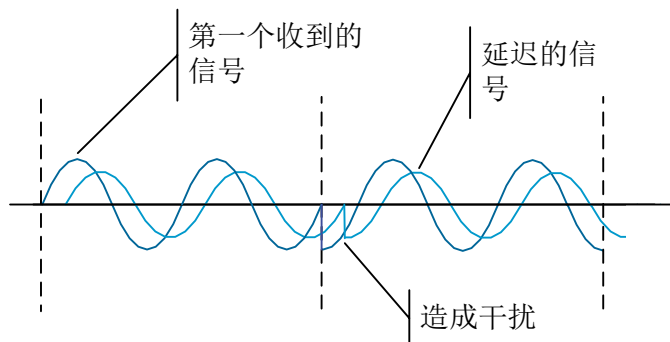
主要存在两个多径效应：**时延**和**衰落**，如图 1-43 所示。延迟信号相对主径成为符号间干扰 ISI (Inter Symbol Interference)，如图 1-44 所示。

图1-43 时延扩展



通常，使用均衡器来降低 ISI (Inter Symbol Interference)。但需要有一个已知的位组合格式或训练序列使均衡器生效。但这会降低系统容量，并影响设备的处理。OFDM 系统使用 CP (Cyclic Prefix) 来避免上述问题。

图1-44 符号间干扰



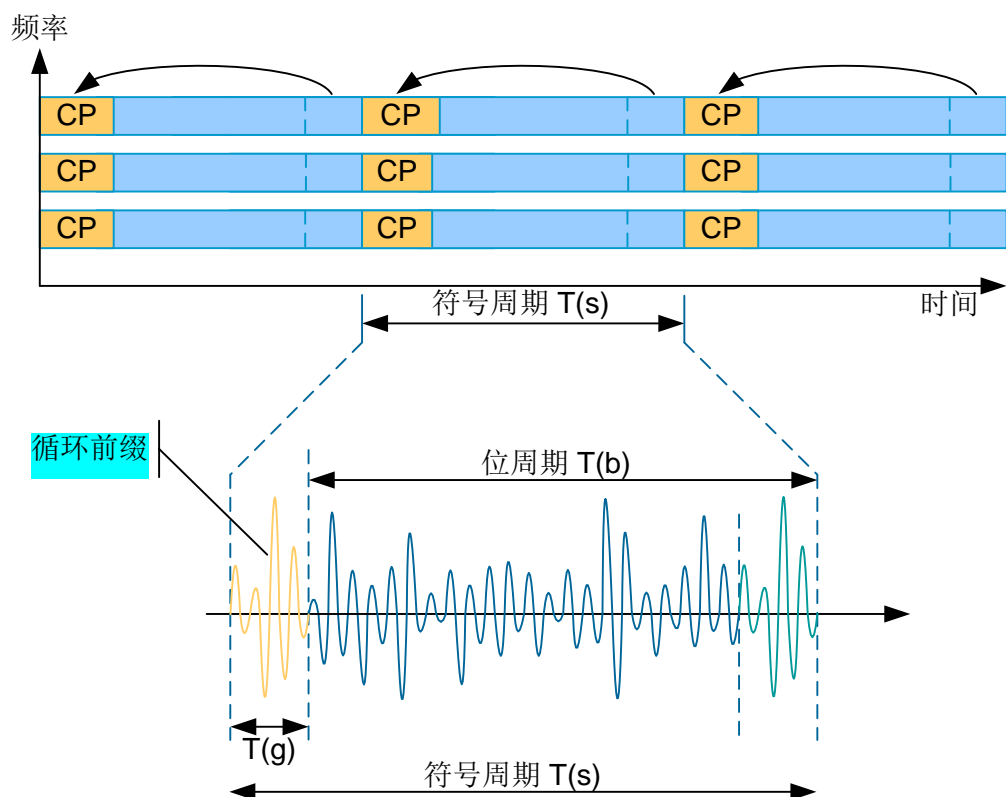
循环前缀

循环前缀

大部分 OFDM 系统使用 CP (Cyclic Prefix) 抵抗多径时延。它为每个 OFDM 符号提供一个保护周期。循环前缀及其在 OFDM 符号中的位置如图 1-45 所示。注意：循环前缀是拷贝原始符号尾部的信号然后放置到符号的头部，从而构成 OFDM 符号 (T_s)。

循环前缀大小与系统可以容忍的最大时延扩展有关。针对宏覆盖（即大覆盖小区）设计的系统应该有一个大的 CP。但由于降低了每秒符号数，因此会影响系统容量。

图1-45 循环前缀 正交频分多址技术中的循环前缀





说明

LTE 定义了两种大小的循环前缀：普通循环前缀和扩展循环前缀。扩展循环前缀是针对更大覆盖小区设计的。

1.7.8 OFDM 优缺点分析

OFDM 优点

OFDM 系统具有如下优势：

- OFDM 几乎可以完全抵抗由于长符号时长引发的多径干扰。
- 为宽带信道提供更高的频谱效率。
- 灵活的带宽。
- 通过 FFT 和 IFFT 实现相对简单。

OFDM 缺点

OFDM 也有如下劣势：

- 频率偏移和相位噪声会导致严重问题。
- 多普勒频移影响子载波正交性。
- 某些 OFDM 系统具有较高的 PAPR。
- 要求精确的频率和时间同步。

2 LTE 空中接口物理层

课程目标

学完本章后你可以：

- 2.1 了解空中接口的信道结构
- 2.2 了解空中接口协议
- 2.3 了解 LTE 信道结构
- 2.4 了解 LTE 帧结构
- 2.5 了解 OFDM 原理、信号生成和信号处理。
- 2.6 了解下行传输技术
- 2.7 了解下行同步信号
- 2.8 了解下行参考信号
- 2.9 了解下行物理信道
- 2.10 了解下行的控制信令和格式
- 2.11 了解小区搜索过程
- 2.12 了解上行传输技术，包括 SC-FDMA 原理、信号生成和信号处理。
- 2.13 了解 OFDM 与 SC-FDMA 的优点和缺点
- 2.14 了解上行物理信道
- 2.15 了解上行和下行的定时关系
- 2.16 了解参考信号
- 2.17 了解上行的控制信令和格式
- 2.18 了解随机接入流程
- 2.19 了解上行功率控制
- 2.20 了解寻呼流程

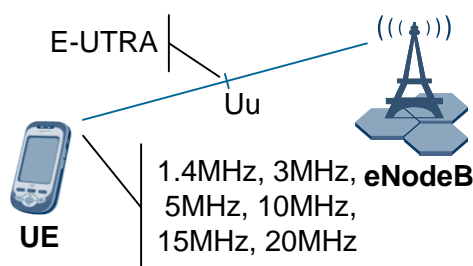
2.15 了解 HARQ 技术

2.22 了解层、秩、空间复用、开环和闭环空间复用、发射分集、波束赋形、单用户 MIMO 和多用户 MIMO 的概念

2.1 Uu 接口

LTE 空中接口，被称为 **E-UTRA** (Evolved - Universal Terrestrial Radio Access)，可支持 1.4MHz 至 20MHz 的可变带宽。这个空中接口被命名为 **Uu** 接口，大写字母 **U** 表示“用户网络接口”(User to Network interface)，小写字母 **u** 则表示“通用的”(Universal)。UE (User Equipment) 将根据 eNodeB (E-UTRAN Node B) 的配置选择合适的信道带宽。

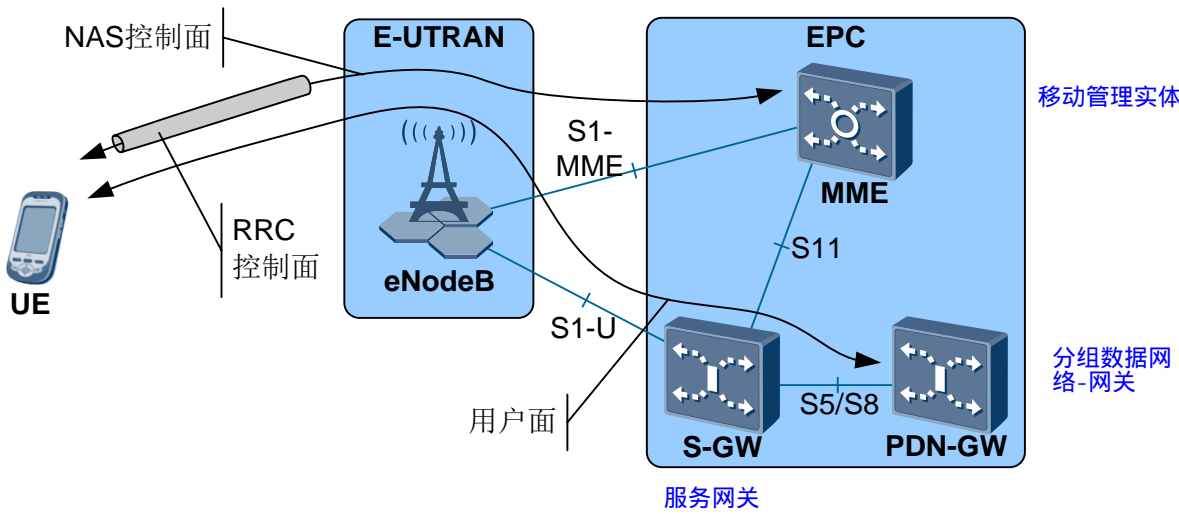
图2-1 LTE 空中接口



2.2 LTE 无线接口协议

UE 与 eNodeB 之间通过 E-UTRA 接口连接。在逻辑上，E-UTRA 接口可以分为**控制面**和**用户面**。控制面有两个，第一个控制面由 RRC (Radio Resource Control) 提供，用于承载 UE 和 eNodeB 之间的信令。第二个控制面用于承载 NAS (Non Access Stratum) 信令消息，并通过 RRC 传送到 MME (Mobility Management Entity)。RRC 控制面、NAS 控制面以及用户面如图 2-2 所示。用户面主要用于在 UE 和 EPC (Evolved Packet Core) 之间传送 IP 数据包，这里的 EPC 指的是 S-GW (Serving Gateway) 或 PDN-GW (Packet Data Network-Gateway)。

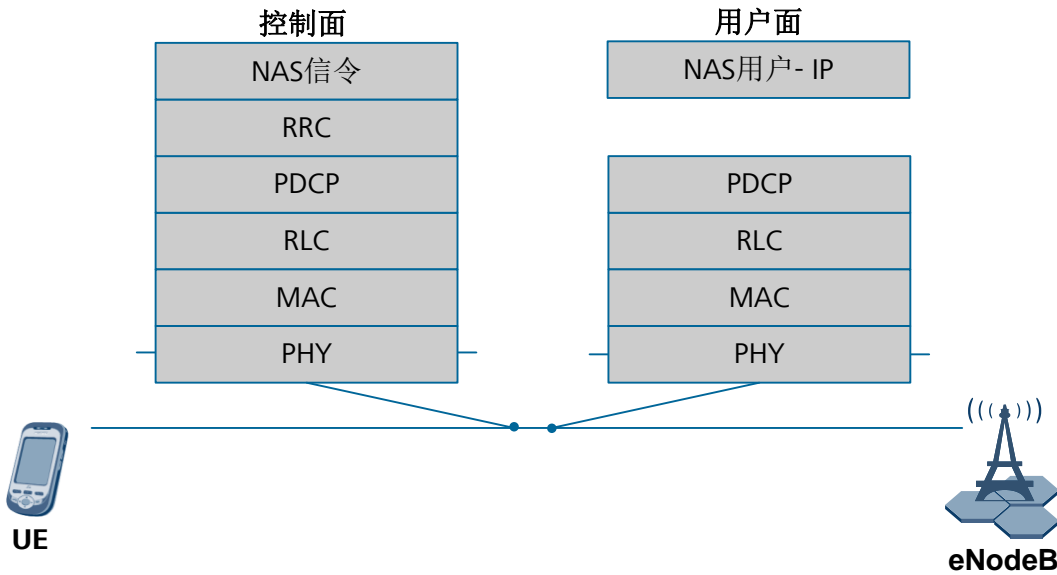
图2-2 LTE 控制面和用户面



2.2.2 Uu 口协议栈

控制面和用户面的底层协议是相同的。它们都使用 PDCP（Packet Data Convergence Protocol）层、RLC（Radio Link Control）层、MAC（Medium Access Control）层和物理层 PHY（Physical Layer）。空中接口协议栈如图 2-3 所示。从图中可以看出，NAS 信令使用 RRC 承载，并映射到 PDCP 层。在用户面上，IP 数据包也映射到 PDCP 层。

图2-3 E-UTRA 协议



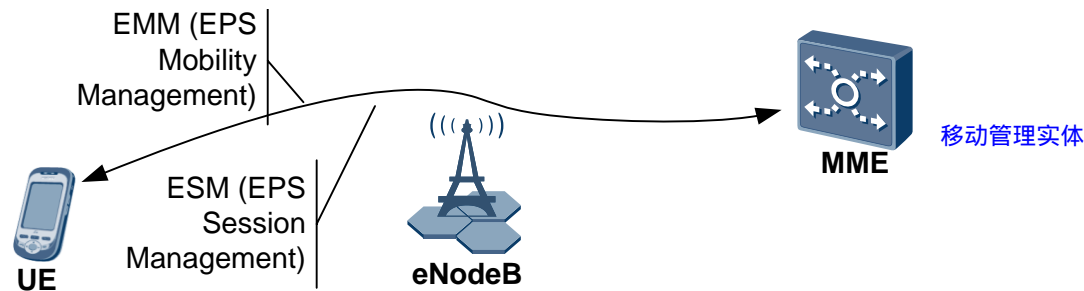
2.2.3 非接入层

非接入层，或称为 NAS，指的是 AS（Access Stratum，接入层）的上层。接入层定义了与 RAN（Radio Access Network），即 E-UTRAN，相关的信令流程和协议。NAS 主要包含两个方面：上层信令 and 用户数据。

NAS 信令

NAS 信令指的是在 UE 和 MME 之间传送的消息，如图 2-4 所示。

图2-4 NAS 信令



NAS 信令可以分为两类：

- EMM（EPS Mobility Management）.
- ESM（EPS Session Management）.

EMM 和 ESM 在 LTE 中的主要信令流程如表 2-1 所列。

表2-1 NAS EMM 和 ESM 的主要信令流程

EMM 信令流程	ESM 信令流程
附着	默认 EPS 承载上下文激活
分离	专用 EPS 承载上下文激活
跟踪区更新	EPS 承载上下文修改
业务请求	EPS 承载上下文去激活
扩展业务请求	UE 请求 PDN 连接
GUTI 重分配	UE 请求 PDN 断开
鉴权	UE 请求承载资源分配
标识	UE 请求承载资源修改
安全模式控制	ESM 信息请求
EMM 状态	ESM 状态

EMM 信令流程	ESM 信令流程
EMM 信息	
NAS 传输	
寻呼	

EMM 信令流程

EMM 主要流程包括：

- 附着：用于 UE 对 EPC(Evolved Packet Core)的附着，实现 EPS(Evolved Packet System)数据业务功能。注意，附着功能也可用于非 EPS 业务。
- 分离：用于 UE 从 EPS 业务的分离，也可用于其他流程，如与非 EPS 业务断开。
- 跟踪区更新：始终由 UE 发起更新，其用途广泛，最常见的功能包括常规和周期性的跟踪区更新。
- 业务请求：用于 UE 建立连接，在上行用户数据或信令发送时建立无线承载和 S1 承载。
- 扩展业务请求：用于 UE 发起 CS (Circuit Switched) 回落呼叫，或回应网络发起的 CS 回落请求。
- GUTI 重分配：用于分配一个 GUTI (Globally Unique Temporary Identifier)，并选择性地向特定 UE 提供一个新的 TAI (Tracking Area Identity) 列表。
- 鉴权：用于用户与网络间的 AKA (Authentication and Key Agreement)。
- 标识：用于网络向特定 UE 发送请求，要求提供指定的标识参数，如 IMSI (International Mobile Subscriber Identity) 或 IMEI (International Mobile Equipment Identity)。
- 安全模式控制：利用 EPS 安全上下文，根据相应的 NAS 密钥和安全算法，初始化并发起 UE 与 MME 之间的 NAS 信令安全功能。
- EMM 状态：由 UE 或网络随时发送，报告错误情况。
- EMM 信息：由网络向 UE 提供信息。
- NAS 消息传输：指在 MME 与 UE 间以封装的形式传送短消息 SMS (Short Message Service)。
- 寻呼：用于网络请求与 UE 建立 NAS 信令连接，也包括 CS 业务通知。

ESM 信令流程

ESM 主要流程包括：

- 默认 EPS 承载上下文激活：用于建立 UE 与 EPC 间的默认 EPS 承载上下文。
- 专用 EPS 承载上下文激活：根据一定的 QoS(Quality of Service)和 TFT(Traffic Flow Template)建立 UE 与 EPC 间的 EPS 承载上下文。专用 EPS 承载上下文激活流程通常由网络发起，也可以由 UE 通过 UE 请求承载资源分配流程发起请求。
- EPS 承载上下文修改：用于根据一定的 QoS 和 TFT 修改 EPS 承载上下文。

- EPS 承载上下文去激活：用于去激活 EPS 承载上下文，或通过去激活所有 EPS 承载上下文从 PDN 断开连接。
- UE 请求 PDN 连接：用于 UE 请求建立连接 PDN 的默认 EPS 承载。
- UE 请求 PDN 断开：用于 UE 请求断开与一个 PDN 的连接。UE 与另一个或多个 PDN 建立连接后，可发起此流程，与原 PDN 断开连接。
- UE 请求承载资源分配：用于 UE 为业务流汇聚请求分配承载资源。
- UE 请求承载资源修改：用于 UE 为业务流汇聚请求修改或释放承载资源，或通过替换包过滤器修改业务流汇聚。
- ESM 信息请求：在附着流程中，用于网络从 UE 获取 ESM 信息，即协议配置方案或 APN（access Point Name），或两者兼得。
- ESM 状态：用于在收到 ESM 协议数据之后，随时报告检测到的错误情况。

NAS 用户面

NAS 用户面采用 IP（Internet Protocol）协议。当 IP 数据包被传送到下一层，即由 PDCP 层处理。

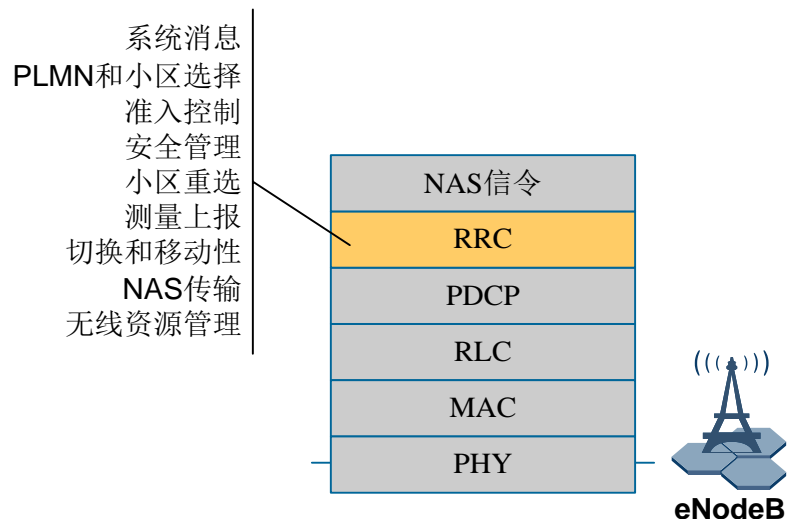
2.2.4 RRC 层

RRC（Radio Resource Control）是 LTE 空中接口控制面主要协议栈。UE 与 eNodeB 之间传送的 RRC 消息采用 PDCP、RLC、MAC 和 PHY。RRC 主要功能如图 2-5 所示。RRC 处理 UE 与 E-UTRAN 之间的所有信令，包括 UE 与核心网之间的信令，即由专用 RRC 消息携带的 NAS（Non Access Stratum）信令。携带 NAS 信令的 RRC 不改变信息内容，只提供下发机制。

说明

RRC 为底层提供主要配置和参数。因此，PHY 层主要是从 RRC 层获得配置物理层的相关信息。

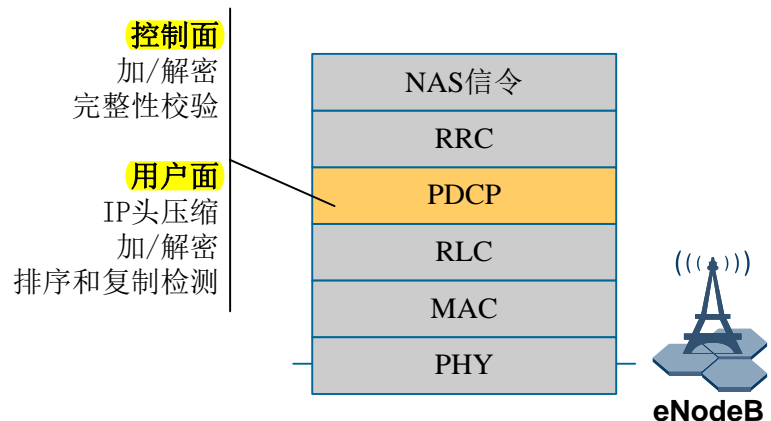
图2-5 RRC 主要功能



2.2.5 PDCP 层

UMTS 仅在用户面实现 PDCP。与 UMTS 不同，LTE 在用户面和控制面均实现 PDCP。这主要是因为 PDCP 在 LTE 网络里承担了安全功能，即进行加/解密和完整性校验。PDCP 的功能如图 2-6 所示。

图2-6 PDCP 的功能



在控制面，PDCP 负责对 RRC 和 NAS 信令消息进行加/解密和完整性校验。而在用户面上，PDCP 的功能略有不同，它只进行加/解密，而不进行完整性校验。另外，用户面的 IP 数据包还采用 IP 头压缩技术以提高系统性能和效率。同时，PDCP 也支持排序和复制检测功能。

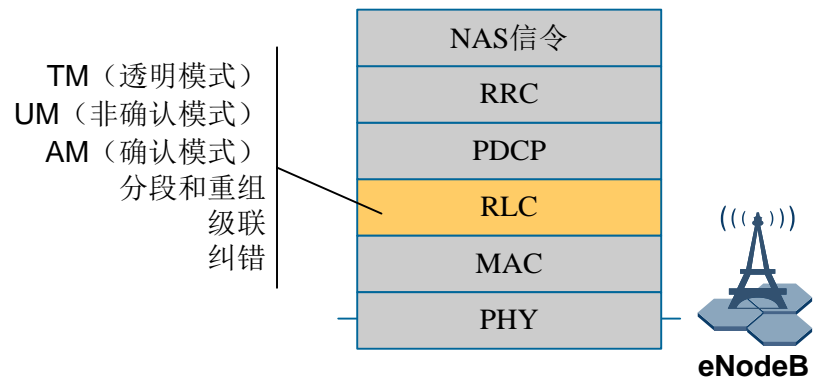
2.2.6 RLC 层

RLC (Radio Link Control) 是 UE 和 eNodeB 间的协议。顾名思义，它主要提供无线链路控制功能。RLC 最基本的功能是向高层提供如下三种业务：

- **TM** (Transparent Mode)：用于某些空中接口信道，如广播信道和寻呼信道，为信令提供无连接业务。
- **UM** (Unacknowledged Mode)：与 TM 模式相同，UM 模式也提供无连接业务，但同时还提供排序、分段和级联功能。
- **AM** (Acknowledged Mode)：提供 ARQ (Automatic Repeat Request) 业务，可以实现重传。

除以上模式和 ARQ 特性，RLC 层还提供信息的分段、重组和级联功能，如图 2-7 所示。

图2-7 RLC 模式和功能



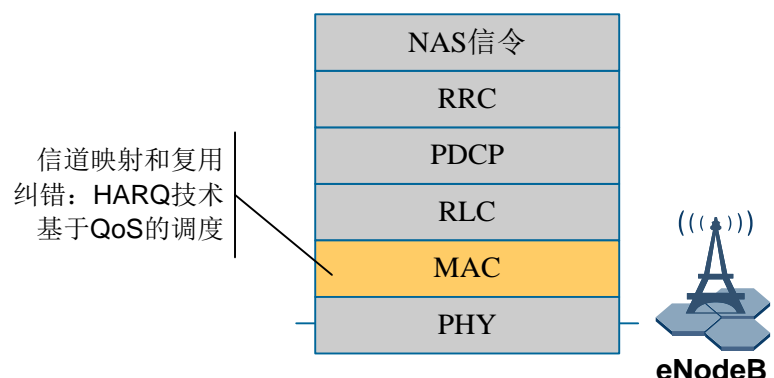
2.2.7 MAC 层

MAC (Medium Access Control) 层主要功能包含:

- **映射**: MAC 负责将从 LTE 逻辑信道接收到的信息映射到 LTE 传输信道上。关于这些信道和它们之间的映射关系, 请参见 2.3 节。
- **复用**: 提供给 MAC 的信息来自一个或多个 RB (Radio Bearer, 无线承载)。MAC 层能够将多个 RB 复用到同一个 TB (Transport Block) 上以提高效率。
- **HARQ** (Hybrid Automatic Repeat Request): MAC 利用 HARQ 技术为空中接口提供纠错业务。HARQ 的实现需要 MAC 层与物理层的紧密配合。关于这一技术的具体描述, 请参见 2.12 节。
- **无线资源分配**: MAC 提供基于 QoS (Quality of Service) 的流量和用户信令的调度。调度有多个方案, 具体描述请参见第 3 章。

为实现以上特性, MAC 层和物理层需要互相传递无线链路质量的各种指示信息以及 HARQ 运行情况的反馈信息。

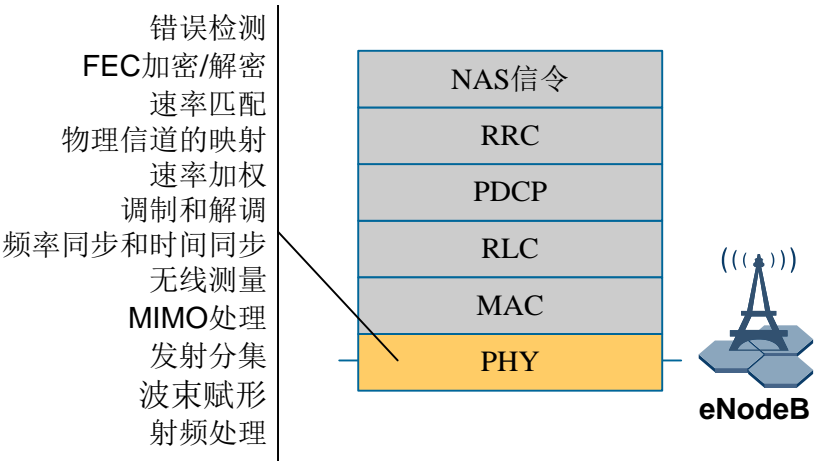
图2-8 MAC 功能



2.2.8 物理层

LTE 物理层 PHY（Physical Layer）提供了一系列新型的灵活信道，同时充分利用先前系统（如 UMTS）的特性和机制。物理层提供的主要功能如图 2-9 所示。

图2-9 物理层主要功能



2.3 LTE 信道结构

GSM 和 UMTS 网络里都定义了很多种信道。LTE 信道和 UMTS 信道类似。总的说来，LTE 信道分为三类，如图 2-10 所示。

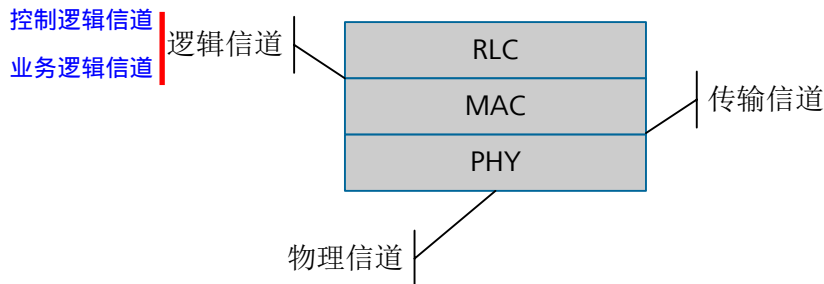
图2-10 LTE 信道种类



2.3.2 逻辑信道

了解逻辑信道，首先要了解逻辑信道在网络和 LTE 协议栈中的位置以及和其他信道的关系。如图 2-11 所示，逻辑信道位于 RLC 层和 MAC 层之间。

图2-11 信道位置



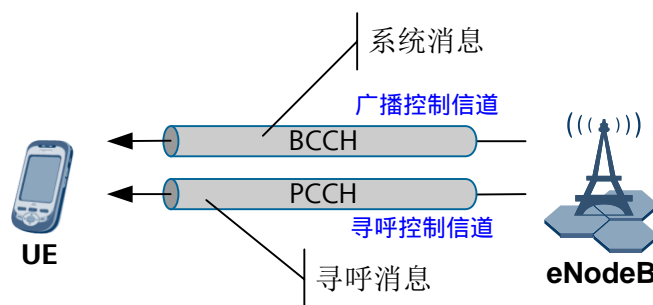
逻辑信道分为控制逻辑信道和业务逻辑信道。控制逻辑信道承载控制数据，如 RRC 信令；业务逻辑信道承载用户面数据。

控制信道

控制逻辑信道包括以下几种：

- **BCCH** (Broadcast Control Channel): **广播控制信道**，指 eNodeB 用来发送 SI (System Information) 系统消息的下行信道。系统消息由 RRC 定义。
- **PCCH** (Paging Control Channel): **寻呼控制信道**，指 eNodeB 用来发送寻呼信息的下行信道。

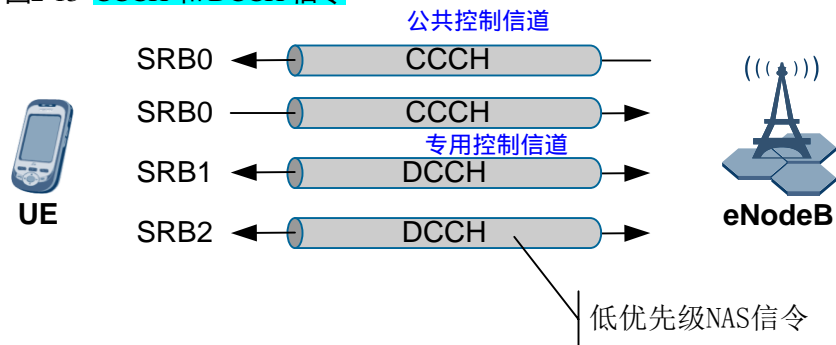
图2-12 BCCH 和 PCCH 逻辑信道



- **CCCH** (Common Control Channel): **公共控制信道**，用于建立 RRC (Radio Resource Control) 连接。RRC 连接也被称为**信令无线承载** (**SRB**, Signaling Radio Bearer)，用于重新建立连接。SRB 详情请参见 2.18 节。SRB0 映射到 CCCH。

- **DCCH** (Dedicated Control Channel): **专用控制信道**, 提供双向信令通道。逻辑上讲, 通常有两路 DCCH 被激活, 分别是 SRB1 和 SRB2:
 - SRB1 适用于承载 RRC 消息, 包括携带高优先级 NAS 信令的 RRC 消息。
 - SRB2 适用于承载低优先级 NAS 信令的 RRC 消息。低优先级的信令在 SRB2 建立前先通过 SRB1 发送。

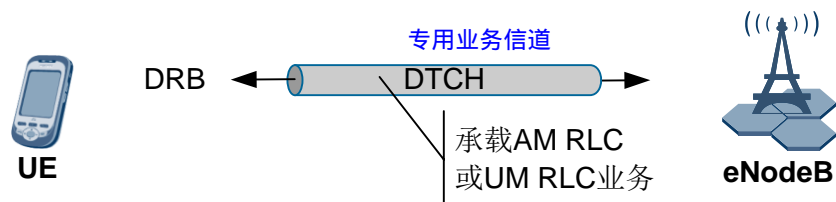
图2-13 CCCH 和 DCCH 信令



业务信道

3GPP R9 定义的 LTE 业务逻辑信道是 **DTCH** (Dedicated Traffic Channel, **专用业务信道**)。DTCH 承载 **DRB** (Dedicated Radio Bearer, **专用无线承载**) 信息, 即 IP 数据包。

图2-14 专用业务信道



DTCH 为双向信道, 工作模式为 RLC AM (Acknowledged Mode) 或 RLC UM (Unacknowledged Mode)。工作模式由 RRC 根据 E-RAB (EPS Radio Access Bearer) 的 QoS (Quality of Service) 配置。

2.3.3 传输信道

传统的传输信道分为公共信道和专用信道。为了提高效率, LTE 的传输信道删除了专用信道, 而由公共信道和共享信道组成。3GPP R9 定义的主要传输信道如下:

- **BCH** (Broadcast Channel): **广播信道**, 是固定格式的信道, **每帧一个 BCH**。BCH 用于承载 MIB (Master Information Block)。但需要注意的是大部分的系统消息都由 DL-SCH (Downlink - Shared Channel) 来承载。
- **PCH** (Paging Channel): **寻呼信道**, 用于承载 PCCH, 即寻呼消息。寻呼信道使用不连续接收 (DRX, Discontinuous Reception) 技术延长手机电池寿命。

- **DL-SCH** (Downlink - Shared Channel): **下行共享信道**, 是承载下行数据和信令的主要信道, 支持动态调度和动态链路自适应调整。同时, 该信道利用 HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) 技术来提高系统性能。如前文所述, DL-SCH 除了承载业务之外, 还承载大部分的系统消息。
- **RACH** (Random Access Channel): **随机接入信道**, 其承载的信息有限, 需要和物理信道以及前导信息共同完成冲突解决流程。
- **UL-SCH** (Uplink Shared Channel): **上行共享信道**, 其与下行共享信道类似, 都支持动态调度和动态链路自适应调整。动态调度由 eNodeB 控制, 动态链路自适应调整通过改变调制编码方案来实现。同时, 该信道也利用 HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) 技术来提高系统性能。

图2-15 3GPP R9 定义的传输信道



2.3.4 物理信道

物理层承载 MAC 传输信道, 并提供调度、格式和控制指示等功能。关于物理信道的具体描述, 请参见 2.9 和 2.14 节。

下行物理信道

LTE 下行物理信道包括:

- **PBCH** (Physical Broadcast Channel): **物理广播信道**, 用于承载 BCH 信息。
- **PCFICH** (Physical Control Format Indicator Channel): **物理控制格式指示信道**, 用于指示一个子帧中用于 PDCCH 传输的 OFDM 符号个数。
- **PDCCH** (Physical Downlink Control Channel): **物理下行控制信道**, 用于承载资源分配信息。
- **PHICH** (Physical Hybrid ARQ Indicator Channel): **物理 HARQ 指示信道**, 用于在 HARQ 流程中承载上行 HARQ 的 ACK/NACK 反馈信息。
- **PDSCH** (Physical Downlink Shared Channel): **物理下行共享信道**, 用于承载 DL-SCH 信息。

上行物理信道

LTE 上行物理信道包括:

- **PRACH** (Physical Random Access Channel): **物理随机接入信道**, 用于承载随机接入前导。PRACH 位置由上层信令, 即 RRC 信令定义。

- **PUCCH** (Physical Uplink Control Channel): **物理上行控制信道**，用于承载上行控制和反馈信息，也可以承载发送给 eNodeB 的调度请求。
- **PUSCH** (Physical Uplink Shared Channel): **物理上行共享信道**，它是主要的上行信道，用于承载上行共享传输信道 UL-SCH (Uplink Shared Channel)。该信道承载信令、用户数据和上行控制信息。需要注意的是，UE 不能同时发射 PUCCH 和 PUSCH。

2.3.5 信道映射

逻辑信道可以对应一个或多个传输信道，传输信道又分别对应物理信道。所以复用多个承载层有多种方案，如图 2-16 和图 2-17 所示。

图2-16 下行信道映射

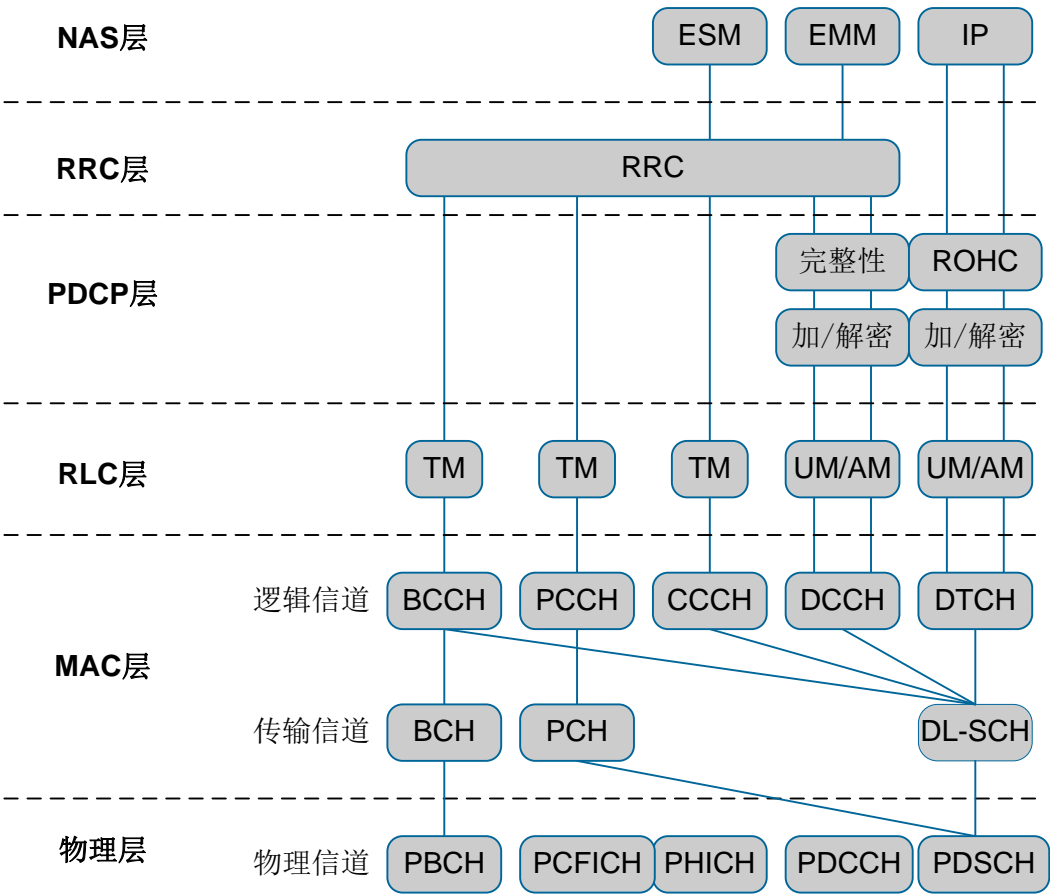
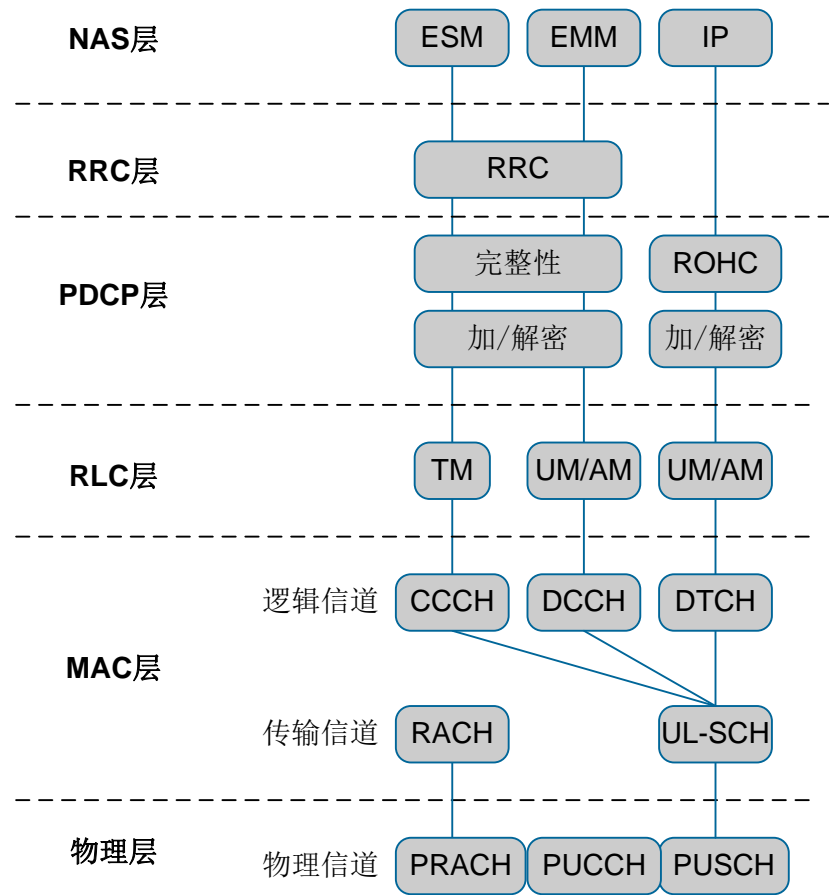


图2-17 上行信道映射



为了实现从逻辑信道到传输信道的复用，MAC 层中通常加入了 LCID（Logical Channel Identifier）。

2.4 LTE 帧结构

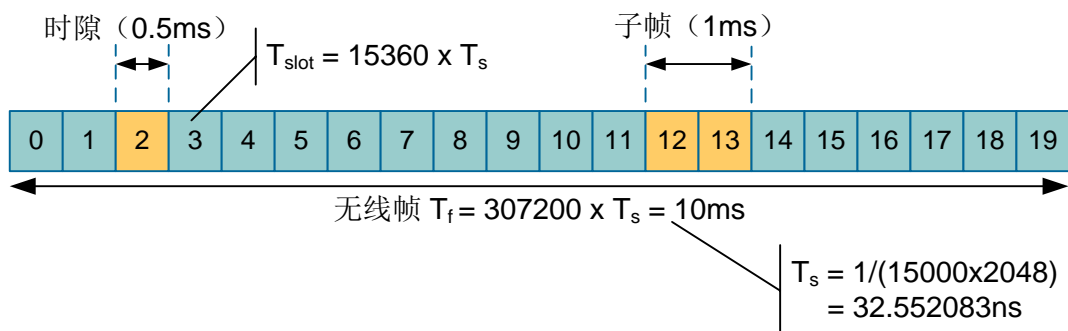
在 LTE 网络中，资源以一定时长内的子载波集的方式分配给各网络设备。这种资源被称为 PRB（Physical Resource Block，物理资源块）。这些资源块包含在 LTE 的帧结构中。LTE 帧结构可以分为两种：无线帧结构 1 和无线帧结构 2。

2.4.1 无线帧结构 1

无线帧结构 1 用于 FDD 模式。每个帧的时长为 10ms，包含 20 个时隙，其中每个时隙的时长为 0.5ms。一个子帧由相邻的两个时隙组成，时长为 1ms。FDD 模式下，在一个无线帧的时长范围内，有 10 个子帧用于下行传输，同时有 10 个子帧用于上行传输。上下行传输在频域上是分离的。

FDD 帧结构如图 2-18 所示。图中展示了时隙和子帧的概念。同时，图中也展示了各时隙的编号。

图2-18 LTE FDD 帧结构



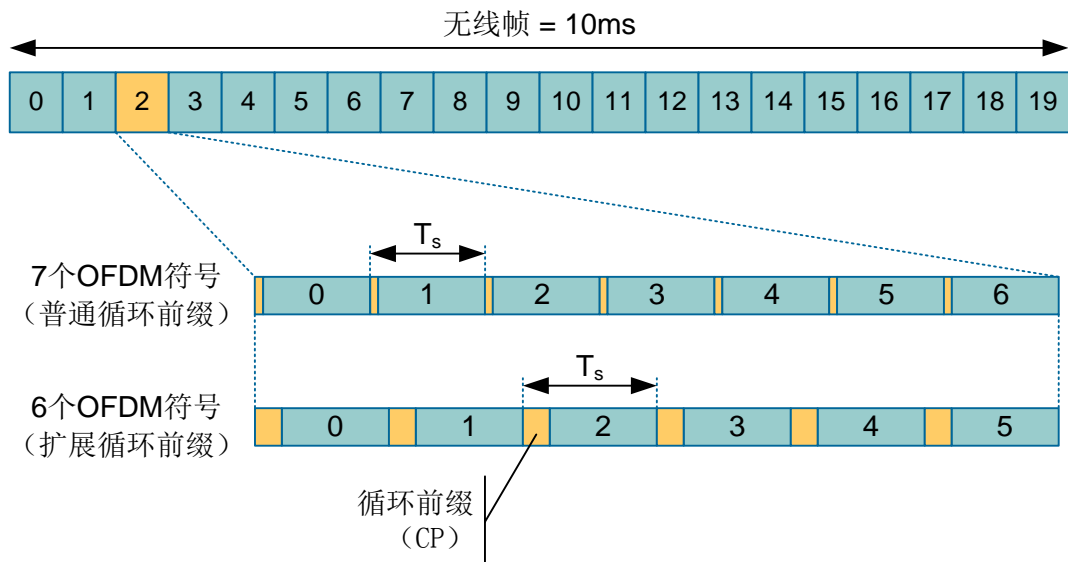
LTE 时间单位

LTE 时间单位以 T_s 表示，计算公式为 $T_s = 1/(15000 \times 2048)$ ，约等于 32.552083ns。这个时间单位或它的倍数在 LTE 中主要用来表示定时和配置。

循环前缀及其分类

1.7.7 节介绍了 OFDM 系统中 CP (Cyclic Prefix, 循环前缀) 的概念。LTE 系统中有两种循环前缀：普通循环前缀和扩展循环前缀。为了区分这两种循环前缀，它们有各自不同的时隙格式。图 2-19 展示了分别由 7 个和 6 个 OFDM 符号组成的时隙。从图中可以看出，在配置扩展循环前缀的时隙中，循环前缀扩大了，而符号的数量减少了，因此降低了符号速率。

图2-19 普通循环前缀和扩展循环前缀




扩展循环前缀主要用于因规划需要扩大小区范围等场景。

表 2-2 详细列出了在不同配置情况下循环前缀的大小。从表中可以看出，不同时隙中的循环前缀的大小可以不同。在配置普通循环前缀的情况下，每个帧第一个时隙的循环前缀总是最大的。

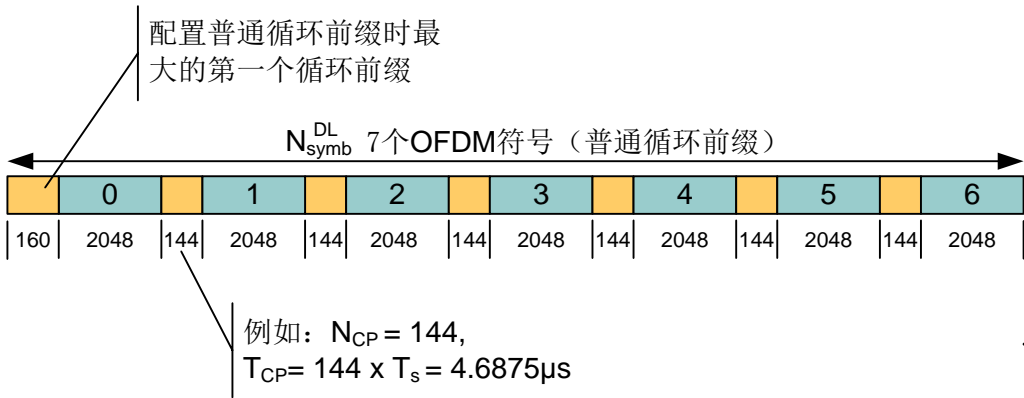
表2-2 上下行 CP 参数

配置		CP 长度 (T _s)	时间	时延扩展
普通循环前缀	$\Delta f = 15\text{kHz}$	时隙 0: 160	$\sim 5.208\text{ }\mu\text{s}$	$\sim 1.562\text{km}$
		时隙 1-6: 144	$\sim 4.688\text{ }\mu\text{s}$	$\sim 1.406\text{km}$
扩展循环前缀	$\Delta f = 15\text{kHz}$	时隙 0-5: 512	$\sim 16.67\text{ }\mu\text{s}$	$\sim 5\text{km}$
	$\Delta f = 7.5\text{kHz}$	时隙 0-2: 1024	$\sim 33.33\text{ }\mu\text{s}$	$\sim 10\text{km}$

 说明
7.5kHz 的子载波间隔用于 MBSFN (MBMS over Single Frequency Network), 在 3GPP R8 的物理层协议中定义。但是 MBMS 特性直到 3GPP R9 才会应用。同时需要注意的是，7.5kHz 的配置目前只适用于下行。

一个符号包含一个循环前缀 CP，以及数据。在 15kHz 的普通循环前缀或扩展循环前缀配置情况下，符号中数据的长度 T_b 为 2048 个 LTE 时间单位。图 2-20 展示的是配置了普通循环前缀的一个时隙。

图2-20 配置普通循环前缀的时隙



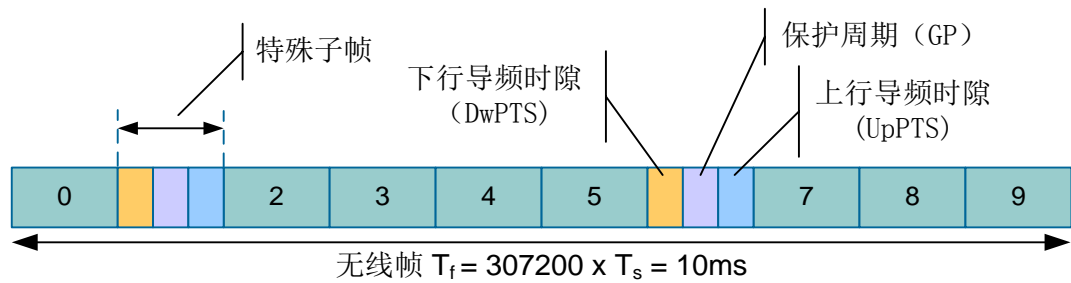
2.4.2 无线帧结构 2

无线帧结构 2 用于 TDD 模式。TDD 帧结构引入了特殊子帧的概念。特殊子帧中包括 DwPTS (Downlink Pilot Time Slot, 下行导频时隙)、GP (Guard Period, 保护周期) 和 UpPTS (Uplink Pilot Time Slot, 上行导频时隙)。特殊子帧各部分的长度可以配置，但总时长固定为 1ms。

在 TDD 模式下，上行和下行共用 10 个子帧。子帧在上下行之间切换的时间间隔为 5ms 或 10ms，但是子帧 0 和 5 必须分配给下行。因为这两个子帧中包含了 PSS (Primary

Synchronization Signal) 和 SSS (Secondary Synchronization Signal), 同时子帧 0 中还包含了广播信息。关于 PSS 和 SSS 的详细描述, 请参见 2.6 节。

图2-21 LTE TDD 帧结构



TDD 模式支持多种子帧分配方案, 如表 2-3 所列。方案 0、1、2 和 6 中, 子帧在上下行切换的时间间隔为 5ms, 因此需要配置两个特殊子帧。其它方案中的切换时间间隔都为 10ms。表格中字母 D 表示用于下行传输的子帧, U 表示用于上行传输的子帧, S 表示特殊子帧。一个特殊子帧中包含 DwPTS、GP 和 UpPTS 三个字段。

表2-3 无线帧结构 2 及切换时间间隔

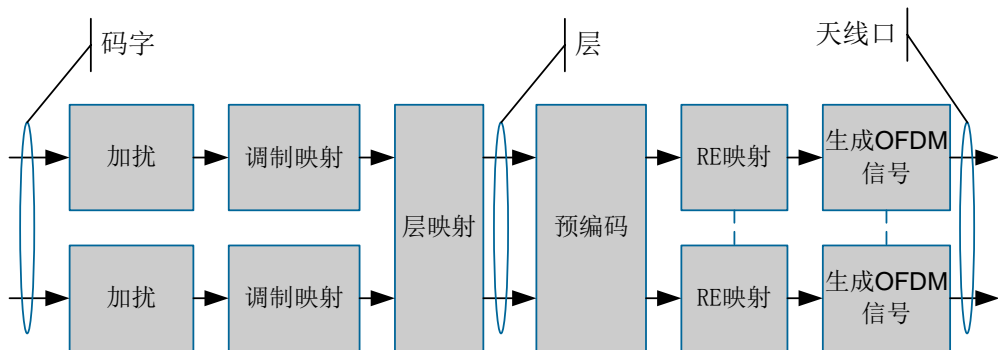
配置	上下行比例	切换时间间隔	子帧编号									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	3: 1	5ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	1: 1	5ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	1: 3	5ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	1: 2	10ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	2: 7	10ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	1: 8	10ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5: 3	5ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

说明
特殊子帧中的 DwPTS 和 UpPTS 可以包含信息。比如, DwPTS 可以包含调度信息, UpPTS 可以通过配置来应对随机接入突发。

2.5 OFDM 信号生成过程

上下行信号的生成过程涉及很多物理层的步骤。PDSCH 上的一些可能步骤如图 2-22 所示。

图2-22 下行物理层处理

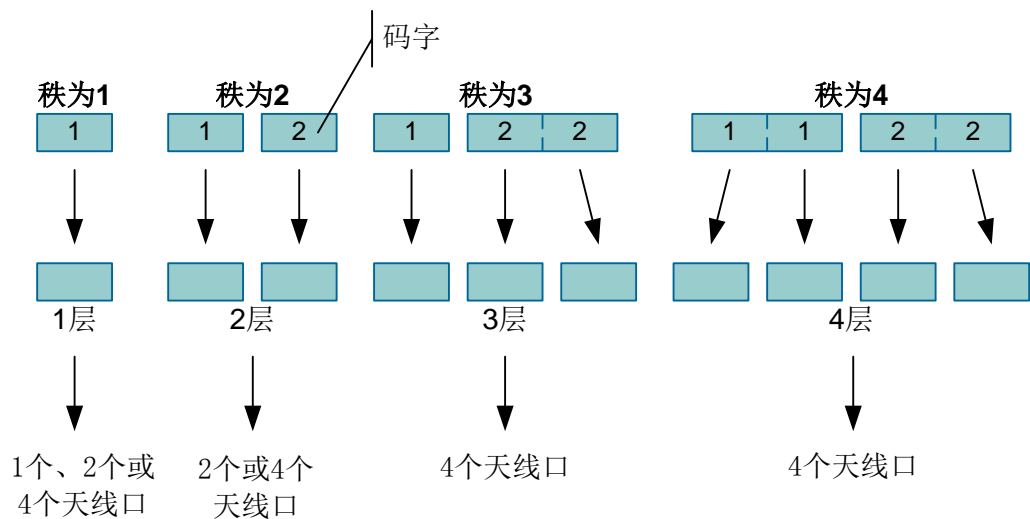


2.5.2 码字、层和天线口

在识别各步骤之前，需要先澄清码字、层和天线口的概念。层和多天线口应用于分集和MIMO（Multiple Input Multiple Output）技术中。另外，层数通常被称为秩（rank）。

当说到LTE的物理层处理时，一个码字即对应一个传输块TB（Transport Block）。LTE系统使用一个或者两个码字，这些码字映射到不同的层上。层数最小为1，最大等于天线口的个数。当使用一个码字（即一个传输块）的时候，使用单层传输。当使用两个码字（即两个传输块）的时候，使用两层或更多层传输。码字映射到层再映射到天线口的方式如图2-23所示。

图2-23 码字映射至层再映射至天线口

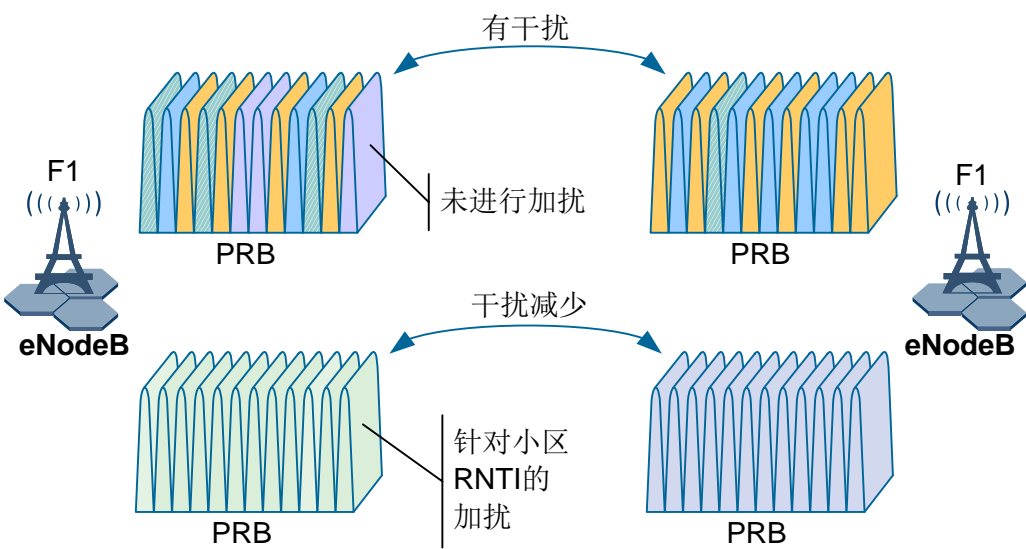


注意，每层的调制符号数需要相同。因此，当使用三层传输时，第二个码字是第一个码字的两倍大。这是依赖于支持的传输块大小和其它物理层步骤来实现的。

2.5.3 加扰

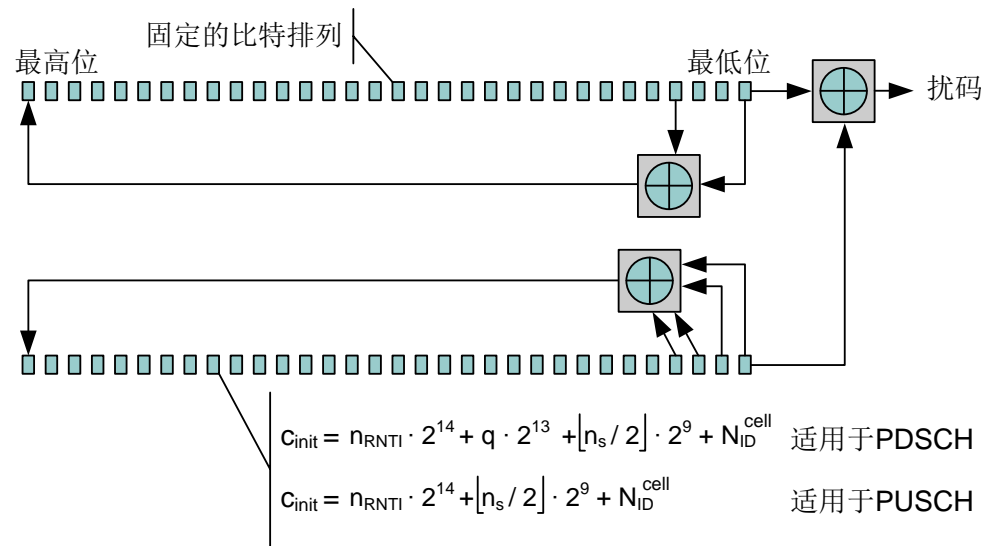
物理层处理的第一步是加扰。对信号进行加扰是为了减少对信号的干扰。加扰是一个伪随机的过程，可以有效地将干扰信号随机化。加扰原理如图 2-24 所示。图中显示为两个同频小区里的物理资源块 PRB（Physical Resource Block）。在加扰过程中，使用扰码对信息加扰能有效地减少干扰。扰码则基于物理小区标识和 RNTI 生成。

图2-24 LTE 系统中的加扰



扰码生成过程如图 2-25 所示。该过程适用于大多数物理信道的。需要注意的是，在下行 PHICH 和部分上行信道上不使用加扰。

图2-25 LTE 系统中的扰码生成过程



2.5.4 调制映射

调制映射实体将加扰后的比特转换成复数形式的调制符号（调制方案为 BPSK、QPSK、16QAM 或者 64QAM）。

图2-26 BPSK、QPSK 和 16QAM 调制映射

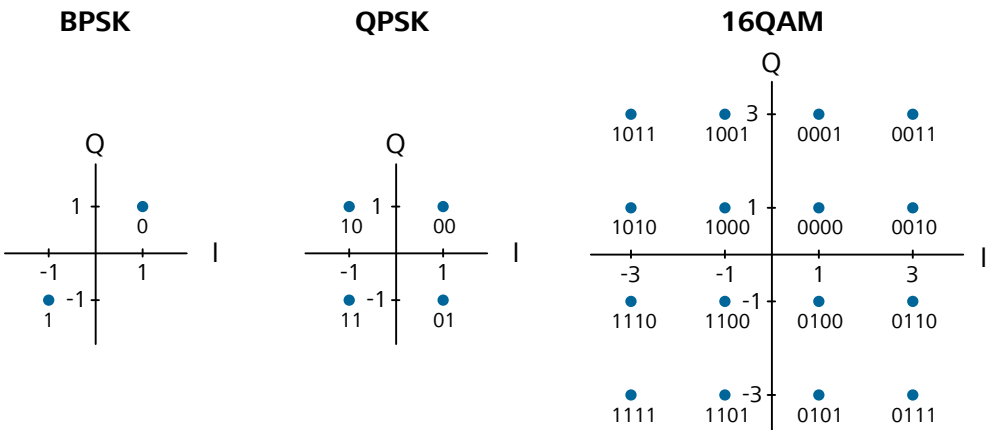
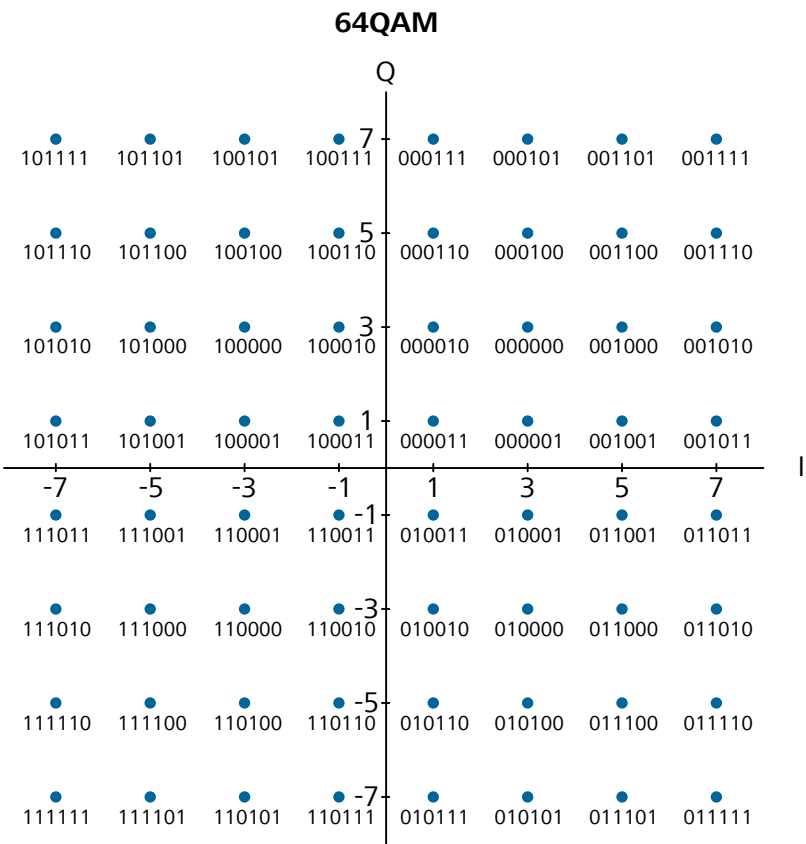


图2-27 64QAM 调制映射



2.5.5 层映射

层映射实体有效地将复数形式的调制符号映射到一个或多个传输层上，从而将数据分成多层。根据传输方式的不同，可以使用不同的层映射方式。

表2-4 层映射配置

配置	层数（ ν ）	天线口数（ P ）
单天线配置	$\nu = 1$	$P = 1$
发射分集	$\nu = P$	$P \neq 1$ （2 或 4）
空间复用	$1 \leq \nu \leq P$	$P \neq 1$ （2 或 4）

对应于每个待发送码字的复数调制符号被映射到一个或多个传输层上。具体来说，对应于码字 q 的调制符号 $d^{(q)}(0), \dots, d^{(q)}(M_{\text{symp}}^{(q)} - 1)$ 映射至 $x(i) = [x^{(0)}(i) \ \dots \ x^{(\nu-1)}(i)]^T$ ($i = 0, 1, \dots, M_{\text{symp}}^{\text{layer}} - 1$) 层上，其中， ν 指的是层数， $M_{\text{symp}}^{\text{layer}}$ 是每层的调制符号数。

单天线配置

单天线配置时，使用单层传输，即 $\nu = 1$ 。映射关系的公式为 $x^{(0)}(i) = d^{(0)}(i)$ ，并且 $M_{\text{symp}}^{\text{layer}} = M_{\text{symp}}^{(0)}$ 。

空间复用

空间复用场景下的层映射关系如表 2-5 所示。层数 ν 小于或等于用于传输物理信道的天线口数 P 。单码字映射至两个传输层的场景仅适用于天线口数为 4 的情况。

表2-5 空间复用场景下码字到层的映射关系

层数	码字数	码字到层的映射关系（ $i = 0, 1, \dots, M_{\text{symp}}^{\text{layer}} - 1$ ）	
1	1	$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(i)$	$M_{\text{symp}}^{\text{layer}} = M_{\text{symp}}^{(0)}$
2	2	$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(i)$ $x^{(1)}(i) = d^{(1)}(i)$	$M_{\text{symp}}^{\text{layer}} = M_{\text{symp}}^{(0)} = M_{\text{symp}}^{(1)}$
2	1	$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(2i)$ $x^{(1)}(i) = d^{(0)}(2i + 1)$	$M_{\text{symp}}^{\text{layer}} = M_{\text{symp}}^{(0)} / 2$
3	2	$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(i)$ $x^{(1)}(i) = d^{(1)}(2i)$ $x^{(2)}(i) = d^{(1)}(2i + 1)$	$M_{\text{symp}}^{\text{layer}} = M_{\text{symp}}^{(0)} = M_{\text{symp}}^{(1)} / 2$

层数	码字数	码字到层的映射关系（ $i = 0, 1, \dots, M_{\text{symp}}^{\text{layer}} - 1$ ）	
4	2	$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(2i)$ $x^{(1)}(i) = d^{(0)}(2i + 1)$ $x^{(2)}(i) = d^{(1)}(2i)$ $x^{(3)}(i) = d^{(1)}(2i + 1)$	$M_{\text{symp}}^{\text{layer}} = M_{\text{symp}}^{(0)} / 2 = M_{\text{symp}}^{(1)} / 2$

发射分集

发射分集场景下只使用一个码字，层数等于用于传输物理信道的天线口数。

表2-6 发射分集场景下码字到层的映射关系

层数	码字数	码字到层的映射关系（ $i = 0, 1, \dots, M_{\text{symp}}^{\text{layer}} - 1$ ）	
2	1	$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(2i)$ $x^{(1)}(i) = d^{(0)}(2i + 1)$	$M_{\text{symp}}^{\text{layer}} = M_{\text{symp}}^{(0)} / 2$
4	1	$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(4i)$ $x^{(1)}(i) = d^{(0)}(4i + 1)$ $x^{(2)}(i) = d^{(0)}(4i + 2)$ $x^{(3)}(i) = d^{(0)}(4i + 3)$	$M_{\text{symp}}^{\text{layer}} = \begin{cases} M_{\text{symp}}^{(0)} / 4 & \text{if } M_{\text{symp}}^{(0)} \bmod 4 = 0 \\ (M_{\text{symp}}^{(0)} + 2) / 4 & \text{if } M_{\text{symp}}^{(0)} \bmod 4 \neq 0 \end{cases}$ 如果 $M_{\text{symp}}^{(0)} \bmod 4 \neq 0$ ，则在 $d^{(0)}(M_{\text{symp}}^{(0)} - 1)$ 尾部添加两个空符号。

2.5.6 预编码

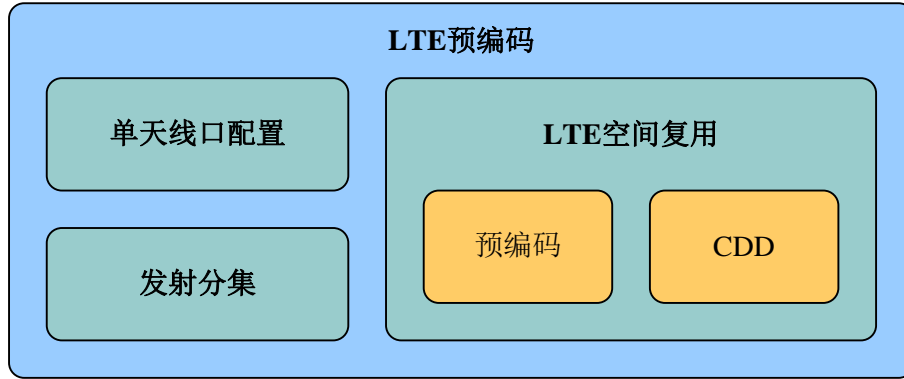
接下来的一个步骤是对每个传输层上的复数调制符号进行预编码。各种预编码场景如图 2-28 所示。具体如下：

- 单天线口配置
- 发射分集
- 空间复用 – 包含两种场景，一种使用了 CDD（Cyclic Delay Diversity），另一种不使用 CDD。

说明

CDD 是一种使用多天线发射相同但延迟的 OFDM 符号的方法。它将空间复用转化成为频率分集，从而避免符号间干扰。

图2-28 LTE 系统中的预编码场景



预编码原理

预编码器使用层映射结果矢量块 $x(i) = [x^{(0)}(i) \dots x^{(\nu-1)}(i)]^T$ ($i = 0, 1, \dots, M_{\text{symp}}^{\text{layer}} - 1$) 作为输入并生成矢量块 $y(i) = [\dots y^{(p)}(i) \dots]^T$ ($i = 0, 1, \dots, M_{\text{symp}}^{\text{ap}} - 1$)，其中 $y^{(p)}(i)$ 代表针对天线口的信号。生成结果将映射到每个天线口的资源上。

单天线口配置下的预编码

使用单天线口配置时，预编码采用公式 $y^{(p)}(i) = x^{(0)}(i)$ ，其中 $p \in \{0, 4, 5\}$ 是用于传输物理信道的单天线口的编号， $i = 0, 1, \dots, M_{\text{symp}}^{\text{ap}} - 1$ 而 $M_{\text{symp}}^{\text{ap}} = M_{\text{symp}}^{\text{layer}}$ 。

发射分集下的预编码

发射分集下的预编码操作针对两天线口和四天线口配置。使用两天线口配置（即 $p \in \{0, 1\}$ ）时，预编码的输出结果 $y(i) = [y^{(0)}(i) \ y^{(1)}(i)]^T$ ($i = 0, 1, \dots, M_{\text{symp}}^{\text{ap}} - 1$) 采用如下公式：

$$\begin{bmatrix} y^{(0)}(2i) \\ y^{(1)}(2i) \\ y^{(0)}(2i+1) \\ y^{(1)}(2i+1) \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & j & 0 \\ 0 & -1 & 0 & j \\ 0 & 1 & 0 & j \\ 1 & 0 & -j & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{Re}(x^{(0)}(i)) \\ \text{Re}(x^{(1)}(i)) \\ \text{Im}(x^{(0)}(i)) \\ \text{Im}(x^{(1)}(i)) \end{bmatrix}$$

$i = 0, 1, \dots, M_{\text{symp}}^{\text{layer}} - 1$ ，且 $M_{\text{symp}}^{\text{ap}} = 2M_{\text{symp}}^{\text{layer}}$

需要注意的是，编码矩阵的任意两列都是正交的。此外，预编码有利于实现空频发射分集，即在频域上进行编码。

四天线口配置下的预编码与两天线口的情况类似，不过通常 $M_{\text{symp}}^{\text{ap}} = 4M_{\text{symp}}^{\text{layer}}$ 。

空间复用下的预编码

空间复用支持两天线口和四天线口配置，分别使用天线口集合 $p \in \{0,1\}$ 和 $p \in \{0,1,2,3\}$ 。

当不使用 CDD（Cyclic Delay Diversity）时，空间复用下的预编码采用如下公式：

$$\begin{bmatrix} y^{(0)}(i) \\ \vdots \\ y^{(P-1)}(i) \end{bmatrix} = W(i) \begin{bmatrix} x^{(0)}(i) \\ \vdots \\ x^{(v-1)}(i) \end{bmatrix}$$

其中，预编码矩阵 $W(i)$ 的大小为 $P \times v$ ； $i = 0, 1, \dots, M_{\text{symb}}^{\text{ap}} - 1$ 而 $M_{\text{symb}}^{\text{ap}} = M_{\text{symb}}^{\text{layer}}$ 。

$W(i)$ 的值从 eNodeB 和 UE 侧配置的码本里的预编码码子元中选择。

当使用高时延 CDD 时，空间复用下的预编码采用如下公式：

$$\begin{bmatrix} y^{(0)}(i) \\ \vdots \\ y^{(P-1)}(i) \end{bmatrix} = W(i) D(i) U \begin{bmatrix} x^{(0)}(i) \\ \vdots \\ x^{(v-1)}(i) \end{bmatrix}$$

其中，预编码矩阵 $W(i)$ 的大小为 $P \times v$ ； $i = 0, 1, \dots, M_{\text{symb}}^{\text{ap}} - 1$ 而 $M_{\text{symb}}^{\text{ap}} = M_{\text{symb}}^{\text{layer}}$ 。与不使用 CDD 情况下的预编码相比，此方案中 $D(i)_{v \times v}$ 提供了 CDD 对角矩阵，而 $U_{v \times v}$ 使用方阵。

预编码使用的空间复用码本

两天线和四天线传输使用的码本大小不同。当使用两天线口配置（即 $p \in \{0,1\}$ ）时，预编码矩阵 $W(i)$ 从表 2-7 中或其中的一个子集中选择。使用闭环空间复用模式时，如果层数 $v=2$ ，则不使用码本索引 0。

表2-7 两天线口配置下使用的传输用码本

码本索引	层数 v	
	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	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix}$	-

当使用四天线口配置时，有 16 个码本索引可供选择。

2.5.7 RE 映射

预编码步骤之后是资源粒子 RE (Resource Element) 映射。RE 映射实体将复数形式的符号映射至分配到的资源上。

在每个物理信道传输用的天线口上，复数符号块依次映射到 RE 上(详细请参考 2.6.2 节)。这些 RE 满足以下所有条件：

- 处于分配给传输用的 PRB (Physical Resource Block) 上。
- 不用于传输 PBCH、同步信号或参考信号。
- 不处于 PDCCH 使用的 OFDM 符号内。

更多物理资源的信息，请参见 2.6.2 节。

2.5.8 生成 OFDM 信号

物理层处理的最后一步是生成 OFDM 信号，即生成每根天线上的时域信号。这一步是一个纯数学计算过程，涉及到多种公式和参数。下行计算公式如图 2-29 所示。本节不对其进行详细描述。

图2-29 下行信号生成等式举例

$$s_l^{(p)}(t) = \sum_{k=\lfloor N_{RB}^{DL} N_{sc}^{RB} / 2 \rfloor}^{-1} a_{k^{(-)},l}^{(p)} \cdot e^{j2\pi\Delta f(t-N_{CP,l}T_s)} + \sum_{k=1}^{\lceil N_{RB}^{DL} N_{sc}^{RB} / 2 \rceil} a_{k^{(+)},l}^{(p)} \cdot e^{j2\pi\Delta f(t-N_{CP,l}T_s)}$$

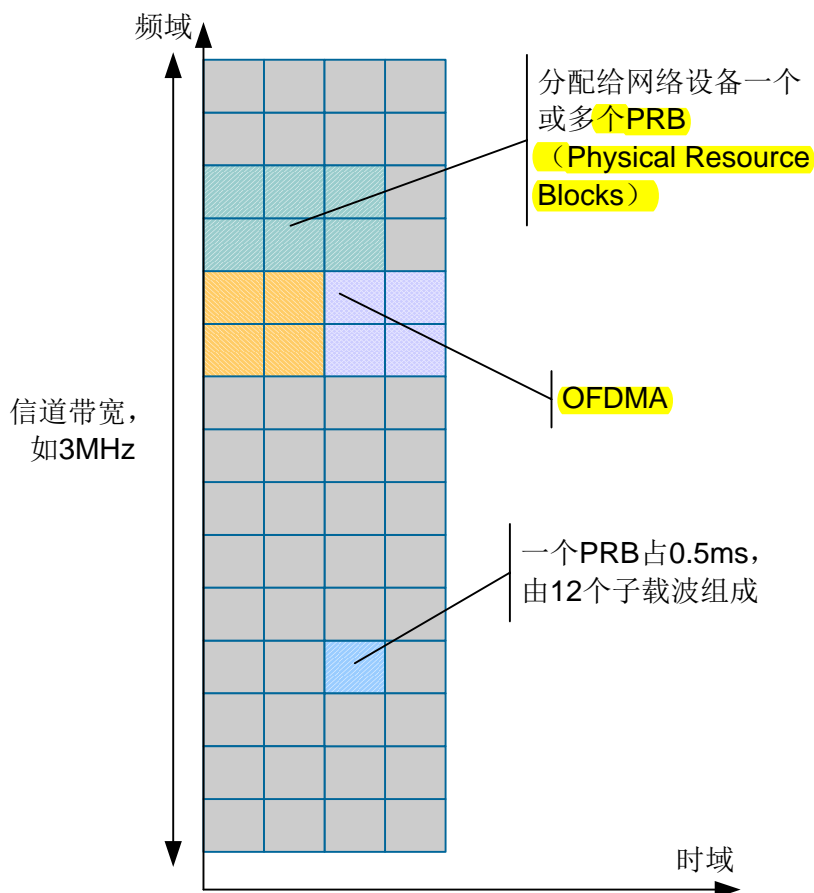
2.6 下行 OFDMA

2.6.1 OFDMA 结构概述

E-UTRA 下行采用 OFDMA 技术。该技术能让多个网络设备通过无线信道的不同区域在同一时间接收信息。在大多数 OFDMA 系统中，无线信道的不同区域又被称为子信道，即子载波的集合。而在 E-UTRA 中，子信道的概念被称为 PRB (Physical Resource Block)。

OFDMA 的概念如图 2-30 所示。从图中可以看出，不同的用户在时频域上都占有一个或多个资源块，从而实现了可用资源的合理调度。

图2-30 LTE 的 OFDMA 技术



同时需要注意的是，通常分配给网络设备的是时域上的 1ms，即一个子帧，而不是单个 PRB。

2.6.2 物理资源块和资源粒子

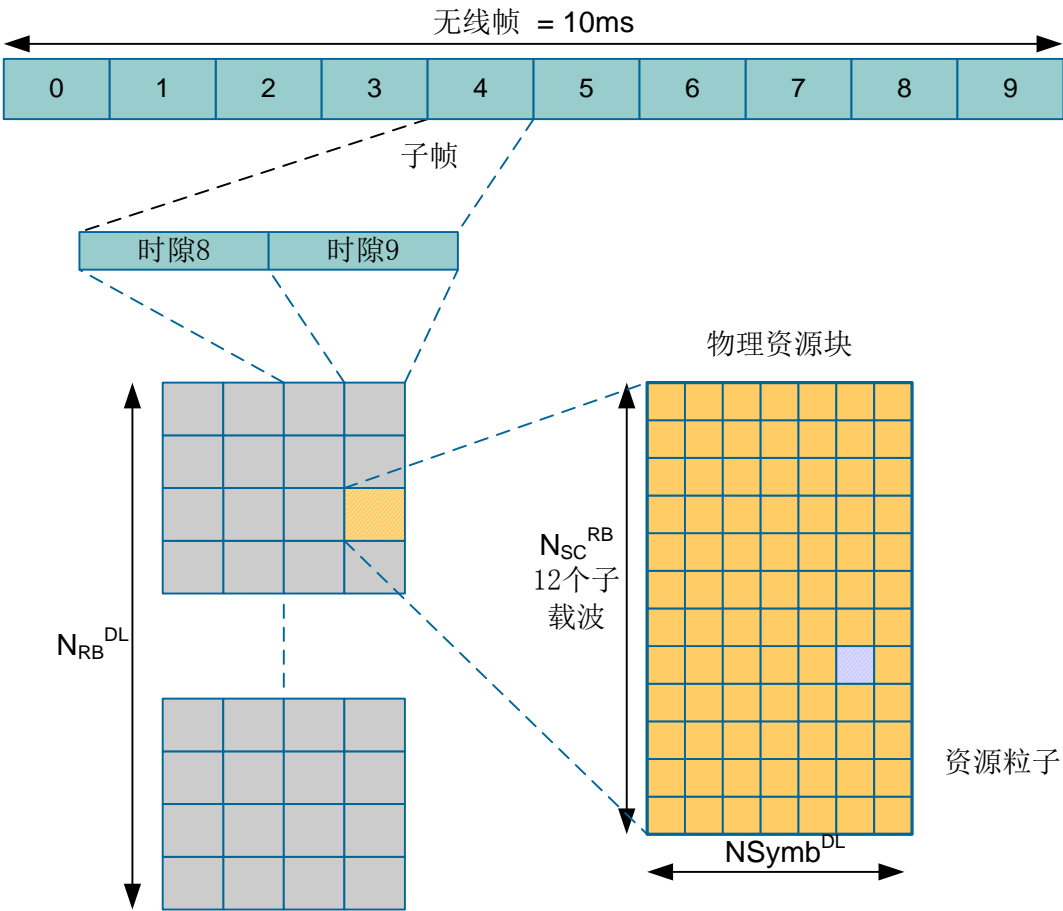
每个物理资源块由 12 个连续的子载波组成，并占用一个时隙，即 0.5ms。PRB 的结构如图 2-31 所示。

N_{RB}^{DL} 表示 DL（Downlink，下行）的 RB（Resource Block）数量，取决于信道带宽。相对地， N_{RB}^{UL} 则表示上行的 RB 数量。每个 RB 包含 N_{SC}^{RB} 个子载波，通常标准为 12 个子载波。另外，当采用 MBSFN 技术时，子载波间隔为 7.5kHz，资源块的数量配置不同。

PRB 主要用于资源分配。根据配置了扩展循环前缀或普通循环前缀的不同，每个 PRB 通常包含 6 个或 7 个符号。

RE（Resource Element，资源粒子）表示一个符号周期长度的一个子载波，可以用来承载调制信息、参考信息或不承载信息。

图2-31 物理资源块和资源粒子



E-UTRA 下行 PRB 的配置如表 2-8 所列。

表2-8 下行 PRB 参数

配置		N_{SC}^{RB}	N_{Symb}^{DL}
普通循环前缀	$\Delta f = 15\text{kHz}$	12	7
扩展循环前缀	$\Delta f = 15\text{kHz}$		6
	$\Delta f = 7.5\text{kHz}$	24	3

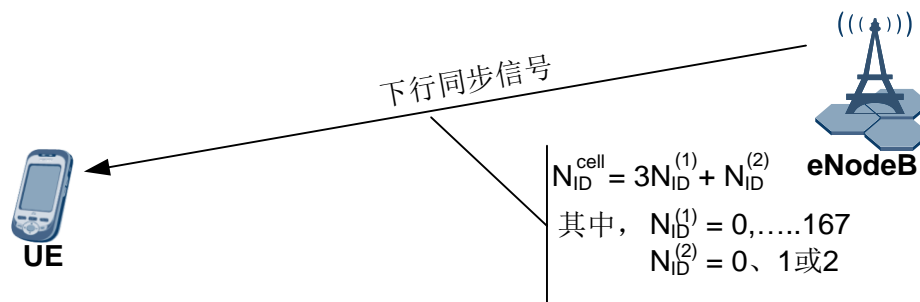
说明

上行 PRB 的配置与下行类似，但 7.5kHz 的子载波间隔仅适用于下行。

2.7 同步信号

为了使 UE 获悉系统信息，eNodeB 必须广播各类下行信号。另外，因为下行带宽在 1.4MHz 至 20MHz 之间可变而 UE 无法事先知道 eNodeB 侧的设置，所以双方检测系统的方法需要一致。因此无论在何种无线频谱配置下，同步信息与小区标识信息必须安排在下行的固定位置上。物理小区标识 N_{ID}^{cell} 的结构如图 2-32 所示。

图2-32 下行小区标识



物理小区 id 由两部分构成， $N_{ID}^{(1)}$ 是物理小区组 id，范围是 0~167； $N_{ID}^{(2)}$ 是物理 id，范围是 0~2。这样，物理小区 id 的范围是 0~504。在网络中，如果 504 个物理小区 id 不够用，那么可以进行复用。

LTE 设有两种同步序列，分别是主同步信号 PSS（Primary Synchronization Signal）与辅同步信号 SSS（Secondary Synchronization Signal）。PSS 和 SSS 在无线帧中的位置根据使用的传输模式（即 FDD 还是 TDD）以及循环前缀类型（即使用普通还是扩展 CP）而有所不同。

图2-33 FDD 帧中 PSS 与 SSS 的位置

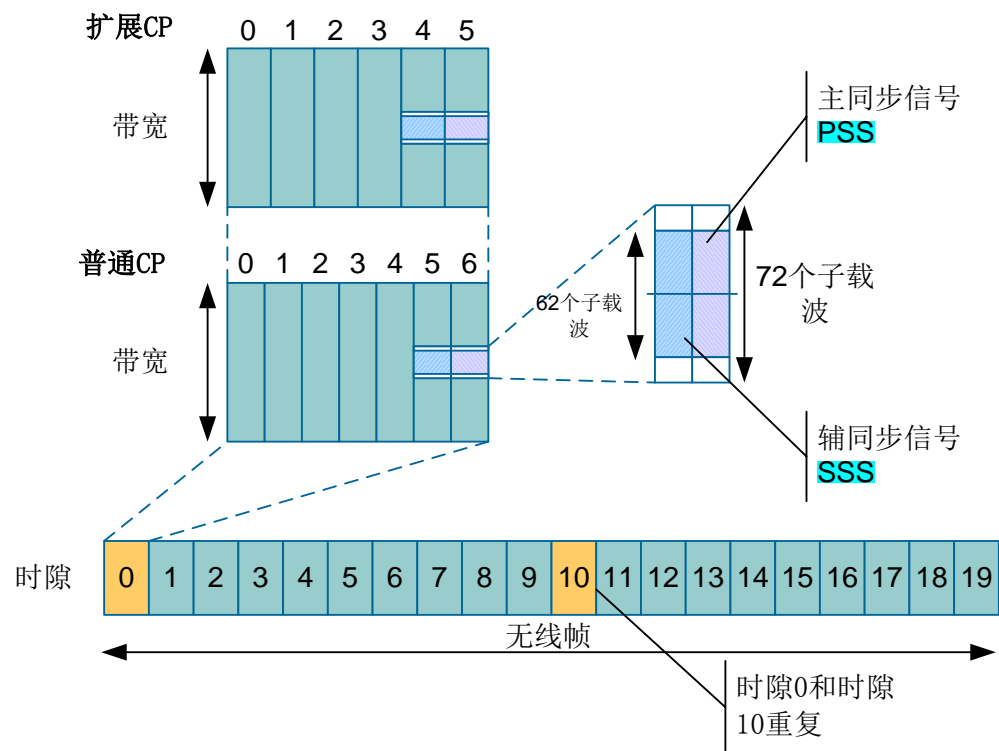
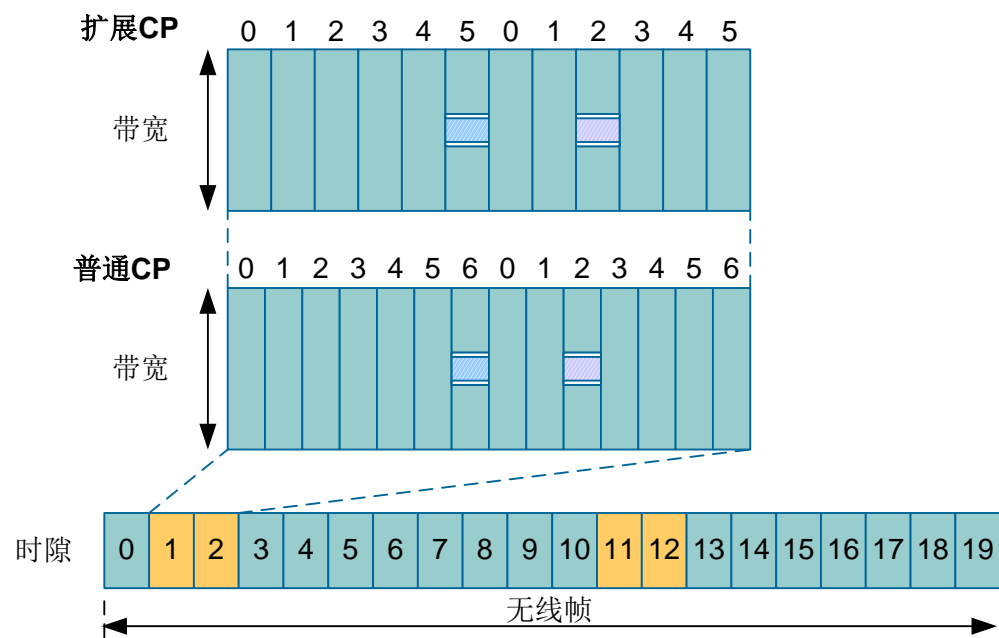


图2-34 TDD 帧中 PSS 与 SSS 的位置



主同步信号 PSS

PSS 的主要作用是为用户提供下行同步信息。发送的信号为三种 ZC (Zadoff-Chu) 序列中的一种。这样就具有了伪噪声的特征, 设备可以对其进行相关运算。同时, 为了避免干扰问题, eNodeB 上相邻的小区或扇区之间使用不同的 ZC 序列。 $N_{ID}^{(2)}$ (取值为 0、1 或 2) 映射到 ZC 根索引, 通过 ZC 根索引产生 ZC 序列。

辅同步信号 SSS

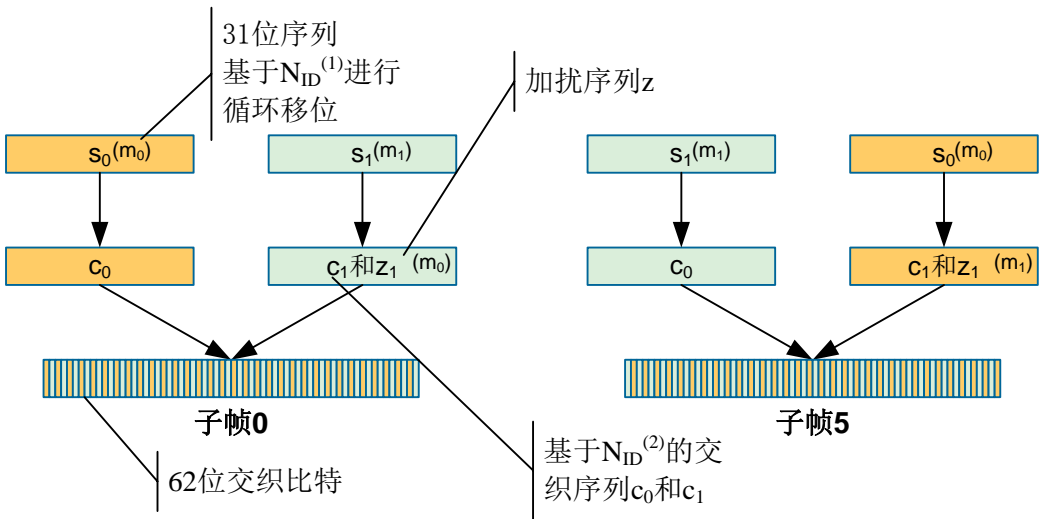
对两个 31 位的二进制序列先按照 $N_{ID}^{(1)}$ 的值进行循环移位, 再交织级联, 从而产生 SSS。表 2-9 列举了一些基于 $N_{ID}^{(1)}$ 生成的 SSS 索引。需要注意的是, SSS 的产生过程还包括更多算法以及 0 号与 10 号子帧上的不同组合。

表2-9 SSS 索引举例

$N_{ID}^{(1)}$	m_0	m_1	$N_{ID}^{(1)}$	m_0	m_1	$N_{ID}^{(1)}$	m_0	m_1	$N_{ID}^{(1)}$	m_0	m_1	$N_{ID}^{(1)}$	m_0	m_1
0	0	1	34	4	6	68	9	12	102	15	19	136	22	27
1	1	2	35	5	7	69	10	13	103	16	20	137	23	28
2	2	3	36	6	8	70	11	14	104	17	21	138	24	29
3	3	4	37	7	9	71	12	15	105	18	22	139	25	30
.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	167	2	9
33	3	5	67	8	11	101	14	18	135	21	26			

两个 31 位的序列 $s_0^{(m_0)}$ 和 $s_1^{(m_1)}$ 与序列 c_0 和 c_1 以及序列 z 进行加扰, 再进行交织, 从而生成 SSS。序列 c_0 和 c_1 基于 $N_{ID}^{(2)}$ 生成。各序列到 0 号与 5 号子帧上的 62 个子载波的映射关系如图 2-35 所示。

图2-35 SSS 加扰



级联后的完整序列用 PSS 中的序列再次进行加扰。

2.8 下行参考信号

LTE 与其他移动通信系统不同，它在空中接口上不使用帧前导。因此为了实现相干解调、信道估计、信道质量测量、时间同步等任务，LTE 使用多种参考信号 RS(Reference Signal)。下行参考信号主要可分为三种：

- 小区特定参考信号（非 MBSFN）
- MBSFN（多播广播单频网）参考信号，即单载频 MBMS 网上的 MBMS 参考信号
- UE 特定参考信号

2.8.1 小区特定参考信号

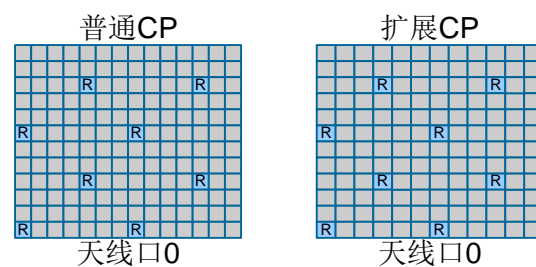
LTE 中的小区特定参考信号在时频网络上呈二维排列，特征是距离相同，因此可以提供信道的最小估计均方差。另外，参考符号的时域间隔是影响信道估计的重要因素，也关系到多普勒扩频的容限，即移动速度上限。LTE 的扩频容限为每时隙两个参考符号。

频域间隔也是一个重要因素，因为它关系到期望的信道相干带宽与时延扩展。同一时间 LTE 参考信号的间隔为 6 个子载波，不过因为它们在时域上交错，所以间隔为 3 个子载波。

单天线口配置下的 RS 位置

参考信号的位置因天线数和循环前缀类型（使用普通还是扩展 CP）而不同。图 2-36 中显示循环前缀的两种可选模式之下的参考信号位置。

图2-36 单天线模式下参考信号的位置

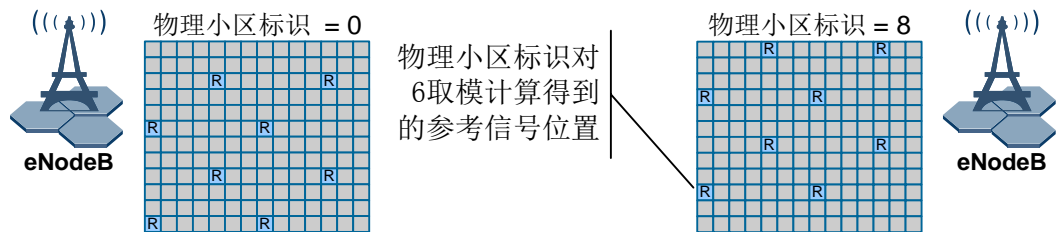


上图显示的排列适用于使用单发射天线的情况。当使用普通 CP 时，参考信号在各时隙中第一和第五个 OFDM 符号发送。当使用扩展 CP 时，参考信号在第一和第四个 OFDM 符号发送。

小区标识偏置

需要注意的是，参考信号的位置也取决于物理小区标识的值。系统通过物理小区标识对 6 取模来计算正确的偏置。图 2-37 中分别显示两个小区的不同偏置。

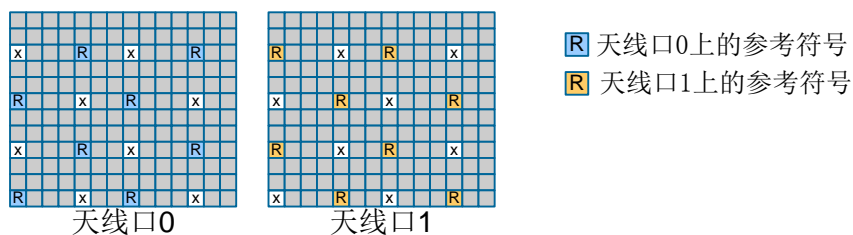
图2-37 参考信号之间按照物理小区标识设置偏置



双天线口配置

为了实现 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 或发射分集, LTE 设计了多发射天线功能。参考信号用于定义多天线场景的不同排列图案。双天线场景下的参考信号排列如图 2-38 所示。设备可以基于各天线口对应的参考信号排列进行信道估计。

图2-38 参考信号-双天线口 (使用普通 CP)



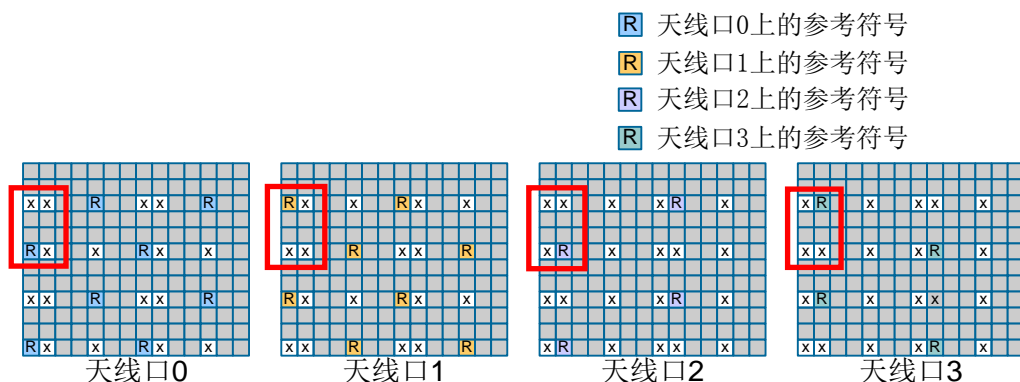
说明

当一根天线正发射参考符号时, 另一根天线的相应资源粒子 RE 为空。与单天线配置相同, 双天线配置下的参考信号的位置按照物理小区标识设置偏置。

四天线口配置

LTE 单小区最多可以配置四个天线口 (即天线口 0 至天线口 3)。因此, 设备必须分别得出 4 个信道估计。四天线场景下的参考信号排列如图 2-39 所示。

图2-39 参考信号-四天线口（使用普通CP）

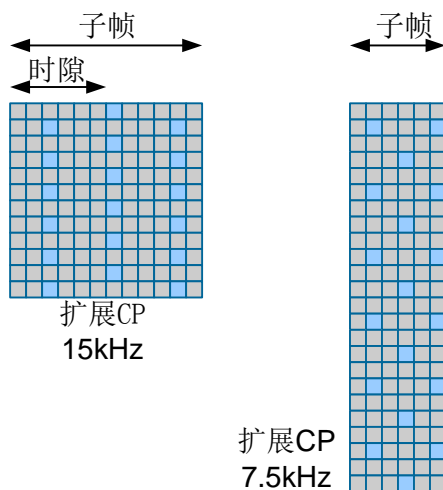


为了减少参考信号开销，天线口 2 和天线口 3 上的参考符号较少。符号少也会影响系统功能，特别是在高速移动（即信道快速变化）的状态下，信道估计会变得不准确。不过，因为四天线空间复用 **MIMO** 一般适用于低速移动场景，所以对网络的整体功能影响不大。与单天线配置相同，四天线配置下的参考信号的位置按照物理小区标识设置偏置。

2.8.2 MBSFN 参考信号

LTE 系统中也为独立载频 MBMS 网络(MBSFN, MBMS over Single Frequency Network)定义了参考信号, 此类 RS 在天线口 4 上发射。15kHz 和 7.5kHz 子载波间隔下的两种 MBSFN 参考信号配置如图 2-40 所示。

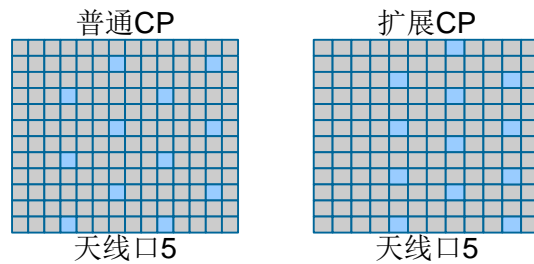
图2-40 MBSFN 参考信号



2.8.3 UE 特定参考信号

UE 特定参考信号在 PDSCH 的单天线发射场景下使用天线口 5 发送。当使用不基于码本的预编码方式时，UE 特定参考信号用于波束赋形。

图2-41 UE 特定参考信号



因为设备并不知道 eNodeB 使用的波束赋形的属性，所以需要在信道估计过程中估计波束赋形的属性。

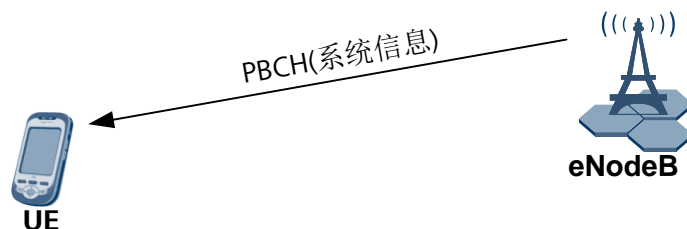
2.9 LTE 下行物理信道

3GPP R8 和 R9 协议中定义了 6 种下行物理信道，其中物理多播信道（PMCH，Physical Multicast Channel）在业界没有应用，本文不予介绍。如需获取 PMCH 的更多介绍，可参考 3GPP TS 36.211。

2.9.1 物理广播信道 PBCH（Physical Broadcast Channel）

物理广播信道（PBCH，Physical Broadcast Channel）用于承载主信息块（MIB，Master Information Block）。

图2-42 广播信令



PBCH 映射到 40ms 里的四个子帧上。UE 通过盲检测确定这 40ms 的时刻。子帧中的信息应该是可以自解码的。自解码指的是这些子帧的解码不依赖于 PBCH 上后续发送的传输块信息。PBCH 仅位于时隙 1 中的四个符号，即符号 0 至符号 3。

图2-43 MIB 映射至 PBCH (FDD 模式下使用普通 CP)

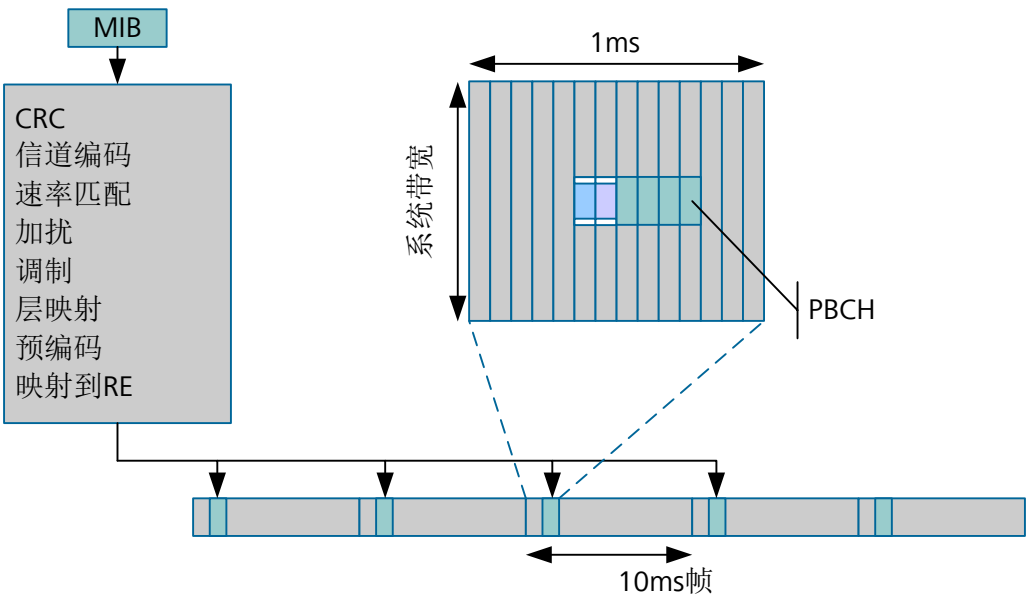
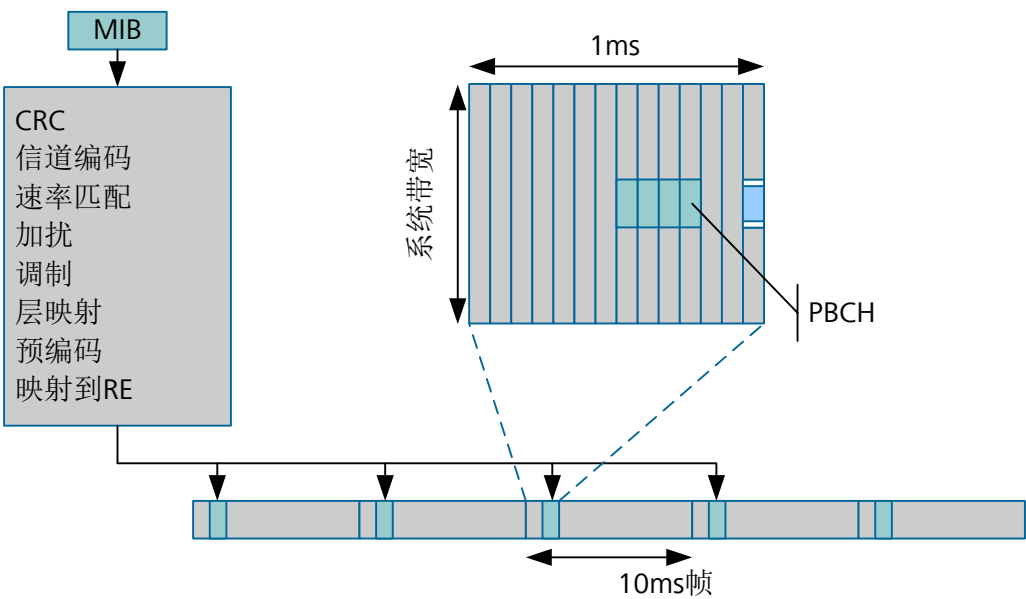


图2-44 MIB 映射至 PBCH (TDD 模式下使用普通 CP)



说明

PBCH 上只承载 MIB，其它 SIB (System Information Blocks) 承载在 PDSCH 上。

2.11.5 节描述了 LTE SI (System Information) 消息和调度方式。

2.9.2 物理控制格式指示信道 PCFICH (Physical Control Format Indicator Channel)

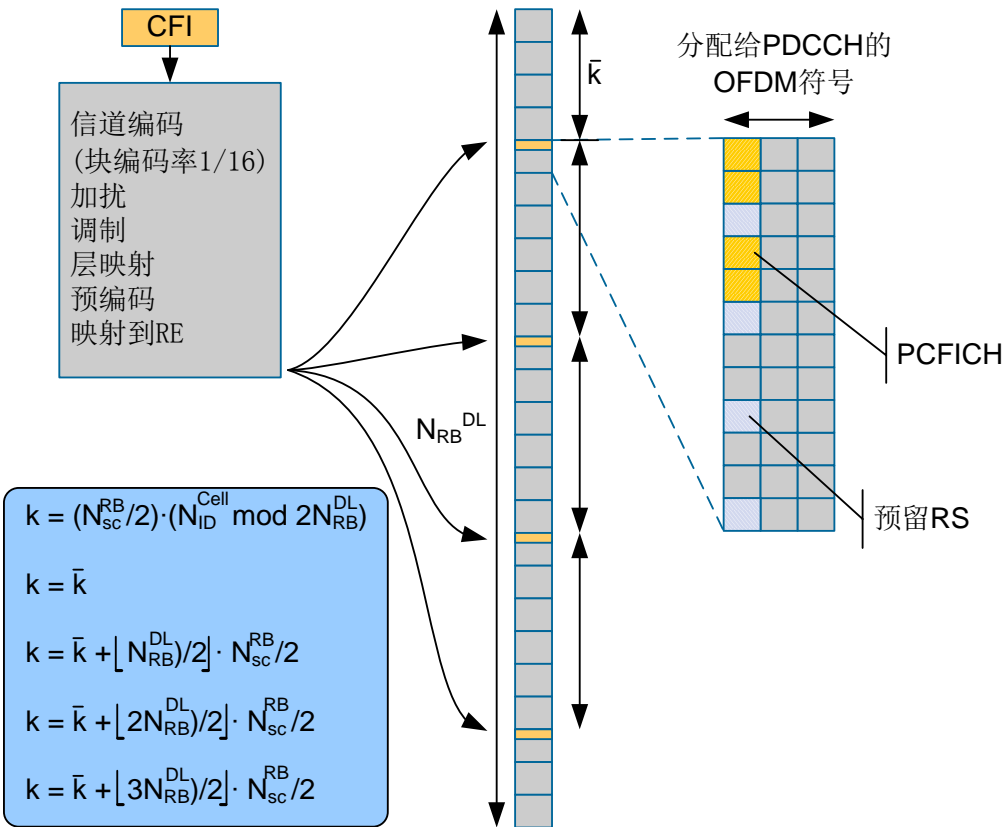
PCFICH (Physical Control Format Indicator Channel) 用于告知 UE 一个子帧中用于 PDCCH 传输的 OFDM 符号的个数。该信道包含了与物理小区相关的 32 比特信息。这 32 比特是在调制和映射之前经过了加扰。

表2-10 CFI 映射

CFI 值	分配给 PDCCH 的 OFDM 符号数	
	$N_{RB}^{DL} > 10$	$N_{RB}^{DL} \leq 10$
1	1	2
2	2	3
3	3	4

一个 PRB 里的控制区域被分成多个 REG（Resource Element Group），每个 REG 包含了四个资源粒子 RE。需要注意的是，分配给参考信号用的 RE 不包含在 REG 里。

图2-45 CFI 映射至 PCFICH



PCFICH 需要占用信道带宽范围上的 4 个 REG，即 16 个 RE。REG 的位置因系统带宽 N_{sc}^{RB} 和 N_{ID}^{cell} 而异。将 CFI（Control Format Indicator）映射到正确的 REG 的过程如图 2-45 所示。图中还显示了一些必要的计算过程。表 2-11 列举了映射到 PCFICH 的 CFI 码字。每个子帧（即 1ms）的码字都可以发生变化。

表2-11 CFI 码字

CFI	CFI 码字<b0,b1,...,b31>
1	<0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1>
2	<1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0>
3	<1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1,0,1,1>
4（预留）	<0,0>

因为 2 比特信息（即 4 种组合）编码成 32 比特，所以块编码率为 1/16。

2.9.3 物理下行控制信道 PDCCH（Physical Downlink Control Channel）

PDCCH 用于承载资源调度信息。PDCCH 控制区域的大小由 PCFICH 来定义，即为 1 个、2 个或者 3 个 OFDM 符号长度。PDCCH 承载上下行调度分配信息和上行功控信息信息。PDCCH 位置如图 2-46 所示。图中还显示了区域的大小随子帧而变化的情况。

图2-46 FDD 模式下行控制区域

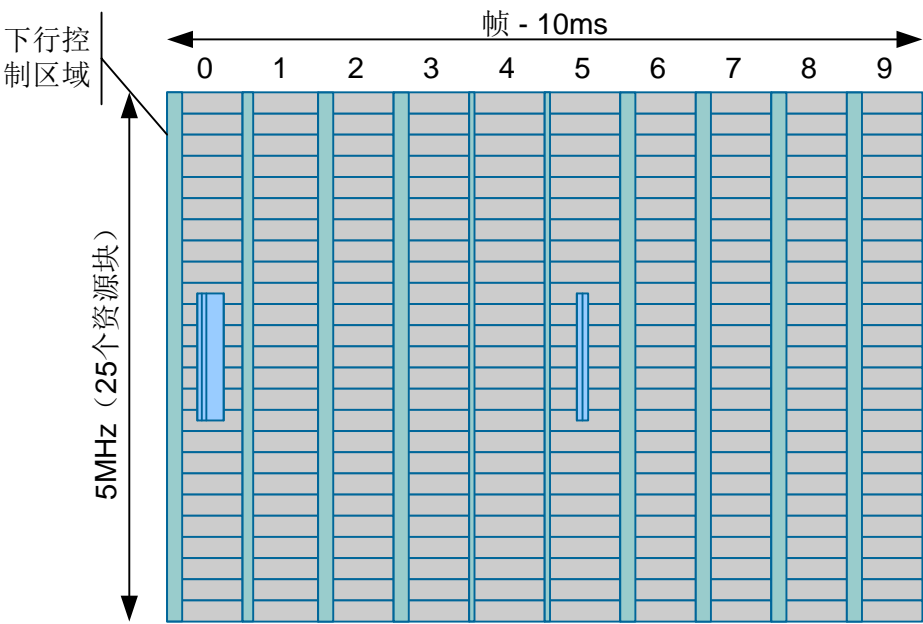
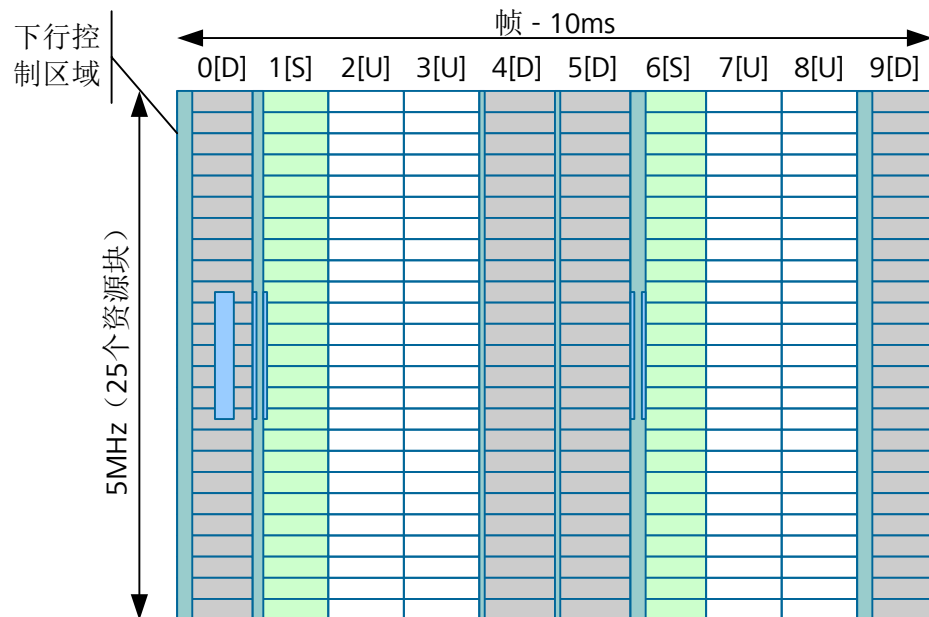


图2-47 TDD 模式下下行控制区域



说明

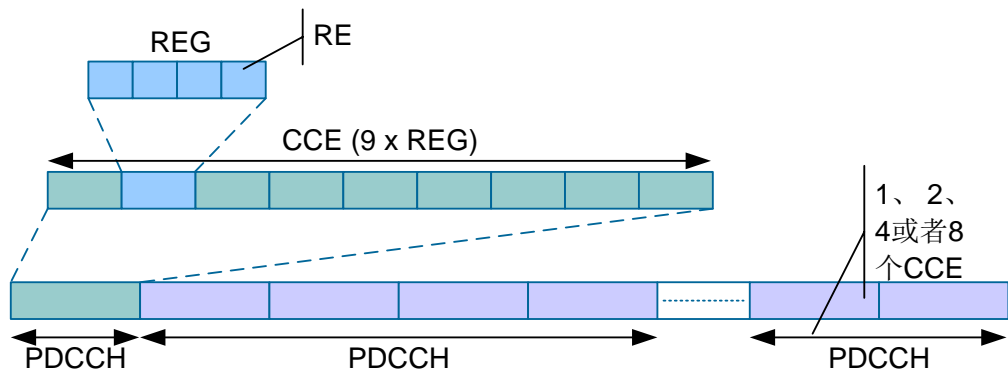
TDD 模式下，控制区域只出现在下行子帧和 DwPTS 上。

PDCCH 在一个或多个连续 CCE (Control Channel Element) 组成的聚合组上发送。一个 CCE 对应九个 REG。系统中的可用 CCE 从 0 编号至 $N_{CCE}-1$ 。 N_{CCE} 等于 $N_{REG}/9$ 。 N_{REG} 表示的是未分配给 PCFICH 或 PHICH (Physical Hybrid ARQ Indicator Channel) 的 REG 个数。PDCCH 支持如下几种格式：

- PDCCH 格式 0，包含一个 CCE。
- PDCCH 格式 1，包含两个 CCE。
- PDCCH 格式 2，包含四个 CCE。
- PDCCH 格式 3，包含八个 CCE。

PDCCH 映射过程如图 2-48 所示。

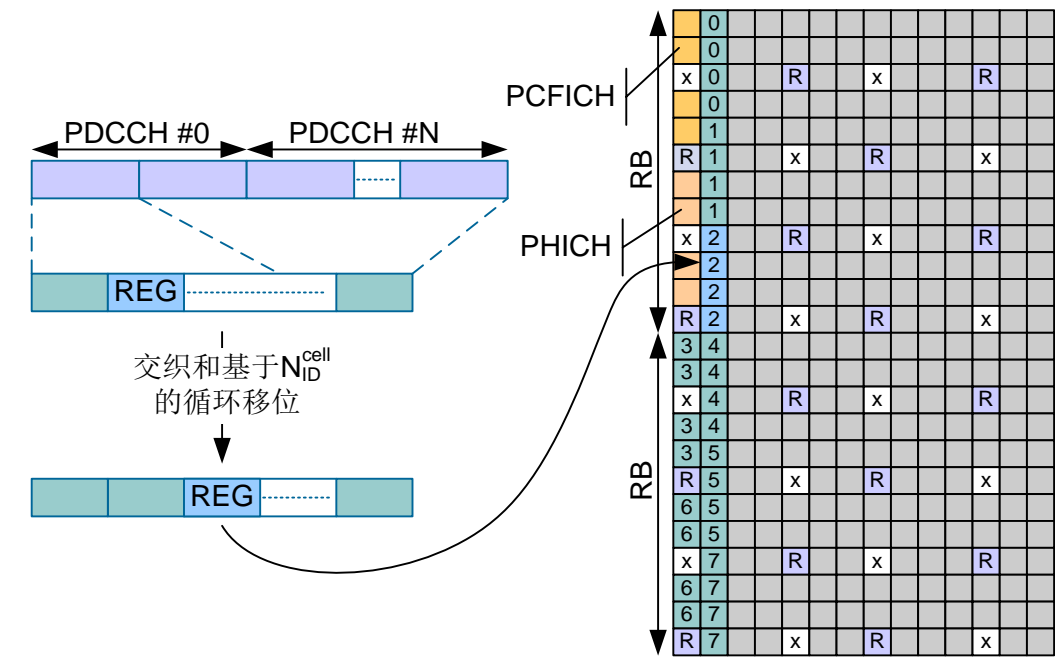
图2-48 REG 映射至 CCE 再映射至 PDCCH



PDCCH 映射

PDCCH 至 REG 的映射关系如图 2-49 所示。在本例中，PCFICH 指示了 PDCCH 使用两个符号进行传输，使用两根天线和一个 PHICH。控制区域里的数字与 RE 组成 REG 的方式相关。

图2-49 PDCCH 映射至控制区域



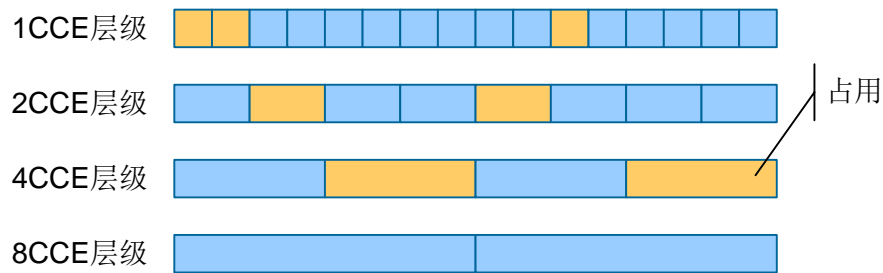
每条控制信道承载一个 MAC 标识对应的上行或下行调度信息。MAC 标识指的是 C-RNTI (Cell - Radio Network Temporary Identifier)。该 MAC 标识被隐式编码在 CRC 中。

有多种规则规定了 PDCCH 在一个子帧中的起始位置。CCE 可以使用一种树形方法进行聚合。有如下规则：

- 当包含一个 CCE 时，PDCCH 可以在任意 CCE 位置出现，即可以在 0、1、2、3、4 号等位置出现。
- 当包含两个 CCE 时，PDCCH 每两个 CCE 出现一次，即可以在 0、2、4、6 号等位置出现。
- 当包含四个 CCE 时，PDCCH 每四个 CCE 出现一次，即可以在 0、4、8 号等位置出现。
- 当包含八个 CCE 时，PDCCH 每八个 CCE 出现一次，即可以在 0、8 号等位置出现。

CCE 映射关系如图 2-50 所示。

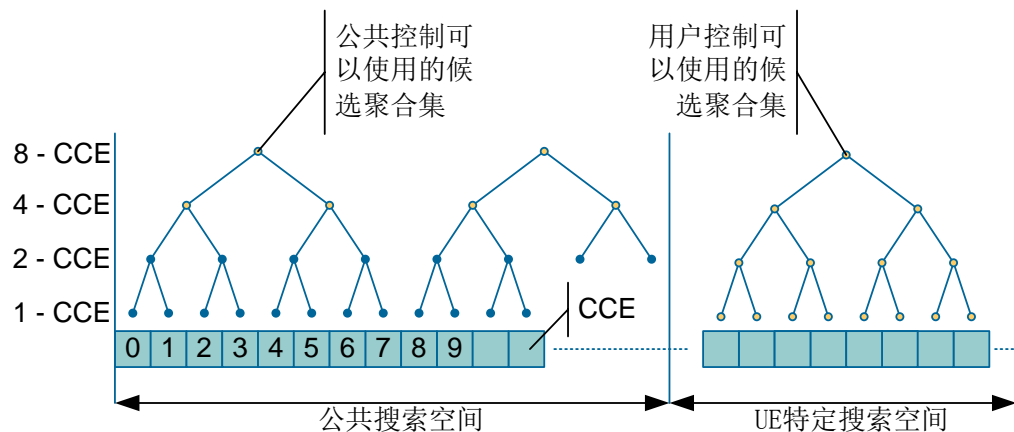
图2-50 CCE 分配层级



搜索空间

待监测的候选 PDCCH 集根据搜索空间来定义。搜索空间的含义以及与 CCE 的关系如图 2-51 所示。

图2-51 公共搜索空间和 UE 特定搜索空间



有两种搜索空间，即公共搜索空间和 UE 特定搜索空间。公共搜索空间对应 CCE 0 至 CCE 15。这些 CCE 分在两个层级：

- 在 4CCE 层级上，为 CCE 0-3、4-7、8-11 以及 12-15。
- 在 8CCE 层级上，为 CCE 0-7 和 8-15。

小区中的所有 UE 监听这些 CCE。这些 CCE 可以用于传送任意 PDCCH 信令。在公共搜索空间之外，每个 UE 还必须在每个聚合层级（1CCE，2CCE，4CCE 和 8CCE 层级）上监听一个 UE 特定搜索空间。UE 特定搜索空间可能会与公共搜索空间重叠。UE 特定搜索空间的位置根据 C-RNTI（Cell - Radio Network Temporary Identity）而定。

一个小区中的可用 CCE 个数取决于一系列属性，包括：

- 带宽
- 天线口个数
- PHICH 配置
- PCFICH 值（1、2 或 3）

2.9.4 物理 HARQ 指示信道 PHICH (Physical Hybrid ARQ Indicator Channel)

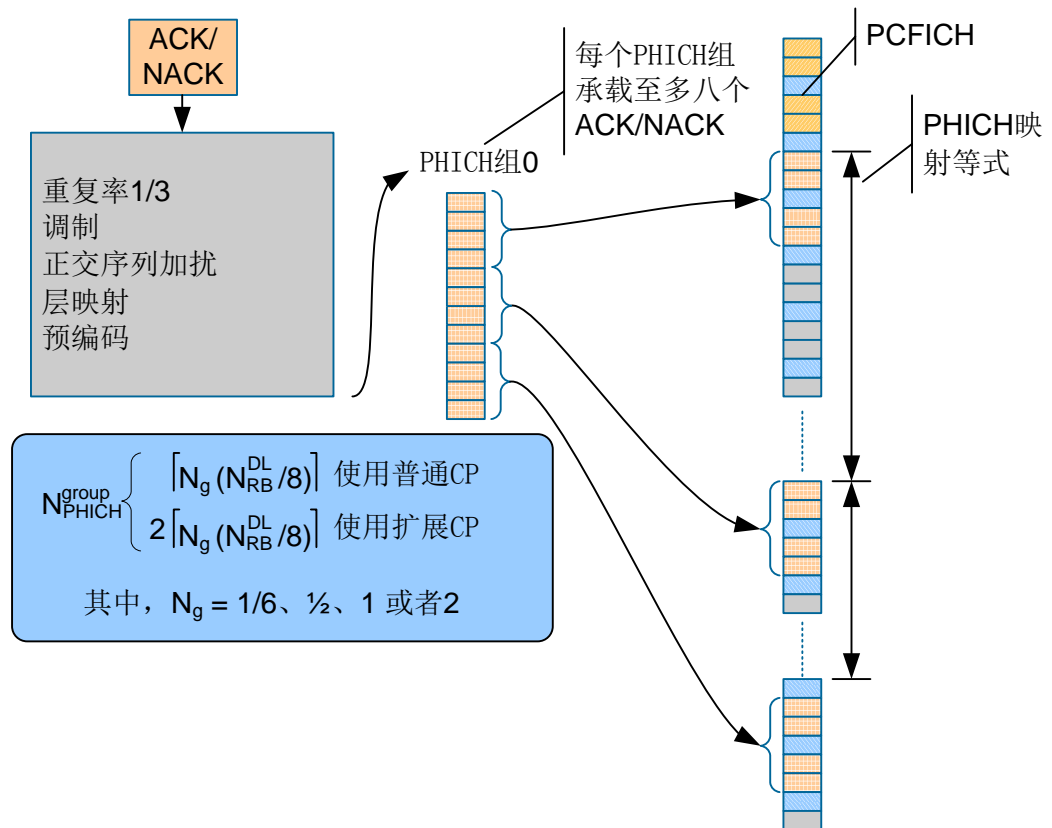
PHICH 用于承载 HARQ (Hybrid ARQ) 的 ACK/NACK。这些信息以 PHICH 组的形式发送。一个 PHICH 组包含至多八个 ACK/NACK 进程，需要使用三个 REG 进行传送。相同 PHICH 组中的 PHICH 使用不同的正交序列来区分。

PHICH 帧格式有两种：

- 帧结构 1：PHICH 组数保持不变。
- 帧结构 2（适用于 TDD 模式）：PHICH 组数在不同的下行子帧中可能不同。这是通过使用不同的配置格式来实现的。

PHICH 资源量 (N_g) 包含在 MIB 中通过 PBCH 发送。PHICH 组数基于 N_g 计算得到。具体方法如图 2-52 所示。

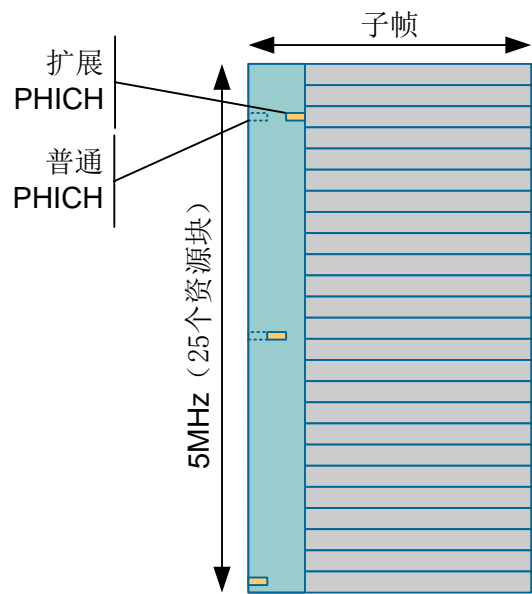
图2-52 PHICH 映射



普通 PHICH 与扩展 PHICH

需要注意的是，属于同一个 PHICH 组的不同 REG 可能在不同的符号上传送。

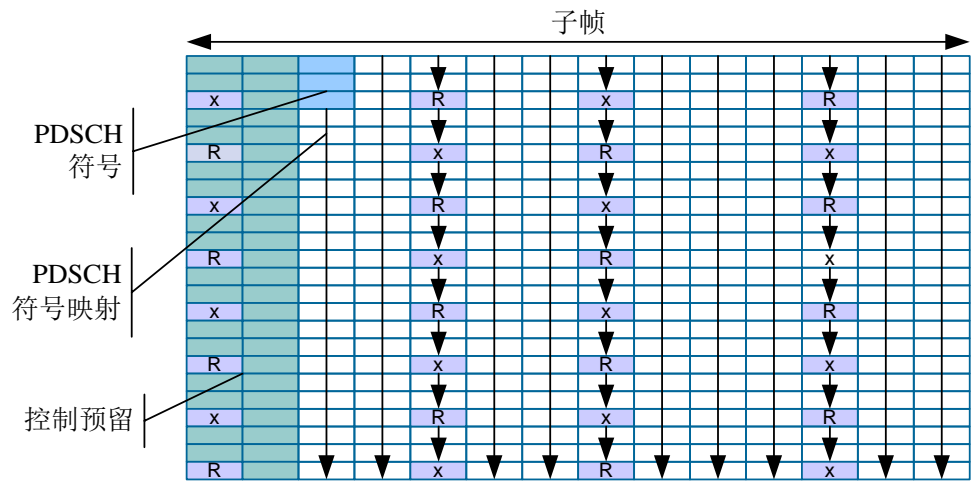
图2-53 扩展 PHICH 举例



2.9.5 物理下行共享信道 PDSCH(Physical Downlink Shared Channel)

PDSCH 用于承载多种传输信道，比如 PCH 和 DL-SCH。PDSCH 在一个子帧上的映射关系如图 2-54 所示。在本例中，映射 PDSCH 符号时避开控制区域和参考信号预留符号。

图2-54 PDSCH 映射通用图



2.10 下行控制信令

LTE 系统通过使用一系列 DCI (Downlink Control Information) 消息来给用户设备传送控制和调度信息。3GPP R8 协议对这些 DCI 消息进行了定义。后续的协议版本中可能会增加新的消息格式。DCI 格式如表 2-12 所示。

表2-12 DCI 格式

DCI 格式	用途
0	用于调度 PUSCH
1	用于调度一个 PDSCH 码字
1A	用于紧凑地调度一个 PDSCH 码字或用于由 PDCCH order 触发的随机接入过程 (Format1 的压缩形式)
1B	用于紧凑地调度一个 PDSCH 码字和预编码信息 (Rank-1 发送), 包含预编码信息
1C	用于非常紧凑地调度一个 PDSCH 码字
1D	用于紧凑地调度一个 PDSCH 码字和预编码及功率偏置信息 (多用户 MIMO)
2	用于调度 PDSCH 给配置闭环空间复用 MIMO 模式的 UE
2A	用于调度 PDSCH 给配置开环空间复用 MIMO 模式的 UE
3	用于传送 PUCCH 和 PUSCH 的 TPC (Transmit Power Control) 命令, 包含 2 比特功率调整信息
3A	用于传送 PUCCH 和 PUSCH 的 TPC 命令, 包含 1 比特功率调整信息

说明

DCI 格式 0、1A、3 和 3A 使用相同的净负荷大小。

DCI 格式的大小取决于其功能以及系统带宽。DCI 消息的格式定义与很多规则相关。通常使用填充的方法来保证满足规则要求。

2.10.2 DCI 格式 0

此格式消息用于调度 PUSCH。消息中包含如下信息：

- 格式 0 和格式 1A 的区分标志 (1bit)，如果其取值 0 表示使用格式 0，取值 1 表示使用格式 1A。
- 跳频标记。
- 资源块分配和跳频资源分配情况。
- 调制编码方案和冗余版本。
- 新数据指示。

- 针对被调度的 PUSCH 的发射功率控制（TPC，Transmit Power Control）命令。
- 上行解调参考信号（DM RS，Demodulation Reference Signal）的循环移位信息。
- 上行索引。该字段仅针对 TDD 模式下的上下行子帧配比 0。
- 下行指配索引（DAI，Downlink Assignment Index）。该字段仅针对 TDD 模式下的上下行配比 1 至上下行子帧配比 6。
- CQI 请求。

2.10.3 DCI 格式 1

该格式消息用于调度一个 PDSCH 码字。消息中包含如下信息：

- 资源分配头（资源分配类型 0 或类型 1）。
- 资源块分配情况。
- 调制编码方案。
- HARQ 进程号。
- 新数据指示。
- 冗余版本。
- 针对 PUCCH 的 TPC 命令。
- 下行指配索引（DAI，Downlink Assignment Index）。该字段仅针对 TDD 模式。

注意，使用 DCI 格式 1 的消息大小与使用其它 DCI 格式的消息大小不同。如果使用 DCI 格式 1 的消息中包含的信息比特数等于使用 DCI 格式 0 或 1A 的消息中包含的信息比特数，则补充一个 0 比特。如果使用 DCI 格式 1 的消息中包含的信息比特数为表 2-13 中的一个值，则可以补充一个或多个 0 比特。

表2-13 DCI 信息比特的模糊尺寸

信息比特的模糊尺寸
12, 14, 16, 20, 24, 26, 32, 40, 44, 56

2.10.4 DCI 格式 1A

该格式消息用于紧凑地调度一个 PDSCH 码字或用于由 PDCCH order 触发的随机接入过程。

当该格式消息用于由 PDCCH order 触发的随机接入过程时，CRC 使用 C-RNTI 进行加扰，消息中包含如下信息：

- 格式 0 和格式 1A 区分标识，占用 1 比特。取值 0 表示使用格式 0，取值 1 表示使用格式 1A。
- 集中式和分布式 VRB（Virtual Resource Block）分配区分标识，占用 1 比特。取值为 0。
- 资源块分配情况。所有比特都设置为 1。
- 前导索引。

- PRACH 屏蔽索引。
- 其它比特全置为 0。

当该格式消息用于紧凑地调度一个 PDSCH 码字时，消息中包含如下信息：

- 格式 0 和格式 1A 区分标识，占用 1 比特。取值 0 表示使用格式 0，取值 1 表示使用格式 1A。
- 集中式和分布式 VRB 分配区分标识。
- 资源块分配情况（因使用集中式或分布式 VRB 而不同）。
- 调制编码方案。
- HARQ 进程号。
- 新数据指示。
- 冗余版本。
- 针对 PUCCH 的 TPC 命令。
- 下行指配索引（DAI, Downlink Assignment Index）。该字段仅针对 TDD 模式下的上下行子帧配比 1 至 6。

与格式 0 类似，本格式的消息的大小有多种规则可以适用，所以可能需要补充 0。另外，基于信道占用率（即 CRC 使用随机接入、寻呼或系统信息 RNTI 进行加扰），可能预留一些特定字段。

2.10.5 DCI 格式 1B

该格式消息用于紧凑地调度一个 PDSCH 码字和预编码信息（Rank-1 发送）。消息中包含如下信息：

- 集中式和分布式 VRB 分配区分标识。
- 资源块分配情况。该字段因使用集中式或分布式 VRB 而不同。
- 调制编码方案。
- HARQ 进程号。
- 新数据指示。
- 冗余版本。
- 针对 PUCCH 的 TPC 命令。
- 下行指配索引（DAI, Downlink Assignment Index）。该字段仅针对 TDD 模式下的上下行子帧配比 1 至 6。
- 预编码用的 TPMI（Transmitted Precoding Matrix Indicator）信息。该信息指示对应单层传输使用的码本索引。
- 预编码用的 PMI（Precoding Matrix Indicator）确认信息。该信息标识基于所指示的 TPMI 还是基于通过 PUSCH 上报的最新 PMI 报告来进行预编码。

如果使用 DCI 格式 1B 的消息中包含的信息比特数为表 2-13 中的一个值，则补充一个 0 比特。

2.10.6 DCI 格式 1C

该格式消息用于非常紧凑地调度一个 PDSCH 码字。消息中包含如下信息：

- Gap 值。该字段指示使用 $N_{\text{gap},1}$ 还是 $N_{\text{gap},2}$ 。
- 资源块分配情况。
- 传输块大小索引。

2.10.7 DCI 格式 1D

该格式消息用于紧凑地调度一个 PDSCH 码字和预编码及功率偏置信息。消息中包含如下信息：

- 集中式和分布式 VRB 分配区分标识。
- 资源块分配情况。
- 调制编码方案。
- HARQ 进程号。该字段大小因使用 FDD 或 TDD 模式而不同。
- 新数据指示。
- 冗余版本。
- 针对 PUCCH 的 TPC 命令。
- 下行指配索引 (DAI, Downlink Assignment Index)。该字段仅针对 TDD 模式下的上下行子帧配比 1 至 6。
- 预编码用的 TPMI 信息。
- 下行功率偏置。下行多用户 MIMO 调度时使用该字段。

如果使用 DCI 格式 1D 的消息中包含的信息比特数为表 2-13 中的一个值，则补充一个 0 比特。

2.10.8 DCI 格式 2

该格式消息用于调度 PDSCH 给配置闭环空间复用的 UE。MIMO 和空间复用的概念请参见 2.22 节。

消息中包含如下信息：

- 资源分配头。该字段指示资源分配类型 0 或类型 1。
- 资源块分配情况。该字段为具体的类型 0 或类型 1 的信息。
- 针对 PUCCH 的 TPC 命令。
- 下行指配索引 (DAI, Downlink Assignment Index)。该字段仅针对 TDD 模式下的上下行子帧配比 1 至 6。
- HARQ 进程号。该字段大小因使用 FDD 或 TDD 模式而不同。
- 传输块到码字交换标识。该字段决定了传输块到码字的映射关系。然而，如果某个传输块被禁用了，那么该映射关系发生变化。
- 对于第一个传输块：
 - 调制编码方案。

- 新数据指示。
- 冗余版本。
- 对于第二个传输块：
 - 调制编码方案。
 - 新数据指示。
 - 冗余版本。
- 预编码信息。因使用的天线口个数不同，该字段长度可以为 3 比特或 6 比特。

2.10.9 DCI 格式 2A

该格式消息用于调度 PDSCH 给配置开环空间复用 MIMO(即不使用 PMI 反馈)的 UE。DCI 格式 2A 与 DCI 格式 2 类似，区别在于前者在两天线口场景下不使用预编码参数(0 比特)，在四天线口场景下承载传输秩信息(2 比特)。

表2-14 四天线口场景下（开环）的预编码信息字段

使用一个码字：使用码字 0 并禁用码字 1		使用两个码字：使用码字 0 和 1	
比特字段映射到索引	消息	比特字段映射到索引	消息
0	四层：发射分集	0	两层：预编码器基于高时延 CDD（Cyclic Delay Diversity）进行循环
1	两层：预编码器基于高时延 CDD 进行循环	1	三层：预编码器基于高时延 CDD 进行循环
2	预留	2	四层：预编码器基于高时延 CDD 进行循环
3	预留	3	预留

2.10.10 DCI 格式 3

该格式消息用于传送 PUCCH 和 PUSCH 的 TPC（Transmit Power Control）命令，包含 2 比特功率调整信息。消息中包含如下信息：

TPC 命令 1, TPC 命令 2, ..., TPC 命令 N

其中：

$$N = \left\lfloor \frac{L_{\text{format0}}}{2} \right\rfloor$$

参数 L_{format0} 的值等于添加 CRC 之前的格式 0 消息中的净负荷大小。

高层提供一个功率控制参数 tpc-Index。UE 使用该参数来确定分给 UE 的 TPC 命令的索引。功率控制的相关描述，请参见 2.19 节。

2.10.11 DCI 格式 3A

该格式消息用于传送 PUCCH 和 PUSCH 的 TPC 命令，包含 1 比特功率调整信息。消息中包含如下信息：

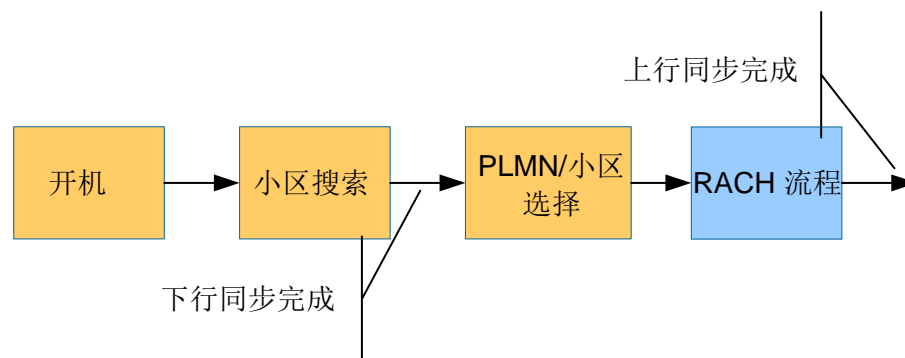
TPC 命令 1, TPC 命令 2, ..., TPC 命令 M

其中， $M = L_{\text{format0}}$ ，而 L_{format0} 等于添加 CRC 之前的格式 0 消息中的净负荷大小。

2.11 LTE 小区搜索流程

LTE 用户设备需要执行 LTE 附着过程，即从 LTE 去附着到 LTE 激活状态，再到连接到 EPC（Evolved Packet Core，演进型数据核心网）进行业务的转换。

图2-55 初始流程



为了接入小区，设备必须找到小区并与之同步。然后设备对系统消息进行解码，并进行 PLMN（Public Land Mobile Network，公共陆地移动网）选择和小区选择。这个过程完成后，在某一地点的设备接入小区并建立 RRC 连接，即建立 SRB（Signaling Radio Bearer，信令无线承载）。

2.11.2 小区搜索

LTE 下行应用 OFDMA 技术，其信道可配置为 1.4MHz 到 20MHz（注意在不同频段，并非所有带宽都可用）。UE 开始并不知道小区的下行配置，除非它已经保存了先前附着的小区信息。如果没有保存信息，同步过程必须快速而且准确。PSS 和 SSS 信号的位置如图 2-56 所示。

图2-56 小区搜索中的 PSS 和 SSS（FDD 模式）

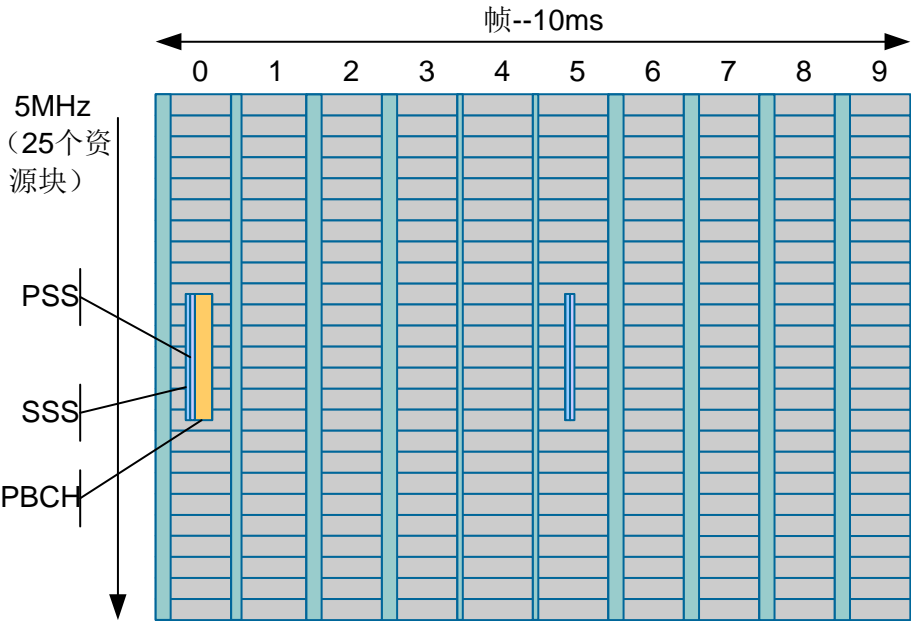
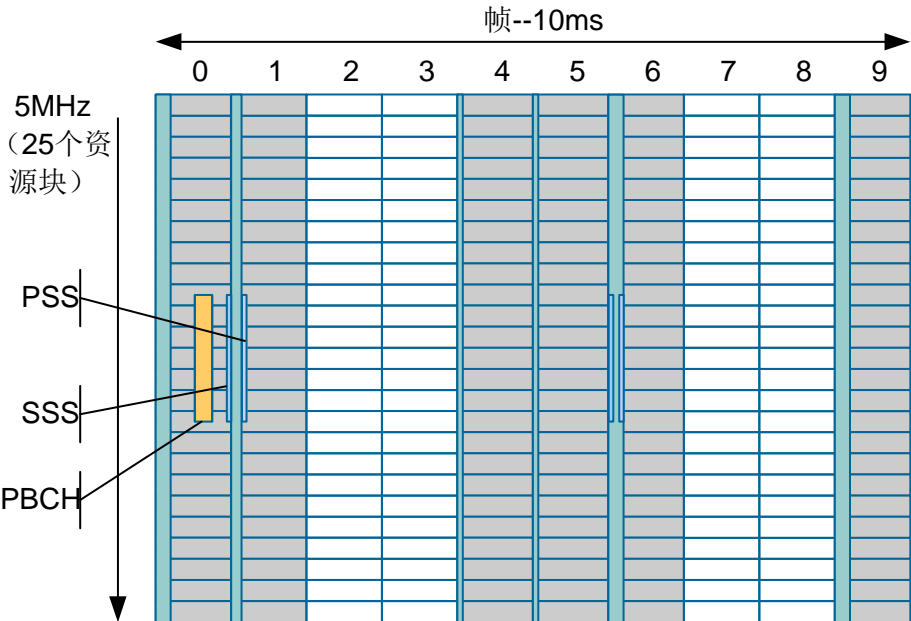


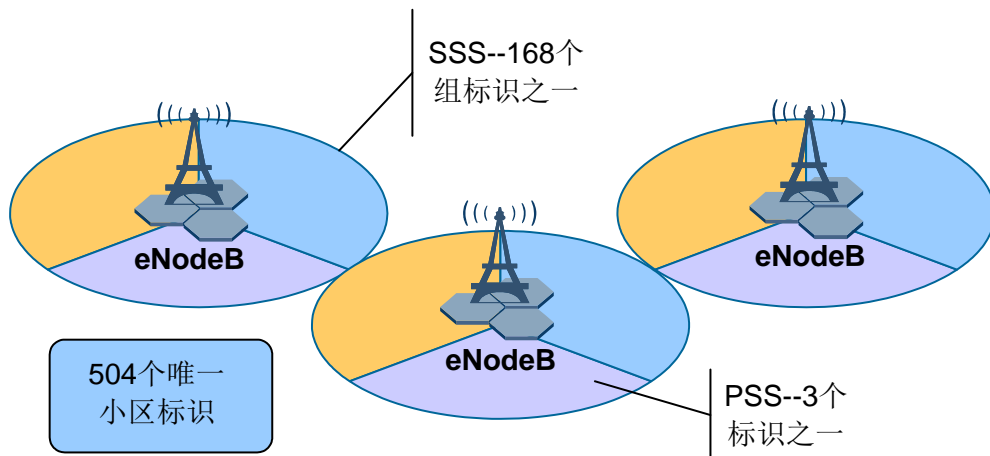
图2-57 小区搜索中的 PSS 和 SSS（TDD 模式）



为了让 UE 找到小区并与下行同步，eNodeB 在中央的 72 个子载波上发送同步信号。对于使用普通 CP 的 FDD 来说，就是在每个下行帧的 0 号和 6 号子帧上发送。

这些同步信号包括 PSS（Primary Synchronization Signal，主同步信号）和 SSS（Secondary Synchronization Signal，辅同步信号）。通过同步信号，UE 进行下行同步并找到物理小区标识。总共有 504 个唯一的物理小区标识，它们三个一组（三个扇区）被分在 168 个小区标识组。

图2-58 物理小区标识



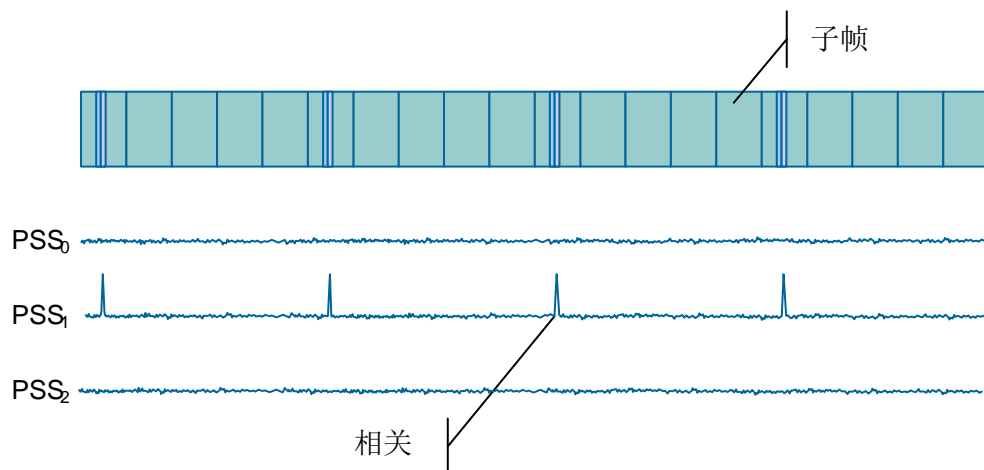
说明

物理小区标识可以根据小区和所采用的频率复用机制进行重用。

2.11.3 PSS 相关运算

UE 以接收到的信号与三个可能的 PSS 信号进行相关运算。相关运算结果如图 2-59 所示。在本例中， PSS_1 被找到。

图2-59 PSS 相关运算



在这一阶段，设备获取到组内小区标识。同时获取到的还有 SSS 的位置信息，因为 SSS 占用了先前的 OFDM 符号（FDD 模式）。然而，在这个阶段，设备还无法获取帧同步信息，因为 0 号子帧和 5 号子帧都使用相同的 PSS 序列。

2.11.4 SSS 相关运算

在前面 2.6 节中介绍过，SSS 序列是两个互相交织的长度为 31 比特的二进制序列的集合。这个集合序列以 PSS 中的扰频序列进行加扰。

定义 SSS 的两个长度为 31 比特的二进制序列的集合按照以下公式来区分 0 号子帧和 5 号子帧：

$$d(2n) = \begin{cases} s_0^{(m_0)}(n)c_0(n) & 0 \text{号子帧} \\ s_1^{(m_1)}(n)c_0(n) & 5 \text{号子帧} \end{cases}$$
$$d(2n+1) = \begin{cases} s_1^{(m_1)}(n)c_1(n)z_1^{(m_0)}(n) & 0 \text{号子帧} \\ s_0^{(m_0)}(n)c_1(n)z_1^{(m_1)}(n) & 5 \text{号子帧} \end{cases}$$

其中， $0 \leq n \leq 30$ 。

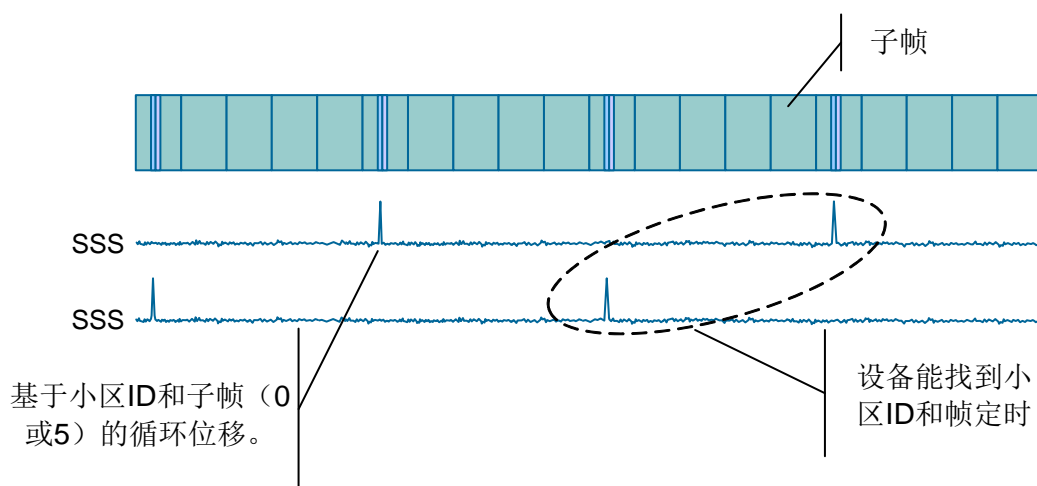
指数 m_0 和 m_1 是由物理层小区标识组 $N_{ID}^{(1)}$ 计算得到，如表 2-9 所示。

对 m 序列的引用包含下面这些：

- 序列 $s_0^{(m_0)}(n)$ 和 $s_1^{(m_1)}(n)$ 是由 m 序列 $\tilde{s}(n)$ 进行不同的循环移位产生的。
- 扰频序列 $c_0(n)$ 和 $c_1(n)$ 依赖于 PSS，是由 m 序列 $\tilde{c}(n)$ 进行不同的循环移位产生的。
- 扰频序列 $z_1^{(m_0)}(n)$ 和 $z_1^{(m_1)}(n)$ 是由 m 序列 $\tilde{z}(n)$ 进行不同的循环移位产生的。

SSS 关联如图 2-60 所示。注意设备监控处理的 SSS 信号可能有许多，而不止图中所显示的两个。

图2-60 SSS 关联举例



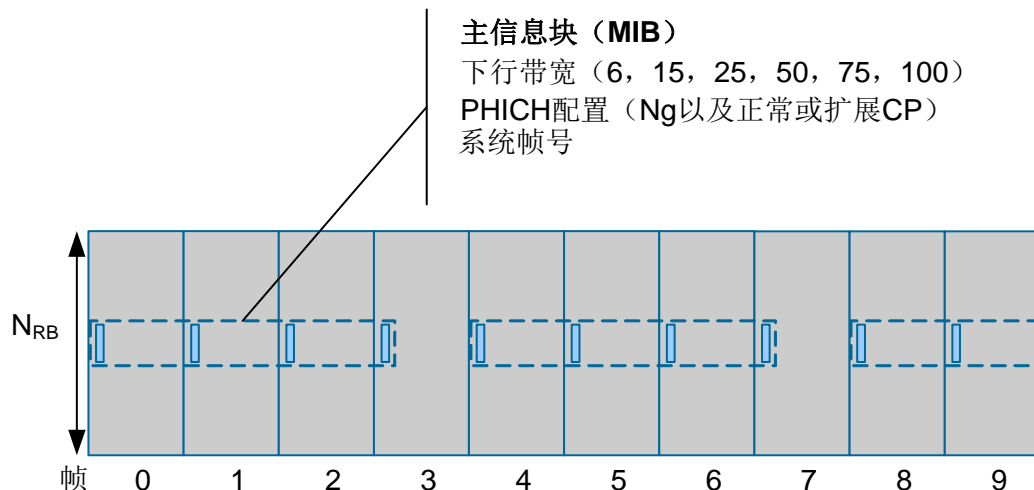
2.11.5 主信息块

一旦解码了 PSS 和 SSS 信号，设备就能够：

- 解码小区特定参考信号（参考信号的位置依赖于物理小区标识）
- 执行信道估计过程。
- 解码携带 MIB（Master Information Block，主信息块）的 PBCH。

MIB 每 40ms 重复一次，并使用 40ms 的 TTI 来发送，即每四帧发送一次信息。MIB 的发送与 SFN (System Frame Number, 系统帧号) 对齐，它在 $\text{SFN mod } 4 = 0$ 的时候发送。

图2-61 PBCH 和主信息块



MIB 总是在 0 号子帧发送。MIB 携带三类非常重要的信息。信息中指出了下行带宽，即 6、15、25、50、75 和 100 个资源块。MIB 让设备知道能在哪里（哪些子载波上）寻找下行控制信息。而且，MIB 还包含 PHICH 配置参数。这些参数指出 Ng 设置为 1/6、1/2、1 或者 2，以及 PHICH 配置为“正常”还是“扩展”模式。这些参数用于设备确定配置在小区里的 PHICH 组的数目以及他们的位置。最后，MIB 还包括 SFN。

而且，对 PBCH 也进行了层映射和预编码。这样，PBCH 就能在多个天线接口上运用发射分集技术。

基于 MIB，UE 能解码 PCFICH。这样就能确定分配到子帧下行控制区域的 OFDM 符号的数目。

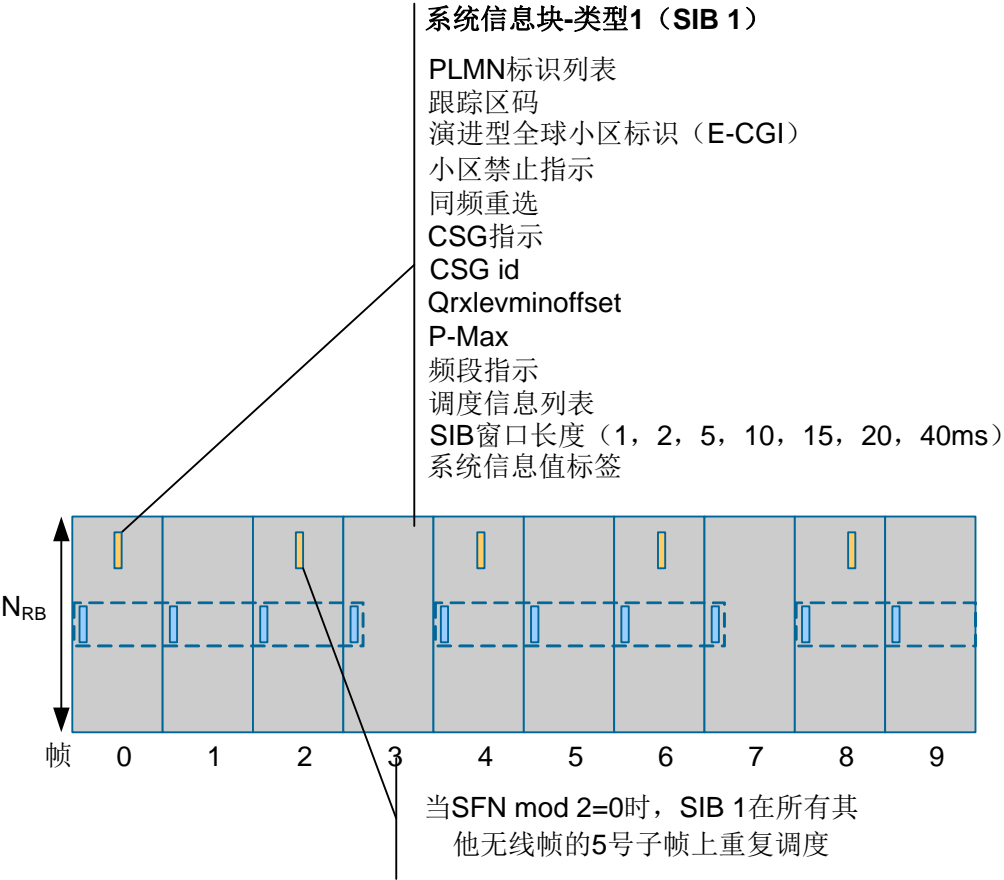
2.11.6 系统消息

MIB 上只能发送有限系统信息。因此还需要另外的 SIB (System Information Block, 系统信息块)。除了 SIB 1 (系统信息块-类型 1) 在时域上出现的位置是固定的，而其他 SIB 在时域上的位置信息承载在 SI (System Information) 中。

系统信息块-类型 1

系统信息块-类型 1 包含了有关小区和网络的关键信息。而且，它定义了其他系统消息的调度窗口。当 $\text{SFN mod } 8 = 0$ 时，SIB 1 在 5 号子帧发送。当 $\text{SFN mod } 2 = 0$ 时，SIB 1 也在 5 号子帧上发送，如图 2-62 所示。

图2-62 系统信息块-类型 1



在 SIB 1 的主要信息包括：

- PLMN 标识列表(plmn-IdentityList)。即标识 PLMN 的列表。列表上的第一个 PLMN 标识是主要的 PLMN。
- 跟踪区码(trackingAreaCode)。这是对列表上所有 PLMN 共用的 TAC(Tracking Area Code, 跟踪区码)。
- E-CGI (cellIdentity)。它是一个 28 比特的小区标识。
- 小区禁止指示。
- 同频重选 (intraFreqReselection)。当最高优先级的小区被禁止了, 或者被 UE 当作了禁止小区时, 该信元用于控制到同频小区的重选。
- CSG 指示(csg-Indication)。当该指示设置为 TRUE 时, 说明该小区为 CSG (Closed Subscriber Group, 闭合用户组) 小区。这种小区只有部分手机能接入, 其手机中的“白名单”必须包含该小区的 CSG id。
- CSG id (csg-Identity)。它是小区所属主 PLMN 里的闭合用户组的标识。
- Qrxlevminoffset (q-RxLevMinOffset)。它影响小区最低要求接收电平。
- P-Max。它属于小区选择流程的一部分。
- 频段指示 (freqBandIndicator)。

- SI 周期映射信息 (si-Periodicity)。它用于计算消息发送次数，以无线帧为单位，可取值为 rf8、rf16、rf32、rf64、rf128、rf256 或 rf512。
- SIB 窗口长度 (si-WindowLength)。它是所有 SIB 的通用 SI 调度窗口，可取值为 1、2、5、10、15、20 或 40 毫秒。
- 系统信息值标签 (systemInfoValueTag)。该信元用于指示 SI 信息是否有更新。它是用于除 MIB、SIB1、SIB10 和 SIB11 之外其他 SIB 的通用标签。

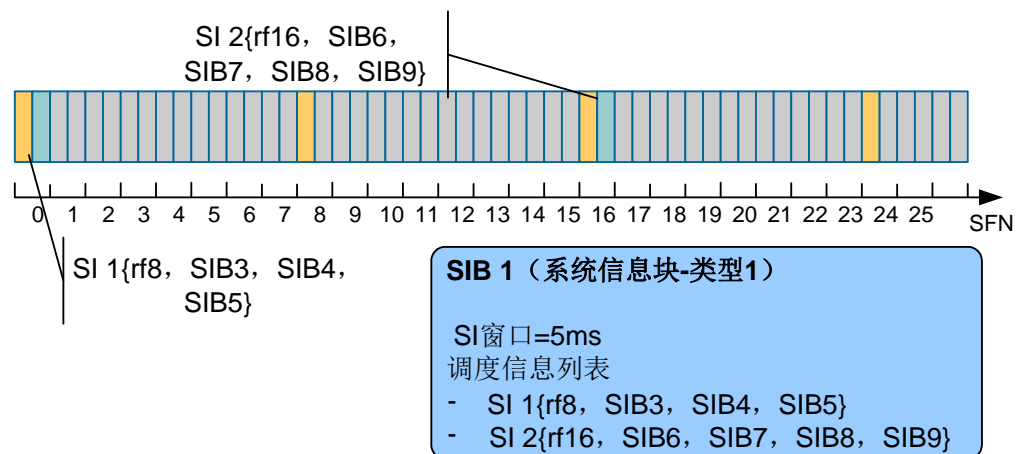
SI 消息的获取

当获取到 SI 消息时，UE 进行各种计算来为其决定 SI 窗口的开始帧。

- 对于相关的 SI 消息，UE 确定其进入 SI 消息列表的顺序所对应的数字 n 。该消息列表是由系统消息块-类型 1 中的调度信息列表所配置的。
- 确定整数 $x = (n - 1) * w$ ，其中 w 是 SI 窗口长度。
- SI 窗口开始于 a 号子帧，在 $SFN \bmod T = \text{FLOOR}(x/10)$ 无线帧中的 $a = x \bmod 10$ 。这里的 T 是相关 SI 信息的 SI 周期。

为了识别 SI 消息的调度，UE 在 PDCCH 上寻找 SI-RNTI (System Information – Radio Network Temporary Identifier，系统消息无线网络临时标识)。

图2-63 SI 映射举例



说明

只有当所有的 SI 消息都在 $SFN \bmod 2 = 0$ 的无线帧的 5 号子帧之前被调度了，E-UTRAN 才应当把 SI 的窗口长度设为 1ms。

系统信息块-类型 2

系统信息块-类型 2 包含对所有 UE 通用的无线资源配置信息。下图包含接入信道和寻呼信道的详细信息。

图2-64 系统信息块-类型 2

SIB 2（系统信息块-类型2）

接入级别信息
上行载波频率
上行带宽
MBSFN配置信息
PRACH配置信息

系统信息块-类型 3

系统信息块-类型 3 包含对同频，异频和异系统通用的小区重选信息，以及并非相关邻区的同频小区重选信息。同频，异频和异系统小区重选可以不止一种但不会同时包含三种。

图2-65 系统信息块-类型 3

SIB 3（系统信息块-类型3）

小区重选信息
Q-Hyst
速度状态重选参数
Q-Hyst速度比例因子
Treselection EUTRA
Treselection EUTRA比例因子
S内部搜索
小区重选服务频段信息
S非内部搜索信息
服务门限低值
同频小区重选信息
p-Max
允许测量带宽

系统信息块-类型 4

系统消息块-类型 4 仅包含与同频小区重选相关的邻区相关信息。它包含带有指定重选参数的小区黑名单小区。

图2-66 系统信息块-类型 4

SIB 4（系统信息块-类型4）

同频邻区列表
q-OffsetCell
同频黑名单小区
CSG物理小区ID范围

系统信息块-类型 5

系统信息块-类型 5 仅包含异频小区重选相关信息，即与小区重选有关的其他 E-UTRA 频段和异频邻区的信息。它包含对一个频段通用的小区重选参数和指定的小区重选参数。

图2-67 系统信息块-类型 5

SIB 5（系统信息块-类型5）

异频载频列表
异频载频信息
异频邻区列表
异频邻区信息
异频黑名单小区列表
异频黑名单小区信息

系统信息块-类型 6

系统信息块-类型 6 仅包含异系统小区重选相关信息，即与小区重选有关的 UTRA 频段和 UTRA 邻区的信息。它包含对一个频段通用的小区重选参数和指定的小区重选参数。

图2-68 系统信息块-类型 6

SIB 6（系统消息块-类型6）

UTRA载频列表
UTRA重选信息

系统信息块-类型 7

系统信息块-类型 7 仅包含异系统小区重选相关信息，即与小区重选有关的 GERAN 频段的信息。它包含每一个频段的小区重选参数。

图2-69 系统信息块-类型 7

SIB 7（系统消息块-类型7）

GERAN载频列表
GERAN重选信息

系统信息块-类型 8

系统信息块-类型 8 仅包含异频小区重选相关信息，即与小区重选有关的 CDMA2000 频段和 CDMA2000 邻区的信息。它包含对一个频段通用的小区重选参数和指定的小区重选参数。

图2-70 系统信息块-类型 8

SIB 8（系统消息块-类型8）
CDMA2000信息

系统信息块-类型 9

系统消息块-类型 9 包含一个家庭 eNodeB 的名称。

图2-71 系统信息块-类型 9

SIB 9（系统消息块-类型9）
家庭eNodeB名称

系统消息块-类型 10 和 11

系统消息块-类型 10 和 11 分别用于 ETWS（Earthquake and Tsunami Warning System，地震海啸预警系统）的初次通知和二次通知。

系统消息块-类型 12

3GPP R8 定义了 SIB1~SIB11，在 3GPP R9 中新定义了 SIB12 和 SIB13。系统消息块-类型 12（SIB12）用于商用移动告警系统（CMAS，Commercial Mobile Alert System）。CMAS 是美国联邦政府为了将恐怖袭击等告警信息及时发给民众而建立的系统。SIB12 专门用于发送 CMAS 信息。

系统消息块-类型 13

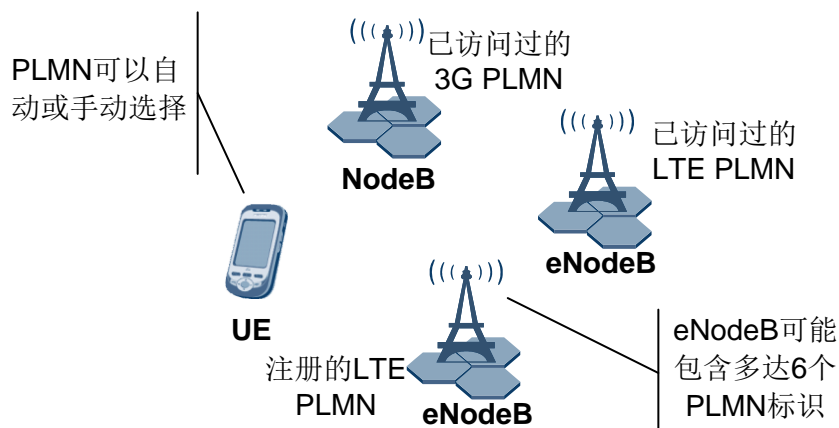
系统消息块-类型 13（SIB13）用于在 MBSFN 区域发送 MBMS 控制信息。

2.11.7 PLMN 选择

从 LTE 去附着到 **LTE** 激活状态的转换可以被用来描述 UE 为了在 EPC 中建立一点连接并能最终进行业务而必须进行的流程。初始流程包含上下行信道扫描和同步。这些流程是 UE 被触发而执行的，因为进行扫描和同步所需要的信息是从相关 E-UTRAN 中的 eNodeB 广播到 UE 的。

在 UE 接入网络之前，它必须首先选择一个合适的 PLMN（Public Land Mobile Network，公共陆地移动网）并选择一个合适的小区。通过选择一个地点的不同服务网络，例如，使用不同类型的无线接入网，用户可以进行业务。

图2-72 PLMN 选择



E-UTRA PLMN 选择

UE 主动通过接入层消息上报可用的 PLMN，或者接收到要求上报的非接入层消息时才上报。PLMN 是基于有优先级顺序的 PLMN 标识列表自动或手动选择的。列表里的每一个 PLMN 都由一个 PLMN ID 所标识。在广播信道上的系统信息里，UE 能接收到一个指定小区的一个或多个 PLMN ID。

UE 在它的所能支持的频率范围内扫描所有的频段，获取可用 PLMN。在每个载波上，UE 搜索最强信号小区并读取其系统消息，以找到小区所属 PLMN。如果 UE 能在最强信号小区读取到一个或几个 PLMN ID，每个 PLMN 都会通过 NAS 消息（不包含 RSRP 值）上报为高质量 PLMN，该小区还需要满足以下条件：

- 小区的 RSRP 测量值大于或等于-110dBm。

UE 能读取到其 ID 但无法满足高质量标准的可用 PLMN 通过含有 RSRP 值的 NAS 消息上报。对于在同一个小区中 UE 可以搜索到的 PLMN 而言，UE 通过 NAS 消息上报的质量测量报告都是相同的。

值得一提的是：UE 可以利用所储存信息，例如，载频信息以及可能通过先前接收到的测量控制信元获取的小区参数信息，来优化 PLMN 搜索。

NAS PLMN 选择

UE 会利用所有储存在 USIM（Universal Subscriber Identity Module）卡上的有关 PLMN 选择的信息，例如，带接入技术的 HPLMN（Home PLMN，本地 PLMN）选择器，带接入技术的运营商控制的 PLMN 选择器，带接入技术的用户控制的 PLMN 选择器，禁止 PLMN，等效本地 PLMN 等。注意这些信息对 UMTS 的 PLMN 选择是一样的。

PLMN 和接入技术合在一起进行优先级排序。如果列表中的某一项没有标明特别的接入技术，UE 则认为它支持所有的接入技术。而且，UE 储存了一份 EHPLMN（Equivalent HPLMN，等效本地 PLMN）列表。在 EMM 流程中，该列表被替换或删除。储存的列表包含网络下载的等效 PLMN 列表和下载该列表的用于注册 PLMN 的 PLMN 代码。在 PLMN 选择，小区选择和重选以及切换过程中，如果列表上的所有 PLMN 都支持全部的接入技术，那么，这些 PLMN 都是彼此的等效 PLMN。

如果可以并且可能，UE 会按照下面的顺序来选择并尝试以某种接入技术在其他的 PLMN 上进行注册：

- 本地 PLMN 或最高优先级等效本地 PLMN
- 在 SIM 卡中的带接入技术的用户控制的 PLMN 选择器数据文件上的每一个 PLMN/接入技术组合（按优先级顺序）
- 在 SIM 卡中的带接入技术的运营商控制的 PLMN 选择器数据文件上的每一个 PLMN/接入技术组合（按优先级顺序）
- 有高质量接收到信号的其他 PLMN/接入技术组合（按随机顺序）
- 以递减信号质量排列的其他 PLMN/接入技术组合

一旦通过 NAS 消息选择了一个 PLMN，UE 就开始小区选择流程，并按顺序选择那个 PLMN 中的合适小区来驻留。

2.11.8 小区选择

LTE 支持下面两种小区选择流程：

- 初始小区选择。当 UE 先前没有获取到小区信息时采用。
- 存储信息小区选择。当 UE 储存了用于小区选择流程优化的信息时采用。例如，当手机关机前储存了相关信息。

一旦与小区同步，并解码了必要系统信息，UE 就必须驻留在该小区或周围小区。这可以通过小区选择流程来实现。UE 力求找到它与网络间的提供最佳质量无线链路的小区。S（小区选择）的计算方法如图 2-73 所示。

图2-73 LTE 小区选择

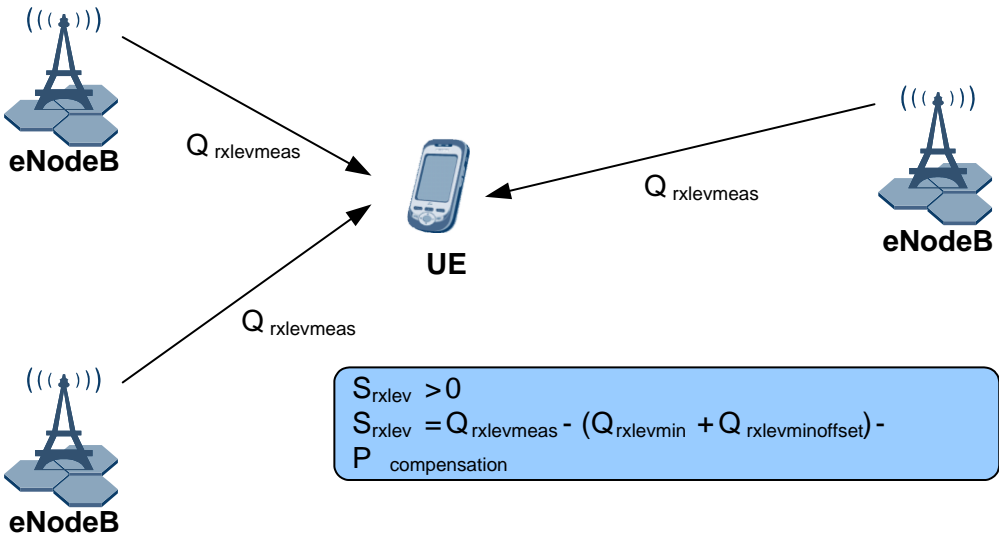


表 2-15 列举了小区选择流程中所使用到的部分参数。

表2-15 小区选择参数

参数	描述
Srxlev	小区选择接收电平值（dB）
Qrxlevmeas	测量的小区接收电平值（即 RSRP）。RSRP 定义为考虑的测量频率带宽范围内携带特定小区参考信号的资源粒子的功率分配的线性平均值。
Qrxlevmin	小区要求的最小接收电平（dBm）
Qrxlevminoffset	指信号 Qrxlevmin 中的偏置，即在 Srxlev 评估中，作为正常驻留在访问 PLMN 而周期性寻找高优先级 PLMN 的 UE 需要考虑其评估结果
Pcompensation	$\max(P_{\text{EMAX}} - P_{\text{UMAX}}, 0)$ ，其中 P_{EMAX} 指由高层配置的最大允许功率
P_{UMAX}	基于 UE 功率等级（可能受允许的容忍度影响而不同）的 UE 射频输出功率

UE 测量无线信道相关的 RSRP (Reference Signal Received Power, 参考信号接收功率)。LTE 下行包括用于信道均衡和确定 RSRP 的特定小区 RS (Reference Signals, 参考信号)。

UE 为每个小区计算 Qrxlevmeas。然后又从系统消息中获取其他小区参数和相关的 Qrxlevmin。一旦收集到所有信息，UE 就能为每个小区计算出 Srxlev。

如果小区返回的 Srxlev 值大于 0，则把该小区当作小区选择的候选小区。正值最大的小区则选为 UE 驻留的小区。

小区随机接入

一旦选择了一个小区，UE 就开始在 PRACH/RACH 上进行随机接入流程。这个流程在 2.18 节中详细介绍。

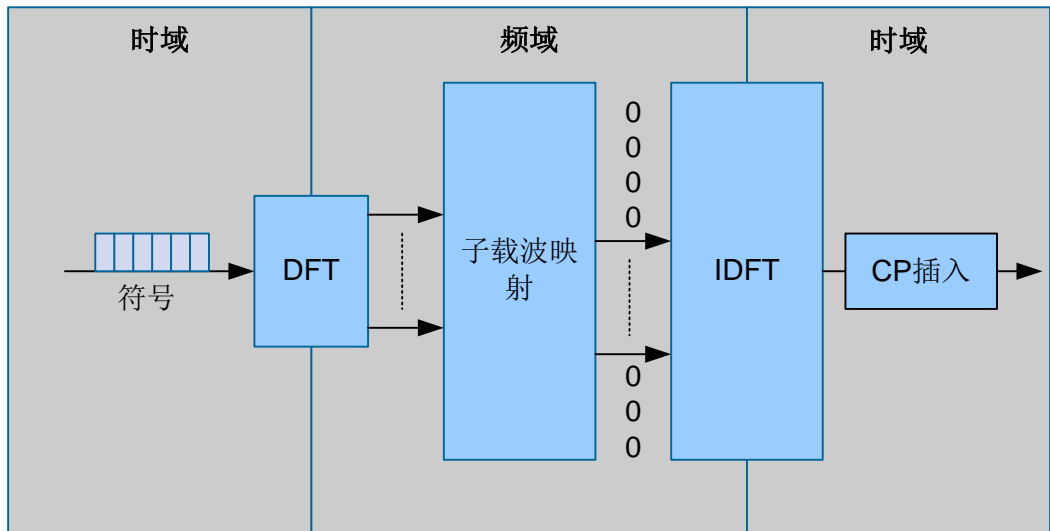
2.12 上行发射技术

如前所描述，LTE 上行使用 SC-FDMA 技术。选择该技术主要是基于如下两个方面原因：1、PAPR 比较低。2、它能够降低手机复杂度，延长电池寿命。SC-FDMA 很好的综合了单载波系统和多载波系统的优点，满足了 LTE 上行要求。

2.12.1 SC-FDMA 信号生成过程

收发机的基本结构与 OFDM 非常相似，提供相同的多径保护粒度。更为重要的是，由于 SC-FDMA 实质上采用单载波波形，所以 PAPR 比较低。很难从视觉上用时域和频域表示 SC-FDMA。本节主要介绍 SC-FDMA 概念。SC-FDMA 流程的基本结构如图 2-74 所示。

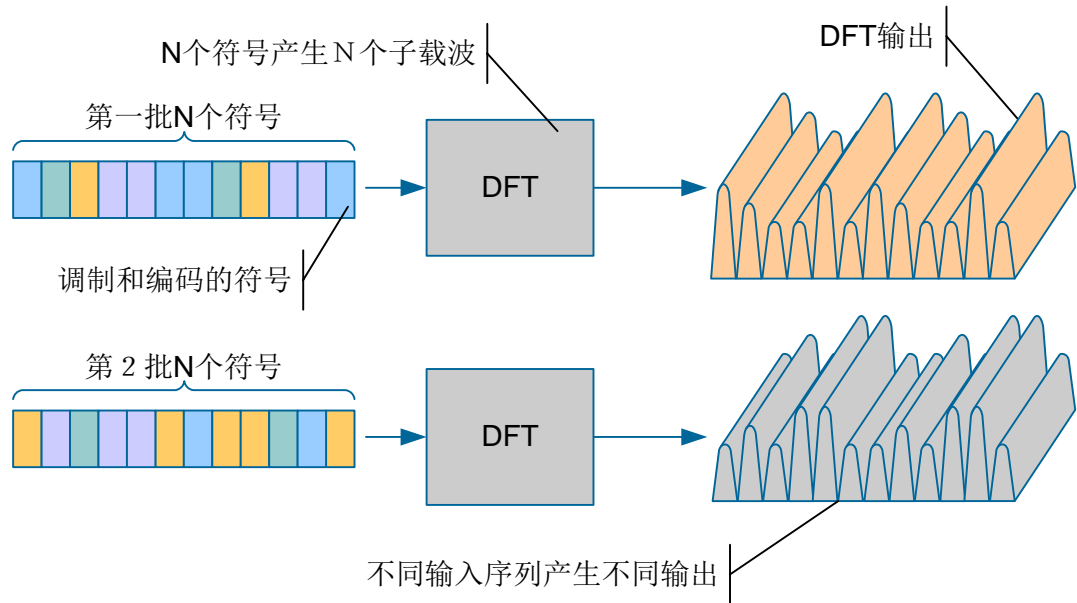
图2-74 SC-FDMA 子载波映射概念



如图 2-74 所示，SC-FDMA 符号生成的第一步是将待传输的数据符号转换为一个时域连续信号。然后通过傅立叶变换过程 DFT（Discrete Fourier Transform）将该时域信号转换为对应的频域信号。选择 DFT 长度和采样速度，以便把符号完全表示出来，相邻正弦波分量的频率间隔为 15KHz。SC-FDMA 符号生成期间，每个子载波有固定的振幅和相位。然后，通过零插入概念（即子载波映射）把频域信号切换到信道带宽内预定位置。最后，通过 IDFT（Inverse Discrete Fourier Transform）和其他功能把该频域波形转换成单载波波形。最后再加入循环前缀（cyclic prefix）。值得注意的是其他功能中，如串并转换 S-P（Serial to Parallel）和并串转换 P-S（Parallel to Serial）也是必需的。

DFT 概念如图 2-75 所示，把一组 N 个符号映射到 N 个子载波。然而，符号输出取决于 N 个符号组合如何转换成 DFT。从其本身而言， N 个子载波实际的振幅和相位如同码字。如，第一个符号组合代表第一个符号集合。由于第二个符号集合不同， N 个子载波的振幅和相位也不同。

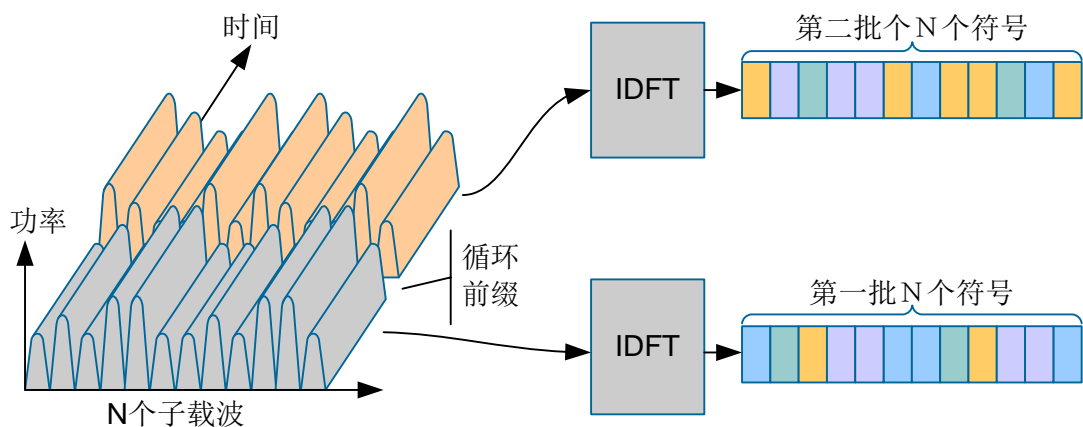
图2-75 SC-FDMA 符号生成



eNodeB 接收机侧过程使用这 N 个子载波，并反向该过程。

通过 IDFT(Inverse Discrete Fourier Transform)还原初始 N 个符号。图 2-76 描述 eNodeB 接收到的子载波如何切换回原来的符号。值得注意的是 SC-FDMA 符号有固定振幅和相位；如 OFDMA，CP 仍是必须的。

图2-76 SC-FDMA 信号接收



SC-FDMA 符号生成公式

上述图形有助于以图形的方式更清晰的呈现 SC-FDMA 的概念。然而上行时隙中 SC-FDMA 符号 l 的真实的时间连续信号 $s_l(t)$ 由图 2-77 所示的公式来定义。

图2-77 上行信号生成公式

$$s_l(t) = \sum_{k=-\lfloor N_{RB}^{UL} N_{sc}^{RB} / 2 \rfloor}^{\lceil N_{RB}^{UL} N_{sc}^{RB} / 2 \rceil - 1} a_{k^{(-)}, l} \cdot e^{j2\pi(k+1/2)\Delta f(t - N_{CP,l}T_s)}$$

公式 $0 \leq t < (N_{CP,l} + N) \times T_s$ 中，其中 $k^{(-)} = k + \lfloor N_{RB}^{UL} N_{sc}^{RB} / 2 \rfloor$ ， $N = 2048$ ， $\Delta f = 15$ kHz 和 $a_{k,l}$ 为资源粒子（RE） (k, l) 内容。

一个时隙中的 SC-FDMA 符号的传输顺序是：从 $l=0$ 开始， l 的增序顺序传输。一个时隙内，SC-FDMA 符号 $l > 0$ 在 $\sum_{l'=0}^{l-1} (N_{CP,l'} + N)T_s$ 开始传输。

2.13 OFDMA 技术与 SC-FDMA 技术

上行使用 SC-FDMA 技术主要是因为其功放(PA)特征。SC-FDMA 的 PAPR 可以比 OFDM 的 PAPR 低 2 到 3dB。SC-FDMA 可以有效降低手机设计复杂度，并提高电池使用时间。当基站的小区覆盖范围很大时，上行用 SC-FDMA 更合适。

必须注意到，OFDMA 也有很多优势，比如它能够加强符号间的正交，能够实现灵活的频域调度。这样有利于提升系统性能。另外，OFDMA 更适合上行 MIMO 操作和相关的高速率业务。

表 2-16 列举了 3 个主要特征并明确哪种技术最合适。

表2-16 SC-FDMA 技术与 OFDMA 技术

特点	SC-FDMA	OFDMA
较低的 PAPR	Yes	No
更好的性能（吞吐率）	No	Yes
更好的支持上行 MIMO	No	Yes

2.14 LTE 上行物理信道

LTE 上行物理信道包括：

- 物理随机接入信道 PRACH (Physical Random Access Channel)：用于承载随机接入前导。PRACH 位置由上层信令定义。
- 物理上行控制信道 PUCCH (Physical Uplink Control Channel)：承载上行控制信息 (UCI)，如下行传输的 ACK/NACK 回应消息，和信道质量指示 CQI (Channel Quality Indicator) 报告。信道同时承载调度请求指示和 MIMO 码字反馈消息。
- 物理上行共享信道 PUSCH (Physical Uplink Shared Channel)：上行主要信道，用于承载上行共享传输信道 UL-SCH (Uplink Shared Channel)。该信道传输信令，用户数据，和上行控制信息 (UCI)。

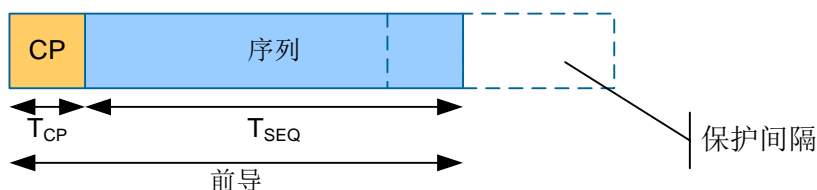
图2-78 R8 上行物理信道



2.14.2 物理随机接入信道 PRACH (Physical Random Access Channel)

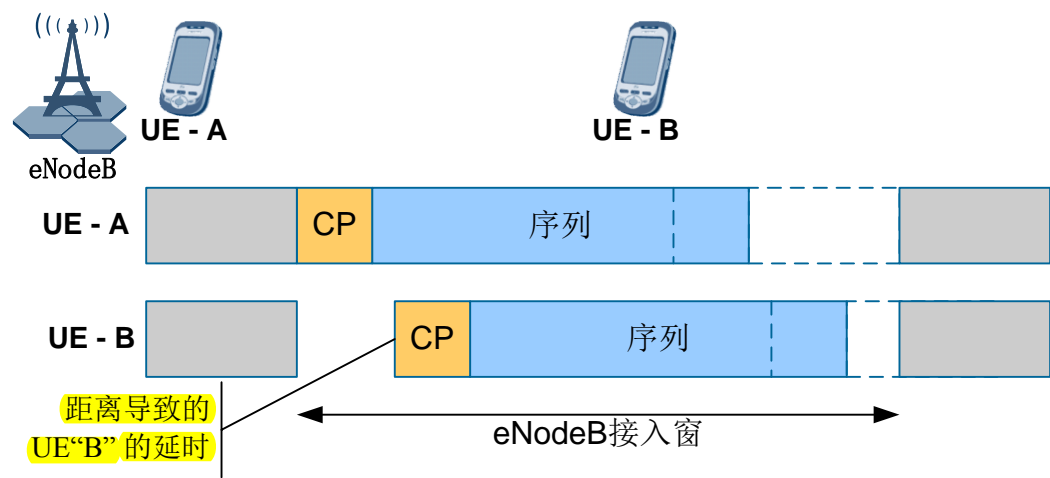
随机接入过程用于各种场景，如初始接入、切换和重建等。同其他 3GPP 系统一样，随机接入过程提供基于竞争接入和不基于竞争接入。PRACH 信道传送的信号是 ZC (Zadoff-Chu) 序列生成的随机接入 (RA) 前导，随机接入前导基本格式如图 2-79 所示。一个随机接入前导非常类似一个 OFDM 符号。

图2-79 PRACH 前导



由于 eNodeB 不知道前导什么时候传送到，保护间隔是必须的。图 2-80 举例描述两个 UE 之间的 PRACH 保护间隔。UE-A 靠近 eNodeB，因此时延较小。而 UE-B 与 eNodeB 距离有点远。这样，延迟初始接入前导。即，出现环路时延 (round trip delay)。eNodeB 必须分配足够大的窗口，以便小区边缘 UE 的前导落在窗口范围内。

图2-80 PRACH 保护间隔



PRACH 帧格式

协议定义了 4 种 FDD 模式 PRACH 帧格式。每一种格式的帧都包括一个循环前缀和一个 ZC 序列。不同的场景需要选取不同格式的 PRACH 帧。如，不同长度的 CP 可以抵消因为 UE 位置不同而引发的延迟扩展效应。表 2-17 描述不同的 PRACH 帧格式。

表2-17 随机接入前导参数

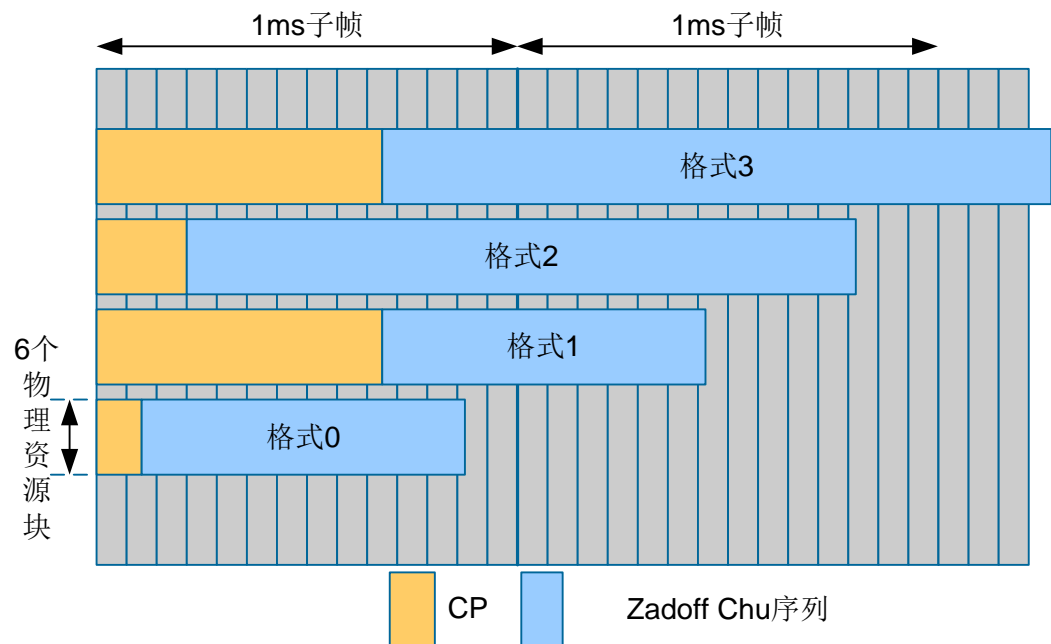
前导格式	分配子帧	$T_{SEQ} (T_s)$	$T_{CP} (T_s)$	$T_{CP} (\mu s)$	$T_{GT} (T_s)$	$T_{GT} (\mu s)$	最大时延扩展 (μs)	最大小区半径 (km)
0	1	24576	3168	103.125	2976	96.875	5.208	14.531
1	2	24576	21024	684.375	15840	515.625	16.666	77.344
2	2	49152	6240	203.125	6048	196.875	5.208	29.531
3	3	49152	21024	684.375	21984	715.625	16.666	102.65
4 (TDD)	特殊帧	4096	448	14.583	576	18.75	16.666	4.375

说明

格式 4 仅用于帧结构类型 2，特殊子帧仅配置 U_pPTS 长度为 4384 和 5120 T_s 。

协议定义 4 种 FDD 随机接入前导格式 0~3，如图 2-81 所示。需要注意的是，它们可以占有一个以上的子帧，且没有指定保护间隔的位置。

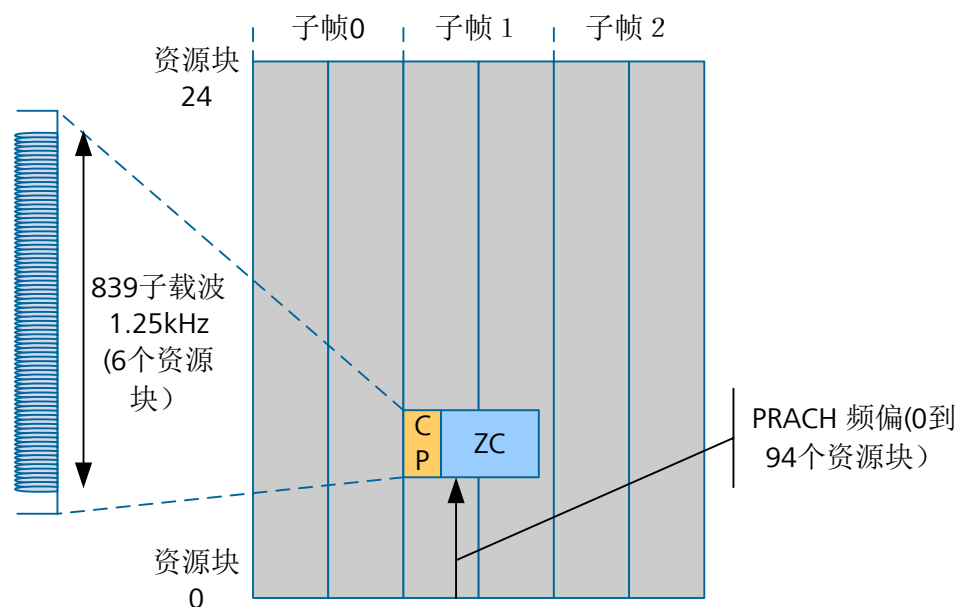
图2-81 FDD 随机接入帧格式



PRACH 实际使用 6 个物理资源块（PRB）资源，即占用 1.4MHz 的上行信道容量。

FDD 模式总共 839 个子载波，子载波间隔为 1.25kHz。FDD 模式总共 139 个子载波，子载波间隔为 7.5kHz。这样，FDD 模式下符号周期时长为 $1/T = 1/1.25\text{kHz} = 0.8\text{ms}$ 。

图2-82 PRACH 配置



PRACH的准确位置由系统消息(SI)通过 PRACH 配置索引(PRACH Configuration Index)定义。PRACH 配置索引基于表格查询，取值范围为 0 到 63。表格第一部分如表 2-18 所示。

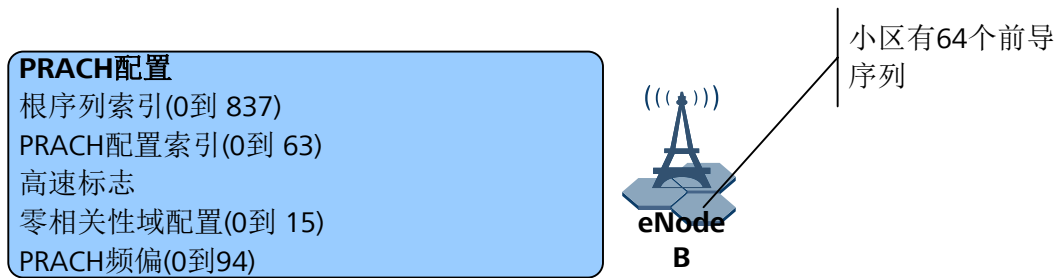
表2-18 PRACH 配置索引

PRACH 配置索引	前导格式	系统帧编号	子帧编号
0	0	偶数	1
1	0	偶数	4
2	0	偶数	7
3	0	任意	1
4	0	任意	4
5	0	任意	7
6	0	任意	1, 6
7	0	任意	2, 7
8	0	任意	3, 8
9	0	任意	1, 4, 7
10	0	任意	2, 5, 8
11	0	任意	3, 6, 9
12	0	任意	0, 2, 4, 6, 8
13	0	任意	1, 3, 5, 7, 9
14	0	任意	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
15	0	偶数	9
.	.	.	.
.	.	.	.
63	3	偶数	9

PRACH 序列产生

UE 可以使用的前导序列的集合是由网络配置的。每个小区中有 64 个可用前导序列。

图2-83 每小区 PRACH 配置和前导序列



随机接入前导由 Zadoff-Chu 序列生成。主要特点是：

- **固定振幅**：有利于提高 PAPR，提升放大器效率。
- **自相关**：为 eNodeB 提供准确的定时。
- **互相关**：使用不同基序列循环移位。当循环移位值大于环路传播和信号时延扩展预期所花时间，需要额外的机制来保证两个序列之间的互相关性。

一个小区中这 64 个前导序列的集合由一个根 Zadoff-Chu 序列的所有循环移位组成，其根 Zadoff-Chu 序列对应的逻辑序号 RACH_ROOT_SEQUENCE 由系统消息广播，这些前导序列按照循环移位的增序进行排列。

在 64 个前导不能通过一个单一的根 Zadoff-Chu 序列产生时，额外的前导序列通过后续多个根 Zadoff-Chu 序列获取，直到其数目达到 64 个。

逻辑根序列索引与物理根序列索引 u 之间的关系通过 3GPP 36.211 协议—物理信道和调制中的各种表格和计算公式定义。

第 u 个根 Zadoff-Chu 序列定义为：

$$x_u(n) = e^{-j \frac{\pi u n(n+1)}{N_{\text{ZC}}}}, \quad 0 \leq n \leq N_{\text{ZC}} - 1$$

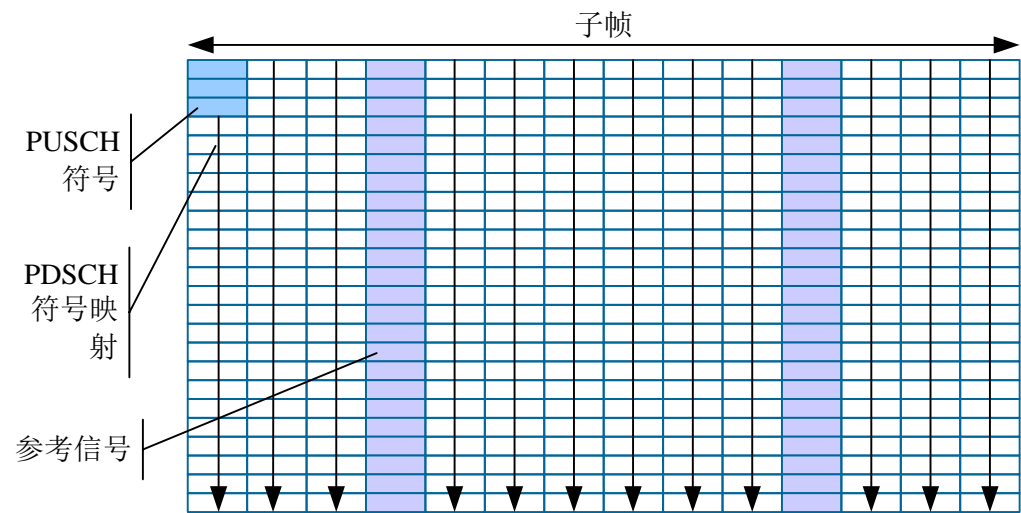
其中，Zadoff-Chu 序列的 N_{ZC} 长度在帧格式 0 中定义为 829。具体选取哪一个前导序列集合，由多个规则进行筛选。另外，Highspeed-flag 参数由上层提供，并决定是否使用限制集合或非限制集合。如果选择使用限制集合，那么选择循环移位为小区前导序列的条件更为苛刻，例如会考虑多普勒。

2.14.3 物理上行共享信道 PUSCH (Physical Uplink Shared Channel)

eNodeB 进行上行资源调度。有关资源分配和调度的详细信息，请参见本文第 2 章。eNodeB 使用 QoS 参数，缓存状态，UE 能力，CQI 测量等信息确定最佳的资源调度方式。同下行一样，上行也是分配资源块，**每个资源块包含 12 个子载波**。

上层的传输信道主要建立于 PUSCH 之上。PUSCH 符号与资源粒子 (RE) 之间的映射关系如图 2-84 所示。同下行一样，上行也为参考信号和控制信令预留 RE 资源。

图2-84 PUSCH 映射



说明

其他 RE 主要用于承载额外控制信令，如 CQI 及 ACK/NACK 消息等。

控制信令和上行共享信道（UL-SCH）数据复用

可能有多种控制信令需要与分配的 PUSCH 在同一子帧中传输。不允许设备在同一子帧中传输 PUCCH 和 PUSCH。因此，控制信息需要在傅立叶变换过程（DFT）前与 UL-SCH 传输信道进行复用。

图2-85 控制信令复用

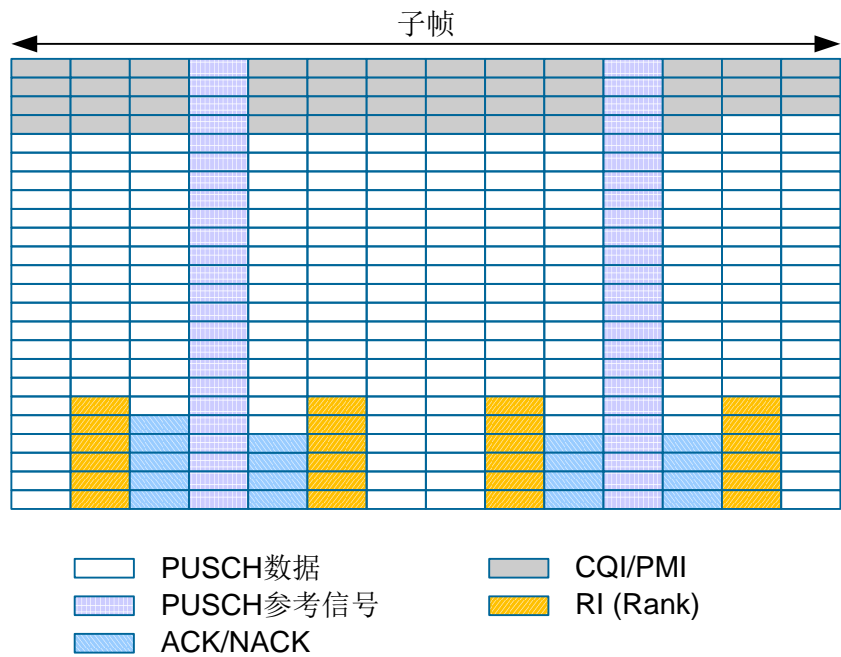


图 2-85 介绍了将控制信息复用到 PUSCH 的一个例子。复用的控制信令如下所述：

- ACK/NACK：属于 HARQ 过程的一部分，紧贴参考信号。这样传输 ACK/NACK 信息时，就可以用到信道估计结果（来选取合适的信道）。准时的信道估计信息为 ACK/NACK 信息的准确性奠定了基础。
- 信道质量指示 CQI（Channel Quality Information）和预编码矩阵指示 PMI（Precoding Matrix Indicator）也可以复用到 PUSCH。与 UL-SCH 速率匹配，在子载波映射是连续的。
- 秩指示 RI（rank indication）：紧贴 ACK/NACK 信息。

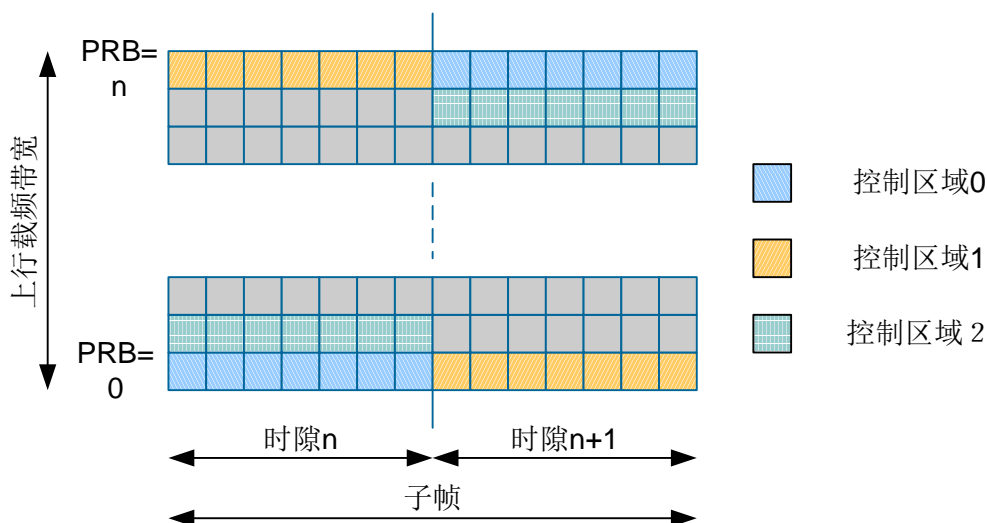
控制信息的映射规则和编码规则有很多。另外，也有可能在没有数据的 PUSCH 上发送控制信息，即，不是在 UL-SCH 上发送。

2.14.4 物理上行控制信道 PUCCH（Physical Uplink Control Channel）

PUCCH 承载上行控制信息 UCI（Uplink Control Information），包括：下行传输的 ACK/NACK 回应消息，CQI 报告，调度请求（Scheduling requests）<1，MIMO 反馈如预编码矩阵指示 PMI（Precoding Matrix Indicator）及秩指示 RI（Rank Indication）。

PUCCH 在预留频段区域传输，由上层配置。图 2-86 描述 PUCCH 物理资源块复用。值得注意的是控制区域的数量不是固定的。

图2-86 PUCCH 物理资源块映射



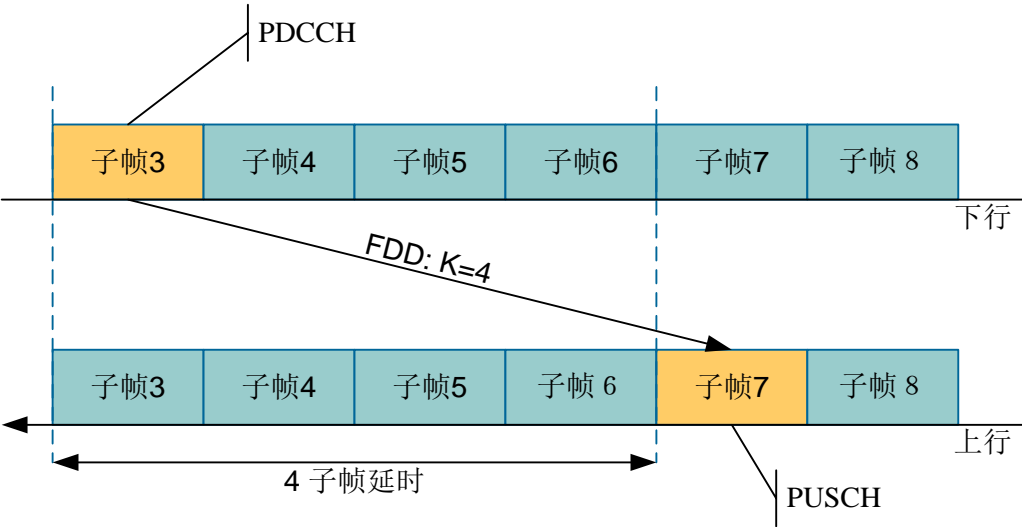
PUCCH 资源块位于上行带宽的两个边缘。使用时隙间跳频提高频率分集。只有当 UE 在 PUSCH 上没有数据传送时，才起用 PUCCH。与上行控制信令相关的 PUCCH 格式有很多种。详细信息，请参见 2.17 节。

2.15 定时关系

FDD 定时

LTE 系统有很多与上下行传输定时相关规则。FDD 定时如图 2-87 所示。如果检测到 DCI 格式 0 的 PDCCH 或针对 UE 的子帧 n 内有 PHICH 传输，UE 根据 PDCCH 和 PHICH 信息调整在 n+4 子帧内对应的 PUSCH 传输。偏置量由 K 表示。FDD 模式下，K=4。

图2-87 FDD 定时



TDD 定时

TDD 模式的定时关系更加复杂。目前，TDD 定时关系取决于上行/下行 TDD 配置，即 0 到 6。表 2-19 列举 TDD 配置的不同 K 值。

表2-19 TDD 配置的 K 值

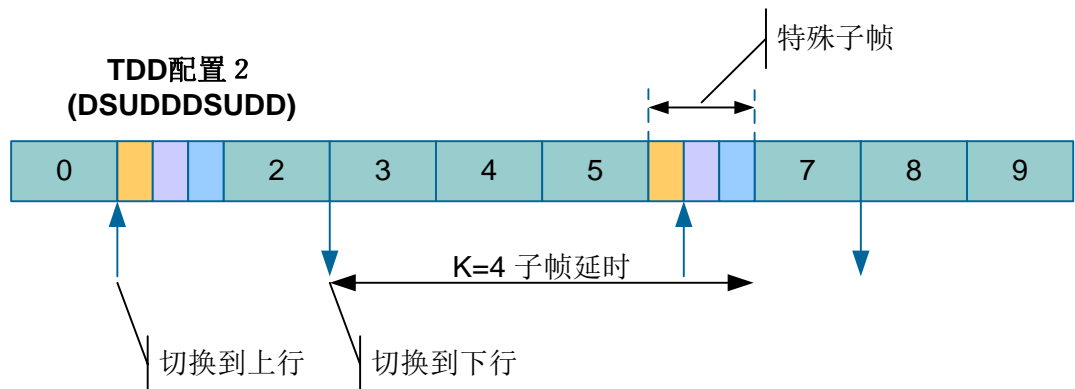
TDD 上行/下行配置	下行子帧数对应的 K 值									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	4*	6*				4*	6*			
1		6			4		6			4
2				4					4	
3	4								4	4
4									4	4
5									4	
6	7	7				7	7			5

如果检测到 DCI 格式 0 的 PDCCH 或针对 UE 的子帧 n 内有 PHICH 传输, UE 调整在 $n+k$ 子帧内对应的 PUSCH 传输, 其中 k 值在表 2-19 已经定义。

图 2-88 举例说明 TDD 模式下帧配置 2。这种配置下, 在子帧 3 和 8, $K=4$ 。

这分别与调度子帧 7 和 2 的传输有关。

图2-88 TDD 配置 2 定时实例



2.16 上行参考信号

上行除发送上层的控制信息和数据信息以外, 以发送下层的参考信号。同其他参考信号一样, 下层参考信号需要有良好的自相关性和互相关性。另外, 也需要足够数量的序列使干扰达到最小。

LTE 支持两种上行参考信号:

- 解调参考信号 DRS (Demodulation Reference Signal) — 与 PUSCH 和 PUCCH 有关。
- 探测参考信号 SRS (sounding Reference Signal) — 与 PUSCH 和 PUCCH 无关。

图2-89 上行参考信号



基序列

参考信号通过基序列生成，解调和探测参考信号采用相同的基序列集合。这些序列需要支持不同带宽配置，同时有自相关性和互相关性属性。另外，必须提供立方量度（Cubic Metric）。

2.16.2 解调参考信号

解调参考信号 DRS（Demodulation Reference Signal）用于信道估计，帮助 eNodeB 解调控制和数据信道。有两种不同的解调参考信号，分别用于 PUSCH 和 PUCCH。

协议定义了各种参考信号序列，同时也定义了不同的长度。因此，解调参考信号通过下面参数定义：

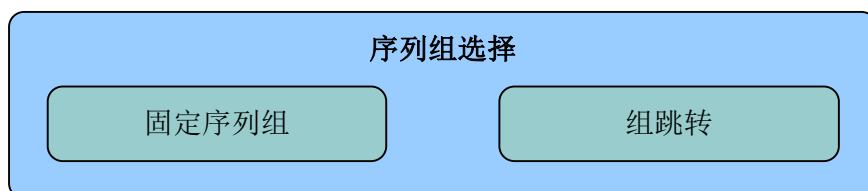
- **序列长度**：属于上行分配部分。
- **序列组**（0 到 29）：小区专用。
- **序列**：每组包含一个长度 5 个物理资源块（PRB）的序列，和两个每个长度为 6 个 PRB 的序列。
- 12 个循环移位项

序列组选择

一个给定的时隙中，一个小区使用的参考信号序列都属于同一个组。然而组分配可能会有所不同。有两种组分配方法。

在此开始

图2-90 DRS 序列组选择



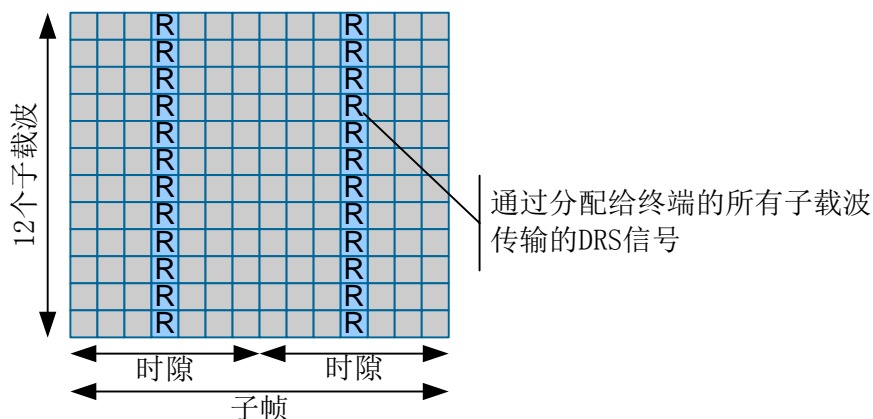
使用固定序列组时，即没有组跳转，所有时隙使用相同序列组。然而，使用的序列组序号取决于信道类型。PUCCH 基于小区标识选取序列组，PUSCH 基于上层参数来选取序列组。

如果使用组跳转，序列组序号随着公式中时隙变化而变化。定义了 17 种不同跳转样式和 30 种不同的序列移位样式。PUCCH 和 PUSCH 有相同的跳转样式，但可能有不同的序列移位样式。

PUSCH 解调参考信号（DRS）

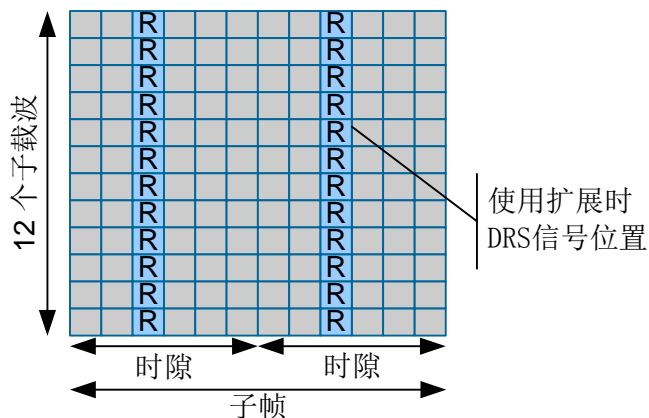
DRS 信号位置取决于属性的数量，如普通或扩展 CP 的使用。图 2-91 描述了 PUSCH 和普通 CP 使用时 DRS 的位置。DRS 信号位于每个时隙的第 4 个符号位，上行使用分配给 UE 的相同传输带宽。不同 UE 的参考信号从同一基序列的不同循环移位衍生而来。

图2-91 上行解调参考信号（使用普通 CP）



如果系统使用扩展 CP，DRS 信号位于不同的 OFDM 符号。

图2-92 上行解调参考信号（使用扩展 CP）



2.16.3 探测参考信号 SRS（Sounding Reference Signal）

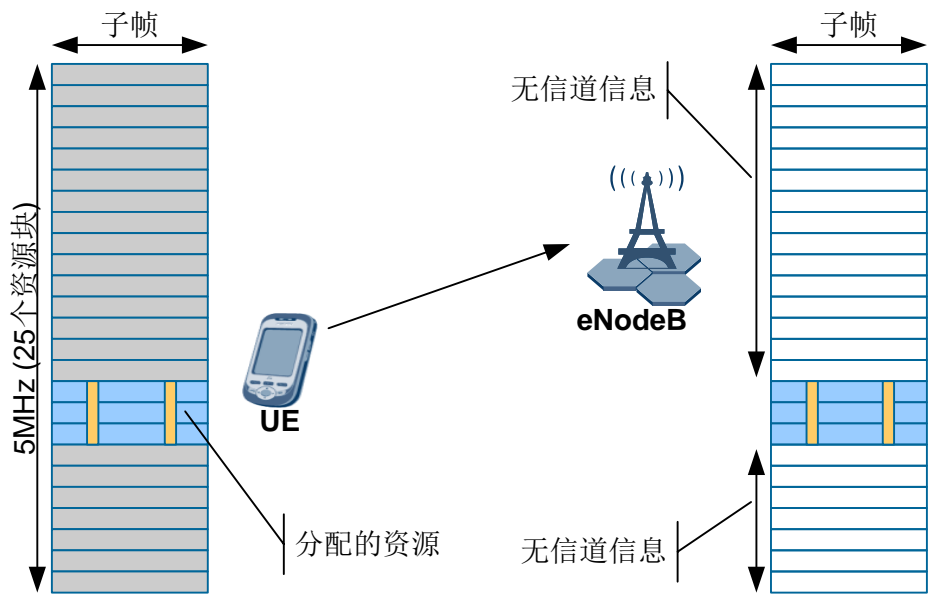
探测参考信号 SRS（Sounding Reference Signal）为 eNodeB 提供用于调度的上行信道质量信息（CQI）。当没有上行数据传输时，UE 通过分配的带宽的不同部分发送 SRS 信号。

图 2-93 举例说明 UE 在上行已分配资源。

eNodeB 可以通过 DRS 对 UE 占用的 RB 进行信道估计，但无法通过 DRS 得知其他 RB 的信道质量，LTE 使用 SRS 解决此问题。

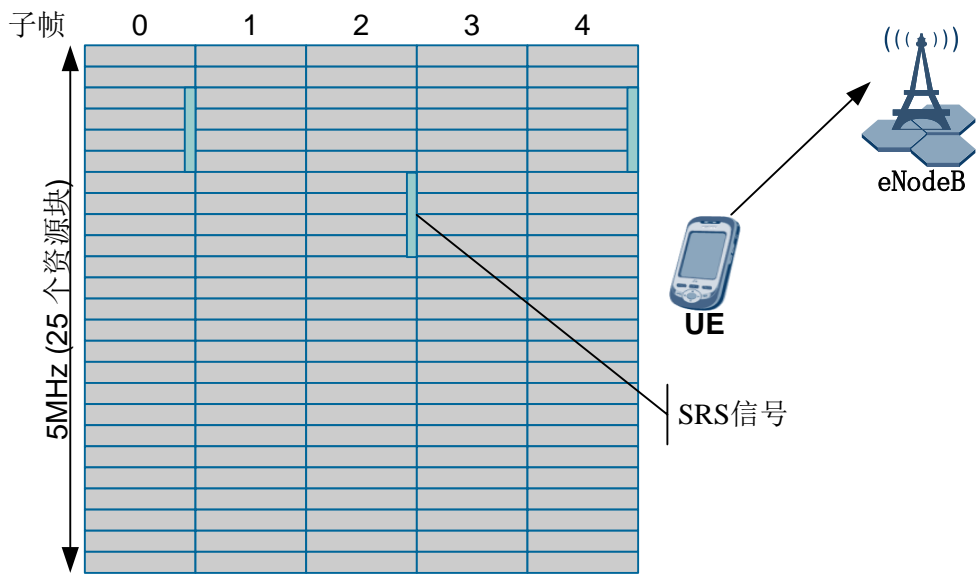
SRS 信号可通过两种方式传输，宽带方式或跳频方式。宽带模式下，SRS 信号占用所需的带宽，然而信道质量估计比较差。跳频模式下，使用窄带传输 SRS 信号，长远来看，这种模式相当于是占用所有带宽。

图2-93 对 SRS 信号的要求



SRS 信号的配置，如带宽，时长，及周期由上层提供。SRS 信号由子帧的最后一个符号传输。图 2-94 举例说明 eNodeB 如何配置 UE 通过部分频段发送 SRS 信号。

图2-94 SRS 跳频



由于 SRS 信号可以在 UE 没有 PUSCH 或 PUCCH 分配时发送，所以必须存在机制防止 UE 干扰其他用户的 PUSCH。这样需要确保所有 UE 知道 SRS 信号什么时候发送，以便传输 SRS 信号的子帧的最后一个符号不被其他 UE 用于相应的 PUSCH。

SRS 信号生成

定义了各种探测参考符号参数。许多参数是由上层配置的半静态 UE 参数，如：

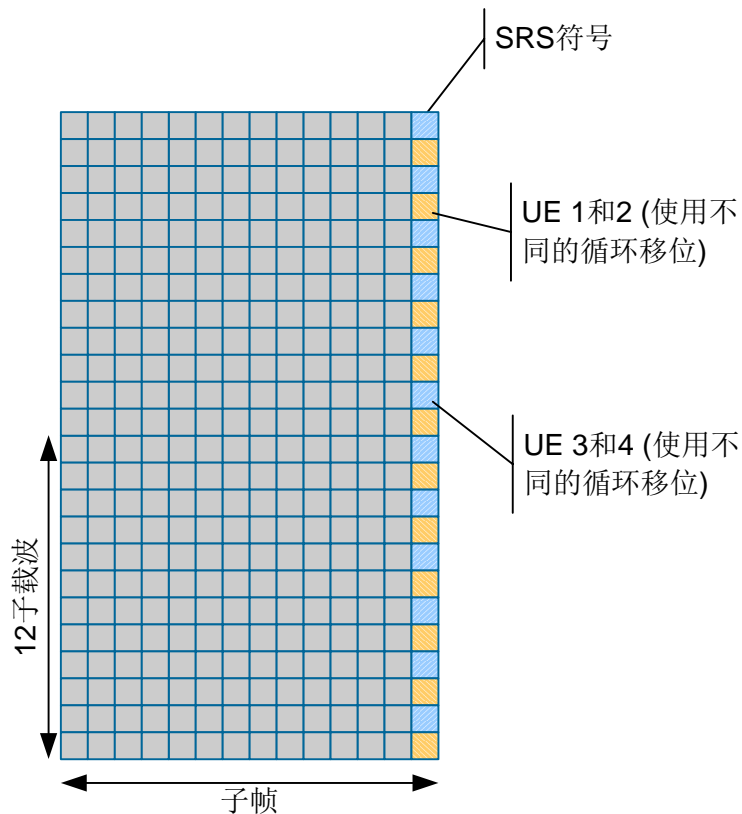
- 发射梳 (Transmission comb)
- 物理资源块分配开始
- SRS 传输时长：单个或不明确（直到功能停止）
- SRS 周期的 SRS 配置索引 I_{SRS} 和 SRS 子帧偏置 T_{offset} 。
- SRS 带宽 B_{SRS}
- 跳频带宽 b_{hop}
- 循环移位 $n_{\text{SRS}}^{\text{cs}}$

另外，小区专用参数，SRS 配置带宽 (C_{SRS})，及子帧传输可由上层配置。

不同用户的 SRS 复用如图 2-95 所示。

值得注意的是多个 UE 可以同一时间使用不同资源和循环移位发送 SRS 符号。

图2-95 SRS 分配



SRS 符号可能需要与 ACK/NACK, CQI 或调度请求 (SR) 信息交互。如果与 ACK/NACK 交互, SR 符号可能丢失或 ACK/NACK 被截短。如果与 CQI 和 SR 信息交互, SRS 符号可能丢失。

2.17 上行控制信令

PUCCH 有多种格式, 如表 2-20 所示。

表2-20 PUCCH 格式

PUCCH 格式	描述	调制类型	每子帧比特数
1	调度请求 (SRI)	N/A	N/A
1a	ACK/NACK	BPSK	1
	ACK/NACK+SR		
1b	ACK/NACK	QPSK	2
	ACK/NACK+SR		
2	CQI/PMI 或 RI	QPSK	20
	(CQI/PMI 或 RI)+ACK/NACK (仅针对扩展 CP)		
2a	(CQI/PMI 或 RI)+ACK/NACK (仅针对普通 CP)	QPSK+BPSK	21
2b	(CQI/PMI 或 RI)+ACK/NACK (仅针对普通 CP)	QPSK+QPSK	22

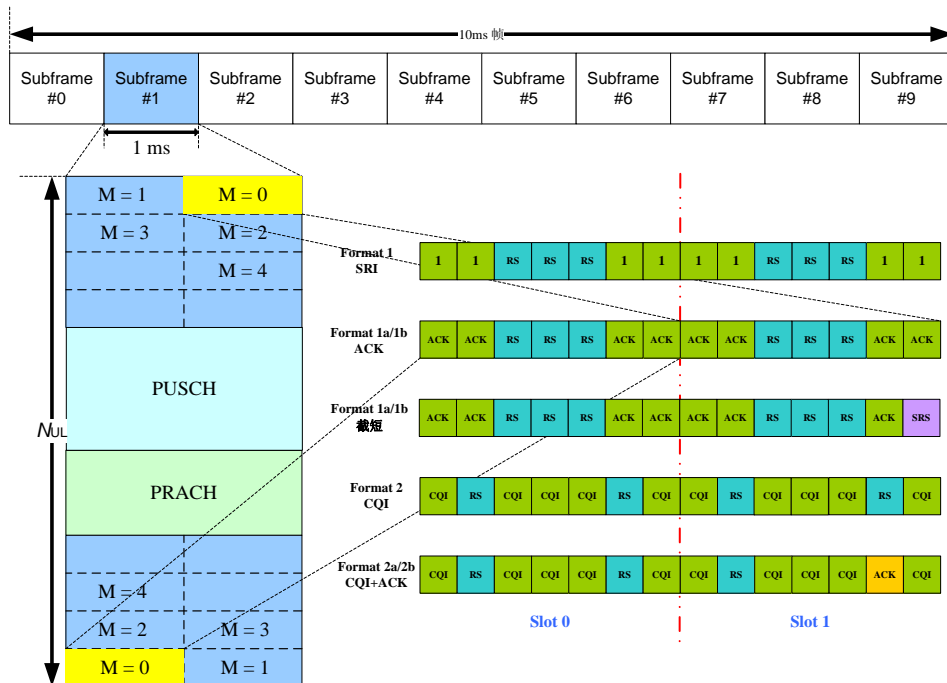
PUCCH 解调参考信号

PUCCH 格式包括解调参考信号 (Demodulation Reference Signal)。PUCCH 格式的位置取决于格式类型和普通 CP 或扩展 CP 的使用。PUCCH 格式描述如下:

- 格式 1, 1a 和 1b (使用普通 CP) —DRS 为符号 2, 3 和 4。
- 格式 1, 1a 和 1b (使用扩展 CP) —DRS 为符号 2 和 3。
- 格式 2, 2a 和 2b (使用普通 CP) —DRS 为符号 1 和 5。
- 格式 2 (使用扩展 CP) —DRS 为符号 3。

如果 UE 有调度请求或 CQI 要发送, 上层信令配置该资源。

图2-96 PUCCH 参考信号



如图 2-78 所示，不同的 PUCCH 格式的参考信号位置不同。

2.17.2 PUCCH 格式 1

对于 PUCCH 格式 1，有发射功率时表示有调度请求（Scheduling Request），反之则没有调度请求。

给 UE 分配表示每 n^{th} 子帧内资源的资源索引，子帧用于传调度请求(scheduling request)。PUCCH 格式 1 为 0 比特。然而，eNodeB 可以预计什么时候从 UE 得到调度请求。这样，如果 eNodeB 在 PUCCH 检测到能量，假设能量来自调度的 UE。

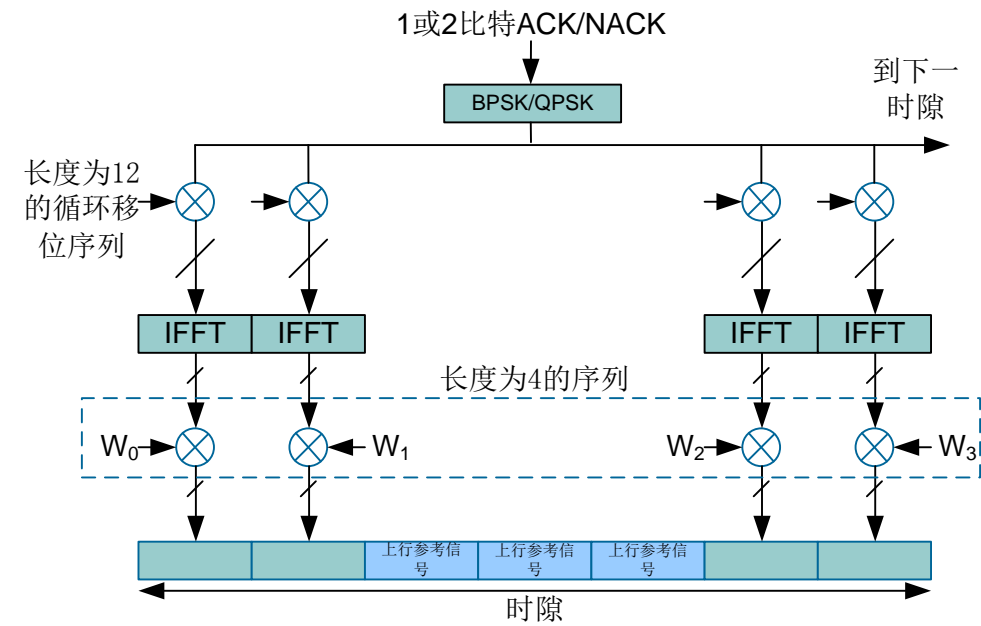
值得注意的是，发送调度请求时也可能与其他需要发送的信息相冲突，这种情况下，


- CQI：当 CQI 和调度请求冲突时，丢弃 CQI。
- ACK/NAK：当 ACK/NAK 和调度请求冲突时，可将 ACK/NAK 复用。

2.17.3 PUCCH 格式 1a 和 1b

PUCCH 格式 1a 和 1b 分别传输承载 1 或 2 个 HARQ 比特。图 2-97 描述一个时隙内 PUCCH 格式 1a 和 1b 的产生流程。BPSK/QPSK 符号适用于长度为 12 的循环移位序列 $12r_{u,v}^{(\alpha)}(n)$ 。最后，使用正交覆盖码（Walsh 码）。图中描述包含 3 个解调参考信号的普通 CP。长度为 3 的码适用这些符号，eNodeB 为资源共享的设备进行信道估计。

图2-97 PUCCH 格式 1a 和 1b（使用普通 CP）



 说明
对于扩展 CP，有 6 个符号和仅有两个上行参考信号。

干扰问题

在同一个资源块内，系统使用相同的基础参考序列，以及不同的循环移位和正交码，所以小区内部应该不存在干扰。然而存在小区间干扰。但是循环移位，正交码以及跳转样式的使用却可以减少小区间干扰。

PUCCH 格式 2

当 CQI 或 PMI 传输时没有 ACK/NACK，或当使用扩展 CP 且 CQI/PMI 和 ACK/NACK 一起编码时，适用 PUCCH 格式 2。格式 2 有如下特点：

- 通过 UE 专用的扰码序列逐位加扰。
- 扰码序列生成器初始化与 PUSCH 一样。
- 包含循环移位序列。
- 循环移位调转基于符号进行。

图2-98 PUCCH 格式 2（使用普通 CP）

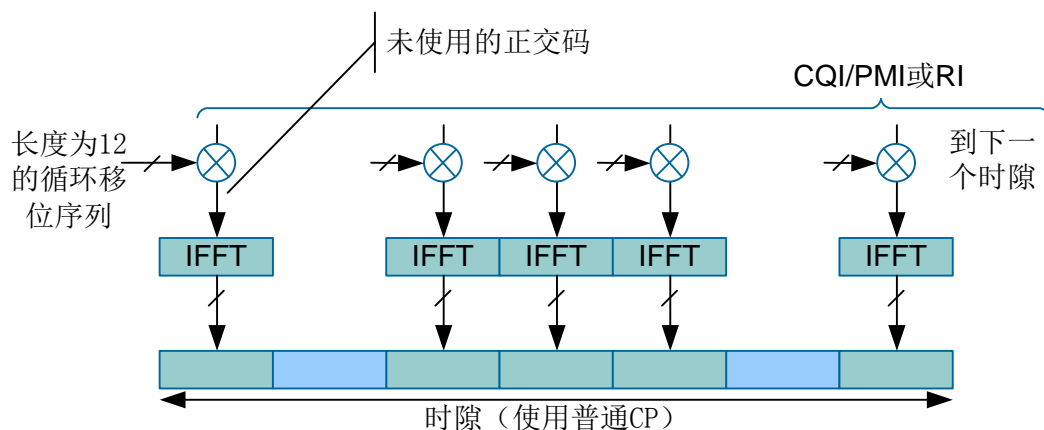
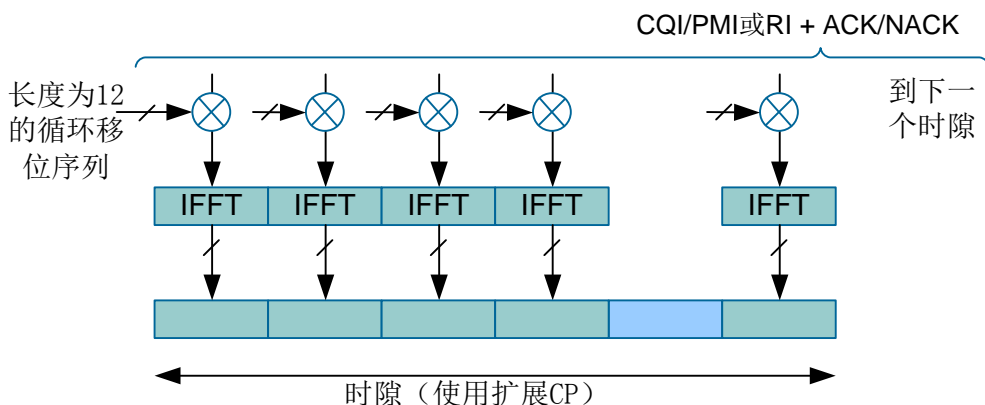


图2-99 PUCCH 格式 2（使用扩展 CP）

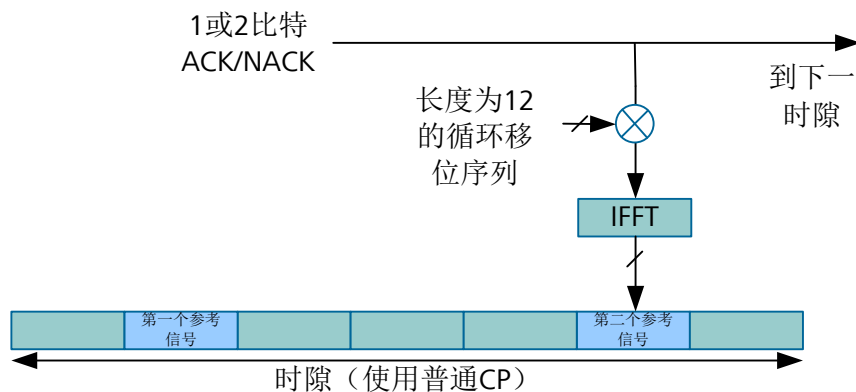


PUCCH 格式 2a 和 2b（带 ACK/NACK 和 CQI）

PUCCH 格式 2a 和 2b 仅在使用普通 CP 时被支持。有如下特点：

- 通过 UE 专用的扰码序列逐位加扰。
- 扰码序列生成器初始化与 PUSCH 一样。
- 使用每个时隙内第二个 RS 符号进行 BPSK (2a)或 QPSK (2b)调制, 传输 ACK/NACK。
- 格式 2a: QPSK CQI + BPSK ACK/NACK
- 格式 2b: QPSK CQI + QPSK ACK/NACK

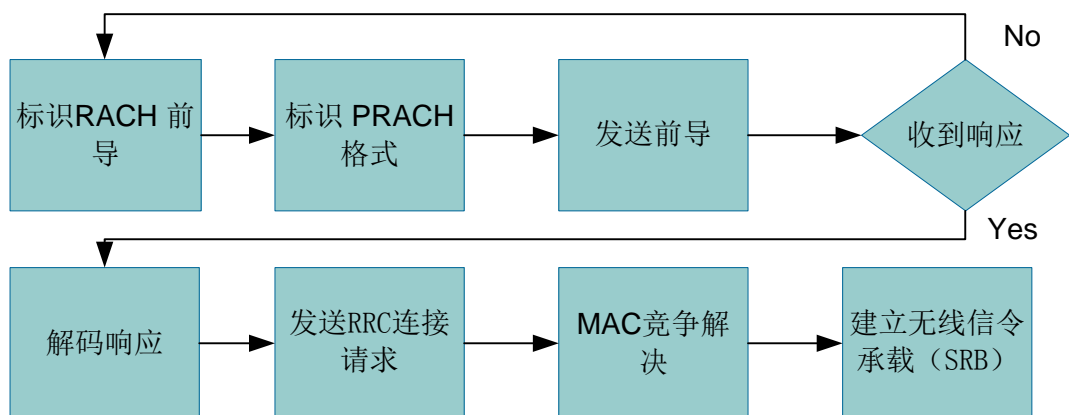
图2-100 PUCCH 格式 2a 和 1b (ACK/NACK 编码)



2.18 LTE 随机接入过程

小区选择过程中，在网络注册前，UE 必须先与驻留的 eNodeB 建立无线信令承载 SRB (signaling radio bearer)。RACH 随机接入流程如图 2-101 所示。

图2-101 随机接入流程

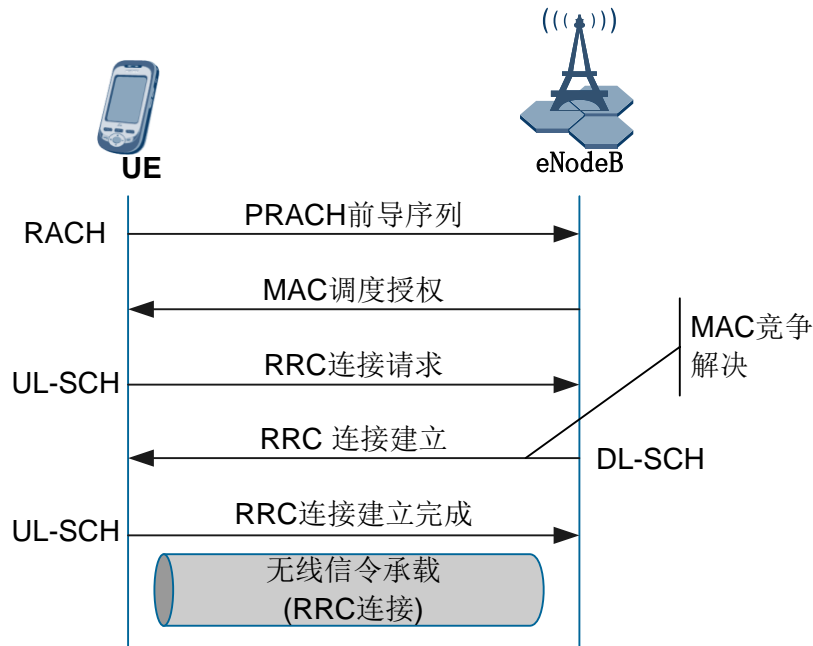


2.18.2 RRC 连接

无线信令承载 SRB 也叫 RRC 连接，即 UE 进入 RRC 连接状态。为得到无线信令承载 SRB，需要 eNodeB 与 UE 之间的信令。建立无线信令所需的主要的信令消息如图 2-102 所示。注意：其中一部分信令消息指 PHY 或 MAC 层的消息或指示。

建立 RRC 连接之前，UE 先通过 PRACH 信道探测网络可用资源。一旦 UE 成功探测到上行资源且在 UL-SCH 信道上分配到这些资源，RRC 连接分别通过 UL-SCH 和 DL-SCH 信道上三次握手信令建立。

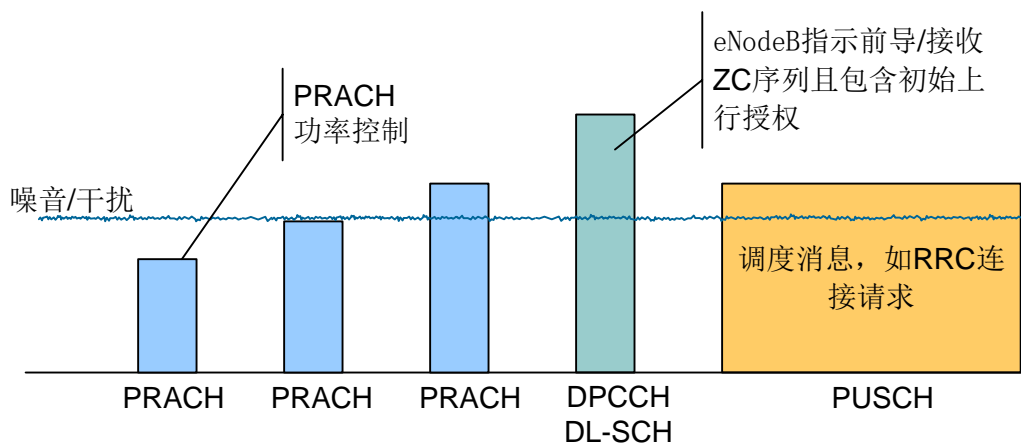
图2-102 随机接入 RRC 信令流程



2.18.3 PRACH 前导

PRACH 探测过程如 2.18.3 所示。UE 根据 PRACH 配置参数和开环功控发送初始探针。PRACH 配置参数详细信息参见 2.14.2 节，开环功控详细信息参见 2.19.4 节。

图2-103 PRACH 探测



UE 首先发送一个初始探针, 如果 eNodeB 没有接收到, 则 UE 将探针功率增加一个步长, 依次类推, 直到 eNodeB 接收到为止 (即 eNodeB 回应)。

2.18.4 随机接入过程初始化

随机接入流程初始化由 MAC 层或 PDCCH 命令发起。发起流程初始化前，UE 需要收集各种参数。主要参数如表 2-21 所示。

表2-21 随机接入参数

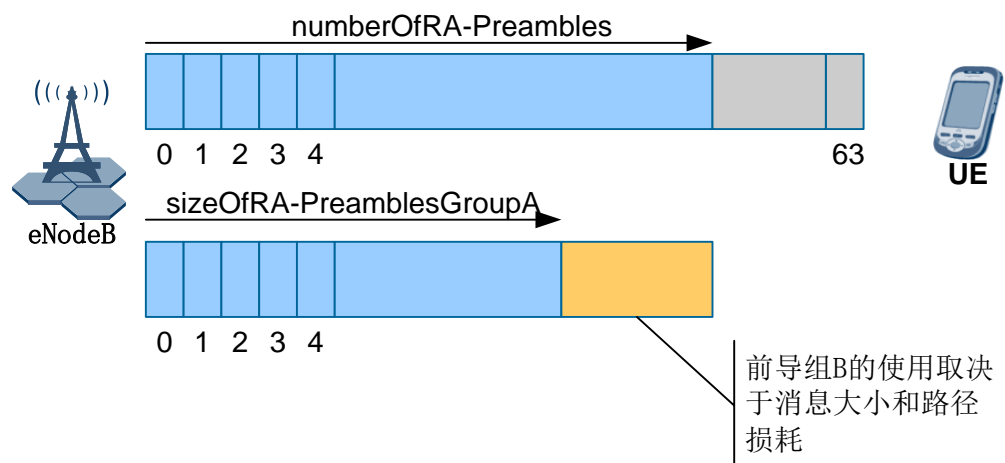
参数	描述
PRACH-ConfigInfo	包含 Tprach-ConfigIndex, highSpeedFlag, zeroCorrelationZoneConfig 及 prach-FreqOffset。
ra-ResponseWindowSize	随机接入响应窗大小，用子帧表示，可设为 sf2, sf3, sf4, sf5, sf6, sf7, sf8 或 sf10。
powerRampingStep	功率抬升因子，可设为 dB0, dB2, dB4 或 dB6。
preambleTransMax	前导传输最大值，可设为 n3, n4, n5, n6, n7, n8, n10, n20, n50, n100 或 n200。
preambleInitialReceivedTargetPower	初始前导功率，可设为 -120, -118, -116, -114, -112, -110, -108, -106, -104, -102, -100, -98, -96, -94, -92 或 -90 dBm。
DELTA_PREAMBLE	前导格式偏置。
maxHARQ-Msg3Tx	Msg3 消息 HARQ 传输最大值，可设为 1 到 8。
mac-ContentionResolutionTimer	竞争解决定时器，可设为 sf8, sf16, sf24, sf32, sf40, sf48, sf56 或 sf64。
numberOfRA-Preambles	使用的前导数量，可设为 n4, n8, n12, n16, n20, n24, n28, n32, n36, n40, n44, n48, n52, n56, n60 或 n64。
sizeOfRA-PreamblesGroupA	分配给 A 组的前导数量，可设为 n4, n8, n12, n16, n20, n24, n28, n32, n36, n40, n44, n48, n52, n56 或 n60。
messagePowerOffsetGroupB	用于标识哪个 group 使用的功率偏置，可设为 无穷小 (minusinfinity), dB0, dB5, dB8, dB10, dB12, dB15 或 dB18。
messageSizeGroupA	用于标识哪个组使用的部分消息大小偏置，可设为 b56, b144, b208 或 b256。
ra-PreambleIndex	作为部分专用配置的前导索引，可设为 0 到 63。
ra-PRACH-MaskIndex	作为部分专用配置的资源索引，可设为 0 到 15。

前导组分配

LTE 随机接入过程中,接入前导分成两类。UE 通知 eNodeB 功率或负荷要求进行 UL-SCH 初始分配。

随机接入前导分成 A 组和 B 组,如图 2-104 所示。分组需要两个关键参数,numberOfRA-Preambles 和 sizeOfRA-PreamblesGroupA。A 组中的前导由 0 到 sizeOfRA-PreamblesGroupA - 1。如果存在 B 组, B 组中的前导由 sizeOfRA-PreamblesGroupA 到 numberOfRA-Preambles - 1。

图2-104 A 组和 B 组分配前导



说明

如果 sizeOfRA-PreamblesGroupA 等于 numberOfRA-Preambles, 则不存在 B 组。

组利用率

对于第一个上层消息 Msg3, 根据消息大小和路径损耗特性选择 B 组。

- 数据大小+MAC 和控制消息>messageSizeGroupA。
- 路径损耗< ($P_{\text{CMAX}} - \text{preambleInitialReceivedTargetPower} - \text{deltaPreambleMsg3} - \text{messagePowerOffsetGroupB}$)。

对于重传, UE 使用相同组用于初始前导传输尝试。

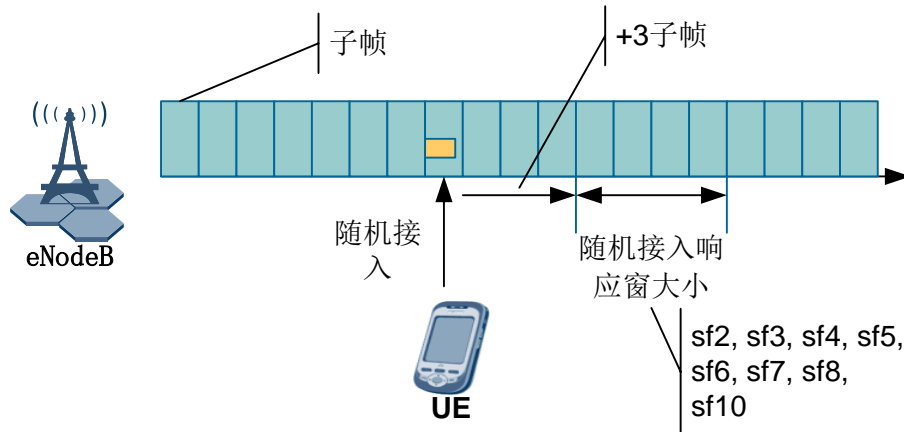
DPCCH 接入命令

如果收到与标记为 C-RNTI 的 PDCCH 命令一致的 PDCCH, UE 发起随机接入流程。

2.18.5 随机接入响应窗

一旦 UE 传输从组内随机选择的前导, UE 监控 PDCCH 的随机接入响应。接入响应通过随机接入响应窗中 RA-RNTI (Random Access - RNTI)标识。随机接入响应窗口的起始位置是包含前导末尾的子帧后的第四个子帧, 长度为 ra-ResponseWindowSize 个子帧。

图2-105 随机接入响应窗

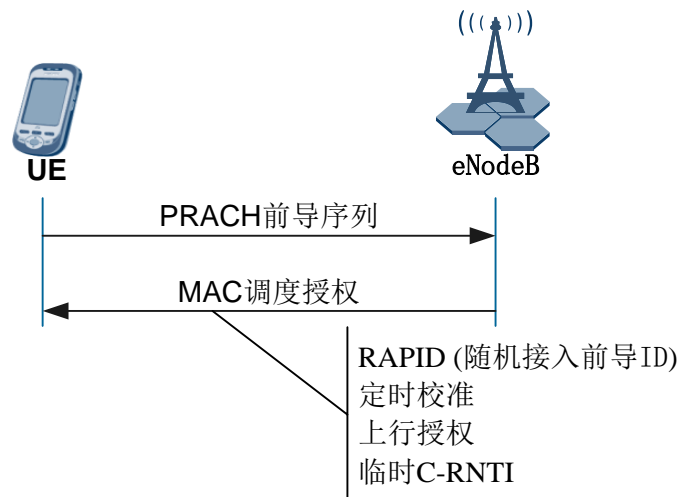


RA-RNTI 的计算公式为: $1 + t_id + 10 * f_id$ 。其中, t_id 指定的 PRACH 信道资源的第一个子帧的索引, f_id 为该子帧内指定 PRACH 资源索引。

2.18.6 随机接入响应

接到随机接入前导后, eNodeB 通过 DL-SCH 发送随机接入响应消息。与 PDCCH 信道上的 RA-RNTI 对应。包括随机接入前导指示 RAPID(Random Access Preamble Identifier), 定时校准 (timing alignment) 信息, 初始上行授权, 及临时 C-RNTI 分配。

图2-106 MAC 随机接入响应



上行授权包含如下 20bit 的信息:

- 跳转标记—1bit
- 固定大小资源块分配—10bit
- 缩短的 MCS 方案—4bit
- 用于 PUSCH 调度的 TCP 命令—3bit

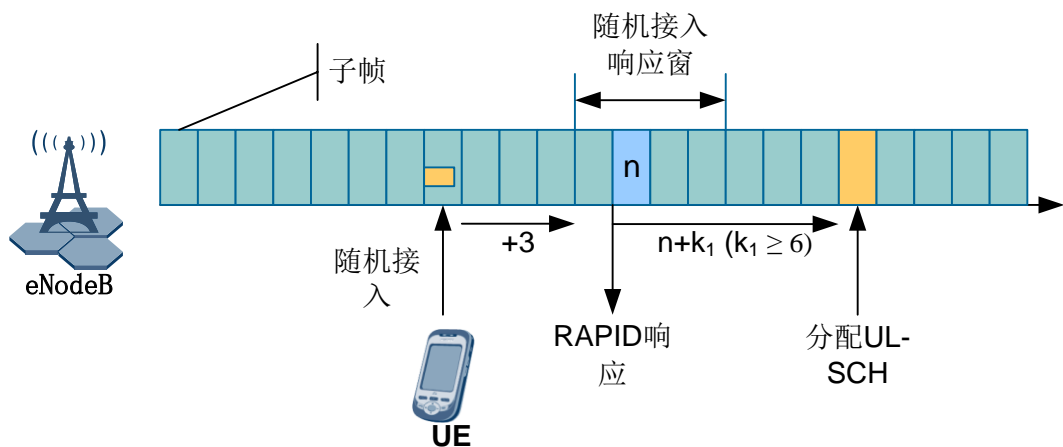
- 上行延时—1bit
- CQI 请求—1bit

UE 利用这些参数接入资源。

2.18.7 上行传输

如果 UE 利用正确的 RA-RNTI 解码了 PDCCH, 那么它就解码相关的 DL-SCH 资源块来检查这个资源块里是否包含了 RAPID。如果包含, UE 通过第一个子帧 $n+k_1$ 传输 UL-SCH 传输块。其中, $k_1 \geq 6$ 。

图2-107 随机接入—分配 UL-SCH



说明

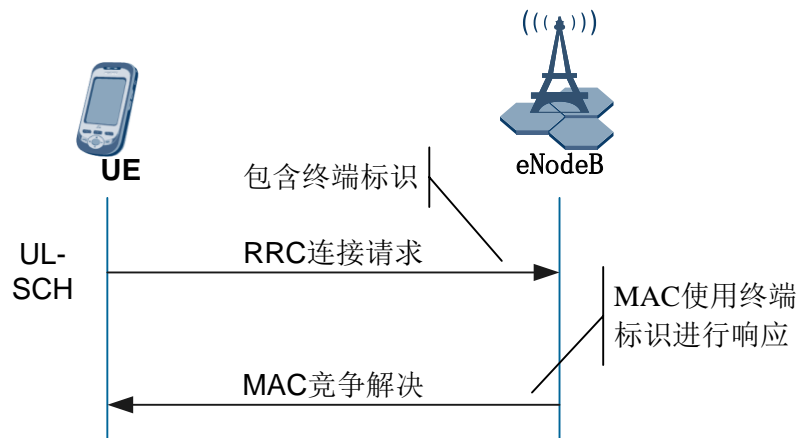
如果上行延时字段设为 1, UE 将 PUSCH 传输推迟到下一个上行子帧。

如果在随机接入响应窗中没有收到随机接入响应消息, UE 能够传输新的前导序列。这种情况通常发生在随机接入响应窗结束处不小于 4 个子帧内。

MAC 竞争解决流程如图 2-108 所示。UE 通过第一个 UL-SCH 消息向 eNodeB 发送标识来实现 MAC 竞争解决。如果授权, 资源可以是基于竞争的, 如另一 UE 通过同一个子帧发送相同的接入前导。因此, 每个包含自己的上层标识。

然后, eNodeB 在 MAC 头添加 UE 标识。其他不同标识的 UE 意识到冲突发生, 然后重新接入系统, 即重新发一个新的前导。

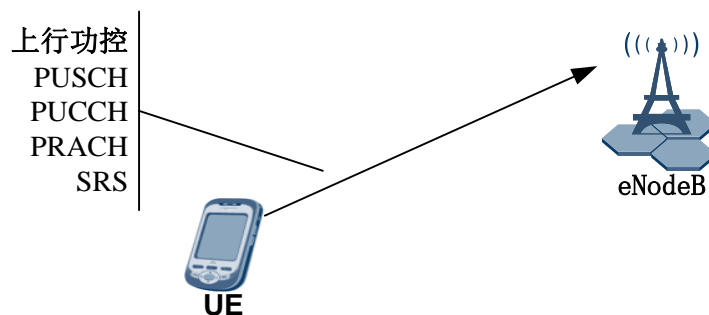
图2-108 MAC 竞争解决流程



2.19 上行功率控制

同大部分蜂窝系统一样，E-UTRA 需要实现功率控制，功率功控可以降低干扰，便于 eNodeB 对 UE 进行管理和优化。上上行功控用于指定一个 SC-FDMA 在物理信道上的平均发射功率。

图2-109 上行功率控制



2.19.2 PUSCH 功率控制

PUSCH 信道传输的 UE 发射功率 P_{PUSCH} 设置定义为:

$$P_{\text{PUSCH}}(i) = \min\{P_{\text{CMAX}}, 10\log_{10}(M_{\text{PUSCH}}(i)) + P_{\text{O_PUSCH}}(j) + \alpha(j) \cdot PL + \Delta_{\text{TF}}(i) + f(i)\}$$

上图的公式中:

- P_{CMAX} 为 UE 的最大发射功率，与 eNodeB 最大发射功率或 UE 功率级别有关。
- $M_{\text{PUSCH}}(i)$ 与 PUSCH 资源分配的带宽有关。资源分配用资源块表示。

- $P_{O_PUSCH}(j)$ 指各种小区及 UE 专用功率总和。同时基于重传和调度选项。
- α 小区专用 3bit 参数，由上层提供，可值得为 0, 0.4, 0.5, 0.6, ..., 1。
- PL (Pathloss): 为 UE 估计的下行路径损耗值，通过参考信号功率和其他上层过滤配置设置。
- Δ_{TF-UE} 专用参数，与 MCS (Modulation and Coding Scheme) 及传输格式 TF (Transport Format) 有关，即传输块大小 TBS (Transport Block Size)。
- F : 实现 UE 专用功率控制，即发射功率控制 TPC (Transmit Power Control)。可以设置成不同值，累计功率或当前绝对功率。

功率余量

系统定义 UE 功率余量 PH (power headroom) 如下：

$$PH(i) = P_{\text{CMAX}} - \left\{ 10 \log_{10}(M_{\text{PUSCH}}(i)) + P_{O_PUSCH}(j) + \alpha(j) \cdot PL + \Delta_{TF}(i) + f(i) \right\} \text{ dB}$$

当 prohibitPHR-Timer 定时器超或功率余量上报功能配置（重配置）时，UE 发送功率余量报告 PHR (power headroom report)。

2.19.3 PUCCH 功率控制

PUCCH 信道上 UE 功率计算公式如下：

$$P_{\text{PUCCH}}(i) = \min \left\{ P_{\text{CMAX}}, P_{O_PUCCH} + PL + h(n_{\text{CQI}}, n_{\text{HARQ}}) + \Delta_{F_PUCCH}(F) + g(i) \right\} \text{ dBm}$$

其中，

- P_{CMAX} 为 UE 的最大发射功率，与 eNodeB 最大发射功率或 UE 功率级别有关。
- P_{O_PUCCH} 指小区及 UE 专用功率总和。
- PL (Pathloss): 为 UE 估计的下行路径损耗值，通过参考信号功率和其他上层过滤配置设置。
- $h(n)$ 与 PUCCH 格式相关。 n_{CQI} 指 CQI 比特数， n_{HARQ} 指 HARQ 比特数。
- $\Delta_{F_PUCCH}(F)$ 表示帧格式偏置，由上层提供。
- $g(i)$ 指当前 PUCCH 功率控制，实现 UE 专用功率控制，即发射功率控制 (TPC)。

2.19.4 PRACH 功率控制

对前导来说，PRACH 信道上 UE 功率计算公式如下：

$$P_{\text{PRACH}} = \min \{ P_{\text{CMAX}}, \text{PREAMBLE_RECEIVED_TARGET_POWER} + PL \} \text{ dBm}$$

其中，

- P_{CMAX} 为 UE 的最大发射功率，与 eNodeB 最大发射功率或 UE 功率级别有关。
- $\text{PREAMBLE_RECEIVED_TARGET_POWER}$: 等于
 $\text{preambleInitialReceivedTargetPower} + \text{DELTA_PREAMBLE} +$
 $(\text{PREAMBLE_TRANSMISSION_COUNTER} - 1) * \text{powerRampingStep}。$

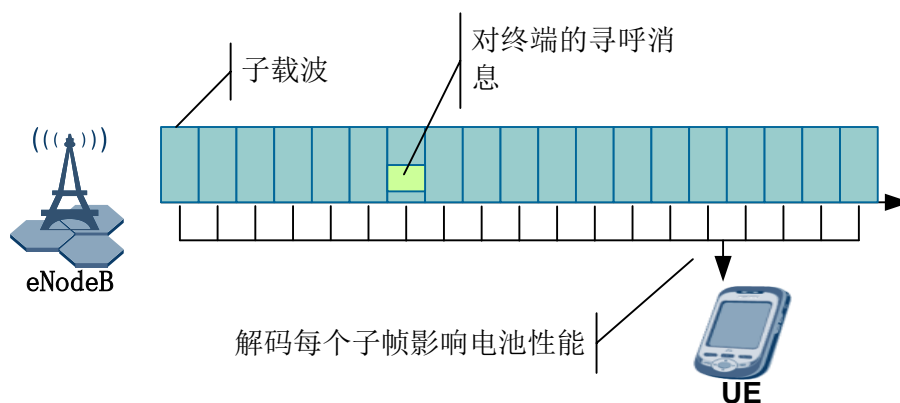
- **PL (Pathloss):** 为 UE 估计的下行路径损耗值，通过参考信号功率和其他上层过滤配置设置。

2.20 寻呼过程

2.20.1 寻呼非连续性接收 (DRX)

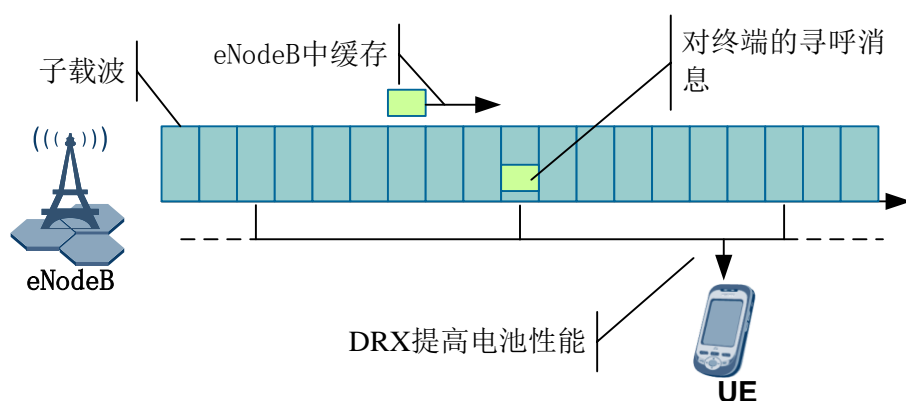
空闲模式下 UE 需要监听寻呼消息。然而，如果没有被管理，UE 可能不得不参看每一个子帧监听每个可能的寻呼消息。图 2-110 描述寻呼导致的问题，即电池性能下降。

图2-110 寻呼问题



为解决此类问题，LTE 支持寻呼消息非连续性接收 (DRX)，如图 2-111 所示。UE 预先设定的这些时间进行监听寻呼消息。

图2-111 寻呼消息非连续接收



在 UE 预定的监听寻呼消息的时间到达之前，如果有需要下发给该 UE 的寻呼消息，eNodeB 就会将这些消息缓存起来。UE 监听寻呼消息的时间是由多个参数确定的，这样 UE 就会知道什么时候应该监听寻呼消息。这个过程叫监听寻呼消息时刻 (Paging Occasion)，与子帧有关。另外，DRX 参数同时定义寻呼帧 (paging frame)。即无线帧，

包含一个或多个监听寻呼消息时刻。利用系统消息提供的必要的 DRX 参数, UE 计算监听次数。这些参数也有可能作为上层信令的一部分发送给指定 UE。

2.20.2 寻呼帧

寻呼帧定义为 $\text{SFN mod } T = (T \text{ div } N) * (\text{UE_ID mod } N)$ 。

表示可能发生监听寻呼消息时刻的帧。另外,为得到监听寻呼消息时刻 (PO), 使用子帧样式表和计算得到 i_s (Index)。该计算定义为: $i_s = \text{floor}(\text{UE_ID}/N) \text{ mod } N_s$ 。

如下参数用于寻呼帧和 i_s 的计算:

- T: 表示 DRX 值范围, 可设置为 32, 64, 128, 或 256 无线帧。值得注意的是 UE 指定的比较小的值不使用 T。
- N: 等于 $\min(T, nB)$ 。
- nB: 等于 4T, 2T, T, T/2, T/4, T/8, T/16, 或 T/32。
- N_s : 等于 $\max(1, nB/T)$ 。
- UE_ID: 等于 IMSI 取模 1024。

参数 i_s 和 N_s 用于从子帧样式表中确定寻呼样式。FDD 子帧样式如表 2-22 所示。

表2-22 FDD 子帧样式

N_s	$i_s=0$ 时的 PO	$i_s=1$ 时的 PO	$i_s=2$ 时的 PO	$i_s=3$ 时的 PO
1	9	N/A	N/A	N/A
2	4	9	N/A	N/A
4	0	4	5	9

TDD 子帧样式如表 2-23 所示。

表2-23 TDD 子帧样式

N_s	$i_s=0j$ 时的 PO	$i_s=1$ 时的 PO	$i_s=2$ 时的 PO	$i_s=3$ 时的 PO
0	0		N/A	N/A
2	0	5	N/A	N/A
4	0	1	5	6

2.21 HARQ 实现

2.21.1 重传类型

重传机制有两种，即 ARQ (Automatic Repeat Request) 和 HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request)。ARQ 在 RLC 层实现，而 HARQ 在 MAC (Medium Access Control) 和物理层实现。ARQ 的部分特性/问题和 HARQ 的优势如图 2-112 所示。

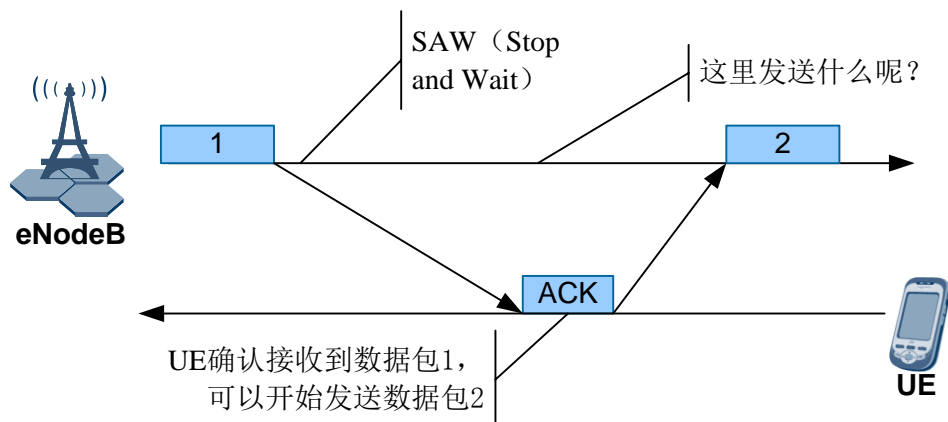
图2-112 ARQ 对比 HARQ



2.21.2 HARQ 方法

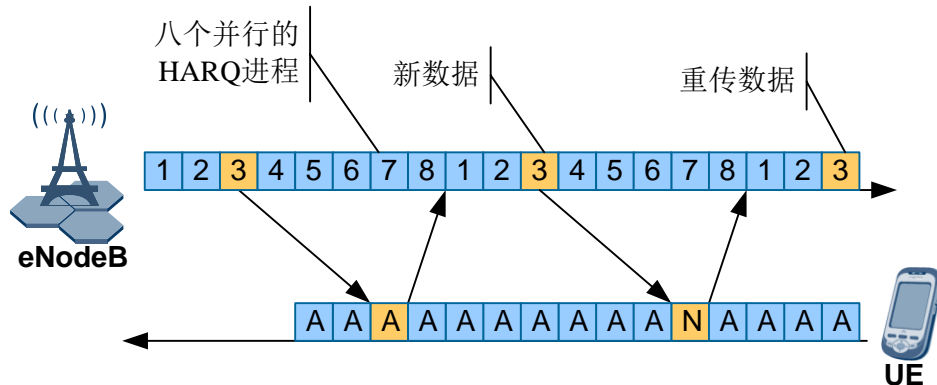
HARQ 提供一种物理层的重传功能，该功能可以大大提升性能、增强鲁棒性。LTE 选择了 SAW (Stop And Wait) 作为重传协议，因为这种形式的 ARQ 实现简单。在 SAW 机制里，发射端保持发送当前传输块直到该传输块被正确接收才发送下一个传输块。SAW 的基本原理如图 2-113 所示。图中还显示了在两次数据传输之间发送更多数据包的可能性。

图2-113 SAW 基本原理



在两次数据传输之间发送更多数据包的机制相对简单，只需要使用一些并行的 HARQ 进程，如图 2-114 所示。LTE 系统中针对上/下行和 FDD/TDD 模式，会配置不同数量的 HARQ 进程。下图展示的是下行 FDD 帧上使用八个 HARQ 进程的例子。图中高亮显示的是进程 3。eNodeB 第一次发送的进程 3 的数据得到了 UE 的 ACK 确认。在 eNodeB 等待 UE 确认的过程中，可以进行其它进程。这样，UE 就可以接收一连串数据包。

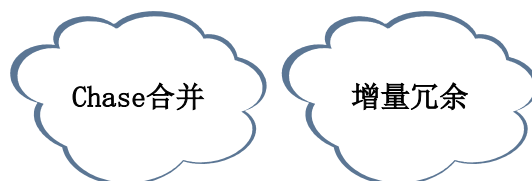
图2-114 并行的 HARQ 进程



如果 UE 检测到错误，就发送一个 NACK (Negative Acknowledgement) 给 eNodeB。eNodeB 可以快速地重调度该数据。

HARQ 包含两个主要概念，即 Chase 合并 CC (Chase Combining) 和增量冗余 IR (Incremental Redundancy)。

图2-115 HARQ 方法



Chase 合并

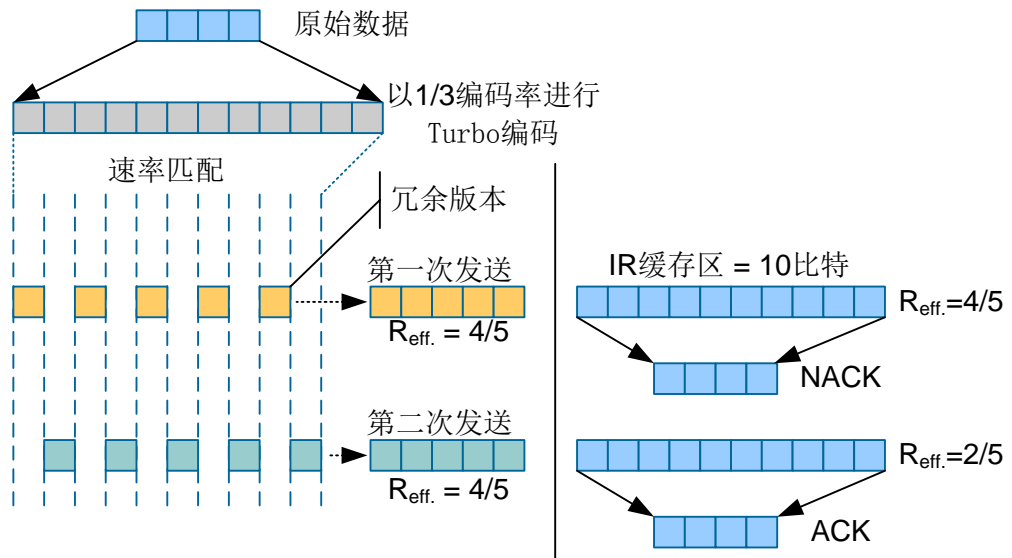
在 Chase 合并机制中，每次重传包含的内容与初传数据是相同的。接收端的解码器将这些包含相同信息的多份数据拷贝进行合并。这种合并提供了时间分集和软合并增益，复杂度低，而且在所有 HARQ 方法中，这种合并对 UE 内存的要求最低。

增量冗余

在增量冗余 IR 机制中，如果初传失败了，则在重传中增加额外的冗余信息，实现增量发送。这样，有效编码率随重传次数的增加而提高。增量冗余还可以细分为部分 IR 和全 IR。通过部分 IR 方式传送的每个编码后的码字中包含系统比特，所以每次重传的内容是可以自解码的。而通过全 IR 方式传送的内容仅包含奇偶校验比特，所以每次重传的内容是不能自解码的。

图 2-116 举例说明速率匹配和冗余版本在重传中的工作机制。图中还显示了有效编码率。

图2-116 冗余版本和软比特举例



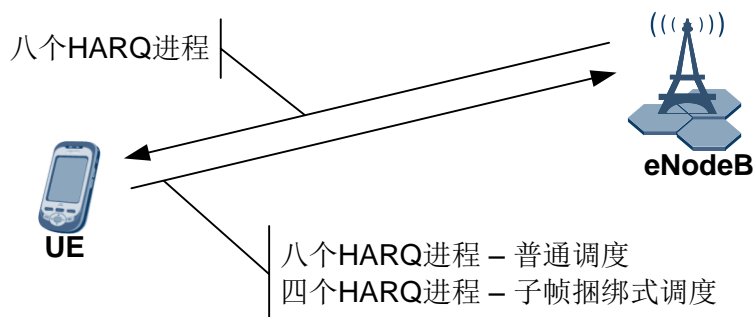
2.21.3 LTE 系统中的 HARQ

MAC 子层中的 HARQ 用于初传和重传传输块。

FDD 模式下，下行使用八个 HARQ 进程。上行使用八个 HARQ 进程用于普通 HARQ 操作、四个 HARQ 进程用于子帧捆绑式操作。子帧捆绑的概念，请参考第 3 章中的 LTE 调度方式描述。

HARQ 调度需要使用多种参数，比如新数据指示 NDI（New Data Indicator）和传输块 TB（Transport Block）大小。另外，DL-DSCH 的 HARQ 信息还包含了 HARQ 进程 ID，UL-SCH 的 HARQ 信息还包含了冗余版本 RV（Redundancy Version）。在 DL-SCH 上使用空间复用（MIMO）的场景下，HARQ 信息包含了针对每个传输块的 NDI 和 TB 大小信息。

图2-117 FDD 模式下的 HARQ 进程



根据帧配置的不同，TDD 模式下的 HARQ 进程个数在 4 至 15 之间可变。

不同的 TDD 模式下的 HARQ 配置如表 2-24 所示。

表2-24 TDD 模式下的 HARQ 进程

上下行子帧配比	最大 HARQ 进程数
0	4
1	7
2	10
3	9
4	12
5	15

2.21.4 下行 HARQ

下行 HARQ 有如下特征：

- 下行使用非同步自适应 HARQ。
- 针对下行初传和重传的上行 ACK/NACK 通过 PUCCH 或者 PUSCH 发送。
- PDCCH 上发送 HARQ 进程号，指示进行初传或者重传。
- 固定通过 PDCCH 进行重传的调度。

2.21.5 上行 HARQ

上行 HARQ 有如下特征：

- 上行使用同步 HARQ。
- 最大重传次数面向 UE 设置，而非面向无线承载设置。
- 针对上行初传和重传的下行 ACK/NACK 通过 PHICH 发送。

上行 HARQ 遵循如下原则：

- 无论 HARQ 反馈的内容是 ACK 还是 NACK，UE 只要正确接收了 PDCCH 信息就按照 PDCCH 的指示发送新数据或者进行重传（这种重传被称为自适应重传）。
- 当 UE 没有检测到针对其 C-RNTI 的 PDCCH，则 UE 按照 HARQ 反馈的指示进行重传。具体如下：
 - 如果 HARQ 反馈的是 NACK，则 UE 进行非自适应重传，即在该进程中之前使用过的上行资源上进行重传。
 - 如果 HARQ 反馈的是 ACK，则 UE 不进行任何上行初传或重传，而是把数据缓存在 HARQ 缓存区里，直到接收到 PDCCH 指示再进行重传。也就是说，这种场景下，UE 不采用非自适应重传。
- 与移动性相关的测量 Gap 具有比 HARQ 重传更高的优先级。当 HARQ 重传与测量 Gap 冲突时，不进行 HARQ 重传。
- 冗余版本的顺序为 0、2、3、1。

各种场景下的 UE 上行 HARQ 行为如表 2-25 所示。

表2-25 上行 HARQ

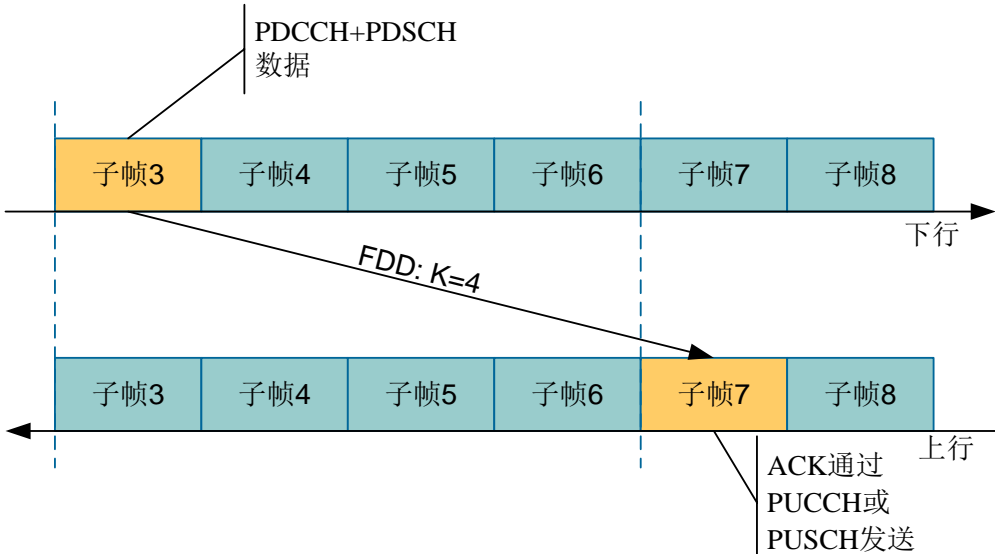
UE 接收到的 HARQ 反馈	UE 检测到的 PDCCH 指示	UE 行为
ACK 或 NACK	发送新数据	按照 PDCCH 的指示发送新数据。
ACK 或 NACK	重传	按照 PDCCH 的指示进行重传，即进行自适应重传。
ACK	无	不发送新数据也不进行重传，而是将数据缓存在 HARQ 缓存区里，直到接收到 PDCCH 才继续重传。
NACK	无	进行非自适应重传。

2.21.6 ACK/NACK 发送时机

FDD 模式

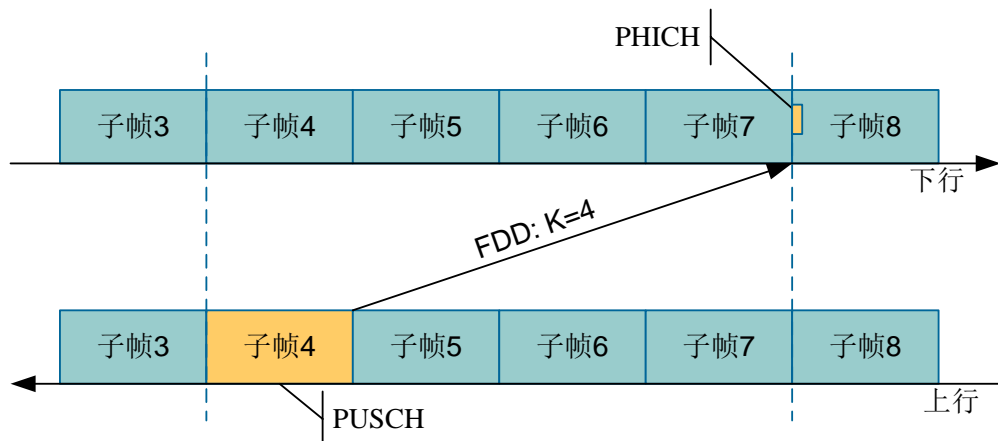
FDD 模式下，当 UE 的数据通过 PDSCH 发送时，该 UE 使用 DCI 调度消息来解码该数据。基于 CRC 校验的结果，UE 向 eNodeB 发送 ACK 或者 NACK。ACK/NACK 在 i+4 号上行子帧上发送，针对在 i 号下行子帧上发送的 PDSCH 提供确认信息，如图 2-118 所示。

图2-118 FDD 模式下的下行 HARQ 时机



FDD 模式下的上行 HARQ 时机举例如图 2-119 所示。ACK/NACK 通过在 i 号下行子帧上发送的 PHICH 传给 UE，针对在 i-4 号上行子帧上发送的 PUSCH 提供确认信息。

图2-119 FDD 模式下的上行 HARQ 时机



TDD 确认模式

TDD 模式下，发给 UE 的携带 ACK/NACK 的 PHICH 在 i 号子帧上发送，针对在 $i-k$ 号子帧上发送的 PUSCH 提供确认信息，其中 k 的值取决于 TDD 配置模式表。另外，TDD 还定义了如下两种 ACK/NACK 反馈模式：

- ACK/NACK 捆绑式反馈。此方式把针对多个 PDSCH 子帧的 HARQ ACK/NACK 映射到同一个上行子帧上，通过在下行子帧间使用逻辑与操作来实现。
- ACK/NACK 复用式反馈。此方式在同一个下行子帧内的不同码字间使用空间维度的 ACK/NACK 捆绑，通过在所有相应 ACK/NACK 间使用逻辑与操作来实现。

2.22 多天线技术

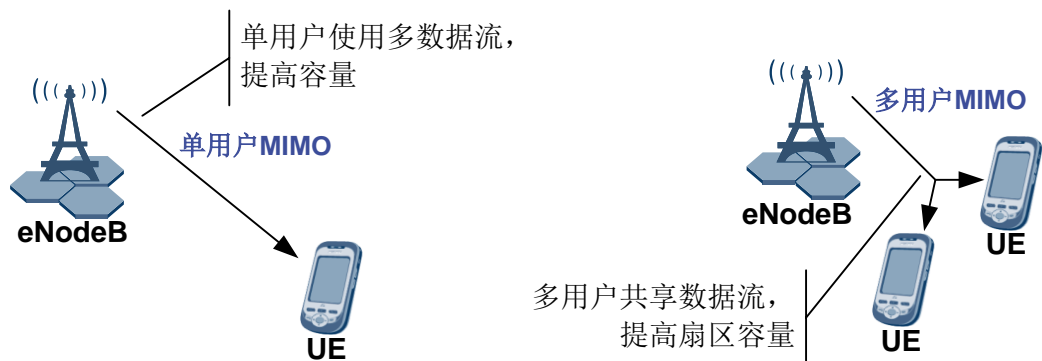
蜂窝系统一直在持续提升空中接口的性能和频谱利用率。为了达到这一目的而使用的方法中，有一种就是多天线技术。多天线技术包括了空频块编码 SFBC (Space Frequency Block Coding) 和频移时间分集 (Frequency Shift Time Diversity) 以及各种多入多出 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 技术。

2.22.1 单用户 MIMO 和多用户 MIMO

MIMO 在发射端和接收端使用多天线来分别实现多入和多出。MIMO 术语和方法因系统而异。大部分情况下分为如下两类：

- **单用户 MIMO** (Single User - MIMO)。此模式使用 MIMO 技术来提升单用户的性能。
- **多用户 MIMO** (Multi User - MIMO)。此模式使用空间复用技术使多个用户获得服务。

图2-120 单用户 MIMO 和多用户 MIMO



2.22.2 MIMO 和传输方式

LTE 系统支持多种传输模式，包括发射分集（Transmit Diversity）技术。某些为开环技术（即没有反馈机制），主要用于下行公共信道，这些信道无法从信道选择性调度中获益。

传输模式

下行方向上，当 UE 通过高层信令进行半静态配置来接收 PDSCH 数据时，eNodeB 将传输模式信息发给 UE。LTE 使用如下传输模式：

- 传输模式 1 – 单天线传输，使用端口 0，不使用 MIMO
- 传输模式 2 – 发射分集
- 传输模式 3 – 发射分集或者高时延 CDD（Cyclic Delay Diversity）
- 传输模式 4 – 发射分集或者闭环空间复用
- 传输模式 5 – 发射分集或者多用户 MIMO（即多个用户被分配到相同的传输块上）
- 传输模式 6 – 发射分集或者 rank=1 的闭环预编码（即不使用空间复用，而使用预编码方式）
- 传输模式 7 – 使用单天线口 5（用于波束赋形）

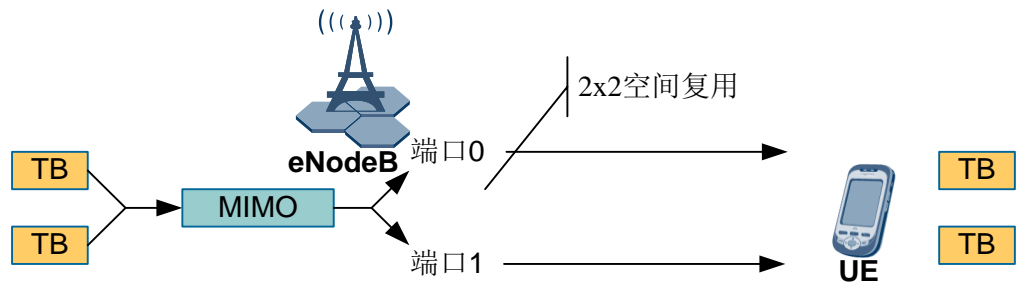
2.22.3 MIMO 模式

LTE 支持使用两根或四根天线进行 MIMO（Multiple Input Multiple Output），或者称多天线传输。码字到层的映射关系是固定的。不管使用多少根天线，最多使用两个码字。

空间复用

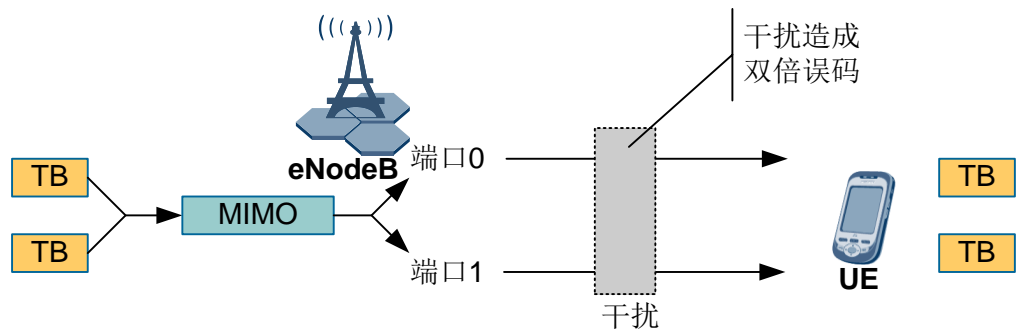
最常用的 MIMO 模式是空间复用 **SM**（Spatial Multiplexing）。空间复用时，多条调制符号流被分配给单个用户，这些符号流在相同的时频资源上传输。信号间通过使用不同的参考信号来区分。参考信号包含在 PRB（Physical Resource Block）中。使用 2x2 MIMO 系统的空间复用如图 2-121 所示。

图2-121 空间复用 MIMO



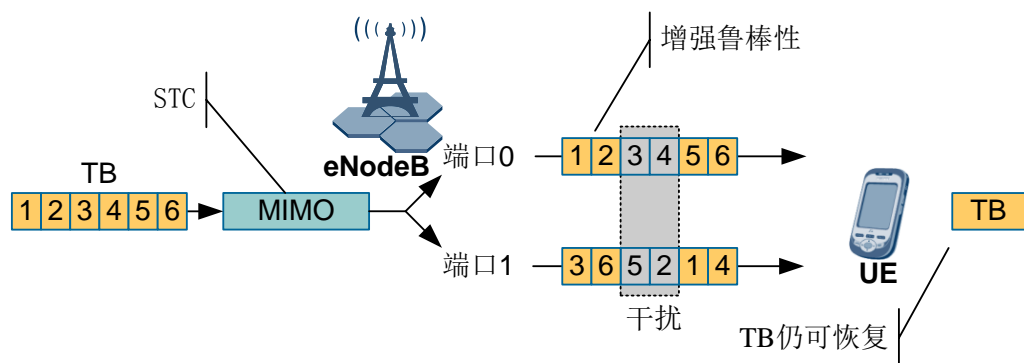
蜂窝系统中的空间复用存在一个主要问题，就是强干扰，尤其在小区边缘。不幸的是，这干扰会同时影响到空间上的多条数据流，因此可能造成双倍的误码。所以，空间复用通常用在离 eNodeB 距离近的地方，而不用在小区边缘。

图2-122 空间复用的干扰问题



在小区边缘的 UE 仍然可以从 MIMO 中获益。不过那依赖于其它的一些实现方式，比如使用单码流预编码。图 2-123 以 STC (Space Time Coding) 为例说明预编码概念。注意，预编码不仅包含 STC，它还包含其它内容。

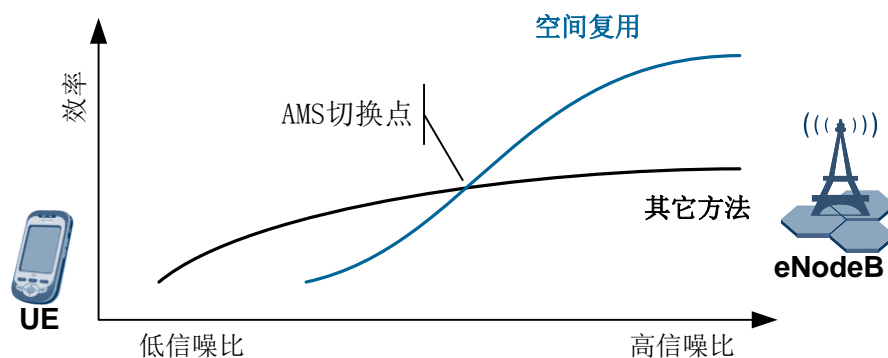
图2-123 单码流 MIMO



自适应 MIMO 切换 (AMS)

为了真正优化信道效率，一些系统支持自适应 MIMO 切换 AMS (Adaptive MIMO Switching)。如图 2-124 所示，系统可以综合使用空间复用和其它方法（例如 STC）来优化 eNodeB 性能。

图2-124 AMS



其它技术

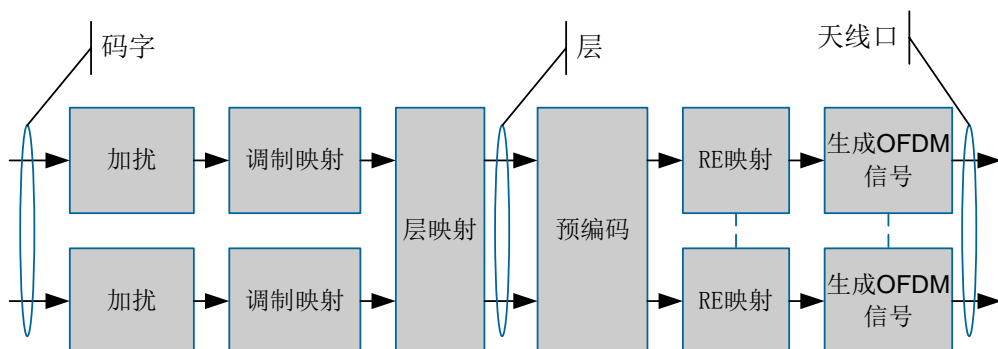
LTE 还支持以下技术：

- 基于码本的预编码
- 基于单个秩（rank）反馈的秩适应（注意，eNodeB 可以不参考秩报告。）

2.22.4 LTE 系统中的空间复用

LTE 系统允许最多两个码字映射到不同的层上。系统使用预编码来进行空间复用。PDSCH 的处理如图 2-125 所示。2.5 节已介绍过该处理以及秩传输和层的概念。

图2-125 PDSCH 处理



为了使信号可以在空间上复用到不同的天线口，需要使用多种数学计算过程。在两天线或四天线配置下使用开环或闭环空间复用时，计算过程会有所不同。

基于码本的预编码

系统中非常重要的一方面就是基于码本的编码机制。使用的码本类型如下：

- 两天线口配置时，使用 7 子元码本。
- 四天线口配置时，使用 16 子元码本。

两发射天线配置下的码本索引至层的映射关系如表 2-26 所示。3GPP TS36.211 协议提供了针对不同技术的详细预编码和层映射公式，还提供了四天线配置下的公式。

表2-26 基于码本的预编码

码本索引	层数	
	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	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix}$	-



说明

使用闭环空间复用模式时，如果层数为 2，则不使用码本索引 0。

2.22.5 反馈信息上报

为了优化系统性能，UE 可以提供多种关于无线信道环境的反馈信息给 eNodeB。根据不同的 MIMO 和 eNodeB 配置，LTE 可以使用不同的反馈信息上报方式。上报的内容可能包含如图 2-126 所示的信息。

图2-126 反馈信息上报



CQI (Channel Quality Indicator)

CQI 指示了下行信道质量，并有效地指定了 eNodeB 可以使用的最优调制编码方案。CQI 编码方式有很多种，表 2-27 中列举了主要的 CQI 索引。

表2-27 4 比特 CQI 表

CQI 索引	调制方案	码率 × 1024	效率
0	不涉及		
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

系统中定义了多种 CQI。其中，宽带 CQI 指的是整个系统带宽上的 CQI。与之相反，子带 CQI 指的是某子带上的 CQI。CQI 种类由高层定义和配置。种类不同，资源块的数量也不同。需要注意的是，使用空间复用 MIMO 时，针对每个码字都会上报一个 CQI。

根据调度模式的不同，可以使用周期性或非周期性的 CQI 上报方式。在频选和非频选调度模式下，使用 PUCCH 来承载周期性的 CQI 报告。在频选调度模式下，使用 PUSCH 来承载非周期性 CQI 报告。

PMI (Precoding Matrix Indicator)

根据 PMI 的指示，UE 选择最优的预编码矩阵。PMI 的值与规格内的码本表相关。与子带 CQI 类似，eNodeB 定义了哪些资源块与 PMI 报告关联。PMI 报告在多种模式都有使用，包括闭环空间复用、多用户 MIMO 和闭环 rank 1 预编码。

RI (Rank Indication)

RI 指示了使用空间复用时的可用传输层数。当使用发射分集时，秩等于 1，即 RI 指示为 1。

3 动态资源分配

课程目标

学完本章后你可以：

- 3.1 了解上下行调度原则和信令
- 3.2 了解调度器是如何同其它功能交互的
- 3.3 了解动态和半静态调度的概念

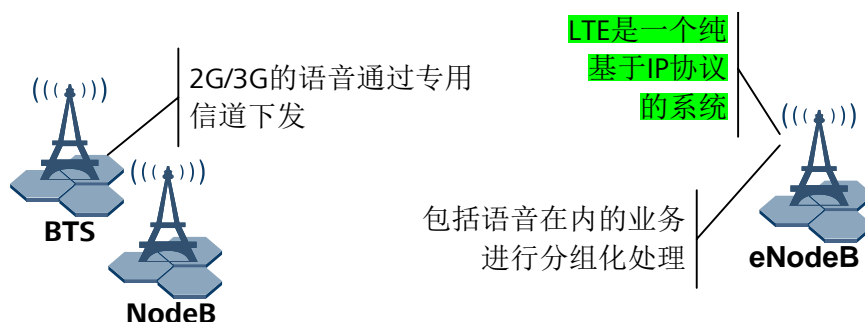
3.1 调度原理和信令

eNodeB 负责 LTE 空中接口调度，而 EPC（Evolved Packet Core）负责其它调度和 QoS（Quality of Service）的处理。

通常，调度主要为了满足不同用户的期望。空中接口曾经在整个端到端业务中被认为是较差链路或瓶颈。这主要是因为物理资源有限，即，带宽或信道有限。在 GSM 和 UMTS 等系统中，调度比较容易。这是因为这些系统主要是语音业务且要求专用信道。同样，基站侧的信道（或信元）数量会限制同时呼叫的数量。

目前系统在朝着基于分组业务演进，例如，UMTS 已经演进到 HSPA 和 HSPA+。LTE 也是一样，是一个纯基于分组的系统。这样，所有业务使用 IP（Internet Protocol）协议。

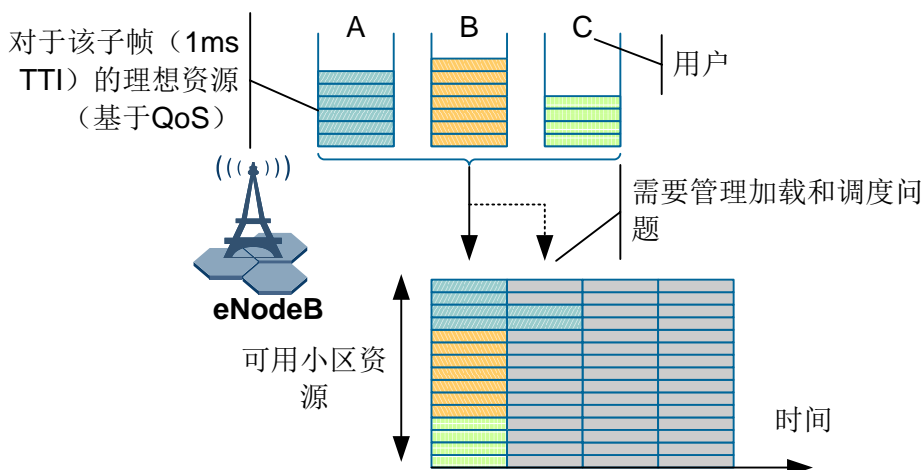
图3-1 IP 调度



由于 LTE 是纯基于分组的系统，因此系统设计比较容易。这是因为 eNodeB 无需与专用功能进行调度算法互联互通。

基本调度概念如图 3-2 所示。本例中，三个用户有数据发送，每个用户都定义了 QoS。

图3-2 小区基本调度



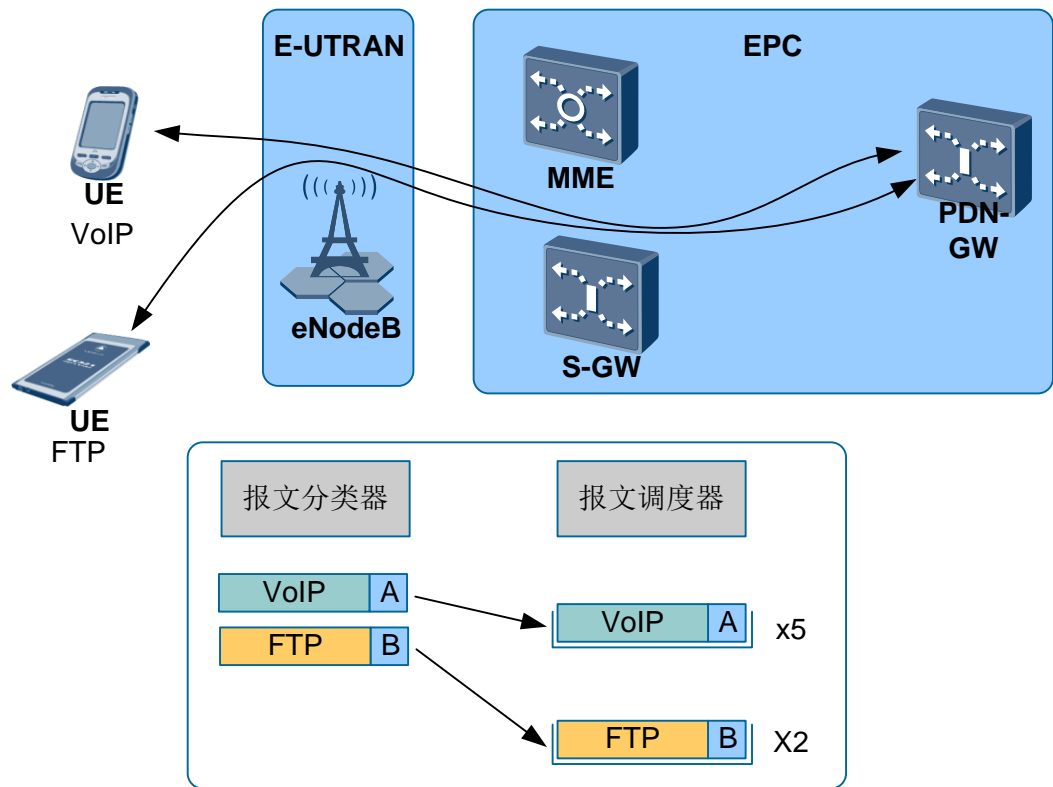
这例子比较简单，但阐明了一些基本概念。

- 多个用户在 eNodeB 缓冲以及上行缓冲中可以有不同数量的数据。
- UE 可以处于不同的位置，因此诸如 MIMO 等特性可能会用到。
- 用户和具体支持的业务（如 QoS 业务）可以有不同的优先级，因而要求 eNodeB 对流量进行优先级处理。在上述例子中，用户 B 的数据被调度，但是用户 A 的数据延迟到了下一子帧被调度。这可能是基于业务优先级考虑，例如，保证高优先级业务。
- eNodeB 资源有限。这会随着不同的因素而变化。其中一个因素就是用户的位置。如果用户都靠近 eNodeB，那么调度器就能分配 SM MIMO 资源。

3.1.2 分组交换网 QoS

分组交换技术设计增强网络利用率并将多种数据类型（如多媒体）汇聚在一起。但也存在缺陷，如语音和多媒体等业务会发生各种时延和抖动相关问题。为了克服这些问题，LTE 分组交换机/承载管理器提供了 QoS 感知能力，它们能够对报文进行分类并增强了转发特性。eNodeB（E-UTRAN Node B）、S-GW（Serving Gateway）及 PDN-GW（Packet Data Network – Gateway）均采用 QoS 管理。报文分类器和调度器的概念如图 3-3 所示。注意大多数的报文已经按照它们到达 eNodeB 的时间进行了分类。

图3-3 报文分类器和调度器

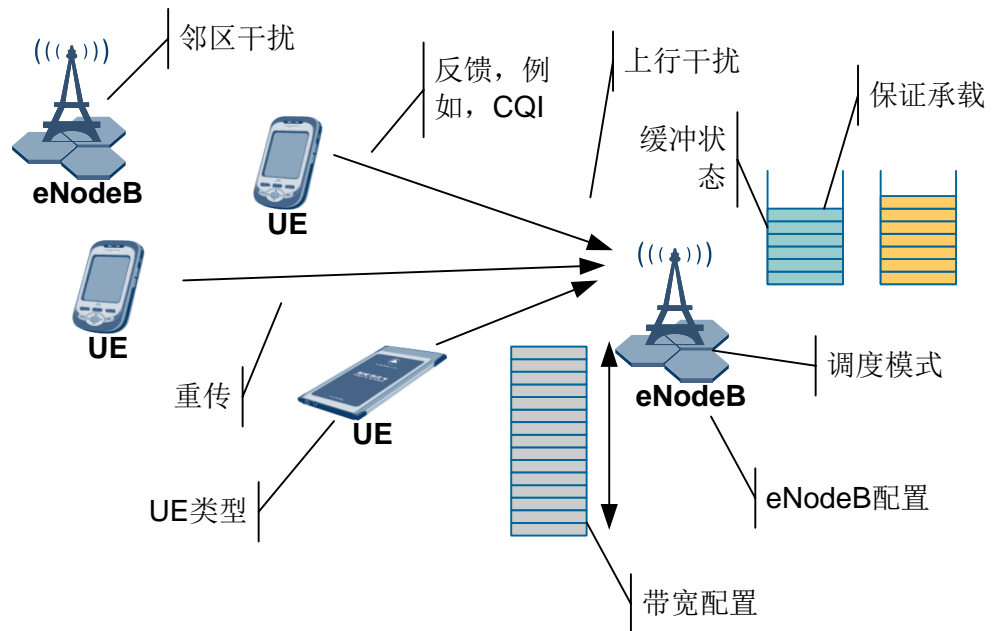


3.1.3 影响调度的关键因素

影响调度过程的因素如图 3-4 所示。这不是一个完整的列表，一些因素可能包含了许多其它方面。例如，eNodeB 配置可能与下面的因素有关：

- 频率规划
- 小区大小
- 功率限制
- MIMO 特性支持
- 其他

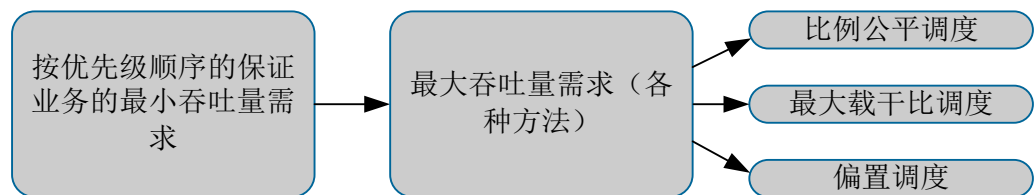
图3-4 影响调度的关键因素



3.1.4 调度方法

实际使用的算法以及调度流量类型的相关效率也是影响 eNodeB 和调度器性能的重要因素之一。一般而言，有一些基本调度方法，它们会定制成专有的调度算法。大多数调度器使用业务 QoS 等级进行无线资源分配。

图3-5 可能的调度方法



比例公平调度 (PF, Proportional Fair)

这个调度方法非常通用。它把相同数量的资源有效分配给所有用户。这样，每个用户将获得他们要求（吞吐量需求）的资源或是他们将得到相等的资源。这由总资源数除以总用户数得到。

最大载干比调度 (Max C/I)

为了实现最好的 eNodeB 吞吐率，有必要把资源分配给那些信号（即，载干比）最好的用户。通过这种方式，可以使用诸如 MIMO SM 和高阶调制方式（64QAM）等特性，从而增加了系统频谱效率。

但这意味着靠近 eNodeB 的用户会持续分配资源，直到达到他们的最大需求速率。同时，在小区边缘的用户只能获得最小保证速率。由于 LTE 用户期望获得更高的数据速率，因此这不利于市场推广计划。

基于 QoS 的偏置调度 (Biased)

偏置调度方法与用户业务及其 QoS 等级相关。具有高 QoS 业务属性的用户优先分配到资源。如果多个用户共享同一个 QoS，例如，他们都进行一个 VoIP 会话，那么系统就切换到另一个调度方法（通常为比例公平调度）。

3.1.5 下行调度

调度下行资源要求的信令首先取决于调度资源类型。LTE 系统定义了各种 DCI (Downlink Control Information) 消息。这些消息的详细说明，可参考 2.10 节。这些消息允许同时进行上下行调度以及把不同的 MIMO 和分集选项联系起来。

下面我们将回顾一下 FDD 方式的 DCI 格式 2。

DCI 格式 2

该格式用于为配置在闭环 SM (Spatial Multiplexing) 方式下的 UE 调度 PDSCH。下面信息作为 DCI 格式 2 的一部分进行发送：

- 资源分配头 – 指资源分配类型 0 或类型 1。详细信息可参考 3.1.6 节。
- 资源块分配 – 用于类型 0 或 1 的信息。
- PUCCH 的 TPC 命令 – 已经在功控章节讨论。
- HARQ 进程号。
- 传输块到码字交换标识 – 确定了传输块到码字的映射。但是，如果一个传输块禁用，那么映射关系就会随之变化。
- 对于第一个传输块：
 - 调制编码方式
 - 新数据指示
 - 冗余版本
- 对于第二个传输块：
 - 调制编码方式
 - 新数据指示
 - 冗余版本
- 预编码信息 – 设置为 3 位还是 6 位，取决于天线端口数。

3.1.6 PDSCH 资源分配

UE 依赖 PDCCH DCI 格式消息解析 DCI 资源分配字段。每个 PDCCH 中的资源分配字段包括两部分：

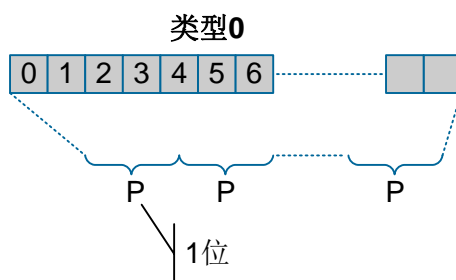
- 资源分配头字段
- 由实际资源块分配构成的信息

有如下三种资源分配类型。

类型 0 资源分配

资源块分配信息包含了指示 RBG（Resource Block Groups）的位图。这些 RBG 会分配给调度 UE，其中，RBG 是连续的 PRB 的一个集合。RBG 大小（P）是系统带宽的一个函数，如，5 MHz P=2；10 MHz P=3；15 MHz 和 20 MHz P=4。

图3-6 类型 0 资源分配

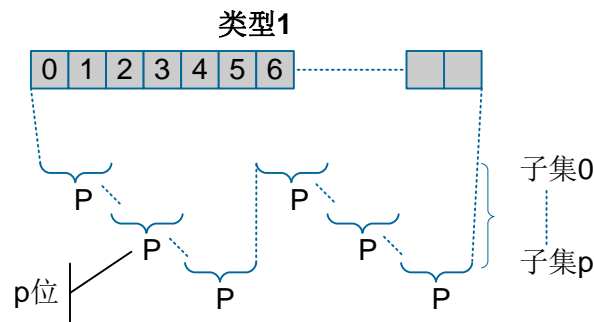


类型 1 资源分配

类型 1 – NRBG 大小的资源块分配信息把来自 P 个 RBG 子集中一个子集的 PRB 集合的 PRB 指示给调度 UE。RBG 子集 p 由从 RBG p 开始的第 P 个 RBG 构成，其中， $0 \leq p < P$ 。资源块分配信息由三个字段构成：

- 第一个字段用于指示在 P 个 RBG 子集中选择的 RBG 子集。
- 第二个字段长度为 1 位，用于指示在一个子集内资源分配跨度的移位。取值为 1，指示触发移位。否则，不触发移位。
- 第三个字段包含一个位图，其中，位图的每一位与选择的 RBG 子集中的一个 PRB 对应。通过这种方式，位图的 MSB 到 LSB 就会以频率增序映射到 PRB。

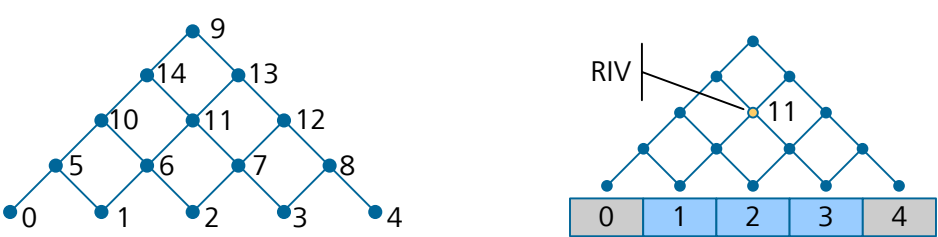
图3-7 类型 1 资源分配



类型 2 资源分配

类型 2 – 资源块分配信息把一组连续分配的集中式 VRB（Virtual Resource Block）或分布式 VRB 指示给调度的 UE。然后这些 VRB 就会映射到物理资源块上。承载在 PDCCH 上的资源块分配信息字段包含一个 RIV（Resource Indication Value）。从 RIV，可以得到连续分配虚拟资源块的起始 VRB 和长度。

图3-8 类型 2 资源分配



3.1.7 调制编码方式

MCS 索引参数是 DCI 消息中的一个关键参数。MCS 索引到调制和 TBS（Transport Block Set）索引的映射如表 3-1 所示。

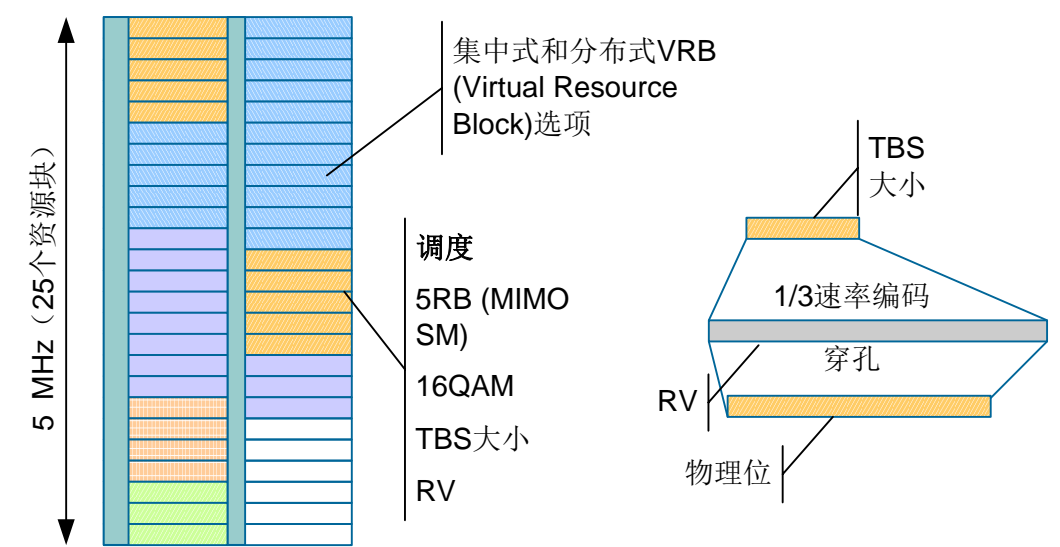
表3-1 PDSCH 调制和 TBS 索引表

MCS 索引 I_{MCS}	调制阶数 Q_m	TBS 索引 I_{TBS}	MCS 索引 I_{MCS}	调制阶数 Q_m	TBS 索引 I_{TBS}
0	2	0	16	4	15
1	2	1	17	6	15
2	2	2	18	6	16
3	2	3	19	6	17
4	2	4	20	6	18
5	2	5	21	6	19

MCS 索引 I_{MCS}	调制阶数 Q_m	TBS 索引 I_{TBS}	MCS 索引 I_{MCS}	调制阶数 Q_m	TBS 索引 I_{TBS}
6	2	6	22	6	20
7	2	7	23	6	21
8	2	8	24	6	22
9	2	9	25	6	23
10	4	9	26	6	24
11	4	10	27	6	25
12	4	11	28	6	26
13	4	12	29	2	保留
14	4	13	30	4	
15	4	14	31	6	

调制阶数参数指示了是否调度传输为 QPSK (2 位)、16QAM (4 位) 或 64QAM (6 位)。UE 能够使用该信息并结合资源块 (即, 符号) 物理个数来接收所有位。调度消息的一个实例如图 3-9 所示。如前所述, UE 可以利用资源分配、调制阶数以及预编码信息确定物理位的数量以及位置。上表中的 TBS (Transport Block Set) 参数允许 UE 通过对表和等式进行混合来识别传输块的大小。由于编码都是预定义的, 因此 UE 可以复制编码位 (预穿孔) 的数量, 并使用 RV (Redundancy Version) 参数识别 eNodeB 对哪些位进行了穿孔/速率匹配。通过这种方式, 它能够尝试对传输块解码以及进行 CRC 校验。

图3-9 使用 TBS 大小



3.1.8 上行调度

上行调度过程类似。eNodeB 在 DCI 格式 0 消息中提供相应参数。为简化上行信号处理和 DFT (Discrete Fourier Transform) 设计, PUSCH 只能以 2、3 和 5 因子进行分配, 即, 不允许 7 个 RB。

LTE TTI 绑定

LTE 也支持子帧绑定, 其中, FDD 和 TDD 方式下, 一组 PUSCH 传输由四个连续的上行子帧构成。子帧绑定操作通过上层提供的参数 `ttiBundling` 配置。

3.2 调度器交互

一个好的调度器应该与 LTE 空中接口在灵活性上保持一致。以更快适应无线环境中的各种问题和变化。

如前所述, 调度器需要对不同的用户和业务具备 QoS 感知能力。这可以通过调度器与不同功能以及管理这些功能的进程进行交互来实现。此外, 它必须对所能使用和可能变化的预配置和动态变量进行混合。

3.2.1 无线承载

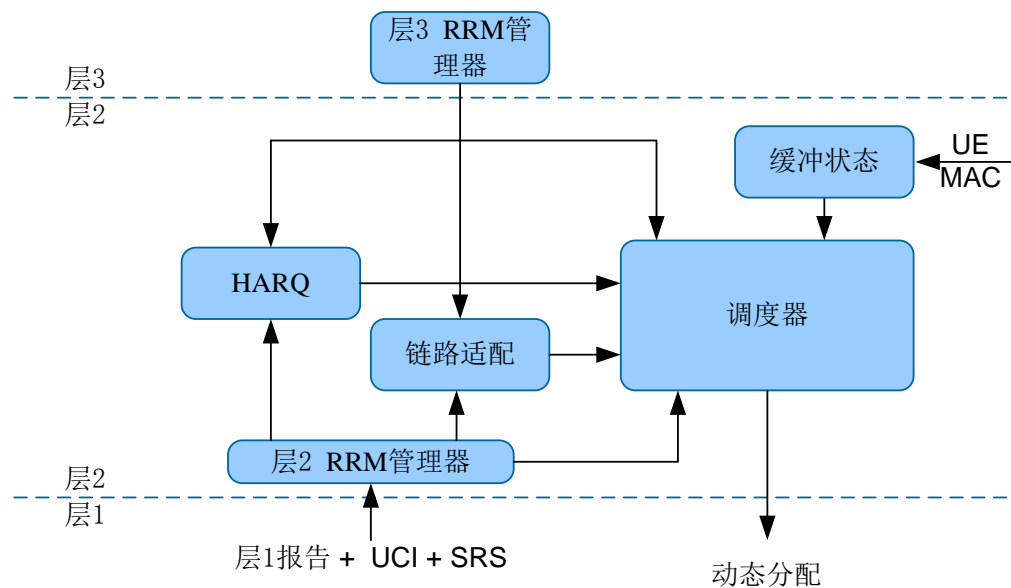
用户信息调度一般可分成三个部分:

- **SRB (Signaling Radio Bearer)** – 当移动到 LTE 激活态时, 网络中的每个 UE 将建立一个 SRB, 即 RRC 连接。有三种类型的 SRB: SRB 0、SRB 1 以及 SRB 2。每种有不同的调度要求。
- **缺省 EPS 承载** – 网络附着过程会建立一个缺省 EPS 承载。QoS 属性是用户签约信息的一部分。这些信息会在初始上下文建立过程中发送给 eNodeB。
- **专用 EPS 承载** – 除了缺省承载外, 可以建立一个或多个专用承载 (每个都有自己的 QoS 属性)。MME 的 E-RAB 建立过程通常需要激活这些承载。

3.2.2 调度器与层 2 和层 1 的交互

RRM 和 RRC 主要负责在 eNodeB 和 UE 之间配置承载。因此, 配置参数可以发送给各种层 2 管理功能, 例如, 调度、链路适配、RLC、HARQ 等。eNodeB 内可能发生的交互如图 3-10 所示。

图3-10 调度器交互



为正确调度资源，需要配置各种层 1 和层 2 指示和配置。基于 eNodeB 和 UE 层 1 的反馈，链路适配功能管理当前 MCS（Modulation and Coding Scheme）。此外，SRS（Sounding Reference Signals）提供了信道智能化。

来自 eNodeB 层 1 的其它报告以及来自 UE 的 UCI（Uplink Control Information）能够整理提供最新的信道表述。

由于层 1 的 NACK 和后续重传会影响资源，因此调度器也需要与 HARQ 进行交互。用于监控重传关系、MCS 选择以及功控的其它功能也是必需的，这可以使系统适应不同的信道条件。

3.3 动态和半静态调度

LTE 支持动态和半静态调度。半静态调度用于降低控制信道开销/信令数量。这使得 eNodeB 调度器可以更有效地为需要持续分配（例如，VoIP）的应用/承载调度资源。eNodeB 调度器更改前，半静态分配持续进行。

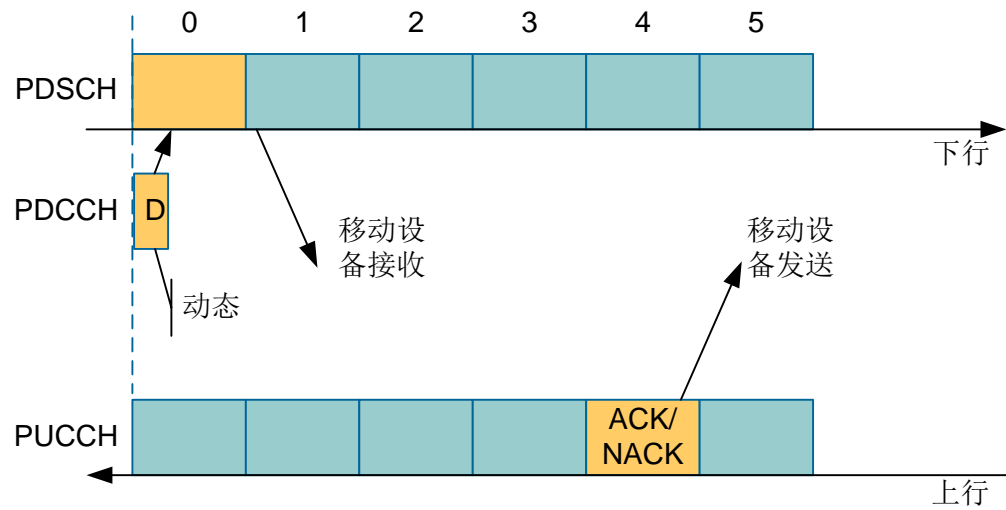
当 RRC 使能半静态调度时，会提供下面的信息：

- 半静态调度 C-RNTI
- *semiPersistSchedIntervalUL* – 上行半静态调度间隔
- *implicitReleaseAfter* – 在上行半静态调度使能时隐式释放前空传的数量。
- *semiPersistSchedIntervalDL* – 下行半静态调度间隔
- *numberOfConfSPS-Processes* – 半静态调度（下行）配置的 HARQ 进程数量
- 上行是否启用 *twoIntervalsConfig*（只适用 TDD）。

3.3.1 动态调度

动态调度的概念如图 3-11 所示，一个调度消息分配一个资源。值得注意的是上行 TTI 绑定中也可以使用。

图3-11 动态调度



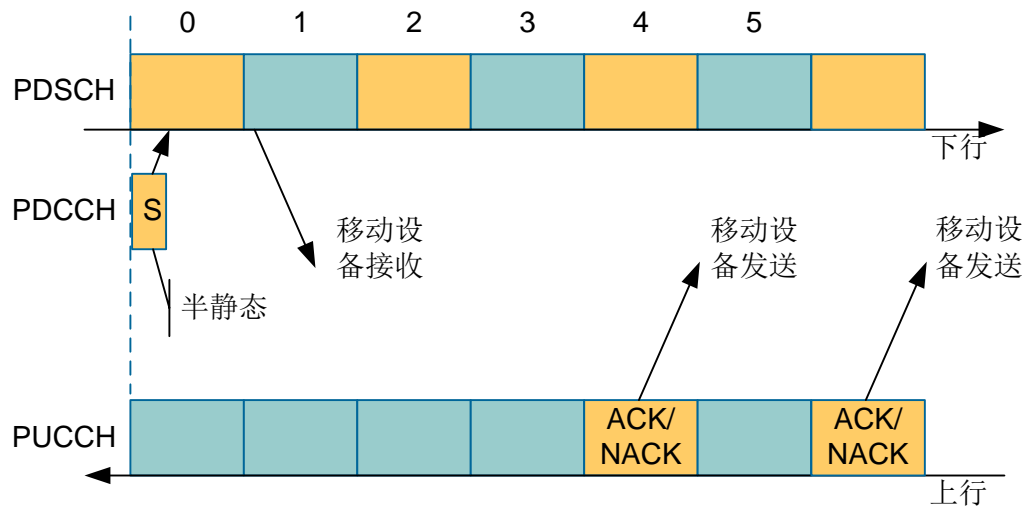
3.3.2 下行半静态调度

半静态下行分配方式配置后，UE 认为分配在每个子帧中重现，原因如下：

$$(10 * SFN + subframe) = [(10 * SFN_{start\ time} + subframe_{start\ time}) + N * semiPersistSchedIntervalDL] \text{ modulo } 10240 \quad (\text{适用于所有 } N > 0 \text{ 的情况})$$

其中， $SFN_{start\ time}$ 和 $subframe_{start\ time}$ 分别为 SFN (System Frame Number) 和子帧。这时，对配置的下行分配进行（重新）初始化。上行半静态调度的基本概念如图 3-12 所示。

图3-12 半静态调度



3.3.3 上行半静态调度

当半静态调度上行授权配置时，UE 认为授权在每个子帧中重现，原因如下：

$$(10 * SFN + subframe) = [(10 * SFN_{start\ time} + subframe_{start\ time}) + N * semiPersistSchedIntervalUL + Subframe_Offset * (N \bmod 2)] \bmod 10240, \text{ for all } N > 0$$

其中， $SFN_{start\ time}$ 和 $subframe_{start\ time}$ 分别为 SFN（System Frame Number）和子帧。这时，对配置的上行授权进行（重新）初始化。

此外，如果未启用 *twoIntervalsConfig*，那么 *Subframe_Offset* 设为 0。如果启用 *twoIntervalsConfig*，可根据 3GPP 36.321 协议中的表设置 *Subframe_Offset*。



说明

在清除了配置的上行授权后可继续进行半静态调度重传。

4

LTE 系统内移动性

课程目标

学完本章后你可以：

- 4.1 了解 UE 在 ECM-CONNECTED 和 ECM-IDLE 两种模式下的 LTE 系统内移动性。
- 4.2 理解事件测量上报事件和周期性测量上报事件。
- 4.3 了解 UE 上报的移动性相关的测量量。

4.1 系统内移动性

UE 在 LTE 系统内的移动性分为空闲态移动性和激活态移动性。

图4-1 LTE 系统内移动性

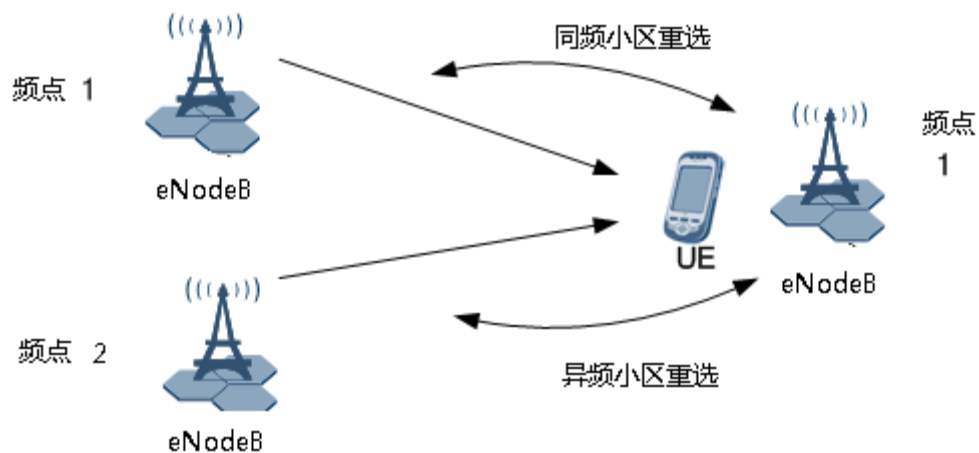


空闲态 UE 已在网络上完成注册，一般执行两个流程：小区重选流程和寻呼消息监听流程。

4.1.1 小区重选

LTE 的小区重选过程和 UMTS 中过程相似却不尽相同。小区重选过程中，LTE 使用各种参数作为启动同频或异频测量的判决条件。同频和异频小区重选如图 4-2 所示。

图4-2 同频和异频小区重选

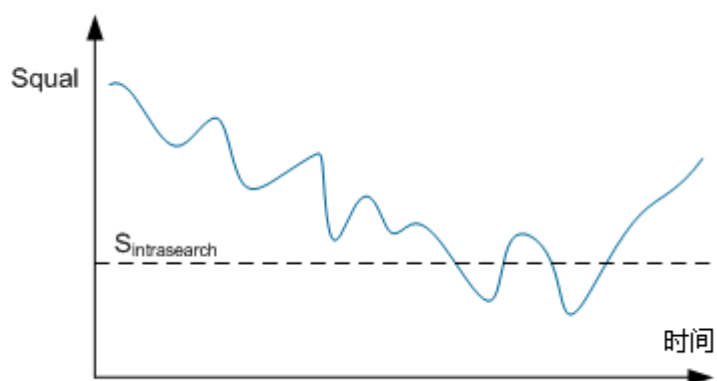


同频测量

同频测量判决条件如下：

- 如果 $S_{\text{qual}} > S_{\text{intrasearch}}$ ，UE 可以不进行同频测量。
- 如果 $S_{\text{qual}} \leq S_{\text{intrasearch}}$ ，UE 进行同频测量。
- 如果 $S_{\text{intrasearch}}$ 没有发送给服务小区，UE 进行同频测量。

$S_{\text{intrasearch}}$ 基本概念如图 4-3 所示。

图4-3 参数 $S_{\text{intrasearch}}$ 

异频测量

E-UTRAN 采用小区优先级机制。对于一个服务小区来说，它的异频小区的优先级可能更高也可能更低。而是否对异频小区启动异频测量，取决于该异频小区的优先级以及和 $S_{\text{nonintrasearch}}$ 参数的关系。

高移动性和中间移动性

除了正常移动性外，E-UTRA 还可以配置高移动性和中间移动性。高移动性和中间移动性通过 System Information Broadcast 信息中的有效迟滞，性能指标和定时器激活。

T_{CRmax} ， N_{CR_H} ， N_{CR_M} 和 $T_{CRmaxHyst}$ 等参数通过服务小区的 System Information Broadcast 信息发送。UE 移动性的判决条件如下：

- 在指定的时间 T_{CRmax} 内，如果小区重选次数大于 N_{CR_M} 但小于 N_{CR_H} ，UE 进入中间移动性。
- 在指定的时间 T_{CRmax} 内，如果小区重选次数超过 N_{CR_H} ，UE 进入高移动性。

UE 在高移动性进行如下操作：

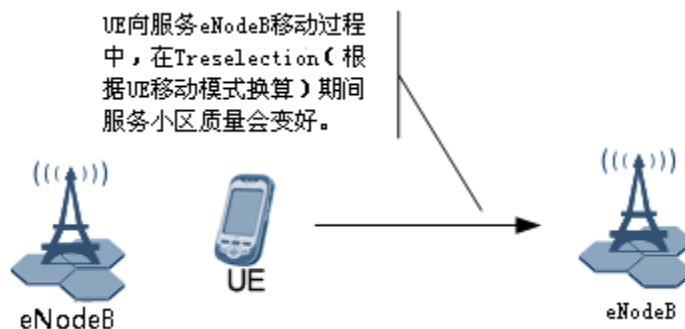
- 将原重选迟滞值 (Q_{hyst}) 加上基于参数 sf-High 的一个物理量，得到新的重选迟滞值 Q_{hyst} 。sf-High 参数值与 UE 速度相关，是一个比例系数。
- 将原 $Treselection_{EUTRA}$ 乘以参数 sf-High 的值，得到新的 $Treselection_{EUTRA}$ 。sf-High 参数值与 UE 速度相关，是一个比例系数。

UE 在中间移动性进行如下操作：

- 将原重选迟滞值 (Q_{hyst}) 加上基于参数 sf-Medium 的一个物理量，得到新的重选迟滞值 Q_{hyst} 。参数 sf-Medium 的值与 UE 移动速度相关，是一个比例系数。
- 将原 $Treselection_{EUTRA}$ 乘以参数 sf-Medium 的值，得到新的 $Treselection_{EUTRA}$ 。参数 sf-Medium 的值与 UE 速度相关，是一个比例系数。

参数 Q_{hyst} 用于小区排序和重选运算公式中。参数 $Treselection_{EUTRA}$ 根据 UE 移动性经过换算，用于指定重选时间。只有达到这个时长才可以进行小区重选。

图4-4 UE 移动方向对 Treselection 的影响



小区排序

小区重选评估的准则即 R (Cell Ranking) 准则。服务小区和邻区的 R 准则计算结果分别用 R_s 和 R_n 表示，计算方法如图 4-5 所示。

图4-5 小区排序的 R 准则计算公式

$$R_s = Q_{\text{meas},s} + Q_{\text{Hyst}}$$

$$R_n = Q_{\text{meas},n} - Q_{\text{offset}}$$

上图的公式中：

- $Q_{\text{meas},s}$ 指小区重选过程中服务小区信号的 RSRP（Reference Signal Received Power）
- Q_{Hyst} 指服务小区的重选幅度迟滞。该值是根据 UE 的移动性换算之后的迟滞值。
- Q_{offset} ：若邻区为同频邻区，则该值等于参数 $Q_{\text{offsets},n}$ （如果有的话）的值；若邻区为异频邻区，该值等于 $Q_{\text{offsets},n}$ 与 $Q_{\text{offsetfrequency}}$ 的和。

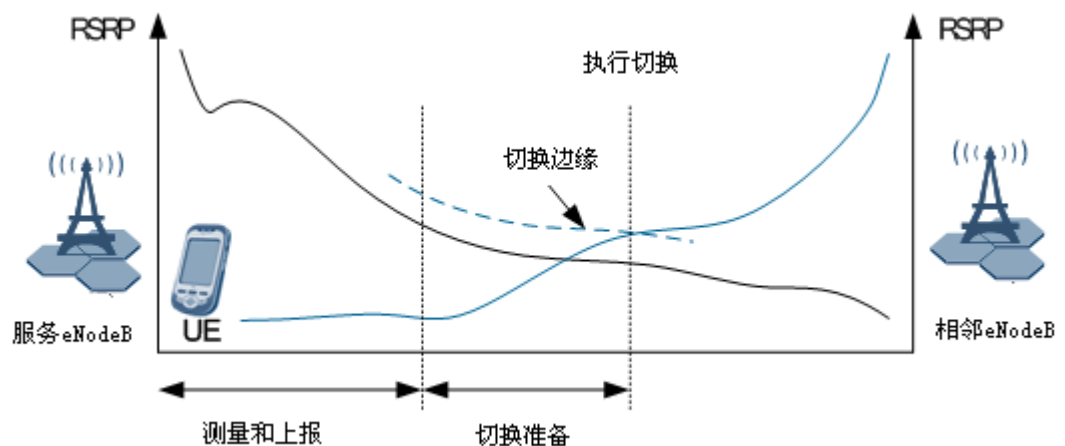
4.1.2 激活态移动性

在 LTE 系统中，当 UE 处于激活态（即 RRC_CONNECTED 模式）时，eNodeB 会在网络控制和 UE 辅助下对该 UE 执行切换。一般来说，切换有三个不同的阶段，包括：

- 测量和报告阶段：UE 对邻区进行测量，并将结果报告给服务 eNodeB。
- 切换准备阶段：当 eNodeB 判定目前符合所有切换条件满足时，就开始为该 UE 选择目的 eNodeB。选择目的 eNodeB 的过程可能触发 eNodeB 之间（通过 X2 接口）的信令交互；当 eNodeB 间无法交互时，MME（Mobility Management Entity）也会参与这个选择过程。
- 切换执行阶段：目的 eNodeB 选定后，当前 eNodeB 就会告知 UE 何时执行切换，以及其他一些接入目的 eNodeB 时需要用到的信息。因为 UE 和目的 eNodeB 之间没有建立同步，所以 UE 会采用随机接入流程来接入目的 eNodeB。

系统内切换过程如图 4-6 所示。

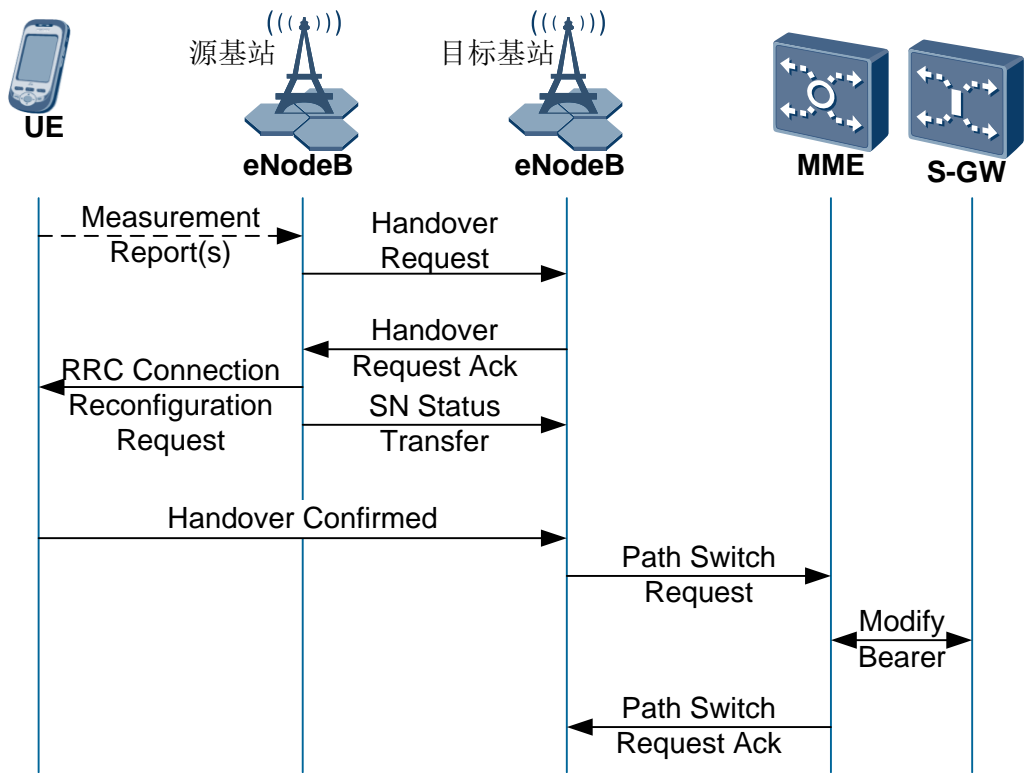
图4-6 系统内切换过程



4.1.3 切换流程

LTE 系统中，一个切换流程需要用到多种消息。图 4-7 介绍了触发切换的一些主要空中接口消息和 E-UTRAN 中特有的消息。

图4-7 LTE 切换流程



首先，需要配置测量报告。配置测量报告可以通过一些固定配置条件触发的，也可以是通过动态预留的配置条件触发。

标准的切换过程中，UE 侧完成测量报告的配置后，根据这些配置信息通过 RRC 信令发送测量报告。这些测量报告将在本节后面章节描述。需要明确的是，大多数切换都是基于测量报告的。

真正的切换过程是由源 eNodeB 发起的。若源 eNodeB 和目的 eNodeB 之间存在可用 X2 接口，那么源 eNodeB 发送 Handover Request 消息给目的 eNodeB 时，就认为发起了切换。该消息包含目的小区 ID，安全密钥，UE 信息，RRC 上下文信息（包括 E-RAB [E-UTRAN - Radio Access Bearer] 信息）以及相关的 QoS 信息。

然后，目的 eNodeB 根据 QoS 要求进行准入控制。若该切换符合准入条件，目的 eNodeB 会为 UE 分配一个小区无线网络临时标识（C-RNTI [Cell Radio Network Temporary Identifier]）和一个可选的随机接入信道导码（RACH preamble）。这些信息包含在 Handover Request Acknowledge 消息中，由目的 eNodeB 发送给源 eNodeB。

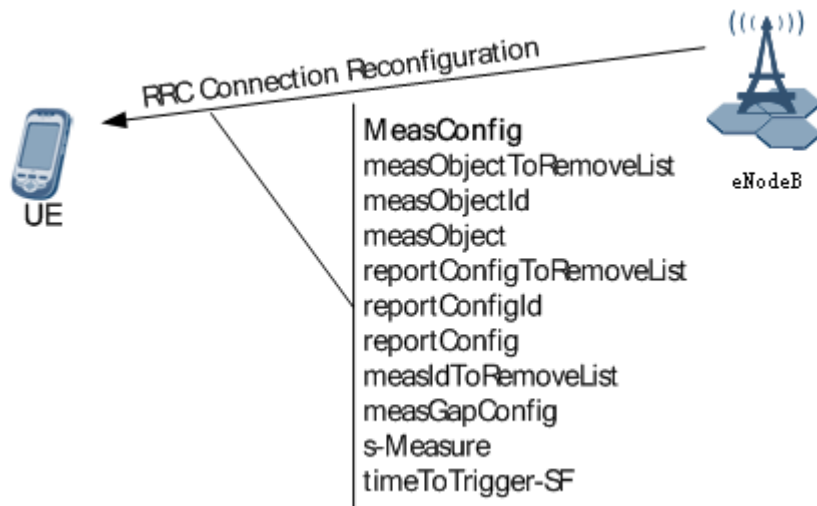
之后，源 eNodeB 将切换相关的信息附在 RRC Connection Reconfiguration 消息中，发送给 UE。UE 通过这些信息接入目的小区，并完成整个切换流程。

如同 UMTS 中一样，在 UE 接入目的 eNodeB 过程中会用到各种各样的定时器。

4.2 测量上报的配置参数

MeasConfig 是 RRC Connection Reconfiguration 消息中与 UE 移动性相关的可选信元 (IE [Information Element])。图 4-8 列举了该信元的主要配置参数。

图4-8 测量配置参数



4.2.2 测量配置参数

MeasConfig 包含以下参数：

- measObjectToRemoveList: 待删除的测量对象列表。
- measObjectId: 用于标识测量对象配置。
- measObject: 用于指定 E-UTRAN, UTRAN, GERAN 和 CDMA2000 系统的测量对象的配置。
- reportConfigToRemoveList: 待删除的测量上报配置列表。
- reportConfigId: 用于标识测量上报配置。
- reportConfig: 用于指定 E-UTRAN, UTRAN, GERAN 和 CDMA2000 系统的测量上报配置。
- measIdToRemoveList: 待删除的测量 ID 列表。
- measGapConfig: 用于建立和释放测量间隙 (measurement gap)。
- S-Measure: 服务小区质量门限, 用于控制 UE 进行同频测量, 异频测量或异系统小区测量。参数值“0”表示禁用该参数。
- timeToTrigger-SF: 时间迟滞。该时间迟滞已乘基于 UE 移动性的比例因子。

4.2.3 配置上报参数

信元 ReportConfigEUTRA 指定了 E-UTRAN 测量上报事件的触发条件。AN (N=1,2,...) 表示一个 E-UTRAN 测量上报事件。

- A1 事件：服务小区质量比绝对门限值要好。
- A2 事件：服务小区质量比绝对门限值要差。
- A3 事件：邻区质量比服务小区质量好，且信号质量的差值大于指定的阈值。
- A4 事件：邻区质量比绝对门限值要好。
- A5 事件：服务小区质量低于绝对门限值 1，同时邻区质量高于绝对门限值 2。

参数 reportConfig 是一个测量配置参数，其包含的子参数如图 4-9 所示。

图4-9 配置上报参数

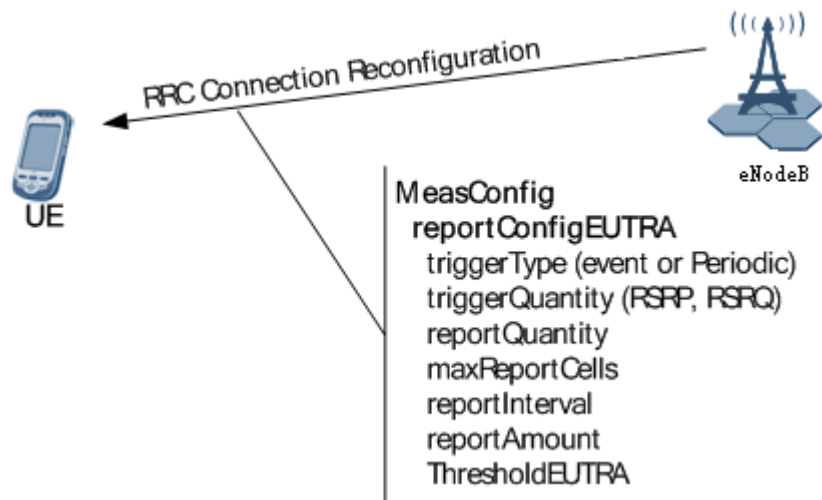
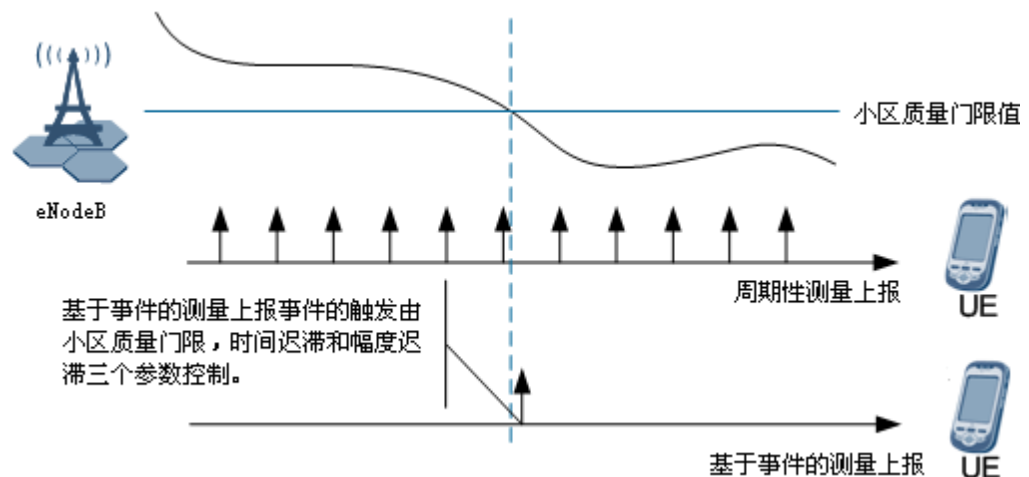


图 4-10 介绍了周期性测量上报机制和事件测量上报机制。

图4-10 周期性测量上报机制和事件测量上报机制



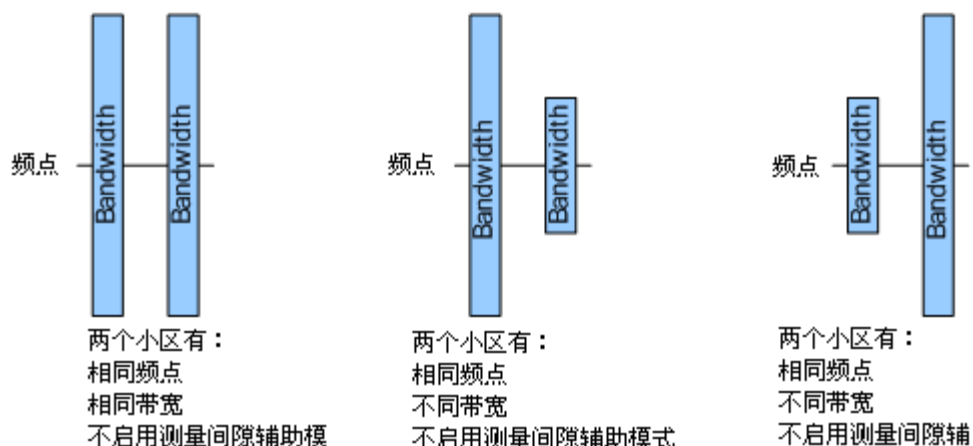
4.3 移动性测量

4.3.1 测量间隙

是否为 UE 分配邻区测量时间，取决于邻区和服务小区所在频点。

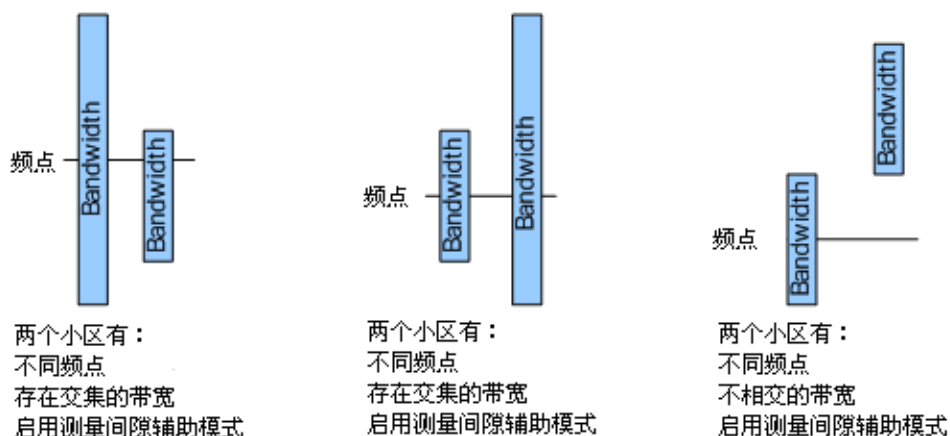
一般来说，如果邻区和服务小区所在频点不一样，那么需要启用测量间隙辅助模式。在该模式下，UE 所属的 eNodeB 为 UE 分配邻区测量时间。不启用测量间隙辅助模式的同频测量场景如图 4-11 所示。

图4-11 不启用测量间隙辅助模式的同频测量场景



启用测量间隙辅助模式的异频测量场景如图 4-12 所示。

图4-12 启用测量间隙辅助模式的异频测量场景



4.3.2 测量间隙配置

测量间隙配置参数也包含于测量配置信元，随 RRC Connection Reconfiguration 消息下发。测量间隙配置参数用来指示测量间隙格式，与参数 gapOffset 对应。每个测量间隙的起始位置在一个系统帧的其中一个子帧，其中该系统帧号（SFN [System Frame Number]）和子帧号由图 4-13 中的公式计算得到。

图4-13 测量间隙的配置

$$\begin{aligned} \text{SFN mod } T &= \text{FLOOR}(\text{gapOffset} / 10) \\ \text{subframe} &= \text{gapOffset mod } 10 \\ \text{其中, } T &= \text{TGRP} / 10 \end{aligned}$$

当前测量间隙可以设置为 40 ms 和 80 ms 两种，分别对应于不同的 TGRP（Transmission Gap Repetition Period）。

4.3.3 UE 测量

系统内和系统间 UE 测量量有很多。

E-UTRAN 载波 RSSI

E-UTRAN 载波 RSSI（Received Signal Strength Indicator）衡量 UE 在整个带宽上的接收信号功率，这些信号包括同频服务小区和非服务小区信号，邻频干扰信号，热噪声信号。

RSRP

一个小区的 RSRP（Reference Signal Received Power）是在测量带宽内，承载小区特有参考信号的资源粒子（RE）的有效功率线性平均值。

如果 UE 启用了接收分集，上报的 RSRP 值等于所有分集带宽上的功率线性平均值。

RSRQ

RSRQ（Reference Signal Received Quality）的计算公式如下：

$$\frac{N \times \text{RSRP}}{(\text{E-UTRA 载波 RSSI})}$$

其中，N 是 E-UTRAN 载波 RSSI 测量带宽中包含的 RB（Resource Block）个数。分子和分母中的测量值都是基于同一组 RB 测量得到的。

5 缩略语

Numerics

QAM	Quadrature Amplitude Modulation	正交幅度调制
2G	Second Generation	第二代
3G	Third Generation	第三代
3GPP	Third Generation Partnership Project	第三代合作伙伴计划
4G	Fourth Generation	第四代

A

ACK	Acknowledgement	确认
AM	Acknowledged Mode	确认模式
AMPS	Advanced Mobile Telephone System	先进移动电话系统
AMS	Adaptive MIMO Switching	自适应 MIMO 切换
APN	access Point Name	接入点名称
ARQ	Automatic Repeat Request	自动重传请求
AS	Access Stratum	接入层
AWS	Advanced Wireless Services	高级无线服务

B

BCCH	Broadcast Control Channel	广播控制信道
BCH	Broadcast Channel	广播信道

C

CATT	China Academy of Telecommunications Technology	中国电信技术研究院
CC	Chase Combining	Chase 合并
CCCH	Common Control Channel	公共控制信道
CCE	Control Channel Element	控制信道粒子
CDD	Cyclic Delay Diversity	循环时延分集

CDMA	Code Division Multiple Access	码分多址
CFI	Control Format Indicator	控制格式指示
CP	Cyclic Prefix	循环前缀
CPC	Continuous Packet Connectivity	连续性分组连接
CQI	Channel Quality Indicator	信道质量指示
CRC	Cyclic Redundancy Check	循环冗余校验
C-RNTI	Cell - Radio Network Temporary Identifier	小区无线网络临时标识
CS	Circuit Switched	电路交换
CS	Cyclic Shift	循环移位
CSG	Closed Subscriber Group	闭合用户组
D		
DAI	Downlink Assignment Index	下行分配索引
D-AMPS	Digital - Advanced Mobile Phone System	数字先进移动电话系统
DC	Direct Current	直流
DCCH	Dedicated Control Channel	专用控制信道
DC-HSDPA	Dual Cell - HSDPA	双小区 HSDPA
DCI	Downlink Control Information	下行控制信息
DCS	Digital Cellular Service	数字蜂窝业务
DFT	Discrete Fourier Transform	离散傅立叶变换
DL	Downlink	下行
DL-SCH	Downlink - Shared Channel	下行共享信道
DRB	Dedicated Radio Bearer	专用无线承载
DRS	Demodulation Reference Signal	解调参考信号
DRX	Discontinuous Reception	非连续性接收
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum	直接序列扩频
DTCH	Dedicated Traffic Channel	专用业务信道
DTX	Discontinuous Transmission	非连续性发射
DwPTS	Downlink Pilot Time Slot	下行导频时隙
E		
EARFCN	E-UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number	E-UTRA 绝对无线频率信道号
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution	GSM 演进增强数据速率

E-GSM	Extended GSM	扩展 GSM
EMM	EPS Mobility Management	EPS 移动管理
eNodeB	E-UTRAN NodeB	演进型网络基站
EPC	Evolved Packet Core	演进型分组核心网
EPLMN	Equivalent HPLMN	等价 HPLMN
EPS	Evolved Packet System	演进型分组系统
E-RAB	EPS Radio Access Bearer	EPS 无线接入承载
ESM	EPS Session Management	EPS 会话管理
ETACS	Extended Total Access Communication System	扩展全接入通信系统
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	欧洲电信标准协会
ETWS	Earthquake and Tsunami Warning System	地震海啸预警系统
E-UTRA	Evolved - Universal Terrestrial Radio Access	演进型通用陆地无线接入
E-UTRAN	Evolved - Universal Terrestrial Radio Access Network	演进型通用陆地无线接入网
EV-DO	Evolution-Data Optimized	演进数据优化
F		
FDD	Frequency Division Duplex	频分双工
FDM	Frequency Division Multiplexing	频分复用
FDMA	Frequency Division Multiple Access	频分多址
FEC	Forward Error Correction	前向纠错
FFT	Fast Fourier Transform	快速傅立叶变换
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum	跳频扩频
FM	Frequency Modulation	调频
FSTD	Frequency Shift Time Diversity	频移时间分集
G		
GP	Guard Period	保护周期
GPRS	General Packet Radio System	通用分组无线系统
GSM	Global System for Mobile communications	全球移动通信系统
GSMA	GSM Association	GSM 协会
GUTI	Globally Unique Temporary Identifier	全球唯一临时标识
H		
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request	混合自动重传请求

HI	HARQ Indicator	HARQ 指示
HPLMN	Home PLMN	归属 PLMN
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access	高速下行分组接入
HSPA	High Speed Packet Access	高速分组接入
HS-SCCH	High Speed - Shared Control Channel	高速共享控制信道
HSUPA	High Speed Uplink Packet Data	高速上行分组接入
I		
IDFT	Inverse Discrete Fourier Transform	离散傅立叶反变换
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	电气和电子工程师学会
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform	快速傅立叶反变换
IMEI	International Mobile Equipment Identity	国际移动台设备标识
IMS	IP Multimedia Subsystem	IP 多媒体子系统
IMSI	International Mobile Subscriber Identity	国际移动用户识别码
IMT Advanced	International Mobile Telecommunications Advanced	国际移动通信 Advanced
IMT2000	International Mobile Telecommunications - 2000	国际移动通信 2000
IP	Internet Protocol	因特网协议
IR	Incremental Redundancy	增量冗余
IS-136	Interim Standard 136	过渡性标准 136
ISI	Inter Symbol Interference	符号间干扰
ITU	International Telecommunication Union	国际电信联盟
L		
LCID	Logical Channel Identifier	逻辑信道标识
LCR	Low Chip Rate	低码片速率
LTE	Long Term Evolution	长期演进
M		
MAC	Medium Access Control	媒介接入控制
MBMS	Multimedia Broadcasting and Multicasting System	多媒体广播和多播系统
MBSFN	MBMS over Single Frequency Network	多播广播单频网
MCS	Modulation and Coding Scheme	调制编码方案
MGW	Media Gateway	多媒体网关

MIB	Master Information Block	主信息块
MIMO	Multiple Input Multiple Output	多入多出
MME	Mobility Management Entity	移动性管理实体
MSC	Mobile Switching Centre	移动交换中心
MU-MIMO	Multi User - MIMO	多用户 MIMO
N		
NACK	Negative Acknowledgement	非确认
NAS	Non Access Stratum	非接入层
NDI	New Data Indicator	新数据指示
O		
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	正交频分复用
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access	正交频分多址
P		
PAPR	Peak to Average Power Ratio	峰值平均功率比
PBCH	Physical Broadcast Channel	物理广播信道
PCCH	Paging Control Channel	寻呼控制信道
PCFICH	Physical Control Format Indicator Channel	物理控制格式指示信道
PCH	Paging Channel	寻呼信道
PCS	Personal Communications Service	个人通信业务
PDCCH	Physical Downlink Control Channel	物理下行控制信道
PDCCP	Packet Data Convergence Protocol	分组数据汇聚协议
PDN-GW	Packet Data Network - Gateway	PDN 网关
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel	物理下行共享信道
PF	Paging Frame	寻呼帧
P-GSM	Primary GSM	主 GSM
PH	Power Headroom	功率余量
PHICH	Physical Hybrid ARQ Indicator Channel	物理 HARQ 指示信道
PHR	Power Headroom Report	功率余量报告
PHY	Physical Layer	物理层
PLMN	Public Land Mobile Network	公共陆地移动网
PMI	Precoding Matrix Indicator	预编码矩阵指示

PO	Paging Occasion	寻呼消息时刻
PRACH	Physical Random Access Channel	物理随机接入信道
PRB	Physical Resource Block	物理资源块
PS	Packet Switched	分组交换
P-S	Parallel to Serial	并串转换
PSS	Primary Synchronization Signal	主同步信号
PTM	Point-To-Multipoint	点到多点
PTP	Point-To-Point	点到点
PUCCH	Physical Uplink Control Channel	物理上行控制信道
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel	物理上行共享信道
Q		
QoS	Quality of Service	业务质量
QPP	Quadratic Permutation Polynomial	二次置换多项式
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying	四进制相移键控
R		
RA	Random Access	随机接入
RACH	Random Access Channel	随机接入信道
RAN	Radio Access Network	无线接入网络
RAPID	Random Access Preamble Identifier	随机接入前导指示
RA-RNTI	Random Access - RNTI	随机接入 RNTI
RB	Radio Bearer	无线承载
RB	Resource Block	资源块
RBG	Resource Block Group	资源块组
RE	Resource Element	资源粒子
REG	Resource Element Group	资源粒子组
R-GSM	Railways GSM	铁路 GSM
RI	Rank Indication	秩指示
RIV	Resource Indication Value	资源指示值
RLC	Radio Link Control	无线链路控制
RNC	Radio Network Controller	无线网络控制器
RRC	Radio Resource Control	无线网络控制

RS	Reference Signal	参考信号
RSRP	Reference Signal Received Power	参考信号接收功率
RSRQ	Reference Signal Received Quality	参考信号接收质量
RSSI	Received Signal Strength Indicator	接收信号强度指示
RV	Redundancy Version	冗余版本
S		
SAW	Stop And Wait	停止等待
SC-FDMA	Single Carrier - Frequency Division Multiple Access	单载波频分多址
SFBC	Space Frequency Block Coding	空频块编码
SFN	System Frame Number	系统帧号
S-GW	Serving Gateway	服务网关
SI	System Information	系统信息
SIB	System Information Block	系统信息块
SI-RNTI	System Information - Radio Network Temporary Identifier	系统消息无线网络临时标识
SM	Spatial Multiplexing	空间复用
SMS	Short Message Service	短消息业务
S-P	Serial to Parallel	串并转换
SR	Scheduling Request	调度请求
SRB	Signaling Radio Bearer	信令无线承载
SRS	Sounding Reference Signal	信道探测参考信号
SSS	Secondary Synchronization Signal	辅同步信号
STC	Space Time Coding	空时编码
SU-MIMO	Single User - MIMO	单用户 MIMO
T		
TA	Timing Alignment	定时校准
TAC	Tracking Area Code	跟踪区码
TACS	Total Access Communications System	全接入通信系统
TAI	Tracking Area Identity	跟踪区标识
TB	Transport Block	传输块
TBS	Transport Block Set	传输块集合

TBS	Transport Block Size	传输块大小
TD	Transmit Diversity	发射分集
TD-CDMA	Time Division CDMA	时分码分多址
TDD	Time Division Duplex	时分双工
TDMA	Time Division Multiple Access	时分多址
TD-SCDMA	Time Division Synchronous CDMA	时分同步码分多址
TF	Transport Format	传输格式
TFT	Traffic Flow Template	业务流模板
TM	Transparent Mode	透明模式
TPC	Transmit Power Control	发射功率控制
TPMI	Transmitted Precoding Matrix Indicator	发射预编码矩阵指示
TTI	Transmission Time Interval	发送时间间隔
TX	Transmit	发送
U		
UCI	Uplink Control Information	上行控制信息
UE	User Equipment	用户设备
UL	Uplink	上行
UL-SCH	Uplink Shared Channel	上行共享信道
UM	Unacknowledged Mode	非确认模式
UMB	Ultra Mobile Broadband	超移动宽带
UpPTS	Uplink Pilot Time Slot	上行导频时隙
USIM	Universal Subscriber Identity Module	用户业务识别模块
V		
VRB	Virtual Resource Block	虚拟资源块
W		
WCDMA	Wideband CDMA	宽带码分多址
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access	全球微波互联接入