

NR中的波束和QCL简介

原创：孙老师 春天工作室 10月15日



作者简介：**孙老师**（笔名），无线技术专家，多年来从事移动通信技术2G/3G/4G等相关技术研究工作和产品测试。出于个人兴趣和分享精神，目前业余时间在学习5G(NR)。所编写材料全部来自于3GPP规范和网络公开信息。这里借春天工作室(wireless-spring)平台，给同行们做一些分享，供参考并欢迎指正和垂询。

审核：Tony教授、春天哥

NR中的波束和QCL简介

--- by 孙老师



wireless-spring(春天工作室)



春天工作室

NR中的波束

春天工作室

NR中的波束

Massive MIMO是NR的一项关键技术

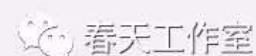
和LTE MIMO相比，NR的天线数量大大增加

多天线通过波束赋型（Beamforming）可以达到：

- 1 多用户空分，提升频谱利用率
- 2 提升能量利用率，满足覆盖需求（特别是高频）

LTE引入波束，能提升小区容量，频谱利用率，可以认为是“锦上添花”。

而对于NR，整个空口无线设计基于波束，所有上下行信道的发送接收都是基于波束的。

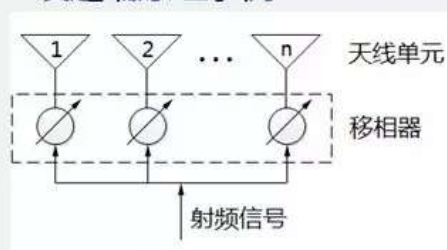


波束赋型简介

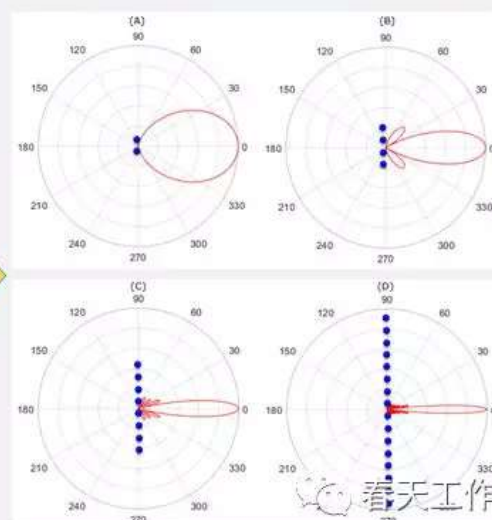
以发送端为例，天线阵列包含 n 个天线单元

通过移相器实现不同天线单元射频信号相位偏移（AWV --Antenna Weight Vector 天线权重矢量），生成波束

发送端原理示例



不同天线单元个数
波束赋型后的示意图



接收端原理类似，反向处理：

即多个天线单元信号需要经过加权合并



NR中的波束管理

NR中的波束管理机制，总体流程主要包括：

波束扫描：发送参考信号的波束，在预定义的时间间隔进行空间扫描

波束测量/判决：UE测量参考信号，选择最好的波束

波束报告：对于UE，上报波束测量结果

波束指示：基站指示UE选择指定的波束

波束失败恢复：包括波束失败检测，发现新波束，波束恢复流程

用于波束管理的参考信号包括：

下行方向

空闲态初始接入：SSB

连接态：CSI-RS或者SSB

上行方向

空闲态初始接入：PRACH

连接态：SRS

春天工作室

下行波束扫描SSB

在一个SSB 发送的半帧（5ms）中，SSB块的发送个数最大为

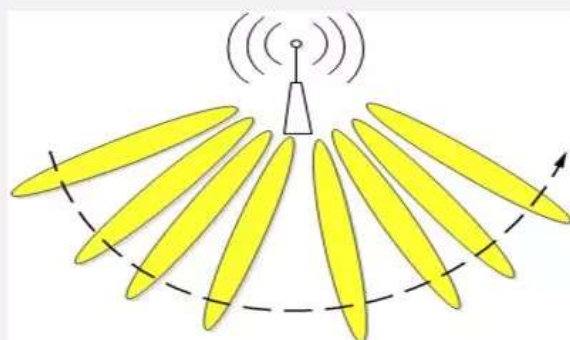
4个 — 频率 $\leq 3\text{GHz}$

8个 — $3 < \text{频率} \leq 6\text{GHz}$

64个 — 频率 $> 6\text{GHz}$

基站能够实现的波束个数，根据自身能力来确定

$L_{\max} = 8$ 时
SSB波束扫描示意图



春天工作室

上行波束—初始接入

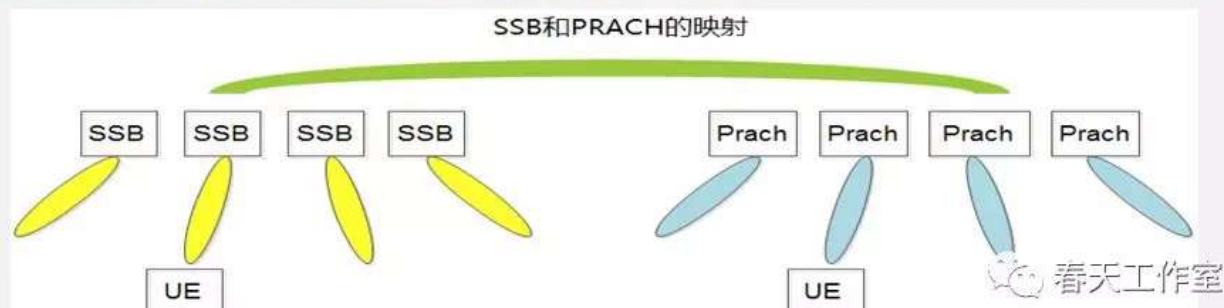
UE在空闲态发起初始接入前，进行SSB接收（UE实现）；

当SSB测量结果满足RSRP门限时，选定此SSB波束（最强）发送，否则可以选择任意SSB波束；

PRACH的发送时刻和SSB索引（波束）有映射关联关系，UE选择关联的PRACH发送时刻（上行波束）发送MSG1；

基站根据UE上行PRACH的资源位置，确定了UE所在SSB的波束，在此波束上发送下行RAR

UE和基站完成初始接入过程中，基于SSB波束的初步训练过程



波束训练

SSB波束实现了对小区初始接入的覆盖

为了获得更好的无线性能，通过波束训练过程，基站可以选择更优的波束传输。

在RRC连接态下，

下行可以使用CSI-RS/SSB进行波束训练，上行使用Sounding RS进行波束训练

波束训练的具体策略，协议不做规定，由各厂家实现

例如：基站基于初始接入SSB波束周围，发送一个或者多个比较“窄”的波束（CSI-RS，对应CSI Resource Index，**CRI**）；

UE对CSI-RS参考信号测量，得到L1-RSRP结果，上报不同CRI的测量结果；

基站选择L1-RSRP最强的CSI-RS对应的波束进行下行信道发送

（CSI-RS有很多功能，本文仅介绍波束管理部分，CSI-RS和SRS详细介绍见后续文章）
用于波束训练的CSI-RS，通常也被称为CSI-RS BM

CSI-RS部分参数配置

```
CSI-ResourceConfig ::= SEQUENCE {
    csi-ResourceConfigId      CSI-ResourceConfigId,
    csi-RS-ResourceSetList    CHOICE {
        nzp-CSI-RS-SSB        SEQUENCE {
            nzp-CSI-RS-ResourceSetList SEQUENCE (SIZE (1..maxNrofNZP-CSI-RS-
                ResourceSetsPerConfig)) OF NZP-CSI-RS-ResourceSetId OPTIONAL,
            csi-SSB-ResourceSetList SEQUENCE (SIZE (1..maxNrofCSI-SSB-
                ResourceSetsPerConfig)) OF CSI-SSB-ResourceSetId OPTIONAL
        },
        csi-IM-ResourceSetList SEQUENCE (SIZE (1..maxNrofCSI-IM-
            ResourceSetsPerConfig)) OF CSI-IM-ResourceSetId
    },
    bwp-Id                    BWP-Id,
    resourceType              ENUMERATED { aperiodic, semiPersistent, periodic },
    ...
}
```

CSI-RS配置参数较多，本文不详细描述，仅主要针对波束训练相关参数  春天工作室

CSI-RS部分参数配置

```
NZP-CSI-RS-ResourceSet ::= SEQUENCE {
    nzp-CSI-ResourceSetId      NZP-CSI-RS-ResourceSetId,
    nzp-CSI-RS-Resources       SEQUENCE (SIZE (1..maxNrofNZP-CSI-RS-
        ResourcesPerSet)) OF NZP-CSI-RS-ResourceId,
    repetition                 ENUMERATED { on, off } OPTIONAL,
    aperiodicTriggeringOffset  INTEGER(0..4) OPTIONAL, -- Need S
    trs-Info                   ENUMERATED {true} OPTIONAL, -- Need R
    ...
}
```

nzp-CSI-RS-Resources

NZP-CSI-RS-Resources 关联NZP-CSI-RS资源集的资源，对于CSI，每个资源集最多8个NZP CSI

aperiodicTriggeringOffset

触发非周期CSI-RS的时隙（DCI触发）到发送CSI-RS的时隙间隔

trs-Info

配置为Tracking信道跟踪的CSI-RS

CSI-RS部分参数配置

Repetition

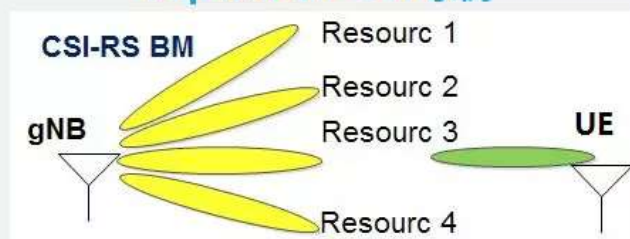
Repetition对CSI-RS BM是一个关键的参数，可以配置On或者Off

当设置为Off时，表示CSI-RS BM发送的波束不重复，即CSI-RS资源集中的CSI-RS BM资源发送时，使用了不同的波束，也就是基站发送波束扫描，UE可以保持接收波束不变，进行波束训练

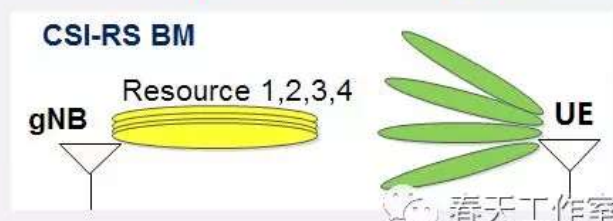
当设置为On时，表示CSI-RS BM发送的波束重复，即基站在相同波束上发送CSI-RS，UE可以扫描接收波束，进行波束训练。

UE上报波束的L1-RSRP结果给基站，完成最优波束训练。

Repetition= Off 示例



Repetition= On 示例



波束指示

在初始接入阶段，基站和UE用SSB的索引，PRACH的发送时刻“隐含”地指示波束
在RRC建立后，通过TCI State来指示波束信息

在规范38331中，TCI State定义：

The *TCI-State* IE associates one or two DL reference signals with a corresponding quasi-colocation (QCL) type.

即TCI State描述的是1个或者2个下行参考信号之间的QCL关系
(QCL详见下节描述)

PDSCH/PDCCH/CSI-RS的参考信号都可以配置TCI-State

R15协议，38331 f21版本中，目前支持最大配置64个TCI State

波束指示


```

TCI-State ::= SEQUENCE {
    tci-StateId      TCI-StateId,
    qcl-Type1        QCL-Info,
    qcl-Type2        QCL-Info          OPTIONAL, -- Need R
    ... }
QCL-Info ::= SEQUENCE {
    cell              ServCellIndex    OPTIONAL, -- Need R
    bwp-Id            BWP-Id           OPTIONAL, -- Cond CSI-RS-Indicated
    referenceSignal    CHOICE {
        csi-rs         NZP-CSI-RS-ResourceId,
        ssb             SSB-Index
    },
    qcl-Type          ENUMERATED {typeA, typeB, typeC, typeD},
    ... }

```

其中 **QCL-Info** 配置为**QCL-TypeD**，{**Spatial Rx parameter**}表示波束信息

例如：PDSCH DM-RS配置参考信号SSB，配置Type D时，则指示了PDSCH的发送波束和SSB的波束很类似（相同或者接近）

 春天工作室

波束指示--PDSCH


```

PDSCH-Config ::= SEQUENCE {
    dataScramblingIdentityPDSCH    INTEGER (0..1023)    OPTIONAL,
    dmrs-DownlinkForPDSCH-MappingTypeA  SetupRelease { DMRS-DownlinkConfig }
    dmrs-DownlinkForPDSCH-MappingTypeB  SetupRelease { DMRS-DownlinkConfig }
    tci-StatesToAddModList             SEQUENCE (SIZE(1..maxNrofTCI-States)) OF
                                         TCI-State          OPTIONAL, -- Need N
    tci-StatesToReleaseList             SEQUENCE (SIZE(1..maxNrofTCI-States))
                                         OF TCI-StateId      OPTIONAL, -- Need N
    vrb-ToPRB-Interleaver              ENUMERATED {n2, n4}  OPTIONAL, -- Need S
    ..... 以下略

```

PDSCH的TCI State信息，首先在RRC信令（UE级）中配置，最多配置64个

对于UE来说，RRC信令中配置的TCI State列表是下行各种波束（PDSCH/PDCCH/CS-RS）的pool，还需要基站进一步指示具体的波束信息。

 春天工作室

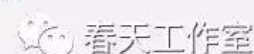
波束指示--PDCCH

```
ControlResourceSet ::=
    SEQUENCE {
        ...
        tci-StatesPDCCH-ToAddList SEQUENCE(SIZE (1..maxNrofTCI-
            StatesPDCCH)) OF TCI-StateId OPTIONAL, -- Need N
        tci-StatesPDCCH-ToReleaseList SEQUENCE(SIZE (1..maxNrofTCI-
            StatesPDCCH)) OF TCI-StateId OPTIONAL, -- Need N
        tci-PresentInDCI ENUMERATED {enabled} OPTIONAL, -- Need S
        pdcch-DMRS-ScramblingID INTEGER (0..65535)
            OPTIONAL, -- Need S
        ...
    }
```

PDCCH的TCI State信息，在CORESET参数中下发，最多配置64个

PDCCH配置的TCI State来源在PDSCH配置的所有TCI State 集合

tci-PresentInDCI— 在配置/指示QCL的情况下，在DCI中指示TCI state



春天工作室

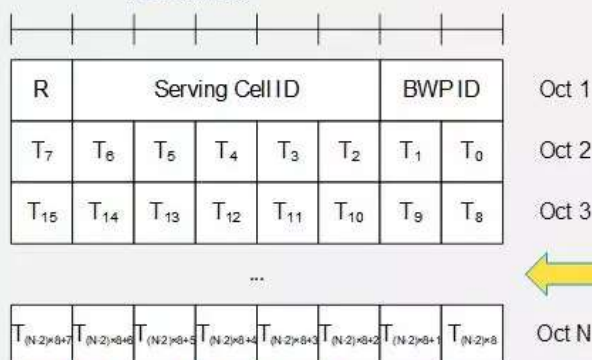
波束指示—MAC层

MAC层规范38321中，也包含了TCI State的相关过程，包括：

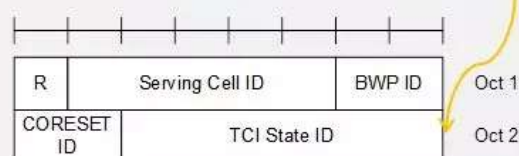
- Activation/Deactivation of UE-specific PDSCH TCI state
- Indication of TCI state for UE-specific PDCCH

•指示CORESET的TCI State ID

MAC CE定义如下

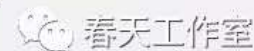


TCI States Activation/Deactivation for UE-specific PDSCH MAC CE



TCI State Indication for UE-specific PDCCH MAC CE

- 用0/1表示RRC高层中配置的TCI State列表中对索引的激活状态
- 最多激活8个TCI State



春天工作室

波束指示--PDSCH

DCI 1_1中, *Transmission configuration indication*

在tci-PresentInDCI配置为enabled时, 此字段长度为3 bit, 表示PDSCH的TCI State的索引 (对应于MAC CE中的最多8个TCI State)

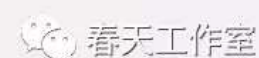
在不配置tci-PresentInDCI时, 字段长度为0。

不配置tci-PresentInDCI时或者使用DCI 1_0调度的PDSCH, UE采用PDCCH相同的波束接收

在UE收到RRC高层TCI State配置后, MAC层激活命令之前, PDSCH采用SSB的波束。

对于UE, MAC层激活TCI State需要处理时延, 携带激活命令 (MAC CE) 的PDSCH对应的HARQ-ACK发送时隙为n, 激活生效的时间为从时隙 $n + 3N_{slot}^{subframe, \mu} + 1$

即从这个时隙开始, 可以在DCI中指示TCI State的索引

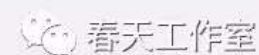


波束指示--PDSCH

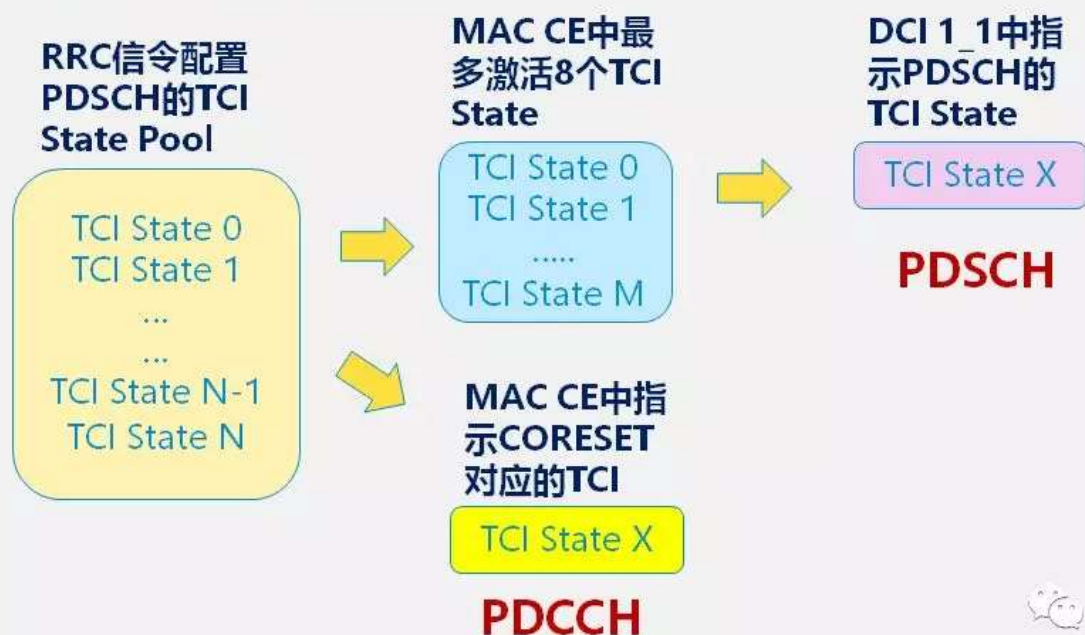
如果基站指示UE, PDCCH采用一个波束接收, PDSCH采用另外一个波束接收, 对于UE需要波束调整的时间, 时间间隔和终端能力有关。

因此当tci-PresentInDCI enabled, UE使用DCI中的指示波束, 并且PDCCH和PDSCH的间隔大于*Threshold-Sched-Offset*时 (*Threshold-Sched-Offset*在终端能力中上报), UE采用指示的波束接收PDSCH的DM-RS。

如果tci-PresentInDCI不配置, 或者配置后但PDCCH和PDSCH之间的间隔小于*Threshold-Sched-Offset*时, UE来不及调整PDSCH的接收波束。因此PDSCH接收波束和最近的slot上的最低的CORESET ID的PDCCH波束相同。



PDSCH/PDCCH波束指示



上行波束管理

UE完成接入后，上行方向上通过Sounding RS（SRS）进行波束训练

```
SRS-ResourceSet ::=
    srs-ResourceSetId          SEQUENCE {
    srs-ResourceIdList          SRS-ResourceSetId,
                             SEQUENCE (SIZE(1..maxNrofSRS-
                             ResourcesPerSet)) OF SRS-ResourceId
    resourceType                CHOICE {
    .....
    usage      ENUMERATED {beamManagement, codebook, nonCodebook, antennaSwitching},
    .....

```

SRS配置参数中，usage设为 *beamManagement*时，表示用于波束管理的SRS

用于波束管理的SRS资源集个数，每个资源集中SRS资源个数，和UE能力有关，在38306中定义

Band	Tbd	No
<p>▪ uplinkBeamManagement</p> <p>Defines support of beam management for UL. The capability include indication of the</p> <ul style="list-style-type: none"> - Maximum number of SRS resources per SRS resource set supported by the UE. - Maximum number of SRS resource sets supported by the UE. 		

上行波束管理

用于波束管理的SRS多个资源集，对应UE的TX Panel

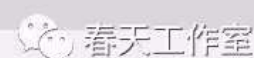
SRS资源集中的SRS Resource对应一个波束（可以相同或者不同）

因此 一个资源集中的多个SRS Resource不能同时发送，即同时只能发送一个波束

不同资源集中的SRS Resource可以同时发送（和UE能力有关）。

SRS Resource中，可以通过配置**spatialRelationInfo**参数来配置SRS的发送波束

```
SRS-Resource ::= SEQUENCE {
    srs-ResourceId          SRS-ResourceId,
    .....
    spatialRelationInfo     SRS-SpatialRelationInfo  OPTIONAL, -- Need R
    ...
}
```



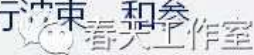
上行波束管理

```
SRS-SpatialRelationInfo ::= SEQUENCE {
    servingCellId          ServCellIndex  OPTIONAL, -- Need S
    referenceSignal        CHOICE {
        ssb-Index          SSB-Index,
        csi-RS-Index       NZP-CSI-RS-ResourceId,
        srs                 SEQUENCE {
            resourceId      SRS-ResourceId,
            uplinkBWP       BWP-Id
        }
    }
}
```

SRS Resource中，可以通过配置**spatialRelationInfo**参数来配置SRS的发送波束

下行波束训练，通过QCL传递波束关系，即CSI-RS BM和之前的下行参考信号（SS B/CSI-RS）波束比较“接近”，并不完全相同，因此下行方向上可以进行从宽波束到窄波束的训练

而上行波束训练，基站指示的spatialRelationInfo就是指定了对应上行波束，和参考信号波束完全相同，不支持逐步波束细化训练。



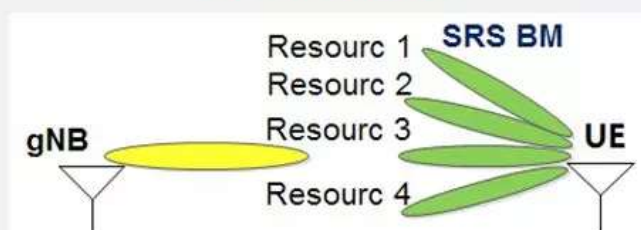
上行波束训练

当一个或者多个SRS资源集中的SRS资源，spatialRelationInfo配置为不同发送波束时，UE进行发送波束扫描，基站可以保持接收波束不变（不配置spatialRelationInfo时，由UE自行实现发送波束扫描），进行上行波束训练

当一个或者多个SRS资源集中的SRS资源，spatialRelationInfo配置为相同发送波束时，UE发送波束不变，基站可以进行接收波束扫描，进行上行波束训练

原理和下行类似，配置参数有差别

发送波束扫描示例



接收波束扫描示例



春天工作室

上行信道波束指示

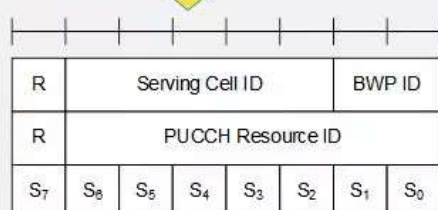
上行信道波束指示，比下行信道相对简单一些

PUSCH: 在DCI 0_1中，通过SRS resource indicator字段指示对应的SRS资源，来“隐含”的表示PUSCH上行波束

PUCCH: RRC高层配置

```
PUCCH-SpatialRelationInfo ::= SEQUENCE {
    pucch-SpatialRelationInfoId PUCCH-SpatialRelationInfoId,
    servingCellId ServCellIndex OPTIONAL, -- Need S
    referenceSignal CHOICE {
        ssb-Index SSB-Index,
        csi-RS-Index NZP-CSI-RS-ResourceId,
        srs SEQUENCE {
            resource SRS-ResourceId,
            uplinkBWP BWP-Id } },
}
```

通过MAC CE激活



Oct 1

Oct 2

Oct 3

PUCCH spatial relation

Activation/Deactivation MAC CE

春天工作室

波束失败恢复

波束失败恢复的总体流程包括：

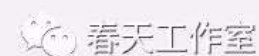
RRC高层下发波束失败检测/恢复 相关配置参数

UE在连接态下的波束失败检测

新波束的发现

波束恢复请求

完成波束恢复



波束失败恢复相关参数

RRC层参数配置路径 *BWP-DownlinkDedicated->RadioLinkMonitoringConfig*

```
RadioLinkMonitoringConfig ::= SEQUENCE {
    failureDetectionResourcesToAddModList SEQUENCE
        (SIZE(1..maxNrofFailureDetectionResources)) OF RadioLinkMonitoringRS
    failureDetectionResourcesToReleaseList SEQUENCE
        (SIZE(1..maxNrofFailureDetectionResources)) OF RadioLinkMonitoringRS-Id
    beamFailureInstanceMaxCount      ENUMERATED {n1, n2, n3, n4, n5, n6, n8, n10}
    beamFailureDetectionTimer        ENUMERATED {pbfd1, pbfd2, pbfd3, pbfd4, pbfd5,
        pbfd6, pbfd8, pbfd10}          OPTIONAL, -- Need R
    ...}

```

配置UE进行波束失败检测的下行参考信号

beamFailureInstanceMaxCount：底层检测失败的最大个数

beamFailureDetectionTimer：波束失败检测定时器（和周期配置相关）

波束失败检测在规范38321中描述

总体流程为，在失败检测定时器时长内，底层检测失败的个数大于等于最大个数，则触发波束失败恢复流程



波束失败检测

```
RadioLinkMonitoringRS ::= SEQUENCE {
    radioLinkMonitoringRS-Id RadioLinkMonitoringRS-Id,
    purpose ENUMERATED {beamFailure, rlf, both},
    detectionResource CHOICE {
        ssb-Index SSB-Index,
        csi-RS-Index NZP-CSI-RS-ResourceId },
    ...}

```

用于beamFailure或者both的检测RS资源最多配置2个（每BWP）

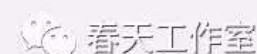
配置SSB或者CSI-RS参考信号用于波束失败检测

如果不配置时，用PDCCH的TCI State配置的关联参考信号用于波束失败检测

底层根据参考信号进行Radio Link Monitoring过程，和LTE类似

即针对PDCCH 不同的BLER设定Out-of-sync和in-sync的门限

详细描述见规范38133中定义



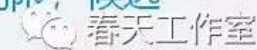
波束恢复相关参数

RRC层参数配置路径 *BWP-UplinkDedicated -> BeamFailureRecoveryConfig*

```
BeamFailureRecoveryConfig ::= SEQUENCE {
    rootSequenceIndex-BFR INTEGER (0..137) OPTIONAL, -- Need M
    rach-ConfigBFR RACH-ConfigGeneric OPTIONAL, -- Need M
    rsrp-ThresholdSSB RSRP-Range OPTIONAL, -- Need M
    candidateBeamRSList SEQUENCE (SIZE(1..maxNrofCandidateBeams)) OF P
        RACH-ResourceDedicatedBFR OPTIONAL, -- Need M
    ssb-perRACH-Occasion ENUMERATED {oneEighth, oneFourth, oneHalf, one, two,
        four, eight, sixteen} OPTIONAL, -- Need M
    ra-ssb-OccasionMaskIndex INTEGER (0..15) OPTIONAL, -- Need M
    recoverySearchSpaceId SearchSpaceId OPTIONAL, -- Cond CF-BFR
    ra-Prioritization RA-Prioritization OPTIONAL, -- Need R
    beamFailureRecoveryTimer ENUMERATED {ms10, ms20, ms40, ms60, ms80, ms100,
        ms150, ms200} OPTIONAL, -- Need M
    ...}

```


波束恢复参数包括：用于波束恢复的专用RACH资源，RSRP门限，候选的新波束和RACH对应关系，RAR专属搜索空间，恢复时间等




波束失败恢复

终端判定满足波束失败条件后，发起波束恢复，有两种可能：

- 基站配置`beamFailureRecoveryConfig`时，使用`beamFailureRecoveryConfig`配置的RACH资源发起随机接入，基于非竞争的随机接入流程（CFRA）
 - UE发送MSG1，基站在BFR专属搜索空间内下发C-RNTI加扰的PDCCH（在新的下行波束），终端发送PUCCH HARQ-ACK，完成接入，波束恢复
- 基站不配置`beamFailureRecoveryConfig`时，发起普通随机接入，基于竞争的随机接入（CBRA）
 - UE发送MSG1，基站下发RA-RNTI加扰的RAR，UE在MSG3中携带C-RNTI作为竞争解决ID，基站在MSG4下发UE Contention Resolution Identity完成竞争解决
 - 规范38331 f21版本中，目前没有定义MSG3中发送RRC层波束恢复消息

 春天工作室

QCL (Quasico-location)

 春天工作室

QCL (Quasi co-location)

Quasi co-location, 通常中文称为准共位或者准共址

定义: Two antenna ports are said to be quasi co-located if properties of the channel over which a symbol on one antenna port is conveyed can be inferred from the channel over which a symbol on the other antenna port is conveyed

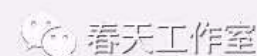
即发送符号(目标信号和参考信号)的两个天线端口特性**比较接近**。

两个天线端口“接近”的具体内容包括:

多普勒频移, 多普勒扩展, 下行平均时延, 时延扩展, 波束信息

规范38214中, 定义了QCL的类型, 如下:

- 'QCL-TypeA': {Doppler shift, Doppler spread, average delay, delay spread}
- 'QCL-TypeB': {Doppler shift, Doppler spread}
- 'QCL-TypeC': {Doppler shift, average delay}
- 'QCL-TypeD': {Spatial Rx parameter}



Quasi co-location类型特点

'QCL-TypeA': {Doppler shift, Doppler spread, average delay, delay spread}

对目标信道的描述比较全面, 包括多普勒频移, 多普勒扩展, 下行平均时延, 时延扩展, 使得UE获得DM-RS的特征的全面描述, 用于解调信道

- 'QCL-TypeB': {Doppler shift, Doppler spread}

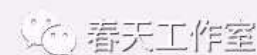
对于低频数字波束, 赋型后和参考信号(宽波束)相比, Doppler shift和 Doppler spread可以传递, 而Delay特征很可能不同。因此Type B 针对低频场景, 不太常用

- 'QCL-TypeC': {Doppler shift, average delay}

从参考信号继承Doppler shift和average delay特性, 用于进一步精确的时频域同步 (UE初始接入基于SSB进行时频域同步, 后续可以用精度更高的参考信号TRS同步)

- 'QCL-TypeD': {Spatial Rx parameter}

从参考信号继承波束信息, 见本文前半部分描述



QCL参数组合应用

规范38214中定义的QCL参数组合应用场景

目标信号	参考信号1	QCL-Type1	参考信号2	QCL-Type2
CSI-RS TRS	SSB	Type C	SSB	Type D
	SSB	Type C	CSI-RS BM	Type D
CSI-RS CSI	CSI-RS TRS	Type A	SSB	Type D
	CSI-RS TRS	Type A	CSI-RS BM	Type D
	CSI-RS TRS	Type B		
CSI-RS BM	CSI-RS TRS	Type A	CSI-RS TRS	Type D
	CSI-RS TRS	Type A	CSI-RS BM	Type D
	SSB	Type C	SSB	Type D
PDCCH DM-RS	SSB	Type A	SSB	Type D
	CSI-RS TRS	Type A	CSI-RS TRS	Type D
	CSI-RS TRS	Type A	CSI-RS BM	Type D
	CSI-RS CSI	Type A		
PDSCH DM-RS	SSB	Type A	SSB	Type D
	CSI-RS TRS	Type A	CSI-RS TRS	Type D
	CSI-RS TRS	Type A	CSI-RS BM	Type D
	CSI-RS CSI	Type A	CSI-RS CSI	Type D

QCL参数指示

下行信道，准共址QCL参数的指示，总体上通过RRC高层配置，MAC CE激活配置，DCI中指示等完成。

和前文描述的下行波束信息指示一致

(波束指示就是QCL Type D信息的传递)

上行参考信号，没有QCL的概念

其他未竞问题，欢迎联系微信
icehero312进行进一步的讨论和切磋。



春天工作室

谢谢
THANKS
不一样的加速度
不一样的成长!



春天工作室

(后注： 孙老师专注于NR的UU及接入层的研究。最近2个多月来，孙老师连续给我们带来了一系列精彩的NR(5G)好文，实属行业之福。 目前孙老师关于NR的物理信道部分已经基本研究和写作完成。期待孙老师继续带领大家 研究5G新知识 新领域，能给大家带来更多精彩的作品。 多谢孙老师。----- 春天哥 20181015)

春天工作室 管理员 微信：



春天工作室 春天哥 微信：



付费入群 (VIP) 流程：

- 春天工作室 致力于打造国内专业级无线技术研究平台。本平台由春天哥创办，主要专注于234G/5G/IoT/V2X等无线相关的技术研究。[春天工作室 简要说明](#)
- 春天工作室崇尚的风格是：原创+精品 / 理论+实践。春天工作室崇尚的理念是：传播知识，更传播知识的力量。
- 专业范畴内的技术讨论可直接联系春天哥，[微信icehero312](#)。 申请入群、索要底稿、商务合作等其他非专业范畴的请联系 [管理员微信：hydyhydy007](#) 。或者扫码，附图如下。精力有限。非诚勿扰。

- 欢迎投稿： [华山论剑：春天工作室\(wireless-spring\)至诚邀请并欢迎各位同仁和专家们来稿！](#)



“传播知识，更传播知识的力量”

赞赏码



(因微信公众号原因，暂无法设置作者微信和赞赏的关联，故这里采用了赞赏码的形式)

阅读 2913

16

写留言