|  |
| --- |
| Jpretty核心项目攻坚组 |
| **LTE PUCCH** |
| Physical Uplink Control Channel For LTE |

|  |
| --- |
| Jpretty  2016/7/31 |

## LTE PUCCH(TS36.211中内容)

PUCCH是LTE上行中的很重要的信道，主要用于UE给eNodeB发送对应的PDSCH数据的接收情况，即对应的传输块的ACK/NACK消息，以及下行信道状态，方便eNodeB利用UE的信道状态为UE分配合理的资源等，总之，PUCCH中传递的是eNodeB不知道的但是UE知道，而且eNodeB必须获得的这些信息。以上均是个人理解，随着协议学习的深入会不断刷新对于各个物理信道的认识。

PUCCH承载的是上行的控制信息，R10版本的协议支持同一个UE同时传输PUSCH和PUCCH，至于以前版本的协议为什么不支持上述两者的同时传输，这是由于上行的时候考虑到UE的能力，所有采用的SC-FDMA，也就是单载波频分复用，这个技术说白了就是一个UE在进行上行发送的时候仅占用一块连续的带宽，如果这个UE在上行带宽上占据的几块位置不同的RB段，那么在进行FFT从频域信号生成时域信号的时候，会使得PAPR(峰均比)过大，那么UE前段的功放射频器件的动态范围要求就很高了。为了保持这个单载波特性，以前的协议版本规定PUSCH和PUCCH不能同时发，但是现在的UE能力很强，所以可能协议考虑不再需要规避PAPR这个问题，所以规定如果高层允许的话是可以同时发的。

需要注意的是PUCCH在TDD下不能在UpPTS下发送，这是因为UpPTS主要是用来进行SRS发送的，资源要进行预留。这里要留意正因为这样，所以TDD下一个子帧内的PUCCH可能要发送好几个PDSCH的信号接收检测反馈信息。

本周主要是针对TS36.211中的针对PUCCH的部分内容进行了学习，按照协议中提到的顺序，下面分别介绍PUCCH Format1/1a/1b、PUCCH Format2/2a/2b、PUCCH Format3，下面的内容主要是针对以上各种格式在时频资源上如何放置，多个用户如何复用等进行介绍。之所以要用不同的格式来表示这些上行信息，这是因为例如ACK/NACK与下行信道CSI信息等所需要发送的物理资源是不一样的，使用一种物理资源格式无法承载所有种类的上行控制信息。以上格式的总结协议中有一个表格如下表示。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| PUCCH format | Modulation scheme | Number of bits per subframe, |
| 1 | N/A | N/A |
| 1a | BPSK | 1 |
| 1b | QPSK | 2 |
| 2 | QPSK | 20 |
| 2a | QPSK+BPSK | 21 |
| 2b | QPSK+QPSK | 22 |
| 3 | QPSK | 48 |

在进行下面描述的时候先对这个表格中的内容进行简单的阐述。

1. PUCCH Format 1是用来发调度请求(SR)的，SR说白了就是UE需要对eNodeB发上行数据(PUSCH)了，先通知一下eNodeB我要准备发数据了，但是UE不知道自己在哪些资源上可以发上行数据。所以eNodeB检测到这个SR，然后根据这个UE的一些CSI消息，给这个UE分配对应的RB/MCS/RV值等等，然后通过PDCCH中的UL-GRANT发给这个UE，UE收到对应的UL-GRANT后就知道自己在哪些资源上采用哪种方式进行PUSCH发送了。这个SR消息在表中看到没有调制方式，有文档说明eNodeB是通过分配给这个UE的SR资源上有没有能量来检测SR的，但是干扰/噪声等等会不会对SR的检测产生影响呢，这个不清楚，大致是通过门限的方式来进行虚警规避的吧。
2. PUCCH Format 1a/1b主要是针对上述的SR增加了发ACK/NACK的功能，即在这个子帧上本UE除了告诉eNodeB要发PUSCH了，请求eNodeB给他分配资源外，还可以传输前面某一个子帧上的PDSCH的接收ACK/NACK。其中Format 1a仅反馈1个bit用于单码字检测结果的反馈，Format 2a反馈2个bit用于双码字检测结果的反馈。另外ACK/NACK和SR在该格式下的复用有文档介绍是通过位置来进行的，例如在Format 1a/1b仅需要传递ACK/NACK的情况下，那么UE就只根据实际的检测情况在eNodeB分配的ACK/NACK资源上发送1bit或者2bit的检测反馈结果。但是如果SR这个时候也需要发送的话，那么上述的检测反馈结果就在SR资源上发，而eNodeB分配给ACK/NACK的资源就空出来。那么eNodeB在检测的时候就可以检测对应的分配资源上的能量的相对大小就可以判断是上述情况中的哪一种了。
3. PUCCH Format 2是用来传递20bit 的下行CSI信道质量的，采用QPSK的方式调制成10个对应符号。似乎拓展循环前缀模式下有区别，因为拓展CP模式下只能使用PUCCH Format 2来进行传输(Format 2a/2b都是针对常规CP模式的)，那么上述的Format 2在拓展循环前缀模式下还要进行ACK/NACK发送。
4. PUCCH Format 2a/2b是用来在常规CP模式下除了传输20bitCSI消息以外，还进行单码字或者双码字的1/2比特检测反馈ACK/NACK结果的。
5. PUCCH Format 3是用来在载波聚合(CA)下进行ACK/NACK传输对应的上行物理控制信道传输的格式。针对CA来说现在暂时不是特别了解，当前理解的是不同的小区采用不同的载波进行传输，但是进行下变频到基带处理来看的话其实说白了就是传输分集(或空分复用)。每个小区都要对这个UE进行发送PDSCH数据传输，那么UE就要对对应的每个小区的PDSCH数据进行ACK/NACK反馈(但是文档中似乎有提到UE在反馈ACK/NACK时仅对于主服务小区进行反馈，其他的辅助发送的小区的ACK.NACK通过Back-Haul进行交互)。

另外协议中有提到上述的每种PUCCH格式在每个时隙的每个SC-FDMA符号上都要进行小区专用(Cell-Specific，通过时隙号，符号号以及对应的下行SC-FDMA符号数进行序列生成，再根据序列进行循环移位值生成，所以是小区特有的)的循环移位，进行这个移位主要考虑的是随机化小区间干扰(由于上行其实考虑的不是吞吐有多高复用用户有多少，关键在于干扰环境复杂下如何提高接收可靠性)。在进行下面分格式接收以前，有两个关键参数需要提出(这两个参数来自PUCCH-Config高层信令，但是暂时我并不知道这个信令是通过哪个物理信道下发的)，分别是：

1. ，该参数用于指示在上行带宽内一个时隙中PUCCH Format 2/2a/2b占据的总的RB的个数
2. ，带参数代表的意思可能要难以理解一些，说白了就是在小带宽下LTE支持一种Format 1/1a/1b和Format 2/2a/2b混合使用一个RB进行传输的情况，我们在这里称这种为Format Mix。上述这个参数代表的就是在这个Format-Mix格式的这个RB内用来传输第一种PUCCH Format(1/1a/1b)的最多的循环移位的个数。(例如该值配置为6，也就是说在一个RB本身一共有12个循环移位值，现在混合型中第一种可以占到6个，当步长值()为2的时候，也就是说0/2/4这三个用于混合RB中第一类格式的循环移位值，具体的介绍会在后续进行)。

另外UE使用的以上三大种PUCCH格式的资源中的标号由三个参数决定(个人理解，比如高层参数配好了，整个上行带宽内的可以用来发PUCCH的资源标号全部定好了，下面的三个参数就是用来选择对应的哪个PUCCH资源来进行发送的)：

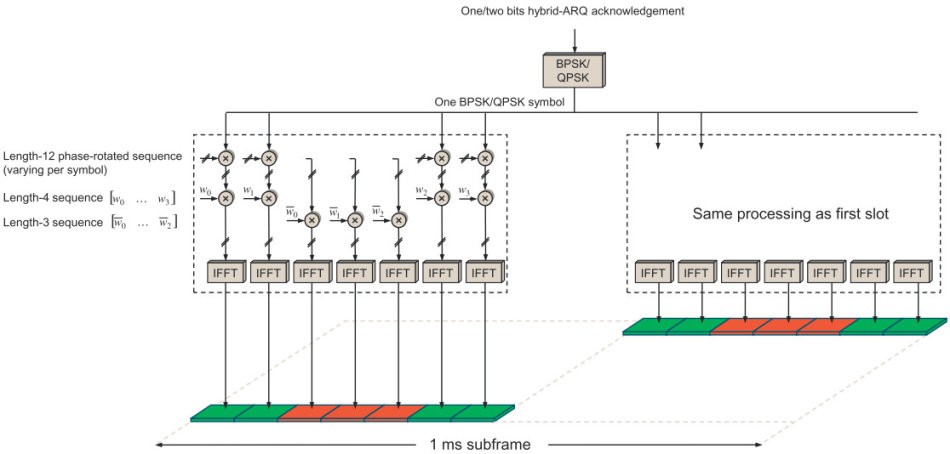
1. 代表的是在p天线端口上使用Format 1/1a/1b的资源标号(该参数由对应的CCE决定)
2. 代表的是在p天线端口上使用Format 2/2a/2b的资源标号
3. 代表的是在p天线端口上使用Format 3的资源标号

### PUCCH Format 1/1a/1b

首先对于PUCCH Format 1来说，SR信息如果要被发送的话，就被调制成符号1。其他的两种格式PUCCH Format 1a/1b，单码字1比特或者双码字2比特的ACK/NACK消息使用BPSK或者QPSK进行调制，最后生成一个对应的复数符号。其调制方案在协议中通过下述表格进行阐述。表格内容表示对应发送比特对应的复数符号。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| PUCCH format |  |  |
| 1a | 0 |  |
| 1 |  |
| 1b | 00 |  |
| 01 |  |
| 10 |  |
| 11 |  |

然后该复数符号要通过整个RB上的时频资源进行传输，如果一个UE的1比特或者2比特的ACK/NACK信息用整个RB的资源来进行传输的话很奢侈，所以LTE采用频域通过不同的循环移位，在时域上使用不同的正交码来进行区分不同的用户，使得这些用户可以在这个RB复用这些资源，实现共同传输。不同的循环移位以及不同的正交码的组合就组成了我们常说的上行码道，例如如果在频域上使用12个循环移位，时域上使用3个正交码，那么一共就有36个相互正交的码道。这36个码道可以被36个UE进行复用(实际为了考虑规格需求等，往往使用不完)。为了下面的阐述，通过一张实例图(原谅我太懒了，所以这个地方不再自己画图了，采用别人博客中的图来解释)来表达一个复数符号映射到整个RB的过程。



从图中可以看到，经过调制后的符号要映射到一个子帧内的除开用于DMRS传输的资源上(在常规CP模式下，一个时隙内有三个SC-FDMA符号用于传输DMRS，所以一个子帧内用于该复数符号传输的资源仅有最多8个SC-FDMA符号)。首先是频域映射过程，频域映射的过程就是将该复数符号乘以预先配置好的为这个用户准备的长度为12的序列，这样就生成了长度为12的复数序列(不同的用户采用的是长度相同的正交序列)，这个地方的每一个SC-FDMA符号得到的是一样的长度为12的复数序列。然后进行时域拓展，这个时候12个复数序列中的每一个复数乘以一个长度为4的正交序列，这样12个复数序列中的每一个复数就变成了一个长度为4的复数序列，整个长度为12的复数序列就变成了一个12行4列的复数矩阵，正好对应上图中的一个时隙中的一个RB除了DMRS以外的其他48个资源。这样就完成了一个复数符号到整个RB资源映射的过程。

上述是映射的过程，可以想象的是，eNodeB进行处理的时候也是按照映射的逆过程，即eNodeB获得这个时隙内的这个RB上的接收信号后，由于该接收信号上是所有UE的上行信号之和，所以首先第一步是解正交序列，解正交序列的过程可以从下面的简化公式中进行解释，由于这里只是考虑简单介绍，所以假设射频直连，没有噪声的场景下进行解释。其中表示的是第k个上行用户的PUCCH Format 1/1a/1b的比特经过调制后得到的复数符号，表示的是该用户在频域上使用的长度为12的扩频码，另外表示的是长度为4的当前第k个UE使用的正交序列。而表示的是第i个SC-FDMA符号上的该子载波上长度为12的接收复数信号序列。



解正交码的过程利用的是不同用户使用的时域正交码之间相互正交，所以只要使用接收信号和对应的第k个用户的正交序列做矩阵乘法就可以实现该UE的分离。如下式所示。



然后就可以根据以上得到的长度为12的复数序列来解频域的扩频码最后得到对应的调制后发送符号了。需要注意的是，在得到12行4列的RB上的接收复数信号后需要经过信道估计来得到对应的均衡后复数符号，信道估计是通过DMRS得到的，由于DMRS在时域上复用的最多个数为3(因为一个时隙上最多只有3个SC-FDMA符号用来做DMRS，所以时域上复用的用户个数最多也为3，也就是常说的虽然使用的长度为4的时域正交序列，但只能最多支持3个UE的复用)，具体的过程就不讲了，每个厂商在eNodeB侧都有自己的实现算法，这个需要等以后做了PUCCH的接收处理后再来补充。

再然后根据协议阐述来进行上述简介的详述。协议中写到复数符号乘以对应的长度为12的循环移位序列，其中针对每个天线端口的循环移位序列应该是不一样的(具体的根据天线端口号决定的循环移位序列怎么生成待后续学习了上行参考信号再来补充，仅仅看PUCCH Format 1/1a/1b的资源映射过程来看，针对不同的天线端口的计算方式是一样的，只不过在分配的时候由于不同天线端口的不同，所以使用的是彼此正交的不同码道)，得到长度为12的对应的频域扩频序列如下所示。



然后得到的长度为12的复数序列逐符号乘以时域正交序列(每天线端口上的时序序列也是不一样的，和频域扩频码的解释类似)，然后每一个时隙还要乘以对应的加扰序列，这里加扰序列和时序正交序列处理的次序不定(个人觉得不影响)。协议中针对这个部分的解释如下面公式所示。



其中可以看到最后生成的复数序列的顺序是按照先频域，后时域，最后时隙的顺序进行的。另外加扰也是按照对应的PUCCH资源号进行加扰序列生成的(其本质就是个移相器)。其中对公式相关的参数做解释。

1. ，表示的是先频域映射的顺序，一般情况下为12个
2. ，表示的是然后时域扩展的顺序，这里需要注意的是有分两种，一种是正常格式的PUCCH Format 1/1a/1b，即没有上行SRS发送的需求，那么第一个时隙和第二个时隙的时域扩展倍数都是4。还有一种是截断格式，该格式用于第二个时隙的最后一个符号需要发送SRS的情况下，第一个时隙的时域扩展倍数为4，第二个时隙的时域扩展倍数是3
3. ，表示的是最后是时隙顺序的映射

最后还需要解释的是就是当已知对应使用的资源的标号后，如何知道本UE使用的上述码道中的哪个进行发送的(即频域循环移位的大小，以及时域扩展选择的正交码的序号)，下面按照协议中的公式顺序进行解释。首先是通过上述标号确定分配给该UE的资源位于该RB内位置(第一个时隙)。对应的公式如下。



其中第一个分支表示的是如果对应的PUCCH Format 1/1a/1b是Format Mix的RB上的资源，那么就不用做处理，因为该Format Mix RB中是按照先Format 1/1a/1b然后2/2a/2b的顺序进行放置的，所以无需再进行计算。

第二个分支表示的是对应的专门分配给Format 1/1a/1b的RB内的位置，由于在资源放置的过程中首先放置Format 2/2a/2b的，然后防治Format Mix的，最后才是Format 1/1a/1b的，所以首先要将Format Mix中的Format 1/1a/1b的个数减去，然后再除以一个RB内支持的所有的Format 1/1a/1b的个数，剩下的余数就是在RB内这个UE使用的码道的相对位置了。第二个时隙中的对应参数的确认是依据第一个时隙的计算结果的，计算的方式在协议中有详细的阐述，之所以采用和第一个时隙不同的映射方案也是考虑随机化干扰，通过分集的方式来提高传输的可靠性的目标(上行以抗干扰/提高可靠性为主)，在这里就不再详细解释对应的公式了(因为我也没找到其理论依据，但是协议里面的公式都是有理论依据的，这里应该就是用的一种随机化的方案)。

再然后就是根据上面得到的这个参数来确定该UE在这个RB内使用的哪一个码道(频域的循环移位大小和时域的正交码编号)了。首先来看下一如何计算时域的正交码序列的编号，在协议中的公式如下所示。



其中部分参数要额外重视地解释一下。在参考下面这个参数的描述后计算对应的正交码序列的编号公式也容易理解了。需要注意的是对于常规CP模式下是按照上述公式的计算结果选择0/1/2标号的正交码进行处理的。但是扩展CP模式下由于上述公式的计算结果只能是2的倍数，和上面的0/1/2标号取个交集，也就是说拓展CP模式下只能选择0/2中的一个进行处理。

1. 这个参数前面已经解释过了，但是我觉得这个参数很重要，所以在这个地方额外再提出来，这个参数表达的意思是在这个RB内的所有PUCCH Format 1X的码道标号中，本UE使用的码道的相对于位置。
2. 这个参数表达的意思是在一个RB内能够使用的循环移位之间的步长，这个参数通过高层信令下发，取值范围是1/2/3，分别表示对应的RB内部的使用的循环移位的个数为12/6/4。和第一个参数相乘代表的就是对应的UE的PUCCH资源码道号以子载波的形式表示的大小。
3. 用于表示在该RB内部的一路子载波的大小。虽然LTE中该值一般取值都为12，但是针对PUCCH Format Mix来说，其使用的值是我们前面介绍的参数，该值在最开始就介绍了，用于配置Format Mix中的Format 1X使用的循环移位的个数。

然后再看一下如何计算频域的循环移位的大小。协议中相关的公式如下所示。



相对于上述计算正交码编号的过程中的区别在于，在计算循环移位大小的过程中还需要额外添加一个偏置，这个偏置与正交码编号大小有关(有点类似于不同的正交码编号使用的循环移位值存在偏置，这个考虑是为了保证所有的循环移位值都能使用到，随机化干扰的作用)。另外还要叠加一个小区特有的循环移位值，其余的计算都是很简单的。

* 1. **PUCCH Format 2/2a/2b**

### PUCCH Format 3