

1 JESD204B 接收端传输层设计

传输层的主要是作为一个承上启下的层面，将下层经过解码、解扰、对齐等操作的序列恢复成发端赋予的具体的转换器数据。在数据链路层完成了对信道信息的提取后，剩余的就是具体的样本数据，主要包含的是通道位置、样本数等信息。

而对具体数据包的拆包主要是依据各个 lane 的配置信息，配置信息包含了：

- 单个 link 单个帧时钟周期包含的控制字节数，用 CF 表示。
- 单个转换器样本包含的控制比特数，用 CS 表示。
- 单个 lane 所包含的转换器数，用 L 表示。
- 单个设备包含的转换器数量，用 M 表示。
- 转换器的分辨率，用 N 表示。
- 单个帧周期单个转换器传输的样本数，用 S 表示。

传输层的具体工作就是根据协议的约定，通过已知的配置信息，将数据链路层得到的数据解包对应到正确的转换器和控制器上。

1.1 单 lane 的数据格式

1.1.1 没有过采样的情况

假定一个设备包含 M 个转换器，每一个样本有 N 位数据。MSB 位于左端，LSB 位于右端。

1. 样本采用线性排列，由转换器 0 开始。
2. 样本被映射到字，如果需要安排控制字，就存在两种选择，并由 CF 变量控制：
 - 当 CF=0 时，控制位将会直接加在每个样本的 LSB 位后。
 - 当 CF=1 时，控制位将会组成一个独立的控制字，然后添加在所有样本字之后。控制的第几位就标示第几个转换器的控制位。
3. 那些不能构成 4 位整数倍的字被扩展成 nibble，在扩展位填充尾比特。这些被扩展的后的字被称作 NG，NG 的位数必须是 4 的倍数。
 - 当 CF=0 时，控制位被视作样本字的一部分，所以数据位和控制位之间不存在尾比特位。
 - 当 CF=1 时，数据位和控制位在不同的字之中，所以至少有一个尾比特位在每一个样本的数据位后。
4. 在一些情况下，需要用尾比特位来填充，使得总的位数变成 8 的倍数。
5. 最后这些位再重组成 F 个 octet。

以上成帧方式，描述了一个 lane 里面包含了多个转换器的情况。相比于之前版本，新的协议在每个样本结尾插入控制位后，在产生 octet 之前，需要通过 nibble 扩展重新组成 NG，这样导致了更多的 octet 产生。所以在接收端处理收到的 octets 准备还原成数据时需要留意尾部的信息。

具体的组帧理解如图 1 所示。

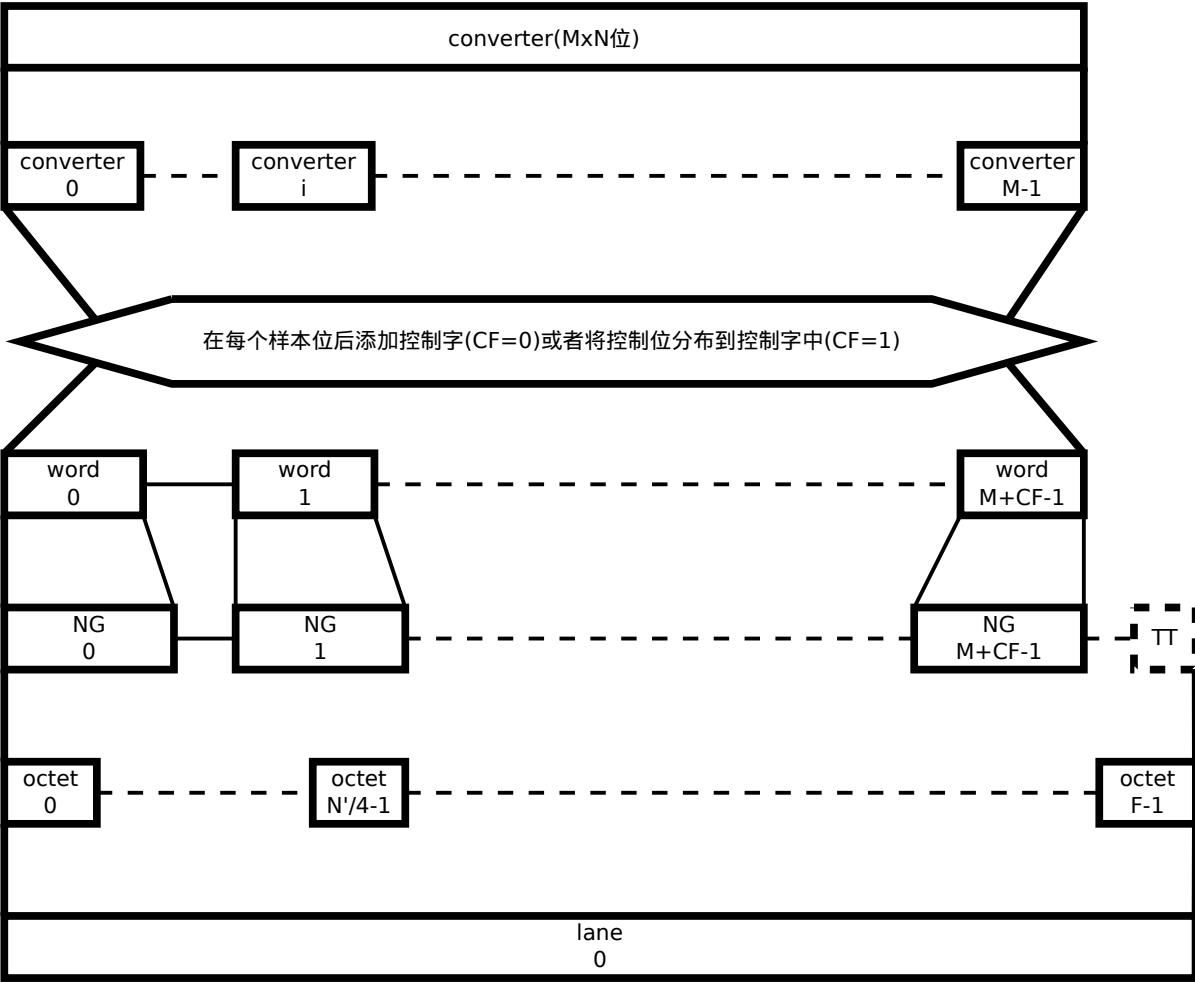


图 1: 单 lane 没有过采样的组帧方式

可见单个 lane 当中将多个转换器的转换结果按顺序依次排放，添加完尾比特和控制位后完整的传输。一个转换器同一时刻只对应一个样本，不存在过采样的情况。

具体的组帧格式如图 2所示。

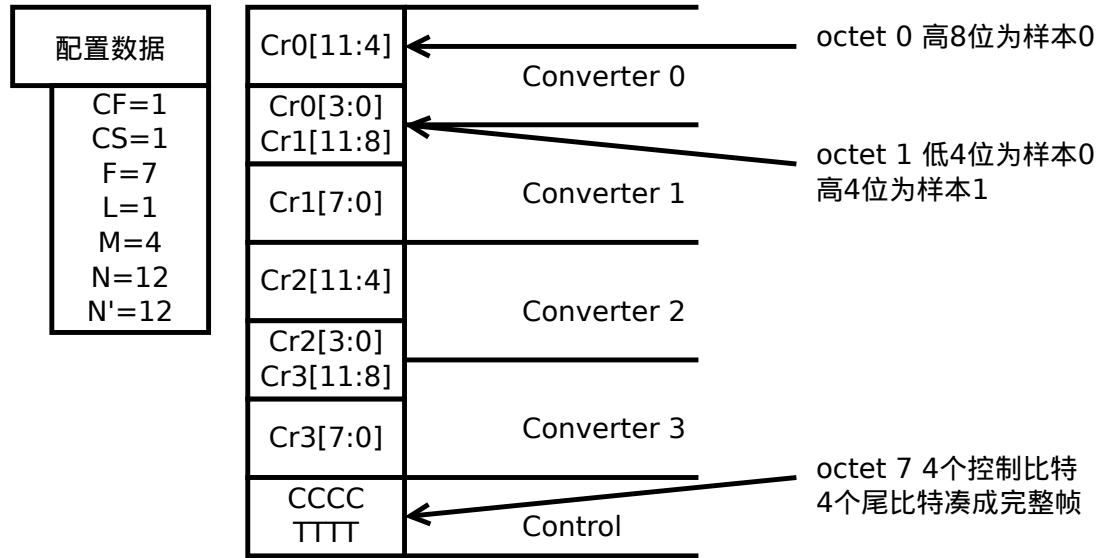


图 2: 有控制字的用户数格式

根据 CS=1 可以知道，每个转换样本要包含 1 个控制位，这一控制位直接添加在转换结果后。根据 CF=1 可以知道，每个 link 的每个帧中只包含 1 个控制字，这一控制字根据 CS=1 分布在各个样本中。

1.1.2 有过采样的情况

映射的方法类似于没有过采样的 lane。实际上有过采样的 lane 相当于每一个转换器一次采集了 S 个样本。这样造成的区别就是样本的排列顺序，第一个转换器采集了 S 个样本，那么这 S 个样本就先按顺序排列直接去组成字，然后再处理下一个转换器的样本。之后的 nibble 扩展和 octet 拆分都与没有过采样的相同。

1.2 多 lane 的数据格式

假如一个 link 有多个 lane，就存在多 lanes 的成帧问题。对于含有 L 个 lane 的 link，对于单个 lane 的映射方式是相同的。不同在于最后形成一串 L×F 个 octet 的数据。最先的 F 个 octet 在 lane 0 上传输，接下来的 F 个 octet 在 lane 1 上传输，以此类推。

相较于独立 lane 的格式，多 lanes 需要添加一些特殊的信息。

1. 参数 HD 决定了一个样本是否分配到不同的 lane 中。
- 在低密度模式下¹，位于 F octets 尾部的字不需要补充 tail 位在最后一个完整 NG 之后。
 - 在高密度模式下²转换完成的字可能会被拆分，有可能进入不同的 lane。
2. 参数 CF 决定了每一个帧周期内每个连接的控制字数量，在多 lane 模式下，它也决定了哪一个 lane 用来传输控制字。
- 当 CF=0 时，表示不存在控制字，控制信息分散在每一个数据字中。
 - 当 CF!=1 时，CF 作为 L 和 M 的分母。将所有的 lanes 分成 L 组，每一组包含 L/CF 个 lanes，在每一个 CF 组里面有 M/CF 个转换器。在这 M/CF 个转换器产生的 S×M/CF 个样本后插入一个控制字，这个控制字 d 即包含了之前连续 S×M/CF 个样本的控制信息。如果控制字刚好与单个 lane 吻合，则不允许被 lane 拆分。

没有控制字情况下，具体的组帧格式如图??所示。

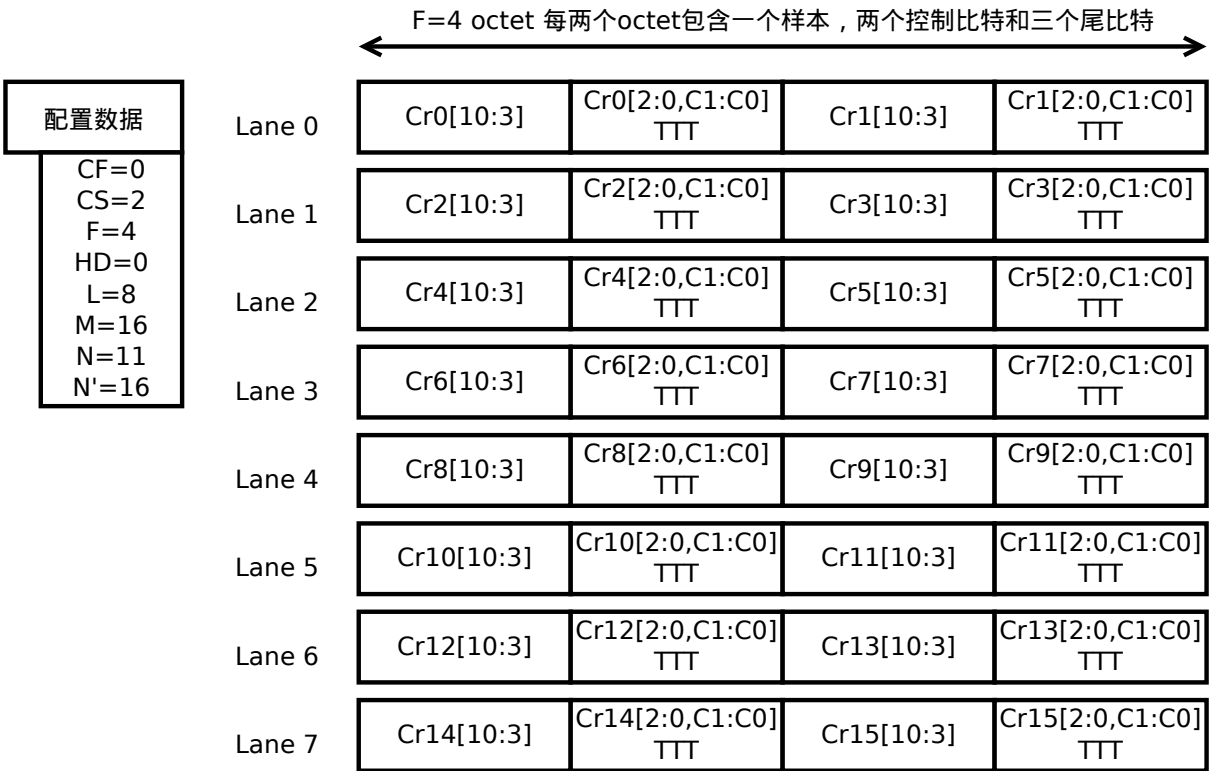


图 3: 多 lane 没有控制字的用户数据格式

¹Low Density mode, HD=0

²High Density mode, HD=1

有控制字情况下，具体的组帧格式如图??所示。

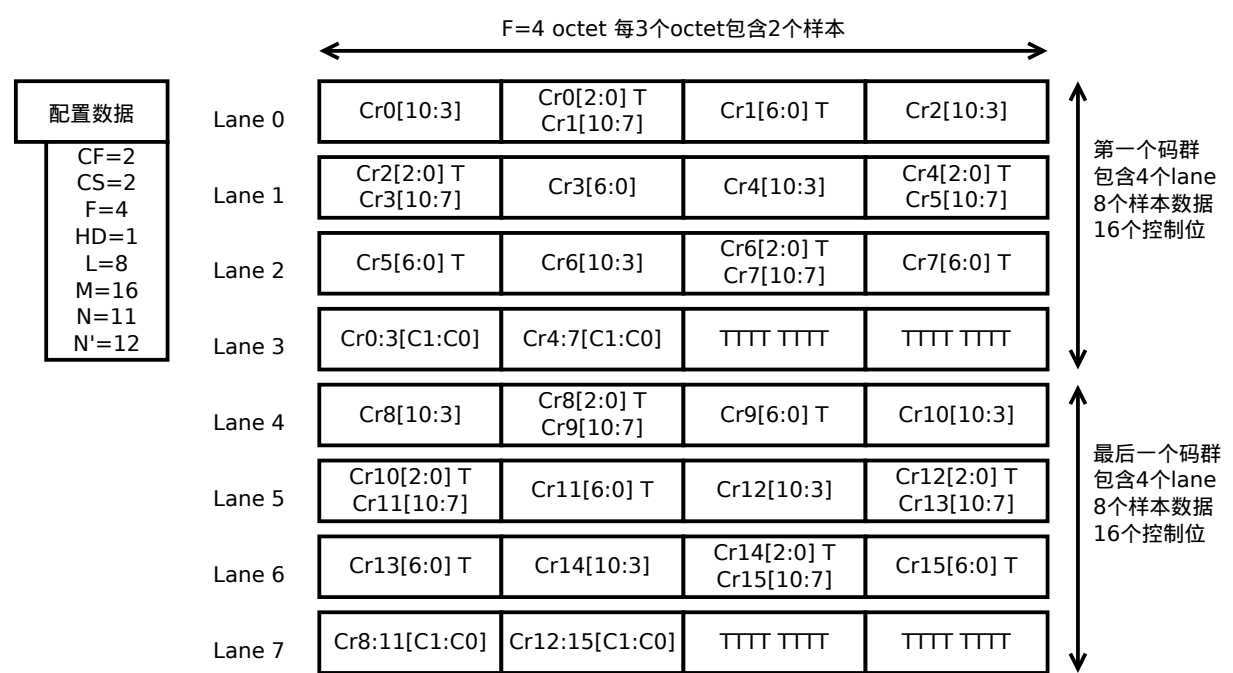


图 4: 多 lane 有控制字的用户数格式

1.3 尾比特

尾比特位是在加扰前添加的，当需要加扰时他同数据位一起加扰。为了避免这些尾比特位对帧同步符号性能的影响，它们必须满足以下要求：

- 每个帧的尾比特位都是相同的，或者
- 都是由至少 9 阶多项式的伪随机序列生成器生成

所以说，如果不加扰的话，尾比特位可能会导致线性频谱。

1.4 空闲模式

空闲模式就是有一个以上的转换器连接到同一个 link 上，不过它们有的是未被激活的或者说启用的。不过它们的接口是存在的，并且帧的结构并没有改变。

对于每个 link 拥有多个转换器的系统，可能出现一个转换器和别的转换器共享它的 octet。这样说来的话，如果一个转换器没被启用，那么他将不能通过 8B/10B 编码的控制字符，被标志在数据链路层上。也就是说，接收方无法知道这个转换器是否被启用。这就需要一个特殊的控制位来说明这一点，但也可以通过控制位来传递这一信息。

未被激活的转换器所传输的数据被称作 Dummy 样本。对于 Dummy 样本的唯一要求就是不能阻止生成对齐符号。Dummy 样本可能由应用层生成，但这样就无法确认它是否会被映射到帧的最后一个 octet，从而产生不应该存在的对齐符号。为了避免这一情况，Dummy 样本应该满足和尾比特位一样的要求。伪随机序列是一个很好的选择，这样可以避免在加扰被关闭的情况下产生的频谱峰值。另一个选择就是传输传输层测试序列。

1.5