

国际电信联盟

G.709/Y.1331

(2020年6月)

G系列：传输系统与介质、数字系统与网络

数字终端设备——通用Y系列：全球信息

基础设施、互联网协议方面、
下一代网络、物联网与智慧城市

互联网协议方面——传输

光传输网络接口

国际电信联盟建议书 ITU-T G.709/Y.1331

ITU-T



国际电话连接与电路	G.100-G.199
所有模拟载波传输系统共有的通用特性	G.200-G.299
金属线路国际载波电话系统的个别特性	G.300-G.399
无线电中继或卫星链路国际载波电话系统的一般特性及其与金属线路的互连	G.400-G.449
无线电话与有线电话的协调	G.450-G.499
传输介质与光系统特性	G.600-G.699
数字终端设备	G.700-G.799
通用	G.700-G.709
语音和音频信号编码	G.710-G.729
一次复用设备的主要特性	G.730-G.739
二阶复用设备的主要特性	G.740-G.749
高阶复用设备的主要特性	G.750-G.759
转码器和数字倍增设备的主要特性	G.760-G.769
传输设备的操作、管理和维护特性	G.770-G.779
同步数字体系结构复用设备的主要特性	G.780-G.789
其他终端设备	G.790-G.799
数字网络	G.800-G.899
数字分段和数字线路系统	G.900-G.999
多媒体服务质量与性能——通用及用户相关方面	G.1000-G.1999
传输介质特性	G.6000-G.6999
传输数据——通用方面	G.7000-G.7999
传输层封装特性	G.8000-G.8999
接入网	G.9000-G.9999

更多详情请参阅国际电信联盟电信标准化部门建议书清单。

光传输网络接口

摘要

ITU-T G.709/Y.1331建议书规定了光传输网络（OTN）接口信号的要求，具体涉及：

- OTN分层结构
- 支持多波长光网络的开销功能
- 帧结构
- 比特速率
- 用户信号映射格式。

本建议书第6.0版包含对第5.0版建议书的第1、2、3号修正案及第1、2号勘误表的文本内容，新增25和50 Gbit/s OTU格式，ODU和OPU帧格式，以及将低速率ODUk/flex信号复用至这两种OPU的方法；将支持的ODUflex(IMP)比特率扩展至任意速率；规定频率同步OTU和ODU；新增附录，包含ODUflex(GFP)和ODUflex(IMP)时钟生成方法示例。第6版进一步明确ODUflex(GFP)速率可为任意速率而不限于推荐速率，更新了OTN接口术语，修正了部分以太网客户端信号的替代信号定义，并将FlexE感知子速率粒度限制为25Gbit/s。

版本沿革

版本	建议	批准	研究组	唯一标识符*
1.0	ITU-T G.709/Y.1331	2001-02-09	15	11.1002/1000/5350
1.1	ITU-T G.709/Y.1331 (2001) 修正案1	2001-11-29	15	11.1002/1000/5629
2.0	ITU-T G.709/Y.1331	2003-03-16	15	11.1002/1000/6265
2.1	ITU-T G.709/Y.1331 (2003) 修正案1	2003-12-14	15	11.1002/1000/7060
2.2	ITU-T G.709/Y.1331 (2003) 更正1	2006-12-14	15	11.1002/1000/8982
2.3	ITU-T G.709/Y.1331 (2003) 修正案2	2007-11-22	15	11.1002/1000/9155
2.4	ITU-T G.709/Y.1331 (2003) Cor.2	2009-01-13	15	11.1002/1000/9646
2.5	国际电信联盟电信标准化部门G.709/Y.1331 (2003) 第3号修正案	2009-04-22	15	11.1002/1000/9671
3.0	ITU-T G.709/Y.1331	2009-12-22	15	11.1002/1000/10398
3.1	ITU-T G.709/Y.1331 (2009) Cor.1	2010-07-29	15	11.1002/1000/10875
3.2	ITU-T G.709/Y.1331 (2009) 修正案1	2010-07-29	15	11.1002/1000/10874
3.3	ITU-T G.709/Y.1331 (2009) 修正案2	2011-04-13	15	11.1002/1000/11115
4.0	ITU-T G.709/Y.1331	2012-02-13	15	11.1002/1000/11485
4.1	ITU-T G.709/Y.1331 (2012) Cor.1	2012-10-29	15	11.1002/1000/11776
4.2	ITU-T G.709/Y.1331 (2012) 修正案1	2012-10-29	15	11.1002/1000/11774
4.3	ITU-T G.709/Y.1331 (2012) 修正案2	2013-10-22	15	11.1002/1000/11982
4.4	ITU-T G.709/Y.1331 (2012) 修正案3	2014-12-05	15	11.1002/1000/12363
4.5	国际电信联盟电信标准化部门 G.709/Y.1331 (2012) 更正2	2015-01-13	15	11.1002/1000/12365
4.6	ITU-T G.709/Y.1331 (2012) 第4号修正案	2015-01-13	15	11.1002/1000/12364
5.0	ITU-T G.709/Y.1331	2016-06-22	15	11.1002/1000/12789
5.1	ITU-T G.709/Y.1331 (2016) 修正案1	2016-11-13	15	11.1002/1000/13080
5.2	ITU-T G.709/Y.1331 (2016) 更正1	2017-08-13	15	11.1002/1000/13298
5.3	ITU-T G.709/Y.1331 (2016) 修正案2	2018-06-06	15	11.1002/1000/13520
5.4	ITU-T G.709/Y.1331 (2016) 修正案3	2019-03-22	15	11.1002/1000/13742
5.5	ITU-T G.709/Y.1331 (2016) 更正2	2019-11-06	15	11.1002/1000/13995
6.0	ITU-T G.709/Y.1331	2020-06-06	15	11.1002/1000/14199

关键词

客户端映射、帧格式、复用、OTN。

* 要访问该建议书，请在网页浏览器的地址栏中输入网址 <http://handle.itu.int/>，后接建议书的唯一标识符。例如：<http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>。

前言

国际电信联盟（ITU）是联合国在电信、信息和通信技术（ICT）领域的专门机构。国际电信联盟电信标准化部门（ITU-T）是ITU的常设机构，负责研究技术、运营及资费问题，并就此发布建议书，以实现全球电信标准化。

世界电信标准化大会（WTSA）每四年召开一次，确定ITU-T各研究组的研究议题，各研究组据此制定相关建议书。

ITU-T建议书的批准程序遵循WTSA第1号决议的规定。

在ITU-T管辖范围内某些信息技术领域，相关标准需与ISO和IEC合作制定。

注

本建议书中，为简明起见，“管理局”一词同时指代电信管理局和公认的运营机构。

遵守本建议书属自愿行为。但建议书可能包含某些强制性规定（例如为确保互操作性或适用性），当所有强制性规定均得到满足时，即视为符合建议书要求。“应”或“必须”等强制性措辞及其否定形式用于表达要求。使用此类措辞并不意味着要求任何一方必须遵守本建议。

知识产权

国际电联提醒注意：实践或实施本建议书可能涉及使用主张的知识产权。对于国际电联成员或建议书制定流程外其他主体主张的知识产权之证据、有效性或适用性，国际电联不持任何立场。

截至本建议书批准之日，国际电信联盟已收到关于实施本建议书可能涉及的专利保护知识产权的通知。但实施者需注意，此信息可能并非最新版本，因此强烈建议查阅TSB专利数据库（网址：<http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>）。

© 国际电信联盟 2020

保留所有权利。未经国际电信联盟事先书面许可，不得以任何形式复制本出版物的任何部分。

目录

	页码
1 范围	1
2 参考文献	1
3 定义	3
3.1 其他地方定义的术语	3
3.2 本建议书中定义的术语	4
4 缩写词和首字母缩略词	5
5 约定	10
6 光传输网络接口结构	11
6.1 基本信号结构	11
6.2 OTN 接口的信息结构	13
7 复用/映射原理与比特率	15
7.1 映射	16
7.2 波分复用	17
7.3 比特率与容量	17
7.4 ODUk时分复用	22
7.5 以太网UNI与FlexE组UNI在两个	32
8 OTN 接口	33
8.1 点对点接口, I型	33
8.2 点对点接口, II型	33
8.3 光网络接口, II型	33
8.4 光网络接口, I型	34
9 媒体元件	34
10 OCh 和 OTSiA	34
10.1 OCh	34
10.2 光支路信号组件 (OTSiA)	34
11 光传输单元 (OTU)	34
11.1 OTU _k ($k=1, 2, 3, 4, 4\text{-SC}$) 帧结构	35
11.2 OTU _k ($k=1,2,3,4$) 的扰码	36
11.3 OTUCn帧结构	36
11.4 OTU25 和 OTU50 帧结构	37
12 光数据单元 (ODU)	38
12.1 ODU 帧结构	38
12.2 ODU 比特率和比特率容差	38
13 光学有效载荷单元 (OPU)	42
14 通过 OSC 和 OCC 传输的顶部信息	43

	页
14.2 OCC	43
15 间接费用说明	44
15.1 间接成本的类型	48
15.2 轨迹标识符和接入点标识符定义	50
15.3 OTS-O 描述	51
15.4 OMS-O 描述	52
15.5 OCh-O 和 OTSiG-O 描述	53
15.6 OTU/ODU帧对齐OH描述	54
15.7 OTU OH 描述	55
15.8 ODU OH 描述	61
15.9 OPU OH 描述	75
16 维护信号	77
16.1 OTS 维护信号	78
16.2 OMS 维护信号	78
16.3 OCh 和 OTiSA 维护信号	78
16.4 OTU 维护信号	79
16.5 ODU 维护信号	80
16.6 客户端维护信号	82
17 客户端信号映射	82
17.1 OPU 客户端信号故障 (CSF)	83
17.2 CBR2G5、CBR10G、CBR10G3 和 CBR40G 信号映射到 OPUk	83
17.3 空白条款	87
17.4 GFP帧映射到OPUk (k=0,1,2,3,4,flex)	87
17.5 测试信号映射到OPU	88
17.6 将非特定客户端比特流映射到OPUk	89
17.7 其他恒定比特率信号及其理由映射到 OPUk	90
17.8 通过时序透明转码将1000BASE-X和FC-1200信号映射至OPUk	100
17.9 使用 BMP 将超 2.488 Gbit/s CBR 信号映射到 OPUflex	102
17.10 将数据包客户端信号映射到OPUk	105
17.11 使用 IMP 将 64B/66B 编码的数据包客户端信号映射到 OPUflex	105
17.12 将 FlexE 感知信号映射到 OPUflex	107
17.13 使用BMP和2位对齐将64B/66B PCS编码信号映射到OPUflex 位对齐映射66B码字	111
18 空白条款	116
19 将 ODUj 信号映射到 ODTU 信号，并将 ODTU 映射到 OPUk 支路时隙	116
19.1 OPUk支流槽定义	116

	页
19.2 ODTU 定义	128
19.3 ODTU 信号复用到 OPUk	130
19.4 OPUk 多路复用开销和 ODTU 合理化开销	140
19.5 将 ODUj 映射到 ODTUjk	153
19.6 ODUj 映射到 ODTUk.ts	162
20 将 ODUk 信号映射到 ODTUCn 信号，并将 ODTUCn 映射到 映射到 OPUCn 分支槽	167
20.1 OPUCn 支路插槽定义	167
20.2 ODTUCn 定义	171
20.3 将 ODTUCn 信号复用到 OPUCn 中	172
20.4 OPUCn 多路复用开销和 ODTU 合理化开销	173
20.5 将 ODUk 映射到 ODTUCn.ts	177
附件 A – 使用 16 字节交织 RS(255,239) 编解码器进行前向纠错	180
附录 B——通过转码将 64B/66B 编码客户端转换为 513B 代码块	182
B.1 传输顺序	182
B.2 客户端帧恢复	182
B.3 从 66B 块到 513B 块的转码	183
B.4 链路故障信号	188
附录 C——多通道并行接口上的 OTU3 和 OTU4 适应	189
附件 D——通用映射程序原则	192
D.1 基本原理	192
D.2 在 OTN 中应用 GMP	195
D.3 $C_m(t)$ 编码与解码	199
D.4 $\Sigma C_{mD}(t)$ 编码与解码	205
附录 E——并行 64B/66B 编码客户端的适应	207
E.1 简介	207
E.2 客户端信号格式	207
E.3 客户端帧恢复	207
E.4 附件 B 的补充内容：并行 40GBASE-R 客户端的转码	210
附录 F——使用 1027B 代码块将 40GBASE-R 映射到 OPU3 的鲁棒性改进	213
F.1 简介	213
F.2 513B 代码块帧结构和标志位保护	213
F.3 66B 块序列检查	214
附录 G——将 ODU0 映射到低延迟 OTU0 (OTU0LL)	219
G.1 简介	219

G.2	低延迟光传输单元0 (OTU0LL)	219
附录 H – OTUCn 子速率 (OTUCn-M)		222
H.1	简介	222
H.2	OTUCn-M 帧格式	222
附件 I		223
附件 J——从并行 256B/257B 接口恢复 64B/66B 编码客户端		224
附件 K——通过单个光链路传输 200GbE 和 400GbE am_sf<2:0> 信息		226
OTN中两个以太网/OTN转发器实体之间的单一光链路传输200GbE和400GbE am_sf<2:0>信息.....		226
K.1	简介	226
K.2	客户端降级指示 (CDI) 开销	227
附件 L——OTU25u 和 OTU50u 接口		228
L.1	简介	228
L.2	比特率	228
附录 I – 适用于CBR2G5、CBR10G和CBR40G客户端 (± 20 ppm比特率容差) 异步映射至OPUk的比特率范围, 以及 ODUj 异步复用至 ODUk ($k > j$) 的范围		231
附录 II——功能标准化 OTU 帧结构示例		237
附录 III——ODUk 复用示例		240
附录 IV——空白附录		242
附录 V——ODUk 多路复用结构标识符 (MSI) 示例		243
附录 VI——CRC-9、CRC-8、CRC-5 和 CRC-6 的并行逻辑实现		246
附录 VII——OTL4.10 结构		249
附录 VIII——CPRI 到 ODU 的映射		250
附录 IX – CBR客户端映射至OPU类型的概述		251
附录 X——ODUj 到 OPUk 映射类型的概述		253
附录 XI – 基于 $n \times$ ODUk 时钟推导推荐的 ODUflex(GFP) 比特率		255
ODUk.ts时钟推导及ODUflex(GFP,n,k)时钟生成示例		255
XI.1	引言	255
XI.2	支路插槽尺寸	255
XI.3	ODUflex(GFP,n,k) 时钟生成的示例方法	258
附录 XII – ITU-T G.709 第 4 版、第 5 版和第 6 版之间的术语变化		260
第6版之间的术语变更		260
附录 XIII——OTUCn 子速率 (OTUCn-M) 应用		262
XIII.1	引言	262
XIII.2	OTUCn-M 帧格式和速率	262
XIII.3	OTUCn-M故障状态	263
附录 XIV – OTN 中两个管理域中以太网 UNI 与 FlexE 组 UNI 互连示例 (适用于这些 UNI 部署		

不同映射方法的示例.....	264
附录 XV——ODUflex(GFP) 和 ODUflex(IMP) 时钟生成方法示例	267
参考文献.....	269

光传输网络接口

1 范围

光传输网络（OTN）支持各种架构的光网络（如点对点、环形和网状架构）的运行与管理。

本建议书定义了光网络子网内部及子网间使用的OTN接口，具体涉及：

- OTN分层结构；
- 顶架结构支持多波长光网络的功能性；
- 帧结构；
- 比特率；
- 用户信号映射格式。

与定义接口相关的功能及流程在[ITU-T G.798]中规定。

本建议书定义的接口可应用于OTN的用户-网络接口（UNI）和网络节点接口（NNI）。

2 参考文献

下列ITU-T建议书及其他参考文献所载条款，经本文件引用后即构成本建议书条款。出版时所示版本均属有效。所有建议书及其他参考文献均可能修订；故建议本建议书使用者考虑采用下列列举建议书及其他参考文献的最新版本。国际电联电信标准化部门（ITU-T）现行有效建议书清单定期发布。本建议书中引用的文件不具有独立建议书的法律效力。

[ITU-T G.652]	建议书 ITU-T G.652 (2016)， <i>单模光纤与光缆特性</i> 。
[ITU-T G.693]	国际电信联盟电信标准化部门G.693建议书 (2009)， <i>局内系统光接口</i> 。
[ITU-T G.695]	建议书 ITU-T G.695 (2018)， <i>粗波分复用应用的光接口</i> 。
[ITU-T G.698.1]	建议书 ITU-T G.698.1 (2009)， <i>采用单通道光接口的多通道密集波分复用应用</i> 。
[ITU-T G.698.2]	国际电信联盟建议书 ITU-T G.698.2 (2018)， <i>采用单通道光接口的放大式多通道密集波分复用应用</i> 。
[ITU-T G.698.3]	国际电信联盟建议书 ITU-T G.698.3 (2012)， <i>采用单通道光接口的多通道种子DWDM应用</i> 。
[ITU-T G.707]	国际电信联盟建议书 ITU-T G.707/Y.1322 (2007)， <i>同步数字体系 (SDH) 网络节点接口</i> 。
[ITU-T G.709.1]	建议书 ITU-T G.709.1/Y.1331.1 (2018)， <i>柔性 OTN 短距离接口</i> 。

[ITU-T G.709.3]	建议书 ITU-T G.709.3/Y.1331.3 (2018), 柔性OTN长距离接口。
[ITU-T G.709.4]	国际电信联盟建议书 ITU-T G.709.4/Y.1334.4 (2020), OTU25 和 OTU50 短距离接口。
[ITU-T G.780]	建议书 ITU-T G.780/Y.1351 (2010), 同步数字体系 (SDH) 网络术语与定义。
[ITU-T G.798]	建议书 ITU-T G.798 (2017), 光传输网络分层设备功能模块特性。
[ITU-T G.805]	国际电信联盟建议书 ITU-T G.805 (2000), 传输网络通用功能架构。
[ITU-T G.806]	国际电信联盟电信标准化部门G.806建议书 (2012年), 传输设备特性——描述方法与通用功能。
[ITU-T G.807]	建议书 ITU-T G.807 (2020), 光媒体网络通用功能架构。
[ITU-T G.870]	建议书 ITU-T G.870/Y.1352 (2016), 光传输网络 (OTN) 术语与定义。
[ITU-T G.872]	建议书 ITU-T G.872 (2019), 光传输网络架构。
[ITU-T G.873.1]	建议书 ITU-T G.873.1 (2014), 光传输网络 (OTN) : 线性保护。2017
[ITU-T G.873.2]	建议书 ITU-T G.873.2 (2015), ODUk 共享环保护 (SRP)。
[ITU-T G.959.1]	建议书 ITU-T G.959.1 (2018), 光传输网络物理层接口。
[ITU-T G.984.6]	建议书 ITU-T G.984.6 (2008), 千兆位能力无源光网络 (GPON) : 传输距离扩展。
[ITU-T G.987.4]	建议书 ITU-T G.987.4 (2012), 10 千兆位能力无源光网络 (XG-PON) : 传输距离扩展。
[ITU-T G.7041]	建议书 ITU-T G.7041/Y.1303 (2016), 通用帧处理程序 (GFP)。
[ITU-T G.7044]	建议 ITU-T G.7044/Y.1347 (2011), ODUflex(GFP) 无中断调整。
[ITU-T G.7712]	建议书 ITU-T G.7712/Y.1703 (2019), 数据通信网络架构与规范。
[ITU-T G.7714.1]	建议书 ITU-T G.7714.1/Y.1705.1 (2010), 同步数字系统和光传输网络中的自动发现协议。
[ITU-T G.8260]	国际电信联盟电信标准化部门G.8260号建议书 (2015年), 分组网络中同步的定义和术语。
[ITU-T G.8262]	建议书 ITU-T G.8262/Y.1362 (2018), 同步设备从属时钟的计时特性。
[ITU-T G.8264]	建议书 ITU-T G.8264 (2017), 通过分组网络分发时序信息。

[ITU-T M.1400]	建议书 ITU-T M.1400 (2001), <i>运营商网络间互连的命名规则</i> <i>运营商网络间互连的命名规则。</i>
[ITU-T M.3100]	建议书 ITU-T M.3100 (2004), <i>通用网络信息模型。</i>
[ITU-T O.150]	建议书 ITU-T O.150 (1996), <i>数字传输设备性能测量仪器的一般要求。</i>
[ITU-T T.50]	建议书 ITU-T T.50 (1992), <i>国际参考字母表 (IRA) (原称国际字母表第5号或IAS)</i> ——信息技术——用于信息交换的7位编码字符集。
[IEEE 802.3]	IEEE Std. 802.3:2018, <i>以太网标准。</i>
[IEEE 802.3cd]	IEEE Std 802.3cd-2018, <i>以太网标准修订3：50 Gb/s介质访问控制参数及物理层规范，以及50 Gb/s、100 Gb/s和200 Gb/s运行管理参数</i>
[OIF FlexE IA]	OIF, <i>Flex以太网2.0实施协议（2018年版）。</i>

3 定义

3.1 中定义的术语

本建议书采用下列在其他文件中定义的术语：

3.1.1 [ITU-T G.780]中定义的术语：

- BIP-X
- 网络节点接口

3.1.2 [ITU-T G.805]中定义的术语：

- 适应性信息 (AI)
- 特征信息 (CI)
- 网络
- 子网

3.1.4 [ITU-T G.872]中定义的术语：

- 光复用段 (OMS)
- 光传输段 (OTS)

3.1.5 [ITU-T G.959.1]中定义的术语：

- 光支路信号 (OTSi)。

3.1.6 [OIF FlexE IA]中定义的术语：

- FlexE客户端

3.1.7 [ITU-T G.807]中定义的术语：

- 光信号维护实体 (OSME)

3.2 本建议书中定义的术语

本建议书定义下列术语：

- 3.2.1** **ODUk.ts**: ODUk.ts是带宽增量单位，将其与支路时隙数量相乘可得出推荐的ODUflex(GFP,n,k)尺寸，该尺寸经过优化可占据OPUk中指定数量的支路时隙。
- 3.2.2** **OTU0低时延**: OTU0低时延（OTU0LL）是用于在光传输网络边缘单管理域内，通过多厂商光网络接口传输ODU0的信息结构。
- 3.2.3** **光支路信号组装**（OTSiA）：由OTSiG与非关联开销（OTSiG-O）共同构成。
- 3.2.4** **光支路信号组**（OTSiG）：支持OTU的OTSi信号集合。
- 3.2.5** **光支路信号开销**（OTSiG-O）：OTSiG的非关联开销。
- 3.2.6** **连接监控端点**（CMEP）：连接监控端点代表路径的终点，与路径终止功能相对应。连接监控开销（CMOH）在CMEP处插入和提取。

对于ODU和OTU，CMEP分为三类：

- OTU区段CMEP（OS_CMEP），代表OTUk/OTUCn链路的端点。SM开销字段包含相关的CMOH。
- ODU串联连接CMEP（TC_CMEP），代表ODUkT/ODUCnT路径的端点。其TCM1..6开销字段包含关联的CMOH。
- ODU路径CMEP（P_CMEP），代表ODUkP/ODUCnP路径的端点。其PM开销字段包含关联的CMOH。

- 3.2.7** **非关联开销**：通过光监视信号、开销通信信道或其他方式传输的监视信息。
- 3.2.8** **光数据单元**（ODU）：ODU是一种信息结构，由信息有效载荷（OPU）和ODU相关开销组成，可表现为ODUk或ODUCn。
- 3.2.9** **光负载单元**（OPU）：OPU是用于适配客户信息以在OTN传输的信息结构，可表现为OPUk或OPUcn。其包含客户信息及实现客户信号速率与OPU负载速率间速率适配所需的开销，以及支持客户信号传输的其他OPU开销。索引k或Cn（参见第5节）用于标识近似比特率及不同版本。
- 3.2.10** **光传输单元**（OTU）：OTU是用于通过OTSiA或OCh传输ODU的信息结构，可表现为OTUk或OTUCn。

对于OCh和OTN点对点接口情况，OTU开销被用作光层传输的开销，OTU必须在OCh和OTN点对点接口终止处终止。对于OTSiA，OTU开销可能在OTSiA终止处终止，也可能不终止。

OTUk定义了三种版本：完全标准化OTUk（OTUk）、功能标准化OTUk（OTUkV）以及具有完全标准化开销和功能标准化FEC的OTUk（OTUk-v）。完全标准化OTUk用于OTN IrDI，也可用于OTN IaDI。其余两种版本用于OTN IaDI。

- 3.2.11** **OCh**: OCh是一种信息结构，由具有特定带宽的信息有效载荷（OTSiG）和用于管理OCh的非关联开销（OCh-O）组成。

3.2.12 光传输网络：光传输网络（OTN）由光纤连接的光网络单元构成，具备封装、传输、复用、路由、管理、监控及保障客户信号生存能力的功能。客户信号信息在数字域进行处理，并依据[ITU-T G.872]规定的要求通过传输介质传输。

3.2.13 光传输网络节点接口（ONNI）：光传输网络节点用于与其他光传输网络节点互连的接口。

3.2.14 ODUflex(GFP)：用于GFP-F映射客户信号的ODUflex，支持用户配置比特率。

3.2.15 ODUflex(GFP,n,k)：用于GFP-F映射客户信号的ODUflex，支持用户配置 $n \times ODUk.ts$ 比特率，其中n表示1.25G支路时隙数量，k表示ODUk.ts代表值。

ODUflex(GFP,n,k)是ODUflex(GFP)的子集。

3.2.16 ODUflex(IMP)：用于映射IMP的ODUflex，支持用户配置的比特率。

3.2.17 ODUflex(IMP,s)：适用于IMP映射客户端信号的ODUflex，比特率为 $s \times 239/238 \times 5\ 156\ 250\ kbit/s \pm 100\ ppm$ ，其中 $s = 2, 8, n \times 5$ 且 $n \geq 1$ 。

ODUflex(IMP,s)是ODUflex(IMP)的子集。

4 缩写词和缩略语

本建议书使用以下缩写和首字母缩略词：16FS 16列固定填充

3R	重新放大、重塑与重定时
AI	适应性信息
AIS	警报指示信号
AMP	异步映射程序
API	接入点标识符
APS	自动保护切换
ASI	DVB 异步串行接口
BDI	后向缺陷指示
BDI-O	向后缺陷指示开销
BDI-P	后向缺陷指示有效载荷
BEI	后向误差指示
BI	后向指示
BIAE	后向入射对准误差
BIP	位交错奇偶校验
BMP	位同步映射程序
CAUI	(芯片到) 100 Gb/s 连接单元接口
CB	控制块
CBR	恒定比特率
CI	特征信息
CM	连接监控

Cm	m 位元客戶端資料實體數量	
CMEP	连接监控终端点 CMGPON_D	连续模式 GPON 下行
CMGPON_U2	连续模式 GPON 上行 2 CMOH	连接监控开销
CMXGPON_D	连续模式 XGPON 下行 CMXGPON_U2	连续模式 XGPON 上行 2 Cn n
位客户端数据实体数量		
CnD	C_n 与 $(m/n \times C_m)$ 之间的差值	
CPRI	通用公共无线电接口	
CRC	循环冗余校验	
CS	客户端特定	
CSF	客户端信号故障	
CTRL	源向汇发送的控制字	
DAPI	目标访问点标识符	
DDR	双倍数据速率	
DMp	ODUk路径延迟测量	
DMti	TCM路径延迟测量	
DNU	禁止使用	
DVB	数字视频广播	
EDC	错误检测码	
EOS	序列结束	
ESCON	企业系统连接	
增强同步状态消息	增强同步状态消息	
EXP	实验性	
ExTI	预期跟踪标识符	
FA	帧对齐	
FAS	帧对齐信号	
FC	光纤通道	
FC	标志延续	
FDI	前向缺陷指示	
FDI-O	前向缺陷指示开销	
FDI-P	前向缺陷指示有效载荷	
FEC	前向纠错	
FlexO	柔性OTN信息结构	
FlexO-x	阶数为x的FlexO接口信息结构 FlexO-x-<fec>	具有FEC的x阶FlexO接口信
号		

GID	组标识
通用映射程序	通用映射程序
GPON	千兆位被动光网络
IAE	输入对准误差
IB	InfiniBand
IMP	空闲映射程序
IP	互联网协议
JC	正交控制
JOH	对齐开销
LF	本地故障
LLM	逻辑通道标记
LSB	最低有效位
MFAS	多帧对齐信号
MFI	多帧指示器
MPLS	MPLS-TP
MPLS-TP	多协议标签交换 - 传输配置文件 MS Maintenance Signal
MSB	最高有效位
MSI	多重结构标识符
NJO	负面论证机会
NNI	网络节点接口
NOS	非操作序列
OCC	开销通信通道
OCI	开放连接指示
OCN	开销通信网络 ODTUG 光数据支路单元组 ODTUGk/Cn
ODTUK/Cn.ts	光数据支路单元组-k/Cn ODTUjk 光数据支路单元 j 至 k 带 ts 分支时隙的光数据分支单元 k/Cn ODU 光数据单元
ODUk/Cn	光数据单元-k/Cn
ODUk/Cn.ts	光数据单元 k/Cn 适配于 ts 支路插槽 ODUk/CnP ODUk/Cn 路径监控级
ODUk/CnT	光数据单元-k/Cn 串联连接监控层 OH 开销

OMFI	OPU多帧标识符
OMS	光复用段
OMS-O	光复用段开销
OMS-P	光复用段有效载荷
ONNI	光网络节点接口
OPS	光物理段
OPSM	光物理段多通道
OPU	光载荷单元
OPUk/Cn	光载荷单元-k/Cn
OSC	光监视通道
OSMC	OTN同步消息通道
OSME	光信号维护实体
OTL	OTL
OTLk.n	由n条光传输通道组成的组，用于传输一个OTUk
OTLC.n	n个光传输通道组，承载一个 OTUCn OTN 的 OTUC OTN
OTS	光传输段
OTS-O	光传输段开销
OTS-P	光传输段有效载荷
OTSi	光支路信号
OTSiA	光分支信号组件
OTSiG	OTSiG
OTSiG-O	光支路信号组 – 架空OTU OTU0LL
OTU0LL	完全标准化光传输单元-0低时延OTU4-SC阶梯式前向纠错（FEC）的OTU4
OTUCn-M	OTU/Cn 具有 n 个 OxUC 开销实例和 M 个 5G 支路插槽
OTUk/Cn	完全标准化光传输单元-k/CnOTUkV 功能标准化光传输单元-kOTUk-v 具备厂商特定
OTU FEC的k型光传输单元PCC	保护通信通道
P-CMEP	路径连接监控端点 PCS 物理编码子层
PJO	积极论证机会
PKT	数据包
PLD	有效载荷

PM	路径监控		
PMA	物理介质连接子层		
PMI	有效负载丢失指示		
PMOH	路径监控开销		
PN	伪随机数		
POS	位置字段		
ppm	百万分之几		
PRBS	伪随机二进制序列		
PSI	有效载荷结构标识符		
PT	有效载荷类型		
QDR	四倍数据速率		
RES	保留用于未来的国际标准化		
RF	远程故障		
RS	里德-所罗门		
RS-Ack	重新排序确认		
SAPI	源接入点标识符		
SBCON	单字节命令代码集连接 SDI 串行数字接口		
SDR	单数据速率		
Sk	Sink		
SM	SM		
SMOH	区域监控顶置		
SNC	子网连接		
SNC/I	具有内置监控功能的子网连接保护 SNC/N 接保护 (含子层监控)	子网连接保护 (非侵入式监控) SNC/S	子网连
So	源		
SSM	同步状态消息		
TC	串联连接		
TC-CMEP	并联连接-连接监控终端点 TCM	Tandem连接监控	
TCMOH	并联连接监控开销 TS	支路插槽	
TSI	发射机结构标识符		
TSOH	支路插槽开销		
TTI	尾迹标识符		
TTT	时序透明转码		

TxTI	传输的跟踪标识符
UNI	用户到网络接口
XC	交叉连接
XGPON	10 千兆位被动光网络

5 约定

本建议书采用以下约定：

- **k 或 Cn**: 索引“k”用于表示支持的比特率，以及OPUk、OPUCn、ODUk、ODUCn、OTUk和OTUCn的不同版本。k 的示例如下：“1” 表示约 2.5 Gbit/s 比特率，“2” 表示约 10 Gbit/s 比特率，“3” 表示约 40 Gbit/s 比特率，“4” 表示约 100 Gbit/s 比特率。当使用“Cn”索引时，近似比特率为 $n \times 100$ Gbit/s。例如Cn=C4时，近似比特率为400 Gbit/s。
- **x**: 该索引用于表示CBR信号的近似比特率，采用“单位值,单位,[小数单位值]”格式。当前定义的单位值为“G”（代表Gbit/s）。示例：x=40G表示40 Gbit/s，x=2G5表示2.5 Gbit/s。
- **-P**: 后缀 -P 用于标识信号的有效载荷元素。
- **-O**: 后缀-O 用于标识信号中非关联开销元素。
- **ODUj**: 当涉及两种不同的ODUk信息结构时，ODUj用于表示低速率的ODUk信息结构（例如用于ODUk复用）。

光传输网络的功能架构依据[ITU-T G.872]规定构建，用于推导光网络接口规范（ONNI）。ONNI的定义基于[ITU-T G.805]所述各层适配信息与特征信息的组合。

传输顺序：本建议书所有示意图中信息的传输顺序均为先左后右、再由上至下。每个字节内最高位（第1位）优先传输。所有示意图中最高位（第1位）均位于左侧。

映射顺序：恒定比特率信号的串行比特流被插入到OPU有效载荷中，使得比特在OPU/ODU上的传输顺序与它们在AMP、BMP或GMP映射器功能输入端接收时的顺序一致。若 m 位元 ba、bb、bc 至 bm 為用戶端訊號位元，其中 ba 為首接收位元，bm 為末接收位元，則 ba 將映射至首個 OPU 位元組的第一位元，bm 將映射至第 n 位元組的第 8 位元 ($n = m/8$)。

保留位值：保留位或为未来国际标准化保留的开销位值应设为“0”。

非源位值：除非另有说明，任何非源位均应设置为“0”。

OTUk (k=1,2,3,4), OTUCn, OTU25, OTU50, ODUk (k=0,1,2,2e,3,4,flex,25,50), ODUCn, OPUk (k=0,1,2,2e,3,4,flex,25,50) 及 OPUCn 开销分配：光传输/数据/有效载荷单元信号中各部分开销的分配如图 5-1 所示。OTUk、OTU25、OTU50、ODUk、OPUk 各包含一个 OTU、ODU 或 OPU 开销实例。OTUCn、ODUCn 和 OPUCn 包含 n 个 OTU、ODU、OPU 开销实例，编号为 1 至 n。

OTUCn接口上可能存在OTU、ODU和OPU开销的交错版本。此交错机制具有接口特异性，针对采用标准化应用码的OTN接口，其具体规范详见接口专用建议书（ITU-T G.709.x系列）。在本建议书其他条款中，OTUCn、ODUCn和OPUCn以接口无关方式呈现，即通过编号为#1至#n的n个OTUC、ODUC和OPUC实例表示。



图5-1 - OTU、ODU和OPU开销

6 光传输网络接口结构

根据[ITU-T G.872]规定的光传输网络提供两种OTN接口类型：点对点接口和光网络接口。这两种OTN接口类型均由一个或多个光支路信号组成。

OTN点对点接口在接口两端均采用3R处理（终止光支路信号），且不提供光层开销。

OTN光网络接口定义为包含光层开销，且接口两端不一定提供3R处理，这使得光支路信号能够在接口之外继续转发。

这两类OTN接口包含本建议书定义的数字信息和管理信息，由物理接口承载传输，其具体规范超出本建议书范围。

每个OTN接口可关联一个或多个应用标识符。每个应用标识符代表标准化应用代码或供应商特定标识符。具有一个或多个应用代码的接口可用于互连不同供应商的OTN设备。具有一个或多个供应商特定标识符的接口用于连接同一供应商的OTN设备。在考虑用户与供应商管理机构之间或供应商与供应商管理机构之间的接口互联时，除非另有约定，否则接口两端均应采用3R终端。

6.1 基本信号结构

基本结构如图6-1和6-2所示，包含数字结构和光结构两部分。

6.1.1 OTN数字结构

OTN数字结构（见图6-1）基于三类光传输单元（OTU）：OTUk、OTU25、OTU50及OTUCn。

- OTUk信号由4080列×4行的帧构成，其中256列用于承载前向纠错码（FEC），其运行速率由参数k值决定。
- OTU25与OTU50信号采用3824列×4行的帧结构，不含FEC区域，分别以25Gbit/s和50Gbit/s速率运行（速率值由25和50表示）。OTU25与OTU50信号的FEC方案因接口而异，未纳入OTU25及OTU50标准定义。
- OTUCn信号由n个交织的3824列×4行帧组成，不含FEC区域，运行速率为基本速率n倍（由OTUC表示）。OTUCn信号的FEC属于接口特定功能，未包含在OTUCn定义中。

OTUCn信号可通过FlexO-x-<fec>-m接口组传输，其中m=⌈ $\frac{4080}{n}$ ⌉。FlexO-x-

<fec>接口组传输；详见[ITU-T G.709.1]和[ITU-T G.709.3]。

OTU25与OTU50信号通过OTU25-RS及OTU50-RS接口传输；详见[ITU-T G.709.4]。

OTU包含一个光数据单元（ODU），其中包含光有效载荷单元（OPU）。OTUk、OTU25、OTU50、OTUCn和ODUCn属于数字分段层。ODUk（及ODUj）属于路径层。

OTUk ($k \in \{1, 2, 3, 4, 4\text{-SC}\}$) 已完全标准化。存在两种功能标准化方案：OTUk-v与OTUkV。所有方案均提供监视功能，并对OTN中3R再生点间传输的信号进行调制。

OTUCn、OTU25和OTU50为OTN中3R再生点间的传输提供监控功能。需注意，由于封装与前向纠错机制未包含在OTUCn、OTU25和OTU50的定义中，因此它们不执行3R再生点间传输信号的处理。

ODU提供：

- 串联连接监控（ODUjT、ODUkT、ODUCnT）；
- 端到端区段监控（ODUjP、ODUkP、ODUCnP）；
- 通过OPUk和OPUj进行用户信号适配 ($j \in \{0, 1, 2, 2e, 3, 4, \text{flex}\}$, $k \in \{0, 1, 2, 2e, 3, 4, \text{flex}\}$)；
- 通过OPUk适配客户端ODUj信号 ($j \in \{0, 1, 2, 2e, 3, 4, \text{flex}\}$, $k \in \{1, 2, 3, 4, 25, 50\}$, 且ODUj比特率低于OPUk有效载荷比特率)；
- 通过OPUcn适配客户端ODUk信号 ($k \in \{0, 1, 2, 2e, 3, 4, \text{可变}\}$)。

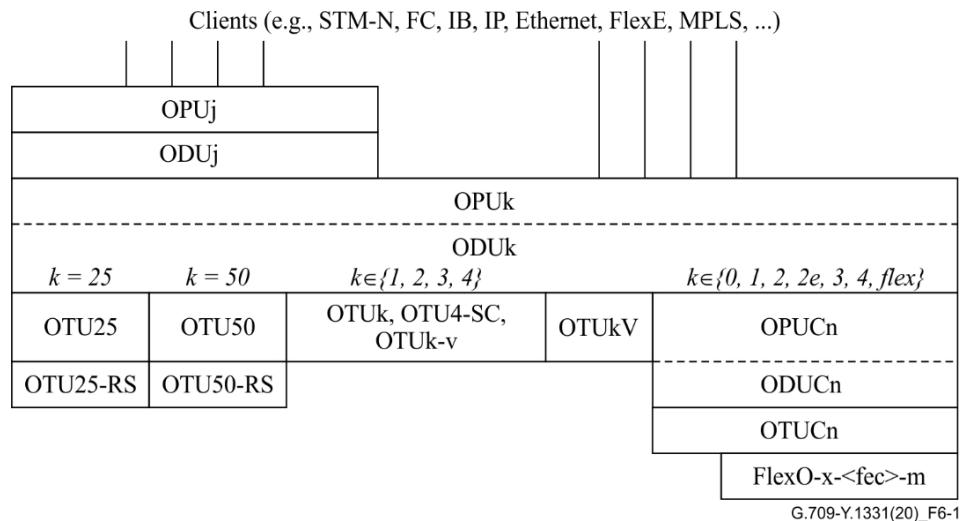


图6-1 – OTN接口的数字结构

6.1.2 OTN光结构

OTN光结构（见图6-2）基于一个或多个光支路信号与三类光开销部署的组合：

- OTN点对点接口不存在光开销的情况。
- OTN光网络接口I类：光开销与一个或多个光支路信号共用同一光纤传输。
- OTN光网络接口II型：光开销通过开销通信网络（OCN）在光纤外部传输，与一个或多个光支路信号分离。

光开销被划分为三个数字层，与[ITU-T G.872]定义的维护实体相对应，如图6-2所示：

- 用于监控光路维护单元（OCh-O 和 OTSiG-O）的架空线路，该单元延伸于两个 OTSiG 调制器与解调器之间。
- 用于监控光复用段维护实体的开销，该实体延伸于两个光复用点（OMS-O）之间。
- 用于监控光传输段维护实体的开销，该实体延伸于两个光放大器之间，或延伸于光复用器（无放大器）与下一光放大器之间（OTS-O）。

OTN光网络接口可支持光层开销（由上述实体表示）。此类开销可通过光监视通道（OSC）、开销通信网络（OCN）提供的开销通信通道（OCC）（参见[ITU-T G.7712]）或替代通信通道传输。支持OCh-O和/或OTSiG-O的接口可在OCh和/或OTSiA信号的光层实现交换，这些信号承载单个光传输单元或FlexO-x-<fec>-m组信号在3R再生点间传输。支持OTS-O和OMS-O的接口还支持在光层交换点间部署串联光放大器。

OTN点对点接口不支持光层开销，旨在通过单光链路传输光传输单元或FlexO-x-<fec>-m组信号，两端均设有3R再生点。此类接口堆栈中不存在光路径层。

OTN点对点接口承载OTUCn/FlexO-x-<fec>-m组中的一个或多个OTUk、OTUCn或FlexO-x-<fec>组，这些组通过OTUk、OTUCn或FlexO-x-<fec>-m组开销进行监控。<fec>-m组开销进行监控。

OTN光网络接口承载一个或多个光支路信号，每个信号传输OTUk或OTUCn或OTUCn或一个FlexO-x-<fec>（来自OTUCn/FlexO-x-<fec>-m组）或非OTN客户信号。

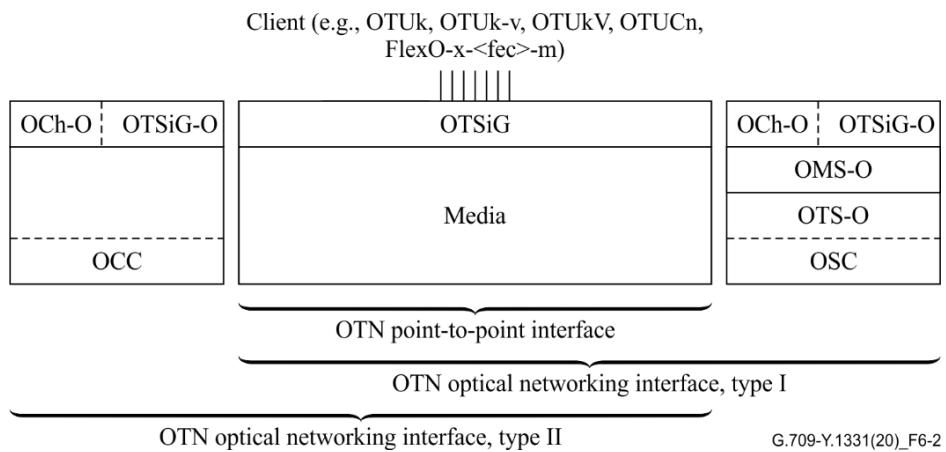


图6-2 – OTN接口的光学结构

6.2 OTN 接口的信息结构

OTN接口的信息结构通过信息包含关系和信息流来表示。OTUk和OTUCn数字结构的主要信息包含关系如图6-3和图6-4所示。

在OTN光网络接口的监控中，当OCh信号终止时OTU信号即告终止；当OTSiA信号终止时，OTU信号可能终止

终止时OTU信号也可能终止。在OTN点对点接口的监控中，当接口信号终止时OTU信号即告终止。

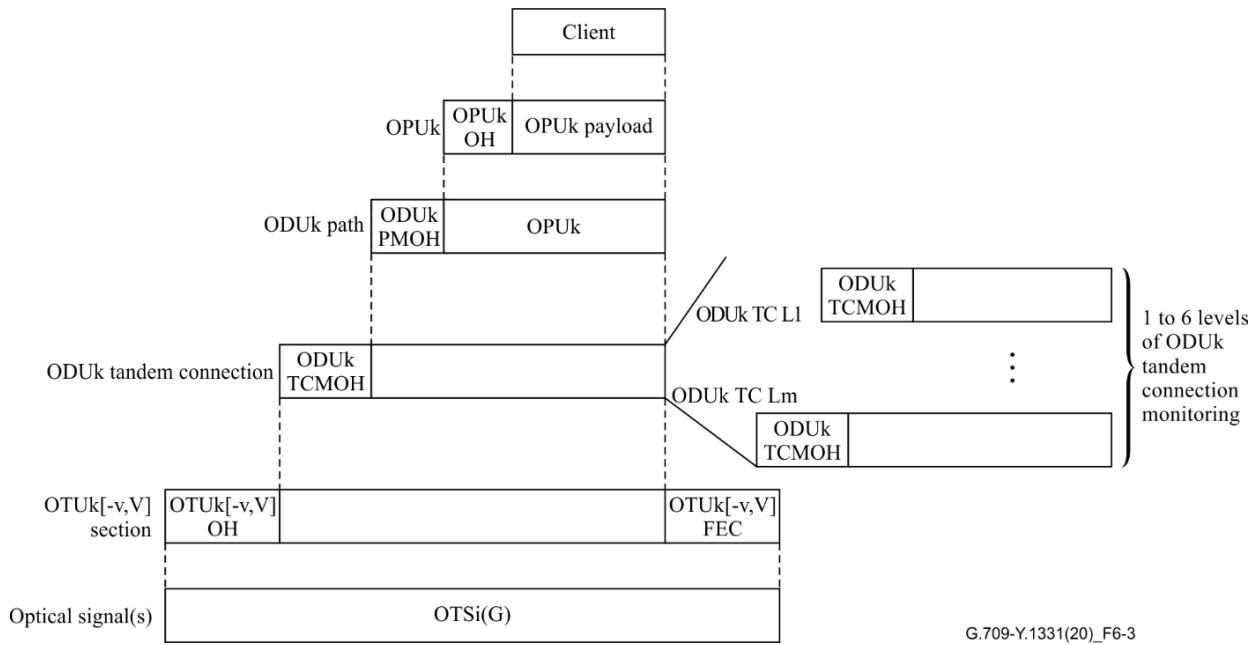


图6-3 – OTUCn数字结构的主要信息包含关系

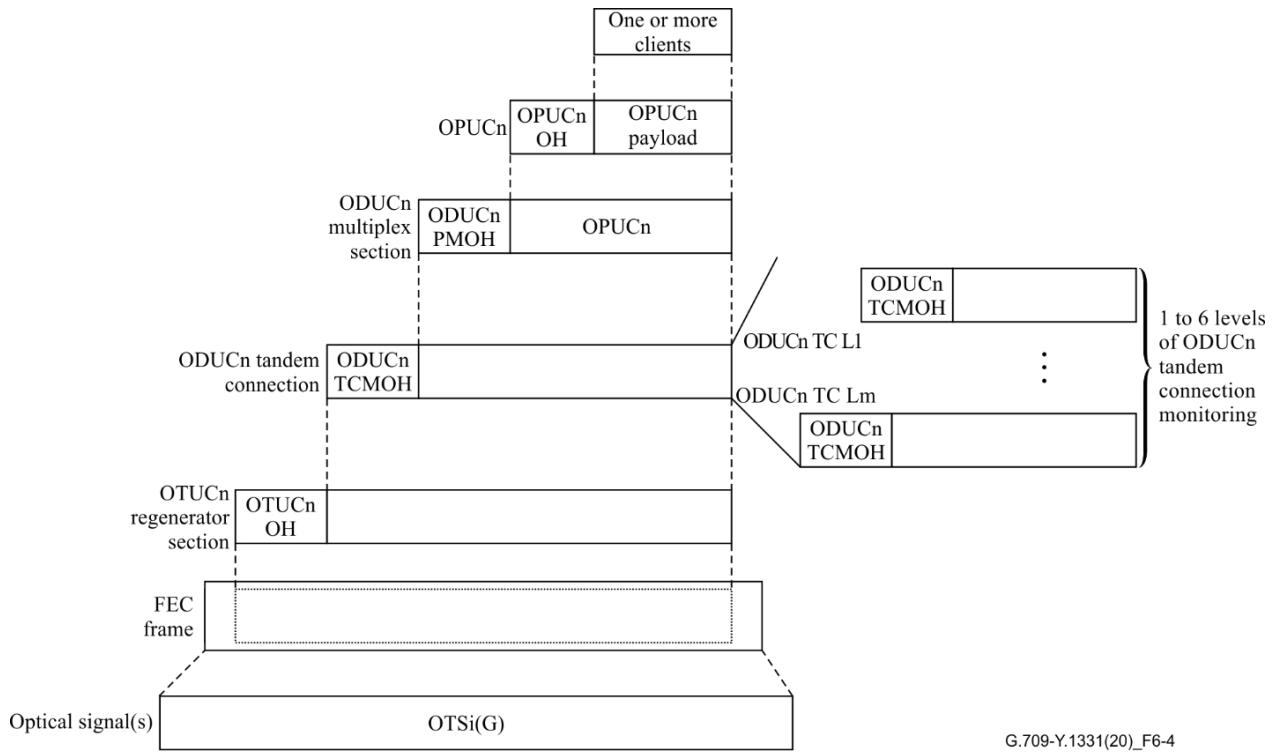
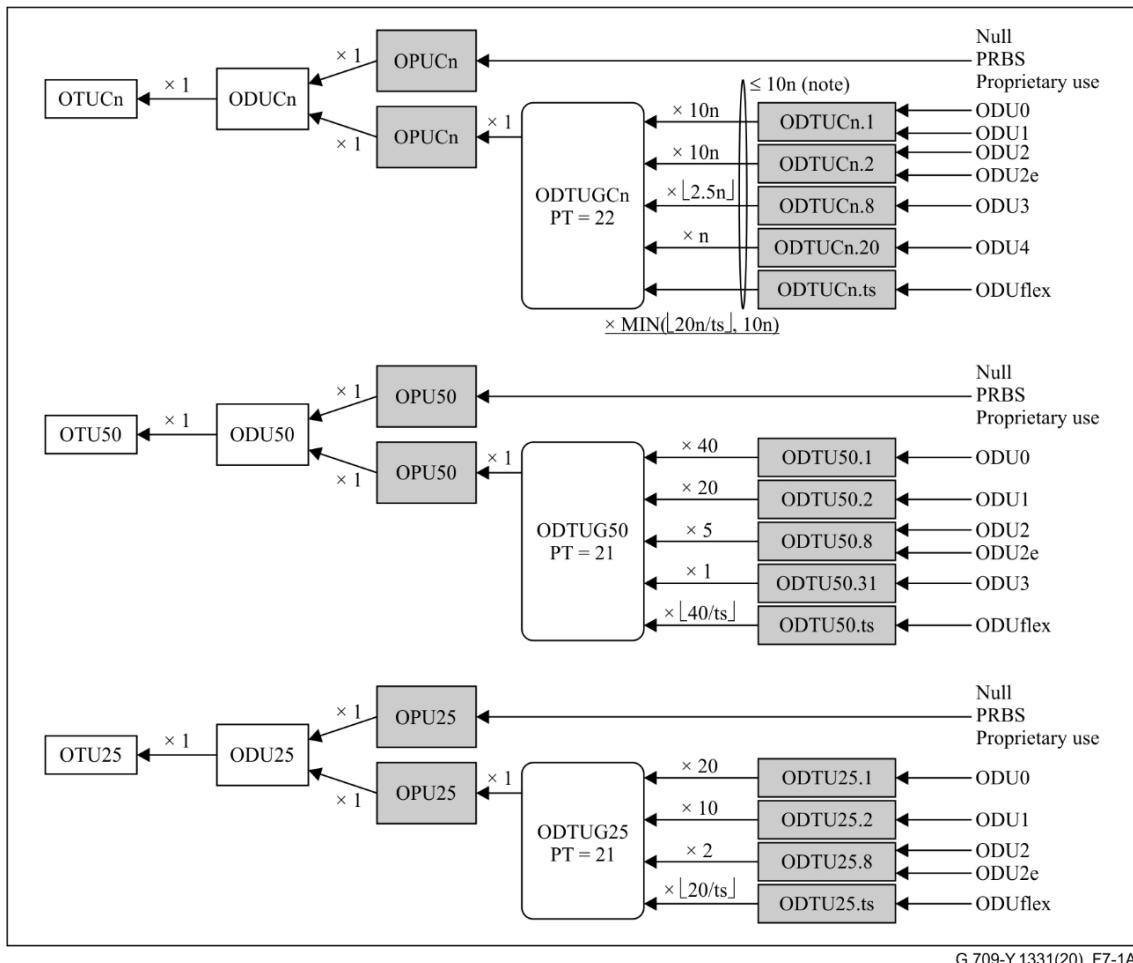


图6-4 – OTUCn数字结构的主要信息包含关系

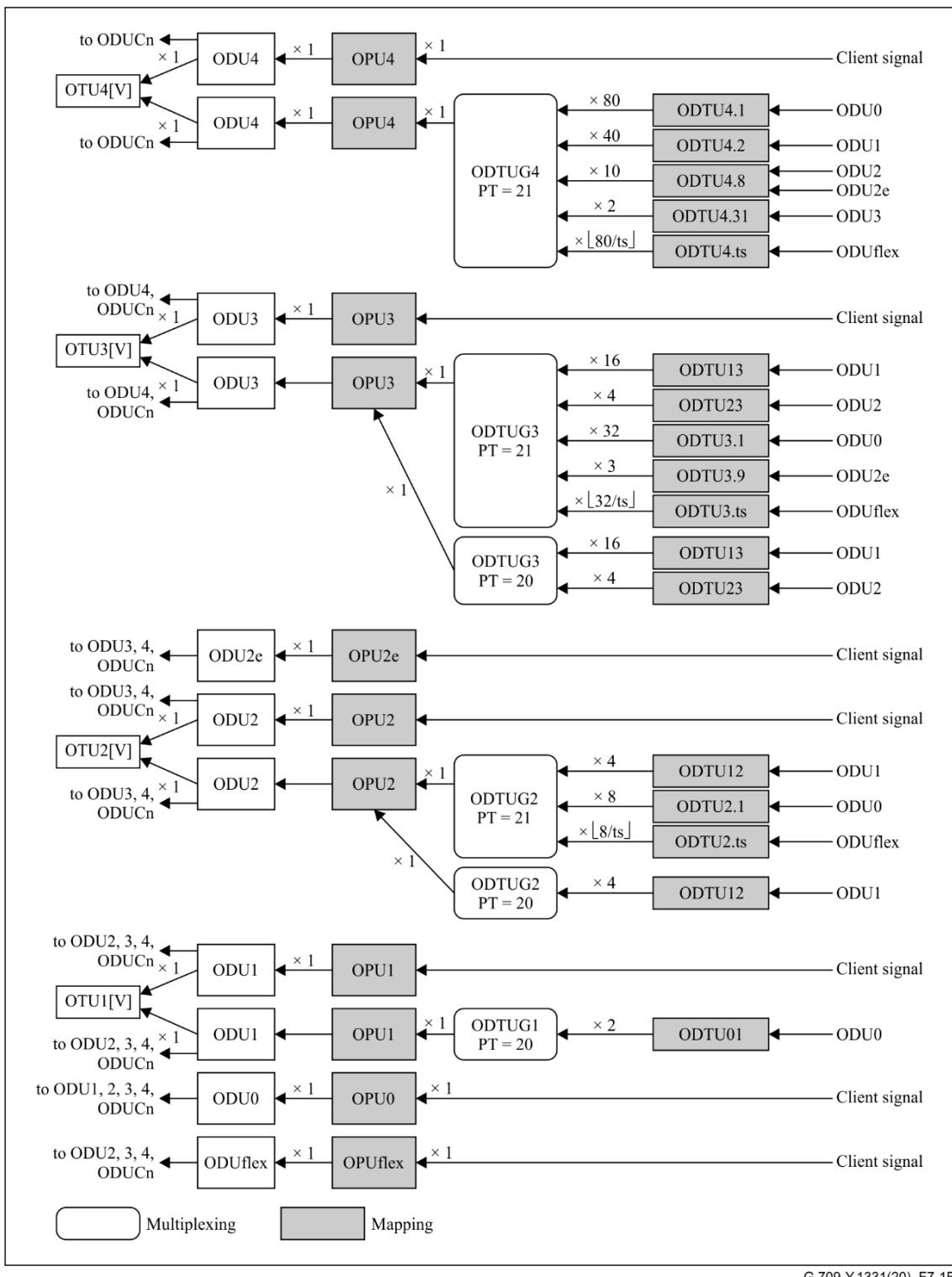
图7-1A和7-1B展示了各类信息结构元素间的关联关系，并阐释了OTU的复用结构与映射机制。在多域OTN中，任意组合的ODU复用层均可能存在于特定OTN网络节点接口（NNI）。设备或域内ODU复用层的互连与可见性超出本建议书讨论范围。图7-1A和7-1B显示非OTN客户信号映射至OPU，该OPU信号再映射至关联的ODU。此ODU信号可映射至关联的OTU[V]信号或ODTU，最终该ODTU信号被复用至ODTU组（ODTUG）。ODTUG信号映射至OPU，该OPU信号再映射至关联的ODU，依此类推。

OPU_k ($k=0,1,2,2e,3,4,flex,25,50$) 具有相同的信息结构，但承载不同客户端信号。OPUCn的信息结构与OPU_k不同：OPUCn由n个OPU信息结构组成，而OPU_k仅包含单个OPU信息结构实例。



G.709-Y.1331(20)_F7-1A

图7-1A – OTN复用与映射结构



G.709-Y.1331(20)_F7-1B

注——实现方案应支持将最多10n个ODUk ($k=0,1,2c,3,4,flex$) 信号复用至OPUCn。

图7-1B – OTN复用与映射结构

7.1 映射

用户信号或光数据支路单元组 (ODTUG) 映射至光处理单元 (OPU)。OPU映射至光数据单元 (ODU) , ODU映射至光传输单元 (OTU) 。OTU映射至光传输子组 (OTSIG) 。OTUk也可映射至光传输链路n (OTLk.n) , 而后OTLk.n再映射至光传输子组 (OTSIG) 。

7.2 波分复用

波分复用技术用于将一个或多个OTSi的OTSi复用，以便通过OTN接口传输。

对于OTN光网络接口中的I型接口，OSC的OTSi通过波分复用技术进行复用，以实现接口传输。

7.3 比特率与容量

OTU信号的比特率及容差定义见表7-1。

ODU信号的比特率和容差在第12.2节和表7-2中定义。OPU有效载荷的比特率和容差在表7-3中定义。

OTU、ODU和OPU帧周期定义见表7-4。OTL信号的类型和比特率定义见表7-5。

2.5G和1.25G支路时隙相关的OPUk多帧周期以及5G支路时隙OPUCn多帧周期定义于表7-6。

ODTU有效载荷区域带宽定义见表7-7。带宽取决于OPU类型及映射方式（AMP或GMP）。AMP带宽包含NJO开销字节提供的带宽，而GMP定义中不包含此类NJO字节。

ODUflex(GFP,n,k)的比特率及容差定义见表7-8。

客户端OTU所需的OPU支路时隙数量汇总于表7-9，具体要求详见条款19.6和20.5。

表7-1 – OTU类型与比特率

OTU类型	OTU标称比特率	OTU 比特率容差
OTU1	255/238 × 2 488 320 千比特/秒	±20 ppm (注5)
OTU2	255/237 × 9 953 280 千比特/秒	
OTU3	255/236 × 39 813 120 千比特/秒	
OTU4	255/227 × 99 532 800 千比特/秒	
OTUCn	n × 239/226 × 99 532 800 千比特/秒	
OTU25	61677/58112 × 24 883 200 千比特/秒	
OTU50	61677/58112 × 49 766 400 kbit/s	

注1—标称OTU速率约为：2 666 057.143 kbit/s（OTU1）、10 709 225.316 kbit/s（OTU2）、43 018 413.559 kbit/s（OTU3），111 809 973.568 kbit/s（OTU4），26 409 711.013 kbit/s（OTU25），52 819 422.026 kbit/s（OTU50）和n × 10⁶ 258 138.053 kbit/s（OTUCn）。

注2——本建议书未规定OTU0、OTU2e和OTUflex。ODU0信号需通过ODU1、ODU2、ODU3、ODU4、ODU25、ODU50或ODUCn信号传输；ODU2e信号需通过ODU3、ODU4、ODU25、ODU50和ODUCn信号传输，ODUflex信号则通过ODU2、ODU3、ODU4、ODU25、ODU50和ODUCn信号传输。

注3—OTUk（k=1,2,3,4）信号比特率包含FEC开销区域。OTUCn信号比特率不包含FEC开销区域。

注4—OTU25[OTU50]比特率可基于OTU25-RS[OTU50-RS]比特率按下列公式计算：514/544 × 41118/41120 × OTU25-RS [OTU50-RS] 比特率 = 514/544 × 41118/41120 × 255/227 × 24 883 200 [49 766 400] kbit/s。

注5—同步OTUk（k=1,2,3,4）、OTU25/50和OTUCn的比特率容差请参见条款12.2.1.1。

表7-2 – ODU类型与比特率

ODU类型	ODU标称比特率	ODU 比特率容差
ODU0	1 244 160 千比特每秒	$\pm 20 \text{ ppm}$ (注4)
ODU1	$239/238 \times 2\ 488\ 320 \text{ kbit/s}$	
ODU2	$239/237 \times 9\ 953\ 280 \text{ 千比特/秒}$	
ODU3	$239/236 \times 39\ 813\ 120 \text{ 千比特/秒}$	
ODU4	$239/227 \times 99\ 532\ 800 \text{ 千比特/秒}$	
ODU25	$61677/58112 \times 24\ 883\ 200 \text{ 千比特/秒}$	
ODU50	$61677/58112 \times 49\ 766\ 400 \text{ 千比特每秒}$	
ODUCn	$n \times 239/226 \times 99\ 532\ 800 \text{ kbit/s}$	
ODU2e	$239/237 \times 10\ 312\ 500 \text{ kbit/s}$	$\pm 100 \text{ ppm}$
ODUflex 用于 CBR 客户端信号	$239/238 \times \text{客户端信号比特率}$	$\pm 100 \text{ ppm}$ (注2、3)
ODUflex 用于 GFP-F 映射的客户端信号 (ODUflex(GFP))	$239/238 \times \text{OPUflex(GFP) 有效载荷信号速率}$	$\pm 100 \text{ ppm}$
基于ODUk.ts和n个1.25G支路时隙的ODUflex用于 GFP-F映射客户端信号(ODUflex(GFP,n,k))	配置比特率 (参见表7-8)	
ODUflex 用于 IMP 映射客户端信号 (ODUflex(IMP))	$239/238 \times \text{OPUflex(IMP) 有效载荷信号速率}$	
ODUflex 用于映射至IMP的FlexE客户端信号 (ODUflex(IMP,s))	$s \times 239/238 \times 5\ 156\ 250 \text{ 千比特每秒}$ $s = 2, 8, n \times 5 \text{ 且 } n \geq 1 \text{ (参见第12.2.6节)}$	
ODUflex 用于 FlexE 感知客户端信号	$103\ 125\ 000 \times 240/238 \times n/20 \text{ kbit/s} (n = n_1 + n_2 + \dots + n_p)$	

注1 – 标称ODU速率约为：2 498 775.126 kbit/s (ODU1) ,

10 037 273.924 kbit/s (ODU2), 40 319 218.983 kbit/s (ODU3), 104 794 445.815 kbit/s (ODU4), 26 409

711.013 千比特每秒 (ODU25), 52 819 422.026 千比特每秒 (ODU50), 10 399 525.316 千比特每秒 (ODU2e), $n \times 105\ 258$

138.053 kbit/s (ODUCn)。

注2 – ODUflex(CBR)信号的比特率容差规定为 $\pm 100 \text{ ppm}$ 。该值可能大于客户端信号本身的容差 (例如 $\pm 20 \text{ ppm}$)。此类情况下，容差由具有 $\pm 100 \text{ ppm}$ 容差的ODUflex(CBR)维护信号决定。

注3 – 当ODUflex(CBR)信号的标称比特率接近ODTUk.ts最大有效载荷比特率，且客户速率容差小于 $\pm 100 \text{ ppm}$ (例如 $\pm 10 \text{ ppm}$) 时，ODUflex(CBR)维护信号的比特率可能超过ODTUk.ts有效载荷比特率。此类情况下可采用两种方案：使用额外支路时隙 (即ODTUk.(ts+1))，或人为将ODUflex(CBR)信号标称比特率降低至最大ODUflex(CBR)信号比特率以下100 ppm的值。

注4 – 同步ODUk (k=1,2,3,4)、ODU25/50和ODUCn的比特率容差请参见条款12.2.1.1。

表7-3 – OPU类型与比特率

OPU类型	OPU有效载荷标称比特率	OPU有效载荷比特率容差
OPU0	238/239 × 1 244 160 千比特/秒	
OPU1	2 488 320 kbit/s	
OPU2	238/237 × 9 953 280 千比特/秒	
OPU3	238/236 × 39 813 120 千比特/秒	
OPU4	238/227 × 99 532 800 千比特/秒	
OPU25	7339563/6944384 × 24 883 200 千比特每秒	±20 ppm (注2)
OPU50	7339563/6944384 × 49 766 400 kbit/s	
OPUCn	n × 238/226 × 99 532 800 kbit/s	
OPU2e	238/237 × 10 312 500 kbit/s	±100 ppm
OPUflex 用于 CBR 客户端信号	客户端信号比特率	客户端信号比特率容差, 最大值为±100 ppm
OPUflex 用于 GFP-F 映射的客户端信号 (OPUflex(GFP))	配置的比特率 (参见12.2.5节)	
基于ODUk.ts和n的GFP-F映射客户端信号 OPUflex 1.25G 支路插槽 (ODUflex(GFP,n,k))	238/239 × ODUflex(GFP,n,k) 信号速率	
OPUflex 用于 IMP 映射的客户端信号 (OPUflex(IMP))	配置的比特率 (参见条款12.2.6)	±100 ppm
OPUflex 用于映射至IMPP的FlexE客户端信号 (OPUflex(IMP,s))	s × 5 156 250 kbit/s s = 2, 8, n × 5 且 n ≥ 1 (参见 12.2.6)	
OPUflex 用于 FlexE 感知客户端信号	103 125 000 × 240/239 × n/20 kbit/s (n = n ₁ + n ₂ + .. + n _p)	

注1 – OPU有效载荷速率约值: 1 238 954.310 kbit/s (OPU0有效载荷), 2 488 320.000 kbit/s (OPU1有效载荷), 9 995 276.962 kbit/s (OPU2有效载荷), 40 150 519.322 kbit/s

(OPU3有效载荷), 104 355 975.330 (OPU4有效载荷), 26 299 210.130 kbit/s (OPU25有效载荷), 52 598 420.261

kbit/s (OPU50有效载荷), 10 356 012.658 kbit/s (OPU2e有效载荷),

n × 10⁴ 817 727.434 kbit/s (OPUCn有效载荷)。

注2 – 同步OxUk (k=1,2,3,4)、OxU25/50及OxUCn的比特率容差参见条款12.2.1.1。

表 7-4 – OTU/ODU/OPU 帧周期

OTU/ODU/OPU 类型	周期 (注)
ODU0/OPU0	98.354 微秒
OTU1/ODU1/OPU1	48.971 微秒
OTU2/ODU2/OPU2	12.191 微秒
OTU3/ODU3/OPU3	3.035 微秒
OTU4/ODU4/OPU4	1.168 微秒
OTU25/ODU25/OPU25	4.633 微秒
OTU50/ODU50/OPU50	2.317 微秒
ODU2e/OPU2e	11.767 微秒
OTUCn/ODUCn/OPUCn	1.163 微秒
ODUflex/OPUflex	CBR客户端信号: 121856/client_signal_bit_rate
	GFP-F映射客户端信号: 122368/ODUflex_bit_rate
	IMP映射的客户端信号: 122368/ODUflex_bit_rate
	FlexE感知客户端信号: 122368/ODUflex_bit_rate

注：该周期为近似值，保留小数点后3位。

表 7-5 – OTL 类型与比特率

OTL类型	OTL标称比特率	OTL 比特率容差
OTL3.4	4通道 255/236 × 9 953 280 kbit/s	±20 ppm
OTL4.4	4通道 255/227 × 24 883 200 kbit/s	

注——标称OTL速率约为：10 754 603.390 kbit/s (OTL3.4) 和27 952 493.392 kbit/s (OTL4.4)。

表7-6 – 2.5G和1.25G支路时隙的OPUk多帧周期及5G支路时隙的ODUCn多帧周期

OPU类型	1.25G支路槽多帧周期 (注)	2.5G支路槽多帧周期 (注)	5G支路槽多帧周期 (注)
OPU1	97.942 微秒	—	—
OPU2	97.531 微秒	48.765 微秒	—
OPU3	97.119 微秒	48.560 微秒	—
OPU4	93.416 微秒	—	—
OPU25	92.669 微秒	—	—
OPU50	92.669 微秒	—	—
OPUCn	—	—	23.251 微秒

注——该周期为近似值，保留小数点后3位。

表7-7 – ODTU有效载荷带宽 (kbit/s)

ODTU类型	ODTU有效载荷标称带宽		ODTU有效载荷比特率容差	
ODTU01	$(1904 + 1/8)/3824 \times ODU1$ 比特率		± 20 ppm	
ODTU12	$(952 + 1/16)/3824 \times ODU2$ 位速率			
ODTU13	$(238 + 1/64)/3824 \times ODU3$ 位速率			
ODTU23	$(952 + 4/64)/3824 \times ODU3$ 位速率			
ODTU2.ts	$ts \times 476/3824 \times ODU2$ 位元速率			
ODTU3.ts	$ts \times 119/3824 \times ODU3$ 位元速率			
ODTU4.ts	$ts \times 47.5/3824 \times ODU4$ 比特率			
ODTU25.ts	$ts \times 190.4/3824 \times ODU25$ 比特率			
ODTU50.ts	$ts \times 95.2/3824 \times ODU50$ 位速率			
ODTUCn.ts	$ts \times 190.4/3824 \times ODU C_n$ 比特率/n			
	最小	标称	最大	
ODTU01	1 244 216.796	1 244 241.681	1 244 266.566	
ODTU12	2 498 933.311	2 498 983.291	2 499 033.271	
ODTU13	2 509 522.012	2 509 572.203	2 509 622.395	
ODTU23	10 038 088.048	10 038 288.814	10 038 489.579	
ODTU2.ts	$ts \times 1 249 384.632$	$ts \times 1 249 409.620$	$ts \times 1 249 434.608$	
ODTU3.ts	$ts \times 1 254 678.635$	$ts \times 1 254 703.729$	$ts \times 1 254 728.823$	
ODTU4.ts	$ts \times 1 301 683.217$	$ts \times 1 301 709.251$	$ts \times 1 301 735.285$	
ODTU25.ts、ODTU50.ts	$ts \times 1 314 934.207$	$ts \times 1 314 960.507$	$ts \times 1 314 986.806$	
ODTUCn.ts	$ts \times 5 240 781.554$	$ts \times 5 240 886.372$	$ts \times 5 240 991.189$	
注：带宽为近似值，保留小数点后3位。				

表7-8 – ODUflex (GFP,n,k) 推荐比特率及容差

ODU类型	标称比特率	容差
ODU2.ts (注1)	1'249'177.230 千比特/秒	
ODU3.ts (注1)	1,254,470.354 千比特/秒	
ODU4.ts (注1)	1'301'467.133 千比特/秒	
ODUflex(GFP,n,2) n个1.25G分支时隙, 1 ≤ n ≤ 8	$n \times ODU2.ts$	± 100 ppm
ODUflex(GFP,n,3) n个1.25G分支时隙, 9 ≤ n ≤ 32 (注3)	$n \times ODU3.ts$	± 100 ppm
ODUflex(GFP,n,4) n个1.25G分支插槽, 33 ≤ n ≤ 80 (注2)	$n \times ODU4.ts$	± 100 ppm

注1 – ODUk.ts的取值旨在支持多种生成ODUflex(GFP)时钟的方法。这些值的推导过程及ODUflex(GFP)时钟生成示例方法详见附录XI。

注2 – 通过ODUflex(GFP)传输数据包客户端的速率规定最高为100 Gbit/s。

注3 – 当使用ODU25u或ODU50u作为服务器时, n值可大于8。详见附录L。

表7-9 – ODUj接入OPUk及ODUk接入OPUCn所需支路时隙数

	# 5G TS OPUCn	# 2.5G 分支插槽		# 1.25G 支流槽									
		OPU2	OPU3	OPU1		OPU2		OPU3		OPU4		OPU25	OPU50
				OPU1	OPU2	OPU2	OPU3	OPU3	OPU4	OPU4	OPU50		
ODU0	1	–	–	1	1	1	1	1	1	1	1		
ODU1	1	1	1	–	2	2	2	2	2	2	2		
ODU2	2	–	4	–	–	8	8	8	8	8	8		
ODU2e	2	–	–	–	–	9	8	8	8	8	8		
ODU3	8	–	–	–	–	–	31	–	–	31	31		
ODU4	20	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		
ODUflex(CBR)													
– ODUflex(1B SDR)	1	–	–	–	3	3	2	2	2	2	2		
– ODUflex(1B DDR)	1	–	–	–	5	5	4	4	4	4	4		
– ODUflex(1B QDR)	2	–	–	–	–	9	8	8	8	8	8		
– ODUflex(FC-400)	1	–	–	–	4	4	4	4	4	4	4		
– ODUflex(FC-800)	2	–	–	–	7	7	7	7	7	7	7		
– ODUflex(FC-1600)	3	–	–	–	–	12	11	11	11	11	11		
– ODUflex(FC-3200)	6	–	–	–	–	23	22	–	–	–	22		
– ODUflex(3G SDI) (2 970 000)	1	–	–	–	3	3	3	3	3	3	3		
– ODUflex(3G SDI) (2 970 000/1.001)	1	–	–	–	3	3	3	3	3	3	3		
– ODUflex(25GbE-R)	5	–	–	–	–	21	20	20	20	20	20		
– ODUflex (50GbE-R)	10	–	–	–	–	–	40	–	–	–	40		
– ODUflex(200GbE-R)	40	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		
– ODUflex(400GbE-R)	80	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		
ODUflex(GFP)	注	–	–	–	注	注	注	注	注	注	注		
– ODUflex(GFP,n,k)	注	–	–	–	n	n	n	n	n	n	n		
ODUflex(IMP)	注	–	–	–	注	注	注	注	注	注	注		
– ODUflex(IMP,s)	注	–	–	–	–	注	注	注	注	注	注		
ODUflex(FlexE)	注	–	–	–	–	注	注	注	注	注	注		
注 – 请参阅条款19.6和20.5中的方程19-1a、19-1b、20-1a和20-1b。													

7.4 ODUk时分复用

图7-1展示了下列定义的各类时分复用元件间的关系，并说明了可能的复用结构。表7-10概述了有效的支路时隙类型及映射程序配置选项。

最多2路ODU0信号通过时分复用技术复用至ODTUG1（PT=20）。该ODTUG1（PT=20）被映射至OPU1。

最多4个ODU1信号通过时分复用技术复用至ODTUG2（PT=20）。该ODTUG2（PT=20）映射至OPU2。

p（p≤4）个ODU2信号与q（q≤16）个ODU1信号的混合信号可通过时分复用技术复用至ODTUG3（PT=20）。该ODTUG3（PT=20）映射至OPU3。

通过时分复用技术，可将p个（p≤8）ODU0、q个（q≤4）ODU1、r个（r≤8）ODUflex信号混合复用至ODTUG2（PT=21）中。该ODTUG2（PT=21）信号映射至OPU2。

通过时分复用技术，可将混合信号（包含 p 个 ($p \leq 32$) ODU0、q 个 ($q \leq 16$) ODU1、r 个 ($r \leq 4$) ODU2、s 个 ($s \leq 3$) ODU2e 及 t 个 ($t \leq 32$) ODUflex）复用至 ODTUG3（PT=21）。ODTUG3（PT=21）映射到 OPU3。

混合信号包含：p ($p \leq 80$) 个 ODU0、q ($q \leq 40$) ODU1、r ($r \leq 10$) ODU2、s ($s \leq 10$) ODU2e、t ($t \leq 2$) ODU3 和 u ($u \leq 80$) ODUflex 信号混合，可通过时分复用技术复用到 ODTUG4（PT=21）中。该 ODTUG4（PT=21）映射至 OPU4。

注1—ODTUGk 为逻辑构造，不再作进一步定义。ODTUjk 和 ODTUk.ts 信号直接时分复用至 OPUk 的支路时隙中。

通过时分复用技术，可将混合信号（包含 p 个 ODU0 信号 ($p \leq 20$)、q 个 ODU1 信号 ($q \leq 10$)、r 个 ODU2 信号 ($r \leq 2$)、s 个 ODU2e 信号 ($s \leq 2$) 及 u 个 ODUflex 信号 ($u \leq 20$)）复用至 ODTUG25（PT=21）中。ODTUG25（PT=21）映射至 OPU25。

混合包含 p ($p \leq 40$) 个 ODU0、q ($q \leq 20$) ODU1、r ($r \leq 5$) ODU2、s ($s \leq 5$) ODU2e、t ($t \leq 1$) ODU3 和 u ($u \leq 40$) ODUflex 信号混合，可通过时分复用技术复用至 ODTUG50（PT=21）。ODTUG50（PT=21）映射至 OPU50。

混合信号包含：p ($p \leq 10n$) 个 ODU0、q ($q \leq 10n$) 个 ODU1、r ($r \leq 10n$) 个 ODU2、s ($s \leq 10n$) 个 ODU2e、t ($t \leq \text{int}(10n/4)$) 个 ODU3、u ($u \leq n$) 个 ODU4 及 v ($v \leq 10n$) 个 ODUflex 信号。ODU3、u ($u \leq n$) ODU4 和 v ($v \leq 10n$) ODUflex 信号可通过时分复用技术复用至 ODTUGCn（PT=22）。该 ODTUGCn（PT=22）信号映射至 OPUCn。

注2—ODTUGk 和 ODTUGCn 为逻辑构造，不再作进一步定义。ODTUjk 和 ODTUk.ts 信号直接时分复用至 OPUk 的支路时隙。ODTUCn.ts 信号直接时分复用至 OPUCn 的支路时隙。

注3—实现应支持最多 10n 个 ODUk ($k=0,1,2,2e,3,4,\text{flex}$) 信号复用至 OPUCn。无需支持最多 20n 个 ODUk ($k=0,1,\text{flex}$) 信号复用至 OPUCn。

表7-10—ODUj 到 OPUk 及 ODUk 到 OPUCn 映射类型概述

	5G 支路时隙 OPUCn (PT=22)	2.5G 支路时隙		1.25G 扩展插槽					
		OPU2 (PT=20)	OPU3 (PT=20)	OPU1 (PT=20)	OPU2 (PT=21)	OPU3 (PT=21)	OPU4 (PT=21)	OPU25 (PT=21)	OPU50 (PT=21)
ODU0	GMP – 注	–	–	AMP	GMP	GMP	GMP	GMP	GMP
ODU1	GMP – 注	AMP	AMP	–	AMP	AMP	GMP	GMP	GMP
ODU2	GMP	–	AMP	–	–	AMP	GMP	GMP	GMP
ODU2e	GMP	–	–	–	–	GMP	GMP	GMP	GMP
ODU3	GMP	–	–	–	–	–	GMP	–	GMP
ODU4	GMP	–	–	–	–	–	–	–	–
ODUflex	GMP	–	–	–	GMP	GMP	GMP	GMP	GMP

注—将 ODU0 和 ODU1 映射到 OPUCn 的 5G 支路插槽中，并不能完全占用该支路插槽的带宽。

图7-2、7-3和7-4展示了通过 ODTUG1/2/3 (PT=20) 复用器实现多种信号复用的方式。图7-2呈现了通过 ODTUG2 (PT=20) 将四个 ODU1 信号复用至 OPU2 信号的过程。ODU1 信号经帧对齐开销扩展后，通过 AMP 对齐开销 (JOH) 异步映射至光数据支路单元 1 至 2 (ODTU12)。四个 ODTU12 信号经时分复用至负载类型为 20 的光数据支路单元组 2 (ODTUG2)，随后该信号被映射至 OPU2。

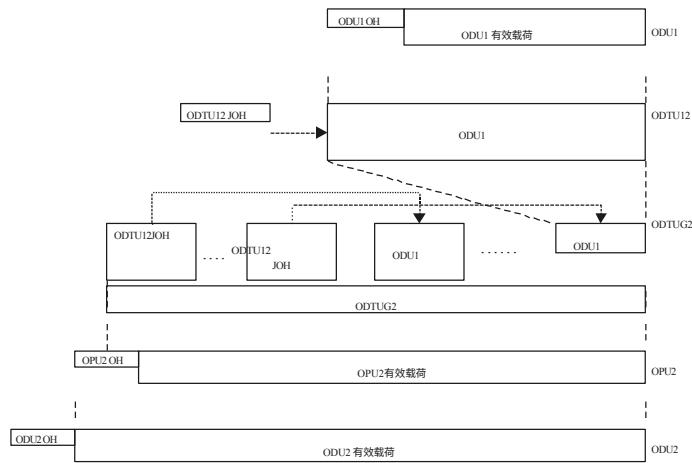


图 7-2 – 通过 ODTUG2 将 ODU1 复用到 ODU2 的方法 (PT=20)

图7-3展示了通过ODTUG3 (PT=20) 将最多16路ODU1信号和/或最多4路ODU2信号复用至OPU3信号的过程。ODU1信号通过帧对齐开销扩展后，采用AMP对齐开销 (JOH) 异步映射至光数据支路单元1至3 (ODTU13) 。ODU2信号通过帧对齐开销扩展后，采用AMP对齐开销 (JOH) 异步映射至光数据支路单元2至3 (ODTU23) 。"x"个 ODTU23 ($0 \leq x \leq 4$) 信号与"16-4x"个ODTU13信号经时分复用形成负载类型为20的光数据支路单 元 组 3 (ODTUG3)，该信号随后映射至OPU3。

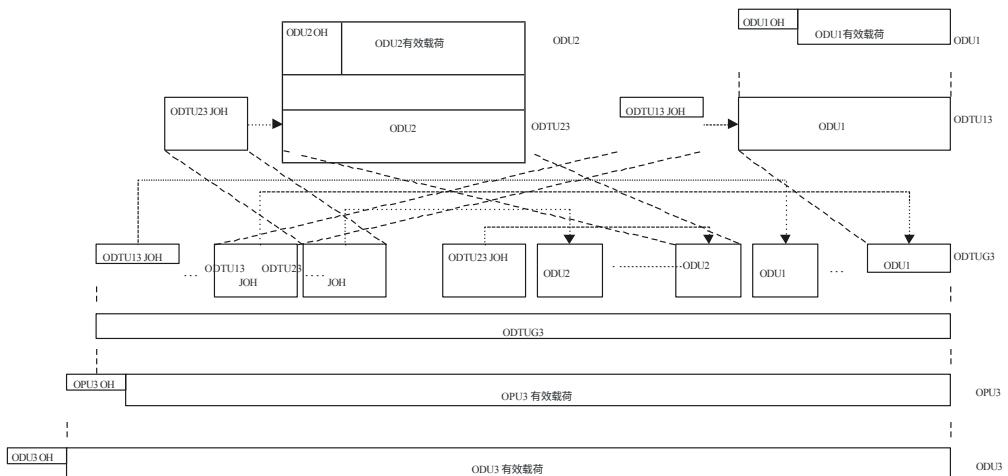


图 7-3 – 通过 ODTUG3 将 ODU1 和 ODU2 复用到 ODU3 的方法 (PT=20)

图7-4展示了通过ODTUG1 (PT=20) 将两个ODU0信号复用至OPU1信号的过程。ODU0信号通过帧对齐开销进行扩展，并采用AMP对齐开销 (JOH) 异步映射至光数据支路单元0至1 (ODTU01)。两个ODTU01信号经时分复用形成负载类型为20的光数据支路单元组1 (ODTUG1)，随后该信号被映射至OPU1。

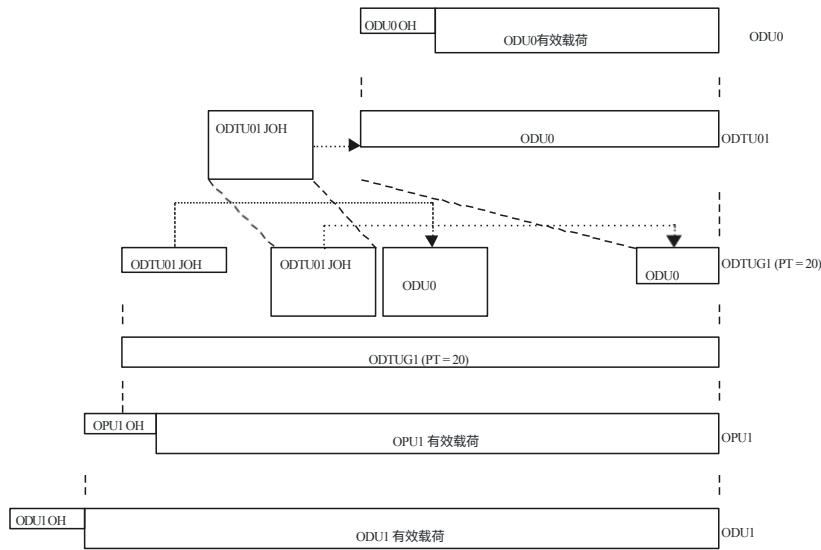


图7-4 – 通过ODTUG1 (PT=20) 实现ODU0到ODU1的复用方法

图7-5、7-6和7-7展示了如何使用ODTUG2/3/4 (PT=21) 复用元件对各类信号进行复用。

图7-5展示了通过ODTUG2 (PT=21) 将最多八路ODU0信号、最多四路ODU1信号和/或最多八路ODUflex信号复用至OPU2信号的过程。ODU1信号通过帧对齐开销进行扩展，并使用AMP对齐开销 (JOH) 异步映射至光数据支路单元1到2 (ODTU12)。ODU0信号通过帧对齐开销进行扩展，并使用GMP对齐开销异步映射至光数据支路单元2.1 (ODTU2.1)。ODUflex信号通过帧对齐开销扩展，并采用GMP对齐开销异步映射至光数据支路单元2.ts (ODTU2.ts)。最多八个 ODTU2.1 信号、最多四个 ODTU12 信号和最多八个 ODTU2.ts 信号通过时分复用集成到负载类型为 21 的光数据支路单元组 2 (ODTUG2) 中，然后该信号被映射到 OPU2。

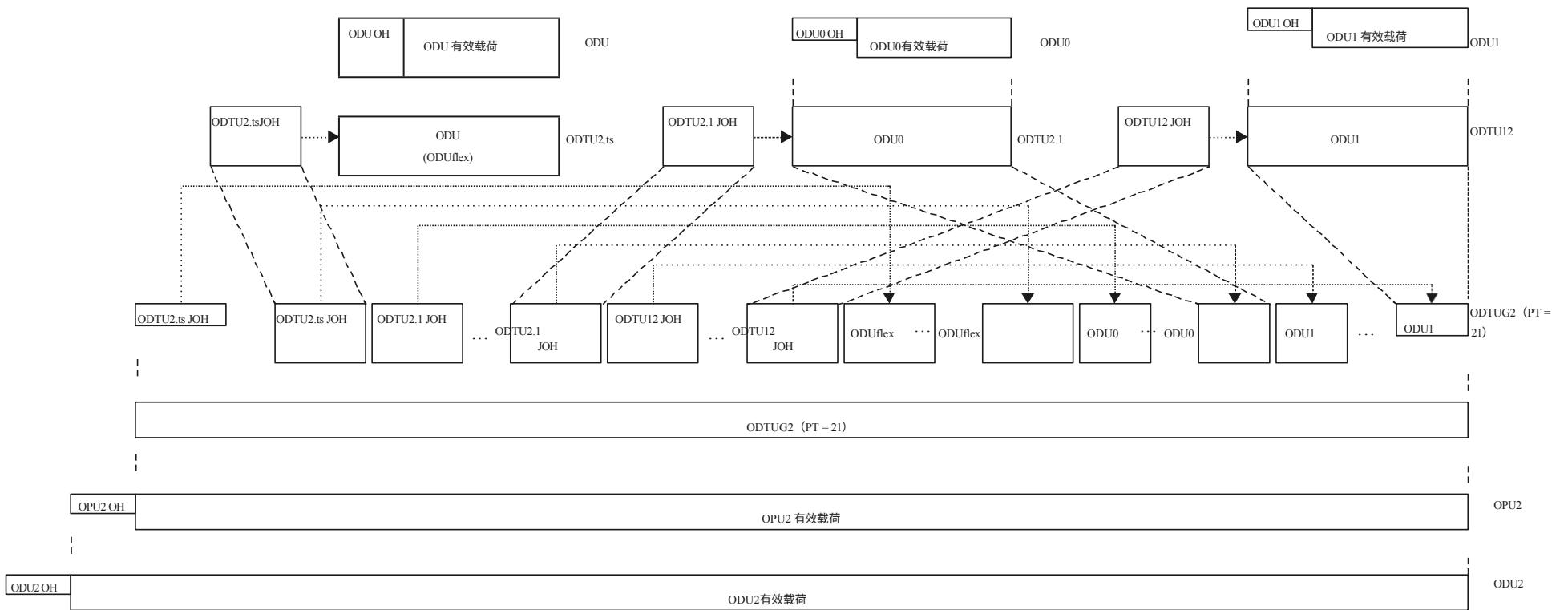


图7-5 – ODU0、ODU1和ODUflex通过ODTUG2（PT=21）进入ODU2的复用方法

图7-6展示了通过ODTUG3（PT=21）将最多32路ODU0信号和/或最多16路ODU1信号和/或最多4路ODU2信号和/或最多3路ODU2e信号和/或最多32路ODUflex信号复用至OPU3信号的过程。ODU1信号通过帧对齐开销进行扩展，并使用AMP对齐开销（JOH）异步映射至光数据支路单元1至3（ODTU13）。ODU2信号通过帧对齐开销进行扩展，并使用AMP对齐开销异步映射至光数据支路单元2至3（ODTU23）。ODU0信号通过帧对齐开销扩展，并使用GMP对齐开销异步映射至光数据支路单元3.1（ODTU3.1）。ODU2e信号通过帧对齐开销扩展，并使用GMP对齐开销异步映射至光数据支路单元3.9（ODTU3.9）。ODUflex信号通过帧对齐开销扩展，并采用GMP对齐开销异步映射至光数据支路单元3.ts（ODTU3.ts）。最多32个ODTU3.1信号、最多16个ODTU13信号、最多4个ODTU23信号、最多3个ODTU3.9信号和最多32个ODTU3.ts信号通过时分复用方式进入负载类型为21的光数据支路单元组3（ODTUG3），然后该信号被映射到OPU3。

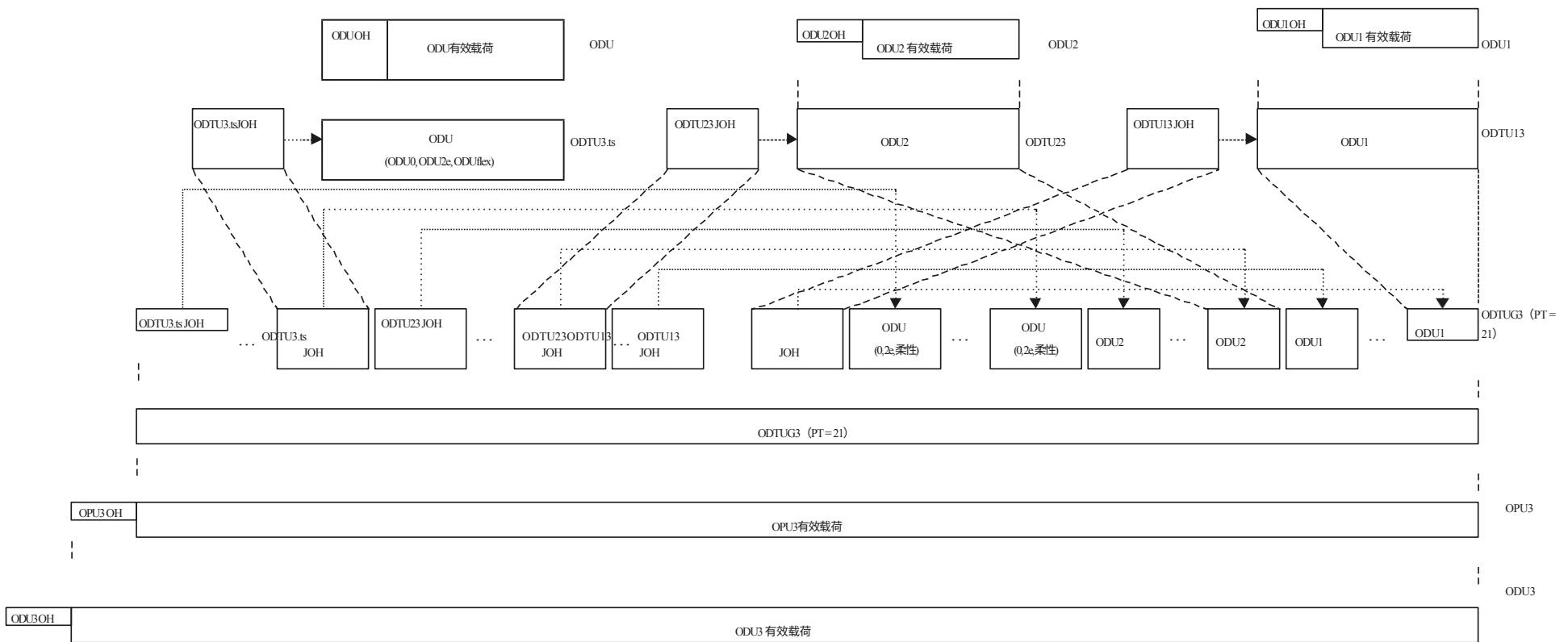


图7-6 – ODU0、ODU1、ODU2、ODU2e和ODUflex通过ODTUG3（PT=21）进入ODU3的复用方法

图7-7展示了通过ODTUG4 (PT=21) 将最多八十路ODU0信号和/或最多四十路ODU1信号和/或最多十路ODU2信号和/或最多十路ODU2e信号和/或最多两路ODU3信号和/或最多八十路ODUflex信号复用至OPU4信号的过程。ODU0信号通过帧对齐开销扩展，并采用GMP对齐开销（JOH）异步映射至光数据支路单元4.1（ODTU4.1）。ODU1信号通过帧对齐开销扩展，并采用GMP对齐开销异步映射至光数据支路单元4.2（ODTU4.2）。ODU2信号通过帧对齐开销扩展，并使用GMP对齐开销（JOH）异步映射至光数据支路单元4.8（ODTU4.8）。ODU2e信号通过帧对齐开销扩展，并使用GMP对齐开销异步映射至光数据支路单元4.8（ODTU4.8）。ODU3信号通过帧对齐开销扩展，并使用GMP对齐开销异步映射至光数据支路单元4.31（ODTU4.31）。ODUflex信号通过帧对齐开销扩展，并使用GMP对齐开销（JOH）异步映射至光数据支路单元4.ts（ODTU4.ts）。最多可将八十路ODTU4.1信号、四十路ODTU4.2信号、十路ODTU4.8信号、两路ODTU4.31信号及八十路ODTU4.ts信号进行时分复用，形成负载类型为21的光数据支路单元组4（ODTUG4），随后该信号映射至OPU4。

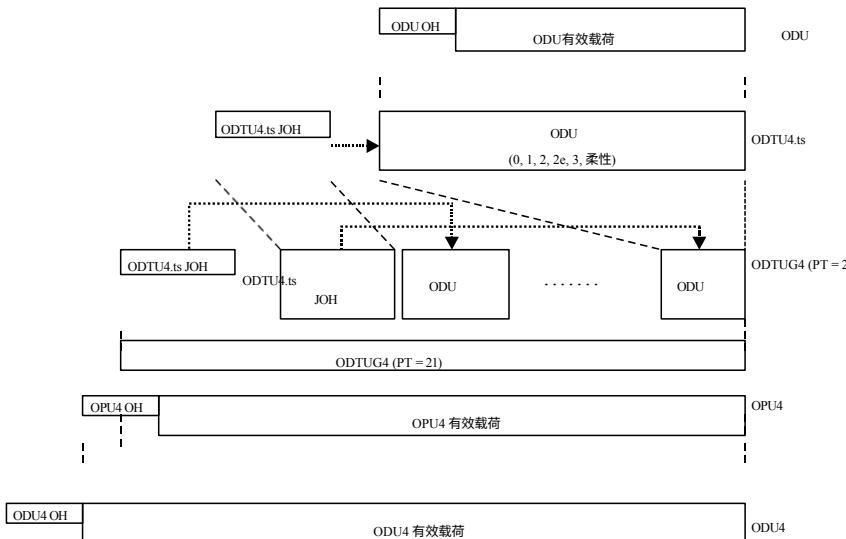
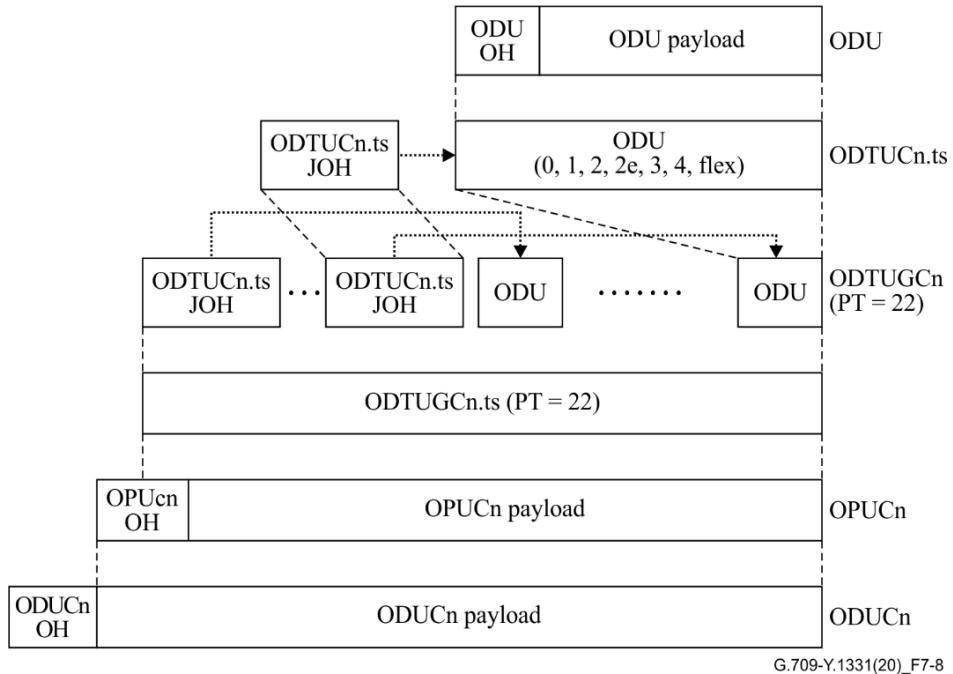


图 7-7 – ODU0、ODU1、ODU2、ODU2e、ODU3 和 ODUflex
通过ODTUG4 (PT=21) 实现ODU4复用方法

图7-8展示了通过ODTUGCn (PT=22) 将最多10n个ODU0信号和/或最多10n个ODU1信号和/或最多10n个ODU2信号和/或最多10n个ODU2e信号和/或最多10n个ODU3信号和/或最多 n 个ODU4信号和/或最多 10n 个ODUflex 信号复用到OPUCn信号中的过程。5路ODU3信号和/或最多 n 个ODU4信号和/或最多 10n 个ODUflex 信号，通过 ODTUGCn (PT=22) 转换为 OPUCn 信号。ODUk信号经帧对齐开销扩展后，以异步方式映射至光数据支路单元Cn.ts (ODTUCn.ts) ($\langle k, ts \rangle = \langle 0, 1 \rangle$,

$\langle 1, 1 \rangle, \langle 2, 2 \rangle, \langle 2e, 2 \rangle, \langle 3, 8 \rangle, \langle 4, 20 \rangle, \langle flex, ts \rangle$) 进行扩展，并采用GMP对齐开销(JOH)。最多10n个ODTUCn.1信号、最多10n个ODTUCn.2信号、最多[2.5]n个ODTUCn.8信号、最多n个ODTUCn.10信号以及最多10n个ODTUCn.ts信号被时分复用至数据分支单元组Cn (ODTUGCn)，其负载类型为22，随后该信号映射至OPUCn。

数据支路单元组Cn (ODTUGCn) , 负载类型为22, 随后该信号映射至OPUCn。



G.709-Y.1331(20)_F7-8

图7-8 – ODU0、ODU1、ODU2、ODU2e、ODU3、ODU4和ODUflex
通过ODTUGCn (PT=22) 实现ODUCn复用方法

图7-9展示了通过ODTUG25 (PT=21) 将最多二十个ODU0信号和/或最多十个ODU1信号和/或最多两个ODU2信号和/或最多两个ODU2e信号和/或最多二十个ODUflex信号复用至OPU25信号的过程。ODU0信号通过帧对齐开销扩展，并使用GMP对齐开销(JOH)异步映射至光数据支路单元25.1(ODTU25.1)。ODU1信号通过帧对齐开销扩展，并使用GMP对齐开销异步映射至光数据支路单元25.2(ODTU25.2)。ODU2信号经帧对齐开销扩展后，通过GMP对齐开销 (JOH) 异步映射至光数据支路单元25.8 (ODTU25.8)。ODU2e信号经帧对齐开销扩展后，通过GMP对齐开销异步映射至光数据支路单元25.8 (ODTU25.8)。ODUflex信号通过帧对齐开销扩展，并利用GMP对齐开销 (JOH) 异步映射至光数据支路单元25.ts (ODTU25.ts)。最多二十个ODTU25.1信号、最多十个ODTU25.2信号、最多两个ODTU25.8信号以及最多二十个ODTU25.ts信号通过时分复用方式汇聚至光数据支路单元组25 (ODTUG25) , 采用有效载荷类型21, 随后该信号映射至OPU25。

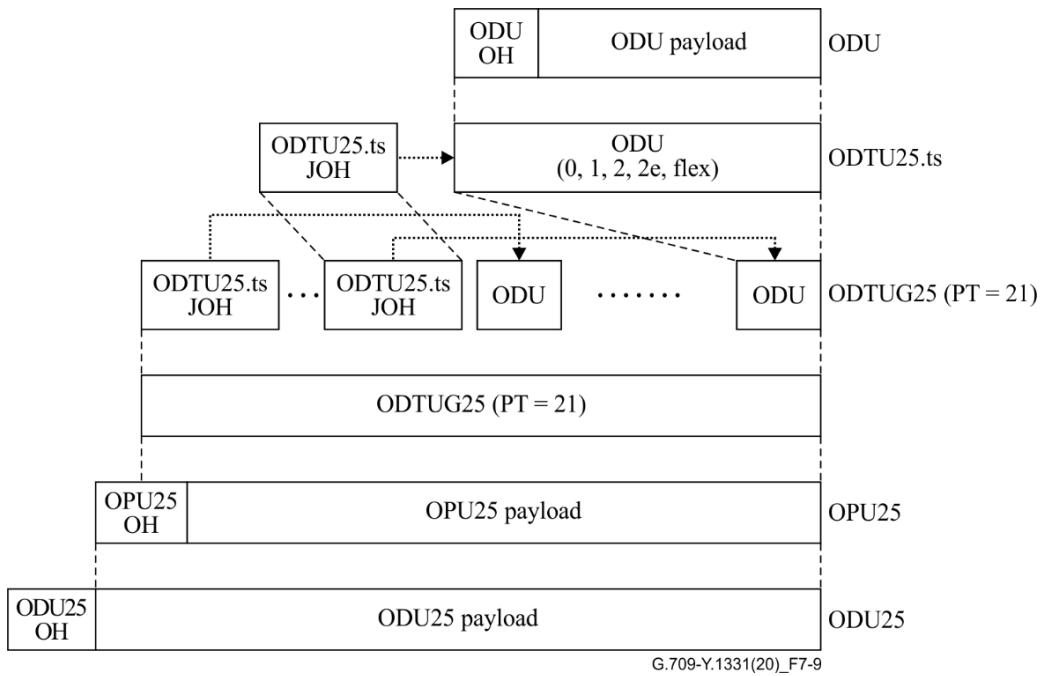
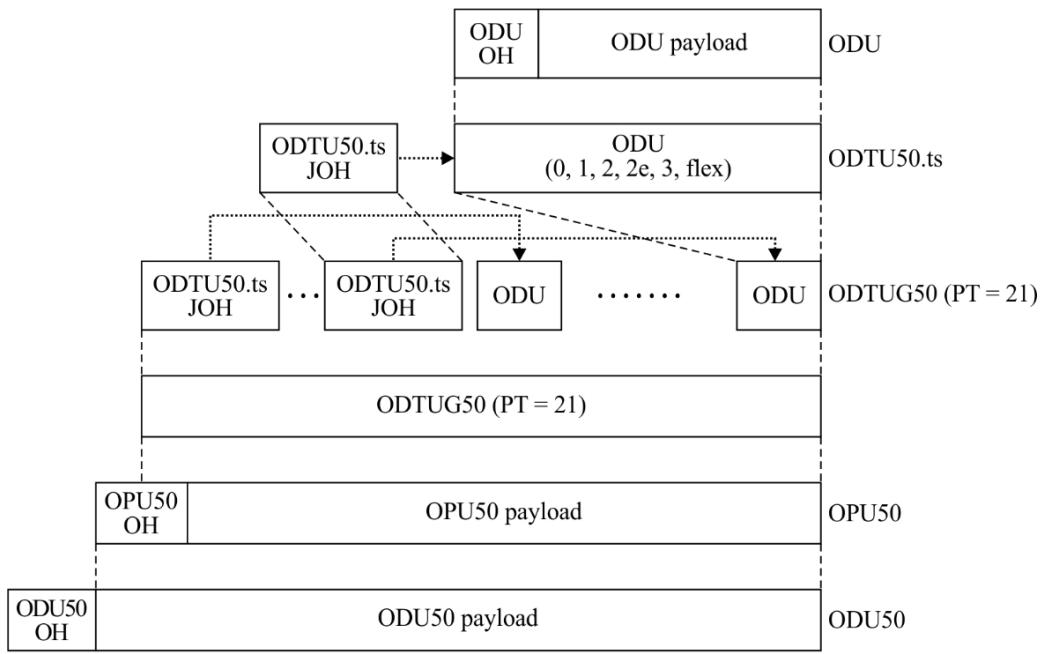


图7-9 – 通过ODTUG25 (PT=21) 实现ODU0、ODU1、ODU2、ODU2e和ODUflex至ODU25的复用方法

图7-10展示了通过ODTUG50 (PT=21) 将最多四十路ODU0信号和/或最多二十路ODU1信号和/或最多五路ODU2信号和/或最多五路ODU2e信号和/或最多一路ODU3信号和/或最多四十路ODUflex信号复用至OPU50信号的过程。ODU0信号通过帧对齐开销扩展，并使用GMP对齐开销（JOH）异步映射至光数据支路单元50.1（ODTU50.1）。ODU1信号通过帧对齐开销扩展，并使用GMP对齐开销异步映射至光数据支路单元50.2（ODTU50.2）。ODU2信号通过帧对齐开销扩展，并使用GMP对齐开销（JOH）异步映射至光数据支路单元50.8（ODTU50.8）。ODU2e信号通过帧对齐开销扩展，并使用GMP对齐开销异步映射至光数据支路单元50.31（ODTU50.31）。ODUflex信号通过帧对齐开销扩展，并利用GMP对齐开销（JOH）异步映射至光数据支路单元50.ts（ODTU50.ts）。最多可将四十路ODTU50.1信号、二十路ODTU50.2信号、五路ODTU50.8信号、一路ODTU50.31信号及四十路ODTU50.ts信号进行时分复用，汇入光数据支路单元组50（ODTUG50）进行时分复用，该分支单元组采用21号有效载荷类型，随后该信号映射至OPU50。



G.709-Y.1331(20)_F7-10

**图7-10 – ODU0、ODU1、ODU2、ODU2e、ODU3和ODUflex
经由ODTUG50（PT=21）实现至ODU50的复用方法**

复用方法及映射细节详见第19节（OPUk）与第20节（OPUCn）。

附录III中列举了若干示例，说明将2个ODU0信号复用至ODU1以及将4个ODU1信号复用至ODU2的过程。

7.5 在OTN中两个管理域内以太网UNI与FlexE组UNI的互连

以太网PCS编码的客户端信号和以太网MAC客户端信号可通过以太网UNI和FlexE组UNI接入OTN。

第17节规定，当以太网PCS编码的客户端信号通过以太网UNI应用时，其映射方法为BMP、TTT+GMP和GMP；通过FlexE组UNI应用时，其映射方法为IMP。

第17节规定，当通过以太网UNI应用时，比特率不超过100 Gbit/s的以太网MAC客户端信号的映射方法为GFP-F，也可选为IMP；通过FlexE组UNI应用时为IMP。第17节规定，比特率超过100 Gbit/s的以太网MAC客户端信号和FlexE客户端信号的映射方法均为IMP。

对于在同一管理域内的以太网UNI与另一管理域内的FlexE组UNI之间传输以太网PCS编码客户端服务的情况，连接两管理域间接口时，以太网PCS编码客户端信号的互联规则应采用BMP、TTT+GMP或GMP方案。

对于在同一管理域内采用GFP-F映射方法的以太网UNI与另一管理域内采用IMP映射方法的FlexE组UNI或以太网UNI之间传输速率不超过100Gbit/s的以太网MAC客户端服务，连接两个管理域之间比特率不超过100 Gbit/s的以太网MAC客户端信号时，应在接口处采用GFP-F协议。

注——对于在单一管理域内的以太网UNI与另一管理域内的FlexE组UNI或以太网UNI之间传输速率达100Gbit/s及以上的以太网MAC客户端服务，两个管理域间的接口应采用IMP映射进行互连。

8.1 点对点接口, I型

OTN点对点接口类型I支持单个OTSIG上承载单个OTU，或单个FlexO-x-

<fec>（来自单个OTUCn/FlexO-x-<fec>-m组）连接到单个光链路上的单个OTSIG，该链路两端均配备3R再生器。OTSIG由一个或多个OTS组成。

承载OTU或FlexO-x-<fec>的光接口信号的应用码包含于[ITU-T G.959.1]、[ITU-T G.693]及[ITU-T G.695]中。

承载这些OTU和FlexO的接口所采用的厂商特定应用标识符超出本建议书的范围。

8.2 点对点接口, II型

OTN 点对点接口类型 II 在单个光链路上支持 n 个 OTSIG 上的 n 个 OTU 和/或 OTUCn/FlexO-x-RS-<fec>-m 信号，两端均采用 3R 再生。每个 OTSIG 由一个或多个 OTSi 组成。

正常运行期间至少存在一个OTU信号。

OTU信号投入服务时无预定义顺序。

注——OTN点对点光层接口开销未作定义。该接口将利用此多通道接口中的OTU SMOH进行监控管理。接口连通性（TIM）故障报告将通过故障管理中的故障关联机制，基于各OTU报告计算得出。更多细节请参阅设备建议。

承载n个OTU或FlexO-x-<fec>信号的光接口应用码包含于[ITU-T G.959.1]和[ITU-T G.695]标准中。

承载这些OTU的接口的供应商特定应用标识符超出本建议书的范围。

8.3 II型光网络接口

OTN 光网络接口（II 型）承载一个或多个光支路信号，每个信号传输一个 OTUk 或 OTUCn 或一个 FlexO-x-<fec>（来自 OTUCn/FlexO-x-<fec>-m 组）或非 OTN 客户信号，以及由 OCC 承载的 OCh-O 或 OTSIG-O。OTUk、OTUCn或FlexO-x-<fec>通过OTSi传输。

OTN 光网络接口（II 型）可承载一个光支路信号，传输 OTUk 或 OTUCn 或 OTUCn/FlexO-x-<fec>-m 组中的一个 FlexO-x-<fec> 或非 OTN 客户信号，以及由 OCC 承载的 OCh-O 或 OTSIG-O。OTUk、OTUCn或FlexO-x-<fec>通过OTSi传输。

OTN 光网络接口（II 型）可承载多个光分支信号，每个信号传输 OTUCn 或 FlexO-x-<fec>（来自 OTUCn/FlexO-x-<fec>-m 组）或非 OTN 客户信号，以及由 OCC 承载的 OCh-O 或 OTSIG-O。OTUCn 或 FlexO-x-<fec> 通过 OTSi 传输。

承载OTUk或FlexO-x-<fec>的光支路信号的应用码包含在[ITU-T G.698.1]和[ITU-T G.698.2]中。

承载OCh-O或OTSiG-O的OCC规范详见[ITU-T G.7712]。承载这些OTUk、OTUCn或FlexO-x-<fec>的供应商特定应用标识符不在本建议书范围内。

8.4 I型光网络接口

OTN光网络接口类型I承载一个或多个光支路信号，每个信号传输OTUk或OTUCn或来自OTUCn/FlexO-x-<fec>-m组的FlexO-x-<fec>信号，或由非OTN客户端信号承载的OTS-O、OMS-O和OCh-O。来自OTUCn/FlexO-x-<fec>-m组或非OTN客户信号，以及由OSC承载的OTS-O、OMS-O和OCh-O，以及由OSC承载或部分由其他方式承载的OTS-iG-O。该接口无需3R再生。

承载OTUk或FlexO-x-<fec>的光分支信号的应用码包含在[ITU-T G.698.1]和[ITU-T G.698.2]中。

承载这些OTU或FlexO-x-<fec>的OTSi或OTSiG的供应商特定应用标识符超出本建议书范围。

9 媒体元素

媒体元素的描述将在[ITU-T G.872]中提供。

10 OCh 和 OTSiA

OCh和OTSiA在3R再生点之间传输数字客户信号。本建议书中定义的OCh和OTSiA客户信号包括OTUk、OTUk-v、OTUkV和OTUCn信号。

10.1 OCh

OCh的结构概念如图10-1所示。OCh包含两部分：开销部分（OCh-O）和有效载荷部分（OTSiG）。

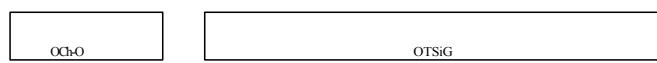


图 10-1 – OCh 信息结构

10.2 光支路信号组件（OTSiA）

图10-2展示了OTSiA的结构概念。OTSiA包含两部分：有效载荷部分（OTSiG）和开销部分（OTSiG-O）。

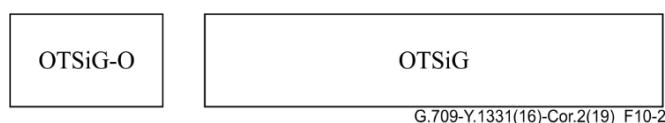


图10-2 – OTSiA信息结构

11 光传输单元（OTU）

OTUk[V]对ODUk进行处理，使其能够通过OCh网络连接传输。OTUk帧结构（包括OTUk前向纠错）已完全标准化。OTUkV是一种帧结构（包含OTUkV前向纠错），仅实现功能标准化（即仅规定必需功能）。

) ; 详见附录II。除上述两种外，还存在一种OTUkV，其将完全标准化的OTUk帧结构与功能标准化OTUkV FEC相结合；详见附录II。此组合被标识为OTUk-v。

OTUCn帧结构定义时不包含OTUCn FEC区域。与OTUCn相关的FEC取决于接口，作为各接口的组成部分进行规定。

OTU25与OTU50帧结构定义时不包含OTU FEC区域。OTU25和OTU50的FEC取决于接口，作为各接口的组成部分进行规定。

11.1 OTUk (k=1,2,3,4,4-SC) 帧结构

OTUk ($k = 1, 2, 3, 4, 4\text{-SC}$) 帧结构基于ODUk帧结构，并如图11-1所示扩展了前向纠错（FEC）功能。在ODUk帧中为FEC新增256列，并将ODUk开销行1中第8至14列的保留开销字节用于OTUk专用开销，从而形成由四行4080列组成的基于八位字节的块帧结构。每个八位字节的最高有效位为第1位，最低有效位为第8位。

注——本建议书未规定 $k=0$ 、 $k=2e$ 或 $k=flex$ 的OTUk帧结构。OTU0LL规范详见附录G。

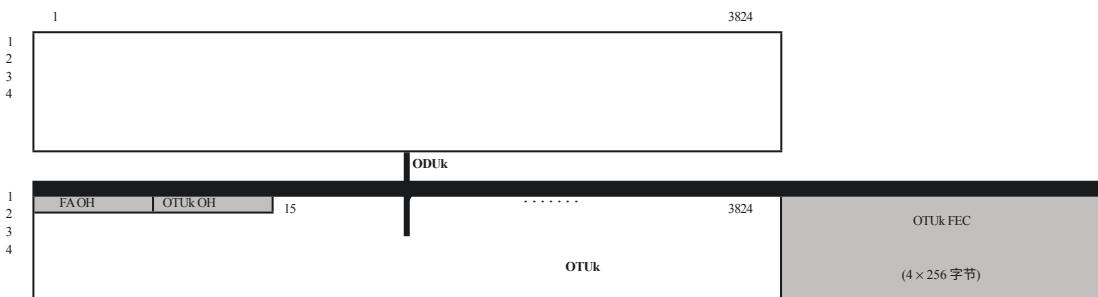


图11-1 - OTUk帧结构

OTUk信号的比特率定义见表7-1。

OTUk前向纠错(FEC)区域包含特定接口的FEC类型。规定两种FEC类型：

里德-所罗门 RS(255,239) FEC

OTUk ($k=1,2,3,4$) FEC区域包含里德-所罗门RS(255,239) FEC编码。当 $k=4$ 时必须传输OTUk FEC，当 $k=1,2,3$ 时可选传输。若未传输FEC，则应使用固定填充字节（全0模式）。

RS(255,239)前向纠错码应按附件A规定进行计算。

在支持FEC的设备与不支持FEC的设备（在OTUk ($k=1,2,3$) FEC区域插入全0固定模式）互操作时，支持FEC的设备应具备禁用FEC解码过程的能力（忽略OTUk ($k=1,2,3$) FEC区域的内容）。

阶梯式前向纠错

OTU4 FEC区域包含[ITU-T G.709.2]规定的阶梯式FEC编码，由此生成的信号称为OTU4-SC。

OTUk帧内比特传输顺序为左至右、上至下、从最高位到最低位（参见图11-2）。

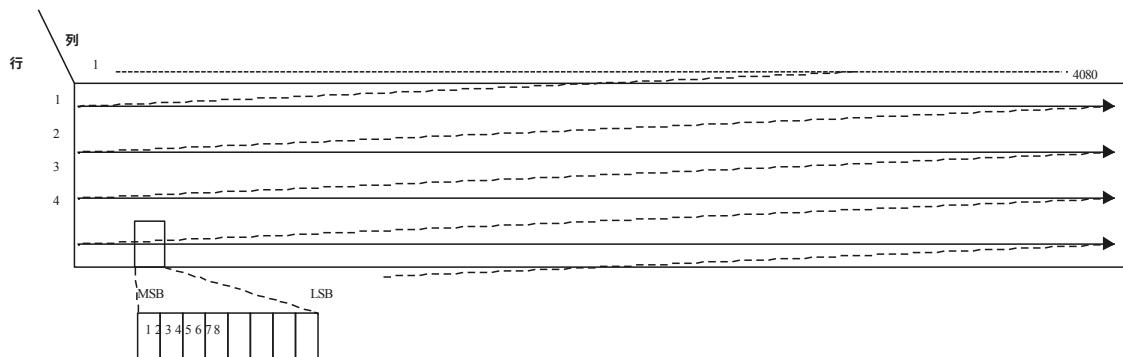


图 11-2 – OTUk 帧位传输顺序

11.2 OTUk的扰码 (k=1,2,3,4)

OTUk ($k=1,2,3,4$) 信号在ONNI端必须具备充足的比特时序信息。通过使用扰码器可生成合适的比特序列模式，避免出现连续的"1"或"0"序列。

该扰码器的功能应与运行于OTUk速率、序列长度为65535的帧同步扰码器完全一致。

生成多项式应为 $1 + x + x^3 + x^{12} + x^{16}$ 。图 11-3 展示了帧同步扰码器的功能图。

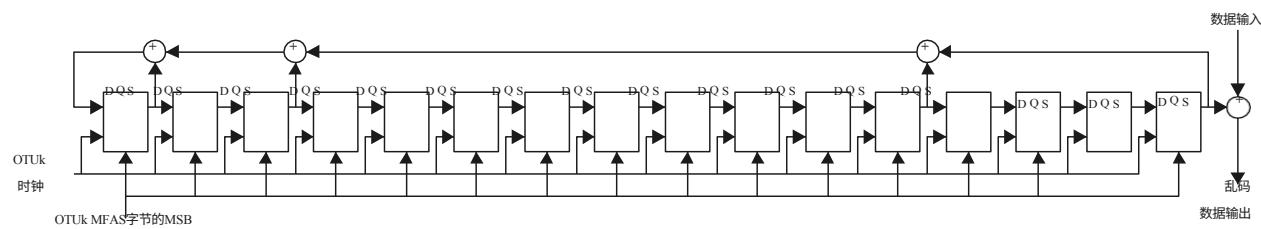


图11-3 – 帧同步扰码器

在OTUk帧中，最后一个帧同步字节之后的字节最高位（即MFAS字节的MSB）处，应将扰码器重置为十六进制"FFFF"。该位及后续所有待扰码位，均需对扰码器第 x^{16} 位输出进行模2运算后添加。扰码器应在整个OTUk帧内持续运行。OTUk开销中的帧同步字节(FAS)不得进行扰码。

扰码操作应在前向纠错（FEC）计算完成并插入OTUk信号之后进行。

11.3 OTUCn帧结构

OTUCn帧结构（图11-4）基于ODUCn帧结构，将ODUCn开销中每个ODU帧结构第1行第8至14列的保留开销字节用于OTUCn专用开销，形成基于八字节的块帧结构，具有 $n \times 4$ 行和3824列。每个字节的最高有效位（MSB）为第1位，最低有效位（LSB）为第8位。

OTUCn内部n帧与多帧同步OTU帧结构实例的交织方式、前向纠错、编码（如扰码）、去偏移及OTUCn的传输顺序均属于接口特定参数，其具体规范在针对跨域OTN接口的应用码相关建议书（ITU-T G.709.x系列）中予以规定。对于采用厂商特定应用标识符的OTN接口，相关规范由厂商自行定义，不在本建议书范围之内。

OTUCn信号的比特率定义见表7-1。

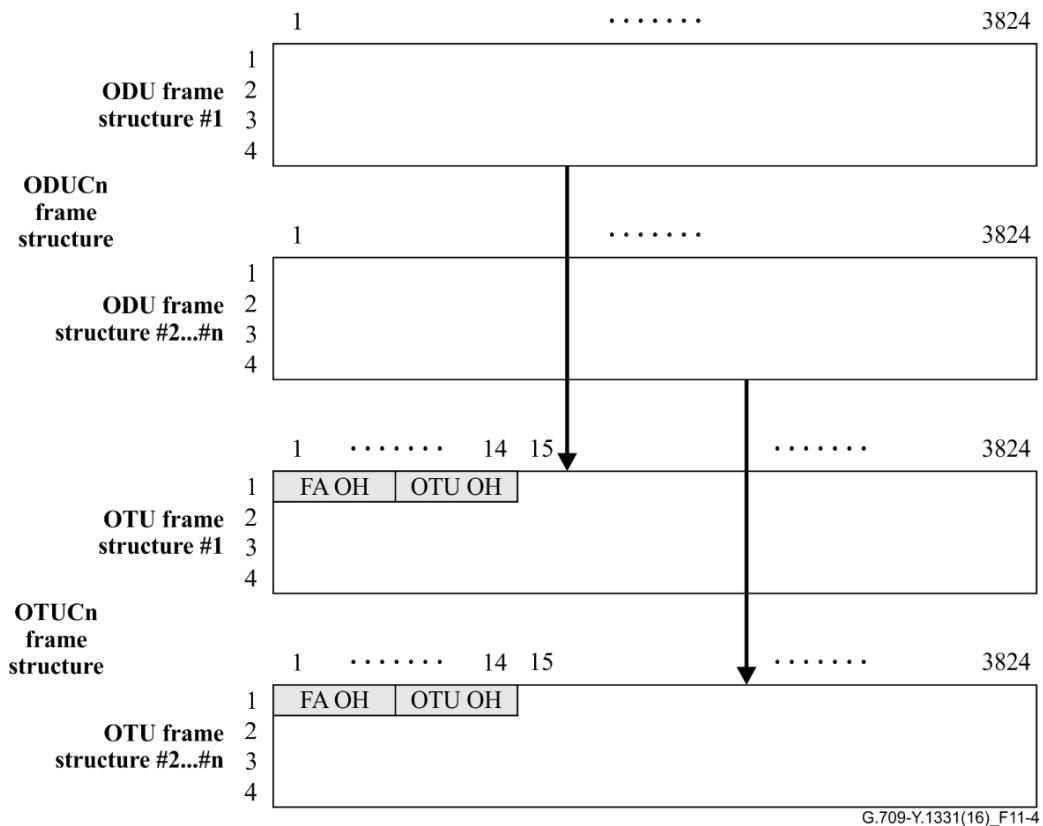


图11-4 – OTUCn帧结构

11.4 OTU25与OTU50帧结构

OTU25和OTU50帧结构基于ODU_k ($k=25,50$) 帧结构，将ODU_k开销中第1行第8至14列的保留开销字节用于OTU特定开销，从而形成基于八位的块帧结构，包含四行3824列。每个八位字节的最高有效位为第1位，最低有效位为第8位。

OTU25和OTU50的前向纠错、编码（如扰码）、去偏移及传输顺序，在特定接口建议书[ITU-T G.709.4]中针对跨域OTN接口的应用码进行了规定。

OTU25和OTU50信号的比特率定义见表7-1。

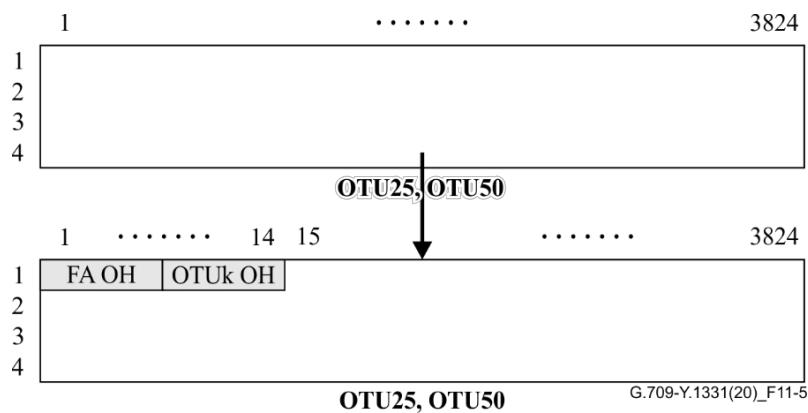


图11-5 – OTU25与OTU50帧结构

12.1 ODU帧结构

ODU帧结构如图12-1所示。其采用基于八位字节的块帧结构，包含四行3824列。

ODU_k (k=0,1,2,2e,3,4,flex) 帧结构包含一个ODU帧结构实例。ODUCn帧结构包含n个ODU帧结构的帧同步实例和多帧同步实例，编号为1至n (ODU #1至ODU #n)。

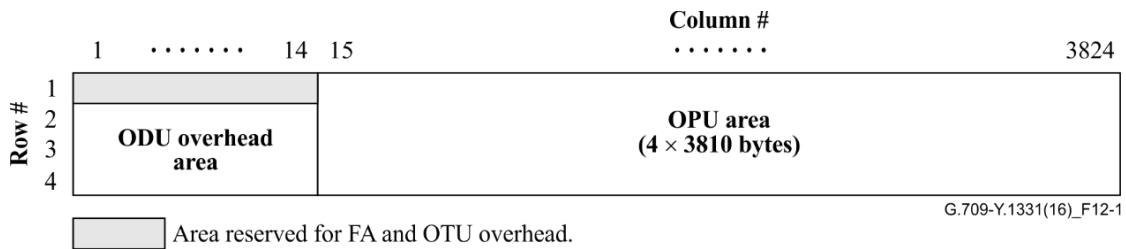


图12-1 – ODU帧结构

ODU帧的两个主要区域为：

- ODU开销区
- OPU区域。

ODU的第1至14列专用于ODU开销区。

注：第1行第1至14列预留用于帧对齐及OTU特定开销。

ODU的第15至3824列专用于OPU区域。

12.2 ODU 比特率及比特率容差

ODU_k信号可通过本地时钟或客户端信号的恢复时钟生成。后者情况下，ODU_k频率及频率容差将锁定至客户端信号的频率与频率容差；前者情况下，则锁定至本地时钟的频率与频率容差。OTN系统中本地时钟的频率容差规定为±20 ppm。

ODUCn信号采用本地时钟生成。其频率及频率容差均锁定于本地时钟的频率与频率容差。OTN系统中本地时钟的频率容差规定为±20 ppm。

ODU维护信号 (ODU AIS、OCI、LCK) 由本地时钟生成。在某些情况下，该本地时钟可能是服务器ODU信号的时钟，该ODU信号通过设备间传输或穿过设备传输（在一个或多个分支时隙中）。对于此类情况，应部署标称校准比以符合ODU的比特率容差规范。

12.2.1 ODU0、ODU1、ODU2、ODU3、ODU4、ODU25、ODU50、ODUCn

用于生成ODU0、ODU1、ODU2、ODU3、ODU4、ODU25、ODU50及ODUCn信号的本地时钟，由同样用于生成SDH STM-N信号的晶体振荡器产生。因此，这些ODU_k (k=0,1,2,3,4,25,50) 和ODUCn信号的比特率与STM-N比特率相关，其比特率容差即为STM-N信号的比特率容差。

ODU0的比特率为STM-16比特率的50%。

ODU1的比特率为STM-16比特率的239/238倍。

ODU2的比特率为STM-16比特率的 $239/237$ 乘以4倍。ODU3的比特率为STM-16比特率的 $239/236$ 乘以16倍。ODU4

的比特率为STM-16比特率的 $239/227$ 乘以40倍。

ODU25的比特率为 $41118/41120 \times 514/544 \times 255/227 \times 10 \times \text{STM-16比特率}$, 即等于 $61677/58112 \times 10 \times \text{STM-16比特率}$ 。

ODU50的比特率为 $41118/41120 \times 514/544 \times 255/227 \times 20 \times \text{STM-16比特率}$, 即等于 $61677/58112 \times 20 \times \text{STM-16比特率}$ 。

ODUCn的比特率为n乘以 $239/226$ 乘以40乘以STM-16比特率。

携带STM-N (N=16、64、256) 信号的ODU1、ODU2和ODU3信号也可通过这些客户信号的时序生成。

表7-2列出了标称比特率及其容差范围。

12.2.1.1 ODU_k (k=1,2,3,4) 、ODU25/50及ODUCn传输频率同步信息

用于生成频率同步OPU1/ODU1/OTU1、OPU2/ODU2/OTU2、OPU3/ODU3/OTU3、OPU4/ODU4/OTU4、OPU25/ODU25/OTU25、OPU50/ODU50/OTU50和OPUCn/ODUCn/OTUCn/FlexO信号由同步设备时钟(SEC)功能生成，该功能通常锁定在主参考时钟(PRC)上。因此，这些频率同步的ODU_k (及其OTU_k) (k=1,2,3,4-SC)、ODU25/50 (及其OTU25/50) 和ODUCn (及其OTUCn和FlexO) 信号的比特率容差与SEC的比特率容差相关。详见[ITU-T G.8262]。

在信号故障条件下，频率同步的OTU和/或ODU信号将被替代信号 (OTU-AIS和/或ODU-AIS) 取代，其比特率容差为±20 ppm。

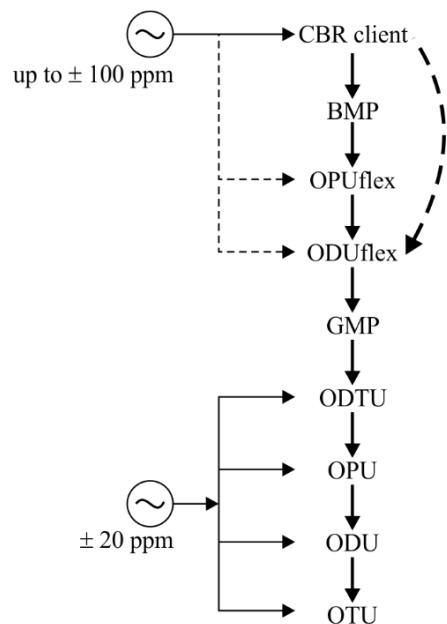
12.2.2 ODU2e

ODU2e信号基于其客户端信号的时序生成。其比特率为10GBASE-R客户端比特率的 $239/237$ 倍。具体标称比特率及比特率容差参见表7-2。

12.2.3 ODUflex用于CBR客户端信号

ODUflex(CBR)信号基于其客户端信号的时序生成。ODUflex比特率为适应性CBR客户端比特率的 $239/238$ 倍。

客户端信号的比特率容差可达±100 ppm。



G.709-Y.1331(16)-Amd.2(18)_F12-2

图12-2 – CBR信号的ODUflex时钟生成

12.2.4 用于PRBS和空信号测试的ODUflex

可使用PRBS或NULL测试信号替代CBR客户信号来测试ODUflex(CBR)连接。此时应生成频率在ODUflex(CBR)信号容差范围内的ODUflex(PRBS)或ODUflex(NULL)信号。

若存在CBR客户端时钟，则可利用该时钟生成ODUflex(PRBS)或ODUflex(NULL)信号；否则需通过本地时钟生成。

12.2.5 用于GFP-F映射分组客户端信号的ODUflex

ODUflex(GFP)信号采用本地时钟生成。该时钟可为本地服务器ODUk（或OTUk）时钟、本地ODUCn（或OTUCn）时钟，或承载ODUflex信号的设备内部时钟。ODUflex(GFP)时钟生成方法示例详见附录XV。

ODUflex(GFP)信号支持任意比特率。其比特率规格为 $239/238 \times X \text{ Gbit/s} \pm 100 \text{ ppm}$ ，其中X代表配置的GFP-F封装数据包客户端标称双向比特率。

对于ODUflex无中断调整尺寸的应用场景，或当ODUflex(GFP)需填满最小服务器ODUk路径上整数个1.25G支路插槽时（该路径可承载ODUflex(GFP)），表7-8中规定了一组满足此条件的比特率值 $n \times ODUk.ts$ 。具体ODUflex(GFP,n,k)值的推导过程详见附录XI。

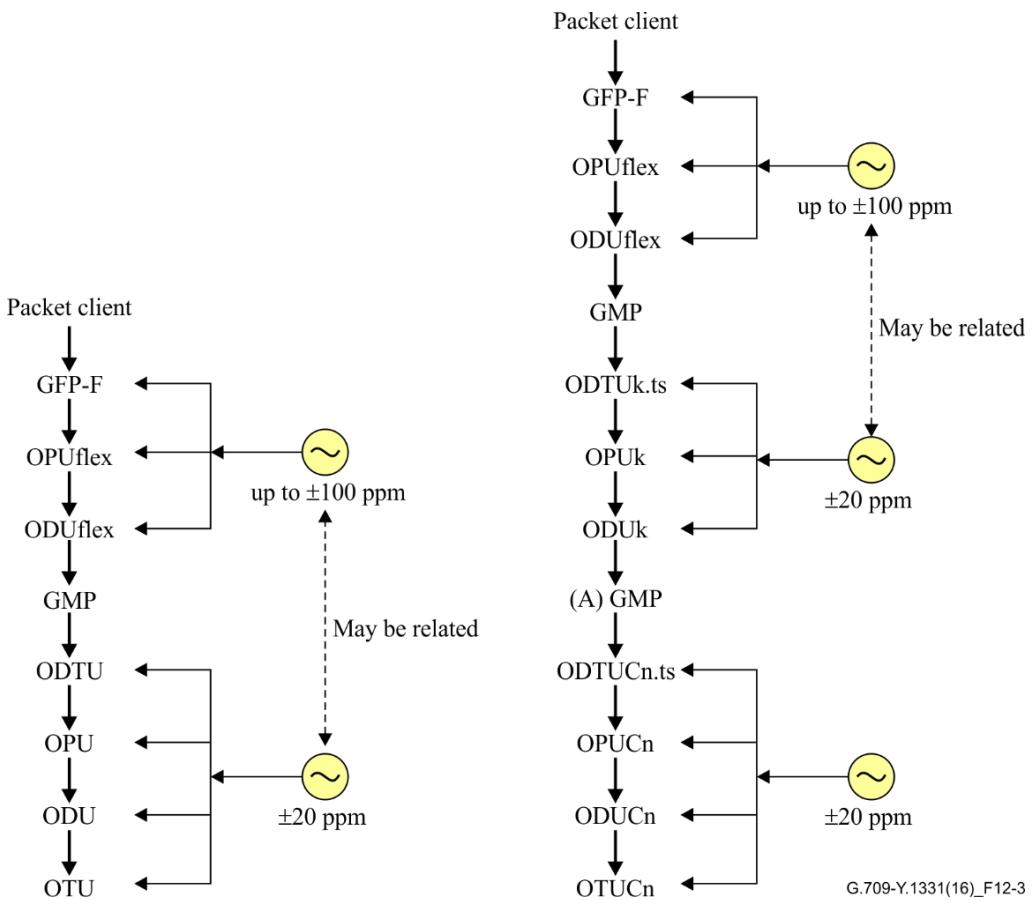


图12-3 – GFP-F映射分组客户端信号的ODUflex时钟生成

12.2.6 用于IMP映射客户端信号的ODUflex

ODUflex(IMP)信号可通过本地时钟或其客户端信号的时序生成。本地时钟可为本地服务器ODUk（或OTUk）时钟、本地ODUCn（或OTUCn）时钟，或承载ODUflex信号的设备内部时钟。ODUflex(IMP)时钟生成方法示例详见附录XV。

ODUflex(IMP)信号支持任意比特率。其比特率规格为 $239/238 \times X$ Gbit/s ± 100 ppm，其中X代表配置的64B/66B编码分组客户机标称双向比特率。

若ODUflex(IMP)传输FlexE客户端信号，其比特率为 $s \times 5,156,250.000$ kbit/s ± 100 ppm，且 $s = 2, 8$ 或 $n \times 5$ ($n \geq 1$)，则ODUflex(IMP,s)的比特率为 $s \times 239/238 \times 5,156,250.000$ kbit/s ± 100 ppm。

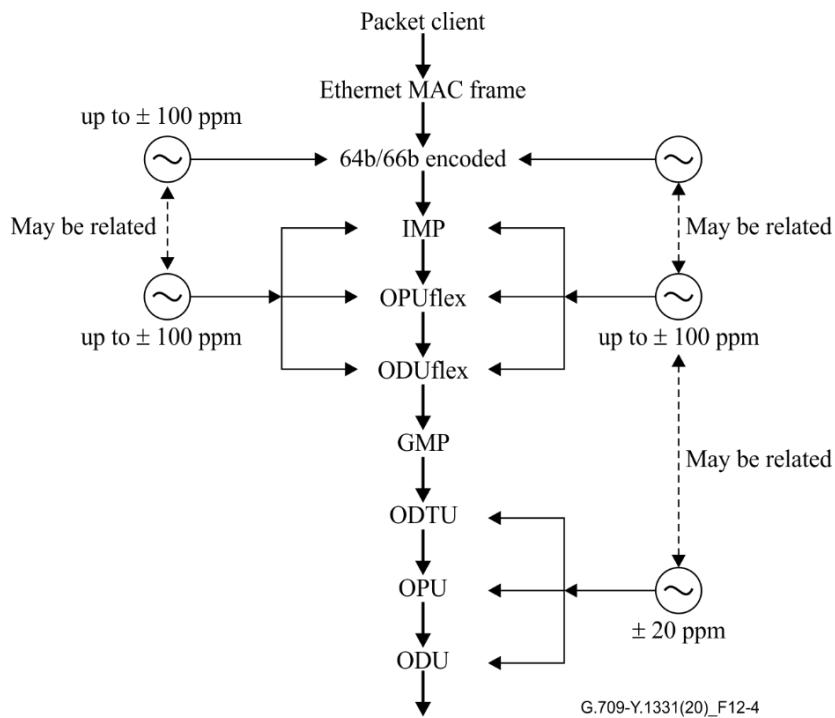


图12-4 – IMP映射分组客户端信号的ODUflex时钟生成

13 光载荷单元（OPU）

OPU帧结构如图13-1所示。其采用基于八位字节的块帧结构，包含四行3810列。

OPU_k ($k=0,1,2,2e,3,4,flex,25,50$) 帧结构包含一个OPU帧结构实例。OPUCn帧结构包含n个OPU帧结构的帧级与多帧级同步实例，编号为1至n (OPU #1至OPU #n)。

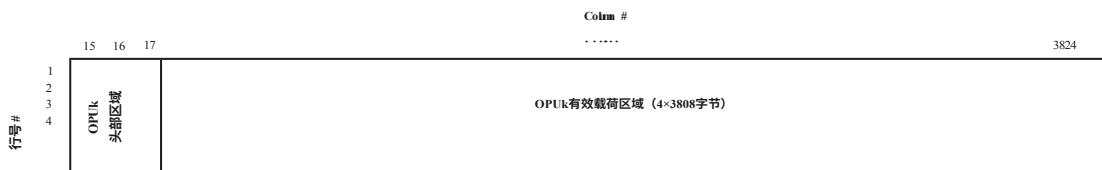


图13-1 – OPU帧结构

OPU帧的两个主要区域为：

- OPU开销区；
- OPU有效载荷区。

OPU的第15至16列专用于OPU管理区。OPU的第17至3824列专用于OPU有效载荷区。

注：OPU列号源自ODU帧中的OPU列号。

14 通过OSC和传输的顶部信息OCC

14.1 OSC

通过OSC传输的开销信息包含OTS-O、OMS-O、OCh-O和OTSiG-O。该开销信息的内容定义见第15节。本建议书未定义该开销的格式、结构及比特率。

通用管理通信（COMMS）

根据运营商逻辑管理覆盖网络的设计，通用管理通信（COMMS）也可在开放式同步通道（OSC）内传输。因此，某些应用场景下的OSC也可能承载通用管理通信。通用管理通信可能包括信令、语音/语音频段通信、软件下载、运营商专属通信等。

OTN同步消息通道（OSMC）

为实现同步目的，OSC OSMC信号被定义为OTN同步消息通道，用于传输SSM和PTP消息。

注1——OSC OSMC支持为可选功能。

注2——本建议书第4.6版之前设计的设备可能无法支持OSC OSMC。

14.2 OCC

通过OCC传输的开销信息包含OCh-O或OTSiG-O。该开销信息的内容定义见第15节，其格式、结构及比特率定义见[ITU-T G.7712]。

14.2.1 OCh-O在OTN光网络接口（II型）上的传输

对于OTN光网络接口II型，OCh-O通过开销通信网络（OCN）传输，具体描述详见[ITU-T G.7712]。

注——通过OCN传输OCh-O的OTN光网络接口，无法在此接口上实现OCh-O与OTSiG的命运共享。

OCh FDI-P、FDI-O及OCI开销原语通过OCN传输。此类信息的封装、标识与传输规范超出本建议书范围，详见[ITU-T G.7712]。当OCh FDI-P、FDI-O或OCI未发生变更时，必须与对等方通信确保OCh-O基本单元在一秒内同步。若任何OCh-O基本单元发生变更，更新必须在变更后10毫秒内发送，并配备丢包时的接收保障机制。

14.2.2 OTSiG-O传输协议在OTN光网络接口（II型）上的应用

对于OTN光网络接口（类型II），OTSiG-O通过开销通信网络（OCN）传输，具体描述详见[ITU-T G.7712]标准。

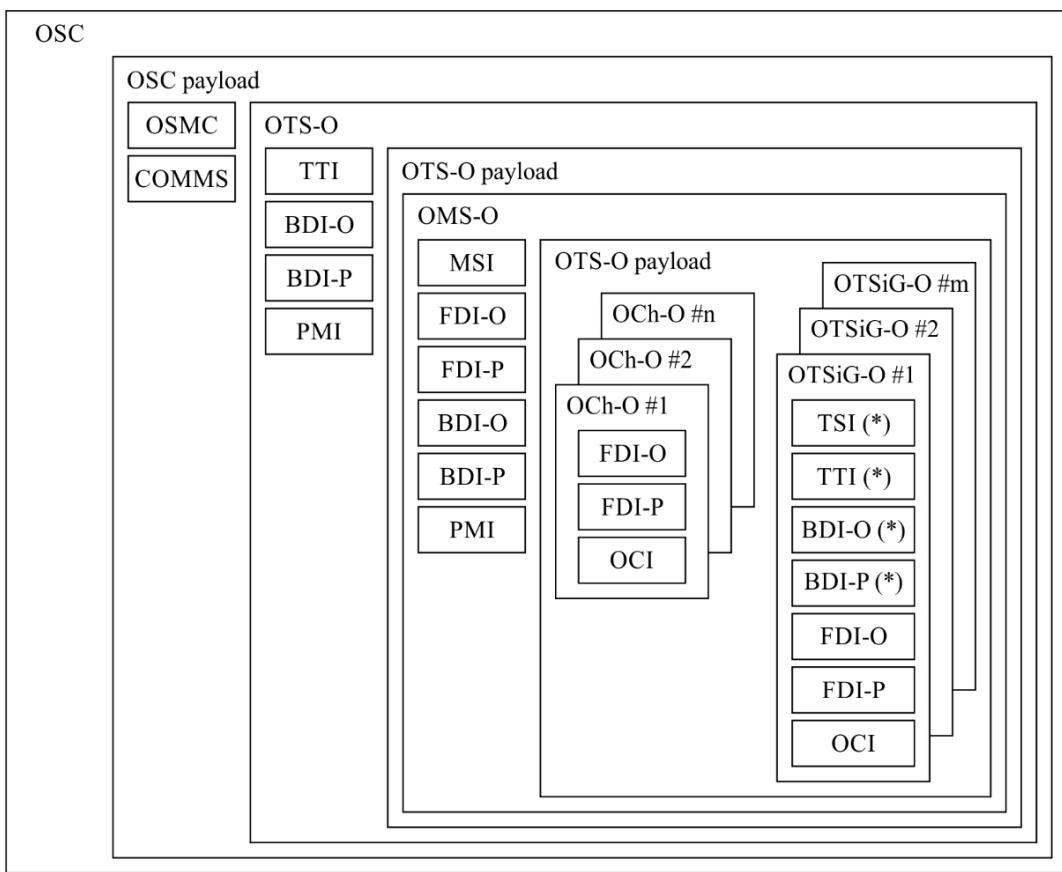
注——通过OCN传输OTSiG-O的OTN光网络接口，无法实现OTSiG-O与OTSiG在此接口上的命运共享。

OTSiG-O的FDI-P、FDI-O、OCI、TTI、BDI-P、BDI-O及TSI开销原语通过OCN传输。此类信息的封装、标识与传输规范超出本建议书范围，详见[ITU-T G.7712]。该信息必须与对等方通信，确保在OTSiG FDI-P、FDI-O、OCI、TTI、BDI-P、BDI-O

或TSI时，必须与对等方通信，使OTSiG-O基本单元在1秒内同步。若任何OTSiG-O基本单元发生变更，更新必须在变更后10毫秒内发送，并配备丢包时的接收保障机制。

15 开销说明

图15-1展示了OSC中承载的OTS-O、OMS-O、OCh-O和OTSiG-O信息的概览。图15-2展示了OCC中承载的OCh-O信息的概览。



(*) This overhead may be carried over the OSC or over a communication channel modulated on one or more OTSi within the OTSiG.

图15-1 – OSC内携带的OTS-O、OMS-O、OCh-O和OTSiG-O信息

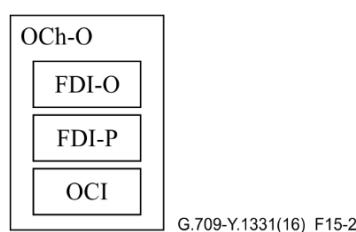
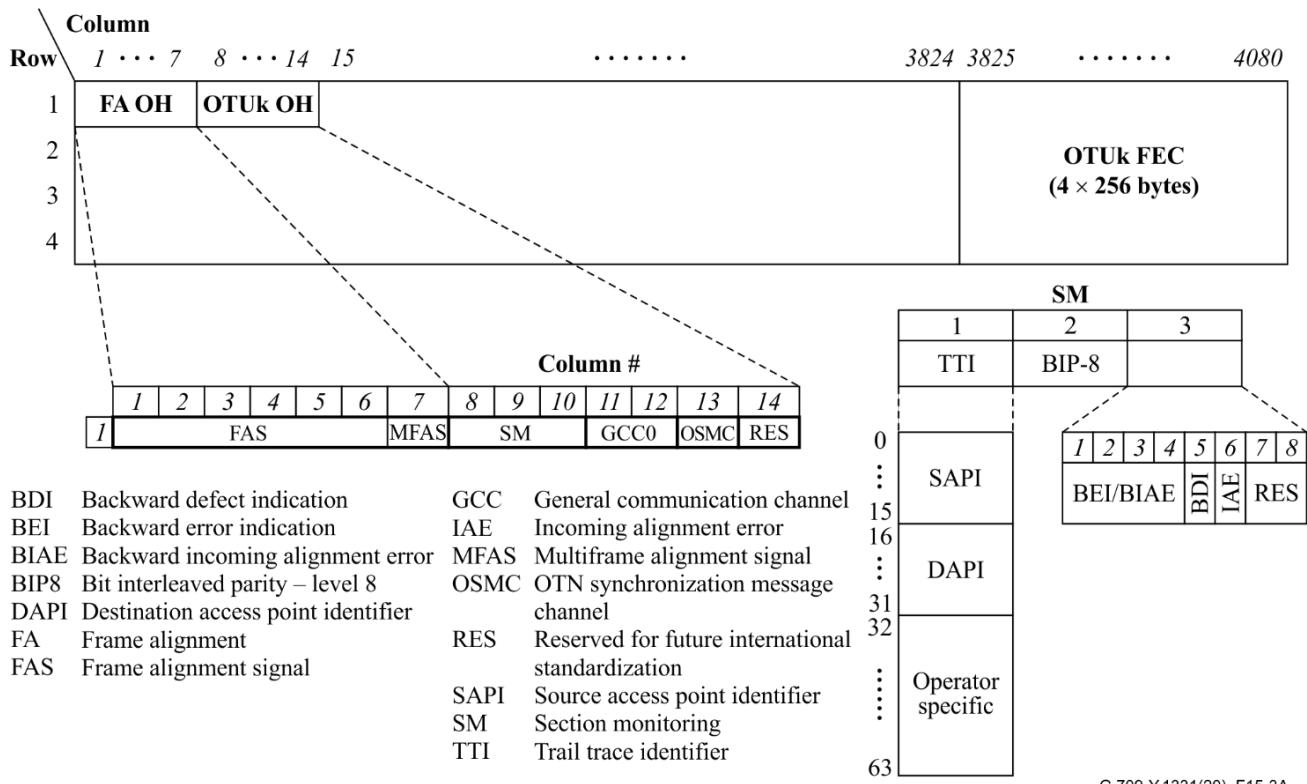


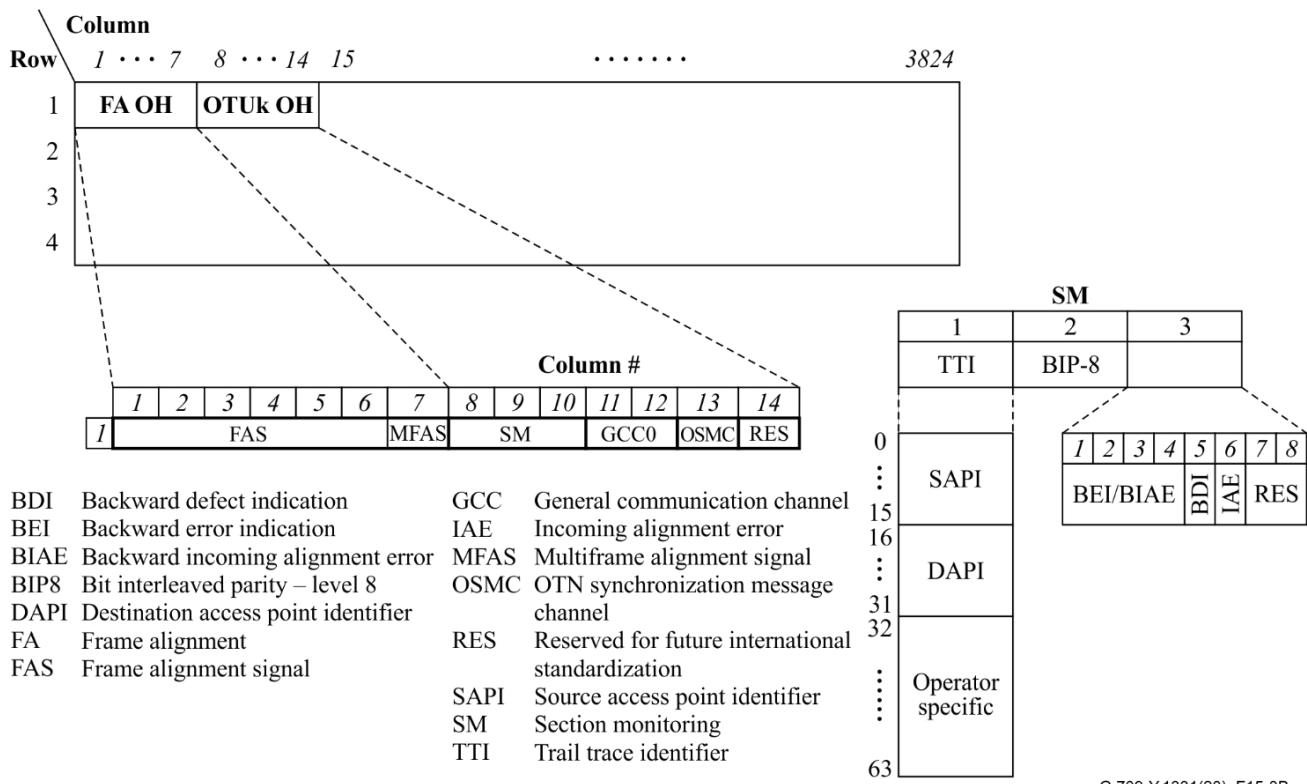
图15-2 – OCC内携带的OCh-O信息

图15-3A和15-5展示了OTUk、ODUk和OPUk开销的概述。图15-4和15-6展示了OTUCn、ODUCn和OPUCn开销的概述。图15-3B展示了OTU25和OTU50开销的概述，其内容与OTUk开销相同。



G.709-Y.1331(20)_F15-3A

图15-3A – OTUk帧结构、帧对齐与OTUk开销



G.709-Y.1331(20)_F15-3B

图15-3B – OTU25与OTU50帧结构、帧对齐及OTU开销

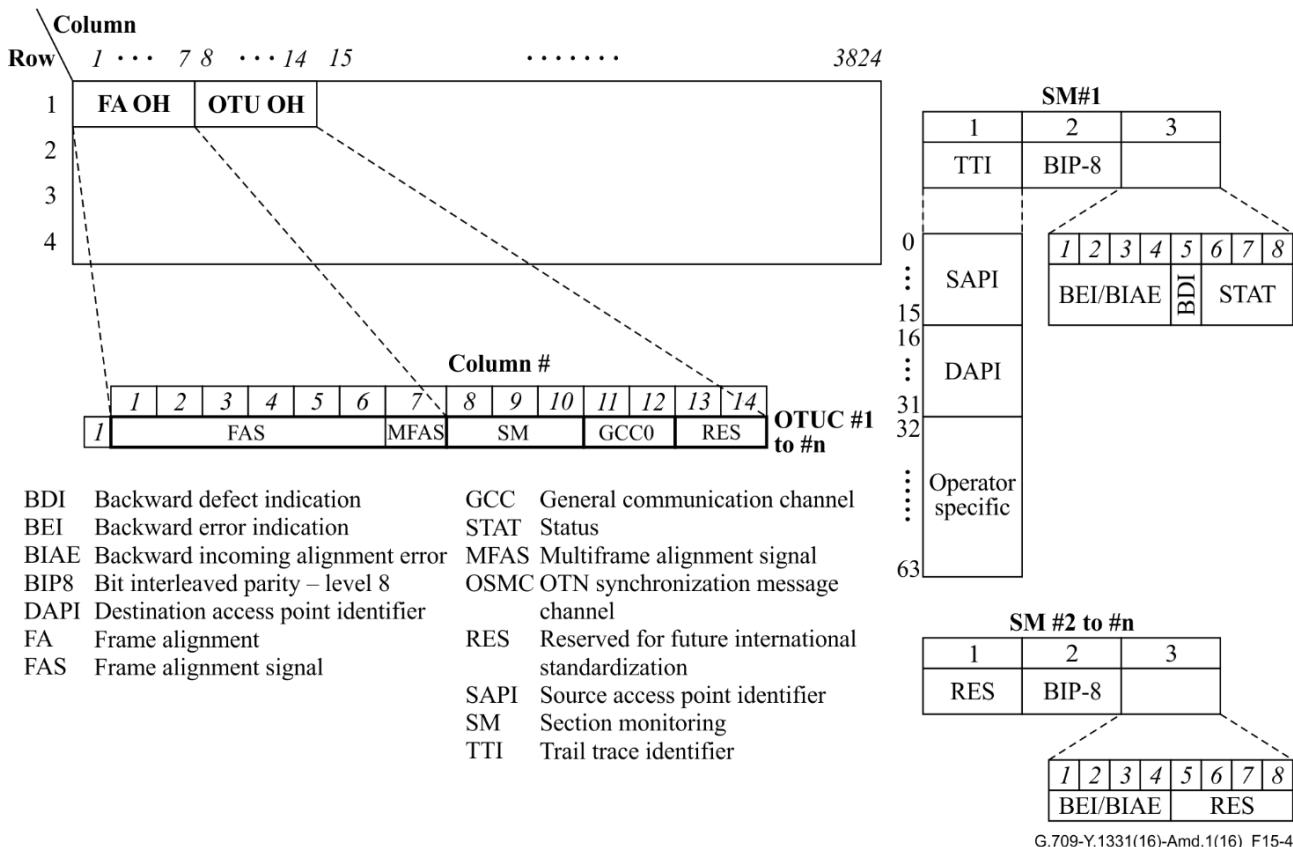
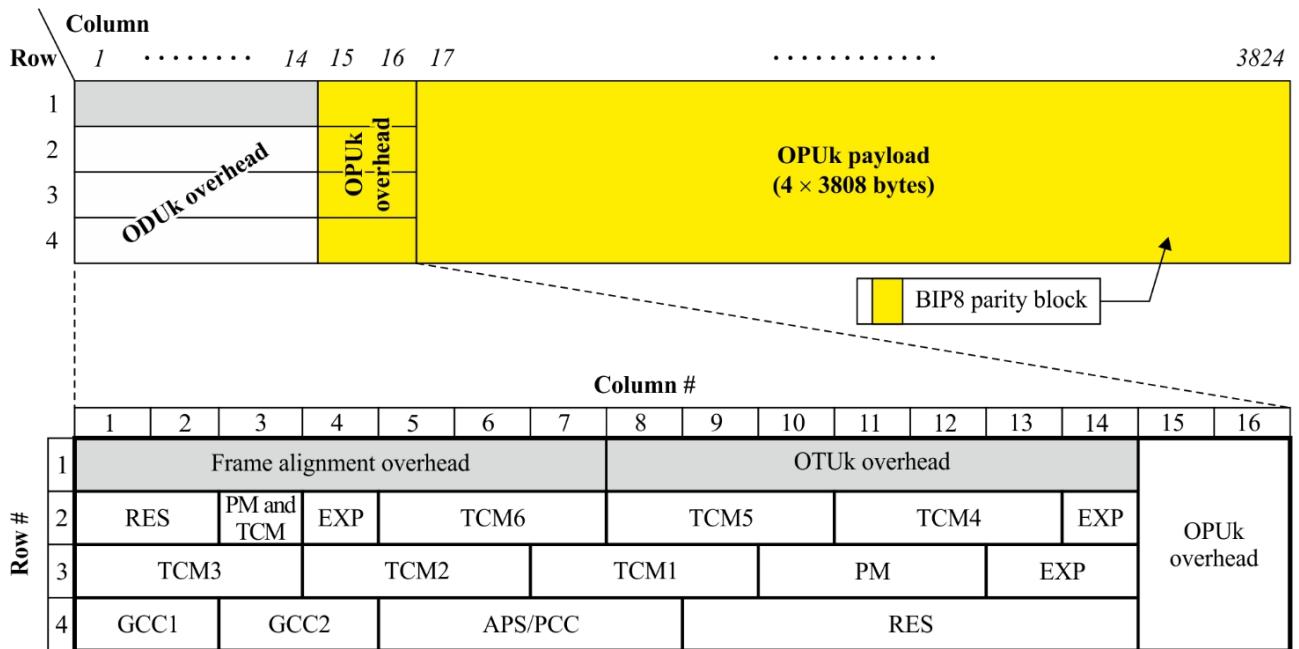
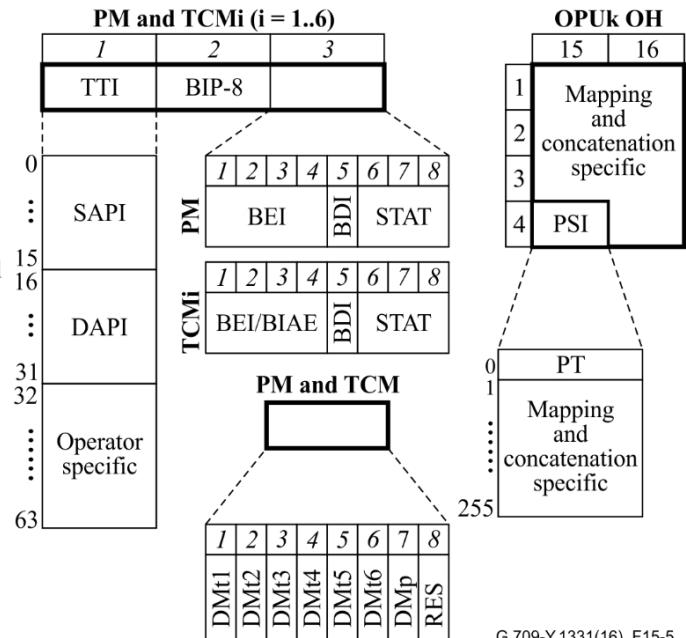


图15-4 – OTUCn帧结构、帧对齐及OTUCn开销

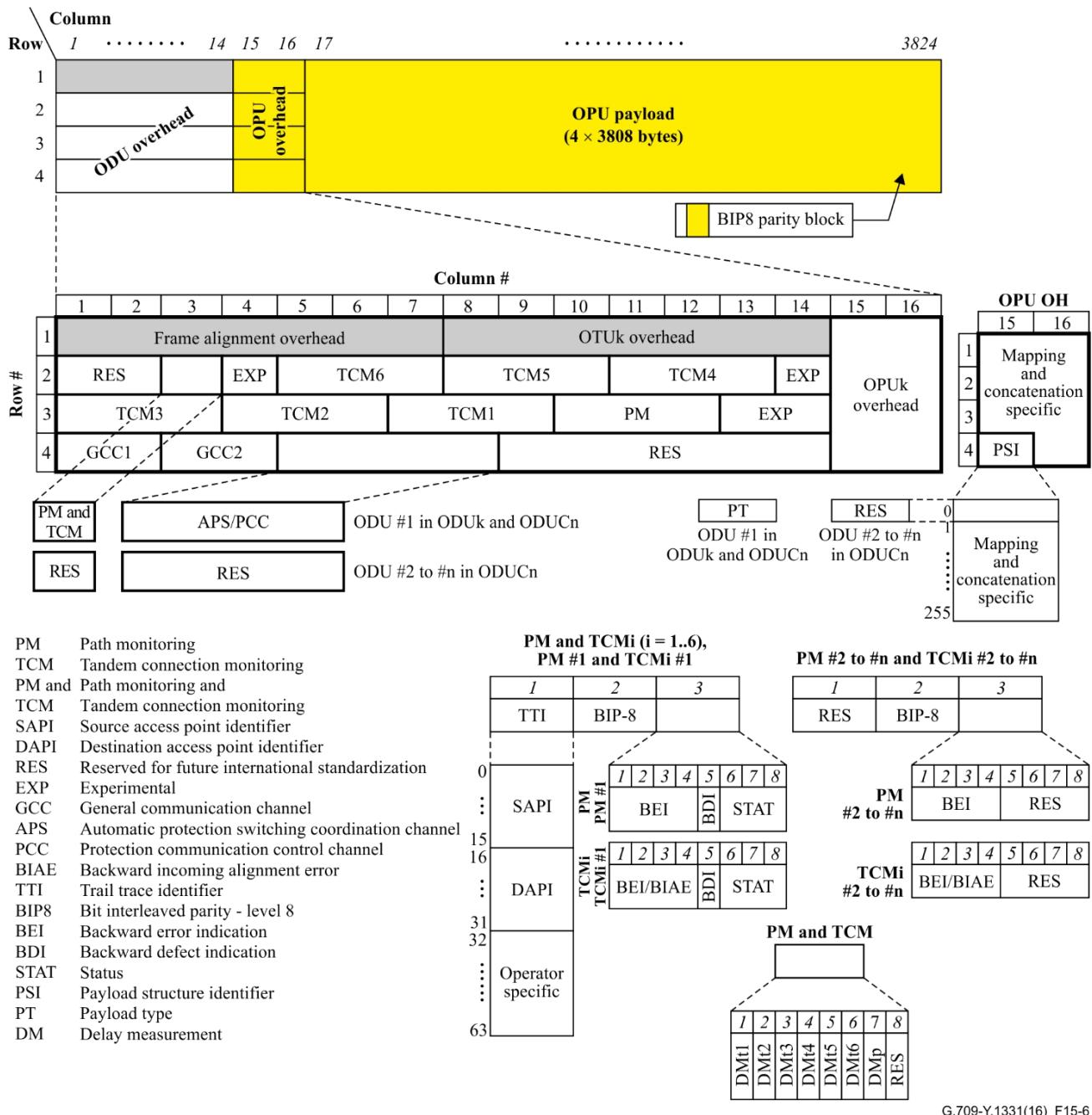


PM	Path monitoring
TCM	Tandem connection monitoring
PM and TCM	Path monitoring and tandem connection monitoring
SAPI	Source access point identifier
DAPI	Destination access point identifier
RES	Reserved for future international standardization
EXP	Experimental
GCC	General communication channel
APS	Automatic protection switching coordination channel
PCC	Protection communication control channel
BIAE	Backward incoming alignment error
TTI	Trail trace identifier
BIP8	Bit interleaved parity - level 8
BEI	Backward error indication
BDI	Backward defect indication
STAT	Status
PSI	Payload structure identifier
PT	Payload type
DM	Delay measurement



G.709-Y.1331(16)_F15-5

图15-5 – ODUk帧结构、ODUk与OPUk开销



G.709-Y.1331(16)_F15-6

图15-6 – ODUCn帧结构、ODUCn与OPUCn开销

15.1 开销类型

15.1.1 光载荷单元开销 (OPU OH)

OPU OH信息被添加到OPU信息有效载荷中以形成OPU。它包含支持客户端信号适配的信息。OPU OH在OPU组装与拆解处终止。具体OH格式与编码在第15.9节中定义。

15.1.2 光数据单元开销 (ODU OH)

ODU OH信息添加到ODU信息有效载荷中以创建ODU。它包含用于维护和操作功能的信息，以支持ODU连接。ODU OH由专用于端到端ODU路径和六级串联连接监控的部分组成。ODU路径OH在ODU组装和拆卸处终止。级联连接的源端与汇端分别添加并终止对应的级联连接开销。具体开销格式与编码规则详见第15.6节和第15.8节。

15.1.3 光传输单元开销 (OTU OH)

OTU OH信息附加于OTU信息有效载荷以构成OTU。其包含支持OTU连接的维护与运行功能信息。OTU OH在OTU信号组装与拆解处终止。具体OH格式与编码定义见15.6和15.7条款。

非标准OTUkV OH的具体帧结构和编码超出本建议书的范围。仅在第15.7.3节中定义了必须支持的必要基本功能。

15.1.4 OCh-O

OCh-O是伴随OTSiG传输的非关联开销信息，包含支持故障管理的维护功能数据。该信息在OCh路径的中间节点生成或修改，其所有信息元素均随OTSiG信号终止而终止。

OCh-O信息在第15.5节中定义。

15.1.5 OMS-O

OMS-O是伴随OMS OSME的非关联开销信息。它包含用于维护和运行功能以支持光复用段的信息。OMS-O在OMS OSME和OMS-O路径的中间点生成或修改，并在OMS OSME端点（即OMS-O路径终点）生成并终止。

除OMS FDI-P和FDI-O之外的OMS-O信息元素在OMS-O路径的两端生成并终止。OMS FDI-P和FDI-O在OMS-O路径的中间点生成，并在OMS-O路径的两端终止。

OMS-O信息在第15.4节中定义。

15.1.6 OTS-O

OTS-O是伴随OTS OSME传输的非关联性管理信息，包含支持光传输段维护与运行功能的数据。该信息在OTS OSME端点处终止，即OTS-O传输链路终止位置。

OTS-O信息在第15.3节中定义。

15.1.7 通用管理通信开销 (COMMS OH)

COMMS OH信息用于网络元素间的一般管理通信。其具体帧结构与编码方式超出本建议书范围。

15.1.8 OTSiG-O

OTSiG-O是伴随OTSiG传输的非关联附加信息，包含用于故障管理维护功能的信息。OTSiG-O的TSI、TTI、BDI-P和BDI-O在OTSiA信号组装点生成，而OCI、FDI-P和FDI-O则在OTSiA传输路径的中间节点进行修改或生成。所有OTSiG-O信息元素均在OTSiA信号解组装处终止。

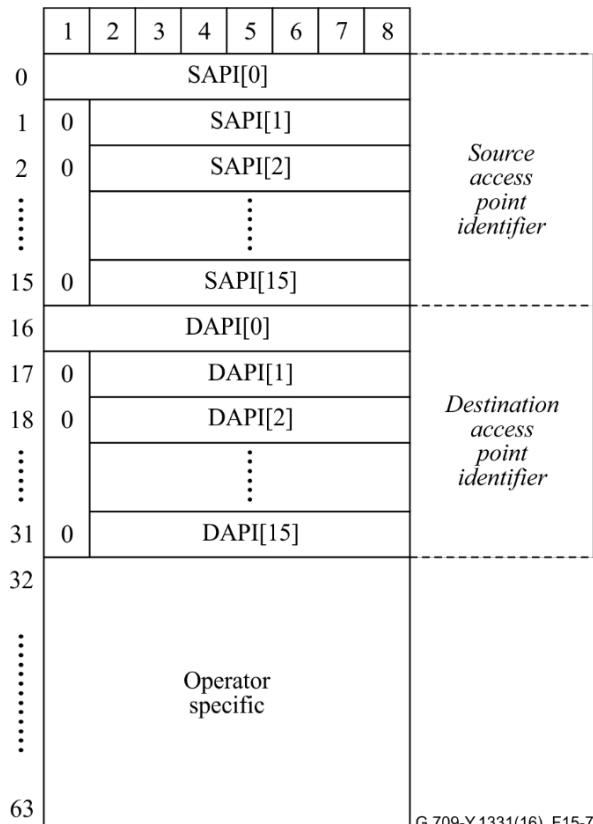
OTSiG-O信息定义详见第15.5节。

注：在本建议第5版之前设计的OSC信号可能只能传输OTSiG-O头信息的子集（可能不包括TSI、TTI、BDI-P和BDI-O）。

15.2 轨迹标识符与接入点标识符定义

列车追踪标识符 (TTI) 定义为64字节字符串，结构如下（参见图15-7）：

- TTI[0]包含SAPI[0]字符，固定为全0。
- TTI[1]至TTI[15]包含15位源接入点标识符（SAPI[1]至SAPI[15]）。
- TTI[16]包含DAPI[0]字符，该字符固定为全0。
- TTI[17]至TTI[31]包含15位目的接入点标识符（DAPI[1]至DAPI[15]）。
- TTI[32]至TTI[63]为运营商特定字段。



G.709-Y.1331(16)_F15-7

图15-7 – TTI结构

接入点标识符 (API) 的特性如下：

- 每个接入点标识符在其层网络中必须具有全局唯一性。
- 当预期接入点可能需要跨运营商边界建立路径时，该接入点标识符必须对其他网络运营商可见。
- 在接入点存在期间，其标识符不应变更。
- 接入点标识符应能识别负责该接入点进出路由的国家及网络运营商。
- 属于单一行政层网络的所有接入点标识符集合应构成统一的接入点标识方案。
- 每个行政层网络的接入点标识符方案可独立于其他行政层网络的方案。

建议ODUk、OTUk和OTS各自采用基于树状结构的接入点识别方案，以辅助路由控制搜索算法。接入点标识符应具备全球唯一性。

接入点标识符（SAPI、DAPI）应由三位字符的国际段和十二位字符的国家段（NS）组成（参见图15-8）。这些字符应按[ITU-T T.50]（国际参考字母表——用于信息交换的7位编码字符集）进行编码。

IS字符编号 #			NS字符编号															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15				
CC			ICC	UAPC														
CC			ICC		UAPC													
CC			ICC			UAPC												
CC			ICC				UAPC											
CC			ICC						UAPC						UAPC			
CC			ICC									UAPC			UAPC			

图15-8 - 接入点标识符结构

国际段字段提供三位字符的ISO 3166地理/政治国家代码（G/PCC）。该国家代码应基于三位大写字母的ISO 3166国家代码（例如：USA、FRA）。

国家分段字段由两个子字段组成：国际电信联盟运营商代码（ICC）后接唯一接入点代码（UAPC）。

ITU运营商代码是分配给网络运营商/服务提供商的代码，由ITU-T电信标准化局（TSB）根据[ITU-T M.1400]标准维护。该代码应由1-6个左对齐字符组成，可为字母或字母开头加数字结尾。

唯一接入点代码应由获得国家代码及ITU运营商代码授权的组织制定，但须确保其唯一性。该代码由6-11个字符组成，末尾附加NUL字符，共同构成12字符的国家段。

15.3 OTS-O描述

定义以下OTS-O信息元素：

- OTS-TTI
- OTS-BDI-P
- OTS-BDI-O
- OTS-PMI

15.3.1 OTS 轨迹标识符 (TTI)

OTS-TTI的定义是传输64字节的TTI，该TTI在第15.2节中针对OTS连接性监控进行了规定。

15.3.2 OTS后向缺陷指示——有效载荷（BDI-P）

对于OTS OSME和OTS-O路径监控，OTS-BDI-P信号被定义为在上行方向传输OTS OSME和OTS-O路径终止汇聚功能汇聚点检测到的OTS OSME和OTS-O路径信号故障状态。

15.3.3 OTS后向故障指示——上行 (BDI-O)

对于 OTS-O 跟踪监测，OTS-BDI-O 信号定义为在上行方向传输在 OTS-O 跟踪终止接收功能中检测到的 OTS-O 信号故障状态。

15.3.4 OTS有效负载缺失指示 (PMI)

OTS PMI 信号作为下游发送的指示，表明OTS OSME源点上游未检测到光信号，旨在抑制OTS OSME汇点后续信号丢失状态的报告。

15.4 OMS-O描述

定义以下 OMS-O 信息元素：

- OMS-FDI-P
- OMS-FDI-O
- OMS-BDI-P
- OMS-BDI-O
- OMS-PMI
- OMS-MSI

15.4.1 OMS前向故障指示——有效载荷 (FDI-P)

针对OMS OSME和OMS-O航迹监测，OMS-FDI-P信号定义为在下游方向传输信号状态（正常或故障）。

15.4.2 OMS前向故障指示——管理信道 (FDI-O)

对于OMS-O轨迹监测，OMS-FDI-O信号被定义为在下游方向传递OMS-O信号状态（正常或故障）。

15.4.3 OMS反向故障指示——有效载荷 (BDI-P)

对于OMS OSME和OMS-O链路监控，OMS-BDI-P信号定义为在上行方向传输OMS OSME和OMS-O链路终止接收功能接收点检测到的OMS-P信号故障状态。

15.4.4 OMS反向缺陷指示——管理层 (BDI-O)

针对OMS-O链路监测，OMS-BDI-O信号定义为在上行方向传输OMS-O链路终止汇聚功能中检测到的OMS-O信号故障状态。

15.4.5 OMS有效载荷缺失指示 (PMI)

OMS PMI 信号作为下游发送的指示，表明上游在OMS OSME源点处所有频率时隙均未包含光分支信号，旨在抑制OMS OSME汇点处因信号丢失导致的报告。

15.4.6 OMS复用结构标识符 (MSI)

OMS复用结构标识符 (MSI) 信号编码了源端点处OMS OSME中的OTSiG复用结构及占用频槽。该信号向下游发送，用于检测汇聚端点与源端点间OTSiG复用结构配置的不匹配情况。

OMS复用结构标识符 (MSI) 信号还编码了媒体通道结构，该结构独立于源端和汇端OMS OSME中的OTSiG。该信号向下游发送，用于检测汇端与源端之间媒体通道结构配置的不匹配。

OMS MSI专为灵活网格OTN光网络接口（I型）定义。固定网格OTN光网络接口可能不支持OMS MSI。本建议书第5.0版之前设计的灵活网格OTN光网络接口（I型）可能不支持OMS MSI。

15.5 OCh-O与OTSiG-O描述

定义以下OCh-O和OTSiG-O信息元素：

- OCh-FDI-P与OTSiA-FDI-P
- OCh-FDI-O与OTSiA-FDI-O
- OCh-OCI和OTSiA-OCI
- OTSiA-BDI-P
- OTSiA-BDI-O
- OTSiA-TTI
- OTSiG-TSI

15.5.1 OCh与OTSiA前向故障指示——有效载荷（FDI-P）

针对OCh和OTSiA尾部监测，定义OCh-FDI-P或OTSiA-FDI-P信号用于向下游方向传递OTSiG信号状态（正常或故障）。

15.5.2 OCh和OTSiA前向缺陷指示——开销（FDI-O）

针对OCh和OTSiA链路监测，定义OCh-FDI-O或OTSiA-FDI-O信号用于在下游方向传输OCh-O或OTSiG-O开销信号状态（正常或故障）。

15.5.3 OCh和OTSiA开启连接指示（OCI）

OCh和OTSiA的OCI信号作为向下传输的指示信号，表明在连接功能的上行方向，由于管理命令导致OCh（即OTSiG和OCh-O）或OTSiA（即OTSiG和OTSiG-O）矩阵连接被打开。在OCh或OTSiA終端点检测到的信号丢失状态，现可关联至矩阵打开状态。

15.5.4 空白条款

本条款特意留白。

15.5.5 OTSiA反向故障指示——有效载荷（BDI-P）

针对OTSiA路径监控，OTSiA-BDI-P信号被定义为在上行方向传输由OTSiG终端接收功能检测到的OTSiG信号故障状态。

15.5.6 OTSiA反向故障指示——开销（BDI-O）

在OTSiA路径监控中，OTSiA-BDI-O信号定义为在上行方向传递由OTSiG-O终端汇聚功能检测到的OTSiG-O信号故障状态。

15.5.7 OTSiA尾迹标识符（TTI）

OTSiA-TTI定义用于传输64字节的TTI，具体规格参见第15.2节关于OTSiA路径监控的规定。

15.5.8 OTSiG发射器结构标识符（TSI）

OTSiG-TSI定义用于传输TSI，以监控源端点处OTSiG发射器和汇聚端点处OTSiG接收器的配置一致性。

15.6 OTU/ODU帧对齐开销字段描述

15.6.1 OTU/ODU帧对齐开销位置

OTU/ODU帧对齐开销位置如图15-9所示。该开销适用于OTU和ODU信号。

OTUk/ODUk、OTU25/ODU25和OTU50/ODU50各包含一个OTU/ODU帧对齐开销实例。OTUCn/ODUCn包含n个OTU/ODU帧对齐开销实例，编号为1至n。

		Column #															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Row #	1	FAS						MFAS	OTU overhead								
	2																
	3	ODU overhead															
	4																

G.709-Y.1331(16)_F15-9

图15-9 – OTU/ODU帧对齐开销

15.6.2 OTU/ODU帧对齐开销定义

15.6.2.1 帧对齐信号 (FAS)

OTU开销的第1行第1至6列定义了一个6字节的OTU-FAS信号（参见图15-10）。OA1为"1111 0110"，OA2为"0010 1000"。

OTUk、OTU25和OTU50各包含一个OTU多帧对齐开销实例。OTUCn包含n个OTU多帧对齐开销实例，编号为1至n。

FAS OH byte 1	FAS OH byte 2	FAS OH byte 3	FAS OH byte 4	FAS OH byte 5	FAS OH byte 6
1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8
OA1	OA1	OA1	OA2	OA2	OA2

G.709-Y.1331(16)_F15-10

图15-10 – 帧对齐信号开销结构

15.6.2.2 多帧对齐信号 (MFAS)

部分OTU和ODU开销信号会跨越多个OTU/ODU帧，例如TTI和TCM-ACT开销信号。此类多帧结构化开销信号除需执行OTU/ODU帧对齐外，还需进行多帧对齐处理。

为此，在OTU/ODU开销的第1行第7列定义了一个单一的多帧对齐信号（MFAS）字节（参见图15-11）。该MFAS字节值将在每个OTU/ODU帧中递增，从而形成256帧的多帧结构。

OTUk、OTU25和OTU50各包含一个OTU多帧对齐开销实例。OTUCn包含n个OTU多帧对齐开销实例，编号为1至n。所有n个MFAS字节携带相同的256帧序列，且在每帧中所有n个MFAS字节携带相同值。

MFAS OH byte							
1	2	3	4	5	6	7	8
:							
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	0	1	0	0
:							
1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1

G.709-Y.1331(16)_F15-11

图15-11 - 多帧对齐信号开销

各OTU/ODU开销信号可利用此中心多帧结构，将其2帧、4帧、8帧、16帧、32帧等多帧结构锁定至主帧。

注1 – 80帧OPU4多帧无法支持，需改用专用80帧OPU4多帧指示符（OMFI）。

注2 – MFAS不支持20帧OPUCn和OPUK（k=25）多帧结构，需改用专用20帧OPUCn和OPUK多帧指示符（OMFI）。

注3 – MFAS不支持40帧OPUK（k=50）多帧结构，需改用专用40帧OPUK多帧指示器（OMFI）。

15.7 OTU开销说明

15.7.1 OTU开销位置

OTU开销位置如图15-12和15-13所示。

OTUk包含一个OTU开销实例。OTUCn包含n个OTU开销实例，编号为1至n（OTU OH #1至OTU OH #n）。

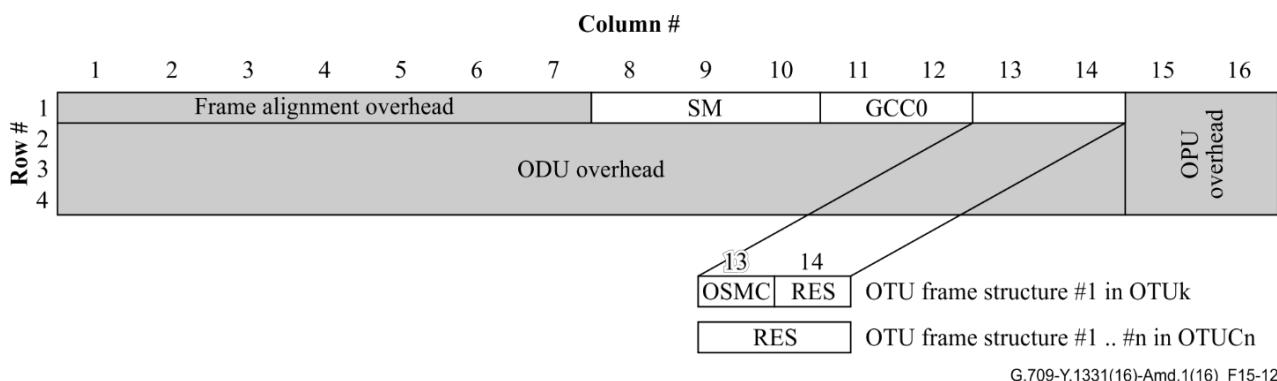


图15-12 - OTU开销

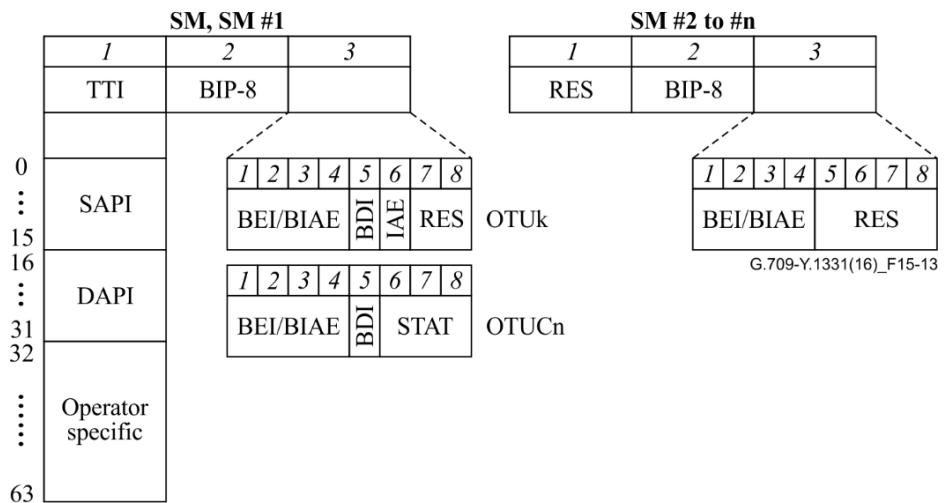


图15-13 – OTU区段监控开销

15.7.2 OTU开销定义

15.7.2.1 OTU区段监控(SM)开销

为支持段监控，在第 1 行第 8 至 10 列定义了一个 OTU 段监控 (SM) 头字段。

OTUk、OTU25和OTU50各包含一个OTU SM开销实例。OTUCn包含n个OTU SM开销实例，编号为1至n（SM #1至SM #n）。

SM和SM #1字段包含以下子字段（参见图15-13）：

- 尾迹标识符 (TTI)；
- 位交错奇偶校验 (BIP-8)；
- 后向缺陷指示 (BDI)；
- 后向错误指示与后向接收对齐错误 (BEI/BIAE)；
- 入射对准误差 (IAE)；
- 状态位，指示是否存在接收对准误差或维护信号 (STAT)；
- 预留位用于未来国际标准化 (RES)。

SM #2至#n字段包含以下子字段（参见图 15-13）：

- 位交错奇偶校验 (BIP-8)；
- 后向误差指示与后向入射对准误差 (BEI/BIAE)；
- 为未来国际标准化保留的位 (RES)。

15.7.2.1.1 OTU SM尾迹标识符 (TTI)

为实现区段监控，定义了一个1字节的尾迹标识符 (TTI) 开销，用于传输第15.2节规定的64字节TTI信号或[ITU-T G.7714.1]中规定的发现消息。

OTUk、OTU25、OTU50及OTUCn均包含一个OTU TTI开销实例。

64字节TTI信号应与OTU多帧（参见15.6.2.2条款）对齐，并在每个多帧中传输四次。64字节TTI信号的字节0应出现在OTU多帧位置0000 0000 (0x00)、0100 0000 (0x40)、1000 0000 (0x80)和1100 0000 (0xC0)。

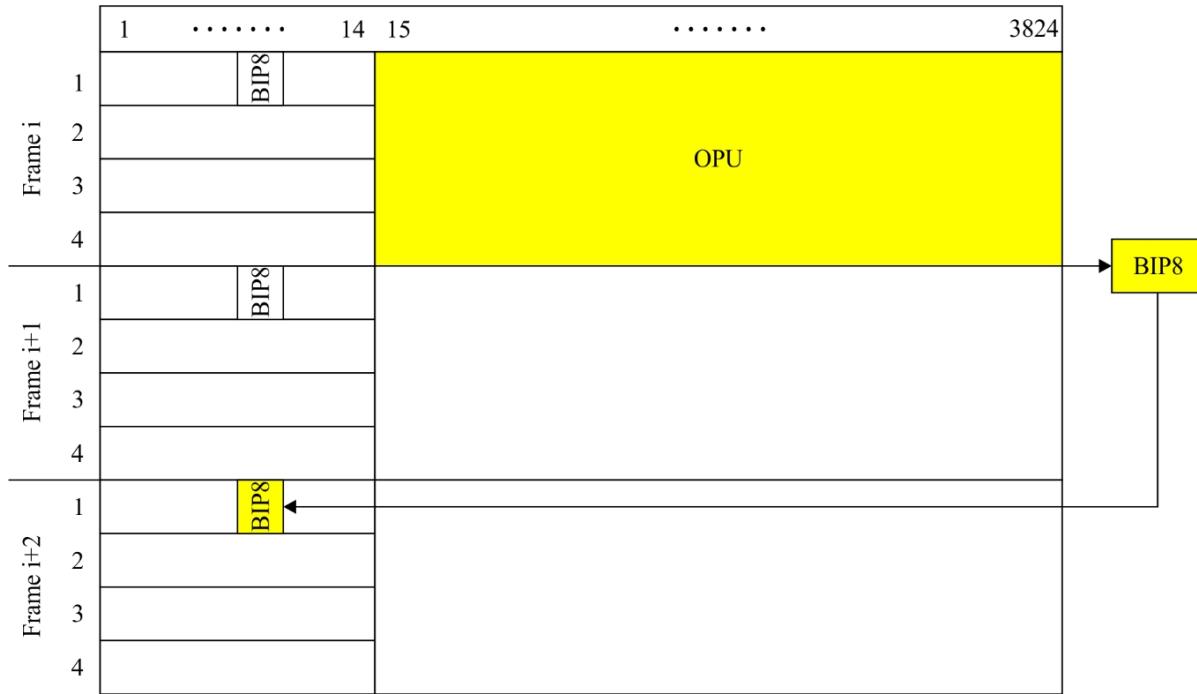
15.7.2.1.2 OTU SM 误码检测码 (BIP-8)

为实现分段监控，OTU同步管理单元开销中定义了一个单字节误码检测码信号。该字节采用位交织奇偶校验-8 (BIP-8) 编码。

注：BIP-8 符号仅指 BIP 位数量，不涉及 EDC 使用方式（即计数对象）。BIP-8 定义详见 [ITU-T G.707] 中 BIP-X 规范。

OTU BIP-8 基于 OTU 帧 i 中 OPU 区域（第 15 至 3824 列）的比特进行计算，并插入至 OTU 帧 i+2 的 OTU BIP-8 开销位置（参见图 15-14）。

OTUk、OTU25 和 OTU50 各包含一个 OTU BIP-8 开销实例。OTUCn 包含 n 个 OTU BIP-8 开销实例，编号为 1 至 n（即 BIP-8 #1 至 BIP-8 #n）。



G.709-Y.1331(16)_F15-14

图 15-14 – OTU SM BIP-8 计算

15.7.2.1.3 OTU SM 反向缺陷指示 (BDI)

为实现分段监控，定义单比特后向缺陷指示 (BDI) 信号，用于传递上游方向分段终止接收器功能检测到的信号故障状态。

BDI 设置为 "1" 表示 OTU 反向缺陷指示；否则设置为 "0"。OTUk、OTU25、OTU50 和 OTUCn 包含一个 OTU BDI 开销实例。

15.7.2.1.4 OTU SM 反向错误指示与反向输入对准错误 (BEI/BIAE)

对于区段监测，定义了一个四位向后误码指示 (BEI) 和向后输入对齐误差 (BIAE) 信号。该信号用于在上行方向传递通过 BIP-8 编码由对应 OTU 区段监测接收器检测到的交织比特块误码计数。该信号还用于在上行方向传递在对应 OTU 区段监控接收端 IAE 开销中检测到的接收对齐错误 (IAE) 状态。

在IAE状态期间，BEI/BIAE字段将插入代码"1011"，错误计数被忽略。否则错误计数（0-8）将被插入该字段。这四位可能产生的其余六种值仅源于无关条件，应解释为零错误（参见表15-1）且BIAE未激活。

OTUk、OTU25和OTU50各包含一个OTU BEI/BIAE开销实例。OTUCn包含n个OTU BEI/BIAE开销实例，编号为1至n（即BEI/BIAE #1至BEI/BIAE #n）。

注——OTUCn的BIAE指示需传输n次（即在OTUC SM #1至SM #n中），且仅在OTUC SM #1中检测。

表 15-1 – OTU SM BEI/BIAE 解释

OTU SM BEI/BIAE 位 1 2 3 4	BIAE	BIP违规
0 0 0 0	false	0
0 0 0 1	false	1
0 0 1 0	false	2
0 0 1 1	false	3
0 1 0 0	false	4
0 1 0 1	false	5
0 1 1 0	false	6
0 1 1 1	false	7
1 0 0 0	false	8
1 0 0 1, 1 0 1 0	false	0
1 0 1 1	true	0
1 1 0 0 to 1 1 1 1	false	0

15.7.2.1.5 OTUk、OTU25 和 OTU50 单模入射对齐误差开销 (IAE)

定义单比特入向对齐错误 (IAE) 信号，用于使S-CMEP入口点能够通知其对等S-CMEP出口点已检测到入向信号中的对齐错误。

IAE被设置为"1"以指示帧对齐错误，否则设置为"0"。

S-CMEP出口点可利用此信息抑制比特误码计数，该误码可能源于OTUk、OTU25、OTU50在该段入口处的帧相位变化。

15.7.2.1.6 OTU SM保留开销 (RES)

针对OTUk、OTU25和OTU50的段监控，SM开销中预留两个比特 (RES) 用于未来国际标准化，其值设为"00"。

针对OTUCn的段监控，在OTU帧结构#2至#n的SM开销中预留12位用于未来国际标准化。这些位的值均设为"0"。

15.7.2.1.7 OTUCn SM状态 (STAT)

对于区段监控，定义了三个状态位 (STAT)。它们指示维护信号的存在，或源S-CMEP是否存在传入对准误差（参见表15-2）。

表 15-2 – OTUCn SM 状态解释

位 SM字节3 6 7 8	状态
0 0 0	保留用于未来的国际标准化
0 0 1	在使用中，未采用IAE
0 1 0	与IAE配合使用
0 1 1	保留用于未来的国际标准化
1 0 0	保留用于未来的国际标准化
1 0 1	保留用于未来的国际标准化
1 1 0	保留用于未来的国际标准化
1 1 1	维护信号：OTUCn-AIS

S-CMEP 入口点将这些位设置为“001”，以向其对等 S-CMEP 出口点指示没有传入对准错误 (IAE)，或设置为“010”，以指示存在传入对准错误。

S-CMEP 出口点可利用此信息抑制位误差计数，该误差可能因该段入口处 ODUCn 的帧相位变化而发生。

15.7.2.2 OTU通用通信信道0 (GCC0)

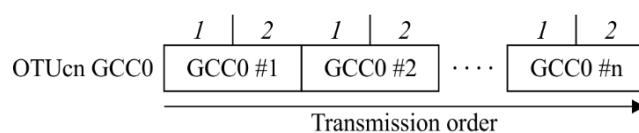
OTU开销中分配两个字节，用于支持OTU终端点间[ITU-T G.7714.1]规定的一般通信信道或发现信道。

该通用通信通道为透明通道，其格式规范超出本建议书范围。这些字节位于OTU开销的第1行第11、12列。

OTUk、OTU25和OTU50各包含一个OTU GCC0开销实例。OTUCn包含n个OTU GCC0开销实例，编号为1至n（即GCC0 #1至GCC0 #n）。

GCC0 #1至#n的开销被整合为单一通信通道，如图15-15所示，其近似带宽为 $n \times 13.768$ Mbit/s。

注：对于供应商特定接口，可选择不合并GCC0 #1至#n，仅使用首个GCC0 (GCC0 #1) 作为通信通道，其近似带宽为13.768 Mbit/s。GCC0 #2至#n不被使用。



G.709-Y.1331(16)_F15-15

图15-15 – OTUCn GCC0传输顺序

15.7.2.3 OTU保留开销字节(RES)

OTU帧结构#1中的1字节开销用于未来国际标准化预留。该字节位于第1行第14列，默认设置为全0。

在OTU帧结构#2至#n中，OTU开销的两个字节预留用于未来的国际标准化。这些字节位于OTU开销的第1行第13和14列，其值均设置为全0。

15.7.2.4 OTU OTN同步消息通道 (OSMC)

为实现同步功能，OTU开销中定义了一个字节作为OTN同步消息通道，用于在SOTU和MOTU接口内传输SSM、eSSM及PTP消息。OSMC带宽详见表15-3。

OTUk、OTU25和OTU50均包含一个OTU OSMC开销实例。

注1——OTN接口中对OTU OSMC的支持为可选项。

注2——本建议书第5.0版之前设计的设备可能无法通过其OTN点对点接口支持OTU OSMC。

注3——采用厂商特定应用标识符的OTN接口可能支持OSMC功能，此时消息封装与开销位置均由厂商定义。

注4——在本建议书第6.0版之前设计的设备，可能无法通过其OTN光网络接口支持OTU OSMC。

表15-3 – OSMC带宽

OTUk	OSMC 带宽 (kbit/s)
OTU1	163.361
OTU2	656.203
OTU3	2,635.932
OTU4	6,851.101
OTU25	1,726.576
OTU50	3,453.153

SSM、eSSM和PTP消息按[ITU-T G.7041]规定封装到GFP-F帧中。PTP事件消息加盖时间戳后，按第15.7.2.4.1节规定封装到GFP-F帧中并插入OSMC。GFP-F封装的SSM和eSSM消息（以及PTP非事件消息）应尽早插入OSMC。GFP空闲帧可在连续GFP帧之间插入。

通用帧处理程序（GFP）帧的映射通过将每个GFP帧的字节结构与OSMC开销字段的字节对齐来实现。由于GFP帧长度可变且超过1字节，因此单个帧可能跨越OTUk（k=1,2,3,4）、OTU25或OTU50帧边界。

15.7.2.4.1 事件消息时间戳生成 15.7.2.4.1.1 OTN接口事件消息时间戳点

OTN接口消息时间戳点[ITU-T G.8260]用于传输PTP事件消息

在OSMC上，应采用位于PTP事件消息承载的GFP帧起始点之前的X帧多帧事件。参见图15-16。由于GFP帧可能长于X-4字节，单个帧可能跨越X帧多帧边界。X帧多帧包含编号为0、1、...、X-1的帧。

15.7.2.4.1.2 事件时间戳生成

所有PTP事件消息在OTN接口的输出端和输入端均需添加时间戳。该时间戳应为事件消息时间戳点穿越标记PTP节点（即OTN节点）与网络边界的基准平面[ITU-T G.8260]的时刻。

OTUk、OTU25和OTU50

在OTUk、OTU25和OTU50接入点处，事件消息时间戳每X帧多帧周期生成一次。当k=1时X值为64，当k=2、3、4时X值为256（适用于OTU25和OTU50）。

GFP（PTP事件消息）帧的首字节在X帧多帧边界之后的第4至X-1帧之间插入OTUk、OTU25或OTU50 OSMC中。

注1—GFP（PTP事件消息）帧的首字节不得插入X帧多帧结构中帧0至帧3的OTUk、OTU25或OTU50 OSMC中。

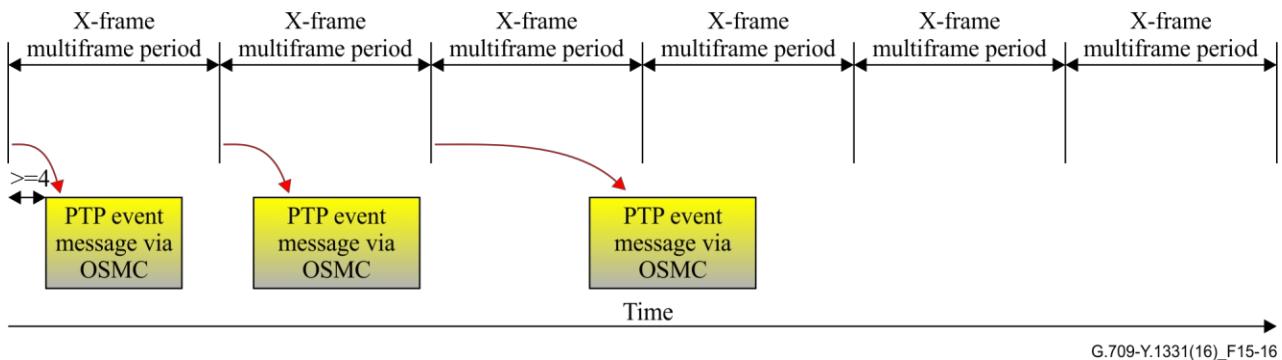


图15-16 – OTUk时序图示例

注3——此OTN接口时间同步实现不采用[ITU-T G.8260]标准规定的时间戳点生成事件消息时间戳。

在此OTN接口时间同步实现中，时间戳生成点偏离了基准平面。此外，入站与出站事件消息相对于基准平面的时间偏移可能不同。为满足本子条款要求，生成的时间戳应针对这些偏移进行校正。[b-IEEE 1588]图19展示了这些偏移量。基于该模型，相应的修正公式如下：

$$\begin{aligned}<\text{egressTimestamp}> &= <\text{egressMeasuredTimestamp}> + \text{egressLatency} \\<\text{ingressTimestamp}> &= <\text{ingressMeasuredTimestamp}> - \text{ingressLatency}\end{aligned}$$

其中，参考平面上测得的实际时间戳 $<\text{egressTimestamp}>$ 和 $<\text{ingressTimestamp}>$ ，是通过检测到的（即测得的）时间戳乘以其各自的延迟计算得出。若未进行这些校正，从属时钟与主时钟之间将产生时间偏移。

15.7.3 OTUk开销

功能标准化后的OTUk帧至少应支持与OTUk分段监测功能相当的分段监测能力（参见15.7.2.1节），并采用15.2节规定的跟踪标识符。此开销的进一步规范超出本建议书范围。

15.8 ODU OH描述

15.8.1 ODU开销位置

ODU开销位置如图15-17、15-18和15-19所示。

ODUk包含一个ODU开销实例。ODUCn包含n个ODU开销实例，编号为1至n（ODU OH #1至ODU OH #n）。

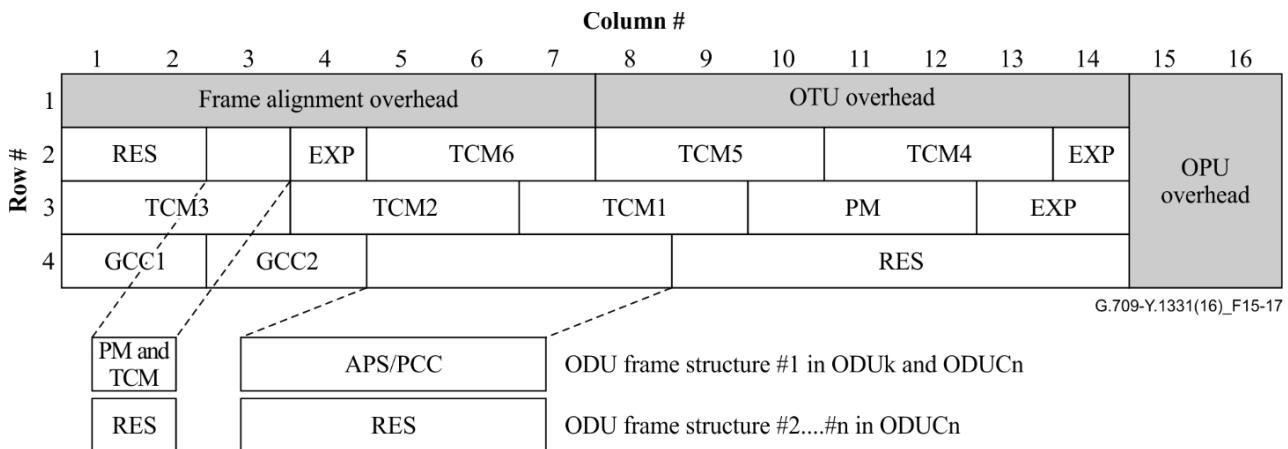


图15-17 – ODU开销

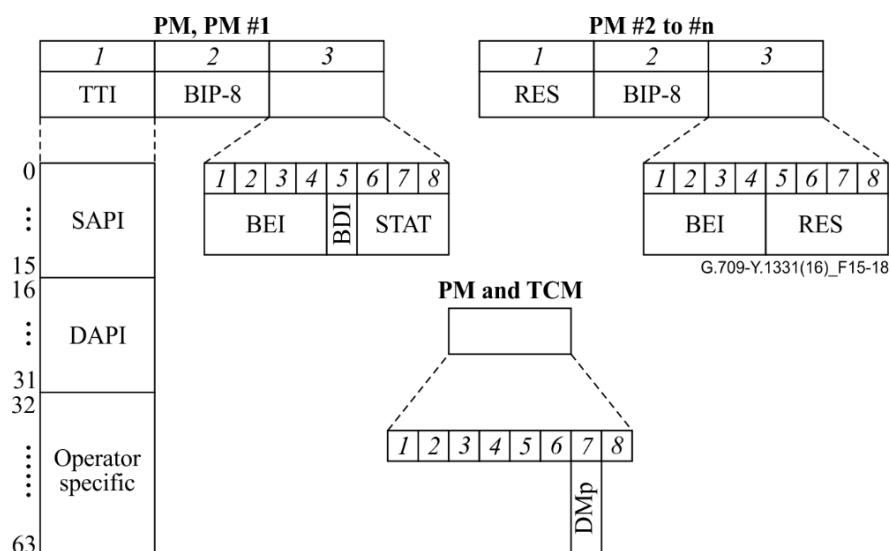


图15-18 – ODU路径监控开销

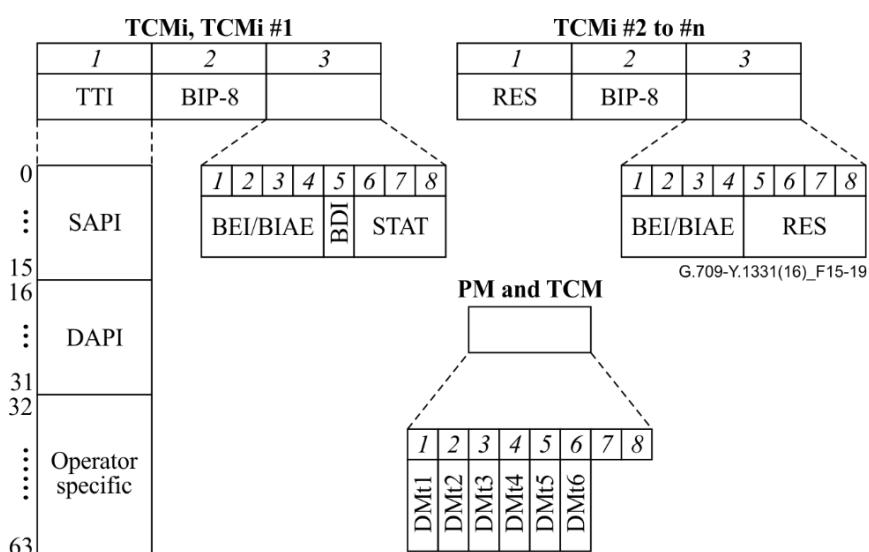


图15-19 – ODU串联连接监控 #i 开销

15.8.2 ODU OH定义

15.8.2.1 ODU路径监控(PM)开销

ODU路径监控开销（PM）的一个字段定义在第3行第10至12列，用于支持路径监控；额外一个路径监控位定义在第2行第3列第7位。

ODUk包含一个ODU PM开销实例。ODUCn包含n个ODU PM开销实例，编号为1至n（PM #1至PM #n）。

PM和PM #1字段包含以下子字段（参见图15-18）：

- 尾迹标识符（TTI）；
- 位交错奇偶校验（BIP-8）；
- 后向缺陷指示（BDI）；
- 后向误差指示（BEI）；
- 状态位，用于指示维护信号的存在（STAT）。PM #2至#n字段包含以下子字段（参见图15-18）：
- 位交错奇偶校验（BIP-8）
- 后向错误指示（BEI）
- 保留字段（RES）。

PM&TCM字段包含以下PM子字段（参见图15-18）：

- 路径延迟测量（DMp）。

对于ODUk，当存在维护信号（如ODU-AIS、ODU-OCI、ODU-LCK）时，PM字段除STAT子字段外的内容将未定义（模式为全1、0110 0110或0101 0101循环）。当存在维护信号时，PM&TCM字段的内容将未定义（模式为全1、0110 0110或0101 0101循环）。详见16.5条款。

对于ODUCn，当存在维护信号（如ODUCn-AIS、ODUCn-LCK）时，PM字段除STAT子字段外的内容将未定义（模式为全1或0101 0101重复）。参见第16.5节。

15.8.2.1.1 ODU PM 路径追踪标识符 (TTI)

为实现路径监控，定义了一个字节的跟踪标识符（TTI）开销，用于传输第15.2节规定的64字节TTI信号或[ITU-T G.7714.1]中规定的发现消息。

ODUk和ODUCn各包含一个ODU PM TTI开销实例。

64字节TTI信号应与ODU多帧（参见15.6.2.2节）对齐，并在每个多帧内传输四次。64字节TTI信号的字节0应出现在ODU多帧位置0000 0000 (0x00)、0100 0000 (0x40)、1000 0000 (0x80)和1100 0000 (0xC0)。

15.8.2.1.2 ODU PM误码检测码 (BIP-8)

为实现路径监控，在ODU PM开销中定义了一个字节的错误检测码信号。该字节采用位交织奇偶校验-8（BIP-8）编码。

注 – BIP-8 符号仅指 BIP 位数量，不涉及 EDC 使用方式（即计数对象）。BIP-8 的定义请参阅 [ITU-T G.707] 中 BIP-X 的定义。

每个ODU BIP-8均基于ODU帧i中OPU区域（第15至3824列）的比特进行计算，并插入至ODU帧i+2的ODU PM BIP-8开销位置（参见图15-20）。

ODUk包含一个ODU PM BIP-8开销实例。ODUCn包含n个ODU PM BIP-8开销实例，编号为1至n（即BIP-8 #1至BIP-8 #n）。

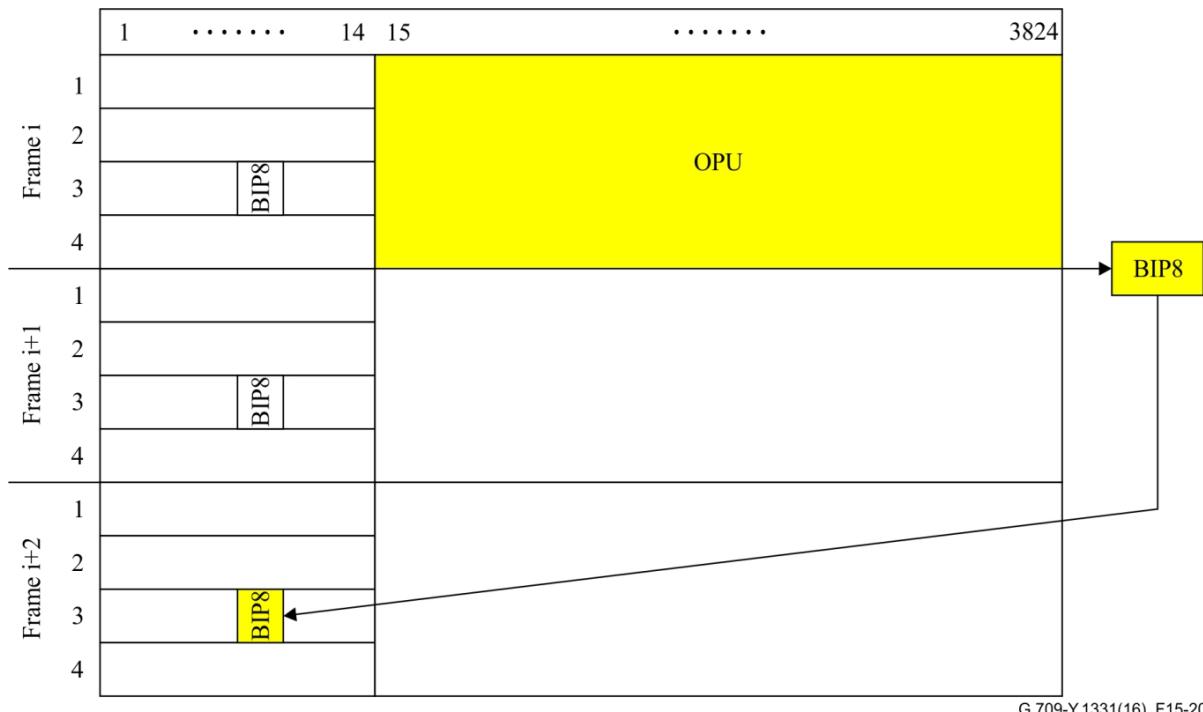


图15-20 – ODU PM BIP-8计算流程

15.8.2.1.3 ODU PM 反向缺陷指示 (BDI)

为实现路径监控，定义单比特后向缺陷指示（BDI）信号，用于传递上游方向路径终止接收端检测到的信号故障状态。

BDI 设置为 "1" 表示 ODU 反向缺陷指示，否则设置为 "0"。ODUk 和 ODUCn 包含一个 ODU PM BDI 报头实例。

15.8.2.1.4 ODU PM 反向错误指示 (BEI)

对于路径监控，定义了一个四位向后误码指示（BEI）信号，用于在上行方向传递通过BIP-8编码由对应ODU路径监控接收端检测到的交织比特块误码计数。该计数具有九个合法值，即0-8个误码。其余七种可能值仅由无关条件产生，应解释为零错误（参见表15-2）。

ODUk包含一个ODU PM BEI开销实例。ODUCn包含n个ODU PM BEI开销实例，编号为1至n（即BEI #1至BEI #n）。

表 15-4 – ODU PM BEI 解释

位 1 2 3 4	ODU PM BEI				BIP违规
	0	1	2	3	
0 0 0 0			0		
0 0 0 1			1		
0 0 1 0			2		
0 0 1 1			3		
0 1 0 0			4		
0 1 0 1			5		
0 1 1 0			6		

表 15-4 – ODU PM BEI 解释

ODU PM BEI 位	1 2 3 4	BIP违规
0 1 1 1		7
1 0 0 0		8
1 0 0 1 至 1 1 1 1		0

15.8.2.1.5 ODU PM状态 (STAT)

路径监控中定义三个状态位 (STAT) , 用于指示维护信号存在 (参见表15-3) 。

P-CMEP将这些位设置为"001"。

ODUk和ODUCn各包含一个ODU PM STAT开销实例。

表 15-5 – ODU PM 状态解释

PM字节3 位	6 7 8	状态
0 0 0		保留用于未来的国际标准化
0 0 1		正常路径信号
0 1 0		保留用于未来的国际标准化
0 1 1		保留用于未来的国际标准化
1 0 0		保留用于未来的国际标准化
1 0 1		维护信号：ODU-LCK
1 1 0		ODUk：维护信号：ODU-OCI ODUCn：保留用于未来的国际标准化
1 1 1		维护信号：ODU-AIS

15.8.2.1.6 ODU PM 延迟测量 (DMp)

对于 ODU 路径监控, 定义了一个 1 位路径延迟测量 (DMp) 信号, 用于传达延迟测量测试的开始。

ODUk和ODUCn包含一个实例的ODU PM DMp开销。

DMp信号由一个常量值 (0或1) 构成, 该值在双向延迟测量测试开始时发生反转。序列...0000011111...中从0→1的转换, 或序列...1111100000...中从1→0的转换, 均代表路径延迟测量起始点。DMp信号的新值将保持至下一次延迟测量测试开始。

该DMp信号由源端P-CMEP插入并发送至远端P-CMEP。远端P-CMEP将DMp信号环回至源端P-CMEP。源端P-CMEP测量从DMp信号值反转时刻到接收远端P-CMEP返回该反转信号值之间的时间间隔。接收端应针对接收到的DMp信号实施持续性检查, 以容忍模拟延迟测量起始指示的比特误差。为此额外使用的帧

持久性检查不应计入延迟帧计数。循环P-CMEP应在约100微秒内将每个接收到的DM_P比特循环返回。

具体路径延迟测量过程规范参见[ITU-T G.798]。

注1—路径延迟测量可按需执行，以提供瞬时双向传输延迟状态；亦可主动执行，以生成15分钟及24小时双向传输延迟性能管理的快照数据。

注2——根据本建议书2008年或更早版本设计的设备可能无法支持此路径延迟监测功能。对于此类设备，DM_P位为未来国际标准化预留位，应设置为零。

注3——本过程测量的是往返时延。当ODU网络连接的发送与接收方向长度不一致时（例如部署单向保护切换的网络），单向时延可能不等于往返时延的一半。

15.8.2.1.7 ODU PM保留开销 (RES)

针对OTUCn的路径监控，在ODU OH #2至#n的PM开销中预留12位用于未来国际标准化。这些位的值被设置为"0"。

ODUk不包含ODU PM RES开销。ODUCn包含n-1个ODU PM RES开销实例。

15.8.2.2 ODU串联连接监控 (TCM) 开销

ODU串联连接监控 (TCM) 开销的六个字段定义在ODU开销的第2行第5至13列及第3行第1至9列；另外六个串联连接监控位定义在第2行第3列的第1至6位。

TCM支持对ODUk连接进行以下一种或多种网络应用的监控（参见[ITU-T G.805]、[ITU-T G.872]、[ITU-T G.873.2]及[ITU-T G.7714.1]）：

- 光UNI-to-UNI串联连接监控；监控公共传输网络中的ODU连接（从公共网络入口网终结点至出口网终结点）；
- 光NNI-NNI级联连接监控；监控通过网络运营商网络的ODU连接（从运营商网络入口网络终端到出口网络终端）；
- 针对线性1+1、1:1及1:n ODUk子网连接保护切换的子层监控，用于判定信号失效与信号劣化状态；
- 根据[ITU-T G.873.2]规定，对ODUk共享环保护（SRP-1）保护切换进行子层监控，以确定信号故障和信号降级条件；
- 对通过两个或多个串联ODUk链路连接（由背靠背OTU链路支持）的ODUk连接进行子层监控，以提供符合[ITU-T G.7714.1]规定的发现消息通道；
- 对ODUk串联连接进行监控，用于检测交换式ODUk连接中的信号故障或信号降级状态，以便在网络故障和错误条件下启动连接的自动恢复；
- 监控ODUk串联连接，例如用于故障定位或交付服务质量验证。

TCM支持跨多个OTSiA子网的ODUCn连接段监控。ODUCn TC-CMEP位于OTSiA子网边缘的OTUCn接口端口和/或ODUCn终端节点（如ODUk交叉连接器）的OTUCn接口端口。

六个TCM字段编号为TCM1、TCM2、...、TCM6。

ODUk包含ODU TCM1至TCM6开销的单一实例。ODUCn包含ODU TCM1至TCM6开销的n个实例，编号为1至n（即TCMi #1至TCMi #n）。

每个TCMi和TCMi #1字段包含以下子字段（参见图15-19）：

- 尾迹标识符（TTI）；
- 位交错奇偶校验8（BIP-8）；
- 后向缺陷指示（BDI）；
- 后向错误指示与后向接收对齐错误（BEI/BIAE）；
- 状态位，用于指示TCM开销的存在、传入对齐错误或维护信号（STAT）。

每个TCMi #2至#n字段包含以下子字段（参见图15-19）：

- 位交错奇偶校验8（BIP-8）；
- 后向误码指示与后向接收对齐误差（BEI/BIAE）；
- 保留字段（RES）。

PMandTCM字段包含以下TCM子字段（参见图15-19）：

- 串联连接延迟测量（DM_{ti}, i=1至6）。

对于ODUk，当存在维护信号（如ODUk-AIS、ODUk-OCI、ODUk-LCK）时，除STAT子字段外，TCM字段内容将未定义（模式为全1、0110 0110或0101 0101循环）。当存在维护信号时，PM&TCM字段的内容将未定义（模式为全1、0110 0110或0101 0101循环）。详见第16.5节。

对于ODUCn的情况，在维护信号（例如ODUCn-AIS、ODUCn-LCK）存在期间，TCM字段组的内容（除STAT子字段外）将未定义（模式为全1或0101 0101重复）。当存在维护信号时，PM和TCM字段的内容将未定义（模式为全1或0101 0101重复）。详见第6.5节。

根据条款15.8.2.2.6所述，为被监视连接分配TCM字段和PM&TCM位。沿ODU路径的被监视连接数量可在0至6之间变化。这些被监视连接可采用嵌套、级联或两者兼有的方式。嵌套与级联为默认运行配置。重叠配置仅用于测试目的。重叠监控连接必须以非侵入模式运行，即不生成维护信号ODU-AIS和ODU-LCK。当重叠监控连接的任一端点位于SNC保护域内而另一端点位于保护域外时：若重叠监控连接的端点位于工作连接上，则强制启用SNC保护功能；若端点位于保护连接上，则强制启用保护功能。

嵌套与级联配置如图15-21所示：监控连接A1-A2/B1-B2/C1-C2与A1-A2/B3-B4呈嵌套关系，而B1-B2/B3-B4呈级联关系。重叠部分如图15-22所示（B1-B2与C1-C2）。

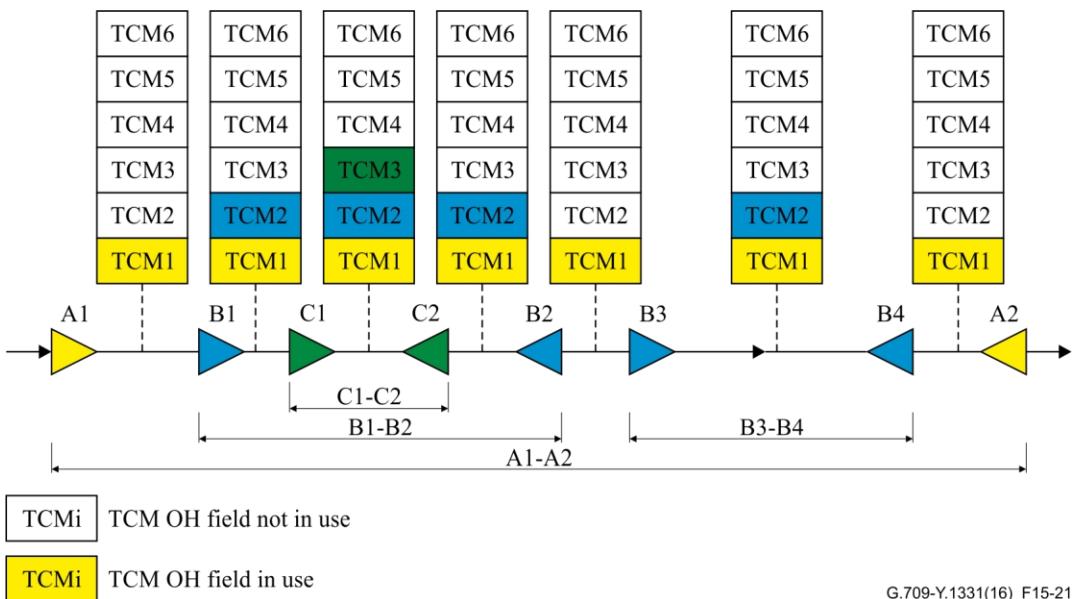


图15-21 – ODU嵌套式与级联式监控连接示例

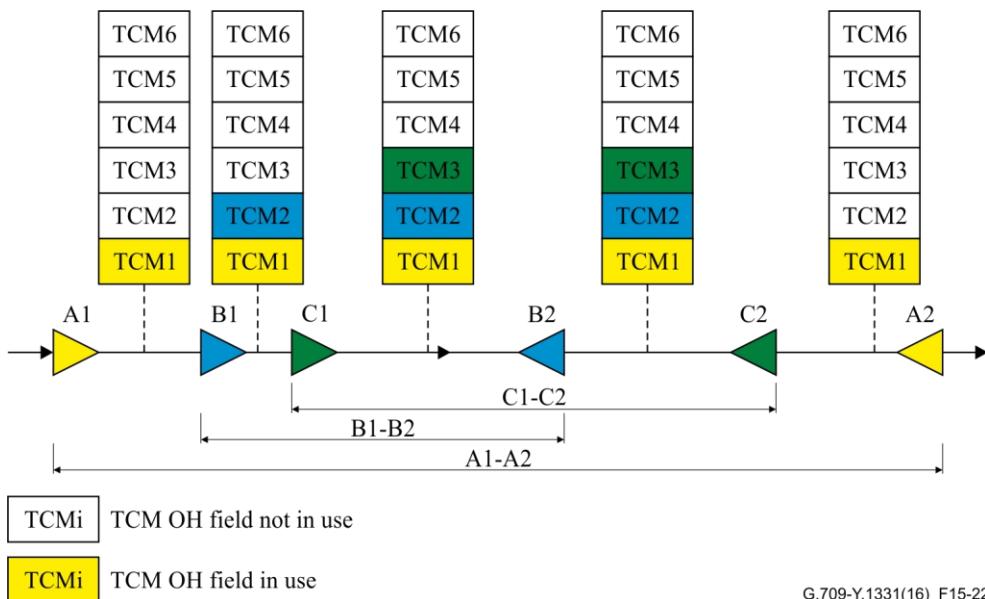


图15-22 – 重叠的ODU监控连接示例

15.8.2.2.1 ODU TCM 跟踪标识符 (TTI)

对于每个串联连接监控字段，分配一个字节的开销用于传输第15.2节中规定的64字节跟踪标识符 (TTI)，或根据[ITU-T G.7714.1]为TCM6规定的发现消息。

ODUk和ODUCn各包含一个ODU TTI开销实例。

64字节TTI信号应与ODU多帧（参见条款15.6.2.2）对齐，并在每个多帧中传输四次。64字节TTI信号的字节0应出现在ODU多帧位置0000 0000 (0x00)、0100 0000 (0x40)、1000 0000 (0x80)和1100 0000 (0xC0)。

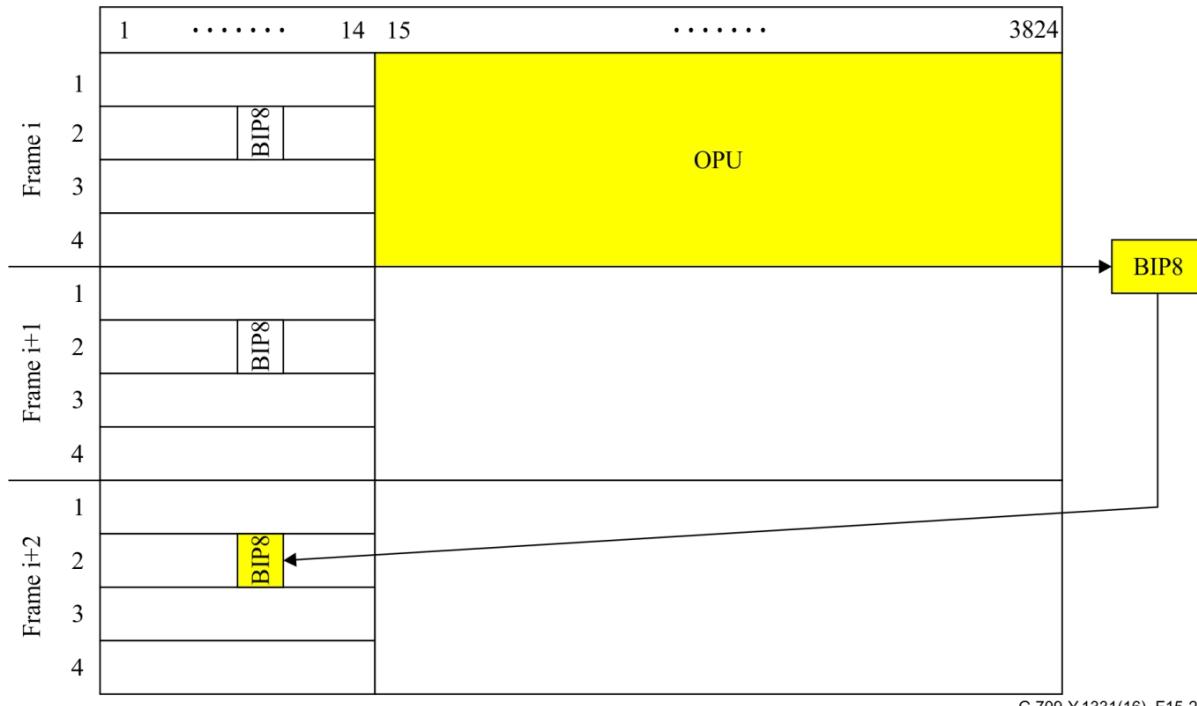
15.8.2.2.2 ODU TCM错误检测码 (BIP-8)

对于每个串联连接监控字段，在ODU TCMi开销中定义了一个字节的错误检测码信号。该字节提供位交织奇偶校验-8 (BIP-8) 编码。

注—BIP-8 符号仅指 BIP 位数量，不涉及 EDC 使用方式（即计数对象）。BIP-8 的定义请参阅 [ITU-T G.707] 中 BIP-X 的定义。

每个ODU TCM BIP-8均基于ODU帧i中OPU区域（第15至3824列）的比特进行计算，并插入至ODU帧i+2中与串联连接监控层关联的ODU TCM BIP-8开销位置（参见图15-23）。

ODUk包含一个ODU TCMi BIP-8开销实例。ODUCn包含n个ODU TCMi BIP-8开销实例，编号为1至n（BIP-8 #1至BIP-8 #n）。



G.709-Y.1331(16)_F15-23

图15-23 – ODU TCM BIP-8计算流程

15.8.2.2.3 ODU TCM后向缺陷指示 (BDI)

针对每个串联连接监控字段，定义单比特后向缺陷指示 (BDI) 信号，用于传递上游方向串联连接终止接收功能检测到的信号故障状态。

BDI 设置为 "1" 表示 ODUk 向后缺陷指示；否则设置为 "0"。ODUk 和 ODUCn 各包含一个 ODU TCMi BDI 报头实例。

15.8.2.2.4 ODU TCM 反向错误指示 (BEI) 和反向输入对准错误 (BIAE)

对于每个串联连接监控字段，定义了一个4位后向错误指示 (BEI) 和向后输入对齐错误 (BIAE) 信号。该信号用于在上行方向传递通过BIP-8编码被对应光单元 (ODU) 串联连接监控接收器检测到的错误交织位块计数。该信号还用于在上行方向传输在对应ODU串联连接监控接收端IAE开销中检测到的接收对齐错误(IAE)状态。

在IAE状态期间，BEI/BIAE字段插入代码"1011"且忽略错误计数。否则错误计数 (0-8) 将插入该字段。其余六种可能值（由这四位表示）仅源于无关条件，应解释为零错误（参见表15-4）且BIAE未激活。

ODUk包含一个ODU TCM BEI/BIAE开销实例。ODUCn包含n个ODU TCMi BEI/BIAE开销实例，编号为1至n（即BEI/BIAE #1至BEI/BIAE #n）。

表15-6 – ODU TCM BEI/BIAE 解读

ODUk TCM BEI/BIAE 位 1 2 3 4	BIAE	BIP违规
0 0 0 0	false	0
0 0 0 1	false	1
0 0 1 0	false	2
0 0 1 1	false	3
0 1 0 0	false	4
0 1 0 1	false	5
0 1 1 0	false	6
0 1 1 1	false	7
1 0 0 0	false	8
1 0 0 1, 1 0 1 0	false	0
1 0 1 1	true	0
1 1 0 0 至 1 1 1 1	false	0

15.8.2.2.5 ODU TCM状态 (STAT)

对于每个串联连接监控字段，定义三个比特作为状态比特 (STAT)。它们指示维护信号的存在、源TC-CMEP是否存在传入对准错误，或源TC-CMEP是否处于非活动状态（参见表15-7）。

ODUk和ODUCn各包含一个ODU TCM STAT开销实例。

表 15-7 – ODU TCM 状态解释

TCM字节3 位 6 7 8	状态
0 0 0	无源TC
0 0 1	正在使用且未启用IAE
0 1 0	使用IAE
0 1 1	保留用于未来的国际标准化
1 0 0	保留用于未来的国际标准化
1 0 1	维护信号：ODU-LCK
1 1 0	ODUk：维护信号：ODUk-OCI ODUCn：保留用于未来的国际标准化
1 1 1	维护信号：ODU-AIS

P-CMEP 将这些位设置为 "000"。

TC-CMEP 入口点将这些位设置为"001"，以向其对等 TC-CMEP 出口点指示没有传入对准错误 (IAE)，或设置为"010"，以指示存在传入对准错误。

TC-CMEP 出口点可使用此信息来抑制位错误计数，这些错误可能是由于串联连接入口处 ODU 的帧相位变化而导致的。

15.8.2.2.6 TCM开销字段分配

每个TC-CMEP将从6个 T_{CMi} 开销字段和6个 D_{Mi} 字段中各选取一个进行TCM开销的插入/提取。具体使用的 T_{CMi}/D_{Mi} 开销字段由网络运营商、网络管理系统或交换控制平面配置。

在域接口处，可配置通过该域传输的串联连接层级最大数量（0至6层）。默认值为三个。这些串联连接应使用较低的 $T_{CM1}/D_{M1} \dots T_{CMMAX}/D_{M_{MAX}}$ 开销字段。超过最大值（ $T_{CMmax}+1/D_{M_{max}}+1$ 及以上）的 T_{CM}/D_{M} 字段开销可能/将会在域内被覆盖。

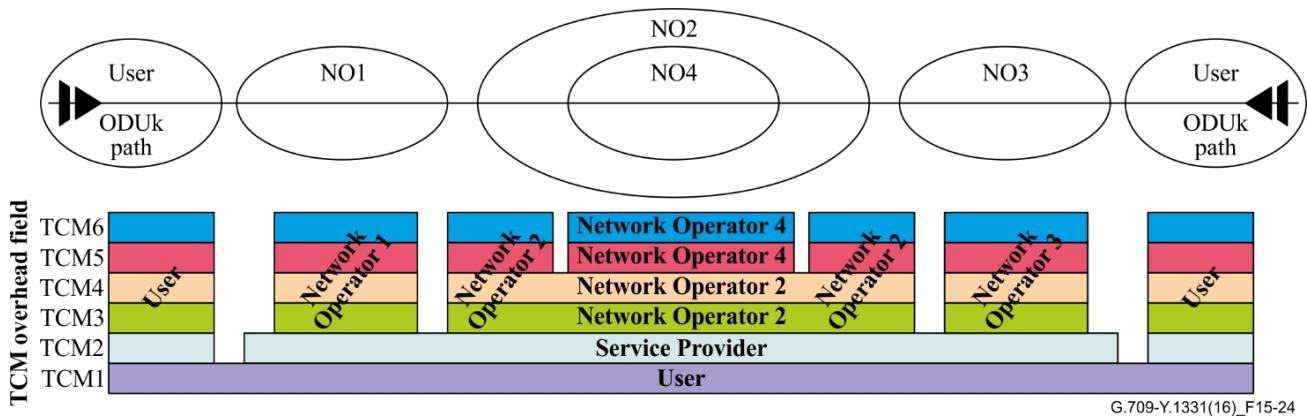
TCM6开销字段用于监控由两个或多个串联的ODUk链路连接（通过背靠背OTUk路径支持）所支撑的ODUk连接。[ITU-T G.7714.1] 规定了一种发现应用，该应用将 TCM6 TTI SAPI 字段用作发现消息通道。[ITU-T G.873.2] 规定了一种 ODUk SRP-1 保护应用，该应用利用 TCM6 字段监测相邻两个 ODUk SRP-1 节点间 ODUk 连接的状态/性能。

示例

对于ODUk租用电路，用户可能被分配一层TCM，服务提供商分配一层TCM，而每个网络运营商（与服务提供商签订合同）分配四层TCM。当某网络运营商将其部分ODUk连接分包给另一网络运营商时，这四层需进行拆分；例如分包商可获得两层。

由此产生的TCM开销字段分配如下：

- 用户端：两个用户子网间采用 T_{CM1}/D_{M1} 开销字段，其自身子网内采用 T_{CM1}/D_{M1} 至 T_{CM6}/D_{M6} 开销字段；
- 服务提供商 (SP)：两个用户网络接口 (UNI) 间采用 T_{CM2}/D_{M2} 开销字段；
- 与服务提供商签订合同的网络运营商NO1、NO2、NO3： T_{CM3}/D_{M3} 、 T_{CM4}/D_{M4} 、 T_{CM5}/D_{M5} 、 T_{CM6}/D_{M6} 。需注意NO2（作为分包商）在通过NO4域的连接中无法使用 T_{CM5}/D_{M5} 和 T_{CM6}/D_{M6} ；
- NO4（与NO2存在分包关系）： T_{CM5}/D_{M5} 、 T_{CM6}/D_{M6} 。详见图15-24。



G.709-Y.1331(16)_F15-24

图15-24 – TCM开销字段分配示例

15.8.2.2.7 空白条款

本条款特意留空。

15.8.2.2.8 ODU TCM延迟测量 (DMti, i=1至6)

针对 ODU 串联连接监控，定义了一个 1 位串联连接延迟测量 (DMti) 信号，用于传达延迟测量测试的开始。

ODUk和ODUCn各包含一个ODU TCM DMti开销实例。

DMti信号由一个常量值（0或1）构成，该值在双向延迟测量测试开始时发生反转。序列...0000011111...中0→1的转换，或序列...1111100000...中1→0的转换，均代表路径延迟测量起始点。DMti信号的新值将保持至下一次延迟测量测试开始。

该DMti信号由发起端TC-CMEP生成并发送至远端TC-CMEP。远端TC-CMEP将DMti信号环回至发起端TC-CMEP。发起端TC-CMEP测量从DMti信号值反转时刻至接收远端TC-CMEP返回该反转信号值之间的时间间隔（即帧周期数）。接收到的DMti信号实施持续性检查，以容忍模拟延迟测量指示起始的比特误差。用于此类持续性检查的额外帧不应计入延迟帧计数。环回TC-CMEP应在约100微秒内将每个接收到的DMti比特环回。

具体串联连接延迟测量流程规范参见[ITU-T G.798]。

注1——串联连接延迟测量可按需执行，以提供瞬时双向传输延迟状态；亦可主动执行，以生成15分钟及24小时双向传输延迟性能管理快照。

注2——根据本建议书2008年或更早版本设计的设备可能无法支持此级联连接时延监测功能。对于此类设备，DMti位为未来国际标准化保留位。

注3——本过程测量的是往返时延。当ODUk串联连接的发送与接收方向长度不一致时（例如在部署单向保护切换的网络中），单向时延可能不等于往返时延的一半。

15.8.2.2.9 ODU TCM保留开销 (RES)

在串联连接监控中，TCM-i开销中的12位保留用于TCM-i开销#2至#n的未来国际标准化。这些位的值均设为"0"。

ODUk不包含任何ODU TCMi RES开销。ODUCn包含n-1个ODU TCMi RES开销实例。

15.8.2.3 ODU通用通信信道 (GCC1、GCC2)

在ODU开销中分配两个2字节字段，用于支持[ITU-T G.7714.1]中规定的两个通用通信信道或两个发现信道，供任何两个具有ODU帧结构访问权限的网络元素（即在3R再生点）使用。

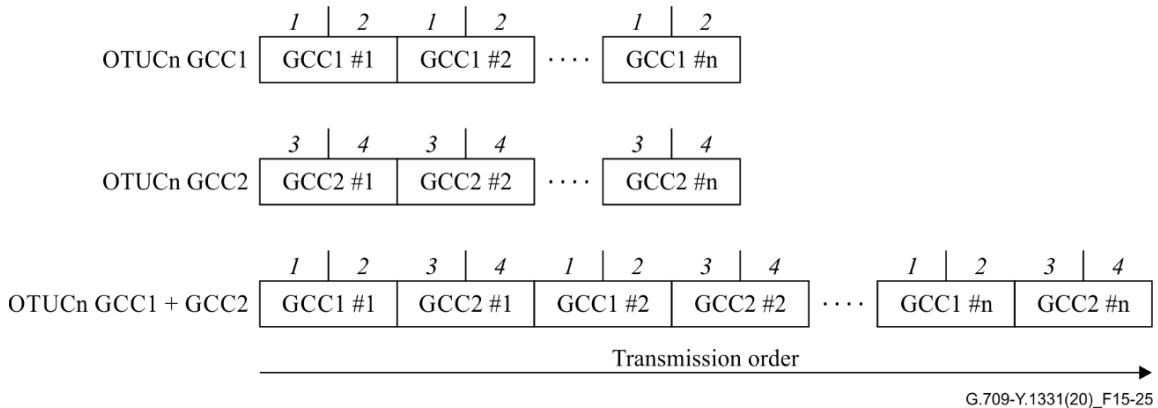
这些通用通信信道为透明信道，其格式规范超出本建议书范围。GCC1字节位于ODU开销第4行第1、2列，GCC2字节位于第4行第3、4列。

ODUk包含一个ODU GCC1、GCC2开销实例。OTUCn包含n个ODU GCC1、GCC2开销实例，编号为1至n (GCC1 #1至GCC1 #n, GCC2 #1至GCC2 #n)。

如图15-25所示，通过组合GCC1 #1至#n的开销可形成单一通信信道，其近似带宽为 $n \times 13.768 \text{ Mbit/s}$ 。

GCC2 #1至#n的开销被组合起来，如图15-25所示，提供另一个通信通道，其近似带宽为 $n \times 13.768 \text{ Mbit/s}$ 。

GCC1 #1至#n与GCC2 #1至#n的开销可组合为单一通信通道，如图15-25所示，其近似带宽为 $n \times 27.525 \text{ Mbit/s}$ 。



G.709-Y.1331(20)_F15-25

图15-25 – OTUCn GCC1、GCC2及GCC1+2传输顺序

15.8.2.4 ODU自动保护切换与保护通信信道 (APS/PCC)

在ODU开销的第4行第5至8列定义了一个4字节的ODU-APS/PCC信号。该字段中最多可存在八层嵌套的APS/PCC信号。

ODUk和OTUCn各包含一个ODU APS/PCC开销实例。

对于ODUk，特定帧中的APS/PCC字节根据MFAS值分配至专用连接监控层级，具体如下：

表 15-8 – 支持各监控层级独立 APS/PCC 的多帧结构

MFAS 位 6 7 8	APS/PCC信道适用的连接监控级别	采用APS/PCC通道的保护方案 (注1)
0 0 0	ODUk 路径	ODUk SNC/Ne, ODUj CL-SNCG/I, 客户端 SNC/I, ODU SRP-p
0 0 1	ODUk TCM1	ODUk SNC/S、ODUk SNC/Ns
0 1 0	ODUk TCM2	ODUk SNC/S、ODUk SNC/Ns

表 15-8 – 多帧结构，允许每个监控级别独立的 APS/PCC

MFAS 位	APS/PCC通道适用于连接监控层级	使用APS/PCC通道的保护方案（注1）
6 7 8		
0 1 1	ODUk TCM3	ODUk SNC/S、ODUk SNC/Ns
1 0 0	ODUk TCM4	ODUk SNC/S、ODUk SNC/Ns
1 0 1	ODUk TCM5	ODUk SNC/S、ODUk SNC/Ns
1 1 0	ODUk TCM6	ODUk SNC/S、ODUk SNC/Ns、ODUk SRP-I
1 1 1	ODUk 服务器层跟踪（注 2）	ODUk SNC/I

注1 – APS通道可被多个保护方案和/或保护方案实例使用。在嵌套保护方案的情况下，设置ODUk保护时需谨慎操作，避免干扰同一连接监控层级上其他ODUk保护的APS通道使用，例如：该层级的APS通道未被占用时方可激活保护。

注2 – ODUk服务器层路径示例包括OTUk或服务器ODUk（如ODU3承载ODU1）。

对于ODUCn，APS/PCC信号用于支持线性（ODUk CL-SNCG/I）和环形（ODUk SRP）保护应用中端点的协调。

对于线性保护方案，这些字节的位分配及位导向协议详见[ITU-T G.873.1]。环形保护方案的位分配及字节导向协议详见[ITU-T G.873.2]。

15.8.2.5 空白条款

本条款特意留空。

15.8.2.6 ODU实验开销 (EXP)

在ODU开销中分配了四个字节用于实验用途。这些字节位于ODU开销的第2行第4列和第14列，以及第3行第13列和第14列。

ODUk包含一个ODU EXP开销实例。ODUCn包含n个ODU EXP开销实例，编号为1至n（EXP #1至EXP #n）。

这些字节的使用不受标准化约束，且超出本建议书的范围。

ODU OH中提供实验性开销，以便供应商和/或网络运营商在其自有（子）网络内支持需要额外ODU开销的应用。

该扩展头无需在（子）网络之外转发；即其工作范围仅限于供应商设备所在的（子）网络或运营商的网络。

15.8.2.7 ODU保留开销 (RES)

对于ODUk的情况，在ODU开销中预留了8个字节和1位用于未来的国际标准化。这些字节位于ODU开销的第2行第1至2列以及第4行第9至14列。该位位于ODU开销的第2行第3列第8位。这些字节均设置为全0。

对于ODUCn，在ODU OH #1中预留八字节和一位，在ODU OH #2至#n中预留十三字节，用于未来国际标准化。这些字节位于ODU OH #1的第2行第1-2列及第4行第9-14列，位于ODU OH #2至#n的第2行第1-3列及第4行第5-14列。该位位于ODU OH #1的第2行第3列第8位。这些字节和位均设置为全0。

15.9 OPU OH 描述

15.9.1 OPU OH 位置

OPU开销包含：有效载荷结构标识符（PSI）——包含有效载荷类型（PT）、客户端信号映射至OPU有效载荷相关的开销，以及ODUflex客户端信号无中断调整相关的开销。OPU PSI与PT开销位置如图15-26所示。

OPUk包含一个OPU开销实例。OPUCn包含n个OPU开销实例，编号为1至n（OPU OH #1至#n）。

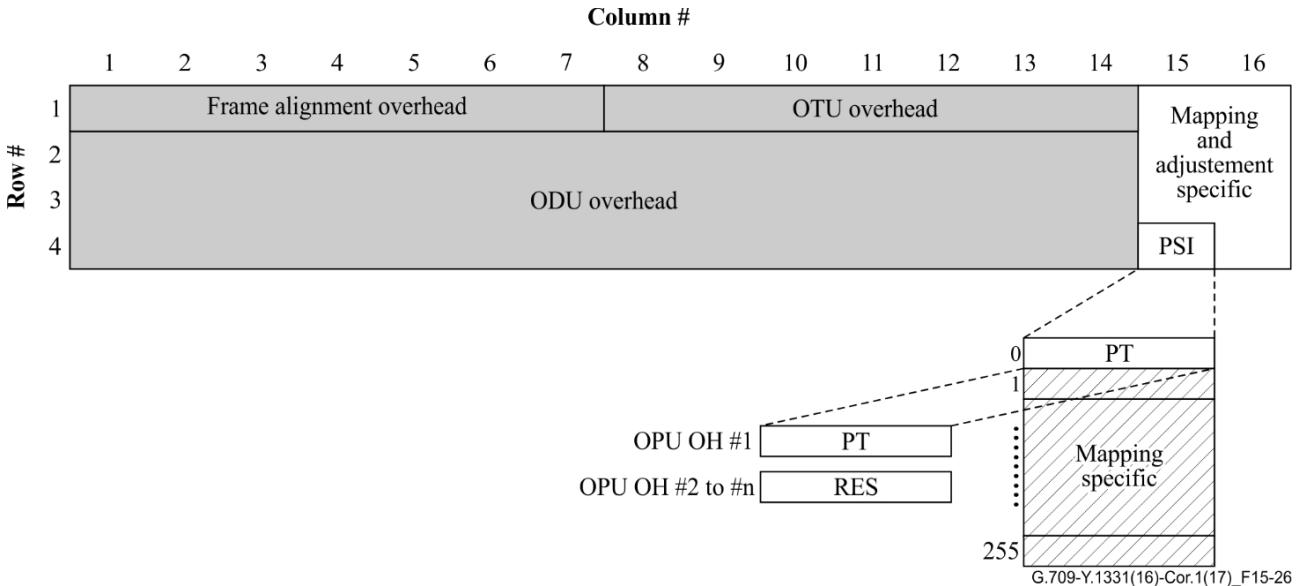


图15-26 – OPU开销

15.9.2 OPU OH 定义

15.9.2.1 OPU有效载荷结构标识符 (PSI)

OPU开销中分配1字节用于传输256字节的有效载荷结构标识符(PSI)信号。该字节位于OPU开销的第4行第15列。

OPUk包含一个OPU PSI开销实例。OPUCn包含n个OPU PSI开销实例，编号为1至n（PSI #1至PSI #n）。

该256字节PSI信号与ODU多帧对齐（即PSI[0]位于ODU多帧位置0000 0000，PSI[1]位于0000 0001，PSI[2]位于0000 0010，依此类推）。

PSI[0]包含一个字节的有效负载类型，或为未来国际标准化保留。PSI[1]至PSI[255]具有特定映射，但PT 0x01（实验性映射）和PT 80-0x8F（专有用途）除外。

15.9.2.1.1 OPU有效负载类型 (PT)

在有效负载结构标识符的PSI[0]字节中定义了一个单字节有效负载类型信号，用于指示OPU信号的组成。代码点定义见表15-9。

OPUk和OPUCn各包含一个OPU PT开销实例。

表 15-9 – 有效负载类型代码点

最高位 1 2 3 4	LSB 5 6 7 8	十六进制代码（ 注1）	解释
0 0 0 0	0 0 0 1	01	实验性测绘（注3）
0 0 0 0	0 0 1 0	02	异步CBR映射，参见条款17.2
0 0 0 0	0 0 1 1	03	位同步CBR映射，参见第17.2节
0 0 0 0	0 1 0 0	04	不可用（注2）
0 0 0 0	0 1 0 1	05	GFP 映射，参见条款 17.4
0 0 0 0	0 1 1 0	06	不可用（注2）
0 0 0 0	0 1 1 1	07	PCS 码字透明以太网映射：1000BASE-X 进入 OPU0，参见条款 17.7.1 和 17.7.1.140GBASE-R 进入 OPU3，参见条款 17.7.4 和 17.7.4.1 100GBASE-R 映射至 OPU4，参见条款 17.7.5 和 17.7.5.1
0 0 0 0	1 0 0 0	08	FC-1200 映射到 OPU2e，参见条款 17.8.2
0 0 0 0	1 0 0 1	09	GFP 映射到扩展OPU2有效负载，参见条款17.4.1（注5）
0 0 0 0	1 0 1 0	0A	STM-1映射至光处理单元0，详见条款17.7.1
0 0 0 0	1 0 1 1	0B	STM-4映射到OPU0，参见条款17.7.1
0 0 0 0	1 1 0 0	0C	FC-100映射到OPU0，参见条款17.7.1
0 0 0 0	1 1 0 1	0D	FC-200映射到OPU1，参见条款17.7.2
0 0 0 0	1 1 1 0	0E	FC-400映射到OPUflex，参见条款17.9
0 0 0 0	1 1 1 1	0F	FC-800映射至OPUflex，详见第17.9节
0 0 0 1	0 0 0 0	10	具有八位组定时映射的比特流，参见第17.6.1节
0 0 0 1	0 0 0 1	11	无字节定时映射的比特流，参见条款17.6.2
0 0 0 1	0 0 1 0	12	IB SDR映射至OPUflex，详见第17.9节
0 0 0 1	0 0 1 1	13	IB DDR映射到OPUflex，参见条款17.9
0 0 0 1	0 1 0 0	14	IB QDR映射到OPUflex，参见条款17.9
0 0 0 1	0 1 0 1	15	SDI映射至OPU0，详见条款17.7.1
0 0 0 1	0 1 1 0	16	(1.485/1.001) Gbit/s SDI 映射到 OPU1，参见条款 17.7.2
0 0 0 1	0 1 1 1	17	1.485 Gbit/s SDI 映射到 OPU1，参见条款 17.7.2
0 0 0 1	1 0 0 0	18	(2.970/1.001) Gbit/s SDI 映射至 OPUflex，详见条款 17.9
0 0 0 1	1 0 0 1	19	2.970 Gbit/s SDI映射到OPUflex，参见条款17.9
0 0 0 1	1 0 1 0	1A	SBCON/ESCON映射至OPU0，详见第17.7.1节
0 0 0 1	1 0 1 1	1B	DVB_ASJ映射到OPU0，参见条款17.7.1
0 0 0 1	1 1 0 0	1C	FC-1600映射到OPUflex，参见条款17.9
0 0 0 1	1 1 0 1	1D	FlexE客户端映射至OPUflex，参见条款17.11
0 0 0 1	1 1 1 0	1E	FlexE 感知（部分速率）映射到 OPUflex，参见条款 17.12
0 0 0 1	1 1 1 1	1F	FC-3200映射到OPUflex，参见条款17.9

表 15-9 – 有效负载类型代码点

MSB 1 2 3 4	LSB 5 6 7 8	十六进制代码（ 注1）	解释
0 0 1 0	0 0 0 0	20	仅支持ODTUjk的ODU复用结构，详见第19条（仅限AMP）
0 0 1 0	0 0 0 1	21	支持 ODTUk.ts 或 ODTUk.ts 和 ODTUjk 的 ODU 多路复用结构，参见第 19 条（支持 GMP）（注 6）
0 0 1 0	0 0 1 0	22	ODU复用结构支持ODTUCn.ts，详见条款20（GMP兼容）
0 0 1 1	0 0 0 0	30	25GBASE-R映射至OPUflex，详见条款17.13
0 0 1 1	0 0 0 1	31	200GBASE-R映射到OPUflex，参见条款17.13
0 0 1 1	0 0 1 0	32	400GBASE-R映射到OPUflex，参见条款17.13
0 0 1 1	0 0 1 1	33	50GBASE-R映射至OPUflex，详见条款17.13
0 1 0 1	0 1 0 1	55	不可用（注2）
0 1 1 0	0 1 1 0	66	不可用（注2）
1 0 0 0	x x x x	80-8F	保留代码，供专有使用（注 4）
1 1 1 1	1 1 0 1	FD	NULL测试信号映射，参见条款17.5.1
1 1 1 1	1 1 1 0	FE	PRBS测试信号映射，参见条款17.5.2
1 1 1 1	1 1 1 1	FF	不可用（注2）

注1—目前尚有197个备用码供未来国际标准化使用。获取其中一个码用于新有效载荷类型的程序，请参阅[ITU-T G.806]附件A。

注2—这些值不属于可用码点集。这些比特模式存在于ODUk维护信号中，或曾用于表示现已不再支持的客户类型。

注3—值“01”仅用于本表未定义映射代码的实验性活动。有关此代码使用的更多信息，请参阅[ITU-T G.806]附件A。

注4—这16个代码值不再进行进一步标准化。有关这些代码的使用详情，请参阅[ITU-T G.806]附件A。

注5—ITU-T G系列建议书补充43（2008）指出，该映射建议使用有效载荷类型87。

注6—支持OPU2或OPU3的ODTUk.ts的设备必须与仅支持ODTUjk的设备向后兼容。当支持ODTUk.ts的设备发送PT=21时，若接收端发送PT=20，则应切换至PT=20并仅以ODTUjk模式运行。具体规范参见[ITU-T G.798]。

15.9.2.2 OPU映射特定开销

在OPUk开销中预留了7个字节用于映射和无中断调整的特定开销。这些字节位于第1至3行、第15和16列以及第16列第4行。此外，PSI #1中预留了255字节，PSI #2至#n中预留了256字节用于特定用途。

这些字节的使用取决于特定客户端信号映射（详见条款17、19和20）以及ODUflex(GFP)无损调整机制的应用（参见[ITU-T G.7044]）。

16 维护信号

告警指示信号（AIS）是一种向下游发送的信号，用于指示已检测到上游缺陷。AIS信号在适配器接收端功能中生成。该信号在尾端终止接收端功能中被检测到，以抑制因原始信号在上游点传输中断而可能被检测到的缺陷或故障。

前向缺陷指示（FDI）是一种向下游发送的信号，用于指示已检测到上游缺陷。FDI信号在适配器接收端功能中生成，并在尾端终止接收端功能中被检测到，以抑制那些因原始信号在上游点传输中断而可能被检测到的缺陷或故障。

注——AIS与FDI是类似的信号。当信号处于数字域时，使用AIS作为术语；当信号处于光域时，使用FDI作为术语；FDI作为非关联开销进行传输。

开路连接指示（OCI）是向下游发送的信号，用于表明上游信号未连接至尾端终止源。OCI信号在连接功能中生成，并由该连接功能输出至其所有未连接至输入连接点的输出连接点。OCI信号在尾端终止接收功能中被检测到。

锁定信号（LCK）是向下游发送的指示信号，表明上游连接处于“锁定”状态且无信号通过。

有效载荷缺失指示（PMI）是一种向下游发送的信号，用于表明信号源点上游的所有频率时隙均未检测到光分支信号。这表明光分支信号传输中断或不存在光分支信号。

PMI信号由尾端终结源功能生成，并在尾端终结汇聚功能中被检测到，从而抑制此条件下产生的光链路故障。

16.1 OTS维护信号

16.1.1 OTS有效载荷缺失指示（OTS-PMI）

OTS-PMI的生成表明OTS有效载荷中不包含光信号。

16.2 OMS维护信号

定义了三种OMS维护信号：OMS-FDI-P、OMS-FDI-O和OMS-PMI。

16.2.1 OMS前向故障指示——有效载荷（OMS-FDI-P）

OMS-FDI-P生成用于指示OTS网络层中OMS服务器层存在缺陷。

16.2.2 OMS前向故障指示——管理开销（OMS-FDI-O）

当因OSC信号故障导致通过OSC传输OMS OH时，将生成OMS-FDI-O指示。

16.2.3 OMS有效载荷缺失指示（OMS-PMI）

当所有频率时隙均未包含光分支信号时，将生成OMS-PMI指示。

16.3 OCh与OTiSA维护信号

定义了三组OCh和OTiSA维护信号：OCh-FDI-P、OCh-FDI-O、OCh-OCI以及OTSiA-FDI-P、OTSiA-FDI-O、OTSiA-OCI。

16.3.1 OCh与OTiSA前向缺陷指示——有效载荷（OCh-FDI-P, OTSiA-FDI-P）

当OMS网络层发生OCh或OTSiA服务器层缺陷时，将生成OCh-FDI-P和OTSiA-FDI-P信号作为指示。

当OTUk或OTUCn终止时，OCh-FDI-P和OTSiA_FDI-P将作为ODUk-AIS信号继续传输。

当OTUCn未终止时，OCh-FDI-P和OTSIA_FDI-P将作为OTUCn-AIS信号继续传输。

当OSC因信号故障导致OTSIA OH传输中断时，将生成OTSIA-FDI-O作为指示信号。

16.3.2 OCh和OTSiA前向缺陷指示——开销 (OCh-FDI-O, OTSiA-FDI-O)

当OSC或OCC因信号故障导致OCh OH传输中断时，将生成OCh-FDI-O指示。

16.3.3 OCh和OTSiA开路连接指示 (OCh-OCI, OTSiA-OCI)

OCh-OCI/OTSiA-OCI信号向下游传输处理功能指示：OCh/OTSiA连接未绑定至（或未通过矩阵连接）终端源功能。该指示用于区分下游因故障导致的OCh/OTSiA信号缺失与因管理命令导致的开路连接。

注——OCI在下一级下游OCh或OTSiA链路终端设备处被检测到。若连接为故意打开，应通过告警报告控制模式禁用该链路终端的相关告警报告（参见[ITU-T M.3100]）。

16.4 OTU维护信号

16.4.1 OTUk (k=1,2,3) 告警指示信号 (OTUk-AIS)

OTUk-AIS (k=1,2,3)（见图16-1）属于通用AIS信号（参见16.6.1节）。由于OTUk容量（130 560比特）并非PN-11序列长度（2047比特）的整数倍，PN-11序列可能跨越OTUk帧边界。

注——OTUk-AIS被定义为支持未来的伺服器层应用。OTN设备应能够检测到OTUk (k=1,2,3) 内存在此类信号，该信号存在于OTN点对点接口信号中；但无需生成此类信号。

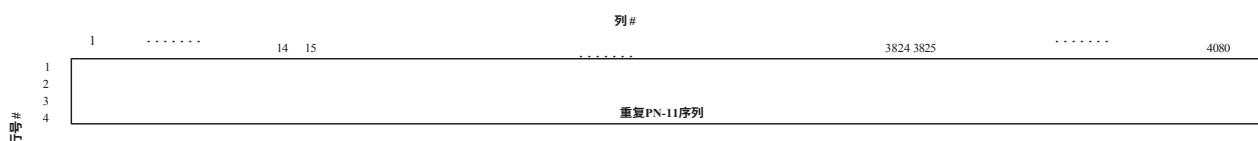


图16-1 – OTUk-AIS

16.4.2 OTUCn告警指示信号 (OTUCn-AIS)

OTUCn-AIS被定义为整个OTUCn信号中所有位均为"1"（帧对齐开销(FA OH)除外）（参见图16-2）。

通过监测SM开销字段中的OTUCn SM STAT位可检测OTUCn-AIS的存在。

注——OTUCn-AIS的定义旨在支持未来3R再生器应用（其中OTUCn信号不终止）及OTUCn子速率应用。OTN设备应能检测OTUCn信号在OTN光网络接口中是否存在此类信号。

OTUCn AIS

OTU #1

Row #	Column #	Content
1	1 to 7	FA OH
1	8 to 14	STAT
2 to 4	1 to 17	All-1s pattern

OTU #2 to #n

Row #	Column #	Content
1	1 to 7	FA OH
1	8 to 14	
2 to 4	1 to 17	All-1s pattern

G.709-Y.1331(16)_F16-2

图16-2 – OTUCn-AIS

16.5 ODU维护信号

定义了三种ODU维护信号：ODU-AIS、ODU-OCI和ODU-LCK。

16.5.1 ODU告警指示信号（ODU-AIS）

ODUk-AIS在整个ODU信号中被规定为全“1”（不包括帧对齐开销(FA OH)和OTU开销(OTU OH)）（参见图16-3）。

ODUk包含一个ODU AIS实例。ODUCn包含n个ODU AIS实例，编号为1至n（ODU AIS #1至#n）。

Column #

1 7 8 14 17 3824

Row #

Row #	Column #	Content
1	1 to 7	FA OH
1	8 to 14	OTU OH
1	15 to 17	
2 to 4	1 to 17	All-1s pattern

G.709-Y.1331(16)_F16-3

图16-3 – ODU-AIS

此外，在传输至OTN接口前，ODU-AIS信号可附加一层或多层ODU串联连接、GCC1、GCC2、扩展（EXP）及/或APS/PCC开销。具体取决于ODU-AIS插入点与OTN接口之间的功能配置。

通过监测PM和TCMi开销字段中的ODU状态位可检测ODU-AIS的存在。

16.5.2 ODUk 开放连接指示 (ODUk-OCI)

ODUk-OCI在整个ODUk信号中被定义为重复的"0110 0110"模式，不包括帧对齐开销(FA OH)和OTUk开销(OTUk OH)（参见图16-4）。

注：ODUCn OCI 未作定义。

	Column #															
	1	7	8	14	17	3824
Row #	1	FA OH		OTUk OH												
2		Repeating "0110 0110" pattern														
3																
4																

G.709-Y.1331(16)_F16-4

图16-4 - ODUk-OCI

注：重复的"0110 0110"模式为默认模式；只要PM和TCMi开销字段中的STAT位设置为"110"，其他模式亦被允许。

此外，ODUk-OCI信号在到达OTM接口前，可通过一层或多层ODUk串联连接、GCC1、GCC2、EXP及/或APS/PCC开销进行扩展。具体取决于ODUk-OCI插入点与OTM接口之间的功能配置。

通过监测PM和TCMi开销字段中的ODUk STAT位可检测ODUk-OCI的存在。

16.5.3 ODU锁定 (ODU-LCK)

ODU-LCK在整个ODU信号中以重复的"0101 0101"模式表示，但帧对齐开销(FA OH)和OTU开销(OTU OH)除外（参见图16-5）。

	Column #															
	1	7	8	14	17	3824
Row #	1	FA OH		OTU OH												
2		Repeating "0101 0101" pattern														
3																
4																

G.709-Y.1331(16)_F16-5

图16-5 - ODU-LCK

注：重复的"0101 0101"模式为默认模式；只要PM和TCMi开销字段中的STAT位设置为"101"，其他模式也是允许的。

此外，在ODU-LCK信号呈现于OTN接口之前，可能通过增加一层或多层ODU串联连接、GCC1、GCC2、EXP及/或APS/PCC开销进行扩展。这取决于ODU-LCK插入点与OTN接口之间的功能关系。

通过监测PM和TCMi开销字段中的ODU状态位可检测ODU-LCK的存在。

16.6 客户维护信号

16.6.1 恒定比特率信号的通用AIS

通用AIS信号采用2047位多项式数11 (PN-11) 的重复序列。

该PN-11序列由生成多项式 $1 + x^9 + x^{11}$ 定义，具体规范详见[ITU-T O.150]第5.2节（参见图16-6）。

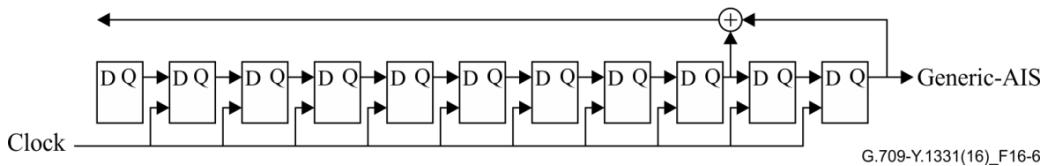


图16-6 – 通用AIS生成电路

17 客户端信号映射

本条款规定了以下映射：

- STM-16、STM-64、STM-256恒定比特率客户端信号映射至OPUk，采用客户端/服务器特定的异步或比特同步映射程序（AMP、BMP）；
- 10GBASE-R恒定比特率客户端信号映射至OPU2e，采用客户端/服务器专用的比特同步映射程序（BMP）；
- FC-1200恒定比特率客户端信号经时序透明转码（TTT）实现50/51速率压缩后，采用客户端/服务器特定字节同步映射程序映射至OPU2c；
- 采用客户端无关通用映射程序（GMP）将最高1.238 Gbit/s的恒定比特率客户端信号输入OPU0，最高2.488 Gbit/s的信号输入OPU1，该过程可选配时透明转码（TTT）以缩减信号比特率，使其适应OPUk有效载荷带宽；
- 将恒定比特率客户端信号分别映射至OPU1、OPU2、OPU3或OPU4，采用客户端无关的通用映射程序（GMP），该过程可能在客户端信号经过时序透明转码（TTT）后进行，以将信号比特率降低至符合OPUk有效载荷带宽的要求；
- 其他恒定比特率客户端信号通过客户端无关的比特同步映射程序（BMP）映射至OPUflex；
- 采用通用帧处理程序（GFP-F）封装的数据包流（如以太网、MPLS、IP）；
- 测试信号；
- 采用异步映射程序（AMP）将连续模式GPON恒定比特率客户端信号映射至OPU1；
- 采用异步映射程序（AMP）将连续模式XGPON恒定比特率客户端信号映射至OPU2；
- 通过比特同步映射程序（BMP）将FlexE感知客户端信号映射至OPUflex；
- FlexE客户端信号通过空闲映射程序输入OPUflex；
- 数据包流（例如以太网、MPLS、IP）通过空闲映射程序（IMP）封装为OPU。

17.1 OPU客户信号故障 (CSF)

为支持本地管理系统，定义单比特OPU客户信号故障 (CSF) 指示器，用于传递从OTN入口映射至OPU的CBR和以太网专线客户信号至OTN出口的故障状态。

OPU CSF位于负载结构标识符PSI[2]字节的第1位。PSI[2]字节的第2至8位预留用于未来国际标准化，这些位均设置为全0。

当OPU CSF置为"1"时表示客户端信号故障指示，否则置为"0"。

注：在建议书第3.0版之前设计的设备将在OPUk CSF中生成"0"值，并忽略该字段的任何数值。

17.2 CBR2G5、CBR10G、CBR10G3及CBR40G信号映射至OPUk的对应关系

CBR2G5、CBR10G或CBR40G信号（具有 ± 20 ppm的比特率容差）映射至OPUk ($k=1,2,3$) 的过程，可依据基于通用OPUk帧结构的比特同步映射程序进行（参见图17-1）。CBR2G5、CBR10G或CBR40G信号（比特率容差 ± 45 ppm）映射至OPUk ($k=1,2,3$) 时，可采用异步映射流程。CBR10G3信号（比特率容差 ± 100 ppm）映射至OPUk ($k=2e$) 时，则需遵循比特同步映射流程。

± 100 ppm比特率容差）映射至OPUk ($k=2e$) 时，则采用比特同步映射程序。

注1 – CBR2G5、CBR10G和CBR40G信号的示例包括STM-16和CMGPON_D/U2（参见[ITU-T G.984.6]）、STM-64和CMXGPON_D/U2[ITU-T G.987.4]以及STM-256。C B R 1 0 G 3 信号的示例为10GBASE-R。

CBR10G3信号示例为10GBASE-R。

注2 – 异步映射方案可容纳OPUk与客户端信号时钟间的大比特率容差为 ± 65 ppm。当OPUk时钟比特率容差为 ± 20 ppm时，客户端信号的比特率容差可达 ± 45 ppm。

注3 – OPUk ($k=1,2,3$) 时钟容差为 ± 20 ppm。OPU2e时钟容差为 ± 100 ppm，且因该容差开销过大无法支持异步映射。

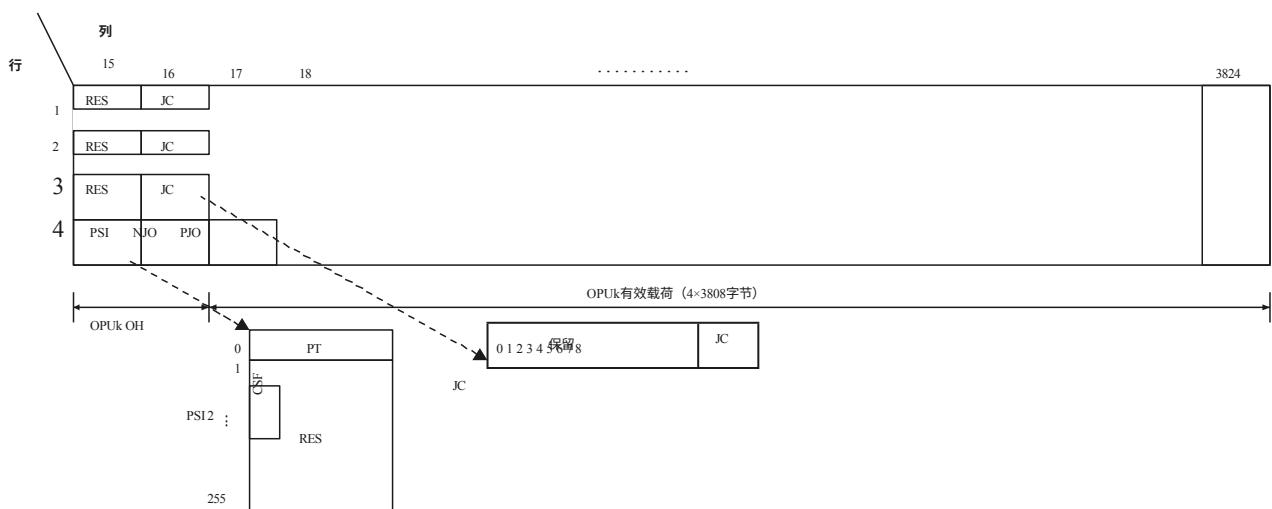


图 17-1 – OPUk 帧结构用于映射 CBR2G5、CBR10G 或 CBR40G 信号

这些映射的OPUk开销包含以下结构：有效载荷结构标识符（PSI）包含有效载荷类型（PT）、客户端信号故障（CSF）指示符及254字节，外加7位预留位（RES）用于未来国际标准化；三个对齐控制（JC）字节；一个负对齐机会（NJO）字节；以及三个预留位（RES）用于未来国际标准化。

JC字节包含两个字节用于对齐控制，其余六个字节保留用于未来国际标准化。

这些映射的OPUk有效载荷由4×3808字节组成，包含1个正对齐机会(PJO)字节。

对齐控制 (JC) 信号位于第 16 列第 1、2 和 3 行第 7 和 8 位，用于控制随后出现在第 4 行中的两个对齐机会字节 NJO 和 PJO。

异步和位同步映射过程分别根据表17-1和表17-2生成JC、NJO和PJO信号。解映射过程依据表17-3对JC、NJO和PJO进行解析。解映射过程中应采用多数投票（三选二）机制作出校准决策，以防范三个JC信号中任一信号出现误差。

表17-1 – 异步映射过程生成的JC、NJO和PJO信号

JC 位 7 8	NJO	PJO
0 0	对齐字节	数据字节
0 1	数据字节	数据字节
1 0		未生成
1 1	对齐字节	对齐字节

表 17-2 – 位同步映射过程生成的 JC、NJO 和 PJO

JC 位 7 8	NJO	PJO
0 0	对齐字节	数据字节
0 1		
1 0		未生成
1 1		

表 17-3 – JC、NJO 和 PJO 解释

JC 位 7 8	NJO	PJO
0 0	对齐字节	数据字节
0 1	数据字节	数据字节
1 0 (注)	对齐字节	数据字节
1 1	对齐字节	对齐字节

注——映射器电路不会生成此代码。由于位错误，解映射器电路可能会接收此代码。

当NJO和PJO作为对齐字节使用时，其值均为全0。接收端必须忽略这些字节作为对齐字节时的数值。

当接收端CBR2G5、CBR10G或CBR40G客户端信号发生故障（例如输入信号丢失时），该故障信号将按第16.6.1节规定替换为通用AIS信号，随后映射至OPUk。

当输入的10GBASE-R类型CBR10G3客户端信号发生故障（例如输入信号丢失时），该故障的10GBASE-R输入信号将被66B数据块流替代，每个数据块携带两组本地故障序列有序集（如[IEEE 802.3]所规定）。该66B区块流替代信号在映射至OPU2c前需进行扰码处理。应采用生成多项式为 $1+x^{(39)}+x^{(58)}$ 的自同步扰码器，其规格与[IEEE 802.3]条款49.2.6中规定的扰码器完全一致。

当输入的ODUk/OPUk信号出现信号故障状态时（例如在ODUk-AIS、ODUk-LCK、ODUk-OCI状态下），将生成第16.6.1节规定的通用AIS模式作为替代信号，以替代丢失的CBR2G5、CBR10G或CBR40G信号。

当输入的ODU2e/OPU2e信号发生故障时（例如出现ODU2e-AIS、ODU2e-LCK、ODU2e-OCI状态）时，将生成由66B数据块组成的流（每个数据块携带两个本地故障序列有序集，详见[IEEE 802.3]规范），作为丢失10GBASE-R信号的替代信号。该66B区块流替代信号通过自同步扰码器进行扰码，其生成多项式为 $1+x^{(39)}+x^{(58)}$ ，与[IEEE 802.3]条款49.2.6中规定的扰码器完全一致。

注4—本地故障序列有序集为/K28.4/D0.0/D0.0/D1.0/。66B区块包含以下值：SH=10 0x55 00 00 01 00 00 00 01。

注5—本建议书第2.5版之前开发的设备可能生成与本地故障序列有序集不同的10GBASE-R替代信号（例如通用AIS）。

异步映射

异步映射的OPUk信号由本地生成时钟（符合表7-3限定值）产生，该时钟独立于CBR2G5、CBR10G或CBR40G（即 $4^{(k-1)} \times 2488320 \text{ kbit/s}$ ($k = 1,2,3$)）客户端信号无关。

CBR2G5、CBR10G、CBR40G（即 $4^{(k-1)} \times 2488320 \text{ kbit/s}$ ($k = 1,2,3$)）信号采用正/负/零（pnz）对齐方案映射至OPUk。

比特同步映射

用于比特同步映射的OPUk时钟源自CBR2G5、CBR10G、CBR40G或CBR10G3客户端信号。当输入的CBR2G5、CBR10G、CBR40G或CBR10G3信号发生故障（例如输入信号丢失时），OPUk有效载荷信号的比特率应符合表7-3规定的限值及[ITU-T G.8251]中定义的ODC_b时钟限值，且在此情况下及重新同步至输入CBR2G5、CBR10G、CBR40G或CBR10G3信号时，不得引入OPUk帧相位不连续性。

CBR2G5、CBR10G、CBR40G或CBR10G3信号映射至OPUk时不使用OPUk帧内的对齐功能：NJO包含对齐字节，PJO包含数据字节，JC信号固定为00。

17.2.1 将CBR2G5信号（例如STM-16、CMGPON_D/CMGPON_U2）映射至OPU1

CBR2G5信号中连续的八位组（不一定是字节）映射到OPU1的数据（D）字节中（参见图17-2）。每个OPU1帧中，可执行一次正对齐或负对齐操作。

	15	16	17	18	C o l m n #	
行号#	1	RES	JC	D	3805D	D
	2	RES	JC	D	3805D	D
	3	RES	JC	D	3805D	D
	4	RES	JC	D	3805D	D
		PSI	NJO	PJO	3805D	D

图17-2 – CBR2G5信号映射至OPU1

17.2.2 将CBR10G信号（如STM-64、CMXGPON_D/CMXGPON_U2）映射至OPU2

CBR10G信号中连续的八位组（不一定是字节）映射到OPU2的数据（D）字节中（见图17-3）。在列1905至1920中添加64个固定填充（FS）字节。每个OPU2帧中，可执行一次正对齐或负对齐操作。

	15	16	17	1904 1905	1920 1921	3824
行号#	1	RES	JC	118 × 16D	16FS		119 × 16D		
	2	RES	JC	118 × 16D	16FS		119 × 16D		
	3	RES	JC	118 × 16D	16FS		119 × 16D		
	4	RES	JC	118 × 16D	16FS		119 × 16D		
		PSI	NJO	PJO	15D + 117 × 16D	16FS	119 × 16D		

图17-3 – CBR10G信号映射至OPU2

17.2.3 CBR40G信号（例如STM-256）映射至OPU3

CBR40G信号中连续的八位组（不一定是字节）映射到OPU3的数据（D）字节中（见图17-4）。在列1265至1280和2545至2560中添加128个固定填充（FS）字节。每个OPU3帧内可执行一次正对齐或负对齐操作。

	15	16	17	1264 1265 .. 1280	1281	2544 2545 .. 2560 2561	...	3824
行号#	1	RES	JC	78 × 16D	16FS	79 × 16D	16FS	79 × 16D		
	2	RES	JC	78 × 16D	16FS	79 × 16D	16FS	79 × 16D		
	3	RES	JC	78 × 16D	16FS	79 × 16D	16FS	79 × 16D		
	4	RES	JC	78 × 16D	16FS	79 × 16D	16FS	79 × 16D		
		PSI	NJO	PJO	15D + 77 × 16D	16FS	79 × 16D	16FS	79 × 16D	

图17-4 – CBR40G信号映射至OPU3

17.2.4 CBR10G3信号（如10GBASE-R）映射至OPU2e

CBR10G3信号中连续的八位组（不一定是字节）以位同步方式映射到OPU2e的数据（D）字节中（见图17-5）。在列1905至1920中添加64个固定填充（FS）字节。

注——NJO字节始终携带填充字节，PJO字节始终携带数据(D)字节，而JC字节始终携带全零模式。

行号	列号														3824
	15	16	17	1904	1905	1920	1921					
1	RES	JC		118×16D		16FS		119×16D							
2	RES	JC		118×16D		16FS		119×16D							
3	RES	JC		118×16D		16FS		119×16D							
4	PSI	NJO	PJO	15D + 117×16D		16FS		119×16D							

图17-5 – CBR10G3信号映射至OPU2e

17.3 空白条款

本条款特意留空。

17.4 GFP帧映射至OPUk ($k=0,1,2,3,4,\text{flex}$)

通用帧处理程序 (GFP) 帧的映射通过将每个GFP帧的字节结构与OPUk有效载荷的字节结构对齐来实现（参见图17-6）。由于GFP帧具有可变长度（映射不限制最大帧长度），帧可能跨越OPUk ($k=0,1,2,3,4,\text{flex}$) 帧边界。

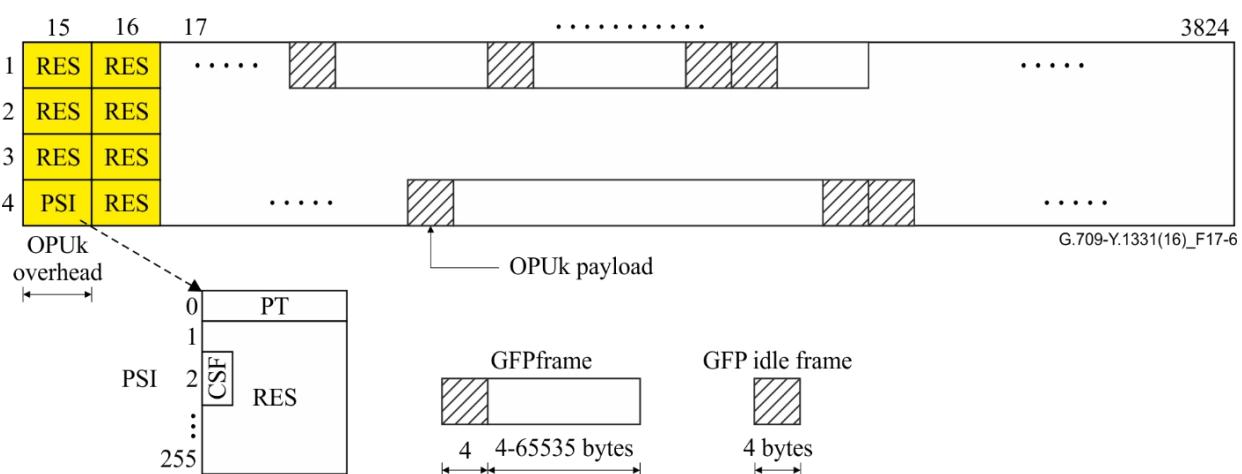


图17-6 – OPUk帧结构及GFP帧映射至OPUk

GFP帧以连续比特流形式到达，其容量与OPUk有效载荷区域完全一致——这得益于GFP封装阶段插入的空闲帧。GFP帧流在封装过程中经过扰码处理。

注1—映射阶段无需速率自适应或扰码处理，这些操作由GFP封装过程完成。

GFP映射的OPUk开销包含以下结构：有效载荷结构标识符 (PSI) 包含有效载荷类型 (PT)、客户端信号故障 (CSF) 指示符，以及254字节加7位预留未来国际标准化 (RES) 的字节，另有7字节预留未来国际标准化 (RES)。CSF指示符仅适用于以太网专用线路I型服务；对于其他分组客户端，CSF位固定为0。

GFP映射的OPUk有效载荷由4×3808字节组成。

注2——OPUflex(GFP) 比特率可为表 7-3 和表 7-8 中规定的任何配置比特率。

17.4.1 GFP帧映射到扩展OPU2有效载荷区域

在扩展OPU2有效载荷区域中，通用帧处理程序 (GFP) 帧的映射通过将每个GFP帧的字节结构与扩展OPU2有效载荷的字节结构对齐来实现（参见图17-7）。由于GFP帧具有可变长度（映射未对最大帧长度施加任何限制），因此帧可能跨越OPU2帧边界。

OPU2有效载荷的字节结构进行对齐（参见图17-7）。由于GFP帧具有可变长度（映射过程不对最大帧长度施加任何限制），单个帧可能跨越OPU2帧边界。

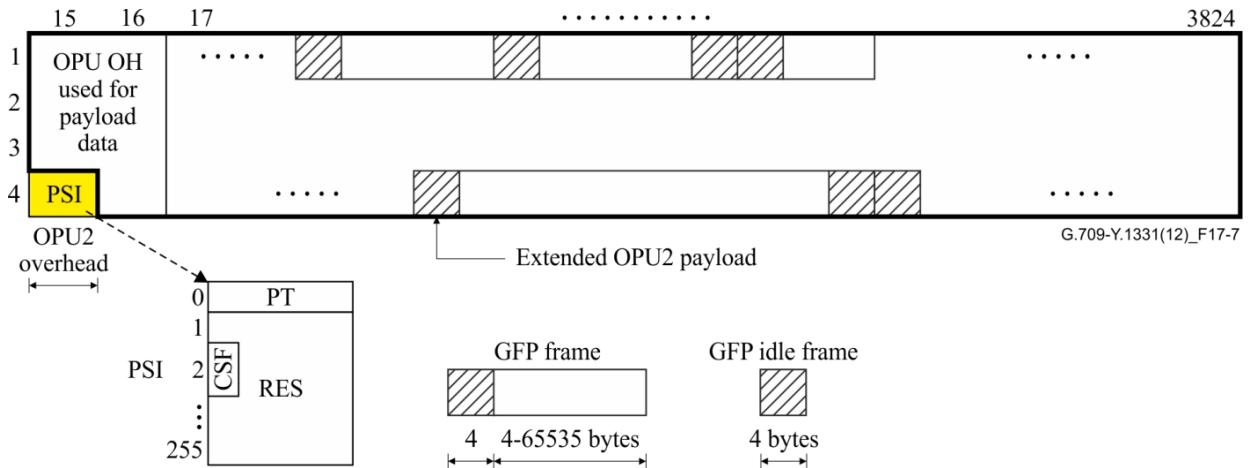


图17-7 – OPU2帧结构及GFP帧映射至扩展OPU2有效载荷区域示意图

GFP帧以连续比特流形式到达，其容量与OPU2有效载荷区域完全一致，这是由于在GFP封装阶段插入了GFP空闲帧所致。GFP帧流在封装过程中会进行扰码处理。

注：映射阶段无需速率自适应或扰码处理，这些操作由GFP封装过程完成。

OPU2在GFP映射中的开销包含：有效载荷结构标识符（PSI）——内含有效载荷类型（PT）、客户端信号故障（CSF）指示符，以及254字节加7位预留空间（RES）用于未来国际标准化。

GFP映射的扩展OPU2有效载荷由OPU2有效载荷中的 4×3808 字节加上OPU2开销中的7字节组成。

17.5 测试信号映射至OPU

17.5.1 NULL客户端映射至OPU

为测试目的，定义了具有全零模式的OPU有效载荷信号（参见图17-8）。该模式称为空客户端。

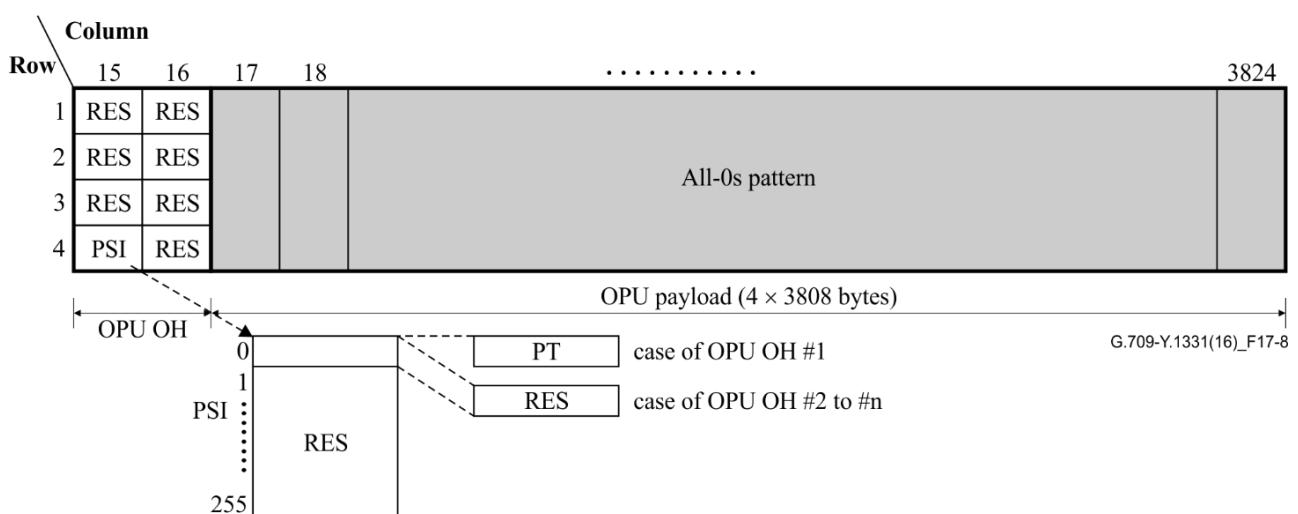


图17-8 – OPU帧结构及NULL客户端映射至OPU

NULL映射的OPU开销包含：有效负载结构标识符（PSI）——内含有效负载类型（PT）及255字节预留空间（RES）用于未来国际标准化；另含7字节预留空间（RES）用于未来国际标准化。

NULL映射的OPU有效负载包含 4×3808 字节。

OPUk包含一个NULL客户端实例。OPUCn包含n个NULL客户端实例，编号为1至n。

17.5.2 伪随机本征信号映射至OPU

为进行端到端和分段开通测试，可将[ITU-T O.150]第5.8节规定的 $2^{147} 483 647$ 位伪随机测试序列（ $2^{31}-1$ ）映射到光处理单元（OPU）有效载荷中。该 $2^{147} 483 647$ 位伪随机测试序列信号中连续的八位组被映射到OPU有效载荷的8个数据位（8D）（即一个字节）（参见图17-9）。

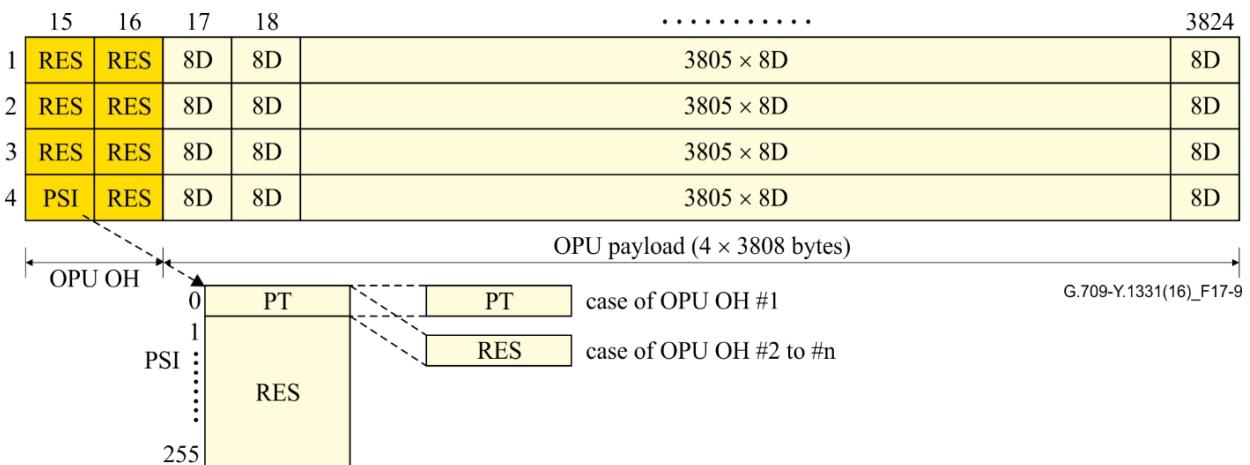


图17-9 – OPU帧结构及 $2^{147} 483 647$ 位伪随机测试序列映射至OPU

用于PRBS映射的OPU开销包含：包含有效载荷类型(PT)的有效载荷结构标识符(PSI)、255字节预留空间(RES)用于未来国际标准化，以及7字节预留空间(RES)用于未来国际标准化。

用于PRBS映射的OPU有效负载包含 4×3808 字节。

OPUk包含一个 $2^{147} 483 647$ 位伪随机测试序列实例。OPUCn包含n个 $2^{147} 483 647$ 位伪随机测试序列实例，编号为1至n。

注意——此伪随机比特序列测试图案不适用于物理接口的压力测试。

17.6 非特定客户端比特流映射至OPUk

除本条款其他子条款规定的特定客户端信号映射外，还规定了非特定客户端向OPUk的映射。任何客户端信号（或信号集）经封装为与OPUk有效载荷比特率一致的连续比特流后，均可映射至OPUk有效载荷（参见图17-10）。该比特流必须与OPUk信号保持同步。在创建连续比特流的过程中必须包含任何合理依据。连续比特流在映射至OPUk有效载荷前必须进行扰码处理。

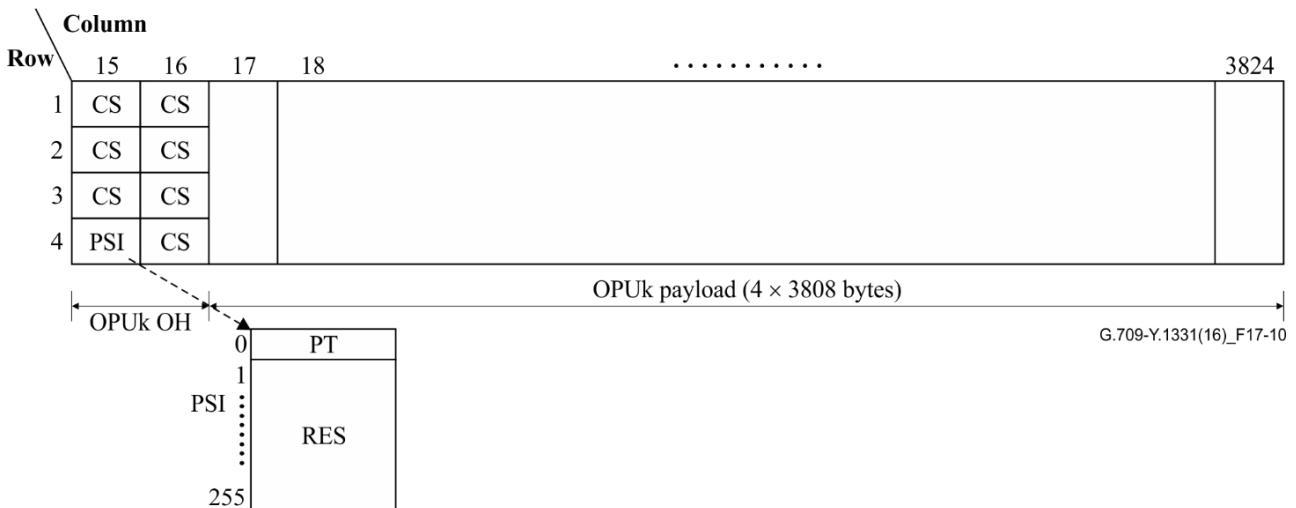


图17-10 – 同步恒定比特流映射的OPUk帧结构

OPUk映射的开销包含以下部分：有效载荷结构标识符（PSI）包含有效载荷类型（PT）及255字节预留空间（RES）用于未来国际标准化，另有7字节用于客户端特定（CS）用途。这些CS开销字节的定义在封装过程规范中完成。

此非特定映射的OPUk有效载荷由 4×3808 字节构成。

17.6.1 将具有字节时序的比特流映射至OPUk

若存在字节时序信息，则输入数据流中的每个字节将映射至OPUk有效载荷中的一个数据字节（字节）。

17.6.2 无字节时序的比特流映射至OPUk

若无字节定时信息，则将输入数据流中连续的八位组（不一定是完整字节）映射到OPUk有效载荷的数据字节（字节）。

17.7 其他恒定比特率信号（含校准）映射至OPUk

其他CBR客户端信号（比特率容差 ± 100 ppm）映射至OPUk（ $k=0,1,2,3,4$ ）的过程遵循附件D规定的通用映射程序。

当输入CBR客户端信号发生故障（例如输入信号丢失时），该故障信号将被后续条款定义的相应替代信号取代。

当输入的ODUk/OPUk信号出现故障状态时（例如发生ODUk-AIS、ODUk-LCK或ODUk-OCI故障），故障客户端信号将被后续条款中定义的相应替代信号取代。

此映射的OPUk开销包含：

- 包含表15-9所示负载类型(PT)的负载结构标识符(PSI)、客户端信号故障(CSF)及254字节，另加7位预留字节(RES)用于未来国际标准化；
- 三个校准控制字节（JC1、JC2、JC3），承载GMP开销Cm的数值；
- 三个对齐控制字节（JC4、JC5、JC6），承载GMP开销ΣCnD的值；
- 一个字节保留用于未来国际标准化（RES）。

JC1、JC2和JC3字段由 ΣC_m 字段（位C1、C2、...、C14）、1位递增指示符（II）字段、1位递减指示符（DI）字段以及8位CRC-8字段组成，其中CRC-8字段包含对JC1、JC2和JC3字段的错误校验码。

JC4、JC5和JC6字段包含：10位 ΣC_n 字段（位D1、D2、...、D10）、5位CRC-5字段（对JC4、JC5和JC6字段中第4至8位生成校验码），以及9位保留位（RES）用于未来国际标准化。 ΣC_n 的默认值为8。对 $n=1$ 的支持取决于客户端，并在后续条款中按需规定。

CBR客户端进入OPUk时， m 、 $C_{m,\min}$ 、 $C_{m,\max}$ 、 n 、 $C_{n,\min}$ 及 $C_{n,\max}$ 的取值如下：

$$m = 8,16,64,256,640 \quad (17-1)$$

$$c_{m,nom} = \left\lfloor \frac{\left(CBR_nom_client_bit_rate \times OPUk \text{ 中 GMP 块的数量} \right)}{OPUk_nom_bit_rate} \right\rfloor \quad (17-2)$$

$$\text{厘米, 分钟} = c_{m,nom} \times \left\lfloor \frac{\left(1 - CBR_客户端_比特率_容差 \right)}{1 + OPUk_比特_速率_容差} \right\rfloor \quad (17-3)$$

$$c_{m,max} = c_{m,nom} \times \left\lfloor \frac{\left(1 + CBR_客户端_比特率_容差 \right)}{1 - OPUk_比特率_容差} \right\rfloor \quad (17-4)$$

$$C_{m,\min} C_{m,\max} = floor(c_{m,nom}) \quad (17-5)$$

$$= ceiling(c_{m,nom}) \quad (17-6)$$

$$n = 8,1 \quad (17-7)$$

$$c_{n,nom} = \left\lfloor \frac{\left(CBR_客户端_名称_比特率 \times OPUk \text{ 中 GMP 块的数量} \right)}{OPUk_nom_bit_rate} \right\rfloor \quad (17-8)$$

$$c_{n,min} = c_{n,nom} \times \left\lfloor \frac{\left(1 - CBR_客户端_比特率_容差 \right)}{1 + OPUk_比特_速率_容差} \right\rfloor \quad (17-9)$$

$$c_{n,max} = c_{n,nom} \times \left\lfloor \frac{\left(1 + CBR_客户端_比特率_容差 \right)}{1 - OPUk_比特率_容差} \right\rfloor \quad (17-10)$$

$$C_{n,\min} C_{n,\max} = floor(c_{n,nom}) \quad (17-11)$$

$$= ceiling(c_{n,nom}) \quad (17-12)$$

$C_{m,\min}$ 、 $C_{m,\max}$ 和 $C_{n,\max}$ 值代表客户端/OPU ppm偏移组合的边界（即最小客户端/最大OPU与最大客户端/最小OPU）。在稳态下，给定的客户端/OPU偏移组合实例不应产生覆盖整个范围的 C_m 和 C_n 值，而应尽可能控制在最小范围内。

在瞬态ppm偏移条件下（例如AIS切换至常规信号时），可能产生超出 $C_{n,\min}$ 至 $C_{n,\max}$ 及 $C_{m,\min}$ 至 $C_{m,\max}$ 范围的 C_n 和 C_m 值，GMP解映射器应对此类情况具有容忍能力。GMP原理的通用描述详见附录D。

17.7.1 将低于1.238Gbit/s的CBR客户端信号映射至OPU0

表17-4规定了本建议书定义的客户端及其GMP m_{nn} 和 c_{nn} 参数值。表17-5规定了这些客户端的替代信号。

对1位定时信息(c_1)的支持取决于客户端。对于仅需 c_m ($m=8$)中8位定时信息的客户端,将不部署传输 ΣC_{ID} 的能力,且JC4/5/6值将固定为全0。

此映射的OPU0有效载荷由 4×3808 字节组成。OPU0有效载荷区域中的字节编号范围为1至15232。图17-11展示了GMP 1字节(8位)区块中OPU0有效载荷字节的编号规则。在OPU0帧的第一行中,首个字节标记为1,次字节标记为2,依此类推。

客户端信号中连续的八位组(不一定是字节)在GMP数据/填充控制机制的控制下,映射到OPU0有效载荷区域的一个字节中。OPU0有效载荷区域中的每个字节可承载8位客户端数据,或承载8位填充位。填充位被设置为零。

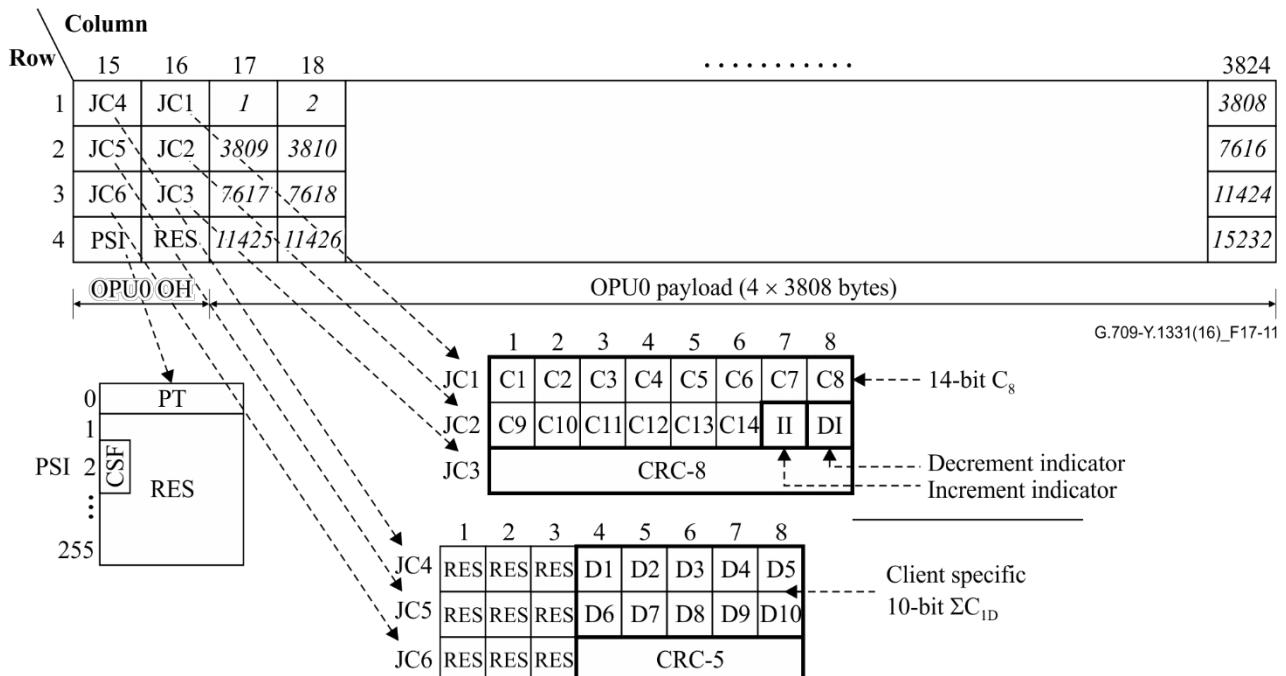


图17-11 – 用于映射低于1.238Gbit/s客户端信号的OPU0帧结构表17-4 – 低于1.238G客户端映射至OPU0的m、n及 C_{ab} 参数

客户端信号	标称比特率 (kbit/s)	比特率容差 (ppm)	m	n	C_{ab}
转码的1000BASE-X (参见条款17.7.1.1)	$15/16 \times 1\ 250\ 000$	± 100	8	8	无
STM-1	155 520	± 20	8	1	是
STM-4	622 080	± 20	8	1	是
FC-100	1 062 500	± 100	8	8	否
SBCON/ESCON	200 000	± 200	8	8	否
DVB-ASI	270 000	± 100	8	8	否
SDI	270 000	± 2.8	8	待定	待定

表 17-5 – 用于低于 1.238G 客户端的替代信号

客户端信号	替代信号	比特率容差 (ppm)
STM-1	通用AIS	±20
STM-4	通用AIS	±20
1000BASE-X	链路故障	±100
FC-100	网络操作系统	±100
SBCON/ESCON	未开封	±200
DVB-ASI	通用AIS	±100
SDI	通用AIS	进一步研究

17.7.1.1 1000BASE-X 转码

1000BASE-X信号（采用8B/10B编码，标称比特率为1 250 000 kbit/s，比特率容差高达±100 ppm）被同步映射至比特率为 $15/16 \times 1 250 000$ kbit/s的75字节GFP-T帧流中。容差为±100 ppm）被同步映射为75字节的GFP-T帧流，其比特率为 $15/16 \times 1 250 000$ kbit/s ±100 ppm（约1 171 875 kbit/s ±100 ppm）。该过程称为“时序透明转码(TTT)”。随后通过第17.7.1节及附录D规定的通用映射程序，将 $15/16 \times 1 250 000$ kbit/s ±100 ppm信号映射至OPU0。

对于1000BASE-X客户端映射，无需1位定时信息(c_1)，因此OPU0的JC4/JC5/JC6 OH值将固定为全0。

1000BASE-X信号映射至GFP-T的操作遵循[ITU-T G.7041]规定，采用以下参数：

- 每个GFP-T帧包含一个超级块
- 不使用65B_PAD字符
- GFP空闲帧不使用
- GFP帧pFCS字段不使用。

当输入的1000BASE-X客户端信号发生故障（例如输入信号丢失）时，将采取以下任一措施：

- 该故障1000BASE-X信号将被替换为10B区块流，比特率为1 250 000 kbit/s ±100 ppm，每个区块携带[IEEE 802.3]规定的链路故障指示，该流随后施加于GFP-T映射器；或
- 或将GFP-T信号替换为符合[ITU-T G.7041]规范的GFP客户端信号故障（CSF）与GFP空闲帧流，其比特率为 $15/16 \times 1 250 000$ kbit/s ±100 ppm。

在以下任一情况下：

- 输入的ODU0/OPU0信号出现信号故障状态（例如ODU0-AIS、ODU0-LCK、ODU0-OCI状态），或
- 符合[ITU-T G.7041]规定的CSF帧输入时。

GFP-T解映射器生成10B块数据流，每个数据块携带符合[IEEE 802.3]标准的链路故障指示信号，以此替代丢失的1000BASE-X信号。

注——以太网链路故障指示为重复序列 /C1/C2/C1/C2/... 的有序集合流，其中 $C1 = /K28.5/D21.5/D0.0/D0.0/$ 且 $C2 = /K28.5/D2.2/D0.0/D0.0/$ 。该字符流随后由GFP-T映射器处理，其方式与接收到的8B/10B数据流相同，将其映射为GFP-T超级块进行传输。

17.7.1.2 FC-100

当输入的FC-100信号发生故障（例如输入信号丢失时），该故障的输入FC-100信号将被替换为[b-INCITS 470]中规定的NOS基本序列。

注——NOS基本序列有序集定义为/K28.5/D21.2/D31.5/D5.2/。

当输入的ODU0信号发生信号故障时（例如出现ODU0-AIS、ODU0-LCK、ODU0-OCI状态），将生成[b-INCITS 470]中规定的NOS基本序列有序集，作为丢失的FC-100信号的替代信号。

17.7.1.3 SBCON/ESCON

当输入的SBCON/ESCON信号发生故障（例如输入信号丢失时），该故障输入信号将被[b-ANSI INCITS 296]中规定的NOS序列替代。

注——NOS序列有序集定义为/K28.5/D0.2/。

当输入的ODU0信号出现故障状态时（例如ODU0-AIS、ODU0-LCK、ODU0-OCI状态），将生成NOS序列、有序集作为指定在[b-ANSI INCITS 296]中规定的信号，以替代丢失的SBCON/ESCON信号。

17.7.2 将超1.238至2.488 Gbit/s的CBR客户端信号映射至OPU1

表17-6规定了本建议书定义的客户端及其GMP m、n和 c_{nd} 参数值。表17-7规定了这些客户端的替代信号。

OPU1的JC4/JC5/JC6 OH必须支持8位定时信息($\Sigma C8D$)。

OPU1 JC4/JC5/JC6 OH中对1位定时信息($\Sigma C1D$)的支持取决于客户端。

此映射的OPU1有效载荷由 4×3808 字节组成。OPU1有效载荷区域中的2字节组编号范围为1至7616。图17-12展示了GMP 2字节（16位）块的OPU1有效载荷字节编号规则。在OPU1帧的第一行中，前2字节标记为1，后2字节标记为2，依此类推。

在GMP数据/填充控制机制的控制下，客户端信号中连续的十六位组被映射到OPU1有效载荷区域中连续的两个字节组。OPU1有效载荷区域中的每个两字节组可承载16位客户端数据，或承载16位填充位。填充位被设置为零。

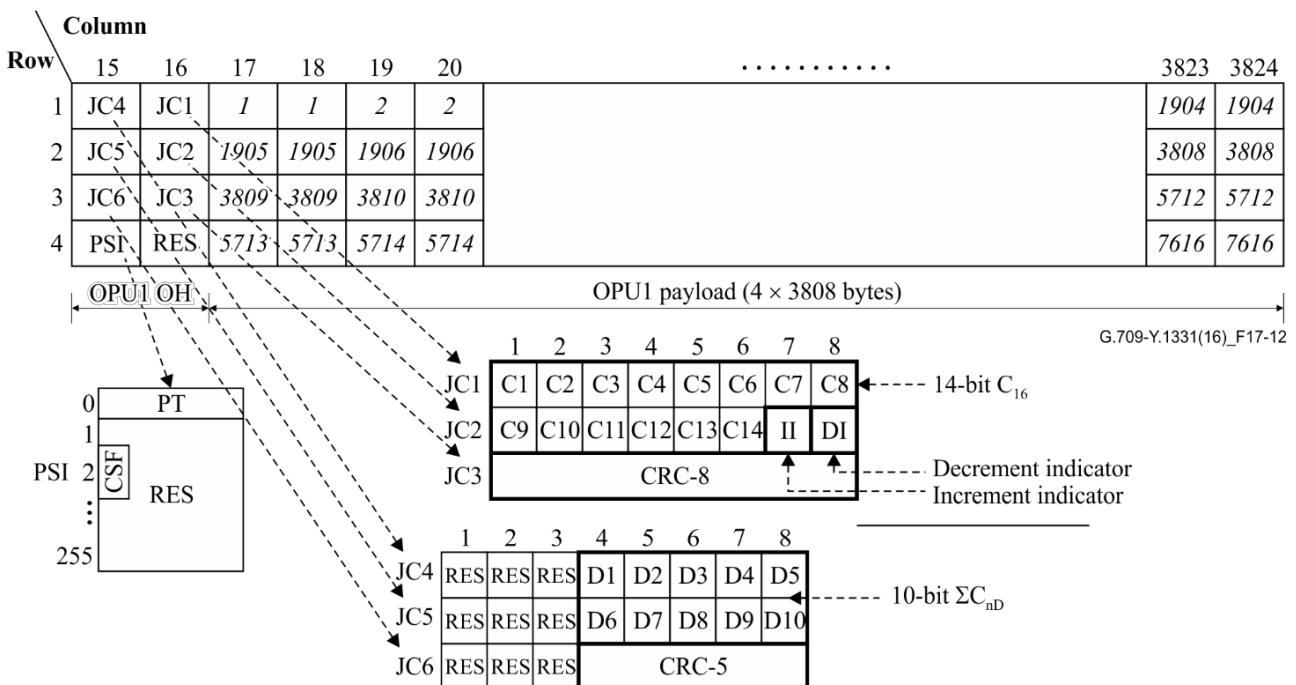


图17-12 – 用于映射超1.238至亚2.488Gbit/s客户端信号的OPU1帧结构

表17-6 – 超1.238至亚2.488G比特率客户端映射至OPU1的C_m参数 (m=16)

客户端信号	标称比特率 (kbit/s)	比特率容差 (ppm)	m	n	C _{mD}
FC-200	2 125 000	±100	16	8	是
1.5G SDI	1 485 000	±10	16	待定	是
1.5G SDI	1 485 000/1.001	±10	16	待定	是

表 17-7 – 用于 1.238 Gbit/s 以上至 2.488 Gbit/s 以下客户端的替代信号

客户端信号	替代信号	比特率容差 (ppm)
FC-200	NOS	±100
1.5G SDI	通用AIS	待研究

17.7.2.1 FC-200

当输入的FC-200信号发生故障（例如输入信号丢失时），该故障的FC-200输入信号将被替换为[b-INCITS 470]中规定的NOS原始序列。

注——网络操作系统（NOS）原始序列有序集定义为/K28.5/D21.2/D31.5/D5.2/。

当输入ODU1信号发生故障（例如出现ODU1-AIS、ODU1-LCK、ODU1-OCI状态时），将根据[b-INCITS 470]规范生成NOS基本序列有序集，作为丢失的FC-200信号的替代信号。

17.7.3 将CBR客户端信号映射至OPU2

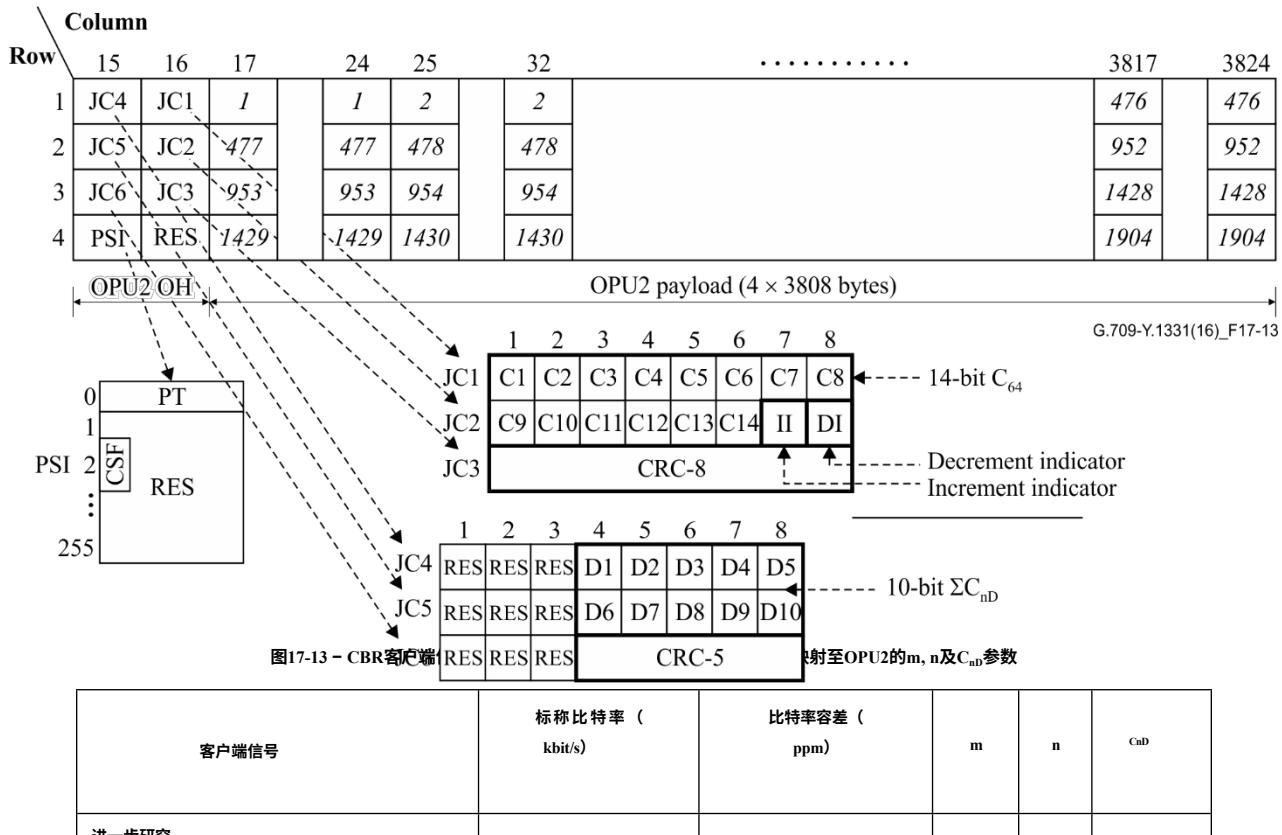
表17-8规定了本建议书定义的客户端及其GMP m、n和C_{mD}参数值。表17-9规定了这些客户端的替代信号。

OPU2的JC4/JC5/JC6 OH必须支持8位定时信息 (Σ_{CSD})。

OPU2 JC4/JC5/JC6 OH对1位定时信息(Σ_{C1D})的支持取决于客户端。

此映射的OPU2有效负载由 4×3808 字节组成。OPU2有效负载区域中的八字节组编号从1至1904。图17-13展示了GMP 8字节（64位）块的OPU2有效负载字节编号规则。在OPU2帧的第一行中，前8字节标记为1，次之8字节标记为2，依此类推。

客户端信号的连续64位组在GMP数据/填充控制机制控制下，映射至OPU2有效载荷区中连续的8字节组。OPU2有效载荷区中的每个8字节组可承载64位客户端数据，或承载64位填充位。填充位被设置为零。填充位被设置为零。



17.7.4 将CBR客户端信号映射至OPU3

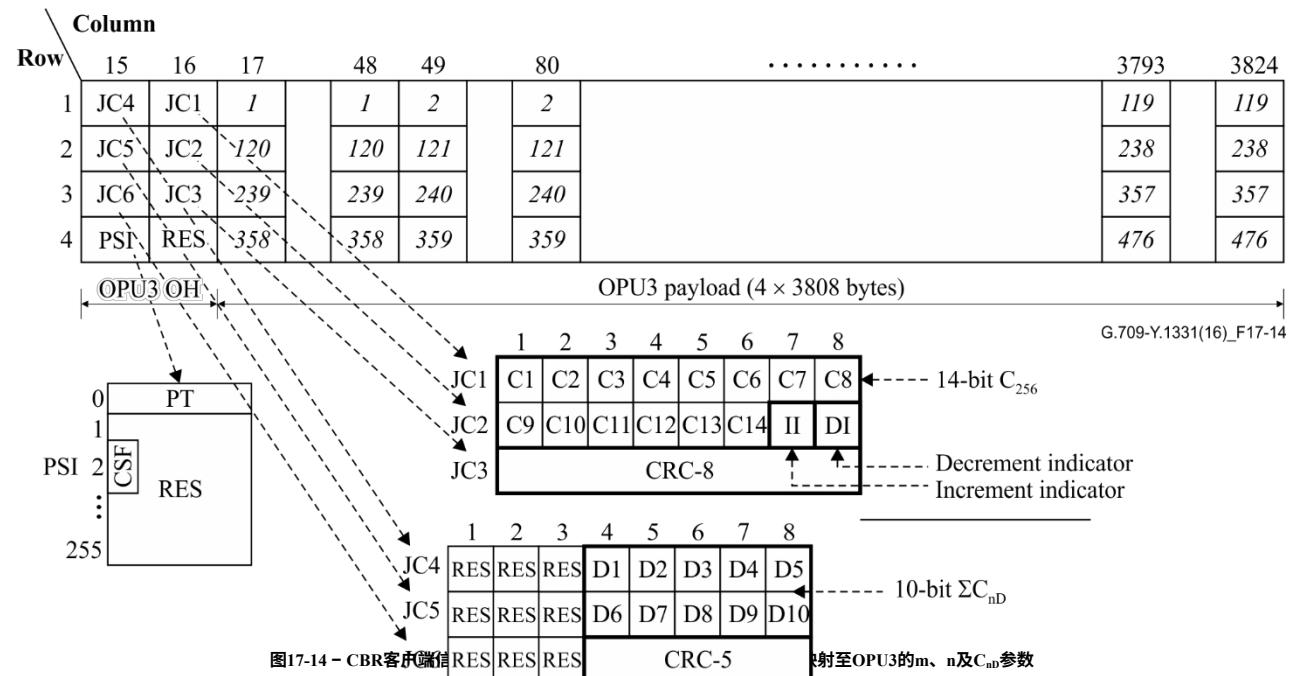
表17-10规定了本建议书定义的客户端及其GMP m、n和cnD参数值。表17-11规定了这些客户端的替代信号。

OPU3 JC4/JC5/JC6 OH必须支持8位定时信息 (Σ_{CSD})。

OPU3 JC4/JC5/JC6 OH对1位定时信息(ΣC_{nD})的支持取决于客户端。

该映射的OPU3有效负载由 4×3808 字节组成。OPU3有效负载区域中的32字节组编号从1至476。图17-14展示了GMP 32字节(256位)块的OPU3有效负载字节编号规则。在OPU3帧的第一行中,前32字节标记为1,后32字节标记为2,依此类推。

客户端信号中连续的256位组在GMP数据/填充控制机制的控制下,映射到OPU3有效载荷区域中连续的32字节组。OPU3有效载荷区域中的每个32字节组可承载256位客户端数据,或承载256位填充位。填充位被设置为零。



客户端信号	标称比特率 (kbit/s)	比特率容差 (ppm)	m	n	C_{nD}
转码的40GBASE-R (参见条款17.7.4.1)	1027/1024 × 64/66 × 41 250 000	±100	256	8	是

表 17-11 – CBR 客户端的替代信号

客户端信号	替代信号	比特率容差 (ppm)
40GBASE-R	连续40GBASE-R本地故障序列有序集, 每16383×4个66位数据块后插入四个PCS通道对齐标记	±100

40GBASE-R本地故障序列有序集为66位控制块（同步头=10），包含块类型0x4B、“O”代码0x00、值0x01（表示通道3发生本地故障），其余字节（扰码前）均为0x00。

17.7.4.1 40GBASE-R多通道处理与转码

40GBASE-R客户端信号（采用64B/66B编码，标称总比特率为41 250 000 kbit/s， $\pm 100 \text{ ppm}$ ）的误差通过附件E所述的并行64B/66B接口恢复过程进行校正。物理接口的通道（们）在必要时进行比特解交织，生成四路10 312 500 kbit/s数据流。每路PCS通道均捕获66B区块锁定信号与通道对齐标记锁定信号，从而实现66B区块的去偏移与重新排序。

生成的序列按附件B所述流程解扰并转码为513B编码块。每两组513B编码块按附件F所述流程组合为1027B区块，最终形成1027/1024 \times 40 000 000 kbit/s $\pm 100 \text{ ppm}$ （40,117,187.500 kbit/s $\pm 100 \text{ ppm}$ ）。该过程称为“时序透明转码（TTT）”，其映射的比特流速率为聚合以太网信号比特率的1027/1056倍。

在映射器中，接收到的以太网PCS通道BIP可作为非侵入式监测器与预期以太网PCS通道BIP进行比对。

解映射器将按附录E所述插入补偿后的以太网PCS通道BIP。此外，如附录E所述，可将PCS BIP-8误码掩码与OTN BIP-8误码掩码组合形成的复合误码掩码用作非侵入式监测机制。

对于40GBASE-R客户端映射，无需1位定时信息（ c_1 ）。

解映射器将从GMP处理器1027B块锁的输出中恢复，然后如附录E所述，将每个1027B块转码为十六个66B块。转码后的通道对齐标记采用补偿BIP-8格式构建。随后将66B块以循环方式重新分配至PCS通道。若PCS通道数量超过输出接口的物理通道数，则将相应数量的PCS通道进行比特复用至输出接口的物理通道上。

17.7.5 将CBR客户端信号映射至OPU4

表17-12规定了本建议书定义的客户端及其GMP m、n和 c_{nD} 参数值。表17-13规定了这些客户端的替代信号。

OPU4 JC4/JC5/JC6 OH必须支持8位定时信息（ c_{8D} ）。

OPU4 JC4/JC5/JC6 OH中对1位定时信息（ c_{1D} ）的支持取决于客户端。

此映射的OPU4有效载荷包含4×3800字节的客户端数据及4×8字节的固定填充。OPU4有效载荷区域中的80字节组按1至190编号。图17-15展示了GMP 80字节（640位）块的OPU4有效载荷字节编号规则。在OPU4帧的第一行中，前80字节标记为1，后80字节标记为2，依此类推。

在GMP数据/填充控制机制的控制下，客户端信号中连续的640位被映射到OPU4有效载荷区域中连续的80个字节组。OPU4有效载荷区域中的每个80字节组可承载640位客户端数据，或承载640位填充位。填充位被设置为零。

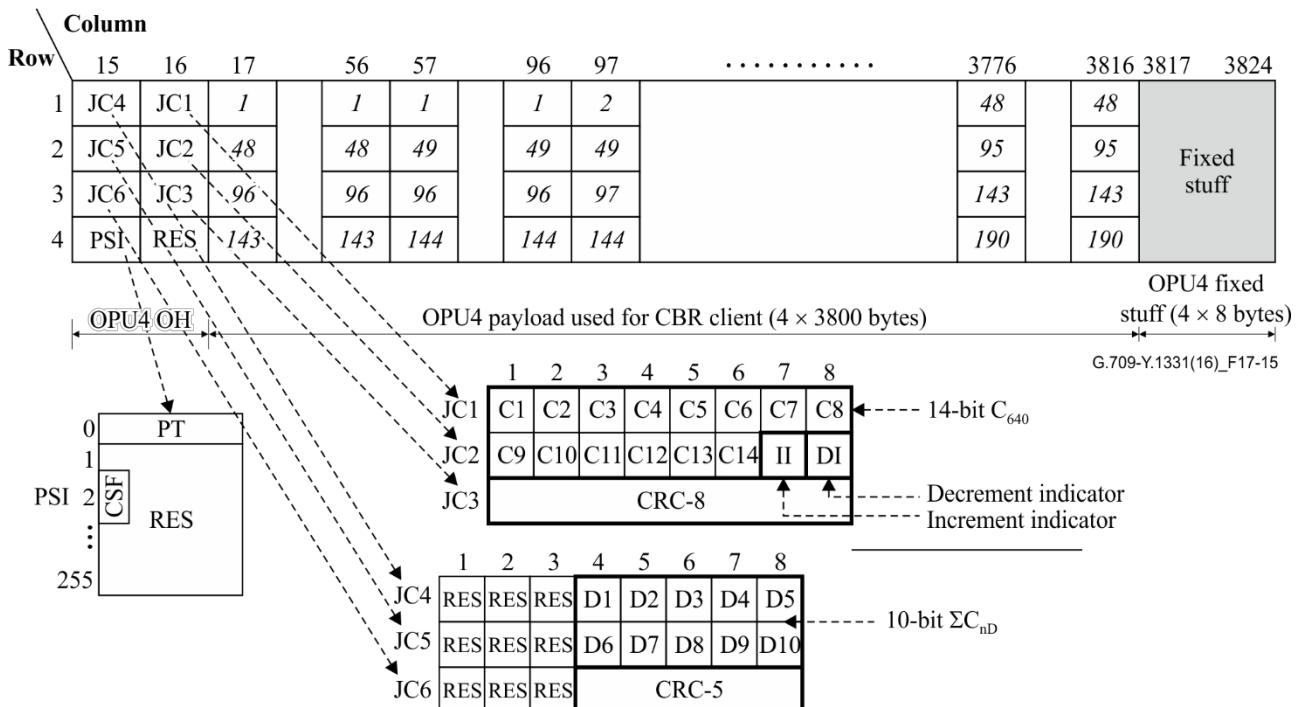


图17-15 – CBR客户端信号映射至OPU4的帧结构表17-12 – CBR客户端映射至OPU4的m、n及 C_{nD} 参数

客户端信号	标称比特率 (kbit/s)	比特率容差 (ppm)	m	n	C_{nD}
100GBASE-R (参见17.7.5.1)	103 125 000	± 100	640	8	是

表 17-13 – CBR 客户端的替代信号

客户端信号	替代信号	比特率容差 (ppm)
100GBASE-R (参见17.7.5.1节)	连续66B编码并扰码的100GBASE-R本地故障序列有序集，每16383×20个66位数据块后插入20个PCS通道对齐标记	± 100

66B编码与扰码的100GBASE-R本地故障序列有序集包含： - 66B控制块（同步头=10），块类型为0x4B“O”码为0x00，值为0x01以指示通道3存在“本地故障”，其余所有字节（加扰前）均等于0x00。应采用生成多项式为 $1+x^{(39)}+x^{(58)}$ 的自同步扰码器，其规格与[IEEE 802.3]条款49.2.6中规定的扰码器完全一致。

17.7.5.1 100GBASE-R多通道处理

100GBASE-R客户端信号（采用64B/66B编码，标称总比特率为103 125 000 kbit/s）

± 100 ppm的误差通过附件E所述的并行64B/66B接口恢复过程进行校正。物理接口的通道（们）在必要时进行位解交织，生成二十条速率为 $5 \times 161 \times 250$ kbit/s的数据流。每个PCS通道均捕获66B区块锁定信号与通道对齐标记锁定信号，从而实现66B区块的去偏移与重新排序。

在映射器中，接收到的以太网PCS通道BIP可作为非侵入式监测器与预期以太网PCS通道BIP进行比对。

解映射器将按附录E所述方式传递来自输入端的PCS通道BIP。此外，接收到的以太网PCS通道BIP可与预期值进行比较，作为非侵入式监控机制。

对于100GBASE-R客户端映射，无需1位定时信息 (c_1)。

解映射器将根据图82-10[IEEE 802.3]中的状态图，从GMP处理器的输出中恢复64B/66B块锁定状态。66B块将以循环方式重新分配至PCS通道。若PCS通道数量超过出口接口的物理通道数，则将相应数量的PCS通道进行比特复用至出口接口的物理通道。

17.8 通过时序透明转码将1000BASE-X和FC-1200信号映射至 OPUk

17.8.1 将1000BASE-X信号映射至OPU0

转码的1000BASE-X信号映射参见条款17.7.1，1000BASE-X信号转码参见条款17.7.1.1。

17.8.2 将FC-1200信号映射至OPU2e

FC-1200的标称线路速率为 $10\ 518\ 750\ \text{kbit/s} \pm 100\ \text{ppm}$ ，因此必须压缩至合适速率才能适配OPU2e。

64B/66B编码的FC-1200客户端适配通过以下方式实现：将八个66B块转码为一个513B块（如附录B所述），将八个513B块组合为一个516字节超级块，再将十七个516字节超级块封装成8800字节GFP帧（如图17-17所示）。GFP帧包含2200行，每行32位。首行存储GFP核心头，次行存储GFP负载头。随后四行包含16字节预留空间，用于未来国际标准化。接下来的十七行 \times 129行存储十七个编号为#1至#17的超级块。末行承载GFP负载帧校验序列（FCS）。513B块#i ($i=0..7$) 的标志位（F）存储于超级块标志字段中的标志位#i。超级块中每个513B块的剩余512位数据分布于超级块数据域的16行：首16行承载513B块#0的位数据，次16行承载513B块#1的位数据，依此类推。每个513B块包含附件B中规定的 j' ($j=0..8$) 个控制块（CB1至CBj）和 $8-j'$ 个全数据块（DB1..DB8-j）。图17-17展示了一个包含三个控制块和五个全数据块的513B块。513B区块可包含零至八个控制区块，因此超级区块最多可容纳零至六十四个控制区块。

注1 – GFP封装阶段不生成GFP空闲帧，因此生成的GFP流与FC-1200客户端流保持同步。适配过程执行50/51速率压缩，因此生成的GFP流具有 $50/51 \times 10.51875\ \text{Gbit/s} \pm 100\ \text{ppm}$ （即 $10\ 312\ 500\ \text{kbit/s} \pm 100\ \text{ppm}$ ）。

8800字节GFP帧流通过将每个GFP帧的字节结构与OPU2e有效载荷的字节结构对齐，实现字节同步映射至OPU2e有效载荷（参见图17-16）。在OPU2e有效载荷的第1905至1920列中添加64个固定填充(FS)字节。所有GFP帧具有相同长度（8800字节）。GFP帧不与OPU2e有效载荷结构对齐，可能跨越两个OPU2e帧的边界。

当输入FC-1200信号发生故障（例如输入信号丢失）时，该故障信号将被66B数据块流替代，每个数据块携带两个本地故障序列有序集（符合[b-ANSI INCITS 364]规范）。此替代信号随后在转码过程中应用。

注释2 – 本地故障序列有序集为/K28.4/D0.0/D0.0/D1.0/。66B区块包含以下值：SH=10 0x55 00 00 01 00 00 00 01。

当输入的ODU2e/OPU2e信号发生故障（例如出现ODU2e-AIS、ODU2e-LCK、ODU2e-OCI状态时），系统将生成包含多个66B数据块的序列流，每个数据块携带

两个本地故障序列有序集（如[b-ANSI INCITS 364]所规定），作为丢失FC-1200信号的替代信号。

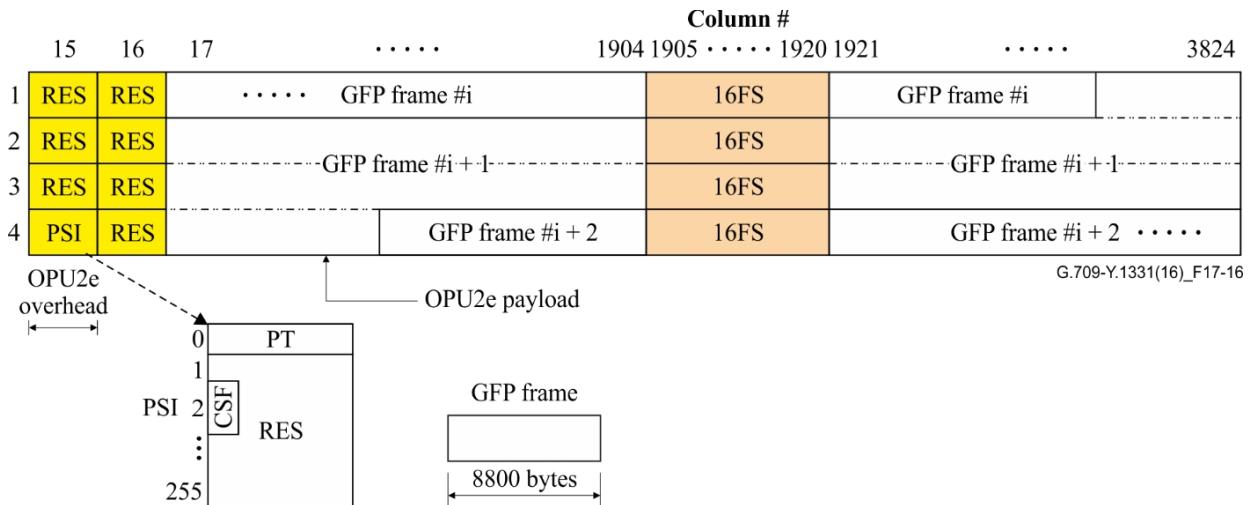


图17-16 – 转码FC-1200至OPU2e的映射关系

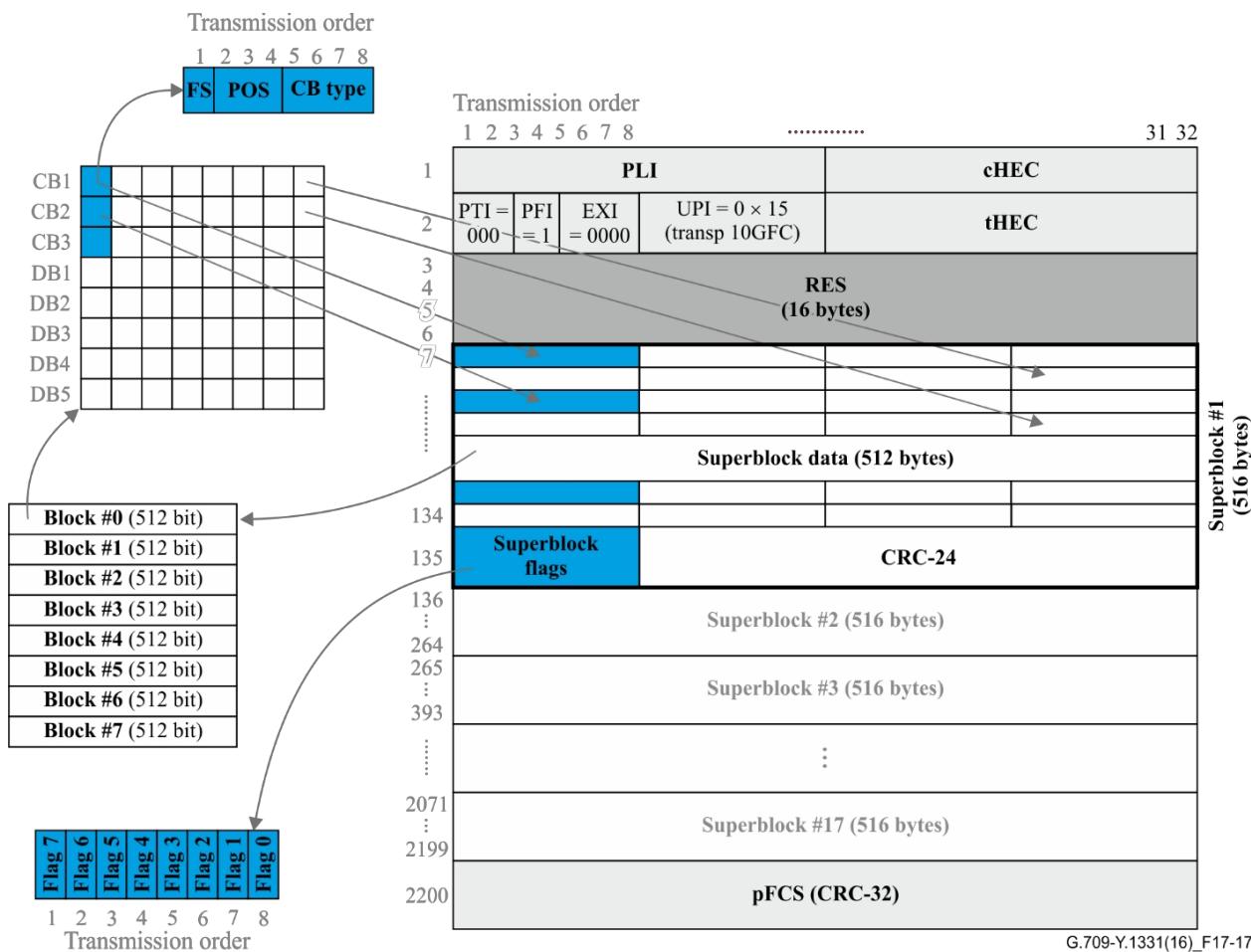


图17-17 – FC-1200的GFP帧格式

GFP帧结构用于协助接收器划分超级块结构。来自八个512字节块的首部标志位被重新定位至512字节超级块数据字段末尾的单个八位字节中（标记为“超级块标志位”）。

为最大限度降低因1至65字节"控制"信息（标志位、FC、POS、CB_Type）错误导致的解码失误风险，需对每个超级块中可能包含此类"控制"信息的65字节数据计算CRC-24校验值，并将其附加至516字节超级块末尾。在516字节超级块中用于计算CRC-24的65个字节为(1+8n)字节，其中n=0..64（即第1、9、17...513字节）。CRC-24的生成多项式为： $G(x) = x^{24} + x^{21} + x^{20} + x^{17}$
 $+ x^{15} + x^{11} + x^9 + x^8 + x^6 + x^5 + x + 1$ ，初始化值为全1，其中 x^{24} 对应最高有效位(MSB)， x^0 对应最低有效位(LSB)。该超级块循环冗余校验(CRC)由源自适应过程通过以下步骤生成：

- 1) 将65个字节的"控制"信息（标志位、POS、CB_Type）按网络字节顺序（参见图17-17）从最高位开始排列，形成520位模式，该模式代表519次多项式 $M(x)$ 的系数。
- 2) 将 $M(x)$ 与 x^{24} 相乘后，取模2除以 $G(x)$ ，得到最高次数不超过23的余数 $R(x)$ 。
- 3) $R(x)$ 的系数被视为24位序列，其中 x^{23} 为最高有效位。
- 4) 经反转后，该24位序列即为CRC-24校验码。

在516字节的超级块中，恰有17个以标准GFP核心和类型头部开头，并带有16字节的"保留"（填充）区域。由于每帧GFP中516字节超级块的数量是预先已知的，该映射方案可采用直通模式（而非存储转发模式）运行，从而最大限度地降低映射延迟。

有效载荷帧校验序列（FCS，采用CRC-32算法）附加于每个GFP帧末尾，其计算依据[ITU-T G.7041]标准，基于GFP帧的有效载荷信息字段进行。负载FCS旨在检测GFP负载信息字段中任意位置发生的比特错误，从而增强了每超区块CRC-24的覆盖范围（后者仅覆盖每个超区块中的"控制"开销）。负载FCS仅用于统计数据收集。

GFP负载区域的所有字节均采用 X^{43+1} 自同步扰码器进行扰码，此过程同样遵循[ITU-T G.7041]规定。

17.9 将超2.488 Gbit/s恒速率信号映射至OPUflex的BMP技术

将超2.488 Gbit/s CBR用户端信号（允许±100 ppm速率容差）映射至OPUflex的过程通过比特同步映射程序（BMP）实现。表17-14规定了本建议书定义的用户端类型。

用于将恒定比特率客户端信号映射至OPUflex的比特同步映射过程不生成任何校准控制信号。

比特同步映射所用的OPUflex时钟源自客户端信号。当输入客户端信号发生故障（例如输入信号丢失时），该故障信号将被替换为表17-15中定义的相应替代信号。OPUflex有效载荷信号的比特率应符合表7-3规定的限值，且须满足[ITU-T G.8251]定义的ODCb时钟限值要求。在此情况下及重新同步输入客户端信号时，均不得引入帧相位不连续性。

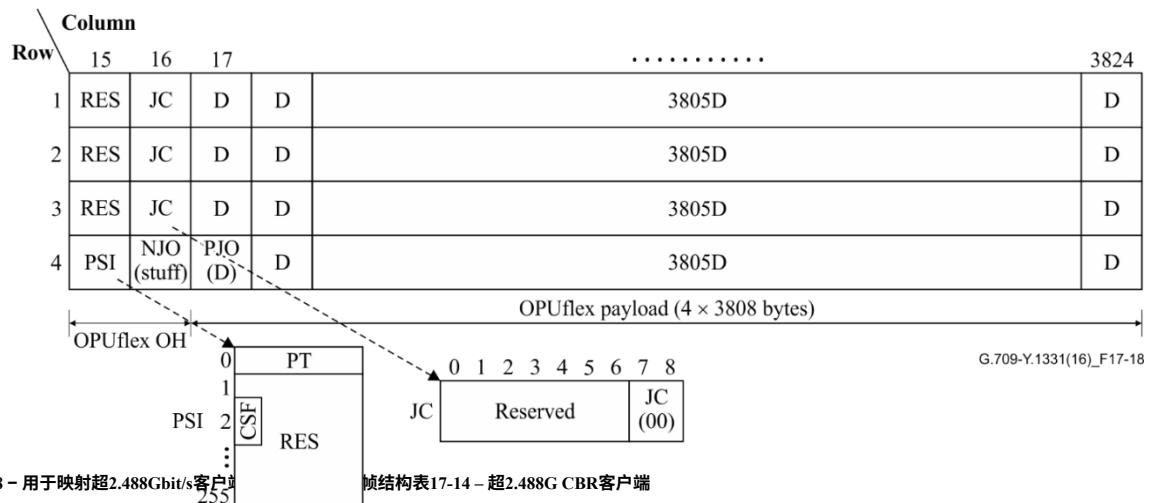
当输入的ODUflex/OPUflex信号发生故障（例如出现ODUflex-AIS、ODUflex-LCK、ODUflex-OCI状态时），故障客户端信号应按表17-15规定替换为相应备用信号。

此映射的OPUflex开销包含：

- 有效载荷结构标识符（PSI）包含表15-9中规定的有效载荷类型（PT）、客户端信号故障（CSF）以及254字节，另加7位保留位用于未来国际标准化（RES）；
- 三个对齐控制字节（JC），包含两个用于对齐控制的固定值00位及六个预留位（用于未来国际标准化）；
- 一个负对齐机会（NJO）字节（携带对齐字节）；以及
- 三个为未来国际标准化保留的字节（RES）。

注——为使通用异步/位同步解映射电路适用于CBR客户信号至ODUk（k=1,2,3及flex）的映射，假定在映射超2.488G CBR客户信号时，OPUflex帧结构中包含JC、NJO和PJO字段（图17-18）。该OPUflex帧结构现与OPUk帧结构兼容，可映射CBR2G5、CBR10G或CBR40G信号（图17-1）。由于CBR信号映射至OPUflex时未进行对齐处理，NJO字段包含填充字节（stuff），PJO字段包含数据字节（D），且JC位固定为00。

该映射的OPUflex有效载荷由 4×3808 字节组成（图17-18）。在BMP控制机制的控制下，客户端信号中连续的八位组（不一定是字节）被映射到OPUflex有效载荷区域的数据（D）字节中。OPUflex有效载荷区域中的每个数据字节携带8位客户端数据。



客户端信号	标称比特率 (kbit/s)	比特率容差 (ppm)
FC-400	4 250 000	± 100
FC-800	8 500 000	± 100
FC-1600	14 025 000	± 100
FC-3200	28 050 000	± 100
IB SDR	2 500 000	± 100
IB 发展援助	5 000 000	± 100
IB QDR	10 000 000	± 100
3G SDI	2 970 000	± 10
3G SDI	2 970 000/1.001	± 10

表 17-15 – 用于超 2.488 Gbit/s 客户端的替代信号

客户端信号	替代信号	比特率容差 (ppm)
FC-400	NOS	±100
FC-800	未指定	±100
FC-1600	NOS	±100
FC-3200	NOS	±100
IB SDR	待进一步研究	±100
IB DDR	供进一步研究	±100
IB QDR	供进一步研究	±100
3G SDI	通用AIS	待进一步研究

17.9.1 FC-400 和 FC-800

当输入的FC-400/FC-800信号发生故障（例如输入信号丢失时），该故障信号将被替换为[b-INCITS 470]中规定的NOS原始序列。

注——NOS基本序列有序集定义为/K28.5/D21.2/D31.5/D5.2/。

当输入的ODUflex信号出现故障（例如发生ODUflex-AIS、ODUflex-LCK或ODUflex-OCI状态时），系统将生成符合[b-INCITS 470]规范的网络操作系统（NOS）基本序列有序集，作为丢失的FC-400/FC-800信号的替代信号。

17.9.2 FC-1600

映射的FC-1600客户端信号特征信息由64B/66B编码块序列构成，标称比特率为14 025 000 kbit/s, ±100 ppm。

若映射器端的FC-1600接口启用了FEC功能，映射器必须恢复FEC码字同步，提取FEC奇偶校验位，执行错误校正，并按[b-INCITS 470]规定将64B/65B区块转码为64B/66B区块。

若解映射器端的FC-1600接口启用FEC功能，则解映射器必须从解映射的CBR信号中恢复66B区块锁定，将64B/66B区块转码为64/65B区块，并按[b-INCITS 470]规范生成及插入FEC奇偶校验位。

注：第4.6版之前设计的FC-1600接口端口可能无法支持FEC终止或64B/65B块的转码。

当输入的FC-1600信号发生信号故障（例如输入信号丢失时），该故障输入的FC-1600信号将被替换为[b-INCITS 470]中规定的NOS原始序列。

当输入的ODUflex信号发生故障（例如出现ODUflex-AIS、ODUflex-LCK或ODUflex-OCI状态时），将生成[b-INCITS 470]中规定的NOS基本序列有序集，作为丢失的FC-1600信号的替代信号。

17.9.3 FC-3200

映射FC-3200客户端信号的特征信息由64B/66B编码块序列构成，标称比特率为28 050 000 kbit/s, ±100 ppm。

映射器必须恢复FEC码字同步，提取FEC奇偶校验位，执行错误纠正，并按[b-INCITS 488]规定将256B/257B区块转码为64B/66B区块。转码器输出端应将不可纠错的FEC码字替换为误码控制区块。

解映射器必须从解映射的CBR信号中恢复66B区块锁定，将64B/66B区块转码为256/257B区块，并按[b-INCITS 488]规范生成及插入FEC奇偶校验位。

当输入的FC-3200信号发生信号故障（例如输入信号丢失时），该故障的输入FC-3200信号将在解码器的输出端被替换为[b-INCITS 488]中规定的NOS原始序列。

当输入的ODUflex信号发生故障（例如出现ODUflex-AIS、ODUflex-LCK、ODUflex-OCI状态时），编码器输入端将生成[b-INCITS 488]中规定的NOS基本序列有序集，作为丢失的FC-3200信号的替代信号。

17.10 分组客户端信号映射至OPUk

当分组客户端信号的聚合带宽小于或等于100 Gbit/s时，按[ITU-T G.7041]规定封装为GFP-F，再按第17.4节和12.2.5节规定映射至OPUk、OPUflex(GFP)或OPUflex(GFP,n,k)。

任意速率的聚合带宽分组客户信号集可呈现为以太网MAC帧流及帧间间隙（参见注释），随后按[IEEE 802.3]表82-5规定进行64B/66B编码。该64B/66B编码的分组客户信号再按条款17.11规定映射至OPUflex(IMP)。

一组聚合带宽超过100 Gbit/s的数据包客户端信号可呈现为（参见注释） $n \times 25$ Gbit/s的以太网MAC帧流及帧间间隙，随后按[IEEE 802.3]规范进行64B/66B编码表82-5转换为FlexE客户端信号[OIF FlexE IA]，再按条款17.11规定映射至OPUflex(IMP,s)。

一组聚合带宽小于或等于100 Gbit/s的数据包客户端信号可呈现为（参见注释）10、25、40、50、75或100 Gbit/s的以太网MAC帧流及帧间间隙，随后按[IEEE 802.3]规定进行64B/66B编码表82-5转换为FlexE客户端信号[OIF FlexE IA]，再按17.11节规定映射至OPUflex(IMP,s)。

注——非以太网数据包客户端在呈现前需封装为以太网MAC帧。封装操作超出本建议书范围。以太网MAC帧封装的数据包客户端可直接呈现。

17.11 使用 IMP 将 64B/66B 编码的分组客户端信号映射至 OPUflex

64B/66B编码的客户端信号比特率可取任意值。详见条款17.10。FlexE客户端信号比特率为 $s \times 5,156,250.000$ kbit/s ± 100 ppm，其中 $s = 2, 8, n \times 5$ ($n \geq 1$)。参见[OIF FlexE IA]。

66B区块流应在速率自适应后、映射至OPUflex前进行扰码。反向操作中，OPUflex信号终止后，66区块流将在传递至分组客户端（如FlexE客户端）层前进行解扰。

应采用生成多项式为 $1+x^{39}+x^{58}$ 的自同步扰码器，该扰码器与第49.2.6节[IEEE 802.3]中规定的扰码器完全一致。为防范虚假66B区块划分（因两个同步头位绕过扰码器），需对66B区块流实施扰码处理。其中：66B码字需复现OTU与ODU帧对齐信号；接口使用的OTU扰码模式与66B码字组合需复现OTU与ODU帧对齐信号。

64B/66B编码数据包客户端（如FlexE客户端）信号（允许 ± 100 ppm速率容差）映射至OPUflex的过程由空闲映射程序（IMP）执行。

— OPUflex(IMP)有效载荷比特率为 X kbit/s ± 100 ppm，其中 X 为可配置比特率且取值不限。ODUflex(IMP)比特率为 $239/238 \times X$ kbit/s ± 100 ppm。

- OPUflex(IMP,s)的有效载荷比特率为 $s \times 5,156,250.000 \text{ kbit/s} \pm 100 \text{ ppm}$, 其中 $s = 2, 8, n \times 5$ ($n \geq 1$)。ODUflex的比特率为 $s \times 239/238 \times 5,156,250.000 \text{ kbit/s} \pm 100 \text{ ppm}$ 。

空闲映射程序采用基于空闲控制字符 (/I) 插入/删除 (依据[IEEE 802.3]第82.2.3.6节) 和/或序列有序集 (/O) 删除 (依据[IEEE 802.3]第82.2.3.9节) 的时钟速率自适应方案。

该映射的OPUflex开销包含:

- 包含表15-9所示负载类型(PT)的负载结构标识符(PSI)、客户端信号故障(CSF)及254字节, 另加7位预留位用于未来国际标准化(RES);
- 七字节未来国际标准化保留字节 (RES)。

该映射的OPUflex有效载荷包含 4×3808 字节 (图17-19)。在IMP控制机制的控制下, 客户端信号的66B乱码块被映射到OPUflex有效载荷区域的66位中。这些66B块经过对齐, 使得同步头部的首位出现在OPUflex有效载荷字节的1、3、5或7位位置之一。

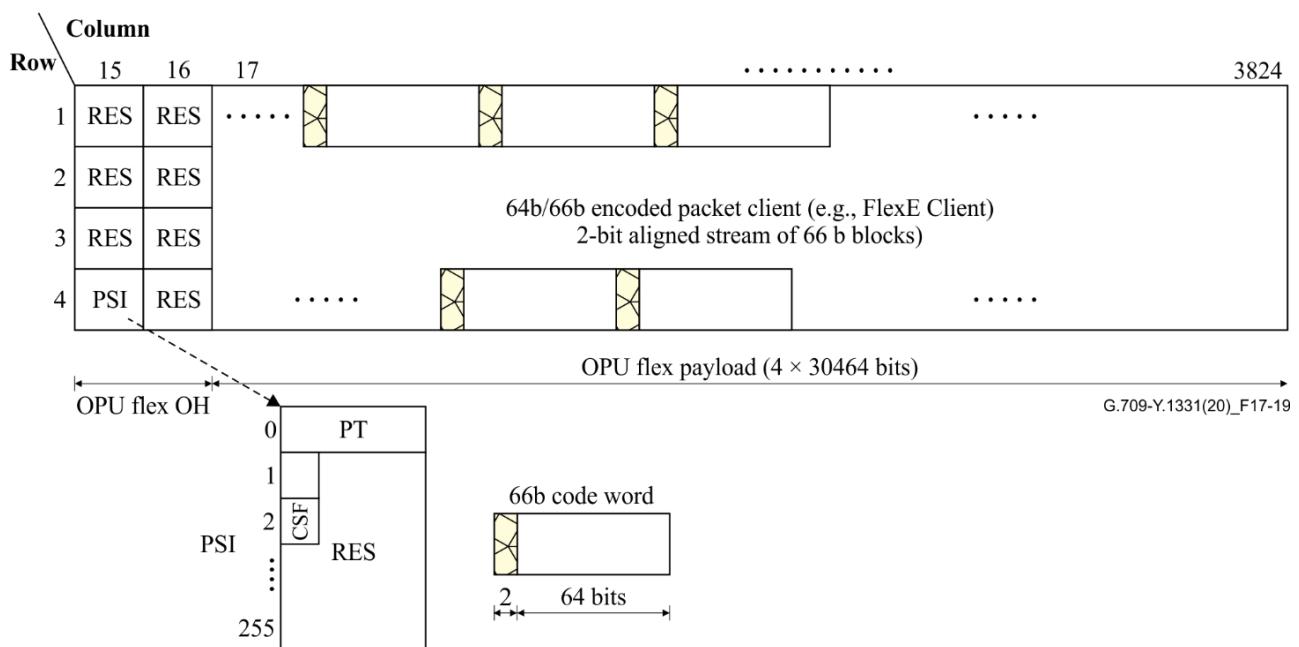


图17-19 – FlexE客户端信号映射的OPUflex帧结构

当输入的64B/66B编码分组客户端信号 (如FlexE客户端) 发生故障 (例如输入信号丢失时), 该故障客户端信号将被66B数据块流替代, 每个数据块携带一套本地故障序列 (遵循[FlexE IA]、[IEEE 802.3]规范) 该替代信号随后映射至OPUflex。

当输入的ODUflex/OPUflex信号出现故障 (例如发生ODUflex-AIS、ODUflex-LCK或ODUflex-OCI状态时), 系统将生成由66B数据块组成的数据流, 每个数据块携带一组本地故障序列指令集 (如[FlexE IA][IEEE 802.3]) 作为丢失客户端信号的替代信号。

注1——采用64B/66B编码的分组客户端 (如FlexE客户端) 信号的本地故障序列有序集为: 66B控制块 (同步头=10), 块类型0x4B, "O"码0x00, 值0x01表示第3通道存在"本地故障", 其余字节 (扰码前) 均设为0x00。

17.12 FlexE感知信号映射至OPUflex

在FlexE感知服务 $(1 \leq p \leq m \leq 252)$ 中， $m \times 100G$ FlexE实例组信号中的100G FlexE实例将按图17-20所示进行压缩、填充与交织处理。由此生成长度为 $1024 \times n$ 块的FlexE部分速率（子）组信号，其中 $n = n_1 + n_2 + \dots + n_p$ ($\text{FlexEp-}n$)：

- $i = 1 \dots p$ 代表按FlexE实例编号升序排列的实例序号。
- n_i ($i = 1 \dots p$) 表示需传输的等效于5G的FlexE日历时隙数量。支持的日历时隙类型为5G或25G。25G日历时隙等效于五个连续的5G日历时隙，因此若需传输 N_{10} 个25G日历时隙，则 $n_i = 5 \times N_{10}$ 。
- 每个FlexE实例的 n_i 值由FlexE部分速率（子）组映射端口与客户设备中的FlexE适配层协商确定。在 p 个FlexE实例中， q 个 ($0 \leq q \leq p$) 实例的 n_i 可设置为20，其余 $p-q$ 个实例的 n_i 则可设置为0、5、10或15。
- 在 $20-n_i$ 5G等效日历时隙中，以太网误码控制块标记为不可用的位位于子日历末尾，由映射器丢弃以降低速率，再由解映射器重新插入以恢复原始速率。
- 通过在每个FlexE实例中，于开销块与首个子日历块之间插入 n_i-1 个填充块，简化了FlexE部分速率（子）组的交错排列。每个填充块的值均为以太网错误控制块。
- p 个OH块按#1、#2至#p顺序交织。 p 个 n_i-1 填充块按#1、#2至#p顺序交织。 p 个子日历块（长度分别为 n_1 、 n_2 至 n_p ）按#1、#2至#p顺序交织。

注1——以太网错误控制块为66字节控制块（同步头=10），块类型为0x1E，其余八个7位字符均设为0x1E。

注2—— $m \times 100G$ FlexE实例组信号中剩余的 $m-p$ 个100G FlexE实例，通过其他ODUCn/OTUCn/OTSiA信号承载的ODUflex信号传输。

注3——FlexEp-n支持的p值和n值（单位为FlexEp-n），以及映射到OPUflex中包含的 $p \times 20$ 个5G等效日历时隙子集，均由供应商决定且超出本建议书的范围。

注释 4 – FlexE 感知服务中的每个 100G FlexE 实例，均是从 100G、200G 或 400G 以太网物理层（PHY）中提取的已配置 100G FlexE 实例。每个 PHY 的首个 FlexE 实例始终处于已配置状态。因此，在基于 $k \times 200GBASE-R$ 物理层设备的FlexE组中，每个物理层设备包含1至2个配备的FlexE实例；而在基于 $k \times 400GBASE-R$ 物理层设备的FlexE组中，每个物理层设备包含1至4个配备的FlexE实例。若200G或400G以太网物理层接口的最后100G FlexE实例未启用，则不属于FlexE（子）组，且不得承载于OPUflex有效载荷。未配置状态通过将FlexE组编号设为全零表示。未配置的FlexE实例在除首个OH区块（使用0x5"0"对齐码的序列集）外的所有区块中携带LF。

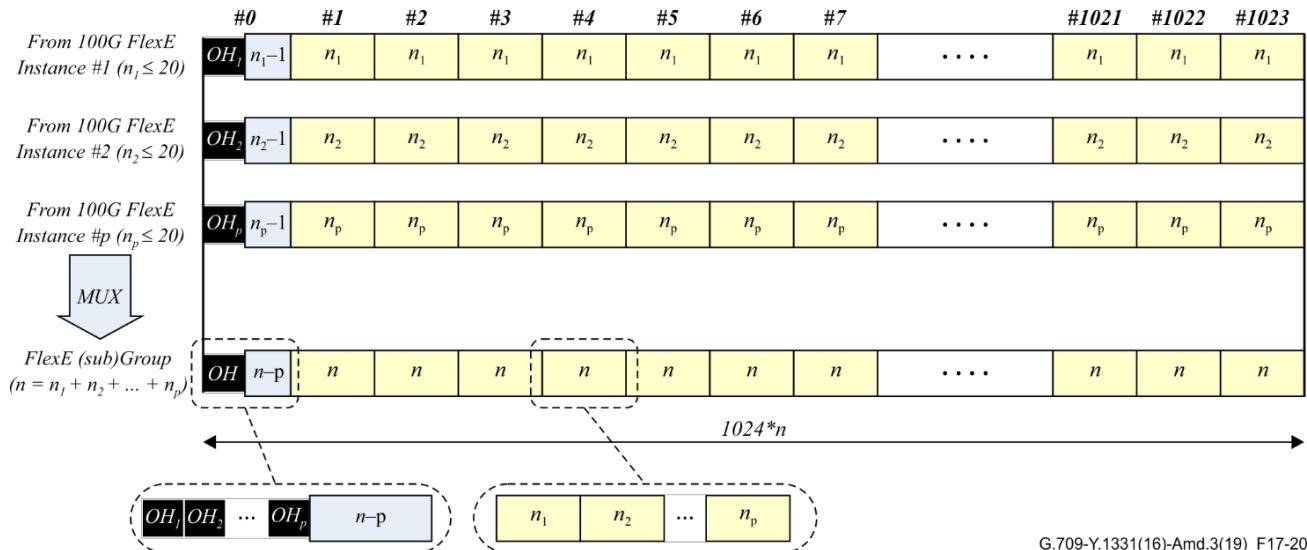


图17-20 – 全速率/部分速率FlexE实例交织

FlexE部分速率（子）组信号的66B块流应在速率自适应后、映射至OPUflex前进行扰码。在反向操作中，OPUflex信号终止后，66B块流将在传递至FlexE解交织、去填充及解畸变处理前进行扰码。

应采用生成多项式为 $1+x^{39}+x^{58}$ 的自同步扰码器，该扰码器与[IEEE 802.3]第49.2.6节规定的扰码器完全一致。66B区块流加扰旨在防范虚假66B区块划分（因两个同步头位通过加扰器）、66B码字复现OTU与ODU帧对齐信号，以及接口中OTU加扰模式与66B码字组合复现OTU与ODU帧对齐信号。

FlexE部分速率（子）组信号（具有 ± 100 ppm的比特率容差）根据下文所述的编码和填充分布映射至OPUflex。OPUflex有效载荷比特率为 $100\text{GE_bit_rate} \times 240/239 \times n/20$ kbit/s ± 100 ppm，其中 $n = n_1 + n_2 + \dots + n_p$ 。ODUflex比特率为 $100\text{GE_bit_rate} \times 240/238 \times n/20$ kbit/s ± 100 ppm。

在发送端，填充以16字节块形式插入，并通过15位西格玛-德尔塔算法系统控制：

$$100\text{GE_速率} \times (16k-1)/16k \times n \times 1024/(1+20 \times 1023) = 100\text{GE_速率} \times n/20 \times 240/238 \times 238/239 \times (4 \times 238-3-s)/(4 \times 238) \rightarrow s = 3373/23384 \quad (\text{分子}=3373, \text{分母}=23384)$$

该编码采用位同步通用映射程序（BGMP）进行填充的分布与编码。GMP以特殊模式运行：Cm值不来自同步器而是通过确定性生成，且 $\sum C_n D$ 未被使用 ($C_n = C_m$)。

如图17-22所示，选取参数 $n=m=128$ （16字节）。由于填充值采用确定性生成，该映射仅使用两个 $C_{128}(t)$ 值（ $C_{128}=948$ 或 949 ）。生成 $C_{128}=949$ （相对于 $C_{128}=948$ ）在源端具有确定性（ $s=3373/23384$ ，15位sigma-delta）。

$C_m(t)$ 通过具有 $s=3373/23384$ 的西格玛-德尔塔 $C_m=948/C_m=949$ 合理化分布确定性生成：

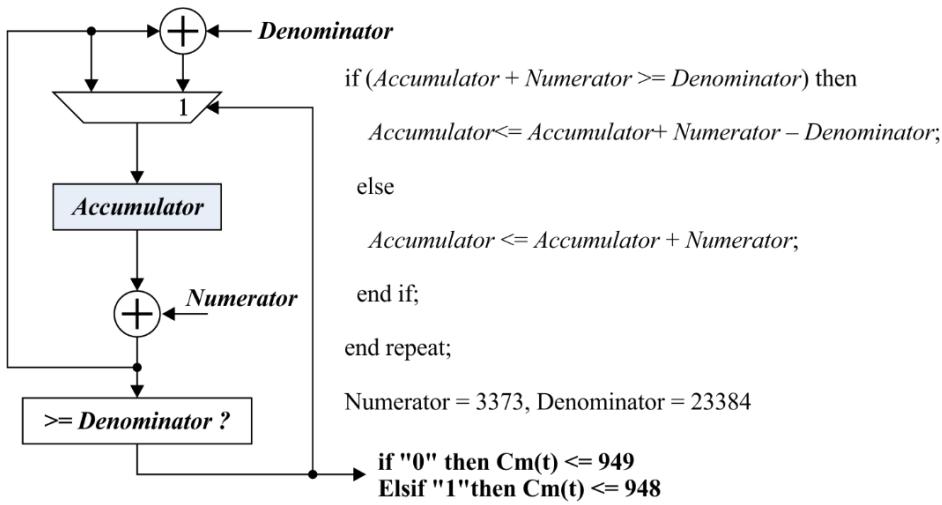
该确定性校准分布（ $C_m(t)=948$ 而非 $C_m(t)=949$ ）遵循如下sigma-delta方程：

$$- C_m(t) = 948 \quad \text{当 } (j \times 3373) \bmod 23384 < 3373 \text{ 时} \quad (17-13)$$

$$C_m(t) = 949 \quad \text{当 } (j \times 3373) \bmod 23384 \geq 3373 \text{ 时}$$

(17-14)

方程(17-13)和(17-14)中的索引‘j’用于枚举23384帧序列中的帧。其计数范围为1至23384。



G.709-Y.1331(16)_F17-21

图17-21 – 用于确定性对齐生成的Sigma-Delta累加器

该映射的OPUflex开销包含：

- 有效载荷结构标识符（PSI），包含表15-9规定的有效载荷类型（PT）、客户端信号故障（CSF）及253个p字节，另加7位预留位（RES）用于未来国际标准化；
- PSI[3]携带p的值
- PSI[4]至PSI[3+p]承载n1至np的数值
- 三个对齐控制字节（JC1、JC2、JC3）承载GMP开销Cm的值；
- 四字节保留位用于未来国际标准化（RES）。

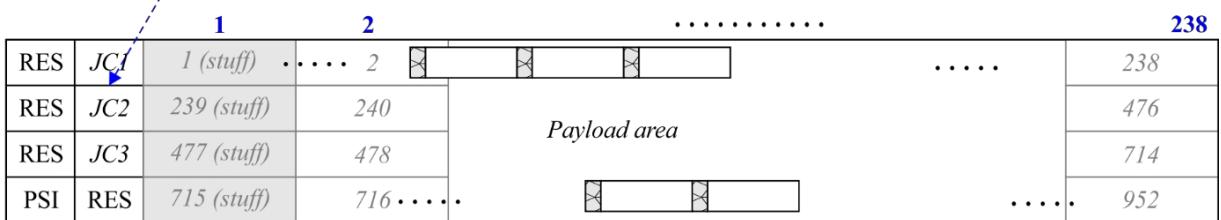
JC1、JC2和JC3字节由14位Cm字段（位C1、C2、…、C14）、1位递增指示符（II）字段、1位递减指示符（DI）字段以及8位CRC-8字段组成，后者包含对JC1、JC2和JC3字段的错误校验码。

该映射的OPUflex有效载荷由4×3808字节构成（图17-22）。有效载荷区域内16字节的区块编号范围为1至952。图17-22展示了GMP 16字节（128位）区块的OPUflex有效载荷字节编号规则。在OPUflex帧的第一行中，首个16字节区块标记为1，次个区块标记为2，依此类推。

在BGMP数据/填充控制机制的控制下，客户端信号中连续的128位组被映射到OPUflex有效载荷区域的16字节块中。当C128=948时，16字节区块#1、#239、#477和#715承载填充位，其余16字节区块承载客户端数据位。当C128=949时，16字节区块#1、#318和#635承载填充位，其余16字节区块承载客户端数据位。填充位均设置为零。

客户端信号的64B/66B加密数据块在BGMP控制机制的管控下，跳过16字节填充区块，映射至OPUflex有效载荷区域的66位空间。66B区块对齐方式确保同步头首比特出现在OPUflex有效载荷字节的第1、3、5或7位位置。

$C_m = C_{128} = 948$, $\sum C_{nD}$ unused (e.g., $n = m = 128$)



$C_m = C_{128} = 949$, $\sum C_{nD}$ unused (e.g., $n = m = 128$)

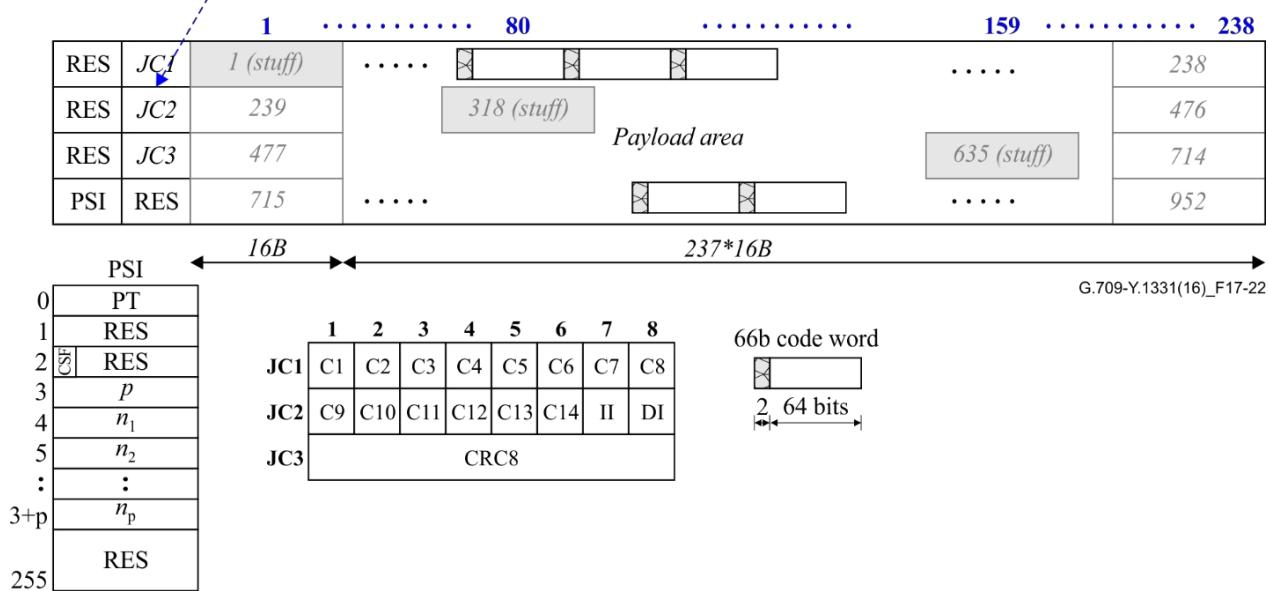


图 17-22——通过确定性填充和使用 GMP 编码将组合的 FlexE 流映射到 ODUflex

当入站配备的100G FlexE实例发生信号故障时（例如，承载该100G FlexE实例的100G/200G/400G输入物理层信号丢失，或FlexE本地故障），该故障的入站100G FlexE实例及其p-1个其他100G FlexE实例均不会映射至OPUflex的有效载荷中。取而代之的是，OPUflex有效载荷将填充填充块、携带本地故障序列有序集的66B块，且OPU CSF位将设置为"1"。OPUflex时钟由本地时钟派生。OPUflex有效载荷信号速率须符合表7-3限定值及[ITU-T G.8251]定义的ODCb限制，且在此情形下及对入站客户信号重新同步时，不得引入帧相位不连续性。

当输入的ODUflex/OPUflex信号出现故障（例如ODUflex-AIS、ODUflex-LCK、ODUflex-OCI状态）或OPUflex开销中出现CSF状态时，将生成66个B块流（每个块携带一个本地故障序列有序集），作为每个丢失的FlexE信号的替代信号。

注释4 – FlexE实例本地故障序列有序集是一个66B控制块（同步头 = 10），其块类型为0x4B，“O”代码为0x00，值为0x01以指示第3通道存在“本地故障”，其余所有字节（在扰码前）均等于0x00。

17.13 将64B/66B PCS编码信号映射至OPUflex时采用BMP及66B码字2位对齐技术

将64B/66B PCS编码（xGBASE-R）客户端信号（允许 ± 100 ppm比特率容差）映射至OPUflex采用比特同步映射程序（BMP）。表17-16规定了本建议书定义的客户端类型。

用于将恒定比特率客户端信号映射至OPUflex的比特同步映射过程不会生成任何校准控制信号。

xGBASE-R客户端信号的66B块流在映射至OPUflex前应进行扰码处理。在反向操作中，OPUflex信号终止后，66块流将从OPUflex解映射后进行解扰处理。

应采用生成多项式为 $1+x^{39}+x^{58}$ 的自同步扰码器，该扰码器与[IEEE 802.3]条款49.2.6中规定的扰码器完全一致。66B区块流加扰旨在防范虚假66B区块划分（因两个同步头位可绕过加扰器），同时实现以下功能：66B码字复现OTU/ODU帧对齐信号，以及结合OTU加扰模式的66B码字在接口上复现OTU/ODU帧对齐信号。

用于比特同步映射的OPUflex时钟源自客户端信号。当输入客户端信号出现故障（例如输入信号丢失）时，该故障信号将被替换为表17-17中定义的相应替代信号。OPUflex有效载荷信号的比特率应符合表7-3规定的限值及[ITU-T G.8251]定义的限值，在此情况下及当基于输入客户端信号重新同步时，不得引入帧相位不连续性。

当接收端ODUflex/OPUflex信号发生故障（例如出现ODUflex-AIS、ODUflex-LCK、ODUflex-OCI状态时），故障客户端信号将被替换为表17-17中定义的相应替代信号。

此映射的OPUflex开销包含：

- 包含有效载荷类型（PT）的有效载荷结构标识符（PSI），该类型按表15-9规定；客户端信号故障（CSF）标识符；以及254字节加7位未来国际标准化保留位（RES）；
- 七字节保留用于未来国际标准化（RES）。

该映射的OPUflex有效载荷区域由 4×3808 字节组成（参见图17-23）。客户端信号的64B/66B编码块被映射至OPUflex有效载荷区域的66位中。66B编码块经过对齐处理，确保同步头部的首位出现在OPUflex有效载荷字节的第1、3、5或7位位置之一。

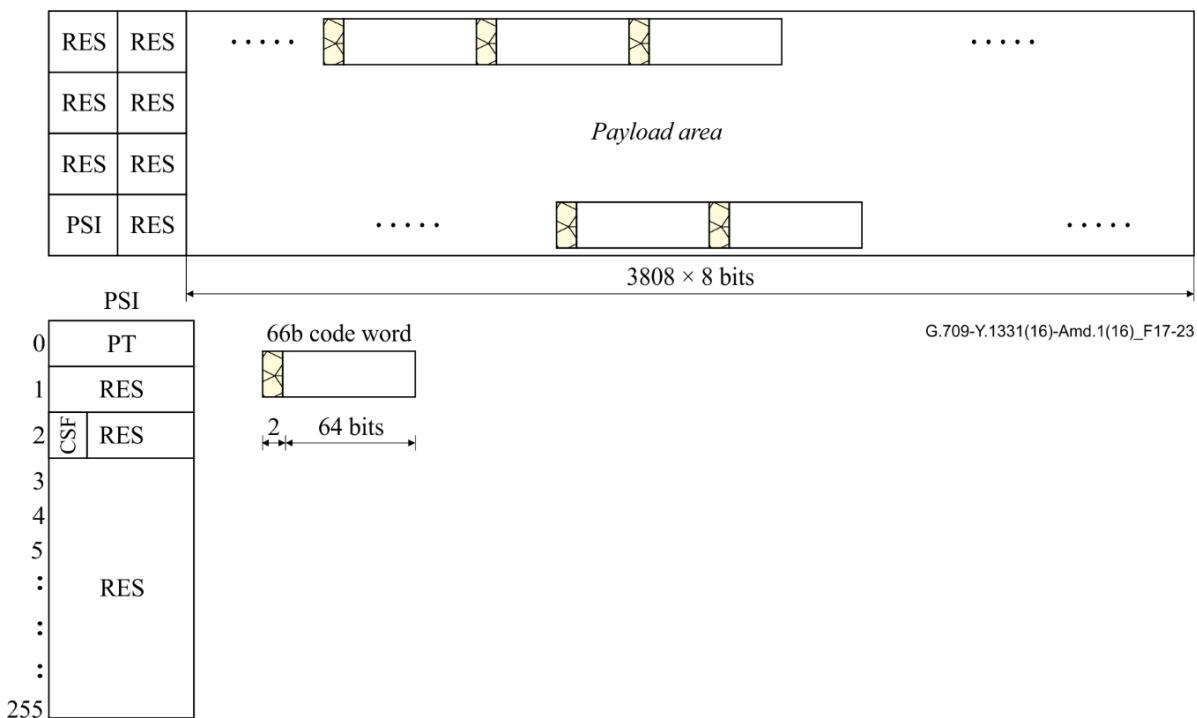


图17-23 – 采用2位对齐的64B/66B PCS客户端信号映射至OPUnflex帧结构

表17-16 – Supra-2.488G CBR客户端

客户端信号	标称比特率 (kbit/s)	比特率容差 (ppm)
25GBASE-R	25 781 250	± 100
50GBASE-R	51 562 500	± 100
200GBASE-R (注)	206 250 000	± 100
400GBASE-R (注)	412 500 000	± 100

注 – 这些信号代表速率适配的64B/66B编码信号，包含RC块。

表 17-17 – 适用于超 2.488 Gbit/s 客户端的替代信号

客户端信号	替代信号	比特率容差 (ppm)
25GBASE-R	LF (注1)	± 100
50GBASE-R	LF (注3)	± 100
200GBASE-R	LF (注2)	± 100
400GBASE-R	LF (注2)	± 100

注1 – 25GBASE-R信号的替代信号为连续流的66B编码与扰码低频序列有序集，其编码遵循[IEEE 802.3]图49-7规范（采用控制块类型0x55，每66B块包含两个有序集），扰码则依据[IEEE 802.3]第49.2.6条款执行。注2——200GBASE-R和400GBASE-R信号的替代信号为

注2 – 200GBASE-R和400GBASE-R信号的替代信号为连续流的LF序列有序集，采用控制块类型0x4B按[IEEE 802.3]图82-5编码。在映射方向上，该流将执行RC块插入操作；而在解映射方向上，该流将执行257B转码加调制插入操作，随后对这些信号进行扰码。

注3——50GBASE-R信号的替代信号为连续流，包含66B编码且经扰乱的LF序列有序集，其编码遵循[IEEE 802.3]图82-5采用控制块类型0x4B，每20479×4个66位块后插入4个PCS通道对齐标记，并按[IEEE 802.3]第49.2.6节进行扰码。

17.13.1 25GBASE-R

该信号的映射格式为[IEEE 802.3]第107节定义的25GBASE-R PCS子层，其比特流以25.78125 Gb/s的信号速率传输，由64B/66B编码块构成。

25GBASE-R物理层可采用三种工作模式：无FEC、BASE-R FEC或RS FEC。其中仅RS FEC模式适用于光物理层，而背板及铜缆物理层可任选三种模式，具体模式通过物理链路端点间的自动协商确定。

无FEC模式在物理层采用与PCS相同的格式传输比特：以25.78125 Gb/s ± 100 ppm速率连续传输64B/66B编码块流。

在BASE-R前向纠错（FEC）工作模式下，信号根据[IEEE 802.3]第74条采用缩短的循环码（2112,2080）进行编码。该编码从每个32个66B数据块中移除冗余的同步头位，并添加32位奇偶校验位，从而生成2112位的FEC码字。映射器采用[IEEE 802.3]第73节所述的“搜索与测试”算法对FEC进行帧化。经错误校正后，移除FEC奇偶校验位，并恢复第二个同步头位，最终生成映射至OPUflex的66B数据块流。解映射器从每个66字节区块中移除冗余同步头位，并在每组32个区块（即65字节区块）中添加32位奇偶校验位。由于该过程在FEC编码与解码时添加和移除的位数相同，此映射过程具有时序透明性。

在RS FEC工作模式下，信号根据[IEEE 802.3]第108条款进行编码，采用基于10位符号的Reed-Solomon(528,514)纠错码。来自PCS的每组四个66B数据块被转码为257B数据块。二十个257B数据块（5140比特）与140比特FEC校验位（14个FEC符号）组合，生成5280比特的FEC码字。为对齐比特流，每1024个FEC码字的首257位插入257位码字标记（CWM），同时从PCS中删除足够的闲置比特以容纳CWM，且保持与PCS相同的比特率。映射器将逆向执行此过程：在比特流中定位CWM，解码FEC并纠错，移除CWM，将257B转码为64B/66B，并按[IEEE 802.3]第108条接收方向数据流规范插入空闲比特以维持比特率。解映射器将移除闲置区以容纳CWM（保持比特率），转码为257B，并按[IEEE 802.3]第108条所述的传输方向数据流，为每组二十个257B数据块添加FEC奇偶校验。该过程保持客户端信号的时序特性，此映射具有时序透明性。

17.13.2 200GBASE-R 和 400GBASE-R

经适配与映射的200GBASE-R或400GBASE-R客户端信号特征信息包含：64B/66B编码块的扰码序列，标称比特率为X kbit/s ± 100 ppm。

映射器应首先恢复200GBASE-R或400GBASE-R客户端数据流（即OTN参考信号），该信号遵循[IEEE 802.3]第119.2.5.7节规定的64B/66B编码块序列，其比特率为 $(528/544 \times 20479/20480 \times Y \text{ kbit/s}) \pm 100$ ppm。

注1 – Y kbit/s为聚合200GBASE-R或400GBASE-R PCS信号的标称比特率，该信号由8或16条采用256B/257B编码及前向纠错（FEC）的PCS通道组成，服务于PMA接口。

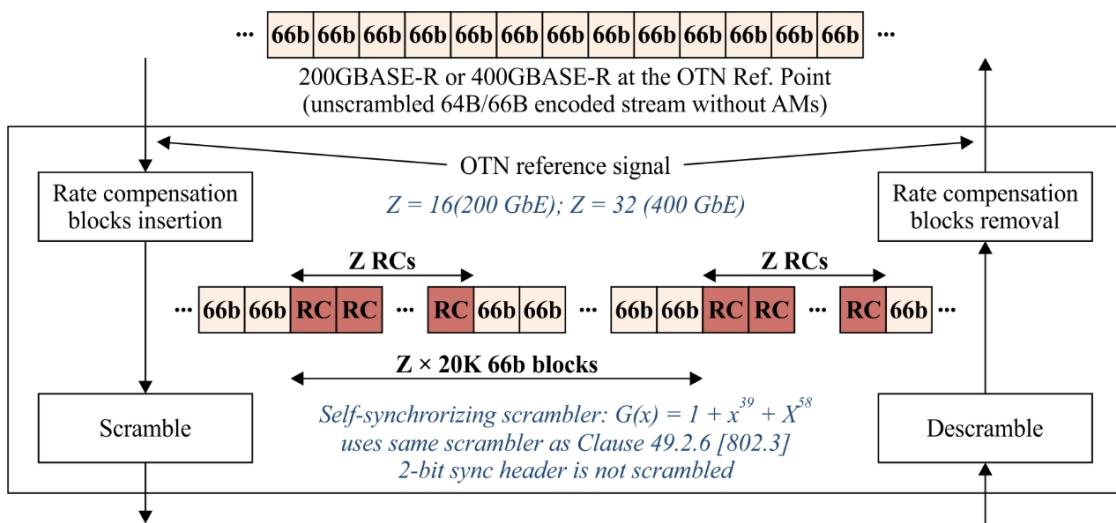
表 17-18 – X、Y 和 Z 参数值

参数	200GBASE-R	400G BASE-R
X	206 250 000	412 500 000
Y	212 500 000	425 000 000
Z	16	32

针对200GBASE-R或400G BASE-R OTN参考信号（采用64B/66B编码、未解扰且不含对齐标记）的客户端数据流，需通过附件J所述流程进行恢复，该流程适用于并行256B/257B接口。物理接口通道在必要时进行位解交织，生成八或十六路26 562 500 kbit/s数据流。各PCS通道均需捕获通道对齐标记锁定，以实现通道去偏移与重排序，并通过解交织完成FEC码字同步与误码纠正。映射器应提取FEC奇偶校验位与对齐标记，执行解扰操作并将256B/257B区块转码为64B/66B区块。转码器输出端将不可纠错的FEC码字替换为误码控制区块。

随后，针对200GBASE-R或400GBASE-R OTN参考信号（或信号故障时的替代流），通过每隔($Z \times 20479$)个客户端数据块插入Z个速率补偿(RC)块实现速率补偿（图17-24）。经补偿的64B/66B客户端数据流名义比特率为 $[528/544 \times Y \text{ kbit/s}] = X \text{ kbit/s} \pm 100 \text{ ppm}$ 。该数据流须在速率补偿后、映射至OPUflex前进行扰码处理。

在反向操作中，当OPUflex信号终止后，解映射器必须从解映射的CBR信号中恢复66B区块锁定，对64B/66B客户端流进行解扰，并移除速率补偿区块，以获取符合[IEEE 802.3]条款119.2.4.1规定的OTN参考信号下的200GBASE-R或400GBASE-R客户端流。



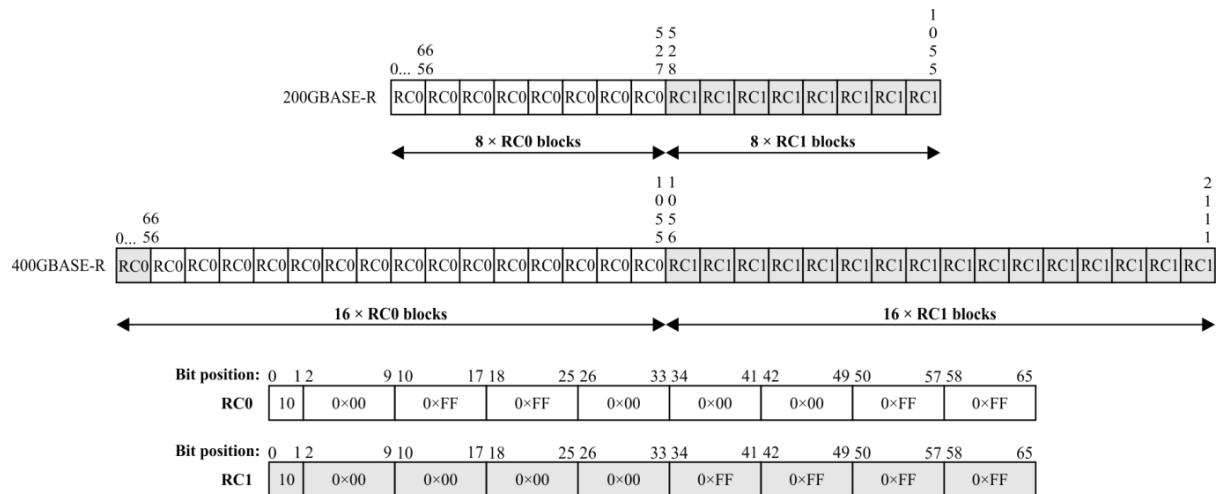
G.709-Y.1331(16)-Amd.2(18)_F17-24

图17-24 – 适用于OPUflex映射的xGBASE-R (x=200,400) 客户端信号适配方案

随后可执行64B/66B块至256/257B块的转码与扰码操作。如附录J所述，可在200GBASE-R或400GBASE-R PCS通道分配前插入对齐标记与FEC奇偶校验位，并在PMA接口处按需进行物理通道交织。

速率补偿块(RC)采用特殊定义的66位块形式，带有控制块同步头。如图17-25所示，前Z/2个RC块携带RC0值，后Z/2个RC块携带RC1值。

注2 – RC块（RC0或RC1）的值经过选择，确保其与任何已定义的控制块都不匹配。位于与块类型字段相同位置的8位（如图17-25所示的第2至9位）携带未使用值0x00，仍保持与已定义及使用块类型的4位汉明距离。在接收端，可通过简单对齐过程在RC0和RC1位及块的子集上搜索RC模式。

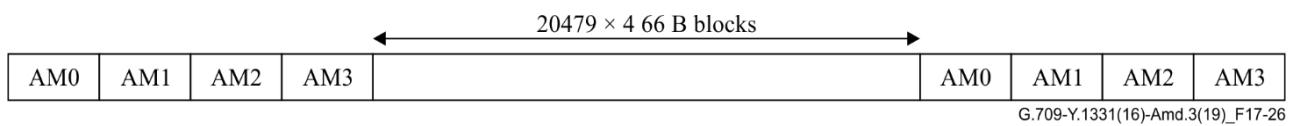


G.709-Y.1331(16)-Amd.2(18)_F17-25

图17-25 – 200GBASE-R与400GBASE-R映射的速率补偿块格式

17.13.3 50GBASE-R

该信号的映射格式为[IEEE 802.3cd]第133节定义的50GBASE-R PCS子层。50GBASE-R信号（采用64B/66B编码，标称总比特率为 $51\ 562\ 500\ kbit/s \pm 100\ ppm$ ，含对齐标记）通过以下过程恢复：在50GBASE-R子层基准点上，对四条PCS通道分别捕获块锁定与通道对齐标记，其比特流速率为 $12\ 890\ 625\ kbit/s$ ，从而实现66B数据块的去偏移与重新排序。四条PCS通道经串行化处理后，其对应的对齐标记依次出现。图17-26展示了映射至ODUflex的66B块序列。



G.709-Y.1331(16)-Amd.3(19)_F17-26

图17-26 – 50GBASE-R中映射至ODUflex的66B块顺序

ODUflex的有效载荷标称速率为 $51\ 562\ 500\ kbit/s \pm 100ppm$ ，该值精确对应单通道FEC编码信号 $53\ 125\ 000\ kbit/s$ 比特率的33/34比例。为实现比特同步映射至ODUflex，其速率为50G以太网信号物理线路速率的 $7887/8092$ 倍，即 $7887/8092 \times 53\ 125\ 000\ kbit/s$ 。

在映射器中，接收到的以太网PCS通道BIP可作为非侵入式监控器与预期以太网PCS通道BIP进行比对。

解映射器将直接传递来自输入端的PCS通道BIP。此外，接收到的以太网PCS通道BIP可作为非侵入式监控机制，与预期值进行比对。

解映射器将根据图82-10[IEEE 802.3]中的状态图，从BMP处理器的64B/66B块锁输出中恢复。66B块通过循环调度重新分配至四个PCS通道，这四个PCS通道在PCS层的50GBASE-R出口参考点呈现。

18 空白条款

本条款特意留空。

19 ODUj信号映射至ODTU信号及ODTU映射至OPUk支路时隙

本条款规定以下复用操作：

- ODU0映射至OPU1、ODU1映射至OPU2、ODU1与ODU2映射至OPU3，采用客户端/服务器特定的异步映射程序（AMP）；
- 通过客户端无关的通用映射程序（GMP）将其他ODUj映射至OPUk。该ODUj至OPUk复用过程分为两步：
 - 1) 通过AMP或GMP将ODUj异步映射至光数据支路单元（ODTU）或通用映射程序（GMP）进行异步映射；
 - 2) 将ODTU映射至一个或多个OPUk分支槽的字节同步映射。

19.1 OPUk分支槽定义

OPUk被划分为若干支路时隙（TS），这些支路时隙在OPUk内部进行交织。每个支路时隙包含OPUk管理开销区的一部分及OPUk有效载荷区的一部分。ODUj帧的字节映射到ODTU有效载荷区域，而ODTU字节则映射到OPUk的一个或多个支路插槽。ODTU对齐开销的字节映射到OPUk开销区域。

支路时隙分为两类：

- 1) 带宽约为2.5Gbit/s的支路时隙：OPUk被划分为n个支路时隙，编号为1至n。
- 2) 带宽约为1.25 Gbit/s的支路槽；一个OPUk被划分为2n个支路槽，编号为1至2n。

OPU2和OPU3接口端口在支持1.25 Gbit/s支路插槽的同时，还必须支持2.5 Gbit/s支路插槽模式，以便与仅支持2.5G支路插槽模式的接口端口互操作（即符合本建议书早期版本要求的接口端口：在1.25G支路插槽定义出台之前）。在2.5G支路插槽模式下运行时，1.25G支路插槽“i”和“i+n”（i=1至n，n=4（OPU2）和n=16（OPU3））将作为单个2.5G支路插槽工作。

19.1.1 OPU2支路插槽分配

图19-1展示了OPU2的2.5G支路插槽分配与1.25G支路插槽分配。OPU2可划分为四个编号为1至4的2.5G支路插槽，或八个编号为1至8的1.25G支路插槽。

- OPU2的2.5G分支插槽占用OPU2有效载荷区域的25%。其结构为952列×16行（4×4）的矩阵（参见图19-1和图19-7），外加分支插槽开销（TSOH）。四个OPU2 TS在OPU2有效载荷区采用字节交织方式，而四个OPU2 TSOH则在OPU2开销区采用帧交织方式。
- OPU2 1.25G支路槽位占用OPU2有效载荷区域的12.5%。其结构为476列×32行（8×4）的矩阵（参见图19-1和图19-7），外加支路槽位开销（TSOH）。八个OPU2 TS在OPU2有效载荷区采用字节交织，八个OPU2 TSOH在OPU2开销区采用帧交织。

如图19-1所示，一个OPU2 2.5G支路插槽“i”（i=1,2,3,4）由两个OPU2 1.25G支路插槽“i”和“i+4”提供。

OPU2支路插槽的支路插槽开销(TSOH)位于OPU2帧的第16列加第15列，第1、2和3行。

2.5G支路插槽的TSOH每4帧可获取一次。此分配采用4帧多帧结构，该结构锁定于MFAS字节的第7位和第8位（如表19-1和图19-1所示）。

1.25G支路插槽的TSOH每8帧提供一次。该分配采用8帧多帧结构，该多帧结构锁定于MFAS字节的第6、7、8位，详见表19-1和图19-1。

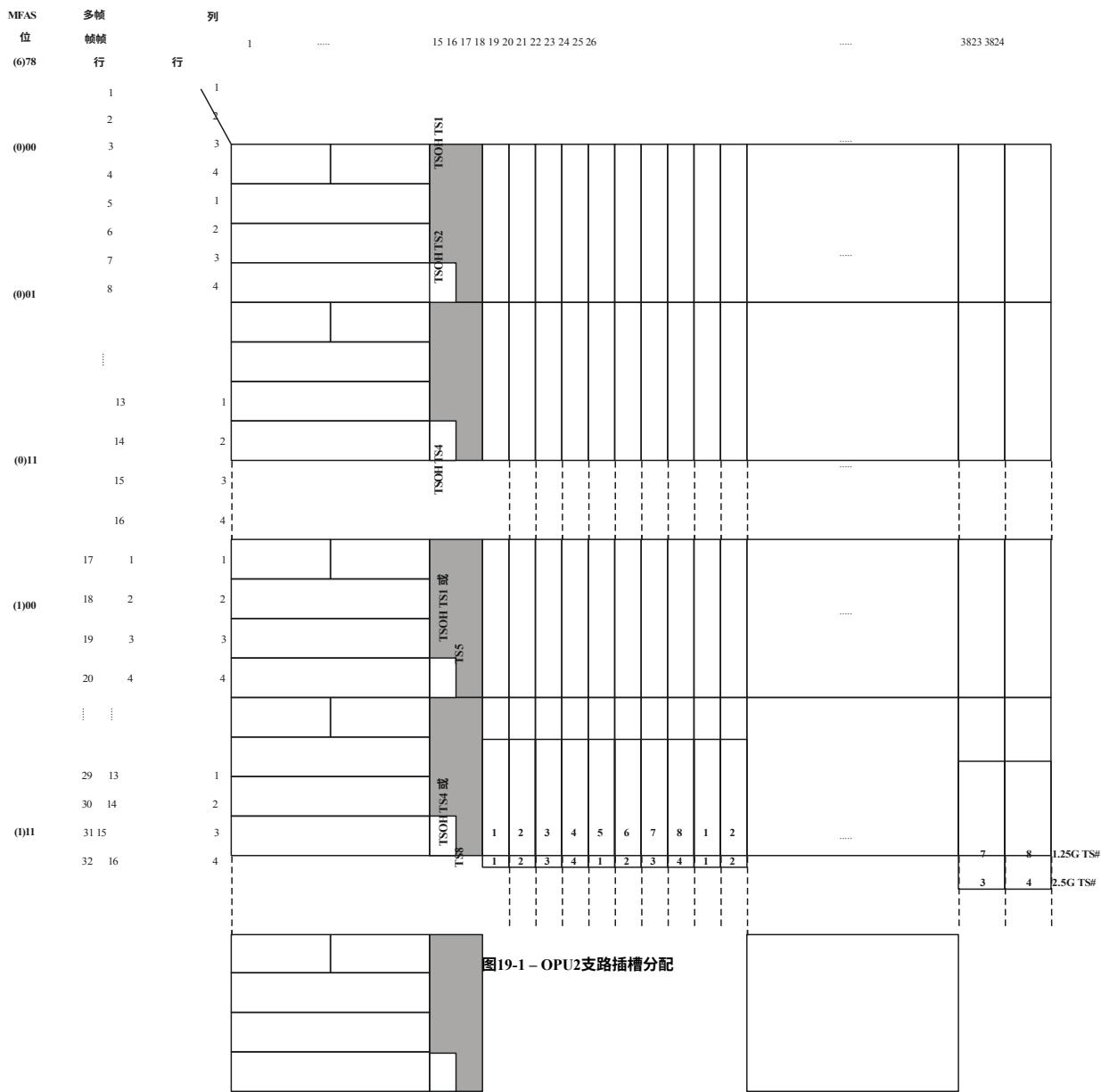


图19-1 – OPU2支路插槽分配

表 19-1 – OPU2 支路插槽 OH 分配

MFAS 位 7 8	TSOH 2.5G TS	MFAS 位 6 7 8	TSOH 1.25G TS
0 0	1	0 0 0	1
0 1	2	0 0 1	2
1 0	3	0 1 0	3
1 1	4	0 1 1	4
		1 0 0	5
		1 0 1	6
		1 1 0	7
		1 1 1	8

19.1.2 OPU3 支路插槽分配

图19-2展示了OPU3的2.5G支路插槽分配与1.25G支路插槽分配。一个OPU3可划分为十六个编号为1至16的2.5G支路插槽，或三十二个编号为1至32的1.25G支路插槽。

- OPU3 2.5G支路插槽占用OPU3有效载荷区域的6.25%。其结构为238列×64行（16×4）（参见图19-2和图19-8），另含支路插槽开销（TSOH）。十六个OPU3 2.5G子通道在OPU3有效载荷区采用字节交织方式排列，而十六个OPU3子通道开销区则在OPU3开销区采用帧交织方式排列。
- 一个OPU3 1.25G支路插槽占用OPU3有效载荷区域的3.125%。该结构包含119列×128行（32×4）（参见图19-2和图19-8），外加支路插槽开销（TSOH）。三十二个OPU3 1.25G子通道在OPU3有效载荷区采用字节交织方式排列，而三十二个OPU3子通道开销区则在OPU3开销区采用帧交织方式排列。

如图19-2所示，OPU3 2.5G支路槽位“i”（i=1,2,...16）由两个OPU3 1.25G支路槽位“i”和“i+16”共同构成。

OPU3支路插槽的支路插槽开销（TSOH）位于OPU3帧的第16列加第15列、第1行、第2行和第3行。

2.5G支路插槽的TSOH每16帧可用一次。此分配采用16帧多帧结构，该结构锁定于MFAS字节的第5、6、7、8位（参见表19-2及图19-2）。

1.25G子通道插槽的TSOH值每32帧可获取一次。为此分配采用32帧多帧结构。该多帧结构锁定在MFAS字节的第4、5、6、7和8位，如表19-2和图19-2所示。

图19-2 OPU3支路插槽分配

表 19-2 – OPU3 支路插槽 OH 分配

MFAS位5 6 7 8	TSOH 2.5G TS	MFAS位 4 5 6 7 8	TSOH 1.25G TS	MFAS 位 4 5 6 7 8	TSOH 1.25G TS
0 0 0 0	1	0 0 0 0 0	1	1 0 0 0 0	17
0 0 0 1	2	0 0 0 0 1	2	1 0 0 0 1	18
0 0 1 0	3	0 0 0 1 0	3	1 0 0 1 0	19
0 0 1 1	4	0 0 0 1 1	4	1 0 0 1 1	20
0 1 0 0	5	0 0 1 0 0	5	1 0 1 0 0	21
0 1 0 1	6	0 0 1 0 1	6	1 0 1 0 1	22
0 1 1 0	7	0 0 1 1 0	7	1 0 1 1 0	23
0 1 1 1	8	0 0 1 1 1	8	1 0 1 1 1	24
1 0 0 0	9	0 1 0 0 0	9	1 1 0 0 0	25
1 0 0 1	10	0 1 0 0 1	10	1 1 0 0 1	26
1 0 1 0	11	0 1 0 1 0	11	1 1 0 1 0	27
1 0 1 1	12	0 1 0 1 1	12	1 1 0 1 1	28
1 1 0 0	13	0 1 1 0 0	13	1 1 1 0 0	29
1 1 0 1	14	0 1 1 0 1	14	1 1 1 0 1	30
1 1 1 0	15	0 1 1 1 0	15	1 1 1 1 0	31
1 1 1 1	16	0 1 1 1 1	16	1 1 1 1 1	32

19.1.3 OPU1 支路插槽分配

图19-3展示了OPU1的1.25G支路插槽分配。一个OPU1被划分为两个编号为1至2的1.25G支路插槽。

- OPU1 1.25G支路插槽占用OPU1有效载荷区域的50%。其结构为1904列×8行（ 2×4 ）（见图19-3），外加支路插槽开销（TSOH）。两个OPU1 1.25G分支槽在OPU1有效载荷区采用字节交织方式，两个OPU1分支槽开销在OPU1开销区采用帧交织方式。

OPU1支路插槽的支路插槽开销(TSOH)位于OPU1帧的第16列加第15列，第1、2和3行。

1.25G分支插槽的TSOH每2帧可用一次。此分配采用2帧多帧结构，该结构锁定于MFAS字节的第8位（如表19-3和图19-3所示）。

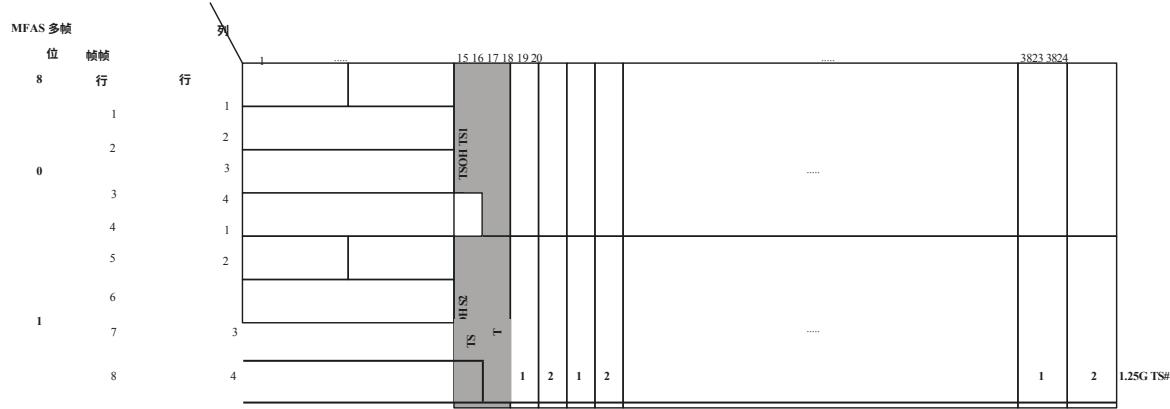


图19-3 – OPU1支路插槽分配

表 19-3 – OPU1 支路插槽 OH 分配

MFAS 位 8	TSOH 1.25G TS
0	1
1	2

19.1.4 OPU4 支路插槽分配

图19-4A和图19-4B展示了OPU4的1.25G支路插槽分配。OPU4被划分为八十一个1.25G支路插槽（编号1至80），这些插槽位于第17至3816列，另有8列固定数据区位于第3817至3824列。OPU4帧结构可表示为：

320行×3810列格式（图19-4A）和160行×7620列格式（图19-4B）。

– OPU4 1.25G支路插槽占用OPU4有效载荷区域的1.247%。其结构包含95列×160行（80×4/2）（参见图19-4B）以及支路插槽开销（TSOH）。八十一个OPU4 1.25G分支通道在OPU4有效载荷区采用字节交错排列，而八十一个OPU4分支通道开销区则在OPU4开销区采用帧交错排列。

OPU4支路槽的支路槽开销（TSOH）位于OPU4帧的第1至3行、第15和16列。

1.25G支路时隙的TSOH每80帧出现一次。此分配采用80帧多帧结构，该结构锁定在OMFI字节的第2、3、4、5、6、7、8位（如表19-4所示）。

图 19-4A – OPU4 1.25G 支路插槽分配

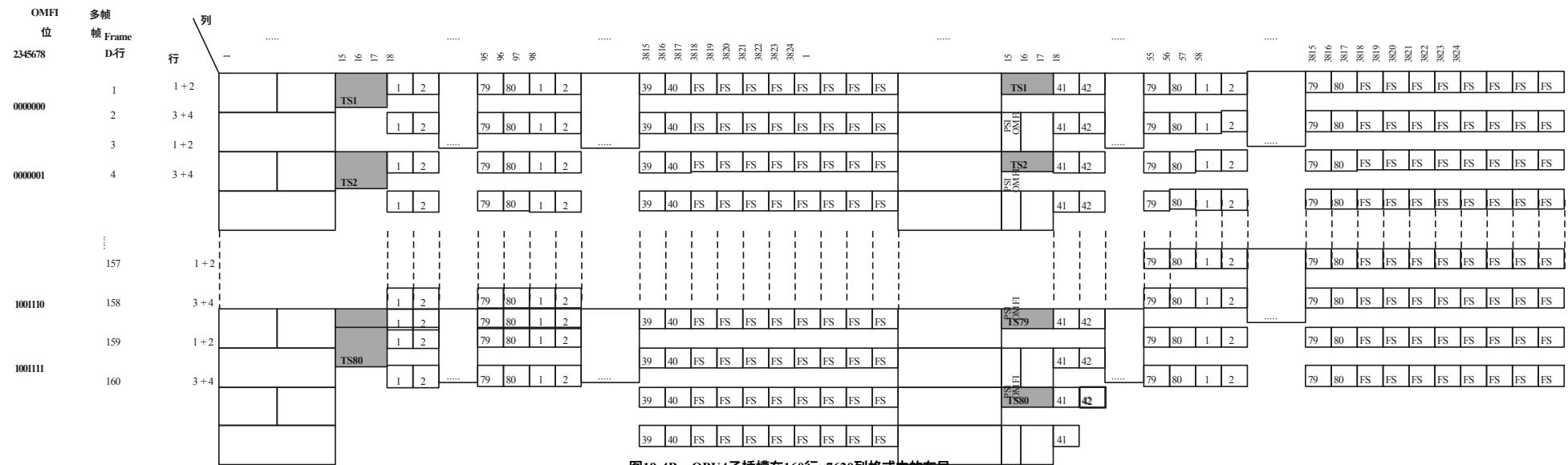


图19-4B – OPU4子插槽在160行×7620列格式中的布局

表 19-4 – OPU4 支路插槽 OH 分配

OMFI位 2 3 4 5 6 7 8	TSOH 1.25G TS	OMFI位 2 3 4 5 6 7 8	TSOH 1.25G TS	OMFI位 2 3 4 5 6 7 8	TSOH 1.25G TS	OMFI位 2 3 4 5 6 7 8	TSOH 1.25G TS
0 0 0 0 0 0 0	1	0 0 1 0 1 0 0	21	0 1 0 1 0 0 0	41	0 1 1 1 1 0 0	61
0 0 0 0 0 0 1	2	0 0 1 0 1 0 1	22	0 1 0 1 0 0 1	42	0 1 1 1 1 0 1	62
0 0 0 0 0 1 0	3	0 0 1 0 1 1 0	23	0 1 0 1 0 1 0	43	0 1 1 1 1 1 0	63
0 0 0 0 0 1 1	4	0 0 1 0 1 1 1	24	0 1 0 1 0 1 1	44	0 1 1 1 1 1 1	64
0 0 0 0 1 0 0	5	0 0 1 1 0 0 0	25	0 1 0 1 1 0 0	45	1 0 0 0 0 0 0	65
0 0 0 0 1 0 1	6	0 0 1 1 0 0 1	26	0 1 0 1 1 0 1	46	1 0 0 0 0 0 1	66
0 0 0 0 1 1 0	7	0 0 1 1 0 1 0	27	0 1 0 1 1 1 0	47	1 0 0 0 0 1 0	67
0 0 0 0 1 1 1	8	0 0 1 1 0 1 1	28	0 1 0 1 1 1 1	48	1 0 0 0 0 1 1	68
0 0 0 1 0 0 0	9	0 0 1 1 1 0 0	29	0 1 1 0 0 0 0	49	1 0 0 0 1 0 0	69
0 0 0 1 0 0 1	10	0 0 1 1 1 0 1	30	0 1 1 0 0 0 1	50	1 0 0 0 1 0 1	70
0 0 0 1 0 1 0	11	0 0 1 1 1 1 0	31	0 1 1 0 0 1 0	51	1 0 0 0 1 1 0	71
0 0 0 1 0 1 1	12	0 0 1 1 1 1 1	32	0 1 1 0 0 1 1	52	1 0 0 0 1 1 1	72
0 0 0 1 1 0 0	13	0 1 0 0 0 0 0	33	0 1 1 0 1 0 0	53	1 0 0 1 0 0 0	73
0 0 0 1 1 0 1	14	0 1 0 0 0 0 1	34	0 1 1 0 1 0 1	54	1 0 0 1 0 0 1	74
0 0 0 1 1 1 0	15	0 1 0 0 0 1 0	35	0 1 1 0 1 1 0	55	1 0 0 1 0 1 0	75
0 0 0 1 1 1 1	16	0 1 0 0 0 1 1	36	0 1 1 0 1 1 1	56	1 0 0 1 0 1 1	76
0 0 1 0 0 0 0	17	0 1 0 0 1 0 0	37	0 1 1 1 0 0 0	57	1 0 0 1 1 0 0	77
0 0 1 0 0 0 1	18	0 1 0 0 1 0 1	38	0 1 1 1 0 0 1	58	1 0 0 1 1 0 1	78
0 0 1 0 0 1 0	19	0 1 0 0 1 1 0	39	0 1 1 1 0 1 0	59	1 0 0 1 1 1 0	79
0 0 1 0 0 1 1	20	0 1 0 0 1 1 1	40	0 1 1 1 0 1 1	60	1 0 0 1 1 1 1	80

19.1.5 OPU25 支路插槽分配

图19-5A和19-5B展示了OPU25的1.25G支路插槽分配方案。每个OPU25被划分为二十个1.25G支路插槽（编号1至20），这些插槽分布在第17列至第3824列之间。OPU25帧可采用80行×3810列格式（图19-5A）或16行×19050列格式（图19-5B）进行表示。

- 一个OPU25 1.25G支路插槽占用OPU25有效载荷区域的5%。该结构包含952列×16行（即20×4/5行，参见图19-5B），外加支路插槽开销（TSOH）。二十个OPU25 1.25G子通道在OPU25有效载荷区采用字节交织方式排列，二十个OPU25子通道开销区则在OPU25开销区采用帧交织方式排列。

OPU25支路插槽的支路插槽开销（TSOH）位于OPU25帧的第1至3行、第15和16列。

1.25G支路插槽的TSOH每20帧出现一次。此分配采用20帧多帧结构，该结构锁定在OMFI字节的第4、5、6、7、8位（如表19-5所示）。

图19-5A – OPU25 1.25G支路插槽分配

Multi-frame row	Frame row	Column		15	
		TSOH	TSOH		
1	2(1 st , 1/ $\sqrt{4}$)	#6	PSI OMF1	#3	#1
2	2(last 3/4), 3(1 st 1/2)	TS1	TS1	TS1	TS1
3	3(2 nd 1/2), 4(1 st 3/4)	TS2	TS2	TS2	TS2
4	4(4 th 1/4), 5
5	7(1 st , 1/4)	TS8	TS8	TS8	TS8
6	TSOH	TSOH	PSI	TSOH	TSOH
7	#6	#5	OMF1	#2	#1
8	TS9	TS9	TS9	TS9	TS9
9	TS10	TS10	TS10	TS10	TS10
10
11	TS8	TS8	TS8	TS8	TS8
12	TS9	TS9	TS9	TS9	TS9
13	TS10	TS10	TS10	TS10	TS10
14
15	TS16	TS16	TS16	TS16	TS16
16	TSOH	TSOH	PSI	TSOH	TSOH
17	#6	#5	OMF1	#4	#1
18	TS17	TS17	TS17	TS17	TS17
19	TS18	TS18	TS18	TS18	TS18
20
21	TS16	TS16	TS16	TS16	TS16
22	TS17	TS17	TS17	TS17	TS17
23	TS18	TS18	TS18	TS18	TS18
24
25	TS4	TS4	TS4	TS4	TS4
26	PSI	TSOH	TSOH	TSOH	TSOH
27	#5	#4	#3	#3	OMF1
28	OMF1
29	TS5	TS5	TS5	TS5	TS5
30	TS6	TS6	TS6	TS6	TS6
31
32	TS4	TS4	TS4	TS4	TS4
33	TS5	TS5	TS5	TS5	TS5
34	TS6	TS6	TS6	TS6	TS6
35
36	TS12	TS12	TS12	TS12	TS12
37	TS13	TS13	TS13	TS13	TS13
38	TS14	TS14	TS14	TS14	TS14
39
40	TS20	TS20	TS20	TS20	TS20

15	$78(2^{\text{nd}} \text{ 1/2}),$ $79(1^{\text{st}} \text{ 3/4})$	PSI OMFI #18 TS1 TS2 ... TS20 TS1 TS2 ... TS8 TS8 TSOH #20 OMFI TS9 TS9 TS10 ... TS8 TS9 TS9 TS10 ... TS16 TSOH #19 TS17 TS17 TS18 ... TS16 TS17 TS18 ... TS4 TSOH #20 OMFI TS5 TS5 TS6 TS6 TS6 TS12 PSI OMFI #19 TS13 TS14 ... TS12 TS12 TS13 TS14 ... TS20
16	$79(4^{\text{th}} \text{ 1/4}),$ 80	

图19-5B – QPU25支路插槽在16行×19050列格式中的布局

表19-5 – OPU25支路插槽OH分配

OMFI位 4 5 6 7 8	TSOH 1.25G TS
0 0 0 0 0	1
0 0 0 0 1	2
0 0 0 1 0	3
0 0 0 1 1	4
0 0 1 0 0	5
0 0 1 0 1	6
0 0 1 1 0	7
0 0 1 1 1	8
0 1 0 0 0	9
0 1 0 0 1	10
0 1 0 1 0	11
0 1 0 1 1	12
0 1 1 0 0	13
0 1 1 0 1	14
0 1 1 1 0	15
0 1 1 1 1	16
1 0 0 0 0	17
1 0 0 0 1	18
1 0 0 1 0	19
1 0 0 1 1	20

19.1.6 OPU50支路插槽分配

图19-6A和19-6B展示了OPU50的1.25G支路插槽分配方案。每个OPU50被划分为40个1.25G支路插槽（编号1至40），这些插槽分布在第17列至第3824列之间。OPU50帧可采用160行×3810列格式（图19-6A）或32行×19050列格式（图19-6B）表示。

- OPU25 1.25G支路插槽占用OPU50有效载荷区域的2.5%。其结构为476列×32行（40×4/5）（见图19-6B），外加支路插槽开销（TSOH）。四十个OPU50 1.25G子通道在OPU50有效载荷区采用字节交织方式排列，而四十个OPU25 TSOH则在OPU25开销区采用帧交织方式排列。

OPU50支路插槽的支路插槽开销（TSOH）位于OPU25帧的第1至3行、第15和16列。

1.25G支路插槽的TSOH每40帧出现一次。此分配采用40帧多帧结构，该结构锁定在OMFI字节的第3、4、5、6、7和8位，如表19-6所示。

OMFI bits 345678	Multi-frame row	Frame row	Column		OMFI bits												OMFI bits																
			-	15	16	17	18	55	56	57	58	95	96	97	98	3815	3816	3817	3818	3819	3820	3821	3822	3823	3824				
000000	1	1			TSOH TS1	1	2	39	40	1	2	39	40	1	2	39	40	1	2	39	40	1	2	3	4	5	6	7	8
	2	2				9	10		7	8	9	10		7	8	9	10		7	8	9	10		7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	3	3				17	18		15	16	17	18		15	16	17	18		15	16	17	18		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	4	4				PSI OM FI	25	26	23	24	25	26	23	24	25	26	23	24	25	26	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32			
	5	1				33	34	31	32	33	34	31	32	33	34	31	32	33	34	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40				
	6	2				1	2	39	40	1	2	39	40	1	2	39	40	1	2	39	40	1	2	3	4	5	6	7	8			
	7	3				9	10		7	8	9	10	7	8	9	10	7	8	9	10	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
	8	4				17	18		15	16	17	18	15	16	17	18	15	16	17	18	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
							
100001	153	1			TSOH TS39	17	18	15	16	17	18	15	16	17	18	15	16	17	18	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	154	2				25	26		23	24	25	26		23	24	25	26		23	24	25	26		23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
	155	3				33	34		31	32	33	34		31	32	33	34		31	32	33	34		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	156	4				PSI OM FI	1	2	39	40	1	2	39	40	1	2	39	40	1	2	39	40	1	2	3	4	5	6	7	8			
	157	1				9	10	7	8	9	10	7	8	9	10	7	8	9	10	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
	158	2				17	18		15	16	17	18	15	16	17	18	15	16	17	18	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
	159	3				25	26		23	24	25	26	23	24	25	26	23	24	25	26	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32			
	160	4				33	34		31	32	33	34	31	32	33	34	31	32	33	34	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40			

图19-6A = OPU50 1.25G支路插槽分配

Multi-frame row	Frame row	Column	
		TSOH	TSOH
1	2(1^{st} / $1/4$)	PSI #6 OMFEI	#1 TS1 TS2
2	2(last $3/4$), 3(1^{st} / $1/2$)	PSI #6 TSI TS2	#1 TS1 TS2
3	3(2^{nd} / $1/2$), 4(1^{st} / $3/4$)	PSI #5 OMFEI	#1 TS40 TSI TS2
4	4(4^{th} / $1/4$), 5	PSI #6 TSI TS9	#1 TS40 TSI TS2
5	7(1^{st} / 6 , 1^{st} / 4)	PSI #5 OMFEI	#1 TS8 TSI10 TSI10
6		PSI #4 OMFEI	#1 TS8 TSI8 TSI9
7		PSI #4 OMFEI	#1 TS16 TSI16 TSI17
8		PSI #5 OMFEI	#1 TS18 TSI18 TSI17
9		PSI #5 OMFEI	#1 TS16 TSI16 TSI17
10		PSI #4 OMFEI	#1 TS18 TSI18 TSI17
11		PSI #4 OMFEI	#1 TS24 TS24 TS25
12		PSI #5 OMFEI	#1 TS26 TS26 TS25
13		PSI #5 OMFEI	#1 TS24 TS24 TS25
14		PSI #4 OMFEI	#1 TS26 TS26 TS25
15		PSI #4 OMFEI	#1 TS32 TS32 TS32
16		PSI #4 OMFEI	#1 TS33 TS33 TS34
17		PSI #3 OMFEI	#1 TS33 TS33 TS34
18		PSI #3 OMFEI	#1 TS34 TS34 TS34
19		PSI #3 OMFEI	#1 TS40 TS40 TS40

31	158(2 nd 1/2), 159(1 st 3/4)	PSI OMFI TS1 TS2 ... TS40 TS1 TS2 ... TS8 TS8 TS9 TS9 TS10 ... TS8 TS9 TS10 ... TS16 TSOH #39 TS17 TS18 ... TS16 TS17 TS18 ... TS24 TSOH #39 TS25 TS26 ... TS24 TS25 TS26 ... TS32 PSI OMFI TS33 TS34 ... TS32 TS33 TS34 ... TS40
32	159(4 th 1/4), 160	TSOH #38 TS1 TS2 ... TS40 TS1 TS2 ... TS8 PSI #40 OMFI TS9 TS9 TS10 ... TS8 TS9 TS10 ... TS16 TSOH #40 TS17 TS18 ... TS16 TS17 TS18 ... TS24 TSOH #40 TS25 TS26 ... TS24 TS25 TS26 ... TS32 TSOH #39 TS33 TS34 ... TS32 TS33 TS34 ... TS40

图19-6B – QPU50支路插槽的32行×19050列格式

表19-6 – OPU50支路插槽OH分配

OMFI位3 4 5 6 7 8	TSOH 1.25G TS	OMFI位3 4 5 6 7 8	TSOH 1.25G TS
0 0 0 0 0 0	1	0 1 0 1 0 0	21
0 0 0 0 0 1	2	0 1 0 1 0 1	22
0 0 0 0 1 0	3	0 1 0 1 1 0	23
0 0 0 0 1 1	4	0 1 0 1 1 1	24
0 0 0 1 0 0	5	0 1 1 0 0 0	25
0 0 0 1 0 1	6	0 1 1 0 0 1	26
0 0 0 1 1 0	7	0 1 1 0 1 0	27
0 0 0 1 1 1	8	0 1 1 0 1 1	28
0 0 1 0 0 0	9	0 1 1 1 0 0	29
0 0 1 0 0 1	10	0 1 1 1 0 1	30
0 0 1 0 1 0	11	0 1 1 1 1 0	31
0 0 1 0 1 1	12	0 1 1 1 1 1	32
0 0 1 1 0 0	13	1 0 0 0 0 0	33
0 0 1 1 0 1	14	1 0 0 0 0 1	34
0 0 1 1 1 0	15	1 0 0 0 1 0	35
0 0 1 1 1 1	16	1 0 0 0 1 1	36
0 1 0 0 0 0	17	1 0 0 1 0 0	37
0 1 0 0 0 1	18	1 0 0 1 0 1	38
0 1 0 0 1 0	19	1 0 0 1 1 0	39
0 1 0 0 1 1	20	1 0 0 1 1 1	40

19.2 ODTU 定义

光数据支路单元（ODTU）承载着经过校准的光数据单元（ODU）信号。ODTU分为两种类型：

- 1) ODTU_{jk} ((j,k) = {(0,1), (1,2), (1,3), (2,3)}； ODTU01、ODTU12、ODTU13和ODTU23)
其中ODTU_j信号通过第19.5节定义的异步映射程序(AMP)进行映射；
- 2) ODTU_k.ts ((k,ts) = (2,1..8), (3,1..32), (4,1..80), (25,1..20), (50,1..40)) 其中ODU_j信号通过第19.6节定义的通用映射程序(GMP)进行映射。
(ODU0, ODU1, ODU2, ODU2e, ODU3, ODUflex) 信号通过第19.6节定义的通用映射程序(GMP)进行映射。

光数据支路单元 jk

光数据支路单元 jk (ODTU_{jk}) 是一种结构，由 ODTU_{jk} 有效载荷区和 ODTU_{jk} 开销区组成（图 19-7）。ODTU_{jk} 有效载荷区包含c列和r行（参见表19-7），ODTU_{jk}开销区为"ts"乘以4字节，其中"ts"乘以1字节可承载有效载荷。ODTU_{jk}通过OPU_k中的"ts"个1.25G或2.5G支路时隙传输。

ODTU_{jk}开销的位置取决于在OPU_k中复用ODTU_{jk}时使用的OPU_k支路插槽（参见条款19.1.1、19.1.2、19.1.3）。ts个ODTU_{jk}开销实例可能分布不均。

ODTUjk开销承载着条款19.4中规定的AMP合理性开销。

注：当两个搭载ODTU12的1.25G旁路插槽均为TSa和TSa+4时，ODTU12的1.25G和2.5G旁路插槽版本完全相同。当两个搭载ODTU12的1.25G子卡槽为TSa和TSa+16时，ODTU13的1.25G和2.5G子卡槽版本完全相同。当承载ODTU23的八个1.25G支路插槽分别为TSa、TSb、TSc、TSd、TSa+16、TSb+16、TSc+16和TSd+16时，ODTU23的1.25G和2.5G支路插槽版本完全相同。

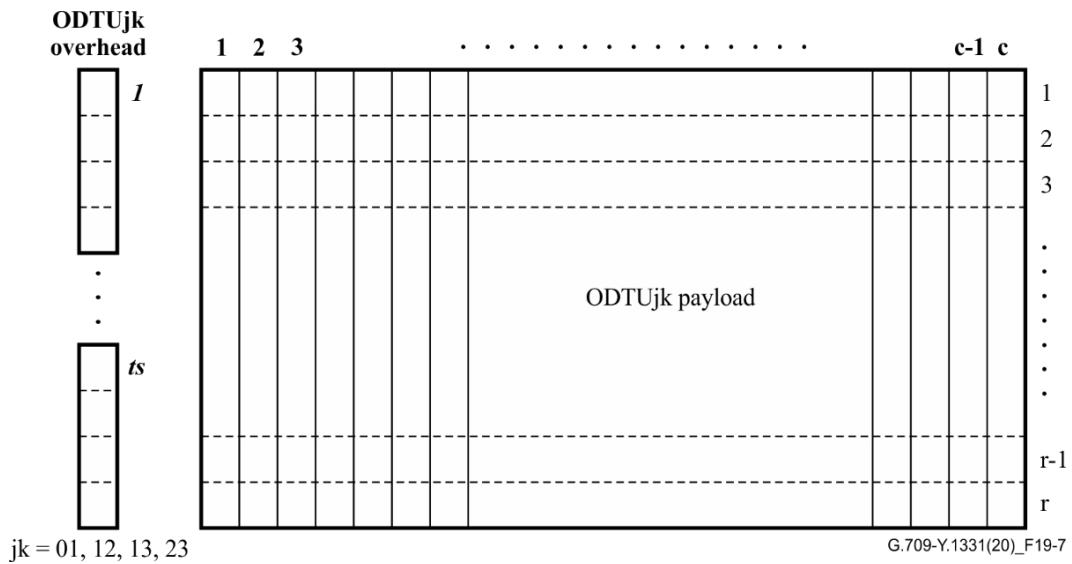


图19-7 – ODTUjk帧格式

表19-7 – ODTUjk在2.5G和1.25G分支时隙中的特性

2.5G TS	c	r	ts	ODTUjk有效载荷字节	ODTUjk 开销字节
ODTU12	952	16	1	15232	1×4
ODTU13	238	64	1	15232	1×4
ODTU23	952	64	4	60928	4×4

1.25G TS	c	r	ts	ODTUjk有效载荷字节	ODTUjk 开销字节
ODTU01	1904	8	1	15232	1×4
ODTU12	952	32	2	30464	2×4
ODTU13	238	128	2	30464	2×4
ODTU23	952	128	8	121856	8×4

光数据支路单元 k.ts

光数据支流单元 k.ts (ODTUk.ts) 是一种由ODTUk.ts有效载荷区和ODTUk.ts开销区组成的结构 (图19-8)。ODTUk.ts有效载荷区具有 $j \times ts$ 列和 r 行 (参见表19-8)，而 ODTUk.ts开销区为 1×6 字节。ODTUk.ts承载于OPUk的"ts" 1.25G支路插槽中。

ODTUk.ts开销的位置取决于在OPUk中复用ODTUk.ts时使用的OPUk支路插槽 (参见条款19.1.1、19.1.2、19.1.4、19.1.5、19.1.6)。ODTUk.ts开销的单一实例位于最后分配给ODTUk.ts的OPUk支路插槽的OPUk TSOH中。

ODTUk.ts 头部承载着第 19.4 节中规定的 GMP 合理性开销。

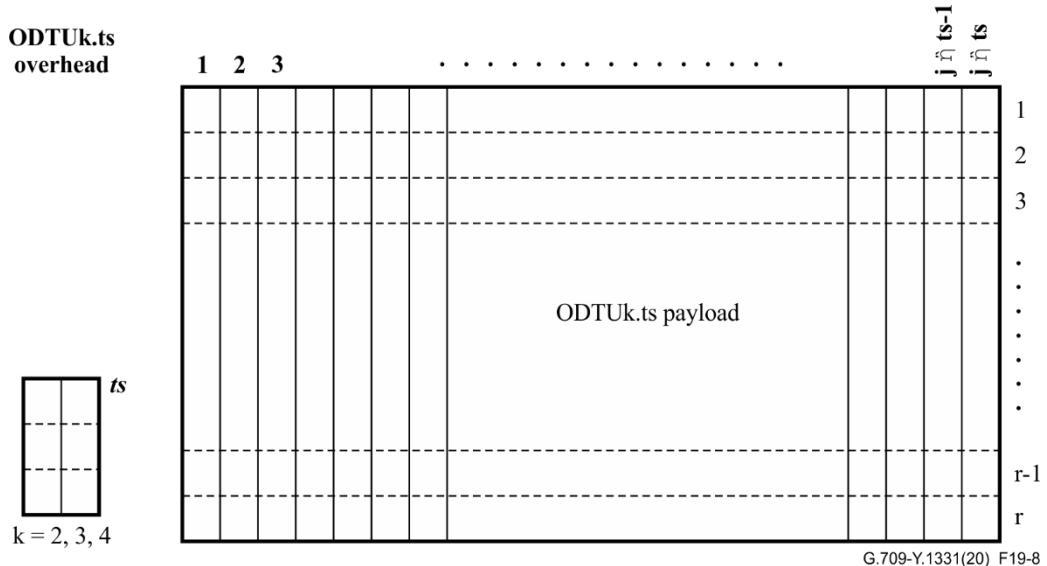


图19-8 – ODTUk.ts帧格式表19-8 – ODTUk.ts特性

	j	r	ts	ODTUk.ts 有效载荷字节	ODTUk.ts 开销字节
ODTU2.ts	476	32	1 至 8	$15232 \times ts$	1×6
ODTU3.ts	119	128	1 至 32	$15232 \times ts$	1×6
ODTU4.ts	95	160	1 至 80	$15200 \times ts$	1×6
ODTU25.ts	952	16	1 至 20	$15232 \times ts$	1×6
ODTU50.ts	476	32	1 至 40	$15232 \times ts$	1×6

19.3 将ODTU信号复用至光处理单元 (OPUk)

ODTU01信号复用至OPU1的实现方式是：将ODTU01信号映射至OPU1的两个1.25G分支槽位之一。

ODTU12信号复用至OPU2的实现方式：将ODTU12信号映射至OPU2的四个2.5G支路插槽之一，或映射至两个（八个中的任意两个）1.25G支路插槽：OPU2 TSa和TSb（满足 $1 \leq a < b \leq 8$ ）。

ODTU13信号复用至OPU3的实现方式为：将ODTU13信号映射至OPU3十六个2.5G支路槽中的任意一个，或映射至OPU3三十二个1.25G支路槽中的任意两个（即OPU3 TSa 和TSb，满足 $1 \leq a < b \leq 32$ ）。

将ODTU23信号复用至OPU3的实现方式是：将ODTU23信号映射至OPU3十六个2.5G支路时隙中的任意四个时隙：OPU3 TSa、TSb、TSc和TSd（满足 $1 \leq a < b < c < d \leq 16$ ），或映射至OPU3的32个1.25G支路时隙中的任意8个：OPU3 TSa、TSb、TSc、TSd、TSe、TSf、TSg和TSh，满足 $1 \leq a < b < c < d < e < f < g < h \leq 32$ 。

注：a、b、c、d、e、f、g和h不必连续（如 $a=i, b=i+1, c=i+2, d=i+3, e=i+4, f=i+5, g=i+6, h=i+7$ ）；可任意选取数值以避免带宽碎片化。

将ODTU2.ts信号复用至OPU2的实现方式是：将ODTU2.ts信号映射至ts（八个任意OPU2 1.25G分支槽位）中的任意槽位：OPU2 TSa, TSb, ..., TSp，满足 $1 \leq a < b < \dots < p \leq 8$ 。

ODTU3.ts信号复用至OPU3的实现方式是：将ODTU3.ts信号映射至32个任意OPU3 1.25G支路时隙中的ts时隙：OPU3 TS_a, TS_b, ..., TS_q，满足 $1 \leq a < b < \dots < q \leq 32$ 。

将ODTU4.ts信号复用至OPU4的实现方式是：将ODTU4.ts信号映射至ts（80个槽位中的任意槽位）的任意OPU4 1.25G分支槽位：OPU4 TS_a, TS_b, ..., TS_r，其中 $1 \leq a < b < \dots < r \leq 80$ 。

将ODTU25.ts信号复用至OPU25的实现方式是：将ODTU25.ts信号映射至ts（二十个）任意OPU25 1.25G支路时隙：OPU25 TS_a, TS_b, ..., TS_x，满足 $1 \leq a < b < \dots < x \leq 20$ 。

将ODTU50.ts信号复用至OPU50的实现方式，是将ODTU50.ts信号映射至ts（四十个）任意OPU50 1.25G支路时隙：OPU25的TS_a、TS_b、...、TS_x，满足 $1 \leq a < b < \dots < x \leq 40$ 。

这些复用信号的OPUk开销包括：有效载荷类型(PT)、复用结构标识符(MSI)、OPU4多帧标识符(k=4)、承载ODTU开销的OPUk支路时隙开销，以及根据ODTU类型保留的一个或多个字节（用于未来国际标准化）。

19.3.1 ODTU12映射至单个OPU2分支槽

ODTU12有效载荷信号的一个字节映射到 OPU2 2.5G TS #_i ($i = 1, 2, 3, 4$) 有效载荷区域的一个字节，如图 19-9（左侧）所示。ODTU12开销中的一个字节映射到OPU2 2.5G TS #_i第16列内的TSOH字节。

ODTU12信号的一个字节映射到OPU2 1.25G TS #_{A,B} ($A, B = 1, 2, \dots, 8$) 两个有效载荷区域之一的一个字节中，如图19-9（右侧）所示。ODTU12开销字节映射到OPU2 1.25G TS #_{a,b}的第16列中的TSOH字节。

列15中剩余的OPU2 TSOH字节保留用于未来的国际标准化。

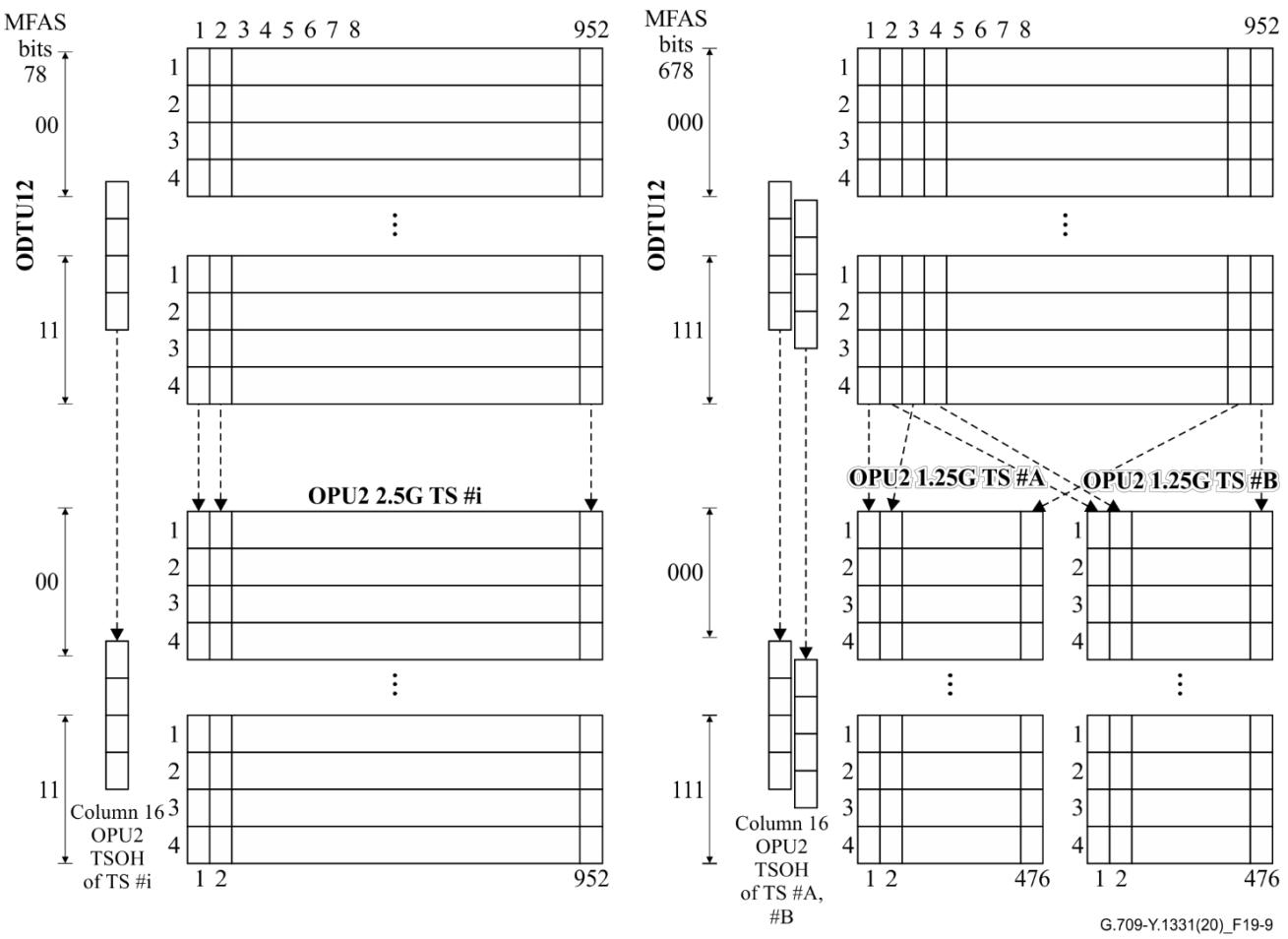


图19-9 – ODTU12映射至单个OPU2 2.5G支路插槽（左）及两个OPU2 1.25G支路插槽（右）

19.3.2 ODTU13映射至单个OPU3支路插槽

ODTU13信号的一个字节映射到OPU3 2.5G TS $\#i$ ($i = 1, 2, \dots, 16$) 有效载荷区域的一个字节，如图19-10（左）所示。ODTU13开销字节映射至OPU3 2.5G TS $\#i$ 第16列内的TSOH字节。

ODTU13信号的一个字节映射到OPU3 1.25G TS $\#A, B$ ($A, B = 1, 2, \dots, 32$) 两个有效载荷区域中的一个字节，如图19-10（右侧）所示。ODTU13开销字节映射到OPU3 1.25G TS $\#a, b$ 的第16列中的TSOH字节。

OPU3第15列剩余的TSOH字节保留用于未来国际标准化。

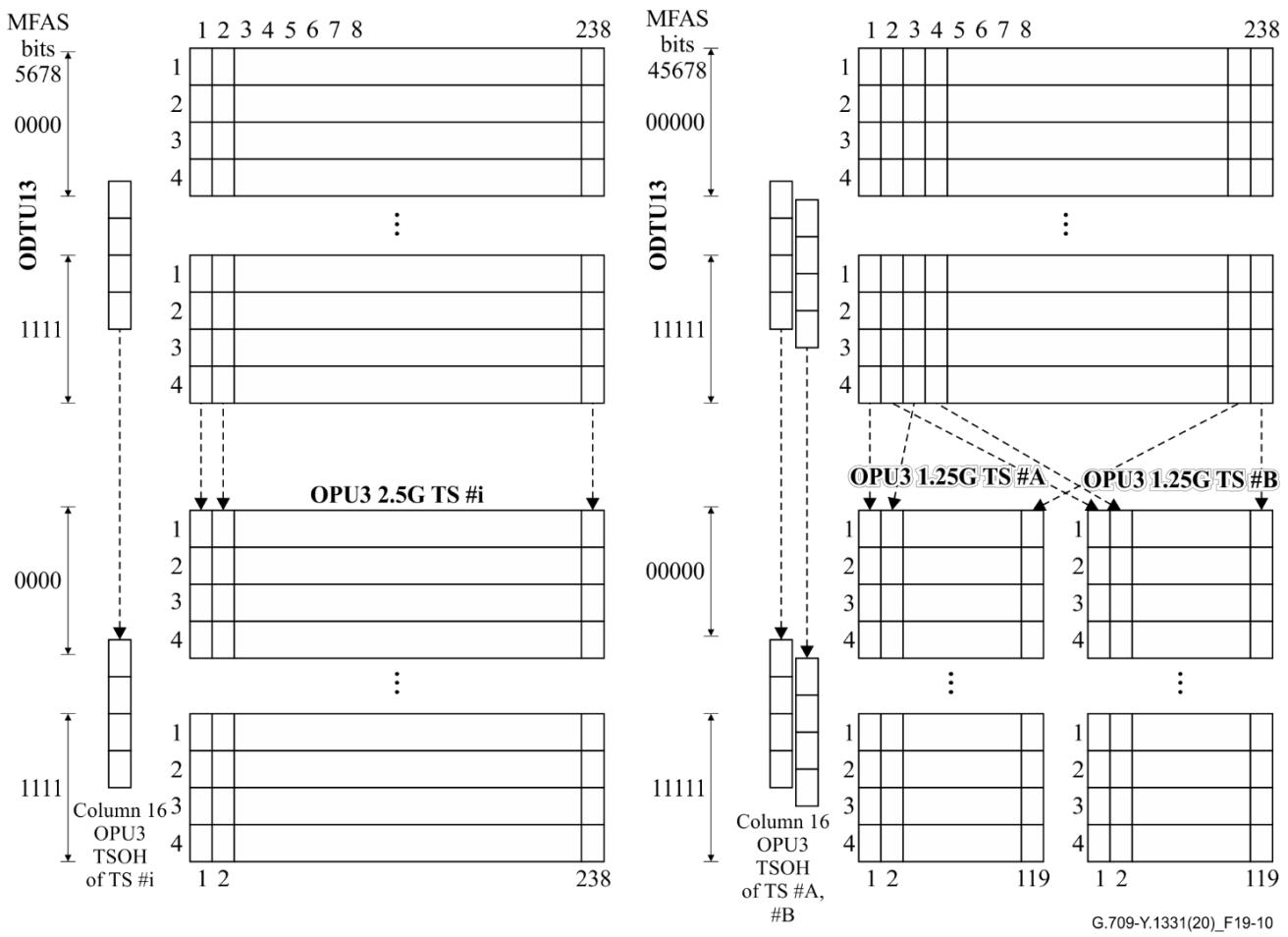


图19-10 – ODTU13映射至单个OPU3 2.5G支路插槽（左）及两个OPU3 1.25G支路插槽（右）

19.3.3 ODTU23映射至四个OPU3支路插槽

ODTU23信号的1字节映射至四个OPU3 2.5G TS #A,B,C,D ($A,B,C,D = 1,2,\dots,16$) 有效载荷区域中的任意一个字节，如图19-11（顶部）所示。ODTU23开销字节映射至OPU3 TS #a,b,c,d第16列内的TSOH字节。

ODTU23信号的一个字节映射到八个OPU3 1.25G TS #A、B、C、D、E、F、G、H ($A,B,C,D,E,F,G,H = 1,2,\dots,32$) 有效载荷区域中的一个字节，如图19-11（底部）所示。ODTU23开销字节映射至OPU3 1.25G TS #a,b,c,d,e,f,g,h的第16列TSOH字节。

OPU3 TSOH剩余字节保留在第15列，用于未来国际标准化。

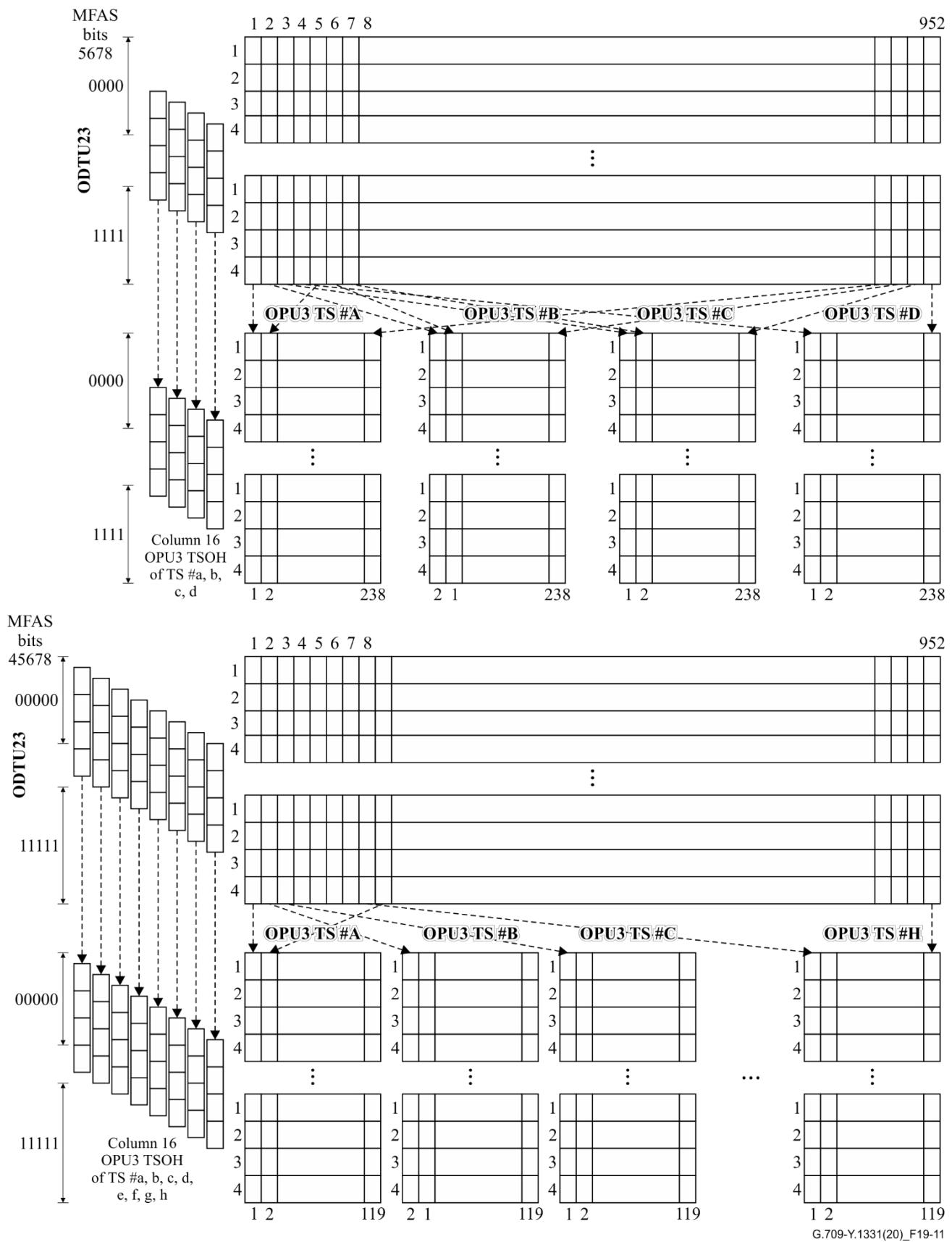


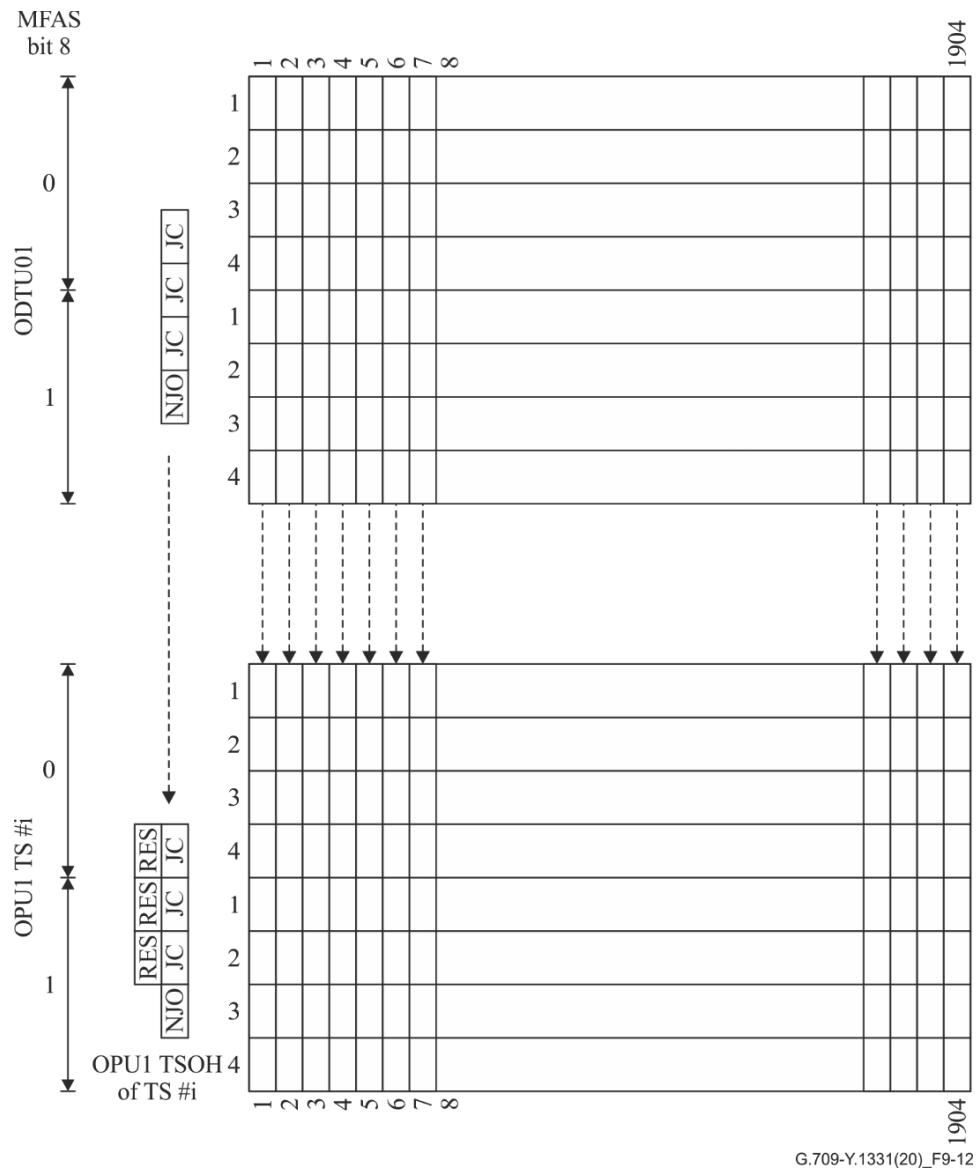
图19-11—ODTU23映射至4个OPU3 2.5G分支插槽（#A、#B、#C、#D，满足A<B<C<D）（上）及8个OPU3 1.25G分支插槽（#A、#B、#C、#D、#E、#F、#G、#H且A<B<C<D<E<F<G<H）映射（下图）

19.3.4 ODTU01映射到一个OPU1 1.25G支路插槽

ODTU01 信号的一个字节映射到 OPU1 1.25G TS # i ($i = 1, 2$) 的一个字节，如图 19-12 所示，该图显示了 ODTU01 中 4 行组。

ODTU01 TSOH 的一个字节映射到 OPU1 1.25G TS # i 第 16 列中的 TSOH 字节。

列 15 中剩余的 OPU1 TSOH 字节保留用于未来的国际标准化。



G.709-Y.1331(20)_F9-12

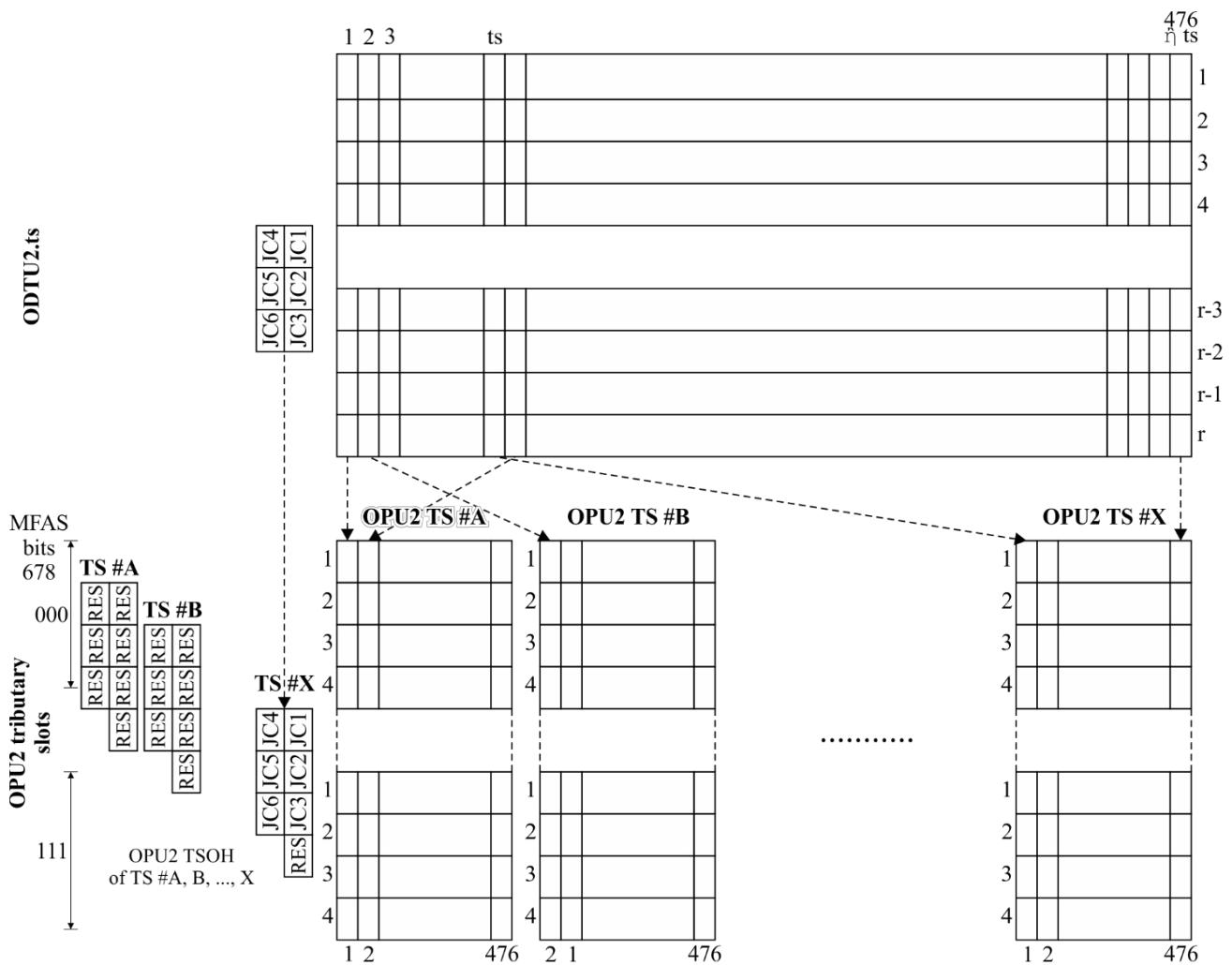
图 19-12 – ODTU01（不包括 JOH）映射到 OPU1 1.25G 支路插槽

19.3.5 ODTU2.ts映射至ts OPU2 1.25G支路插槽

ODTU2.ts 有效载荷信号的字节映射到 OPU2 1.25G TS # i ($i = 1, \dots, ts$) 有效载荷区域的字节，如图 19-13 所示。

ODTU2.ts 头部的一个字节映射到分配给 ODTU2.ts 的最后一个 OPU2 1.25G 支路插槽的第 15 和 16 列、第 1 到 3 行内的 TSOH 字节。

剩余的 OPU2 TSOH 字节保留用于未来的国际标准化工作。



G.709-Y.1331(20)_F19-13

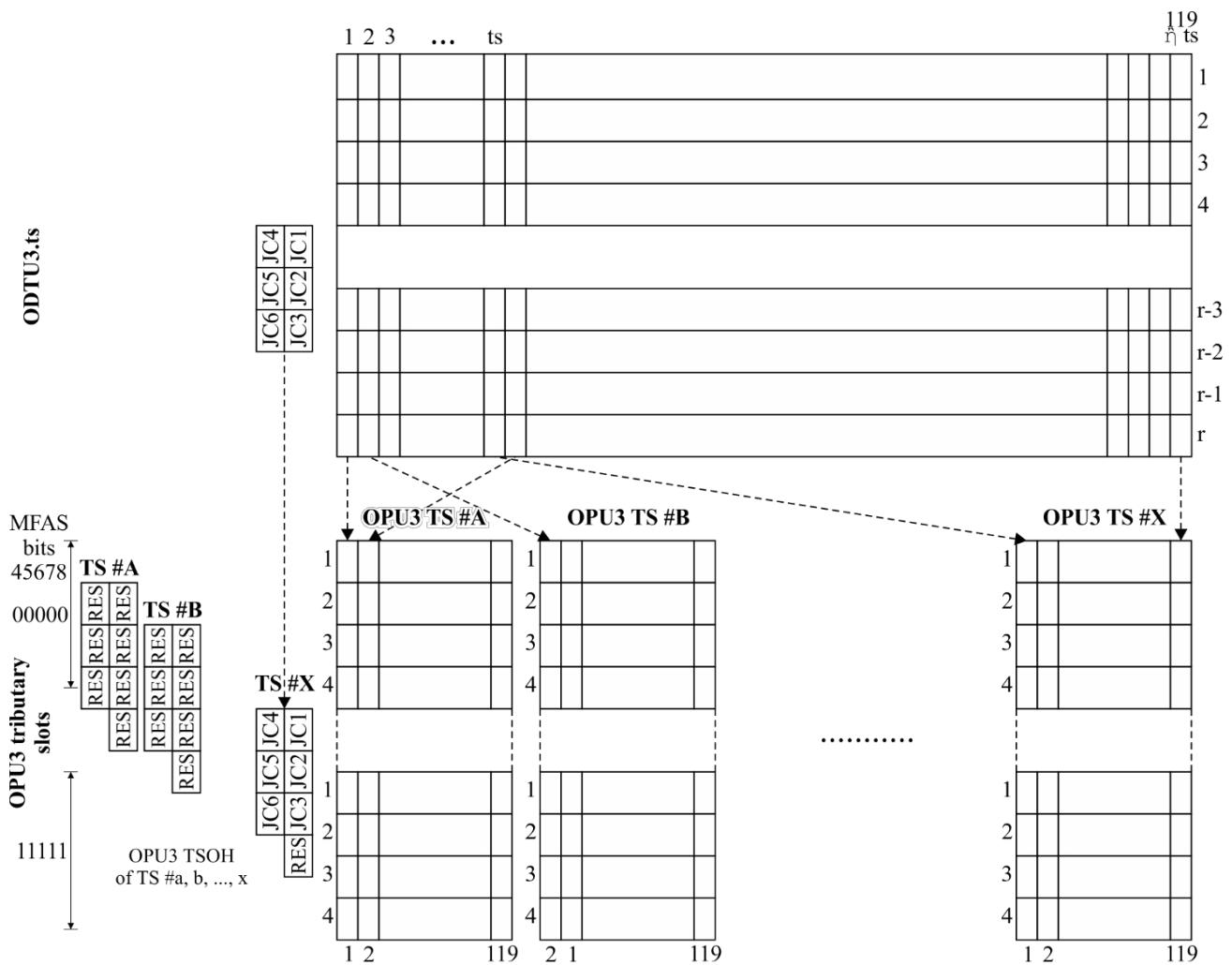
图19-13 – ODTU2.ts映射至'ts' OPU2 1.25G支路插槽

19.3.6 ODTU3.ts映射至ts OPU3 1.25G支路槽位

ODTU3.ts有效载荷信号的每个字节映射到OPU3 1.25G TS #_i ($i = 1, \dots, ts$) 有效载荷区域的字节，如图19-14所示。

ODTU3.ts头部的一个字节映射到分配给 ODTU3.ts 的最后一个 OPU3 1.25G 支路插槽的第 15 和 16 列、第 1 到 3 行内的 TSOH 字节。

剩余的OPU3 TSOH字节保留用于未来的国际标准化。



G.709-Y.1331(20)_F19-14

图19-14 – ODTU3.ts映射至'ts' OPU3 1.25G分支插槽

19.3.7 ODTU4.ts映射至ts OPU4 1.25G分支插槽

ODTU4.ts有效载荷信号的1字节映射至OPU4 1.25G TS #i ($i = 1, \dots, ts$) 有效载荷区域的1字节，如图19-15所示。

ODTU4.ts 头部数据的字节映射到分配给 ODTU4.ts 的最后一个 OPU4 1.25G 支路插槽中第 15 和 16 列、第 1 至 3 行内的 TSOH 字节。

剩余的OPU4 TSOH字节保留用于未来的国际标准化。

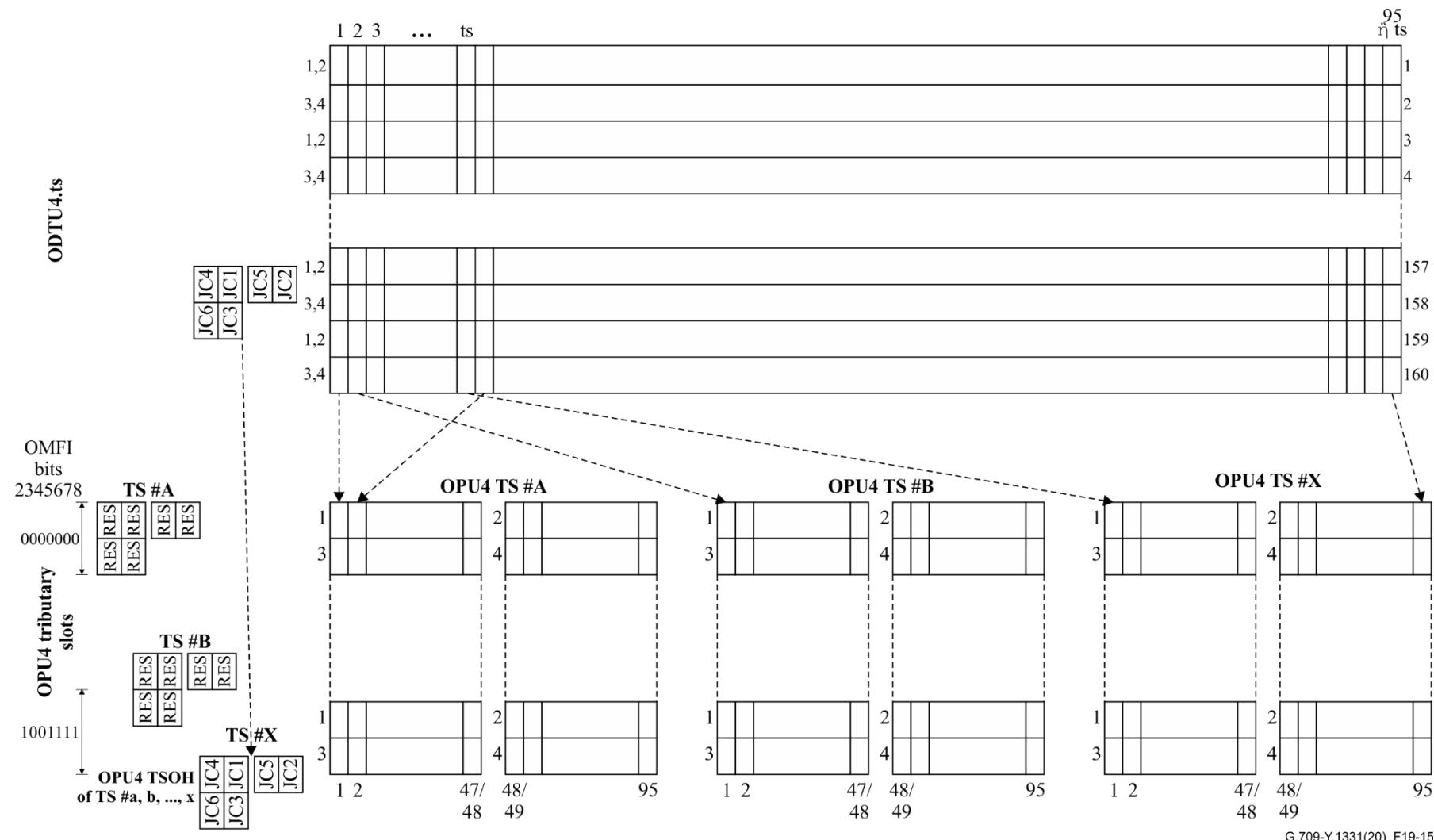


图19-15 – ODTU4.ts映射至'ts' OPU4 1.25G分支插槽

19.3.8 ODTU25.ts映射至ts OPU25 1.25G分支插槽

ODTU25.ts有效载荷信号的1个字节映射到OPU25 1.25G TS # i (i = 1,...,ts) 有效载荷区域的1个字节中，如图19-16所示。

ODTU25.ts的1字节开销映射到分配给ODTU25.ts的最后一个OPU25 1.25G分支插槽中第15和16列、第1至3行的TSOH字节内。

剩余的OPU25 TSOH字节保留用于未来的国际标准化。

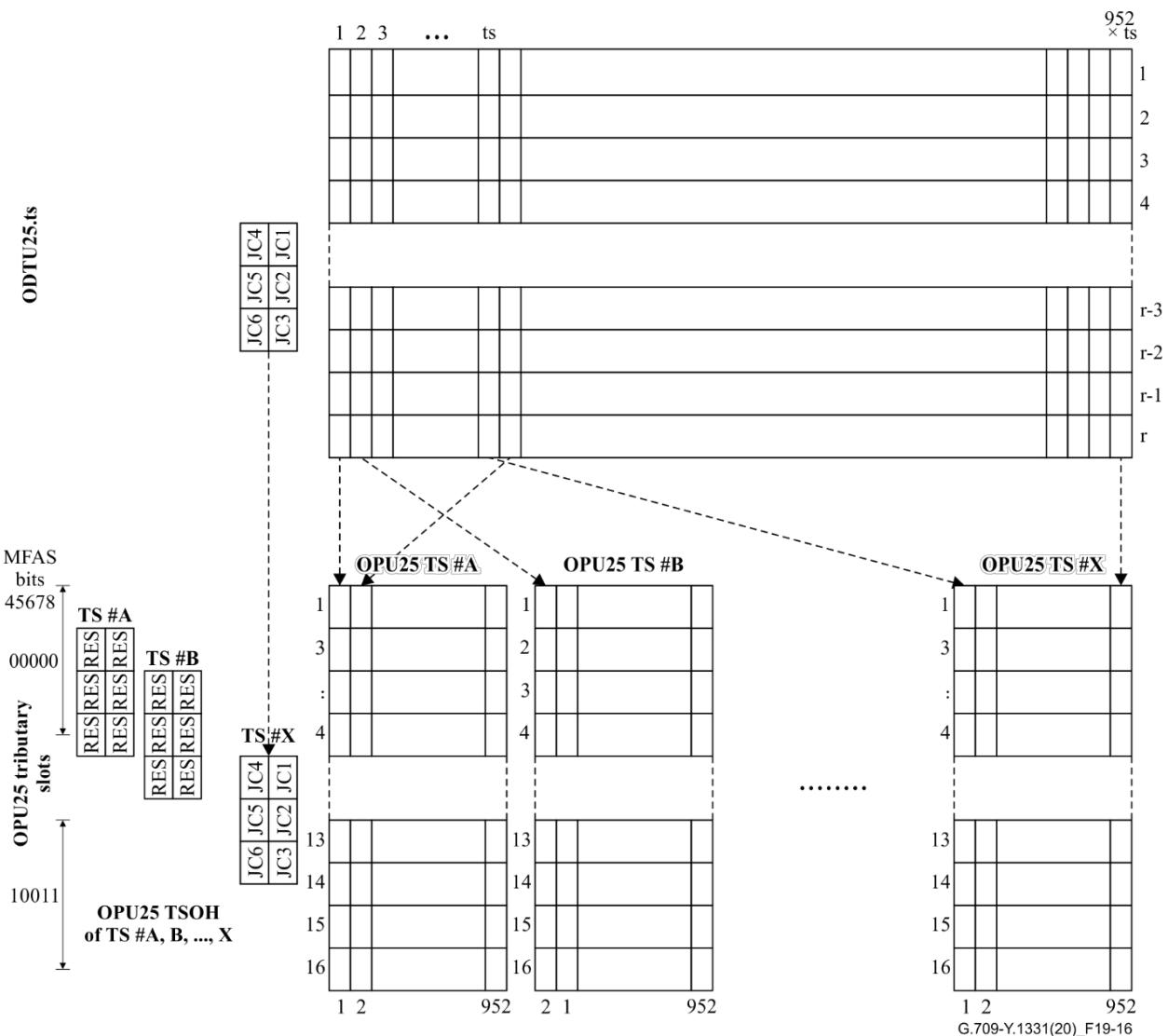


图19-16 – ODTU25.ts映射至'ts' OPU25 1.25G分支插槽

19.3.9 ODTU50.ts映射至ts OPU50 1.25G分支插槽

ODTU50.ts有效载荷信号的1字节映射到OPU50 1.25G TS # i (i = 1,...,ts) 有效载荷区域的1字节，如图19-17所示。

ODTU50.ts头部的一个字节映射到分配给ODTU50.ts的最后一个OPU50 1.25G支路插槽的第15和16列、第1到3行内的TSOH字节。

剩余的OPU50 TSOH字节保留用于未来的国际标准化。

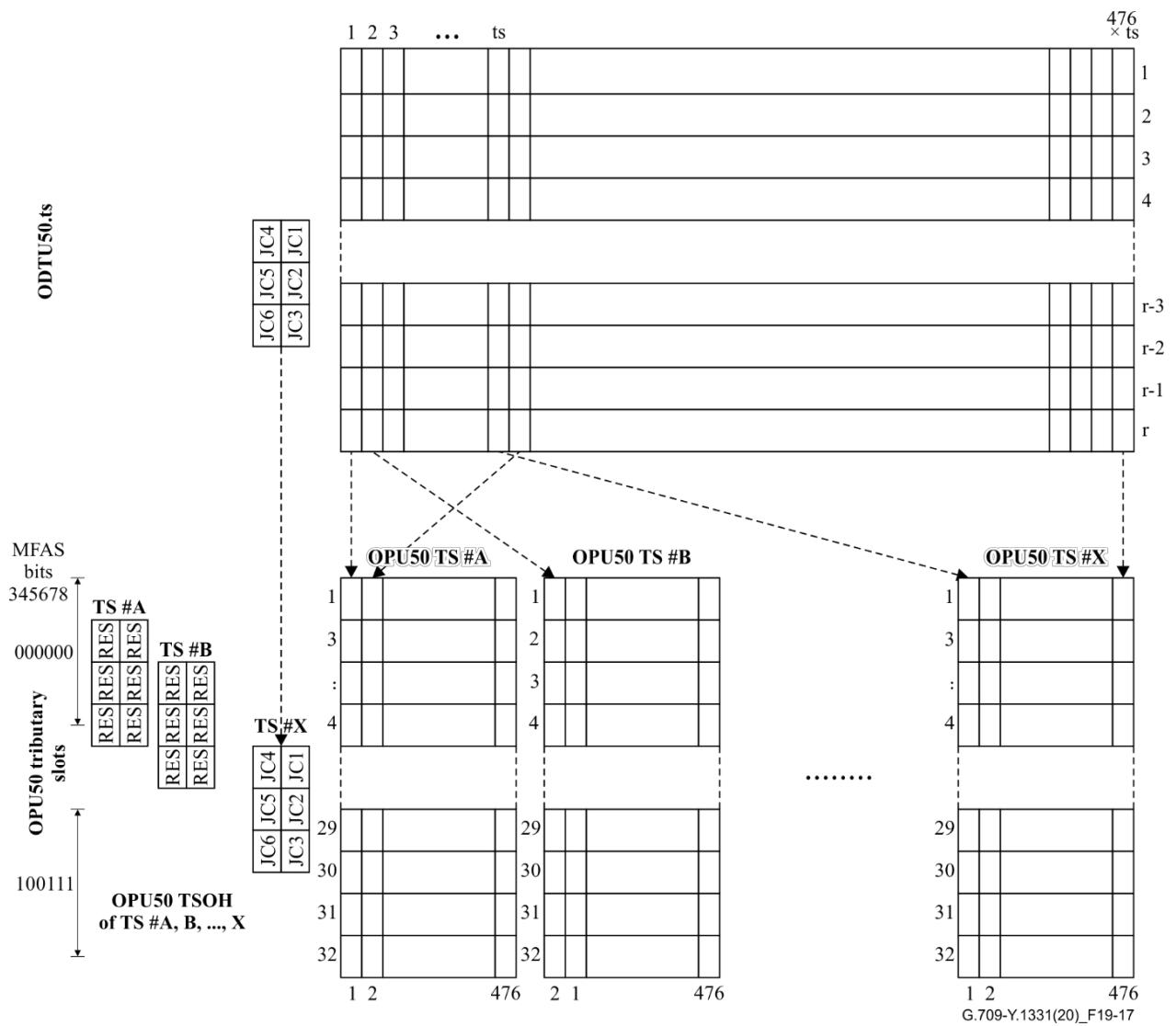


图19-17 – ODTU50.ts映射至'ts' OPU50 1.25G分支槽位

19.4 OPUk复用开销与ODTU对齐开销

OPU_k (k=1,2,3,4,25,50) 复用开销由复用结构标识符 (MSI) 和ODTU开销组成。OPU_k (k=4,25,50) 复用开销包含OPU多帧标识符 (OMFI)。

OPU_k MSI开销位置如图19-18A、19-18B和19-18C所示，OMFI开销位置如图19-18C所示。

ODTU_{jk}开销

ODTU_{jk}开销承载AMP对齐开销，该开销包含对齐控制(JC)和负对齐机会(NJO)信号，位于第1至4行第16列。ODTU_{jk}开销字节在第15列第1、2、3行预留用于未来国际标准化。

ODTU_{jk}开销由3字节对齐控制 (JC) 和1字节负对齐机会 (NJO) 开销组成。JC与NJO开销位置如图19-18A和19-18B所示。此外，两个或n×2个正对齐开销字节 (PJO1、PJO2) 位于ODTU_{jk}有效载荷区。需注意PJO1和PJO2的位置具有多帧特性，且依赖于ODU_j与OPU_k支路插槽。

位于OPU2或OPU3中ODU1的2.5G支路槽#i (i: 1..4或1..16) 的PJO1位于OPU_k 2.5G支路槽#i的第一列 (OPU_k列16+i)，而PJO2位于

位于OPUk 2.5G支路插槽#i的第二列（OPU2列20+i，OPU3列32+i），在四帧或十六帧多帧的帧#i中。

示例 – OPU2 或 OPU3 TS(1) 中的 ODU1：PJO1 位于第 $16+1=17$ 列，PJO2 位于第 $20+1=21$ 列（OPU2）及第 $32+1=33$ 列（OPU3）。ODU1 在 OPU2 TS(4) 中：PJO1 位于列 $16+4=20$ ，PJO2 位于列 $20+4=24$ 。ODU1 在 OPU3 TS(16) 中：PJO1 位于列 $16+16=32$ ，PJO2 位于列 $32+16=48$ 。

位于OPU3 2.5G支路插槽#a、#b、#c和#d中的ODU2所用四个PJO1模块，在十六帧多帧结构的帧#a、#b、#c和#d中，均置于OPU3 2.5G支路插槽#a的第一列（即OPU3第16+a列）。位于OPU3 2.5G支路插槽#a、#b、#c和#d中的四个PJO2（对应单个ODU2），在十六帧多帧结构的#a、#b、#c和#d帧中，均部署于OPU3 2.5G支路插槽#b的首列（即OPU3列16+b）。图19-18A展示了OPU3中四个ODU2映射至2.5G支路插槽(1,5,9,10)、(2,3,11,12)、(4,14,15,16)及(6,7,8,13)的示例。

示例 – OPU3 TS(1,2,3,4)中的ODU2：PJO1位于列 $16+1=17$ ，PJO2位于列 $16+2=18$ 。ODU2在OPU3 TS(13,14,15,16)中：PJO1位于列 $16+13=29$ ，PJO2位于列 $16+14=30$ 。

位于OPU1 1.25G分支插槽#i (i: 1,2) 的ODU0对应的PJO1位于OPU1的第一列

1.25G子插槽#i (OPU1列16+i) 与PJO2位于OPU1的第二列

1.25G支路插槽#i (OPU1列18+i) 位于双帧多帧的帧#i中。

位于OPU2或OPU3的ODU1的PJO1位于1.25G支路插槽#a和#b (a：分别为1..7或1..31；b：分别为2..8或2..32) 位于八帧或三十二帧多帧中帧 #a 和 #b 的 OPUk 1.25G 支路插槽 #a (OPUk 第 16+a 列) 的第一列，而 PJO2 位于 OPUk 1.25G 支路插槽 #b (OPUk 第 16+b 列) 的第一列。

示例 – OPU2 或 OPU3 TS(1,2) 中的 ODU1：PJO1 在列 $16+1=17$ ，PJO2 在列 $16+2=18$ 。ODU1 在 OPU2 TS(7,8) 中：PJO1 在列 $16+7=23$ ，PJO2 在列 $16+8=24$ 。ODU1 在 OPU3 TS(31,32) 中：PJO1 在列 $16+31=47$ ，PJO2 在列 $16+32=48$ 。

OPU3 1.25G 辅助插槽 #a、#b、#c、#d 中的八个 PJO1 接口，#e、#f、#g 和 #h 位于三十二帧多帧结构中OPU3 1.25G子插槽#a的第一列（OPU3列16+a），对应帧#a、#b、#c、#d、#e、#f、#g和#h。OPU3中用于ODU2的八个PJO2

位于OPU3 1.25G支路插槽#b的第一列（OPU3列16+b），在三十二帧多帧的帧#a、#b、#c、#d、#e、#f、#g和#h中。图19-18B展示了OPU3中两个ODU2和两个ODU1映射至1.25G支路插槽的示例 (1,5,9,10,17,19,20,21)，(25,26,27,28,29,30,31,32)、(2,3)及(4,24)。

示例 – OPU3 TS(1,2,3,4,5,6,7,8)中的ODU2：PJO1位于第 $16+1=17$ 列，PJO2位于第 $16+2=18$ 列。ODU2在OPU3 TS(25,26,27,28,29,30,31,32)中：PJO1位于列 $16+25=41$ ，PJO2位于列 $16+26=42$ 列。

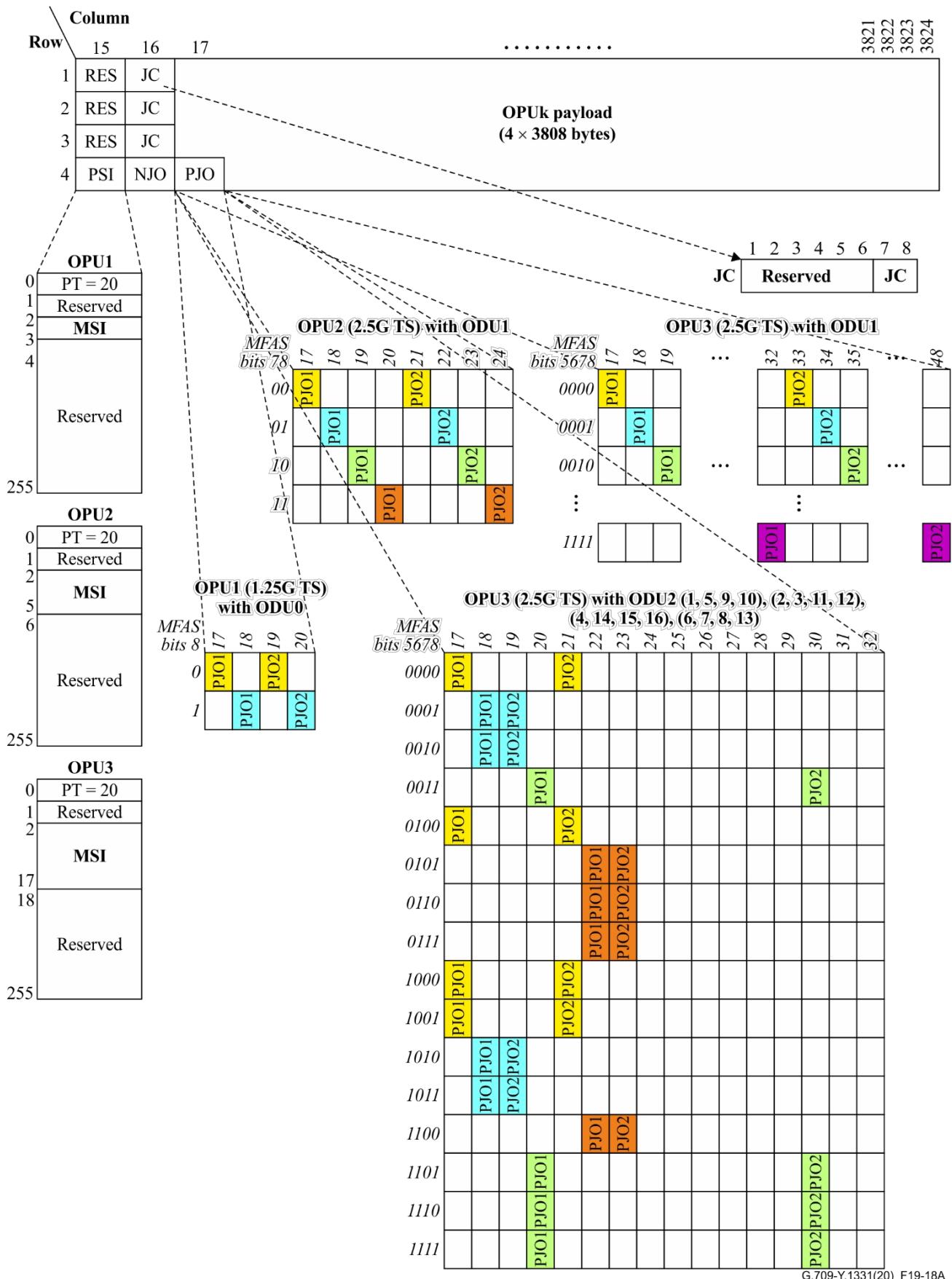


图19-18A – 仅与ODTU j_k 相关的OPU k ($k=1,2,3$) 复用开销 (有效载荷类型=20)

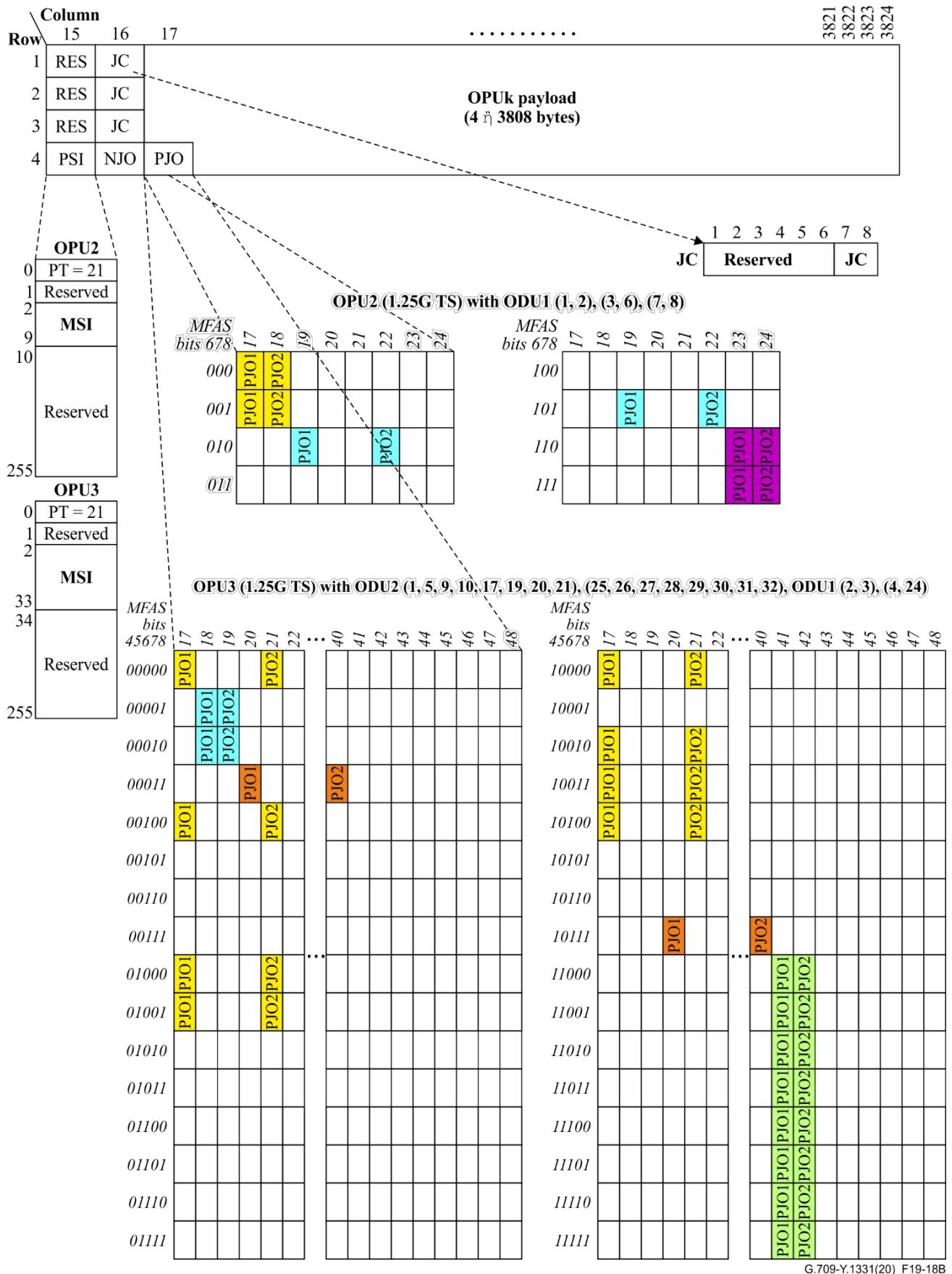


图19-18B – 仅与ODTUjk相关的OPUk (k=2,3) 复用开销 (有效载荷类型=21)

ODTUk.ts开销

ODTUk.ts开销包含GMP校准开销，由3字节校准控制字段（JC1、JC2、JC3）构成，其承载14位GMP Cm信息；另含3字节客户端/ODU专属校准控制字段（JC4、JC5、JC6），承载10位GMP ΣC_{8D} 信息。

JC1、JC2、JC3、JC4、JC5和JC6开销位置如图19-18C所示。

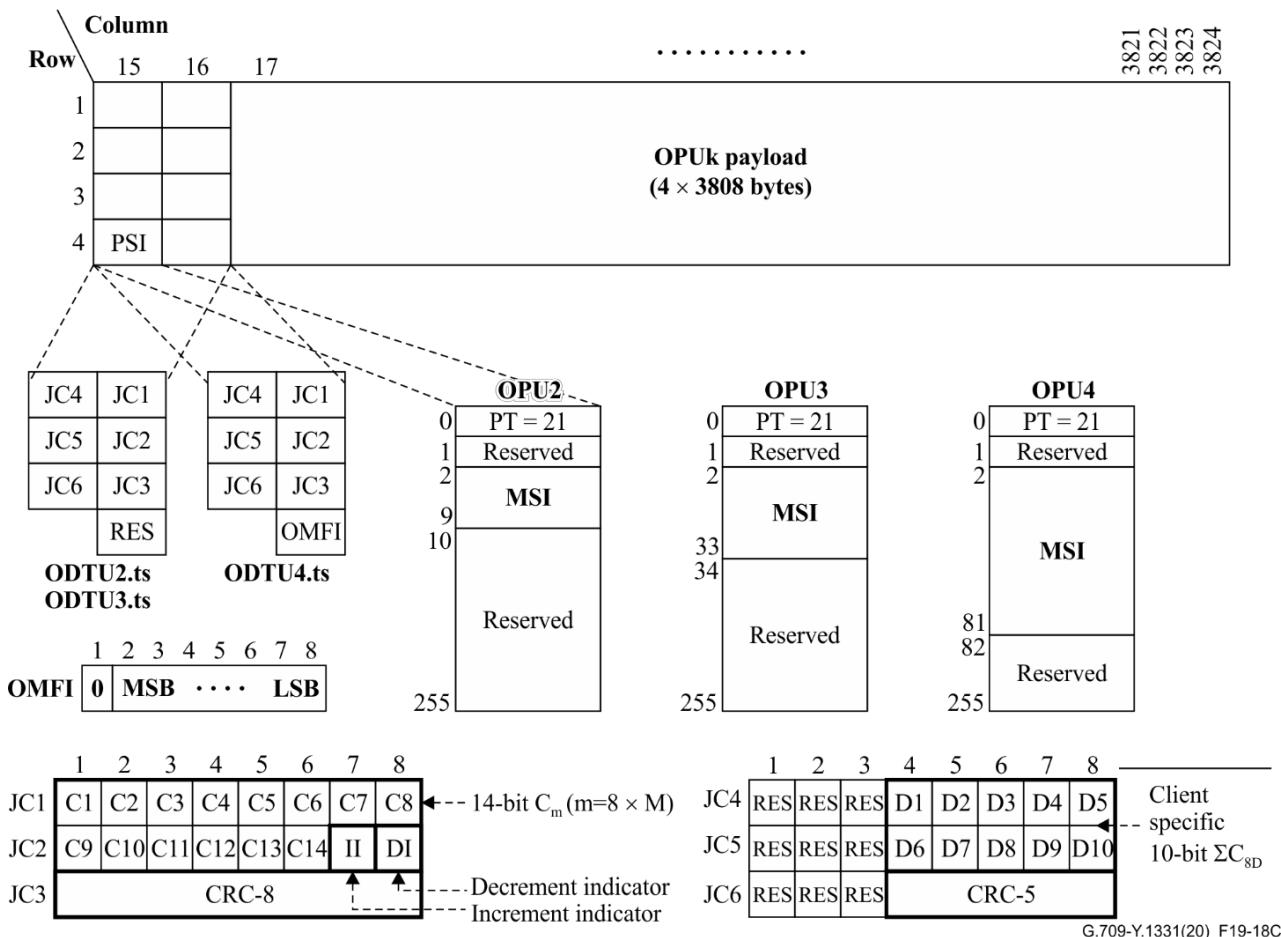


图19-18C – 与ODTUk.ts（有效载荷类型=21）关联的OPUk ($k=2,3,4,25,50$) 复用开销

19.4.1 OPUk复用结构标识符 (MSI)

OPUk ($k=1,2,3,4,25,50$) 复用结构标识符 (MSI) 开销位于PSI信号的映射特定区域，用于编码OPU中的ODU复用结构（参见图19-18A了解PT=20时OPUk中的MSI位置，PT=21时MSI在OPUk中的位置参见图19-18B和19-18C）。MSI具有OPU及支路时隙（2.5G、1.25G）特有的长度（OPU1：2字节，OPU2：4或8字节，OPU3：16或32字节，OPU4：80字节，OPU25：20字节，OPU50：40字节），用于标识OPU中每个支路插槽(TS)的ODTU内容。每个TS占用1字节。

19.4.1.1 OPU2复用结构标识符 (MSI) ——有效载荷类型20

对于4个OPU2 2.5G支路插槽，PSI的4个字节（PSI[2] .. PSI[5]）用作MSI字节，如图19-18A和19-19所示。MSI指示OPU2每个支路插槽的ODTU内容。每个支路插槽占用1个字节。

- 位1和位2的ODTU类型固定为00，表示存在ODTU12。
- 支路端口号表示当前传输中ODU1的端口号
2.5G TS；端口与分支插槽的分配是固定的，端口号等于分支插槽号。

	1	2	3	4	5	6	7	8	
PSI[2]	00				00 0000				TS1
PSI[3]	00				00 0001				TS2
PSI[4]	00				00 0010				TS3
PSI[5]	00				00 0011				TS4

图19-19 – OPU2-MSI编码 – 有效载荷类型20

19.4.1.2 OPU3多路复用结构标识符(MSI) – 有效载荷类型20

对于16个OPU3 2.5G支路插槽，如图19-18A、19-20A 和 19-20B 所示，PSI 的16字节（PSI[2] .. PSI[17]）用作MSI字节。MSI标识OPU3中每个支路插槽的ODTU内容。每个支路插槽占用1字节。

- 位1和位2中的ODTU类型指示OPU3传输系统承载的是ODTU13还是ODTU23。默认ODTU类型为ODTU13，当支路插槽承载ODTU13或未分配承载ODTU时即存在该类型。具体示例参见附录V。
- 位3至8的支路端口号标识当前2.5G传输单元中承载的ODTU13/23端口编号；对于ODTU23，支路端口与支路插槽可灵活映射；而ODTU13的映射固定，支路端口号等于支路插槽号。ODTU23从端口编号为1至4。

	1	2	3	4	5	6	7	8	
PSI[2]	ODTU类型	支路端口号							TS1
PSI[3]	ODTU类型	支流端口 #							TS2
PSI[4]	ODTU类型	支流端口 #							TS3
PSI[5]	ODTU类型	支流端口 #							TS4
PSI[6]	ODTU类型	支路端口 #							TS5
PSI[7]	ODTU类型	支流端口 #							TS6
PSI[8]	ODTU类型	支流端口 #							TS7
PSI[9]	ODTU类型	支流端口 #							TS8
PSI[10]	ODTU类型	支流端口 #							TS9
PSI[11]	ODTU类型	支路端口 #							TS10
PSI[12]	ODTU类型	支流端口 #							TS11
PSI[13]	ODTU类型	支流端口 #							TS12
PSI[14]	ODTU类型	支流端口 #							TS13
PSI[15]	ODTU类型	支流端口 #							TS14
PSI[16]	ODTU类型	支流端口 #							TS15
PSI[17]	ODTU类型	支流端口 #							TS16

图19-20A – OPU3-MSI编码 – 有效载荷类型20

	1	2	3	4	5	6	7	8	
PSI[1+i]	ODTU类型	支路端口号							TS #

00: ODTU13	00 0000: 支路端口1
01: ODTU23	00 0001: 从属端口2
10: 保留	00 0010: 从属端口3
11: 保留	00 0011: 从属端口4
:	:
	00 1111: 支路端口16

图19-20B – OPU3 MSI编码 – 有效载荷类型20

19.4.1.3 OPU1多路复用结构标识符(MSI) – 有效载荷类型20

对于2个OPU1 1.25G支路插槽，PSI的2个字节（PSI[2]、PSI[3]）被用作MSI字节，如图19-18A和19-21所示。MSI指示OPU1每个支路插槽的ODTU内容。每个支路插槽使用1个字节。

- 位1和位2的ODTU类型固定为11，表示存在ODTU01。
- 位3至8的支路端口号标识当前1.25G传输系统中承载的ODTU01端口编号；端口与支路插槽的映射关系固定，端口号等同于支路插槽编号。

	1	2	3	4	5	6	7	8	1.25G TS
PSI[2]		11			00 0000				TS1
PSI[3]			11		00 0001				TS2

图19-21 – OPU1 MSI编码 – 有效载荷类型20

19.4.1.4 OPU4 多路复用结构标识符 (MSI) – 有效载荷类型 21

对于80个OPU4 1.25G支路插槽，PSI的80字节（PSI[2]至PSI[81]）被用作MSI字节，如图19-18C、19-22A和19-22B所示。MSI指示OPU中每个分支插槽的ODTU内容。每个分支插槽占用1字节。

- TS占用位1指示分支插槽是否已分配或未分配。
- 位2至8的支路端口号表示本TS中传输的ODTU4.ts端口编号；当ODTU4.ts跨两个及以上支路槽传输时，可灵活分配支路端口至支路槽。ODTU4.ts支路端口编号范围为1至80。当占用位值为0（支路槽位未分配）时，该值设为全0。

	1	2	3	4	5	6	7	8	1.25G TS
PSI[2]	TS占用			支路端口号					TS1
PSI[3]	TS占用			支路端口 #					TS2
PSI[4]	TS占用			支流端口 #					TS3
PSI[5]	TS占用			支流端口 #					TS4
PSI[6]	TS占用			支流端口 #					TS5
PSI[7]	TS占用			支流端口 #					TS6
PSI[8]	TS占用			支路端口 #					TS7
PSI[9]	TS占用			分支端口号					TS8
:	:			:					:
:	:			:					:
PSI[81]	TS被占用			支流端口号					TS80

图19-22A – OPU4 1.25G TS MSI编码 – 有效载荷类型21

1	2	3	4	5	6	7	8	TS #
PSI[1 + i]	职业	支流端口号						
	0: 未分配	000 0000: 支路端口 1						
	1: 已分配	000 0001: 支路端口 2						
		000 0010: 支路端口 3						
		000 0011: 支路端口 4						
		:						
		100 1111: 支路端口 80						

图19-22B – OPU4 MSI编码 – 有效载荷类型21

19.4.1.5 OPU2多路复用结构标识符(MSI) – 有效载荷类型21

对于八个OPU2 1.25G支路插槽，如图19-18B、19-23A和19-23B所示，使用PSI的8字节（PSI[2]至PSI[9]）作为MSI字节。MSI指示OPU中每个分支插槽的ODTU内容，每个分支插槽占用1字节。

- 位1和位2的ODTU类型字段用于标识OPU2 1.25G传输分组（TS）承载的是ODTU12还是ODTU2.ts。默认ODTU类型为11（未分配），当分支插槽未被分配承载ODTU时即显示此值。
- 第3至8位表示该TS中传输的ODTU端口号；支路端口与插槽可灵活映射，其中ODTU12端口编号为1至4，ODTU2.ts端口编号为1至8。当ODTU类型值为11（支路插槽未分配）时，该值设为全0。

	1	2	3	4	5	6	7	8	
PSI[2]	ODTU类型			支路端口号					TS1
PSI[3]	ODTU类型			支流端口 #					TS2
PSI[4]	ODTU类型			支流端口 #					TS3
PSI[5]	ODTU类型			支流端口 #					TS4
PSI[6]	ODTU类型			支路端口 #					TS5
PSI[7]	ODTU类型			支路端口 #					TS6
PSI[8]	ODTU类型			支路端口 #					TS7
PSI[9]	ODTU类型			支流端口 #					TS8

图19-23A – OPU2 MSI编码 – 有效载荷类型21

	1	2	3	4	5	6	7	8	
PSI[1 + i]	ODTU类型		支路端口编号						TS #i
!									
	00: ODTU12		00 0000: 支流端口 1						
	01: 保留		00 0001: 支流端口 2						
	10: ODTU2.ts		00 0010: 支流端口 3						
	11: 未分配		00 0011: 支流端口 4						
			:						
			00 0111: 支路端口 8						

图19-23B – OPU2 MSI编码 – 有效载荷类型21

19.4.1.6 OPU3配备1.25G分支插槽（有效载荷类型21）的多路复用结构标识符（MSI）

对于三十二个OPU3 1.25G支路插槽，PSI的32字节（PSI[2]至PSI[33]）被用作MSI字节，如图19-18B、19-24A和19-24B所示。MSI标识OPU中每个支路插槽的ODTU内容，每个支路插槽占用1字节。

- 位1和位2的ODTU类型字段用于标识OPU3 1.25G传输系统承载的是ODTU13、ODTU23还是ODTU3.ts。默认ODTU类型为11（未分配），当分支插槽未被分配承载ODTU时即显示此状态。
- 支路端口编号（位于第3至8位）指示本传输分组中传输的ODTU端口号；支路端口可灵活分配至支路插槽，其中ODTU13支路端口编号为1至16，ODTU23支路端口编号为1至4，ODTU3.ts支路端口编号为1至32。当ODTU类型值为11时（即从属插槽未分配），该值设为全0。

	1	2	3	4	5	6	7	8	
<i>PSI[2]</i>	ODTU类型				支路端口号				<i>TS1</i>
<i>PSI[3]</i>	ODTU类型				支流端口 #				<i>TS2</i>
<i>PSI[4]</i>	ODTU类型				支流端口 #				<i>TS3</i>
<i>PSI[5]</i>	ODTU类型				支流端口 #				<i>TS4</i>
<i>PSI[6]</i>	ODTU类型				支流端口 #				<i>TS5</i>
:	:				:				:
:	:				:				:
<i>PSI[33]</i>	ODTU类型				支路端口 #				<i>TS32</i>

图19-24A – OPU3 MSI编码 – 有效载荷类型21

	1	2	3	4	5	6	7	8	
<i>PSI[I + i]</i>	ODTU类型		支路端口编号						<i>TS #i</i>
↓									
00: ODTU13			00 0000: 支流端口 1						
01: ODTU23			00 0001: 支流端口 2						
10: ODTU3.ts			00 0010: 支流端口 3						
11: 未分配			00 0011: 支流端口 4						
↓									
01 1111: 支路端口32									

图19-24B – OPU3 MSI编码 – 有效载荷类型21

19.4.1.7 OPU25多路复用结构标识符(MSI) – 有效载荷类型21

对于二十个OPU25 1.25G支路插槽，PSI的20字节（*PSI[2]*至*PSI[21]*）被用作MSI字节，如图19-18C、19-25A和19-25B所示。MSI指示OPU中每个分支插槽的ODTU内容，每个分支插槽占用1字节。

- TS占用位1指示分支插槽是否已分配或未分配。
- 位2至8的支路端口号标识当前传输的ODTU25.ts端口编号；当ODTU25.ts跨两个及以上支路槽传输时，可灵活分配支路端口至支路槽。ODTU25.ts支路端口编号为1至20。当占用位值为0（支路插槽未分配）时，该值设为全0。

	1	2	3	4	5	6	7	8	1.25G TS
PSI[2]	TS被占用			支路端口 #					TS1
PSI[3]	TS占用			支路端口 #					TS2
PSI[4]	TS占用			支路端口 #					TS3
PSI[5]	TS占用			支路端口 #					TS4
PSI[6]	TS占用			支路端口 #					TS5
:	:			:					:
:	:			:					:
PSI[21]	TS被占用			支路端口号					TS20

图19-25A – OPU25 1.25G TS MSI编码 – 有效载荷类型21

PSI[1+i]	1	2	3	4	5	6	7	8	TS #
	职业		支路端口号						
	0: 未分配		000 0000: 支路端口 1						
	1: 已分配		000 0001: 支路端口 2						
			000 0010: 支路端口 3						
			000 0011: 支路端口 4						
			:						
			001 0011: 支路端口 20						

图19-25B – OPU25 MSI编码 – 有效载荷类型21

19.4.1.8 OPU50多路复用结构标识符(MSI) – 有效载荷类型21

对于四十个OPU50 1.25G支路插槽，PSI的40字节（PSI[2]至PSI[41]）被用作MSI字节，如图19-18C、19-26A和19-26B所示。MSI指示OPU中每个支路插槽的ODTU内容。每个支路插槽占用1字节。

- TS占用位1指示分支插槽是否已分配或未分配。
- 支路端口编号（位于第2至第8位）指示当前传输流中承载的ODTU50.ts端口号；当ODTU50.ts被分配至两个或更多支路槽时，可灵活分配支路端口至支路槽。ODTU50.ts分支端口编号范围为1至40。当占用位值为0（分支槽位未分配）时，该值设为全0。

	1	2	3	4	5	6	7	8	1.25G TS
PSI[2]	TS占用			支路端口号					TS1
PSI[3]	TS占用			支路端口 #					TS2
PSI[4]	TS占用			支流端口 #					TS3
PSI[5]	TS占用			支流端口 #					TS4
PSI[6]	TS占用			支流端口 #					TS5
PSI[7]	TS占用			支流端口 #					TS6
:	:			:					:
:	:			:					:
PSI[41]	TS被占用			支流端口号					TS40

图19-26A – OPU50 1.25G TS MSI编码 – 有效载荷类型21

	1	2	3	4	5	6	7	8	TS #
PSI[1+i]	职业		支端口号						
	0: 未分配		000 0000: 支路端口 1						
	1: 已分配		000 0001: 支路端口 2						
			000 0010: 支路端口 3						
			000 0011: 支路端口 4						
			:						
			010 0111: 支路端口 40						

图19-26B – OPU50 MSI编码 – 有效载荷类型21

19.4.2 OPUk 有效负载结构标识符保留开销 (RES)

253 (OPU1)、251或247 (OPU2)、239或223 (OPU3)、175 (OPU4)、234 (OPU25) 和214 (OPU50)

字节在OPUk PSI中预留用于未来国际标准化。这些字节位于PSI[1]和PSI[4] (OPU1)、PSI[6]或PSI[10] (OPU2)、PSI[18]或PSI[34] (OPU3)、PSI[82] (OPU4)、PSI[22] (OPU25)、PSI[42] (OPU50) 至 PSI[255]。这些字节均设置为全零。

19.4.3 OPUk复用对齐开销 (JOH)

映射ODUj时采用两种映射程序：异步映射程序 (AMP) 或通用映射程序 (GMP)，分别映射至ODTUjk或ODTUK.ts。AMP使用特定于ODUj和OPUk的固定填充与对齐机会定义 (ODTUjk)。GMP使用独立于ODUj和OPUk的填充与对齐机会定义 (ODTUK.ts)。ODTUK.ts文件内的填充位置通过第19.4.3.2节规定的公式确定。

19.4.3.1 异步映射程序 (AMP)

如图19-18A和19-18B所示，位于OPUk (k=1,2,3) 第16列的对齐开销 (JOH) 由三个对齐控制 (JC) 字节和一个负对齐机会 (NJO) 字节组成。三个JC字节分别位于第1、2、3行，NJO字节位于第4行。

每个JC字节的第7位和第8位用于对齐控制，其余六位预留用于未来国际标准化。

19.4.3.2 通用映射程序 (GMP)

通用映射程序的对齐开销 (JOH) 包含两组三字节对齐控制字节：通用控制字节 (JC1、JC2、JC3) 和客户端到ODU映射专用控制字节 (JC4、JC5、JC6)。详见图19-18C。

JC1、JC2和JC3字节包含：_{14位}C_m字段（位C1、C2、...、C14）、1位递增指示符(II)字段、1位递减指示符(DI)字段，以及覆盖JC1、JC2和JC3字段的8位CRC-8校验字段。

JC4、JC5和JC6字节由_{10位}ΣC_nD字段（位D1、D2、...、D10）、5位CRC-5字段（用于对JC4、JC5和JC6字段中位4至8进行错误校验）以及9位保留位 (RES) 组成，后者预留用于未来国际标准化。

C_m中的'm'值等于 $8 \times |ts|$ （即ODTUK.ts所占用的支路时隙数量）。

'n'的值代表GMP C_n参数的时序粒度，该参数同样存在于

ΣC_nD参数中。该值n为8。

C_m的值控制着将|ts|个ODUj数据字节分组为|ts|个ODTUK.ts有效载荷字节的过程。有关此过程的详细规范，请参阅第19.6节和附录D。

ΣC_nD的值提供额外的'n'位定时信息，该信息对于控制ODUj信号的抖动和漂移性能至关重要。

C_n值（即每个OPUCn多帧中客户端n位数据实体的数量）按以下公式计算： $C_n(t) = m \times C_m(t) + (\Sigma C_n D(t) - \Sigma C_n D(t-1))$ 。需注意C_nD值实质反映映射器虚拟队列中因数据小于M字节而未能发送的量。若某帧't'中ΣC_nD值损坏，可在下一帧't+1'中恢复该错误。

19.4.4 OPU多帧标识符开销 (OMFI)

OPU4多帧标识符 (OMFI) 字节定义于OPU4开销字段的第4行第16列（图19-27）。该OMFI字节的第2至第8位值将在每个OPU4帧周期递增，从而形成80帧多帧结构，用于将ODUj信号复用至OPU4。

注：可选方案是每1280个帧周期（即80与256的最小公倍数）将OMFI=0位置与MFAS=0位置对齐。

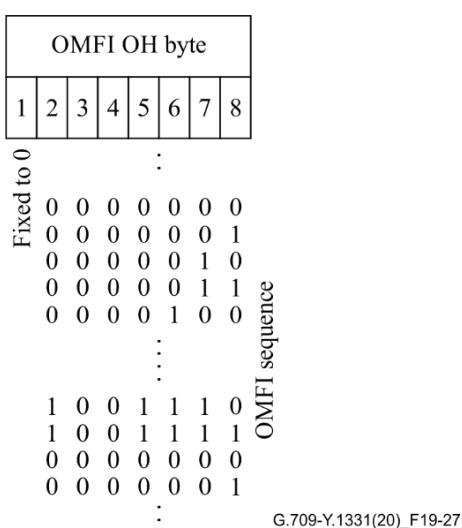


图19-27 – OPU4多帧标识符 (OMFI) 开销

OPU25 帧头（图 19-28）第 4 行第 16 列定义了 OPU25 多帧标识符（OMFI）字节。OMFI 字节的第 4 至第 8 位值将在每个 OPU25 帧中递增，以提供 20 帧的多帧结构，用于将 ODUj 信号复用到 OPU25 中。

注——可选方案是每1280个帧周期（即20与256的最小公倍数）将OMFI=0位置与MFAS=0位置对齐。

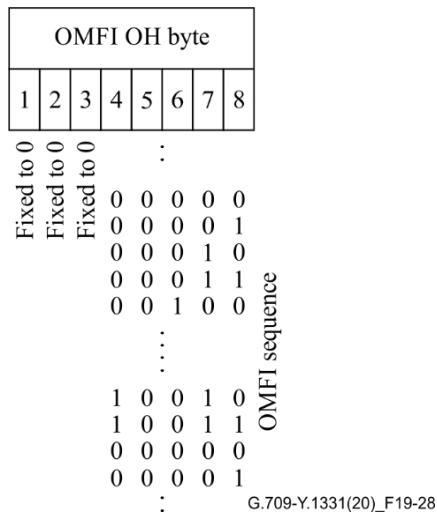


图19-28 – OPU25多帧标识符（OMFI）开销

OPU50帧开销的第4行第16列定义了OMFI字节（图19-29）。该字节第3至第8位值将在每个OPU50帧周期递增，从而形成40帧的多帧结构，用于将ODUj信号复用至OPU4。

注——可选方案是每1280个帧周期（即40与256的最小公倍数）将OMFI=0位置与MFAS=0位置对齐。

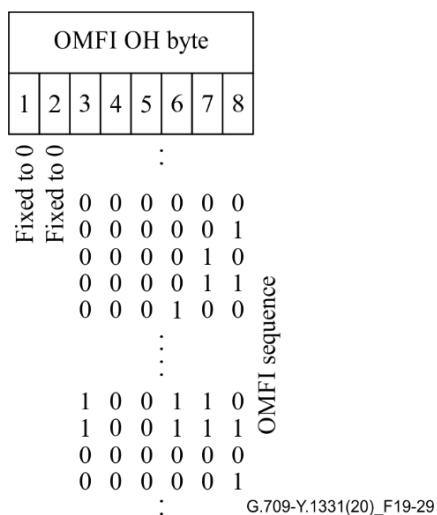


图19-29 – OPU50多帧标识符（OMFI）开销

19.5 将ODUj映射至ODTUjk

将ODUk信号（具有 ± 20 ppm的比特率容差）映射至ODTUik信号 ($(i,k) = \{(0,1), (1,2); (1,3), (2,3)\}$) 的过程采用异步映射方式。

注1—本映射方案可容纳的OPUk与ODUj信号时钟间最大比特率容差为：-130至+65 ppm（ODU0映射至OPU1），-113至+83 ppm（ODU1至OPU2），-96至+101 ppm（ODU1至OPU3）以及-95至+101 ppm（ODU2至OPU3）。

ODUj信号需按15.6.2.1和15.6.2.2条款规定添加帧对齐开销，
OTUj开销字段中填充全零模式（参见图19-30）。

	Column #			
	1 ... 7	8 ... 14	15	..
Row #	FA overhead area	Fixed stuff (all-0s)	OPUj area (4 × 3810 bytes)	
1				
2				
3	ODUj overhead area			
4				

G.709-Y.1331(20)_F19-30

图19-30 – 扩展ODUj帧结构（包含帧头开头，OTUj开头区域包含固定内容）

OPUk信号以及由此产生的ODTUjk ($k=1,2,3$) 信号由本地生成时钟（在表7-3规定的范围内）产生，该时钟独立于ODUj ($j=0,1,2$) 客户信号。

扩展的ODUj ($j=0,1,2$) 信号通过采用-1/0/+1/+2正/负/零 (pnz) 对齐方案的异步映射，映射至ODTUjk ($k=1,2,3$)。

扩展的ODUj字节映射为ODTUjk字节。

异步映射过程根据表19-9生成JC、NJO、PJO1和PJO2信号。解映射过程根据表19-9对JC、NJO、PJO1和PJO2进行解码。解映射过程中应采用多数决（三选二）机制作出校准决策，以防范三个JC信号中单一信号出现误差的情况。

表19-9 – JC、NJO、PJO1和PJO2的生成与解析

JC 8	NJO	PJO1	PJO2	解释
00	对齐字节	数据字节	数据字节	无对齐 (0)
01	数据字节	数据字节	数据字节	左对齐 (-1)
10 (注)	对齐字节	对齐字节	对齐字节	双倍正对齐 (+2)
11	对齐字节	对齐字节	数据字节	正对齐 (+1)

注——请注意，此代码不适用于ODU0进入OPU1的情况。

当NJO、PJO1和PJO2作为对齐字节使用时，其值均为全0。接收端必须忽略这些字节作为对齐字节时的数值。

当输入的ODUj客户端信号发生故障（例如OTUj-LOF）时，该故障信号将包含第16.5.1节规定的ODUj-AIS信号。此ODUj-AIS信号随后映射至ODTUjk。

当ODUj信号来自交换结构输出端（ODU连接功能）时，输入信号可能包含（在开放矩阵连接情况下）第16.5.2节规定的ODUj-OCI信号。该ODUj-OCI信号随后映射至ODTUjk。

注2——并非所有设备都实际实现连接功能（即交换结构）；实际情况是：支路接口端口单元的存在与否代表矩阵连接的存在与否。若该单元被有意缺失（即未安装），则关联的ODTUjk信号应携带ODUj-OCH信号。若该单元已安装但因维修操作被临时移除，则关联的ODTUjk信号应携带ODUj-AIS信号。

ODTUjk信号（ $j=0,1,2$; $k=1,2,3$ ）的ODUj信号解映射过程，需通过其对齐开销（JC、NJO、PJO1、PJO2）控制从OPUk中提取扩展的ODUj信号。

注3——当ODUj信号以OTUj信号形式输出时，需恢复提取的扩展ODUj信号的帧对齐，以实现ODUj向OTUj信号的帧同步映射。

当输入的ODUk/OPUk信号发生故障（例如出现ODUk-AIS、ODUk-LCK、ODUk-OCI状态时），将生成第16.5.1节规定的ODUj-AIS模式作为丢失的ODUj信号的替代信号。

19.5.1 ODU1映射至ODTU12

ODU1信号的每个字节映射到ODTU12的一个信息字节（参见图19-31A）。每4个OPU2帧可执行一次正向或负向校准操作。可执行校准的帧与ODTU12映射所在的OPU2 2.5G时间序列的TSOH相关（图19-1）。图19-31A展示映射于OPU2 2.5G TS1的情况。

ODU1信号的1个字节映射到ODTU12的信息字节中（参见图19-31B）。每8个OPU2帧中可执行两次对齐操作（正向或负向）。可执行对齐的帧与ODTU12映射所在的OPU2 1.25G TS的TSOH相关（图19-1）。图19-31B展示了映射于OPU2 1.25G TS1和TS4的情况。

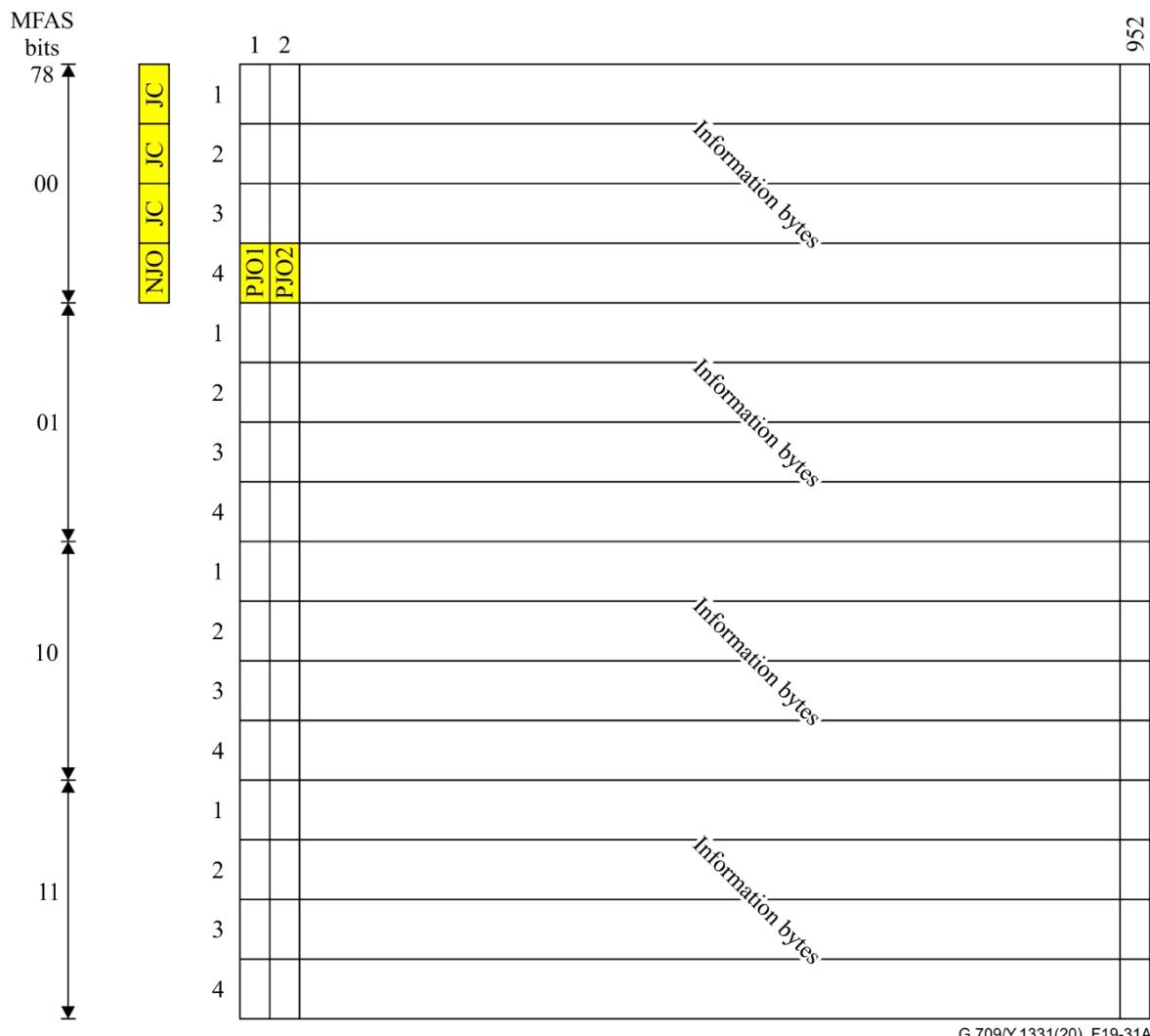
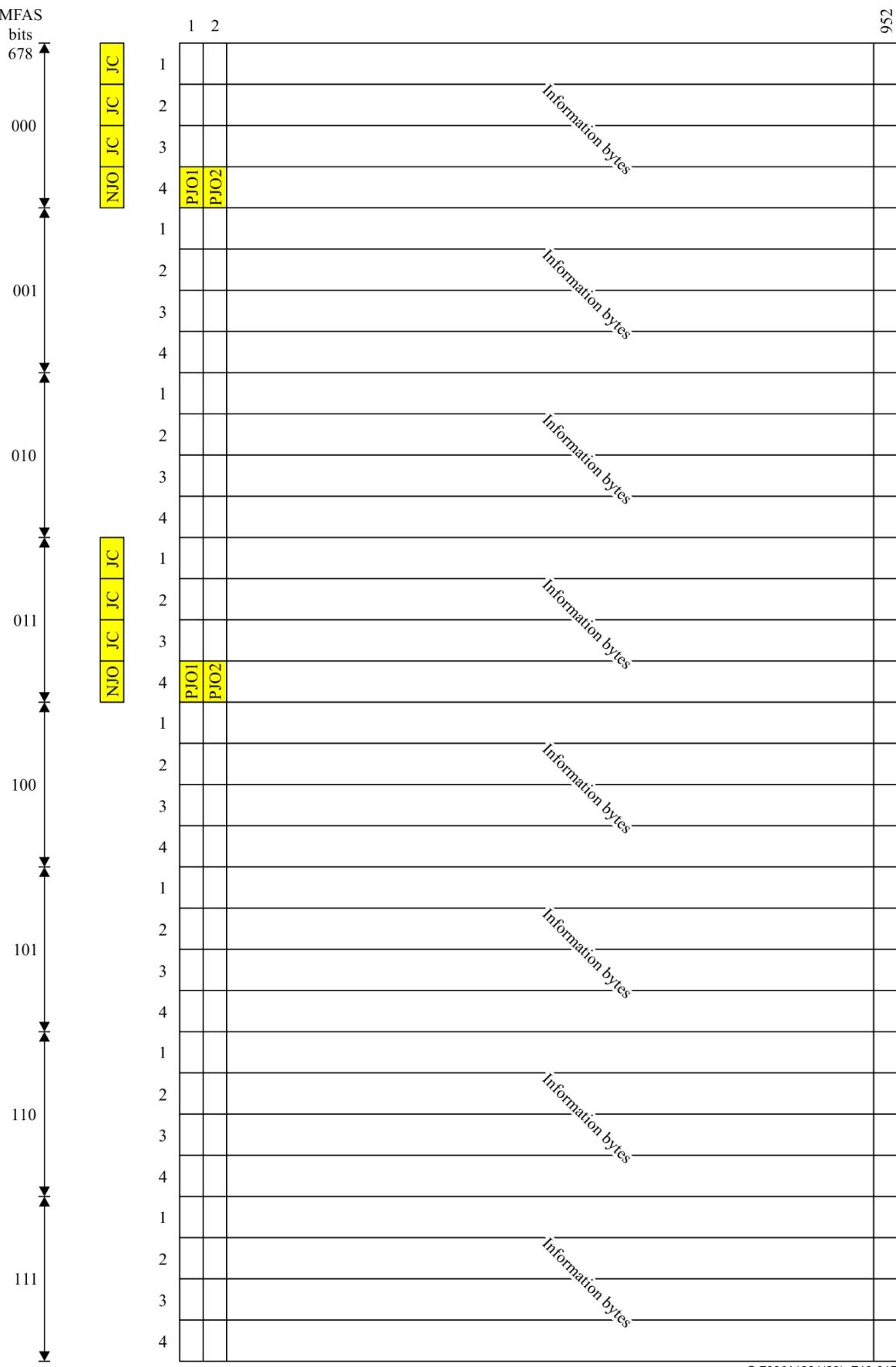


图19-31A – ODTU12帧格式与ODU1映射（映射于2.5G TS1）



G.709/Y.1331(20)_F19-31B

图19-31B – ODTU12帧格式及ODU1映射（映射于1.25G TS1和TS4）

19.5.2 ODU1映射至ODTU13

ODU1信号的字节映射到ODTU13的信息字节中（图19-32A）。ODTU13的第119列为固定填充字节，其中插入全0模式。每16个OPU3帧可执行一次正向或负向对齐操作。可执行对齐操作的帧与ODTU13映射所在的OPU3 2.5G TS的TSOH相关（图19-2）。图19-32A展示了映射于OPU3 2.5G TS3的情况。

ODU1信号的字节映射到ODTU13的信息字节中（参见图19-32B）。ODTU13的第119列为固定填充字节。在固定填充字节中插入全0模式。每32个OPU3帧可执行两次正向或负向对齐操作。可执行对齐操作的帧与ODTU13映射所在的OPU3 1.25G TS的TSOH相关（图19-2）。图19-32B展示了映射至OPU3 1.25G TS2和TS25的情况。

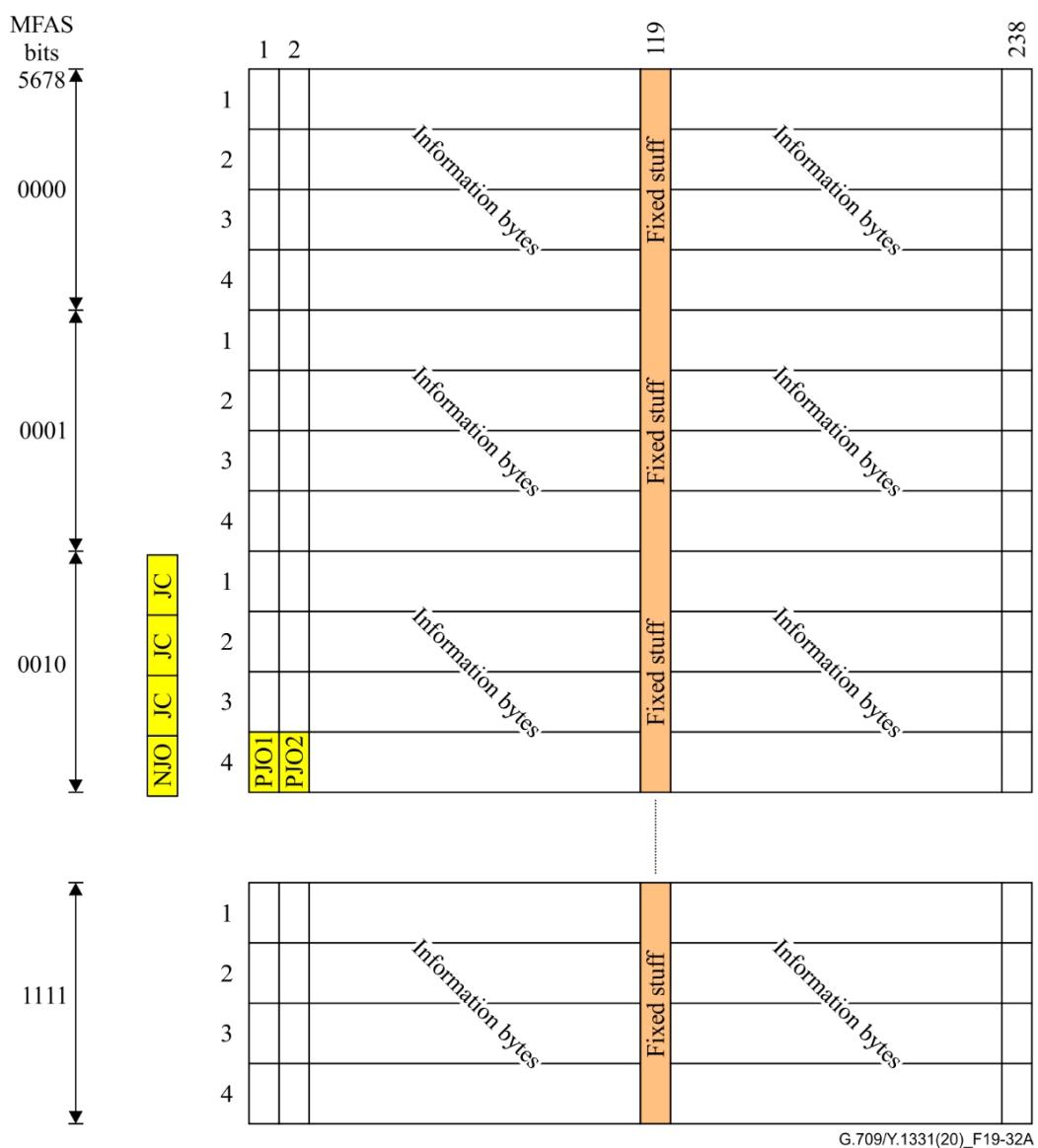


图19-32A – ODTU13帧格式与ODTU1映射（映射于2.5G TS3）

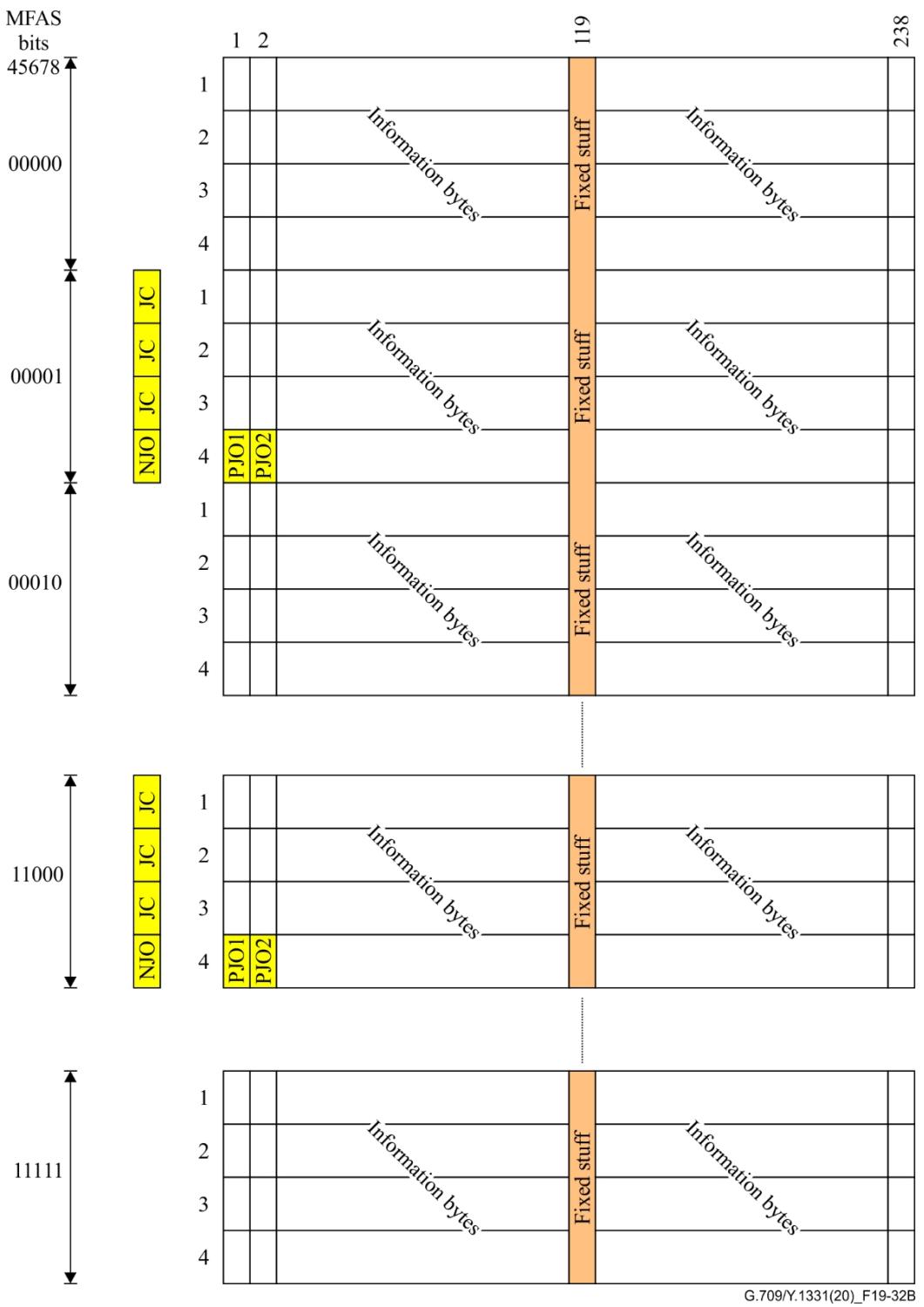


图19-32B – ODTU13帧格式及ODU1映射（1.25G TS2与TS25中的映射）

19.5.3 ODU2映射至ODTU23

ODU2信号的1字节映射至ODTU23的信息字节（图19-33A）。每16个OPU3帧中可执行4次正向或负向对齐操作。可执行对齐的4个帧与OPU3中包含ODTU23的TSOH相关（图19-2）。图19-33A展示了在OPU3的2.5G TS1、TS25中映射的情况。

映射ODTU23的2.5G TS（图19-2）。图19-33A展示了在OPU3的2.5G TS1、TS5、TS9和TS10中进行映射的情况。

ODU2信号的字节映射到ODTU23的信息字节中（参见图19-33B）。每32个OPU3帧内可执行8次正向或负向对齐操作。可执行对齐操作的帧与ODTU23映射所在的OPU3 1.25G时隙帧（TS）的TSOH相关（图19-2）。图19-33B展示了映射于OPU3 1.25G TS 1、2、5、9、10、25、26及32时的对齐情形。

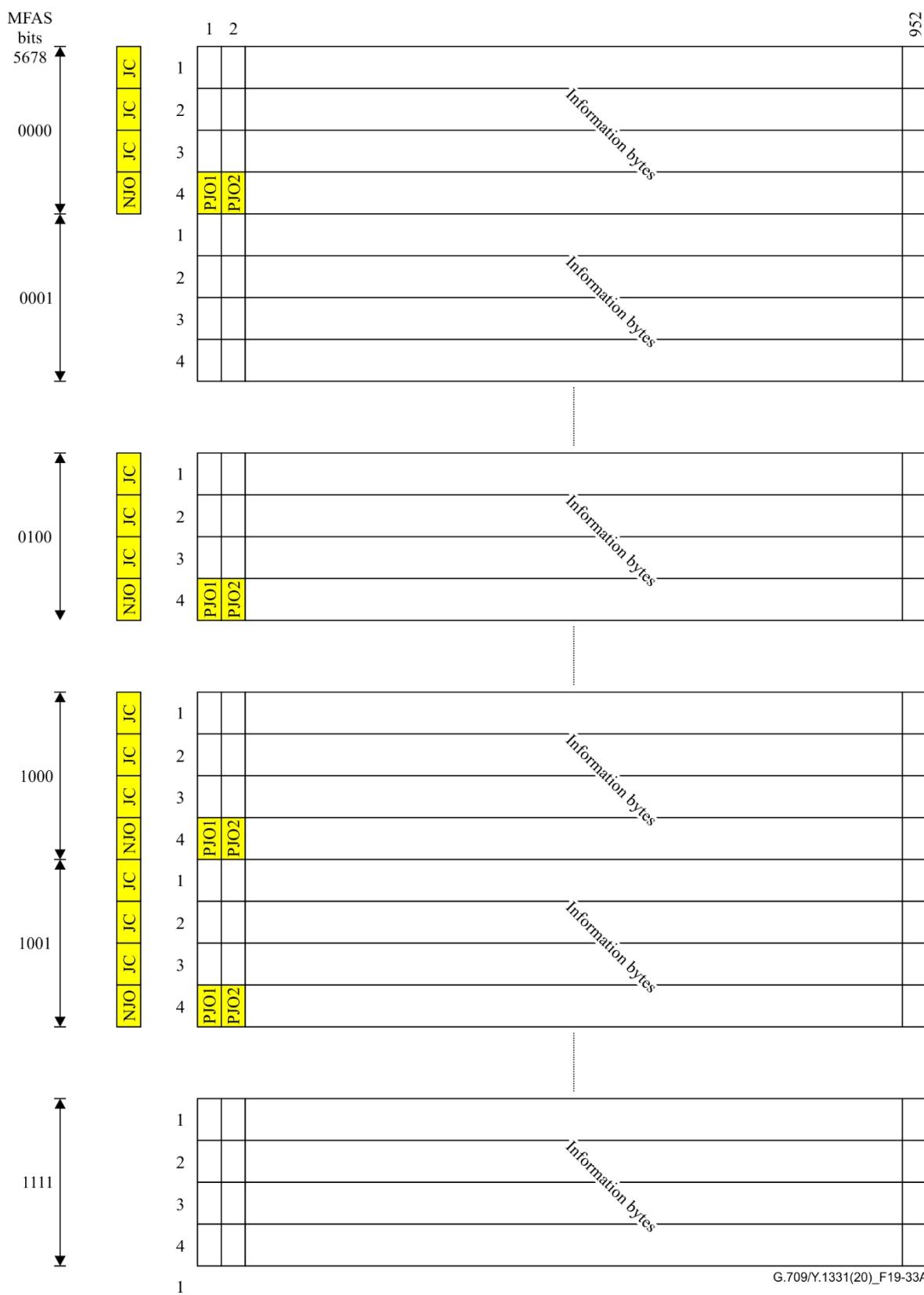
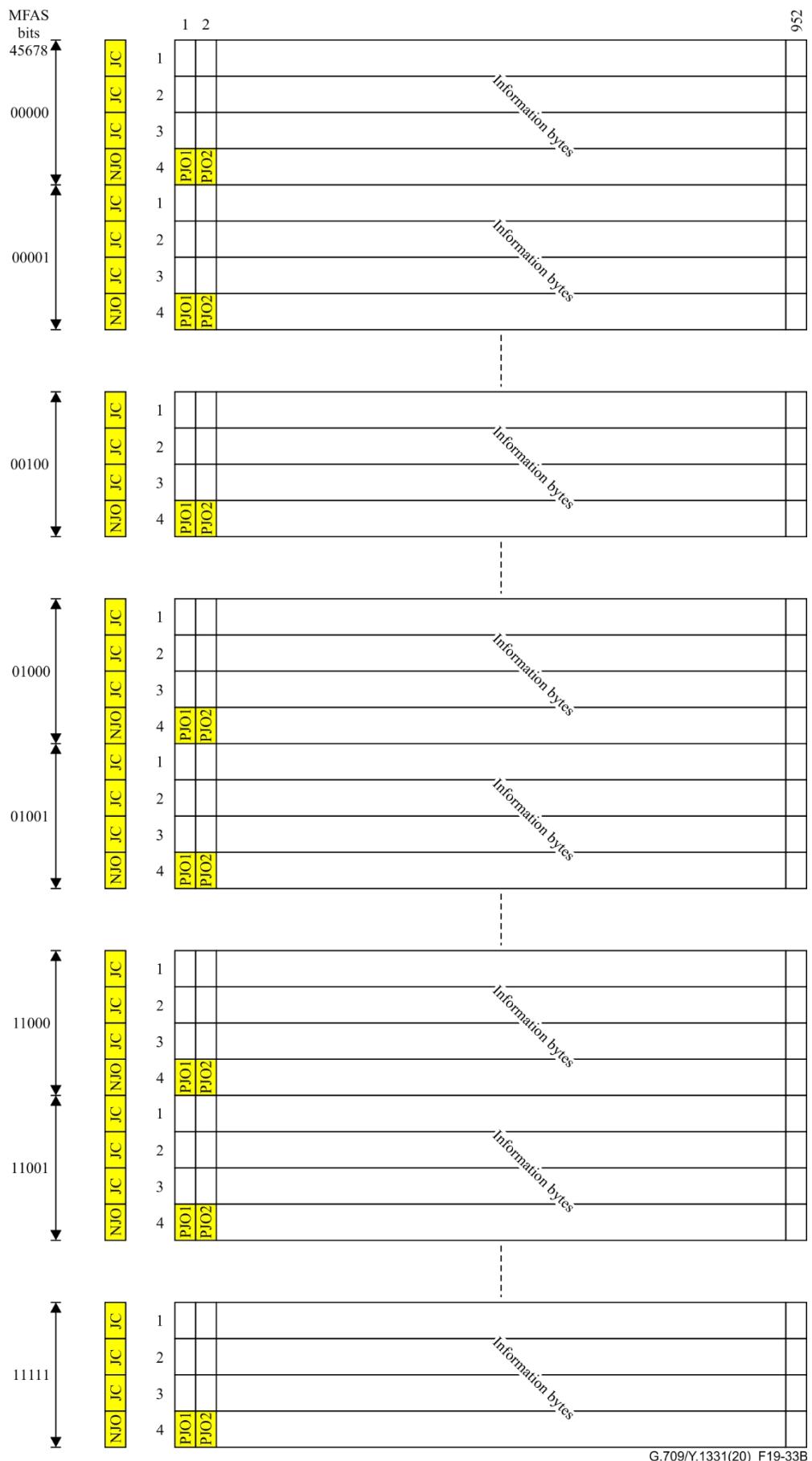


图19-33A – ODTU23帧格式与ODU2映射（映射于2.5G TS 1,5,9,10）



G.709/Y.1331(20)_F19-33B

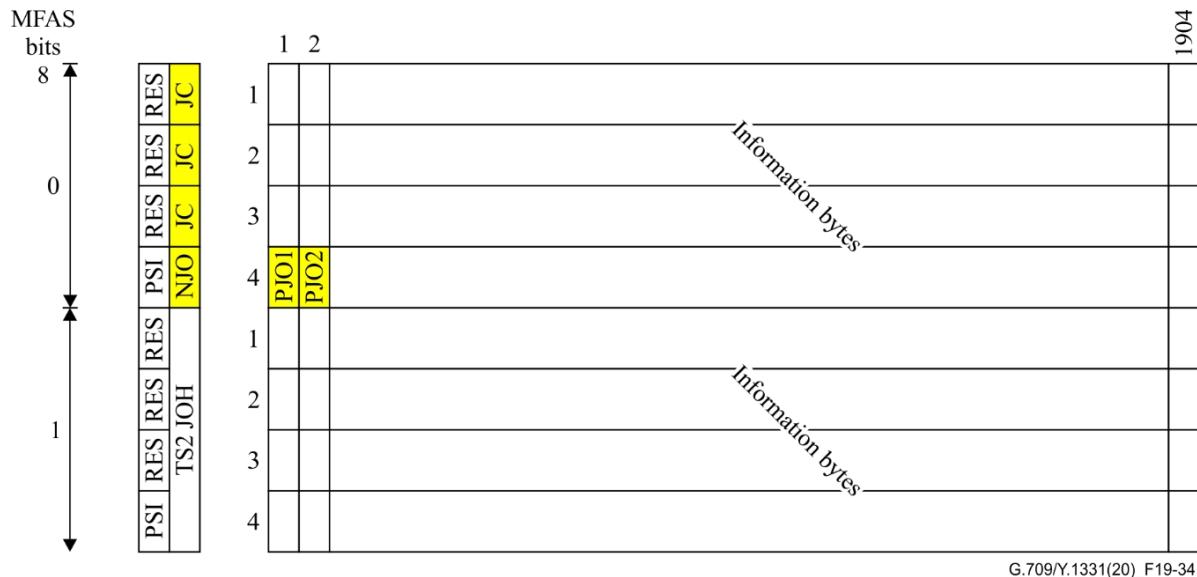
图19-33B – ODTU23帧格式及ODU2映射（映射于1.25G TS 1,2,5,9,10,25,26,32）

19.5.4 ODU0映射至ODTU01

ODU0信号的1字节映射至ODTU01的信息字节（参见图19-34）。每2个OPU1帧可执行一次正向或负向对齐操作。

可执行对齐操作的帧与ODTU01映射所在OPU1时序帧的TSOH相关（图19-3）. 图19-34展示了映射于OPU1 TS1的情况。

注：PJ02字段始终携带一个信息字节。



G.709/Y.1331(20)_F19-34

图19-34 – ODU0在OPU1 TS1中的映射

19.6 ODUj映射至的ODTuk.ts

ODUj ($j = 0, 1, 2, 2e, 3, \text{flex}$) 信号（具有 ± 100 ppm的比特率容差）映射至ODTuk.ts ($k = 2, 3, 4, 25, 50$; $ts = M$) 信号的过程，通过附件D中规定的通用映射程序实现。

OPUk信号（进而包括ODTuk.ts信号， $k=2,3,4,25,50$ ）由本地生成时钟（需符合表7-3限定值）产生，该时钟独立于ODUj客户端信号。

ODUj信号需按15.6.2.1和15.6.2.2条款规定添加帧对齐开销，并在OTUj开销字段中填充全0模式（参见图19-30）。

OTUj开销字段中填充全零模式（参见图19-30）。

扩展的ODUj信号通过通用映射程序（GMP）适配至本地生成的OPUk/ODTuk.ts时钟，具体方法详见附件D。 c_n 、 $c_{nD}(t)$ 及 $c_{nD}(t)$ 中的n值在附件D中规定。M值代表ODUj占用的支路时隙数量；ODTuk.ts = ODTuk.M。

一组连续的'M'个扩展ODUj字节被映射为一组连续的'M'个ODTuk.M字节。

通用映射过程针对ODUj ($j = 0, 1, 2, 2e, 3, \text{flex}$) 信号，每ODTuk.M多帧生成一次 $c_m(t)$ 和 $c_{nD}(t)$ 信息（依据附件D），并将该信息编码至ODTuk.ts的校准控制开销区段JC1/JC2/JC3及JC4/JC5/JC6中。解映射过程从JC1/JC2/JC3及JC4/JC5/JC6中解码 $c_m(t)$ 和 $c_{nD}(t)$ ，并依据附件D解析该信息。应采用CRC-8校验码保护JC1、JC2、JC3信号免受误码影响。CRC-5用于保护JC4、JC5、JC6信号免受错误影响。

当输入的ODUj信号发生故障时，该故障信号将包含第16.5.1节规定的ODUj-AIS信号。此ODUj-AIS信号随后映射至ODTuk.M。

当ODUj信号来自结构输出端（ODU连接功能）时，在开放矩阵连接情况下，输入信号可能包含条款16.5.2规定的ODUj-OCI信号。该ODUj-OCI信号随后映射至ODTuk.M。

注1——并非所有设备都实现真正的连接功能（即交换结构）；取而代之的是，支路接口端口单元的存在/缺失代表矩阵连接的存在/缺失。若该单元被有意缺失（即未安装），则关联的ODTuk.M信号应携带ODUj-OCI信号。若该单元已安装但因维修操作被临时移除，则关联的ODTuk.M信号应携带ODUj-AIS信号。

一组连续的'M'个扩展ODUj字节将从连续的'M'个ODTuk.M字节中解映射。

注2——当ODUj信号以OTUj信号形式输出时，需恢复提取的扩展ODUj信号的帧对齐，以实现ODUj向OTUj信号的帧同步映射。

当输入的ODUk/OPUk信号发生故障（例如出现ODUk-AIS、ODUk-LCK、ODUk-OCI状态时），将生成符合第16.5.1节规定的ODUj-AIS模式作为丢失的ODUj信号的替代信号。

ODUj向ODTuk.ts传输时，M、m、Cm,min、Cm,max、n、Cn,min及Cn,max的取值如下：

$$M = \left\lceil \frac{\left(ODUj \text{ 的名义比特率} \times (1 + ODUj \text{ 的比特率容差} + 0.00006) \right) \text{适用于 } j \neq \text{flex}(GFP,n,k') \text{ 的 ODUj}}{\left(ODTuk.1_bit_rate_tolerance \times (1 - ODTuk.1_bit_rate_tolerance) \right)} \right\rceil \quad (19-1a)$$

$$M = \left\lceil \frac{ODUj_nom_bit_rate}{ODTuk.ts} \right\rceil = n \text{ 其中 ODUj 满足 } j = \text{flex}(GFP,n,k') \text{ 且 } k' \leq k, k' \in \{2,3,4\} \quad (19-1b)$$

$$m = 8 \times M \quad (19-2)$$

$$c_{m,nom} = \left\lceil \frac{\left(ODUj \text{ 的标称比特率} \times ODTuk.ts \text{ 不是 GMP 块的数量} \right)}{ODTuk.1_nom_bit_rate \times M} \right\rceil \quad (19-3)$$

$$= c_{m,nom} \times \left\lceil \frac{1 - ODUj_bit_rate_tolerance}{1 + ODTuk.1_bit_rate_tolerance} \right\rceil \quad (19-4)$$

$$= c_{m,nom} \times \left\lceil \frac{1 + ODUj_bit_rate_tolerance}{1 - ODTuk.1_bit_rate_tolerance} \right\rceil \quad (19-5)$$

$$c_{m,min} = \left\lfloor \left(\frac{c_{m,nom}}{c_{m,max}} \right) \right\rfloor \quad (19-6)$$

$$c_{m,max} = \left\lceil c_{m,nom} \right\rceil \quad (19-7)$$

$$n = 8 \quad (19-8)$$

$$c_{n,nom} = \left\lceil \frac{\left(ODUj_bit_rate \times ODTuk.ts \text{ 文件中 GMP 块的数量} \right)}{ODTuk.1_nom_bit_rate} \right\rceil \quad (19-9)$$

$$= c_{n,nom} \times \left\lceil \frac{1 - ODUj_bit_rate_tolerance}{1 + ODTuk.1_bit_rate_tolerance} \right\rceil \quad (19-10)$$

$$c_{n,max} = c_{n,nom} \times \left\lceil \frac{1 + ODUj_bit_rate_tolerance}{1 - ODTuk.1_bit_rate_tolerance} \right\rceil \quad (19-11)$$

$$C_{n,\min} = \text{floor}(c_{n,\min}) \quad (19-12)$$

$$C_{n,\max} = \text{ceiling}(c_{n,\max}) \quad (19-13)$$

$C_{m,\min}$ 、 $C_{n,\min}$ ($n=8$)、 $C_{m,\max}$ 和 $C_{n,\max}$ ($n=8$) 值代表ODUj/ODTUk.M ppm偏移组合的边界（即最小ODUj/最大ODTUk.M与最大ODUj/最小ODTUk.M）。在稳态条件下，特定的ODUk/ODTUk.M偏移组合不应导致生成的Cn和Cm值遍布整个范围，而应尽可能限制在最小范围内。

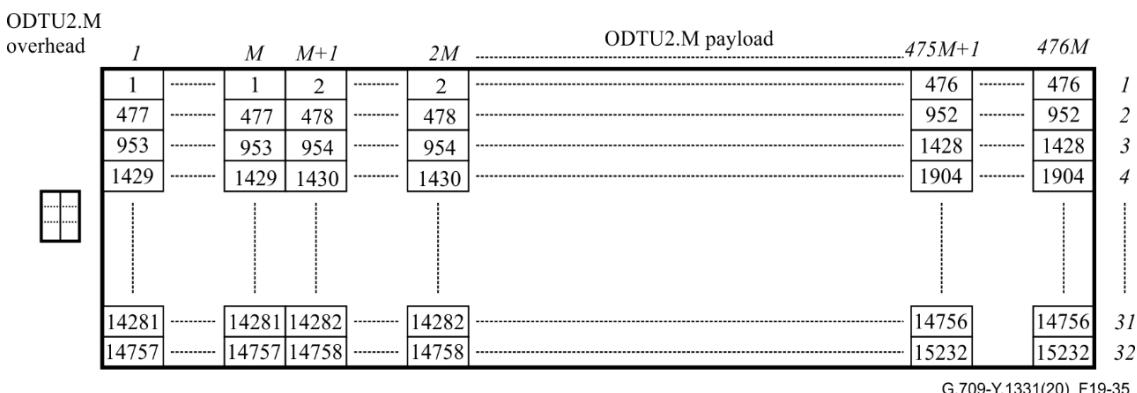
注——在瞬态ppm偏移条件下（例如AIS信号转为正常信号时），可能产生超出 $C_{n,\min}$ 至 $C_{n,\max}$ 及 $C_{m,\min}$ 至 $C_{m,\max}$ 范围的 $C_{(n)}$ 和 $C_{(m)}$ 值，GMP解映射器应能容忍此类情况。GMP原理的通用描述请参见附录D。

19.6.1 ODUj映射至ODTU2.M

扩展的ODUj ($j=0$, 灵活) 信号中连续的M个字节组，在GMP数据/填充控制机制的控制下映射到ODTU2.M有效载荷区域中连续的M个字节组。ODTU2.M有效载荷区域中的每个M字节组可承载M个ODU字节，或承载M个填充字节。填充字节的值设置为全0。

ODTU2.M有效载荷区域中的M字节组编号范围为1至15232。

图19-35展示了GMP M字节 (m位) 区块在ODTU2.M有效载荷中的字节编号规则。在ODTU2.M多帧结构的第一行中，前M字节标记为1，次M字节标记为2，依此类推。



G.709-Y.1331(20)_F19-35

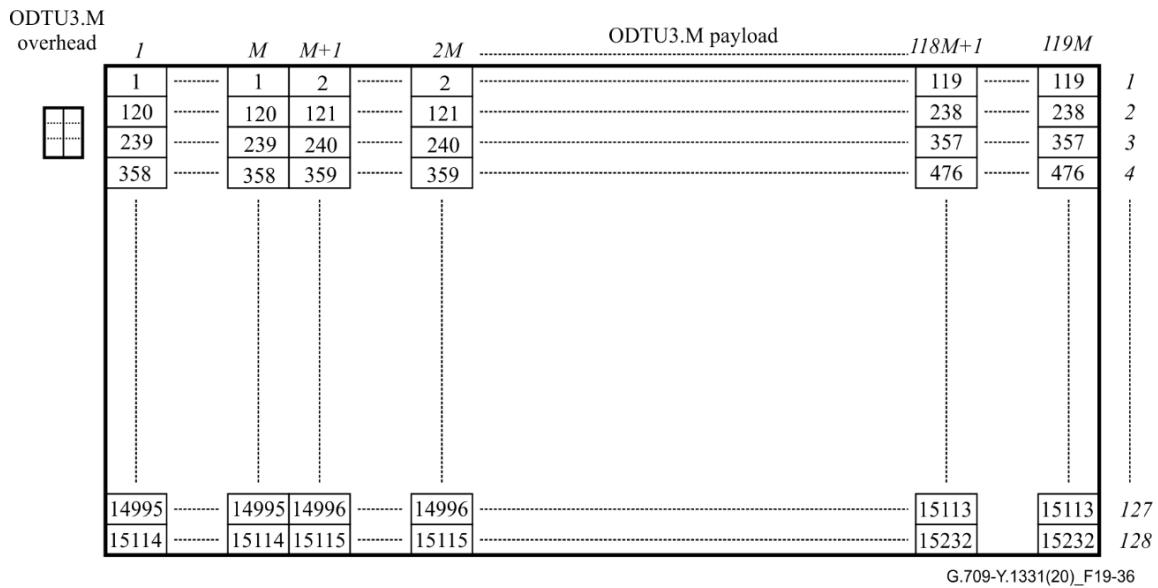
图19-35 – ODTU2.M GMP字节编号

19.6.2 ODUj到ODTU3.M的映射

扩展的ODUj信号 ($j = 0, 2e, \text{flex}$) 中连续的M个字节组，在GMP数据/填充控制机制的控制下，映射到ODTU3.M有效载荷区域中连续的M个字节组。ODTU3.M有效载荷区域中的每个M字节组可承载M个ODU字节，或承载M个填充字节。填充字节的值被设置为全0。

ODTU3.M有效载荷区域中的M字节组编号范围为1至15232。

图19-36展示了GMP M字节 (m位) 区块在ODTU3.M有效载荷中的字节编号规则。在ODTU3.M多帧结构的第一行中，前M字节标记为1，次M字节标记为2，依此类推。



G.709-Y.1331(20)_F19-36

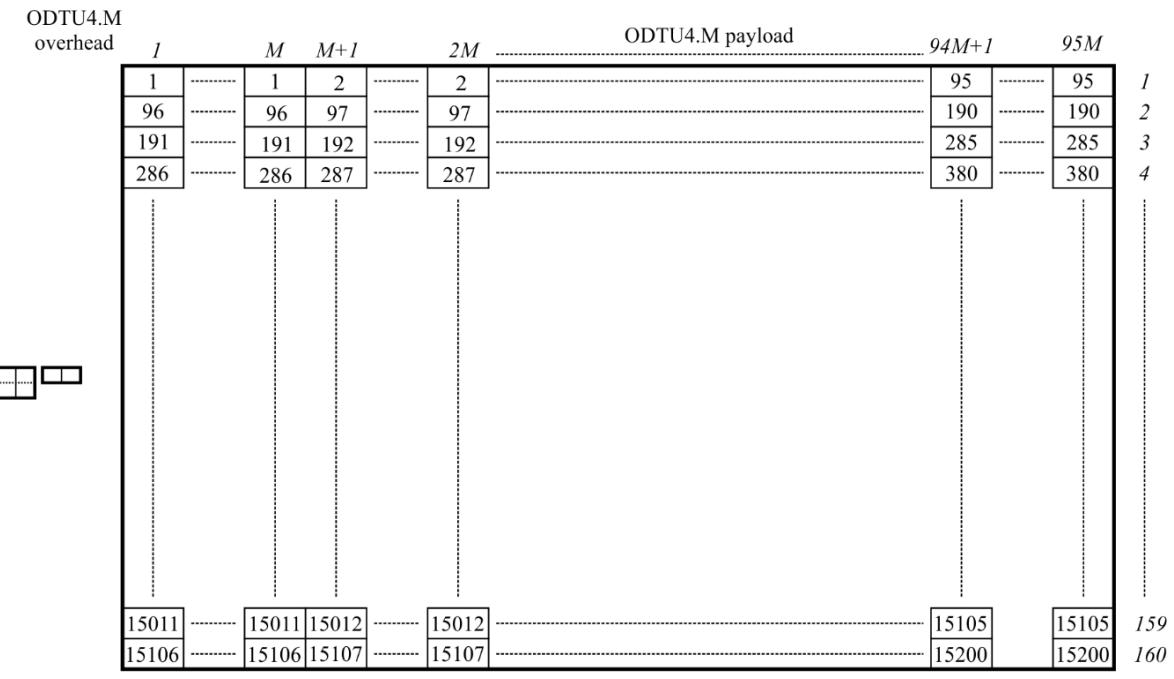
图19-36 – ODTU3.M GMP字节编号

19.6.3 ODUj到ODTU4.M的映射

扩展的ODUj ($j = 0, 1, 2, 2e, 3, \text{flex}$) 信号中连续的M个字节组，在GMP数据/填充控制机制的控制下，映射到ODTU4.M有效载荷区域中连续的M个字节组。ODTU4.M有效载荷区域中的每个M字节组可承载M个ODU字节，或承载M个填充字节。填充字节的值被设置为全0。

ODTU4.M有效载荷区域中的M字节组编号范围为1至15200。

图19-37展示了GMP M字节 (m位) 区块的ODTU4.M有效载荷字节编号规则。在ODTU4.M多帧结构的第一行中，前M字节标记为1，次M字节标记为2，依此类推。



G.709-Y.1331(20)_F19-37

图19-37 – ODTU4.M GMP字节编号

19.6.4 ODUj到ODTU25.M的映射

扩展的ODUj ($j = 0, 1, 2, 2c, flex$) 信号中连续的M个字节组，在GMP数据/填充控制机制的控制下，映射到ODTU25.M有效载荷区域中连续的M个字节组。ODTU25.M有效载荷区域中的每个M字节组，可承载M个ODU字节，或承载M个填充字节。填充字节的值被设置为全0。

QDTU25 M有效载荷区域中的M字节组编号范围为1至15232。

图19-38展示了GMP兆字节（m位）区块在ODTU25.M有效载荷中的字节编号规则。在ODTU25.M多帧结构的第一行中，首个兆字节标记为1，次个兆字节标记为2，依此类推。

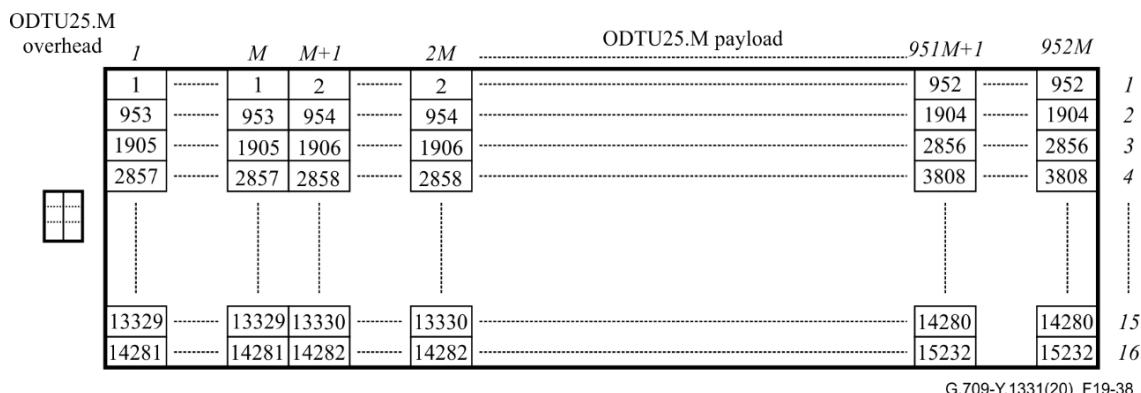


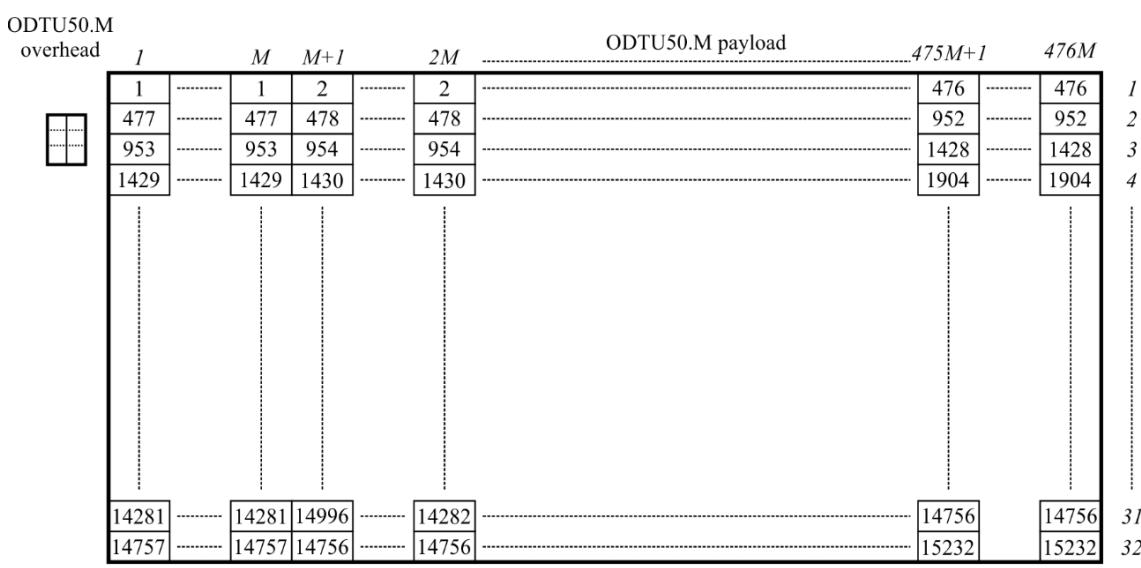
图19-38 – ODTU25.M GMP字节编号

19.6.5 ODUi到ODTU50.M的映射

扩展的ODUj ($j = 0, 1, 2, 2c, 3, \text{flex}$) 信号中连续的M个字节组，在GMP数据/填充控制机制的控制下，映射到ODTU50.M有效载荷区域中连续的M个字节组。ODTU50.M有效载荷区域中的每个M字节组可承载M个ODUj字节，或承载M个填充字节，填充字节的值被设置为全0。

ODTU50 M有效载荷区域中的M字节组编号范围为1至15237。

图19-39展示了GMP兆字节（m位）区块在ODTU50.M有效载荷中的字节编号规则。在ODTU50.M多帧结构的第一行中，首个兆字节标记为1，次个兆字节标记为2，依此类推。



20 将ODUk信号映射到ODTUCn信号，并将ODTUCn映射到OPUCn分支槽

本条款规定以下复用操作：

- 采用客户端无关通用映射程序（GMP）将ODUk复用至OPUCn。该复用过程分为两步：
 - 1) 使用GMP将ODUk异步映射至光数据支路单元(ODTUCn); - 2) 将ODTUCn映射至一个或多个OPUCn支路插槽的字节同步映射。OPUCn最多支持10n种不同的ODUK信号。

20.1 OPUCn分支槽 定义

OPUCn由n个OPUC组成。每个OPUC被划分为20个支路时隙（TS），这些支路时隙以16字节为单位交错分布于OPUC有效载荷区域内。支路插槽包含OPUC管理开销区的一部分及OPUC有效载荷区的一部分。ODUk帧的字节映射至ODTUCn有效载荷区，而ODTUCn的字节则映射至OPUCn的一个或多个支路插槽。ODTUCn对齐开销的字节映射至OPUCn管理开销区。

支路插槽仅有一种类型：

- 1) 带宽约5Gbit/s的 支路槽；OPUCn被划分为20n个支路槽，编号为1.1至n.20。

20.1.1 OPUCn支路时隙分配

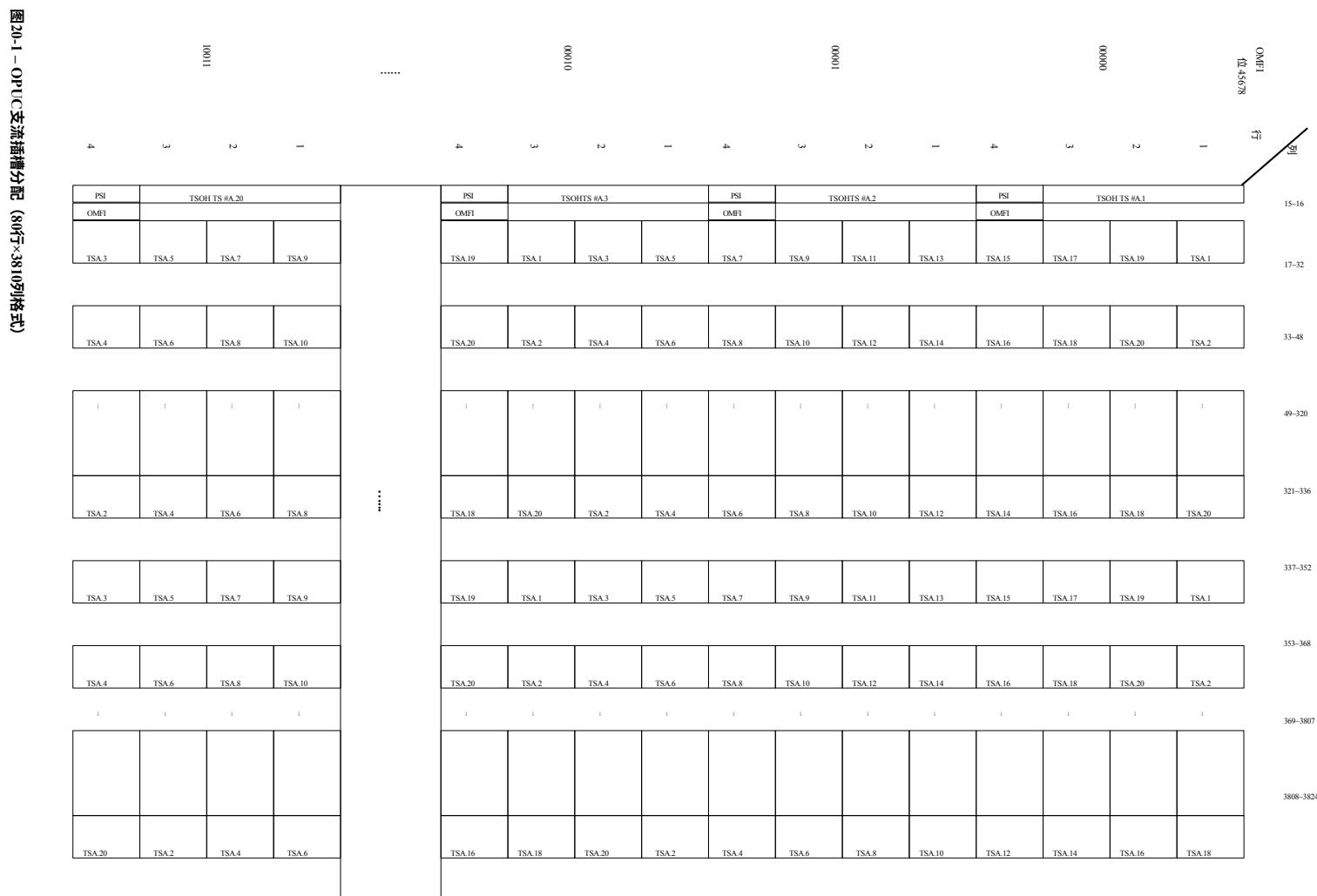
图20-1和图20-2展示了OPUC的5G分支槽分配。每个OPUC被划分为20个5G分支时隙（命名为TS #A.B，其中A=1...n表示该OPUC在OPUCn中的序号，B=1...20表示该TS在OPUC中的序号），这些时隙位于第17至3824列。OPUC多帧可采用80行×3810列格式（图20-1）或8行×38100列格式（图20-2）表示。

OPUC 5G支路插槽占用OPUC有效载荷区域的5%。其结构包含119列16字节数据列与8行($20 \times 4/10$)数据行（参见图20-2），外加支路插槽开销(TSOH)。20个OPUC 5G分支信道在OPUC有效载荷区以16字节为单位交错排列，而20个OPUC分支信道开销则在OPUC开销区以帧为单位交错排列。

OPUC支路时隙的支路时隙开销(TSOH)位于OPUC帧的第1至3行、第15和16列。

5G分支槽的TSOH每20帧出现一次。该分配采用20帧多帧结构，该结构锁定在OMFI字节的第4、5、6、7、8位（如表20-1和图20-1所示）。

图20-3展示了OPUC实例采用16字节交织时，OPUCn中5G支路槽的排列方式。该交织方式呈现了OPUCn内部的支路槽顺序。



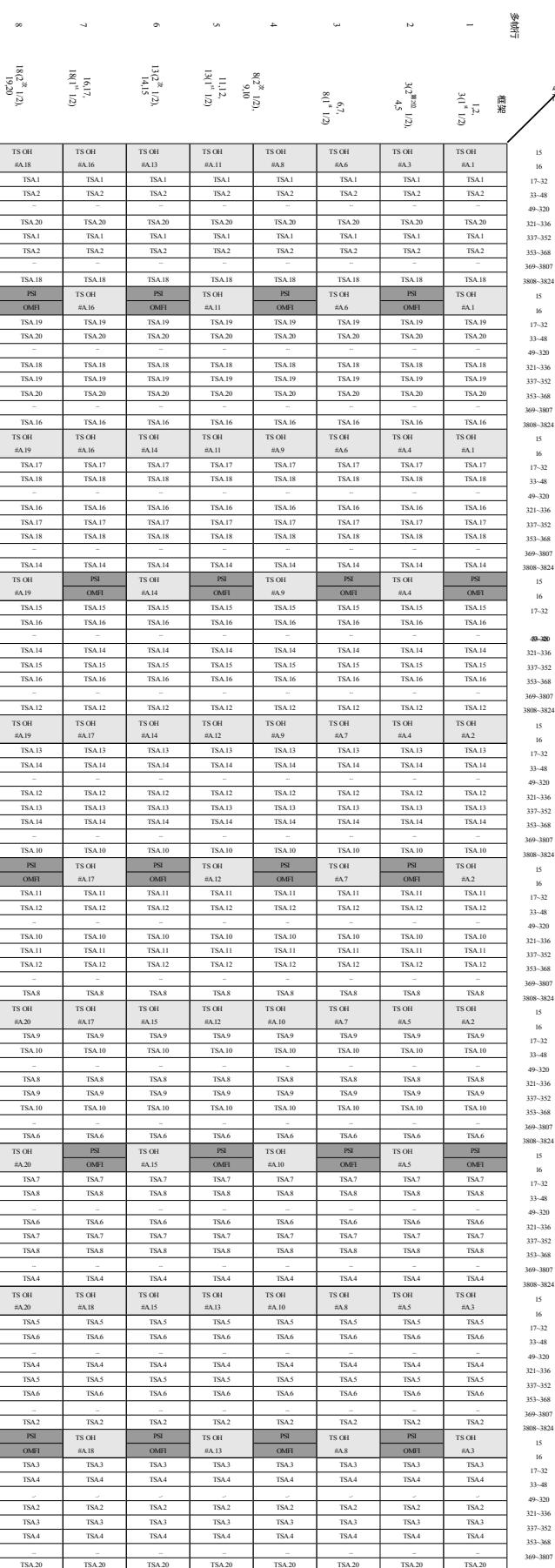


图20.3—具有n个OPUC的16字节交错OPUCn支路插槽分配

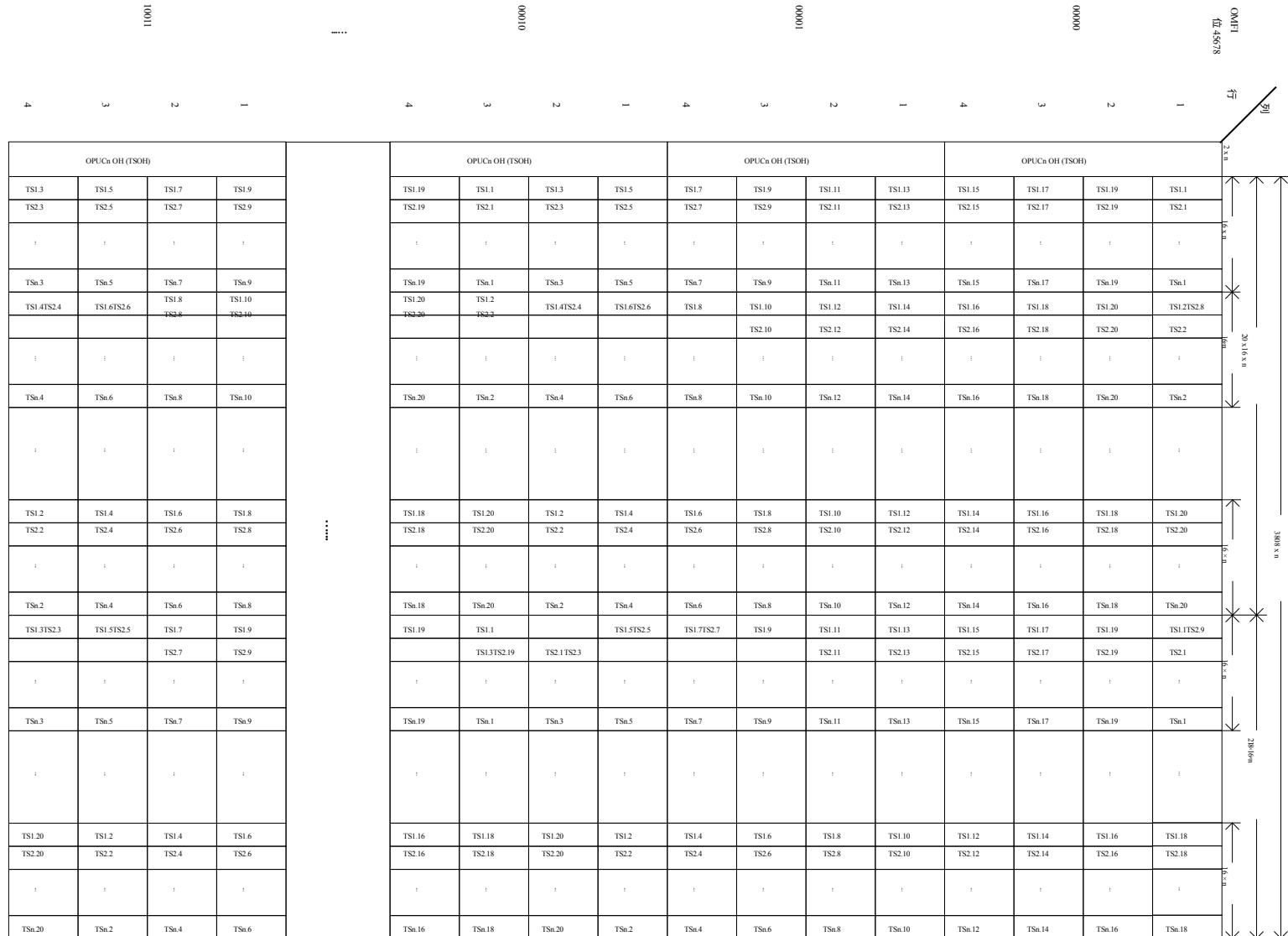


表 20-1 – OPUCn 支路时隙 OH 分配

OMFI 位 4 5 6 7 8	TSOH 5G TS
0 0 0 0 0	A.1
0 0 0 0 1	A.2
0 0 0 1 0	A.3
0 0 0 1 1	A.4
0 0 1 0 0	A.5
0 0 1 0 1	A.6
0 0 1 1 0	A.7
0 0 1 1 1	A.8
0 1 0 0 0	A.9
0 1 0 0 1	A.10
0 1 0 1 0	A.11
0 1 0 1 1	A.12
0 1 1 0 0	A.13
0 1 1 0 1	A.14
0 1 1 1 0	A.15
0 1 1 1 1	A.16
1 0 0 0 0	A.17
1 0 0 0 1	A.18
1 0 0 1 0	A.19
1 0 0 1 1	A.20

20.2 ODTUCn 定义

光数据支路单元Cn（ODTUCn）承载对齐的ODUk信号。ODTUCn仅有一种类型：

- $ODTUCn.ts$ ($ts = 1$ 至 $20n$)，其中 $ODUk$ 信号 ($k = 0, 1, 2, 2e, 3, 4, \text{flex}$) 通过第 20.5 节定义的通用映射程序 (GMP) 进行映射。

光数据支路单元Cn.ts (ODTUCn.ts)

光数据支路单元Cn.ts (ODTUCn.ts) 由ODTUCn.ts有效载荷区和ODTUCn.ts开销区构成 (图20-4)。ODTUCn.ts有效载荷区包含 $119 \times ts$ ($ts=1$ 至 $20n$) 个16字节列和8行 ($15232 \times ts$ 字节)，ODTUCn.ts开销区包含 1×6 字节。ODTUCn.ts承载于OPUCn的“ts”个5G支路时隙中。

ODTUCn.ts开销的位置取决于在OPUCn中复用ODTUCn.ts所使用的OPUCn支路插槽 (参见条款20.1.1)。ODTUCn.ts开销的单一实例位于分配给该ODTUCn.ts的最后一个OPUCn支路插槽的OPUCn TSOH中。

ODTUCn.ts开销承载着条款20.4中规定的GMP合理性开销。

ODTUCn.ts开销包含6字节的GMP合理性控制字段 (JC1、JC2、JC3、JC4、JC5、JC6)，该字段承载GMP Cm和ΣC8D信息。

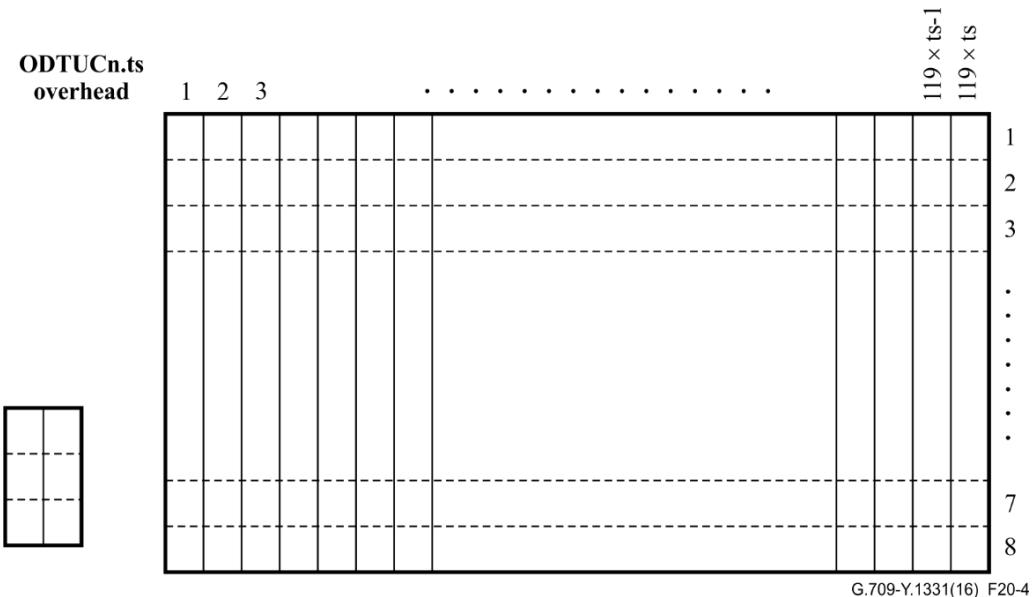


图20-4 – ODTUCn.ts帧格式

20.3 将ODTUCn信号复用至OPUCn

将ODTUCn.ts信号复用至OPUCn的实现方式，是将ODTUCn.ts信号映射至ts（取值为20n）个任意OPUCn 5G分支时隙：OPUCn TS #A1.B1, TS #A2.B2, …, TS #A_{ts}.B_{ts} 满足 $1 \leq n*(B1-1)+A1 < n*(B2-1)+A2 < \dots < n*(Bts-1)+Ats \leq 20n$ 。

注1 – TS #A₁.B₁、TS #A₂.B₂、…、TS #A_{ts}.B_{ts}在OPUCn时隙序列中不必连续；可任意选择时隙以避免带宽碎片化。

注2 – TS排序如图20-5所示。

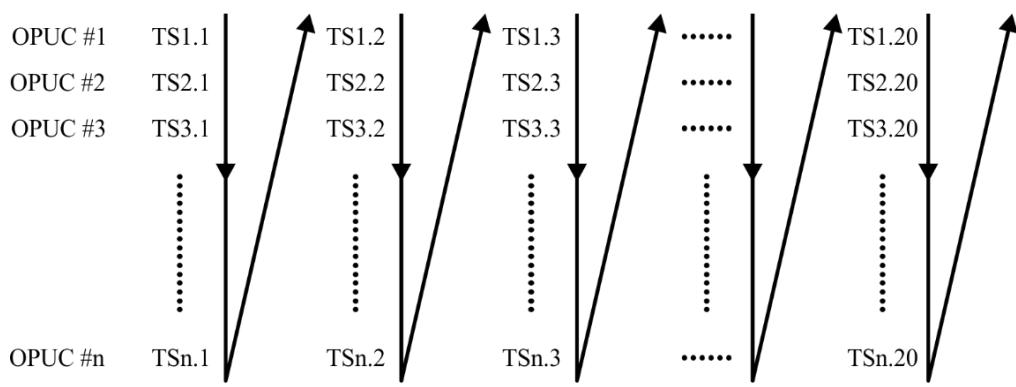


图20-5 – OPUCn TS排序

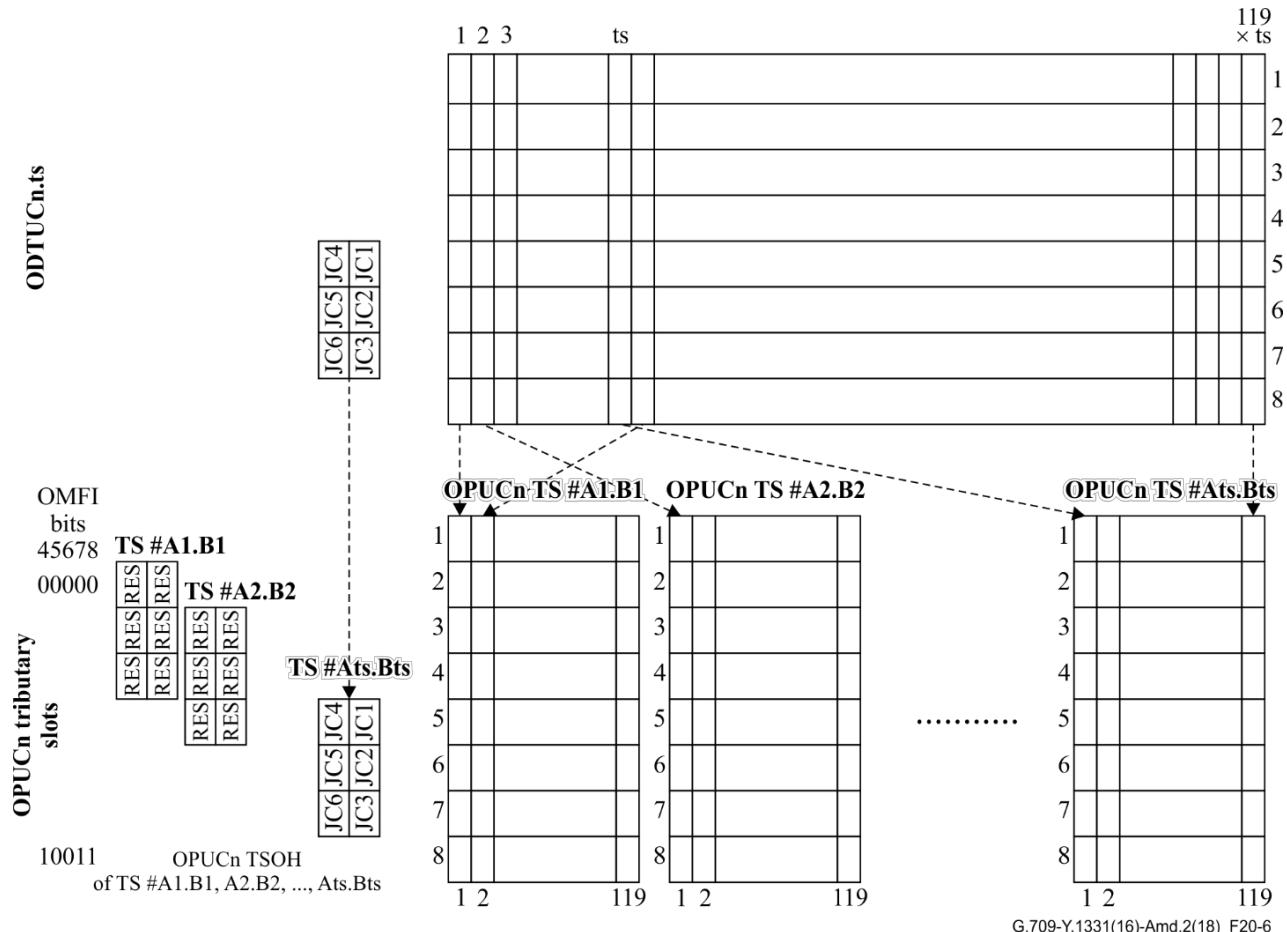
这些复用信号的OPUCn开销包含：有效载荷类型(PT)、复用结构标识符(MSI)、OPUCn多帧标识符、承载ODTUCn开销的OPUCn支路时隙开销，以及根据ODTU类型保留的一个或多个字节（用于未来国际标准化）。

20.3.1 ODTUCn.ts映射至ts OPUCn 5G分支时隙

ODTUCn.ts有效载荷信号的16字节映射到OPUCn 5G TS #A_i.B_i ($i = 1, \dots, ts$) 有效载荷区域的16字节中，如图20-6所示。

ODTUCn.ts开销字节映射至TS #A_{ts}.B_{ts}的TSOH字节，该TS位于分配给ODTUCn.ts的最后一个OPUCn 5G支路时隙第15-16列、第1-3行区域。

剩余的 $OPUCn$ TSOH字节保留用于未来的国际标准化工作。



G.709-Y.1331(16)-Amd.2(18)_F20-6

图20-6 – ODTUCh.ts映射至'ts' OPUCn 5G分支槽

20.4 OPUCn复用开销与ODTU开销开销

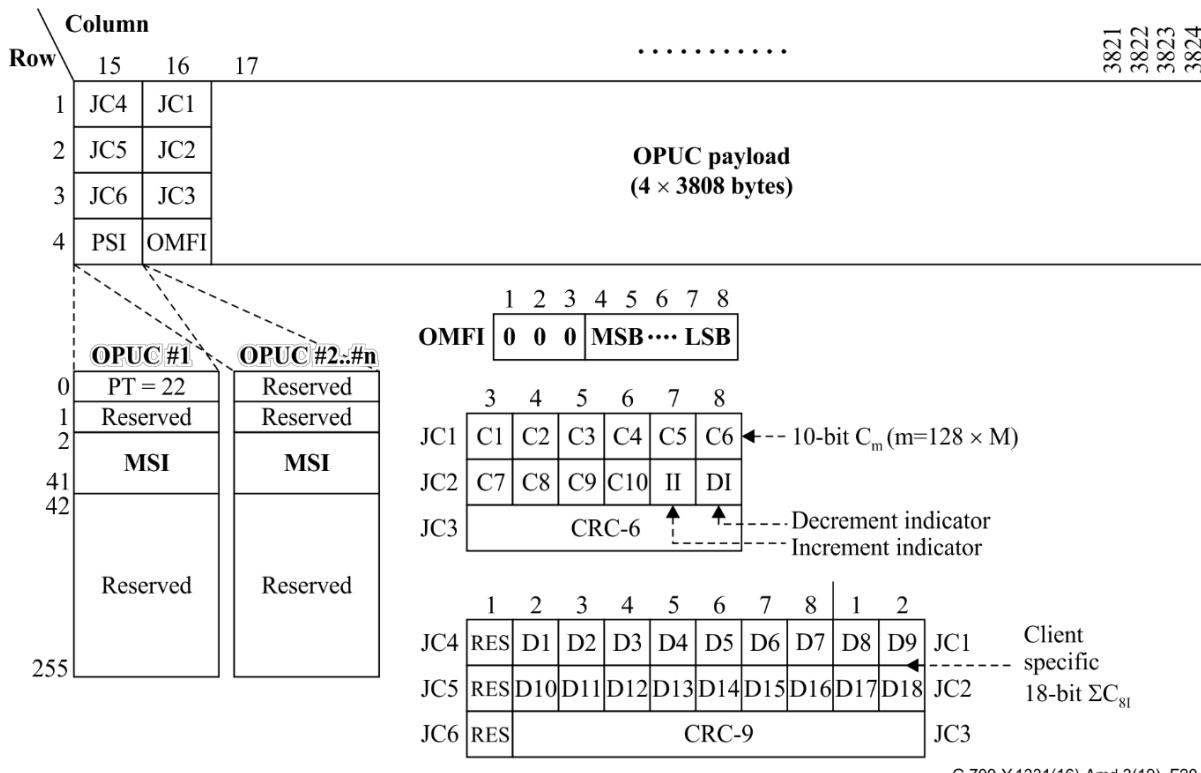
OPUCn复用开销包含复用结构标识符(MSI)、OPU多帧标识符(OMFI)、ODTU开销及预留给未来国际标准化的字节。

OPUCn的MSI、OMFI和RES开销位置如图20-7所示。

ODTUCh.ts开销

ODTUCh.ts开销承载着GMP对齐开销，包含18位对齐控制字段 (JC1[3-8]、JC2[3-8]、JC3[3-8]) 的对齐控制位，这些位携带10位GMP Cm信息及ODUk ($k=0,1,2,2e,3,4,flex$) 特有的30位对齐控制位 (JC1[1-2], JC2[1-2], JC3[1-2], JC4, JC5, JC6) 的30位专用对齐控制字节，用于承载18位GMP $\Sigma C8D$ 信息。

JC1、JC2、JC3、JC4、JC5和JC6的开销位置如图20-7所示。



G.709-Y.1331(16)-Amd.3(19)_F20-7

图20-7 – OPUCn复用开销（有效载荷类型=22）

20.4.1 OPUCn复用结构标识符 (MSI)

OPUCn复用结构标识符(MSI)开销用于编码OPU中的ODU复用结构，位于PSI信号的映射特定区域（参见图20-7中PT=22时OPUCn的MSI位置）。MSI长度固定为40n字节，用于标识OPUCn中每个支路时隙(TS)的ODTU内容。每个TS占用2字节。

20.4.1.1 OPUCn复用结构标识符 (MSI) ——有效载荷类型22

对于20n个OPUCn 5G支路，使用n个40字节的PSI（命名为PSI[x.y]，其中x = 1...n且y = 2...41，即PSI[1.2]、PSI[1.3]、...PSI[1.41]、PSI[2.2]、PSI[2.3]、...PSI[2.41]，PSI[3.2]...PSI[n-1.41]，PSI[n.2]...PSI[n.41]）作为MSI字节，如图20-7所示。MSI指示OPU中每个支路插槽的ODTU内容。如图20-8所示，每个支路插槽使用两个字节，而每个MSI实例字段的编码如图20-9所示。

- TS可用性位1指示支路插槽是否可用。
- TS占用位0指示支路插槽是否已分配或未分配。
- 位2至8及10至16的分支端口号标识当前传输于该TS中的ODTUCn.ts端口编号；分支端口与分支槽位可灵活映射。ODTUCn.ts支路端口编号为1至10n。当占用位值为0（支路插槽未分配）时，该值设为全0。

	1	2	3	4	5	6	7	8	5G TS
PSI[A.2]	Availability	Tributary port #							TS #A.1
	Occupation								TS #A.2
PSI[A.4]	Availability	Tributary port #							TS #A.3
	Occupation								TS #A.4
PSI[A.6]	Availability	Tributary port #							TS #A.5
	Occupation								TS #A.6
PSI[A.7]	Availability	Tributary port #							TS #A.7
	Occupation								TS #A.8
⋮		⋮							⋮
PSI[A.40]	Availability	Tributary port #							TS #A.20
	Occupation								TS #A.21

G.709-Y.1331(16)_F20-8

NOTE – $A = 1 \dots n$

图20-8 – OPUCn 5G TS MSI编码 – 有效载荷类型22

	1	2	3	4	5	6	7	8	5G TS
PSI[A.2B]	Availability	MSB							TS #A.B
	Occupation	... Tributary port # ... LSB							
PSI[A.2B+1]	0 : Unavailable	00 0000 0000 : Tributary port #1							
	1 : Available	00 0000 0001 : Tributary port #2							
PSI[A.2B+2]	0 : Unallocated	00 0000 0010 : Tributary port #3							
	1 : Allocated	00 0000 0011 : Tributary port #4							
xx xxxx xxxx xxxx : Tributary port #10n									

G.709-Y.1331(16)_F20-9

NOTE – $A = 1 \dots n, B = 1 \dots 20$

图20-9 – OPUCn MSI编码 – 有效载荷类型22

20.4.2 OPUCn 有效载荷结构标识符保留开销 (RES)

在OPUCn PSI中预留 $216 * n - 1$ (OPUCn) 字节用于未来国际标准化。这些字节位于OPUCn开销的PSI[x.1]和PSI[x.42]至PSI[x.255] (其中 $x = 1 \dots n$) 以及PSI[x.0] ($x = 2 \dots n$) 位置，且均设置为全0。

20.4.3 OPUCn复用对齐开销 (JOH)

通用映射程序 (GMP) 用于将ODUk映射至ODTUCn.ts。GMP采用ODUk与OPUCn独立的数据填充及对齐机会定义 (ODTUCn.ts)。ODTUCn.ts内数据填充位置通过第20.4.3.1节规定的公式确定。

20.4.3.1 通用映射过程 (GMP)

通用映射程序的对齐开销 (JOH) 包含两组各三个字节的对齐控制信息：JC1、JC2、JC3与JC4、JC5、JC6。详见图20-7。

JC1、JC2和JC3字节的第3至8位由以下字段组成：10位Cm字段（位C1、C2、…、C10）、1位增量指示符 (II) 字段、1位递减指示符 (DI) 字段，以及6位CRC-6字段（包含覆盖JC1、JC2和JC3的错误校验码）。C10），1位增量指示符(II)字段，1位减量指示符(DI)字段，以及6位CRC-6字段（该字段包含对JC1、JC2和JC3字节第3至8位字段的错误校验码）。

JC1、JC2、JC3字节的第一、2位以及JC4、JC5、JC6字节的第2至8位包含：18位ΣCxD字段（位D1、D2、…、D18）、9位CRC-9字段（覆盖上述字段的错误校验码）。

JC4、JC5和JC6字段中的第2至8位，加上JC1、JC2和JC3字段中的第1和第2位，以及三个保留位。

c_m 中的'm'值等于 $128 \times t_s$ （ODTUCn.ts所占用的支路时隙数量）。

'n'的值代表GMP c_n 参数的时序粒度，该参数同样存在于

Σc_{nD} 中也存在。n的值为8。

c_m 的值控制将'16ts'组的ODUk数据字节分配到'16ts'组的ODTUCn.ts有效载荷字节中。有关此过程的进一步规范，请参阅第20.5节和附录D。

Σc_{nD} 的值提供额外的'n'位定时信息，该信息对于控制ODUk信号的抖动和漂移性能至关重要。

c_n 值（即每个OPUCn多帧中包含的客户端n位数据实体数量）按以下公式计算： $c_n(t) = m \times c_m(t) + (\Sigma c_{nD}(t) - \Sigma c_{nD}(t-1))$ 。需注意， c_{nD} 值实质上反映了映射器虚拟队列中因数据量小于16M字节而未能在该多帧内发送的数据总量。若多帧't'中的 Σc_{nD} 值发生损坏，可在后续多帧't+1'中恢复此类错误。

20.4.4 OPUCn多帧标识符开销 (OMFI)

OPUCn多帧标识符 (OMFI) 字节定义于OPUC #1至#n开销的第4行第16列（图20-10）。OMFI字节的第4至8位值将在每个OPUCn帧中递增，从而形成20帧多帧结构，用于将ODUk信号复用至OPUCn。

注1——可选方案：每1280个帧周期（即20与256的最小公倍数）将OMFI=0位置与MFAS=0位置对齐。

注释 2 – OMFI 必须在源端的 n 个 OPUC 实例中全部复制，而在接收端仅需处理其中 1 个。

OMFI OH byte							
1	2	3	4	5	6	7	8
Fixed to 0	0	0	0	0	0	0	0
Fixed to 0	0	0	0	0	0	0	1
Fixed to 0	0	0	0	1	0		
	0	0	0	1	1		
	0	0	1	0	0		
	0	0	1	0	0		
	0	0	1	0	1		
	0	0	1	1	0		
	0	0	1	1	1		
	0	1	0	0	0		
	0	1	0	0	1		
	0	1	0	1	0		
	0	1	0	1	1		
	0	1	1	0	0		
	0	1	1	0	1		
	0	1	1	1	0		
	1	0	0	0	0		
	1	0	0	0	1		
	1	0	0	1	0		
	1	0	0	1	1		
	0	0	0	0	0		
	0	0	0	0	1		

G.709-Y.1331(20)_F20-10

图20-10 – OPUCn多帧标识符 (OMFI) 开销

20.5 将ODUk映射至 ODTUCn.ts

ODUk (k = 0, 1, 2, 2c, 3, 4, flex) 信号 (具有±100 ppm的比特率容差) 映射到 ODTUCn.ts (ts = M) 信号的过程, 通过附件D中规定的通用映射程序实现。

OPUCn信号 (进而包括 ODTUCn.ts 信号) 由本地生成时钟 (需符合表7-3限定值) 产生, 该时钟与 ODUk 信号相互独立。

ODUk 信号通过帧对齐开销进行扩展, 具体规范详见条款15.6.2.1和

OTUk开销字段中填充全零模式 (参见图19-30, 读取"j"时按"k"处理)。

扩展后的ODUk信号通过附件D规定的通用映射程序 (GMP) 适配本地生成的OPUCn/ODTUCn.ts时钟。 c_n 、 $c_n(t)$ 及 $c_{nD}(t)$ 中的n值在附件D中规定。M值表示ODUk占用的支路时隙数量; $ODTUCn.ts = ODTUCn.M$ 。

一组连续的M个扩展ODUk 16字节 (128位) 字映射为一组连续的M个ODTUCn.M 16字节 (128位) 字。

注1——映射过程中保持扩展ODUk的16字节字对齐特性; 例如, ODUk前16个操作字节的位置始终位于ODTUCn.M结构起始处整数个16字节字之后。

通用映射过程针对ODUk信号, 在每个ODTUCn.M多帧中根据附件D生成 $c_m(t)$ 和 $c_{nD}(t)$ 信息, 并将该信息编码到ODTUCn.ts的校准控制开销JC1/JC2/JC3及JC4/JC5/JC6中。解映射过程从JC1/JC2/JC3及JC4/JC5/JC6中解码 $c_m(t)$ 和 $c_{nD}(t)$, 并依据附件D解析该信息。应采用CRC-6校验码保护JC1、JC2、JC3信号第3至8位可能出现的误码。CRC-9用于保护JC1、JC2、JC3信号位1和2以及JC4、JC5、JC6信号位2至8的错误。

当输入的ODUk信号发生故障时, 该故障信号将包含第16.5.1节规定的ODUk-AIS信号。随后该ODUk-AIS信号被映射至ODTUCn.M。

当ODUk信号从结构体输出端接收 (即ODU连接功能) 时, 在开放矩阵连接情况下, 该输入信号可能包含第16.5.2节规定的ODUk-OCI信号。此ODUk-OCI信号随后映射至ODTUCn.M。

注2——并非所有设备都实现真正的连接功能 (即交换结构); 取而代之的是, 支路接口端口单元的存在/缺失代表矩阵连接的存在/缺失。若该单元被有意缺失 (即未安装), 则关联的ODTUCn.M信号应携带ODUk-OCI信号。若该单元已安装但因维修操作被临时移除, 则关联的ODTUCn.M信号应携带ODUk-AIS信号。

一组连续的M个扩展ODUk 16字节字符, 可从一组连续的M个ODTUCn.M 16字节块中解映射。

注3——当ODUk信号作为OTUk信号输出时, 需恢复提取的扩展ODUk信号的帧对齐, 以实现ODUk信号在OTUk信号中的帧同步映射。

当输入的ODUCn/OPUCn信号发生故障 (例如出现ODUCn-AIS状态时), 应按第16.5.1节规定生成ODUk-AIS模式作为丢失ODUk信号的替代信号。

ODUk转ODTUCn.ts过程中M、m、 $c_{m,min}$ 、 $c_{m,max}$ 、n、 $c_{n,min}$ 及 $c_{n,max}$ 的取值如下:

$$M = \left\lceil \frac{\left(ODUk_nom_bit_rate \times (1 + ODUk_bit_rate_tolerance + 0.00006) \right) \text{适用于 } k \neq \text{flex(GFP,n,k')} \text{ 的 ODUk}}{\left(ODTUCn.ts \times (1 - ODTUCn.ts_bit_rate_tolerance) \right)} \right\rceil \quad (20-1a)$$

$$M = \text{ceiling}\left(\frac{\text{ODUk_nom_bit_rate}}{\text{ODUk}'_{ts} \times 4}\right) = \text{ceiling}\left(\frac{n}{4}\right) \text{ 对于 ODUk，其中 } k = \text{flex(GFP,n,k')} \text{ 且 } k' \in \{2,3,4\} \quad (20-1b)$$

$$m = 128 \times M \quad (20-2)$$

$$\left(\text{ODUk 标称比特率} \times \text{ODTUCn.ts 中 GMP 块数量} \right) \quad (20-3)$$

$$= c_{m,nom} \times \left| \frac{\left(\frac{1 - \text{ODUk 比特率容差}}{1 + \text{ODTUCn.1 位速率容差}} \right)}{\text{ODTUCn.1 bit rate tolerance}} \right| \quad (20-4)$$

$$(c)_{m,max} = c_{m,nom} \times \left| \frac{\left(\frac{1 + \text{ODUk 比特率容差}}{1 - \text{ODTUCn.1 bit rate tolerance}} \right)}{\text{ODTUCn.1 bit rate tolerance}} \right| \quad (20-5)$$

$$C_{m,min} = \text{floor}(c_{m,min}) \quad (20-6)$$

$$C_{m,max} = \text{ceiling}(c_{m,max}) \quad (20-7)$$

$$n = 8 \quad (20-8)$$

$$\left(\text{ODUk 标识符比特率} \times \text{ODTUCn.ts 文件中 GMP 块数量} \times 16 \right) \quad (20-9)$$

$$= c_{n,nom} \times \left| \frac{\left(\frac{1 - \text{ODUk 比特率容差}}{1 + \text{ODTUCn.1 位速率容差}} \right)}{\text{ODTUCn.1 bit rate tolerance}} \right| \quad (20-10)$$

$$(c)_{n,max} = c_{n,nom} \times \left| \frac{\left(\frac{1 + \text{ODUk 比特率容差}}{1 - \text{ODTUCn.1 bit rate tolerance}} \right)}{\text{ODTUCn.1 bit rate tolerance}} \right| \quad (20-11)$$

$$C_{n,min} = \text{floor}(c_{n,min}) \quad (20-12)$$

$$C_{n,max} = \text{ceiling}(c_{n,max}) \quad (20-13)$$

$C_{m,min}$ 、 $C_{m,max}$ ($n=8$)、 $C_{n,min}$ 和 $C_{n,max}$ ($n=8$) 值代表 $\text{ODUk}/\text{ODTUCn.M}$ ppm偏移组合的边界（即最小 $\text{ODUk}/\text{最大ODTUCn.M}$ 与最大 $\text{ODUk}/\text{最小ODTUCn.M}$ ）。在稳态条件下，特定的 $\text{ODUk}/\text{ODTUCn.M}$ 偏移组合不应导致生成的 C_n 和 C_m 值遍布整个范围，而应尽可能限制在最小范围内。

注——在瞬态ppm偏移条件下（例如AIS信号转为正常信号时），可能产生超出 $C_{n,min}$ 至 $C_{n,max}$ 及 $C_{m,min}$ 至 $C_{m,max}$ 范围的 $C_{(n)}$ 和 $C_{(m)}$ 值，GMP解映射器应能容忍此类情况。GMP原理的通用描述详见附录D。

20.5.1 将ODUk映射至ODTUCn.M

扩展 ODUk ($k=0,1,2,2e,3,4,\text{flex}$) 信号中连续的 M 个16字节字组，在GMP数据/填充控制机制控制下映射至 ODTUCn.M 负载区中连续的 M 个16字节块组。 ODTUCn.M 有效载荷区中的每组 M 个16字节区块，可承载 M 个 ODUk 16字节字，或承载 M 个填充16字节字。填充字节的值均设置为全0。

ODTUCn.M 有效载荷区域中的 M 个16字节数据块组编号范围为1至952。

图20-11展示了GMP M 16字节（m位）块在 ODTUCn.M 有效载荷中的16字节编号规则。在 ODTUCn.M 多帧结构的第一行中，前 M 个16字节块标记为1，后 M 个16字节块标记为2，依此类推。

<i>I</i>	<i>M</i>	<i>M+I</i>	<i>2M</i>	<i>.....</i>	<i>I18*M+I</i>	<i>I19*M</i>	<i>I</i>
1	-----	1	2	-----	2	-----	1
120	-----	120	121	-----	121	-----	2
239	-----	239	240	-----	240	-----	3
358	-----	358	359	-----	359	-----	4
477	-----	477	478	-----	478	-----	5
596	-----	596	597	-----	597	-----	6
715	-----	715	716	-----	716	-----	7
834	-----	834	835	-----	835	-----	8

G.709-Y.1331(16)-Amd.1_F20-11

图20-11 – ODTUCn.M GMP 16字节区块编号

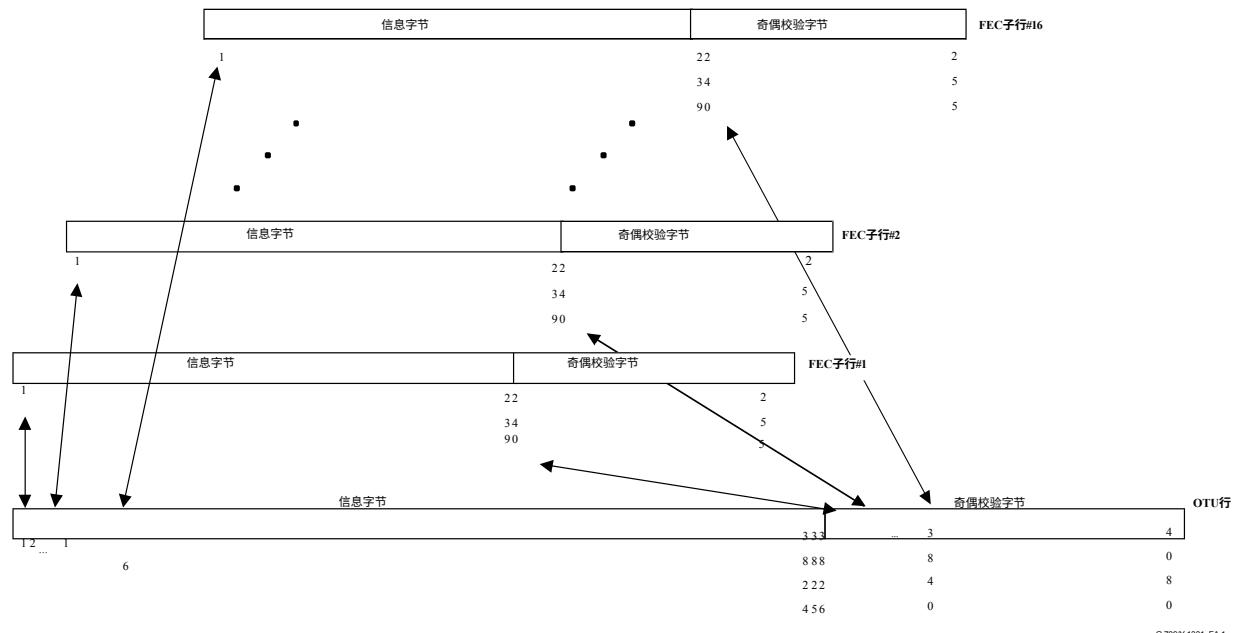
附录A

采用16字节交织RS(255,239)编解码器的正向纠错

(本附录构成本建议书不可分割的组成部分。)

OTU-k的前向纠错采用基于Reed-Solomon RS(255,239)码的16字节交织编解码器。RS(255,239)码属于非二进制码（前向纠错算法作用于字节符号），归类于系统性线性循环块码家族。

对于前向纠错处理，OTU行通过字节交织技术被分割为16个子行（如图A.1所示）。每个前向纠错编解码器处理其中一个子行。前向纠错奇偶校验字节基于每个子行中的第1至239位信息字节计算得出，并传输在同一子行的第240至255位字节中。



图A.1 – FEC子行

OTU行中属于FEC子行X的字节由以下公式定义： $X + 16 \times (i - 1)$ （其中*i* = 1...255）。

该编码的生成多项式为：

15

$$G(z) = \prod_{i=0}^{15} (z - \alpha^i)$$

其中 α 是二进制原始多项式 $x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$ 的根。

前向纠错码字（见图A.2）由信息字节和奇偶校验字节（FEC冗余）组成，并由以下多项式表示：

$$C(z) = I(z) + R(z)$$

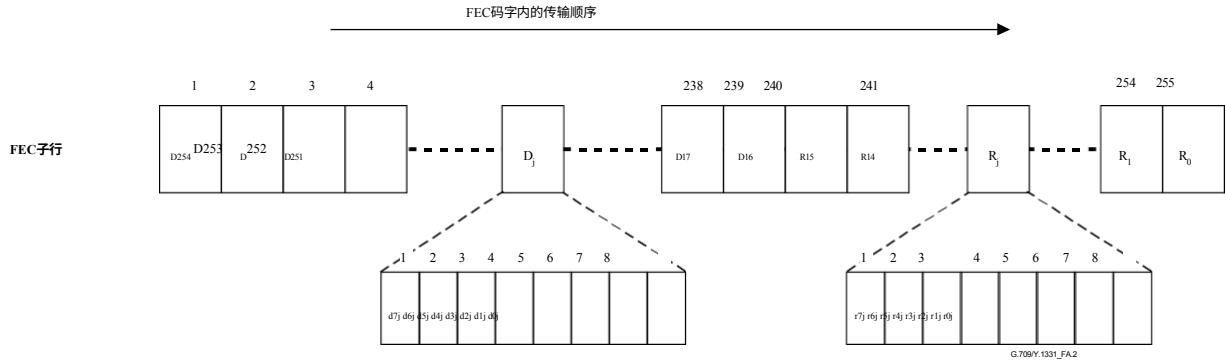


图 A.2 – FEC 码字

信息字节表示为：

$$I(z) = D_{254} \times z^{254} + D_{253} \times z^{253} + \dots + D_{16} \times z^{16}$$

其中 D_j ($j = 16$ 至 254) 是由 GF(256) 中元素表示的信息字节，且：

$$D_j = d_{7j} \cdot \alpha^7 + d_{6j} \cdot \alpha^6 + \dots + d_{1j} \cdot \alpha^1 + d_{0j}$$

位 d_{7j} 是最高有效位， \overline{d}_{0j} 则是信息字节的LSB。

D_{254} 对应于FEC子行中的字节1，奇偶校验字节表示为： D_{16} 至字节239。

$$R(z) = R_{15} \cdot z^{15} + R_{14} \cdot z^{14} + \dots + R_1 \cdot z^1 + R_0$$

其中 R_j ($j = 0$ 至 15) 表示由 GF(256) 元素表示的奇偶校验字节，且：

$$R_j = r_{7j} \cdot \alpha^7 + r_{6j} \cdot \alpha^6 + \dots + r_{1j} \cdot \alpha^1 + r_{0j}$$

位 r_{7j} 为最高有效位， \overline{r}_{0j} 为奇偶校验字节的LSB。

$R(z)$ 对应于FEC子行中的第240字节，而 R_0 对应于第255字节。

$R(z)$ 的计算方式为：

$$R(z) = I(z) \bmod G(z)$$

其中 "mod" 表示在码生成多项式 $G(z)$ 上进行模运算，该多项式元素取自 GF(256) 域。GF(256) 中的每个元素由二进制基多项式定义：

$$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$$

RS(255,239) 编码的汉明距离为 $d_{min} = 17$ 。当用于纠错时，该编码可在前向纠错码字中纠正多达 8 个符号错误。当仅用于错误检测时，该前向纠错机制可在前向纠错码字中检测多达 16 个符号错误。

附录B

通过转码将64B/66B编码客户端适配为513B编码块

(本附件构成本建议书的组成部分。)

采用64B/66B编码的客户端可通过转码映射至513B编码块，实现码字与时序透明转换，从而降低信号传输所需的比特率。生成的513B编码块可根据客户端需求及目标容器可用带宽，采用多种映射方式进行处理。该映射技术适用于串行或并行客户端接口。

B.1 传输顺序

本附录所有示意图中信息传输顺序均为：先从左至右，再由上至下。

B.2 客户端帧恢复

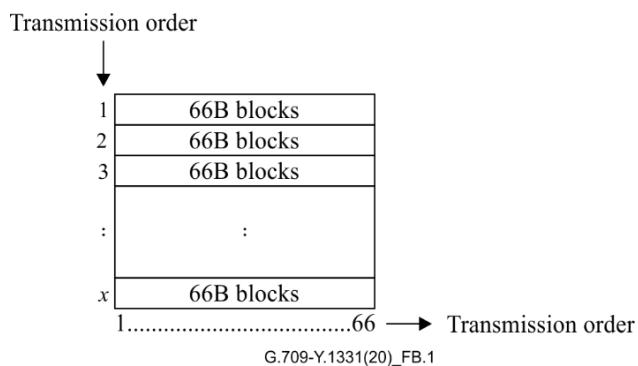
对于40GBASE-R和100GBASE-R客户端，帧恢复包括根据[IEEE 802.3]图82-10的状态图恢复64B/66B块锁定。对于其他采用64B/66B编码的客户端，块锁定实现遵循[IEEE 802.3]图49-12所示状态图。解扰操作按[IEEE 802.3]图49-10所示流程执行。

每个66B码字（经区块锁定后）属于以下类型之一：

- 包含八个数据字节及"01"同步头的一组数据；
- 以同步头"10"开头的控制块（可能包含七个或更少数据字节）。

在同步头之后，接下来的64位数据将作为连续比特流进行扰码处理（跳过同步头和PCS通道标记），扰码算法采用多项式 $G(x) = 1 + x^{39} + x^{58}$ 。64B/66B PCS接收处理将对以下比特进行解扰：除(1) 66B数据和控制块的同步头外，以及
(2) PCS通道标记。

图B.1展示了接口完成解复用处理后64B/66B码块的排列顺序。



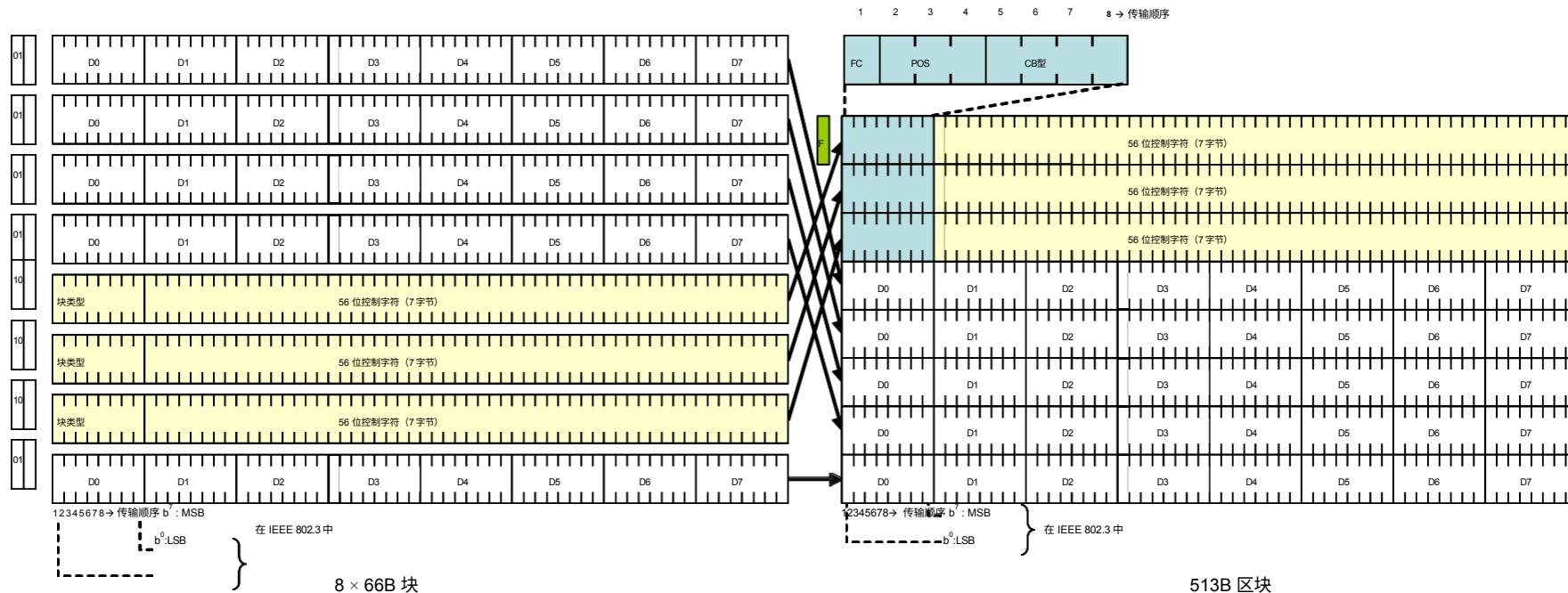
图B.1 – 用于转码的64B/66B码块流

B.3 66B块转码为513B 块

编码器端的转码过程处理输入的66B码块序列。解扰后的66B控制块格式如图B.2所示。

一组八个66B区块被编码为单个513B区块。其格式如图B.3所示。

图B.2 – 66B区块编码



图B.3 – 513字节区块编码格式

每个66B块被编码为8字节×8行的结构中的一行。任何66B控制块（CBi）按接收顺序置于结构最上层行，而任何纯数据66B块（DBi）则按接收顺序置于结构最底层行。

标志位“F”为1时，表示513B结构中至少包含一个66B控制块；为0时，表示513B结构中包含八个纯数据66B块。由于66B控制块被放置在513B结构的最上层行中，若标志位“F”为1，则首行将包含一个66B控制块的映射。

66B控制块按图B.3所示结构编码为一行：移除“10”的同步头，将表示块类型字段的字节（参见图B.2）替换为图B.4所示结构：

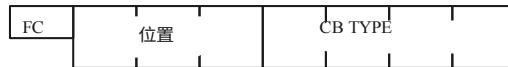


图 B.4 – 513B 模块的控制模块头

表示控制块类型的字节（取值范围为15个合法值之一）根据图B.2最右侧列转换为4位代码。3位POS字段用于编码该控制块在八个66B块序列中接收的位置。标志延续位“FC”的设置规则如下：若本66B控制块是该513B块中编码的最后一个66B控制块或PCS通道对齐标记，则设为0；若后续还有一个或多个66B控制块或PCS通道对齐标记，则设为1。解码器通过整体513B块的标志位，结合每行中包含66B控制块或PCS通道对齐标记映射的标志延续位，可识别这些行。随后根据POS字段，在输出端将这些行恢复至原始位置，使其嵌入纯数据66B块序列中。该行剩余的7个字节由66B控制块的最后7个字节填充。

一个全数据66B块通过删除同步头并将其剩余八字节复制到行中，被编码为513B块的一行。若513B区块的全部八行均放置了66B全数据区块，则标志位“F”为0。若513B区块中放置66B全数据区块的行数少于八行，则这些区块将出现在末尾，且包含最后一个66B控制区块的行其标志延续位“FC”值为0。

解码器通过与编码器相反的操作流程，重建原始66B区块序列。若标志位“F”为1，则从区块首行开始重建66B控制区块，并按POS字段指示的位置放置。该过程自顶行向下依次处理所有控制区块。当标志延续位“FC”为零时，即识别出最后一个置于513B区块内的66B控制区块。

512B/513B码块的结构如图B.5所示。例如，若512B/513B码块中存在单个64B/66B控制块CB1，且其原始位置位于64B/66B数据块DB2与DB3之间，则64B字符的首个八位字节将包含0.010.1101.CB1；控制字节首位0表示标志延续“FC”，表明该64B控制块是512B/513B代码块中的最后一个；值010表示CB1在DB2与DB3之间的“位置”；值1101是控制码块类型“CB TYPE”的四位表示形式（其中八位原始区块类型为0x55）。

输入客户端字符	标志位	512位 (64个八位字节) 字段							
所有数据块	0	DB1	DB2	DB3	DB4	DB5	DB6	DB7	DB8
7个数据块 1个控制块	1	0 AAA aaaa CB1	DB1	DB2	DB3	DB4	DB5	DB6	DB7
6个数据块 2个控制块	1	1 AAA aaaa CB1	0 BBBB bbbb CB2	DB1	DB2	DB3	DB4	DB5	DB6
5个数据块 3个控制块	1	1 AAA aaaa CB1	1 BBBB bbbb CB2	0 CCC cccc CB3	DB1	DB2	DB3	DB4	DB5
4个数据块 4个控制块	1	1 AAA aaaa CB1	1 BBBB bbbb CB2	1 CCC cccc CB3	0 DDD dddd CB4	DB1	DB2	DB3	DB4
3个数据块 5个控制块	1	1 AAA aaaa CB1	1 BBBB bbbb CB2	1 CCC cccc CB3	1 DDD dddd CB4	0 EEEEEE EEEEEE EEEEEE EEEEEE E	DB1	DB2	DB3
2个数据块 6个控制块	1	1 AAA aaaa CB1	1 BBBB bbbb CB2	1 CCC cccc CB3	1 DDD dddd CB4	1 EEE eeee CB5	0 FFF ffff CB6	DB1	DB2
1个数据块 7个控制块	1	1 AAA aaaa CB1	1 BBBB bbbb CB2	1 CCC cccc CB3	1 DDD dddd CB4	1 EEE eeee CB5	1 FFF ffff CB6	0 GGG gggg CB7	DB1
8控制块	1	1 AAA aaaa CB1	1 BBBB bbbb CB2	1 CCC cccc CB3	1 DDD dddd CB4	1 EEE eeee CB5	1 FFF ffff CB6	1 GGG gggg CB7	0 HHH hhhh CB8

- 66B控制块中的引导位：当存在超过66B控制块时FC=1，若该有效负载包含该513B块中的最后一个控制块则FC=0
 - AAA = 3位表示法，用于表示第一个控制码的原始位置（第一个控制码定位器：POS）
 - BBB = 第二控制码原始位置的3位表示（第二控制码定位器：POS）

 - HHH = 3位表示第八控制码的原始位置（第八控制码定位器：POS）
 - aaa = 4位表示第一个控制代码的类型（第一个控制块类型：CB TYPE）
 - bbb = 第二控制码类型的4位表示（第二控制块类型：CB TYPE）

 - hhh = 第八控制码类型的4位表示（第八控制块类型：CB TYPE）
 - CBi = 第i个控制码字符的56位表示
 - DBi = 按传输顺序表示第i个数据值的64位表示

G.709.Y.1331(12)_FB.5

图B.5 – 513B编码块组成部分

B.3.1 512B/513B编码器前检测到的错误

在64B/66B PCS接收过程中可能检测到一组错误，除触发相应告警外，还需向下游发送特定信号。

编码器前段出现的错误（如客户端信号丢失）将导致在此处理流程前插入以特定顺序排列的以太网低频序列，该序列将与其他控制块相同进行转码处理。当输入信号无法实现66B块锁定时，应采取相同处理措施。

无效的66B块将在转码及OTN BIP-8计算（详见条款E.4.1）前转换为错误控制块。无效66B块指：未包含“01”或“10”同步头，或虽有“10”同步头但控制块类型字段未出现在图B.2中的情况。错误控制块具有“10”同步位、0x1E块类型码及8个七位/E/错误控制字符。此设计可防止以太网接收器将含此错误的比特序列误判为有效数据包。

B.3.2 由512B/513B解码器检测到的错误

若比特误码导致数据损坏，将采用多种机制降低解码器在输出端构建错误64B/66B编码数据的概率。由于可检测到的损坏通常意味着无法可靠地确定解码器中应构建的66B块的正确顺序，若任何检查失败，解码器将传输八个66B错误控制块（同步状态="10"，控制块类型=0x1e，以及八个7位/E/控制字符）。

增强鲁棒性及实现513B区块锁定的机制详见附录F。

B.4 链路故障 信号

客户端64B/66B编码中的带内链路故障信号（例如，当以太网设备间传输本地故障或远程故障序列命令集时）将通过此转码实现透明传输。

附录C

OTU3和OTU4在多通道并行接口上的适配

(本附录构成本建议书的组成部分。)

注1——该机制旨在允许将正在开发的IEEE 40GBASE-R和100GBASE-R信号光模块分别用于短距离客户端OTU3和OTU4接口。相应的物理层规范正在添加至[ITU-T G.695]和[ITU-T G.959.1]标准中。

OTU3信号可通过由四条通道组成的并行接口传输。此四通道格式称为OTL3.4格式。

OTU4信号可通过由20条逻辑通道位复用形成的四通道或十通道并行接口传输。四通道格式称为OTL4.4信号格式，十通道格式称为OTL4.10信号格式。

注2 – 十通道IEEE 100GBASE-R接口无对应的ITU-T物理层接口规范。

如图C.1所示，OTU3和OTU4帧在与OTUk帧对齐的16字节边界上，通过物理/逻辑通道进行反向复用。OTUk帧被划分为1020个16字节组。

I	4080				
1	1:16 (FAS)	17:32	33:48	49:64	
2	4081:4096	4097:5012	5013:5028	5029:5044
3	9161:9176	9177:9192	9193:9208	9209:9224	
4	12241:12256	12257:12272	12273:12288	12289:13304	

G.709-Y.1331(20)_FC.1

图C.1 – OTU3和OTU4帧按16字节边界划分

OTU3帧的每个16字节增量采用循环分配方式，分配至四个物理通道。

通道分配。在每个OTU3帧边界处，通道分配进行轮转。

对于OTU3，通道轮转与分配由MFAS的两个最低有效位（LSB）决定，具体参见表C.1和图C.2，其中标明了OTU3帧在各通道传输的起始字节组。

注3 – MFAS按第11.2节定义进行扰码处理。

该模式每64字节重复一次，直至OTU3帧结束。后续OTU3帧将根据MFAS采用不同的通道分配方案。

表 C.1 – OTU3 通道轮转分配

MFAS 7-8	通道 0	通道 1	通道 2	通道 3
*00	1:16	17:32	33:48	49:64
*01	49:64	1:16	17:32	33:48
*10	33:48	49:64	1:16	17:32
*11	17:32	33:48	49:64	1:16

图C.2展示了OTU3帧序列中16字节块的分布情况：

在接收端可通过以下步骤对并行通道进行重组：首先恢复各并行通道的帧结构，随后恢复通道标识符，最后执行通道去偏移校正。帧对齐、通道标识符恢复及多通道对齐操作应在纠错前满足 10^{-3} 的比特误码率条件。具体处理细节参见[ITU-T G.798]标准。

通道轮转机制将使OTU3帧的前16字节在每条通道上以 4080×4 （即16320）字节为周期循环一次（与OTU3本身相同）。特定通道上每个FAS最低两位将保持一致，从而实现通道识别。由于MFAS在256个独立值之间循环，只要总偏移量不超过127个OTU3帧周期（约385微秒），接收端即可对各通道进行去偏移处理并重新组装。接收端必须利用MFAS识别每个接收通道，因为本应用所用光模块可能无法保持通道位置。

OTU4 16字节增量分配

OTU4帧的每个16字节增量以循环方式分配至20条逻辑通道。每当OTU4帧边界到达时，通道分配将进行轮转。

由于OTU4分配至20条逻辑通道时，MFAS值并非20的倍数，故需采用替代标记机制。鉴于帧对齐信号为6字节（48位），且根据[ITU-T G.798]标准仅需32位用于帧对齐校验，将借用第三个OA2字节位置作为逻辑通道标记（LLM）。为实现最大偏移检测范围，通道标记值将在连续帧中从0递增至239（240为8位可表示的最大20的倍数）。每3840个帧周期（240与256的最小公倍数），LLM=0位置应与MFAS=0位置对齐。通过模20运算可从该值恢复逻辑通道号。表C.2和图C.3展示了OTU4字节如何以16字节为增量分布于20条逻辑通道中。

该模式每320字节重复一次，直至OTU4帧结束。

根据LLM MOD 20，后续OTU4帧将采用不同的通道分配方案。

表 C.2 – OTU4 通道轮转分配

LLM MOD 20	通道 0	通道 1	车道18	通道19
0	1:16	17:32		289:304	305:320
1	305:320	1:16		273:288	289:304
:					
18	33:48	49:64		1:16	17:32
19	17:32	33:48		305:320	1:16

图C.3展示了OTU4帧序列中16字节块的分布情况。

在接收端可通过以下步骤对并行通道进行重组：首先恢复各通道的帧结构，随后恢复通道标识符，最后执行通道去偏移校正。帧对齐、通道标识符恢复及多通道对齐操作应在纠错前满足 10^{-3} 的比特误码率条件。具体处理细节参见[ITU-T G.798]标准。

通道轮转机制将每 4080×4 （即16320）字节（与OTU4本身相同）将OTU4帧的前16字节放置在每个通道上。特定通道上各FAS的“LLM MOD 20”值保持一致，从而实现通道识别。由于LLM可循环生成240个不同值，只要总偏移量不超过119个OTU4帧周期（约139微秒），接收端即可对通道进行去偏移处理并重新组装。接收端必须使用

"LLM MOD 20"标识每个接收通道，因本应用所用光模块可能无法保留通道位置。

各通道依据通道标记完成识别、去偏移及重组为原始OTU4帧。MFAS可与通道标记结合提供额外偏移检测范围，最大值可达最小公倍数"LCM(240, 256)/2 - 1"即1919个OTU4帧周期（约2.241毫秒）。在将通道映射回OTU4帧时，每个OTU4帧中用于通道标记而借用的第六字节将恢复为值OA2。

通过多通道接口传输的OTL4.4标准中，每条物理通道均由五个逻辑通道的简单比特复用形成。在接收端，每个物理通道的比特将被解交织为五个逻辑通道。接收端将根据LLM字节中的通道标记识别每个逻辑通道。由于每条物理通道上的比特复用顺序是任意的，接收端必须能够接受任意位置的逻辑通道；用于此应用的光模块硬件在以下方面具有完全灵活性：每个逻辑通道将使用哪条物理通道输出，以及每个物理输出通道上逻辑通道的比特复用顺序。

注4——本文虽未采用ITU-T物理层规范，但规定了十通道IEEE 100GBASE-R接口。此类接口可能兼容OTU4（OTL4.10）的十通道接口，其中每通道包含两个比特复用的逻辑通道。详见[b-ITU-T G-Sup.58]。

该机制可处理任何常规帧化的OTU3或OTU4序列。

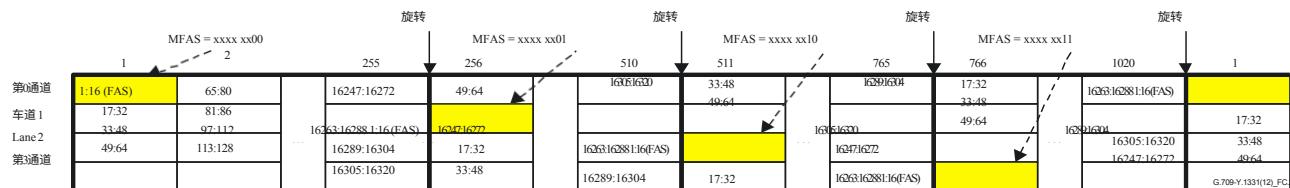
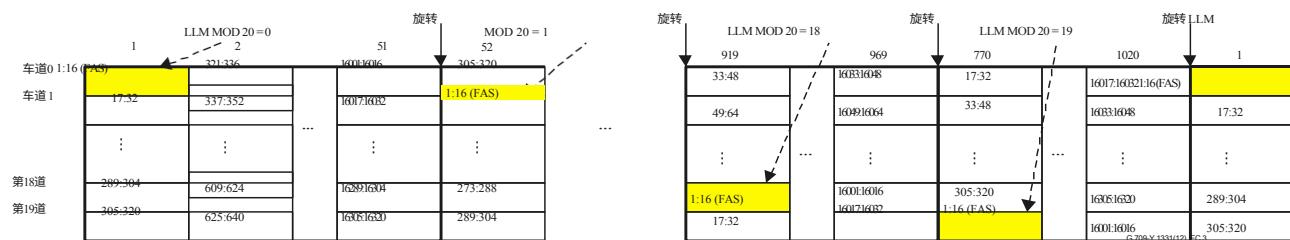


图 C.2 – OTU3 到并行通道的字节分布



图C.3 – OTU4到并行通道的字节分布

附录D

通用映射程序原则

(本附件构成本建议书的组成部分。)

D.1 基本原理

对于任何给定的CBR客户端信号，在单个服务器帧或服务器多帧周期内到达的n位（例如n=1/8, 1, 8）数据实体数量由以下公式定义：

$$c_n = \left\lfloor \frac{f_{client} \times T}{n} \right\rfloor \quad (D-1)$$

f_{client} : 客户端比特率

T_{server} : 服务器帧或服务器多帧的帧周期

c_n : 每个服务器帧或服务器多帧中包含的客户端n位数据实体数量

由于每个服务器帧或多帧只能传输整数个n位数据实体，必须使用 c_n 的整数值 $c_n(t)$ 。为确保客户端信息不丢失，向整数值的舍入过程需处理截断部分，例如值为10.25的 c_n 必须表示为整数序列10,10,10,11。

10.25则需表示为整数序列 10,10,10,11。

$$C(t) = \left\lceil \frac{f_{client} \times T}{n} \right\rceil \quad (D-2)$$

$C_n(t)$: 每个服务器帧 t 或服务器多帧 t 中客户端 n 位数据实体的数量（整数）

当 c_n 非整数时， $c_n(t)$ 将在以下区间内变化：

$$\left\lfloor \frac{f_{client} \times T}{n} \right\rfloor < c_n(t) < \left\lceil \frac{f_{client} \times T}{n} \right\rceil \quad (D-3)$$

与

$$C(t) = ceiling \left(\frac{f_{client} \times T}{n} \right) = 1 + floor \left(\frac{f_{client} \times T}{n} \right) \quad (D-4)$$

服务器帧或多帧速率由服务器比特率和每服务器帧或多帧的比特数定义：

$$T_{server} = \frac{B_{server}}{f_{server}} \quad (D-5)$$

f_{server} : 服务器比特率

B_{server} : 每服务器帧或多帧的比特数将(D-5)与(D-1)和(D-2)结合得到：

$$c_n = \left\lfloor \frac{f_{client}}{f_{server}} \times \frac{B_{server}}{n} \right\rfloor \quad (D-6)$$

以及

$$C_n(t) = \left\lfloor \frac{f_{client}}{f_{server}} \times \frac{B_{server}}{n} \right\rfloor \quad (D-7)$$

由于客户端数据必须容纳于服务器信号的有效载荷区域内，因此 C_n 的最大值以及由此决定的客户端最大比特率均受服务器有效载荷区域大小的限制。

$$C_n(t) \leq p_{server} \quad (D-8)$$

$$f_{client} \leq f_{server} \times \frac{p_{server}}{n} \quad (D-9)$$

p_{server} : 服务器有效载荷区域中(n位)数据实体的最大数量

客户端与服务端比特率相互独立。这使得服务端比特率可独立于客户端比特率进行设定。此外，客户端时钟失真不会影响服务端时钟。

若因客户端或服务端频率容差导致客户端或服务端比特率变化，则 C_n 与 $C_n(t)$ 将相应调整。必须采用特殊程序确保 $C_n(t)$ 在启动阶段或客户端比特率突变时（例如客户端信号被其AIS信号替换，或AIS信号被客户端信号替换时）能快速调整至正确值。该程序可设计为防止缓冲区溢出/下溢，或需额外部署缓冲区溢出/下溢防护机制。

透明映射必须在服务器（多帧）帧基础上确定 $C_n(t)$ 值。

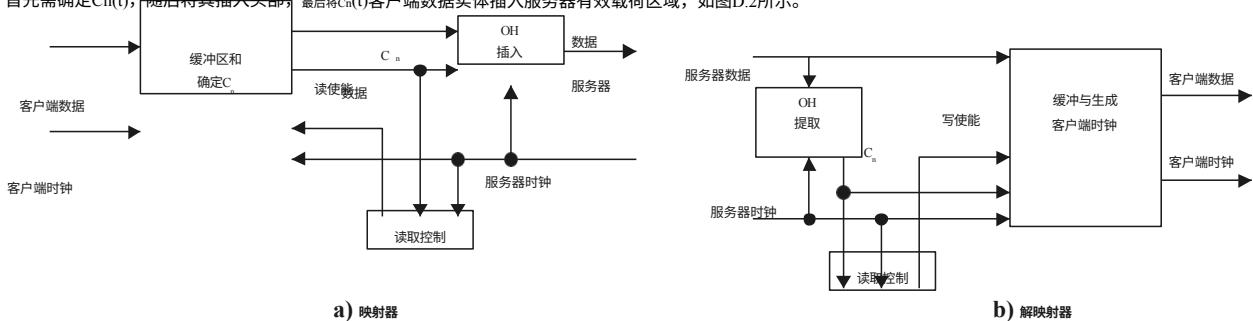
为使解映射器能提取正确数量的客户端信息实体，映射器必须将 $C_n(t)$ 承载于服务器帧或多帧的开销区域中传输至解映射器。

图D.1展示了映射器与解映射器电路的通用功能。

在映射器端， $C_n(t)$ 基于客户端与服务器时钟确定。客户端数据持续写入缓冲存储器，读取操作由 $C_n(t)$ 值控制。

解映射器从开销中提取 $C_n(t)$ ，该值控制缓冲器的写使能信号。客户端时钟基于服务器时钟与 $C_n(t)$ 值生成。

首先需确定 $C_n(t)$ ，随后将其插入头部，最后将 $C_n(t)$ 客户端数据实体插入服务器有效载荷区域，如图D.2所示。



图D.1 – 映射器/解映射器电路的通用功能

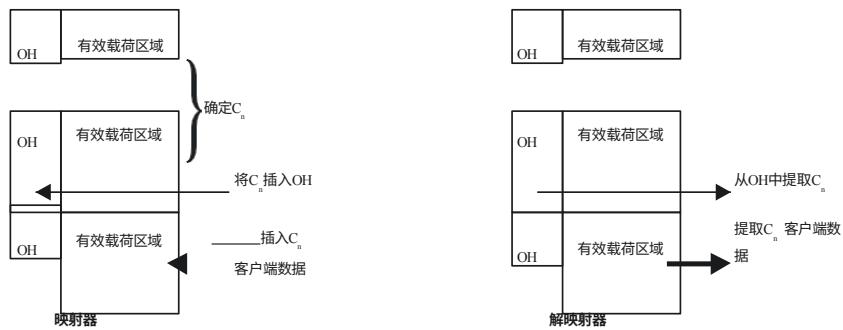
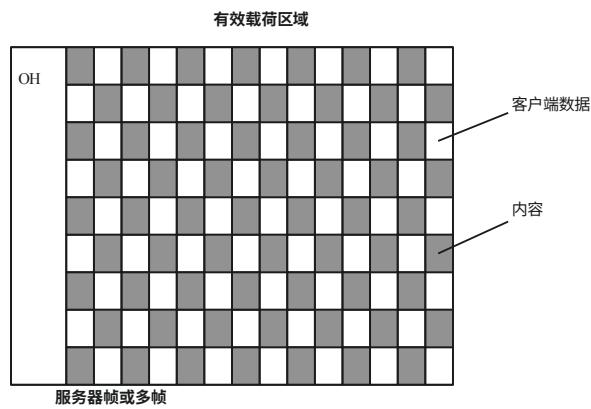


图 D.2 – 处理流程

$C_n(t)$ 客户端数据实体通过 sigma-delta 数据/填充映射分布映射至服务器帧或多帧的有效载荷区域。该分布式映射如图 D.3 所示。有效载荷字段 j ($j = 1 \dots p_{server}$) 承载：

— 客户端数据 (D) $\text{if } (j \times C_n(t)) \bmod p_{server} < C_n(t)$ (D-10)

— 内容 (S) $\text{如果 } (j \times C_n(t)) \bmod p_{server} \geq C_n(t)$ (D-11)



G.709-Y.1331(12)_FD.3

图 D.3 – 基于 sigma-delta 的映射

$C_n(t)$ 客户端数据实体需分布于 p_{server} 位置。因此每个客户端数据实体

$$P_{server} C_n(t)$$

必须以间隔 _____ 通常这并非整数值，但可通过基于溢出累加器的 sigma-delta 方法（如图 D.4 所示）进行整数运算来模拟。
通过基于溢出累加器的 sigma-delta 方法进行整数运算来模拟，如图 D.4 所示。

在服务器帧的每个帧起始点，累加器存储器均被重置为 0。在有效载荷区域的每个位置，将 $C_n(t)$ 加至存储器并比对 p_{server} 。若结果低于 p_{server} ，则存储回原位置且该载荷点不指示客户端数据；若结果等于或大于 p_{server} ，则从结果中减去 p_{server} 并存储新值，同时该客户端位置将指示客户端数据。

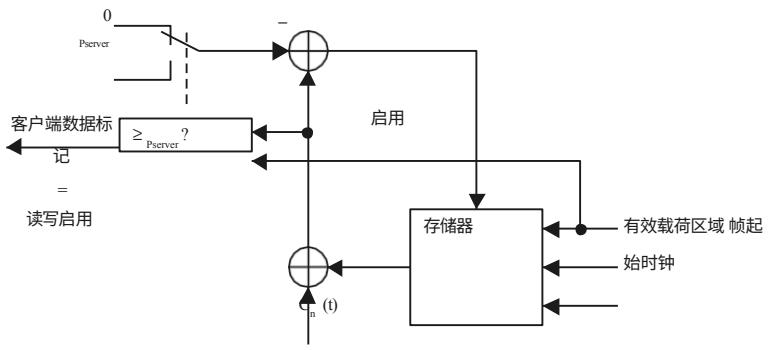


图 D.4 – sigma-delta 累加器

由于映射器和解映射器使用相同的起始值和 $c_n(t)$ ，因此获得相同的结果并实现互操作。

D.2 在 OTN 中应用GMP

条款17.7、19.6和20.5规定GMP作为异步通用映射方法，用于将CBR客户端信号映射至OPUk、将ODUk信号映射至服务器OPUk（通过ODTuK.ts实现）以及将ODUk信号映射至OPUCn（通过ODTUCn.ts实现）。

注——GMP是对条款17.6和19.5中规定的传统异步客户端/服务器特定映射方法的补充。GMP旨在为新型CBR类型客户端信号映射至OPUk提供依据。

OTN中的异步映射默认采用8位时序粒度。GMP通过 $n=8$ 的 c_n (c_8) 支持此类8位时序粒度。某些OTN客户端信号的抖动/漂移要求可能导致8位时序粒度无法满足需求。针对此类情况，GMP通过 $n=1$ 的 c_n (c_1) 支持1位时序粒度。

兆字节级映射

条款17.7和19.6规定：CBR用户比特映射至OPUk有效载荷，以及ODUj比特映射至ODTuK.ts有效载荷时，均采用 $8 \times M$ 比特（M字节）粒度进行映射。

在映射器处，将CBR用户数据插入OPUk帧的有效载荷区域，并将ODUj数据插入ODTuK.ts多帧的有效载荷区域，均以M字节（或m比特， $m = 8 \times M$ ）为单位的数据实体进行，记为 $C_m(t)$ 。其余 $C_{nD}(t)$ 数据实体作为额外时序/相位信息，通过对齐开销进行传输。

$$C_m = \lfloor \frac{n \times c_n}{m} \rfloor = \lfloor \frac{f_{client}}{f_{server}} \times \frac{B_{server}}{m} \rfloor = \lfloor \frac{f_{client}}{f_{server}} \times \frac{8 \times M}{8 \times M} \rfloor = \lfloor \frac{f_{client}}{f_{server}} \times \frac{B_{server}/8}{M} \rfloor \quad (D-12)$$

由于每个服务器帧或多帧只能传输整数个m位数据实体，因此必须使用 C_m 的整数值 $C_m(t)$ 。为确保信息无损传输，向整数值的舍入过程需妥善处理截断部分，例如值为10.25的 C_m 必须用整数序列10,10,10,11表示。

$$C_m(t) = \text{int}(C_m) = \lfloor \frac{f_{client}}{f_{server}} \times \frac{B_{server}/8}{M} \rfloor \quad (D-13)$$

当 c_m 不是整数时, $c_m(t)$ 将在以下区间内变化:

$$C_m(t) = \lfloor \frac{\lceil f_{client} B_{server} / 8 \rceil}{f} \times \frac{M}{n} \rfloor \text{ 且 } C_m(t) = \lfloor \frac{\lceil f_{client} B_{server} / 8 \rceil}{f} \times \frac{M}{n} \rfloor \quad (D-14)$$

c_n 和 $C_m(t)$ 的余数为:

$$\begin{aligned} c &= c - \left\lfloor \frac{(8 \times M) \times C_m(t)}{n} \right\rfloor \\ nD &\quad n \quad | \quad m \quad | \\ &\quad \lfloor \quad n \quad \rfloor \end{aligned} \quad (D-15)$$

由于每个服务器帧或多帧中只能传输整数个 c_{nD} 个 n 位数据实体, 因此必须使用 c_{nD} 的整数值 $C_{nD}(t)$:

$$C_{nD}(t) = \text{int}(c) - \left\lfloor \frac{(8 \times M) \times C_m(t)}{n} \right\rfloor = C(t) - \left\lfloor \frac{(8 \times M) \times C_m(t)}{n} \right\rfloor \quad (D-16)$$

$C_{nD}(t)$ 是介于 1 到 $\frac{8 \times M}{n}$ 与 $\frac{8 \times M}{n} - 1$ 之间的数值。

16M字节粒度映射

条款 20.5 规定, 将 ODUk 比特映射到 ODTUCn.ts 有效载荷的过程采用 $128 \times M$ 比特 (16M 字节) 粒度进行。

映射器将 ODUk 数据插入 ODTUCn.ts 多帧有效载荷区域时, 采用 16M 字节 (或 m 位, $m=128 \times M$) 的数据实体进行, 标记为 $c_m(t)$ 。其余 $C_{nD}(t)$ 数据实体作为附加时序/相位信息在对齐开销中传输。

$$c_m = \lfloor \frac{n \times c_n}{m} \rfloor = \lfloor \frac{\lceil f_{client} B_{server} \rceil}{f} \times \frac{m}{n} \rfloor = \lfloor \frac{\lceil f_{client} B_{server} \rceil}{f} \times \frac{128 \times M}{n} \rfloor = \lfloor \frac{\lceil f_{client} B_{server} / 128 \rceil}{f} \times \frac{M}{n} \rfloor \quad (D-17)$$

由于每个服务器帧或多帧只能传输整数个 m 位数据实体, 因此必须使用 c_m 的整数值 $C_m(t)$ 。为确保信息无损传输, 向整数值的舍入过程需妥善处理截断部分, 例如值为 10.25 的 c_m 必须用整数序列 10,10,10,11 表示。

$$C_m(t) = \text{int}(c_m) = \lfloor \frac{\lceil f_{client} B_{server} / 128 \rceil}{f} \times \frac{M}{n} \rfloor \quad (D-18)$$

当 c_m 不是整数时, $C_m(t)$ 将在以下区间内变化:

$$C_m(t) = \lfloor \frac{\lceil f_{client} B_{server} / 128 \rceil}{f} \times \frac{M}{n} \rfloor \text{ 且 } C_m(t) = \lfloor \frac{\lceil f_{client} B_{server} / 128 \rceil}{f} \times \frac{M}{n} \rfloor \quad (D-19)$$

c_n 和 $C_m(t)$ 的余数为:

$$c_{nD} = c - \left\lfloor \frac{(128 \times M) \times C_m(t)}{n} \right\rfloor \quad (D-20)$$

由于每个服务器帧或多帧中只能传输整数个 c_{nD} 个 n 位数据实体, 因此必须使用 c_{nD} 的整数值 $C_{nD}(t)$:

$$C_{nD}(t) = \text{int}(c_{nD}) - \left\lfloor \frac{(128 \times M) \times C_m(t)}{n} \right\rfloor = C_m(t) - \left\lfloor \frac{(128 \times M) \times C_m(t)}{n} \right\rfloor \quad (D-21)$$

$C_{nD}(t)$ 是介于 1 到 $\frac{128 \times M}{n}$ 之间的数

由于客户端数据必须容纳于服务器信号的有效载荷区域内, C_m 的最大值 (即客户端最大比特率) 受服务器有效载荷区域大小的限制。

$$C_m(t) \leq P_{m,server} \quad (D-22)$$

$P_{m,server}$: 服务器有效载荷区域内最大数据实体数量 (单位: m位)

为在解映射器处提取正确数量的客户端信息实体, 必须将 $C_m(t)$ 从映射器传输至解映射器, 该值需承载于服务器帧或多帧的开销区域中。

在映射器端, $C_n(t)$ 基于客户端与服务器时钟确定。客户端数据持续写入缓冲存储器, 其读取操作由 $C_m(t)$ 值控制。

在解映射器处, 从开销中提取 $C_m(t)$ 和 $\Sigma C_{nD}(t)$ 用于计算 $C_n(t)$ 。 $C_n(t)$ 控制缓冲器的写使能信号。客户端时钟基于服务器时钟和 $C_n(t)$ 的值生成。

首先需确定 $C_n(t)$ 值, 随后将其作为 $C_m(t)$ 与 $\Sigma C_{nD}(t)$ 插入开销区, 最后将 $C_m(t)$ 客户端数据实体插入服务器有效载荷区, 如图D.5所示。

$C_n(t)$ 值决定 $C_m(t)$ 和 $\Sigma C_{nD}(t)$ 值; 其中 $C_m(t) = \text{floor}(n/m \times C_n(t))$, $C_{nD}(t) = C_n(t) - (m/n \times C_m(t))$ 。 $\Sigma C_{nD}(t)$ 值进行累加, 当 $\Sigma C_{nD}(t) \geq m/n$ 时, 从 $\Sigma C_{nD}(t)$ 中减去 m/n , 并将 $C_m(t)$ 加1。随后将后两个值编码至开销字节中。该 $C_m(t)$ 值作为输入应用于sigma-delta处理过程。

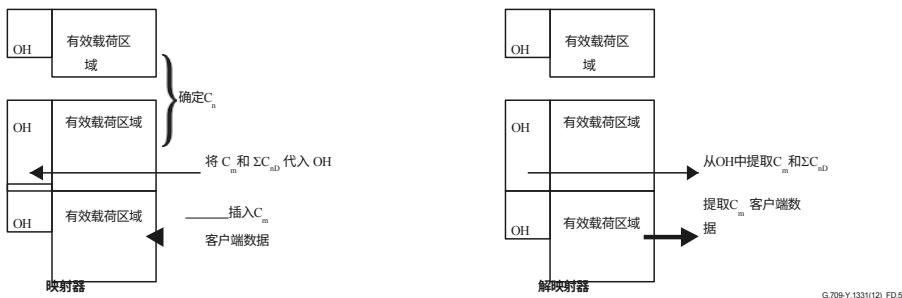


图 D.5 – OTN 中 GMP 的处理流程

在启动期间或客户端比特率变化阶段, $C_n(t)$ 的值将与实际到达映射器缓冲区的n位客户端数据实体数量不匹配, 此时 $C_n(t)$ 的确定过程需调整其值以适应实际到达的n位客户端数据实体数量。该调整方法取决于具体实现方案。在不匹配期间, 若每帧多帧传输的n位客户端数据实体数量少于实际到达量, 映射器缓冲区填充率将下降; 反之则上升。

为防止映射器缓冲区发生溢出或下溢导致数据丢失, 必须监控映射器缓冲区的填充水平。当缓冲区中存在过多m位客户端数据实体时, 需在服务器(多)帧中临时插入超过 $C_n(t)$ 要求的m位客户端数据实体数量。当缓冲区内m位客户端数据实体过少时, 需在服务器(多)帧中临时插入少于 $C_n(t)$ 要求的m位客户端数据实体。此行为模式与AMP在同等条件下的表现相似。

OTN支持多种客户端信号类型, 其中传输延迟(时延)和传输延迟变化是关键参数。这些客户端信号类型要求映射器与解映射器缓冲区引入的传输延迟最小化, 同时要求映射器与解映射器缓冲区引入的延迟变化最小化。

在稳态期间， $C_n(t)$ 值应处于 $C_{n,\min}$ 至 $C_{n,\max}$ 区间。超出该范围表明预期客户端比特率与实际比特率存在偏差。在频率阶跃等瞬态期间， $C_n(t)$ 可能暂时超出 $C_{n,\min}$ 至 $C_{n,\max}$ 范围。

客户端数据实体 $C_m(t)$ 通过sigma-delta数据/填充映射分布映射至服务器帧或多帧的有效载荷区域。该分布式映射如图D.3所示。

有效载荷字段 j ($j = 1 \dots P_{m,server}$) 承载

— 客户端数据 (D) $\text{if } (j \times C_m(t)) \bmod P_{m,server} < C_n(t);$ (D-23)

— 内容 (S) $\text{如果 } (j \times C_m(t)) \bmod P_{m,server} \geq C_n(t),$ (D-24)

OPUk 和 ODTUk.ts 中 n、m、M、f_{client}、f_{server}、T_{server}、B_{server} 和 P_(m,server) 的取值

n、m、M、f_{client}、f_{server}、T_{server}、B_{server} 及 P_{m,server} 的取值如表 D.1 所示。

表 D.1 – OPUk、ODTUk.ts 和 ODTUCn.ts 的 GMP 参数值

GMP 参数	CBR客户端进入OPUk	ODUj 进入 OPUk (ODTUk.ts)	ODUk进入OPUcn (ODTUCn.ts)
<i>n</i>	8 (默认) 1 (客户端特定)	8	8
<i>m</i>	$m = 8 \times M$ OPU0: $8 \times 1 = 8$ OPU1: $8 \times 2 = 16$ OPU2: $8 \times 8 = 64$ OPU3: $8 \times 32 = 256$ OPU4: $8 \times 80 = 640$	$m = 8 \times M$ ODTU2.ts: $8 \times ts$ ODTU3.ts: $8 \times ts$ ODTU4.ts: $8 \times ts$ ODTU25.ts: $8 \times ts$ ODTU50.ts: $8 \times ts$	$m = 128 \times M$ ODTUCn.ts: $128 \times ts$
<i>f_{client}</i>	CBR客户端比特率及容差	ODUj 比特率及容差 (表 7-2)	ODUk 比特率与容差 (表 7-2)
<i>f_{server}</i>	OPUk 有效载荷比特率与容差 (表7-3)	ODTUk.ts 有效载荷比特率及容差 (表7-7)	ODTUCn.ts 有效载荷比特率及容差 (表7-7)
<i>T_{server}</i>	ODUk/OPUk帧周期 (表7-4)	OPUk 多帧周期 (表 7-6)	OPUcn 多帧周期 (表 7-6)
<i>B_{server}</i>	OPU0: 8×15232 OPU1: 8×15232 OPU2: 8×15232 OPU3: 8×15232 OPU4: 8×15200	ODTU2.ts: $8 \times ts \times 15232$ ODTU3.ts: $8 \times ts \times 15232$ ODTU4.ts: $8 \times ts \times 15200$ ODTU25.ts: $8 \times ts \times 15232$ ODTU50.ts: $8 \times ts \times 15232$	ODTUCn.ts: $128 \times ts \times 952$
<i>P_{m,server}</i>	OPU0: 15232 OPU1: 7616 OPU2: 1904 OPU3: 476 OPU4: 190	ODTU2.ts: 15232 ODTU3.ts: 15232 ODTU4.ts: 15200 ODTU25.ts: 15232 ODTU50.ts: 15232	ODTUCn.ts: 952
ΣC_{SD} 范围	OPU0: 不适用 OPU1: 0 至 +1 OPU2: 0 至 +7 OPU3: 0 至 +31 OPU4: 0 至 +79	ODTUk.1: 不适用 ODTUk.2: 0 至 +1 ODTUk.3: 0 至 +2 ODTUk.4: 0 至 +3 : ODTUk.8: 0 至 +7 : ODTUk.32: 0 至 +31 :	ODTUCn.1: 0 至 +15 ODTUCn.2: 0 至 +31 ODTUCn.3: 0 至 +47 ODTUCn.4: 0 至 +59 : ODTUCn.20n-1: 0 至 +320n-1 ODTUCn.20n: 0 至 +320n

表 D.1 – OPUk、ODTUK.ts 和 ODTUCn.ts GMP 参数值

GMP 参数	CBR客户端进入OPUk	ODUj 进入 OPUk (ODTUK.ts)	ODUk进入OPUcn (ODTUCn.ts)
		ODTUK.79: 0 至 +78 ODTUK.80: 0至+79	
ΣC_{1D} 范围 (针对选定客户端)	OPU0: 0 至 +7 OPU1: 0 至 +15 OPU2: 0 至 +63 OPU3: 0 至 +255 OPU4: 0 至 +639	不适用	不适用

D.3 $C_m(t)$ 编码与解码

$C_m(t)$ 编码于 ODTUK.ts 中的对齐控制字节 JC1、JC2 和 JC3，其中 14 位计数字段遵循第 19.4 节规定，10 位计数字段遵循第 20.4 节规定。

$C_m(t)$ 是 L 位二进制计数，表示携带 m 个客户端位的 m 个 OPU 有效载荷位组的数量；其取值范围介于 Floor($C_{m,\min}$) 与 Ceiling($C_{m,\max}$) 之间，该范围因客户端而异。构成 $C_m(t)$ 的 Ci 位 ($i=1..L$) 用于指示 $C_m(t)$ 值相对于前帧值（由 $C_m(t-1)$ 表示）是递增还是递减。表 D.2 和表 D.3 分别展示了 $C_m(t)$ 中用于指示 $C_m(t)$ 值增减的 Ci 位反转模式。表 D.2 对应 14 位计数模式，表 D.3 对应 10 位计数模式。表中标记为 "I" 的条目表示该位发生反转。

位反转模式适用于 $C_m(t-1)$ 值，该值在增量或减量操作之前生效——当 $|C_m(t) - C_m(t-1)| \leq 2$ 时 ($(C_m(t) - C_m(t-1)) = 0$ 除外)，反转模式即指示该操作。经增减后的 $C_m(t)$ 值将成为下一次 GMP 开销传输的基础值。

- 当 $0 < C_m(t) - C_m(t-1) \leq 2$ 时，表示增量为 +1 或 +2，则根据表 D.2 或表 D.3 的规定对包含 $C_m(t-1)$ 的 Ci 位子集进行反转，并将增量指示位 (II) 设为 1。
- 当 $0 > C_m(t) - C_m(t-1) \geq -2$ 时，表示减量为 -1 或 -2，则包含 $C_m(t-1)$ 的 Ci 位子集按表 D.2 或表 D.3 规定进行反转，同时减量指示器 (DI) 位设为 1。
- 当 $C_m(t)$ 值相对于 $C_m(t-1)$ 变化量大于 +2 或 -2 时，II 和 DI 位均设为 1，Ci 位包含新的 $C_m(t)$ 值。JC3 中的关联 CRC 将验证 $C_m(t)$ 值是否正确接收。
- 当 $C_m(t)$ 值与 $C_m(t-1)$ 值相同，则 II 位和 DI 位均置为 0。

上述编码过程如图 D.6 所示。

表 D.2 – 14 位 C_m(t) 增量与减量指示模式

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	II	DI	变更
U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	0	0	0
I	U	I	U	I	U	I	U	I	U	I	U	I	U	1	0	+1
U	I	U	I	U	I	U	I	U	I	U	I	U	I	0	1	-1
U	I	I	U	U	I	I	U	U	I	I	U	U	I	1	0	+2
我	U	U	I	I	U	U	I	I	U	U	I	I	U	0	1	-2
二进制值														1	1	大于 +2/-2

注

- I 表示反转的 Ci 位
- U 表示 Ci 位不变

位于JC3的CRC-8基于JC1和JC2位进行计算。该CRC-8采用生成多项式 $g(x) = x^8 + x^3$

$+ x^2 + 1$ 生成多项式，计算过程如下：

- 1) JC1和JC2字节按网络字节序（最高位在前）排列，形成16位模式，代表15次多项式 $M(x)$ 的系数。
- 2) $M(x)$ 与 x^8 相乘后，再除以 $G(x)$ (模 2)，产生最高次为 7 或更低的余数 $R(x)$ 。
- 3) $R(x)$ 的系数被视为一个8位序列，其中 x^7 是最显著位。
- 4) 该8位序列即为CRC-8校验码，其中传输的CRC-8首位对应 x^7 的系数，末位对应 x^0 的系数。

解映射过程与映射过程的步骤1-3相同，但步骤1中的 $M(x)$ 多项式包含JC3的CRC位，导致 $M(x)$ 的次数为23。若无位误差，余数应为0000 0000。

表D.3 – 10位C_m(t)增量与减量指示模式

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	II	DI	更改
U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	0	0	0
I	U	I	U	I	U	我	U	I	U	1	0	+1
I	U	U	我	U	I	I	U	U	I	0	1	-1
U	I	U	I	I	U	U	I	U	I	1	0	+2
U	I	我	U	U	I	U	I	I	U	0	1	-2
二进制值										1	1	大于 +2/-2

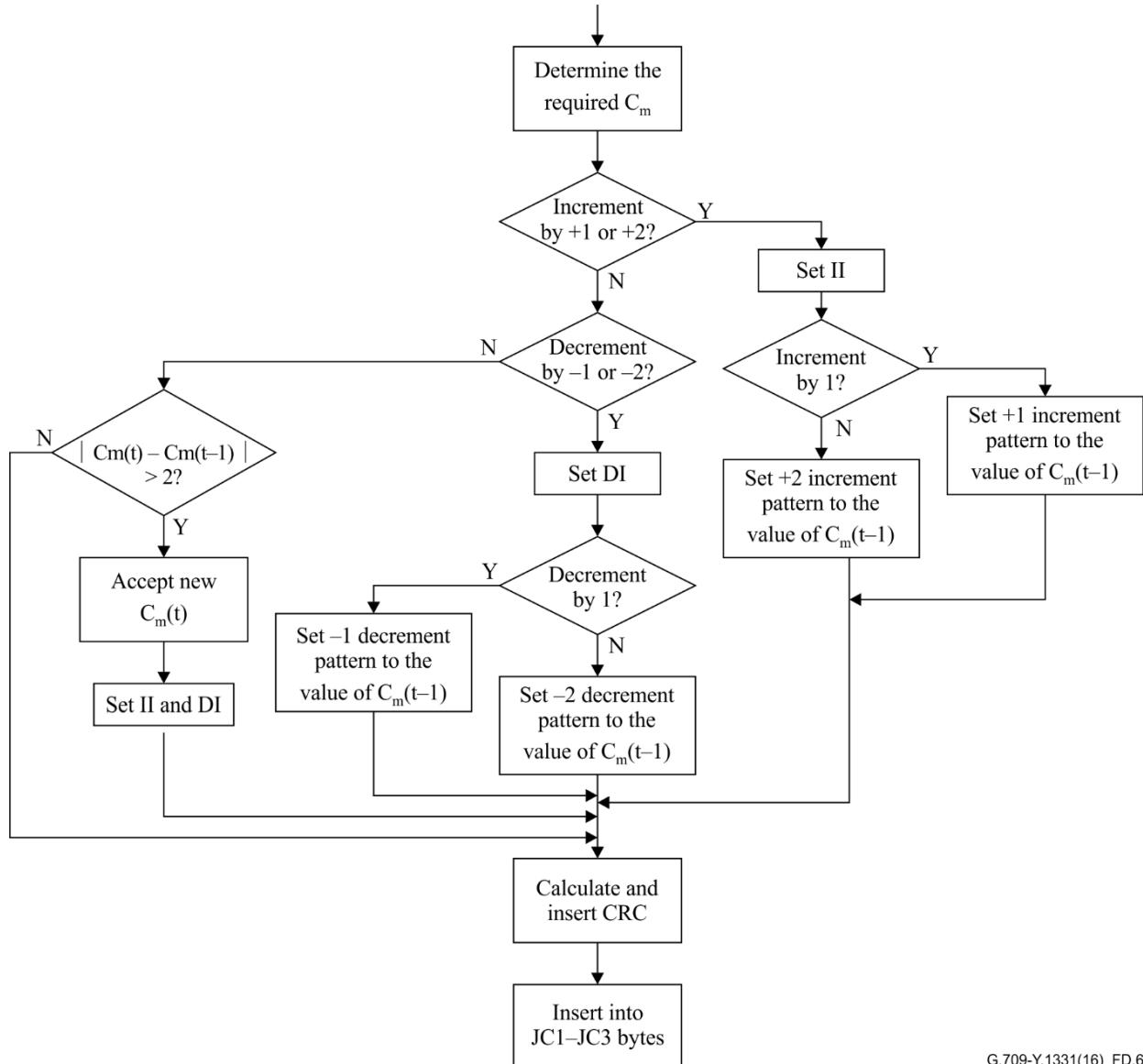
注

- I 表示反相的 Ci 位
- U 表示 Ci 位不变

位于JC3中的CRC-6基于JC1和JC2的第3-8位计算（即包含表D.3所示GMP开销值的位）。CRC-6采用生成多项式 $g(x) = x^6 + x^3 + x^2 + 1$ ，计算方式如下：

- 1) JC1与JC2的八位组按网络字节序（最高位在前）取用，使得JC1的第3位至JC2的第8位构成12位模式，代表11次多项式 $M(x)$ 的系数。
- 2) 将 $M(x)$ 与 x^6 相乘后，取模2除以 $G(x)$ ，产生最高次为5的余数 $R(x)$ 。
- 3) $R(x)$ 的系数被视为一个6位序列，其中 x^5 是最显著位。
- 4) 该6位序列即为CRC-6校验码，其中待传输CRC-6校验码的首位对应 x^5 的系数，末位对应 x^0 的系数。

解映射过程与映射过程的步骤1-3相同，但步骤1中的 $M(x)$ 多项式包含JC3的CRC位，导致 $M(x)$ 的次数为17。若无位误差，余数应为000000。



G.709-Y.1331(16)_FD.6

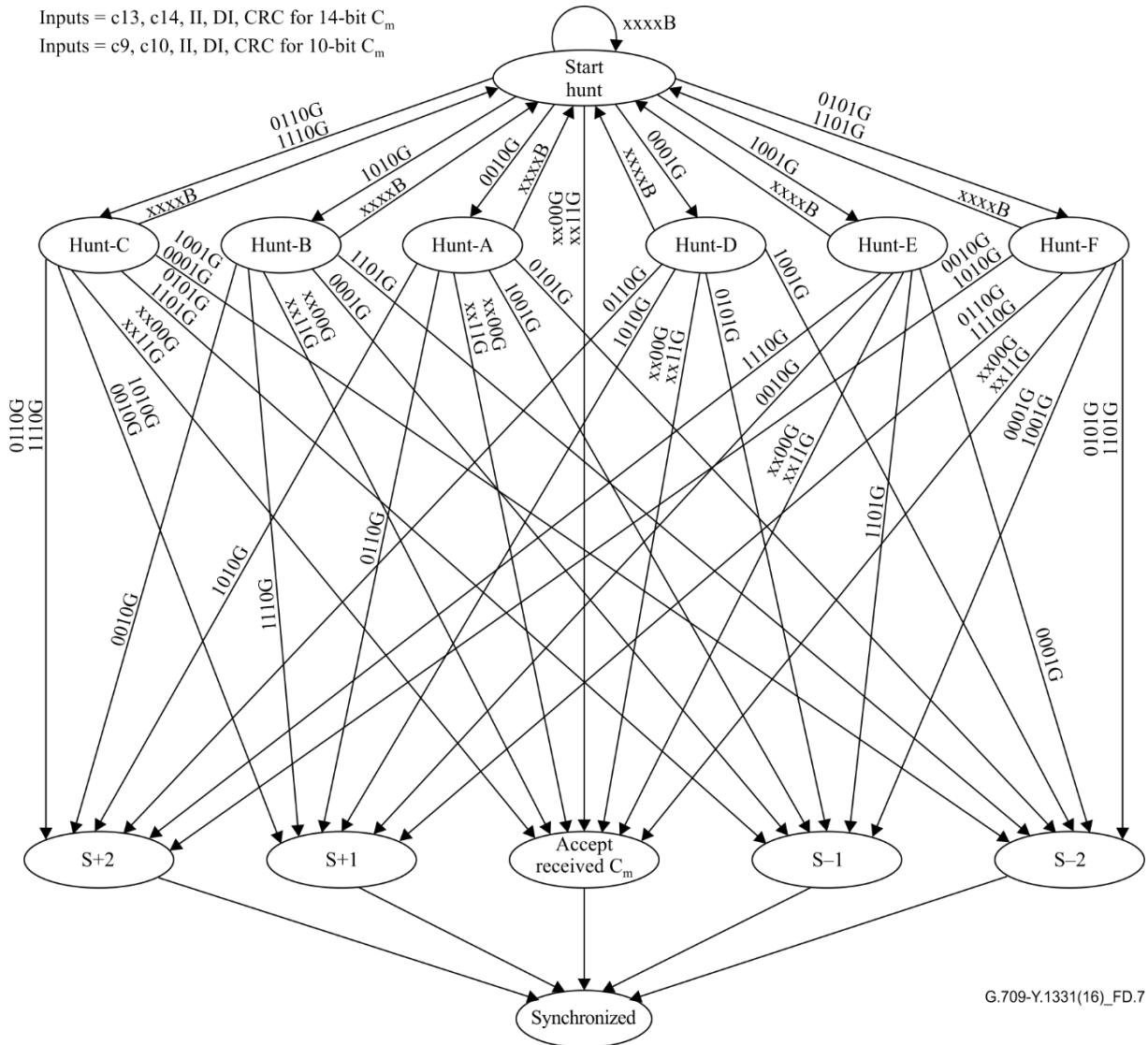
图D.6 – JC1、JC2与JC3生成原理

源端CRC-8与CRC-6的并行逻辑实现详见附录VI。

GMP接收端通过以下过程将其 $C_{m(t)}$ 值与GMP源端同步，该过程如图D.7所示，等效过程见图D.8。

当接收到的JC字节包含II = DI且CRC-8有效时，GMP接收器将接收到的C1-CL作为下帧的 $C_{m(t)}$ 值。此时GMP接收端已与GMP发送端同步。若当前接收帧（帧i）中II ≠ DI且CRC有效，GMP接收端必须检查下一帧（帧i+1）的接收JC八位组以获取 $C_{m(t)}$ 同步。帧i中II ≠ DI表明源正在执行计数增减操作，该操作将修改其在帧i+1发送的 $C_{m(t)}$ 值。由于此修改将影响计数LSB位，GMP接收器在接收帧i+1时，需利用帧i中的LSB位、II和DI来确定其同步搜索状态。具体而言，如图D.7所示：14位计数采用C13、C14、II和DI确定搜索状态(A-F)，10位计数则采用C9、C10、II和DI确定。等效地，在图D.8中，14位计数通过C14、II和DI确定搜索状态（A或B），10位计数则通过C10、II和DI确定。若帧i+1中II=DI且CRC有效，则直接将接收到的C1-CL作为新 $C_{m(t)}$ 实现 $C_{m(t)}$ 同步。若帧i+1中CRC有效且II ≠ DI，则接收端利用新的LSB位、II和DI值判断发送端传达的是递增/递减操作及其步长大小。这对应于图D.7和图D.8中向下状态行（“S”状态）的过渡。此时GMP接收端已识别帧i+1中信号传递的增量/减量操作类型。如图D.9所示，接收端随后将表D.2中的相应位反转模式应用于接收到的C1-C14字段，或将表D.3中的位反转模式应用于接收到的C1-C10字段，以确定传输的 $C_{m(t)}$ 值。此时已实现同步，因为GMP接收端既确定了当前 $C_{m(t)}$ 值，也知晓帧i+2中预期 $C_{m(t)}$ 的变化量。

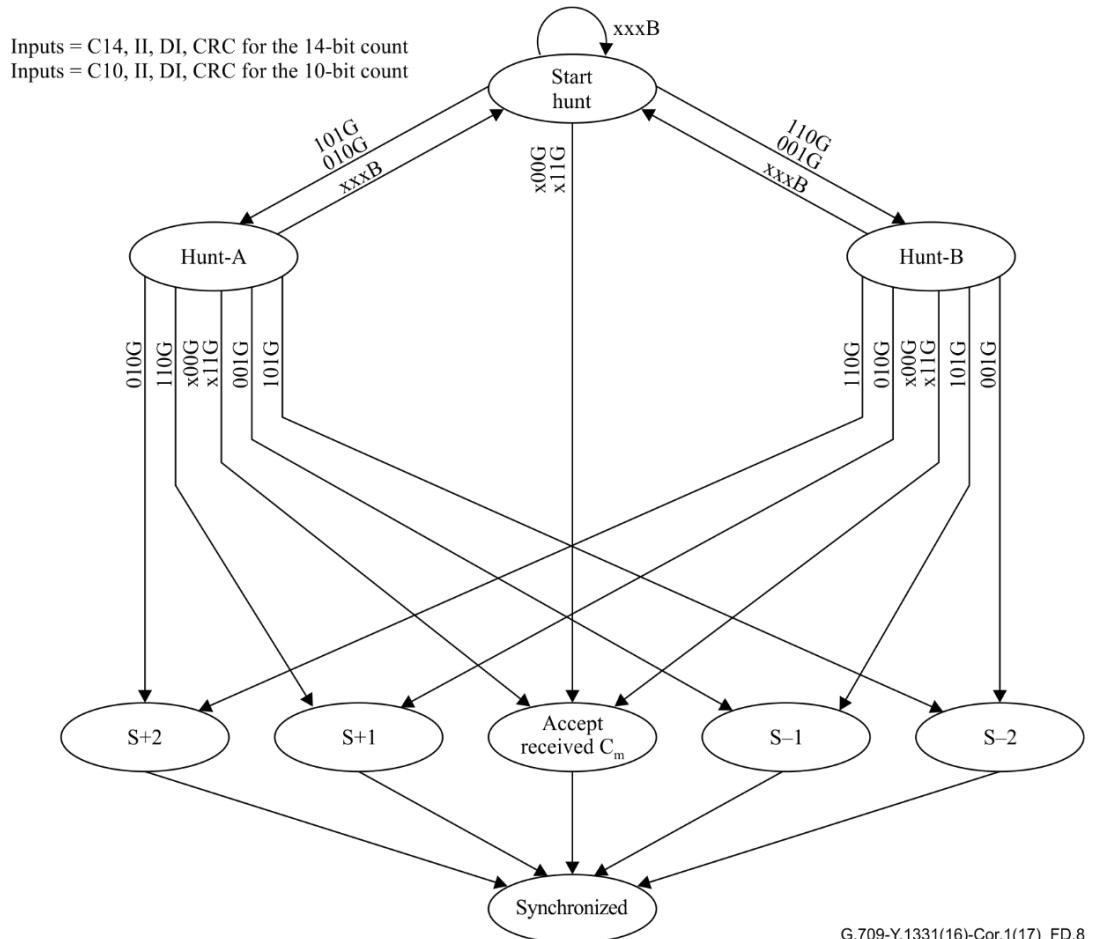
Inputs = c13, c14, II, DI, CRC for 14-bit C_m
 Inputs = c9, c10, II, DI, CRC for 10-bit C_m



图D.7 – 使用计数器最低两位作为输入的GMP汇流池计数器同步过程示意图

优化表明图D.8实现相同功能。两者可任选其一。基于历史原因，现保留两种方案。

G.709-Y.1331(16)_FD.7



图D.8 – GMP汇流计数同步流程示意图

14位计数		10位计数	
S状态	解释/动作	S状态	解释/操作
S+2	计数 = C1-C14 (在反转C2、C3、C6、C7、C10、C11和C14后)； 下帧递增+2	S+2	计数 = C1-C10 (在反转C2、C4、C5、C8和C10后)； 下帧计数+2
S+1	计数 = C1-C14 (在反转C1、C3、C5、C7、C9、C11和C13后)； 下帧计数+1	S+1	计数 = C1-C10 (在反转C1、C3、C5、C7和C9后) 下帧计数加1
S-1	计数 = C1-C14 (在反转C2、C4、C6、C8、C10、C12和C14后)； 下一帧减1	S-1	计数 = C1-C10 (在反转C1、C4、C6、C7和C10后)； 减1用于下一帧
S2	计数 = C1-C14 (在反转C1、C4、C5、C8、C9、C12、C13后)； 减2用于下一帧	S2	计数 = C1-C10 (在反转C2、C3、C6、C8和C9后)； 减2用于下一帧

图D.9 – 图D.7与D.8中“S”状态的解释

请注意，图D.7或图D.8所示的状态机也可用于离线同步检查。

当GMP接收端将其 $C_m(t)$ 值与GMP源端同步后，将根据以下原则解析接收到的JC字节：

- 当CRC校验正确且II = DI时，GMP接收器接受接收到的 $C_m(t)$ 值。
- 当CRC校验正确且II ≠ DI时，GMP接收器将接收到的 $C_m(t)$ 值与其预期 $C_m(t)$ 值进行比较以确定两者差异。该差异将与表D.2或表D.3中的位反转模式进行比对，从而确定源端发送的增量或减量操作，并据此更新其 $C_m(t)$ 值。由于CRC校验正确，接收端可使用JC1或JC2进行此比较。
- 当CRC校验失败时，GMP接收端将接收到的 $C_m(t)$ 值与其预期 $C_m(t)$ 值进行比较。随后根据表D.2或表D.3，将两者差异值分别与JC1中的有效位反转模式、JC2中的位反转模式及DI模式进行比对。
 - 若JC1包含有效模式而JC2不包含，则接收器接受来自JC1的相应增量或减量指示，并据此更新其 $C_m(t)$ 。
 - 若JC2包含有效模式而JC1无效，则接收器接受来自JC2的相应增量或减量指示，并据此更新其 $C_m(t)$ 值。
 - 若JC1和JC2均包含指示相同增量或减量操作的有效模式，则接受该指示并据此更新其 $C_m(t)$ 。
 - 若JC1和JC2均未包含有效模式，接收器应保持当前计数值并启动同步搜索。

注——若JC1和JC2各自包含彼此不同的有效模式，接收器可选择保留当前 $C_m(t)$ 值并启动同步搜索，或通过CRC校验判断JC1与JC2中哪一方包含正确模式。

GMP接收器使用更新后的 $C_m(t)$ 值从下一个OPU帧或ODTUk.ts多帧中提取客户端数据。

D.4 $\Sigma C_{nD}(t)$ 编码与解码

D.4.1 $\Sigma C_{nD}(t)$ 编码与OPUk的xml-ph-0000@deepInternal解码

$C_{nD}(t)$ 的累积值 ($\Sigma C_{nD}(t)$) 编码在OPUk和ODTUk.ts对齐控制字节JC4、JC5和JC6的第4-8位中。JC4和JC5中的D1至D10位携带 $\Sigma C_{nD}(t)$ 的值，其中D1位为最高位，D10位为最低位。

位于JC6的CRC-5校验值基于JC4和JC5中D1-D10位计算得出。CRC-5采用生成多项式 $g(x) = x^5 + x + 1$ ，计算过程如下：

- 1) 将JC4位4-8与JC5位4-8的八位组按网络传输顺序（最高位优先）排列，形成10位模式，该模式代表9次多项式 $M(x)$ 的系数。
- 2) $M(x)$ 与 x^5 相乘后，再除以 $G(x)$ (模 2)，产生最高次数不超过 4 的余数 $R(x)$ 。
- 3) $R(x)$ 的系数被视为5位序列，其中 x^4 为最高位。
- 4) 该5位序列即为CRC-5校验码，其中传输的CRC-5首位对应 x^4 的系数，末位对应 x^0 的系数。

解映射器过程执行步骤1-3的方式与映射器过程相同，但在此处，步骤1中的 $M(x)$ 多项式包含JC6的CRC位，导致 $M(x)$ 的次数为14。若无位错误，余数应为00000。

源CRC-5的并行逻辑实现如附录VI所示。

D.4.2 $\Sigma C_{nB}(t)$ 编码与解码方案适用于OPUCn

$C_{nB}(t)$ 的累积值 ($\Sigma C_{nB}(t)$) 编码于ODTUCn.ts的对齐控制字节JC1、JC2、JC3、JC4、JC5和JC6中。位D1至D18承载 $\Sigma C_{nB}(t)$ 的值。位D1承载最高有效位，位D18承载最低有效位。如图20-7所示：位D1至D7位于JC4的第2至8位；位D8至D9位于JC1的第一至2位；位D10至D16位于JC5；位D17至D18位于JC2的第一至2位。

位于JC6位2-8和JC3位1-2的CRC-9校验码，是基于JC4、JC1、JC5和JC2中的D1-D18位计算得出。CRC-9采用生成多项式 $g(x) = x^9 + x^3 + x^2 + 1$ ，其计算方式如下：

- 1) 将JC4位2-8、JC1位1-2、JC5位2-8及JC2位1-2按网络传输顺序（最高位优先）排列，形成18位模式，该模式代表17次多项式 $M(x)$ 的系数。
- 2) 将 $M(x)$ 与 x^9 相乘后，取模2除以 $G(x)$ ，得到最高次数不超过8的余数 $R(x)$ 。
- 3) $R(x)$ 的系数被视为9位序列，其中 x^8 为最高位。
- 4) 该9位序列即为CRC-9校验码，其中传输的CRC-9首位对应 x^8 系数，末位对应 x^0 系数。

解映射过程与映射过程的步骤1-3相同，但步骤1中的 $M(x)$ 多项式包含JC6和JC3的CRC位，导致 $M(x)$ 的次数为26。若无位错误，余数应为000000000。

源端CRC-9的并行逻辑实现如附录VI所示。

附录E

并行64B/66B编码客户端的适配

(本附件构成本建议书的组成部分。)

E.1 引言

IEEE 802.3标准中规定的IEEE 40GBASE-R和100GBASE-R接口为并行接口，旨在实现以太网设备在短距离（不超过40公里）内的互连。本附录描述了将这些接口的并行格式转换为串行比特流以通过OTN传输的过程。

本附件所有示意图中信息传输顺序均为先从左至右，再从上至下。

E.2 客户端信号格式

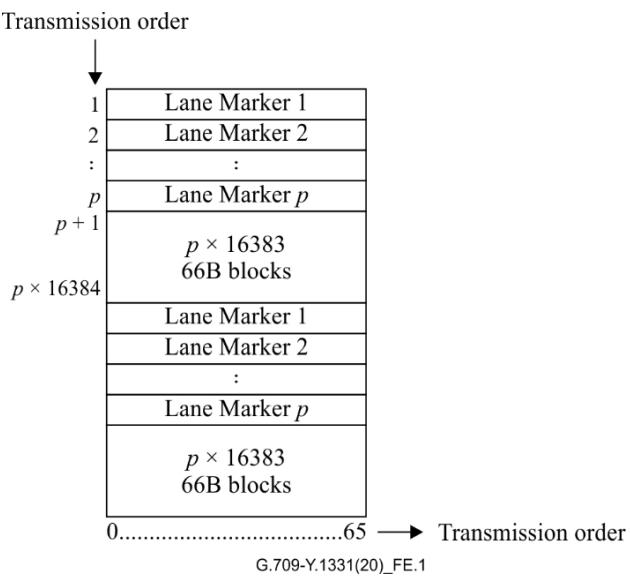
40GBASE-R与100GBASE-R客户端初始为并行接口，但未来可能采用串行接口。无论接口采用并行或串行模式，亦或并行接口通道数如何，40GBASE-R信号均由四个PCS通道构成，100GBASE-R信号则由二十个PCS通道构成。若接口物理通道数少于PCS通道数，则需将相应数量的PCS通道进行比特复用至接口的每个物理通道。每个PCS通道包含64B/66B编码数据，并在每16384个66位数据块后插入一次通道对齐标记。该标记本身即为特殊格式的66B码字。

此项40GBASE-R向OPU3的适配方案同时采用附录B所述的转码方法及附录F的帧结构方法。本附录所述适配方案亦可单独用于100GBASE-R向OPU4的适配过程。

E.3 客户端帧恢复

客户端帧恢复包括以下内容：

- 若必要，对PCS通道进行位解交织。当PCS通道数与物理通道数不一致时必须执行此操作，若两者相等则无需执行（例如4通道40GBASE-R接口）；
- 根据[IEEE 802.3]图82-10的状态图恢复64B/66B块锁定；
- 根据[IEEE 802.3]图82-11的状态图，在每条PCS通道上恢复通道对齐标记帧结构；
- 将PCS通道重新排序并消除偏移，形成由66B数据块（含通道对齐标记）组成的串行化数据流。图E.1展示了具有p个PCS通道的接口完成此过程后，66B数据块的排列顺序。



图E.1 – 66B区块的去偏移/串行化数据流

每个66B码字属于以下类型之一：

- 包含"01"同步头的前八个数据字节；
- 以同步头"10"开头的控制块（可能包含七个或更少数据字节）。
- PCS通道对齐标记，同样采用"10"作为同步头进行编码。在同步头之后的8个八位组中，有6个八位组具有固定值，用于识别PCS通道对齐标记（参见表E.1和E.2）。同步头后的第四个八位组是根据[IEEE 802.3]表82-4定义，从一个对齐标记到下一个标记的数据计算得出的BIP-8值。第八个八位组是该BIP-8值的补码，用于维持直流平衡。需注意，这些BIP-8值旨在透明传输，用于监测以太网PCS子层间链路的误码率。对于100GBASE-R，映射/解映射过程不改变BIP-8值；而40GBASE-R则需按条款E.4.1所述进行BIP-8补偿。

对于所有数据块和控制块，在同步头之后的64位数据将根据多项式 $G(x) = 1 + x^{39} + x^{58}$ 进行扰码处理，形成连续比特流（跳过同步头和PCS通道对齐标记）。

在根据[IEEE 802.3]图82-10状态图对单通道接收聚合信号完成64B/66B区块锁定恢复后，这些66B区块在出口接口重新分配至PCS通道。解码过程生成的66B区块（含PCS通道对齐标记）以循环方式分配至各PCS通道。若PCS通道数量超过出口接口的物理通道数，则将相应数量的PCS通道进行比特复用至出口接口的物理通道上。

E.3.1 40GBASE-R客户端帧恢复

对于使用PCS通道号0-3的40GBASE-R信号，PCS通道对齐标记的值如表E.1所示。

表 E.1 – 40GBASE-R 的 PCS 通道对齐标记格式

通道编号	SH	编码 $\{M_0, M_1, M_2, BIP_3, M_4, M_5, M_6, BIP_7\}$
0	10	0x90, 0x76, 0x47, BIP ₃ , 0x6f, 0x89, 0xb8, BIP ₇
1	10	0xf0, 0xc4, 0xe6, BIP ₃ , 0x0f, 0x3b, 0x19, BIP ₇
2	10	0xc5, 0x65, 0x9b, BIP ₃ , 0x3a, 0x9a, 0x64, BIP ₇
3	10	0xa2, 0x79, 0x3d, BIP ₃ , 0x5d, 0x86, 0xc2, BIP ₇

由于40GBASE-R客户端信号必须转码为1024B/1027B以实现速率降低，入口接口处的64B/66B PCS接收处理会进一步解扰比特流，跳过同步头和PCS通道对齐标记，而出口接口的64B/66B PCS发送过程则再次对位流进行扰码，同时跳过同步头和PCS通道对齐标记，如图E.1所示。

E.3.2 100GBASE-R客户端帧恢复

对于采用PCS通道号0-19的100GBASE-R信号，PCS通道对齐标记的具体数值如表E.2所示。

通过OPU4传输的通道对齐标记将保持不变地分配至PCS通道。

表E.2 – 100GBASE-R的PCS通道对齐标记格式

通道编号	SH	编码 $\{M_0, M_1, M_2, BIP_3, M_4, M_5, M_6, BIP_7\}$	通道号	SH	编码 $\{M_0, M_1, M_2, BIP_3, M_4, M_5, M_6, BIP_7\}$
0	10	0xc1, 0x68, 0x21, BIP ₃ , 0x3e, 0x97, 0xde, BIP ₇	10	10	0xfd, 0x6c, 0x99, BIP ₃ , 0x02, 0x93, 0x66, BIP ₇
1	10	0x9d, 0x71, 0x8e, BIP ₃ , 0x62, 0x8e, 0x71, BIP ₇	11	10	0xb9, 0x91, 0x55, BIP ₃ , 0x46, 0x6e, 0xaa, BIP ₇
2	10	0x59, 0x4b, 0xe8, BIP ₃ , 0xa6, 0xb4, 0x17, BIP ₇	12	10	0x5c, 0xb9, 0xb2, BIP ₃ , 0xa3, 0x46, 0x4d, BIP ₇
3	10	0x4d, 0x95, 0x7b, BIP ₃ , 0xb2, 0x6a, 0x84, BIP ₇	13	10	0x1a, 0xf8, 0xbd, BIP ₃ , 0xe5, 0x07, 0x42, BIP ₇
4	10	0xf5, 0x07, 0x09, BIP ₃ , 0x0a, 0xf8, 0xf6, BIP ₇	14	10	0x83, 0xc7, 0xca, BIP ₃ , 0x7c, 0x38, 0x35, BIP ₇
5	10	0xdd, 0x14, 0xc2, BIP ₃ , 0x22, 0xeb, 0x3d, BIP ₇	15	10	0x35, 0x36, 0xcd, BIP ₃ , 0xca, 0xc9, 0x32, BIP ₇
6	10	0x9a, 0x4a, 0x26, BIP ₃ , 0x65, 0xb5, 0xd9, BIP ₇	16	10	0xe4, 0x31, 0x4c, BIP ₃ , 0x3b, 0xce, 0xb3, BIP ₇
7	10	0x7b, 0x45, 0x66, BIP ₃ , 0x84, 0xba, 0x99, BIP ₇	17	10	0xad, 0xd6, 0xb7, BIP ₃ , 0x52, 0x29, 0x48, BIP ₇
8	10	0xa0, 0x24, 0x76, BIP ₃ , 0x5f, 0xdb, 0x89, BIP ₇	18	10	0x5f, 0x66, 0x2a, BIP ₃ , 0xa0, 0x99, 0xd5, BIP ₇
9	10	0x68, 0xc9, 0xfb, BIP ₃ , 0x97, 0x36, 0x04, BIP ₇	19	10	0xe0, 0xf0, 0xe5, BIP ₃ , 0x3f, 0x0f, 0x1a, BIP ₇

E.4 并行40GBASE-R客户端的B附录转码补充

将40GBASE-R客户端映射至OPU3需按附录B所述转码为513B码块。本条款描述了为传输PCS通道对齐标记而对附录B转码流程的补充内容。

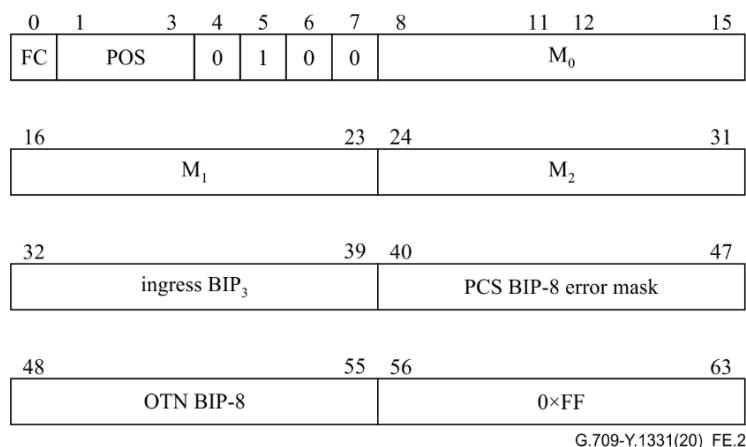
以太网路径监控是当以太网设备与OTN设备处于不同域（如客户与服务提供商）时，从以太网设备角度看具有价值的行为。这也是当前100GBASE-R映射的默认行为——在偏移管理后，66B块将映射至OPU4容器。该机制也可视为BIP-8端到端透明性的要求。为实现40GBASE-R客户端信号的BIP-8透明传输，需集成下文所述的附加功能。

PCS通道对齐标记与66B控制块共同编码于图B.3所示513B码块的顶部行。若513B结构包含至少一个66B控制块或PCS通道对齐标记，其标志位“F”设为1；若结构仅包含八个纯数据66B块，则标志位设为0。

转码为512B/513B时，必须将PCS通道对齐标记编码为图B.3所示结构中的一行，具体如下：移除“10”的同步头。使用表E.1所示PCS对齐标记编码中接收到的M₀、M₁和M₂字节来传递通道编号信息。该行首字节将包含图B.4所示结构，其中CB-TYPE字段为“0100”。POS字段将指示PCS通道对齐标记在编码至本513B区块的八组66B码字中的接收位置。标志延续位“FC”将指示该513B区块下方行中是否编码了其他66B控制块或PCS通道对齐标记。除首字节外，该行后续四字节将填充编码器接收到的PCS对齐标记编码中的M₀、M₁、M₂及输入BIP3字节。解码器将根据POS字段指示的位置，在本513B区块内任意66B全数据区块中生成PCS通道对齐标记：先生成“10”的同步头，随后依次填入接收到的M₀、M₁、M₂字节，输出BIP3字节，以及M₄、M₅和M₆字节（即解码器接收到的M₀、M₁和M₂字节的位反转），以及输出BIP7字节（即输出BIP3字节的位反转）。

随后，以太网接收器将负责处理OTN段内可能改变PCS对齐标记编码的比特误差（详情参见[IEEE 802.3]第82.2.18.3节及图82-11）。

输出_{BIP3}字节与输出_{BIP7}字节的计算方法详见条款E.4.1。下图E.2展示了转码通道标记的格式。



图E.2 – 转码通道标记格式

E.4.1 40GBASE-R BIP-8透明传输

40GBASE-R采用的转码方法在时序和PCS码字层面保持透明。正常运行时，根据附件B、E和F所述映射关系，PCS编码比特流中仅有两个方面无法被完整保留：其一，由于扰码器不以已知状态启动，且多个不同编码的比特流可能对应相同PCS编码内容，导致扰码过程存在不确定性；其二，以太网路径中的BIP-8值会改变比特流的排列顺序。E和F所述映射时，PCS编码比特流中仅有两部分无法保留：其一是扰码过程——因扰码器初始状态未知，且多个不同编码比特流可能对应相同PCS编码内容；其二是以太网路径中的BIP-8值（更精确地说，是以太网发射器至OTN域入口点之间及OTN域内部发生的比特误差）。通过下文所述方案可实现BIP-8值的完整保留。由于扰码本身不包含需保留的信息，故未采取措施在OTN入口与出口间同步扰码器状态。

遗憾的是，由于BIP-8值是基于扰码后的比特流计算得出，若仅在转码通道标记中简单传输BIP-8值，则无法为接收端在解扰、转码、转解码后再次扰码的比特流提供有效的误码检测依据。

为保持以太网发射端与OTN域出口端之间的比特误码特性，比特误码处理被划分为两个独立流程：其一在OTN入口端（编码器）执行，其二在OTN出口端（解码器）执行。

在OTN入口处，通过为每条PCS通道生成预期BIP-8值并与接收到的BIP-8进行异或运算，计算出8位误差掩码。该掩码中，BIP-8中错误位对应"1"，正确位对应"0"。此值在图E.2中显示为PCS BIP-8误差掩码。

若OTN传输全程未引入误码（因FEC保护网络本质上可实现零误码环境），则可利用PCS BIP-8误差掩码在出口端调整新计算的PCS BIP-8值，从而可靠地反映整个以太网路径引入的误码数量。但若OTN传输过程中存在误码，此特定BIP-8计算算法将无法检测到这些误码。

为解决此问题，OTN段引入了每通道新的BIP-8规范。下文将称此新规范为OTN BIP-8，以区别于PCS BIP-8。

需特别说明的是，OTN BIP-8术语不应与OTUk开销字节（SM[2]字节）中定义的BIP-8混淆。

OTN BIP-8的计算方式与[IEEE 802.3]第82.2.8节所述的PCS BIP-8类似，但需在未解扰的PCS通道数据（即原始接收通道对齐标记）上进行计算，且需在误码控制块插入后、转码前完成。图E.2展示了OTN BIP-8在转码车道标记中的字节位置。

转码后的通道标记与转码后的数据块一同通过OTN段传输，具体定义详见附录B。在OTN出口处，经转码解码且在加扰之前，使用转码后对齐标记中的M₀、M₁、M₂及入口BIP3字节重建入口对齐标记，随后对这些字节进行位反转操作。该重建的对齐标记与转码解码且解扰后的数据块共同用于计算每个PCS通道的预期OTN BIP-8（参见[IEEE 802.3]第82.2.8节）。预期值将与接收到的OTN BIP-8进行异或运算。该误差掩码中，OTN BIP-8中错误的每位将显示为"1"，正确的每位则显示为"0"。

每个PCS通道的输出_{BIP3}值是通过对经转码解码和扰码处理的数据块（包括转码解码的对齐标记，参见条款E.4）进行计算得出，其计算过程遵循[IEEE 802.3]标准第82.2.8条款所描述的方法。

随后，通过先与PCS BIP-8错误掩码异或运算，再与OTN BIP-8错误掩码异或运算，对出口BIP₃进行OTN出口前发生的错误调整。该组合错误掩码将用于计算非侵入式监测中的BIP错误数量。

BIP₇通过对调整后的BIP₃进行位反转生成。

E.4.2 40GBASE-R至OPU3映射器检测到的错误

无效的66B区块将在转码前转换为错误控制区块。无效的66B区块指：未包含"01"或"10"同步头，或虽含"10"同步头但不符合有效PCS通道对齐标记要求，且其控制区块类型字段未出现在图B.2中，或具有0x2d、0x33、0x66或0x55（这些值在40GBASE-R中未使用）。错误控制块具有"10"的同步位、0x1e的块类型码以及8个七位/E/错误控制字符。这将防止以太网接收器将包含此错误的位序列解释为有效数据包。

E.4.3 40GBASE-R至OPU3解映射器检测到的错误

当比特错误导致数据损坏时，将采用多种机制降低40GBASE-R到OPU3解映射器在输出端构造错误的并行64B/66B编码数据的概率。由于可检测的损坏通常意味着无法可靠确定解映射器构建66B块的正确顺序，若任何检查失败，解映射器将传输八个66B错误控制块（同步标记="10"，控制块类型=0x1e，及八个7位/E/控制字符）。

附件F讨论了包括PCS通道对齐标记在内的增强鲁棒性及实现513B区块锁定的机制。

附录 F

使用1027B编码块将40GBASE-R映射到OPU3的增强健壮性

(本附件构成本建议书的组成部分。)

F.1 引言

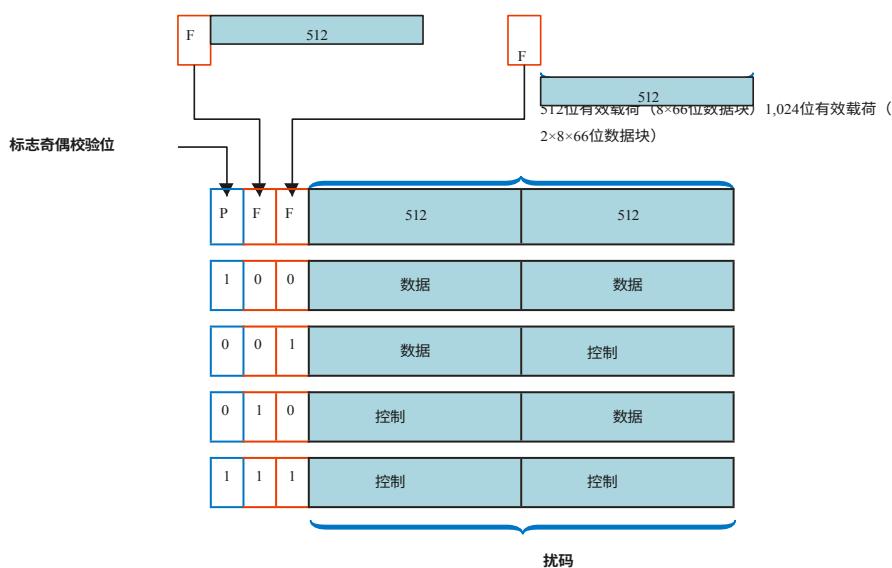
当并行40GBASE-R信号根据附录B和E进行转码，并直接映射至OPU3而未采用GFP帧结构时，需采用另一种方法定位513B区块起始点，并提供保护机制以防止比特误差导致平均误包接受时间(MTTFPA)不可接受地增加。

F.2 513B码块帧结构与标志位保护

将513B代码块映射至OPU3需具备定位代码块起始点的机制，同时需保护标志位——该位损坏可能导致数据被误判为控制信息或反之。

这两项要求可通过为来自附件B转码的两个513B区块的标志位提供奇偶校验来实现。

图F.1展示了两个513B区块间的标志奇偶校验位。该设计使有效标志位组合间形成至少两比特汉明距离。



图F.1 – 两个513B区块（1027B编码）的标志奇偶校验位

标志奇偶校验位生成可用于帧同步的序列，从而在比特流中定位513B数据块。[IEEE 802.3]图49-12的状态图被应用于定位每1027位出现一次的3位模式（而非每66位出现一次的2位模式），其中八个3位序列中有四个（而非IEEE 802.3中使用的四个2位值中有两个）与该模式匹配。额外步骤需对非标志位进行扰码，确保合法序列不会在数据中系统性重复。为此采用以太网自同步扰码器，其使用多项式 $G(x) = 1 + x^{39} + x^{58}$ 。

在解映射器处，若标志位奇偶校验失效，则导致两个涉及该奇偶校验的513B数据块均被解码为8×2个66B错误控制块（即“10”同步头+控制块类型0x1e+八个7位/E/控制字符）。

F.3 66B块序列 校验

位置或标志延续位的比特错误损坏可能导致66B区块从513B编码区块中以错误顺序解映射。为防止由此导致错误的数据包划分，系统执行额外校验。由于可检测到的损坏通常意味着无法可靠确定解码器构建66B块的正确顺序，若任何校验失败，解码器将发送八个66B错误控制块（同步标记=10，控制块类型=0x1e，及八个7位/E/控制字符）。

其他检查旨在降低比特错误损坏任何POS字段或标志延续位"FC"时，无效数据在出口处传输的概率。

若标志位"F"为1（即513B区块包含至少一个64B/66B控制区块），则对于该表中直至首个标志延续位为零的行（即区块中的最后一行），需验证该513B区块内所有66B控制区块及通道对齐标记的POS字段值均不相同，且多个控制行或通道对齐行的POS字段值呈升序排列——此条件在规范构造的513B区块中必然成立。若验证失败，则将该513B区块解码为八个66B错误控制区块。

下一步检查是确保区块序列符合规范数据包结构，可参照图F.2和图F.3中的状态图进行验证。此检查将判定66B区块是否存在不符合规范数据包的排列顺序，例如：在IPG期间检测到全数据66B区块却未先出现表示数据包起始的控制区块；或在数据包传输过程中检测到控制/空闲区块却未先出现表示数据包终止的控制区块。此类情况表明控制区块可能因POS位或标志延续位损坏而排序错误。此检查失败将导致513B块被解码为八个66B错误控制块。需注意PCS通道对齐标记在两种状态下均被接受，且如图F.3所示不会改变状态。

解码器还会检查PCS通道对齐标记的序列。对于具有 p 个PCS通道的接口，通道0至 $p-1$ 的PCS通道对齐标记将按序出现，随后是 $16383 \times p$ 个非通道标记的66B数据块，接着是另一组PCS通道对齐标记。解码器中维护一个计数器，用于追踪下一组通道对齐标记的预期出现时间。若在解码513B块的通道对齐标记过程中，发现标记出现在非预期位置，或预期位置存在缺失标记，则整个513B块将按图F.2、F.3和F.4所示，被解码为八个66B错误控制块。

F.3.1 状态图约定

本条款主体由状态图构成，包含相关变量、常量及函数的定义。若状态图与描述性文本存在差异，以状态图为准。

状态图所用符号遵循[IEEE 802.3]第21.5节约定。状态图计时器遵循[IEEE 802.3]第14.2.3.2节约定。计数器或整型变量后缀的++符号表示其值需递增。

F.3.2 状态变量

F.3.2.1 常量

EBLOCK_T<65:0>

发送至PCS的66位向量，其八个字符位置均包含/E/。

Mi<65:0>

包含第*i*个PCS通道 ($0 < i \leq p$) 的转码对齐标记的66位向量 ($p=4$ 对应40GBASE-R)。

F.3.2.2 变量

1027B_block_lock

当应用[IEEE 802.3]图49-12的状态图定位每1027比特出现一次的3比特模式（而非每66比特出现一次的2比特模式）时，该变量指示block_lock的状态（如条款F.2所述）。当接收到64个连续的1027比特块且均具有有效3比特模式时设为真；当在64个有效块之前接收到16个具有无效3比特模式的1027比特块时设为假。

1027B_high_ber

当将[IEEE 802.3]图49-13的状态图应用于统计当前250微秒周期内（而非125微秒）1027位数据块中无效的3位同步头（而非66位数据块的2位同步头）时，该变量表示布尔值。当ber_cnt超过8（而非16）时设为真，表明比特误码率 $>10^{-4}$ 。

MseqViolation

表示一个布尔变量，该变量在每个 rx513_raw<527:0> PCS 通道对齐标记周期中根据 PCS 通道标记位置和顺序进行设置和锁存。若检测到异常标记序列则为真，否则为假。

POS_violation

基于rx_tcd<65:0>的POS字段值，在每次rx513_raw<527:0>中设置的布尔变量。若两个或多个数据的POS值相同或未按升序排列则为真，若其POS值呈升序排列则为假。

reset

一个控制PCS重置的布尔变量。当需要重置时（包括由MDIO发起重置、上电期间以及MDIO将PCS置于低功耗模式时）始终为真。

Rx513_coded<512:0>

包含输入至512B/513B解码器的向量数据。rx513_raw<527:0>

包含八个连续66位向量(tx_coded)的向量。rx_tcd<65:0>

根据图B.5所示规则，从513位数据块转码解码的66位向量。

seq_violation

一个布尔变量，根据对rx_tcd<65:0>流进行序列检查的结果，在每个 rx513_raw<527:0> 中设置。若检测到异常序列则为真，否则为假。

F.3.2.3 函数

DECODE(rx513_coded<512:0>)

解码513位向量，返回发往客户端接口的rx513_raw<527:0>。DECODE函数应按图F.2所示对数据块进行解码。

R_BLOCK_TYPE = {C, S, T, D, E, M}

该函数根据内容将每个66位rx_tcd向量归类为六种类型之一。

值：C、S、T和D的定义详见[IEEE 802.3]第49.2.13.2.3节。

M：该向量包含10个同步头，通过图F.3所示的状态机被识别为有效的PCS车道对齐标记。

E：该向量不符合任何其他值的判定标准。

R_TYPE(rx_tcd<65:0>)

返回 rx_tcd<65:0> 位向量的 R_BLOCK_TYPE。

R_TYPE_NEXT

预知数据包结束检查功能。返回紧接当前rx_tcd向量之后的rx_tcd向量的R_BLOCK_TYPE。

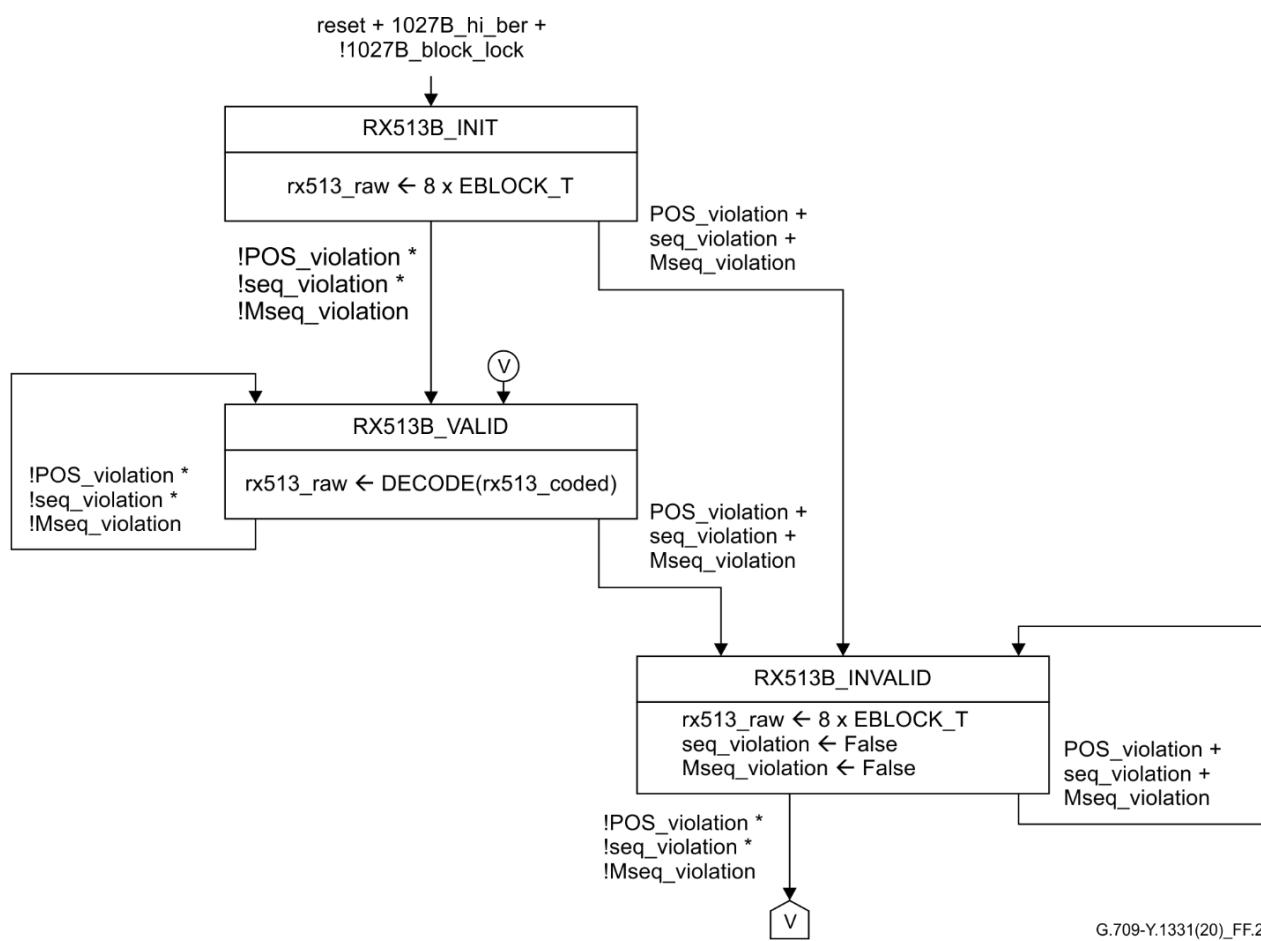
F.3.2.4 计数器

计数器

计数器，用于统计PCS通道数量，最大值为 p 。

F.3.3 状态图

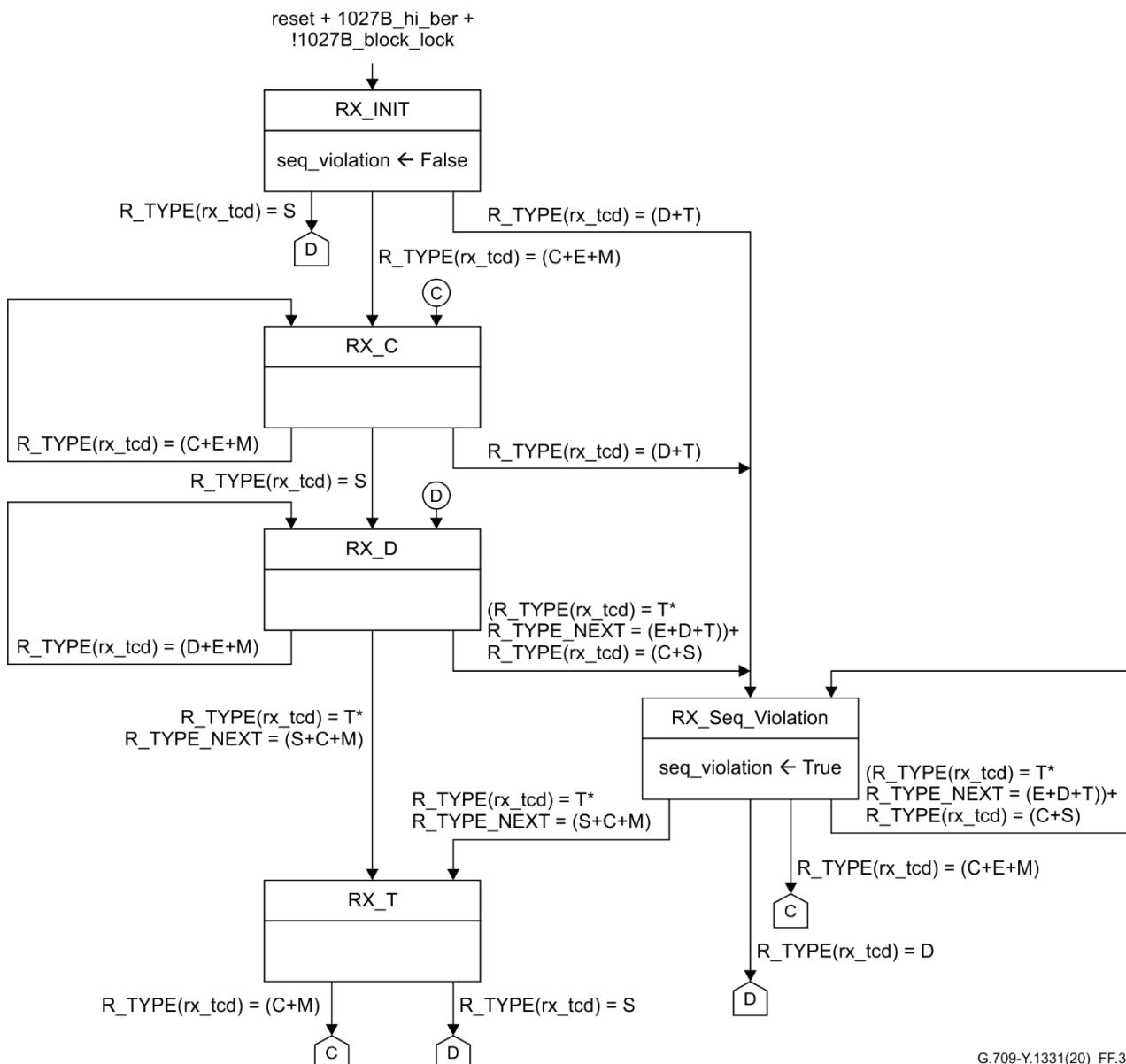
如图F.2所示，针对513位数据块序列设计的接收状态机，用于判定该513位数据块是否包含有效的八个66位数据块。



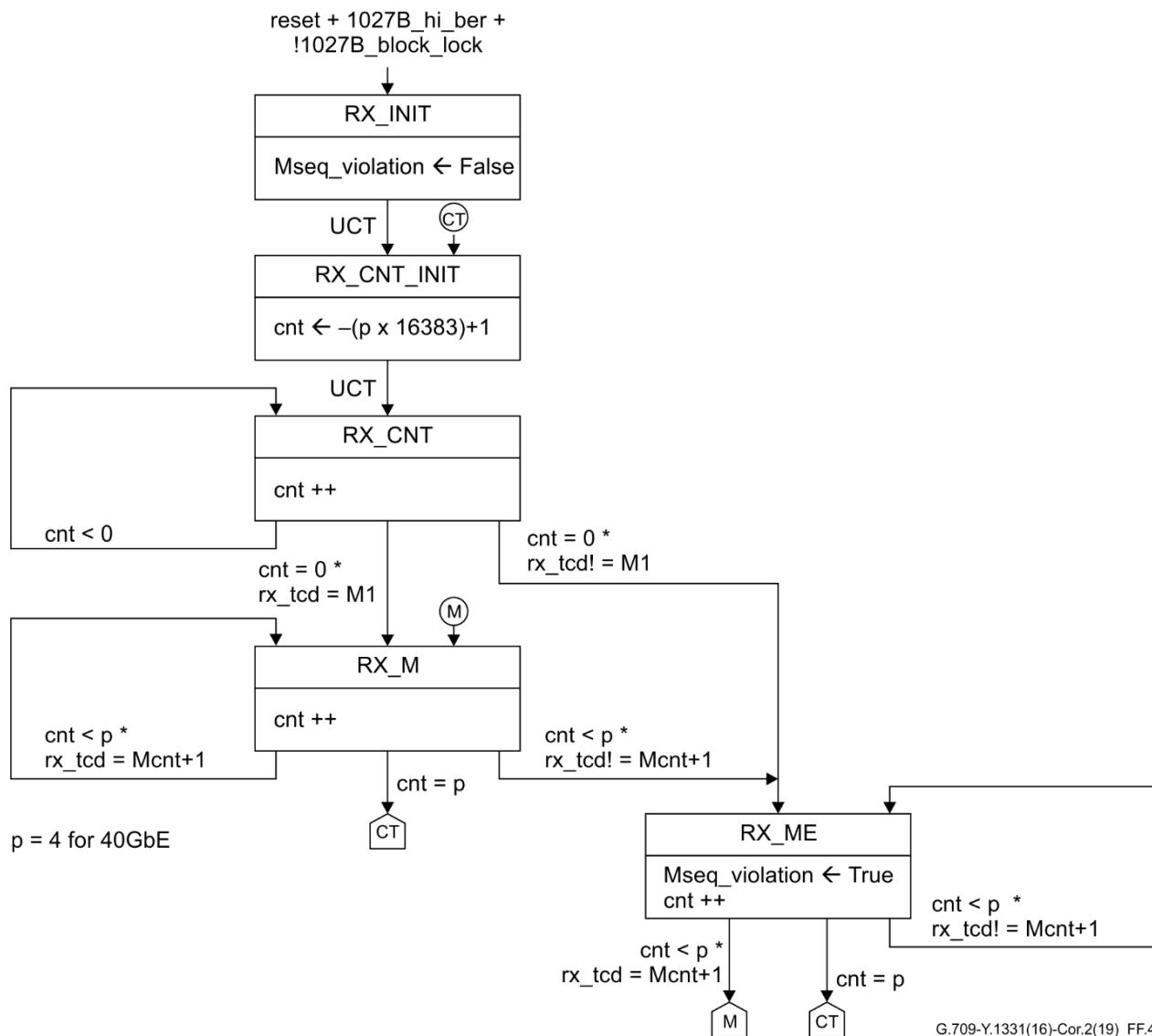
图F.2 – 包含车道对齐标记的512B/513B码块接收状态机

图F.3所示的66位区块系列转码状态机用于检查恢复的66位区块的区块类型序列。

图F.4所示针对66位区块序列的PCS通道对齐标记状态机，每检测 $p \times 16384$ 个区块即识别对齐标记，并验证标记是否呈递增顺序排列。



图F.3 – 包含车道对齐标记的64B/66B编码块转码状态机



图F.4 – 车道对齐标记接收状态机

附录G

将 ODU0 映射至低时延 OTU0 (OTU0LL)

(本附录构成本建议书不可分割的组成部分。)

G.1 引言

在光传输网络中，比特率高达1.25 Gbit/s的客户信号通过ODU0进行传输，而ODU0则承载于服务器ODUk和OTUk ($k = 1,2,3,4$) 中。本附录规定了一种低时延1.25G OTU0 (OTU0LL) 帧格式，其中承载一个使用[ITU-T G.698.3]应用码的ODU0，该ODU0携带客户端信号（例如IG以太网）。此OTU0LL可用于光传输网络边缘。

G.2 光传输单元0低时延 (OTU0LL)

OTU0LL在光传输网络边缘的多厂商光网络接口处对ODU0进行传输适配。OTU0LL帧结构（含OTU0LL前向纠错）已完全标准化。光传输网络边缘多厂商光网络接口的光学特性超出本建议书范围。

注1——本建议书规定的接口不支持OTU0LL传输。

注2——通过OTU0LL传输的ODU0可穿越OTN网络，并在OTN远端边缘终止。

G.2.1 OTUk帧结构

OTU0LL帧结构基于ODU0帧结构，并如图G.1所示扩展了分布式前向纠错（FEC）。为实现FEC功能，在ODU0帧基础上增设 16×16 列；同时将ODU0开销字段第1行第8至14列的保留开销字节用于OTU0LL专属开销，最终形成四行4080列的字节级区块帧结构。每个字节的最高有效位（MSB）为第1位，最低有效位（LSB）为第8位。

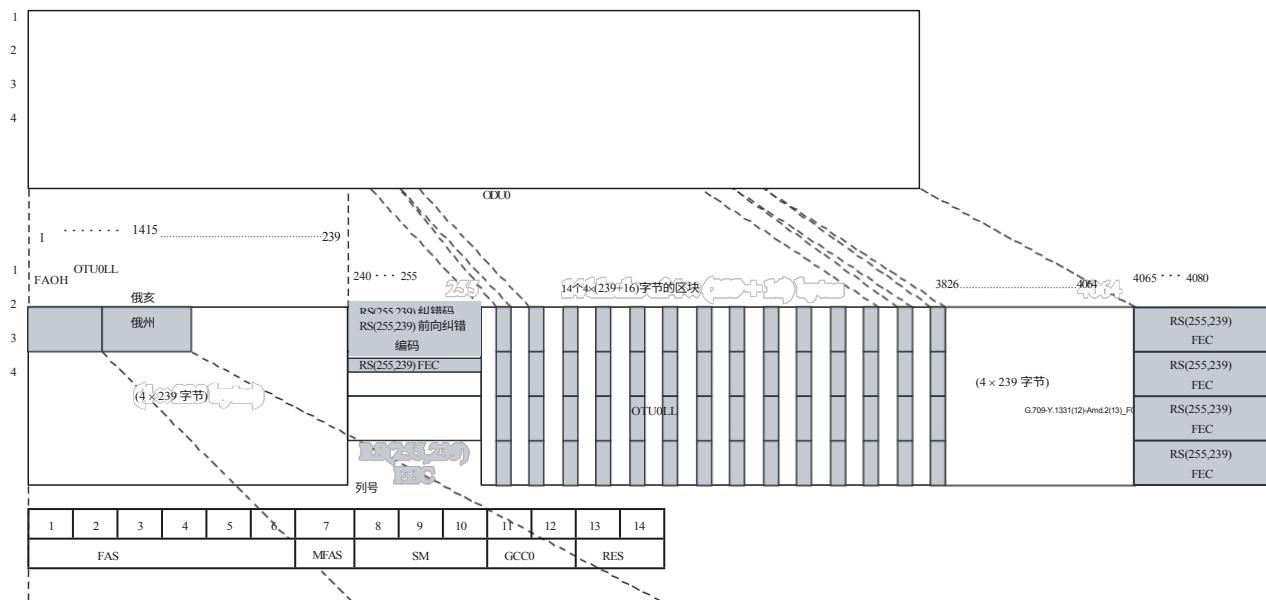
OTU0LL开销与OTUk开销相同。

OTU0LL信号的比特率为 $255/239 \times 1\ 244\ 160\ \text{kbit/s}$ （约1 327 451.046 kbit/s）。OTU0LL信号的帧周期约为98.354 μs。

OTU0LL帧中的64个16字节RS(255,239) FEC字段包含里德-所罗门RS(255,239)前向纠错码。每个RS(255,239) FEC基于前239个OTU0LL字节计算。OTU0LL FEC的传输是强制性的。

注——RS(255,239) FEC字段在OTU0LL帧中的分布方式，可最大限度减少该FEC处理引入的传输延迟，并优化计算该FEC所需的编解码器数量。

RS(255,239) FEC编码应按附录A规定计算，但需注意：每个FEC基于前239个OTU0LL字节计算，而非本附录针对OTUk ($k=1,2,3,4$) 情况描述的子行计算。



图G.1 – OTU0LL帧结构、开销及ODU0映射

OTU0LL帧中位元的傳輸順序為由左至右、由上至下，以及由最高位元至最低位元（參見圖G.2）。

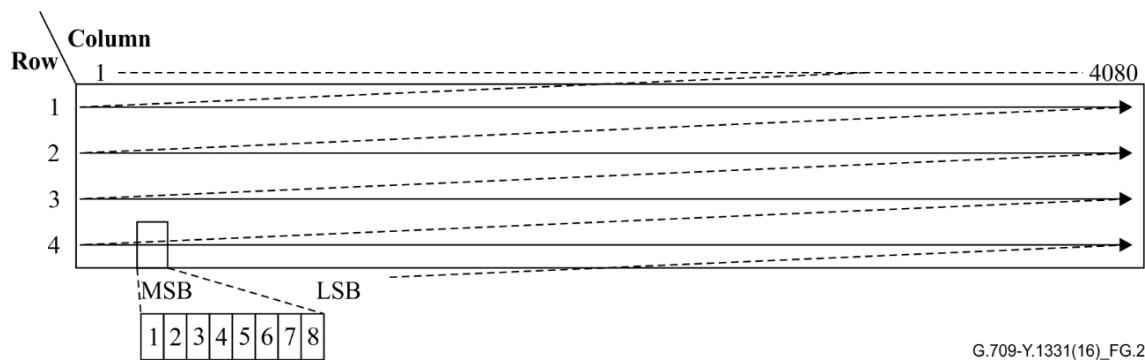


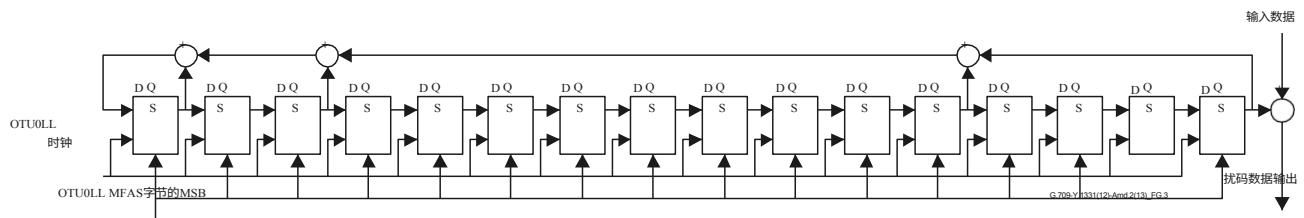
图 G.2 – OTU0LL 帧位元的传输顺序

G.2.2 扰码

OTU0LL信号在NNI处必须包含足够的比特时序信息。通过使用扰码器可生成合适的比特序列模式，避免出现连续的"1"或"0"序列。

扰码器的操作功能应与运行于OTU0LL速率、序列长度为65535的帧同步扰码器完全相同。

生成多项式应为 $1 + x + x^3 + x^{12} + x^{16}$ 。图 G.3 展示了帧同步扰码器的功能图。



图G.3 – 帧同步扰码器

在OTU0LL帧中，最后一个帧同步字节之后的字节最高位（即MFAS字节的MSB）处，扰码器应重置为十六进制"FFFF"。该位及后续所有待扰码位均应通过模2运算添加至扰码器第 x^{16} 位输出。扰码器应在整个OTU0LL帧期间持续运行。OTU0LL开销的帧同步字节(FAS)不得进行扰码。

扰码操作应在前向纠错（FEC）计算完成并插入OTU0LL信号之后进行。

附录H

OTUCn子速率 (OTUCn-M)

(本附件构成本建议书的组成部分。)

H.1 引言

本附件定义了子速率OTUCn，需注意OPUCn和ODUCn未定义子速率。附录XIII提供了补充说明、示例及应用场景。

OPUCn、ODUCn和OTUCn均以 $n \times 100$ Gbit/s信号为基准定义。对于OTN光网络接口，承载非100 Gbit/s整数倍速率的OTUCn可能更具优势，此类OTU被称为OTUCn-M。

H.2 OTUCn-M帧格式

OTUCn-M帧是一种OTUCn帧类型，包含n个OTUC、ODUC和OPUC开销实例，以及M个5 Gbit/s OPUCn支路槽。若未指定具体M值，则帧包含 $20 \times n$ 个支路槽。示例详见附录XIII。

OTUCn-M帧信号可通过OTN光网络接口传输。此类OTN光网络接口所支持的M值及OTUCn-M中包含的 $20n$ 5 Gbit/s OPUCn支路时隙子集属于厂商特定参数，超出本建议书范围。

纳入OTUCn-M结构的OPU分支槽位，其OPUCn管理信息字（MSI）开销中的可用性位将设置为“可用”（参见20.4.1.1节）。OTUCn-M结构可能无法透明承载的OPU支路槽位，其OPUCn管理服务信息（MSI）开销中的可用性位应设置为“不可用”（参见20.4.1.1节）。标记为不可用的支路槽位数据必须设置为“全0”。

附录 I

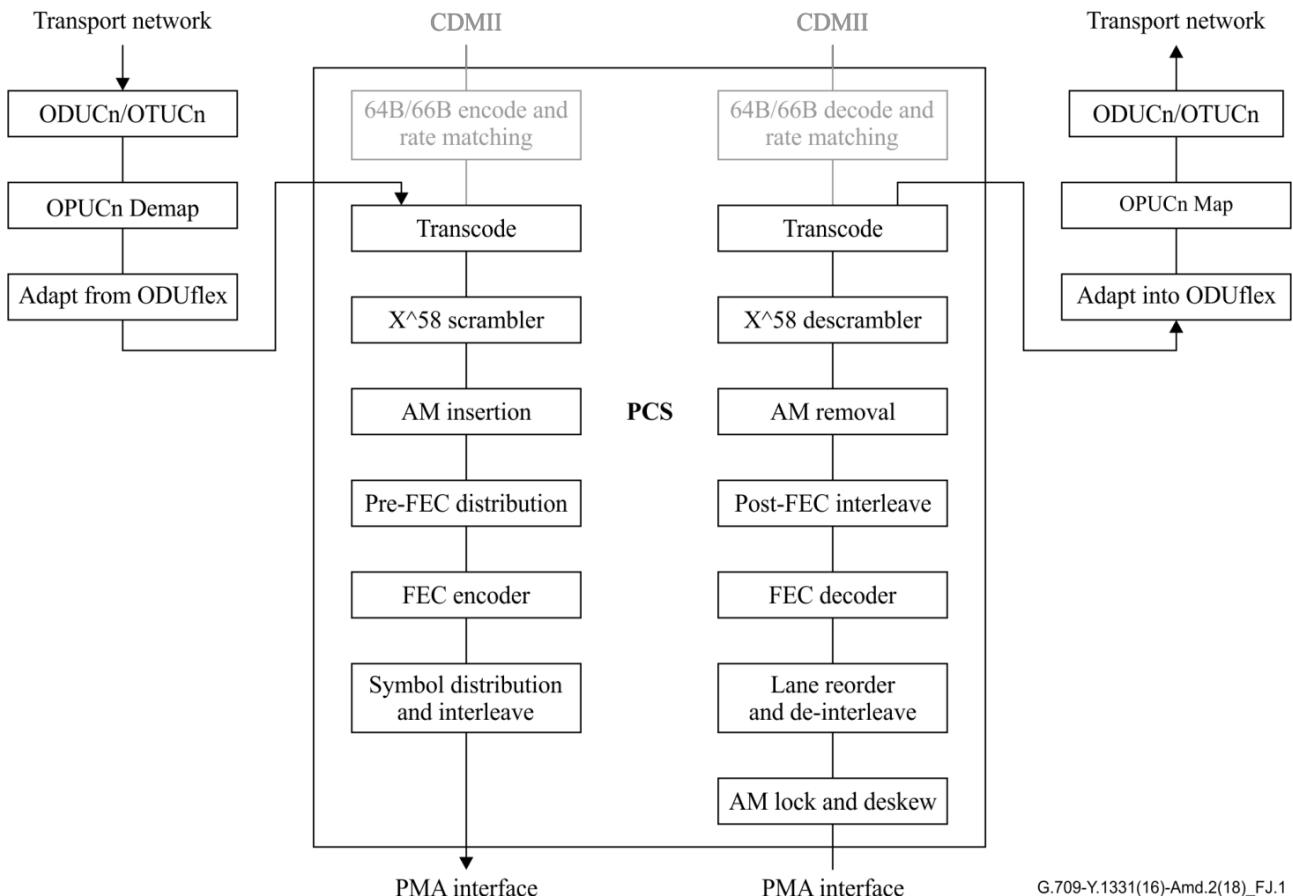
本附件特意留白。

附录 J

从并行256B/257B接口恢复64B/66B编码客户端

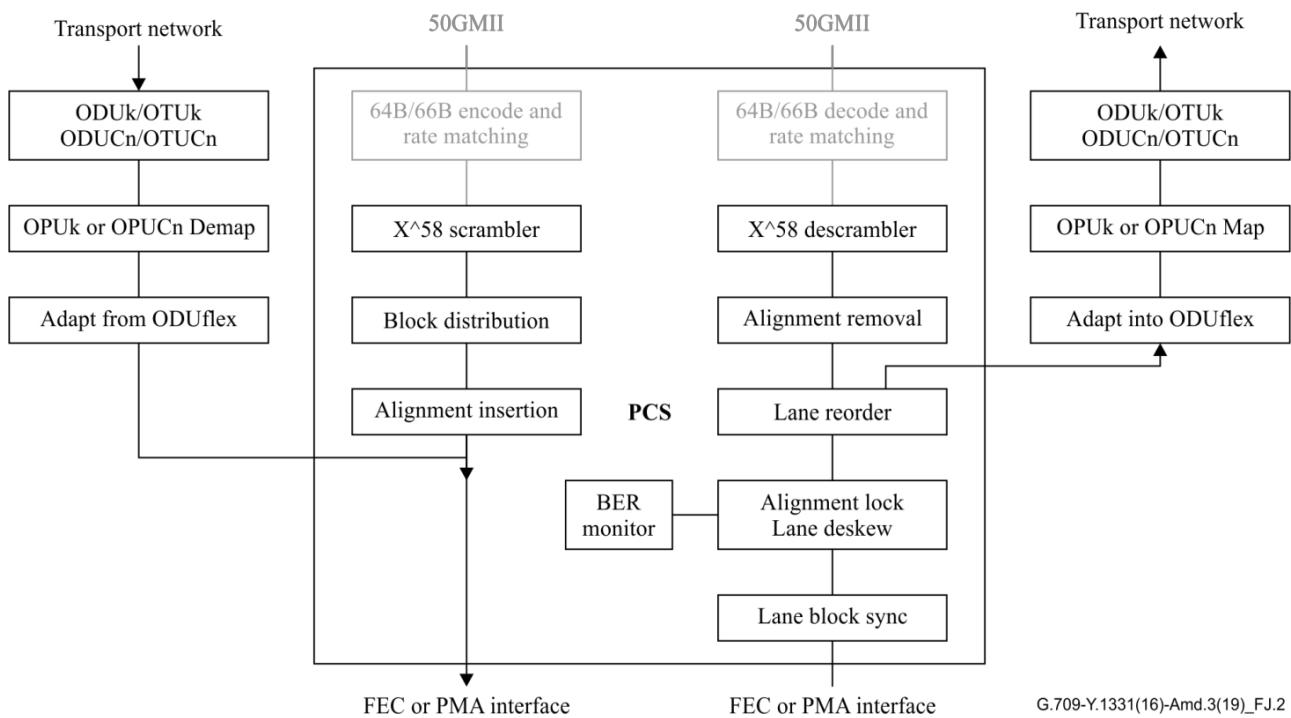
(本附件构成本建议书不可分割的组成部分。)

图J.1展示了在物理以太网接口与以太网信号连接至ODUflex至200/400GbE适配功能点之间，对200和400GbE信号执行的处理流程。在接收方向（图J.1右侧），呈现在物理介质适配器（PMA）接口的200或400GbE信号需依次经过以下处理：调制解锁与去偏移校正、通道重排序与去交织、前向纠错（FEC）解码、后FEC交织、调制解码、 x^{58} 扰码器及256b/257b至64B/66B转码处理（详见[IEEE 802.3]第119条款）。经64B/66B编码的信号随后适配至ODUflex并映射至OPUCn。



图J.1 – 200/400GbE信号处理流程

图J.2展示了50GbE信号在物理以太网接口与ODUflex至50GbE适配功能连接点之间所经历的处理流程。接收方向（图J.2右侧）中，FEC或PMA接口输出的50GbE信号需经过通道块同步、调制解锁与去偏移、通道重排序等处理（详见[IEEE 802.3cd]第133节）。经64B/66B编码的信号随后适配至ODUflex，并映射至OPUk或OPUCn。



图J.2 – 50GbE信号处理流程

附录K

通过OTN中两个以太网/OTN转发器实体间的单一光链路传输200GbE和400GbE的am_sf<2:0>信息

(本附件构成本建议书的组成部分。)

K.1 引言

IP路由器可能支持“软重定向”功能，该功能会将IP流量从出现FEC错误增加的光链路转移。符合[IEEE 802.3]标准的200G和400G以太网接口将支持此功能。路由器供应商希望该功能也能适用于通过OTN网络互连的两台路由器场景。路由器与OTN网络间的以太网接口可配备（如图K.1中的路由器B）或不配备（如路由器A）第118节扩展子层。通常此类支持不可行，因为200G或400Gbit/s以太网服务可在OTN中通过多条光链路传输，期间需经过中间3R再生功能和ODU交叉连接。然而，当此类服务通过OTN中单一光链路（由单个OTSIA路径支持）传输时，且两端均配备以太网至OTN转发器（如图K.1所示），则可实现该功能支持。在此场景下，以太网至OTN映射器与解映射器处理流程及OTN前向纠错（FEC）处理流程均位于同一转发器内，且FEC状态信息可在这些流程间进行交换。

[IEEE 802.3]标准在AM字段中指定了三个比特位（am_sf<2:0>）用于承载链路状态信息以支持此功能。位 am_sf<2> 定义为远程降级（RD）信号，位 am_sf<1> 定义为本地降级（LD）信号，位 am_sf<0> 保留。

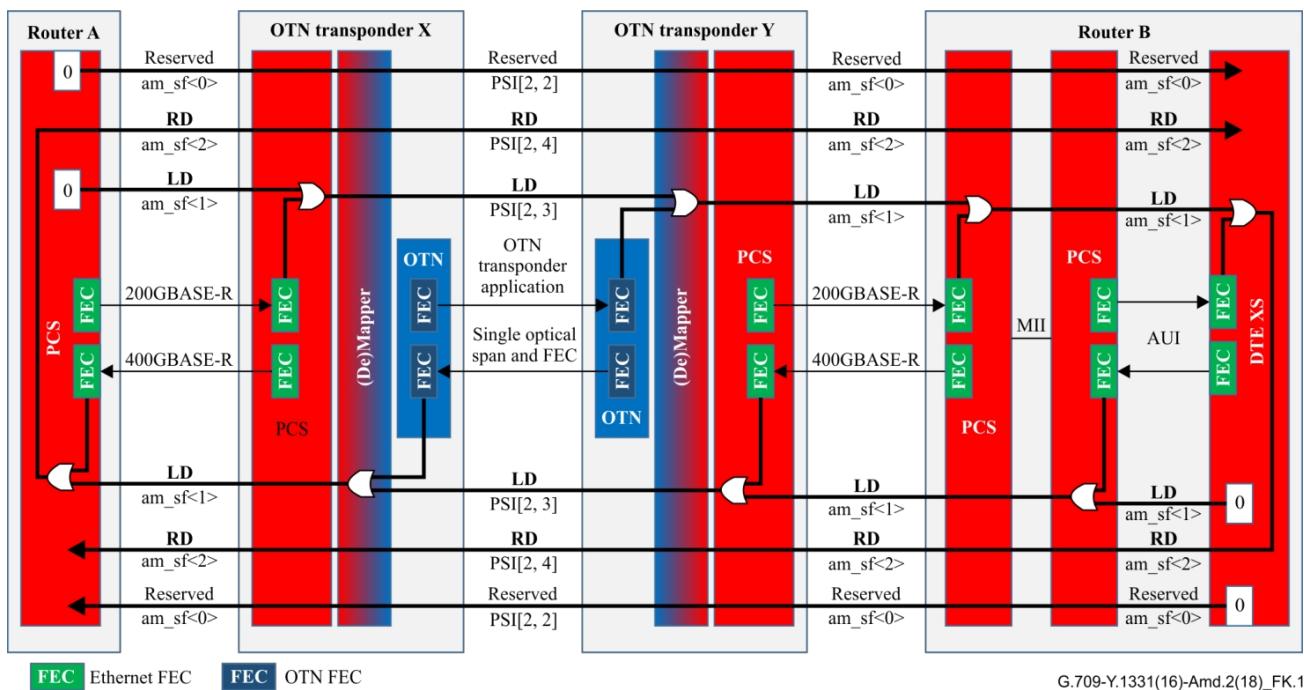


图 K.1 – 路由器与 OTN 转发器之间的本地/远程降级互操作

对于上述特殊情况（如图K.1所示），OTN转发器X和Y可在输入转发器与输出转发器之间转发保留位（am_sf<0>）和RD位（am_sf<2>）中的信息。am_sf<0>中的信息可承载于OPUflex PSI开销字节2的第2位。am_sf<2>中的状态信息可承载于OPUflex PSI开销字节2的第4位。LD（am_sf<1>）位中的状态信息经额外处理后可承载于

如图K.1所示，OPUflex PSI开销字节2的第3位。该附加处理包括将200G或400G以太网信号中am_sf<1>位的LD状态与输入转发器(X)中的本地以太网FEC降级状态进行或运算。在出口转发器(Y)中，附加处理包括将OPUflex信号中PSI[2,3]开销位中的LD状态与转发器中本地OTN FEC降级状态进行或运算（具体定义参见[ITU-T G.798]）。最终的LD状态将承载于200或400Gbit/s以太网信号的am_sf<1>位中。

K.2 客户端降级指示（CDI）开销

在有效载荷结构标识符的PSI[2]字节的第2、3和4位中定义了一个3位客户端缺陷指示，用于指示通过单条OTSiA链路传输的200和400 Gbit/s以太网客户端信号的降级状态。

OPU PSI[2,2]用于传输200 Gbit/s或400 Gbit/s以太网客户端中am_sf<0>位的状态信息。

OPU PSI[2,3]用于传输本地降级状态信息，该信息由200或400 Gbit/s以太网客户端的am_sf<1>位值与[IEEE 802.3]中规定的200或400 Gbit/s以太网FEC降级状态进行或运算确定。

OPU PSI[2,4]用于传输存在于200 Gbit/s或400 Gbit/s以太网客户端am_sf<2>位中的远程降级状态信息。

附录 L

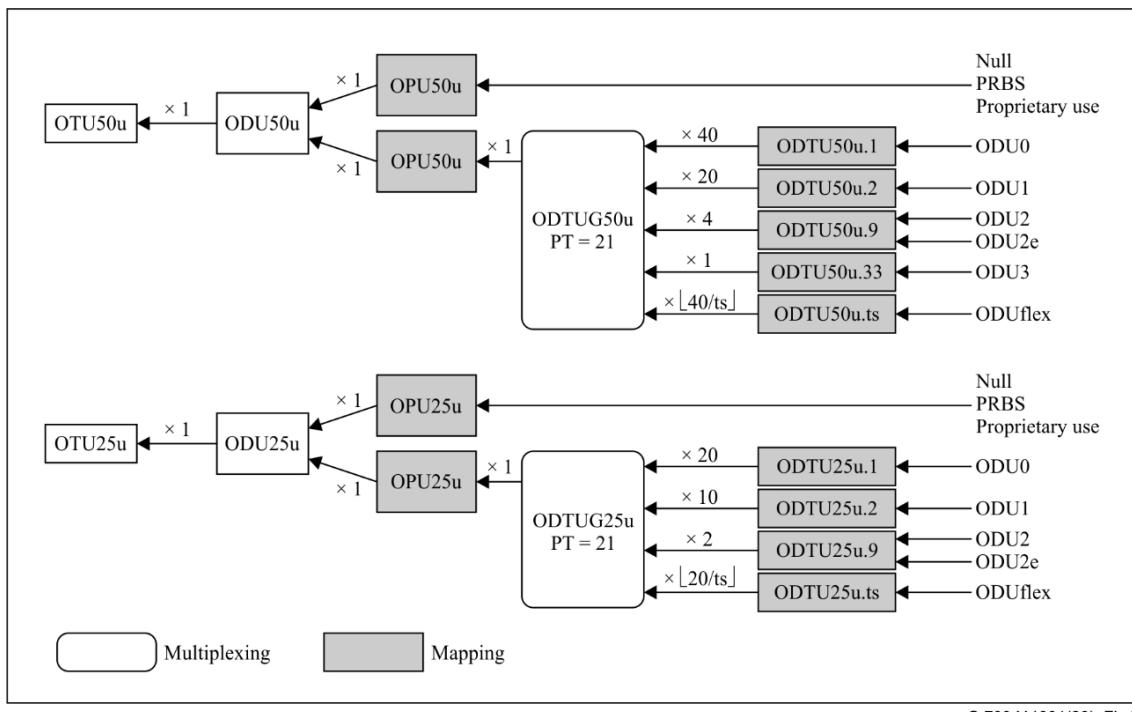
OTU25u 和 OTU50u 接口

(本附件构成本建议书的组成部分。)

L.1 引言

在无需支持所有客户端信号的网络应用中，OTU25和OTU50接口可按5.2%的降频率运行。本附录规定了此类“降频”OTU25u和OTU50u的比特率。所有其他OTU25和OTU50接口相关规范均适用于OTU25u和OTU50u。

图L.1展示了各类信息结构元素间的关联关系，并阐释了OTU25u与OTU50u的复用结构及映射关系。图L.1显示：ODUk ($k=0,1,2,2e,flex$) 信号映射至OPU25u，ODUk ($k=0,1,2,2e,3,flex$) 信号映射至OPU50u。该OPU25u或OPU50u信号再映射至对应的ODU25u或ODU50u。该ODU25u或ODU50u信号被映射至对应的OTU25u或OTU50u信号。



图L.1 – OTU25u和OTU50u的OTN复用与映射结构

L.2 位速率

OTU25u与OTU50u信号的比特速率及容差定义见表L.1。ODU25u与ODU50u信号的比特速率及容差定义见表L.2。OPU25u与OPU50u有效载荷的比特速率及容差定义见表L.3。

OTU25u、OTU50u、ODU25u、ODU50u、OPU25u和OPU50u的帧周期定义见表L.4。

与1.25G支路时隙相关的OPU25u和OPU50u多帧周期定义见表L.5。ODTU有效载荷区域带宽定义见表L.6。

客户端ODU所需的OPU25u和OPU50u支路时隙数量汇总于表L.7。需注意，对于ODUflex(GFP,n,2)，参数n的取值范围不受表7-8中规定的 $1 \leq n \leq 8$ 限制。

表 L.1 – OTU 类型与比特率

OTU类型	OTU标称比特率	OTU 比特率容差
OTU25u	$2937/2912 \times 24\ 883\ 200$ 千比特/秒	± 20 ppm
OTU50u	$2937/2912 \times 49\ 766\ 400$ 千比特每秒	

注1—标称OTU速率约为：25 096 826.374 kbit/s (OTU25u)、50 193 652.747 kbit/s (OTU50u)。
 注2——OTU25u 和 OTU50u 信号比特率不包括 FEC 开销区域。
 注3——OTU25u比特率可基于OTU25u-RS比特率按以下公式计算： $514/528 \times 41118/41120 \times$ OTU25u-RS 比特率 = $514/528 \times 41118/41120 \times 660/637 \times 24\ 883\ 200$ kbit/s。
 注4—OTU50u的比特率可基于OTU50u-RS比特率按下列方式计算： $514/544 \times 41118/41120 \times$ OTU50u-RS 比特率 = $514/544 \times 41118/41120 \times 680/637 \times 49\ 766\ 400$ kbit/s。

表 L.2 – ODU 类型与比特率

ODU类型	ODU标称比特率	ODU 比特率容差
ODU25u	$2937/2912 \times 24\ 883\ 200$ 千比特每秒	± 20 ppm
ODU50u	$2937/2912 \times 49\ 766\ 400$ 千比特/秒	

注 1—标称 ODU 速率约为：25 096 826.374 kbit/s (ODU25u)、50 193 652.747 kbit/s (ODU50u)。

表 L.3 – OPU 类型与比特率

OPU类型	OPU有效载荷标称比特率	OPU有效载荷比特率容差
OPU25u	$49929/49712 \times 24\ 883\ 200$ 千比特/秒	± 20 ppm
OPU50u	$49929/49712 \times 49\ 766\ 400$ 千比特/秒	

注 1——OPU 的标称有效载荷速率约为：24 991 818.732 kbit/s (OPU25u 有效载荷)、49 983 637.464 kbit/s (OPU50u 有效载荷)。
 注 2——OPU25u 比特率可基于 OTU25u-RS 比特率计算如下： $238/239 \times 514/528 \times 41118/41120 \times$ OTU25u-RS 比特率 = $238/239 \times 514/528 \times 41118/41120 \times 660/637 \times 24\ 883\ 200$ kbit/s。
 注3—OTU50u的比特率可基于OTU50u-RS比特率按下列公式计算： $5238/239 \times 14/544 \times 41118/41120 \times$ OTU50u-RS 比特率 = $238/239 \times 514/544 \times 41118/41120 \times 680/637 \times 49\ 766\ 400$ kbit/s。

表 L.4 – OTU/ODU/OPU 帧周期

OTU/ODU/OPU 类型	周期 (注)
OTU25u/ODU25u/OPU25u	4.876微秒
OTU50u/ODU50u/OPU50u	2.483 μ s

注——周期为近似值，保留小数点后3位。

表 L.5 – 1.25G 支路时隙的 OPUk 多帧周期

OPU类型	1.25G 支路插槽多帧周期 (注)
OPU25u	97.517 微秒
OPU50u	97.517 μ s
注——该时间段为近似值，保留小数点后3位。	

表 L.6 – ODTU 有效载荷带宽 (kbit/s)

ODTU类型	ODTU有效载荷标称带宽		ODTU有效载荷比特率容差
ODTU25u.ts	ts \times 190.4/3824 \times ODU25u 比特率		± 20 ppm
ODTU50u.ts	ts \times 95.2/3824 \times ODU50u 比特率		
	最小	标称	最大
ODTU25u.ts、ODTU50u.ts	ts \times 1 249 565.945	ts \times 1 249 590.937	ts \times 1 249 615.928
注：带宽为近似值，保留小数点后3位。			

表 L.7 – ODUj 接入 OPU25u 和 OPU50u 所需的子卡插槽数量

	# 1.25G 子卡插槽	
	OPU25u	OPU50u
ODU0	1	1
ODU1	2	2
ODU2	9	9
ODU2e	9	9
ODU3	–	33
ODUflex(CBR)		
– ODUflex(25GBase-R)	–	21
– ODUflex(50GBase-R)	–	–
ODUflex(GFP)	注	注
– ODUflex(GFP,8,2) 用于 10GBASE-R	8	8
– ODUflex(GFP,20,2) 用于 25GBASE-R	20	20
– ODUflex(GFP,40,2) 适用于 50GBASE-R	40	40
– ODUflex(GFP,n,2) 型号 ($1 \leq n \leq 20$ 适用于 OPU25u, $1 \leq n \leq 40$ 适用于 OPU50u)	n	n
– ODUflex(GFP,n,3), $9 \leq n \leq 19$ (OPU25u) 和 $9 \leq n \leq 32$ (OPU50u)	n+1	n+1
– ODUflex(GFP,n,4), $33 \leq n \leq 38$ (OPU50u)	–	n+2
ODUflex(IMP)	注	注
– ODUflex(IMP,s)	注	注
注 – 参见条款19.6中的方程19-1a和19-1b。		

附录 I

CBR2G5、CBR10G 和 CBR40G 客户端以 ± 20 ppm 比特率容差异步映射至 OPUk 时的填充比范围，以及 ODUj 异步复用至 ODUk ($k > j$) 时的填充比范围

(本附录不构成本建议书的组成部分。)

第17.2节描述了CBR2G5、CBR10G和CBR40G客户端（其比特率容差为 ± 20 ppm）分别映射至ODU1、ODU2和ODU3的异步与比特同步映射方式。第19节描述了ODUj映射至ODUk ($k > j$) 的异步映射（复用）方式。对于异步CBR客户端映射，客户端与本地OPUk服务器时钟间的任何频率差异均通过+1/0/-1校准方案处理。对于ODUj向ODUk ($k > j$) 的异步复用，客户端ODUj与本地OPUk服务器时钟间的任何频率差异均通过+2/+1/0/-1校准方案处理。OPUk有效载荷、ODUk和OTUk的比特率及容差规定详见第7.3节。ODU1、ODU2和ODU3速率分别为239/238、239/237和239/236倍于2 488 320 kbit/s，即9 953 280 kbit/s和39 813 120 kbit/s。ODUk比特率容差为 ± 20 ppm。本附录证明每种校正方案均能满足相应映射的比特率及容差要求，并推导出各映射对应的校正（填充）比率范围。

第17.2款中的+1/0/-1映射规定，每个ODUk帧包含一个正向解释机会(PJO)和一个负向解释机会(NJO)。第19节中的+2/+1/0/-1映射规定每个ODUk帧包含2个PJO和1个NJO。对于ODU复用情况（即后一种情形），被映射的ODUj仅能获得ODUk完整有效载荷容量的一部分。通常每个ODUj或CBR客户端可分配若干固定填充字节。需注意两种映射情形下，每个ODUk帧均存在一次填充机会。对于CBR客户映射至ODUk的情形，允许该CBR客户使用所有填充机会（因仅有一个CBR客户信号映射至ODUk）。然而，当ODUj映射至ODUk ($k > j$) 时，ODUj仅能使用1/2 (ODU0映射至ODU1)、1/4 (ODU1映射至ODU2或ODU2映射至ODU3) 或1/16 (ODU1映射至ODU3) 的填充机会。其余填充位需留给其他被复用至ODUk的客户端使用。

传统上，纯正向正当化方案的正当化比率（内容比率）被定义为长期平均正当化机会中完成正当化的比例（即在大量帧中，正当化次数与正当化机会总数之比）。在+1/0/-1方案中，必须区分正向与负向校准。具体通过为正负校准赋予不同代数符号实现。遵循此约定，校准比在足够大的频率偏移下最多可在-1至+1之间变化（相较于纯正向校准方案中校准比仅在0至1之间变化）。在ODUk复用情况下，合理性比率相对于特定客户端可用的填充机会进行定义。此时，合理性比率（在频率偏移足够大的情况下）可在-1至+2之间变化。（若将合理性比率定义为相对于所有客户端的填充机会，则其范围为：ODU0复用至ODU1时为-1/2至+1；ODU1复用至ODU2及ODU2复用至ODU3时为-1/4至+1/2；ODU3复用至ODU4时为-1/16至+1/8用于将ODU1复用至ODU3。）

设 α 表示对齐系数（CBR客户端映射至ODUk时 $-1 \leq \alpha \leq 1$ ；ODUj映射至ODUk时 ($k > j$) 为 $-2 \leq \alpha \leq 1$ ），并采用以下约定：正 α 对应负向对齐，负 α 对应正向对齐（该约定理由详见下文）。

定义以下符号（下标 j 表示待映射的潜在 ODUj 客户端，下标 k 表示 ODUj 或 CBR 客户端映射到的 ODUk 服务器层）：

$N =$ 表示与该客户端关联的OPUk负载区中固定填充字节数（注意：若存在多个客户端复用，此处不表示总固定填充字节数）

$S =$ 标称STM-N或ODUj客户端速率（字节/秒）

$T =$ 标称 ODUk 帧周期（秒） $y_c =$ 客户端频率偏移

$y_s =$ 服务器频率偏移量（分数）

$p =$ 此客户端可用的OPUk有效载荷区域比例

$\eta_f =$ 特定频率偏移下映射到单个ODUk帧的平均客户端字节数（基于大量帧的平均值）

则 η_f 由以下公式给出：

$$\frac{N}{f} = \frac{ST}{1 + y_s} \frac{1 + y_c}{1 + y_s} \quad (I-1)$$

当频率偏移相对于1较小时，可近似为：

$$N_f = ST(1 + y_c - y_s) = 15232 \quad (I-2)$$

$\beta - 1$ 是客户端与服务器频率偏移造成的净频率偏移量。

现在，映射到ODUk帧中的客户端字节平均数也等于该客户端可用的有效载荷区域总字节数（即 $(4)(3808)p = 15232p$ ），减去该客户端的固定填充字节数(N)，再加上该客户端在大量帧中平均填充的字节数。后者等于对齐比率 α 乘以该客户端对齐机会的帧比例 p 。结合公式I-1可得：

$$15232\beta + \alpha p + 15232p - N \quad (I-3)$$

在方程I-3中，正值 α 对应于平均映射到ODUk中的客户端字节更多。如上所述，这对应于负向对齐。采用此正负符号约定是为了使 α 在方程I-3中带正号（为方便起见）。

方程I-3是主要结果。对于将STM-N（CBR客户）映射到ODUk的情况， $\alpha=1$ 。

现在可利用方程I-3确定将STM-N或ODUj客户映射至ODUk时的填充率范围。下文设R16为STM-16速率，即 $2.48832 \text{ Gbit/s} = 3.1104 \times 10^9 \text{ bytes/s}$ 。

CBR2G5 (2 488 320 kbit/s) 信号向ODU1的异步映射

客户机标称速率 $S = R_{16}$ 。ODU1标称速率为 $(239/238)S$ （参见7.3条款）。但ODU1标称速率亦等于 $(4)(3824)/T$ 。故有：

$$ST = (4)(3824) \frac{238}{239} = 15232 \quad (I-4)$$

将此代入方程I-3，并利用该映射中 $N=0$ （无固定数据字节）的特性，可得：

$$\alpha = 15232(\beta - 1) \quad (I-5)$$

由于光探测器和客户端的频率容差均为 ± 20 ppm， β 值范围为0.99996至1.00004。代入公式I-5可得 α 值范围：

$$-0.60928 \leq \alpha \leq +0.60928 \quad (I-6)$$

将CBR10G (9 953 280 kbit/s) 信号异步映射至ODU2

标称客户速率为 $S = 4R_{16}$ 。标称ODU2速率为 $(239/237)S$ （参见7.3条款）。但标称ODU2速率亦等于 $(4)(3824)/T$ 。则：

$$\frac{ST}{239} = \frac{(4)(3824)}{237} = 15168 \quad (I-7)$$

将此代入公式I-3，并利用该映射中 $N=64$ （固定填充字节数）的特性，得出：

$$\alpha = 15168\beta + 64 - 15232 = 15168(\beta - 1) \quad (I-8)$$

与之前相同，ODUk与客户端频率公差为 ± 20 ppm， β 值范围为0.99996至1.00004。代入公式I-8可得 α 值范围：

$$-0.60672 \leq \alpha \leq +0.60672 \quad (I-9)$$

将CBR40G (39 813 120 kbit/s) 信号异步映射至ODU3

标称客户速率为 $S = 16R_{16}$ 。标称ODU3速率为 $(239/236)S$ （参见7.3条款）。但标称ODU3速率亦等于 $(4)(3824)/T$ 。故：

$$\frac{ST}{239} = \frac{(4)(3824)}{236} = 15104 \quad (I-10)$$

将此代入公式I-3，并利用该映射中 $N=128$ （固定填充字节数）的条件可得：

$$\alpha = 15104\beta + 128 - 15232 = 15104(\beta - 1) \quad (I-11)$$

与之前相同，ODUk与客户端频率公差为 ± 20 ppm， β 值范围为0.99996至1.00004。将此参数代入公式I-11可得 α 值范围：

$$-0.60416 \leq \alpha \leq +0.60416 \quad (I-12)$$

ODU1至ODU2复用

ODU1标称客户速率为（参见7.3条款）：

$$S = \frac{239}{R_{16}} \cdot \frac{238}{238} \quad (I-13)$$

ODU2标称帧时间为：

$$\frac{T}{237} = \frac{\frac{(3824)(4)}{239}}{\frac{(4R_{16})}{239}} \quad (I-14)$$

分数 p 为0.25。代入公式I-3得：

$$\frac{239}{238} \cdot \frac{\frac{(3824)(4)}{239}}{\frac{(4R_{16})}{239}} \beta = \frac{\alpha}{237} + \frac{3808 - N \cdot 4}{237} \quad (I-15)$$

简化并求解 α 得：

$$\alpha = \frac{237}{(15296)\beta + 4N - 15232} 238 \quad (I-16)$$

设 $\beta = 1 + y$, 其中 y 为净频率偏移量 (当客户端与服务端频率偏移量远小于1时, y 近似等于 $y_c - y_s$)。则：

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{237}{(15296) - 15232 + 4N + \frac{(15296)y}{238}} \\ &= 4N - 0.2689076 + 15231.731092y \end{aligned} \quad (I-17)$$

根据条款19.5.1, 固定数据字节数N为零。客户端和映射器频率偏移量在±20 ppm范围内 (见条款7.3)。因此净频率偏移量 y 在±40 ppm范围内。将这些值代入公式I-17可得 α 的取值范围：

$$\begin{array}{lll} \alpha = 0.340362 & \text{for } y = +40 \text{ ppm} \\ \alpha = -0.268908 & \text{for } y = 0 \text{ ppm} \\ \alpha = -0.878177 & \text{for } y = -40 \text{ ppm} \end{array} \quad (I-18)$$

此外, 在频率偏移为-113.65 ppm和

83.30 ppm时分别获得-2和+1的填充比。可容纳的频率偏移范围约为197 ppm。这比+1/0/-1对齐方案 (见上文) 的容差范围大50%, 归因于额外的正填充字节。

ODU2至ODU3复用

ODU2标称客户速率为 (参见7.3条款) :

$$S = \frac{239}{(4R_{T_6})} 237 \quad (I-19)$$

ODU3标称帧时长为:

$$T = \frac{\frac{(3824)(4)}{239}}{\frac{(16R_{T_6})}{236}} \quad (I-20)$$

分数 p 为0.25。代入方程I-3得:

$$\frac{\frac{239}{4R_{T_6}}}{237} \beta = \frac{\frac{(3824)(4)}{239}}{\frac{(16R_{T_6})}{236}} \frac{\alpha}{4} + \frac{3808 - N}{237} \quad (I-21)$$

简化并求解 α 得：

$$\alpha = \frac{236}{(15296)\beta + 4N - 15232} 237 \quad (I-22)$$

同前, 令 $\beta = 1 + y$, 其中 y 为净频率偏移量 (当客户端与服务端频率偏移量远小于1时, y 近似等于 $y_c - y_s$)。则：

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{236}{(15296) - 15232 + 4N + \frac{(15296)y}{237}} \\ &= 4N - 0.5400844 + 15231.459916y \end{aligned} \quad (I-23)$$

固定数据字节数 N 为零, 如条款 19.5.3 所示。客户端与映射器频率偏移量范围为 ± 20 ppm, 如条款 7.3 所示。因此净频率偏移量 y 范围为 ± 40 ppm。将这些值代入公式 I-23 可得 α 的范围:

$\alpha = 0.0691740$	对应	$y = +40$ ppm	
$\alpha = -0.5400844$	于	$y = 0$ ppm	
$\alpha = -1.149343$	于	$y = -40$ ppm	(I-24)
	对应		
	于		
	对应		
	于		

此外, 在频率偏移为 -95.85 ppm 时, 获得物质比值为 -2 ; 在频率偏移为 $+1$ ppm 时, 获得物质比值为 $+1$ 。

101.11 ppm。如上所述, 可容纳的频率偏移范围约为 197 ppm, 由于增加了正向填充字节, 该范围比 $+1/0/-1$ 对齐方案 (见上文) 所能容纳的范围扩大了 50%。

ODU1至ODU3复用

ODU1标称客户速率为 (参见 7.3 条款):

$$S = \frac{239}{(R_{16})} 238 \quad (I-25)$$

ODU3标称帧时长为:

$$T = \frac{(3824)(4)}{\frac{239}{(16R_{16})} 236} \quad (I-26)$$

分数 p 为 0.0625。代入方程 I-3 得:

$$\frac{239}{(R_{16})} = \frac{\frac{(3824)(4)}{239} \beta + \alpha}{\frac{16}{(16R_{16})} 236} + 952 - N \quad (I-27)$$

化简并求解 α 得:

$$\alpha = \frac{236}{(15296)\beta + 16N - 15232} 238 \quad (I-28)$$

同前, 设 $\beta = 1 + y$, 其中 y 为净频率偏移量 (当客户端与服务端频率偏移量远小于 1 时, y 几乎等于 $y_c - y_s$)。则:

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{236}{(15296) - 15232 + 16N + \frac{236}{238} (15296)y} \\ &= 16N - 64.5378151 + 15167.462185y \end{aligned} \quad (I-29)$$

ODU3有效载荷中固定数据字节的总数为 64, 如条款 19.5.2 所述; 因此单个 ODU1 客户端的数量 N 为 4。客户端与映射器频率偏移量范围为 ± 20 ppm, 如条款 7.3 所述。则净频率偏移量 y 的范围为 ± 40 ppm。将这些值代入公式 I-29 可得 α 的范围:

$\alpha = 0.0688834$	对应	$y = +40$ ppm	
$\alpha = -0.5378151$		$y = 0$ ppm	
$\alpha = -1.144514$		$y = -40$ ppm	(I-30)

此外，在频率偏移分别为-96.40 ppm和101.39 ppm时，分别获得-2和+1的填料比值。

101.39 ppm时分别获得+1和-2的填充比。如上所述，可容纳的频率偏移范围约为197 ppm，由于增加了正填充字节，该范围比+1/0/-1对齐方案（见上文）可容纳的范围扩大了50%。

ODU0至ODU1复用

ODU0标称客户速率为（参见7.3条款）：

$$S = \frac{1}{(R_{16})^2} \quad (I-31)$$

ODU1标称帧时长为：

$$\frac{T = \frac{(3824)(4)}{239}}{\frac{((R_{16})}{238}} \quad (I-32)$$

分数 p 为0.5。代入方程I-3得：

$$\frac{1}{2} \frac{\frac{(3824)(4)}{239} - \beta}{\frac{((R_{16})}{238}} = \frac{\alpha}{2} + 7616 - N \quad (I-33)$$

简化并求解 α 得：

$$\alpha = \frac{238}{-(15296)\beta + 2N - 15232} \quad (I-34)$$

同前，令 $\beta = 1 + y$ ，其中 y 为净频率偏移量（当客户端与服务端频率偏移量远小于1时， y 近似等于 $y_c - y_s$ ）。则：

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{238}{(15296) - 15232 + 2N + \frac{(15296)y}{239}} \\ &= 2N + 15232y \end{aligned} \quad (I-35)$$

根据条款19.5.4规定，固定数据字节总数 N 为零。客户端与映射器频率偏移量范围为 ± 20 ppm（条款7.3规定）。因此净频率偏移量范围为 ± 40 ppm。将这些值代入公式I-35可得 α 的取值范围：

$\alpha = 0.6092800$	对应	$y = +40$ ppm
$\alpha = 0.0000000$	于对	$y = 0$ ppm
$\alpha = -0.6092800$	于	$y = -40$ ppm
	应于	
	对应	
	于	

此外，当频率偏移分别为-130 ppm和65 ppm时，可获得分别为-2和+1的填料比。与上述情况类似，可容纳的频率偏移范围约为195 ppm。

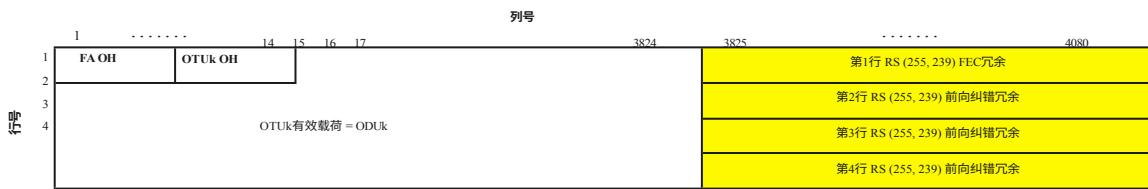
附录II

功能标准化OTU帧结构示例

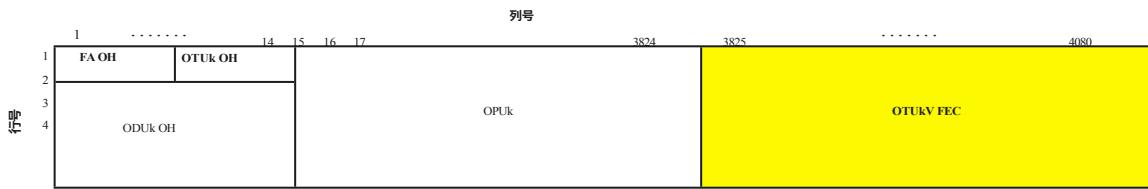
(本附录不构成本建议书的组成部分。)

本附录提供了功能标准化OTU帧结构的示例。这些示例仅用于说明目的，绝不意味着对这类结构的定义。本建议书中定义的完全标准化OTUk帧结构如图II.1所示。为支持替代性前向纠错（FEC）等功能，需要采用功能标准化OTUkV帧结构。OTUkV帧结构示例如下：

- OTUkV采用与OTUk相同的开销字节分配，但使用替代性FEC（如图II.2所示）；
- OTUkV与OTUk采用相同开销字节分配，但使用更小替代FEC码，OTUkV FEC开销区域余量填充固定数据（如图II.3所示）；
- OTUkV采用比OTUk更大的FEC开销字节分配，并使用替代FEC（如图II.4所示）；
- OTUkV不为FEC分配开销字节，如图II.5所示；
- OTUkV采用与OTUk帧结构不同的帧结构，支持不同的OTU开销（OTUkV开销和OTUkV FEC），如图II.6所示；
- OTUkV采用与OTUk帧结构不同的帧结构，支持不同OTU开销（OTUkV开销），且不分配FEC开销字节，如图II.7所示。



图II.1 – OTUk (采用RS(255,239)前向纠错)



图II.2 – 采用替代OTUkV前向纠错（OTUk-v）的OTUk

		列号						
		1	14	15	16	17	
行#	1	FA OH	OTUk OH			3824	3825
	2							4080
	3				OPUK		OTUkV FEC	
	4	ODUK OH						固定数据（全0）

图II.3 – 采用较小OTUkV前向纠错（FEC）的OTUk，其余FEC区域填充固定内容

		列号						
		1	14	15	16	17	
行#	1	FA OH	OTUk OH			3824	3825
	2							X
	3				OPUK		OTUkV FEC	
	4	ODUK OH						

图II.4 – 具有更大OTUkV前向纠错（FEC）的OTUk

		列号						
		1	14	15	16	17	
行#	1	FA OH	OTUk OH					3824
	2							
	3					俄亥俄州		
	4	俄亥俄州立大学俄亥俄分校						

图II.5 – 未含OTUkV的OTUk前向纠错区

		列号							
		1	X _i	X _{i+1}	X _i + X _j	X _i + X _j + 1	X _i + X _j + X _k
行#	1	OTUkV 开销 (Y × X _i 字节)			OTUkV有效载荷 = ODUk			OTUkV FEC (Y × X _j 字节)	
	Y								

图II.6 – 具有不同帧结构的OTUkV

		列号						
		1	X _i	X _{i+1}	X _i + X _j	X _i + X _j + X _k
行#	1	OTUkV 开销 (Y × X _i 字节)				OTUkV有效载荷 = ODUk		
	Y							

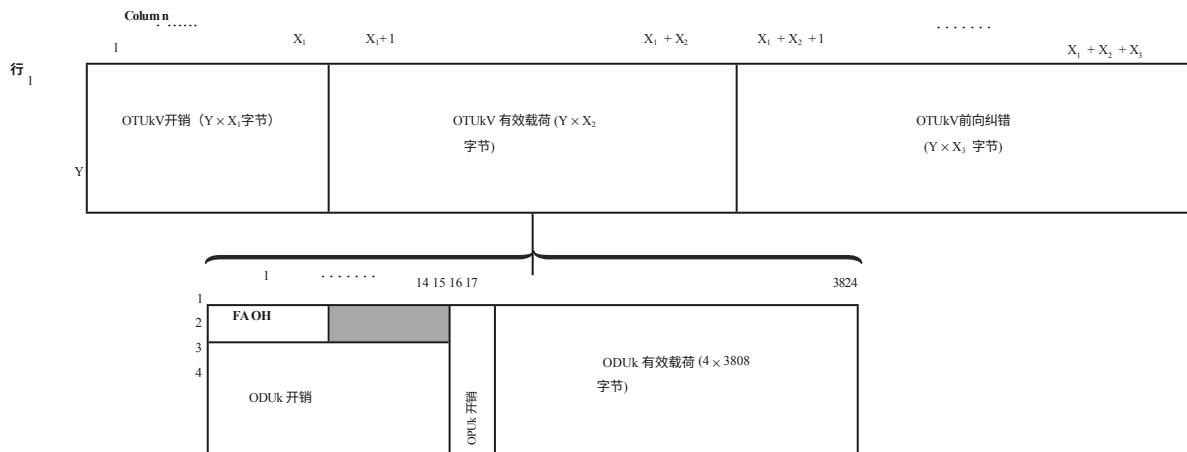
图II.7 – 具有不同帧结构且无FEC区域的OTUkV

对于图II.6和图II.7的情况，ODUk信号的映射可采用异步、比特同步或帧同步方式。

在异步映射情况下，ODUk与OTUkV的比特速率可保持异步。ODUk信号通过填充技术以比特流形式映射至OTUkV有效载荷区域。

对于比特同步映射，ODUk与OTUkV的比特速率保持同步。ODUk信号直接映射至OTUkV负载区，不进行填充操作。ODUk帧与OTUkV帧之间不存在关联关系。

帧同步映射时，ODUk与OTUkV的比特速率保持同步，帧结构实现对齐。ODUk信号在映射至OTUkV负载区时不进行填充，且其帧在OTUkV帧内具有固定位置。（参见图II.8）



图II.8 – ODUk到OTUkV的异步（或比特同步）映射

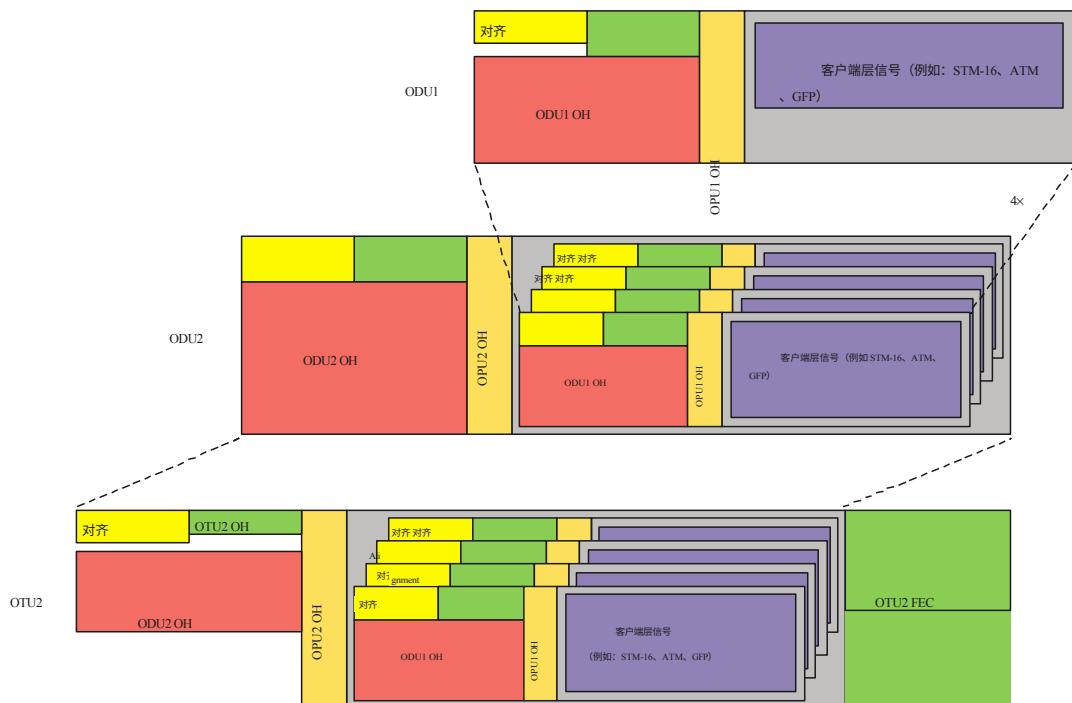
附录 III

ODUk复用示例

(本附录不构成本建议书的组成部分。)

图III.1展示了将四个ODU1信号复用至ODU2的过程。ODU1信号包含帧对齐开销及OTUk开销位置的全0模式，通过对齐（异步映射）适配至ODU2时钟。这些适配后的ODU1信号以字节交织方式嵌入到OPU2有效载荷区，其对齐控制信号和机会信号（JC、NJO）则以帧交织方式嵌入到OPU2开销区。

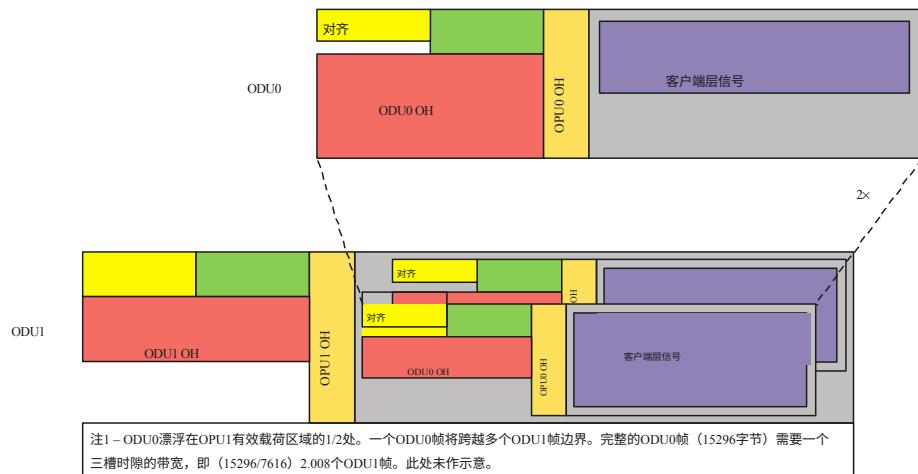
添加ODU2开销后，将ODU2映射至OTU2[或OTU2V]。添加OTU2[或OTU2V]开销与帧对齐开销，最终形成通过OTM信号传输的完整传输信号。



注——ODU1在OPU2有效载荷区域的四分之一范围内浮动。一个ODU1帧将跨越多个ODU2帧边界。完整的ODU1帧（15296字节）需要占用带宽为(15296/3808)4.017个ODU2帧的带宽。此处未作示意。

图III.1——4路ODU1信号复用至ODU2示例

图III.2展示两个ODU0信号复用至ODU1的过程。ODU0信号（含帧对齐开销及OTUk开销位置的全零模式）通过对齐（异步映射）适配至ODU1时钟。这些适配后的ODU0信号以字节交织方式嵌入OPU1有效载荷区，其对齐控制与机会信号（JC、NJO）以帧交织方式嵌入OPU1开销区，并附加ODU1开销。



图III.2 – 将2个ODU0信号复用至ODU1的示例

附录IV 空白 附录

本附录特意留白。

附录V

ODUk多路复用结构标识符(MSI)示例

(本附录不构成本建议书的组成部分。)

下图展示了 OPU3 内 ODU1 和 ODU2 承载的四个示例及其对应的 MSI 编码。

	1	2	3	4	5	6	7	8	
<i>PSI/2J</i>		00			000000				TS1
<i>PSI/3J</i>		00			000001				TS2
<i>PSI/4J</i>		00			000010				TS3
<i>PSI/5J</i>		00			000011				TS4
<i>PSI/6J</i>		00			000100				TS5
<i>PSI/7J</i>		00			000101				TS6
<i>PSI/8J</i>		00			000110				TS7
<i>PSI/9J</i>		00			000111				TS8
<i>PSI/10J</i>		00			001000				TS9
<i>PSI/11J</i>		00			001001				TS10
<i>PSI/12J</i>		00			001010				TS11
<i>PSI/13J</i>		00			001011				TS12
<i>PSI/14J</i>		00			001100				TS13
<i>PSI/15J</i>		00			001101				TS14
<i>PSI/16J</i>		00			001110				TS15
<i>PSI/17J</i>		00			001111				TS16

图V.1 – 16个ODU1转换为OPU3的编码方案

	1	2	3	4	5	6	7	8	
PSI[2]	01				000000				TS1
PSI[3]	01				000001				TS2
PSI[4]	01				000010				TS3
PSI[5]	01				000011				TS4
PSI[6]	01				000000				TS5
PSI[7]	01				000001				TS6
PSI[8]	01				000010				TS7
PSI[9]	01				000011				TS8
PSI[10]	01				000000				TS9
PSI[11]	01				000001				TS10
PSI[12]	01				000010				TS11
PSI[13]	01				000011				TS12
PSI[14]	01				000000				TS13
PSI[15]	01				000001				TS14
PSI[16]	01				000010				TS15
PSI[17]	01				000011				TS16

图V.2 – OPU3-MSI编码示例：4个ODU2分别映射至OPU3的TS# (1, 5, 9, 13) 、 (2, 6, 10, 14) 、 (3, 7, 11, 15) 及 (4, 8, 12, 16)

	1	2	3	4	5	6	7	8	
PSI[2]	01				000000				TS1
PSI[3]	01				000001				TS2
PSI[4]	01				000001				TS3
PSI[5]	01				000010				TS4
PSI[6]	01				000000				TS5
PSI[7]	01				000011				TS6
PSI[8]	01				000011				TS7
PSI[9]	01				000011				TS8
PSI[10]	01				000000				TS9
PSI[11]	01				000000				TS10
PSI[12]	01				000001				TS11
PSI[13]	01				000001				TS12
PSI[14]	01				000011				TS13
PSI[15]	01				000000				TS14
PSI[16]	01				000010				TS15
PSI[17]	01				000010				TS16

图V.3 – OPU3-MSI编码示例：4个ODU2分别映射至OPU3的TS# (1, 5, 9, 10) 、 (2, 3, 11, 12) 、 (4, 14, 15, 16) 及 (6, 7, 8, 13)

	1	2	3	4	5	6	7	8	
<i>PSI/[2]</i>	01				000000				TS1
<i>PSI/[3]</i>	00				000001				TS2
<i>PSI/[4]</i>	00				000010				TS3
<i>PSI/[5]</i>	01			000001					TS4
<i>PSI/[6]</i>	01			000000					TS5
<i>PSI/[7]</i>	00			000101					TS6
<i>PSI/[8]</i>	00			000110					TS7
<i>PSI/[9]</i>	01			000001					TS8
<i>PSI/[10]</i>	01			000000					TS9
<i>PSI/[11]</i>	01			000001					TS10
<i>PSI/[12]</i>	00			001010					TS11
<i>PSI/[13]</i>	00			001011					TS12
<i>PSI/[14]</i>	01			000000					TS13
<i>PSI/[15]</i>	00			001101					TS14
<i>PSI/[16]</i>	00			001110					TS15
<i>PSI/[17]</i>	01			000001					TS16

图V.4 – OPU3-MSI编码示例：5个ODU1和2个ODU2进入OPU3TS# (2), (6), (11), (12), (14), (1, 5, 9, 13) 及 (4, 8, 10, 16)
且OPU3 TS# 3, 7, 15未分配（默认分配至ODU1）

附录VI

CRC-9、CRC-8、CRC-5和CRC-6的并行逻辑实现

(本附录不构成本建议书的组成部分。)

CRC-9

表VI.1展示了采用 $g(x) = x^9 + x^3 + x^2 + 1$ 多项式（在JC1、JC2、JC4和JC5的ΣCnD域上定义）实现CRC-9的并行逻辑方程示例。表格中某列的“X”表示该行消息位是计算该行CRC位的异或方程输入。JC4.D1对应JC4映射开销八位组的第2位，JC4.D2对应JC4八位组的第3位，依此类推（参见图20-7）。计算完成后，CRC位crc1至crc9将插入到JC6和JC3字节中，其中crc1占据JC6字节的第2位，crc9占据JC3字节的第2位。

表 VI.1 – CRC-9 实现的并行逻辑方程

映射开销位	CRC校验位								
	crc1	crc2	crc3	crc4	CRC5	crc6	crc7	crc8	CRC9
JC4.D1		X	X			X			
JC4.D2			X	X			X		
JC4.D3				X	X			X	
JC4.D4					X	X			X
JC4.D5	X					X		X	
JC4.D6		X					X		X
JC4.D7	X		X				X		
JC1.D8		X		X				X	
JC1.D9			X		X				X
JC5.D10	X			X		X	X	X	
JC5.D11		X			X		X	X	X
JC5.D12	X		X			X	X		X
JC5.D13	X	X		X					
JC5.D14		X	X		X				
JC5.D15			X	X		X			
JC5.D16				X	X		X		
JC2.D17					X	X		X	
JC2.D18						X	X		X

CRC-8

表VI.2展示了采用 $g(x) = x^8 + x^3 + x^2 + 1$ 多项式在JC1-JC2上实现CRC-8的并行逻辑方程示例。表格中某列的“X”表示该行消息位是计算该行CRC位的异或方程输入。JC1.C1对应首个映射开销八位组（JC1）的首位（MSB），JC1.C2对应该八位组的第2位，依此类推。计算完成后，CRC位crc1至crc8将插入JC3八位组，其中crc1占据该八位组的MSB，crc8占据LSB。

表 VI.2 – CRC-8 实现的并行逻辑方程

映射开销位	CRC校验位							
	crc1	crc2	crc3	crc4	CRC5	crc6	crc7	CRC8
JC1.C1		X				X		X
JC1.C2	X		X			X		
JC1.C3		X		X			X	
JC1.C4			X		X			X
JC1.C5	X			X			X	
JC1.C6		X			X			X
JC1.C7	X		X				X	
JC1.C8		X		X				X
JC2.C9	X		X		X	X	X	
JC2.C10		X		X		X	X	X
JC2.C11	X		X		X	X		X
JC2.C12	X	X		X				
JC2.C13		X	X		X			
JC2.C14			X	X		X		
JC2.II				X	X		X	
JC2.DI					X	X		X

CRC-5

表VI.3展示了采用JC4-JC5 CnD域上 $g(x) = x^5 + x + 1$ 多项式实现CRC-5的并行逻辑方程示例。表格中某列的“X”表示该行消息位是计算该行CRC位的异或方程输入。JC4.D1对应首个映射开销八位组 (JC1) 的首位 (MSB) , JC4.D2 对应该八位组的第2位, 依此类推。计算完成后, CRC位crc1至crc5将插入JC6八位组: 其中crc1占据JC6第4位, crc5占据JC6第8位。

表 VI.3 – CRC-5 实现的并行逻辑方程

映射开销位	CRC校验位				
	crc1	crc2	crc3	crc4	CRC5
JC4.D1	X		X	X	
JC4.D2		X		X	X
JC4.D3	X		X		
JC4.D4		X		X	
JC4.D5			X		X
JC5.D6	X			X	X
JC5.D7	X	X			
JC5.D8		X	X		
JC5.D9			X	X	
JC5.D10				X	X

CRC-6

表VI.4展示了采用 $g(x) = x^6 + x^3 + x^2 + 1$ 多项式在JC1-JC2上实现CRC-6的并行逻辑方程示例。表格中某列的“X”表示该行消息位是计算该行CRC位的异或方程输入。JC1.C1对应首个映射开销八位组（JC1）的第3位，JC1.C2对应该八位组的第4位，依此类推。计算完成后，CRC位crc1至crc6将插入JC3八位组：其中crc1占据第3位，crc6占据该八位组的最低有效位。（参见图20-7）

表 VI.4 – CRC-6 实现的并行逻辑方程

映射开销位	CRC校验位					
	crc1	crc2	crc3	crc4	CRC5	CRC6
JC1.C1			X		X	X
JC1.C2	X				X	X
JC1.C3	X	X		X	X	X
JC1.C4	X	X	X	X		X
JC1.C5	X	X	X			
JC1.C6		X	X	X		
JC2.C7			X	X	X	
JC2.C8				X	X	X
JC2.C9	X			X		X
JC2.C10	X	X		X		
JC2.II		X	X		X	
JC2.DI			X	X		X

附录 VII

OTL4.10结构

(本附录不构成本建议书的组成部分。) 本附录的信息包含在[b-ITU-T G-Sup.58]中。

附录 VIII

CPRI到ODU映射

(本附录不构成本建议书的组成部分。) 本附录信息收录于[b-ITU-T G-Sup.56]。

附录IX

CBR客户端映射至OPU类型的概述

(本附录不构成本建议书的组成部分。)

由于存在多种恒定比特率用户信号及多种映射程序，表IX.1概述了针对各类用户指定的映射程序。

表IX.1 – CBR客户端映射至OPUk类型的概述

	OPU0	OPU1	OPU2	OPU2e	OPU3	OPU4	OPUflex
STM-1	GMP 带C _{ID}	–	–	–	–	–	–
STM-4	GMP 带C _{ID}	–	–	–	–	–	–
STM-16	–	AMP, BMP	–	–	–	–	–
STM-64	–	–	AMP, BMP	–	–	–	–
STM-256	–	–	–	–	AMP, BMP	–	–
千兆以太网-X	TTT+GM P无C _{nb}	–	–	–	–	–	–
10GBASE-R	–	–	–	16FS+BMP	–	–	–
25GBASE-R	–	–	–	–	–	–	BMP
40GBASE-R	–	–	–	–	TTT+GMP 含C _{SD}	–	–
50GBASE-R	–	–	–	–	–	–	BMP
100GBASE-R	–	–	–	–	–	GMP 与C _{SD}	–
200GBASE-R	–	–	–	–	–	–	BMP
400GBASE-R	–	–	–	–	–	–	BMP
FC-100	GMP 无C _{nd}	–	–	–	–	–	–
FC-200	–	GMP 含C _{SD}	–	–	–	–	–
FC-400	–	–	–	–	–	–	BMP
FC-800	–	–	–	–	–	–	BMP
FC-1200	–	–	–	TTT+16FS+ BMP (注)	–	–	–
FC-1600	–	–	–	–	–	–	BMP
FC-3200	–	–	–	–	–	–	BMP
CM_GPON	–	AMP	–	–	–	–	–
CM_XGPON	–	–	AMP	–	–	–	–
国际货币基金组织特别提款权	–	–	–	–	–	–	BMP
IB DDR	–	–	–	–	–	–	BMP

表IX.1 – CBR客户端到OPUk映射类型的概述

	OPU0	OPU1	OPU2	OPU2e	OPU3	OPU4	OPUflex
IB QDR	–	–	–	–	–	–	BMP
SBCON/ESCON	GMP 无C _{ND}	–	–	–	–	–	–
DVB_ASI	GMP 无C _{ND}	–	–	–	–	–	–
SDI	GMP 待定 C _{ND}	–	–	–	–	–	–
1.5G SDI	–	GMP 待定 C _{ND}	–	–	–	–	–
3G SDI	–	–	–	–	–	–	BMP
FlexE客户端	–	–	–	–	–	–	IMP
FlexE感知	–	–	–	–	–	–	BGMP
注：此特定情况下采用字节同步映射。							

附录 X

ODUj到OPUk映射类型的概述

(本附录不构成本建议书的组成部分。)

由于存在多种不同的ODUj比特率信号和映射程序，表X.1概述了针对每种ODUj所规定的映射程序。

表 X.1 – ODUj 客户端到 OPUk 映射类型的概述

	2.5G支路时隙		1.25G支路时隙					
	OPU2	OPU3	OPU1	OPU2	OPU3	OPU4	OPU25	OPU50
ODU0	–	–	ODTU01 AMP (PT=20)	ODTU2.1 GMP (PT=21)	ODTU3.1 GMP (PT=21)	ODTU4.1 GMP (PT=21)	ODTU25.1 GMP (PT=21)	ODTU50.1 GMP (PT=21)
ODU1	ODTU12 AMP (PT=20)	ODTU13 AMP (PT=20)	–	ODTU12 AMP (PT=21)	ODTU13 AMP (PT=21)	ODTU4.2 GMP (PT=21)	ODTU25.2 GMP (PT=21)	ODTU50.2 GMP (PT=21)
ODU2	–	ODTU23 AMP (PT=20)	–	–	ODTU23 AMP (PT=21)	ODTU4.8 GMP (PT=21)	ODTU25.8 GMP (PT=21)	ODTU50.8 GMP (PT=21)
ODU2e	–	–	–	–	ODTU3.9 GMP (PT=21)	ODTU4.8 GMP (PT=21)	ODTU25.8 GMP (PT=21)	ODTU50.8 GMP (PT=21)
ODU3	–	–	–	–	–	ODTU4.31 GMP (PT=21)	–	ODTU50.31 GMP (PT=21)
ODUflex	–	–	–	ODTU2.ts GMP (PT=21)	ODTU3.ts GMP (PT=21)	ODTU4.ts GMP (PT=21)	ODTU25.ts GMP (PT=21)	ODTU50.ts GMP (PT=21)
ODUflex(IB SDR)	–	–	–	ODTU2.3 GMP (PT=21)	ODTU3.3 GMP (PT=21)	ODTU4.2 GMP (PT=21)	ODTU25.2 GMP (PT=21)	ODTU50.2 GMP (PT=21)
ODUflex(IB DDR)	–	–	–	ODTU2.5 GMP (PT=21)	ODTU3.5 GMP (PT=21)	ODTU4.4 GMP (PT=21)	ODTU25.4 GMP (PT=21)	ODTU50.4 GMP (PT=21)
ODUflex(IB QDR)	–	–	–	–	ODTU3.9 GMP (PT=21)	ODTU4.8 GMP (PT=21)	ODTU25.8 GMP (PT=21)	ODTU50.8 GMP (PT=21)
ODUflex(FC-400)	–	–	–	ODTU2.4 GMP (PT=21)	ODTU3.4 GMP (PT=21)	ODTU4.4 GMP (PT=21)	ODTU25.4 GMP (PT=21)	ODTU50.4 GMP (PT=21)
ODUflex(FC-800)	–	–	–	ODTU2.7 GMP (PT=21)	ODTU3.7 GMP (PT=21)	ODTU4.7 GMP (PT=21)	ODTU25.7 GMP (PT=21)	ODTU50.7 GMP (PT=21)
ODUflex(FC-1600)	–	–	–	–	ODTU3.12 GMP (PT=21)	ODTU4.11 GMP (PT=21)	ODTU25.11 GMP (PT=21)	ODTU50.11 GMP (PT=21)
ODUflex(FC-3200)	–	–	–	–	ODTU3.23 GMP (PT=21)	ODTU4.22 GMP (PT=21)	–	ODTU50.22 GMP (PT=21)

表 X.1 – ODUj 客户端到 OPUk 映射类型的概述

	2.5G 支路插槽		1.25G 支路插槽					
	OPU2	OPU3	OPU1	OPU2	OPU3	OPU4	OPU25	OPU50
ODUflex(25G BASE-R)	–	–	–	–	ODTU3.21 GMP (PT=21)	ODTU4.20 GMP (PT=21)	ODTU25.2.0 GMP (PT=21)	ODTU50.20 GMP (PT=21)
ODUflex(50G BASE-R)	–	–	–	–	–	ODTU4.40 GMP (PT=21)	–	ODTU50.40 GMP (PT=21)
ODUflex(GFP)	–	–	–	ODTU2.ts (GMP) (PT=21)	ODTU3.ts (GMP) (PT=21)	ODTU4.ts (GMP) (PT=21)	ODTU25.ts (GMP) (PT=21)	ODTU50.ts (GMP) (PT=21)
ODUflex(GFP ,n,2), n=1, … ,8 (ts=n)	–	–	–	ODTU2.ts (GMP) (PT=21)	ODTU3.ts (GMP) (PT=21)	ODTU4.ts (GMP) (PT=21)	ODTU25.ts (GMP) (PT=21)	ODTU50.ts (GMP) (PT=21)
ODUflex(GFP ,n,3), n=9, … ,20 (ts=n)	–	–	–	–	ODTU3.ts (GMP) (PT=21)	ODTU4.ts (GMP) (PT=21)	ODTU25.ts (GMP) (PT=21)	ODTU50.ts (GMP) (PT=21)
ODUflex(GFP ,n,3), n=21, … ,32 (ts=n)	–	–	–	–	ODTU3.ts (GMP) (PT=21)	ODTU4.ts (GMP) (PT=21)	–	ODTU50.ts (GMP) (PT=21)
ODUflex(GFP), n=33, … ,40 (ts=n)	–	–	–	–	–	ODTU4.ts (GMP) (PT=21)	–	ODTU50.ts (GMP) (PT=21)
ODUflex(GFP ,n,4), n=41, … ,80 (ts=n)	–	–	–	–	–	ODTU4.ts (GMP) (PT=21)	–	–
ODUflex(IMP)	–	–	–	ODTU2.ts (GMP) (PT=21)	ODTU3.ts (GMP) (PT=21)	ODTU4.ts (GMP) (PT=21)	ODTU25.ts (GMP) (PT=21)	ODTU50.ts (GMP) (PT=21)
ODUflex(IMP, s), s=2	–	–	–	–	ODTU3.9 (GMP) (PT=21)	ODTU4.8 (GMP) (PT=21)	ODTU25.8 (GMP) (PT=21)	ODTU50.8 (GMP) (PT=21)
ODUflex(IMP, s), s=5	–	–	–	–	ODTU3.21 (GMP) (PT=21)	ODTU4.20 (GMP) (PT=21)	ODTU25.2.0 (GMP) (PT=21)	ODTU50.20 (GMP) (PT=21)
ODUflex(IMP, s), s=8	–	–	–	–	–	ODTU4.32 (GMP) (PT=21)	–	ODTU50.32 (GMP) (PT=21)
ODUflex(IMP, s), s=10	–	–	–	–	–	ODTU4.40 (GMP) (PT=21)	–	ODTU50.40 (GMP) (PT=21)
ODUflex(IMP, s), s=15,20 (ts=4×s)	–	–	–	–	–	ODTU4.ts (GMP) (PT=21)	–	–

附录 XI

基于n × ODUk.ts时钟推导推荐的ODUflex(GFP)比特率及ODUflex(GFP,n,k)时钟生成示例

(本附录不构成本建议书的组成部分。)

XI.1 引言

表7-8给出了ODUflex(GFP,n,k)的推荐比特率。虽然理论上ODUflex(GFP)可采用任意比特率，但在引入ODUflex时，基于多种考量推荐了特定的ODUflex(GFP,n,k)速率：

- 鼓励采用一套通用比特率方案，该方案可预期获得多家制造商的支持。
- 在给定资源量（支路插槽数量）内提供最大带宽，且该带宽与ODUflex(GFP,n,k)可能路由的ODUk无关。
- 在ODUflex(GFP,n,k)需重新路由时（例如恢复过程中），保持所需的支路插槽数量。
- 满足协议对ODUflex无中断调整尺寸的要求：可调整尺寸的ODUflex(GFP,n,k)在所有承载路径的ODUk上必须占用相同数量的支路插槽，且调整尺寸操作必须始终增减至少一个支路插槽。

XI.2 分支插槽的尺寸

ODUflex(GFP,n,k)通过GMP映射至HO OPU2、OPU3或OPU4的若干1.25G支路槽位。各设备支路槽位规格如下：

$$\begin{aligned} OPU\ 2_TS &= \frac{238}{237} \times 4 \times STM16 \times \frac{476\text{列}}{3808\text{列}} = 1249409.620 \text{ 千比特/秒} \pm 20\text{ppm} \\ OPU\ 3_TS &= \frac{238}{236} \times 16 \times STM16 \times \frac{119\text{列}}{3808\text{列}} = 1254703.729 \text{ 千比特/秒} \pm 20\text{ ppm} \\ OPU\ 4_TS &= \frac{238}{227} \times 40 \times STM16 \times \frac{47.5\text{列}}{3808\text{列}} = 1301709.251 \text{ kbit/s} \pm 20\text{ppm} \end{aligned}$$

占用8个或更少支路时隙的ODUflex(GFP,n,2)可通过OPU2、OPU3或OPU4路由传输。该ODUflex(GFP,n,2)路由路径中可能遇到的最小支路时隙属于OPU2。即使初始选定的路径未选择OPU2链路，也应将ODUflex(GFP,n,2)的尺寸设置为OPU2支路插槽尺寸的倍数，以保留通过包含OPU2的路径恢复ODUflex(GFP,n,2)的可能性，且无需改变ODUflex的尺寸或其占用的支路插槽数量。

占用至少9个但不超过32个支路插槽的ODUflex(GFP,n,3)可通过OPU3或OPU4进行路由，但无法通过OPU2。因此此类ODUflex(GFP,n,3)的尺寸应设定为OPU3支路插槽尺寸的倍数。即使初始选定的路径未选择OPU3链路，仍应将ODUflex(GFP,n,3)的尺寸设置为OPU3支路插槽尺寸的倍数，以保留通过包含OPU3的路径恢复ODUflex(GFP,n,3)的可能性，且无需改变ODUflex的尺寸或其占用的支路插槽数量。

占用至少33个但不超过80个分支槽位的ODUflex(GFP,n,4)仅可通过OPU4传输，因此可充分利用OPU4分支槽位的完整容量。

为容纳OPUk链路序列中可能出现的时钟偏差，同时避免溢出GMP映射器中 C_m 的范围，ODUflex(GFP,n,k)的尺寸与支路插槽尺寸的整数倍之间必须保留微小余量。

以太网和光纤通道等数据接口的物理层历来采用 ± 100 ppm时钟容差。该范围足够宽泛，若将其指定为ODUflex(GFP,n,k)的时钟容差，既能兼容多种ODUflex(GFP,n,k)时钟生成机制，又能确保其时钟误差始终处于容差范围内。

如表7-8所示，ODUk.ts代表带宽增量，该值乘以1.25G支路时隙数量后，即得到推荐的ODUflex(GFP,n,k)尺寸——该尺寸经过优化，可占据服务器OPUk的指定数量支路时隙。这些值的选择确保OPUk与ODUflex(GFP,n,k)可在各自完整时钟容差范围内独立变化时，均不会超出分配支路插槽的容量。

ODUk.ts的标称值设定为低于服务器OPUk单个1.25G支路插槽带宽186 ppm。这使得ODUflex(GFP,n,k)时钟可比标称速率高出100 ppm，服务器OPUk可比标称时钟速率低20 ppm，从而提供约66ppm的裕度以容纳抖动，并确保即使在OPUk时钟偏离标称值-20 ppm的最坏情况下，最大平均 C_m 值仍小于最大值（即最大平均 C_m 值为最大值减1）。-20 ppm，而ODUflex(GFP,n,k)为+100 ppm时，其最大平均 C_m 值仍将小于最大值（即：通过OPU2或OPU3传输的ODUflex(GFP,n,k)最大平均 C_m 值不超过15232中的15231；而OPU4传输的ODUflex(GFP,n,k)最大值不超过15200中的15199）。

表 XI.1 – 基于固定C_m值从服务器OPUk时钟生成ODUflex(GFP,n,k)时钟

OPUk	标称有效载荷比特率	标称 1.25G TS 比特率	ODU2.ts		C _m 脱 离	每TS的比特率	ODU3.ts	ODU4.ts		
OPU2	9'995'276.962	1,249,409.620	15230	1,249,245.570	C _m 总 计	每TS比特率				
			15232							
OPU3	40'150'519.322	1,254,703.729	+20 ppm	1'249'270.555	C _m 总 计	每TS比特率				
			-20 ppm	1'249'220.585						
OPU4	104,355,975.330	1,301,709.251	15165	1'249'184.746	15230	1'254'538.983				
			15232		15232					
ODUk.ts			+20 ppm	1'249'209.729	14649	1'254'564.074	C _m 总 计	每TS比特率		
			-20 ppm	1'249'159.762						
ODUk.ts			14587	1,249,212.687	15200	1'254'522.291	15198	1'301'537.974		
			15200							
ODUk.ts			+20 ppm	1'249'237.671			15200	1'301'564.004		
			-20 ppm	1'249'187.703						
ODUk.ts			nominal	1'249'177.230		1'254'470.354		1'301'467.133		
			+100 ppm	1'249'302.148						
			-100 ppm	1'249'052.312						

XI.3 ODUflex(GFP,n,k)时钟生成示例方法

XI.3.1 从OPUk时钟生成ODUflex(GFP,n,k)时钟

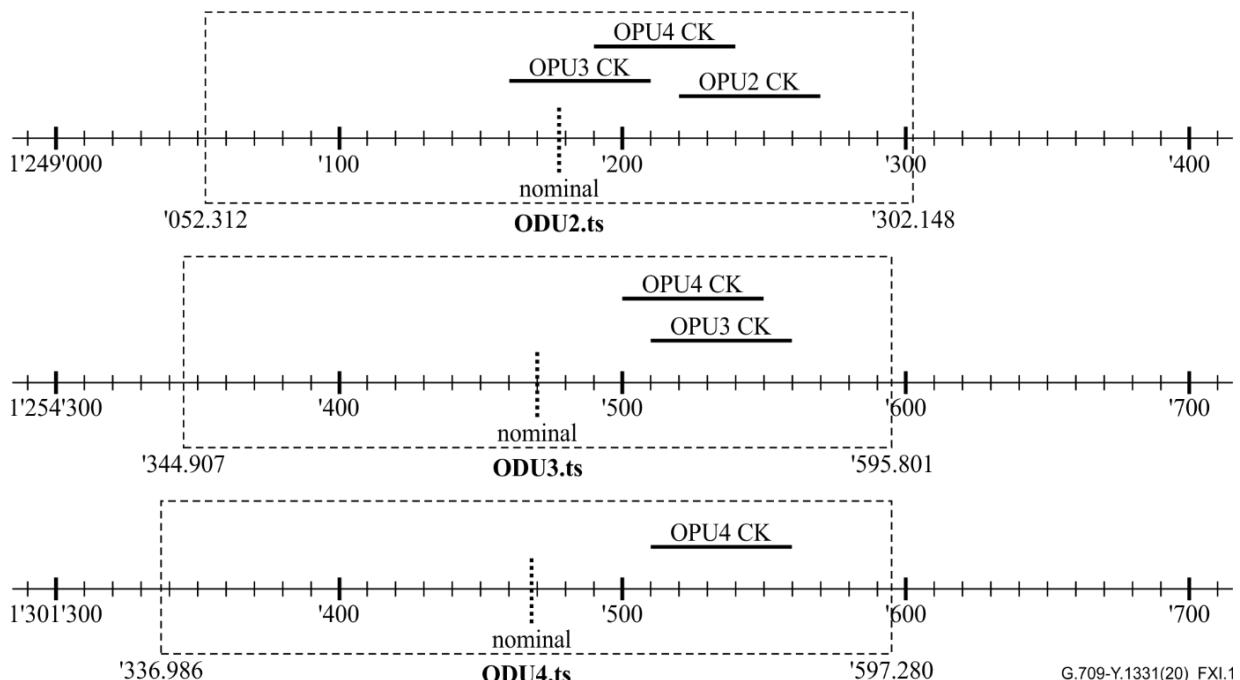
ODUflex(GFP,n,k)时钟可通过初始段将 C_m 值设为固定值，从承载该ODUflex(GFP,n,k)的初始服务器OPUk时钟生成。后续段采用常规GMP处理可避免沿路径耦合服务器OPUk时钟。

表 XI-1 说明了如何通过在路径初始段使用固定 C_m 值，从服务器 OPUk 时钟推导出占用 $n \times ODUk.ts$ 的 ODUflex(GFP,n,k) 时钟。

例如，占用最多8个支路时隙的ODUflex(GFP,n,k)应基于ODU2.ts，因此其时钟频率为 $n \times 1'249'177.230$ kbit/s ± 100 ppm。这使得 ODUflex(GFP,n,k) 的频率范围介于 $n \times 1'249'052.312$ kbit/s 至 $n \times 1'249'302.148$ kbit/s 之间。

- 若初始传输段采用OPU2传输ODUflex(GFP,n,k)，可通过将初始段 C_m 值固定为15230生成该范围内的时钟，从而使ODUflex获得 $n \times 1'249'245.570$ kbit/s ± 20 ppm的时钟频率。虽然该范围的中心频率与ODU2.ts的标称值存在差异，但时钟容差更窄——因其锁定于OPU2，故实际时钟范围完全处于允许的±100 ppm容差范围内。
- 若初始段为OPU3，则可在初始OPU3段上使用固定值 $C_m=15165$ 生成ODU2.ts倍数的ODUflex(GFP,n,k)，由此生成的ODUflex时钟频率为 $n \times 1'249'184.746$ kbit/s ± 20 ppm。
- 若初始段为OPU4，则可在初始OPU4段采用固定值 $C_m=14587$ 生成ODU2.ts倍数的ODUflex(GFP,n,k)，其时钟频率为 $n \times 1'249'212.687$ kbit/s ± 20 ppm。

所有这些ODUflex(GFP,n,k)的中心频率略有差异，但最终时钟范围均落在±100 ppm窗口内（见图XI.1）。从初始OPUk生成ODU3.ts和ODU4.ts的固定 C_m 值也可通过此表类似推导。



图XI.1 – 表XI.1中频率范围的图形化表示

XI.3.2 从系统时钟生成 ODUflex(GFP,n,k) 时钟

ODUflex(GFP,n,k)的时钟可通过系统内部时钟的倍频器生成。通常系统内部时钟精度至少为 ± 20 ppm，对于同时支持SDH和OTN接口的网络设备，精度可能达到 ± 4.6 ppm。具体采用何种倍频系数取决于具体实现方案，需确保生成的时钟频率范围落在 ± 100 ppm的容差窗口内。

± 4.6 ppm。具体采用何种倍频系数取决于具体实现方案，需确保生成的时钟频率范围落在标称值 $n \times ODUk.ts \pm 100$ ppm的容差窗口内。更多信息请参阅附录XV。

附录XII

ITU-T G.709第4版、第5版与第6版术语变更

(本附录不构成本建议书的组成部分。)

在本建议书第5版中，对第1至4版使用的若干术语进行了修改。在本建议书第6版中，对第5版使用的若干术语进行了修改。表 XII.1 提供了第1至4版、第5版和第6版中这些术语的映射关系。

表 XII.1 – 术语映射

ITU-T G.709 第1版至第4版	ITU-T G.709 第5版	ITU-T G.709 第6版
OTM-0.m	SOTU	OTN 点到点接口，I型
OTM-0.mvn	(多通道) SOTU	OTN 点对点接口，I型
OTM-nr.m	MOTU	OTN 点对点接口，II型
OTM-l.m	SOTUm	OTN 光网络接口，II型
OTM-n.m	MOTUm	OTN光网络接口，I型
光通道 (OCh)	OCh	OCh
功能缩减的光通道 (OChr)	OCh-P	OTSiG
光通道有效载荷 (OCh-P)	OCh-P	OTSiG
光通道开销 (OCh-OH)	OCh-O	OCh-O
OTU	OTU	OTU
光通道数据单元 (ODU)	光数据单元 (ODU)	光数据单元 (ODU)
光通道有效载荷单元 (OPU)	光载荷单元 (OPU)	光载荷单元 (OPU)
光通道数据支路单元 (ODTU)	光数据支路单元 (ODTU)	光数据支路单元 (ODTU)
光通道数据支路单元组 (ODTUG)	光数据支路单元组 (ODTUG)	光数据支路单元组 (ODTUG)
光复用单元 (OMU)	-	-
光通道载波 (OCC)	-	-
光通道载波 – 开销 (OCCo)	-	-
光通道载波 – 有效载荷 (OCCp)	-	-
功能缩减的光通道载波 (OCCr)	-	-
光载波组 (OCG)	-	-
功能缩减的光载波组 (OCGr)	-	-
阶数为n的光载波组 (OCG)	-	-

表 XII.1 – 术语映射

ITU-T G.709 第1版至第4版	国际电信联盟电信标准化部门G.709第5版	ITU-T G.709 第6版
OTM管理信号 (OOS)	光监视通道 (OSC)	光监视通道 (OSC)
OTLk.n型光传输通道	OTLk.n 通道	OTLk.n 车道
光传输通道承载组 (OTLCG)	—	—
光传输通道承载器 (OTLC)	—	—
OPS0	OPS	—
OPSn	OPS	—
OPSMnk	OPS	—
OTS-OH	OTS-O	OTS-O
OMS-OH	OMS-O	OMS-O
ODUflex(GFP)	ODUflex(GFP)	ODUflex(GFP,n,k)
—	ODUflex(IMP)	ODUflex(IMP,s)

在本建议书第5.0版中引入以下新术语：

表 XII.2 – 第5版新增术语

光分支信号 (OTSi)
光分支信号组 (OTSiG)
光分支信号组——架空型 (OTSiG-O)
光分支信号组件 (OTSiA)

这些新术语与OCh、OChr、OPS0、OPSn和OPSM术语之间的关系如下：

表 XII.3 – OCh、OChr、OPS0、OPSn、OPSM 与 OTSi 术语间关系

OCh-P	OTSiG (含一个或多个OTSi)
OCh-O	OTSiG-O的精简版本： — FDI-P、FDI-O和OCI：支持 — TTI、BDI-P、BDI-O、TSI：不支持
OCh	OTSiA的精简版本： — OTSiG (含一个或多个OTSi) — FDI-P、FDI-O 和 OCI：支持 — TTI、BDI-P、BDI-O、TSI：不支持
OChr	OTSiG (含一个OTSi)；不支持OTSiG-O
OPS0	OTSiG 含一个 OTSi；无 OTSiG-O
OPSMnk	OTSiG 带 m 个 OTSi；无 OTSiG-O
OPSn	n个OTSiG且无OTSiG-O；每个OTSiG包含一个OTSi

OTUCn子速率 (OTUCn-M) 应用

(本附录不构成本建议书的组成部分。)

XIII.1 引言

本附录描述了附件H中定义的OTUCn-M信号的OTUCn-M应用场景

H中定义的OTUCn-M信号的应用场景。假定OTUCn-M处理在物理层模块中完成，因此该模块与帧生成器之间的接口（MFI）保持不变。

图XIII.1和图XIII.2展示了子速率应用的两种场景。第一种场景在连接两个光单元交叉连接器（XC）的两条线路端口之间部署子速率。第二种场景在不同域B中的转发器之间部署子速率，这些转发器与域A和/或域C中的ODU交叉连接器分离。在此情况下，域B与域A或域C之间的OTUCn在域B中继续作为OTUCn-M运行。

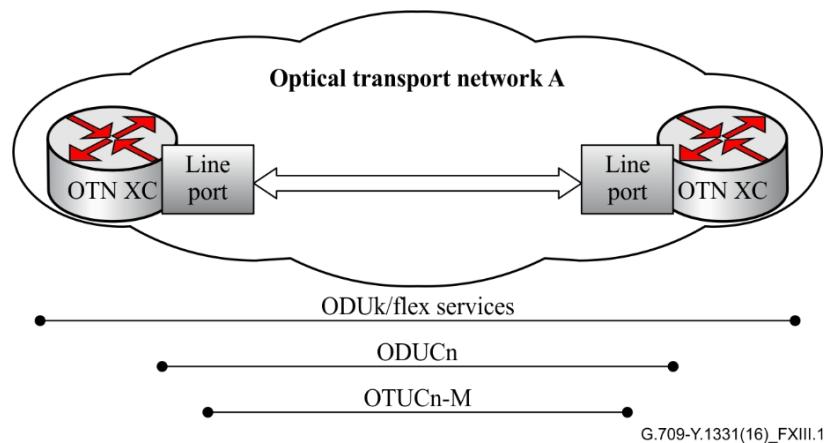


图 XIII.1 – OTUCn 子速率应用场景 A

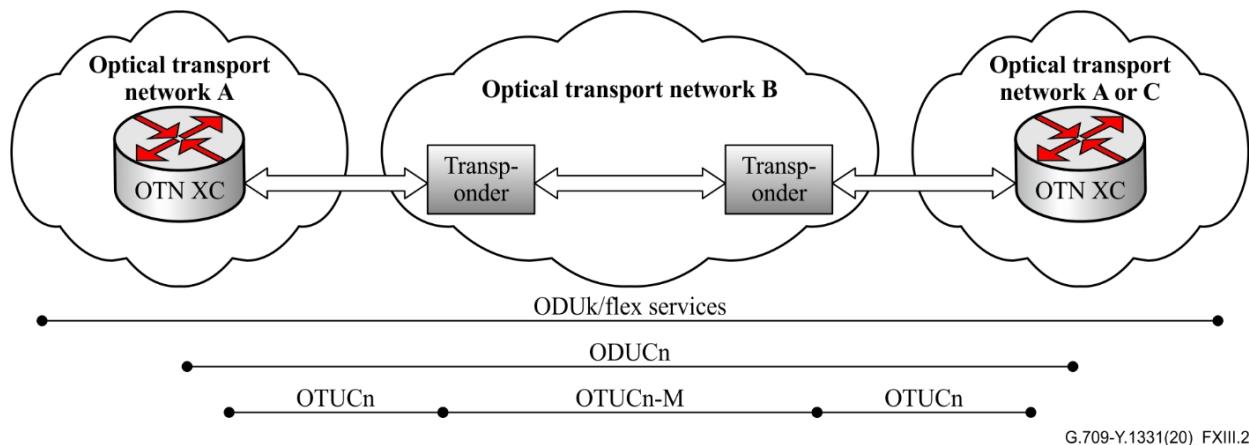


图 XIII.2 – OTUCn 子速率应用场景 B

XIII.2 OTUCn-M帧格式与速率根据附件H定义，OTUCn-M帧是一种OTUCn帧类型，包含n个OTUC、ODUC和OPUC开销实例，以及M个5 Gbit/s OPUCn支路槽。若未指定具体M值，则帧包含 $20*n$ 个支路槽。

该符号用法示例如下：

- OTUC2-25：一种125 Gbit/s的OTU信号，包含25个（5 Gbit/s）分支槽位及2个OxUC开销实例
- OTUC2-30：150 Gbit/s OTU信号，包含30个（5 Gbit/s）支路时隙及2个OxUC开销实例
- OTUC2：200 Gbit/s OTU信号，包含40个（5 Gbit/s）支路时隙及2个OxUC开销实例
- OTUC3-50：250 Gbit/s OTU信号，包含50个(5 Gbit/s)分支槽和3个OxUC开销实例

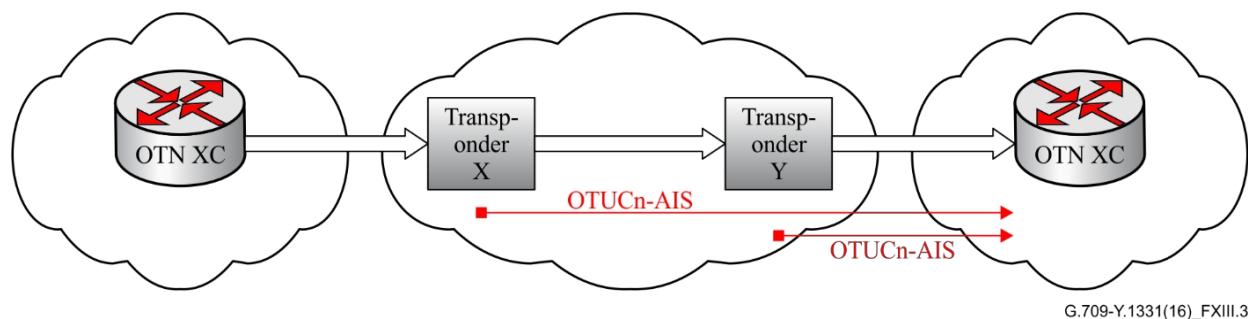
OTUCn-M信号的比特率计算公式为： $(10n + 119 * M) / (10n + 119 * 20 * n) * OTUCn$ 比特率。具体将哪些传输子单元分配给各OTUC实例（从而确定该实例的信号速率）取决于厂商或应用场景。

XIII.3 OTUCn-M故障状态

当转发器间采用子速率传输时，需执行以下检查：

在发送（源）方向，转发器X应验证OPU分支槽的OPUCn MSI开销中可用性位设置为“可用”时，是否被OTUCn-M透明传输。若存在未透明传输的分支槽其一个或多个可用性位被设置为“可用”，转发器X应插入OTUCn-AIS。

在接收（汇）方向，应答器Y需检查接收到的OTUCn-M与预期值是否存在不匹配。若检测到不匹配，应答器Y应插入OTUCn-AIS。



G.709-Y.1331(16)_FXIII.3

图 XIII.3 – OTUCn 子速率不匹配故障状态

附录XIV

在OTN中，当 这些UNI采用不同映射方法

(本附录不构成本建议书的组成部分。)

本附录描述两种支持以太网UNI与FlexE组UNI在OTN中两个管理域间互连的方案，其中互连要求将一个管理域的映射方法转换为另一个管理域使用的映射方法。

案例I是在FlexE组UNI-N端口执行映射方法转换，如图XIV.1所示。

方案II是在连接路径上的中间节点执行映射方法转换，如图XIV.2所示。

这些转换方案确保了与FlexE定义前设计的以太网UNI-N端口的向后兼容性。

图XIV.1展示了案例I的实现方案。对于以太网PCS编码的客户服务场景，FlexE组UNI-N端口将FlexE客户信号转换为对应的以太网PCS编码信号，并按条款规定采用BMP、TTT+GMP或GMP技术将其映射至ODUk。

17节规定的BMP、TTT+GMP或GMP技术映射至ODUk。该ODUk经OTN传输后，最终终止于以太网UNI-N端口。

对于速率高达100 Gbit/s（含）的以太网MAC客户端服务，FlexE组UNI-N端口终止FlexE客户端信号，提取以太网MAC帧流，并按第17节规定使用GFP-F将该MAC帧流映射至ODUk。该ODUk通过OTN传输，并在以太网UNI-N端口终止。

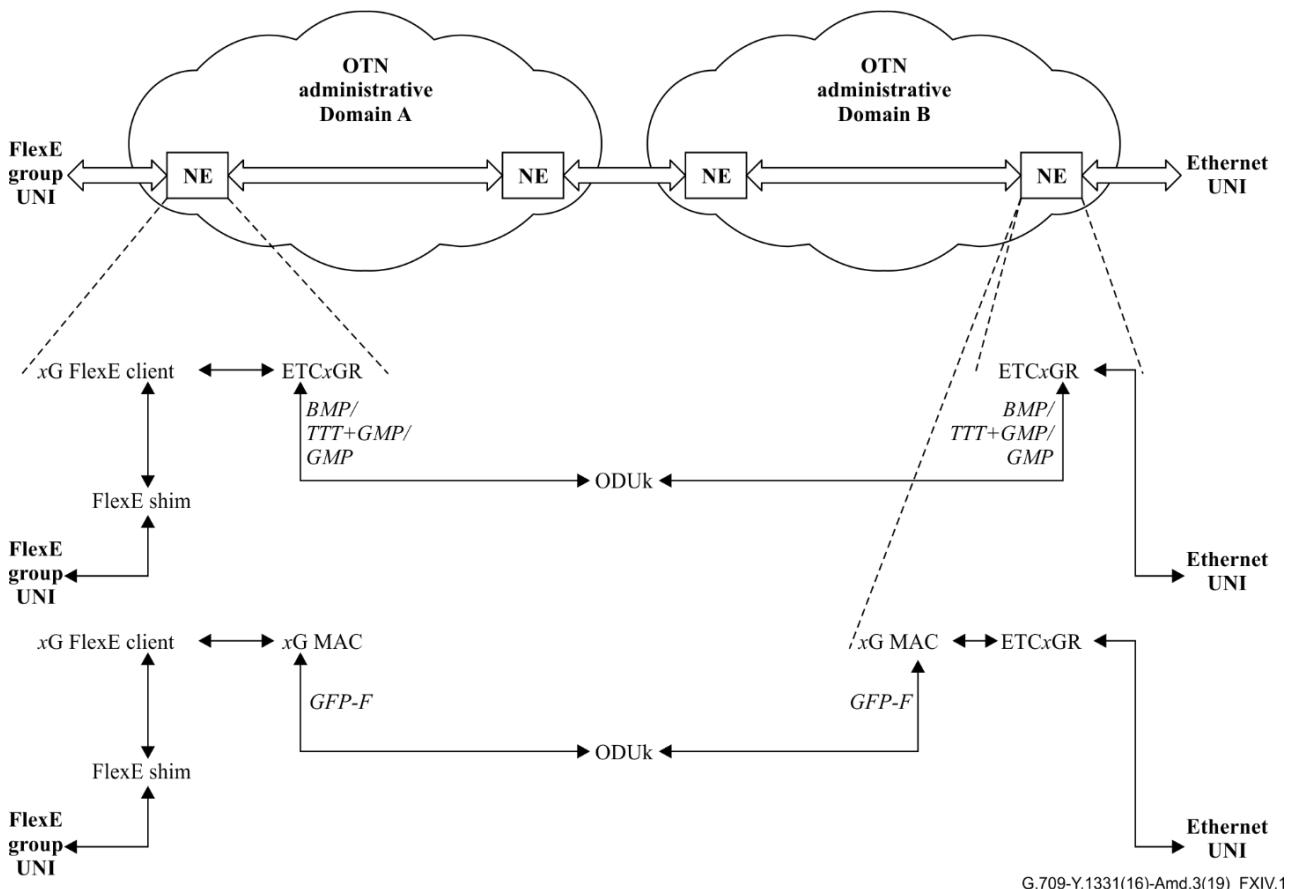
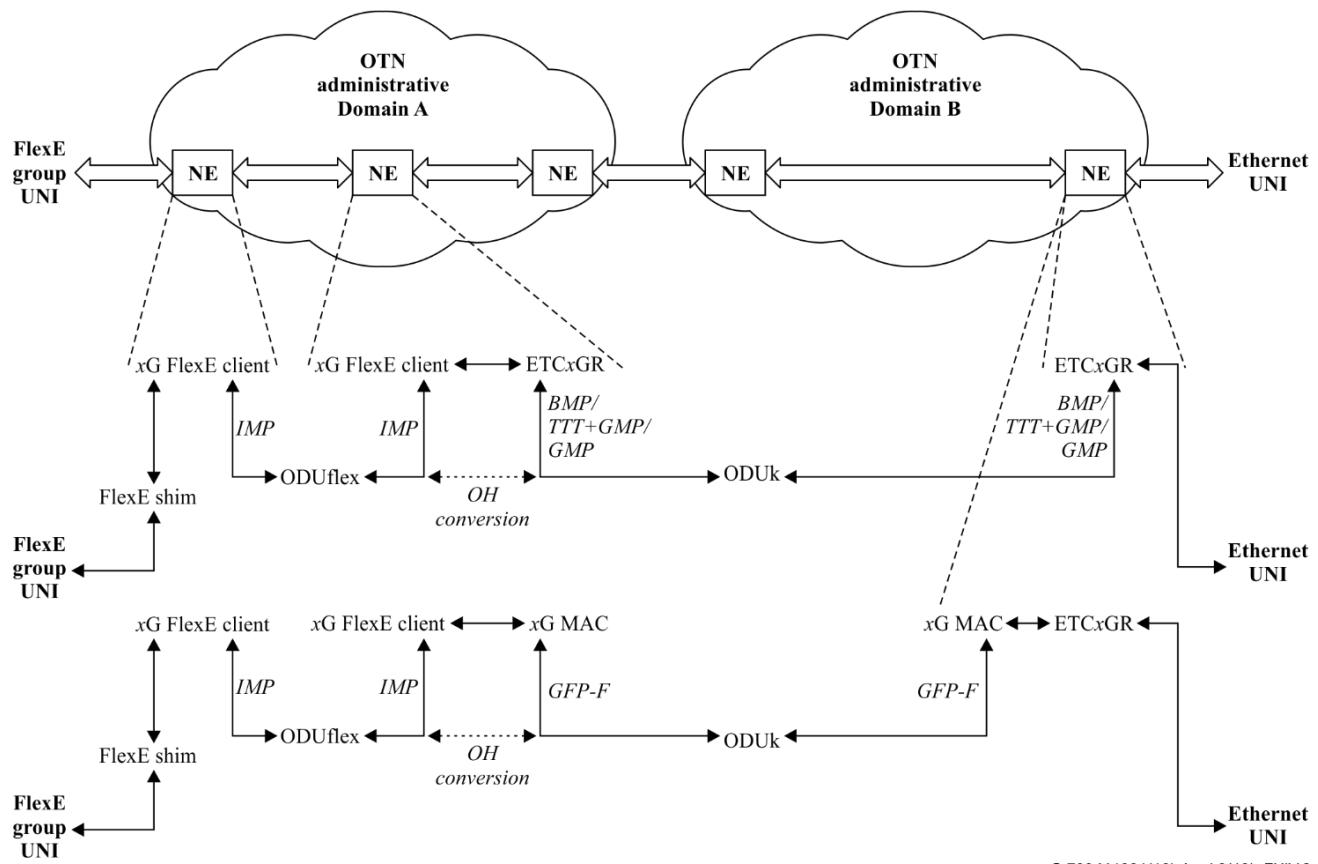


图 XIV.1 – 以太网 UNI 与 FlexE UNI 之间以太网 PCS 编码或 MAC 信号互连（情况 I）

图 XIV.2 展示了案例 II 的一种实现方案。对于以太网 PCS 编码的客户端服务，映射方法转换在域内配备 FlexE 组 UNI 的中间节点执行。该节点将 ODUflex 信号解映射为 FlexE 客户端信号，随后将 FlexE 客户端信号转换为对应的以太网 PCS 编码信号，最后通过 BMP、TTT+GMP 或 GMP（如第 17 节规定）映射至 ODUk。同时，承载 FlexE 客户端信号的 ODUflex 和 OPUflex 的开销信息将转换为承载以太网 PCS 编码信号的 ODUk 和 OPUk 开销信息。此转换保留所有开销信息（有效负载类型值除外）。具体开销转换方案属于厂商专有技术，超出本建议书范围。

对于比特率低于或等于 100 Gbit/s 的以太网 MAC 客户端服务，映射方法转换在域内配备 FlexE 组 UNI 的中间节点执行。该节点将 ODUflex 信号解映射为 FlexE 客户端信号，并从中提取以太网 MAC 帧流。随后，依据第 17 节规定，通过 GFP-F 技术将以太网 MAC 帧流映射至 ODUk。同时，承载 FlexE 客户端信号的 ODUflex 与 OPUflex 的开销信息，需转换为承载以太网 MAC 帧流的 ODUk 与 OPUk 开销信息。此转换过程保留所有开销信息（有效负载类型值除外）。具体开销转换方案属于厂商专有技术，超出本建议书范围。



G.709-Y.1331(16)-Amd.3(19)_FXIV.2

图XIV.2 – 情况II中以太网UNI与FlexE UNI之间的以太网PCS编码或以太网MAC客户端服务互连

ODUflex(GFP)与ODUflex(IMP)时钟生成方法示例

(本附录不构成本建议书的组成部分。)

本附录描述了支持ODUflex(GFP)和ODUflex(IMP)信号的时钟生成方法示例。

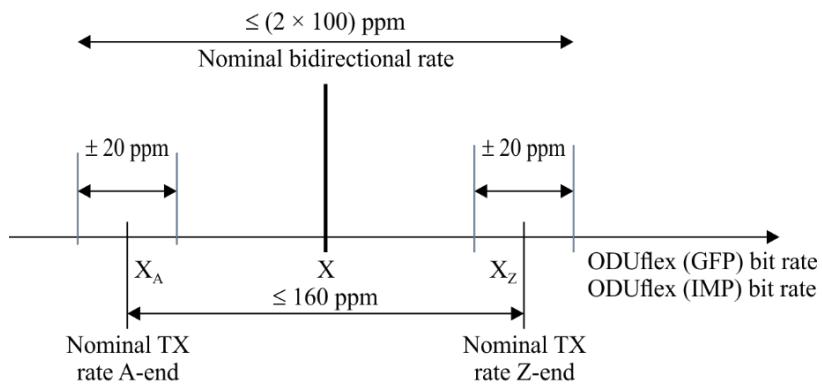
ODUflex(GFP)与ODUflex(IMP)信号可通过本地时钟或其客户端信号的时序（若可用）生成。本地时钟可为本地服务器ODUk（或OTUk）时钟、本地ODUCn（或OTUCn）时钟，或承载ODUflex信号的设备内部时钟。

XV.1 基于客户端时序

此方法中，采用64B/66B编码分组客户端信号（如FlexE客户端）时钟作为ODUflex(IMP)信号生成基准时钟，并通过固定X/Y值进行调整（ $X=239$ ， $Y=238$ ）。ODUflex(IMP)的比特率为 $239/238 \times 64B/66B$ 编码分组客户端的比特率。

XV.2 基于本地时钟

在此方法中，采用具有 ± 20 ppm比特率容差的本地时钟作为参考时钟，用于生成ODUflex(GFP)和ODUflex(IMP)信号。该本地时钟与用于生成服务器ODUk/OTUk或ODUCn/OTUCn信号（即承载ODUflex传输的设备专用服务器信号）的时钟相同。链路A端与Z端生成的ODUflex(GFP)和ODUflex(IMP)信号比特率分别为 $X_A \pm 20$ ppm与 $X_Z \pm 20$ ppm。这两者无需完全一致。最坏情况下，为满足图XV.1所示的ODUflex(GFP)和ODUflex(IMP)比特率 X Gbit/s ± 100 ppm要求（其中 X 代表标称双向比特率），这两种速率可相差 $[2 \times (100 - 20)] = 160$ ppm。

**图XV.1 – ODUflex(GFP)与ODUflex(IMP)通用比特率及容差**

首先，服务器ODU的时钟被用作参考时钟来生成ODUflex(GFP)和ODUflex(IMP)时钟速率，并通过固定的Cm值进行调整，类似于ODUflex(GFP,n,k)的情况，或者通过两个交替的Cm值X/X+1进行调整（类似于ODUflex(FlexE Aware)的情况）。

注1——ODUflex(GFP)与ODUflex(IMP)时钟速率与ODUflex(GFP,n,k)时钟速率的主要区别在于：后者是M 1.25G OPUk支路插槽所能支持的最大速率，而前者仅是足以承载数据的速率。（GFP,n,k)时钟速率的关键区别在于：后者是M 1.25G OPUk支路插槽所能支持的最大速率，而前者仅是足以承载GFP-F帧流中或64B/66B编码信号中分组客户端信号的速率。

在第二种情况下，ODUflex(GFP)和ODUflex(IMP)信号的比特率可通过本地时钟电路生成，该电路将本地自由运行时钟频率与Register1/Register2乘法器相乘，其中Register1的值通过第一个N位寄存器配置，Register2的值通过第二个N位寄存器配置，从而实现ODUflex(GFP)和ODUflex(IMP)的配置。寄存器2乘法器相乘，其中寄存器1的值通过第一个N位寄存器配置，寄存器2的值通过第二个N位寄存器配置，使得ODUflex(GFP)和ODUflex(IMP)的比特率等于寄存器1/寄存器2 × 数据路径宽度 × 系统时钟频率，且 $N \geq 16$ 。寄存器1/寄存器2值与数据包客户端信号的约定带宽相关（即238/239）。

× 寄存器1/寄存器2）。对于ODUflex(IMP)场景，该时钟同时作为参考时钟提供给分组客户端，用于生成64B/66B编码信号，从而将64B/66B编码分组客户端的比特率与ODUflex(IMP)_有效载荷带宽的差异限制在IMP可处理的范围内。

注2 – ODUflex(GFP,n,k)信号可由ODUflex(GFP)信号支持；例如当数据路径宽度 × 系统时钟频率等于 99.5328 Gbit/s ± 20 ppm 时，ODUflex(GFP,n,k=2) 可由 ODUflex(GFP, REG1=n×28, REG2=2231) 支持；ODUflex(GFP,n,k=3)可由例如ODUflex(GFP, REG1=n×35, REG2=2777)支持，而ODUflex(GFP,n,k=4)可由例如ODUflex(GFP, REG1=n×44, REG2=3365)支持。

注3 – ODUflex(IMP,s)信号可由ODUflex(IMP)信号支持；例如当数据路径宽度 × 系统时钟频率等于 99.5328 Gbit/s ± 20 ppm 时，ODUflex(IMP,s) 可由 ODUflex(IMP, REG1=s×9, REG2=173) 支持。

参考文献

- [b-ITU-T G-Sup.43] ITU-T G系列建议书——补充43（2011），
IEEE 10GBASE-R在光传输网络(OTN)中的传输。
- [b-ITU-T G-Sup.56] ITU-T G系列建议书——补充56（2016），*OTN
传输。*
- [b-ITU-T G-Sup.58] 国际电信联盟电信标准化部门G系列建议书——补充58（2020），*光传输网络（OTN）模块帧同步接口（MFIs）。
传输网络（OTN）模块帧同步接口（MFI）。*
- [b-ANSI INCITS 296] ANSI INCITS 296-1997，*信息技术——单字节
命令代码集连接（SBCON）架构。*
- [b-ANSI INCITS 364] ANSI INCITS 364-2003，*信息技术——光纤通道
10千兆比特（10GFC）。*
- [b-CPRI] CPRI规范V5.0（2011-09-21），*通用公共无线电接口（CPRI），接口规范。*
- [b-IB ARCH] InfiniBand 贸易协会（2006），*InfiniBand 架构
规范，第2卷，1.2.1版。*
- [b-IEEE 1588] IEEE 1588:2013，*精密时间协议时间同步
性能。*
- [b-IETF RFC 6205] IETF RFC 6205（2011），*适用于交换功能标签交换路由器的通用标签
标签交换路由器通用标签规范。*
- [b-INCITS 488] INCITS 488:2016，*信息技术——光纤通道帧结构与信号——4（FC-FS-4）。*
- [b-INCITS 470] INCITS 470:2011，*信息技术——光纤通道——帧结构与信号——3（FC-FS-3）。
帧结构与信号——3（FC-FS-3）。*

全球信息基础设施	
总则	Y.100–Y.199
服务、应用程序和中间件	Y.200–Y.299
网络方面	Y.300–Y.399
接口与协议	Y.400–Y.499
编号、寻址与命名	Y.500–Y.599
操作、管理与维护	Y.600–Y.699
Y.600–Y.699	Y.700–Y.799
演出	Y.800–Y.899
互联网协议相关	
一般	Y.1000–Y.1099
服务和应用	Y.1100–Y.1199
架构、访问、网络能力与资源管理	Y.1200–Y.1299
传输	Y.1300–Y.1399
互操作	Y.1400–Y.1499
服务质量与网络性能	Y.1500–Y.1599
信令	Y.1600–Y.1699
操作、管理和维护	Y.1700–Y.1799
收费	Y.1800–Y.1899
基于NGN的IPTV	Y.1900–Y.1999
下一代网络	
框架与功能架构模型	Y.2000–Y.2099
服务质量与性能	Y.2100–Y.2199
服务方面：服务能力与服务架构	Y.2200–Y.2249
服务方面：NGN中服务与网络的互操作性	Y.2250–Y.2299
NGN增强功能	Y.2300–Y.2399
网络管理	Y.2400–Y.2499
网络控制架构与协议	Y.2500–Y.2599
基于分组的网络	Y.2600–Y.2699
安全	Y.2700–Y.2799
通用移动性	Y.2800–Y.2899
运营商级开放环境	Y.2900–Y.2999
未来网络	
云计算	Y.3000–Y.3499
大数据	Y.3500–Y.3599
量子密钥分发网络	Y.3600–Y.3799
物联网与智慧城市及社区	
通用	Y.4000–Y.4049
定义与术语	Y.4050–Y.4099
要求与用例	Y.4100–Y.4249
基础设施、连接性与网络	Y.4250–Y.4399
框架、架构与协议	Y.4400–Y.4549
服务、应用、计算与数据处理	Y.4550–Y.4699
管理、控制与性能	Y.4700–Y.4799
识别与安全	Y.4800–Y.4899
评价与评估	Y.4900–Y.4999

更多详情请参阅国际电联电信标准化部门建议书清单。

国际电联电信标准化部门建议书系列

A系列	国际电信联盟电信标准化部门的工作组织
D系列	资费与会计原则及国际电信/ICT经济与政策问题
E系列	整体网络运营、电话服务、服务运营与人为因素
F系列	非电话电信服务
G系列	传输系统与媒体、数字系统与网络
H系列	视听与多媒体系统
I系列	综合业务数字网
J系列	有线电视网络及电视、声音节目及其他多媒体信号的传输
K系列	干扰防护
L系列	环境与信息通信技术、气候变化、电子废物、能源效率；电缆及其他室外设施元件的建造、安装与保护
M系列	电信管理，包括电信管理网络和网络维护
N系列	维护：国际音频节目和电视传输电路
O系列	测量设备规格
P系列	电话传输质量、电话安装、本地线路网络
Q系列	交换与信号传输及相关测量与测试
R系列	电报传输
S系列	电报服务终端设备
T系列	远程信息处理服务终端
U系列	电报交换
V系列	电话网络上的数据通信
X系列	数据网络、开放系统通信与安全
Y系列	全球信息基础设施、互联网协议相关方面、下一代网络、物联网与智慧城市
Z系列	电信系统的语言与通用软件方面