

国际电信联盟

ITU-T

国际电信联盟
电信标准化部门

G.993.5

(02/2019)

G系列：传输系统与介质，数字系统与网络
数字分区与数字线路系统 – 金属接入网

用于VDSL2收发器的远端自串扰消除（矢量化）

ITU-T G.993.5 建议书

ITU-T G系列建议书
传输系统与介质，数字系统与网络

国际电话连接与电路	G.100–G.199
所有模拟载波传输系统的一般特性	G.200–G.299
金属线路上国际载波电话系统的个别特性	G.300–G.399
无线中继或卫星链路载波电话的一般特性与金属线路互联	G.400–G.449
无线电话与有线电话的协调	G.450–G.499
传输介质与光学系统特性	G.600–G.699
数字终端设备	G.700–G.799
数字网络	G.800–G.899
数字分区与数字线路系统	G.900–G.999
概述	G.900–G.909
光缆系统参数	G.910–G.919
采用基于2048 kbit/s比特率的分级比特率的数字分区	G.920–G.929
电缆上无分级比特率的数字线路传输系统	G.930–G.939
频分复用（FDM）传输承载网络提供的数字线路系统	G.940–G.949
数字线路系统	G.950–G.959
用户接入综合业务数字网（ISDN）用数字分区和数字传输系统	G.960–G.969
海底光缆系统	G.970–G.979
局域网和接入网用光线路系统	G.980–G.989
金属接入网	G.990–G.999
业务多媒体质量和性能 – 通用建议和用户相关的建议	G.1000–G.1999
传输介质特性	G.6000–G.6999
数据传输 – 通用建议	G.7000–G.7999
数据包传输建议	G.8000–G.8999
接入网	G.9000–G.9999

欲了解更多细节，请参阅ITU-T建议书清单。

ITU-T G.993.5 建议书

用于VDSL2收发器的远端自串扰消除（矢量化）

摘要

矢量化是一种利用线路信号协调来降低串扰水平、提高性能的传输方法。提高的程度取决于信道的特性。可以为单个用户或者多个用户的利益而进行矢量化。

ITU-T G.993.5建议书的范围仅限于下行和上行方向的远端自串扰（self-FEXT）消除。本建议书定义了一种远端自串扰消除的方法，用于消除由一组近端收发器产生并干扰同组远端收发器的远端串扰。这种消除发生在甚高比特率用户线2（VDSL2）收发器（收发器不一定有相同的配置）之间。本建议书应与ITU-T G.993.2建议书一起使用。

本版建议书将以前的所有修正和勘误与ITU-T G.993.5建议书2.0版（2015年）整合在一起。

本版ITU-T G.993.5建议书更正或增加了以下功能：

- 更正第8.2条中的刊印错误（勘误1）
- 为配置35b的矢量化而概括了第10.4.2.2条中SOC消息分段（勘误1）
- 收发器O-DEACTIVATING状态（修正1）
- 附件A：缓解强远端串扰（修正2）
- 附件B：矢量化长距离VDSL2（修正2）
- 用长回路操作（附件B）对LR模式下的R-P-VECTOR-2信号进行编码（勘误2）
- 有关MAXNOMATP的长距离VDSL2勘误（新增）。

历史沿革

版本	建议书	批准日期	研究组	唯一ID*
1.0	ITU-T G.993.5	2010-04-22	15	11.1002/1000/10414
1.1	ITU-T G.993.5 (2010) 勘误1	2011-06-22	15	11.1002/1000/11128
1.2	ITU-T G.993.5 (2010) 修正1	2011-12-16	15	11.1002/1000/11396
1.3	ITU-T G.993.5 (2010) 勘误2	2012-06-13	15	11.1002/1000/11643
1.4	ITU-T G.993.5 (2010) 修正2	2012-10-29	15	11.1002/1000/11796
1.5	ITU-T G.993.5 (2010) 修正3	2013-04-22	15	11.1002/1000/11889
1.6	ITU-T G.993.5 (2010) 修正4	2013-08-29	15	11.1002/1000/11993
1.7	ITU-T G.993.5 (2010) 修正5	2014-04-04	15	11.1002/1000/12095
2.0	ITU-T G.993.5	2015-01-13	15	11.1002/1000/12372
2.1	ITU-T G.993.5 (2015) 勘误1	2016-11-13	15	11.1002/1000/13089
2.2	ITU-T G.993.5 (2015) 修正1	2016-12-22	15	11.1002/1000/13121
2.3	ITU-T G.993.5 (2015) 修正2	2017-12-07	15	11.1002/1000/13307
2.4	ITU-T G.993.5 (2015) 勘误2	2018-03-16	15	11.1002/1000/13529
3.0	ITU-T G.993.5	2019-02-22	15	11.1002/1000/13748

关键词

串扰消除、长距离、VDSL2、矢量化。

* 获取建议书，请在web浏览器的地址字段中键入URL <http://handle.itu.int/>，后跟建议书的唯一ID，例如，<http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>。

前言

国际电信联盟（ITU）是从事电信、信息通信技术（ICT）领域工作的联合国专门机构。ITU-T（国际电信联盟电信标准化部门）是国际电信联盟的一个常设机构，负责研究技术、操作和资费问题，并且为在世界范围内实现电信标准化，发表有关上述研究项目的建议书。

每四年一届的世界电信标准化全会（WTSA）确定ITU-T各研究组的研究课题，再由各研究组制定有关这些课题的建议书。

WTSA第1号决议规定了批准建议书须遵循的程序。

属ITU-T研究范围的某些信息技术领域的必要标准，是与国际标准化组织（ISO）和国际电工技术委员会（IEC）合作制定的。

注

本建议书为简明扼要起见而使用的“主管部门”一词，既指电信主管部门，又指经认可的运营机构。

遵守本建议书的规定是以自愿为基础的，但建议书可能包含某些强制性条款（以确保例如互操作性或适用性等），只有满足所有强制性条款的规定，才能达到遵守建议书的目的。“应该”或“必须”等其他一些强制性用语及其否定形式被用于表达特定要求。使用此类用语不表示要求任何一方遵守本建议书。

知识产权

国际电联提请注意：本建议书的应用或实施可能涉及使用已申报的知识产权。国际电联对无论是其成员还是建议书制定程序之外的其他机构提出的有关已申报的知识产权的证据、有效性或适用性不表示意见。

至本建议书批准之日止，国际电联尚未收到实施本建议书可能需要的受专利保护的知识产权的通知。但需要提醒实施者注意的是，这可能并非最新信息，因此特大力提倡实施者通过下列网址查询电信标准化局（TSB）的专利数据库：<http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>。

© 国际电联 2020

版权所有。未经国际电联事先书面许可，不得以任何手段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	2
	3.1 他处定义的术语	2
	3.2 本建议书中定义的术语	2
4	缩略语及首字母缩略词	3
5	参考模型	5
	5.1 概述	5
	5.2 下行矢量化	6
	5.3 上行矢量化	7
6	矢量化组中的中心局侧要求	7
	6.1 概述	7
	6.2 VTU-O下行矢量化要求	8
	6.3 VTU-O上行矢量化要求	14
	6.4 对矢量化控制实体的要求	14
7	对矢量化组中客户驻地侧的要求	14
	7.1 概述	15
	7.2 VTU-R下行矢量化要求	16
	7.3 VTU-R上行矢量化要求	26
	7.4 网络终端（NT）系统的要求	27
8	矢量化相关的嵌入式操作信道消息	29
	8.1 用于反向信道配置的嵌入式操作信道消息	29
	8.2 导频序列更新命令与响应	33
	8.3 功率管理命令和响应	35
9	矢量化组中线对的激活与停用	36
	9.1 有序关闭事件	36
	9.2 无序关闭事件	36
10	矢量化组的初始化	36
	10.1 概述	36
	10.2 ITU-T G.994.1握手阶段	40
	10.3 信道发现阶段	46
	10.4 训练阶段	56
	10.5 信道分析和交换阶段	66
	10.6 从初始化阶段到数据传送阶段的过渡	66
	10.7 回路诊断模式程序	67

	页码
11 配置与测试参数	69
11.1 配置参数	69
11.2 测试参数	71
附件A – 缓解强远端串扰	76
A.1 引言	76
A.2 最小消息开销数据速率的控制参数（修正[ITU-T G.993.2]第9.5.4条） ..	76
A.3 截短误差样本	76
A.4 OLR命令	77
A.5 ITU-T G.994.1握手阶段（修正第10.2条）	78
A.6 TIGAV功能	79
A.7 与MREFPSD相关的主体内容修正	88
A.8 管理	100
附件B – 长距离VDSL2矢量化	102
B.1 简介	102
B.2 初始化程序概述	102
B.3 ITU-T G.994.1握手阶段	104
B.4 VTU-O在信道发现和训练阶段发送的信号	109
B.5 VTU-R在信道发现阶段和训练阶段发送的信号	113
B.6 O/R-P-PROBING-LR信号交换	115
B.7 O/R-P-TRAINING-LR信号交换	121
B.8 长回路操作中的ITU-T G.993.5信道发现阶段和训练阶段	128
B.9 极限功率谱密度掩模的定义	131
B.10 管理	131
B.11 标称总发送功率（NOMATP）（替换[ITU-G.993.2]的10.3.4.2.1条） ..	134
附录I – 串扰信道建模	135
I.1 范围	135
I.2 目的	135
I.3 MIMO串扰信道模型A	135
I.4 MIMO串扰信道模型C	135
附录II – 激活矢量化组多条线路时初始化过程的VCE控制示例	139
II.1 引言	139
II.2 VCE处理两个初始化线路组	139
II.3 VCE使用握手功能	142
附录III – 基于信噪比的远端串扰信道估计方法	143
III.1 工具	143
III.2 从新线路进入已有线路的远端串扰信道估计	143

	页码
III.3 从现有线路进入新线路的远端串扰信道估计	149
参考书目	154

用于VDSL2收发器的远端自串扰消除（矢量化）

1 范围

矢量化是一种利用线路信号协调来降低串扰水平、提高性能的传输方法。提高的程度取决于信道的特性。矢量化可能会针对单一用户或者多个用户的利益。

本建议书的范围仅限于下行和上行方向的远端自串扰（self-FEXT）消除。该建议书定义了一种远端自串扰消除的方法，用于消除了由一组近端收发器产生并干扰同组远端收发器的远端串扰。这种消除发生在甚高比特率用户线2（VDSL2）收发器之间，但收发器不一定有相同的配置。本建议书意在与[ITU-T G.993.2]一起使用。多对数字用户线（DSL）绑定（[b-ITU-T G.998.1]、[b-ITU-T G.998.2]和[b-ITU-T G.998.3]）可能与矢量化一同实施。

在本建议书中描述的技术提供了降低在多线对电缆或电缆线束中的收发器所产生的远端自串扰（self-FEXT）的措施。远端自串扰消除技术非常有益于较短电缆长度（< 1 km）和有限近端串扰（NEXT）、背景噪声和来自不属于该矢量组的系统的远端串扰（外部噪声）。相对于远端自串扰源的非远端自串扰噪声水平决定了降低远端自串扰水平对提高性能的影响程度。另一个重要的因素是远端自串扰消除系统接入电缆干扰对的程度。当远端自串扰消除系统接入所有承载宽带信号的电缆线对时，则可获得最大增益。对多线束电缆，当远端自串扰消除系统接入所使用线束组的所有线对，且至少有能力消除该线束中多数主要远端自串扰干扰源时，有可能获得很大的增益。当多个远端自串扰消除系统被部署在一根没有线束管理的电缆中时，增益可能会显著降低。

2 参考文献

下列ITU-T建议书和其他参考文献中的规定，通过在本建议书中的引用而构成本建议书的条款。出版时所显示的版本是有效的。所有的建议书和其他参考文献均需修订；本建议书的使用者应查证是否有可能使用下列建议书或其他参考文献的最新版本。当前有效的ITU-T建议书清单定期出版。本建议书引用的文件自成一体时不具备建议书的地位。

[ITU-T G.993.2] ITU-T G.993.2建议书（2019年），甚高速数字用户线收发器2（VDSL2）。

[ITU-T G.994.1] ITU-T G.994.1建议书（2018年），数字用户线收发器握手程序。

[ITU-T G.997.1] ITU-T G.997.1建议书（2019年），数字用户线收发器物理层管理。

[ITU-T G.998.4] ITU-T G.998.4建议书（2018年），数字用户线（DSL）收发器用改进脉冲噪声保护。

3 定义

3.1 他处定义的术语

本建议书采用[ITU-T G.993.2]中的定义。

3.2 本建议书中定义的术语

本建议书定义了下列术语：

3.2.1 反向信道 (backchannel)： VTU-R将截短误差样本发送给矢量化控制实体 (VCE) 所使用的信道。反向信道可以作为嵌入式操作信道的一部分或从VTU-R到VTU-O的以太网数据流的一部分来实现。

3.2.2 向上取整 (ceiling)： 舍入到最接近的较大整数，记作 $\lceil x \rceil$ 。

3.2.3 信道矩阵 (channel matrix)： 对于一组线路中的特定线路，信道矩阵描述了该线路和该组中所有其他线路之间每个子载波频率上远端串扰耦合。

3.2.4 截短误差样本 (clipped error sample)： 用 $(B_{max}+1)$ 位二进制补码表示的归一化误差样本，通过每个分量乘以 $2^{N_{max}-1}$ ，向下取整并截短至区间 $[-2^{B_{max}}, 2^{B_{max}}-1]$ (N_{max} 是定值， B_{max} 为矢量化控制实体控制的值)。

3.2.5 预期吞吐量 (expected throughput) (ETR)： 参阅[ITU-T G.998.4]第3.2条。

3.2.6 标志音 (flag tones)： 索引等于 $10n+1$ 或 $10n+7$ 的所有同步信号的子载波， n 为整数值。标志音用于在数据传送阶段发出OLR转换信号。

3.2.7 向下取整 (flooring)： 舍入到最接近的较小整数，记作 $\lfloor x \rfloor$ 。

3.2.8 归一化误差样本 (normalized error sample)： VTU-R测得的复误差，是接收信号矢量和用作星座解扰器输入的判决星座点之间的距离，用两个相邻星座点之间距离的一半为单位表示。

3.2.9 导频序列 (pilot sequence)： 矢量化控制实体设定的二进制序列。当导频序列是在初始化阶段和数据传送阶段传输时，导频序列的每个比特分别确定VTU-O (下行导频) 或VTU-R (上行导频) 在特定同步符号的所有探测音上调制“0”还是“1”。

3.2.10 探测音 (probe tones)： 索引等于 $10n$ 、 $10n+2$ 、 $10n+3$ 、 $10n+4$ 、 $10n+5$ 、 $10n+6$ 、 $10n+8$ 或 $10n+9$ 的同步符号的所有子载波，其中 n 为整数值。探测音用于传输导频序列。

3.2.11 同步标志 (Syncflag)： 是一个同步符号。在同步符号中，调制了标志音的同步帧位与用最新传输的同步符号调制的同步帧反向相关 (即，如果之前的同步帧都用“0”调制到标志音，则同步标志将对应于用“1”调制到标志音上的同步帧，反之亦然)。同步标志用作在线重新配置转换信号。

3.2.12 矢量化组 (vectored group)： 表示线路的集合，从接入节点 (AN) 经由这些线路的传输可通过预补偿得到调整 (下行矢量化)，或者在接入节点上经由这些线路的接收可通过后补偿得到协调 (上行矢量化)，或者两个方向都得到协调。依矢量化组配置的不同，既可以启用下行矢量化，也可以启用上行矢量化，还可以都启用或都不启用。

3.2.13 矢量化 (vectoring)：使用技术来缓解串扰的不利影响、提高性能的多路DSL收发器信号协调传输和/或协调接收。

4 缩略语及首字母缩略词

本建议书采用[ITU-T G.993.2]中定义的缩略词。此外，本建议书使用以下缩写词：

ACTATP	实际总发射功率
AFE	模拟前端
AN	接入节点
ATP	总发送功率
BDR	反向信道数据率
CO	中心局
CO-MIB	中心局管理信息库
CO-side	离中心局较近的线路端
CP	客户驻地
CP-side	离客户端较近的线路端
DMT	离散多音频
DSE	无序关闭事件
DSL	数字用户线
EC	回波消除器
eoc	嵌入式操作信道
ERB	误差报告块
ETR	预期吞吐量
FEXT	远端串扰
HDLC	高级数据链路控制
IDFT	离散傅里叶反变换
L2+	2层以上以太网
ME	管理实体（或平均误差）
MIMO	多输入多输出
NEXT	近端串扰
NDR	净数据速率
NMS	网络管理系统
NOMATP _{ds}	下行标称总发送功率
NOMATP _{us}	上行标称总发送功率
NT	网络终端

PCB	功率回馈
PDF	概率密度函数
PMD	物理介质相关
PSD	功率谱密度
QAM	正交幅度调制
OLR	在线重新配置
ONU	光网络单元
QLN	静默线路噪声
RT	远程终端
RTX	重传
SC	分段代码
SNR	信号噪声比
SOC	专用操作信道
SOS	挽救数据传送时间
SRA	无缝速率适配
SSC	同步信号计数器
TA	时间超前量
TEQ	时域均衡器
TID	TIGAV识别号
TIGAV	发送器为VDSL2进行的增益调节
UPBO	上行链路功率回馈
VBB	矢量化带阻
VCE	矢量化控制实体
VDSL2	甚比特率数字用户线2
VDSL2-LR	矢量化VDSL2的远距离模式
VME	VDSL2管理实体
VTU	甚高速数字用户线收发单元
VTU-O	光网络单元（或中心局、交换机、机柜等，即回路的操作员端）处的甚高速数字用户线收发单元
VTU-R	远端站点处的甚高速数字用户线收发单元
XTU-C	中心局X数字用户线收发单元
XTU-R	远端X数字用户线收发单元

5 参考模型

5.1 概述

图5-1所示的是一个矢量化系统的参考模型。在矢量化系统中，位于中心局（CO）、远程终端（RT）或其他位置的接入节点（AN）传输给多个网络终端（NT）或从多个网络终端（NT）接收数据。所有形式的矢量化的共性是协调传输（下行链路矢量化）或协调接收（上行链路矢量化）来自接入节点矢量化组线路的信号。因此，信号可以表示为一个矢量，其中每个信号分量是某一条线路上的信号。通过光网络单元（ONU）处的甚高速数字用户线收发单元（VTU）（VTU-O）（此处称为VTU-O-1）与所有其他VTU-O（此处称为VTU-O- n , $n=2\dots N$ ，其中， N 表示矢量化组中的线路数）之间的接口就可以进行上述协调，此处用 $\varepsilon-1-n$ 表示线路1和线路 n 之间的协调。

线路的协调管理是由网络管理系统（NMS）通过Q接口（参阅第11条）向管理实体（ME）传送管理信息来实现的。[ITU-T G.997.1]定义了网络管理系统和管理实体。在接入节点内，管理实体进一步为特定的线路（通过本建议书中称为 $\varepsilon-m$ 的接口）向该线路所属矢量化组的矢量化控制实体（VCE）传送管理信息。每个矢量化控制实体控制一个矢量化组，并通过本建议书中称为 $\varepsilon-c-n$ 的接口控制VTU-O- n （在矢量化组中连接到线路 n ）。预编码器数据通过本建议书中称为 $\varepsilon-n1-n2$ 的接口在VTU-O- $n1$ 和VTU-O- $n2$ 之间进行交换。

图5-1显示了矢量化系统的参考模型（仅显示了 N 条线路的矢量化组中的第1条线路）。标有“PHY”字样的方框表示朝向网络的接入节点接口的物理层和朝向客户驻地的网络终端接口的物理层。显示这些方框只是出于数据流的完整性考虑，但超出了本建议书的范围。标有“2层以上以太网（L2+）”字样的方框表示接入节点和网络终端中包含的2层和2层以上以太网功能。显示这些方框只是出于数据流的完整性考虑，但超出了本建议书的范围，反向信道的封装（网络终端处）和解封装（接入节点处）除外（请参阅7.4.1条）。

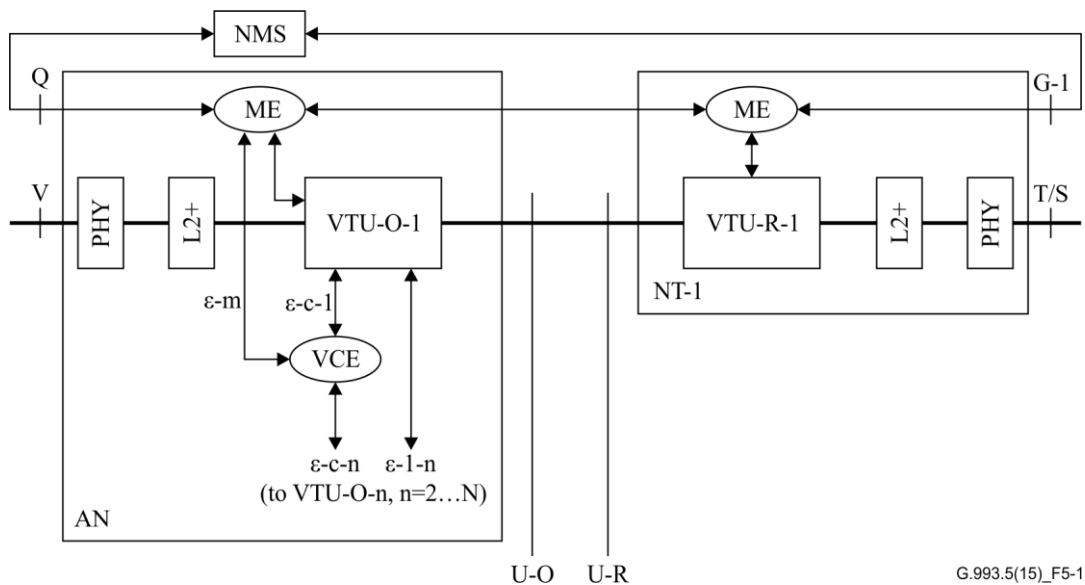


图5-1 – 矢量化系统的参考模型（仅显示了 N 条线路的矢量化组中的第1条线路）

采用[b-ITU-T G.998.1]、[b-ITU-T G.998.2]和[b-ITU-T G.998.3]等建议书，可以通过在客户驻地部署多条线路的方式来提高数据速率，这是一项称为绑定的技术。

注 – 矢量化不是绑定的别称；绑定可以与矢量化一同使用，也可以不一同使用。通过绑定的线路来使用矢量化技术通常被定义为绑定矢量化或定义为多输入多输出（MIMO）DSL。

本建议书的重点是在未经绑定的线路上使用矢量化技术，虽然这样做也不排除在绑定了的线路上使用矢量化技术。

通过在下行方向上使用联合信号处理（协调传送）或在上行方向上使用联合信号处理（协调接收），矢量化后的VDSL2系统的性能得到了改善，可以消除远端自串扰（即矢量化组的线路产生的远端串扰）。矢量化系统中矢量化线对组之外的噪声源（例如，来自另一服务提供商所经营的线路上的外部串扰、来自调幅广播信道的干扰或来自高于调幅广播频段的业余无线电（“HAM”）发射机）降低了远端串扰消除带来的好处，也降低了矢量化系统所提供的性能增益。

5.2 下行矢量化

对于VDSL之类的线路相对较短但带宽很宽的系统，远端自串扰是下行数据速率的一个限制因素。本建议书根据远端串扰的“预衰减”或“预补偿”功能，在满足发射功率限制的条件下，在接入节点上定义了多线路预编码功能，以此消除下行方向上的远端串扰。为了适应上述预编码，[ITU-T G.993.2]物理介质相关（PMD）子层被修改为如图5-2所示的形式（改编自[ITU-T G.993.2]的图10-1，不同之处用阴影显示）。图5-2显示的是 N 条线路中的第1条线路的VTU-O功能模型。对于矢量化组中的每一条线路，物理介质相关（PMD）子层包含一个 $N \times 1$ 预编码器。在整个矢量化组中，每 N 条线路的 N 个预编码器构成了如图6-1所示的远端串扰消除预编码器。

注 – 预编码器可以在与图5-2所示其他功能块相同的物理设备中实现，也可以在不同的物理设备中实现。

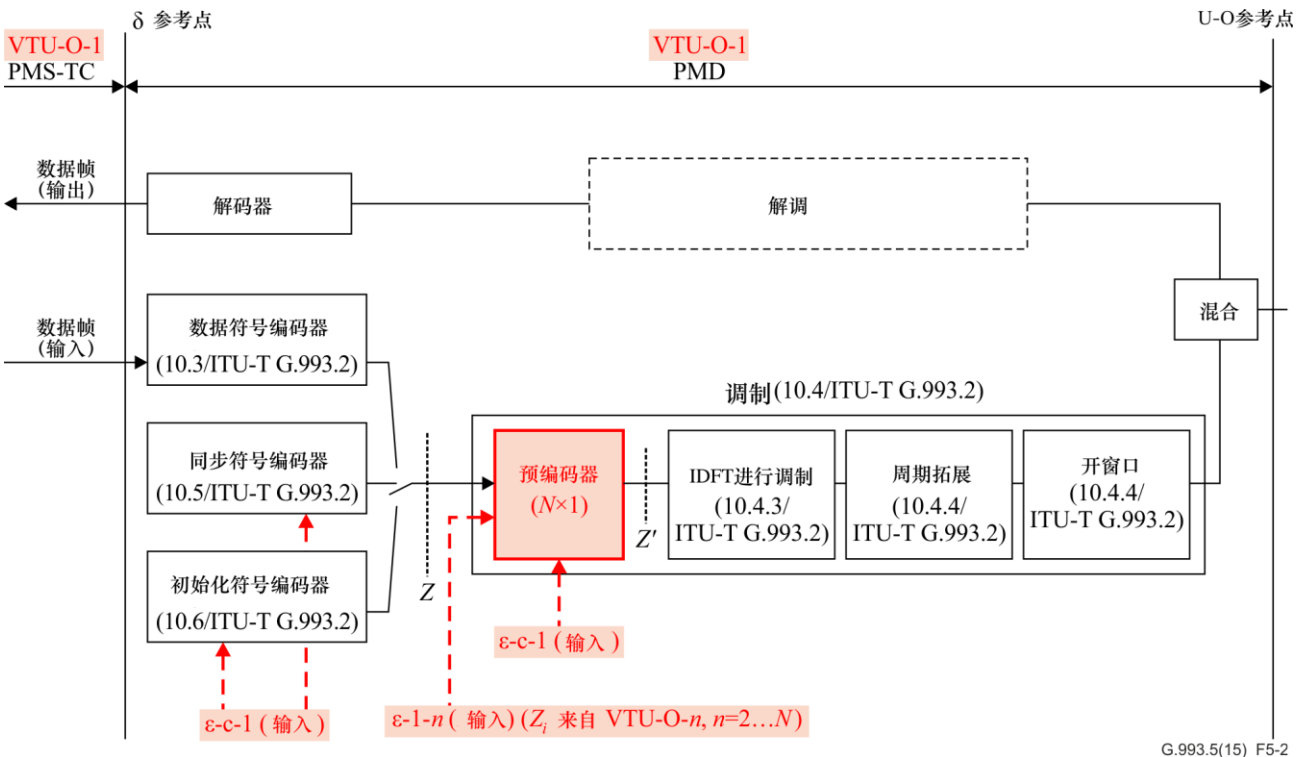


图5-2 – 使用 $N \times 1$ 预编码器进行下行矢量化的PMD子层的VTU-O功能模型（仅显示了 N 条线路的矢量化组中的第1条线路）

[ITU-T G.993.2]的图10-1给出了物理介质相关子层在远程站点处（VTU-R）的甚高速数字用户线收发单元功能模型，同步符号编码器和初始化符号编码器使用了矢量化相关的控制信号对同步符号进行导频序列调制，类似于图5-2所示的情形（请参阅10.3条和10.4条）。

5.3 上行矢量化

上行矢量化主要是离中心局（CO侧）较近的线路末端处的一个接收功能，因此，其实现由供应商来选择。本建议书只定义了VTU-R发射机要求，以便于在中心局侧消除上行远端串扰（例如，传输上行导频序列，定时和内容由矢量化控制实体控制）。

6 矢量化组中的中心局侧要求

本条描述了中心局侧支持 N 线对矢量化组操作的稳态行为。

6.1 概述

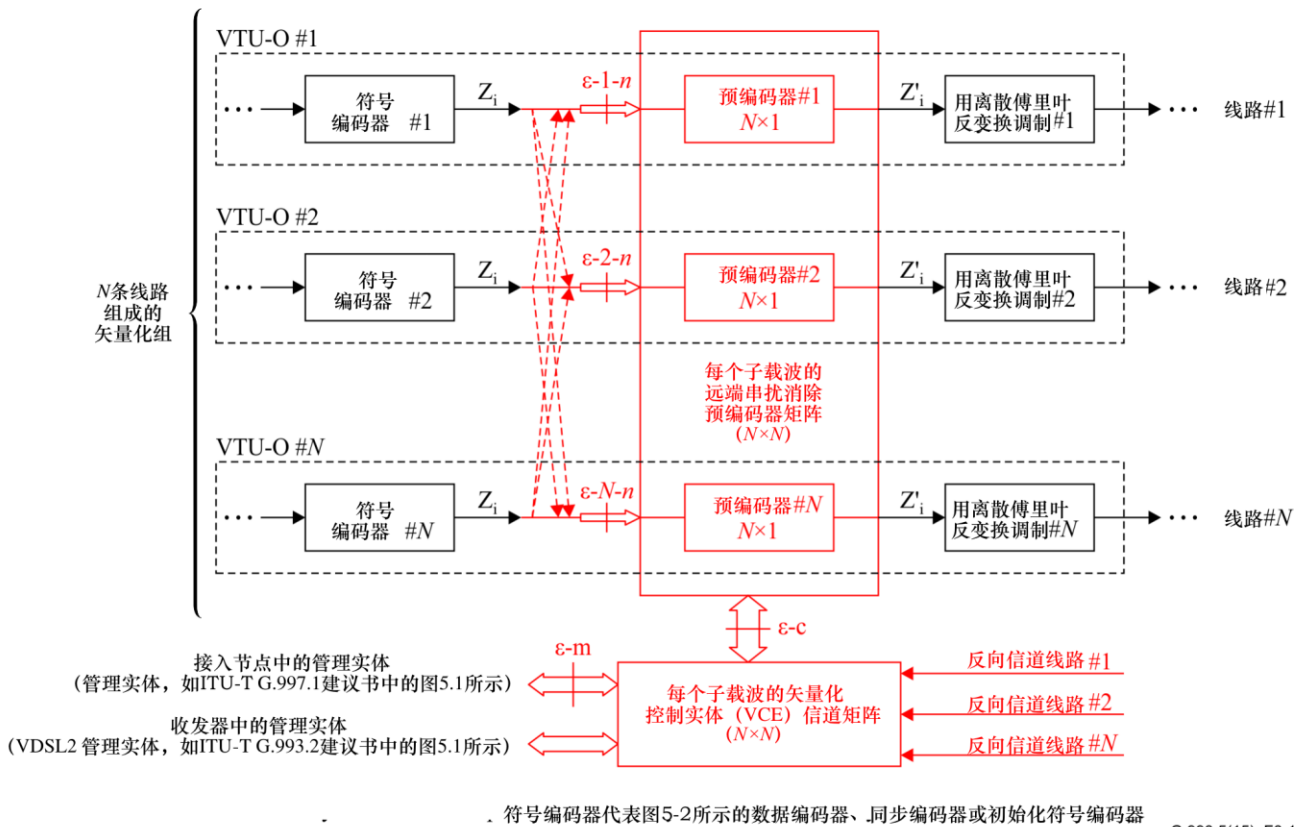
图6-1显示的是在接入节点处针对矢量化组中所有线路使用下行远端串扰消除预编码的功能模型，可以看作是从信号处理的角度对图5-2进行概括。该模型只显示了下行符号编码器阵列（代表图5-2所示的数据编码器、同步编码器或初始化符号编码器）的一部分和VTU-O的离散傅里叶反变换（IDFT）功能块所调制以及插入符号编码器之间的远端串扰消除预编码器和IDFT功能块调制。

矢量化组的矢量化控制实体学习并管理每个矢量化子载波的信道矩阵，信道矩阵反映所管理线路组的信道特性。在如图6-1所示的功能模型中，每个矢量化子载波的信道矩阵是一个 $N \times N$ 矩阵，其中 N 为矢量化组中线路的数量。

从信道矩阵可以推导出远端串扰预编码器的矩阵，并用于补偿来自矢量化组每条线路的远端串扰。在图6-1所示的功能模型中，这由每个大小为 $N \times N$ 的矢量化子载波的远端串扰消除预编码器矩阵表示。这个远端串扰消除预编码矩阵可以是“稀疏”矩阵（见注）。如果知道每个扰动信道上的传输符号，预编码器就会预先补偿实际传输符号，这样就会大大降低远端接收机输入端的串扰。

注 – 一般情况下，出于实现的原因或因为串扰系数非常小，部分预编码器系数可以被设为0。

信道矩阵和推导出的远端串扰消除预编码器矩阵都被假设为完全在接入节点内接受管理。在每个矢量化线路行中，VTU-O和VTU-R之间需要进行信息交换，用于学习、跟踪和维护信道矩阵和相关的远端串扰消除预编码器矩阵（参见第7条中的反向信道定义和第10条中的初始化的定义）。处理这些信息来获得信道矩阵和生成远端串扰消除预编码器矩阵的实际算法由供应商自行决定。根据实现的不同，矢量化控制实体可以直接确定远端串扰消除预编码器矩阵，并且只对信道矩阵进行隐式学习。



G.993.5(15)_F6-1

图6-1 – 物理介质相关子层采用 $N \times N$ 预编码器进行下行矢量化的矢量化组功能模型

VTU-O应支持下行矢量化（见6.2条），并可以支持上行矢量化（见6.3条）。

如[ITU-T G.993.2]13.1条定义，VTU-O在下行和上行方向上应支持无缝速率适配（SRA）、类型3在线重新配置（OLR），包括对下列配置的SRA的强制性支持：

- 动态交织器重新配置（改变 D_p ）；
- 帧重构（改变 T_p 、 G_p 和 B_{p0} ）。

如果在特定方向上启用了[ITU-T G.998.4]，则VTU-O也应在相同的方向上支持无缝速率适配（SRA、OLR类型5），包括[ITU-T G.998.4]C.3.2条所规定的所有配置的无缝速率适配的强制性支持。

6.2 VTU-O下行矢量化要求

VTU-O应遵守[ITU-T G.993.2]，但不包括本建议书中包含的例外和额外要求。

为了使矢量化控制实体能够完成6.1条所述的任务，VTU-O应支持本条和以下各条中的要求。

6.2.1 同步模式

在VCE控制中，所有的VTU-O必须使用相同的子载波间隔和相同的符号速率，并且在矢量化组中的所有线路上必须在同一时间开始传送离散多音（DMT）符号。在矢量化组中的所有VTU-O上，发送符号的时钟必须是相位同步的，在[[ITU-T G.993.2]图5-4所定义的U-O2参考点上的最大相位误差容差为1 μ s。

6.2.2 同步符号位置

VTU-O应有能力传送[ITU-T G.993.2]第10.2条所定义的同步符号。下行同步符号时间位置由矢量化控制实体决定。矢量化控制实体可以配置矢量化组中的所有VTU-O，以便在同一时间位置传输下行同步符号，或对矢量化组中的一个或多个VTU-O使用不同的时间位置。

VTU-O应始终开启一个在数据传送阶段连续计数的下行同步符号计数器（SSC）（MODULO N_{SSC} ）。 N_{SSC} 的值应由矢量化控制实体选择，并在初始化阶段通过信号O-SIGNATURE将该值传送给VTU-R（见10.3.2.1条）。进入数据传送阶段传送的第一个下行同步符号的计数器值应由矢量化控制实体设置，并通过在误码反馈命令的字段“First SSC”传送给VTU-R（见表8-3）。

注 – 数据传送阶段开始时的这个设置将下行同步符号计数器与VTU-R同步（见7.3.3条）。

6.2.3 导频序列的调制

VTU-O应有能力在初始化阶段将矢量化控制实体所指定的下行导频序列调制到下行同步符号的所有探测音上（见10.3.3.1条），也应能在数据发送阶段将该导频序列调制到下行同步符号的所有探测音上（见3.2.10条）。下行导频序列由供应商决定，由矢量化控制实体决定具体的使用。该序列是一个长度为 N_{pilot_ds} 的二进制串（位数索引从0到 $N_{pilot_ds} - 1$ ，索引为0的位最先发送）。如果启用“导频序列长度为4的倍数”（见10.2条），则 N_{pilot_ds} 的有效值都是4的倍数，范围为8至512。否则， N_{pilot_ds} 的有效值应为8至512范围内2的所有幂。 N_{pilot_ds} 位后，导频序列应周期性重复，矢量化控制实体改变下行导频序列的情形除外。矢量化控制实体可以随时改变下行导频序列的位，无需通知VTU-R，但导频序列的长度保持不变。初始化阶段，VTU-O可以用下行导频序列（与调制探测音相同）调制下行同步符号的标志音，也可以使用全1序列。

在数据发送阶段，第一个下行同步符号位置应为10.6条所定义的。每个同步符号应调制一个导频序列，该序列可以与频率相关，也可以与频率无关。

将一个频率无关导频序列调制到同步符号探测音上被定义为调制到探测音上的同步帧位是否被设置为全“0”（如果导频序列为位0）或设置为全“1”（如果导频序列为1）（即一个比特控制一个同步符号）。

将一个频率相关的导频序列调制到同步符号探测音上被定义为调制到探测音上的同步帧位是否被设置为“00”（如果该探测音所用导频序列位为0）或设置为“11”（如果该探测音所用导频序列位为1）。对于特定同步符号的音频信号，导频序列位应有10个音的周期（考虑探测音和标志音）。

调制到标志音上的同步帧位（见3.2.6条）应用于传送[ITU-T G.993.2]第10.5.3条所定义的Syncflag。同步帧应调制到[ITU-T G.993.2]第10.5条所定义的同步符号上（包括所有MEDLEY子载波的象限扰频，不论是否是标志音还是探测音）。

6.2.4 预编码

当启用下行矢量化时，VTU-O应支持远端串扰消除预编码，如图5-2和图6-1所示。每个VTU-O的预编码系数（见6.1条）应处于矢量化控制实体的控制之下。

6.2.5 收发器状态和收发器状态图（取代[ITU-T G.993.2]第12.1.2条）

注1 – 本条取代[ITU-T G.993.2]第12.1.2条作为VTU-O的适用条款。针对VTU-R的收发器状态和收发器状态图的要求不变。

VTU-O的状态图见图6-2，VTU-R的状态图见[ITU-T G.993.2]的图12-3。状态是由椭圆形来表示的，状态的名称标在椭圆内。表6-1和[ITU-T G.993.2]的表12-2分别定义了VTU-O和VTU-R的各个状态。状态之间的转换用箭头表示，而引起转换的事件标在该箭头旁边。所有状态都是强制性的。

为了提供示例事件和状态之间的转换，两个状态图中显示了各种“主机控制器”命令（事件的前导字符用“c:”和“r:”）。这些事件的实现方法由供应商来处理。

在VTU-O的状态图中，O-IDLE状态的目的是建立一种静默模式，该模式对于允许[ITU-T G.996.2]中定义的不连续服务或进行特定的测试来说是必要的。

VTU-R的状态图中，希望有一个自测试功能，但如果需要进行自测试时（例如，通常在加电或只受VTU-O的控制）以及成功自测完成后会发生什么样的状态转换（例如，输入R-IDLE或输入R-SILENT）时，该功能可以作为供应商或客户的一个选择。

VTU通过某个管理接口为运营商提供所需要的服务时，IDLE是一个状态。在这个状态下，VTU不发送任何信号。需要接收一个高层信号来激活的VTU（VTU-O使用命令c:_L0_request，VTU-R使用命令r:_L0_request）应使用12.3条定义的初始化程序，以便将连接从L3转换到L0状态。在U参考点检测到初始化程序信号的VTU如果已启用，则应通过使用初始化程序来响应。如果被禁用，VTU应保持在IDLE状态。

一旦初始化程序成功完成，连接过渡到L0状态，并且两个VTU都处于SHOWTIME状态。收到导引功率管理命令（c:_L3_request，见11.2.3.9条）或收到重新初始化策略触发的重新初始化命令（见12.1.4条）后，VTU-O应返回到O-SILENT状态。收到导引功率管理命令（r:_L3_request，见11.2.3.9条）或收到重新初始化策略触发的重新初始化命令（见12.1.4条）后，VTU-R应返回到R-SILENT状态。如果前者出现，VTU-R应设置AUTO_init=OFF来禁用自发进入R-INIT/HS状态。如果后者出现，VTU-R应设置AUTO_init=ON来启用自发进入R-INIT/HS状态。

接收VTU应根据持续LOS和/或LOF故障（见12.1.4条）信号的情况从SHOWTIME状态转换。这意味着如果没有high_BER-hs或high_BER-fs事件导致接收VTU较早地转换状态，则接收VTU转换状态前，持续LOS和/或LOF故障信号可以让发送VTU通过指示符位检测LOS或LOF故障状态。

注2 – High_BER-fs事件与快速启动相关，这需要进一步研究（见12.5条）。

接收VTU还应通过high_BER事件转换状态（见12.1.4条）。该事件与的近端和/或远端性能基元和性能计数器相关，性能基元和计数器可以通过CO-MIB配置阈值，用于报告high_BER事件超过阈值。

收到导引功率管理命令（c:_L3_request）或重新初始化策略触发重新初始化后，VTU-O应经过O-DEACTIVATING状态进入O-SILENT状态。

注3 – 将O-DEACTIVATING的持续时间（供应商自由决定）设置为0，实现了从O-SHOWTIME状态到O-SILENT状态的立即转换。

当VTU-O从O-SHOWTIME状态转换到O-DEACTIVATING状态然后再转换到O-SILENT时，VTU-R检测持续LOS故障信号。如果检测到，VTU-R应转换到R-SILENT状态，然后再转换到R-INIT/HS状态，并应在VTU-O转换到O-SILENT状态后不超过6 s的时间内开始发送R-TONES-REQ信号。

当VTU-O从O-INIT/TRAIN状态转换到O-DEACTIVATING状态，然后再转换到O-SILENT状态时，VTU-R检测训练故障信号。如果检测到训练故障信号，VTU-R应转换到R-SILENT状态，然后再转换到R-INIT/HS状态。

注4 – 图6-2所示的是从O-INIT/TRAIN状态直接转换到e O-SILEN状态的情况。以此作为一个经由O-DEACTIVATING状态的转换过程，该转换过程的时间长度由供应商自由决定，并且可以是零DMT符号。

当VTU-R从R-SHOWTIME状态转换到R-SILENT状态时，VTU-O检测持续LOS故障信号。如果检测到，VTU-O应转换到O-DEACTIVATING状态，然后再转换到O-SILENT状态，然后等待接收R-TONES-REQ（VTU-R初始化的HS）信号或转换到O-INIT/HS状态（VTU-O初始化的HS）。

注5 – VTU-O处于O-DEACTIVATING状态时，矢量化控制实体可以在数据传送线路中更新远端串扰消除系数。

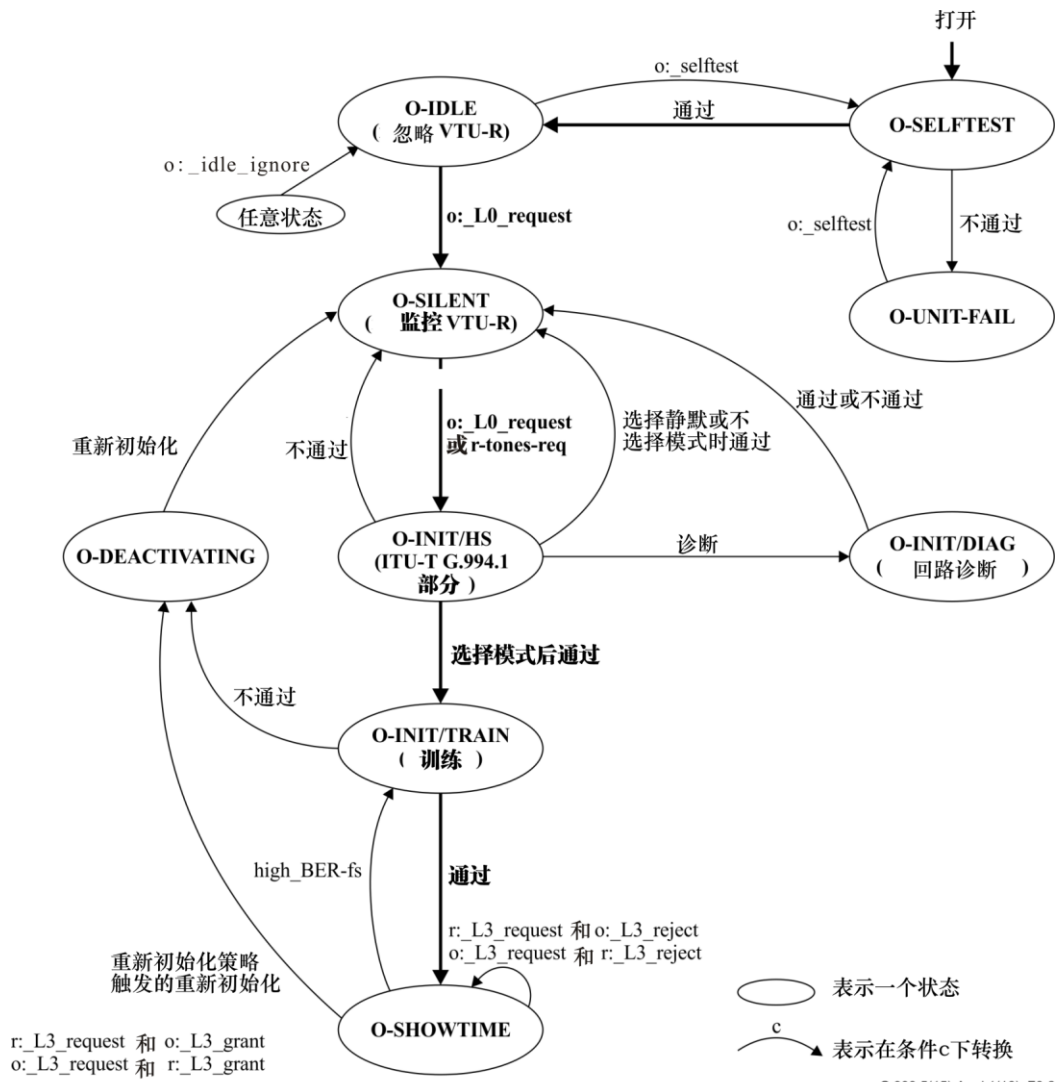


图 6-2 – VTU-O的状态图

表6-1 – VTU-O状态的定义

状态名称	描述
O-SELFTEST (强制)	<ul style="list-style-type: none"> • 开启电源以后进入的VTU完成自测试的临时状态； • 发射机关闭（在U-O接口上QUIET）； • 接收机关闭（对R-TONES-REQ信号无响应）； • 对主机控制信道无响应； • 若自测通过，则转换到O-IDLE状态； • 若自测失败，则转换到O-UNIT-FAIL状态。
O-UNIT-FAIL (强制)	<ul style="list-style-type: none"> • VTU自测失败后进入的稳定状态； • 发射机关闭（在U-O接口上QUIET）； • 接收机关闭（对R-TONES-REQ信号无响应）； • 如有可能，监控主机控制信道（允许主机控制器检索自测结果）。
O-IDLE (强制)	<ul style="list-style-type: none"> • 自测成功后进入的稳定状态； • 发射机关闭（在U-O接口上QUIET）； • 接收机关闭（对R-TONES-REQ信号无响应）； • 监控主机控制信道。
O-SILENT (强制)	<ul style="list-style-type: none"> • [ITU-T G.994.1]中定义的稳定状态，根据主机控制器命令； • 发射机关闭（在U-O接口上QUIET）； • 接收机打开（监控R-TONES-REQ信号，若检测到，转换到O-INIT/HS状态）； • 监控主机控制信道。
O-INIT/HS (强制)	<ul style="list-style-type: none"> • 为执行ITU-T G.994.1初始化阶段而进入的临时状态； • 发射机打开（从发送C-TONES信号开始）； • 接收机打开（从监控R-SILENT0信号开始）； • 监控主机控制信道。 • 若选择静默周期或不选择模式，则转换到O-SILENT1状态； • 若是回路诊断模式，则转换到O-INIT/DIAG状态； • 若选择操作模式，则转换到O-INIT/TRAIN状态。
O-INIT/TRAIN (强制)	<ul style="list-style-type: none"> • 为了执行初始化的其他阶段所进入的临时状态； • 发射机打开（从O-P-QUIET1开始）； • 接收机打开（从监控R-P-QUIET1开始）； • 若初始化通过，则转换到O-SHOWTIME状态； • 若初始化失败，则转换到O-DEACTIVATING状态； • 监控主机控制信道。
O-INIT/DIAG (强制)	<ul style="list-style-type: none"> • 在回路诊断模式中，为了完成初始化的其余阶段而进入的临时状态； • 发射机打开（从O-P-QUIET1开始）； • 接收机打开（从监测R-P-QUIET1开始）； • 转换到O-SILENT状态； • 监控主机控制信道。

表6-1 – VTU-O状态的定义

状态名称	描述
O-SHOWTIME (强制)	<ul style="list-style-type: none"> 一个或多个承载信道被激活时的稳定状态； 在这一状态下出现在线重新配置； 条件满足重新初始化策略 ($Rlpolicy_n$)，则转换到O-DEACTIVATING状态； 如果准许链路转换到L3状态，则转换到O-DEACTIVATING状态； 监控主机控制信道。
O-DEACTIVATING (强制)	<ul style="list-style-type: none"> 线路转换到L3状态时进入的临时状态。该状态的持续时间由供应商自行决定，可以为零态； 发射机打开：VTU-O在下行方向上发送预补偿信号Z_i时，应不发送直接信号（即，对于所有子载波，$Z_i=0$）； 接收机打开：VTU-O可以接收上行信号来支持上行远端串扰消除； 矢量化控制实体可以更新下行和上行远端串扰消除系数； 由矢量化控制实体控制时，VTU-O转换到O-SILENT状态。

6.3 VTU-O上行矢量化要求

中心局侧的实现由供应商自由决定，不包括从矢量化控制实体到距离客户驻地（CP侧）最近的线路末端传输同步符号定时参数和上行矢量化控制参数所需的能力。第10条定义了这些要求，并将这些要求应用于矢量化组的每一个VTU-O单元。

VTU-O应符合[ITU-T G.993.2]的要求，还应符合本建议书的例外和附加要求。

初始化阶段，矢量化组中的每个VTU-O都应有能力向VTU-R传送时间标志，用以表示活动线路上哪个符号与数据传送阶段同步符号所在的时间位置相同。第10.3.3.5条定义了这类时间标志调制到这类符号上的方法。

VTU-O应有能力从矢量化控制实体向客户驻地传送第7条和第10条定义的上行矢量化组的控制参数。

上行矢量化启用后，如果不是上行同步符号的所有探测音都有相同的符号，但同步符号音调的符号格式有10个音的周期（考虑探测音和标志音），则VTU-O应支持这类操作。

6.4 对矢量化控制实体的要求

矢量化控制实体应支持下行矢量化。

矢量化控制实体应包括需要由管理实体通过 ϵ -m接口控制的使用 $B_{min}=0$ 的能力（ B_{min} 的定义见表7-1，有效值见表7-2）。

7 对矢量化组中客户驻地侧的要求

本条描述作为N线对矢量化组一部分的客户驻地侧稳态行为。

7.1 概述

VTU-R应通过反向信道（定义见7.2.2条至7.2.4条）向矢量化组的矢量化控制实体发送截短误差样本（定义见第7.2.1条）。VTU-R应支持反向信道信息的2层以太网封装（定义见7.4.1条），并应支持嵌入式操作信道（eoc）封装（定义见7.4.2条）。矢量化控制实体应选择所使用的封装方法，并在初始化阶段与VTU-R沟通这一设置（见10.5.2.1条）。在数据传输阶段，所设定的封装方法应保持不变。

图7-1所示的是2层封装的反向信道信息流参考模型。在网络终端，截短误差样本首先从VTU-R发送到L2+功能块（streamBC.indicate原语），这些样本被封装到2层传输协议中（定义见7.4.1条）并进一步复用到一个上行以太网（或ATM中继以太网）数据流（stream(n).confirm，见[ITU-T G.993.2]附件K）中。在接入节点上，2层封装在L2+功能块中解封后将截短误差样本传送给矢量化控制实体（streamBC.indicate原语）。

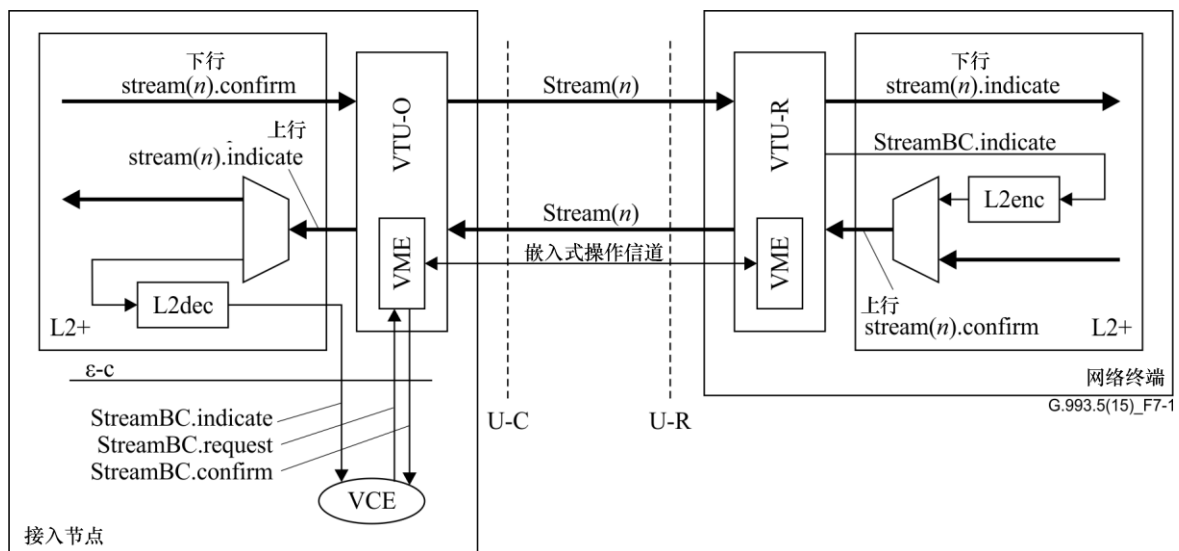


图7-1 - 2层封装的反向信道信息流参考模型

图7-2所示的是嵌入式操作信道封装的反向信道信息流参考模型。在VTU-R中，截短误差样本发送给VDSL2管理实体（VME），在VDSL2管理实体（VME）中被封装到8.1条所定义的嵌入式操作信道消息中。在VTU-O的VDSL2管理实体端（见[ITU-TG.993.2]第11.2条，VME），嵌入式操作信道封装解封，并将截短误差样本发送给矢量化控制实体（streamBC.indicate原语）。

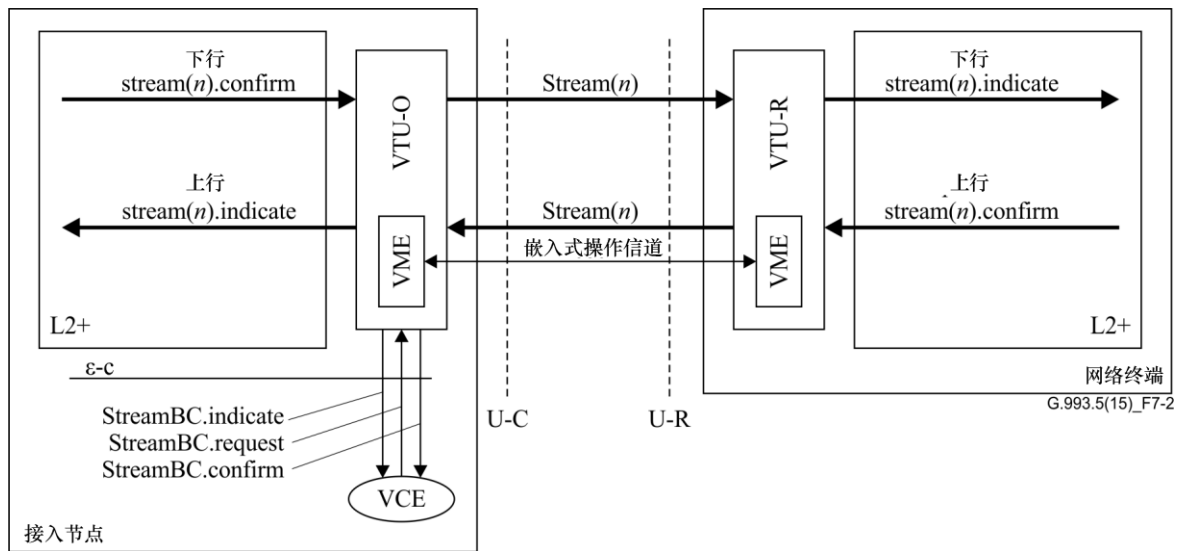


图7-2 – 嵌入式操作信道封装的反向信道信息流参考模型

不论采用何种反向信道封装方法，矢量化控制实体都将与VTU-O VME通信来设置反向信道控制参数（定义见表7-1），例如，VTU-R应通过反向信道为哪个子载波发送截短误差样本（streamBC.request原语）。VTU-O VME使用嵌入式操作信道命令（定义见8.1条）将这些反向信道控制参数发送给VTU-R VME，并将从VTU-R VME嵌入式操作信道响应中接收到的信息传递给矢量化控制实体（streamBC.confirm原语）。

VTU-R应支持下行和上行反向上的无缝速率适配（SRA，OLR类型3），包括强制性支持下列[ITU-T G.993.2]第13.1条所定义操作（标题为“在线重新配置的类型”）的无缝速率适配：

- 动态交织器重新配置（改变 D_p ）；
- 成帧重新配置（改变 T_p 、 G_p 和 B_{p0} ）。

如果在特定方向上启用[ITU-T G.998.4]，则VTU-R还应在相同的方向上支持无缝速率适配（SRA，OLR类型5），包括强制支持[ITU-T G.998.4]第C.3.2条中所规定的所有配置的无缝速率适配。

7.2 VTU-R下行矢量化要求

VTU-R应遵从[ITU-T G.993.2]，还应遵从本建议书中所包含的的例外和附加要求。

本建议书规定，初始化阶段和数据传送阶段的同步符号的所有探测音可以有相同的符号（即，调制一个频率无关导频序列，见6.2.3条），也可以有不同的符号（即，调制一个频率相关导频序列，见6.2.3条）。当所有同步符号的探测音具有相同的符号时，VTU-R应支持接收，并应支持误差信号计算所需的所有相关功能，但下行同步符号音调的符号格式有10个音（既有探测音又有标志音）的周期。

7.2.1 归一化误差样本的定义

VTU-R将接收到的时域信号转换为频域样本，将每个接收子载波转变一个复值 Z 。随后的星座解映射器将每个复值 Z 与一个星座点关联起来，用一个值 \hat{c} 表示。图7-3所示的是特定同步符号中的特定子载波所使用的归一化误差样本 E 的计算过程。归一化误差样本表示归一化到四进制正交幅度调制（QAM）星座点的接收复数数据样本 Z 与对一个的判决星座点 \hat{c} 之间的误差，该误差与VTU-R中的接收同步符号有关且引用为星座解扰器输入。为说明起见，

图7-3中所示的接收归一化复数数据样本 Z 出现在判决星座点 $\hat{C} = (+1, +1)$ 的星座边界范围内。

对于每个子载波，复归一化误差样本 E 被定义为 $E = Z - \hat{C}$ ，其中， E 为复误差，定义为 $E = e_x + j \times e_y$ ， e_x 为实部， e_y 为虚部， Z 为接收归一化数据样本，定义为 $Z = z_x + j \times z_y$ ， z_x 为实部， z_y 为虚部， \hat{C} 为与接收数据样本 Z 有关的判决星座点，定义为 $\hat{C} = \hat{c}_x + j \times \hat{c}_y$ ， \hat{c}_x 为实部， \hat{c}_y 为虚部（ $\hat{c}_x = \pm 1$ 且 $\hat{c}_y = \pm 1$ ）。

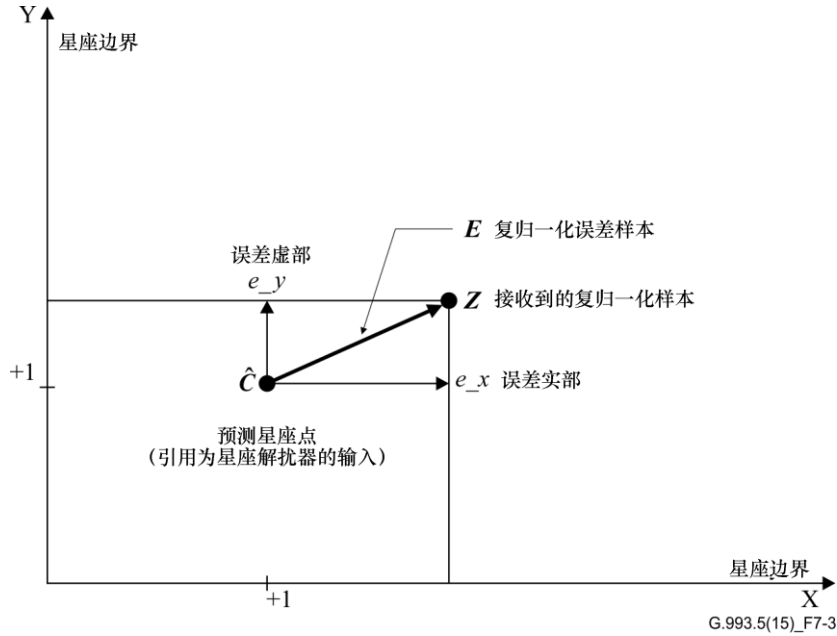


图7-3 – 归一化误差样本 E 的定义

对于截短误差样本分量 q_x 和 q_y ，每个归一化误差样本 E 的实部和虚部都按如下方法被截短并量化为整数值：

$$q_x = \max\left(-2^{B_{\max}}, \min\left(\left\lfloor e_x \times 2^{N_{\max}-1} \right\rfloor, 2^{B_{\max}-1}\right)\right)$$

$$q_y = \max\left(-2^{B_{\max}}, \min\left(\left\lfloor e_y \times 2^{N_{\max}-1} \right\rfloor, 2^{B_{\max}-1}\right)\right)$$

其中， $Q = q_x + j \times q_y$ 表示截短误差样本， N_{\max} 表示 VTU-R 中归一化误差样本的最大量化深度，应设置为 12； B_{\max} 表示报告截短误差样本分量 q_x 和 q_y 所需的位索引上限（ $B_{\max} < N_{\max}$ ， B_{\max} 由矢量化控制实体配置，见表 7-1 和 7-2）。

截短误差样本分量 q_x 和 q_y 的值应使用 $B_{\max} + 1$ 位二进制补码表示。需要通过反向信道报告的截短误差样本的定义见 7.2.2 条。初始化阶段和数据传送阶段需要报告截短误差样本的子载波应分别按第 10.4.2.1 条和第 8.1 条所描述的方法配置。

7.2.2 截短误差样本的报告

按第7.4.1条（2层反向信道）或第8.1条（嵌入式操作信道的反向信道）或第10条（专用操作信道（SOC）的反向信道）中的定义，VTU-R应通过矢量化组中每条线路中的VTU-O和VTU-R之间建立的反向信道传送截短误差样本（定义见7.2.1条）。VTU-O向矢量化组的矢量化控制实体传送接收到的截短误差样本。

7.2.2.1 截短误差样本报告的控制参数

矢量化控制实体与VTU-O协商一组用于报告表7-1所定义的截短误差样本的控制参数。

表7-1 – 截短误差样本控制参数

参数名称	定义
矢量化频段	<p>VTU-R通过反向信道为子载波发送截短误差样本的下行频段。</p> <p>矢量化下行频段应通过最低频率和最高频率子载波的索引来定义。</p> <p>N_{band}表示已配置的矢量化频段的个数。所配置的频段应不超过八个（即，$N_{band} \leq 8$）。已配置的频段应通过与有关的子载波索引升序分配的编号$vb = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$来标识。</p> <p>$N_{carrier}(vb)$表示编号为$vb$的子载波个数，即，最后一个子载波的索引减去第一个子载波的索引加1。</p> <p>每个矢量化下行频段的第一个子载波（最低频率）的索引应为一个偶数值。</p> <p>每个矢量化下行频段都应在单个ITU-T G.993.2标准下行频段边界（类似于ITU-T G.994.1阶段交换的频段边界）内分配，每个标准下行频段有可能有多个矢量化频段。矢量化频段不得相互重叠。</p>
F_{sub}	<p>应用于矢量化频段的子采样因子。</p> <p>对于每一个矢量化下行频段，首先传送索引最小的子载波的截短误差样本，然后传送矢量化频段范围内每个编号为F_{sub}^{th}的子载波的截短误差样本。</p> <p>由矢量化控制实体为每个矢量化下行频段配置。</p>
F_{block}	<p>分组截短误差样本的块大小（子载波数）。</p> <p>该参数由矢量化控制实体配置。所有矢量化下行频段应使用相同的块大小配置（见表8-4）。</p>
B_{min}	<p>用于报告截短误差样本分量的位索引的下界（见第7.2.2.2条）。</p> <p>每个矢量化下行频段由矢量化控制实体分别配置。</p>
B_{max}	<p>用于报告截短误差样本分量的位索引的上界（见第7.2.1条）。</p> <p>每个矢量化下行频段由矢量化控制实体分别配置。</p>

表7-1 – 截短误差样本控制参数

参数名称	定义
L_w	报告截短误差样本分量所需的最大位数。 每个矢量化下行频段应由矢量化控制实体分别配置。 如果 L_w 设置为0，则不应报告特定的矢量化下行频段。应至少将一个矢量化下行频段的 L_w 设置为非零值。
填充	表示当 $S < L_w - 1$ 时，为了维持用于报告截短误差样本分量所需的 L_w 位，VTU-R是否应该通过符号扩展或填充零的方式来填充截短误差样本（见第7.2.2.2条）。 该参数由矢量化控制实体配置。相同的填充配置应用于所有矢量化下行频段。如果启用了填充，则 B_{min} 应设置为0。

表7-2定义了截短误差样本控制参数的可选值和强制值。特别是，该表定义了矢量化控制实体需要配置的有效值以及需要VTU-R支持的强制值。VTU-O应支持矢量化控制实体配置的所有有效值。VTU-R应在初始化期间表明其支持可选值的能力，矢量化控制实体应相应地选择这些值（见第10条）。

表7-2 – 反向信道控制参数的值

参数	为矢量化控制实体配置的有效值	VTU-R支持的强制值
F_{sub}	1、2、4、8、16、32和64	2、4、8、16、32和64
F_{block}	1、32和 $\left\lceil \frac{N_{carrier}}{F_{sub}} \right\rceil$	1和 $\left\lceil \frac{N_{carrier}}{F_{sub}} \right\rceil$
B_{min}	0, ..., 11	所有有效值
B_{max}	$B_{min}, \dots, 11$	所有有效值
L_w	0, 1, ..., $\min(8, B_{max} - B_{min} + 1)$	0, 1, ..., 8
$padding$	1（启用）； 0（禁用）， $F_{block} = 32$ ； 0（禁用）， $F_{block} = \left\lceil \frac{N_{carrier}}{F_{sub}} \right\rceil$	1（启用）； 0（禁用）， $F_{block} = \left\lceil \frac{N_{carrier}}{F_{sub}} \right\rceil$

对于VTU-O为截短误差样本所使用的每个矢量化下行频段，VTU-R应当报告索引为 $X = X_L + n \times F_{sub}$ 的所有子载波的截短误差样本，其中， n 取所有整数值0, 1, 2, ... ($X_L \leq X \leq X_H$)， X_L 和 X_H 分别为矢量化下行频段的索引最低的频率和索引最高频率的子载波。其他子载波的截短误差样本不应报告。

对于不用于传输的子载波 ($b_i = 0$ 和 $g_i = 0$)，但指定用于截短误差样本报告的子载波，VTU-R应报告一个虚拟误差样本。该虚拟误差样本的值由供应商自行决定，但应符合误差样本控制参数，且不应影响对其他子载波的报告。

注 – VTU-O和/或矢量化控制实体负责识别和删除不用于信道估计的子载波的截短误差样本。

7.2.2.2 截短误差样本的分组

VTU-R应将截短误差样本按组划分成块。表7-2定义了参数*F_block*所使用的块大小。对于每个块，VTU-R应计算参数*B_M*和*B_L*。参数*B_M*和*B_L*表示所报告的截短误差样本的最高索引和最低位索引，假定位索引是从最低有效位（LSB）到最高有效位（MSB）计数，从0开始。

图7-4显示的是*F_block*=1、*B_min*=2、*B_max*=10、*L_w*=4、*padding*=0时的示例。两个寄存器的位宽度均为（*B_max*+*L_w*），其中包含一个截短误差样本分量，位索引从*B_max*（截短误差样本最高有效位）到0（最低有效位），*L_w* - 1 = 3时，每个寄存器的其余位被设置为0，用位索引的负值-1表示，一直标记到1 - *L_w* = -3。对于块中的每个分量，只有索引从*B_M*到*B_L*的（包含*B_L*）的*B_M* - *B_L* + 1位才包含在第7.2.3.1条所定义的误差报告块（ERB）格式中。应按下述方法计算每个块的参数*B_M*和*B_L*。VTU-R应检查每个块中的所有截短误差样本分量，并为每个分量*ec* (*ec* = 1至2×*F_block*)确定一个数据相关尺度参数*s_{ec}*，该参数被定义确定作为分量的最短二进制补码表示的符号位索引。

例如，如图7-4所描述的情形，用11位的二进制补码11110010101表示的第一个截短误差样本分量最短表示形式为10010101，因此，其尺度参数*s₁* = 7。同样，第二个分量00000010010的最短表示形式为010010，因此其尺度参数*s₂* = 5。

然后，VTU-R为每个块计算出一个数据相关块尺度参数*S* = max_{*ec*}(*s_{ec}*)，即，最大化索引*ec*运行在块中所有2×*F_block*截短误差样本分量上。

例如，如图7-4所描述的情形，*F_block* = 1，块尺度参数*S*是*s₁*和*s₂*中的最大值，因此*S* = 7。

如果*padding* = 0，则对于给定矢量化频段中的每个块，VTU-R应设置：

$$B_M = \max(S, B_min), \quad B_L = \max(B_M - L_w + 1, B_min) \quad (7-1)$$

如果*padding* = 1，则对于给定矢量化频段中的每个块，VTU-R应设置：

$$B_M = \max(S, L_w - 1) \text{（符号扩展）或 } B_M = S \text{（用零填充）};$$

$$B_L = B_M - L_w + 1 \text{（位索引 } < 0 \text{ 的位设置为0）} \quad (7-2)$$

参数*B_M*和*B_L*通常应满足关系式*B_L* ≤ *B_M*和0 ≤ *B_M* ≤ *B_max*。

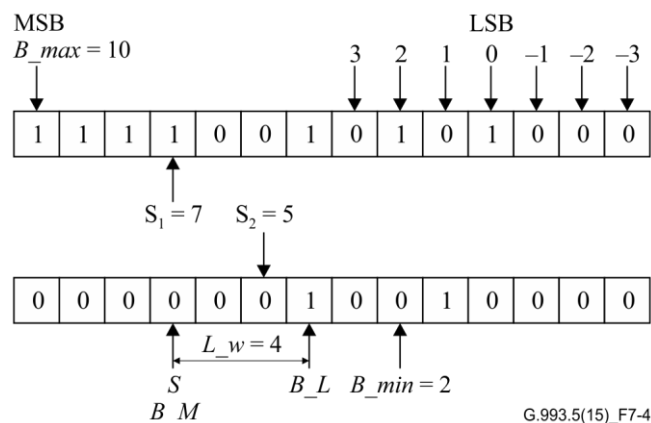


图 7-4 – 每个寄存器表示一个截短误差样本分量的两个寄存器示例

图7-5所示的是不同填充类型的截短误差样本块所使用的报告位（用阴影显示）的一个示例，其中 $F_block=1$ 、 $B_min=1$ 、 $B_max=7$ 、 $L_w=5$ 。

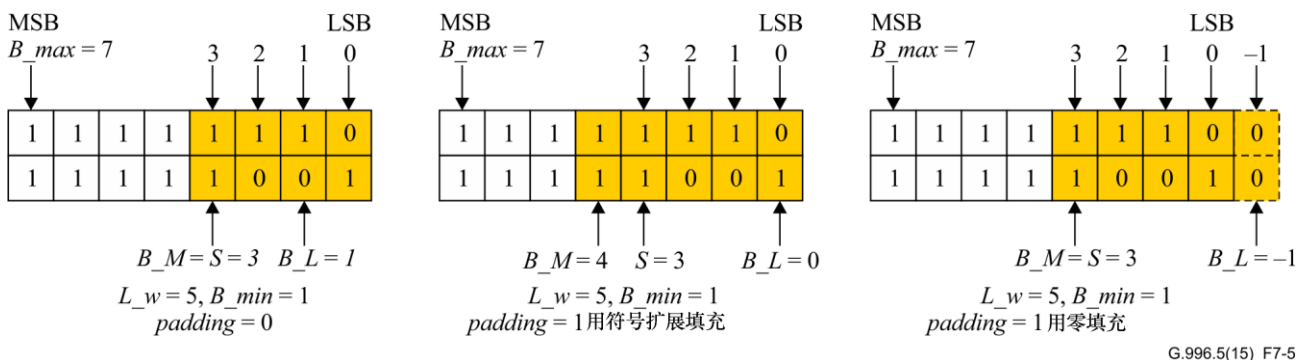


图7-5 – 不同填充类型的截短误差样本块所使用的报告位示例

F_block 已赋值时，块由从矢量化下行频段中已分配子载波之后的 F_block 个用于报告子载波的截短误差样本组成。在每个块中，子载波的分配应从矢量化频段的最低频率子载波开始按升序一直分配到第 F_block 个子载波。矢量化频段 vb 中样本块的个数应按下式计算：

$$N_block(vb) = \left\lceil \frac{\left\lfloor \frac{N_carrier(vb)}{F_sub(vb)} \right\rfloor}{F_block} \right\rceil$$

块应按其编号 $eb = 0$ 至 $N_block(vb) - 1$ 标识，按照与误差样本块有关的子载波索引从低到高分配。不属于矢量化下行频段（如果有）的最后一个误差样本块的最后一个分量应设置为表示0值的虚拟值。

7.2.3 反向信道的构成

应通过反向信道为每个同步符号传送一个八位字节的整数。

每个报告截短误差样本所需的符号的字节数取决于矢量化控制实体为反向信道控制参数配置的值（见7.2.2条）。矢量化下行频段的截短误差样本块（误差块）被映射到误差报告块中。

每个误差报告块都与O-P-VECTOR 2-1信号（见第10.4.3.7条）的特定符号有关。误差报告块有用于进一步封装为下列格式单一格式：

- 以太网络格式（用于2层以太网信道的反向信道）；或
- 嵌入式操作信道格式（用于使用嵌入式操作信道的反向信道）；或
- 专用操作信道格式（用于使用专用操作信道的反向信道）。

与误差报告块有关的同步符号用其同步符号计数器（适用于数据传送阶段2层以太网信道或嵌入式操作信道的反向信道）的值标识，或用报告的定时（适用于初始化阶段的专用操作信道的反向信道）来标识。

7.2.3.1 误差报告块的格式

误差报告块的格式如图7-6所示。误差报告块从一个8位 ERB_ID 字段开始，然后是矢量化频段块（ VBB ）字段（最多八个）。 $VTU-R$ 可以将 ERB_ID 字段的最高有效位设置为“1”，用于表示误差报告块中的截短误差样本可能存在错误（例如，由脉冲噪声或射

频干扰引起)。否则, VTU-R应将ERB_ID字段的最高有效位设置为“0”。ERB_ID字段的七个最低有效位应设置为0, 并保留待ITU-T使用。误差报告块中的字节数(N_{ERB})是每个矢量化频段块的字节数加上ERB_ID字段所使用的1个字节之后的总和。矢量化频段块串接到误差报告块中时, 应按矢量化频段编号的升序串接, 即从与最小子载波索引有关的矢量化频段开始。有些矢量化频段可以不按照矢量化控制实体的请求报告(即, 误差报告块不应包含矢量化控制实体配置 $L_w=0$ 时矢量化频段所使用的矢量化频段块)。

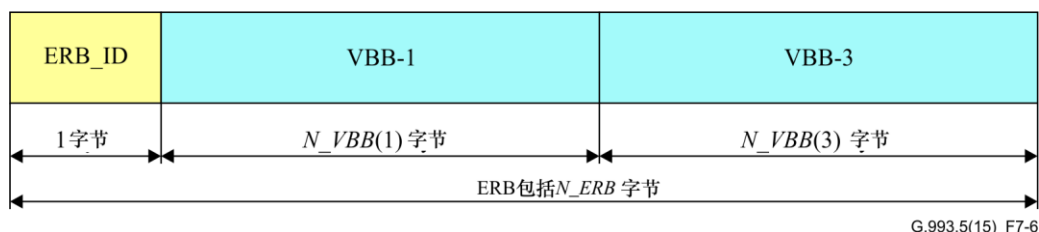
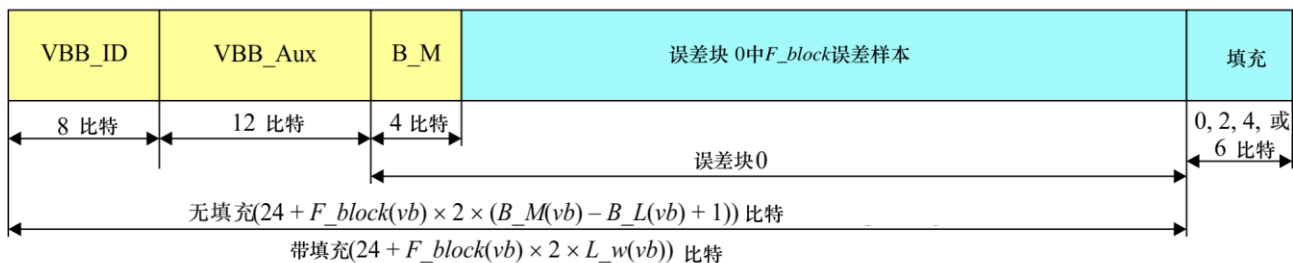


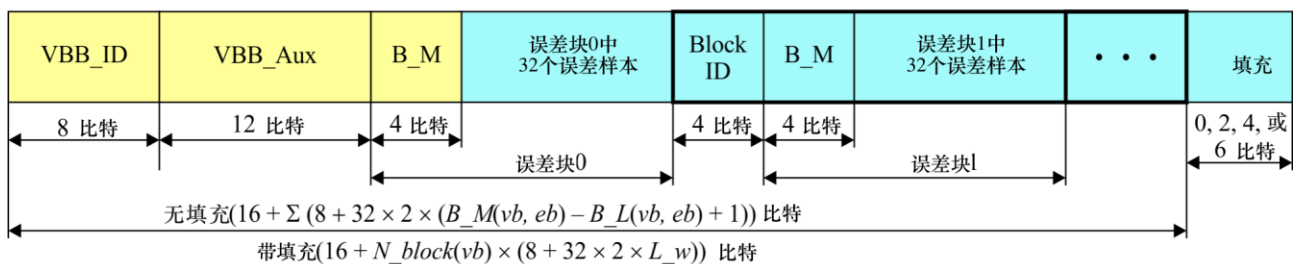
图7-6 – 误差报告块的格式 (矢量化控制实体只请求矢量化频段1和3时)

矢量化频段块的格式如图7-7所示。每个矢量化频段块从一个8位VBB_ID字段开始, 接着是一个VBB_Aux字段, 然后是串接的误差块, 最后用0、2、4或6位填充, 使矢量化频段块的长度达到整数字节 (奇数位填充不适用)。VBB_ID字段的三个最高有效位应包括矢量化频段的个数 (000对应VBB-0, 001对应VBB-1, ...111对应VBB-7)。VBB_ID字段的5个最低有效位应设置为“0”, 保留待ITU-T使用。误差块应按升序串入矢量化频段块中, 矢量化频段中的第一个块是包含子载波所用的截短误差样本的块, 首先传送索引最小的块)。

$$F_block = \lfloor N_carried / F_sub \rfloor$$



$$F_block = 32$$



$$F_block = 1$$

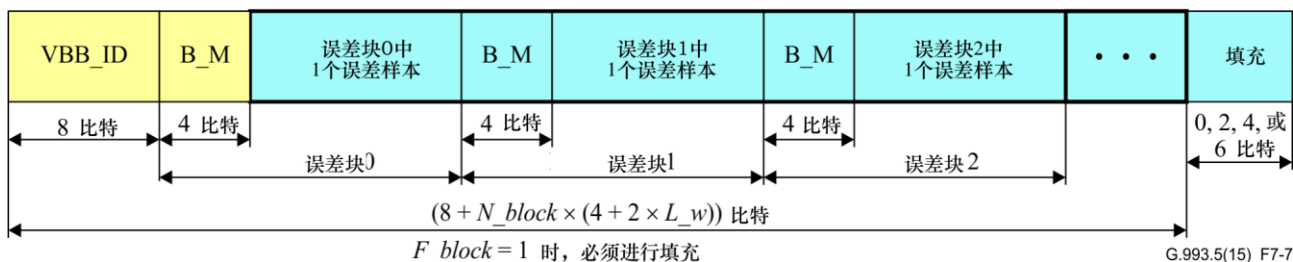


图7-7 – 不同 F_block 时的VBB格式

误差块的定义见第7.2.3.2条。

$F_block = 32$ 时，每个误差块都应预设一个从1号误差块开始的Block_ID。Block_ID不应插入紧邻误差块0之前的位置。Block_ID的长度应为4位，在假设矢量化频段中的第一个块的编号为0的基础上，将其后面的误差块编号模16表示为一个无符号整数。

$$F_block = 1 \text{ 或 } \left\lceil \frac{N_carrier}{F_sub} \right\rceil \text{ 时，不应插入Block_ID。}$$

注1 – 由于在中心局侧所有反向信道控制参数都是已知的，所以矢量化控制实体可以通过VBB_ID识别误差报告块中的矢量化频段块，并按照第7.2.2.2条的方法计算出VBB-vb中误差块的个数 $N_block(vb)$ 。利用截短误差样本的参数(B_M, B_L)和块大小 F_block ，可以计算出误差块的长度。矢量化频段中第一个误差块的第一个已报告样本用于索引为 X_L （通常为偶数）的子载波。

注2 – $F_block = 32$ 时，每个误差块的结尾都是字节对齐的。在矢量化频段块的结尾不需要增加填充位。

VBB_Aux字段应使用表7-3定义的格式来协商平均误差值。矢量化频段 vb 的平均误差(ME)应按下式计算：

$$ME(vb) = \frac{\left\lceil \frac{N_carrier(vb)}{F_sub(vb)} \right\rceil - 1}{\sum_{n=0}^{\left\lceil \frac{N_carrier(vb)}{F_sub(vb)} \right\rceil - 1} (|e_x(X_L(vb) + n \times F_sub(vb))| + |e_y(X_L(vb) + n \times F_sub(vb))|)}$$

其中， $e_x(sc)$ 和 $e_y(sc)$ 是从子载波 sc 估计出的归一化误差的实部和虚部（如图7-3所示）。

$ME(vb)$ 的截取和量化值应按下式表示：

$$MEq(vb) = \min \left(\left\lfloor ME(vb) \times 2^{ME_N_max-1} \right\rfloor, 2^{ME_B_max-1} \right)$$

其中， $ME_N_max = 12$ ， $ME_B_max = 22$ 。

MEq 的值应使用4位指数和8位尾数表示的一个浮点数来报告，与报告截短误差样本分量的形式相同。VTU-R应将尺度 ME_S 计算为 MEq 的最高有效位的索引，而不是符号扩展位。尾数应由8位组成，索引按降序从 ME_B_M 到 ME_B_L 。在VTU-R端， ME_B_M 和 ME_B_L 的值应按下式计算：

$$ME_B_M = \max(ME_S, 7), \text{ 且}$$

$$ME_B_L = ME_B_M - 7$$

表7-3 – VBB_Aux字段的格式

参数	比特数	描述
ME_EXP	[11:8]	ME_B_L的4位指数值
ME_MANT	[7:0]	MEq的8位尾数

7.2.3.2 误差块的格式

包含 F_block 个截短误差样本（ F_block 个子载波的 $2 \times F_block$ 个截短误差样本分量）的误差块的表示形式应包括一个 B_M 字段（4位）和一个误差字段（可变长度），如图7-8所示。误差字段包括 F_block 个子字段，每个子字段加载一个反向信道配置期间分配用于报告的子载波的复截短误差样本（见7.2.2条）。

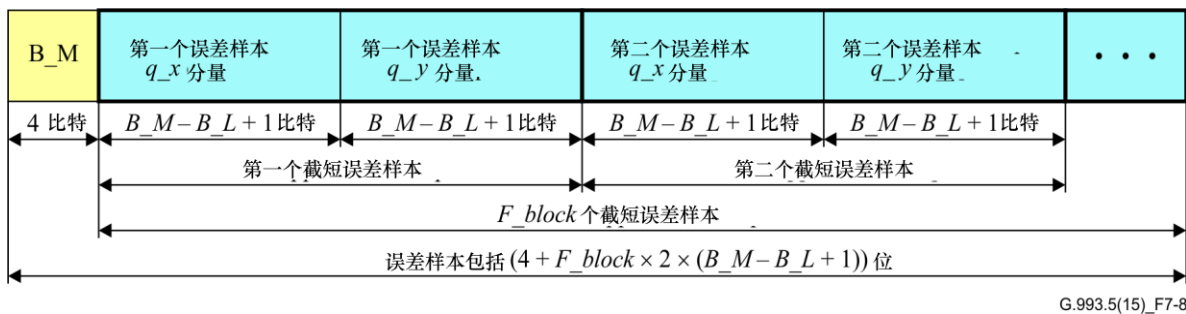
对于每个截短误差样本分量，第7.2.2.2条所定义的压缩表示形式只包括索引从 B_L 到 B_M 的截短误差样本分量的那些位，表示形式采用传统形式，即，分量压缩表示的最高有效位（MSB）索引为 B_{max} ，分量压缩表示的最低有效位（LSB）的索引为 B_{min} 。因此，在压缩表示中，截短误差样本块的误差字段的总位数应为 $2 \times F_{block} \times (B_M - B_L + 1)$ 。

B_M 字段应包括参数 B_M ，参数 B_M 表示为一个0至15之间的四位无符号整数。

注 – 不需要报告参数 B_L ，因为该参数可以由矢量化控制实体通过截短误差样本控制参数（见公式7-1和7-2）和所报告的 B_M 参数计算得出。

误差块的格式如图7-8所示。所有参数和截短误差样本都应按最高有效位在左侧的方式映射，这样就可以先发送最高有效位（即，首先传送的是 B_M 字段的最高有效位）。

误差字段中的截短误差样本应从左到右按子载波索引的升序映射。对于每一个截短误差样本， q_x （实部）分量应映射到 q_y （虚部）分量的左侧。



G.993.5(15)_F7-8

图7-8 – 误差块的格式

7.2.3.3 反向信道数据速率（资料性）

图7-6、7-7、7-8中， $F_{block} = \left\lceil \frac{N_{carrier}}{F_{sub}} \right\rceil$ 时，VBB- vb 中的字节数为

$$N_{VBB}(vb) = \left\lceil \frac{24 + F_{block}(vb) \times 2 \times (B_M(vb) - B_L(vb) + 1)}{8} \right\rceil$$

其中， $B_M(vb)$ 表示矢量化频段 vb 所使用的 B_M 参数， $B_L(vb)$ 表示矢量化频段 vb 所使用的 B_L 参数。

注意，该值通常是不固定的，但如果截短误差样本的真实值不同，误差样本对应的该值可以不同。另一方面，如果使用填充（见表7-1），VBB- vb 中的字节数仅取决于截短误差样本控制参数，不取决于截短误差样本的值：

$$N_{VBB}(vb) = \left\lceil \frac{24 + F_{block}(vb) \times 2 \times L_w(vb)}{8} \right\rceil$$

图7-6、7-8中， $F_{block} = 32$ ，VBB- vb 中的字节数为

$$N_{VBB}(vb) = 2 + \sum_{eb=0}^{N_{block}(vb)-1} (1 + 8 \times (B_M(vb, eb) - B_L(vb, eb) + 1))$$

其中, $B_M(vb, eb)$ 表示矢量化频段 vb 的误差块编号 eb 所使用的 B_M 参数, $B_L(vb, eb)$ 表示矢量化频段 vb 的误差块编号 eb 所使用的 B_M 参数。

注意, 该值通常不是固定的, 但如果截短误差样本的真实值不同, 误差样本对应的该值可以不同。另一方面, 如果使用填充 (见表7-1), $VBB-vb$ 中的字节数仅取决于截短误差样本控制参数, 不取决于截短误差样本的值:

$$N_VBB(vb) = 2 + N_block(vb) \times (1 + 8 \times L_w(vb))$$

$F_block = 1$ 时, 采用填充, $VBB-vb$ 中的字节数仅取决于截短误差样本控制参数, 不取决于截短误差样本的值:

$$N_VBB(vb) = \left\lceil \frac{8 + N_block(vb) \times (4 + 2 \times L_w(vb))}{8} \right\rceil$$

N_ERB 可以按下式计算:

$$N_ERB = 1 + \sum_{vb=0}^{N_band-1} report(vb) \times N_VBB(vb)$$

如果误差报告块中包括 $VBB-vb$ (即, 编号为 vb 的频段 $L_w > 0$), 则 $report(vb) = 1$; 如果误差报告块中不包括 $VBB-vb$ (即, 编号为 vb 的频段 $L_w = 0$), 则 $report(vb) = 0$ 。

为每个同步符号传送误差报告块的反向信道速率 (BDR) 为:

$$BDR = 8 \times N_ERB \times (f_{DMT} / 257)$$

其中, f_{DMT} 为 [ITU-T G.993.2] 第 10.4.4 条定义的符号速率, 单位为符号/秒。

不使用填充时, 则不需要定义 BDR。在这种情况下, 不同误差报告的 N_ERB 都不相同。

7.2.4 数据传送阶段误差报告块的标识

在 VTU-O 所指示的每个同步符号计数值上, VTU-R 应传送一个单独的误差报告块, 还应一同传送下行同步符号计数值 (定义见 7.3.2 条), 作为误差报告块对应的下行同步符号的标识。VTU-O 应使用下列时间标识参数识别该同步符号计数值。

- 误差样本更新周期 (m);
- 误差样本偏移周期 (z)。

如果在每个周期的第 m 个同步符号 (即同步符号计数值 $SSC = m \times P + k$ 的同步符号位置, 其中 P 为 0 至 $\lfloor (N_SSC - 1 - k) / m \rfloor$ 之间的任一整数, k 为偏移量, 其值在 0 至 $m-1$ 之间) 需要报告一个误差样本, 则此误差样本周期值应取 m 。如果 SSC 计数器循环计数到 $N_SSC - 1$, 则应报告误差报告块的下一个同步符号计数值为 $SSC = k$ (该计数值可通过设置 $P = 0$ 获得)。

收到 VTU-O 的误差反馈请求后, VTU-R 应为第一个报告设置 $k=0$ 。收到误差报告块请求后, 如果第一个有效同步符号的 SSC 是 m 的倍数, 则应发送该报告 (见 8.1 条)。如果 $z > 0$, 则在报告的每个误差样本偏移周期 z 之后, VTU-R 应将 k 加 1 后对 $m-1$ 取模。

如果 $m = 1$ ，则VTU-R应在每个同步符号上报告。误差样本更新周期 $m = 1$ 是一个特殊值，应用于表示VTU-R应停止报告误差样本。仅在 $m > 1$ 时误差样本偏移周期 z 不为零才有效。如果没有误差样本偏移，且 $m = 1$ ，则应使用 $z = 0$ 这一误差样本偏移周期值。

注1 – 对于一定时间后的所有导频序列，参数 m 和 z 的选择应确保至少报告一次误差样本。

注2 – 例如， $N_SSC = 1024$ ， $m = 3$ ，第一份报告在 $SSC = 6$ 时发送，则报告按下列同步符号计数。

$m = 3$ 且 $z = 0$ 时， $SSC = 6, 9, \dots, 1020, 1023, 0, 3, 6, 9, \dots$

$m = 3$ 且 $z = 128$ 时， $SSC = 6, 9, \dots, 128 \times 3, 129 \times 3, 130 \times 3 + 1, 131 \times 3 + 1, \dots, 257 \times 3 + 1, 258 \times 3 + 2, 259 \times 3 + 2, \dots, 340 \times 3 + 2, 2, 5, \dots, 44 \times 3 + 2, 45 \times 3, 46 \times 3, 47 \times 3, \dots$

表7-4中定义了时间标识控制参数的值。

表 7-4 – 时间标识控制参数的值

参数	矢量化控制实体所使用的有效值	矢量化控制实体所支持的强制值
m	0, 1, 2, ..., 63, 64	所有有效值
z	$m > 1$ 时: 0, 2, ..., 254, 255, 256 $m \leq 1$ 时: 0	所有有效值

7.3 VTU-R上行矢量化要求

VTU-R应符合[ITU-T G.993.2]的要求以及本建议书中的例外情形和附加要求。

为了能使矢量化控制实体完成第6.1条所述的任务，VTU-R应支持下列条款中的要求。

7.3.1 符号校准

在矢量化控制实体的控制下，矢量化组中的所有VTU-R都应使用相同的子载波间隔和符号速率。

注 – 矢量化控制实体可以控制[ITU-T G.993.2]图5-4中定义的U-O2参考点处来自不同矢量化群的线路符号的校准，通过在初始化阶段（见第10条）调整这些线路的时间超前量（TA）实现。

7.3.2 同步符号位置

VTU-R应具有[ITU-T G.993.2]第10.2条所定义的传输同步符号的能力。VTU-R应在矢量化控制实体所分配且在初始化阶段与VTU-R协商过的时间位置上传送同步符号。上行同步符号的时间位置由上行和下行同步符号之间的偏移量确定。

上行和下行同步符号时间位置之间的偏移量由矢量化控制实体设置，并发送给O-SIGNATURE消息中的VTU-R。

为了在矢量化组中的一个或几个VTU-R所使用的相同时间位置或不同时间位置上传送上行同步符号，矢量化控制实体可以配置矢量化组中的所有VTU-R。

VTU-R应维持一个连续统计数据传送阶段数据的下行同步符号计数器（MODULO N_SSC ）。数据传送阶段发送的第一个下行同步符号的计数值应由VTU-R设置为接收到的误差反馈命令（见表8-3）字段第一个SSC的值。接收第一个误差反馈命令前，数据传送阶段传送的第一个下行同步符号的下行同步符号计数器由供应商自由确定。

注 – 数据传送阶段开始时，该设置用于下行同步符号计数器和VTU-O/VCE之间的同步（见6.2.2条）。

7.3.3 导频序列的调制

VTU-R应有能力在初始化阶段将矢量化控制实体指定的一个上行导频序列调制到所有上行同步符号的子载波上（见10.3.4.1条），并能在数据传送阶段将该上行导频序列调制到上行同步符号的探测音上（见3.2.10条）。矢量化控制实体确定的长度为 N_{pilot_us} 的上行导频序列由供应商自由选择，并应在初始化阶段通过O-SIGNATURE消息传递给VTU-R。导频序列的位索引范围为0至 $N_{pilot_us} - 1$ 。先传送索引为0的位，然后是索引为1的位，最后传送索引为 $N_{pilot_us} - 1$ 的位。如果“导频序列长度为4的倍数”被启用（见10.2条），则 N_{pilot_us} 的有效值应为8至512范围内所有4的倍数。否则， N_{pilot_us} 的有效值应为8至512之间2的幂次的整数。导频序列应在 N_{pilot_us} 位之后周期重复，矢量化控制实体通过8.2条所定义的程序修改上行导频序列的情形除外。

上行导频序列的时间位置应由矢量化控制实体确定，并应在初始化阶段通过特殊的标识符进行通信（见10.3.3.5条）。上行同步符号的子载波应采用对应上行导频序列时间位置的上行导频序列位调制。

在数据传送阶段，第一个上行同步符号位置应符合第10.6条的定义。

导频序列调制到同步符号的探测音（见3.2.10条）被定义为调制到探测音上的同步符号帧位是否被设定为00（导频序列位为“0”）或11（导频序列位为“1”）。在特定同步符号的音频信号上，导频序列应有10个音的周期（既有探测音、也有标志音）。

如果通过ITU-T G.994.1启用与上行频率有关的导频序列（上行FDPS），则定义索引从0至7的八个导频序列。导频序列#(0,1,2,3,4,5,6,7)应分别调制到索引为 $10n+(0,2,3,4,5,6,8,9)$ 的音上。所有八个导频序列应有相同的长度 N_{pilot_us} 。所有导频序列应从相同同步符号位置开始。

调制到标志音（见3.2.6条）上的同步帧位应用于[ITU-T G.993.2]第10.5.3条所定义的同步标志的传送。应将同步帧调制到[ITU-T G.993.2]第10.5条所定义的同步符号上（包括所有MELDEY子载波的象限扰频，不论该符号是标志音还是探测音）。

7.4 网络终端（NT）系统的要求

网络终端（如图5-1所示）应支持下行矢量化。

7.4.1 反向信道数据的2层以太网封装

如果矢量化控制实体选择使用这种封装形式，则反向信道数据应按照本条所定义的形式封装。

在网络终端，截短误差样本应首先从VTU-R发送到L2+功能块，截短误差样本封装进2层传输协议，并复用到上行以太网（或ATM以太网）的一个数据流中。

以太网封装是基于[IEEE 802.3]协议，并应按照本条所述进行封装。

2层以太网封装应包含下列字段：

- 目标MAC地址应为矢量化控制实体的MAC地址；
- 源MAC地址应为VTU-R的MAC地址；

- 长度字段（符合[IEEE 802.3]的IEEE 802.3 MAC帧格式）；
- 按SNAP协议编码的LLC PDU报头（3个字节，AA-AA-03）；
- SNAP PDU报头，包含一个三字节ITU OUI 00-19-A7与用于PRIVATE协议的ITU子类型00-03的2字节协议ID；
- 协议载荷数据（Line_ID、同步符号计数、分段代码和反向信道数据）；
- 填充（只适用于最后一个分段，并应按照[IEEE 802.3]的IEEE 802.3 MAC帧格式）填充）；
- 标准以太网4字节FCS（按照[IEEE 802.3]的IEEE 802.3以太网帧格式）。

矢量化控制实体MAC地址字段应包含矢量化控制实体通过O-PMS配置的矢量化控制实体MAC地址，见第10.5.2.1条。协议载荷数据应包含Line_ID（矢量化控制实体通过O-PMS配置，见第10.5.2.1条）、同步符号计数（定义见第7.2.4条）、分段代码（定义见[ITU-T G.993.2]）和反向信道数据误差报告块（定义见第7.2.3条）。长度字段应等于协议荷载数据的长度，加上8字节的LLC SNAP报头长度，但不应超过1024+8=1032个字节。如果协议荷载数据超过了1024字节，反向信道数据误差报告块应按[ITU-T G.993.2]第11.2.3.1条的定义分段。对于长度小于等于1024字节的协议荷载数据，反向信道数据误差报告块有可能也需要分段。如果分段，每个反向信道数据误差报告块的分段应采用图7-9所示的2层以太网封装，每个反向信道数据误差报告块的个数不应超过16。

以采用以太网封装的反向信道数据误差报告块的格式如图7-9所示。

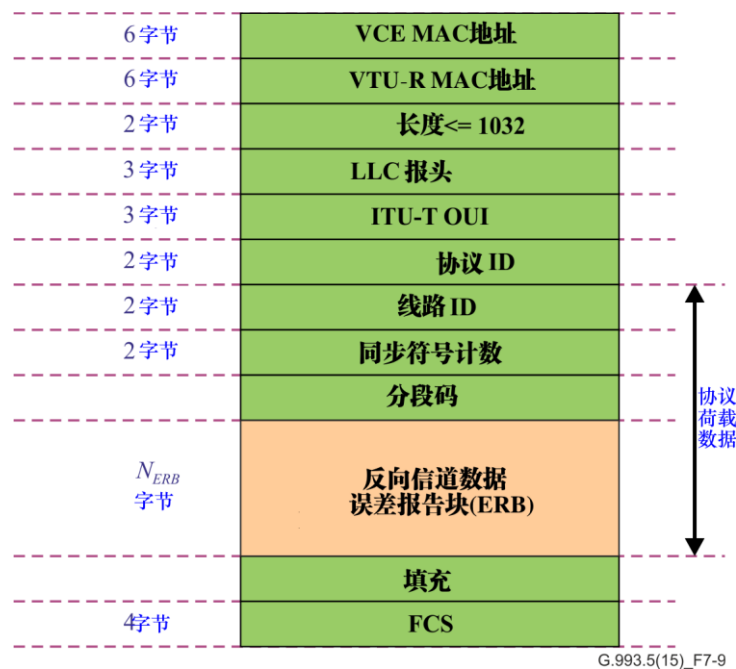


图7-9 – 反向信道数据消息的以太网封装格式

7.4.2 反向信道数据的嵌入式操作信道封装

如果矢量化控制实体选择使用这种封装形式，则反向信道数据应按照8.1条所述的嵌入式操作信道协议进行通信。

8 矢量化相关的嵌入式操作信道消息

VTU-O和VTU-R VME应使用本条所定义的嵌入式操作信道命令和响应来支持矢量化。对于矢量化相关的嵌入式操作信道命令和响应而言，除本建议书第8.1条为误差反馈命令和响应所定义的协议之外，VTU-O和VTU-R都应使用[ITU-T G.993.2]第11.2.2条为消息通信定义的标准嵌入式操作信道协议以及[ITU-T G.993.2]第11.2.3条为命令和响应所定义的协议。

为方便矢量化线路操作而增加的嵌入式操作信道命令见表8-1（高优先级）和表8-2（常规优先级）所列。

表8-1 – 高优先级命令和响应

命令类型和所分配的值	命令的方向	命令内容	响应内容
误差反馈 0001 1000 ₂	从VTU-O到VTU-R	请求获得用于给定矢量化频段且具有给定格式的误差样本	嵌入式操作信道封装的误差样本和相关参数，ACK或NACK

表8-2 – 常规优先级命令和响应

命令类型和所分配的值	命令的方向	命令内容	响应内容
更新导频序列 0001 0001 ₂	从VTU-O到VTU-R	请求更新上行导频序列	确认

8.1 用于反向信道配置的嵌入式操作信道消息

VTU-O VME应使用误差反馈命令和响应从VTU-R VME获取截短误差样本，并更新反向信道控制参数。命令（请求截短误差样本）只能由VTU-O发起，应使用表8-3所示的格式；VTU-R应以所请求的格式为所请求的子载波提供截短误差样本，或使用ACK（前提是误差样本是通过基于L2的反向信道通信的），或使用NACK进行响应。NACK提供一个拒绝码，描述请求被拒绝的原因。在发送NACK之前，VTU-R VME应该暂停发送截短误差样本，直到它接收到一个新的误差反馈命令，该命令具有一组有效的反向通道和误差报告控制参数。VTU-R应使用表8-6或表8-7中描述的响应消息格式。拒绝码见表8-8。

命令和响应的前八位是表8-1所列的误差反馈命令类型赋值。命令的第二个和随后的八位字节应如表8-3所列，响应的第二个和随后的八位字节应如表8-6或表8-7所列。应使用[ITU-T G.993.2]第11.2.3.1条中描述的通用格式来映射通信的数据字节。

VTU-O发送一个误差反馈命令，请求VTU-R开始发送带有特定参数的截短误差样本。命令指明如下信息：

- 误差样本更新周期 (m)；
- 误差样本偏移周期 (z)；
- 报告中应涵盖的子载波索引范围（由矢量化下行频段定义）；
- 误差报告控制参数 (F_{sub} 、 F_{block} 、 B_{min} 、 B_{max} 、 L_w 等)。

收到命令后，VTU-R应可以开始发送截短误差样本（表8-6是为嵌入式操作信道的反向信道所定义的误差反馈数据消息，表8-7是为2层以太网信道的反向信道所定义的误差反馈数据消息），也可以用ACK作出响应（定义见表8-8）。第一条误差反馈数据消息是一条确认误差反馈命令的ACK消息。如有必要，可以传送更多误差反馈数据消息（既可以作为后续的

嵌入式操作信道消息，也可以作为2层以太网数据包）。误差反馈数据消息的传送应通过误差反馈命令（更新周期和偏移量）中请求的每个误差样本更新同步符号计数值来触发。如果更新周期超过1，则VTU-R应在VTU-O所指示的实际同步符号计数值处更新误差样本。

误差反馈数据消息不需要确认。如果误差反馈数据消息超过1024字节，则应按[ITU-T G.993.2]第11.2.3.1的规定进行分段，分段数目最多不应超过16个，发送分段不需要等待IACK消息。VTU-R不应回传误差反馈数据消息或误差反馈数据消息段。如果VTU-O没有接收到响应（ACK），它可以用不同的控制参数发送另一条误差反馈命令。在收到OLR命令后等待同步标志信号期间，VTU-R应连续发送误差反馈数据消息。如果在分配用来发送特定误差反馈数据消息的时段内嵌入式操作信道因处理另一高优先级的消息（例如，OLR命令）而处于非空闲状态，则VTU-R应删除当前误差反馈数据消息，然后继续发送下一跳误差反馈数据消息。

在数据开始阶段，VTU-R不应发送截短误差样本，直到它收到一条带有有效反向信道设置和误差报告控制参数设置的误差反馈命令。为了启动截短误差样本通信，VTU-O应在数据传送阶段的第一秒发送反向信道配置嵌入式操作信道命令。为了停止截短误差样本通信，VTU-O应发送一条加载了专用反向信道配置的误差反馈命令（即，误差样本更新周期 $m=0$ ，见表8-3）。收到命令后，VTU-R应首先停止发送误差反馈数据消息，然后用NACK作出响应。

表8-3 – VTU-O传送的误差反馈命令

名称	长度（字节）	八位字节个数	内容
误差反馈请求	$9 + 5 \times N_{band}$ ($N_{band} \leq 8$)	2	01 ₁₆ （见注1）
		3~4	首个SSC（见第6.2.2条、第7.3.2条和注6）
		5	误差样本更新周期（ m ）（见第7.2.4条和注2）
		6~7	误差样本偏移周期（ z ）（见第7.2.4条和注3）
		$8 \sim 8 + 3 \times N_{band}$	矢量化频段描述符（见[ITU-T G.993.2]表12-18、注4）
		$9 + 3 \times N_{band} \sim 9 + 5 \times N_{band}$	误差报告配置描述符（注5）

注1 – 所有其他值由ITU-T保留。

注2 – 误差样本更新周期（ m ）应表示为一个无符号整数。

注3 – 误差样本偏移周期（ z ）应表示为一个无符号整数。

注4 – N_{band} 的值定义为一个TU-T G.993.2频段描述符的第一个八位字节。

注5 – 该描述符为每个下行矢量化频段（每个频段2个八位字节）定义了 N_{band} 个截短误差样本报告参数集（定义见第7.2.2条）。该描述符应使用表8-4所定义的格式。

注6 – 进入数据传送阶段后，所有误差反馈命令的首个SSC的值应相同。

表8-4 – 误差报告配置描述符

参数	位	八位字节 个数	描述
<i>N_band</i>	[7:4]	0	已配置的矢量化频段的个数，范围为1~8，表示为一个无符号整数。
填充	3		定义见第7.2.2条。
保留供ITU-T使用	2		应设置为0 ₂ 。
<i>F_block</i>	[1:0]		块大小，按如下格式编码（见注）： $0_2 - F_block = \left\lceil \frac{N_carrier}{F_sub} \right\rceil$ 01 ₂ - <i>F_block</i> = 1 10 ₂ - <i>F_block</i> = 32 11 ₂ - 保留供ITU-T使用
矢量化频段1所使用的参数		1-2	见表8-5
.....		
矢量化频段 <i>N_band</i> 所使用的参数		$2 \times N_band - 1$ 至 $2 \times N_band$	见表8-5
注 – 如果编码为01 ₂ 或10 ₂ ，则对于所有矢量化频段， <i>F_block</i> 具有相同的值。如果编码为00 ₂ ，则对于每个矢量化频段， <i>F_block</i> 可以有不用值，这取决于子载波的个数（ <i>N_carrier</i> ）和二次抽样速率（ <i>F_sub</i> ）。			

表8-5 – 矢量化频段控制参数

参数	位	八位字节个数	描述
<i>F_sub</i>	[7:4]	0	第7.2.2条所定义的二次抽样速率，log ₂ (<i>F_sub</i>)表示为一个无符号整数。
<i>L_w</i>	[3:0]		第7.2.2条所定义压缩表示中截短误差样本的长度， <i>L_w</i> 表示为一个无符号整数。
<i>B_min</i>	[7:4]	1	第7.2.2条所定义的参数 <i>B_min</i> ， <i>B_min</i> 表示为一个无符号整数。
<i>B_max</i>	[3:0]		第7.2.2条所定义的参数 <i>B_max</i> ， <i>B_max</i> 表示为一个无符号整数。

表8-6 – VTU-R为嵌入式操作信道传送的误差反馈响应

名称	长度 (字节)	八位字节 个数	内容
误差反馈数据 /ACK	$5 + N_{ERB}$	2	80_{16} (见注1)
		3-4	同步符号计数 (SSC)，表示为一个无符号整数，范围已在第7.3.2条中定义。(见注2)。
		5	分段代码 (SC)，按[ITU-T G.993.2]第11.2.3.3条的定义表示。
		6至 $5 + N_{ERB}$	反向信道数据，用第7.2.3条所定义的 N_{ERB} 个八位字节表示 (见注3)。
NACK	3	2	81_{16} (见注1)。
		3	原因码使用1个八位字节 (见表8-8)。

注1 – 该八位字节的所有其他值由ITU-T保留。
 注2 – 该字段标识了需为其报告截短误差样本的下行同步符号。
 注3 – 该字段应使用第7.2.3条所定义的格式加载误差报告块。

表8-7 – VTU-R为2层反向信道传送的误差反馈响应

名称	长度 (字节)	八位字节个数	内容
ACK	6	2	80_{16} (见注1)
		3-4	两个八位字节都应设置为 00_{16}
		5	八位字节应设置为 11000000_2 (见注2)
		6	八位字节应设置为 00_{16} (见注3)。
NACK	3	2	81_{16} (见注1)。
		3	原因码使用1个八位字节 (见表8-8)。

注1 – 该八位字节的所有其他值由ITU-T保留。
 注2 – 该值对应于[ITU-T G.993.2]第11.2.3.3条定义的无分段嵌入式操作信道消息的分段代码。
 注3 – 该字段应作为ACK来使用，表示接收到误差反馈命令所要求的反向信道配置。

表8-8 – NACK原因码

值	定义
01_{16}	误差样本参数或截短误差样本报告格式设置无效。
02_{16}	VTU-R停止按照矢量化控制实体的请求发送误差报告。

注 – 所有其他原因码由ITU-T保留。

8.2 导频序列更新命令与响应

VTU-O VME应使用导频序列更新命令和响应强制更新上行导频序列，并与VTU-R VME协商为矢量化线路（见7.3.3条）更新某个导频序列。为更新单个导频序列（适用于通过ITU-T G.994.1禁用上行FDPS）和为更新八个上行导频序列（适用于通过ITU-T G.994.1启用上行FDPS）定义了不同的命令。表8-9列出了这些命令，这些命令只可以由VTU-O发起，VTU-R只能用ACK消息作出响应，命令格式见表8-10所列。

命令的第一个八位字节应分配为表8-2所列的导频序列更新命令类型值。第二个八位字节和后续的八位字节应如表8-9（命令）和表8-10（响应）所列。数据所使用的八位字节应使用[ITU-T G.993.2]第11.2.3.1条所述的格式进行映射。

通过使用导频序列更新消息，矢量化控制实体可以更新上行导频序列。

命令消息长度取决于上行导频序列的长度（ N_{pilot_us} 位，见7.3.3条）。上行导频序列的位数只可以在数据传送阶段改变。新分配的上行导频序列长度应与初始化阶段设置的上行导频序列长度相同。

命令消息字节应按表8-9进行定义。

表 8-9 – VTU-O传送的导频序列更新命令

名称	长度（字节）	八位字节个数	内容
导频序列配置 （通过 ITU-T G.994.1禁用FDPS）	$3 + N_{pilot_us}/8$	2	01 ₁₆ ，通过ITU-T G.994.1禁用FDPS时，表示变更上行导频序列（见注）。
		3	不允许中断当前上行导频序列时，内容为01 ₁₆ ；允许中断当前上行导频序列时，内容为02 ₁₆ ；（见注）
		4至3 + $\lceil N_{pilot_us}/8 \rceil$	上行导频序列位数，按表10-7字段#4编码格式编码。
导频序列配置 （通过 ITU-T G.994.1启用FDPS）	$11 + (N_{aips} + 1) \times \lceil N_{pilot_us}/8 \rceil$	2	02 ₁₆ ，通过ITU-T G.994.1启用FDPS时，表示变更上行导频序列（见注）。
		3	不允许中断当前上行导频序列时，内容为01 ₁₆ ；允许中断当前上行导频序列时，内容为02 ₁₆ ；（见注）
		4至3 + $\lceil N_{pilot_us}/8 \rceil$	上行导频序列位数，按表10-7字段#4编码格式编码。
		4 + $\lceil N_{pilot_us}/8 \rceil$ 至 $11 + (N_{aips} + 1) \times \lceil N_{pilot_us}/8 \rceil$	上行FDPS描述符，定义见表10-9。
注 – 该八位字节的所有其他值由ITU-T保留。			

导频序列更新命令的第三个八位字节定义了更改上行导频序列的下列时间点：

- 如果不允许中断当前上行导频序列（取值为01₁₆），应从上行导频序列从当前上行导频序列结束后（即，调制旧的上行导频序列最后一位的同步符号之后）下一个同步符号位置开始变更上行导频序列，下一个同步符号应调制新上行导频序列的第一位。
- 如果允许中断当前上行导频序列（取值为02₁₆），则可以在任何同步符号位置（即，调制旧的上行导频序列第i位的同步符号之后）上变更上行导频序列，下一个同步符号应调制新上行导频序列的第i+1位。

VTU-R所作出的响应只应是确认是否正确接收命令，具体响应见表8-10所列。

表8-10 – VTU-R传送的导频序列更新响应

名称	长度（字节）	八位字节个数	内容
ACK	2	2	80 ₁₆ （见注）
NACK	3	2	81 ₁₆ （见注）
		3	原因码使用1个八位字节（见表8-11）

注 – 该八位字节的所有其他值由ITU-T保留。

表8-11 – NACK原因码

值	定义
01 ₁₆	参数设置无效。

注：原因码的所有其他值由ITU-T保留。

如果导频序列更新命令更新了上行导频序列，则VTU-R应在发送ACK消息后使用变化了的导频序列。如果允许中断当前导频序列，则只要有可能就可以更新，并应在发送ACK消息后200 ms内更新导频序列。

导频序列嵌入式操作信道命令和响应的时序图如图8-1所示。

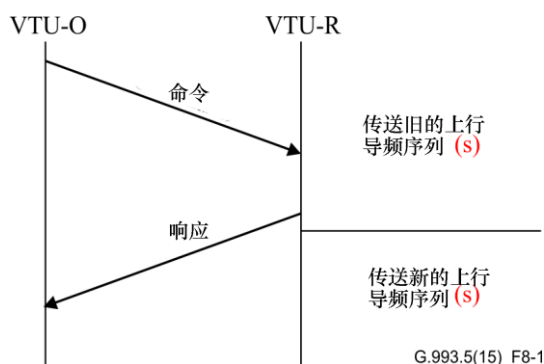


图8-1 – 导频序列更新命令和响应的时序图

8.3 功率管理命令和响应

应按[ITU-T G.993.2]第11.2.3.9条的规定使用功率管理命令和响应。[ITU-T G.993.2]第11.2.3.9.1条和第11.2.3.9.2条所述的有序关闭程序应按本条的定义进行修改。

8.3.1 由VTU-R发起的L3请求（代替[ITU-T G.993.2]第11.2.3.9.1条）

收到L3请求命令后，响应VTU-O应发送发出“同意（Grant）”或“拒绝（Reject）”响应。应将相应的链路状态格式化为L3链路状态所使用的03₁₆。若接收到任何其他链路状态，应发出“拒绝”响应，并发送理由码02₁₆。

VTU-O可能会因为临时繁忙而使用理由码01₁₆拒绝转换到链路状态L3的请求，或者因为VTU-O知道此时不需要L3状态而使用理由码03₁₆拒绝该请求。

当VTU-R接收到“同意”响应时，VTU-R将从R-SHOWTIME状态转换到R-SILENT状态（如图12-3所示）。当进入R-SILENT状态时，VTU-R还不能改变U-R2参考点处线路两端的输入阻抗。

当VTU-O检测到VTU-R已停止传输（因为VTU-R已过渡到R-SILENT状态），VTU-O应从O-SHOWTIME状态过渡到O-DEACTIVATING状态。

在矢量化控制实体的控制下，VTU-O将从O-DEACTIVATING状态过渡到O-SILENT状态。

当VTU-R检测到VTU-O已停止传输（因为VTU-O已过渡到O-DEACTIVATING状态或O-SILENT状态），VTU-R可能会改变传输路径的特性。然而，为了矢量化组的矢量化稳定性，VTU-R应该保持U-R2参考点处线路两端的输入阻抗几乎不变。

8.3.2 由VTU-O发起的L3请求（代替[ITU-T G.993.2]第11.2.3.9.2条）

收到L3请求命令后，响应VTU-R应发送发出“同意（Grant）”或“拒绝（Reject）”响应。应将相应的链路状态格式化为L3链路状态所使用的03₁₆。若接收到任何其他链路状态，应发出“拒绝”响应，并发送理由码02₁₆。

VTU-R可能会因为临时繁忙而使用理由码01₁₆拒绝转换到链路状态L3的请求，或因为VTU-O知道此时不需要L3状态而使用理由码03₁₆拒绝该请求。

当VTU-O接收到“同意”响应时，VTU-O应从O-SHOWTIME状态转换到O-DEACTIVATING状态。在O-DEACTIVATING状态中时，VTU-O还不能改变U-O2参考点处线路两端的输入阻抗。

在矢量化控制实体的控制下，VTU-O将从O-DEACTIVATING状态过渡到O-SILENT状态。进入O-SILENT状态后，VTU-O仍应保持U-O2参考点处线路两端的输入阻抗不变。

当VTU-R检测到VTU-O已停止传输（因为VTU-O已转换到O-DEACTIVATING状态或O-SILENT状态），VTU-R应从R-SHOWTIME状态转移至R-SILENT状态。

当VTU-O检测到VTU-R已停止传输（因为VTU-R已转换到R-SILENT状态），VTU-O可能改变传输路径。然而，为了矢量化组的矢量化稳定性，VTU-O应该保持U-O2参考点处线路两端的输入阻抗几乎不变。

9 矢量化组中线对的激活与停用

通过第10条中定义的初始化过程，可以激活一个矢量化组中的某条线路。

从矢量化系统中停用一条线也需要一个有序的过程。如果要停用的线路用于消除上行或下行远端串扰，则矢量化系统的性能可能会受到突然断开的影响。本条描述了“有序关闭事件”和“无序关闭事件”的程序。

9.1 有序关闭事件

有序关闭事件应包括过渡到线路状态L3时的功率管理。相关的功率管理命令和响应在第8.3条中定义。

9.2 无序关闭事件

检测到近端存在信号丢失（LOS）缺陷（见[ITU-T G.993.2]第11.3.1.3条），VTU-O应从O-SHOWTIME状态转换到O-DEACTIVATING状态。

在矢量化控制实体的控制下，VTU-O应从O-DEACTIVATING状态转换到O-SILENT状态。

注 – 如果矢量化组中其他线路上的误差是可以接受的，则除了切断传输信号外，还可以采用另一种技术，即快速更新系数。这可以通过以下方法实现。当在某条线路上检测到无序关闭事件（DSE）或其他无序事件，则其他线路的VTU-O应向其VTU-R发送误差反馈请求，最好使用稳定的嵌入式操作信道。然后，VTU-R应在矢量化反馈信道中向各自的VTU-O提供所请求的误差样本。在接收到误差样本后，为了更新整个信道的估计值，矢量化控制实体只需估计变化了的信道系数（即与出现无序关闭事件有关的信道系数）即可。这可以使用仅对应于几个同步符号的误差样本来实现。然后，矢量化控制实体使用更新后的信道估计来更新预编码器，更新后的信道估计包括已更改的信道系数和未更改的信道系数。在使用这种快速更新机制更新预编码器之前，误差周期的持续时间大约是几个超帧的长度，因此可以避免由于无序关闭事件而对其他线路进行重新训练。

10 矢量化组的初始化

本条定义了矢量化组的初始化过程。

10.1 概述

本条所述的初始化过程以ITU-T G.993.2建议书中的初始化过程为基础，增加了消除远端串扰信道估计的步骤。在ITU-T G.994.1建议书中所述的初始化阶段，确定了矢量化运行的最终模式（即，下行和上行矢量化，或单纯的下行矢量化）。

图10-1提供了上行方向和下行方向初始化过程的总体情况。在本建议书中，采用了ITU-T G.993.2建议书的“初始化”阶段，并对专用操作信道（SOC）的消息进行了一部分修改，增加了用于远端串扰信道估计的初始化信号。图10-1重点给出了为ITU-T G.993.2建议书中所述“信道发现”阶段和“训练”阶段增加的初始化信号。

如果数条线路同时初始化，则这些线路的初始化程序必须按时间匹配，这样就可以使所有线路同时经过矢量化相关阶段（参阅10.3.3.6条和10.4.3.9条）。

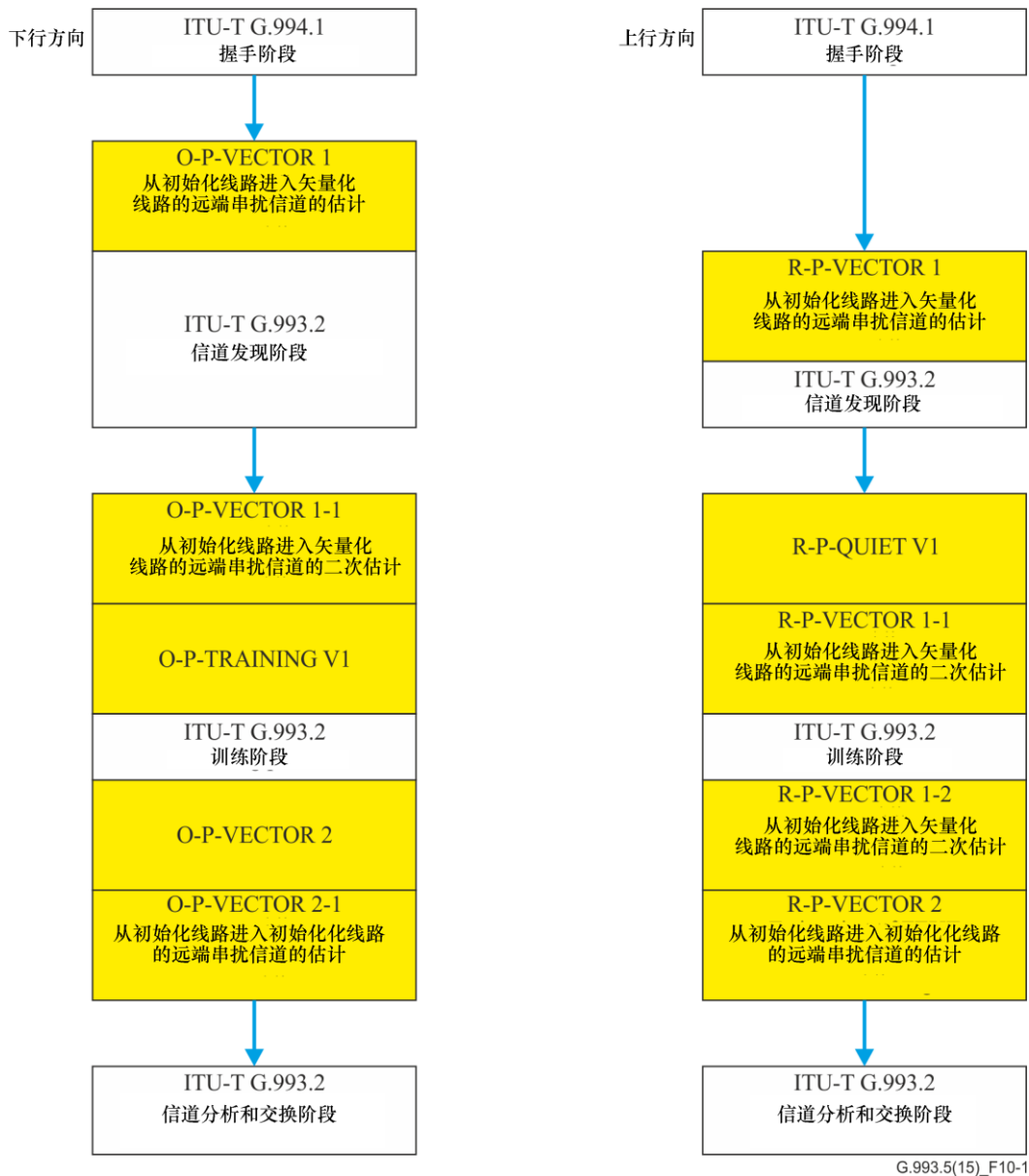


图10-1 – ITU-T G.993.5初始化总体情况

信道发现阶段开始时，初始化线路的VTU-O在下行方向上发送O-P-VECTOR 1信号，该信号只包含用导频序列调制过的同步符号，且与矢量化线路的同步信号匹配，如图10-2所示。O-P-VECTOR 1信号允许矢量化控制实体对从初始化线路进入矢量化线路的远端串扰信道进行估计。根据已报告的截短误差样本，矢量化控制实体通过矢量化线路的VTU-R对这些远端串扰信道进行估计，并在初始化线路的其余初始化过程期间启用这些矢量化线路的VTU-O中的预编码功能，以此来消除从初始化线路进入这些矢量化线路的远端串扰。

在训练阶段开始时，初始化VTU-O将发送O-P-VECTOR 1-1信号，该信号与O-P-VECTOR 1相同，并且允许矢量化控制实体在过渡到ITU-T G.993.2训练阶段之前对初始化线路进入矢量化线路的下行远端串扰信道估计进行更新。

ITU-T G.993.2训练阶段结束后，VTU-O发送O-P-VECTOR 2信号，然后再发送O-P-VECTOR 2-1信号，这两个信号是由导频序列调制后的同步信号和加载专用操作信道信息的规则符号组成，如图10-3所示。在发送O-P-VECTOR 2-1信号期间，矢量化控制实体对从所有矢量化线路进入每一条初始化线路以及从所有初始化线路进入每一条矢量化线路的远端串扰进行估计。最后，在O-P-VECTOR 2-1信号传送的结束阶段，矢量化控制实体就可以估计出

整个远端串扰信道矩阵，包括从初始化线路进入矢量化线路的远端串扰系数以及从矢量化线路进入初始化线路的远端串扰系数。至此，初始化过程完成，并且可以将初始化线路包括在预编码操作中。O-P-VECTOR 2-1信号传输完成后，初始化线路的VTU-O将进入“信道分析和交换”阶段，进而对信噪比（SNR）进行估计，确定数据传送阶段所使用的比特荷载。

在上行方向上，为了避免有过多的远端串扰进入矢量化线路，初始化线路的VTU-R在信道发现阶段检测到O-SIGNATURE消息后，开始传送一个形式与O-P-VECTOR 1相同的R-P-VECTOR 1信号，如图10-2所示。在传送R-P-VECTOR 1信号的过程中，矢量化控制实体对从初始化线路进入矢量化线路的远端串扰进行估计，并启用矢量化线路的VTU-O来消除初始化线路剩余初始化过程期间来自初始化线路的远端串扰。上行同步符号和上行导频序列的时间位置由矢量化控制实体设定，并在O-SIGNATURE消息中的VTU-R予以说明，然后通过特殊标志增加到O-P-CHANNEL DISCOVERY V1信号中。

此外，为了在初始上行阶段（R-P-VECTOR 1）降低上行发送功率，可以将其他可选参数添加到O-P-SIGNATURE消息中。降低上行发送功率可以用于减少R-P-VECTOR 1信号进入相同线束中非矢量化线路带来的串扰，并对R-P-VECTOR 1信号的上行发送功率谱密度进行平缓衰减，还可以提供[ITU-T G.993.2]所定义的标准上行功率回馈。

注1 – 按照[ITU-T G.997.1]的规定，用于确定上行功率谱密度掩模极限（UPBOMASK，见[ITU-T G.993.2]第7.2.1.3.2.2条）的参数 a 和 b 由运营商通过CO-MIB提供。运营商可以提供或允许使用 a 、 b 的默认值，该默认值不同于[ITU-T G.993.2]（例如，附件A.2.3、B.3和C.2.1.4）所定义的地理区域的特殊值，因为上行远端串扰可以通过消除串扰来减少，这样就可以使用更高的上行功率谱密度。初始化期间采用UPBO后，经由无缝速率适配器向VTU-O发出请求后，VTU-R可以在数据传送阶段进一步调整其传输功率谱密度（此时仍低于上行功率谱密度掩模极限），以便在矢量化控制实体的控制下提高上行性能。运营商还可以通过重新初始化来调整适用的参数 a 和 b 。

在训练阶段开始时，初始化VTU-R将发送R-P-VECTOR 1-1信号，该信号与R-P-VECTOR 1相同，并且允许矢量化控制实体在过渡到ITU-T G.993.2训练阶段之前对初始化线路进入矢量化线路的上行远端串扰信道估计进行更新。VTU-R发送信号R-P-VECTOR 1-1时，VTU-O发送O-P-TRAINING V1信号作为时间填充信号。

根据有关线路长度的规定知识，时间超前量的初始值由VTU-O设定，并通过信号O-SIGNATURE进行通信。如果在训练阶段进一步重新调整时间超前量，为了将重新调整后远端串扰信道的一切变化（图10-1中的信号R-P-VECTOR 1-2）都包含在内，则应在训练阶段结束时将更新上行方向上远端串扰信道的估计值。VTU-R发送信号R-P-VECTOR 1-2时，VTU-O发送O-P-VECTOR 2信号作为时间填充信号。

训练阶段结束时，VTU-R发送R-P-VECTOR 2信号，这个信号是由导频序列调制后的同步符号和加载专用操作信道信息的规则符号组成的。在发送R-P-VECTOR 2信号期间，矢量化控制实体对从所有矢量化线路进入每一条初始化线路以及从所有初始化线路进入每一条矢量化线路的远端串扰进行估计。最后，在R-P-VECTOR 2信号传送的结束阶段，矢量化控制实体就可以估计出整个远端串扰信道矩阵，包括从初始化线路进入矢量化线路的远端串扰系数以及从矢量化线路进入初始化线路的远端串扰系数。至此，初始化过程完成，并且初始化线路变为矢量化组中的可用线路。R-P-VECTOR 2信号发送完成后，VTU-R进入“信道分析和交换”阶段，开始对信噪比（SNR）进行估计，并确定数据传送阶段所使用的比特荷载。

在发送R-P-VECTOR 2信号的过程中，为了获得更高速度的专用操作信道，可以对专用操作信道参数进行设置，这对从VTU-R向VTU-O传送截短误差样本来说是必要的。由于VTU-O和VTU-R都经过了训练阶段，因而在“信道分析和交换”阶段专用操作信道中的重复次数可以减少，这与[ITU-T G.993.2]类似。这将提供更快速的反向信道，有助于快速估计从矢量化线路进入初始化线路的远端串扰信道。

图10-2和10-3显示了在初始化信号O-P-VECTOR和R-P-VECTOR发送阶段，经导频序列调制后的同步符号的位置如何匹配：所有线路的下行同步符号按时间同步，所有线路的上行同步符号也按时间同步。在初始化过程中，上行同步符号和下行同步符号之间设置一个或几个符号的时间差（见10.3.2.1条）。

注2 – 在某些实现中，初始化VTU的传输路径可以在“信道发现”阶段有所变化。对下行和上行远端串扰信道的更新有助于捕获进入矢量化线路所产生的远端串扰的任何相关变化。O-P-VECTOR 1-1或R-P-VECTOR 1-1信号发送前，模拟前端（AFE）传输路径的任何变化都有可能增大从变化发生的瞬间到开始发送O-P-VECTOR 1-1或R-P-VECTOR 1-1信号期间由初始化线路进入矢量化线路产生的远端串扰。因此在实现的过程中，应尽量减少在“信道发现”阶段对AFE的修改。

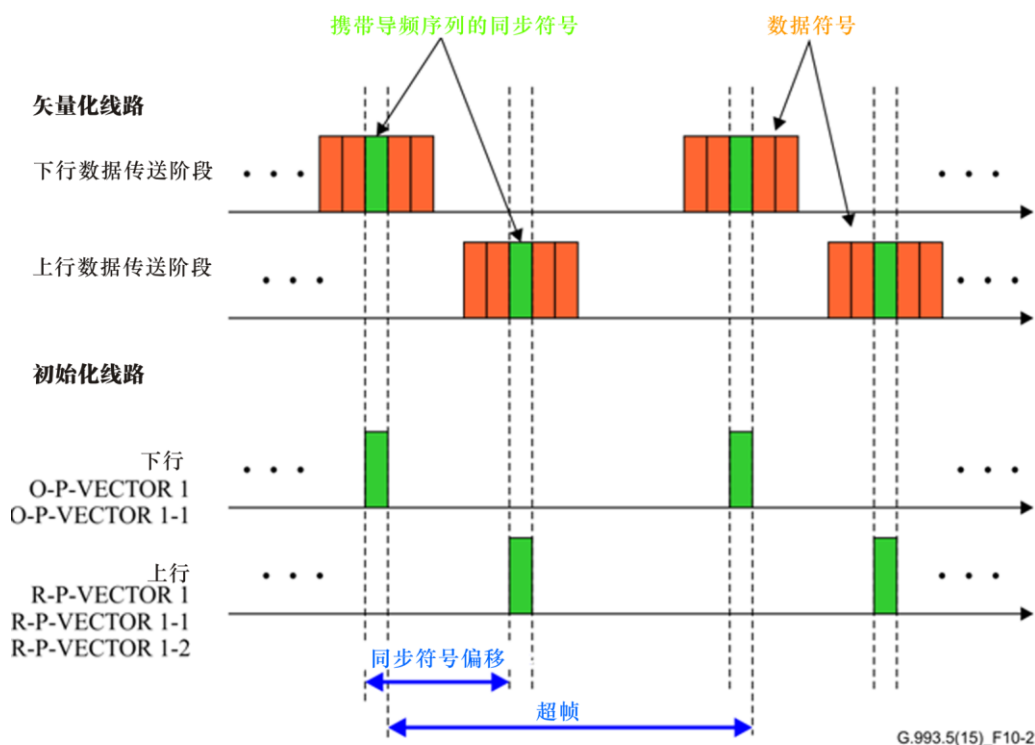


图10-2 – 上行和下行方向上的信号定时
(信号O-P-VECTOR 1和R-P-VECTOR 1)

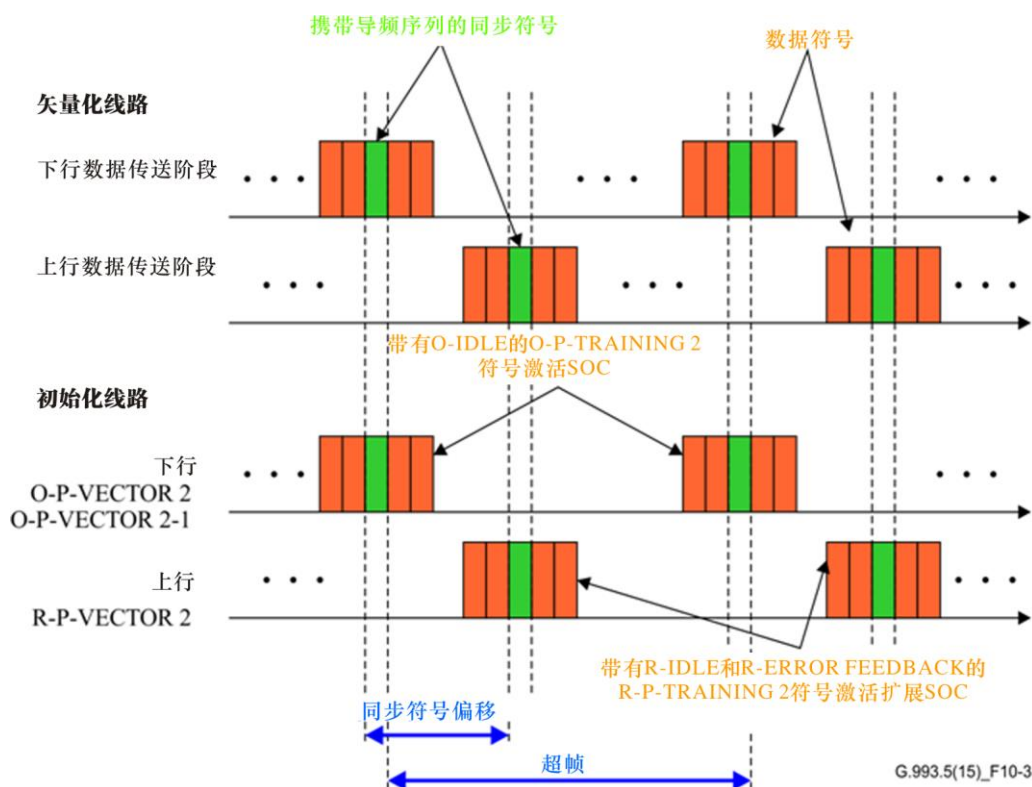


图10-3 – 上行和下行方向上的信号定时
(信号O-P-VECTOR 2和R-P-VECTOR 2)

后续部分将对初始化程序的各个阶段进行更为详细的讨论。

10.2 ITU-T G.994.1握手阶段

初始化程序从ITU-T G.994.1握手阶段开始。在这个阶段，除[ITU-T G.993.2]中定义的定期握手阶段交换的参数外，VTU-O和VTU-R应交换其启用矢量化能力。VTU-O应支持下行矢量化，还可以支持上行矢量化。VTU-R应支持下行矢量化，还应支持上行矢量化。基于这些能力，就可以在ITU-T G.994.1初始化阶段确定矢量化操作的最终模式（即，下行和上行矢量化，或只进行下行矢量化）（见[ITU-T G.994.1]中的表11.68.0.1和11.68.10以及本建议书的表7-a/b/c/d）。

发送MS消息之前，VTU-O应确认下列所有条件是否成立（注1）：

- 中心局管理信息库参数VECTORMODE_ENABLE第0位被设置“0”；
- 消息CL或消息CLR中，附件X“下行方向上符合ITU-T G.993.5的ITU-T G.993.2操作”中定义的NPar(2)位被设置为零。
- 消息CL或消息CLR中，附录Y“完全符合ITU-T G.993.5的ITU-T G.993.2操作”中定义的NPar(2)位被设置为零。
- 消息CL或消息CLR中，“ITU-T G.993.5”中定义的SPar(2)位被设置为零。

上述所有条件均满足时，在ITU-T G.994.1清除程序开始前，VTU-O应确认在最后传送的MS消息中的“ITU-T G.993.2”SPar(1)位被设置为0（注2）。否则，应根据VTU-O和VTU-R在CL消息和CLR消息指定的启用能力，单独协商[ITU-T G.993.2]附件X、[ITU-T G.993.2]附件Y和本条所定义的操作模式。

注1 – 如果中心局管理信息库中不允许采用这种模式，则VTU-O验证这些条件的作用是确认线路将不会被初始化为“既不符合附件X，也不符合附件Y的ITU-T G.993.2模式”。

注2 – 这可能要求使用[ITU-T G.994.1]中表14所定义的ITU-T G.994.1扩展会话A:B。

矢量化控制实体应强制VTU-O将初始化线路中的子载波间隔和符号速率设置为与其他矢量化线路所使用的值相同的值。

注3 – 通过在上行和下行样本的IDFT大小和CE长度之间设置相同的比率，可以在矢量化组的所有线路之间实现相同的符号速率。

注4 – 在握手阶段，VTU-O根据VTU-O和VTU-R所指定的支持值来选择CE的值。只有 $CE=5 \times N/32$ （其中， $2 \times N$ 为IDFT的大小）才是强制值。如果没有关于VTU-R的CE容量方面的信息，则该值将是新的初始化线路保证能支持的唯一值。

表10-1 – VTU-O CL消息中SPar(2)和NPar(3)字段的位定义

ITU-T G.994.1 SPar(2)位	SPar(2)字段的位定义
ITU-T G.993.5	该位应被设置为1，当且仅当VTU-O支持ITU-T G.993.5，且中心局管理信息库允许使用ITU-T G.993.5（即VECTORMODE_ENABLE第3位设置为1，见[ITU-T G.997.1]第7.3.1.13.9条）。
ITU-T G.994.1 NPar(3)位	NPar(3)字段的位定义
下行矢量化位	该位应设置为1，表示VTU-O支持下行矢量化。
上行矢量化位	该位设置为1时，表示VTU-O支持上行矢量化；设置为0时，表示VTU-O不支持上行矢量化。
导频序列长度为4的倍数位	该位设置为1时，表示VTU-O支持长度为4的倍数的导频序列；设置为0时，表示VTU-O只支持长度为2的整数幂的导频序列。
上行FDPS位	该位设置为1时，表示VTU-O支持上行FDPS；设置为0时，表示VTU-O不支持上行FDPS。
O-P-VECTOR 1信号8192超帧持续时间位	该位设置为1时，表示VTU-O支持将信号O-P-VECTOR 1的持续时间扩展到8192超帧；设置为0时，表示不支持将信号O-P-VECTOR 1的持续时间扩展到8192超帧。
只使用O-P-VECTOR 1标志音位	该位设置为1时，表示VTU-O支持只使用O-P-VECTOR 1标志音（见10.3.3.1条）；设置为0时，表示VTU-O不支持只使用O-P-VECTOR 1标志音。 如果“O-P-VECTOR 1信号的8192超帧持续时间”位被设置为0，则“只使用O-P-VECTOR 1标志音”位也应设置为0。

表10-2 – VTU-O MS消息中SPar(2)和NPar(3)字段的位定义

ITU-T G.994.1 SPar(2)位	SPar(2)字段的位定义
ITU-T G.993.5位	当且仅当在前一个CL消息和前一个CLR消息中均设置为1时，该位才应置为1。设置为1时，表示两端的VTU应进入ITU-T G.993.5初始化阶段。
ITU-T G.994.1 NPar(3)位	NPar(3)字段的位定义
下行矢量化位	该位应设置为1，表示下行矢量化。
上行矢量化位	当且仅当在前一个CL消息和前一个CLR消息中均设置为1时，该位才应置为1。设置为1时，表示启用上行矢量化；设置为0时，表示禁用上行矢量化。
导频序列长度为4的倍数位	当且仅当在前一个CL消息和前一个CLR消息中均设置为1时，该位才应置为1。设置为1时，表示启用“导频序列长度为4的倍数”；设置为0时，表示只启用长度为2的整数幂的导频序列。
上行FDPS位	当且仅当在前一个CL消息和前一个CLR消息中均设置为1时，该位才应置为1。设置为1时，表示启用上行FDPS；设置为0时，表示禁用上行FDPS。
O-P-VECTOR 1信号8192超帧持续时间位	当且仅当在前一个CL消息和前一个CLR消息中均设置为1时，该位才应置为1。设置为1时，表示启用“O-P-VECTOR 1信号8192超帧持续时间”；设置为0时，表示禁用“O-P-VECTOR 1信号的8192超帧持续时间”。
只使用O-P-VECTOR 1标志音位	当且仅当在前一个CL消息和前一个CLR消息中均设置为1时，该位才应置为1。设置为1时，表示启用“只使用O-P-VECTOR 1标志音”；设置为0时，表示禁用“只使用O-P-VECTOR 1标志音”。

表10-3 – VTU-R CLR消息中SPar(2)和NPar(3)字段的位定义

ITU-T G.994.1 SPar(2)位	SPar(2)字段的位定义
ITU-T G.993.5位	当且仅当VTU-R支持ITU-T G.993.5时，该位才应设置为1。
ITU-T G.994.1 NPar(3)位	NPar(3)字段的位定义
下行矢量化位	该位应设置为1，表示VTU-R支持下行矢量化。
上行矢量化位	该位应设置为1时，表示VTU-R支持上行矢量化。
导频序列长度为4的倍数位	该位设置为1时，表示VTU-R支持长度为4的倍数的导频序列；设置为0时，表示VTU-R只支持长度为2的整数幂的导频序列。
上行FDPS位	该位设置为1时，表示VTU-R支持上行FDPS；设置为0时，表示VTU-R不支持上行FDPS。
O-P-VECTOR 1信号8192超帧持续时间位	该位设置为1时，表示VTU-R支持将信号O-P-VECTOR 1的持续时间扩展到8192超帧；设置为0时，表示不支持将信号O-P-VECTOR 1的持续时间扩展到8192超帧。
只使用O-P-VECTOR 1标志音位	该位设置为1时，表示VTU-R支持只使用O-P-VECTOR 1标志音（见10.3.3.1条）；设置为0时，表示VTU-R不支持只使用O-P-VECTOR 1标志音。 如果“O-P-VECTOR 1信号的8192超帧持续时间”位被设置为0，则“只使用O-P-VECTOR 1标志音”位也应设置为0。

表10-4 – VTU-R MS消息中SPar(2)和NPar(3)字段的位定义

ITU-T G.994.1 SPar(2)位	SPar(2)字段的位定义
ITU-T G.993.5位	当且仅当在前一个CL消息和前一个CLR消息中均设置为1时，该位才应置为1。设置为1时，表示两端的VTU应进入ITU-T G.993.5初始化阶段。
ITU-T G.994.1 NPar(3)位	NPar(3)字段的位定义
下行矢量化位	该位应设置为1，表示下行矢量化。
上行矢量化位	当且仅当在前一个CL消息和前一个CLR消息中均设置为1时，该位才应置为1。设置为1时，表示启用上行矢量化；设置为0时，表示禁用上行矢量化。
导频序列长度为4的倍数位	当且仅当在前一个CL消息和前一个CLR消息中均设置为1时，该位才应置为1。设置为1时，表示启用“导频序列长度为4的倍数位”；设置为0时，表示只启用长度为2的整数幂的导频序列。
上行FDPS位	当且仅当在前一个CL消息和前一个CLR消息中均设置为1时，该位才应置为1。设置为1时，表示启用上行FDPS；设置为0时，表示禁用上行FDPS。
O-P-VECTOR 1信号8192超帧持续时间位	当且仅当在前一个CL消息和前一个CLR消息中均设置为1时，该位才应置为1。设置为1时，表示启用“O-P-VECTOR 1信号8192超帧持续时间”；设置为0时，表示禁用“O-P-VECTOR 1信号的8192超帧持续时间”。
只使用O-P-VECTOR 1标志音位	当且仅当在前一个CL消息和前一个CLR消息中均设置为1时，该位才应置为1。设置为1时，表示启用“只使用O-P-VECTOR 1标志音”；设置为0时，表示禁用“只使用O-P-VECTOR 1标志音”。

10.2.1 串扰环境下避免初始化误差

本条定义的功能可以防止一个VTU-O与两个VTU-R建立通信。这样的通信有可能导致两个VTU-R发送相同的上行导频序列，进而对矢量化控制实体学习上信道矩阵产生潜在的负面影响。

支持这一功能对于VTU-O和VTU-R都是可选的。如果支持，该功能应按照本条的定义来实现。

ITU-T G.994.1的标识字段，为交换收发器ID定义了两个参数（见[ITU-T G.994.1]表9.14、表9.14.1.x和表9.14.2.x）：

- 带有30位NPar(3)相关参数的网络侧收发器ID SPar(2)；
- 带有30位NPar(3)相关参数的远端收发器ID SPar(2)。

网络侧收发器ID是VTU-O ID。VTU-O ID应由VTU-O产生。

远端收发器ID是VTU-R ID。VTU-R ID应由VTU-R产生。

30位VTU ID应由下列两部分组成：

- 第一部分（MSB）由序列号和供应商ID导出；
- 第二部分（LSB）使用随机数生成器计算。

第一部分的长度为16比特，应依照[ITU-T G.997.1]第6.4.3条的规定，按VTU供应商ID和VTU序列号的16位高级数据链路控制（HDLC）帧校验序列（FCS）计算。

帧校验序列应在VTU供应商ID的所有位上计算，后跟VTU序列号。

帧校验序列应从第1个八位字节的第1位（LSB）开始计算。八位字节应按数字升序彼此相接。在一个八位字节内，各数位也应按数字升序彼此相接。

用于计算循环冗余校验码（CRC）的寄存器应初始化为FFFF₁₆。

按照ITU-T G.994.1初始化握手阶段所定义的供应商ID信息块（见[ITU-T G.994.1]表7），VTU供应商ID应包括T.35国家代码（2个八位字节），然后是提供商代码（4个八位字节）。

注 – 不包括供应商ID信息块中的“供应商相关信息”。

VTU-O序列号应为中心局端（XTU-C）G.997.1 X数字用户线收发器单元序列号（见[ITU-T G.997.1]7.4.7条）。

VTU-R序列号应为设备序列号，是远端（XTU-R）G.997.1 X数字用户线收发器单元序列号的一部分（见[ITU-T G.997.1]7.4.8条）。

注 – 不包括G.997.1 XTU-R序列号中的设备模型和设备固件版本号。

第二部分的长度为14比特，应由VTU通过供应商自主选定的随机数生成器产生。每一次ITU-T G.994.1会话中随机产生的数都是不同的。

如果收发器发送表10-5所列的任何信息，则该信息应包括表10-5所列的收发器ID。字母“M”表示“强制”，“CO”表示“条件选择”，“CM”表示“条件强制”，条件是当且仅当在相同的ITU-T G.994.1会话的前一个消息中收到该信息时包含远端收发器ID。

表10-5 – ITU-T G.994.1中包含的收发器ID和初始化信息

	VTU-O ID	VTU-R ID
CLR	–	M
CL	M	CO
MP	CM	M
来自VTU-O的MS	M	CM
来自VTU-R的MS	CM	M
O-SIGNATURE	–	CM

如果VTU-R收到一条包含VTU-R ID的CL或MS消息，且该VTU-R ID与CLR中所发送的VTU-R ID不同，则VTU-R应使用NAK-CD进行响应，然后开始执行[ITU-T G.994.1]第11.3条规定的ITU-T G.994.1会话清除程序。

如果VTU-O收到一条包含VTU-O ID的MP或MS消息，且该VTU-O ID与CL中所发送的VTU-O ID不同，则VTU-O应使用NAK-CD进行响应，然后开始执行[ITU-T G.994.1]第11.3条规定的ITU-T G.994.1会话清除程序。

如果VTU-R收到一条包含VTU-R ID的O-SIGNATURE消息，且该VTU-R ID与CLR中所发送的VTU-R ID不同，VTU-R应返回R-SILENT状态。

如果VTU-R收到包含VTU-R ID等于CLR消息中发送的VTU-R ID的O-SIGNATURE消息，则仅在具有已确认的收发器ID的收发器之间建立通信，并且应按照第10.3条中的定义进行初始化。

注1 – VTU-R收发器ID包含在O-SIGNATURE消息中，以避免VTU-O决定在O-P-VECTOR-1信号期间中断通信时进行误差检测。

注2 – 即使只在已确认收发器ID的收发器之间建立了通信，已建立的通信也有可能经过串扰路径（即非直连路径）。如果出现这种情况，因为矢量化控制实体在每条初始化线路只能看到唯一的上行导频序列，所以在信道发现阶段发送R-P-VECTOR 1信号期间上行信道矩阵的完整性也不会受到影响。

VTU-O应确保ITU-T G.994.1消息序列允许VTU-O和VTU-R在ITU-T G.994.1会话期间获得其收发器ID的确认。表10-6列出了这类ITU-T G.994.1消息序列的样例。

表10-6 – ITU-T G.994.1会话序列样例

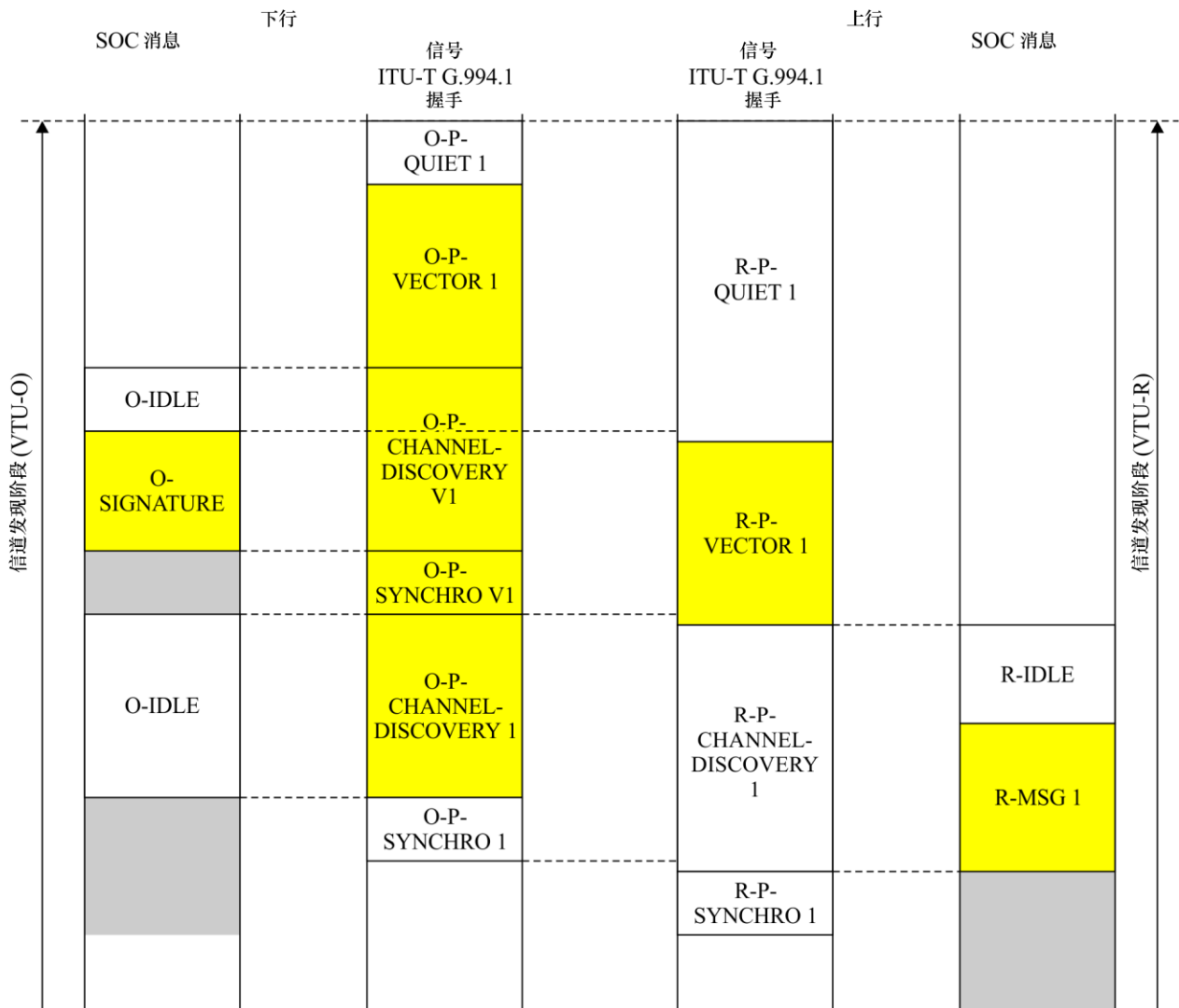
样例编号	ITU-T G.994.1消息序列
1	会话C: CLR → CL → ACK(1); 会话D: MP → MS → ACK(1)。
2	会话C: CLR → CL → ACK(1); 扩展会话A:B: MS → REQ-MR → MR → MS → ACK(1)。
3	会话C: CLR → CL (包括VTU-R ID) → ACK(1); 会话A: MS → ACK(1)。
4	会话C: CLR → CL (包括VTU-R ID) → ACK(1); 会话B: MR → MS → ACK(1)。

10.3 信道发现阶段

10.3.1 概述

握手阶段结束后应是信道发现阶段。如果ITU-T G.994.1初始化阶段禁用下行矢量化和上行矢量化，则应跳过初始化的所有矢量化相关部分，并应按照[ITU-T G.993.2]的定义执行信道发现阶段。

如果启用了下行矢量化和上行矢量化，则此时的信道发现阶段应为修正版ITU-T G.993.2信道发现阶段。图10-4和10-5以高亮显示了ITU-T G.993.2信道发现阶段为ITU-T G.993.5收发器添加的信号和修改的信号/消息。非高亮显示的信号和消息应为[ITU-T G.993.2]所定义的信号和消息。



G.993.5(15)_F10-4

图10-4 – 信道发现阶段早期

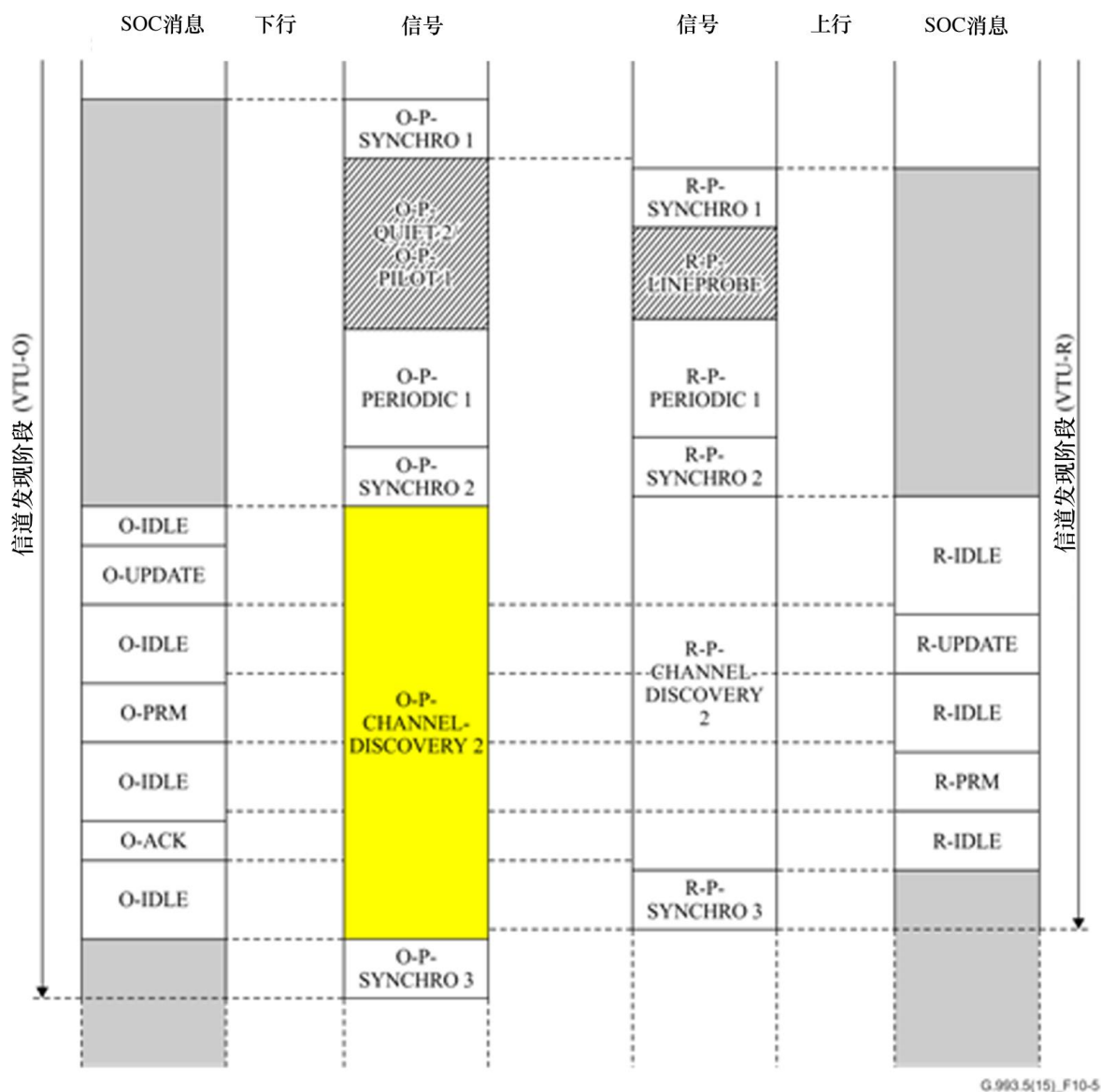


图10-5 – 信道发现阶段后期

10.3.2 信道发现阶段发送的修正SOC消息

10.3.2.1 O-SIGNATURE消息

O-P-CHANNEL DISCOVERY V1 和 O-P-CHANNEL DISCOVERY 1 期间发送的 O-SIGNATURE消息包含一个ITU-T G.993.5参数字段A和一个ITU-T G.993.5参数字段B。ITU-T G.993.5参数字段A是长度可变的，包含消除远端串扰所需的若干参数，如表10-7所列。ITU-T G.993.5参数字段B包含定义上行FDPS所需的参数，如表10-9所列。

表10-7 – 消息O-SIGNATURE中ITU-T G.993.5参数字段A

字段编号	字段内容	格式
1	ITU-T G.993.5参数字段A长度	1字节
2	矢量化下行频段	频段描述符
3	上行导频序列长度	2字节
4	上行导频序列	$\lceil N_{pilot_us}/8 \rceil$ 字节
5	上行同步符号偏移量	1字节
6	上行R-P-VECTOR 1功率谱密度衰减量	1字节
7	下行同步符号计数器模值 (N_{SSC})	2字节
8	矢量化控制实体供应商ID和版本号	10字节
9	VTU-R ID	4字节

字段1“ITU-T G.993.5参数字段A长度”表示ITU-T G.993.5参数字段A的字节长度，不包括ITU-T G.993.5参数字段A长度字段。O-SIGNATURE消息中的ITU-T G.993.5参数字段A应包括表10-7所列的所有字段。该字段应表示为一个无符号整数。

字段2“矢量化下行频段”定义了矢量化控制实体为下行方向矢量化分配的频段。该字段应按“频段描述符”的要求确定格式（见[ITU-T G.993.2]中的表12-18）。所规定的频段数不能超过八个。定义频段边界的子载波索引应符合7.2.2条的要求。

字段3“上行导频序列长度”定义了上行导频序列的位长度 N_{pilot_us} （见7.3.3条）。如果启用“导频序列长度为4的倍数”（见10.2条），则有效值均为8~512之间的4的倍数。否则，有效值为8~512之间的2的整数幂。该字段应表示为一个代表序列长度的无符号整数。

字段4“上行导频序列”定义了由矢量化控制实体分配用于调制到R-P-VECTOR信号所包含的同步符号上的导频序列。其形式为 N_{pilot_us} 比特的二进制串（见7.3.3条），导频序列的第一位（位索引为0）对应该字段第一个字节的LSB，导频序列的最后一位（位索引为 $N_{pilot_us}-1$ ）对应该字段最后一个字节的MSB。字段长度应从字段3按 $\lceil N_{pilot_us}/8 \rceil$ 导出。如果 N_{pilot_us} 不是8的倍数，则应将该字段最后一个八位字节的4个最高有效位设置为0。

字段5“上行同步符号偏移量”定义了矢量化控制实体设定的下行同步符号和上行同步符号之间的时间偏移量（表示为符号数）。该字段应表示为一个二进制补码整数，其有效值范围为-127~+127，不包括0，其中，负偏移量表示上行同步符号相对于下行同步符号有延迟。

注 – U接口上行和下行方向同步符号之间的偏移量有效值不包括数值0，是因为该数值会降低回声信号的随机性而有可能影响供应商对同步符号的相关处理。

字段6“上行R-P-VECTOR 1功率谱密度信号衰减量”定义了由矢量化控制实体为R-P-VECTOR 1信号的上行传输功率谱密度和上行功率回馈设定的平缓衰减量。该衰减量按照0.1 dB步长在0~25.5 dB的范围内进行编码。该字段应表示为0（0 dB）~255（25.5 dB）范围之间的一个无符号整数。

字段7“下行同步符号计数器模值(N_{SSC})”定义了一个在数据传送阶段用于维持下行同步符号计数器的模值。如果启用“导频序列长度为4的倍数”(见10.2节),则该字段编码为一个表示N_{SSC}值的无符号数,单一有效值为 $(2n \times N_{pilot_ds}) \geq 1024$ 中的最小值,其中n为整数。否则,如果N_{SSC}等于1024,则该字段用一个单一有效值编码。

注-如果N_{SSC}是某个下行导频序列长度倍数的整数,则导频序列索引可以通过取模运算从下行同步符号计数器中导出。

字段8“矢量化控制实体供应商ID和版本号”定义了矢量化控制实体供应商的ID和版本号。该字段由10个字节组成,表10-8规定了该字段的定义和格式。

字段9“VTU-R ID”包含30位的VTU-R收发器ID(该字段的两个最高有效位被设置为00₂)。如果VTU-O在最近一个ITU-T G.994.1会话期间收到VTU-R ID,则该字段应包括该VTU-R ID,否则,该字段应设置为00000000₁₆。

表10-8 – 矢量化控制实体供应商ID信息块(10字节)

ITU-T T.35国家代码(2字节 – 注1)
供应商代码(供应商标识)(4字节 – 注2)
供应商指定的版本号(4字节)
注1 – 如果第一个八位字节没有全部设置为二进制数1,则发射机应将第二个八位字节中的所有位都设置成二进制数0,接收机忽略该字节。国家代码的唯一作用是标识供应商代码的注册国。 注2 – 本字段的编码规格和传送顺序由分配供应商代码的地区标准组织负责。供应商代码联系人信息请参阅[ITU-T G.994.1]附录II。

表10-9 – 消息O-SIGNATURE中ITU-T G.993.5参数字段B

字段编号	字段内容	格式
1	ITU-T G.993.5参数字段B长度	2字节
2	上行FDPS	上行FDPS描述符

字段1“ITU-T G.993.5参数字段B长度”表示ITU-T G.993.5参数字段B的字节长度,不包括ITU-T G.993.5参数字段B长度字段。如果ITU-T G.993.5参数字段B只有字段1,其后没有其他字段,则ITU-T G.993.5参数字段B应为两个字节,内容为0000₁₆。该字段应表示为一个无符号整数。

字段2“上行FDPS”定义了矢量化控制实体分配的附加独立导频序列以及如何导出需要调制到R-P-VECTOR信号中同步符号上的上行导频序列。该字段应按“上行FDPS描述符”字段的要求设置格式(见表10-10)。如果在ITU-T G.994.1初始化阶段禁用上行FDPS,则ITU-T G.993.5参数字段B中不应包括上行FDPS描述符。

表10-10 – 上行FDPS描述符

字段编号	字段内容	格式
1	相关独立导频序列的索引	3字节
2	序列相对于相关独立导频序列的符号	1字节
3	序列相对于相关独立导频序列的循环位移量	3字节
4	附加独立导频序列的个数 (<i>Naips</i>)	1字节
5	独立导频序列1的位数	$\lceil N_{pilot_us}/8 \rceil$ 字节

	独立导频序列 <i>Naips</i> 的位数	$\lceil N_{pilot_us}/8 \rceil$ 字节

字段1“相关独立导频序列的索引”是一个24位的字段，由八个3比特的子字段组成。第一个子字段（3个最低位）表示为导频序列0的独立导频序列的索引，第八个子字段（3个最高有效位）表示作为导频序列7的独立导频序列的索引。索引应表示为一个3位无符号整数。

字段2“序列相对于相关独立导频序列的符号”是一个八位的位图，其中0表示给定索引的导频序列与相关独立导频序列符号相同，1表示定索引的导频序列与相关导频序列符号相反。最低有效位表示是否应对导频序列0进行符号反转，最高有效位表示是否对导频序列7进行符号反转。

字段3“序列相对于相关独立导频序列的循环位移量”是一个24位的字段，由八个3比特的子字段组成。第一个子字段（3个最低有效位）表示导频序列0相对于相关独立导频序列的循环位移量，第八个子字段（3个最高有效位）表示导频序列7相对于相关独立导频序列的循环位移量。子字段的值是实际循环移位量（*CyS*），用0~7之间的无符号数表示，其中：

导频序列位[*i*] =

相关独立导频序列位[$(i + CyS \times N_{pilot_us} / 8) \text{ MOD } N_{pilot_us}$]。

如果*Npilot_us*是4的奇数倍，则*CyS*应为偶数。

字段4“附加独立导频序列的个数 (*Naips*)”是一个1字节的字段，表示上行FDPS描述符中包含的附加独立导频序列的个数。*Naips*的有效值为0~7。

字段5“附加独立导频序列的位数”定义了矢量化控制实体分配的、用于调制到上行同步符号上的*Naips*个附加导频序列的位数（即，独立导频序列1到独立导频序列*Naips*）。每个序列的长度为*Npilot_us*比特（见7.3.3条）。每个序列按照表10-7为字段4定义的规则（最后一个字节可以不完整）被映射到 $\lceil N_{pilot_us}/8 \rceil$ 个字节。该字段的总长度应为*Naips*× $\lceil N_{pilot_us}/8 \rceil$ 字节。独立导频序列0的位数通过ITU-T G.993.5参数字段A“上行导频序列”字段传递。

10.3.2.2 R-MSG1消息

[ITU-T G.993.2]表12-24中定义的R-MSG1消息（R-P-CHANNEL DISCOVERY 1期间发送）包含一个ITU-T G.993.5参数字段。该ITU-T G.993.5参数字段包含远端串扰消除操作所需的若干参数，如表10-11所列。

表10-11 – 消息R-MSG1中的ITU-T G.993.5参数字段

字段编号	字段内容	格式
1	ITU-T G.993.5参数字段长度	1字节
2	每个超帧中远端串扰估计符号的最大个数	1字节
3	可选反向信道控制参数的支持	参数描述符

字段1“ITU-T G.993.5参数字段长度”表示矢量化描述符字段的字节长度，不包括ITU-T G.993.5参数字段长度。R-MSG1消息中应包括表10-11中所列的所有字段。该字段应表示为一个无符号整数。

字段2“每个超帧中远端串扰估计符号的最大个数”定义了超帧中VTU-R支持误差样本报告的符号的最大个数 (K_{max}) (见10.4.2.1条)。该字段应格式化为一个无符号整数，有效 K_{max} 的值=1、2、4、6、8。VTU-R应支持 $K_{max} = 1$ 。其他 K_{max} 值是可选的。

字段3“可选反向信道控制参数的支持”指的是VTU-R支持的控制参数的可选值，如表10-12所列。

表10-12 – 可选反向信道控制参数描述符

位编号	描述
0	$F_{block} = 32$ 且支持padding = 0时设置为1，其他条件时，设置为0。
1	$F_{block} = 32$ 且支持padding = 1时设置为1，其他条件时，设置为0。
2	支持 $F_{sub} = 1$ 时设置为1，其他条件时，设置为0。
3	支持 $L_w = 9$ 时设置为1，其他条件时，设置为0。
4	支持 $L_w = 10$ 时设置为1，其他条件时，设置为0。
5	支持 $L_w = 11$ 时设置为1，其他条件时，设置为0。
6	支持 $L_w = 12$ 时设置为1，其他条件时，设置为0。
7	由ITU-T保留，且应设置为0。

10.3.3 信道发现阶段传输的矢量化相关VTU-O信号

10.3.3.1 O-P-VECTOR 1信号

O-P-QUIET 1信号之后应该是O-P-VECTOR 1信号。

O-P-VECTOR 1信号只能由同步符号和静默符号组成。同步符号应在6.2.3条定义的每个下行同步符号位置上传送。静默符号应在所有其他符号位置上传送（如图10-2所示）。

O-P-VECTOR 1同步符号应按照[ITU-T G.993.2]第10.5条生成。这些同步符号应调制一个导频序列。导频序列是一个6.2.3条所定义的重复序列，由矢量化控制实体分配给初始化线路。导频序列位为0时，来自SUPPORTEDCARRIERS_{ds}信号的同步符号的每个探测音应调制一个00星座点，导频序列位为1时应调制一个11星座点。00和11星座点应符合[ITU-T G.993.2]第10.3.3.2.1条定义的4-QAM星座。子载波上的星座点应采用[ITU-T G.993.2]第12.3.6.2条定义的象限扰频器进行旋转。

如果在ITU-T G.994.1握手阶段禁用“O-P-VECTOR 1信号8192超帧持续时间”（见10.2条），则同步符号的所有子载波的传输功率谱密度应等于CDPSDs。

如果在ITU-T G.994.1握手阶段启用“O-P-VECTOR 1信号8192超帧持续时间”，且禁用“只使用O-P-VECTOR 1标志音”（见10.2条），则同步符号的所有子载波的传输功率谱密度应等于CDPSDs。

如果在ITU-T G.994.1握手阶段启用“O-P-VECTOR 1信号8192超帧持续时间”和“只使用O-P-VECTOR 1标志音”（见10.2条），则同步符号的所有子载波的传输功率谱密度应等于CDPSDs，不同的是，第一个N位同步符号的所有探测音的传输功率均应为0（N的值由矢量化控制实体确定，其范围为0~2048个同步符号）。

注1 – 附录II介绍了确定N的值的方法。

O-P-VECTOR 1信号的持续时间由供应商确定，但最小值应为 4×257 个符号，最大值应为 $M \times 1024 \times 257$ 个符号。M的有效值为1和8。VTU-O和VTU-R支持M=1是强制的。VTU-O和VTU-R支持M=8是可选的。如果在[ITU-T G.994.1]握手阶段启用“O-P-VECTOR 1信号8192超帧持续时间”（见10.2条），则M=8；否则M=1。

注2 – O-P-VECTOR 1信号的长度应由矢量化控制实体缩减，以便加快整个系统启动的速度。

注3 – 附录II提供了矢量化控制实体如何在激活矢量化组中多条线路时控制初始化过程的实例。第II.2条描述了矢量化控制实体在处理两个线路群时如何利用“O-P-VECTOR 1信号8192超帧持续时间”能力实现这类控制。第II.3条描述了矢量化控制实体如何利用握手能力进行控制。

传送O-P-VECTOR 1信号期间，专用操作信道处于非激活状态。

传送O-P-VECTOR 1信号期间，矢量化控制实体根据来自矢量化线路的各个VTU-R所报告的截短误差样本来估计从初始化线路进入矢量化线路的下行远端串扰。从这一点开始，VTU-O中将建立下行方向上所有矢量化线路的远端串扰消除矩阵，并消除从初始化线路进入矢量化线路的远端串扰。

O-P-VECTOR 1信号之后应该是O-P-CHANNEL DISCOVERY V1信号，该信号决定了O-P-VECTOR 1信号的实际长度。O-P-CHANNEL DISCOVERY V1信号传送的开始时间由矢量化控制实体决定。

10.3.3.2 O-P-CHANNEL DISCOVERY V1信号

O-P-CHANNEL DISCOVERY V1信号应与[ITU-T G.993.2]第12.3.3.3.1条所定义的O-P-CHANNEL DISCOVERY 1信号相同，附加标志用于表示10.3.3.5条所定义的下行同步符号位置和上行导频序列位置。

如10.3.3.5所定义，附加标志由调制到索引为 $10n+9$ 的子载波上、星座点为00或11的所有符号组成。

按照[ITU-T G.992.3]第12.3.3.2.1条和本建议书第10.3.2.1条的定义，O-P-CHANNEL DISCOVERY V1信号发送期间，专用操作信道处于其激活状态，发送长度至少1500个符号但不超过2000个符号的O-IDLE信号，然后再发送O-SIGNATURE消息。与[ITU-T G.993.2]中的O-SIGNATURE信号一样，本建议书中的O-SIGNATURE信号也应以自动重复的模式发送。

O-P-CHANNEL DISCOVERY V1信号之后应该是O-P-SYNCHRO V1信号，该信号确定了O-P-CHANNEL DISCOVERY V1信号的实际持续时间。O-P-SYNCHRO V1信号传送的开始时间由矢量化控制实体决定。

10.3.3.3 O-P-SYNCHRO V1信号

O-P-SYNCHRO V1信号与[ITU-T G.993.2]第12.3.3.3.1条所定义的O-P-SYNCHRO 1信号相同。

O-P-SYNCHRO V1信号传送期间，专用操作信道处于非激活状态。

VTU-O传送O-P-SYNCHRO V1信号后，矢量化控制实体通知VTU-R上行远端串扰信道估计已完成，VTU-R应停止发送R-P-VECTOR 1信号。只有矢量化控制实体检测到在至少4 x 257个符号的时间内已发送R-P-VECTOR 1信号时，VTU-O才应发送O-P-SYNCHRO V1信号。

O-P-SYNCHRO V1信号之后应该是O-P-CHANNEL DISCOVERY 1信号。

10.3.3.4 O-P-CHANNEL DISCOVERY 1和O-P-CHANNEL DISCOVERY 2信号

这两个信号应分别与[ITU-T G.993.2]第12.3.3.3.1条所定义的信号O-P-CHANNEL DISCOVERY 1和O-P-CHANNEL DISCOVERY 2相同，附加标志用于表示10.3.3.5条所定义的下行同步符号位置和上行导频序列位置。从O-P-CHANNEL DISCOVERY V1信号发送开始，标志的形式应连续，应考虑所有下行同步符号位置。

注 – 不在下行同步符号位置上传送O-P-SYNCHRO 1和O-P-SYNCHRO 3信号是有好处的。

O-P-CHANNEL DISCOVERY 1信号发送期间，VTU-O应发送O-IDLE信号，该信号应在O-P-SYNCHRO V1信号的最后一个符号发送完成后再开始发送。

10.3.3.5 下行同步符号和上行导频序列标志

为了表示下行同步符号的位置和矢量化控制实体要求的上行同步符号和上行导频序列的时间位置，在象限扰频器之前，VTU-O应采用4-QAM星座的星座点(00)或星座点(11)调制索引为 $10n+9$ 的子载波子集。所有这些子载波都应使用相同的符号信息(即，00或11)进行调制。本条中，子载波用00或11调制的符号都被进一步分别标注为符号“0”或符号“1”。符号“0”和符号“1”序列构成一种模式，用于表示同步符号和导频序列的时间位置。

图10-6显示的是符号调制模式。下行同步符号的时间位置应采用从矢量化线路的下行同步符号开始的八个连续的符号“1”。VTU-R应利用上行和下行同步符号之间的偏移量从指明的下行同步符号时间位置中计算出上行同步符号的时间位置，这些信息通过O-SIGNATURE信号与VTU-R通信。

如图10-6所示，八个连续的符号“1”之后，上行导频序列的时间位置用20个符号的模式表示。这种符号“1”和符号“0”的模式应代表调制上行同步符号子载波的上行导频序列的位索引，上行同步符号通过偏移值与上述20个符号模式之前的下行同步符号进行关联(如图10-6所示)。

上行导频序列的位索引应表示为一个无符号整数，该整数的每一位都用模式的两个连续符号表示，图10-6中的符号7和8代表最低有效位。位值0应使用相连的符号“0”和符号“1”表示。位值1应使用相连的符号“1”和符号“0”表示。下一个下行同步符号的时间位置到达前，20个符号模式或的所有符号都应为符号“0”。

注 – 借助于这项技术，上行同步符号时间位置可以用查找八个连续符号“1”的方式检测，导频序列中的位索引通过解码后续的20个符号获得。这样就可以快速检测上行导频序列的时间位置。从20个后续符号中解码出来的20比特模式表示与检测到的上行同步符号相关的上行导频序列的时间位置。

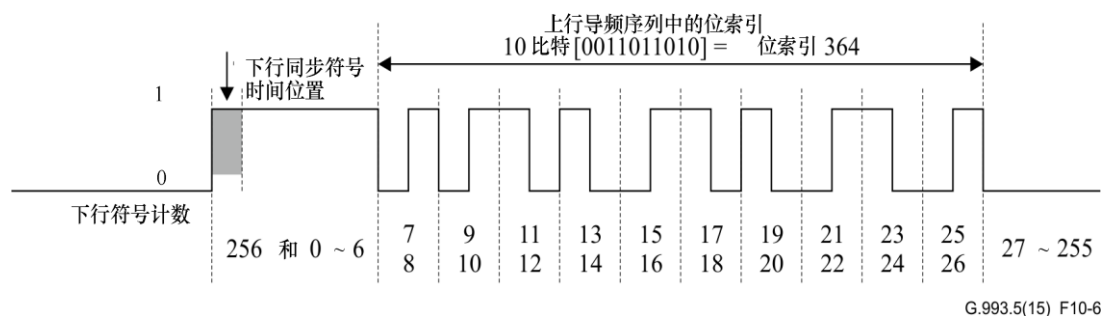


图10-6 – 矢量化线路同步符号之后调制到子载波 $10n+9$ 的模式

10.3.3.6 多条初始化线路的初始化

矢量化实体初始化多条线路时：

- 从初始化线路进入矢量化组中的活动线路的下行串扰信道应通过确保估计时O-P-VECTOR 1信号发送给所有初始化线路的方式同时进行估计。这可以通过控制每条线路中的O-P-VECTOR 1信号的结束和开始时间来实现。
- 应该通过确保在估计期间在所有初始化线路都发送R-P-VECTOR 1信号，同时估计向量化组的初始化线路和活动线路之间的上行串扰信道。这可以通过控制每条线路中的O-P-VECTOR 1信号和O-P-SYNCHRO V1信号的结束时间来实现。

10.3.4 信道发现阶段传输的矢量化相关VTU-R信号

10.3.4.1 R-P-VECTOR 1信号

VTU-R应一直传送R-P-QUIET信号，直至正确收到O-SIGNATURE消息。

收到O-SIGNATURE消息后，VTU-R应传送R-P-VECTOR 1信号。

VTU-R应通过检测O-P-CHANNEL DISCOVERY V1信号上的同步符号标志来确认下行同步符号位置，并计算出上行同步符号位置。

R-P-VECTOR 1信号应只包括同步符号和静默符号。同步符号应在每个上行同步符号位置上传送（如7.3.2所定义）。上行同步符号位置应为O-P-CHANNEL DISCOVERY V1信号上的标志所指定的下行同步符号位置，由上行同步符号偏移量提前或延迟（包含于O-SIGNATURE消息中）。静默符号应在所有其他时间位置上传送（如图10-2所示）。

R-P-VECTOR 1同步符号应按[ITU-T G.993.2]第10.4.4条所描述的方法生成。这些同步符号应调制一个导频序列。传送同步符号应从加载第一个已确认的上行导频序列的参考点的同步符号开始。导频序列参考点的定时应由O-P-CHANNEL DISCOVERY V1信号中的标志指明，如第10.3.3.5条所述。

如第6.2.3条所定义，导频序列是矢量化控制实体分配给初始化线路并通过O-SIGNATURE消息传递给VTU-R的一个重复序列。SUPPORTEDCARRIERS_{us}信号将导频序列位设置为0时，同步符号的每个探测音用应调制一个00星座点，导频序列位设置为1时，应调制一个11星座点（O-SIGNATURE消息中也指明了SUPPORTEDCARRIERS_{us}设置）。00和11星座点应符合[ITU-T G.993.2]第10.3.3.2.1条所定义的4-QAM星座。子载波上的星座点应使用[ITU-T G.993.2]第12.3.6.2条所定义的象限扰频器进行旋转。

所有子载波的传输功率谱密度应等于CDPSD_{us}，并应遵守O-SIGNATURE消息中VTU-O设置的上行功率谱密度限制。

R-P-VECTOR 1信号传送期间，专用操作信道处于非活动状态。

R-P-VECTOR 1信号期间，矢量化控制实体估计从初始化线路进入矢量化线路的上行远端串扰信道。从这点开始，在VTU-O中为所有上行方向的矢量化线路建立了远端串扰消除矩阵，从而消除了从初始化线路进入矢量化线路的远端串扰。

R-P-VECTOR 1信号的持续时间由VTU-O确定。VTU-R应在O-P-SYNCHRO V1信号发送后至少64个符号的时间内发送R-P-VECTOR 1信号。R-P-VECTOR 1信号的持续时间不应超过 1024×257 个符号。

R-P-VECTOR 1信号发送完成后应发送R-P-CHANNEL DISCOVERY 1信号。

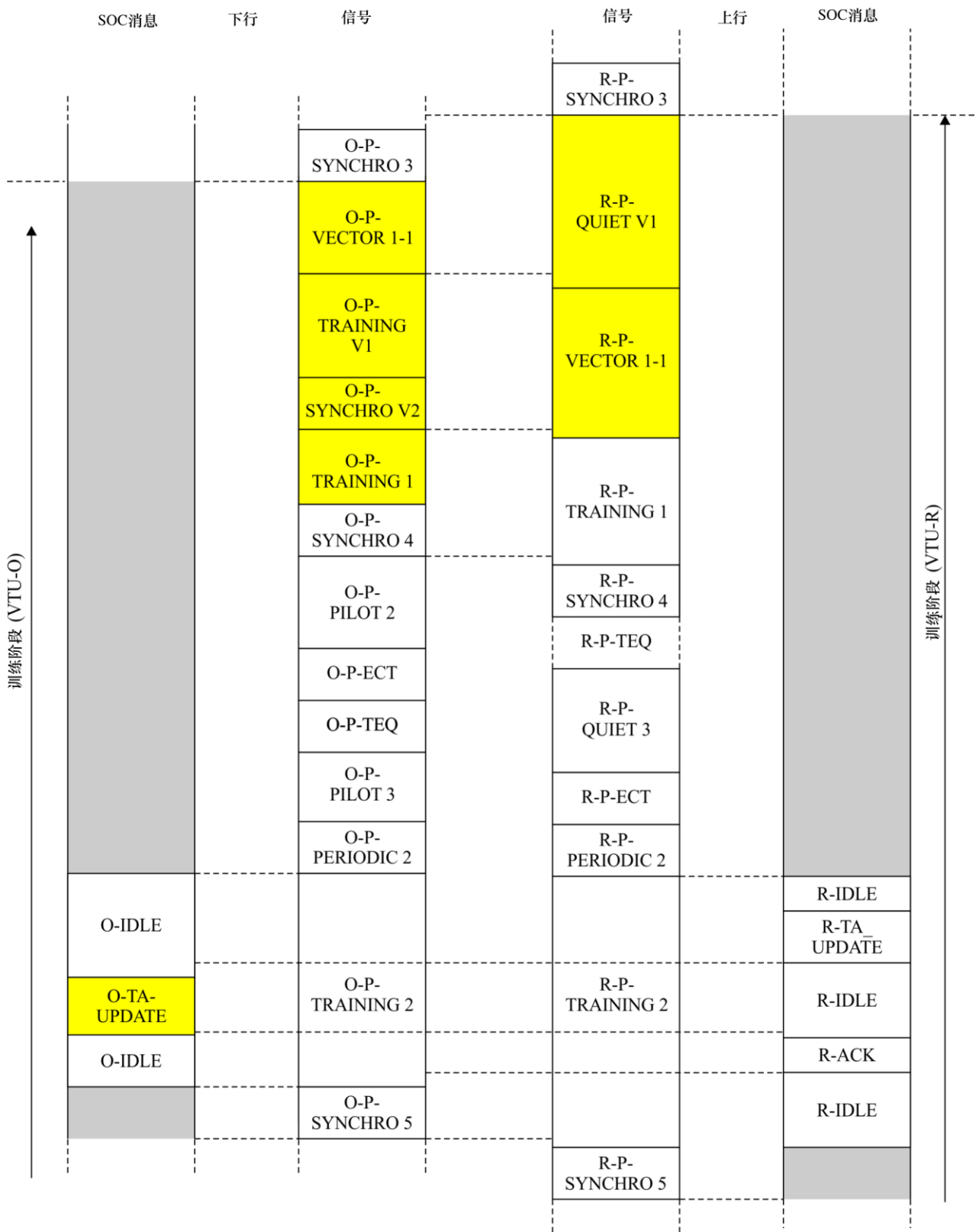
10.4 训练阶段

10.4.1 概述

信道发现阶段之后是训练阶段。如果在ITU-T G.994.1初始化阶段禁用了下行和上行矢量化，则应跳过所有矢量化相关的部分，并应按照[ITU-T G.993.2]的定义开始训练阶段。

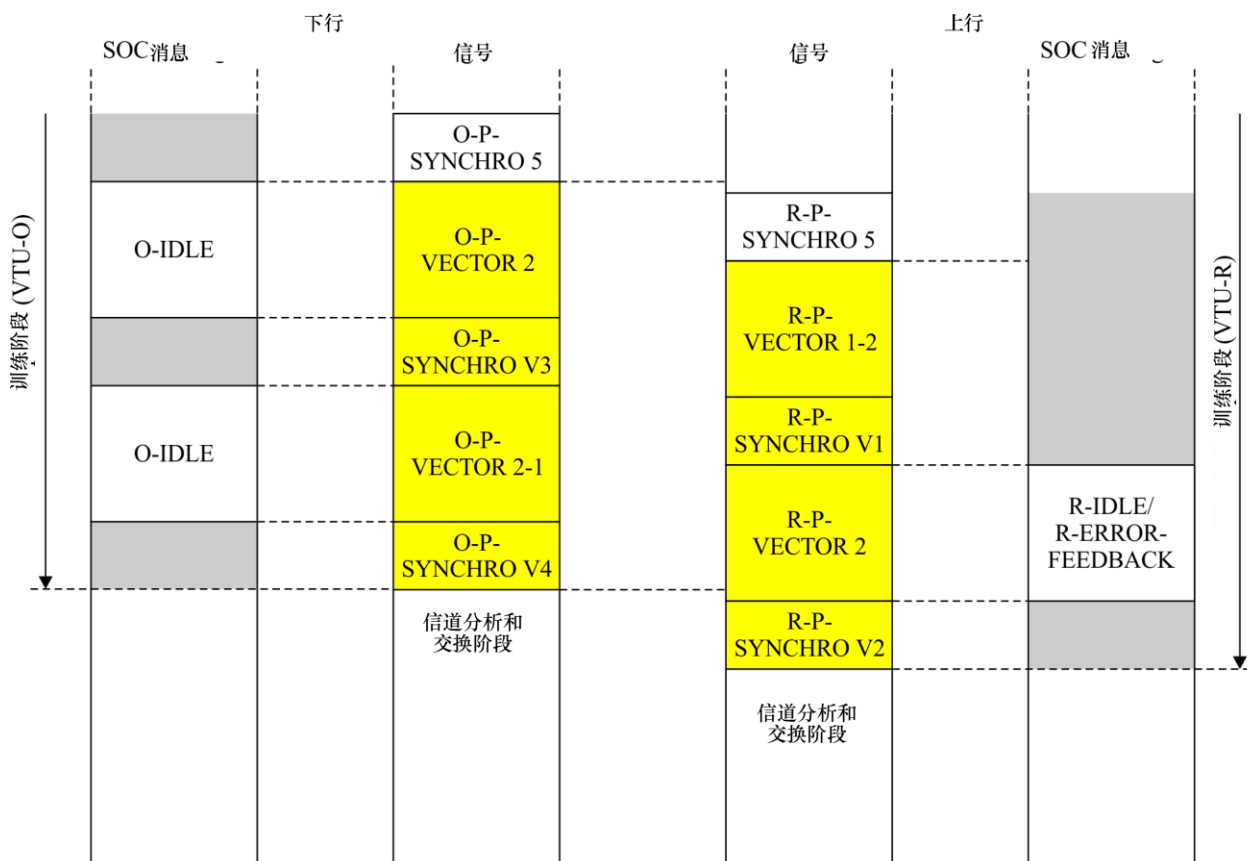
如果启用了下行矢量化或上行矢量化，应根据本条中定义的ITU-T G.993.2训练阶段修改训练阶段。

图10-7和10-8用高亮形式强调了新增的信号和针对ITU-T G.993.5收发器对ITU-T G.993.2训练阶段进行修改后的信号/消息。没有用高亮形式标注的信号和消息应符合[ITU-T G.993.2]中的定义。



G.993.5(15)_F10-7

图10-7 – 训练阶段早期



G.993.5(15)_F10-8

图10-8 – 训练阶段后期

10.4.2 训练阶段发送的修正SOC消息

10.4.2.1 O-TA_UPDATE信号

O-P-TRAINING 2信号发送期间传送的O-TA_UPDATE消息（[ITU-T G.993.2]表12-32中已定义）包含一个ITU-T G.993.5参数字段。ITU-T G.993.5参数字段包含几个用于远端串扰消除操作所需的参数，如表10-13所列。

表10-13 – 消息O-TA_UPDATE中的参数字段

字段编号	字段名称	字段格式
1	ITU-T G.993.5参数字段长度	1字节
2	误差报告控制参数	误差报告配置描述符
3	SOC重复因子（1/R）	1字节
4	超帧中远端串扰估计符号的个数	1字节

字段1“ITU-T G.993.5参数字段长度”表示ITU-T G.993.5参数字段的字节长度，不包括ITU-T G.993.5参数字段长度字段。消息O-TA_UPDATE中应包含表10-13所列的所有字段。该字段应表示为一个无符号整数。

字段2“误差报告控制参数”定义了O-SIGNATURE信号的每个矢量化频段所使用的控制参数。表7-1定义了控制参数，表7-2定义了控制参数的有效值。该字段中定义的值可以包括VTU-R在R-MSG1消息中指定的可选值。表8-4定义了如何将控制参数映射到误差报告配置描述符中。VTU-O应选择控制参数，使ERROR_FEEDBACK消息的预期持续时间在选定的SOC重复速率的条件下不超过第10.4.2.2条所定义的限值。

字段3“SOC重复因子”将SOC重复因子(1/R)定义为由矢量化控制实体设定。1/R的有效值都是[10, 120]区间内10的倍数。该值对应SOC消息每个符号的比特数($N_{bits_per_symbol}$)都是[16, 192]区间内16的倍数。该字段应表示为一个无符号整数。

字段4“超帧中远端串扰估计符号的个数”定义了超帧中应报告截短误差样本的符号的个数(K)。截短误差样本应按照字段2所定义的格式报告。该字段应格式化为一个无符号整数，有效值为 $K=1, 2, 4, 6$ 和8。 K 的有效值不应超过R-MSG1消息中设定的VTU-R容量(K_{max})。第10.4.2.2条定义了不同 K 的取值条件下报告截短误差样本所用符号的位置。

O-TA_UPDATE消息可以表示对时间超前(TA)值的修正。如果O-TA_UPDATE消息中包含的时间超前值不同于之前VTU-R所使用的时间超前值，则该时间超前值应从R-P-SYNCHRO 5信号后的第一个符号开始更新。

注 – 这一要求不同于[ITU-T G.993.2]中更新时间超前值的方法。

10.4.2.2 R-ERROR-FEEDBACK消息

传送R-P-VECTOR 2信号期间，VTU-R应通过专用操作信道，利用R-ERROR-FEEDBACK消息向VTU-O报告截短误差样本(如图10-8所示)。该消息的专用操作信道消息码应为 $8B_{16}$ 。VTU-O应确认所有R-ERROR-FEEDBACK消息，VTU-R不应回传任何R-ERROR-FEEDBACK消息。

R-ERROR-FEEDBACK消息应更换为R-IDLE消息。图10-9显示了用于报告截短误差样本序列符号的R-IDLE消息和R-ERROR-FEEDBACK消息的时间线。R-IDLE消息和R-ERROR-FEEDBACK消息都使用按照第10.4.4.4条设置过后扩展专用操作信道。其余R-IDLE参数应与[ITU-T G.993.2]第12.2.4条定义的R-IDLE所使用的参数相同：应包含重复发送的HDLC标志 $7E_{16}$ (十六进制数)。

R-P-VECTOR 1-2信号传送完成后，传送第一个R-IDLE信号允许VTU-O中的接收机调整至扩展专用操作信道，长度应至少为16个符号。传送其他R-IDLE信号的持续时间(图10-9中的 t_{IDLE})应由VTU-R设置，这样VTU-R可以在报告截短误差样本的两个相邻符号之间的时间范围之内完成R-ERROR-FEEDBACK消息传送。每个时间段 t_{IDLE} 的长度应至少2个符号。R-ERROR-FEEDBACK消息的传送应从传送窗口内的时间点 t_{START} 开始(如图10-9所示)。报告截短误差样本的开始符号之后的三个符号周期(即， $3/f_{DMT}$)后，传送窗口开始。报告截短误差样本的开始符号之后的 W_{max} 个符号(即， W_{max}/f_{DMT})之后，传送窗口关闭。 t_{IDLE} 的最大值取决于R-ERROR-FEEDBACK消息的长度。 t_{IDLE} 的总值和R-ERROR-FEEDBACK消息的传送持续时间应不超过时间界限，否则会妨碍VTU-R在下一个传送窗口内开始传送下一条R-ERROR-FEEDBACK消息。

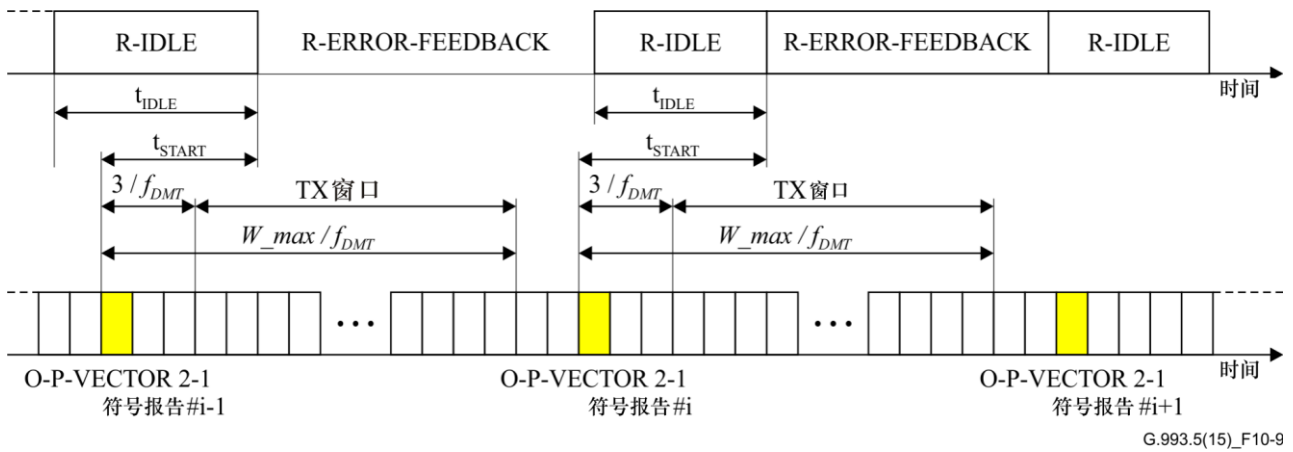


图10-9 – R-ERROR-FEEDBACK消息的时间线

通过O-TA_UPDATE消息，矢量化控制实体指明用于报告截短误差样本中每个超帧有多少个远端串扰估计符号（即，由O-TA_UPDATE消息确定的 K 值）。对于给定的 K 值（由O-TA_UPDATE消息赋值），VTU-R应为每个下行超帧的O-P-VECTOR 2-1信号中的符号报告截短误差样本，超帧的符号数为 $i(k) = (k+1) \times \lfloor 256/K \rfloor$ 个，其中， $k = 0, 1, 2, \dots, K-1$ 。给定 K 值所使用的 W_{max} 值应按 $W_{max} = \lfloor 257/K \rfloor - 2$ 计算。

注1 – 如果 $K=1$ ，则VTU-R只在O-P-VECTOR 2-1信号的下行同步符号上报告截短误差样本。

当单独R-ERROR-FEEDBACK消息中用于报告截短误差样本的字节个数取决于O-TA_UPDATE消息指定的反向信道控制参数，需要传送的字节总数等于误差报告块的字节数 N_{ERB} 加3（见表10-14）。

如果R-ERROR_FEEDBACK消息的长度大于最大允许分段长度，则消息应按[ITU-T G.993.2]第12.2.6条为AR模式所定义的分段形式进行分段，分段个数不超过15。除最后一个分段外，其余所有分段的长度都应设置为最大允许分段长度。

注2 – 分段之间的最小间隙减小了误差反馈传送所需的开销，因此节省了反向信道的带宽。

传递该字节数所需的符号个数按下式计算：

$$N_{symbol} = \left\lceil \frac{8 \times (N_{ERB} + 3 + N_{OH})}{N_{bits_per_symbol}} \right\rceil = \left\lceil 5 \times \frac{N_{ERB} + 3 + N_{OH}}{1/R} \right\rceil$$

其中， N_{OH} 是专用操作信道封装开销，按照[ITU-T G.997.1]的规定，长度等于6个八位字节加上字节填充产生的统计开销。如果R-ERROR-FEEDBACK消息被分段，则每个分段的 N_{OH} 应乘以分段数。

注3 – 对于长度超过512字节且具有随机性内容的消息，由字节填充产生0.1%的最不利情形统计开销预计不会超过3%，对于更长的消息，这个比例会下降。

注4 – 不使用字节填充时， N_{ERB} 的值将取决于误差样本的实际值。在这种情况下，每个符号的字节数应根据误差样本所需解决方案的最不利情形假设来计算。

矢量化控制实体应配置专用操作信道比特速率，这样 N_{symbol} 的值（包括字节填充所产生的统计开销）就不会超过 $(\lfloor 257/K \rfloor - 2)$ 个符号（ K 为用于报告截短误差样本的每个超帧的符号个数，该值在O-TA_UPDATE消息中指定）。如果R-ERROR-FEEDBACK消息的持续时间（因为未预期的高专用操作信道开销）有可能妨碍在下一个传送窗口传送下一条R-ERROR-FEEDBACK消息，则VTU-R应终止传送R-ERROR-FEEDBACK消息。

R-ERROR_FEEDBACK消息应有表10-14所列的结构。

表10-14 – 消息R-ERROR_FEEDBACK的描述

	字段名称	字段格式
1	消息描述符	消息码
2	同步符号计数	2字节
3	误差报告块	N_ERB字节

字段1“消息描述符”是用于识别该消息的唯一1字节代码，应采用8B₁₆编码。

字段2“同步符号计数”包含最后一个接收到的下行同步符号的同步符号计数模1024和超帧中的报告的序列号 $k=0, \dots, K-1$ 。VTU-R通过传送O-P-VECTOR 2-1信号收到O-P-SYNCHRO V3（该同步符号应计数为0）信号后，应从第一个下行同步符号开始对同步符号进行计数。

2字节字段的四个最高有效位应将报告的导频序列 k 表示为一个0~ $K-1$ 之间的无符号整数。10个最低有效位应将同步符号计数表示为一个0~1023之间的无符号整数。ITU-T保留第10位和第11位，并应设置为0。

注5 – 如果同步符号报告了误差报告块（ERB），则“同步符号计数”字段的四个最高有效位设置为 $K-1$ ，10个最低有效位设置为报告ERB的同步符号的计数值。

字段3“误差报告块”包含与指明的虚拟化频段有关的子载波截短误差样本的实部和虚部。如果在R-ERROR-FEEDBACK消息中只报告了一个频段，则 N_{ERB} 应按其他频段在 $L_w=0$ 时的条件计算（见第7.2.3.3条）。第7.2.3条中定义了格式。

10.4.3 训练阶段传输的矢量化相关VTU-O信号

10.4.3.1 O-P-VECTOR 1-1信号

O-P-SYNCHRO 3信号发送完成后应发送O-P-VECTOR 1-1信号。

O-P-VECTOR 1-1信号应与O-P-VECTOR 1信号相同，只是功率谱密度应等于MREFPSDs。

O-P-VECTOR 1-1信号的持续时间由供应商自由决定，但最短时间应为 4×257 个符号，最长时间为 1024×257 个符号。

O-P-VECTOR 1-1信号发送期间，专用操作信道处于非激活状态。

O-P-VECTOR 1-1信号允许重新估计从初始化线路进入矢量化线路的下行远端串扰信道。重新估计的目的是捕获信道发现阶段修改VTU-O AFE所造成的远端串扰信道变化。

O-P-VECTOR 1-1信号发送完成后应该发送O-P-TRAINING V1信号，其决定了O-P-VECTOR 1-1信号的实际持续时间。

10.4.3.2 O-P-TRAINING V1信号

O-P-TRAINING V1信号应与[ITU-T G.993.2]的第12.3.4.3.1.1条所定义的O-P-TRAINING 1信号相同，所添加的是用于表示下行同步符号位置和上行导频序列位置的标志。标志应按第10.3.3.5条的定义添加。从O-P-CHANNEL DISCOVERY V1信号开始时，标志的模式应连续，以同时兼顾所有下行同步符号位置。

O-P-TRAINING V1信号传送期间，专用操作信道处于非激活状态。

O-P-TRAINING V1信号发送完成后应发送O-P-SYNCHRO-V2信号，其决定了O-P-TRAINING V1信号的实际持续时间。

10.4.3.3 O-P-SYNCHRO V2信号

O-P-SYNCHRO V2信号应与[ITU-T G.993.2]第12.3.4.3.1条所定义的O-P-SYNCHRO 4信号相同。

O-P-SYNCHRO V2信号传送期间，专用操作信道处于非激活状态。

VTU-O传送O-P-SYNCHRO V2后，矢量化控制实体通知VTU-R从初始化线路进入其他矢量化线路的上行远端串扰信道重估计已完成，VTU-R应停止传送R-P-VECTOR 1-1信号。

VTU-O只应在矢量化控制实体检测到至少在 4×257 个符号的时间内传送的R-P-VECTOR 1-1信号后才能传送O-P-SYNCHRO V2信号。

O-P-SYNCHRO V2信号发送完成后应发送O-P-TRAINING 1信号。

10.4.3.4 O-P-TRAINING 1和O-P-TRAINING 2信号

这两个信号应分别与[ITU-T G.993.2]的第12.3.4.3.1条所定义的O-P-TRAINING 1信号和O-P-TRAINING 2信号相同，所增加的是用于表示10.3.3.5条所定义的下行同步符号位置和上行导频序列位置的标志。从O-P-CHANNEL DISCOVERY V1信号开始时，标志的模式应连续，以同时兼顾所有下行同步符号位置。

注 – 在下行同步符号位置上不传送O-P-SYNCHRO 4信号和O-P-SYNCHRO 5信号是有好处的。

10.4.3.5 O-P-VECTOR 2信号

O-P-VECTOR 2应在O-P-SYNCHRO 5信号发送完成后发送。

在同步符号位置上，O-P-VECTOR 2信号应包含按照为O-P-VECTOR 1信号定义的调制方式调制的同步符号。在其他符号位置上，应使用为[ITU-T G.993.2]中的O-P-TRAINING 2信号定义的一个符号映射对应一个字节的调制专用操作信道。

传送同步符号期间，专用操作信道处于非激活状态。传送其他符号期间，专用操作信道处于激活状态，VTU-O应发送O-IDLE信号。

O-P-VECTOR 2信号的最短持续时间为128个符号。

O-P-VECTOR 2信号发送完成后应发送O-P-SYNCHRO V3信号，其决定着O-P-VECTOR 2信号的实际持续时间。

VTU-O传送O-P-SYNCHRO V3信号至少应比传送同步符号提前70个符号（以免在VTU-R端出现同步符号计数模糊）。

10.4.3.6 O-P-SYNCHRO V3信号

O-P-SYNCHRO V3信号应与[ITU T G.993.2]第12.3.4.3.1.9条定义的O-P-SYNCHRO 5信号相同。

O-P-SYNCHRO V3信号发送期间，专用操作信道处于非激活状态。

VTU-O传送O-P-SYNCHRO-V3信号后，矢量化控制实体通知VTU-R从初始化线路进入其他矢量化线路的上行远端串扰信道重估计已完成，VTU-R应停止传送R-P-VECTOR 1-2信号。VTU-O只应在矢量化控制实体检测到至少在 4×257 个符号的时间内传送的R-P-VECTOR 1-2信号后才能传送O-P-SYNCHRO V3信号。

O-P-SYNCHRO V3信号发送完成后应该发送O-P-VECTOR 2-1信号。

10.4.3.7 O-P-VECTOR 2-1信号

O-P-VECTOR 2-1信号应与O-P-VECTOR 2信号相同。

同步符号发送期间，专用操作信道处于非激活状态。在发送其他符号期间，专用操作信道处于激活状态，VTU-O应传送O-IDLE信号。

传送O-P-VECTOR 2-1信号能使矢量化控制实体对从矢量化线路进入初始化线路的下行远端串扰信道进行估计，并更新从初始化线路进入矢量化线路的下行远端串扰信道估计。

O-P-VECTOR 2-1信号的持续时间由供应商自由决定，但最短时间应为257个符号，最长时间为 1024×257 个符号。

O-P-VECTOR 2-1信号发送完成后应发送O-P-SYNCHRO V4信号，其决定着O-P-VECTOR 2-1信号的实际持续时间。

10.4.3.8 O-P-SYNCHRO V4信号

O-P-SYNCHRO V4信号应与第10.4.3.6条所定义的O-P-SYNCHRO V3信号相同。

传送O-P-SYNCHRO V4信号期间，专用操作信道应处于非激活状态。

VTU-O传送O-P-SYNCHRO-V4信号后，矢量化控制实体通知VTU-R，从其他矢量化线路进入初始化线路的下行远端串扰信道估计已完成，VTU-R应停止传送R-P-VECTOR 2信号。

至此，训练阶段结束，VTU-O应过渡到图10-8所示的信道分析和交换阶段。

10.4.3.9 多条初始化线路的初始化

矢量控制实体初始化多条线路时：

- 从初始化线路进入矢量化组的活动线路的下行串扰信道应同时估计，估计的方式是确保估计期间O-P-VECTOR 1-1信号都发送到所有初始化线路。这可以通过控制每一条线路的O-P-VECTOR 1-1信号的开始时间和结束时间来实现。
- 初始化线路和矢量化组的活动线路之间的上行串扰信道应同时估计，估计的方式是确保估计期间O-P-VECTOR 1-1信号都发送到所有初始化线路。这可以通过控制每一条线路的R-P-VECTOR 1-1信号和O-P-SYNCHRO V2信号的结束时间来实现。
- 初始化线路和矢量化组的活动线路之间的上行串扰信道应同时估计，估计的方式是确保估计期间O-P-VECTOR 1-2信号都发送到所有初始化线路。这可以通过控制每一条线路的R-P-VECTOR 1-2信号和O-P-SYNCHRO V3信号的结束时间来实现。
- 从活动线路进入矢量化组的初始线路的下行串扰信道应同时估计，估计的方式是确保估计期间O-P-VECTOR 2-1信号都发送到所有初始化线路。这可以通过控制每一条线路的O-P-VECTOR 2-1信号和O-P-SYNCHRO V4信号的结束时间来实现。

10.4.4 训练阶段传输的矢量化相关VTU-R信号

10.4.4.1 R-P-QUIET V1信号

R-P-SYNCHRO 3信号发送完成后应该发送R-P-QUIET V信号。

R-P-QUIET V1信号与R-P-QUIET 2信号相同。

R-P-QUIET V1信号发送期间，专用操作信道处于非激活状态。

R-P-QUIET V1信号的持续时间是由VTU-O控制的。VTU-R应在检测到O-P-TRAINING V1信号后结束R-P-QUIET V1信号的发送，并开始发送R-P-VECTOR 1-1信号。

10.4.4.2 R-P-VECTOR 1-1信号

R-P-VECTOR 1-1信号应与R-P-VECTOR 1信号相同，只是其功率谱密度应等于MREFPSD_{us}。

R-P-VECTOR 1-1信号发送期间，专用操作信道处于非激活状态。

VTU-R应使用信道发现阶段计算出的时间超前量，以确保VTU-O处的初始化线路的同步符号与矢量化线路的同步符号匹配。

R-P-VECTOR 1-1信号允许重新估计初始化线路和矢量化线路之间的上行远端串扰信道。重新估计是为了捕获远端串扰信道因信道发现阶段可能对VTU-O AFE配置的修改而造成的变化。

R-P-VECTOR 1-1信号的持续时间由VTU-O控制。在O-P-SYNCHRO V2信号的最后一个符号之后的64个符号的时间内，VTU-R应结束R-P-VECTOR 1-1信号的传送。R-P-VECTOR 1-1信号的持续时间不应超过 1024×257 个符号。

R-P-VECTOR 1-1信号发送完成后应该发送R-P-TRAINING 1信号。

10.4.4.3 R-P-VECTOR 1-2信号

R-P-VECTOR 1-2信号应紧随R-P-SYNCHRO 5信号。R-P-VECTOR 1-2信号应与R-P-VECTOR 1-1信号相同。

R-P-VECTOR 1-2信号发送期间，专用操作信道处于非激活状态。

R-P-VECTOR 1-2信号允许重新估计初始化线路和矢量化线路之间的上行远端串扰信道。重新估计是为了捕获远端串扰信道因训练阶段可能对时间超前量的修改而造成的变化。

R-P-VECTOR 1-2信号的持续时间由VTU-O控制。在O-P-SYNCHRO V3信号的最后一个符号之后的64个符号的时间内，VTU-R应结束R-P-VECTOR 1-2信号的传送。R-P-VECTOR 1-2信号的持续时间不应超过 1024×257 个符号。

R-P-VECTOR 1-2信号发送完成后应发送R-P-SYNCHRO V1信号。

10.4.4.4 R-P-SYNCHRO V1信号

R-P-SYNCHRO V1信号应与[ITU T G.993.2]第12.3.4.3.2.9条中所定义的R-P-SYNCHRO 5信号相同。

R-P-SYNCHRO V1信号传送期间，专用操作信道处于非激活状态。

R-P-SYNCHRO V1信号发送完成后应该发送R-P-VECTOR 2信号。

10.4.4.5 R-P-VECTOR 2信号

在同步符号位置上，R-P-VECTOR 2信号应包含按照为R-P-VECTOR 1信号所定义的调制方式调制的同步符号。在其他符号位置上，符号应按照为R-P-TRAINING 2信号所定义的调制方式调制，还应包含正在建立的扩展专用操作信道。

传送R-P-VECTOR 2信号可以使矢量化控制实体对从矢量化线路进入初始化线路的上行远端串扰信道进行估计，并更新从初始化线路进入矢量化线路的上行远端串扰估计。

在同步符号期间，专用操作信道处于非激活状态。在其他符号期间，专用操作信道处于激活状态，VTU-R应传送R-IDLE消息或R-ERROR-FEEDBACK消息。

R-P-VECTOR 2信号的持续时间由VTU-O控制。O-P-SYNCHRO V4信号的最后一个符号发送后的64个符号的时间内，VTU-R应结束发送R-P-VECTOR 2信号。

R-P-VECTOR 2信号发送之后应该发送R-P-SYNCHRO V2信号。

为建立扩展专用操作信道，在专用操作信道处于激活状态下，R-P-VECTOR 2信号的符号应按照表10-15所定义的位映射关系进行调制，每个符号所需的比特数按下式计算：

$$N_{bitspersymbol} = \frac{16}{10 \cdot R}$$

1/R是O-TA_UPDATE消息中指定的一个10的倍数，其范围为[10, 120]。

表10-15 – 信号所使用的位映射

子载波索引	星座点
5, 10, 15, ..., 5n, ...	00
1, 1/R+1, 2/R+1, ..., n/R + 1, ...	SOC消息的第0位和第1位
2, 1/R+2, 2/R+2, ..., n/R + 2, ...	SOC消息的第2位和第3位
...	...
10k+m, 1/R+10k+m, 2/R+10k+m, ..., n/R+10k+m, ... 其中k = 0, 1, 2, ..., $\frac{1}{10 \cdot R} - 1$ 以及m = 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9	SOC消息的第16k+f(m)位和第16k+f(m)+1位，其中 $f(m) = \begin{cases} 2m-2 & \text{if } m = 1, 2, 3, 4 \\ 2m-4 & \text{if } m = 6, 7, 8, 9 \end{cases}$
...	...
1/R-1, 2/R-1, 3/R-1, ..., n + 1/R-1, ...	SOC消息的第 $\frac{16}{10 \cdot R} - 2$ 位和第 $\frac{16}{10 \cdot R} - 1$ 位

注 – 在[ITU-T G.993.2]中，SOC位映射允许采用每符号16位的映射关系。为了更快报告截短误差样本，矢量化控制实体可以按照每符号16比特的步长，通过降低这些位在每个符号中的重复次数，从每符号16比特到每符号192比特增加SOC位映射。对于4000 符号/秒的操作，这样做可以按64 kbit/s的步长增大SOC的比特速率，范围可以达到64 kbit/s（与[ITU-T G.993.2]速率相同）~768 kbit/s。对于8000符号/秒的操作，这样还可以按128 kbit/s的步长增大SOC的比特速率，范围可以达到128 kbit/s（与[ITU-T G.993.2]速率相同）~1536 kbit/s。

10.4.4.6 R-P-SYNCHRO V2信号

R-P-SYNCHRO V2信号应与R-P-SYNCHRO V1信号相同。

R-P-SYNCHRO V2信号传输期间，专用操作信道处于非激活状态。

至此，训练阶段完成，VTU-R应过渡到如图10-8所示的信道分析和交换阶段。

10.5 信道分析和交换阶段

10.5.1 概述

除为O-PMS消息定义的ITU-T G.993.5参数字段外，信道分析和交换阶段不要求对[ITU-T G.993.2]做出任何改变。

10.5.2 信道分析和交换阶段发送的修正SOC消息

10.5.2.1 O-PMS消息

O-P-MEDLEY期间发送的O-PMS消息（[ITU T G.993.2]表12-46中定义）包含一个ITU-T G.993.5参数字段。该字段包含表10-16所列的若干用于远端串扰消除操作所需的参数。

表10-16 – 消息O-PMS中的ITU-T G.993.5参数字段

字段编号	字段名称	字段格式
1	ITU-T G.993.5参数字段长度	1字节
2	数据传送阶段反向信道封装	1字节
3	2层矢量化控制实体MAC地址	6字节
4	2层Line_ID	2字节

字段1“ITU-T G.993.5参数字段长度”表示ITU-T G.993.5参数字段的字节长度，不包括ITU-T G.993.5参数字段长度字段。O-PMS消息中应包含表10-16所列的所有字段。该字段应表示为一个无符号数。

字段2“数据传送阶段反向信道封装”定义了数据传送阶段反向信道是否封装到嵌入式操作信道消息或封装到2层以太网数据包中。如果是嵌入式操作信道封装，该字段应设置为00₁₆；如果是2层以太网封装，该字段应设置为01₁₆。其他值保留供ITU-T使用。

字段3“2层矢量化控制实体MAC地址”定义了如果使用2层以太网封装，网络终端用作MAC目的地地址的矢量化控制实体MAC地址。如果是嵌入式操作信道封装，该字段应设置为00₁₆。

字段4“2层Line_ID”定义了如果使用2层以太网封装，终端所使用的Line_ID。Line_ID应作为第一个双字节以太网数据包荷载插入（如图7-9所示）。如果使用嵌入式操作信道封装，该字段应设置为0000₁₆。

10.6 从初始化阶段到数据传送阶段的过渡

O-P-SYNCHRO 6信号的最后一个符号应在下行同步符号位置上传送，这样就可以使数据传送阶段的第一个符号是在计数为0的下行符号位置上传送的数据符号。

紧随信道分析和交换阶段O-P-SYNCHRO 6信号的第一个DMT符号应为数据传送阶段的第一个下行符号。从数据传送阶段的第一个符号开始，应使用信道分析和交换阶段协商确定的PMD、PMS-TC和TPS-TC参数设置。

R-P-SYNCHRO 6信号的最后一个符号应在一个上行同步符号的位置上传送，这样就可以使数据传送阶段的第一个符号是在计数为0的上行符号位置上传送的数据符号。

紧随R-P-SYNCHRO 6信号的第一个DMT符号应为数据传送阶段的第一个上行符号。从数据传送阶段的第一个符号开始，应使用信道分析和交换阶段协商确定的PMD、PMS-TC和TPS-TC参数设置。

R-P-SYNCHRO 6信号的最后一个符号应在O-P-SYNCHRO 6信号最后一个符号发送后至少15个符号但不超过 $15+64+257$ 个符号的时间内传送。

从初始化阶段到数据传送阶段，下行同步符号位置和下行导频序列应连续。数据传送阶段的每个下行同步符号应使用下行导频序列调制（见6.2.3条）。

从初始化阶段到数据传送阶段，上行同步符号位置和上行导频序列应连续。数据传送阶段的每个上行同步符号应使用上行导频序列调制（见7.3.3条）。

10.7 回路诊断模式程序

10.7.1 概述

本条所描述的回路诊断模式程序基于本建议书第10.1~10.6条描述的初始化过程，增加了专门用于回路诊断模式的步骤，没有发送R-ERROR-FEEDBACK消息。

如果在MS消息中设置了回路诊断模式码点（见[ITU-T G.993.2]第12.3.2.1.2和12.3.2.2.2条），则ITU-T G.994.1握手阶段完成后，应进入回路诊断模式。应按照任何一个VTU的请求进入回路诊断模式。两个VTU均应支持回路诊断模式。

回路诊断模式中的阶段顺序应与初始化阶段（在本建议书第10.1~10.6条中定义）至信道分析和交换阶段相同，其中交换了[ITU-T G.993.2]表12-64中所列和[ITU-T G.993.2]第11.4.1条中定义的测试参数。但静默线路噪声（QLN）和信道特性函数（Hlog）所使用的测试参数应按[ITU-T G.993.2]第12.4.3的定义在信道发现阶段进行测量和交换。

[ITU-T G.993.2]第12.3.1条所规定的超时情况不适用于回路诊断模式。超时值需要进一步研究。

10.7.1.1 回路诊断模式期间的SOC消息映射

见[ITU-T G.993.2]第12.4.1.1条。

10.7.2 回路诊断模式的信道发现阶段和训练阶段

10.7.2.1 在回路诊断模式的信道发现和训练阶段期间所交换的SOC消息

除信号O-PRM、R-PRM、R-MSG1和O-TA_UPDATE外，回路诊断模式的信道发现阶段和训练阶段期间的SOC消息必须分别与10.3和10.4条所描述的初始化程序的SOC消息相同。

10.7.2.1.1 O-PRM和R-PRM消息

在信道发现阶段，静默线路噪声（QLN）和信道特征函数（Hlog）所使用的测试参数应在[ITU-T G.993.2]第12.4.2.1条所描述的O-PRM-LD和R-PMD-LD消息（取代O-PRM和R-PRM消息）中测量和交换。

注 – O-PRM和R-PRM的字段13和字段14包含ITU-T G.998.4参数字段和ITU-T G.993.5参数字段。而消息O-PRM-LD和R-PRM-LD的字段13和字段14包含QLN和Hlog。

10.7.2.1.2 R-MSG1消息（补充第10.3.2.2条）

字段2“超帧中远端串扰估计符号的最大个数”定义了VTU-R支持误差样本报告的超帧中符号的最大个数（ K_{max} ）。该字段被格式化为一个无符号整数，其值 $K_{max} = 0$ 。

字段3“支持可选反向信道控制参数”表示VTU-R支持的控制参数的可选值。该字段被格式化为一个无符号整数，其值为 00_{16} 。

注 – 上述内容与[ITU-T G.993.2]附件Y第Y.10.3.2.2条相同。

10.7.2.1.3 O-TA_UPDATE消息（补充第10.4.2.1条）

字段2“误差报告控制参数”定义了O-SIGNATURE消息中所指明的每一条矢量化频段所使用的控制参数。VTU-R应忽略该误差报告控制参数。

字段3“SOC重复因子”将SOC重复因子1/R定义为由矢量化控制实体设置。VTU-R应忽略该字段。

字段4“超帧中远端串扰估计符号”定义了超帧中应报告截短误差样本的符号的个数（ K ）。该字段应格式化为一个无符号整数，其初始值 $K = 0$ 。

注 – 除字段3外，上述内容与[ITU-T G.993.2]附件Y第Y.10.4.2.1条相同。

10.7.2.2 在信道发现和训练阶段期间发送的信号

除下列要求外，在信道发现和训练阶段所发送的信号与第10.3条和10.4条为初始化定义的消息相同：

- SOC消息映射应为[ITU-T G.993.2]第12.4.1.1条所定义的消息映射；
- O-P-QUIET 1信号的持续时间至少为8192个符号，但不应超过16384个符号；
- 信号R-P-VECTOR 2的定义。

10.7.2.2.1 R-P-VECTOR 2（取代第10.4.4.5条）

在同步符号位置上，R-P-VECTOR 2信号应包含同步符号，该符号应按为R-P-VECTOR 1信号所定义的调制方式调制。在其他符号位置上，符号应按为R-P-TRAINING 2信号的调制方式调制，SOC消息映射与[ITU-T G.993.2]第12.4.1.1条所定义的SOC消息映射相同。

传送R-P-VECTOR 2消息可以让矢量化控制实体对从矢量化线路进入初始化线路的上行远端串扰进行估计，并更新从初始化线路进入矢量化线路的上行远端串扰的估计。

在同步符号期间，专用操作信道处于非激活状态。在其他符号期间，专用操作信道处于激活状态，VTU-R应传送R-IDLE消息。

R-P-VECTOR 2信号的持续时间由VTU-O控制。在O-P-SYNCHRO V4信号的最后一个符号之后的64个符号内，VTU-R应结束R-P-VECTOR 2信号的发送。

R-P-VECTOR 2信号发送后应接着发送R-P-SYNCHRO V2信号。

注1 – 回路诊断模式中的R-P-VECTOR 2信号与第10.4.4.5条为初始化定义的R-P-VECTOR 2信号相同，不需要扩展SOC，VTU-R传送R-IDLE消息而不是传送R-ERROR-FEEDBACK消息。

注2 – 除SOC消息映射外，上述内容与[ITU-T G.993.2]附件Y第Y.10.4.4.5条相同。

10.7.3 回路诊断模式的信道分析和交换阶段

与[ITU-T G.993.2]中的回路诊断模式相比，ITU-T G.993.5中回路诊断模式的信道分析和交换阶段不要求有任何改变。

11 配置与测试参数

本建议书定义了应能从中心局管理信息库（CO-MIB）访问到的配置参数和测试参数。第11.1条定义了配置参数。第11.2条定义了测试参数。[ITU-T G.997.1]中定义了配置参数和测试参数，以此作为可以通过Q接口访问的管理对象。

11.1 配置参数

11.1.1 启用/禁用远端串扰消除

在矢量化线路群中的每一条线路都应定义此配置参数。该参数都启用或禁用其他矢量化线路进入矢量化组中的某一线路的远端串扰消除的功能。如果禁用某条线路的远端串扰消除功能，则矢量化组中的任何其他线路进入该条线路的远端串扰都不会被消除。

对于上行和下行方向，该配置参数应分别独立定义。

11.1.2 不需要远端串扰消除的频段

该配置参数应为一个子载波索引对阵列。每个索引对代表不需要远端串扰消除的频段的开始子载波索引和结束子载波索引。最多可以配置8个频段。

矢量化组中的所有线路都应采用相同的配置。

对于上行和下行方向，该配置参数应分别独立定义。

11.1.3 目标净数据速率（NDR）/目标预期吞吐量（ETR）

应为矢量化线路组中的每一条线路定义目标净数据速率（NDR）配置参数和目标预期吞吐量（ETR）配置参数。这些配置参数帮助矢量化控制实体确定如何分配矢量化组的所有线路中用于消除远端串扰的矢量化接入节点资源。由于资源有限，接入节点有可能无法缓解进入矢量化组中每一条线路的所有远端串扰源。因此，对于矢量化线路而言，矢量化控制实体可以选择限制可以消除的串扰源的数量。

11.1.3.1 目标净数据速率

对于每条线路，目标净数据速率配置参数应设置为矢量化组中所有线路都启用且在没有ITU-TG.998.4重传输的条件下工作时线路能够达到的预期净数据速率，该配置参数可以设置为一个表示运营商没有配置目标净数据速率的特殊值。

如果运营商配置了目标净数据速率，并且在初始化阶段没有在适用方向上选择ITU-T G.998.4重新传输，矢量化控制实体应分配足够的资源，分配方式应使净数据速率大于或等于目标净数据速率。初始化时，如果净数据速率小于目标净数据速率但大于最小净数据速率（*net_min*，见[ITU-T G.993.2]附录K），则VTU应始终发送至数据传送单元。

对于上行和下行方向，该配置参数应单独定义。

在CO-MIB中，该配置参数对应[ITU-T G.997.1]中的参数TARGET_NDR（参阅[ITU-T G.997.1]中的第7.3.2.20.2条）。

11.1.3.2 目标预期吞吐量

对于每条线路，目标预期吞吐量配置参数应设置为矢量化组中所有线路都启用且在没有ITU-T G.998.4重新传输的条件下工作时线路能够达到的预期吞吐量，该配置参数还可以设置为一个表示运营商没有配置目标预期吞吐量的特殊值。

如果运营商配置了目标预期吞吐量，并且在初始化阶段没有在适用方向上选择ITU-T G.998.4重新传输，矢量化控制实体应分配足够的资源，分配方式应使预期吞吐量大于或等于目标预期吞吐量。初始化时，如果预期吞吐量小于目标预期吞吐量但大于最小预期吞吐量（*ETR_min*，见[ITU-T G.998.4]第7条），则VTU应始终发送至数据传送单元。

对于上行和下行方向，该配置参数应单独定义。

在CO-MIB中，该配置参数对应ITU-T G.997.1中的参数TARGET_ETR（参阅[ITU-T G.997.1]中的第7.3.2.20.1条）。

11.1.4 线路优先级

该配置参数帮助矢量化控制实体确定如何在矢量化组的线路之间分配用于消除远端串扰的矢量化接入节点资源。由于资源有限，矢量化接入节点有可能无法缓解进入矢量化组中单条线路的所有远端串扰源。因此，对于每条矢量化线路而言，矢量化控制实体可以选择限制应消除的串扰源的数量。

是否符合线路优先级配置参数是可选的。如有条件，应为矢量化线路群中的每一条线路都定义该配置参数。为了符合线路优先级配置参数，矢量化控制实体最初应分配足够的资源，分配的方式应使矢量化组中的所有线路都满足目标净数据速率（前提是没有为适用方向选择ITU-T G.998.4重新传输）或目标预期吞吐量（前提是为适用方向选择了ITU-T G.998.4重新传输）。此后，矢量化控制实体应利用已配置的线路优先级，以便在需要进一步提高NDRs/ETRs的线路中分配剩余资源。

对于矢量化组中的每一条线路，线路优先级配置为“低”（LOW）或“高”（HIGH），或者可以设置为一个表示运营商没有配置线路优先级的特殊值。为了进一步将净数据速率或预期吞吐量提高到超过目标净数据速率或目标预期吞吐量，矢量化控制实体应为线路优先级为“高”的线路分配更多资源（例如，通过进一步消除远端串扰）。如果该线路上已经达到了最大净数据速率（*net_max*，见[ITU T G.993.2]附录K），则矢量化控制实体不应为线路优先级为“高”的线路分配额外的资源。如果具有“高”线路优先级的矢量化线路已满足最大净数据速率的条件，则为了将净数据速率或预期吞吐量提高到超过目标净数据速率或目标预期吞吐量，矢量化控制实体可以为线路优先级“低”的矢量化线路分配其剩余资源。

注 – 资源充足的矢量化控制实体可不必使用已配置的线路优先级来分配其资源，在这种情况下，矢量化控制实体可以忽略已配置的线路优先级。

对于上行和下行方向，该配置参数应单独定义。

11.1.5 Xlin子载波群所请求的大小 (XLINGREQ)

此参数表示XLING的请求值（参阅11.2.1.2和11.2.2.2）。已报告的XLING的值应为最小支持值，应等于或大于XLINGREQ的值。

对于上行和下行方向，该配置参数应单独定义。

11.2 测试参数

11.2.1 远端串扰下行耦合系数 (Xlinds)

11.2.1.1 远端串扰下行耦合系数 (Xlinds)

频率为 f 时下行方向上线路 L_2 插入线路 L_1 的远端串扰插入增益 $FEXT_IG_DS_{L_1,L_2}(f)$ 定义为线路 L_1 上100 Ω 负载所接收的远端串扰电压与线路 L_2 上100 Ω 负载所接收的传输电压之比。当线路两端都接有如图11-1所示的100 Ω 负载时，如果线路 L_2 上100 Ω 负载所接收的传输电压为 $V_REFERENCE_O(f)$ ，线路 L_1 上100 Ω 负载所接收的远端串扰电压为 $V_FEXT_R(f)$ ，则线性缩放后线路 L_2 插入线路 L_1 的下行远端串扰插入增益可通过下式计算：

$$FEXT_IG_DS_{L_1,L_2}(f) = \frac{V_FEXT_R(f)}{V_REFERENCE_O(f)}$$

频率为 f 时下行方向上线路 L_2 插入线路 L_1 的远端串扰插入增益定义为线路 L_2 插入线路 L_1 的远端串扰的插入增益与线路 L_1 的直连信道插入增益（或线路 L_1 的信道特性函数 H ）之比，用下式表示：

$$Xlinds_{L_1,L_2}(f) = \frac{FEXT_IG_DS_{L_1,L_2}(f)}{H_{L_1}(f)}$$

下行远端串扰耦合系数还可以用线路 L_1 所接收的直连信道电压 $V_DIRECT_R(f)$ 和线路 L_1 上的远端串扰信道接收电压之比表示，即：

$$Xlinds_{L_1,L_2}(f) = \frac{V_FEXT_R(f)}{V_DIRECT_R(f)}$$

如图11-2所示，其中 $V_DIRECT_R(f)$ 是传输电压等于 $V_REFERENCE_O(f)$ （传输给100 Ω 负载）的发射机锁定在发射状态，且连接到相同的线路时，线路 L_1 上100 Ω 负载所接收的远端串扰电压。如图11-1所示， $V_FEXT_R(f)$ 是线路 L_1 两端连接100 Ω 负载且具有相同传输电压的发射机连接到线路 L_2 时的接收电压。

注1 – 该定义与 $V_REFERENCE_O(f)$ 的值无关，但应与线路上的典型传输电压具有相同的数量级。

注2 – 上述定义与所有接收机滤波器都无关，因为分子和分母中都有线路 L_1 接收机滤波器的影响，因而被消去。

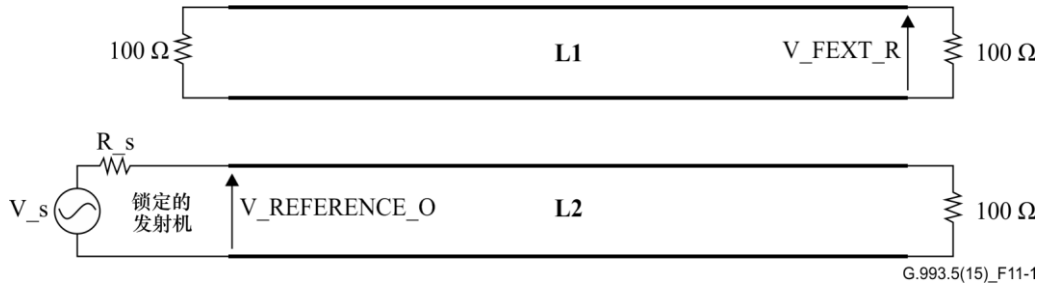


图11-1 – 下行Xlin（远端串扰信道接收电压）的定义

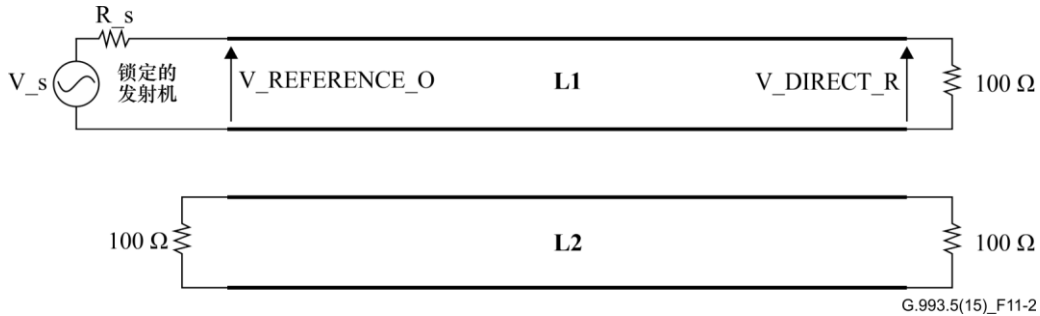


图11-2 – 下行Xlin（直连信道接收电压）的定义

11.2.1.2 下行远端串扰耦合系数的报告（Xlinpsds）

存储和报告下行远端串扰耦合系数 $Xlinpsds_{i,k}(n \times \Delta f)$ 的每个频段都应采用一对索引表示（ $start_subcarrier_index$ 和 $stop_subcarrier_index$ ）。所报告参数 $XLINBANDSds$ 应表示以频率增序排列的索引对序列。

注 – $start_subcarrier_index$ 和 $stop_subcarrier_index$ 可以与定义的频率方案边界不一致。

对于矢量化组中的所有线对索引（ i, k ）以及在整个包含子载波索引 n 的频段中下行方向上需要估计或消除的从线路 k 到线路 i 的远端串扰的子载波索引 n ，下行远端串扰耦合系数 $Xlinpsds_{i,k}(n \times \Delta f)$ 应至少按照请求报告给管理实体，并由管理实体存储，且

$$n \in \bigcup_{bands} \{start_subcarrier_index + m \times XLINGds : m = 0 \dots \lfloor (stop_subcarrier_index - start_subcarrier_index) / XLINGds \rfloor\}$$

其中， $\lfloor x \rfloor$ 表示向下取整。

以上描述中， $XLINGds$ 是用于报告远端串扰耦合的子载波群的大小，其值限制在二的幂，并应为等于或大于 $XLINGREQds$ 的值（见11.1.5条）和小于或等于64的最小支持值，其最大值限制为511个需报告子载波。

信道特性函数 $Xlinpsds_{i,k}(n \times \Delta f)$ 应通过一个缩放因子和一个归一化复数 $a(n) + j \times b(n)$ 表示为线性形式，其中 n 为子载波索引。缩放因子 $XLINSCds$ 应采用16比特的无符号整数编码。 $a(n)$ 和 $b(n)$ 应采用16比特2进制补码符号数编码。 $Xlinpsus_{i,j}(n \times \Delta f)$ 的值应定义为 $Xlinpsus_{i,j}(n \times \Delta f) = (XLINSCds / 2^{15}) \times (a(n) + j \times b(n)) / 2^{15}$ 。为了达到最高精度，所选的缩放因子 $XLINSCds$ 应使 $\max(|a(n)|, |b(n)|)$ 的值对于所有的 n 值都等于 $2^{15} - 1$ 。

该数据格式支持粒度为 2^{-15} 的 $Xlin(f)$ 和动态范围约为+6 dB ~ -90 dB的 $Xlin(f)$ 。

指定 $a(n) = b(n) = -2^{15}$ 时的 $Xlinpsds_{i,j}(n \times \Delta f)$ 值是一个特殊值。测量子载波 n 从线路 k 串扰线路 i 时，该值表示不能进行测量。

$a(n) \geq 0$ 和 $b(n) = 0$ 时确定的 $Xlinpsds_{i,j} (n \times \Delta f)$ 值是另一个特殊值，其含义是没有相位信息，且 $Xlinpsus_{i,j} (n \times \Delta f)$ 的幅度为 $(XLINSCds/2^{15}) \times (a(n))/2^{15}$ 。

以dB为单位的 $Xlinpsds_{i,k} (n \times \Delta f)$ 的幅度为 $Xlogpsds_{i,k} (n \times \Delta f)$ ：

$$Xlogpsus_{i,k} (n \times \Delta f) = 20 \log_{10} (|Xlinpsus_{i,k} (n \times \Delta f)|)$$

$Xlinpsus$ 的所有精度要求只能采用对数幅度（ $Xlogpsds$ ）表示。

$Xlogpsds$ 的精度要求应使 $Xlogpsds$ 为预编码器矩阵的逆矩阵的一阶泰勒近似项幅值的对数（如图6-1所示）。 $Xlogpsds$ 的其他精度要求需要进一步研究。

11.2.2 远端串扰上行耦合系数（ $Xlinpsus$ ）

11.2.2.1 上行远端串扰耦合系数（ $Xlinpsus$ ）的定义

频率为 f 时上行方向上线路 L_2 进入线路 L_1 的远端串扰插入增益 $FEXT_IG_US_{L_1,L_2}(f)$ 定义为线路 L_1 上100 Ω 负载所接收的远端串扰电压与线路 L_2 上100 Ω 负载所接收的传输电压之比。当线路两端都接有如图11-3所示的100 Ω 负载时，如果线路 L_2 上100 Ω 负载所接收的传输电压为 $V_REFERENCE_R(f)$ ，线路 L_1 上100 Ω 负载所接收的远端串扰电压为 $V_FEXT_O(f)$ ，则线性缩放后线路插入线路的上行远端串扰插入增益可通过下式计算：

$$FEXT_IG_US_{L_1,L_2}(f) = \frac{V_FEXT_O(f)}{V_REFERENCE_R(f)}$$

频率为 f 时线路 L_2 进入线路 L_1 的上行远端串扰的耦合系数定义为线路 L_2 插入线路 L_1 的远端串扰的插入增益与线路 L_2 的直连信道插入增益（或线路 L_2 的信道特性函数 H ）之比，用下式表示：

$$Xlinus_{L_1,L_2}(f) = \frac{FEXT_IG_US_{L_1,L_2}(f)}{H_{L_2}(f)}$$

上行远端串扰耦合系数还可以用线路 L_2 所接收的直连信道电压 $V_DIRECT_O(f)$ 和线路 L_1 上的远端串扰信道接收电压之比表示，即：

$$Xlinus_{L_1,L_2}(f) = \frac{V_FEXT_O(f)}{V_DIRECT_O(f)}$$

如图11-4所示， $V_DIRECT_O(f)$ 是传输电压等于 $V_REFERENCE_R(f)$ （传输给100 Ω 负载）的发射机锁定在发射状态，且连接到相同的线路时，线路 L_2 上100 Ω 负载所接收的远端串扰电压。如图11-3所示， $V_FEXT_O(f)$ 是线路 L_1 两端连接100 Ω 负载且具有相同传输电压的发射机连接到线路 L_2 时的接收电压。

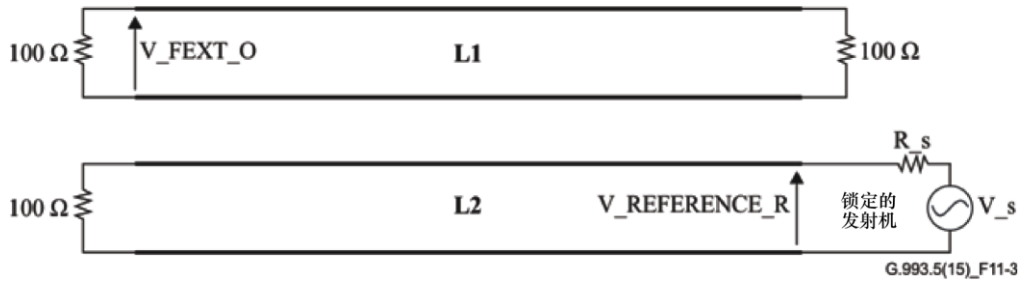


图11-3 – 上行Xlin（远端串扰信道接收电压）的定义

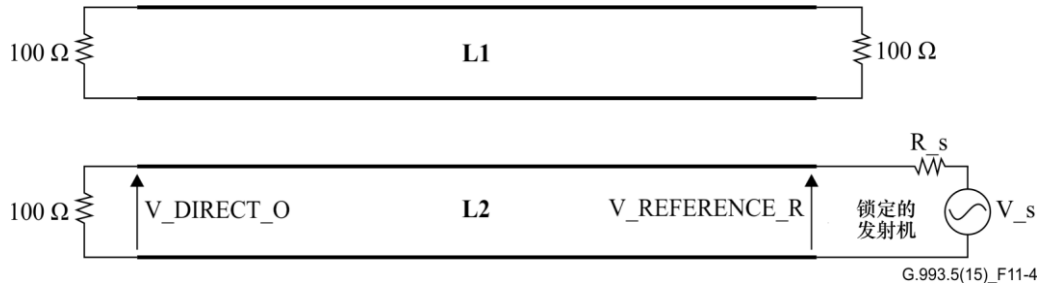


图11-4 – 上行Xlin（直连信道接收电压）的定义

11.2.2.2 报告上行远端串扰耦合系数（Xlinpsus）

存储和报告上行远端串扰耦合系数 $Xlinpsus_{i,k}(n \times \Delta f)$ 的每个频段都应采用一对索引表示（`start_subcarrier_index`和`stop_subcarrier_index`）。所报告的参数`XLINBANDSus`应表示以频率增序排列的索引对序列。

注 – `start_subcarrier_index`和`stop_subcarrier_index`可以与定义的频率方案边界不一致。

对于矢量化组中的所有线对索引（ i, k ）和在整个包含子载波索引 n 的频段中上行方向上需要估计和消除的从线路 k 到线路 i 的远端串扰的子载波索引 n ，上行远端串扰耦合系数 $Xlinpsus_{i,k}(n \times \Delta f)$ 应至少按照请求报告给管理实体，并由管理实体存储，其中

$$n \in \bigcup_{bands} \{start_subcarrier_index + m \times XLINGus : m = 0 \dots \lfloor (stop_subcarrier_index - start_subcarrier_index) / XLINGus \rfloor\}$$

其中， $\lfloor x \rfloor$ 表示向下取整。

以上描述中，`XLINGus`是用于报告远端串扰耦合的子载波群的大小，其值限制在二的幂，并应为等于或大于`XLINGREQus`的值（见11.1.5条）和小于或等于64的最小支持值，其最大值限制为511个需报告子载波。

信道特性函数 $Xlinpsus_{i,k}(n \times \Delta f)$ 应通过一个缩放因子和一个归一化复数 $a(n) + j \times b(n)$ 表示为线性形式，其中 n 为子载波索引。缩放因子`XLINSCus`应采用16比特的无符号整数编码。 $a(n)$ 和 $b(n)$ 应采用16比特2进制补码符号数编码。 $Xlinpsus_{i,j}(n \times \Delta f)$ 的值应定义为 $Xlinpsus_{i,j}(n \times \Delta f) = (XLINSCus / 2^{15}) \times (a(n) + j \times b(n)) / 2^{15}$ 。为了达到最高精度，所选的缩放因子`XLINSCus`应使 $\max(|a(n)|, |b(n)|)$ 的值对于所有已报告的 n 值都等于 $2^{15} - 1$ 。

该数据格式支持粒度为 2^{-15} 的 $Xlin(f)$ 和动态范围约为+6 dB ~ -90 dB的 $Xlin(f)$ 。

指定 $a(n) = b(n) = -2^{15}$ 时的 $Xlinpsus_{i,j}(n \times \Delta f)$ 值是一个特殊值。测量子载波 n 从线路 k 进入线路 i 时，该值表示不能进行测量。

$a(n) \geq 0$ and $b(n) = 0$ 时确定的 $Xlinpsus_{i,j}(n \times \Delta f)$ 的值是另一个特殊值，其含义是没有相位信息，且 $Xlinpsus_{i,j}(n \times \Delta f)$ 的幅值等于 $a(n)$ 的幅值。

以dB为单位的 $Xlinpsus_{i,k}(n \times \Delta f)$ 的幅度为 $Xlogpsus_{i,k}(n \times \Delta f)$ ：

$$Xlogpsus_{i,k}(n \times \Delta f) = 20 \log_{10}(|Xlinpsus_{i,k}(n \times \Delta f)|)$$

$Xlinpsus$ 的所有精度要求只能采用对数幅值 ($Xlogpsus$) 表示，用于进一步研究。

附件A

缓解强远端串扰

(本附件是本建议书不可分割的组成部分。)

A.1 引言

本附件定义了一种缓解强远端串扰的方法。

本附件是一个可选功能，仅在VTU按照[ITU T G.993.2]附件Q运行时适用。

本附件中定义的功能包括：

- VDSL2收发器（TIGAV）程序中的发射机启动增益调整；
- 使用扩展误差截取阈值。

A.2 最小消息开销数据速率的控制参数（修正[ITU-T G.993.2]第9.5.4条）

根据本附件操作，下行 msg_{min} 和上行 msg_{min} 的控制参数应分别来自于MSGMINds和MSGMINus的如下配置参数（在CO-MIB中定义，参见[ITU-T G.997.1]第7.3.1.5条）：

- 配置文件35b:
 - 下行： $\max(\text{MSGMINds}, 200 \text{ kbit/s}) \leq msg_{min} \leq 236 \text{ kbit/s}$;
 - 上行： $\max(\text{MSGMINus}, 64 \text{ kbit/s}) \leq msg_{min} \leq 236 \text{ kbit/s}$;
- 配置文件17a:
 - 下行： $\max(\text{MSGMINds}, 64 \text{ kbit/s}) \leq msg_{min} \leq 236 \text{ kbit/s}$;
 - 上行： $\max(\text{MSGMINus}, 64 \text{ kbit/s}) \leq msg_{min} \leq 236 \text{ kbit/s}$;

A.3 截短误差样本

A.3.1 截短误差样本的定义（替代第3.2.4条）

截短误差样本：是在矢量化控制实体的控制下由VTU-R进一步截取的一个归一化误差样本（见A.3.3条）。

A.3.2 截短误差样本报告的控制参数（修正第7.2.2.1条）

按照本附件操作时，除表7-2中的值外，表A.1还规定了截短误差样本控制参数的附加强制值。该值是为矢量化控制实体配置和为VTU-O和VTU-R支持而定义的。

表A.1 – 反向信道控制参数附加值

参数	VCE的附加有效值	VTU-O和VTU-R的附加强制值
B_{max}	13	13

A.3.3 归一化误差样本的定义（修正第7.2.1条）

对于 B_max 的所有值，归一化误差样本应符合第7.2.1条的定义。

对于截短误差样本分量 q_x 和 q_y ，每个归一化误差样本 E 的实部和虚部分量应按照下式分别被截取和量化为整数：

$$\begin{aligned}
 B_max \leq 11 \text{ 时, } & \begin{aligned} q_x &= \max\left(-2^{B_max}, \min\left(\left\lfloor e_x \times 2^{N_max-1} \right\rfloor, 2^{B_max-1}\right)\right) \\ q_y &= \max\left(-2^{B_max}, \min\left(\left\lfloor e_y \times 2^{N_max-1} \right\rfloor, 2^{B_max-1}\right)\right) \end{aligned} \\
 B_max=13 \text{ 时, } & \begin{aligned} q_x &= \max(-CT, \min\left(\left\lfloor e_x \times 2^{N_max-1} \right\rfloor, CT-1\right)) \\ q_y &= \max(-CT, \min\left(\left\lfloor e_y \times 2^{N_max-1} \right\rfloor, CT-1\right)) \end{aligned}
 \end{aligned}$$

其中， $Q = q_x + j \times q_y$ ，表示截短误差样本， N_max 表示VTU-R归一化误差样本的最大量化深度，应设置为12， B_max 代表报告截短误差样本分量 q_x 和 q_y 位索引上限（ $B_max < N_max$ ， B_max 由矢量化控制实体配置，见表7-1和-2）。

当 $B_max = 13$ 时，参数 CT 表示截取阈值，该阈值应为供应商自主决定的一个值，范围为 $[2^{B_max-2}, 2^{B_max}]$ 。 CT 的值应在发送R-ERROR-FEEDBACK消息之前由VTU-R在初始化阶段确定，并且在初始化的剩余时间和随后的数据传送阶段内保持不变（见注1和2）。

注1 – 参照图7-3所示的缩放尺度， e_x 和 e_y 的等效截取间隔为：

$$B_max \leq 11 \text{ 时, } \left[-\left(\frac{2^{B_max}}{2^{(N_max-1)}}\right), \left(\frac{2^{B_max}-1}{2^{(N_max-1)}}\right) \right], \quad B_max = 11 \text{ 时, 约等于 } [-1, 1);$$

$$B_max = 13 \text{ 时, } \left[-\frac{CT}{2^{(N_max-1)}}, \frac{CT-1}{2^{(N_max-1)}} \right], \quad \text{且 } CT = (2^{B_max} - 2^{(N_max-1)}) \text{ 时, } \frac{CT}{2^{(N_max-1)}} \text{ 处于}$$

区间 $[3, 4]$ 内，约等于 $[-3, 3)$ 。

注2 – $B_max = 13$ 时，区间 $[-(2^{B_max} - 2^{(N_max-1)}), (2^{B_max} - 2^{(N_max-1)}) - 1]$ 内的误差样本不允许供应商自主决定。

对于 B_max 的所有值，应使用 B_max+1 位二进制补码表示法来表示截短误差样本分量 q_x 和 q_y 的值。第7.2.2条定义了通过反向信道报告的截短误差样本的格式。初始化阶段和数据传送阶段应报告截短误差样本的特定子载波应分别按第10.4.2.1条和第8.1条的说明进行配置。

A.4 OLR命令

VTU应支持OLR命令，以便于根据本附件操作矢量化线路（见表A.2）。

表A.2 – OLR命令和响应

命令类型	命令方向	命令内容	响应内容
OLR请求类型7 (TIGAV)	从VTU-O至 VTU-R	下行子载波集所使用的相对增益补偿因子 (r_i) 和拟采用的比特载荷 (b_i)。	TIGAV-ACK响应或 TIGAV-Reject响应
OLR请求类型8 (TIGAVRESP)	从VTU-R至 VTU-O	应用于相关下行子载波集和成帧参数的比特载荷 (b_i)。	TIGAVRESP-ACK响应或 TIGAVRESP-Reject响应

A.5 ITU-T G.994.1握手阶段（修正第10.2条）

本附件中定义的功能应在ITU-T G.994.1初始化握手阶段使用[ITU-T G.994.1]表11.68.10.1中定义的NPar(3)码点进行协商。表A.3至A.6定义了ITU-T G.994.1 CL、CLR和MS消息中使用该码点的方法。

表A.3 – VTU-O CL消息NPar(3)的位定义

ITU-T G.994.1 NPar(3)位	NPar(3)的位定义
支持缓解强远端串扰	设置为1时，表示VTU-O支持本附件中定义的功能。设置为0时，表示VTU-O不支持本附件中定义的功能。

表A.4 – VTU-O MS消息NPar(3)的位定义

ITU-T G.994.1 NPar(3)位	NPar(3)的位定义
支持缓解强远端串扰	当且仅当在上一条CL消息和上一条CLR消息中该位均被设置为1时，该位应被设置为1，并且选择了本附件适用的配置文件。设置为1时，表示本启用附件中定义的功能。设置为0时，表示禁用本附件中定义的功能。

表 A.5 – VTU-R CLR消息NPar(3)的位定义

ITU-T G.994.1 NPar(3)位	NPar(3)的位定义
支持缓解强远端串扰	设置为1时，表示VTU-R支持本附件中定义的功能。设置为0时，表示VTU-R不支持本附件中定义的功能。

表A.6 – VTU-R MS消息NPar(3)的位定义

ITU-T G.994.1 NPar(3)位	NPar(3)的位定义
支持缓解强远端串扰	当且仅当在上一条CL消息和上一条CLR消息中该位均被设置为1时，该位应被设置为1，并且选择了本附件适用的配置文件。设置为1时，表示启用本附件中定义的功能。设置为0时，表示禁用本附件中定义的功能。

如果ITU-T G.994.1 CLR消息将“支持缓解强远端串扰” Npar(3)位设置为1，则表示支持配置文件35b，并可表示支持任何其他配置文件。

如果ITU-T G.994.1 CL消息将“支持缓解强远端串扰” Npar(3)位设置为1，并且在COMIB中启用了配置文件35b，则表示支持配置文件35b，并可表示支持任何其他配置文件。

如果ITU-T G.994.1 MS消息将“支持缓解强远端串扰” Npar(3)位设置为1，则应按[ITU-T G.993.2]附件Q操作，并按配置文件17a或配置文件35b选择操作。

A.6 TIGAV功能

与TIGAV过程相关的功能应该同时得到VTU-O和VTU-R的支持。

该过程的目标是通过向VTU-R提供相关下行子载波补偿增益的相关变化和比特载荷的预期变化来快速适应高串扰环境中的预编码器变化。

VTU-O通过向VTU-R发送TIGAV命令来启动该过程，该命令说明了应用于所指示的下行子载波组的相对增益补偿因子 (r_i) 和拟采用的比特载荷 (b_i)。在响应中，VTU-R根据接收到的 r_i 值计算实际的下行比特载荷，并通过TIGAVRESP命令将其发送回VTU-O。此外，VTU-O向VTU-R发送一个时间标志，用于表示VTU-R应用 r_i 的新值的符号位置，VTU-R请求的实际 b_i 值由两个VTU使用。消息交换的详细情况见第A.6.2条。

VTU-R可以接受TIGAV命令中拟采用的实际比特载荷，或者请求不同的实际比特载荷。在后一种情况下，VTU-R在TIGAVRESP消息中请求的实际比特载荷应遵循第A.6.1.2条中定义的规则。

A.6.1 TIGAV命令和TIGAVRESP命令

TIGAV命令和TIGAVRESP命令均属于OLR命令，用于加速TIGAV过程。两个命令都是高优先级的；命令和相关响应的第一个八位字节应为[ITU-T G.993.2]表11-2中定义的OLR命令类型。命令的后续八位字节的定义应如表A.7所示。后续八位字节响应的定义应如表A.8所示。所有命令和响应的八位字节应使用[ITU-T G.993.2]第11.2.3.1条中描述的格式发送。应按照[ITU-T G.993.2]第11.2.3.3条的规定进行消息分段。

TIGAV命令只能由VTU-O发送。

TIGAVRESP命令只能由VTU-R发送。

4位TIGAV标识号 (TID) 用于标识特定的TIGAV命令。每当VTU-O启动包含一组新参数的TIGAV命令并在计数值1111₂处折回时，即从1111₂加1后变为0000₂，TID应递增。VTU-R在TIGAVRESP命令中指示的TID值应与VTU-O在相应的TIGAV命令中指示的TID值相同。

表A.7 – TIGAV 及TIGAVRESP 命令

名称	长度 (字节)	八位字节个数	内容	支持类型
请求类型7 (TIGAV)	可变	2	10 ₁₆ (见注1)	强制
		3	四个最高有效位表示TID (有效范围为0到15, 表示为无符号整数)。 四个最低有效位表示子载波频段参数子字段的数量 ($1 \leq N_{scbt} \leq 15$, 表示为无符号整数)。	
		可变	子载波频段参数字段, 包括 N_{scbt} 子载波频段参数子字段, 见表A.10。	
		可变	分段代码 (SC) 为1个八位字节	
请求类型 8 (TIGAVRESP) (见注2)	可变	2	11 ₁₆ (见注1)	强制
		3-4	包含 L_I 新值的两个八位字节	
		5	包含 B_{I0} 新值的一个八位字节	
		6	包含 M_I 新值的一个八位字节	
		7	包含 R_I 新值的一个八位字节	
		8	包含 Q 新值的一个八位字节	
		9	包含 V 新值的一个八位字节	
		10	包含 Q_x 新值的一个八位字节	
		11	包含 lb 新值的一个八位字节	
		12	四个最高有效位表示TID (有效范围为0到15, 表示为一个无符号整数)。 四个最低有效位表示子载波频段参数子字段的数目 ($0 \leq N_{scbr} \leq 15$, 表示为无符号整数)。 $N_{scbr} = 0$: 接受TIGAV建议的比特载荷。 $N_{scbr} > 0$: 响应VTU-R请求的比特载荷值, 在子载波频段参数字段中指明。	
		可变	子载波频段参数字段, 包括 N_{scbr} 子载波频段参数子字段 (见表A.14)。如果 $N_{scbr}=0$, 则此字段的长度应为0字节。	
可变	分段代码 (SC) 为1个八位字节			
注1 – 所有其他值由ITU-T保留。				
注2 – 八位字节3至11中的成帧参数应按[ITU-T G.998.4]第C.3.2条中所定义请求类型5表示。				

TIGAV-Reject、TIGAV-ACK、TIGAVRESP-Reject和TIGAVRESP-ACK分别是对TIGAV和TIGAVRESP命令的响应 (见表A.8)。表A.9中定义了拒绝响应的理由码。

TIGAV-Reject和TIGAV-ACK响应只能由VTU-R传送。

TIGAVRESP-Reject和TIGAVRESP-ACK响应只能由VTU-O传送。

表A.8 – TIGAV和TIGAVRESP响应

名称	长度 (八位字节)	八位字节 个数	内容	支持类型
类型7 Reject请求 (TIGAV-Reject)	3	2	87 ₁₆ (注)	强制
		3	一个八字节的理由码	
类型7 ACK请求 (TIGAV-ACK)	2	2	89 ₁₆ (注)	强制
类型8 Reject请求 (TIGAVRESP-Reject)	3	2	88 ₁₆ (注)	强制
		3	一个八字节的理由码	
类型8 ACK请求 (TIGAVRESP-ACK)	2	2	8A ₁₆ (注)	强制

注 – 所有其他值应由ITU-T保留。

表A.9 – TIGAV响应和TIGAVRESP响应的理由码

原因	八位字节值	是否适用于类型7 Reject请求	是否适用于类型8 Reject请求
忙线	01 ₁₆ (注)	否	是
无效参数	02 ₁₆ (注)	是	是

注 – 所有其他值由ITU-T保留。

A.6.1.1 TIGAV命令的参数

TIGAV命令中的子载波频段参数子字段包括 N_{sct} 个子载波频段参数子字段。每个子载波频段参数子字段的格式定义见表A.10。

每个子载波频段参数子字段标识一个TIGAV频段。TIGAV频段由其子载波索引 i_{start} 和 i_{stop} 限定：

- i_{start} 可以处于激活或非激活子载波上（即 $g_i=0$ ）。 i_{stop} 可以处于激活或非激活子载波上（即 $g_i=0$ ）。TIGAV频段内也可能有非激活子载波。
- i_{start} 和 i_{stop} 确定用于“ r_i ”插值的如下控制子载波索引网格（见A.6.1.3条）：

$$i = i_{start} + k \times F_{sub_TIGAV}, \text{ 其中 } k = 0, 1, 2, \dots (N_r - 1),$$
 约束条件： $i_{stop} = i_{start} + (N_r - 1) \times F_{sub_TIGAV}$ ，其中 N_r 是大于1的整数， F_{sub_TIGAV} 是应用的 r_i 二次采样，定义见表A.10。
- 索引 i_{start} 和 i_{stop} 应满足：

$$i_{start} > i_{start_DSx} - F_{sub_TIGAV},$$

$$i_{stop} < i_{stop_DSx} + F_{sub_TIGAV},$$
 其中 i_{start_DSx} 和 i_{stop_DSx} 分别是属于特定下行通带的最小和最大子载波索引（见[ITU-T G.993.2]第7.1条）。
 注：允许自由选择TIGAV控制点网格的位置。
- i_{start} 和 i_{stop} 独立于MEDLEYds集，即， i_{start} 可以小于、等于或大于MEDLEYds集的最小子载波索引，并且 i_{stop} 可以分别小于、等于或大于MEDLEYds集的最大子载波索引。

- i_{start} 和 i_{stop} 独立于矢量化频段（如表8-3中定义的误差反馈命令的矢量化频段字段中所交换的）。

对于其后跟有TIGAV频段 $n+1$ ($n = 1 \sim N_{scbr} - 1$)的每一个特定的TIGAV频段 n :

- $i_{stop}(n)$ 应小于或等于 $i_{start}(n+1)$ ，即，没有或只有一个共同索引；
- 若 $i_{stop}(n) = i_{start}(n+1)$ （即，一个共同索引），则 r_i 和 b_i 的值应满足下列约束条件： $r(i_{stop}(n)) = r(i_{start}(n+1))$ 和 $b(i_{stop}(n)) = b(i_{start}(n+1))$ 。

TIGAV频段之外可以有非激活和激活子载波。在激活子载波上，VTU-R应假设 $r_i = 1$ （即，FEQ将不会受TIGAV的影响），且应假设在 b_i 内无变化。

TIGAV频段应按其子载波索引间隔的升序传送。

表A.10 – TIGAV命令的子载波频段参数子字段

参数	长度（字节）	定义
控制字节	1	[c000 ffff] 控制位c = 0表示该子字段包含实 r_i 参数（见注2）。 控制位c = 1表示该子字段包含复 r_i 参数（见注2）。 该子字段控制位ffff = F_{sub_TIGAV} ，用无符号整数表示。
i_{start}	2	TIGAV频段起始子载波索引(i_{start})，表示为16位无符号整数。
i_{stop}	2	TIGAV频段结束子载波索引(i_{stop})，表示为16位无符号整数。
b_i	ceil($N_b / 2$) (注1)	该字段包含 N_b 个TIGAV b_i 参数（见表A.11），用于索引从 i_{start} 到 i_{stop} 的子载波，参数按子载波索引升序排列。
实 r_i	$2 \times N_r$	当且仅当控制位c = 0时，该字段才有效。 该字段包含索引为 $i_{start} + k \times F_{sub_TIGAV}$ ($k = 0 \sim N_r - 1$)的子载波所使用的 N_r 个TIGAV实 r_i 参数（见表A.13），参数按子载波索引升序排列。
复 r_i	$3 \times N_r$	当且仅当控制位c = 1时，该字段才有效。 该字段包含索引为 $i_{start} + k \times F_{sub_TIGAV}$ ($k = 0 \sim N_r - 1$)的子载波所使用 N_r 个TIGAV复 r_i 参数（见表A.12），参数按子载波索引升序排列。
注1 – $N_b = i_{stop} - i_{start} + 1$ 。		
注2 – 在所有子载波频段参数子字段中，应将位c设置为相同的值。		

F_{sub_TIGAV} 的有效值是1、4和8（即， r_i 值可能被二次抽样）。

VTU-O和VTU-R都应该支持 i_{start} 、 i_{stop} 和 F_{sub_TIGAV} 的所有有效值。

表A.11 – TIGAV命令中 b_i 参数的格式

位	长度 (位)	参数 (见注1和注2)	格式
3-0	4	(子载波 k 的) b_i	[0:15]范围内的无符号整数
7-4	4	(子载波 $k+1$ 的) b_i	[0:15]范围内的无符号整数

注1 – 在指定范围内的子载波的 b_i 值(即, 从 i_start 到 i_stop), 但应包括不属于MEDLEYds集的部分。这些值应由发射机设置为零, 接收机忽略这些值。
注2 – 如果 N_b 为奇数, 则与最高子载波索引相关的 b_i 参数的第7-4位应设置为二进制数0000₂。

表A.12 – TIGAV命令复 r_i 参数的格式

位	长度 (位)	内容 (见注1和注2)	格式
2-0	3	r_i 的指数	E3/4
12-3	10	r_i 实部的尾数	M10 (1Q9), 带符号
22-13	10	r_i 虚部的尾数	M10 (1Q9), 带符号
23	1	由ITU-T保留	该位应设置为0

注1 – 在指定范围内的子载波的 r_i 值 (如, 从 i_start 至 i_stop), 但不属于MEDLEYds集的部分应设置为供应商自由决定的非零值。
注2 – 首先传送的字节应该包含23位 (最高有效位) 到16位 (最低有效位)。第二个传输的字节应该包含从15位 (最高有效位) 到8位 (最低有效位)。第三个传输的字节应该包含从7位 (最高有效位) 到0位 (最低有效位)。

格式描述符L M ML(iQf) E LE/B规定了一个总字长为L的浮点格式。它有字长为ML位的尾数, 二进制小数点正好在第i个最高有效位的右边 (如果是带符号整数则包括符号位), f位分配在二进制小数点后面有f位 (即, $ML=i+f$)。指数通常是无符号的, 字长为LE。指数的值等于B时有增益为1。字母M、Q和E是语法分隔符。

复增益 r_i 值的实部和虚部都应格式化为具有带符号尾数和公共指数的格式13M10(1Q9)E3/4。

非零复 r_i 值应在用dB表示的有效范围内:

$$-18 \text{ dB} < 20 \times \log_{10}(\text{abs}(r_i)) < +18 \text{ dB},$$

其中 $\text{abs}(x)$ 是复数 x 的模。

复 r_i 的一个特殊值是 $r_i = 0$, 对于实部和虚部, 其应使用尾数=0和指数=0进行编码, 且 $b_i = 0$ 。

表A.13 – TIGAV命令的实 r_i 参数格式

位	长度 (位)	内容 (见注1和注2)	格式
2-0	3	r_i 的指数	E3/4
12-3	9	r_i 的尾数	M9(0Q9), 无符号 (见注3)
15-12	4	由ITU-T保留	该位应设置为 0

注1 – 在指定范围内的子载波的 r_i 值 (如, 从 i_start 至 i_stop), 但不属于MEDLEYds集的部分应设置为供应商自由决定的非零值。
注2 – 首先发送的字节应包含位15 (最高有效位) 到8 (最低有效位)。第二个发送的字节应包含位7 (最高有效位) 到0 (最低有效位)。
注3 – 实 r_i 值应仅为正值。

实 r_i 值应格式化为无符号浮点数12M9(0Q9) E3/4。

非零实 r_i 值应在以dB表示的有效范围内，即：

$$-18 \text{ dB} < 20 \times \log_{10} (r_i) < +18 \text{ dB}.$$

实 r_i 的一个特殊值为 $r_i = 0$ ，应用尾数=0和指数=0编码，且 $b_i = 0$ 。

注 – TIGAV程序不会改变下行 g_i 值。与TIGAV相关联的下行子载波发送功率的变化是通过预编码器的相应修改来实现的。

A.6.1.2 由TIGAVRESP命令控制的参数

TIGAVRESP命令中的子载波频段参数子字段包括 N_{scbr} 个子载波频段参数子字段。表A.14中定义了各子载波频段参数子字段的格式。

每个子载波频段参数子字段标识一个TIGAVRESP频段。TIGAVRESP命令中的TIGAVRESP频段应遵循与第A.6.1.1条中TIGAV命令中TIGAV频段相同的要求，以及以下附加要求：

- 1) N_{scbr} 由 N_{scbr} 替换。
- 2) 在TIGAVRESP命令中，若 N_{scbr} 为非零值，则TIGAVRESP命令中的TIGAVRESP频段应至少包含相应TIGAV命令寻址的所有MEDLEY子载波。
- 3) TIGAVRESP命令为所有相应TIGAV命令寻址的所有MEDLEY子载波请求的 b_i 值不得超过TIGAV命令给定的 b_i 值。除此强制性上限外，TIGAVRESP中的实际比特载荷的上限应为基于 r_i 的新值估计出的信噪比变化的比特载荷，并且可能受到其他因素的上限限制。
- 4) 如果TIGAVRESP命令中的TIGAVRESP频段包含比相应TIGAV命令更多的MEDLEY子载波，则这些附加MEDLEY子载波上的 b_i 值仅由VTU-R确定。

表A.14 – TIGAVRESP命令中的子载波频段参数子字段

参数	长度 (字节)	定义
i_{start}	2	TIGAVRESP频段起始子载波索引 (i_{start})，表示为16位无符号整数。
i_{stop}	2	TIGAVRESP频段结束子载波指数 (i_{stop})，表示为16位无符号整数。
b_i	$\text{ceil}(N_b / 2)$ (注)	该字段包含子载波的 N_b 个TIGAVRESP b_i 参数 (见表A.15)，子载波的索引从 i_{start} 到 i_{stop} ，参数按子载波索引的升序排列。
注 – $N_b = i_{stop} - i_{start} + 1$ 。		

表A.15 – TIGAVRESP命令中 b_i 参数格式

位	长度 (位)	参数 (见注1、注2和注3)	格式
3-0	4	(子载波 k 的) b_i	[0:15]范围内无符号整数
7-4	4	(子载波 $k+1$ 的) b_i	[0:15]范围内无符号整数

注1 – 在指定范围内的子载波的 b_i 值 (即, 从 i_{start} 到 i_{stop}), 但应包括不属于MEDLEYds集的部分。这些值应由发射机设置为零, 接收机忽略这些值。
 注2 – b_i 值应按子载波索引的升序发送。
 注3 – 如果 N_b 为奇数, 则与最高子载波索引相关的 b_i 参数的第7~4位应设置二进制数为0000₂。

A. 6.1.3 r_i 值的插值

对于每个特定的TIGAV频段 n ($n=1$ 至 N_{schr}), VTU-R应通过在TIGAV消息中传送的控制子载波索引处的 r_i 值之间的线性插值, 导出 $i_{start}(n)$ 和 $i_{stop}(n)$ (两者都包括) 之间的所有激活子载波上的 r_i 值。线性插值应该在 r_i 轴上使用线性尺度, 并且在索引轴上也采用线性尺度。

注1 – VCE应在TIGAV命令中选择 r_i 值, 以便VTU-R处的线性插值在中间活动子载波上产生所需的输出值。定义这些 r_i 值 (控制点) 的方法由VCE供应商决定。

注2 – i_{start} 和 i_{stop} 允许处于非激活子载波上。VCE应该在TIGAV命令中选择 i_{start} 和 i_{stop} 上的 r_i 值, 这样VTU-R上的线性插值就可以在中间活动子载波上产生所需的输出值。

注3 – VTU-R已知TIGAV中的非激活子载波。但VTU-R不需要计算这些载波的插值。

A.6.2 TIGAV程序

如果一个类型4或6上行或下行SOS程序正在运行, 则VTU-O不能启动TIGAV。

TIGAV程序中VTU之间的交换如图A.1所示, 并按如下形式定义:

- 1) VCE通过 ε_m 接口发出指令后, VTU-O应通过发送OLR请求类型7命令来启动TIGAV程序。一个TIGAV命令可分段。在发送TIGAV命令的最后一个分段后, 在随后的100 ms内, VTU-O应期望接收TIGAV-ACK响应或TIGAV-Reject响应。如果响应超时, 可以重复TIGAV命令的最后一个分段。
 - a) 如果VTU-O在传输OLR请求类型7期间或之后以及在接收响应之前接收到OLR请求类型1、3和5, 则VTU-O应拒绝OLR请求类型1、3和5 (见注1)。
 - b) 如果VTU-O在TIGAV过程中收到SOS OLR类型4或6的请求, 它应立即中止TIGAV过程并响应OLR SOS请求。
 - c) VTU-O允许在TIGAV启动但未完成之后的任何时间启动SOS OLR类型4或6的请求过程。已启动的SOS请求应中止TIGAV程序 (见注2和3)。

注1 – 预期在加速启动TIGAV的目的中, VTU-O可能会放弃任何未决的SRA请求, 因为该请求所隐含的传输参数修改将被TIGAV覆盖。

注2 – 由于SOS OLR请求而终止的TIGAV程序仅适用于发出SOS请求的线路；矢量化组中的其他线路可以继续它们的TIGAV过程。

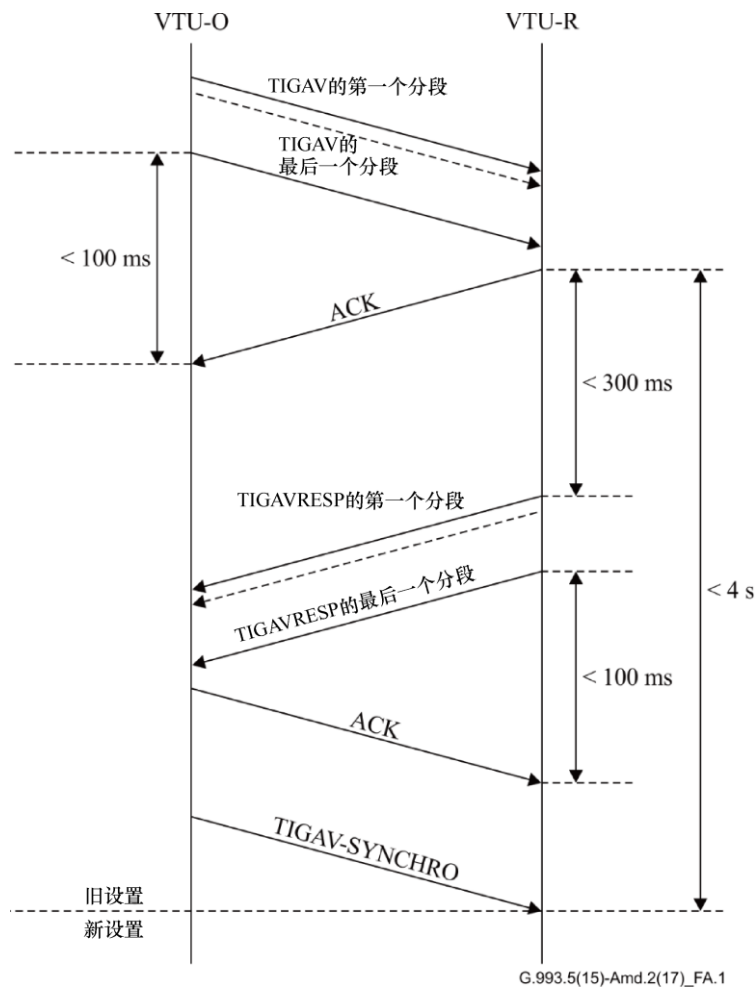
注3 – [ITU-T G.993.2]第11.2.2条描述了高优先级消息中止低优先级消息的可能性。SOS中止TIGAV是高优先级消息被另一个高优先级消息中止的情形，因此是[ITU-T G.993.2]第11.2.2条的扩展。

- 2) 接收到TIGAV命令的最后一个分段后，VTU-R要么通过发送TIGAV-ACK响应来确认TIGAV命令（见表A.7），要么通过发送带有相应理由码的TIGAV-Reject响应来拒绝TIGAV命令。
 - a) 接收到TIGAV命令的第一段后，VTU-R应拒绝任何类型1、3、5未决OLR命令，并且在TIGAV过程完成之前不得启动任何类型1、3、5 OLR请求。
 - b) 在TIGAV过程中，一旦收到来自VTU-O的类型4或6 SOS OLR请求，它应立即中止TIGAV过程并响应OLR SOS请求。
 - c) 在发送TIGAVRESP的最后一个分段之前，VTU-R可以在TIGAV启动后的任何时间发起类型4或6 SOS OLR请求程序。SOS请求中包含的比特载荷变化应适用于当前的活动比特载荷表（即，忽略在TIGAV中发送的比特载荷）。这个启动的SOS请求将中止TIGAV程序。VTU-O应使用SYNC FLAG响应SOS OLR请求。
 - d) 在发送TIGAVRESP的最后一个分段后，VTU-R不应启动类型4或6 SOS OLR请求，直到TIGAV过程结束。
- 3) 发送TIGAV-ACK响应后300 ms内，VTU-R将发送TIGAVRESP命令。TIGAVRESP命令可以分段。在发送TIGAVRESP命令的最后一个分段后，在接下来的100 ms内，VTU-R将预期收到TIGAVRESP-ACK响应或TIGAVRESP-Reject响应。如果TIGAVRESP命令的最后一个分段超时，VTU-R将重复TIGAVRESP命令的最后一个分段。发送TIGAV-Reject响应后，VTU-R应退出TIGAV程序。
- 4) 在接收到TIGAV-ACK响应后，VTU-O应期望接收到TIGAVRESP命令的第一个分段。VTU-O应通过发送一个TIGAVRESP-ACK响应来确认TIGAVRESP命令的最后一个分段，或者通过发送一个带有相应理由码的TIGAVRESP-Reject响应来拒绝TIGAVRESP命令。在VCE确定的时间发送TIGAVRESP-ACK响应后，VTU-O应发送TIGAV-SYNCHRO模式。发送TIGAVRESP-Reject响应后，VTU-O应退出TIGAV程序。

注4 – TIGAV-SYNCHRO模式必须在矢量化组的所有相关线路上同时发送。为此，VCE需要在发送TIGAV-SYNCHRO模式之前从矢量化组中的所有线路接收TIGAVRESP命令。这应该在全局TIGAV超时的范围内。

- 5) 接收到TIGAV-Reject响应后，VTU-O应退出TIGAV程序。通过发送一个新的TIGAV命令，VTU-O可以立即启动一个新的TIGAV程序。
- 6) 接收到TIGAVRESP-Reject响应后，VTU-R将再次发送TIGAVRESP命令。如果拒绝响应持续存在，则VTU-R应退出TIGAV程序。
- 7) 从TIGAV-SYNCHRO模式后的第一个符号开始，VTU-O和VTU-R应同步应用TIGAV命令中指示的相对增益补偿因子和TIGAVRESP命令中指示的比特载荷。成帧参数变化时间应按照[ITU-T G.998.4]第C.4条规定。

- 8) 如果在VTU-R发送TIGAV ACK后的4秒内没有收到TIGAV-SYNCHRO信号，则该程序将超时。超时后，VTU-R将退出TIGAV程序。



图A.1- TIGAV程序的时序图

注5 – 图A.1没有显示拒绝TIGAV命令的情况，也没有显示拒绝TIGAVRESP命令的情况。

A.6.2.1 TIGAV-SYNCHRO模式的定义

TIGAV-SYNCHRO模式被定义为由一个具有反转标志音的同步符号（在超帧的末尾、在同步符号位置发送，见[ITU-T G.993.2]图10-2）和一个具有非反转标志音的9个同步符号（在下一超帧的前9个符号位置发送）组成。

同步符号的定义见[ITU-T G.993.2]第10.2条。

A.6.2.2 利用VTU-R实现了对TIGAV增益的修正

为实现TIGAV中所示的相对增益补偿因子(r_i)，应适用以下规则：

- 对于 $r_i \neq 0$ 的子载波，VTU-R应将 $g_i > 0$ 的任何子载波 i 在接收机增益阶段的当前设置乘以值(r_i)：

$$new_gainstage_i = current_gainstage_i \times r_i$$

注 – 这种缩放是为了帮助VTU-R在预编码器更新后调整其接收机增益。

- 对于 $r_i = 0$ 的子载波，VTU-R应将其接收机增益设置为供应商自行决定的非零值。

A.6.2.3 下行方向关系TIGAV和随后的自主无缝速率适配（SRA）

在TIGAV命令之后，VTU-R请求的自主SRA应该具有小于等于该SRA之前的最后一条TIGAV消息请求的 b_i 值的比特载荷值 b_i 。

A.7 与MREFPSD相关的主体内容修正

A.7.1 定义（取代[ITU-T G.993.2]第3.31和3.32条）

3.31 MEDLEY参考PSD：下行和上行方向上的MEDLEY参考PSD分别表示为MREFPSD_{ds}和MREFPSD_{us}。MREFPSD_{us}是VTU-R在初始化过程的训练阶段和信道分析和交换阶段的每个频点（即，在通带和阻带中）上传送的信号的PSD。MREFPSD_{ds}是VTU-O在训练阶段每个频点（即，在通带和阻带中）上传送的信号的PSD。

注 – 在本建议书（包括本附件）中，MREFPSD_{ds}仅指直接信号的VTU-O TXPSD，不包括预补偿信号。在[b-ITU-T G.9701]中，MREFPSD_{ds}是指U接口处总信号的FTU-O TXPSD，包括预补偿信号。

3.32 MEDLEY参考PSD掩模：MEDLEY参考PSD掩模是在每一频点上（即在通带和阻带中）的发送PSD掩模，该掩模由PSD上限值限定，并且在对应指定RFI频段的频率上被限制到-80 dBm/Hz。在上行方向上，MEDLEY参考PSD按照上行功率回馈（UPBO）要求被进一步减小。在下行和上行方向上的MEDLEY参考PSD掩模分别表示为MREFMASK_{ds}和MREFMASK_{us}。

A.7.2 标称总发送功率（NOMATP）（取代[ITU-T G.993.2]第10.3.4.2.1条）

注 – 除非另有规定，本条款中的引用文件均指[ITU-T G.993.2]。

上行标称总发送功率（NOMATP_{us}）应在[ITU-T G.993.2]第10.3.4.2.1条中定义的VTU-R和VTU-O端进行计算。

在VTU-R侧，下行标称总发送功率（NOMATP_{ds}）应按照[ITU-T G.993.2]第10.3.4.2.1条的定义进行计算。由VTU-R确定的 g_i 设置应使此NOMATP_{ds}的值（定义为VTU-R），不超过CO-MIB中的参数MAXNOMATP_{ds}。在VTU-O侧，下行标称总发送功率（NOMATP_{ds}）是由发送PMD函数输入到U-O2参考点（定义见[ITU-T G.993.2]图5-4）上100 Ω终端阻抗的总输出功率的估计值，单位为dBm。

下行标称总发送功率（NOMATP_{ds}）由VTU-O与VCE配合按下式计算：

$$NOMATP_{ds} = 10 \log_{10} (\sum_{i \in MEDLEY_{ds}} P_{Zi'})$$

其中， $P_{Zi'}$ 为网络输入阻抗为100 Ω（见注1）时，子载波 i 的预编码器（即U-O接口）输出的总发送信号功率，单位为毫瓦。

注1 – 在实际部署中，网络/环路输入阻抗可能偏离100 Ω电阻。

注2 – NOMATPds包括直连信号和预编码器补偿信号。

VTU-O 应与 VCE 配合，确保 NOMATPds 的值不超过 CO-MIB 中的参数 MAXNOMATPds。

注3 – NOMATPds的定义在VTU-R和VTU-O侧有所不同。在VTU-R侧，与[ITU-T G.993.2]相比，NOMATPds的定义没有变化，因此VTU-R g_i 的计算没有变化。在VTU-O侧，与[ITU-T G.993.2]相比，NOMATPds的定义发生了变化。

发送PMD函数输入到U-O2参考点上100 Ω 终端阻抗的总输出功率（单位为dBm）与NOMATPds的偏差不得超过1 dB。

A.7.3 频域发送频谱成形 (tss_i)（取代[ITU-T G.993.2]第10.3.4.3条）

注 – 除非另有规定，本条款中的引用文件均指[ITU-T G.993.2]。

tss_i 供上行和下行的频域频谱成形用。 tss_i 的值是供应商自行决定的，在0~1的范围内按照 $\frac{1}{1024}$ 的步长线性增大。 tss_i 的值应设置为使所有子载波上的最高 tss_i 值均为1。较小的 tss_i 值用于衰减，而值 $tss_i = 0$ 相当于在特定的子载波上没有功率发送出去。若不采用频域频谱成形技术，则对所有的子载波， tss_i 的值必须等于1。

以dB为单位的 tss_i 值 (\log_{tss_i}) 定义为 $20 \times \log_{10}(tss_i)$ ，并且应使用下式将它变换为 tss_i 的线性值：

$$tss_i = \frac{\text{Round} \left(1024 \times 10^{\frac{\log_{tss_i}}{20}} \right)}{1024}$$

在给定的发送方向， tss_i 的值应由发送VTU来确定，并应将它规定为一组断点 $\{(i_1, \log_{tss_{i1}}) \dots, (i_n, \log_{tss_{in}})\}$ ，式中 i 是子载波索引。按照第12.3.3.2中的描述，在初始化过程中的信道发现阶段，应使用O-PRM消息和R-PRM消息将这一组断点传送给接收VTU。发送VTU和接收VTU都应在子载波索引的线性尺度上，用定义的 \log_{tss_i} 值线性内插的方法，推导出在断点之间的子载波的 tss_i 值。在 $i > i_n$ 的情况下，接收VTU应将 tss_i 的值赋值为 tss_{in} ，在 $i < i_1$ 的情况下，接收VTU应将 tss_i 的值赋值为 tss_{i1} 。

所得到的 tss_i 的值仅对实际发送的子载波是相关的。对于没有用于发送的子载波 ($Z_i=0$ ，见表10-4)，接收机应忽略接收到的或由内插法得到的 tss_i 值。

对于采用10位格式表示的线性 tss_i 值而言， \log_{tss_i} 值线性内插的组合精度和 tss_i 线性变换值得组合精度均应小于半个最低有效位。当 \log_{tss_i} 等于0 dB或者在等于0 dB的 \log_{tss_i} 值之间内插时，不得引入误差。

VTU-O和VTU-R的发送机 tss_i 值的设置应使训练阶段在U-O2接口上参考点参考阻抗上测得的发送信号功率谱密度偏离O-PRM消息中设定的MREFPSDds的值不超过1dB（参数“MEDLEY参考功率谱密度”，见12.3.3.2条）。

VTU-R的发送机 tss_i 值的设置应使增益调节之前（即假定 $g_i=1$ ），从训练阶段开始起和初始化的其余阶段时间内分别在U接口上的参考阻抗处测得的发送信号的功率谱密度分别与R-PRM中所传递的MREFPSDus的偏差值都不应超过1 dB（参数“MEDLEY参考功率谱密度”，见第12.3.3.2条）。

因此， t_{SS} 的设置应考虑到在调制器输出和U接口之间的传输路径中所包含的时域滤波器和模拟滤波器所产生的任何附加的频谱成形的因素。

A.7.4 一般条款（修正ITU-T G.993.5第6.1条）

...

不论作为信道矩阵的一部分使用还是单独使用，VCE应将预编码器设置为使预编码器的输出信号Z值（如图6-1所示）不会在U-O2参考点上超过MREFMASK，即使矢量化组中所有线路都有最高的有效 g_i 值（即， $g_i = +2.5$ dB）。

A.7.5 功率谱密度和功率谱密度掩模概述（修正[ITU-T G.993.2]中第7.2.3条）

注 – 除非另有规定，本条的引用文件均指[ITU-T G.993.2]。

...

表 7-5 – 概述：功率谱密度和功率谱密度掩模的确定和使用方式

参数	确定时间	VTU间何时通信（注）	使用时间
MEDLEY参考功率谱密度掩模（MREFMASK）	信道发现阶段结束时；VTU-O确定MREFMASK _{ds} ，VTU-R确定MREFMASK _{us}	不通信	从训练阶段开始算起一直到其后的初始化和数据传送阶段
下行MEDLEY参考功率谱密度（MREFPSD _{ds} ）	在信道发现阶段结束时；VTU-O确定MREFPSD _{ds} ；	VTU-O通过O-PRM消息向VTU-R发送MREFPSD _{ds}	训练阶段
上行MEDLEY参考功率谱密度（MREFPSD _{us} ）	在信道发现阶段结束时；VTU-R确定MREFPSD _{us}	VTU-R通过R-PRM消息向VTU-O发送MREFPSD _{us}	训练阶段和信道分析和交换阶段
数据传送阶段的功率谱密度	在信道分析和交换阶段结束时	由信道分析和交换阶段的功率谱密度和信道分析和交换阶段协商（O-PMD和R-PMD）的增益值（ g_i ）决定。不应超过MREFMASK。	在数据传送阶段
注 – 在初始化期间，只有描述功率谱密度和功率谱密度掩模的有关参数最小集才进行通信。第12条描述了通信协议和格式。			

A.7.6 每一子载波组的信道特性函数（CCF-ps）（修正[ITU-T G.993.2]第 11.4.1.1.1条）

注 – 除非另有规定，本条的引用文件均指[ITU-T G.993.2]。

...

信道特性函数的测量是三个函数级联的结果：

- 发射机滤波器的特性函数；
- 信道特性函数；以及
- 接收机滤波器的特性函数。

注1 – 信道特性函数对应远端串扰定义中所使用的 $H_{channel}(f)$ 函数（见[ITU-T G.996.1]第7.4.1条）。

定义该函数的目的是提供一种能够精确识别信道特性的手段。所以，接收PMD函数有必要报告信道特性的估计。由于接收PMD函数只能观察到信道所有三元组的级联，已经证明，这一任务是相当困难的。所报告的 $H(f)$ 的通带部分对解决物理回路可能存在的问题是相当重要的，并不期望通带部分与接收滤波器的特性（不包括接收机AGC）有重要关系。所以，接收PMD函数必须把它已经加给接收到的信号的增益（AGC）反转过来，并且尽最大努力设法去除近端接收机滤波器特性的影响。此时的结果就是接收机如何使用通带信道特性和发射机滤波器特性的一个最佳估计。由于还希望频谱的带内部分与发射机滤波器特性没有很大关系，对所希望的回路调节应用而言，可以认为这一结果是信道特性的一个充分估计。

信道特性的两种格式定义如下：

- $H_{lin}(f)$ ：提供线性尺度复数值的一种格式；以及
- $H_{log}(f)$ ：提供以10为底对数尺度幅度值的一种格式。

对 $H_{log}(f)$ 而言，接收PMD函数还应使用发送PMD函数的U接口上的功率谱密度值（在初始化期间的消息中所传递的值），以便消除远端发送滤波器特性的影响。

注2 – H_{log} 包括预补偿信号的影响。预补偿信号与该线路有关并且在L0线路状态下通过矢量化组的其他线路发送。

对于 $H_{lin}(f)$ 而言，如果信道特性是通过VTU-O OAM接口（如图5-3所示）上报告的，则VTU-O应尽最大努力尝试从VTU-R上测得的信道特性中去除近端发送滤波器特性的影响。如果信道特性是通过VTU-R OAM接口上报告的，则VTU-R应尽最大努力尝试从VTU-O上测得的信道特性中去除近端发送滤波器特性的影响。

注3 – H_{lin} 包括预补偿信号的影响。预补偿信号与该线路有关并且在L0线路状态下通过矢量化组的其他线路发送。

应在回路诊断模式期间将 $H_{lin}(f)$ 发送给远端VME，并根据请求，在回路诊断模式期间将它发送给近端VME。

...

A.7.7 “PMD测试参数读取”命令和响应（取代[ITU-T G.993.2]第11.2.3.11条）

注 – 本条中的修订标记显示了对[ITU-T G.993.2]第11.2.3.11条的相关修改。

除非另有规定，本条中的引用文件均指[ITU-T G.993.2]。

“PMD测试参数读取”命令应用于检索出第11.4.1条中所规定的PMD测试参数的值和远端VTU所保留的值。“PMD测试参数读取”命令如表11-26所示，并且可以由任何一个VTU发起。响应应为表11-27所列的响应。所有“PMD测试参数读取”命令和响应的第1个八位字节应是为“PMD测试参数读取”命令类型所分配的值（如表11-5中所列）。命令的后续八位字节必须符合表11-26中的定义。响应的后续八位字节应符合表11-27中的规定。八位字节都应用11.2.3.1中所描述的格式发送。

表 11-26 – 由请求VTU发送的PMD测试参数读取命令

名称	长度 (八位字节)	八位 字节数	内容	支持类型
单次读取	2	2	十六进制数01 ₁₆ (注1)	强制
下一多次 读取	2	2	十六进制数03 ₁₆ (注1)	强制
多次读取	4	2	十六进制数04 ₁₆ (注1)	强制
		3~4	2个八位字节, 描述子载波组索引	
块读取	6	2	十六进制数05 ₁₆ (注1)	强制
		3~4	2个八位字节, 描述起始子载波组索引	
		5~6	2个八位字节, 描述结束子载波组索引	
矢量块读取	7	2	十六进制数06 ₁₆ (注1)	可选
		3	1个八位字节, 描述要读取的测试参数的类型 (注2) 01 ₁₆ : 每个子载波组的信道传递函数Hlog(f) 03 ₁₆ : 每个子载波组的静默线路噪声功率谱密度QLN(f) 04 ₁₆ : 每子载波组的信噪比SNR(f)。	
		4~5	描述子载波组起始索引的2个八位字节	
		6~7	描述子载波组结束索引的2个八位字节	
标量读取	3	2	十六进制数07 ₁₆ (注1)	可选
		3	1个八位字节, 描述要读取的标量测试参数的类型 (注2) 十六进制数21 ₁₆ ~28 ₁₆ : 根据表11-28的ID读取的参数索引。	
<u>G.993.5</u> <u>附件A的</u> <u>SATN</u>	<u>12</u>	<u>2</u>	<u>十六进制数08₁₆ (注1)</u>	<u>强制</u>
		<u>3~12</u>	<u>TXpower dBm D(m)的5个双八位字节值, 适用于5个有可能使用的下行频段。</u>	

注1 – 编号为2的八位字节的所有其他值由ITU-T保留。

注2 – 编号为3的八位字节的所有其他值由ITU-T保留。

表11-27 – 响应VTU发送的PMD测试参数读取响应

名称	长度 (八位字节)	八位字节数	内容	支持类型
单次读取 ACK	42 (注1)	2	十六进制数81 ₁₆ (注2)	强制
		3~42	为单次读取格式安排的测试参数的八位字节	

表11-27 – 响应VTU发送的PMD测试参数读取响应

名称	长度 (八位字节)	八位字节数	内容	支持类型
多次读取 ACK	12 (注1)	2	十六进制数82 ₁₆ (注2)	强制
		3~12	为多次读取格式安排的测试参数的八位字节	
NACK	2	2	十六进制数80 ₁₆ (注2)	强制
块读取 ACK	与参数相关 (注1)	2	十六进制数84 ₁₆ (注2)	强制
		>3	为块读取格式安排的测试参数的八位字节	
矢量块读取ACK	与参数相关 (注1)	2	十六进制数86 ₁₆ (注2)	可选
		>3	为块读格式安排的测试参数的八位字节	
标量读取 ACK	与参数相关 (注1)	2	十六进制数87 ₁₆ (注2)	可选
		>3	为标量读取格式安排的测试参数的八位字节	
<u>G.993.5</u> <u>附件A</u> <u>ACK的</u> <u>SATN</u>	<u>12 (注1)</u>	<u>2</u>	<u>十六进制数88₁₆ (注2)</u>	强制
		<u>3~12</u>	<u>为标量读取格式安排的SATN的八位字节</u>	

注1 – 消息长度等于2个八位字节加表11-28所示的长度。
注2 – 编号为2的八位字节的所有其他值由ITU-T保留。

表 11-28 – PMD测试参数的ID值和响应的长度

测试参数 ID (注1)	测试参数名称	单次读取 长度 (八位 字节)	多次读 取长度 (八位 字节)	块读取或矢量块 读取长度 (八位字节)	标量读 取长度 (八位 字节)	支持类型
01 ₁₆	每一子载波组的 信道传递函数 Hlog(<i>f</i>)	不适用	4	2+ (结束子载波组 索引 – 起始子载波 组索引+1) ×2 (注2)	不适用	强制
03 ₁₆	每一子载波组的 静默线路噪声 PSD QLN(<i>f</i>)	不适用	3	2+ (结束子载波组 索引 – 起始子载波 组索引+1) (注2)	不适用	强制
04 ₁₆	每一子载波组的 信噪比SNR(<i>f</i>)	不适用	3	2+ (结束子载波组 索引 – 起始子载波 组索引+1) (注2)	不适用	强制

表 11-28 – PMD测试参数的ID值和响应的长度

测试参数ID (注1)	测试参数名称	单次读取长度 (八位字节)	多次读取长度 (八位字节)	块读取或矢量块 读取长度 (八位字节)	标量读取长度 (八位字节)	支持类型
21 ₁₆	回路衰减 LATN	2 × 5	不适用	不适用	2 × 5	强制
22 ₁₆	信号衰减 SATN	2 × 5	不适用	不适用	2 × 5	强制
23 ₁₆	信噪比裕量 SNRM和 SNRM-pb	2 × 6	不适用	不适用	2 × 6	强制
24 ₁₆	可达净数据速率 ATTNDR (基本方法)	4	不适用	不适用	4	强制
24 ₁₆	可达净数据速率 ATTNDR (改进方法)	8	不适用	不适用	8	可选
25 ₁₆	近端实际组合 发送功率 ACTATP	2	不适用	不适用	2	强制
26 ₁₆	远端实际组合 发送功率 ACTATP	2	不适用	不适用	2	强制
27 ₁₆	远端实际脉冲 噪声保护 INP_act	不适用	不适用	不适用	2	可选
28 ₁₆	用于稳健 架空信道 SNRM-ROC的 远端实际信噪 比裕量	不适用	不适用	不适用	2	可选

注1 – 所有其他测试参数ID值由ITU-T保留。

注2 – 子载波组中的子载波数量 G （见第11.4.1条）可能有不同的QLN、Hlog和SNR的值。相同子载波组索引下，通过多次读取、块读取或矢量块读取等参数沟通的QLN、Hlog和SNR的值有可能对应不同的子载波索引。每个参数的子载波索引等于 $G \times$ 子载波group_index，其中 G 的值定义见第11.4.1条（用于数据传送阶段）的表11-42，子载波组索引范围为0~511。

响应VTU一收到“PMD测试参数读取”命令，就应作发出相应的响应。若“测试参数读取”命令格式不正确，则VTU必须以否定确认（NACK）作为响应。请求或响应VTU的任何功能都不应受影响。

应使用单次读取（Single Read）命令来检索ID值从 21_{16} 到 26_{16} 的所有测试参数。在单次读取命令的响应中，测试参数的值（每一参数一个值）应按表11-28中所列参数ID编号升序发送。每一参数的各个八位字节的格式应符合第11.4.1条中的定义。格式化为多个八位字节的值应以最高有效字节到最低有效字节的顺序映射到响应中。LATN、SATN和SNRM的格式应包含5个双八位字节值，用于每一传输方向上有潜在应用可能的频段。双八位字节的值应按表11-29中所列的顺序发送。应使用十六进制数 00_{16} 来表示禁用频段。在发射机中，标注为“保留”的八位字节都应置为“零”，并且接收机将其忽略。SNRM测试参数，除所有的SNRM-pb值外（11.4.1.1.6.3），还应包含总的SNRM值（11.4.1.1.6.2）。第1个双八位字节值是总的SNRM，随后是表11-29中所规定的5个双八位字节的SNRM-pb的值。对于ATTNDR，在初始化阶段（见11.4.1.1.7条）配置使用基本或改进方法。ATTNDR测试参数规定于表11-30中。

如果按照[ITU-T G.993.5]的附件A操作，对SATN的标量读命令和单次读取命令的VTU-R响应的SATN值应等于特殊值1023。VTU-O应忽略此值（即，VME不得将此值传送给EIA，以存储在CO-MIB SATNs对象中）。

表11-29 – 发送LATN、SATN和SNRM-pb参数的次序

八位字节编号	上行方向	下行方向
1	US0	DS1
2		
3	US1	DS2
4		
5	US2	DS3
6		
7	US3	DS4
8		
9	US4	保留
10		

表11-30 – ATTNDR测试参数

八位字节编号	基本方法	改进方法
1-4	ATTNDR	ATTNDR
5	不适用	保留并设置为00 ₁₆
6	不适用	ATTNDR_INP_act ₀
7	不适用	保留并设置为00 ₁₆
8	不适用	ATTNDR_delay_act ₀
注 – 字段格式定义见第11.4.1.1.7条。		

应使用标量读取命令来检索单个测试参数。支持该命令是可选的。要检索的测试参数的ID应该在读取命令的第三个八位字节中指定，如表11-26所示。对于响应标量读取命令，如果VTU支持该命令和测试参数，则VTU应发送测试参数的值；否则VTU将发送一个NACK。每个参数值的八位字节格式应如第11.4.1条所述。格式化为多个八位字节的值应按最高有效字节到最低有效字节的顺序映射到响应中。LATN、SATN、SNRM和ATTNDR的格式应与单次读取命令中使用的格式相同。远端实际脉冲噪声保护（ID=27₁₆）应包含两个单八位字节值，按表11-31所示顺序发送。应使用十六进制值FF₁₆表示禁用的承载信道。

表 11-31 – 用于发送远端实际脉冲噪声保护参数的顺序

八位字节编号	参数
1	承载信道0的参数INP_act
2	承载信道1的参数INP_act

根据ITU-T G.993.5附件A的规定，在运行的情况下，应使用“G.993.5附件A的SATN”命令检索SATN。它应该包括5个TXpower_dBm_D(m)格式的双八位字节，分别用于5个可能可用的下行频段。每个参数的八位字节格式应与第11.4.1.1.8条中规定的实际总发送功率（ACTATP）相同。格式化为多个八位字节的值应以最高有效字节到最低有效字节的次序映射到响应中。双八位字节的值应按表11-29所列的顺序发送。应使用值00₁₆来表示禁用频段。在发射机端，表示为“保留”的八位字节都必须置为“零”并且它在接收机端被忽略。

在对“G.993.5附件A的SATN”命令的响应中，VTU应发送SATN值。每个参数值的八位字节格式应如第11.4.1条所述。格式化为多个八位字节的值应按照从最高有效字节到最低有效字节的顺序映射到响应中。SATN的格式应与标量读取命令中使用的格式相同。VTU-O应传送该值，以便存储在CO-MIB SATNds对象中。

如果VTU-R在SATN命令之后和响应之前检测到TIGAV或其他OLR程序，VTU-R应使用等于特殊值1023的SATN值进行响应。VTU-O应将此值用于存储在CO-MIB SATNds对象中，并进一步重新启动SATN命令。VME-O应与EIA沟通该值，以便将其存入CO-MIB SATNds对象中。VME-O应重新启动SATN命令。重新启动的时间由供应商自行决定。

应使用多次读取（Multiple Read）和下一次多次读取（Next Multiple Read）命令来检索一个子载波组的测试参数。在对“多次读取”或“下一次多次读取”命令的响应中，VTU应发出与所指示的子载波组相关的带有ID 01₁₆、03₁₆和04₁₆的测试参数的信息。多次读取命令包含所请求的子载波组的索引（见表11-26）。若要发出“下一次多次读取”命令，只应在“多次读取”命令以后发送它。在每一个后续的“下一次多次读取”命令的响应中，子载波

组的索引必须增加1。若子载波组索引超过511（见第11.4.1条），响应应为NACK。应以表11-28中所表示的参数ID的编号次序，将每一子载波组的PMD参数值插入该消息中去。每一参数的八位字节的格式应符合第11.4.1条中所描述的格式。应把被格式化为多个八位字节的值按照从最高有效八位字节到最低有效八位字节的次序映射到该响应中。

应使用块读取命令来检索出子载波组的范围内的测试参数。在对“块读取”命令的响应中，VTU应发送子载波组指定的相关块，且ID为 01_{16} 、 03_{16} 和 04_{16} 的所有测试参数信息。对于每一子载波组所规定的测试参数，在单个响应中转发其索引从#start到#stop的子载波组的所有值。若子载波组索引超过511，响应必须为NACK。每一子载波组的PMD参数的值应以表11-28中所表示的参数ID升序插入该消息中。每一参数值的八位字节格式应为第11.4.1条所描述的格式。被格式化为多个八位字节的值应按照从最高有效字节到最低有效字节的次序映射到该响应中。“块读取”命令中的八位字节数不得超过第11.2.3.1条中所规定的eoc消息的最大长度P。

应使用矢量块读取命令来检索子载波组范围内的单个测试参数。支持该命令是可选的。要检索的测试参数的ID应在读取命令的第三个八位字节中指定，如表11-26所示。响应矢量块读取命令时，如果VTU支持该命令，则VTU应发送与指定子载波组块相关的测试参数信息；否则VTU将发送一个NACK。从#start到#stop索引的子载波组的所有值都在一个响应中传送。如果子载波组索引超过511，则响应为NACK。每个参数值的八位字节格式应如第11.4.1条所述。格式化为多个八位字节的值应按照从最高有效字节到最低有效字节的顺序映射到响应中。

当转发信道传递函数 $H_{log}(f)$ 、静默线路噪声 $QLN(f)$ 和信噪比 $SNR(f)$ 的值时，每个测试参数的测量时间必须包含在响应中。ACK（见表11-27）之后是 $H_{LOG}(f)$ 测量时间和值 m （见第11.4.1.1.1条），后接 $QLN(f)$ 测量时间和 n 的值（见第11.4.1.1.2条），接着是 $SNR(f)$ 测量时间和 SNR 的值（见第11.4.1.1.3条）。在对“块读取”命令的响应中，测量时间只得出现一次，并且测量时间必须包含在对“多次读取”或“下一次多次读取”命令的每一响应中。

某些测试参数的值使用比表11-28中为响应所规定的相应字段中包含的更少的位数来表示。该字段有多于一个八位字节时，各位应被映射到响应的多字节字段的最低有效位上。对于无符号的量，应把多字节字段中未使用的最高有效位设置为“0”，而对有符号的量设置为符号位的值。

A.7.8 每一频段的信号衰减（SATN-pb）（取代[ITU-T G.993.2]第11.4.1.1.5条）

第 m 个下行频段的信号衰减表示为 $SATN_D(m)$ ，而第 m 个上行频段的信号衰减表示为 $SATN_U(m)$ 。

按照ITU-T G.993.5附件A操作时，第 m 个上行频段的信号衰减 $SATN_U(m)$ 应按[ITU-T G.993.5]第11.4.1.1.5条主体部分的规定计算。

按照[ITU-T G.993.5]附件A操作时，第 m 个下行频段的信号衰减SATN_D(m)定义为在 m 个下行频段中，在近端接收到的功率和由远端发出的功率之间的差值（dB）。

数学上表示为：

$$\text{SATN_D}(m) = \text{TXpower_dBm_D}(m) - \text{RXpower_dBm_D}(m)$$

在初始化和回路诊断模式期间，接收信号功率RXpower_dBm_D(m)（dBm）应按接收子载波功率计算，该功率应为MEDLEYds集中的该频段所有子载波功率值和。VTU-R应假设在O-P-MEDLEY传输期间，MEDLEYds集合中子载波的传输功率谱密度为MREFPSDds级别。因此，接收到的信号功率应该与MEDLEYds中设置的每个子载波的 g_i 值进行微调，用于估计数据传送期间将接收到的信号功率。

数学表达式为：

$$\text{RXpower_dBm_D}(m) = 10 \times \log_{10} \left(\sum_{i \in (\text{MEDLEYds} \cap \text{DS}(m))} (\text{Received_subcarrier_power_mW}(i) \times g_i^2) \right)$$

在数据传送阶段，接收到的信号功率Rxpwer_dBm_D(m)（单位为dBm）应计算为数据传送阶段接收到的子载波功率，并将此频段的子载波在MEDLEYds集合上求和。

数学表达式为：

$$\text{RXpower_dBm_D}(m) = 10 \times \log_{10} \left(\sum_{i \in (\text{MEDLEYds} \cap \text{DS}(m))} (\text{Received_subcarrier_power_mW}(i)) \right)$$

在这两个方程中，MEDLEYds \cap DS(m)表示MEDLEYds集合中属于第 m 个下行频段的所有子载波，Received_subcarrier_power_mW表示子载波 i 上的接收功率，单位为毫瓦， g_i 表示子载波 i 的增益（线性尺度）。

对于初始化期间确定的SATN值，在MEDLEYds集中每一子载波 i 所接收的信号功率应使用O-PMD（适用于上行方向）和R-PMD（适用于下行方向）的消息中传递的 g_i 值进行微调，以便估计出将在数据传送阶段接收到的信号功率。在回路诊断模式期间，应使用 g_i 值0（对于不能够分配比特的子载波）和1（适用于至少可以分配1个比特的子载波）来限制微调。对于数据传送期间确定的SATN值，应通过测量来获取接收信号子载波的功率。

对于在初始化和回路诊断模式期间确定的SATN值，VTU-R应将TXpower_dBm_D(m)计算为总发送功率，并在MEDLEYds集中的该频段的子载波上求和。VTU-R应当假定O-P-MEDLEY在传输过程中，MEDLEYds集中的子载波的传输PSD在MREFPSDds级别。因此，发送信号功率应该采用MEDLEYds中设置的每个子载波的 g_i 值进行微调，以估计在数据传送阶段传输的信号功率。

数学表达式为：

$$\text{TXpower_dBm_D}(m) = 10 \times \log_{10} \Delta f + 10 \times \log_{10} \left(\sum_{i \in \text{MEDLEYds} \cap \text{DS}(m)} \left(10^{\frac{\text{MREFPSD}[i]}{10}} \times g_i^2 \right) \right)$$

MEDLEYds \cap DS(m)表示属于第*m*个下行频段的MEDLEYds集的所有子载波，*MREFPSD[i]*是通过O-PRM信息传递的子载波*i*的MEDLEYds值，单位dBm/Hz，*g_i*为子载波*i*的增益（线性尺度）， Δf 为子载波频率间隔，单位为Hz。

VTU-O应与VCE配合，在初始化期间使用正确的TXpower_dBm_D(m)值更新VTU-R报告的下行SATN值。通过VTU-O与VCE配合，这些值应计算为总发送功率的估计值，在MEDLEYds集合中的该频段的所有子载波上求和，用MEDLEYds集合中的每个子载波的*g_i*值微调，以便估计出数据传送阶段内将发送的信号功率。

数学表达式为：

$$\text{TXpower_dBm_D}(m) = 10\log_{10}\left(\sum_{i \in (\text{MEDLEYds} \cap \text{DS}(m))} P_{\text{direct_Zi}'} \times g_i^2\right)$$

MEDLEYds \cap DS(m)表示属于第*m*个下行频段的MEDLEYds集的所有子载波，*P_{direct_Zi'}*是O-P-MEDLEY期间子载波*i*的预编码器输出端以U-O接口为参考的直连信号功率，假设网络输入阻抗为100 欧姆电阻，单位为毫瓦。

注1 – 在实际部署中，网络/回路输入阻抗可能偏离100 欧姆电阻。

注2 – 在使用子载波*i*的预编码器矩阵*P_i*的实现中，可以用矩阵*P_i*的对角系数“diag(*P_i*)”计算*P_{direct_Zi'}*，公式为：

$$P_{\text{direct_zi}'} = |\text{diag}(P_i)|^2 \times P_{Zi} = \Delta f \times 10^{\frac{\text{MREFPSD}(i)}{10}} \times (|\text{diag}(P_i)|)^2.$$

对于在初始化期间确定的下行SATN值，应使用R-PMD（用于下行方向）消息中传输的*g_i*值来微调MEDLEYds集合中每个子载波*i*的发送信号功率，用于估计数据传送阶段的发送信号功率。在回路诊断模式期间，微调应限制为使用*g_i*值0（对于不能分配比特的子载波）和1（对于至少可以分配一个比特的子载波）。

对于在数据传送阶段确定的下行SATN值，VTU-R应使用SATN测试参数请求命令中VTU-O所协商的TXpower_dBm_D(m)值。这些值应由VTU-O与VCE配合计算，作为总发送功率的估计值，并在MEDLEYds集合中该频段的子载波上求和。在数据传送阶段，该功率已包含*g_i*值的影响。

数学表达式为：

$$\text{TXpower_dBm_D}(m) = 10\log_{10}\left(\sum_{i \in (\text{MEDLEYds} \cap \text{DS}(m))} P_{\text{direct_Zi}'}\right)$$

MEDLEYds \cap DS(m)表示属于第*m*个下行频段的MEDLEYds集的所有子载波，*P_{direct_Zi'}*是数据传送阶段子载波*i*的预编码器输出端以U-O接口为参考的直连信号功率，假设网络输入阻抗为100 欧姆电阻，单位为毫瓦。

注3 – 在实际部署中，网络/回路输入阻抗可能偏离100 欧姆电阻。

注4 – 在使用子载波*i*的预编码器矩阵*P_i*的实现中，可以用矩阵*P_i*的对角系数“diag(*P_i*)”计算*P_{direct_Zi'}*，公式为：

$$P_{\text{direct_zi}'} = |\text{diag}(P_i)|^2 \times P_{Zi} = \Delta f \times 10^{\frac{\text{MREFPSD}(i)}{10}} \times (|\text{diag}(P_i)| \times g_i)^2.$$

在回路诊断模式和初始化期间，应通过接收PMD函数测量信号衰减（即估计数据传送阶段开始时的信号衰减）。测量结果可以自主地更新，并应在数据传送阶段根据远端请求进行更新。应在数据传送阶段根据请求将信号衰减发送给远端。

每一下行频段的信号衰减SATN_D(*m*)应表示为一个10比特的无符号的整数*satn*，而SATN_D(*m*)的值定义为SATN_D(*m*) = *satn*/10 dB。这一数据格式支持SATN_D(*m*)的粒度0.1 dB，SATN_D(*m*)的动态范围102.2 dB（0到102.2 dB）。

表示为*satn* = 1023的SATN_D(*m*)的值是一个特殊的值。它表示信号衰减超出了所要表示的范围或“未确定”。

A.7.9 状态参数GAINSpds

状态参数GAINSpds定义为：

$$GAINSpds_i = g_i \times 10^{\frac{(TXPSDdirect_{Zi}' - MREFPSDds(i))}{20}}$$

其中：

TXPSDdirect_Zi' 子载波*i*的预编码器输出端以U-I接口为参考输出的直连信号的功率谱密度，单位为dBm/Hz，假设网络输入阻抗为100欧姆电阻；

MREFPSDds O-PRM中传输的*MREFPSDds*值，单位为dBm/Hz。

当OLR改变*g_i*值，且TIGAV改变*TXPSDdirect_Zi'*值时，GAINSpds_{*i*}应由VTU-O与VCE配合更新。

注1 – GAINSpds仅在L0链接状态下更新。

GAINSpds的有效值从0到大约1.33（即，*g_i*的最大有效值）。

GAINSpds应表示为一个16位无符号整数，以1/512的倍数表示GAINSpds的值，有效值范围为0到682。所有其他值由ITU-T保留。

注2 – 如果VTU-O不按照本附件操作，则GAINSpds_{*i*}为实际*g_i*值。

注3 – 在对子载波*i*使用预编码器矩阵*P_i*的实现中，可以使用矩阵*P_i*的对角系数“diag(*P_i*)”计算GAINSpds，使用下述公式（见图6-1）：

$$GAINSpds_i = g_i \times diag(P_i)$$

A.8 管理

本条定义了特定于附件A操作的CO-MIB配置、状态和库存参数。如果VTU-O支持附件A，则应支持这些参数。

A.8.1 配置参数

A.8.1.1 StrongFext模式 (STRONGFEXT_MODE)

STRONGFEXT_MODE（见[ITU-T G.997.1]第7.3.1.17.1条）是一个配置参数，用于在初始化期间控制ITU-T G.993.5附件A的激活。

此参数有四个有效值：

0：禁用（DISABLED）：ITU T G.993.5附件A不允许使用。ITU-T G.994.1 CL消息中的“支持强远端串扰缓解”Npar(3)位应设置为零。

1：优选（PREFERRED）：运营商优选ITU T G.993.5附件A。ITU-T G.994.1 CL消息中的“支持强远端串扰缓解”Npar(3)位应表明VTU-O是否支持本附件。

2：强制（FORCED）：强制使用ITU-T G.993.5附件A。ITU-T G.994.1 CL消息中的“支持强远端串扰缓解”Npar(3)位应指示VTU-O是否支持该附件。如果在ITU-T G.994.1 MS消息

中“支持强远端串扰缓解”Npar(3)位未设置为1, 或者在ITU-T G.994.1 MS消息中“ITU-T G.993.5”Spar(2)位未设置为1, 则在MS中“ITU-T G.993.2”Spar(1)位应设置为零。

3: FORCED_ABOVE_17MHZ:

- 如果ITU-T G.994.1 MS消息的“ITU-T G.993.2”Spar(1)位设置为1, “ITU-T G.993.5”Spar(2)位设置为1, “支持强远端串扰缓解”Npar(3)位设置为0, 则ITU-T G.994.1 MS消息应
 - 根据除30a和35b之外的配置文件选择操作, 或者,
 - 根据配置文件35b选择操作, 在O-SIGNATURE中有一个下行和上行SUPPORTEDCARRIERS集合限制至子载波索引4095。
- 如果ITU-T G.994.1 MS消息的“ITU-T G.993.2”Spar(1)位设置为1, “ITU-T G.993.5”Spar(2)位设置为0, 则ITU-T G.994.1 MS消息应根据任何配置文件选择操作, 在O-SIGNATURE中有一个下行和上行SUPPORTEDCARRIERS集合, 其限制为供应商自主选择的子载波索引小于或等于4095。

注 – 应选择供应商自主选择的最高子载波索引, 使向矢量组中其他线路生成的串扰足够低, 例如子载波511 (可能对应ITU-T G.992.5操作)。

如果 STRONGFEXT_MODE 设置为 PREFERRED、FORCED 或 FORCED_ABOVE_17MHZ, 则

- RA-MODEds应设置为模式3 (DYNAMIC) 或4 (带SOS的DYNAMIC);
- RTX_MODE_ds应设置为RTX_FORCED、RTX_PREFERRED或RTX_TESTMODE。

注 – 本附件仅适用于VTU根据[ITU-T G.993.2]的附件Q操作, 该附件Q要求强制支持SRA和下行重传。本附件假设在CO-MIB中启用了SRA和下行重传。

如果矢量化组中的某条线路将 STRONGFEXT_MODE 设置为 FORCED 或 FORCED_ABOVE_17MHZ, 则矢量化组中的所有线路的STRONGFEXT_MODE都应设置为相同模式 (即, 全部或没有)。

A.8.2 状态参数

A.8.2.1 实际STRONGFEXT模式 (STRONGFEXT_MODE_ACTUAL)

有关STRONGFEXT_MODE_ACTUAL (见[ITU-T G.997.1]的第7.5.1.45.1条) 状态参数报告是否按照[ITU-T G.993.5]的附件A操作, 都在ITU-T G.994.1 MS消息中选择 (不管VTU自主选择还是CO-MIB强制选择)。

有效值有:

- NOT-SELECTED: 未选择ITU-T G.993.5附件A的操作。
- SELECTED: 已选择ITU-T G.993.5附件A的操作。

A.8.3 库存参数

A.8.3.1 STRONGFEXT模式支持 (STRONGFEXT_MODE_SUPPORT_O/R)

STRONGFEXT_MODE_SUPPORT_O (见 [ITU-T G.997.1] 第 7.4.15.1 条) 和 STRONGFEXT_MODE_SUPPORT_R (见[ITU-T G.997.1]第7.4.15.2条) 的库存参数报告, 对于VTU-O和VTU-R, 分别为支持 (设置为0) 或不支持 (设置为1) ITU-T G.993.5附件A的操作。

附件B

长距离VDSL2矢量化

(本附件是本建议书不可分割的组成部分。)

B.1 简介

本附件规定了VDSL2的长距离矢量化模式（VDSL2-LR）。

VDSL2-LR模式是VTU-O和VTU-R的可选功能。该模式为同一矢量化组中不同线对上的短、中、长回路操作提供不同的行为。如果网络管理中没有涉及具体选择，则短、中、长回路操作的选择是自主的，但要考虑回路损耗。

这些行为包括：

- 1) 部署可以同时承载VDSL2和VDSL2-LR的线路，VDSL2-LR线路和VDSL2线路可以在同一矢量化组中。
- 2) 如果VTU-O和VTU-R都支持VDSL2-LR模式，则VTU-O和VTU-R在ITU-T G.994.1握手阶段选择符合本附件的操作。
- 3) VDSL2线路和VDSL2-LR线路均配置为使用特定的VDSL2配置文件（例如8a/b或17a），具体取决于VDSL2线路上所需的服务。VDSL2和VDSL2-LR线路均根据ITU-T G.993.5程序和所选配置文件开始初始化。
- 4) 在US0中不允许重叠频谱 – 25到138/276 kHz频段只允许被US0使用，138/276 kHz以上使用常规VDSL2频段规划。
- 5) 在VDSL2-LR模式下，对于长回路操作，频谱限制为US0和DS1，最高到子载波511（2.208 MHz）。
- 6) VDSL2-LR模式只支持强制循环扩展。
- 7) 除非在此附件中另外明确规定，否则，VDSL2-LR模式支持适用于本建议书主体内容的所有功能（如DPBO）。
- 8) 在选择VDSL2-LR长回路操作的线路上不支持上行串扰消除（仅使用US0频段）。

B.2 初始化程序概述

VDSL2-LR初始化过程包括两部分：

- 1) 经过少量修改的常规ITU-T G.993.5程序（包括ITU-T G.993.5信道估计），以及
- 2) 附加阶段：
 - 探测（PROBING）：在此阶段，VTU-R确定线路的长度，并告知VTU-O是在短 – 中回路操作还是在长回路操作中继续VDSL2-LR初始化。根据VTU-R的指示，VTU-O和VTU-R将继续短 – 中回路操作或长回路操作的初始化；
 - 训练（TRAINING）：如果VTU-R选择继续进行长回路操作中对线路的初始化，则需经过此阶段。在此阶段，VTU-O和VTU-R对线路进行长回路操作的训练。

初始化过程的框架如图B.1所示。图中使用以下形式表示交换信号，以此说明VDSL2-LR初始化（对经常规ITU-T G.993.5初始化）过程：

- G.993.5信号c 如果线路是一个常规ITU-T G.993.5线路，即不按照本附件运行（常规ITU-T G.993.5线路），则使用该信号；
- 短或中LR信号 – 如果在探测阶段选择线路按短 – 中回路操作进行VDSL2-LR初始化，则使用该信号（使线路成为短或中VDSL2-LR线路）；
- 长LR信号 – 如果在探测阶段选择线路按长回路操作进行VDSL2-LR初始化，则使用©该信号（适用于长VDSL2-LR线路）。

	消息	长LR信号	短或中LR信号	ITU-T G.993.5 信号		ITU-T G.993.5 信号	短或中LR信号	长LR信号	消息
常规 ITU-T G.993.5 初始化部分	ITU-T G.994.1	ITU-T G.994.1 握手阶段				ITU-T G.994.1 握手阶段			ITU-T G.994.1
		O-P-QUIET 1				R-P-QUIET 1			
		O-P-VECTOR 0				R-P-QUIET 1			
VDSL2-LR 线路中执行的 附加部分	O-P-MSG- PCB-LR	O-P-PROBING-LR		VTU-R 获得的 回路定时 长、短判决		R-P-PROBING-LR		R-P-MSG- PCB-LR	
		O-P-QUIET 1-LR				R-P-QUIET 1-LR			
		O-P-VECTOR 1-LR	O-P-VECTOR 1		R-P-QUIET 1	R-P-QUIET 1			
		O-P-VECTOR 1				R-P-QUIET 1			
		O-P- TRAINING -LR				R-P- TRAINING -LR			
		O-IDLE	O-P-CHANNEL DISCOVERY V1			接收到的 O-SIGNATURE 信号	R-P-QUIET 1		
O-SIGNATURE	O-P-CHANNEL DISCOVERY V1						R-P-VECTOR 1		具有 SOC R-IDLE的 R-P- CHANNEL DISCOVERY
		O-P-SYNCHRO V1				R-P-VECTOR 1			
常规 ITU-T G.993.5 初始化部分	O-IDLE	O-P-CHANNEL DISCOVERY 1			双向传输 开始	R-P-CHANNEL DISCOVERY 1		R-IDLE	
		O-P-SYNCHRO V1			收到 R-MSG 1 消息	R-P-CHANNEL DISCOVERY 1		R-MSG1	
		O-P-SYNCHRO V1			信道发现阶段 早期阶段结束	R-P-SYNCHRO 1			
		O-P-PILOT 1	O-P-QUIET 2			R-P-LINEPROBE			
	

G.993.5(15)-Amd.2(17)_FB.1

图B.1 – VDSL2-LR初始化概述（对经常规ITU-T G.993.5初始化）

B.3 ITU-T G.994.1握手阶段

在ITU-T G.994.1握手阶段，确定了线路被选择为VDSL2-LR线路还是选择为常规ITU-T G.993.5线路。如果线路被选择为VDSL2-LR线路，则应通过NOMSPD和log_{tssi}值说明探测功率谱密度（见第B.6条）。定义的Spar(2)码点属于ITU-T G.993.2码树，并在表11.68.0.1/G.994.1（标准信息字段 – ITU-T G.993.2 SPar(2)编码 – 双八位字节）中定义。ITU-T G.994.1 CL、CLR和MS消息中码点的使用定义见表B.1至表B.8。

表B.1 – VTU-O CL消息SPar(2)位定义

ITU-T G.994.1 SPar(2)位	SPar(2) 位定义
支持VDSL2-LR	如果满足下列条件，应被设置为零： <ul style="list-style-type: none"> 参照本附件，VTU-O不支持VDSL2长距离（VDSL2-LR）模式，或， CO-MIB中不允许任何短、中或长回路操作类型（见第B.10.1.1条），以及 如果允许，可以设置为1。
下行频谱边界	当且仅当“支持VDSL2-LR”位设置为1时，应设置为1。如果设置为1，则表示VTU-O包括对应NPar(3)中定义的下行频谱边界。
下行频谱成形	当且仅当“支持VDSL2-LR”位设置为1时，应设置为1。如果设置为1，则表示VTU-O包括对应NPar(3)中定义的下行频谱成形。
上行频谱边界	当且仅当“支持VDSL2-LR”位设置为1时，应设置为1。如果设置为1，则表示VTU-O包括在相应NPar(3)中定义的上行频谱边界。
上行频谱成形	始终设置为零。
高于奈奎斯特频率发送信号图像	始终设置为零。
第0个下行IDFT样本偏移	当且仅当“支持VDSL2-LR”位设置为1时，应设置为1。
第0个上行IDFT样本偏移	始终设置为零。

表B.2 – VTU-O CL消息NPar(3)位定义

ITU-T G.994.1 SPar(2)位	NPar(3)位定义
支持VDSL2-LR	如果SPar(2)位设置为1：则 位1：短回路操作类型：当且仅当CO-MIB中允许VDSL2-LR短循环操作时，应设置为1（见第B.10.1.1条）。 位2：中回路操作类型：当且仅当CO-MIB中允许VDSL2-LR中环操作时，应设置为1（见第B.10.1.1条）。 位3：长回路操作类型：当且仅当CO-MIB中允许VDSL2-LR长循环操作时，应设置为1（见第B.10.1.1条）。 位4：始终设置为1。
下行频谱边界	用于说明标称发送功率谱密度电平的参数块，参数块的长度必须为2个八位字节。 标称发送功率谱密度电平（ <i>NOMPSDds</i> ）应按步长为0.1 dB，相对于-40 dBm/Hz的值从-25.6至+25.5表示为一个9比特带符号二进制补码值，应在第1个八位字节的第3位到第1位和第2个八位字节的第6位到第1位中编码。

表B.2 – VTU-O CL消息NPar(3)位定义

ITU-T G.994.1 SPar(2)位	NPar(3)位定义
下行频谱成形	<p>子载波上成对子载波索引和频谱成形log_tssi值的参数块。成对参数应按子载波索引增大的顺序发送。每一对参数应表示为4个八位字节。参数块的长度必须是4个八位字节的倍数。最大断点数等于32。</p> <p>码点应有如下结构： 子载波索引应为9比特的无符号值，表示子载波序号从1到$2 \times NSCds - 1$，应在第1个八位字节的第3位到第1位和第2个八位字节的第6位到第1位中编码。</p> <p>表示子载波是否包含在SUPPORTEDCARRIERS集中（1表示包含，0表示不包含）。在第3个八位字节的第6位中编码。</p> <p>频谱成形log_tssi的值应以对数尺度表示为7位无符号的值，步长-0.5 dB，范围从0 dB（值0）到-62.5 dB（值125），在第3个八位字节的第1位和第4个八位字节的第6~1位中编码。值127是一个特殊的值，表示该子载波不发送（即在线性标度中$tssi = 0$）。值126是一个特殊的值，表示在该子载波上的log_tssi值应根据[ITU-T G.992.3]第8.13.2.4条进行内插。被指定包含在SUPPORTEDCARRIERS集的所有参数对中，至少有一对（子载波索引和该子载波处的频谱成形log_tssi值）应将log_tssi值设置为0 dB。</p>
上行频谱边界	<p>定义和结构与下行频谱边界相同的参数块，$NOMPSD = NOMPSD_{us}$。</p>
第0个下行IDFT样本偏移	<p>在4.416 MHz的采样中，表示O-P-SEGUE 1-LR的第0个IDFT样本与O-P-CHANNEL DISCOVERY-V1之间的偏移量。该值被编码为7位无符号整数。</p>

表B.3 – VTU-R CLR消息SPar(2)位定义

ITU-T G.994.1 SPar(2) 位	SPar(2)位定义
支持VDSL2-LR	<p>根据本附件的定义，当且仅当VTU-R支持VDSL2长距离（VDSL2-LR）模式，才应设置为1。</p>
下行频谱边界	<p>始终设置为零。</p>
下行频谱成形	<p>始终设置为零。</p>
上行频谱边界	<p>当且仅当“支持VDSL2-LR”位设置为1时，才将被设置为1。如果设置为1，则表示VTU-R包括在相应NPar(3)中定义的上行频谱边界。</p>
上行频谱成形	<p>当且仅当“支持VDSL2-LR”位设置为1时，才将被设置为1。如果设置为1，则表示VTU-R包括在相应NPar(3)中定义的上行频谱成形。</p>

表B.3 – VTU-R CLR消息SPar(2)位定义

ITU-T G.994.1 SPar(2) 位	SPar(2)位定义
高于奈奎斯特频率发送信号图像	当且仅当“支持VDSL2-LR”位设置为1时，才将被设置为1。如果设置为1，则表示VTU-R包括高于相应NPar(3)中定义的奈奎斯特频率的发送信号图像。
第0个下行IDFT样本偏移	始终设置为0。
第0个上行IDFT样本偏移	当且仅当“支持VDSL2-LR”位设置为1时，才将被设置为1。

表B.4 – VTU-R CLR消息NPar(3)位定义

ITU-T G.994.1 SPar(2)位	NPar(3)位定义
支持VDSL2-LR	位1：始终设置为1。 位2：始终设置为1。 位3：始终设置为1。 位4：FMT-O-P-TREF2：如果设置为1，则表示VTU-R请求VTU-O在O-P-ECT-LR期间发送O-P-TREF符号。如果设置为0，则表示VTU-R请求VTU-O在O-P-ECT-LR期间发送O-P-QUIET符号。
上行频谱边界	与CL消息中的上行频谱边界上行参数块有相同定义和结构的参数块。
上行频谱成形	在CL消息中，参数块具有与下行频谱成形参数块相同的定义和结构， $NSC=NSC_{us}$ 和最大断点数等于16。
高于奈奎斯特频率发送信号图像	一种表示高于奈奎斯特频率的发送信号图像类型的参数块。该参数块应由一个八位字节组成。码点的结构应为第6位到第3位（对于 $2N$ 点IDFT，见[ITU-T G.993.2]第10.4.3条）表示 N 值，第2位和第1位表示发送信号图像定义高于奈奎斯特频率（见[ITU-T G.993.2]第10.4.3条）。 编码规则如下： <ul style="list-style-type: none"> • $(b_6b_5b_4b_3) = n$，$1 \leq n \leq 15$表示$N = 2^n$。 • $(b_2b_1 = 01)$：基带信号的复共轭。 • $(b_2b_1 = 10)$：零填充。 • $(b_2b_1 = 00)$：其他（以上均无）。 • $(b_2b_1 = 11)$：保留。
第0个上行IDFT样本偏移	在276 kHz的采样中，表示R-P-SEGUE 1-LR的第0个IDFT样本与R-P-CHANNEL DISCOVERY 1之间的偏移量。该值被编码为3位无符号整数。

表B.5 – VTU-O MS消息SPar(2)位定义

ITU-T G.994.1 SPar(2) 位	SPar(2)位定义
支持VDSL2-LR	当且仅当上一个CLR和上一个CL消息都将该位设置为1时，设置为1。如果设置为1，则表示VTU-O和VTU-R应继续初始化本附件中定义的VDSL2-LR模式。如果设置为0，表示VTU-O和VTU-R应按照第10条的规定继续初始化。

ITU-T G.994.1 SPar(2) 位	SPar(2)位定义
	如果该位设置为1，则CE长度SPar(2)位应设置为零。
上行频谱边界	始终设置为零。
下行频谱成形	始终设置为零。
下行频谱边界	始终设置为零。
上行频谱成形	始终设置为零。
高于奈奎斯特频率发送信号图像	始终设置为零。
第0个下行IDFT样本偏移	始终设置为零。
第0个上行IDFT样本偏移	始终设置为零。

表B.6 – VTU-O MS消息NPar(3)位定义

ITU-T G.994.1 SPar(2)位	NPar(3)位定义
支持VDSL2-LR	<p>位1：短回路：仅当上一个CLR和上一个CL消息都将该位设置为1时，才将其设置为1。如果设置为1，则应允许短回路操作。</p> <p>位2：中回路：当且仅当上一个CLR和上一个CL消息都将该位设置为1时，才将其设置为1。如果设置为1，则应允许中回路操作。</p> <p>位3：长回路：当且仅当前一个CLR和前一个CL消息都将该位设置为1时，才设置为1。如果设置为1，则应允许长回路操作。</p> <p>位4：FMT-O-P-TREF2：当且仅当前一个CLR和前一个CL消息都将该位设置为1时，才设置为1。如果设置为1，VTU-O应在O-P-ECT-LR期间发送O-P-TREF符号。如果设置为0，VTU-O应在O-P-ECT-LR期间发送O-P-QUIET符号。</p>

表B.7 – VTU-R MS消息SPar(2)位定义

ITU-T G.994.1 SPar(2) 位	SPar(2)位定义
支持VDSL2-LR	当且仅当前一个CLR和前一个CL消息都将该位设置为1时，才将该位设置为1。如果设置为1，则表示VTU-O和VTU-R应继续初始化本附件中定义的VDSL2-LR模式。如果设置为0，表示VTU-O和VTU-R应按照第10条的规定继续初始化。如果该位设置为1，则CE长度SPar(2)位应设置为0。
上行频谱边界	始终设置为零。
上行频谱成形	始终设置为零。
下行频谱边界	始终设置为零。
下行频谱成形	始终设置为零。

表B.7 – VTU-R MS消息SPar(2)位定义

ITU-T G.994.1 SPar(2) 位	SPar(2)位定义
高于奈奎斯特频率发送信号图像	始终设置为零。
第0个下行IDFT样本偏移	始终设置为零。
第0个上行IDFT样本偏移	始终设置为零。

表B.8 – VTU-R MS 消息NPar(3)位定义

ITU-T G.994.1 SPar(2)位	NPar(3)位定义
支持VDSL2-LR	<p>位1: 短回路: 仅当上一个CLR和上一个CL消息都将该位设置为1时, 才将其设置为1。如果设置为1, 则应允许短回路操作。</p> <p>位2: 中回路: 当且仅当上一个CLR和上一个CL消息都将该位设置为1时, 才将其设置为1。如果设置为1, 则应允许中回路操作。</p> <p>位3: 长回路: 当且仅当前一个CLR和前一个CL消息都将该位设置为1时, 才设置为1。如果设置为1, 则应允许长回路操作。</p> <p>位4: FMT-O-P-TREF2: 当且仅当前一个CLR和前一个CL消息都将该位设置为1时, 才设置为1。如果设置为1, VTU-O应在O-P-ECT-LR期间发送O-P-TREF符号。如果设置为0, VTU-O应在O-P-ECT-LR期间发送O-P-QUIET符号。</p>

如果ITU-T G.994.1 MS消息的“支持VDSL2-LR” SPar(2)位设置为1, 则应:

- 说明强制性CE长度的使用;
- 根据除配置文件30a之外的配置文件说明进行操作 (见[ITU-T G.993.2]表6-1和Q.1);
- 将附件B US0 SPar(2)设置为1, 并将25-138 kHz(A)、25-276 kHz(M)或120-276 kHz (B) NPar(3)中的一个设置为1。

特定回路操作 (短回路、中回路或长回路) 的选择在随后的初始化阶段进行, 如第B.2条所述。只有在允许的情况下 (即, 如果相应的ITU-T G.994.1 MS消息“短回路”“中回路”或“长回路” Npar(3)位设置为1), 才能选择特定回路操作。

B.4 VTU-O在信道发现和训练阶段发送的信号

在 B.4.2、B.4.5 和 B.4.7 中分别定义了 O-P-VECTOR 0、O-P-VECTOR 1-LR 和 O-P-VECTOR 1 的最长持续时间, 此外, 如果 ITU-T G.994.1 握手阶段中的位“O-P-VECTOR 1的8192超帧持续时间”启用 (参见第10.2条), 则从O-P-VECTOR 0开始至O-P-CHANNEL DISCOVERY V1 (不包括O-P-CHANNEL DISCOVERY V1) 的所有阶段的持续时间之和不得超过 $8 \times 1024 \times 257$ 个符号。

在ITU-T G.994.1 CLR消息中, 表示“支持VDSL2-LR模式”的VTU-R还应表示支持“O-P-VECTOR 1的8192超帧持续时间”。

注 – 在ITU-T G.994.1握手阶段禁用“O-P-VECTOR 1的8192超帧持续时间”的常规ITU-T G.993.5线路可以在不包含VDSL2-LR线路的不同加入组中初始化。

B.4.1 O-P-QUIET 1

在ITU-T G.994.1握手阶段之后，VTU-O应使用[ITU-T G.993.2]第12.3.3.3.1.1条中定义的O-P-QUIET 1信号开始初始化。

O-P-QUIET 1信号的持续时间应至少为512个但不超过1024个符号周期。

O-P-QUIET 1信号发送之后是O-P-VECTOR 0信号。

B.4.2 O-P-VECTOR 0

O-P-VECTOR 0信号应与第10.3.3.1条中定义的O-P-VECTOR 1信号相同。它包括来自下行SUPPORTEDCARRIERS的所有子载波。O-P-VECTOR 0信号的功率谱密度应使用与O-P-VECTOR 1信号的功率谱密度相同的规则导出（见第10.3.3.1条），除了O-P-VECTOR 0信号不应超过如[ITU-T G.993.2]表6中选定的配置文件所定义的最大下行总发送功率的最小值以及在CO-MIB中配置的MAXNOMATPds值。

在O-P-VECTOR 0信号的发送过程中，VCE根据来自矢量化线路VTU-R的已报告截短误差样本估计出从初始化线路进入矢量化线路的下行远端串扰信道。在VTU-O中为下行方向的所有矢量化线路建立远端串扰消除矩阵，这样就会消除从初始化线路进入矢量化线路的远端串扰。

O-P-VECTOR 0的持续时间由VTU-O在VCE控制下确定，VCE可以适当选择O-P-VECTOR 0的持续时间，用于同步O-P-PROBING-LR信号在矢量化组的所有VDSL2-LR线路上的开始时间。

O-P-VECTOR 0的持续时间不得超过 $M \times 1024 \times 257$ 个符号。如果在ITU-T G.994.1握手阶段（见第10.2条）启用了“O-P-VECTOR 1的8192超帧持续时间”位，则 $M=8$ 。否则， $M=1$ 。

注 – 当 $M=8$ 时，O-P-VECTOR 0的最大持续时间将在从O-P-VECTOR 0开始的所有阶段超时，并且直到但不包括O-P-CHANNEL DISCOVERY V1（见第B.4条）。

O-P-VECTOR 0信号之后应为O-P-PROBING-LR信号。

B.4.3 O-P-PROBING-LR

O-P-PROBING-LR应由若干周期性信号组成，如第B.6条所定义。这些信号旨在同步VTU-R，允许它估计线路的长度，这样它就能向VTU-O返回线路初始化是在短 – 中回路操作（变为短或中VDSL2-LR线路）中继续初始化，还是在长回路操作（变为长VDSL2-LR线路）中继续初始化。如果选择长回路操作，VTU-O还接收由VTU-R分配的导频音和由VTU-R确定的所需下行功率削减（PCB）的指示。

O-P-PROBING-LR信号可以用不同于ITU-T G.994.1 CL消息中指示的初始值大小的IDFT来发送。IDFT大小（ $2N$ ）应至少为2048（即 $n \geq 11$ ）。

O-P-PROBING-LR信号的功率谱密度应符合第B.6.1.1条的规定。

O-P-PROBING-LR信号发送后应发送O-P-QUIET 1-LR信号。

注 – 当VTU-O发送O-P-PROBING-LR信号时，推荐VCE冻结VTU-O在O-SHOWTIME状态下的线路的预编码器更新。

B.4.4 O-P-QUIET 1-LR

O-P-QUIET 1-LR信号应与O-P-QUIET 1信号相同。

在发送该信号时，VTU-O在短 – 中回路操作（成为短或中VDSL2-LR线路）中或在长回路操作（用于长VDSL2-LR线路）中执行延续所选初始化所需的任何重新配置。

O-P-QUIET 1-LR信号的持续时间应为64个符号。

如果应在短 – 中回路操作中继续进行线路初始化，则O-P-QUIET 1-LR信号之后应是第B.4.7条中定义的O-P-VECTOR 1信号。

如果应在长回路操作中继续进行线路的初始化，则O-P-QUIET 1-LR信号之后应是O-P-VECTOR 1-LR信号。

注 – 当VTU-O发送O-P-QUIET 1-LR信号时，建议VCE冻结VTU-O处于O-SHOWTIME状态的线路的预编码器更新。

B.4.5 O-P-VECTOR 1-LR

O-P-VECTOR 1-LR信号应与第10.3.3.1条中定义的O-P-VECTOR 1信号相同，但：

- 它应仅包括设置为子载波索引511（最高约2.2 MHz）的下行SUPPORTEDCARRIERS的所有子载波；
- 其功率谱密度应与O-P-TRAINING-LR信号的功率谱密度相同（见第B.7.1.1条）；
- 它以与ITU-T G.994.1 CL消息中指示的初始IDFT大小不同的IDFT的值（ $2N$ ）发送，但至少应为2048（即， $n \geq 11$ ），使索引为511的子载波上没有图像。

O-P-VECTOR 1-LR的持续时间由VTU-O在VCE控制下确定，VCE可以适当地选择O-P-VECTOR 1-LR的持续时间，目的是使矢量化组长回路操作中所有VDSL2-LR线路上的O-P-TRAINING-LR信号同步开始。

O-P-VECTOR 1-LR的持续时间不应超过 $M \times 1024 \times 257$ 个符号。如果在ITU-T G.994.1握手阶段（见第10.2条）启用了“O-P-VECTOR 1的8192超帧持续时间”位，则 $M=8$ 。否则， $M=1$ 。

注 – 当 $M=8$ 时，O-P-VECTOR 1-LR的最长持续时间将超过所有从O-P-VECTOR 0开始的阶段的最长持续时间，并且直到但不包括O-P-CHANNEL DISCOVERY V1（参见条款B.4）。

O-P-VECTOR 1-LR信号后接O-P-TRAINING-LR信号。

O-P-VECTOR 1-LR信号在VDSL2-LR线路选择长回路操作后，在重新配置过程中需要采用阻抗上的电位变化。

注 – VTU-R在探测阶段使用高达2.2 MHz的频谱，可能需要重新配置短 – 中回路操作，这可能会改变其阻抗，从而影响VTU-O处于O-SHOWTIME状态的线路的预编码器设置。这些变化的影响将在O-P-VECTOR 1的传输过程中显现出来。

B.4.6 O-P-TRAINING-LR

O-P-TRAINING-LR信号定义见第B.7条。

当VTU-O传送O-P-TRAINING-LR信号时，VTU-R传送R-P-TRAINING-LR信号。O/R-P-TRAINING-LR信号允许VTU-O和VTU-R训练其回波消除器（EC）和时域均衡器（TEQ）。O-P-TRAINING-LR信号的功率谱密度应如第B.7.1.1条所定义。

EC和TEQ训练完成后，两个VTU都可以进行专用操作信道通信，因此，在O/R-P-TRAINING-LR信号交换完成后，线路继续进行常规ITU-T G.993.5初始化，在专用操作信道上交换相应的消息。

在O-P-TRAINING-LR期间，IDFT的大小应与其在O-P-VECTOR 1-LR期间相同。

注 – 当VTU-O发送O-P-TRAINING-LR信号时，建议VCE冻结子载波上的预编码更新，直到子载波索引达到511。

O-P-TRAINING-LR的持续时间是可变的，O-P-TRAINING-LR的最大持续时间应遵守第B.4条中定义的规则。

根据B.4.8的定义，O-P-TRAINING-LR信号之后应为O-P-CHANNEL DISCOVERY V1信号和信道发现阶段的剩余部分。

B.4.7 O-P-VECTOR 1

O-P-VECTOR 1信号应与第B.4.2条中定义的O-P-VECTOR 0信号相同。

O-P-VECTOR 1的持续时间不得超过 $M \times 1024 \times 257$ 个符号。如果在ITU-T G.994.1握手阶段（见第10.2条）启用了“O-P-VECTOR 1的8192超帧持续时间”位，则 $M=8$ 。否则， $M=1$ 。

注 – 当 $M=8$ 时，O-P-VECTOR 1的最长持续时间将超过在从O-P-VECTOR 0开始的所有阶段最长持续时间，并且直到但不包括O-P-CHANNEL DISCOVERY V1（参见B.4条）。

根据B.4.8条的定义，O-P-VECTOR 1信号应后为O-P-CHANNEL DISCOVERY V1信号以及信道发现阶段的剩余部分。

B.4.8 G.993.5信道发现阶段

如果在探测阶段选择了短 – 中回路操作，则ITU-T G.993.5信道发现阶段应适用本条规定的修正方案。如果在探测阶段选择了长回路操作，则ITU-T G.993.5信道发现阶段应适用B.8条规定的修正方案。

B.4.8.1 O-SIGNATURE（修正[ITU-T G.993.2]的12.3.3.2.1.1条）

字段8的“下行标称最大总发送功率”（MAXNOMATPds）用于计算控制参数MAXNOMATPds的值，它决定了VTU-O允许传输的最大宽带功率，MAXNOMATPds在字段28中通信的值不应超过在CO-MIB中配置的20.5 dBm和MAXNOMATPds值的最小值；不论初始化的ITU-T G.994.1握手阶段选择何种[ITU-T G.993.2]配置文件。

控制参数MAXNOMATPds的值应被计算为[ITU-T G.993.2]表6-1中选定的配置文件所定义的最大下行总发送功率的最小值和O-SIGNATURE消息的字段8中所指示的MAXNOMATPds值。

注1 – 提请读者注意，控制参数MAXNOMATPds的值可能不同于在O-SIGNATURE中传送的MAXNOMATPds的值，这不是针对[ITU-T G.993.2]的情况。

注2 – 控制参数MAXNOMATPds的值对VTU-O和VTU-R都是已知的，不需要从VTU-O交换到VTU-R。

B.4.8.2 O-UPDATE（修正[ITU-T G.993.2]第12.3.3.2.1.2条）

如果ITU-T G.994.1MS消息的短回路位设置为零，则VTU-O在O-UPDATE指示的最高允许上行子载波（见[ITU-T G.993.2]表12-28）应满足第B.4.8.3条中定义的中回路操作条件（即强制的中回路操作）。

B.4.8.3 O-PRM (修正[ITU-T G.993.2]第12.3.3.2.1.3条)

如果ITU-T G.994.1 MS消息的中回路位设置为1, 并且VTU-O在O-UPDATE指示的最高允许上行子载波(参见[ITU-T G.993.2]的表12-28)和VTU-R在R-UPDATE指示的预期最高下行子载波(参见[ITU-T G.993.2]的表12-35)都小于等于已实施频段方案中为DS2频段定义的子载波索引的最高值, 且两者均不超过1971 (8.5 MHz, 见[ITU-T G.993.2]表6-1), 则VDSL2-LR线路应为中回路操作, 否则, VDSL2-LR线路应为短回路操作。

如果VDSL2-LR线路处于中回路操作, 则控制参数MAXNOMATPds的值应更改为等于O-O-SIGNATURE消息字段8中指示的MAXNOMATPds值。如果VDSL2-LR线路处于短回路操作, 则控制参数MAXNOMATPds的值应保持不变, 如第B.4.8.1条。

O-PRM中所示的MREFPSds(见[ITU-T G.993.2]表12-30)的总发送功率不得超过该MAXNOMATPds值。

注 – 对于中回路操作, MREFPSds可以具有超过在初始化的ITU-T G.994.1握手阶段中选择的特定[ITU-T G.993.2]配置文件的最大下行总发送功率(如[ITU-T G.993.2]表6-1和Q.1)的总发送功率。

B.4.9 ITU-T G.993.5训练阶段

如果在探测阶段选择长回路操作, 则ITU-T G.993.5训练阶段和B8条所作的修正均适用。如果在探测阶段选择短 – 中回路操作, 则应使用原ITU-T G.993.5训练阶段。

B.5 VTU-R在信道发现阶段和训练阶段发送的信号

B.5.1 R-P-QUIET 1

在ITU-T G.994.1握手阶段之后, VTU-R应使用[ITU-T G.993.2]第12.3.3.3.2.1条中定义的R-P-QUIET 1信号开始初始化。

R-P-QUIET 1的持续时间由VTU-O确定。在VTU-O结束O-P-PROBING-LR的第一个信号(O-P-COMB 2-LR, 见第B.6.1.3条)之后的64个符号内, VTU-R应停止发送R-P-QUIET 1信号。

R-P-QUIET 1信号后应为R-P-PROBING-LR信号。

B.5.2 R-P-PROBING-LR

如第B.6条所定义, R-P-PROBING-LR由许多周期性信号组成。

当接收到O-P-PROBING-LR信号时, VTU-R应确定线路应在短 – 中回路操作(变为短或中VDSL2-LR线路)中继续进行线路初始化, 还是在长回路操作(变为长VDSL2-LR线路)中继续进行线路初始化。在后一种情况下, 如有需要, VTU-R还应分配导频音, 并确定最小下行功率消减(PCBds, 见表B.10)。

R-P-PROBING-LR信号应按照ITU-T G.994.1 CLR消息中“高于奈奎斯特频率发送信号图像”块中的VTU-R指示的IDFT大小和图像类型发送。IDFT大小可能不同于ITU-T G.994.1 CL消息中指示的初始IDFT大小。

R-P-PROBING-LR信号的PSD应符合第B.6.2.1条的规定。

R-P-PROBING-LR信号后应为R-P-QUIET 1-LR信号。

B.5.3 R-P-QUIET 1-LR

R-P-QUIET 1-LR信号应与R-P-QUIET 1信号相同。

发送该信号时，VTU-R在短 - 中回路操作（成为短或中VDSL2-LR线路）或VDSL2-LR线路（用于长VDSL2-LR线路）中，将为需延续的初始化过程执行任何必需的重新配置操作。

R-P-QUIET 1-LR信号的持续时间应为64个符号周期。

如果在短 - 中回路操作中继续进行初始化，则R-P-QUIET 1-LR信号之后应跟随第10.3.4.1条中定义的R-P-QUIET 1信号，并且除第B.4.8和B.10.4.1条中定义的变更外，还应包括如第10.3条中定义的信道发现阶段的剩余部分应。

如果在长回路操作中继续进行初始化，则R-P-QUIET 1-LR信号后接R-P-QUIET 2-LR信号。

B.5.4 R-P-QUIET 2-LR

R-P-QUIET 2-LR信号应与R-P-QUIET 1信号相同。

R-P-QUIET 2-LR的持续时间由VTU-O确定。在VTU-O结束O-P-TRAINING-LR的第一个信号（O-P-REVERB 1-LR，见第B.7.1.1条）后的64个符号内，VTU-R应停止发送R-P-QUIET 2-LR信号。

R-P-QUIET 2-LR信号后应为R-P-TRAINING-LR信号。

B.5.5 R-P-TRAINING-LR

R-P-TRAINING-LR信号的定义见第B.7条。

当VTU-R传送R-P-TRAINING-LR信号时，VTU-O传送O-P-TRAINING-LR信号。O/R-P-TRAINING-LR信号允许VTU-O和VTU-R训练其回波消除器（EC）和时域均衡器（TEQ）。R-P-TRAINING-LR信号的功率谱密度应与R-P-PROBING-LR信号的功率谱密度相同（见第B.6.1.1条）。

经过EC和TEQ训练后，两个VTU都可以进行专用操作信道通信，在O/R-P-TRAINING-LR信号交换完成后，线路继续进行常规的ITU-T G.993.5初始化，在专用操作信道上交换相应的消息。

R-P-TRAINING期间的IDFT大小应如ITU-T G.994.1 CLR消息中“高于奈奎斯特频率发送信号图像”块中的VTU-R所示。

R-P-TRAINING-LR信号之后应后为第10.3.4.1条中定义的R-P-QUIET 1信号和第10.3条中定义的信道发现阶段的剩余部分。

B.5.6 ITU-T G.993.5信道发现阶段

如果在探测阶段选择了长回路操作，则ITU-T G.993.5信道发现阶段和第B.8条中定义的修正方案适用。如果在探测阶段选择了短 - 中回路操作，则ITU-T G.993.5信道发现阶段和第B.5.6条中定义的修正方案适用。

在这两种情况下，控制参数MAXNOMATP_{us}的值应符合第B.10.1.7条的规定。

B.5.6.1 R-UPDATE (修正[ITU-T G.993.2]第12.3.3.2.2.2条)

如果ITU-T G.994.1 MS消息的短循环位设置为零，则VTU-R在R-UPDATE指示的建议最高下行子载波（见[ITU-T G.993.2]的表12-35）应满足第B.4.8.3条中定义的中回路操作条件（即强制的中回路操作）。

B.5.7 ITU-T G.993.5训练阶段

如果在探测阶段选择长回路操作，则ITU-T G.993.5训练阶段和B8条所作的修改适用。如果在探测阶段选择短 - 中回路操作，则应使用原ITU-T G.993.5训练阶段。

B.6 O/R-P-PROBING-LR信号交换

O/R-P-PROBING-LR信号交换使用ITU-T G.992.5中定义的信号，其约束条件为：信号持续时间和不同信号之间的转换发生在带有CE的DMT符号的边界上。该约束与[ITU-T G.993.2]第12.3.6.1条中定义的发送O/R-P-PERIODIC信号的约束相同。因为在VDSL2-LR模式中仅支持强制CE，每个信号的持续时间是具有CE的64个符号（或不具有CE的69个符号）的倍数。

O/R-P-PROBING-LR信号交换如图B.2所示。

注 - O/R-P-PROBING-LR信号交换的持续时间在1.5 s和1.9 s之间。

B.6.1 O-P-PROBING-LR信号

B.6.1.1 发送O-P-PROBING-LR信号的功率谱密度

O-P-PROBING-LR发送功率谱密度（*PROBINGPSDds*）应根据ITU-T G.994.1 CL消息在ITU-T G.994.1握手阶段（定义见[ITU-T G.992.3]的第8.13.2.4条）的下行频谱边界和下行频谱成形参数块中交换的*NOMPSD*和*log_tssi*值导出，并且：

$$PROBINGPSDds(f) = CL_NOMPSDds + log_tssi_ds(f)$$

其中，*CL_NOMPSDds*是ITU-T G.994.1 CL消息中VTU-O指示的*NOMPSDds*。*CL_NOMPSDds*应小于或等于CO-MIB中配置的MAXNOMPSDds（见第B.10.1.2条）。

O-P-PROBING-LR信号的功率谱密度限值应为PSDMASKds。对于索引设置为511的SUPPORTEDCARRIERSds集中的所有子载波，*PROBINGPSDds(f)*不得超过PSDMASKds(f)减去3.5 dB。PSDMASKds(f)在[ITU-T G.993.2]的表7-4中定义，并应根据第B.9条中定义的LIMITMASKds推导。

O-P-PROBING-LR信号中包括的所有子载波应在*PROBINGPSDds*处传输，在U-O2参考点处的精度为±1dB。

O-P-PROBING-LR信号的总发送功率不应超过在条款B.9中定义的最大汇聚下行发送功率的最小值（[ITU-T G.993.2]的附件和在CO-MIB中配置的MAXNOMATPds值。VTU-O应确定*CL_NOMPSDds*和*log_tssi_ds*的值，使得O-P-PROBING-LR信号的总发送功率不得超过上述值。

注 - 对于长回路操作，O-P-PROBING-LR信号可能具有超过最大下行总发送功率的总发送功率（定义见[ITU-T G.993.2]中的表6-1、Q.1），用于在初始化期间的ITU-T G.994.1握手阶段中选择的特定的ITU-T G.993.2配置文件。然而，由于在O-P-PROBING-LR信号中使用COMB符号，这种情况将不太可能发生。

B.6.1.2 O-P-PROBING-LR信号的符号定义

O-P-QUIET符号的定义与[ITU-T G.992.3]第8.13.3.1.1条中定义的C-QUIET符号相同。

O-P-COMB符号应使用[ITU-T G.992.5]第8.13.3.1.2条中定义的子载波集。为了定义O-P-COMB子载波集，*NSC_{ds}*的值应设置为512。应使用在索引为511的SUPPORTEDCARRIERS_{ds}集中具有索引的所有O-P-COMB子载波。这些子载波应通过4-QAM进行调制。值11应映射到这些子载波上。这些子载波上的星座点应根据如[ITU-T G.993.2]第12.3.6.2条所述的象限扰频器提供的2位数字进行旋转。扰频器应在复位模式下使用（见[ITU-T G.993.2]第12.3.6.2.1条）。

O-P-ICOMB符号被定义为与O-P-COMB符号相同，除了值00映射在相同的子载波上。

由O-P-COMB或O-P-ICOMB符号组成的所有信号应实现为周期信号，例如O/R-P-PERIODIC 1（见[ITU-T G.993.2]第12.3.6.1条）。

B.6.1.3 O-P-COMB 2-LR

O-P-COMB 2-LR状态是固定长度的，在O-P-COMB 2-LR状态下，VTU-O应发送3648个O-P-COMB符号。

O-P-COMB 2-LR状态之后是O-P-QUIET 3-LR状态。

B.6.1.4 O-P-QUIET 3-LR

O-P-QUIET 3-LR状态是可变长度的，在O-P-QUIET 3-LR状态下，VTU-O将发送64的倍数个O-P-QUIET，最小256，最大960个O-P-QUIET符号。O-P-QUIET 3-LR状态之后是O-P-COMB 3-LR状态。

B.6.1.5 O-P-COMB 3-LR

O-P-COMB 3-LR状态是固定长度的，在O-P-COMB 3-LR状态下，VTU-O应发送64个O-P-COMB符号。

O-P-COMB 3-LR状态之后是O-P-ICOMB 2-LR状态。

B.6.1.6 O-P-ICOMB 2-LR

O-P-ICOMB 2-LR状态是固定长度的，在O-P-ICOMB 2-LR状态下，VTU-O应发送64个O-P-ICOMB符号。

O-P-ICOMB 2-LR状态之后是O-P-QUIET 4-LR状态。

B.6.1.7 O-P-QUIET 4-LR

O-P-QUIET 4-LR状态是可变长度的。在O-P-QUIET 4-LR状态下，VTU-O会发送多种64的倍数个O-P-QUIET符号，最小1152个符号，最大1408个O-P-QUIET符号。

在这一状态期间，VTU-O应接收并解码出R-MSG-PCB消息所包含的内容。

VTU-O应继续发送O-P-QUIET，直到VTU-R转换到R-P-QUIET 4-LR状态。在VTU-R转换到R-P-QUIET 4-LR状态后的128个符号之内，VTU-O应转换到下一状态。

如果VTU-O已经成功收到R-P-MSG-PCB信息，O-P-QUIET 4-LR状态应后接O-P-COMB 4-LR状态。否则，VTU-O应当返回至O-SILENT状态。

B.6.1.8 O-P-COMB 4-LR

O-P-COMB 4-LR状态是固定长度的。在O-P-COMB 4-LR状态下，VTU-O应发送64个O-P-COMB符号。

O-P-COMB 4-LR信号用作对成功接收R-P-MSG-PCB消息的确认。

O-P-COMB 4-LR状态之后应为ICOMB 4-LR状态。

B.6.1.9 O-P-ICOMB 4-LR

O-P-ICOMB 4-LR状态是固定长度的。在O-P-ICOMB 4-LR状态下，VTU-O应发送64个O-P-ICOMB符号。

O-P-ICOMB 4-LR状态之后应为O-P-MSG-PCB-LR状态。

B.6.1.10 O-P-MSG-PCB-LR

在下行方向上，基于在R-P-MSG-PCB-LR消息中由VTU-R所请求的使用量最大的下行子载波，发送功率应在探测阶段由VTU-O确定的功率削减值进一步调整。

O-P-MSG-PCB-LR状态是固定长度的。在O-P-MSG-PCB-LR状态下，VTU-O应发送512个O-P-COMB符号或者O-P-ICOMB符号，以调制O-P-MSG-PCB-LR信息。O-P-MSG-PCB-LR信息传送VTU-O确定的下行方向上的功率削减电平。

O-P-MSG-PCB-LR消息 m 由下列定义：

$$m = \{ m_7, \dots, m_0 \}$$

位定义如表B.9中所示。

表B.9 – O-P-MSG-PCB-LR消息的位定义

位索引	参数	定义
3~0	<i>O-PCB_DS</i>	VTU-O最终下行功率削减（单位：dB），表示为0到15范围内的无符号整数（4位值，第3位为最高有效位，第0位为最低有效位）（见注）。
7~4	ITU-T保留	应设置为0并被接收机忽略。

注 – 该功率削减应进一步使用，而不是R-MSG-PCB-LR消息中指示的最小下行功率削减。该值应小于或等于VTU-R请求的R-MIN_PCB_DS。如果VTU-R指示线路应在短 – 中回路操作中继续初始化，则该字段应设置为0和被VTU-R忽略。

8位 $m_0 \sim m_7$ 应在512个符号周期内传输（ m_0 优先， m_7 最后）。0位应作为64个连续O-P-COMB符号传输（每69个不带CE的符号传输1位）。1位应作为64个连续O-P-ICOMB符号传输。

O-P-MSG-PCB-LR状态还向VTU-R指示探测阶段已完成。

O-P-MSG-PCB-LR状态后接O-P-QUIET 1-LR状态。

B.6.2 R-P-PROBING-LR信号

B.6.2.1 发送R-P-PROBING-LR信号的功率谱密度

R-P-PROBING-LR传输功率谱密度（*PROBINGPSD_{us}*）应根据ITU-T G.994.1 CLR消息在ITU-T G.994.1握手阶段（定义见 [ITU-T G.992.3]第8.13.2.4条）上行频谱边界和上行频谱成形参数块中交换的*NOMP*SD和*log₁₀tssi*值导出，并且：

$$PROBINGPSD_{us}(f) = \min(CL_NOMPSD_{us}, CLR_NOMPSD_{us}) - PC_{Bus} + \log_{tssi_us}(f),$$

式中， CL_NOMPSD_{us} 是CL消息中VTU-O指示的 $NOMPSD_{us}$ ， CLR_NOMPSD_{us} 是ITU-T G.994.1 CLR消息中VTU-R指示的 $NOMPSD_{us}$ 。 CL_NOMPSD_{us} 应小于或等于CO-MIB中配置的 $MAXNOMPSD_{us}$ （见第B.10.1.2条）。

R-P-PROBING-LR信号的功率谱密度限值应为 $PSDMASK_{us}$ 。所有在US0频段 $[f_{0L}, f_{0H}]$ 的SUPPORTEDCARRIERS_{us}集的子载波，其 $PROBINGPSD_{us}(f)$ 不得超过 $PSDMASK_{us}(f)$ 减去3.5 dB。 $PSDMASK_{us}(f)$ 在[ITU-T G.993.2]的表7-4中定义，并应考虑到第B.9条中定义的LIMITMASK_{us}进行推导。

如果VTU-R确定线路为短或中回路，则VTU-R应采用 $PC_{Bus} = 10$ dB，如果VTU-R确定线路是长回路，则应采用 $PC_{Bus} = 0$ dB。VTU-R应在发送R-P-PROBING-LR信号的第一个激活符号之前评估线路的长度（见图B.2）。VTU-R应使用这些设置 PC_{Bus} 的规则，无论在ITU-T G.994.1握手阶段（见第B.3条）期间是否允许短、中或长回路操作。

R-P-LINEPROBE-LR信号的发送PSD不得超过 $PROBINGPSD_{us}$ 。

包含在R-P-PROBING-LR信号中的所有子载波应在用 PC_{Bus} 降低的 $PROBINGPSD_{us}$ 中发送，在U-R的2参考点的精度为 ± 1 dB。

R-P-PROBING-LR信号的总发送功率不得超过第B.10.1.7条中定义的控制参数 $MAXNOMATP_{us}$ 的值。VTU-O应确定 CL_NOMPSD_{us} 的值，以便对于VTU-R选择的任何有效 CLR_NOMPSD_{us} 、 PC_{Bus} 和 \log_{tssi_us} 设置，R-P-PROBING-LR信号的总发送功率不应超过上述值。

B.6.2.2 R-P-PROBING-LR信号所使用的符号定义

R-P-QUIET符号被定义为与[ITU-T G.992.3]第8.13.3.2.1条中定义的R-QUIET符号相同。

R-P-COMB符号应使用[ITU-T G.992.5]第8.13.3.2.2条定义子载波集。为了定义R-P-COMB子载波集，值 NSC_{us} 应被设置为32或者64，符合第B.9.2.2条定义的US0 PSD掩膜。应使用在US0 PSD掩膜的通带中具有索引的所有R-P-COMB子载波。这些子载波应通过4-QAM调制。值11应被映射到这些子载波上。这些子载波上的星座点应基于[ITU-T G.993.2]第12.3.6.2条描述的象限扰频器提供的2位数字进行旋转。扰频器应在复位模式下使用（见[ITU-T G.993.2]第12.3.6.2.1条）。

R-P-ICOMB符号被定义为与R-P-COMB符号相同，除了值00映射在相同的子载波上。

由R-P-COMB或R-P-ICOMB符号组成的所有信号应实现为周期信号，例如O/R-P-PERIODIC 1（见[ITU-T G.993.2]第12.3.6.1条）。

B.6.2.3 R-P-COMB 2-LR

R-P-COMB 2-LR状态是固定长度的，在R-P-COMB 2-LR状态下，VTU-R应发送256个R-P-COMB符号。

如果VTU-R希望使用R-P-LINEPROBE-LR状态，则R-P-COMB 2-LR状态后面应跟随R-P-ICOMB 1-LR状态，否则，R-P-COMB 2-LR状态后面应跟随R-P-QUIET 3-LR。

B.6.2.4 R-P-ICOMB 1-LR

R-P-ICOMB 1-LR状态是固定长度的，在R-P-COMB 1-LR状态下，VTU-R应发送64个R-P-ICOMB符号。

R-P-ICOMB 1-LR状态之后应为R-P-LINEPROBE-LR状态。

B.6.2.5 R-P-LINEPROBE-LR

R-P-LINEPROBE-LR状态是固定长度的。在R-P-LINEPROBE-LR状态下，VTU-R应发送供应商自主决定的持续时间为512个符号的信号。

R-P-LINEPROBE-LR状态之后应为R-P-QUIET 3-LR状态。

B.6.2.6 R-P-QUIET 3-LR

R-P-QUIET 3-LR状态是可变长度的。在R-P-QUIET 3-LR状态下，VTU-R将发送64的倍数个R-P-QUIET符号，最小128个，最大320个R-P-QUIET符号。

VTU-R应继续发送R-P-QUIET符号，直到VTU-O转换到O-P-QUIET 4-LR之后。在VTU-O转换到O-P-QUIET 4-LR之后的128个符号内，VTU-R应转换到下一个状态。

R-P-QUIET 3-LR状态之后应为R-P-COMB 3-LR状态。

B.6.2.7 R-P-COMB 3-LR

R-P-COMB 3-LR状态是固定长度的，在R-P-COMB 3-LR状态下，VTU-R应发送64个R-P-COMB符号。

R-P-COMB 3-LR状态后接R-P-ICOMB 2-LR状态。

B.6.2.8 R-P-ICOMB 2-LR

R-P-ICOMB 2-LR状态是固定长度的，在R-P-ICOMB 2-LR状态下，VTU-R应发送64个R-P-ICOMB符号。

R-P-ICOMB 2-LR状态之后应为R-P-MSG-PCB-LR状态。

B.6.2.9 R-P-MSG-PCB-LR

在下行方向，发送功率应由功率削减值降低。最小下行功率削减值由VTU-R在探测阶段确定。

注 – 当确定最小下行功率削减值时，VTU-R可以考虑通过观察O-P-COMB 2-LR确定的其接收机动态范围，以及由任意R-P-LINEPROBE-LR确定的本地线路条件。

R-P-MSG-PCB-LR状态是固定长度的，在R-P-MSG-PCB-LR状态下，VTU-R应发送1536个R-P-COMB或R-P-ICOMB符号来调制R-P-MSG-PCB消息，R-P-MSG-PCB消息传达了VTU-R为下行方向确定的最小下行功率削减，以及用于不同状态下定时恢复的下行导频音。

R-P-MSG-PCB消息 m 的定义如下：

$$m = \{ m_{23}, \dots, m_0 \},$$

其位定义如表B.10所列。

表B.10 – R-P-MSG-PCB-LR消息的位定义

位索引	参数	定义
[3:0]	<i>R-MIN_PCB_DS</i>	VTU-R的最小下行功率削减，表示为0~15之间的无符号整数，以dB为单位 (4位值，最高有效位在第3位上，最低有效位在第0位上)
[12:4]	<i>O-P-PILOT</i>	下行导频音，表示为32~511之间的无符号整数 (9位值，最高有效位在第12位上，最低有效位在第4位上) (见注1和注4)。
13	<i>OPTYPE</i>	如果线路在短 – 中回路操作 (成为短或中VDSL2-LR线路) 中继续进行线路初始化，则应设置为0。 如果线路在长回路操作 (长VDSL2-LR线路) 中继续进行线路初始化，则应设置为1。 (见注2和3)。
[22:14]	<i>LAST_TONE_DS</i>	训练阶段中最高传输下行频率的子载波索引，表示为无符号整数 (9位值，最高有效位在第22位上，最低有效位在第14位上) (注4和5)。
23	ITU-T保留	应设置为0，并被接收机忽略。

注1 – 所示的*O-P-PILOT*值应用作O-P-TREF导频子载波的索引 (见第B.7.1.4条)，以支持/恢复O-P-TRAINING阶段的VTU-R定时。

注2 – 如果*OPTYPE*位设置为0，VTU-O应忽略消息的所有其他参数。

注3 – 如果ITU-T G.994.1 MS消息的长回路位设置为零，则*OPTYPE*位应设置为零。如果ITU-T G.994.1 MS消息的短回路位和中回路位都设置为零，则*OPTYPE*位应设置为1 (即强制长回路操作)。

注4 – 如果*OPTYPE*位设置为0 (该线路应在短 – 中回路操作中继续初始化)，则该字段应设置为491。

注5 – *LAST_TONE_DS*的有效值是与第B.6.1.2条中定义的来自*O-P-COMB*符号集的子载波相关联的值，以及511的附加有效值。

24位 $m_0 \sim m_{23}$ 应在1536个符号周期内发送 (m_0 优先, m_{23} 最后)。0位应作为64个连续的R-P-COMB符号发送 (每69个符号1位, 不带CE)。1位应作为64个连续的R-P-ICOMB符号发送。

R-P-MSG-PCB-LR状态之后应为R-P-QUIET 4-LR状态。

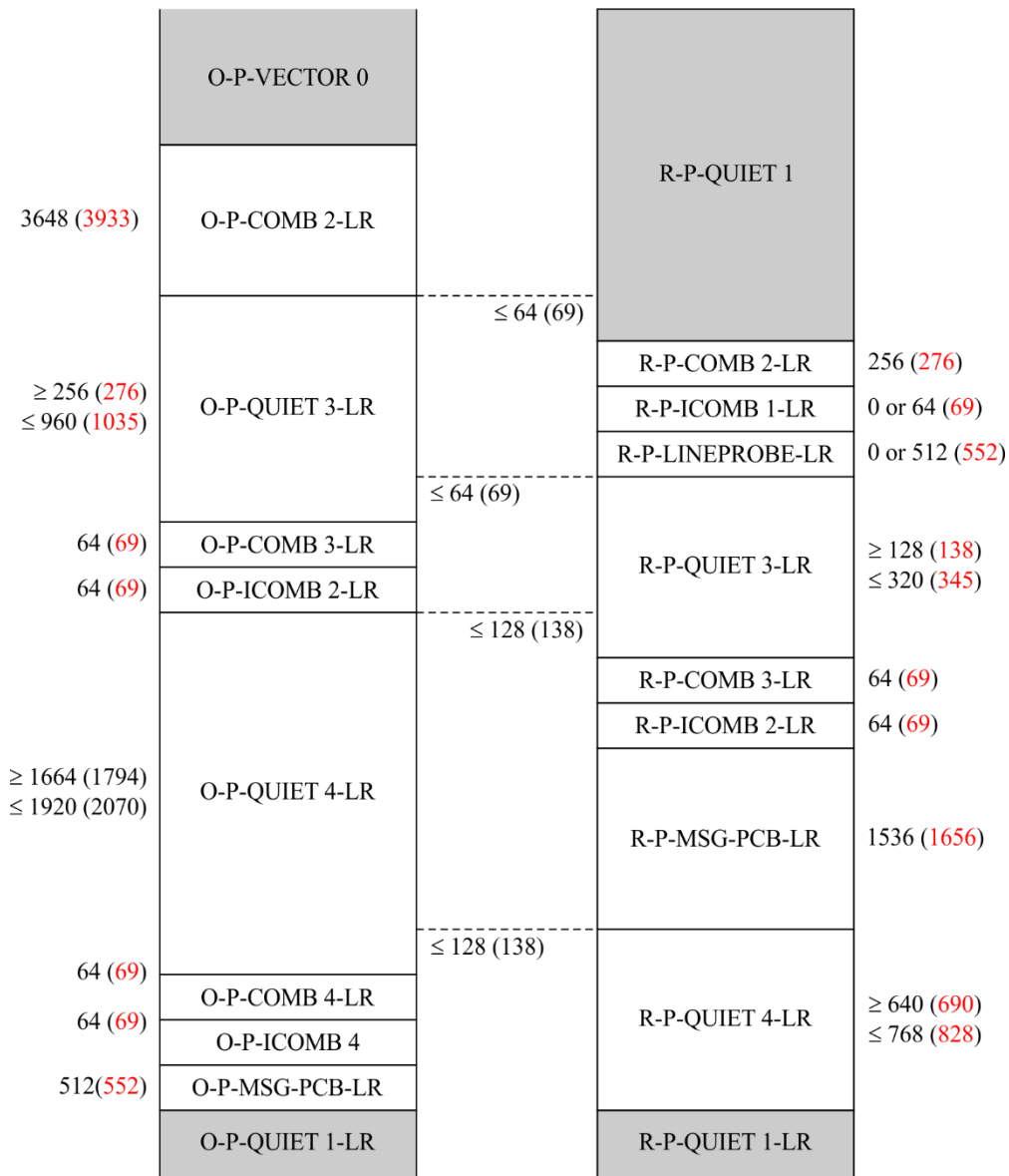
B.6.2.10 R-P-QUIET 4-LR

R-P-QUIET 4-LR状态是可变长度的。在R-P-QUIET 4-LR状态下，VTU-R将发送64的倍数个R-P-QUIET符号，最小64个，最大192个R-P-QUIET符号。

如果VTU-R成功地检测到O-P-COMB 4-LR信号，则在R-P-QUIET 4-LR状态之后应为R-P-QUIET 1-LR状态，否则，VTU-R应返回到R-SILENT状态。

B.6.3 O/R-P-PROBING-LR信号的时间线

信号转换如图B.2所示。



G.993.5(15)-Amd.2(17)_FB.2

图B.2 – O/R-P-PROBING-LR信号的时间线

在图B.2中，信号持续时间用带CE的符号表示（括号中的值是用不带CE的符号表示的信号持续时间）。灰色阴影的信号是初始化前和初始化后阶段的一部分（见图B.1）。

B.7 O/R-P-TRAINING-LR信号交换

O/R-P-TRAINING-LR信号交换如图B.4所示，并使用[ITU-T G.992.5]中定义的信号，约束条件是不同信号之间的转换发生在带有CE的DMT符号的边界上。每个信号的持续时间是带有CE的64个符号（或不带有CE的69个符号）的倍数。

注 – O/R-P-TRAINING-LR信号交换允许在全双工传输前训练TEQ和EC。交换持续时间在1.9 s到9.7 s之间。

B.7.1 O-P-TRAINING-LR信号

B.7.1.1 O-P-TRAINING-LR信号的发送功率谱密度

O-P-TRAINING-LR发送功率谱密度 ($TRAININGPSDs$) 应根据ITU-T G.994.1 CL消息在ITU-T G.994.1握手阶段（定义见[ITU-T G.992.3]第8.13.2.4条）的下行频谱界限和下行频谱成

形参数块中交换的 $NOMPSD$ 和 \log_{tssi} 值，以及由 VTU-O 在探测阶段指示的 $O-PCB_{DS}$ 值导出，如下所示：

$$TRAININGPSD_{ds}(f) = NOMPSD_{ds} - PCB_{ds} + \text{ceiled_log_tssi_ds}(f),$$

其中

$$\text{ceiled_log_tssi_ds}(f) = \text{MIN}(\log_{tssi_ds}(f) + PCB_{ds}, 0 \text{ dB}),$$

且

$$PCB_{ds} = O-PCB_{DS}.$$

O-P-TRAINING-LR 信号中包含的所有子载波应在 $TRAININGPSD_{ds}$ 上传输，在 U-O2 参考点的精度为 ± 1 dB。

O-P-TRAINING-LR 信号的功率谱密度限值应为 $PSDMASK_{ds}$ 。 $TRAININGPSD_{ds}(f)$ 不得超过 $PSDMASK_{ds}(f)$ 减去 3.5 dB，对于 SUPPORTEDCARRIERS_{ds} 集的所有子载波，其索引设置最高可达 511。 $PSDMASK_{ds}$ 在 [ITU-T G.993.2] 的表 7-4 中定义，并应考虑第 B.9 条中定义的 $LIMITMASK_{ds}$ ，使用索引等于 VTU-R 在探测阶段指示的 $LAST_TONE_{DS}$ 的最高子载波。

O-P-TRAINING-LR 信号的总发送功率不应超过条款 B.9 中定义的最大下行总发送功率的最小值，以对应于 [ITU-T G.993.2] 和配置在 CO-MIB 中的 $MAXNOMATP_{ds}$ 值。

VTU-O 应确定 CL_NOMPSD_{ds} 、 \log_{tssi_ds} 和 PCB_{ds} 的值，以使 O-P-TRAINING-LR 信号的总发送功率不超过上述值。

B.7.1.2 O-P-TRAINING-LR 信号的符号定义

O-P-REVERB 符号应包含索引 511 以下的所有子载波。这些子载波应通过 4-QAM 进行调制。值 11 应映射到这些子载波。这些子载波上的星座点应根据 [ITU-T G.993.2] 第 12.3.6.2 条中描述的象限扰频器提供的 2 位数字进行旋转。扰频器应在复位模式下使用（见 [ITU-T G.993.2] 第 12.3.6.2.1 条）。

O-P-QUIET 符号与 O-P-PROBING-LR 的定义相同。

O-P-TREF 符号必须定义为一个单音符号。只有 VTU-R 在 R-P-MSG-PCB 消息（即，O-P-TREF 导频音）中所规定的 $O-P-PILOT$ 子载波索引应被发送。O-P-TREF 导频音必须调制 4-QAM {0,0} 星座点。在其他子载波上（即 $X_i = Y_i = 0$ ）不得发送功率。

O-P-SEGUE 符号被定义为与 O-P-REVERB 符号相同，除了值 00 映射到相同的子载波。

由 O-P-REVERB、O-P-SEGUE 或 O-P-TREF 符号组成的所有信号应作为周期信号来实现，例如 O/R-P-PERIODIC 1（见 G.993.2 第 12.3.6.1 条）。

O-P-PILOT 符号被定义为与在 [ITU-T G.993.2] 的 O-P-PILOT 1 期间传输的符号相同（参见 [ITU-T G.993.2] 的第 12.3.3.3.1.4 条）。在 O-P-PILOT 符号期间，仅应传输由 R-P-MSG-PCB-LR 消息中的 VTU-R 指定的 $O-P-PILOT$ 子载波索引（即 O-P-TREF 导频音）。

B.7.1.3 O-P-REVERB 0-LR

O-P-REVERB 0-LR 状态是固定长度的，在 O-P-REVERB 0-LR 状态下，VTU-O 应发送 3648 个 O-P-REVERB 符号。

在O-P-REVERB 0-LR状态期间，VTU-R恢复回路定时，调整AFE并获取下行符号定时。

O-P-REVERB 0-LR状态之后应为O-P-QUIET 5-LR状态。

B.7.1.4 O-P-QUIET 5-LR

O-P-QUIET 5-LR状态是固定长度的，在O-P-QUIET 5-LR状态下，VTU-O应发送128个O-P-QUIET符号。

在O-P-QUIET 5-LR状态期间，VTU-O检测到R-P-REVERB 1-LR，然后准备双向传输。

O-P-QUIET 5-LR状态之后应为O-P-REVERB 1-LR状态。

B.7.1.5 O-P-REVERB 1-LR

O-P-REVERB 1-LR状态是固定长度的，在O-P-REVERB 1-LR状态下，VTU-O应发送512个O-P-REVERB符号。

在O-P-REVERB 1-LR状态期间，VTU-O可以微调其AGC（当VTU-R处于O-P-REVERB 1-LR状态时），并执行自适应AFE算法。

O-P-REVERB 1-LR状态之后应为O-P-TREF 1-LR状态。

B.7.1.6 O-P-TREF 1-LR

O-P-TREF 1-LR状态是可变长度的。在O-P-TREF 1-LR状态下，VTU-O将发送最小值为512和最大为15872的O-P-TREF符号。

在O-P-TREF 1-LR状态期间，VTU-O可以训练其TEQ。

O-P-TREF 1-LR状态之后应为O-P-REVERB 2-LR状态。

B.7.1.7 O-P-REVERB 2-LR

O-P-REVERB 2-LR状态是固定长度的，在O-P-REVERB 2-LR状态下，VTU-O应发送64个O-P-REVERB符号。

转换到O-P-REVERB 2-LR状态，向VTU-R表示VTU-O已完成TEQ训练。

O-P-REVERB 2-LR状态之后应为O-P-ECT-LR状态。

B.7.1.8 O-P-ECT-LR

O-P-ECT-LR状态是固定长度的。在O-P-ECT-LR状态下，VTU-O应发送一个由供应商确定的持续时间为512个符号周期的信号。

在这种状态下，VTU-O可以训练自己的回波消除器。

O-P-ECT-LR状态应后接O-P-REVERB 3-LR状态。

B.7.1.9 O-P-REVERB 3-LR

O-P-REVERB 3-LR状态是可变长度的。在O-P-REVERB 3-LR状态中，VTU-O将发送最少448个、最多15936个O-P-REVERB符号。

O-P-REVERB 3-LR状态为VTU-O提供一个训练信号（假定，用于TEQ）。

VTU-O应继续发送O-P-REVERB符号，直到VTU-R转换到R-P-REVERB 3-LR状态。在VTU-R转换到R-P-REVERB 3-LR状态后的64个符号内，VTU-O应转换到下一个状态。

如果VTU-R已在ITU-T G.994.1 CLR消息中指示它要求VTU-O在R-P-ECT-LR状态期间发送O-P-TREF符号（即，已将“FMT-O-P-TREF2”位设置为1），则O-P-REVERB 3-LR状态后应为O-P-TREF 2-LR状态。如果VTU-R已指示它要求VTU-O发送O-P-QUIET在R-P-ECT-LR状态期间的符号（即，已将“FMT-O-P-TREF2”位设置为零），O-P-REVERB 3-LR状态后应为O-P-QUIET 6-LR状态。

B.7.1.10 O-P-TREF 2-LR

O-P-TREF 2-LR状态是固定长度的。在O-P-TREF 2-LR这种状态下，VTU-O应传输576个O-P-TREF符号。

O-P-TREF 2-LR状态有助于VTU-R中的EC训练。VTU-O应忽略VTU-R在此状态下的信号传输。

O-P-TREF 1-LR状态的下一个状态应是O-P-REVERB 4-LR状态。

B.7.1.11 O-P-QUIET 6-LR

O-P-QUIET 6-LR状态是固定长度的。在O-P-QUIET 6-LR状态下，VTU-O应传输576个O-P-QUIET符号。

VTU-O应忽略VTU-R在此状态下的信号传输。

O-P-QUIET 6-LR状态的下一个状态应为O-P-REVERB 4-LR状态。

B.7.1.12 O-P-REVERB 4-LR

O-P-REVERB 4-LR状态是固定长度的。在O-P-REVERB 4-LR状态下，VTU-O应传输1024个O-P-REVERB符号。

在O-P-REVERB4-LR状态下，VTU-O能够为双向传输调整参数。

O-P-REVERB 4-LR状态的下一个状态应为O-P-SEGUE 1-LR状态。

B.7.1.13 O-P-SEGUE 1-LR

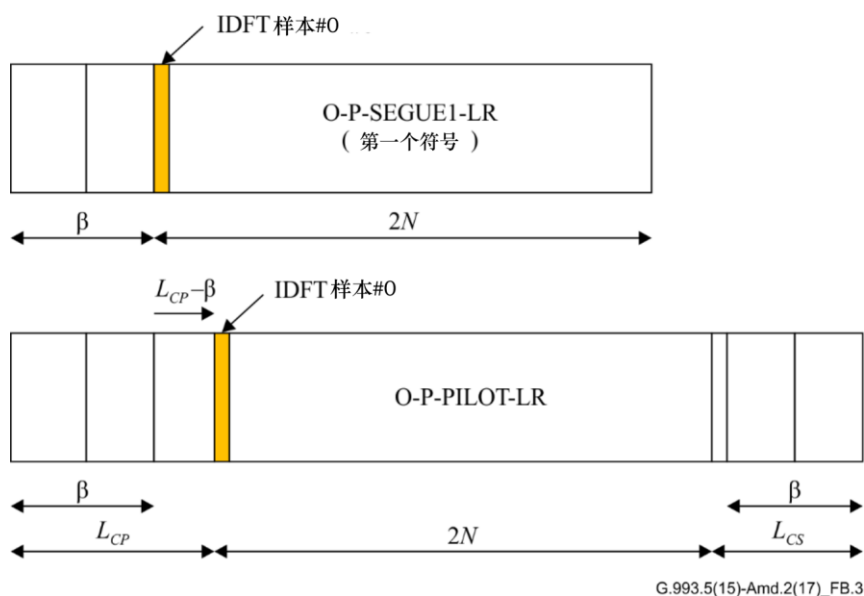
O-P-SEGUE 1-LR状态是固定长度的。在O-P-SEGUE1-LR状态下，VTU-O应传输64个O-P-SEGUE符号。O-P-SEGUE 1-LR的第一个符号用作参考时间点，以便于在VDSL2-LR训练时间和G.993.5信道发现（见第B.8.1条）之间进行校准。O-P-SEGUE 1-LR状态后应为O-P-PILOT-LR状态。

B.7.1.14 O-P-PILOT-LR

O-P-PILOT-LR旨在均衡矢量化组的不同线路之间的训练阶段持续时间。在O-P-PILOT-LR状态，VTU-O会发送整数个O-O-PILOT符号。O-P-PILOT-LR状态在VCE的控制下，持续时间是可变的，可以在128到31360个符号的范围内变动。

O-P-PILOT是一个非周期信号。O-P-PILOT符号和O-P-SEGUE 1-LR状态的匹配应使用与特定符号的第0个IDFT样本相关联的两个参考点。第0个IDFT样本被定义为IDFT生成的2N时间样本块的第一个样本。

第一个参考点应为O-P-SEGUE 1-LR状态的第一个符号的第0个IDFT样本，第二个参考点为O-P-PILOT-LR状态的第一个符号的第0个IDFT样本，如图B.3所示。



图B.3 – O-SEGUE 1-LR状态和O-P-PILOT-LR状态之间下行符号匹配的参考样本

用这些参考点之间的样本表示的时间偏移用带有CE的DMT符号的周期（即， $2N+L_{CE}$ 个样本）取模后的结果应与VTU-O在ITU-T G.994.1 Spar(2)码位“第0个IDFT样本偏移”中所表示的信息相同。参数“第0个IDFT样本偏移”应为4.416 MHz速率下采样的样本数（整数）。

注 – 该偏移量的值等于 $L_{CP}-\beta$ ， $L_{CP}-\beta$ 始终小于或等于 L_{CE} ，如图B.4所示。接收机获知该偏移量后，可以使VTU-R在O-P-PILOT-LR期间导出符号定时，并用VDSL2-LR训练阶段获得定时转换过渡到ITU-T G.993.5信道发现阶段。另一方面，还可以重新使用VDSL2-LR训练阶段获得的TEQ设置和其他收发器设置。

VCE利用O-P-PILOT-LR状态来匹配所有VDSL2-LR线路（无论是否为短、中、长回路操作类型）和常规ITU-T G.993.5线路的O-P-CHANNEL DISCOVERY V1信号起始点。O-P-PILOT-LR状态的实际持续时间取决于O-P-TREF 1-LR和O-P-REVERB 3-LR状态的持续时间：O-P-PILOT-LR、O-P-TREF 1-LR和O-P-REVERB 3-LR状态的持续时间的总和不应超过O-P-TREF 1-LR和O-P-REVERB 3-LR的最大持续时间之和加上O-P-PILOT-LR的最小持续时间，即 $15872+15936+128 = 31936$ 个符号。

O-P-PILOT-LR状态之后应是按第B.8条修正后的O-P-CHANNEL DISCOVERY V1信号和ITU-T G.993.5信道发现阶段的剩余部分。

B.7.2 R-P-TRAINING-LR信号

B.7.2.1 R-P-TRAINING-LR信号的发送功率谱密度

R-P-TRAINING-LR信号的发送功率谱密度（ $TRAININGPSD_{us}$ ）应与 $PROBINGPSD_{us}$ 相同：

$$TRAININGPSD_{us}(f) = PROBINGPSD_{us}(f)$$

R-P-TRAINING-LR信号中包含的所有子载波应以 $TRAININGPSD_{us}$ 发送，在U-O2参考点处的精度为 ± 1 dB。

R-P-TRAINING-LR信号的功率谱密度限值应为 $PSDMASK_{us}$ 。 $PSDMASK_{us}$ 的定义见[ITU-T G.993.2]表7-4，该限值应结合第B.9条中定义的 $LIMITMASK_{us}$ 来导出。

R-P-TRAINING-LR信号的最大总发送功率不应超过第B.10.1.7条中定义的控制参数 $MAXNOMATP_{us}$ 的值。VTU-O应确定 $CL_{NOMPSD_{us}}$ 的值，以便对于VTU-R选择的 $CLR_{NOMPSD_{us}}$ 、 $PCBus$ 和 $log_{tssi_{us}}$ 的任何有效设置，R-P-TRAINING-LR信号的总发送功率不得超过上述值。

B.7.2.2 R-P-TRAINING-LR信号的符号定义

R-P-QUIET符号与R-P-PROBING-LR的符号定义相同。

R-P-REVERB符号应包含索引小于 NSC_{us-1} 的所有子载波，对于第B.6.2.2条中定义的 NSC_{us} ，这些子载波应通过4-QAM进行调制。值11应映射到这些子载波。这些子载波上的星座点应根据[ITU-T G.993.2]第12.3.6.2条中描述的象限扰频器提供的2位数字进行旋转。扰频器应在复位模式下使用（见[ITU-T G.993.2]第12.3.6.2.1条）。

R-P-SEGUE符号被定义为与R-P-REVERB符号相同，其值00映射到相同的子载波。

由R-P-REVERB或R-P-SEGUE符号组成的所有信号应以周期信号的形式来实现，例如O/R-P-PERIODIC 1（见[ITU-T G.993.2]第12.3.6.1条）。

B.7.2.3 R-P-REVERB 1-LR

R-P-REVERB 1-LR状态是固定长度的，在R-P-REVERB 1-LR状态下，VTU-O应发送640个R-P-REVERB符号。

在R-P-REVERB 1-LR状态期间，VTU-R可以微调其AGC、进行定时恢复和其他自适应AFE算法。

R-P-REVERB 1-LR状态之后应为R-P-REVERB 2-LR状态。

B.7.2.4 R-P-REVERB 2-LR

R-P-REVERB 2-LR状态是可变长度的。在R-P-REVERB 2-LR状态中，VTU-R应发送384~16000个R-P-REVERB符号。

R-P-REVERB 2-LR状态为VTU-O提供训练信号（假定，用于TEQ）。

VTU-R应继续发送R-P-REVERB符号，直到VTU-O转换到O-P-REVERB 2-LR状态。在VTU-O转换到O-P-REVERB 2-LR状态后的64个符号内，VTU-R应转换到下一个状态。

R-P-REVERB 2-LR状态之后应为R-P-QUIET 5-LR状态。

B.7.2.5 R-P-QUIET 5-LR

R-P-QUIET 5-LR状态是可变长度的。在R-P-QUIET 5-LR状态中，VTU-R应发送1024~16384个R-P-QUIET符号。在R-P-QUIET 5-LR状态中发送的符号数应为512个符号的倍数。然而，在R-P-QUIET 5-LR状态中发送的最后一个R-P-QUIET符号允许缩短到任一样本的整数值（采样时钟频率为 $2N \times \Delta f$ ，定义见[ITU-T G.993.2]第10.4.4条），用于匹配收发器的各帧。

在这一状态期间，VTU-R应该忽略VTU-O在O-P-ECT-LR状态期间所发送的信号。当VTU-O在O-P-REVERB 3-LR状态时，VTU-R可以测量下行信道特征并训练其TEQ。VTU-R完成所需的训练后可以转换至下一个状态。

R-P-QUIET 5-LR状态之后应为是R-P-REVERB 3-LR状态。

B.7.2.6 R-P-REVERB 3-LR

R-P-REVERB 3-LR状态的长度是固定的。在R-P-REVERB 3-LR状态中，VTU-R应发送64个R-P-REVERB符号。

转换到R-P-REVERB 3-LR状态向VTU-O表明VTU-R已经完成了其TEQ训练。还为R-P-ECT-LR状态提供了一个时间标志。

R-P-REVERB 3-LR状态之后应为R-P-ECT-LR状态。

B.7.2.7 R-P-ECT-LR

R-P-ECT-LR状态的长度是固定的。在这一状态中，VTU-R应发送持续时间为512个符号周期的供应商自由决定的信号。

在这一状态期间，VTU-R可能训练其回波消除器。

R-P-ECT-LR状态后应为R-P-REVERB 4-LR状态。

B.7.2.8 R-P-REVERB 4-LR

R-P-REVERB 4-LR状态是固定长度的。在这种状态下，VTU-R应发送1024个R-P-REVERB符号。

在R-P-REVERB 4-LR状态下，VTU-R可以调整其参数以便进行双向传输。

R-P-REVERB 4-LR状态之后应为R-P-SEGUE 1-LR状态。从R-P-REVERB 4-LR状态到R-P-SEGUE 1-LR状态的转换是R-P-QUIET 1的开始时间和VTU-R准备接收O-SIGNATURE消息的时间标志。

B.7.2.9 R-P-SEGUE 1-LR

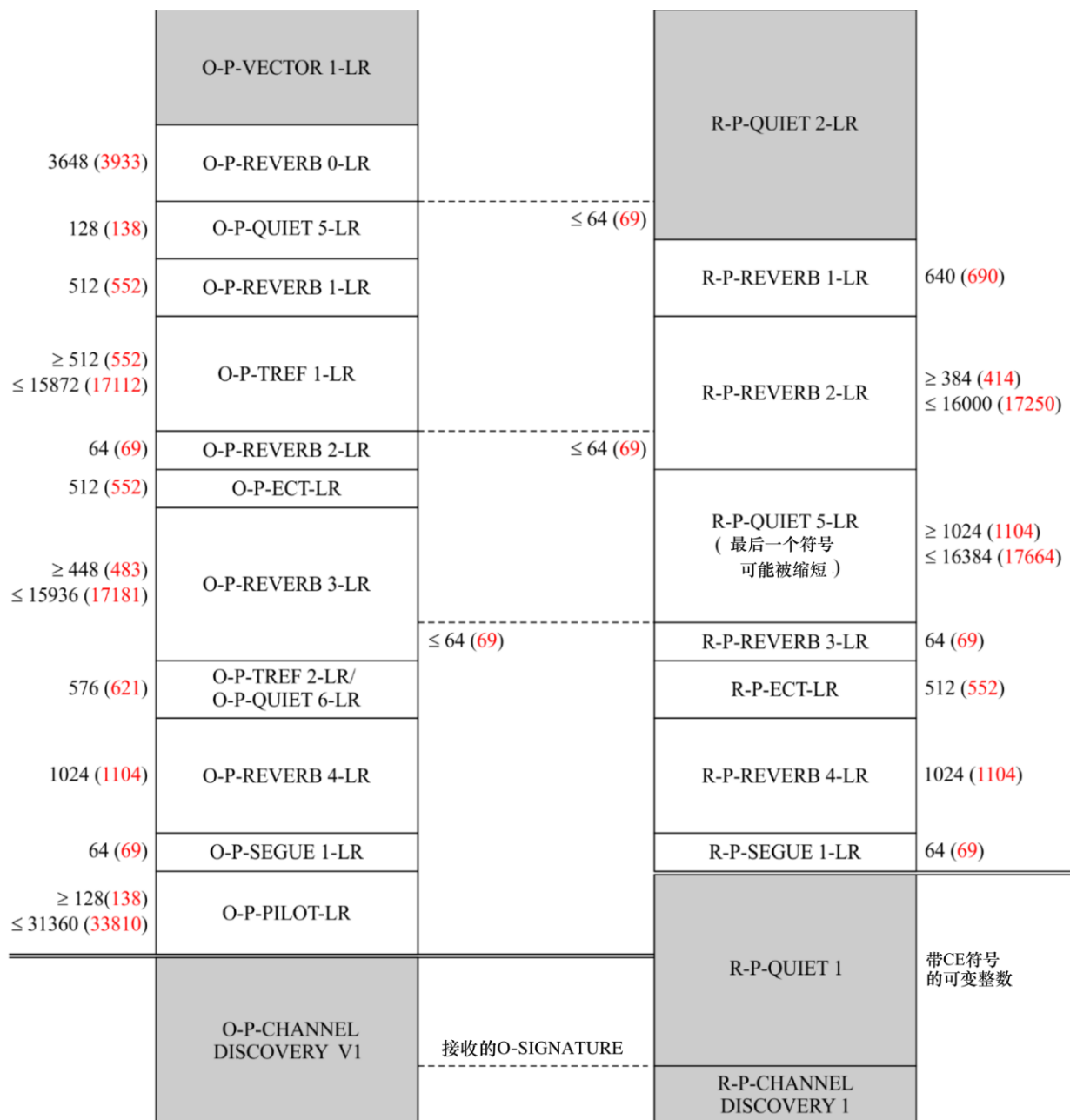
R-P-SEGUE 1-LR状态是固定长度的，在R-P-SEGUE 1-LR状态下，VTU-R应发送64个R-P-SEGUE符号，R-P-SEGUE 1-LR的第一个符号用作参考点，以保持VDSL-LR训练与ITU-T G.993.5信道发现阶段之间的同步（见第B.8.3条）。

转换到下一个状态是训练阶段结束的时间标志，表示VTU-R应准备好接收O-SIGNATURE消息。

R-P-SEGUE 1-LR状态之后应为ITU-T G.993.5 R-P-QUIET1状态。

B.7.3 O/R-P-TRAINING-LR信号的时间线

图B.4描述的是信号交换过程。



G.993.5(15)-Amd.2(17)_FB.4

图B.4 – O/R-P-TRAINING-LR信号的时间线

在图B.4中，信号持续时间用带CE的符号表示（括号中的值是用不带CE的符号表示的信号持续时间）。灰色阴影的信号是初始化的前阶段和后阶段的一部分（见图B.1）。

注 – 如果在VDSL2初始化过程中进一步训练了TEQ，则接收机可以缩短TEQ的训练时间。当TEQ训练时间最短时，此阶段的持续时间约为1.9 s。

B.8 长回路操作中的ITU-T G.993.5信道发现阶段和训练阶段

本条包含ITU-T G.993.5信道发现阶段和训练阶段的附加要求，适用于选择VDSL2-LR的长回路操作（见第B.4.8、B.4.9、B.5.6和B.5.7条）。

在ITU-T G.993.5信道发现阶段和训练阶段，在训练阶段建立的VTU-R和VTU-O的IDFT输出和相应U接口之间的传输路径的设置应保持不变。在ITU-T G.993.5信道发现和训练阶段使用的IDFT大小和图像类型与在训练阶段的相同。

B.8.1 长回路操作中的ITU-T G.993.5信道发现阶段

SUPPORTEDCARRIERS_{ds}集应限于子载波索引511。

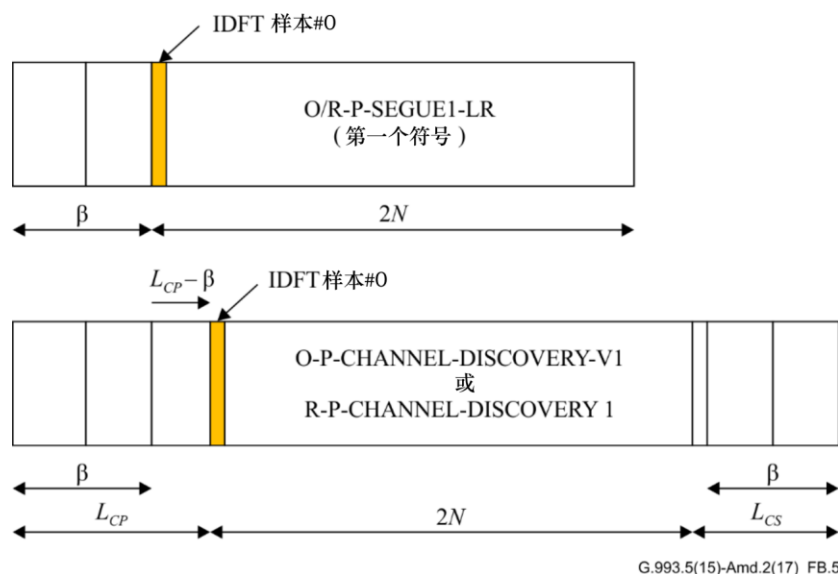
对于US0类型A，SUPPORTEDCARRIERS_{us}集应限于子载波索引31，对于US0类型B和类型M，应限于子载波索引63。

B.8.1.1 转换到ITU-T G.993.5信道发现阶段

在下行方向，ITU-T G.993.5信道发现阶段的符号应与O-P-PILOT-LR中的符号一致。

在上行方向，从VDSL2-LR训练阶段到ITU-T G.993.5信道发现阶段的转换应使用与属于特定符号的IDFT样本0相关联的两个参考点来匹配。IDFT样本0被定义为IDFT生成的 $2N$ 时间样本块的第一个样本。

第一个参考点应为R-P-SEGUE 1-LR状态的第一个符号的IDFT样本0，第二个参考点应为R-P-CHANNEL DISCOVERY 1信号的第一个符号的IDFT样本0，如图B.5所示。



图B.5 – VDSL2-LR训练阶段和ITU-T G.993.5信道发现阶段之间上行符号匹配所使用的参考样本

以带有CE的DMT符号周期的那些参考点之间的样本表示的时间偏移取模，即 $2N+L_{CE}$ 样本，应如ITU-T G.994.1 Spar(2)码点“第0个IDFT样本偏移”中的VTU-R所示。VTU-R所指示的参数“第0个IDFT样本偏移”应为276 kHz速率上的整数个样本。

注 – 该偏移量的值等于 $L_{CP}-\beta$ ，该值始终小于或等于 L_{CE} ，见图B.5。在了解VTU-O的偏移量后，将允许在ITU-T G.993.5信道发现阶段从VDSL2-LR训练阶段获得的符号定时推导出该符号定时。进而允许重复使用TEQ设置和在VDSL2-LR训练阶段获得的其他收发器设置。

B.8.1.2 在R-P-LINEPROBE阶段使用导频

如果请求ITU-T G.993.5 R-P-LINEPROBE信号，则在O-P-SYNCHRO 1传输结束后，VTU-O应发送O-P-PILOT 1并转换为O-P-PERIODIC 1 640位符号。O-P-PILOT 1应使用探测阶段指示的音调索引。

B.8.1.3 R-P-VECTOR信号的替换

当选择VDSL2-LR的长回路操作时，由于没有启用上行串扰消除功能，因此R-P-VECTOR信号将被移除或被其他信号替换。

R-P-VECTOR 1信号应替换为R-P-CHANNEL DISCOVERY 1，同时SOC发送R-IDLE，直到接收到O-P-SYNCHRO-V1信号。接收到O-P-SYNCHRO-V1信号后，VTU-R应在发送R-MSG 1之前至少发送R-IDLE 512个符号。

B.8.1.4 O-SIGNATURE（修正[ITU-T G.993.2]的12.3.3.2.1.1条）

字段8“下行最大标称总发送功率（MAXNOMATPds）”指示控制参数MAXNOMATPds的值，它决定了VTU-O允许传输的最大宽带功率。不管在初始化中的ITU-T G.994.1握手阶段选择了什么样的[ITU-T G.993.2]配置文件，MAXNOMATPds的值均不应超过第B.9条中定义的最大下行总发送功率的最小值，其对应于[ITU-T G.993.2]和在CO-MIB中配置的MAXNOMATPds值。

B.8.1.5 ITU-T G.993.5信道发现阶段的功率谱密度调整

ITU-T G.993.5信道发现阶段定义的功率谱密度调整包括下行最高使用子载波和实际下行发送功率谱密度的电位变化，这可能导致下行发送功率谱密度与探测阶段定义的功率谱密度不同。为了避免传输信道的变化和TEQ调谐中的相应劣化，功率谱密度的上述调整应仅在频域内进行。

B.8.2 ITU-T G.993.5训练阶段长回路操作

在向ITU-T G.993.5训练阶段过渡期间，VTU-R应保持符号定时。为便于回路定时，O-P-VECTOR 1-1的静默符号应替换为包含单个子载波的符号，该符号具有在R-P-MSG-PCB消息中指示的下行导频音的索引。导频音应与星座点(0,0)一起调制。

为了在上行的信道发现和训练阶段之间保持第0个IDFT样本的位置，R-P-QUIET V1的持续时间应为整数个DMT符号。

B.8.2.1 R-P-VECTOR信号的替换

不应发送R-P-VECTOR 1-1信号，即收发器训练阶段的第一个信号是R-P-TRAINING 1。

R-P-VECTOR 1-2信号应替换为R-P-TRAINING 1-2。R-P-TRAINING 1-2信号应与R-P-TRAINING 1相同。

R-P-VECTOR 2中的同步符号应替换为R-P-TRAINING 2符号，并激活扩展SOC信道。

B.9 极限功率谱密度掩模的定义

本条定义了适用于长回路操作中的VDSL2-LR模式的极限功率谱密度掩模和最大总发送功率（ATP）要求。这些要求适用于TRAINING-LR阶段、初始化的其余部分和数据传送阶段状态。

B.9.1 按照[ITU-T G.993.2]附件A进行操作

未定义符合[ITU-T G.993.2]附件A的VDSL2-LR模式。

B.9.2 按照[ITU-T G.993.2]附件B进行操作

B.9.2.1 下行极限功率谱密度掩模和最大总发送功率

US0 PSD类型在ITU-T G.994.1 MS消息中选择。VDSL2-LR模式的相应LIMITMASKds应在[ITU-T G.993.2]表B.7A中为PSD掩模B8-11（对于US0类型A）、B8-12（对于US0类型B）和B8-17（对于US0类型M）定义从3.925 MHz ~30 MHz在-110 dBm/Hz的平坦扩展和30 MHz以上在-110 dBm/Hz的平坦扩展，同时表B.11中对其进行修正。

最大总下行发送功率（如第B.6.1.1条和B.81.4条中所提到的）应为20.5 dBm，独立于在ITU-T G.994.1握手阶段中选择的VDSL2配置文件和US0类型。

表B.11 – VDSL2-LR模式的LIMITMASKds修改

频率 (kHz)	VDSL2-LR LIMITMASKds (dBm/Hz)
f_1	-36.50
$f_1 + 138$	-33.50
948.75	-33.50
1104	-36.50

注 – 对于US0类型A, f_1 值为138 kHz；对于US0类型B和M, f_1 值为276 kHz。

B.9.2.2 上行极限功率谱密度掩模

在ITU-T G.994.1 MS消息中选择US0 PSD类型。VDSL2-LR模式的相应LIMITMASKus应符合[ITU-T G.993.2]表B.6A中对PSD掩模B8-11（对于US0类型A）、B8-12（对于US0类型B）和B8-17（对于US0类型M）的定义，具有从686 kHz到30 MHz的-100 dBm/Hz平坦扩展和高于30 MHz的-110 dBm/Hz平坦扩展。

对于US0类型A, NSC_{us} 应设置为32；对于US0类型B和M, NSC_{us} 应设置为64。

B.9.3 按照[ITU-T G.993.2]附件C操作

未定义符合[ITU-T G.993.2]附件C的VDSL2-LR模式。

B.9.4 按照[ITU-T G.993.2]附件N操作

未定义符合[ITU-T G.993.2]附件N的VDSL2-LR模式。

B.10 管理

本条定义了VDSL2-LR模式特有的CO-MIB配置、状态和库存参数。如果VTU-O支持VDSL2-LR模式，则应支持这些参数。

B.10.1 配置参数

B.10.1.1 VDSL2-LR启用 (VDSL2-LR_ENABLE)

配置参数VDSL2-LR_ENABLE (参见[ITU-T G.997.1]第7.3.1.16.1条)指定了允许VDSL2-LR操作类型的线路。它被定义为位图,具有以下类型:

- 短回路: 允许按照本附件进行短回路操作。
- 中回路: 允许按照本附件进行中回路操作。
- 长回路: 允许按照本附件进行长回路操作。

如果不允许任何操作类型,则VDSL2-LR模式(即根据本附件的操作)为“禁用”。如果至少允许一种操作类型,则VDSL2-LR模式(即根据本附件的操作)为“启用”(见表B.1)。

B.10.1.2 下行最大标称功率谱密度 (MAXNOMPSDds)

配置参数MAXNOMPSDds (参见[ITU-T G.997.1]的第7.3.1.2.1条)明确规定了ITU-T G.994.1 CL消息中的下行频谱边界,VTU-O指示的用于线路中的NOMPSDds的最大值(用于确定PROBINGPSDds,参见第B.6.1.1条)。

B.10.1.3 上行最大标称功率谱密度 (MAXNOMPSDus)

配置参数MAXNOMPSDus (参见[ITU-T G.997.1]的第7.3.1.2.2条)明确规定了在ITU-T G.994.1 CL消息中,上行频谱边界中由VTU-O所指示的NOMPSDus的最大值(用于确定PROBINGPSDus,参见B.6.2.1条)。

B.10.1.4 下行功率谱密度掩模 (MIBMASKds) (修正[ITU-T G.993.2]第7.2.1.1条)

配置参数MIBMASKds (参见[ITU-T G.997.1]的第7.3.1.2.9条)表示MIB PSD掩模,并且位于或低于[ITU-T G.993.2]所选附件中指定的极限PSD掩模的最大值,并且如果VDSL2-LR模式为“启用”状态(参见第B.10.1.1条),第B.9条中定义的极限PSD掩模。其定义应被[ITU-T G.997.1]中定义的网络管理来控制(一种MIB控制机制)。

应指定用于构建MIB PSD掩模的断点,以便在指定MIB PSD掩模的频率范围内,使用不超过32个断点构建选定附件中指定的极限PSD掩模的最小值和MIB PSD掩模的最小值。

B.10.1.5 VDSL2 PSD掩模等级选择 (CLASSMASK)

如果VDSL2-LR模式为“启用”状态(见第B.10.1.1条),则配置参数CLASSMASK(见[ITU-T G.997.1]第7.3.1.2.15条)应设置为附件B的classmasks 997-M2x、998-M2x、998ADE-M2x、998E35-M2x或998ADE35-M2x之一。

B.10.1.6 下行最大标称总发送功率 (MAXNOMATPds)

配置参数MAXNOMATPds在CO-MIB中定义(见[ITU-T G.997.1]第7.3.1.2.3条),并指定:

- 在探测阶段所有操作类型(短回路、中回路和长回路操作)时,下行总发送功率的上限;
- 在长回路操作训练阶段,下行总发送功率的上限;
- 在用于短-中回路操作的O-P-VECTOR 1期间,下行总发送功率的上限;

- 所有操作类型（短回路、中回路和长回路操作）的控制参数 *MAXNOMATPds* 在 O-SIGNATURE 的上限；以及
- 重新计算的控制参数 *MAXNOMATPds* 的上限，用于确定 ITU-T G.993.5 信道分析和交换阶段的 MREFPSDs 和中回路操作的交换相位。

CO-MIB 中的 *MAXNOMATPds* 设置不得超过 20.5 dBm。

注 – 在本附件中，在 CO-MIB 中的 *MAXNOMATPds* 设置可能超过 [ITU-T G.993.2] 表 6.1 中指定的最大下行总发送功率。

B.10.1.7 上行最大标称总发送功率 (*MAXNOMATPus*)

控制参数 *MAXNOMATPus* 由 [ITU-T G.993.2] 表 6-1 中指定的最大总上行发送功率确定。

注 – CO-MIB 中未定义配置参数 *MAXNOMATPus*（见 [ITU-T G.997.1] 表 7.15）。

B.10.2 状态参数

B.10.2.1 VDSL2-LR 实际操作类型 (*VDSL2-LR_ACTOPTYPE*)

状态参数 *VDSL2-LR_ACTOPTYPE*（见 [ITU-T G.997.1] 第 7.5.1.44.1 条）报告线路的实际操作类型（无论该选择是 VTU-R 自主的还是通过 CO-MIB 由 VTU-R 强制的）。

有效值为：

- 未选择操作类型：无本附件的操作。
ITU-T G.994.1 MS 消息的 *VDSL2-LR Spar(2)* 位设置为 0。
- 短回路：根据本附件进行短回路操作。
ITU-T G.994.1 MS 消息将 *VDSL2-LR Spar(2)* 位设置为 1，并在探测阶段选择短 – 中回路操作，满足短回路操作条件（定义见第 B.4.8.3 条）。
- 中回路：根据本附件进行中回路操作。
ITU-T G.994.1 MS 消息将 *VDSL2-LR Spar(2)* 位设置为 1，并在探测阶段选择短 – 中回路操作，满足中回路操作条件（定义见第 B.4.8.3 条）。
- 长回路：根据本附件进行长回路操作。
ITU-T G.994.1 MS 消息将 *VDSL2-LR Spar(2)* 位设置为 1，并在探测阶段选择长回路操作。

B.10.3 库存参数

B.10.3.1 VDSL2-LR 支持 (*VDSL2-LR_SUPPORT_O/R*)

无论支持（设置为 1）还是不支持（设置为 0）VDSL2-LR 模式，VTU-O 和 VTU-R 的 *VDSL2-LR_SUPPORT_O*（请参阅 [ITU-T G.997.1] 第 7.4.14.1 条）和 *VDSL2-LR_SUPPORT_R*（请参阅 [ITU-T G.997.1] 第 7.4.14.1 条）的库存参数会分别为 VTU-O 和 VTU-R 报告。

B.10.4 测试参数

B.10.4.1 测试参数分组大小

如果“支持 VDSL2-LR”位在上一条 ITU-T G.994.1 MS 消息中设置为 1，则分组大小应根据 [ITU-T G.993.2] 第 11.4.1 条中的公式确定，对于在信道发现阶段测量的测试参数和在其他阶段测量的测试参数， θ 等于 MEDLEY 集合中的最高子载波索引。

注 – 无论选择短、中或长回路操作，本条适用于VDSL2-LR模式。

B.11 标称总发送功率 (NOMATP) (替换[ITU-G.993.2]的10.3.4.2.1条)

注 – 除非另有规定，本条中的参考文献指[ITU-T G.993.2]。

标称总发送功率 (NOMATP) 应使用下式计算：

$$\text{NOMATP} = 10 \log_{10} \Delta f + 10 \log_{10} \left(\sum_{i \in \text{MEDLEY set}} \left(10^{\frac{\text{MREFPSD}[i]}{10}} g_i^2 \right) \right),$$

其中，MREFPSD[*i*]和 g_i 分别是来自MEDLEY集的子载波 i 的MREFPSD的值(用dBm/Hz表示)和(线性尺度)增益值(见12.3.3.2.1.3)，而 Δf 是子载波间隔，单位为Hz。

对来自下行MEDLEY集 (MEDLEY_{ds}) 的子载波，应计算下行NOMATP (NOMATP_{ds})。对来自上行MEDLEY集 (MEDLEY_{us}) 的子载波，应计算上行NOMATP (NOMATP_{us})。

ITU-T G.993.5信道分析和交换阶段和数据传送阶段的最大NOMATP_{ds}由控制参数MAXNOMATP_{ds}决定。在基于CO-MIB配置参数MAXNOMATP_{ds}，初始化的过程中导出该控制参数的值，O-SIGNATURE消息的字段8中指示的MAXNOMATP_{ds}的值，以及操作类型(短回路、中回路或长回路操作)。

在VTU-O和VTU-R上的 g_i 的设置应使NOMATP_{ds}和NOMATP_{us}的值分别不超过控制参数MAXNOMATP_{ds}和MAXNOMATP_{us}。

附录I

串扰信道建模

(本附录非本建议书不可分割的组成部分。)

I.1 范围

本附录提供了双绞线数字用户线（DSL）传输系统中MIMO FEXT耦合信道随机模型的信息。对于许多数字用户线系统，它们之间的远端串扰耦合可以建模为MIMO系统。

这些模型是使用对同一条电缆中其他电缆对的入口能量测量值的统计分析进行统计得出的。这些模型所依据的数据是从对世界各地部署的实际回路工厂的测量中收集的。

I.2 目的

本附录的目的是为行业提供一种用于模拟多条数字用户线之间远端串扰耦合的工具。

I.3 MIMO串扰信道模型A

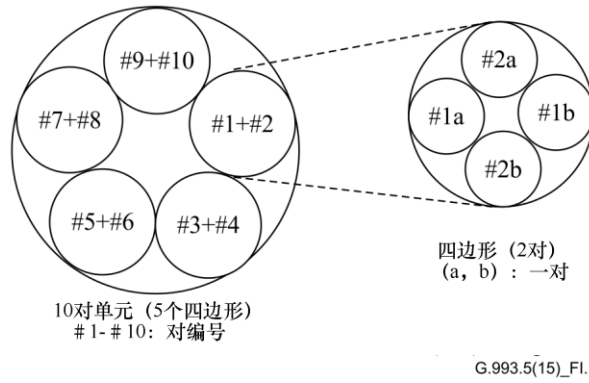
[b-ATIS-0600024]中可以找到北美和欧洲的串扰信道模型。这些模型基于北美和欧洲部署的实际回路工厂的测量数据。[b-ATIS-0600024]基于这些测量定义了MIMO串扰信道模型，并包括对该模型的论证。

I.4 MIMO串扰信道模型C

该模型所基于的数据是从日本实际部署的回路工厂的测量中收集的。

I.4.1 串扰模型假设

串扰模型基于一种0.4 mm（直径）聚乙烯（PE）绝缘电缆，称为色标聚乙烯（CCP）电缆。适用于聚乙烯绝缘电缆的成对捆绑结构如图I.1所示，图中附有成对编号1-10。在该图中，通过缠绕四个绝缘导体（两对）形成一个四边形，通过绑定五个四边形（十对）形成一个称为单元的结合基。尽管PE绝缘电缆包含一个到几个单元，但为简单起见，我们可以忽略单元间串扰的影响，因为单元间串扰远小于单元内串扰。然后，将十对（五个四边形）的PE绝缘电缆的单个单元应用于串扰模型。



图I.1 – 电缆模型（0.4 mm聚乙烯绝缘电缆）

串扰耦合（衰减）损耗（dB）的概率密度函数（PDF）为正态分布，平均值用 M （dB）表示，标准差用 σ （dB）表示。在聚乙烯绝缘电缆的单元中有三种线对间位置关系，即内四边形、相邻四边形以及每隔四边形。因此，单元中存在三种串扰耦合损耗，远端串扰耦合损耗的平均值 M_k （dB） $[k=1, 2, 3]$ 和标准偏差 σ_k （dB） $[k=1, 2, 3]$ 在表I.1中给出，其中索引 $k=1, 2, 3$ 对应于构成每个总体的单元中的三个线对间位置关系。

表I.1 – 远端串扰的平均值和标准偏差

项目	$k=1$	$k=2$	$k=3$
	内四边形	相邻四边形	每隔四边形
远端串扰平均值 M_k	69.2 (dB)	74.2 (dB)	75.7 (dB)
远端串扰标准偏差 σ_k	6.56 (dB)	8.15 (dB)	7.38 (dB)

注 – M_k 的值（dB）为 $f=f_{EXT}=160*10^3$ (Hz)和 $d=d_{EXT}=1*10^3$ (m)时的远端串扰损耗值。

I.4.2 远端串扰耦合损耗采样值的产生

表I.2中以 10×10 矩阵的形式给出了单元中任意两对之间的远端串扰耦合损耗随机样本 $XT_k(i)$ （dB） $[k=1, 2, 3]$ 。索引“ k ”表示与表I.1相同，而索引“ i ”表示可以给出不同的值。假定从干扰对（第 m 个）到干扰对（第 n 个）的串扰与从干扰对（第 n 个）到干扰对（第 m 个）的串扰相同。则两个样本组值相对于表I.2中的对角线对称。因此， $XT_1(i)$ ($k=1$)最多可以有5个不同的样本值， $XT_2(i)$ ($k=2$)最多可以有20个不同的样本值，而 $XT_3(i)$ ($k=3$)最多可以有20个不同样本值。

表I.2 – 远端串扰损耗样本

I-ed \ I-ing	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
#1		XT ₁ (1)	XT ₂ (1)	XT ₂ (2)	XT ₃ (1)	XT ₃ (2)	XT ₃ (3)	XT ₃ (4)	XT ₂ (3)	XT ₂ (4)
#2	XT ₁ (1)		XT ₂ (5)	XT ₂ (6)	XT ₃ (5)	XT ₃ (6)	XT ₃ (7)	XT ₃ (8)	XT ₂ (7)	XT ₂ (8)
#3	XT ₂ (1)	XT ₂ (5)		XT ₁ (2)	XT ₂ (9)	XT ₂ (10)	XT ₃ (9)	XT ₃ (10)	XT ₃ (11)	XT ₃ (12)
#4	XT ₂ (2)	XT ₂ (6)	XT ₁ (2)		XT ₂ (11)	XT ₂ (12)	XT ₃ (13)	XT ₃ (14)	XT ₃ (15)	XT ₃ (16)
#5	XT ₃ (1)	XT ₃ (5)	XT ₂ (9)	XT ₂ (11)		XT ₁ (3)	XT ₂ (13)	XT ₂ (14)	XT ₃ (17)	XT ₃ (18)
#6	XT ₃ (2)	XT ₃ (6)	XT ₂ (10)	XT ₂ (12)	XT ₁ (3)		XT ₂ (15)	XT ₂ (16)	XT ₃ (19)	XT ₃ (20)
#7	XT ₃ (3)	XT ₃ (7)	XT ₃ (9)	XT ₃ (13)	XT ₂ (13)	XT ₂ (15)		XT ₁ (4)	XT ₂ (17)	XT ₂ (18)
#8	XT ₃ (4)	XT ₃ (8)	XT ₃ (10)	XT ₃ (14)	XT ₂ (14)	XT ₂ (16)	XT ₁ (4)		XT ₂ (19)	XT ₂ (20)
#9	XT ₂ (3)	XT ₂ (7)	XT ₃ (11)	XT ₃ (15)	XT ₃ (17)	XT ₃ (19)	XT ₂ (17)	XT ₂ (19)		XT ₁ (5)
#10	XT ₂ (4)	XT ₂ (8)	XT ₃ (12)	XT ₃ (16)	XT ₃ (18)	XT ₃ (20)	XT ₂ (18)	XT ₂ (20)	XT ₁ (5)	

I-ed: 受干扰的对编号
I-ing: 干扰对编号

当生成随机样本 $XT_k(i)$ (dB)时, 假设生成的样本值的累积分布点 Q (%)是有用的。下表给出了累积分布点为 Q (%)的 $XT_k(i)$ (dB), 假设为正态分布, 平均值 M_k (dB)和标准偏差 σ_k (dB)如表I.1所示, 表I.3给出了由下式计算的示例。

$$XT_k(i) = M_k + \Delta_k(i)$$

$$\Delta_k(i) = \rho_i \sigma_k$$

$$pdf(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}}$$

$$Q(\rho_i) = \int_{\rho_i}^{\infty} pdf(u) du$$

其中 $k = 1, 2, 3,$

当 $k = 1, i = 1, 2, 3, \dots, \max(5)$

当 $k = 2, i = 1, 2, 3, \dots, \max(20)$

当 $k = 3, i = 1, 2, 3, \dots, \max(20)$

M_k (dB): $f = f_{FXT}$ 和 $d = d_{FXT}$ 时远端串扰耦合损耗的平均值, 见表I.1

σ_k (dB): 远端串扰耦合损耗的标准偏差, 见表I.3。

表I.3 – 累积分布点为 Q (%)时的随机样本 $XT_k(i)$ 示例

累积分布点 (%)	ρ_i	$XT_k(i)$ (dB)		
		$k=1$	$k=2$	$k=3$
		内四边形	相邻四边形	每隔四边形
$Q(\rho_i)=0.01(\%)$	3.72	93.6(dB)	104.5(dB)	103.2(dB)
$Q(\rho_i)=0.1(\%)$	3.09	89.5(dB)	99.4(dB)	98.5(dB)
$Q(\rho_i)=1(\%)$	2.33	84.5(dB)	93.2(dB)	92.9(dB)
$Q(\rho_i)=5(\%)$	1.64	80.0(dB)	87.6(dB)	87.8(dB)

表I.3 – 累积分布点为 Q (%)时的随机样本 $XT_k(i)$ 示例

累积分布点 (%)	ρ_i	$XT_k(i)$ (dB)		
		$k=1$	$k=2$	$k=3$
		内四边形	相邻四边形	每隔四边形
$Q(\rho_i)=10(\%)$	1.28	77.6(dB)	84.6(dB)	85.1(dB)
$Q(\rho_i)=20(\%)$	0.842	74.7(dB)	81.1(dB)	81.9(dB)
$Q(\rho_i)=30(\%)$	0.524	72.6(dB)	78.5(dB)	79.6(dB)
$Q(\rho_i)=40(\%)$	0.253	70.9(dB)	76.3(dB)	77.6(dB)
$Q(\rho_i)=50(\%)$	0	69.2(dB)	74.2(dB)	75.7(dB)
$Q(\rho_i)=60(\%)$	-0.253	67.5(dB)	72.1(dB)	73.8(dB)
$Q(\rho_i)=70(\%)$	-0.524	65.8(dB)	69.9(dB)	71.8(dB)
$Q(\rho_i)=80(\%)$	-0.842	63.7(dB)	67.3(dB)	69.5(dB)
$Q(\rho_i)=90(\%)$	-1.28	60.8(dB)	63.8(dB)	66.3(dB)
$Q(\rho_i)=95(\%)$	-1.64	58.4(dB)	60.8(dB)	63.6(dB)
$Q(\rho_i)=99(\%)$	-2.33	53.9(dB)	55.2(dB)	58.5(dB)
$Q(\rho_i)=99.9(\%)$	-3.09	48.9(dB)	49.0(dB)	52.9(dB)
$Q(\rho_i)=99.99(\%)$	-3.72	44.8(dB)	43.9(dB)	48.2(dB)

I.4.3 远端串扰耦合信道传递函数

远端串扰耦合信道的电压传递函数是模拟自远端串扰消除的必要条件。下面给出的是 $HFXT_{ki}(f, d)$ ，其中指数“ k ”和“ i ”与 $XT_k(i)$ 相同。 $\Phi_k(i)$ 给出了远端串扰耦合相位变化，并且 $\Phi_k(i)$ (rad/m)的值作为每个样本的 $0-2\pi$ 范围内的任意值给出，这意味着表 I.2 中最多可以有 45 个不同的值。

$$HFXT_{ki}(f, d) = e^{(-\gamma d - j\phi_k(i))} 10^{-XT_k(i)/20} \left(\frac{f}{f_{FXT}}\right) \left(\frac{d}{d_{FXT}}\right)^{1/2}$$

其中，

f (Hz),

d (m): 远端串扰耦合长度 (= 线路长度)

γ : 线路传播常数 (= $\alpha + j\beta$, 见ITU-T G.993.1附件F.3)

$XT_k(i)$ (dB): 远端串扰样本 (在 $f = f_{FXT}$ 和在 $d = d_{FXT}$ 时)

$\phi_k(i)$ (rad/m): $[0, 2\pi]$ 内均匀分布的随机变量。

此模型的用户应使用表 I.1 中几何相关耦合的三模态分布随机图填充表 I.2 中所述的 10×10 耦合矩阵。这些随机抽取值可通过与表 I.3 中提供的相关值进行比较来评估其相对可能性。

附录II

激活矢量化组多条线路时初始化过程的VCE控制示例

(本附录非本建议书不可分割的组成部分。)

II.1 引言

矢量化是为消除多条 VDSL2 线路上的远端串扰而设计的。第 10 条主要从单线路的角度详细描述初始化过程。本附录提供了两个方法示例，这些方法允许 VCE 处理尝试以任意顺序加入矢量化组的多条线路的激活问题，如果在 ITU-T G.994.1 阶段中启用了“O-P-VECTOR 1 的 8192 超帧持续时间”位（见第 10.2 条），则 VCE 可以根据等待组中当前初始化周期中延迟的处理线路来使用第一种方法。或者，VCE 可以根据 ITU-T G.994.1 握手能力使用第二种方法来控制线路准备加入的时间。

II.2 VCE处理两个初始化线路组

在此方法中，VCE 在矢量化组启动后会在两个组中维护初始化。一个组称为“加入组”，另一组称为“等待组”。这两个组都有两个状态：开状态和关状态。当一条线路进入初始化的“信道发现”阶段时，它将被添加到其中一个组中。表 II.1 显示的是如何确定将线路添加到哪个组中。

表II.1 – VCE决定将线路添加到哪个组

加入组状态	开	关	关	开
等待组状态	关	开	关	开
VCE为新线路做出的决定	添加到加入组	添加到等待组	打开时将添加到等待组中	无效

请注意，加入组和等待组从不会同时处于打开状态。完整的机制描述如下：

1. 加入组是一组由VCE控制的线路，用于常规初始化。在ITU-T G.994.1阶段之后，这些线路当前正在执行或将要执行正常的初始化过程。最初，在打开系统电源后，加入组将打开并且为空。一旦VCE开始进行远端串扰信道系数估计（VTU-O开始发送O-P-VECTOR 1信号），就关闭加入组。加入过程结束后，可以再次打开加入组（加入组中没有剩余线路）。当加入组中的线路在初始化期间掉线或到达到数据传送阶段，它将被从加入组中删除。
2. 等待组是由VCE控制的一组线路，它们在ITU-T G.994.1阶段之后开始其正常初始化之前等待，直到加入组中的线路完成其初始化为止。最初，在打开系统电源后，等待组将关闭并清空。VCE可以向等待组添加完成了ITU T G.994.1握手的新线路，如下所示：
 - 如果在等待组打开时线路准备好马上加入等待组，则它将加入等待组，并且VTU-O在连接线路上开始传输O-P-VECTOR 1信号，所有音调均处于激活状态，直到加入组中的线路完成初始化。

- 当等待组关闭时，如果线路准备好立即加入等待组，则VTU-O按如下方式进行：
 - 如果在ITU-T G.994.1阶段启用了“仅使用O-P-VECTOR 1标志音”位，则该线路加入等待组，并且VTU-O开始在连接线路上发送O-P-VECTOR 1信号，仅标志音处于激活状态，而其他音则被屏蔽。当等待组打开时，VTU-O现在继续发送O-P-VECTOR 1信号，所有音调都处于激活状态，直到加入组中的线路完成初始化为止。
 - 如果在ITU-T G.994.1阶段禁用了“仅使用O-P-VECTOR 1标记音”位，则该线路最多等待512个符号来等待打开等待组。如果等待组在512个符号内打开，则VTU-O将在所有音调都处于激活状态时开始发送O-P-VECTOR 1，直到加入组中的线路完成初始化为止。否则，VTU-O返回到O-SILENT状态。

等待组只能在加入组关闭时才能打开。当VCE估计远端串扰信道系数时，等待组保持关闭状态，以避免引入来自新线路的非正交串扰。在完成远端串扰信道系数的估计之后，可以再次打开等待组。如果初始化期间等待组中的线路掉线，将从等待组中将其删除。

3. 当连接线发送O-P-VECTOR 1-1和O-P-VECTOR 2-1信号时，VCE估计从等待组的线到处于数据传送阶段的线路和加入组的线路的下行远端串扰耦合系数。因此，可以取消来自等待组线路的远端串扰，使得可以在不影响来自等待组线路的下行远端串扰的情况下测量加入组线路的信噪比。
4. 当加入组中的线路处于初始化的信道分析和交换阶段时，应保持等待组的闭合，以避免在所有连接线完成信噪比测量之前向等待组添加任何新的线路。因此，在信道分析和交换阶段，新线路不会干扰加入组中的测量信噪比。
5. 一旦加入组中没有剩余的线路，则将等待组中的所有线路移入加入组，并关闭等待组。此后，如果加入组不为空，则VCE可以开始新初始化过程的“信道发现”阶段。否则，此后，加入组将为新的激活线路保持开放状态。

上述过程如图 II.1 所示。

ITU-T G.993.5 初始化阶段	VCE	加入组	等待组	新激活线路	
握手	... ..	开	关	被添加到加入组并正常初始化
O-P-QUIET 1					
O-P-VECTOR 1	接收误差样本, 用于估计从加入组线路到数据传送阶段线路的下行系数	关	关	被添加到等待组中并在仅激活标志音的情况下发送O-P-VECTOR 1	
... ..	... ..		开	被添加到等待组中, 并在所有音调都处于激活状态的情况下发送O-P-VECTOR 1
O-P-VECTOR 1-1	接收误差样本, 用于更新从加入组线路到数据传送阶段线路的下行系数		关	被添加到等待组中并在仅激活标志音的情况下发送O-P-VECTOR 1	
... ..	... ..		开	被添加到等待组中, 并在所有音调都处于激活状态的情况下发送O-P-VECTOR 1
O-P-VECTOR 2-1	接收误差样本, 用于估计从数据传送阶段线路、加入组线路和等待组线路到加入组线路的下行系数		关	被添加到等待组中并在仅激活标志音的情况下发送O-P-VECTOR 1	
O-P- SYNCHRO V4	... ..			
信道分析和交换	← 已完成的所有线路信噪比估计 →		关	被阻止添加到等待组, 直到超时下降	
			开	被添加到等待组中, 并在所有音调都处于激活状态的情况下发送O-P-VECTOR 1	
情况1: 数据传送阶段 情况2: O-P-VECTOR 1	如果没有加入组线路或接收误差本来估计从加入组线路到数据传送阶段线路的下行系数, 则为下一个初始化过程做准备		情况1: 打开 情况2: 关闭	关	被添加到加入组并正常初始化, 或者被阻止添加到两个组中, 直到超时下降

G.993.5(15)_F11.1

图II.1 – (在ITU-T G.994.1阶段启用“仅使用O-P-VECTOR 1标志音”位时) 加入组和等待组的状态, 以及初始化期间的新激活线路

通过 VCE 的这种控制机制, 至少可以实现以下三个好处:

1. 对于等待组线路, 即使在其他连接线进入信道发现阶段之后完成ITU-T G.994.1阶段, 也可以开始发送O-P-VECTOR 1信号。因此, 节省了ITU-T G.994.1阶段的时间。O-P-VECTOR 1的时间可能会大大缩短, 因为VCE已经估计了从等待组中的大多数线路到活动线路的串扰。
2. 在多线路初始化方案中, 在VCE开始估计远端串扰耦合信道系数之后进入信道发现阶段的大多数线路将被添加到等待组中。因此, 在VCE处理的当前初始化过程完成后, 可以在同步过程中启动其初始化过程。在矢量化初始化过程的两个周期内(从信道发现到信道分析和交换), 所有线路都可以进入数据传送阶段, 因此, 与当前初始化过程相比, 初始化时间从本质上减少, 在当前初始化过程中, 初始化开始后

到达的线路将回落到握手状态，并且它们的初始化可以持续矢量化初始化过程的多个周期。

3. 如果在信道分析和交换阶段的信噪比估计之后，没有新线路添加到等待组中，则从等待组的线路到数据传送阶段的下行远端串扰信道系数已经由VCE处理，并且通过使用 4×257 个符号的最小O-P-VECTOR 1持续时间，可以直接越过O-P-VECTOR 1阶段。这进一步节省了初始化时间。

II.3 VCE使用握手功能

VCE可以通过使用ITU-T G.994.1握手功能来管理矢量化组中多条线路的激活，如下所示：

1. 当矢量化组中的新线路进入初始化的ITU-T G.994.1阶段时，VTU-R可以连续地发送R-TONES-REQ来发起如[ITU-T G.994.1]中定义的握手。
2. VCE知道进行ITU-T G.993.5初始化的所有收发器的状态。当VCE为当前连接线组检测到ITU-T G.993.5初始化周期的完成或接近完成时，VCE使正在检测R-TONES-REQ的VTU-O响应C-TONES进行握手以构造下一组连接线。
3. VTU-R超时以检测O-SIGNATURE是特定于供应商的。可以看到，O-P-QUIET 1的持续时间最大为1024个符号，O-P-VECTOR 1的持续时间为 1024×257 个符号，O-IDLE的持续时间最大为2000个符号；这对应于大约66.5秒的时间段。

附录III

基于信噪比的远端串扰信道估计方法

(本附录非本建议书不可分割的组成部分。)

III.1 工具

本附录中描述的基于信噪比的远端串扰信道估计方法使用[ITU T G.993.2]第 11.4.1 条所定义的已报告信噪比 SNR-ps (由 VTU-R 向 VTU-O 报告)。

III.2 从新线路进入已有线路的远端串扰信道估计

III.2.1 引言

假设 K 条活动线路 (索引 i 从 0 到 $K-1$) 和一条编号为 K 的初始化线路, 在编号 $i=0$ 的受扰线路 CPE 处的下行接收信号可以写为:

$$y = Hx + n$$
$$y_0 = \underbrace{H_{0,0}x_0}_{\text{有用信号}} + \underbrace{\sum_{i=1}^{K-1} H_{0,i}x_i}_{\text{来自活动线路的远端串扰}} + \underbrace{H_{0,K}x_K}_{\text{来自新线路的远端串扰}} + \underbrace{n_0}_{\text{外部噪声}} \quad (\text{III-1})$$

其中:

$H_{0,0}$: 表示受扰线路直连信道的传递函数。

$H_{0,i}$: $i=1 \dots K-1$ 时, 表示从活动线路 i 到受扰线路的远端串扰信道传递函数。

$H_{0,K}$: 从新线路 K 到受扰线路的远端串扰信道传递函数。

x_0 : 表示来自受扰线路、方差为 σ_0^2 的数据符号。

x_i : $i=1 \dots K$ 时, 表示来自活动线路、方差为 σ_i^2 的数据符号。

x_K : 来自线路 K 、方差为 σ_K^2 的数据符号。

n_0 : 受扰线路上方差为 σ_n^2 的外部噪声,

注 – 在式III-1中, 假设远端串扰尚未得到预补偿。第III.2.7条给出了适用于预补偿的公式。

预编码矩阵 F 通常定义为 $H^{-1}diag(H)$ 。

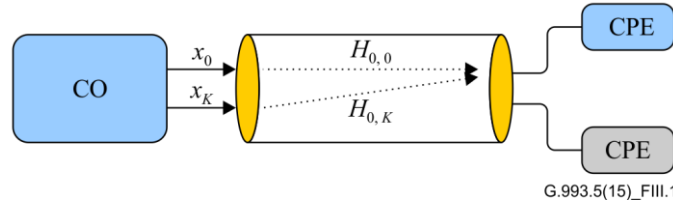
如果已定义 $H = diag(H)(I+C)$, 则 F 可以用 $F = I - \hat{C}$ 近似 (一阶), 其中 \hat{C} 为 C 的估计。

因此, 信道估计的目标是找到 C 的元素, 其中

$$C_{v,i} = \frac{H_{v,i}}{H_{v,v}}, v \neq i, \text{ 所以在这种情况下, } v=0, \text{ 就变成 } C_{0,i} = \frac{H_{0,i}}{H_{0,0}}, i=1 \dots K。$$

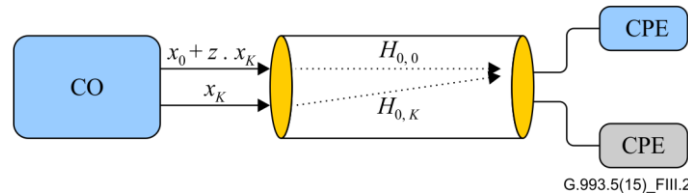
III.2.2 测试信号

在正常情况下，可以使用以下模型：



图III.1 – 串扰模型 – 正常状态

然后，可以使用特殊的“探测”信号来估计串扰信道。



图III.1 – 探测信号模型 – 正常状态

探测信号由一条干扰线的副本组成，该干扰线被添加到受绕线路上，产生了一些有趣的信噪比特性。

SNR_b 定义为添加新线路 K 之前的信噪比：

$$SNR_b = \frac{\sigma_0^2 |H_{0,0}|^2}{\sum_{i=1}^{K-1} \sigma_i^2 |H_{0,i}|^2 + \sigma_{n_0}^2} \quad (\text{III-2})$$

当添加新线路 K 时，根据探测因子 z ，可以将 $SNR_a(z)$ 定义为添加新线路 K 后的信噪比：

$$SNR_a(z) = \frac{\sigma_0^2 |H_{0,0}|^2}{\sum_{i=1}^{K-1} \sigma_i^2 |H_{0,i}|^2 + \sigma_K^2 |H_{0,K} + z \cdot H_{0,0}|^2 + \sigma_{n_0}^2} \quad (\text{III-3})$$

因此，这些公式可以组合为以下公式：

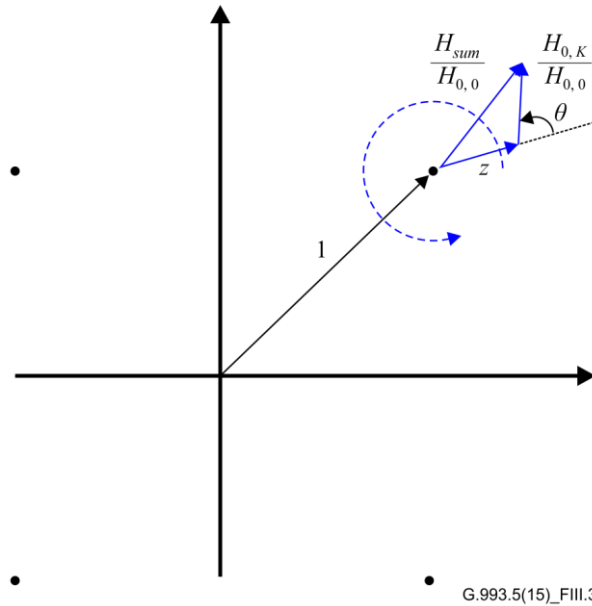
$$\frac{1}{SNR_a(z)} = \frac{\sum_{i=1}^{K-1} \sigma_i^2 |H_{0,i}|^2 + \sigma_{n_0}^2 + \sigma_K^2 |H_{0,K} + z \cdot H_{0,0}|^2}{\sigma_0^2 |H_{0,0}|^2} = \frac{1}{SNR_b} + \frac{\sigma_K^2 |H_{0,K} + z \cdot H_{0,0}|^2}{\sigma_0^2 |H_{0,0}|^2} \quad (\text{III-4})$$

上一步假设在一次迭代中，来自其他线路（ $1 \dots K-1$ ）的背景噪声和串扰是不变的。

$$\left| \frac{H_{0,K}}{H_{0,0}} + z \right|^2 = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_K^2} \left(\frac{1}{SNR_a(z)} - \frac{1}{SNR_b} \right) \quad (\text{III-5})$$

III.2.3 图形表示

这种探测信号对QAM星座点的影响可以用图形表示为：



图III.3 – 探测信号对星座点的影响

为了不至于太过复杂，该图假设 SNR_b ，但对于受扰线路和干扰线路上的信号方差不相同的情况，也易于以公式的概括结果。

图中只显示了线路K上的串扰，没有显示1..K-1线路的串扰，因为这样做会使图形过于复杂。

在图中，我们可以确定以下元素：

- 解码的星座点（FEQ将其缩小为长度为1的单位矢量）；
- 探测矢量z，作为噪声添加在受扰线路的直连信道上；
- 串扰信道，通过FEQ归一化；
- 探测矢量z和归一化串扰信道之间的角度 θ （两者都用相同的用户数据符号 x_k 调制，因此该角度保持不变）；
- 围绕星座点旋转的归一化总噪声 $\frac{H_{sum}}{H_{0,0}}$ 。

III.2.4 串扰信道估计方程的推导

为了计算串扰信道 $C_{0,K} = \frac{H_{0,K}}{H_{0,0}}$ ，我们可以推导以下公式。

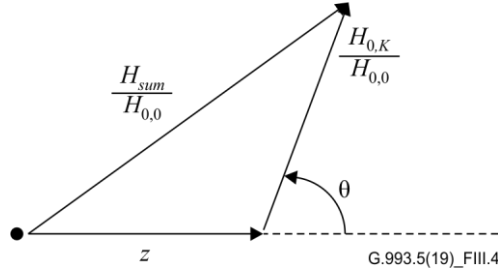
从公式III-5开始：

$$\left| \frac{H_{0,K}}{H_{0,0}} + z \right|^2 = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_K^2} \left(\frac{1}{SNR_a(z)} - \frac{1}{SNR_b} \right) \quad (III-6)$$

当 $z = 0$ 时，可以推导出：

$$\left| \frac{H_{0,K}}{H_{0,0}} \right|^2 = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_K^2} \left(\frac{1}{SNR_a(0)} - \frac{1}{SNR_b} \right) \quad (\text{III-7})$$

当 $z = \varepsilon$ ，应用三角几何关系，我们得到：



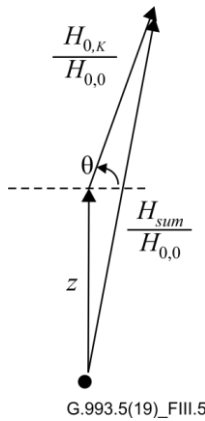
图III.4 - $z = \varepsilon$ 时的星座点详图

$$\left| \frac{H_{0,K}}{H_{0,0}} + \varepsilon \right|^2 = \left| \frac{H_{0,K}}{H_{0,0}} \right|^2 + \varepsilon^2 - 2 \cdot \varepsilon \cdot \left| \frac{H_{0,K}}{H_{0,0}} \right| \cos(\pi - \theta)$$

$$2 \cdot \varepsilon \cdot \left| \frac{H_{0,K}}{H_{0,0}} \right| \cos(\theta) = \left| \frac{H_{0,K}}{H_{0,0}} + \varepsilon \right|^2 - \left| \frac{H_{0,K}}{H_{0,0}} \right|^2 - \varepsilon^2$$

$$2 \cdot \varepsilon \cdot \left| \frac{H_{0,K}}{H_{0,0}} \right| \cos(\theta) = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_K^2} \left(\frac{1}{SNR_a(\varepsilon)} - \frac{1}{SNR_b} \right) - \frac{\sigma_0^2}{\sigma_K^2} \left(\frac{1}{SNR_a(0)} - \frac{1}{SNR_b} \right) - \varepsilon^2$$

当 $z = j \varepsilon$ 时，我们可以得到：



图III.5 - $z = j \varepsilon$ 时的星座点详图

III.2.5 串扰信道估计方程

$z = \varepsilon$ 时, 结果为:

$$\left| \frac{H_{0,K}}{H_{0,0}} \right| \cos(\theta) = \frac{1}{2\varepsilon} \frac{\sigma_0^2}{\sigma_K^2} \left(\frac{1}{SNR_a(\varepsilon)} - \frac{1}{SNR_a(0)} \right) - \frac{\varepsilon}{2} \quad (\text{III-8})$$

$z = j\varepsilon$ 时, 结果为:

$$\left| \frac{H_{0,K}}{H_{0,0}} \right| \sin(\theta) = \frac{1}{2\varepsilon} \frac{\sigma_0^2}{\sigma_K^2} \left(\frac{1}{SNR_a(j\varepsilon)} - \frac{1}{SNR_a(0)} \right) - \frac{\varepsilon}{2} \quad (\text{III-9})$$

因此:

$$\frac{H_{0,K}}{H_{0,0}} = \left| \frac{H_{0,K}}{H_{0,0}} \right| \cos(\theta) + j \cdot \left| \frac{H_{0,K}}{H_{0,0}} \right| \sin(\theta) \quad (\text{III-10})$$

III.2.6 串扰信道估计算法

从前面的公式可以看出, 为了计算 $C_{0,K} = \frac{H_{0,K}}{H_{0,0}}$, 我们需要计算该量的幅度和相位, 幅度和相位是独立参数。

利用式III-8和III-9, 我们得到了基于三个噪信比测量值的两个独立方程, 用于计算 $C_{0,K}$ 的实部和虚部 (两个独立变量)。

需要测量以下各量:

- $SNR_a(0)$ 无探测信号时, 新线路 K 初始化后的信噪比;
- $SNR_a(\varepsilon)$ 探测信号为 ε 时, 新线路 K 初始化后的信噪比 $SNR_a(\varepsilon)$;
- $SNR_a(j\varepsilon)$ 探测信号为 $j\varepsilon$ 时, 新线路 K 初始化后的信噪比 $SNR_a(j\varepsilon)$ 。

因此, 该算法包括以下步骤:

- 1) 在新线路 K 上开始发送MEDLEY型信号, 降低发送功率谱密度 (无初始化);
- 2) 测量 $SNR_a(0)$;
- 3) 从该值中, 可以选择合适的 ε 值 (使得对信噪比的影响是可测量的, 但不是过度影响), 并且可以 (同时在每个受扰线路上) 添加探测信号;
- 4) 测量 $SNR_a(\varepsilon)$;
- 5) 将探测信号改为 $j\varepsilon$;
- 6) 测量 $SNR_a(j\varepsilon)$;
- 7) 计算每一条受扰线路的 $\hat{C}_{0,K}$;
- 8) 开始预编码;
- 9) 在新线路上增加MEDLEY型信号功率谱密度;
- 10) 从第2)步开始重复, 直到MEDLEY型信号功率谱密度达到该线路的最大允许功率谱密度;

11) 现在可以开始执行此线路上的常规初始化序列。

通常，该算法会进行若干次迭代收敛。

III.2.7 执行预补偿时适用的扩展方程式

如果预编码处于激活状态，则公式不会发生大的变化。

基本公式为式III-1：

$$y = Hx + n$$

$$y_0 = \underbrace{H_{0,0}x_0}_{\text{有用信号}} + \underbrace{\sum_{i=1}^{K-1} H_{0,i}x_i}_{\text{来自活动线路的远端串扰}} + \underbrace{H_{0,K}x_K}_{\text{来自新线路的远端串扰}} + \underbrace{n_0}_{\text{外部噪声}}$$

可以得出 $H = \text{diag}(H)(I + C)$ ，当开始预编码时， $w = Fx = (I - \hat{C})x$ ，就变成：

$$\begin{aligned} y &= H(I - \hat{C})x \\ &= Hx - H\hat{C}x \\ &= \text{diag}(H)(I + C)x - \text{diag}(H)(I + C)\hat{C}x \\ &\approx \text{diag}(H)x + \text{diag}(H)Cx - \text{diag}(H)\hat{C}x \\ y_0 &= \underbrace{H_{0,0}x_0}_{\text{有用信号}} + \underbrace{\sum_{i=1}^{K-1} H_{0,i}(C_{0,i} - \hat{C}_{0,i})x_i}_{\text{来自活动线路上的剩余远端串扰}} + \underbrace{H_{0,K}(C_{0,K} - \hat{C}_{0,K})x_K}_{\text{来自线路K上的剩余远端串扰}} + \underbrace{n_0}_{\text{外部噪声}} \\ &= H_{0,0}x_0 + \sum_{i=1}^{K-1} H_{0,i}|_{\text{residual}} x_i + H_{0,K}|_{\text{residual}} x_K + n_0 \end{aligned}$$

因此，我们可以将式III-8和III-9重写为：

$$\left| \frac{H_{0,K}|_{\text{residual}}}{H_{0,0}} \right| \cos(\theta) = \frac{1}{2\varepsilon} \frac{\sigma_0^2}{\sigma_K^2} \left(\frac{1}{\text{SNR}_a(\varepsilon)} - \frac{1}{\text{SNR}_a(0)} \right) - \frac{\varepsilon}{2} \quad \text{(III-11)}$$

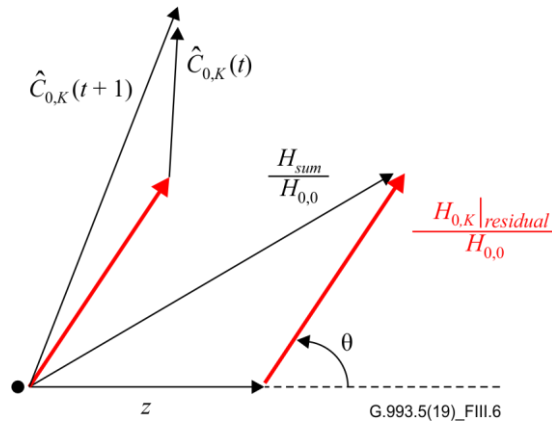
$$\left| \frac{H_{0,K}|_{\text{residual}}}{H_{0,0}} \right| \sin(\theta) = \frac{1}{2\varepsilon} \frac{\sigma_0^2}{\sigma_K^2} \left(\frac{1}{\text{SNR}_a(j\varepsilon)} - \frac{1}{\text{SNR}_a(0)} \right) - \frac{\varepsilon}{2} \quad \text{(III-12)}$$

因此，预编码的主要效果在于需要为 ε 选择不同的值（另见第III.2.6节的第4步），实际上，对于要估计的剩余串扰信道而言：

- ε 的选择要确保对信噪比的影响是可测量的，但不应过度影响；
- 当知道需要估计剩余串扰时，是否更新方程就变得不重要了；

$$\hat{C}_{0,K}(t+1) = \hat{C}_{0,K}(t) + \frac{H_{0,K}|_{residual}}{H_{0,0}} \quad (III-13)$$

如上图所示那样，上式所描述的关系也可用图形方式说明：



图III.6 – 星座点的预编码细节

红色矢量表示剩余归一化串扰信道，对于该信道，可以像以前一样通过应用探测信号来构造类似的三角形。因此，所有方程仍然有效。

III.3 从现有线路进入新线路的远端串扰信道估计

III.3.1 引言

将用于信道估计的信噪比测量次数表示为 N 。每个SNR测量均在 L 个DMT符号上进行，并且进行信道估计时，所有线路均处于数据传送阶段。考虑在单音上传输，并在第 n 次信噪比测量期间第 l 个DMT符号上用于线路 i 的QAM数据符号表示为 $s_i^{(n)}(l)$ 。线路 i 传输的实际信号表示为 $x_i^{(n)}(l)$ 。

III.3.2 探测信号

当新线路 K 初始化时，现有线路继续像以前一样传输数据。

$$x_i^{(n)}(l) = s_i^{(n)}(l), \forall i < K$$

通过将探测信号叠加到新VTU-O K 传输的信号上来启用信道识别

$$x_K^{(n)}(l) = s_K^{(n)}(l) + \varepsilon \sum_{i=1}^{K-1} z_i^{(n)} s_i^{(n)}(l) \quad (III-14)$$

注意，探测信号由在现有线路1至 $K-1$ 上传输的信号的线性组合组成。选择步长 ε 以使探测信号对信噪比的影响小于3.5 dB。这是通过在不存在任何探测信号的情况下首先测量线路 K 的信噪比来完成的，我们将其表示为 $SNR_K^{(0)}$ ，然后将步长设置为：

$$\varepsilon = \min_i \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{SNR_K^{(0)}}} \frac{\sigma_K}{\sigma_i}$$

其中， σ_i^2 表示线路 i 的发送功率，注意，选择 $z_i^{(n)}$ 时应确保

$$\sum_{i=1}^{K-1} |z_i^{(n)}|^2 = 1$$

III.3.3 串扰信道估计方程的推导

使用公式III-14，线路K上的接收信号为：

$$\begin{aligned} y_K^{(n)}(l) &= \sum_{i=1}^K h_{K,i} x_i^{(n)}(l) + w_K^{(n)}(l) \\ &= h_{K,K} s_K^{(n)}(l) + \sum_{i=1}^{K-1} (h_{K,i} + \varepsilon z_i^{(n)} h_{K,K}) s_i^{(n)}(l) + w_K^{(n)}(l) \end{aligned}$$

VTU-R将测量线路K上的信号功率：

$$\begin{aligned} \text{signal}_K &= \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L |h_{K,K} s_K^{(n)}(l)|^2 \\ &\approx |h_{K,K}|^2 \sigma_K^2 \end{aligned} \quad (\text{III-15})$$

线路K的噪声功率测量如下：

$$\begin{aligned} \text{noise}_K &= \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L |y_K^{(n)}(l) - h_{K,K} s_K^{(n)}(l)|^2 \\ &\approx \sum_{i=1}^{K-1} |h_{K,i} + \varepsilon z_i^{(n)} h_{K,K}|^2 \sigma_i^2 + \sigma_{w_K}^2 \end{aligned} \quad (\text{III-16})$$

其中， $\sigma_{w_K}^2$ 表示背景噪声的功率。然后，VTU-R将测量的信噪比报告给VTU-O：

$$\text{SNR}_K^{(n)} = \text{signal}_K / \text{noise}_K$$

根据式III-15和III-16：

$$\begin{aligned} \frac{1}{\text{SNR}_K^{(n)}} &= \frac{\text{noise}_K}{\text{signal}_K} \\ &\approx \frac{1}{\sigma_K^2} \left(\sum_{i=1}^{K-1} \left| \frac{h_{K,i}}{h_{K,K}} \sigma_i + \varepsilon z_i^{(n)} \sigma_i \right|^2 + \frac{\sigma_{w_K}^2}{|h_{K,K}|^2} \right) \\ &= \frac{1}{\sigma_K^2} \left(\left\| \bar{\mathbf{a}} + \varepsilon \bar{\mathbf{b}}^{(n)} \right\|^2 + \frac{\sigma_{w_K}^2}{|h_{K,K}|^2} \right) \end{aligned} \quad (\text{III-17})$$

其中，我们已定义 $\bar{\mathbf{a}} = [\bar{a}_1 \dots \bar{a}_{K-1}]^T$ ， $\bar{\mathbf{b}}^{(n)} = [\bar{b}_1^{(n)} \dots \bar{b}_{K-1}^{(n)}]^T$

$$\bar{a}_i = \frac{h_{K,i}}{h_{K,K}} \sigma_i \quad (\text{III-18})$$

以及

$$\bar{b}_i^{(n)} = z_i^{(n)} \sigma_i \quad (\text{III-19})$$

应用毕达哥拉斯定理的一般形式:

$$\|\bar{\mathbf{a}} + \varepsilon \bar{\mathbf{b}}^{(n)}\|^2 = \|\bar{\mathbf{a}}\|^2 + \|\varepsilon \bar{\mathbf{b}}^{(n)}\|^2 + 2\varepsilon \text{Re}\{\bar{\mathbf{b}}^{(n)H} \bar{\mathbf{a}}\} \quad (\text{III-20})$$

将 $\bar{\mathbf{a}}$ 和 $\bar{\mathbf{b}}^{(n)}$ 分解为实部和虚部: $a_{R,i} = \text{Re}\{\bar{a}_i\}$, $a_{I,i} = \text{Im}\{\bar{a}_i\}$, $b_{R,i}^{(n)} = \text{Re}\{\bar{b}_i^{(n)}\}$, $b_{I,i}^{(n)} = \text{Im}\{\bar{b}_i^{(n)}\}$ 。可得出:

$$\begin{aligned} \text{Re}\{\bar{\mathbf{b}}^{(n)H} \bar{\mathbf{a}}\} &= \sum_{i=1}^{K-1} a_{R,i} b_{R,i}^{(n)} + a_{I,i} b_{I,i}^{(n)} \\ &= \mathbf{b}^{(n)H} \mathbf{a}, \end{aligned}$$

其中, 我们定义:

$$\mathbf{a} = [a_{R,1} \dots a_{R,K-1} \ a_{I,1} \dots a_{I,K-1}]^T, \quad (\text{III-21})$$

以及 $\mathbf{b}^{(n)} = [b_{R,1}^{(n)} \dots b_{R,K-1}^{(n)} \ b_{I,1}^{(n)} \dots b_{I,K-1}^{(n)}]^T$ 。为方便起见, 我们还定义了 $a_i = [\mathbf{a}]_i$, $b_i^{(n)} = [\mathbf{b}^{(n)}]_i$, 根据式III-20可得:

$$\|\bar{\mathbf{a}} + \varepsilon \bar{\mathbf{b}}^{(n)}\|^2 = \|\bar{\mathbf{a}}\|^2 + \|\varepsilon \bar{\mathbf{b}}^{(n)}\|^2 + 2\varepsilon \mathbf{b}^{(n)H} \mathbf{a}.$$

现在, 根据式III-17可得:

$$\|\bar{\mathbf{a}}\|^2 + \|\varepsilon \bar{\mathbf{b}}^{(n)}\|^2 + 2\varepsilon \mathbf{b}^{(n)H} \mathbf{a} + \frac{S_{W_K}^2}{|h_{K,K}|^2} = \frac{S_K^2}{\text{SNR}_K^{(n)}}.$$

因此

$$\varepsilon \mathbf{b}^{(n)H} \mathbf{a} + \frac{1}{2} \|\bar{\mathbf{a}}\|^2 + \frac{1}{2} \frac{\sigma_{W_K}^2}{|h_{K,K}|^2} = \frac{1}{2} \frac{\sigma_K^2}{\text{SNR}_K^{(n)}} - \frac{1}{2} \|\varepsilon \bar{\mathbf{b}}^{(n)}\|^2.$$

运用式III-19可得:

$$\varepsilon \mathbf{b}^{(n)H} \mathbf{a} + \frac{1}{2} \|\bar{\mathbf{a}}\|^2 + \frac{1}{2} \frac{\sigma_{W_K}^2}{|h_{K,K}|^2} = \frac{1}{2} \frac{\sigma_K^2}{\text{SNR}_K^{(n)}} - \frac{1}{2} \varepsilon^2 \sum_{i=1}^{K-1} |z_i^{(n)}|^2 \sigma_i^2.$$

定义

$$c^{(n)} = \frac{1}{2} \frac{\sigma_K^2}{\text{SNR}_K^{(n)}} - \frac{1}{2} \varepsilon^2 \sum_{i=1}^{K-1} |z_i^{(n)}|^2 \sigma_i^2. \quad (\text{III-22})$$

因此

$$\varepsilon \mathbf{b}^{(n)H} \mathbf{a} + \frac{1}{2} \|\bar{\mathbf{a}}\|^2 + \frac{1}{2} \frac{\sigma_{W_K}^2}{|h_{K,K}|^2} = c^{(n)}, \forall n. \quad (\text{III-23})$$

用满足以下条件的元素 $p_{m,n} = [\mathbf{P}]_{m,n}$ 定义一个 $M \times N$ 矩阵 \mathbf{P} :

$$\sum_{n=1}^N p_{m,n} = 0, \forall m \quad (\text{III-24})$$

该矩阵被称为信噪比组合矩阵。现在，根据式III-23可得：

$$\sum_n p_{m,n} c^{(n)} = \varepsilon \sum_n p_{m,n} \mathbf{b}^{(n)H} \mathbf{a} + \left(\frac{1}{2} \|\mathbf{a}\|^2 + \frac{1}{2} \frac{\sigma_{W_K}^2}{|h_{K,K}|^2} \right) \sum_n p_{m,n}, \forall m.$$

应用式III-24，可得

$$\sum_n p_{m,n} c^{(n)} = \varepsilon \sum_n p_{m,n} \mathbf{b}^{(n)H} \mathbf{a}, \forall m. \quad (\text{III-25})$$

对于每个 n ，都有一个形如式III-25的一个方程。将这些方程集成为一个矩阵，可得：

$$\mathbf{P} \begin{bmatrix} c^{(1)} \\ \vdots \\ c^{(N)} \end{bmatrix} = \varepsilon \mathbf{P} \begin{bmatrix} \mathbf{b}^{(1)H} \\ \vdots \\ \mathbf{b}^{(N)H} \end{bmatrix} \mathbf{a}.$$

定义 $\mathbf{c} = [c^{(1)} \dots c^{(N)}]^T$ 和探测矩阵 $\mathbf{B} = [\mathbf{b}^{(1)} \dots \mathbf{b}^{(N)}]^H$ ，得：

$$\varepsilon \mathbf{P} \mathbf{B} \mathbf{a} = \mathbf{P} \mathbf{c}$$

现在我们可以找到 \mathbf{a} 的最小二乘解为

$$\mathbf{a} = \varepsilon^{-1} \text{pinv}(\mathbf{P} \mathbf{B}) \mathbf{P} \mathbf{c}$$

其中 $\text{pinv}(\cdot)$ 表示伪逆运算。现在，利用式III-18和III-21，可以找到归一化串扰系数：

$$\frac{h_{K,i}}{h_{K,K}} = \frac{1}{\sigma_i} (a_i + j a_{K-1+i}) \quad (\text{III-26})$$

该系数可用于一阶对角化预补偿器的设计

$$\mathbf{F} = \mathbf{I}_K - \text{offdiag} \left(\begin{bmatrix} \frac{h_{1,1}}{h_{1,1}} & \dots & \frac{h_{1,K}}{h_{1,1}} \\ \frac{h_{1,1}}{h_{1,1}} & \dots & \frac{h_{1,1}}{h_{1,1}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{h_{K,1}}{h_{K,1}} & \dots & \frac{h_{K,K}}{h_{K,1}} \\ \frac{h_{K,K}}{h_{K,K}} & \dots & \frac{h_{K,K}}{h_{K,K}} \end{bmatrix} \right), \quad (\text{III-27})$$

我们定义函数 $\text{offdiag}(\mathbf{X}) = \mathbf{X} - \text{diag}(\mathbf{X})$ 。

注意，为了使方程组足以估计出 \mathbf{a} 的值，必须使 $\text{rank}(\mathbf{P} \mathbf{B}) \geq 2(K-1)$ 。这里有一个附加要求 $\sum_n p_{m,n} = 0, \forall m$ ，这实际上意味着 \mathbf{P} 的维度必须至少为 $2(K-1) \times (2K-1)$ 。因此，使用该算法，只需要在 $2K-1$ 次信噪比测量之后就可以估计出串扰信道。

III.3.4 串扰信道估计算法

信道识别算法的操作如下：

- 预先计算 $\mathbf{G} = \text{pinv}(\mathbf{PB})\mathbf{P}$
- 预先计算 $d^{(n)} = \sum_{i=1}^{K-1} |z_i^{(n)}|^2 \sigma_i^2 / 2, \forall n$
- 从 $i = 1$ 开始外层循环，循环次数为总迭代次数
- 在线路 K 上传输 $x_K^{(0)}(l) = s_K^{(0)}(l)$
- VTU-R 报告 $\text{SNR}_K^{(0)}$
- 设定步长 $\varepsilon = \min_i \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{\text{SNR}_K^{(0)}}} \frac{\sigma_K}{\sigma_i}$
- 从 $n = 1$ 开始内层循环，循环次数为 N
- 在线路 K 上传输 $x_K^{(n)}(l) = s_K^{(n)}(l) + \sum_{i < K} z_i^{(n)} s_i^{(n)}(l)$
- VTU-R 报告 $\text{SNR}_K^{(n)}$
- 计算 $c^{(n)} = \frac{1}{2} \frac{\sigma_K^2}{\text{SNR}_K^{(n)}} - \varepsilon^2 d^{(n)}$
- 内层循环结束
- $\mathbf{a} = \varepsilon^{-1} \mathbf{G} \mathbf{c}$
- $\frac{h_{K,i}}{h_{K,K}} = (a_i + j a_{K-1+i}) / \sigma_i, \forall i$
- 使用式 III-27 更新串扰预补偿器
- 外层循环结束

注意，为了加快计算速度，我们已经预先计算了伪逆 \mathbf{G} 矩阵和项 $d^{(n)}$ 。

参考书目

- [b-ITU-T G.998.1] ITU-T G.998.1建议书（2005年），基于异步传输模式的多线对绑定。
- [b-ITU-T G.998.2] ITU-T G.998.2建议书（2005年），基于以太网的多线对绑定。
- [b-ITU-T G.998.3] ITU-T G.998.3建议书（2005年），采用时分反向复用的多线对绑定。
- [b-ITU-T G.9701] ITU-T G.9701建议书（2019年），快速接入用户终端（G.fast）－物理层规范。
- [b-ATIS-0600024] ATIS Technical Report ATIS-0600024 (2009), *Multiple-Input Multiple-Output Crosstalk Channel Model*.

ITU-T 系列建议书

A 系列	ITU-T 工作组织
D 系列	资费及结算原则和国际电信/ICT 的经济和政策问题
E 系列	综合网络运营、电话业务、业务运营和人为因素
F 系列	非话电信业务
G 系列	传输系统和媒体、数字系统和网络
H 系列	视听和多媒体系统
I 系列	综合业务数字网
J 系列	有线网络和电视、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	环境和信息通信技、气候变化、电子废弃物，能源效率；线缆和外部设备的其他组件的建设、安装和保护
M 系列	电信管理，包括电信管理网和网络维护
N 系列	维护：国际声音节目和电视传输电路
O 系列	测量设备规范
P 系列	电话传输质量、电话安装、本地线路网
Q 系列	开关和信令以及相关测量和试验
R 系列	电报传输
S 系列	电报业务终端设备
T 系列	远程信息处理业务终端
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、开放系统通信和安全
Y 系列	全球信息基础设施、互联网协议、下一代网络、物联网和智能城市
Z 系列	电信系统的语言和通用软件问题