

中华人民共和国通信行业标准

YD/T ××××-××××

接入网技术要求
——吉比特的无源光网络（GPON）
第3部分：传输汇聚（TC）层要求

TECHNICAL REQUIREMENTS FOR ACCESS NETWORK—
GIGABIT-CAPABLE PASSIVE OPTICAL NETWORK (GPON)
PART3: TRANSMISSION CONVERGENCE (TC) LAYER REQUIREMENTS

（送审稿）

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国信息产业部 发布

目 次

目 次.....	I
前 言.....	III
1 范围.....	4
2 规范性引用文件.....	4
3 术语和定义.....	4
3.1 ONT和ONU	4
3.2 数据业务成帧方式和GEM的关系.....	4
3.3 上行ONU流量控制设备.....	5
4 缩略语.....	7
5 GTC概述.....	8
5.1 概述.....	8
5.2 C/M平面协议栈.....	9
5.3 U平面协议栈.....	10
5.4 GTC关键功能.....	11
5.5 GTC各子层功能.....	12
5.6 业务流与QoS.....	13
5.7 DBA规定.....	13
6 GTC成帧.....	14
6.1 概述.....	14
6.2 下行帧结构.....	15
6.3 上行帧结构.....	19
6.4 业务流到GTC净荷的映射.....	22
6.5 动态带宽分配信令和配置.....	25
7 GTC消息.....	28
7.1 概述.....	28
7.2 PLOAM消息格式.....	28
7.3 Control消息.....	29
8 激活方式.....	42
8.1 概述.....	42
8.2 ONU激活概述.....	42
8.3 ONU状态.....	44
8.4 ONU功能转移.....	46
8.5 ONU事件.....	48
8.6 在O3 和O4 状态下的安静时长.....	50
8.7 ONU定时.....	51
8.8 功率电平调整.....	53
9 告警和性能监测.....	53
9.1 告警.....	54
9.2 性能监测.....	57

10 安全.....	58
10.1 基本威胁模型.....	58
10.2 加密系统.....	58
10.3 密钥交换和切换.....	59
11 前向纠错.....	59
11.1 概述.....	59
11.2 下行FEC.....	60
11.3 上行FEC.....	62
11.4 ONU发送活动.....	65
附录 A (规范性附录) GEM通道上的用户业务流传送.....	66
A.1 GEM帧到GTC净荷的映射.....	66
A.2 TDM over GEM.....	66
A.3 Ethernet over GEM.....	67
附录 B (规范性附录) GEM帧头差错控制解码.....	68
附录 C (规范性附录) OLT激活过程概述.....	70
C.1 公共部分.....	70
C.1.1 OLT公共部分的状态.....	70
C.1.2 公共部分状态图.....	70
C.1.3 OLT公共部分功能转移.....	70
C.1.4 OLT公共部分事件.....	71
C.2 ONU特定部分.....	72
C.2.1 OLT特定部分的状态.....	72
C.2.2 ONU特定部分的状态图.....	72
C.2.3 ONU特定部分功能转移.....	73
C.2.4 ONU特定部分事件.....	74
C.3 自动发现ONU的方法.....	74
C.3.1 激活过程类型.....	74
C.4 POPUP过程.....	74
C.5 均衡时延测量原理.....	75
C.5.1 D/S和U/S之间的相位关系.....	75
C.5.2 相位关系时延的定义.....	75
C.5.3 RTD测量成功或失败的标准.....	76

前 言

《接入网技术要求——吉比特的无源光网络（GPON）》是无源光网络（PON）系列标准之一，该标准系列还包括下列标准：

- YD/T 1077-2000 《接入网技术要求——窄带无源光网络（PON）》
 - YD/T 1090-2000 《接入网技术要求——基于 ATM 的无源光网络（A-PON）》
 - YD/T 1250-2003 《接入网设备测试方法——基于 ATM 的无源光网络（A-PON）》
 - YD/T 1475-2006 《接入网技术要求——基于以太网的无源光网络（EPON）》
 - YD/T xxxx-xxxx 《接入网设备测试方法——基于以太网的无源光网络（EPON）》
- 随着技术的发展，还将制定后续的相关标准。

《接入网技术要求——吉比特的无源光网络（GPON）》分为四个部分：

- 第 1 部分：总体要求
- 第 2 部分：物理媒质相关（PMD）层要求
- 第 3 部分：传输汇聚（TC）层要求
- 第 4 部分：ONT 管理控制接口（OMCI）要求

本部分为《接入网技术要求——吉比特的无源光网络（GPON）》的第 3 部分。

本部分和 ITU-T G.984.3 吉比特无源光网络（GPON）：传输汇聚层规范的主要差异如下：

- 本部分规定的 GPON 系统 TC 层仅支持 GEM 模式；
- 附录 A、附录 B 和附录 C 为规范性附录；
- 本部分采用完全不同的章节结构。

本部分中的附录 A、附录 B 和附录 C 为规范性附录。

本部分由中国通信标准化协会提出并归口。

本部分起草单位：信息产业部电信研究院

上海贝尔阿尔卡特股份有限公司

华为技术有限公司

中兴通讯股份有限公司

武汉邮电科学研究院

UT斯达康（重庆）通讯有限公司

北京西门子通信网络有限公司

本部分主要起草人：陈洁 敖立 刘谦 党梅梅 程强 赵苹 葛坚 李云洁 齐江
周惠琴 黄伟 何岩 陆伟

接入网技术要求——吉比特的无源光网络(GPON)

第 3 部分：传输汇聚(TC)子层要求

1 范围

本部分规定了吉比特无源光网络（GPON）系统的传输汇聚（TC）层协议、核心功能、帧结构、交互消息定义、激活方式、告警、安全和差错控制等要求。

本部分规定的GPON系统传输汇聚（TC）层采用GEM模式。

本部分适用于公众电信网环境下的GPON设备，专用电信网也可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

ITU-T G.709 (2001)	光传送网（OTN）接口
ITU-T G.841 (1998)	SDH 网络保护结构的类型和特性
ITU-T G.975 (2000)	海底系统的前向纠错
ITU-T G.983.4 (2001)	通过动态带宽分配增加业务容量的宽带光纤接入系统
ITU-T I.432.1 (1999)	B-ISDN 用户-网络接口物理层规范：一般特性
ITU-T I.610 (1999)	B-ISDN 操作和维护原则及功能
ITU-T J.81 (1993)	以 ITU-T 建议 G.702 的三次群进行编播级质量应用的分量编码数字电视信号的传输
ANSI T1.220 (1990)	远程通信信息交换.北美远程通信工业制造商、供应商及有关服务公司的表示代码

3 术语和定义

3.1 术语

下列术语适用于本部分。

3.1.1 ONU 和 ONT

ONU提供（直接或远程）OAN的用户侧接口，并连接到ODN。

ONT是用于FTTH并具有用户端口功能的ONU。

从GPON TC层的功能性来看，ONU和ONT是一样的。除非有特殊说明，本部分使用“ONU”来指示ONU和ONT。

3.1.2 数据业务成帧方式和 GEM 的关系

从帧结构来看，GEM和其他数据业务成帧方式很相似。然而GEM要封装到PON section 中，并且和OLT的SNI类型、ONU的UNI类型无关，具体见图 1。

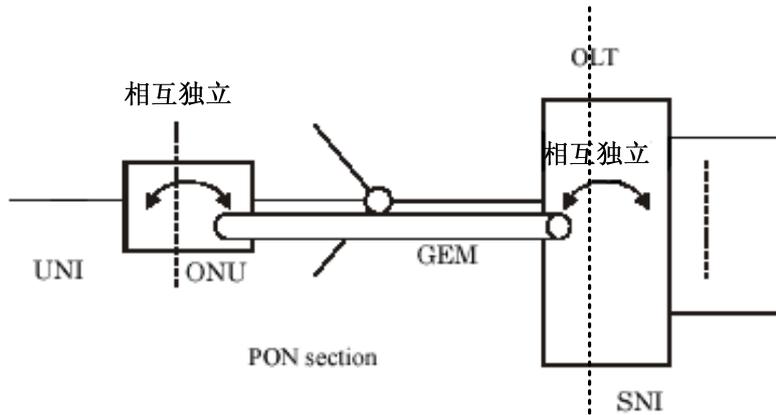


图 1 嵌入式GEM

3.1.3 上行 ONU 流量控制设备

ONU端口业务流控制设备见图 2。可选的，业务流可由每个端口的流量描述器进行整形处理，然后经过整形的流被映射到T-CONT并在分配控制下传送到OLT。

对于GEM流，每个端口的上行业务流或者根据PIR来控制，或者通过PIR和SIR来控制。PIR应等于SIR，或者大于SIR。这些参数通过OMCI提供。

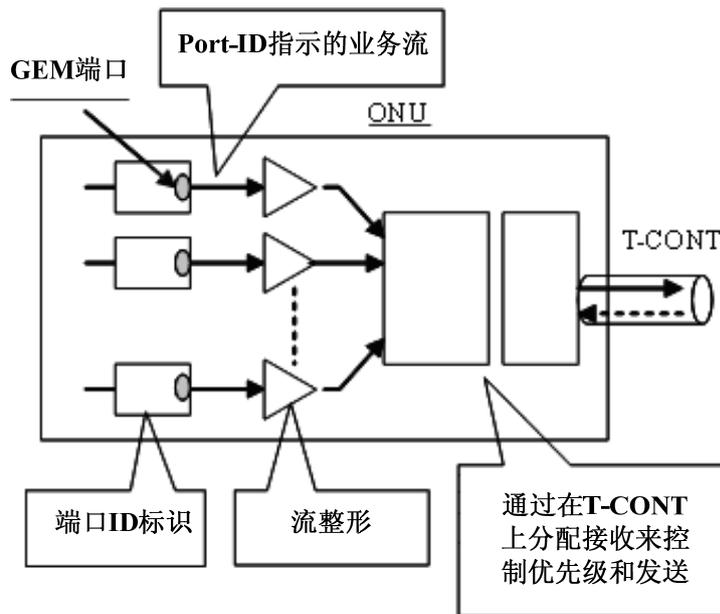


图 2 ONU流量控制

3.2 定义

下列定义适用于本部分。

3.2.1

动态带宽分配 Dynamic Bandwidth Assignment (DBA)

动态带宽分配是ONU（和相关T-CONT）动态请求上行带宽（直接或间接）的过程，以及通过OLT监管空闲帧或者ONU向OLT报告缓存状态，从而使OLT分配ONU上行带宽的方式。

3.2.2

基于非状态报告的动态带宽分配 Non-Status Reporting DBA (NSR-DBA)

NSR-DBA不需要ONU报告就能完成带宽分配。它通过OLT自身的流量监管提供动态分配功能。

3.2.3

基于状态报告的动态带宽分配 Status Reporting DBA (SR-DBA)

SR-DBA根据ONU发送的缓存状态报告分配带宽。

3.2.4

嵌入式OAM embedded OAM

嵌入式OAM提供对时间敏感的OAM功能，包括带宽授权、安全密钥交互和DBA相关功能。

3.2.5

GPON封装模式 GPON Encapsulation Mode (GEM)

GEM是一种在GPON上封装数据的方式，虽然它可封装任何数据类型，但实际类型取决于业务情况。GEM提供面向连接的通信，其概念和成帧格式和GFP（通用成帧流程）类似。

3.2.6

物理层OAM Physical Layer OAM (PLOAM)

物理层OAM提供PON管理功能，如测距、ONU激活、OMCC建立和告警传送。

3.2.7

端口 Port

Port是GEM中复用成T-CONT的单位。一个T-CONT可定义一个或多个Port。OLT和ONU之间的数据传送通过Port进行。GEM模式中Port由Port-ID唯一标识。

3.2.8

测距 Ranging

测距是测量每个ONU和OLT之间逻辑距离并确定传输定时的方式。它可避免同一ODN中不同ONU发送的上行帧发生碰撞。

3.2.9

传输容器 Transmission Container (T-CONT)

T-CONT用于管理传输汇聚层PON段中的上行带宽分配。T-CONT主要用于改善PON中的上行带宽使用情况。

- T-CONT承载GEM Port并向关联OLT报告缓存状态。
- T-CONT动态地接收来自OLT的由Alloc-ID标识的带宽授权。
- 一个T-CONT可承载不同业务等级的GEM流。
- 一个T-CONT可提供一个或多个物理队列并将其汇聚到一个逻辑缓存中。
- DBA-T-CONT状态报告概述了一个T-CONT的逻辑缓存状态。
- 一个T-CONT是TC层的一个发送实体，可透明传送高层信息。

- 经过一个T-CONT的信息不会改变，除非在发送过程中发生了劣化。
- 数据带宽授权和一个并仅和一个T-CONT相关联。T-CONT在ONU硬件和软件中物理实现。

4 缩略语

下列缩略语适用于本部分。

Alloc-ID	Allocation Identifier	分配标识符
BCH	Bose-Chaudhuri-Hocquengham	博斯-乔赫里-霍克文黑姆(码)
BER	Bit Error Ratio	误比特率
BIP	Bit Interleaved Parity	比特间插奇偶校验
BW	Bandwidth	带宽
COT	Conflict of Timeslot of ONU	ONU 时隙冲突
CPL	Change Power Level	改变功率电平
CRC	Cyclic Redundancy Check	循环冗余校验
DBA	Dynamic Bandwidth Assignment	动态带宽分配
DBRu	Dynamic Bandwidth Report upstream	上行动态带宽报告
EqD	Equalization Delay	均衡时延
FEC	Forward Error Correction	前向纠错
GEM	GPON Encapsulation Method	GPON 封装模式
GPM	GPON Physical Media (Dependent)	GPON 物理媒质(相关)
GPON	Gigabit Passive Optical Network	吉比特无源光网络
GTC	GPON Transmission Convergence	GPON 传输汇聚(层)
HEC	Header Error Control	帧头差错控制
LOF	Loss of Frame	帧丢失
LOS	Loss of Signal	信号丢失
LSB	Least Significant Bit	最低有效位
MSB	Most Significant Bit	最高有效位
NIST	National Institute of Standards and Technology	国家标准和技术研究院
NSR-DBA	Non-Status Reporting DBA	基于非状态报告的动态带宽分配
OAM	Operations, Administration and Maintenance	操作管理维护
OAN	Optical Access Network	光接入网
ODN	Optical Distribution Network	光分配网络
OH	Overhead	开销
OLT	Optical Line Termination	光线路终端

OMCI	ONT Management and Control Interface	ONT 管理和控制接口
ONT	Optical Network Termination	光网络终端
ONU	Optical Network Unit	光网络单元
PCBd	Physical Control Block downstream	下行物理控制块
PEE	Physical Equipment Error	物理设备错误
PR	Peak Rate	峰值速率
PDU	Protocol Data Unit	协议数据单元
PIR	Peak Information Rate	峰值信息速率
Plend	Payload Length downstream	信息净荷长度
PLI	Payload Length Indicator	净荷长度指示符
PLOAM	Physical Layer OAM	物理层操作管理维护
PLOAMu	PLOAM upstream	上行物理层操作管理维护
PLOu	Physical Layer Overhead upstream	上行物理层开销
PLSu	Power Levelling Sequence upstream	上行功率控制序号
PST	PON Section Trace	PON 段探查
PTI	Payload Type Indicator	净荷类型指示符
QoS	Quality of Service	服务质量
RDI	Remote Defect Indication	远端故障指示
REI	Remote Error Indication	远端错误指示
SR	Sustained Rate	维持速率
SR-DBA	Status Reporting DBA	基于状态报告的动态带宽分配
SD	Signal Degrade	信号下降
SDU	Service Data Unit	服务数据单元
SF	Signal Fail	信号失效
SIR	Sustained Information Rate	维持信息速率
SR	Sustained Rate	维持速率
SSK	Share Secret Key	共享密钥
TC	Transmission Convergence	传输汇聚
T-CONT	Transmission Container	传输容器

5 GTC 概述

5.1 概述

本节描述了GPON系统的TC层结构。GPON TC (GTC) 层系统的协议栈见图 3。GTC 层包括两个子层：GTC成帧子层和TC适配子层。从另一个角度来看，GTC包括管理用户业

务流、安全和OAM特性的C/M平面和承载用户业务流的U平面。如图 3所示，在GTC成帧子层中，GTC帧可分为GEM块、嵌入式OAM和PLOAM块。直接封装在GTC帧头的嵌入式OAM信息被终结，并用于直接控制该子层。PLOAM信息在PLOAM模块中处理，该模块位于成帧子层的客户层。GEM SDU在相应的适配子层被转换成GEM PDU，或者相反的从PDU转换到SDU。PDU还包括OMCI通道数据，这些数据在适配子层被识别，并与OMCI实体进行交互。嵌入式OAM、PLOAM和OMCI属于C/M平面，除OMCI外的GEM SDU属于U平面。

GTC成帧子层对所有的数据传输可见，OLT GTC成帧子层与所有的ONU GTC成帧子层直接对等。

除此以外，DBA控制模块被定义为一个通用功能模块，该模块负责完成ONU报告和所有的DBA控制功能。

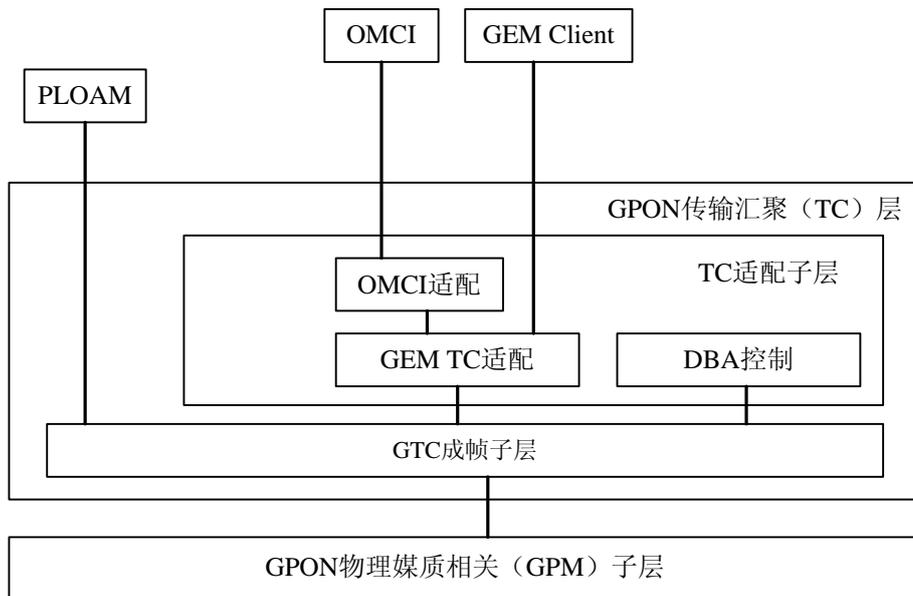


图 3 GTC系统协议栈

5.2 C/M 平面协议栈

GTC系统的控制和管理平面包括3个部分：嵌入式OAM、PLOAM和OMCI。嵌入式OAM和PLOAM通道管理PMD和GTC层功能，而OMCI提供了一个统一的管理上层（业务定义）的系统。

嵌入式OAM通道由GTC帧头中具有特定格式的域信息提供。因为每个信息片被直接映射到GTC帧头中的特定区域，所以OAM通道为时间敏感的控制信息提供了一个低延时通道。使用这个通道的功能包括：带宽授权、密钥切换和动态带宽分配指示。

PLOAM通道是由GTC帧内指定位置承载的一个具有特定格式的的信息系统，它用于传送其他所有未通过嵌入式OAM通道发送的PMD和GTC管理信息。

OMCI通道用于管理GTC以上由业务定义的高层。OMCI的具体规定不在本标准部分的范围内。然而GTC必须为OMCI流提供传送接口。GTC功能提供了根据设备能力配置可选通道的途径，包括定义传送协议流标识（Port-ID）。本标准部分给出了OMCI通道的格式和传送机制，具体的信息结构见本标准第4部分。

C/M平面的功能模块见图 4。

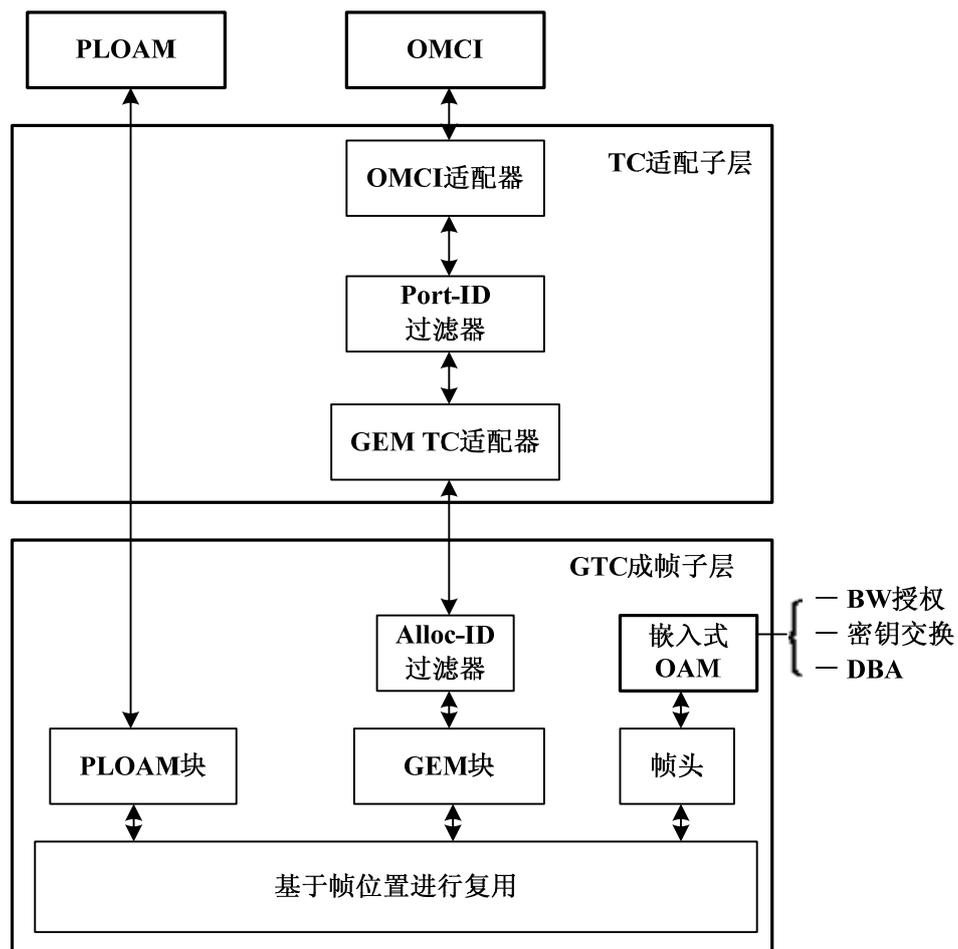


图 4 C/M平面功能模块

5.3 U平面协议栈

U平面的业务流由业务类型（GEM模式）和Port-ID标识，其协议栈见图 5。下行块或上行分配ID（Alloc-ID）承载的数据指示了业务流类型。12bit的Port-ID用于标识GEM业务流。T-CONT由Alloc-ID标识，是一组业务流。每个T-CONT的带宽分配和QoS控制通过控制时隙数量的变化来实现。

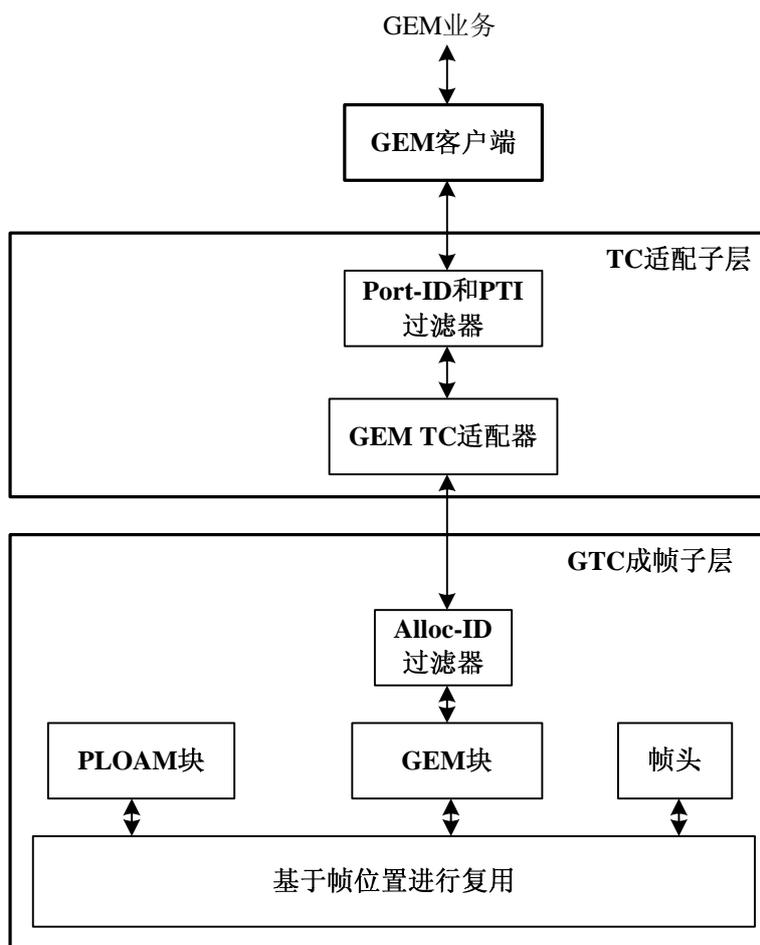


图 5 U平面协议栈

GTC中的GEM流操作归纳如下：

在下行方向，GEM帧由GEM块承载并送至所有ONU。ONU成帧子层提取GEM帧，GEM TC适配器根据12bit的Port-ID过滤GEM帧。只有携带正确Port-ID的帧才允许到达GEM客户端块。

在上行方向，GEM流由一个或多个T-CONT承载。OLT接收到与T-CONT关联的流后，会将帧转发到GEM TC适配器，然后送至GEM客户端。

5.4 GTC 关键功能

5.4.1 媒质接入控制流

GTC系统为上行业务流提供媒质接入控制，其基本思路是：下行帧指示上行流在上行帧中的允许位置，上行帧和下行帧同步。

媒质接入控制概念见图 6。OLT在PCBd中发送指针，这些指针指示了每个ONU上行发送的开始和结束时间。这样在任意时刻只有一个ONU可以访问媒质，在正常工作状态下不会发生碰撞。指针以字节为单位，允许OLT以带宽粒度为64kbit/s对媒质进行有效的静态控制。然而，一些OLT应用可以选择更大的指针粒度来实现更好的动态带宽调度控制。图 6 示例中的指针以升序发送。要求OLT向各ONU发送的指针按开始时间的升序排列，建议所有指针都按其开始时间的升序发送。

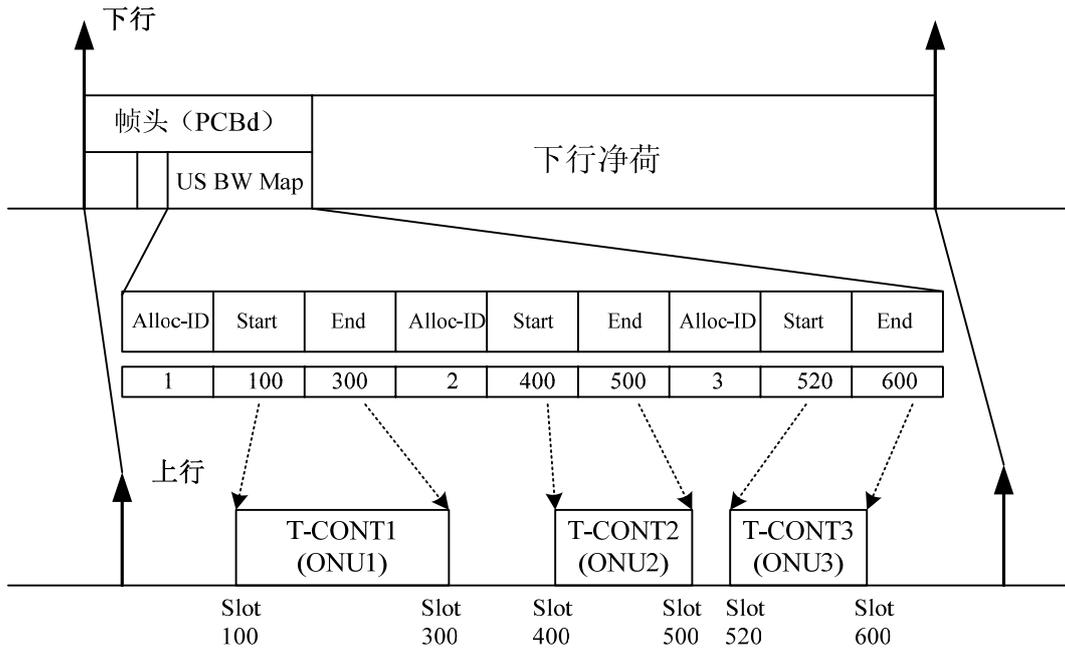


图 6 GTC TC媒质接入控制概念（以每个ONU支持一个T-CONT为例）

虽然图 6以每个ONU仅支持一个T-CONT为例来说明媒质接入控制操作概念，但媒质接入控制在每个T-CONT完成，具体规定见第6 节。

5.4.2 ONU 注册

ONU注册由自动发现流程完成。ONU注册有两种方式：“配置S/N”方式是通过管理系统（如NMS和/或EMS）在OLT注册ONU序列号，“发现S/N”方式是不通过管理系统（如NMS和/或EMS）在OLT注册ONU序列号。注册方式的具体规定见第8 节。

5.5 GTC 各子层功能

5.5.1 GTC 成帧子层概述

GTC成帧子层包括3个功能：

1) 复用和解复用

PLOAM和GEM部分根据帧头指示的边界信息复用到下行TC帧中，并可以根据帧头指示从上行TC帧中提取出PLOAM和GEM部分。

2) 帧头生成和解码

下行帧的TC帧头按照格式要求生成，上行帧的帧头会被解码。此外还要完成嵌入式OAM。

3) 基于Alloc-ID的内部路由功能

基于Alloc-ID的内部标识为来自/送往GEM TC适配器的数据进行路由。

5.5.2 GTC 适配子层和上层实体接口概述

适配子层提供了2个TC适配器，即GEM TC适配器和OMCI适配器。GEM TC适配器生成来自GTC成帧子层各GEM块的PDU，并将这些PDU映射到相应的块。

适配器向上层实体提供了GEM接口：

GEM TC适配器经过配置后可将帧适配到不同的帧传送接口。

此外，适配器根据特定的Port-ID识别OMCI通道。OMCI适配器从GEM TC适配器接收数据并传送到OMCI实体，另一方面它也可把OMCI实体数据传送到GEM TC适配器。

5.5.3 PLOAM 概述

GTC成帧子层提供了用于PLOAM消息交换的接口。PLOAM消息定义见第7 节。

5.6 业务流与 QoS

5.6.1 GTC 和受控用户数据之间的关系

GTC系统根据T-CONT管理业务流，每个T-CONT由Alloc-ID标识。一个T-CONT可包含一个或多个GEM Port-ID。OLT监控每个T-CONT的流量负载，并调整带宽分配来更好地分配PON资源。GTC系统无法获知或维持各Port-ID之间的QoS关系，该功能由PON终端的GEM客户端来完成。

5.6.2 资源分配的概念

资源可动态或静态分配给各逻辑链路。在动态资源分配方式中，OLT 通过检查来自 ONU 的 DBA 报告和/或通过输入业务流的自监测来了解拥塞情况，然后分配足够的资源。

在静态资源分配方式中，OLT 应根据提供的资源分配带宽。

5.6.3 QoS 保证

DBA功能可提供各种不同的QoS。GPON TC层规定了5种T-CONT（如类型1，2，3，4，5），这5种T-CONT和ITU-T G.983.4定义的T-CONT具有相同的特性。GEM模式中，GEM连接由端口标识，并根据QoS要求由一种T-CONT类型承载。用流量描述器对GEM连接进行流量整形的功能有待进一步研究。

5.7 DBA 规定

GEM模式下，GPON DBA采用ITU-T G.983.4规定的机制作为默认方式。简而言之，即使GEM模式支持可变长度的分组包，这些分组包在DBA操作中被处理成固定长度数据块。数据块数目对应于ITU-T G.983.4中DBA报告的信元数目。

5.7.1 DBA 要求

DBA功能在各T-CONT中实现。DBA功能分为下面几个部分：

- 1) OLT和/或ONU检测拥塞状态；
- 2) 向OLT报告拥塞状态；
- 3) OLT根据提供的参数更新带宽分配；
- 4) OLT根据更新的带宽分配和T-CONT类型发送授权；
- 5) 发送DBA操作管理信息。

GPON DBA应能为5种T-CONT类型提供和ITU-T G.983.4相同的QoS保证能力。

5.7.2 T-CONT 类型和操作参数

GPON DBA机制定义了5种T-CONT类型（T-CONT类型1、2、3、4、5）。每种T-CONT的特性操作参数见ITU-T G.983.4的规定。然而GEM模式的操作参数单位是固定长度块的数目。

GEM模式下，块长度由GPON OMCI协商，默认值为48字节。

5.7.3 DBA 操作概述

DBA操作有两种方式：SR-DBA和NSR-DBA。因为DBA报告功能对ONU是可选的，所以会出现各ONU支持不同DBA操作方式的情况。OLT必须支持状态报告和非状态报告系统，这样才能向所有的ONU提供某种DBA功能。根据ONU能力定义的模式和服务见表 1。

表 1 DBA操作模式

	SR ONU	NSR ONU
DBA OLT	SR-DBA 和/或 NSR-DBA	NSR-DBA

每种模式的操作如下：

- 1) SR-DBA

为了报告T-CONT的拥塞状态,当T-CONT从ONU向OLT发送上行数据时,需要在DBRu的DBA域中设置T-CONT存储区的数据块数目,或者其他方式。如果OLT不允许T-CONT发送上行数据,则OLT可仅为DBRu分配时隙,或其他方式。然而,即使接收到DBA报告,OLT也不一定用该报告信息更新带宽分配。另一方面,如果T-CONT由于某种原因不能报告存储区中的数据块数目,则在DBA域中使用非法代码对OLT进行响应。这些操作见图7。在这种方式中,如果DBA域丢失则无法识别上行数据格式,所以如果OLT请求DBA报告,则必须发送DBA域。

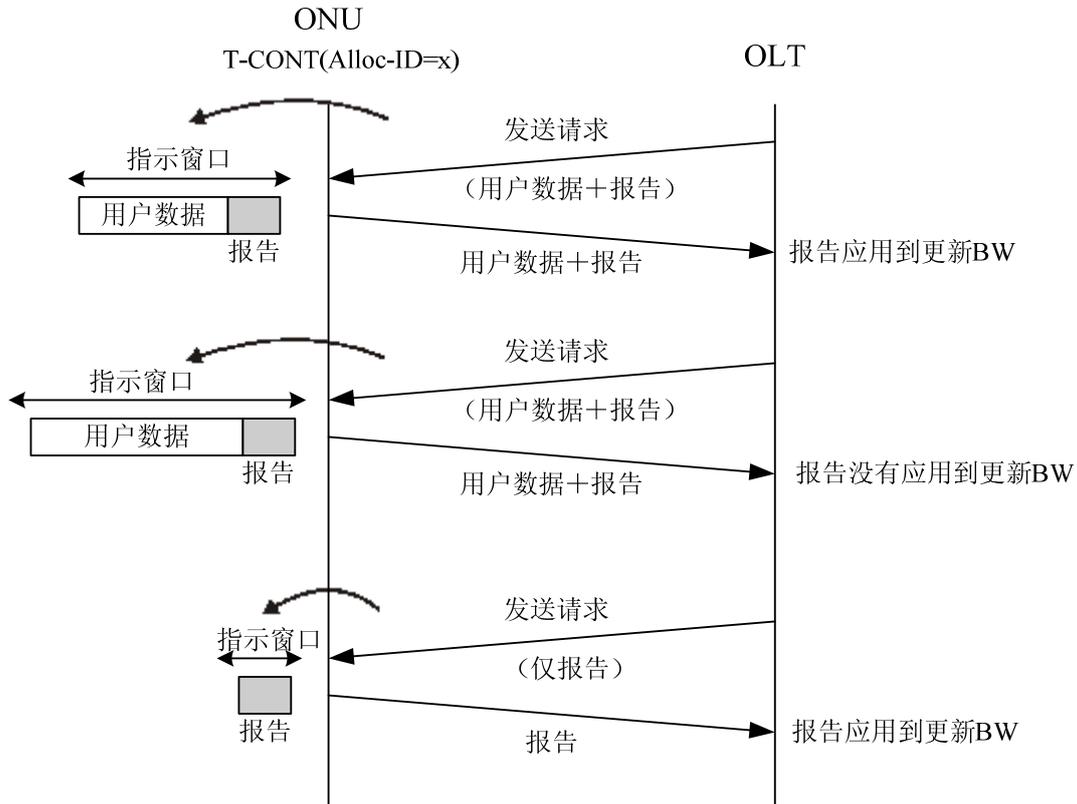


图7 SR-DBA操作

2) NSR-DBA

OLT通过自监测输入业务流来了解各T-CONT的拥塞状态。在这种模式中,因为OLT从不请求,所以DBRu中的DBA域从不发送。在OLT请求DBRu的特殊情况下,虽然ONU的DBA域内容会被OLT忽略,但ONU也必须发送DBA域。

5.7.4 管理方面

为了操作DBA,管理功能实体要提供或协商一些参数。通过这种方式,OLT和ONU可对DBA操作模式达成一致,并正确响应对方请求。所有的DBA参数应由GPON OMCI提供或协商。

6 GTC 成帧

6.1 概述

GTC上下行TC帧结构见图8。下行帧由下行物理控制块(PCBd)和GEM块组成,上行帧由多个突发(burst)组成。每个上行突发时隙至少包含物理层开销(PLOu),除净荷外,还可包含PLOAmu、PLSu和DBRu部分组成。下行帧提供了PON公共时间参考和上行公共控制信号。

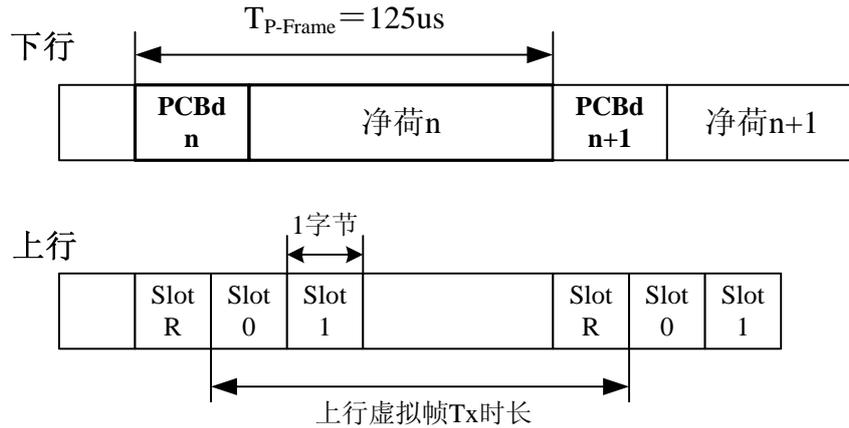


图 8 GTC TC帧结构

6.2 下行帧结构

6.2.1 帧结构

下行帧结构见图 9。对于下行速率为1.24416Gbit/s和2.48832Gbit/s的数据流，帧长均为125 μ s，因此，1.24416Gbit/s系统的帧长为19440字节，而2.48832Gbit/s系统的帧长为38880字节，两种速率对应的帧的PCBd的长度都是相同的，但与每帧中分配结构的数目有关。

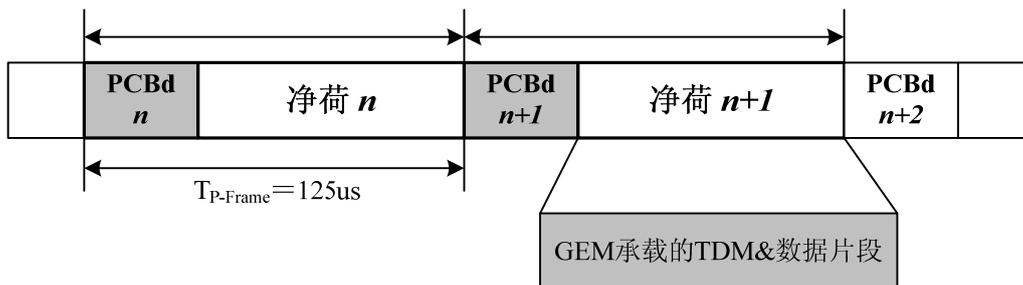


图 9 GTC TC下行帧结构

6.2.2 比特和字节顺序

所有域的发送顺序从最高比特位开始，例如0xF0表示从1开始发送，在0结束。

6.2.3 帧扰码

下行帧使用帧同步扰码多项式 x^7+x^6+1 进行扰码。下行数据与扰码器的输出进行模二加计算。计算扰码多项式的移位寄存器在 PCBd Psync 域后的第一个比特置为全 1，直至下行帧的最后一个比特。

6.2.4 下行物理控制块 (PCBd)

6.2.4.1 结构

PCBd结构见图 10，PCBd由多个域组成。OLT以广播方式发送PCBd，每个ONU均接收完整的PCBd信息，并根据其相关信息进行相应操作。

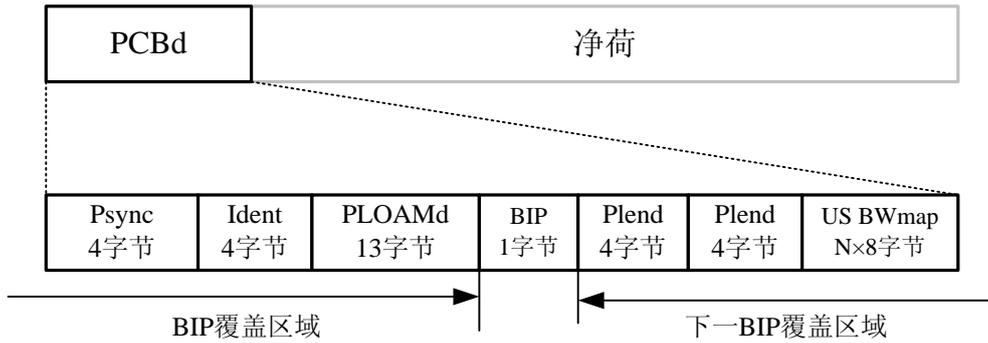


图 10 GTC TC下行物理控制块 (PCBd)

6.2.4.2 物理同步 (Psync) 域

位于PCBd起始位置的物理同步域长度固定为32字节。ONU可利用Psync来确定帧起始位置。Psync域的编码为0xB6AB31E0。注意Psync不进行扰码处理。

ONU实现的同步状态机见图 11。ONU开始于搜索状态。在搜索状态，ONU逐比特和字节搜索Psync区域。一旦找到一个正确的Psync，ONU就进入预同步状态并设置计数器N=1。接着ONU每隔125μs搜索下一个Psync。每找到一个正确的Psync，计数器值加1。如果找到一个错误的Psync，则ONU回到搜索状态。在预同步状态下，如果计数器的值为M₁，则ONU进入同步状态。一旦进入同步状态，ONU就可声明已经找到下行帧结构，并开始处理PCBd信息。如果检测到M₂个连续错误的Psync，则ONU声明丢失了下行帧定界，返回到搜索状态。M₁的建议值为2，M₂的建议值为5。

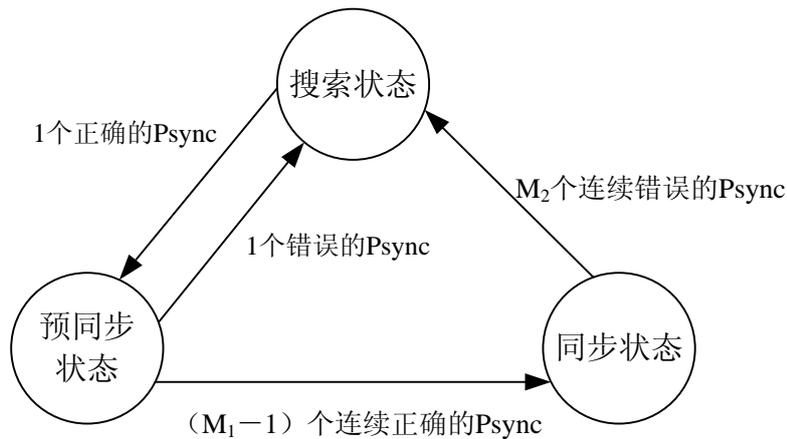


图 11 GTC TC下行ONU同步状态机

6.2.4.3 Ident 域

4字节的Ident域用于指示更大的帧结构。复帧计数器用于用户数据加密系统，也可用于提供较低速率的同步参考信号。Ident域中的低30比特为计数器，每帧的Ident计数值比前一帧大1，当计数器达到最大值后，下一帧置为零。

为了容忍差错，ONU必须实现本地复帧计数器和复帧同步状态机。复帧同步状态机和前面描述的同步状态机相同。在搜索状态，ONU把接收到的Ident域中的复帧计数器载入本地计数器。在预同步和同步状态，ONU比较本地值和接收到的计数器值，匹配表示同步正确，不匹配表示传输错误或者失步。

最高的1比特用于指示下行流是否使用了FEC，其他比特预留，具体见图 12。

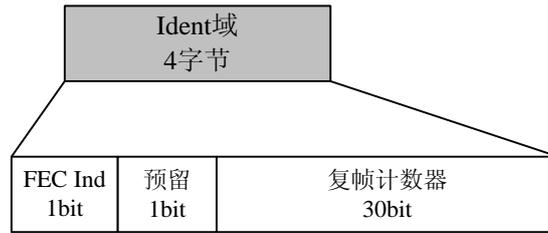


图 12 Ident域结构

6.2.4.4 PLOAMd 域

携带PLOAM消息的下行PLOAM域长13字节。PLOAM消息格式见第7 节。

6.2.4.5 BIP 域

BIP域长8字节，携带的比特间插奇偶校验信息覆盖了所有传输字节，但不包括FEC校验位（如果有）。在完成FEC纠错后（如果支持），接收端应计算从前一个BIP域开始的所有接收字节的比特间插奇偶校验值，但不应覆盖FEC校验位（如果有），并与接收到的BIP值进行比较，从而测量链路上的差错数量。

6.2.4.6 Plend 域

下行净荷长度域指定BWmap的长度。为了保证健壮性和防止错误，Plend域传送两次。

带宽映射长度（Blen）由 Plend 域的前 12 比特指定，这将 125μs 时间周期内能够被授权分配的 ID 数目限制在 4095。BWmap 的字节长度为 $8 \times \text{Blen}$ 。

Plend 域接下来的 12 比特指定 ATM 块的长度。本标准对 ATM 模式不做规定。

Plend域的最后8比特由CRC-8构成，生成多项式为 $g(x)=x^8+x^2+x+1$ （ITU-T I.432.1）。和I.432.1不同的是，CRC不和0x55异或运算。接收端使用CRC-8进行检错纠错，它对发送的两个Plend域进行解码，并根据CRC-8检测流程的输出结果使用质量最好的Plend域。出于这种目的，质量等级从高到低的排序为：无差错、可纠正的单错和无法纠正的错误。当两个Plend域都发生无法纠正的错误，或者是值不同但具有相同的质量等级时，接收端将不对该帧进行处理，因为可能存在无法检测的多错误。在双传输条件下，会导致发生这种情况的最小错误数目为4比特。

Plend域结构见图 13。

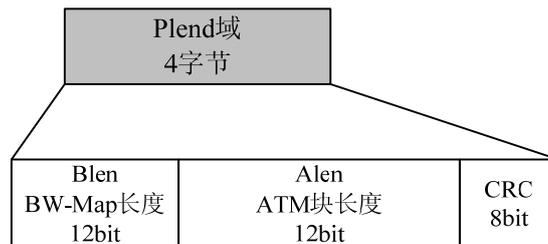


图 13 Plend域

6.2.4.7 BWmap 域

6.2.4.7.1 结构

带宽映射（BWmap）是8字节分配结构的向量数组。数组中的每个入口代表分配给某个特定T-CONT的一个带宽。Map中入口的数量由Plend域指定。每个入口的格式见图 14。

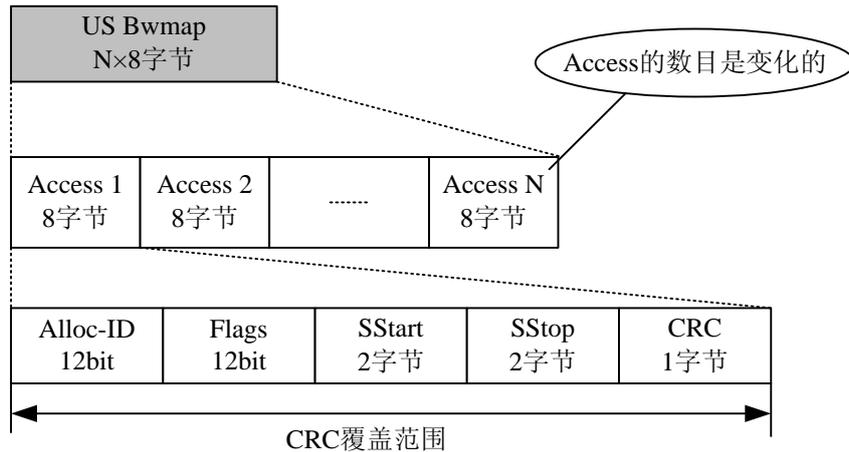


图 14 GTC带宽映射分配结构

要求 OLT 以开始时间的升序向各 ONU 发送指针，建议所有指针都以开始时间的升序发送。ONU 应能在单一 Bwmap 中支持最多 8 个分配结构，并可选支持更多。此外，ONU 的最大 Bwmap 大小限制应至少是 256 分配结构，可选支持更大 Bwmap。

6.2.4.7.2 Allocation ID 域

Allocation ID 域为 12 比特，用于指示 PON 上行流授权时间对应的特定 T-CONT。这 12 个比特没有特定的结构要求，只有一些约定。首先，最低的 254 个分配 ID 值用于直接标识 ONU。在测距过程中，ONU 的第一个 Alloc-ID 应在该范围内分配。ONU 的第一个 Alloc-ID 是默认分配 ID，这个 ID 值和 ONU-ID（用于 PLOAM 消息）相同，用于承载 PLOAM 和 OMCI 流，可选用于承载用户数据流。如果 ONU 需要更多的 Alloc-ID 值，则将会从上面 255 个 ID 值中分配。Alloc-ID=254 是 ONU 激活 ID，用于发现未知的 ONU，Alloc-ID=255 是未分配的 Alloc-ID，用于指示没有 T-CONT 能使用相关分配结构。

6.2.4.7.3 Flags 域

Flags 域为 12 比特，包含 4 个独立的关于上行传输相关功能的指示。指示含义如下：

- 1) Bit11 (MSB)：发送功率调节序列 (PLSu)，PLSu 特性不允许使用，Bit11 应总是设置为 0。
- 2) Bit10：发送 PLOAMu，若设置该比特，ONU 应使用该比特发送 PLOAMu 信息，否则，将不发送 PLOAMu 消息。
- 3) Bit9：使用 FEC，若设置该比特，ONU 应为该 Allocation ID 计算并插入 FEC 校验比特。注意该比特在 Allocation ID 的生存期内是相同的，并仅对先前已知的数据进行带内确认。
- 4) Bit8 和 Bit7：发送 DBRu（模式），根据这两个比特的内容，ONU 应发送分配 ID 对应的 DBRu，或者不发送。编码含义定义为：
 - 00：不发送 DBRu
 - 01：发送“模式 0” DBRu（2 字节）
 - 10：发送“模式 1” DBRu（3 字节）
 - 11：发送“模式 2” DBRu（5 字节）

各种 DBRu 的语法描述见 6.3.6 节。注意，不管实际支持何种模式，ONU 必须根据要求响应相应的字节数目。

- 5) Bit6-0：预留

6.2.4.7.4 StartTime 域

StartTime域长16bit，用于指示分配时隙的开始时间。该时间以字节为单位，在上行帧中从0开始，并且限制上行帧的大小不超过65536字节，可满足2.488Gb/s的上行速率要求。

开始时间指示合法数据传输的开始，并不包括物理层开销时间。这样，对于同一个ONU来说，突发分配中指针的值与其所处的位置无关。物理层开销时间包括容限要求时间（保护时间），接收机恢复时间，信号电平恢复时间，定时恢复时间，定界时间和PLOu域时间。物理层时间值的规定见标准第2部分，根据不同的上行速率要求不同的物理层时间值。OLT和ONU的设计必须同时满足物理开销时间要求。OLT要负责规划带宽映射以获得合适的物理层开销时间。

注意，**StartTime**域指示的时间必须发生在上行帧内。因此，对于所有的比特速率，**StartTime**的最小值均为0，上行比特速率为1244.16Mbit/s时，**StartTime**的最大值为19439。

6.2.4.7.5 StopTime 域

StopTime域长16bit，用于指示分配时隙的结束时间。该时间以字节为单位，在上行帧中从0开始，指出此次分配的最后一个有效数据字节。

注意**StopTime**指示的时间必须发生在分配开始时间所在的上行帧内。

6.2.4.7.6 CRC 域

时间分配结构由CRC-8保护，生成多项式为 $g(x)=x^8+x^2+x+1$ （ITU-T I.432.1）。和I.432.1不同的是，CRC不和0x55进行异或运算。**BWmap**域的接收机将完成CRC-8检错和纠错功能。当CRC-8指示发生了无法纠正的错误时，该分配结构将被丢弃。

此外，ONU应处理错误或不正确的**BWmap**入口从而降低PON上行发生碰撞的可能性，这意味着要禁止可疑时间分配指示的数据发送。

6.2.5 TC 净荷域

BWmap域之后是GTC净荷域，包括ATM净荷域和GEM净荷域。本标准对ATM净荷域不做规定。

GEM区包括任意数量的GEM帧模式定界的帧。GEM净荷域的长度等于完整的TC帧长减去PCBd和ATM净荷域后的长度。GEM帧模式的定界操作在6.4节中描述。

ONU根据每个帧携带的12比特Port_ID值过滤下行帧，接收属于自己的下行信息，并将其送到GEM客户端处理进程作进一步处理。

注意，使用Port-ID可支持多播，该Port-ID应配置为从属于PON中的多个ONU。GEM模式支持多播业务的强制方式是所有流都使用同一个Port-ID，可选方式是使用多个Port-ID。

6.3 上行帧结构

6.3.1 帧结构

上行帧结构见图15。各种速率下的帧长度和下行流相同。每帧包括一个或多个ONU的传输。**BWmap**指示了这些传输的组织方式。在每个分配时期，在OLT的控制下：ONU能够传送1到4种类型的PON开销和用户数据。这四种开销类型分别是：

- 1) 物理层开销（PLOu）
- 2) 上行物理层操作、维护和管理（PLOAMu）
- 3) 上行功率控制序列（PLSu）
- 4) 上行动态带宽报告（DBRu）

这4种开销的具体内容见图16。因为任何协议单元都不包含保护时间，所以图16没有显示保护时间。然而OLT产生的**BWmap**必须考虑保护时间。

OLT通过**BWmap**中的Flag域指示每个分配中是否传送PLOAMu、PLSu或DBRu信息。在设置这些信息的发送频率时，OLT的调度器还需要考虑这些辅助通道的带宽和时延

要求。

PLOu 信息的状态包含在时间分配的安排中。每当 ONU 从另一个 ONU 接管 PON 媒介时，都必须发送一个新的 PLOu 数据的拷贝。当一个 ONU 获得两个连续的分配 ID 时，（一个分配的 StopTime 比另一个分配的 StartTime 少 1），ONU 不应为第二个 Alloc-ID 发送 PLOu 数据。当 OLT 授权 ONU 多个连续的 Alloc-ID 时，这种 PLOu 数据发送抑制会多次发生。注意连续分配禁止 OLT 在同一 ONU 的传输中留有间隔。分配必须严格连续，或者视为来自两个不同 ONU 的分配来安排。

用户净荷数据紧跟这些开销之后进行发送，直到 StopTime 指针指示的位置才停止传输。StopTime 指针应总是大于相应的 StartTime 指针，最小可用的分配是 2 字节，用于只有 DBRu 的发送。此外相邻的指针不允许跨越两个 BWmap。换句话说，每个上行帧必须以一个独立（非相邻）的传输开始。

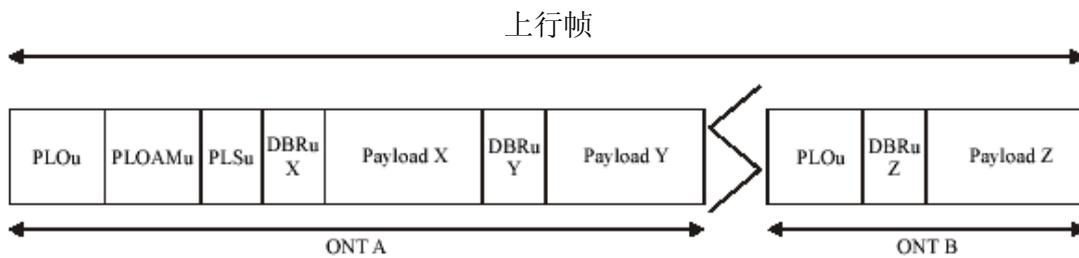


图 15 GTC上行帧

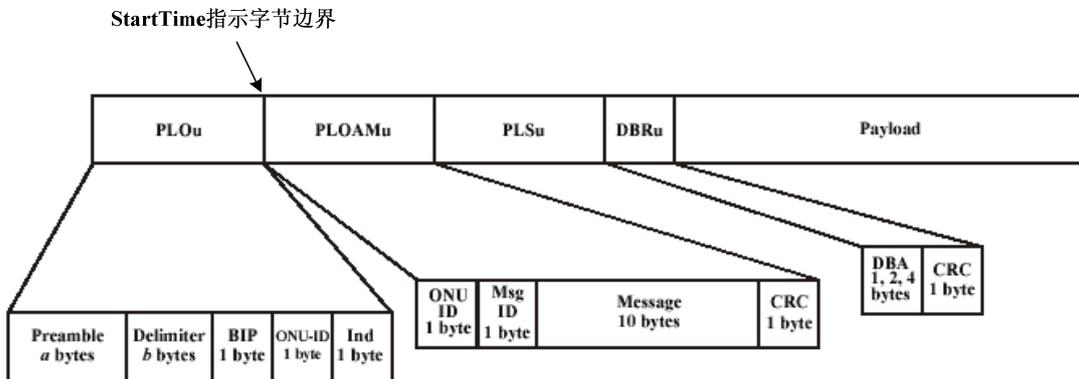


图 16 GTC上行开销

6.3.2 帧扰码

上行帧使用帧同步扰码多项式 x^7+x^6+1 进行扰码。上行数据与扰码器的输出进行模二加计算。计算扰码多项式的移位寄存器在 PLOu 定界符域后的第一个比特置为全 1，直至帧传输的最后一个比特。如果 ONU 连续在几个分配时隙进行发送，则上行扰码器在任一中间边界上不应被重置。

6.3.3 上行物理层开销 (PLOu)

PLOu 数据包括物理层开销（前导码和定界符）以及相应 ONU 的三个数据区域。这些数据在 ONU 突发发送开始时进行发送。注意，为了维护 ONU 的连接性，OLT 应尽量以最小时间间隔向每个 ONU 分配上行传输时间，该时间间隔由 ONU 的业务参数决定。

GTC层产生PLOu。前导码和定界符由OLT在上行开销信息中规定。注意这些字节在StartTime指针指示的字节前被发送。

6.3.3.1 BIP 域

BIP域长8字节，携带的比特间插奇偶校验信息（异或）覆盖了ONU前一个BIP后的所有传输字节（不包括前一个BIP），但不包括前导码、定界符字节和FEC奇偶校验字节（如果有）。在完成FEC纠错后（如果支持），OLT接收机应为每个ONU突发数据计算比特间插奇偶校验值，但不应覆盖FEC校验位（如果有），并与接收到的BIP值进行比较，从而测量链路上的差错数量。

6.3.3.2 ONU-ID 域

ONU-ID域长8比特，是当前上行传输ONU的唯一ONU-ID。ONU-ID在测距过程中指配给ONU。在指配ONU-ID之前，ONU应设置该域为未分配ONU-ID（255）。OLT可以将该值和分配记录进行比较来确认当前发送的ONU是否正确。

6.3.3.3 Ind 域

指示域向OLT实时报告ONU状态。Ind域的格式如下：

比特位置	功能
7 (MSB)	紧急的PLOAM等待发送（1=PLOAM等待发送，0=无PLOAM等待）
6	FEC状态（1=FEC打开，0=FEC关闭）
5	RDI状态（1=错误，0=正确）
4	类型2T-CONT流等待
3	类型3T-CONT流等待
2	类型4T-CONT流等待
1	类型5T-CONT流等待
0 (LSB)	预留

注意，当ONU已经指示需要紧急发送的PLOAM正在等待时，OLT应发送上行分配时隙使ONU可以尽快发送PLOAM消息。正常情况下响应时间应小于5ms。

还需注意的是，只要有一个或多个PLOAM信元等待发送，ONU就会设置PLOAMu等待比特。OLT调度算法在决定发送PLOAMu时隙分配时应考虑这一点。

“流等待”指示的定义见6.5节。

6.3.4 上行 PLOAM (PLOAMu)

PLOAMu域长13字节，包含了PLOAM消息。当分配结构中Flags域指示进行发送时，该域进行发送。

6.3.5 上行功率调节序列 (PLSu)

PLSu域长度为120字节，ONU用来进行功率控制测量。该功能通过调整ONU功率电平来减小OLT光动态范围。PLSu域的内容由ONU根据自身情况在本地设置。当分配结构中Flags域指示进行发送时，该域进行发送。

功率控制机制在两种情况下起作用：ONU发射机的初始化功率设置和功率模式变化。前者发生在ONU激活过程中，而后者发生在运行和激活过程中。因此任何时候都需要PLSu。

在激活过程的很多情况下，OLT可广播PLSu比特使ONU设置发射机工作电平。如果不需要使用PLSu域，则ONU应将发射机的功率电平机制置于无效状态，这样可以减少冲突。

在运行过程中，ONU在通常情况下必须发送PLSu。因此如果在运行过程中被请求，不管是否需要调整发射机，ONU都必须发送PLSu。

6.3.6 上行动态带宽报告 (DBRu)

DBRu包含与T-CONT实体相关的信息。当分配结构中Flags域指示进行发送时，该域进行发送。

6.3.6.1 DBA 域

DBA域包含T-CONT的业务量状态，为此预留了一个8比特、16比特或32比特的区域。该域的带宽要求编码（即等待信元/帧到数量的映射）在6.5 节中描述。注意，为了维持定界，即使ONU不支持DBA模式也必须发送正确长度的DBA域。

6.3.6.2 CRC 域

DBRu结构由CRC-8保护，生成多项式为 $g(x)=x^8+x^2+x+1$ (ITU-T I.432.1)。然而和I.432.1不同的是，CRC不和0x55进行异或运算。DBRu域的接收机将完成CRC-8检错和纠错功能。如果CRC-8指示发生了无法纠正的错误，则该DBRu中的信息将被丢弃。

6.3.7 上行净荷部分

紧跟上行开销域的是GTC上行净荷，它可承载GEM帧或者DBA报告。

6.3.7.1 GEM 上行净荷

GEM净荷域包含任意数量的GEM帧模式的帧，见图 17。GEM净荷长度等于分配持续时间减去请求开销大小。在操作完成前，OLT必须维护多个GEM定界状态机实例和缓冲分片帧。GEM中的帧定界操作在6.4 节中描述。

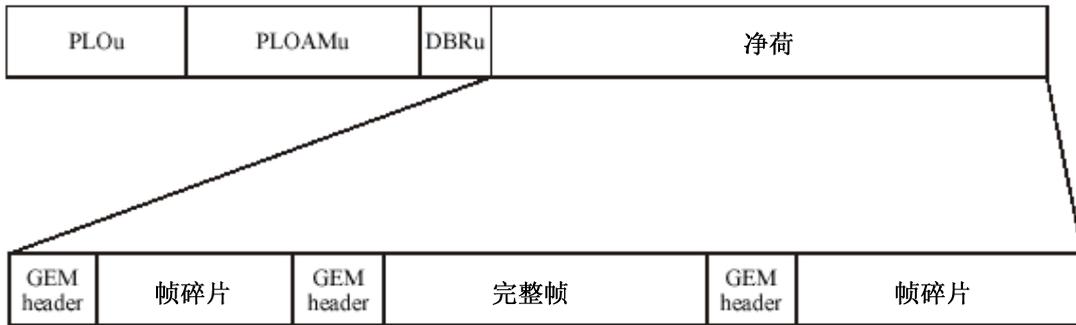


图 17 上行GEM帧

6.3.7.2 DBA 上行净荷

DBA净荷包含一组ONU动态带宽分配报告，见图 18。第一个DBA报告的第一个字节总是位于分配的起始位置。所有的报告都是连续的。如果分配的长度与报告的长度不匹配，ONU或者截去报告的尾部，或者在报告尾部填充全0字节。配置、格式和报告的使用在6.4 节中描述。注意，为了维持定界，即使ONU不支持DBA模式也必须发送正确长度的DBA域。

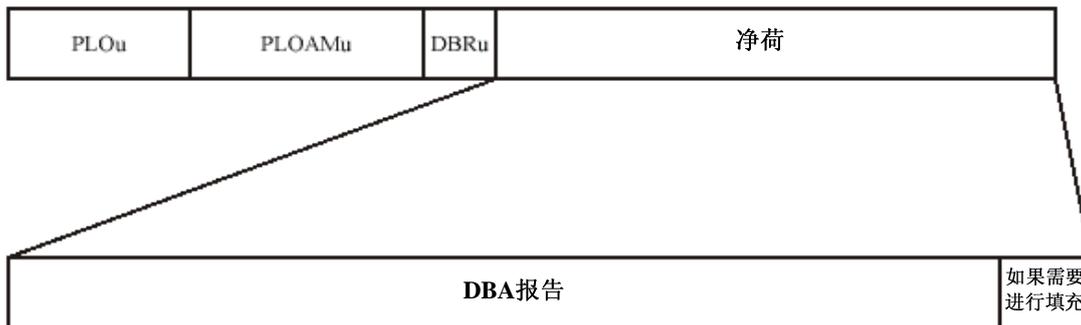


图 18 上行DBA报告

6.4 业务流到 GTC 净荷的映射

GTC净荷可承载各种用户数据类型，主要的承载协议是ATM和GEM。

本标准不规定ATM帧到GTC净荷的映射方式。

GTC 协议以透明方式承载 GEM 业务。在下行方向，从 OLT 到 ONU 的帧在 GEM 净荷

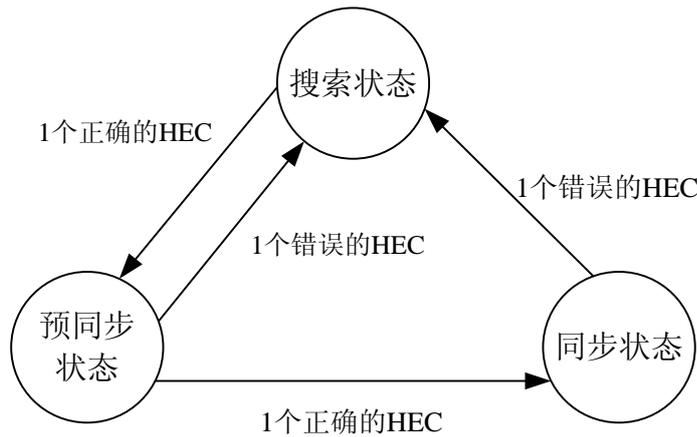


图 20 GEM定界状态机

为了提供速率解适配，定义了 GEM 空闲帧，如果没有用户帧要发送，发送进程将生成 GEM 空闲帧来填充空闲时间。接收机通过这些空闲帧来保持同步，但不会有数据上传到 GEM 客户端。GEM 空闲帧头定义为全 0。发送之前的异或运算，使空闲帧实际发送的是 0xB6AB31E055。

因为用户数据帧长随机，所以 GEM 协议必须支持用户数据帧的分片，并在每个净荷碎片前面插入 GEM 帧头。注意分片在上下行方向都可能发生。GEM 帧头中的 PTI 的 LSB 就是用于此目的。每个用户数据帧可以分为多个碎片，每个碎片之前附加一个帧头，PTI 域指示该碎片是否是用户帧的帧尾。一些 PTI 使用示例见 图 21。

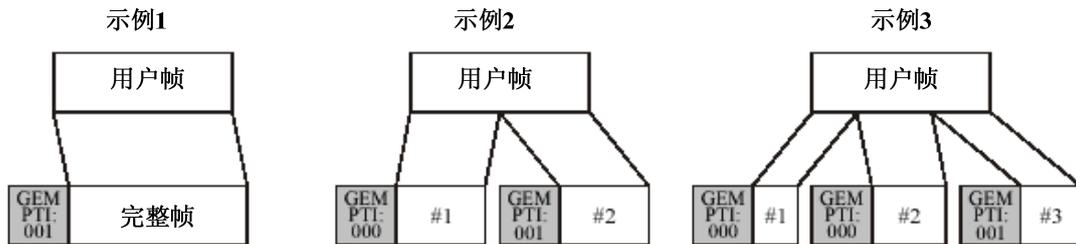


图 21 分片使用示例

值得注意的是碎片必须连续传输，不能跨跃帧边界。要求 GEM 帧头必须在每个区域块或净荷之前。因此，分片进程必须知道当前数据区或净荷的剩余时间，以便合理地进行分片处理。这种情况也意味着空闲帧的传输。在某种情况下，高优先级用户帧传输结束后会在 GTC 区或净荷部分剩余 4 字节或更少（小于 GEM 帧的最小值），此时 GTC 区或净荷部分剩余时间为 X 字节（ $0 < X < 5$ ），发送进程应发送预空白的 GEM 帧头模式，这剩余 X 字节成为 GEM 空闲帧头模式的前 X 字节。接收端识别其为空帧并丢弃。任何情况下，GEM 的定界要在下一个数据区或净荷的起始位置进行恢复。

GEM 固有的分片机制在 GTC 系统中有两种应用。一是前面所述的在每个净荷之前插入 GEM 帧头。二是提供了时延敏感业务（如语音）先于非时延敏感业务传输的可能。通常这两种应用可以分为独立的两步，首先是插入紧急业务流，二是为 GTC 数据块或净荷插入 GEM 帧头。然而一种更简单的方式是分片进程一步就完成这两个功能，即紧急数据的 GEM 碎片总是在每个数据区或净荷的起始位置进行传送。因为 GTC 帧长为 125μs，所以可以为紧急业务提供足够的低延时。这种方式的示例见 图 22。

要求每个 ONU 至少有 2 个 GEM 重组缓存器以支持时间紧急碎片的使用。支持更多重组缓存器是可能的。除非确定 ONU 具有额外的能力，否则 OLT 不应把 2 个以上的用户数据帧间插到同一个 ONU。为此要求 OLT 每个 Alloc-ID 至少有 2 个 GEM 重组缓存器，支持

更多重组缓存器是可能的。除非确定 OLT 具有额外的能力，否则 ONU 不应把 2 个以上的用户数据帧进行间插处理。

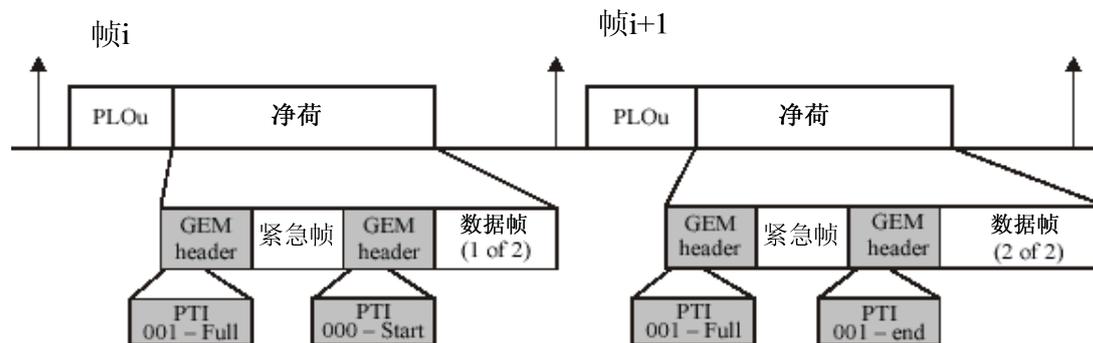


图 22 GTC成帧和GEM成帧的关系

用户信令映射到GEM的具体规定见附录 A。

6.5 动态带宽分配信令和配置

GPON 系统通过状态报告和 OLT 流量监控（即非状态报告）来支持动态带宽分配。所有的 OLT 都提供流量监控 DBA，所以 ONU 即使不报告状态也能获得基本的 DBA 功能。在非报告 DBA 中不要求协议属性，整个 DBA 机制由 OLT 完成。本标准不对非状态报告 DBA 进行过多的描述，但并不意味着它不重要。对于状态报告 DBA，在 GPON 中有三种 DBA 报告的机制：PLOu 中的状态指示，DBRu 中的 piggy-back 报告和 DBA 净荷域中的 ONU 报告。

状态指示提供了一种快速但简单的 ONU 业务流等待指示。该指示由 PLOu 的 Ind 域承载，有 4 个单比特报告，分别对应一类 T-CONT。这种方式只是向 OLT 提供 ONU 需要进行 DBA 管理的警告，但是没有指明有问题的是哪个 T-CONTs，也没有提供类似于带宽数量这样的细节。

Piggy-back 报告可连续提供特定 T-CONT 业务流状态的更新信息。该报告由出现问题的 T-CONT 相关 DBRu 承载。这种报告有三种格式（类型 0，1 和 2）。报告格式类型 0 是缺省支持方式，其他方式可选支持。

Whole ONU 报告提供了使 ONU 可以在一次传输中发送任意或者全部 T-CONTs DBA 报告的途径，由 OLT 分配的上行流中专门的 DBA 净荷区承载。这种机制的支持是可选的。

因为一些 DBA 报告功能是可选的，所以 OLT 和 ONU 在初始阶段必须握手协商使用何种 DBA 报告，这通过 GPON 的 OMCI 通道来实现。OMCI 握手结束后才能使用 DBA 功能。然而，传输系统的设计是可以容忍一定错误的，无论 ONU 的 DBA 能力如何，都要求 ONU 发送 OLT 请求的正确格式的报告。

应实现 piggy-back 报告方式，不推荐使用其他方式。

6.5.1 DBA 状态指示

6.5.1.1 消息定义

PLOu Ind 域的状态指示 DBA 报告由 4 比特组成。它在 ONU 的每个上行流中传输。每个比特对应一个不同的 T-CONT 类型。如果 T-CONT 类型 X 对应的比特置 1，则 OLT 认为 T-CONT 类型 X 至少一个缓存中有等待数据。如果 ONU 中一种类型的 T-CONT 有多个，则该比特报告的是所有缓存的状态。在这种情况下 OLT 就不知道哪个 T-CONT 中有等待数据，需要做进一步的处理。

对于类型 2 到 4 的 T-CONT，合同中没有关于固定带宽的规定。因此，如果有数据在

这些 T-CONT 中等待发送，则相应比特置 1。然而，对于特殊的 T-CONT 类型 5，缓冲中可能含有属于合同中固定带宽部分的数据。固定带宽数据不应该触发状态指示，因为这将导致指示一直置 1。所以对于类型 5 的 T-CONT，只有非固定带宽数据才能将指示比特置 1。

这些状态指示是为了给 OLT 提供有数据等待发送的早期警告。然而，OLT 的 DBA 算法在给 ONU 授权带宽之前并不需要等待这些指示，否则向 ONU 分配初始带宽时会引入时延。

6.5.1.2 对 ONU 和 OLT 的合法操作

ONU 和 OLT 可能不支持这种 DBA 报告模式。如果 ONU 不支持这种报告模式，它应该把这些比特一直置 0。需要注意的是如果 ONU 不支持某种类型的 T-CONT，则相应的比特应一直置 0。OLT 的设计必须考虑到一些 ONU 实现会把所有的状态指示总是置 0。如果 OLT 不支持这种模式，将忽略状态比特。

6.5.1.3 异常事件的处理

因为这种报告模式使用现有结构中的固定位置比特，模式支持的不匹配不会导致定界错误。设计 OLT 算法时必须可以处理支持该报告模式和不支持该报告模式两种类型的 ONU。

6.5.2 Piggy-back DBRu DBA 报告

6.5.2.1 消息定义

piggy-back DBA 报告由 1, 2 或 4 字节的消息组成，这些信息指示了触发 DBRu 传输的 Alloc-ID 相对应的 T-CONT 缓存中等待数据的数量。OLT 通过在 BWmap 分配结构的 flag 域中设置适当的编码指针来触发 DBRu 传输。该报告信息由 DBRu 中的 CRC-8 校验保护。

报告消息将 T-CONT 缓存中等待的 GEM 块数量做为它的基本单元。如 ITU-T G.983.4 Appendix II 所描述，有以下三种允许的格式：

- 模式 0：用一个单独的域来包含 T-CONT 缓存中总数据量的非线性编码。
- 模式 1：两个域，第一个域包含 T-CONT 缓存中有“PR 令牌”的数据量的非线性编码（1 字节），第二个域包含 T-CONT 缓存中有“SR 令牌”的数据量的非线性编码（1 字节）。这种类型的报告只用于 T-CONT 类型 3 和 5。
- 模式 2：四个域，第一个包含 T-CONT 类型 2 有“PR 令牌”（保证带宽）的总数据量的非线性编码（1 字节）。第二个包含 T-CONT 类型 3 有“SR 令牌”（保证带宽）的总数据量的非线性编码（1 字节）。第三个包含 T-CONT 类型 3 有“PR 令牌”（非保证带宽）的总数据量的非线性编码（1 字节）。第四个包含 T-CONT 类型 4 有“PR 令牌”（尽力而为带宽）的总数据量的非线性编码（1 字节）。这种报告模式一共使用了 4 个字节。这种报告模式适合于 T-CONT 类型 5，或者在一个消息中提供所有 T-CONT 总报告的 ONU。
- 在模式 1 和 2 中，“PR”和“SR”分别表示当前连接的峰值速率和维持速率。这在 GEM 连接的固定长度报告块中进行了规定。对于 GEM 连接，峰值速率对应峰值信息速率，维持速率对应维持信息速率。

所有报告类型使用 1 字节长的公共域来发送缓存中的数据块数目。该域的配置基于 ITU-T G.983.4 规范的 mini-slot 中的这个域。然而 G.983.4 定义了一个无效编码而不是预留编码，所以 ONU 可以指示它无法报告实际值。修订后的编码指针见表 3。

表 3 DBA 报告域的编码指针

队列长度	二进制输入 (ONU)	字节编码	二进制输出 (OLT)
0-127	00000000abcdefg	0abcdefg	00000000abcdefg
128-255	00000001abcdefx	10abcdef	00000001abcdef1
256-511	0000001abcdexxx	110abcde	0000001abcde111
512-1023	000001abcdxxxxx	1110abcd	000001abcd11111
1024-2047	00001abcxxxxxxx	11110abc	00001abc1111111
2048-4095	0001abxxxxxxxxx	111110ab	0001ab111111111
4096-8191	001axxxxxxxxxxxx	1111110a	001a11111111111

>8191	01xxxxxxxxxxxxx	11111110	01111111111111
Invalid	N/A	11111111	N/A

表 3 中的队列长度指的是 T-CONT 缓存里缺省为 48 字节的 GEM 报告块的数量。尽管队列结构和实现相关，但 T-CONT 缓存的概念和 ITU-T G.983.4 中 1.3 节定义的相同。

注：GEM 中的报告

对于 GEM，实际的分组长度用报告块的数量来量化。长度为 B 的报告块数量是通过全部合并过程得到的。简单的说，有长度为 L_i ($i=1, \dots, k$) 的 k 个分组在一个 T-CONT 缓存中，报告值 R 可以计算如下：

$$R = \text{int} \left(0.99 + \frac{1}{B} \sum_{i=1}^k L_i \right), \text{ 其中 int() 表示取整。}$$

6.5.2.2 对 ONU 和 OLT 的合法操作

Piggy-back DBA 报告方式对于 ONU 是可选的。如果 ONU 不支持 piggy-back 报告方式，它必须支持模式 0 的报告格式。ONU 可选支持模式 1、2 或者两个都支持。OLT 必须支持 piggy-back DBA 模式 0，可选支持模式 1 和 2。

OLT 通过 OMCI 发现 ONU 的能力。根据 ONU 和自身能力，OLT 可设置每个 T-CONT 的报告模式。ONU 应能以正常方式响应 DBRu 分配（置 Flag 位）。

6.5.2.3 异常事件的处理

OLT 不应发送请求错误 DBRu 格式的 DBRu 分配。DBRu 的格式由 OMCI 控制。然而，由于错误配置或交换瞬间，OLT 可能请求一种 ONU 不期望或不支持的 DBRu 类型。这种情况下，ONU 必须响应分配请求的 DBRu 格式，但 ONU 必须用无效编码填写错误请求格式中所有的域。OLT 会视其为错误并忽略该 DBRu。重要的是，由于 ONU 传送的 DBRu 长度符合 OLT 的期望，所以 OLT 可以保持突发的定界。

6.5.3 Whole ONU 报告 DBA

6.5.3.1 消息定义

whole ONU DBA 报告允许 ONU 传送任意 T-CONTs 的 DBA 报告。和 piggy-back 方式不同的是，whole ONU 允许 ONU 自由选择它希望报告的 T-CONTs。一般来说，这允许 OLT 安排一个 DBA 净荷域，该域小于包含 ONU 所有 T-CONTs 报告所需的域。然后 T-CONTs 可以竞争报告时间，ONU 也可以智能地进行安排。

该报告方式的格式和 DBRu 中使用的类似，不同的是前面附加了两字节来承载对应于 T-CONT 报告的 Alloc-ID 以及 DBRu 模式指示（使用和 Alloc-ID 的 flag 域定义相同的编码指针）的两份拷贝，如图 23 所示。由于 OLT 无法知道报告格式，所以需要 DBRu 模式指示能容忍额外的差错。在图 23 所示的格式中可以看到该信息出现三次。DBRu 模式指示中有两份完整的拷贝，一个是和模式相关的 Alloc-ID 拷贝。因此，OLT 可以比较三种模式格式，然后以多数决定报告的长度。最后结果由 CRC-8 来证实。如果因为不确定 DBRu 的格式或无法纠正的 CRC 错误丢失了定界，则 OLT 将丢弃剩下的 DBA 报告。注意 2 比特的错误会产生这种情况。

Mode 0:

Alloc-ID 12bits	MI 2b	MI 2b	Field1 8bits	CRC8 8bits
--------------------	----------	----------	-----------------	---------------

Mode 1:

Alloc-ID 12bits	MI 2b	MI 2b	Field1 8bits	Field2 8bits	CRC8 8bits
--------------------	----------	----------	-----------------	-----------------	---------------

Mode 2:

Alloc-ID 12bits	MI 2b	MI 2b	Field1 8bits	Field2 8bits	Field3 8bits	Field4 8bits	CRC8 8bits
--------------------	----------	----------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	---------------

图 23 Whole ONU DBA功能的三种报告格式

whole ONU DBA 报告结构由 CRC-8 来保护，生成多项式为 ITU-T I.432.1 规定的 $g(x)=x^8+x^2+x+1$ 。和 I.432.1 不同的是，CRC 不和 0x55 进行异或运算。OLT 执行 CRC-8 检错和纠错功能。如果 CRC-8 指示发生了无法纠正的错误，该结构中的信息将被丢弃。

6.5.3.2 对 ONU 和 OLT 的合法操作

whole ONU 报告功能对于 ONU 和 OLT 是可选的。OLT 通过 OMCI 发现 ONU 的能力。知道 ONU 的能力后，OLT 可以分配一个新的 Alloc-ID 并将其配置为 whole ONU DBA 报告。这样该 ONU 就应能以正常方式响应 Alloc-ID。

6.5.3.3 异常事件的处理

在 ONU 不支持 whole DBA 报告功能时，OLT 不应该配置 whole DBA 报告的 Alloc-ID。然而，如果 OLT 进行了这样的配置，ONU 会响应分配，但会将净荷域全部置 0，视为无报告发送。OLT 接收到这种无信息的发送后会将其丢弃。

7 GTC 消息

7.1 概述

本节主要规定物理层的 OAM 信息。

有三种方式在网管系统、OLT 和 ONU 间传递信息。

嵌入式 OAM 通道 (Embedded OAM channels)：上下行流的帧结构中都定义了相应的字段，用于实时传送安全交换、DBA 和监测的链路 BER 信息。

PLOAM 信息 (PLOAM messages)：13 字节的消息用于传递 ONU 和 OLT 间 OAM 功能信息。

承载 OMCI 的 OAM 信息：通过指定的 GEM 通道传输承载 OMCI 的 OAM 信息。OMCI 的语法在本标准第 4 部分中规定。

7.2 PLOAM 消息格式

PLOAM 字段的 13 字节传送由事件触发的 OAM 告警信息或 threshold-crossing 告警信息，另外，所有与激活相关的信息也被映射到该字段中。

GTC 的消息结构如图 24 所示。

字节编号

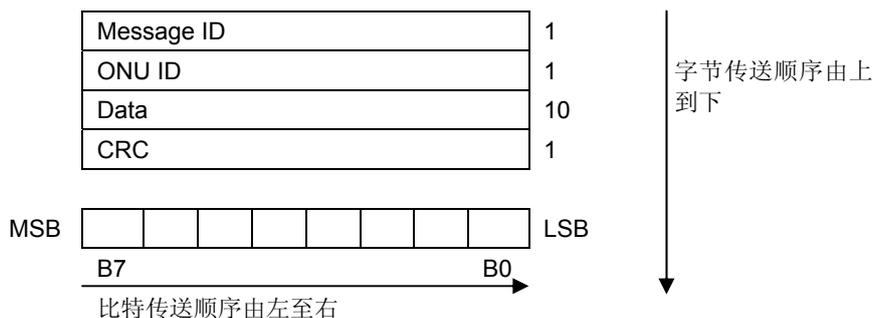


图 24 通用消息结构

7.2.1 ONU ID

ONU ID用于标识具体的ONU。在测距协议中，每个ONU获得一个编号：ONU-ID。ONU-ID取值范围可以从0到253。0xFF用于向所有的ONU广播。

7.2.2 Message ID

此ID用于标识消息类型。

7.2.3 Message Data

这些字节用于承载GTC消息的净荷。

7.2.4 CRC

该域是帧校验序列。当CRC不正确时，接收端将丢弃此消息。

除CRC域外的所有域的系数值组成的多项式乘以 x^8 ，然后被生成多项式 x^8+x^2+x+1 模2除后所得的余数即为CRC校验多项式。

在发送机侧，计算除法余数的寄存器初始值全部置0，然后通过除CRC域外的消息域除以生成的多项式来修改（如上所述），生成的余数作为8比特CRC被发送。

7.3 Control 消息

下行信息的处理时间在750 μ s之内，也就是ONU处理下行流信息并准备响应的上行流所需的时间。

7.3.1 下行消息定义

下行消息定义如表 4所示：

表 4 下行消息定义

	消息名称	功能	触发	发送次数	收到此消息后的作用
1	Upstream_Overhead	指示 ONU 上行发送的前导码字节数和预分配的均衡时延值，并且定义了 ONU 光功率和每个 SN-request 相应的 SN-transmission 的发送次数。	在激活进程开始时发送	3	ONU 设置预分配的 EqD。
2	Serial_number_mask	向 ONU 提供序列号和用于屏蔽该序列号的一部分的掩码。	为确定某 ONU 的序列号发送	1	如果收到的序列号和掩码与 ONU 的序列号匹配，ONU 能够响应功率设置和 SN 请求。
3	Assign_ONU-ID	OLT 发现该 ONU 的序列号后，分配 ONU-ID 与该序列号绑定。	当 OLT 发现某 ONU 的序列号时发送	3	带有序列号的 ONU 采用此 ONU-ID 编址。

	消息名称	功能	触发	发送次数	收到此消息后的作用
4	Ranging_Time	指示 ONU 应写入均衡时延寄存器中的值（以上行比特的数目来表示）。工作路径和保护路径的均衡时延由相应区域分别指示。	当OLT决定更新时延时发送，具体参看 ranging 协议。	3	ONU填充均衡时延值寄存器
5	Deactivate_ONU-ID	指示 ONU-ID 对应的 ONU 停止发送上行数据并重新启动，也可为广播消息。	当检测到来自ONU的 LOS、LOF、LCD、LOA和SUF告警时发送	3	ONU-ID 对应的 ONU 关闭激光器，并丢弃此 ONU-ID，ONU 回到初始状态。
6	Disable_serial_number	使能/禁止该序列号的 ONU。	接收到 OpS 命令时发送。	3 或是直到检测不到 burst	ONU 进入 Emergency-Stop 状态。ONU 不能响应 D/S 指针。ONU 进入 Initial 状态。ONU 能够响应 D/S 请求。
7	Encrypted_Port-ID	指示 ONU 信道是否需要加密。	当新信道需要加密或不需时发送。	3	标记/不标记该信道为加密。正确收到消息后发送一个确认。
8	Request_password	ONU 测距后，OLT 向 ONU 请求密码，以证实该 ONU 的合法性。OLT 有一个记录所有与它相连 ONU 密码的本地表。如果测距之后，改变密码，则此 ONU 不被激活。	某 ONU 测距成功后发送，可选。	1	发送 3 遍密码消息。
9	Assign_Alloc-ID	向具有特定 ONU-ID 的 ONU 分配一个 Alloc-ID。	当 ONU-ID 中的 T-CONT 建立后发送。	3	ONU 的 T-CONT 采用 Alloc-ID 编址；每当正确收到消息时，发送一个 ACK 消息。
10	No	PLOAM 信元中无有效信息传送。	空的消息队列时发送。	---	
11	POPUP	OLT 迫使所有进入 POPUP 状态而非 LOS/LOF 状态的 ONU 从 POPUP 状态进入到 Ranging-state 或是命令特定的 ONU 直接进入 Operation-state。	为加快激活 LOS 状态的 ONU 发送	3	ONU 进入 Ranging-state(O4, (或者进入 Operation-state (O5))。
12	Request_Key	OLT 触发 ONU 产生新的密钥，并传递给 OLT。	发送频率由 Ops 决定	1	3 次发送加密密钥消息。
13	Configure Port-ID	该消息利用 12 比特的 Port_ID 连接内部进程的 OMCI 通道。此 Port_ID 附加在 GEM 的系统开销上，用于 GEM 信道上通过寻址机制路由 OMCI。	接收到来自 OpS 的命令时发送	3	向本地管理端口分配此 Port-ID；每当正确收到消息时，发送一个 ACK 消息

	消息名称	功能	触发	发送次数	收到此消息后的作用
14	PEE	向 ONU 指示 OLT 不能同时发送 GEM 帧和 OMCC 帧。	当 OLT 检测不能同时发送 GEM 帧和 OMCC 帧时发送	1 次 / 秒	在 ONU 侧声明 PEE 告警
15	Change-Power-Level	OLT 触发 ONU 提高或降低发射机的功率电平。	当 OLT 检测 ONU 的发送功率高于/低于预定义的门限电平时发送	1	ONU 因此调整发送光功率电平
16	PST	在 PON 的保护配置结构中, 检测 ONU 和 OLT 的连接情况, 执行 APS。	周期性或者在检测到故障之后发送	1 次 / 秒	ONU 检查连接序号, 根据 APS 命令响应。
17	BER interval	定义每个 ONU 统计下行错误比特数目的计算间隔, 以下行帧的数目来表示。	OpS 定义此间隔并能集中在某一特定的 ONU 上时发送	3	ONU 开始计数器, 累计下行错误。当接收到正确的消息后发一个 acknowledge。
18	Key switching Time	OLT 向 ONU 指示使用新的加密密钥	当 OLT 开始改变密钥时发送	3	ONU 准备在指定的时间变更密钥; 每当正确收到消息时, 发送一个 ACK 消息。

7.3.2 上行消息定义

上行消息定义如表 5 所示:

表 5 上行消息定义

	消息名称	功能	触发	发送次数	收到此消息后的作用
1	Serial_number_ONU	用于传送 ONU 的序列号信息。	ONU 在测距状态下以及接收到 ranging Alloc-ID(254)时发送此消息。	在测距中, 可能发送 X 次	OLT 提取该序列号并分配一个独立的 ONU-ID 给 ONU。此消息包含当前使用的随机延时, 在获取 SN 过程中进行第一次 RTD 测量时使用该随机延时。
2	Password	应答 OLT 的 Request_password 消息, 通过密码证实该 ONU。	当 OLT 通过 "request_password" 请求密码时发送	3	如果 OLT 接收到 3 次相同的密码, 表明此 ONU 是合法的, 具体过程和系统相关。
3	Dying_Gasp	通知 OLT 该 ONU 将正常断电, 避免 OLT 发布不必要的告警。	当 ONU 正常断电时发送此消息	至少 3 次	丢弃后来的任意告警消息。通知 OpS。
4	No	PLOAM 通道速率失配和 ONU 功率控制行为	空消息队列		无

	消息名称	功能	触发	发送次数	收到此消息后的作用
5	Encryption Key	向 OLT 发送新的密钥片断。	OLT 发送 key request 消息时发送	每密钥片断发送 3 次	OLT 检查每片密钥, 如果正确则存储为合成密钥。OLT 能够安排密钥变更事件。
6	Physical Equipment Error (PEE)	向 OLT 指示该 ONU 不能同时发送从 GEM 层到 TC 层方向的 GEM 帧和 OMCC 帧。	当 ONU 检测到不能同时发送从 GEM 层到 TC 层方向的 GEM 帧和 OMCC 帧时发送。	1 次/ 秒	在 OLT 侧声明 PEE Alarm。
7	PST message	在 PON 保护配置结构中, 检测 ONU-OLT 连结性, 执行 APS。	周期性或者在检测到故障之后发送	1 次/ 秒	ONU 检查连接序号, 根据 APS 命令响应。
8	Remote Error Indication	包含在 BER Interval 期间 BIP 检测出的误码数。	当 BER Interval 超时后发送	1 次 /BER interval	OLT 能够决定每个 ONU 一定时间内的 BER
9	Acknowledge	ONU 使用它用来表明已接收到下行流信息。	接收到正确的要求发送 ack 的下行消息时发送	1 次	此消息可以提供下行消息的可靠传送。

7.3.3 下行消息格式

7.3.3.1 Upstream_Overhead 消息

Upstream_Overhead消息格式见表 6。

表 6 Upstream_Overhead消息格式

字节编号	内容	描述
1	11111111	向所有ONU发送的广播消息
2	00000001	表明消息类型为“Upstream_Overhead”
3	99999999	gggggggg = 保护比特数
4	xxxxxxxx	xxxxxxxx = 类型1的前导码比特数。类型1的前导比特包括“全1”模式。此值可设为0。
5	yyyyyyyy	yyyyyyyy = 类型2的前导码比特数。类型2的前导比特包括“全0”模式。此值可设为0。
6	cccccccc	cccccccc = 用于类型3的前导码比特模式。(注1)
7	bbbbbbbb	用于在第1个字节的定界符中可以编程的数据(注2, 3)
8	bbbbbbbb	在第2个字节的定界符中的可以编程的数据
9	bbbbbbbb	在第3个字节的定界符中的可以编程的数据
10	xxemsspp	<p>xx = 预留</p> <p>e = 预均衡机制的状态: “0” = 没有预均衡时延, “1” = 采用以下的预均衡时延。</p> <p>m = SN_Mask机制的状态: “0” = 禁止SN_Mask, “1” = 使能SN_Mask</p> <p>ss = 为响应同一 SN-request 时, 额外允许发送 SN-transmission 的最多次数。例如, ss=10 表明 ONU 能发送 3 次响应同一 SN-request 的 SN-transmission。</p> <p>默认 ONU 发送光功率电平模式</p> <p>pp = “00” – 模式 0: 正常</p>

		pp = “01” – 模式1: 正常-3dB pp = “10” – 模式2: 正常-6dB pp = “11” – 预留
11	dddddddd	预分配均衡时延的MSB (以32字节为单位)
12	dddddddd	预分配均衡时延的LSB (以32字节为单位)
<p>注1: 类型3的前导码的长度可以这样计算: 在本标准第2部分规定的整个物理层开销时间中减去分配的保护时间, 类型1、2的前导码和定界的3字节。如果需要该域可重复多次, 部分字节可调整到与定界符相邻的位置。</p> <p>注2: 定界符格式占用物理层时间的后3字节。很多情况下, 实际的定界功能不需要使用所有的3字节, 所以定界域的最高比特一般作为前导码的后部。特殊情况下如果保护时间和定界域重叠, 则保护时间优先。</p> <p>注3: 对16比特的定界符来说, 建议值为: 0x85B3, 0x8C5B, 0xB433, 0xB670和0xE6D0。对20比特的定界符来说, 建议值为: 0xB5983。</p>		

7.3.3.2 Serial_Number_Mask 消息

Serial_Number_Mask消息格式见表 7。

表 7 Serial_Number_Mask消息格式

字节编号	内容	描述
1	11111111	向所有ONU发送的广播消息
2	00000010	表明消息类型为“Serial_Number_Mask”
3	nnnnnnnn	从第4字节的LSB到第11字节的MSB的有效比特数
4	abcdefgh	序列号的第1字节
5-10	
11	stuvwxyz	序列号的第8字节
12	未规定	预留
注: 如果采用随机时延方式, 该消息可选。ONU必须能够解释该消息。		

7.3.3.3 Assign_ONU-ID 消息

Assign_ONU-ID消息格式见表 8。

表 8 Assign_ONU-ID消息格式

字节编号	内容	描述
1	11111111	向所有ONU发送的广播消息
2	00000011	表明消息类型为“Assign_ONU-ID”
3	pppppppp	ONU-ID
4	abcdefgh	序列号的第1字节
5-10	
11	stuvwxyz	序列号的第8字节
12	未规定	预留
注: 该消息用来向每个物理ONU分配一个ONU-ID。随后, 根据特定ONU的ONU-ID给每个T-CONT分配Alloc-ID。		

7.3.3.4 Ranging_Time 消息

Ranging_Time消息格式见表 9。

表 9 Ranging_Time消息格式

字节编号	内容	描述
1	ONU-ID	向指定ID对应的ONU发送的消息
2	00000100	表明消息类型为“Ranging_Time”
3	0000000b	‘0’: 工作通道均衡时延 (EqD) ‘1’: 保护通道均衡时延 (EqD)
4	dddddddd	时延的MSB
5	dddddddd	
6	dddddddd	
7	dddddddd	时延的LSB
8-12	未规定	预留
注1: 均衡时延参数的单位是比特。		
注2: 使用该消息向ONU分配工作通道的均衡时延 (EqD) 和保护通道的均衡时延。		

7.3.3.5 Deactivate_ONU-ID 消息

Deactivate_ONU-ID消息格式见表 10。

表 10 Deactivate_ONU-ID消息格式

字节编号	内容	描述
1	ONU-ID或者 11111111	向指定ID对应的ONU发送的消息或者所有ONU发送的消息。 向所有ONU广播的消息时, ONU-ID=0xFF。
2	00000101	表明消息类型为“Deactivate_ONU-ID”
3-12	未规定	预留

7.3.3.6 Disable_serial_number 消息

Disable_serial_number消息格式见表 11。

表 11 Disable_serial_number消息格式

字节编号	内容	描述
1	11111111	向所有ONU发送的广播消息
2	00000110	表明消息类型为“Disable_Serial_Number”
3	Disable/Enable	0xFF: 禁止带有此序列号的ONU占用上行资源 0x0F: 所有被禁止占用上行资源的ONU能够参加测距。第4到第11字节的内容是不相关的。 0x00: 带有此序列号的ONU能够参加测距。
4	abcdefgh	序列号的第1字节
5-10	
11	stuvwxyz	序列号的第8字节
12	未规定	预留

7.3.3.7 Encrypted Port-ID 消息

Encrypted Port-ID消息格式见表 12。

表 12 Encrypted Port-ID消息格式

字节编号	内容	描述
1	ONU-ID	向指定ID对应的ONU发送的消息
2	00001000	表明消息类型为“Encrypted_Port-ID”
3	xxxxxxba	a=1: 加密 a=0: 不加密 b = 0: 不规定 b = 1: GEM Port-ID (忽略第6、7字节)
4	abcdefgh	abcdefgh=Port-ID[11..4]
5	ijkl0000	ijklmnop = Port-ID[3..0]
6	abcdefgh	不规定
7	ijkl0000	不规定
8-12	未规定	预留

7.3.3.8 Request_Password 消息

Request_Password消息格式见表 13。

表 13 Request_Password消息格式

字节编号	内容	描述
1	ONU-ID	向指定ID对应的ONU发送的消息
2	00001001	表明消息类型为“Request_Password”
3-12	未规定	预留

7.3.3.9 Assign_Alloc-ID 消息

Assign_Alloc-ID消息格式见表 14。

表 14 Assign_Alloc-ID消息格式

字节编号	内容	描述
1	ONU-ID	向指定ID对应的ONU发送的消息
2	00001010	表明消息类型为“Assign_Alloc-ID”
3	pppppppp	Alloc-ID[11-4]
4	pppp0000	Alloc-ID[3-0]
5	Alloc-ID type	指示此Alloc-ID采用何种类型的净荷 0: 不规定 1: GEM净荷 2: DBA净荷 3-254: 预留 255: 禁止分配此Alloc-ID
6-12	未规定	预留

7.3.3.10 No 消息

No消息格式见表 15。

表 15 No消息格式

字节编号	内容	描述
1	11111111	向所有ONU发送的广播消息

2	00001011	表明消息类型为“no message”
3-12	未规定	预留

7.3.3.11 POPUP 消息

POPUP消息格式见表 16。

表 16 POPUP消息格式

字节编号	内容	描述
1	ONU-ID或 11111111	向指定ID对应的ONU发送的消息或者所有ONU发送的消息。 向所有ONU广播的消息时，ONU-ID=0xFF
2	00001100	表明消息类型为“POPUP”
3-12	未规定	预留

注：在 POPUP 状态的所有 ONU 接收到广播 POPUP 信息后，返回到测距状态（Ranging-state）；一个 ONU 接收到特定的 POPUP 信息（带有 ONU-ID）直接转移到工作状态（Operation-state），同时保持均衡时延，ONU-ID 和 Alloc-IDs 值不变。

7.3.3.12 Request_Key 消息

Request_Key消息格式见表 17。

表 17 Request_Password消息格式

字节编号	内容	描述
1	ONU-ID	向指定ID对应的ONU发送的消息
2	00001101	表明消息类型为“Request_Key”
3-12	未规定	预留

7.3.3.13 Configure-Port-ID 消息

Configure-Port-ID消息格式见表 18。

表 18 Configure-Port-ID消息格式

字节编号	内容	描述
1	ONU-ID	向指定ID对应的ONU发送的消息
2	00001110	表明消息类型为“Configure Port-ID”
3	0000000a	第4-5字节定义上行和下行流Port-ID a=1：激活此Port-ID a=0：去激活此Port-ID
4	abcdefgh	abcdefgh=Port-ID[11..4]
5	ijkl0000	ijklmnop = Port-ID[3..0]
6-12	未规定	预留

7.3.3.14 Physical Equipment Error (PEE) 消息

Physical_equipment_error消息格式见表 19。

表 19 Physical_equipment_error消息格式

字节编号	内容	描述
1	11111111	向所有ONU发送的广播消息

2	00001111	表明消息类型为“Physical_equipment_error”
3-12	未规定	预留

7.3.3.15 Change Power Level (CPL) 消息

Change Power Level消息格式见表 20。

表 20 Change Power Level消息格式

字节编号	内容	描述
1	ONU-ID或 11111111	向指定ID对应的ONU发送的消息或者所有ONU发送的消息。 向所有ONU广播的消息时，ONU-ID=0xFF。
2	00010000	表明消息类型为“Change Power level”
3	000000ID	ID = '10': 增加ONU发送光功率 ID = '01': 降低ONU发送光功率 ID = '00' 或'11': 无动作
4-12	未规定	预留

7.3.3.16 PST 消息

PST消息格式见表 21。

表 21 PST消息格式

字节编号	内容	描述
1	ONU-ID或 11111111	向指定ID对应的ONU发送的消息或者所有ONU发送的消息。 向所有ONU广播的消息时，ONU-ID=0xFF。
2	00010001	表明消息类型为“PST”
3	Line Number	可以为0或者1
4	Control	在ITU-T G.841中，这是K1字节。
5	Control	在ITU-T G.841中，这是K2字节。
6-12	未规定	预留

7.3.3.17 BER Interval 消息

BER Interval消息格式见表 22。

表 22 BER Interval消息格式

字节编号	内容	描述
1	ONU-ID 或 11111111	向指定ID对应的ONU发送的消息或者所有ONU发送的消息。 向所有ONU广播的消息时，ONU-ID=0xFF。
2	00010010	表明消息类型为“BER Interval”
3	Interval1	32比特的BER interval的最高有效位，单位是下行帧
4	Interval2	
5	Interval3	
6	Interval4	32比特的BER interval最低有效位，单位是下行帧
7-12	未规定	预留

7.3.3.18 Key_Switching_Time 消息

Key_Switching_Time消息格式见表 23。

表 23 Key_Switching_Time消息格式

字节编号	内容	描述
1	ONU-ID 或 11111111	向指定ID对应的ONU发送的消息或者所有ONU发送的消息。向所有ONU广播的消息时，ONU-ID=0xFF。
2	00010011	表明消息类型为“Key_Switching_Time”
3	FrameCounter1	30比特的复帧计数器的6个最高有效位，此计数器从使用新密钥的第一帧统计
4	FrameCounter 2	
5	FrameCounter 3	
6	FrameCounter 4	30比特的复帧计数器的8个最低有效位，从使用新密钥的第一帧统计
7-12	未规定	预留

7.3.3.19 Extended Burst Length 消息

Extended Burst Length消息格式见表 24。

表 24 Extended Burst Length消息格式

字节编号	内容	描述
1	11111111	向所有ONU发送的广播消息。
2	00010100	表明消息类型为“Extended Burst Length”（注1）
3	pppppppp	pppppppp表示当ONU在‘pre-ranged’状态时：Serial_Number状态(O3) 和Ranging 状态(O4)，类型3的前导码字节数。类型3前导码的每个字节包含了在“Upstream_Overhead”消息中第6字节指定的模式（注2）。
4	rrrrrrrr	rrrrrrrr 表示当ONU在‘ranged’状态时：Operation状态（O5）和POPUP状态（O6），类型3的前导码字节数。类型3前导码的每个字节包含了在“Upstream_Overhead”消息中第6字节指定的模式（注2）。
5 - 12	未规定	预留

注1：此消息可选。

注2：在“Upstream_Overhead”消息的定义和注释中定义了类型1、2和3的前导码（见7.3.3.1节）。当没有采用“Extended Burst Length”消息时，类型3的前导码长度等于本标准第2部分附录B规定的burst开销长度减去保护比特、类型1和2的前导码、定界符。当正确的ONU（第1字节规定的ONU-ID匹配，或者第1字节为0xFF时所有的ONU）接收到此消息时，此消息第3、4字节的给定数值取代了“Upstream_Overhead”消息中规定的类型3的长度。整个物理层最大开销长度为128字节。注意类型3的前导码的长度是一个整数。保证整个burst长度（保护比特+类型1+类型2+类型3+定界符）为整数是OLT的责任。

7.3.4 上行流消息格式

7.3.4.1 Serial_Number_ONU 消息

Serial_Number_ONU消息格式见表 25。

表 25 Serial_Number_ONU消息格式

字节编号	内容	描述
1	11111111或 ONU-ID	还没有分配ONU-ID 如果此ONU-ID被分配给该ONU
2	00000001	表明消息类型为“Serial_Number_ONU”
3	VID1	Vendor_ID的第1字节
4	VID2	Vendor_ID的第2字节
5	VID3	Vendor_ID的第3字节
6	VID4	Vendor_ID的第4字节
7	VSSN1	特定Vendor的序列号的第1字节
8	VSSN2	特定Vendor的序列号的第2字节
9	VSSN3	特定Vendor的序列号的第3字节
10	VSSN4	特定Vendor的序列号的第4字节
11	RRRRRRRR	当发送此消息时, ONU的随机延时(MSB) (以32字节为单位)
12	RRRRAGTT	RRRR = 当发送此消息时, ONU的随机延时 (LSB) (以32字节为单位) A = 不规定。 G = 此ONU支持GEM传送 (G=1表示支持) TT = ONU的发送光功率电平模式 TT=00: 低功率 TT=01: 中等功率 TT=10: 高功率 TT=11: 预留

注: ANSI T1.220规定了Vendor_ID的编码集。4个字符通过对应ASCII/ANSI字符编码映射到4字节域中。例如: Vendor_ID = ABCD -> VID1=0x41, VID2=0x42, VID3=0x43, VID4=0x44。

7.3.4.2 Password 消息

Password消息格式见表 26。

表 26 Password消息格式

字节编号	内容	描述
1	ONU-ID	指示发起此消息的ONU
2	00000010	表明消息类型为“Password”
3	pppppppp	Password1
4-11
12	pppppppp	Password10

7.3.4.3 Dying_Gasp 消息

Dying_Gasp消息格式见表 27。

表 27 Dying_Gasp消息格式

字节编号	内容	描述
------	----	----

1	ONU-ID	指示发起此消息的ONU
2	00000011	表明消息类型为“Dying_Gasp”
3-12	未规定	预留

7.3.4.4 No 消息

No消息格式见表 28。

表 28 No消息格式

字节编号	内容	描述
1	ONU-ID	指示发起此消息的ONU
2	00000100	表明消息类型为“no message”
3-12	未规定	发送数据的ONU可以采用一种固定的模式用于测量和控制它的发送光功率。ONU必须形成数据，使得当需要扰码时能够达到所需的模式。另外，应注意不要产生超过72个连续的不同数字否则OLT接收机将进入LOS状态。

7.3.4.5 Encryption_Key 消息

Encryption_Key消息格式见表 29。

表 29 Encryption_Key消息格式

字节编号	内容	描述
1	ONU-ID	指示发起此消息的 ONU
2	0000 0101	表明消息类型为“Encryption Key message”
3	Key_Index	密钥索引，用于指示此消息承载的是哪个 ONU 密钥
4	Frag_Index	索引，用于指示此消息承载的是密钥的哪部分（注）
5	KeyBYTE0	密钥（Key_Index）的部分（Frag_Index）的第 0 字节
6	KeyBYTE1	密钥（Key_Index）的部分（Frag_Index）的第 1 字节
7	KeyBYTE2	密钥（Key_Index）的部分（Frag_Index）的第 2 字节
8	KeyBYTE3	密钥（Key_Index）的部分（Frag_Index）的第 3 字节
9	KeyBYTE4	密钥（Key_Index）的部分（Frag_Index）的第 4 字节
10	KeyBYTE5	密钥（Key_Index）的部分（Frag_Index）的第 5 字节
11	KeyBYTE6	密钥（Key_Index）的部分（Frag_Index）的第 6 字节
12	KeyBYTE7	密钥（Key_Index）的部分（Frag_Index）的第 7 字节

注：如果需要很多部分携带密钥，则密钥的第一部分Frag_Index = 0，第二部分Frag_Index=1，以此类推。目前AES-128只需两部分即可携带。

7.3.4.6 Physical Equipment Error (PEE) 消息

Physical_equipment_error消息格式见表 30。

表 30 Physical_equipment_error消息格式

字节编号	内容	描述
1	ONU-ID	指示发起此消息的ONU
2	00000110	表明消息类型为“Physical_equipment_error”
3-12	未规定	预留

7.3.4.7 PST 消息

PST消息格式见表 31。

表 31 PST消息格式

字节编号	内容	描述
1	ONU-ID	指示发起此消息的ONU
2	00000111	表明消息类型为“PST”
3	Line Number	可以为0或者1
4	Control	在G.841建议中，这是K1字节
5	Control	在G.783建议中，这是K2字节
6-12	未规定	预留

7.3.4.8 REI 消息

REI消息格式见表 32。

表 32 REI消息格式

字节编号	内容	描述
1	ONU-ID	指示发起此消息的ONU
2	00001000	表明消息类型为“REI Message”
3	Error_count1	32比特的REI计数器最高有效位
4	Error_count2	
5	Error_count3	
6	Error_count4	32比特的REI计数器最低有效位
7	0000SSSS	序列号：每当发送一个REI消息时，SSSS加1。
7-12	未规定	预留

7.3.4.9 Acknowledge 消息

Acknowledge消息格式见表 33。

表 33 Acknowledge消息格式

字节编号	内容	描述
1	ONU-ID	指示发起此消息的ONU
2	00001001	表明消息类型为“Acknowledge”
3	DM_ID	下行消息的消息标识符
4	DMBYTE1	下行消息的第1字节
5	DMBYTE2	下行消息的第2字节
6	DMBYTE3	下行消息的第3字节
7	DMBYTE4	下行消息的第4字节
8	DMBYTE5	下行消息的第5字节
9	DMBYTE6	下行消息的第6字节
10	DMBYTE7	下行消息的第7字节
11	DMBYTE8	下行消息的第8字节
12	DMBYTE9	下行消息的第9字节

8 激活方式

8.1 概述

本节规定了ONU的激活过程，OLT的激活过程参见附录 C。ONU的激活过程包括：OLT和ONU之间协商工作参数、测量OLT和ONU之间的逻辑距离、建立上下行通信通道。对OLT和ONU之间逻辑距离的测量即测距。GPON采用带内方式对在线系统中的ONU进行测距。

对新加入到系统中的ONU进行测距时，已工作的ONU应暂停发送信号，以打开一个测距窗口。该窗口的大小与新加入系统的ONU的距离有关，如果能预先知道新加入系统的ONU的距离则可以减小窗口，但通常该窗口取（PON的最大距离差—20km）。

8.2 ONU 激活概述

ONU的激活过程由OLT控制，其激活过程大致如下：

- ONU 通过 Upstream_Overhead 消息接收工作参数
- ONU 根据接收到的工作参数调整自己的参数（如：发送光功率）
- OLT 通过 Serial_Number Acquisition 流程发现新 ONU 的序列号
- OLT 给所有新 ONU 分配 ONU-ID
- OLT 测量新 ONU 的均衡时延
- OLT 将测量的均衡时延传送给 ONU
- ONU 根据均衡时延调整其上行帧的发送起始点

以上激活过程是通过交互上下行标记（flag）以及PLOAM消息来完成的。

在正常工作状态下，所有传输信号都可以被用来监测信号到达的相位。通过监测传输信号的相位，可以更新均衡时延。

8.2.1 Serial_Number Acquisition 流程

Serial_Number Acquisition流程如图 25所示。首先OLT暂停对上行带宽的授权，从而产生一个安静期。等待一段测距延时之后，OLT发送Serial_Number Request。处于Serial_Number 状态（O3）的ONU接收到Serial_Number Request后等待一段SN-Response-Time时间（见8.7.1 节）再发送响应消息。OLT收到响应消息后发送Assign_ONU-ID消息，ONU进入测距状态（O4）。

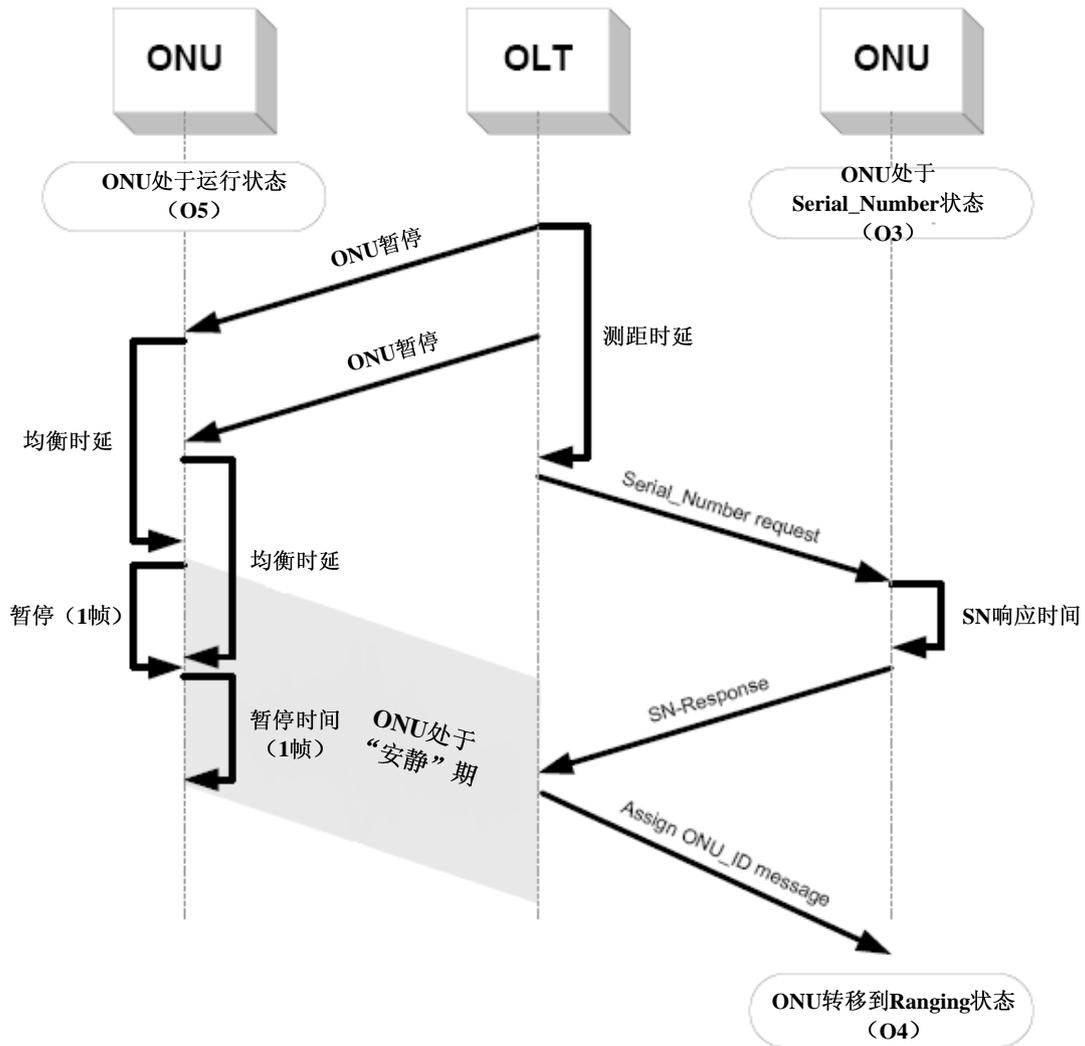


图 25 序列号获取过程

8.2.2 测距过程

测距过程如图 26所示。首先OLT产生一个安静时段,之后OLT给所有ONU发送Ranging Request消息。ONU接收到Ranging Request消息后等待Ranging-Response-Time (见8.7.2节)再发送Serial-Number消息。OLT接收到Serial-Number消息后发送Assign Ranging Time消息,ONU接收到Ranging Time消息后进入运行状态(O5)。

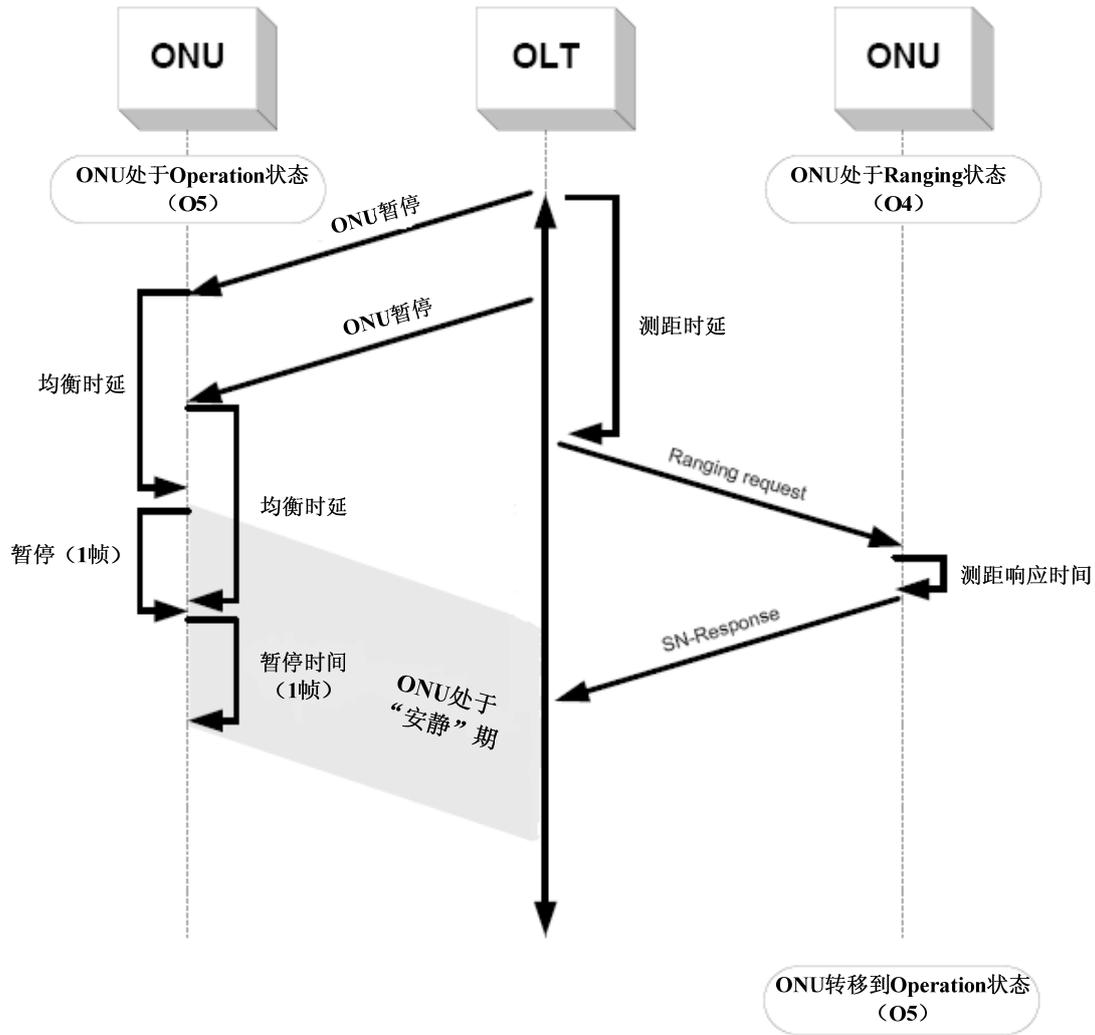


图 26 测距过程

8.3 ONU 状态

激活过程由状态和状态转移中的功能行为来规范。

8.3.1 ONU 状态

ONU有7种状态：

a) 初始状态 Initial-state (O1)

该状态的ONU刚刚上电，仍处于LOS/LOF。一旦接收到下行流，LOS和LOF消除，ONU就转移到待机状态（O2）。

b) 待机状态 Standby-state (O2)

该状态的ONU已经接收到下行流，在等待接收网络参数。当ONU接收到Upstream_Overhead消息后根据这些网络参数进行相关配置（如：定界符、功率模式、预置的均衡时延）并转移到序列号状态（O3）。

c) 序列号状态 Serial-Number-state (O3)

OLT给所有处于该状态的ONU发送Serial-Number Request消息，以发现新的ONU以及他们的序列号。当OLT发现了新的ONU后，ONU就等待OLT给它指配ONU-ID。OLT通过Assign_ONU-ID消息来指配ONU-ID。ONU获得ONU-ID后就转移到测距状态（O4）。

d) 测距状态 Ranging-state (O4)

不同的ONU发送信号到达OLT时应保持同步，为此每个ONU需要一个均衡时延，该参数是在测距状态中测得的。ONU接收到Ranging_Time消息后转移到运行状态（O5）。

e) 运行状态 Operation-state (O5)

处于该状态的ONU可以在OLT的控制下发送上行数据以及PLOAM消息，该状态中的ONU也可根据需求建立其他连接。当测距成功后，所有的ONU都依据各自的均衡时延发送信号，以保持上行帧的同步。不同ONU发送的信号将分别到达OLT，但每个信号会正好出现在上行帧中它应该出现的位置上。

暂停运行中的ONU：在正常运行时，OLT可能使ONU暂停发送信号以获得其它ONU的序列号或对其它ONU进行测距。OLT持续一段时间停止对所有上行带宽的授权，ONU按照正常的方式工作，由于没有接收到授权就不会发送信号，从而产生一个安静时段，这样OLT就使得所有ONU暂停发送信号。

f) POPUP 状态 POPUP-state (O6)

当处于运行状态（O5）的ONU检测到LOS或LOF时就进入到该状态。在该状态中ONU立即停止发送信号，这样OLT将检测到该ONU的LOS告警。

当ODN光纤中断时，许多ONU都会进入到该状态，从网络可靠性考虑，此时应采用以下方式之一：

如果启用了保护倒换，所有的ONU将倒换到备用光纤上。这时所有ONU将重新进行测距，为此OLT发送Broadcast POPUP消息通知所有ONU进入到测距状态（O4）。

如果没有保护倒换但ONU具有内部保护能力，OLT发送Directed POPUP消息通知ONU进入运行状态（O5）。当ONU进入到O5状态时，OLT需要先对该ONU进行检测，之后再恢复该ONU的业务。

如果ONU没有从LOS或LOF中恢复过来，ONU就不会收到Broadcast POPUP消息或Directed POPUP消息，经过TO2时间后ONU进入初始状态（O1）。

g) 紧急停止状态 Emergency-Stop-state (O7)

当ONU接收到的Disable_Serial_Number消息带有“Disable”选项时，ONU就进入到紧急停止状态（O7）并关闭激光器。

在O7状态下，ONU被禁止发送信号。如果ONU没有成功进入到O7状态，并且OLT仍能继续接收到ONU发送的信号，OLT将产生Dfi告警。

当ONU的故障排除后，OLT发送带有“Enable”选项的Disable_Serial_Number消息，从而激活该ONU。ONU接收到消息后进入待机状态（O2），所有的参数（包括序列号和ONU-ID）将被重新检查。

8.3.2 ONU 状态图

ONU的状态图如图 27所示。其中箭头所示的状态转移在8.4 节中规定。

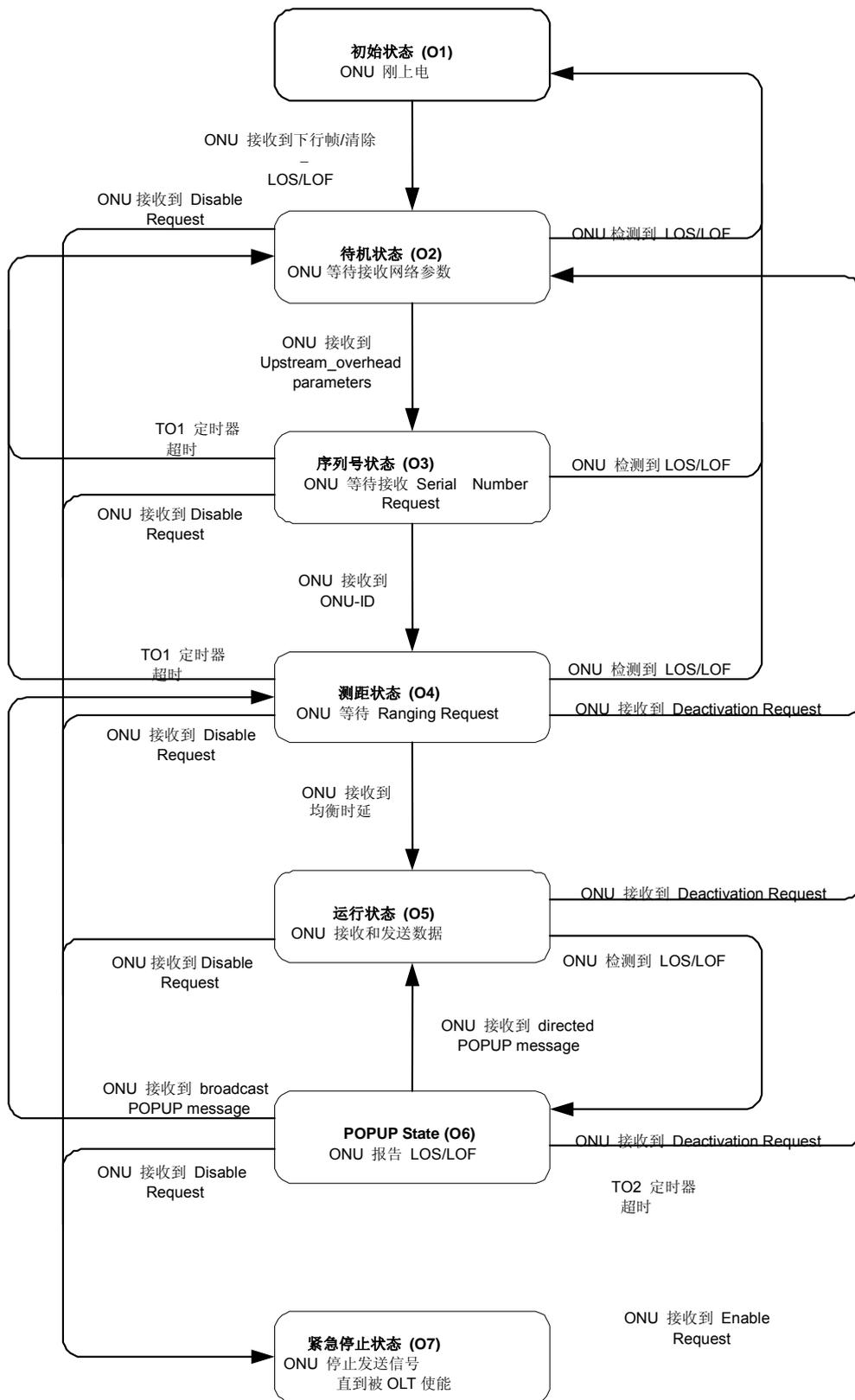


图 27 ONU的状态图

8.4 ONU 功能转移

表 34描述了ONU的功能行为，其中第一列给出了触发功能转移的事件，随后一列给出了状态转移后ONU的状态。

表 34 ONU功能转移表

事件	ONU状态						
	初始状态 (O1)	待机状态 (O2)	序列号状态 (O3)	测距状态 (O4)	运行状态 (O5)	POPUP状态 (O6)	紧急停止状态 (O7)
ONU上电=> O1	---	---	---	---	---	---	---
ONU接收到下行数据并解除LOS和LOF告警	=> O2	---	---	---	---	---	---
The ONU接收到上行开销参数(PLOAMd = Upstream_Overhead)并根据该参数配置其发射机参数	---	ONU根据接收到的参数配置其发送参数, 启动TO1定时器, 随后=> O3	---	---	---	---	---
ONU接收到Serial_Number request (BW Grant w/ Alloc-ID = 254 PLOAMu = '1')	----	----	ONU等待一段时间, 该时间包括最小响应时间、预置时延、随机时延。之后ONU发送Serial Number response消息.	----	----	----	----
超过SN_Request_Threshold	---	---	ONU改变发送功率(见8.8.1节)	---	---	---	---
ONU 接收到ONU ID (PLOAMd = Assign_ONU-ID)	---	---	ONU配置其ts ONU-ID, 随后=> O4	---	---	---	---
ONU接收到Ranging request消息 (BW Grant w/ Alloc-ID = 被测距ONU的ID, PLOAMu = '1')	---	---	---	ONU等待一段时间, 该时间包括最小响应时间、预置时延。之后ONU发送Serial Number response消息	在该状态下, Ranging request消息等同于PLOAM, 因此ONU发送PLOAM	---	---
ONU接收到Power_Level消息	---	---	---	检查ONU-ID是否匹配? - 改变发送功率	检查ONU-ID是否匹配? - 改变发送功率	---	---
ONU接收到它的均衡时延 (PLOAMd = Ranging_Time)	---	---	---	ONU设置均衡时延, 停止定时器TO1, 随后=> O5	ONU设置均衡时延	---	---
定时器TO1超时	---	---	=> O2	=> O2	---	---	---

Data request	---	---	---	---	检查Alloc ID是否匹配? - 在特定时刻进行发送	---	---
暂停发送	---	---	---	---	-暂停发送1帧	---	---
ONU接收到 Deactivation消息 (PLOAMd = Deactivate_ONU-ID)	---	---	---	检查 ONU-ID是否匹配? ONU停止定时器TO1, 随后=> O2	检查 ONU-ID是否匹配? => O2	检查ONU-ID是否匹配? ONU停止定时器TO2, 随后=> O2	---
ONU检测到LOS或LOF	---	=> O1	ONU停止定时器TO1, 随后=>O1	ONU停止定时器TO1, 随后=>O1	ONU停止发送, 启动定时器TO2, 随后=> O6		---
Broadcast POPUP消息 (PLOAMd = POPUP; w/ ONU-ID = 0xFF)	---	---	---	---	---	ONU停止定时器TO2, 启动定时器TO1, 随后=> O4	---
Directed POPUP消息(PLOAMd = POPUP; w/ ONU-ID = ID of ONU)	---	---	---	---	---	ONU停止定时器, 随后=> O5	---
定时器TO2超时	---	---	---	---	---	=> O1	---
ONU接收到停止请求(PLOAMd = Disable_Serial_Number with Disable)	---	检查SN是否匹配? => O7	检查SN是否匹配? ONU停止定时器TO1,随后=> O7	检查SN是否匹配? ONU停止定时器TO1,随后=> O7	检查SN是否匹配? => O7	检查SN是否匹配? ONU停止定时器TO2,随后=> O7	---
ONU接收到 enable request (PLOAMd = Disable_Serial_Number with Enable)	---	---	---	---	---	---	检查SN是否匹配? => O2
ONU上电掉电前的运行状态是否是O7? => O7	---	---	---	---	---	---	---

8.5 ONU 事件

8.5.1 接收 D/S PLOAM 消息

OLT一共发送3次下行PLOAM消息。ONU接收到一个有效PLOAM消息后会产生消息接收事件。有效PLOAM消息应当携带有效CRC。ONU激活过程中接收消息事件如下：

1) 接收 Upstream-Overhead 消息

处于O2状态的ONU从该信息中获得前导序列、定界符、均衡时延以及功率参数。

2) 接收 Assign ONU-ID 消息

处于O3状态的ONU检查该消息中的序列号是否与自己匹配，如果匹配，ONU就获得了ONU-ID并进入到O4状态。

3) 接收 Ranging_Time 消息

处于O4和O5状态的ONU可能接收到该消息。ONU检查该消息中的PLOAM域是否与自己的ONU-ID匹配，若匹配，ONU就获得了均衡时延。当ONU处于O4状态时会停止TO1定时器进入到O5状态。

4) 接收带有特定 ONU-ID 的 Change_Power_Level 消息

处于O4和O5状态的ONU可能接收到该消息。ONU检查该消息中的ONU-ID是否与自己的ONU-ID匹配，若匹配，ONU就根据该消息调整（增加或减小）发送功率。

5) 接收 Broadcast POPUP 消息

处于O6状态的ONU接收到该消息后进入O4状态，同时停止TO2定时器、启动TO1定时器。

6) 接收 Directed POPUP 消息

处于O6状态的ONU接收到该消息后，检查PLOAM域的ONU-ID是否与自己的ONU-ID匹配，若匹配，则ONU停止定时器TO2并进入到O5状态。

7) 接收 Deactivate_ONU-ID 消息

处于O4、O5和O6状态的ONU可能接收到该消息。处于O4状态的ONU检查PLOAM域中的ONU-ID是否与自己的ONU-ID匹配，若匹配，ONU就停止发送信号并进入到O2状态，同时停止定时器TO1。处于O5状态的ONU检查PLOAM域中的ONU-ID是否与自己的ONU-ID匹配，若匹配，ONU就停止发送信号并进入到O2状态。处于O6状态的ONU检查PLOAM域中的ONU-ID是否与自己的ONU-ID匹配，若匹配，ONU就停止发送信号并进入到O2状态，同时停止定时器TO2。

8) 接收带有“Disable”参数的 Disable_Serial_Number 消息

处于O2、O3、O4、O5、O6状态的ONU可能接收到该消息。处于O2状态的ONU检查该消息中的序列号是否与自己的序列号匹配，若匹配，ONU就停止发送信号并进入到O7状态。处于O3、O4状态的ONU检查该消息中的序列号是否与自己的序列号匹配，若匹配，ONU就停止发送信号并进入到O7状态，同时停止定时器TO1。处于O5状态的ONU检查该消息中的序列号是否与自己的序列号匹配，若匹配，ONU就停止发送信号并进入到O7状态。处于O6状态的ONU检查该消息中的序列号是否与自己的序列号匹配，若匹配，ONU就停止发送信号并进入到O7状态，同时停止定时器TO2。

9) 接收带有“Enable”参数的 Disable_Serial_Number 消息

处于O7状态的ONU接收到该消息检查其中的序列号是否与自己的序列号匹配，若匹配，ONU就进入到O2状态。

8.5.2 接收 D/S 带宽映射消息

OLT发送给ONU的特定Request消息一般在下行帧的开销段中携带，尤其是在Bandwidth Grant、Pointer、Flag域中。这些Request消息需要ONU的实时响应。与PLOAM消息不同，这些Request消息只发送一次。

1) 接收 Serial_Number Request 消息

该事件仅发生在Serial-Number状态（O3）。Serial-Number Request消息中：Alloc-ID=254, PLOAMu='1', SStart = xx, SStop = xx + 12, 其中xx是上行帧的起始时间。为了对光功率进行校准，ONU发送序列号的时间可以超出SStop所规定的时间500ns以内。

ONU接收到该消息后等待一段时间再发送信号，等待的时间包括：ONU响应时间、随机时延、预置均衡时延。ONU发送的响应消息中包括如下域：PLOu、PLOAMu。

2) 接收 Ranging Request 消息

该事件仅发生在Ranging状态（O4）。该消息中：Alloc-ID=被测距的ONU-ID、PLOAMu='1', SStart = xx, SStop = xx + 12, 其中xx是上行帧的起始时间。为了对光功率进行校准，ONU发送响应消息的时间可以超出SStop规定的78字节以内。

ONU 接收到该消息后等待一段时间再发送信号，等待的时间包括：ONU 响应时间、预置均衡时延。ONU 发送的响应消息中包括如下域：PLOu、PLOAMu。

3) “接收”到 Halt Request 消息

该事件仅发生在 Operation 状态（O5）。ONU 实际上并没有接收到 Halt 消息，当不对 ONU 进行带宽分配时产生该事件。这时 OLT 指示正在打开 S/N 或测距窗口。

4) 接收到 Data Request 消息

该事件仅发生在处于 Operation 状态（O5）。该消息中：Alloc-ID = 被授权 T-CONT 的 Alloc-ID, SStart = xx, SStop = yy, 其中 xx 和 yy 分别为起始时间和结束时间。ONU 在分配给它的时系内发送信号，其发送信号的起始时间应正好是 xx，停止发送信号的时间也应正好是 yy。

8.5.3 其它事件

1) SN_Requests Threshold Crossed

该事件指处于 O3 状态 ONU 的 Serial_Number Request 计数器等于或超过 Serial Number 门限，建议门限值为 10。ONU 的相应动作见 8.8.1 节。

2) 定时器 TO1 超时

该事件指激活过程在规定的时间内没有完成。发生该事件后 ONU 进入 O2 状态。TO1 为 10s。

3) 检测到 LOS 或 LOF

当 ONU 处于 O2 状态时检测到 LOS 或 LOF，则 ONU 进入到 O1 状态。

当 ONU 处于 O3、O4 状态时检测到 LOS 或 LOF，则 ONU 进入到 O1 状态，同时停止定时器 TO1。

当 ONU 处于 O5 状态时检测到 LOS 或 LOF，则 ONU 进入到 O6 状态，同时启动定时器 TO2。

4) 清除 LOS 或 LOF

处于 O1 状态的 ONU 清除了 LOS 或 LOF 告警后就进入 O2 状态。

5) 定时器 TO2 超时

该事件指处于 O6 状态的 ONU 在一定时间内没有接收到 POPUP 消息。如果 TO2 超时，ONU 就进入 O1 状态。建议 TO2 为 100ms。

8.6 在 O3 和 O4 状态下的安静时长

8.6.1 OLT 打开—安静时段

在 O3 和 O4 状态，新的 ONU 会发送 S/N 响应消息。但是 OLT 并不知道这些新 ONU 的均衡时延，如果此时在线的 ONU 也发送数据，OLT 就不能避免在线 ONU 和新 ONU 发送数据的冲突。为此，OLT 将暂停在线 ONU 的发送信号，产生一安静时段，该时段专门为新 ONU 发送 S/N 响应消息。

为了产生一安静时段，OLT 将暂停发送对在线 ONU 的授权。需要注意的是，ONU 接收到暂停发送指示前已分配好的授权仍可能发送数据，但随后就会停止发送数据。

ONU 通常停止发送的时间为几帧的发送时间，OLT 必需确保这段时间足够使 ONU 返回正常运行状态。具体的时间长度依赖于具体实现技术。

8.6.1.1 通过知道确切的 ONU 距离来减少安静时长

如果能预先知道 ONU 的确切距离，OLT 产生的安静时长不需要为最大值。本标准不规定其具体实现方法。

8.6.2 O3 状态下的安静时长

在O3状态下的安静时长建议为250us：该时间包括了最大传输距离（20km）的往返时延—200 us、随机时延—48us、ONU响应时间差—2us。

8.6.3 O4 状态下的安静时长

在 O4 状态下的安静时长建议为 202us：该时间包括了最大传输距离（20km）的往返时延—200us、ONU 响应时间差—2us。

8.7 ONU 定时

ONU所维持的上行帧发送时钟同步于下行帧发送时钟及偏移量，其中偏移量是ONU最小响应时间以及均衡时延的和。ONU最小响应时间是 35 ± 1 us，在这段时间内ONU接收包含上行带宽映射的下行帧、进行D/S和U/S的FEC校验、准备上行响应消息。均衡时延对处于O3、O4以及O5状态下的ONU是不同的。处于O3、O4状态的ONU使用预均衡时延，处于O5状态的ONU使用接收到的Ranging-Time消息中包含的均衡时延。

8.7.1 O3 状态下的 ONU 定时

ONU接收到Serial_Number Request消息后等待SN-Response-Time时间后再发送Serial_Number Response消息。SN-Response-Time包括：ONU响应时间、预均衡时延、Sstart、随机时延。Serial_Number Response消息包括PLOAMu，如图 28所示。

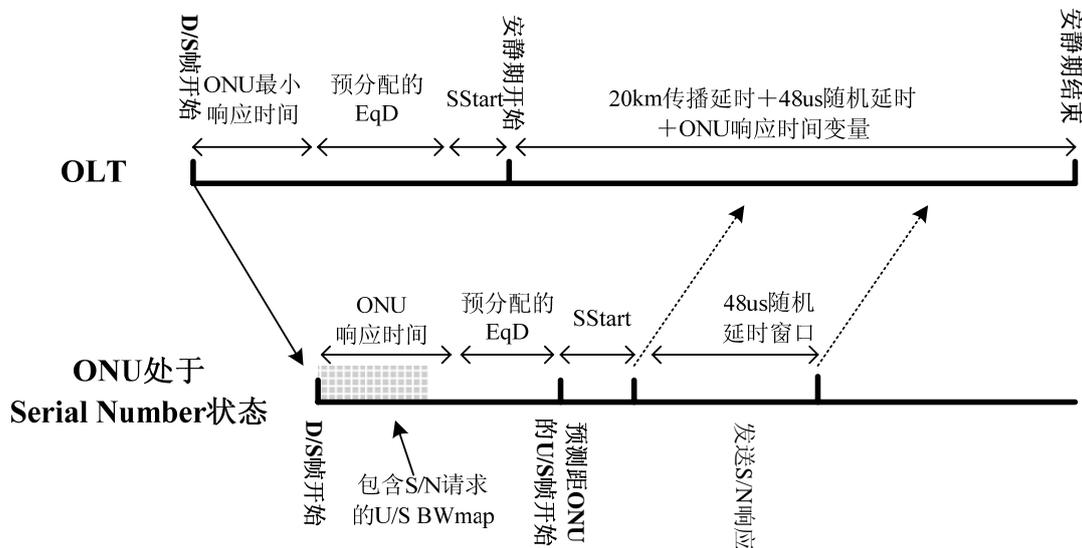


图 28 处于O3状态的ONU的定时

8.7.1.1 随机时延

在O3状态下，OLT发送的Serial-Number Request消息是广播给所有ONU的，因此响应的ONU可能不止1个。那么OLT接收到的响应消息就可能是多个ONU响应消息的叠加，这样OLT就不能正确识别这些消息。为此需要采用随机时延来解决这个问题。

在随机时延方法中，在发送序列号之前ONU产生一个随机数，该随机数与时延单位相乘就得出随机时延。所有速率下的时延单位都是32字节。随机时延必需是时延单位的整数倍。每发送一次序列号之后，ONU就产生一个新的随机数，从而避免了冲突的发生。

随机时延值的范围是0-48μs。该范围是从最早可能的发送开始（零时延）到最晚可能的发送结束（包括ONU内部处理时延和上行突发持续时间）。

8.7.2 O4 状态下的 ONU 定时

ONU接收到Ranging Request消息后等待Ranging-Response-Time时间后再发送Ranging Response消息。Ranging-Response-Time包括：ONU响应时间、预均衡时延、Sstart。Ranging Response消息包括PLOAMu，如图 29所示。

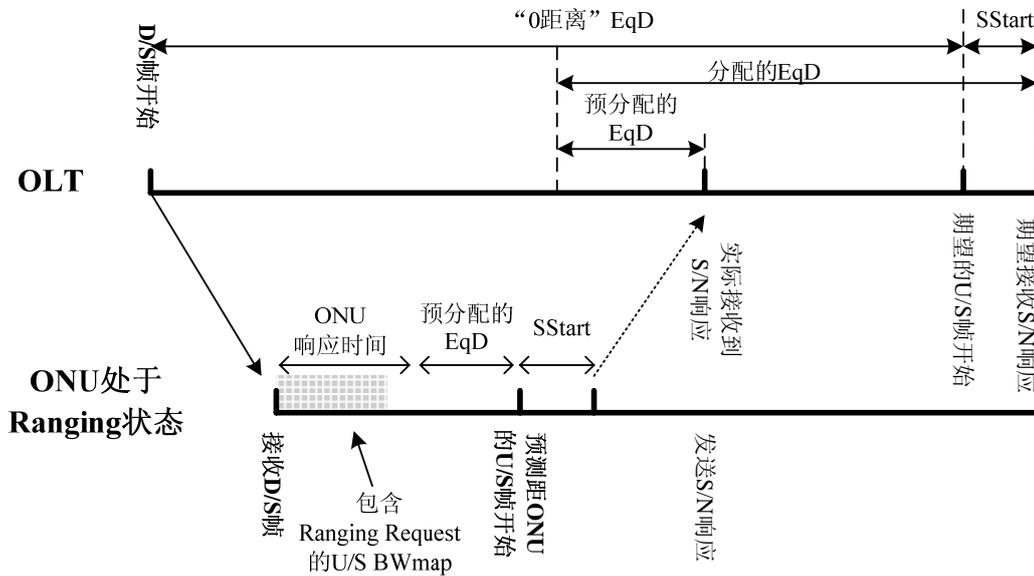


图 29 处于O4状态的ONU的定时

8.7.2.1 测量均衡时延

OLT有2种方法进行均衡时延的测量。其中之一是：实际接收到S/N响应消息的时间和预计接收到S/N响应消息的时间之间的差加上预置均衡时延。另一种方法是：先测量RTD，即发送S/N Request消息的开始时间与实际接收到S/N Response的时间差减去Sstart，那么均衡时延EqD(n) = Teqd - RTD(n)，其中Teqd是“0距离均衡时延”即OLT发送D/S帧的时间与预计开始接收U/S帧的时间差。

ONU得到均衡时延参数后就可以同步于上行帧的开始。实际的上行数据是根据带宽授权中的指针进行发送的。

8.7.2.2 相位检测和均衡时延更新

OLT期望ONU所发送的信号正好在期望的上行帧的固定位置到达。但是ONU发送信号的相位可能由于光纤老化或环境温度的变化而漂移。这样就需要重新计算或更新均衡时延，这种小的更改可以避免对ONU进行重新测距。

如果帧提前到达，漂移时间应加入到均衡时延中；如果帧推迟到达，漂移时间应从均衡时延中扣除。

OLT计算新的均衡时延并通过Ranging_Time PLOAM消息发送给ONU。

8.7.3 GPON 距离超过 20km

GPON的典型距离是0~20km，但是GPON协议设计距离比20km还大。本标准第2部分中规定GPON的最大逻辑距离可以到60km，最大逻辑距离差为20km。无论GPON的逻辑距离是上述两种情况中的哪一种，最大均衡时延或预均衡时延为250us。但实际部署时最大均衡时延或预均衡时延可选为625us，这样可以使GPON的传输距离达到极限。

对长距离的GPON系统的测距与20 km的GPON系统一样。

8.7.4 在 O5 状态下的 ONU 定时

在O5状态下，ONU同步下行帧时钟，但要弥补ONU响应时间和均衡时间，如图 30所示。当ONU接收带宽授权时，根据Sstart域发送信号。

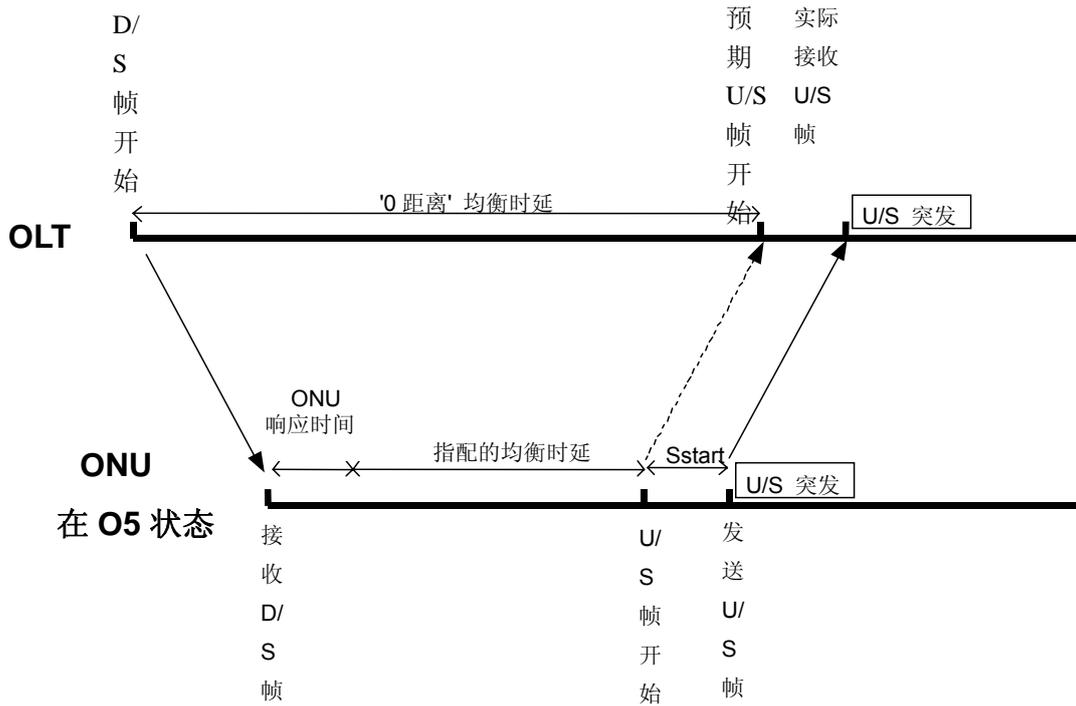


图 30 处于O5状态的ONU的定时

8.8 功率电平调整

不同ONU在ODN中的光损耗不同，OLT接收机在高速率条件下应具有较高的灵敏度和比较大的动态范围。

为减轻对OLT接收机动态范围的要求，对具有较低ODN光损耗的ONU，应降低其发送功率电平，以防止OLT接收机过载；对具有较高ODN光损耗的ONU，应增加其发送功率电平。

功率电平调整指ONU能够改变（提高或降低）其发送功率电平，从而提高OLT的信噪比。功率电平调整有两种方式：ONU发起的、OLT发起的。

8.8.1 ONU 发起的功率电平调整

ONU对一定数量的S/N Request消息进行响应，但仍接收不到OLT发送的Assign_ONU-ID消息，这时ONU就要发起功率电平调整。在这里S/N Request消息的数量被称为S/N_Request_Threshold。建议S/N_Request_Threshold为10。

刚开始ONU采用Upstream_Overhead消息中规定的功率电平模式。当超过S/N_Request_Threshold时ONU以模3的方式（...0, 1, 2, 0, 1, 2, ...）提高其发送电平继续响应S/N Request消息。调整发送功率电平后如果又超过了S/N_Request_Threshold，ONU就继续以模3的方式提高其发送功率电平，直到其收到Assign_ONU-ID消息或Disable ONU消息。

8.8.2 OLT 发起的功率电平调整

当OLT确定ONU需要调整功率电平时就启动OLT发起的功率电平调整。处于O4、O5状态的ONU出现不能接受的BER时，OLT就可以确定该ONU需要调整其发送功率电平。于是OLT就向该ONU发送Change Power Level消息，使其提高或降低发送功率电平。

9 告警和性能监测

告警和性能监测包括了检测链路失效和监测链路性能的机制。

9.1 告警

ONU和OLT的OAM功能如图 31所示，图 31中也同时表示了OLT和ONU之间的通知信号。

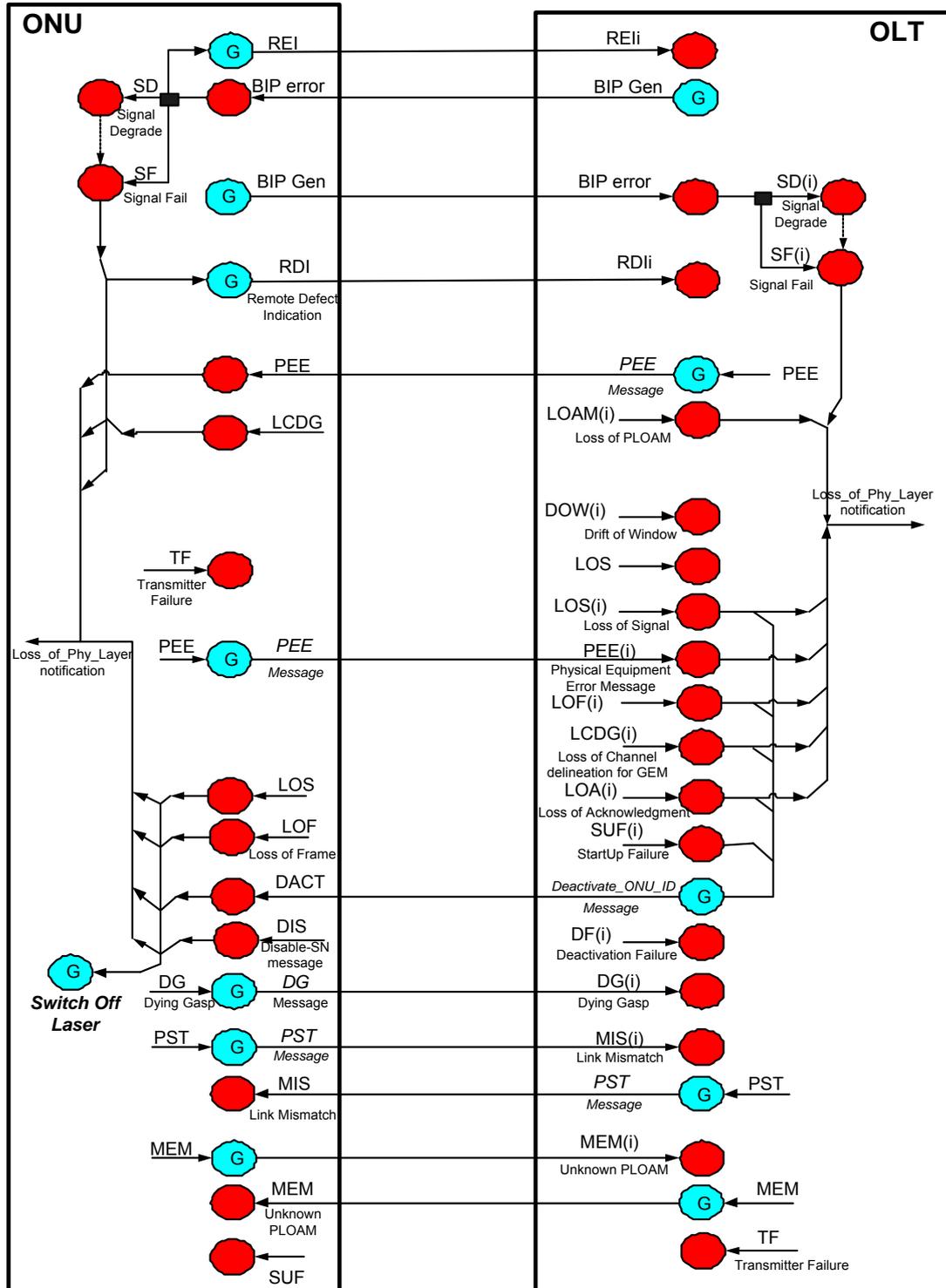


图 31 告警

9.1.1 OLT 检测到的信号

表 35 OLT检测到的信号

类型		描述			
		检测条件	动作	取消条件	动作
LOSi	ONU _i 的信号丢失	在连续4个非相邻分配的帧里没有ONU的有效光信号。	如果 OLT 支持 POPUP, 它将发送 3 次 POPUP 信息。如果 OLT 不支持 POPUP, 它将发送 3 次无效 ONU-ID 信息。产生 Loss_of_phy_layer_l 通知	当OLT收到ONU _i 有效的光信号	-
LOS	信号丢失	在连续4个帧里没有收到ONU的任何(PON完全失效)有效光信号。		当OLT接收到至少一路上行信号	
LOFi	ONU _i 帧丢失	连续4帧范围内没有收到有效的定界帧	发送3次 Deactivate_ONU-ID消息, 产生 Loss_of_phy_layer_l 通知	当在运行状态恢复ONU _i 的帧定界	-
DOWi	ONU _i 窗口漂移	在U/S虚帧中, ONU的发送信号没有在期望的位置到达。DOWi意味着相位的移动但是可以通过改变EqD来纠正。	向ONU _i 发送修改的EqD	当OLT收到ONU _i 的正确位置的发送	-
SFi	ONU _i 信号失效	当ONU _i 的上行BER $\geq 10^{-Y}$ 进入此状态。Y值应在3到8的范围可配置。	发送3次 Deactivate_ONU-ID消息, 产生 Loss_of_phy_layer_l 通知	当上行ONU _i 的BER $< 10^{-Y-1}$, 清除此状态	-
SDi	ONU _i 信号降级	当ONU _i 的上行 $\geq 10^{-X}$ 进入此状态。X值应在4到9的范围可配置, 但是应高于Y(SF门限)。	-	当上行ONU _i 的BER $< 10^{-X-1}$, 清除此状态	-
LCDGi	GEM通道定界丢失	根据图 20的定界状态机, 当ONU _i 的GEM通道定界丢失时	产生 Loss_of_phy_layer_l 通知	当ONU _i 的GEM通道定界恢复	-
RDli	ONU _i 远端缺陷指示	当ONU _i 中的RDI域被声明, ONU处接收到的OLT的数据有缺陷。	-	当ONU _i 的RDI信号消失	-
TF	发射机失效	没有标称背光电流或驱动电流超过规定最大值	-	-	-
SUFi	ONU _i 启动失败	OLT接收到ONU的光脉冲后, 对该ONU测距失败n次, (n=2)	发送3次 Deactivate_ONU-ID消息	ONU测距成功	-
DFi	ONU _i 去激活失败	ONU对三次的 Deactivate_ONU-ID消息没有正确作出响应	-	通过操作员取消	-
LOAi	ONU _i 确认丢失	OLT没有收到ONU _i 应发送的上行确认信息	发送3次 Deactivate_ONU-ID消息, 产生 Loss_of_phy_layer_l 通知	当OLT收到ONU _i 的确认。	-

DGi	接收到ONU _i 的Dying-Gasp	当OLT接收到ONU _i 的DG消息, 声明DGi	忽略来自ONU的告警, 产生Loss_of_phy_layer_l通知	当OLT收到测距过程中的PLOAM消息	-
LOAM _i	ONU _i 的PLOAM丢失	当OLT在向ONU _i 发送SendPLOAMU连续三次没有收到ONU _i 的PLOAM	发送3次Deactivate_ONU-ID消息, 产生Loss_of_phy_layer_l通知	当OLT收到测距过程中对应于运行状态中PLOAM标记的PLOAM消息	-
MEM _i	ONU _i 的消息错误消息	OLT接收到来自ONU _i 的未知消息	-	当操作员被通知	-
MIS _i	ONU _i 链路失配	OLT监测到收到的PST _i 和发送的PST不同	-	OLT检测到收到的PST _i 和发送的PST是相同的。	-
PEE _i	ONU _i 物理设备错误	当OLT从OUN接收到一个PEE消息	产生Loss_of_phy_layer_l通知	当OLT没有收到ONU _i 的PEE消息的3秒后。	-

9.1.2 ONU 检测到的信号

表 36 ONU检测到的信号

类型		描述			
		检测条件	动作	取消条件	动作
LOS	信号丢失	下行流中没有收到有效光信号	关闭激光器, 产生Loss_of_phy_layer通知, 根据第8节的规定改变状态	有效光信号	进入Standby-State状态
LOF	帧丢失	从OLT连续收到5个无效的PSYNC	关闭激光器, 产生Loss_of_phy_layer通知, 根据第8节的规定改变状态	连续收到两个正确的PSYNC	进入Standby-State状态
SF	信号失效	当下行BER大于 $\geq 10^{-Y}$, Y在范围3到8之间是可配置的	-	当下行BER $< 10^{-(Y+1)}$	-
SD	信号降级	当下行BER大于 $\geq 10^{-X}$, X在范围4到9之间是可配置的, 但是应高于Y。	-	当下行BER $< 10^{-(X+1)}$	-
LCDG	GEM通道定界丢失	根据图 20的定界状态机, 当GEM通道定界丢失时	产生Loss_of_phy_layer通知	当进入正确GEM定界	-
TF	发射机失效	没有标称背光电流或驱动电流超过规定最大值	-	-	-
SUF	启动失败	OUN测距失败(见测距协议)	-	当测距成功	-
MEM	消息错误消息	当ONU接收到未知消息	-	-	-
DACT	ONU-ID去激活	当ONU收到Deactivate_ONU-ID消息。它指示ONU对自己去激活	关闭激光器, 产生Loss_of_phy_layer通知, 进入Initial-State状态	收到Upstream_overhead消息	使能激光器

DIS	禁用ONU	当ONU接收到带有自己序列号的Disable_serial_number消息并且使能标记为0xFE。ONU即使经过断电也应保持该状态。	关闭激光器，进入Emergency-Stop状态，产生Loss_of_phy_layer通知	当ONU收到Disable_serial_number消息并且使能标记flag=0x0F或接收到带有自己序列号的Disable_serial_number消息并且使能标记flag=0x00。	进入初始化状态
MIS	链路失配	OUN检测到接收的PST和发送的PST不同	-	OUN检测到接收的PST和发送的PST相同	-
PEE	物理设备错	当ONU收到一个PEE消息。	产生Loss_of_physical_layer通知	当ONU3秒内没有收到PEE消息	
RDI	远端缺陷指示	ONU检测到OLT的发送缺陷。比如：下行数据路径失效，包括FEC后的额外比特错误、开销错误等。单比特错不认为是缺陷。	设置PLOu中的RDI比特	当OLT发送缺陷消失	清除PLOu中的RDI比特

9.1.3 SD 和 SF 门限规定

作为GTC协议提供的性能监测的一部分，信号失效（SF）和信号降级（SD）条件通过接收端计算并且作为告警来声明。

SF和SD是通过计算一段时间内BIP违反数量和与预置门限比较得到的。清除SF和SD也是通过类似的方式，只是清除所需的BER值比进入的门限低一个数量级，例如如果SD在BER为 10^{-5} 被声明，则应在BER为 10^{-6} 时被清除。

监测时间和监测门限依赖于信号速率、要求的BER和请求监测的概率。

9.2 性能监测

9.2.1 OLT 中监测的项目

表 37 OLT中监测的项目

类型		描述	
		监测条件	动作
ERRi	ONU _i 的BIP错误	比较接收到的BIP8和计算的BIP8，如果不同则ERRi计数器加1	误差比特的数量在ERR中累计。一旦BER超过了定义的门限，则声明SD _i 或SF _i 。
REIi	ONU _i 远端错误指示	一旦ONU检测到BIP错误，它应在上行REI PLOAM消息中发送错误数量。当OLT接收到的REIi不为0，则值加入REIi计数器。	REIi计数器相应增加

9.2.2 ONU 中监测的项目

表 38 ONU中监测的项目

类型		描述	
		检测条件	动作
ERR	BIP错误	比较接收到的BIP8和计算的BIP8，如果不同则ERRi计数器加1	误差比特的数量在ERR中累计。一旦BER超过了定义的门限，则声明SD或SF告警。

9.2.3 性能监测（PM）事件

近端PM基于检测到的缺陷和帧/发送BIP错误，而远端PM基于接收到的REI和RDI指示。

10 安全

10.1 基本威胁模型

在PON系统中，下行数据广播给PON上的所有ONU。如果有恶意用户对ONU重新编程，那他就能听到所有用户的所有下行数据。这是PON安全系统会遇到的“偷听”威胁。其他更多的外来威胁实际上并不重要，因为如果要实施这些攻击，用户要消耗更多的资源，而这些多消耗的资源与他的所得并不相称。

10.2 加密系统

GPON系统可采用多种加密算法，具体算法应符合国家相关规定。在开启加密算法前，OLT和ONU应通过OMCI通道来协商算法。

以先进加密标准（AES）为例说明GPON系统的加密。它是一个块密码算法，以16字节（128比特）的数据块进行操作，可以使用128，192或256比特密钥。该加密法则由美国NIST发布的文件定义。

在这个标准中有几种操作模式，GPON使用计数器（CTR）模式。密码算法产生一个16字节的伪随机码块流，伪随机码块与输入的明文进行异或运算后产生密文输出。密文与同样的伪随机码进行异或运算后可以重产生明文。密钥长度是固定的，为128比特。更多比特的密钥也支持，不过这种情况视为可选。

CTR模式使用OLT和所有ONU都相同的同步crypto-counter。crypto-counter的结构如下：计数器宽度为46比特，低16比特为帧内计数器，高30比特是帧间计数器。

帧内计数器在下行帧开始时置为0（第一字节是PCBd），每4字节递增。例如，在1.244 Gb/s下行速率系统中，计数器的运行范围是0到4859。

帧间计数器与在PCBd的Ident域中传递的复帧计数器保持一致。ONU实现一个同步的本地计数器，因此对这个域的错误有恢复能力。

随机密码块排列在数据包净荷的起始位置。对于GEM分片的情况，只加密净荷，不加密Port_ID帧头。由于碎片不一定是一个编码块的整数，尾数据块（长度为1到16字节）与尾AES密码块（长度为16字节）的高位部分进行异或运算。密码块结尾的多余部分将会被丢弃。

注意crypto-counter与GTC下行帧对齐，但是AES密码块与数据净荷对齐。这两个序列的关系如图 32所示。当数据包在OLT上发送或者在ONU上接收时，帧头第一个字节的位置被标注。该字节位置的crypto-counter值用作数据包的密码块计数器的开始值。对于数据包中接下来的密码块，计数器对每个块递增1。这种方法可以保证计数器的同一值不会被重复使用。

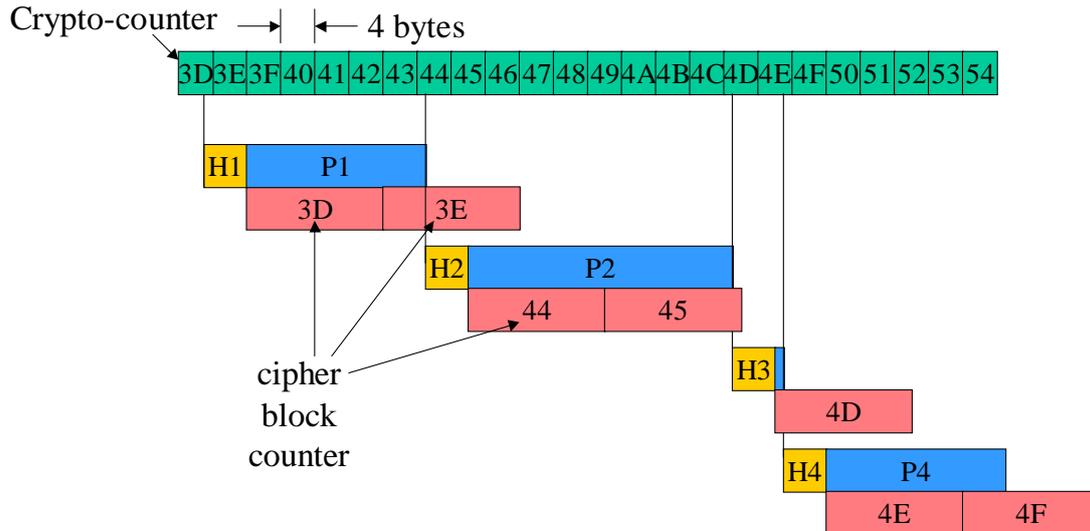


图 32 序列和密码块序列的关系

46比特块计数器的值按照如下方式推导出AES算法的128比特输入：46比特复制3次后变成一个138比特的序列。丢弃高位的10比特后得到的128比特按照AES算法加密，生成128比特随机密码，然后于用户净荷数据进行异或操作。

注：下行的加密处理过程在FEC之前。然而，crypto-counter的值来自发送的帧，因此crypto-counter值中要包括所有FEC校验字节，最后再进行扰码处理。

10.3 密钥交换和切换

假设OLT和ONU已经为Port_ID配置了加密操作，设置了一个可用密钥。ONU和OLT都在他们的active_key_registers存储了密钥的资料，加密算法使用该寄存器。

密钥交换由OLT发起。OLT在PLOAM通道中发送key_request_message，ONU作出响应：产生、存储和发送该密钥。ONU在shadow_key_register中存储新密钥。由于PLOAM消息的长度有限，密钥分为两片进行发送，使用片断字段来指示发送密钥的哪个部分。为保证冗余，密钥的这两个部分都会被发送三次。

如果OLT未能成功接收密钥的任何一个部分三次，OLT将会要求ONU产生另外一个密钥，并发送新的key_request_message。密钥传送失败三次后，OLT将会宣布密钥同步丢失。

一旦OLT成功接收到密钥，有效密钥会被存储在其shadow_key_register。然后系统进行密钥切换。它使用Key_switching_time消息传送该帧的超帧编号给ONU。该消息将会发送三次，ONU仅需要接收其中一个正确的拷贝来获知变换的时间。在选定帧的开始，OLT复制shadow_key_register的内容到active_key_register，ONU将赋值它的shadow_key_register到active_key_register。这样，OLT和ONU都开始使用新密钥，他们交换的任何新的PDU（信元或帧）边界都正好相同。

注意AES算法要求基于一个单独密钥产生一系列循环密钥。这种密钥的调度操作需要花费时间，一旦key_switch比特被改变，OLT和ONU都必须准备好使用新密钥。

11 前向纠错

11.1 概述

前向纠错（FEC）通过在通信系统的传送层传输编码后的数据进行。编码引入了冗余，这使得解码器可以检测和纠正传输错误。例如，对于输入的BER = 10^{-4} 的数据，FEC解码器

输出数据的BER将会下降到 10^{-15} 。通过使用FEC技术，可以达到比较低的数据传输错误率，从而避免重传。

FEC可以增加链路预算3~4dB。这样，可以支持更高速率和更长的传输距离，以及每个PON使用更多数量的分支。

11.1.1 Reed-Solomon 编码(基于块的 FEC)

Reed-Solomon (RS) 编码是基于块的编码，它取一个固定尺寸的数据块并在其结尾处增加额外的冗余比特。FEC解码器使用这些额外比特处理数据流，发现错误，纠正错误，并获取原始数据。Reed-Solomon在ITU-T J.81中规定。

常用的RS编码是RS(255,239)，码字长度为255字节，包含了239数据字节，后面是16字节冗余字节。RS(255,239)在ITU-T G.975和ITU-T G.709中均被使用。

使用基于块的FEC时，原始数据被保留。这样，即使对端不支持FEC，通过忽略校验比特，原始数据也可以被处理。

FEC纠错对很高的BER情况下并不有效（例如，对于 $BER = 10^{-3}$ ，将会产生解码错误）。

11.1.2 OLT ↔ ONU 的互操作性

FEC解决方案必须支持OLT同时与支持FEC的ONU和不支持FEC的ONU通信的情况。

11.1.2.1 下行互操作性

- OLT 应能对下行数据进行编码，也可以不进行编码。
- FEC 编码状态 (on/off) 使用 IDENT 字段的 FEC 比特域发送给 ONU。
- 每个 ONU 应该能够对它收到的数据进行解码，也可以不解码（假设数据是编码过的）。通过使用基于块的 RS 编码，可以提前得知校验比特的位置。这样，不支持 FEC 的 ONU 可以跳过校验比特，即不进行处理，并且不需要进行 FEC 解码就可以得到原始下行数据。

11.1.2.2 上行互操作性

- 每个 ONU 既可以编码它的上行数据，也可以不编码
- OLT 使用 FLAGS 字段的 FEC 比特设置 ONU FEC 编码状态 (on/off)
- OLT 必须能够(针对每次 ONU 的传输)解码或不解码接收的上行数据（假定是编码过的）

11.2 下行 FEC

11.2.1 下行帧 FEC 结构

11.2.1.1 校验字节

当使用FEC构建下行帧时，FEC校验字节插入到每个码字末尾。当使用RS(255,239)时，每个239数据字节后面都有16个校验字节。

帧的PCBd部分包括在第一个码字中，也就是码字从帧的第一个字节开始。下一个码字在第255字节后开始，每255个字节重复。

注意由于下行的比特率没有增加，FEC校验字节取代了数据字节插入流中。因此，当使用FEC时，用户数据的有效带宽减少。

注：FEC编码过程是在扰码之前进行的。



图 33 具有FEC的下行帧

11.2.1.2 较短的尾码字

下行帧分成了多个255字节的码字。当使用125μs帧时，最后一个码字的数据会小于255字节。以下描述了尾码字机制。

- 为使尾码字字节数等于 255，在编码前应增加额外的‘0’字节到尾码字的末端。
- 计算校验字节。
- 额外的字节（‘0’填充字节）被删除，较短的码字被传输。
- 当帧在 ONU 被接收，额外的‘0’字节在尾码字的起始端重新插入到解码器中。
- 之后在解码过程，额外字节再一次被删除。

对于2.488Gbps的下行数据速率，帧长度为38880字节。由于仅有120字节留给尾码字，其中104字节用作数据字节，16字节用作校验字节，135字节用‘0’填充。具体见图 34。

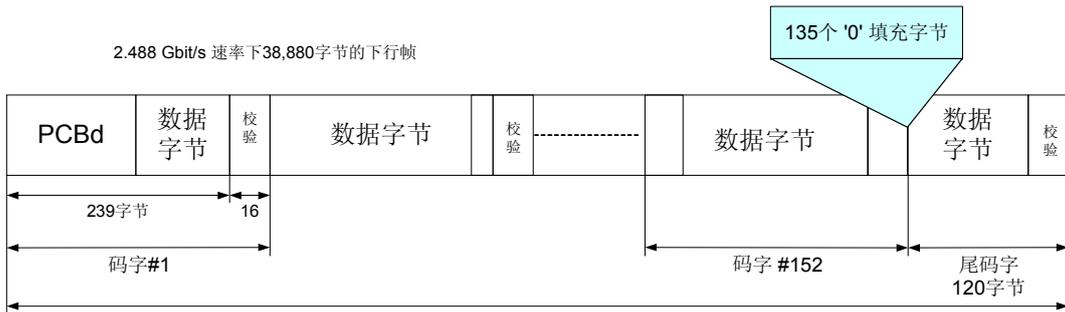


图 34 2.5 Gbps D/S数据速率的尾码字

11.2.2 FEC 码字同步

11.2.2.1 ONU 上的帧同步

下行帧同步序列是物理同步字段(PSync)，它是帧的第一个码字的PCBd的第一个32比特(0xB6AB31E0)。由于使用块编码，所以这些比特在FEC编码过程中不会改变，ONU也会正常的接收。这样，ONU仍然能够使用该帧同步序列。

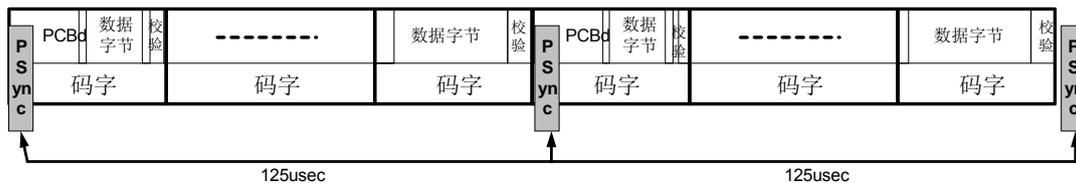


图 35 下行帧同步

11.2.2.2 码字同步

由于所有码字在帧中都被按次序安排，因此对于码字来说不需要额外同步，也就是说，一旦取得了帧同步，通过一个255字节计数器，就可以获得码字同步。

一旦取得码字同步，每个码字都被解码（校验比特被删除，正确的数据被接收），下行原始净荷就能够重建。

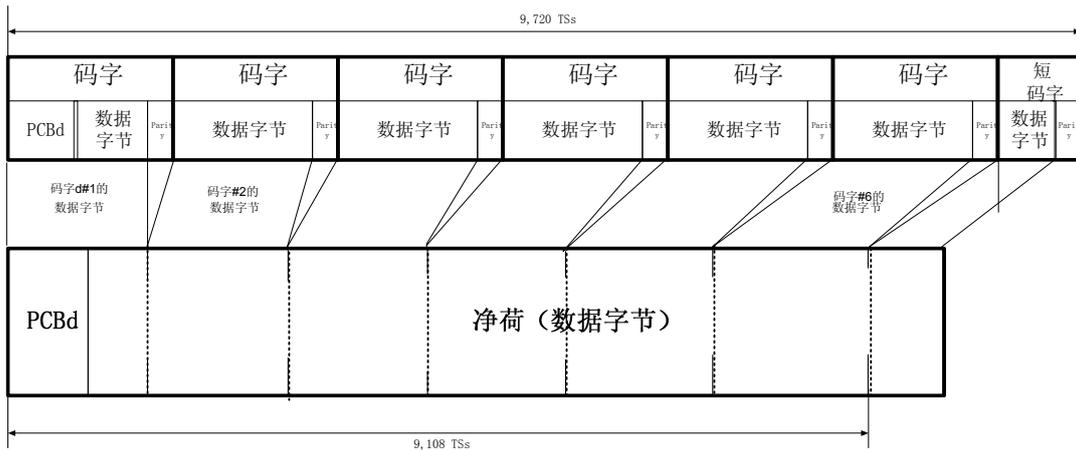


图 36 FEC解码器中的码字同步

11.2.3 下行 FEC On/Off 控制

11.2.3.1 下行 FEC 指示比特

下行FEC功能能够通过OpS系统在OLT激活/去激活。一个带内指示比特用来通知ONU关于FEC状态的变化。

FEC指示比特包含在IDENT字段中。

FEC指示比特含义如下：

- ‘0’：FEC Off。下行帧中无 FEC。
- ‘1’：FEC On。下行帧包含 FEC 校验字节。

如果不支持FEC（FEC ‘Off’），则：

- 下行流中不包含校验字节。
- 下行流没有被编码。

11.2.3.2 ONU 接收机上的下行 FEC On/Off 检测操作

当线路BER较高($\approx 10^{-6}$)时，在ONU上收到错误FEC指示比特的概率相对较高。这样，FEC On/Off检测需要使用滞后机制：

- FEC 的默认状态为 ‘Off’。没有下行 FEC 解码在 ONU 中应用。
- 4 个连续 FEC ‘On’指示比特之后，FEC 状态设为‘On’。在 ONU 中激活下行 FEC 解码。
- 4 个连续 FEC ‘Off’指示比特之后，FEC 状态设为‘Off’。在 ONU 中停止下行 FEC 解码。

11.3 上行 FEC

11.3.1 上行帧的 FEC 结构

11.3.1.1 校验字节

当使用FEC构建上行传输时，FEC校验字节插入到每个码字末尾。当使用RS(255,239)，每239数据（原始传输）字节后面是16字节的校验字节。

ONU OH的PLOu部分的定界和前导字段并不包含在第一个码字中，也就是说，码字是从BIP字节开始的。

注：FEC编码过程是在扰码之前进行的。

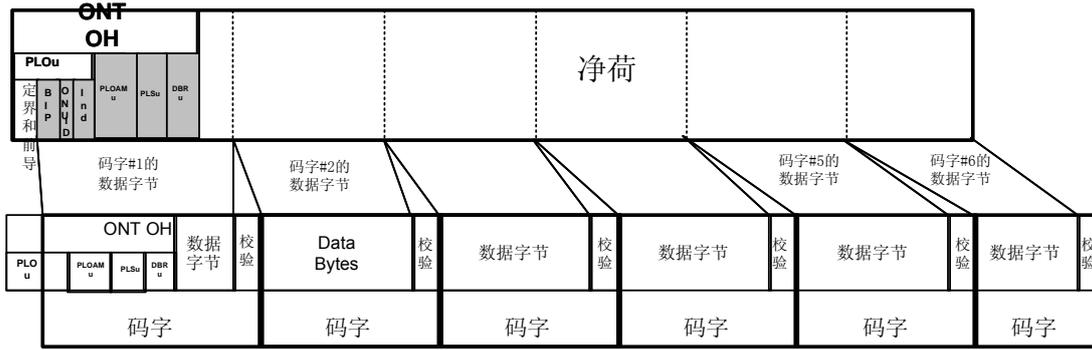


图 37 上行 FEC 结构

对于特定ONU的所有分配应具有相同的FEC状态。连续的分配被编码为一个数据块，仅有一个截短的尾码字。开始指针不能指向校验字节的位置。因而，停止指针不能指向校验字节的前15个字节或校验字节前的最后一个数据字节。这些限制如图 38所示：

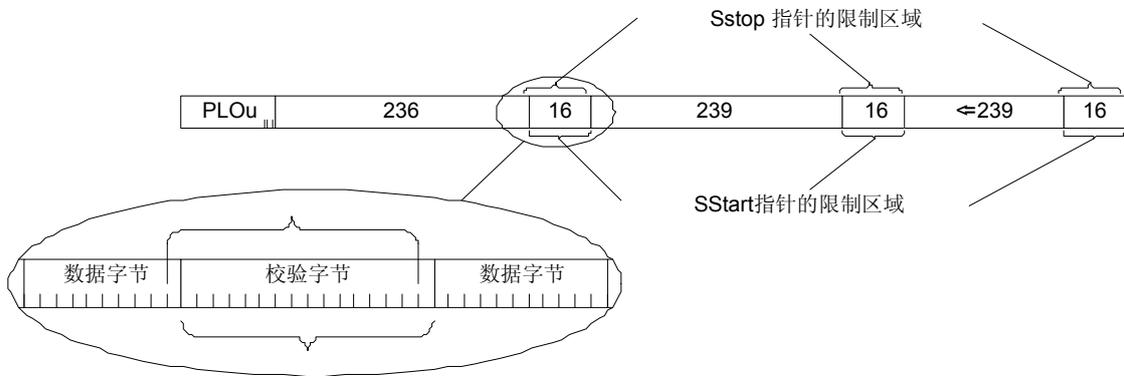


图 38 带FEC的连续分配的指针限制

11.3.1.2 较短的尾码字

原始传输数据分为239字节的码字。在大多数情况下，最后一个码字的数据少于239字节。下面描述了尾码字机制：

- 为使最后一个码字的数量为 239，在编码器前需要在最后一个码字起始端增加额外的‘0’字节（‘0’填充字节）。
- 计算校验字节。
- 额外字节被移除，变短的码字被传输。
- 在 OLT 接收传输数据。
- 在解码前插入额外‘0’字节到码字起始端。由于传输字节尺寸 OLT 已经提前得知，很容易计算出‘0’字节的数量。
- 在解码过程中，额外字节再一次被移除。

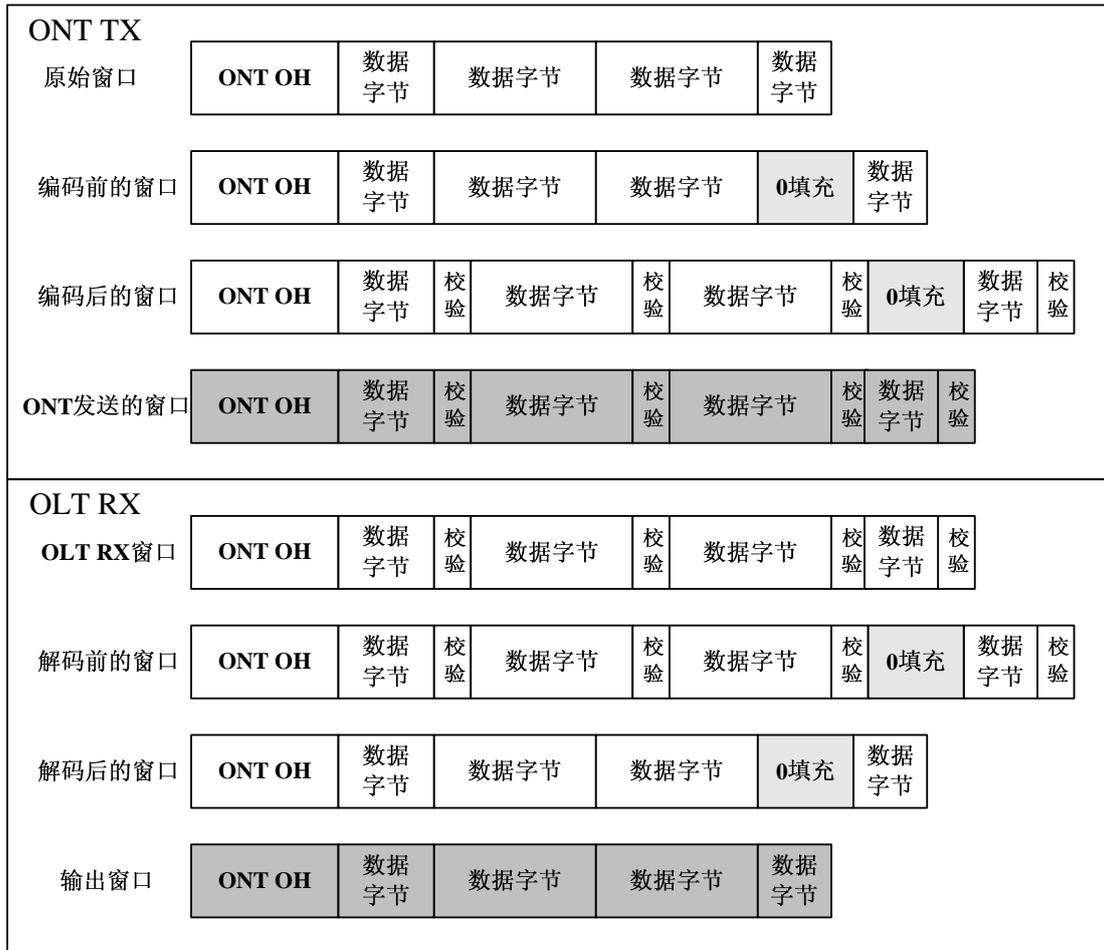


图 39 上行传输的 FEC 结构

注：如果最后一个码字的数据少于17字节，应发送全零字节。

11.3.1.3 ONU 传输长度

在下行帧PCBd部分定义的上行BW Map中定义的传输长度，计为编码后没有‘0’填充字节的长度。

11.3.2 FEC 码字同步

11.3.2.1 传输同步

ONU上行传输的PLOu部分的前导和定界字段用于上行流的传输同步。这些字段在FEC编码过程中并不改变。这样，OLT能够继续使用前导码和定界符用于传输同步。

由于所有码字在传输中顺序安排，不需要额外进行码字同步。一旦达到传输同步，每个码字的确切位置就可以知道了，也就能够实现码字同步（每个码字255字节）。

11.3.2.2 Framing-word 错误

当BER较高时，用于帧定界的码字错误的概率也很高。这样，如果定界符是16或20比特长，为了达到传输同步，在帧定界符中分别最多允许3个或4个错误比特。

11.3.3 上行 FEC On/Off

11.3.3.1 上行 FEC 指示比特

ONU的上行FEC功能能够通过OLT使用OpS系统激活/去激活。OLT使用一个带内指示比特来通知ONU FEC状态的改变。

OLT使用FLAGS字段的UseFEC域设置ONU FEC编码状态(on/off)。

FEC指示比特含义如下：

- ‘0’ – Off。在上行传输中无 FEC。
 - ‘1’ – On。上行传输包含 FEC 奇偶字节。
- 指示比特可视为一种确认，确认ONU 遵照了UseFEC指令。

如果不支持FEC(FEC ‘Off’)：

- 传输中不包含校验字节。
- 对上行数据无需解码处理。

11.3.3.2 OLT 上的 U/S FEC On/Off 检测操作

当线路BER较高($\approx 10^{-6}$)时，OLT接收到错误FEC指示比特的概率也相对较高。这样，在OLT上的FEC On/Off锁定需要使用滞后机制：

- FEC 的默认状态为 Off。无上行 FEC 解码在 OLT 中应用。
- 4 个连续 FEC ‘On’指示比特之后，FEC 状态设为‘On’。在 OLT 中激活上行 FEC 解码。
- 4 个连续 FEC ‘Off’指示比特之后，FEC 状态设为‘Off’。在 OLT 中停止上行 FEC 解码。

因为OLT能够通过flags域控制，它可预知上行突发数据的FEC状态。因此，如果FEC被要求，OLT认为FEC将会包含在上行传输数据中的。FEC指示比特的内容是用来确认ONU的FEC状态的一个辅助信息。

11.4 ONU 激活发送

对于所有的特定ONU发送动作，例如，发送SN或发送测距，不应使用FEC。这是因为特定动作发送的长度较短，并且发送的频率较低。

当ONU处于非正常工作状态时，上行流不应使用FEC。

附 录 A
(规范性附录)

GEM 通道上的用户业务流传送

A.1 GEM帧到GTC净荷的映射

GEM 业务可以被 GTC 协议透明承载。在下行方向，GEM 帧在 GEM 净荷块中从 OLT 传送到 ONU。OLT 在下行方向可按需要分配时间，最多包括几乎所有下行帧。ONU 成帧子层根据 Port_ID 值过滤收到的数据帧，并送至 ONU 的 GEM 客户端。

在上行方向，GEM帧使用配置的分配时间从ONU传送到OLT。ONU缓存到达的GEM帧，并在OLT分配时间内突发发送这些数据帧。OLT接收这些帧，并和其他ONU的突发数据进行复用，送至OLT的GEM客户端。

A.2 TDM over GEM

该机制是利用可变的GEM帧来封装TDM帧。TDM数据封装到GEM的方式见图A.1。具有相同Port-ID的TDM数据分组会汇聚到TC上层。净荷部分包含L字节的TDM块。



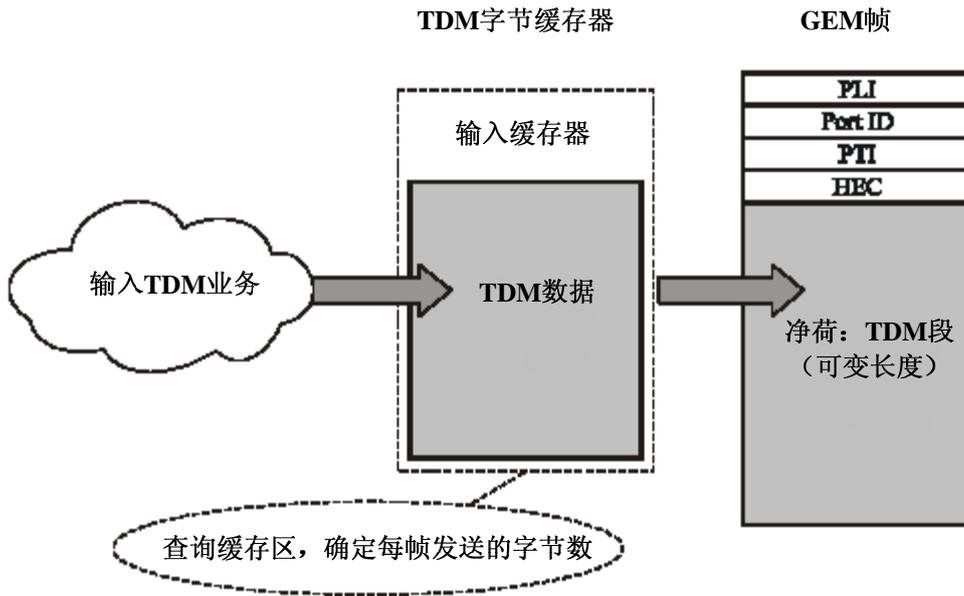
图A.1 GEM帧中的TDM数据帧结构

TDM 业务到 GEM 帧的映射允许 GEM 帧长根据 TDM 业务的频率偏移进行变化。TDM 段的长度由 PLI 域指示。

TDM 源适配进程应该在输入缓存中对输入数据进行排队，每当有帧到达（即每 125μs）GEM 帧复用实体将记录当前 GEM 帧中准备发送的字节数量。一般情况下，PLI 将根据 TDM 标称速率指示一个固定字节数，但经常需要多传送或少传送一些字节，这一点将在 PLI 域中反映出来。

如果输出频率比输入信号频率快，则输入缓存器开始清空，填充最终降低到低门限以下。这样，从输入缓存器少读取一些字节，填充将上升至低门限以上。相反的，如果输出频率比输入信号频率慢，则输入缓存器开始填满，填充最终上升到高门限以上。这样，从输入缓存器多读取一些字节，填充将降至高门限以下。

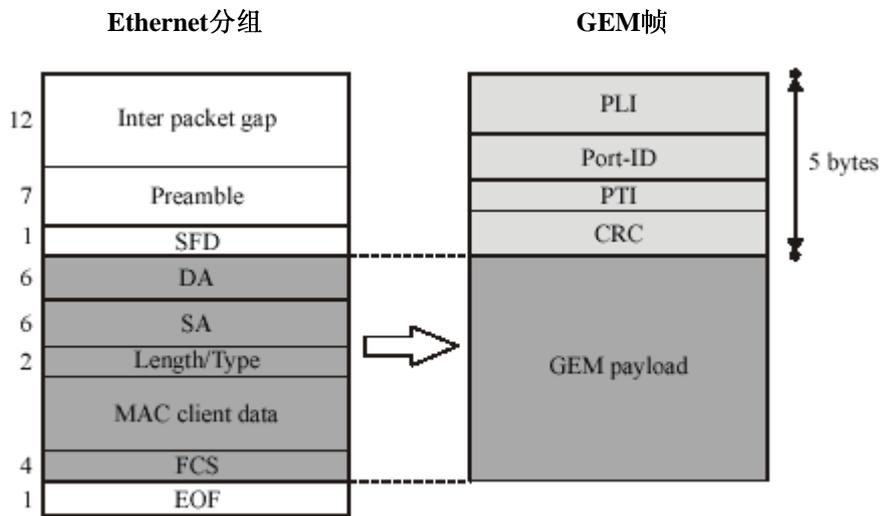
可变长度的TDM段映射到GEM帧净荷的概念如图A.2所示。



图A. 2 TDM映射到GEM

A. 3 Ethernet over GEM

Ethernet数据封装到GEM的方式见图A. 3。每个分组被映射到GEM帧中，GEM帧不包括前导码和SFD字节。Ethernet分组碎片封装到多个GEM帧的方式见6.4 节的规定。



图A. 3 Ethernet映射到GEM帧的帧结构

附 录 B
(规范性附录)
GEM 帧头差错控制解码

GEM帧头结构见图B. 1。



图B. 1 GEM帧头结构，显示13比特头差错控制域细节

GEM 的 HEC 是双纠错、三检错码，由两部分组成。第一部分是删减的 BCH(63, 12, 2) 码，生成多项式为 $x^{12}+x^{10}+x^8+x^5+x^4+x^3+1$ ，应用在帧头净荷域（27 比特），所以 39 比特的计算结果可被生成多项式除。BCH 码的属性是每个单错和双错有唯一的 12 比特因子，因此所有这些错误都可以被纠正。另外，三错可以产生唯一或对应某种双错的因子，但是没有三错因子和单错或零错因子相对应。最后这种属性允许使用单奇偶校验比特来检测和排除三错。

BCH码的错误因子表如表B. 1所示。

表B. 1 BCH码错误因子表

错误比特位置	Syndrome (Base 16)	错误比特位置	Syndrome (Base 16)	错误比特位置	Syndrome (Base 16)
1	977	14	2FF	27	539
2	E27	15	BE3	28	800
3	D8F	16	F6D	29	400
4	C5B	17	D2A	30	200
5	CB1	18	695	31	100
6	CC4	19	9D6	32	080
7	662	20	4EB	33	040
8	331	21	8E9	34	020
9	B04	22	EE8	35	010
10	582	23	774	36	008
11	2C1	24	3BA	37	004
12	BFC	25	1DD	38	002
13	5FE	26	A72	39	001

因为有 39 个唯一的单错因子，所以有 741 个唯一的双错因子。由于 12 比特有 4095 个可能的因子，所以会有 3315 个没有使用。这些没有使用的码被视为非法，只能由三错或多错产生。

GEM HEC的第二部分是一个简单的奇偶校验比特。该奇偶校验比特的设置使得整个帧头中1的数量为偶数。该奇偶校验比特指示是否有帧头发生奇数个错误。注意BCH编码计算不包括奇偶校验比特，但是奇偶校验比特计算包括BCH编码。

一些有效的GEM帧头示例见表B. 2。注意这些帧头是计算值，不包括固定模(0x0xB6AB31E055)。这些可以用于测试编码和解码实现。

表B.2 有效GEM帧头示例

528A739F79	B61925D883	BF2D33B47F	9727D4C430	7D3A32AA75	A257E5A295
7F2963C54B	7F0BF34736	7EF99F35F6	974CF521A3	86785F3E30	BB4A72F128
BEDB6545BA	CE98AC73EF	7C6CA16F93	E617D9905C	0B2A61476B	95F1933472
BA487424EA	95F8B97926	BAB7C5FC86	BEBBF4A2E7	B9F1AFBA45	04E7E3A963
A6FB9FAEFF	7F4A25750A	9A696E9B88	86EA5F7CE3	CA47E19CFC	BEDB7532FA
DE1CDF6663	7E59A67E44	8A5CA75CE7	17986C90AB	BA47F4EEFF	BA9D39E439

通过接收机的计算因子和奇偶校验比特可对HEC进行解码，并应用表B.3所示的逻辑。

表B.3 HEC解码逻辑

情况	BCH因子结果	奇偶校验结果	帧头净荷差错状态	帧头净荷动作
1	无错	偶	无错	正确
2	无错	奇	无错	正确
3	单错	偶	一个错误	可纠正的单错
4	单错	奇	一个错误	可纠正的单错
5	双错	偶	两个错误	可纠正的双错
6	双错	奇	2个或多个错误	不可纠正
7	非法码	偶	3个或多个错误	不可纠正
8	非法码	奇	3个或多个错误	不可纠正

情况 1、4 和 5 是 BCH 和奇偶校验比特在错误数上一致的情况。情况 2 和 3 是奇偶校验比特必须包含一个错误，所以由 BCH 的结果所覆盖。在情况 6 中，发生了三错，由于或者是净荷发生双错和奇偶校验错，或者净荷发生三错。在这两种情况下，丢弃帧头。情况 7 和 8 中 BCH 发现非法码，丢弃帧头。

导致接收到帧头错误的最小错误数为 4。在随机错误的限制下错误接收的概率为 10%。

附 录 C
(规范性附录)
OLT 激活过程概述

OLT的激活过程可分为：公共部分和ONU特定部分。

C.1 公共部分

OLT的公共部分对应多个ONU，例如获得新ONU的序列号、发现恢复业务的ONU。

C.1.1 OLT公共部分的状态

OLT公共部分的状态如下：

- a) 序列号获取准备状态 (OLT-COM1)
- OLT等待新的或丢失的ONU的指示，或者周期时间超时。
- b) 序列号获取状态 (OLT-COM2)

处于该状态的OLT开始进行周期性的序列号获取过程。OLT使在线ONU暂停发送信号并发送Serial Number Request消息。OLT检查ONU是新加入的还是丢失的，并为新发现ONU指配ONU-ID。

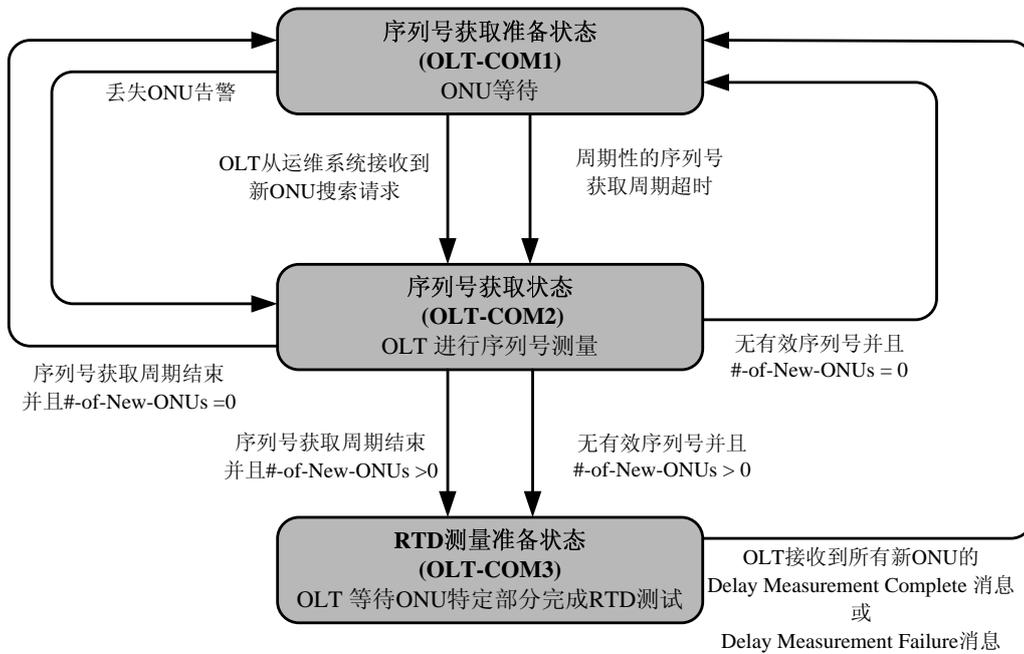
OLT发现新ONU后为每个新发现ONU激活均衡时延测量周期，并进入EqD测量准备状态 (OLT-COM3)。

- c) EqD 测量准备状态 (OLT-COM3)

在该状态下，ONU特定部分开始均衡时延测量周期，当测量周期结束后ONU特定部分给公共部分发送指示信息。当所有的ONU均衡时延测量完成后，OLT进入OLT-COM1状态。

C.1.2 公共部分状态图

公共部分的状态图如图C.1所示。



图C.1 OLT激活过程公共部分状态图

C.1.3 OLT公共部分功能转移

表C.1描述了OLT的功能行为，其中第一列给出了触发功能转移的事件，随后一列给出了状态转移后OLT的状态。

表C.1 OLT公共部分功能转移表

	序列号获取准备状态 (OLT-COM1)	序列号获取状态 (OLT-COM2)	EqD测量准备状态 (OLT-COM3)
从运维系统配置新ONU	⇒OLT-COM2	-	-
序列号获取周期超时	⇒OLT-COM2	-	-
丢失ONU告警	⇒OLT-COM2	-	-
从新的ONU接收到有效的 Serial_Number		提取 SN 分配 ONU-ID	-
从丢失的ONU接收到有效的 Serial_Number		提取SN; 重新指配 ONU-ID	-
接收到不期望接收到的 Serial_Number		去激活 ONU	
无有效S/N并且 #-of-New-ONUs = 0		⇒OLT-COM1	
无有效S/N并且 #-of-New-ONUs > 0		⇒OLT-COM3	
序列号获取周期结束 并且#-of-New-ONUs =0		⇒OLT-COM1	
序列号获取周期结束 并且#-of-New-ONUs >0		⇒OLT-COM3	
OLT接收到所有新ONU的 Delay Measurement Complete消息或Delay Measurement Failure消息			⇒OLT-COM1

C.1.4 OLT公共部分事件

OLT公共部分事件如下：

a) 运维系统请求搜索新 ONU

运维系统定义了一个新ONU时，该事件发生。

b) 序列号获取周期超时

OLT使用自动发现过程时将启动一个SN周期。当这个周期超时，该事件发生。

c) 丢失 ONU 告警

该事件是指激活（无LOS）的ONU数量少于已安装的ONU数量。

d) 从新的 ONU 接收到有效的 Serial_Number

该事件是指在序列号获取周期内接收到新ONU的有效Serial_Number Response消息。有效的Serial_Number Response消息是指CRC有效的消息。OLT接收到有效的Serial_Number Response消息后分配给该ONU一个ONU-ID，并给#-of-new-ONU参数加1。

e) 从丢失的 ONU 接收到有效的 Serial_Number

该事件是指在SN获得周期内接收到丢失ONU发送来的有效Serial_Number Response消息。该有效的Serial_Number Response消息中带有ONU-ID。OLT接收到有效的Serial_Number Response消息后给#-of-new-ONU参数加1。由于丢失的ONU不是新ONU，所以#-of-new-ONU参数加1仅仅是为了启动测距过程。

f) 接收到不期望接收到的 Serial_Number

该事件是指在SN获取周期内OLT接收到不期望接收到的Serial_Number。

g) 没有接收到有效 S/N

该事件是指在2个S/N周期内没有接收到有效S/N。

h) 序列号获取周期结束

该事件是指10个S/N获得周期结束。

i) 延时测量结束

该事件是指在OLT-COM2状态下发现的所有ONU特定部分都完成了延时测量。

C.2 ONU特定部分

每个ONU特定部分处理一个具体的ONU。OLT维持最多64个独立的状态机，每个状态机对应一个ONU。

C.2.1 OLT特定部分的状态

OLT特定部分的状态如下：

a) 初始状态（OLT-IDV1）

OLT等待测距开始命令，此时ONU可能处于O1、O2、O3状态。

b) 测距状态（OLT-IDV2）

处于该状态的OLT启动均衡时延测量周期。

c) 运行状态（OLT-IDV3）

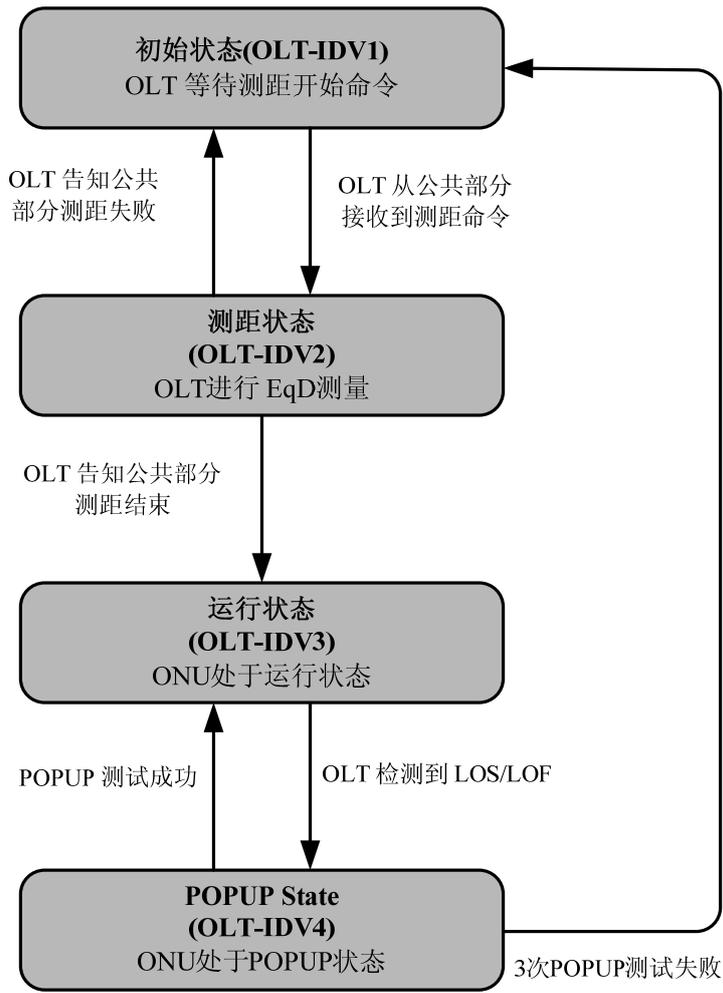
OLT处于该状态时，ONU处于运行状态。

d) POPUP 状态（OLT-IDV4）

OLT处于该状态时，ONU处于POPUP状态。

C.2.2 ONU特定部分的状态图

ONU特定部分的状态图如图C.2所示。



图C. 2 OLT激活过程中的ONU特定部分状态图

C. 2. 3 ONU特定部分功能转移

表C. 2描述了OLT的功能行为，其中第一列给出了触发功能转移的事件，随后一列给出了状态转移后OLT的状态。

表C. 2 ONU特定部分功能转移表

	初始状态 (OLT-IDV1)	测距状态 (OLT-IDV2)	运行状态 (OLT-IDV3)	POPUP状态 (OLT-IDV4)
测距开始命令	通知测距开始⇒ OLT-IDV2	-	-	-
测距完成	-	发送 Ranging_time 消息3次. 通知测距结束 ⇒OLT-IDV3	-	-

测距非正常停止	-	发送 Deactivate_ONU -ID 消息3次。通 知测距结束 ⇒ OLT-IDV1	-	-
检测到LOS(n), LOF(n)	-	-	通知 LOS. ⇒ OLT-IDV4	

C.2.4 ONU特定部分事件

ONU特定部分事件如下：

a) 测距开始命令

该事件是指OLT的ONU特定部分从公共部分接收到指令。

b) 测距完成

当成功完成ONU的均衡时延测量时，OLT的ONU特定部分告知公共部分。

成功完成测距指完成ONU的均衡时延测量并且3次发送包含Equalization_Delay的Ranging_time消息给ONU。把测距完成消息告知公共部分后，OLT的ONU特定部分进入OLT-IDV3状态。

c) 测距非正常结束

该事件在测距失败时产生。测距失败后，ONU特定部分向ONU发送3次Deactivate_ONU-ID消息，并向OLT公共部分发送测距结束通知，之后进入OLT-IDV1状态。

d) 检测到LOS、LOF

检测到LOS/LOF后进入到POPUP状态（OLT-IDV4）。

C.3 自动发现ONU的方法

以上的激活过程适用于ONU的各种安装方式。

GPON协议是基于ONU的序列号来识别和配置ONU的。有些运营商会通过运维系统根据ONU的序列号对其进行预配置，这时通常采用直接激活ONU的方式。而在其它情况下，ONU的序列号是不能提前获知的，因此OLT需要具有自动发现ONU的方法。

激活ONU的事件有3个：

a) 网络运营商在得知新的ONU连接到网络后，从运维系统启动激活过程

b) 当有ONU从工作状态丢失时，OLT就自动启动激活过程。查询频率可由运维系统设定。

c) OLT周期发起激活过程，查询频率可由运维系统设定。

C.3.1 激活过程类型

C.3.1.1 冷PON/冷ONU

这种情况是指PON系统中没有上行流，ONU也没有接收到ONU-ID。

C.3.1.2 热PON/冷ONU

这种情况是指PON系统中有上行流，一个新的ONU加入进来或以前处于激活状态的ONU恢复发送功率。

C.3.1.3 热PON/热ONU

这种情况是指已被激活的ONU保持上电状态，但由于长时间处于告警状态，返回到初始状态（Initial state（O1））。

C.4 POPUP过程

POPUP状态是指检测到ONU的LOS 或LOF告警，一段时间后ONU恢复并进入运行状态而不需要进入到初始状态。

ONU可能使用错的均衡时延值（由于网络保护倒换或ONU内部出错），POPUP功能需要在ONU进入到运行状态之前对其进行测量。

POPUP功能有2种方式：

方式 1：信号发送检测——OLT 检测 ONU 发送的信号是否在期待的位置上出现

方式 2：测距——OLT 对 ONU 进行重新测距

方式1：信号发送检测（使用Directed POPUP消息）

- 1) 处于POPUP状态的ONU不允许发送信号，它将忽略所有分配给它的带宽。
 - a) 进入POPUP状态时，ONU启动TO2定时器
 - b) TO2定时器超时后ONU进入初始状态
- 2) OLT发现ONU处于POPUP状态时，停止给该ONU分配带宽，并给ONU发送Directed POPUP消息。
- 3) 当ONU接收到POPUP消息后，ONU进入运行状态
 - c) 进入运行状态后ONU停止TO2定时器
- 4) ONU返回正常运行状态前，OLT需要对该ONU进行测试，为此OLT需要暂停所有ONU发送信号，并向该ONU发送PLOAMu（PLOAMu=1，SStart = xx, & SStop = xx + 12）。
 - d) ONU等待它的均衡时延并在SStart处发送响应消息。
 - e) 如果ONU在正确的时间发送响应消息或者ONU的均衡时延经过校准，则OLT认为ONU恢复正常，可以为其分配带宽。否则，OLT将去激活ONU。

方式2：测距（使用Broadcast POPUP消息）

- 1) 于POPUP状态的ONU不允许发送信号，它将忽略所有分配给它的带宽。
 - a) 进入POPUP状态时，ONU启动TO2定时器
 - b) TO2定时器超时后ONU进入初始状态
- 2) OLT发现ONU处于POPUP状态时，停止给该ONU分配带宽，并给ONU发送Broadcast POPUP消息。
- 3) ONU接收到POPUP消息后进入到测距状态。
 - c) 进入测距状态后，ONU停止TO2定时器并启动TO1定时器。
- 4) OLT发送Ranging-request消息（PLOAMu = '1', SStart = xx, & SStop = xx + 12）。
- 5) ONU延时预均衡时延并发送测距响应消息。
- 6) 接收到ONU响应消息后，OLT认为ONU恢复正常并发送Ranging-time消息。否则OLT去激活ONU，或者ONU在TO1定时器超时后进入待机状态。
- 7) 当ONU接收到Ranging-time消息后就进入运行状态。否则TO1定时器超时后ONU进入初始状态。

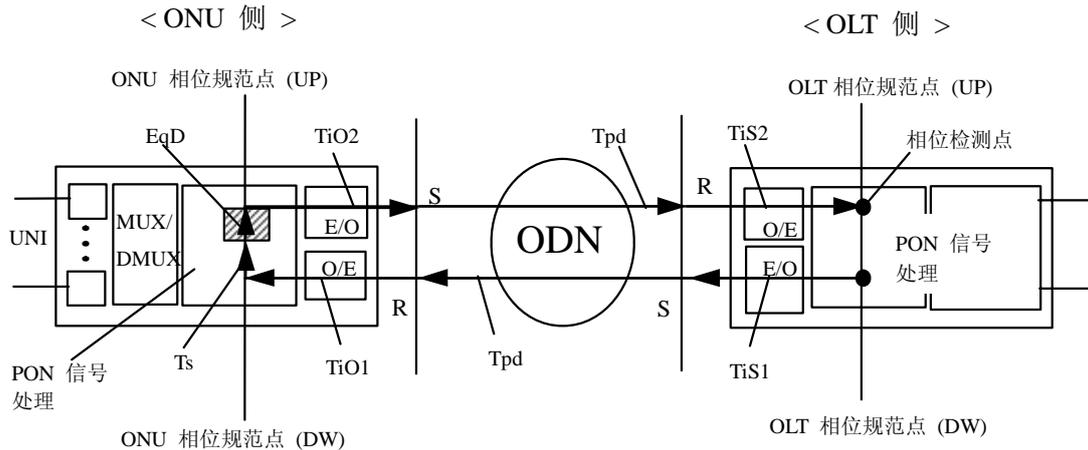
C.5 均衡时延测量原理

C.5.1 D/S和U/S之间的相位关系

在OLT处，发送D/S帧和接收U/S帧的相位关系被称为0距离均衡时延。建议0距离均衡时延为250us。

C.5.2 相位关系时延的定义

相位时延点的配置结构如图C.3所示。



图C.3 相位时延点的配置结构

C.5.2.1 光纤传播时延 (Tpd)

该参数指信号在OLT到ONU间的光纤中的传输时间。

C.5.2.2 基本传输时延(Ts)

该参数指ONU处理Rang Request的时间。

C.5.2.3 光学时延

光学时延包括：TiO1, TiO2, TiS1, TiS2：ONU和OLT中的O/E和E/O转换时延。

C.5.2.4 均衡时延 (EqD)

均衡时延时ONU内部的时延，由OLT设定和控制。该参数使上行信号以正确地相位到达OLT。

C.5.2.5 环路时延 (Rtd)

还回时延是指OLT相位定义点到ONU再返回到OLT相位定义点。

0均衡时延为：

$$RTD(n) = TiS1 + Tpd(n) + TiO1 + Ts + TiO2 + Tpd(n) + TiS2$$

重新排列后为：

$$RTD(n) = 2 * Tpd(n) + (TiS1 + TiO1 + Ts + TiO2 + TiS2)$$

括号内的是设备响应时间，建议设备响应时间不超过50us。此外，

$$2 * Tpd = \frac{\text{Distance to ONU [km]}}{0.1 \left[\frac{\text{km}}{\mu\text{sec}} \right]}$$

C.5.3 RTD测量成功或失败的标准

当以下所有条件都满足时视为RTD测量成功，如果下面条件中有任意一个不满足，则RTD测量失败：

- OLT 接收到有效的 Ranging Respons 消息，该消息中 ONU ID 和 SN 匹配。
- 在期望时间内接收到 Ranging Response 消息，该时间取决于 PON 的最大距离。
- RTD 测量在一定时间范围内（依赖于 OpS 提供的 ONU 和 OLT 间的估计距离）完成。由运维系统提供 ONU 和 OLT 之间的估计距离，如果没有提供距离值，则忽略该条件。

- 允许 RTD 的值在 Allowed-Ranging-Variance 范围内变化，Allowed-Ranging-Variance 表示为 N 比特，该值是和上行速率对应的。直到第一次成功的 RTD 才忽略该条件。

- 1.244 Gbit/s – 8 bits

测距过程中可能会发生一些误差，为减小误差，在计算均衡时延值之前要做多次RTD测量。

如果以下情况中有1种成功或2个都失败，则RTD测量过程结束：

- 在成功 RTD 测量过程中如果进行了 2 次 RTD 测量，RTD 的结果应是两次结果的平均值
- 如果 RTD 测量过程失败，发送 SUFI 告警并且去激活 ONU（发送 Deactivate_ONU-ID 消息），ONU 进入 O2 状态。