

doi:10.13756/j.gtxyj.2026.240121.

光通信系统与网络技术

余辰东,刘申璇,倪磊君. PON流氓ONU定位防护方法研究[J]. 光通信研究,2026(1):240121.

Yu C D, Liu S X, Ni L J. Study of Method to Locate Rogue ONU in PON[J]. Study on Optical Communications, 2026(1): 240121.

PON流氓ONU定位防护方法研究

余辰东,刘申璇,倪磊君

(中兴通讯上海研发中心,上海 201203)

摘要:【目的】主流无源光网络(PON)技术采用的上行时分多址接入(TDMA)方式以及光线路终端(OLT)侧光模块采用的强度调制直接检测方式,决定了流氓光网络单元(ONU)问题是PON技术的固有缺陷,流氓ONU作为PON中常见问题,其故障成因与表现多样,因此定位防护均很困难。为保障PON的稳定运行,需要找到适用性强、处理效率高的定位防护手段。【方法】文章通过对流氓ONU故障成因与影响的对比分析,比较了传统定位方法的应用场景与优缺点,从而优选出特征匹配法作为流氓ONU的主要定位防护方法,通过基于PON链路相关的告警、拓扑、状态和性能等外部明显特征与预设策略的匹配,从网络到网元多层次的数据统计和事件对比,找到流氓ONU的快速定位路径,并结合大数据分析探讨了流氓ONU定位防护的后续研究方向。【结果】基于分析,传统方法存在各种限制与效率问题,综合定位防护效果不佳。基于网络事件的数据分析对比,特征判断方法对各种流氓ONU场景的通用性较好,不但对当前故障可较快定位,且所述方法对历史故障或故障预防也适用。且特征判断方法的定位时长和防护效果均较符合预期。【结论】流氓ONU故障随着网络变化和技术升级,业务场景的扩展也呈现出动态变化的特点,因此对应的定位防护手段也需要与时俱进。结合网元、网络各类事件与特征的综合分析方法,可很好地适应上述变化;同时辅之以定位算法优化迭代,实现对流氓ONU的动态适配和高效定位,最终保障PON的稳定运行。

关键词:无源光网络;光网络单元;长发光;乱发光

中图分类号:TN915.6 **文献标志码:**A

Study of Method to Locate Rogue ONU in PON

YU Chendong, LIU Shenxuan, NI Leijun

(Shanghai R & D Center, ZTE Corporation, Shanghai 201203, China)

Abstract: 【Objective】The uplink Time Division Multiplexing Access (TDMA) mode used by the mainstream Passive Optical Network (PON) technology and the intensity modulation direct detection mode used by the optical module at the Optical Line Terminal (OLT) side determine that the rogue Optical Network Unit (ONU) problem is an inherent defect of the PON technology. As a common problem in the PON, the rogue ONU has various causes and symptoms, which is difficult to locate and protect. To ensure the stable operation of the PON, it is necessary to find positioning protection methods that are applicable and have high processing efficiency. 【Methods】After analyzing the causes and impacts of rogue ONU faults and comparing the use cases, pros, and cons of traditional positioning techniques, this document designates feature matching as the core rogue ONU localization and protection method. It implements this by correlating PON link-associated external features (e.g., alarms, topology, status, and performance data) with preset policies. By conducting multi-layer data statistics and event comparison from the network down to network elements, we have found a fast positioning route for rogue ONUs. Meanwhile, this document discusses the subsequent research orientations for the positioning and protection of rogue ONUs with reference to big data analysis. 【Results】Based on the analysis, the traditional method has various limitations and efficiency problems, and the comprehensive positioning protection effect is poor. Based on the data analysis comparison of network events, the feature determination method is applicable to various rogue ONU scenarios, and can rapidly locate current faults, historical faults and prevent potential faults. In addition, the positioning duration and protection effect of the feature determination method can meet expectations. 【Conclusion】With the changes of the network, technical upgrade, and service scenario expansion, the rogue ONU faults change dynamically. The corresponding positioning and protection measures need to keep up with the times. Based on the comprehensive analysis of various events and characteristics of NEs and networks, adaptation to the above changes can be achieved. In addition, with the optimization and iteration of positioning algorithms as a supplementary measure, it realizes the dynamic adaptation and efficient positioning of rogue ONUs, and ultimately guarantees the stable operation of the PON.

Key words: PON; ONU; laser-always-on; random-always-on

0 引言

无源光网络(Passive Optical Network, PON)是

上行方向采用时分多址接入(Time Division Multiple Access, TDMA)方式及下行方向采用时分复用(Time Division Multiplexing, TDM)的吉比特

收稿日期:2024-06-12; 修回日期:2024-06-26; 纸质出版日期:2026-02-10

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2021YFB2900803)

作者简介:余辰东(1976-),男,上海人。高级工程师,学士,主要研究方向为下一代宽带接入架构和光接入网智能运维与演进。

通信作者:余辰东,高级工程师。E-mail:yu.chendong@zte.com.cn

© Editorial Office of *Study on Optical Communications*. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license.

PON/以太网 PON (Gigabit-Capable PON, GPON^[1]/Ethernet PON, EPON^[2])。PON 的无源特性有效降低了工程部署及维护成本,其大带宽特性带来了良好的用户体验,上行 TDMA 机制实现了光网络单元(Optical Network Unit, ONU)在授权下对上行链路(特别是主干光路)的有效利用;但上行链路也极易受到干扰(特别是流氓 ONU),严重威胁了 PON 的运行稳定和安全^[3]。

现网环境复杂,各种形态光线路终端(Optical Line Terminal, OLT)与 ONU 共存,对流氓 ONU 防护定位支持程度也不同。因此应从源头梳理,分析流氓 ONU 的产生机理和影响范围,并从系统角度综合分析找到有效解决方案。

1 流氓 ONU 分类

流氓 ONU 问题根据其产生原因及影响,可分为狭义与广义两种:狭义流氓 ONU 可定义为通过上行光链路干扰影响同 PON 口下其他 ONU 的注册或业务;广义流氓 ONU 定义为上行方向异常报文对主干链路以及 PON 口共享资源产生干扰或异常占用。

① 狭义流氓 ONU

狭义流氓 ONU 是指 ONU 不在 OLT 授权时隙内(根据其被分配的逻辑通道标识)发送数据或打开激光器,干扰同 PON 口下其他 ONU 在对应时隙上行方向的数据发送。当流氓 ONU 异常上行信号对其他 ONU 数据帧产生干扰时,将导致业务数据异常;更进一步地对 PON 控制帧产生干扰,OLT 则无法正常识别 ONU 的协议交互消息,ONU 注册超时或握手失败并导致 ONU 离线。此类问题发生概率很高,下文中若无特别指出,均为此类流氓 ONU。

流氓 ONU 根据其干扰特点,可分为如下类型:

不确定逻辑通道(时隙)占用:可分为传统长(乱)发光,即持续长发光 ONU,同时影响同 PON 口下全部或部分 ONU,且可被检测;瞬间异常(乱)发光 ONU,即影响同 PON 口下不确定的 ONU,同一时间内影响 ONU 数量有限,但较难被发现。

特定逻辑通道(时隙)占用:ONU 未正常释放逻辑通道标识,当该逻辑通道标识被重新分配给其他 ONU 时,对同 PON 口下分配相同逻辑通道标识的 ONU 产生影响。通常在逻辑通道标识重新分配场景(如设备重启和业务割接)中出现,对特定 ONU 产生影响。

② 广义流氓 ONU

广义流氓 ONU 不仅仅影响 ONU 注册,且可通过上行异常报文(冲击)对所在逻辑端口或物理端口的资源产生异常占用,从而导致公用相关资源的业务异常。其中常见故障包括:

业务类:申请超大带宽,即 ONU 申请超出动态带宽分配(Dynamic Bandwidth Allocation, DBA)的带宽,使得 PON 口剩余带宽不足,影响业务转发;当剩余带宽小于 ONU 注册请求带宽时,进而影响其他 ONU 注册。

协议类:ONU 上行发送海量协议报文,影响 OLT 对其他正常的协议报文的处理,包括第 2 和第 3 层协议(如简单网络管理协议(Simple Network Management Protocol, SNMP)和地址解析协议(Address Resolution Protocol, ARP)等以及 PON 标准协议(如多点控制协议(Multi-Point Control Protocol, MPCP)、操作管理维护(Operation, Administration, and Maintenance, OAM)、物理层操作管理维护(Physical Layer OAM, PLOAM)和光网络单元管理控制接口(ONU Management and Control Interface, OMCI)等)。

其中业务类问题可通过配置带宽与实际申请带宽的比对进行检测;协议类问题可通过协议报文速率检测,同时结合系统类指标(如中央处理器(Central Processing Unit, CPU)占用率)进行类似 anti-dos 方式防护。

2 流氓 ONU 成因与影响

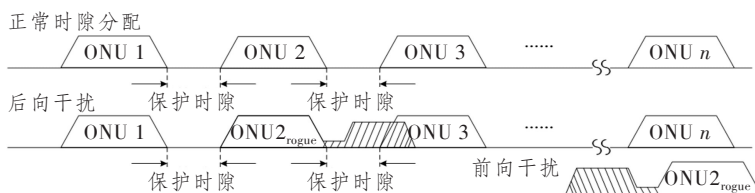
PON 上行 TDMA 机制要求不同 ONU 的上行光信号必须在时间轴上离散,上行时隙分配如图 1 所示,即 ONU 只在被分配的上行授权窗口开始时打开光发射机并发送数据,并在窗口结束时关闭,且相邻 ONU 的上行时间窗口存在保护带。突发后向/前向干扰如图,干扰长度大于保护带长度时,则会与相邻 ONU 上行数据窗口重叠并相互干扰。

长(乱)发光问题根因是 ONU 不受或不完全受 OLT 控制,无论是否在 OLT 分配的上行授权窗口内,也不管是否有数据发送,一直或断续发送上行信号(即干扰信号)。若一直发送,即持续干扰(以下称:长发光);若断续发送,即突发式干扰(以下称:乱发光)。

长发光问题一般属于 ONU 硬件故障,是由其光发射机打开后无法关闭导致;乱发光问题则为 ONU 软硬件配合异常,导致激光器在特定(或随机)时刻错误打开,而后恢复正常。

长发光问题影响严重：当存在长发光 ONU（或非 ONU 设备）且其发光强度较大时，将淹没其他 ONU 上行光信号，并导致所有 ONU 离线，业务中

断。而乱发光问题一般影响部分或特定 ONU，影响范围比长发光小，但由于其干扰的随机性，因此定位更为困难。



注：下标 rogue 表示该 ONU 为流氓 ONU。

图 1 PON ONU 上行时隙分配及突发干扰示意图

Figure 1 ONU uplink timeslot allocation and burst interference in PON

3 流氓 ONU 定位

流氓 ONU 对 PON 影响严重，及时处理就显得尤为必要。从流程分析，涉及检测、定位与隔离 3 个步骤。其中定位难度最大，只有在特定条件下才能进行相对准确的定位。

根据流氓 ONU 成因影响，定位方法有所区别，因素包括：①干扰持续时间；②干扰发生时机；③干扰对象是否随机。其中因素①决定干扰属性；因素②和③影响感知定位难度。

传统流氓 ONU 定位方法分为两类：一类是通过与 ONU 进行交互来定位；另一类是通过相关告警及链路相关信息进行分析定位。前者逻辑相对简单，但需要与 ONU 之间通过远程管理协议进行交互。比较典型的方法包括逐个打开/关闭法，此类方法需要协议交互且对 ONU 进行处理，由于定位时间较长，一般只适用于长发光问题定位，而不适用于乱发光问题定位。

3.1 逐个打开/关闭法

长发光故障其干扰信号持续时间较长，且可产生长发光告警（PON 相邻 ONU 上行发送窗口之间存在无光保护带，以防止信号冲突，即上行链路光信号非连续，通过高频采样上行链路信号，若存在持续信号即可判断为长发光故障），故障定位时间相对充裕，一般采用逐个打开/关闭法进行定位。通过依次打开/关闭 PON 口下的 ONU，并观察长发光告警是否产生或消失，以判断当时打开/关闭的 ONU 是否为流氓 ONU，具体流程如图 2 所示。

逐个打开/关闭法通过远程管理协议与 ONU 进行交互，因此要求 ONU 支持远程管理协议，且在出现长发光故障时，能够正常接收下行控制报文，并正确响应 OLT 下发的打开或关闭 ONU 发光指令。同时，因流氓 ONU 光发射机可能已经失控，ONU

必须支持通过操作光发射机的独立电源方式来关闭或打开上行发光。如不满足上述条件，则无法准确定位。同时，逐个打开/关闭法为有损定位方式，极限情况下需操作 PON 链路下所有 ONU，会对 PON 链路下所有在线 ONU 业务产生影响。整个流程时间包括两部分：①OLT 与 ONU 交互控制时间；②故障消失/产生观察时间（即 T_1 ）。因此定位效果严重依赖于故障持续时间。

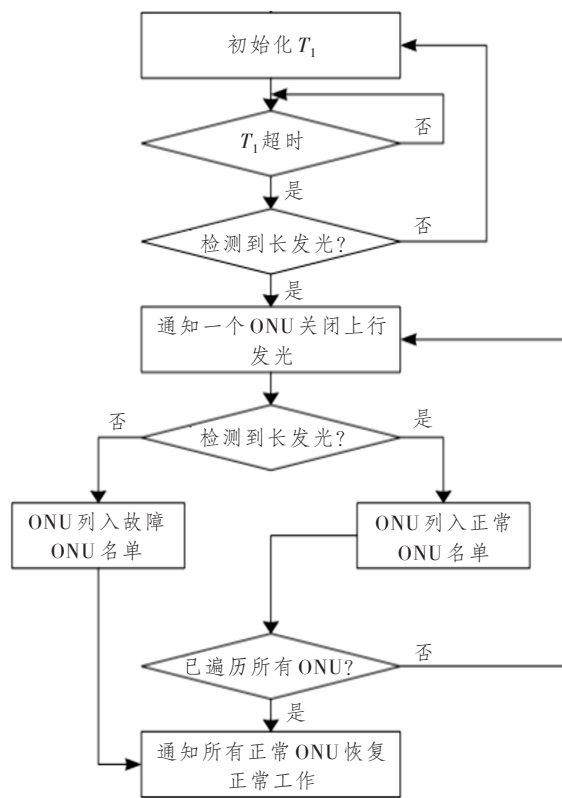


图 2 逐个打开/关闭法流程图

Figure 2 One-by-one turn on/off method

3.2 特征匹配法

除持续长发光外，由于流氓 ONU 故障的随机性，定位不依赖 ONU 交互的特征匹配法^[4-5]的应用前景更为广泛。虽然故障发生时机与范围存在随机

性,但不影响流氓 ONU 行为与被干扰 ONU 表现间的逻辑关系,且在较长时间尺度上其随机性会相对减弱,包括但不限于:

①流氓 ONU 行为一般由特定事件(因素)触发,并在一定时间范围内保持;

②流氓 ONU 干扰与被干扰 ONU 之间存在时间逻辑性,即干扰在前,影响在后;

③被干扰 ONU 出现不同以往的特征(事件),并在一定时间内出现相似性。

利用与流氓 ONU 相关的事件进行统计与关联,完成故障定位,即特征匹配法:通过综合分析故障发生前后 PON 链路相关的告警、拓扑、状态和性能信息,根据一定规则定位流氓 ONU。该方法亦适用于长(乱)发光和特定逻辑通道占用定位。特征匹配法分析模型如图 3 所示。

①预设特征规则:特征规则指发生故障时,ONU 行为特征及 PON 链路的相关表现。包括但不限于:告警规则、拓扑规则、状态规则以及性能规则。

②搜集故障前后 PON 链路相关告警、状态和性能信息:告警信息包括 PON 口长(乱)发告警和 ONU 离线告警等;状态信息包括 PON 口下离线和在线 ONU 状态信息;性能信息包括各 ONU 误码及 OLT 侧对应各 ONU 上行接收光功率等信息。

③搜集信息与预设特征规则进行匹配:当 PON 口下存在流氓 ONU 时,根据采集信息中的特征属性,逐一匹配相应的特征规则,定位出符合特征规则的 ONU。

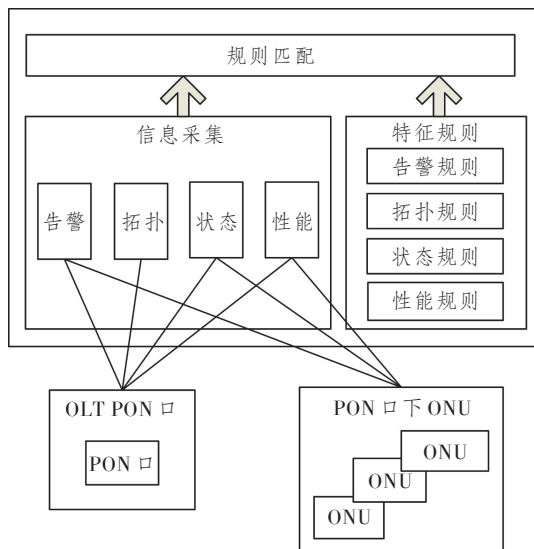


图 3 特征匹配法模型

Figure 3 The model of feature matching method

4 特征匹配法应用

由于光网络中 OLT 对 ONU 授权时隙方式不同以及 ONU 的特性差异,在实际特征匹配法应用中,流氓 ONU 特征匹配法流程如图 4 所示,可通过 3 种不同技术路线相互配合完成定位。

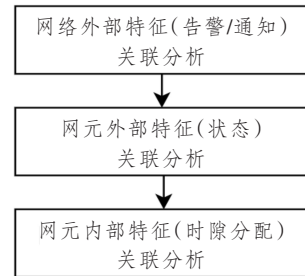


图 4 流氓 ONU 特征匹配法流程

Figure 4 Procedure of the roger ONU feature matching method

4.1 特征匹配法分析方法

4.1.1 网络外部特征(告警/通知)关联分析

告警/通知反映了 PON 链路的实时和历史相关事件,以及各个事件之间的逻辑(时间)关系。通过事件及其逻辑关系分析,实现对网络中海量事件的筛选,快速发现异常并找到对应物理位置(PON 口)。同时基于对应 PON 口,通过对其告警/通知的关联分析,找到关键事件,并进一步确认故障 ONU 以及原因。就流氓 ONU 而言,通过如下特征组合进行定位:

①以 PON 口为单位,指定事件 1(如告警产生或恢复)特征(数量或频度)在空间维度上存在明显差异(即找出异常端口);

②以 PON 口为单位,符合指定事件 1 特征标准(数量或频度)在时间维度上存在差异:如对应 PON 口光功率正常(即光路正常),但 PON 口存在长(乱)发光告警、全部或部分 ONU 离线时间相距不超过 T_s 或上行误码告警(即认为存在上行链路干扰);

③以 PON 口为单位,符合特征的指定事件 1 与其他事件 2 的关联性分析,如故障发生前后 $M \text{ min}$ 内拓扑或状态发生变化事件(即事件与故障存在逻辑关系)。

试举一例:PON 口下多个 ONU 同时离线,且离线时间与该 PON 口某 ONU 上线时间相距不超过 1 min;即该上线 ONU 可能发生乱发光故障。

4.1.2 网元外部特征(状态)关联分析

当事件关联特征的告警/通知表现不明显,无法

实现精确定位时,则可进一步分析 PON 链路下相关 ONU 状态比对情况。乱发光 ONU 影响其授权相邻时隙 ONU,由于动态带宽分配机制,在一个较长周期内,被干扰 ONU 掉线的分布会较为均匀。因此可定义如下状态特征以匹配规则:

①单 ONU 周期内掉线次数高于其多周期平均统计值(如 N_1 倍),即认为该 ONU 为异常掉线 ONU;

②PON 口下异常掉线 ONU 数大于一定比例(如 30%);

③周期内部分 ONU 掉线次数明显异于(大于或小于)PON 口平均掉线次数(如偏差 50%);

④周期内部分 ONU 掉线次数与 PON 口平均上下线(即掉线)次数持平(如偏差 50%)。

当某 ONU 掉线次数与其周期内的统计平均次数存在明显差异,或当异常 ONU 个数超过 PON 口下 ONU 总数一定比例时,则认为链路存在乱发光干扰(即匹配规则②和规则③);若 ONU 当前故障周期内特征可匹配规则④,则可认为这些 ONU 为疑似故障 ONU。

如图 5 所示,某 PON 口下有 23 个 ONU,平均 ONU 掉线率为 53.7 次/天(OLT 下统计平均 ONU 掉线率 0.7 次/天),偏差为 76.7 倍,明显存在异常。具体而言,该 PON 口下平均掉线(取 54

ONU索引	最近1天	当前1天	最近1小时	当前1小时
1	58	0	0	0
2	64	0	0	0
3	60	0	0	0
4	69	0	0	0
5	63	0	0	0
6	62	0	0	0
7	0	0	0	0
8	83	0	0	0
9	27	0	0	0
10	0	0	0	0
11	69	0	0	0
12	29	0	0	0
13	62	0	0	0
14	65	1	1	0
15	64	0	0	0
16	132	0	0	0
17	127	0	0	0
18	83	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	119	24	2	2
23	0	0	0	0

图 5 单 PON 口 ONU 上下线计数统计

Figure 5 ONU online/offline statistics of a single PON interface

为均值)率偏差 $\pm 50\%$ 的掉线范围为 $[27, 80]$,落入此范围内的 ONU 认为是被干扰 ONU(即被干扰次数近似相等)。除此之外,该 PON 口下,7/10/19/20/21/23 号 ONU 在故障周期内未出现掉线/上线事件(即无引发故障的事件)。16/17/22 号 ONU 偏差均在 120% 以上,因此被定位为疑似故障 ONU。最终在上述 3 个 ONU 中定位流氓 ONU,即将故障范围从 23 个缩减到 3 个,其效率提升了 7.66 倍。

4.1.3 网元内部特征(授权时隙)逻辑分析^[6]

外部指标(告警/通知,ONU 状态等)特征匹配,易受网络实际情况影响。而长(乱)发光故障本质为上行授权时隙干扰,因此基于内部授权时隙的特征匹配分析更为准确。基于授权时隙(以 EPON 的逻辑链路标识(Logical Link Identifier, LLID), GPON 的分配标识符(Allocation Identifier, ALLOCID)为表征)的 ONU 特征进行分析,确定被干扰的授权时隙,并根据一定方法定位到故障 ONU。因此可定义如下特征:

①授权时隙(故障)历史上被分配给其他 ONU;

②多周期内明显掉线 ONU 的授权时隙(故障)一致。

当链路上 ONU 状态不稳定与其授权时隙强相关,且该故障授权时隙曾经被分配过,即满足上述特征①时,可匹配特定授权时隙干扰,并可定位授权时隙(故障)历史上被分配的 ONU 为疑似干扰源。如图 6 所示,确定时隙(如 $slot_6$)其后若干 ONU 在多个授权周期出现掉线,即符合特征②:即指定时隙后的若干时隙被干扰,具体表现可描述为:

周期 1:初始时序:1 至 14 号 ONU,ONU 7/8 被干扰掉线,并在下一个周期重新上线。

周期 2:时序对应关系较上周期发生变化,7/8/9/10/11/12/13/14 的时序对应关系变化为 9/10/11/12/13/14/7/8;同时 ONU9/10/11 受到干扰,发生掉线,并在下一个周期重新上线。

周期 3:时序对应关系较上周期发生变化,9/10/11/12/13/14/7/8 的时序对应关系变化为 12/13/14/7/8/9/10/11;同时 ONU12 受到干扰,发生掉线,并在下一个周期重新上线。

以此类推,由于 $slot_6$ 后的 ONU 出现掉线, $slot_6$ 为临界时隙,相应 ONU 为可疑流氓 ONU。

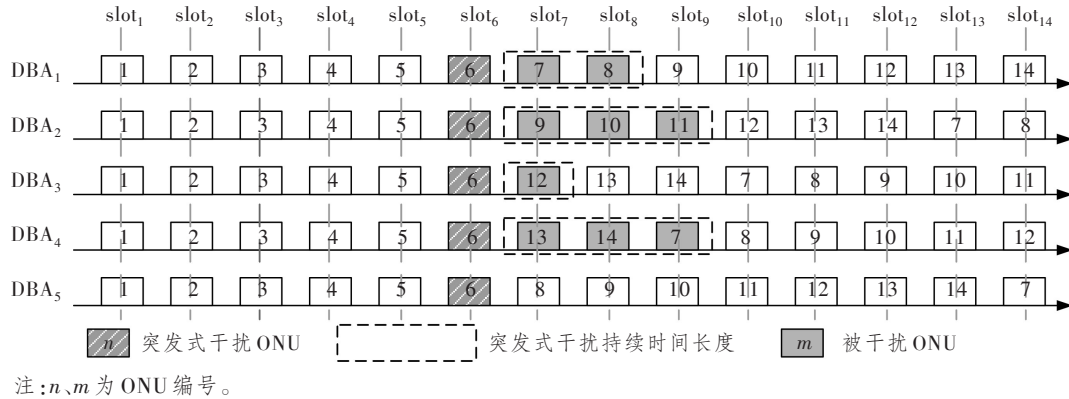


图 6 突发干扰时隙图

Figure 6 The diagram of burst interference timeslot

4.2 特征匹配法使用场景和拓展

通过当前网络(基于PON口)设备外部表现(特征)的感知并基于一定算法进行分析以找到疑似故障ONU,且不依赖于网元设备内部实现与硬件支持能力,因此特征匹配法的适用范围较为宽广,不但适用于长发光ONU的定位,也适用于乱发光ONU的定位。且由于特征匹配法可根据现网实际情况进行特征和算法持续优化更新,具体算法需根据现网大数据分析提取典型特征并更新对应算法,特征匹配法自动更新模型如图7所示,因此更为灵活和有效。匹配法特征库根据现网实际定位结果进行更新,提升匹配准确度;算法增加疑似故障ONU的权重,根据实际判断结果抽象的故障特性与ONU匹配情况动态调整权重,以提高定位准确度及效率。

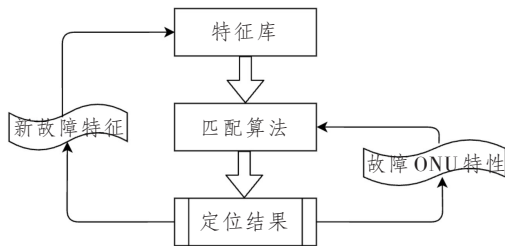


图 7 特征匹配法自动更新模型

Figure 7 Automatic update model of the feature matching method

特征匹配法定位效果可基于样本数扩大以及特征/特性库的动态提升而持续提升,虽然其运行判断基于PON口,但其特征库和算法可依赖于全网实现自动更新。

5 结束语

PON技术的固有特性决定了其上行光路易受长(乱)发光ONU干扰,其根本解决之道在于采用新的多址接入技术(如波分多址接入),并加强ONU质量控制,降低其出现异常的概率。结合现

网实际情况,长(乱)发光故障定位只是故障发生后的处理措施,且检测/定位方法受技术与环境诸多因素制约,单一技术手段或方法往往难以取得理想效果,只有通过多种技术手段的联合应用,检测定位算法的持续更新,才能有效解决问题,不断提升业务感知能力。

参考文献:

- [1] ITU-T G. 984. 3-2008, Gigabit-Capable Passive Optical Networks (G-PON): Transmission Convergence Layer Specification[S].
- [2] IEEE 802. 3-2018, Section 5, IEEE Standard for Ethernet[S].
- [3] 殷明珠,王玮,潘竞顺,等. 下一代相干PON关键技术研究进展与展望[J]. 光通信研究,2024(1):230162. Yin M Z, Wang W, Pan J S, et al. Research Progress and Prospect of Key Techniques for Next-Generation Coherent PON[J]. Study on Optical Communications, 2024(1):230162.
- [4] 陈漾轩,马焕南. 判断长发光ONU的方法、装置及无源光网络系统:中国,CN104065495A[P]. 2014-09-24. Chen Y X, Ma H N. Method, Device, and Passive Optical Network System for Determining Long-Emission ONU: China, CN104065495A[P]. 2014-09-24.
- [5] 余辰东,于金辉. 一种长发光光网络单元的检测方法、装置及光线路终端:中国, CN107294595B [P]. 2017-10-24. Yu C D, Yu J H. A Method and Device for Detecting Long-Emitting Optical Network Units, and Optical Line Terminal: China, CN107294595B [P]. 2017-10-24.
- [6] 余辰东,一种突发式长发光干扰ONU定位的方法及装置:中国,CN111107449B[P]. 2022-05-05. Yu C D. A Method and Device for Locating Burst Long-Emission Interference ONU: China, CN 111107449B[P]. 2022-05-05.