

光接入网络遥测技术的分析与实践



Analysis and Practice of Telemetry Technology in Optical Access Network

刘刚/LIU Gang¹, 张德智/ZHANG Dezhi¹,
陈爱民/CHEN Aimin²

(1. 中国电信集团有限公司, 中国 北京 100033;
2. 中兴通讯股份有限公司, 中国 深圳 518057)
(1. China Telecom Co., Ltd., Beijing 100033, China;
2. ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202303013

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20230620.1621.010.html>

网络出版日期: 2023-06-20

收稿日期: 2023-04-12

摘要: 软件定义网络架构下的Telemetry遥测技术可以完成准确实时的网络测量任务, 已成为网络感知的基础技术之一。介绍了Telemetry技术的发展背景, 分析了光接入网络遥测关键技术——数据订阅和数据发布。中国电信的光接入网遥测实践表明, Telemetry技术采集的数据精度高、准确性好, 能够满足现网需求。认为Telemetry技术将在未来智能网络、数字孪生等领域获得广泛应用。

关键词: 网络遥测; 网元管理; 软件定义网络; 光接入网络

Abstract: The telemetry technology under software defined network architecture can fulfill accurate real-time network measurement tasks, and has become one of the fundamental technologies of network awareness. The development background of telemetry technology is introduced, and the key telemetry technologies including data subscription and data publishing in optical access network are analyzed. The telemetry practice of China Telecom's optical access network has shown that telemetry technology collects data with high accuracy and can meet the needs of the current network. It's believed that the telemetry technology will be widely applied in future fields such as intelligent networks and digital twins.

Keywords: network telemetry; network element management; software defined network; optical access network

引用格式: 刘刚, 张德智, 陈爱民. 光接入网络遥测技术的分析与实践 [J]. 中兴通讯技术, 2023, 29(3): 73-78. DOI:10.12142/ZTETJ.202303013

Citation: LIU G, ZHANG D Z, CHEN A M. Analysis and practice of telemetry technology in optical access network [J]. ZTE technology journal, 2023, 29(3): 73-78. DOI:10.12142/ZTETJ.202303013

1 网络遥测的发展背景

1.1 网络遥测的驱动力

Telemetry是一个传统技术术语, 通常指一个自动通信过程, 其中文字面意思是遥测。该技术是一种远程数据采集技术, 能够远程采集数据, 并将数据传输到接收设备进行分析^[1]。近年来, Telemetry遥测技术因能够实时远程获得物理网络设备和虚拟网络设备的准确信息, 在信息技术 (IT) 和通信技术 (CT) 行业中日益流行。

在Telemetry遥测技术出现以前, 常见的网络设备远程数据采集技术主要有: 命令行界面 (CLI)、简单网络管理协议 (SNMP)、系统日志 (SYSLOG)、网络配置协议 (NETCONF), 相应技术分析如表1所示。

这些传统技术在用来获取网络设备运行状态信息时, 存在诸多不足:

1) 不同数据采集技术能够获取的信息各有不同且不够完整, 需要组合起来使用;

2) 在网络设备的各种状态信息中, 除了告警和事件采用了实时性较好、主动上报的PUSH推送模式以外, 其他信息都只支持基于查询&应答的PULL获取模式。PULL模式存在一些缺点: 数据获取慢、操作效率低; 报文传输时延的不确定性导致采样数据的时间戳不精确。

3) 网络设备各种状态信息的规范化程度不够高, 很多都是设备厂家自定义的数据格式, 不利于实现构建统一的数据分析平台。

随着当前网络规模不断扩大、业务速率不断提高^[2-5], 传统网络设备远程数据采集技术已经难以满足网络智能管控所需的、不断提高的数据精度要求。过于频繁的数据查询将大量消耗数据采集器和网络设备的运算资源和网络资源: 网络设备提供的采样数据的准确性可能会劣化; 数据处理延迟可能会加大, 从而导致采样数据时间戳的准确性产生劣化; 在极端情况下, 部分网络设备可能会因处理性能的设计余量被过度透支而影响正常业务。

理想的Telemetry远程数据采集技术应当具备以下几个

▼表1 常见的网络设备远程数据采集技术

技术参数	CLI	SNMP GET	SNMP TRAP	SYSLOG	NETCONF	NETCONF通知
数据获取方式	PULL 获取	PULL 获取	PUSH 推送	PUSH 推送	PULL 获取	PUSH 推送
信息数据模型	设备特定	标准&设备特定 MIB	标准&设备特定 MIB	设备特定	YANG 模型	YANG 模型
典型数据信息	配置信息 状态信息 告警/事件	配置信息 状态信息	告警/事件	事件	配置信息 状态信息	告警/事件
典型操作频度	1 min	1 min	1 s	1 s	1 min	1 s

CLI: 命令行界面 MIB: 管理信息数据库 NETCONF: 网络配置协议 SNMP: 简单网络管理协议 SYSLOG: 系统日志

特点^[1]:

- 1) 选择订阅-发布 (Sub-Pub) 模式, 即网络设备接收订阅, 周期发布采样数据;
- 2) 选择主流的控制协议和数据流协议, 使用标准化数据模型;
- 3) 选择有成熟工具链支持的数据存储和检索方式。

1.2 网络遥测的产业现状

Telemetry 网络遥测技术可被视为“软件定义数据采集”, 是传统网络测量技术与软件定义网络 (SDN) 技术的结合。网络的智慧化演进为 Telemetry 网络遥测技术提供了广阔的应用场景。如何更加高效地协调网络控制平面、数据平面和管理平面的资源, 对网络进行更为实时、准确和可靠的数据采集, 实现网络的智慧管控, 已经成为重要的研究内容^[6]。

目前学术界网络遥测的代表性研究成果包括: 带内网络遥测 (INT)、原位操作维护管理 (In-situ OAM)、主动网络遥测 (ANT)、被动网络遥测 (PNT)、交替标记性能测量 (AM-PM) 等^[6]。

互联网工程任务组 (IETF)、宽带论坛 (BBF) 等国际标准组织正在开展网络遥测相关的标准制订工作。IETF 正在进行 In-situ OAM、PBT、iFIT 和 AM-PM 的标准化工作^[6]。BBF 正在推进自动智能管理架构 (AIM) 的标准化进程。其中, AIM 的采集功能 (CF) 模块支持 Telemetry 技术^[7]。

中国的标准组织中国通信标准化协会 (CCSA) 在推进 Telemetry 相关标准方面更胜一筹。中国电信牵头编写的 Telemetry 行业标准^[8]即将发布。同时, 诸如《接入网设备测试方法 Telemetry 接口采集功能》等标准也在稳步推进中。

2 网络遥测关键技术分析

Telemetry 网络遥测系统可分为采控层和网元层, 如图1所示。

采控层由 Telemetry 遥测业务相关的控制、采集和分析软件组成, 负责遥测任务的编排, 向网元层下发数据订阅, 并完成网元层发布的遥测数据的接收、存储和分析。采控层通过 Telemetry 遥测服务接口向外部应用提供所需的数据或数据分析结果。典型的应用有流量分析、流量预测、运行状态记录、根因分析、业务质量评估、业务质量保障等。

网元层由物理网络设备或虚拟网络设备组成, 负责执行数据订阅任务, 完成被订阅数据的采集、封装和周期发布。

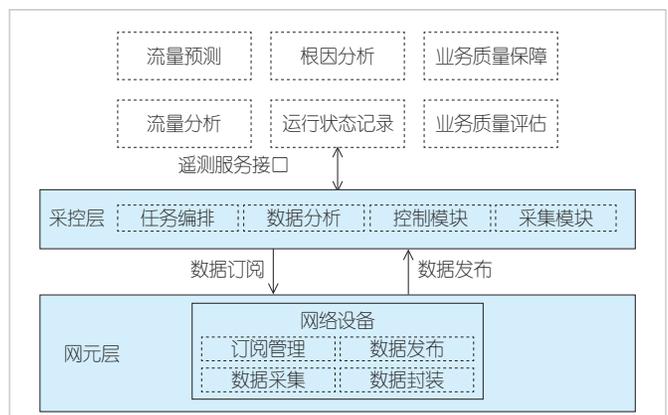
本文讨论的 Telemetry 技术是采控层与网元层的核心工作机制, 其关键技术涉及数据订阅、数据发布。

2.1 数据订阅

Telemetry 数据订阅是指: 数据订阅者向数据源设备发送 Telemetry 订阅报文, 请求将指定的遥测数据上报给指定的数据接收者。订阅报文至少包含以下信息: 指定的数据采集项、数据的发布周期、数据的接收者等。

2.1.1 数据订阅使用的协议和数据模型

Telemetry 数据订阅必须使用主流控制协议和标准化数据模型。光接入网络的 Telemetry 数据订阅使用 NETCONF 协议和 CCSA 标准 Telemetry YANG 数据模型, 从而有效保障订



▲图1 Telemetry 网络遥测系统的逻辑框架

阅操作的通用性和规范性。

网络配置协议 NETCONF 由 IETF 的 RFC4741 发布（后来更新为 RFC6241），目前已经成为主流的网络设备配置协议。数据建模语言 YANG 由 IETF 的 RFC6020 发布（后来更新为 RFC7950），可以描述任何一个由诸多数据节点构建而成的多层级树形结构。YANG 语言用于 NETCONF 协议相关数据和操作的建模，以及标准化的数据模型定义。

CCSA 的 Telemetry 行业标准^[8]定义了光接入网络适用的 Telemetry 标准 YANG 模型。相关框架结构如下：

```

+--rw telemetry-system
+--rw sensor-groups
| +--rw sensor-group* [sensor-group-id]
| +--rw sensor-group-id -> ../config/sensor-group-id
| .....
| +--rw sensor-paths
| +--rw sensor-path* [path]
| +--rw path -> ../config/path
| .....
+--rw destination-groups
| +--rw destination-group* [group-id]
| +--rw group-id -> ../config/group-id
| .....
| +--rw destinations
| +--rw destination* [destination-address destination-port]
| +--rw destination-address -> ../config/destination-address
| +--rw destination-port -> ../config/destination-port
| .....
+--rw subscriptions
+--rw persistent-subscriptions
| +--rw persistent-subscription* [name]
| +--rw name -> ../config/name
| +--rw config
| | +--rw name? string
| | +--rw local-source-address? an-inet:ip-address
| | +--rw originated-qos-marking? an-inet:dscp
| | +--rw protocol? identityref
| | +--rw encoding? identityref
| | .....
| +--rw sensor-profiles
| | +--rw sensor-profile* [sensor-group]
| | +--rw sensor-group -> ../config/sensor-group
| | +--rw config

```

```

| | | +--rw sensor-group? -> ../../sensor-groups/
sensor-group/config/sensor-group-id
| | | +--rw sample-interval? uint64
| | | +--rw heartbeat-interval? uint64
| | | +--rw suppress-redundant? boolean
| | | .....
| +--rw destination-groups
| +--rw destination-group* [group-id]
| +--rw group-id -> ../config/group-id
| .....

```

2.1.2 Telemetry 数据订阅的要素分析

在 Telemetry 的 YANG 模型中，subscriptions 节点下的 persistent-subscriptions 代表了数据订阅列表，其下每个 persistent-subscription 节点代表一个数据订阅。数据订阅主要包括以下信息：

1) 订阅名

每个订阅都需要被设定一个独一无二的名字。

2) 数据发布使用的本地通信地址、通信协议类型和编码类型

在光接入网络中，光线路终端（OLT）设备支持 Google 远程过程调用（gRPC）协议或用户数据报协议（UDP）进行数据发布，支持 protobuf v3 数据编码。

3) 被订阅的采样数据和样本周期

sensor-profiles 节点代表被订阅的数据列表，其下的每个 sensor-profile 节点均包含一个被选中的传感器组（sensor-group）以及期望的样本间隔。传感器组可以理解为事先定义好的、由一个或多个采样路径（sensor-path）组成的采样数据群组。在光接入网络中，OLT 设备被要求支持 CCSA Telemetry 行业标准^[8]规定的标准采样路径。其中，每个特定的采样路径字符串代表一个标准的采样数据集。这种方法具有规范性好、便于实现的优点，适合信息成员固定的 OLT 设备的 Telemetry 数据采集。

在光接入网络中，考虑到不同属性的数据信息有各自的数据变化频度，CCSA Telemetry 行业标准^[8]为每个采样路径设定了各自的数据样本间隔门限值。

4) 数据采集对象

Telemetry 的 YANG 模型没有数据采集对象节点，因此不支持显式配置。整个网络设备中与采样路径相关的所有适用对象都会被纳入数据采集范围。在光接入网络中，CCSA Telemetry 行业标准^[8]可以通过为采样路径设定特定的过滤条件来指定某个数据采集对象。

5) 采样数据的接收者

destination-groups 节点代表被订阅采样数据的接收者列表，其下的每个 destination-group 节点均代表一个被选中的目标组。目标组可以理解为先定义好的、由一个或多个数据接收者组成的群组。

2.2 数据发布

Telemetry 数据发布是指数据源设备遵从数据订阅的要求，完成指定数据的采集，并按指定样本周期，将采样数据封装后定期上报给指定接收者。

与数据发布相关的主要技术要点包括：数据发布使用的协议和数据发布使用的数据编码类型。

2.2.1 数据发布使用的协议

数据发布使用的协议包括 gRPC 协议和 UDP 协议。表 2 给出了这两种协议的对比。

gRPC 协议适合 Telemetry 采样数据的发布，通过 proto 文件定义标准化的数据信息模型，可以灵活高效地实现 Telemetry 遥测数据的推送。在光接入网络中，CCSA 的 Telemetry 行业标准^[8]指出，可以选择 gRPC 协议作为数据发布协议。

在使用面向连接的协议（例如 gRPC 协议）进行 Telemetry 数据发布时，网络设备内部分布式采集到的数据可能会遇到系统级单连接的转发问题，数据并发上报能力受到限制。此外，采集层控制模块也可能受到系统可用的传输控制协议（TCP）长连接资源的限制，能够并发采集的网络设备的数量也受到限制。在光接入网络中，CCSA 的 Telemetry 行业标准^[4]指出，也可以选择 UDP 协议作为数据发布协议。

2.2.2 数据发布使用的数据编码类型

Telemetry 遥测数据使用直观灵活的信息表达格式，同时编码方式须支持高效压缩以保证海量数据的传输和存储效率。

Google 协议缓冲区（ProtoBuf）是源自 Google 公司的一种针对结构化数据的序列化工具，拥有出色的序列化效率和数据压缩率，而且与编程语言和平台无关。ProtoBuf 的序列化采用二进制而非文本。虽然数据流的可读性差，但数据额外开销极小。ProtoBuf 的数据压缩效率高，解析速度快。

在光接入网络中，CCSA 的 Telemetry 行业标准^[8]选择使用层次化的 ProtoBuf 文件来分层定义 Telemetry 遥测数据的发布格式，涵盖 RPC 层、Telemetry 层和业务数据层，规定了每个采用路径各自对应的采样数据集的数据格式。不同的 Telemetry 数据发布协议并不影响 Telemetry 数据的信息格式。无论是使用 gRPC 协议还是使用 UDP 协议，作为数据净荷的 Telemetry 层和业务数据层都使用完全相同的数据格式。

3 光接入网络遥测技术的实践

中国电信积极推动网络遥测技术在光接入网络的应用，牵头制订了 CCSA 标准《接入网设备支持基于 Telemetry 接口采集功能的技术要求》。2021 年 8 月，中国电信研究院组织中兴通讯、华为、烽火三大 OLT 设备制造商进行 OLT 设备的 Telemetry 实验室联调测试，确定了光接入网络适用的 Telemetry 遥测技术，完成了技术方案及测试方案的更新。

3.1 光接入网络遥测技术方案

1) 光接入网络的 Telemetry 数据订阅者

在光接入网络中，为了确保网络的管控安全，Telemetry 数据订阅者只能是采控层的控制模块：OLT 设备只接纳采控层控制模块发起的 NETCONF 数据订阅会话和数据订阅事务。

2) 光接入网络适用的 Telemetry 数据发布协议

OLT 设备作为光接入网络的局端设备，拥有多种类型业务状态的数据：流量类统计数据（样本间隔为 1 s），包括上联口流量、无源光网络（PON）口流量、光网络单元（ONU）流量、ONU 业务流流量、端口的队列流量；OLT 光

▼表 2 gRPC 协议和 UDP 协议的对比

协议类型	规范性	通用性	技术特点
gRPC 协议	源自 Google 公司的一个开源的 RPC 框架	云原生计算基金会的孵化项目，目前已被广泛使用	<ul style="list-style-type: none"> 使用 Proto Buffer 可快捷定义服务 部署方便且支持扩展 跨语言跨平台的强大工具链 基于 HTTP2 实现高效编码数据流的双向收发
UDP 协议	IETF RFC 768 发布的一种传输层协议，一种无须预先建立连接就可以直接发送 IP 数据包的方法	互联网基础协议之一，至今仍然广泛使用	<ul style="list-style-type: none"> 发送者在发送 UDP 数据前无须预先与接收者建立连接，随时可发送且发送时延小 UDP 数据包的传输是尽力而为、没有保障的，但不影响发送

gRPC: Google 远程过程调用
HTTP2: 超文本传输协议第 2 版

IETF: 国际互联网工程任务组
RFC: 请求注释文档

RPC: 远程过程调用
UDP: 用户数据报协议

模块状态数据（样本间隔为1~3 min），即PON口光模块状态数据；ONU状态数据（样本间隔为5~15 min），包括ONU光模块状态数据、ONU状态及下行链路信息、ONU在线信息、ONU上行链路信息。

典型的满配OLT设备为：15个PON线卡，每块线卡有16个PON口，每个PON口支持32个ONU，每个ONU对应4个业务流。相应的Telemetry采样对象规模为：2~8个上联口、240个PON口、7 680个ONU、30 720个业务流。据此估算，OLT设备系统级需要支持30 000个采集数据对象。按每个采集对象的样本数据以及适用的样本间隔估算，OLT设备系统级需要每秒发送7 500个满载采样数据包。

当前光接入网络中的OLT设备通常都采用分布式硬件架构，每块线卡都有一定的数据采集和数据发送能力。充分利用OLT设备的线卡级并发处理能力，可以在不影响设备正常业务功能的前提下满足Telemetry的性能要求。因此，光接入网络OLT设备Telemetry数据的发布协议优先选择UDP，以便于OLT设备实现Telemetry任务的线卡级并发。

3.2 中国电信的光接入网络遥测试点

2021年9月，中国电信研究院联合广东电信、安徽电信、四川电信、浙江电信、江苏电信等，针对OLT基于Telemetry接口采集功能技术方案中的设备功能和性能、采集器软件性能等技术专题，开展试点验证工作。现网试点的典型组网方案如图2所示。

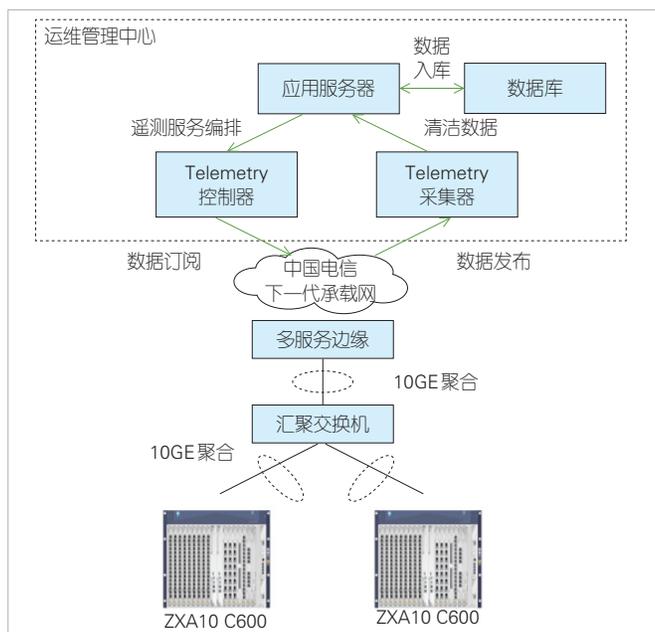
OLT设备通过多条10 GE链路上联汇聚交换机。汇聚交换机通过多条10 GE链路上联多服务边缘（MSE）设备，然后接入中国电信下一代承载网。在运维管理中心内，应用服务器向Telemetry控制器提交遥测服务请求。Telemetry控制器向OLT设备下发相应的数据订阅。Telemetry采集器接收来自OLT设备的数据，并在完成无效数据清洗后上报应用服务器。随后，应用服务器将数据保存到数据库并进行分析处理。

3.3 中国电信的光接入网络遥测实践成果

中国电信现网Telemetry规模试点表明：OLT设备基于Telemetry技术的高精度数据采集方案是可行的，Telemetry数据的采集上报与现网业务之间具有较好的兼容性和稳定性，同时采集器软件也具有良好稳定性。Telemetry技术采集的数据精度高、准确性好，能够满足现网需求。这一实践成果充分验证了Telemetry这种新型网络遥测技术的价值。

1) 采集数据的精度提升明显

以上联口流量信息为例，传统SNMP技术的数据采集精度通常为5 min。当采用Telemetry技术后，数据采集精度可



▲图2 Telemetry现网试点的组网方案

达1 s。从图3可以看出，Telemetry技术获取的数据精度远高于传统SNMP技术。

2) 采样数据的时间戳更为准确

在使用SNMP技术实施数据采集时，数据采样时间的准确性会受到应答数据传输时延波动的影响。采用Telemetry技术之后，由于遥测数据自身携带有样本数据的时间戳信息，因此采集器在接收数据后，可以准确知晓样本数据的采样时间，不再受到数据上传时延的影响。

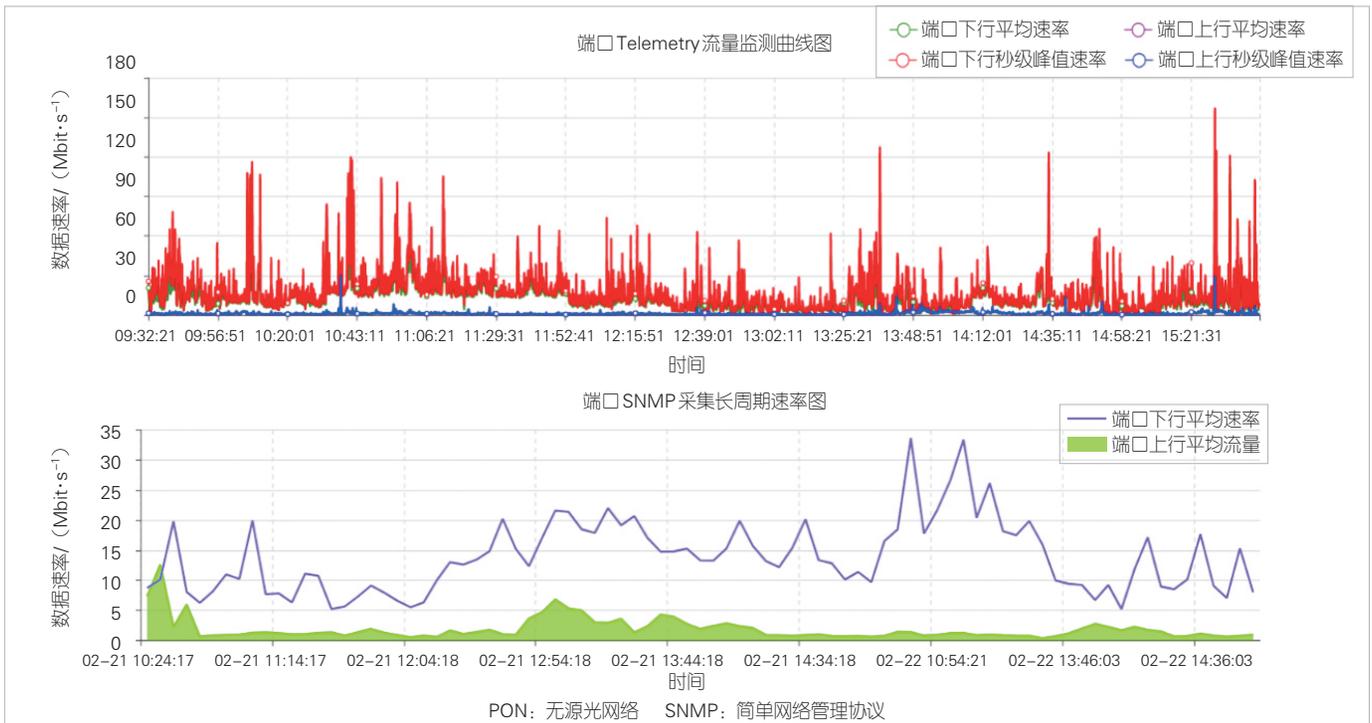
3) 采样数据的传输效率得到提升

对于同样的数据采集任务，采用Telemetry技术的传输效率比SNMP技术要高得多。同时数据传输占用的平均带宽大大降低。以某个采集任务为例：以1 min为采样频率，采集单个OLT设备的32个上联口流量信息，持续采集10 min。当使用SNMP技术实施数据采集时，数据包总量为545 kB；当采用Telemetry技术时，数据包总量为14 kB，这时数据包总量减小了531 kB，数据传输平均带宽降低了约97%。

4 未来发展方向

Telemetry在技术层面值得探索的方向还有很多：提供更丰富的数据信息，例如采集使用随流检测技术度量出来的业务质量数据；支持由指定事件或者指定阈值越界触发的遥测任务订阅，例如只有当上联口流量超过50%时，某个订阅才启动；支持采集项的数值有变化才上报的压缩模式，例如光模块温度值没有变化就不重复上报。

Telemetry作为未来网络智慧化的关键技术之一，必将



▲图3 现网试点的Telemetry数据(采样周期1 s)与SNMP数据(采样周期5 min)对比

会在自智网络、数字孪生等领域得到广泛应用，例如：参与智能网络管理流程，提供实时精准的设备和网络的全方位信息，实现光接入网络和家庭网络的自动化和智能化。

5 结束语

本文从网络遥测的发展背景和产业现状出发，分析了网络遥测关键技术，展示了中国电信的光接入网络遥测实践成果，最后讨论了网络遥测技术的未来发展方向。当前的实践已经证明，Telemetry遥测技术具有广阔应用前景，而且在关键技术和应用领域方面存在巨大的研究和创新空间，值得产业界继续积极探索。

参考文献

- [1] BROCKNERS F, CLAISE B. Telemetry: industry status, challenges, and IETF opportunities [EB/OL]. (2019-03-28)[2023-04-15]. <https://datatracker.ietf.org/meeting/104/materials/slides-104-edu-sessa-telemetry-industry-status-challenges-and-ietf-opportunities-00.pdf>
- [2] 史凡. 云网络: 云网融合的新型网络发展趋势 [J]. 中兴通讯技术. 2022, 27(1): 8-10. DOI:10.12142/ZTETJ.202201004
- [3] ZHANG W L, YUAN L Q. Higher speed passive optical networks for low latency services [J]. ZTE communications, 2021, 19(2): 61 - 66. DOI: 10.12142/ZTECOM.202102008
- [4] 王卫斌, 周建锋, 黄兵. ODICT融合的网络2030 [J]. 中兴通讯技术. 2022, 27(1): 47-56. DOI:10.12142/ZTETJ.202201011
- [5] 陆平, 欧阳新志, 高雯雯. 5G行业虚拟专网能力提升与实践 [J]. 中兴通讯技术, 2022, 27(2): 68-74. DOI:10.12142/ZTETJ.202202011
- [6] 谭立状, 苏伟, 张臻熠, 等. 网络遥测研究进展 [EB/OL]. (2019-03-28)[2023-04-15]. https://www.researchgate.net/publication/341479151_wangluoyaoceyanjijinzhan
- [7] Access & home network O&M automation/intelligence: TR-436 [S]. 2021
- [8] 接入网设备支持基于Telemetry接口采集功能的技术要求 [EB/OL]. [2023-04-

15]. <https://www.doc88.com/p-48139677418059.html>

作者简介



刘刚，中国电信集团有限公司云网运营部无线和接入网运行处副处长、高级工程师；主要研究方向为PON网络技术、千兆宽带、全屋智能等；牵头推进中国电信移动及光网质量双提升、接入网切片方案及关键技术等项目；获中国通信标准化协会科学技术奖二等奖。



张德智，中国电信集团有限公司光接入领域高级专家、中国电信研究院网络技术研究所接入网络研究中心总监；主要研究方向为下一代高速PON、工业PON、全光组网、光接入网SDN和智能化等；负责中国电信的多项科研项目；在ITU-T牵头制定10余项国际标准，发表论文10篇。



陈爱民，中兴通讯股份有限公司光接入产品线规划总工；主要研究方向为下一代宽带接入架构、光接入网SDN和自智网络演进、50G PON技术等；负责新一代OLT产品设计和创新解决方案；发表论文3篇，拥有专利10项。