



专题：数据网络协议架构创新——NewIP

温敏网络的关键能力和架构体系

孙嘉琪¹, 杨广铭¹, 党娟娜², 刘文杰²

(1. 中国电信股份有限公司智能网络与终端研究院, 广东 广州 510630;

2. 华为技术有限公司, 北京 100095)

摘要: 温敏网络给网络安装了高精度的智能传感器, 以快速感知网络的质量, 挖掘网络的最大能量, 能满足业务 SLA 保障、网络更高可靠和最大通量。温敏网络提出的 nTouch、xRecognition 和 iX 关键技术能力, 能够很好地应对低时延、高带宽、易流量微突发的未来网络, 可作为复杂多变网络的基础能力。

关键词: 温敏网络; 网络测量; 分布式网络优化; 集中式网络优化

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019216

Critical capabilities and architecture of the iCAN

SUN Jiaqi¹, YANG Guangming¹, DANG Juanna², LIU Wenjie²

1. Research Institute of Intelligent Network and Terminal of China Telecom Co., Ltd., Guangzhou 510630, China

2. Huawei Technologies Co., Ltd., Beijing 100095, China

Abstract: The intelligent capability-aware network (iCAN) has installed intelligent sensors with high accuracy to quickly perceive the quality of the network, tap the maximum energy of the network, and meet the business SLA guarantee network reliability and maximum throughput. The key technology capabilities including nTouch, xRecognition and iX in iCAN were proposed, which could cope well with future network with low latency, high bandwidth and traffic micro-burst, and could be used as the basic capability of complex and variable network.

Key words: iCAN, network measurement, distributed network optimization, centralized network optimization

1 引言

1.1 新的业务挑战

5G 的引入^[1-2]促进传统业务向消费者生活渗透, 为车联网、对战类游戏、VR 和全息通信等业务带来很大的发展空间。新型业务也对未来网络提出如下新的要求。

(1) 毫秒级低时延

车联网^[2-4]和对战类游戏属于典型的毫秒级时延业务。车联网自动驾驶场景中两辆车通过网络通信要求 IP 承载网 0.5~1 ms, 对战类游戏要求 IP 承载网 5~15 ms。

(2) 大带宽

VR 和全息通信属于典型大带宽业务, 例如一个

收稿日期: 2019-08-10; 修回日期: 2019-09-04

基金项目: 国家重点研发计划基金资助项目 (No.2018YFB1800100)

Foundation Item: The National Key Research and Development Program of China (No.2018YFB1800100)

VR 业务带宽可高达 4.2 Gbit/s、一个手机屏幕大小的全息影像带宽可高达 12.6 Gbit/s。

(3) 流量微突发

新型业务最典型的特征是交互式业务，易流量微突发，即持续时间很短的剧烈突发流量，如在韩国的某类 CloudVR 业务属于脉冲式流量模型，在毫秒级时间之内 50 Mbit/s 的平均视频流的脉冲峰值可达 750 Mbit/s。根据调研，现网存量业务越接近末端，其流量微突发现象越严重。微突发流量的特点为不确定性和公共性。不确定性指措手不及地发生，公共性指可能危害公共的传输业务。所以，交互类新型业务叠加和规模达到一定的量后，未来网络的突发问题会越来越严重，且将带来网络拥塞引发额外时延并干扰其他公共业务。

综上所述，新型业务的低时延、高带宽和流量微突发的特征，对未来的网络产生新的挑战。

1.2 传统网络的技术问题

众所周知，传统的 IP 承载网的特征是根据目的 IP 地址 best effort（尽力而为）地转发，特点是灵活、易于部署，所以在网络发展初期 IP 网络得以快速普及。但是 IP 网络的尽力而为特征不感知网络流量大小，在收敛型架构的网络中易局部拥塞。而今大部分运营商的网络平均利用率为 30%~40%^[5]，目的是通过低负载来缓解局部拥塞的问题，以确保用户体验。

平均利用率为 30%~40% 的网络面对低时延、高带宽、流量微突发的未来网络时也显得力不从心，按照传统思路只能通过提升 CAPEX 而进一步地降低网络平均利用率。显然，这是一种被动防守的高成本的举措。

所以，温敏网络的概念来临了。

2 温敏网络理念

温敏网络，“温”指网络质量，“敏”指反应速度。温敏网络相当于给网络安装了高精度的智能

传感器快速地感知网络质量，挖掘网络的最大能量，以满足业务质量保证、网络高可靠和最大通量。

(1) 业务质量保证。网络拥塞导致业务传输时延增大甚至分组丢失，有了温敏网络以后就可以解除网络拥塞，降低因为局部拥塞传输而出现的路径额外时延。

(2) 网络高可靠。网络故障引发的网络分组丢失可以在最精准的时间内被捕获，触发流量可用的备份路径切换，极大地提升了网络的可靠性。

(3) 最大通量。网络最大程度地分担负载，网络的通量自然而然提升。

温敏网络是在全网资源允许的情况下可开启的关键能力。

3 温敏网络关键能力

温敏网络包含 nTouch、xRecognition 和 iX 3 个关键能力单元，如图 1 所示。

3.1 nTouch

高精度的智能传感器取名为 Network Touch (nTouch)。nTouch 包含毫秒级精度的网络质量测量和网络拥塞评估两个关键能力。

3.1.1 毫秒级精度的网络质量测量

传统的 OWAMP^[6]和 TWAMP^[7]测量技术精度和效率上已经满足不了新型业务要求。

(1) 分钟级检测。设备工作原理已经决定其大于分钟级的精度，原因是设备控制面发起的测量分组，通过设备数据面进行测量后再由设备数据面上送给设备控制面进行测量数据收集。

(2) 统计流量速率为测量周期内的流量平均速率和流量峰值平均速率。当初这么设计，主要结合当时的设备能力，尽可能减少网络测量对设备的资源消耗。到后面，考虑平均流量满足不了对网络拥塞判断的需求，例如提出 5 min 的检测结果在携带流量平均速率的同时必须携带秒级峰值。

随着设备能力的提升和新业务的逐步发展，传统分钟级的检测技术成为检测精度不够的硬

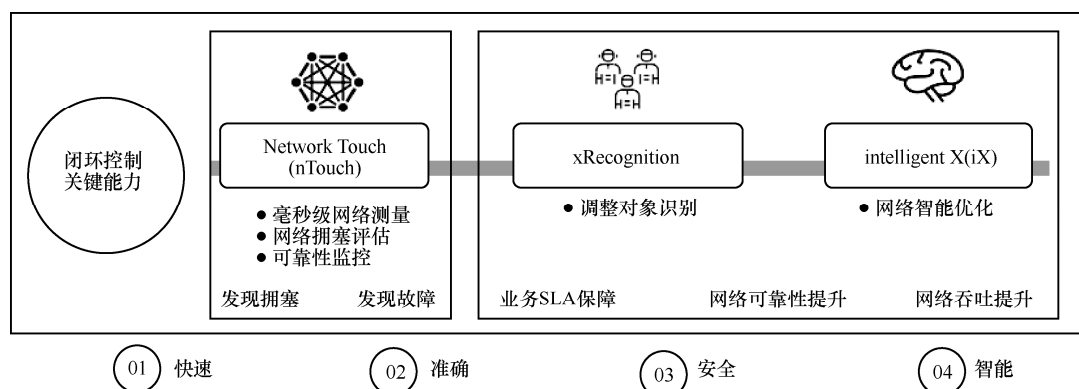


图1 温敏网络关键能力

伤，毫秒级的网络性能检测也被提上日程。

温敏网络 nTouch 能力单元的网络质量测量技术精度为毫秒级，要求测量发起、测量数据收集都在设备数据面完成。

目前，网络测量已经是一个热门话题，包含带外和 In-situ 带内测量两个技术分支。传统的 OWAMP^[4]和 TWAMP^[5]属于典型带外技术，其原理是生成测量报文插入业务流中进行测量；iFit 和 iOAM 属于 In-situ 带内测量，其原理是给业务报文中插入测量报文字段，俗称“染色”。

(1) 带内技术的特点是轻便，新型的带内测量技术可要求设备支持 3.3 ms 发一次测量分组来提升测量精度，不要求时间同步仅做到频率同步即可。设备硬件在飞速发展，已有能力支撑该诉求。

(2) In-situ 带内测量可微观到具体业务流的质量，例如一个明确的 OTT 业务。但其特点是要测量业务流的每个报文。如果进行业务粒度的故障定位，该方式显然是最合适的。

所以不同的测量对象可以采用不同的测量方法。路径属于基本的传输通道，需要全网或者部分网络开启测量和测量评估，可以采用新型的带外测量技术；具体的业务流监控可采用 In-situ 测量方法，不必要全网开启以降低对设备和带宽资源的消耗，可按需部署，目的是提升业务故障的定界定位效率。

3.1.2 网络拥塞评估

收集到网络数据以后，温敏网络 nTouch 能力

单元就可以进行网络拥塞度评估。

传统网络拥塞判断是通过检测链路利用率和分组丢失率两个指标来衡量的。例如链路利用率超过 80%，则认为链路拥塞；如果网络持续拥塞导致网络缓存不够则引发分组丢失，则链路拥塞可以被判断为变得更加严重。在传统方案中，设备上收集的网络性能数据会直接上送到一个外部系统，由外部系统做拥塞评估。如果发现某些链路拥塞，外部系统则通知运营商进行网络扩容。传统方案最大的问题是检测对象单一、缺乏 E2E 视图。

温敏网络 nTouch 的拥塞评估分为路径、链路等层级。路径最接近业务意图，链路次之，不仅限于本文所描述的对象。先讲路径和链路两个层级。

(1) 路径拥塞

路径是一个 E2E 概念，以边缘头节点为始、边缘尾节点为终，中间可以跨域多跳网络设备。一对确定的边缘头节点为始和边缘尾节点之间可以有多个负载分担路径。

如果路径拥塞，其时延会增大，增大到途经网络节点缓冲（网络 buffer）不够用时就开始出现分组丢失。

(2) 链路拥塞

网络链路属一跳的概念，属本节点和邻居节点之间。链路相比路径粒度更粗，如一条链路可以承载多条路径。

如果链路拥塞，则为带宽利用率超过阈值甚至分组丢失。

nTouch 能力应用在多条负载分担路径场景时,首先是要具备多条负载分担路径的视图,例如 $\text{Group}_n\{\text{LSP1}, \text{LSP2}, \text{LSP3}, \dots, \text{LSP}_n\}$ 。这一组路径要具备质量的可比性,则就需要在同一个时间窗发起和完成测量。

所以不管最终选择带外还是 In-situ 带内测量方法,都需要考虑多条负载分担路径的场景,协议上要具备其扩展能力。

3.2 xRecognition

使能该能力单元有一个前提,就是网络是负载分担的。

nTouch 执行完毕以后,在评估出来网络有局部拥塞时,如果网络非负载分担模式,则 nTouch 直接通知运营商进行扩容;如果网络是负载分案模式,则 nTouch 可以联动 xRecognition 和 iX 能力单元进行智能负载分担。

那么本文继续讨论 xRecognition 能力单元。x 代表一个事物对象,它可能是路径,也可能是流,也可能是本文档未包含的其他内容。路径和流的具体情况如下。

(1) 如果路径发生拥塞,业务识别 path Recognition (pRecognition) 能力单元会从拥塞路径中挑选出合适的业务流,由 iX 进行流填充目的调整到其他轻载路径来解除拥塞。

(2) 链路拥塞时,业务识别 flow Recognition (fRecognition) 能力单元会从拥塞链路中挑选需要调整的路径,由 iX 进行重新算路绕行拥塞链路来解除拥塞。

xRecognition 相当于一个小型数据库,缓存了毫秒级精度的路径或者业务流统计信息。如果还需要在现有基础上继续提高精度,可基于 xRecognition 的数据进行路径或者流量的趋势预测。这个趋势预测不同于外部系统预测,主要体现在毫秒级的时间精度上。则 iX 可以根据算法和预测参数综合进行评估。

3.3 iX

iX (intelligent X) 关键能力是智能算法。

传统方案已经具备设备级和路径级负载分担能力,但是负载分担算法是静态的,进一步地说,即无法根据流量的实际情况灵活地进行调整。流量变化越大,传统方案限制越大。所以,网络局部拥塞的解除依然是一个热门话题。

基于设备级和路径级负载分担能力,温敏网络 iX 提供了智能负载分担算法,即根据流量的变化调整负载分担算法,最终达到网络的负载均衡。

iX 包含 iFlow 和 iPath 两大组件。

(1) iFlow (intelligent Flow)

路径拥塞时, iFlow 从 fRecognition 中获取合适的流填充进负载分担轻载路径中。

理想状态, iFlow 启动调整之后不会引发轻载路径拥塞。轻载路径不拥塞有两个层面的衡量指标,第一指标是路径时延保持路径最小时延,第二个相对宽松的指标即分组不丢失。其次,轻载路径的剩余带宽^[8]也是一个关键的研究点,后续将有专门的文章进行说明和论证。

关键问题是看被调整的流量属于什么流量。如果其要求比较苛刻,则路径时延需要一直保持路径最小时延;如果其质量要求比较宽松,则路径被要求不分组丢失即可。

(2) iPath (intelligent Path)

链路拥塞时, iPath 从 Recognition 获取合适的路径进行重新计算以绕行拥塞链路。链路拥塞基本的判定办法,已在网络中商用,本文不在此赘述。

4 温敏网络架构

温敏网络的架构设计主要考虑如何对其关键能力单元进行排兵布阵,以满足不同场景的需求。限定条件是在有限的软硬件资源条件下,如何最大程度地满足业务上的高质量诉求。

温敏网络架构分为集中式和分布式。

(1) 分布式。设备从本地收集到网络质量信息可直接就地决策,特点是更快、更准。“快”体现在处理时效上,“准”体现在网络拥塞的有效机



会窗内解决问题，所以快和准是相应而生的。

(2) 集中式。集中式控制器可以从网络每个节点收集到全网信息集中决策，擅长做全局资源调整。它的特点是慢但更全面。“慢”同样体现在处理时效上，“更全面”则是因为它掌握着全网信息。

要选择分布式和集中式，首先看各自拥有的完整业务视图范围。分布式设备的头节点具备多个负载分担路径的完整视图；集中式控制器拥有一个链路承载的多个不相关（例如不同源不同宿）的路径视图。

接着，要解决的具体问题如下。

(1) 如果要解决网络微突发引发的网络拥塞问题，分布式架构的处理时效可以满足。而且路径视图更接近业务视图，对于业务流量的微突发更易感知和处理。

(2) 如果要解决链路拥塞，那么拥有全网路径视图的集中式处理是最合适的。

4.1 基于温敏网络的分布式网络控制模型的建立

基于温敏网络的分布式网络控制模型的建立如图2所示。例如边缘节点A和边缘节点B之间存在多条负载分担路径，要更好地服务于业务，就必须更高程度地负载均衡。那么，该模型关注网络负载分担多路径的质量。

对于一条路径而言：

- 如果只承载一种业务，那么该网络路径的质量就代表所承载业务的质量；
- 如果承载多种优先级业务，那么该路径就拥有不同对应级别的质量。一般情况下，路径质量代表最低优先级的业务质量，因为高优先级业务可以抢占低优先级业务带宽，所以路径拥塞最直接的受害者就是低优先级业务。如果网络规划跟不上业务发展，则高优先业务直接被网络拥塞影响体验的情况也是存在的。理想状态就是，一个路径会存在针对不同优先级的业务质量。

对于一组负载分担路径而言，nTouch 在对等条件下对多路径的质量测量和评估，fRecognition 提供流信息识别方法，iFlow 从拥塞路径中挑选合适的流负载分担到其他轻载路径上。

如果要应对微突发的业务，这些能力都需要设备数据面完成。

该模型不仅限于第4.1节所述业务。

4.2 基于温敏网络的集中式网络控制模型的建立

基于温敏网络的集中式网络控制模型的建立如图3所示。例如节点B有条链路拥塞，实际上有多条路径经过该链路。在场景下，该模型需要关注网络链路质量。对于一条网络链路而言会承载多个路径的业务。多个路径的头节点和目的节

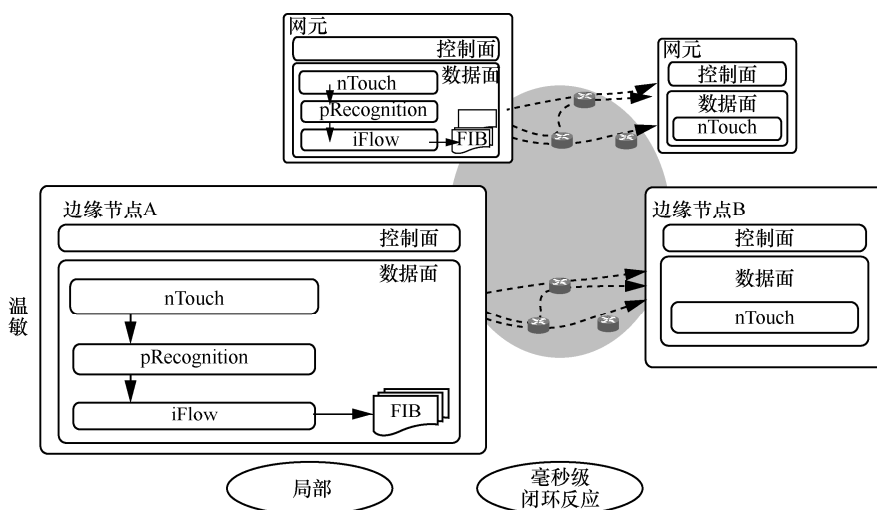


图2 基于温敏网络的分布式网络控制模型的建立

点都是不一样的。所以要解除某条链路的拥塞，则需要有一个能容纳相关多条路径的视图的集中式能力单元去调整。

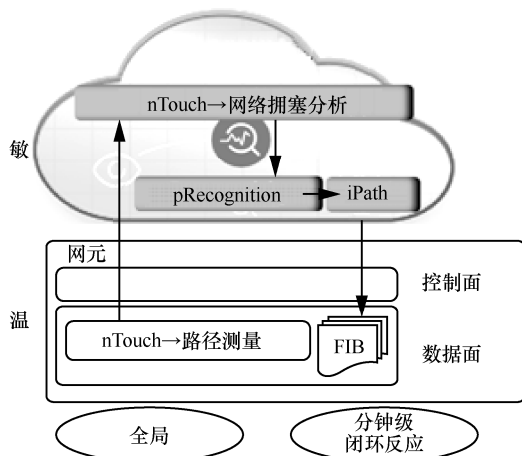


图3 基于温敏网络的集中式网络控制模型的建立

sPath 负责识别出拥塞链路的多条路径，iPath 挑选合适的路径绕行拥塞链路。所以 pRecognition 和 iPath 要求部署在集中式能力单元 SDN 控制器。

该模型不仅限于第 4.2 节所述业务。

4.3 温敏网络的集中式和分布式混合部署

如果边缘节点设备在局部网络 E2E 负载分担调整时发现资源不够，那么它可以请求 SDN 控制器根据全网资源情况重新为某条路径计算路径。所以该场景中分布式和集中式混合部署效果更佳。

最终的方案效果需要在功能和效率上做取舍，以获得一个最佳平衡点。

5 结束语

本文提出的新型温敏网络架构，是一套完整的控制体系，增强了网络的弹性和稳健性。它可以让业务流根据网络的实时变化自适应以进入可用的路径中。其在传统 MPLS 场景分段路由、分段路由 IPv6 场景和未来新的隧道技术都具备广泛的通用性。笔者的后续计划是针对不同应用场景

给出温敏网络的应用思考。

参考文献:

- [1] LI S, XU L D, ZHAO S. 5G internet of things: a survey[J]. Journal of Industrial Information Integration, 2018(10): 1-9.
- [2] 李子姝, 谢人超, 孙礼, 等. 移动边缘计算综述[J]. 电信科学, 2018, 34(1): 87-101.
LI Z S, XIE R C, SUN L, et al. A survey of mobile edge computing[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(1): 87-101.
- [3] 3GPP. Study on LTE-based V2X services: TR36.885 [R]. 2016.
- [4] 陈山枝, 胡金玲, 时岩, 等. LTE-V2X 车联网技术、标准与应用[J]. 电信科学, 2018, 34(4): 1-11.
CHEN S Z, HU J L, SHI Y, et al. Technologies, standards and applications of LTE-V2X for vehicular networks[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(4): 1-11.
- [5] JAIN S, KUMAR A, MANDAL S, et al. B4: Experience with a globally-deployed software defined WAN [C]//ACM SIGCOMM 2013 conference on SIGCOMM, August 12 - 16, 2013, Hong Kong, China. New York: ACM Press, 2013: 3-14.
- [6] IETF. A one-way active measurement protocol: RFC4656[S]. 2006.
- [7] IETF. A two-way active measurement protocol: RFC5357[S]. 2008.
- [8] SALCEDO D, GUERRERO C D, MARTINEZ R, et al. Available bandwidth estimation tools metrics, approaches and performance[J]. International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS), 2018, 10(3).

[作者简介]



孙嘉琪 (1987-)，女，中国电信股份有限公司智能网络与终端研究院工程师，主要从事 IP RAN/STN 术研究和相关工作。

杨广铭 (1974-)，男，中国电信股份有限公司智能网络与终端研究院高级工程师，主要从事 IP RAN/STN 技术研究和相关工作。

党娟娜 (1982-)，女，华为技术有限公司高级工程师，主要研究方向为下一代城域网架构、分段路由 IPv6 的应用。

刘文杰 (1989-)，男，华为技术有限公司高级工程师，主要研究方向为网络测量、网络优化、机器学习等。