



IPv6+工业智能云网白皮书



上海汽车集团股份有限公司乘用车公司



中国电信股份有限公司上海分公司

2021年9月27日

目录

第 1 章 工业互联网	1
1.1 工业互联网发展趋势	1
1.2 工业外网发展趋势	2
第 2 章 IPv6+	3
2.1 IPv6+介绍	3
2.2 IPv6+应用于工业制造的关键能力	4
2.3 IPv6+在工业领域的应用创新场景	4
第 3 章 上汽乘用车和上海电信创新实践	6
3.1 场景介绍	6
3.2 方案架构、关键技术	9
3.2.1 方案架构	9



3.2.1.1 多云聚合平台	10
3.2.1.2 SDN 网络控制器	12
3.2.1.3 智能云端	13
3.2.2 关键技术	14
3.2.2.1 关键技术 1: SRv6	14
3.2.2.1.1 协议简化	14
3.2.2.1.2 路径可编程	15
3.2.2.2 关键技术 2: 网络服务化	16
3.2.2.3 关键技术 3: 网络可视	17
3.2.2.4 关键技术 4: 网络切片	18
3.2.2.5 关键技术 5: 智能运维	18
3.3 测试报告	19
3.4 小结	22
第 4 章 IPv6+工业智能云网发展建议及展望	23



第1章

工业互联网

1.1 工业互联网发展趋势

科技的发展与行业的需求，促使全球制造业开启了新一轮产业变革，迈入第四次工业革命。从 18 世纪 60 年代蒸汽机的发明引爆第一次工业革命开始，制造业经历机械化、电气自动化、数字化三个阶段，进入以网络化、智能化为代表的工业 4.0 时代。工业互联网是工业 4.0 时代下实现制造业转型升级的重要助力，以新一代信息技术革命为标志，采用大数据、云计算、人工智能、物联网等技术成为新的生产力，并在工业互联网体系中，工业物联网连接设备层与网络层，为工业场景中万物互联、数据采集、应用开发等功能打下基础，最终实现制造业数字化、网络化、智能化的目标。

国家工业互联网专项工作组印发《工业互联网创新发展行动计划（2021-2023年）》，《三年行动计划》结合当前产业发展实际和技术产业演进趋势，确立了未来三年工业互联网发展目标，包括加快工业设备网络化改造、推进企业内网升级、开展企

业外网建设、深化“5G+工业互联网”、构建工业互联网网络地图，着力解决工业互联网发展中的深层次难点、痛点问题，推动产业数字化，带动数字产业化。

工业互联网分为内网和外网，工业内网主要作用是实现工厂内生产装备、采集设备、生产管理系统和人等生产要素的互联；工业外网的主要作用是实现企业、平台、用户、智能产品的互联。

1.2 工业外网发展趋势

传统消费互联网的实时性和安全性不够，组网灵活差，网络扩展困难。随着智能工厂的发展，各机器之间通过交换彼此的信息，或者使用超级控制器来描绘网络拓扑结构以及各种状态信息，消费互联网升级到产业互联网。工业内网主要局限在园区内的范围，提供园区内的设备互联、数据采集和控制。工业外网是工业互联网建设的关键一环，需要工业企业和基础电信运营商彼此协同，提供高性能、高可靠、高灵活、高安全的网络服务，满足工业企业、工业互联网平台、标识解析节点、安全设施等高质量接入诉求。同时随着企业上云步伐加快，工业外网也承担了企业和云之间的高速通道，保障数据的无缝流动。

企业研发、生产、运营、销售等多个环节通过上云的方式深化数字化转型，对工业互联网外网提出了关键技术需求，包含工业实体的互联网接入需求，跨区域之间的互连与隔离需求，工业网络与混合云互联的需求，工业互联网对广域承载网络的差异化需求(业务安全隔离、极致时延和抖动等)。

为实现网络多租户及用户资源定制能力，基础设施/设备需要支持丰富的业务特性满足不同制造企业的多样化需求；网络层面需要通过 SDN 技术理念，智能调度；网络控制与编排层面需要支持通过 API 向用户开放网络能力。为了提供差异化服务能力，支持海量设备接入，需要 IPv6+进一步提升承载网络能力。满足企业不同园区之间、企业和产业上下游之间、多区域和地区之间的低时延、大带宽、广覆盖的信息通信需求。



第2章

IPv6+

2.1 IPv6+介绍

随着 IP 技术的不断演进，推动了互联网的诞生，电子邮件、社交网络、在线购物、电子银行、视频直播等应用层出不穷。互联网规模不断扩大，IP 协议也在持续演进，IPv6 开启了下一代互联网，通过 IPv6 解决了传统 IPv4 地址不足、安全溯源困难等问题。但伴随着 5G、云、工业互联网等新技术和新场景的出现，IP 只提供连接服务已经不能满足应用诉求，需要提供灵活弹性、可管可视、确定转发兼备的新能力，由此产生了“IPv6+”。“IPv6+”是对 IPv6 技术体系的全面升级，提供满足应用需求的差异化服务能力，满足万物互联、业务上云，特别是工业互联网的诉求，助力消费互联网向产业互联网升级，同时牵引整个 IPv6 流量提升，加速互联网的演进。



2.2 IPv6+应用于工业制造的关键能力

对于工业制造领域，“IPv6+”在灵活弹性、可管可视、确定转发三个维度全面提升网络能力。

- 灵活弹性：利用 SRv6 等技术，实现端到端业务快速开通、策略灵活变更、流量灵活调度、带宽灵活调整，不断增长的业务融合体验需求。
- 可管可视：利用随流检测和 AI，结合知识图谱等关键技术，实现关键业务流量的可管可视，将故障恢复时间从小时级缩短到分钟级，并可实现故障的自动预测和恢复。
- 确定转发：利用切片等技术提供流量安全隔离能力，不同流量间互不影响。提供片中片能力，同一企业内不同业务也可以互相隔离。为关键生产业务提供确定性低时延和高可靠保障。

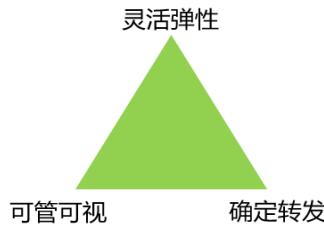


图 1 “IPv6+”应用于工业制造的关键能力

2.3 IPv6+在工业领域的应用创新场景

场景一：工业企业上多云，云间灵活互联。

随着企业数字化转型的推进，越来越多的企业把业务迁移到云上，这就需要网络随云而动，提供弹性伸缩、即时开通、灵活调整的能力，可以利用 IPv6+技



术一键部署和调整业务，指定上云路径，支持不同企业业务按需敏捷入云，助力企业加速数字化转型步伐。

场景二：给工业行业提供确定性虚拟园区服务。

典型的工业企业需要多园区多云互联，同时随着生产业务集中部署，需要在多园区和多云之间提供确定性的网络，IPv6+技术提供超低时延、超低抖动、超大带宽、超高可靠能力，使得多个园区看起来像一个园区，多朵云看起来像一朵云。帮助企业进一步提升效率。



图 2 “IPv6+” 提供一体化服务能力



第3章

上汽乘用车和上海电信创新实践

3.1 场景介绍

上汽集团乘用车公司在国内有多个生产基地、研发基地和上百家 4S 店。在总部有一个数据中心，用于承载办公、研发、营销和 ERP 等系统。每个生产基地有一个小型数据中心，用于承载本基地的办公和生产业务。为了满足业务上云的需求，还引入了多家公有云。总部、各基地和公有云之间采用传统专线连通。另外，还有很多上下游的企业，也采用专线的方式和总部数据中心进行交互，形成了以总部数据中心和灾备数据中心为核心的，多云多基地互联的广域网络。



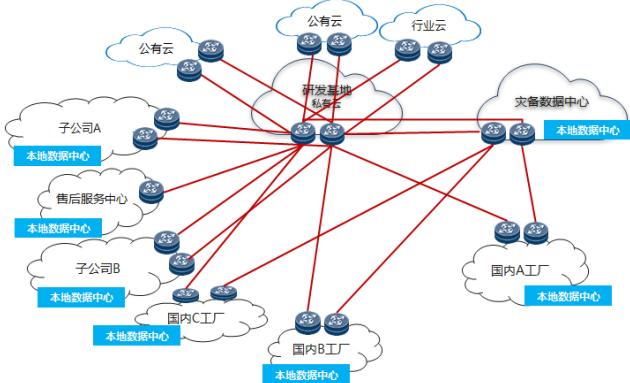


图3 “IPv6+”上汽乘用车组网示意图

随着业务数字化的开展，数据量发生爆炸性增长，业务变化加快。在业务系统建设中，通常采用不同的云来承载不同的业务。稳态业务，如制造业务出于效率和安全的考虑，一般部署在私有云上；敏态业务，如营销业务一般部署在公有云上。随着数字化的深入，制造系统、研发系统和营销系统之间的数据交互越来越频繁。如营销系统将订单信息发送给制造系统、研发系统需要将设计参数导入到制造系统，制造系统需要将制造过程数据提供给大数据平台。分散在多个云和多个基地的数据需要进行整合、重构，来释放数字价值。

在营销过程中，为了适应市场和用户变化，围绕营销数字化和服务数字化，连接用户、经销商、产品，将供需双方数据打通，实现营销投入和企业端客户数据的闭环，形成以用户为中心的看车、购车、用车的数字化服务体系。部署在多云之间的营销业务交互链路不可视，故障定位难。

在研发过程中，每天需完成几百个碰撞分析、流体分析、NVH 分析等多学科仿真计算作业，模拟了整车、发动机数百种工况。部署在私有云的本地计算集群，提供较安全和稳定的仿真环境；部署在公有云的超算集群提供弹性和超强的计算资源。由于专线带宽受限，算力在不同的云上调度和分配困难，在算力高峰时，专线扩容慢，不能满足业务需求。

在制造过程中，为了对供应链进行优化，对产线进行数字化改造，接入设备数量和传输的数据量发生了爆发式的增长。这些数据在基地进行汇集后，上传到大数据平台，进行分析建模，专线带宽大大增加。而在生产基地，专线除了要承载生产业务外还要承载办公和数据采集业务。业务体验不可知，突发流量经常挤占实时性业务流量，专线带宽调整慢，运维困难，体验较差。



图 4 上汽乘用车典型业务场景和对网络的诉求

制造企业的以上业务痛点和新业务发展诉求对工业外网提出了更高的要求，企业需要一张能够连接多个分支园区和多个云池的多点到多点云专网，这张云专网需要具备以下属性：

- 网络要是中立的，可以自由接入各个云商的云池资源，实现云池资源和网络资源的有机结合，具备灵活敏捷的开通和扩缩容能力，以适应云池资源的弹性扩缩容和快速开通释放特性，具备云网协同运营和运维能力；
- 网络需要具备差异化承载企业多种 IT 系统业务的能力，为制造行业关键业务提供高可靠和确定性转发质量；
- 网络需要具备较好的运维能力，具备网络和业务的状态可视呈现，随流检测，故障快速定界排障能力。

3.2 方案架构、关键技术

3.2.1 方案架构

上汽乘用车业务场景为企业园区、生产基地和公有云、私有云之间的多点互联。

业务管控面，通过上海电信的多云聚合平台协同跨多云商和多分支的云网业务，在本项目中为上汽乘用车开通临港和安亭园区到公有云、私有云的多点互通连接，满足企业上云和分支互联的业务诉求，同时具备敏捷开通和调整云网业务，在基本业务承载的基础上，适应业务灵活调整，弹性变化的业务诉求。

业务承载面，上汽乘用车园区机房部署电信智能云端，通过云端接入云专网，单台云端同时接入多种业务，实现企业上多云、多分支互联、园区上网的综合业务诉求。

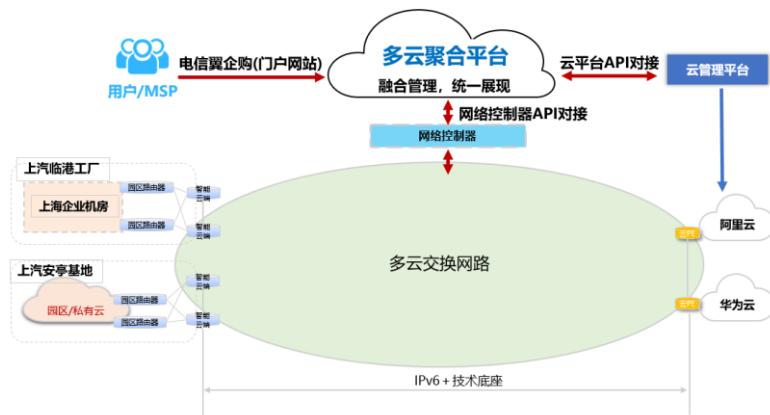


图 5 上汽乘用车工业智能云网方案架构

方案整体架构如上图：

- 通过 SRv6 协议承载，简化协议，按需算路调优，实现业务的快速开通和调整。

- 切片技术帮助客户关键业务实现资源独享，流量确定性转发。
- 随流检测实现对流量的逐跳检测统计，通过控制器实时呈现业务逐跳质量状态，对出现的流量异常信息进行分析并进行相应的维护操作。
- 网络服务化实现对网络资源的商业呈现，屏蔽网络细节，提供业务意图接口，支撑网络资源的快速产品化集成。

通过以上 IPv6+ 技术栈整体能力，在满足制造企业信息系统上云的同时，针对制造企业对网络的各类诉求提供了高质量的解决方案。

3.2.1.1 多云聚合平台

多云聚合平台的核心目标是要满足政企客户的多云接入和资源管理需求，实现专线入云、云间互连、公有云资源订购、整合一点计费和一站式云网管理能力。

多云聚合平台方案设计是针对多云应用场景下的融合问题，以交付最终用户一体化服务为目标，整体协调各方利益满足广义上的云网“使用者”需求，核心价值包括：

- 1) 资源整合：构建基于数据中心 DCI 网络及云商网络接入基础上的云网融合组织及调度能力，具备较为完整的互联互通基础服务体系；
- 2) 流程融合：对接异构资源核心能力标准化接口，与既有电信云网产品开通流程融合，实现与第三方异构业务平台信息和流程同步；
- 3) 能力开放：利用资源互联和接口开放机制，提供增值产品和安全服务体系加载，实现围绕客户为中心的平台赋能架构。

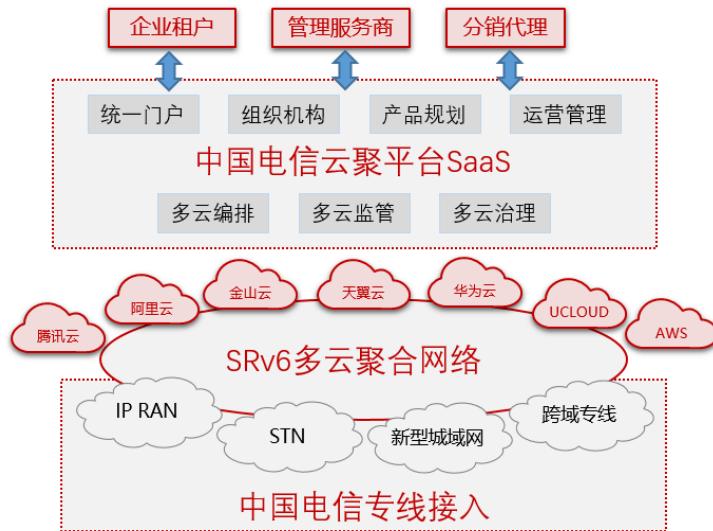


图 6 多云聚合平台

多云聚合平台的能力包括：

1. 聚合中国电信丰富的差异化专线网络覆盖能力
2. 打造环数据中心的 DCI 直连能力
3. 对接云服务商资源池的专用网络直连能力
4. 通过 API 软件接口实现云产品可开通可管理的服务能力
5. 融合云网资源统一组合编排的调度能力
6. 多种异构资源合并计费后统一账单的出帐能力
7. 在线式企业上云业务统一管控的平台能力

多云聚合平台在多个目标数据中心间采用 SRv6 EVPN 方式构建一张 DCI 网络，直接或者间接连接到目标云平台，为客户提供多种电信专线产品快速便捷接入第三方云资源的组网能力，同时构建一套账号管理体系，协同穿越多个运营域实现端到端的快速自动开通流程，具备分钟级带宽调整能力以及业务全流程可视等特性。

3.2.1.2 SDN 控制器

SDN 控制器提供网络业务的灵活敏捷下发能力和隧道按需算路调优能力，网络转发面业务的自动化下发和灵活调整。

SDN 控制器提供高度抽象的服务化接口，将网络能力开放给上层运营系统，快速实现网络资源的产品化转换，实现商业成功。



图 7 SDN 控制器服务化架构

SDN 控制器通过实时的网络信息采集，可以收集和维护当前网络的状态和信息。当有新的业务诉求时，控制器可以基于当前的网络状态进行最佳网络路径的计算和编排，满足客户的 SLA 需求，如低时延、带宽保障、主备路径等，并将编排后的业务路径下发到 Ingress 节点，指导业务在网络中的转发。

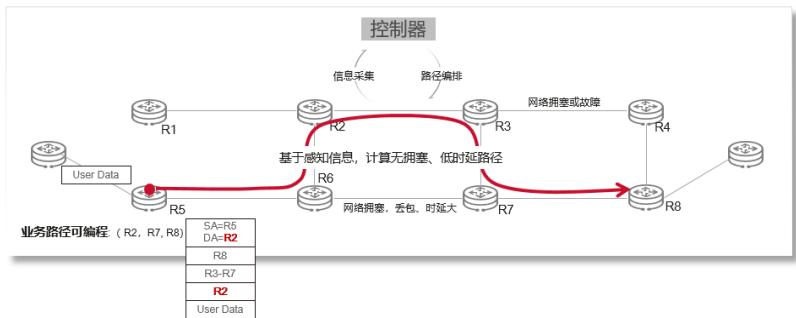


图 8 路径编排除示意图

3.2.1.3 智能云端

智能云端：工业云专网的用户侧接入点，云专网的边界设备。

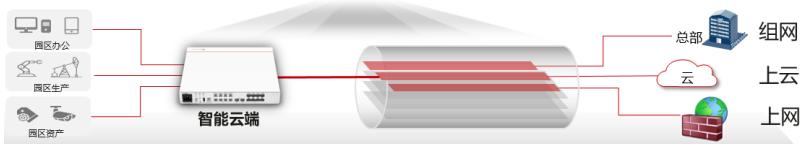


图 9 智能云端示意图

智能云端作为智能云专网的业务接入点，具备如下特征：

- 一盒多业务：客户侧多个业务通过一个 CPE 终端接入，简化大量终端运维管理
- 即插即用：电信智能云端 CPE 终端扫描上线，即插即用，业务开通时间快
- 业务敏捷开通：首条专线开通后，后续添加服务可实现“当日开”，避免二次外线施工
- 业务可按需灵活选择硬管道，满足不同 SLA 诉求
- 增值服务：可提供专线性能报告、业务 SLA 可视化，带宽 BOD 自助调整等服务
- 更高性价比：专线服务品质提升，提质不提价

- 节省企业侧 IT 运维服务成本
- 提高业务定位效率，提高业务稳定性

3.2.2 关键技术

3.2.2.1 关键技术 1：SRv6

3.2.2.1.1 协议简化

复杂和多样化的协议不管是在业务开通，还是网络维护上都会带来极大的困难，传统 IP/MPLS 网络中往往并存有多种协议类型，并且为了对 IP 转发进行增强，需要进行多种不同类型的封装，如图传统 IP/MPLS 网络协议类型所示。

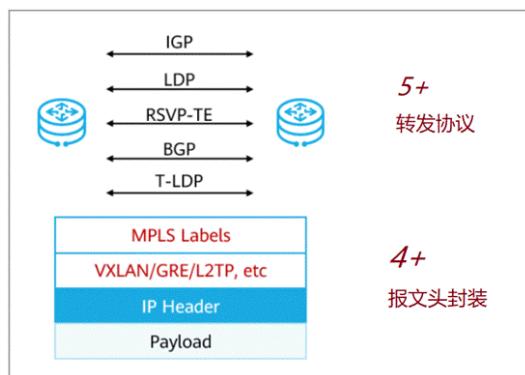


图 10 协议简化示意图

- 为了实现任意连接，网络中的协议应该尽量少，尽量简单。这样一方面可以减轻设备压力，实现更多数量的连接，另外一方面可以减少业务开通时的配置工作量，实现更快的连接开通速度，最后还可以减少网络故障时的定位工作量，更好地保障连接质量。



- SRv6+EVPN 可以将网络协议类型简化为只有 IGP 和 BGP，并且转发面回归到 IP 转发，成为可见范围内最佳的承载技术方案，如图 SRv6+EVPN 协议简化所示。

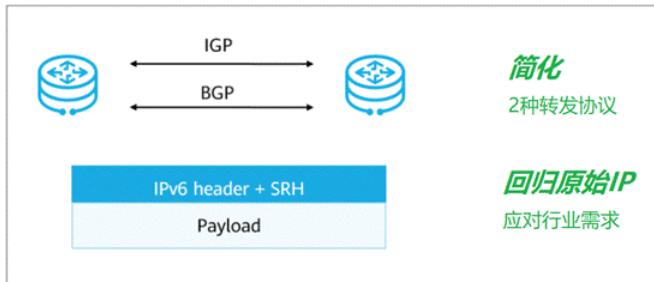


图 11 协议简化示意图

3.2.2.1.2 路径可编程

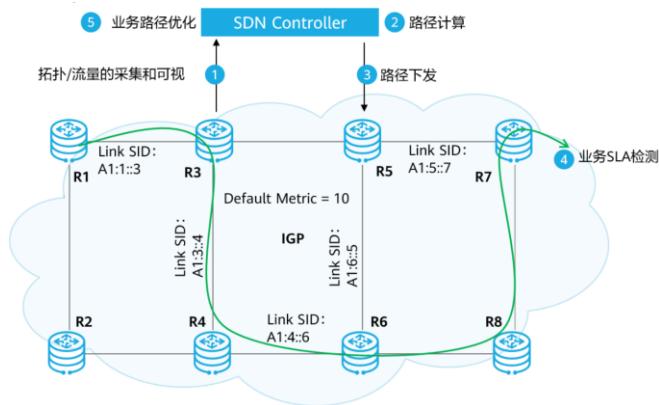


图 12 路径可编程示意图

- SDN 控制器通过采集协议收集网络拓扑和流量后，根据业务 SLA 进行路径计算，并将符合 SLA 要求的路径下发到网络设备，网络设备根据路径中的指令进行转发。之后设备启动对业务 SLA 的检测并上报给 SDN 控制器，SDN 控制器在感知到业务劣化之后，对业务路径进行优化。

- SRv6 扩展了 SID 内的灵活分段 (Locator, Function 和 Args 长度灵活分配) 以及 Option TLV (Type, Length, Value, 类型, 长度, 值), 可以用来携带特殊的编程信息, 例如 APP ID, UserID, 分片 ID, OAM (Operation, Administration and Maintenance, 操作、管理和维护) 等编程信息, 可以更方便地标识业务, 规划业务路径, 对业务路径进行调优, 从而更好地保障业务 SLA。同时 SRv6 强大的网络编程能力还可以使得网络和应用结合得更加紧密, 使能应用驱动的网络, 构筑应用与网络的深度互动。

3.2.2.2 关键技术 2：网络服务化

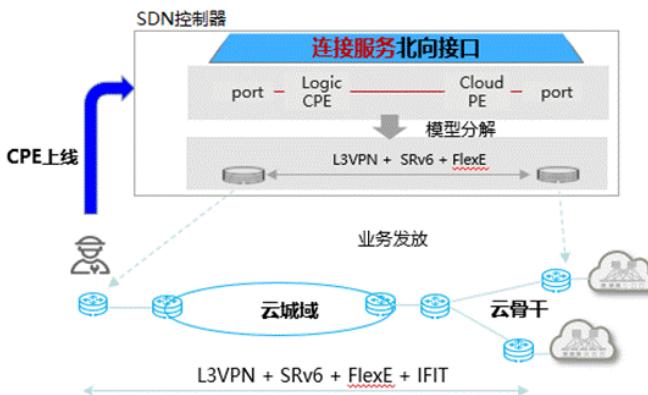


图 13 网络服务化示意图

SDN 控制器对网络屏蔽网络复杂度, 提供极简服务化 API 接口, 商业驱动, 快速支撑网络产品化。接口参数数量由原来的 K 级降低到 100+, 极大提升集成效率。

服务化接口具备如下特征:

- 模型驱动**

- 对网络能力进行抽象建模, 屏蔽网元具体实现
- 对物理网络层, 适配不同转发协议和具体厂商实现差异

- E2E 服务编排**

- 提供 E2E 的网络能力；非单站的功能/特性 Network as a service (NaaS)
- 可以将模型化的网络能力，编排为业务模型

- **极简接口**

- 聚焦描述网络服务的功能，而不是描述其具体实现
- API 接口极尽简化

3.2.2.3 关键技术 3：网络可视



图 14 网络可视示意图

SDN 控制器对网络业务进行实时逐跳检测，并进行统计分析，实时呈现业务状态。

- 业务路径可视：业务真实路径逐跳节点/链路呈现，支持呈现业务经过的详细接口
- 业务状态可视：实时呈现业务运行状态
- 质差逐跳定界：丢包、时延结果逐跳节点/链路呈现

3.2.2.4 关键技术 4：网络切片

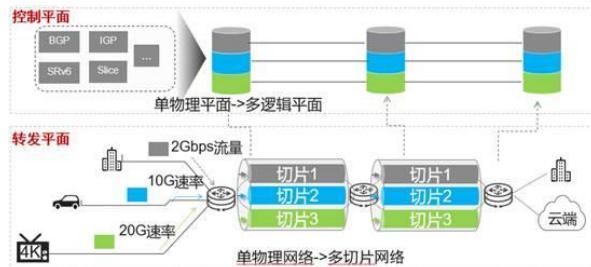


图 15 网络切片示意图

- 对物理网络进行切片，为每个逻辑切片分配独占的转发资源，保证了切片内的业务流量转发质量。
- 方案基于业务需求按需分配资源；快速灵活的进行业务和资源的映射；运行过程中对业务和网络进行 SLA 的监控和故障恢复；在业务需求和网络状态发生变化时进行优化和调整资源。

3.2.2.5 关键技术 5：智能运维

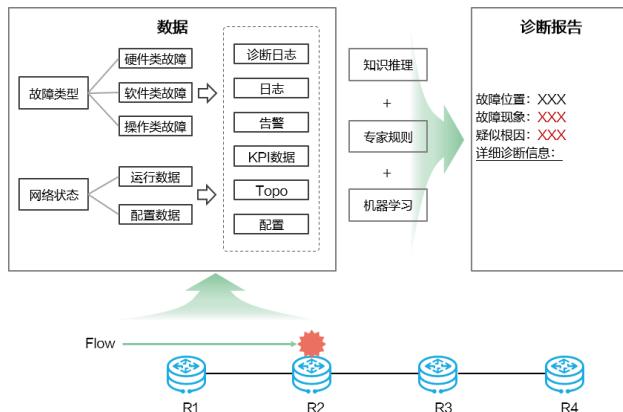


图 16 智能运维示意图

SDN 控制器提供智能运维能力，基于随流检测逐跳检测定位到的故障节点/链路、网络设备各个健康维度异常指标，基于 AI 实现故障根因分析，并提供相应的服务接口

1. 全维度采集设备各类状态及运行数据，基于机器学习，自动从海量数据中提取规则
2. 基于生成的规则，输出异常信息，结合定界结果的过滤，生成故障分析报告
3. 最终运用知识图谱技术，生成故障传播图，实现问题潜在根因推荐

3.3 测试报告

测试环境：

在上汽临港、安亭两地各部署两台华为智能云端 CPE，CPE 之间通过 IPv6+工业互联专网连接，实现上汽客户一线上多云、企业互访等业务场景测试。

测试场景及结果：

- 1) 一线入多云：通过部署在安亭出口的 CPE，安亭私有云正常访问阿里云和华为云，实现一线入多云的业务需求。

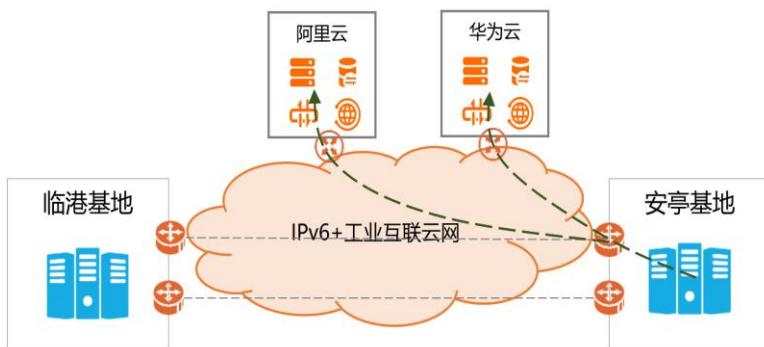


图 17 一线入多云测试拓扑

安亭基地能够正常阿里云，并向阿里云上传大型文件，传输速率可达到212M/s。

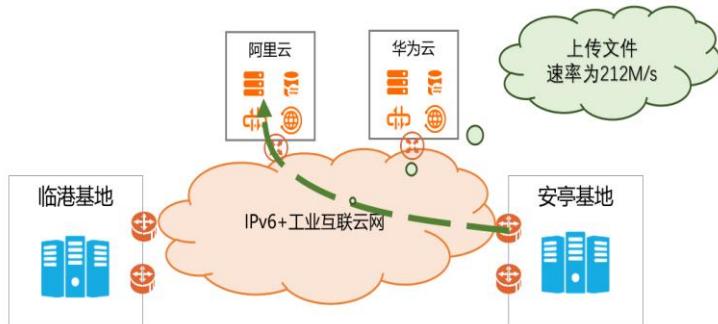


图 18 安亭基地向阿里云上传文件示意图

2) 业务质量：通过测试仪表挂接在 CPE 下，模拟临港基地与安亭基地的企业互访场景：

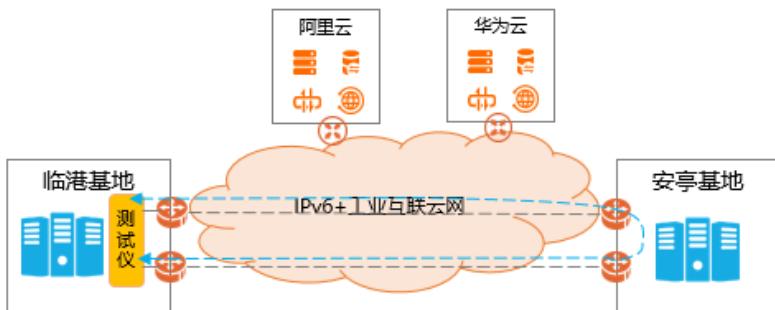


图 19 企业互访业务质量测试拓扑

下图分别为企业互访测试流量在不同负载百分比下的时延和抖动对比，实验结果：单向最大时延 2.849ms，最大抖动 149.968us，丢包率均小于 0.001%，随着负载的不断增长，丢包率、最大时延和最大抖动变化很小。

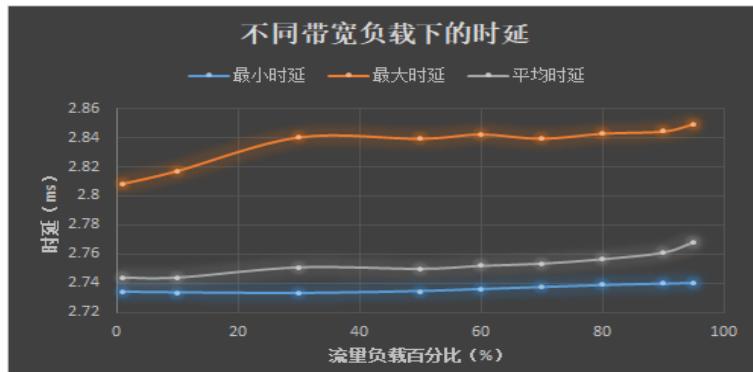


图 20 网络时延测试数据

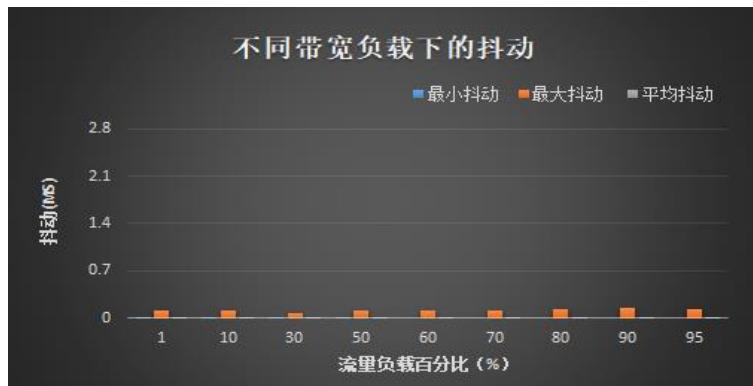


图 21 网络抖动测试数据

3.4 小结

工业制造业务对网络的要求严苛，一旦出现问题，轻则影响产能，重则涉及到人身安全。所以时延、抖动、丢包率这些关键指标需要严格保障。同时，在节点或链路故障时，需要做到端到端高可靠保护。IPv6+智能云网方案通过网络架构+网络技术+终端设备的全面升级，端到端提升关键能力，提供灵活弹性、可管可视、确定转发的DICT服务，满足企业数字化转型的诉求，助力企业快速发展。



第4章

IPv6+工业智能云网发展建议及展望

随着工业制造产业的蓬勃发展，远程控制、生产系统集中部署、PLC 云化等趋势愈加明显，对网络提出的要求也越来越高，需要 IP 网络在尽力而为、统计复用、灵活连接的基础上，增加新的内涵和外延，提供更多差异化的服务能力。另外，随着工业内外和工业外网融合发展，企业需要一张内外网融合的虚拟园区网络，统一管理、集中运维、智能调度，需要在网络技术之上，叠加人工智能、大数据分析、知识图谱等新的技术。由此产生 IPv6+工业智能云网方案，给工业网制造企业提供量身定制的服务。

上汽乘用车和上海电信的合作已经迈出了关键一步，后续需要围绕企业发展诉求，持续进行创新。

扩大合作范围。当前方案只覆盖了部分工厂和部分云，后续需要扩大覆盖范围，增加上下游合作单位、跨省工厂、办公园区等节点，达成整体的一体化服务目标。

园区内外结合。当前针对工业外网部分，已经能够很好地满足。下一步继续深入园区，内网和外网结合，提供端到端优化方案，统一承载。



网络感知应用。当前已经针对生产、办公、视频三类业务，进行差异化承载。下一步需要继续细化，对业务进一步细分，对具体控制流、业务流等进行识别和标记，网络随时随地提供相应的 SLA 能力，做到智能调度。

欢迎更多企业能够加入合作范围，一起携手创新，给工业制造提供坚实的网络底座，加速“数字化转型”和“工赋上海”进程。

联合编写单位及作者（排名不分先后）

一、上海汽车集团股份有限公司乘用车公司：

数据及信息系统部：强斌、许秋野、高越洋、关玉俊

二、中国电信股份有限公司上海分公司：

总师室：张坚平

政企客户事业群：汤凯锋、徐艳、唐颖淳

企业客户服务中心：孙欣、姚元、蔡君、侯敏

云网发展部：吴宏美、马骁骋

云网运营部：傅伊浩、朱俊、冯帆

信息网络部：贾晔、桑洁丽、王晓波、姚赟、王晓文

