



基于数据库的开放资源服务网络架构

周芬林^{1,2}, 钱小聪^{1,2}, 袁冬宇^{1,2}

(1. 移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室, 广东 深圳 518055;
2. 南京中兴新软件有限责任公司, 江苏 南京 210000)

摘 要: 云网深度融合需要网络侧能为云侧业务提供细粒度、按需定制的服务, 这对于现有 IP 承载网是很大的挑战。为此提出基于数据库的开放资源服务网络架构, 通过对网络的原子服务能力进行抽象, 经强一致性分步式键值数据库进行服务发布, 实现云侧对网络侧服务随用随取, 云网联合编排, 业务一点接入, 以灵活满足云网融合的需求, 实现对多样化业务的高效承载和精细服务。

关键词: 网络架构; 开放资源服务; 数据库

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2023157

An architecture of database-based open resource service networking

ZHOU Fenlin^{1,2}, QIAN Xiaocong^{1,2}, YUAN Dongyu^{1,2}

1. State Key Laboratory of Mobile Network and Mobile Multimedia Technology, Shenzhen 518055, China
2. Nanjing Zhongxing New Software Company Limited, Nanjing 210000, China

Abstract: The deep cloud-network integration hopes that the network side can provide fine-grained and on-demand customized services for cloud-side services, which poses a great challenge to existing IP bearer networks. To this end, an architecture of database-based open resource service networking was proposed. By abstracting the atomic service capabilities of the network and publishing services through a strongly consistent distributed key-value database, on-demand use of networking services at the cloud-side, joint cloud-network orchestration, and one point of business access could be achieved, which could flexibly meet the needs of cloud-network integration and achieve efficient carrying and refined services for diversified businesses.

Key words: network framework, open resource service, database

0 引言

在网络升级、智能制造、融合创新等强国战略引领下, 企业数字化改造、行业智慧化发展提档加速, 国内数字基础设施的使用已从全面上网

走向全面入云。面对泛在、海量、多样化入云需求, 现有网络遇到新的挑战。

(1) 网络需为业务提供细粒度的服务。海量接入业务对网络的带宽、时延、抖动、稳定性等需求不尽相同, 现有基于五元组区分的网络服务远不够

收稿日期: 2023-04-24; 修回日期: 2023-08-08

通信作者: 钱小聪, qian.xiaocong@zte.com.cn



精细化。这导致一些对网络质量要求不高的业务获取了过多的服务资源,而真正有严格质量要求的业务却难以得到保障。未来的网络应具备智能策略,细致识别业务需求,精准配置网络资源,通过服务粒度的精细化,一方面满足业务的差异化服务需求,另一方面有效提升网络的资源利用率。

(2) 网络需为业务提供定制化服务。运行在云端的应用越来越多,对数据传输性能有特殊要求(如低时延、低抖动、高可靠)的场景越来越常见,对网络拓扑、网络安全有特殊要求(如有隔离度的链路、回避某段拓扑)的场景也不时出现,希望能以一种自主灵活的方式按需调用网络资源提供服务。多云之间的业务多活、数据同步也需要网络能为其定制高等级的服务保证。

面对云端应用的个性化需求,承载网运营商依然沿用基于带宽的互联网流量工程技术为云端应用提供专属服务。但是,基于资源独占的流量工程(如 MPLS TE^[1])部署复杂且成本过高,改用基于优先级的差异化流量工程(如 DS-TE^[2])运营成本仍然较高且服务类型有限,难以同时满足海量应用的差异化需求。通信运营商近年来采用软件定义网络(software defined network, SDN)技术对承载网进行改造^[3-4],在取得成效的同时依然存在问题。例如,软件定义广域网(software defined wide area network, SD-WAN)的动态多路径优化算法需要基于探测和统计获取多个可用路径的带宽、时延、抖动等信息,实时性和准确性存在不足,当监测链路出现瞬时抖动时,用户流量往往会被切换至备用路径上,实际上造成了一定的网络资源浪费。更者,SD-WAN 通过五元组、区分服务码点(differentiated services code point, DSCP)或虚拟局域网(virtual local area network, VLAN) ID 区分流量优先级,并不感知具体的应用信息,所以还无法做到细粒度的差异化服务保障。

究其原因,长期以来承载网运营商的网络是一个能力封闭的实体。该封闭性源自传统互联网

遵循端到端的设计原则,IP 层尽量简化,复杂性留给端侧,导致业务和网络分离,IP 层并不感知上层信息。由于缺乏应用感知,网络能力只能被动地去满足应用需求,资源分配灵活性受到束缚,精准度缺乏指引,利用率难以提升。虽然运营商为了云网融合已付出大量投入,但如果网络对于云仍然是一个“黑盒”,那么云侧的流量调度仍难以实时感知网络拥塞情况,难以及时获取网络的富余资源能力,从而导致很多业务难以获得精准的服务等级协定(service level agreement, SLA)保障,现有网络能力也难以得到最优使用。

如果要彻底解决现有网络技术的不足,满足新时代的应用全面入云需求,不妨打破网络能力封闭的现状。本文提出,未来的承载网对于应用不再是“黑盒”,而是一种授信后的“白盒”——网络把精细规划后的资源以能力形式向云进行开放,为云端提供细粒度的应需网络服务。

1 需求场景

本文的关注对象是提供广域互联网服务的承载网运营商。在业务全面入云的时代,他们服务的客户包括云计算服务提供商,也包括云应用中的客户。像中国移动、中国电信、中国联通这样的大型运营商,既是承载网运营商,也是云计算运营商,而且在业务形态上,其云网服务正走向一体化。在云网融合时代,他们遇到的典型场景有如下两类。

1.1 承载网为多云互联提供服务

云计算服务提供商是承载网运营商的重要客户。云计算服务提供商为了确保服务的高可用性,以及为了用户体验而缩短用户访问点到服务器的距离,往往采用异地多活的云计算服务架构,一旦某个数据中心出现故障,其用户流量可以被其他数据中心快速接管,为此多个数据中心之间需要保持数据的同步。异地数据中心的互联需要租用承载网运营商的链路,由承载网运营商提供低

时延、低抖动、高稳定性的网络互联保证。

承载网为多云互联提供服务的特点为：服务消费者位于云侧，网络向其提供“点-点”“点-多点”或者“多点-多点”的云-云互联服务接口。

1.2 承载网为访问云应用的终端提供入云服务

在智能工厂中，部署在车间里的摄像机、云化无人运输车将采集到的数据信息传输到云端的生产集中管控中心并接收控制指令或调度策略，对网络服务的带宽、时延、稳定性提出较高要求；部署在生产线上的云化可编程逻辑控制器则对网络服务的低时延、低抖动、极低丢包性能有严格要求。在远程医疗中，求医侧（患者）和给医侧（医生）需要在云应用进行严格同步的数据同步、流畅的画面交互，这对网络服务的带宽、时延、抖动、稳定性都有一系列严格的保证要求。类似场景还有车联网、智慧城市部件（如能源、水务、气象、环保、安防等设施）远程管控等。

上述场景可归纳成承载网为访问云应用的终端提供入云服务，特点为服务消费者位于端侧，网络向其提供“一点即入”的端-云互联服务接口。

2 新型架构

对于云网融合时代的两大类场景需求，现有

方法难以有效满足。本文认为，网络如果愿意针对云数据中心互联需求及云应用终端入云需求开放网络能力，可以促成网络与云的敏捷打通、按需互联，实现对多样化业务的高效承载、精细服务。

网络开放资源服务的过程，由需求表达（云侧作为需求方，向网络表达个性化的承载需求）、需求响应（网络基于云侧最新需求，精准分配资源并以服务能力方式向外提供）、响应传递（把网络按需提供的服务能力开放给对应的云侧需求方）、需求满足（云侧获取并使用网络开放的资源服务，满足业务需求）4个相互衔接的环节构成，如图1所示。

在网络开放资源服务的过程中，网络资源能力和业务需求的交互可以通过数据库进行，这也就是本文提供的基于数据库的开放资源服务（database-based open resource service, DB-ORS）新型架构。

DB-ORS架构解决的是服务提供者（承载网）如何向服务消费者（云及终端）提供精细化的服务能力以满足后者业务需求的问题。DB-ORS总体架构涉及服务供给层、服务中间层、服务消费层，如图2所示。

服务消费层是网络服务的对象，具体又分云

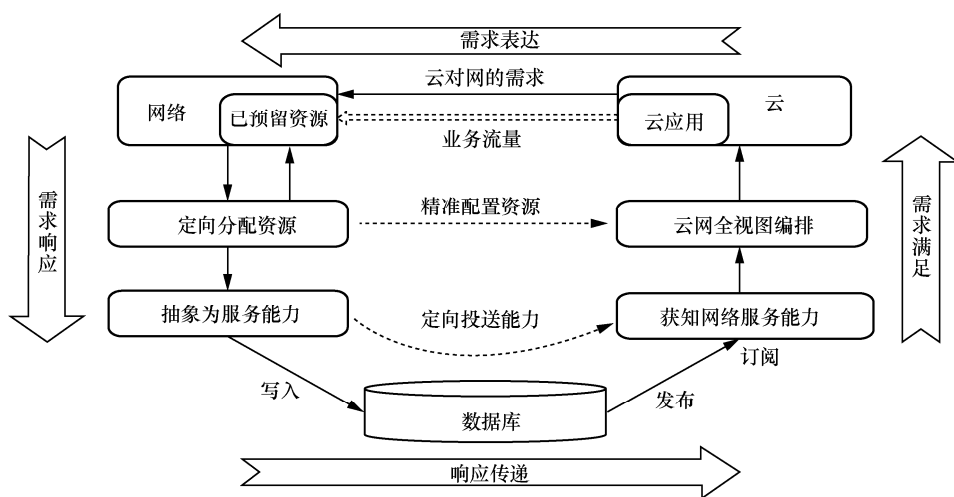


图1 网络开放资源服务的过程

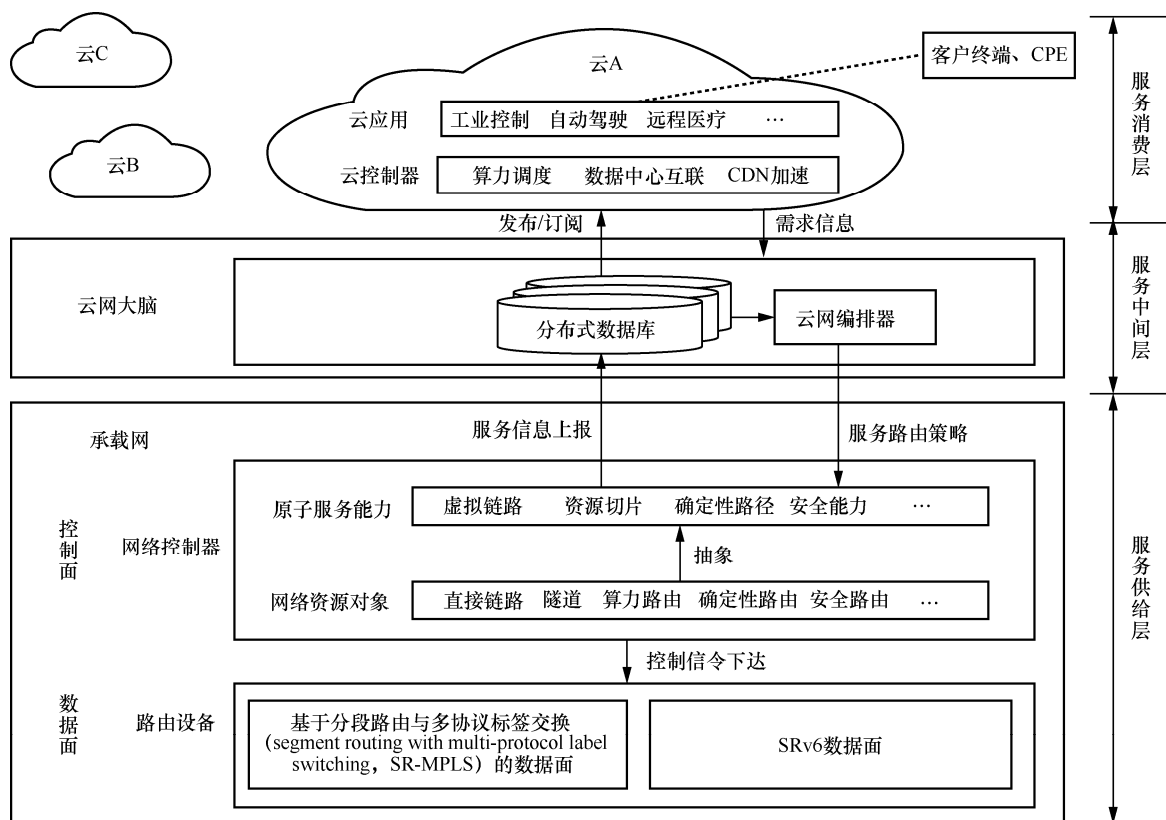


图2 DB-ORS 总体架构

侧和端侧。云侧是云计算运营商，网元包括云控制器和数据中心，在数据中心服务器上运行着多种多样的云应用；端侧是各个云应用所关联的客户终端或用户驻地设备（customer premise equipment, CPE）。

服务供给层的主体是基于 SDN 的承载网。其报文转发和网络控制分离，分别在数据面和控制面进行。数据面提供支持分段路由（segment routing, SR）的报文转发。在控制面，网络控制器负责网络的资源管理、路由计算、策略控制、安全管理，除了将控制指令下达给数据面，还将其所管理的网络资源对象抽象为原子服务能力，向服务中间层发布。这里的原子服务能力，是指可以具有最小化的完整边界、可规格化描述的服务能力。例如，承载网提供虚拟链路原子服务能力，即为特定云应用预留一段或多段虚拟链路，该虚拟链路由真实的物理链路或隧道抽象生成，

粒度可以非常细小，如已预留带宽的一条物理链路、已预留带宽的一小段隧道。这种细粒度的能力提供，一方面让云应用可以得到精细化服务，另一方面减少了现有粗粒度带宽划分的资源浪费，有利于提升网络资源利用率。

服务中间层的使命是为来自服务供给层的网络原子服务能力和来自服务消费层的服务需求提供对接。为做好对接，服务中间层需要为网络原子服务能力提供服务数据保存、访问控制、信息发布功能，这由分布式数据库实现。对于第 1 节所述的第二类场景，还需要一个智能中间件承担终端穿网入云路径编排工作，因此在服务中间层加入一个被称为云网编排器的网元，它既能第一时间获取云及端侧的需求，又能从数据库获知网侧的服务，然后通过自身的强大计算能力，为终端穿网入云编排出一条包括综合路径时延、流量均衡、安全可靠等指

标的最优服务路由策略。分布式数据库和云网编排器组合起来好似一个具备强大记忆和计算能力的云网大脑。

DB-ORS 的技术路线是将网络对业务的承载和保障能力进行抽象,提取得到原子服务能力,通过数据库技术选择性发布服务能力,实现上层应用对网络服务的按需取用。DB-ORS 在可控的授信范围内,实现应用与网之间需求和能力相互可见;使得网络可以为业务提供细粒度的服务,可以为核心客户按需提供定制化服务。对于云内业务而言,网络服务一点接入,随用随取。可以说,它是一种灵活、易部署的云网融合轻量级方案。

3 关键技术

3.1 原子服务能力抽象

为了满足云数据中心及不同云应用对网络的定制化需求,网络将其承载能力分拆和聚类,抽象出虚拟链路、资源切片、确定性路径等大类的原子服务。以虚拟链路为例,原子服务能力抽象及规格化描述如下。

(1) 虚拟直连链路(简称 vmlink)。vmlink 由直连链路或 3 层物理链路抽象而得。每条 vmlink 会被分配一个唯一性的逻辑识别符,并带有本地节点标识、对端节点标识、本地接口地址、对端接口地址等字段,以及其他用以描述其资源能力的属性,包括但不限于最小单向链路时延、最大单向链路时延、单向链路丢包率、最大预留带宽、内部网关协议(interior gateway protocol, IGP)度量、流量工程(traffic engineering, TE)度量、接口转发类型(END.X)的分段标识(segment identifier, SID)等。其中,最大预留带宽是在物理链路为 vmlink 预留的最大带宽,原物理链路需要相应进行带宽预减。

(2) 虚拟隧道链路(简称为 vtlink)。vtlink 为虚拟基于 IPv6 的段路由策略(segment

routing over IPv6 data plane policy, SRv6 policy)^[5]隧道链路,通常由 SRv6 policy 隧道抽象而来。每条 vtlink 也会被分配一个唯一性的逻辑识别符,区别于普通物理链路和 SRv6 policy, vtlink 的属性包括本地节点标识、对端节点标识、最小单向链路时延、最大单向链路时延、单向链路丢包率、最大预留带宽、IGP 度量、TE 度量、捆绑 SID(binding SID)^[5]等。其中,最大预留带宽取 SRv6 policy 配置的带宽约束,虚拟链路生成后,需要在原来的物理链路上进行扣减。

虚拟链路的抽象粒度可粗可细,使用灵活。该灵活性一方面体现在抽象过程中为 vmlink、vtlink 按需指定链路带宽,并在网络侧完成相应带宽资源的预留;另一方面体现在 vtlink 中段列表(segment list)可长可短,既可以精细规定路径途经的全部节点,也可以只指定路径必经的关键节点。

虚拟链路在抽象时,相关链路属性以上界方式提供,例如,度量值和时延值取的是原物理链路的最大值;而带宽这种链路共享属性,已在原有物理链路上进行扣减。这样做的好处是,云及云应用认为 vmlink 和 vtlink 是为其专享的已得到资源保证和度量保证的链路,可以直接使用和编排。

网络服务能力抽象实例如图 3 所示。为满足终端按约定 SLA 访问云甲中应用和云乙中应用的需求,网络对由 A、B、C、D 共 4 个节点 7 条链路组成的物理资源集合,分别按表 1 为终端入云甲、终端入云乙进行专属资源的预留并抽象为服务能力。

3.2 服务能力定向发布

网络将抽象而得的原子服务能力采用键值对(key-value, KV)形式建模,并写入 KV 数据库中。KV 数据库采用发布/订阅机制,进行网络原子服务的发布。

供调用。基于 KV 映射和统一的服务描述模板，KV 数据库成为能力发布的核心枢纽。云应用、云数据中心等服务消费者通常就近接入网络，且可以存在多个接入点，而云应用终端的入云位置更是可以分布在网络边缘的任意节点，因此 KV 数据库需要分布式部署，且各分布式实体之间保持强一致性。

KV 数据库应具备的关键性能有：高可用性，分布式部署，每个节点都具有完整存档，不惧单点故障或网络问题；强一致性，通过分布式强一致性的算法实现各节点的存档保持一致；使用方便，面向用户提供明晰易用的应用程序接口（application program interface，API）。

KV 数据库应提供的业务能力主要有：KV 格式的数据存储；对数据进行版本号管理；对外提供统一的高可用的服务存储目录；标准化的数据读写接口；服务的注册和发现；数据的发布以及订阅。

出于信息安全考虑，承载网只向指定的服务对象进行能力开放。一旦服务对象之间隔离不够或者被越权访问，会导致网络拓扑、载荷、资源利用等敏感信息暴露或者客户敏感信息泄露等问题。为此，KV 数据库的访问需要经过严格鉴权，访问权限需要精心的最小化设计；需要强化数据库入侵防御和安全审计。

3.4 云网一体化编排

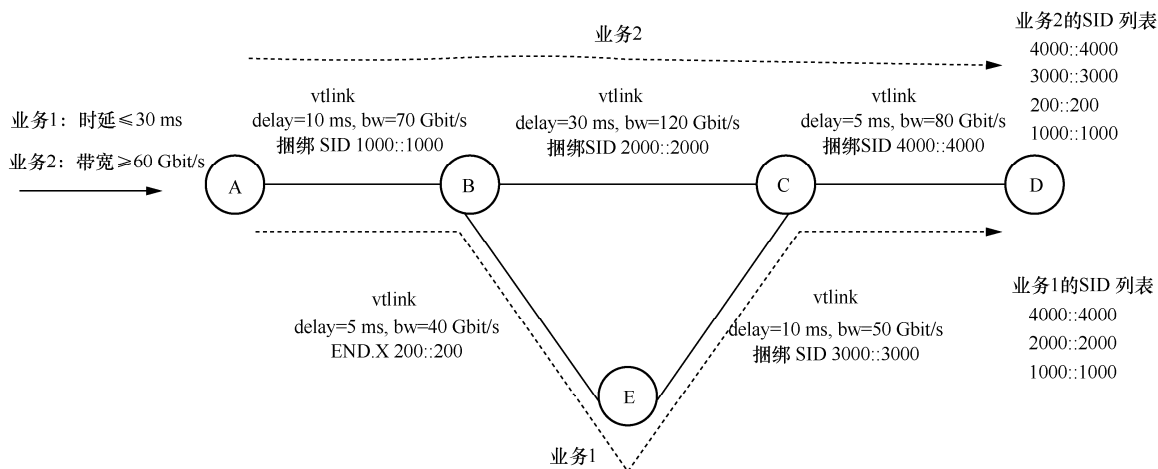
基于通过数据库开放的网络原子服务，云网编排器或云控制器获得了由带网络能力属性的虚拟链路所构成的业务端到端拓扑，进而可以在云网融合的层面进行一体化的路径计算和编排。

假设 vlink 和 vlink 构成了如图 4 所示的虚拟网络拓扑。有两条业务流都要从节点 A 到达节点 B，业务 1 要求端到端时延不超过 30 ms，业务 2 要求带宽不低于 60 Gbit/s。云网编排器或云控制器为业务 1 和业务 2 分别计算出最合理的网络路径：业务 1 为 A-B-E-C-D，业务 2 为 A-B-C-D。

基于虚拟链路属性中的 END.X SID 或捆绑 SID 信息，路径被编排为 SID 列表，以 SRv6 policy 的方式对业务报文引流：将 END.X SID 携带在业务报文头中，用以将业务流量引流至 vlink，实现业务报文的转发；将捆绑 SID 携带在业务报文头中，用以将业务流量引流至 vlink，使业务报文进入相应的网络隧道。

下面进一步针对前文提出的两类需求场景进行云网一体化编排的说明。

对于第二类场景，位于服务中间层的云网编排器用来执行此任务，它具有足够的计算能力，拥有对 KV 数据库的高级读写权限，获知





承载网所开放的能力信息,掌握云应用的需求,因此可以进行云网一体化编排,为来自终端的入云业务流进行最优路径计算,生成引流策略,并指挥网络按此策略把来自终端的数据流传输到云。

对于第一类场景,往往不依赖云网编排器进行一体化编排,这是因为大型云运营商通常已建设有强大的云控制器,当其从 KV 数据库获取承载网提供的原子服务后,就可以由云控制器执行与数据中心互联的云网一体化编排。例如,云控制器从 KV 数据库订阅得到分配给它的虚拟链路,把此承载网提供的云间拓扑信息填补到云内网络拓扑中,构成一张云网全视图,以进行互联路由计算、流量优化、业务绑定等。

4 应用方案

4.1 第一类场景下的 DB-ORS 解决方案

网络为多云互联提供服务的 DB-ORS 解决方案如图 5 所示。云计算运营商需要实现业务异地多活,向承载网运营商提出需求,承载网运营商基于 DB-ORS 架构为云数据中心的互联开放资

源,云计算运营商的云数据中心 1 和云数据中心 2 按如下流程进行互联。

(1) 承载网基于对云数据中心 1 和云数据中心 2 的需求,分配出给云数据中心 1、云数据中心 2 的专属资源,将原子服务能力表达成数据库的 KV 值,并调用 KV 数据库的编程接口或数据库代理将其写入数据库。

(2) 云数据中心 1 控制器、云数据中心 2 控制器订阅与它们相关的信息,及时获知并持续关注其增删改等变化。

(3) 云数据中心 1、云数据中心 2 通过标准化的模板文件进行 KV 解析,获取到最新的网络提供的原子服务能力。基于承载网开放的虚拟链路和云数据中心内部链路构成的云网一体拓扑视图,云侧完成云数据中心 1 与云数据中心 2 互联的二次编排和算路。

对于承载网运营商而言,通过这样的精准规划和定向开放,提高了网络资源的利用率。而且经过云网间需求交互,网络可以动态调整资源以匹配云端最新需求,响应云计算运营商客户对数据中心的随愿互联。

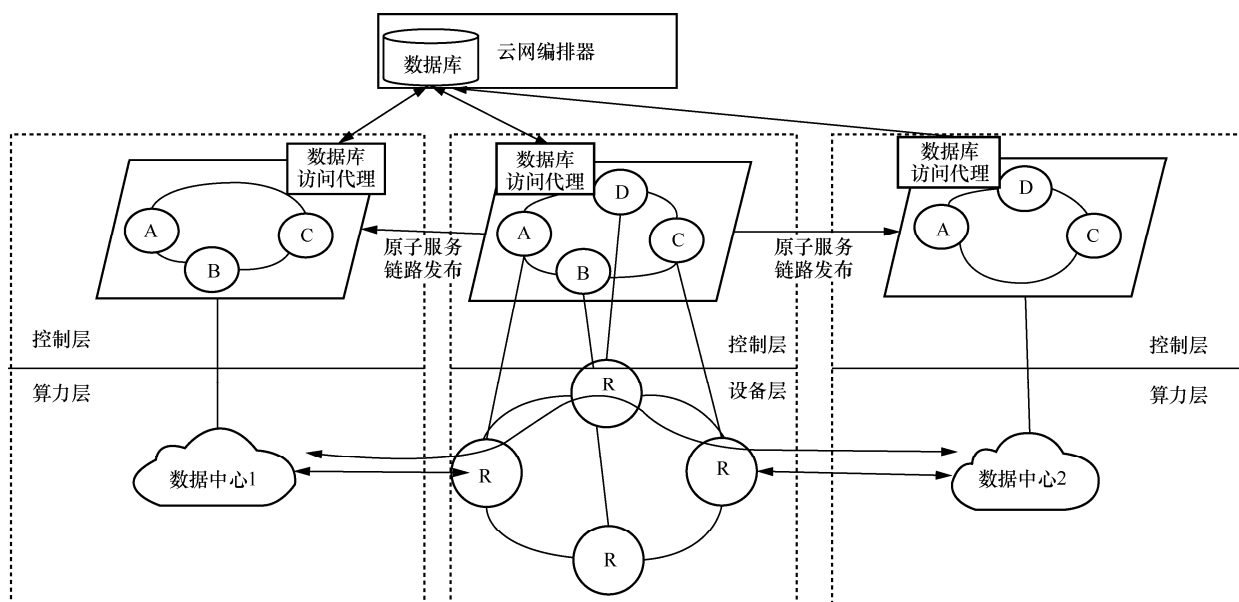


图 5 网络为多云互联提供服务的 DB-ORS 解决方案



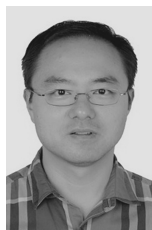
参考文献:

- [1] IETF. RSVP-TE: extensions to RSVP for LSP tunnels: IETF RFC 3209[S]. 2001.
- [2] IETF. Protocol extensions for support of diffserv-aware MPLS traffic engineering: IETF RFC 4124[S]. 2005.
- [3] 盛成, 何宏伟, 冷婷. SD-WAN 架构与技术(第 2 版)[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2022.
SHENG C, HE H W, LENG T. SD-WAN network architecture and technologies (2nd edition)[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2022.
- [4] 高钱. 基于 SDN 的运营商级网络流量控制策略[D]. 北京: 北京邮电大学, 2020.
GAO Q. Traffic control strategy of carrier-level network based on SDN[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2020.
- [5] IETF. Segment routing over IPv6 (SRv6) network programming: IETF RFC 8986[S]. 2021.
- [6] IETF. Service identification header of service aware network: draft-ma-intarea-identification-header-of-san-00[Z]. 2022.

[作者简介]



周芬林(1984—), 男, 移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室未来网络领域研究成员, 南京中兴新软件有限责任公司未来网络技术总工程师, 主要研究方向为算力网络、确定性网络、天地一体化网络等未来网络发展趋势和业务架构。



钱小聪(1977—), 男, 博士, 移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室未来网络领域研究成员, 南京中兴新软件有限责任公司资深专家、正高级工程师, 主要研究方向为未来网络、工业互联网。



袁冬宇(1996—), 男, 移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室未来网络领域研究成员, 南京中兴新软件有限责任公司工程师, 主要研究方向为算力网络。