

面向多元业务的多模态智慧网络通信机制

褚 帅, 郜 帅, 侯心迪, 刘宁春
(北京交通大学 电子信息工程学院, 北京 100044)

摘 要: 面对互联网多元业务承载需求, 传统 TCP/IP 网络存在对服务质量、安全、扩展、可管可控等方面支持能力差的问题。为解决 IP 标识体系的缺陷, 内容标识、身份标识、地理位置标识等多种标识体系得到了广泛的研究, 但互不兼容的寻址机制导致互联网“碎片化”发展。国内相关学者提出多模态智慧网络环境概念, 力求整合多种网络优势, 提升网络对业务的适配能力。基于多模态智慧网络环境, 为解决多标识体系融合的通信传输问题, 并实现与现有网络的兼容部署, 提出了一种面向多元业务的多模态智慧网络通信机制。设计了统一的多模态传输服务接口, 终端支持多维度的资源获取, 实现网络模式与业务适配。设计了灵活的异构网络匹配传输机制与演进式的网络部署方案, 并给出完整的通信流程。基于多模态智慧网络环境构建了原型系统, 验证了该机制的基础功能, 展现了网络整体通信能力的提升。

关键词: 标识体系; 多模态智慧网络环境; 通信机制; 异构网络; 网络部署

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2022)0084-08

Communication Mechanism for Multi-Service in Polymorphic Smart Network Environment

CHU Shuai, GAO Shuai, HOU Xin-di, LIU Ning-chun

(School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: Facing the demand of Internet multi service carrying, the traditional TCP / IP network has the problem of poor support ability in terms of service quality, security, expansion, manageability and control. In order to solve the defects of IP identifier system, content identifier, identity identifier, geographical location identifier and other identifier systems have been widely studied, but the incompatible addressing mechanism leads to the "fragmentation" development of the Internet. Relevant domestic scholars proposes polymorphic smart network environment, striving to integrate a variety of network advantages and improve the adaptability of the network to services. In order to solve the communication transmission problem of multi identifier system integration and realize the compatible deployment with the existing network, a communication mechanism for multi-service is proposed in polymorphic smart network environment. A polymorphic transmission service interface is designed. The terminal supports multi-dimensional resource acquisition and adapts the network mode to the service. A flexible heterogeneous network matching transmission mechanism and an evolutionary network deployment scheme are designed, and the complete communication flow is given. A prototype system is constructed based on polymorphic smart network environment, which verifies the basic functions of the mechanism and shows the improvement of the overall communication capability of the network.

Key words: identifier system; polymorphic smart network environment; communication mechanism; heterogeneous network; network deployment

0 引 言

近年来, 面对互联网与经济社会深度融合发展带来的多元化业务承载需求, 传统 TCP/IP 网络的瘦腰结构在安全保障、扩展、服务质量、移动等方面遭受了前所未有的挑战, 在应对大带宽、高可靠、低时延等更高的网络服务能力时显得力不从心^[1]。

为解决 IP 瘦腰问题, 新型网络已成为全球互联网

发展的竞争焦点^[2], 内容标识^[3]、身份标识^[4]、地理位置标识^[5]等多种标识体系得到了广泛的研究, 并诞生了命名数据网络(named data networking, NDN)^[6]、智慧标识网络(smart identifier networking, SINET)^[7]、GeoNetworking^[8]等代表性的设计成果。这些新型标识体系可以针对特定业务场景解决现有互联网的部分缺陷, 但互不兼容的寻址机制促使互联网“碎片化”发

收稿日期: 2022-01-13

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFB1802503); 国家自然科学基金资助项目(61972026)

作者简介: 褚 帅(1996-), 男, 硕士, 研究方向为未来网络架构; 郜 帅, 教授、博士生导师, 研究方向为未来互联网技术、网络安全技术等。

展^[9]。并且这种单维度网络模型难以提供普适的转发解决方案,传统应用也无法摆脱对 IP 网络的长期依赖。于是新型网络发展面临着被迫适应 IP 的窘境。

邬江兴院士团队提出了“多模态智慧网络环境”的概念,通过可编程技术将多种网络设计以网络模式的形式融合到多模态智慧网络环境之中,力求整合多种网络的优势,提升网络对多元业务的承载能力^[10]。多模态智慧网络环境建立从底层到上层全维度可定义的灵活结构,实现对异构网络通信能力的支持,从根本上满足网络个性化、智慧化、多元化、高效能的业务需求^[11]。多模态智慧网络环境中存在多种标识体系,如内容标识、身份标识、地理空间标识等,而基于每种标识体系形成的网络架构模型就是一种网络模式,如 IP 网络、命名数据网络、地理位置网络等。然而,当前针对多模态智慧网络环境的研究中,缺少实现多种标识体系融合通信的相关方案,并且需要解决与现有网络的兼容部署问题。

实现多种标识体系融合通信是网络融合领域研究的重点内容,当前的国内外解决方案主要基于两种设计理念^[12]。一种是采用 overlay 的方式,在网络层之上建立多维度的标识体系,并维护统一的映射机制来丰富互联网通信方式。此种设计会削弱网络标识的原生特征,并抑制新型网络的发展潜力,加重对 IP 网络的依赖性。另一种是设计统一的新型数据包格式,引入网络类型字段进行不同标识的区分,从而实现多标识的灵活寻址。然而这种统一的包头设计会禁锢各种标识的独有特性,如内容标识不同于 IP 网络使用“push”模型进行数据推送,而更适合“pull”模型进行数据拉取,这并不符合多模态智慧网络环境提升网络智慧化的理念^[13]。同时,统一的包头设计会彻底改变现有的互联网生态,其高昂的部署成本也难以全面推广。因此,现有的多种标识体系融合通信方案并不适合在多模态智慧网络环境中使用。

因此,该文提出一种面向多元业务的多模态智慧网络通信机制,实现多体系结构、多数据格式、多业务应用的异构网络融合通信。该通信机制解决了现有多种标识体系融合通信方案存在的 IP 依赖性、缺乏智慧性等问题,利用多维资源获取技术和全维可定义技术实现将网络模式与业务适配的自适应通信传输,整合多种网络模式针对不同业务场景的性能优势。设计了面向多元业务的多模态智慧网络通信机制框架,采用多模态传输服务接口实现终端多样化的资源定位,并结合异构网络匹配转发机制,使每种网络模式各行其道,也提升了新型网络模式引入的灵活性。考虑当前核心网复杂场景,设计了一种渐进式的部署方案,以实现多模态智慧网络增量式部署和演进式发展。在此基

础上,给出了该通信机制完整的工作流程,搭建了该机制的原型系统,并通过 4 种网络模式及其应用场景对该通信机制的基础通信功能进行了验证。

1 相关工作

实现多种标识体系的网络传输是网络融合领域的热点问题。国内外的相关设计理念主要分为两种,一种采用 overlay 的方式将多种标识嫁接在 IP 网络层上,IP 地址不再具有互联网资源定位功能,而只是起到网络路由转发功能。这种设计理念的典型应用有 Trosky^[14]。

Trosky 网络架构是由 James McCauley 等人在 2019 年 SIGCOMM 上提出的新型网络融合架构,它采用 Overlay 的思想在网络层之上构建 3.5 层实现更好兼容以内容为中心的网络,提升网络的可扩展性和进化性。Trosky 是一种被迫适应 IP 网络的方案,多标识体系的原生特性被削弱。同时,这种 Overlay 方式无法改变当前 IP 网络的瘦腰结构,当大规模部署时,网络层的转发压力和传统弊端仍然存在。

另外一种多种标识体系的网络传输设计理念为采用统一的数据包格式设计,并添加网络类型字段实现不同标识区分。基于这种设计理念的典型网络融合方案有 XIA^[15],NewIP^[16]等。

XIA 是一种支持演进和扩展的异构标识网络融合架构。该架构支持面向主机、服务、内容等网络主体的通信模式,并且支持新主体类型的无缝引入。XIA 可根据用户与应用程序意图定义多种主体类型进行通信,然后通过扁平化的编制方式实现多种网络标识的融合,并采用有向无环图的地址结构以满足地址回退需要。XIA 无法实现对现有多种网络架构的有效利用,在不同主体的管理控制功能也比较薄弱。同时,这种统一的包头设计会禁锢各种标识的独有特性。另外,这种新的数据包格式设计无法与现有 IP 网络兼容,增加了部署的难度。

华为公司近期针对 TCP/IP 协议的固有缺陷,结合未来互联网新应用场景对网络需求提出的一种新型网络协议体系——NewIP。NewIP 协议体系保留传统 IP 网络统计复用和上下兼容优点,采用可变长和多语义网络地址和用户定义网络功能,赋予网络更广泛的能力。NewIP 具有与 XIA 类似的问题,同时,新 IP 头的编程灵活性可能会带来新的挑战和风险。

2 面向多元业务的多模态智慧网络通信机制设计

2.1 设计理念

多模态智慧网络环境支持引入多种具有不同标识

特征和通信模型的网络模态。针对多元的业务应用场景,不同网络模态表现出适配性的差异。例如,以内容为中心的网络利用缓存机制可以更好地支持 Web、视频、P2P 或其他形式的内容检索。以服务为中心的网络可以提供强大的原语,如服务级的广播。为了提升网络对业务的服务能力,整合不同网络模态的性能优势,需要设计一种统一的网络通信机制,主要的设计理念如下:

多元性:传统网络体系将复杂的业务逻辑几乎全部强压给应用层与传输层实现,端到端的通信模型并非全业务场景下的最优选择,这是造成当前网络服务效能低下的重要原因。为满足多模态智慧网络环境多元业务承载的设计理念,该通信机制需要包含多种通信模型,便于根据不同的业务进行灵活的调整与选择。

兼容性:当前 IP 网络已经是全球部署,IP 应用生态已经建立的相当完备,彻底改变 IP 网络会带来巨大的风险与损失。该通信机制需要能够兼容现有 IP 网络,又可实现增量式的部署。

可扩展性:考虑到新业务场景的出现,该机制需要具备无缝引入新型网络模态的能力,便于网络的功能不断完善和丰富。

2.2 整体框架

根据 2.1 节的设计理念和多模态智慧网络环境基础概念,设计了面向多元业务的多模态智慧网络通信框架,如图 1 所示。它包含终端多维度资源定位和多模态网络转发两方面内容。终端具备将业务与网络模态适配的能力,采用多样化的互联网资源定位方式去承载多元业务,如图中的地理位置标识、IP 套接字和内容标识等。针对不同的业务,终端发起的通信请求是多种网络模态的数据包格式。这些不同格式的网络数据包会通过全维可定义转发平台实现异构网络匹配传输。多模态智慧网络环境控制层面会部署不同网络模态的应用,实现对底层全维可定义转发平台的控制。每种网络模态各行其道,从上到下拥有独立的运行空间,这种设计提升了新型网络模态引入的灵活性。下文中详细介绍该机制下终端与网络的具体设计。

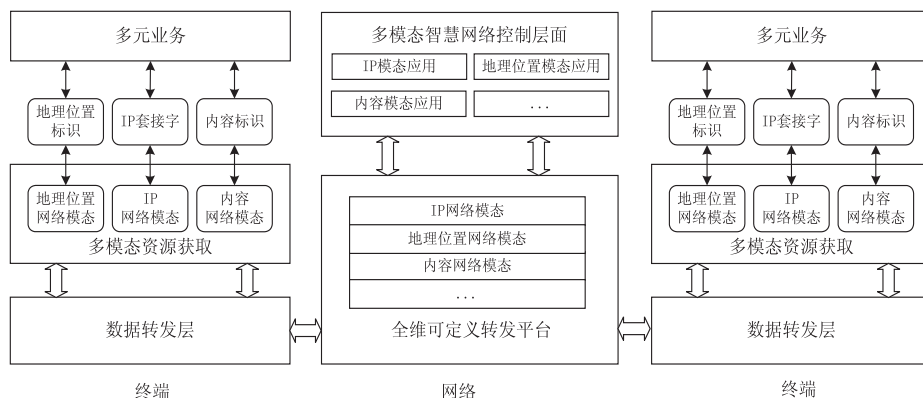


图 1 面向多元业务的多模态智慧网络通信机制整体框架示意图

(1) 多模态终端设计。

当前的互联网资源通过统一资源标志符 URL 进行标识,并通过 DNS 系统解析成对应的 IP 地址来构建网络通信连接,实际上是一种单一的基于资源所有者位置的资源定位方式。在本文中,终端引入多种网络模态的协议栈,并设计了相对应的传输服务接口,提

供多样化的资源定位方式,如采用 IP 地址、内容名、地理位置等。表 1 中列举了 3 种面向不同网络主体的传输服务接口,并描述了具体的功能。这使得能够构建涉及多宿主设备、对象组、内容、位置等网络主体的传输服务,实现多语义的资源表达。

表 1 网络模态传输服务接口

(a) 内容		
网络模态	传输服务原语	功能描述
内容模态	getContent(name address)	获取内容
	putContent(content)	发布内容
(b) 地理位置		
网络模态	传输服务原语	功能描述
地理位置模态	bind(position information)	监听指定位置信息
	recv(message, position information)	接收指定位置信息
	send(message, position information)	向指定位置发送信息

续表 1

(c) 传统应用		
网络模态	传输服务原语	功能描述
IP 模态	bind(ip address, port)	监听主机端口
	recv(message, ip address, port)	接收对端信息
	send(message, ip address, port)	向对端发送信息

网络资源采用统一的描述规范 URI。URI 由 3 方面组成:资源类型、资源定位方式、资源自身信息。资源类型表示资源的种类,如图片、视频、服务等,并与具体的传输协议绑定。资源定位方式指定资源的网络主体类型,如内容名、IP 套接字等。资源自身信息实现基于上述网络主体类型对资源唯一标识。资源所有者需要向资源解析服务器注册网络资源 URI 与资源定位信息的映射关系。资源解析服务器可以认为是一种 DNS 系统的功能增强,可以支持不同的资源定位方式。为保证业务与网络模态适配的设计目标,单一资源的注册方式是唯一的。当用户或终端请求访问 URI 时,会获取到该资源的唯一标识信息,匹配对应的网络模态,并调用网络模态传输服务接口构建数据包。如果资源采用 IP 地址进行标识,终端会获取 IP 地址并使用 send 方法发送 HTTP 请求数据包。而如果资源采用内容名进行标识,终端会获取内容名并使用 getContent 方法构建内容请求包请求资源。至此,数据包通过终端接口传递到网络之中。

(2) 多模态网络设计

基于全维可定义理念,网络传输包含控制层面和转发层面两部分设计。转发平面采用可编程交换设备,部署多种网络模态转发协议栈,并采用异构网络匹配转发机制。该机制通过解析数据包以太网类型进行网络模态区分,以实现自适应的匹配转发。控制层面进行数据包解析、网络模态选择,控制指令下达等功

能,实现集中式的网络管理。控制层面采用模块化的网络模态应用加载方式,以保证各种模态间相互隔离,拥有独立的运行空间,并实现在控制器操作系统上的快速部署。控制器具备丰富的与业务无关的底层服务抽象,如设备管理、链路管理等,并提供统一的调用方式,来保证网络模态应用设计的规范性。

根据上述网络传输设计,考虑到核心网部署难度,给出一种渐进式的网络部署方案。核心网仍然采用传统的 IP 网络,边缘网部署多模态控制域,并通过边界网关实现核心网接入。该方案可视对传统 IP 网络的增量式扩展。图 2 展示了该方案下的一种组网示例。该方案下的多模态智慧网络分为域内通信和跨域通信两种场景。多模态控制域均采用全维可定义结构,其中控制层面的网络实体是域控制器。边缘网控制域内支持多种网络模态协议进行通信,其转发设备可对不同网络模态的数据包进行匹配转发,并连接域控制器实现流表规则的更新请求。而涉及跨域通信则需要边界网关查询映射系统进行协议转换。域控制器之间需要进行信息协同以支持域间通信场景。域控制器具有映射系统的访问权限,主要用来维护核心网 IP 地址与边缘网网络对象的映射关系(如内容、地理位置、终端网络设备 ID)。当每种网络对象入网时,需要向映射系统注册所在域信息,图 2 中给出一种映射条目的设计,主要由接入网关设备 ID、核心网地址、边缘网模态类型、边缘网域内地址四部分组成。

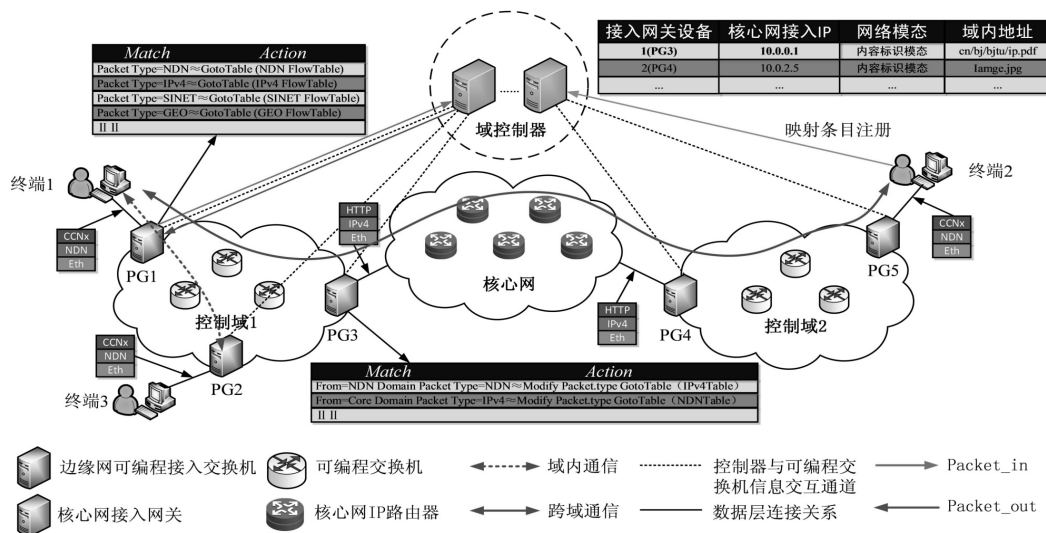


图 2 多模态智慧网络通信示意图

3 工作流程

本节说明面向多元业务的多模态智慧网络通信机制的工作流程,图 3 展示了终端资源定位的过程。首先,资源所有者需要向资源解析服务器进行资源注册,注册内容包含资源定位信息与资源 URI 的映射关系。当终端搜索资源时,会向资源解析服务器发送资源

URI 请求获取资源定位信息。资源解析服务器查询该 URI,将资源定位信息返回给终端。终端获得资源定位信息后,会调用对应的网络模态传输接口,构建并发送请求数据报文。例如资源解析服务器返回内容名,终端会调用内容模态,构建并发送内容请求数据报文。至此,终端实现将业务与网络模态的适配。

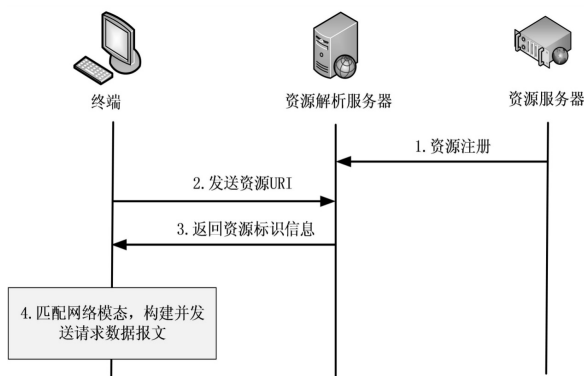


图 3 终端资源定位流程示意图

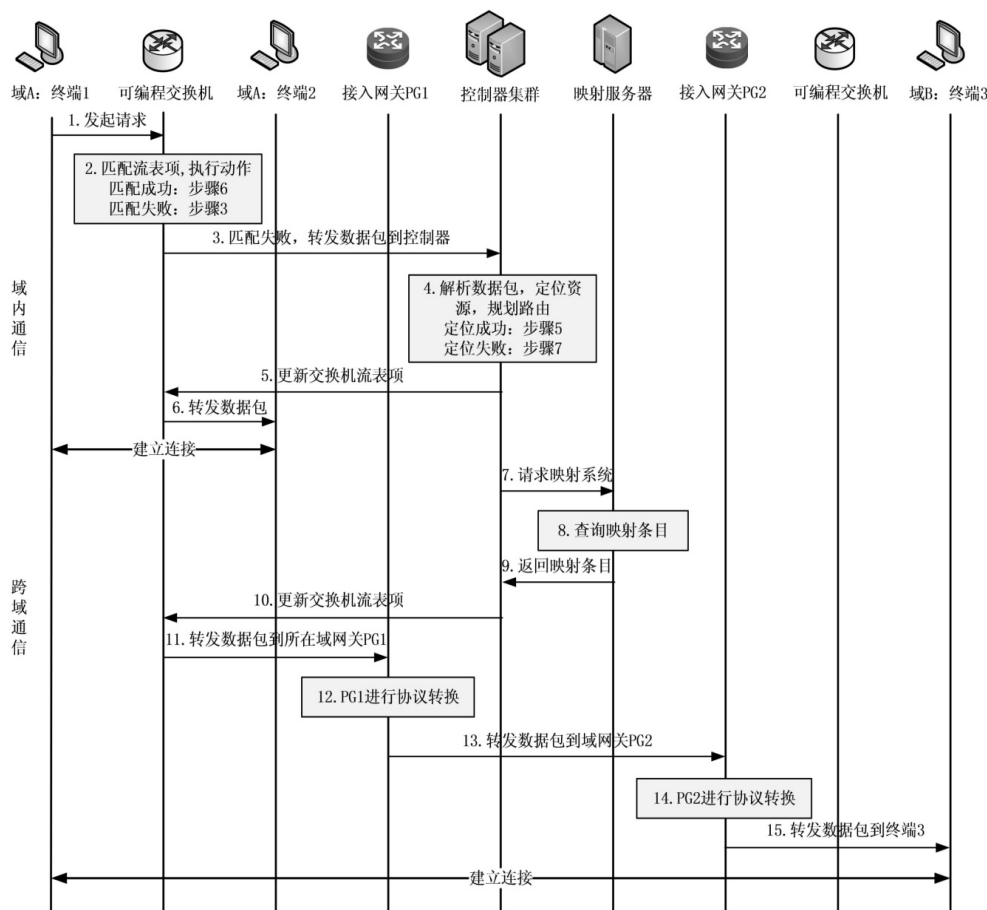


图 4 多模态网络传输流程示意图

终端资源定位后生成的不同网络模态的数据包进入网络中传输。图 4 展示了网络传输的工作流程,分为域内通信和跨域通信两种场景。其中,终端 1 和终端 2 位于控制域 A,终端 3 位于控制域 B 中。终端 1 构建并发送对应网络模态的请求报文至控制域内相连的可编程交换设备。该可编程交换设备匹配流表项缓

存。如果缓存击中,则转发数据包。否则,该可编程交换设备将请求报文封装成 packet-in 消息上传到域控制器来请求更新转发规则。域控制器运行着多种网络模态应用,以支持多样式的网络路由。域控制器从 packet-in 消息中提取请求报文,并传入对应的网络模态应用中。域控制器实现不同模态间区分的方式是根

据数据包包的 MAC 类型字段。网络模式应用解析数据包,提取目的地址定位资源位置,并依据全域视图重新规划路径。如果通信对象在本域内定位成功,控制器向通信路径上的可编程交换机下发流表,并以 packet-out 消息的形式将请求报文重新传入初始可编程交换机进行匹配转发,最终建立终端 1 与终端 2 的连接关系。如果定位失败,则需要跨域通信流程。

跨域通信时,控制器会向映射系统请求资源对象的所在域信息。若映射系统不存在资源对象映射条目,则控制器显示目标通信对象无法连接。如果映射系统查询成功,则向控制器返回资源对象的所在域信息。控制器依据资源对象的所在域信息生成流规则,并最终将流表下发至沿途可编程交换设备。流规则包含两部分功能,将请求报文转发到边界网关设备 PG1 并进行协议转换,实现在核心网基于 IP 协议进行转发。

请求报文到达资源对象所在域边界网关 PG2 时会进行协议逆转换,变为初始网络模式。然后数据包在可编程边界网关匹配流表项缓存,重复域内通信流程,最终将请求报文转发至资源所在位置,在终端 1 与终端 3 之间建立连接。

4 原型系统搭建与功能验证

该文基于多模态智慧网络环境全维可定义理念初步搭建了原型系统,并对面向多元业务的多模态智慧网络通信机制实现网络模式与模式适配的基础通信功能进行验证,并进一步说明该通信机制对网络整体通信能力的提升。

原型系统实验验证的组网拓扑如图 5 所示。该组网拓扑包含 2 个控制域,并通过边界网关连接到核心网。每个控制域均可支持 4 种网络模式运行,具体为 IPv4 标识模式、内容标识模式、身份标识模式、地理位置标识模式。控制域内转发设备采用服务器部署 BMv2 的形式,并运行可处理多种模式类型数据包的 P4 配置文件。可编程网关设备相比于域内可编程交换机增加了协议转换的处理功能。域内所有可编程设备与域控制器相连,域控制器采用 ONOS 开源系统。ONOS 上部署了 4 种网络模式应用,支持不同网络模式的路由管理与流表下发等功能。域控制器可以访问映射服务器,以支持跨域通信时的映射条目查询。核心网采用传统的路由器。搭建了资源解析服务器,终端可实现资源的注册查询。终端使用 scapy 库可实现不同网络模式数据包的构造与发送。

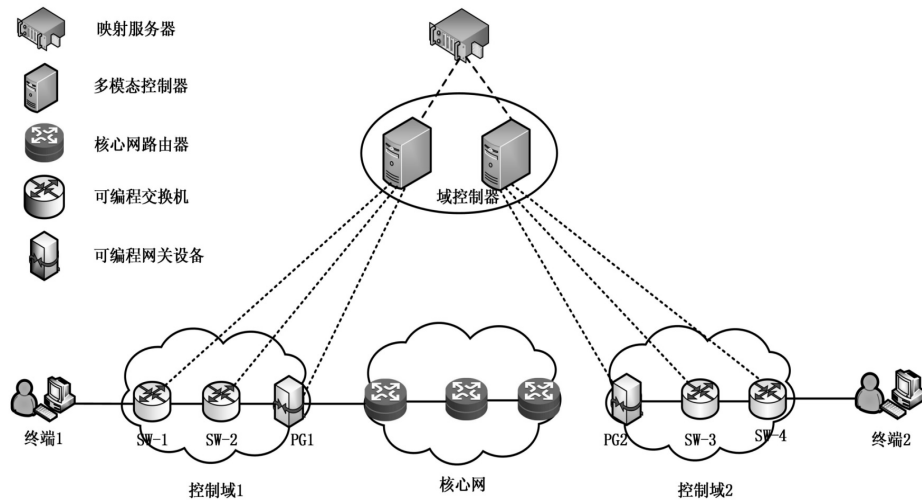


图 5 原型系统拓扑图

实验中一种典型应用场景会映射到一种网络模式,以体现业务与网络模式适配理念,具体如表 2 所示。实验中,当进行简易聊天应用时,该通信机制将映射到 IPv4 网络模式,图 6 展示了控制器对可编程交换机 SW-1 所下发的 IPv4 网络模式匹配流表项,体现了该通信机制对现有网络通信模型的兼容。当面对内容文件检索业务时,将采用内容标识模式,通过在图 5 拓扑中 SW-1、SW-2 等网络节点增加缓存功能,内容获取效率提升超过 40%,图 7 展示了控制器对可编程交换机 SW-1 所下发的内容标识模式匹配流表项,由于内容标识模式实现较为复杂,图 7 仅展示了部分流表

项。当进行文本发送业务时,身份标识模式具备身份与位置分离的特性,能够提升网络安全性,图 8 展示了控制器对可编程交换机 SW-1 所下发的身份标识模式匹配流表项。面向地理区域的组播通信是现有网络不支持的特殊应用场景,采用地理空间标识模式可实现对特定地理位置的快速路由,图 9 展示了控制器对可编程交换机 SW-1 所下发的地理空间标识模式匹配流表项。实验验证了该通信机制的基本通信功能,并从中可以看出,该通信机制整合多种网络模式针对不同业务场景的性能优势,将从多方面提升网络整体服务能力。

表 2 网络模态支持业务表

网络模态类型	网络模态资源地址	应用或业务支持	网络服务能力提升
IPv4 模态	172.18.1.25	简易聊天应用	兼容现有网络通信模型
内容标识模态	bjtu/content.pdf	内容文件检索	内容获取效率提升超过 40%
身份标识模态	2001-DB8-0-0-8-800- 200C-417A	文本发送	实现身份位置分离， 提升网络安全性
地理空间标识模态	FF02:0:0:CD34:D6CE; A610:0:0	面向地理区域的 组播通信	实现对特定地理位置的快速路由

```
id=cd000017d246f7, state=ADDED, bytes=0, packets=0, duration=32, liveType=UNKNOWN,
priority=100, tableId=MyIngress.ipv4_lpm, appId=org.onosproject.nextworking.IPV4, selector=
[hdr.ipv4.dstAddr=0xac100101/32], treatment=DefaultTrafficTreatment(immediate=[MyIngress
.ipv4_forward(port=0x1, dstAddr=0x80000000111)], deferred=[], transition=None, meter=[], c
leared=false, StatTrigger=null, metadata=null)
id=cd000004da8cbbba, state=ADDED, bytes=0, packets=0, duration=32, liveType=UNKNOWN,
priority=100, tableId=MyIngress.ipv4_lpm, appId=org.onosproject.nextworking.IPV4, selector=
[hdr.ipv4.dstAddr=0xac100102/32], treatment=DefaultTrafficTreatment(immediate=[MyIngress
.ipv4_forward(port=0x2, dstAddr=0x80000000300)], deferred=[], transition=None, meter=[], c
leared=false, StatTrigger=null, metadata=null)
```

图 6 IPv4 模态匹配流表图

```
id=cb000005b7cb6b, state=ADDED, bytes=0, packets=0, duration=62, liveType=UNKNOWN,
priority=10, tableId=ingress.fib_table, appId=org.onosproject.NDN.NDNApp, selector=[meta.na
me_metadata.components=0x1, meta.comp_metadata.c1=0x9cdd&&&0xffff], treatment=Defau
ltTrafficTreatment(immediate=[ingress.set_egr(egress_spec=0x2)], deferred=[], transition=None,
meter=[], cleared=false, StatTrigger=null, metadata=null)
id=cb000001fcf4a1e, state=ADDED, bytes=0, packets=0, duration=61, liveType=UNKNOWN,
priority=10, tableId=ingress.fib_table, appId=org.onosproject.NDN.NDNApp, selector=[meta.na
me_metadata.components=0x5, meta.comp_metadata.c1=0x9cdd&&&0xffff], treatment=Defau
ltTrafficTreatment(immediate=[ingress.set_egr(egress_spec=0x2)], deferred=[], transition=None,
meter=[], cleared=false, StatTrigger=null, metadata=null)
```

图 7 内容标识模态匹配流表图

```
id=cc00004fa47c8d, state=ADDED, bytes=0, packets=0, duration=258, liveType=UNKNOWN,
priority=100, tableId=c_ingress.AID_forward, appId=org.onosproject.sinet.sinet, selector=[hdr.ai
d.d=0x64], treatment=DefaultTrafficTreatment(immediate=[c_ingress.aid_forward(port=0x1, ds
tAddr=0x80000000100)], deferred=[], transition=None, meter=[], cleared=false, StatTrigger
=null, metadata=null)
id=cc0000113370fb, state=ADDED, bytes=0, packets=0, duration=258, liveType=UNKNOWN,
priority=100, tableId=c_ingress.RID_forward, appId=org.onosproject.sinet.sinet, selector=[meta.
myrid=0x2], treatment=DefaultTrafficTreatment(immediate=[c_ingress.rid_forward(port=0x2, ds
tAddr=0x80000000400)], deferred=[], transition=None, meter=[], cleared=false, StatTrigger=nu
ll, metadata=null)
id=cc00009fe32ae4, state=ADDED, bytes=0, packets=0, duration=258, liveType=UNKNOWN,
priority=100, tableId=c_ingress.RID_forward, appId=org.onosproject.sinet.sinet, selector=[meta.
myrid=0x1], treatment=DefaultTrafficTreatment(immediate=[c_ingress.rid_forward(port=0x1, ds
tAddr=0x80000000100)], deferred=[], transition=None, meter=[], cleared=false, StatTrigger=nu
ll, metadata=null)
id=cc00002bd9718d, state=ADDED, bytes=0, packets=0, duration=258, liveType=UNKNOWN,
priority=100, tableId=c_ingress.RID_insert, appId=org.onosproject.sinet.sinet, selector=[hdr.aid.a
id_s=0x64, hdr.aid.aid_d=0x6f], treatment=DefaultTrafficTreatment(immediate=[c_ingress.RID_in
gress(RID_s=0x1, RID_d=0x2)], deferred=[], transition=None, meter=[], cleared=false, StatTrigger
=null, metadata=null)
id=cc00008409700f, state=ADDED, bytes=0, packets=0, duration=258, liveType=UNKNOWN,
priority=100, tableId=c_ingress.RID_insert, appId=org.onosproject.sinet.sinet, selector=[hdr.aid.a
id_s=0x6f, hdr.aid.aid_d=0x64], treatment=DefaultTrafficTreatment(immediate=[c_ingress.RID_in
gress(RID_s=0x2, RID_d=0x1)], deferred=[], transition=None, meter=[], cleared=false, StatTrigge
r=null, metadata=null)
```

图 8 身份标识模态匹配流表图

```
id=cd0000affaff25, state=ADDED, bytes=0, packets=0, duration=29, liveType=UNKNOWN,
priority=100, tableId=MyIngress.GEO_forward_6, appId=org.onosproject.nextworking.GeoIP,
selector=[hdr.geo.geodst_1=0x5, hdr.geo.geodst_2=0x1, hdr.geo.geodst_3=0x25, hdr.geo.ge
odst_4=0x0, hdr.geo.geodst_5=0x1, hdr.geo.geodst_6=0xa], treatment=DefaultTrafficTreatme
nt(immediate=[MyIngress.geo_forward(forwardflag=0x1, port=0x1, dstAddr=0x8000000011
1)], deferred=[], transition=None, meter=[], cleared=false, StatTrigger=null, metadata=null)
id=cd00009569d827, state=ADDED, bytes=0, packets=0, duration=29, liveType=UNKNO
WN, priority=100, tableId=MyIngress.ipv4_lpm, appId=org.onosproject.nextworking.GeoIP,
selector=[hdr.geo.option_dstipAddr=0xac100102/32], treatment=DefaultTrafficTreatment(im
mediate=[MyIngress.ipv4_forward(port=0x2, dstAddr=0x80000000300)], deferred=[], transi
tion=None, meter=[], cleared=false, StatTrigger=null, metadata=null)
```

图 9 地理空间标识模态匹配流表图

5 结束语

提出了一种面向多元业务的多模态智慧网络通信机制,包含终端资源定位与网络转发两方面设计,核心理念是将业务场景与网络模态适配来提升网络传输效率。设计了统一的多模态传输服务接口,实现终端多维度的资源定位,将网络模态与业务适配。网络保障多种网络模态的自适应转发,并基于核心网部署难度提出一种增量扩展方案。同时,介绍了该设计对应的原型系统及其基础功能验证的相关实验。跨域通信中核心组件映射系统的运行复杂度和资源解析服务器查询效率可能成为整套传输机制面临的性能瓶颈。目前,仅是对理论设计进行了初步验证,接下来,需要在真实网络环境中进行更多的尝试。

参考文献:

- [1] 李 丹,胡宇翔,郭江兴. 新型网络技术创新发展战略研究[J]. 中国工程科学,2021,23(2):15-21.
- [2] 郭江兴. 新型网络技术发展思考[J]. 中国科学:信息科学,2018,48(8):144-153.
- [3] AHLGREN B, DANNEWITZ C, IMBRENDA C, et al. A survey of information-centric networking[J]. IEEE Communications Magazine,2012,50(7):26-36.
- [4] 张宏科,冯博昊,权 伟. 智融标识网络基础研究[J]. 电子学报,2019,47(5):977-982.
- [5] FANG D, CHENGQI C, SHIDE G. Design and research on GeoIP[C]//The 2010 14th international conference on computer supported cooperative work in design. Piscataway: IEEE,2010:13-17.
- [6] JACOBSON V, SMETTERS D K, THORNTON J D, et al. Networking named content[C]//Proceedings of the 5th international conference on emerging networking experiments and technologies. New York:ACM,2009:1-12.
- [7] ZHANG H K, QUAN W, CHAO H C, et al. Smart identifier network: a collaborative architecture for the future Internet[J]. IEEE Network,2016,30(3):46-51.
- [8] RISMA C C M. Implementation of standard-compliant ETSI ITS-G5 networking and transport layers on ns-3[D]. Politecnico di Torino,2021.
- [9] 权 伟,张宏科. 未来互联网体系的研究现状、热点与探索实践[J]. 中国科学:信息科学,2017,47(1):804-810.
- [10] 胡宇翔,伊 鹏,孙鹏浩,等. 全维可定义的多模态智慧网络体系研究[J]. 通信学报,2019,40(8):1-12.
- [11] 李军飞,胡宇翔,伊 鹏,等. 面向 2035 的多模态智慧网络技术发展路线图[J]. 中国工程科学,2020,22(3):141-147.
- [12] 侯心迪,郜 帅. 多元网络空间共存融合的思考与探索[J]. 数据与计算发展前沿,2020,2(3):45-54.
- [13] 国兴昌. 多模态网络中 NDN 与 IP 共存互通机制研究与实现[D]. 北京:北京交通大学,2020.
- [14] MCCAULEY J, HARCHOL Y, PANDA A, et al. Enabling a permanent revolution in internet architecture[M]//Proceedings of the ACM special interest group on data communication. New York:ACM,2019:1-14.
- [15] NAYLOR D, MUKERJEE M K, AGYAPONG P, et al. XIA: architecting a more trustworthy and evolvable Internet[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review,2014,44(3):50-57.
- [16] CHEN Zhe, WANG Chuang, LI Guanwen, et al. NEW IP framework and protocol for future applications[C]//noms 2020 - 2020 ieee/ifip network operations and management symposium. New York:ACM,2020:1-6.