

新一代融合媒体网络架构

张文军, 管云峰, 何大治, 陈智勇, 宋利, 徐异凌, 夏斌

(上海交通大学未来媒体网络协同创新中心, 上海 200240)

摘 要: 为了应对媒体与网络相互融合发展给承载媒体服务的广播电视网和移动通信网带来的巨大冲击以及新的融合媒体业务对网络传输效率、容量扩展、资源利用和服务质量提出的更高要求, 在对过去 20 年媒体发展和网络演进总结归纳的基础上, 提出了面向融合媒体发展的新一代媒体网络系统架构。新的架构可以满足更密连接性、更高可靠性、更低时延和更好交互性等应用需求。

关键词: 融合媒体; 协同传输; 未来网络; 系统架构

中图分类号: TN934

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-436x.2019164

Next generation converged media network architecture

ZHANG Wenjun, GUAN Yunfeng, HE Dazhi, CHEN Zhiyong, SONG Li, XU Yiling, XIA Bin

Cooperative Medianet Innovation Center, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China

Abstract: In order to cope with the huge impact of the integration of media and network on the broadcast and mobile communication networks that carry media services, and the new requirements for network transmission efficiency, capacity expansion, resource utilization and service quality of new converged media services, a new generation media network system architecture for the development of converged media was proposed based on the summary of media development and network evolution in the past two decades. The new architecture can meet the application requirements of denser connectivity, higher reliability, lower latency and better interactivity.

Key words: converged media, collaborative transmission, future network, system architecture

1 引言

智能终端的迅速普及使媒体的呈现形式越来越多样化, 面对灵活多样的媒体信息, 未来的媒体网络将面临前所未有的挑战。媒体形式已从传统的文本、音频、图片、视频过渡到数据量更高的高清 (HD, high definition)、超高清 (UHD, ultra high definition) 视频等。与此同时, 能给用户带来沉浸

式体验的 3D 视频、虚拟现实 (VR, virtual reality)、增强现实 (AR, augmented reality) 等媒体业务正快速融入人们的生活。据预测, 从 2016—2021 年, 移动视频流量将增长 9 倍, 占据移动数据流量总量的 78%^[1]。如此巨大的媒体信息流量对下一代媒体网络的负载能力、灵活性、可控性、交互性都提出了更高的要求^[2]。

媒体业务的重要驱动力是不断提升用户体验

收稿日期: 2019-05-16; 修回日期: 2019-06-25

通信作者: 何大治, hedazhi@sjtu.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.61420106008, No.61671297, No.61650101); 上海市数字媒体处理与传输重点实验室基金资助项目 (No.STCSM18DZ2270700); 国家科技重大专项基金资助项目 (No.2017ZX03001027)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.61420106008, No.61671297, No.61650101), Shanghai Key Laboratory of Digital Media Processing (No.STCSM18DZ2270700), The National Science and Technology Major Project of China (No.2017ZX03001027)

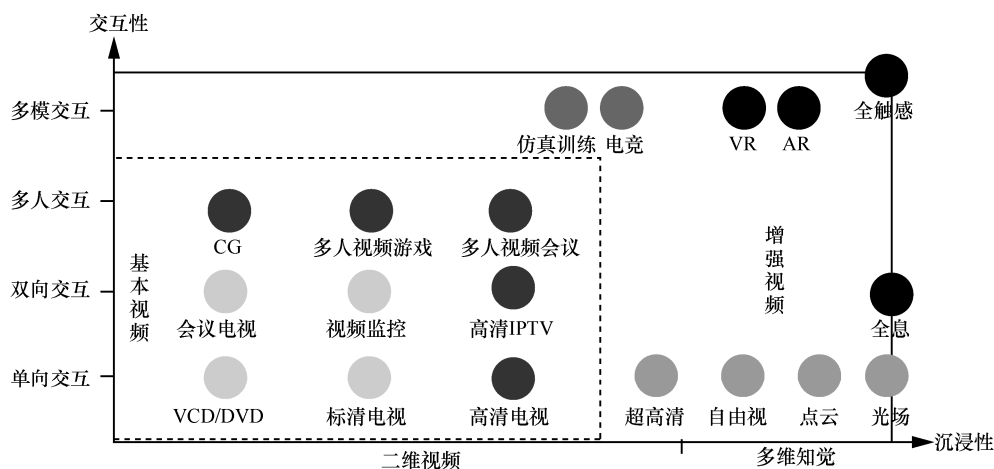


图2 按沉浸性和交互性的强弱，将视频服务分为“基本视频”和“增强视频”

户提供定制个性化内容，实现“千人千影”观看体验。另一方面，通过内容感知和智能关联，不断丰富媒体中的元数据，提升交互维度，支持用户多种模态地与媒体内容进行实时互动，实现全新的观看体验。

综上所述，未来融合媒体服务提出了更高的QoE需求，驱动承载媒体服务的网络不断演进，走向高通量、强交互、低时延和智能化的新业态。本文首先回顾媒体网络发展已有的2个阶段（独立演进和初步融合），重点论述了应用场景、业务需求和关键技术。进而提出了具备“物理层全覆盖、协议层全融合、通信计算全协同”特性的新一代融合媒体网络架构。

2 媒体网络 1.0：独立演进

从20世纪90年代开始，数字电视广播首先成为提供大范围视频媒体服务的主要方式。数字电视广播系统大致可以分为“台”“网”和“端”3个部分，如图3所示。

“台”主要是指电视台和信息服务提供商，通过摄/录像机、后期制作、编码器和复用器组成视频服务器或者直播服务器，为观众提供录制/直播电视节目。“网”承担着内容传输和网络控制的功能，通过将电视节目进行数据的封装和复用后映射到实际的物理帧，结合实际的网络传输手段（有线、无线和卫星）实现电视节目的分发传输。“端”主要是通过电视机和机顶盒，将网络传输的电视节目呈现给观众。数字电视广播网络的主要特点是可以单频组网实现信息的大范围播发，但无法进行

双向交互，所以其网络架构更注重提高传输效率和服务品质。

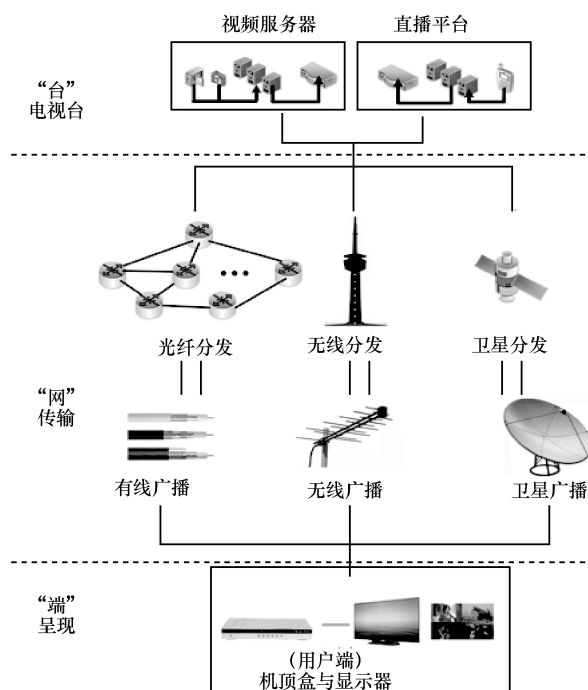


图3 数字电视广播网系统架构

从21世纪开始，移动通信网络开始逐步提供视频服务，其网络架构主要由信号源、骨干网、传输网（包括核心网和接入网）和智能终端组成。为了更好地应对大流量的视频服务，4G网络架构在以下几个方面进行改进：1)实现全面分组化，所有业务由分组域实现，数据传输速率得到提升；2)简化网络设备，基站eNode B直接与核心网直连，信息转发效率得到改善；3)数据全IP化，模块接口相

互统一, 不同网络融合成为可能。

在即将到来的 5G 移动通信网中, 由于基站的小型化、部署的密集化, 接入网将采用 C-RAN 等新型架构; 核心网也会引入 SDN、NFV 来进一步提高灵活性, 以实现控制平面和用户平面分离、硬件和软件解耦、网络切片等特性^[9], 可以为用户提供更大容量、更低时延和更多连接的视频服务。总的来说, 与数字电视广播相比, 移动通信的网络架构更注重提高灵活性和个性化, 如图 4 所示。

过去 20 年, 数字电视广播和移动通信都积累了大量特定的技术, 实现了大范围的实际网络部署, 为用户提供了媒体服务。但 2 种网络始终都在独立和并行地发展, 因其应用需求的差异, 数字电视广播和移动通信在网络容量、覆盖面、数据速率、移动性支持等方面有较大差异。

3 媒体网络 2.0: 初步融合

随着视频内容流量呈指数级增长与网络传输需求、用户终端的多元化, 传统媒体网络的独立并行发展模式已不能满足用户对于内容的高通量及个性化消费要求。融合媒体网络, 综合利用广播和宽带网的优势, 成为实现数据高效传输、满足用户泛在化消费需求的有效途径: 无线广播网拥有较高并且稳定的传输带宽, 可推送高码率视频; 移动通信网可以根据用户请求的方式来发送, 使用户得以获取定制化内容^[10]。这种直接利用广播与移动网络各自传输优势的网络融合尝试, 被称为媒体网络 2.0。

过去 5 年, 网络融合在协议层实现了突破, 在没有改变广播与宽带各自传输层架构的条件下实现了业务上的融合, 即用户能够在点播各种网络视频

的同时也能享受高质量广播服务^[11]。以欧洲为代表的数字电视运营商, 以“电视”向“互联网”靠拢为宗旨, 从数字电视运营中发展增值业务, 并推出基于中间件平台兼容互联网(宽带)架构的双模业务系统——HbbTV^[12], 综合增强互动电视业务的信令设计、传输方式和呈现机制, 实现了广播服务与宽带数据业务的无缝封装。但其缺少对多终端服务的支持, 无法解决多终端、多网络之间呈现同步的问题, 在一定程度上影响了媒体服务的质量。Google 公司在互联网浏览器架构上形成了 GoogleTV^[13], 整合了计算机系统、媒体播放与网络应用, 但其没有支持广播通道的数字电视协议, 难以被数字电视运营商接收并用来开展增值业务。

为了更好地综合利用广播和宽带网各自的优势, 实现多网协同传输, 为用户提供更加灵活高效的媒体服务, 设计更具兼容性和灵活性协议层成为实现网络融合的首要目标。新一代的智能媒体传输(SMT, smart media transport)系统能够实现广播与宽带网媒体资源协同传输与呈现^[14], 如图 5 所示。首先, 针对不同网络媒体封装格式不统一, 采用融合网络数据模型, 对媒体内容的碎片化处理, 进行多源媒体统一封装, 实现了多组件内容的灵活存储与传输。然后, 针对单向和双向通道, 传输模型可以高效响应服务内容的动态配置, 实现了内容组件间无缝切换。最后, 针对多终端多源内容同步呈现场景, 呈现模型能够按照信令信息来组合媒体服务, 一方面提供媒体数据在终端正确解码处理的提示信息, 另一方面在空间布置和时域更新上为不同终端提供媒体呈现策略, 实现多源内容在多终端上的灵活组织与精准同步。

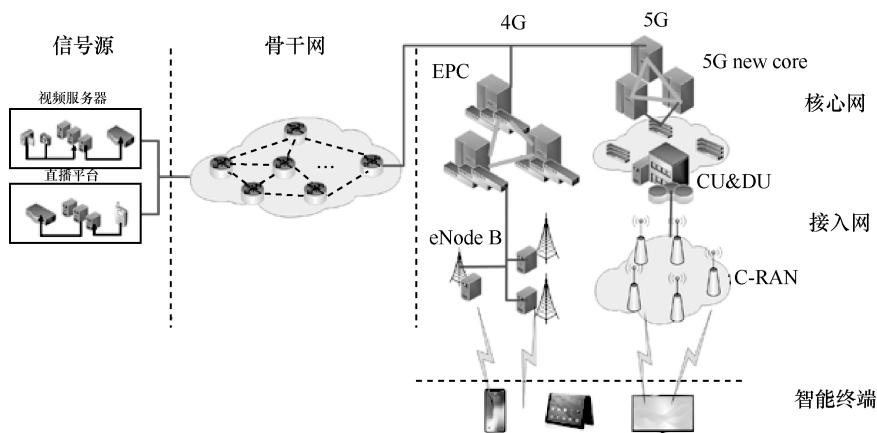


图 4 移动通信网系统架构

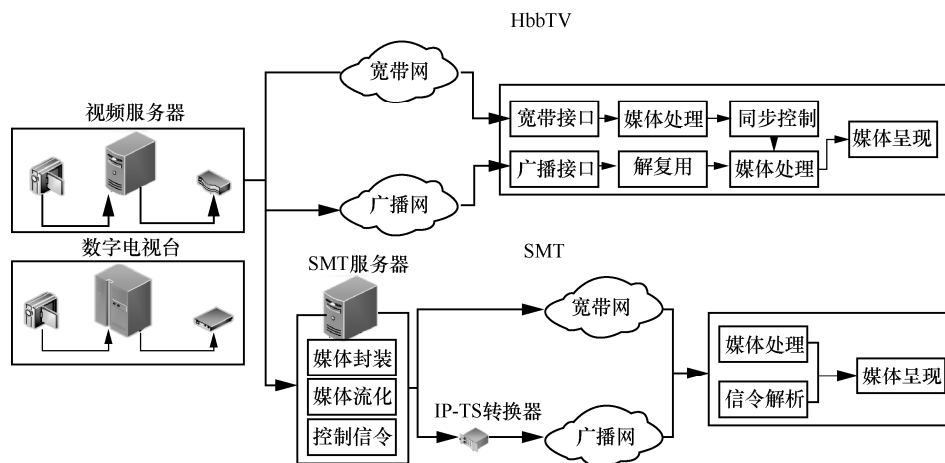


图 5 SMT 与 HbbTV 的系统对比

随着融合网络标准化工作的发展和各项应用的成功落地，融合网络为用户提供了大流量、可交互、低时延视频服务，但其在有效利用带宽、合理分配网络资源等方面还存在局限性，因此需要发展进一步的网络融合技术。

4 媒体网络 3.0：全面融合

媒体网络 2.0 实现了无线广播网和移动通信网在协议层面上的初步融合，提供了以连接和交互为目标的高效媒体服务。随着新一轮移动信息浪潮的

到来，媒体内容多样化、媒体平台复杂化及媒体呈现多元化，媒体网络产业迫切需求打造广播与蜂窝、信息和网络全面深度融合的新型网络架构，如图 6 所示，此为媒体网络 3.0。

4.1 物理层全覆盖

利用已有地面无线广播网和移动通信蜂窝网进行协同覆盖是实现信号全覆盖的主要途径。基于基站的演进型多媒体广播/多播业务（eMBMS, evolved multimedia broadcast multicast service）已经在 3GPP 中得到制定，该方案可以对抗 200 μ s 长度

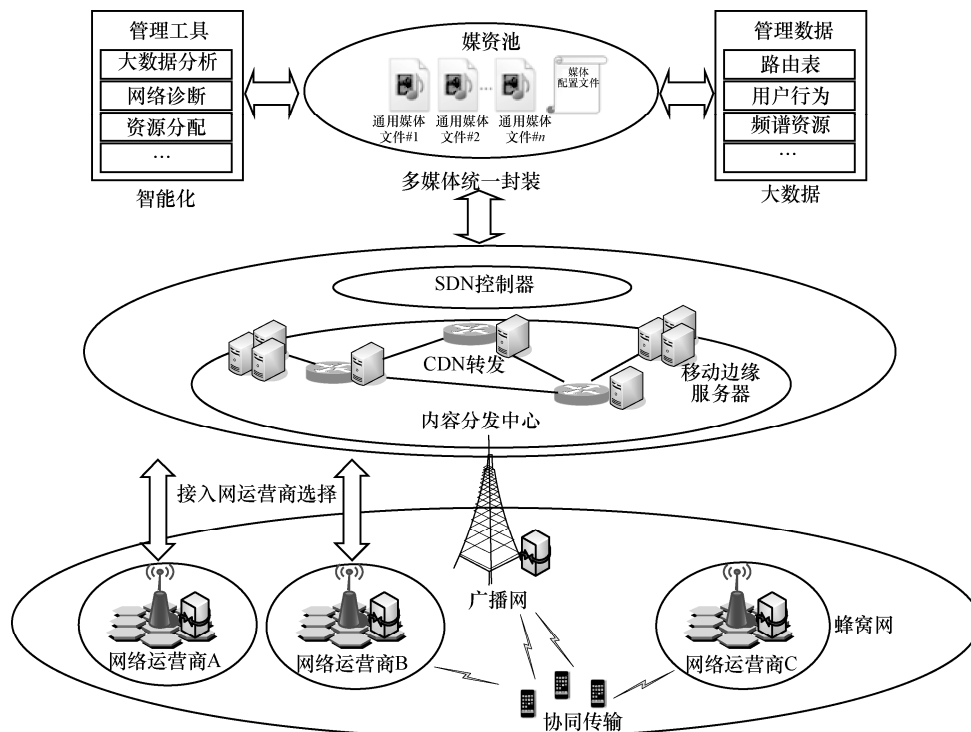


图 6 广播与蜂窝全面融合的网络架构

的多径,站间距达到 60 km,能够与现有地面广播形成协同覆盖。目前基于 eMBMS 有 3 个方向的全覆盖研究^[15]: 1) Reimers 教授提出的 Tower Overlay 方式^[16],在不影响传统广播电视的前提下,利用 DVB-T2 的扩展帧来发射 eMBMS 广播信号实现大范围集中广播业务的流量分担^[17]; 2) 我国提出的先进交互式广播 (AIB, advanced interactive broadcasting)^[18-19]方案和欧洲的 5G-Xcast 项目^[20],都在围绕多小区的混合广播 (MC-MM, multi-cell mix mode) 进行研究,即根据需求,灵活利用地面广播、eMBMS 的基站广播和单小区广播 (SC-PTM, single cell point to multipoint) 进行混合广播; 3) 罗德与施瓦茨公司参与的 5G-Today 项目,专注于 eMBMS 方案的参数改进和实现,即进一步演进的多媒体广播多播业务 (FeMBMS, further evolved multimedia broadcast multicast service)^[21]。在上述研究中,基于混合广播的技术研究成果最为期待,该技术将实现真正意义上的信号全覆盖。

除了信号全覆盖外,还需要构建物理层的网络全覆盖。当前移动网络中传播内容与传输网络之间耦合关系较弱,媒体网络 3.0 需要充分挖掘两者之间的内在属性,重新组织和设计适配内容的网络传输方式。一方面,媒体内容具有高度的分集特征,如聚集性、模块化、时效性等,在同等比特信息下给用户群体带来的价值不尽相同。另一方面,多元格局下的无线网络在传输形态(如蜂窝、广播、Wi-Fi 等)、存储能力、计算能力及复杂度上都存在巨大差异。所涉及的媒体网络 3.0 架构(如图 6 所示),通过对媒体内容特征的解析,利用无线网络基础设施的异构多集优势,协同边缘存储与计算资源对媒体内容的差异化分流及管理,实现媒体内容与传输网络的适配,并最终获得内容传播效率质的突破。

4.2 协议层全融合

协议层全融合目的是在包容异构性的基础上实现统一、高效的通信服务,以节省开支并充分利用现有的网络资源。融合网络系统与现有的通信系统相比,支持的业务更加多样化,通过多种接入技术并存、协同工作,支持终端移动性,提供可信任有保障的服务,实现多种网络接入技术的无缝切换与漫游。这对协议层全融合提出了更高的要求。在协议栈的各个层次,各种接入网络存在差异,协议层融合必须解决网络各个层次的差异性。当多种接入网络共存时,通过统一的承载协议完成各种

接入网络之间的信息共享和资源的协同管理,提供高质量保障的服务。

因此,媒体网络 3.0 架构需要建立支持媒体内容提供者与网络运营者之间的动态协商机制,实现多元融合网络资源的有效控制,支持多种网络协议,实现多业务协同传播。进一步地,在包容异构性的基础上发挥各无线接入技术的独特优势,实现协同配置和高效利用并重。

协议层全融合应采用开放的分层式架构。为适应高速数据处理并支持多通信接入技术并存的复杂控制,协议层全融合需要支持数据处理功能与控制功能分离。数据处理功能在原有应用层、传输层、网络层、链路层及物理层的基础上,增加了网络通信聚合功能并提升网络通信效能,如图 7 所示。

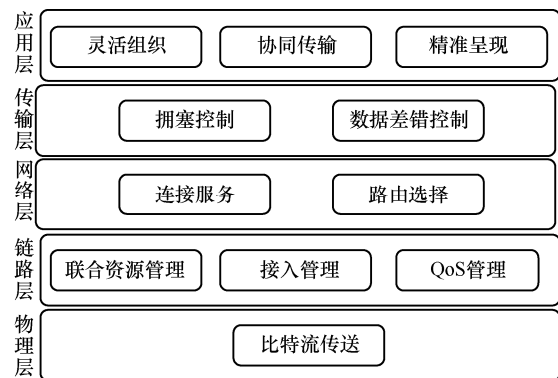


图 7 协议层全融合架构

为了实现异构网络的融合传输,需要设计统一的应用层传输协议。该协议需具有以内容为核心的通用封装单元,独立可解、灵活关联,并设计相关信令和控制机制,以实现新媒体多源元素的灵活组合、协同传输、精准呈现。同时,在链路层增加上层协议与下层技术的通信接口,对底层不同的接入技术进行统一的标准化封装,为上层提供统一的接口,对异构网络资源进行统一的管理。与传统单一网络系统相比,异构网络中的资源不仅包括频谱,还包括信道编码、发射功率、连接模式等,为此需要针对异构网络设计有效的资源管理方式,目前较为成功的有联合无线资源管理和多无线资源管理 2 种方法。由于异构网络融合,端到端的服务不仅会跨越不同的网络、采用不同的接入技术,而且不同网络的 QoS 支持能力与 QoS 控制策略可能无法在服务发起前获知,因此, QoS 管理需要提供基于 IP 的 QoS 协商机制,不同网络的 QoS 信息能够在同一体系中被表示与计算,并引入跨层的反馈交互机

制, 最终实现自适应的端到端 QoS 保证。最后, 针对融合网络的最优网络接入问题, 许多研究者提出了随机接入、高带宽优先接入等接入管理算法, 但这些算法只考虑用户端或总体网络容量, 缺乏对异构资源影响的考虑。网络接入管理算法需要细致分析异构网络环境中网络选择的需求和特点, 从多层协调的思想出发研究相应的数据信息模型。由于受各异构网络特征的影响, 需要引入多目标决策理论, 在有限资源的限制条件下找到一种平衡方案。

4.3 通信计算全协同

媒体网络 2.0 之前依靠通信扩容手段来满足多元化移动媒体内容流量的爆炸式增长。受香农容量的限制, 通信扩容的步伐越来越慢, 所需成本越来越高。借助于媒体内容对带宽、计算与存储高需求属性, 媒体网络 3.0 通过基于通信与计算的深度融合, 突破传统的容量扩展模式, 运用分布全网的多元、弹性计算和存储资源, 通过“以计算和存储换带宽”的架构设计, 突破海量媒体内容移动传播的瓶颈, 进一步释放媒体网络通信潜能, 提供可持续发展的承载能力^[22-23]。

因此, 通信与计算全协同是媒体网络 3.0 的核心功能。如图 8 所示, 移动边缘计算 (MEC, mobile

edge computing) 将计算和存储功能从云端下沉到移动边缘侧, 通过通信、计算和存储三域资源的高效协同和配置, 为高效广域协同媒体内容分发与传输提供更好的支持。具体来说, 边缘内容缓存技术极大地降低了内容源节点与用户节点间的连接限制, 通过挖掘内容属性和用户行为特征, 支持动态地将内容缓存到网络中的指定位置, 赋予了媒体网络 3.0 进行内容分发更大的自由度, 对解决网络密集化所遇到的内容回源、冗余传输、干扰管理等问题具有巨大优势。边缘媒体计算可以将媒体内容下沉到网络边缘节点及终端设备, 通过云、边缘和终端计算资源的协同, 可以大幅度降低无线带宽需求, 同时满足用户服务质量需求。

在满足 8K 超高清、VR/AR 等对带宽和计算资源均消耗巨大的增强视频服务方面, 通信与计算全协同技术潜力巨大。以 VR 视频为例, 在保证端到端传输时延的基础上, 利用基站和终端协同计算能力可以显著降低移动 VR 视频传输所需带宽。如图 9 所示, 相对于 VR 视频在基站边缘完成渲染后传输到终端的机制, 将 VR 视频部分渲染任务卸载到终端, 即基站与终端协同渲染的机制, 可以节省大量的无线带宽需求。仿真计算表明, 在主频为 3 GHz

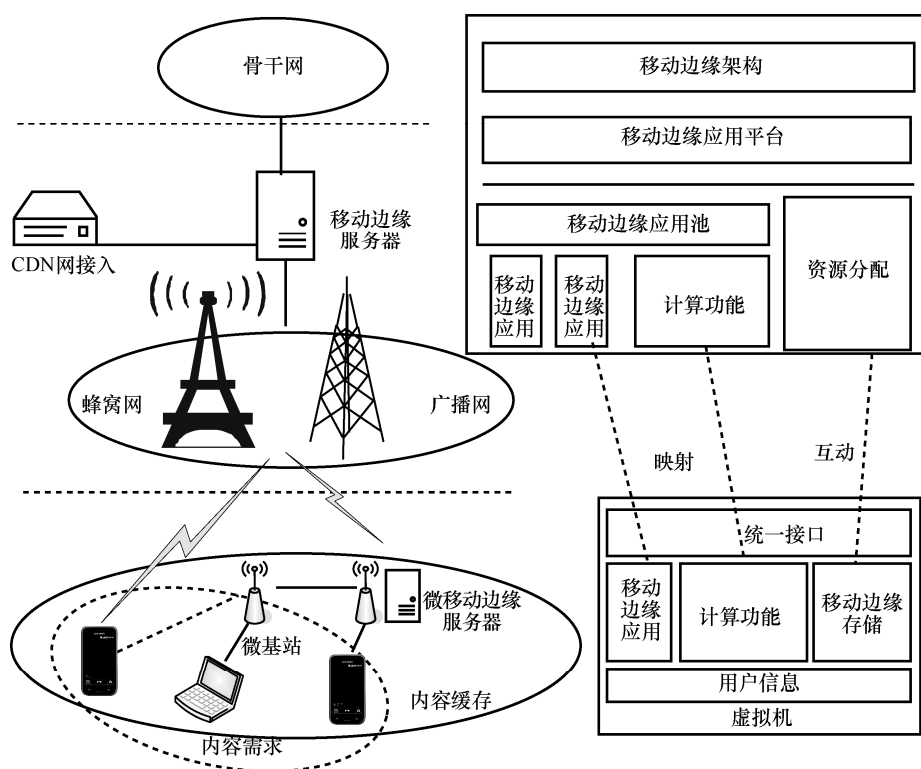


图 8 基于 MEC 的融合网络架构

的计算终端上,协同机制带来 67%的带宽增益,即从 260 MHz 带宽消耗降低到 85 MHz 带宽消耗。该仿真结果表明了通信计算全协同在缓解媒体网络空口流量压力方面的巨大潜能。

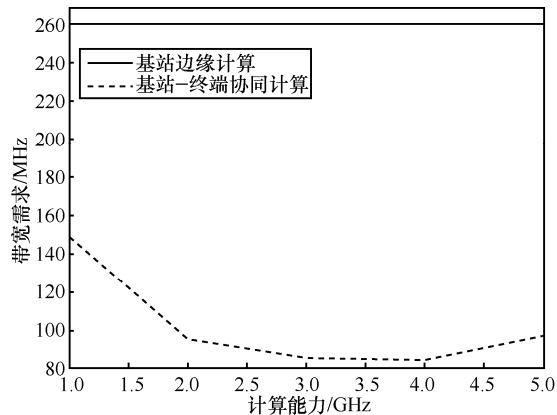


图9 基站与终端协同计算能力换取通信带宽需求性能

综合上述物理层全覆盖、协议层全融合和通信计算全协同,可以描绘出融合媒体网络 3.0 下媒体内容分发的未来图景:富媒体节目由多个关联的内容模块组成,各内容模块带有流行度、时效性等属性标签;当用户发起观看请求,媒体网络 3.0 自动地完成内容模块与网络传输的适配,将流行度高的内容通过广播或多播推送,个性化的内容通过单播方式传送,并支持已被缓存的内容在用户间通过 Wi-Fi/D2D 进行分享;用户无缝地接收来自不同传输通道的多个内容模块,在终端上完成按需组装及同步呈现。

5 结束语

提供高质量的融合媒体服务对现有的无线广播网和移动通信网提出新的挑战,数字广播和移动通信的全面深度融合是有效的解决之道。通过物理层全覆盖、协议层全融合和通信计算全协同,将有效发挥无线广播网与移动通信网的各自优势,构建面向融合媒体的新一代媒体网络。

此外,通过与不断发展的人工智能技术相结合,新一代融合媒体网络将进一步演化为服务所定义的网络,具备“内容感知网络、网络适配内容”的新型媒体网络服务能力。

参考文献:

[1] CISCO. Cisco visual networking index: global mobile data traffic forecast update, 2016—2021 white paper[R]. 2017.

[2] ZHANG W, HUANG Y, HE D, et al. Convergence of a terrestrial broadcast network and a mobile broadband network[J]. IEEE Communications Magazine, 2018, 56(3): 74-81.

[3] SMPTE. UHD TV ecosystem study group report[R]. (2014-03-28)[2019-05-16].

[4] SMPTE. Study group report on high-dynamic-range (HDR) imaging ecosystem[R]. (2015-10-26)[2019-05-16].

[5] NGUYEN T, MARPE D. Future video coding technologies: a performance evaluation of AV1, JEM, VP9, and HM[C]//2018 Picture Coding Symposium (PCS). IEEE, 2018: 31-35.

[6] LAUDE T, ADHISANTOSO Y G, VOGES J, et al. A comparison of JEM and AV1 with HEVC: coding tools, coding efficiency and complexity[C]//2018 Picture Coding Symposium (PCS). IEEE, 2018: 36-40.

[7] GSMA Intelligence. Understanding 5G: perspectives on future technological advancements in mobile[R]. (2014-12)[2019-05-16].

[8] KANEKO H, GOTO J, KAWAI Y, et al. AI-driven smart production[C]//IBC2018. 2018: 1-8.

[9] FOUKAS X, PATOUNAS G, ELMOKASHFI A, et al. Network slicing in 5G: survey and challenges[J]. IEEE Communications Magazine, 2017, 55(5): 94-100.

[10] EBU Technical Review. Cost analysis of orchestrated 5G networks for broadcasting[R]. (2019-03)[2019-05-16].

[11] OHMATA H, TAKECHI M, MITSUYA S, et al. Hybridcast: a new media experience by integration of broadcasting and broadband[C]//2013 Proceedings of ITU Kaleidoscope: Building Sustainable Communities. IEEE, 2013: 1-8.

[12] MERKEL K. HbbTV—a hybrid broadcast-broadband system for the living room[R]. EBU Technical Review, (2010-05-01)[2019-05-16].

[13] GUYNN J, CHMIELEWSKI D. Google TV to mix web, broadcast[N]. Los Angeles Times, 2010.

[14] XU Y L, CHEN H, ZHANG W J, et al. Smart media transport: a burgeoning intelligent system for next generation multimedia convergence service over heterogeneous networks in China[J]. IEEE Multimedia Magazine, 2019, PP(99): 1.

[15] EBU Operating Eurovision and Euroradio. Trial test and projects relating to 4G/5G broadcast supported by European PSB[R].

[16] CALABUIG J, MONSERRAT J F, GOMEZ-BARQUERO D. 5th generation mobile networks: a new opportunity for the convergence of mobile broadband and broadcast services[J]. IEEE Communications Magazine, 2015, 53(2): 198-205.

[17] ILSSEN S, JURETZKE F, RICHTER L, et al. Tower overlay over LTE-advanced+ (TOL+): results of a field trial in Paris[C]//2016 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB). IEEE, 2016: 1-6.

[18] 刘骏, 常江, 高杨. 5G 广播技术研究分析[J]. 广播与电视技术, 2019, 46(5): 25-28.

LIU J, CHANG J, GAO Y. Research on broadcasting technology in 5G[J]. Radio and TV Broadcast Engineering, 2019, 46(5): 25-28.

[19] 张宇, 张国庭, 付光涛. 5G 与地面移动广播电视[J]. 广播与电视技术, 2019, 46(5): 16-20.

ZHANG Y, ZHANG G T, FU G T. 5G and terrestrial mobile broadcasting[J]. Radio and TV Broadcast Engineering, 2019, 46(5): 16-20.

[20] VARGAS D, MI D. LTE-Advanced pro broadcast radio access net-

work benchmark[J]. Deliverable D3, 2017, 1: 197-203.

- [21] 5G Today. Distribution of media content in broadcast mode based on mobile technology[R]. (2018-12-04)[2019-05-16].
- [22] WANG K, CHEN Z, LIU H. Push-based wireless converged networks for massive multimedia content delivery[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2014, 13(5): 2894-2905.
- [23] LIU H, CHEN Z, QIAN L. The three primary colors of mobile systems[J]. IEEE Communications Magazine, 2016, 54(9): 15-21.

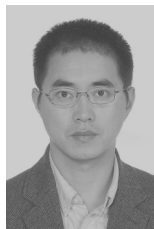
[作者简介]



张文军（1963- ），男，山东青岛人，博士，上海交通大学教授，主要研究方向为视频编码、无线宽带传输和数字媒体网络。



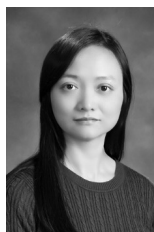
陈智勇（1984- ），男，福建莆田人，博士，上海交通大学副研究员，主要研究方向为移动通信计算存储网络。



宋利（1975- ），男，山西长治人，博士，上海交通大学研究员、博士生导师，主要研究方向为视频编码、多媒体通信。



管云峰（1975- ），男，浙江杭州人，博士，上海交通大学研究员，主要研究方向为无线系统的编码调制技术、无线接收技术。



徐异凌（1976- ），女，江苏镇江人，博士，上海交通大学特别研究员、博士生导师，主要研究方向为多网融合、多媒体通信。



何大治（1977- ），男，安徽合肥人，博士，上海交通大学副研究员，主要研究方向为高效传输、协同通信。



夏斌（1973- ），男，湖南长沙人，博士，上海交通大学教授，主要研究方向为宽带移动通信、无线通信网络等。