



网络通信融合发展与技术革命

尤肖虎

东南大学移动通信国家重点实验室

E-mail: xhyu@seu.edu.cn

收稿日期: 2016-11-08; 接受日期: 2016-11-22; 网络出版日期: 2016-12-23

摘要 本文阐述了作者对网络通信技术未来发展的主要观点: (1) 互联网巨大的发展惯性延缓了网络技术发生根本性变革的进程, 以 IP 为核心支撑的网络技术仍将主导未来 5~10 年网络通信产业的发展, 革命性的新元素如软件定义网络 (SDN)、网络功能虚拟化 (NFV)、信息中心网络 (ICN) 等, 正在不断融入现有 IP 技术体系. (2) 网络通信技术向“IT 化”演进已成为重要发展趋势, 通信系统将从封闭走向开放, 网络通信技术链和产业链将进入全新的变革和重塑时期. (3) 不断兴起的互联网新兴业务应用发展对网络传输速率和容量提出了更高要求, 未来信息网络“提速降费”仍任重道远. (4) 信息网络进一步向复杂巨系统发展演进, 传统的网络通信设计基础理论与方法正面临巨大的挑战, 基于大数据和统计规律的新型设计方法已处于起步期, 基础器件、支撑软件、终端形态、网络构建方法孕育变革.

关键词 互联网络, 通信与传输技术, 5G 移动通信

1 网络通信技术发展态势

目前全世界正处于第四次产业革命爆发初期, 其基本特征是以新技术革命带动消费升级、经济转型和社会进步, 其中互联网技术特别是移动互联网技术被普遍认为是第四次产业革命的基本使能技术之一.

作为人类社会信息共享与协作的基础平台, 信息网络已成为支撑国家安全、经济繁荣和科技竞争力的基础. 信息网络互联而形成的网络空间正发展成为陆、海、空、天之后的战略性第五维空间. 信息网络与传统产业的深入融合派生出“互联网+”的概念, 其对科技与社会发展所起到的基础性、渗透性、引领性作用, 在今后 10 年甚至更长的历史阶段中将进一步充分显现. 移动互联网正从人与人互联, 走向万物互联, 是信息网络最富生命力的组成部分, 也是带动信息通信产业发展的爆发性增长点. 云计算、大数据与移动互联网互相依存, 融合发展, 对于促进经济结构转型升级, 推动各行各业向全流程智能化管理、兼顾集约型与个性化的生产方式转变, 支撑大众创业、万众创新的经济发展新模式, 应对经济发展新常态, 成为国家创新发展不可或缺的基础要素.

引用格式: 尤肖虎. 网络通信融合发展与技术革命. 中国科学: 信息科学, 2017, 47: 144-148, doi: 10.1360/N112016-00260

You X H. Communication network convergence and technique revolution (in Chinese). Sci Sin Inform, 2017, 47: 144-148, doi: 10.1360/N112016-00260

网络通信技术正处于深度交叉融合发展向新技术革命发展的重要转折时期。一方面,网络通信领域的各种单项技术发展已趋于性能极限,网络通信技术正呈现高速光互联、云计算、大数据、新型微电子与光电子器件、大规模射频与天线技术密切结合与相互融合的特征,以应对互联网络业务爆炸式增长与多样性发展的应用需求。另一方面,传统网络通信技术的发展正逐渐遇到靠渐进式改进难以继续发展的重大障碍:摩尔定律难以维系;传统的基于“光—电—光”转换原理的高速网络核心设备的性能正逐步受制于功耗的限制;以 IP 为基础的传统互联网络愈来愈难以实现业界所追求的可管、可控、可信之目标;可方便用于移动互联的无线频率资源正趋于枯竭等等,必须在网络通信技术的基本原理、基础器件、资源利用方式、系统构架等寻求新的基础性和革命性突破,才能使未来的网络通信技术满足人类社会更为长远的发展需求。

网络通信领域的新一轮技术与产业变革还进一步体现在以下几个方面:首先,以电信运营商为核心的应用模式正在发生深刻的变化,OTT(over the top) 模式正逐渐成为产业发展的主要驱动力之一;其次,网络设备的硬件平台通用化、开放化、虚拟化正逐渐成为主要潮流,ICT 深度融合的时代即将到来,传统的电信技术产业链将面临巨大的冲击,整个行业正处于技术链和产业链重塑的重要转折期;第三,未来通信系统面临巨连接、巨容量、泛应用的重大需求,关键技术孕育全新的突破,革命性的技术元素正在不断融合现有的 IP 技术体系。上述发展趋势无一不预示着未来 5~10 年的网络通信技术发展将进入一个更为难以预计的变革性发展时期。

2 网络通信技术趋势与挑战

(1) 互联网络已在世界范围内形成庞大的生态系统和难以撼动的发展惯性,也在某种程度阻碍了信息通信领域革命性新技术的发生。以 IP 为核心的技术体系仍然将主宰未来 5~10 年全球信息网络的发展,但将面临可扩展性、安全性、实时性、可管理性等重大技术挑战。

(2) 互联网技术体系并非一成不变,革命性的新元素不断融合到现有 IP 技术体系。随着不同类型的需求快速增长,除引发互联网流量持续快速增长外,网络流量的非均匀分布特性、网络服务内容多样化,使得灵活的链路调配能力和丰富的业务适配能力成为网络发展的关键,引发软件定义网络(SDN)、网络功能虚拟化(NFV)以及信息中心网络(ICN)等新兴技术快速发展。

(3) 面向特殊应用的工业互联网将有可能成为互联网技术体系取得率先突破的关键领域。随着互联网与传统行业深度融合发展,互联网+、工业 4.0 等将成为国民经济命脉领域的新支柱,对现有互联网络在可靠性、实时性、服务等级、业务多样性等方面提出了一系列全新的挑战,轻量化、可裁剪、软件可定义的 IP 网络代表了未来行业应用的发展方向。

(4) IT 技术融合步入加速发展期,技术与产业生态在未来 10 年将发生剧烈变革。信息网络节点具备融合感知、计算、存储及处理功能,使得网络的技术和设备向“IT 化”、“云化”和“数据中心化”演进,平台通用化成为电信领域重要的发展方向,带来网络架构演进、设备形态变化和组网运营模式变革,OTT 运营商、电信运营商、设备制造商正在寻求自己在未来产业发展中的全新定位。

(5) 3D、虚拟现实、全息图像等高带宽新兴业务的快速普及,使得网络传输容量的进一步快速提升仍然任重而道远。2018 年全球 IP 流量将是 2013 年的 4 倍,高峰期流量将达到 1 Pbps,其中 80% 以上是视频流量。P 比特级传输、E 比特级交换、千兆以上接入将逐步成为现实。核心路由交换设备正面临功耗及器件的极限,单台设备耗电上万瓦甚至更多,光电转换及相关的高速 A/D 和 D/A 器件正成为技术瓶颈;100 Gbps 光传输技术已规模商用,400 Gbps 开始标准化并出现样机,下一代 T 比特级速率 100T 单模单纤 WDM 已实现,容量提升正逐渐遭遇瓶颈。

(6) 4G-LTE 移动通信技术发展方兴未艾, 并正作为一种基础技术逐渐扩展其应用范围. 以中国移动为代表的运营商, 其 4G 用户的普及率已经超过 50%, 并仍然处于快速发展期. 面向车联网、物联网以及终端直通应用的 LTE-V, LTE-U, LTE-D 等技术标准正逐步成熟, 面向小数据、大链接物联网应用的窄带 LTE (NB-IOT 或 NB-LTE) 受到业界广泛的关注, 有望成为一种大范围覆盖的物联网运营基础设施, 从而为拓展基于公网的物联网应用开启全新的方向.

(7) 5G 将于 2020 年商用, 除满足移动互联网业务 10 年 1000 倍的扩容需求之外, 5G 还试图将信息网络的应用范围从目前的人与人通信拓展至人机物协同通信、超密集连接物联网、车联网以及工业互联网等更为广泛的领域. 端到端网络切片技术成为业界研究的热点, 以满足移动互联网业务多样性的需求, 但用“用一张网络满足所有需求”的发展夙愿仍将面临巨大的技术挑战. 5G 以及 5G 之后的未来移动通信基础理论与关键技术孕育突破, 传统无线移动通信频谱资源正日趋枯竭, 开发毫米波、太赫兹、可见光等新的频谱资源迫在眉睫. 以 WiFi 为代表的宽带无线接入技术也在向更大带宽、更高速率方向发展, 并且衍生出诸多新的应用方向, 包括支持物联网应用的 802.11ah、支持车联网的 802.11p、支持低时延大带宽的 802.11ad 等.

(8) 空天地一体化互联网技术发展仍处于产业发展的起步期, 但小卫星及微小卫星平台技术门槛及发射成本正在逐渐降低, 为未来空天地一体化网络发展带来全新的生机. 相比于地面通信系统, 星上载荷能力是制约卫星通信系统性能提升的核心环节, 可展开式星上大孔径天线阵列、防粒子辐射专用集成电路材料与工艺设计等核心关键技术仍有待进一步突破. 值得注意的是, 近年来小卫星及微小卫星技术在国内外的发展日趋活跃, 从而为解决偏远地区基本通信保障、抗险救灾、环境监测、交通物流等行业发展所急需的信息互联, 开辟全新的发展方向. 美国 NanoRacks 公司近期为客户定制发射的超小卫星总数达到了 110 余颗, 我国若干初创企业也在此方向上取得了重要进展.

3 网络通信技术潜在突破

(1) 非精准通信系统设计基础理论突破.

自从 Shannon 在 1948 年发现信息论以来, 通信系统的设计始终无法脱离该理论的制约, 即使网络技术极为发达的今天, Shannon 信息论仍然是不可或缺的理论基础. 工程师们所能够做的仅仅是使用各种工程手段, 使系统的性能逼近 Shannon 信息论在各种环境约束条件下所能提供的性能界, 精准设计成为业界长期追求的目标. 但不幸的是, 这种精准设计愈来愈难以适应日益复杂的通信巨系统与互联网络. 以概率设计和“够用就好”理念设计复杂的通信系统与互联网络将逐步成为必然, 基于大数据设计通信网络是这方面的一个范例, 基于大数定理及概率统计设计大规模天线无线通信系统则是另外一个范例.

(2) 网络通信系统关键器件突破.

基于量子理论设计通信系统, 以及基于人工神经网络设计复杂计算系统正成为业界趋之若鹜的科技前沿. 但应当客观地看到, 上述技术在过去的几十年间周而复始, 始终未能实现真正意义上的规模性商用化技术突破. 采用各种新工艺或混合工艺 (如高 K 材料、钢磷材料、宽禁带材料等) 进一步提升基础器件的极限特性, 作为通信系统设计者当然愿意乐享其成. 通信系统设计者通常更加注重的是在可使用的工艺上开发出更加适用于复杂通信系统的基础器件, 当单个处理单元性能趋于极限时, 并行处理是必然选择. 所幸的是, 复杂通信系统往往呈现高度的平行特性, 类似于 SIMD(single instruction multiple device) 器件在未来大行其道将可以预见. 其次, 需要注意的是通信网络通用平台化所带来的技术变革, 通用服务器的 CPU 芯片将成为基础芯片, 并促使通用服务器 CPU 芯片在大规模平行处理

方向上得以加速发展. 最后, 全光交换器件的发展是值得重视的一个发展方向, 尽管受制于光存储技术的突破, 真正的全光数字比特交换还停留在概念上, 但即使光波交换仍然可以使核心网络交换设备的性能得到量级的提升.

(3) 网络通信系统资源利用突破.

尽管光纤通信所需的波长资源在未来可能成为制约通信系统性能提高的关键因素, 但无线频谱资源的日趋匮乏已成为限制移动互联网络容量提升的瓶颈所在, 开发毫米波、太赫兹以及可见光等新的频谱资源将得到业界更为广泛的重视. 依据传统的观点, 毫米波及更高的频谱资源难以应用于大范围的无线覆盖, 但近年来的研究表明, 如果采用分布式或集中式的大规模天线阵列 (天线数达到数千或者数万), 大范围无线覆盖仍然是可能的. 如果这方面的努力是富有成效的, 将开启无线频谱资源利用的全新模式.

(4) 终端应用形态突破.

自从苹果公司开创了智能手机应用的新模式以来, 通信世界走向了“千机一面”的大一统局面, 今后 5~10 年也正是孕育着物极必反的革命性变革的机遇期. 3D、虚拟现实等新兴业务的发展以及可折叠显示屏 (OLED)、柔性电子技术的日趋成熟, 为这种变革提供了可能, 孕育着崭新形式的个人通信终端信息承载平台的诞生.

(5) 网络可裁剪化与资源构件化技术突破.

未来互联网应用的多样性发展诱发了近期信息网络虚拟化和切片化的研究浪潮, 但业界从未谈及这种发展所需要付出的代价与可获得的灵活性是否相匹配. 如果把这样一个网络比喻成为“摩天大楼”, 而把低成本的互联网应用比喻成“茅草屋”, 则把“摩天大楼”无论进行何种虚拟化和切片化也是无法构造出“茅草屋”的. 相反, 如果把网络资源进行“池化”或“构件化”, 在此基础上对网络资源进行“裁剪化”组合, 则兼顾“摩天大楼”和“茅草屋”则完全是可能的.

(6) 网络支撑软件突破.

根据业内专家的预计, 通信网络的平台通用化将是其未来 5~10 年的主要发展趋势, 现有的基于 Linux 命令行的开发系统难以满足通信网络的高效开发需求, 网络操作系统将成为技术的制高点, 也将是通信网络整个生态链中最核心的组成部分, 所有的业务与应用都需要围绕网络操作系统来设计开发与生长.

4 结语

网络通信技术与产业正在经历一个前所未有的发展时期, 在通信流量保持快速增长的同时, 业务应用将呈现更为丰富的多样性. 依靠单项技术的进一步突破愈来愈难满足上述发展的需求, 技术深度融合将是今后 5~10 年的主要发展趋势. 另一方面, 网络通信系统正日益发展成为一个复杂巨系统, 传统的设计理念与方法正遭遇巨大的挑战, 必须在基础理论与方法、基础器件、支撑软件、终端形态、网络构建方法寻求新的基础性和革命性的突破, 才能使未来的网络通信技术满足人类社会更为长远的发展需求.

致谢 本文观点的形成得益于近期与国内众多同行的深入交流, 邬贺铨院士有关“IT 技术新亮点”的技术报告、爱立信公司发布的“ICT 产业发展趋势”报告, 以及华为公司发布的“迈向全连接世界的开放之路”技术报告, 也使作者深受启迪, 特此一并致谢!

Communication network convergence and technique revolution

Xiaohu YOU

National Mobile Communication Research Laboratory, Southeast University, Nanjing 210096, China

E-mail: xhyu@seu.edu.cn

Abstract The main viewpoints presented in this article: (1) The great inertia of the massively connected Internet system slows down the process of fundamental change of network technology. Network technology with IP as the core will dominate the development of the communication network industry in the next 5 to 10 years. However, revolutionary new elements such as Software Defined Network (SDN), Network Functional Virtualization (NFV), and information centric network (ICN), etc., are being integrated into the existing IP-based system. (2) The convergence of the communication network technology has become an important developmental trend. The communication network ecologic system will move from closed to open, and consequently its technology chain and industrial chain will enter a new period of reform and remodeling. (3) The development of emerging Internet applications has put forward higher requirements for network transmission rate and capacity. From the application point of view, the future development of the information network involving "speeding the rate while downing the cost" is still a long way to go. (4) The fundamental theory and methods of the traditional communication network design are facing great challenges for very large scaled systems. The new design methods based on big data and statistical law are in the initial stage. The relevant key devices or components, supporting software, terminal application mode, and network structure will have to breed some changes to make the next wave of new breakthroughs possible.

Keywords Internet, communication and transmission, 5G mobile communication



Xiaohu YOU was born in 1962. He obtained M.S. and Ph.D. degrees from Southeast University, Nanjing, China, in Electrical Engineering in 1985 and 1988, respectively. Since 1990, he has been working with the National Mobile Communications Research Laboratory at Southeast University, where he has been holding the rank of professor, 1992 onwards. He has been the Changjiang

Scholar Program Professor since 2000, and director since 2002. His research interests include wireless transmission, wireless networking, signal processing and its applications.