

美国基于新一代信息技术的 信息基础设施发展情况

乔 健

(中国科学技术部, 北京 100862)

摘 要: 本文简要介绍了美国信息技术的整体发展情况, 研究了当前美国信息基础设施基于新一代技术的几个热点领域, 如频谱共享、分布式天线、网络功能虚拟化等, 同时分析了美国学界对于未来信息技术研发的思考和判断。

关键词: 信息技术; 基础设施; 研发; 美国

中图分类号: TN91(712) **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2015.07.001

美国自 20 世纪 60 年代以来, 通过联邦政府资助研发与企业创新相结合, 形成了庞大的信息通信技术 (ICT) 产业。2012 财年, 美国信息通信技术相关产业产值达到美国国内生产总值的 4.2%, 相比 1990 年的 3.4% 提高了 0.8 个百分点^[1]。这还仅仅包含了与信息通信技术直接相关的行业, 如果考虑信息通信技术对于其他行业的影响, 信息通信技术产业在美国经济中的比例将会更高。可以说, 信息通信技术已经深深融入了美国经济社会运行的方方面面。

信息通信技术产业的发展离不开泛在、高速、灵活的信息基础设施, 而信息基础设施的发展又需要信息技术的支撑。所谓信息基础设施, 指在一定区域内为信息采集、传送、储存、处理、应用等提供广泛服务的公共服务系统, 通常包括通信、网络系统、操作系统、应用支持服务和信息安全等领域的软硬件设施。随着信息技术的不断进步, 大数据、云计算、物联网等新的技术领域蓬勃发展, 对于信息基础设施提出了更高的要求。

美国的信息基础设施建设, 近期主要有以下几方面的发展重点: 一是通过宽带设施的建设和对于

频谱的高效利用, 着重提高网络接入的覆盖率; 二是通过分布式天线系统、小蜂窝、天线阵列等异构组网技术, 增强网络的连接速度与对日益增加的移动数据需求的处理能力; 三是通过网络功能虚拟化等新的技术, 使整个网络系统更加灵活。

1 美国新一代信息技术的整体发展情况

2012 年, 美国国家研究理事会 (NRC) 发布的《继续信息技术创新》报告^[2]中, 对于美国信息技术产业的发展历史做了系统总结, 如图 1 所示。

从图 1 中可以看到, 每一个信息技术领域的发展, 都是以政府资助的大学基础研究作为开端的。在经历数年甚至数十年的研发后, 才有企业跟进, 形成产品, 直至形成百亿美元规模的市场。信息技术发展的另一个特点是不同领域相互交织, 相互促进。虽然此图将信息技术的发展概括为数字通信、计算机体系、软件技术、网络技术、分布式系统、数据库、计算机图形技术和人工智能 8 个领域, 但不同领域间通过大学及企业的技术转移, 已经彼此深度融合。

作为信息技术基础研究的主要资助者, 美国联

作者简介: 乔健 (1984—), 男, 工学硕士, 科技部国际合作司主任科员, 主要研究方向为科技政策及国际科技合作。

收稿日期: 2014-12-22

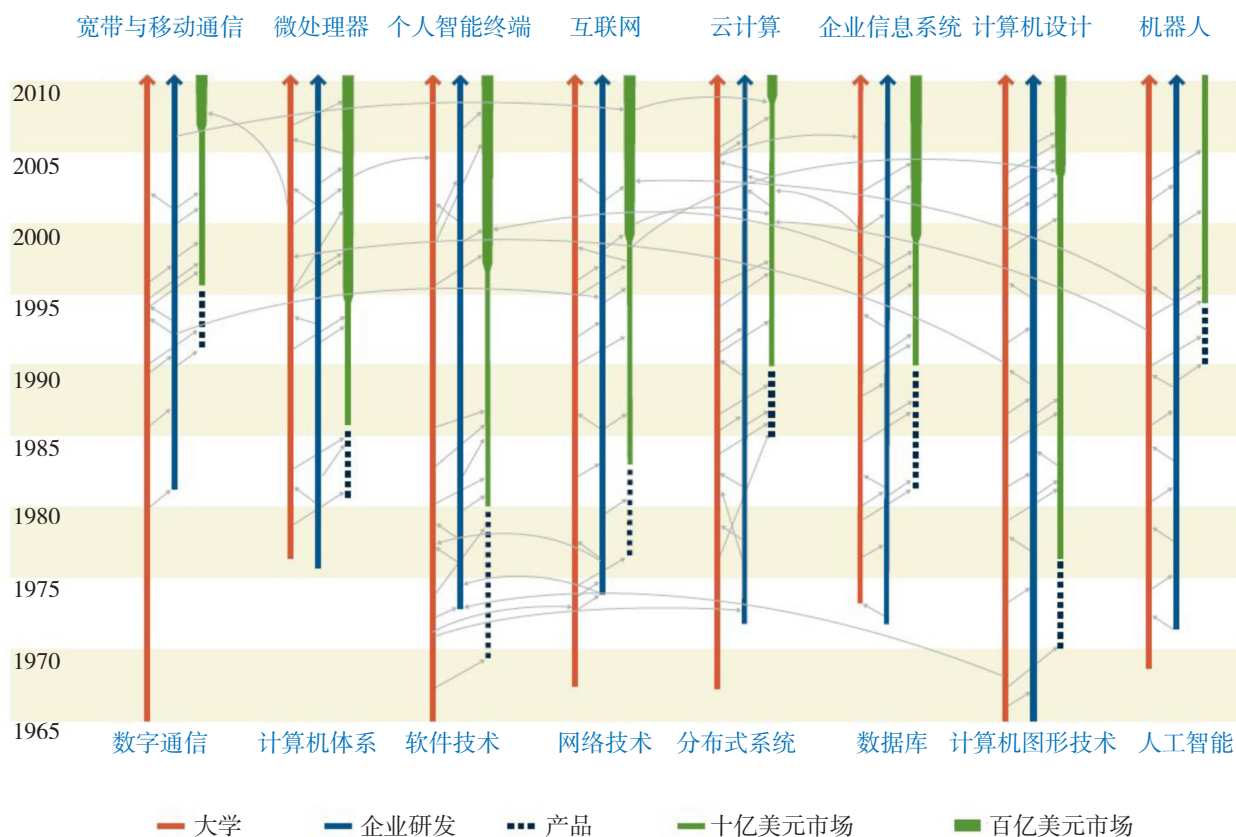


图 1 美国信息技术产业的发展历程

邦政府在推动信息技术发展中，一直发挥着重要的作用。自 1991 年起，根据《高性能计算法案》^[3]，美国联邦政府将与网络与信息技术相关的研发投入纳入国家网络与信息技术研发（NITRD）专项计划进行统一协调与管理。2013 财年，NITRD 计划的总投入达到 35.68 亿美元，占当年联邦研发预算的 2.53%。

NITRD 计划下，共设立 12 个跨部门工作协调小组，面向大数据、网络与信息安全、人机交互、高性能计算、软件设计、图形与视频分析、可扩展网络系统、无线频谱研究、医疗信息技术等领域进行基础性研究。NITRD 计划每两年发布一次报告，对于计划的实施情况进行总结。2013 年初发布的最新一期报告^[4]指出，美国在大数据、人机交互、医疗信息技术、网络安全四个领域的技术取得了实质性进展，而在其他领域并没有取得明显进步。

2 美国信息基础设施发展的几个热点领域

随着信息技术的发展，信息基础设施的内涵也

在不断变化，从传统的光纤、电缆、无线基站等设施向着多样化、泛在化、高速化、虚拟化的方向发展，对于频谱资源利用、软硬件管理体系、企业商业模式等都提出了新的要求。

2.1 频谱共享技术

随着无线通信需求爆炸式的增长，频谱资源成为日益稀缺的资源。2010 年，奥巴马总统要求在 10 年内从联邦机构使用的频谱中拿出 500MHz 频谱，用于无线宽带通信，从而使无线宽带的频谱资源实现翻番^[5]。2015 年中期，美国联邦通信委员会（FCC）将首次举行以自愿方式参与频谱分配的“激励拍卖”，将广播电视公司在 600MHz 频段的频谱重新分配用于无线通信。

但仅靠更改现有频谱的使用主体无法满足需求，美国正在大力发展提高频谱利用效率的频谱共享技术。2013 年 6 月，奥巴马政府宣布投入 1 亿美元进行频谱共享技术研发^[6]，参与研发的部门包括美国自然科学基金会（NSF）、国防部高等研究项目署（DARPA）、国家标准技术研究院（NIST）

等部门，同时，在 NITRD 计划下设立了无线频谱研究高级指导小组。

频谱共享技术主要的研发领域有：

(1) 共享授权接入 (Authorized Shared Access)

这种技术根据地理与用户信息数据库，通过第三方管理系统，将不同用户按照优先级进行频谱接入管理。政府设施、应急救援等用户有权优先使用频谱，但大部分时间其所在频段不能得到充分利用，因此，可根据情况授权其他用户使用。这种方案可以大大提高频谱利用效率。美国联邦通信委员会将在 3.5GHz 频段的分配方案中使用该技术。

(2) 认知无线电 (Cognitive Radio)

认知无线电可以根据环境频谱使用情况自动调节载频、波形、带宽等参数，从而提高频谱使用效率的相关技术。认知无线电可以基于频谱感知、软件定义无线电、智能网络系统等技术实现，但目前仍面临覆盖范围小、仅适用单向传输等技术瓶颈。认知无线电仍处于技术研发阶段，没有大规模投入商业应用。

(3) 干扰抑制技术 (Interference Mitigation)

为了更高效地利用已经十分拥挤的频谱空间，必须对各种收发机及天线的抗干扰能力进行深入研究，2013 年，DARPA 就如何在频谱共享的条件下增强干扰抑制征集了一组课题，包括：

——基于接收机路径损耗动态调整通信节点发射功率；

——识别通信系统中引起干扰的关键器件并调整发射参数；

——硬件组件、子系统、波形、信号处理改善以增强频谱隔离等。

2.2 异构网络技术 (HetNet)

所谓异构网络，是指采用不同接入技术的多种无线通信系统，通过系统间融合的方式，形成无缝衔接的网络环境，使多系统之间取长补短从而满足日益增长的移动通信需求。下一代 (5G) 移动通信将必然基于异构网络实现。

美国目前在异构网络领域的应用热点是分布式天线系统 (DAS) 与小蜂窝 (Small Cell)，二者都是为了针对室内或室外人群密集地区响应服务需求，提高接入速度的解决方案，但在实现技术与应用场合上各有区别。

分布式天线系统包括三部分：后端信号处理中枢、传输介质 (通常是光纤) 以及多个远端无线通信设备。分布式天线系统可以根据需求扩展，远端无线通信设备支持频域与通信协议类型广泛，可同时支持多家运营商的服务，相当于一个小型基站。一个分布式天线系统通常有几百个远端通信设备，可支持上万人的通信需求，满足室内或室外密集服务区的需要。但分布式天线系统整个网络架构需要专业设计，投资较大。2013 年，美国分布式天线系统的市场规模达到 20 亿美元，年均增长率 3%。

小蜂窝指的是针对传统移动蜂窝通信的热点和盲点，采用不同层次的小型基站进行补充的组网方式。根据覆盖面积的不同，小蜂窝可以分为微蜂窝 (Microcell)、微微蜂窝 (Picocell) 与飞蜂窝 (Femtocell) 三种。小蜂窝通常体积很小，所支持的通信模式固定，只能用于一家运营商的网络服务，但由于其组网灵活，近年来发展迅速。

同时，小蜂窝技术可以与“前传” (Fronthaul) 技术相结合，即把基站中的射频部件与基带部件分开，将射频部件与发射器集成，从而实现接入网的云端控制 (C-RAN)。此外，多人多出 (MIMO) 系统也是异构网络技术中的热点。

2.3 网络功能虚拟化技术 (Network Function Virtualization, NFV)

网络功能虚拟化是近年来兴起的另一项技术热点，指的是原来用硬件实现的各项通信网络功能用软件虚拟实现，这样通信网络的大部分功能可以集成在云端的数据中心，大大降低成本，提高网络服务更新换代的灵活性，促进创新效率。

网络功能虚拟化最早在 2012 年由欧洲标准委员会 (ETSI) 提出，借鉴计算机科学中以软件模拟某种应用程序的硬件运行环境的虚拟机 (VM) 概念，将路由、网关、负载均衡、防火墙等原本需要专用硬件实现的功能都由软件进行虚拟实现。理论上讲，整个通信网络的所有功能都可以由软件模拟，这样只需要通用硬件，就可以将网络通信服务通过云计算在数据中心实现。

实现虚拟化的好处是可以对网络进行实时、准确的控制，针对特定的需求快速推出创新服务，提高系统效率，并且由于将专用硬件设备由通用硬件代替，可以大大降低成本。目前看，某些网络功能

的虚拟化还无法达到所要求的性能指标，但从长远来讲，以软件替代硬件的虚拟化是信息系统发展的潮流。

软件定义网络（Software Defined Network, SDN）是与网络功能虚拟化密切相关的一项技术，二者内涵不同，各有侧重，但相互结合可以实现网络的最优配置。SDN 是基于美国几大互联网与通信巨头 Facebook、Google、Verizon 等合作开发的 OpenFlow 协议实现的，其核心思想是在网络系统中将控制平面与数据平面分离，即网络硬件设备可以实现编程，并集中控制。打个比方，就如同想更改水泥墙中的水电气管线的连接，不需要把墙砸掉重新施工，只需要在外部按几个按钮就可以实现。在网络功能虚拟化的革命中，SDN 可以将底层的数据流与控制流通过 OpenFlow 协议实现分离，进一步加强网络功能软件实现的灵活性。

3 美国对于未来其信息技术发展的思考

虽然美国仍是世界信息技术第一大国，但有识之士却看到了美国未来信息技术发展的隐忧：目前美国在信息技术领域的创新主要是企业为了其短期商业目标进行的累进式创新，而联邦政府在信息技术领域投入的基础研究水平正在下降。例如，从 2002 年到 2012 年，NITRD 项目中大规模网络研究的经费下降了 8%^[7]。并且根据 NITRD 项目的进展报告^[8]，大量原本用于信息技术领域基础研究的经费被挪用做信息基础设施投资，并没有起到应有的作用。

对基础研究的投入不足将威胁到美国在信息技术领域未来的优势地位。NITRD 项目报告指出，未来美国需要在如下领域加大投入，以孕育新的革命性技术的诞生：

（1）社交计算：利用爆炸式发展的社交媒体，采用众包模式与大数据技术，解决困难问题的算法；

（2）隐私与安全：需要加强隐私保护与网络安全相关技术研发，增加可选择的解决方案；

（3）软件：可靠、安全、高效的软件开发仍然是信息技术的一大挑战，特别是新的体系结构和应用情境不断涌现的情况下，更需要革命性的突破，如面向大数据和嵌入式系统的软件开发技术。

（4）网络系统演进：下一代网络的关键技术；

（5）高性能计算：不仅指浮点运算速度，还包括处理大量非数值信息的能力、实时响应能力、应用加速能力等。

信息技术的发展已经成为新科技革命与产业革命的最强驱动力，一方面信息技术的进步不断改变着信息基础设施的内涵和实现手段，另一方面日新月异的信息产业发展又不断对信息基础设施建设提出新的要求。我国作为信息技术大国，正处于向信息技术强国迈进的征程之中，应在国家层面加强统筹，重视研究世界技术发展趋势，充分发挥政府和市场各自的作用，以加强信息基础设施建设为着力点，助力我国在信息技术领域的跨越式发展。■

参考文献：

- [1] Bureau of Economic Analysis, Interactive Access to Industry Economic Accounts Data: GDP by Industry,[2015-6-25], <http://www.bea.gov/iTable/iTable.cfm?ReqID=51&step=1#reqid=51&step=2&isuri=1>.
- [2] National Research Council, Continuing Innovation in Information Technology, Washington D.C: NRC, 2012.
- [3] US Congress, Pub.L. 102-194:High Performance Computing Act, Washington D.C: US Congress, 1991.
- [4] PCAST, Designing a Digital Future: Federally Funded Research and Development in Networking and Information Technology, Washington D.C:PCAST, 2013.1.
- [5] White House, Presidential Memorandum: Unleashing the Wireless Broadband Revolution,(2010-6-28)[2015-6-25]. <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/presidential-memorandum-unleashing-wireless-broadband-revolution>.
- [6] White House, Administration Advances Wireless Spectrum for Economic Growth, (2013-6-14)[2015-6-25], <https://www.whitehouse.gov/blog/2013/06/14/administration-advances-wireless-spectrum-economic-growth>.
- [7] Telecommunication Industry Association, U.S. ICT R&D Policy Report: The United States: ICT Leader or Laggard? Washington D.C: TIA, 2013.
- [8] PCAST, Designing a Digital Future: Federally Funded Research and Development in Networking and Information Technology, Washington D.C: PCAST, 2010-12.

(下转第 21 页)

- Technology, Engineering, and Mathematics[EB/OL]. <http://eric.ed.gov/?id=ED541511>. 2015-2-16.
- [5] 赵中建. STEM: 美国教育战略的重中之重 [J]. 上海教育, 2012, (11): 16-19.
- [6] 张燕军, 李震峰. 21 世纪美国高等教育科学、技术、工程和数学教育的问题及其应对 [J]. 比较教育研究, 2013, (3):19-22.
- [7] 刘若霞, 张加民. 美国 STEM 教育战略及其对中国人才培养的启示 [J]. 中国注册会计师, 2015,(2):112-116.
- [8] 钟柏昌, 张丽芳. 美国 STEM 教育变革中“变革方程”的作用及其启示 [J]. 中国电化教育, 2014,(4):18-24.
- [9] 朱学彦, 孔寒冰. 科技人力资源开发探究 [J]. 高等工程教育研究, 2008,(2): 21-25.

Analysis on American STEM Education Plan and its implication to the Chinese Innovative Talents Cultivation

DING Ming-lei

(Chinese Academy of Science and Technology for Development, Beijing 100038)

Abstract: Based on the analysis of the background of the American STEM (science, technology, engineering and mathematics) education plan, its characteristics and implementation effects, the paper gives a research on the organization and coordination mechanism of the STEM plan, which integrates strength and coordination from various social sectors. All of these experiences will provide references for our innovative talents cultivation and engineering technology, innovation, innovation education. Finally, it puts forward policy implications and suggestions in three aspects: to take the construction of innovative human resources as a national strategy for the future development; to enhance the trans-department coordination, and mobilize all social resources to participate in the strategy; to speed up the pace of reform on China's education and science and technology system.

Key words: STEM education; innovative talents; reform on education and S&T system; policy suggestion

(上接第 4 页)

Development of American IT Infrastructures Based on New Technologies

QIAO jian

(The Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China, Beijing 100862)

Abstract: This article briefly introduces the overall development of the IT technology in the US, studies several key domains in IT infrastructures based on latest technologies, such as the spectrum sharing, distributed antenna systems and network function virtualization, etc, and also analyzes the future IT R&D trends according to the perspective of US academia.

Key words: information technology; infrastructure; research and development; the United States