



信息科学技术的长期发展趋势和我国的战略取向

李国杰

中国科学院计算技术研究所, 北京 100190

E-mail: lig@ict.ae.cn

摘要 近几年科技界对信息科学技术的认识已发生重大转变. 不论是集成电路、高性能计算机, 还是互联网, 2020 年前后都会遇到只靠延续现有技术难以逾越的障碍 (信息技术墙). 21 世纪上半叶, 信息科学技术将面临一场新的革命. 历史留给我们难得的机遇期只有 10~15 年左右, 如果错过这 15 年, 我国就很难在 21 世纪上半叶成为信息产业的强国. 今后几十年内, 我国发展信息科学技术的主要任务是构建“普惠泛在的信息网络体系”. 目前兴起的云计算符合“三国定律”的宏观规律, 有一定历史必然性. 我国发展信息科学技术应采取“重点跨越”的战略取向, 从现在起, 信息领域应努力争取做出与国力相称的创新贡献, 科技国家队要致力于做“改天换地”的科研工作.

关键词

信息科学技术
战略取向
u 社会
计算思维
三元世界
云计算
三国定律
重点跨越

1 对信息科学技术认识的转变

经过半个多世纪的研究和实践, 科技界对信息科学技术的认识已发生重大转变, 新的认识包括以下几点:

1.1 从重视信息科学技术的内涵转到更加重视其外延

计算机科学是现代科学体系的主要基石之一. 温家宝总理最近在题为《让科技引领中国可持续发展》的讲话中指出: “20 世纪上半叶, 发生了以量子力学和相对论为核心的物理学革命, 加上其后的宇宙大爆炸模型、DNA 双螺旋结构、板块构造理论、计算机科学, 这六大科学理论的突破, 共同确立了现代科学体系的基本结构.”

几十年来, 信息技术蓬勃发展并已广泛普及. 现在, 信息已成为最活跃的生产要素和战略资源, 信息技术正深刻影响着人类的生产方式、认知方式和社会生活方式, 信息技术和应用水平已是衡量一个国家综合竞争力的重要标志. 信息科学技术已经是一种典型的通用技术, 它不再是与数、理、化、天、地、生平行的一门学科, 而是与很多学科相关的横向型科学技术. 信息科学技术已不再是主要以研究信息获取、存储、处理等为主的一门单独的学科, 而是更加强调与社会、健康、能源、材料等其他领域的紧密联系. 21 世纪的信息领域更像能源领域, 它的外延涉及各个学科 (见图 1). 以美国工程院列出的 21 世纪工程科技重大挑战为例, 其有关信息技术的内容包括“促进医疗信息科学发展、保障网络空间安全、提高虚拟现实技术、促进个性化学习和大脑逆向工程”等, 几乎都不是单独的信息处理和通信技术, 而是信息领域与其他领域的交叉.

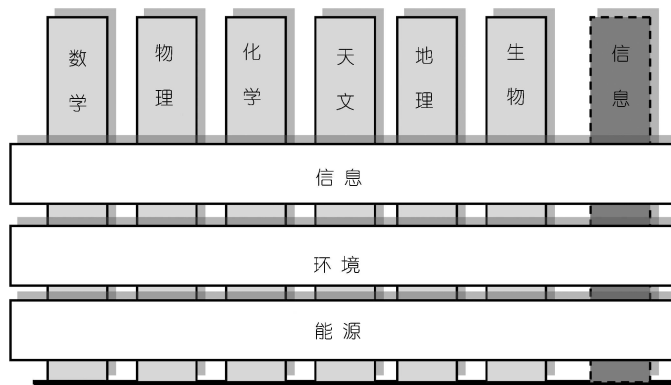


图 1 信息科学技术的外延涉及所有学科

21 世纪信息技术发展的新取向是: 在继续发展工程技术的规模效益的同时, 将更加重视信息技术的多样性、开放性和个性化, 更加重视信息技术惠及大众; 在重视信息技术的市场竞争能力及经济效益的同时, 将更加重视生态和环境影响, 探索对有限自然资源和无限知识资源的分享、共享和持续利用. 在重视对周围世界的认识和改善的同时, 更加重视医学及与人类健康有关的信息科学技术; 在重视技术作为生产力决定性因素的同时, 将更加重视信息科学的研究探索, 特别是与纳米、生命、认知等科学的交叉研究; 在继续科学与技术的紧密结合的同时, 更加重视信息技术与人文艺术的结合, 更加重视信息技术伦理道德方面的研究和信息技术社会作用的法制化管理与监督.

1.2 从狭义工具论转到计算思维

长期以来, 计算机和信息网络被社会看成是一种高科技工具, 信息科学技术也被构造成一门专业性很强的工具学科, 这种社会认知很容易导致负面的狭义工具论. “高科技” 意味着认知门槛高、成本高, “工具” 意味着它是一种辅助性学科, 并不是能够满足国家经济社会发展、满足人民经济文化需求的主业. 这种狭隘的认知是信息科技向各行各业渗透的最大障碍, 对信息科技的全民普及极其有害.

信息科技的普及实际上是在全社会传播计算思维 (Computational Thinking)^[1]. 计算思维是一种普适的思维, 是每个人的基本技能. 正如印刷出版促进了阅读、写作和算术 (英文称为 3R) 的传播, 计算机的普及也将以类似的正反馈促进计算思维的传播. 计算思维强调一切皆可计算, 从物理世界模拟到人类社会模拟再到智能活动, 都可认为是计算的某种形式^[2] (见图 2). 计算思维是概念化思维, 不是程序化思维; 是人的思维, 不是计算机的思维; 是数学和工程互补融合的思维, 不是纯数学性思维; 是面向所有人的思维, 不仅仅是计算机科学家的思维.

1.3 从人机共生思想转到基于三元社会模式的新信息世界观

目前使用的信息系统, 在很大程度上仍然根基于 40 多年前提出的人机共生思想: 人做直觉的、无意识的事, 计算机做有意识的、确定的、机械性的操作; 人确定目标和动机, 计算机处理琐碎细节, 执行预定流程. 然而, 今天的信息世界已经与一人一机组成的、分工明确的人机共生系统不同, 是一个多人、多机、多物组成的动态开放的网络社会, 即物理世界、信息世界、人类社会组成三元世界 (见图 3), 这是一种新的信息世界观.

这个跃变促使信息科学发生本质性的变化. 信息科学应当成为研究人机物社会中的信息处理过

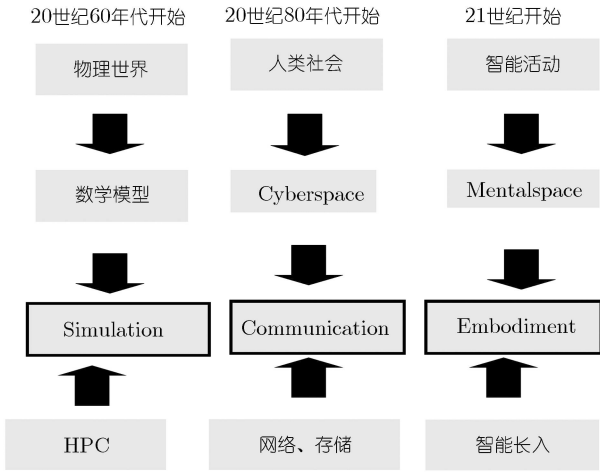


图 2 一切皆可计算

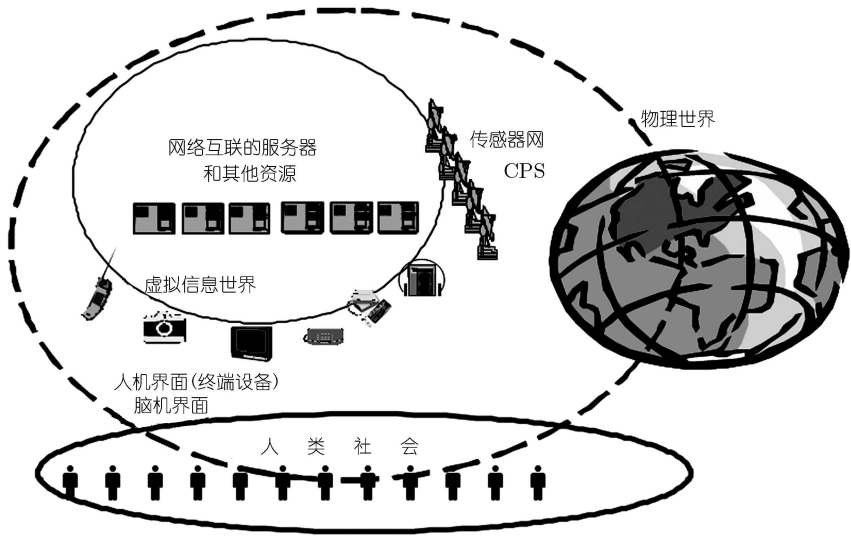


图 3 人机组成的三元社会模式

程。我们需要回答下述基本问题：万维网能被看成一台计算机系统吗？什么是万维网的可计算性？什么是物联网计算机的指令集？人机物社会中的“计算”如何定义？它还是图灵计算吗？等等。为了研究人机物三元世界的计算问题，传统算法科学的集中式假设、确定起始假设、机械执行假设、精确结果假设等可能都需要突破，也将改变图灵计算模型不可突破的观念。

目前的主流计算机科学教科书认为：图灵机不能做的事情将来的计算机也不能做。实际上，图灵模型把计算看作从输入到输出的函数，不终止的计算被认为是无意义的。而在网络环境中，计算主体（进程）在与外界不断交互的过程中完成所指定的计算任务。对于这类交互式的并发计算，传统的基于“函数”的计算理论不再适用。如何为实际并发系统的设计与分析提供坚实的理论基础，在今后几十年内是计算机科学面临的重大挑战。算法研究的重点将从单个算法的设计分析转向多个算法的交互与协同。

1.4 信息科学技术重点研究方向的改变

长期以来, 信息科学技术研究的主要目标是提高信息器件和系统的性能, 摩尔定律指引的研究方向主要是提高半导体器件的集成度, 从而提高主频和性能. 现在 CMOS 器件的主频提高已受到功耗的限制, 在厂商追求超额利润的驱使下迫使用户不断买升级的局面必将改变. 今后发展信息技术的主要致力方向将是降低功耗、成本和体积 (占地面积), 提高易用性、效率和性能 (见图 4), 即从图 4 的左下方向右上方移动.

2 信息科学技术面临重大突破

2.1 信息科学技术面临新的革命

在过去几十年中, 信息技术一直走在信息科学的前面, 无论是图灵机理论、冯·诺依曼计算机模型, 还是香侖信息论, 都是在 20 世纪 30~40 年代建立起来的. 半个多世纪过去了, 尽管信息技术飞速发展, 但许多重要的信息科学基本理论问题仍没有得到解决. 根据前苏联经济学家康德拉季耶夫^[3]提出的经济长波理论, 我们预计 21 世纪上半叶信息科学将取得突破性发展, 而下半叶将出现一次基于科学突破的新的信息技术革命 (见图 5).

中国科学院信息领域战略研究组^[4]通过一年多的战略研究工作, 做出的最基本的判断是:

1) 信息技术不会像机械和电力技术一样, 经过半个世纪的高速发展以后, 变成以增量改进为主的传统产业技术, 而是面临一次新的信息科学革命; 在整个 21 世纪, 信息科学与技术将与生物、纳米、认知等科学技术交织在一起, 继续焕发出蓬勃的生机, 引领和支撑国民经济的发展, 改变人们的生活方式.

2) 不论是集成电路、高性能计算机, 还是互联网和存储器, 2020 年前后都会遇到只靠延续现有技术难以逾越的障碍 (信息技术墙), 孕育着新的重大科学问题的发现和原理性的突破. 所谓“信息技术”是指: 挖掘并行性和可扩展的困难; 信息处理的高功耗; 复杂信息系统安全可靠低.

到 2020 年左右, 摩尔定律将不再有效, 集成电路正在逐步进入“后摩尔时代”, 我们必须更多地从“Beyond CMOS”中寻找新的出路. 计算机也正逐步进入“后 PC 时代”, 终端设备将从“高大全”向“低小专”(“专”指个性化) 转变, 降低功耗是首要目标. 2020 年以后, 超级计算机的“千倍定律”将失效, 只在现有的技术基础上做改进, 到 2030 年将无法制造出 Zettaflops 级 (10^{21} flops) 水平的计算机. 进入“后 IP”时代是不可避免的发展过程, 可能需要 15~20 年时间才能真正突破 TCP/IP 协议的局限.

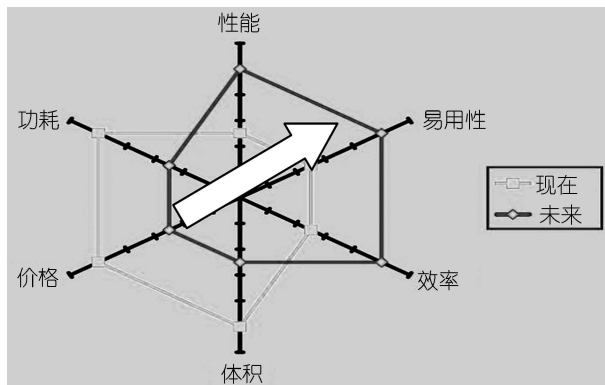


图 4 信息科学技术研究方向的改变趋势

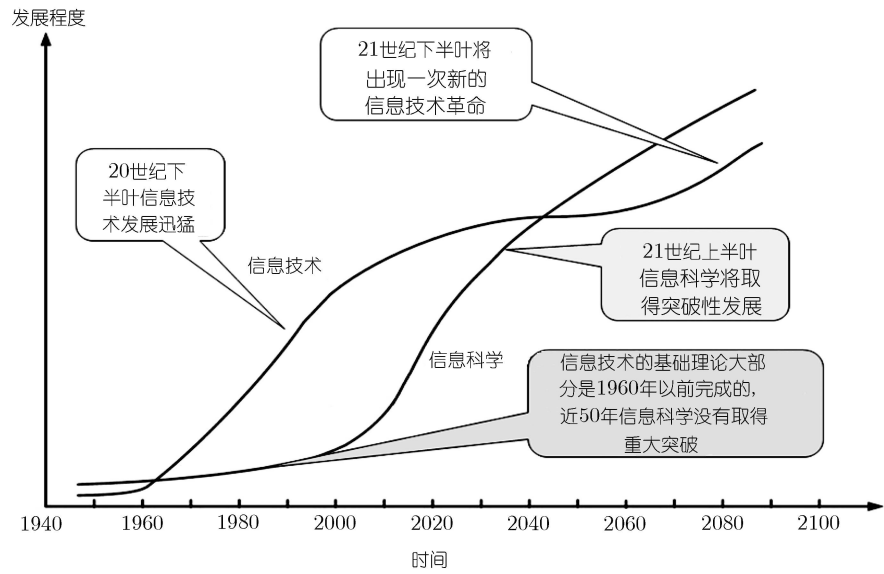


图 5 20~21 世纪信息科学与技术发展态势示意图

信息领域的技术在以下三个方向必须有革命性的突破：在扩展性方面，要可扩展到亿级甚至百亿千亿级并行度，惠及数十亿用户；在低功耗方面，性能功耗比要提高几个数量级；在可靠安全方面，要致力于研制自检测、自诊断、自修复的高可信系统（见图 6）。

2.2 10~15 年的战略机遇期

基于以上分析，我们认为，信息领域的科技工作者在 2020 年以前必须积极探索攻克“信息技术墙”的核心技术，重点解决信息系统的可扩展性、低功耗、安全性和易用性等难题；2020 年以后，什么技术将成为新的主流技术就会逐步明朗；2020 到 2035 年将是信息技术改天换地的大变革期；2035 到 2050 年，符合科学发展观的新的信息网络体系会逐步形成。

这样的结论给我们的重要启示是：从现在开始，历史留给我们难得的机遇期只有 10~15 年左右。如果错过这 15 年，我国就很难在 21 世纪上半叶成为信息产业的强国，也必将对我国的现代化进程产生十分不利的影响。

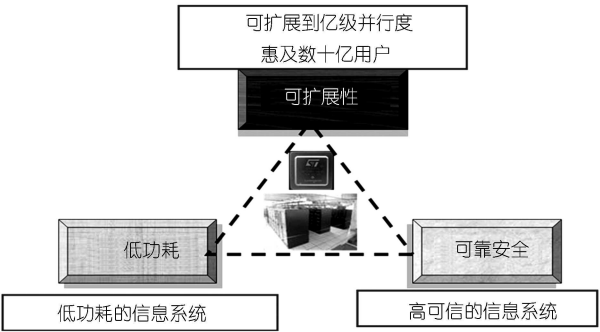


图 6 信息领域需重点突破的三个方向

3 u 社会和发展网络科学技术

3.1 构建“普惠泛在的信息网络体系”

从 2010 年至 2050 年, 我国发展信息科学技术的总目标是: 抓住信息技术跃变的机遇, 提升自主创新和可持续发展能力, 使我国全面进入信息社会: 绝大多数中国人成为信息用户, 信息成为中国经济和社会发展最重要的资源, 社会信息化总体上接近国外发达国家水平.

信息社会的发展可粗略分为 e 社会和 u 社会两个阶段, e 社会是信息社会的初级阶段, u 社会是信息社会的高级阶段. 2020 年以前我国要为迈向信息社会奠定坚实基础, 称为 e 社会, 2020 年以后的目标是向 u 社会过渡. u 有三种含义, 第一是 Universal, 即全民普及、惠及全民; 第二是 User-Oriented 和 User-Centric, 即面向用户和以用户为中心; 第三是 Ubiquitous, 即网络通信和服务无处不在.

今后几十年内, 我国发展信息科学技术的总体战略目标和任务是构建“普惠泛在的信息网络体系”, 简称 U-INS 体系 (Universal, User-Oriented, Ubiquitous Information Network Systems). U-INS 体系包含六个方面的内容: 1) 支撑网络、具有变革性的器件与系统; 2) 面向大众、普及全民的网络系统; 3) 安全可信、个性化的网络服务技术; 4) 支持产业升级和发展数据知识产业; 5) 网络科学与新的信息科学; 6) 国家与社会信息网络安全体系. 这一体系体现了 21 世纪上半叶我国要全面进入信息社会的重大战略需求, 也包含了信息领域需要重点发展的科学技术. 我国未来 40 年要高度关注和积极发展惠及全民、以用户为中心、无所不在的信息网络体系.

3.2 21 世纪网络科学技术的变革

传统的计算机科学主要致力于研究如何最好地设计、构造、分析和编程计算机, 而现在研究的问题主要是如何最好地设计、构建、分析和操作网络. 继 20 世纪发展系统论、信息论和控制论之后, 21 世纪将提出新的网络论 (Net Theory), 将整个网络看成一个复杂巨系统, 发现其中的规律, 这一理论将对网络的发展与普及产生深远影响. 历史上并没有人设计互联网, Internet 是自己演化涌现 (emerge) 形成的. 未来网络一定要建立在对网络的深刻理解上, 不仅要理解网络的协议层, 而且要理解网络的动力学行为、可控制性、安全性、健壮性和演化规律.

到目前为止, 网络领域引用率最高的 6 篇论文中有 4 篇发表在“Science”, “Nature”和“Reviews of Modern Physics”, 均不是网络领域的学术期刊. 著名的 Scale Free Model 并不符合 Internet 的真实情况. 要发展真正的网络科学, 只有在 Network Science Community 和 Network Research Community 中相互交流, 才能对网络有正确的认识. 网络科学是研究人机物三元世界的网络共性规律、表达模型和计算理论的新兴学科, 涉及经济、社会等和信息科学交叉领域所面临的科学问题. 网络科学将会提出网络信息理论的新概念并发展新的理论体系.

未来互联网设计 (Future Internet Design, FIND) 计划是美国国家科学基金会 (NSF) 网络技术和系统研究计划 (NeTS Research Program) 中的一个新的重大长期研究倡议. FIND 邀请学术界考虑 15 年后的全球网络的需求是什么, 并要求解除受网络现状限制的普遍心理而构思未来, 主要致力于以下 5 个问题:

- 网络是否要继续采用分组交换;
- 端对端原理是否要改变 (端对端原理的提出者 Clark 教授在 2009 年的一次 FIND 工作会议上建议: 将 E2E 原理改为 trust-to-trust 原理, 即应用的智能不一定在终端, 而是放在有足够的信任能正确完成任务的设备上);

- 路由和包转发是否要分开;
- 拥塞控制和资源管理问题;
- 身份认证和路由问题.

以上这些内容涉及互联网的根本原则. FIND 项目的研究内容给我们深刻的启迪: 信息领域的科研不能停留在对现有平台的修修补补, 要敢于挑战现有平台, 考虑革命性的技术换代.

设计未来互联网不同于其他工程设计, 它不是设计一个有具体目标的人造物品, 而是设计一个环境, 使之能引发出我们希望出现的网络产品与服务. 因此, 我们需要能适应未预见到的未来变化的新理论.

3.3 无处不在的传感网与物联网

传感网络是数字世界与物理世界的桥梁, 主要实现对物理世界的信息获取和处理, 数字物理系统 (Cyber Physical System, CPS) 又称为物联网, 是数字世界与物理世界交互的网络系统, 主要功能是监视与控制. 传感网络和数字物理系统的研究重合的部分很大, 但侧重各有不同, 前者重点在感知与网络, 后者在计算与控制, 它们都是未来泛在网的重要组成部分. 传感网和物联网是典型的多学科交叉的综合研究, 涉及通信、光学、微机械、化学、生物等诸多领域.

如果把手机比喻成自然界的鱼类 (约 3 万种), PC 机比喻成比鱼类还高级的各种生物 (约 2 万种), 物联网的终端 (包括各种贴有 RFID 标签 (无线射频标签) 的物品) 就类似自然界的昆虫 (约 100 万种), 那么有如下公式:

$$\text{物联网终端 : 手机 : PC 机} \approx 100 : 3 : 2.$$

物联网的普及将使上网设备成百倍地增长. 但必须指出, 将来也不会出现像手机网和 PC 网一样庞大的统一的物联网, 每一种应用的物联网可能都是一个规模不太大的网络, 每一种传感器或 RFID 可能都是 Niche Market, 但累计起来规模巨大. 发展物联网需要与发展手机和 PC 机不同的思路.

随着大量的嵌入式设备和传感器纳入信息系统, 每个服务器的客户端设备数量可达到几万个之多, 对这些嵌入式设备和传感器发送的海量信息进行存储、搜索、校对、汇总和分析, 将是 21 世纪信息领域新的挑战任务. 我国在传感器、RFID、传感网络应用等方面与国外先进水平有较大差距, 要抓紧突破传感网和物联网核心技术, 在技术标准上争取更大发言权.

3.4 云计算的出现具有一定的历史必然性

古人云: 天下大势, 分久必合, 合久必分. 信息技术领域宏观上也呈现一种长周期现象, 即每隔 15~20 年, 计算模式会出现集中 - 分散交替主导的现象. 这种现象被称为 “三国定律”(见图 7).

美国电气化过程, 在 1880~1900 年期间, 美国和英国只有小电站, 每个工厂、每条电车道都有自己的发电设备. 银行和股市支持私人发展电力. 这导致, 20 世纪初, 伦敦的电力有 10 种不同的频率、32 种不同的电压、70 种不同的电价^[5]. 为了实现电力系统的融合, 美国规定地方政府可控制的地区只允许用公共电力, 私人电力公司可在城市之间发展, 逐渐实现供电方式和价格等的统一. 近几年国外又在探讨分布式的热电联产的绿色智能电网系统, 第二代能源系统成为 21 世纪能源工业结构调整的方向之一. 目前相当分散的信息中心与上世纪初美国电气化开始阶段的情景极其类似, 信息网络与电力网络一样, 都要经历分散 - 集中 - 分散的螺旋式发展过程.

云计算符合 “三国定律” 的宏观规律, 有一定必然性. 它是网络计算的一个新阶段, 既有集中又有分散, 尚未完成下一个 “集中 → 分散” 转折, 有专家称 “云计算是软件大型机”. 云计算也是我国走向

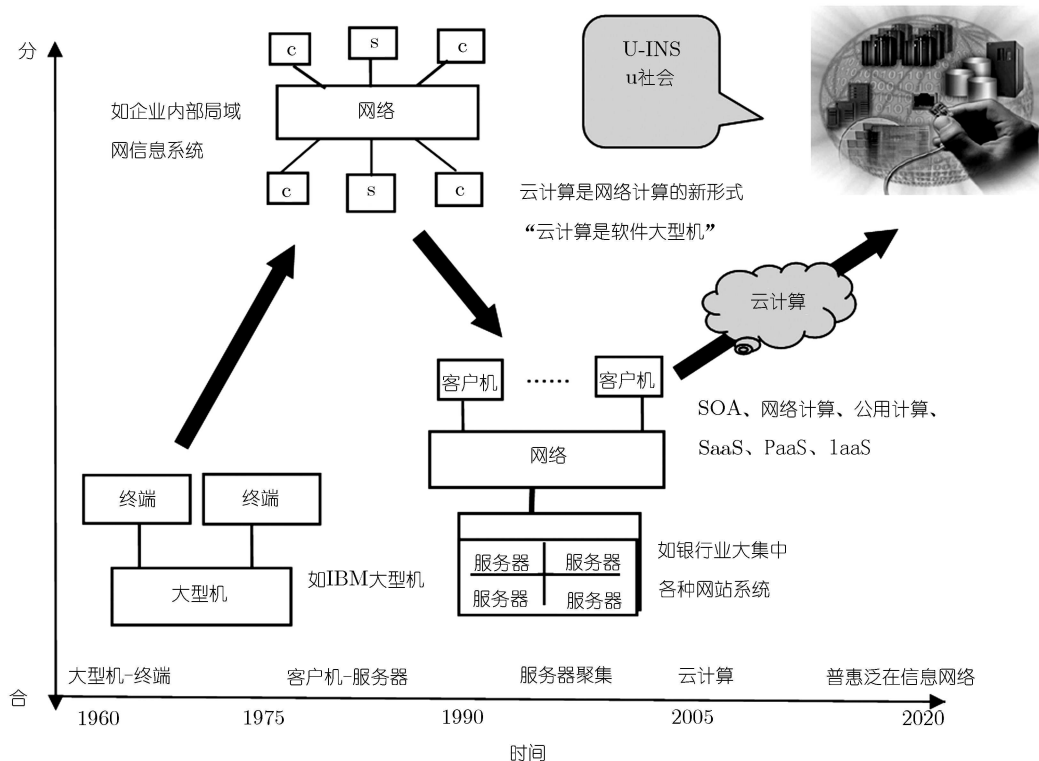


图 7 信息产业的“三国定律”

信息社会的一个必经阶段。云计算适应用户的需求和软件转向服务的发展趋势,体现了信息系统聚集的趋势——集中服务模式。

云计算“火”起来的原因有三:一是互联网的普及,如带宽的保证,不仅是带宽越来越宽,而且保证 24 小时不间断的连接;二是存储成本下降非常快;三是互联网改变了人们的传统思维习惯,比如人们从习惯于一切自建到逐渐习惯于付费的网上订阅服务。云计算“火”起来的真正推手则是需求。用户无需购买服务器、存储设备,也无需建设数据中心,根据使用收费,想用多少就用多少,这些好处对用户无疑具有相当的诱惑力。分布式处理技术和虚拟化技术的进步是云计算的重要推动力,特别是在以 VMware 为代表的虚拟化技术供应商们的大力推动下, X86 平台的虚拟化技术逐渐成熟并普及,使得数据中心的整合不再成为一件费时费力的事情,这也为云计算平台的搭建提供了条件。

云计算已成为当今最热的话题,其关键是资源集中和虚拟化技术,应当引起我们的重视。云计算涉及国家信息基础设施的基本安全问题,不能掉以轻心。必须建立自主可控的云计算中心。网络信息技术的长远发展目标应该是真正以用户为中心,而不是以服务商为中心。变相的 Client-Server 结构或虚拟的 Mainframe 结构可能不是理想的结构。信息不同于能量,信息的根本性质是可无限次共享而本身不减少,理想的信息服务模式可能不同于电力。因此,我们需要寻求符合信息本质规律、真正以用户为中心的网络体系结构。

4 我国信息领域的战略取向是重点跨越

4.1 高技术发展很大程度上取决于人们的战略取向

有一种观点认为:科学技术的发展很难预见,它是随机发生的,主要依靠科学家的灵机一动,技术

的演进则取决于科学发明。但如果从更全面的角度认识技术变革,就会发现技术的进步很大程度上取决于人们的战略取向。马克思^[6]曾指出:劳动资料不仅是人类劳动力发展的测量器,而且是劳动借以进行的社会关系的指示器。麻省理工学院的著名技术史教授诺布尔^[7]更直接指出:技术仅仅是一种社会变量,可以根据我们的选择而做出改变。获得技术的真正成就的唯一有效方式就是变更整个体系的技术基础。这是人的问题,而不是技术问题,只有人才能解决它。这无疑是一个巨大的挑战,它要求我们从根本上反思科技的形式与作用,反思建构更为民主、更为平等、更为人道、更具有创造性的和谐社会的现实途径。新技术扩散并不是自发的市场行为而是取决于人们的战略取向。例如,创造美国制造体系的主要动机并不是经济的,而是军事的;这种新型制造方法的主要推动者并不是自我调节的市场而是站在市场之外的美国陆军军械部。因此,技术并非症结所在,也不是解决之道,真正的问题是政治、道德与文化。

技术变革的主要动力是经济和社会发展的需求。发明电子计算机的驱动力来自二战时计算弹道的紧迫需求,发明晶体管的驱动力来自电话通信的交换机。远离真实需求的所谓新技术往往成为泡沫。2009年11月3日温家宝总理向首都科技界发表《让科技引领中国可持续发展》的讲话中强调:选择新兴战略性新兴产业非常重要,选对了就能跨越发展,选错了将会贻误时机。要以国际视野和战略思维来选择和发展新兴战略性新兴产业,着眼于引发技术和产业变革。

4.2 做出与国力相称的贡献

荷兰格罗宁根大学著名经济学教授麦迪森^[8]预测:按国际上流行的购买力评价法(PPP)计算,中国经济总量2015年将超过美国,相当于美国的107%,2030年将相当于美国的138%,占全球GDP 23%。2008年我国人均GDP已经超过3300美元,深圳、上海、北京、广州、苏州、杭州、佛山等市的人均GDP已经超过或接近1万美元。浙江、广东、山东、江苏等省的人均GDP也已超过或接近5000美元。

按照穆荣平研究员在文献[9]中论述的工业化发展与GDP的关系(见表1),可以看出,我国发达地区应进入以创造技术为主的阶段了。事实上,在EIU《经济学家》公布的IT产业竞争力排名中,我国已经有明显进步,2009年排名39位(见表2),比2008年上升11位,但R&D环境与IT基础设施的得分仍然很低。温家宝总理最近指出¹⁾：“面对全球新一轮科技革命的挑战,中国完全有能力在若干关系长远发展的领域抢占经济科技制高点,使国民经济和企业发展走上创新驱动、内生增长的轨道。中国要抢占未来经济科技发展的制高点,就不能总是跟踪模仿别人,也不能坐等技术转移,必须依靠自己的力量拿出原创成果。”从现在起,信息领域应努力争取做出与国力相称的创新贡献,科技国家队要致力于做“改天换地”的科研工作。

4.3 支撑与引领“两手”都要硬

中央制定的2006~2020年科学技术发展规划纲要中两个最重要的目标是:科技对经济的贡献率提高到60%;对外技术依存度降低到30%,即平均每年科技贡献率至少要提高1%~2%;对外技术依存度每年至少要降低1%。这一“率”一“度”是发展中国科技的总纲。可是,根据国务院发展研究中心的统计,2002~2006年我国科技进步对第二产业的贡献率已从20世纪90年代的37.8%下降到10%,(投资贡献率占82%)。为了应对国际金融危机,近年来国家加大了对基础设施建设的投资力度,提高全要素贡献率(即科技贡献率)的难度还在加大。

1) 温家宝总理9月23日在新兴战略性新兴产业发展座谈会上的讲话

表 1 工业化发展与 GDP 的关系

工业化阶段	第一阶段	第二阶段	第三阶段
经济标志人均 GDP	<300 美元	300~4750 美元	>4750 美元
技术标志 GERD/GDP	<1%	1~2%	>2%
技术创新阶段	使用技术为主	改进技术为主	创造技术为主

表 2 2009 年世界 IT 产业竞争力排名

排名	国家/地区	总分	企业环境 (×0.1)	IT 基础设施 (×0.2)	人力资本 (×0.2)	R&D 环境 (×0.25)	法律环境 (×0.1)	对 IT 产业开发的支持 (×0.15)
1	美国	78.9	97.3	81.3	75.6	61.3	92.0	88.6
15	中国台湾	63.4	86.5	61.5	55.0	59.1	73.5	61.8
16	韩国	62.7	79.7	63.2	58.9	57.0	67.0	62.0
38	俄罗斯	36.8	46.4	27.1	53.1	26.4	42.0	35.3
39	中国大陆	36.7	48.8	13.8	57.9	23.2	59.5	38.2
40	巴西	36.6	73.6	21.6	31.5	17.6	49.5	61.6
44	印度	34.1	59.0	1.9	49.5	22.0	48.0	51.0

注: 括号中为每项权重

国家中长期科技发展规划纲要已制定了发展科技的十六字方针:“自主创新、重点跨越、支撑发展、引领未来”。而在实际工作中,很多科研人员却往往只重视支撑发展,忽视重点跨越和引领未来。未来 10 年要纠正这一倾向,支撑与引领“两手”都要硬。

回顾改革开放 30 年来信息科学技术的发展历程,科技界没有摆脱跟踪模仿的思维方式,30 年未建立自主可控的基础信息技术平台,总是认为自己底子薄、基础差,不具备创造技术的条件,习惯于在国外的基础技术平台上做科研工作。计算机领域基本上不敢跳出 Wintel 平台去思考创新。但这样下去的恶果将是:今天不作引领性的科研,不重视“重点跨越”,明天就只能靠国外的技术支撑我国的产业。支撑发展、重点跨越和引领未来可以理解为自主创新的三种不同层次。我们必须统筹规划技术创新的不同模式,不断提高技术创新的水平。

4.4 真正走自主创新、科学发展之路

今后 10 年是中国信息企业打翻身仗的好时机。从芯片、计算机、网络到信息服务系统,未来 10 年中国有能力走出一条新路,建立自己的信息技术体系。中国的网络服务体系必须针对中国自己的问题,目前我们面对的最大问题是信息化与工业化的融合,实现经济结构的转型和提升。

在开放的原则下打造自主可控的信息技术基础平台,今天被许多人认为是“乌托邦”式的空想。能否转为现实关键不在技术,而在于政治家的决心和推动者的热情和恒心。科技竞争已经白热化,我们要尽可能改善我们的科研条件,尽可能加大我国的科技投入。但是,中国特色自主创新的灵魂是艰苦奋斗的拼搏精神和以弱胜强的革命意志。

5 结论

21 世纪上半叶信息科学技术将迎来一场新的革命,而历史留给我国科技界难得的机遇期只有 10 ~ 15 年左右。在未来 15 年里我国信息领域科技人员必须进一步解放思想,改变观念,下决心攻克“信

息技术墙”，掌握核心技术，实现重点跨越，抢占未来经济科技发展的制高点，促使我国经济真正走上创新驱动、内生增长的轨道。

致谢 本文写作过程中经常与中国科学院计算技术研究所徐志伟研究员讨论，并在第 1 节中吸收了他的一些看法，插图 3、4、7 引自徐志伟的报告。本文第 2 节有些观点在参考文献 4 中有所体现，本文作者在主持《中国至 2050 年信息科技发展路线图》战略研究时，与课题组成员有多次交流讨论，得到很多启发，在此一并致谢。

参考文献

- 1 Wing J M. Computational thinking. CACM, 2006, 49(3): 33–35
- 2 Lampson B. Computing meets the physical world. National Academy of Engineering, The Bridge, 2003, 33(1): 4–7
- 3 康德拉季耶夫. 经济生活中的长波. 现代国外经济学论文选: 第 10 辑. 北京: 商务印书馆, 1986. 1–20
- 4 中国科学院信息领域战略研究组. 中国至 2050 年信息科技发展路线图. 北京: 科学出版社, 2009
- 5 Nye D E. Electrifying America: Social Meanings of a New Technology. Cambridge: MIT Press, 1990
- 6 卡尔·马克思. 马克思恩格斯全集. 北京: 人民出版社, 1972. 23: 204
- 7 戴维 F 诺布尔. 生产力: 工业自动化的社会史. 李风华, 译. 北京: 中国人民大学出版社, 2007
- 8 Maddison A. Chinese Economic Performance in the Long-Run. Paris: Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), 1998. 194
- 9 穆荣平. 中国技术资源开发与利用战略研究. 国家科技成果数据库. 2002