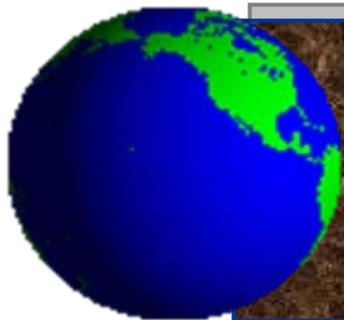


21世纪上半叶 发展信息科学技术的战略取向



李国杰
中国科学院计算技术研究所
2009.10.23

报告目录

- 信息科学技术面临重大突破
- 对信息科学技术认识的转变
- 计算机科学技术的“三国定律”
——云计算是信息化的一个阶段
- 我国信息领域要强调重点跨越

信息科学技术面临重大突破

从更全面的角度认识技术变革

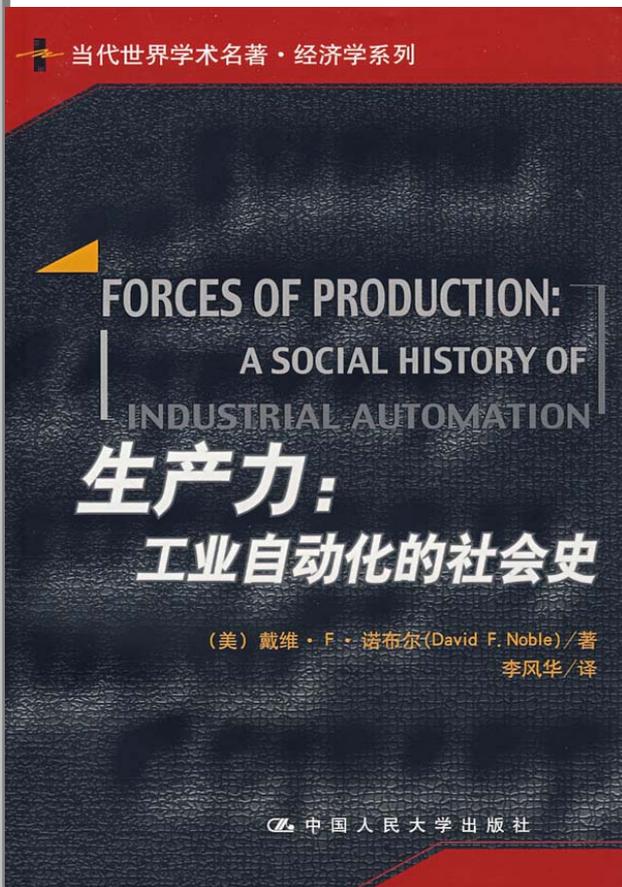
- 当代世界学术名著 · 经济学系列
戴维·诺布尔：《**生产力：工业自动化的社会史**》，
中国人民大学出版社，2007年

- 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。

— 卡尔·马克思：《马克思恩格斯全集》23卷204页

- 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。鉴于技术具有政治性，我们还必须看到，在现存的政治结构下以及可预见的未来，技术仍然将构成**权力与控制的扩展**。

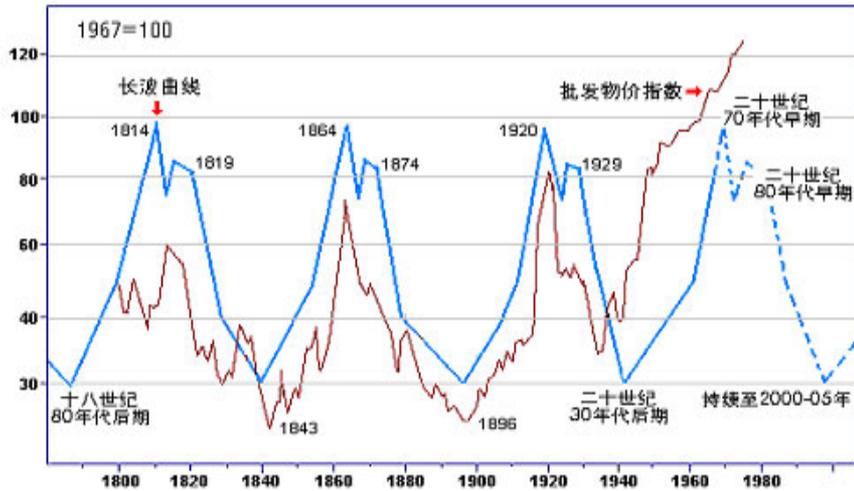
- 获得技术的真正成就的唯一有效方式就是**变更整个体系的技术基础**。这是人的问题，而不是技术问题。只有人才能解决它。这无疑是一个巨大的挑战，它要求我们从根本上反思科技的形式与作用，反思建构更为民主、更为平等、更为人道、更具有创造性的和谐社会的现实途径。



新技术扩散不是自发的市场行为 而是取决于人们的**战略取向**

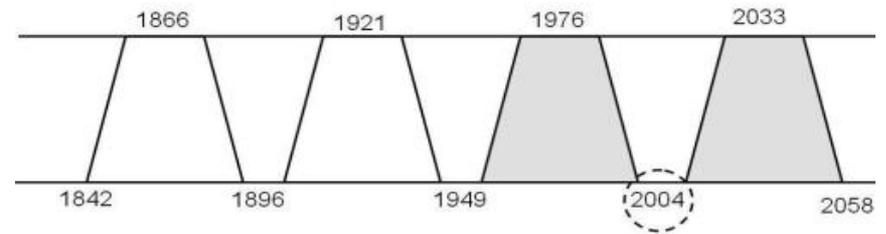
- 创造美国制造体系的主要动机并不是经济的，而是军事的；这种新型制造方法的主要推动者**并不是自我调节的市场**而是站在市场之外的**美国陆军军械部**。
- 存在许多影响这种新技术扩散的因素，其中大部分都不是依靠自发的市场力量所能解释的。这些因素通常**不能用所谓的理性经济行为来解释**。。
- 因为技术发展过程本质上是一种**社会过程**，而这种社会过程很大程度上隐含着不确定性和自由。技术并非必要条件。它仅仅**存在于人们从中做出选择的可能范围**之内。
- 技术并非症结所在，也不是解决之道。真正的问题是**政治的、道德的与文化的**，解决之道也是如此。

康德拉季耶夫经济长波理论



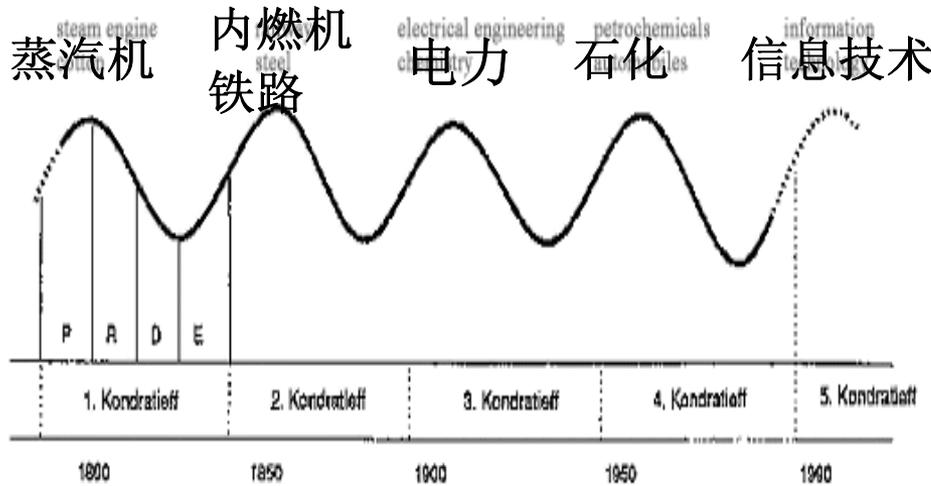
1787—2058年康德拉季耶夫长周期

Long Cycles—Kondratieff Waves

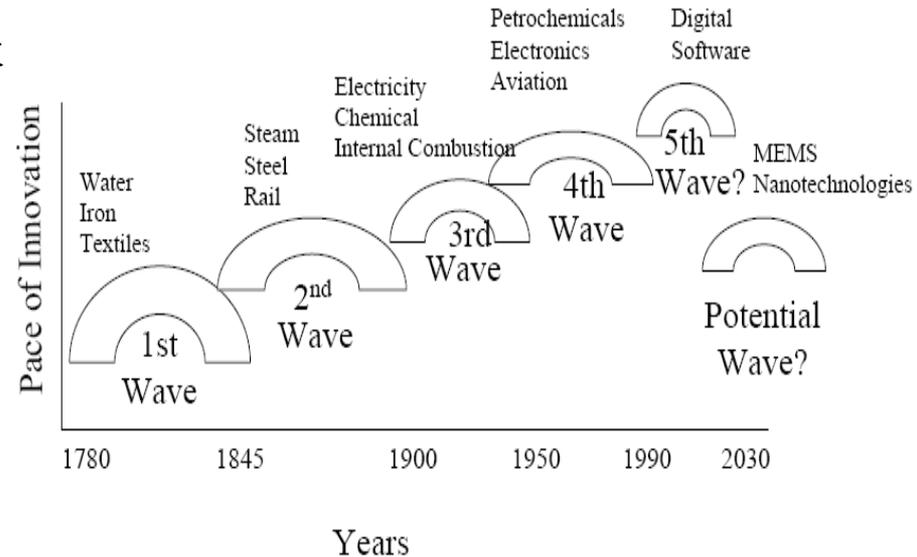


经济发展K长周期论

前苏联经济学家尼古拉·康德拉季耶夫(Nikolai Kondratieff)于1920年代提出了资本主义经济五十多年盛衰周期的长波(long wave)论说,他的主要证据是价格(包括货品价格、工资、利率)和有关贸易及存款等经济数据。

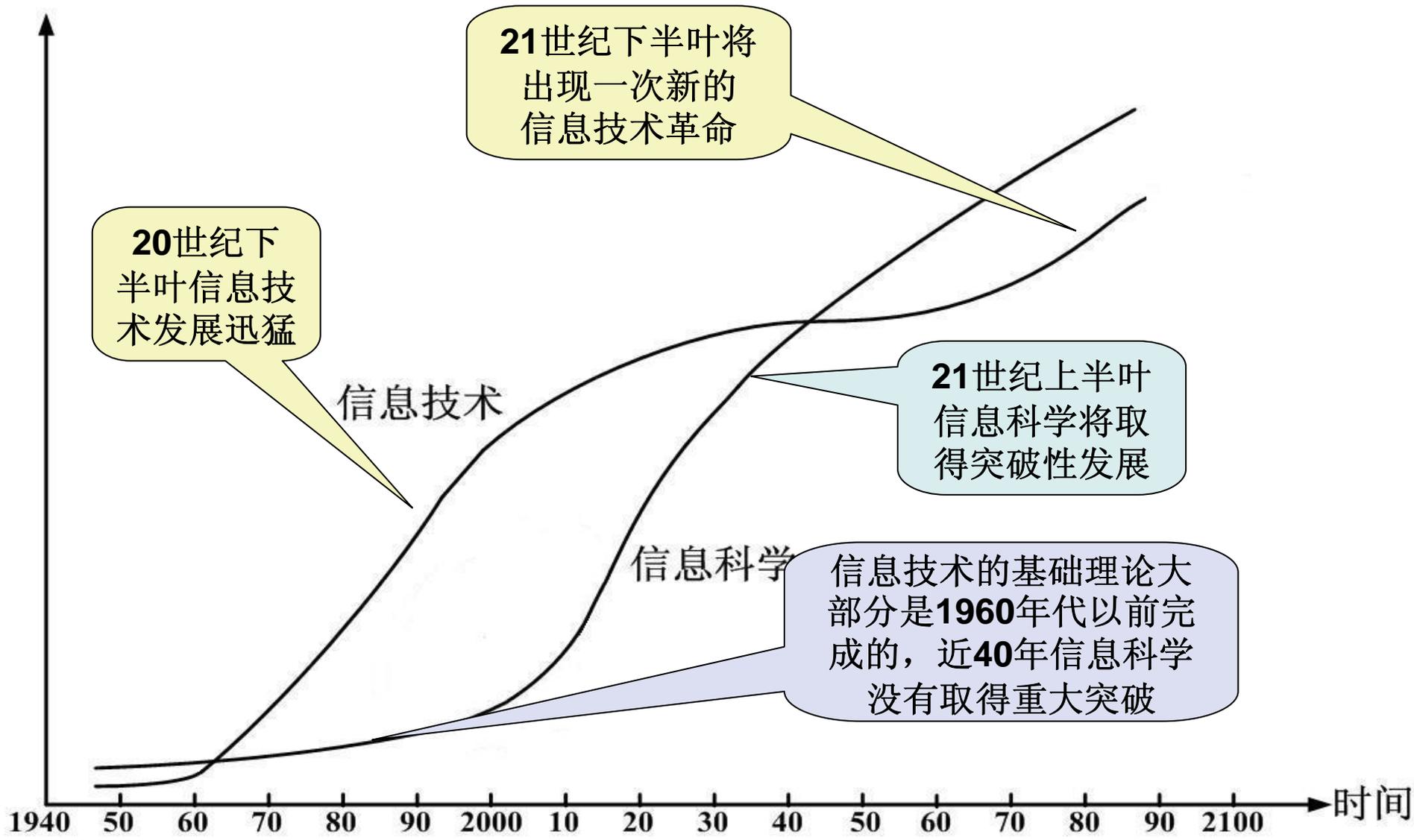


P: prosperity
R: recession
D: depression



20-21世纪信息科学与技术发展态势示意图

发展程度



科学院2050年路线图

对信息技术的基本判断

- 通过一年多的战略研究工作，我们做出的最基本的判断是：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，就变成以增量改进为主的传统产业技术，在21世纪上半叶让位于生物技术和纳米技术，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。
- 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。

当前信息技术面临三座高墙

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
安全可靠性的低

2020—2030年之间可能出现的“技术墙”

- 许多信息技术不约而同地将在2020-2030年之间出现难以逾越的障碍。
- 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，2030年肯定做不出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20年时间才能真正突破TCP/IP协议的局限。

信息领域的技术突破重点方向

可扩展到亿级并行度
惠及数十亿用户

可扩展性



低功耗

可靠安全

低功耗的信息系统

高可信的信息系统

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。
- 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。

发展真正的网络科学

- 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。
 - Scale Free Model 不符合Internet的真实情况
 - Network Science Community 和 Network Research Community 必须相互交流， 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。网络科学将会提出新的网络信息理论的概念并发展新的理论体系。

美国未来网络研究FIND计划 希望解决的五个问题

- 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**的一次**FIND**工作会议上建议：将**EtoE**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。

设计未来互联网不同于其他工程设计

- 不同于桥梁、计算机等人造物的设计（有具体的需求和目标），设计未来网络不是造一个有具体目标的人造物品，**实际上是设计一个环境**，能引发出我们希望出现网络产品与服务。
- 新的网络设计方法论应该基于theoretically-derived architectures，即**基于能适应未预见到的未来变化的严格理论**。
- 必须形成一种能力，通过明确规定局部的功能和限制就能达到所希望的整体行为。
- 研究未来网络首要的挑战是难以确定目标，如要不要设定“**构建今后可使用100年的Internet**”的目标。

无处不在的传感器网络

- **传感网络**是数字世界与物理世界的桥梁，将实现人与机器，机器与机器之间的信息交互，**数字物理系统**（CPS）是数字世界与物理世界交互的网络系统，具有监视与控制功能。
- 传感器和CPS是典型的多学科交叉，涉及通信、光学、微机械、化学、生物等诸多领域。
- 随着大量的嵌入式设备和传感器纳入信息系统，网络边缘设备与服务器之比将增大**几百倍**，每个服务器的客户端设备数量将达到**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。

从人-人通信到物-物通信

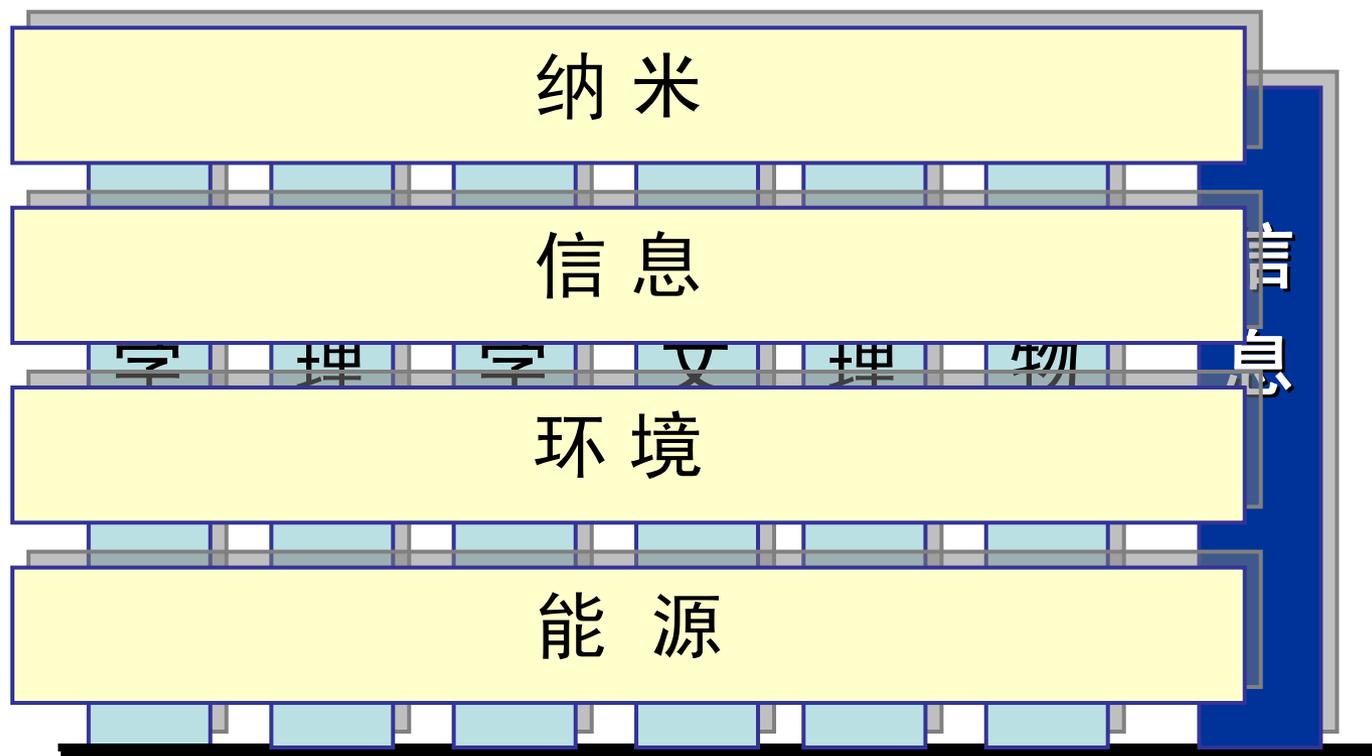
- 传感网络在大规模实时信息获取、协同感知、高抗毁性、微型灵活部署等方面具有明显优势，是实现**两化融合**的重要基础设施，应重视**基于泛在传感器的加工制造业**。
- 我国在传感器和RFID芯片等方面与国外先进水平有较大差距，要抓紧突破传感核心技术，在技术标准上争取更大的发言权。

10-15年的战略机遇期

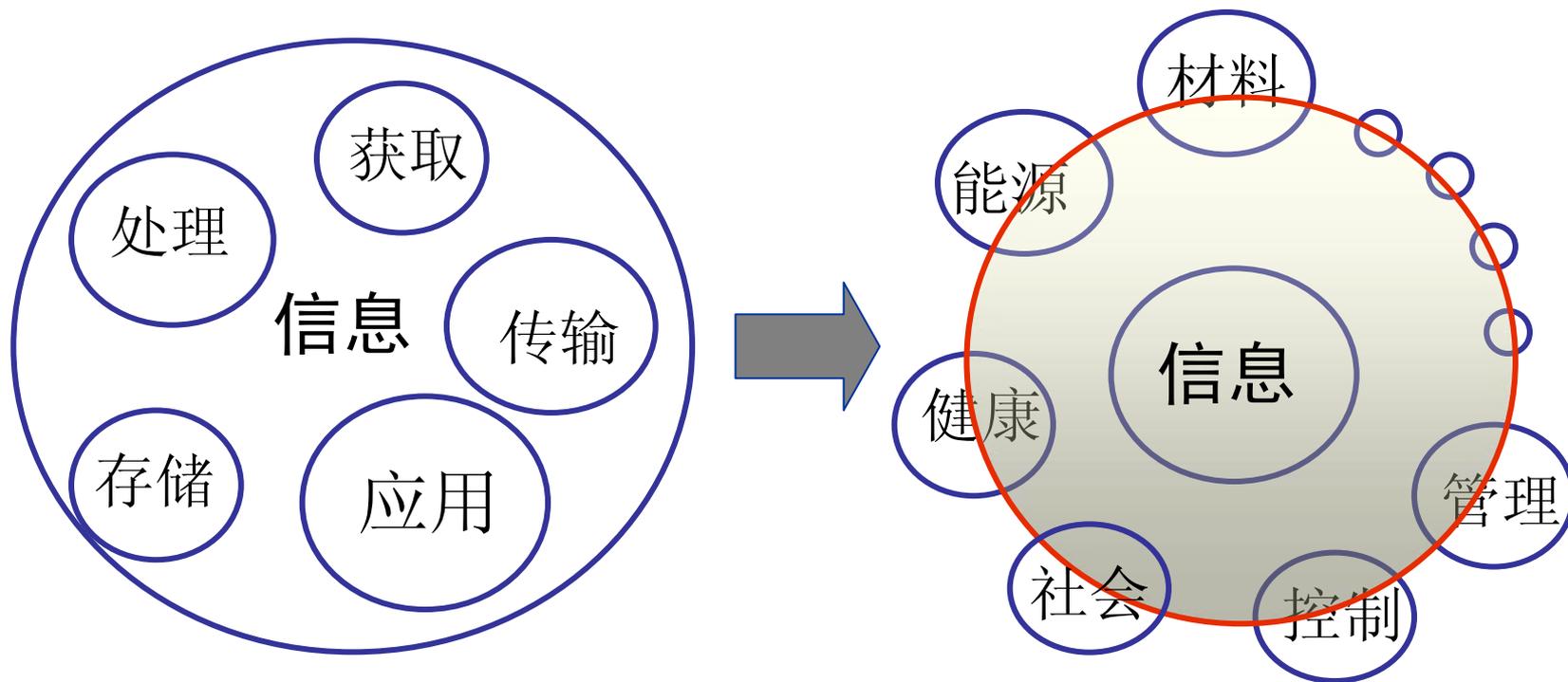
- 2020以前要积极探索攻克“**信息技术墙**”的核心技术，重点解决信息系统的可扩展性、低能耗、安全性和易用性等难题；2020年以后，什么技术将成为新的主流技术就会逐步明朗；**2020到2035年将是信息技术改天换地的大变革期**；2035到2050年，符合科学发展观的新的信息网络体系会逐步形成。
- 这样的结论给我们的重要启示是，从现在开始，**历史留给我们难得的机遇期只有10-15年左右**。如果我们错过这15年，就很难在21世纪上半叶成为信息产业的强国，必将对我国的现代化进程产生十分不利的影响。

对信息科学技术认识的转变

究竟什么是信息科学技术？



从重视信息科学技术的 内涵转到重视外延



传统的信息科学技术

21世纪强调的信息科学技术

美国工程院列出的21世纪 工程科技重大挑战

- 实现低成本的太阳能利用
- 通过聚变获取能源
- 开发碳汇方法
- 管理氮循环
- 提供获取途径
- 研制更好的医药

几乎都是信息与
其他领域的
交叉学科

- 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
- 大脑逆向工程
- 制止核恐怖事件
- 修复改善城市基础设施
- 研究科学发现的工具

21世纪信息技术发展的新取向

- 在继续发展工程技术的规模效益的同时，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。
- 在重视技术作为生产力决定性因素的同时，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；更加重视医学及与人类健康有关的信息科学技术。
- 人们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的影响，探索对有限自然资源和无限知识资源的分享、共享和可持续利用。
- 在继续科学与技术紧密结合的同时，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。

改变“狭义工具论”的旧观念

- 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，计算机科学技术这门学科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**”，即认为信息科技只是一种高科技工具，“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。
- 需要在全社会传播和普及“**计算思维**”（**Computational Thinking**）

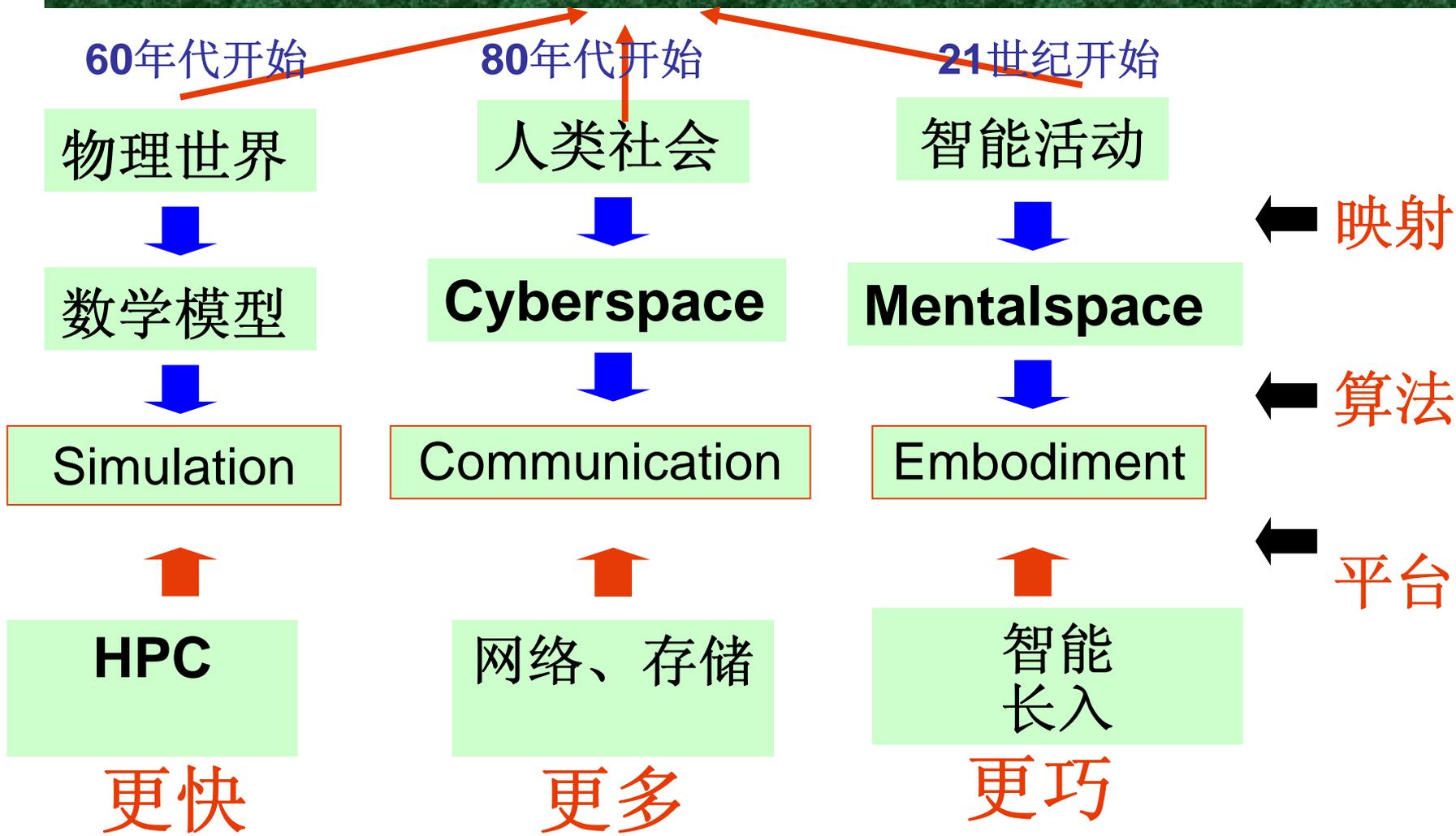
计算思维---普适的思维

- 计算思维是每个人的基本技能。在阅读、写作和算术（英文简称3R）之外，我们应当将计算思维加到每个孩子的解析能力之中。正如印刷出版促进了3R的传播，计算和计算机也以类似的正反馈促进计算思维的传播。

- **计算思维**

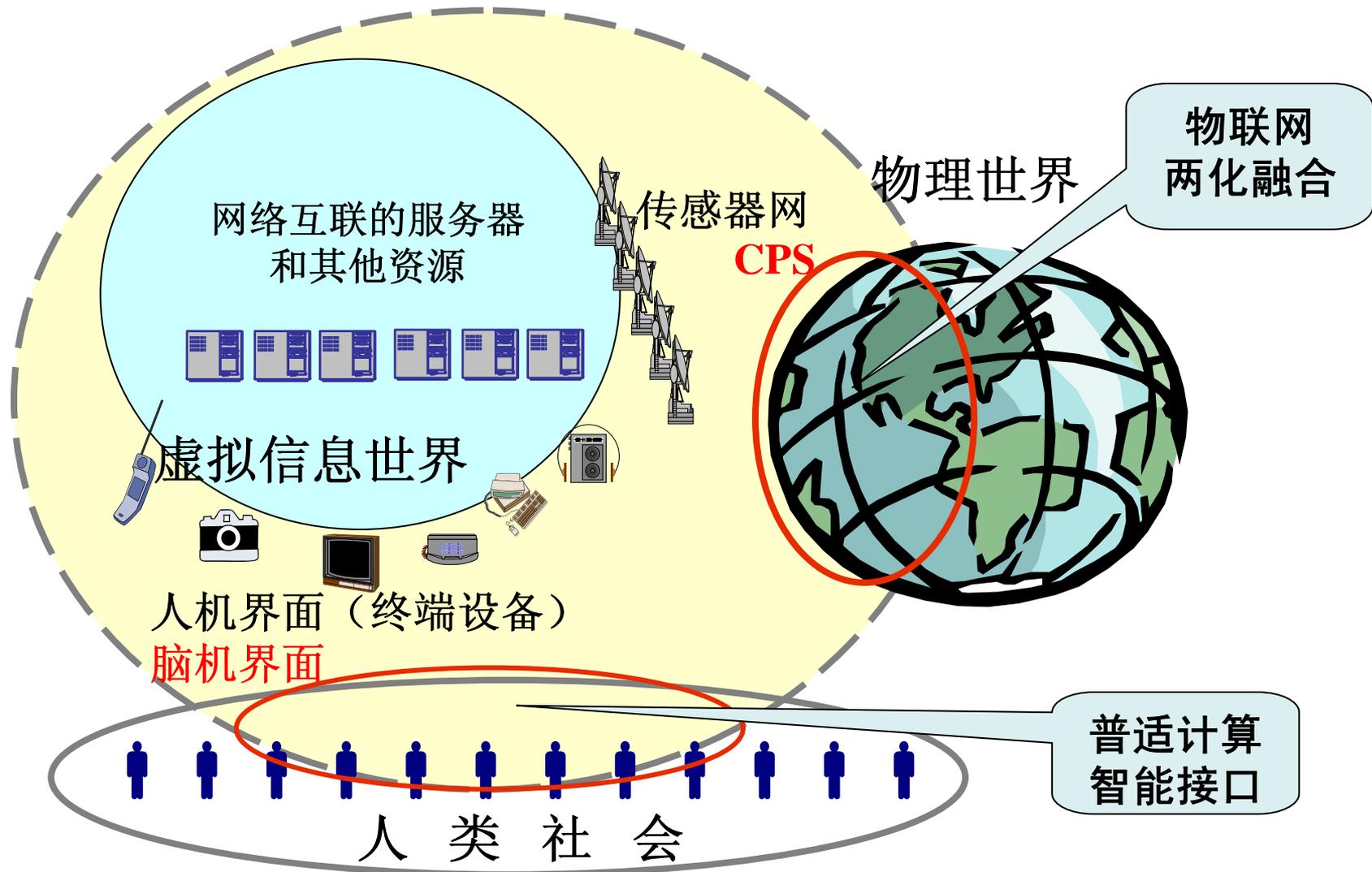
- 是概念化思维，不是程序化思维；
- 是基础的技能，不是机械的技能；
- 是人的思维，不是计算机的思维；
- 是数学和工程互补融合的思维，不是数学性思维；
- 是面向所有人的思维，不仅仅是计算机科学家的思维。
- ——引自周以真教授的CACM文章

“一切皆可计算” Computing Thinking



—此图思想来自图灵奖得主Butler Lampson的报告

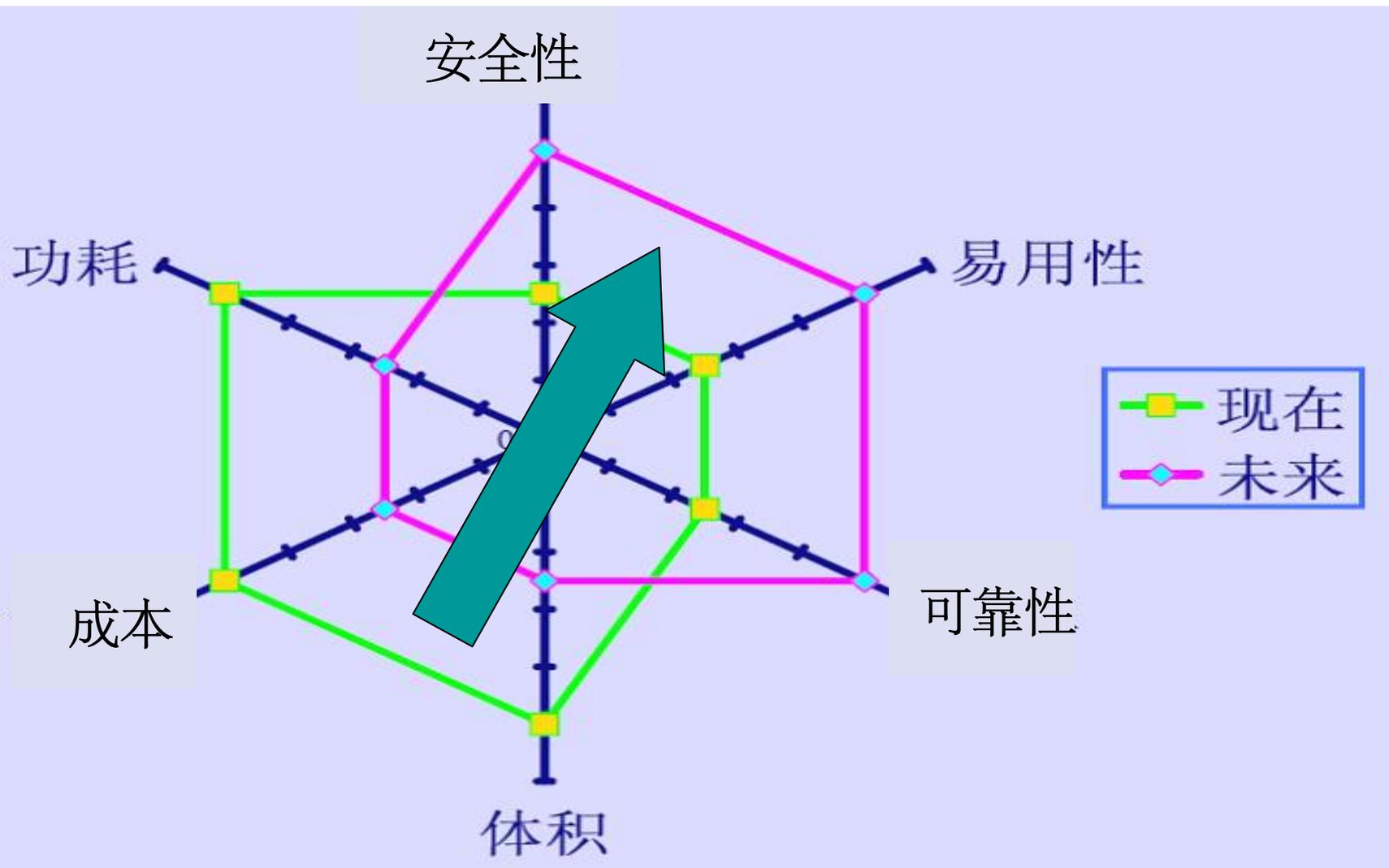
物理世界、信息世界、人类社会 组成三元世界—新信息世界观



从人机共生模式转向人机物三元社会模式

- 今天使用的信息系统，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（说不清的）、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。
- 今天的计算机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。**人机物三元世界**是一个多人、多机、多物组成的动态开放的网络社会。
- 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？
- 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。

改变信息技术的研究方向



改变图灵计算模型不可突破的观念

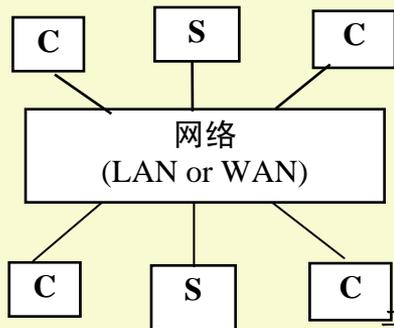
- 目前的主流计算机科学教科书认为：图灵机不能做的事情将来的计算机也不能做。
- 图灵计算被看作是从输入到输出的函数，不终止的计算被认为是没有意义的。
- 在网络环境中，计算主体（进程）在与外界不断交互的过程中完成所指定的计算任务。对于这类交互式的并发计算，传统的基于‘函数’的计算理论不再适用。
- 如何为实际并发系统的设计与分析提供坚实的理论基础，在今后几十年内是计算机科学面临的重大挑战。
- 算法研究的重点应从单个算法的设计分析转向多个算法的交互与协同。

计算机科学技术“三国定律”

——云计算是信息化的一个阶段

分 (Decentralize)

如企业内部局域网信息系统

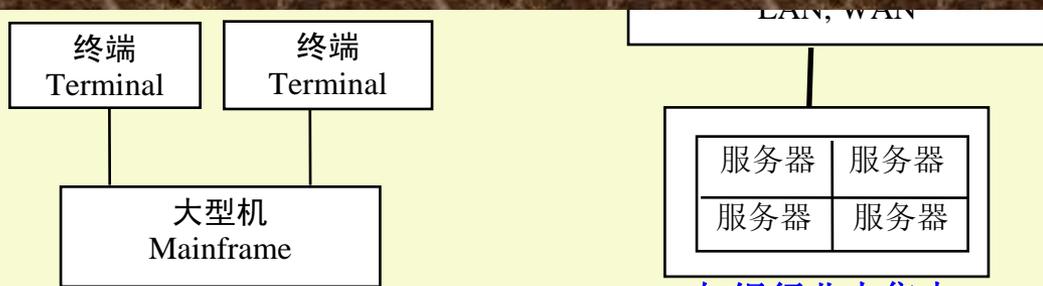


U-INS
U社会



云计算是网络计算的新形式
“云计算是软件大型机”

信息产业的“三国定律”： IT平台20年左右的集中-分散周期



如IBM大型机

如银行业大集中
各种网站系统

天下大势，
分久必合，
合久必分。

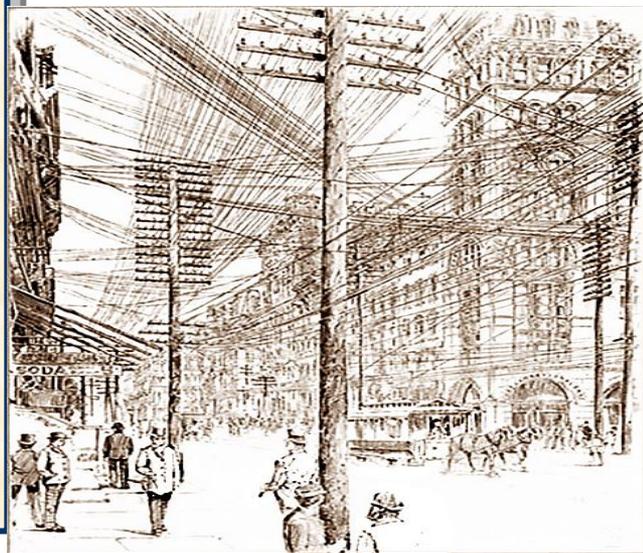
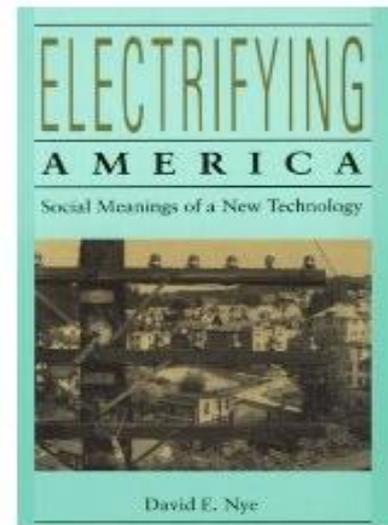
大型机—终端 客户机—服务器 服务器聚集 云计算 普惠泛在信息网络

1960 1975 1990 2005 2020

合 (Consolidate)

美国电气化过程的启示

- David E. Nye , 《Electrifying America: Social Meanings of a a New Technology》 , 《美国电气化》 , MIT出版社, 1992年
- 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。
- 上世纪初, 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。
- 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之允许用公共电力, 私人电力公司可在城市之间发展
- 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。



云计算的出现具有一定的历史必然性

- 信息技术领域呈现一种长期宏观现象，称为“**三国定律**”：每隔20年左右，计算模式会出现**集中-分散**交替主导的现象。云计算符合“三国定律”的宏观规律，有一定必然性。
- 云计算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

为什么云计算现在火起来

- 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开始习惯于付费到网上订阅服务。
- 分布式处理技术和**虚拟化技术的进步**是重要的推动力，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。
- 需求是云计算“火”起来的真正推手。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。

云计算与User-oriented计算

- 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**。
- 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。

我国信息领域要强调重点跨越

重温毛主席的讲话

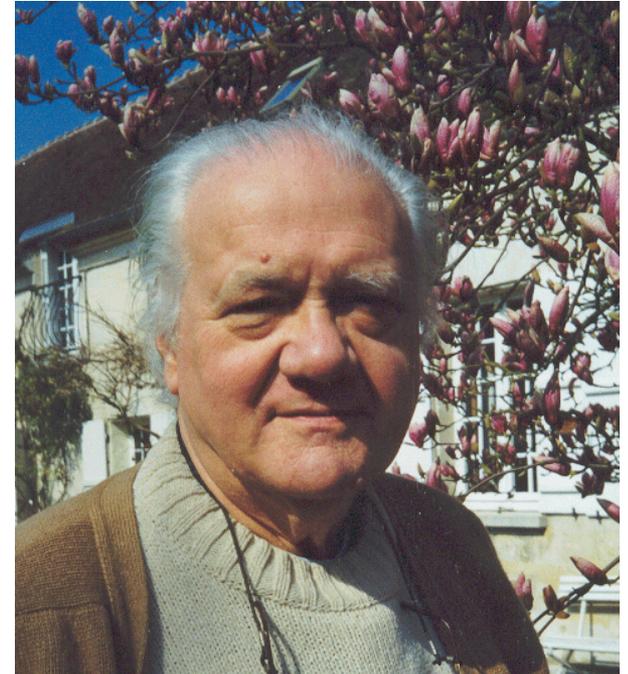
- 你有那么多人，有那么一块大地方，资源那么丰富，又听说搞了社会主义，据说是优越性，结果你搞了五、六十年还不能超过美国，你象个什么样子呢？那就要**从地球上开除你的球籍**！所以，超过美国，不仅有可能，而且完全有必要，完全应该。如果不是这样，那我们中华民族就对不起全世界各民族，我们对人类的贡献就不大。

——毛泽东选第五卷，269页

《在中国共产党第八届大会预备会议上的讲话》

麦迪森预测：中国GDP2015年超过美国

- 安格斯·麦迪森是荷兰Groningen大学著名经济学教授，出版过专著“*Chinese Economic Performance in the Long-Run*”，发表过预测中国经济的重要论文，在国际上有重要影响。
- 根据麦迪森教授的统计和预测：
 - 1990年，中国经济总量为美国的37%
 - 2003年 相当于美国的 73%
 - 2008年 相当于美国的 85%
 - 占全球GDP 16%
 - 2015年 相当于美国107% (超过美国)
 - 2030年，相当于美国138%
 - 占全球GDP 23%
- 胡鞍钢：2015年超过美国是相当保守的算法
(采用国际通用的PPP方法计算GDP)



Prof. Angus Maddison
安格斯·麦迪森教授
著名经济统计学家

技术创新模式的转变

工业化阶段	第一阶段	第二阶段	第三阶段
经济标志 人均GDP	小于300美元	300—4750美元	大于4750美元
技术标志 GERD/GDP	小于1%	1—2%	大于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

——引自穆荣平“中国技术资源开发与利用战略研究”报告

做出与国力相称的科技贡献

- 我国的人均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已超过或接近**1万美元**。浙江、广东、山东、江苏等省的人均GDP也超过或接近**5000美元**。
- 多少年来，我们习惯于在国外的基础技术平台上做科研工作。信息领域过去30年没有认真考虑建立**自主可控的技术平台**，现在应想一想如何为建立这种平台而努力。
- 我国一定要争取对支持下一个经济长波的基本**创新**做出与国力相称的贡献，要致力于做“**改天换地**”的科研工作。

2009年 世界IT产业竞争力排名

排名	国家	总分	企业环境	IT基础设施	人力资本	R&D环境	法律环境	对IT产业开发的支持
	权重		0.1	0.2	0.2	0.25	0.1	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

我国IT产业竞争力今年有明显进步
2009年排名**39位**，上升**11位**

温家宝总理9月23日 在新兴战略性产业发展座谈会上的讲话

- 这预示着全球科技将进入一个前所未有的**创新密集时代**，重大发现和发明将改变人类社会生产方式和生活方式，**新兴产业**将成为推动世界经济**发展的主导力量**。
 - 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。
-
- 要以国际视野和战略思维来选择和发展**新兴战略性产业**，着眼于提高国家科技实力和综合国力，着眼于引发**技术和产业变革**。
 - 为此，必须做好战略**决策储备、科技创新储备、领军人才储备、产业化储备**。这四项储备决定未来。

2020年以前我国科研的主要目标

- 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%**（现在**40%左右**）
 - 对外技术依存度降低到**30%**（现在**50%左右**）
- 笼统地讲，就是要做到平均每年：
 - 科技贡献率至少要提高1个百分点
 - 对外技术依存度至少要降低1个百分点
- 这一“**率**”—“**度**”，是发展中国科技的**总纲**，科技工作者时时刻刻要提醒自己，我们的科研是不是为这一个“**提高**”一个“**降低**”做出了贡献。

改变重“支撑”轻“引领”的短视科技布局

- 中长期科技规划制定了十六字方针“**自主创新、重点跨越、支撑发展、引领未来**”，实际工作中往往只重视支撑发展，忽视重点跨越和引领未来，未来十年要纠正这一倾向。“**支撑**”与“**引领**”**两手都要硬**。
- 多少年来，我们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。
- 今天不做引领性的科研，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。

改变追随外国的老模式 真正走自主创新、科学发展之路

- 改革开放30年来取得很大的成绩，建立了前所未有的工业基础和科技储备。
- 值得反思的一点是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，如果云计算平台也依赖国外大公司，可能几十年内也难以翻身。
- 国务院领导已经下决心与受制于人的旧信息平台说“Bye-Bye”，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融合，实现经济结构转型和提升。

改换平台的关键是统一意志

- 被称为“欧盟之父”的卡罗吉，85年前发行《泛欧洲》时讲到，“所有伟大的历史事件都从乌托邦开始转为现实而终结。一个想法停留在乌托邦还是转为现实，**关键在于信仰者的数量和执行能力。**”
- 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识。**

我国科技界应有的的引领作用

从源头引领一个超过10亿美元的计算机产业

\$1B+ Industry

	Berkeley	Caltech	CERN	CMU	Illinois	MIT	Purdue	Rochest.	Stanford	Tokyo	UCLA	Utah	Wisc.
1 Timesharing	█					█							
2 Client/server	█		█	█									
3 Graphics						█						█	

10-15年内我国应在此榜上有位置!

8 GUI								█					
9 VLSI design	█	█											
10 RISC processors	█							█					
11 Relational DB	█												█
12 Parallel DB									█	█			█
13 Data mining								█					█
14 Parallel computing		█		█	█								
15 RAID disk arrays	█												
16 Portable comm.	█		█				█						
17 World Wide Web					█								
18 Speech recognition				█		█							
19 Broadband last mile								█			█		
Total	7	2	2	3	2	5	1	2	4	1	3	1	3

Source:
Innovation
in
Information
Technology,
National
Research
Council
Press,
2003.



请批评指正!