



中国科学院计算所
INSTITUTE OF COMPUTING TECHNOLOGY, CAS

未来网络创新的若干思考

李国杰

中国科学院计算技术研究所

2011年11月11日

主要内容

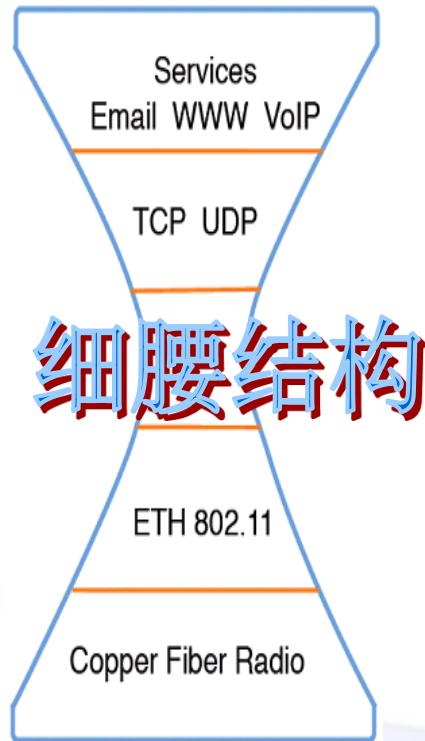
- 未来网络研究的必要性与紧迫性
- 未来网络研究需要重视的四个问题
 - 未来网络研究的思维模式
 - 未来网络体系结构模型 初探
 - 可编程高效路由器
 - 试验创新机制
- 计算所在未来网络方面的研究工作

互联网—回顾过去

1969年，美国国防部高级研究计划署ARPA资助建立了世界上第一个分组交换试验网ARPANET。ARPANET的建成开启了计算机网络发展的新纪元。

70年代末到80年代初, MILNET、USENET、BITNET等，在网络的规模和数量上都得到了很大的发展，1982年，ARPANET开始采用TCP/IP协议。

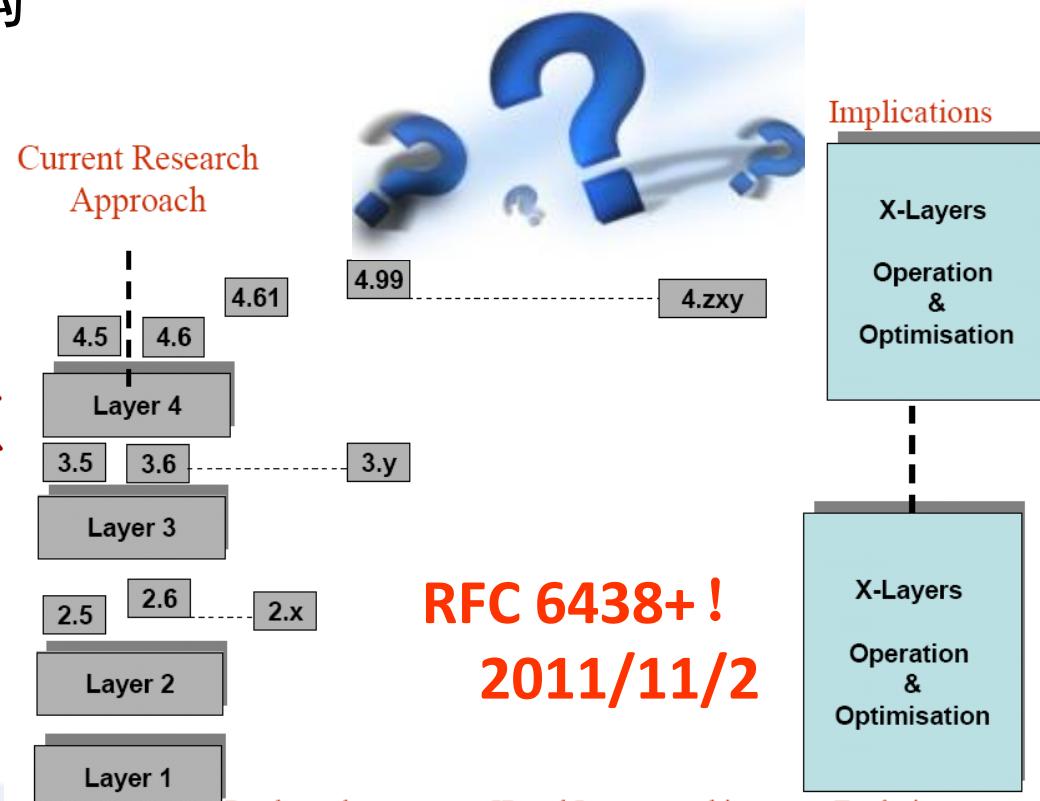
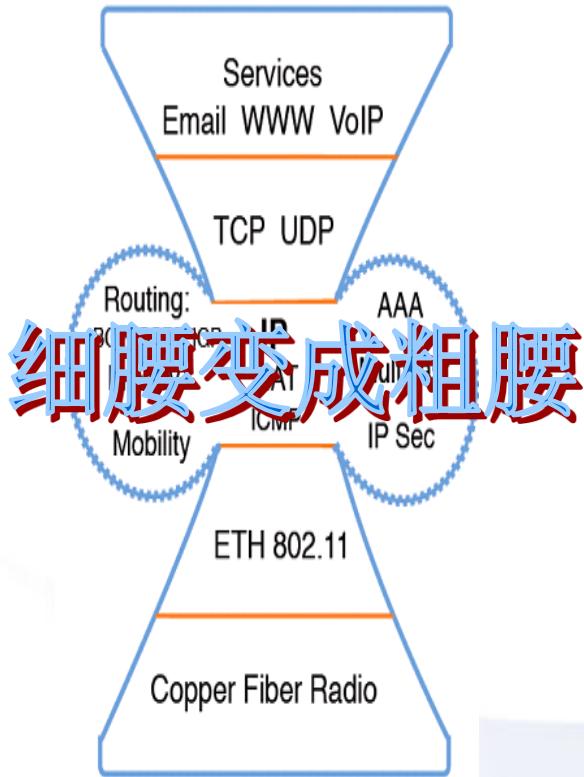
1986年美国国家科学基金会NSF资助建成了基于TCP/IP技术的主干网NSFNET，世界上第一个互联网产生，迅速连接到世界各地。



- IP网络在大规模普及之前有20余年艰苦探索的历史。其成功的理念与设计原则值得学习与借鉴。
- IP网络设计之初具有用户少、设备昂贵、**应用简单、流量小**等特点，因此确立了**简洁而清晰**的网络结构。
- 简单的IP网络如今已经取得了远远超出当初预想的巨大成功

互联网—审视现在

- 随着规模和业务类型的爆炸式增长，互联网由最初简单的网络架构逐渐演变为充满各种“**补丁**”的结构，正变得越来越**臃肿**，互联网已经从干净的层次架构变成了一个杂乱的复式结构



互联网—展望未来

10 Trends to Watch — Carefully

2012

2011~

- | | |
|--|-----------------------|
| ① Media Tablets and Beyond | ① Virtualization |
| ② Mobile-Centric Applications and Interfaces | ② Data Deluge |
| ③ Contextual and Social User Experience | ③ Energy and Green IT |

新的计算模式和应用模式的出现对互联网带来巨大的冲击

- | | | | |
|------------|-----------------------|------------------------------|-------------------|
| ⑦ Big Data | ⑧ In-Memory Computing | ⑨ Extreme Low-Energy Servers | ⑩ Cloud Computing |
|------------|-----------------------|------------------------------|-------------------|

- | | | | |
|-----------------------|------------------|-----------------------|-------------------|
| ⑦ Mobile and Wireless | ⑧ System Density | ⑨ Mashups and Portals | ⑩ Cloud Computing |
|-----------------------|------------------|-----------------------|-------------------|

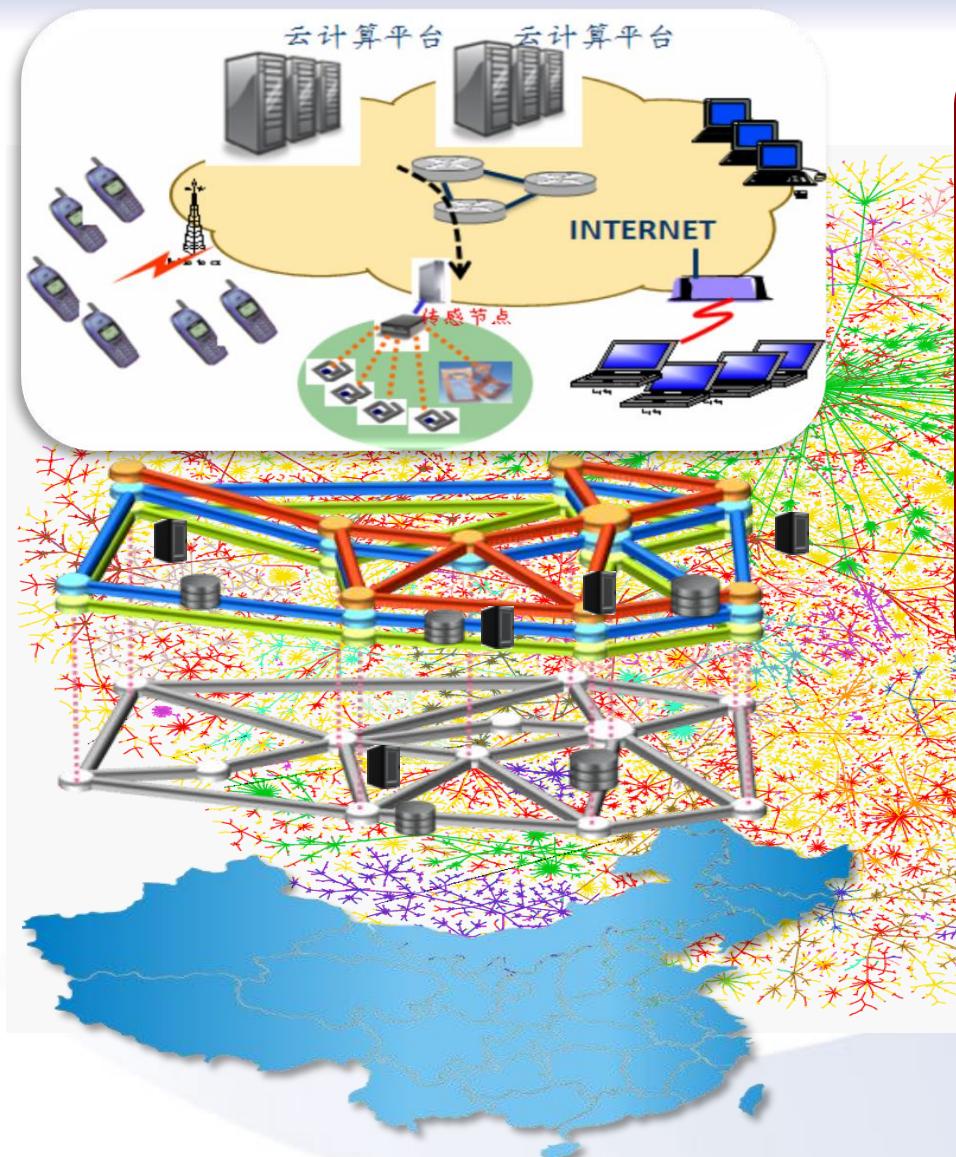
Gartner

—Gartner公司预测未来十大IT发展趋势



中国科学院计算技术研究所
INSTITUTE OF COMPUTING TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

新的计算模式带来的问题和挑战



海量数据

- 大数据的存储与计算
 - 传输效率：海量数据传输(ZB级)、高清内容
- ✓ 2014年网络流量预计是2009年的4.3倍（思科）
- ✓ 2015年预计每秒钟将产生245TB的数据（思科）

角色转变

- 网络逐渐增加信息处理、存储等功能，网络问题将变成一个计算机系统结构问题。

新的应用模式带来的冲击和挑战

- 随着物联网以及Twitter, Facebook, YouTube等社会网络新型应用的出现和发展，基于信息网络的社会群体呈爆炸式增长，网络将由过去的机、机互联发展到人、机、物互联，未来信息化的发展将以“人机物”三元融合为基础
- 传统的机机网络模型无法融合网络节点的异构性特征，访问模式的急剧变化对现有网络架构也提出了新的挑战

伴随着新的计算模式和应用模式的出现，
现在的互联网在可扩展性、动态性、自适
应性等方面面临非常严重的挑战。

现有互联网存在问题举例 及原因分析

问题1：业务模型与网络传输模式 的不匹配导致严重的流量 可扩展性问题

可扩展性问题

■ 互联网主流业务流量服从Zipf-like分布模型

- 施乐研究中心的Breslau和斯坦福大学的Cao等在INFOCOM1999¹上提出，普通数据请求如web请求近似服从Zipf分布模型
- Zipf-like分布的最大特点是数据访问热度集中

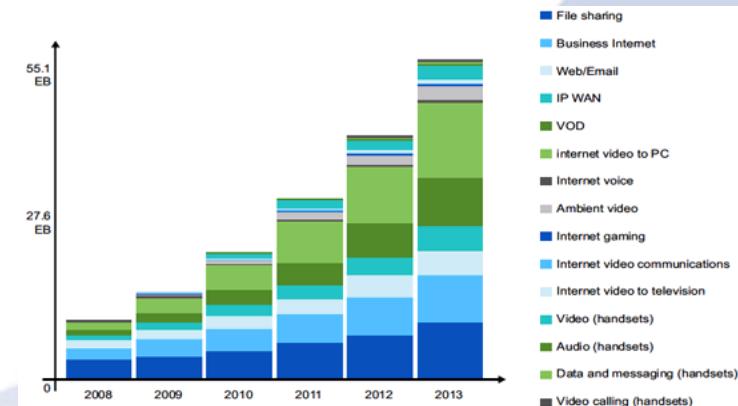


(来源：INFOCOM 1999)
互联网流量爆炸式增长

■ 传统互联网架构采用端到端设计原则，缺乏数据热度感知和智能调度

■ 业务请求模式与端到端的原则的不匹配导致大量重复数据产生，加剧互联网流量爆炸

- 思科视觉网络指数预测2015年全球流动数据量比2010年增长26倍



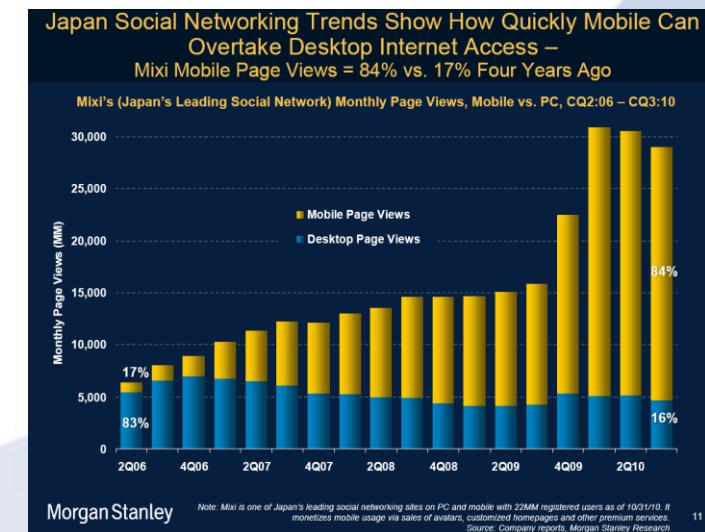
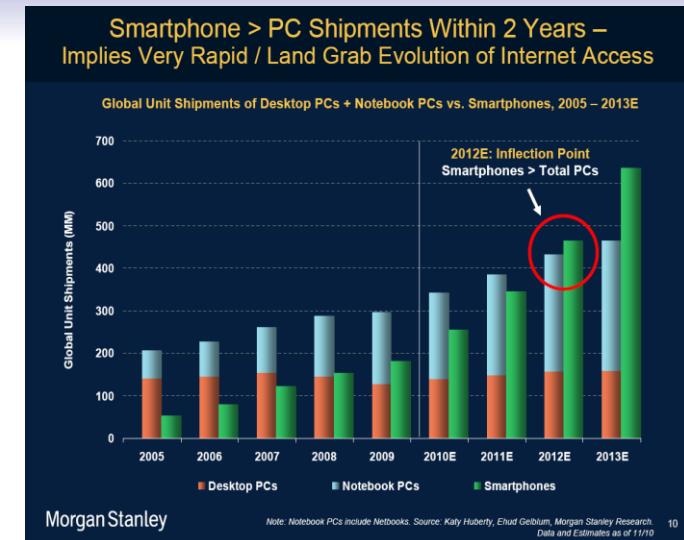
(来源：思科视觉网络指数(VNI))

- Web caching and Zipf-like Distributions: Evidence and Implications, Infocom 1999
- Traffic Modeling and Proportional Partial Caching for Peer-to-Peer Systems, IEEE/ACM Transactions on Networking, 2008

**问题2：面向端到端的常连接模式不
适应网络及其节点的动态性**

动态性

- 移动终端流量占网络流量的比重日益增加
 - 据摩根士丹利预测，移动终端的访问流量已经远远超过PC，移动终端总数将于2012年超过PC
 - 物联网节点能力受限，加剧网络不稳定性
- **P地址被赋予身份和位置双重功能，无法支持主机和IP地址的动态绑定，进而导致对移动性支持能力不强**
- **TCP/IP面向端到端的常连接，不能很好地适应网络的动态性，因而IEEE Computer Society已经将支持延迟容忍的移动环境新一代传输协议列为未来网络的重要研究课题**



(来源：摩根士丹利，Morgan Stanley)

问题3：网络体系结构自身**缺乏进化能力**，无法适应上层应用和底层传输技术的快速发展

自适应性问题

- 现有IP网络体系架构无法根据上层应用和底层传输技术的发展实现自动演进，网络面临可持续发展问题
 - ISP大约每6个月就要对网络进行人工升级，耗费大量资源
 - 斯坦福大学的McKeown等人在SIGCOMM08¹上指出，网络设备平台对二次开发的支持以及接口的完全开放是新型网络架构及协议自动演进的基本需求，而这些需求现有IP网络无法满足
- 应用和传输技术的快速更新增加了网络管理与控制的复杂性，设计具有自进化能力的网络体系结构有利于根据应用的不同需求和网络实时信息实现对底层网络资源的高效管控



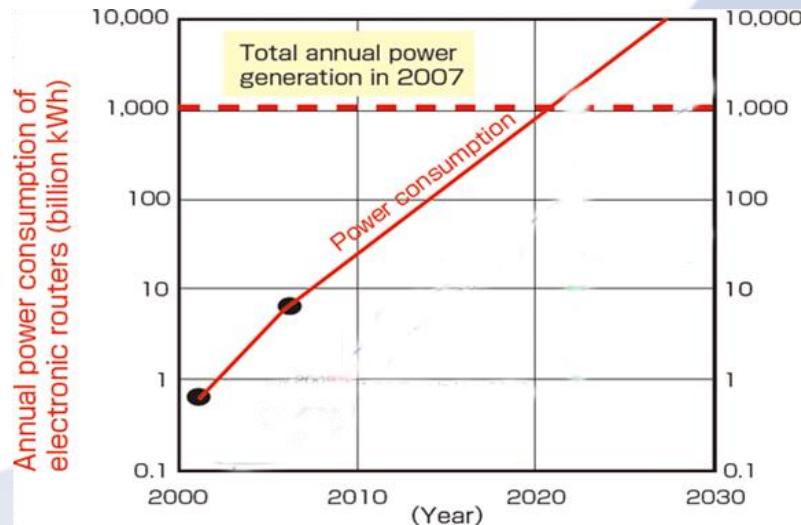
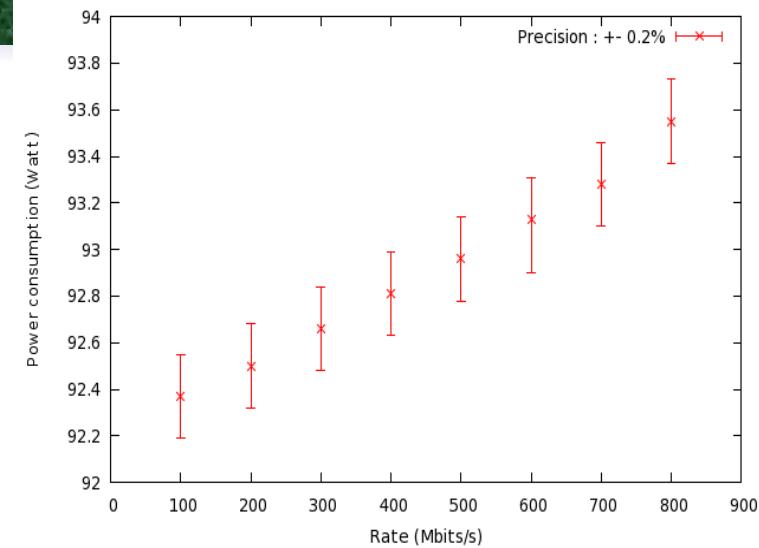
P1：相对固定的网络体系结构如何适应无法预测的应用？

1. OpenFlow: enabling innovation in campus networks, Sigcomm 2008

问题4：网络交换设备的高能耗使得 互联网陷入能源危机

高能耗问题

- 路由器等网络核心设备均采用满载的设计原则，然而，思科分析报告显示，当今网络骨干链路的带宽利用率不足40%，大量路由设备负载较低
 - 测试表明路由器在低负载和满载情况下的能耗非常接近¹，因此目前路由器大都工作在低负载、高能耗的模式下
 - 据Cisco分析统计报告，高端CRS-1路由器能耗高达兆瓦级
 - 解决能耗问题的两种方案
 - 设备级：使路由器能够根据负载状况自动实现部分模块或接口休眠
 - 网络级：结合流量分布，使低负载路径上路由器等网络设备休眠。例如GreenTE
1. On the Impact of Monitoring Router Energy Consumption for Greening the Internet, GRID2010



国家有关部门高度重视未来互联网技术研究

●中长期规划纲要

《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020）》中指出
下一代网络关键技术与服务----重点开发高性能的核心网络设备与传输设备、接入设备，以及在可扩展、安全、移动、服务质量、运营管理等方面的关键技术，建立可信的网络管理体系，开发智能终端和家庭网络等设备和系统，支持多媒体、网络计算等宽带、安全、泛在的多种新业务与应用。

●973项目

2012~2016	面向服务的未来互联网体系结构与机制研究	刘韵洁
2011~2013	物联网的技术理论与实践研究	刘海涛
2009~2013	新一代互联网体系结构理论研究	吴建平
2007~2011	可测可控可管的IP网的基础研究	孟洛明
2007~2011	一体化可信网络与普适服务体系基础研究	张宏科

●基金重点项目

2012~2016	后IP网络体系结构及其机理探索	谢高岗
2012~2016	移动网络用户智能主动服务理论与关键技术研究	陈俊亮

主要内容

- 未来网络研究的必要性与紧迫性
- 未来网络研究需要重视的四个问题
 - 未来网络研究的思维模式
 - 未来网络体系结构模型初探
 - 可编程高效路由器
 - 试验创新机制
- 计算所在未来网络方面的研究工作

未来网络研究的思维模式

研究未来网络需要打破思维定势

- 人工系统与自然界的物理系统不同，自然系统是“上帝”造的，遵循自然界的客观规律，一般不能“打破”。人工系统是人自己造的，过一段时间就可以颠覆，根据新的需要创造新的系统。
- 一旦一个人工系统被长期使用，就可能形成思维定势，认为现有系统难以撼动。所谓在“**飞行中不能换飞机发动机、在行驶中不能换汽车轮子**”就是这种思维定势。
- 未来网络与现有的互联网要不要兼容，兼容什么，兼容多少主要**不是技术问题而是市场问题**。如果未来的网络服务市场比现在大一个数量级以上，而现有互联网有些根本问题（如可扩展性、移动互联等）解决不了，不可能满足未来巨大市场的需求，转移成本可接受的非IP新网络就一定会取代现在的互联网。

研究未来网络的科研目标是 证明新网络的**潜力**不是**改进性能**

- 国内科研人员的习惯是提出一个新算法或设计一个新系统，找一些典型应用来验证自己的方案比现有系统好，因此常常把新算法或新系统的性能或效率放在第一位。
- 实际上性能和效率主要是工程问题，不应当是未来网络研究的主要科研目标。如果提出一个新方案比现在互联网好一点，但今后改进的余地已很小，这种方案不可能成为未来网络的选择。
- 未来网络研究的动机是**解决TCP/IP网络不能解决的问题**，通过理论证明或有科学根据的验证预测，确信新的网络结构、原理和协议能做现在互联网做不到或做不好的事，也就是重点在证明新网络的**潜力**。即使新网络现在实现的性能还不理想，只要很多企业介入，性能就能迅速提高。

切忌“只见树木、不见森林”

- 国外长期从事互联网研究的权威学者认为，我国许多关于未来网络的研究是“只见树木、不见森林”，习惯于对技术细节的改进而缺乏判断宏观市场和洞察未来的眼力。
- 现在做后IP网络研究的学者遭到的责难与质疑，与当年做IP网络遭到电信界的质疑十分相似。“IP细腰”的巨大成功就在于它既能支持“everything”又能“over everything”。现在的科研目标就是要根据新的应用需求找到类似“IP”的新的“细腰”。
- “端到端的通信”是IP网络的核心理念，而现在已经不是网络应用的主要需求。我们的内心深处仍被“端到端的通信”所笼罩，因此提出的新网络结构和原理总容易留下“端到端的通信”的痕迹。只有摆脱“通信网”的思想束缚，才能在未来网络研究中做出大的贡献。（能量传导与辐射的类比）

对未来网络，我们需要做些什么？

- 国外学者对中国未来网研究的评价¹： (in China) Longer-term research projects on innovative architectural research are **still in the cradle** compared to those of the United States and European Union.
(中国长期创新网络体系结构研究还处在**摇篮**阶段)
- 我们需要**做三件事**：第一是在统一的规划下从不同角度对未来网络开展基础前瞻研究²；第二是在集成独立研究成果基础上提出统一的架构和规则；第三是建立足够真实和规模的未来网络测试环境。
- 在分析当前互联网不可能满足未来需求时，需要**详尽的案例和数据**；对新提出网络的潜力要有**可信服的论证**。

—1 “A Survey of the Research on Future Internet Architectures”
IEEE Communications Magazine • July 2011

—2 美国的FIA计划同时开展**数据命名、移动互联、云计算服务和安全机制**研究

不要纠缠“革命”与“渐进”的争论

- 一讨论未来网络，就会争论走革命性 (clean slate)道路还是渐进式演化道路，或者“演进式革命”。这种**无聊的争论只会使我们永远走不出摇篮。**
- “一步行动胜过十打纲领”，扎实的基础性前瞻性研究一定会对互联网的演进有指导意义，后IP网络研究可以真正弄清楚现在IP网络那些地方必须改变，那些地方可以不改。
- 即使目标是革命性的新网络体系结构，其实现也可以采取逐步演进的方式。现有的节点和应用不做改变就应该可以和新建的网络互相通信。IPv6推广如此艰难证明一条真理：**要改变现有的网络去适应新的网络，这条路很难走通。**而Ethernet通过向后兼容得以大规模推广的成功经验对研究和构建未来网络有借鉴意义。（城市交通发展地铁的启示）

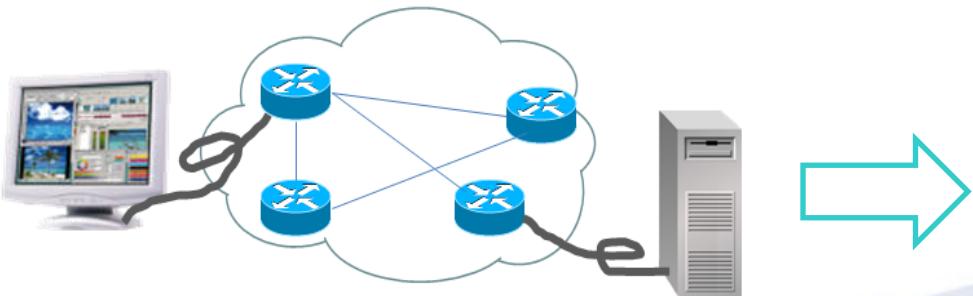
科研模式的创新探索

- 建国初期**两弹一星**的集中科研模式有许多成功的经验。上世紀50年代采取“**先集中后分散**”技术路线，来自全国的科研人员在中科院计算所共同努力研制第一代计算机的历史至今令人神往。
- 近20年来，单位的名誉和利益成了科研人员精诚合作的障碍，同行不是怨家就是对手，竞争有余，合作不足。所谓课题合作往往都是联合申请经费，分完钱后就各干各的事。
- 在未来网络的长期基础前瞻研究中，我们能不能在科研模式上有所创新，全国有志于未来网络研究的科研队伍共同以今天成立的**中国（南京）未来网路产业创新中心为基地，淡化单位色彩，努力拼搏10年**，争取在未来网络技术研究上做出实质性的贡献，使我国在网络技术和产业的国际竞争中有更大的话语权。
- 科研模式创新的意义决不亚于网络技术突破。新的科研模式要几方面突破：真正做到集中力量做大事；真正调动科研人员积极性；实现技术转移，促进我国网络产业做强，促进地方经济发展；获得中央和地方政府持续支持；调动理事单位积极性。

未来网络体系结构模型初探

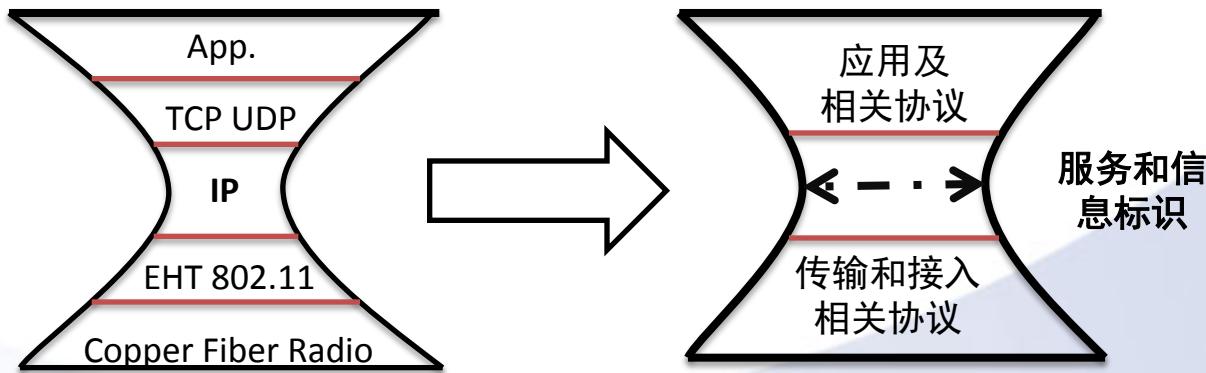
网络的作用究竟是什么？

- 在相当长的时间里，网络是计算机的互联，**以传输数据为目的**，使用IP地址标识计算机及其位置。
- 云计算、物联网和社会网络使得网络逐渐发展为机物互动的系统，**以服务或信息的生成、处理、传输和分发为目的**。
- 互联网是**信息和服务的互联**，未来互联网应该是**面向人的网络**（不是完全面向机器）



“细腰”结构如何改变？

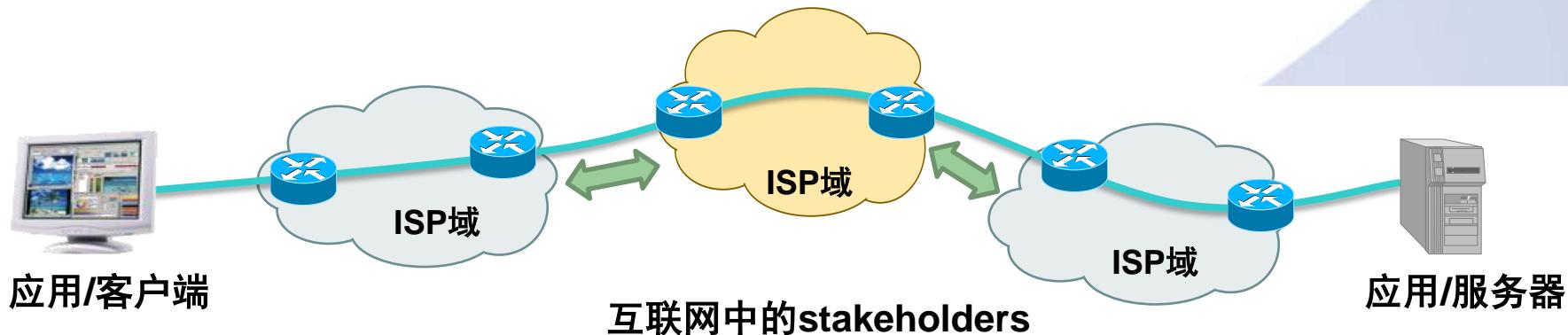
- “细腰”结构是层次化协议栈演化的必然结果¹
- TCP/IP结构把IP作为“细腰”是因为IP是计算机的标识，而网络看作是计算机的互联
- 网络逐渐成为信息和服务的互联，**信息和服务的标识应该成为体系结构相对稳定的部分**，即新的“细腰”
- 信息和服务标识把“细腰”在协议栈上向上移，将变得更加“宽”和多样性，有利于体系结构的演进¹



1: The Evolution of Layered Protocol Stacks Leads to an Hourglass-Shaped Architecture, Sigcomm 2011

执行模型：如何支持演进？

- 体系结构的演进涉及 ISP 域、设备、操作系统、应用以及应用提供商等，**最难改变的是域间路由和应用接口（成千上万的应用）**
 - 例证：IPv6 经过 15 年的努力仍然没有得到广泛应用，尽管设备、操作系统以及应用都已 IPv6-Ready¹
- **发展域间路由的可演进性和应用接口的可扩展性是体系结构演进的关键，如重定向、模块化设计思想等**
 - 如在数据包指定域间路由协议实现重定向，把域间路由和域内路由分离的模块化设计等

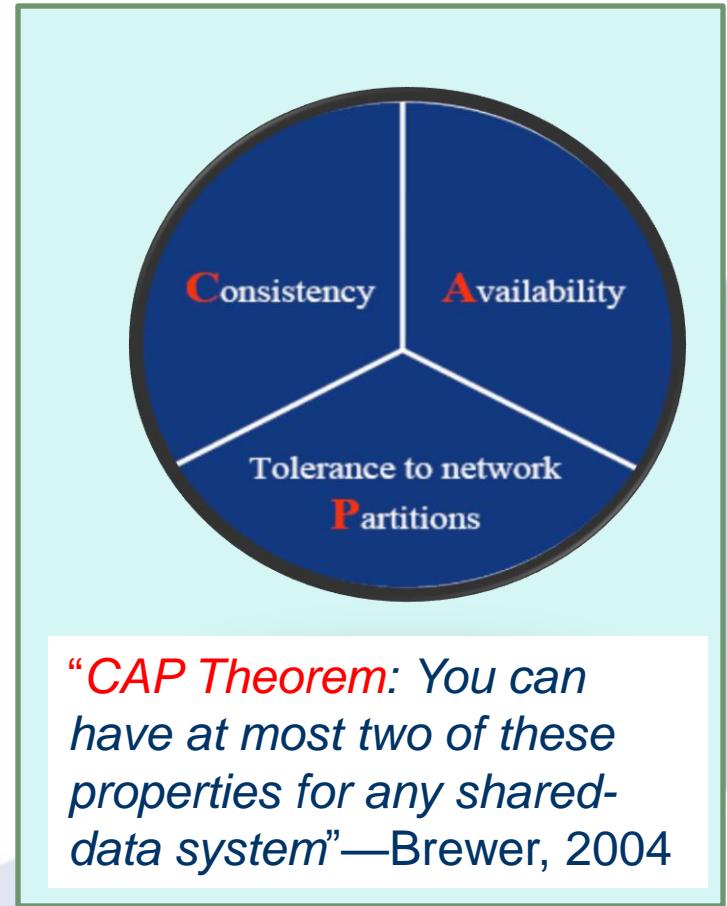


端到端原理思考

- 端到端原理已经被NAT和防火墙等中间设备打破，未来网络是否还需要遵循端到端？
- **E2E -> T2T (Trust-to-Trust) ---David Clark, 2007**
 - “Position function where it can be trusted to do its job.”
 - “Position trusted function around untrusted/unreliable components to compensate and correct for them”
- “端”是什么的抽象？**可信的计算机、信息和服务**
- 实现“端”的可信，重新回到端到端原理

CAP原理和未来网络

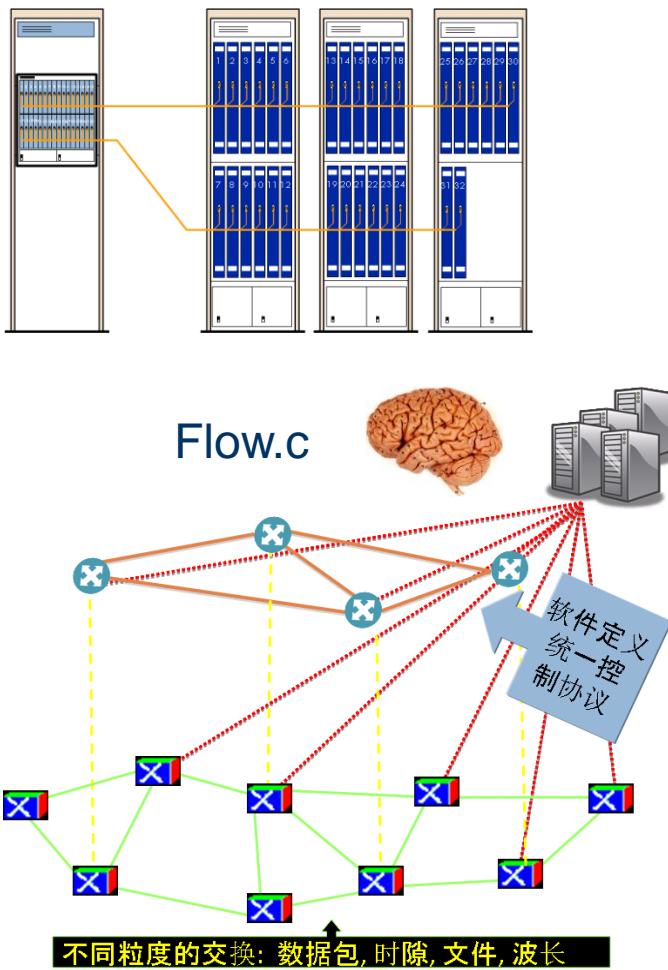
- 未来网络是集信息和服务的存储、计算和传输、分发的大规模分布式系统
- 根据CAP原理，只能获得一致性、可用性和网络分割容忍性的两个属性，**对于网络来说后两个属性是需要保证的**（类似于云计算平台）
- 通过牺牲一致性来优化网络的性能，但需要牺牲到什么程度？



可编程高效路由器

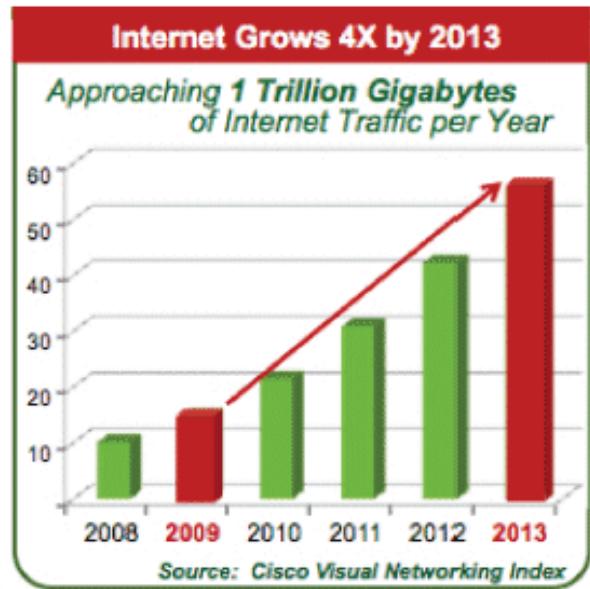
新型路由器需求：可编程

- 计算机系统与通信网络的融合，网络体系结构将持续演进



- 网络创新由边缘向核心推进：数据中心网络(DCN) 互联与路由率先创新，必将逐渐影响到核心网络
 - 传输与文件系统相结合
- 体系结构创新要求网络系统可软件定义、设备可编程
 - ServerSwitch, NSDI 2011 Best Paper
- 路由器信息处理模型与功能抽象需要重新定义
 - 传统路由器，数据包为核心：关键字抽取、关键字匹配、数据包动作
 - NDN：In-Network数据包处理

新型路由器需求：高效能



● 高性能

- 增长2倍
 - 流量9个月，存储12个月，芯片18个月
- 重新定义处理对象

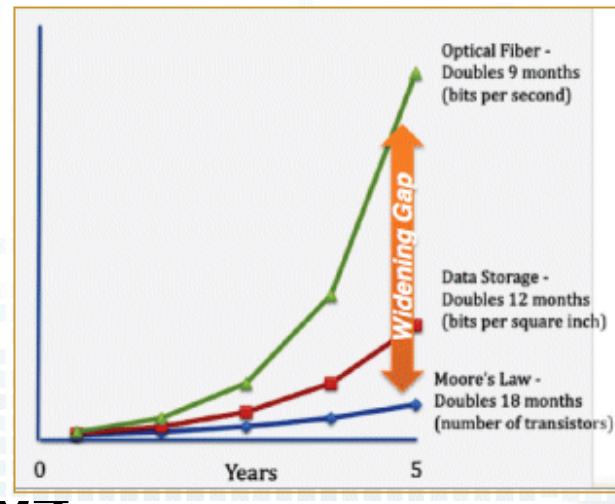
● 高能效

- 网络容量须按照峰值流量设计，流量潮汐规律
 - 实验证明路由器在空载仅仅比峰值功耗降低10%

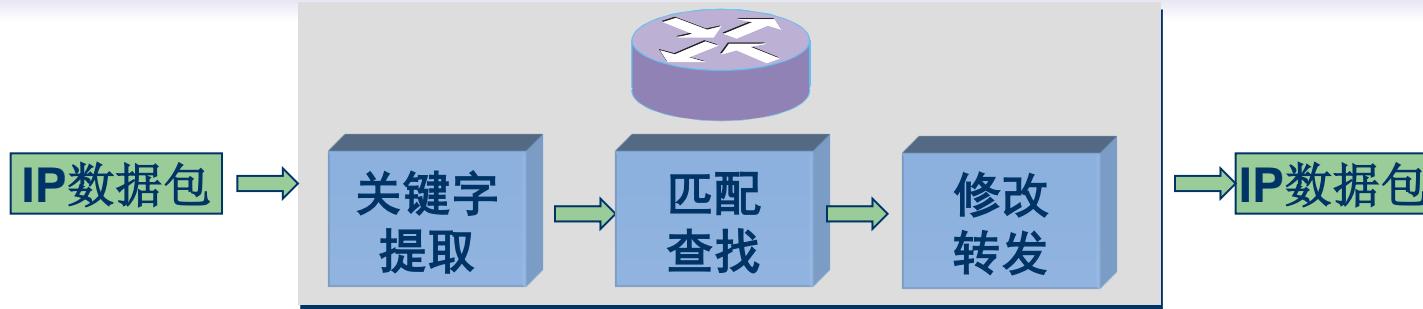
- 高能效不仅仅涉及芯片技术，更主要的是路由器体系结构与网络体系结构

● 资源灵活扩展

- 功能扩展与处理能力增量升级

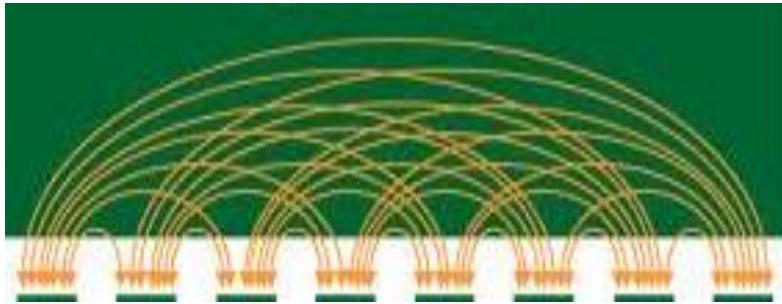


问题1：功能模型



- IP路由器数据平面具有公认的功能模型定义
- 新型路由器的功能模型需要重新定义与证明
 - 解决流量增长与摩尔定律的矛盾，**重新思考定义处理对象**：数据包或者数据包的集合？
 - NDN：Data Chunk
 - 功能与原语定义：**In-Network数据包处理**？
 - 例子：Cache、服务迁移实现资源的优化
 - 原因：存储性能提升大于芯片；用户对信息访问模式具有统计特征
 - 编程模型

问题2：可伸缩体系结构



● 功能可伸缩

- 网络持续演进决定了功能扩展性要求
- 信息处理原语执行单元可动态增加与组合，满足网络演进需求

● 例如：信息缓存与服务迁移

● 性能可伸缩

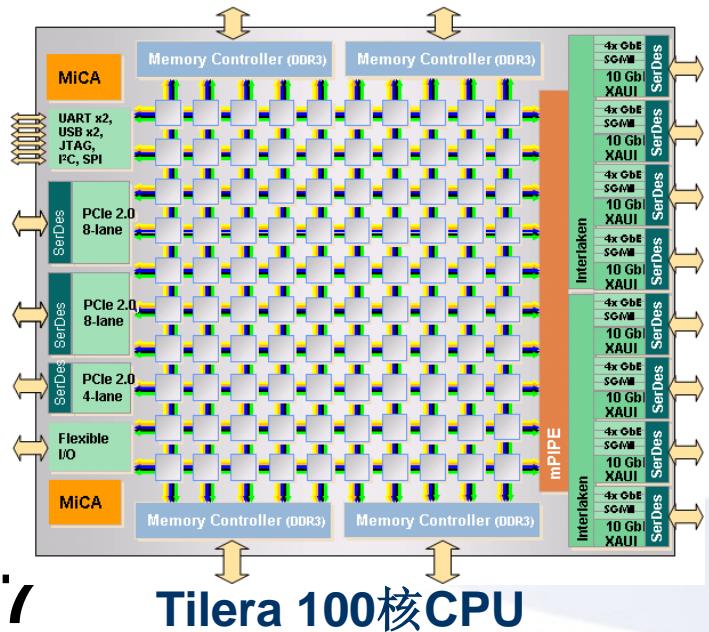
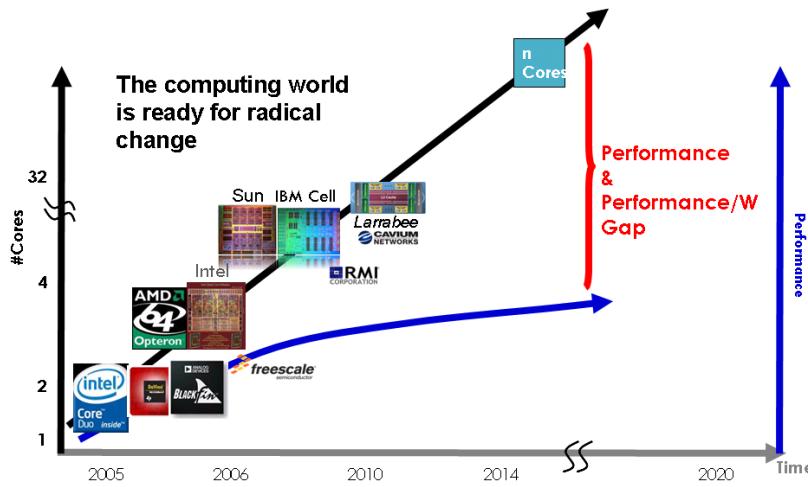
- 基于芯片特性与信息处理负载特征，透明增加各个异构处理资源

● 例如GPU（Sigcomm 2010）

● 虚拟化技术是实现统一接口的关键

- FPGA、TCAM、Multi-Core、Many Core、Switch Chip

问题3：异构环境并行算法



● 网络问题变成计算机系统问题

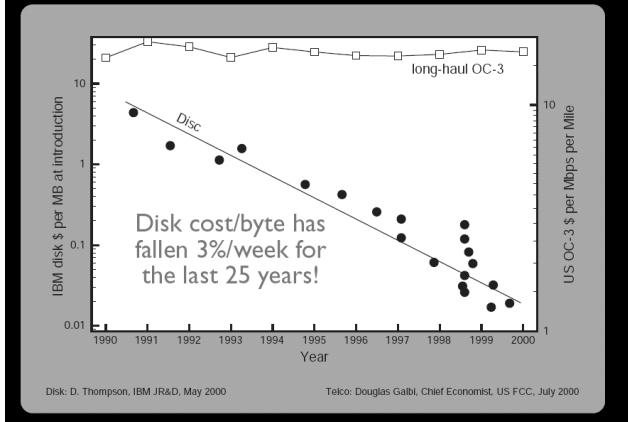
- 网络由接入、交换、路由、传输等要素逐步增加计算处理、虚拟分配、调度管理等要素
- 并行问题也成为是网络问题的面临的难题，随着多核芯片技术的发展，并行技术也是网络问题解决的手段

● 异构资源的时空高效并行算法

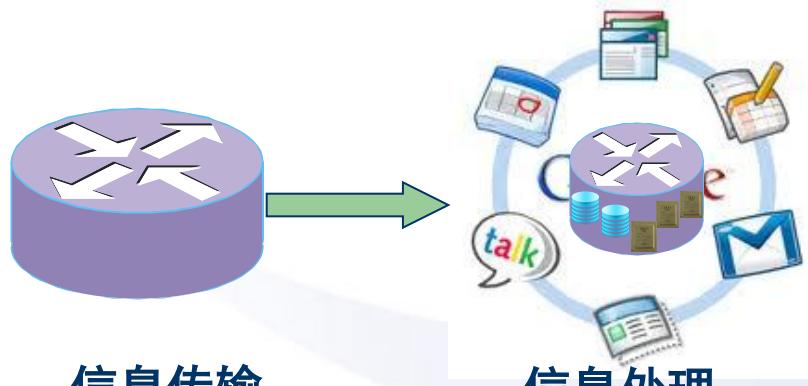
- 资源与处理动作抽象
- GPU、通用多核、众核并行信息处理算法
- 众核内存等共享资源访问

问题4：智能信息处理

Networking & storage cost evolution



- 网络系统转化计算机系统后，智能信息处理是网络系统具有的新优势
 - 存储与计算开销降低的速度远大于长距传输
 - 用户对服务质量的需求
- 智能信息处理技术是未来网络成为三元世界融合平台的关键
 - 人机物三元世界在网络中的标识，例如信息标识的自认证
 - 信息的理解与推送
 - 网络资源按照用户对信息的使用实现自适应服务迁移，实现资源的动态全局优化

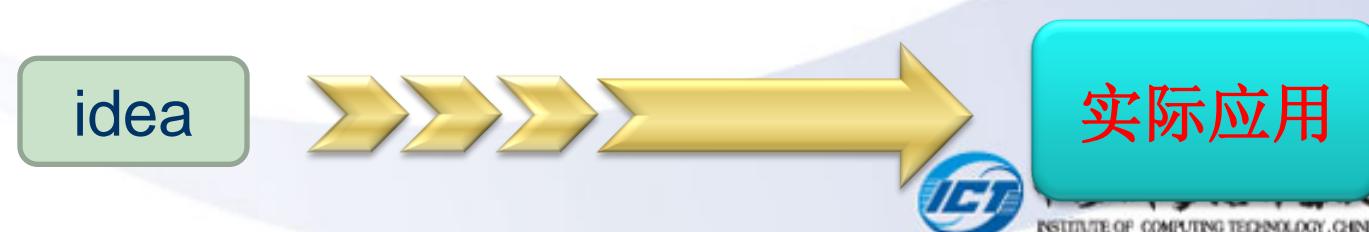


信息传输

信息处理

目标：加速网络技术创新

- 实验验证是互联网研究的基本方法，**满足网络技术创新试验验证需求**是未来网络试验创新机制研究的关键
- **灵活性**：支持网络分片、可编程，满足新技术试验验证
- **扩展性**：在网络试验规模、网络协议类型、用户接入方式等方面具有可扩展性。
- **开放性**：满足大规模未来网络技术研究人员的创新性技术试验验证需求
- **服务性**：以服务为体现形式，规范化测量基础设施，协助技术创新人员实现各种测量需求，降低测量任务负担



试验创新机制

试验创新的三个关键问题

● 问题1：如何建设试验床？

- 试验床需要涵盖无线/有线、固定/动态多种接入，需要支持现有和未来的各种试验和应用

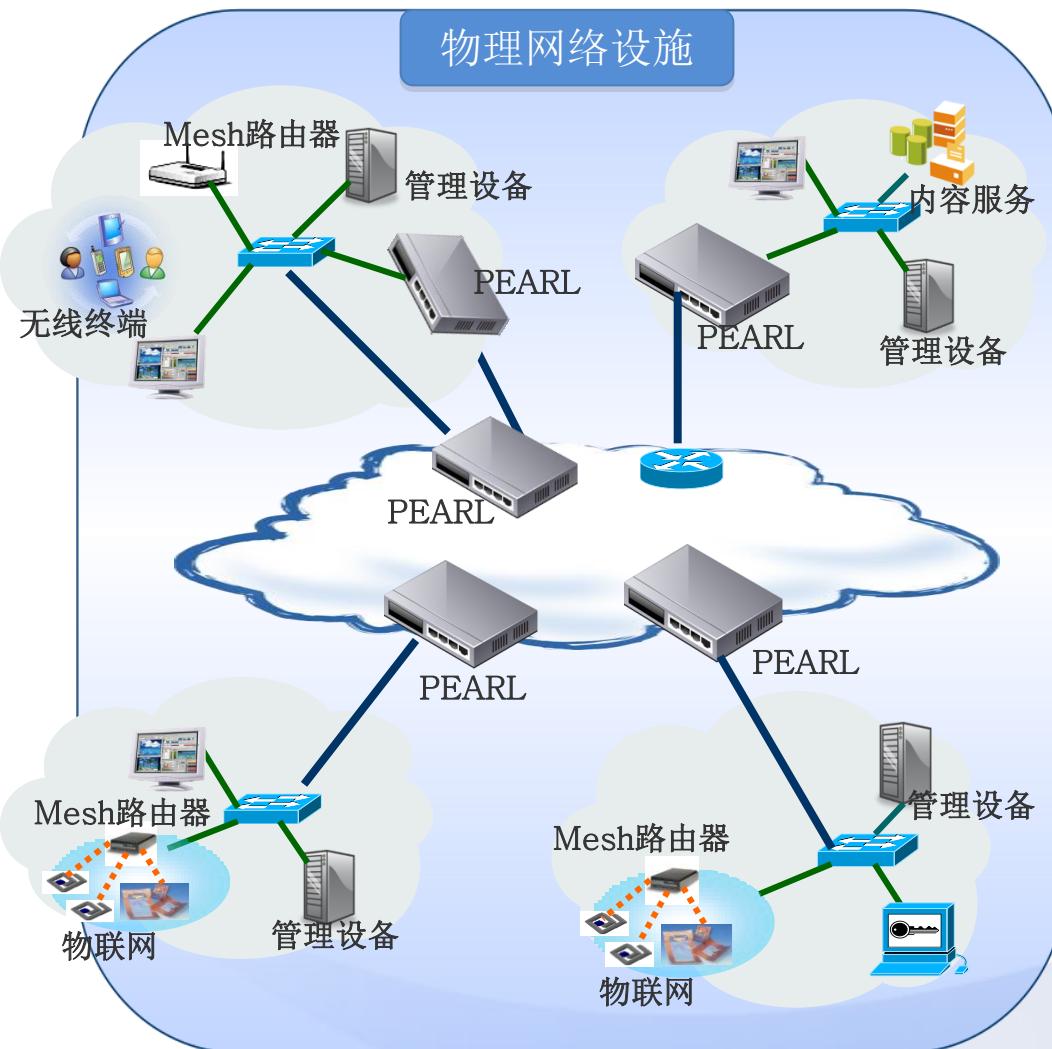
● 问题2：如何管理和控制试验床？

- 试验床将有多种试验并行，需要分配和管理试验资源，规范试验床的使用

● 问题3：如何测量和评估试验？

- 试验将是大规模和长期的，需要为试验提供测量和评估的框架和机制

问题1：试验床的建设



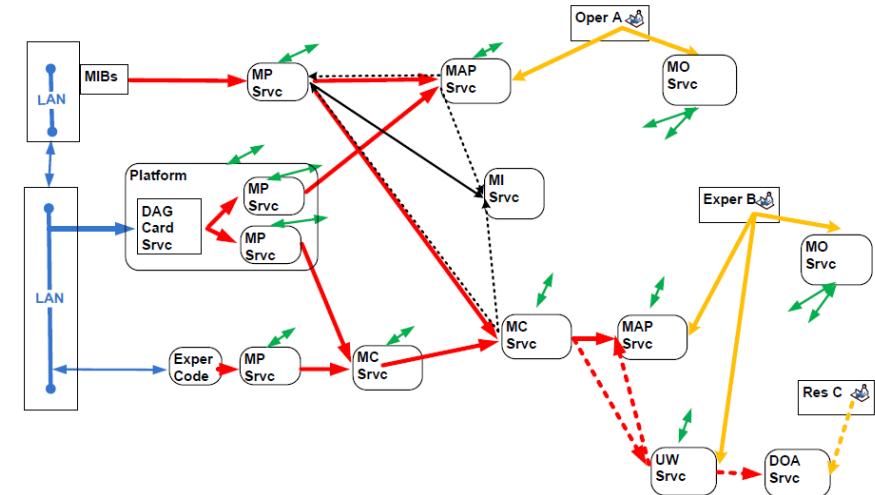
- 既满足网络创新，又兼顾实际应用，涵盖无线、有线多种接入及各种速率骨干互联
- 设计试验床建设需求
 - 节点需求：可编程、分片、存储需求
 - 互联互通需求：制定互联互通规范，提供接入标准接口
 - 数据源需求：提供真实数据，仿真数据等不同数据源

问题2：试验床控制管理

- 试验床建设目标：利用试验床为研究人员及其他用户提供服务
- 试验床控制管理
 - 资源管理，包括节点，链路，存储等，
 - 切片管理，切片的描述，与物理资源、用户等的关联
 - 用户管理，如何实现统一认证与授权，
 - 统一展示，包括物理拓扑，网络切片，试验状态等
 - 资源联邦，如何实现与其他试验床的互联互通

问题3：测量基础设施

- 测量基础设施为试验床管理人员及试验用户提供试验床运行及用户试验的实时状态和测量数据，同时提供测量数据的统一存储、调度、展示等
- 存在问题：
 - 测量基础设施设计与建设本身：测量点、数据采集、存储、数据展示、数据共享等
 - 如何实现测量与分片的融合，自动产生分片测量数据
 - 如何支持用户可编程测量
 -

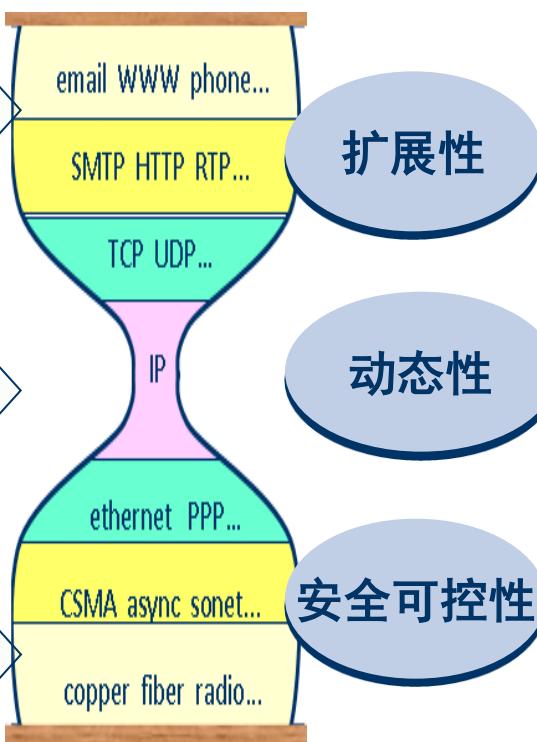


主要内容

- 未来网络研究的必要性与紧迫性
- 未来网络研究需要重视的四个问题
 - 未来网络研究的思维模式
 - 未来网络体系结构模型初探
 - 可编程高效路由器
 - 试验创新机制
- 计算所在未来网络方面的研究工作

中科院计算所未来互联网研究概况

需求与趋势



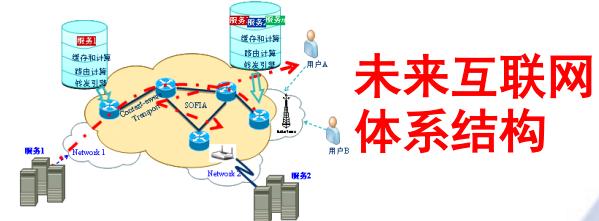
问题

扩展性

动态性

安全可控性

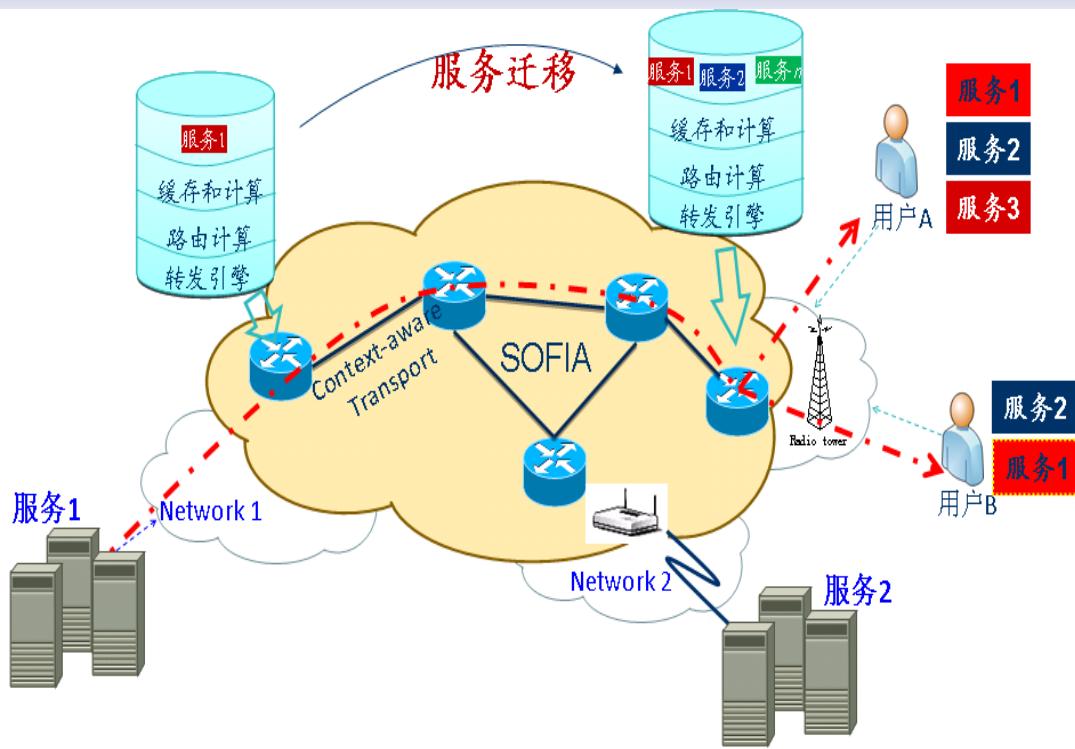
计算所未来网络研究



中国科学院计算技术研究所
INSTITUTE OF COMPUTING TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

未来互联网体系结构研究

重点研究的科学问题



海量差异化服务命名与查找

- 服务描述模型与命名
- 服务查找与组合

服务与物理设施动态复杂耦合

- 服务虚拟化复用基础理论
- 服务能力动态迁移与映射

可扩展服务路由与高效转发

- 高效互联结构
- 路由与转发方法

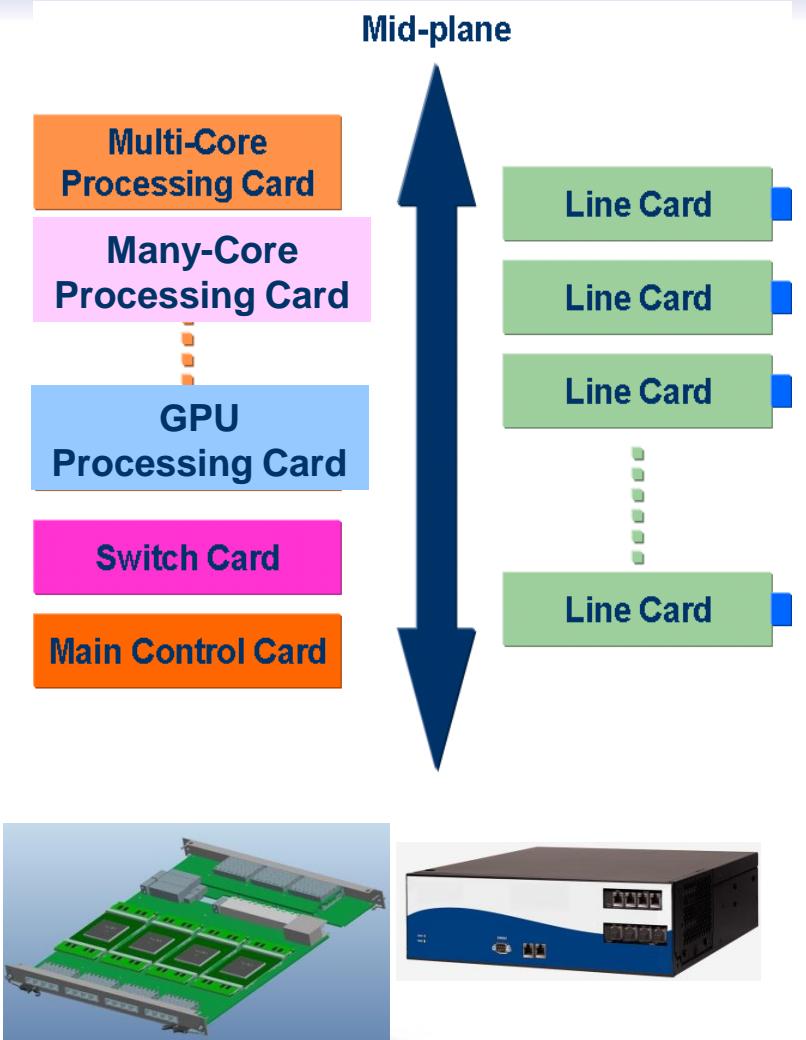
● 基于云海计算模式、通信与业务发展趋势，探索以服务为中心未来网络体系结构

- 摒弃TCP/IP端到端通信及服务模式，用户直接与服务建立连接，提供服务能力共享，通过服务迁移优化流量：解决扩展性
- 服务标识与位置分离，网络信息存储与处理能力，无需端到端常连接：解决动态性
- 服务资源和物理网络相互感知，提供服务级安全与控制机制：解决安全可控性

启动研究项目

- **面向服务的未来互联网体系结构与机制研究，国家973项目，2012-2015**
 - 提出的面向服务的新型互联网体系结构，重点研究服务标识及迁移机理、高效路由及智能传输机理、安全及可信机理
 - 合作单位：清华大学，北京邮电大学，...
- **后IP网络体系结构及其机理研究，国家自然科学基金重点项目，2012-2015**
 - 重点研究可持续演进的网络体系结构模型与评估方法
 - 合作单位：清华大学、北京邮电大学
- **EINS: European INternet Sciences，欧盟FP7，2012-2014**
 - 重点研究网络科学模型，特别关注资源访问模型的刻画
 - 合作单位：剑桥等28个欧盟大学和研究所，计算所等4个非欧盟大学和研究所

可编程虚拟化路由器 (PEARL)



● 应用

- 未来互联网试验床
- 数据中心网络

● 系统概况

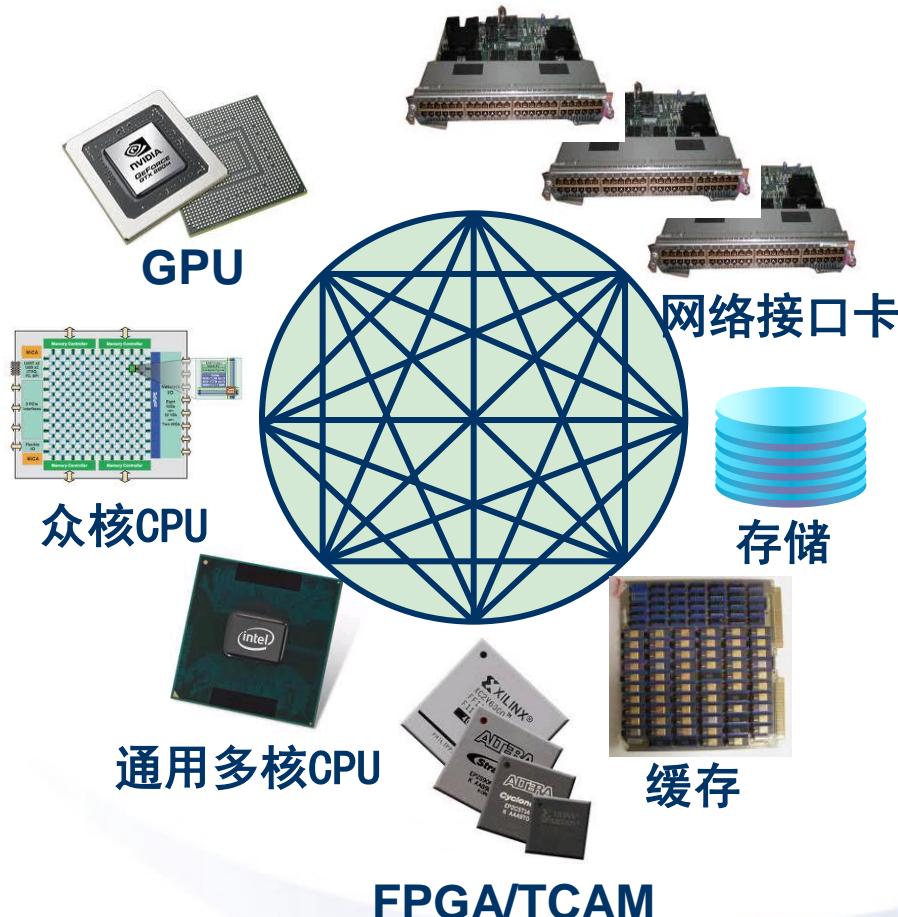
- 机箱结构: 单机箱最大14槽, 双星型结构
- **480 Gbps**背板数据交换能力
- 数据与控制平面灵活可编程, 脚本自定义体系结构与协议栈
- 至少并行支持**128个异构虚拟路由器实例**
- 高性能, 可扩展, 资源动态可隔离
- **OpenFlow、IPv4/v6、SOFIA、NDN**

● 重点解决的问题

- 新型高效可编程路由器体系结构
- 可编程高性能数据包处理基础理论与方法

● 已完成验证系统, PEARL II预计**2012年提供测试**

PEARL III 主要特性



- 高速交换网络与多种高速接口：实现异构处理资源与接口高速互联，数据平面的灵活配置定义
- 数据平面中信息处理功能自由扩展，互联结构与协议实现可编程，**网络系统软件可定义**
- 灵活增加GPU、CPU等处理资源，实现**性能可扩展与低功耗**

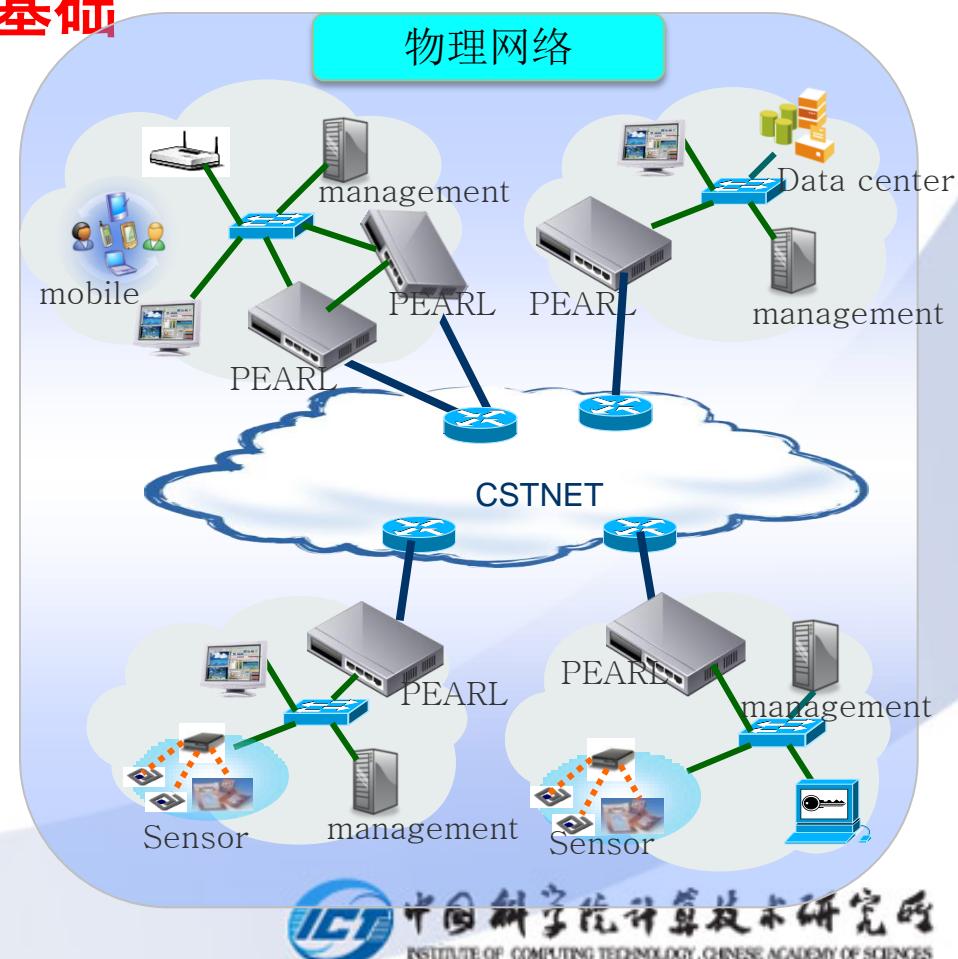
未来网络创新试验环境

- 创建具有一定规模、虚拟化、可编程、可测、联邦可扩展、绿色的网络实验基础平台，**为未来网络研究和国家未来创新环境基础设施建设奠定基础**

- 未来网络体系结构探索
- 关键核心技术的研究
- 设备研发与业务创新
- 系统相互作用机理揭示

● 实验验证

- 未来网络体系结构
- 物联网
- 云计算
- 光网络
- 三网融合
- 网络安全



总结

- 人机物三元融合和云海计算的模式使得网络在可扩展性、动态性、自适应性等方面，需要重新考虑网络体系结构和协议的设计。
- 未来网络研究需要从四个问题取得突破，即思维模式、未来网络体系结构模型、可编程高效路由器以及试验创新机制。
- 中科院计算所已经在未来网络体系结构、可编程虚拟化路由器平台以及试验床三个方面开展工作，已取得初步成果。



请批评指正！



中国科学院计算技术研究所
INSTITUTE OF COMPUTING TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES