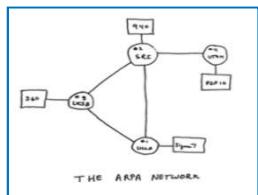


第一章 引言

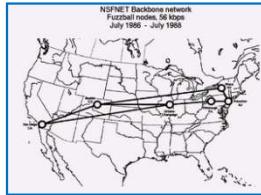
计算机网络的历史和新进展



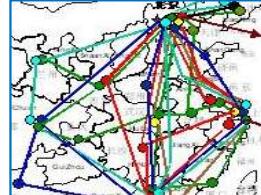
前言



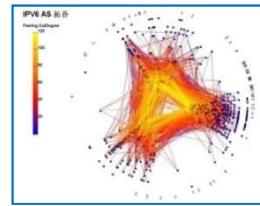
4个节点



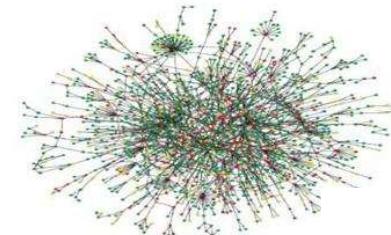
11个节点



突破1亿台



近50亿台



近1000亿台

1969年

1971年

1996年

2015年

2020年

- 计算机网络（互联网）是信息社会的基础设施，已经成为网络空间（**Cyberspace**）是陆、海、空、天之后的人类“第五空间”
- 体系结构是计算机网络的骨架
- 协议是计算机网络的心脏、血液和神经



主要内容

- 计算机网络概述
- 互联网的发展和成功经验
- 互联网的核心思想：分组交换
- 国际高速计算机网络研究计划
- 中国高速计算机网络研究计划



什么是网络 -- 从普通用户的角度看

- 网络提供的最基本服务：信息传递
 - 信鸽、烽火、信使、卡车、电报、电话、互联网...
 - 类比运输服务：物体的传递
 - 马车、火车、卡车和飞机
- 不同的网络用什么区分?
 - 所提供的服务
- 服务用什么区分?
 - 功能、延迟、带宽、丢失率、端节点数目、服务接口、可靠性、实时/非实时等外特性



什么是网络 -- 从专业技术的角度看

- 电子、光子等作为信息载体
- 链路：光纤、电缆、卫星链路等
- 交换节点：机械/电/光
- 协议：**TCP/IP, ATM, MPLS, SONET, Ethernet, PPP, X.25, FrameRelay, AppleTalk, IPX, SNA**
- 功能：路由，差错控制、拥塞控制、服务质量(**QoS**)
- 应用：**FTP、HTTP、DNS...**



网络类型

- 空间距离
 - 局域网 (LAN): 以太网、令牌环、FDDI
 - 城域网 (MAN): DQDB, SMDS, RPR
 - 广域网 (WAN): X.25, ATM, Internet
 - 个域网 (PAN), 家庭网络 (HAN), 星际网络/空间网络
- 信息类型
 - 数据网络 vs. 电话网络
- 应用类型
 - 专用网络: 飞机订票网, 银行网, 信用卡网
 - 通用网络: Internet



网络类型（续）

- 使用权
 - 私有: 企业网
 - 公用: 电话网、Internet
- 协议的所有权
 - 私有: SNA
 - 开放: IP
- 技术
 - 地面 vs. 卫星
 - 有线 vs. 无线
 - ...
- 协议
 - IP, AppleTalk, SNA...



计算机网络发展历史

- 计算机网络的形成
 - **1940年代, 计算机诞生, ENIAC...**
 - **1950年代, 大型机 (Mainframe) , 多终端系统**
 - **1960年代, 计算机网络研究, Packet Switch vs Circuit Switch.**
 - **1969年, ARPANET启动**
- **1970年代的计算机网络**
 - **X.25 分组交换网: 各国的电信部门建设运行**
 - **各种专用的网络体系结构: SNA, DNA**
 - **Internet 的前身ARPANET进行实验运行**
- **1980年代的计算机网络**
 - **标准化计算机网络体系结构: ISO/OSI**
 - **局域网络 LAN 技术空前发展**
 - **建成NSFNET, Internet 初具规模**



计算机网络发展历史（续）

- **1990年代的计算机网络**
 - Internet商业化，空前发展
 - Web技术在Internet上得到广泛应用
- **2000年以后的计算机网络**
 - 网络应用大发展
 - 搜索引擎：Google, 百度...
 - 社交网络：Facebook, Twitter, QQ, 微博, 微信...
 - P2P昙花一现，区块链影响深远
 - 移动互联网产业发展迅速
 - IPv6网络快速发展



互联网发展历史

- 1969年，**ARPANET**诞生
- 1970年代，**ARPANET**作为研究项目，带宽为**56kbps**，连接计算机不超过**100**台
- 1979年，**TCP/IP**成熟
- 1980–83，**APPANET**和**MILNET**分开，**ARPANET**采用**TCP/IP**协议
 - 1982年12月31日，美国军方从**NCP**协议全部改为**TCP/IP**协议
- 1983年，**BSD UNIX**内含**TCP/IP**
- 1985–86，**NSF**开始建设**NSFNET**，作为骨干网连接**6**个超级计算机中心，带宽为**1.544Mbps**，连接**10,000**台计算机
 - **NSF**在**IBM**（捐赠50台**RISC6000**），**MCI**（捐赠线路），**Merit**（密西根大学一些人成立的非营利公司）的支持下，建成**NSFNET**
 - 1986年**Cisco**公司成立

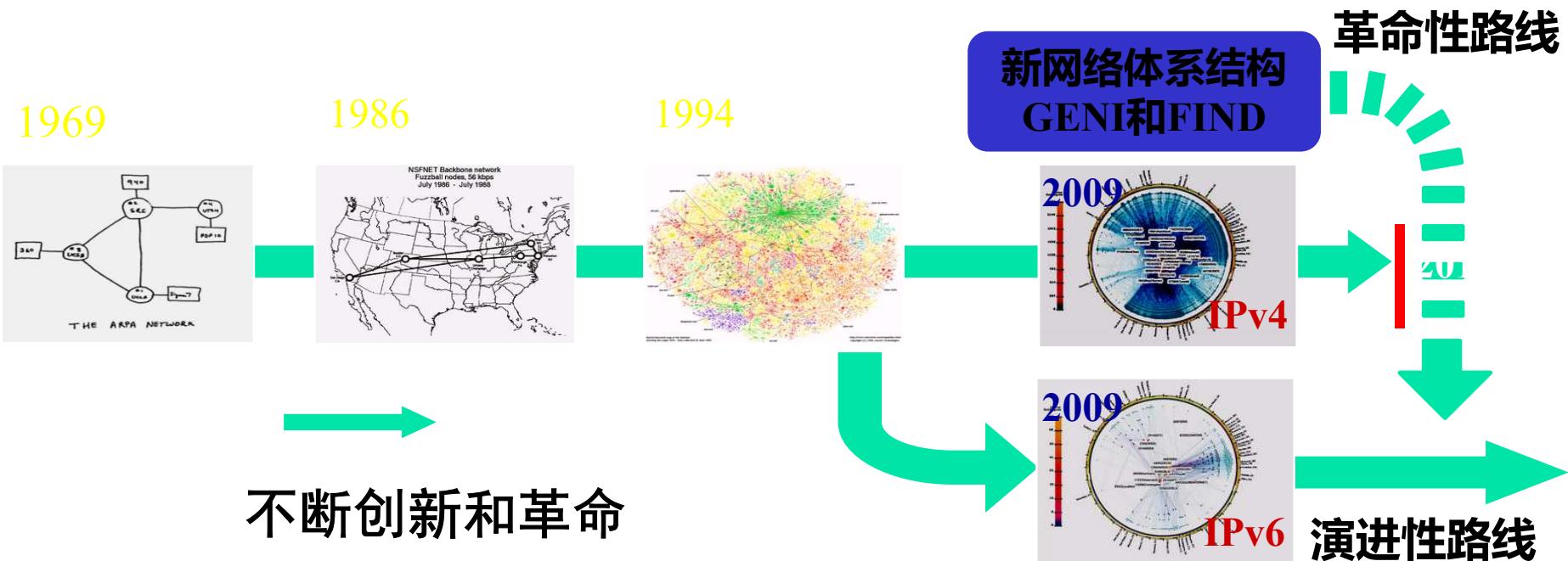


互联网发展历史（续）

- **1987 – 90**, **NSFNET**连接地区网络: **NSI**, **ESNET**, **DARTnet**, **TWBNet**, 计算机数量超过**10万台**
- **1990 – 92**, **NSFNET**网络带宽发展到**45Mbps**, 连接**16**个地区网络
- **1994**年, **NSFNET**骨干网解体, 出现多个商用骨干网: **ANS**, **MCI**, **Uunet**, **Sprint...**
- **2004.1**, 全球主要学术网宣布开通**IPv6**服务
- **2011.2.3**, 全球互联网名称与数字地址分配机构**ICANN**宣布**IPv4**地址耗尽
- 今天: **Internet**骨干网的速率达到**100Gbps**, 连接**150**多个国家的计算机



互联网演进路线





全球互联网用户统计

WORLD INTERNET USAGE AND POPULATION STATISTICS 2020 Year-Q2 Estimates

World Regions	Population (2020 Est.)	Population % of World	Internet Users 30 June 2020	Penetration Rate (% Pop.)	Growth 2000-2020	Internet World %
Africa	1,340,598,447	17.2 %	566,138,772	42.2 %	12,441 %	11.7 %
Asia	4,294,516,659	55.1 %	2,525,033,874	58.8 %	2,109 %	52.2 %
Europe	834,995,197	10.7 %	727,848,547	87.2 %	592 %	15.1 %
Latin America / Caribbean	654,287,232	8.4 %	467,817,332	71.5 %	2,489 %	9.7 %
Middle East	260,991,690	3.3 %	184,856,813	70.8 %	5,527 %	3.8 %
North America	368,869,647	4.7 %	332,908,868	90.3 %	208 %	6.9 %
Oceania / Australia	42,690,838	0.5 %	28,917,600	67.7 %	279 %	0.6 %
WORLD TOTAL	7,796,949,710	100.0 %	4,833,521,806	62.0 %	1,239 %	100.0 %

NOTES: (1) Internet Usage and World Population Statistics estimates are for July 20, 2020. (2) CLICK on each world region name for detailed regional usage information. (3) Demographic (Population) numbers are based on data from the [United Nations Population Division](#). (4) Internet usage information comes from data published by [Nielsen Online](#), by the [International Telecommunications Union](#), by [GfK](#), by local ICT Regulators and other reliable sources. (5) For definitions, navigation help and disclaimers, please refer to the [Website Surfing Guide](#). (6) The information from this website may be cited, giving the due credit and placing a link back to [www.internetworldstats.com](#). Copyright © 2020, Miniwatts Marketing Group. All rights reserved worldwide.



中国计算机网络的发展历史

- **1970年代末开始**
- **1980年代**
 - 局域网
 - OSI网络体系结构
 - 低速广域网（电话线）
- **1990年代**
 - 局域网：Novell, TCP/IP
 - X.25广域网及其应用
 - 国民经济信息化建设高潮：“金”字工程（金关、金卡、金盾、金智、金土...）
 - Internet在中国开始大规模发展
 - 1995年，CERNET建成
 - 1990年代末，自主研制成功中低端IPv4路由器



中国计算机网络的发展历史（续）

- **2000年以后**
 - 推动以IPv6为基础的下一代互联网，CNGI
 - 2006年，CNGI-CERNET2建成，国产设备占50%以上
 - 2001年，自主研制成功IPv4核心路由器
 - 2004年，自主研制成功IPv6核心路由器
 - 积极参与国际标准制订，在IETF等标准化组织中影响力不断提高



互联网在中国发展迅速

- 1987年，中国第一个电子邮件发到**Internet**
- 1990—1993，通过**X.25**与国际连网
 - Tunet建成（清华第一代校园网，用自己研制的X.25交换机）
- 1994年，中科院高能所，**64K**连接日本
- 1995年
 - **CERNET**: 骨干网**64K**专线，国际线路**128K**连接**Sprint**
 - **Chinanet**: **64K + 64K**连接**Sprint**
- 1996年，**ChinaGBN**: **64K**连接**Sprint**
- 逐渐形成三大运营商网络（电信、联通、移动）、中国教育网**CERNET**和中国科技网**CSTNET**
- 互联网应用发展迅速，**BAT**各领风骚



中国互联网用户

- **2008.6**, 互联网用户数超过美国，成为全球第一
- **2020.3**, 互联网用户超过**9.04亿**，普及率**64.5%**



来源：**CNNIC** 中国互联网络发展状况统计调查

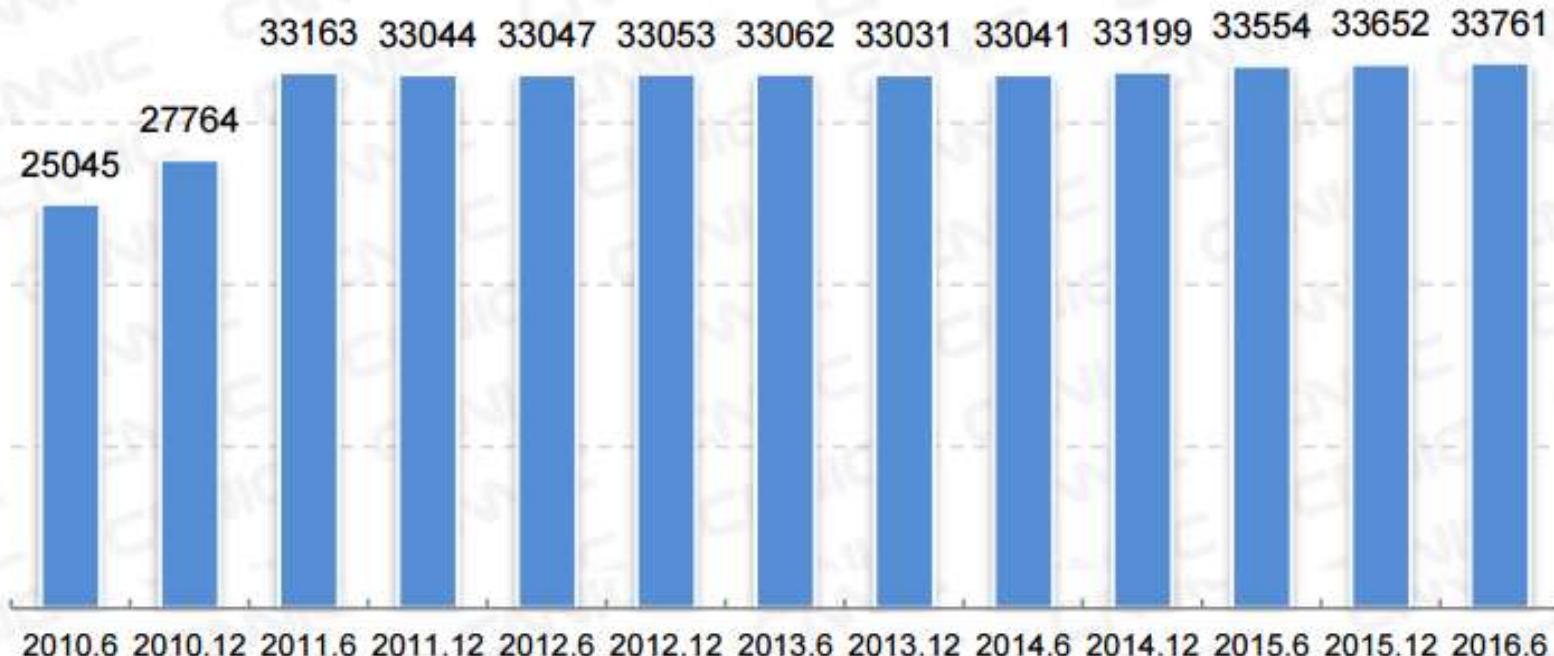
2020.3



中国互联网IPv4地址统计

万个

中国IPv4地址资源变化情况



来源：CNNIC 中国互联网络发展状况统计调查

2016.6



中国互联网IPv6地址统计

单位：块/32

IPv6地址数量



来源：**CNNIC**中国互联网络发展状况统计调查

2019.12



主要内容

-
- 计算机网络概述
 - 互联网的发展和成功经验
 - 互联网的核心思想：分组交换
 - 国际高速计算机网络研究计划
 - 中国高速计算机网络研究计划

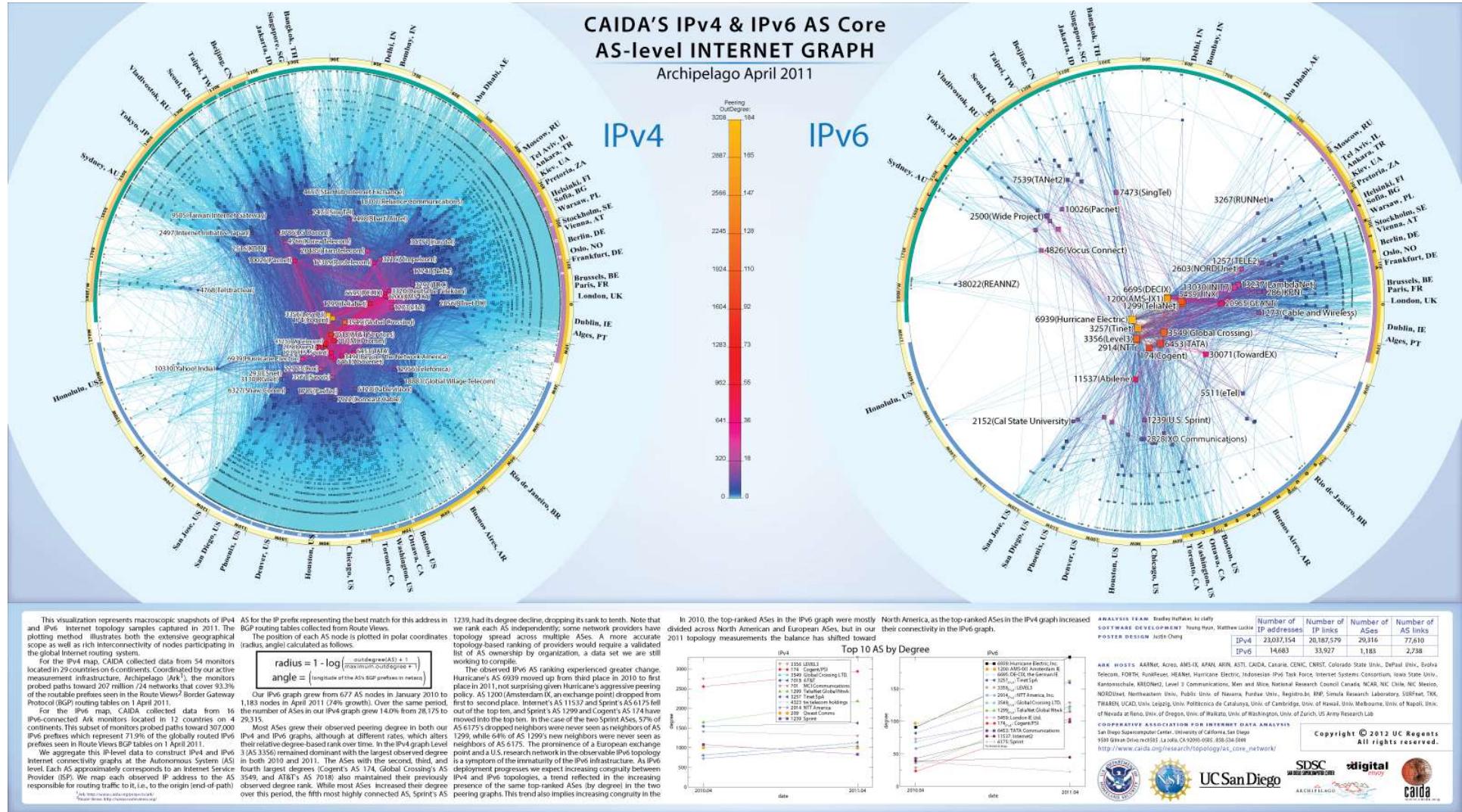


互联网 (Internet)

- 全球范围、通用、异构的公用计算机网络
- 开放的标准
 - **Internet Engineering Task Force (IETF) 负责标准的制订、维护和协调**
- 是其他类型网络的技术基础
 - **企业内部网 (Intranet)**



IPv4/IPv6 网络互联关系图

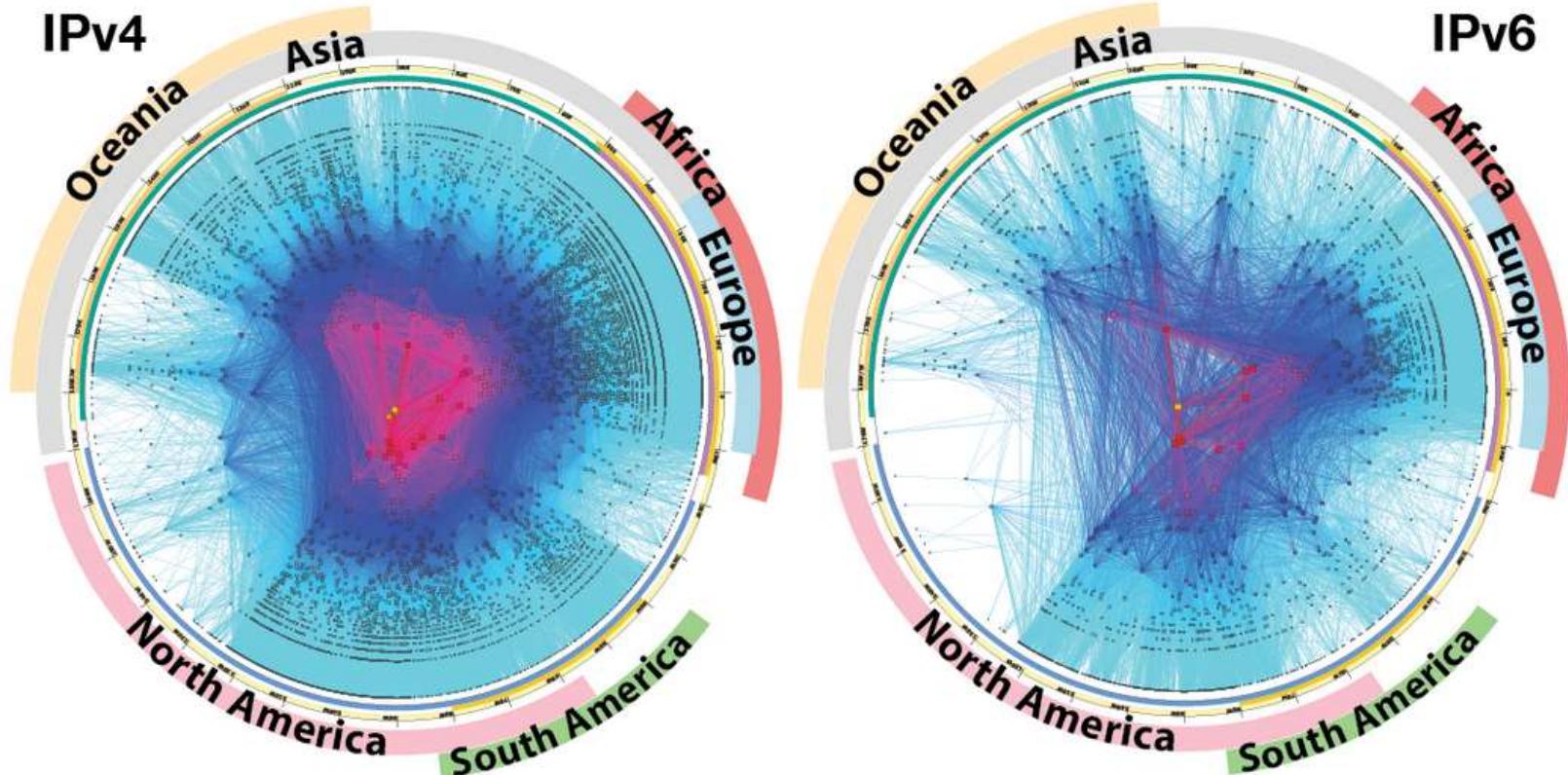




IPv4/IPv6 网络互联关系图

CAIDA's IPv4 vs IPv6 AS Core AS-level Internet Graph

Archipelago July 2015





互联网发展规模和趋势

- **Internet** 的发展速度
 - 是历史上发展最快的一种技术
 - 以商业化后达到 5000 万用户为例
 - 电视用了13年，收音机用了38年，电话更长
 - **Internet** 从商业化后达到 5000 万用户用了4 年
- **Internet** 正在以超过摩尔定理的速度发展



网络时代的三大定律

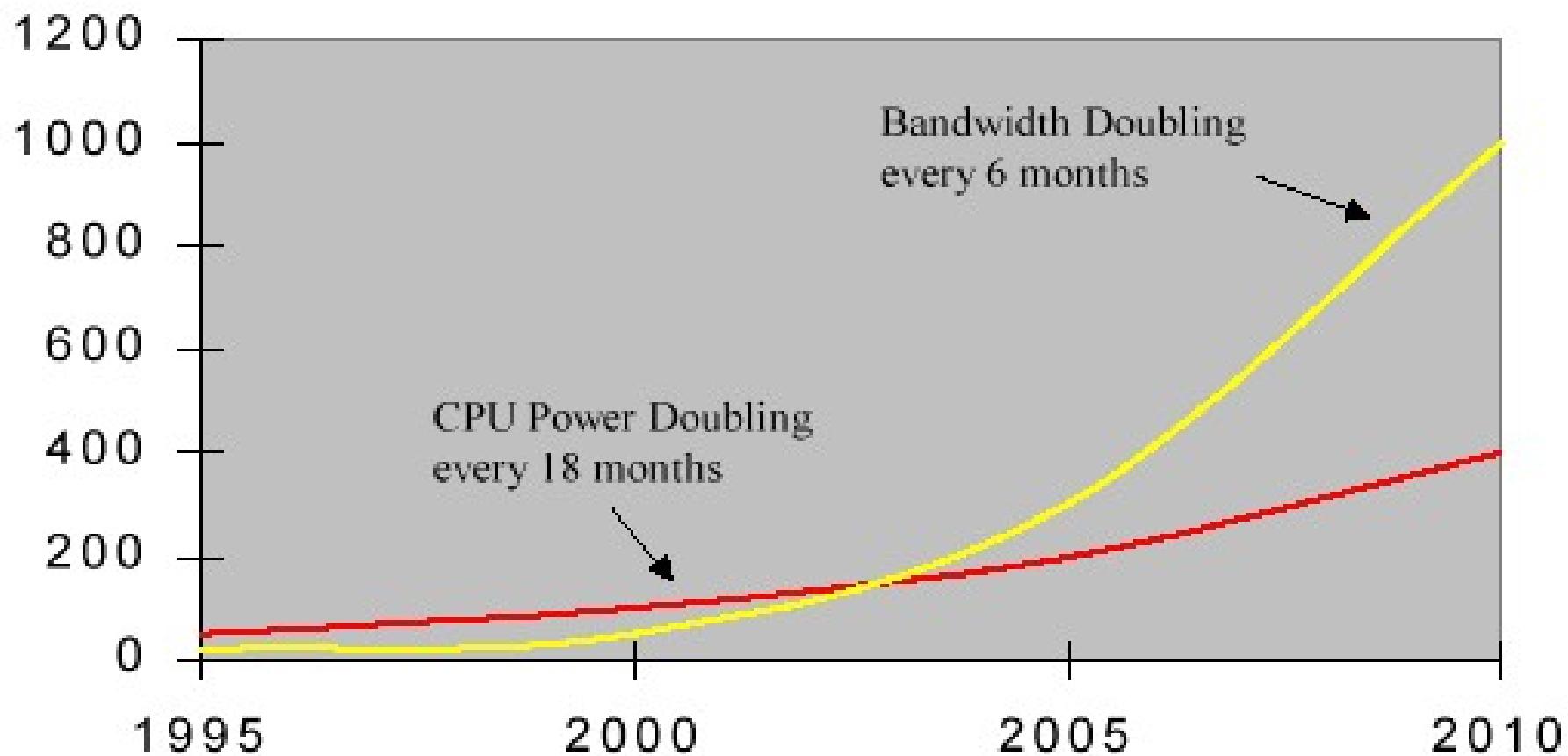
摩尔定律：
CPU性能**18**个月翻番，**10**年**100**倍。
所有电子系统
(包括电子通信
系统，计算机)
都适用

光纤定律：
超摩尔定律，骨
干网带宽**9**个月
翻番，**10**年
10000倍。带宽
需求呈超高速增长
的趋势

迈特卡菲定律：
联网定律，
网络价值随用户
数平方成正比。
未联网设备增加
N倍，效率增加
N倍。联网设备
增加**N**倍，效率
增加**N²**倍

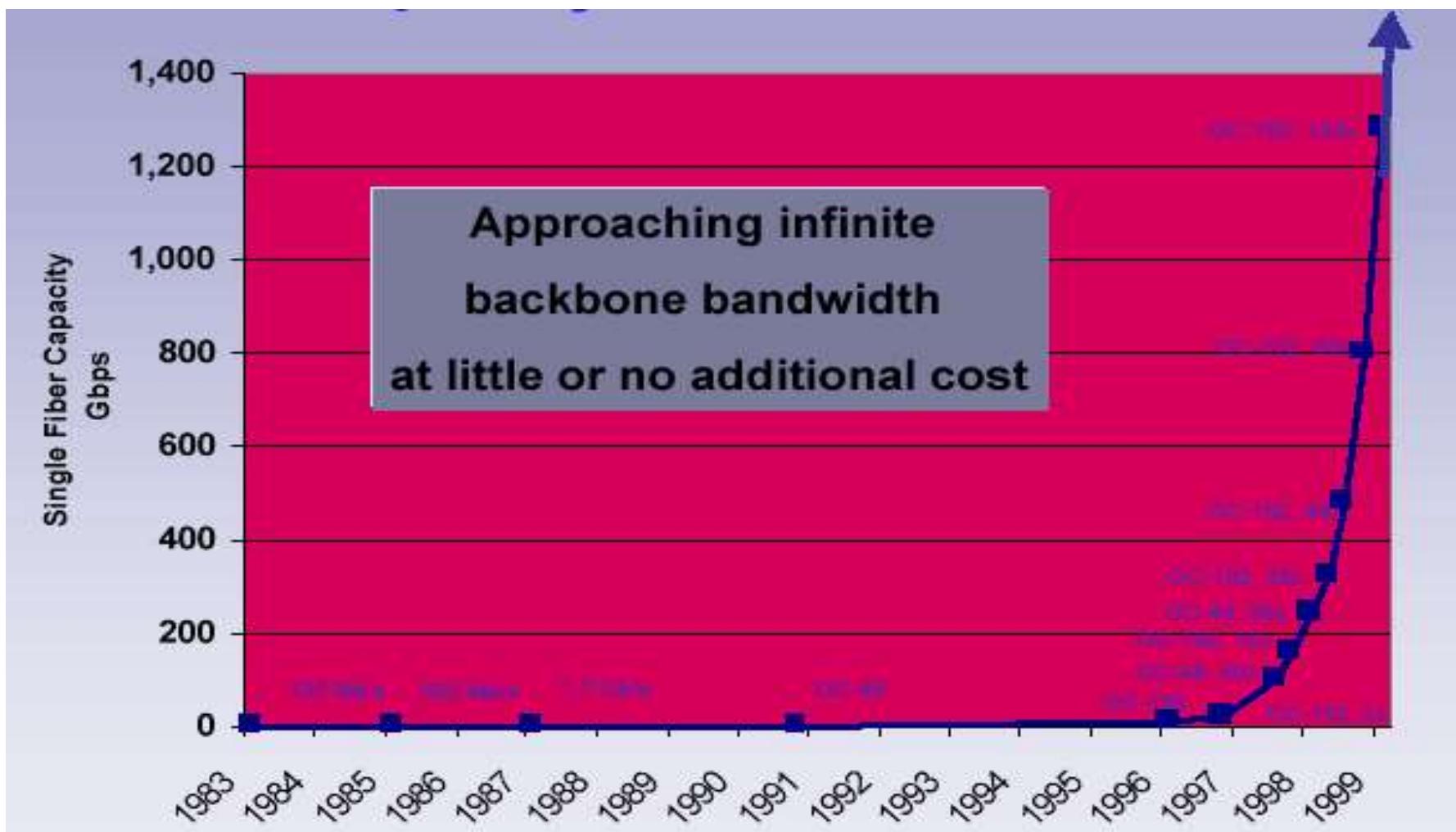


网络带宽与CPU性能





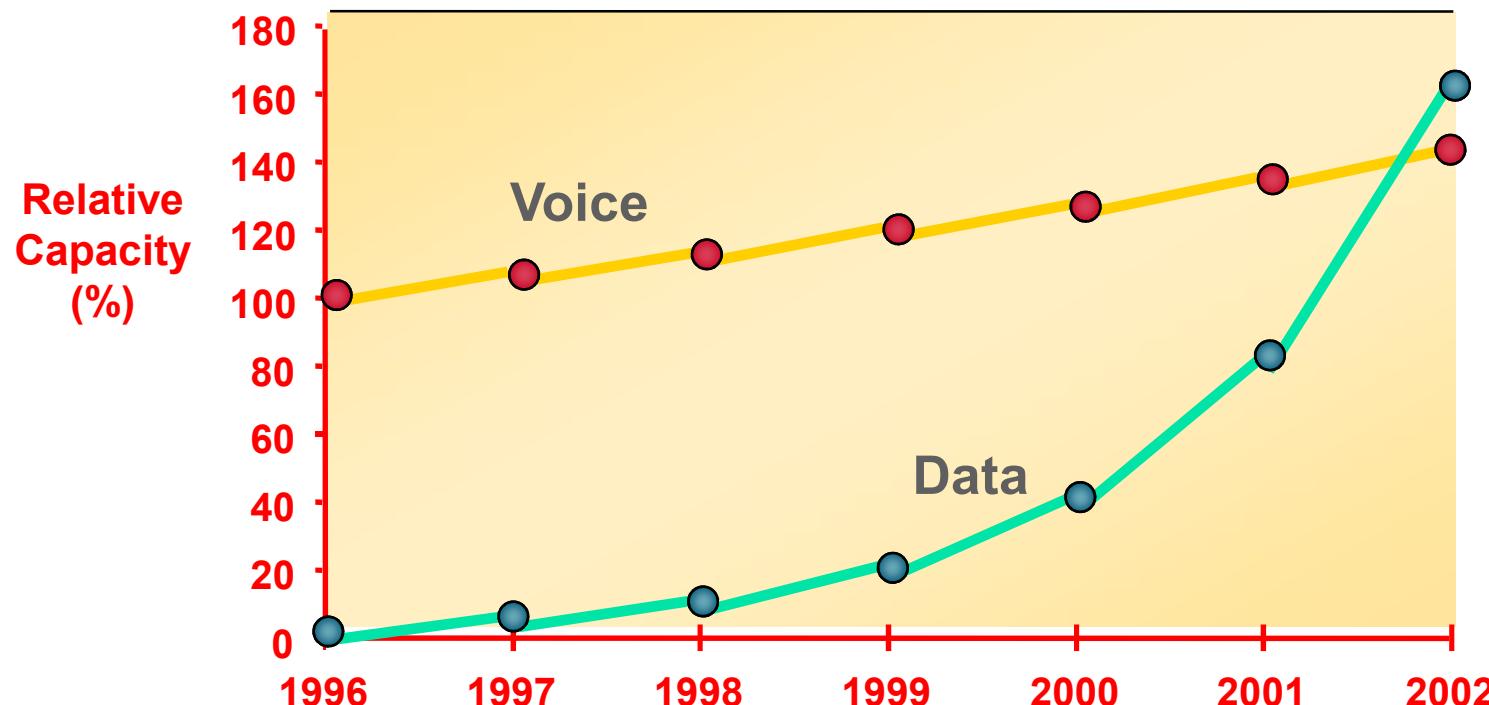
光纤容量





数据流量超过语音

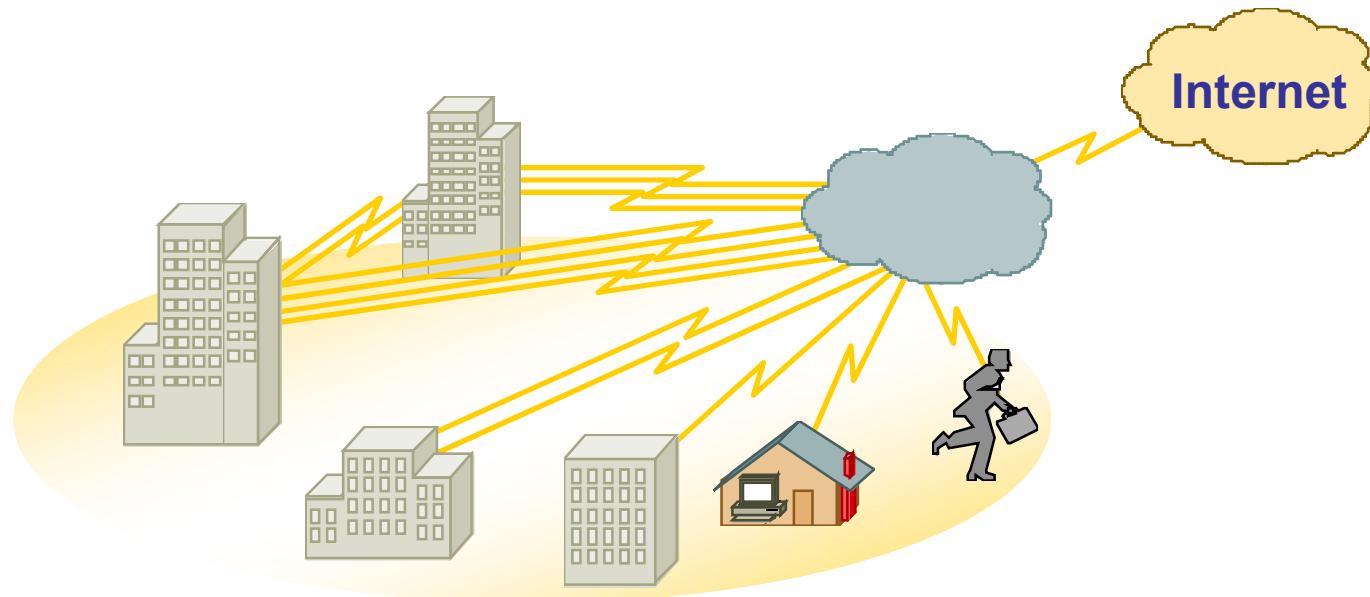
International data traffic already exceeds international voice from Australia and Scandinavia.



Source: MCI (Vint Cerf)



Data/Voice/Video 三网融合





一体化融合网络

工业互联网



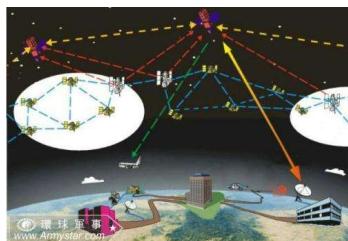
能源互联网



金融互联网

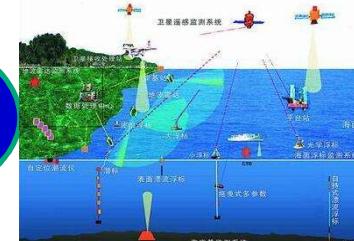


天基网络



一体化融合网络

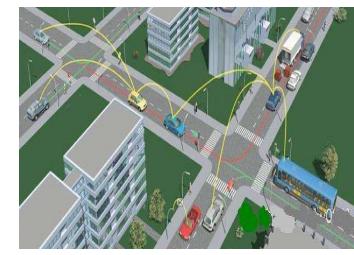
海洋网络



物联网

现有互联网

车联网





应用促进网络发展





下一代互联网与IPv6

- 下一代互联网试验网络规模不断扩大，全球**IPv6**下一代互联网主干网正在形成
- **2003年1月DoD**宣布全面面向**IPv6**过渡
- **2003年中国八部委**发起经国务院批注启动**CNGI**
- **IPv6**网络设备和应用软件不断推出
 - 支持**IPv6**的网络设备：路由器，交换机 ...
 - 支持**IPv6**的操作系统：Linux, Windows ...
 - 支持**IPv6**的应用软件：浏览器 ...
- 移动通信和智能电器对**IPv6**的需求越来越迫切
- 下一代互联网基础理论研究得到认可



互联网带来的社会问题

- 病毒 (**Virus**)
- 木马 (**Trojan**)
- 垃圾邮件 (**Spam**)
- 隐私 (**Privacy**)
- 知识产权
(**Intellectual Property**)
- ...
- 网络实名制?

The cartoon shows a black dog sitting at a desk in front of a computer monitor, while a smaller white and black dog sits behind it. The monitor displays the text "Internet dog". Below the monitor, the caption reads "On the Internet, nobody knows you're a dog." The artist's signature "G. Davis" is in the bottom right corner.

EXCLUSIVE: NSA
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 历史(H) 书签(B) 工具(I) 帮助(H)
http://202.38.97...gettxt.php?id=41 EXCLUSIVE: NSA targeted China's ...
访问最多 CERNET Network M... 新手上路 最新头条

Edward Snowden
25-year-old American Edward Snowden, a contract employee at the National Security Agency, is the whistleblower behind significant revelations that surfaced in June 2013 about the US government's top secret extensive domestic surveillance programme. Snowden flew to Hong Kong from Hawaii in May 2013, and supplied confidential US government documents to media outlets including the Guardian.
NEWS + CHINA
EXCLUSIVE: NSA targeted China's Tsinghua University in extensive hacking attacks, says Snowden
Tsinghua University, widely regarded as the mainland's top education and research institute, was the target of extensive hacking by US spies this year
Lana Lam lana.lam@scmp.com Sunday, 23 June, 2013, 8:02am
SHARE 22 Comments 8
Email Print
RELATED TOPICS Edward Snowden
See and be seen
Most Popular
VIEWED SHARED COMMENTED
1 EXCLUSIVE: US spies on Chinese mobile phone companies, steals SMS data: Edward Snowden
2 EXCLUSIVE: Snowden safe in Hong Kong, more US cyberspying details revealed
3 EXCLUSIVE: US hacked Pacnet, Asia Pacific fibre-optic network operator, in 2009
100% 10:35



互联网标准化组织

- **Internet Engineering Task Force (IETF)** : **IETF**负责**Internet**协议的研发和改进。**IETF**被分为很多个工作组(**working groups**)，他们提交的文档称为**RFC**(**Request For Comments**)
- **IRTF (Internet Research Task Force)** : **IRTF**由一些专注于某个领域长期发展的研究小组组成
- **Internet Architecture Board (IAB)** : **IAB**负责定义**Internet**的整体框架，为**IETF**提供大方向上的指导
- **The Internet Engineering Steering Group (IESG)** : **IESG**在技术方面管理**IETF**的活动，负责**Internet**标准的制定过程



互联网标准的制定过程

- 所有的标准以**RFC**的形式发布出来，可以从www.ietf.org免费获得。但不是所有的**RFC**都是**Internet**标准
- 标准形成的一般步骤是：
 - **Internet Drafts** (**individual draft, WG draft**)
 - **RFCs**
 - **Proposed Standard**
 - **Draft Standard** (需要两个可以工作的实现)
 - **Internet Standard** (由IAB发布)
- **David Clark, MIT, 1992: "We reject: kings, presidents, and voting. We believe in: rough consensus and running code."**



IETF 文化



VIEWS OF THE FUTURE

A Cloudy Crystal Ball
Visions of the Future

David D. Clark
M.I.T. Laboratory for Computer Science
IETF, July 1992

Alternate title: Apocalypse Now

DDC 7/16/92 19:39 COPYRIGHT © David Clark 1992

VIEWS OF THE FUTURE

The last force on us -- us

The standards elephant of yesterday -- OSI.

The standards elephant of today -- it's right here.

As the Internet and its community grows, how do we manage the process of change and growth?

- Open process -- let all voices be heard.
- Closed process -- make progress.
- Quick process -- keep up with reality.
- Slow process -- leave time to think.
- Market driven process -- the future is commercial.
- Scaling driven process -- the future is the Internet.

We reject: kings, presidents and voting.

We believe in: rough consensus and running code.

DDC 7/16/92 19:39 COPYRIGHT © David Clark 1992

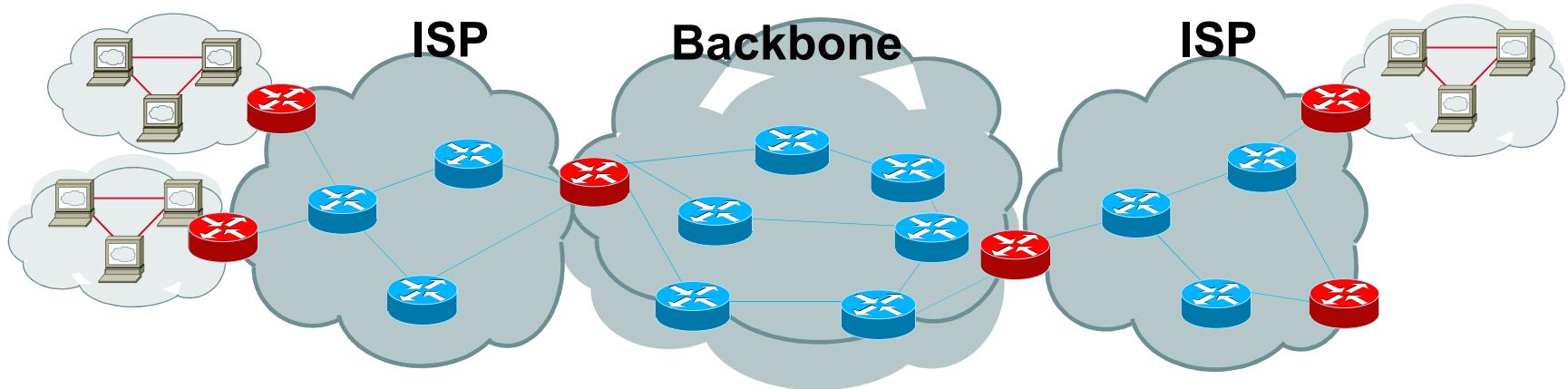


互联网提供的服务

- 计算资源的共享访问: **telnet (1970's)**
- 数据和文件的共享访问: **FTP, NFS (1980's)**
- 人们互相通讯的媒介:
 - **Email (1980's)** , 网上聊天室, 即时消息 (1990's)
- 信息分发的媒介
 - **USENET (1980's)** , **WWW (1990's)** , 语音和视频 (1990's)
 - **P2P (2000's)** , **MSN、QQ、博客...**
- 学习的媒介: **Google, Baidu, Mooc**
- 社交的媒介: **Facebook, 微博, 微信**
- 互联网+
- 网络空间 (**Cyberspace**)



互联网络结构



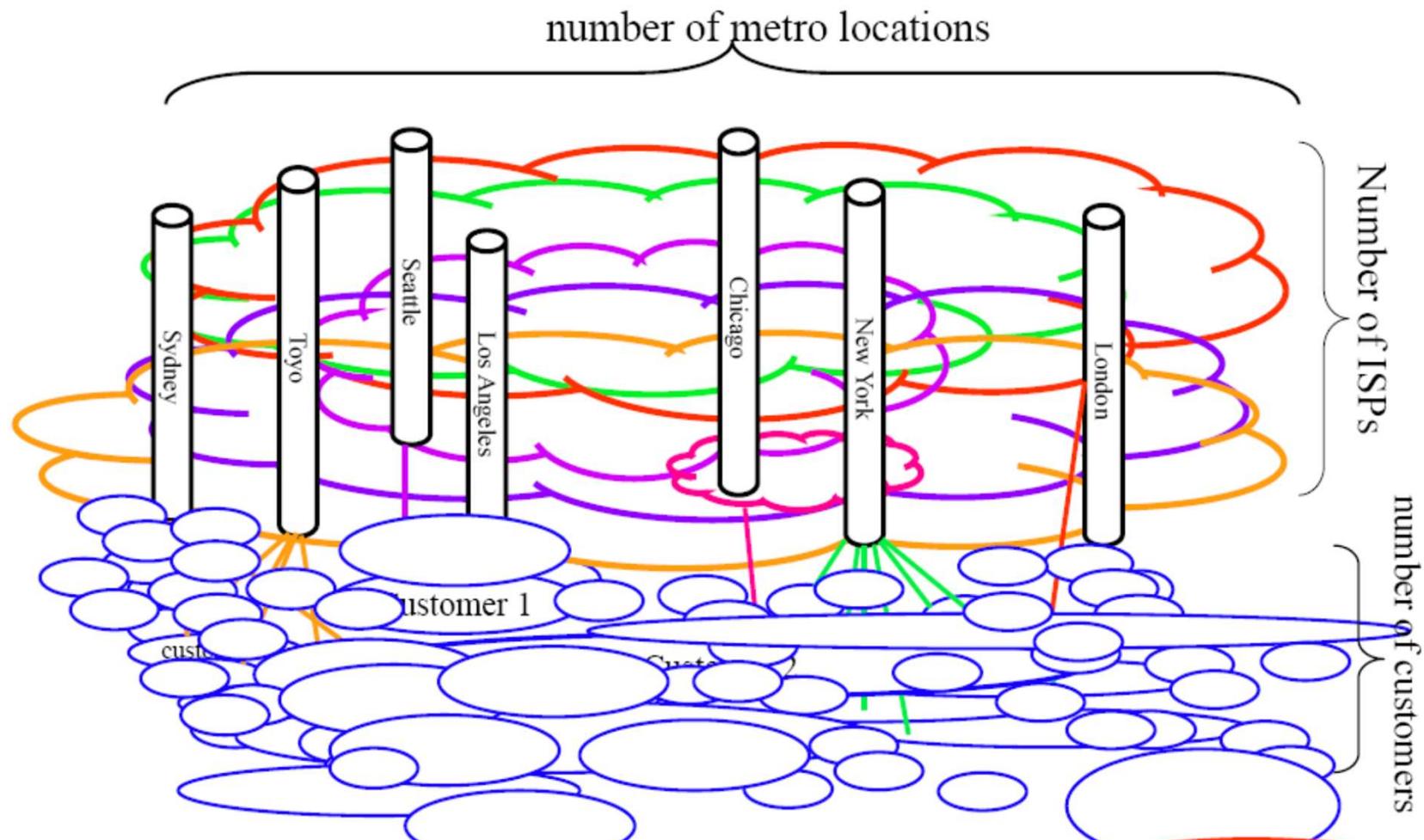
- 用户接入
 - Modem
 - DSL
 - Cable modem
 - Satellite
 - LAN
 - 3G/4G/5G

- ISP主干网
 - OC-3
 - OC-12
 - OC-48
 - OC-192

- 校园网
 - Ethernet
 - WIFI



实际网络结构要复杂得多





互联网的主要技术特点

- 分层的分布式结构
- 无连接的分组交换技术
- 统一的网络互连协议**IP**
- 路由器加专线技术
- 可扩展的路由技术
- 端到端的网络连接技术
- 层次结构的域名技术
- 网络管理技术
- 通用的应用技术



互联网的成功经验

- 有远见的政府不断支持: **1969—**
- 有风险的企业参与和投入
 - **NSFNET: MCI、IBM**
 - **vBNS: MCI**
 - **Abilene: Qwest, CISCO**
- 联合协作的开放式研究: **IETF/RFC**
- 教育和科研的示范网络为起点
 - **具有实验物理学的研究特点**
 - **ARPAnet、NSFNET、ANS、vBNS**
- 简单实用的技术路线: **TCP/IP**



Commercialization

21st Century
Networking

Privatization

Interoperable
High Performance
Research & Education
Networks

SprintLink
InternetMCI

US Govt
Networks
ANS

Active
Nets
wireless
WDM

gigabit
testbeds

ARPAnet

NSFNET

Research and Development

Quality of Service
(QoS)

Internet2, Abilene, vBNS
Advanced US Govt Networks

Partnerships



主要内容

-
- 计算机网络概述
 - 互联网的发展和成功经验
 - 互联网的核心思想：分组交换
 - 国际高速计算机网络研究计划
 - 中国高速计算机网络研究计划



Words

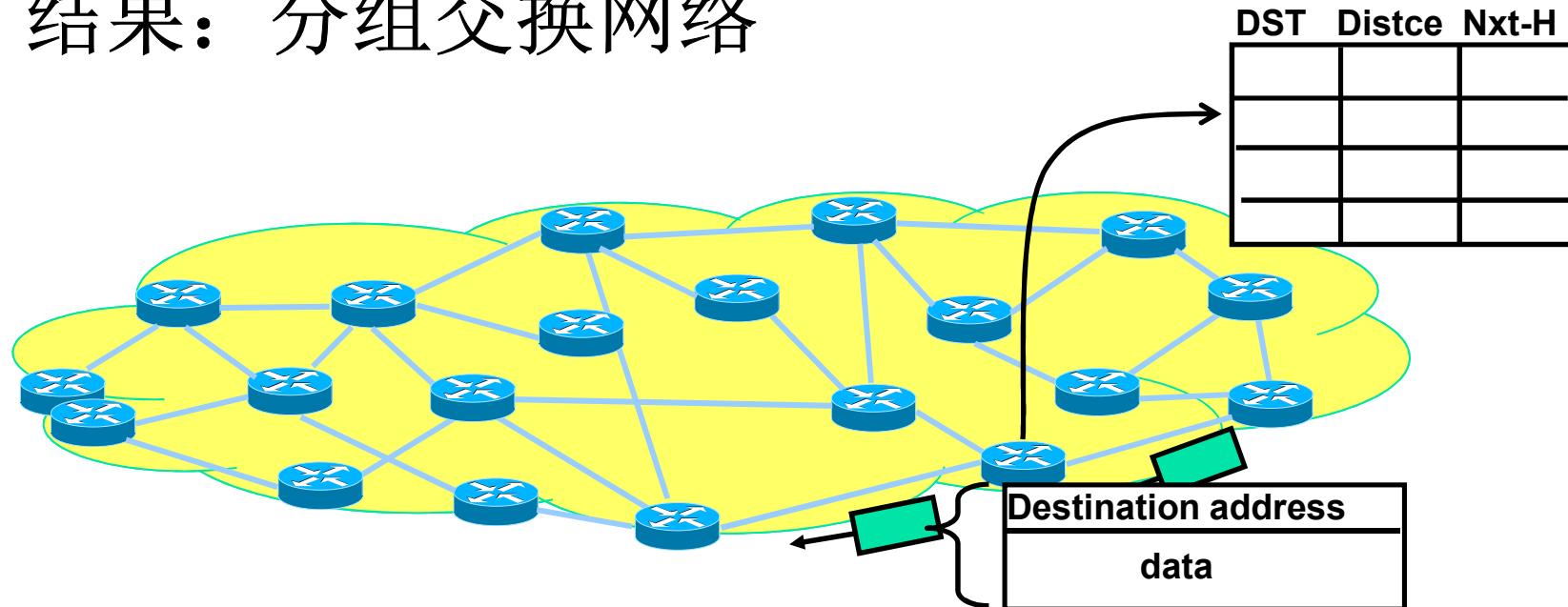
-
- The future is a door, the past is the key. The farther backward you can look, the farther forward you can see.

-- Winston Churchill



Paul Baran在分布式通信方面的贡献

- 时间: **1960 - 1964**
- 目标: 建造一套健壮的通信系统可以承受核攻击
- 结果: 分组交换网络





Baran 的设计细节

- 自适应系统：热土豆（**hot potato**）路由策略
 - 如果不知道正确的路由，就把分组转发给所有的邻居节点
 - 通过观察路过的分组更新路由表，旧的路由表项会过期而被删除
 - 尽可能快的转发分组
 - 不需要每次都沿着最短路径转发

→ 学习并适应变化的环境



Baran 的设计细节（续）

- 分组发送
 - 每个交换节点根据自己的路由表判断如何转发分组
 - 每个分组的转发都独立于其他分组
 - 交换节点不保存端节点的状态
 - 可扩展性好
 - 不是最有效的网络
 - 发送不是完美的

→ 端节点必须能容忍发送错误并从中恢复



Baran 的设计细节（续）

- 分布式系统
 - 所有交换结点是平等的
 - 避免了单一节点失效问题
 - 部件可以失效，但系统不会失效
 - 系统的健壮性来自于
 - 足够的物理（硬件）冗余
 - 适应性路由
- 模拟实验表明
 - “extremely survivable networks can be built using a moderately low redundancy of connectivity level”—Paul Baran, 1964



Paul Baran's Paper

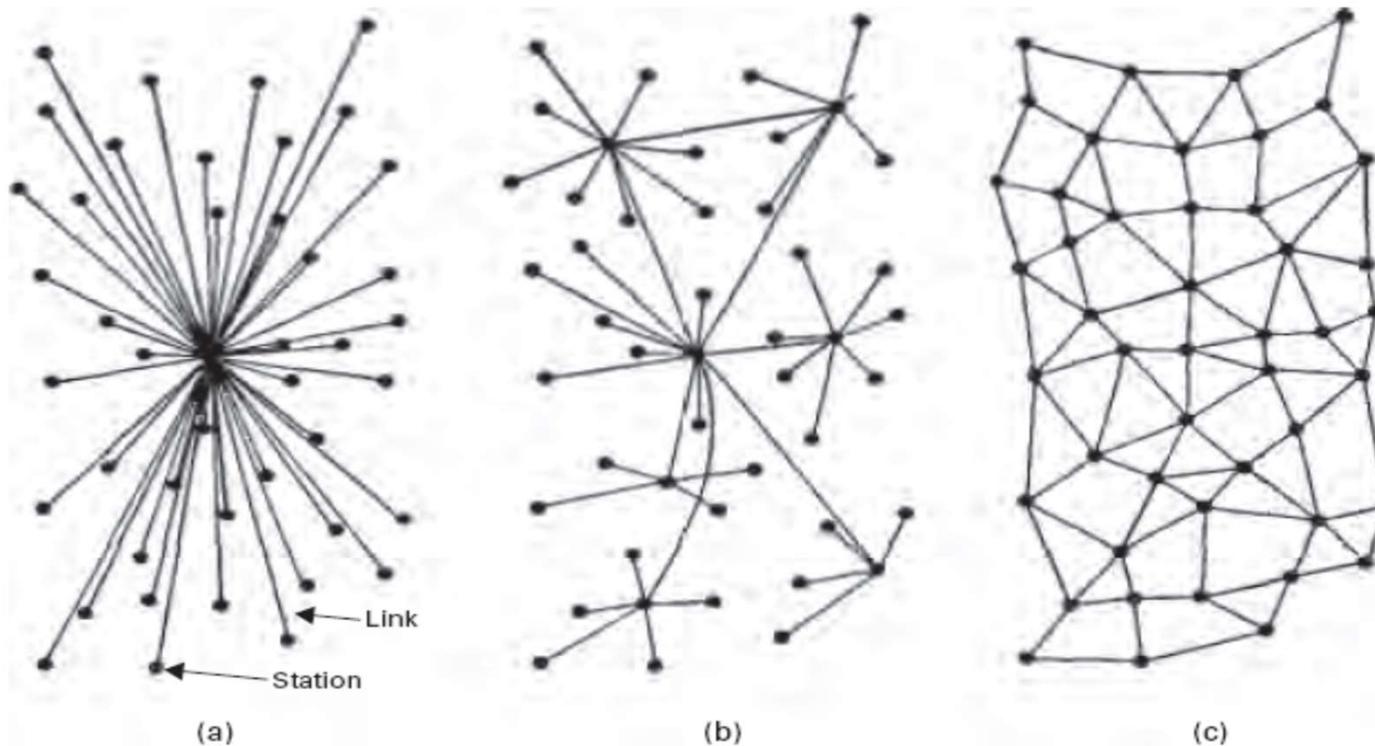


Figure 3.2

Three network types: (a) Centralized, (b) decentralized, and (c) distributed. *Source:* From Paul Baran, "Introduction to Distributed Communication Networks." *On Distributed Communications*, RAND Corporation Memorandum RM-3420-PR, August 1964, 2. Reproduced with permission of The Rand Corp.



两种实现可靠系统的思路

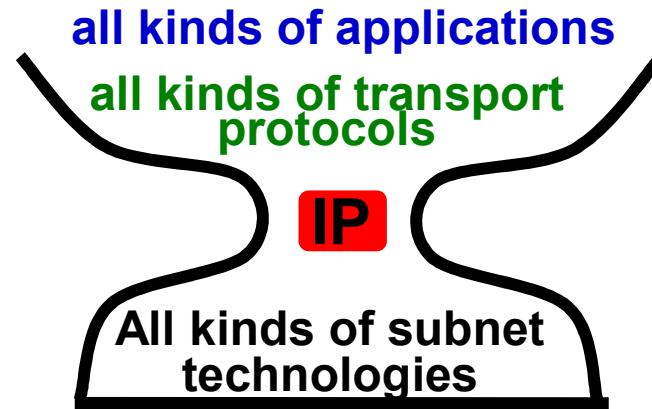
- 电话系统
 - 笨终端，聪明的网络
 - 确保每个网络部件都是可靠的
 - 系统可靠性 = 部件可靠性
 - 通过局部冗余实现部件的高可靠性
 - 期望每个部件都能正常工作，部件失败的可能性很低
 - 需要人工配置的，高度控制的网络
- Baran的系统
 - 建立在简单的、不可靠部件上的可靠系统
 - 自适应的系统
 - 聪明的终端，可以修正传输错误



Baran设计思想的一种实现: Internet

IP's view of the world

- 连接异构的子网
- 提供两种基本功能
 - 全球唯一的地址
 - 分组通过动态路由从源节点发送到目的节点



特性: 简单、灵活、可扩展、健壮



分组交换的特点：简单性

- 每个分组携带各自地址信息
- 一个路由表可以为所有的流量服务
- 可以适应爆炸性的增长
 - 越简单越不容易出错
 - 越简单越容易增长
 - 对基本网络的要求少



分组交换的特点：灵活性

- 可以在各种底层物理网络上运行
 - **IP over everything**
 - **Ethernet, FDDI, Frame Relay, ATM, SONET, DWDM ...**
- 可以支持各种类型应用
 - **Everything over IP**
 - **telnet, ftp, email, 多媒体, web, 电子商务...**



分组交换的特点：可扩展性

- 可扩展的系统必须能应对
 - 端系统的增加
 - 流量的增加
 - 网络规模的增长
 - 大的路由表
 - 路由频繁的变化
- **With IP, “the network knows nothing about individual end applications; end applications know nothing about network internals”—Van Jacobson**



分组交换的特点：健壮性

- 动态路由具有自适应的特性
 - 动态路由和分组转发相辅相成
 - 周期性路由更新
 - 默认：现有的部件会失效，会有新的部件加入，认为变化是正常的
- 牺牲一定的带宽利用率，提高健壮性
 - 分组头开销
 - 路由更新开销

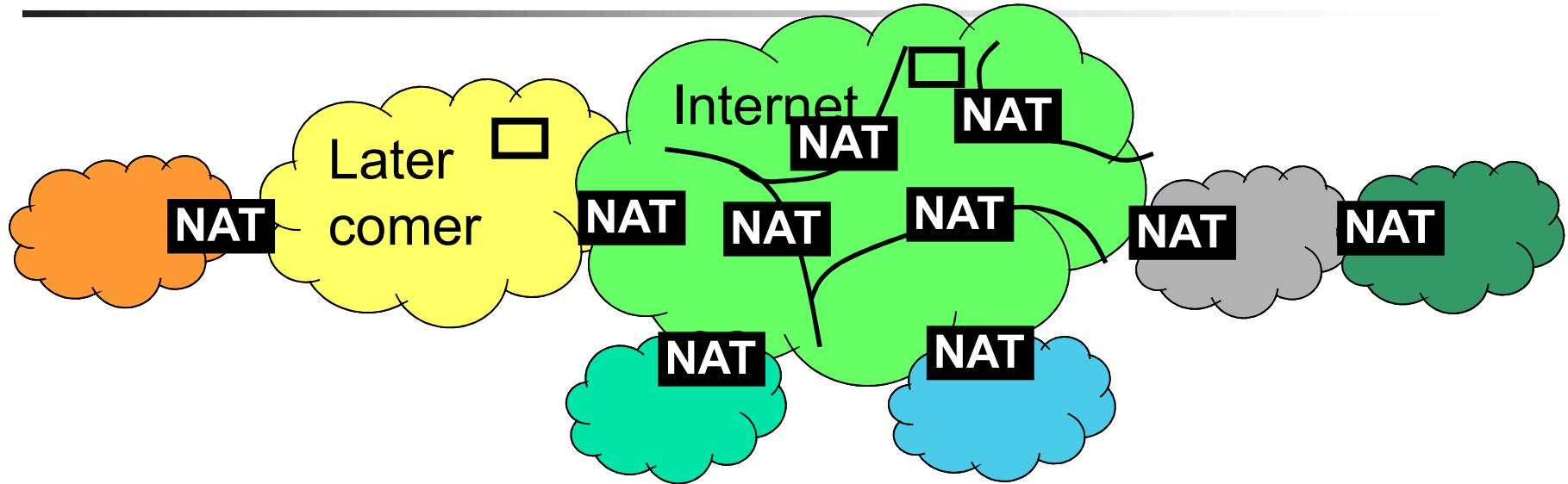


今天的互联网

- 与**40**年前相比
 - 规模更大
 - 用户更多
 - 功能更多，更有价值
 - 但是，健壮性、适应性和互联程度都下降了
- **IPv4**地址空间耗尽
 - 越来越多的用户通过NAT访问网络



NAT: a feature or a problem?



- NAT缓解了地址耗尽的问题，并且增强了安全性和控制性
- NAT打破了许多协议和应用基于IP地址全球唯一的假设
- 难以很好地支持**peer to peer**的应用
- 端到端的分组传输路径变成多个NAT域的级联，相当于虚电路



为什么需要IPv6?

- NAT导致随着时间推移，**Internet**原有结构遭到破坏
- 为了恢复**Internet**原有结构，必须过渡到**IPv6**
 - 巨大的地址空间：43亿 vs. 3.4×10^{38}
 - 实现无处不在的网络，网络规模可无限扩展
 - 连接所有可能的装置和设备
 - 改善了路由性能
 - 路由聚合减少了路由表的表项
 - 简化的IP头减少了路由器的处理负载
 - 增强了网络安全
 - IPsec
 - 支持大规模移动IP设备



小结

- 基于分组交换的**IP**结构使网络的持续增长成为可能
- **Internet**需要过渡到**IPv6**以阻止目前网络结构的破坏和保证将来的增长
- 过渡到**IPv6**将会是困难和昂贵的，需要一个过程



主要内容

-
- 计算机网络概述
 - 互联网的发展和成功经验
 - 互联网的核心思想：分组交换
 - 国际高速计算机网络研究计划
 - 中国高速计算机网络研究计划



国际高速信息网络技术研究计划

- 1992年美国政府的“国家信息基础设施 **NII**”
- 1993年西方七国的“全球信息基础设施 **GII**”
- 1996年，**NGI** 和 **vBNS**
- **Internet 2** 和 **Abilene**
- **CANARIE** 和 **CA* net3**
- 欧盟下一代学术主干网**GEANT**
- **APAN**
- **STAR TAP**
- 全球**IPv6**下一代互联网主干网**GTRN**正在形成
- 未来互联网研究计划：**FIND, GENI, FIRE**



■ **NGI**: 美国下一代互联网研究计划

- **1996.10**, 美国总统和副总统宣布启动**NGI**
- **NGI** 的三个主要目标:
 - **先进网络技术的实验研究**
 - **下一代网络测试床**
 - **革命性的应用**



NGI 目标1：先进网络技术的实验研究

- 网络工程
 - 规划和模拟，监视，集成，数据传递
 - 网络管理，动态和自适应的网络
- 服务质量（端到端）
 - 服务质量体系结构，准入控制，计费和优先权
 - 可观察和控制的API
- 安全
 - 用户用安全和公平的方法获取网络资源
 - 优越的网络管理，网络内部的监视
 - 移动/远程访问
 - 公钥基础设施



NGI 目标2：下一代网络测试床

- 开发下一代网络测试床，用比当时**Internet**快**100**倍以上的速度连接至少**100**个大学和国家研究实验室
 - 以**1997年1.54Mbps**计，**10个连接点速度达到比当时Internet快1000倍**
 - **端到端连接速度达到100Mbps - 1Gbps**
- 主要策略：协调建立一个高性能的协作网络
 - **vBNS, ESnet, NREN**
- 评价标准：连接点的数量，端到端的性能
 - **支持目标1的研究，支持目标3的应用**



NGI 目标3：革命性的网络应用

- 开发当时互联网没有，对国家重要的网络应用
 - 健康保健：远程医疗、紧急医疗响应支持
 - 教育：远程教育、数字图书馆
 - 科学研究：能源、地理系统、气象、生物
 - 国家安全：高性能全球通信、先进的信息传播
 - 环境：监测、预测、警告、响应
 - 政府：传递政府服务和信息给公民和企业
 - 突发事件：灾难响应、危机管理
 - 设计和制造：制造工程
- 主要策略：重点研究基础性应用
 - 分布式计算应用、协同性应用

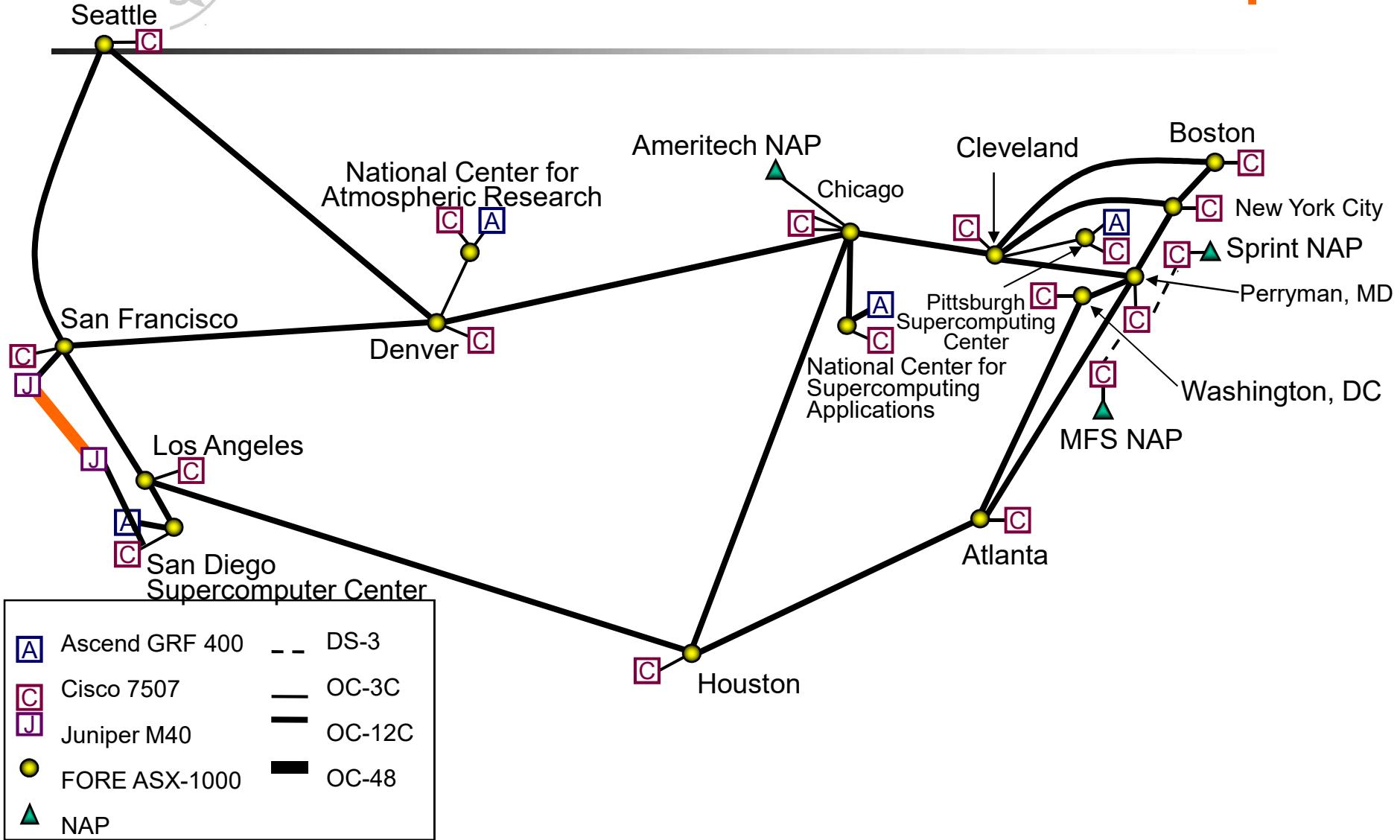


vBNS

-
- **1995年4月批准**
 - 由**NSF**建立，目标是为美国教育科研机构提供高性能的网络资源，并促进网络技术的进步
 - **NSF**提供：基金、管理
 - **MCI**提供：带宽，设备和工程支持



VBNS Backbone Network Map





Internet 2

- **<http://www.internet2.edu>**
- UCAID（120多个大学会员）的一项研究计划
University Corporation for Advanced Internet Development
- 形成大学试验网，开发下一代 **Internet** 技术 and 应用
 - **IPv6, Multicasting, QOS**
 - **以竞争方式得到 NGI 计划的经费支持**
- **NGI**是政府计划，**Internet 2** 是大学合作计划
 - **相互补充，相互依靠**



Abilene

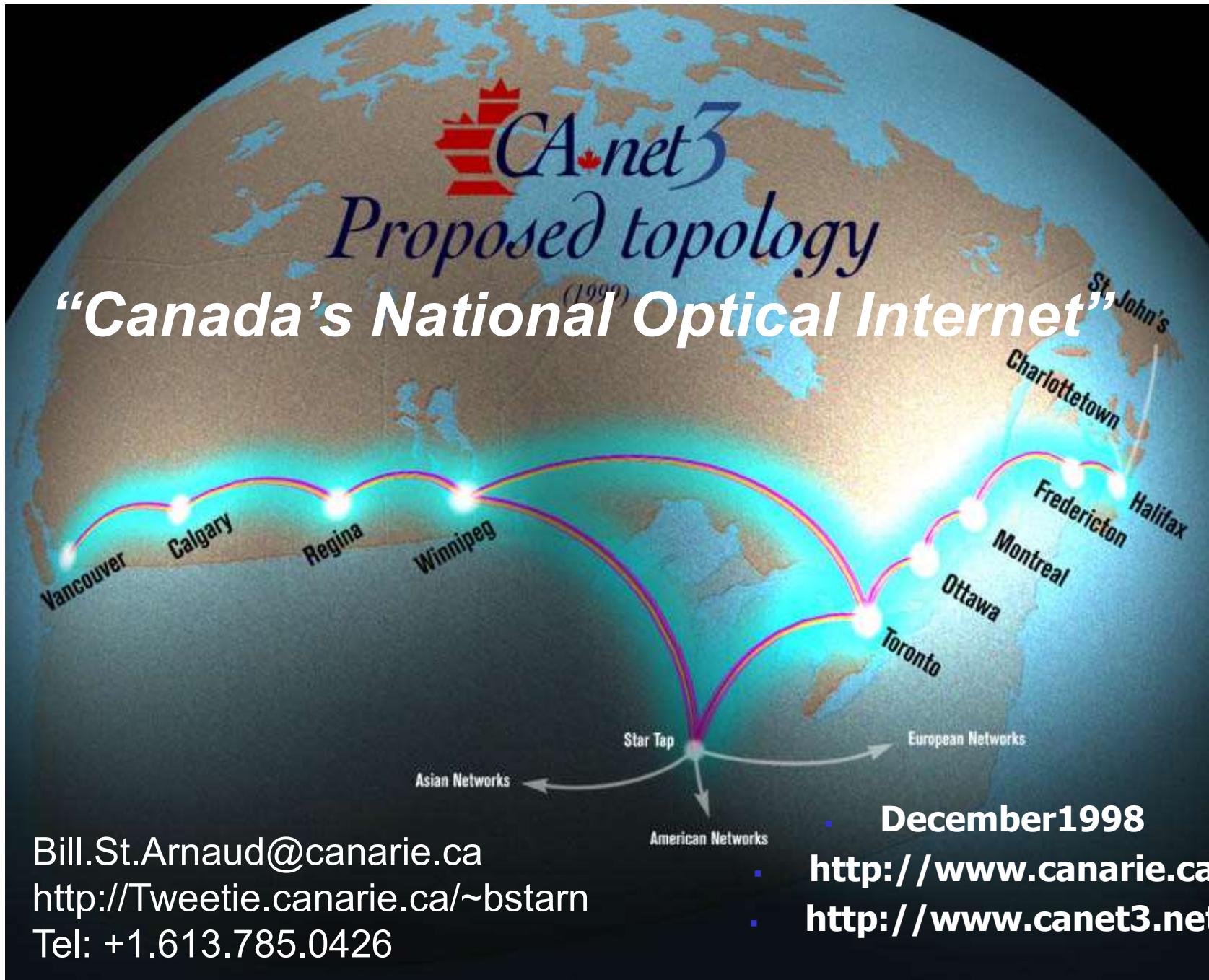
- **1998年4月14日**美国副总统 **Gore**启动该项目
- 当时世界上最先进的科研教育网络，为参加**Internet2**的大
学提供先进的**IP**骨干网络
 - 支持先进的科研项目
 - 整合先进的网络服务
- **UCAID**负责研发
 - **Qwest, Nortel和Cisco等大公司加盟**
- **G**比特汇接点（**gigaPoPs**）之间采用**2.5 Gbps (OC48)**的
连接，并增加至 **9.6 Gbps (OC192)**。
- 一般连接采用**622 Mbps (OC12)** 或**155 Mbps (OC3)**
- 采用**IP over SONET** 技术

completed connections:
177 participants
44 connectors + 3 NGIX's
31 connections to 18 peer networks

The Abilene Network

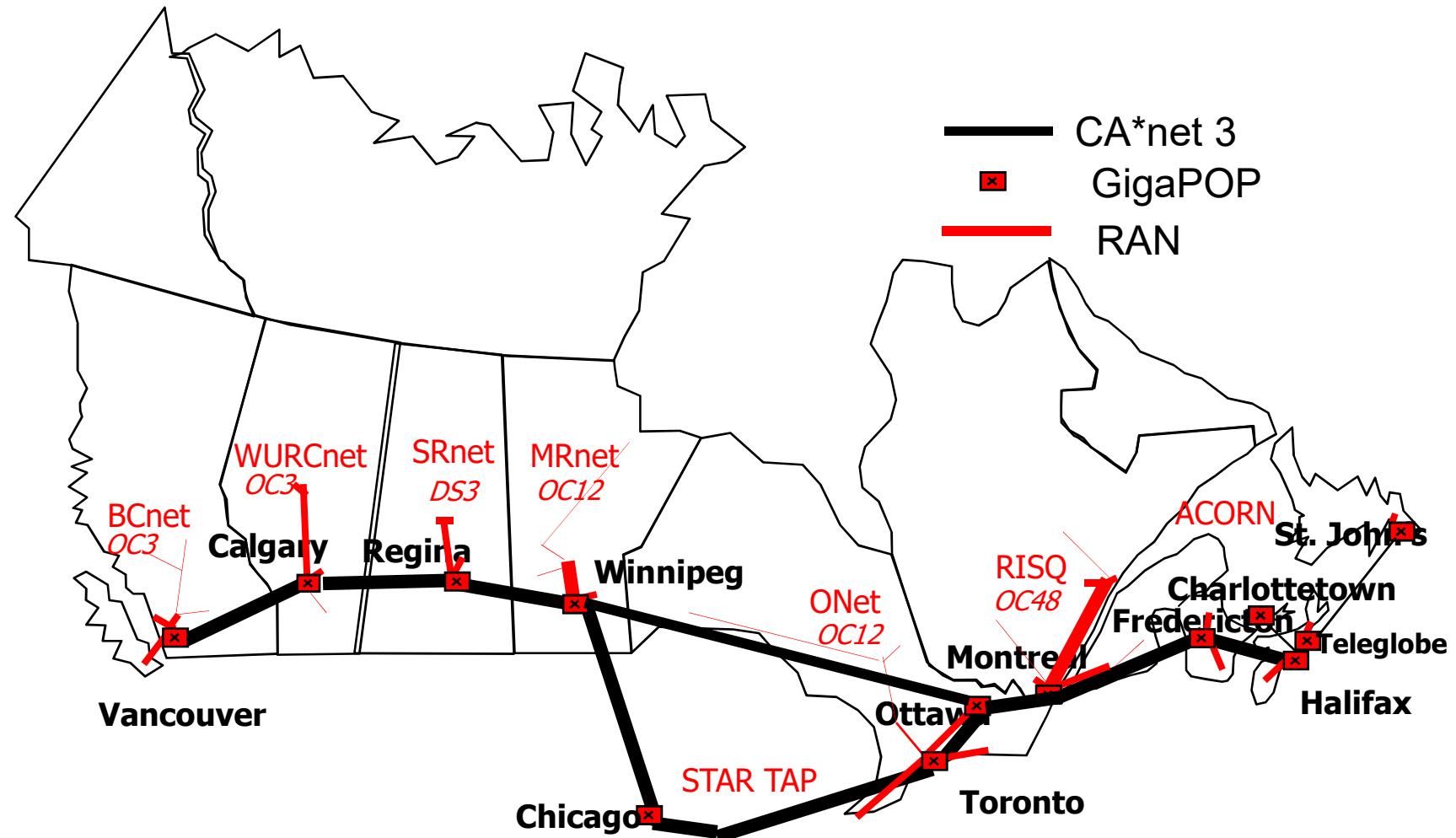
Internet 2







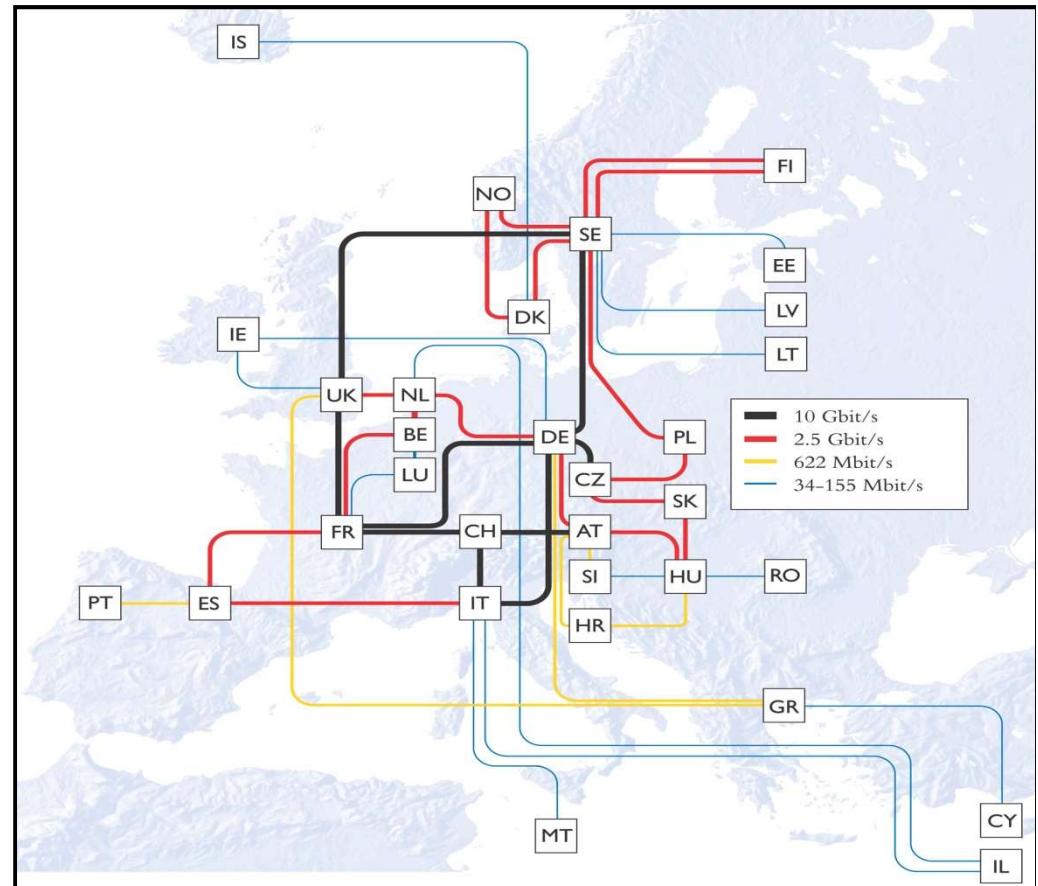
CA*net 3 National Optical Network





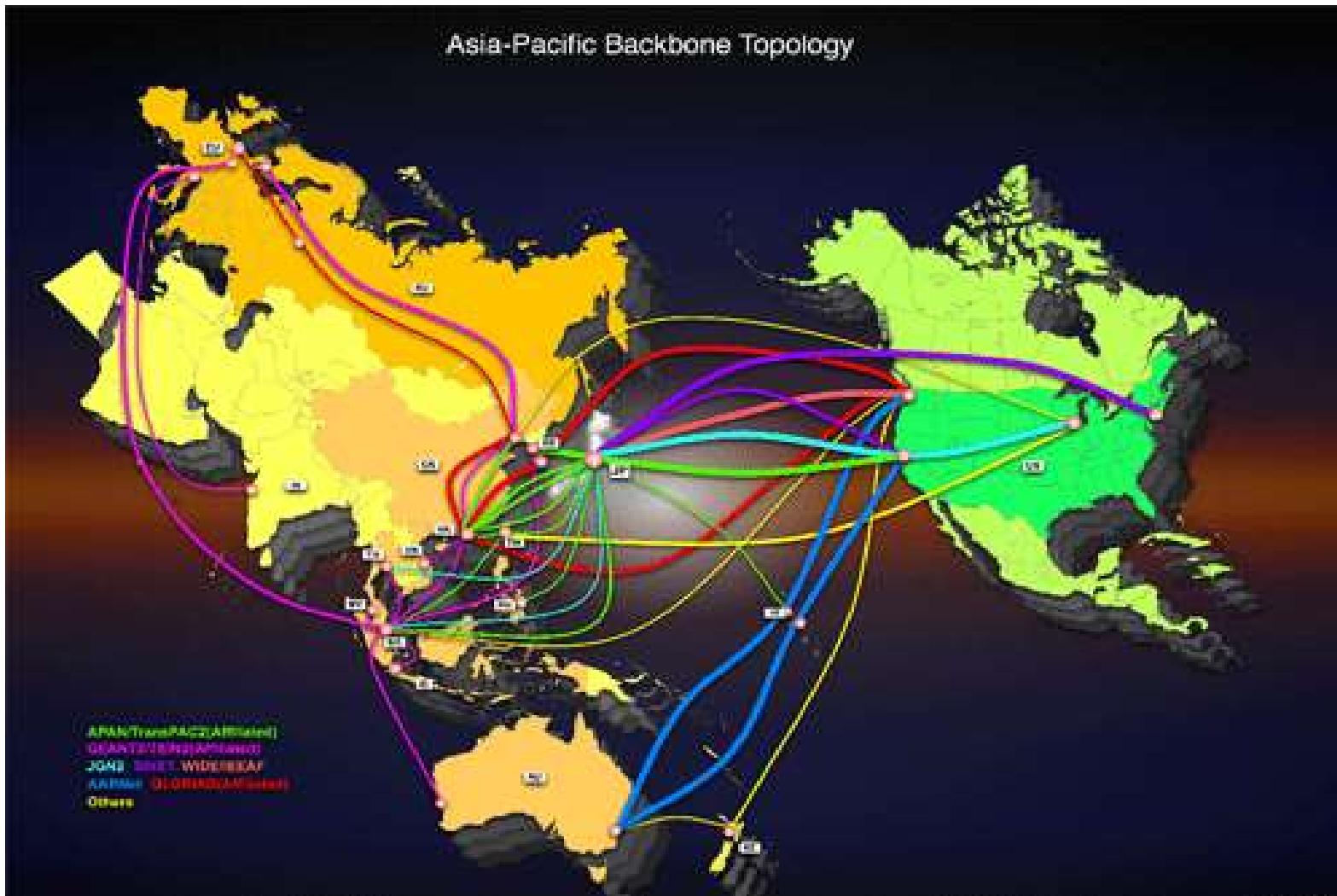
GEANT

- 连接**31**个国家
- 由**DANTE**负责运行
- **10Gbps**核心主干网
- 由**DANTE & EuroLink**提供
4x2.5Gbps + 2x1Gbps 跨过大西洋
- **EuroLink**由**NSF**提供资助





Asia-Pacific Advanced Network





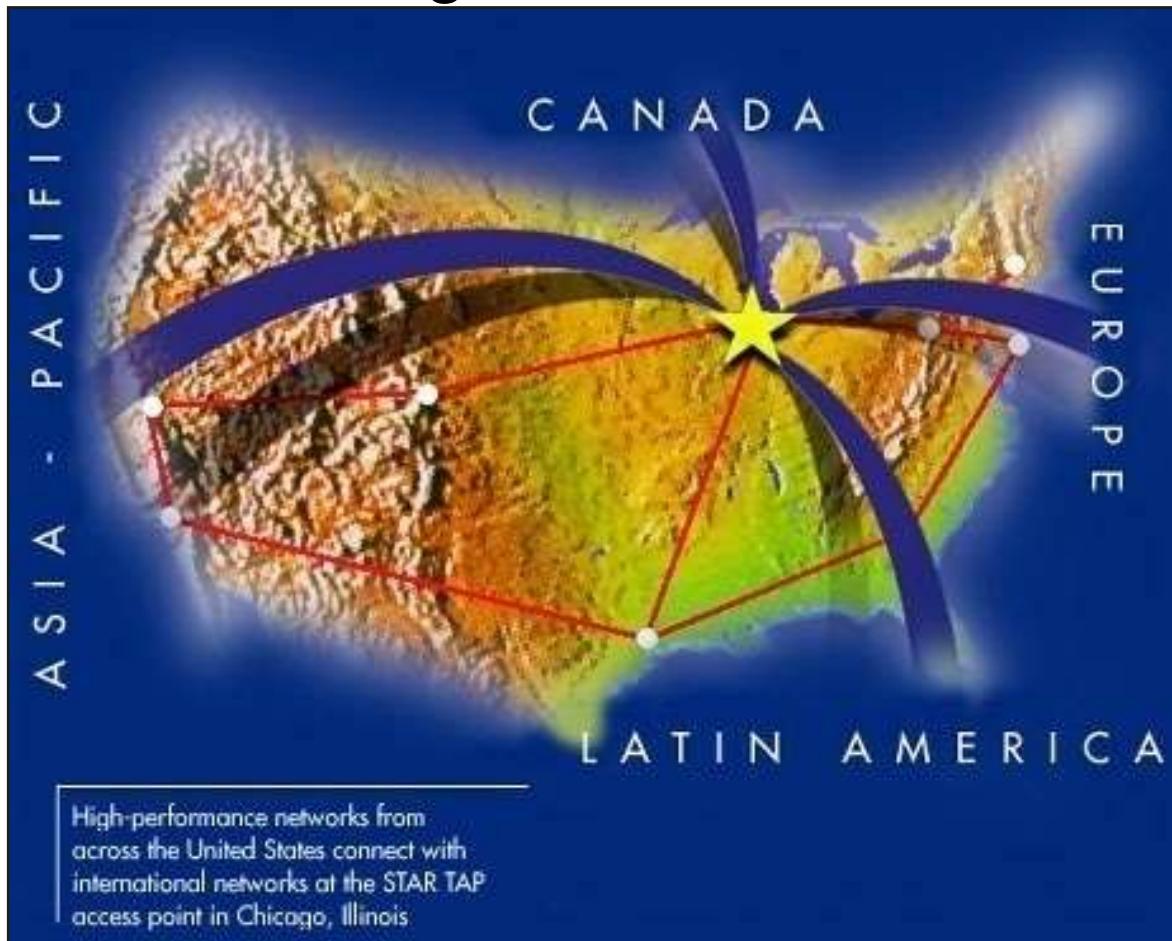
STAR TAP

- **Science, Technology And Research Transit Access Point”**
- 一个永久的基础设施， 互联先进的国际网络， 用来支持科研和教育
- 由**NSF CISE Networking and Communications Research and Infrastructure division**资助
- **Anchors the international vBNS connections program.**
- **<http://www.startap.net>**



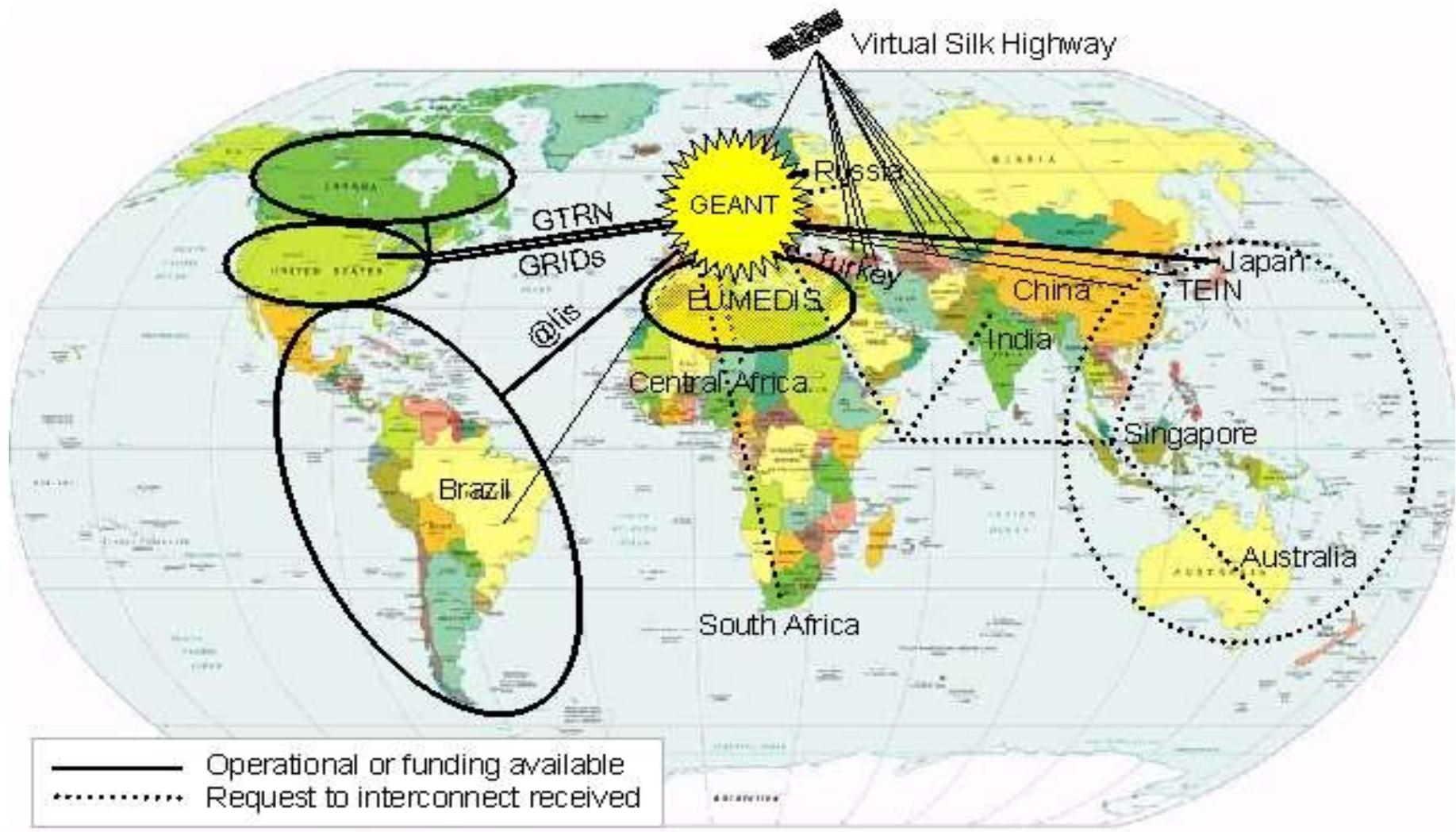
STAR TAP

Common Interconnect for NGI, Internet2,
International High-Performance Networks





GTRN





下一代互联网和IPv6的主要进展

- 下一代互联网和IPv6试验网络规模不断扩大，全球IPv6下一代互联网主干网正在形成
 - CERNET2, Internet2, Geant2, TEIN2...
- 下一代互联网技术和IPv6标准不断完善
 - IETF
 - IPv6网络设备和应用软件不断推出和采用
 - 移动通信和家用电器等对IPv6需求越来越迫切
- 下一代互联网基础研究正在得到重视
 - GENI、FIND、FIRE、CNGI



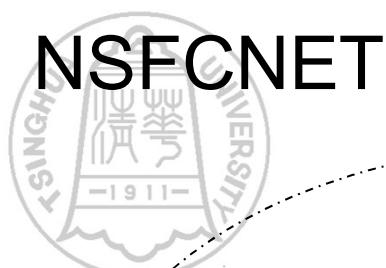
主要内容

- 计算机网络概述
- 互联网的发展和成功经验
- 互联网的核心思想：分组交换
- 国际高速计算机网络研究计划
- 中国高速计算机网络研究计划

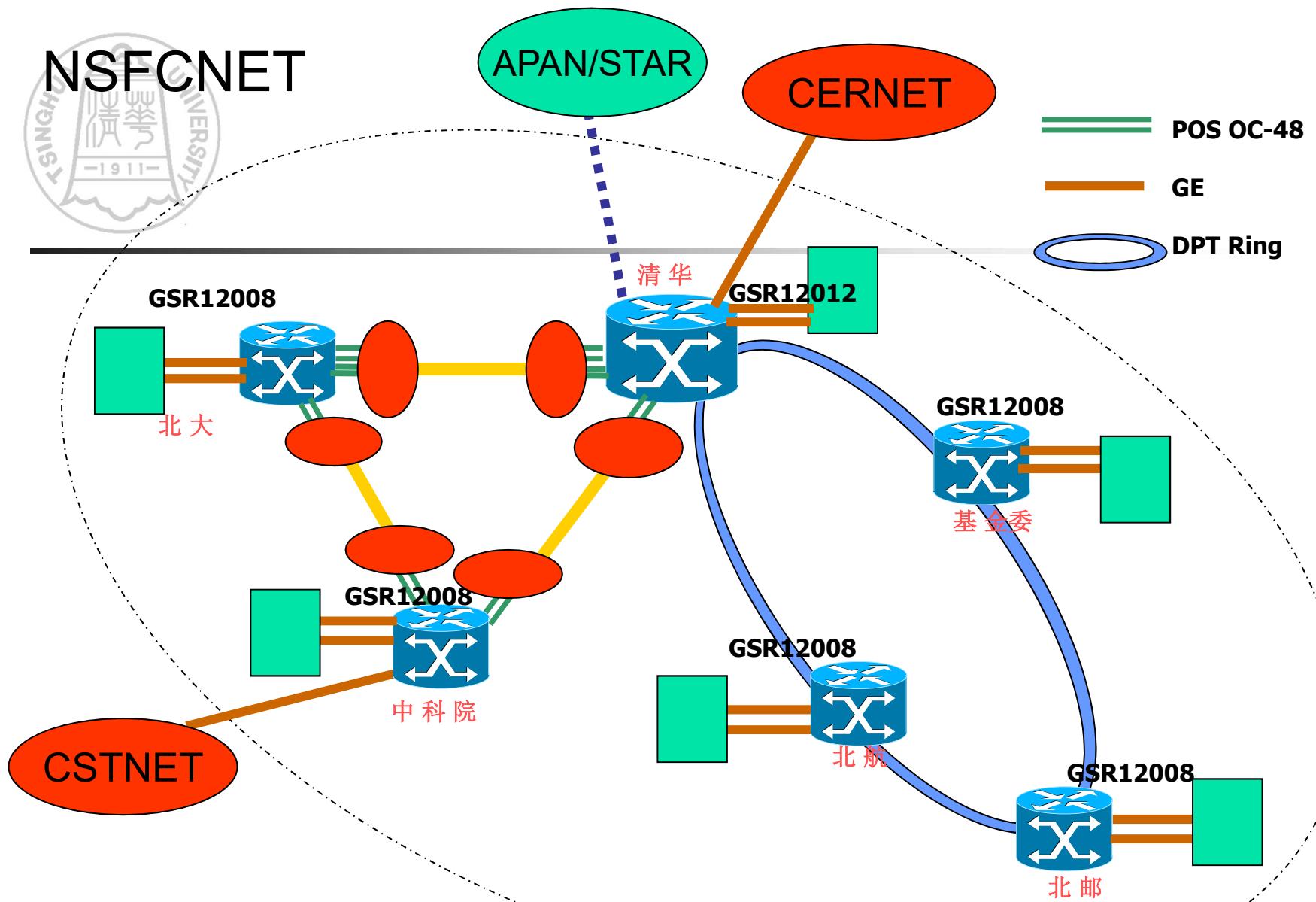


中国的互联网研究历程

- 1994–1999：学习互联网建设应用
- 2000–2004：攻克关键技术：核心路由器
 - IPv4/IPv6核心路由器
 - 下一代互联网的研究：NSFCNET
 - 国家863计划：相关课题，CAINONET和3TNet
- 2005—现在：研究互联网体系结构和关键技术
 - 国家自然科学基金重点项目
 - 973计划项目：新一代互联网体系结构基础研究
 - 863计划：新一代高可信网络
 - 支撑计划：可信任互联网
 - 国务院批准，国家发改委、科技部等八部委组织实施：中国下一代互联网示范工程CNGI

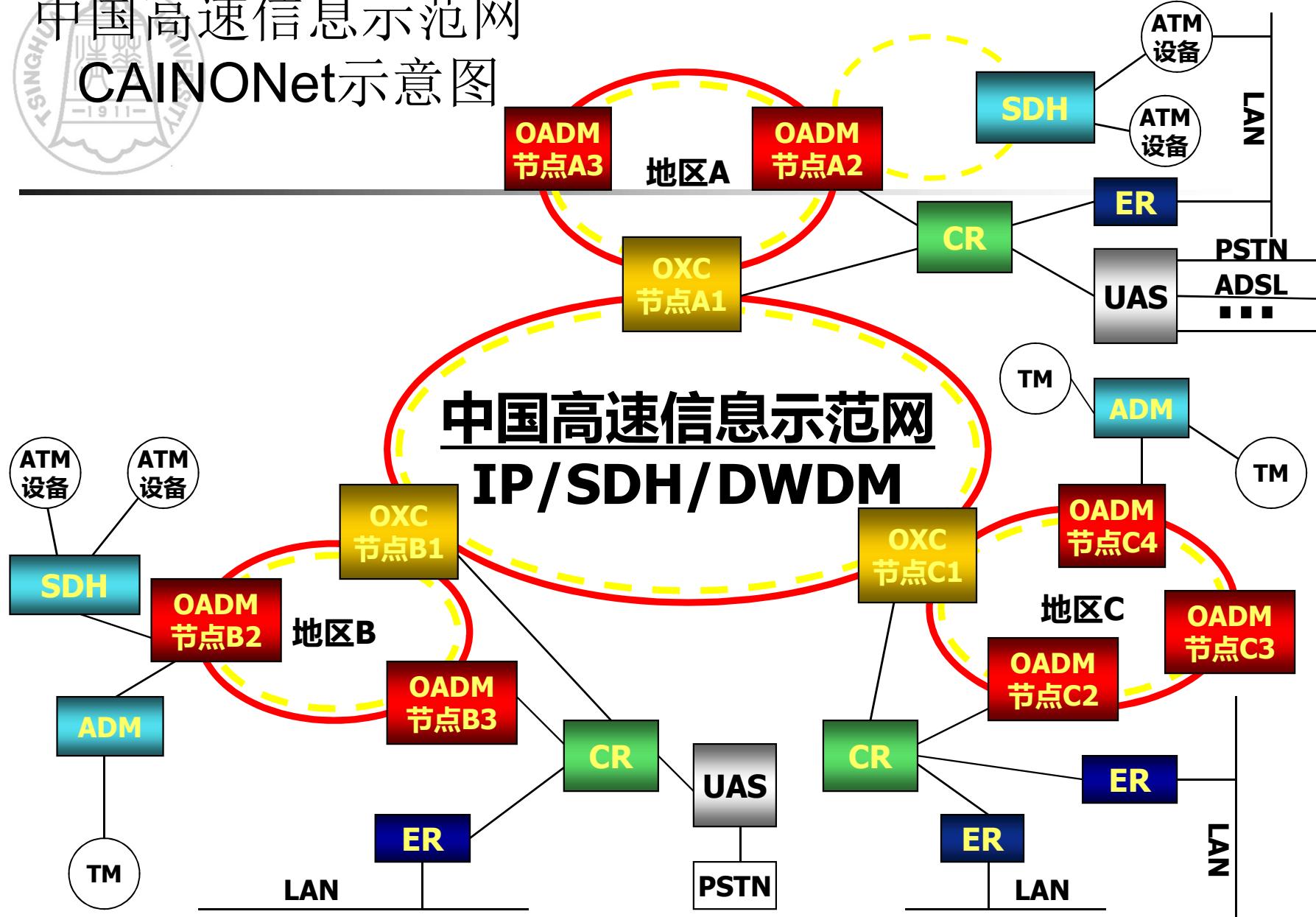


NSFCNET





中国高速信息示范网 CAINONet示意图



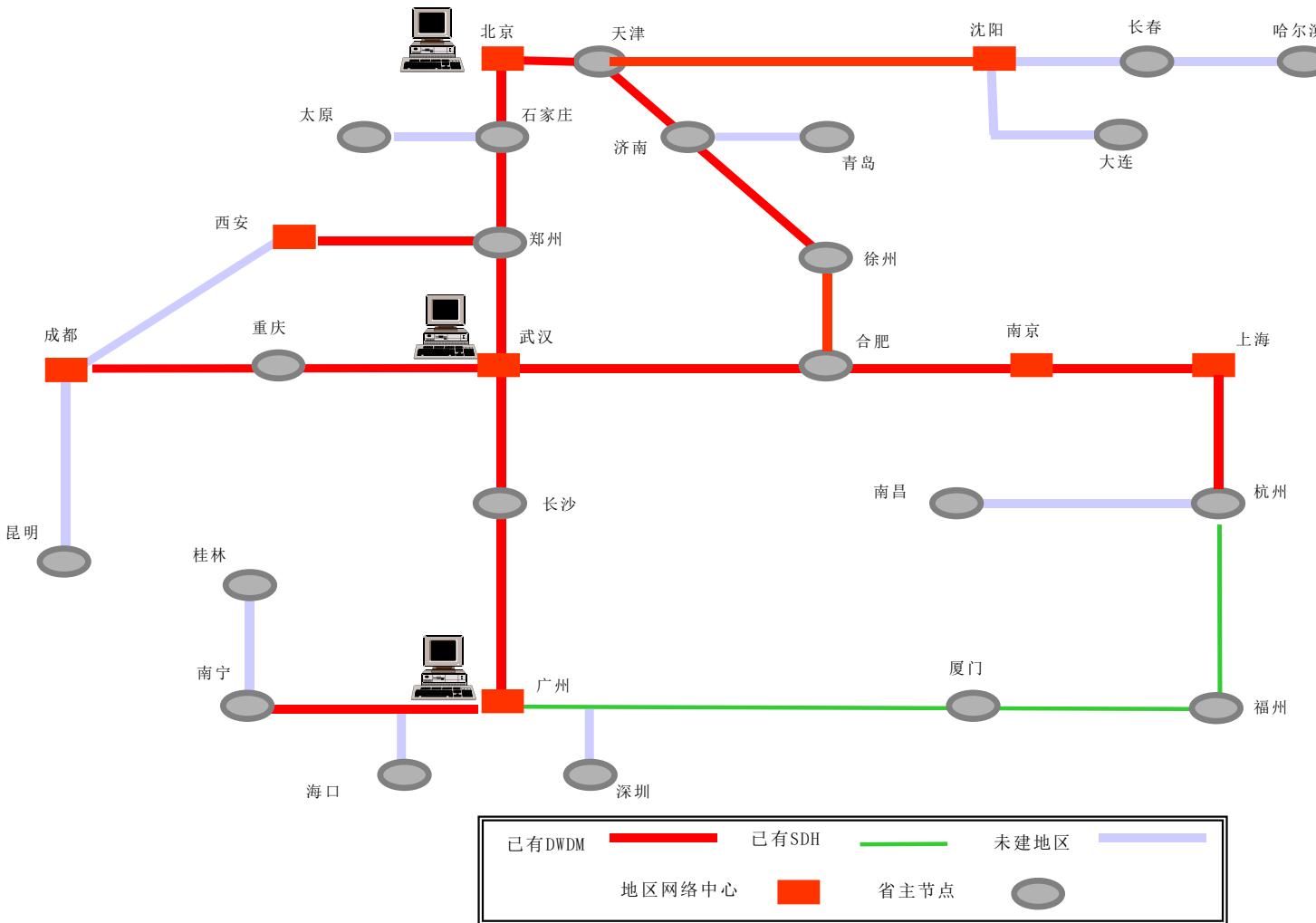


CERNET 的发展现状

- 我国第一个全国性计算机互联网络（**1994**），目前我国第二大计算机互联网
- 全国主干网**100Gbps**，国际互联带宽**60Gbps**，国内互联带宽**359Gbps**
- 国家网络中心、地区网络中心和省主节点分布在全國**36**个城市的**38**所高校，通达全国**200**多个城市
- 接入高校**1715**所、用户**2044**万，总流量**377G**



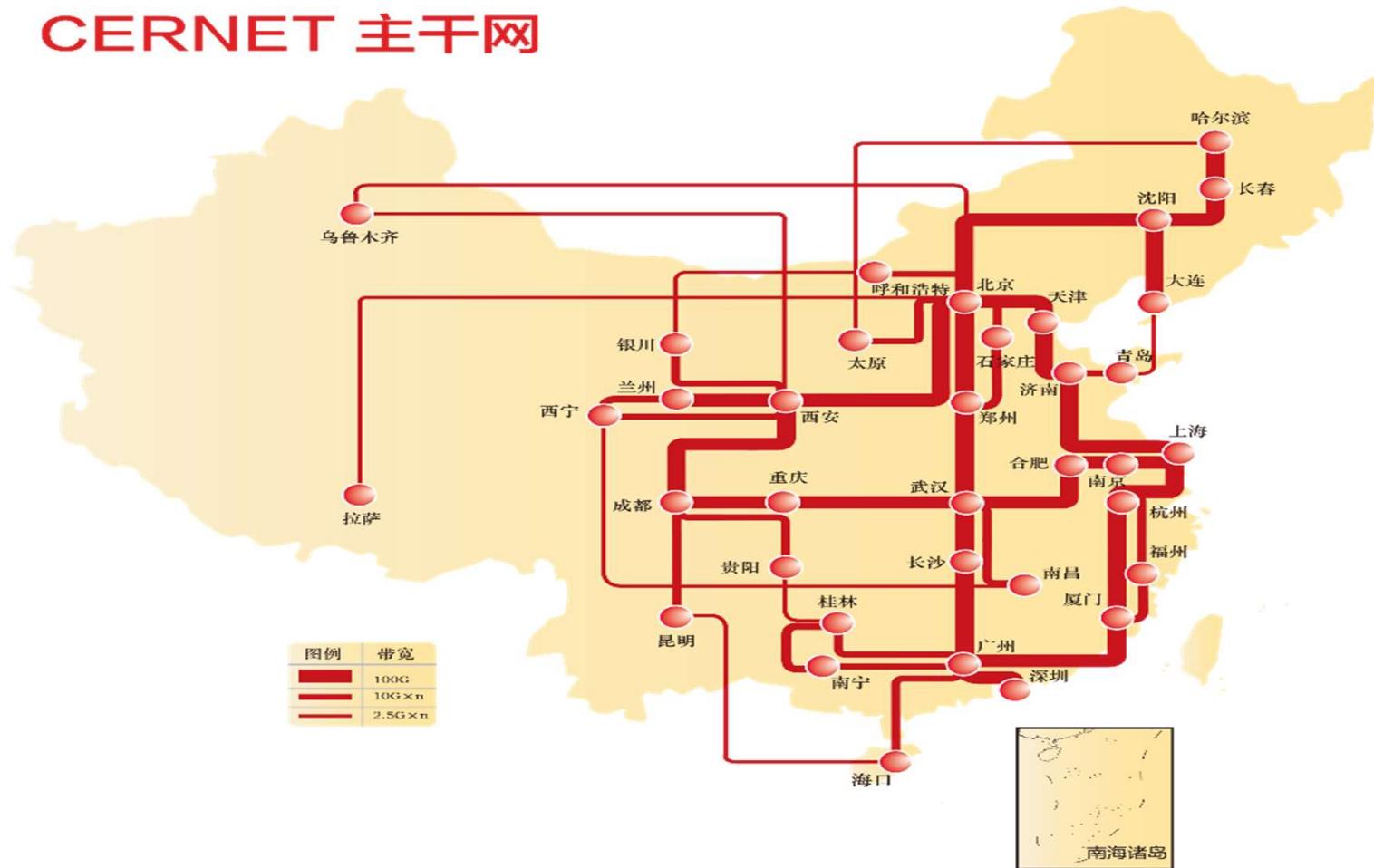
CERNET 光纤传输网络





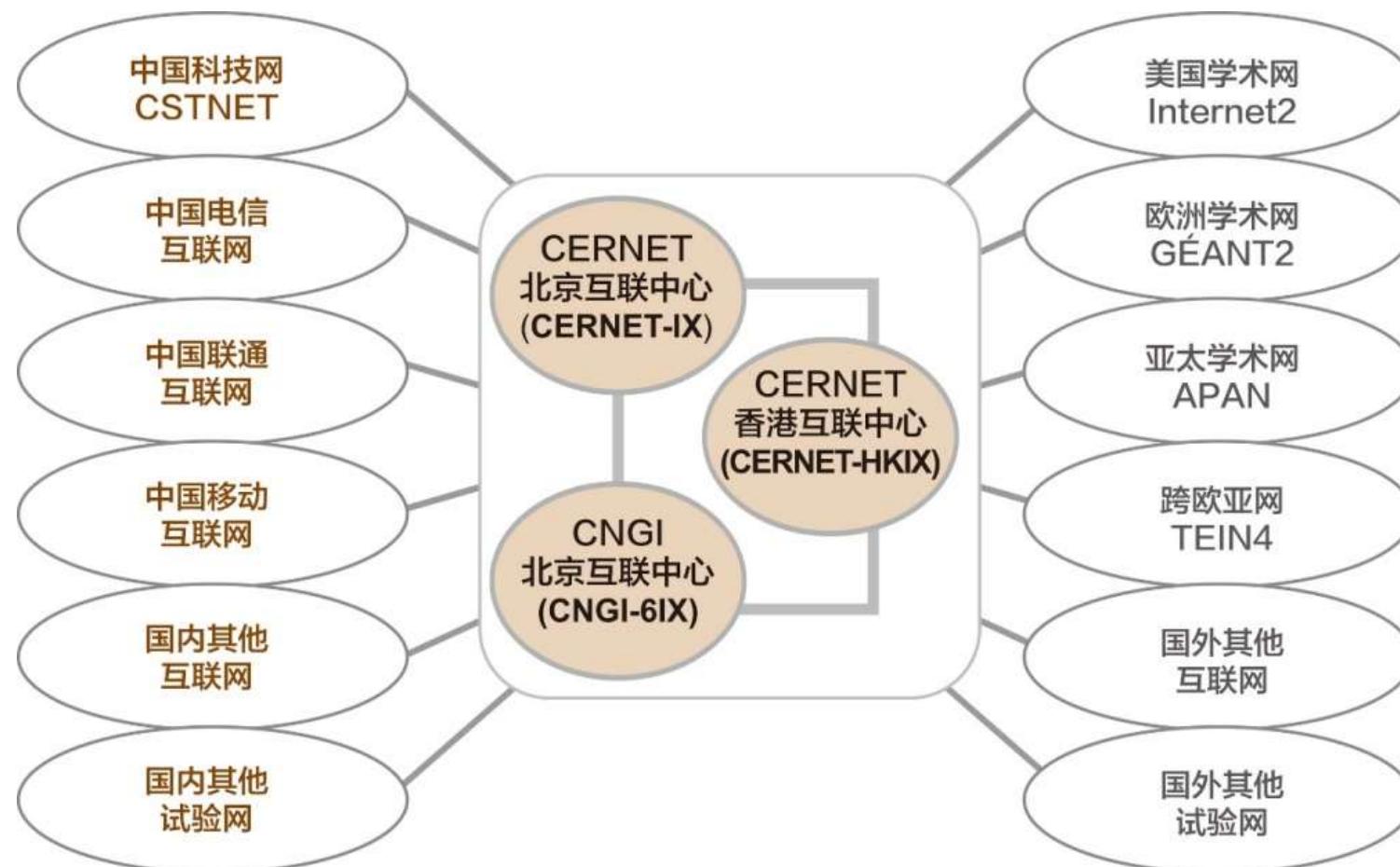
CERNET 主干网

CERNET 主干网





CERNET/CNGI 互联中心



国内互联总带宽： 359G (增加17G)

国际互联总带宽： 60G



中国下一代互联网发展战略研究

- **2002年8月1日**，原国家计委组织中国“下一代互联网发展战略研究”
- **2003年8月**，国务院批复同意国家发改委等八部委“关于推动我国下一代互联网发展有关工作的请示”，正式启动“中国下一代互联网示范工程**CNGI**”
- **2003年8月**，国家发改委委托中国工程院对“中国下一代互联网示范工程”中的示范网络核心网络承担单位进行了招标。**5+1**参加**CNGI**核心网建设
- **2004年7月**，**CNGI**领导小组、协调小组、专家委员会成立，项目全面开始实施



CNGI 核心网：CERNET2

- 中国下一代互联系示范网络**CNGI**最大的主干网
- **10G/100G**连接全国**31**个城市，**41**个节点
- 与北美、欧洲、亚太地区国际下一代互联网实现实现高速互联
- 与其他**CNGI**主干网实现高速互联
- **IPv6**接入单位**818**多个，**IPv6**用户超过**600**万
- 成为我国研究下一代互联网技术、开发重大应用、推动下一代互联网产业发展的关键性基础设施
- **2004**年**12月25日**正式开通**CNGI—CERNET2**主干网



CERNET2主干网





CERNET2的主要技术特点

- 2004年底初步建成世界上最大规模的纯**IPv6**网络
 - 覆盖全国**20个主要城市**, 连接**100所以上高校和科研单位**
 - 进行大规模纯**IPv6**网络验证和试验: **IPv4 Over IPv6**等
- 大规模采用国产设备, 成为国产设备验证试验基地
 - **IPv6核心路由器, 接入路由器和三层路由交换机**
 - **清华比威, 华为的IPv6核心路由器**
- 建成可信任的下一代互联网
 - 进行**真实IPv6地址**网络相关技术的试验研究
 - 为构件安全可信的下一代互联网奠定基础
- 开发下一代互联网的关键应用
 - **基于SIP的大规模点到点综合通信系统**
 - **IPv6网格**



课后阅读

- **<http://www.internetsociety.org/internet/what-internet/history-internet/brief-history-internet>**
- 纪录片，互联网时代