

第一章 引言

计算机网络的历史和新进展





引言的引言

- 计算机网络是信息社会的基础设施，已经发展成为网络空间（**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 --- 从端系统的角度看

- 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 --- 从网络核心的角度看

- 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技术昙花一现
 - 移动互联网产业发展迅速
 - IPv6网络快速发展
 - 未来互联网研究受到普遍重视



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



全球互联网用户统计

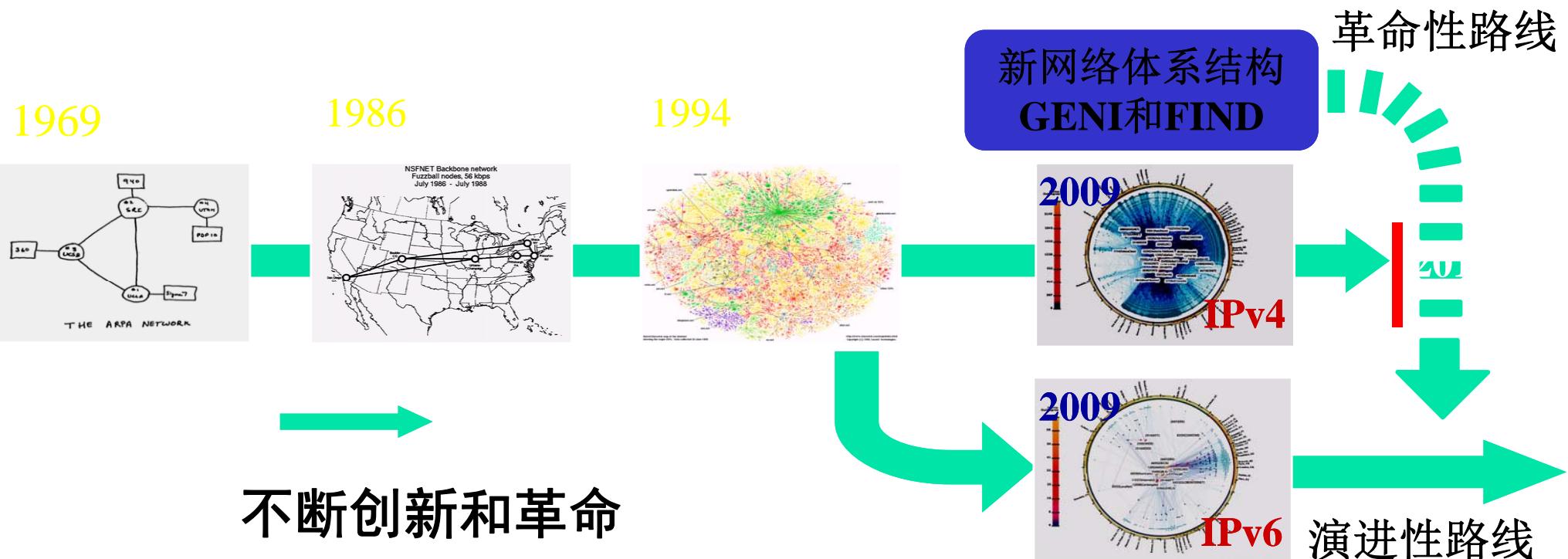
WORLD INTERNET USAGE AND POPULATION STATISTICS DEC 31, 2014 - Mid-Year Update

World Regions	Population (2015 Est.)	Internet Users Dec. 31, 2000	Internet Users Latest Data	Penetration (% Population)	Growth 2000-2015	Users % of Table
Africa	1,158,353,014	4,514,400	318,633,889	27.5 %	6,958.2 %	10.3 %
Asia	4,032,654,624	114,304,000	1,405,121,036	34.8 %	1,129.3 %	45.6 %
Europe	827,566,464	105,096,093	582,441,059	70.4 %	454.2 %	18.9 %
Middle East	236,137,235	3,284,800	113,609,510	48.1 %	3,358.6 %	3.7 %
North America	357,172,209	108,096,800	310,322,257	86.9 %	187.1 %	10.1 %
Latin America / Caribbean	615,583,127	18,068,919	322,422,164	52.4 %	1,684.4 %	10.5 %
Oceania / Australia	37,157,120	7,620,480	26,789,942	72.1 %	251.6 %	0.9 %
WORLD TOTAL	7,264,623,793	360,985,492	3,079,339,857	42.4 %	753.0 %	100.0 %

NOTES: (1) Internet Usage and World Population Statistics are preliminary for Dec 31, 2014. (2) CLICK on each world region name for detailed regional usage information. (3) Demographic (Population) numbers are based on data from the [US Census Bureau](#) and local census agencies. (4) Internet usage information comes from data published by [Nielsen Online](#), by the [International Telecommunications Union](#), by [GfK](#), local ICT Regulators and other reliable sources. (5) For definitions, disclaimers, navigation help and methodology, please refer to the [Site Surfing Guide](#). (6) Information in this site may be cited, giving the due credit to [www.internetworldstats.com](#). Copyright © 2001 - 2015, Miniwatts Marketing Group. All rights reserved worldwide.



互联网演进路线





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**ITU**、**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
- 2015.6, 互联网用户近**6.68亿**, 普及率**48.8%**



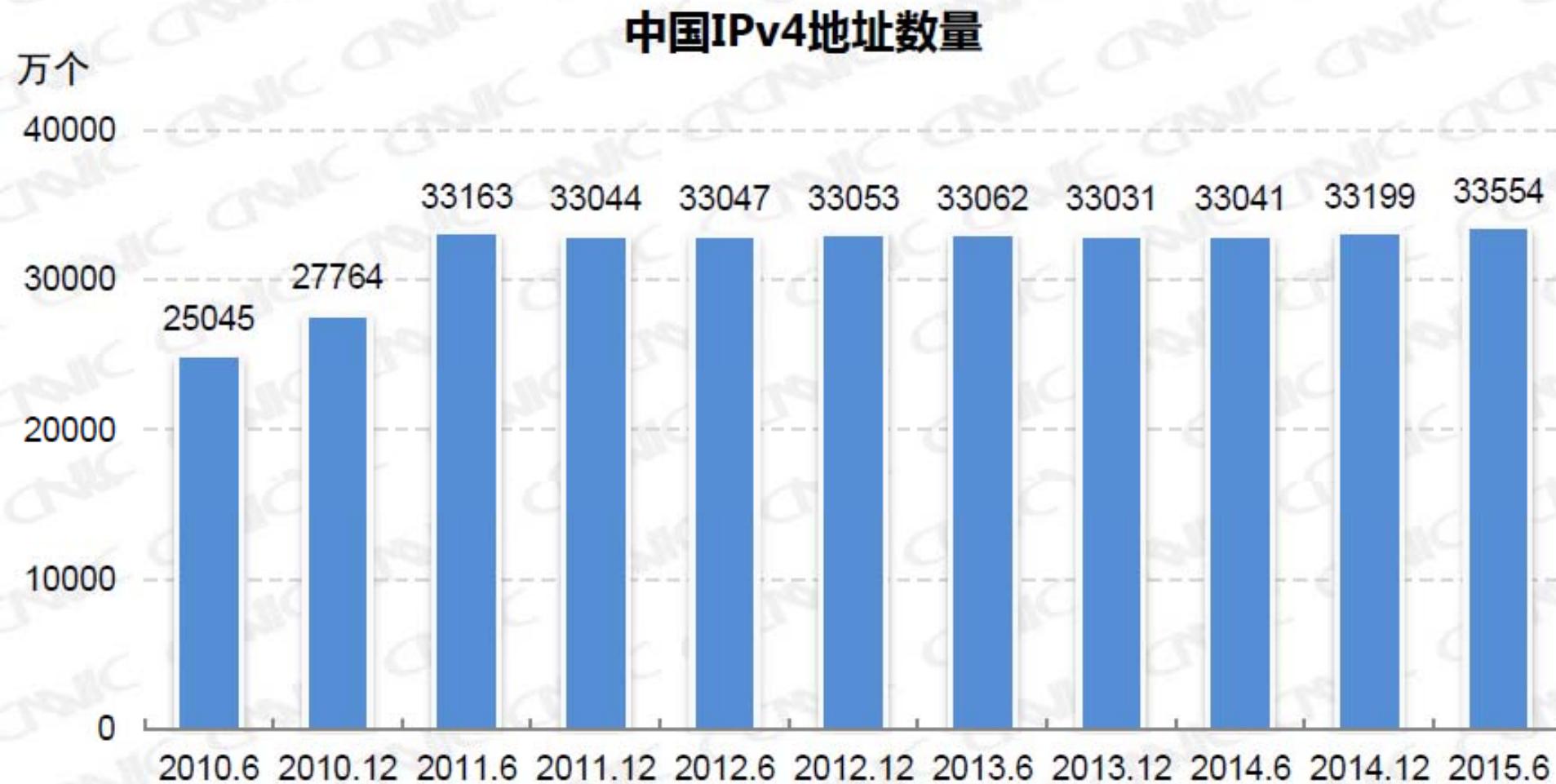


中国手机上网用户



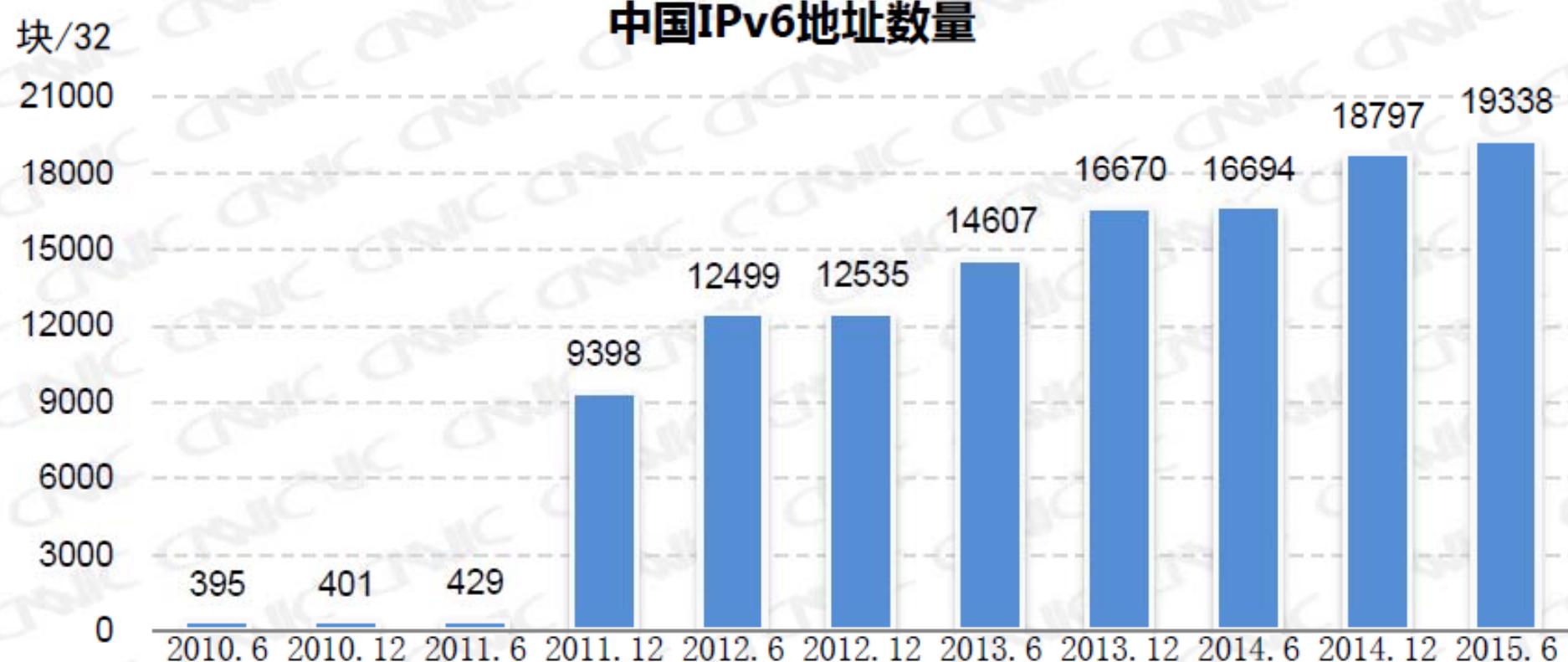


中国互联网 IPv4 地址统计





中国互联网 IPv6 地址统计



来源：CNNIC 中国互联网络发展状况统计调查

2015.6



中国互联网国际出口带宽统计



来源：CNNIC 中国互联网络发展状况统计调查

2015.6



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

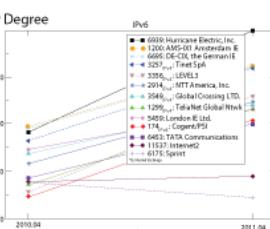
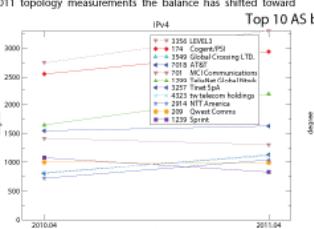
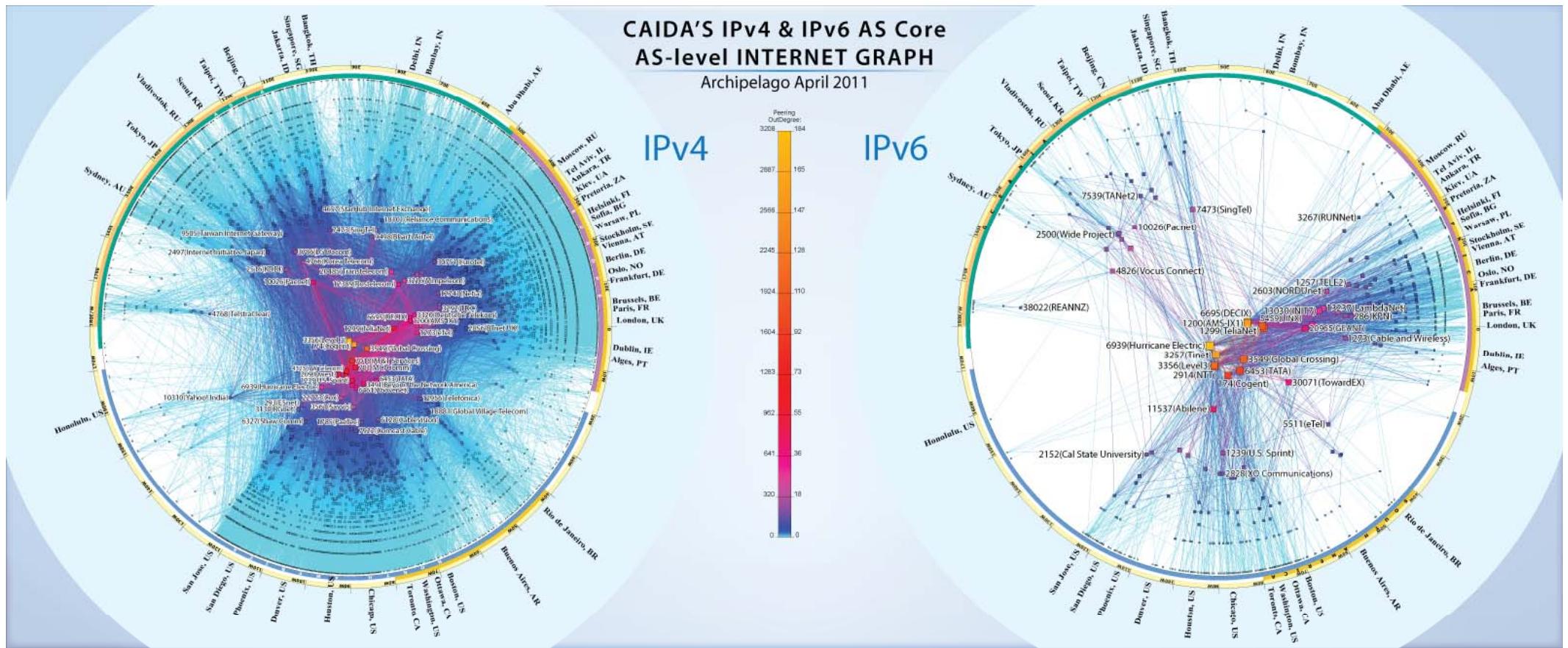


互联网 (Internet)

- 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)



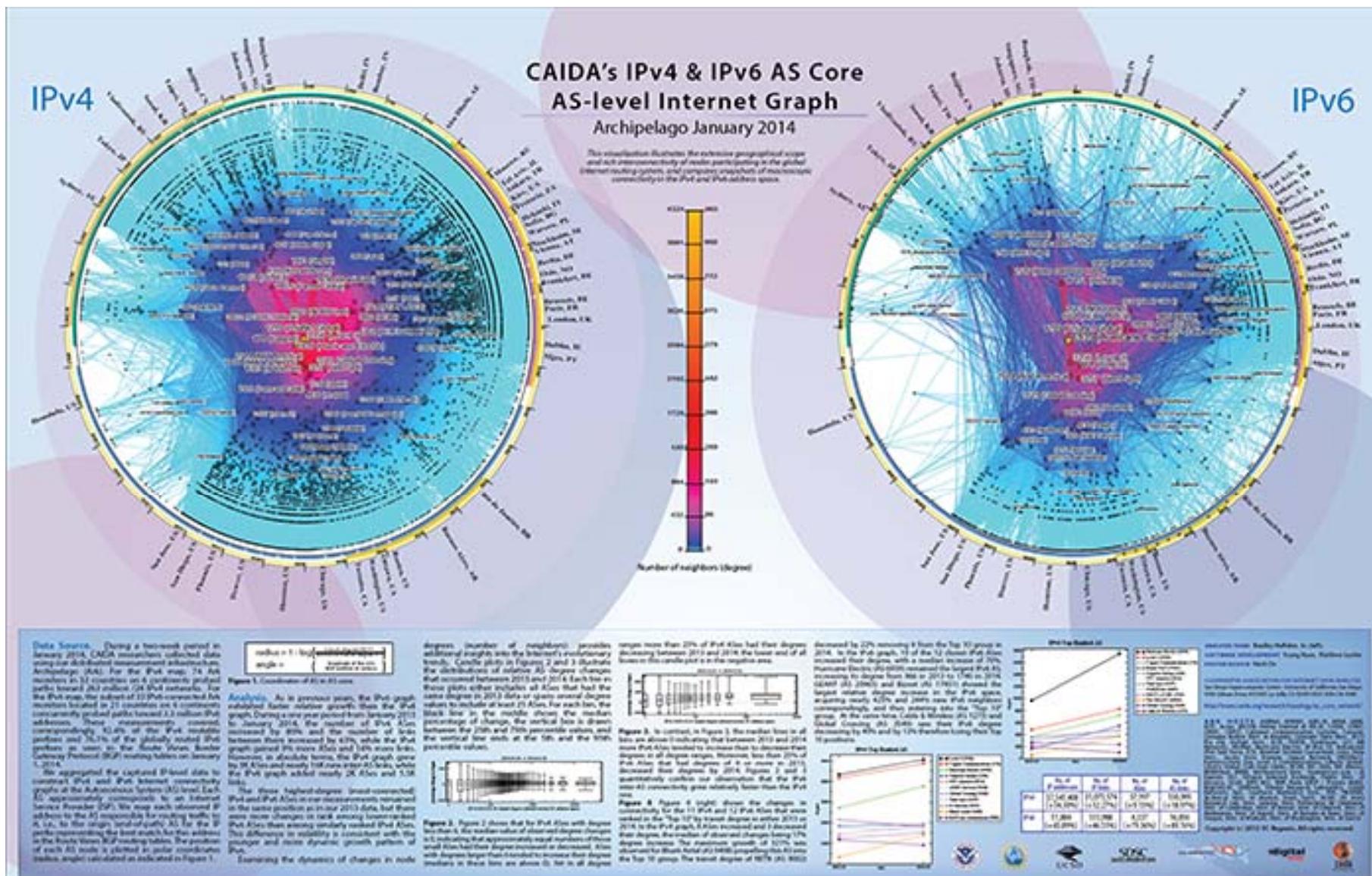
IPv4/IPv6 网络互联关系图



	Number of IP addresses	Number of IP links	Number of ASes	Number of AS links
IPv4	23,037,154	20,187,579	29,316	77,610
IPv6	146,683	33,927	1,183	2,738



IPv4/IPv6 网络互联关系图





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 年时间
- 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：

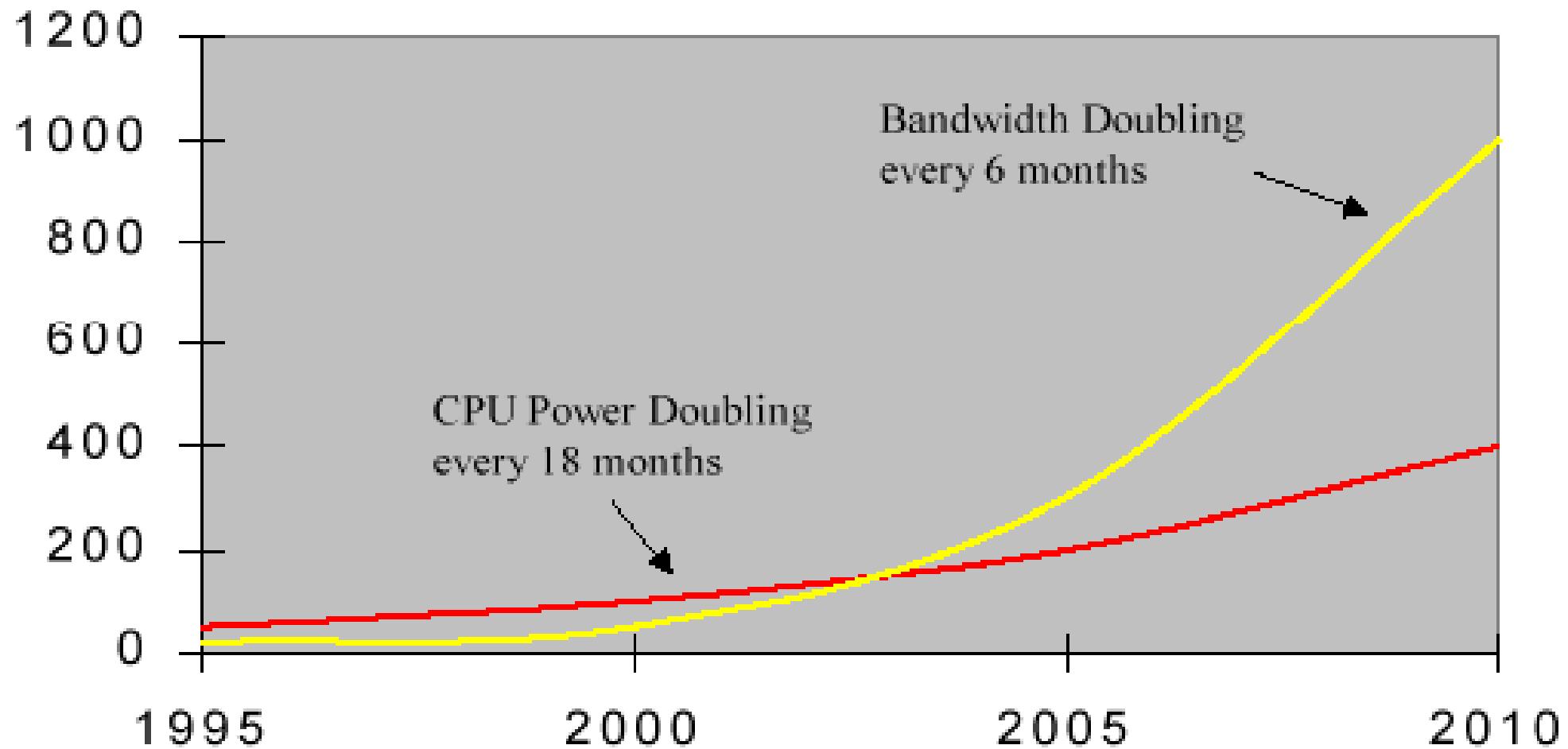
超摩尔定律, 骨
干网带宽**9**个月
翻番, **10**年
10000倍。带宽
需求呈超高速增长
的趋势

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

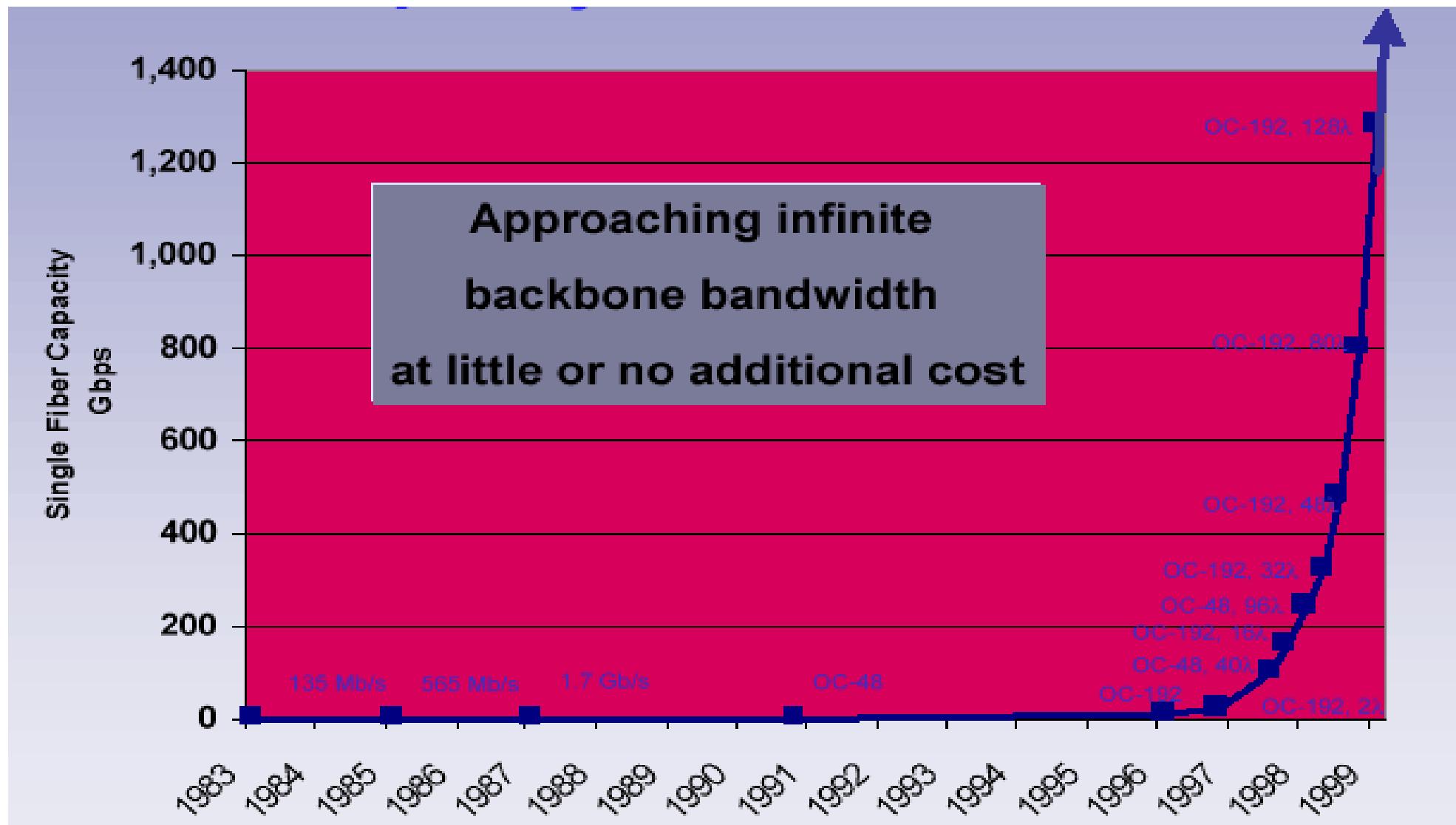


网络带宽与CPU性能





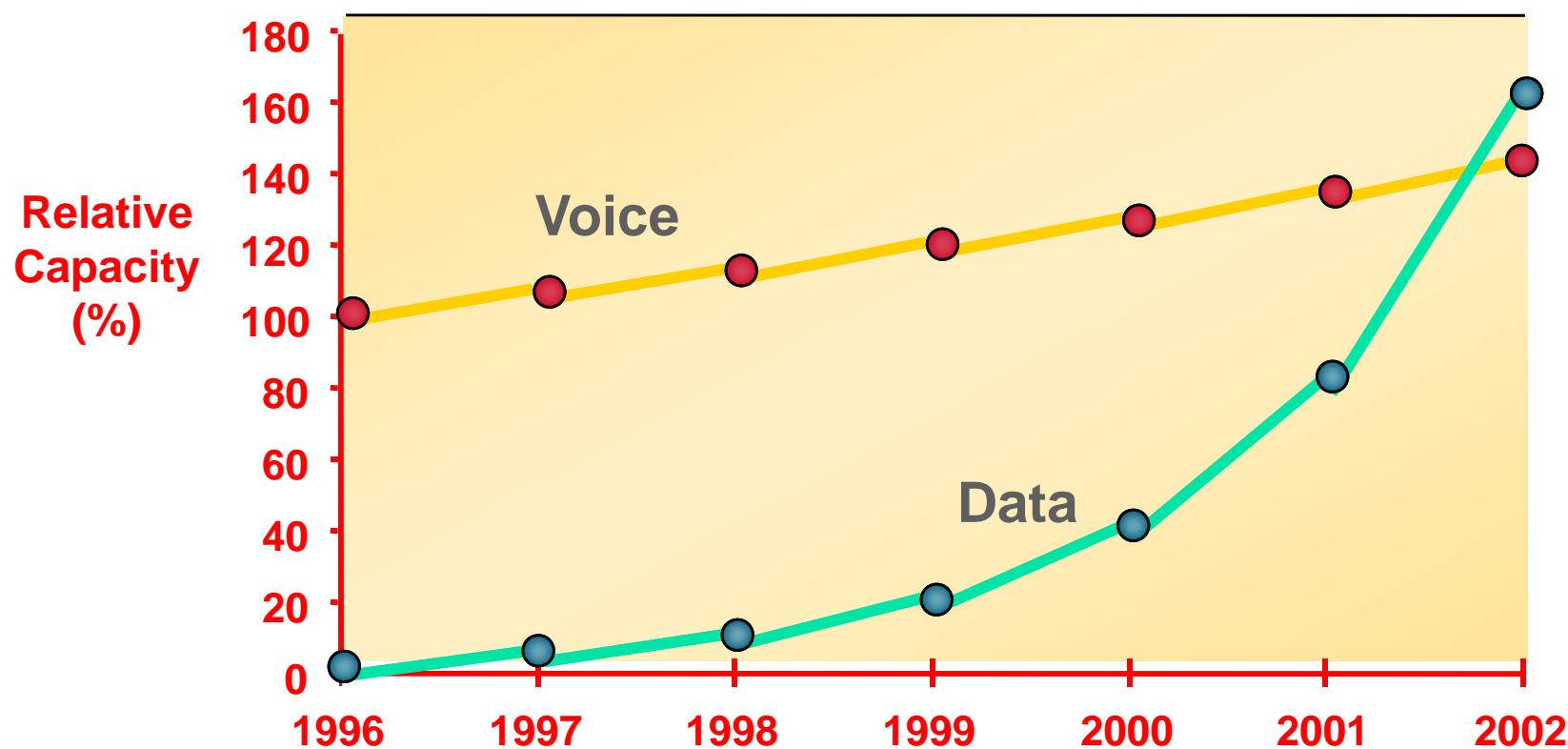
光纤容量





数据流量超过语音

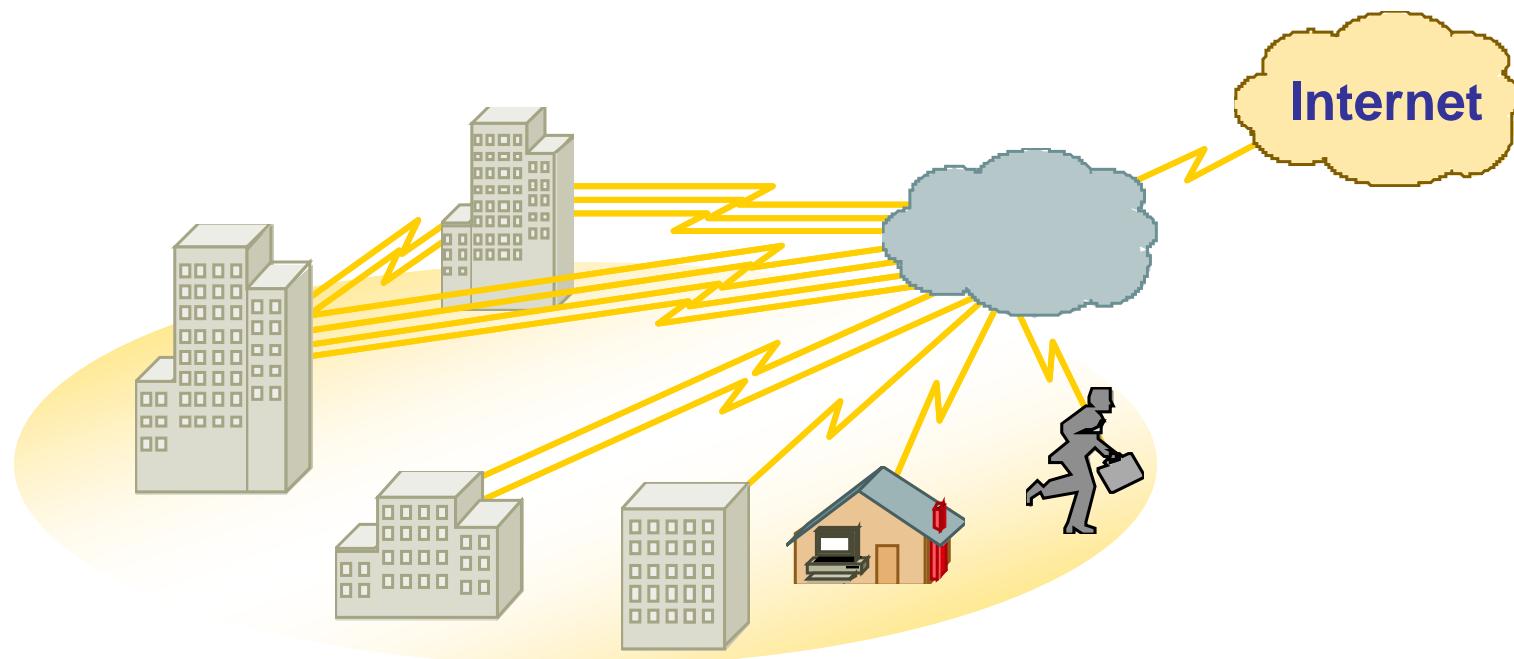
International data traffic already exceeds international voice from Australia and Scandinavia.



Source: MCI (Vint Cerf)



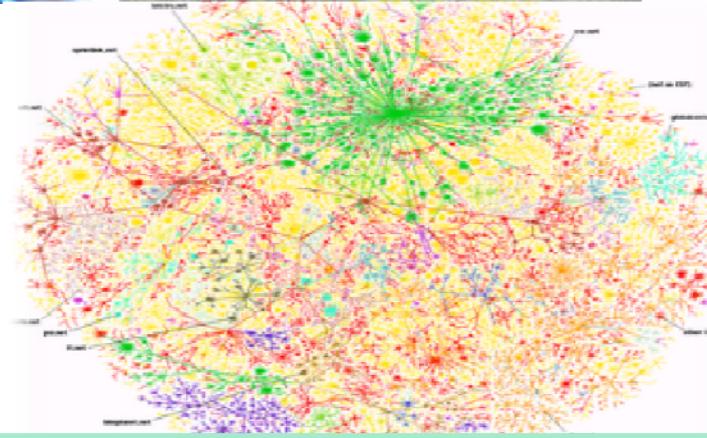
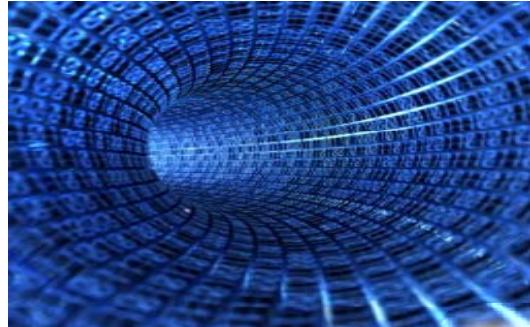
Data/Voice/Video 三网融合





新三网融合：

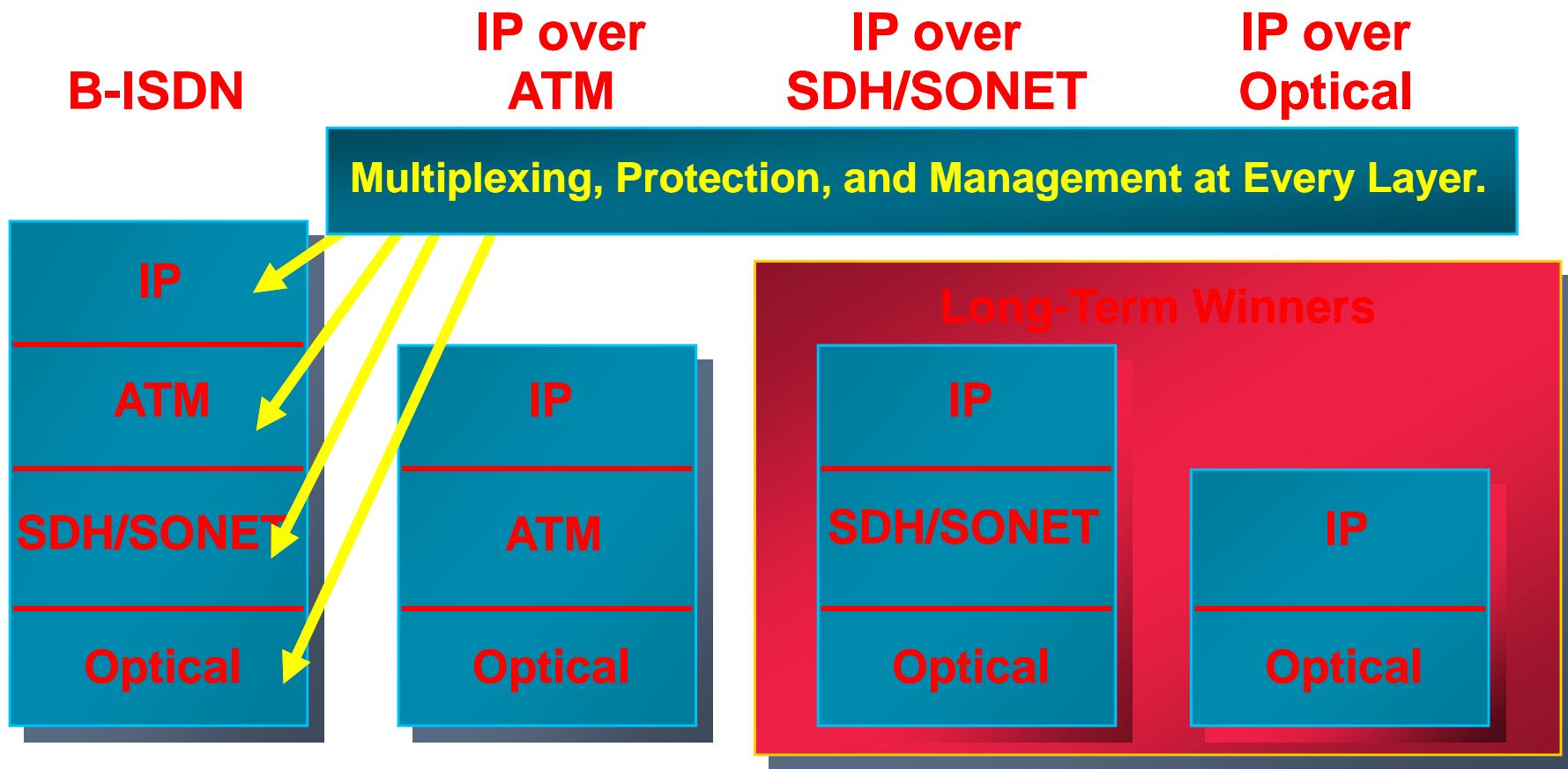
互联网、移动通信网和空间网络



无线移动网络和空间网络正通过互联网技术加速演进，
“新三网融合”的需求将不再局限于业务的互联互通，
而是发展成为体系结构层面的一体化深度融合。



网络体系结构的发展趋势



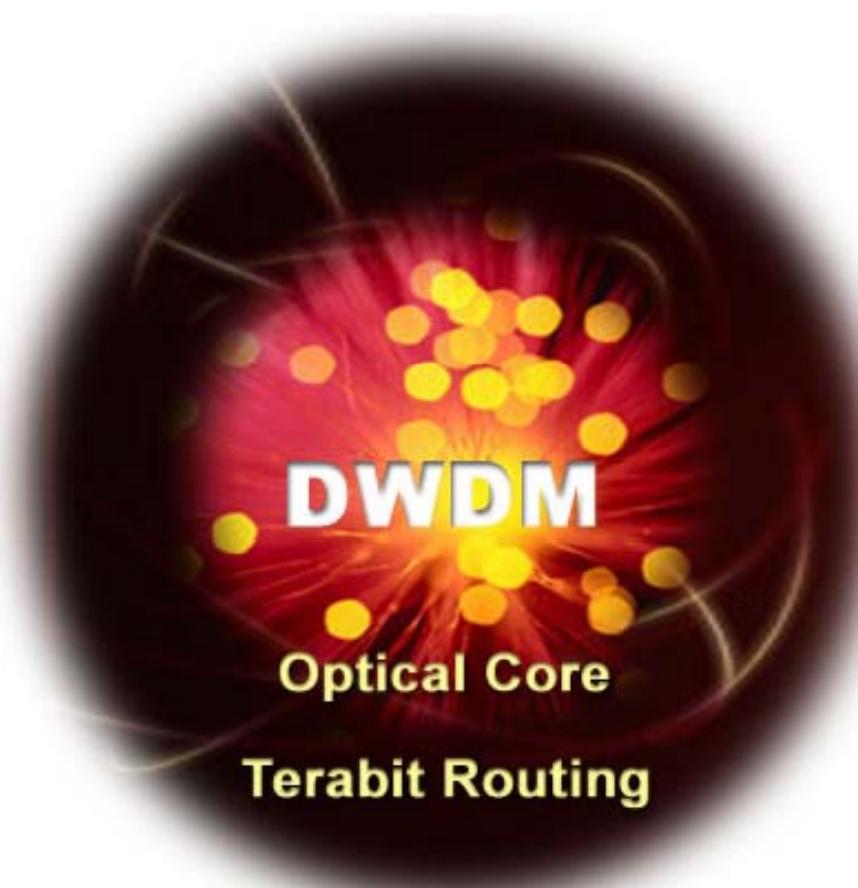
Eliminating Layers Lowers Costs.



IP + Optical

- DWDM transmission
- Mesh topology
- End-to-end provisioning

- Wavelength switching granularity
 - Open protocols





无线技术

Fixed

Broadband

MMDS
2.5GHz

ETSI
3.5 GHz

UNII
5.7GHz

Mobile

Cellular

2G
GSM/GPRS
CDMA/PDSN

3G
UMTS
CDMA 2000

Campus

Wireless LAN

802.11b



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宣布全面向**IPv6**过渡，2008年完成
- 2005年7月美国政府决定2008年6月过渡到**IPv6**
- **IPv6**网络设备和应用软件不断推出
 - **IPv6**网络设备：**Juniper, Cisco...**
 - **IPv6**应用软件：**Microsoft, SUN...**
- 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?

"On the Internet, nobody knows you're a dog."

EXCLUSIVE: NSA targeted China's Tsinghua University in extensive hacking attacks, says Snowden

Edward Snowden

See and be seen

Most Popular

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



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



IETF 的历史

- 1986年1月16日，在美国加州圣地亚哥，召开第1次会议
- 2010年11月，在北京，召开第79届IETF会议
- 现在每年3次会议
- Lixia Zhang, professor at UCLA: "At the first IETF I was a graduate student. I felt that I had so much to contribute. I had lots of great ideas. As years go by, I have better appreciation of how much I can learn from this community. Each time I come to an IETF Meeting, I learn from others. Now, I feel how little I know. As a graduate student, I felt how much I know."

-- from IETF Journal, Volume 2, Issue 1, 2006



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/TWAD 1992 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.

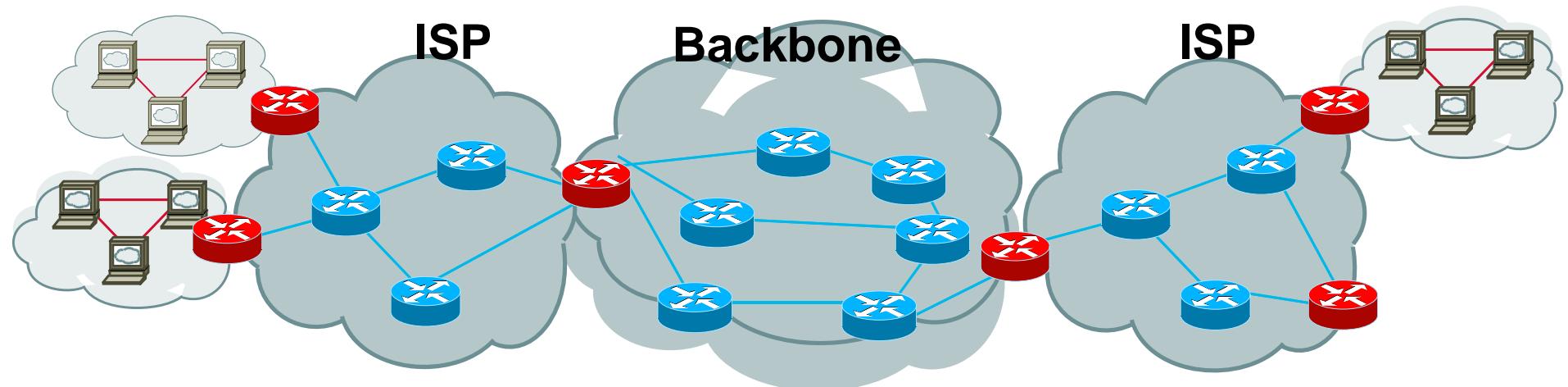


互联网提供的服务

- 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**
- 网络空间 (**Cyberspace**)
- ...



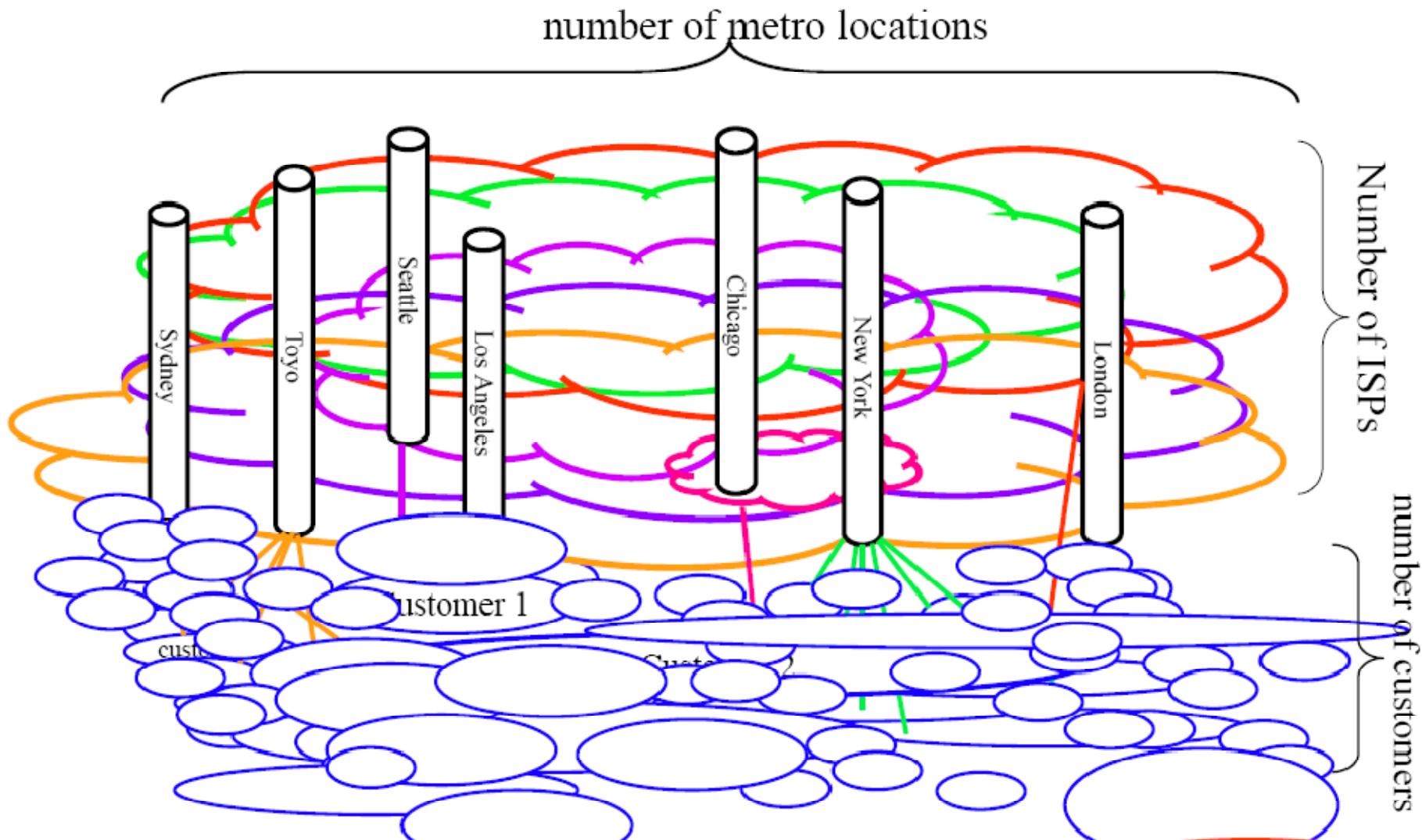
互联网络结构



- 用户接入
 - Modem
 - DSL
 - Cable modem
 - Satellite
 - LAN
- 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





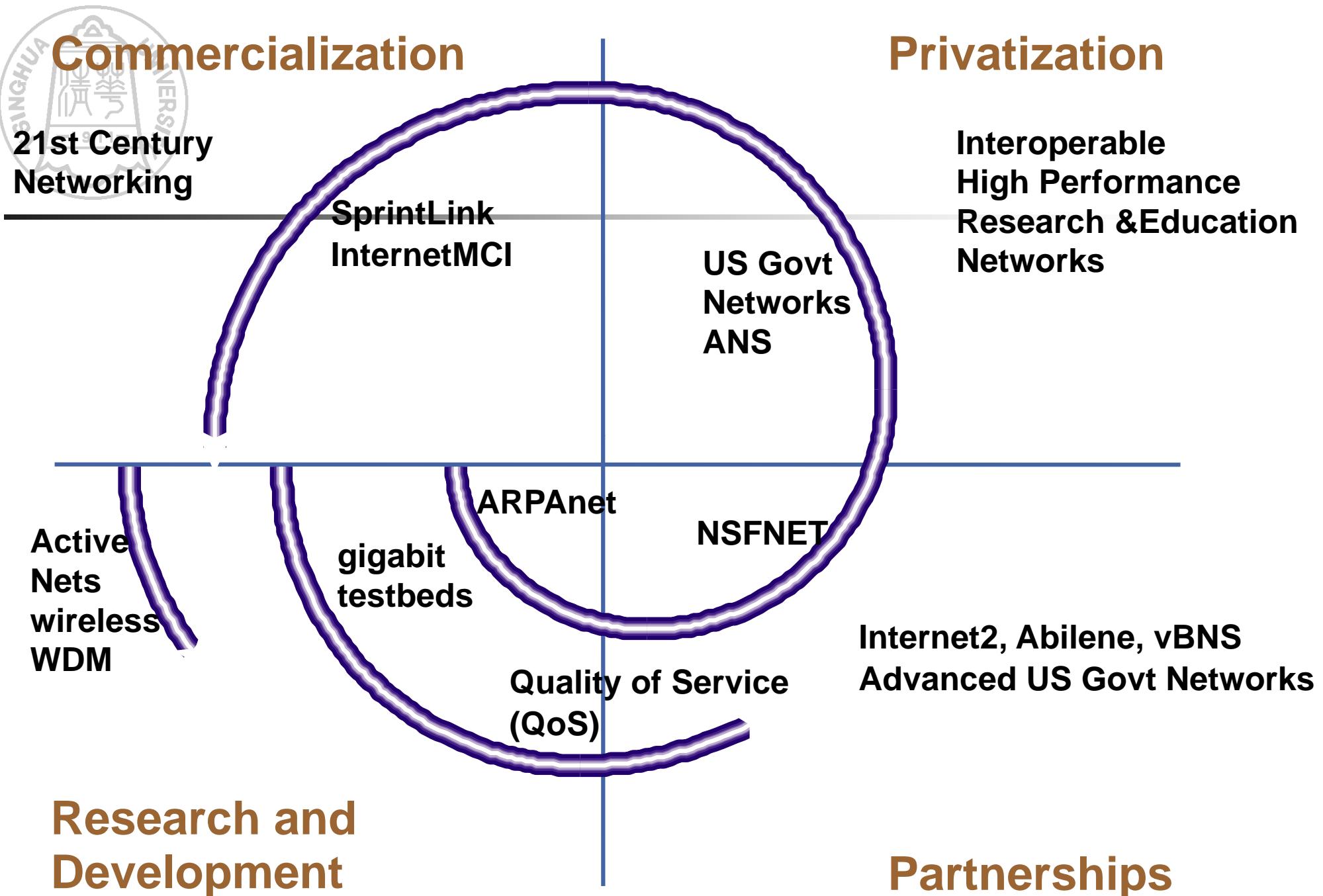
互联网的主要技术特点

- 分层的分布式结构
- 无连接的分组交换技术
- 网络互连协议IP (**IP over everything**)
- 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、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





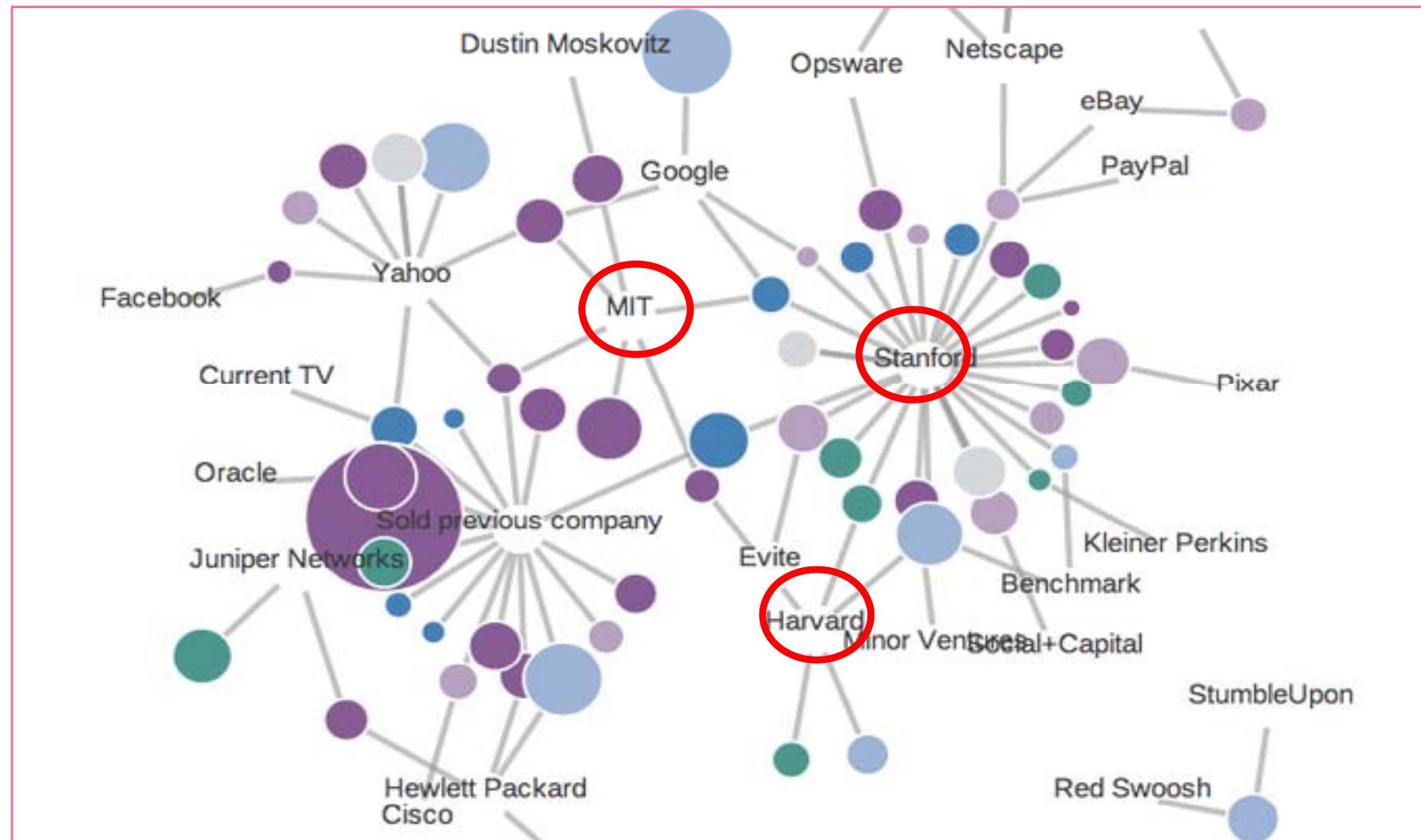
互联网的发展在于人才

互联网企业创始人创业时年龄

- facebook:
mark zuckerberg 19岁
- 微软: bill gates 20岁
- 微软: paul allen 22岁
- 苹果: steve jobs 21岁
- 苹果: steve wozniak 25岁
- google: sergey brin 25岁
- google: larry pages 25岁
- 雅虎: 杨致远 26岁
- 雅虎: david filo 28岁
- skype: janus friis 26岁
- skype: niklas zennstrom 36岁
- youtube: chad hurley 27岁
- myspace: tom anderson 27岁
- myspace: chris dewolfe 36岁
- ebay: pierre omiydar 28岁
- amazon: jeff bezos 30岁
- paypal: max levchin 23岁
- paypal: peter thiel 31岁



英雄也问出处（美）





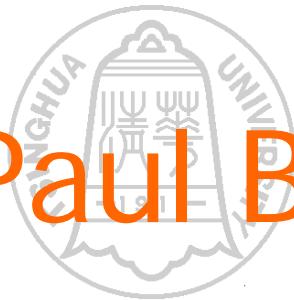
英雄也问出处（中）

1. 张朝阳	清华-MIT	搜狐
2. 王小川	清华	搜狗
3. 史立荣	清华大学	中兴
4. 李彦宏	北大-布法罗	百度
5. 俞敏洪	北大	新东方
6. 杨元庆	上海交通大学	联想
7. 周鸿祎	西交	奇虎
8. 陈天桥	复旦	盛大
9. 曹国伟	复旦	新浪
10. 丁磊	电子科技大学	网易
11. 雷军	武大	小米
12. 柳传志	西安电子科技大学	联想
13. 刘强东	人大	京东
14. 马化腾	深大	腾讯
15. 马云	杭州师范	阿里
16. 任正非	重庆建筑工程学院	华为
17. 古永锵	新南威尔士	优酷



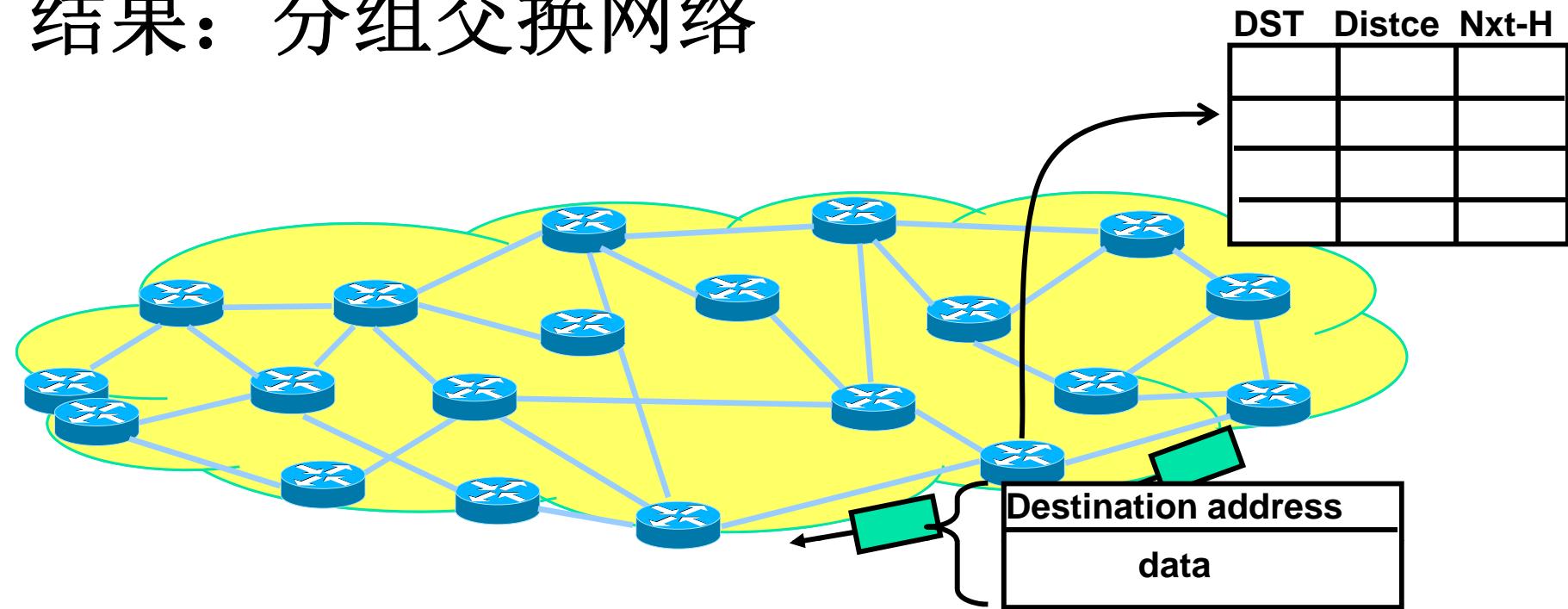
主要内容

- 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



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



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

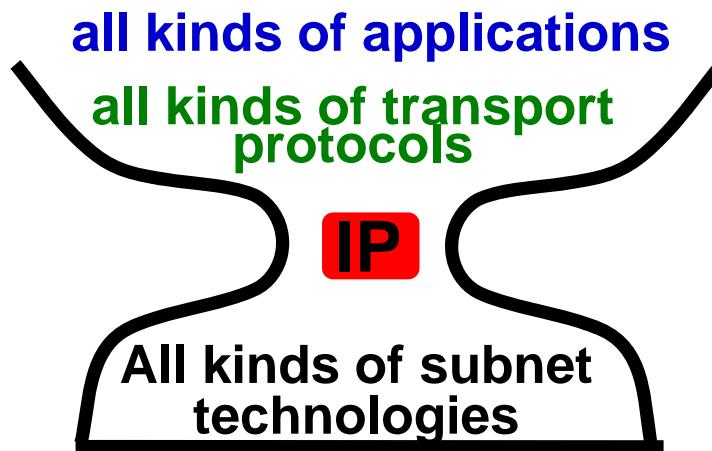
- 建立在简单的、不可靠部件上的可靠系统
- 自适应的系统
- 聪明的终端，可以修正传输错误



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: **simple, flexible, scalable, and robust**



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

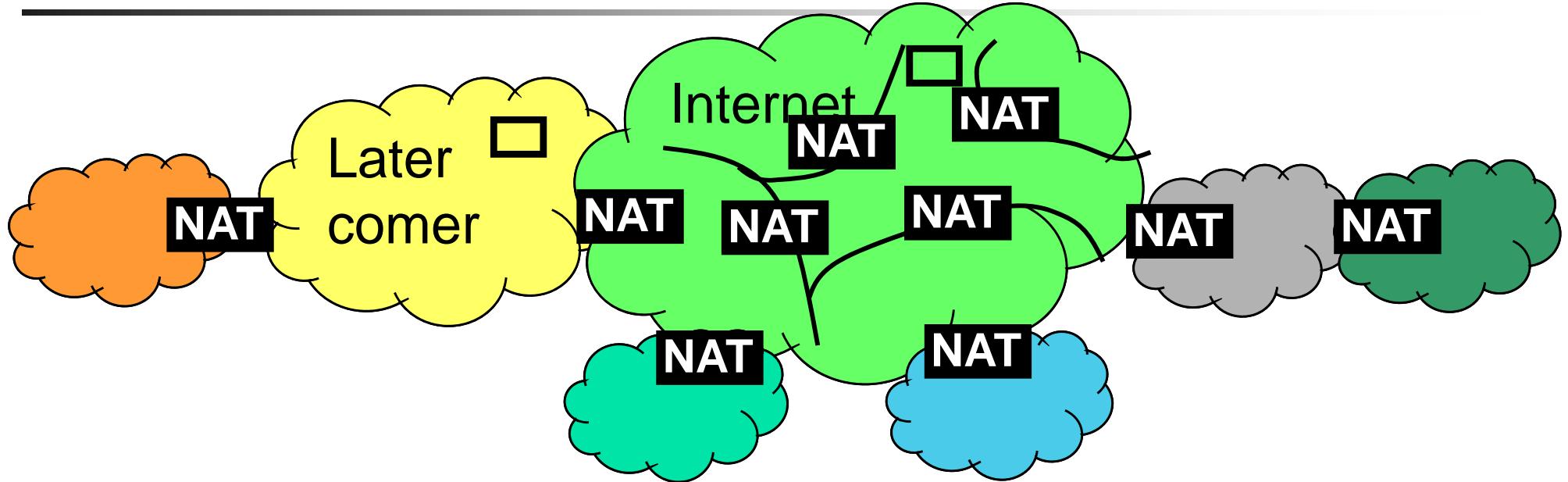


今天的互联网

- 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
 - 强制的IPsec支持安全的IPv6设备
 - 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

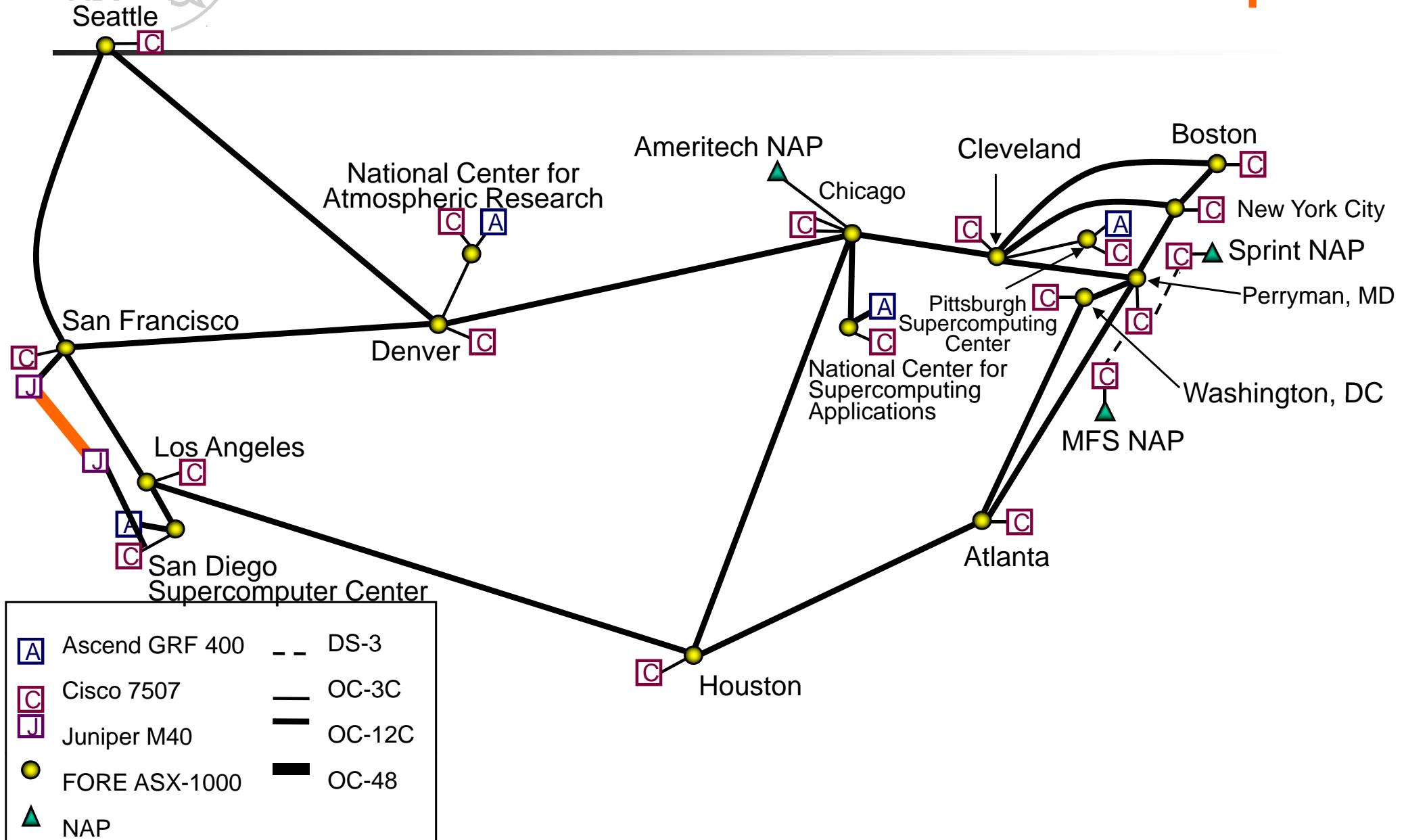


vBNS

- 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 技术和应用
 - 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

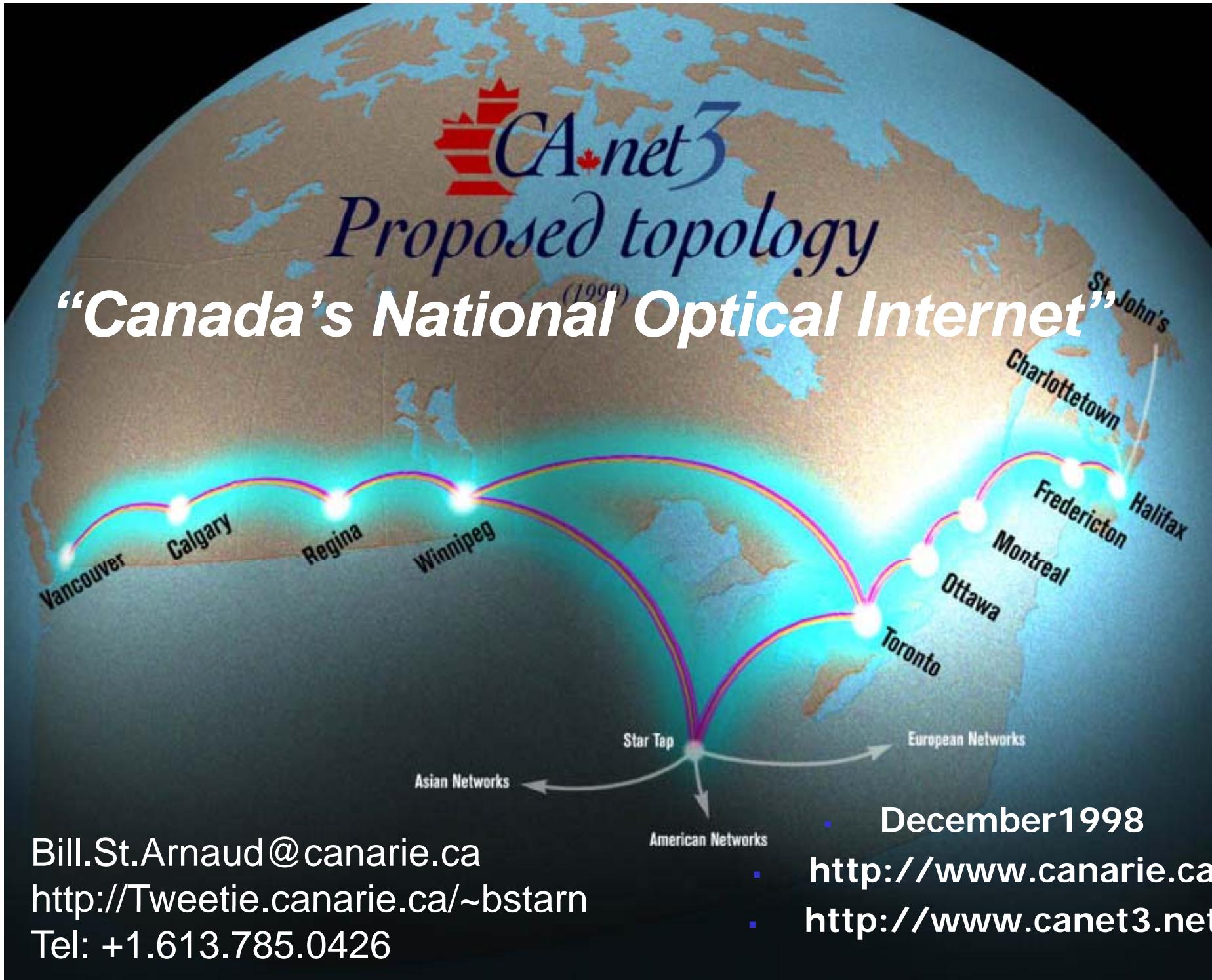
- 1998年4月14日美国副总统 Gore启动该项目
- 当时世界上最先进的科研教育网络，为参加Internet2的大学提供先进的IP骨干网络
 - 支持先进的科研项目
 - 整合先进的网络服务
- UCAID负责研发
 - Qwest, Nortel和Cisco等大公司加盟
- G比特汇接点（gigaPoPs）之间采用2.5 Gbps (OC48)的连接，并增加至 9.6 Gbps (OC192)。
- 一般连接采用622 Mbps (OC12) 或155 Mbps (OC3)
- 采用IP over SONET 技术

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

The Abilene Network
Internet 2

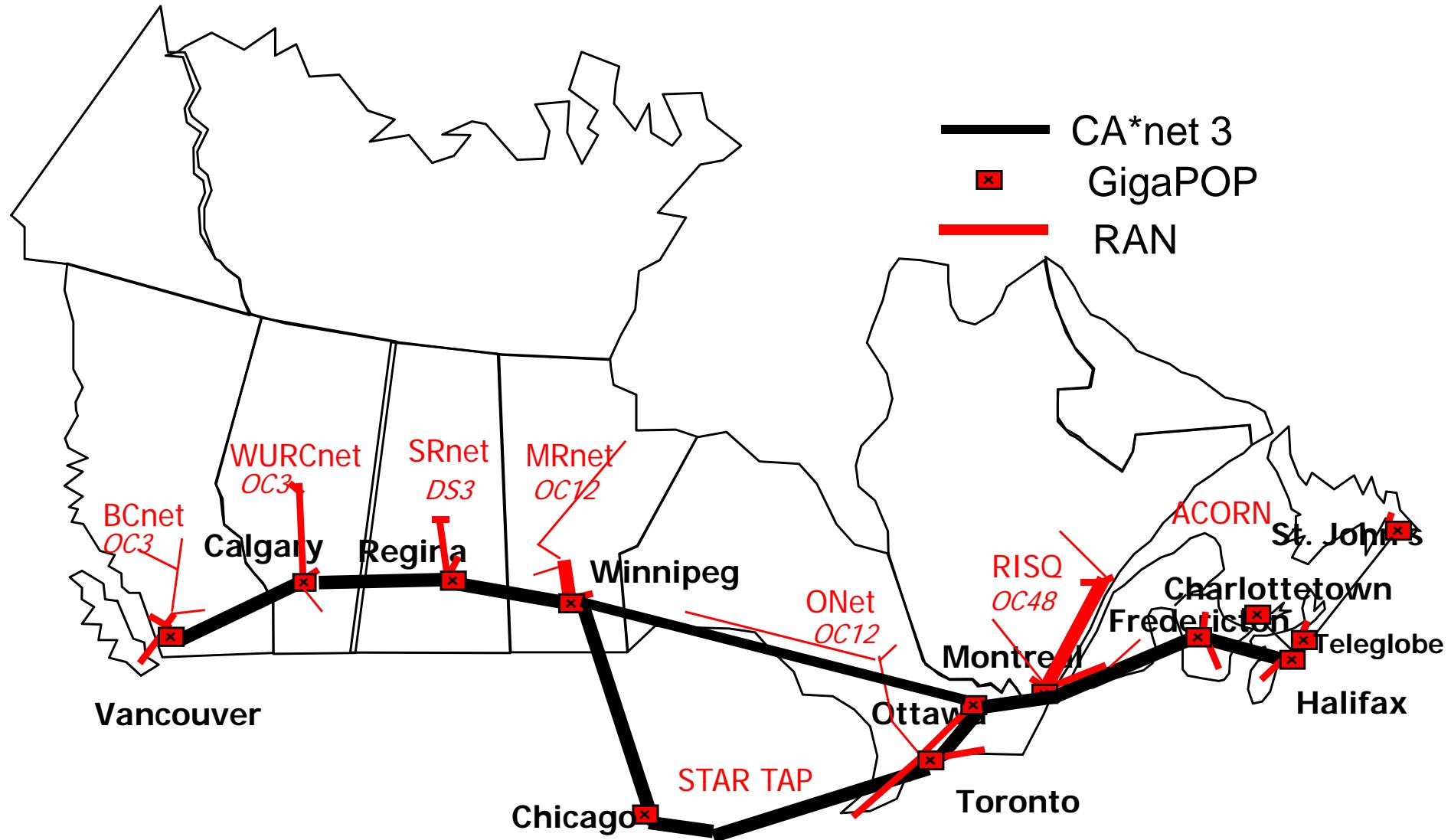


Qwest Abilene Partic
Cisco Peer Net
Nortel
Indiana University





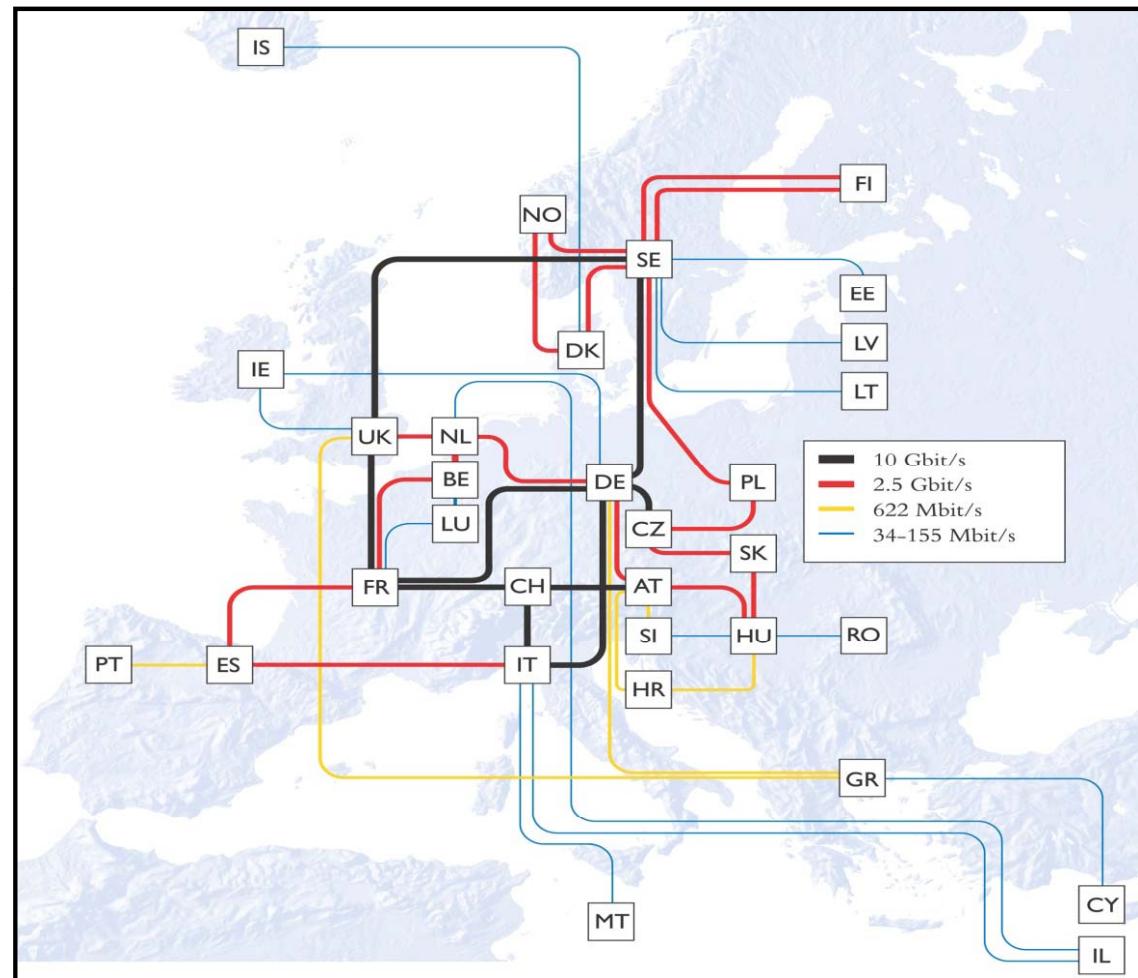
CA*net 3 National Optical Network





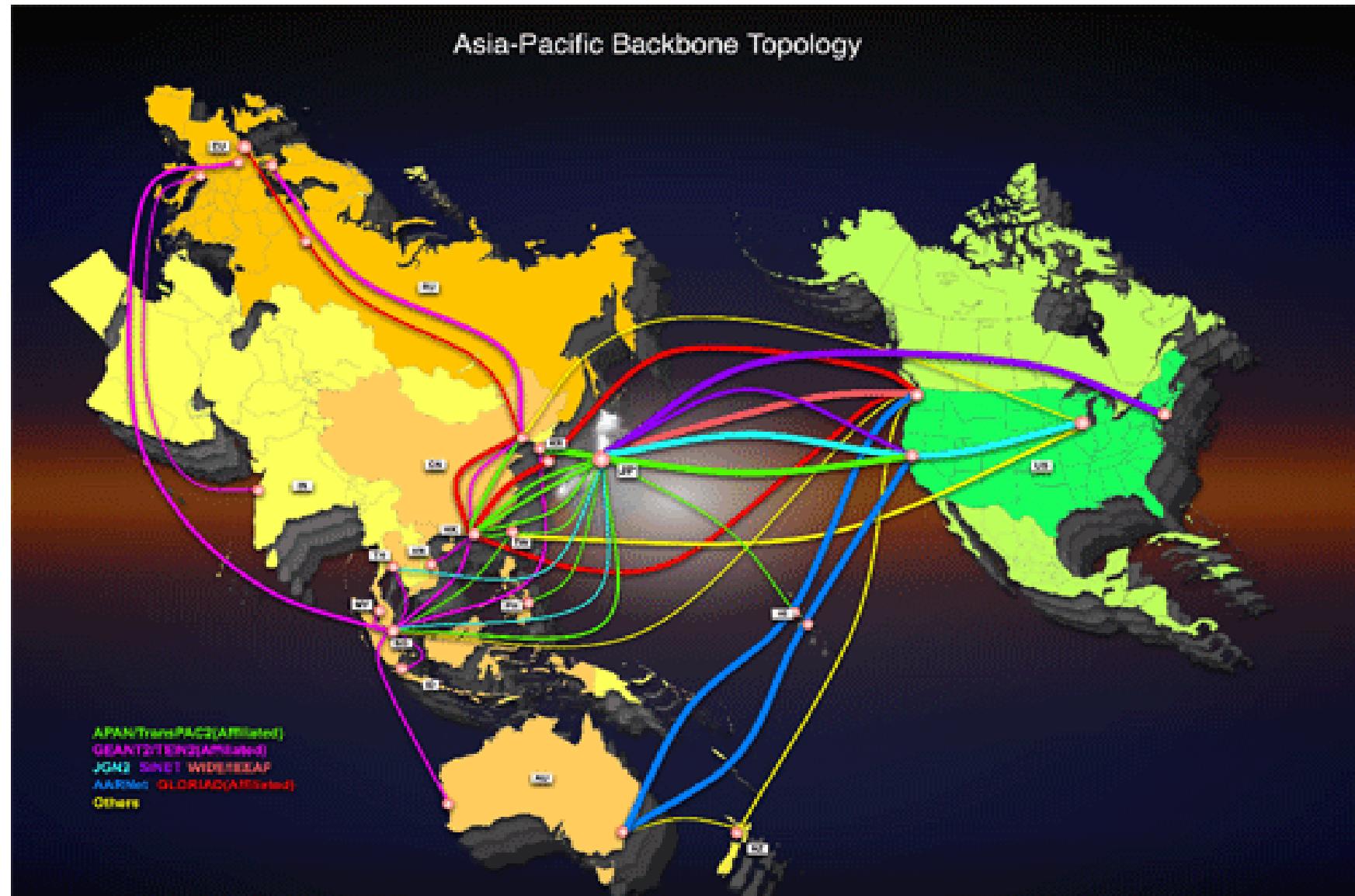
GEANT

- 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

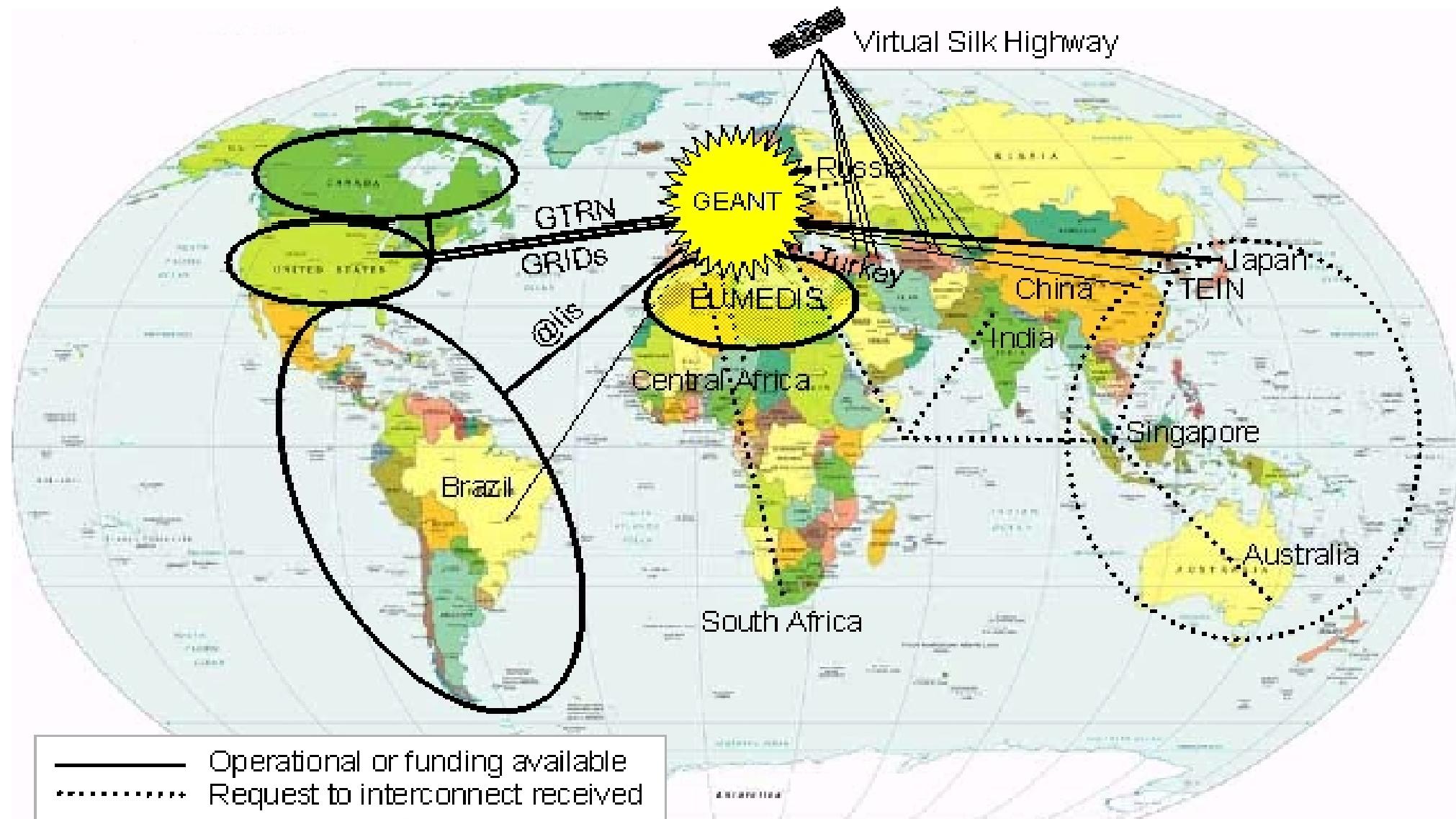
Common Interconnect for NGL, Internet2,
International High-Performance Networks



High-performance networks from
across the United States connect with
international networks at the STAR TAP
access point in Chicago, Illinois



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
- 2011.2.3, ICANN宣布IPv4地址耗尽



FIND: Future INternet Design

- 美国**NSF**的研究计划 **NeTS**:
 - 传感器系统网络 **NOSS**
 - 可编程的无线通信 **ProWin**
 - 广义联网 **NBD**
 - 未来互联网设计 **FIND**
- **FIND**
 - 面向端到端的网络体系结构和设计
 - 不面向单元技术和子网
- **Accelerate innovations and maintain US leadership in this vital area**



FIND Challenged the Research Community to:

Create the Future Internet you want to have in 10-15 years

30 Sep 2007

2



GENI: Global Environment for Networking Innovation

- 发现和评估可以作为21世纪互联网基础的新的革命性概念、示范和技术
- 建立一个支持新网络体系结构探险和评估的大规模试验环境
- 未来的互联网:
 - 值得社会信任
 - 激发科学和工程革命
 - 支持新技术融合
 - 支持普适计算
 - 成为真实世界和虚拟世界的桥梁
 - 支持革命性服务和应用



欧盟新一代互联网研究计划

The European FIRE Future Internet Research and Experimentation Activities	
Recommendations prepared by the FIRE Scientific and Industrial Preparatory Expert Groups	
DRAFT	
1. CONTEXT - WHY FIRE ?	2
1.1. Evolution of the Internet – growth and problems - patches	2
1.2. The starting point - EU research in the field	2
1.3. Need for experimentally-driven research on the Future Internet – definition and methodology	3
1.4. Why should the Commission fund FIRE?	4
2. THE FIRE VISION	5
3. HOW TO IMPLEMENT IT	6
3.1. Experimentally-driven long-term research related to the Future Internet	6
3.1.1. Openness of the approach	6
3.1.2. Multidisciplinarity	6
3.1.3. Experimentally-driven Research	7
3.2. Experimental testbeds and their federation into FIRE	7
3.2.1. Research on methodologies and tools for testing	8
3.2.2. Operation and management of federated testbeds	8
3.2.3. Building the FIRE experimental facilities	9
4. SOCIO-ECONOMIC ISSUES	10
5. STRATEGIC ISSUES	11
5.1. Sustainability of the testbeds, beyond the lifetime of the projects	11
5.2. European strengths and weaknesses - competitiveness issues (SWOT-type)	12
5.3. Analysis of the constituency and their interests	13
5.4. Positioning of FIRE in the European and international contexts	14
ANNEXES:	16

Disclaimer:

This paper reports the consolidated ideas of many committed individuals but does not prejudge the individual opinions of any of its contributor or their employers.

Neither the European Commission nor any person acting on its behalf is responsible for the use which might be made of the information contained in the present publication. The European Commission is not responsible for the external web sites referred to in the present publication. The views expressed in this publication are those of the authors and do not necessarily reflect the official European Commission's view on the subject.

The European FIRE Future Internet Research and Experimentation Activities

■ FIRE 科学和产业预备专家组

■ 2007年6月14日草案



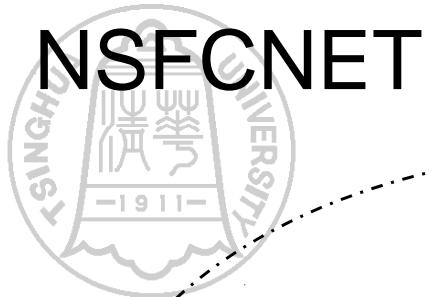
主要内容

- 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—2010：研究互联网体系结构
 - 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

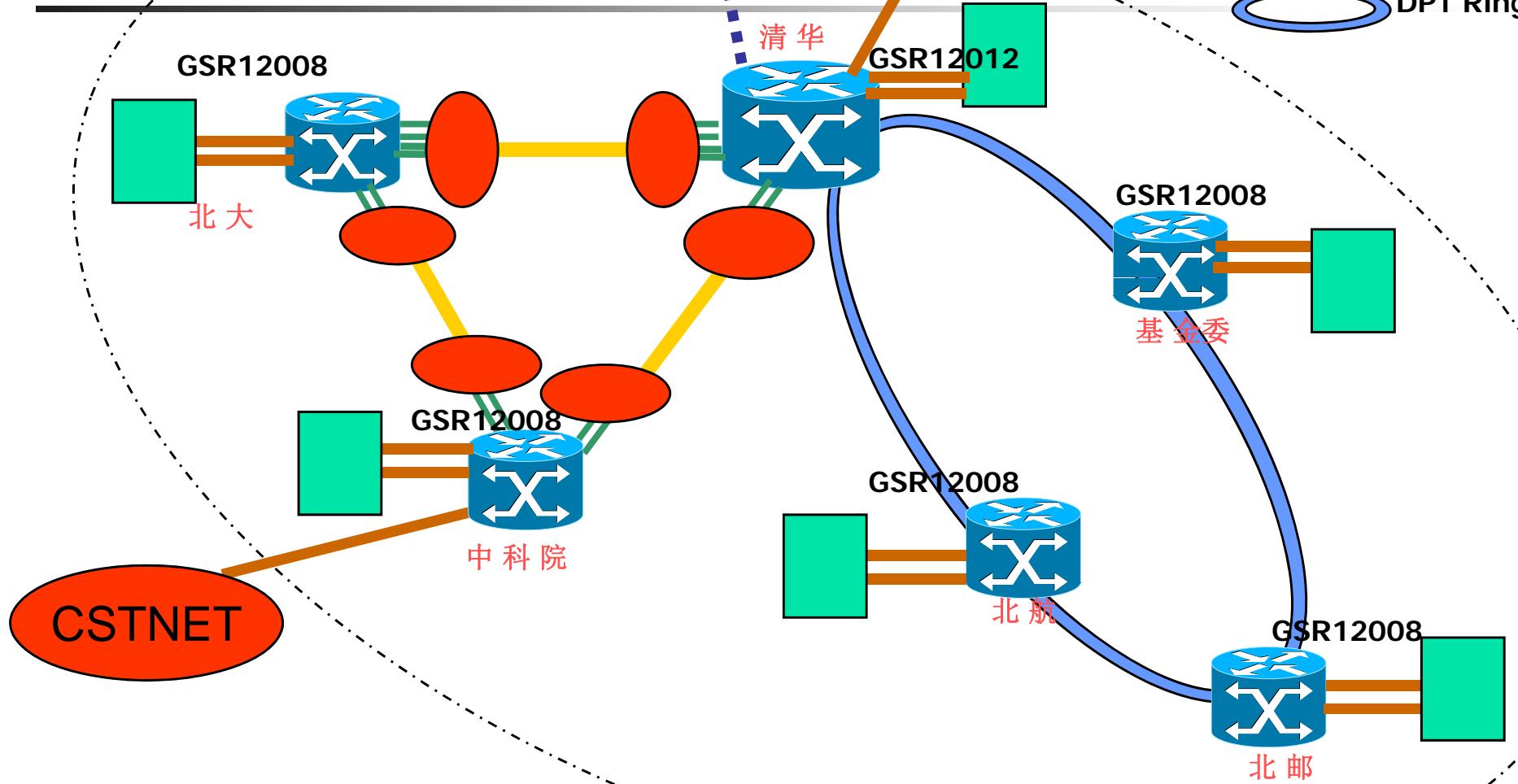
APAN/STAR

CERNET

POS OC-48

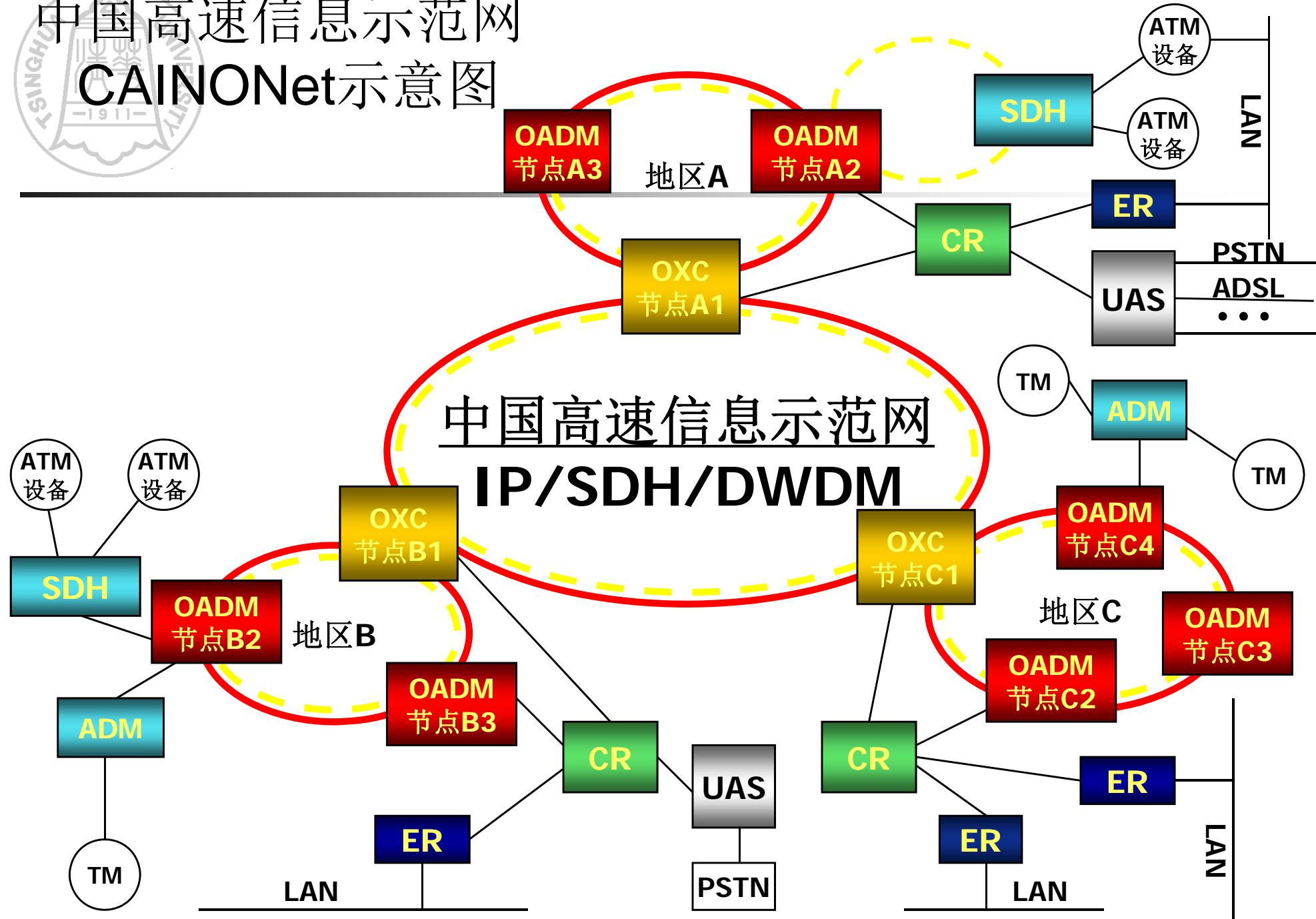
GE

DPT Ring



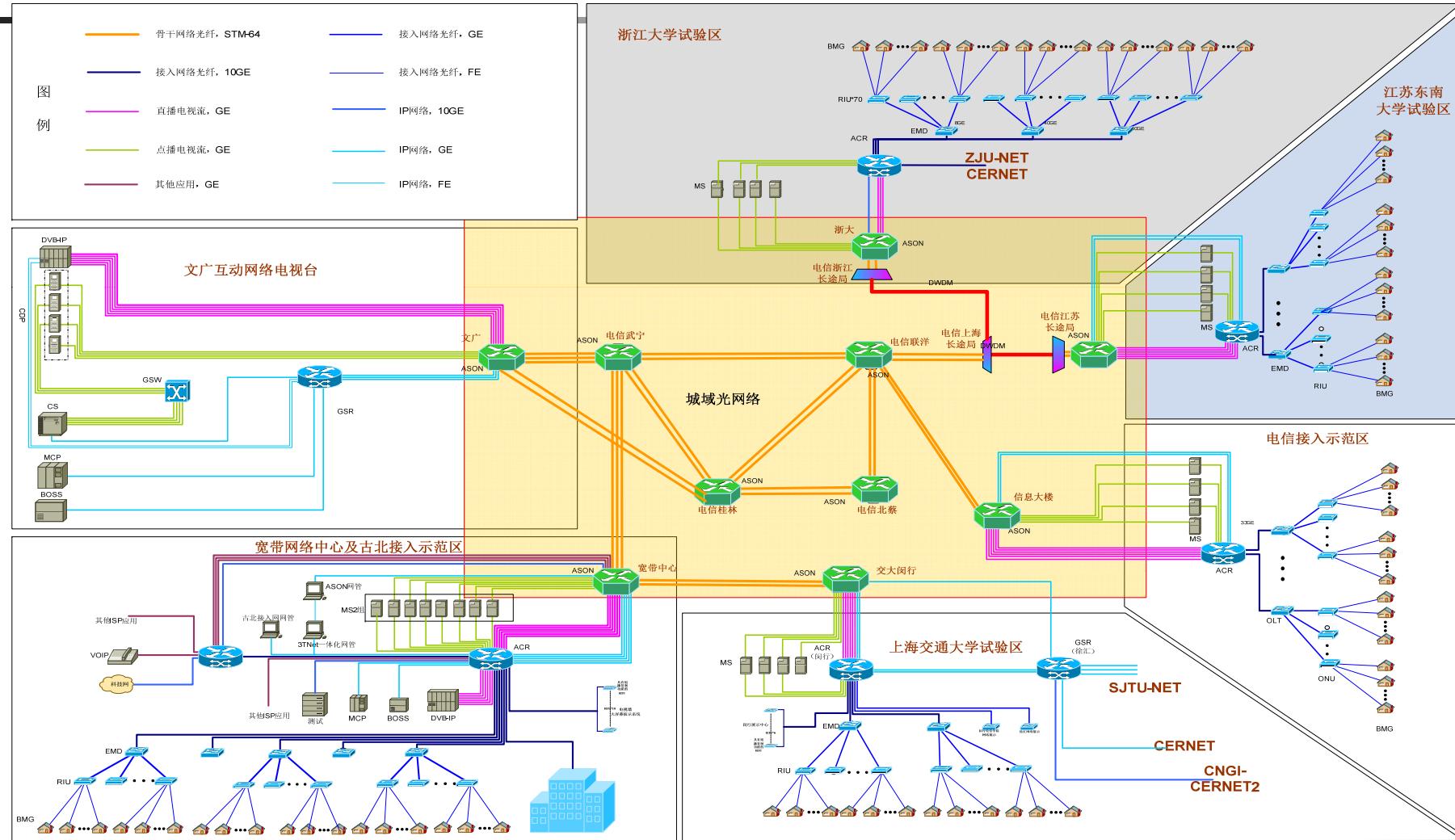


中国高速信息示范网 CAINONet示意图





3TNet 拓扑图



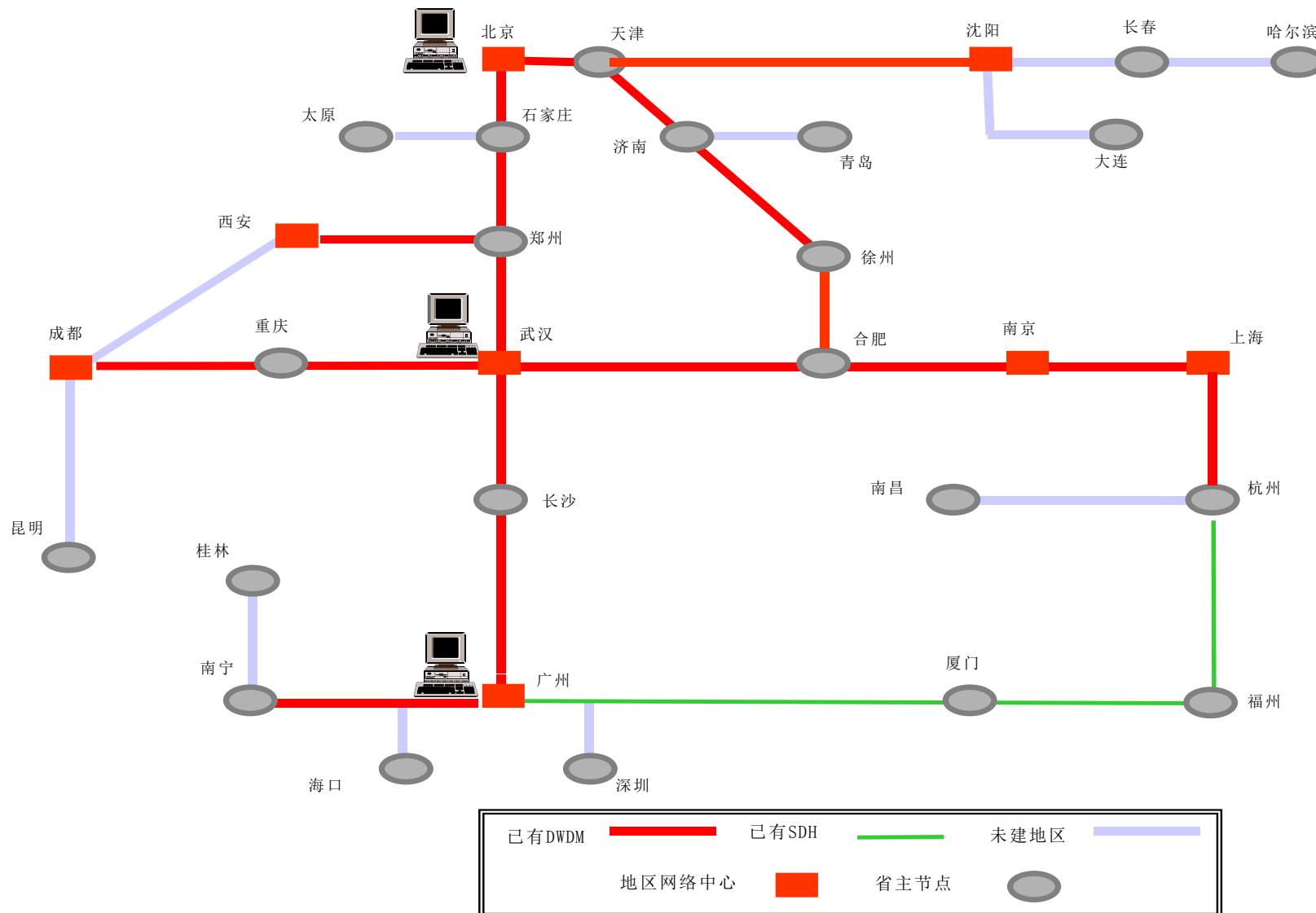


CERNET 的发展现状

- 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**2.5-10Gbps**, 国际带宽**2.5Gbps**以上；地区网**155M-2.5Gbps**; **300**多高校**100M**以上的接入速度
- 国家网络中心、地区网络中心和省主节点分布在全**国36**个城市的**38**所高校，通达全**国200**多个城市
- 联网单位超过**1500**个，大学**800**多个；网络用户达**2000**万人

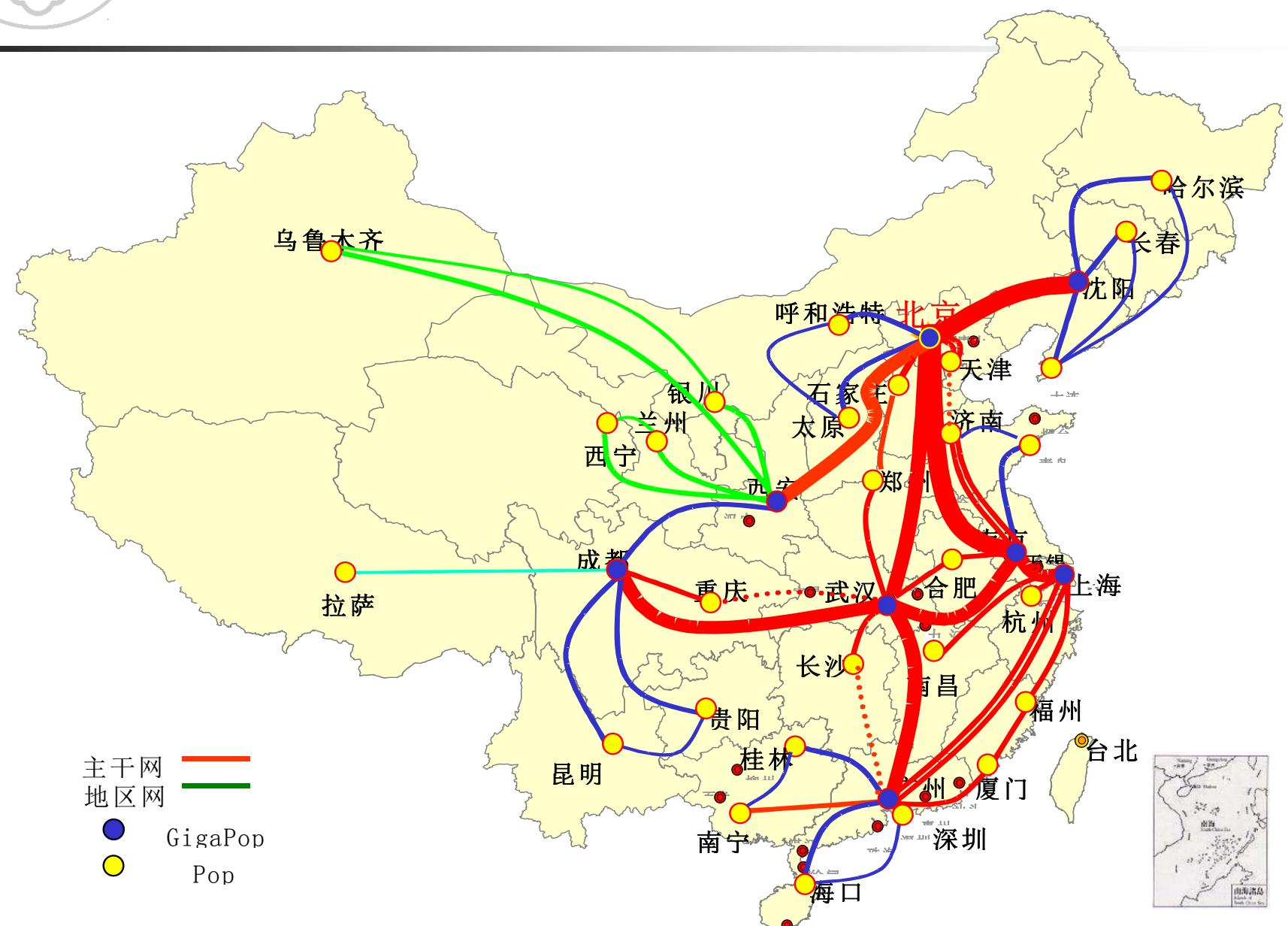


CERNET 光纤传输网络



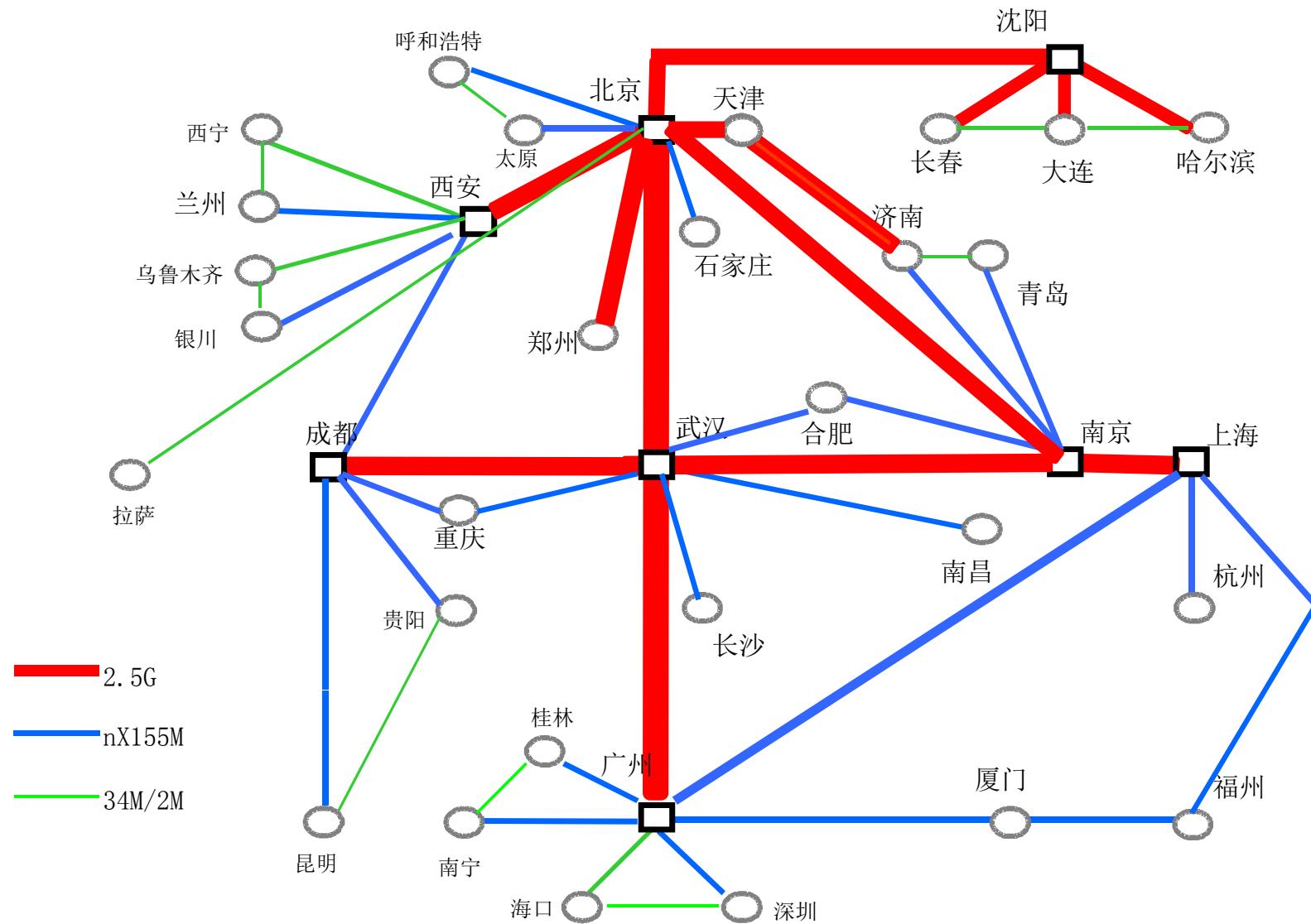


CERNET 主干网





CERNET 主干网





CERNET 国际国内互联

CERNET国际出入口及国内互联图





中国下一代互联发展战略研究

- 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

- 中国下一代互联示范网络**CNGI**最大的主干网
- 连接分布在**20个**主要城市核心节点，传输速率**2.5 – 10Gbps**, **25所**高校成为核心节点
- 与**北美、欧洲、亚太地区**国际下一代互联网实现高速互联
- 与其他**CNGI**主干网实现高速互联
- 全国**300余所**高校、科研单位和企业研发中心以**1G~10G**高速接入
- 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