



# 第一章 引言

# 计算机网络的历史和新进展

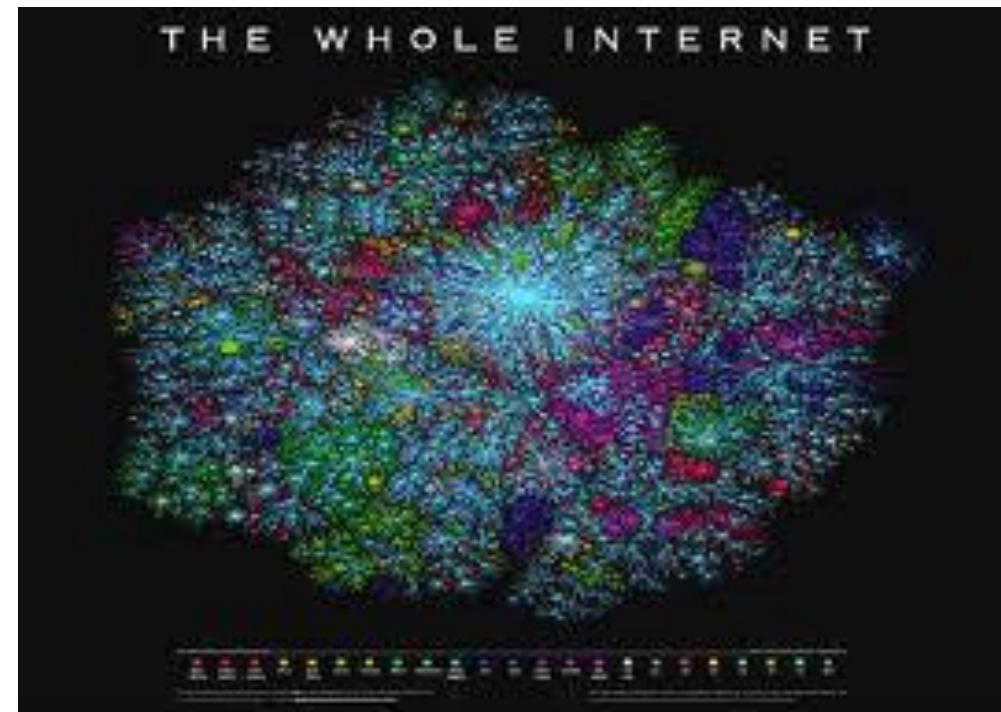


# 二十世纪后期人类最伟大的战略工程

- 星球大战计划:
- Space



- 互联网计划:
- Cyber-Space



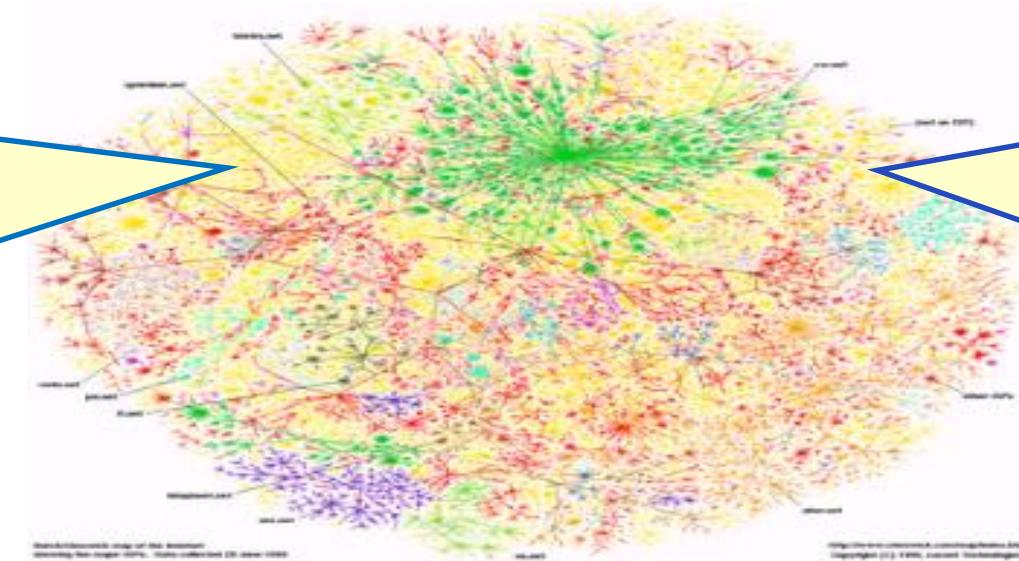


# 互联网正在发展成为网络空间



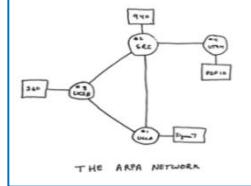
互联网经过50多年的发展，已成为人类社会的重要基础设施，和国家的重要战略资源

正在发展成为继陆、海、空和太空之后的人类第五疆域：网络空间(Cyber space)



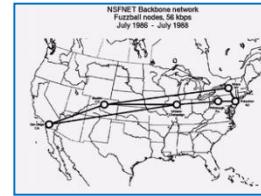


# 前言



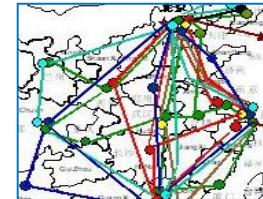
4个节点

1969年



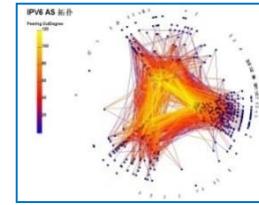
11个节点

1971年



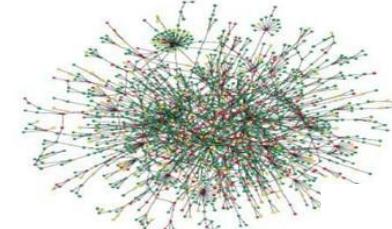
突破1亿台

1996年



近50亿台

2015年



近1000亿台

2020年

- 计算机网络（互联网）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
- 高速计算机网络研究计划与示范工程



# 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、丢失率、可靠性、安全性、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、卫星链路等传输介质
- 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...**



# 网络分类

- 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 (已逐渐融合)
- 应用类型
  - 专用网络: 银行网, 工业控制网络
  - 通用网络: Internet



# 网络类型（续）

- 使用权
  - 私有: 企业网
  - 公用: Internet
- 协议的所有权
  - 私有: SNA
  - 开放: IP
- 协议
  - IP, ATM, 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



# 计算机网络发展历史（续）

- **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
- **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



# 计算机网络发展历史（续）

- **2000年代的计算机网络**
  - 网络应用大发展
    - 搜索引擎: Google, 百度…
    - 社交网络: Facebook, Twitter, QQ, 微博
    - P2P昙花一现
  - 移动互联网产业发展迅速
- **2010年代的计算机网络**
  - 数据中心网络
  - 天地一体化网络
  - IPv6网络快速发展 (**2011年启动World IPv6 day**)



# 互联网发展历史

- **1969年，ARPANET诞生**
- **1970年代，ARPANET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**

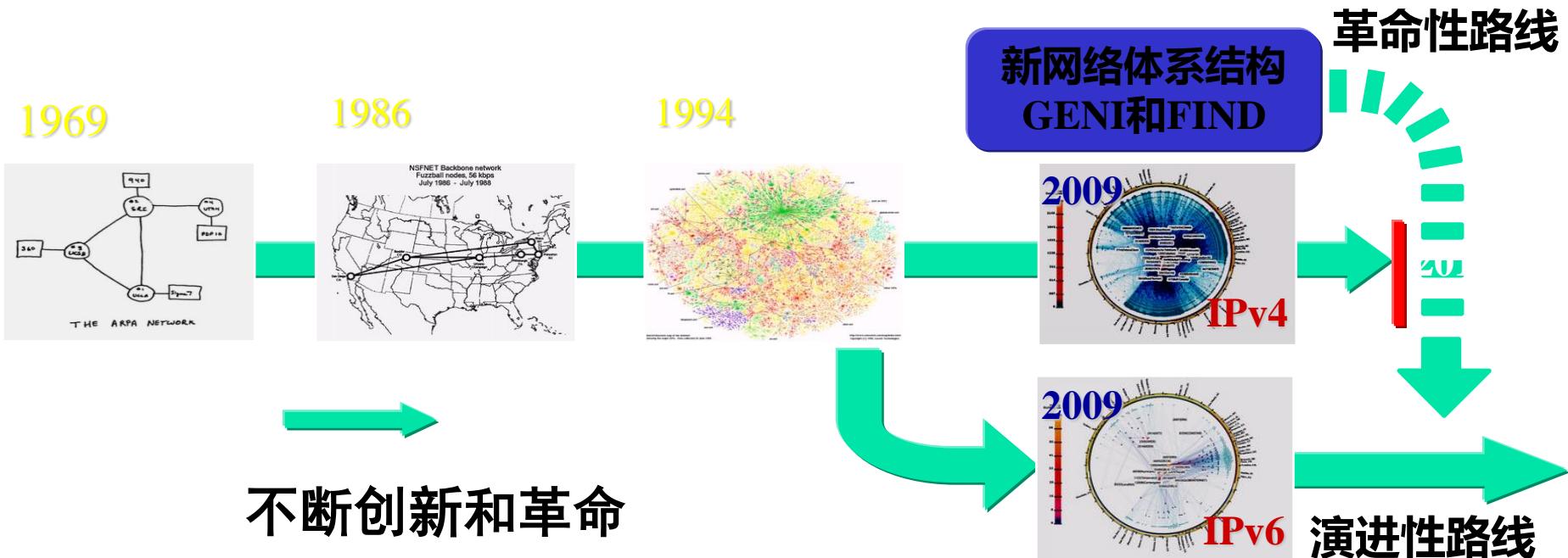


# 互联网发展历史（续）

- **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



# 互联网演进路线





# 全球互联网用户统计

World Internet Usage and Population Statistics 2023 Year Estimates						
World Regions	Population (2022 Est.)	Population % of World	Internet Users 31 Dec 2021	Penetration Rate (% Pop.)	Growth 2000-2023	Internet World %
<a href="#">Africa</a>	<b>1,394,588,547</b>	17.6 %	<b>601,940,784</b>	43.2 %	13,233 %	11.2 %
<a href="#">Asia</a>	<b>4,352,169,960</b>	54.9 %	<b>2,916,890,209</b>	67.0 %	2,452 %	54.2 %
<a href="#">Europe</a>	<b>837,472,045</b>	10.6 %	<b>747,214,734</b>	89.2 %	611 %	13.9 %
<a href="#">Latin America / Carib.</a>	<b>664,099,841</b>	8.4 %	<b>534,526,057</b>	80.5 %	2,858 %	9.9 %
<a href="#">North America</a>	<b>372,555,585</b>	4.7 %	<b>347,916,694</b>	93.4 %	222 %	6.5 %
<a href="#">Middle East</a>	<b>268,302,801</b>	3.4 %	<b>206,760,743</b>	77.1 %	6,194 %	3.8 %
<a href="#">Oceania / Australia</a>	<b>43,602,955</b>	0.5 %	<b>30,549,185</b>	70.1 %	301 %	0.6 %
<a href="#"><b>WORLD TOTAL</b></a>	<b>7,932,791,734</b>	<b>100.0 %</b>	<b>5,385,798,406</b>	<b>67.9 %</b>	<b>1,392 %</b>	<b>100.0 %</b>



# IPv6普及率

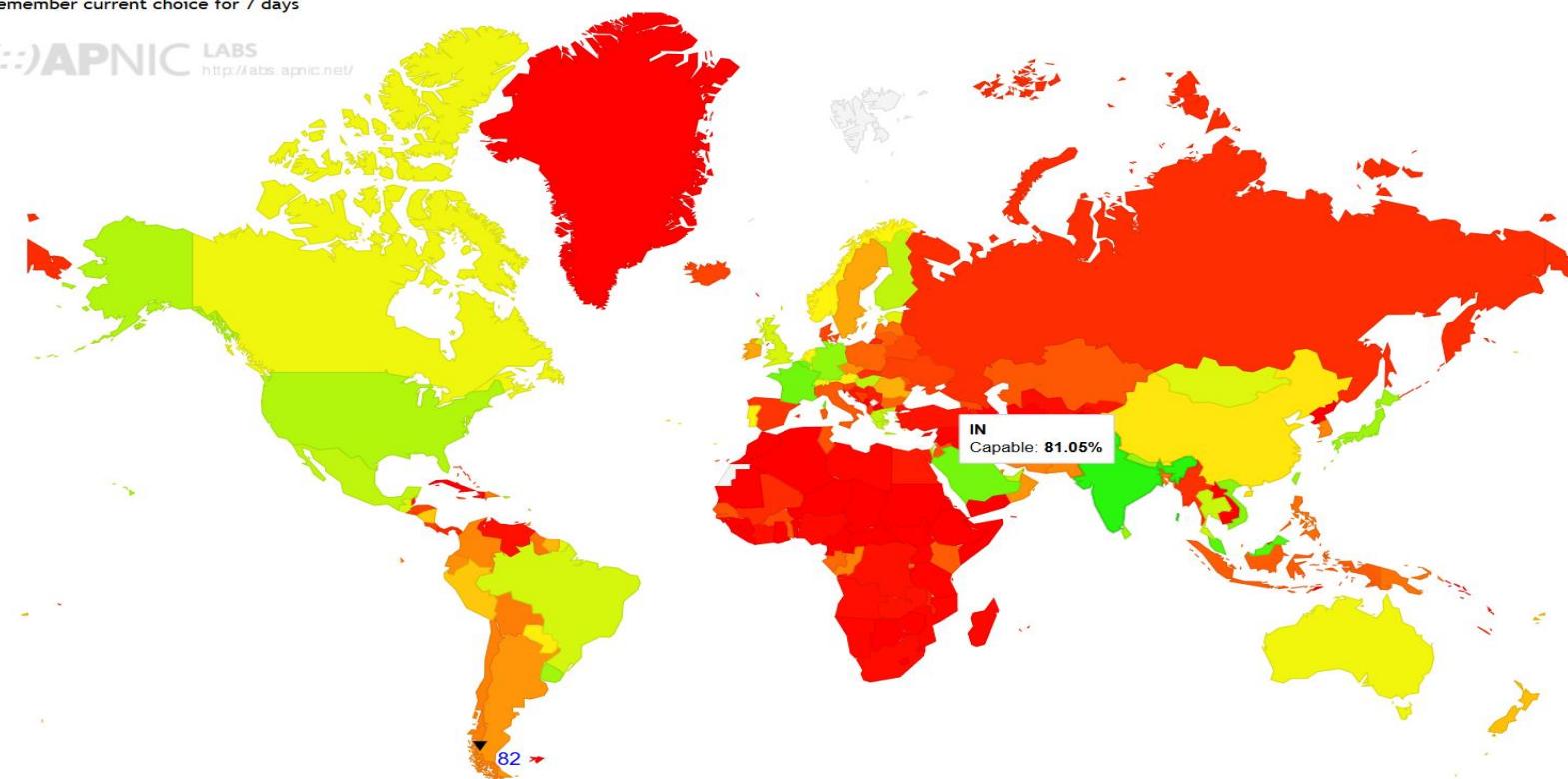
IPv6 Capable Rate by country (%)

[Click here for a zoomable map](#)

Remember current choice for 7 days

(::)APNIC LABS

<http://labs.apnic.net/>





# 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，全球最大的纯IPv6主干网，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
- **2024.6**, 互联网用户数**11亿**，普及率**78%**，**IPv6活跃用户数7.94亿**





# 中国互联网IPv4地址统计





# 中国互联网IPv6地址统计





# 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
- 高速计算机网络研究计划与示范工程

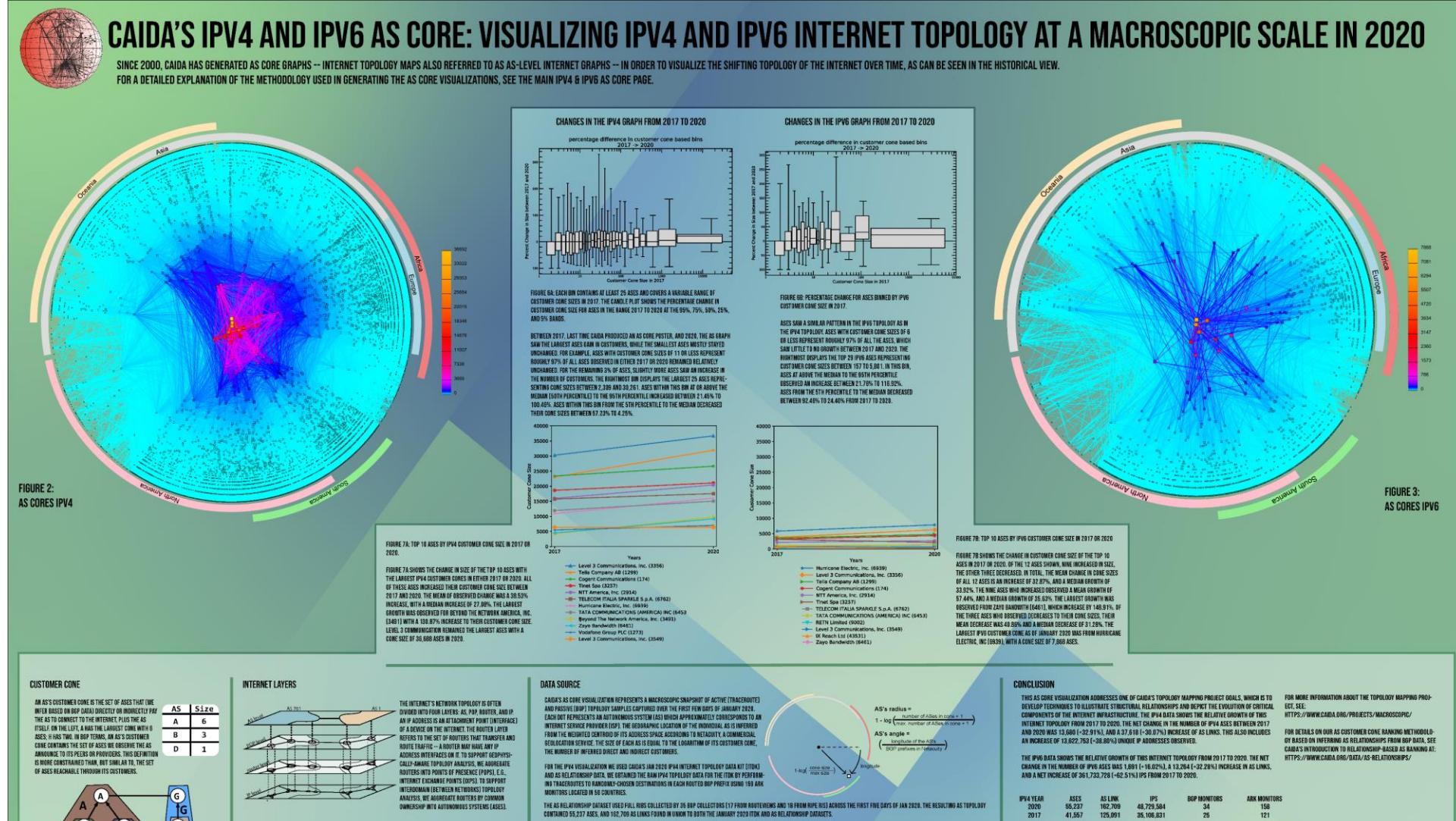


# 互联网 (Internet)

- 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 网络互联系关系图





# 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
- **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

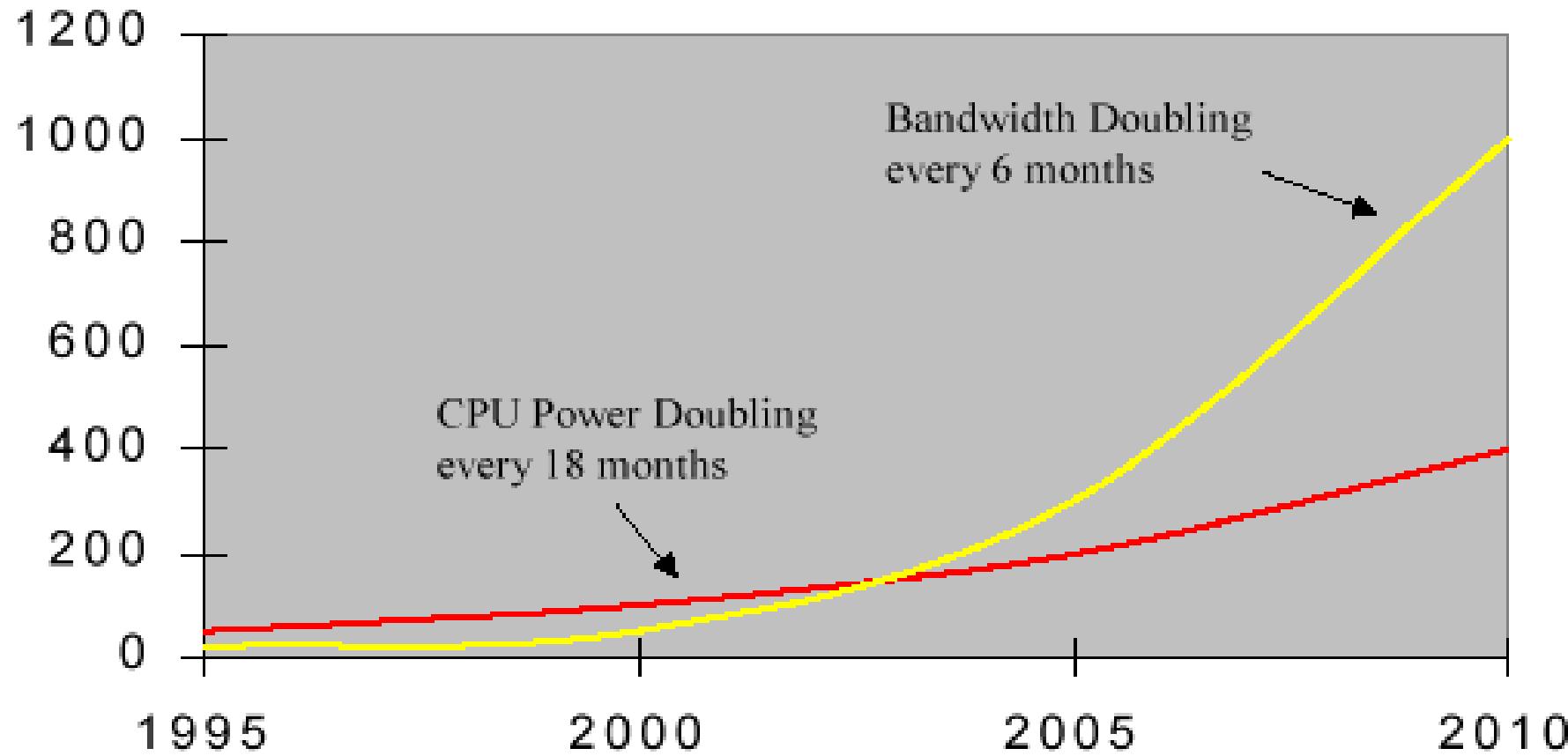
10000倍。带宽  
需求呈超高速增长  
的趋势

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 $N^2$ 倍

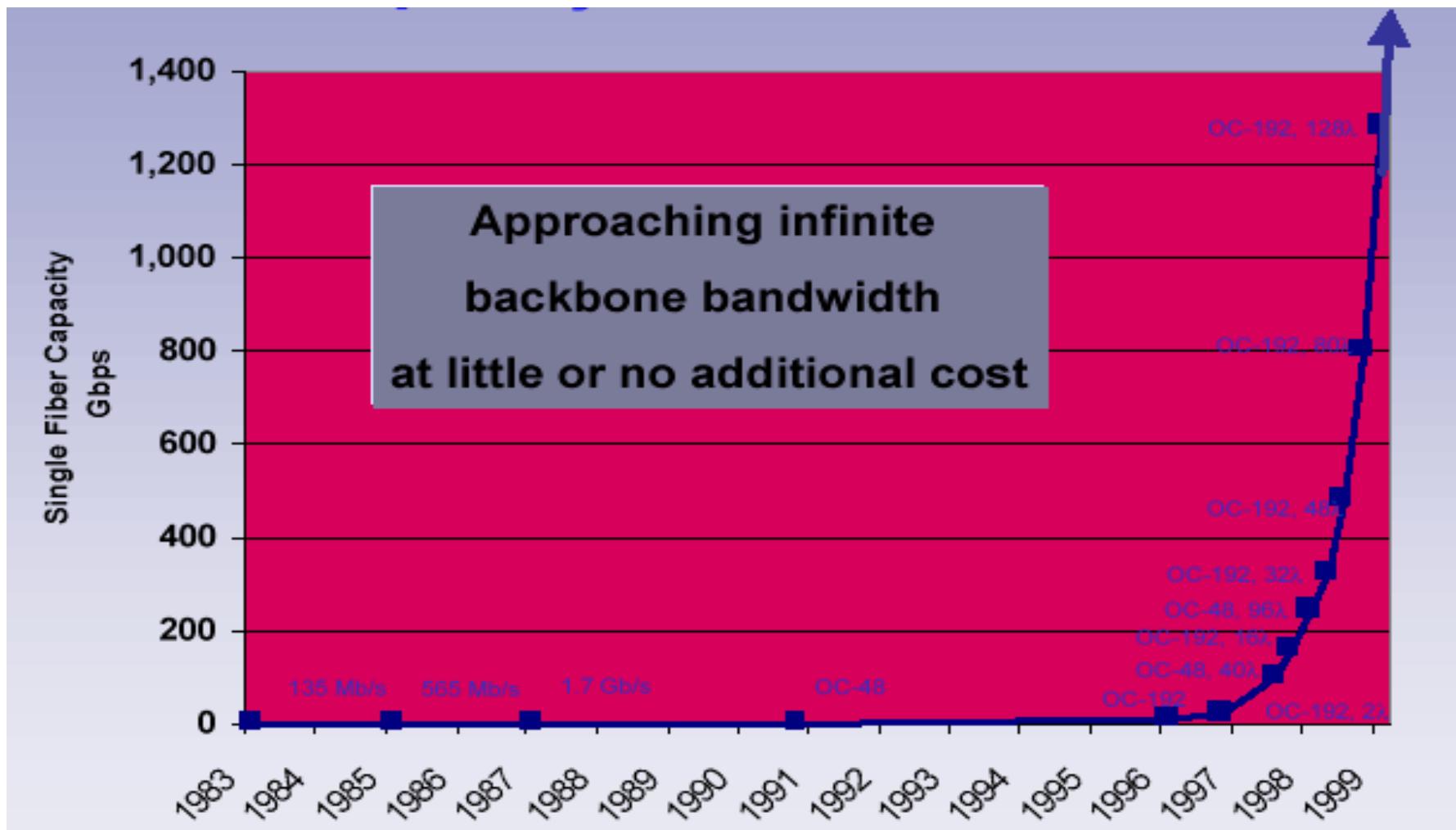


# 网络带宽与CPU性能





# 光纤容量





# 应用促进网络发展





# 网络空间

行业互联网



物联网



金融互联网



能源互联网



工业互联网



互联网+ ?

应用支撑技术



云计算



智慧城市



三网融合



大数据



人工智能

互联网



互联网

(下一代互联网/未来互联网)

底层通信技术



3G/4G/5G



WiFi 超高速光纤





# 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**)
- ...
- 网络空间安全成为一级学科



The screenshot shows a news article from the South China Morning Post (SCMP) dated Sunday, 23 June, 2013, at 8:02 am. The article is titled "EXCLUSIVE: NSA targeted China's Tsinghua University in extensive hacking attacks, says Snowden". It discusses how 29-year-old American Edward Snowden, a contract employee of the National Security Agency, revealed significant surveillance programs. The article includes a photo of the Tsinghua University gate and a sidebar with a picture of Edward Snowden wearing a fedora and glasses, and the text "See and be seen". Below the main article, there is a "Most Popular" section with three items.

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		



# 互联网标准化组织

- **Internet Engineering Task Force (IETF)**
  - 负责Internet协议的研发和改进
  - 分为很多个工作组 (working groups) , 提交的标准称为RFC (Request For Comments)
- **Internet Research Task Force (IRTF)**
  - 由一些专注某领域长期发展的研究小组组成
- **Internet Architecture Board (IAB)**
  - 负责定义互联网整体框架, 为IETF提供大方向上的指导
- **The Internet Engineering Steering Group (IESG)**
  - 技术管理IETF活动, 负责Internet标准的制定过程





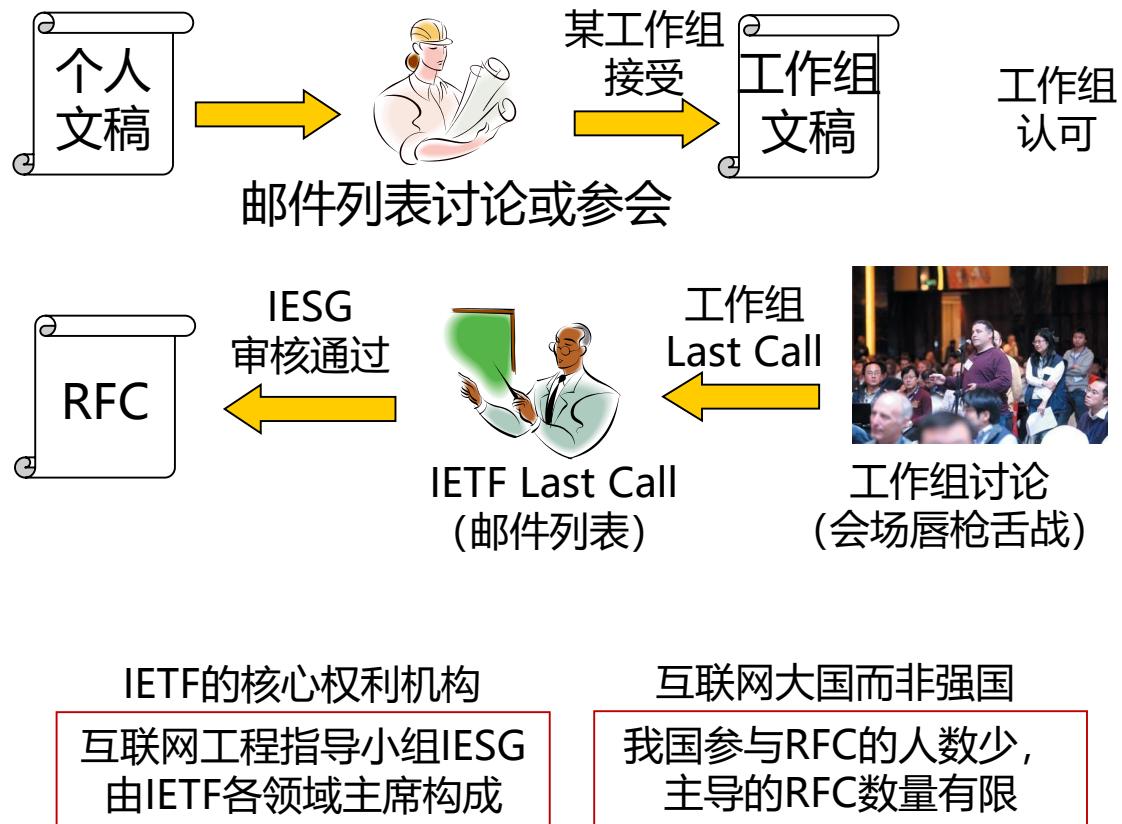
# 互联网标准的制定过程

## ■ RFC标准产生过程

- 从个人提交个人文稿，到接受为工作组文稿，再通过各层Last Call等审核，最终才能成为RFC
- 上述过程往往至少要2~3年

## ■ 各国RFC贡献情况

- 有9000多个RFC
- 美国给6600个RFC做过贡献
- 英、德、加、法、芬等强国
- 我国贡献数上升到第7位，给近500个RFC做了贡献，牵头不足200个
- 美国近3000人有RFC署名，我国仅有不到200人有RFC





# IETF 文化



IEWS 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

EDC 7/16/92 10:39 COPYRIGHT © David Clark 1992

## IEWS 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.

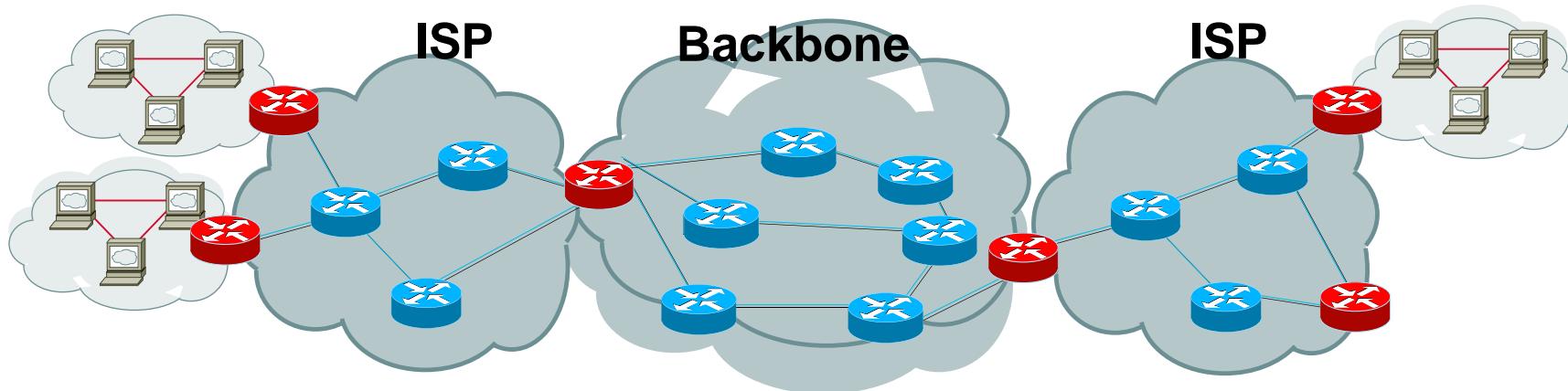


# 互联网提供的服务

- 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**
- 互联网+
- 网络空间 (**Cyberspace**)



# 互联网网络结构



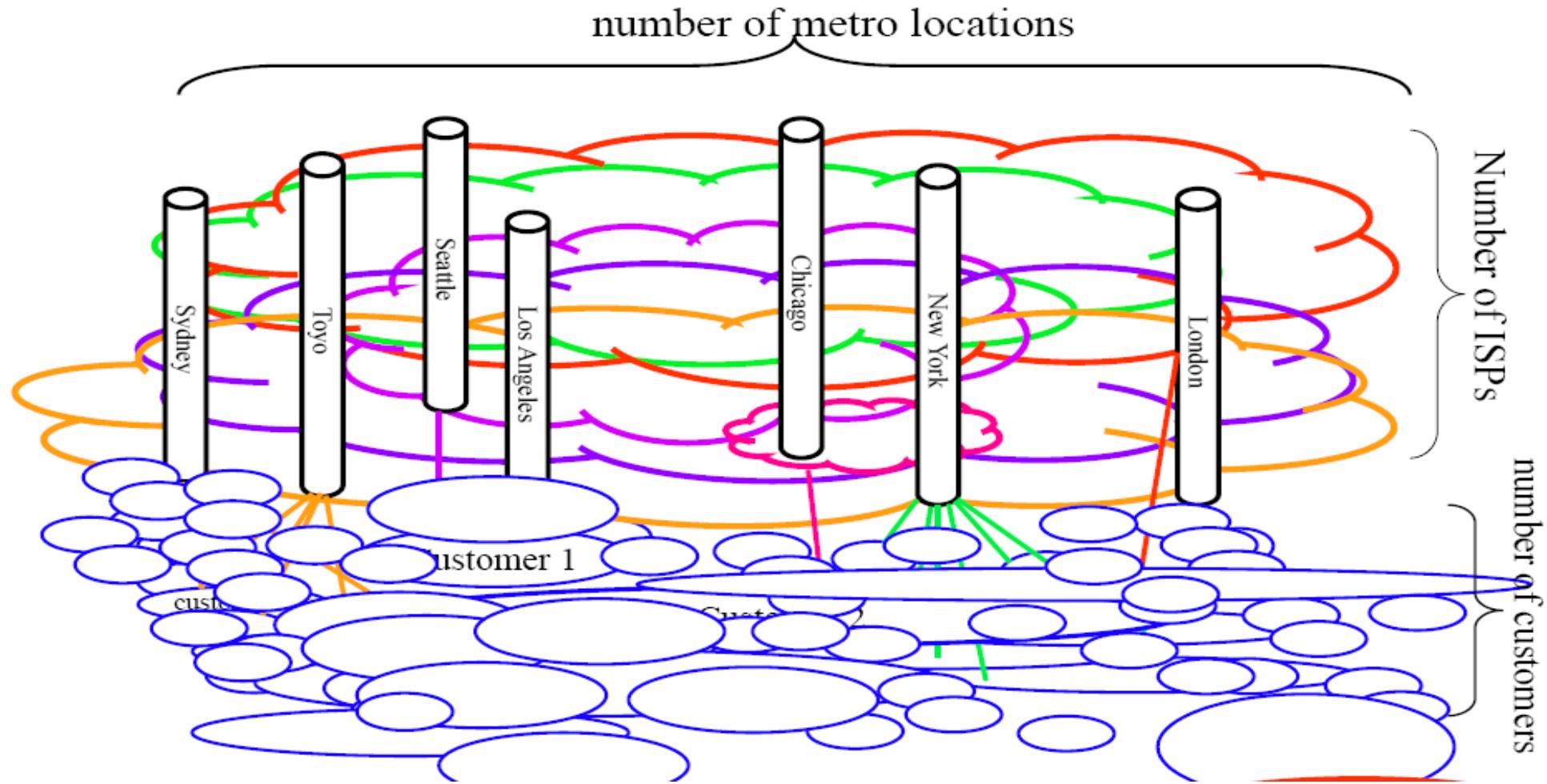
- 用户接入
  - Modem
  - DSL
  - Cable
  - modem
  - Satellite
  - LAN
  - 3G/4G/5G

- 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

ARPAnet

NSFNET

gigabit  
testbeds

Quality of Service  
(QoS)

Internet2, Abilene, vBNS  
Advanced US Govt Networks

## Research and Development

## 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
  - 高速计算机网络研究计划与示范工程



# Words

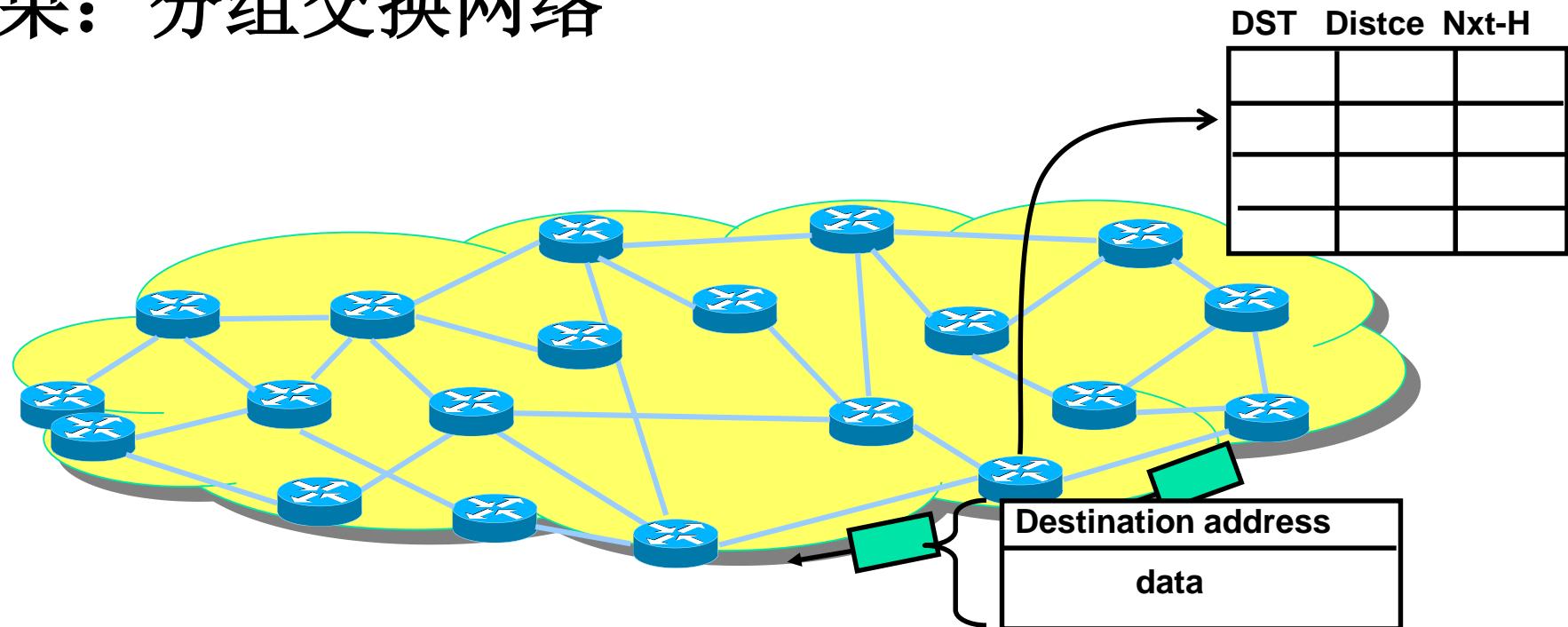
- 
- The future is a door, the past is the key. The farther backward you can look, the farther forward you can see.

-- 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

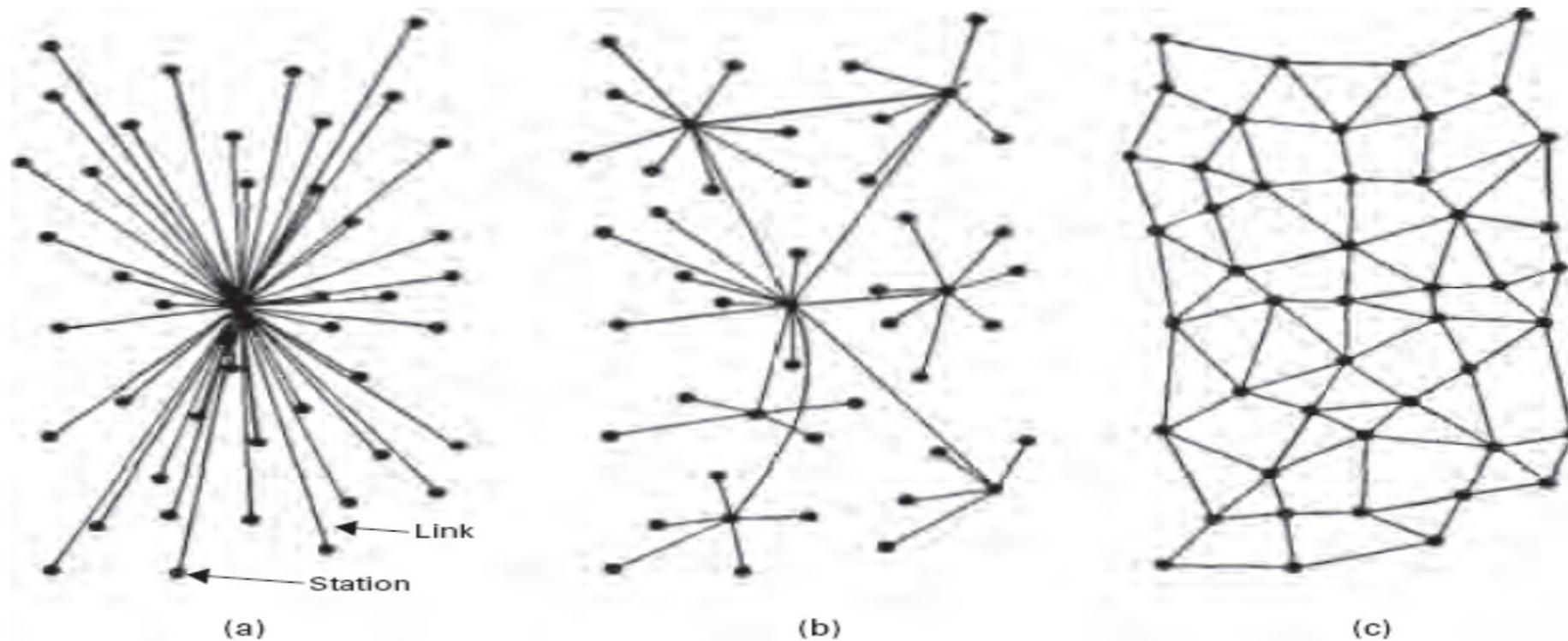


# Baran 的设计细节（续）

- 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
    - 自适应路由
- 模拟实验表明
  - “extremely survivable networks can be built using a moderately low redundancy of connectivity level”—Paul Baran, 1964



# Centralized, Decentralized and Distributed Networks



**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

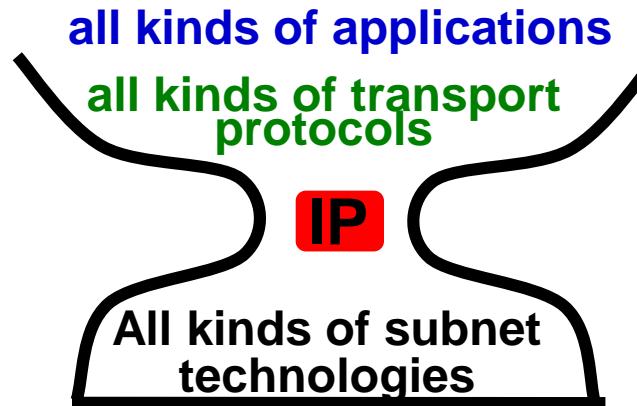
- 电话系统
  - 笨终端，聪明的网络
  - 确保每个网络部件都是可靠的
    - 系统可靠性=部件可靠性
    - 通过局部冗余实现部件的高可靠性
    - 期望每个部件都能正常工作，部件失败的可能性很低
  - 需要人工配置的，高度控制的网络
- Baran的系统
  - 建立在简单的、不可靠部件上的可靠系统
  - 自适应的系统
  - 聪明的终端，可以修正传输错误



# 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

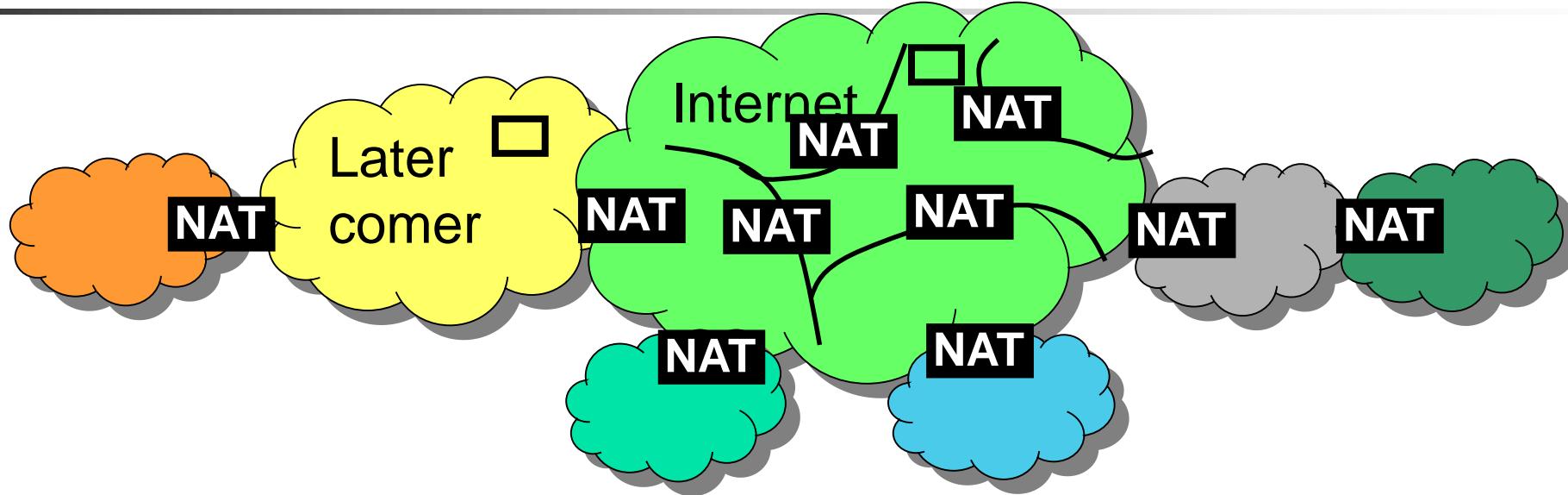


# 今天的互联网

- 与**50**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.  $3.4 \times 10^{38}$ 
    - 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**TCP/IP**体系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
  - 高速计算机网络研究计划与示范工程



# 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**



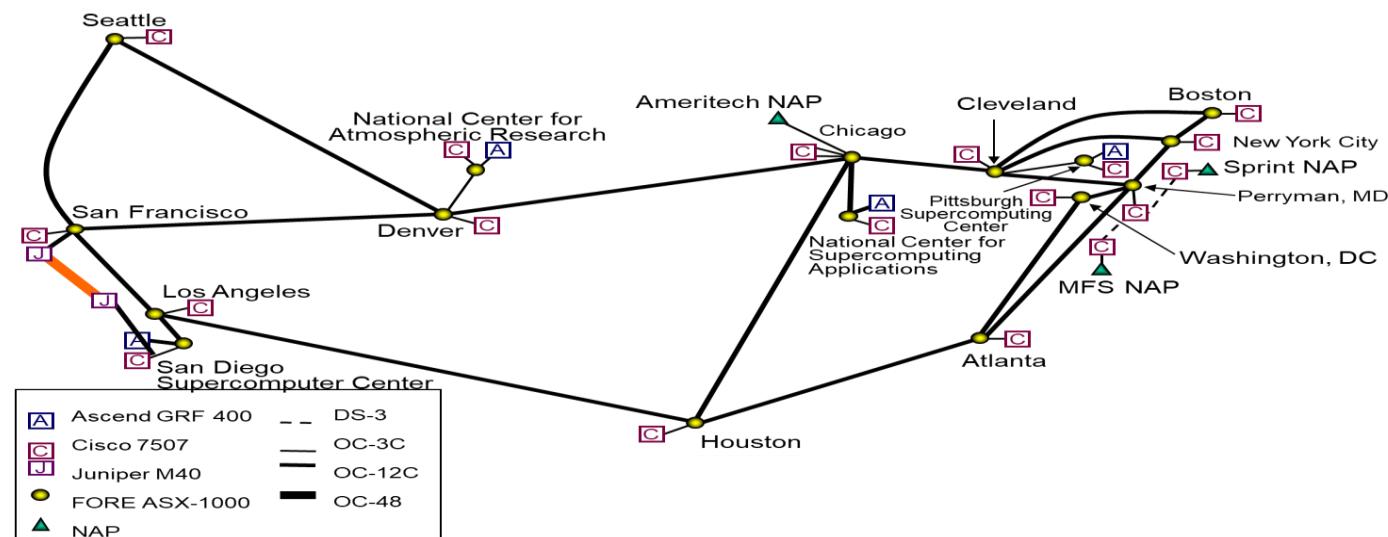
## NGI 目标3：革命性的网络应用

- 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





# 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

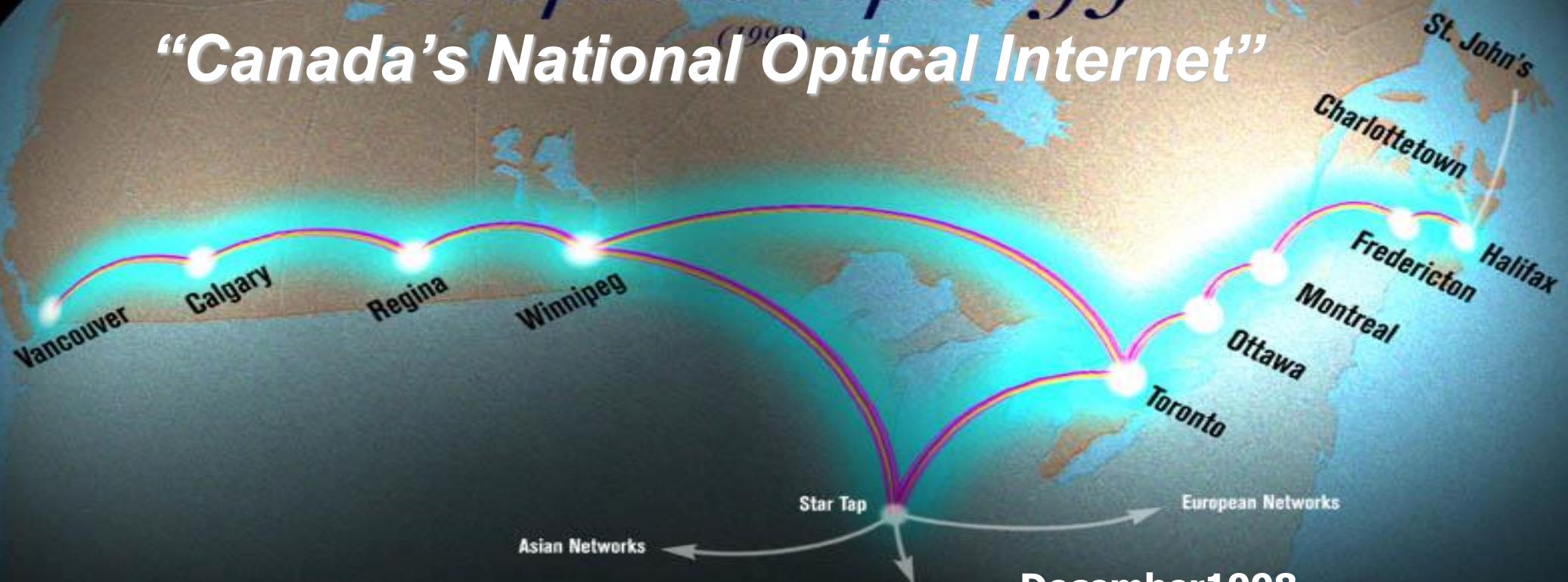




CA.net<sup>3</sup>

## *Proposed topology*

**“Canada’s National Optical Internet”**



Bill.St.Arnaud@canarie.ca  
<http://Tweetie.canarie.ca/~bstarn>  
Tel: +1.613.785.0426

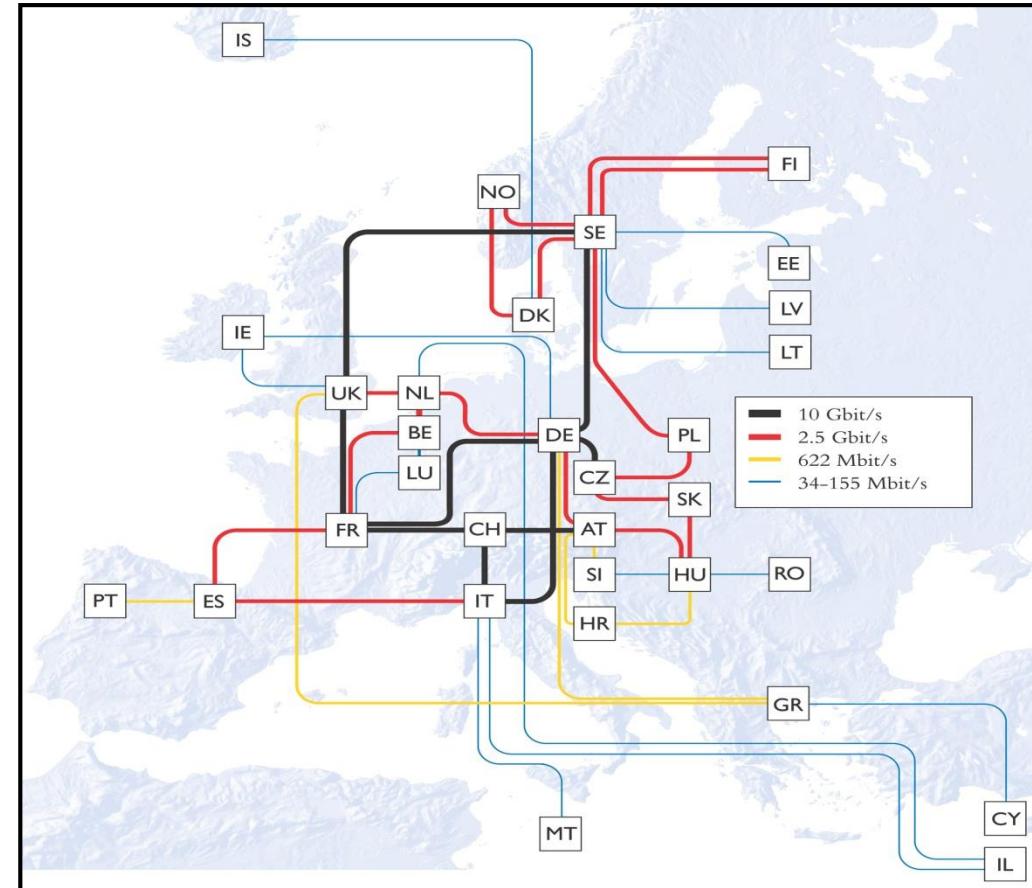
December 1998

- <http://www.canarie.ca>
- <http://www.canet3.net>



# GEANT

- 连接**31**个国家
- 由**DANTE**负责运行
- **100Gbps**主干网
- **EuroLink**由**NSF**提供资助



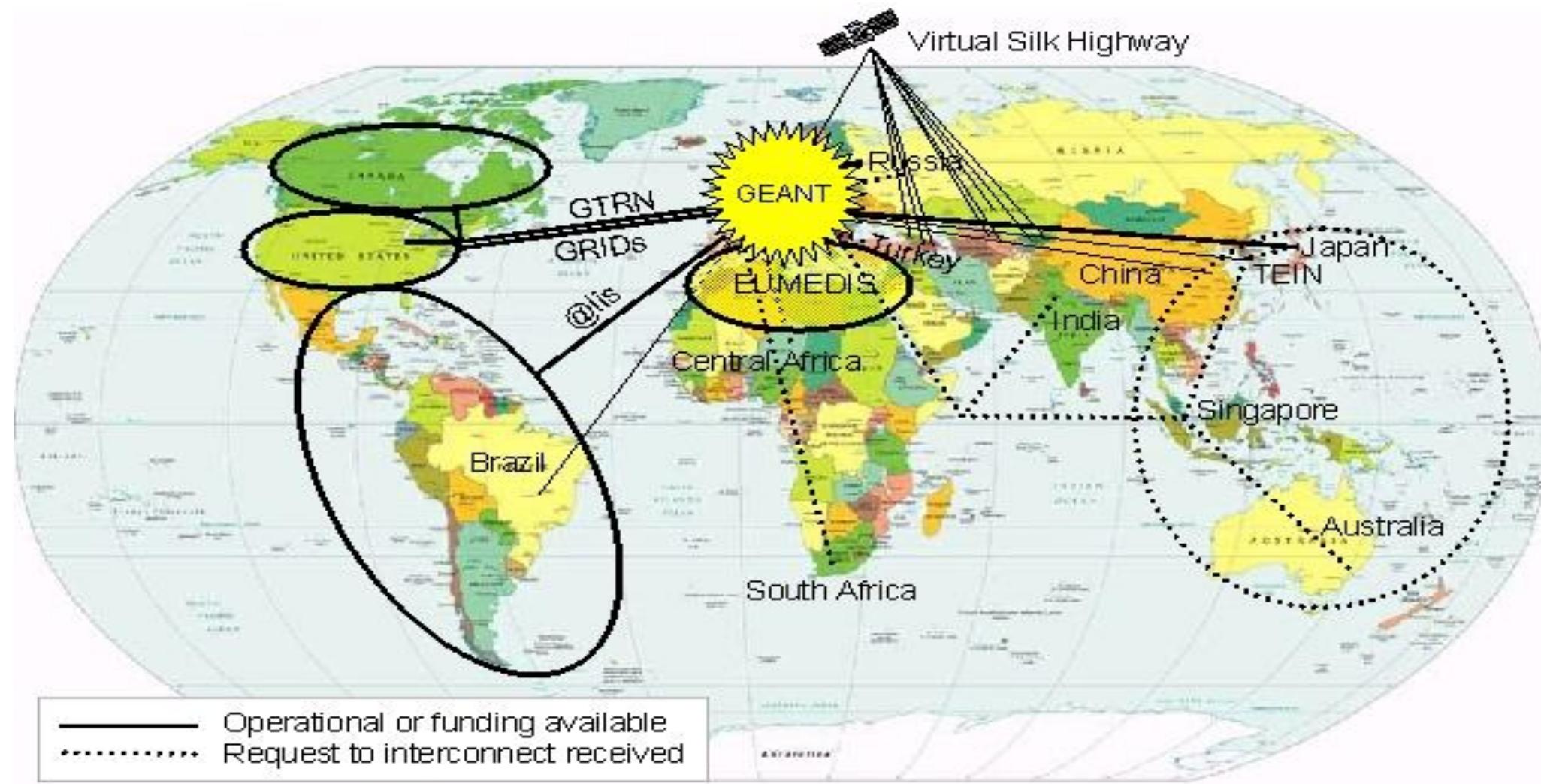


# Asia-Pacific Advanced Network





# GTRN



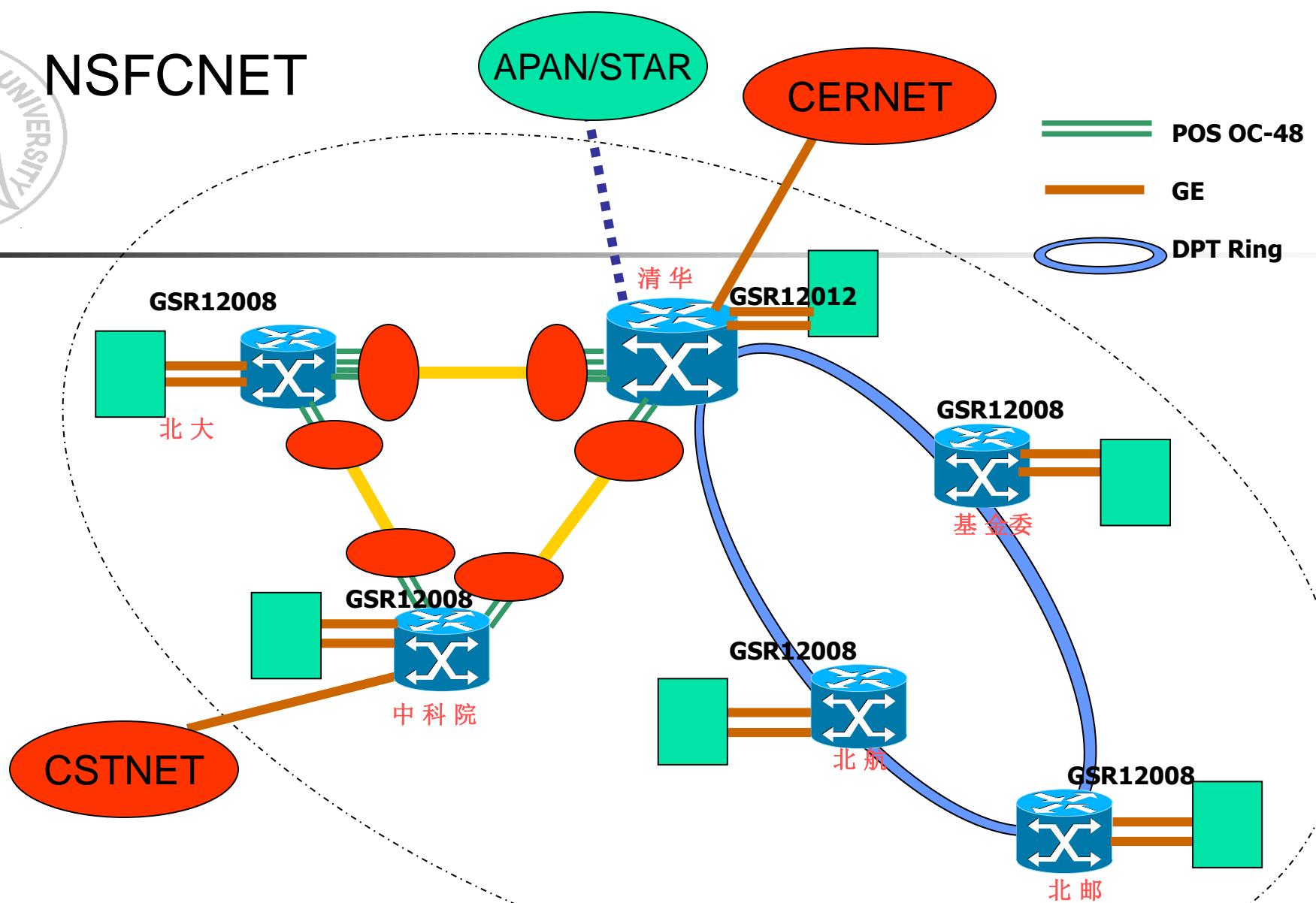


# 中国的互联网研究历程

- 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



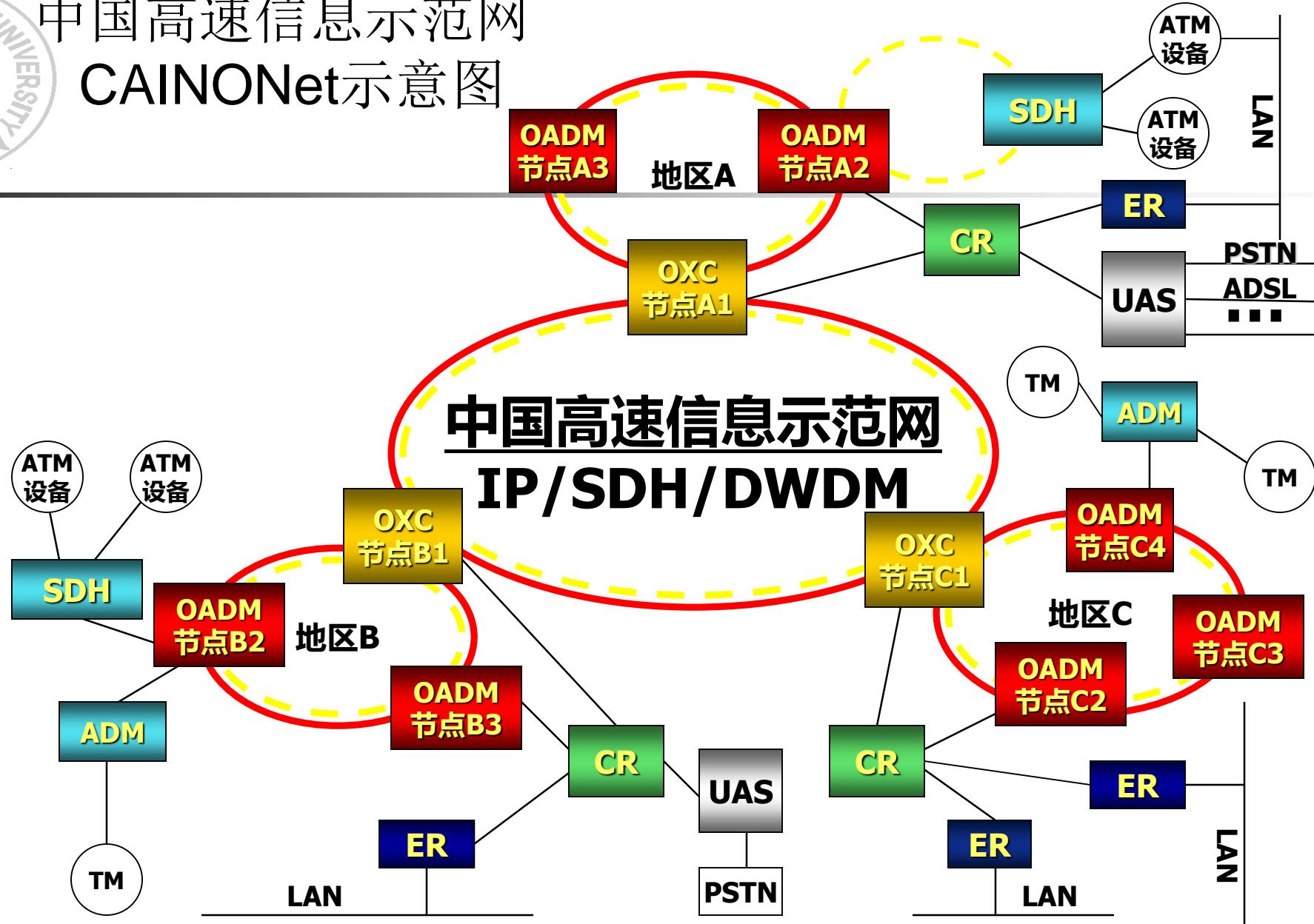
POS OC-48

GE

DPT Ring



# 中国高速信息示范网 CAINONet示意图



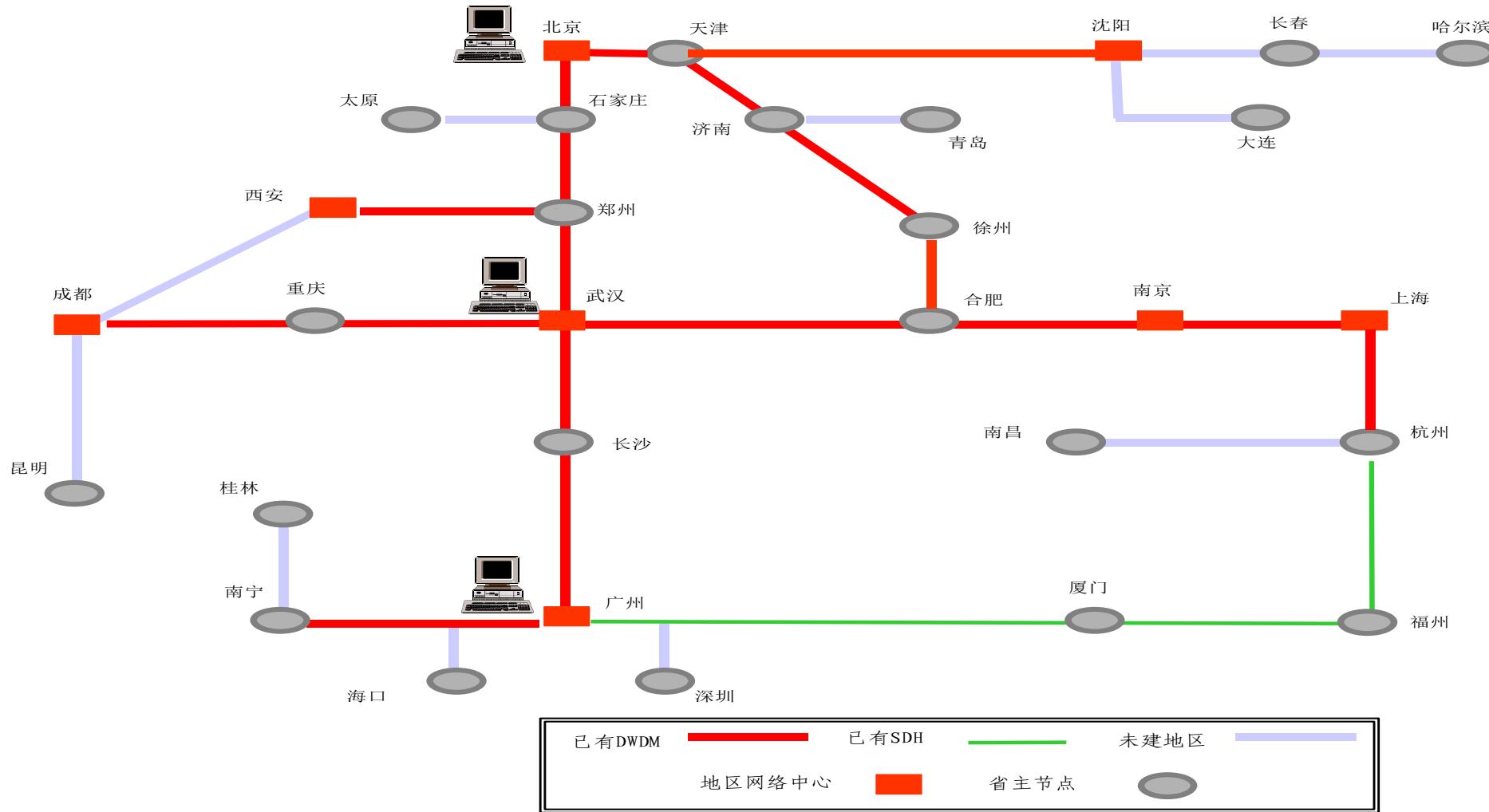


# CERNET 的发展现状

- 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**100Gbps**，国内互联带宽**IPv4 768.5Gbps, IPv6 653Gbps**
- 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**41**所高校，通达全国**200**多个城市
- 接入高校**2000**多所、用户**2000**多万，总带宽**3.6Tbps**



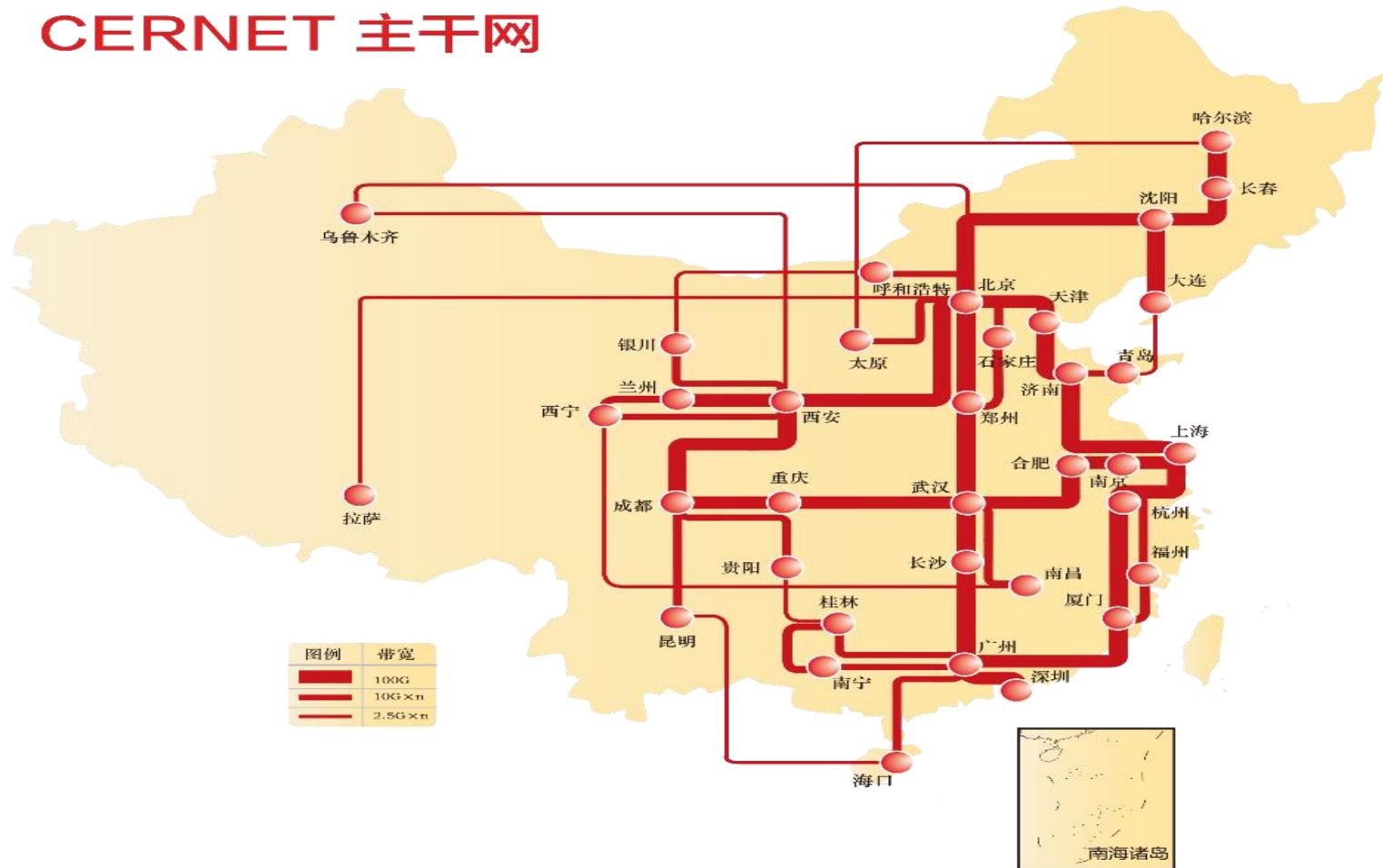
# CERNET光纤传输网络





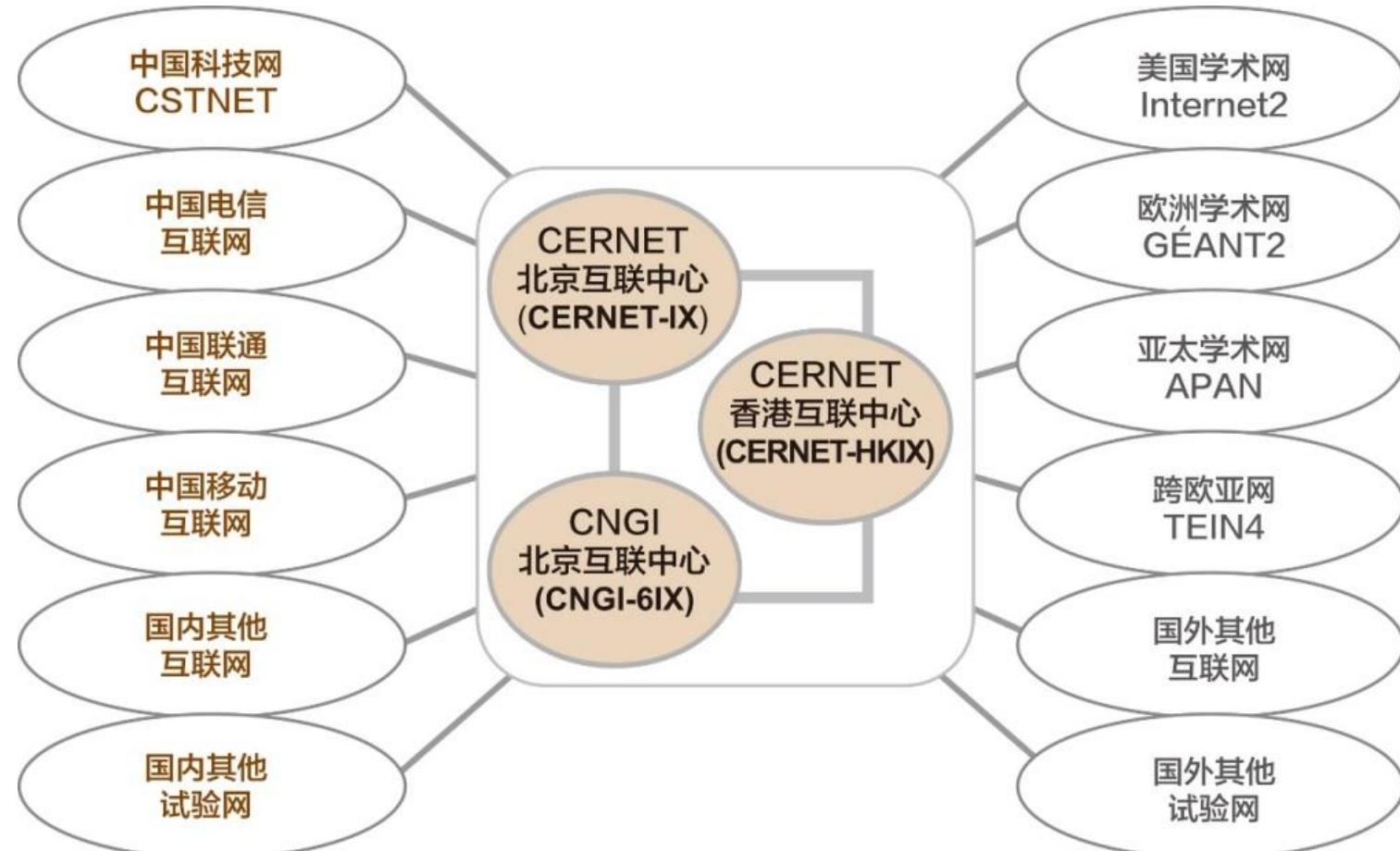
# CERNET主干网

# 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**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
- **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**1000**多个
- 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