

IPv6单栈和技术创新

李星

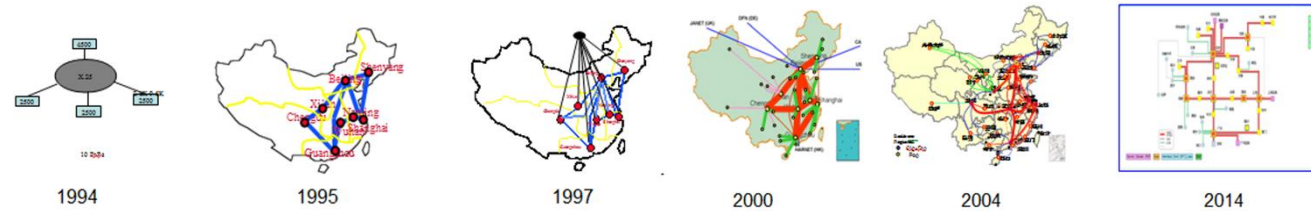
2023-11-28



大纲

- IPv6单栈
- 面临挑战
- IPv6 创新
- 小结

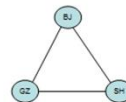
CERNET, CERNET2 和 CERNET3 (FITI)



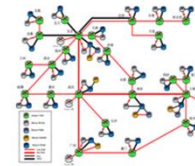
2.4 Kbps - 9.6 Kbps 64 Kbps 512 Kbps - 4 Mbps 155 Mbps 2.5 Gbps - 10 Gbps 100 Gbps
 IP over X.25 IP over lease line IP over VSAT IP over SDH IP over DWDM IP over DWDM



1997



2003



2006



2020

2.4 Kbps - 9.6 Kbps 2.5 Gbps 2.5 Gbps - 10 Gbps
 IPv6 over IPv4 IPv6 over SDH IPv6 over DWDM

100 Gbps
 IPv6 over DWDM



100 Gbps
 IPv6 slicing over DWDM



IPv6单栈

中国引领

关于加快推进互联网协议第六版（IPv6）规模部署和应用工作的通知

2021年07月23日 16:00 来源：中国网信网

【打印】【纠错】

关于加快推进互联网协议第六版（IPv6）规模部署和应用工作的通知

中网办发文〔2021〕15号

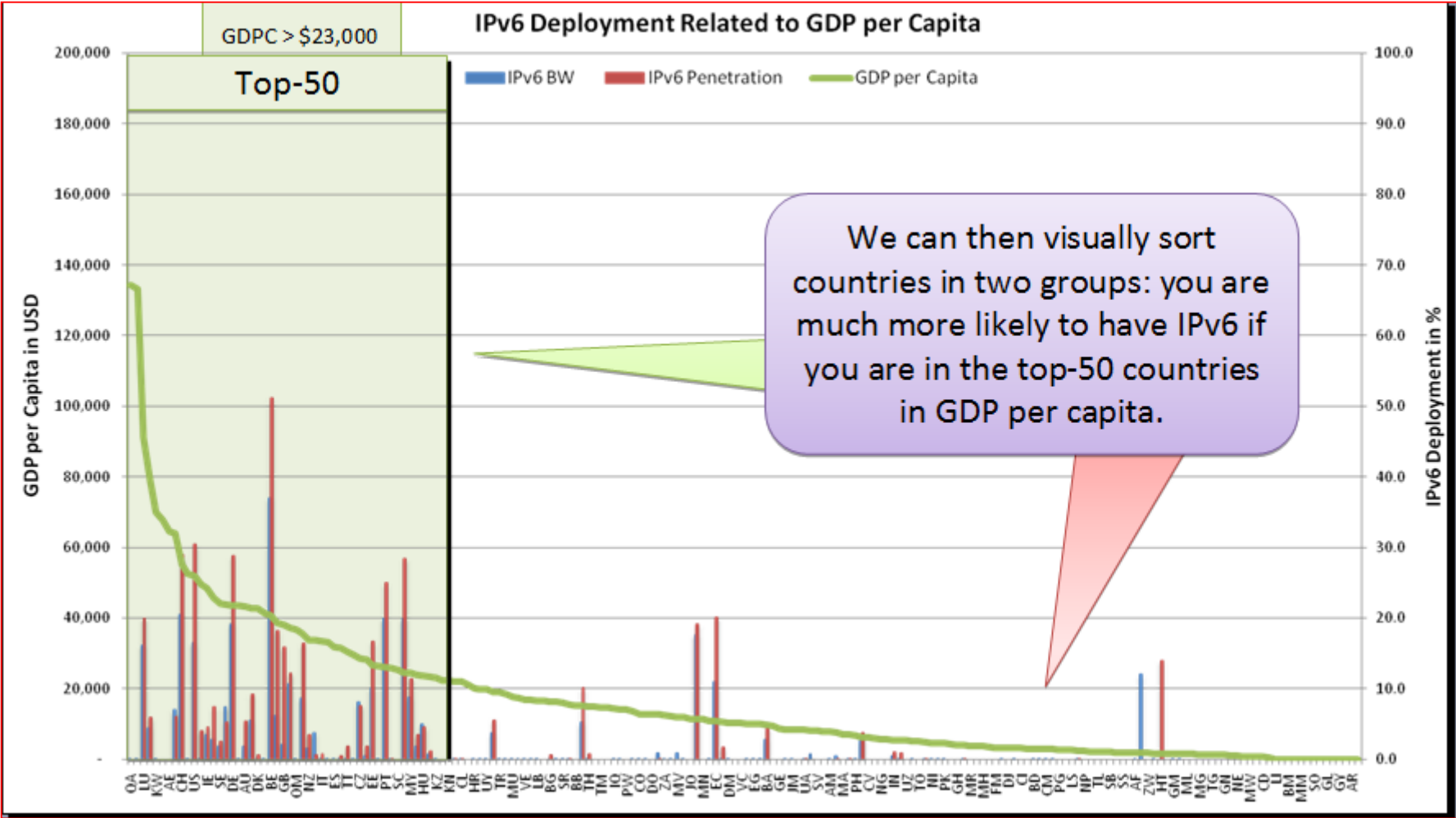
（三）工作目标

到2023年末，基本建成先进自主的IPv6技术、产业、设施、应用和安全体系，形成市场驱动、协同互促的良性发展格局。IPv6活跃用户数达到7亿，物联网IPv6连接数达到2亿。移动网络IPv6流量占比达到50%，城域网IPv6流量占比达到15%。国内主要内容分发网络、数据中心、云服务平台、域名解析系统基本完成IPv6改造。新上市的家庭无线路由器全面支持并默认开启IPv6功能。县级以上政府网站、国内主要商业网站及移动互联网应用IPv6支持率显著提升。IPv6单栈试点取得积极进展，新增网络地址不再使用私有IPv4地址。

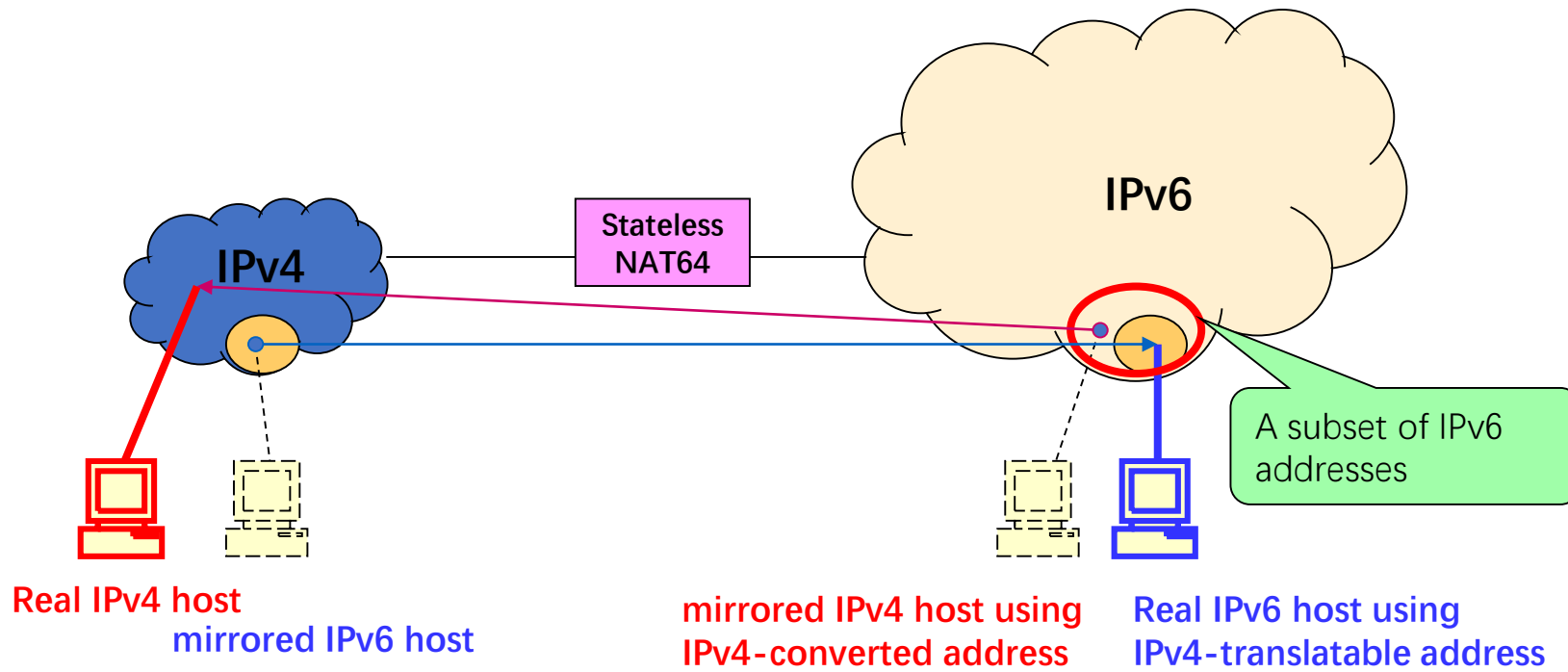
到2025年末，全面建成领先的IPv6技术、产业、设施、应用和安全体系，我国IPv6网络规模、用户规模、流量规模位居世界第一位。网络、平台、应用、终端及各行业全面支持IPv6，新增网站及应用、网络及应用基础设施规模部署IPv6单栈，形成创新引领、高效协同的自驱性发展态势。IPv6活跃用户数达到8亿，物联网IPv6连接数达到4亿。移动网络IPv6流量占比达到70%，城域网IPv6流量占比达到20%。县级以上政府网站、国内主要商业网站及移动互联网应用全面支持IPv6。我国成为全球“IPv6+”技术和产业创新的重要推动力量，网络信息技术自主创新能力显著增强。

之后再五年左右时间，完成向IPv6单栈的演进过渡。IPv6与经济社会各行业各部门全面深度融合应用。我国成为全球互联网技术创新、产业发展、设施建设、应用服务、安全保障、网络治理等领域的重要力量。

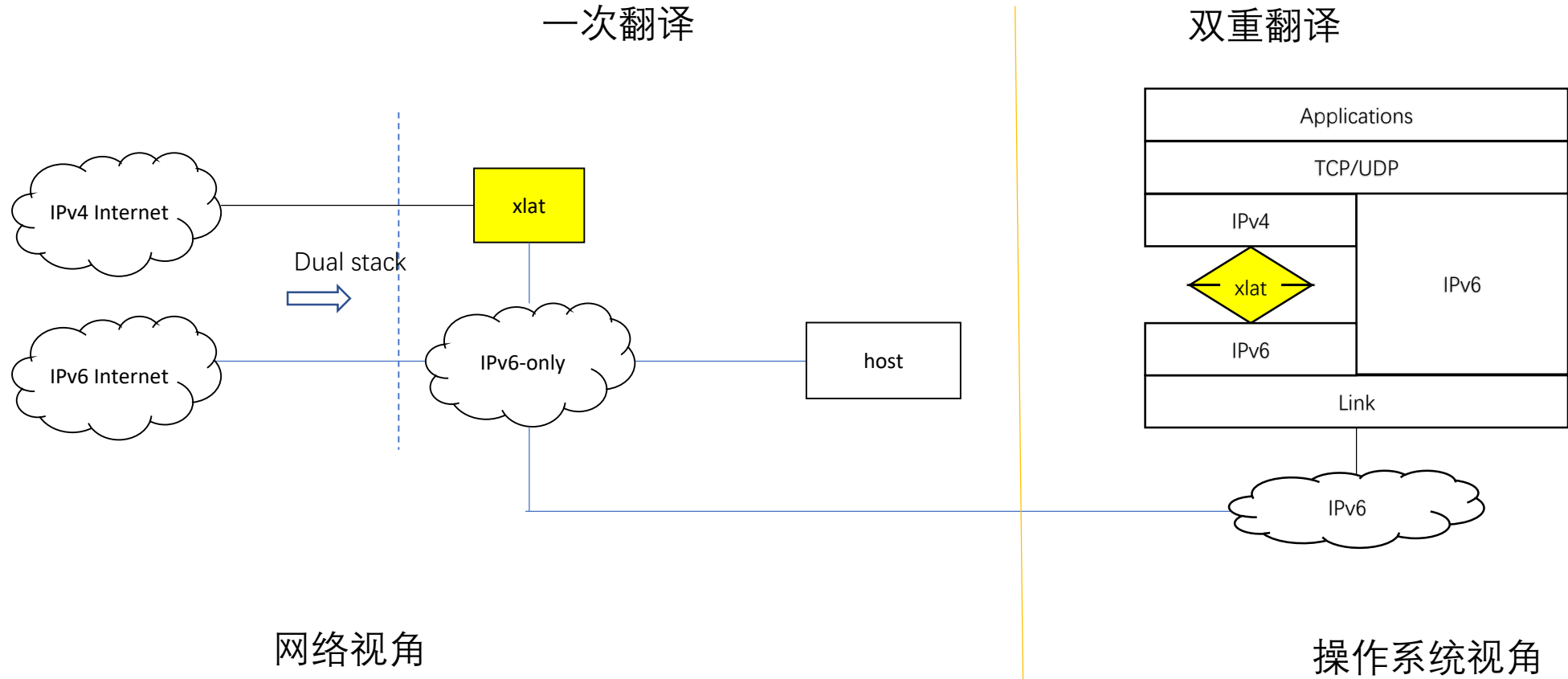
世界互通



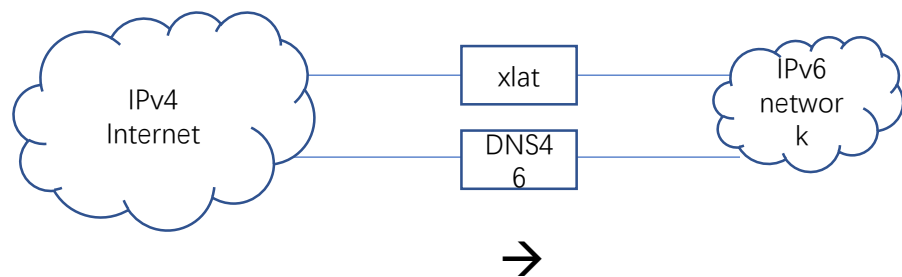
IVI



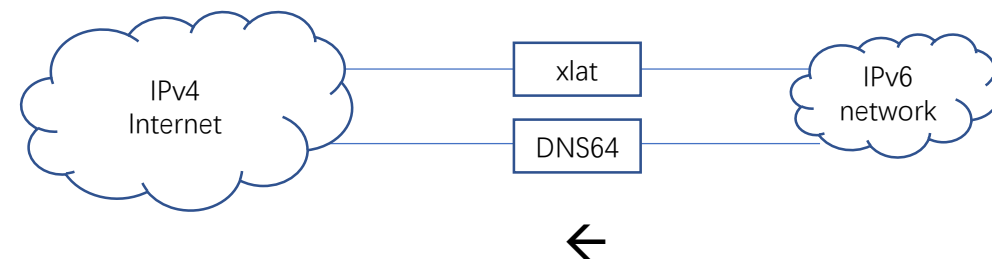
翻译行为



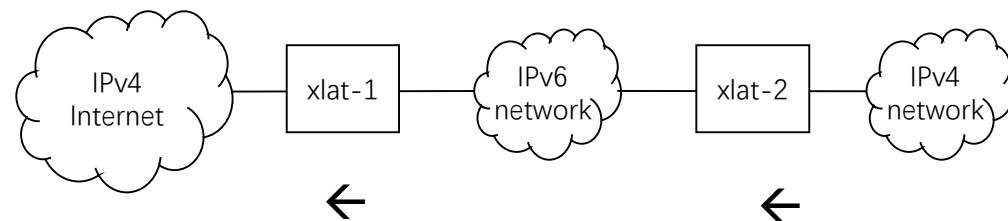
场景



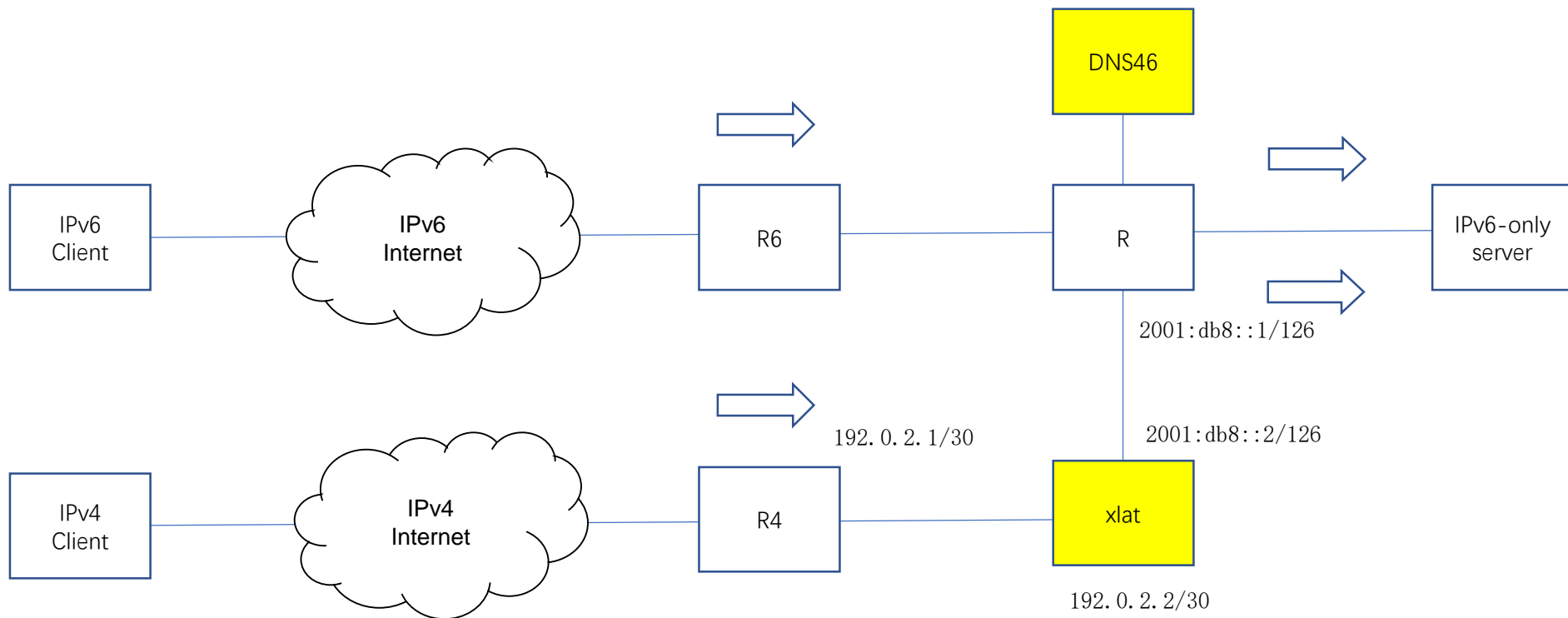
纯IPv6服务器



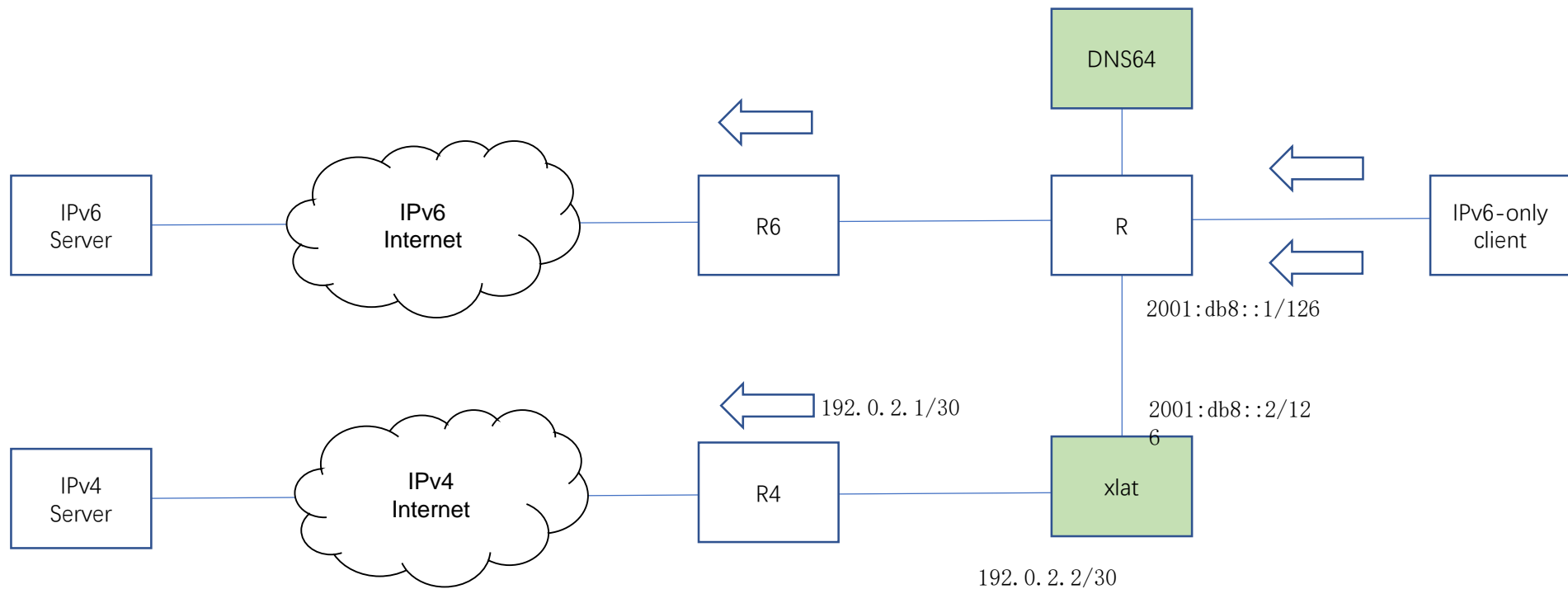
纯IPv6客户机



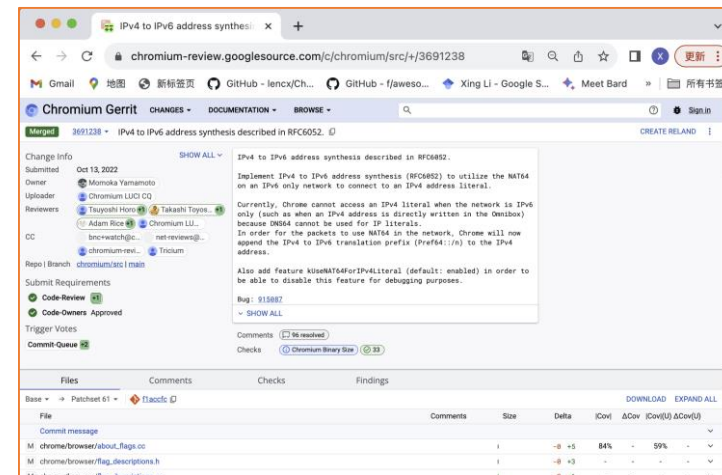
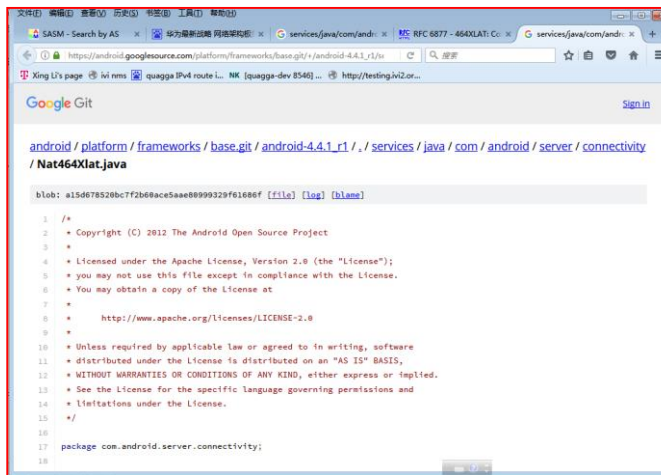
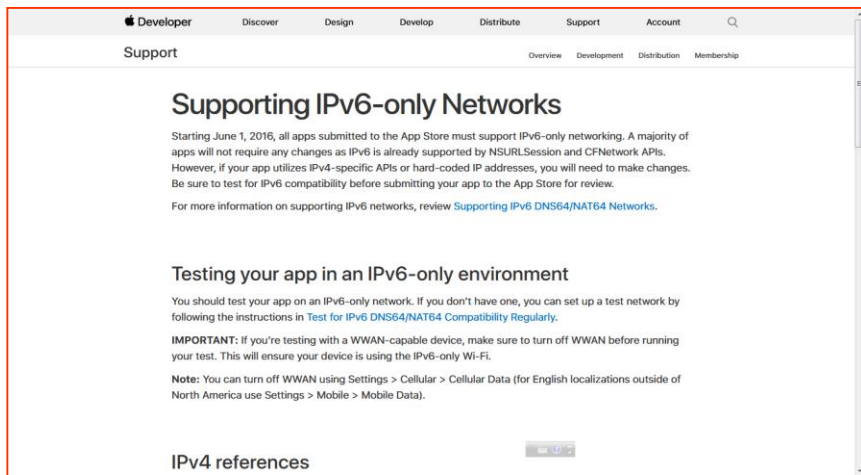
纯IPv6服务器



纯IPv6客户机

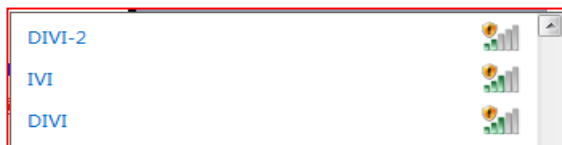


全功能支持的操作系统



NAT64

- iOS (9.2+) and MacOS (10.13+)
- RFC7050, etc
- dhcpv6 stateful or
- slaac



464xlat

- Android (6.0+), Win10 (1703+), Linux
- RFC6877, RFC7050, etc
- slaac only

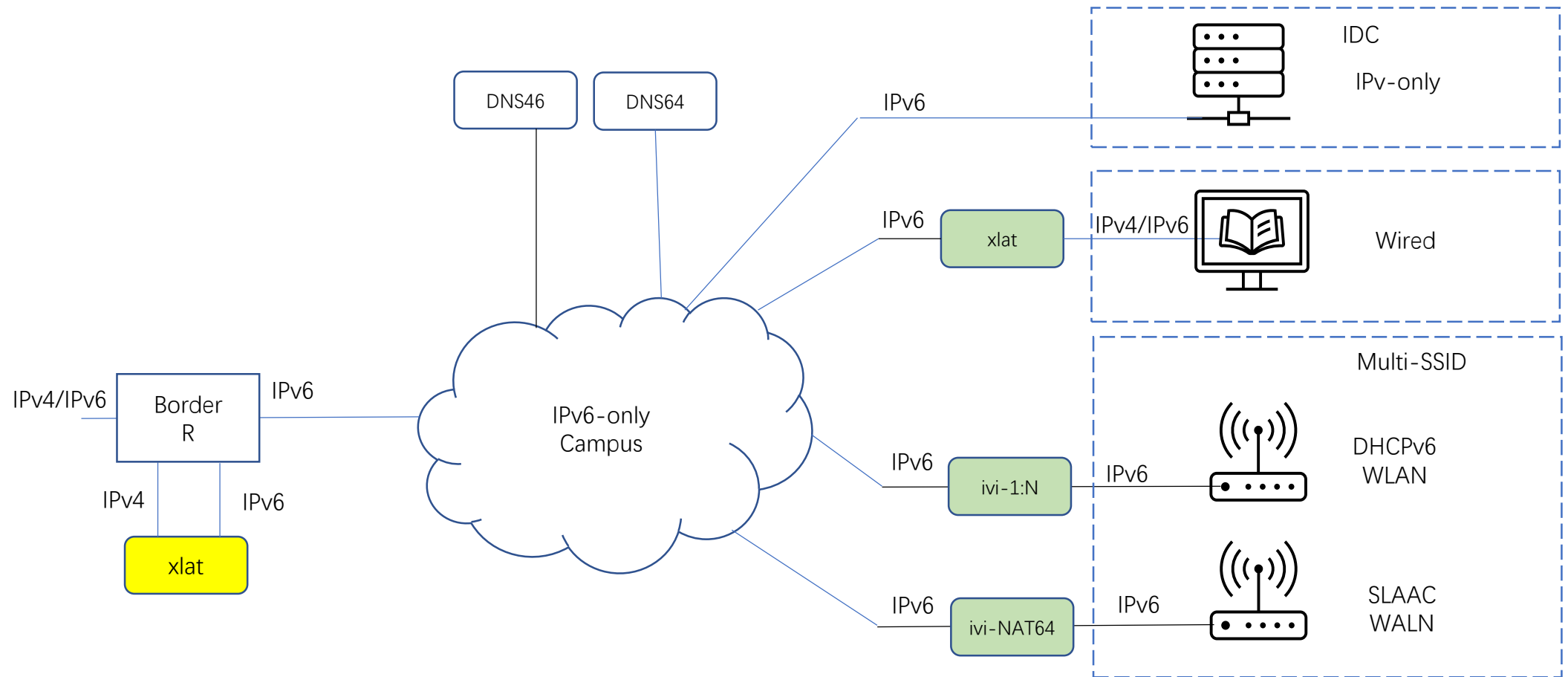
Windows

- Chrome

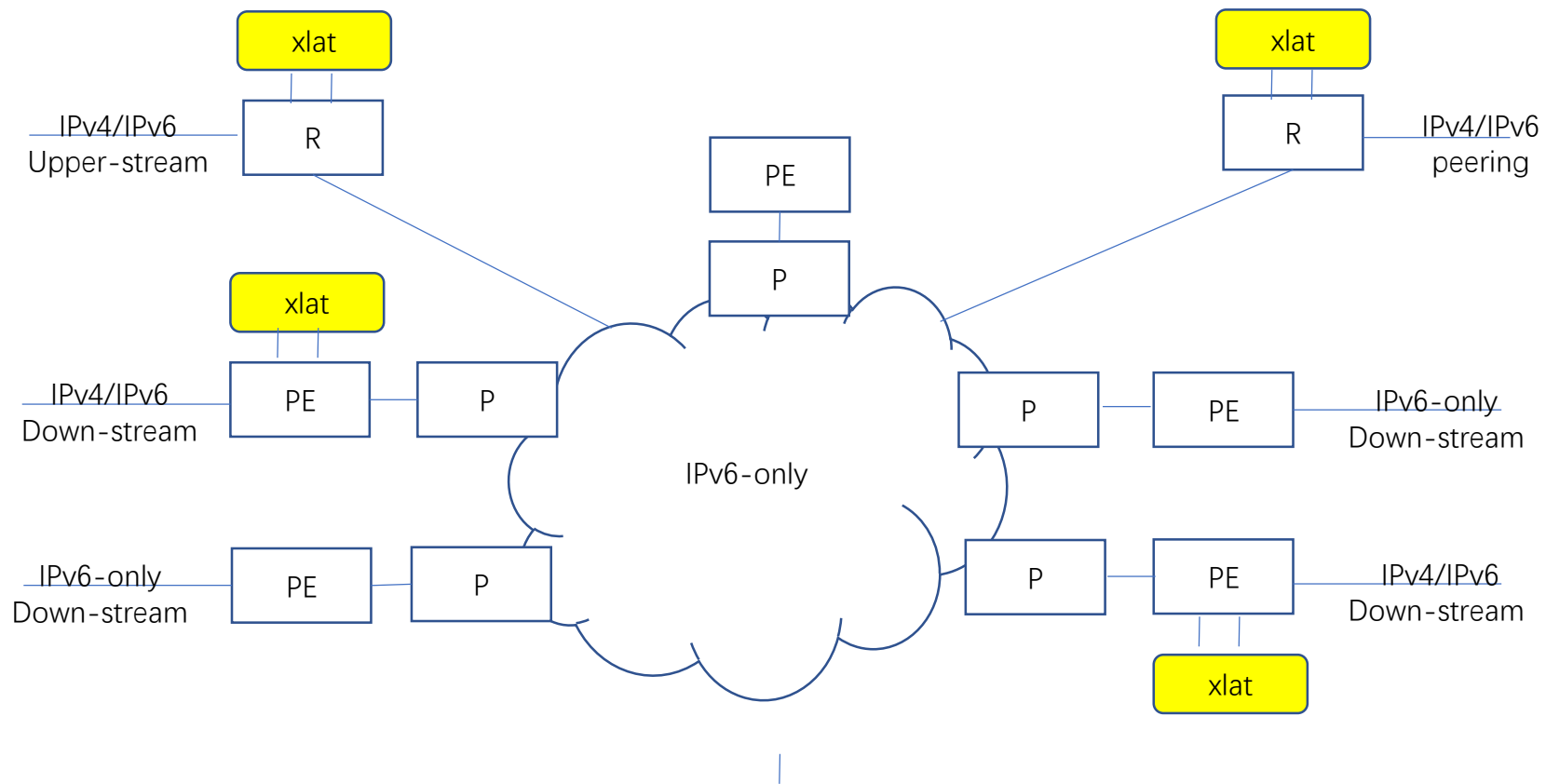
- windows10家庭版 chrome Version 117.0.5938.150 (Official Build) (64-bit)
- windows11专业版 chrome Version 118.0.5993.71 (Official Build) (64-bit)

<https://chromium-review.googlesource.com/c/chromium/src/+3691238>

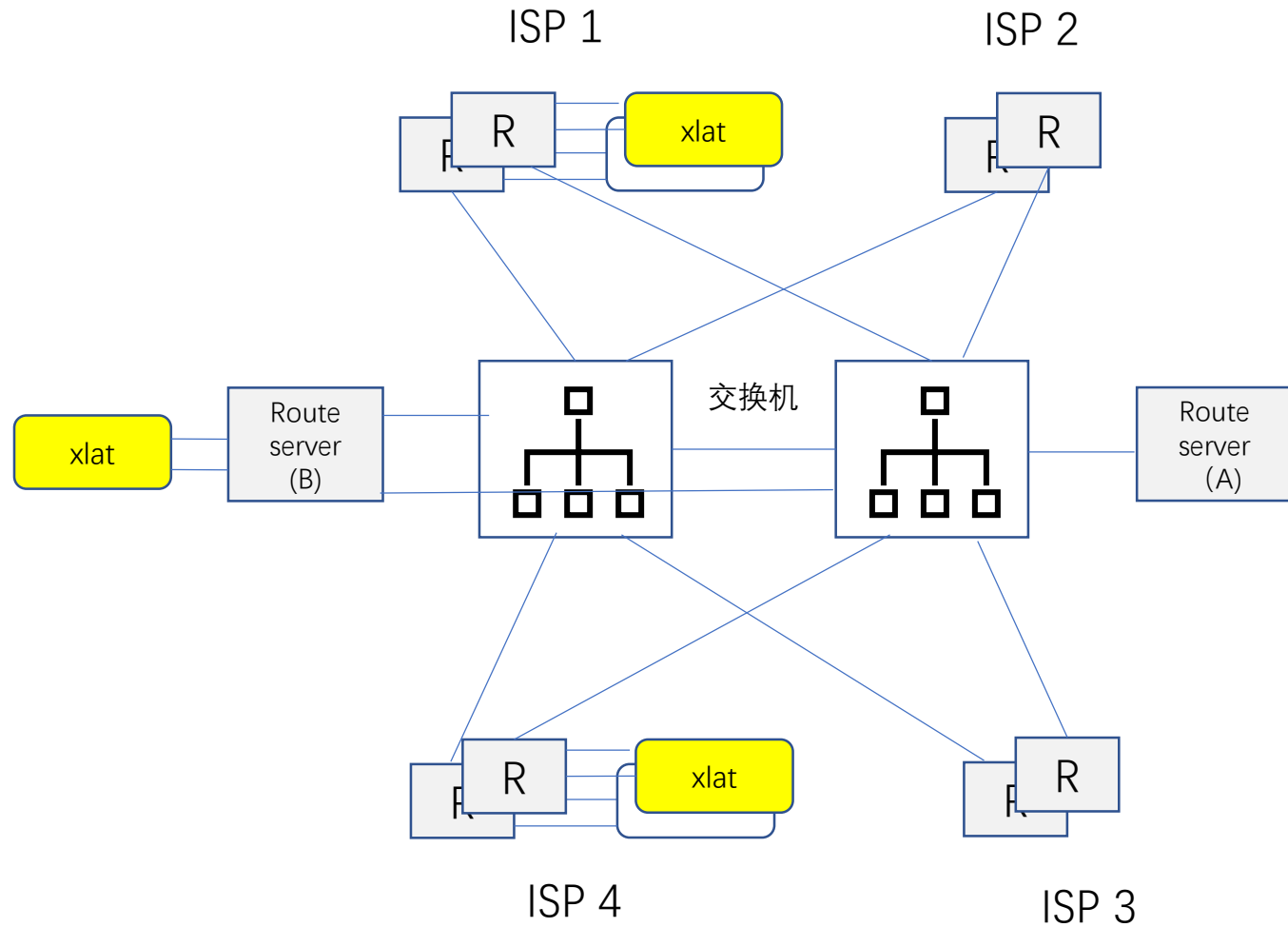
纯IPv6校园网



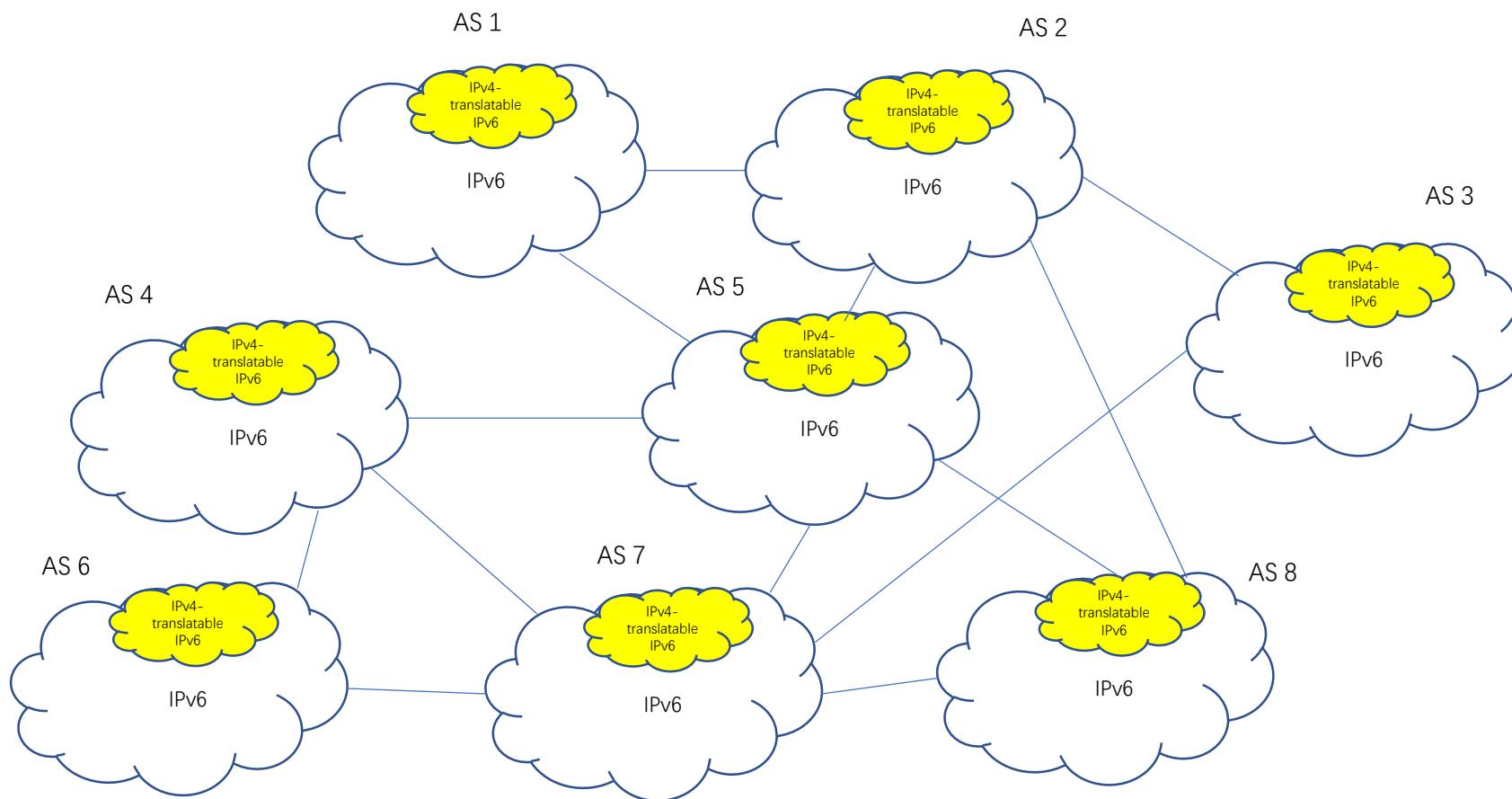
纯IPv6主干网



IPv6 交换中心



“纯IPv6” 互联网



IPv4 address may exist forever, but

- It will mostly be embedded in the IPv6 address
- We can think IPv6 is the locator and IPv4 is the identifier
- There will be again a single global Internet, and we don't need to distinguish the different protocol families.



挑战

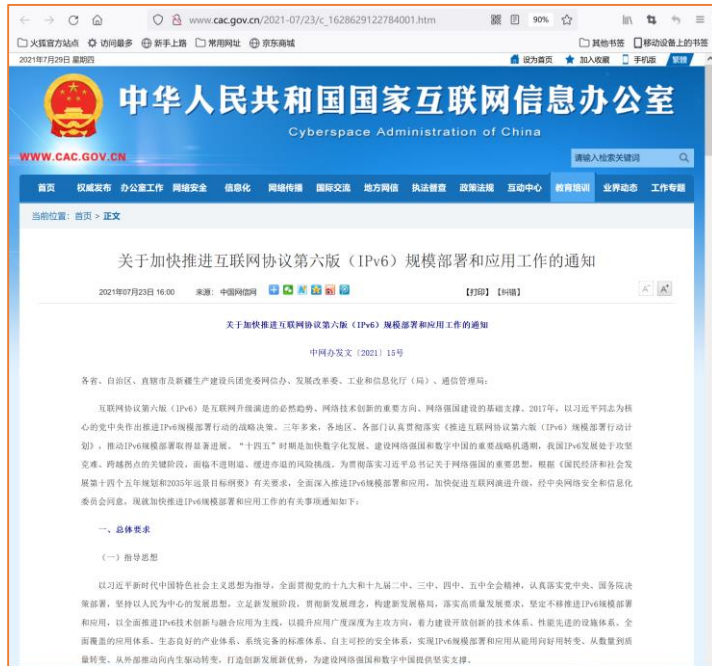
斯诺登事件 (2013.06)

- The IETF is willing to respond to the pervasive surveillance attack?
 - **Overwhelming YES. Silence for NO.**
- Pervasive surveillance is an attack, and the IETF needs to adjust our threat model to consider it when developing standards track specifications.
 - **Very strong YES. Silence for NO**
- The IETF should include encryption, even outside authentication, where practical.
 - **Strong YES. Silence for NO**
- The IETF should strive for end-to-end encryption, even when there are middleboxes in the path.
 - **Mixed response, but more YES than NO.**
- Many insecure protocols are used in the Internet today, and the IETF should create a secure alternative for the popular ones.
 - **Mostly YES, but some NO.**



[Hardening The Internet](#)

IPv6单栈 (2021.07)



2030

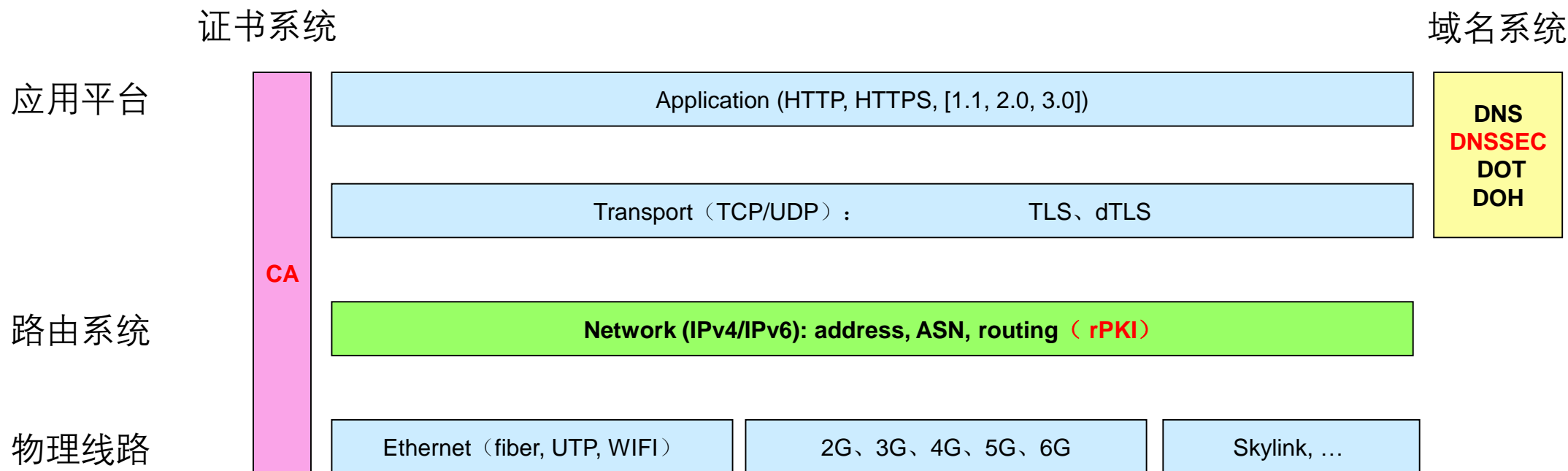
之后再五年左右时间，完成向IPv6单栈的演进过渡 IPv6与经济社会各行业各部门全面深度融合应用。我国成为全球互联网技术创新、产业发展、设施建设、应用服务、安全保障、网络治理等领域的重要力量。

俄乌冲突 (2022.02)

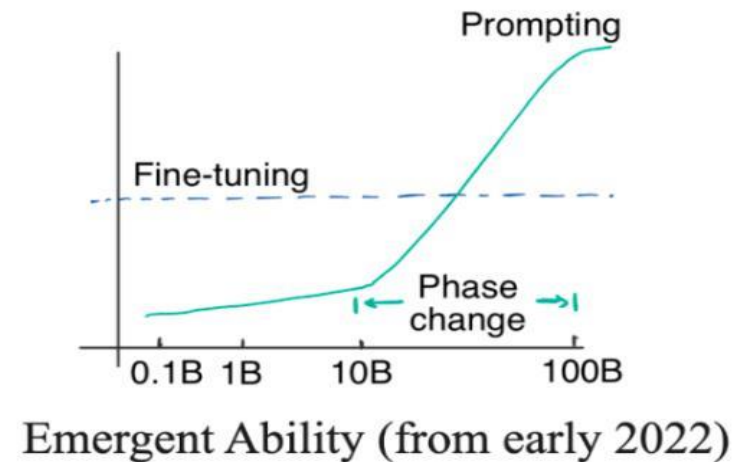
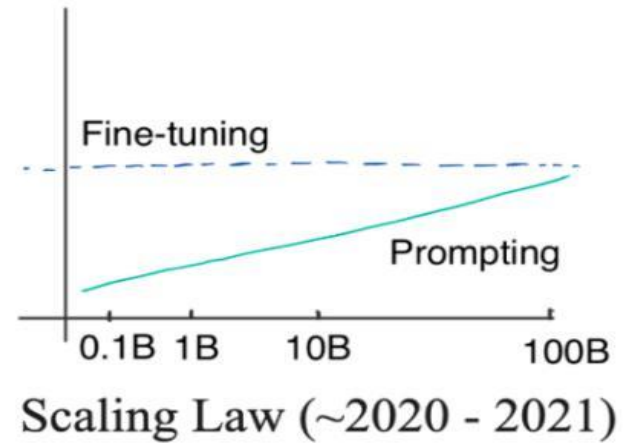
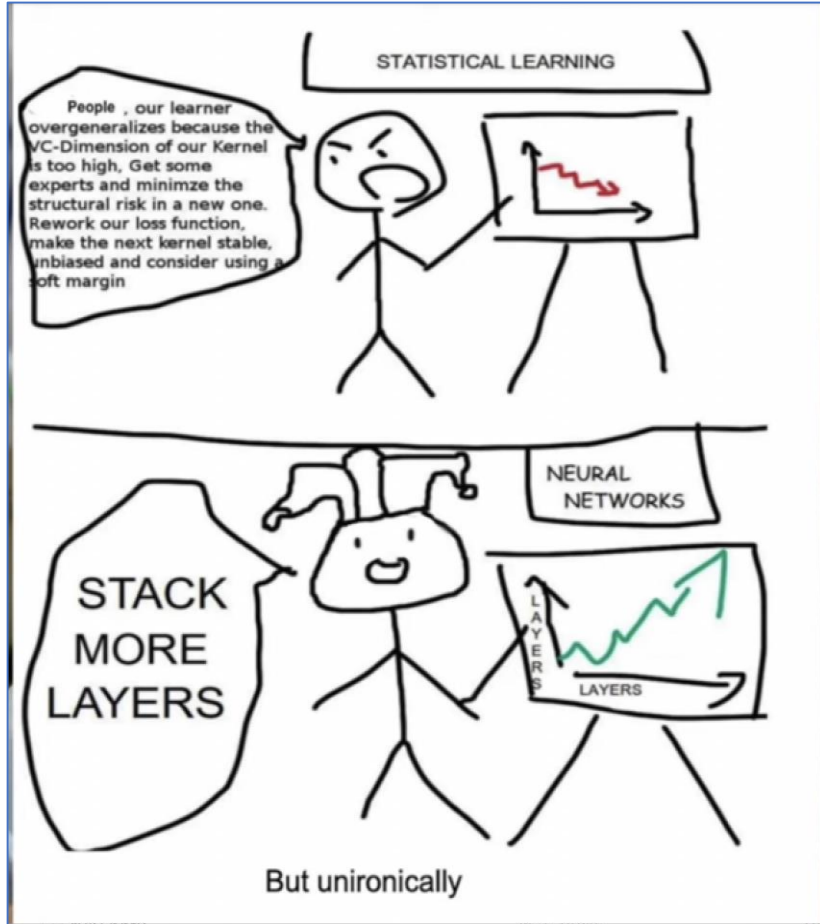
标准

人才

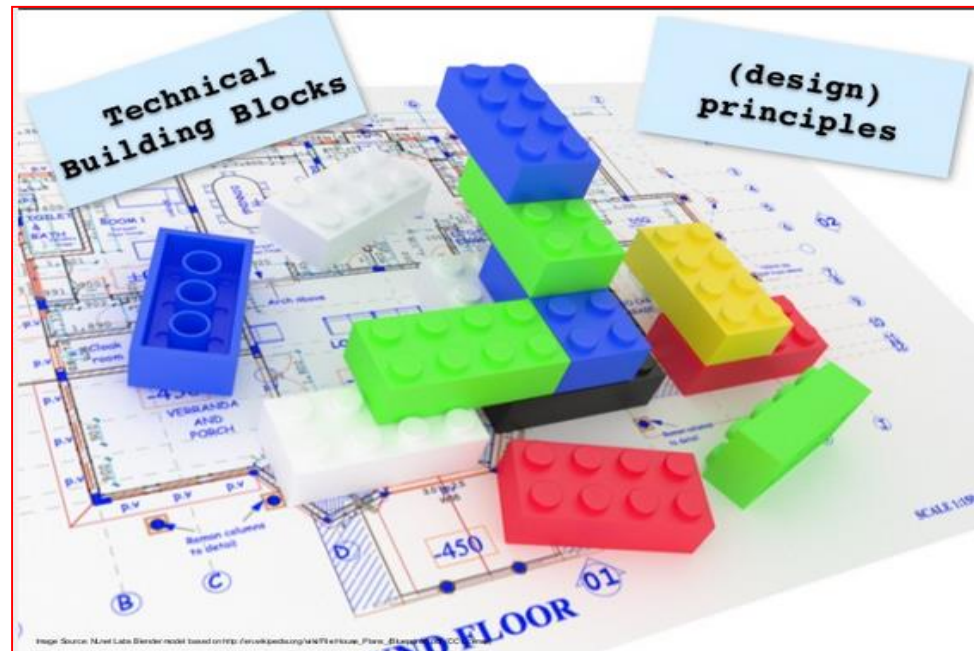
供应链



chatGPT (2022.11)



互联网核心技术演进



技术模块

设计原则

NCP

TCP/IP

DNS, BGP

HTTP

HTTPS

???

1970s

1980s

1990s

2000s

2010s

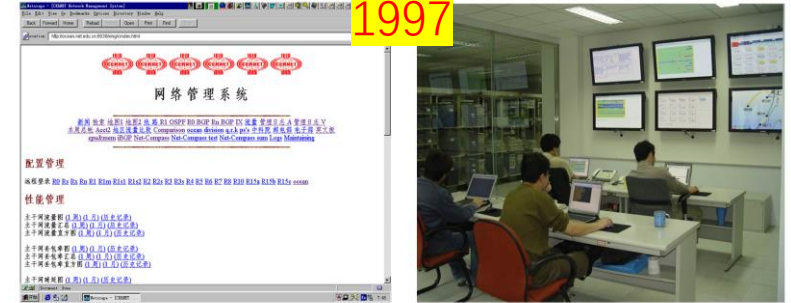
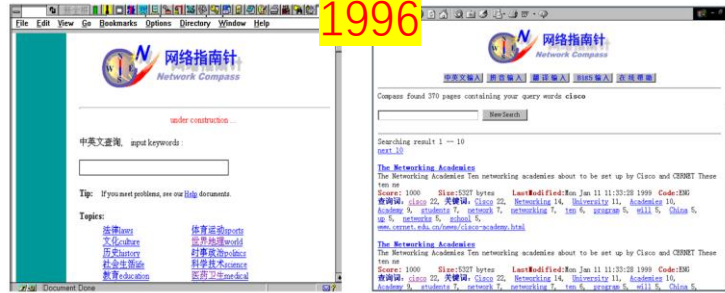
2020s

2030s

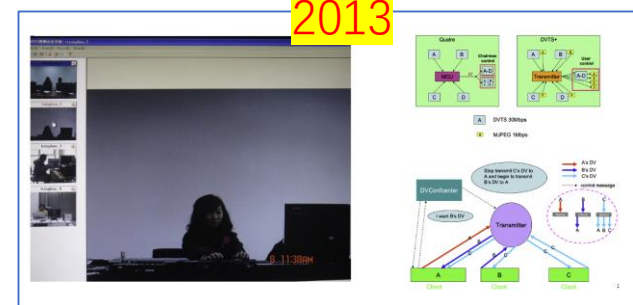
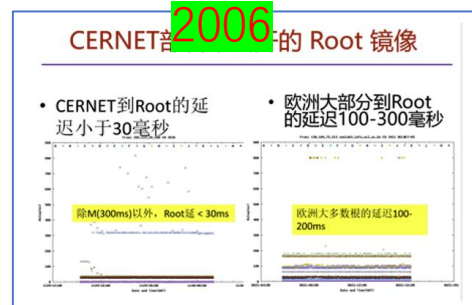


IPv6创新

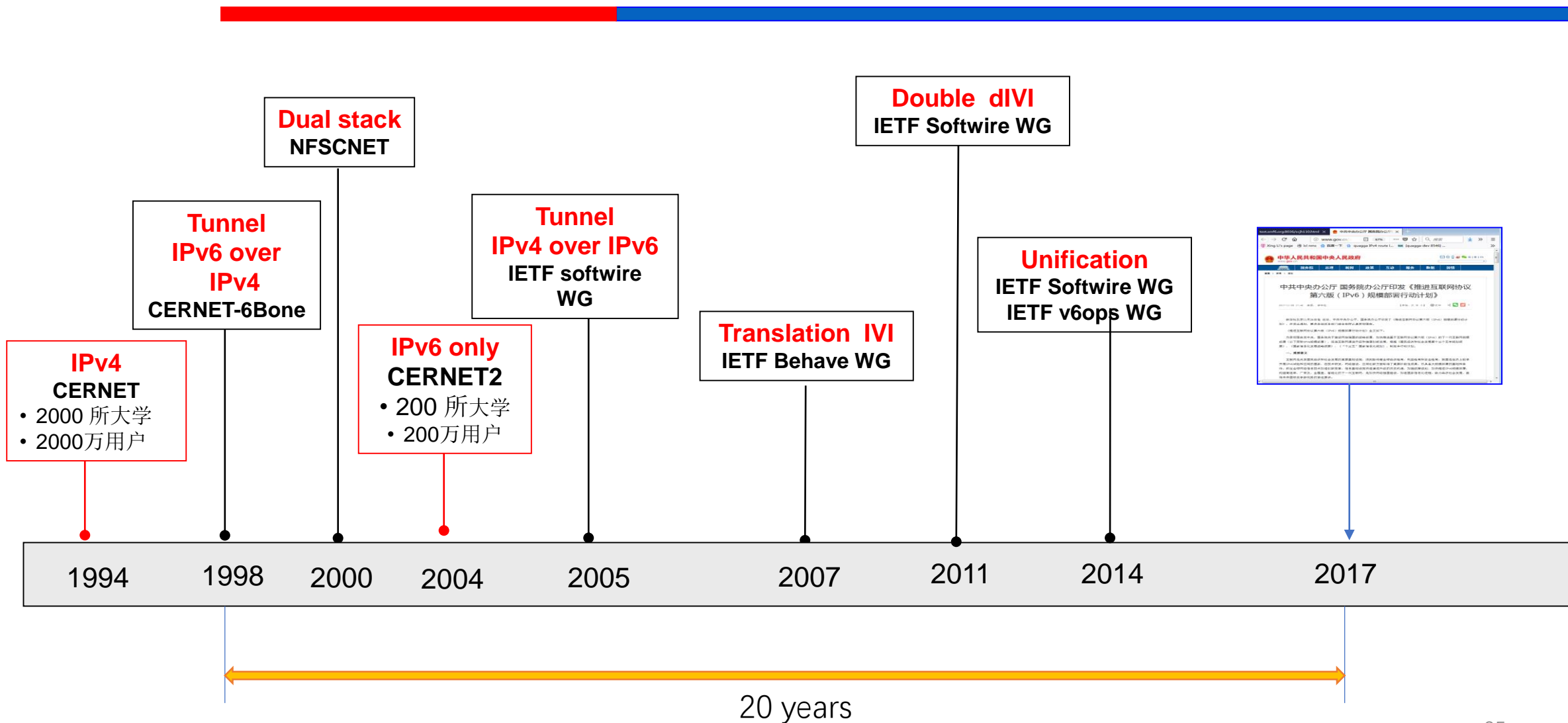
历史案例



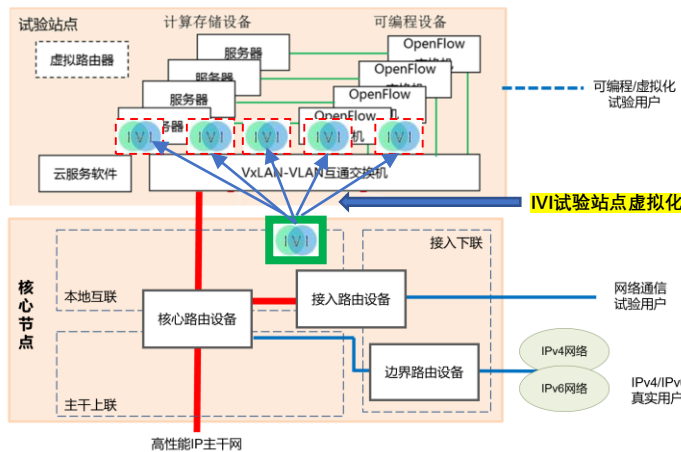
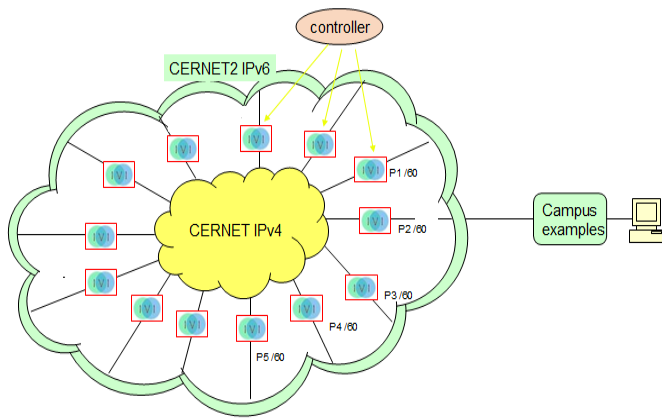
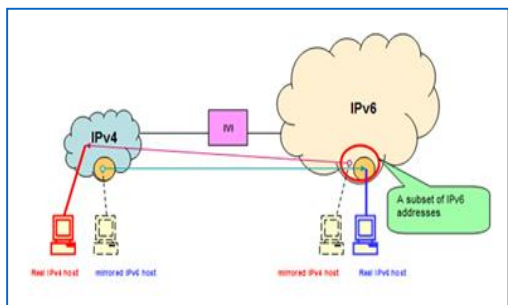
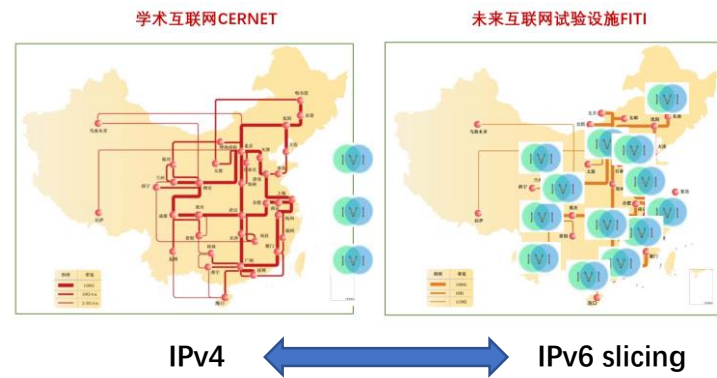
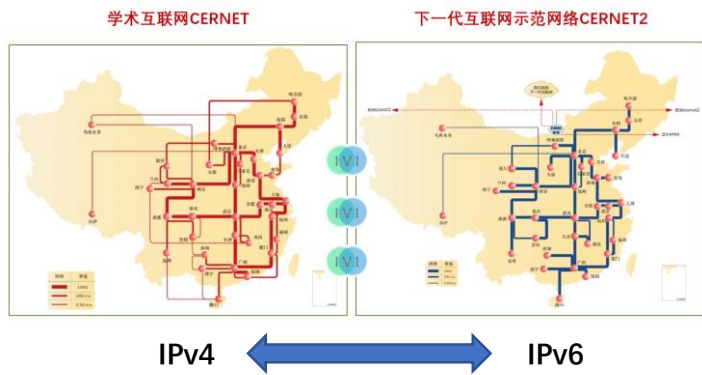
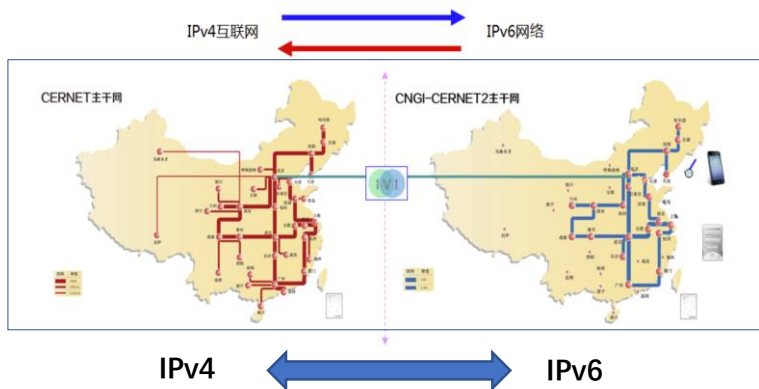
- 眼界
- 勇气
- 资源
- 运气



IVI



IVI 技术在各代CERNET上的演进

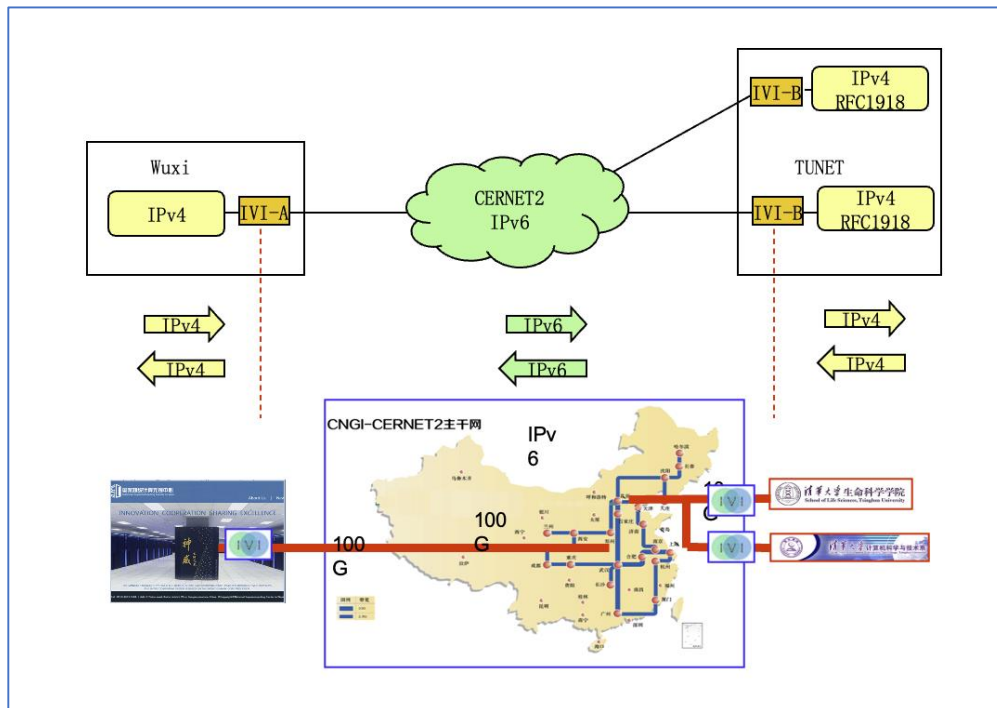


Distributed

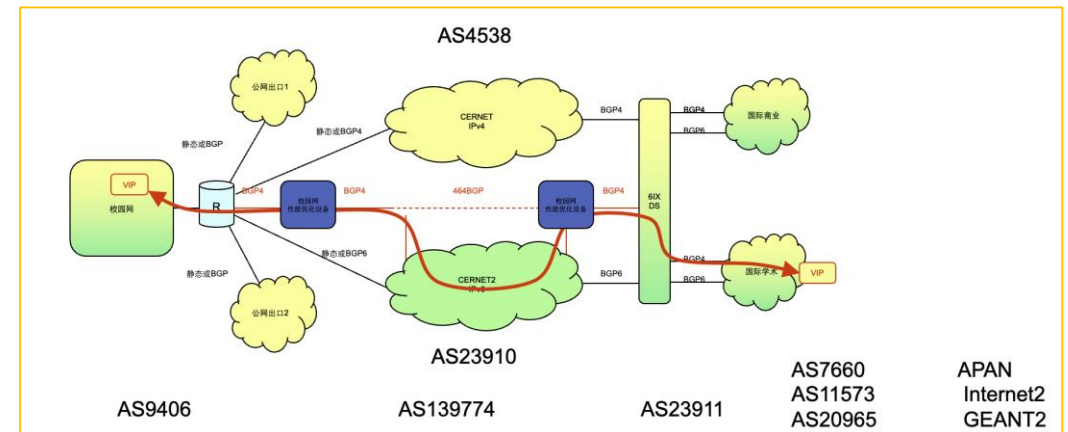
Virtual

高性能

超算专网



464BGP



Speeding Up IPv4 Connections via IPv6 Infrastructure

Ruiyu Fang¹, Guoliang Han², Xin Wang¹, Congxiao Bao³, Xing Li³, Yang Chen¹
¹School of Computer Science, Fudan University, China ²INDIRECTIONNET, China ³Tsinghua University, China
 (ryfang19,xinw.chenyang)@fudan.edu.cn, guoliang.han@indirectionnet.com, {congxciao, xing}@ernet.edu.cn

ABSTRACT

In the transition process from IPv4 to IPv6, the lack of customer demand remains a major problem for Internet Service Providers. With the increasing traffic in IPv4 networks, the ISPs' operational cost is growing while the user experience will be degraded. We propose a solution for these problems by transferring IPv4 traffic through the IPv6 core network. By providing better services for IPv4 end users, such as stabler connections, lower latency and better QoS, our solution can serve as an incentive for ISPs to gradually upgrade to pure IPv6 networks. In this demo, we showcase that better service quality for IPv4 end-to-end connections can be acquired by transferring traffic from heavy-loaded IPv4 core network to light-loaded IPv6 core network, using stateless IPv4/IPv6 translation techniques.

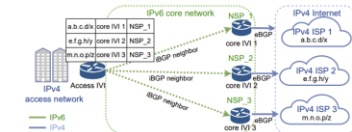


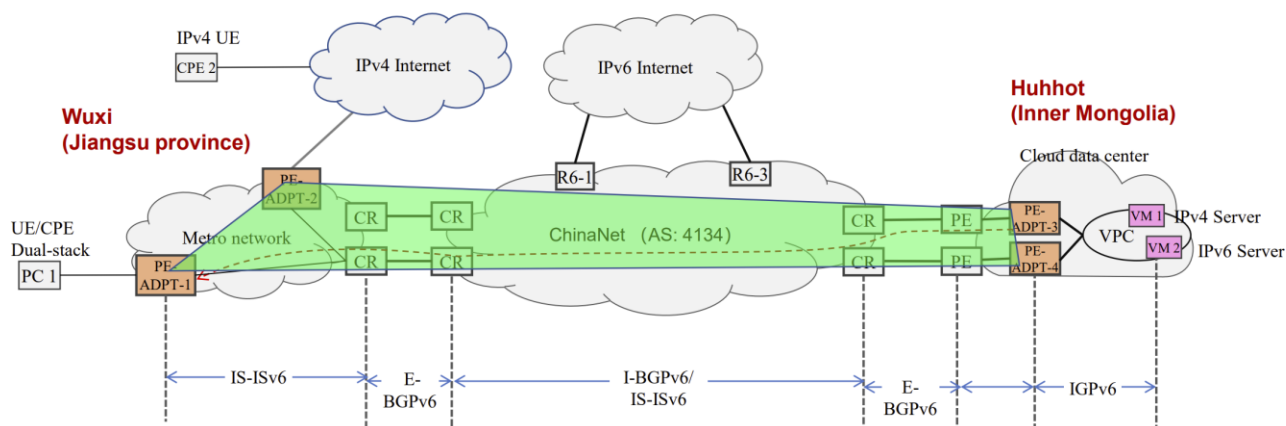
Figure 1: Illustration of proposed system-iFudan6.

To solve the problem, we proposed a system transferring traffic from a heavy-loaded IPv4 network to a light-loaded IPv6 network.

跨域

Internet Area Working Group (intarea)

Field Trial of IPv6-only Across Three Domains



Communication modes tested

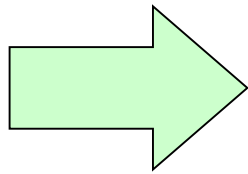
- IPv4-only users access IPv4-only services
- IPv4-only users access IPv6 and IPv4 cloud servers
- External IPv4 user accesses IPv6 and IPv4 cloud servers
- IPv6 user accesses IPv6 and IPv4 cloud servers

2022/7/25

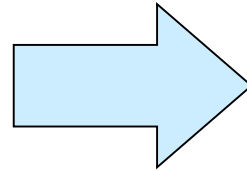
10

BGP peering (work in progress)

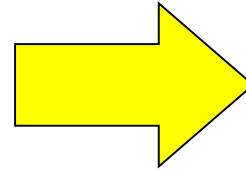
IVI and IP address mapping



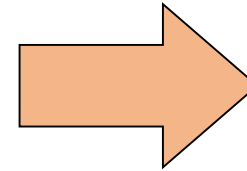
Linear
mapping



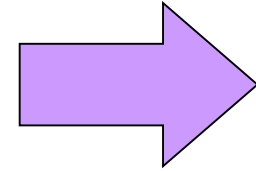
Nonlinear
mapping



Nonstationary
mapping



Crypto
mapping



AI
mapping

2023 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)

6Former: Transformer-Based IPv6 Address Generation

1st Qiankun Liu
Institute for Network Sciences and Cyberspace
Tsinghua University
Beijing, China
lqk20@mails.tsinghua.edu.cn

2nd Xing Li
Institute for Network Sciences and Cyberspace
Tsinghua University
Beijing, China
xing@cernet.edu.cn

校园网IPv6切片保安全

- 传统校园网
 - “糖葫芦”



- IPv6 校园网

用户上网

- 有线
- 无线 (多SSID)

信息系统

- 专网
- VPN

视频系统

- 教学
- 研讨

外部宣传

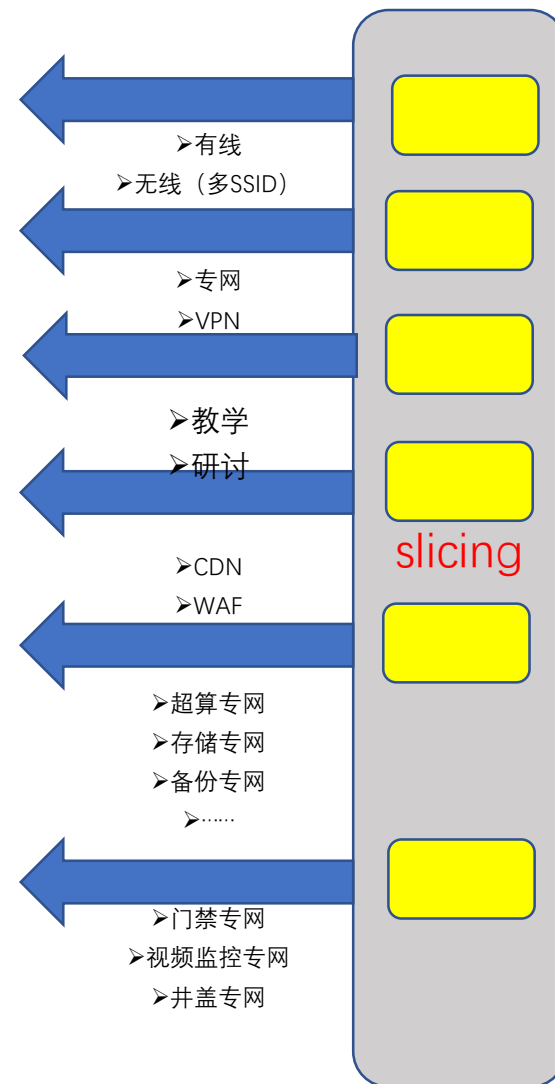
- CDN
- WAF

科学研究

- 超算专网
- 存储专网
- 备份专网
- ……

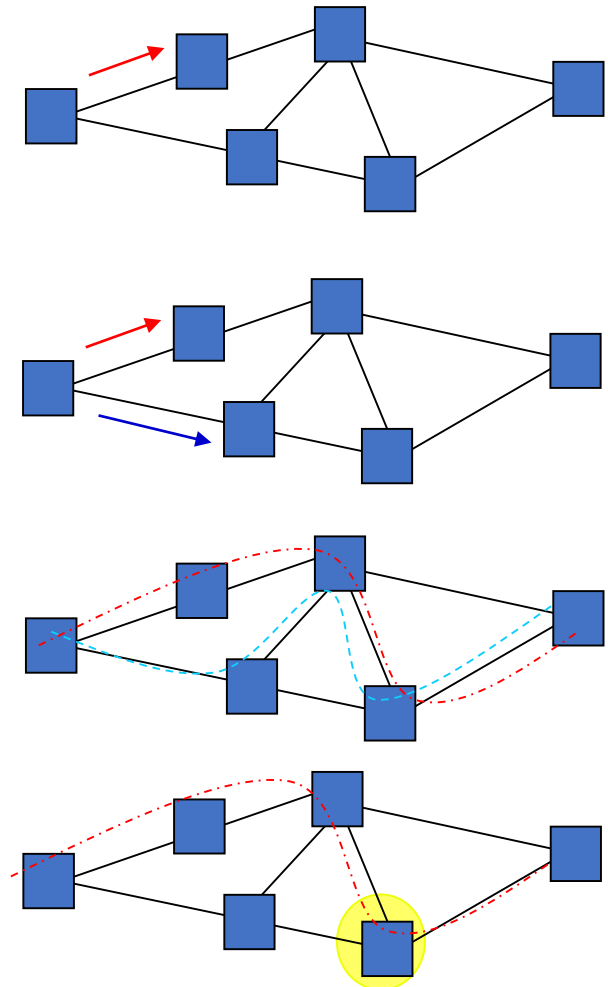
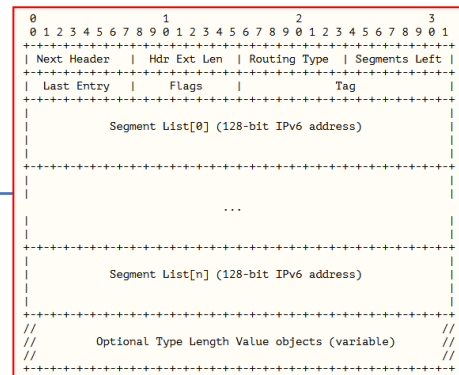
物联网

- 门禁专网
- 视频监控专网
- 井盖专网



SRv6

- Evolution
 - Source and destination based routing
 - N^2
 - Destination based routing
 - Current
 - Path based routing
 - Stateful
 - Segment routing
 - Source route



IPv6 专网 (1)



IPv6 专网发展倡议

**建议各行业尽快出台IPv6专网建设相关规范标准，
指导行业的IPv6专网建设**

教育行业先行出台《教育专网建设与运行标准技术指南》等规范文件，指导各地规范推进新型教育专网建设，当前上海、山东、甘肃等地正在加快建设教育专网，出台IPv6专网建设标准不仅能够避免专网建设的无序化，还有利于解决专网建设时面临的无政策指导、无资金支持等方面的实际问题。建议各行业结合自身发展的特点和网络发展需要，起草IPv6专网建设的技术标准规范文件和建设指南，指导IPv6专网的标准化、规范化和有序化建设。

**建议行业的龙头企业积极发挥标杆示范作用，
加快IPv6专网建设实践**

鼓励有建网能力的行业龙头企业牵头加速IPv6专网建设实践，通过IPv6专网提升行业的生产力和业务效率，提高本行业的数字化、网络化和智能化进程，从而将示范效应扩展到整个行业。

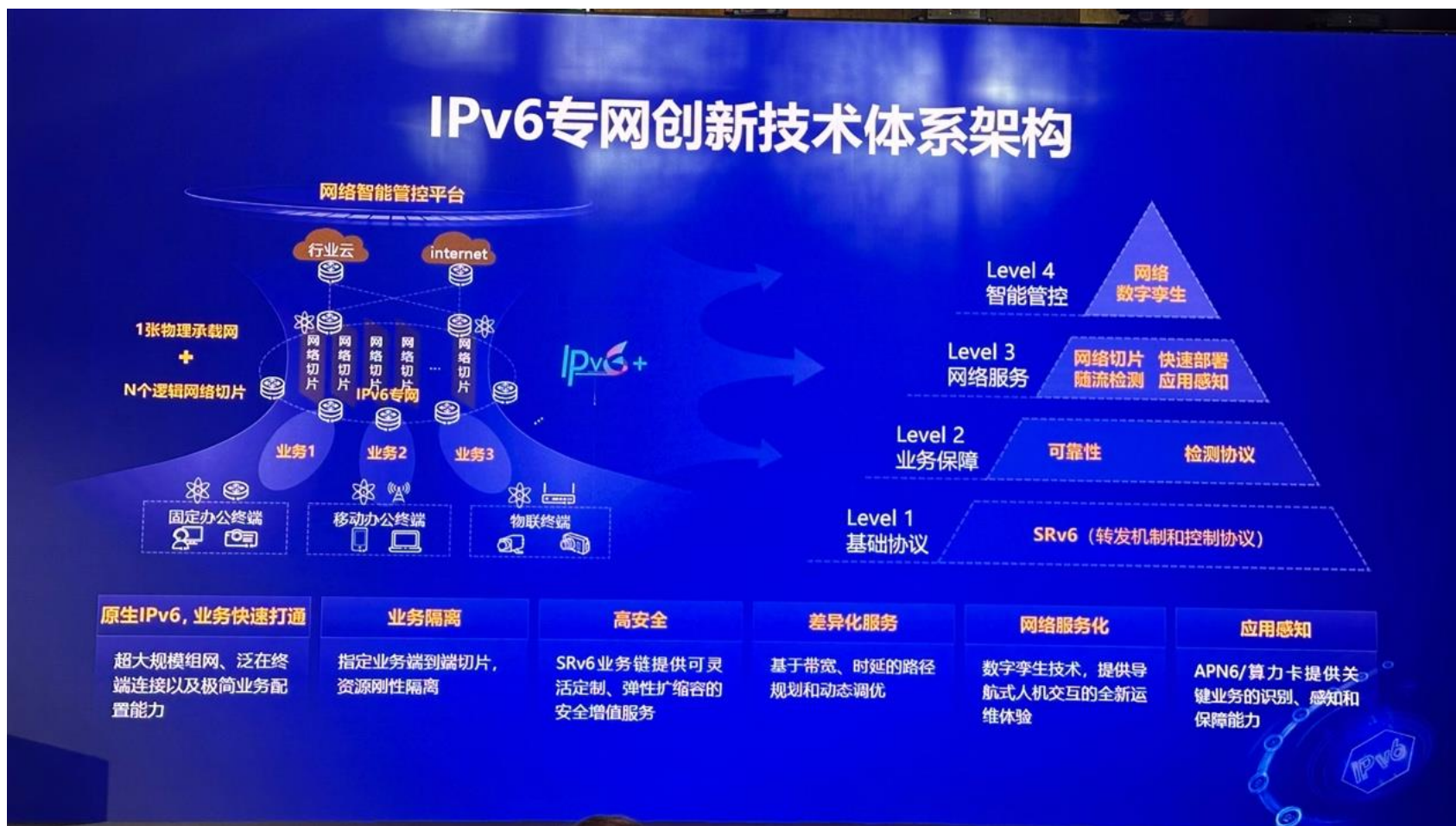
**建议基础电信企业发挥自身优势，优化商业模式，
为行业提供IPv6专网**

部分行业不具备网络建设升级和运营的能力，从而影响了行业数字化发展的进程。基础电信企业不仅具有较强的技术实力，也拥有端到端建设和维护网络的能力。建议基础电信企业针对具有诉求的行业和企业，提供IPv6专网的商业模式，加速行业数字化进程。

**建设自主创新的IPv6专网
产业体系**

行业专网是各行业数字化发展的基础设施，服务于行业多种多样的数字化、信息化应用，通过IPv6专网建设，进一步带动网络设备、终端设备、系统软件和应用软件深度支持IPv6及“IPv6+”，促进形成自主、创新、安全、可靠的IPv6专网产业体系，通过技术实践不断加强网络、终端和软件的技术升级，实现我国在IPv6相关技术与产业上的持续领先。

IPv6 专网 (2)



IPv6 专网 (3)

SRv6基于Native IPv6扩展头, 具备强大可编程能力

- SRv6基于原生IPv6报文头实现转发路径、业务编排、应用标识等编排能力。
- 高带宽承载、集中控制和金融等行业需要灵活的业务编排能力为业务提供可灵活定制、弹性扩缩的安全增值服务能力。
- 远程医疗、证券交易等时延敏感业务需要提供最低时延的转发能力。

IPV6 Header

SA DA

IPv6扩展头

SRH 扩展头 (Routing Header)

Segment[0]

Segment[1]

...

Segment[n]

Optional TLV

Payload

可灵活编程的SID List, 使链路可编辑

128 Bit 128 Bit 128 Bit 128Bit

路径可编程

SID List灵活编程, 路径可定义

可灵活编程的Segment, 使链业务可编辑

Locator	Function	Argument
位置信息	业务功能定义	参数

业务可编程

灵活定义VPN、VAS、SFC等业务信息

应用可编程

扩展头+Option TLV, 网络感知和应用

SRv6 TI-LFA+BFDD实现100%拓扑快速切换

- IPv6专网基于TI-LFA技术以及BFDD等快速检测机制, 可以为各行业高可靠性业务提供100%拓扑扩展的快速切换。
- 面向电力生产控制业务、金融生产交易业务, IPv6专网可以提供极高可靠性, 确保业务正常运行。

LFA/R-LFA部分拓扑无法实现FRR快速切换

TI-LFA满足100%拓扑FRR快速切换

TI-LFA通过显式备份路径实现任意拓扑的FRR切换。

BFDD来由路径不一致, 误报导致主备路径同时down

BFDD来由路径一致确保主备切换成功

严格指定回程BFDD探测报文路径, 确保来回检测路径一致。

基于SRv6提供切片、随流检测和快速开通能力

- IPv6专网可提供超大网络规模以及高业务配置能力, 通过切片和随流检测技术提供资源弹性隔离和快速故障排查能力。
- 针对远程医疗、证券交易等时延敏感业务, 以及视频会议、视频监控等需要资源隔离的业务, IPv6专网基于网络切片, 实现零时延、抖动和丢包等多维度的保障。

快速开通

控制简化配置, 解决自动化问题

精准不穿域, VPN分招编排, 15天开通

SRv6一键直达, 免VPN拼接, 天级开通

网络切片

专享替代共享, 解决确定性体验问题

业务隔离, 尽力而为转发, 体验无法承诺

一杆多用, 层次化切片, 确定性体验

随流检测

被动变为主动, 解决可视可管问题

被动投诉, 网络黑盒, 手工逐段故障

主动感知, 随流检测, 分钟级定位

应用感知, 进行差异化保障

- APN-ID算力卡实现应用感知和识别, 为不同业务规划不同SLA转发路径, 实现差异化保障能力。
- 面向政务会议、视频直播等业务, IPv6专网可以对视频质量进行分析, 提供关键业务的识别、感知和保障能力。

视频会议

强交互业务

流延迟低、时延/抖动敏感

教育、办公、游戏

空间视频

大视频业务

大流延、大突发、强色敏感

4K/8K、AR/VR、360视角、监控

网页浏览

普通宽带业务

无序业务, 网络KPI不敏感

上网、下载、OTT视频

网络数字孪生, 助力智能运维

- IP网络原生特征带来三大难题: 1、配置无法提前感知影响; 2、静默故障无法感知; 3、网络故障依赖人工检查、调整;
- IPv6专网采用数字孪生技术, 提供导航式人机交互的全新运维体验, 极大降低了网络运维的难度。

IP网络原生特征1: 配置复杂非标准化

配置错误影响巨大, 配置自动化实施成本高

IP网络原生特征2: 多属协议实时交互

报文转发路径频繁变化, 运维难度增加

IP网络原生特征3: 分招转发统计复用

网络流量拥塞无法解除, 业务体验受损

IPv6 专网 (4)

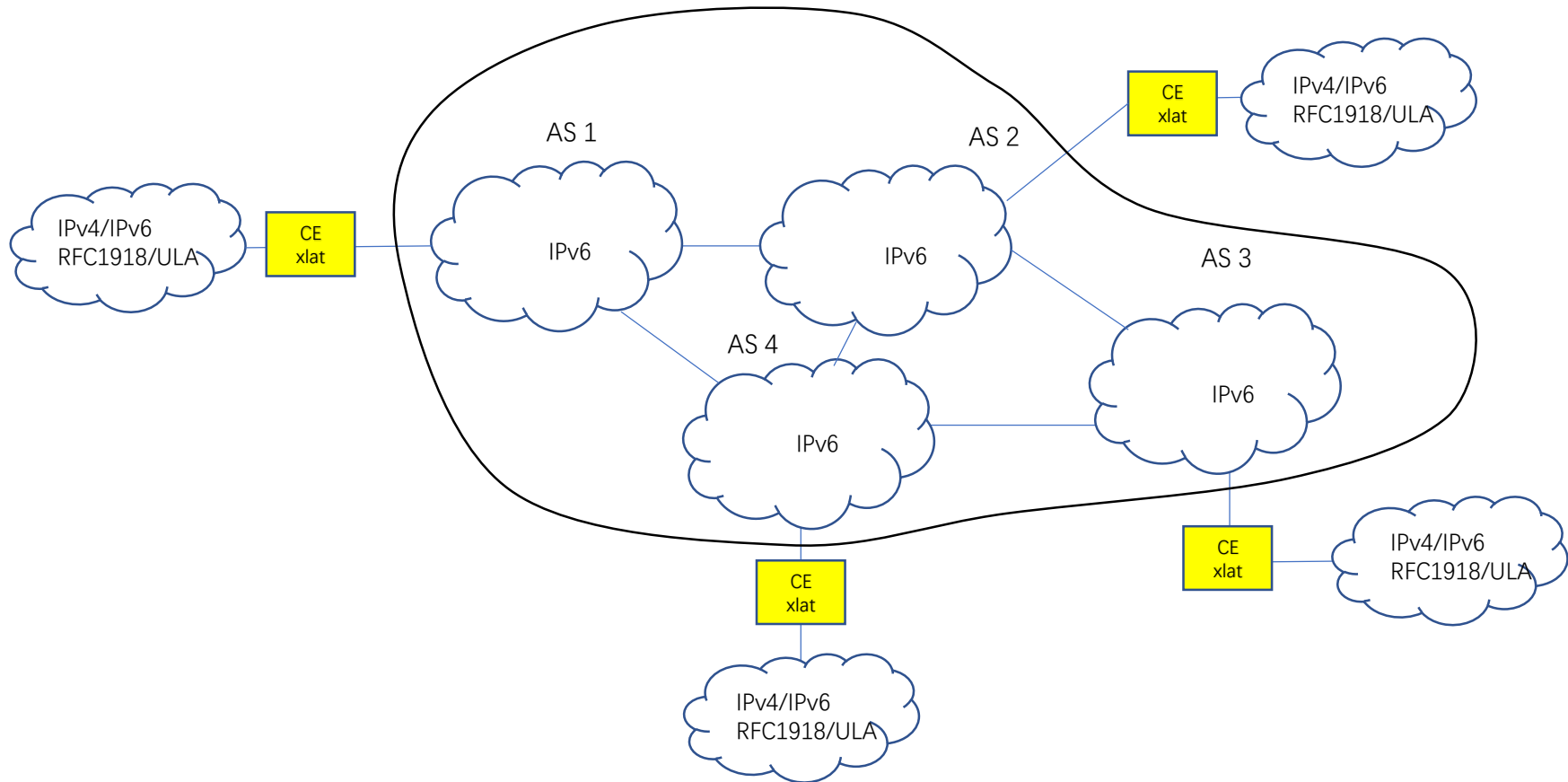
✓ 类型

- 用户自建专网 (L2)
- 运营商专网服务 (L3VPN)

✓ 要素

- 地址 (ULA vs GUA)
- 域名 (IPv6 address vs DNS)
- 边界 (No NAT66 and zero trust)
- 过渡 (IVI for incremental and transparent deployment)

IPv6 专网 (5)



IPv6 for ...

Computers



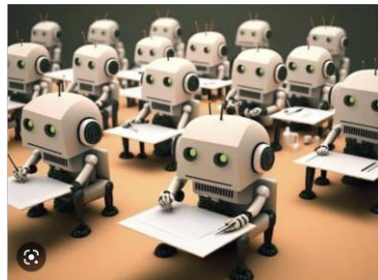
People



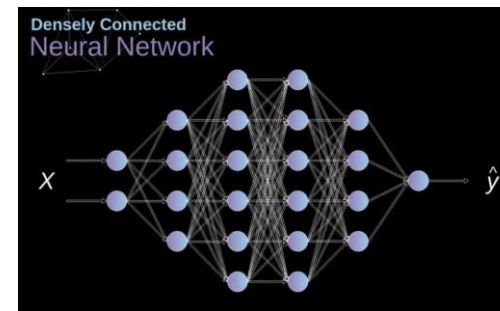
IoT



Robots

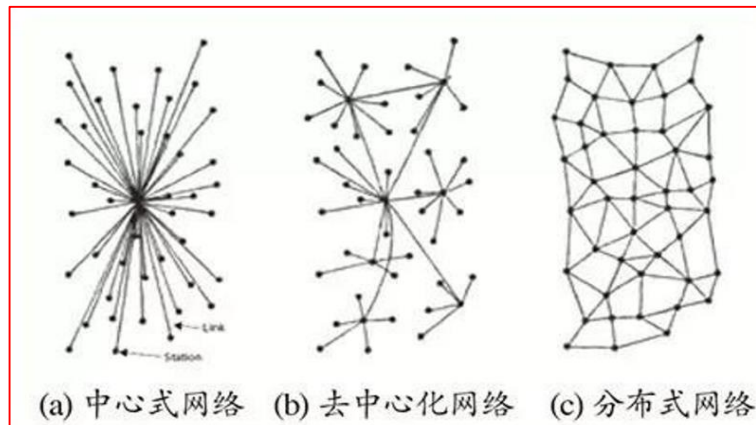


Neurons



人工智能对互联网的挑战

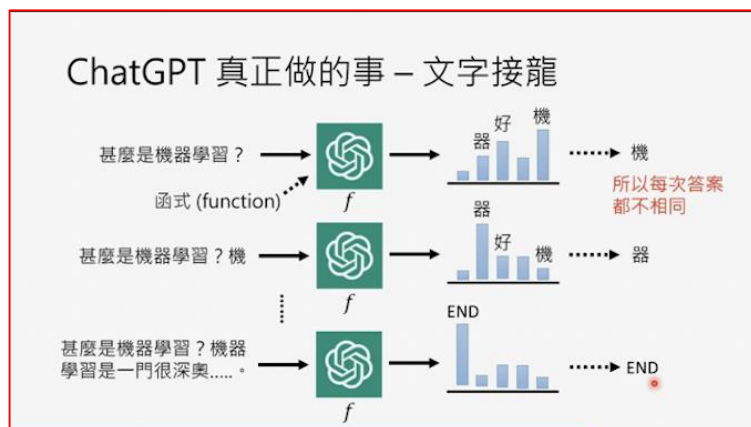
- 分布



There are few AI big giants - centralization



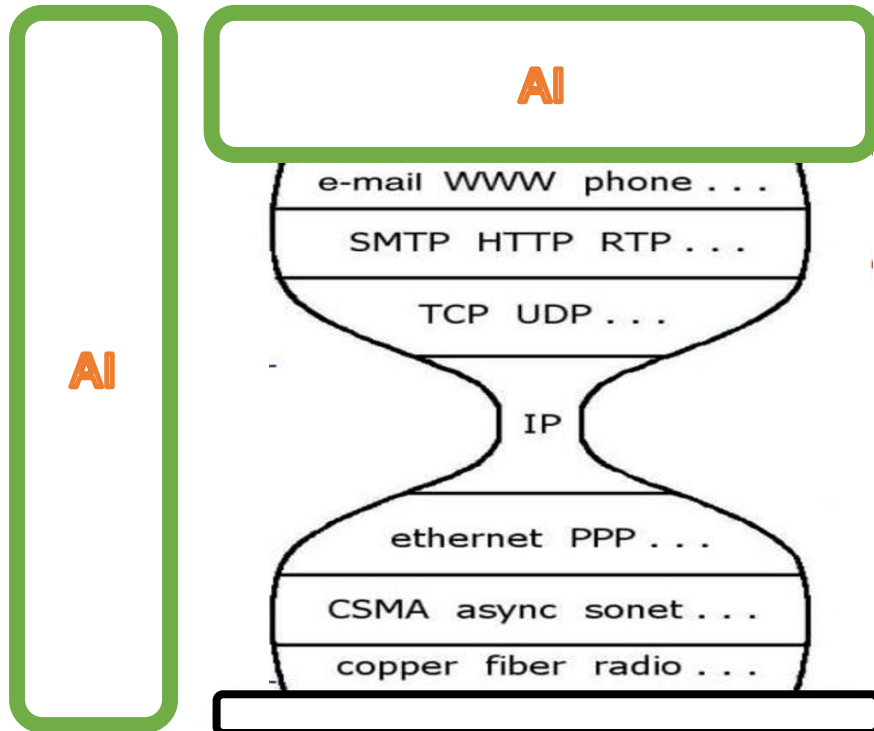
- 可信



Can we trust the answers - trusts



Internet Layered architecture



- 路由安全
- 域名安全
- 证书安全
- 网络可信
- 设备可信

轮回：1993-2023

• Internet

➤ 应用:

- 中国: jpeg是硕士生的论文
- 世界: jpeg 的源程序免费下载

➤ 设备:

- 前期: 受“巴统”限制
- 后期: 国产和进口混合组网

➤ 治理:

- 管理: CERNET管理规定+BBS
- 技术: 195号令+GFW

• chatGPT

➤ 应用:

- 中国: 依然是传统编程方式
- 世界: chatGPT 自动生成程序

➤ 设备:

- 前期: 可以进口NVIDIA A100
- 后期: 无法进口 NVIDIA A100/H100

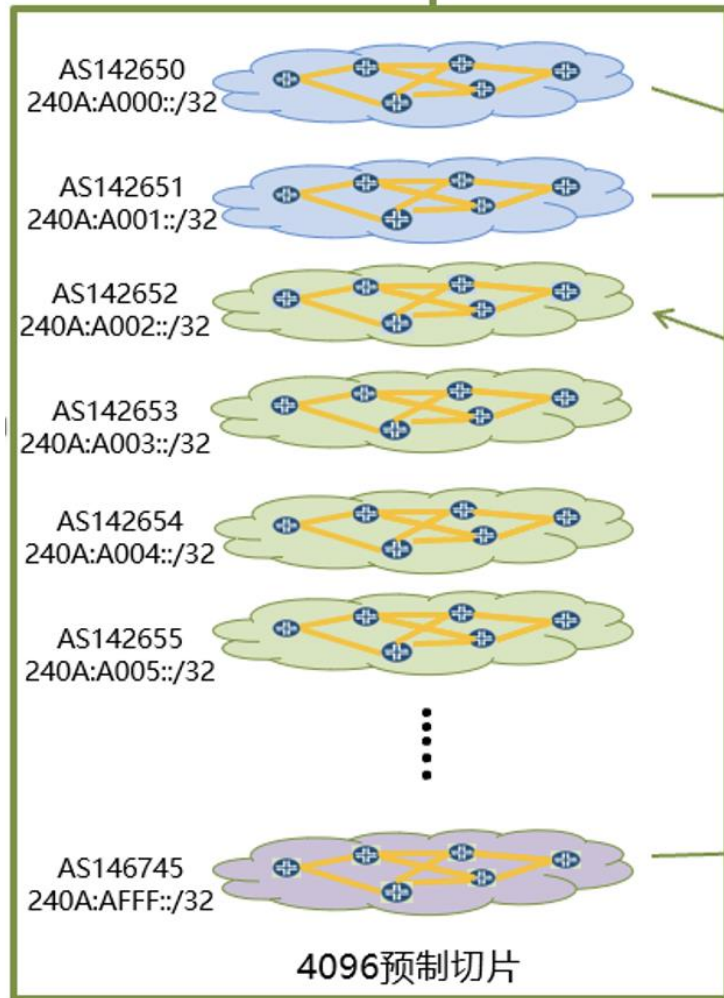
➤ 治理:

- 管理: ?
- 技术: ?

允许ChatGPT犯错误 开放治理同行

- 治理包含两个方面（模型本身的治理，人类自己的治理）
- 模型本身的治理：
 - 多模态：（文本、语音、图像、视频）符合道德标准、伦理标准和政治标准
 - 创造性：要有创造性，就必须允许犯错误
 - 开放跟治理必须同时进行，必须边开放边治理
 - 靠人类来做对齐处理

AI 专网



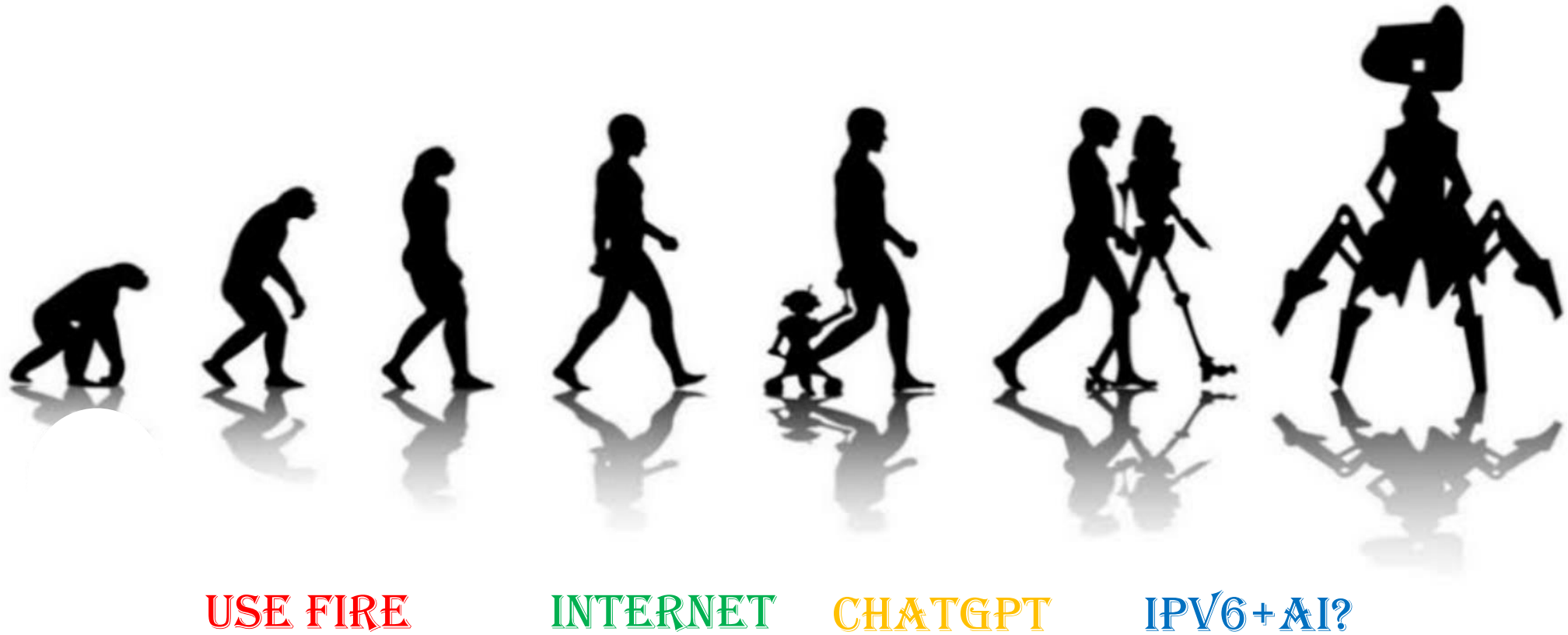
- Share AI related video
- Achieve chatGPT dialogs
- Distributed computing
- And much more

重新思考教育科研计算机网的定位

- 1994-2004
 - 引领公众互联网
- 2004-2024
 - 与公众互联网既合作又竞争（）
- 2024- ……
 - 既是公众互联网，又是高层次专网（）
 - 超算专网
 - AI专网
 - ……

IPv6 为我们提供了无限的技术可能性！！！！

The playground is changing again





Thanks!