

大规模校园网建设管理 实践与智能运维探索

北京大学 付中南

2023年11月30日



目录 CONTENTS

01 | 校园网概况

02 | 出口管理

03 | 架构设计

04 | 智能运维





北京大学
PEKING UNIVERSITY



01

校园网概况



校园网概况

发展历程



北京大学
PEKING UNIVERSITY

校园网规模逐步扩大，建成了覆盖全校范围的有线网络

2016，自研基于IP地址生命周期的无感知漫游

2018，大规模超高密度无线网覆盖

2018，开启校园网BRAS改造

2023，vBRAS转控分离场景落地



1989年中关村试验网开始建设
1994年接入国际互联网
1995年通过CERNET接入，教育网十大主节点之一

2002年，第一个大规模无线网在燕园建成
2007年，所有教学楼、公共区域完成高密覆盖
2016年，实现学生宿舍AP入户全覆盖

校园网概况

运行概况



□ 设备数量多

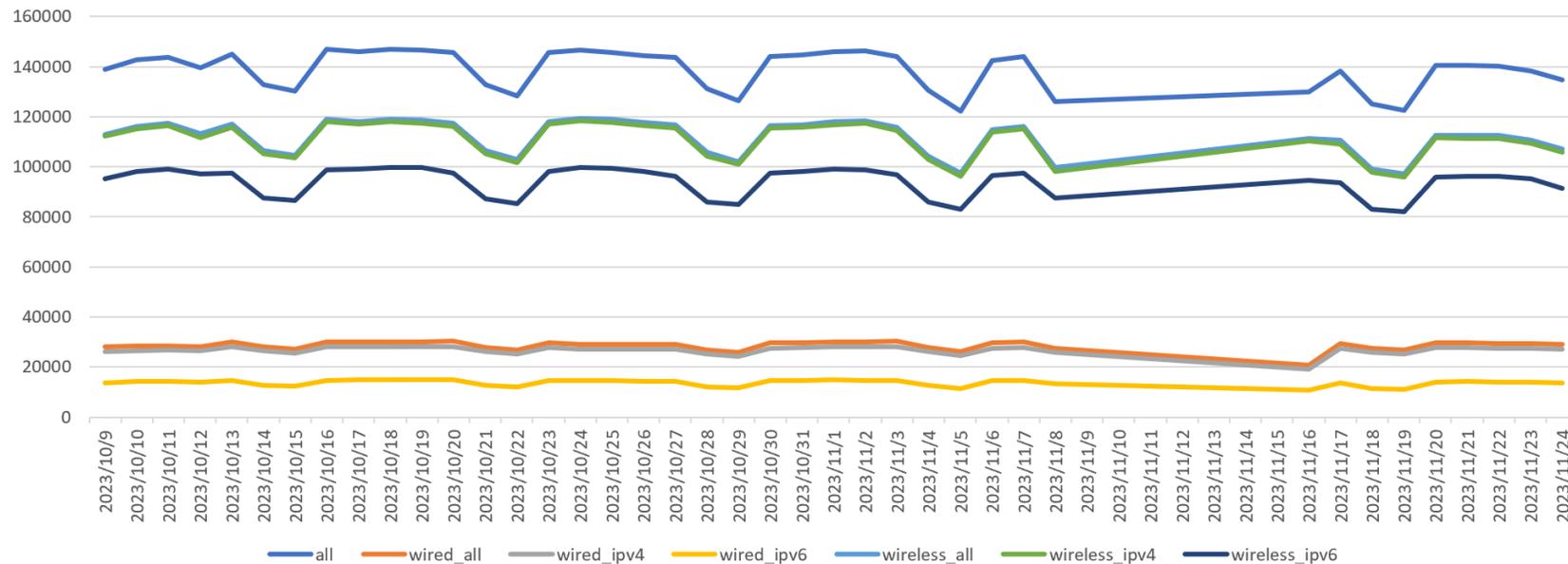
■ 在网有线交换机7000台，无线AP 2.6万台

□ 服务范围广

■ 燕园校区、昌平校区、大兴校区、医学部、深圳研究生院

□ 用户规模大

累计连网终端数



校园网概况

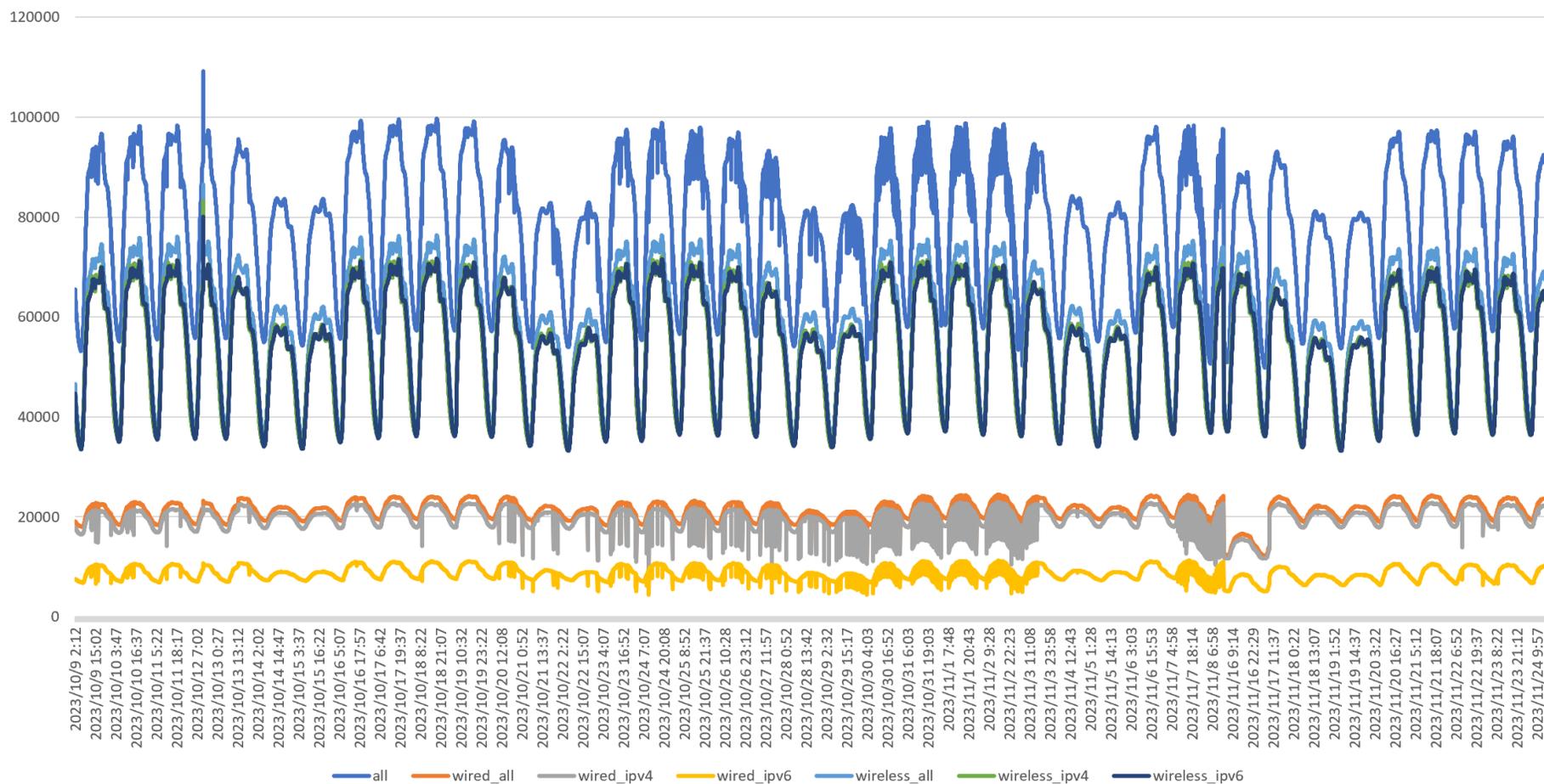
运行概况



北京大学
PEKING UNIVERSITY

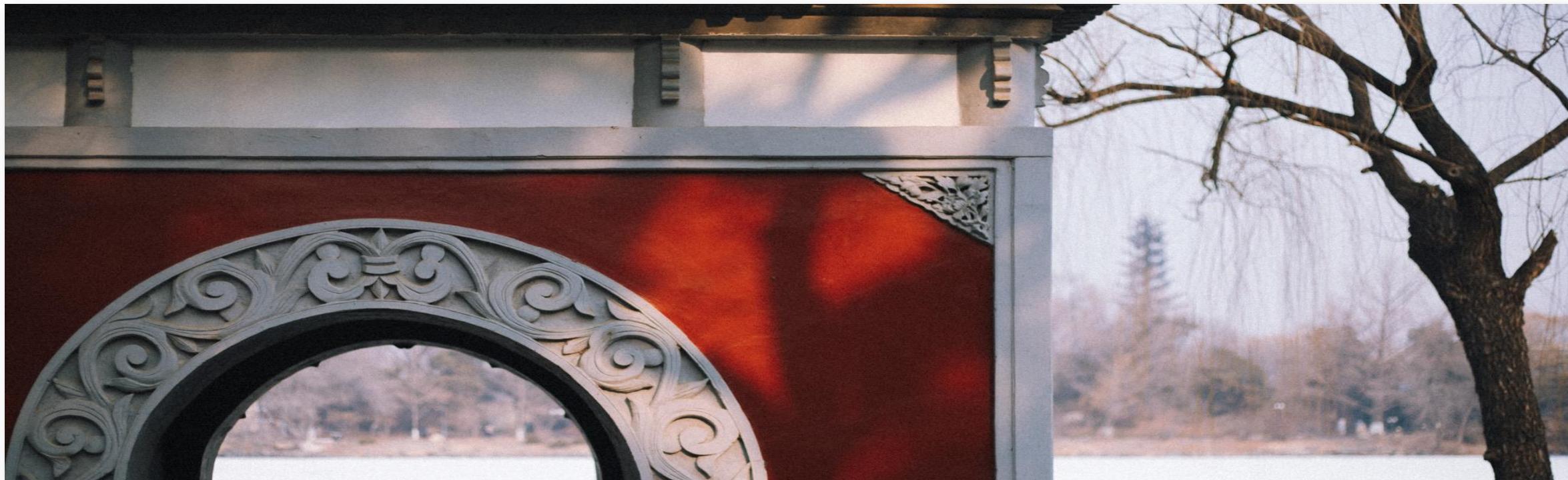
□ 用户规模大

并发联网终端数





北京大学
PEKING UNIVERSITY



02

出口管理

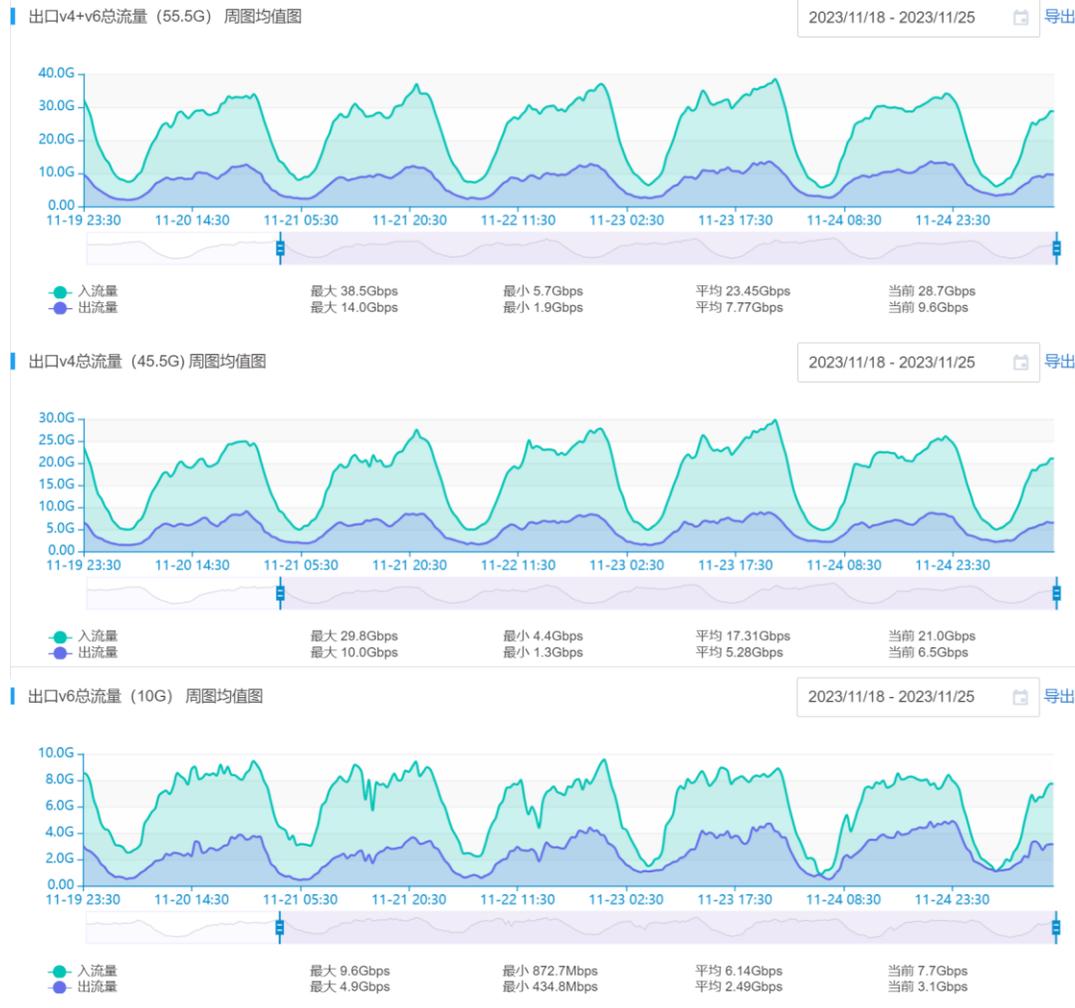


出口管理

出口概况

- IPv4总带宽45.5Gbps
 - 教育网、联通、电信、电信通
- IPv6总带宽10Gbps
 - 教育网

1. IPv4总带宽尚有余量，但呈碎片化状态，需要合理调度
2. IPv6流量迅速增长，带宽不足



出口管理

管理目标



内外双向
快速访问

高效利用
出口带宽

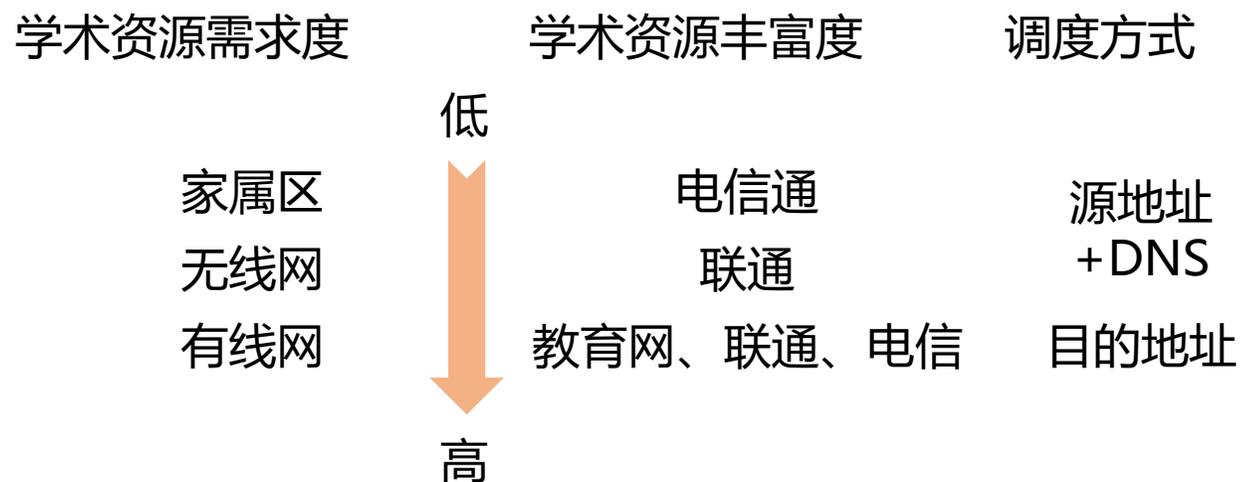


安全可控

出口管理

灵活多样的出向调度

- IPv4——综合考虑网络资源与业务模型
- IPv6——积极引导，提高校园网IPv6流量占比
- 多管齐下——BGP互联、策略路由、DNS解析调度



出口管理

面向公网的入向加速



□ 重要网站提供面向公网的加速服务

- 网站服务器配置联通、电信、电信通多个运营商IP地址
- 校园网权威DNS服务器根据用户所在运营商返回对应的解析结果
- 目前共支持190个网站公网加速访问

出口管理

严格的管理措施



□ 申请审核制

- 对外提供服务的网站，在安全综合管理平台进行申请
- 审核完成后，系统自动下发相关策略到出口防火墙

□ 一键断网

- 突发情况下随时随地一键断开服务器对外的网络连接



北京大学
PEKING UNIVERSITY



03

架构设计



架构设计

设计原则



北京大学
PEKING UNIVERSITY

01

高可用性

多种接入方式满足不同应用需求和场景

02

高稳定性

合理的冗余确保网络永不断线

03

可持续性

兼顾技术先进性与成熟度

04

可扩展性

使用标准技术协议

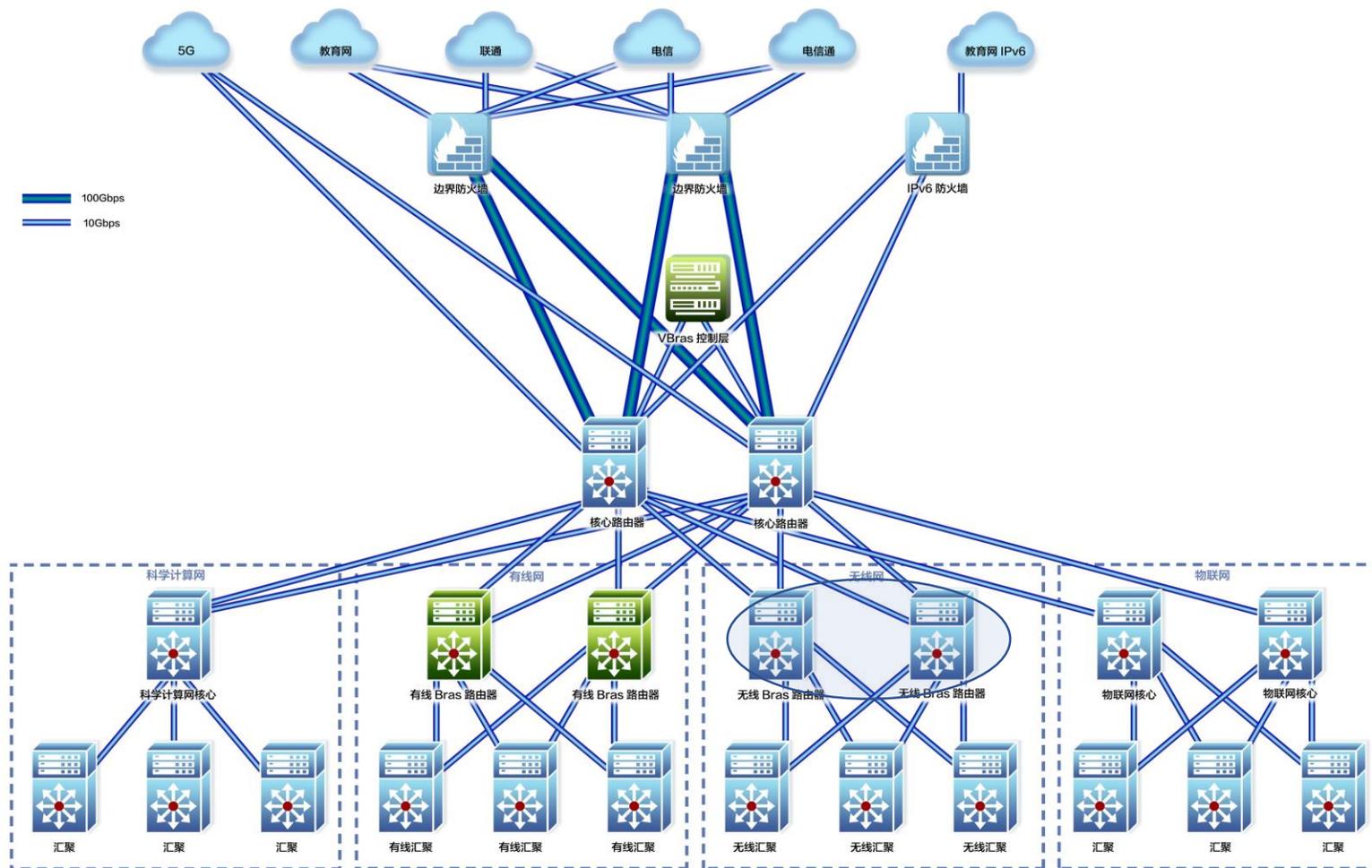


架构设计

当前校园网拓扑结构



形成了有线无线并举、人网物网分离、5G融合创新的整体网络架构

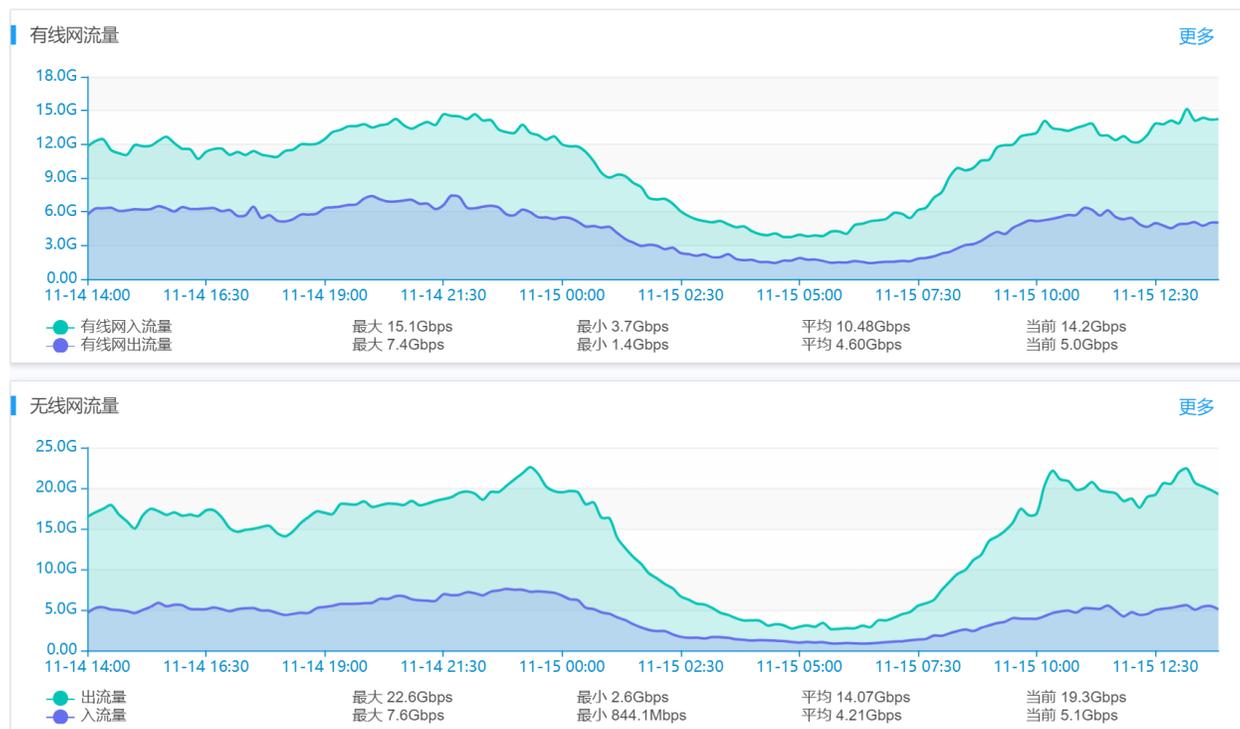


架构设计

有线无线并举



- 日均连网终端14.3万台
 - 有线网终端2.3万台
 - 无线网终端12万台
- 日均流量22.45Gbps
 - 日均有线网流量10.48Gbps
 - 日均无线网流量14.07Gbps
- 16%的有线网终端占据了约40%的校园网流量



架构设计

人网物网分离——物联网崛起



□ 校园一卡通网络

- 早期采用在校园网上划分单独VLAN的方式建立
- 随着校园卡业务的拓展，VLAN覆盖范围逐步扩大
 - 网络稳定性降低、安全隐患大
- 电子校园卡暂不具备脱机消费功能，对网络稳定性提出了更高要求
- **独立组网**，按区域划分独立子网，子网间**互相隔离**

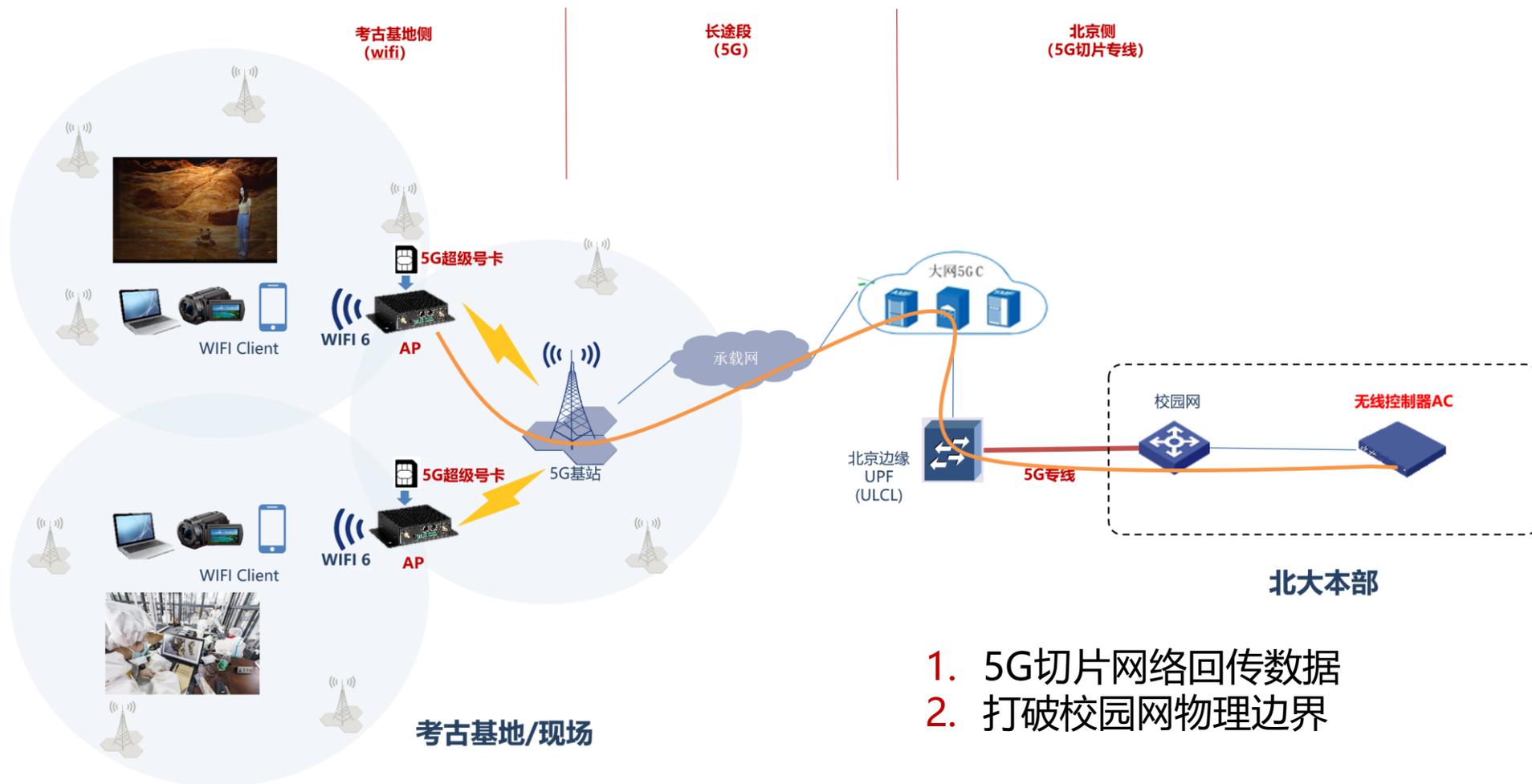
□ 其他业务平台逐步切入

- 考试监控平台，售电平台，节能平台，重点场所预警平台

架构设计

5G融合创新

□ 泛在的校园无线网



1. 5G切片网络回传数据
2. 打破校园网物理边界

架构设计

5G融合创新



- 城环学院塞罕坝生态观察站的师生**像在燕园校区**一样使用无线网，方便地访问校内外各种网络资源
- 生科学院墨脱自然保护与生态研究基地、考古文博学院周原考古基地陆续开通中
- 未来将覆盖全国各地的野外科考基地



架构设计

人网物网分离——人联网“扁平”



北京大学
PEKING UNIVERSITY

- 第一阶段：2018至2021年
 - 家属区有线网
- 第二阶段：2021至2022年
 - 学生宿舍区有线网
- 第三阶段：2022至2023年
 - 全校无线网

主要目的是实现用户隔离，旨在解决广播风暴、私设DHCP、ARP病毒等局域网常见的问题

主要目的是实现单IP全网漫游，进一步提升无线网用户漫游过程中的网络连续性

架构设计

人网物网分离——人联网“扁平”

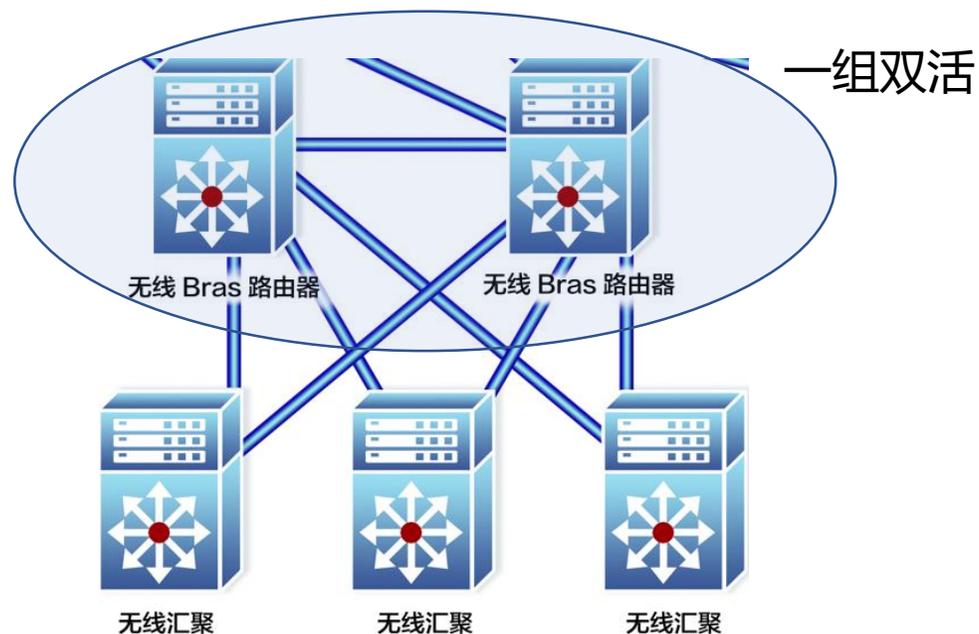
□ 仍然存在的问题

■ 单点故障

□ 双机热备——资源浪费

■ 单机性能瓶颈

□ 扩容——无法集中分配IP地址



架构设计

人网物网分离——人联网“扁平”



□ 第四阶段：2023年至2024年

■ vBRAS转控分离

- 2023年9月，控制面vBRAS上线 (Control Plane, CP)
- 10月，新校区有线BRAS加入 (User Plane, UP)
- 11月，燕园校区有线BRAS加入

■ 更高的性能

- 物理BRAS单板卡性能提升50%

■ 更高的性价比

- vBRAS+4台BRAS = 3组6台BRAS

■ 更灵活的冗余

■ 更方便的管理

主要解决单台
BRAS设备容量
问题并实现统一
管理

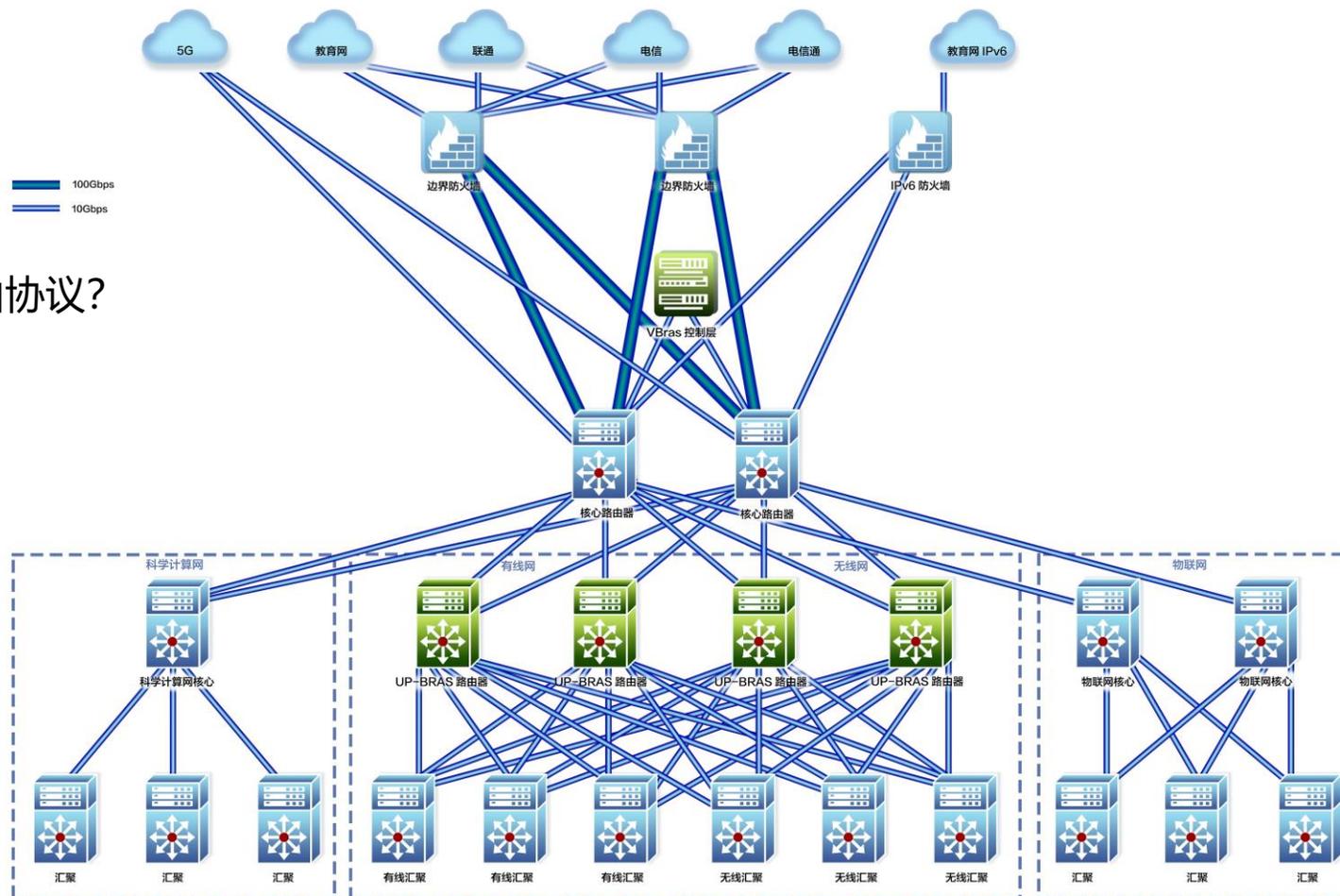
架构设计

展望未来



有线无线独立组网，统一管理
UP对核心路由器公布用户主机路由
核心路由器对UP公布默认路由

如何应对校园网特有的潮汐现象
高性能核心路由器+快速收敛的路由协议?
拭目以待!





北京大学
PEKING UNIVERSITY



04

智能运维

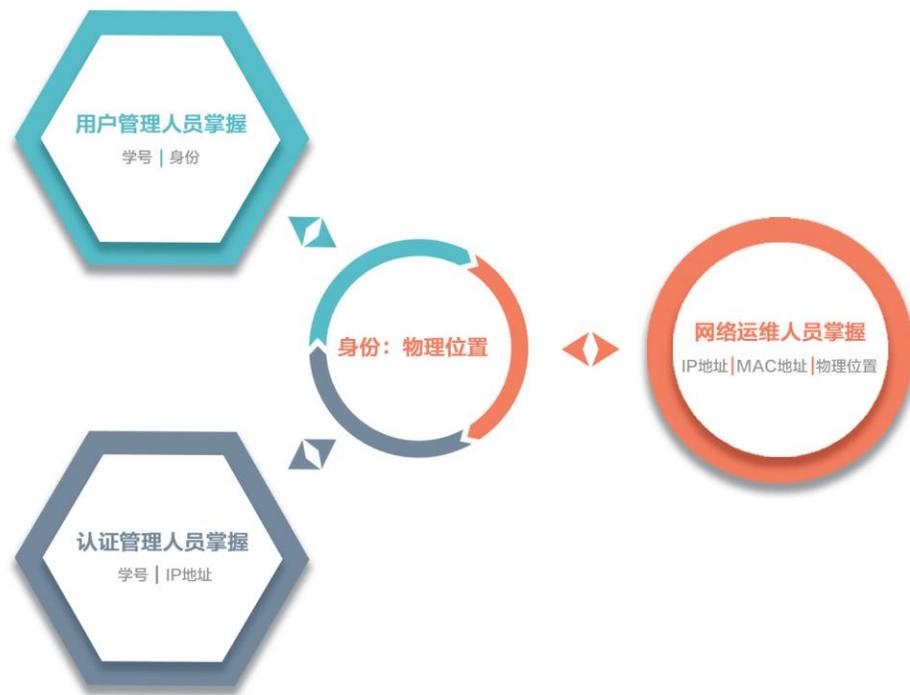


智能运维

运维的困境——信息不够全面



□ 在校园网中如何找到一个人



智能运维

运维的困境——状态不够明确



北京大学
PEKING UNIVERSITY

- 校园网物理链路状态如何
 - 光衰大不大?
 - 接口错误包多不多?
 - 有没有频繁Up/Down?
- 校园网流量状态如何
 - 有没有突发异常流量?
 - 有没有链路容量饱和?

智能运维

运维的困境——知识不够对称

Re: 建议恢复向日葵官网访问，避免造成更大网络安全 [复制链接]



北京大学
PEKING UNIVERSITY

分享:

	<p>1楼 <ASCIIArt></p> <p>您好！没有对此网站的限制。如果使用有问题，请电话联系010-62751023热线电话或将详细情况发邮件到 its@pku.edu.cn。</p>
	<p>2楼 <ASCIIArt></p> <p>打的开啊 他自己ipv6配的有问题吧</p> <p>116.62.106.22 sunlogin.oray.com 这个没问题</p>
	<p>3楼 <ASCIIArt></p> <p>不是配的有问题，是校园网IPv6本来就无法打开这个网页。。。</p>
	<p>12楼 <ASCIIArt></p> <p>他自己ipv6配的有问题吧</p> <p>所以你为什么看不懂也不相信是“他”是服务端的锅而非要杠是“校园网IPv6”的问题呢？</p> <p><small>██████████</small> 的帖子中提到：</p> <p>[图片]</p> <p>我也能telnet通，可我就是打不开，要不你给我解决一下？为什么你不直接用浏览器试试呢？</p>
	<p>13楼 <ASCIIArt></p> <p>你要不解释下既然校园网ipv6有问题为什么telnet通呢？</p>
	<p>14楼 <ASCIIArt></p> <p>因为我用联通4G蜂窝网络可以打开同样的地址</p>

智能运维

运维的困境——展示不够全面



Gartner 2023园区网技术成熟度曲线

Hype Cycle for Enterprise Networking, 2023



智能运维

以智能破解困境



北京大学
PEKING UNIVERSITY

□ 智能组网的美好期待

- 利用机器学习、数据分析和智能决策支持系统来优化网络配置、故障排除、安全防护和用户体验

学习网络行为和流量模式，自动调整网络设置以满足不断变化的需求

自动化网络配置

分析历史数据和实时数据，预测网络故障和性能问题，从而在问题发生前进行维护或调整

预测性维护

实时监控网络活动，快速识别和响应安全威胁，如异常流量、入侵企图等

安全性增强

分析用户行为和应用程序性能，确保网络资源的有效分配，提供更好的服务质量

优化用户体验

智能运维

以智能破解困境



□ 广泛、通用的知识来源——不依赖单一厂商

- 网络设备运行日志——syslog实时推送
- 网络设备运行状态信息——探针设备定期抓取

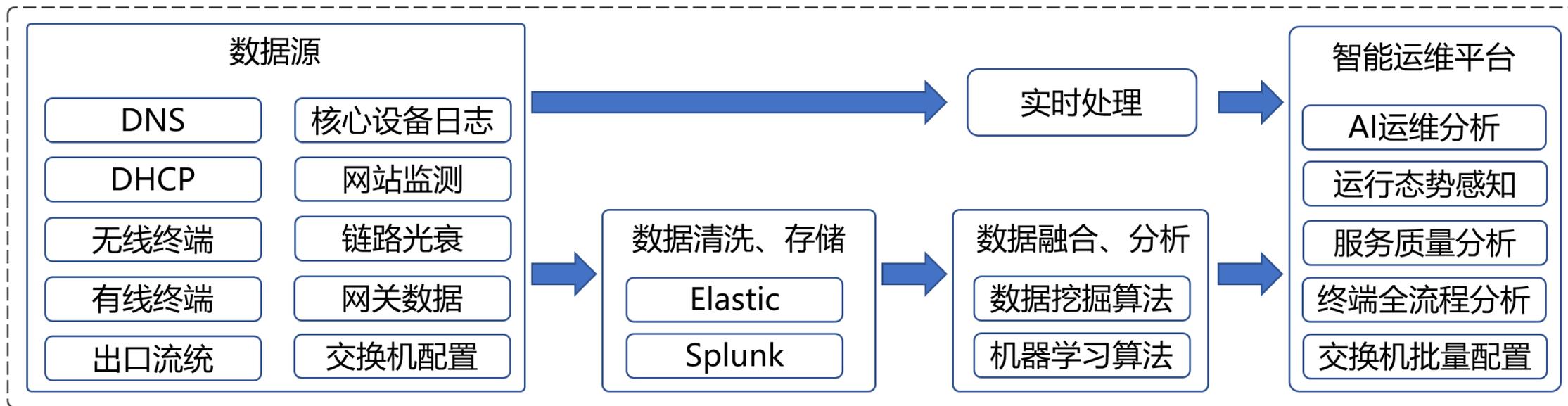
数据	来源	获取方式	数据量	特征数
DNS查询情况	DNS日志	设备实时推送	253.5亿条/月	15
地址分配情况	DHCP日志	设备实时推送	6.4亿条/月	5
无线终端上下线情况	AC日志	设备实时推送	8.9亿条/月	7
有线终端上下线情况	交换机日志	设备实时推送	1.6亿条/月	7
用户访问情况	流统日志	设备实时推送	44.5亿条/月	96
设备运行情况	核心设备日志	设备实时推送	42万条/月	-
认证记录	认证网关日志	设备实时推送	1500万条/月	4
网站监测	主动探测	探针定期测试	3.9千条/月	11
链路光衰	主动探测	探针定期抓取	3525万条/月	2
交换机配置	主动抓取		19万份/月	-

智能运维

以智能破解困境



□ 数据清洗、整合、分析



智能运维

智能配置



- 大量的网络故障来源于接入交换机配置不规范、不完整
 - 访问控制、生成树模式、DHCP-Snooping&ARP Detection。。。



支持并发，批量更新7000台交换机配置需15分钟

□ 设备运行状态感知及智能分析

■ 链路状态异常实时告警及原因分析——微信公众号实时推送

问题待处理通知

问题类型: 接口状态提醒

问题内容: 162.105.1.5 Ten-GigabitEthernet0/0/24 (CampusAccess(162.105.1.25)) DOWN

提问时间: 2023-11-15 17:57:59

处理状态: 待处理, 今日公绪晓值班(抄送)

[查看详情](#)



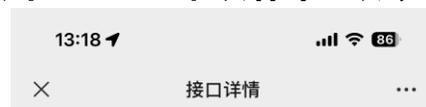
AI分析 源端口 目标端口

根据提供的信息, 可以得出以下结论:

1. Ten-GigabitEthernet0/0/24接口状态为DOWN, 链路协议状态也为DOWN, 这表明该接口当前处于关闭状态。
2. Ten-GigabitEthernet0/0/24接口的光衰信息显示温度、电压、偏置电流、发送功率和接收功率等参数, 当前的光衰值在正常范围内。
3. TenGigabitEthernet6/5接口状态也为DOWN, 链路协议状态也为DOWN, 这可能是由于接口被错误禁用 (err-disabled) 导致的。
4. TenGigabitEthernet6/5接口的光衰信息显示温度、电压、电流、发送功率和接收功率等参数, 当前的光衰值在正常范围内。

总结:

1. Ten-GigabitEthernet0/0/24接口和TenGigabitEthernet6/5接口都处于DOWN状态。
2. Ten-GigabitEthernet0/0/24接口的光衰正常。
3. TenGigabitEthernet6/5接口可能被错误禁用。



AI分析 源端口 目标端口

光衰

```
en-GigabitEthernet0/0/24 transceiver diagnostic
Current diagnostic parameters:
Temp.(6yC) Voltage(V) Bias(mA) RX power(mW)
23 3.34 31.56 -0.28
Alarm thresholds:
Temp.(6yC) Voltage(V) Bias(mA) RX power(mW)
High 73 3.80 88.00 0.00
Low -3 2.81 1.00 0.00
```

接口信息



AI分析 源端口 目标端口

光衰

接口信息

```
Line protocol is down (err-disabled)
802.3, address is 00be.7542.5a96 (bia 00be.7542.5a96)
000 Kbit/sec, DLY 10 usec,
txload 6/255, rxload 17/255
back not set
ia type is 10Gbase-LR
, output flow-control is off
out 04:00:00
never, output hang never
(size/max/drops/flushes); Total output drops
/ max)
70000 bits/sec, 93426 packets/sec
253000 bits/sec, 57183 packets/sec
nput, 56324544531255 bytes, 0 no buffer
oadcasts (28676555 multicasts)
throttles
0 frame 0 overrun 0 ignored
```

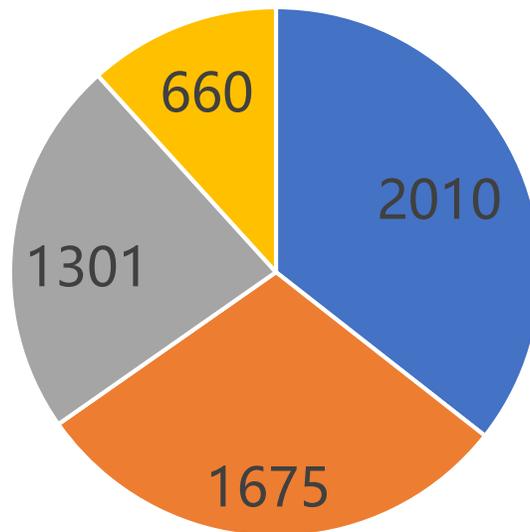
智能运维

态势感知



□ 设备运行状态感知及智能分析

■ 2023年完成各类状态预警5,646次



- 无线接入点掉线
- 接入交换机掉线
- 核心交换机接口异常
- 学术网站访问超时

智能运维

态势感知



北京大学
PEKING UNIVERSITY

□ 人员信息感知

■ 回到“在校园网中如何找到一个人”

- 授权人员在查询界面输入学号

全天候支持，分钟级完成

学工号 起止日期 —

理工1楼, 图书馆中心, 农园, 万柳4区, 2023-11-16至2023-11-16

序号	时间	位置	类别
1	2023-11-16 23:18:00	理科1号楼, LiKe1-F3-1350	WiFi
2	2023-11-16 23:14:58	理科1号楼, LiKe1-F3-1349	WiFi
3	2023-11-16 16:29:29	理科1号楼室外, Outdoor-LiKe1-196-WM	WiFi
4	2023-11-16 16:28:30	理科1号楼室外, Outdoor-LiKe1-195-WS	WiFi
5	2023-11-16 16:28:18	农园, NongYuan-F1-Bei-2	WiFi
6	2023-11-16 16:27:29	对外汉语学院室外, Outdoor-DuiWaiHY-3	WiFi
7	2023-11-16 16:27:00	南门室外, Outdoor-SGate-233	WiFi
8	2023-11-16 15:32:21	理科1号楼, LiKe1-F3-1351	WiFi
9	2023-11-16 15:08:28	理科1号楼, LiKe1-F3-1347-2	WiFi
10	2023-11-16 13:50:15	理科1号楼, LiKe1-F1-1144	WiFi
11	2023-11-16 13:50:11	理科1号楼, LiKe1-F1-1146	WiFi
12	2023-11-16 13:50:00	理科1号楼, LiKe1-F3-J1300	WiFi
13	2023-11-16 13:49:32	XSJF1-2	WiFi
14	2023-11-16 10:22:16	万柳4区, WanLiu4-QianTing	WiFi

智能运维

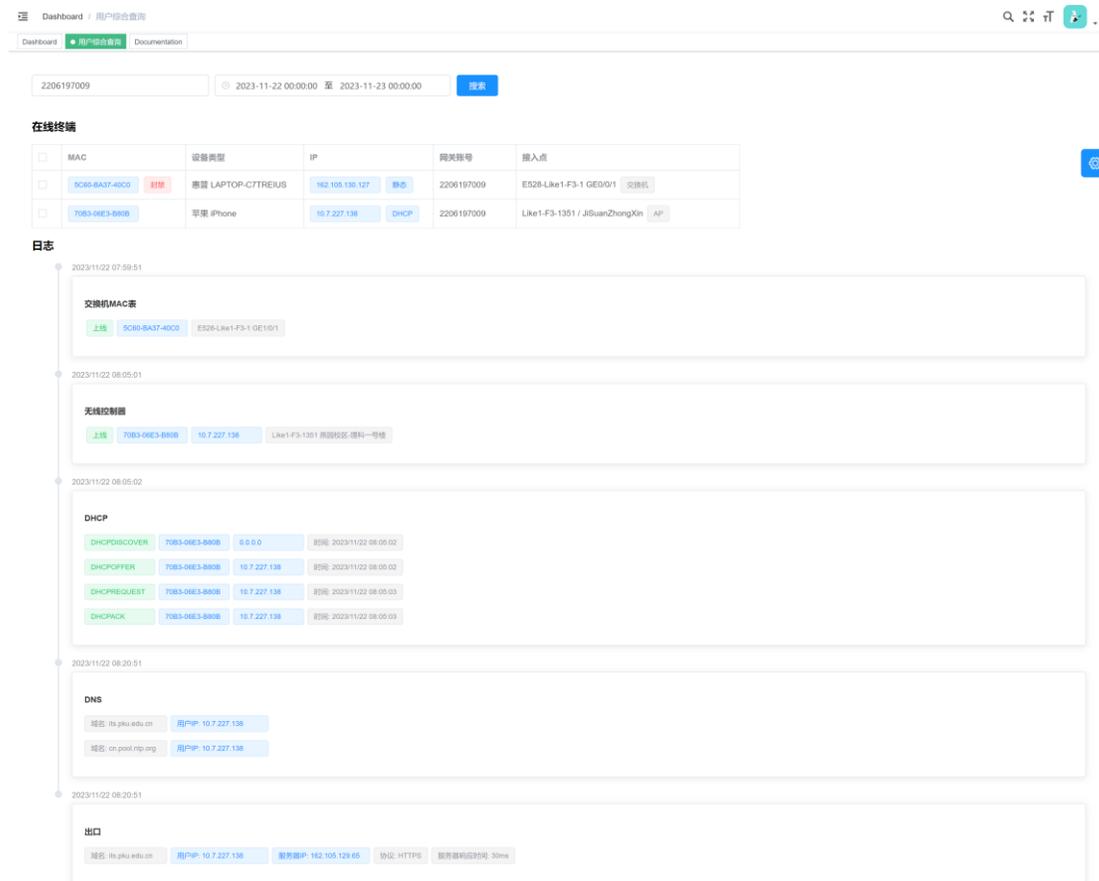
态势感知



北京大学
PEKING UNIVERSITY

□ 全流程全要素用户体验感知

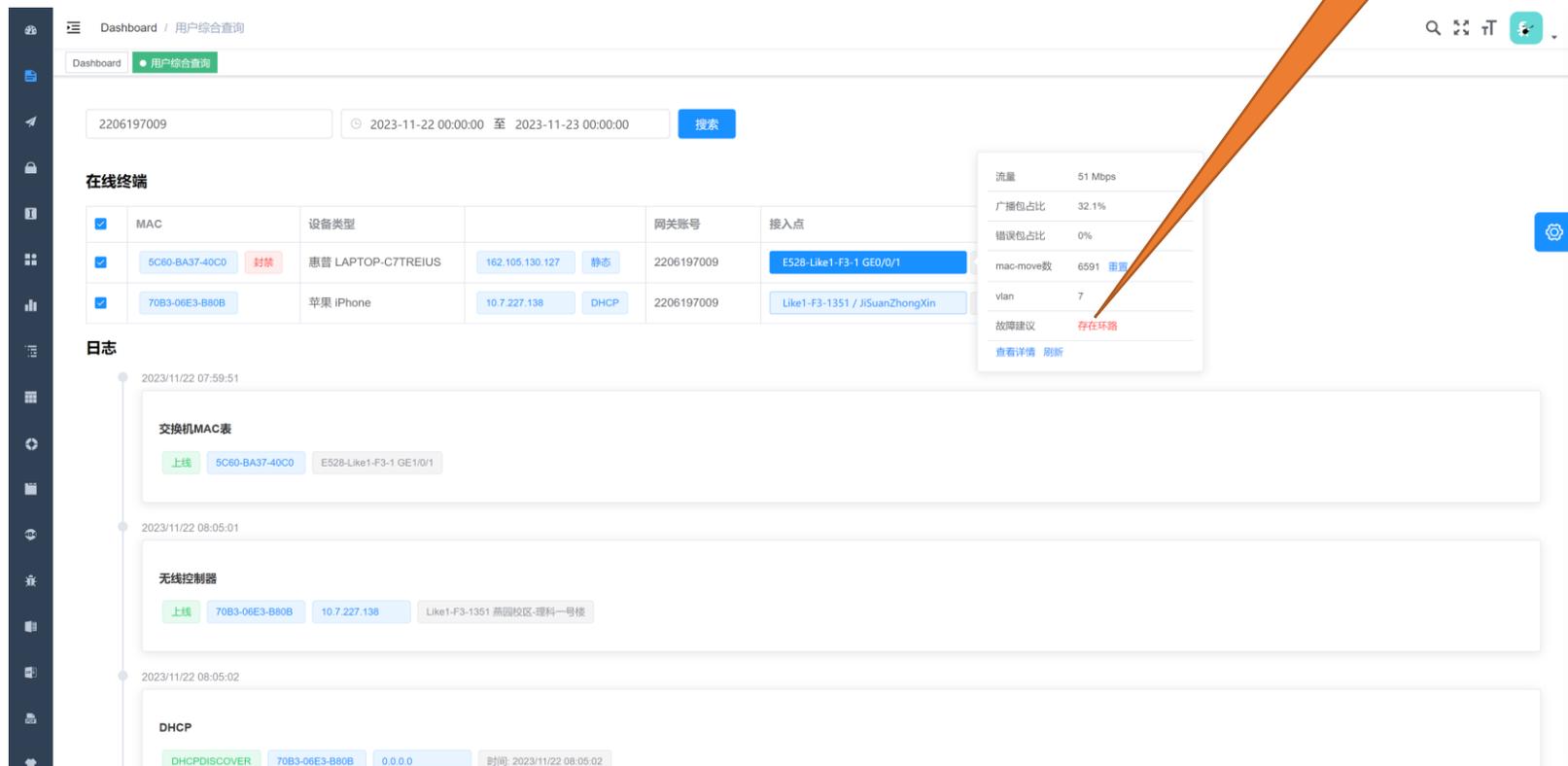
■ 从用户上线到访问网络全过程记录分析



□ 全流程全要素用户体验感知

■ 从用户上线到访问网络全过程记录分析

异常情况
分析报告



The screenshot displays a network management dashboard with the following components:

- Search Bar:** Contains the MAC address 2206197009 and a date range from 2023-11-22 00:00:00 to 2023-11-23 00:00:00.
- 在线终端 (Online Terminals):** A table listing active devices with columns for MAC, device type, IP, gateway, and access point.
- 日志 (Logs):** A timeline of events including:
 - 2023/11/22 07:59:51: 交换机MAC表 (Switch MAC Table) showing MAC 5C60-BA37-40C0 on interface E528-Like1-F3-1 GE10/1.
 - 2023/11/22 08:05:01: 无线控制器 (Wireless Controller) showing MAC 70B3-06E3-B80B on interface Like1-F3-1351 at 燕园校区-理科一号楼.
 - 2023/11/22 08:05:02: DHCP log showing a DHCPDISCOVER request from MAC 70B3-06E3-B80B with IP 0.0.0.0.
- Statistics Panel:** A summary of network metrics:
 - 流量: 51 Mbps
 - 广播包占比: 32.1%
 - 错误包占比: 0%
 - mac-move数: 6591
 - vlan: 7
 - 故障建议: 存在环路 (Warning: Loop detected)

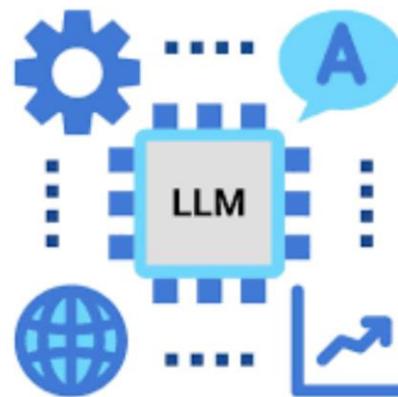
智能运维

总结与方向



网络运行数据

LoRA、QLoRA
Prompt-tuning



网络运维大模型

我们的现状：将网络运行数据和网络运维人员的知识与经验结合，通过程序进行分析，构建辅助网络运维的智能工具，帮助网络运维人员快速定位解决网络故障，以简洁直观的方式将网络运行状态呈现给普通用户。

我们的理想：用更全面的数据、更强大的模型，构建更加智能的网络运维大脑，实现网络故障分析、实时配置调优。



谢谢

敬请批评指正

北京大学 付中南

2023年11月30日



北京大学
PEKING UNIVERSITY

