



网络层：从尽力交付到智能标签



汇报人：甘芝清 黄慧雯 林银蕊

汇报日期：2025/12/26



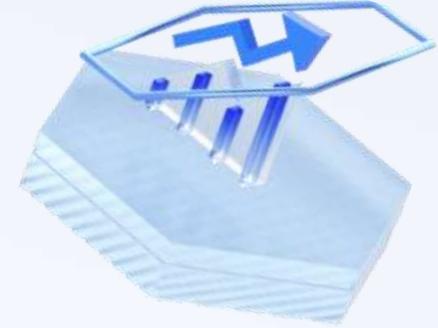


目录

CONTENTS



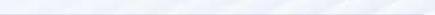
- / 01. 服务范式与协议概览
- / 02. IP协议与地址机制
- / 03. ARP与ICMP协作
- / 04. 路由协议分层
- / 05. 多播与地址转换
- / 06. IPv6与MPLS前沿
- / 07. 回顾与展望





服务范式与协议概览

01



虚电路与数据报：两种交付哲学

网络层提供两种服务模型，核心区别在于是否预先建立连接。



虚电路服务

面向连接，类似电话通信，保证分组顺序和可靠性。

- **建立连接**: 通信前需建立虚电路。
- **顺序交付**: 保证分组按序到达。
- **可靠传输**: 提供错误检测与恢复。

VS



数据报服务

无连接，类似邮政系统，每个分组独立选择路由。

- **无连接**: 每个分组携带完整地址。
- **独立路由**: 分组独立选择路径。
- **灵活简单**: 不保证顺序，容错性高。

网络层协议族全景图

核心协议

IP, ARP, ICMP

路由协议

RIP, OSPF, BGP

增强技术

NAT, VPN, 多播, MPLS

地址机制

IPv4, IPv6

控制与差错

ICMP, IGMP



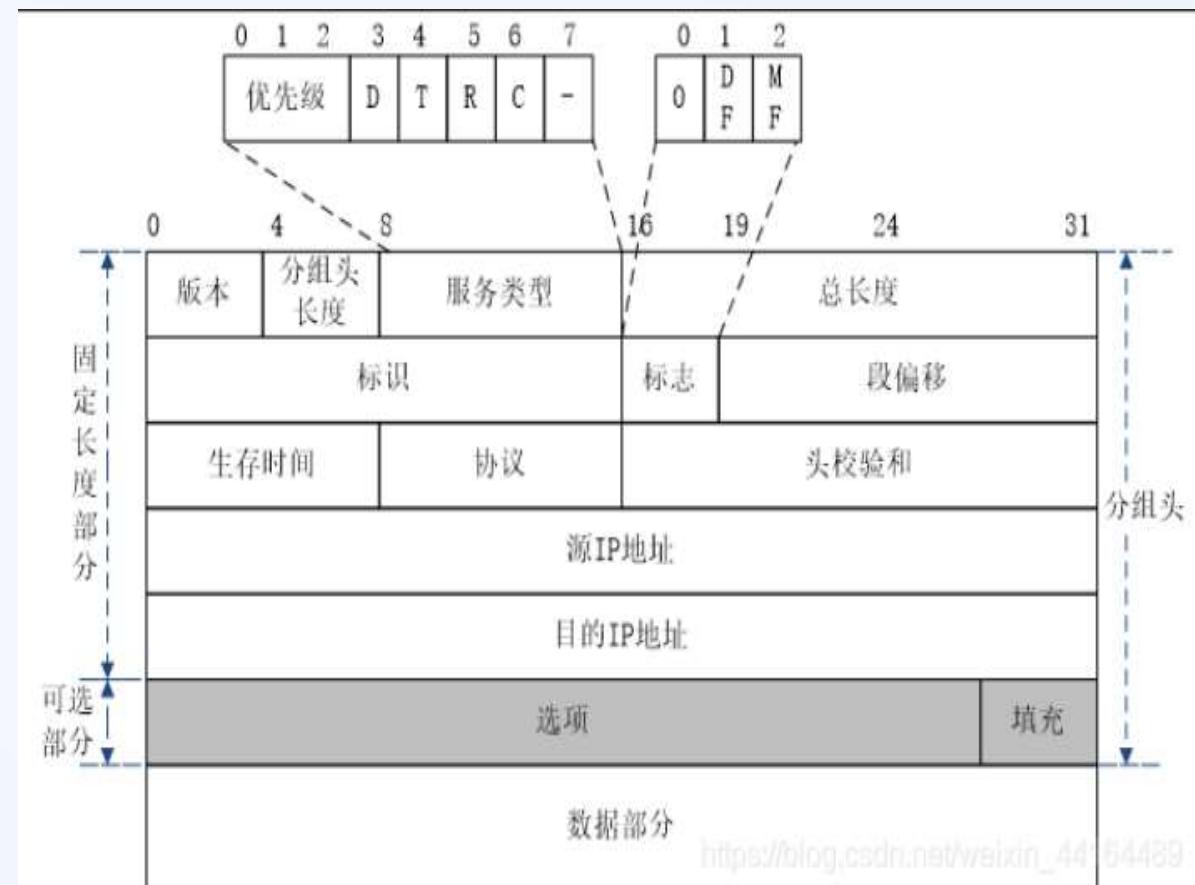
IP协议与地址机制

02

IP分组结构：首部里的20字节乾坤

IPv4首部包含路由和转发所需的所有控制信息，是实现“尽力交付”的核心。

- 地址与协议：源/目的IP地址和协议字段指明数据报的来源、去向和上层协议类型。
- 长度与分片：总长度、标识、标志、片偏移用于数据报的分片和重组，以适应不同网络的MTU。
- 生存与控制：TTL防止环路，首部校验和保证首部完整性，服务类型（TOS）支持QoS。



A B C D E：类地址的荣枯



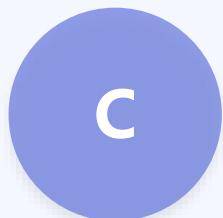
巨型网络

(1.0.0.0 -
127.255.255.255)



大中型网络

(128.0.0.0 -
191.255.255.255)



小型网络

(192.0.0.0 -
223.255.255.255)



多播

(224.0.0.0 -
239.255.255.255)



保留

(240.0.0.0 -
255.255.255.255)

地址危机与无类革命

分类法导致地址分配不灵活、浪费严重，催生了**子网划分**和**CIDR**（无类域间路由）技术，使地址分配更加高效。

分片与重组：MTU的适配游戏



大数据报
(Size >
MTU)

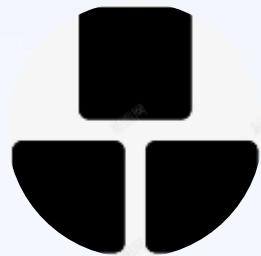


DF=0 允许分片

分片过程

在MTU较小的网络入口，由**路由器**将数据报分割成多个片段

。每个片段都有独立的标识、标志(MF)和片偏移。



多个片段
(按偏移量排序)

重组：由**最终目的主机**根据**标识、标志(MF)、片偏移** 将片段重新组装成原始数据报



ARP与ICMP协作

03



ARP：一次广播一场暗恋



ARP缓存

为提高效率，主机会将IP-MAC映射关系存入本地缓存，并设置老化时间，减少重复广播。

ICMP：网络体检的听诊器

ICMP协议

作为IP的伴随协议，用于传递网络控制信息和检测网络连通性。

Ping (Echo Request/Reply)

测试网络连通性和主机可达性。

Traceroute (TTL Expired)

利用TTL超时报告，追踪数据包路径。

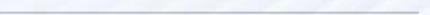
Error Reporting (Type 3)

报告目标不可达、网络/主机不可达等错误。



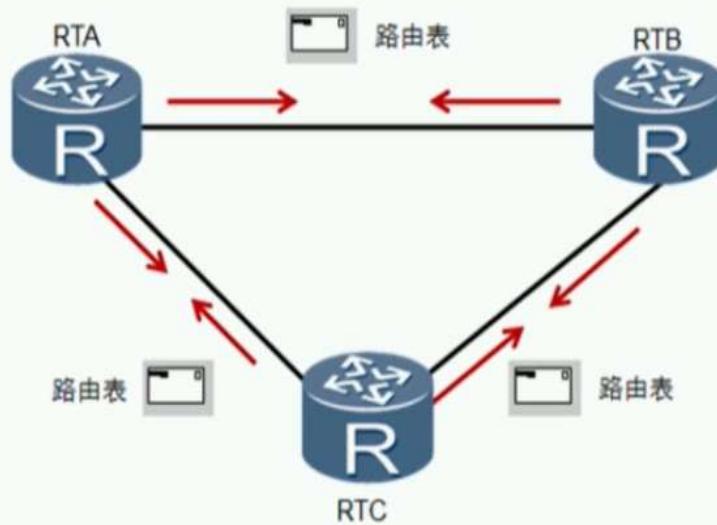
路由协议分层

04



RIP：距离向量的邻里 gossip

RIP工作原理



- 路由器运行RIP后，会首先发送路由更新请求，收到请求的路由器会发送自己的RIP路由进行响应。

RIP是一种基于 **距离向量** 算法的内部网关协议，通过周期性（30秒）与邻居路由器交换整张路由表来学习网络拓扑。

度量: 以跳数 (Hop Count) 为唯一度量，最大有效跳数为15，16跳表示不可达。

更新: 定期广播完整路由表，收敛速度较慢。

缺陷: 存在“计数到无穷”问题，可能导致慢收敛和不正确的路由信息。

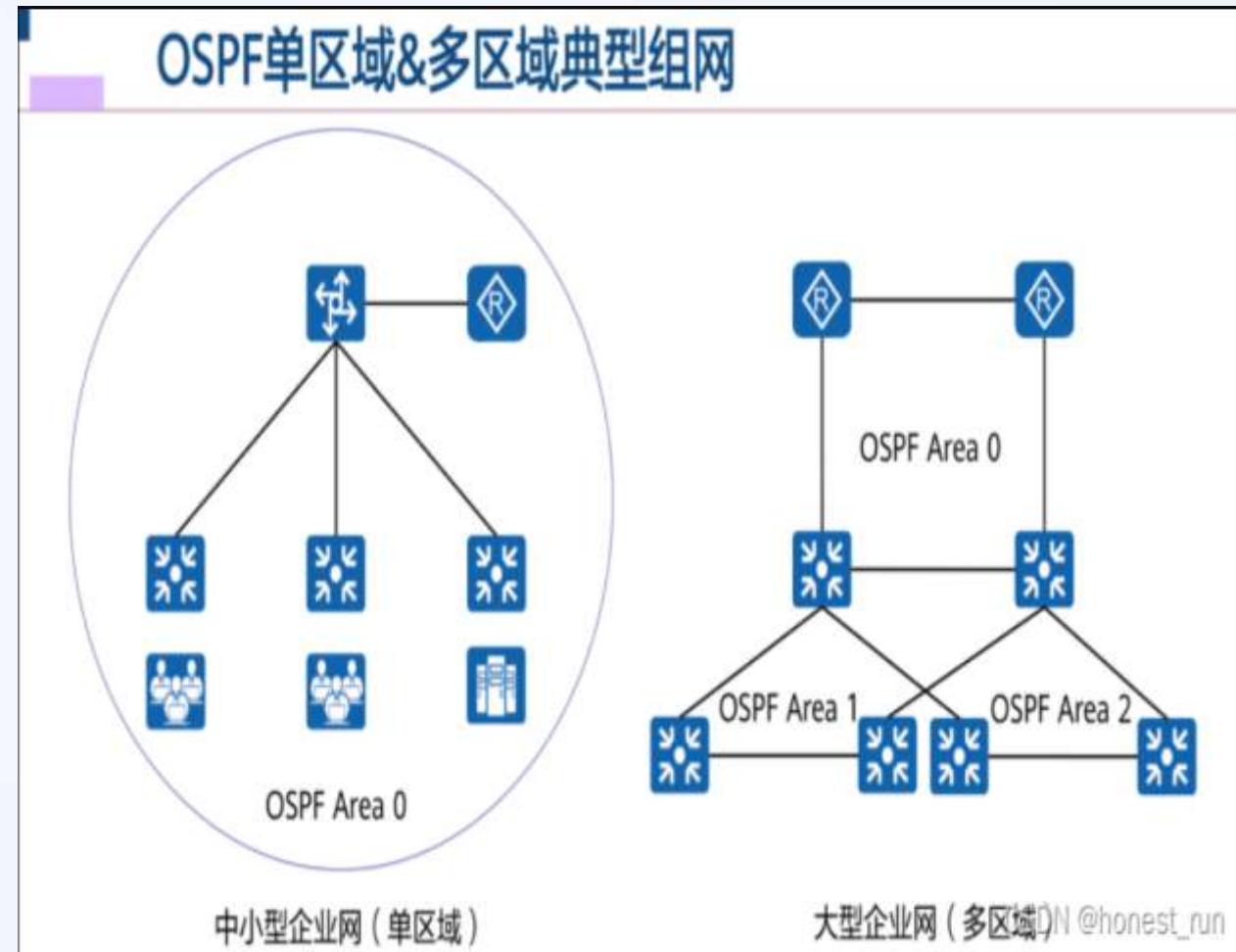
OSPF：链路状态的地图同步

OSPF是一种基于 链路状态 算法的内部关协议。每个路由器泛洪自己的链路状态信息，构建一张全网统一的拓扑数据库（地图）。

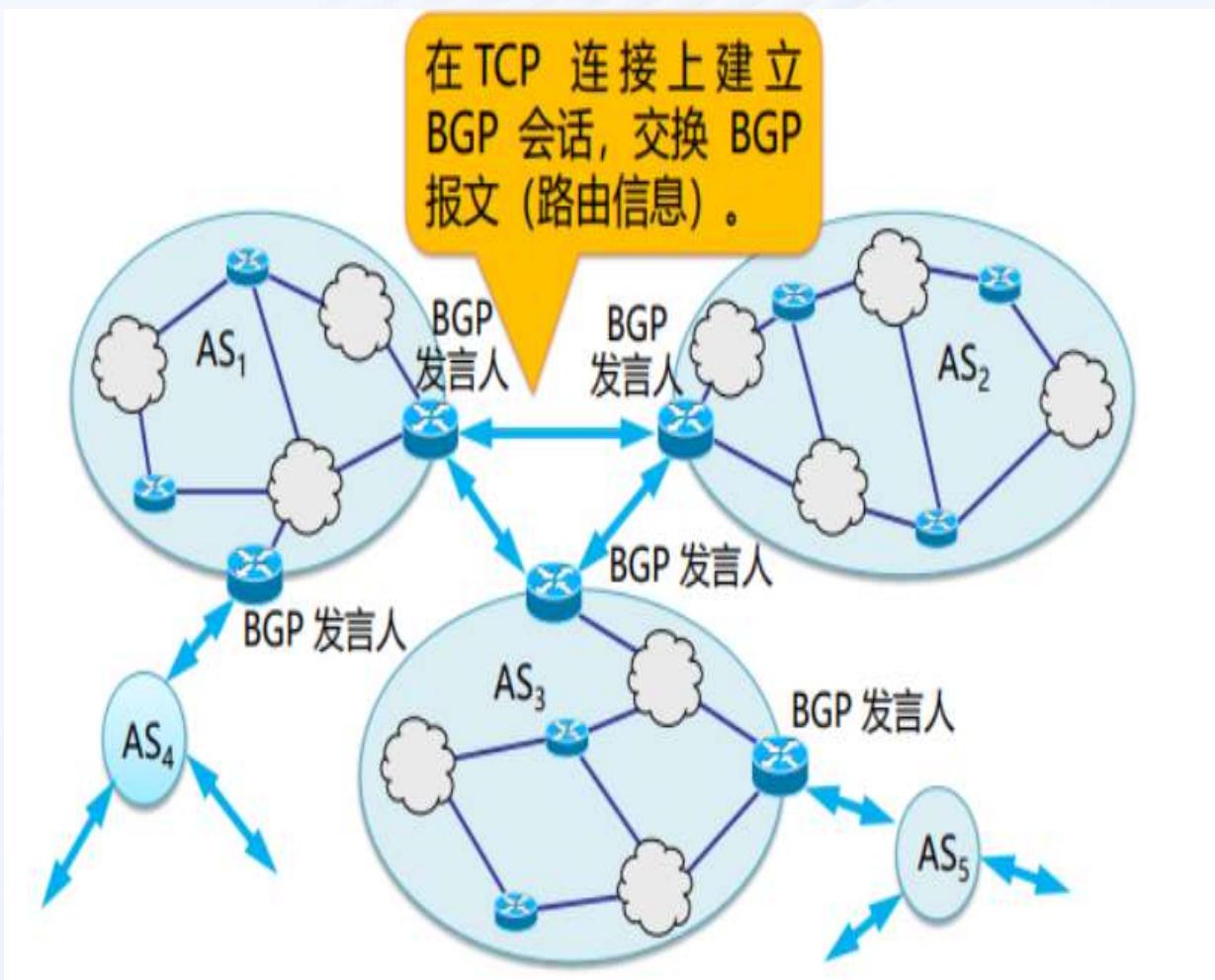
全局视图: 每个路由器都拥有完整的网络拓扑图，使用Dijkstra算法计算最短路径。

快速收敛: 链路状态变化时，立即发送更新，收敛速度快。

区域分层: 支持将网络划分为不同区域，减少路由信息的传播范围，适合大型网络。



BGP：自治系统间的商路外交



BGP (边界网关协议) 是一种用于在 **不同** 自治系统(AS) 之间交换路由信息的外部网关协议，其本质是策略驱动的路径向量协议。

策略优先: 路由选择基于策略属性 (Local-Pref, MED)，而非单纯路径长短，体现商业意图。

路径向量: 携带完整的AS路径信息 (AS_PATH)，有效防止路由环路。

互联网基石: 是构成全球互联网路由系统的核心协议，确保不同运营商网络能够互联互通。

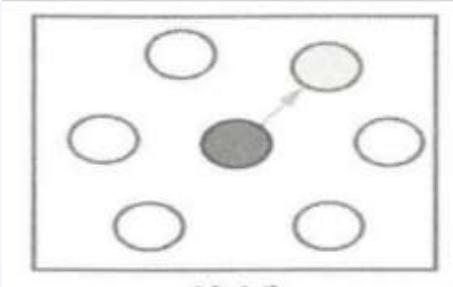


多播与地址转换

05

多播：一对多的高效投递

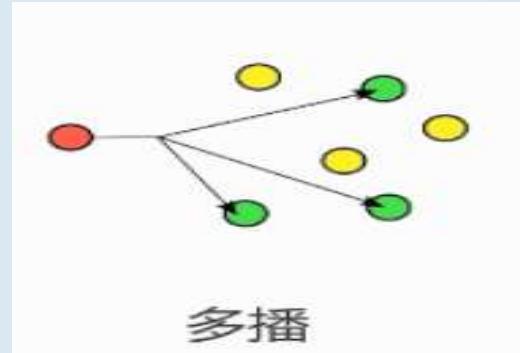
传统单播 (Unicast)



单播

源服务器为每个接收者发送一份独立的数据拷贝，**浪费带宽**。

高效多播 (Multicast)



多播

源服务器只发送一份数据，由网络设备复制并转发给组内所有成员，**节省带宽**。

多播使用D类地址 (224.0.0.0/4)，通过IGMP和PIM等协议管理组成员关系和路由转发，广泛应用于视频会议、在线直播等场景。

NAT：私有地址的出境护照



核心功能：多对一地址复用 (PAT)

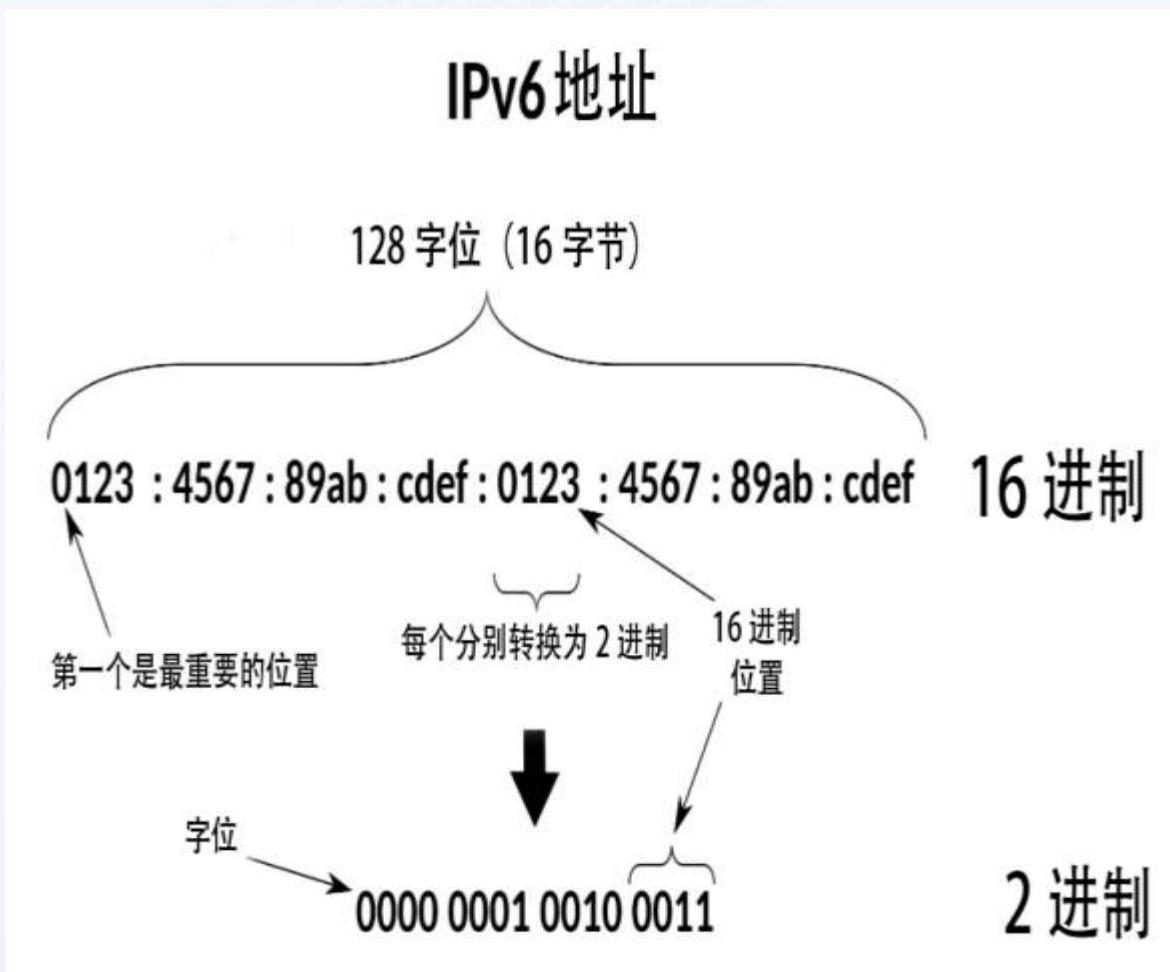
NAT路由器通过维护一个**转换表**，将多个内部私有IP地址和端口号，映射为一个外部公有IP地址和不同的端口号，从而实现多主机共享一个公网IP访问互联网，有效缓解了IPv4地址短缺问题。



IPv6与MPLS前沿

06

IPv6：128位地址的星辰大海



巨大地址空间

128位地址，彻底解决地址耗尽问题。

简化首部

固定40字节，取消校验和与中间分片，提升转发效率。

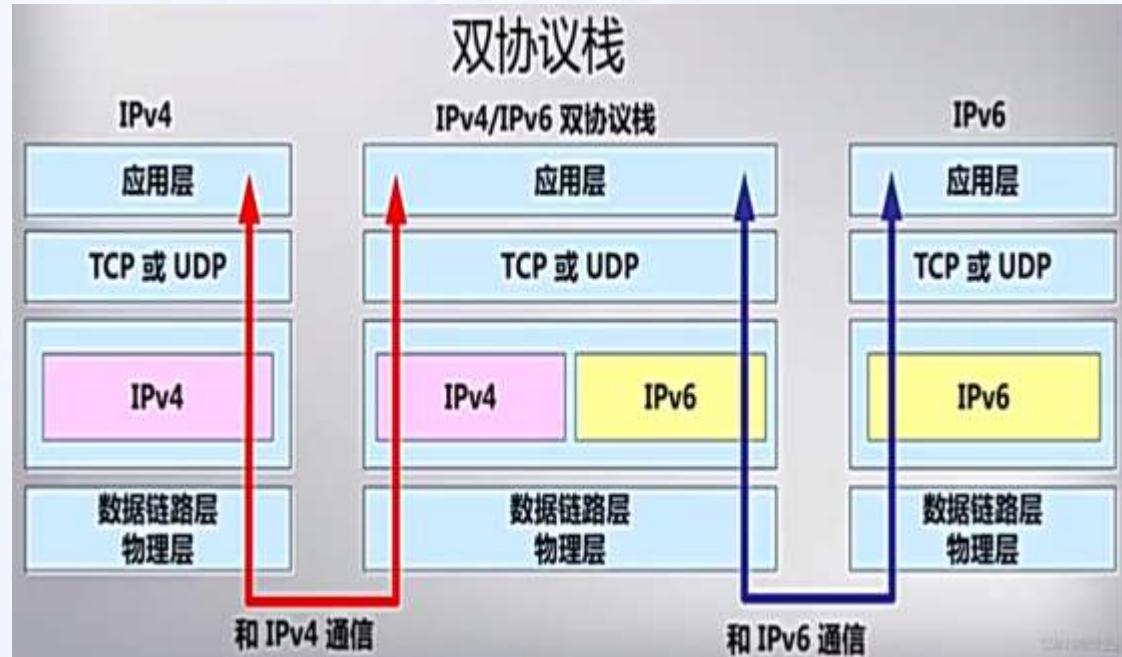
即插即用

支持地址自动配置，无需DHCP也可获取地址。

内置安全

IPsec为端到端加密和认证提供原生支持。

双栈与隧道：IPv4海洋中的IPv6航船



双协议栈

主机同时具备IPv4和IPv6协议栈，根据目的地址选择通信协议。



隧道技术

将IPv6数据包封装在IPv4数据包中，通过IPv4网络进行传输。

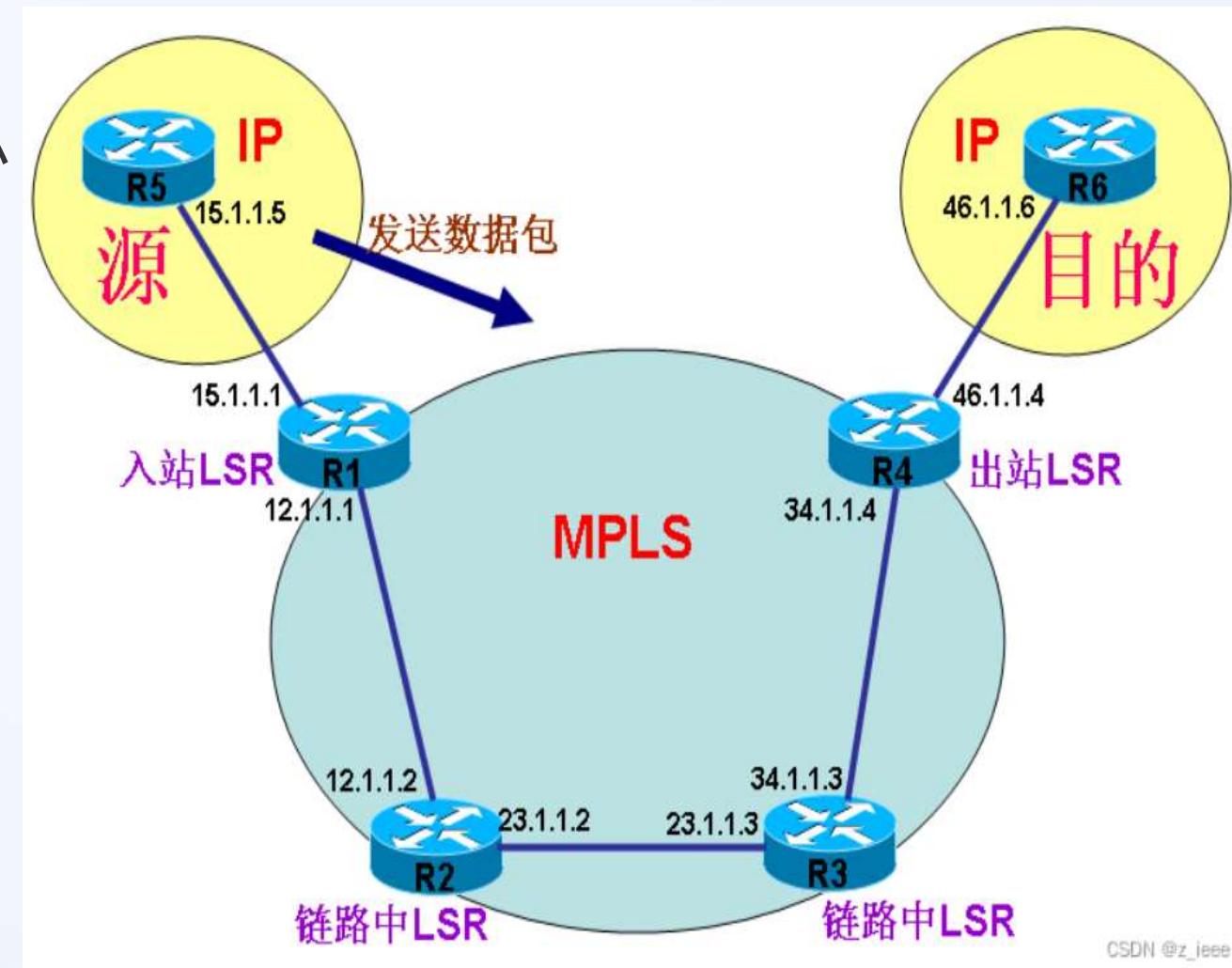
MPLS：标签交换的流量高铁

MPLS (多协议标签交换) 的核心思想是在IP包头前增加一个定长标签，让核心路由器只需查表交换标签，实现硬件级高速转发。

提高转发速度: 基于标签的精确匹配比IP最长前缀匹配快得多。

支持流量工程: 可灵活控制数据流路径，优化网络资源利用。

保证服务质量: 可为不同业务建立不同的LSP，提供QoS保障。





回顾与展望

07

关键概念串联：从地址到路径



网络层的核心使命：实现**端到端**的数据交付。

未来展望：向下一代网络层演进

从“尽力交付”到“确定性服务”

随着**IPv6**规模部署，其与**SRv6**、网络切片、可编程数据面等技术融合，推动网络层向提供**确定性时延、抖动和带宽**的服务演进。

从“MPLS”到“SR-MPLS/EVPN”

网络层控制平面继续简化，转发面持续可编程。MPLS向**SR-MPLS**和**EVPN**过渡，实现更灵活的流量工程、更简化的协议栈和更强大的VPN业务支持能力。



THANK YOU FOR READING!

感谢您的观看

汇报人：甘芝清 黄慧雯 林银蕊

汇报日期：2025/12/26

