



# 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

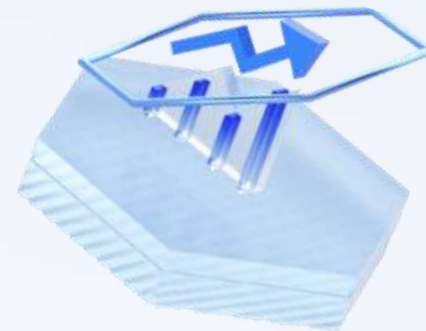


# 目录

## 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

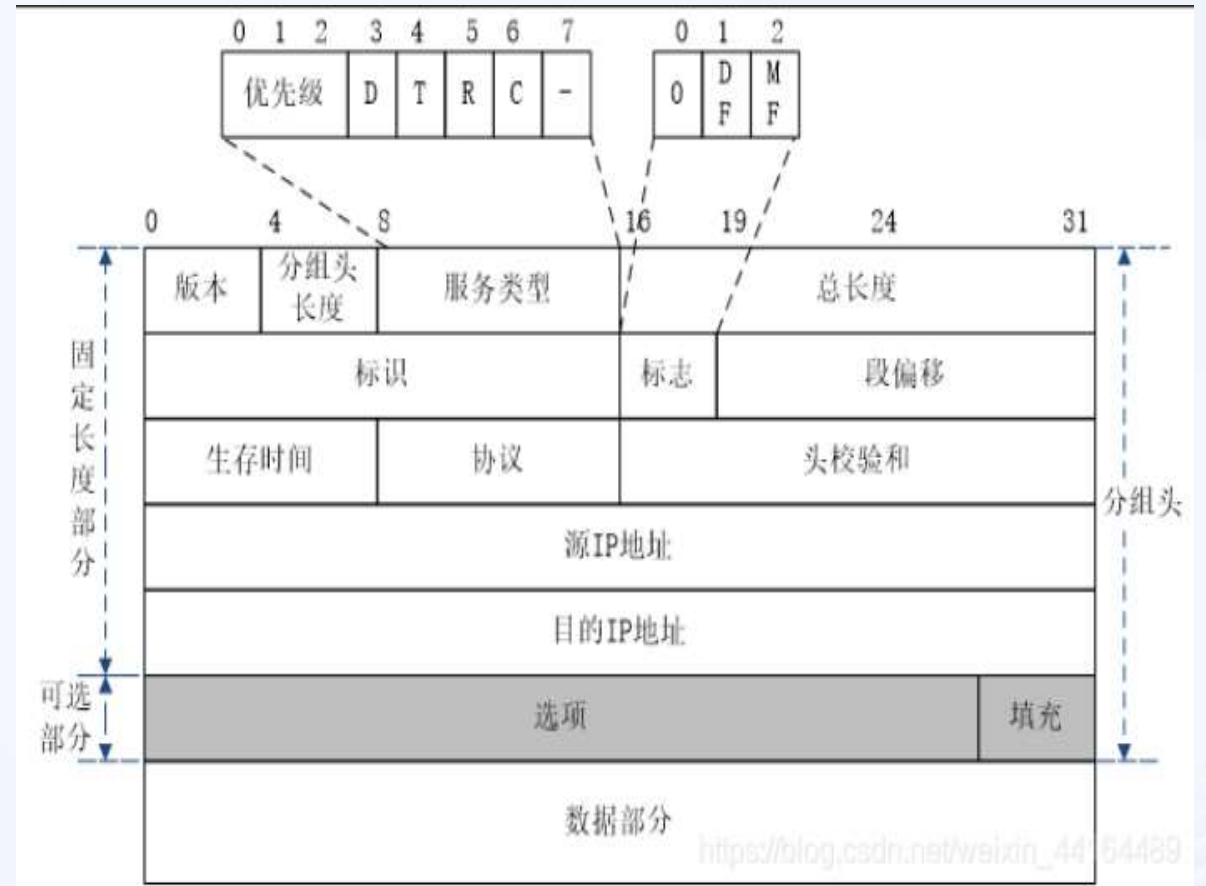
02



# 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



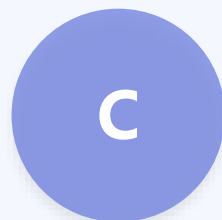
**巨型网络**

(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)

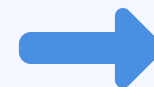


DF=0 允许分片

## 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

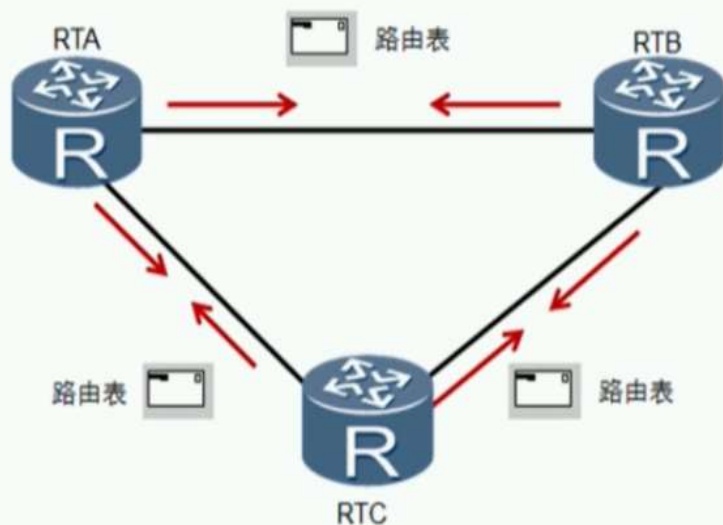
04





# 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

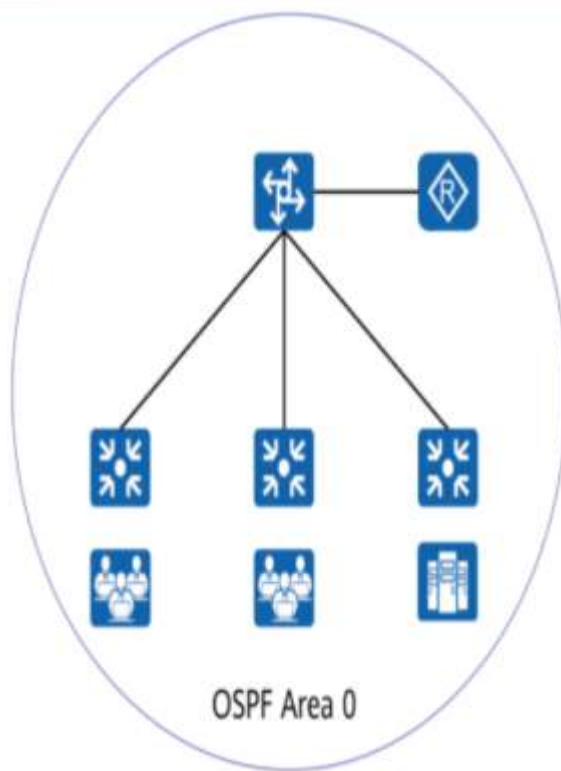
OSPF是一种基于 **链路状态** 算法的内部关协议。每个路由器泛洪自己的链路状态信息，构建一张全网统一的拓扑数据库（地图）。

**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。

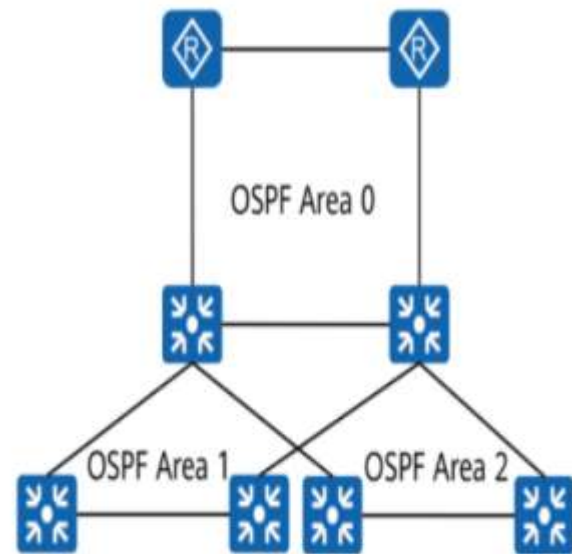
**快速收敛：**链路状态变化时，立即发送更新，收敛速度快。

**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。

OSPF单区域&多区域典型组网



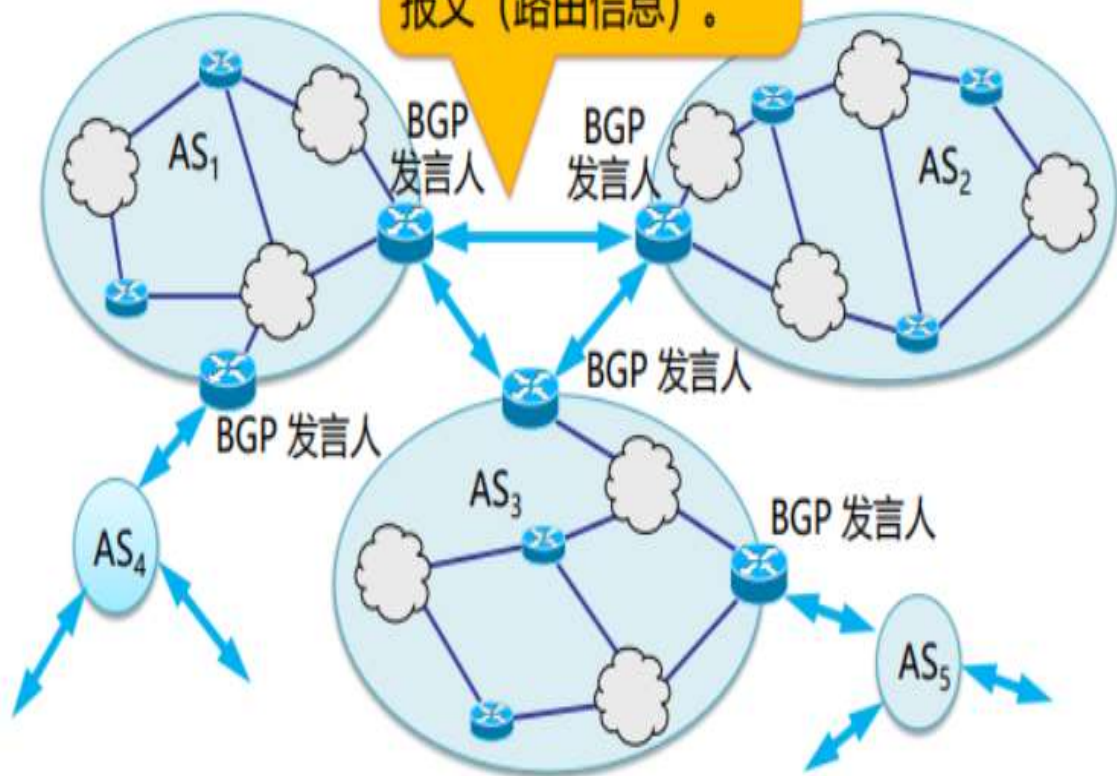
中小型企业网（单区域）



大型企业网（多区域）@honest\_run

# BGP：自治系统间的商路外交

在 TCP 连接上建立 BGP 会话，交换 BGP 报文（路由信息）。



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

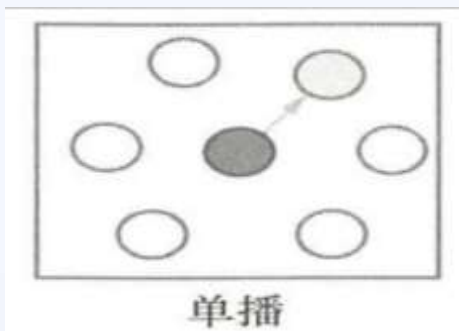
05





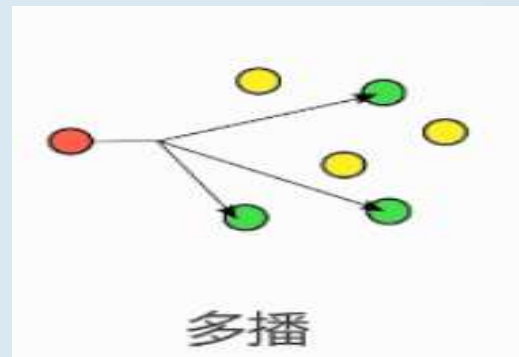
# 多播：一对多的高效投递

## 传统单播 (Unicast)



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)



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

内部主机

(私有IP: 192.168.1.10)

NAT路由器

(公有IP: 203.0.113.5)

外部服务器

## 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。



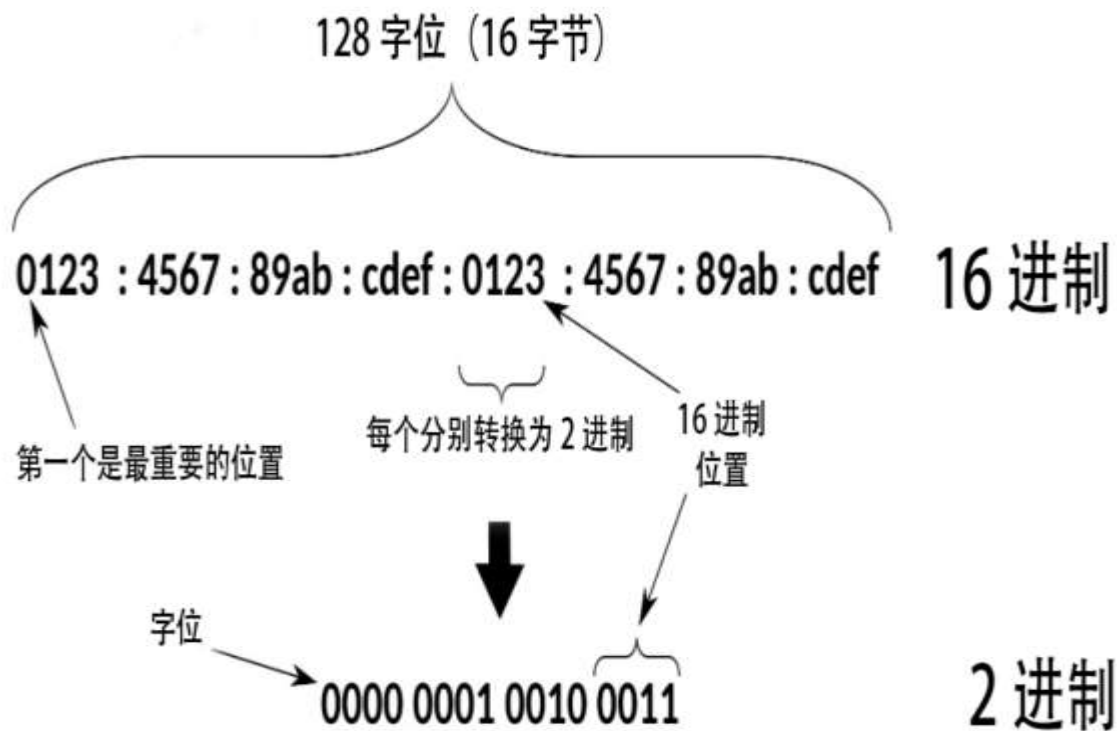
# IPv6与MPLS前沿

06



# IPv6: 128位地址的星辰大海

## IPv6地址



## 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。

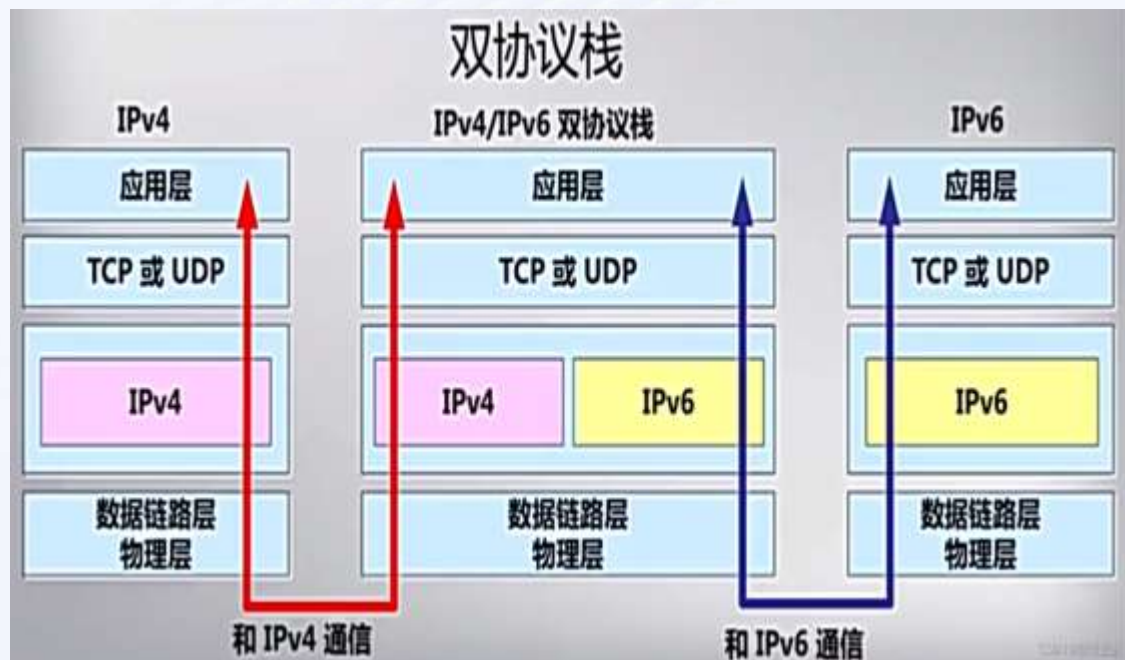
## 即插即用

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。

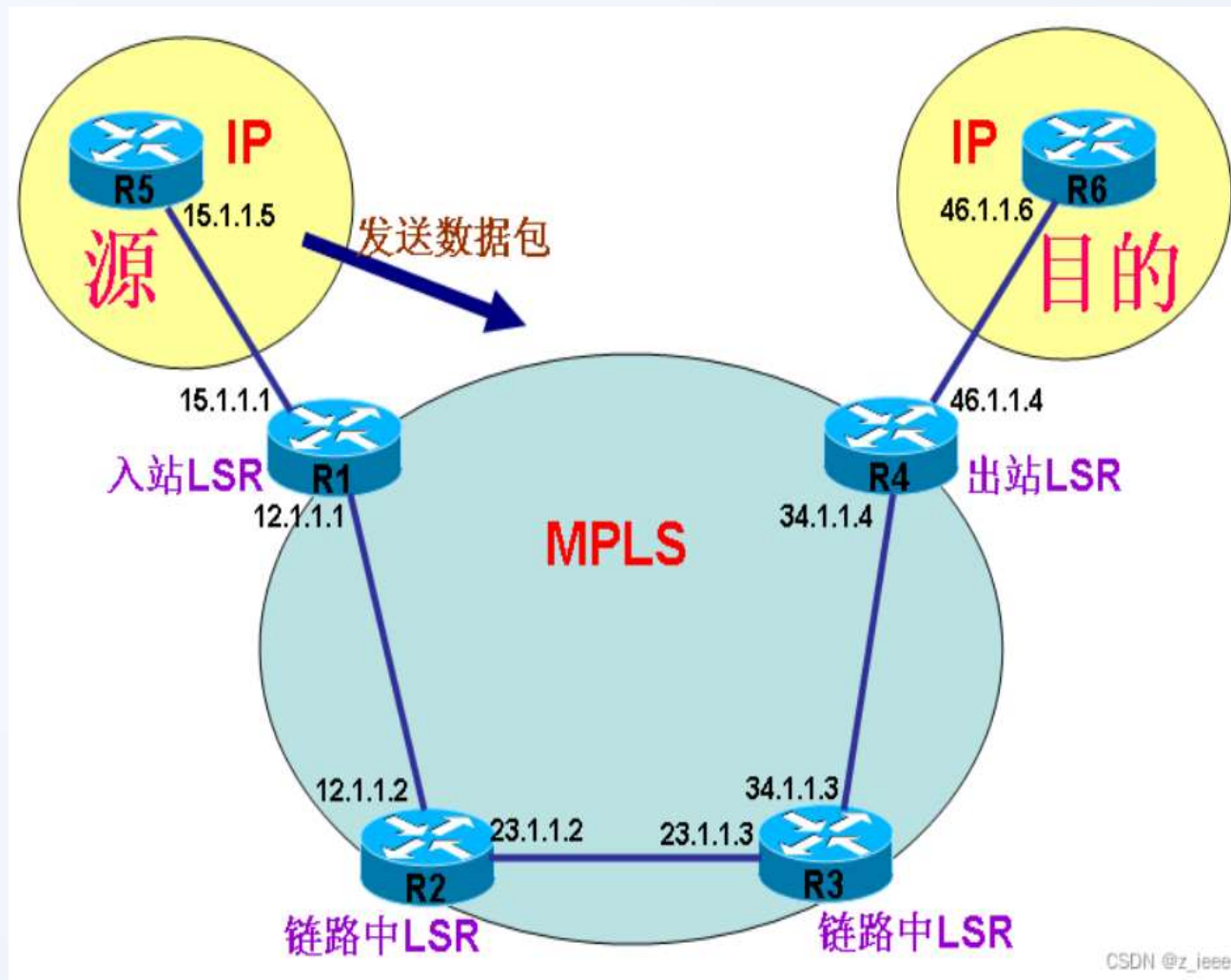
# MPLS：标签交换的流量高铁

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



**地址机制**

(IP地址)



**地址映射**

(ARP)



**路由计算**

(RIP/OSPF/BGP)



**数据转发**

(IP/MPLS)



**功能增强**

(NAT/VPN)

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