



# 第五章 网络层

## ——IP数据报

isszym sysu.edu.cn  
2019.3.29

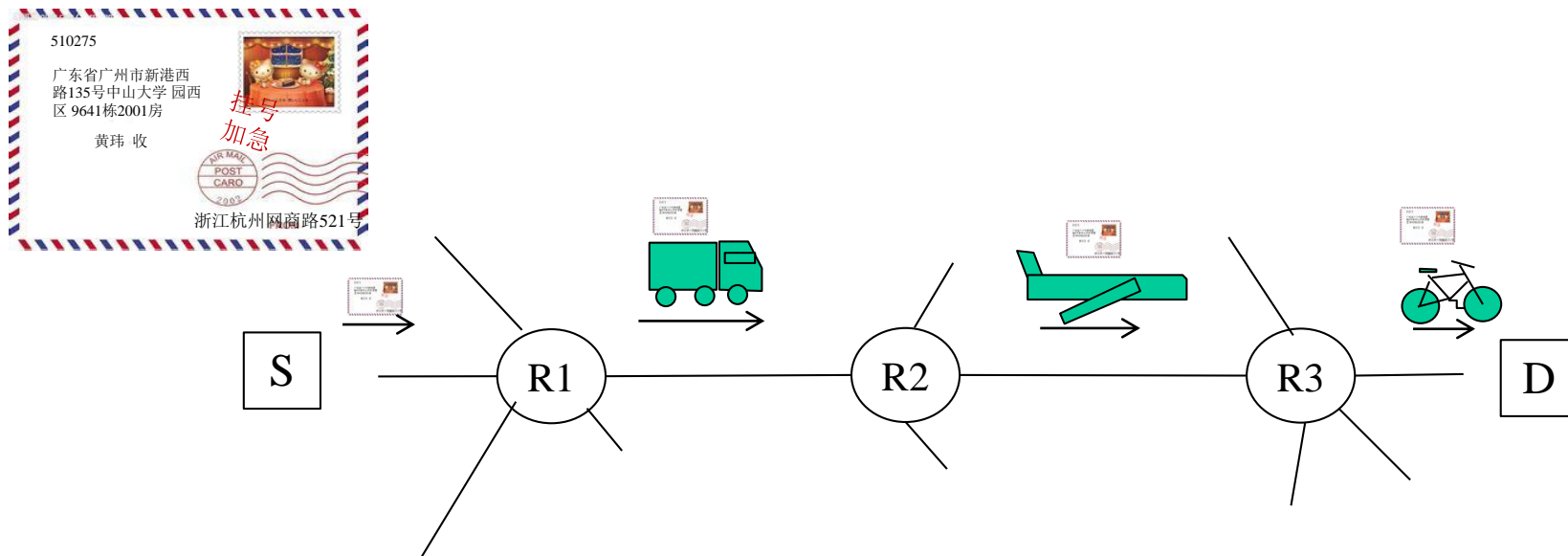


# 本节内容

- 概述
- 网络服务模型
- 交换技术
- IP数据报格式
- IP数据报的服务类型
- IP数据报的生存期
- IP数据报的分段和重组
- IP数据报的选项

# 概述

- ❑ 每个数据链路层协议只涉及一个直连网，而网络层协议涉及整个网络。
- ❑ 网络层协议负责确定把收到的包从哪条路经转发(**forwarding**)出去，即路由选择(**routing**)功能。具有传送由数据链路层和物理层负责。



# 一般网络的服务模型

一个网络可以提供什么样的服务？

网络结构	服务模型	确保？				拥塞反馈
		带宽	不丢包	有序	及时	
<b>ATM</b>	恒定位速率	固定速率	是	是	是	无拥塞
<b>ATM</b>	可变位速率	确保速率	是	是	是	无拥塞
<b>ATM</b>	可用位速率	最小保证	否	是	否	是
<b>ATM</b>	未指定位速率	无	否	是	否	否
因特网	尽力服务	无	否	否	否	否

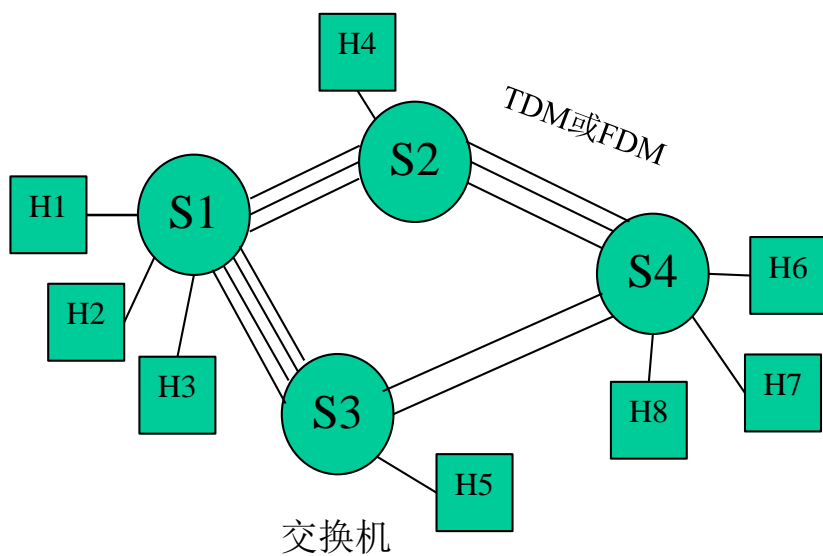
*Connectionless Service: IP*

*Connection-oriented Service: X.25, ATM(Asynchronous Transfer Mode)*

# 交换技术-电路交换

连通后带宽固定，就算不用

- ❑ 电路交换(Circuit Switching)技术通过在网络中连接多条物理电路形成一条通路后传送数据。
- ❑ 每条物理电路可以是一条链路(link)或者一条链路通过FDM或TDM形成的通道(Channel)。



连至S3

连至S4



来自S1

路由选择

# 交换技术-包交换(1)

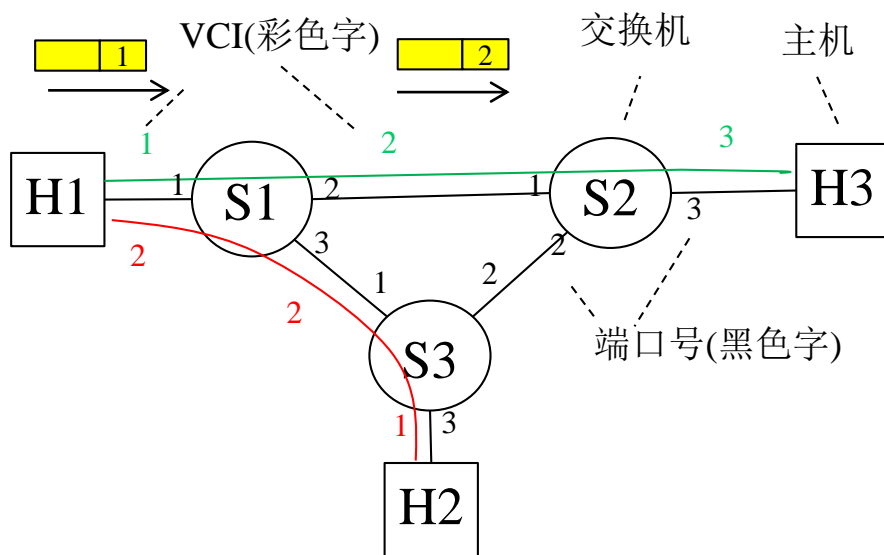
- ❑ 包交换(Packet Switching)技术是采用统计多路复用的方法通过网络传送数据包，有虚电路(Virtual Circuit)和数据报(Datagram)两种方式。
- ❑ 采用虚电路方式需要先建立连接然后才可以传送数据。
- ❑ 采用数据报方式不需要建立连接便可以传送数据包。交换机根据数据包的目的地址转发包。
- ❑ 因特网采用数据报交换技术。

无连接

# 交换技术-包交换(2)

- ❑ 虚电路有交换式虚电路(Switched Virtual Circuit)和永久虚电路(Permanent Virtual Circuit)两种。
- ❑ 交换式虚电路每次传送数据前都要建立连接，传送完数据后要释放连接，而永久虚电路由管理员建好后一直保持着，故随时可以传送数据。

带宽稳定 (可用于打电话)



VCI(virtual circuit identifier): 虚电路标识符

VC表

	输入端口号	输入VCI	输出端口号	输出VCI
S1	1	1	2	2
	1	2	3	2
S2	1	2	3	3
S3	1	2	3	1

# IP协议的服务模型

MAC地址 (网卡出厂地址  
全局的 (独一无二)  
不是分层的 (跟着电脑跑))

IP地址 类似源和目的地址  
MAC地址 类似终端地址

- ❑ IP (Internet Protocol)协议是因特网的网络层协议
- ❑ IP协议是可路由的(routable) -- 全局地址, 按层分配
- ❑ IP协议提供尽力服务(best effort), 即无连接无确认的数据报服务。
- ❑ IP协议可以运行在任何网络上。

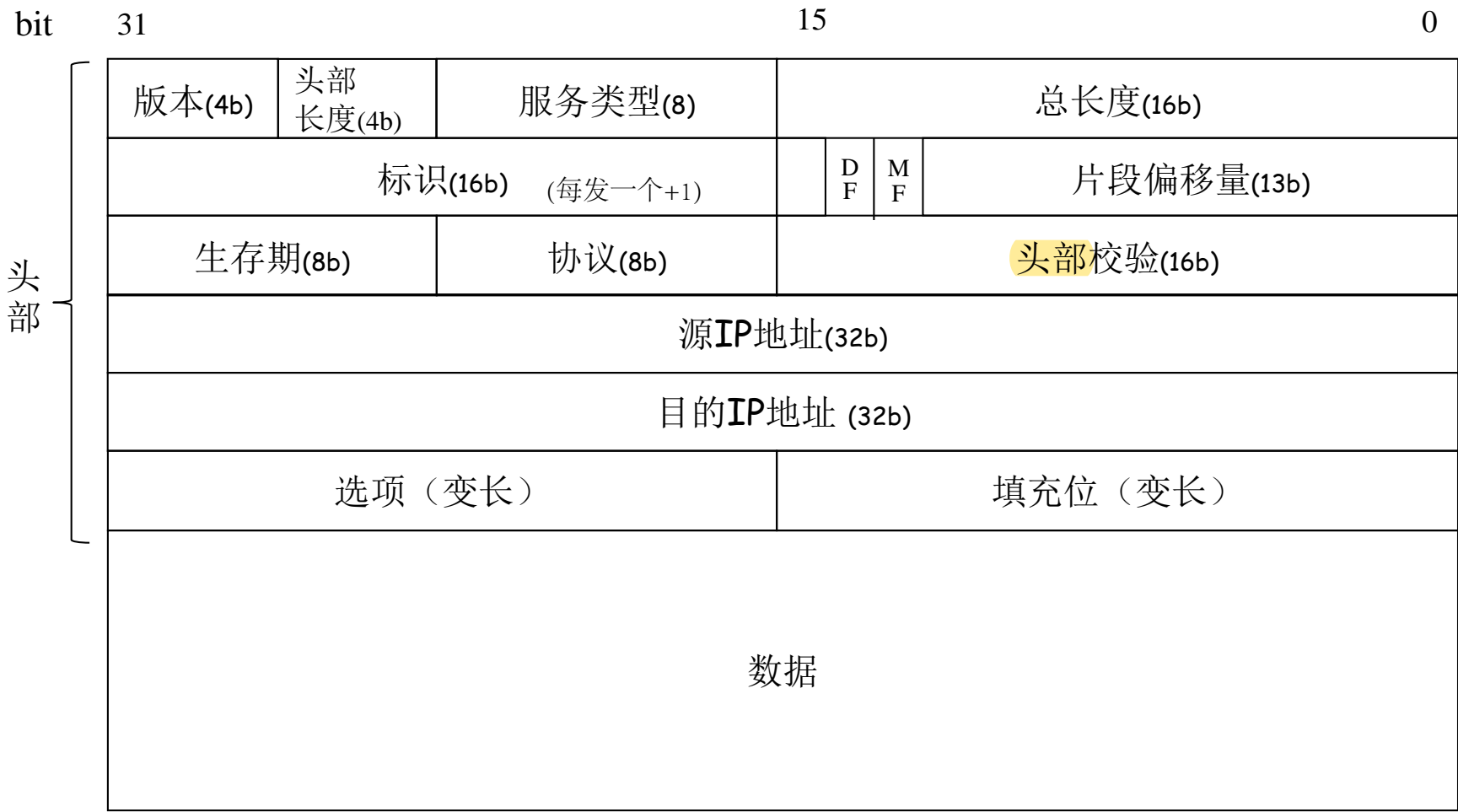
分层:  
example  
China  
Guangdong  
Guangzhou  
° ° °  
一层一层

<http://www.faqs.org/rfcs/rfc791.html>



# IP数据报格式

路由器转发的时候只改TTL



# IP数据报的字段说明

字段	位数	说明
版本	4	共两个版本：4 for IPv4, 6 for IPv6
头部长度	4	头部的长度，以字(32-bit)为单位。
服务类型 (Type of Service, TOS)	8	本IP数据报希望得到的服务 <small>最长15*4=60字节，选项最多40字节</small>
总长度	16	整个数据报的长度，以字节为单位 <small>最多65535，往往很短</small>
标识、标志(DF, MF)、 偏移量	32	用于划分片段
生存期	8	记载经过的路由器数(跳数)。
协议(Protocol) 给上层	8	定义数据部分的协议，例如：TCP为6, UDP为17, ICMP为1, IGMP为2, 等等。
头部校验	16	头部校验和。路由器会丢弃出错的数据报。
源IP地址	32	发出本数据报的地址
目的IP地址	32	接收本数据报的地址
选项和填充位	可变	最多40个字节，填充位用于32位对齐。

# IP数据报的服务类型

- ❑ 服务类型(**Type of Quality, ToS**)起初用于提出数据报的四种独立的服务要求(低延迟、高吞吐量、高可靠性和花钱最少)和优先权(**111**为最高优先权), 实际上只用了优先权。
- ❑ 为了更好地使用它, 现在又把它重新定义, 从整体上说明数据报所需的服务, 即区分服务(**Differentiated Services**)。 <http://tools.ietf.org/html/rfc2474>

3b	1b	1b	1b	1b	1b
IP Precedence	low latency	high throughput	high reliability	Minimise monetary cost	reserved (0)

Original definition of TOS

Binary Value	IP Precedence	Decimal Value
000	Routine	Precedence 0
001	Priority	Precedence 1
010	Immediate	Precedence 2
011	Flash	Precedence 3
100	Flash Override	Precedence 4
101	Critic/Critical	Precedence 5
110	Internetwork Control	Precedence 6
111	Network Control	Precedence 7

没啥用  
现在被redefine了  
类似优先权

# IP数据报的生存期

- ❑ IP数据报的生存期(Time-To-Live, TTL)用于限制其在因特网上的停留时间(RFC 791), 实际限制为经过的路由器数, 即跳数(hop count)。
- ❑ TTL的初值需要设置为网络直径的两倍, 例如, Windows 8和Linux默认为64, UNIX默认为255。
- ❑ 当收到IP数据报时, 路由器或主机会把它的TTL减1。如果减到零时还未到达目的地, 则该数据报将被丢弃, 路由器会发送一个ICMP包告知源主机。

可能会有回路???  
导致兜圈  
需要TTL清除

# IP数据报的分段和重组

- 一个物理网络的**最大传输单元**( maximum transmission unit, MTU)是该网络可以运载的最大有效载荷，即**数据帧的数据部分的最大长度**。例如：以太网(DIXv2)的 MTU为 1500，FDDI和令牌环的MTU分别为 4353和 4482。

IP数据报最长65535 因此IP数据包一般要分段

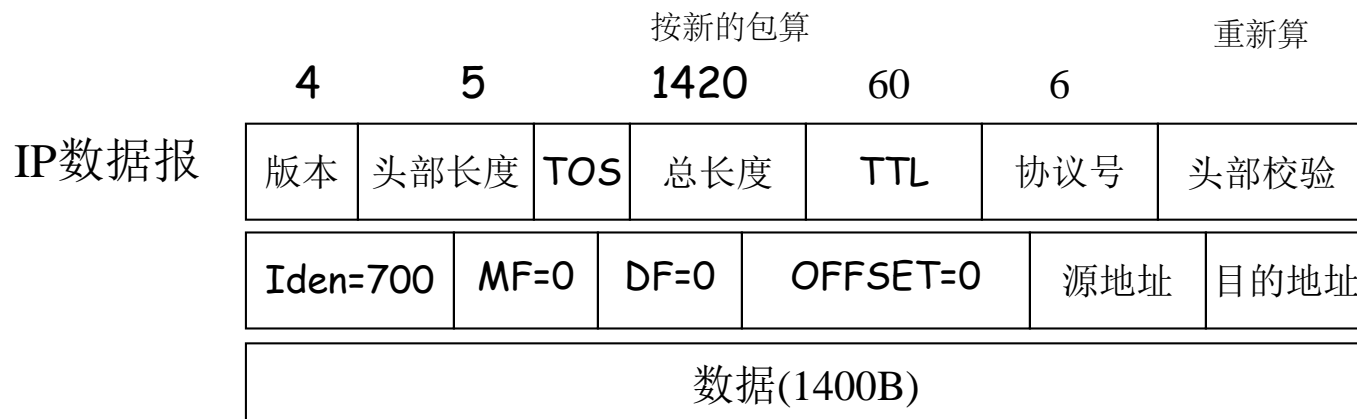
- 如果一个数据报的大小**大于**要承载它的网络的MTU，路由器需要先对该数据报进行**分段(fragment)**。

重组 相同ID组在一起

- **源主机每次发送IP数据报时都会把标识(Identification)字段加1**。分段时用标识的值保持不变，并且**用偏移量字段(offset)**指出该片段的数据部分相对原来数据报的**偏移量(以8字节为单位)**。

头部20+数据部分512

总长度 4字节  
总长度 1字节  
偏移量 8字节



MTU=532

片段的有效载荷

512B	512B	376B
------	------	------

第一个片段: OFFSET=?, MF=?

OFFSET=0, MF=1;

第二个片段: OFFSET=?, MF=?

OFFSET=64, MF=1;

第三个片段: OFFSET=?, MF=?

OFFSET=128, MF=0。

MF(more fragment) 是否后面还有

哪些字段改变了? 头部检验,总长度,偏移量, MF

- ❑ 当目的主机收到该数据报的所有片段时，它会重组(reassemble)为原来的数据报。
- ❑ 第一个片段到达目的主机时目的主机会启动一个重组定时器(默认超时值为15秒)。如果该定时器到期时没有收集到所有片段，目的主机会放弃本次重组并丢弃该数据报的所有片段。
- ❑ DF(Don't Fragment)为1表示不允许分段，MF(More Fragment)为1表示后面还有片段。

超过MTU, DF=1, 则丢包  
DF=1, 可能接收方IP协议不能重组, 或利用这个功能搞事情

path MTU discovery  
找到最小MTU  
在源端找到最小MTU  
然后DF=1

how to find it?  
有相关协议

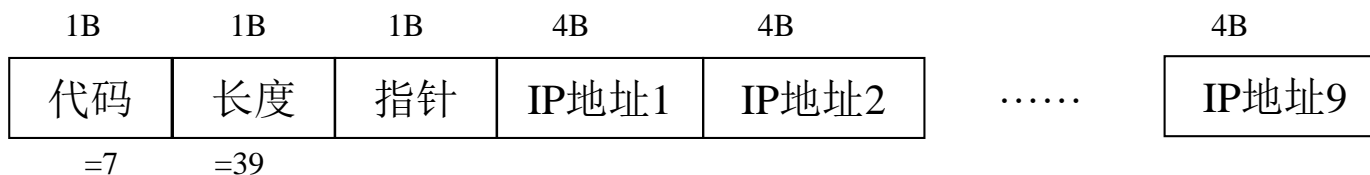
# IP数据报的选项

	1B	1B	nB
一般格式:	代码	总长度	数据

代码	名称	描述
0	选项列表结束	一个字节: 0x00 。用于最后选项4字节对齐。
1	无操作	一个字节: 0x01 。用于中间选项4字节对齐。
131	松散源路由	指明一系列必须经过的路由器。 还可以经过其他的
7	记录路由	记录下每个转发路由器的IP地址。
137	严格源路由	指明一系列必须且只能经过的路由器。
20	IP警报器	告知路由器需要特殊处理的选项。
50	记录时间戳	每个转发的路由器都记录下自己的IP地址和当时的时间。



记录路由选项:



- 指针字段指向下一个IP地址的位置: 4(空), 8, ... , 40(满)。
- 该数据报经过的每个路由器记录转出接口的IP地址, 直到记满9个地址。

```
C:\Documents and Settings\Administrator>ping -r 8 www.sysu.edu.cn

Pinging pisces-1.sysu.edu.cn [202.116.64.9] with 32 bytes of data:

Reply from 202.116.64.9: bytes=32 time=219ms TTL=58
    Route: 172.18.240.82 ->
            10.44.16.202 ->
            10.10.1.17 ->
            10.10.2.49 ->
            202.116.64.254 ->
            202.116.64.9 ->
            10.10.2.50 ->
            10.10.1.18
Reply from 202.116.64.9: bytes=32 time=17ms TTL=58
    Route: 172.18.240.82 ->
```

ping  
tracert

源主机用来记录路径上的路由器  
发包的时候可以自己定生存期  
发TTL=1, 一步后发一个ISMP包回来



0x0800 - IP Packet

以太网的帧

# 总结

- 概述
- 网络服务模型
- 交换技术
- IP数据报格式
- IP数据报的服务类型
- IP数据报的生存期
- IP数据报的分段和重组
- IP数据报的选项