

# **Data and Computer Communications**

## **Chapter 18 – Internet Protocols**

Eighth Edition  
by William Stallings

The background of the slide is a solid teal color. In the lower right quadrant, there are several faint, concentric circles that resemble ripples in water, creating a subtle decorative pattern.

# 网络层提供的两种服务

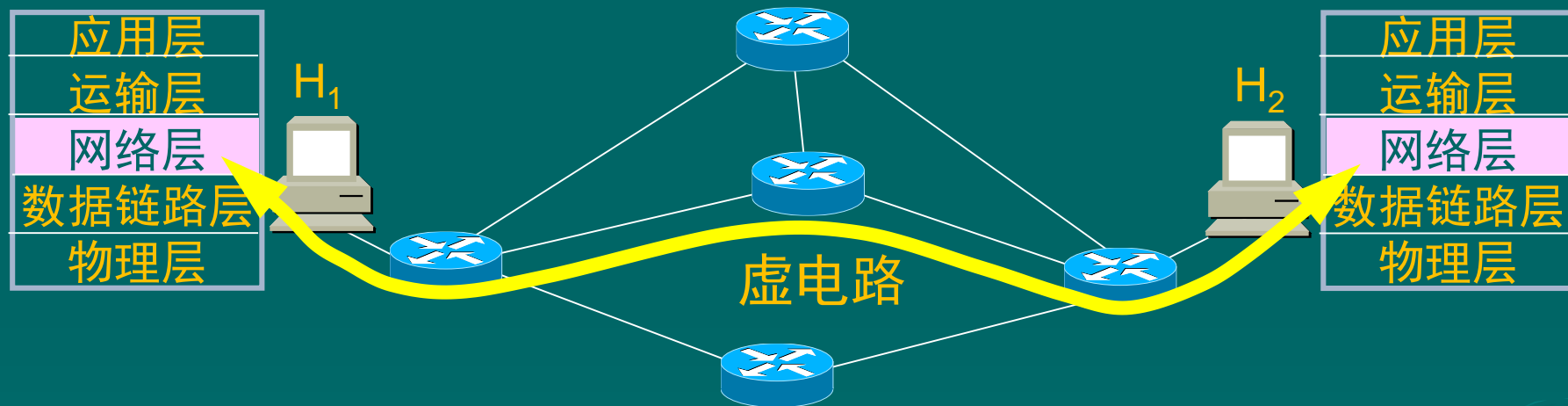
- 在计算机网络领域，网络层应该向运输层提供怎样的服务（“面向连接”还是“无连接”）曾引起了长期的争论。
- 争论焦点的实质就是：在计算机通信中，可靠交付应当由谁来负责？是网络还是端系统？

# 电信网的成功经验

## 让网络负责可靠交付

- 面向连接的通信方式
- 建立虚电路(Virtual Circuit)，以保证双方通信所需的一切网络资源。
- 如果再使用可靠传输的网络协议，就可使所发送的分组无差错按序到达终点。

# 虚电路服务



$H_1$  发送给  $H_2$  的所有分组都沿着同一条虚电路传送

# 虚电路是逻辑连接

- 虚电路表示这只是一条**逻辑上的连接**，分组都沿着这条逻辑连接按照存储转发方式传送，而并不是真正建立了一条物理连接。
- 请注意，电路交换的电话通信是先建立了一条**真正的连接**。因此分组交换的虚连接和电路交换的连接只是类似，但并不完全一样。

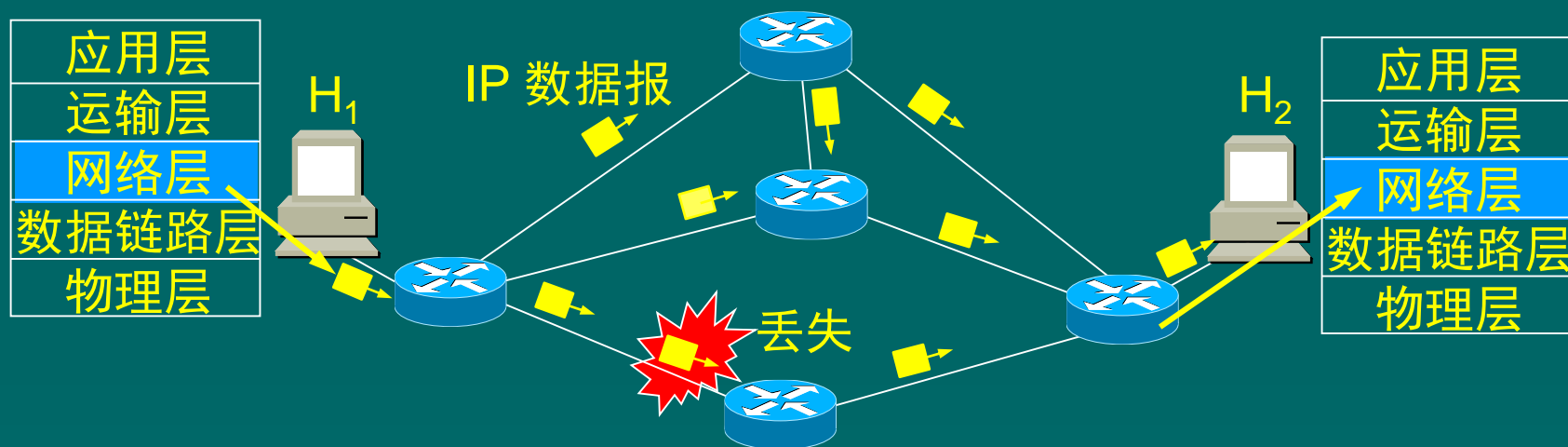
# 因特网采用的设计思路

- 网络层向上只提供简单灵活的、无连接的、尽最大努力交付的数据报服务。
- 网络在发送分组时不需要先建立连接。每一个分组（即 IP 数据报）独立发送，与其前后的分组无关（不进行编号）。
- 网络层不提供服务质量的承诺。即所传送的分组可能出错、丢失、重复和失序（不按序到达终点），当然也不保证分组传送的时限。

# 尽最大努力交付的好处

- 由于传输网络不提供端到端的可靠传输服务，这就使网络中的路由器可以做得比较简单，而且价格低廉（与电信网的交换机相比较）。
- 如果主机（即端系统）中的进程之间的通信需要是可靠的，那么就由网络的主机中的运输层负责（包括差错处理、流量控制等）。
- 采用这种设计思路的好处是：网络的造价大大降低，运行方式灵活，能够适应多种应用。
- 因特网能够发展到今日的规模，充分证明了当初采用这种设计思路的正确性。

# 数据报服务



$H_1$  发送给  $H_2$  的分组可能沿着不同路径传送



## 虚电路服务与数据报服务的对比

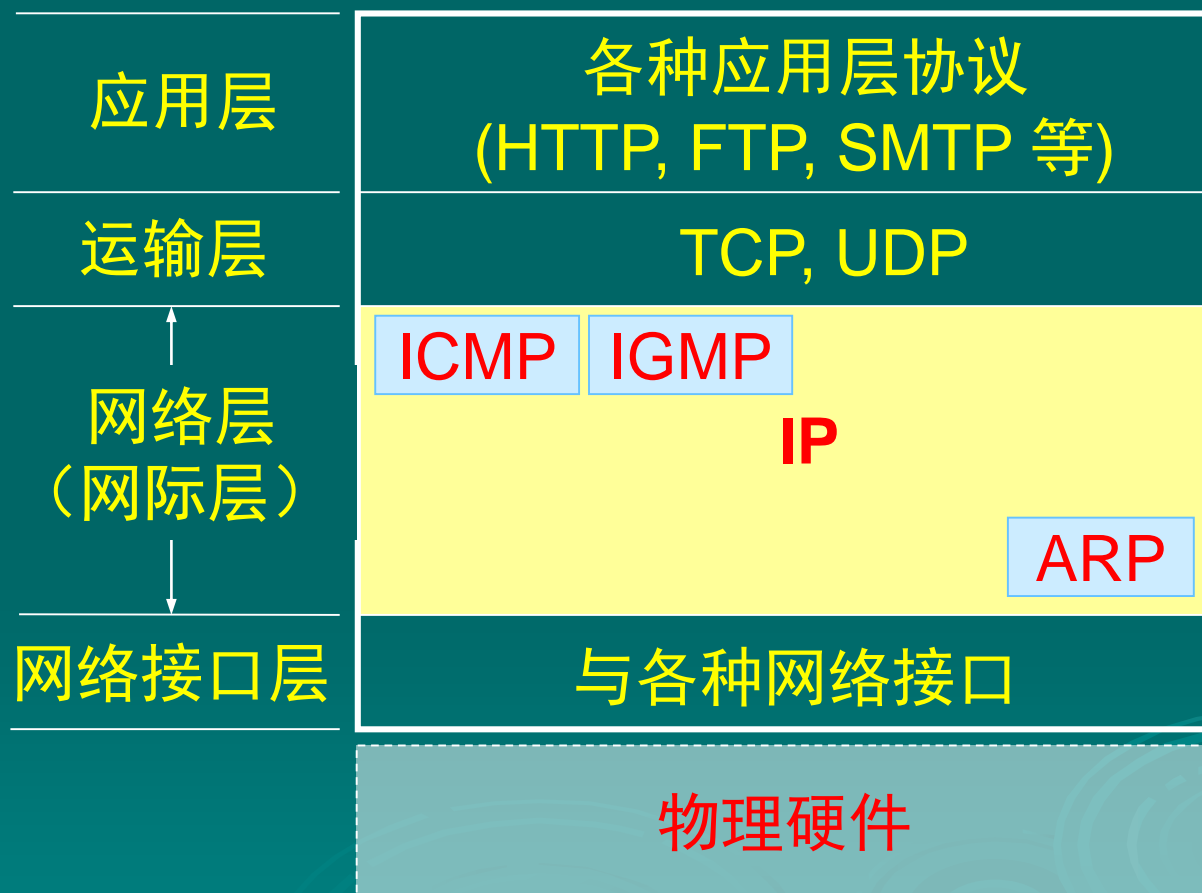
对比的方面	虚电路服务	数据报服务
思路	可靠通信应当由网络来保证	可靠通信应当由用户主机来保证
连接的建立	必须有	不需要
终点地址	仅在连接建立阶段使用，每个分组使用短的虚电路号	每个分组都有终点的完整地址
分组的转发	属于同一条虚电路的分组均按照同一路由进行转发	每个分组独立选择路由进行转发
当结点出故障时	所有通过出故障的结点的虚电路均不能工作	出故障的结点可能会丢失分组，一些路由可能会发生变化
分组的顺序	总是按发送顺序到达终点	到达终点时不一定按发送顺序
端到端的差错处理和流量控制	可以由网络负责，也可以由用户主机负责	由用户主机负责

# 网际协议IP

网际协议 IP 是 TCP/IP 体系中两个最主要的协议之一。与 IP 协议配套使用的还有三个协议：

- 地址解析协议 ARP  
(Address Resolution Protocol)
- 网际控制报文协议 ICMP  
(Internet Control Message Protocol)
- 网际组管理协议 IGMP  
(Internet Group Management Protocol)

# 网际层的 IP 协议及配套协议



# 虚拟互连网络

- 互连在一起的网络要进行通信，会遇到许多问题需要解决，如：
  - 不同的寻址方案
  - 不同的最大分组长度
  - 不同的网络接入机制
  - 不同的超时控制
  - 不同的差错恢复方法
  - 不同的状态报告方法
  - 不同的路由选择技术
  - 不同的用户接入控制
  - 不同的服务（面向连接服务和无连接服务）
  - 不同的管理与控制方式

# 网络互相连接起来 要使用一些中间设备

- 中间设备又称为中间系统或中继(relay)系统。
  - 物理层中继系统：转发器(repeater)。
  - 数据链路层中继系统：网桥或桥接器(bridge)。
  - 网络层中继系统：路由器(router)。
  - 网桥和路由器的混合物：桥路器(brouter)。
  - 网络层以上的中继系统：网关(gateway)。用网关连接两个不兼容的系统需要在高层进行协议转换。

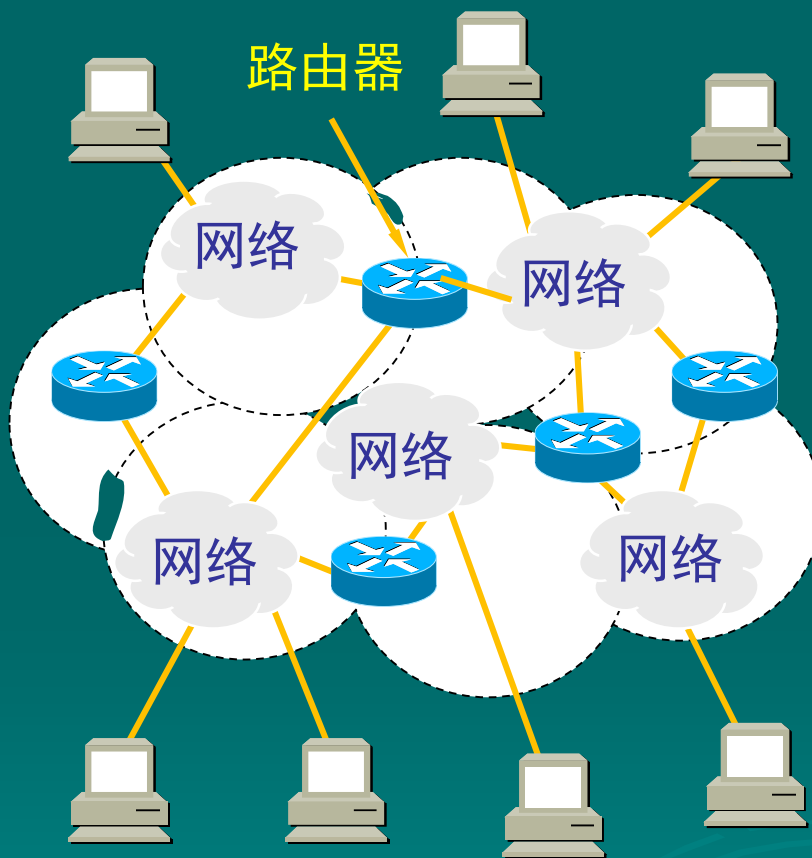
# 网络互连使用路由器

- 当中继系统是转发器或网桥时，一般并不称之为网络互连，因为这仅仅是把一个网络扩大了，而这仍然是一个网络。
- 网关由于比较复杂，目前使用得较少。
- 互联网都是指用路由器进行互连的网络。
- 由于历史的原因，许多有关 **TCP/IP** 的文献将网络层使用的路由器称为**网关**。

# 互连网络与虚拟互连网络

- TCP/IP体系在网络互连上采用的做法是在网络层（即IP层）采用了标准化协议，但相互连接的网络则可以是异构的。

# 互连网络与虚拟互连网络



(a) 实际互连网络



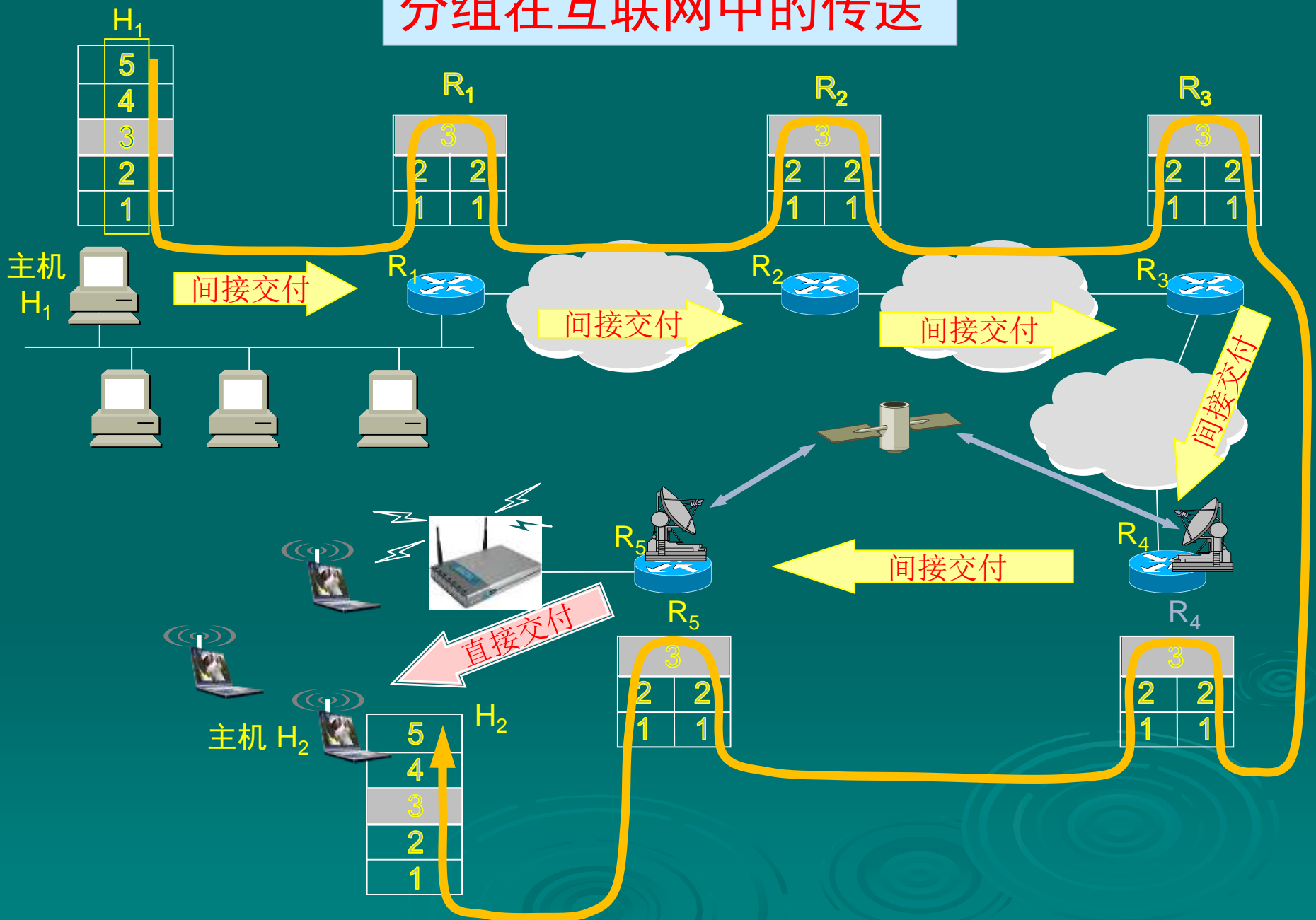
(b) 虚拟互连网络



# 虚拟互连网络的意义

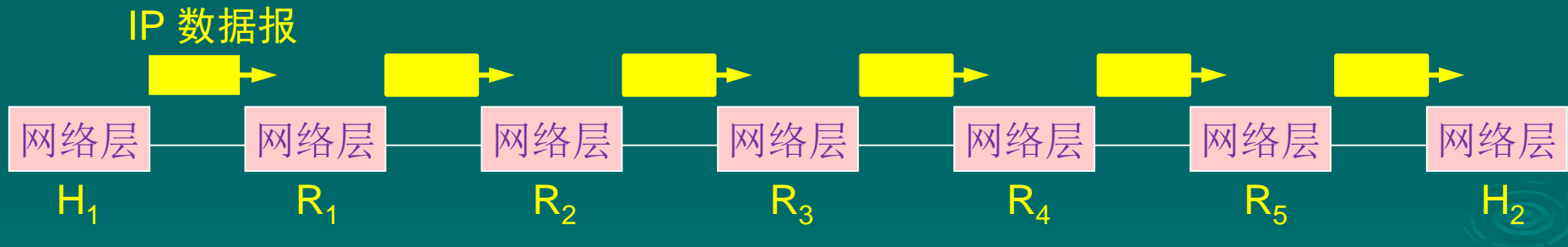
- 所谓虚拟互连网络也就是逻辑互连网络，它的意思就是互连起来的各种物理网络的异构性本来是客观存在的，但是我们利用 IP 协议就可以使这些性能各异的网络从用户看起来好像是一个统一的网络。
- 使用 IP 协议的虚拟互连网络可简称为 IP 网。
- 使用虚拟互连网络的好处是：当互联网上的主机进行通信时，就好像在一个网络上通信一样，而看不见互连的各具体的网络异构细节。

# 分组在互联网中的传送



# 从网络层看 IP 数据报的传送

- 如果我们只从网络层考虑问题，那么 IP 数据报就可以想象是在网络层中传送。



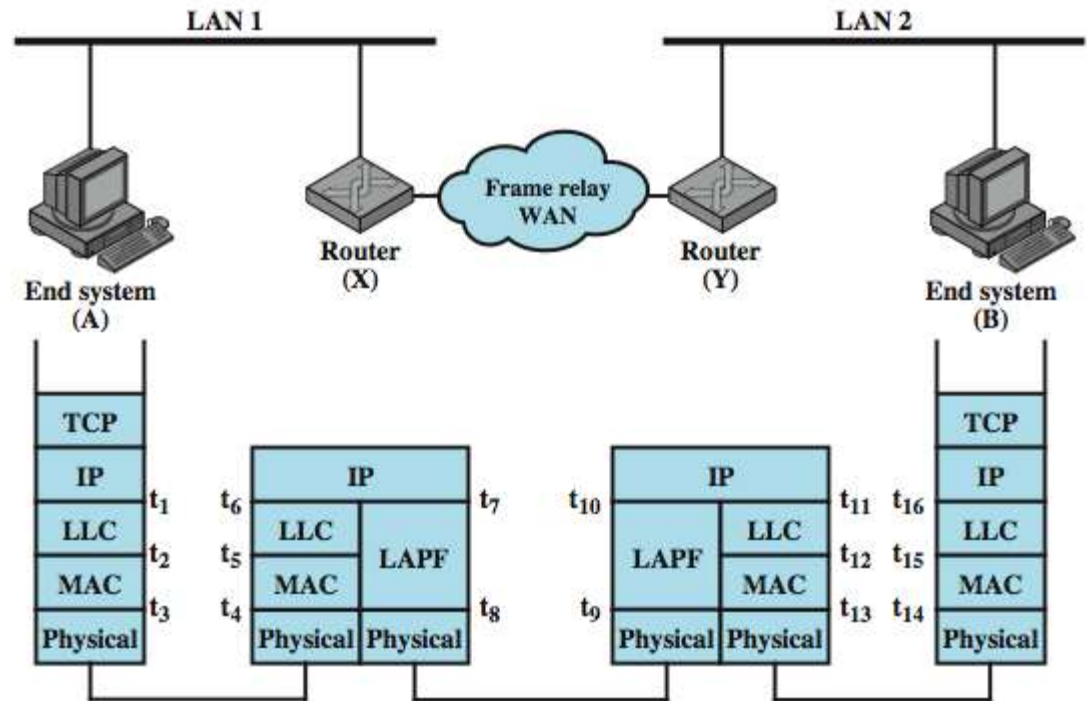
# Protocol Functions

- have a small set of functions that form basis of all protocols
  - encapsulation
  - fragmentation and reassembly
  - connection control
  - ordered delivery
  - flow control
  - error control
  - addressing
  - multiplexing
  - transmission services

# Advantages of Connectionless

- Flexible
- Highly robust
- Best for connectionless transport protocols

# IP Operation



$t_1, t_6, t_7, t_{10}, t_{11}, t_{16}$



$t_2, t_5$



$t_3, t_4$



$t_8, t_9$



$t_{12}, t_{15}$



$t_{13}, t_{14}$



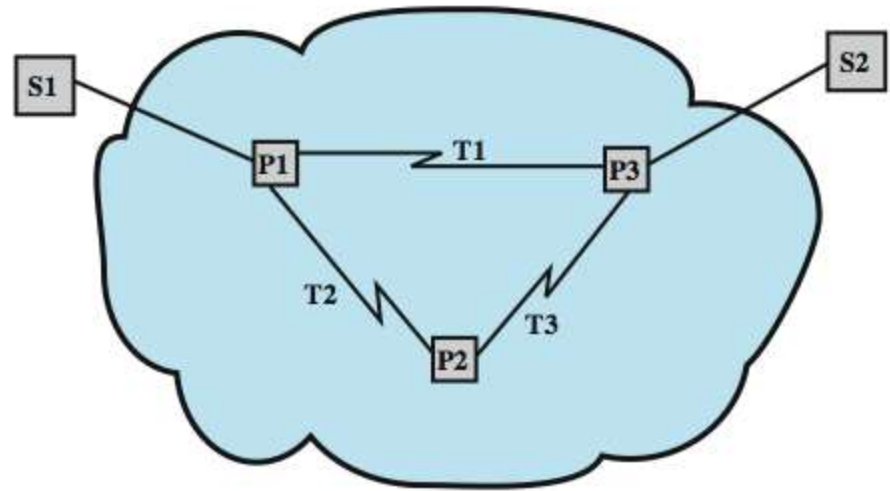
TCP-H = TCP header  
 IP-H = IP header  
 LLCi-H = LLC header  
 MACi-H = MAC header

MACi-T = MAC trailer  
 FR-H = Frame relay header  
 FR-T = Frame relay trailer

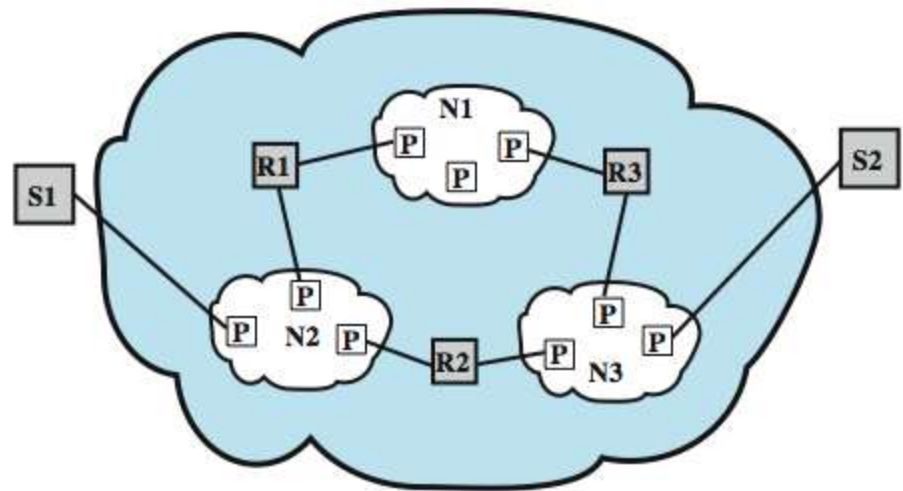
# Design Issues

- routing
- datagram lifetime
- fragmentation and re-assembly
- error control
- flow control

# The Internet as a Network



(a) Packet-switching network architecture



(b) Internetwork architecture



# Routing

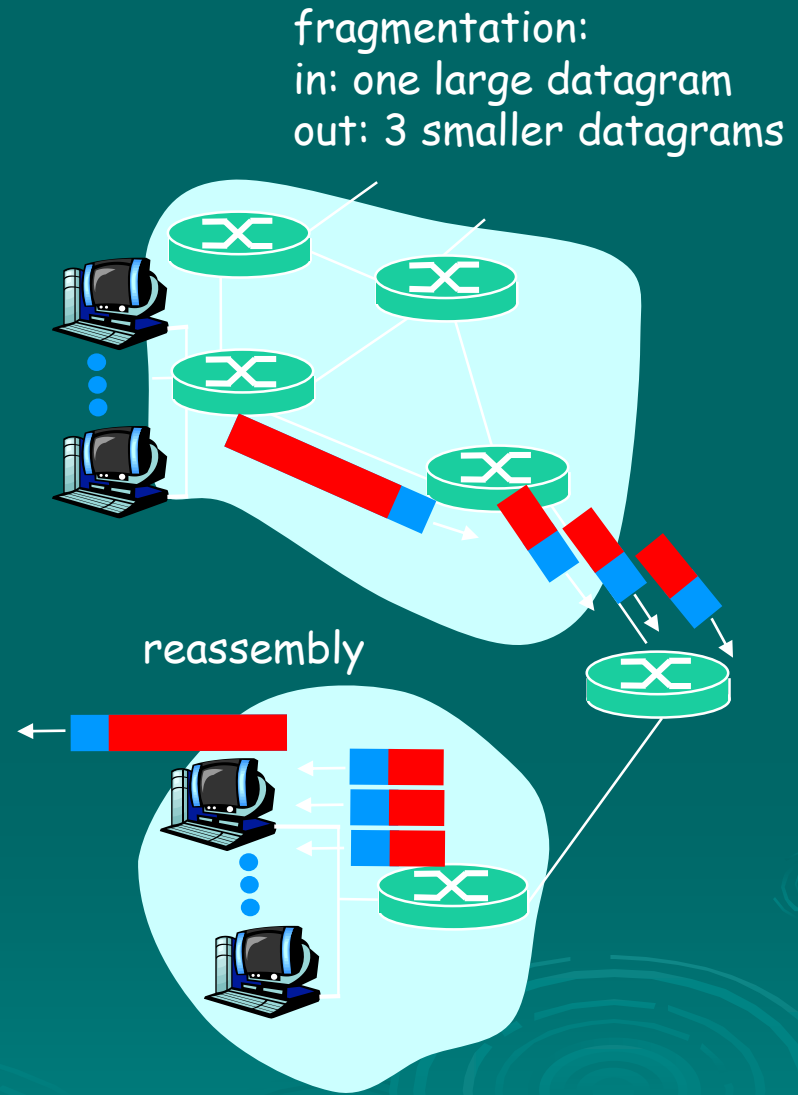
- ES / routers maintain routing tables
  - indicate next router to which datagram is sent
  - static
  - dynamic
- source routing
  - source specifies route to be followed
  - can be useful for security & priority
- route recording

# Datagram Lifetime

- datagrams could loop indefinitely
  - consumes resources
  - transport protocol may need upper bound on lifetime of a datagram
- can mark datagram with lifetime
  - Time To Live field in IP
  - when lifetime expires, datagram discarded
  - simplest is hop count
  - or time count

# Fragmentation and Re-assembly

- 网络链路具有 MTU (最大传输单位)属性 - 是由链路层最大帧的限制决定的.
  - 不同类型的链路, 不同的 MTU
- 较大的IP分组在网络中会被分割 (“fragmented”)
  - 一个分组就被分成了若干分组
  - 分组只是在最终的信宿站点被重新 “组装-reassembled”
  - 在IP 分组的首部有些位标记用来确认和排序相关的组 “片”



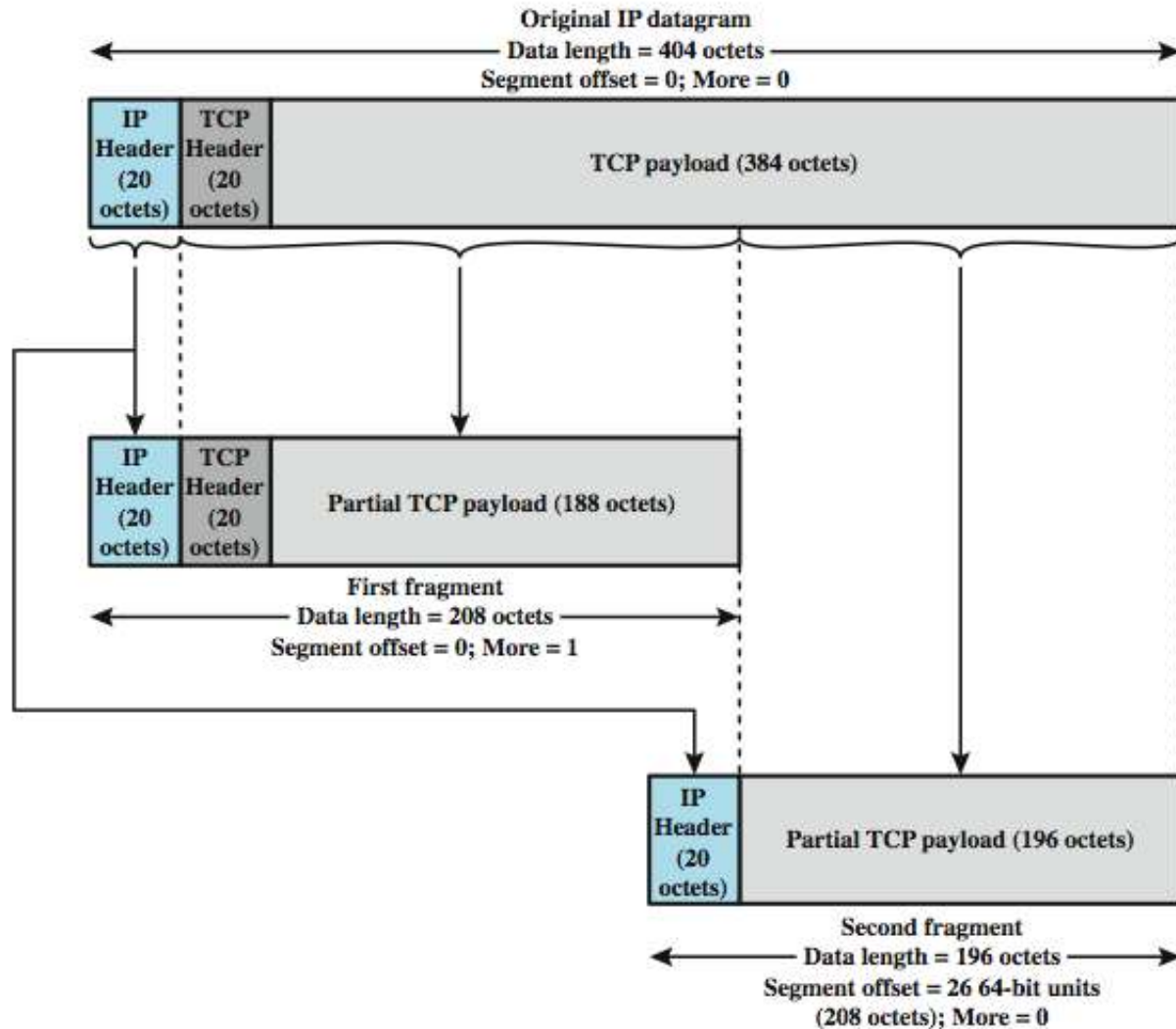
# Fragmentation and Re-assembly

- may have different packet sizes
  - on networks along path used by datagram
- issue of when to re-assemble
  - at destination
    - packets get smaller as data traverses internet
  - intermediate re-assembly
    - need large buffers at routers
    - buffers may fill with fragments
    - all fragments must go through same router

# IP Fragmentation

- IP re-assembles at destination only
- uses fields in header
  - Data Unit Identifier (ID)
    - identifies end system originated datagram
  - Data length
    - length of user data in octets
  - Offset
    - position of fragment of user data in original datagram
    - in multiples of 64 bits (8 octets)
  - *More* flag
    - indicates that this is not the last fragment

# Fragmentation Example



# Dealing with Failure

- re-assembly may fail if some fragments get lost
- need to detect failure
- re-assembly time out
  - assigned to first fragment to arrive
  - if timeout expires before all fragments arrive, discard partial data
- use packet lifetime (time to live in IP)
  - if time to live runs out, kill partial data

# Error Control

- no guaranteed delivery
- router should attempt to inform source if packet discarded
- source may modify transmission strategy
- may inform high layer protocol
- need datagram identification
- see ICMP in next section



# Flow Control

- allows routers and/or stations to limit rate of incoming data
- limited in connectionless systems
- send flow control packets to request reduced flow
- see ICMP in next section