



西北師範大學  
NORTHWEST NORMAL UNIVERSITY

# 計算機網絡

## 緒論 (2)

陳旺虎

[chenwh@nwnu.edu.cn](mailto:chenwh@nwnu.edu.cn)



# 第 1 章 概述

1.1 计算机网络在信息时代中的作用

1.2 因特网概述

1.3 因特网的组成

1.4 计算机网络在我国的发展

1.5 计算机网络的类别

1.6 计算机网络的性能

1.7 计算机网络的体系结构

# Review



- 计算机网络
- 英特网
- 三种交换方式

# 1.6 计算机网络的性能

## 1.6.1 计算机网络的性能指标

### 1. 速率

- **速率即数据率(data rate)或比特率(bit rate)**
  - 是计算机网络中最重要的一一个性能指标。速率的单位是 **b/s**，或**kb/s**, **Mb/s**, **Gb/s** 等
  - **比特 (bit)** 是计算机中数据量的单位，也是信息论中使用的信息量的单位。
  - **Bit** 来源于 **binary digit**，意思是一个“二进制数字”，因此一个比特就是二进制数字中的一个 **1** 或 **0**。

## 2. 带宽

- “带宽” (bandwidth) 的本质
  - 信号具有的频带宽度，单位是赫（或千赫、兆赫、吉赫等）。
  - 例如：电话信号带宽3.1kHz（300Hz~3.4kHz）
- 计算机网络中
  - “带宽” 指数字信道所能传送的“最高数据率”的同义语，单位是“比特每秒”，或 b/s (bit/s)。

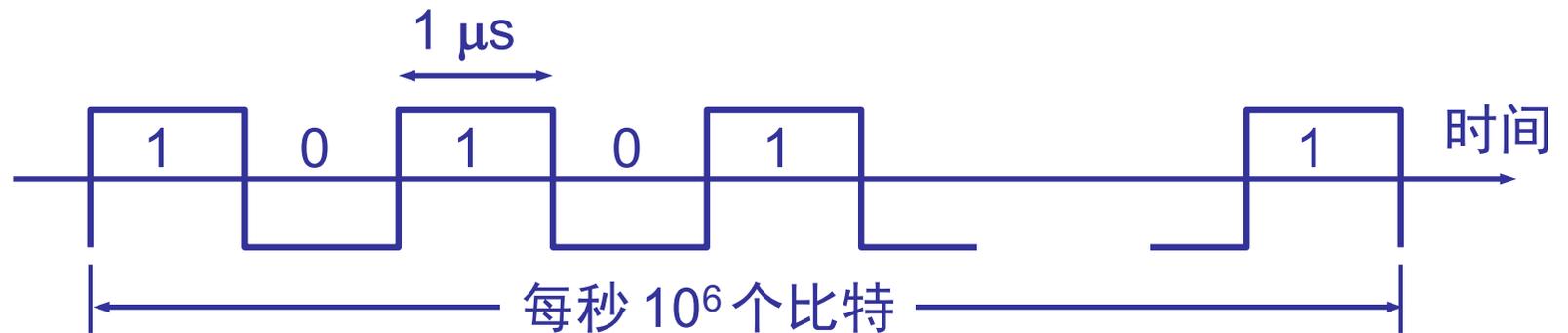
# 常用的带宽单位

- 更常用的带宽单位
  - ▣ 千比每秒，即 kb/s ( $10^3$  b/s)
  - ▣ 兆比每秒，即 Mb/s ( $10^6$  b/s)
  - ▣ 吉比每秒，即 Gb/s ( $10^9$  b/s)
  - ▣ 太比每秒，即 Tb/s ( $10^{12}$  b/s)
- 严格来说，数字网络的带宽应使用波特率来表示 (baud)，表示每秒的脉冲数。 (Why?)

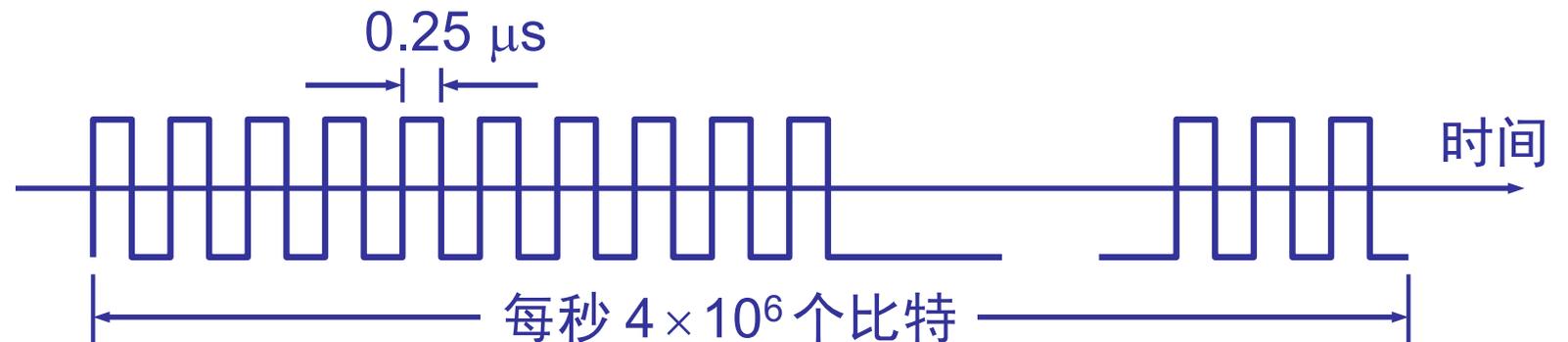
# 数字信号流随时间的变化

- 在时间轴上信号的宽度随带宽的增大而变窄。

带宽为  
1 Mb/s



带宽为  
4 Mb/s



- 码元(Code Cell)

- ▣ 时间轴上的一个信号编码单元

- 波特(Baud)

- ▣ 码元传输的速率单位。波特率为每秒传送的码元数(即信号传送速率)。

- 通过不同的调制方法可以在一个码元上负载多个比特信息，即

- ▣ 一个信号往往可以携带多个二进制位，所以在固定的信息传输速率下，**比特率往往大于波特率**。

- ▣ 换句话说，一个码元中可以传送多个比特。

### 3. 吞吐量

- 吞吐量(throughput)
  - 表示在单位时间内通过某个网络（或信道、接口）的数据量。
- 吞吐量更经常地用于对现实世界中的网络的一种测量，以便知道实际上到底有多少数据量能够通过网络。
- 吞吐量受网络的带宽或网络的额定速率的限制。

## 4. 时延(delay 或latency)

### □ 传输时延（发送时延）

- 发送数据时，数据块从结点进入到传输媒体所需要的时间。
- 也就是从发送数据帧的第一个比特算起，到该帧的最后一个比特发送完毕所需的时间。

$$\text{发送时延} = \frac{\text{数据块长度（比特）}}{\text{发送速率（比特/秒）}}$$

# 时延(delay 或 latency)

## □ 传播时延

□ 电磁波在信道中需要传播一定的距离而花费的时间。

□ 信号**传输速率**（即发送速率）和信号在信道上的**传播速率**是完全不同的概念。

$$\text{传播时延} = \frac{\text{信道长度 (米)}}{\text{信号在信道上的传播速率 (米/秒)}}$$

# 时延(delay 或 latency)

- **处理时延** 交换结点为存储转发而进行一些必要的处理所花费的时间。
- **排队时延** 结点缓存队列中分组**排队**所经历的时延。
- 排队时延的长短往往取决于网络中**当时的通信量**。

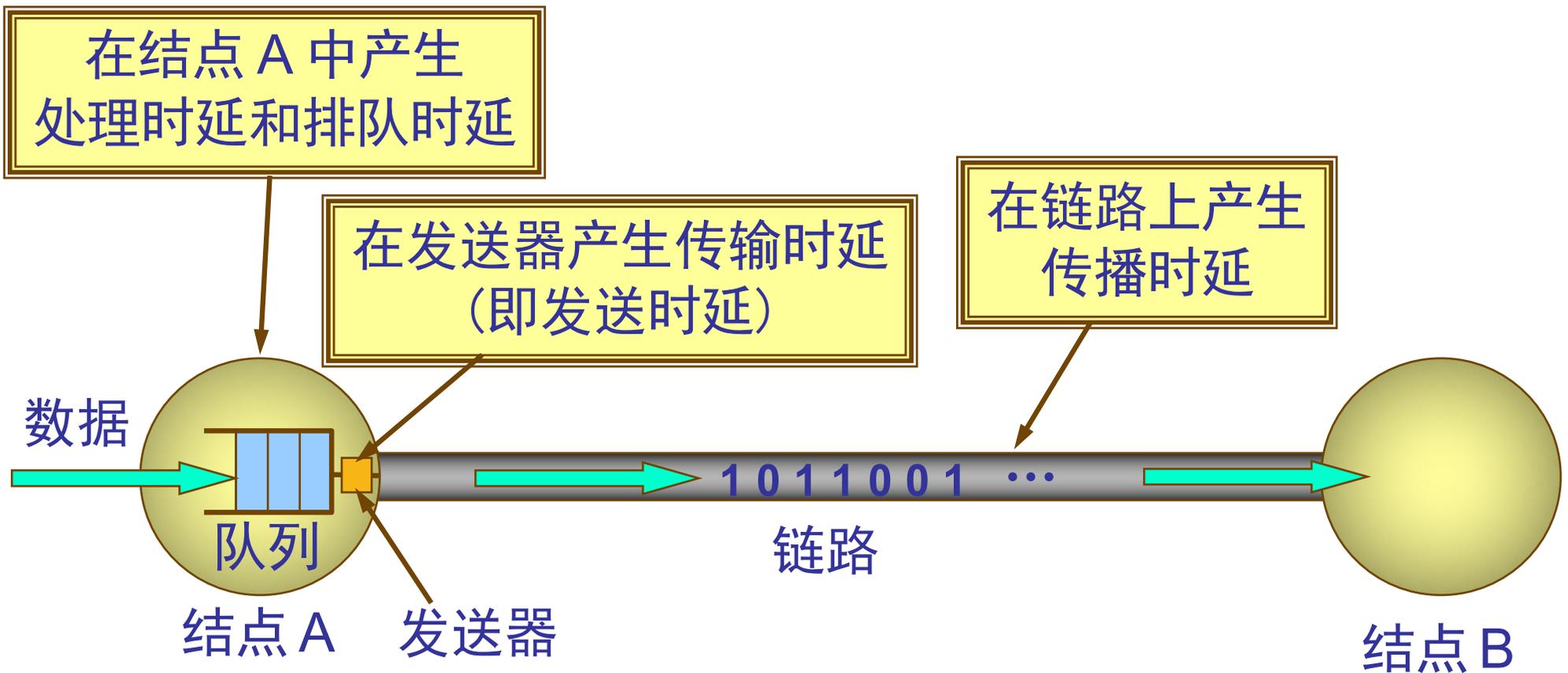
# 时延(delay 或 latency)

- 数据经历的总时延就是发送时延、传播时延、处理时延和排队时延之和：

**总时延 = 发送时延 + 传播时延 + 处理时延 + 排队时延**

# 四种时延所产生的地方

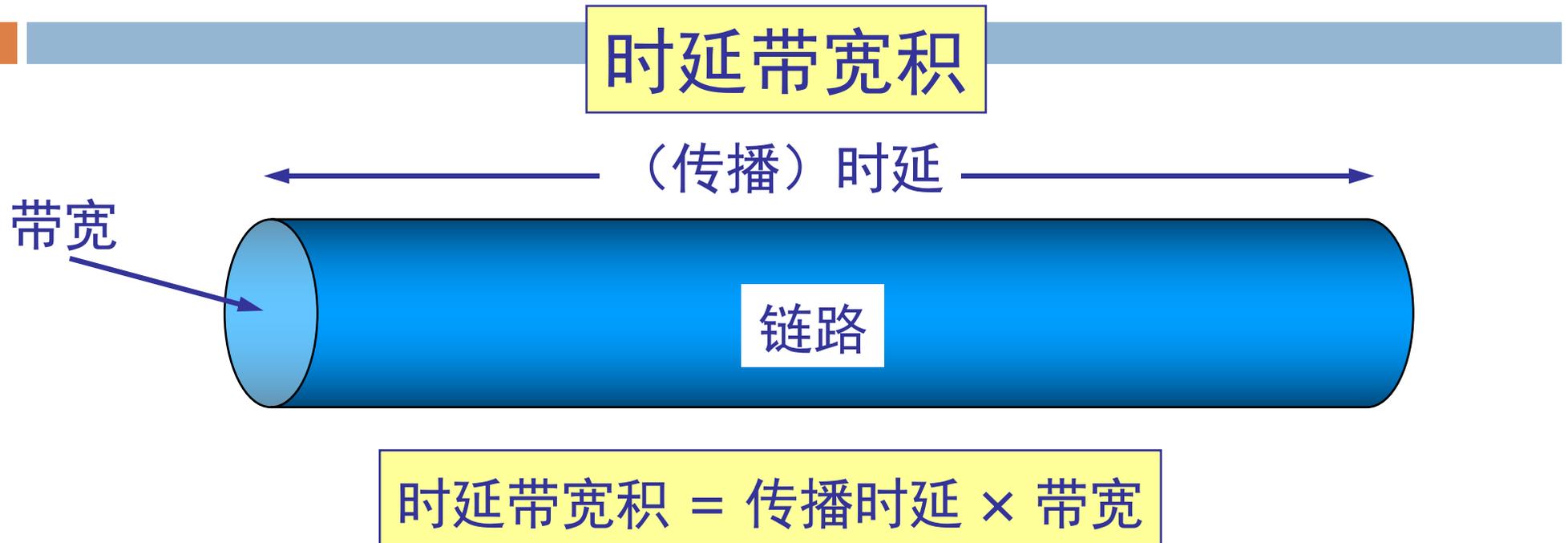
## 从结点 A 向结点 B 发送数据



# 思考

- 高速网络链路提高的是数据的发送速率，还是比特在链路上传播速率？
- 注意
  - ▣ 提高的是发送速率
  - ▣ 提高链路带宽减小了数据的发送时延。

## 5. 时延带宽积



- 发送的第一个比特到达终点时，发送端已经发送的比特数
- 链路的时延带宽积又称为以**比特**为单位的链路长度。

# 举例

- 时延：  $D = 50 \text{ ms}$
- 带宽：  $B = 45 \text{ Mbps}$
- 时延带宽积：
  - ▣  $D \times B = 50 \times 10^{-3} \text{ s} \times 45 \times 10^6 \text{ b/s}$   
 $= 2.25 \times 10^6 \text{ bit}$

## 6.往返时间RTT

- 往返时间RTT (Round-Trip Time)
  - ▣ 从发送方发送数据开始，到发送方收到来自接收方的确认，总共经历的时间
  - ▣ RTT与发送的分组的长度有关
- 往返时间带宽积
  - ▣ 收到接收方确认时，已经发送的比特数

## 7. 利用率

### □ 信道利用率

- ▣ 某信道有百分之几的时间是被利用的（有数据通过）。
- ▣ 完全空闲的信道的利用率是零。

### □ 网络利用率

- ▣ 全网络的信道利用率的加权平均值。

### □ 思考：信道利用率是否越高越好？

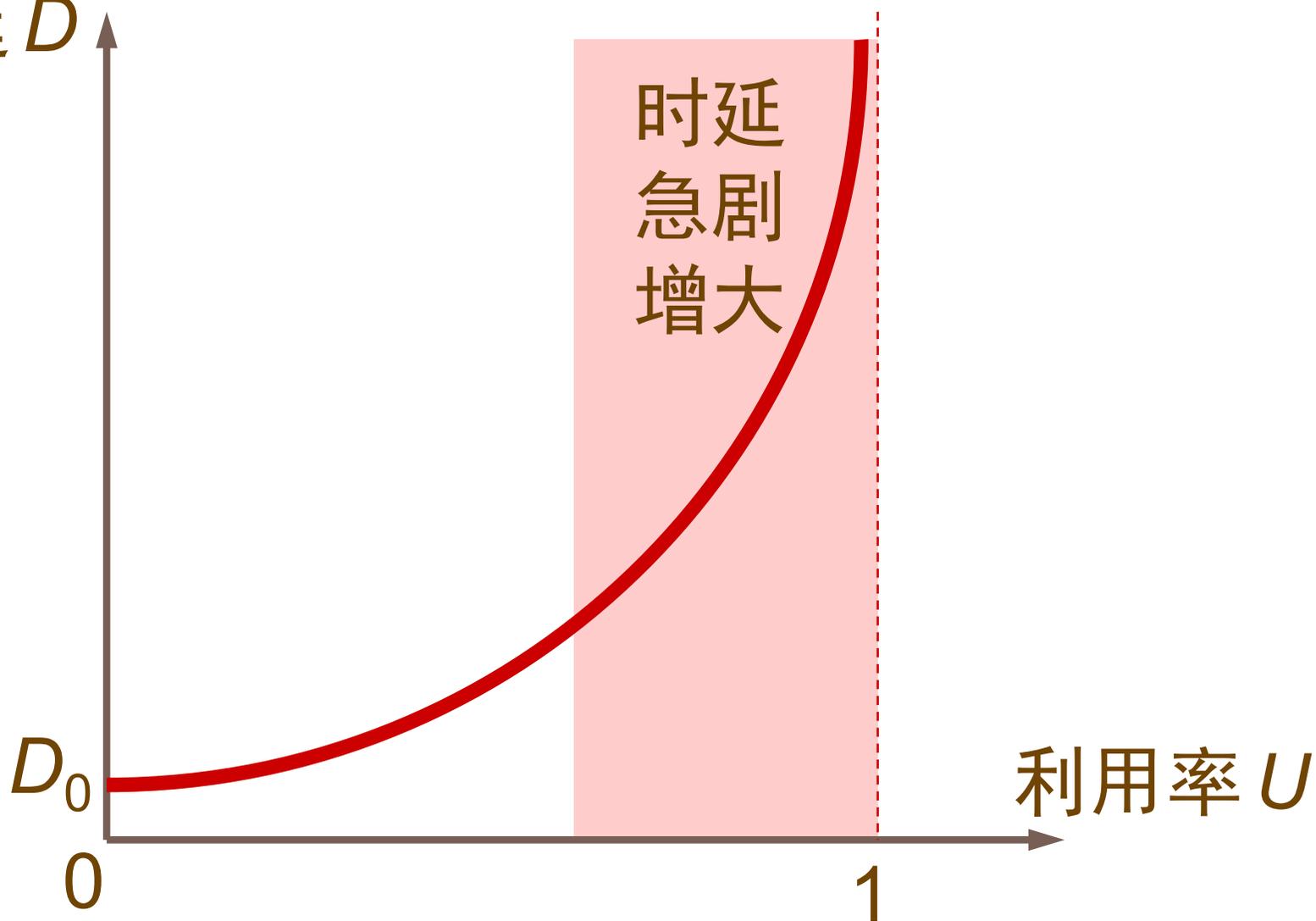
# 时延与网络利用率的关系

- 根据排队论的理论，当某信道的利用率增大时，该信道引起的时延也就迅速增加。
- 若令  $D_0$  表示网络空闲时的时延， $D$  表示网络当前的时延，则在适当的假定条件下，可以用下面的简单公式表示  $D$  和  $D_0$  之间的关系：

$$D = \frac{D_0}{1-U}$$

$U$  是网络的利用率，数值在 0 到 1 之间。

时延  $D$



时延  
急剧  
增大

利用率  $U$

$D_0$

$0$

$1$

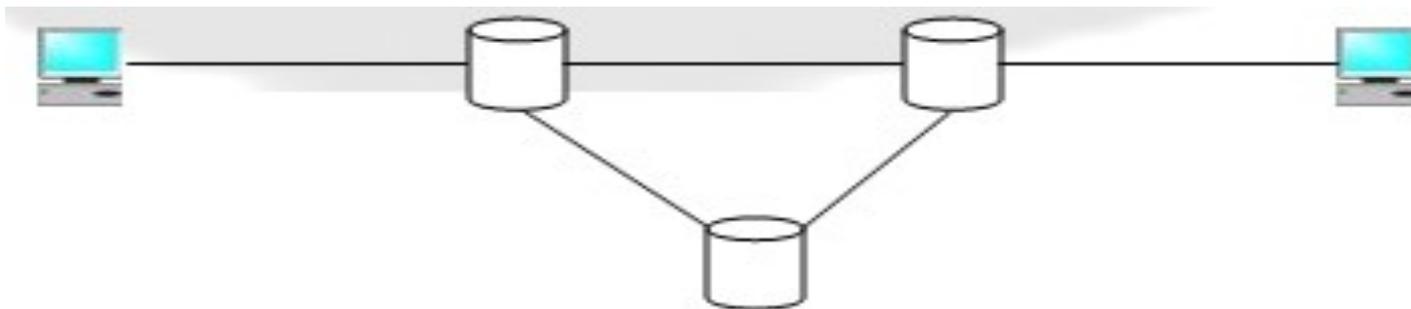
## 1.6.2 计算机网络的非性能特征

- 费用
- 质量
- 标准化
- 可靠性
- 可扩展性和可升级性
- 易于管理和维护

# 研究生入学统考题

- 34、在下图所示的采用“存储-转发”方式分组的交换网络中，所有链路的数据传输速度为**100mbps**，分组大小为**1000B**，其中分组头大小**20B**，若主机**H1**向主机**H2**发送一个大小为**980000B**的文件
  - ▣ 在不考虑分组拆装时间和传播延迟的情况下，从**H1**发送到**H2**接收完为止，需要的时间至少是（ ）

A: 80ms    B: 80.08ms    C: 80.16ms    D: 80.24ms



# 解答

- 所有链路的数据传输速度相同拆分为**1000**个分组，每个分组大小为**1000B**，总共需要传送的数据量大小为**1MB**。
- 文件传输经过最短路径时所需时间最少。
- 当 $t = (1M \times 8) / 100Mbps = 80ms$ 时，H1发送完最后一个bit；
- 最后一个分组，需经过**2**个分组交换机的转发，每次转发的时间为 $t_0 = (1k \times 8) / 100Mbps = 0.08ms$
- 所以，在不考虑分组拆装时间和传播延时的情况下，当 $t = 80ms + 2t_0 = 80.16ms$ 时，H2接收完文件。（C）

# 1.7 计算机网络的体系结构

## 1.7.1 计算机网络体系结构的形成

- 相互通信的两个计算机系统必须高度协调工作，而这种“协调”是相当复杂的。
  - 例如：文件传输（通路，格式协商，差错的控制）
- “分层”思想
  - Apanet设计时即提出该思想
  - 可将庞大而复杂的问题，转化为若干较小的局部问题
  - 而较小的局部问题就比较易于研究和处理。

- 1974年，IBM宣布了其网络标准——系统网络体系结构（System Network Architecture）
- SNA基于分层结构
- 不同商业公司的网络体系结构的出现，使得异构网络的互联面临巨大困难
- ISO于1983年推出了OSI/RM

# 开放系统互连参考模型OSI/RM

## □ 目标

- 只要遵循 OSI 标准，一个系统就可以和位于世界上任何地方的、也遵循该标准的其他任何系统进行通信

## □ 在市场化方面 OSI 却失败了

- OSI 的专家们在完成 OSI 标准时没有商业驱动力；
- OSI 的协议实现起来过分复杂，且运行效率很低；
- OSI 标准的制定周期太长，因而使得按 OSI 标准生产的设备无法及时进入市场；
- OSI 的层次划分也不太合理，有些功能在多个层次中重复出现。

# 两种国际标准

- 法律上的国际标准 **OSI** 并没有得到市场的认可。
- 而非国际标准的 **TCP/IP** 现在获得了最广泛的应用。
  - ▣ **TCP/IP** 常被称为**事实上的国际标准**。

## 1.7.2 协议与划分层次

- 计算机网络中的数据交换**必须遵守事先约定好的规则**。
  - ▣ 这些规则明确规定了所交换的数据的格式以及有关的同步问题（同步含有时序的意思）。
- **网络协议(network protocol)**
  - ▣ 简称为**协议**，是为进行网络中的数据交换而建立的规则、标准或约定。

# 网络协议的组成要素

- 语法 数据与控制信息的结构或格式。
- 语义 需要发出何种控制信息，完成何种动作以及做出何种响应。
- 同步 事件实现顺序的详细说明。

# 举例：划分层次



- 主机 1 向主机 2 通过网络发送文件。
- 可以将要做的工作进行如下的划分：

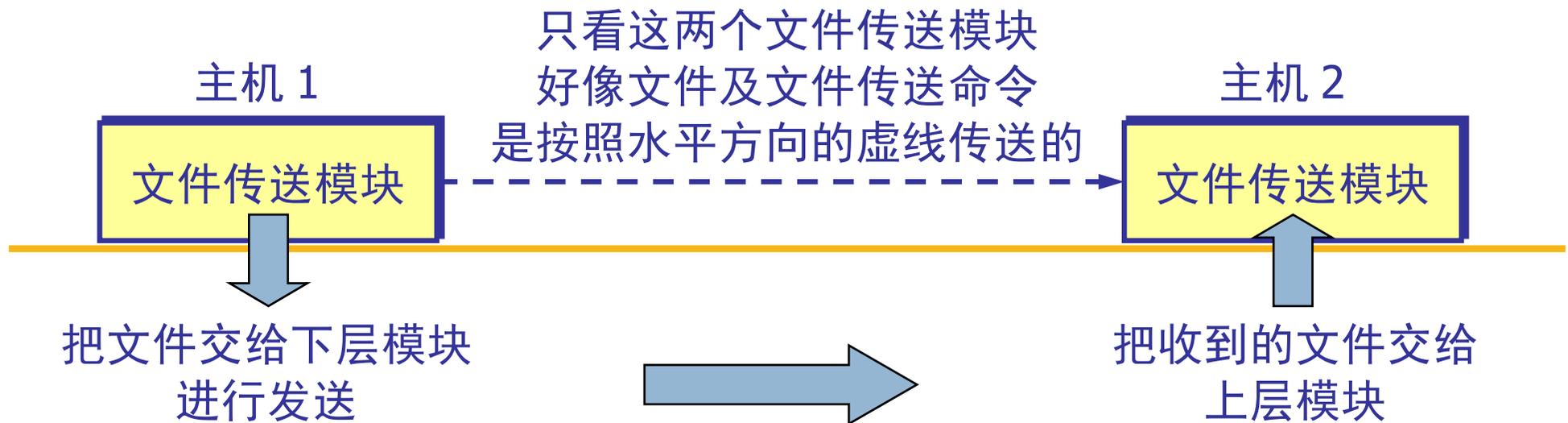
# 两个主机交换文件

第一类工作与传送文件直接有关。

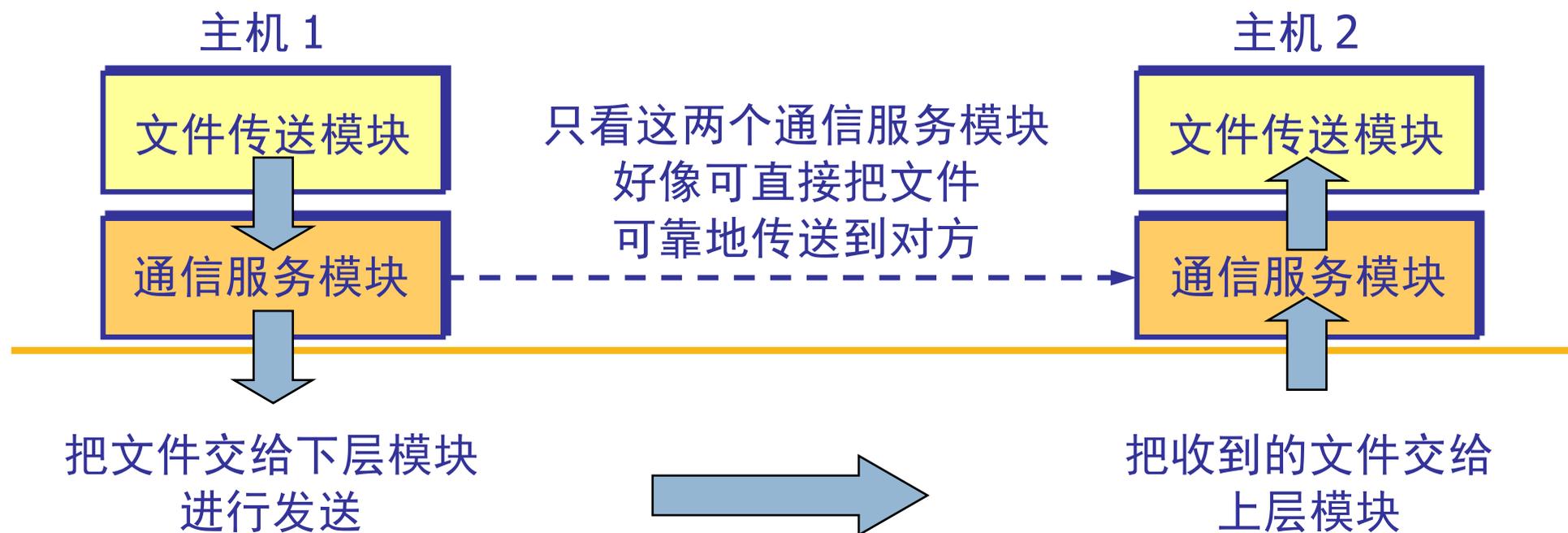
确信对方已做好接收和存储文件的准备。

双方协调好一致的文件格式。

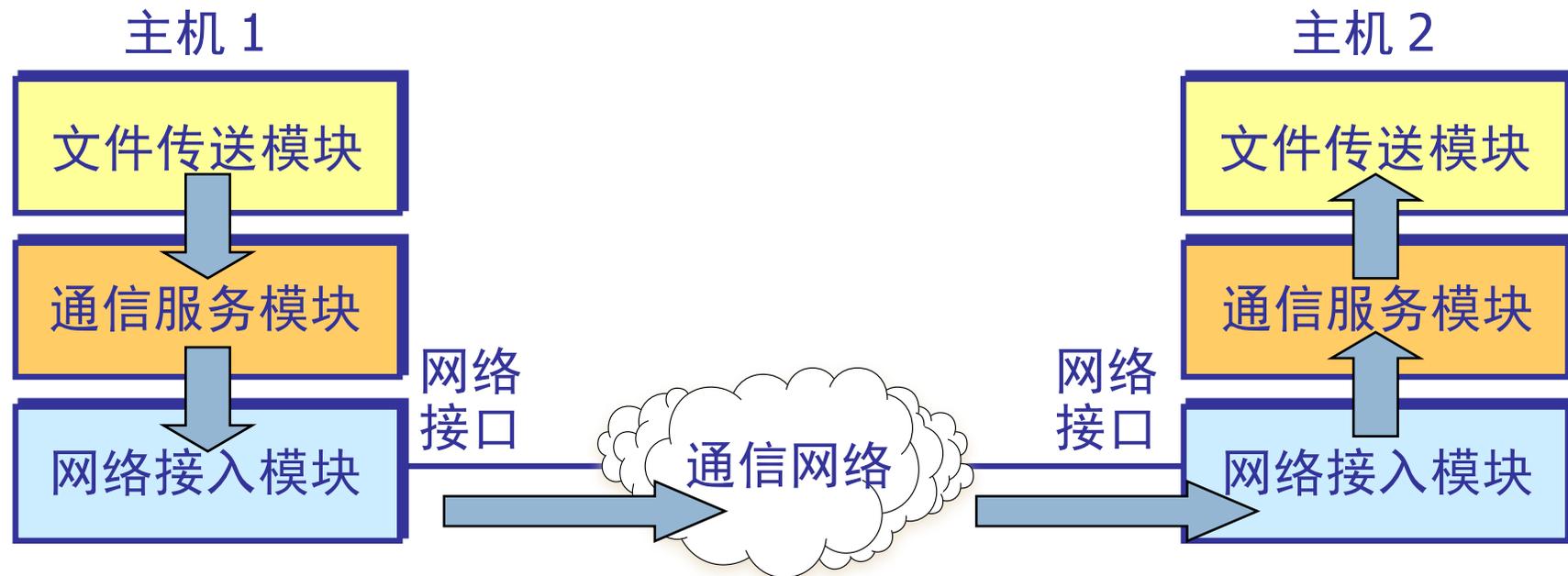
两个主机将文件传送模块作为最高的一层。剩下的工作由下面的模块负责。



# 再设计一个通信服务模块



# 再设计一个网络接入模块



网络接入模块负责做与网络接口细节有关的工作  
例如，规定传输的帧格式，帧的最大长度等。

# 分层的好处



- 各层之间是独立的。
- 灵活性好。
- 结构上可分割开。
- 易于实现和维护。
- 能促进标准化工作。

# 层数多少要适当

- 若层数太少，就会使每一层的协议太复杂。
- 层数太多又会在描述和综合各层功能的系统工程任务时遇到较多的困难。

# 计算机网络的体系结构

- 计算机网络的**体系结构(architecture)**
  - 是计算机网络的各层及其协议的集合。
  - 体系结构就是这个计算机网络及其构件所应完成的功能的**精确定义**。
- **协议实现(implementation)**
  - 是遵循这种体系结构的前提下用何种硬件或软件完成这些功能的问题。
- 体系结构是抽象的，而实现则是具体的，是真正正在运行的计算机硬件和软件。

## 1.7.2具有五层协议的体系结构

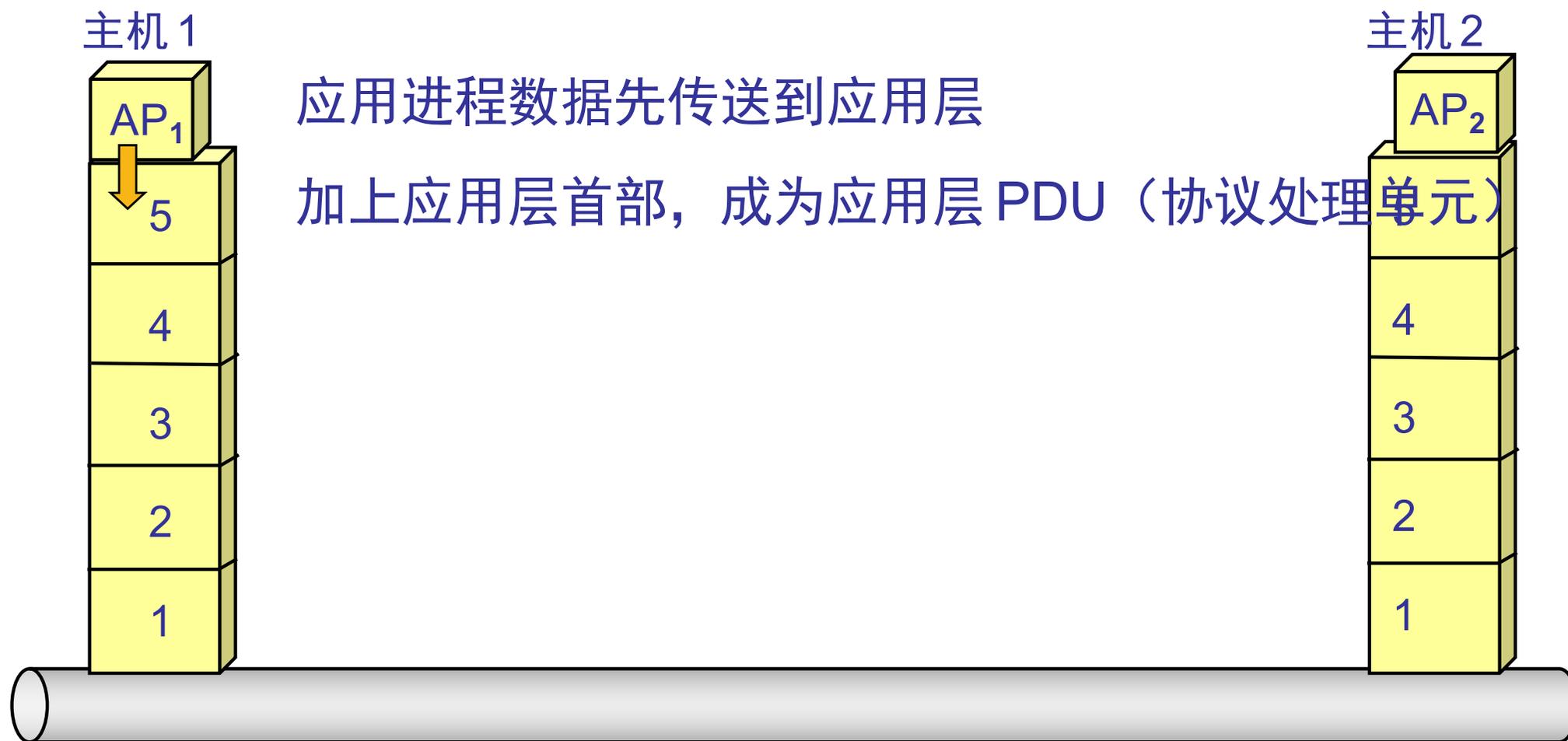
- **OSI**采用七层的体系结构
  - ▣ 应用层，表示层，会话层，传输层，网络层，数据链路层，物理层；
- **TCP/IP** 采用四层的体系结构
  - ▣ 应用层、运输层、网际层和网络接口层；
  - ▣ 但网络接口层并没有具体内容。
- 因此，网络理论中，通常综合 **OSI** 和 **TCP/IP** 的优点，采用一种只有五层协议的体系结构

# 五层协议的体系结构

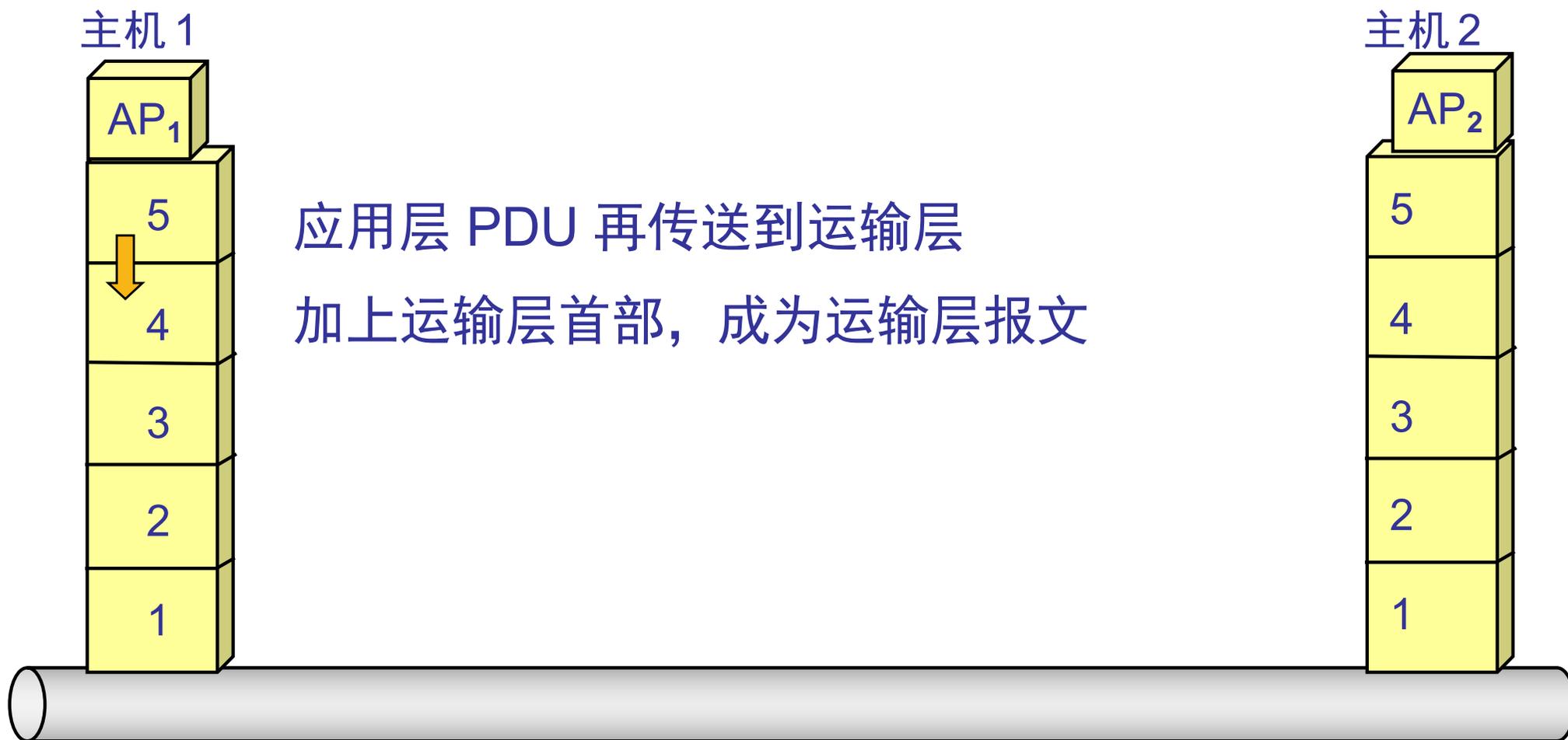


- 应用层(application layer)
- 运输层(transport layer)
- 网络层(network layer)
- 数据链路层(data link layer)
- 物理层(physical layer)

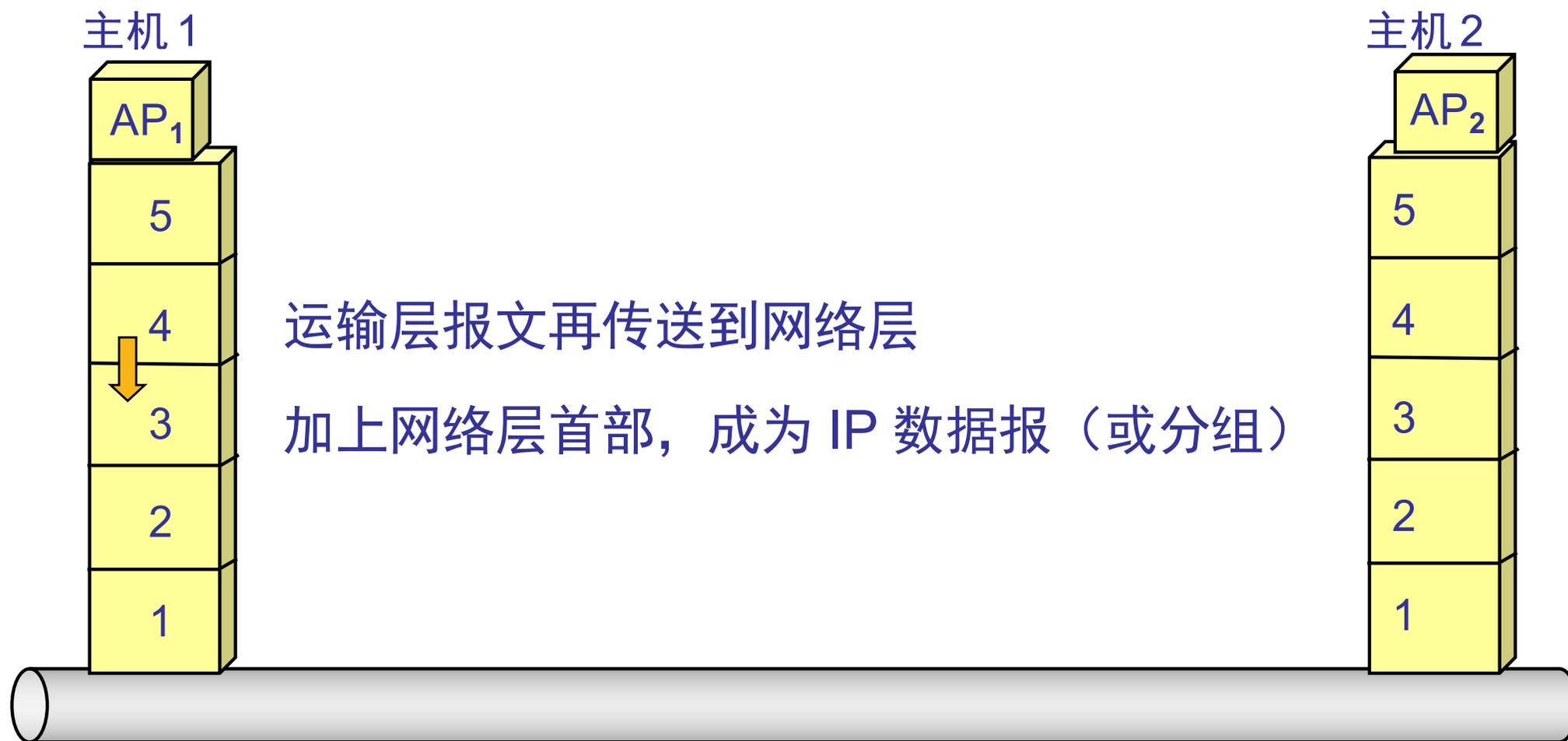
# 主机1向主机2发送数据



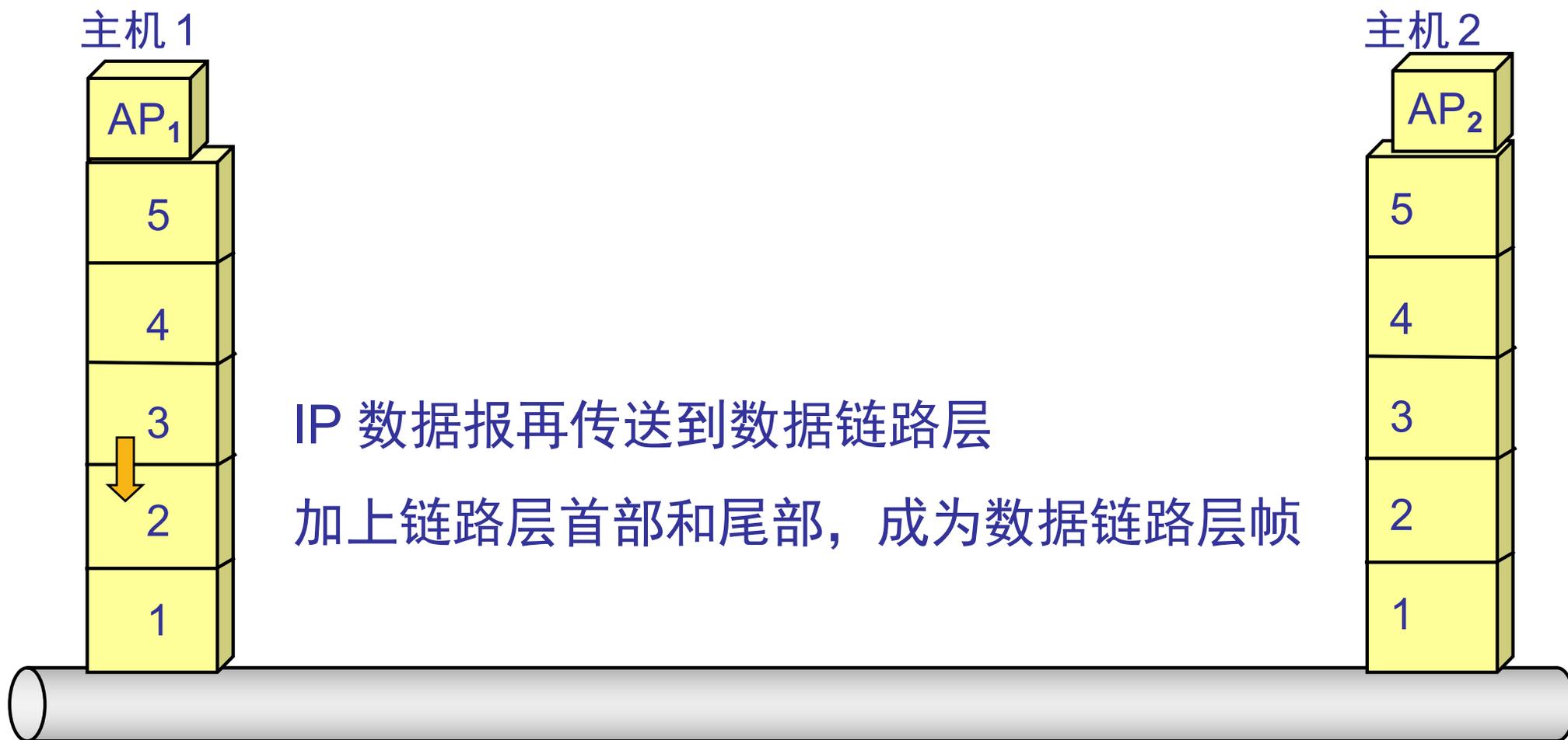
# 主机1向主机2发送数据



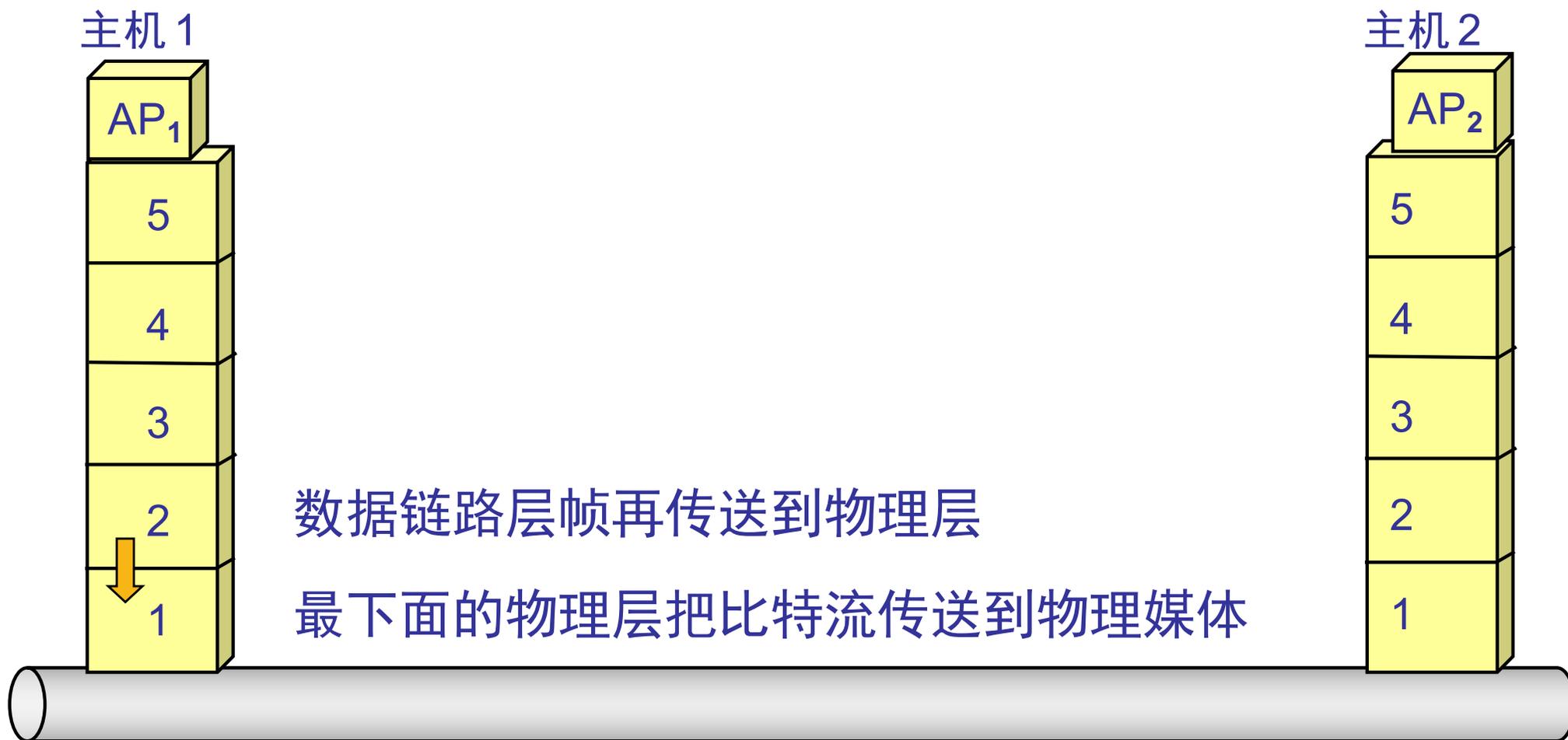
# 主机1向主机2发送数据



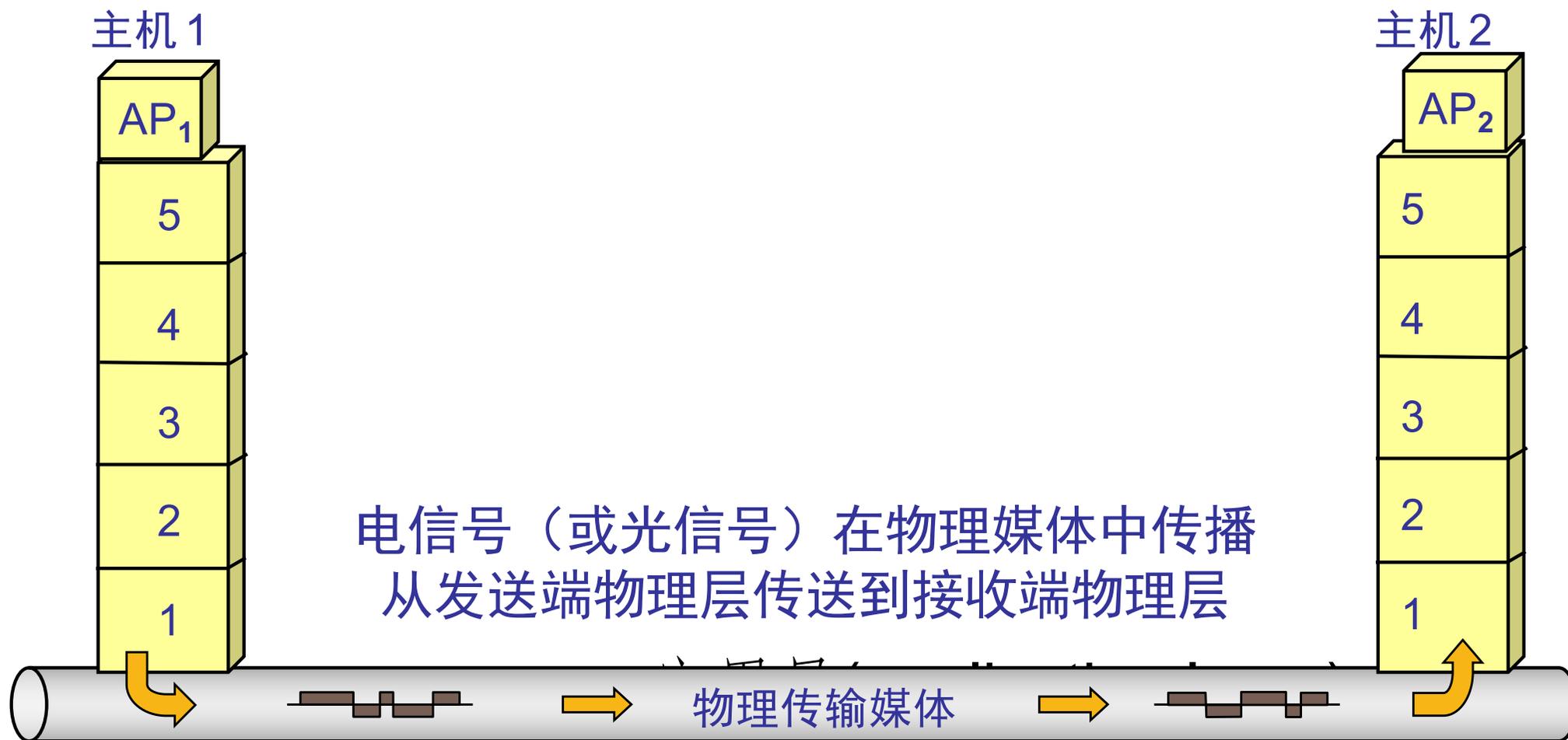
# 主机1向主机2发送数据



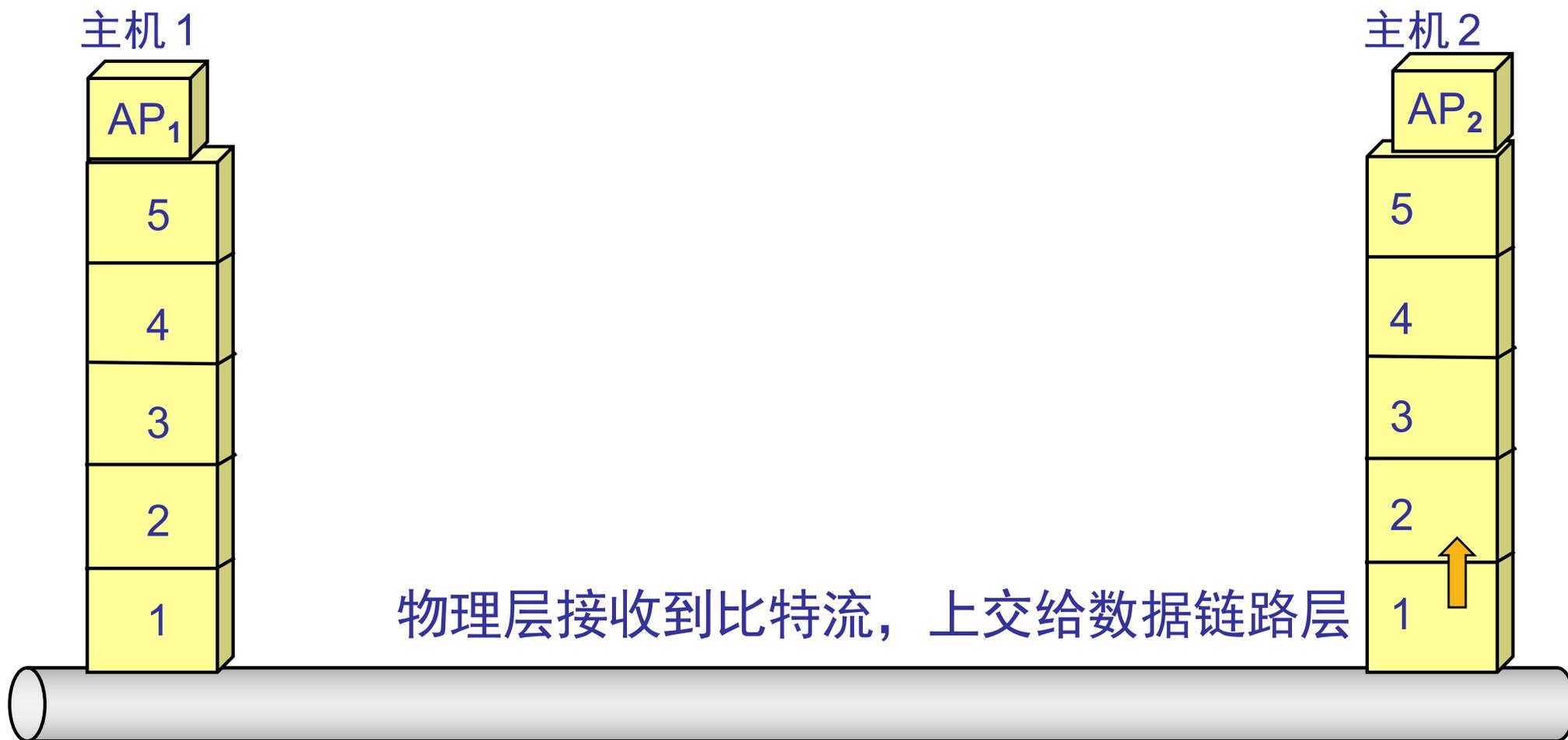
# 主机1向主机2发送数据



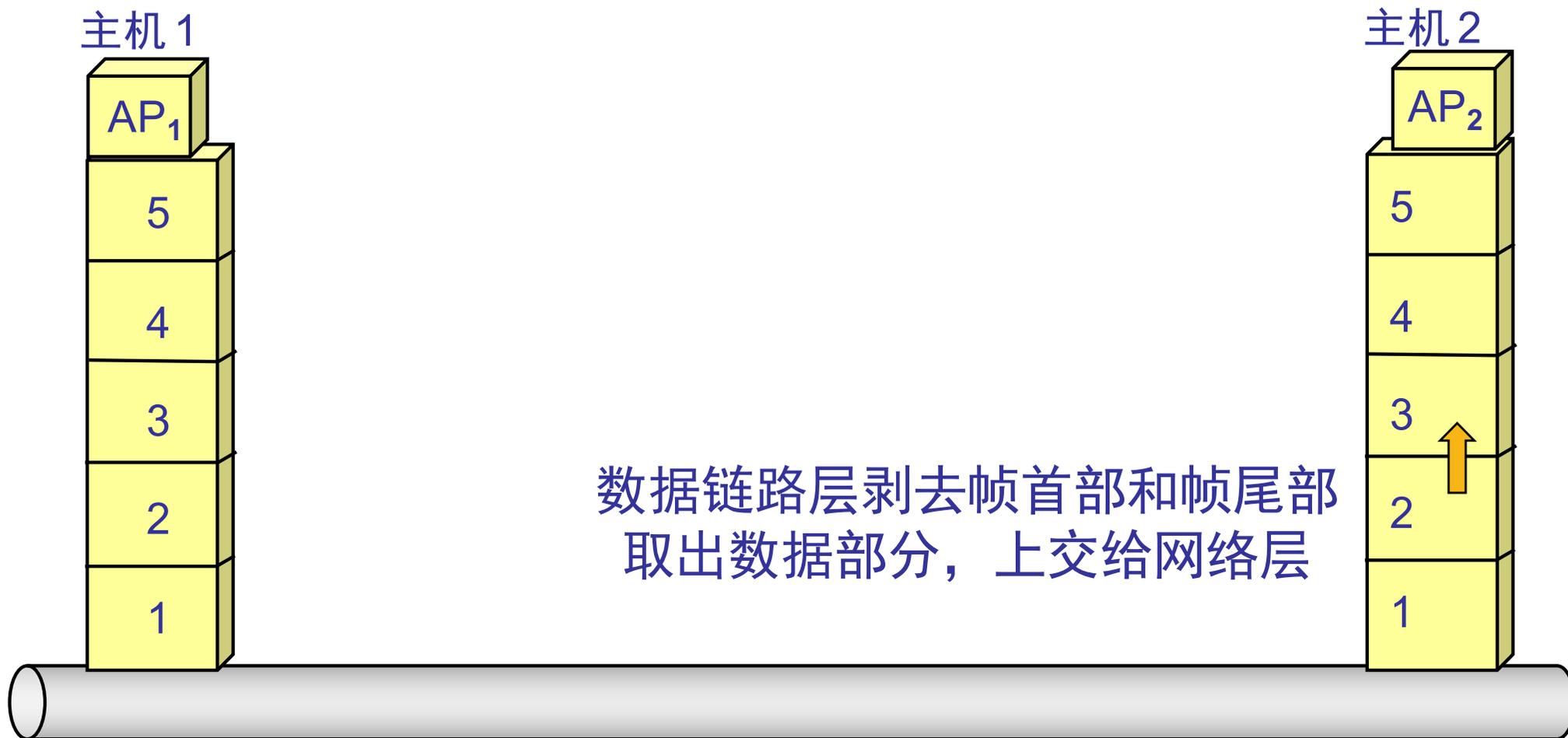
# 主机1向主机2发送数据



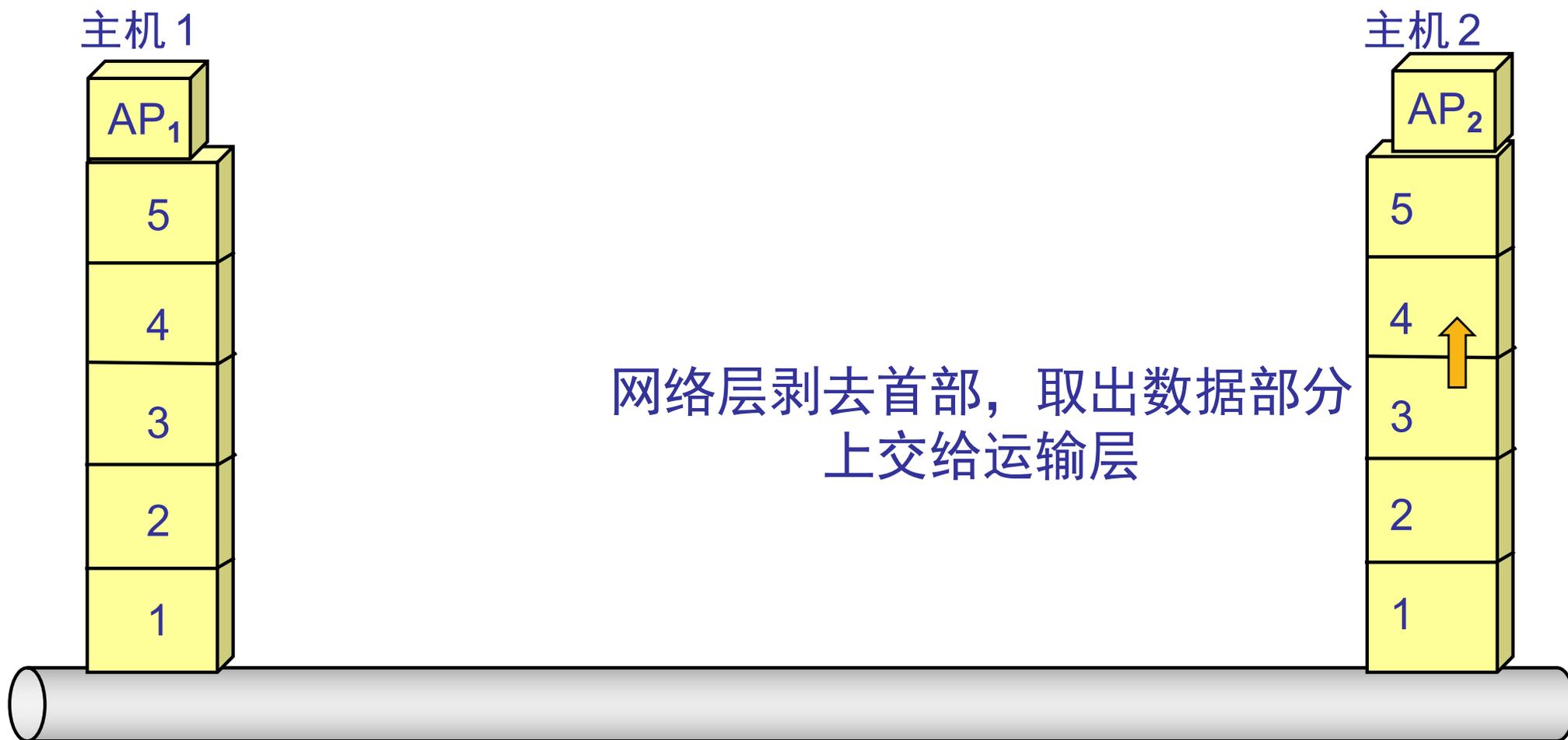
# 主机1向主机2发送数据



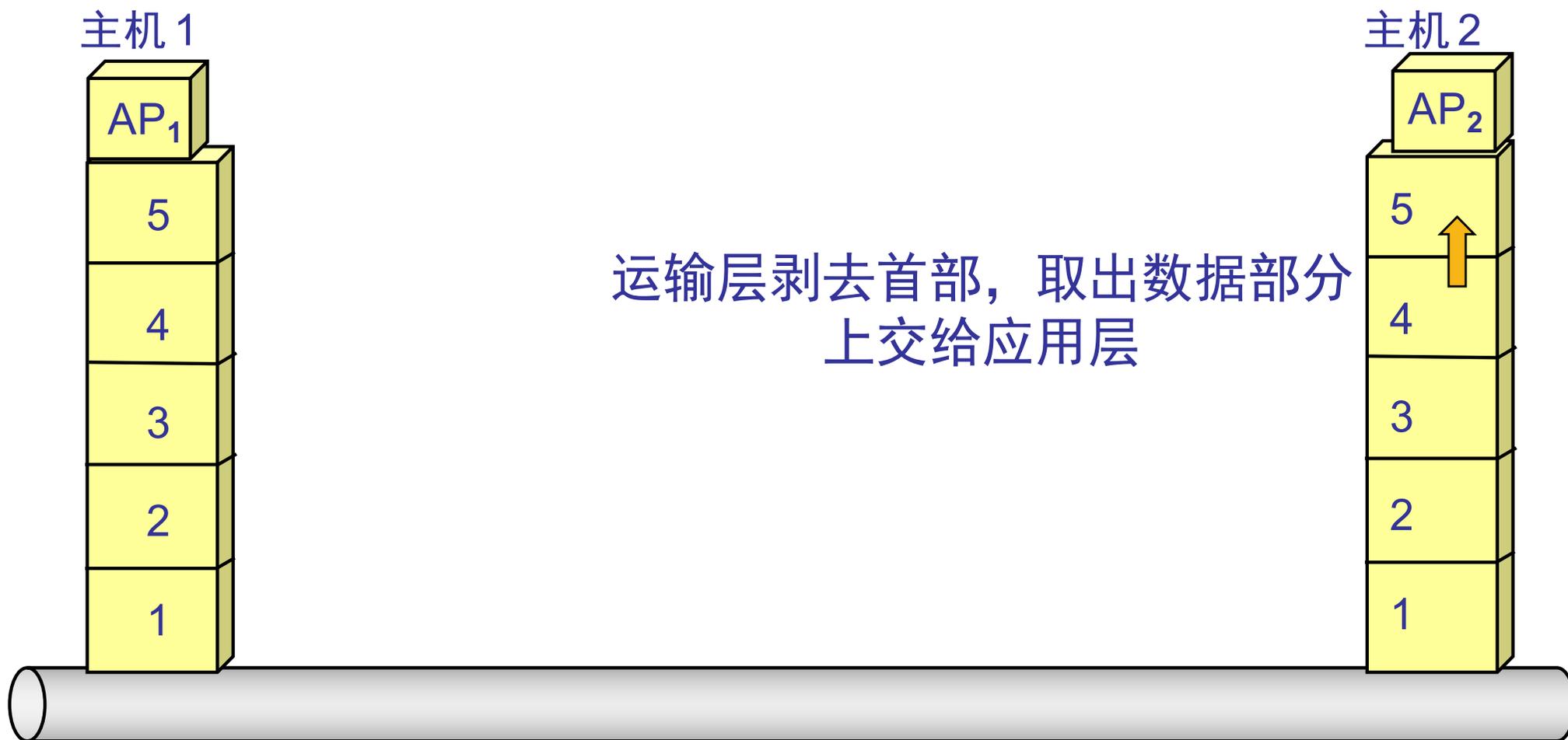
# 主机1向主机2发送数据



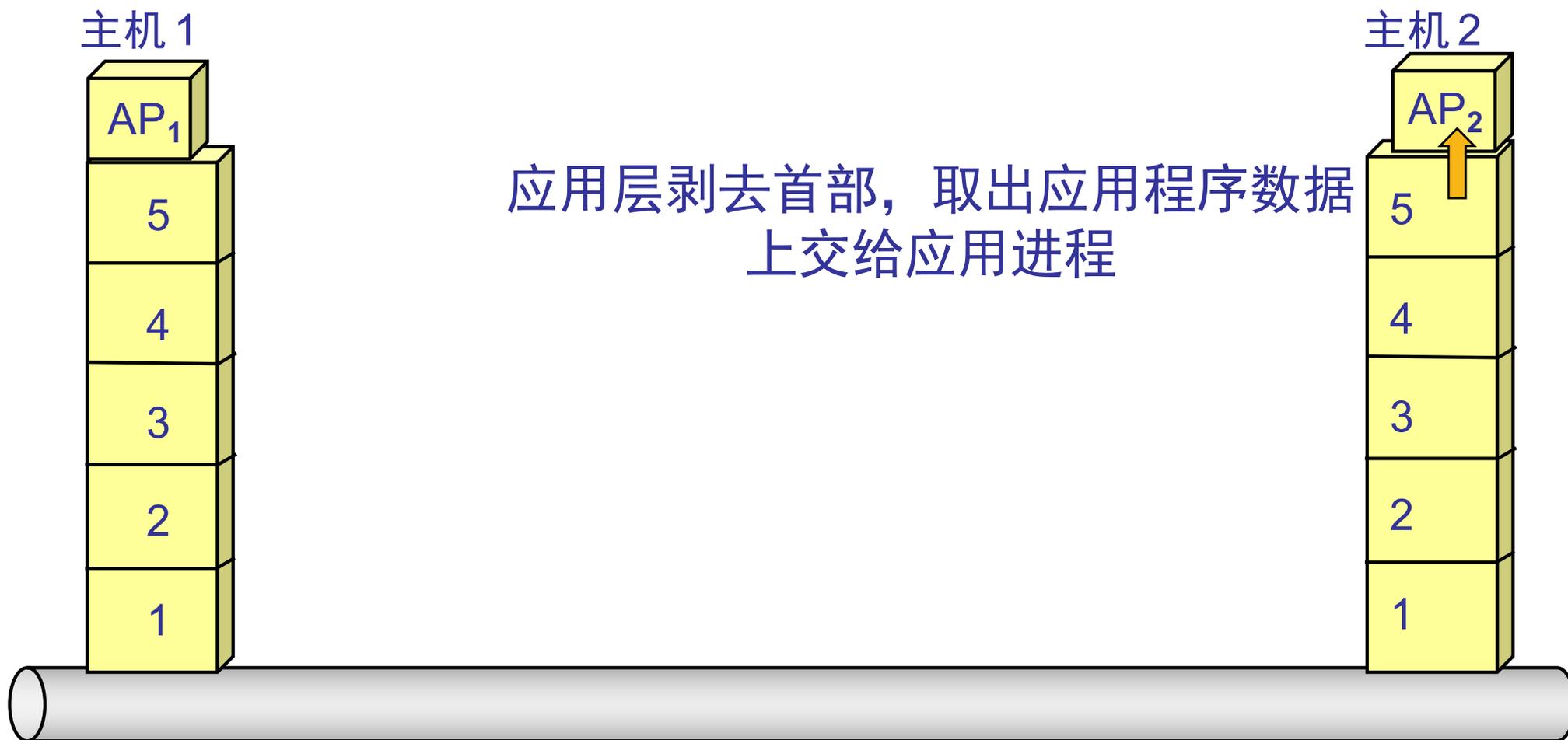
# 主机1向主机2发送数据



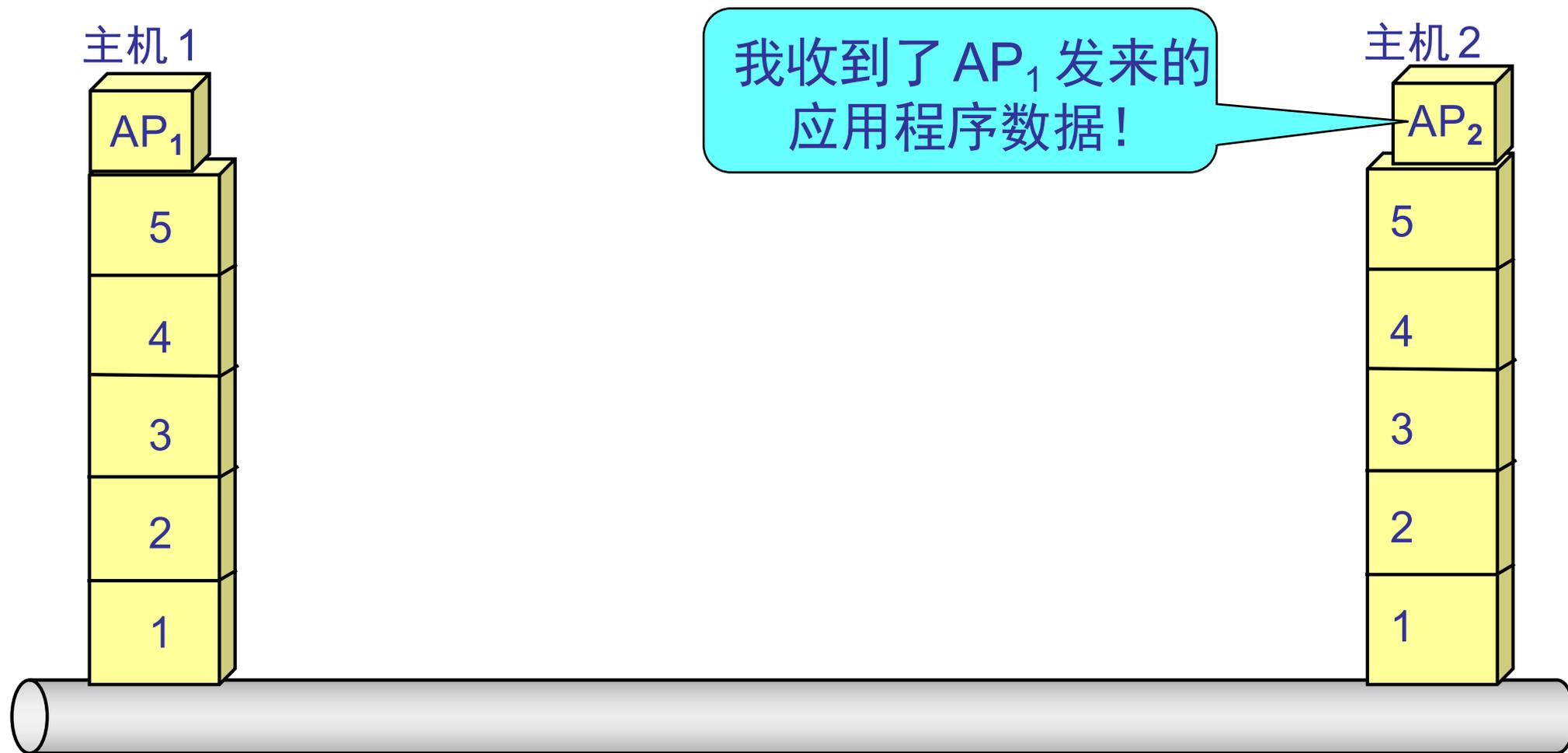
# 主机1向主机2发送数据



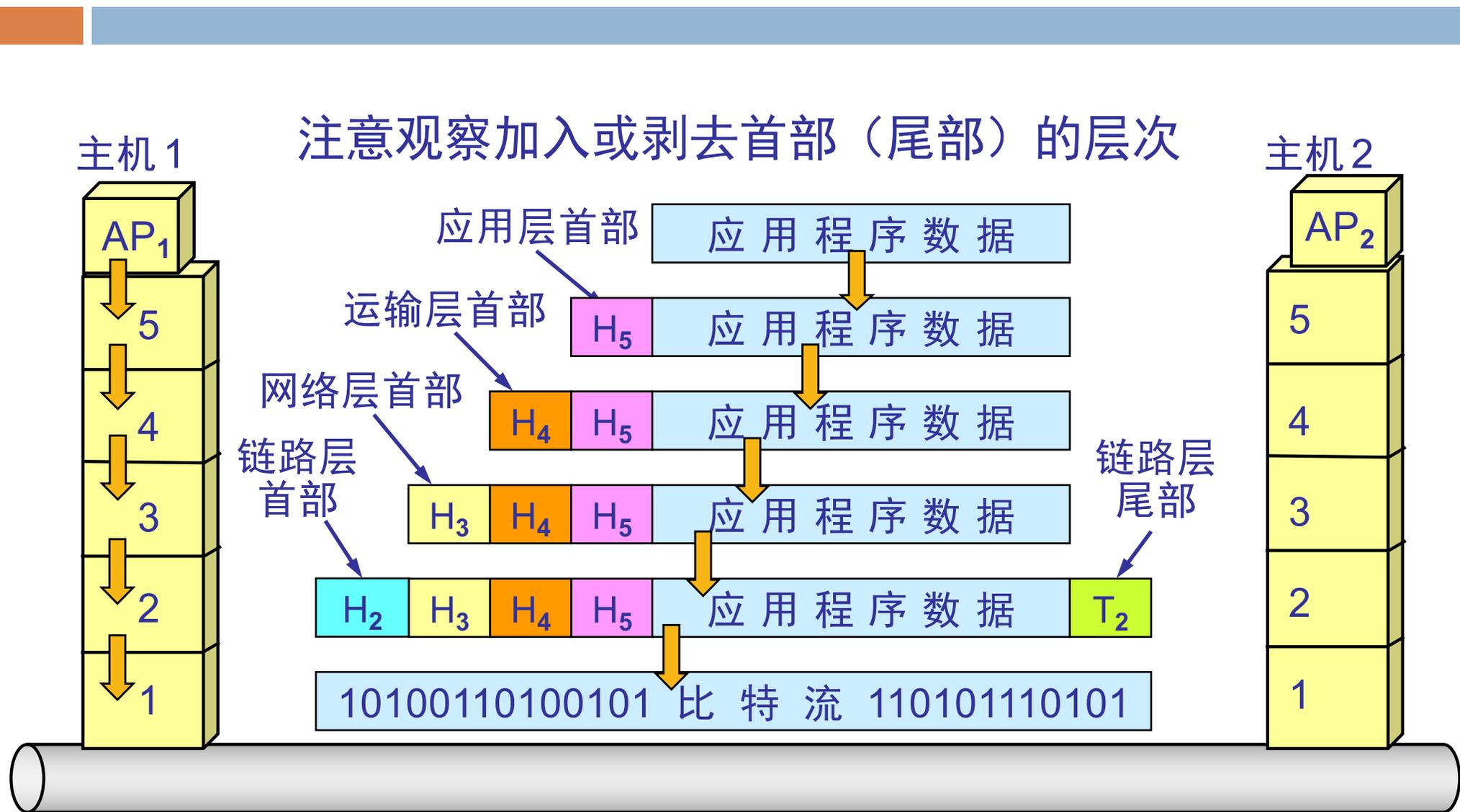
# 主机1向主机2发送数据



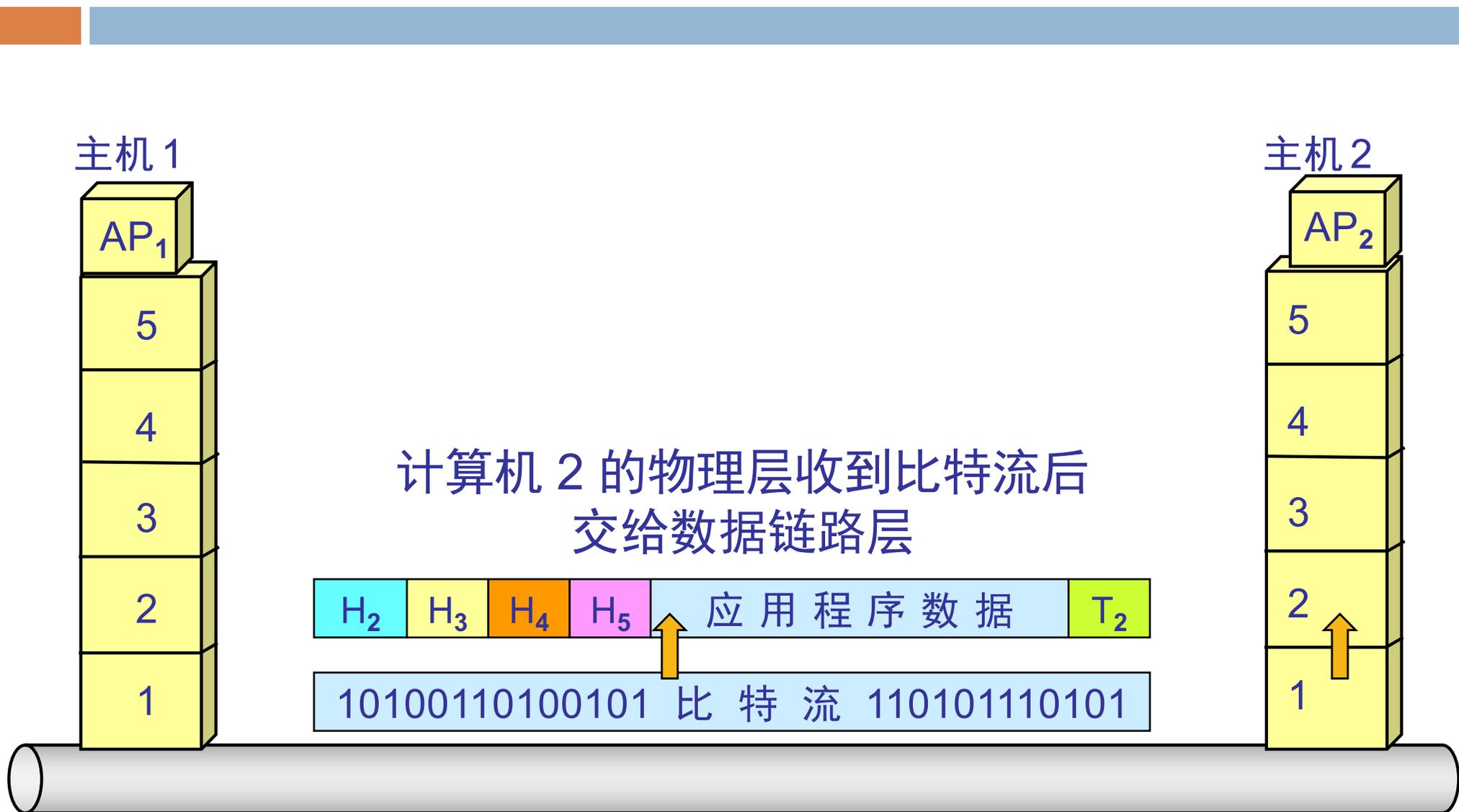
# 主机1向主机2发送数据



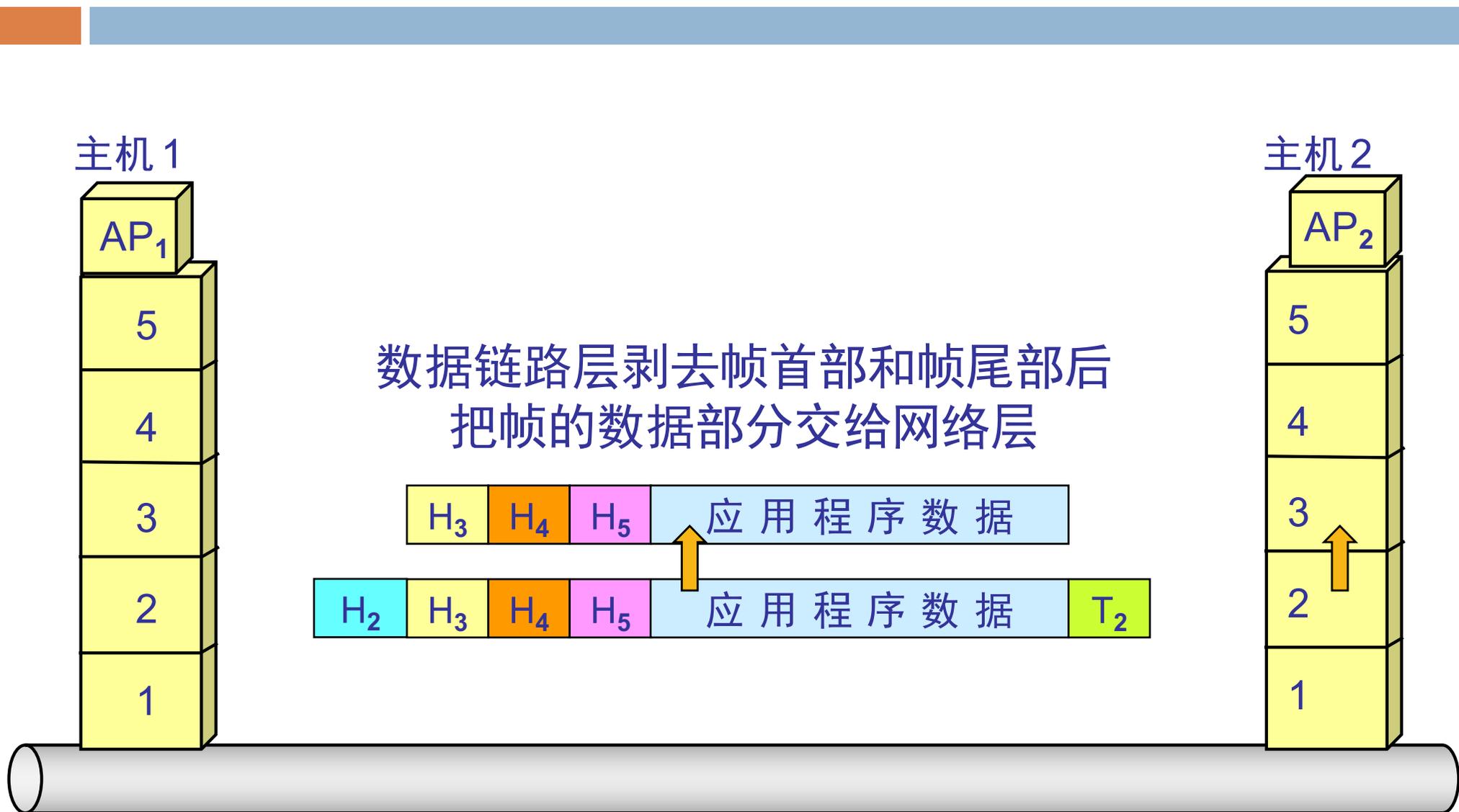
# 主机1向主机2发送数据



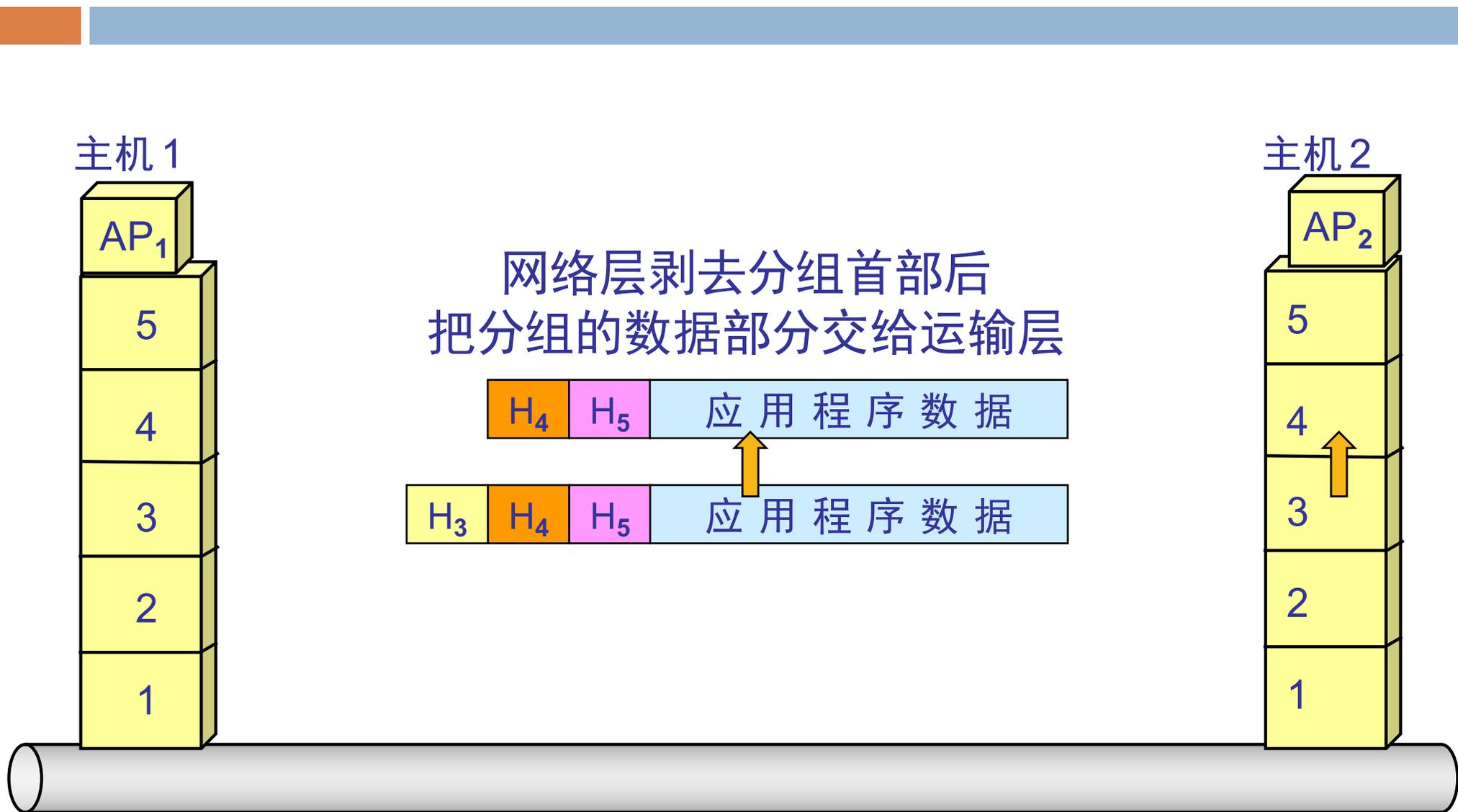
# 主机1向主机2发送数据



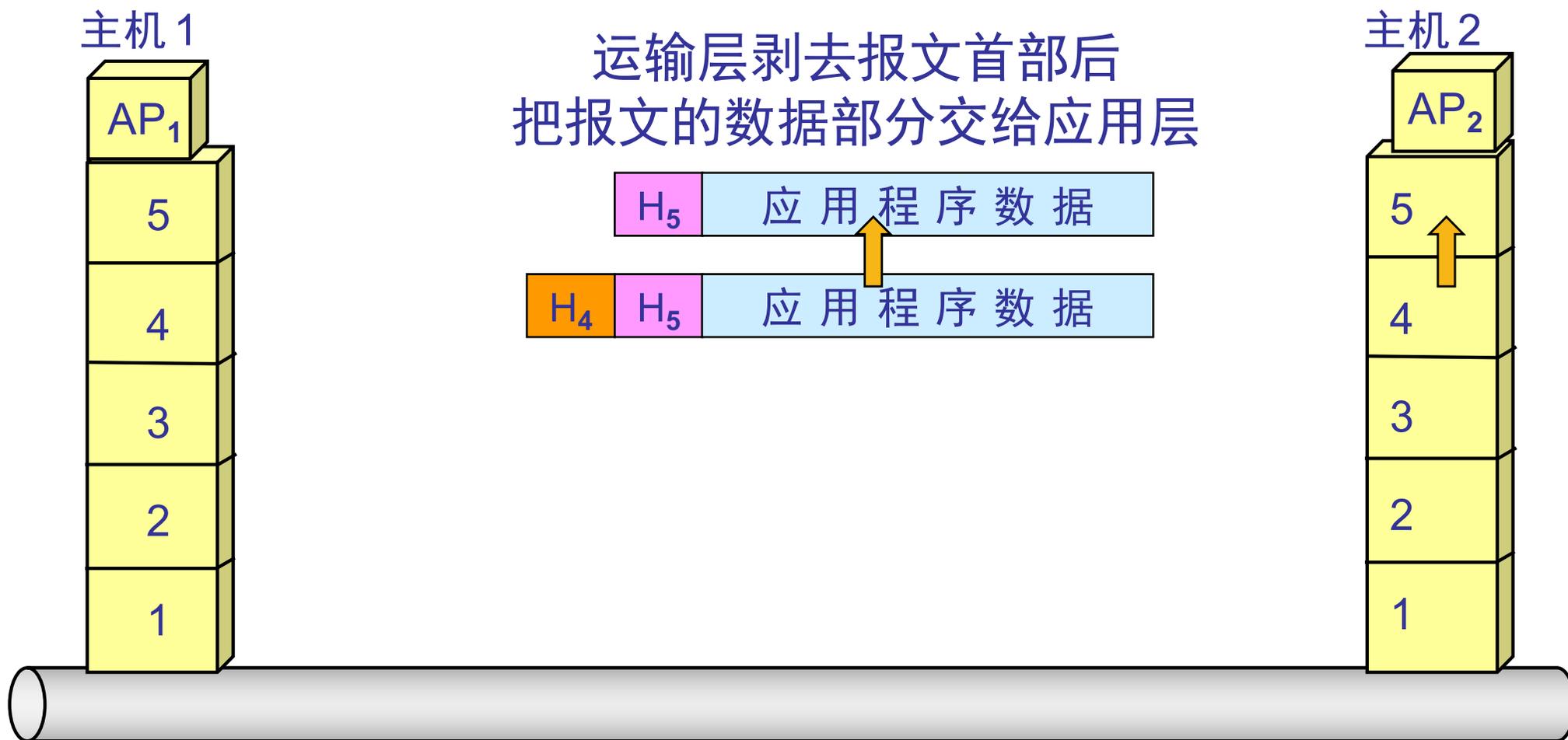
# 主机1向主机2发送数据



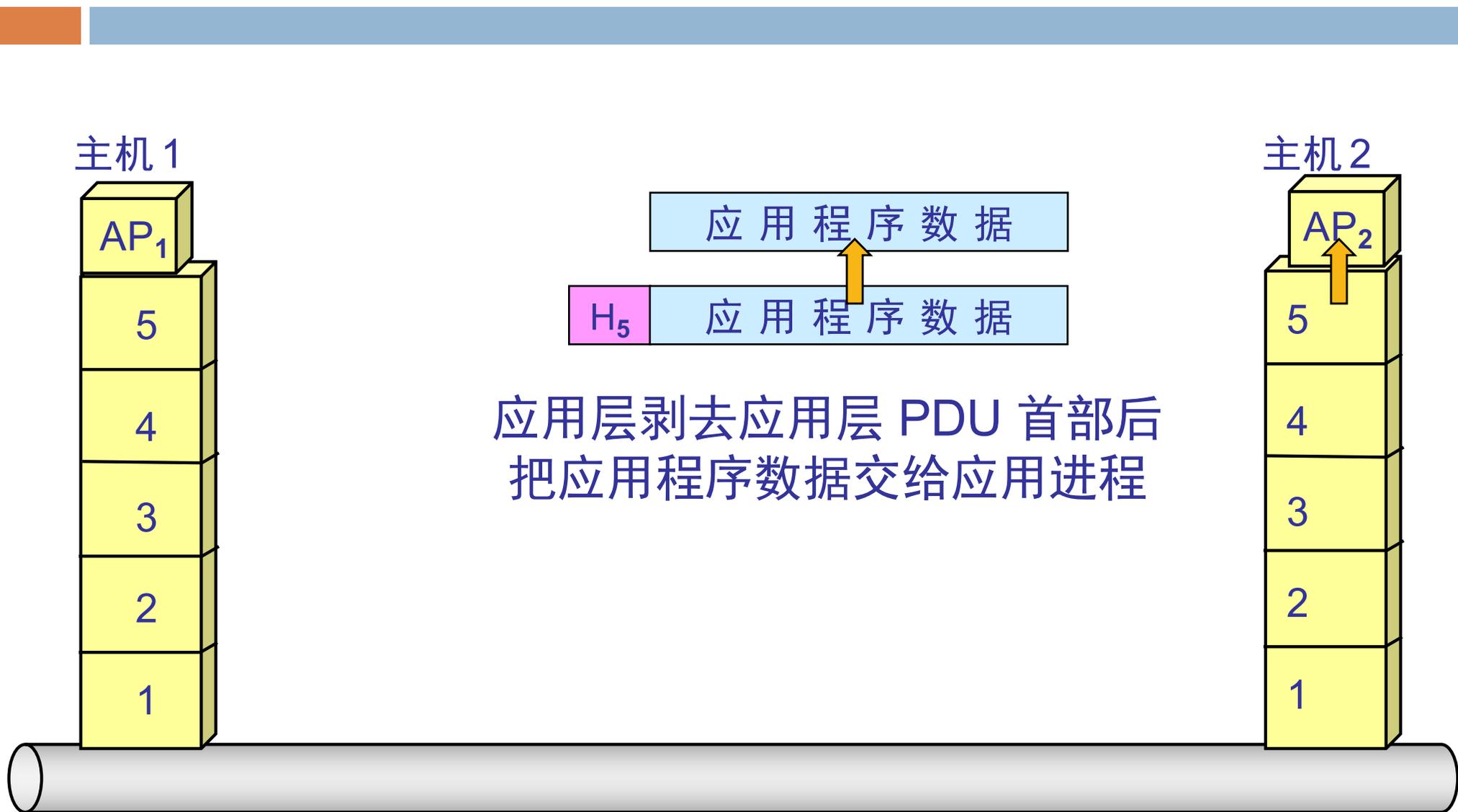
# 主机1向主机2发送数据



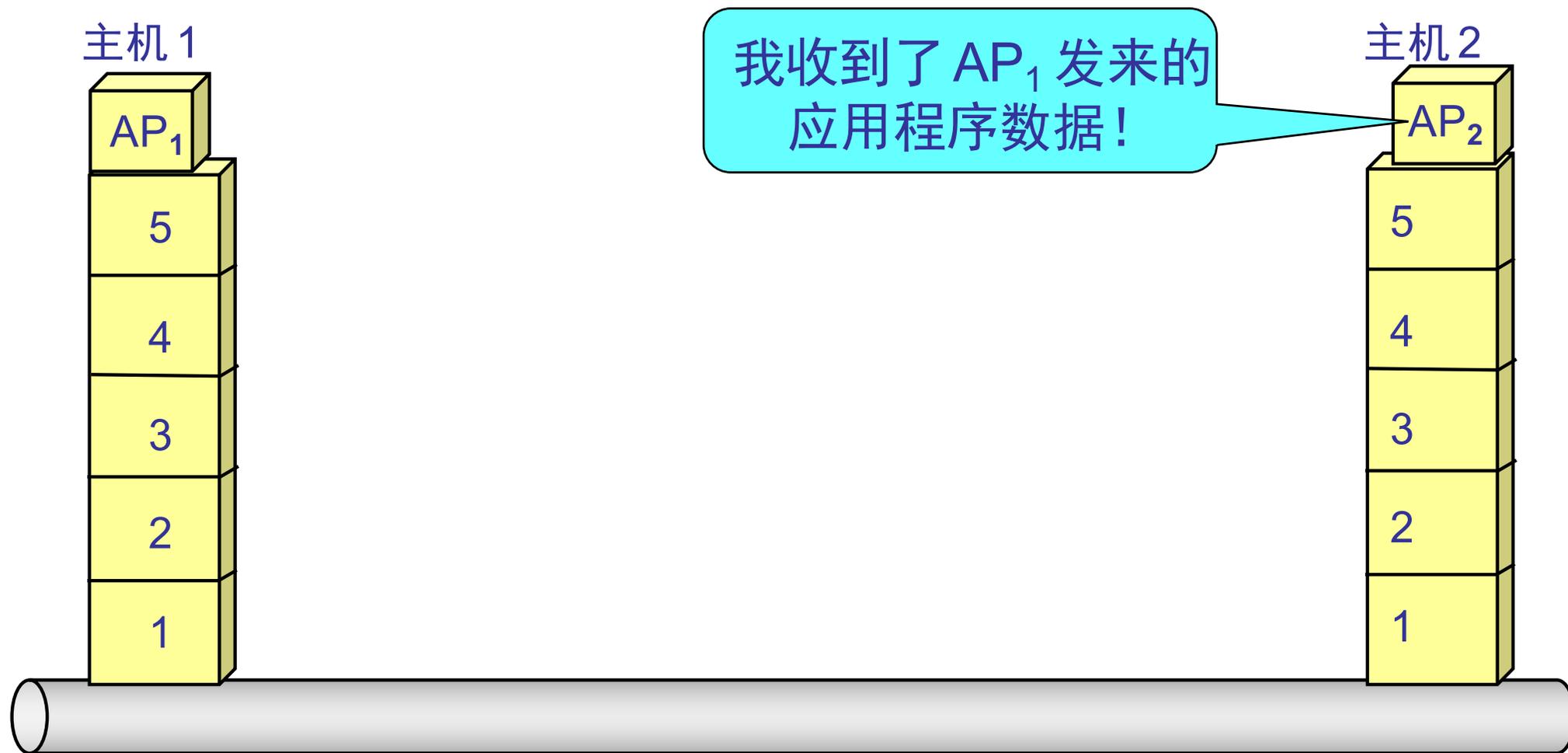
# 主机1向主机2发送数据



# 主机1向主机2发送数据



# 主机1向主机2发送数据



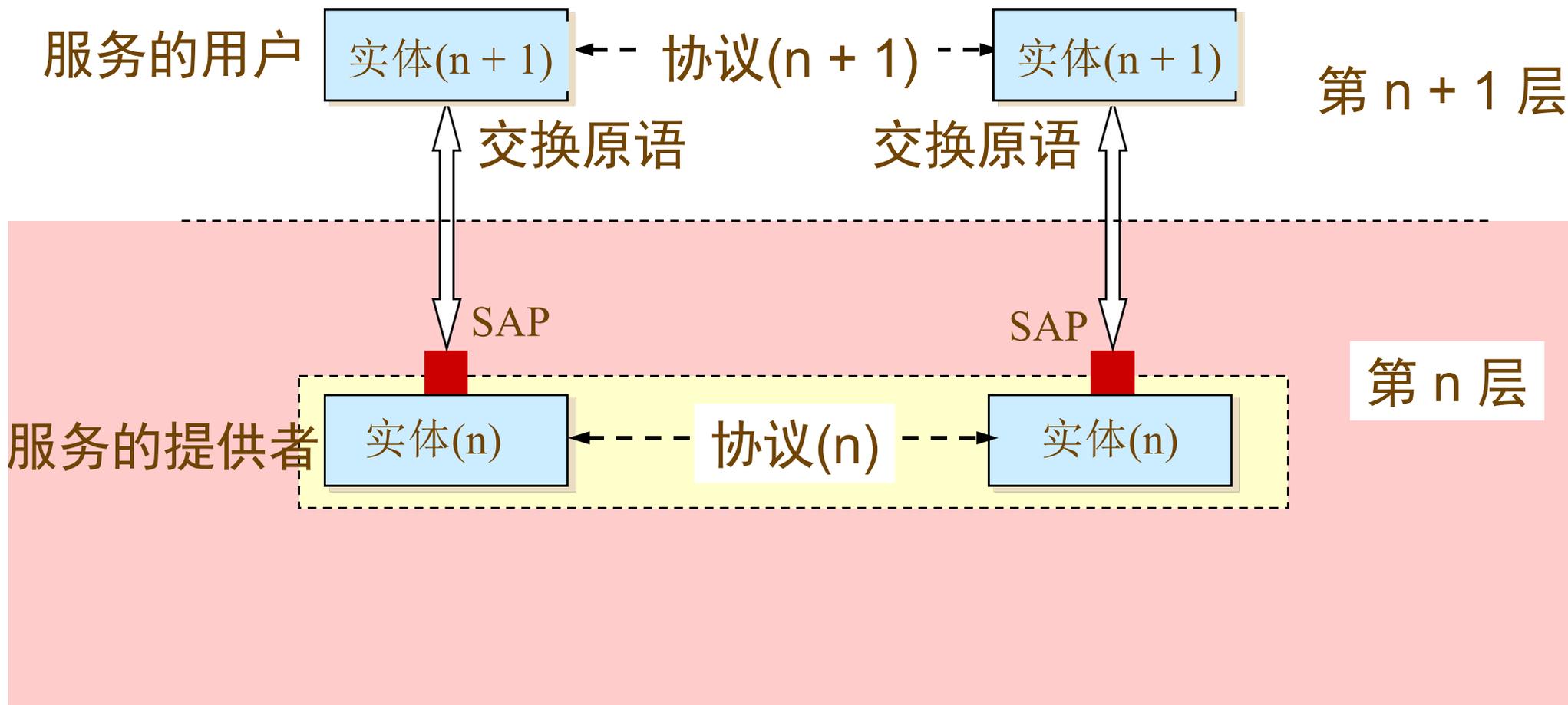
## 1.7.3 实体、协议、服务和访问点

- **实体(entity)** 表示任何可发送或接收信息的硬件或软件进程。
- 协议是控制**两个对等实体**进行通信的规则的组合。
- 在协议的控制下，**两个对等实体**间的通信使得本层能够**向上一层提供服务**。
- 要实现本层协议，还需要使用**下层**所提供的服务。

# 实体、协议、服务和访问点

- 本层的服务用户只能看见服务而无法看见下面的协议。
- 下面的协议对上面的服务用户是透明的。
- 协议是“水平的”，即协议是控制对等实体之间通信的规则。
- 服务是“垂直的”，即服务是由下层向上层通过层间接口提供的。
- 同一系统相邻两层的实体进行交互的地方，称为服务访问点 **SAP** (Service Access Point)。

# 实体、协议、服务和访问点



- 
- **网络体系结构**：计算机网络的层次及其协议的集合，是对网络及其组成部分的功能的精确定义。
  - **协议栈**：某一系统内的各层协议集。

# 习题

- (10-33) 下列选项中，不属于网络体系结构中所描述的内容是 ( )
  - A: 网络的层次
  - B: 每一层使用的协议
  - C: 协议的内部实现细节
  - D: 每一层必须完成的功能

# 协议很复杂

- 协议必须把所有不利的条件事先都估计到，而不能假定一切都是正常的和非常理想的。
- 看一个计算机网络协议是否正确，不能光看在正常情况下是否正确，而且还必须非常仔细地检查这个协议能否应付各种异常情况。

# 著名的协议举例

- 占据东、西两个山顶的蓝军1和蓝军2与驻扎在山谷的白军作战。
- 单独的蓝军1或蓝军2打不过白军，但蓝军1和蓝军2协同作战则可战胜白军。
- 现蓝军1拟于次日正午向白军发起攻击。于是用计算机发送电文给蓝军2。但通信线路很不好，电文出错或丢失的可能性较大（没有电话可使用）。
- 要求
  - 收到电文的友军必须送回一个确认电文。但此确认电文也可能出错或丢失。试问能否设计出一种协议使得蓝军1和蓝军2能够实现协同作战因而一定（即100%而不是99.999...%）取得胜利？

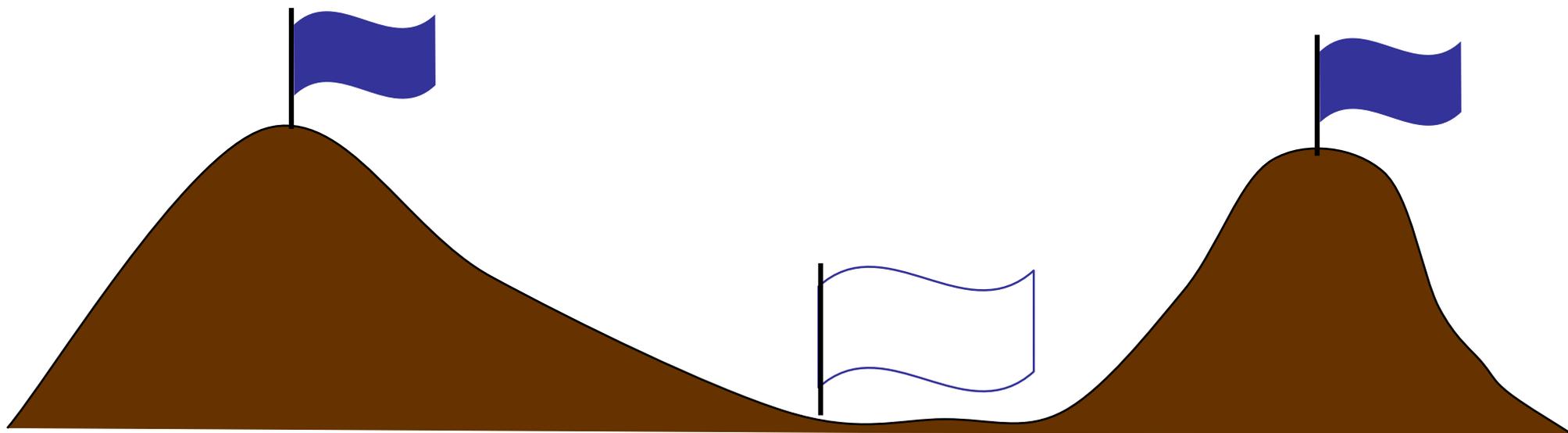
明日正午进攻，如何？

同意

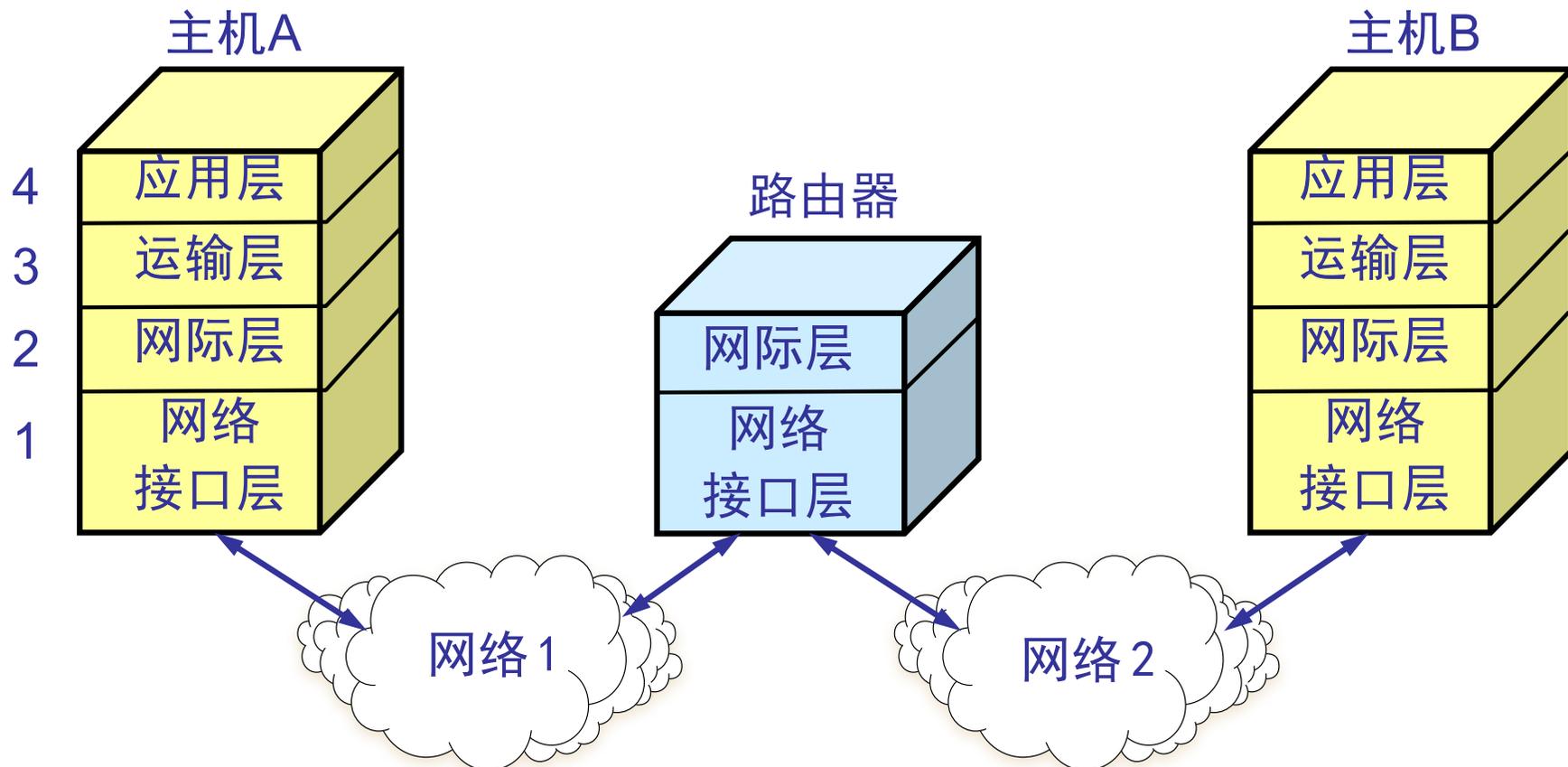
收到“同

这样的协议无法实现！

收到：收到“同意”



# 1.7.5 TCP/IP的体系结构

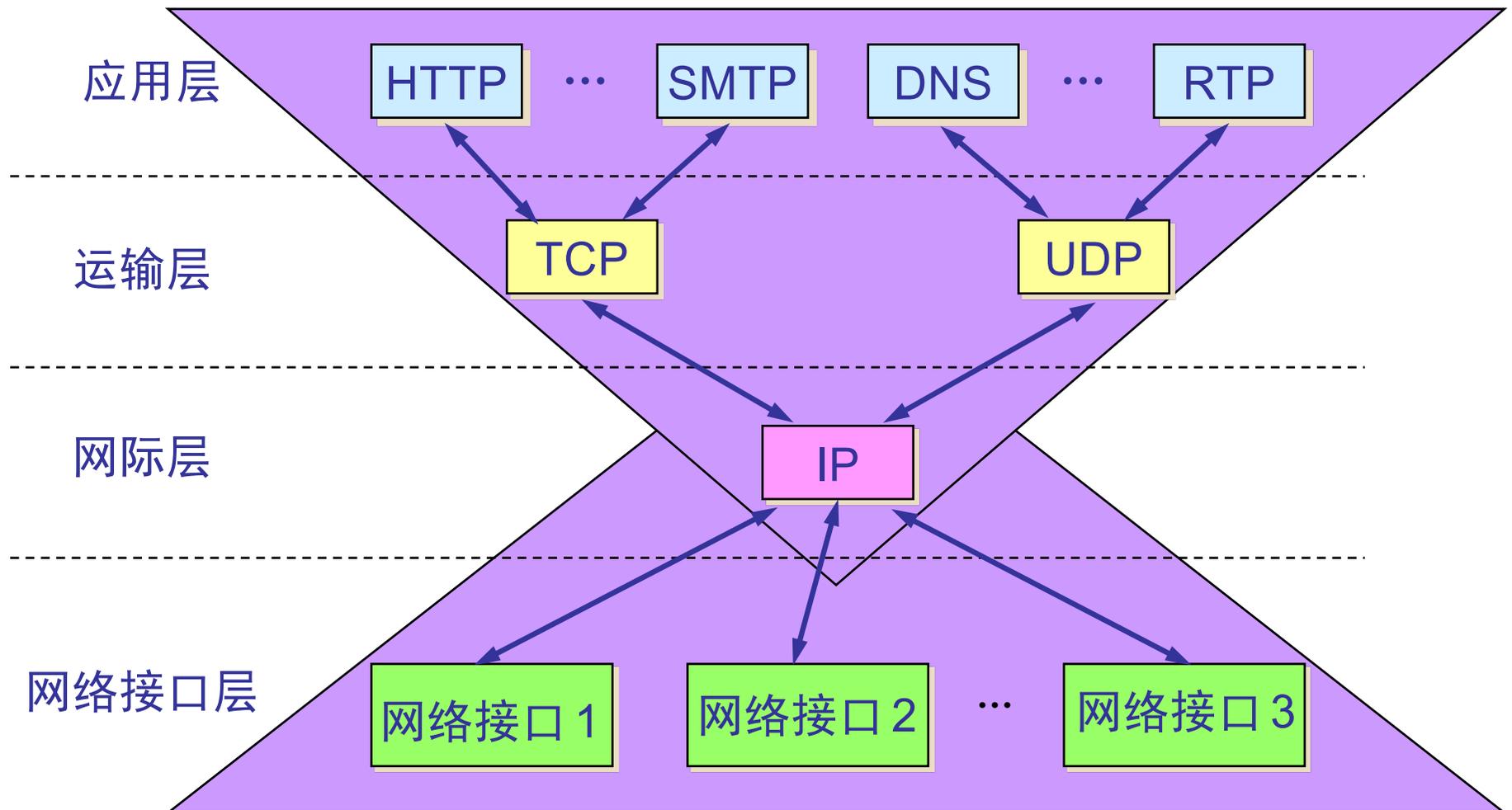


**路由器在转发分组时最高只用到网际层而没有使用运输层和应用层。**

- 
- TCP/IP协议族可以用沙漏型模型表示
  - 表明TCP/IP可以为各种各样的应用服务 (everything over IP),
  - 也允许IP在各式各样的网络构成的互联网上运行 (IP over everything)

# IP over Everything

## IP可应用到各式各样的网络上



# (1) . 网络接口层

- 网络接口层与OSI参考模型的数据链路层和物理层相对应;
- TCP/IP对网络接口层并没有给出具体的规定。

## (2) 网际层

- 包括
  - ▣ 网际协议IP;
  - ▣ Internet控制报文协议ICMP;
  - ▣ 地址解析协议ARP; 逆地址解析协议RARP
- 网际协议 (IP协议)
  - ▣ 使主机可以把分组发往任何网络并使分组独立地传向目标 (路由选择)。

## □ 互连网控制报文协议ICMP

- ▣ 测试目的地的可达性和状态、报文不可达的目的地、数据报的流量控制、路由器路由改变请求等

## □ 地址转换协议ARP

- ▣ 查找与给定IP地址相对应主机的网络物理地址

## □ 反向地址转换协议RARP

- ▣ 物理网络地址到IP地址的转换

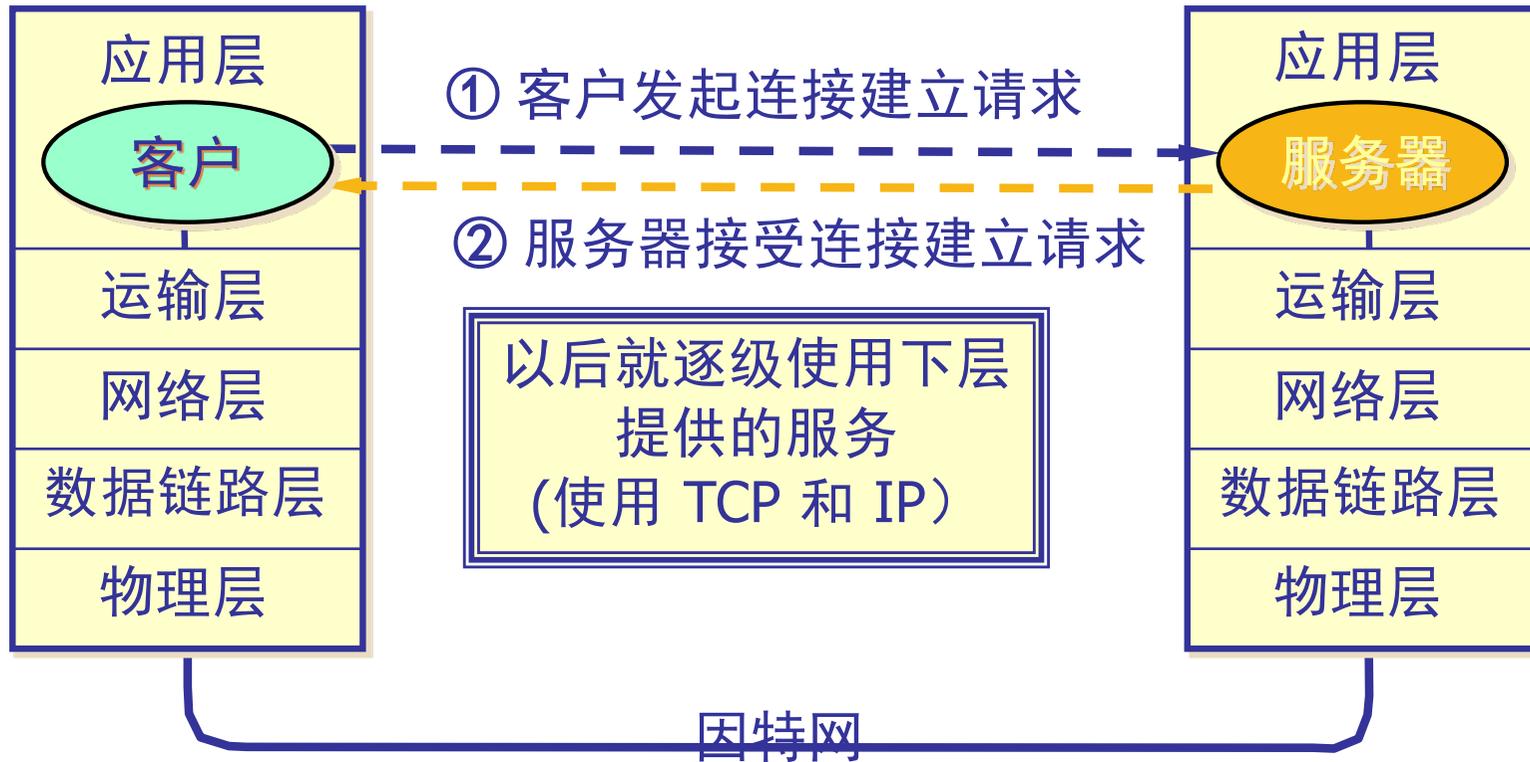
## (3) 运输层

- 提供了两个主要的协议：
  - ▣ 传输控制协议TCP；
  - ▣ 用户数据报协议UDP
- 功能：
  - ▣ 使源主机和目的主机的对等实体之间可以进行会话。
- 注意：
  - ▣ TCP是面向连接的协议。面向连接服务具有连接建立、数据传输和连接释放这三个阶段。在传送数据时是按序传送的。
  - ▣ UDP提供无连接的服务。无连接服务的优点是灵活方便和比较迅速。但无连接服务不能防止报文的丢失、重复或失序。无连接服务特别适合于传送少量零星的报文。

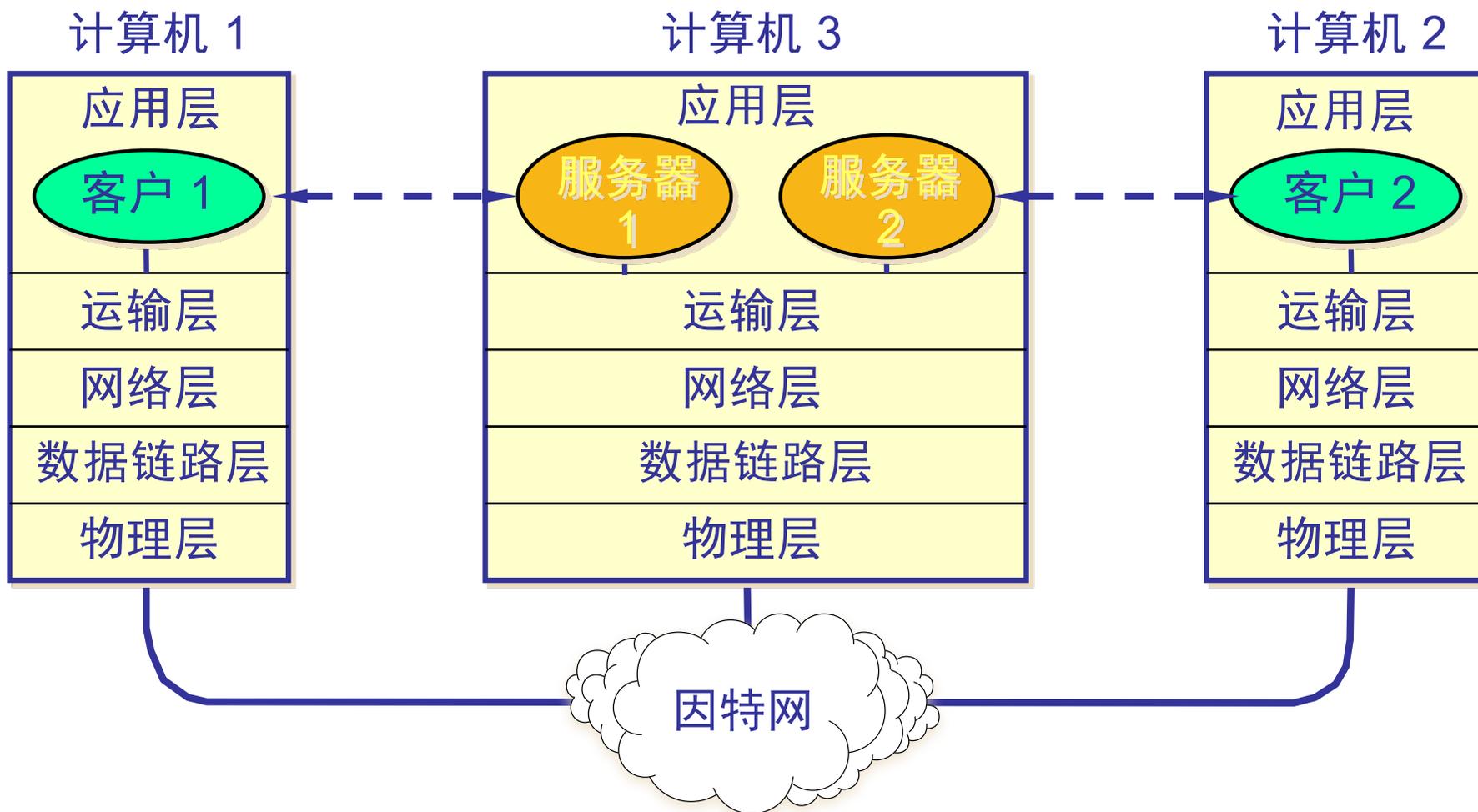
## (4) 应用层

- 在TCP/IP体系结构中并没有OSI的会话层和表示层，TCP/IP把它都归结到应用层。
- 应用层包含所有的高层协议
  - ▣ 如：虚拟终端协议（TELNET）、文件传输协议（FTP）、简单邮件传送协议（SMTP）和域名服务（DNS）等等。
- UDP: DNS,TFTP
- TCP: FTP,TELNET,HTTP,SMTP,POP3

# 【例1-2】客户进程和服务进程 使用 TCP/IP 协议进行通信



# 功能较强的计算机 可同时运行多个服务器进程



- 
- (09-33) 在 OSI 参考模型中，自下而上第一个提供端到端服务的层次是 ( )
  - A. 数据链路层
  - B. 传输层
  - C. 会话层
  - D. 应用层

□ (11-33) TCP/IP 参考模型的网络层提供的是  
( )

- A. 无连接不可靠的数据报服务
- B. 无连接可靠的数据报服务
- C. 有连接不可靠的虚电路服务
- D. 有连接可靠的虚电路服务

# 作业



- P36: 10, 11, 15, 17, 18, 19