

● 计算机网络评估指标——性能指标



非性能指标

计算机网络的一些非性能指标与前面介绍的性能指标有很大的关系。



基本概念

- 计算机网络体系结构是指计算机网络的**层次结构模型**与其**各层协议的集合**。也就是说，计算机网络体系结构是关于计算机网络应该设置哪些层次，每个层次又应该提供哪些功能的精确定义。
- 计算机网络**体系结构**是**抽象**的，而实现网络协议的技术是具体的，是指一些能够运行的软/硬件。
- 计算机网络体系结构采用层次模型的优点
 - 各层次之间相互独立
 - 灵活性好
 - 易于实现和维护
 - 有利于促进标准化

为了更好地理解计算机网络体系结构，需要理解和掌握的概念：

- 实体
- 网络协议
- 服务
- 服务访问点
- 服务原语

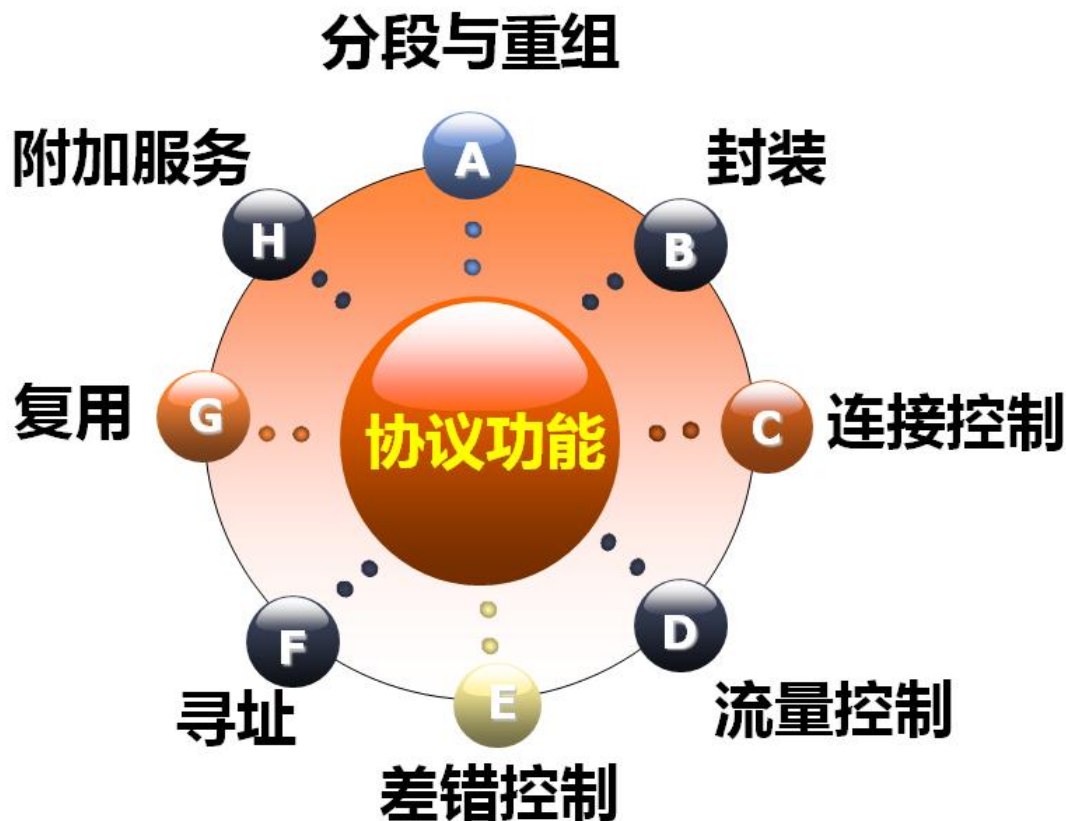
基本概念

- **实体** (Entity) 表示任何可发送或接收信息的**软件进程** (如某一特定的软件模块) 或实现该层协议的**硬件单元** (如网卡、智能I/O芯片)。
- **网络协议** (network protocol), 简称为**协议**, 是控制两个**对等实体** (或多个实体) 进行通信的规则的组合。

➤ 协议三要素

- **语法** : 如何讲, 用来规定信息格式, 涉及数据与控制信息的格式、编码和信号等级 (电平的高低) 等。
- **语义** : 讲什么, 用来说明通信双方应该怎么做, 涉及数据的内容、含义及用于协调和差错处理的控制信息。
- **定时 (时序)** : 详细说明事件的先后顺序, 涉及速率匹配和排序等。

➤ 协议的制定和实现采用**分层**结构



- 制定协议时必须把所有**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，不能只看在正常情况下是否正确，还必须非常仔细地检查这个协议**能否应付各种异常情况**。

【例1-1】著名的网络协议举例

【例1-1】 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。其力量对比是：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）。因此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？**

【例1-1】著名的网络协议举例

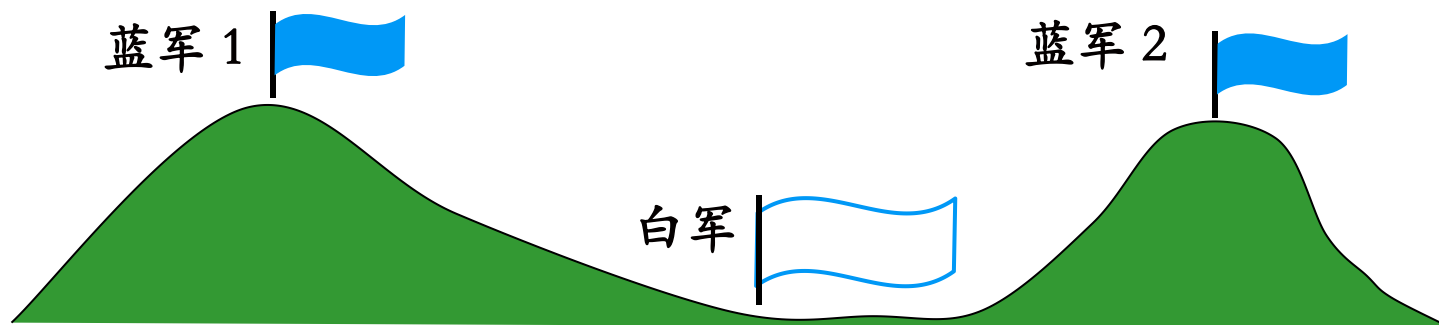
明日正午进攻

收到“同意”

同意

收到：收到“同意”

... 这样的协议无法实现！ ...



【例1-1】著名的网络协议举例

【例1-1】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。其力量对比是：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）。因此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？**

结论

这样无限循环下去，两边的蓝军都始终无法确定自己最后发出的电文对方是否已经收到。**没有一种协议能够使蓝军 100% 获胜。**这个例子告诉我们，看似非常简单的协议，设计起来要考虑的问题还是比较多的。

协议缺陷的教训——克莱顿隧道事故

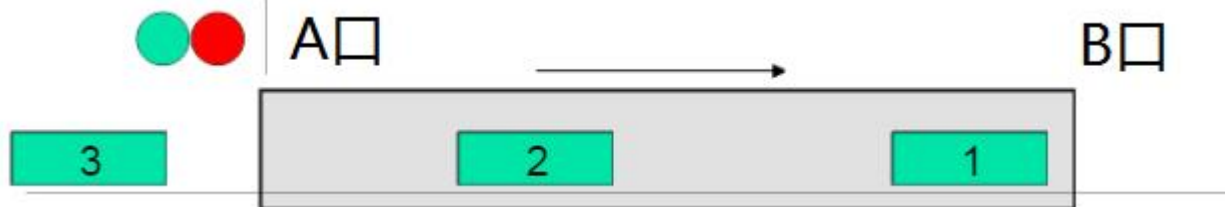
1861年8月25日，英国的克莱顿隧道铁路发生撞车事故，事故造成23人死亡，176人受伤。



协议：

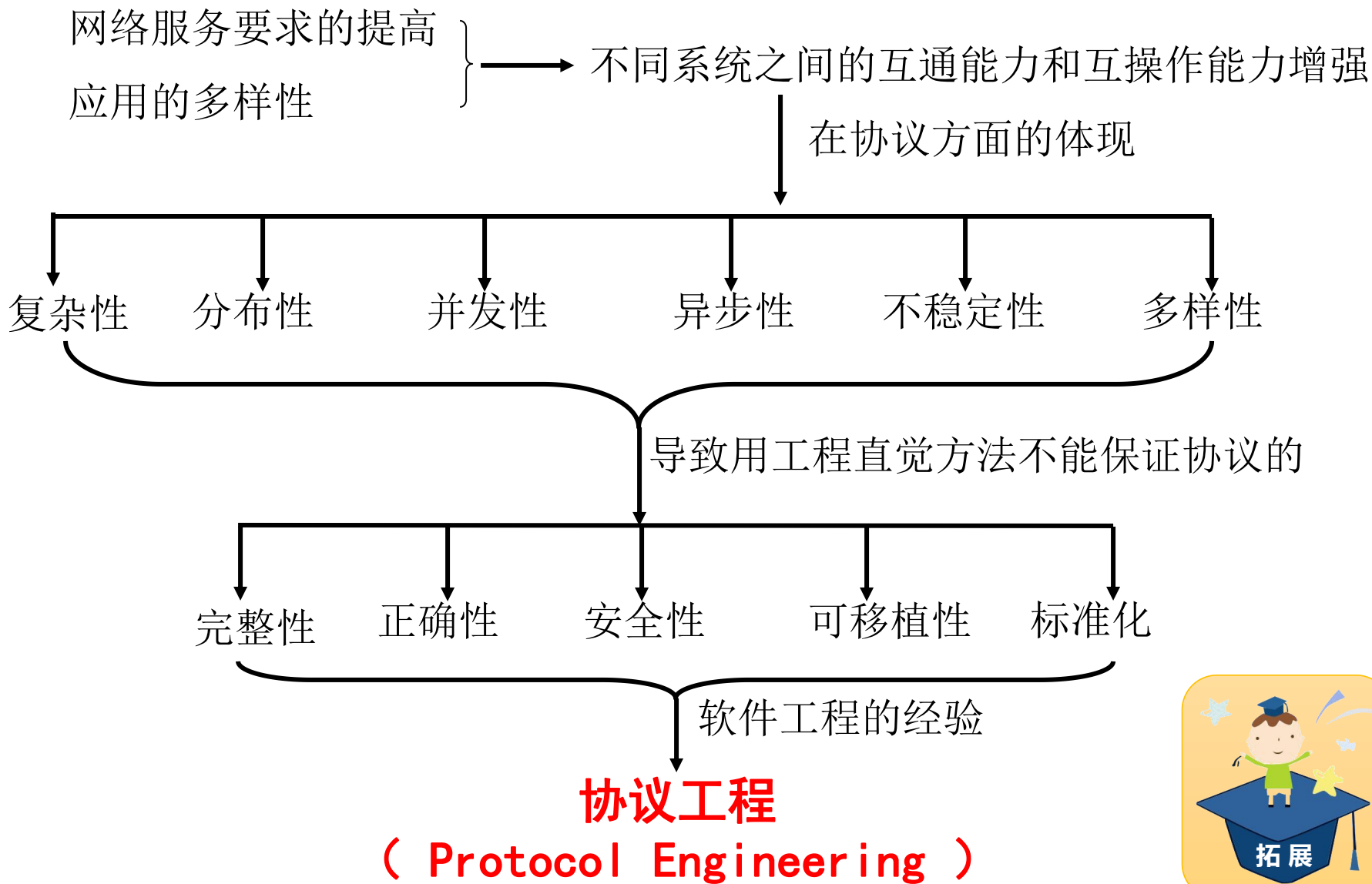
- (1) 入口处（A口）有红绿信号灯，只有当信号灯为绿色时，才允许火车进入，并且任何一列火车通过信号灯时，系统自动将信号灯置为红色。
- (2) 如果火车经过后，信号灯系统没有将灯置为红色，则信号员听到告警铃声后，使用红色和白色旗帜来表示信号。
- (3) 当入口处的信号员确信进入隧道的火车已离开隧道，则手工将红灯置为绿色，以允许下列火车通过，信号员通过单针电报系统来交换火车进入、离开隧道的消息。

协议缺陷的教训——克莱顿隧道事故



事故场景：

- (1) 第一列火车司机看到信号灯为绿色，于是没有停下来，直接进入隧道，但由于信号系统故障导致信号灯没有变红，于是告警铃响起，信号员A使用电报系统向另一端的信号员发送信号，告知有火车进入隧道，然后使用红色旗帜向下一列火车发出警告。
- (2) 第二列火车因速度太快，越过了绿色信号，但司机在进入隧道的瞬间看到了红色旗帜，而紧随其后的第三列火车司机及时看到红色旗帜，在隧道入口处停了下来。
- (3) 看到第三列火车停下来后，信号员A使用电报系统发送信号告知另一方有火车进入隧道。
- (4) 信号员B看到第一列火车离开隧道后，向信号员A发送“火车已离开”信号，信号员A考虑再三，认为1、2两列火车都已离开了隧道，于是示意第三列火车进入，结果第三列火车与第二列火车相撞。



● 协议的表现形式

- **非形式描述文本**：用自然语言和图表表述的协议，易读易懂，但不严密，有多义性。
- **形式描述文本**：用FDL描述的协议，严密、无二义性，可符号执行，可转换成程序设计语言。
- **与机器无关的源程序代码**：由形式描述文本翻译过来的用程序设计语言（如C语言）编写的程序。协议本身有一定的抽象性，即协议没有指明这个协议在某台机器上或某个操作系统上怎样实现。正因为协议本身是抽象的，它才适合用形式化方法来描述。
- **实现代码**：协议实现的最终代码。一般与机器无关的源程序代码只占最终实现代码的一部分（约50%），其他代码，如缓冲区分配、系统输入/输出操作等，都是与机器或操作系统有关的。这些内容一般不在协议文本中描述。
- **测试集**：一组关于协议测试步骤和测试数据的文件，由协议的形式描述文本产生。

基本概念

- 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**（功能调用，垂直的，单向的）。
- 要**实现本层协议**，还需要**使用下层**所提供的**服务**。
- **服务**（service）就是网络中各层向其相邻上层提供的一组操作。
- **注意**：协议和服务在概念上是**不一样**的。

协议

其实现保证了能够向上一层提供服务。

对上面的服务用户是透明的。

是“水平的”

服务

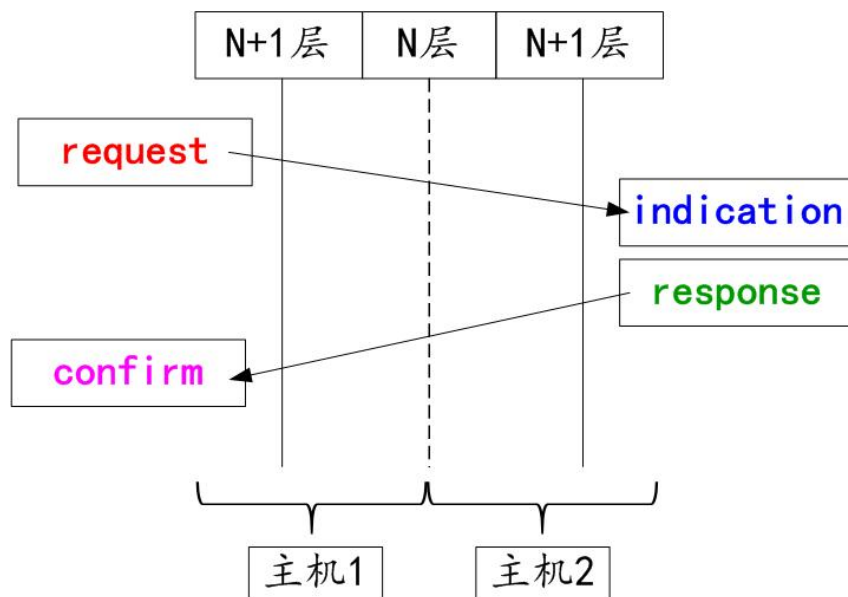
上层使用**服务原语**获得下层所提供的服务。

上面的服务用户只能看见服务，无法看见下面的协议。

是“垂直的”

基本概念

- 服务在**形式上**由一组**原语**（或操作）来描述。
- 上层实体向下层实体请求服务时，服务提供者和服务用户之间需要**交互一些必要的信息**，以说明要求服务的一些情况，**这些信息就是服务原语**。



请求Request: 一个实体希望得到完成某些操作的服务。

指示Indication: 通知一个实体，有某个事件发生。

响应Response: 一个实体希望响应一个事件。

证实Confirm: 返回对先前请求的响应。

基本概念

- 服务在**形式上**由一组**原语**（或操作）来描述。
- 上层实体向下层实体请求服务时，服务提供者和服务用户之间需要**交互一些必要的信息**，以说明要求服务的一些情况，**这些信息就是服务原语**。

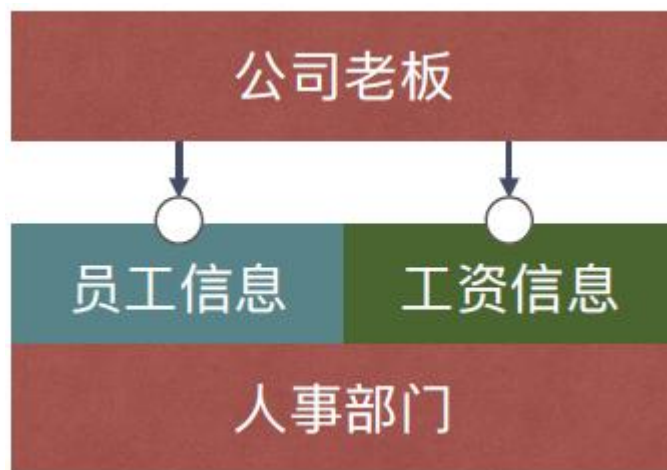
服务原语	类型	实例：A通过电信公司打电话给B
	请求（Request）	A：拨号，向电信公司（服务提供方）发送“请求”原语
	指示（Indication）	B：电话响了（显示对方号码），收到“指示”原语
	响应（Response）	B：摘机（拿起电话），发送“响应”原语
	确认（Confirm）	A：收到“确认”原语（服务提供方发送）

服 务 原 语	含 义	执 行 位 置
请求	源端上层实体要求服务做某项工作	源第N+1层实体→ 源第N层实体
指示	目标端上层实体被告知某事件发生	目标第N层实体→ 目标第N+1层实体
响应	目标端上层实体表示对某事件的响应	目标第N+1层实体 → 目标第N层实体
确认	源端上层实体收到关于它的请求的答复	源第N层实体→源 第N+1层实体

基本概念

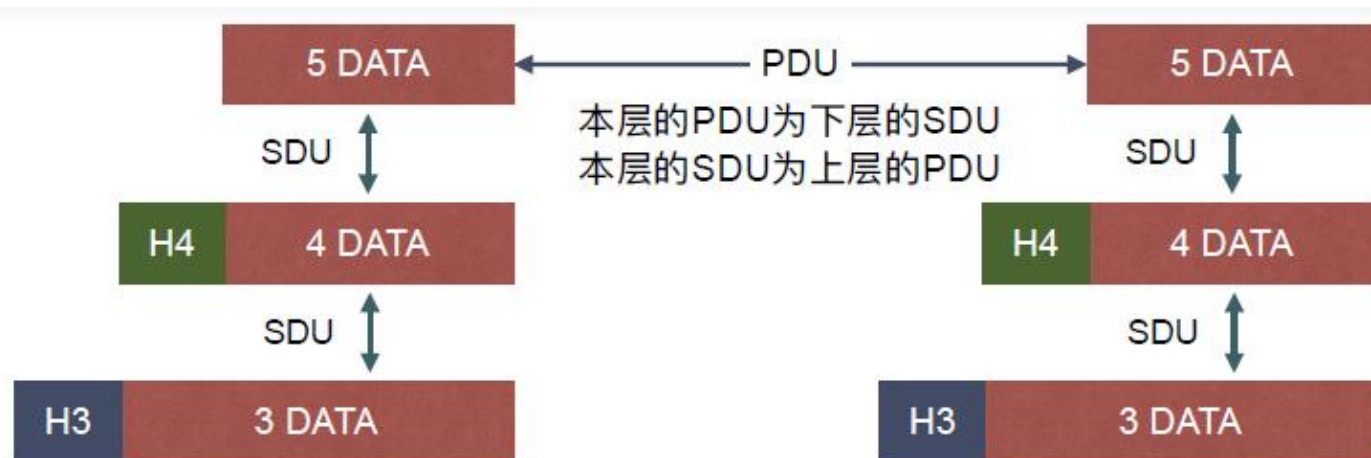
服务访问点：

- 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)。
- SAP是个抽象的概念，实际上是个**逻辑接口**。
- SAP规定了上层如何调用下层提供的服务。



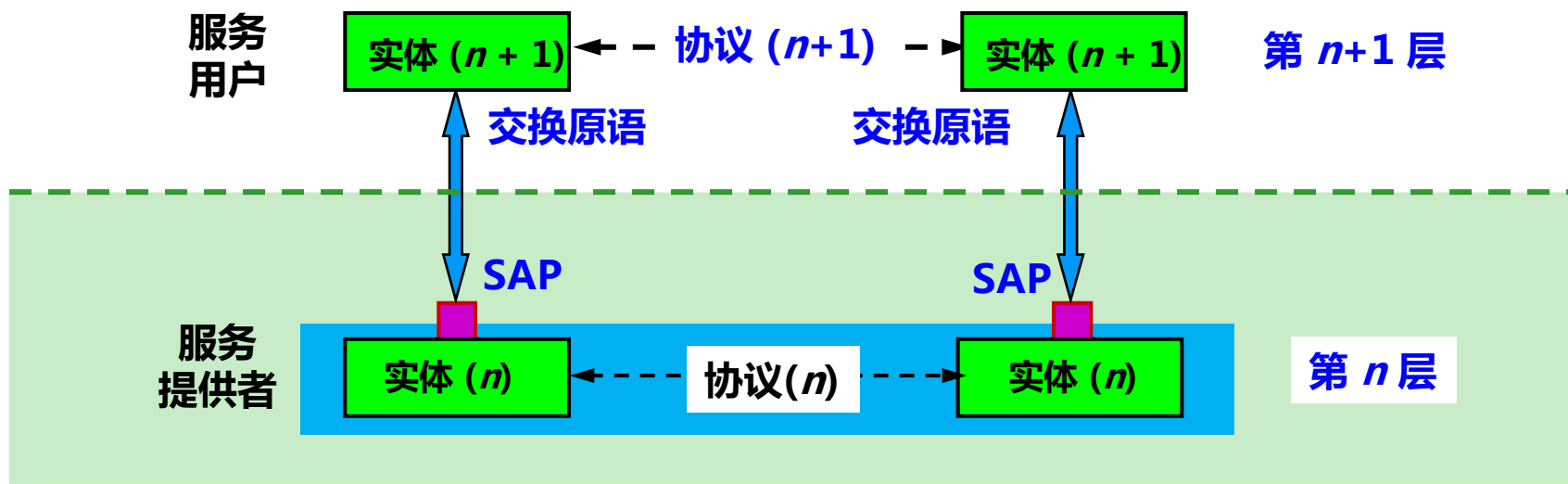
基本概念

- OSI把层与层之间交换的数据的单位称为**服务数据单元 SDU** (Service Data Unit)。
- **SDU分段/重组**：如果下层通道的带宽**不能满足传递SDU的需要**，在发送端就要将一个SDU**分成多段**，分别封装成PDU发送出去（分段）；在接收端再将**这些PDU解封装重新组装成SDU**。
- **SDU拼接/分离**：拼接是指在发送端层协议实体把**多个长度较短的SDU封装成一个PDU**来发送，在接收端再将接收到的PDU解封装，将多个SDU分离出来。采用拼接功能的目的是提高通道的利用率。



基本概念

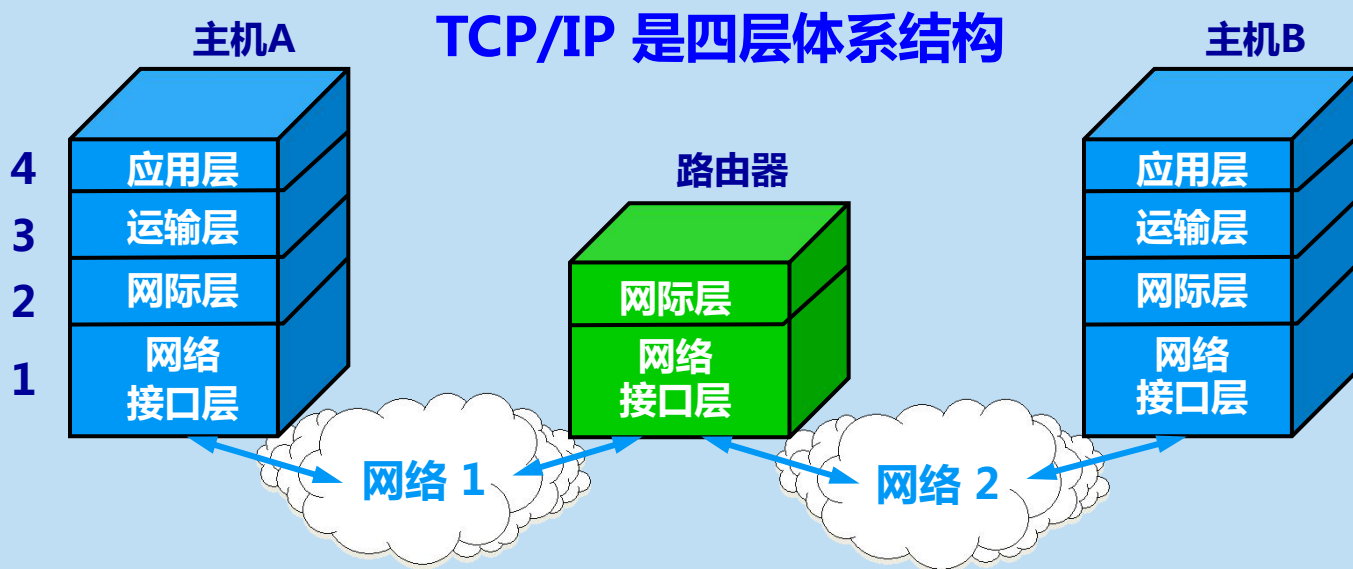
- 就服务和用户的关系而言，下层的实体是上层实体的“服务提供者”，而上层实体是下层实体的“服务用户”或“服务使用者”。服务定义了该层打算为上层用户执行哪些操作，但不涉及这些操作的具体实现。



相邻两层之间的关系

TCP/IP 的体系结构

- 1974年，TCP/IP协议族产生并公开；
- 1980年，网络自由协议，网间开始采用TCP/IP；
- 1983年，ARPANET接受并采用TCP/IP；
- Internet 采用TCP/IP。

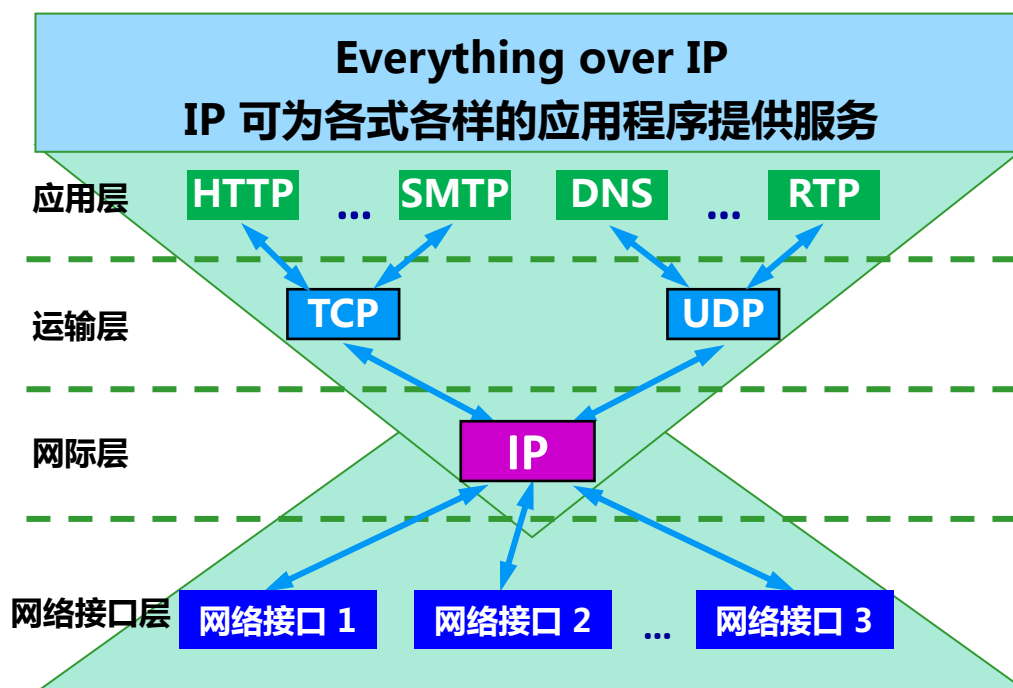


路由器在转发分组时最高只用到网际层
而没有使用运输层和应用层。

TCP/IP 模型	主要协议		软件与硬件	寻址	数据结构	标准制定		应用	OSI/RM 模型
应用层	HTTPS HTTP FTP SMTP Telnet DNS	TFTP SNMP DNS DHCP	服务器软件 DNS服务器 Web服务器 FTP服务器 E-mail服务器 服务器主机	进程号	数据	IETF (RFC) 互联网		面向用户	应用层
运输层	TCP	UDP	接口软件	端口号	报文			面向数据传输	表示层
网络层	IP (ICMP, IGMP) ARP		路由器 三层交换机	IP地址	分组				会话层
网络接口层	Ethernet、WLAN、 ADSL、FR、X.25、 SDH、SLIP、PPP		二层交换机 网络适配器 光通信设备 传输媒介	物理地址 (硬件地址)	帧 比特流	IEEE 局域网	ITU-T 广域网		运输层
									网络层
									数据链路层
									物理层

TCP/IP体系结构示意图

TCP/IP协议可以为各式各样的应用提供服务，也就是所谓的 everything over IP，同时TCP/IP协议也允许IP协议在各式各样的网络构成的互联网上运行，也就是所谓的 IP over everything。

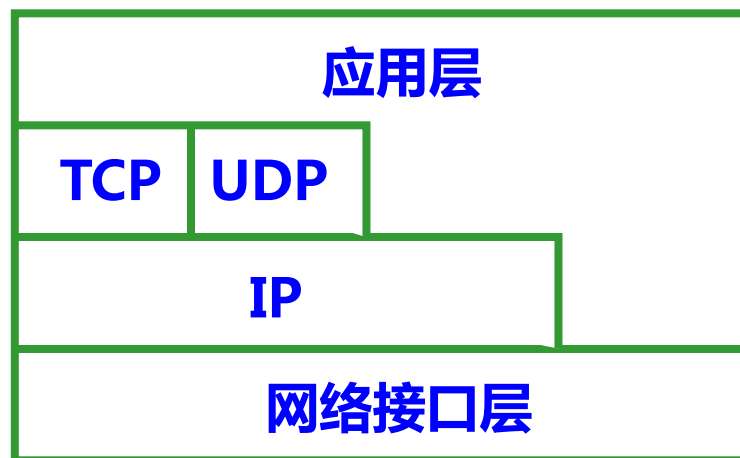


设计理念：网络核心部分越简单越好。

网络层在TCP/IP体系结构中的地位示意图

演变的TCP/IP 体系结构

实际上，现在的互联网使用的 TCP/IP 体系结构有时已经发生了演变，即某些应用程序可以直接使用 IP 层或甚至直接使用最下面的网络接口层。



具有五层协议的体系结构

OSI 的体系结构



(a)

TCP/IP 的体系结构



(b)

五层协议的体系结构

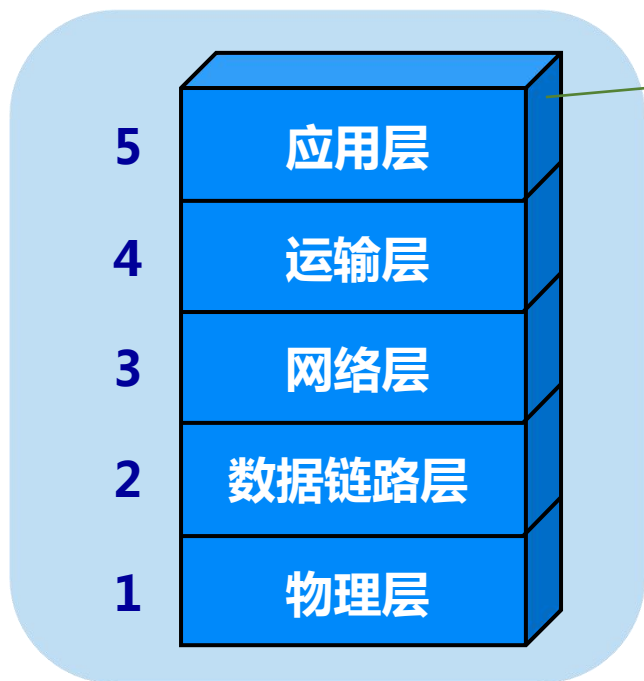


(c)

计算机网络体系结构：(a) OSI 的七层协议；(b) TCP/IP 的四层协议；(c) 五层协议

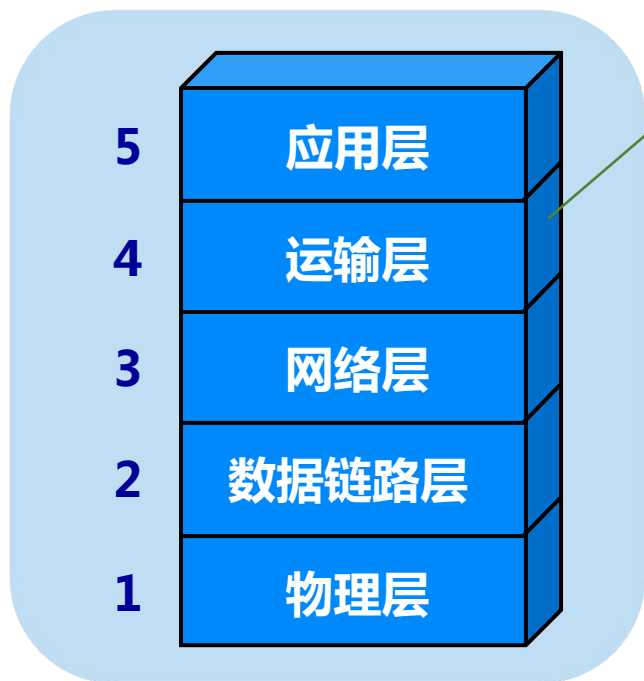
- OSI 的七层协议体系结构的概念清楚，理论也较完整，但它既复杂又不实用。
- TCP/IP 是四层体系结构：应用层、运输层、网际层和网络接口层，但最下面的网络接口层并没有具体内容。
- 因此往往采取折中的办法，即综合 OSI 和 TCP/IP 的优点，采用一种只有五层协议的体系结构。

五层协议的体系结构—各层主要功能



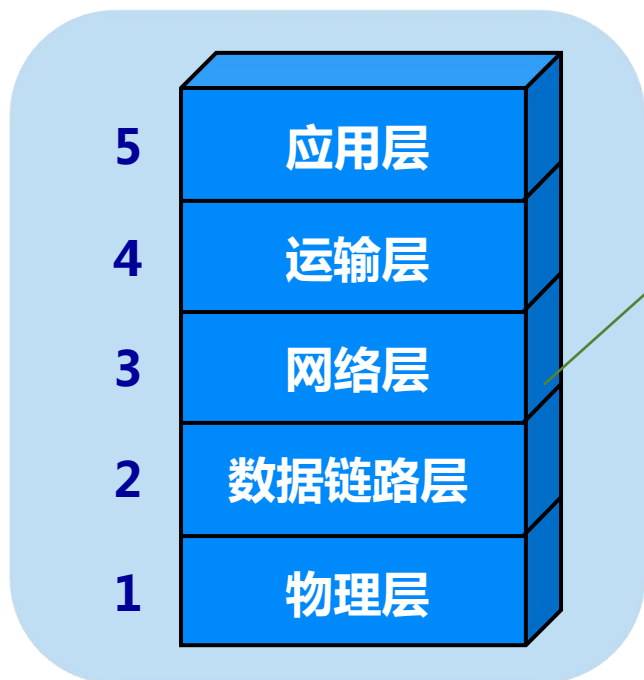
- **任务**：通过应用进程间的交互来完成特定网络应用。
- **协议**：定义的是**应用**进程间通信和交互的规则，如DNS，HTTP，SMTP。
- 把应用层交互的数据单元称为报文。

五层协议的体系结构—各层主要功能



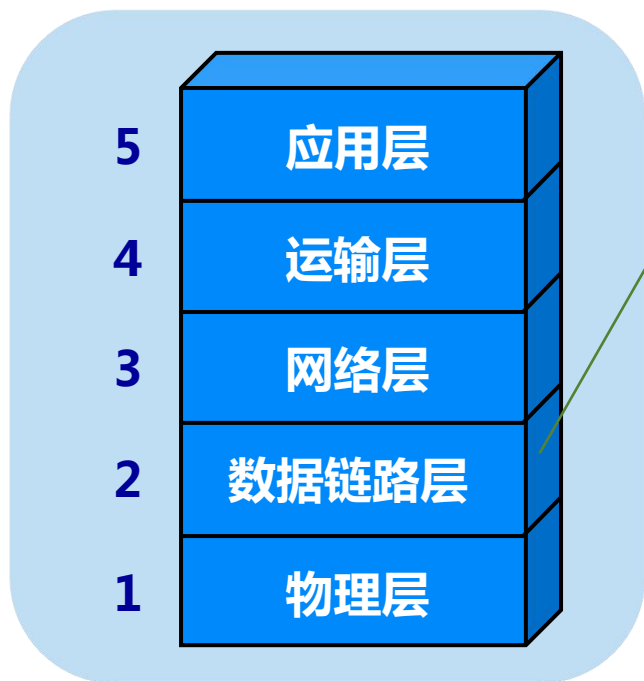
- **任务**：负责向两台主机中**进程**之间的通信提供通用的数据传输服务。
- 具有复用和分用的功能。
- 主要使用**两种协议**：
 - ✓ 传输控制协议(TCP)：提供面向连接的、可靠的数据传输服务，数据传输单位是报文段。
 - ✓ 用户数据报协议(UDP)：提供无连接的、尽最大努力的数据传输服务，数据传输单位是用户数据报。

五层协议的体系结构—各层主要功能



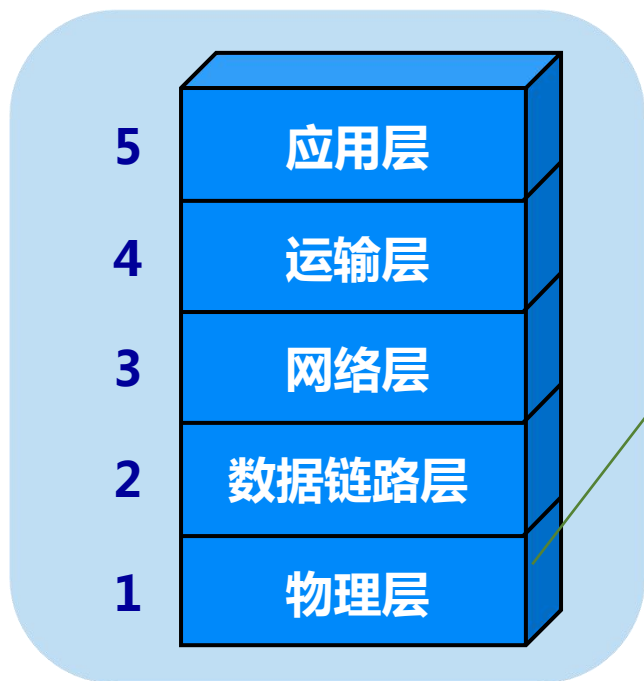
- 为分组交换网上的不同**主机**提供通信服务。
- 两个具体任务：
 - ✓ **路由选择**：通过一定的算法，在互联网中的每一个路由器上，**生成**一个用来转发分组的**转发表**。
 - ✓ **转发**：每一个路由器在接收到一个分组时，要依据转发表中指定的路径把分组**转发**到下一个路由器。
- 互联网使用的网络层协议是**无连接的网际协议**和许多种路由选择协议，因此互联网的网络层也叫做**网际层**或**IP 层**。
- IP 协议分组也叫做**IP 数据报**，或简称为**数据报**。

五层协议的体系结构—各层主要功能



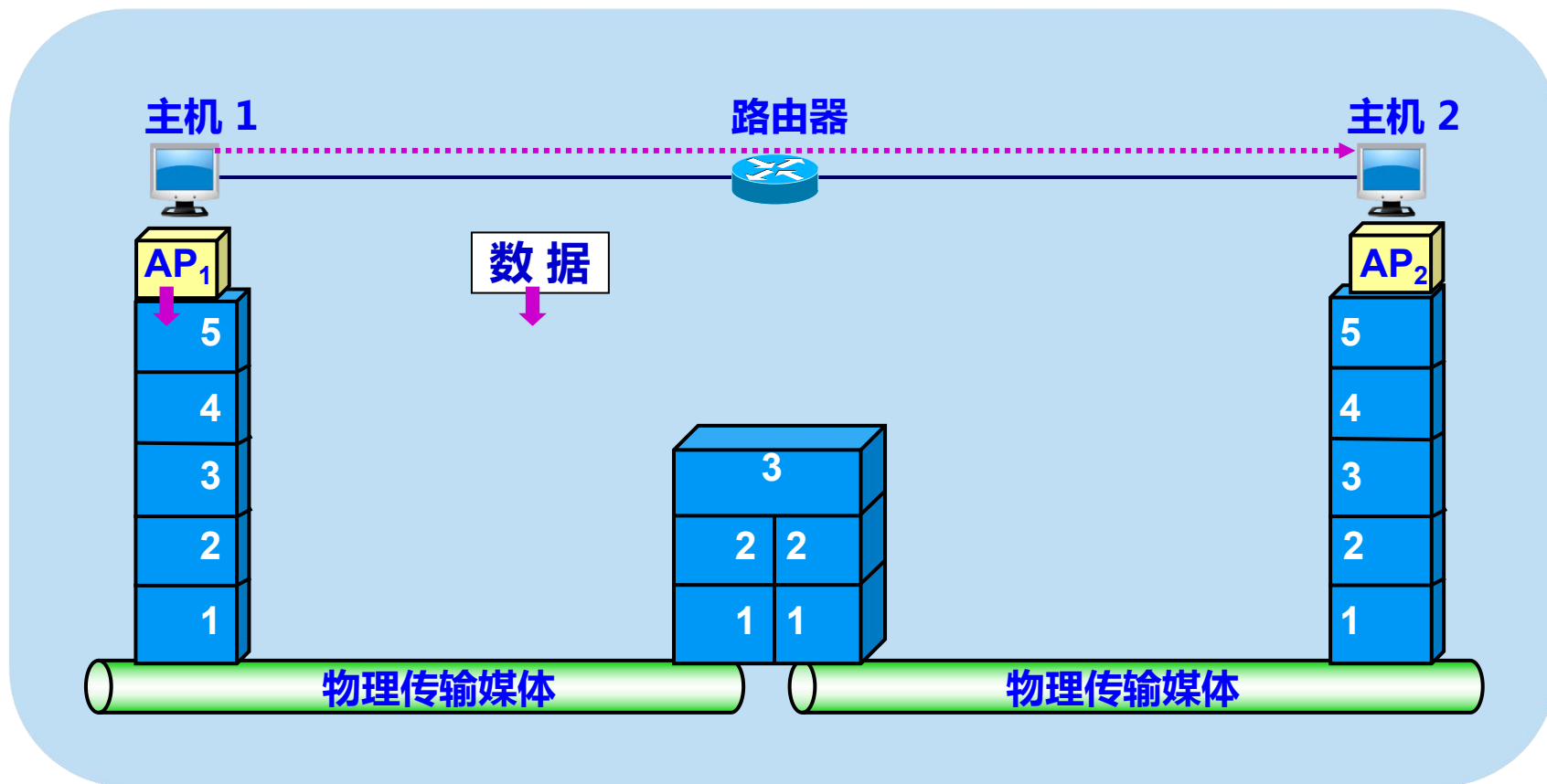
- 常简称为**链路层**。
- **任务**：实现两个**相邻节点**之间的**可靠通信**。
- 在两个相邻节点间的链路上**传送帧**。
- 如发现有差错，就简单地**丢弃**出错帧。
- 如果需要改正出现的差错，就要采用**可靠传输协议**来**纠正**出现的差错。这种方法会使数据链路层协议复杂。

五层协议的体系结构—各层主要功能

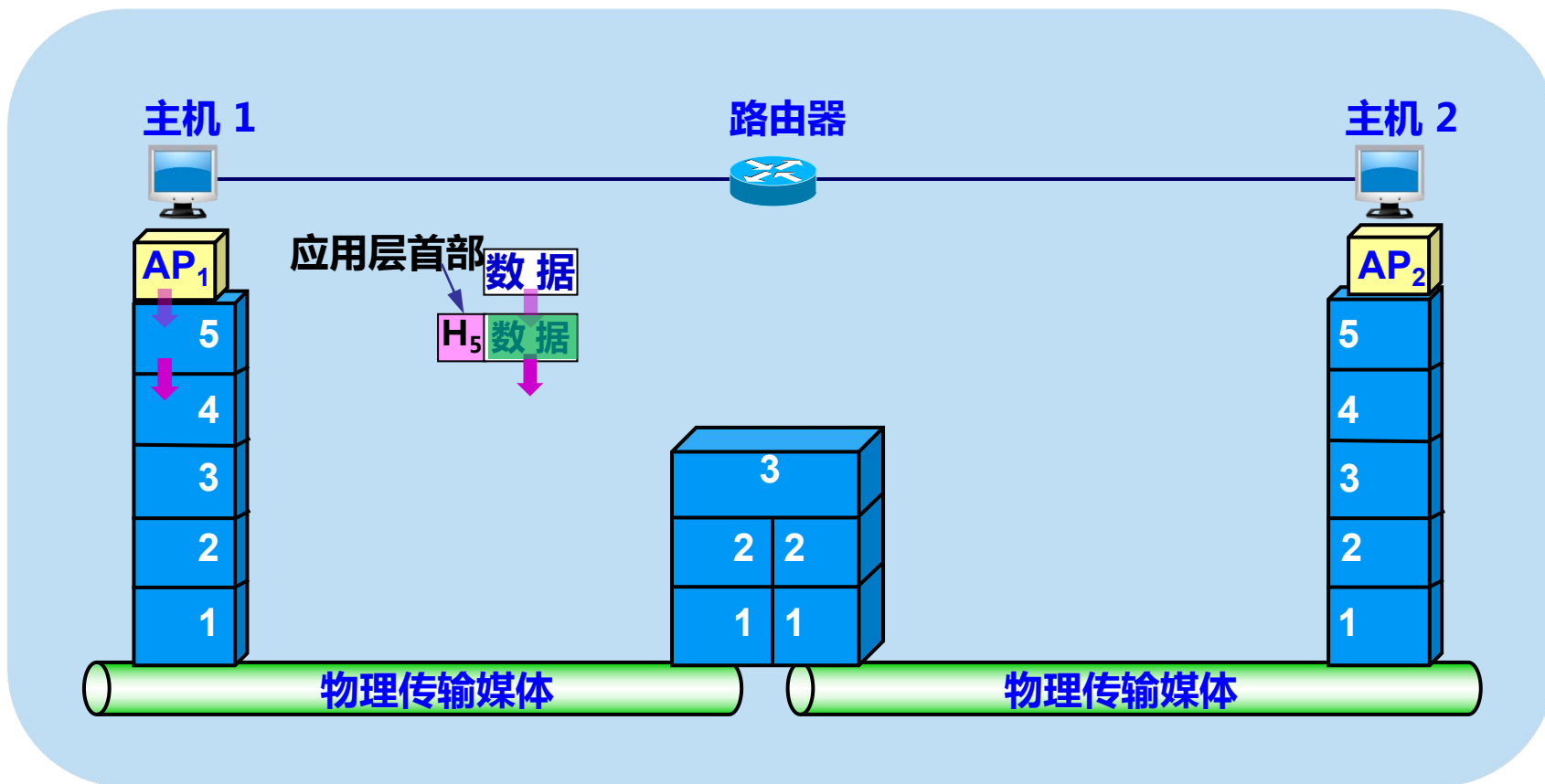


- **任务**：实现**比特**（0 或 1）的传输。
- 确定连接电缆的**插头**应当有多少根**引脚**，以及各引脚应如何**连接**。
- **注意**：传递信息所利用的一些**物理媒体**，如双绞线、同轴电缆、光缆、无线信道等，**并不在物理层协议之内**，而是在物理层协议的下面。

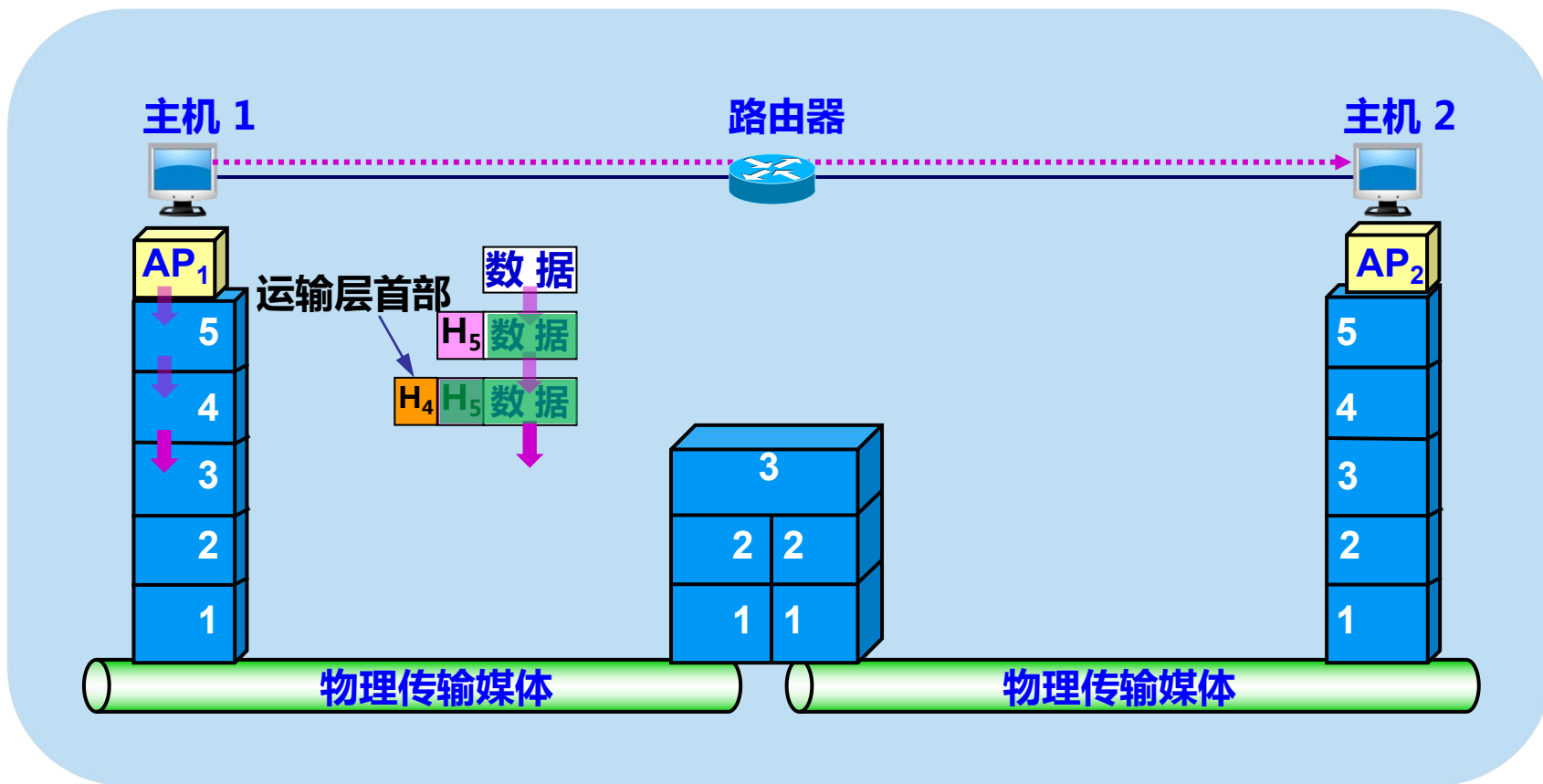
数据在各层之间的传递过程



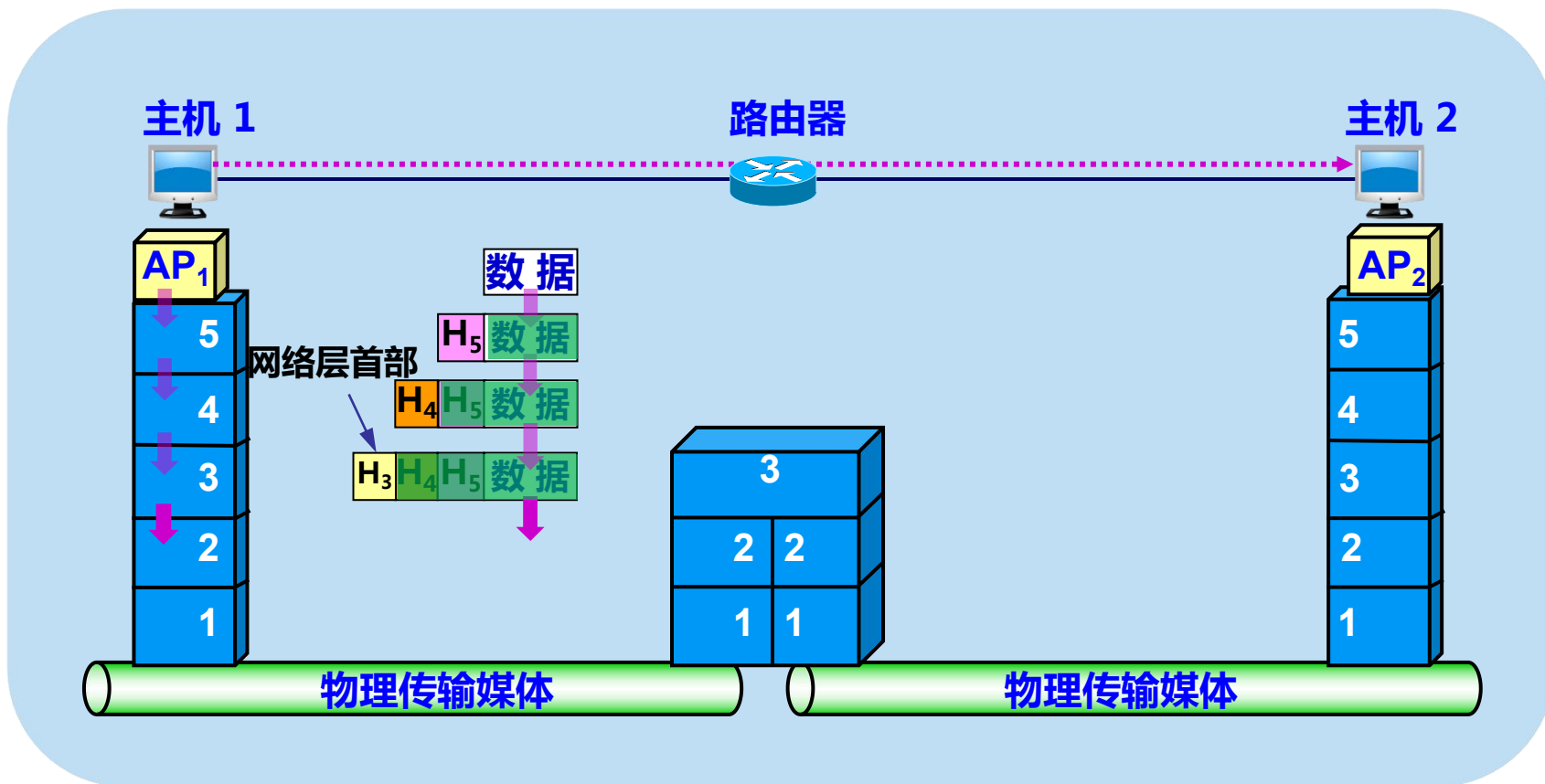
数据在各层之间的传递过程



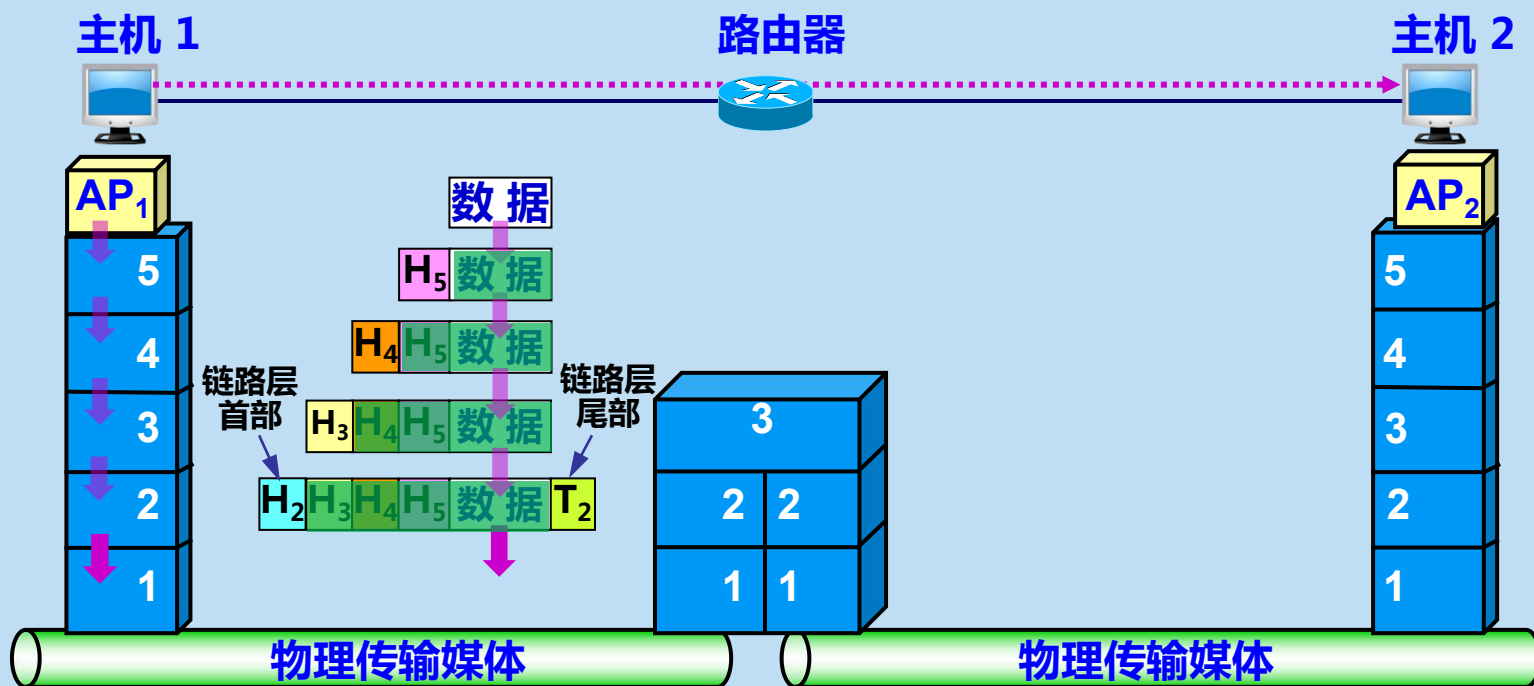
数据在各层之间的传递过程



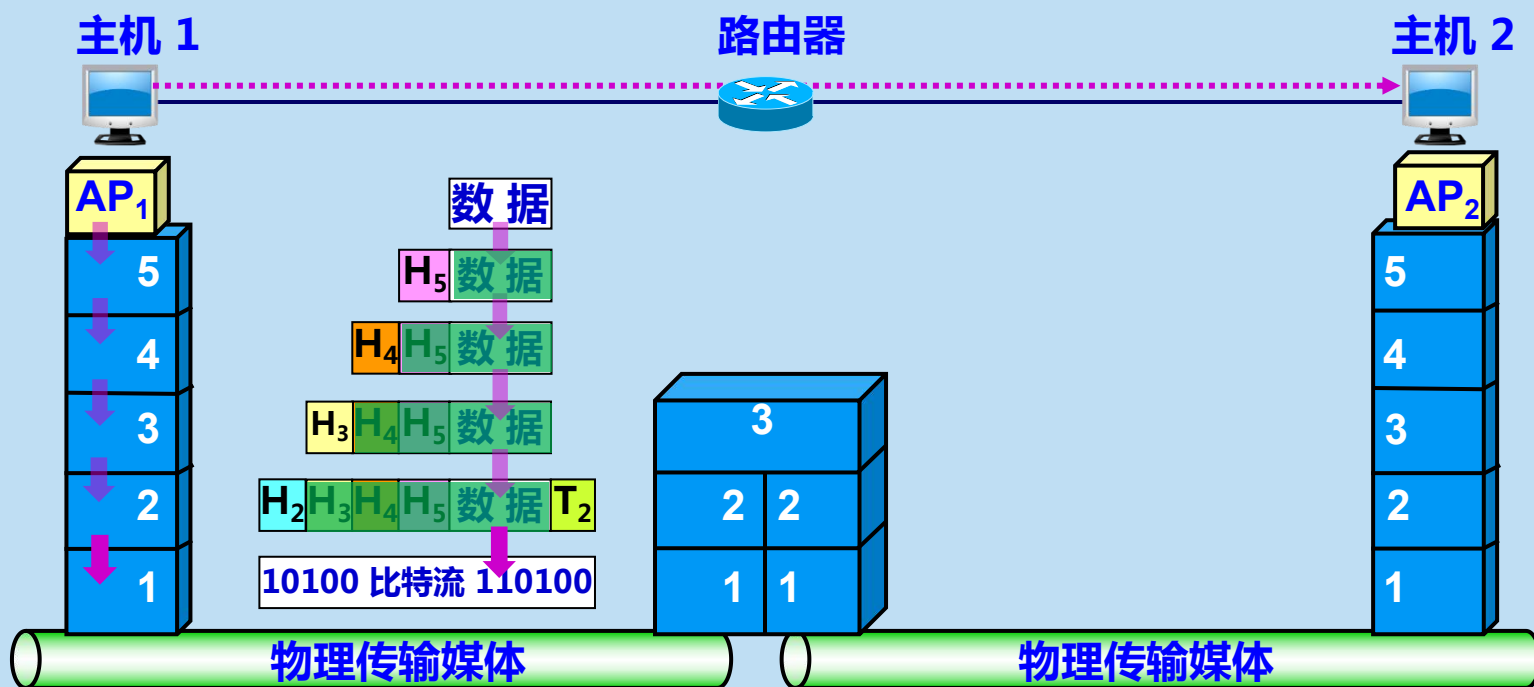
数据在各层之间的传递过程



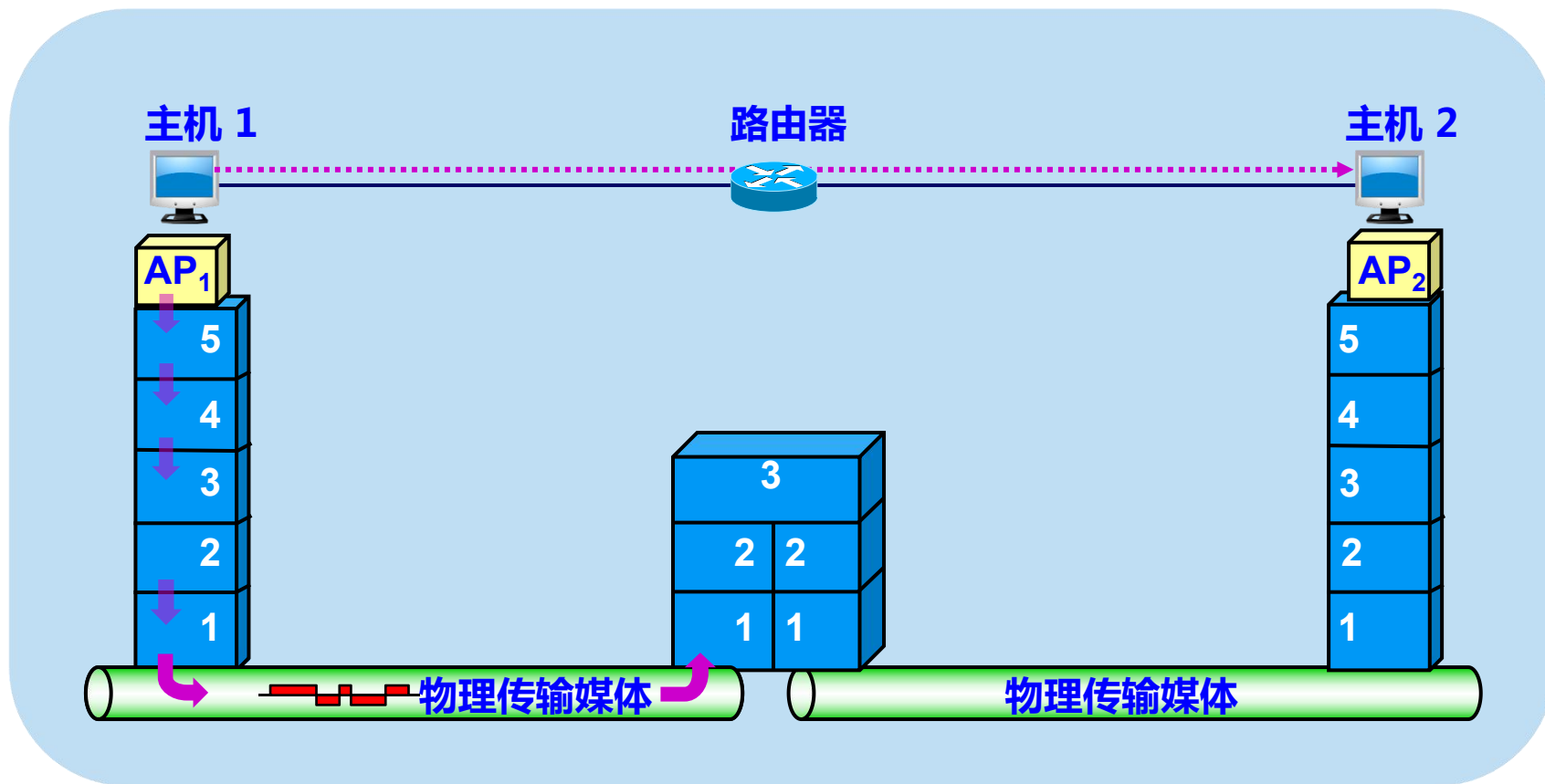
数据在各层之间的传递过程



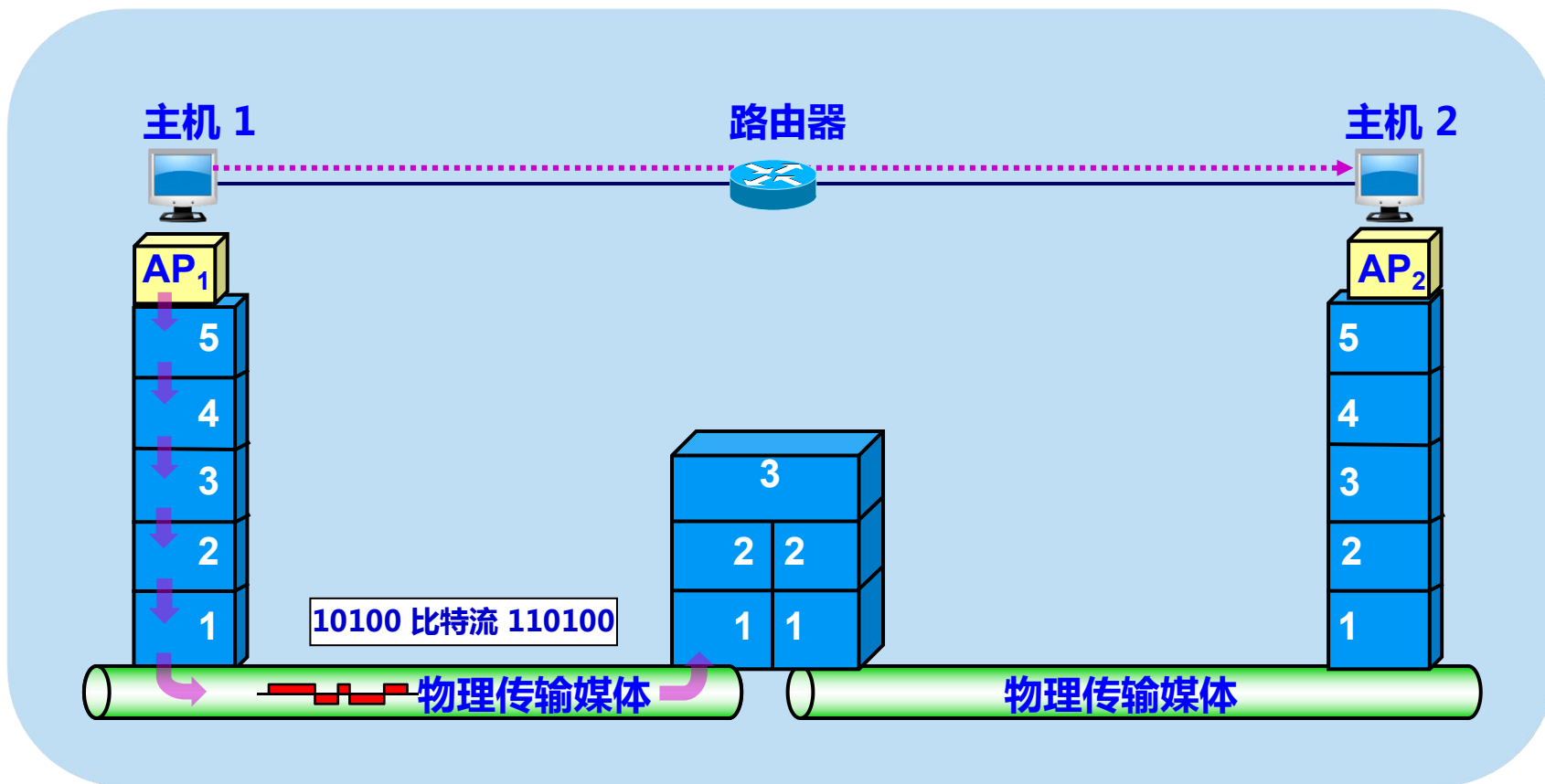
数据在各层之间的传递过程



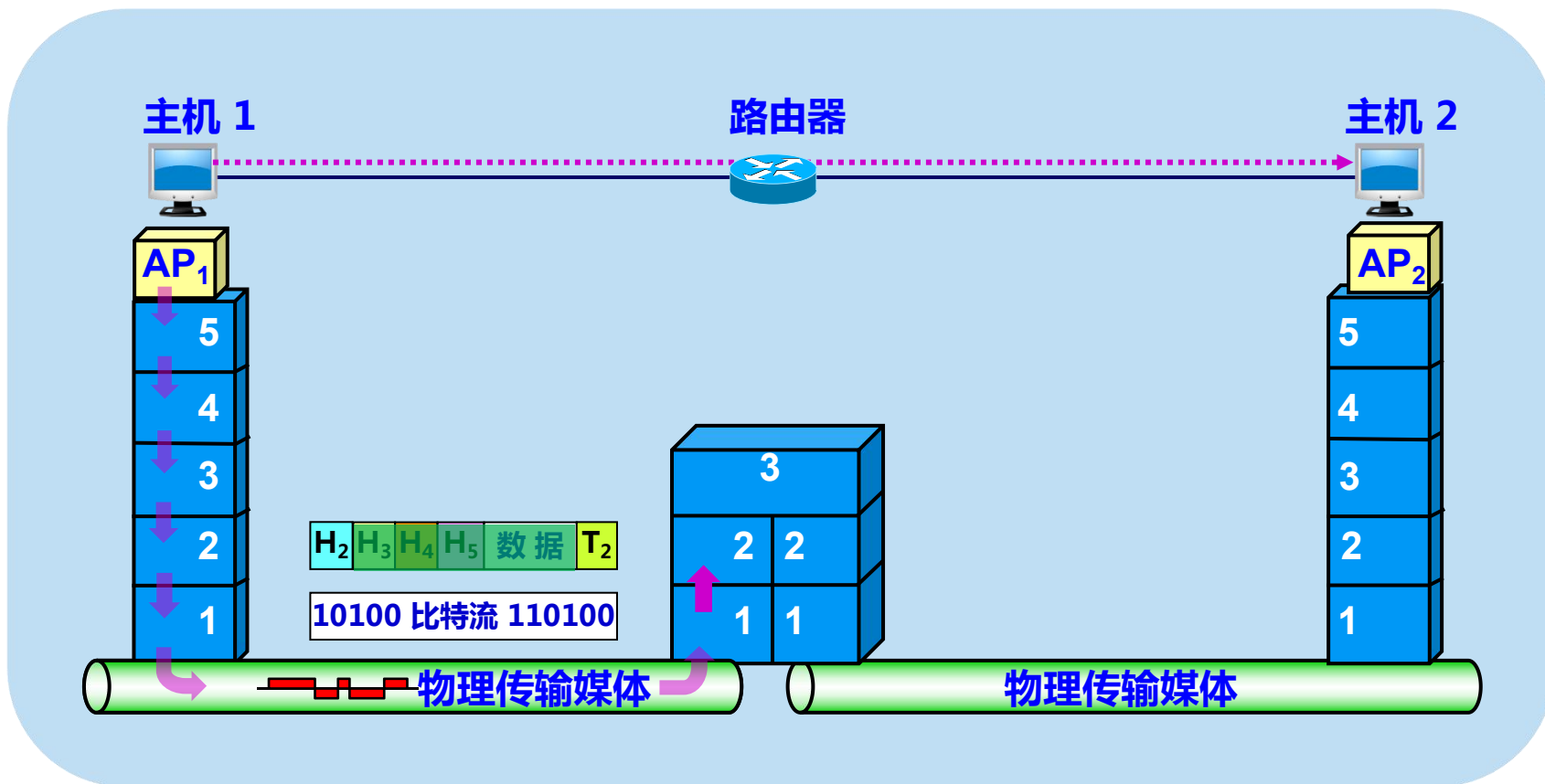
数据在各层之间的传递过程



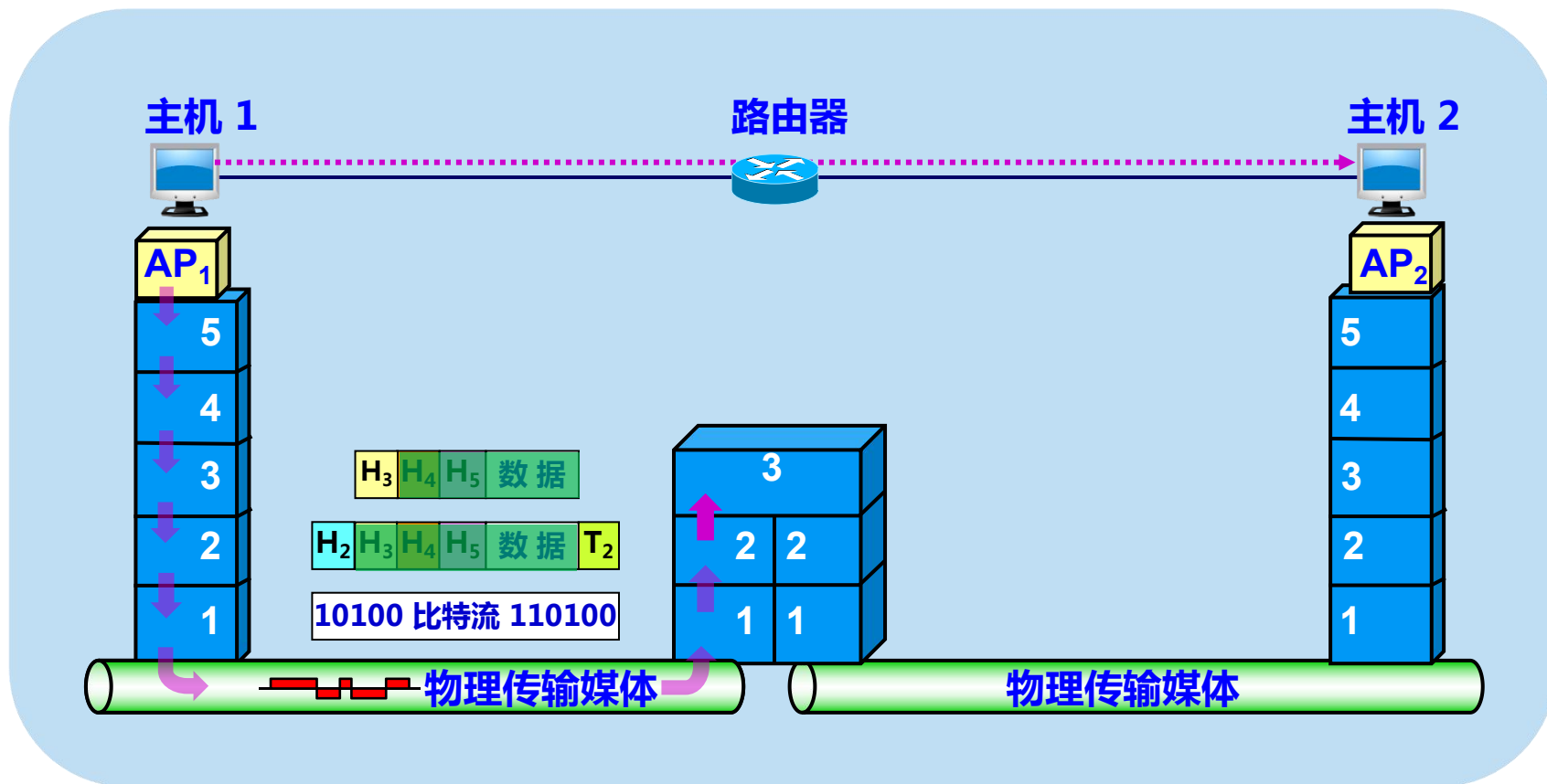
数据在各层之间的传递过程



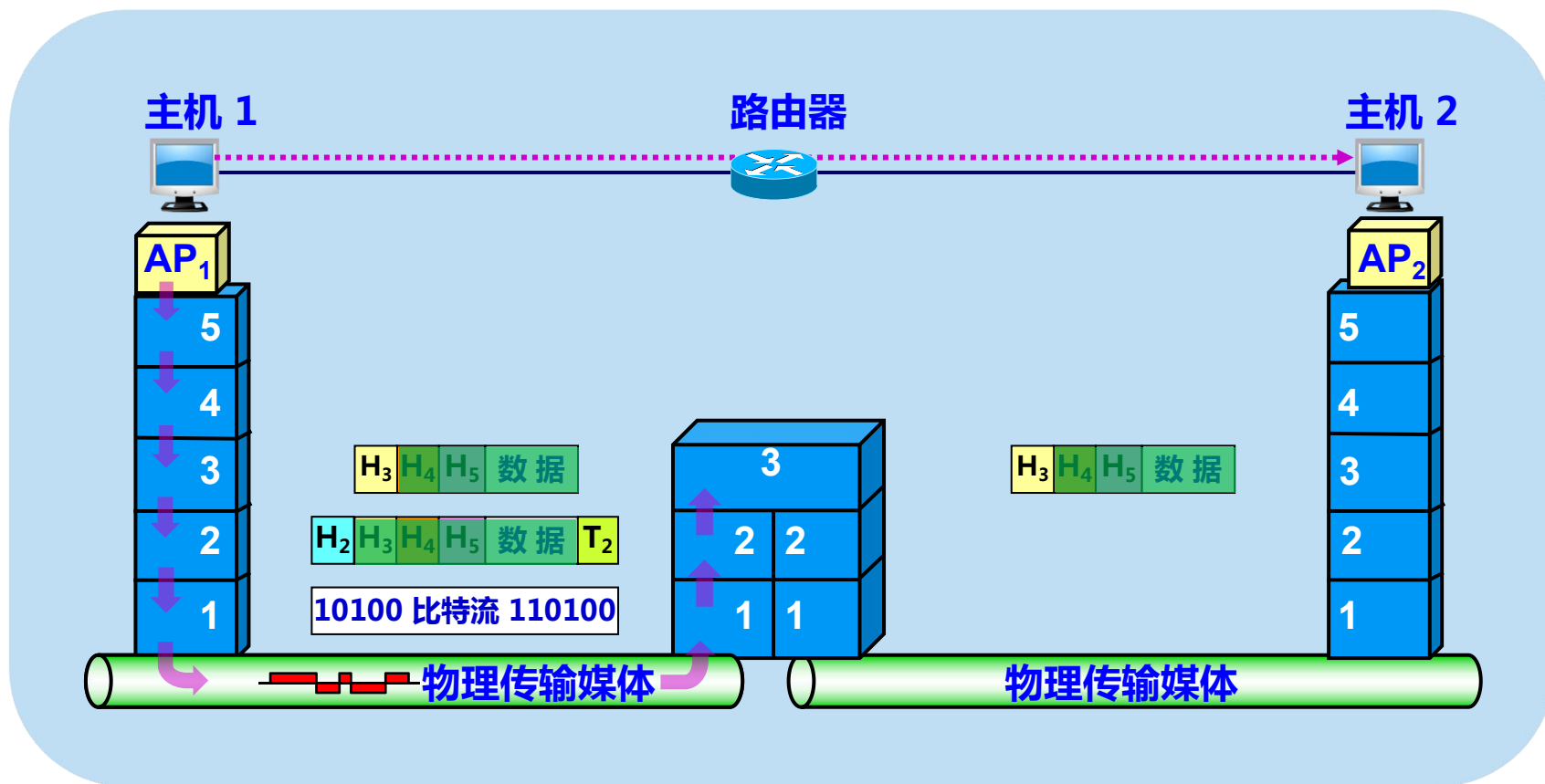
数据在各层之间的传递过程



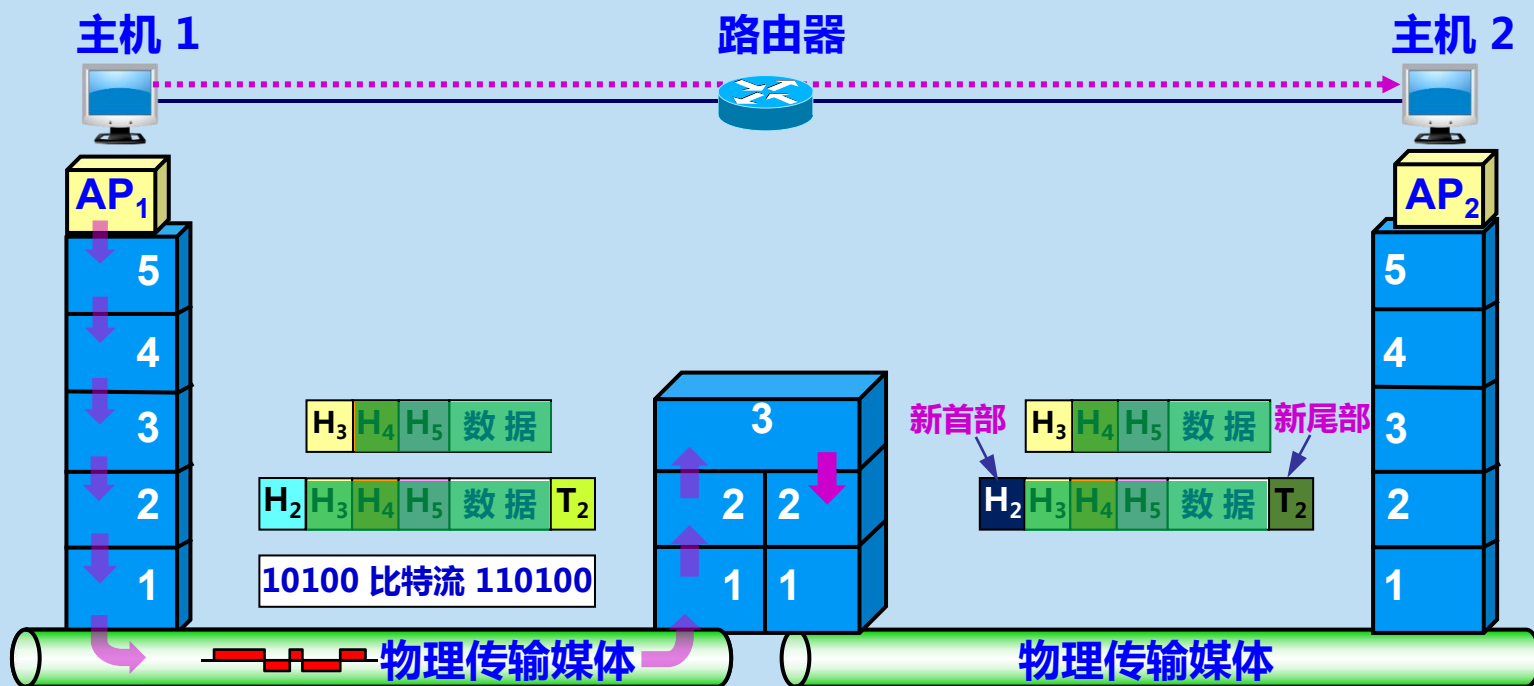
数据在各层之间的传递过程



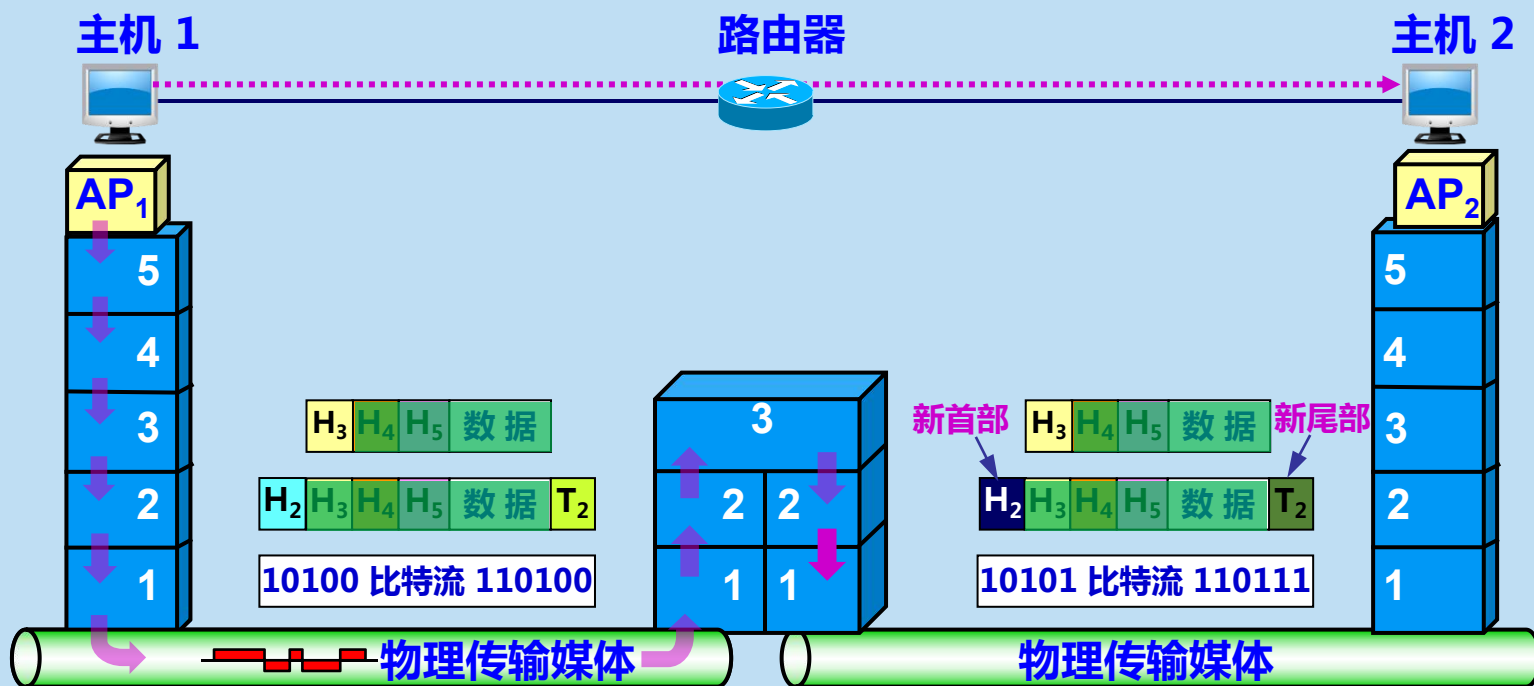
数据在各层之间的传递过程



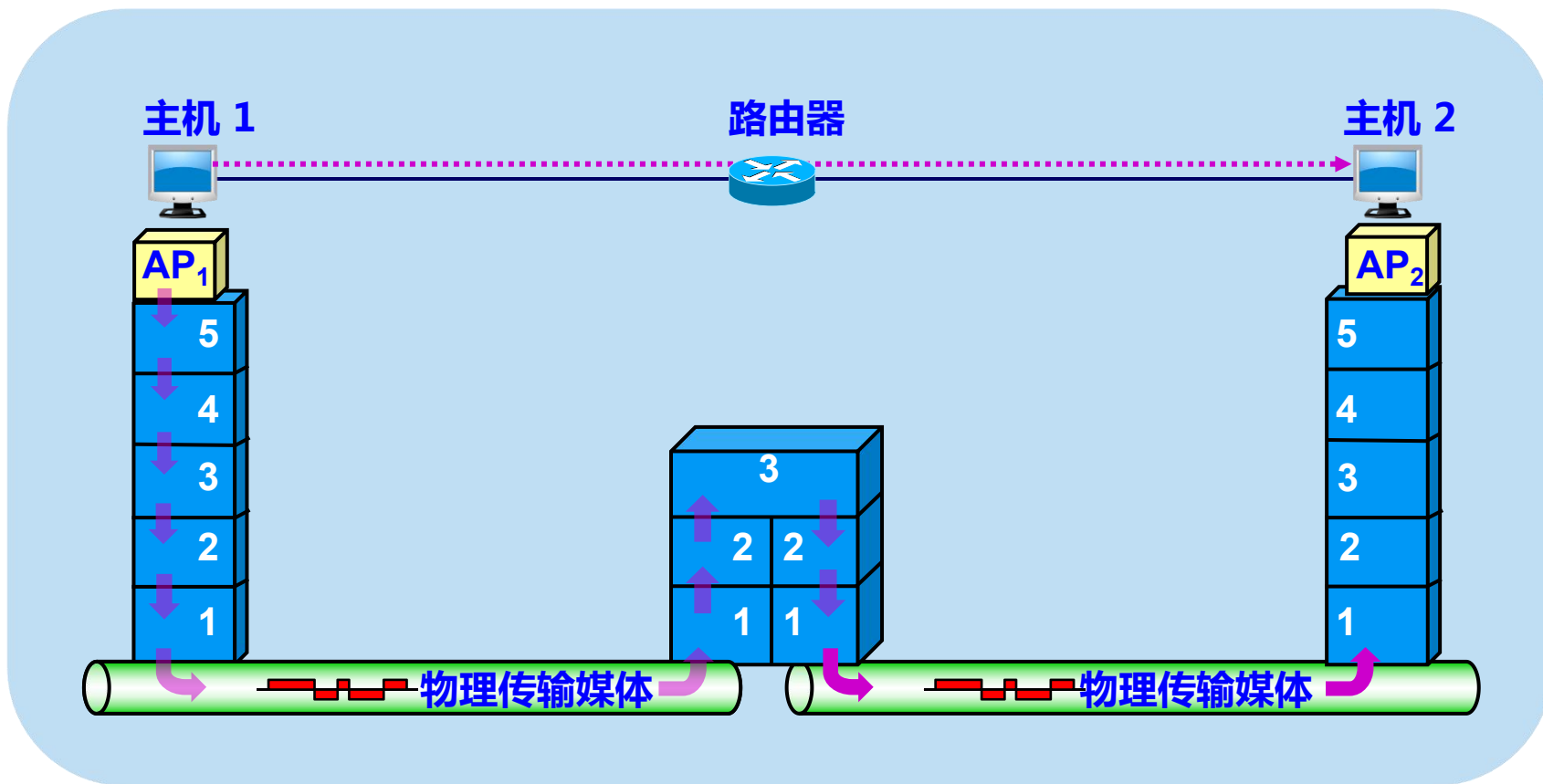
数据在各层之间的传递过程



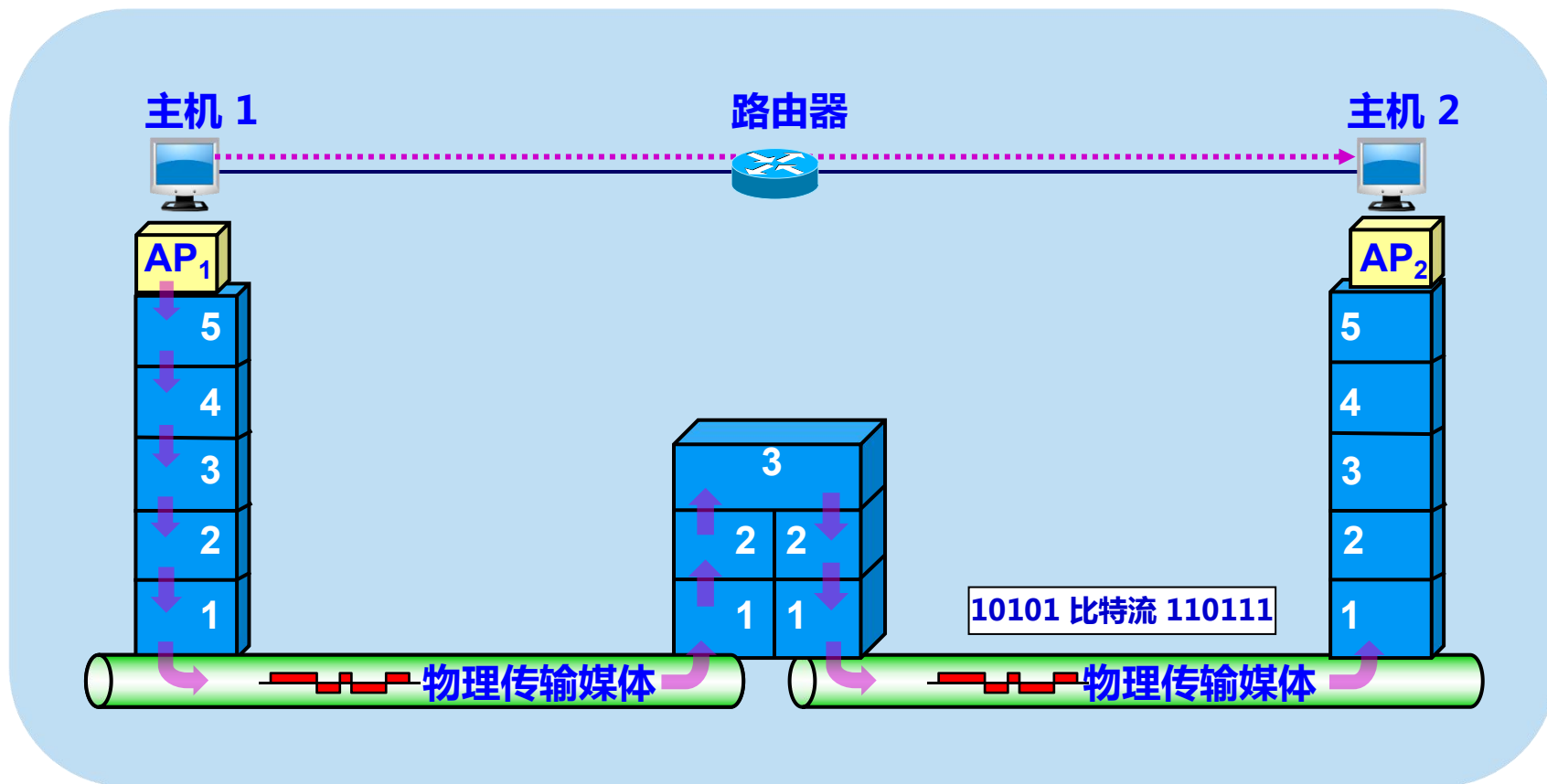
数据在各层之间的传递过程



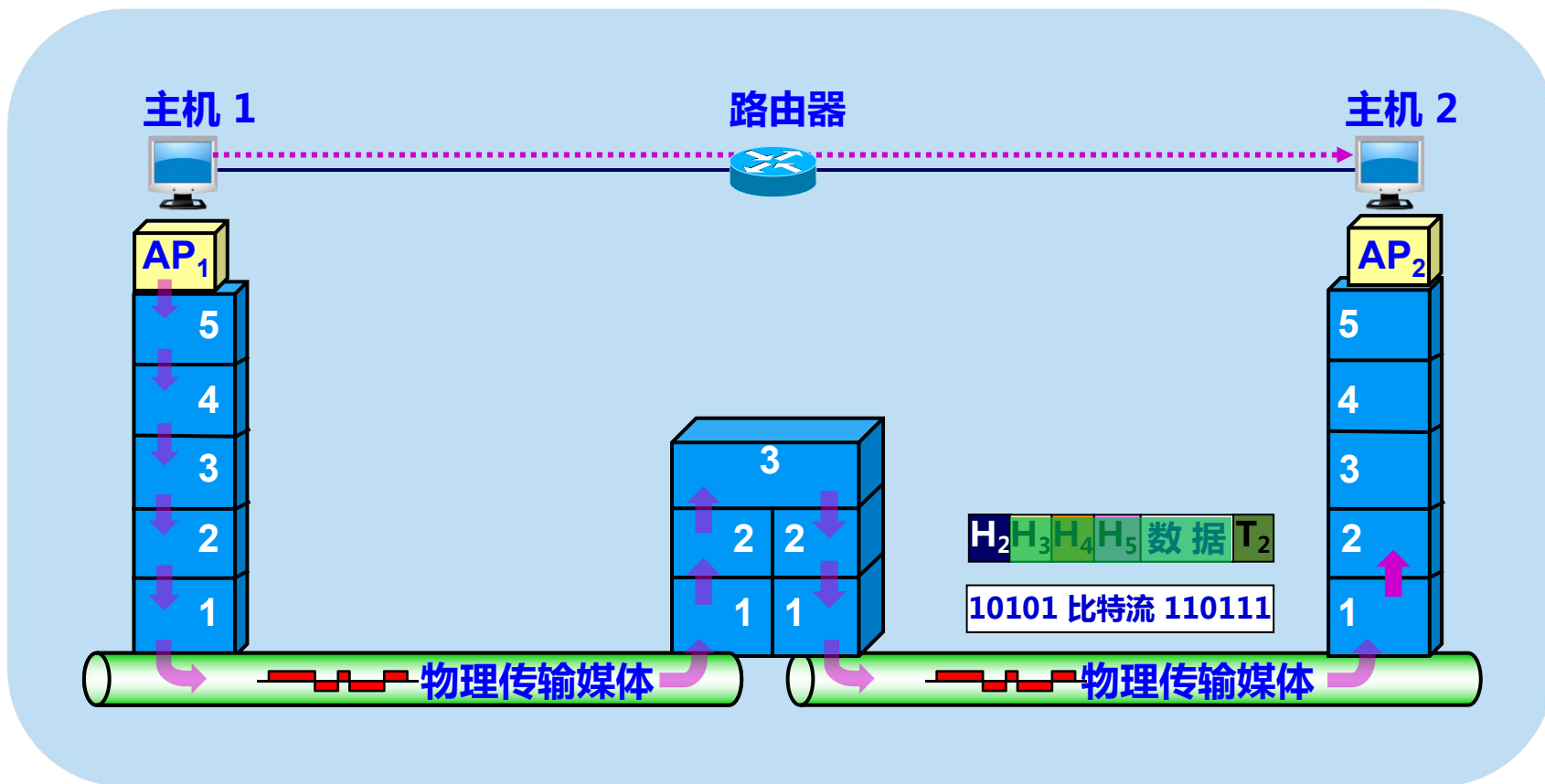
数据在各层之间的传递过程



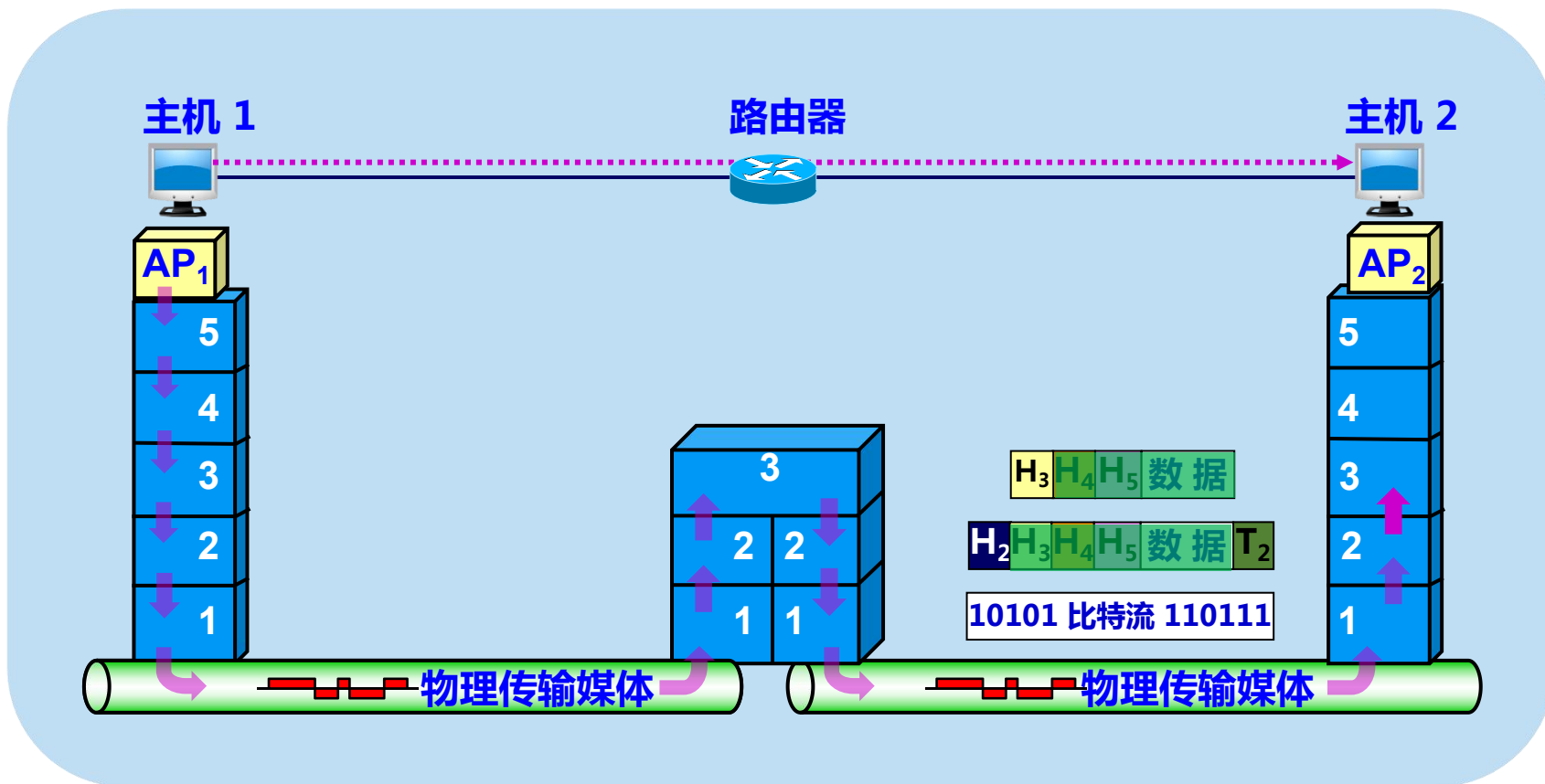
数据在各层之间的传递过程



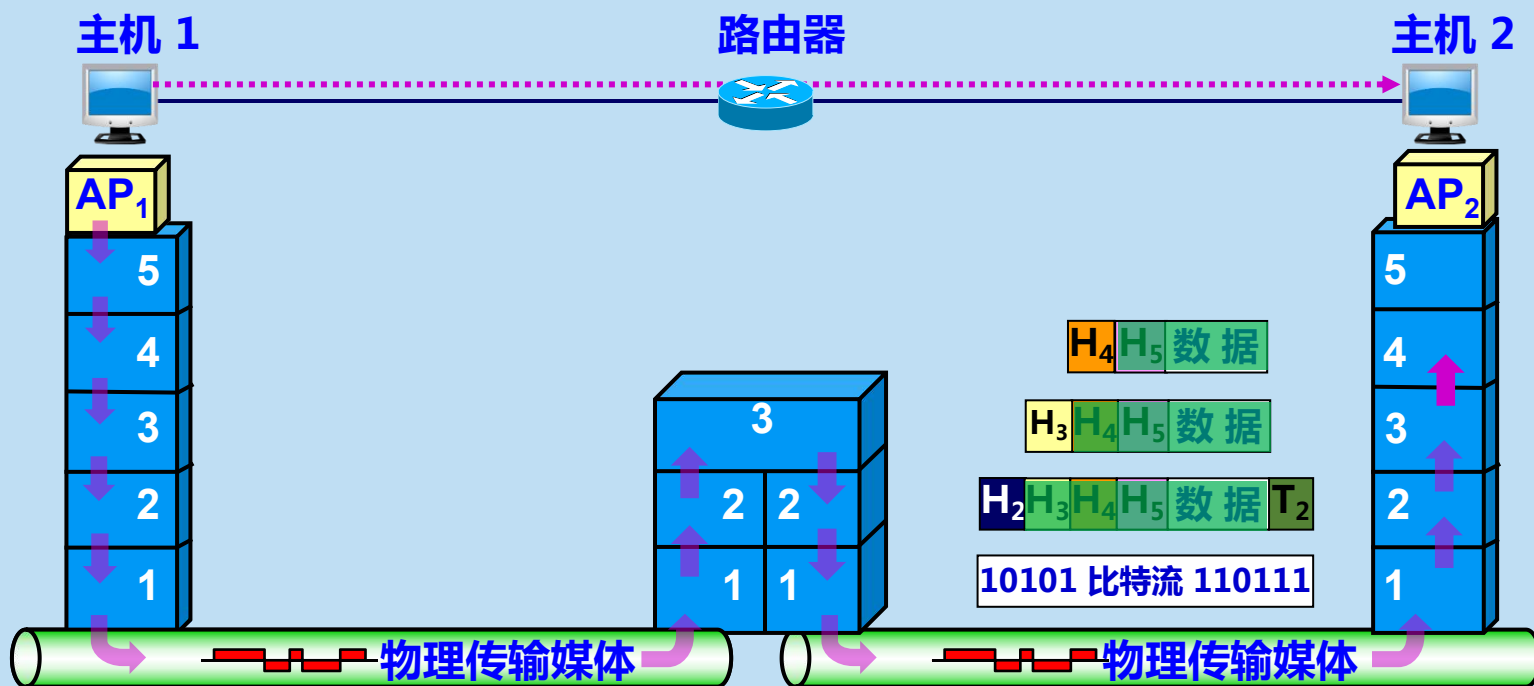
数据在各层之间的传递过程



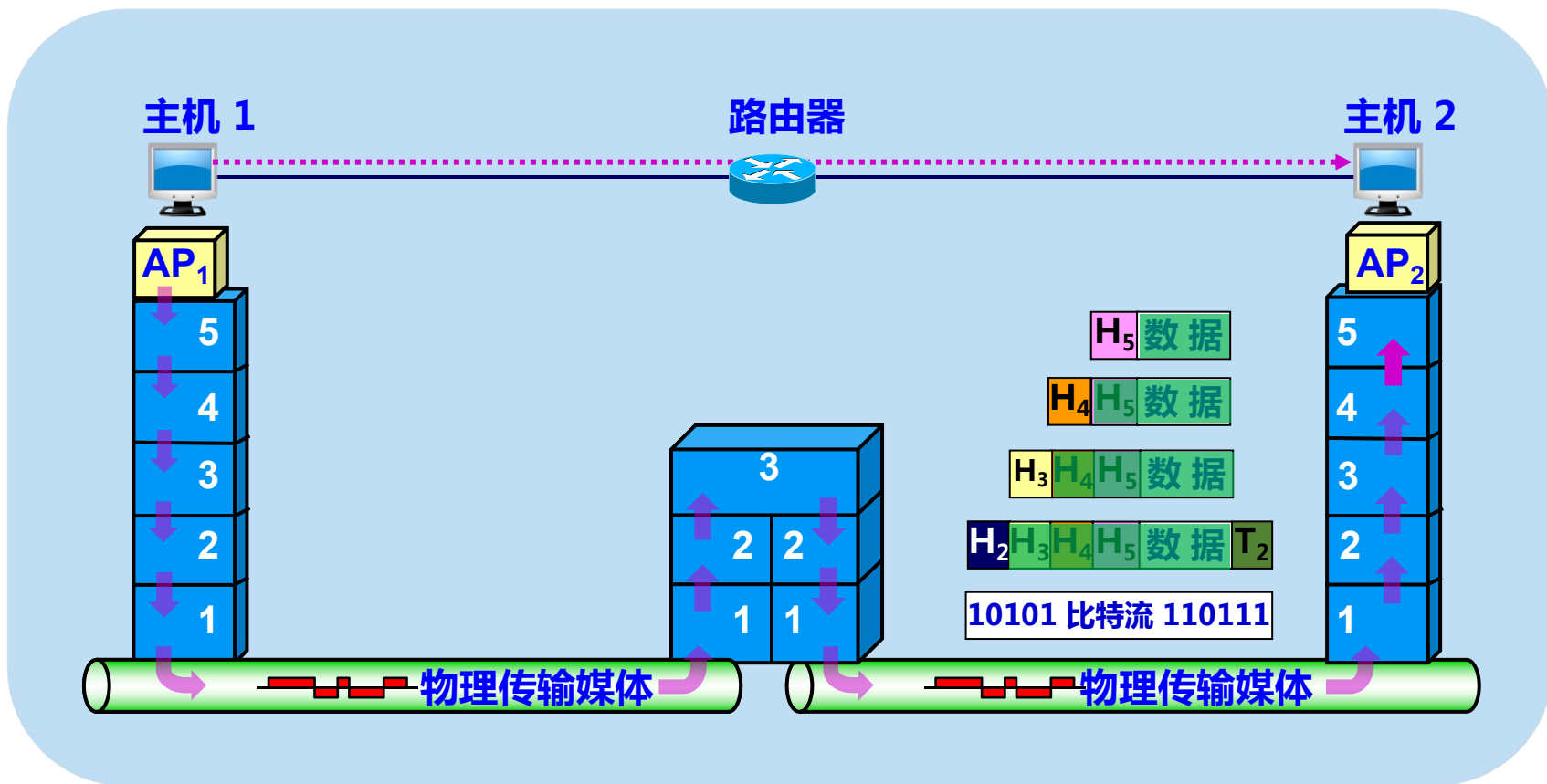
数据在各层之间的传递过程



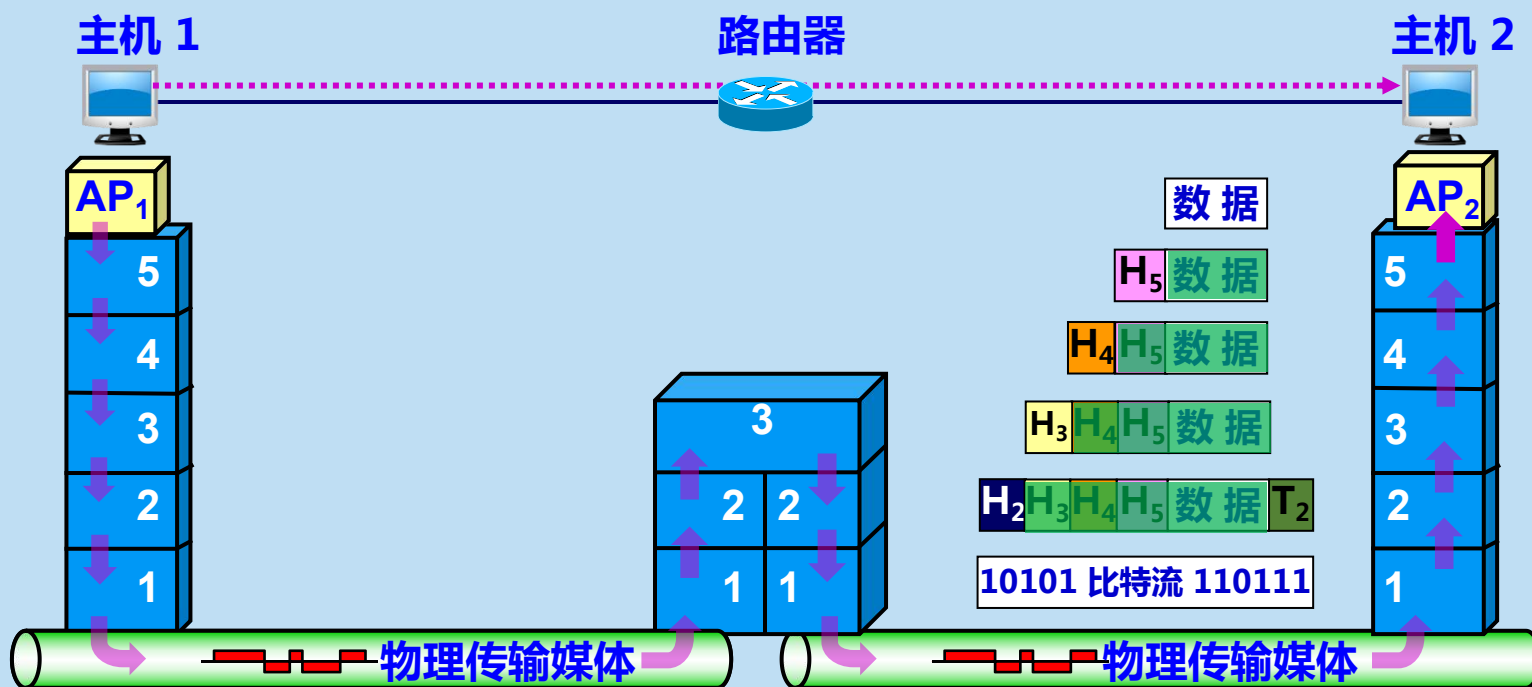
数据在各层之间的传递过程



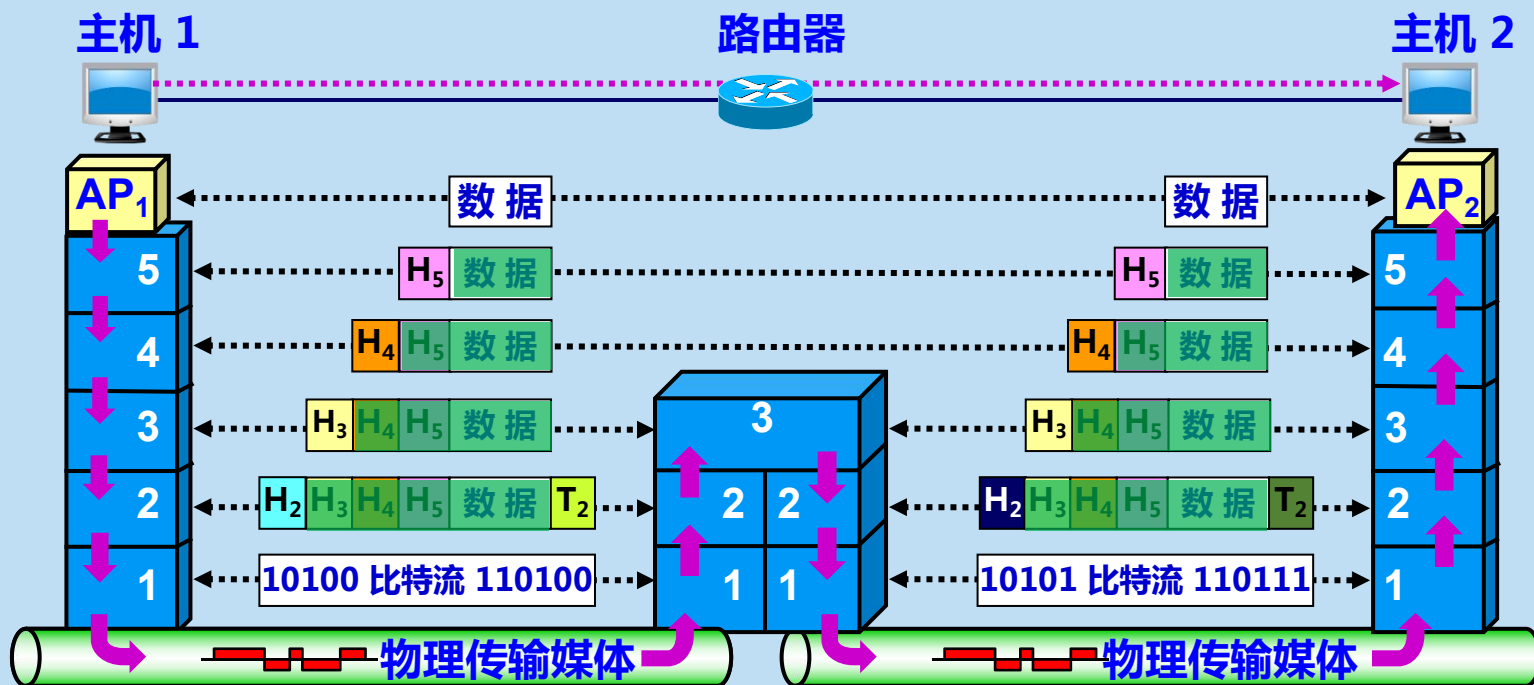
数据在各层之间的传递过程



数据在各层之间的传递过程



数据在各层之间的传递过程





1.1	计算机网络的基本概念
1.2	计算机网络的发展历程
1.3	计算机网络在我国的发展
1.4	互联网概述
1.5	计算机网络的类别
1.6	计算机网络性能评估指标
1.7	计算机网络体系结构