

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

# 章节导学

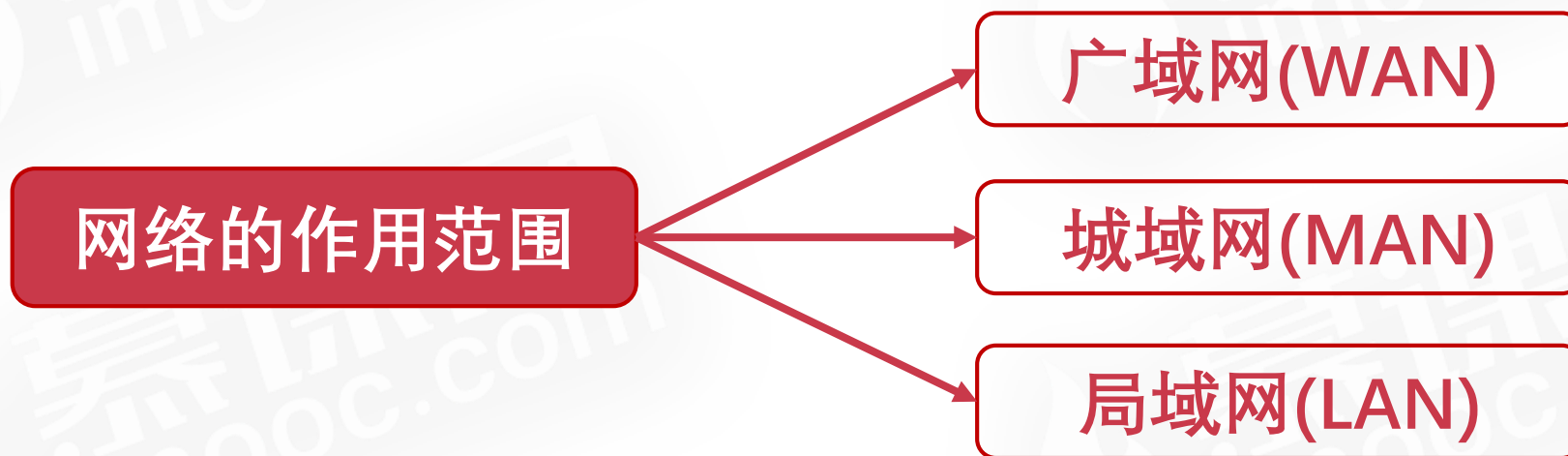
- ◆ 什么是计算机网络
- ◆ 计算机网络的分类
- ◆ 本章内容概览

# 什么是计算机网络

计算机网络主要由一些通用的、可编程的硬件互连而成，通过这些硬件，可以传送不同类型的数据，并且可以支持广泛和日益增长的应用。

- ◆ 计算机网络的不是软件概念，还包含硬件设备
- ◆ 计算机网络不仅仅是信息通信，还可以支持广泛的应用

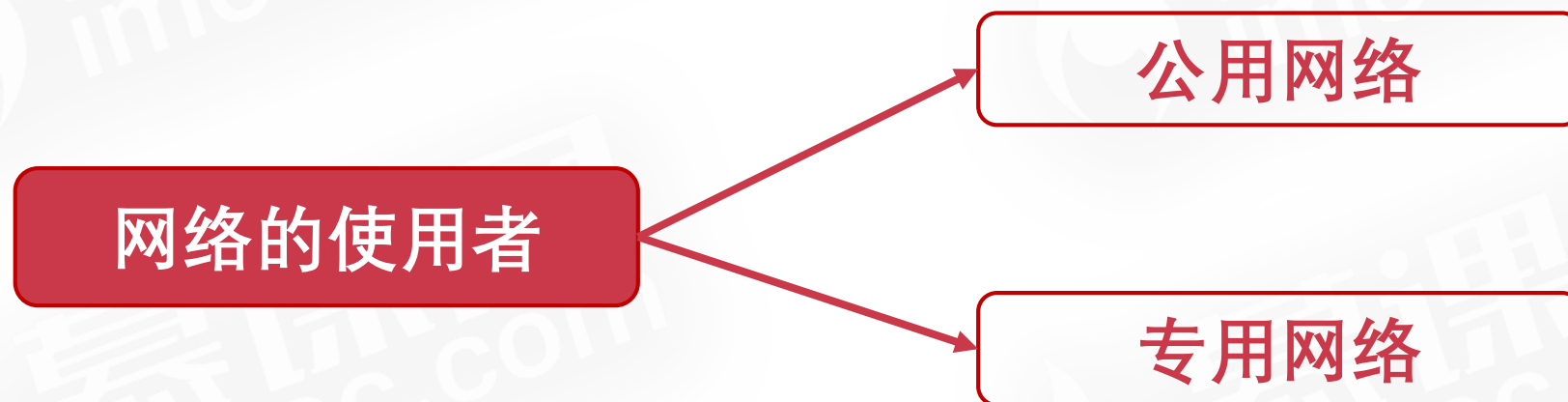
# 计算机网络的分类



# 计算机网络的分类

分类	英文	范围	区域
广域网	WAN(Wide Area Network)	几十到几千公里	跨省、跨国
城域网	MAN(Metro. Area Network)	5KM-50KM	城市间
局域网	LAN(Local Area Network)	1KM以内	地区内

# 计算机网络的分类



# 本章内容概览



慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

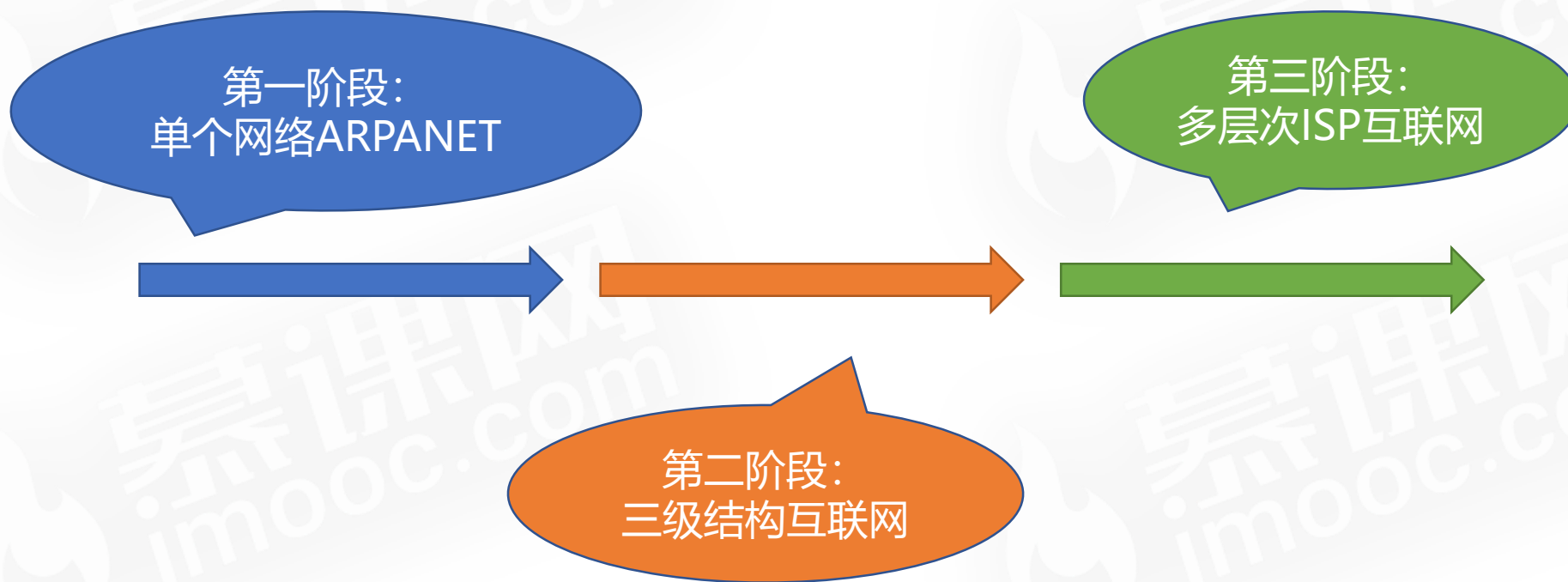
慕课网  
imooc.com



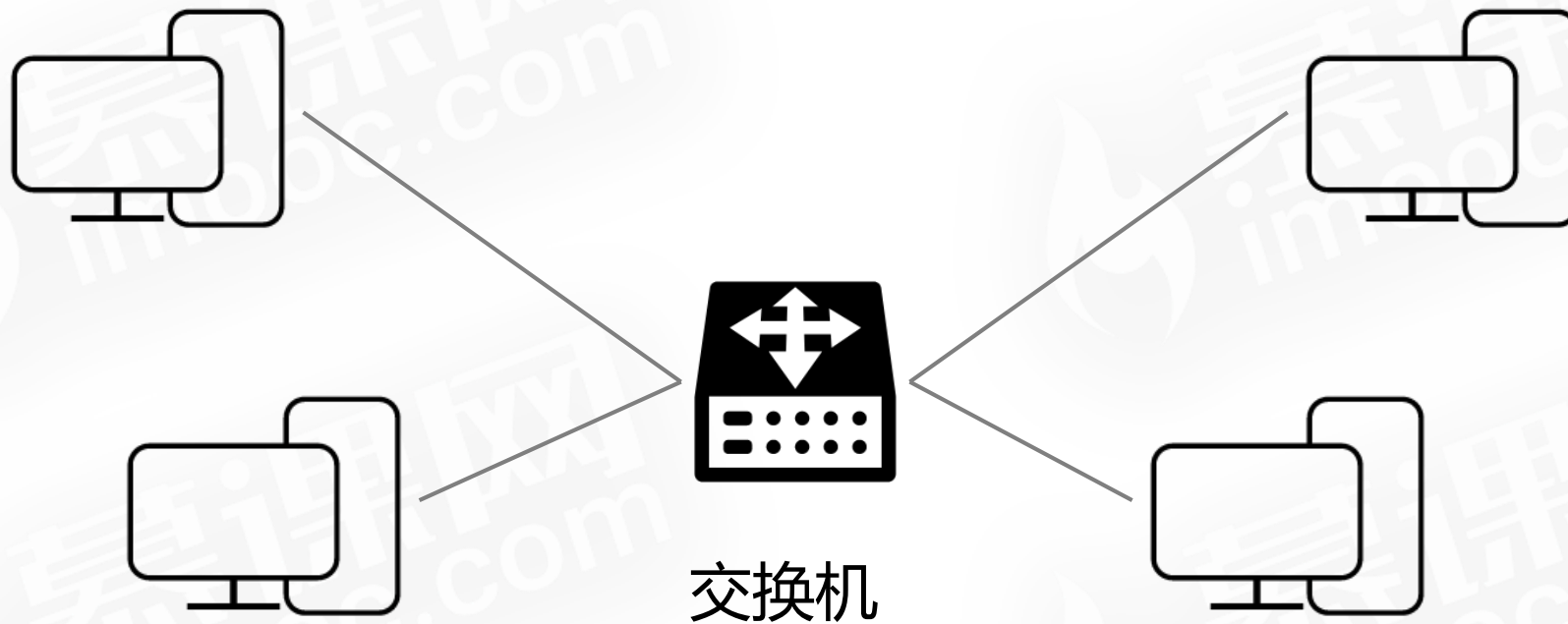
# 计算机网络的发展简史

- ◆ 互联网的发展历史
- ◆ 中国互联网的发展简史

# 互联网的发展历史

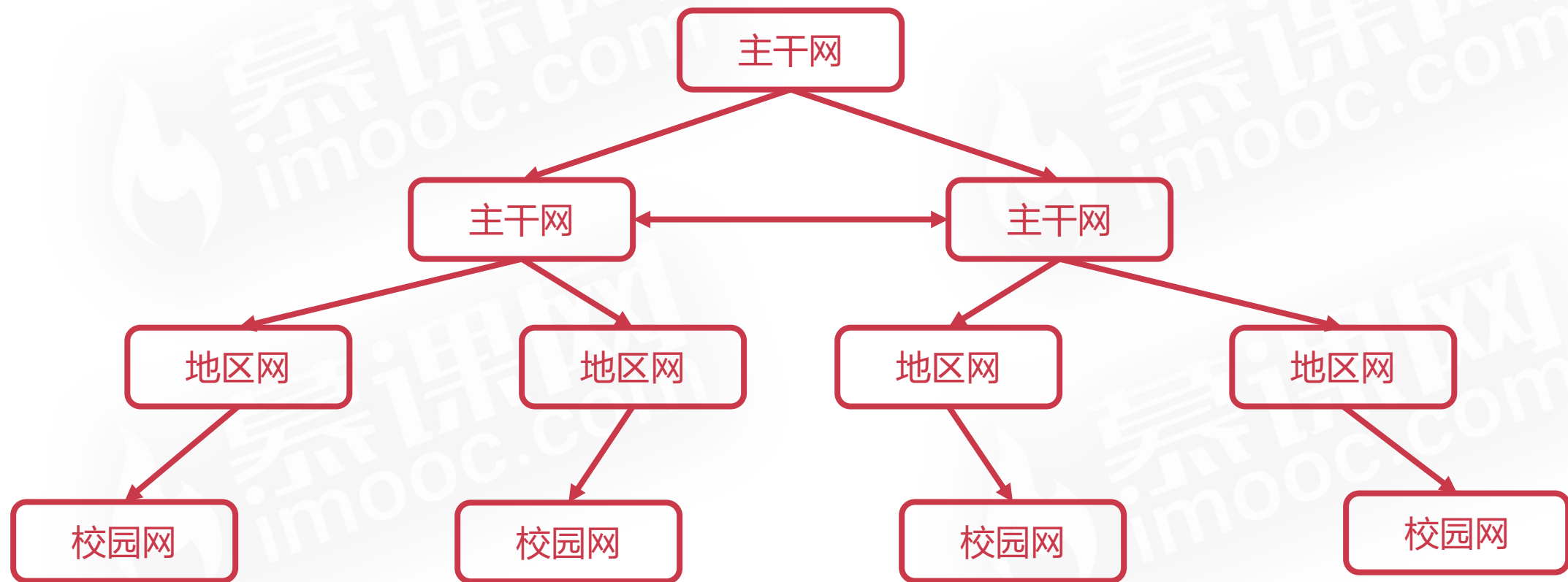


# 互联网的发展历史



第一个阶段：单个网络ARPANET

# 互联网的发展历史

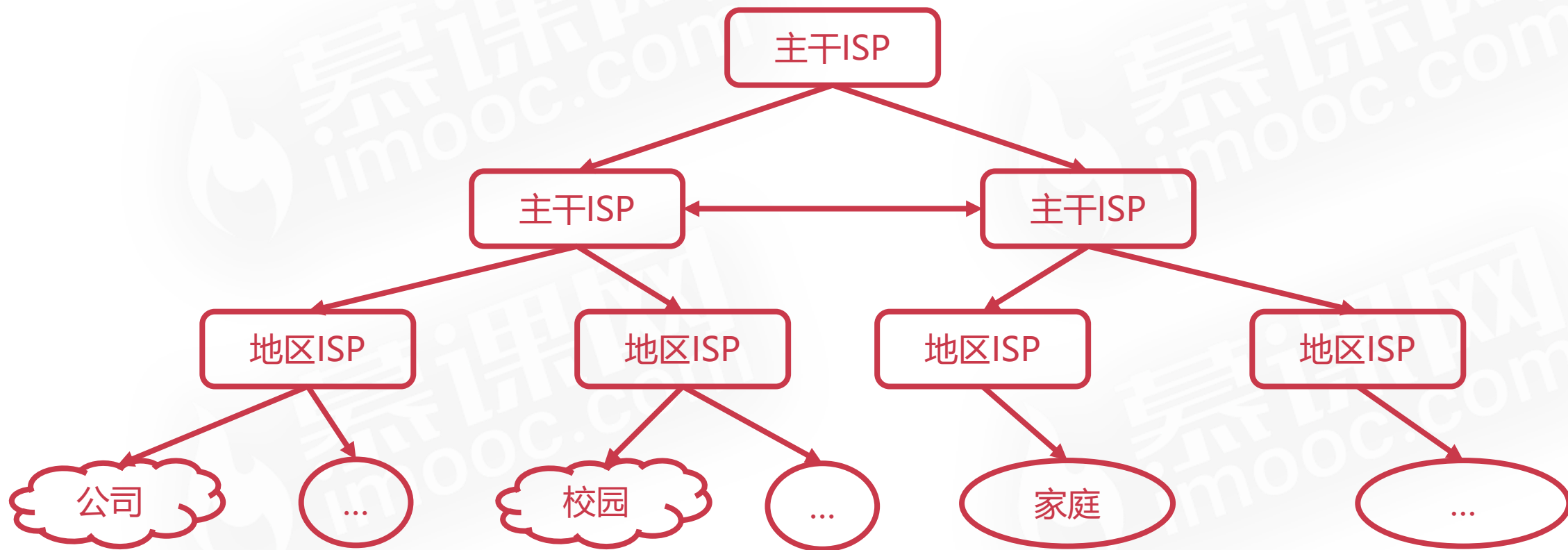


第二个阶段：三层结构互联网

# 计算机网络的发展简史

- ◆ ISP(Internet Service Provider): 网络服务提供商
- ◆ 中国电信、中国移动、中国联通等

# 互联网的发展历史



第三个阶段：多层次ISP互联网

# 互联网的发展历史

现代国际互联网的主要线路→

# 计算机网络的发展简史

- ◆ 互联网的发展历史
- ◆ 中国互联网的发展简史



# 中国互联网的发展简史

1980年开始  
互联网实验

1994接入国际互  
联网

1989年第一个公  
共网络建立运行

# 中国互联网的发展简史

中国电信互联网CHINANET

中国联通互联网UNINET

中国移动互联网CMNET

中国教育与科研计算机网CERNET

中国科学技术网CSTNET

# 中国互联网的发展简史

1996年，张朝阳创建搜狐

1997年，丁磊创建网易

1998年，王志东创建新浪

1998年，马化腾、张志东创建腾讯

1999年，马云创建阿里巴巴

2000年，李彦宏创建百度

# 计算机网络的发展简史

- ◆ 互联网的发展历史
- ◆ 中国互联网的发展简史

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

# 计算机网络的层次结构

- ◆ 层次结构设计的基本原则
- ◆ OSI七层模型
- ◆ TCP/IP四层模型

# 层次结构设计的基本原则



# 层次结构设计的基本原则

网络应用数据

视频、文件、游戏

数据可靠通信

数据错误、重复

物理网络接入

光电等物理特性



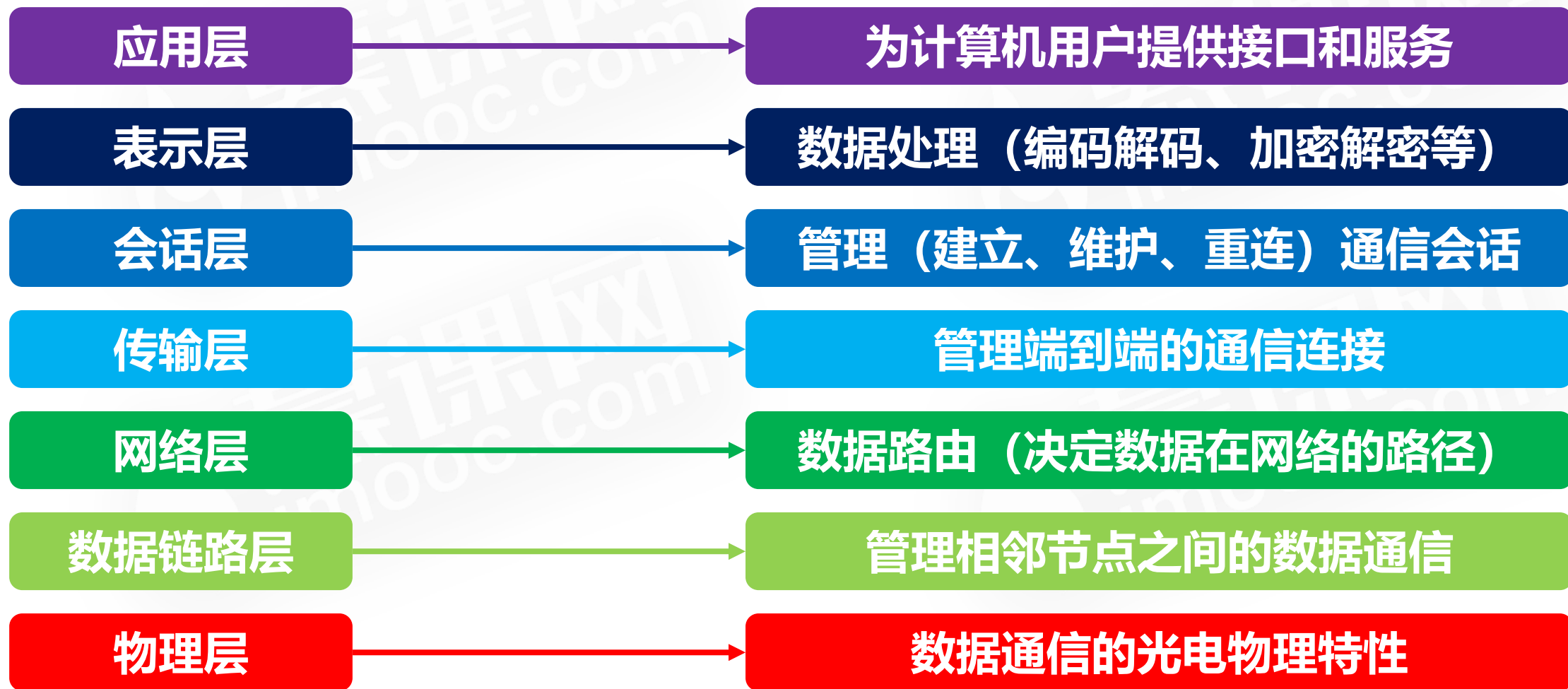
# 层次结构设计的基本原则

- ◆ 各层之间是相互独立的
- ◆ 每一层要有足够的灵活性
- ◆ 各层之间完全解耦

# 计算机网络的层次结构

- ◆ 层次结构设计的基本原则
- ◆ OSI七层模型

# OSI七层模型



# OSI七层模型

- ◆ OSI欲成为全球计算机都遵循的标准
- ◆ OSI在市场化过程中困难重重，TCP/IP在全球范围成功运行
- ◆ OSI最终并没有成为广为使用的标准模型

# OSI七层模型

- ◆ OSI的专家缺乏实际经验
- ◆ OSI标准制定周期过长，按OSI标准生产的设备无法及时进入市场
- ◆ OSI模型设计的并不合理，一些功能在多层中重复出现

# 计算机网络的层次结构

- ◆ 层次结构设计的基本原则
- ◆ OSI七层模型
- ◆ TCP/IP四层模型

# TCP/IP四层模型

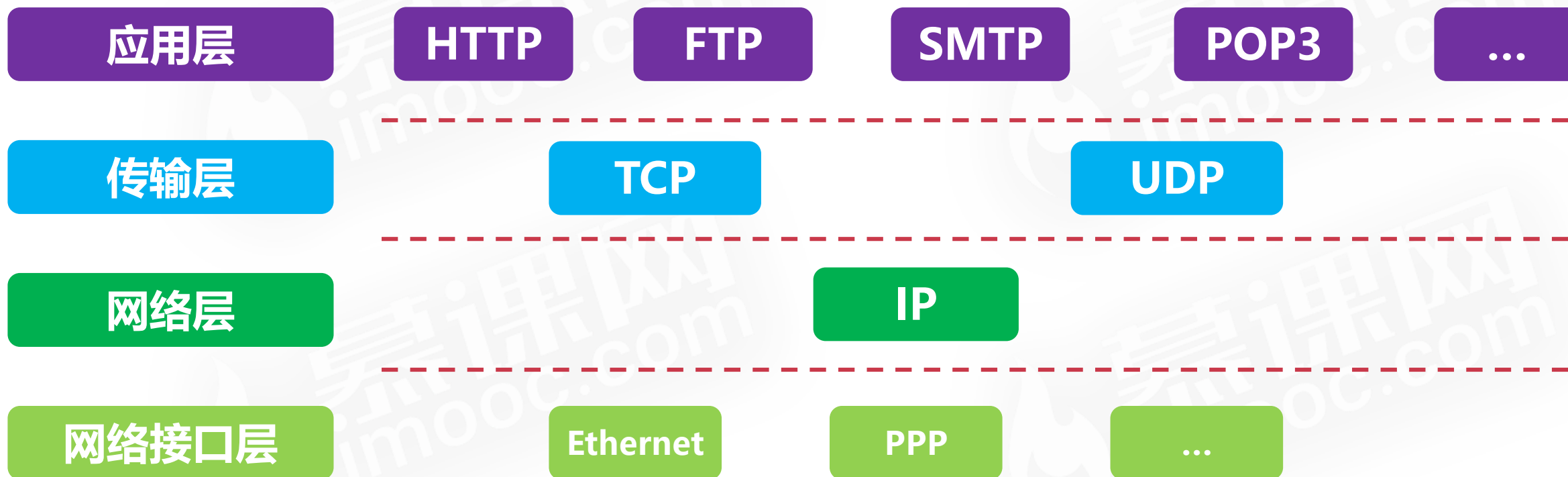


# TCP/IP四层模型





# TCP/IP四层模型



中间窄，两端大的沙漏形状

# 计算机网络的层次结构

- ◆ 层次结构设计的基本原则
- ◆ OSI七层模型
- ◆ TCP/IP四层模型

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

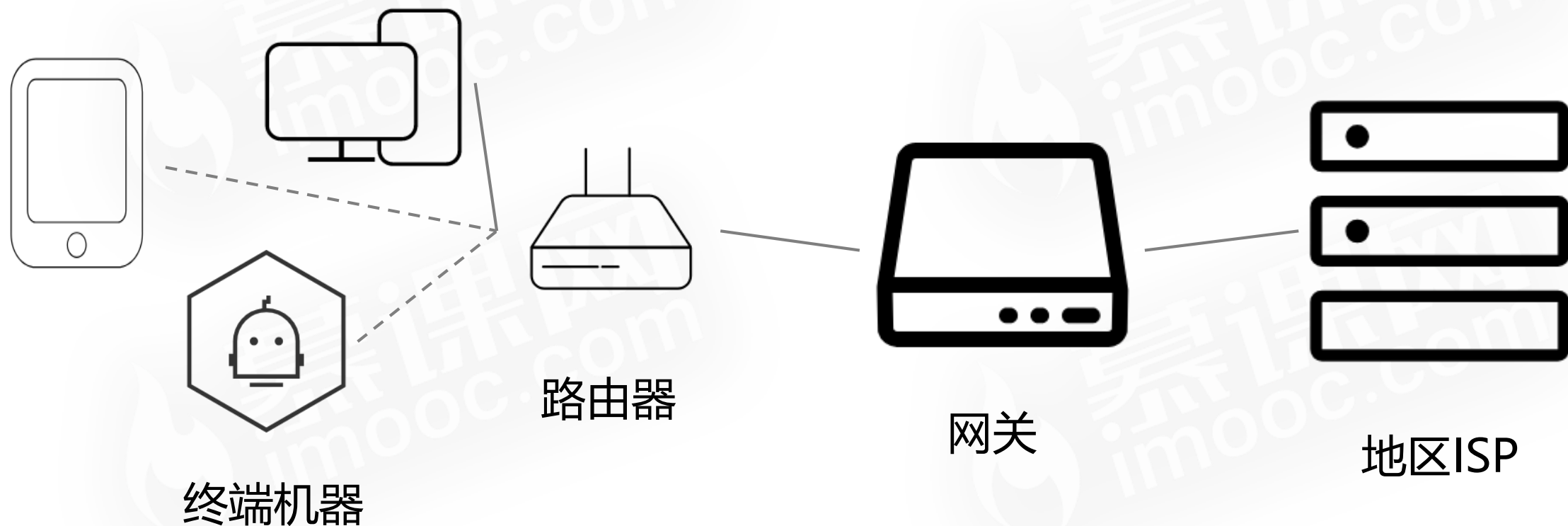
慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

# 现代互联网的网络拓扑

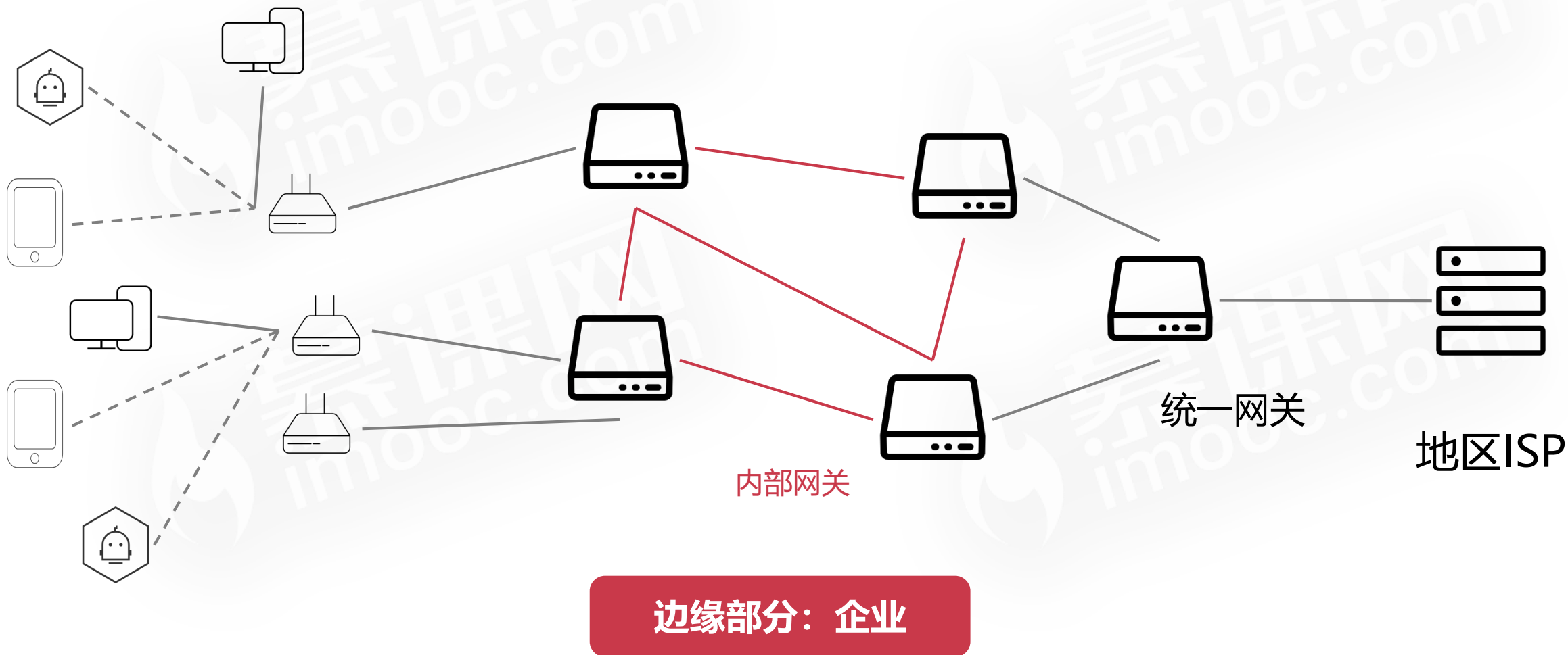
- ◆ 边缘部分
- ◆ 核心部分

# 现代互联网的网络拓扑

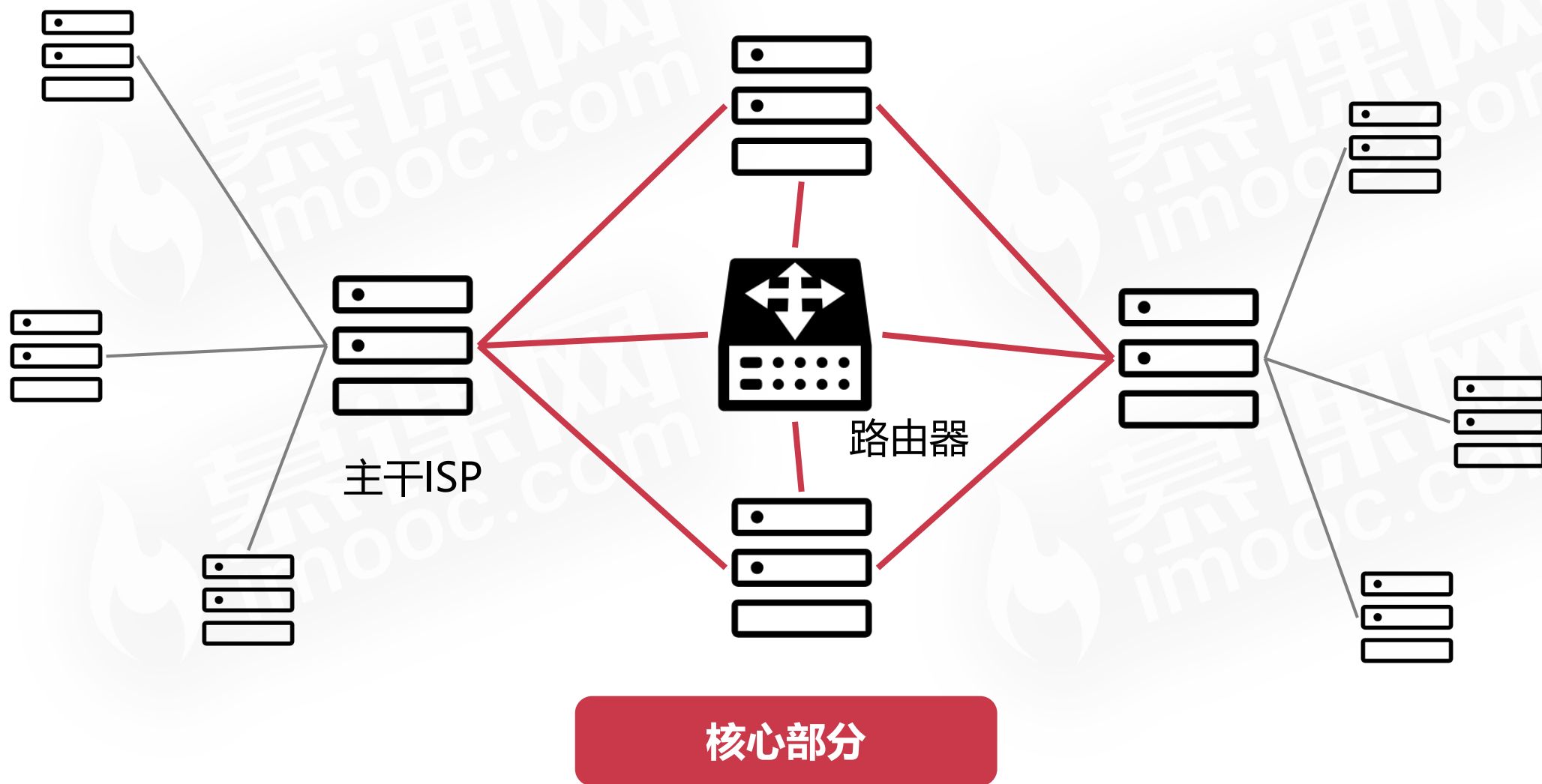


边缘部分：家庭

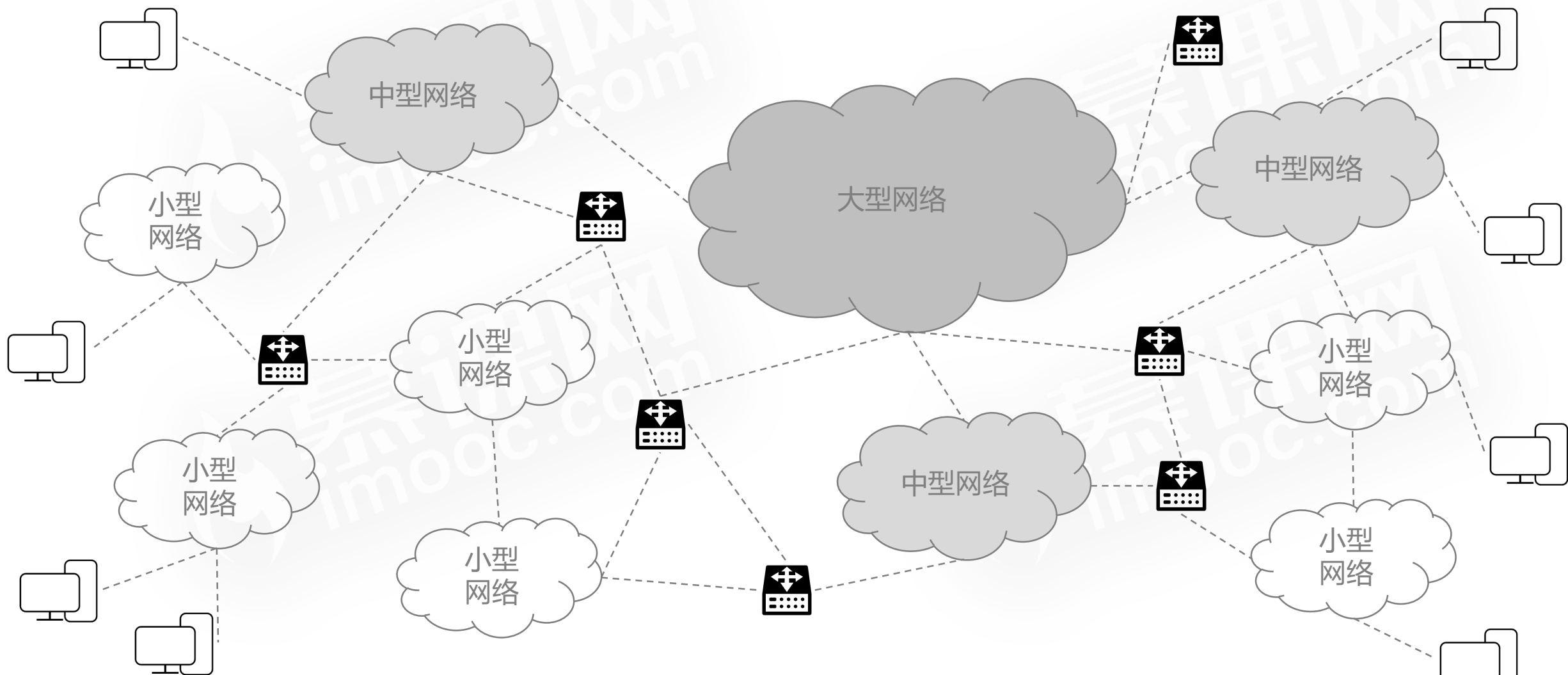
# 现代互联网的网络拓扑



# 现代互联网的网络拓扑



# 现代互联网的网络拓扑

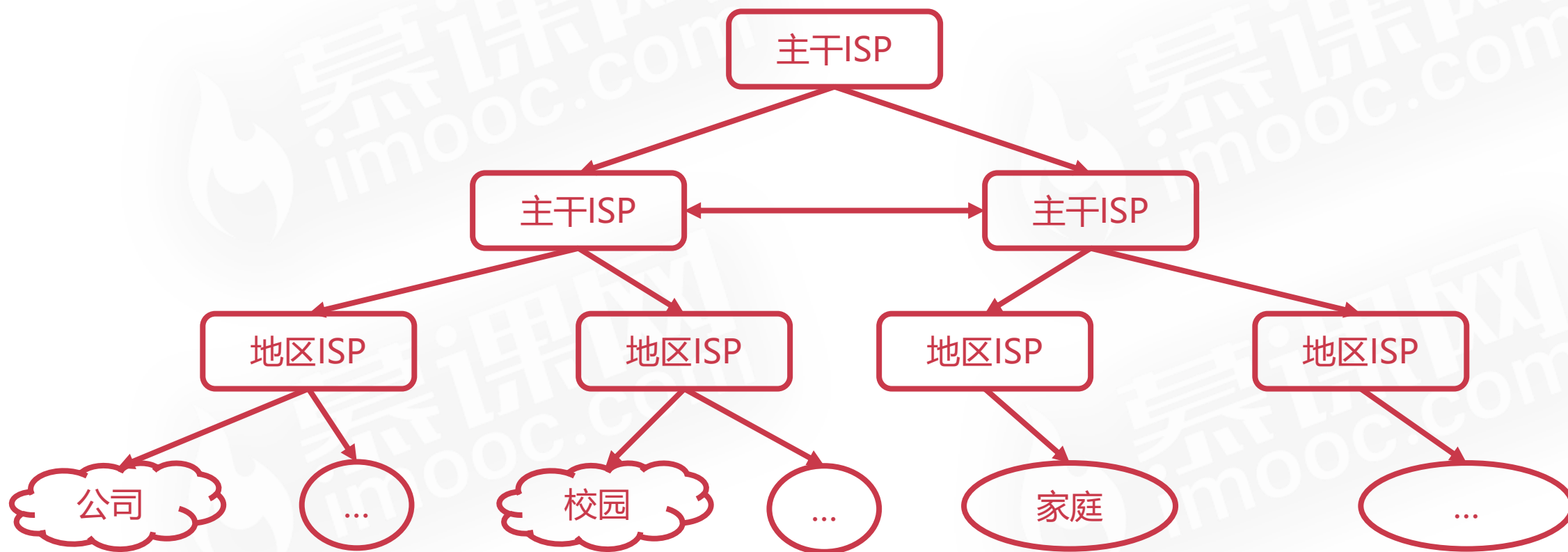




# 现代互联网的网络拓扑

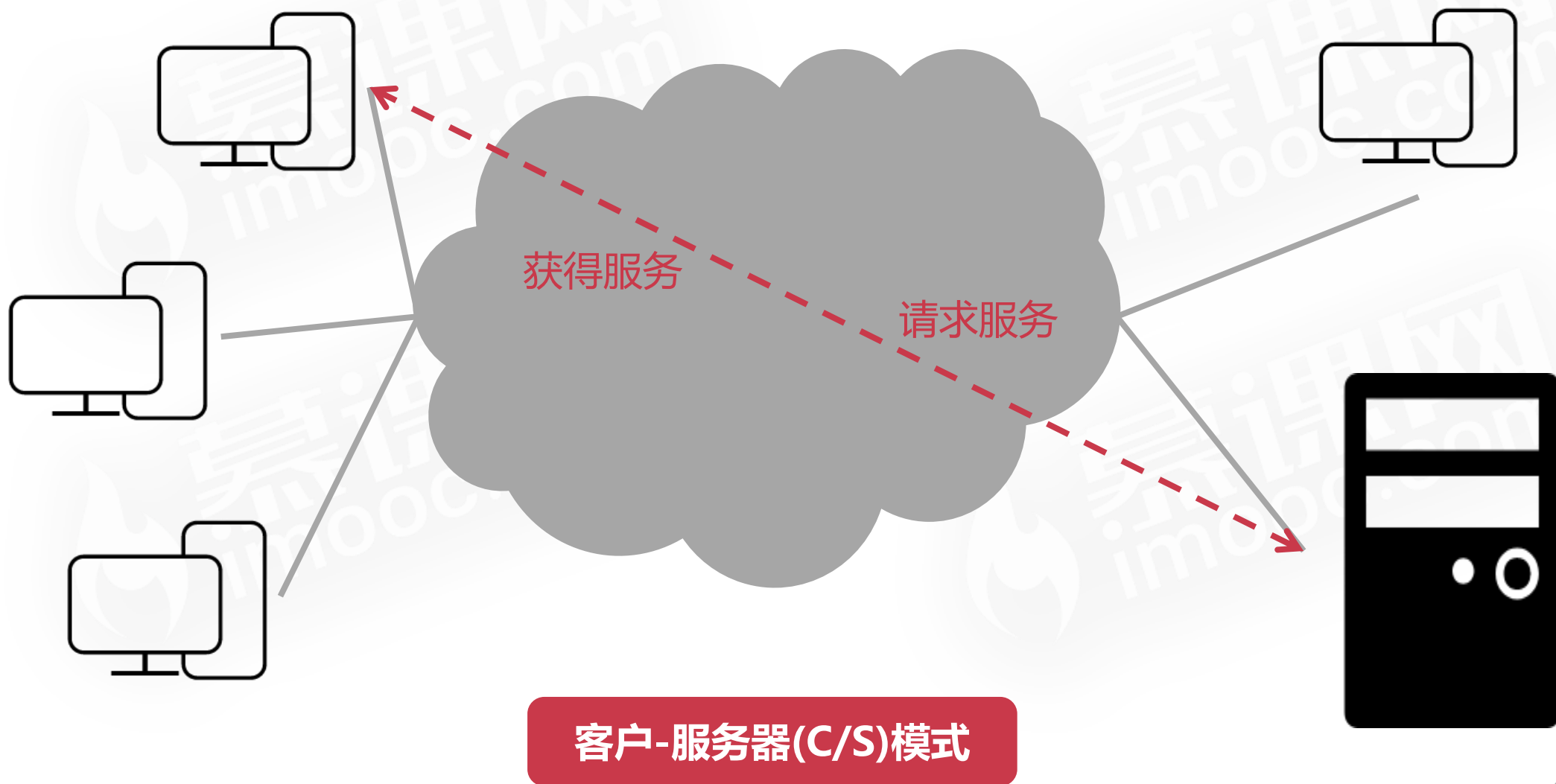
- ◆ 接入设备数以亿计
- ◆ 网络连接错综复杂
- ◆ 网络覆盖边际全球

# 现代互联网的网络拓扑

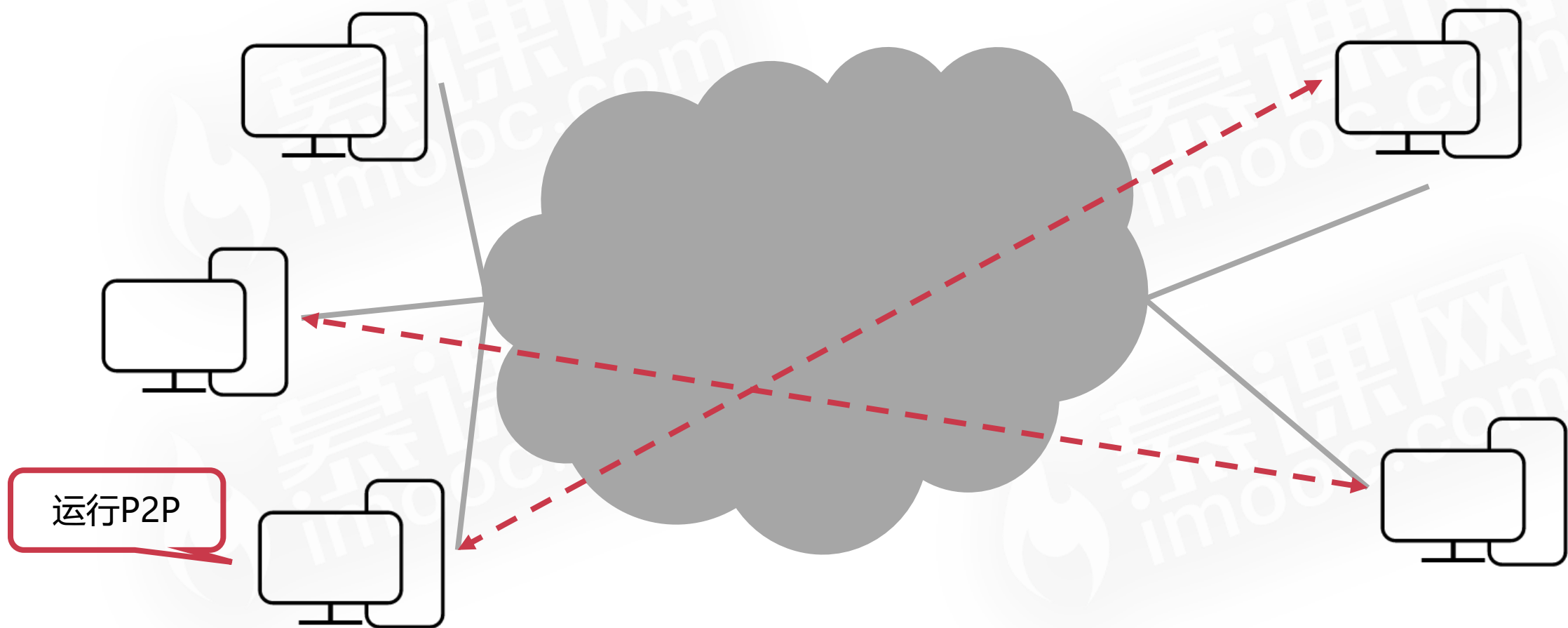


树状结构

# 现代互联网的网络拓扑



# 现代互联网的网络拓扑



对等连接(P2P)模式

# 现代互联网的网络拓扑

- ◆ 边缘部分
- ◆ 核心部分

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

# 计算机网络的性能指标

	bit	Byte	KB	MB	GB	TB	PB	EB
名字	比特位	字节	千字节	兆字节	吉字节	太字节	拍字节	艾字节
比例	-	8bits	1024B	1024KB	1024MB	1024GB	1024TB	1024PB
常见设备	门电路	-	寄存器	高速缓存	内存/硬盘	硬盘	云硬盘	数据仓库

速率:  $\text{bps} = \text{bit/s}$

# 计算机网络的性能指标

为什么电信拉的100M光纤，测试峰值速度只有12M每秒？

网络常用单位为(Mbps)

$$100\text{M/s} = 100\text{Mbps} = 100\text{Mbit/s}$$

$$100\text{Mbit/s} = (100/8)\text{MB/s} = 12.5\text{MB/s}$$

**速率：bps=bit/s**



# 计算机网络的性能指标

发送时延

排队时延

传播时延

处理时延

时延

# 计算机网络的性能指标

$$\text{发送时延} = \frac{\text{数据长度}(bit)}{\text{发送速率}(bit/s)}$$

受限于计算机网卡

时延

发送时延

# 计算机网络的性能指标

$$\text{传播时延} = \frac{\text{传输路径距离}}{\text{传播速率}(\text{bit/s})}$$

受限于传输介质

时延

传播时延

# 计算机网络的性能指标

- ◆ 数据包在网络设备中等待被处理的时间

时延

排队时延

# 计算机网络的性能指标

- ◆ 数据包到达设备或者目的机器被处理所需要的时间

时延

处理时延

# 计算机网络的性能指标

总时延 = 发送时延 + 排队时延 + 传播时延 + 处理时延

时延

# 计算机网络的性能指标

- ◆ RTT(Route-Trip Time)是评估网络质量的一项重要指标
- ◆ RTT表示的是数据报文在端到端通信中的来回一次的时间
- ◆ 通常使用ping命令查看RTT

往返时间RTT

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com



# 物理层概述



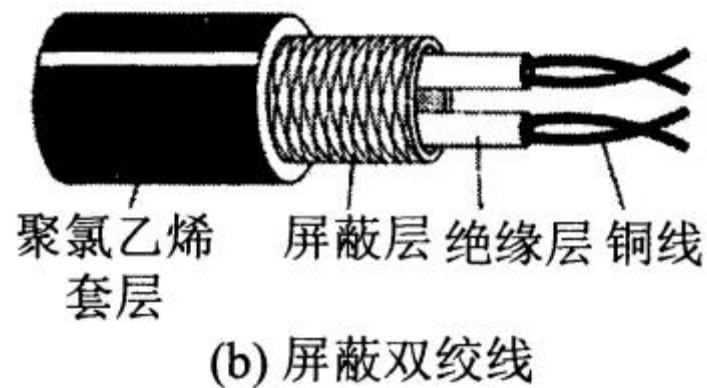
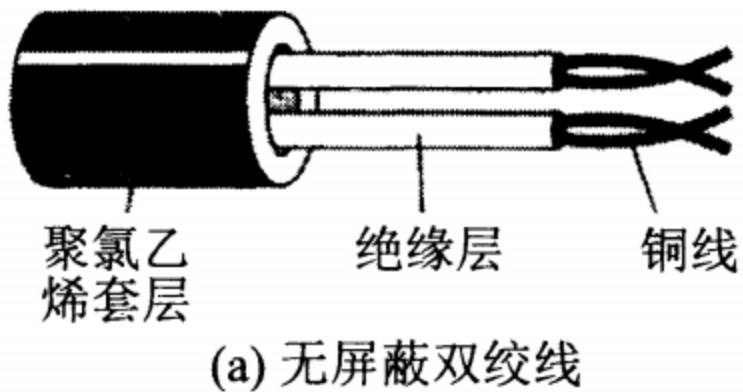
# 物理层概述

- ◆ 物理层的作用
- ◆ 信道的基本概念
- ◆ 分用-复用技术

# 物理层的作用

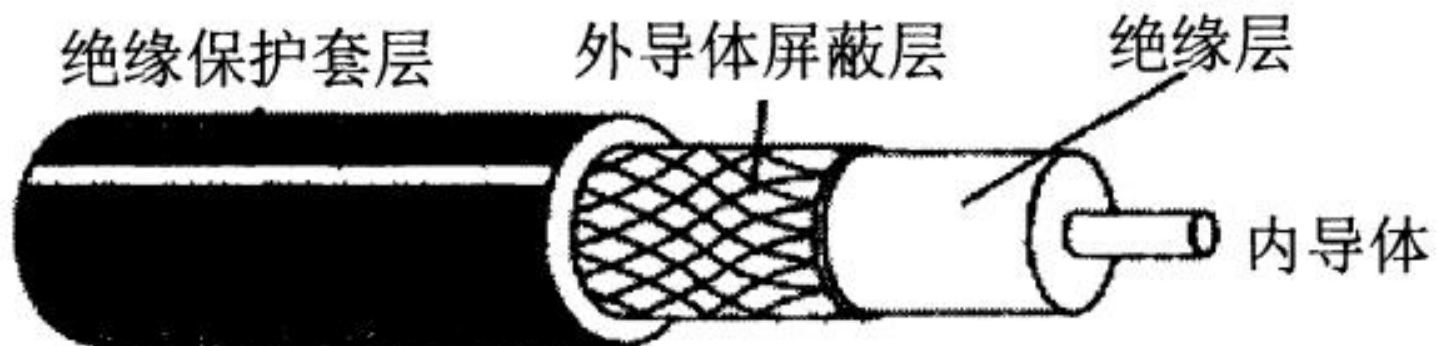
- ◆ 连接不同的物理设备
- ◆ 传输比特流

# 物理层的作用



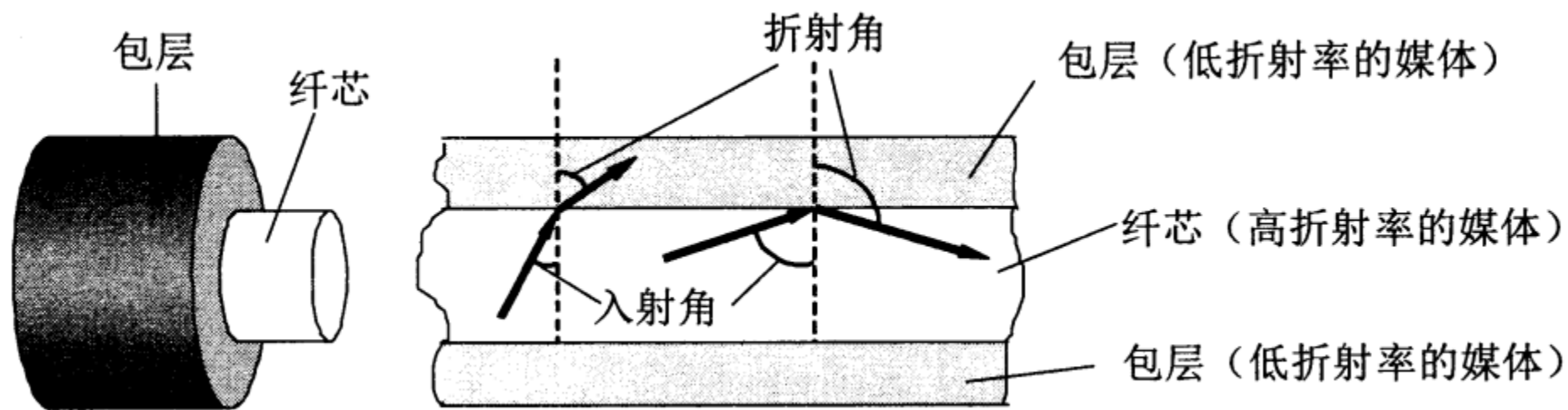
双绞线

# 物理层的作用



同轴电缆

# 物理层的作用



光纤

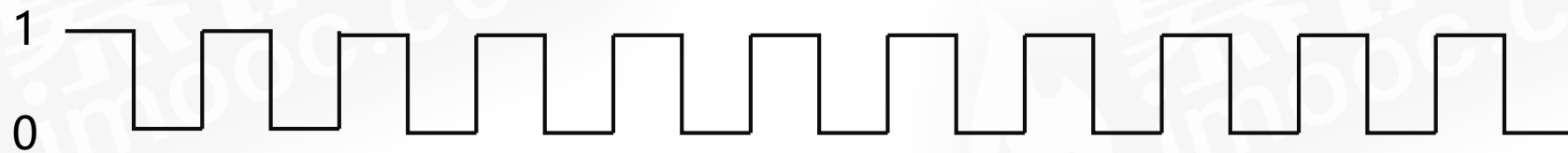
# 物理层的作用

红外线

无线

激光

# 物理层的作用



比特流: 1 0 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0

数字信号:



比特流



# 物理层的作用

机械特性

电气特性

功能特性

过程特性

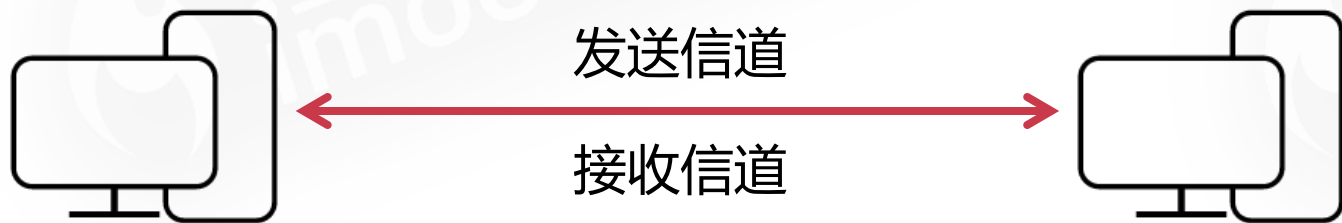
**物理特性**

# 物理层概述

- ◆ 物理层的作用
- ◆ 信道的基本概念

# 信道的基本概念

- ◆ 信道是往一个方向传送信息的媒体
- ◆ 一条通信电路包含一个接收信道和一个发送信道



发送和接收会不会冲突？冲突了怎么办？



# 信道的基本概念

- ◆ 单工通信信道
- ◆ 半双工通信信道
- ◆ 全双工通信信道

# 信道的基本概念

- ◆ 只能一个方向通信，没有反方向反馈的信道
- ◆ 有线电视、无线电收音机等等

单工通信信道

# 信道的基本概念

- ◆ 双方都可以发送和接收信息
- ◆ 不能双方同时发送，也不能同时接收

半双工通信信道

# 信道的基本概念

- ◆ 双方都可以同时发送和接收信息

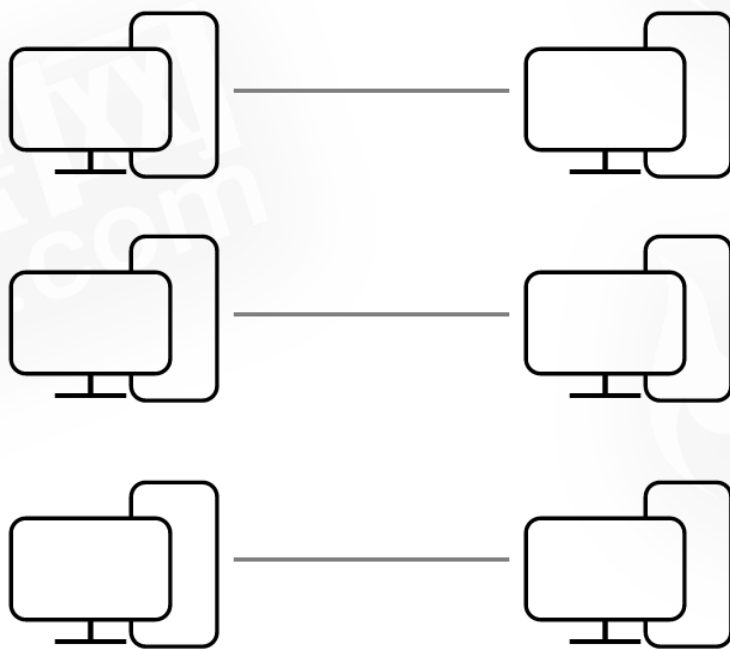
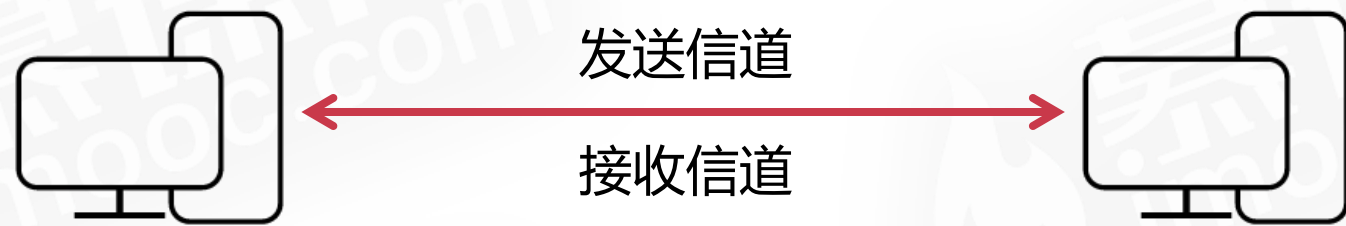
全双工通信信道

# 物理层概述

- ◆ 物理层的作用
- ◆ 信道的基本概念
- ◆ 分用-复用技术



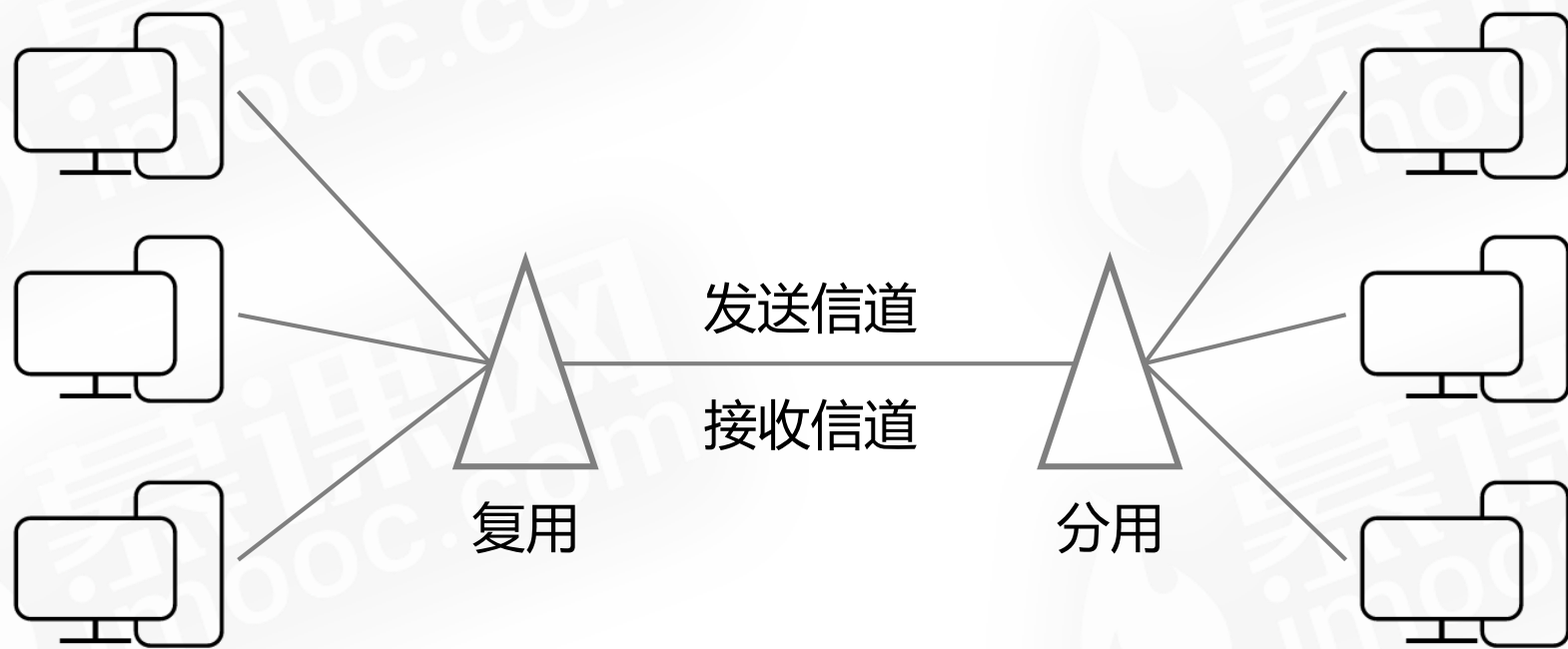
# 分用-复用技术



信道利用率  
并不高?



# 分用-复用技术



# 分用-复用技术

频分复用

时分复用

波分复用

码分复用

# 物理层概述

- ◆ 物理层的作用
- ◆ 信道的基本概念
- ◆ 分用-复用技术

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

# 数据链路层概述



# 数据链路层概述

- ◆ 封装成帧
- ◆ 透明传输
- ◆ 差错监测

# 封装成帧

- ◆ “帧” 是数据链路层数据的基本单位
- ◆ 发送端在网络层的一段数据前后添加特定标记形成 “帧”
- ◆ 接收端根据前后特定标记识别出 “帧”

物理层才不管你 “帧” 不 “帧”



# 封装成帧



# 封装成帧



◆ 帧首部和尾部是特定的控制字符（特定比特流）

SOH: 00000001

EOT: 00000100

数据里面恰好有  
这些比特流咋办？



# 数据链路层概述

- ◆ 封装成帧

- ◆ 透明传输

# 透明传输

- ◆ “透明” 在计算机领域是非常重要的一个术语
- ◆ “一种实际存在的事物却又看起来不存在一样”
- ◆ “即是控制字符在帧数据中，但是要当做不存在的去处理”

# 透明传输



- ◆ 帧首部和尾部是特定的控制字符（特定比特流）

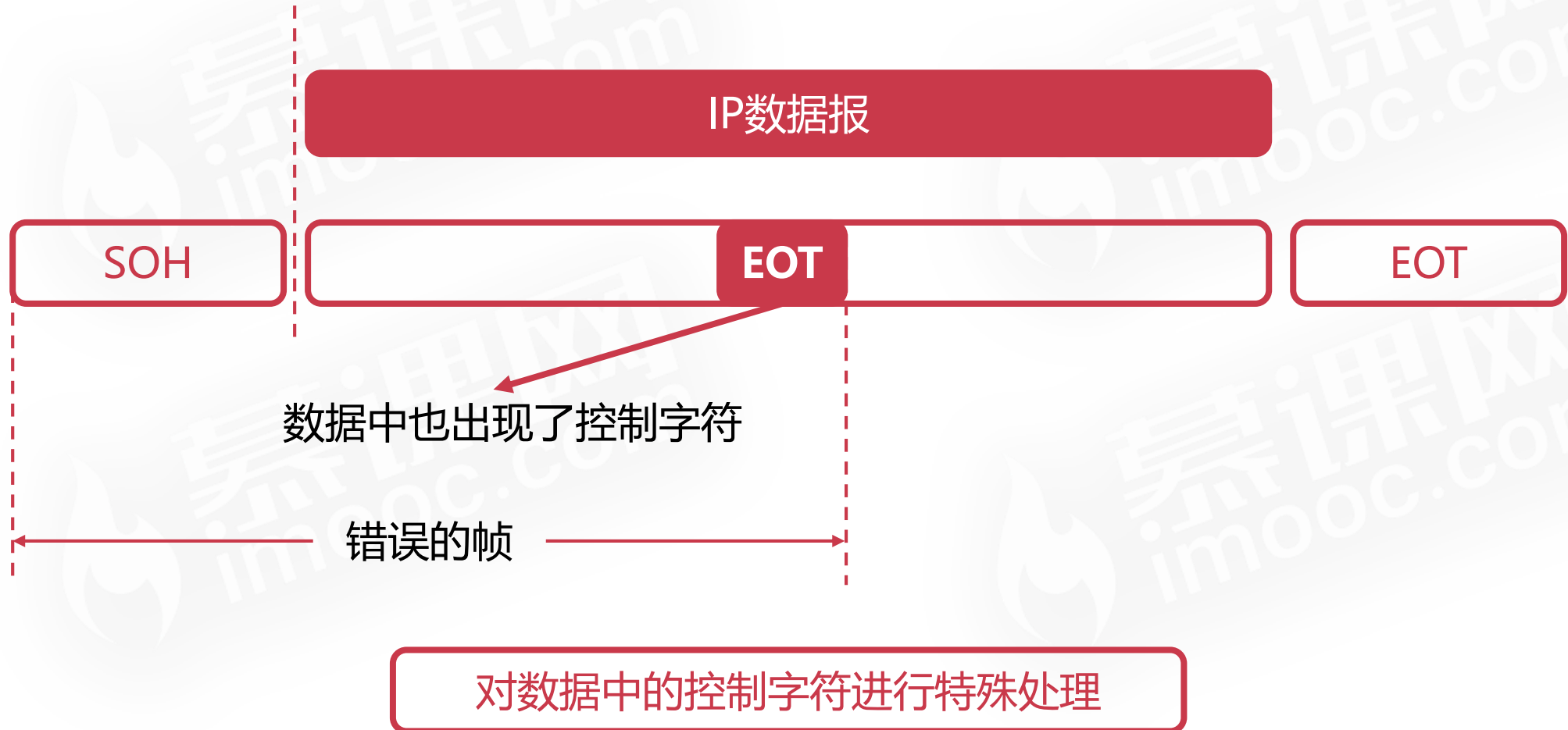
SOH: 00000001

EOT: 00000100

数据里面恰好有  
这些比特流咋办？



# 透明传输



# 透明传输



数据中也出现  
转义字符咋办？



# 透明传输

- ◆ 编程语言中 “\” 一般为转义字符
- ◆ “\n” 、 “\t” 等控制字符
- ◆ “\\” 、 “\\\\”



# 数据链路层概述

- ◆ 封装成帧
- ◆ 透明传输
- ◆ 差错监测

# 差错监测

- ◆ 物理层只管传输比特流，无法控制是否出错
- ◆ 数据链路层负责起“差错监测”的工作

# 数据链路层概述

- ◆ 封装成帧
- ◆ 透明传输
- ◆ 差错监测

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

# 数据链路层的差错监测

- ◆ 奇偶校验码
- ◆ 循环冗余校验码CRC

# 奇偶校验码

00110010

1

$$0 + 0 + 1 + 1 + 0 + 0 + 1 + 0 = 3$$

00111010

0

$$0 + 0 + 1 + 1 + 1 + 0 + 1 + 0 = 4$$

00110010

1

00010010

1

$$0 + 0 + 0 + 1 + 0 + 0 + 1 + 0 = 2$$

奇偶校验码

# 奇偶校验码

00110010

1

00010010

1

$$0 + 0 + 0 + 1 + 0 + 0 + 1 + 0 = 2$$

00110010

1

00000010

1

$$0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1 + 0 = 1$$

出错两位，奇偶校验码校测不到错误

奇偶校验码

# 数据链路层的差错监测

- ◆ 奇偶校验法
- ◆ 循环冗余校验码CRC



# 循环冗余校验码CRC

- ◆ 一种根据传输或保存的数据而产生固定位数校验码的方法
- ◆ 检测数据传输或者保存后可能出现的错误
- ◆ 生成的数字计算出来并且附加到数据后面

# 循环冗余校验码CRC

- ◆ 模“2”除法是二进制下的除法
- ◆ 与算术除法类似，但除法不借位，实际是“异或”操作

模“2”除法

# 循环冗余校验码CRC

$$0 \text{ xor } 0 = 0$$

$$0 \text{ xor } 1 = 1$$

$$1 \text{ xor } 0 = 1$$

$$1 \text{ xor } 1 = 0$$

$$\begin{array}{r} 1 \\ 1010 \overline{) 1001} \\ \underline{1010} \\ 11 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1 \\ 1011 \overline{) 1101} \\ \underline{1011} \\ 110 \end{array}$$

模“2”除法

# 循环冗余校验码CRC

- ◆ 选定一个用于校验的多项式 $G(x)$ ，并在数据尾部添加 $r$ 个0
- ◆ 将添加 $r$ 个0后的数据，使用模“2”除法除以多项式的位串
- ◆ 得到的余数填充在原数据 $r$ 个0的位置得到可校验的位串

# 循环冗余校验码CRC

例子1：使用CRC计算101001的可校验位串。

$$G(x) = x^3 + x^2 + 1 \Rightarrow \text{二进制位串: } 1101, \text{ 最高阶为} 3$$

$$G(x) = 1 * x^3 + 1 * x^2 + 0 * x^1 + 1 * x^0$$

$$101001 \Rightarrow 101001000$$

- ◆ 选定一个用于校验的多项式 $G(x)$ ，并在数据尾部添加 $r$ 个0

# 循环冗余校验码CRC

例子1：使用CRC计算101001的可校验位串。

- ◆ 将添加r个0后的数据，使用模“2”除法除以多项式的位串

$$\begin{array}{r} 110101 \\ 1101 \overline{) 101001000} \\ \underline{1101} \phantom{000} \\ 1110 \phantom{000} \\ \underline{1101} \phantom{000} \\ 0111 \phantom{000} \\ \underline{0000} \phantom{000} \\ 1110 \phantom{000} \\ \underline{1101} \phantom{000} \\ 0110 \phantom{000} \\ \underline{0000} \phantom{000} \\ 1100 \phantom{000} \\ \underline{1101} \phantom{000} \\ 011 \end{array}$$

# 循环冗余校验码CRC

例子1：使用CRC计算101001的可校验位串。

- ◆ 得到的余数填充在原数据r个0的位置得到可校验的位串

101001000



101001011

$$\begin{array}{r} 110101 \\ 1101 \overline{) 101001000} \\ \underline{1101} \phantom{000} \\ 1110 \phantom{000} \\ \underline{1101} \phantom{000} \\ 0111 \phantom{000} \\ \underline{0000} \phantom{000} \\ 1110 \phantom{000} \\ \underline{1101} \phantom{000} \\ 0110 \phantom{000} \\ \underline{0000} \phantom{000} \\ 1100 \phantom{000} \\ \underline{1101} \phantom{000} \\ 011 \end{array}$$

# 循环冗余校验码CRC

例子1：使用CRC计算101001的可校验位串。

$$\begin{array}{r} 110101 \\ 1101 \overline{) 101001101} \\ \underline{1101} \phantom{000000} \\ 1110 \phantom{00000} \\ \underline{1101} \phantom{00000} \\ 0111 \phantom{0000} \\ \underline{0000} \phantom{0000} \\ 1111 \phantom{000} \\ \underline{1101} \phantom{000} \\ 0100 \phantom{00} \\ \underline{0000} \phantom{00} \\ 1101 \phantom{0} \\ \underline{1101} \\ 0 \end{array}$$

接收端接收的数据除以G(x)的位串，根据余数判断出错



# 循环冗余校验码CRC

例子2：使用CRC计算10110011的可校验位串。

$G(x) = x^4 + x^3 + 1$   二进制位串：11001，最高阶为4

10110011  101100110000

- ◆ 选定一个用于校验的多项式 $G(x)$ ，并在数据尾部添加 $r$ 个0

# 循环冗余校验码CRC

例子2：使用CRC计算10110011的可校验位串。

- ◆ 将添加 $r$ 个0后的数据，使用模“2”除法除以多项式的位串

$$\begin{array}{r} 11010100 \\ 11001 \overline{) 101100110000} \\ \underline{\phantom{11001}10110011} \phantom{0000} \\ \phantom{11001}00000000 \\ \phantom{11001}00000000 \\ \phantom{11001}00000000 \\ \phantom{11001}00000000 \\ \phantom{11001}00000000 \end{array}$$

101100110000



101100110100

# 循环冗余校验码CRC

- ◆ CRC的错误检测能力与位串的阶数 $r$ 有关
- ◆ 数据链路层只进行数据的检测，不进行纠正

## 常用CRC（按照ITU-IEEE规范） [编辑]

名称	多项式
CRC-1	$x + 1$ (用途: 硬件, 也称为 <a href="#">奇偶校验位</a> )
CRC-5-CCITT	$x^5 + x^3 + x + 1$ ( <a href="#">ITU G.704</a> 标准)
CRC-5-USB	$x^5 + x^2 + 1$ (用途: <a href="#">USB</a> 信令包)
CRC-7	$x^7 + x^3 + 1$ (用途: 通信系统)
CRC-8-ATM	$x^8 + x^2 + x + 1$ (用途: ATM HEC, PMBUS (参见SMBUS org <a href="#">[1]</a> <a href="#">[4]</a> ))
CRC-8-CCITT	$x^8 + x^7 + x^3 + x^2 + 1$ (用途: <a href="#">1-Wire</a> 总线)
CRC-8-Dallas/Maxim	$x^8 + x^5 + x^4 + 1$ (用途: <a href="#">1-Wire bus</a> )
CRC-8	$x^8 + x^7 + x^6 + x^4 + x^2 + 1$
CRC-10	$x^{10} + x^9 + x^5 + x^4 + x + 1$
CRC-12	$x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$ (用途: 通信系统)
CRC-16-Fletcher	参见 <a href="#">Fletcher's checksum</a>
CRC-16-CCITT	$x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ ( <a href="#">X25</a> , <a href="#">V.41</a> , <a href="#">Bluetooth</a> , <a href="#">PPP</a> , <a href="#">IrDA</a> )
CRC-16-IBM	$x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$ (用途: <a href="#">Modbus</a> )
CRC-16-BBS	$x^{16} + x^{15} + x^{10} + x^3$ (用途: <a href="#">XMODEM</a> 协议)
CRC-32-Adler	参见 <a href="#">Adler-32</a>
CRC-32-MPEG2	参见 <a href="#">IEEE 802.3</a>

# 数据链路层的差错监测

- ◆ 奇偶校验法
- ◆ 循环冗余校验码CRC

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

# 最大传输单元MTU

- ◆ MTU

- ◆ 路径MTU

# MTU

- ◆ 最大传输单元MTU(Maximum Transmission Unit)
- ◆ 数据链路层的数据帧也不是无限大的





# MTU

- ◆ 数据帧过大或过小都会影响传输的效率

总时延 = 发送时延 + 排队时延 + 传播时延 + 处理时延

以太网MTU一般为1500字节

# 最大传输单元MTU

- ◆ MTU

- ◆ 路径MTU

# 路径MTU



路径MTU由链路中MTU的最小值决定

# 最大传输单元MTU

- ◆ MTU

- ◆ 路径MTU

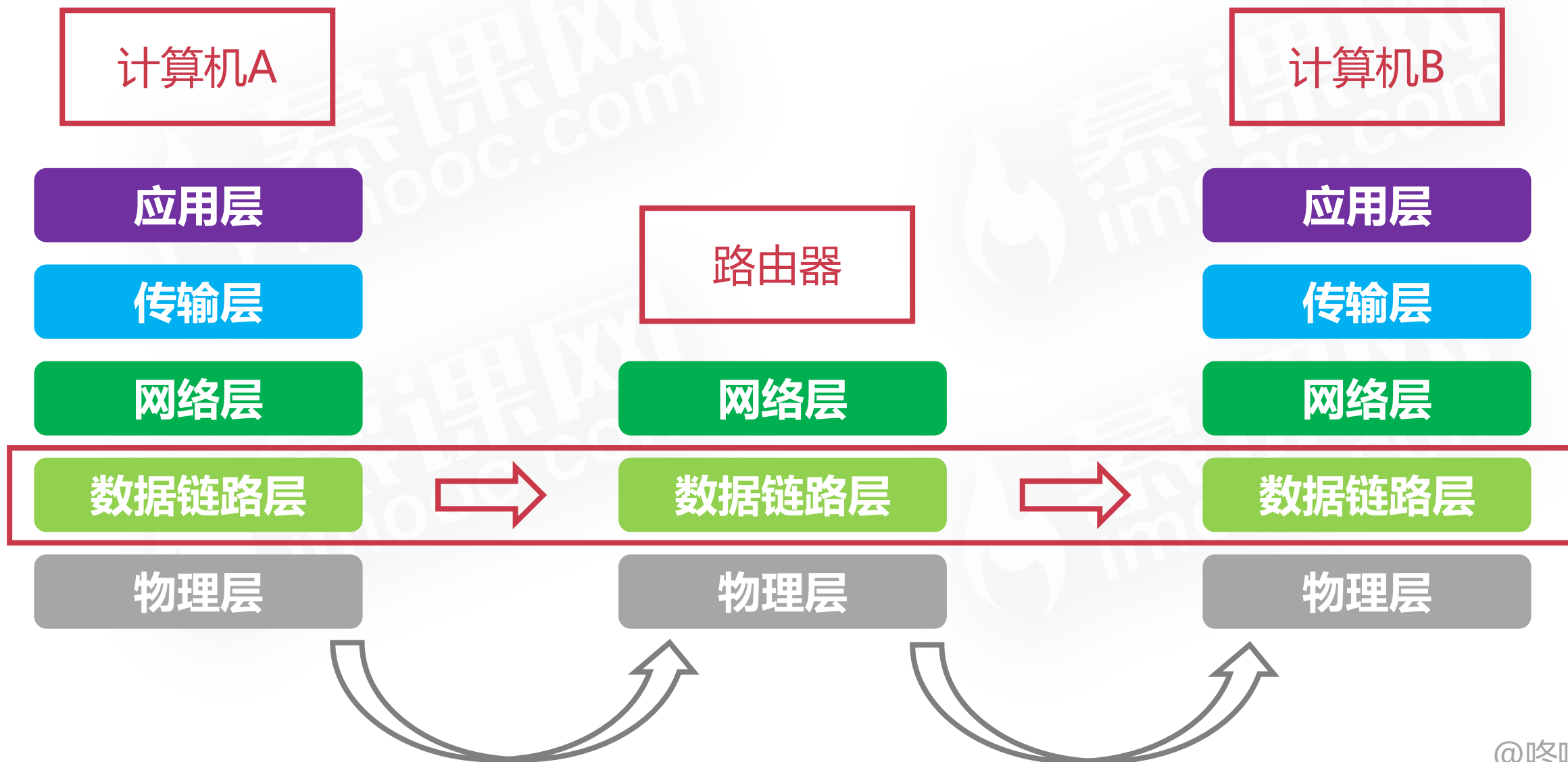
慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

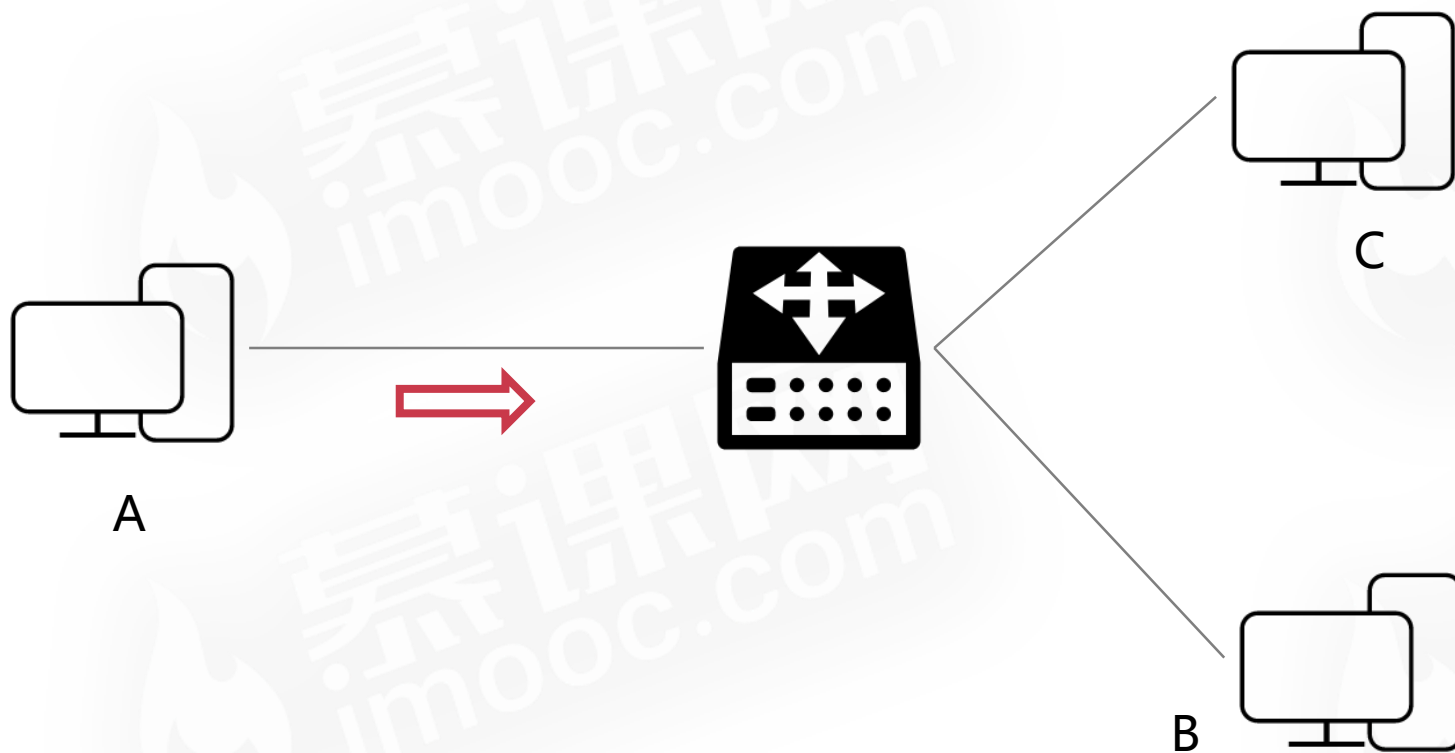
慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

# 以太网协议详解



# 以太网协议详解



路由器怎么知道A要发给谁?



# 以太网协议详解

- ◆ MAC地址

- ◆ 以太网协议



# MAC地址

- ◆ MAC地址（物理地址、硬件地址）
- ◆ 每一个设备都拥有唯一的MAC地址
- ◆ MAC地址共48位，使用十六进制表示

# MAC地址

查看计算机的MAC地址→

30-B4-9E-ED-85-CA

# 以太网协议详解

- ◆ MAC地址

- ◆ 以太网协议

# 以太网协议

- ◆ 以太网(Ethernet)是一种使用广泛的局域网技术
- ◆ 以太网是一种应用于数据链路层的协议
- ◆ 使用以太网可以完成相邻设备的数据帧传输

# 以太网协议

目的地址	源地址	类型	帧数据	CRC
6	6	2	46~1500	4

类型 0800	IP数据报
------------	-------

类型 0806	ARP请求/应答	PAD
2	28	18

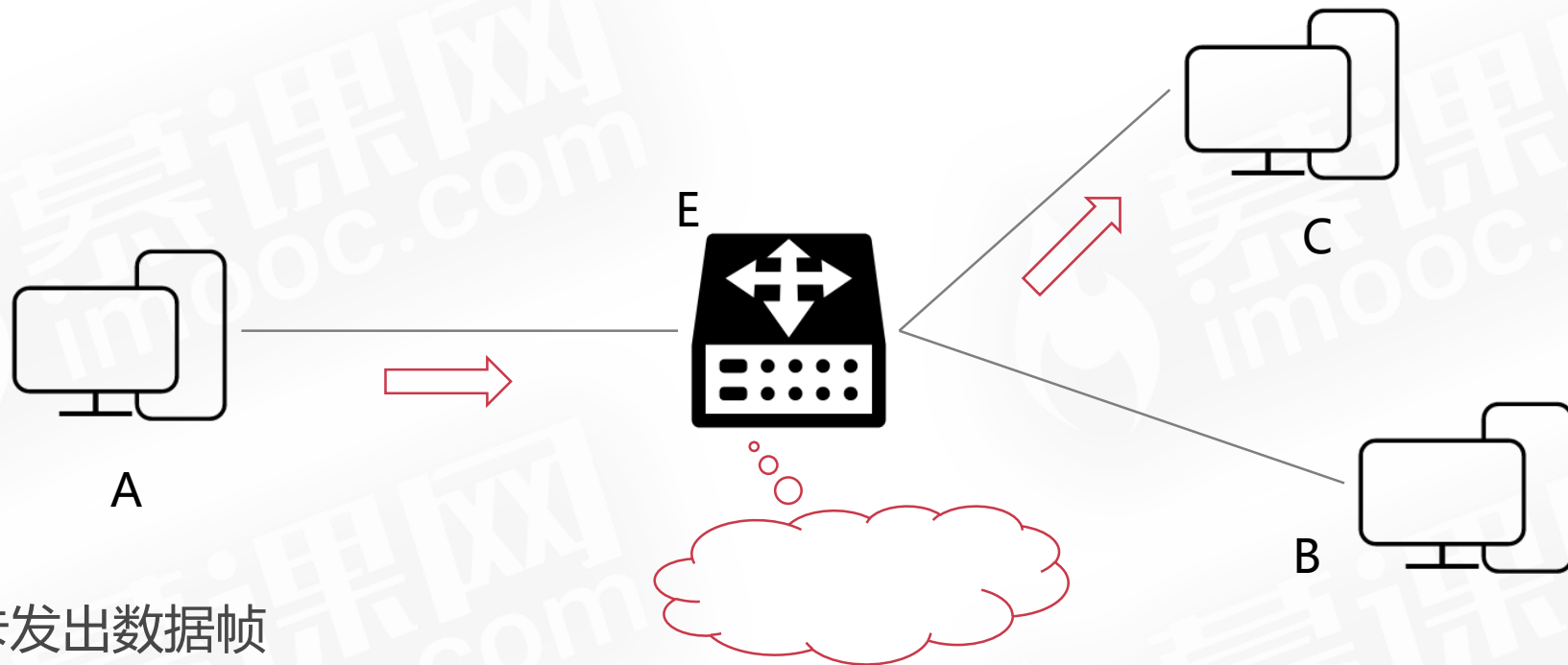
类型 8035	RARP请求/应答	PAD
2	28	18

# 以太网协议

MAC地址	硬件接口
31-B4-9E-ED-85-CA	接口1
32-B4-9E-ED-85-CB	接口2
33-B4-9E-ED-85-CC	接口4
...	...

MAC地址表

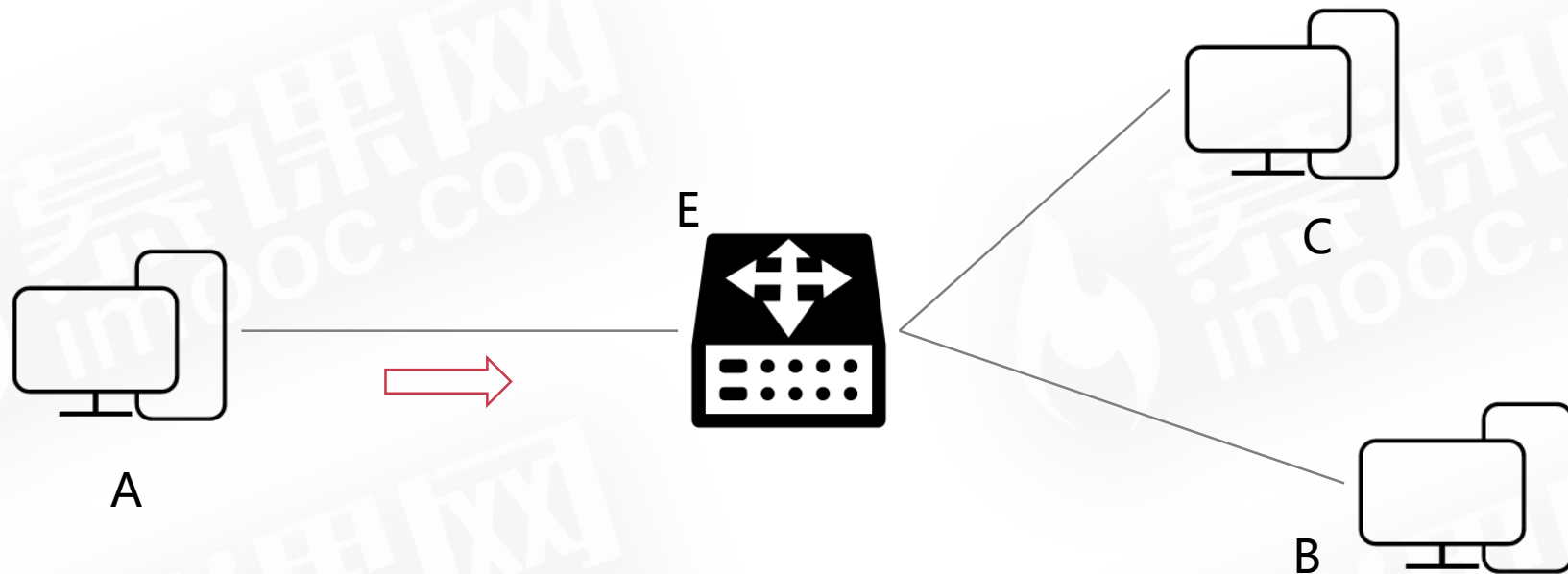
# 以太网协议



- ◆ A通过网卡发出数据帧
- ◆ 数据帧到达路由器，路由器取出前6字节
- ◆ 路由器匹配MAC地址表，找到对应的网络接口
- ◆ 路由器往该网络接口发送数据帧

MAC地址	硬件接口
A	E1
B	E2
C	E3
...	...

# 以太网协议



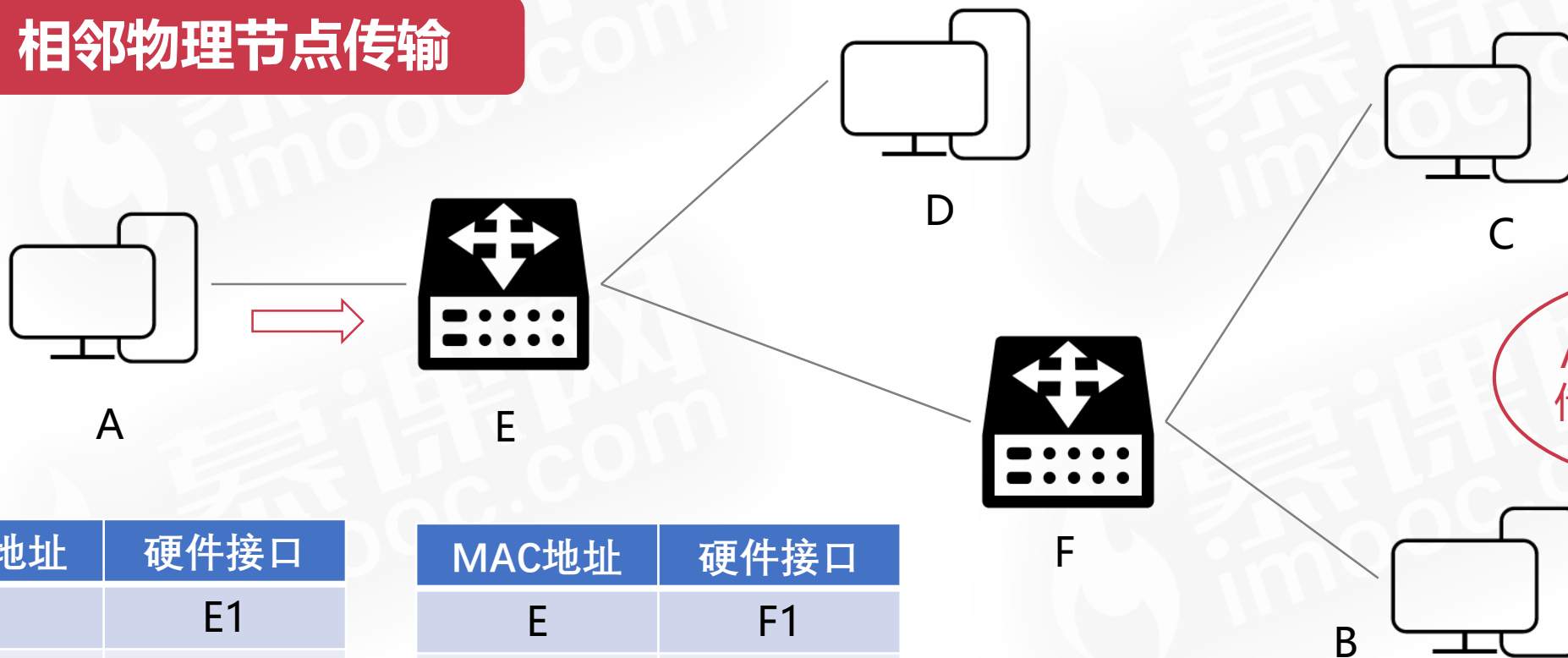
- ◆ E检查MAC地址表，发现没有C的信息
- ◆ E将广播A的数据包到除A以外的端口
- ◆ E将收到来自B、C的回应，并将地址记录

MAC地址	硬件接口
A	E1
B	E2
C	未知
...	...



# 以太网协议

## 相邻物理节点传输



MAC地址	硬件接口
A	E1
D	E2
F	E3
...	...

MAC地址	硬件接口
E	F1
B	F2
C	F3
...	...

A怎么跨设备  
传输数据到C?

# 以太网协议

学习网络层的内容→

# 以太网协议详解

- ◆ MAC地址

- ◆ 以太网协议

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com

慕课网  
imooc.com