



物联网通信技术

主讲人：宁磊

Email: ninglei@sztu.edu.cn

课程基本信息

- **学 分:** 2+2
- **课程性质:** 专业必修
- **总 学 时:** 72学时; 实验 (实践) 课32学时(9次实验课)
- **在线课堂管理:** <https://www.educoder.net/classrooms>
- **邀请码:** 3JTVSU (教学1班)、MTWJNP (教学2班)

教材

- 《物联网通信技术》，陈彦辉等著，人民邮电出版社，2021年出版
- 《物联网通信》，陈兵等著，清华大学出版社，2019年
- 《深入浅出通信原理》，陈爱军，清华大学出版社，2017年

考试与成绩评定方式

- 期末考试50%，实验30%（6次报告），PPT展示（项目作品）15%，随堂测试5%



目录

CONTENTS

第1章. 物联网通信概述

第2章. 基带传输技术

第3章. 频带传输技术

第4章. 链路传输技术

第5章. 网络传输技术

第6章. 应用传输技术

第7章. 典型物联网通信系统

- 本章主要内容：介绍物联网的特征与体系架构；物联网协议体系；物联网有线和无线通信技术概述。
- 本章学习目标
 - 了解物联网相关技术
 - 掌握物联网通信的基本概念与协议体系

回顾：物联网的起源与定义



2005年

在突尼斯举行的信息社会世界峰会 (WSIS)

- 国际电信联盟 (ITU) 发布《ITU互联网报告2005：物联网》

2008年

- IBM提出“智慧地球”概念，即“智慧地球 = 互联网 + 物联网”



1999年

- 在美国召开的移动计算和网络国际会议
- 美国麻省理工学院自动识别中心 (MIT Auto-ID Center) 的凯文·阿什顿 (Kevin Ashton) 教授
- 首次提出物联网概念

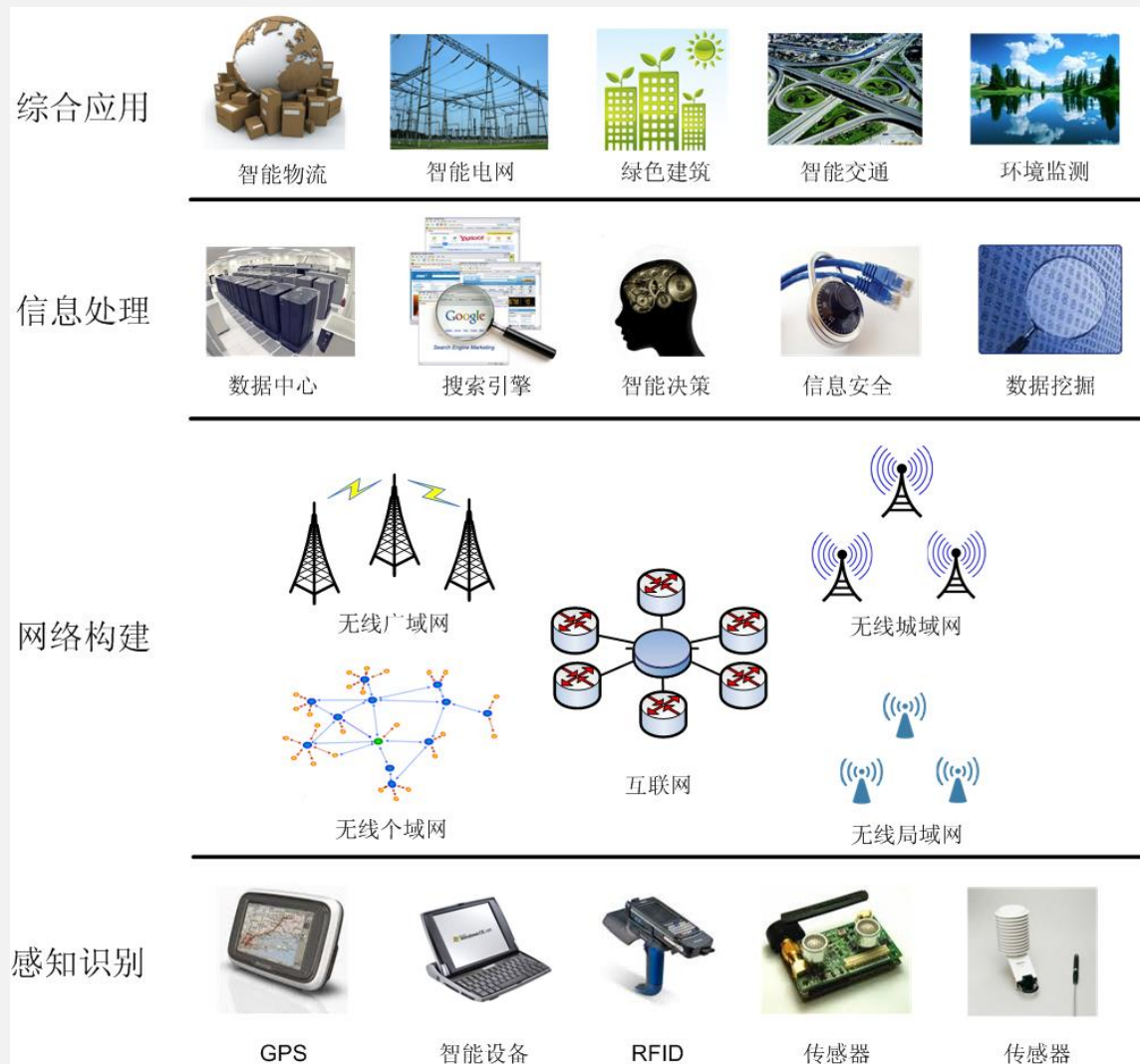


2010年

- 教育部审批同意设置物联网工程专业
- 经过2012年和2020年调整，确定为工学门类专业，专业代码为080905，属计算机类专业，授予工学学士学位

回顾：物联网体系架构-四层模型

物联网是具有**全面感知**、**可靠传输**、**智能处理**等特征的连接**物理世界**的网络。作为新一代信息通信技术的典型代表，物联网使人类可以通过更加精细和动态的方式管理生产和生活，从而提高整个社会的信息化能力。



- 通信提供的最基本服务：信息传递
 - 信鸽、烽火、信使、卡车、电报、电话、互联网...
 - 类比运输服务：物体的传递
 - 马车、火车、卡车和飞机
- 不同的通信网络用什么区分？
 - 所提供的服务
- 服务用什么区分？
 - 功能、延迟、带宽、丢失率
 - 端节点数目、服务接口
 - 可靠性、实时/非实时等外特性

请思考

最早的信息传递方式有什么？

在烽火戏诸侯的年代，
可否想到今天多种多样的
网络服务？



远程医疗



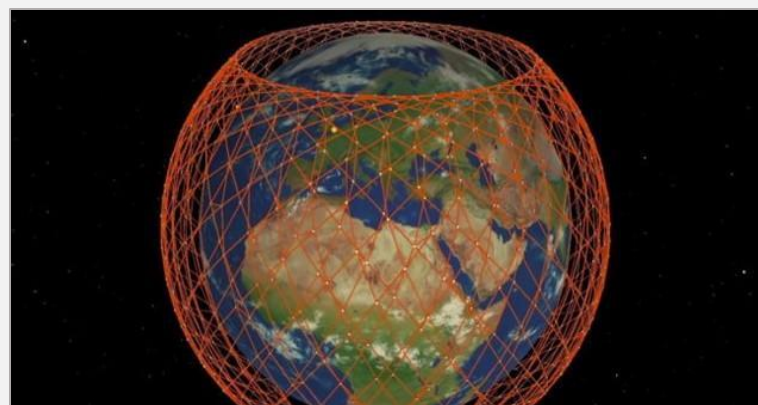
无人码头的远程操控



通信大数据行程卡



矿井下网络监控与通信



马斯克的星链计划StarLink

异构网络环境
有线、无线; 距离
远近; 干扰各异

业务需求各异
时延、带宽、可靠
性、安全保密.....

通信改变生活

- 直播：春晚、游戏，还是带货？
- 习总书记在陕西柞水县金米村考察
 - 电商作为新兴业态，既可以推销农副产品、帮助群众脱贫致富，又可以推动乡村振兴，是大有可为的
- 女副县长雪地策马奔腾
 - 新疆伊犁州昭苏县@2020年11月
 - 在抖音上宣传旅游和推销农产品
 - 18场次直播带货，销售97万元农副产品

直播



新时代的“新农业”

直播成为新农活 手机成为新农具 数据成为新资产

通信在军事领域的应用

- 你喜欢“玩”开飞机的游戏吗？
 - 无人机作战：卫星中继
 - 可靠且实时的控制（抗干扰/保密）
 - 现场信息实时反馈（高清视频）
- 还有什么其他无人设备
 - 无人坦克，无人舰船，无人潜艇，卫星.....
 - 水深网络的声呐通信，深空探索的激光通信
 - 不仅仅是通信：无人机的精确制导



全球市值前十名公司的变迁



硅谷在哪里？
美国西部荒凉的湾区

我辈中人？

- 苹果、谷歌、微软、亚马逊、腾讯、FB突破5千亿美元
- 阿里、伯克希尔哈撒韦、强生、摩根

祝贺大家：计算机类荣登最热门专业榜首

我国的新基建

- 当年的“铁公基” / “铁公机”
 - 集中建设基础设施
(铁路、公路、机场/基础设施)
 - 2008年金融危机，国家四万亿投资中的1.5万亿投入基础设施建设
- 与时俱进的新基建
 - 2018年，中央经济工作会议重新定义了基础设施建设
 - 2019年，“加强新一代信息基础设施建设”被列入政府工作报告
 - 新基建：**5G基站建设、特高压、城际高速铁路和城市轨道交通、新能源汽车充电桩、大数据中心、人工智能、工业互联网**七大领域



- 作为数字经济的发展基石、转型升级的重要支撑
- 稳投资、扩内需、拉动经济增长的重要途径
- 促升级、优结构、提升经济发展质量的重要环节

互联网成为网络空间的核心

行业互联网



物联网



金融互联网



能源互联网



工业互联网



互联网+ ?

应用支撑技术



云计算



智慧城市



三网融合

大数据



人工智能

计算系统



互联网



(下一代互联网/未来互联网)

底层通信技术



3G/4G/5G

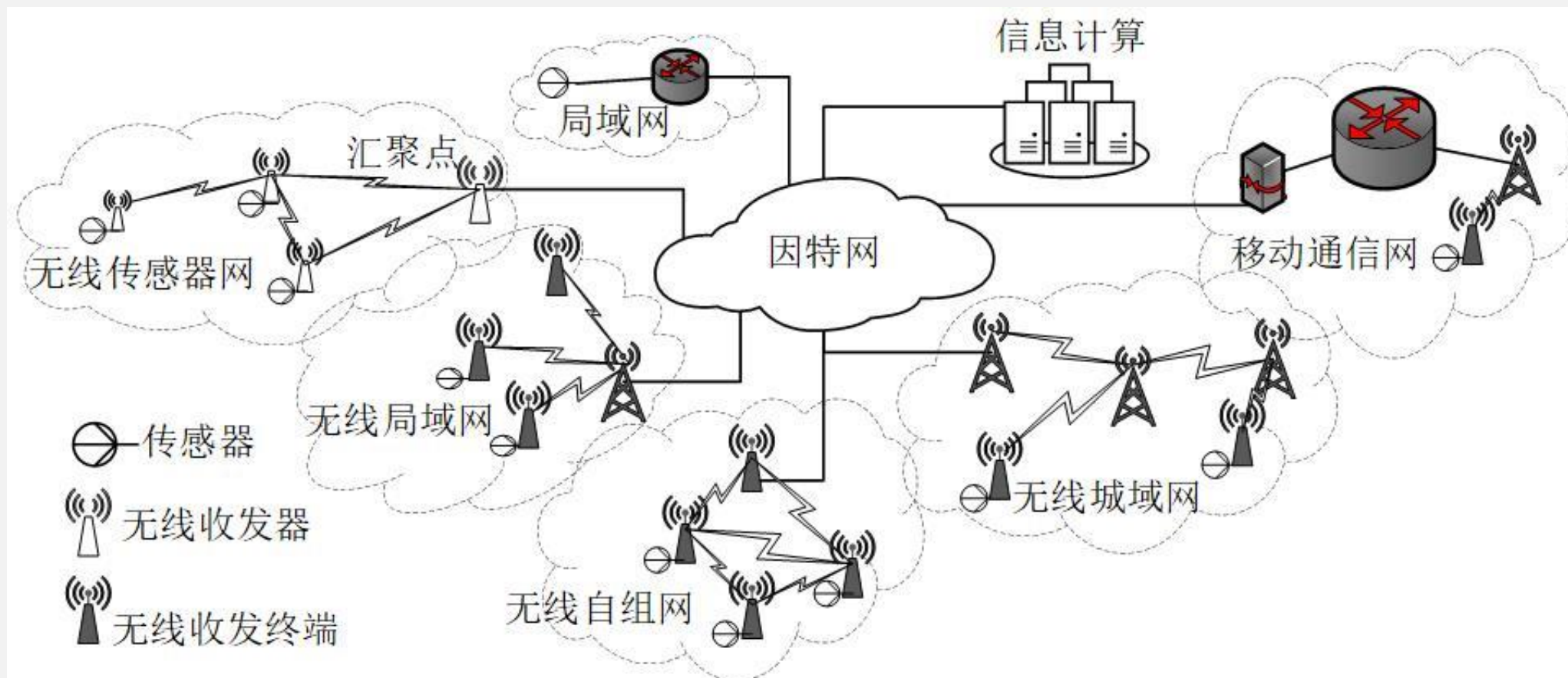


WiFi

超高速光纤



- 物联网通信系统组成：测量系统（信源）、传输系统（信道）和处理系统（信宿）



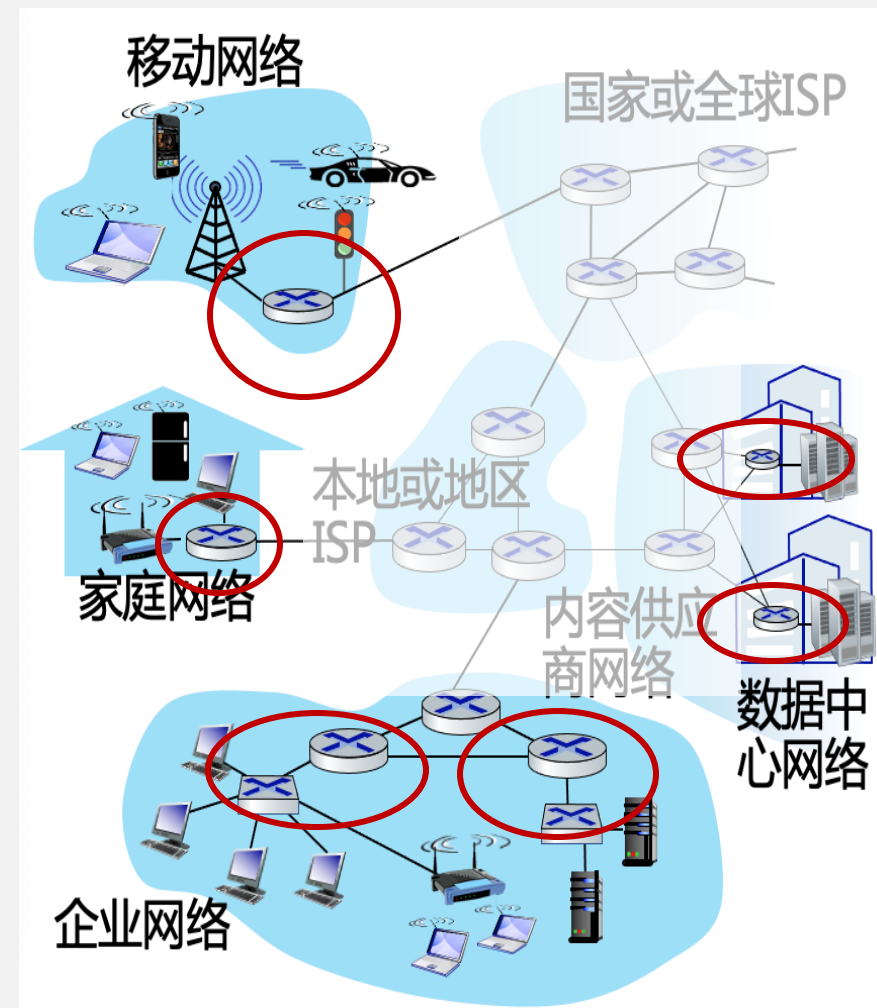
物联网通信系统架构示意图

接入网概述

• 接入网目标

- 接入网的目标是将主机连接到边缘路由器上
- **边缘路由器**是端系统Host去往任何其他远程端系统的路径上的第一台路由器
- 如何将终端系统连接到边缘路由器？
 - 有线网络接入技术：光纤到户FTTH，以太网，同轴电缆，双绞线的DSL，古老的拨号上网
 - 无线网络接入技术：WiFi、4G/5G，卫星广域覆盖
 - 接入场景：住宅（家庭）接入网，机构（学校、公司）接入网，移动接入网络（WiFi、4G/5G）

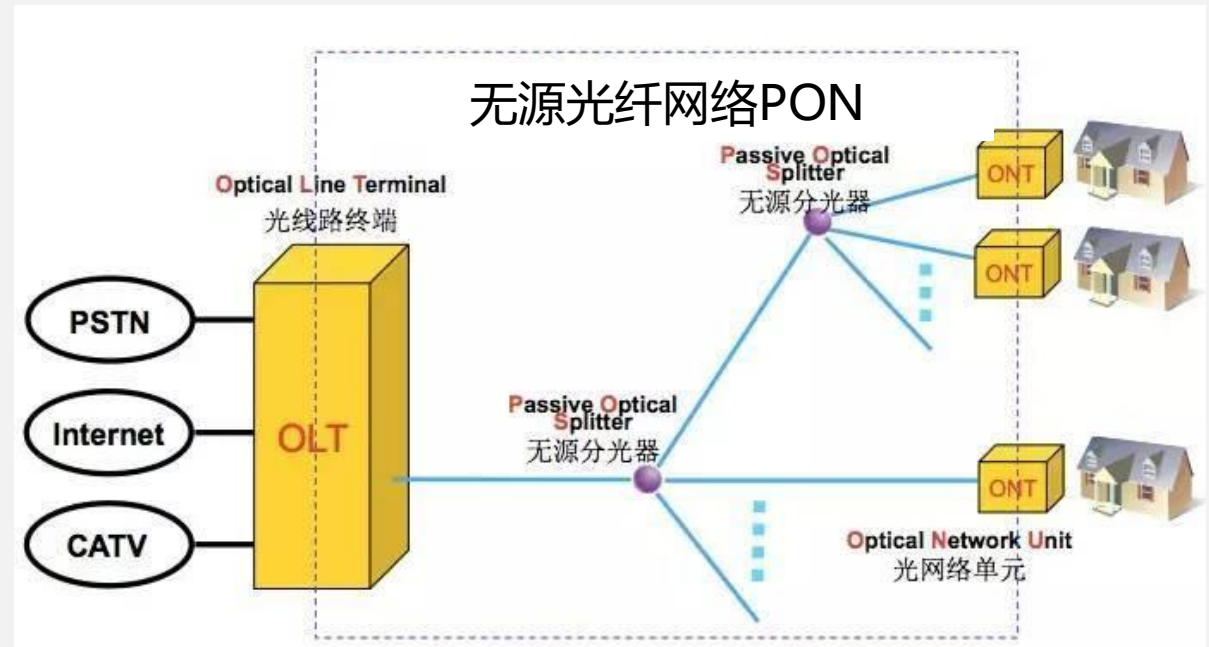
各种异构网络通过边缘路由器接入



接入网：光纤到户FTTH

- 光纤到户FTTH
 - FTTH: Fiber To The Home
 - 我国及全球先进地区普遍采用的光纤通信的传输方法
 - 分为两类：有源光纤网络AON和无源光纤网络PON
 - 带宽大、线路稳定
- 无源光纤网络PON
 - PON: Passive Optical Network
 - OLT：局端的光线路终端
 - ONU光网络单元（如光猫ONT）
 - 光猫ONT通过一个或多个无源分光器，连接到局端的光线路终端OLT

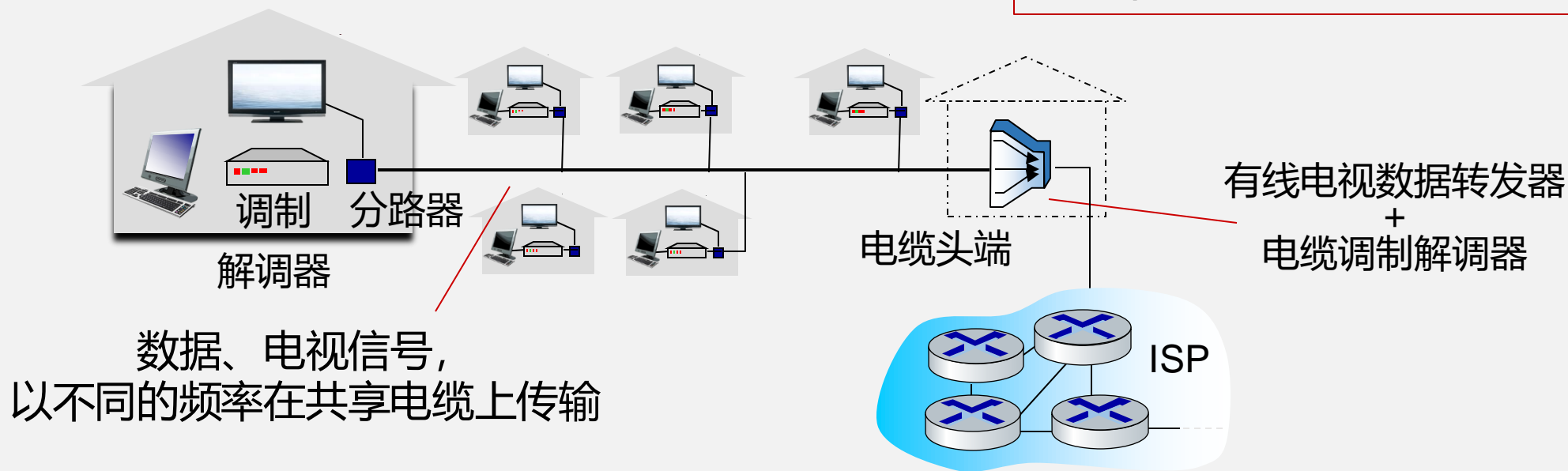
我国FTTH用户
已接近5亿



接入网：同轴电缆

- 同轴电缆：Cable
 - 家庭利用传统有线电视信号线（同轴电缆）接入头端上网
 - 多个家庭共享有线电视的头端
 - 不对称：高达40 Mbps–1.2 Gbps下行传输速率，30-100 Mbps上行传输速率
- 混合光纤同轴电缆HFC
 - 先用同轴电缆接入光纤节点，再用光纤连接到头端

我国已广泛升级为FTTH，
美国住宅依然有80%多使用
DSL和同轴电缆接入☹

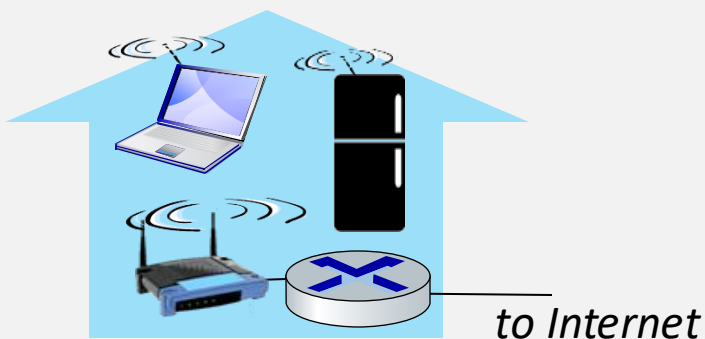


接入网：无线接入

- 无线接入网通过基站(“接入点”)将终端系统连接到路由器上

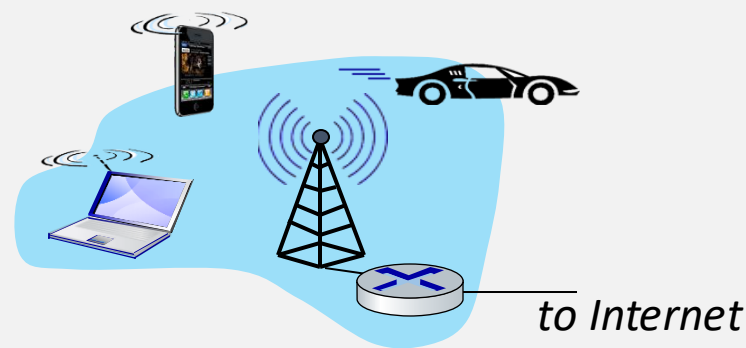
无线局域网 (WLAN)

- 通常在建筑物内或周围 (10米)
- 802.11b/g/n (WiFi) :
11、54、450 Mbps等传输速率
- Wi-Fi 6最高速率可达9.6Gbps



广域蜂窝接入网

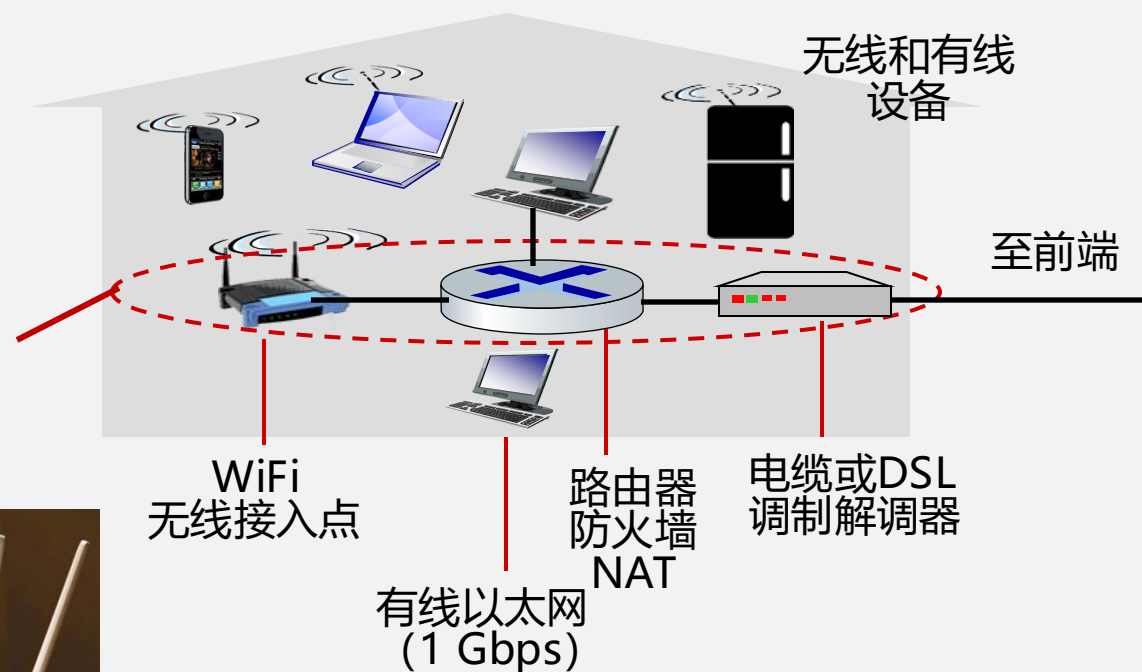
- 由移动蜂窝网络运营商提供 (10公里)
- 2G/3G/4G/5G等蜂窝网络
- 0.1 ~ 1000 Mbps速率



接入网：企业和家庭网络

- 实际的接入网
 - 往往采用有线、无线等多种技术的混合
 - 甚至WiFi和4G等多种无线技术的混合接入
- 有线以太网接入
 - 100Mbps、1Gbps、10Gbps等接入速率
- 无线WiFi接入
 - 11、54、450Mbps等

校园、企业、家庭等网络



经常合并在一个盒子里



- 传输单元：位 (bit)
 - 在发射机/接收机之间的物理介质上传播的数据的最小单元
 - 用比特表示 (bit)
- 物理媒体
 - 是指发射机和接收机之间的具体链路介质
 - **引导型介质**：信号在固体介质中传播，例如铜、光纤、同轴电缆
 - **非引导型介质**：信号自由传播，例如无线电（陆地无线电、卫星无线电信道）

存储常用字节Byte
K/M/G层级为 2^{10} 进制

传输常用比特Bit
K/M/G层级为 10^3 进制

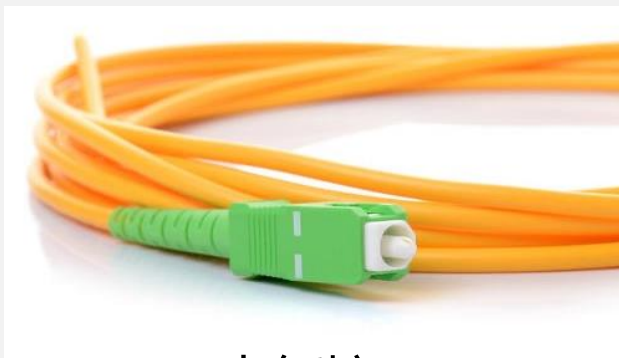
1B=8b （注意大小写）

物理介质：光纤

- 光纤
 - 玻璃纤维携带光脉冲，每个脉冲一位
- 高速运行
 - 高速点对点传输（10-100 Gbps以上）
- 低误码率
 - 中继器相距很远，对电磁噪声免疫



光纤



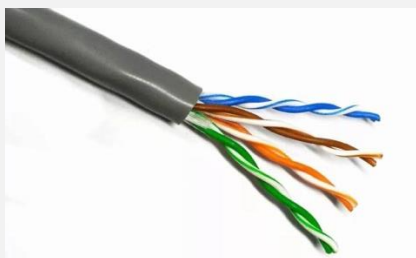
光纤接口



物理介质：双绞线和同轴电缆

• 双绞线 (Twisted Pair)

- 两根绝缘铜线互相缠绕为一对
- 电话线为1对双绞线
- 网线为4对双绞线，广泛用于计算机网络（以太网）双向传输
- 第5类：100 Mbps~1 Gbps
- 第6类：10Gbps



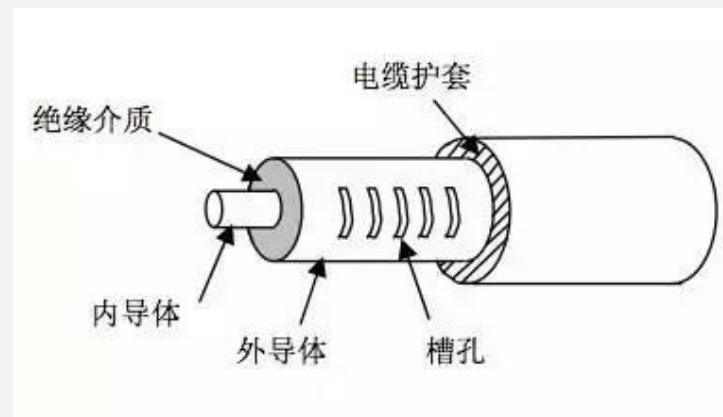
4对双绞线
构成网线



网线接口
水晶头

• 同轴电缆

- 两根同心铜导线，双向传输
- 电缆上的多个频率通道
- 带宽可达100Mbps



同轴电缆

物理介质：非引导型介质

• 无线电

- 电磁频谱中各种“波段”携带的信号
- 没有物理“电线”
- 不依赖介质的广播

• 传播环境影响

- 反射
- 物体阻挡
- 干扰/噪声



马斯克的星链计划
采用低轨卫星降低通信时延

➤ 无线链路类型

➤ 无线局域网 (WiFi)

- 10-100 Mbps; 10米

➤ 广域 (如3/4/5G蜂窝)

- 在~10公里范围内

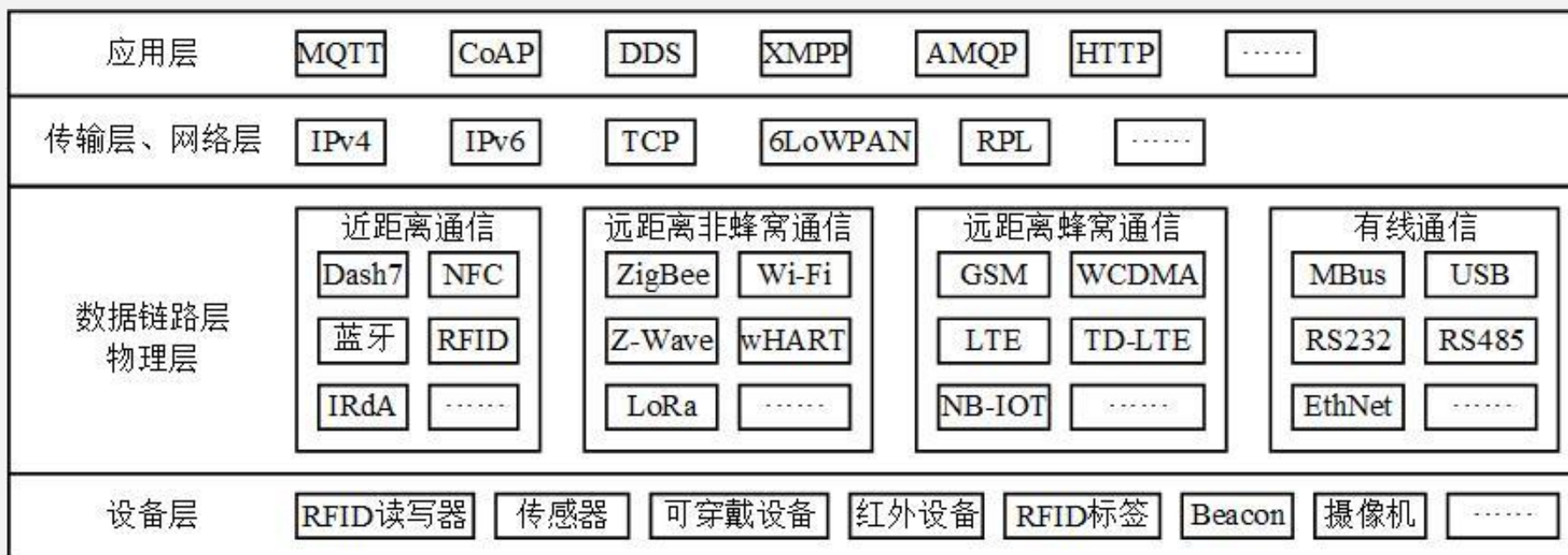
➤ 蓝牙：短距离，有限速率

➤ 地面微波：点对点；45 Mbps

➤ 卫星

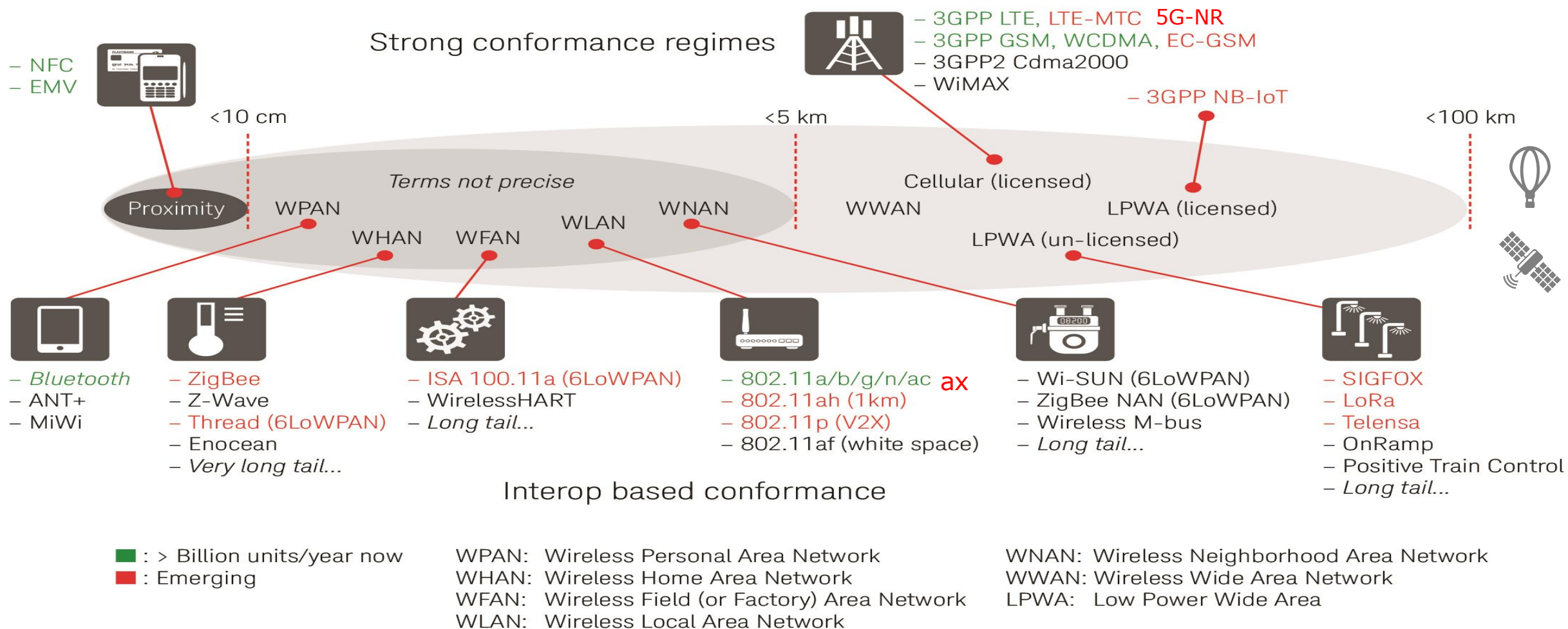
- 同步卫星：36000km高空，280毫秒的往返时延
- 低轨卫星：近地，但围绕地球高速运动，需要大量卫星才能覆盖地球

- 根据接入介质不同，分为有线通信和无线通信
- 根据传输距离远近，分为近距离通信和远距离通信

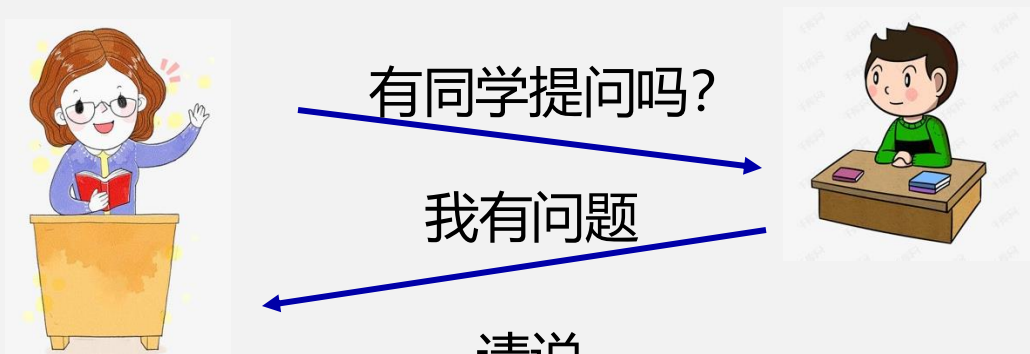


物联网常见通信协议

无线网络一般按照覆盖范围进行分类，百家争鸣，百花齐放。



人们之间的信息交互



有同学提问吗?

我有问题

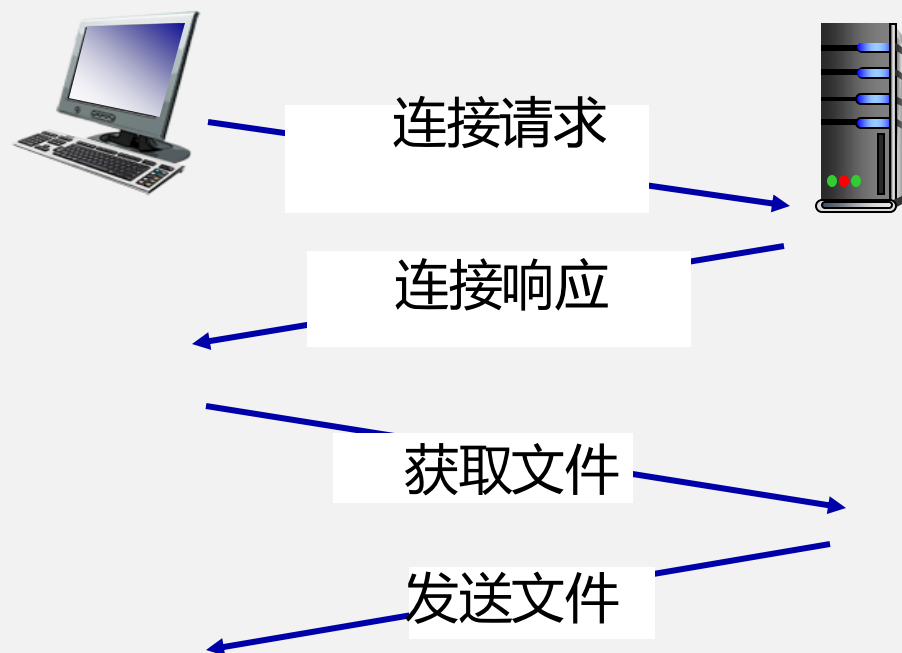
请说

协议设计目的是什么呢?

交流的基础:
共同的语言、互相理解,
共同语义.....

time

计算机之间的信息交互



连接请求

连接响应

获取文件

发送文件

如何实现互相理解?

协议设计目的

• 网络协议

- 为进行网络中的数据交换而建立的规则、标准或约定，即网络协议(network protocol)
- 通信双方需要共同遵守，互相理解

➤ 三要素

- 语法：规定传输数据的格式（如何讲）
- 语义：规定所要完成的功能（讲什么）
- 时序：规定各种操作的顺序（双方讲话的顺序）

网络协议
设计目的

可靠性

资源分配

拥塞问题

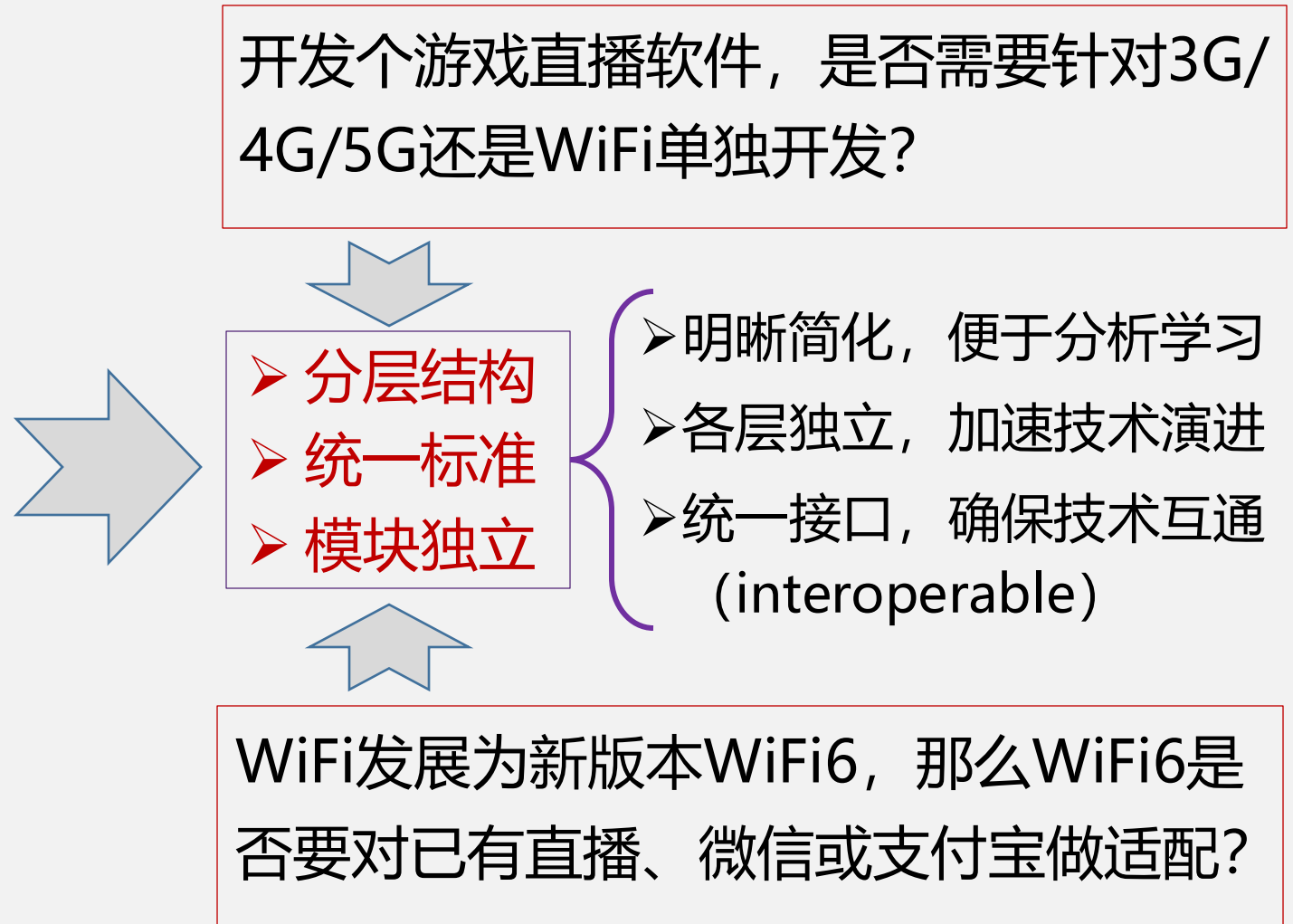
自适应性

安全问题

通信双方要说的事情多种多样，导致网络协议异常复杂

协议分层结构的必要性

- 计算机网络的复杂与异构
 - 介质：光纤、铜缆、空气...
 - 接入：有线、WLAN、移动数据网络、蓝牙...
 - 应用：无人驾驶、万物互联、短视频、邮件...
- 高速更新迭代
 - 大哥大1G（模拟）、2G(数字)、3G、4G、5G
 - IEEE802.3：2020年推出4个版本
 - ...



互联网大厂X讯与X东的合作

➤ 层级组织 (分层)

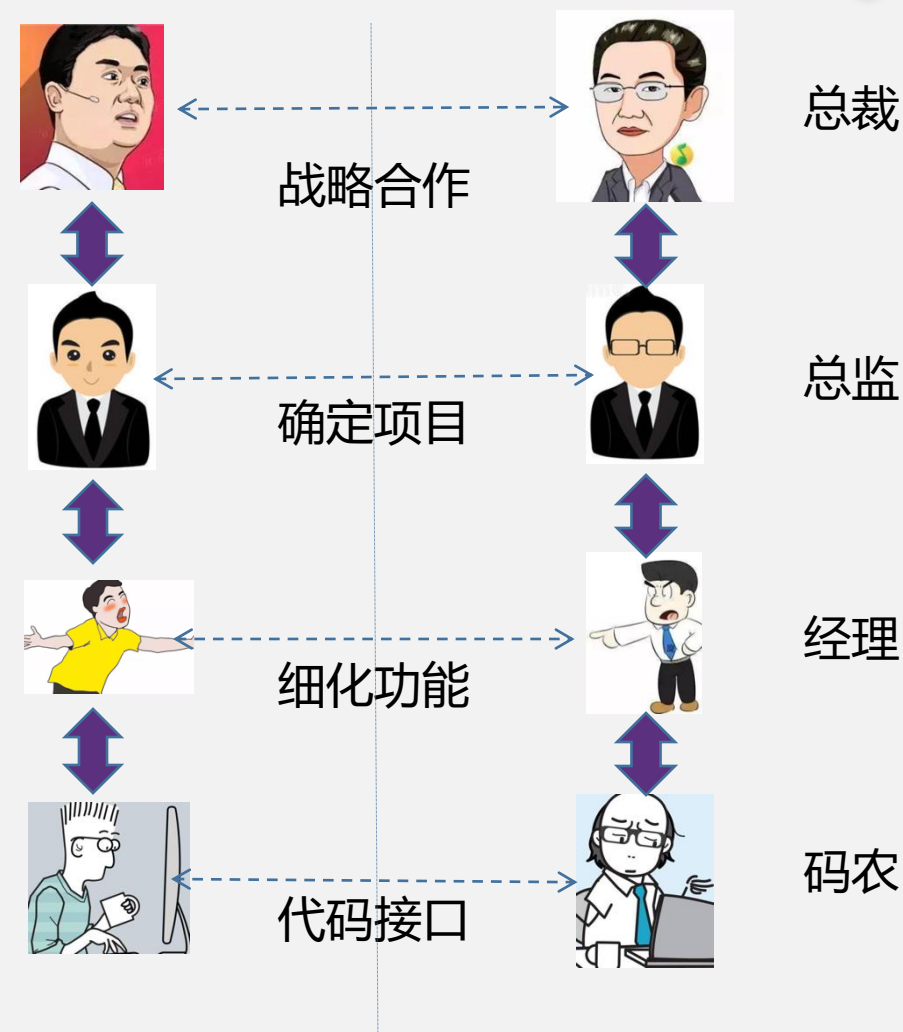
- 总裁-总监-经理-码农

➤ 内部独立 (模块)

- 我用Python; 我用GO
- 铁打的项目, 流水的码农

➤ 沟通协作 (标准)

- 合作协议、项目文档、接口定义
- 日报、周报、月报

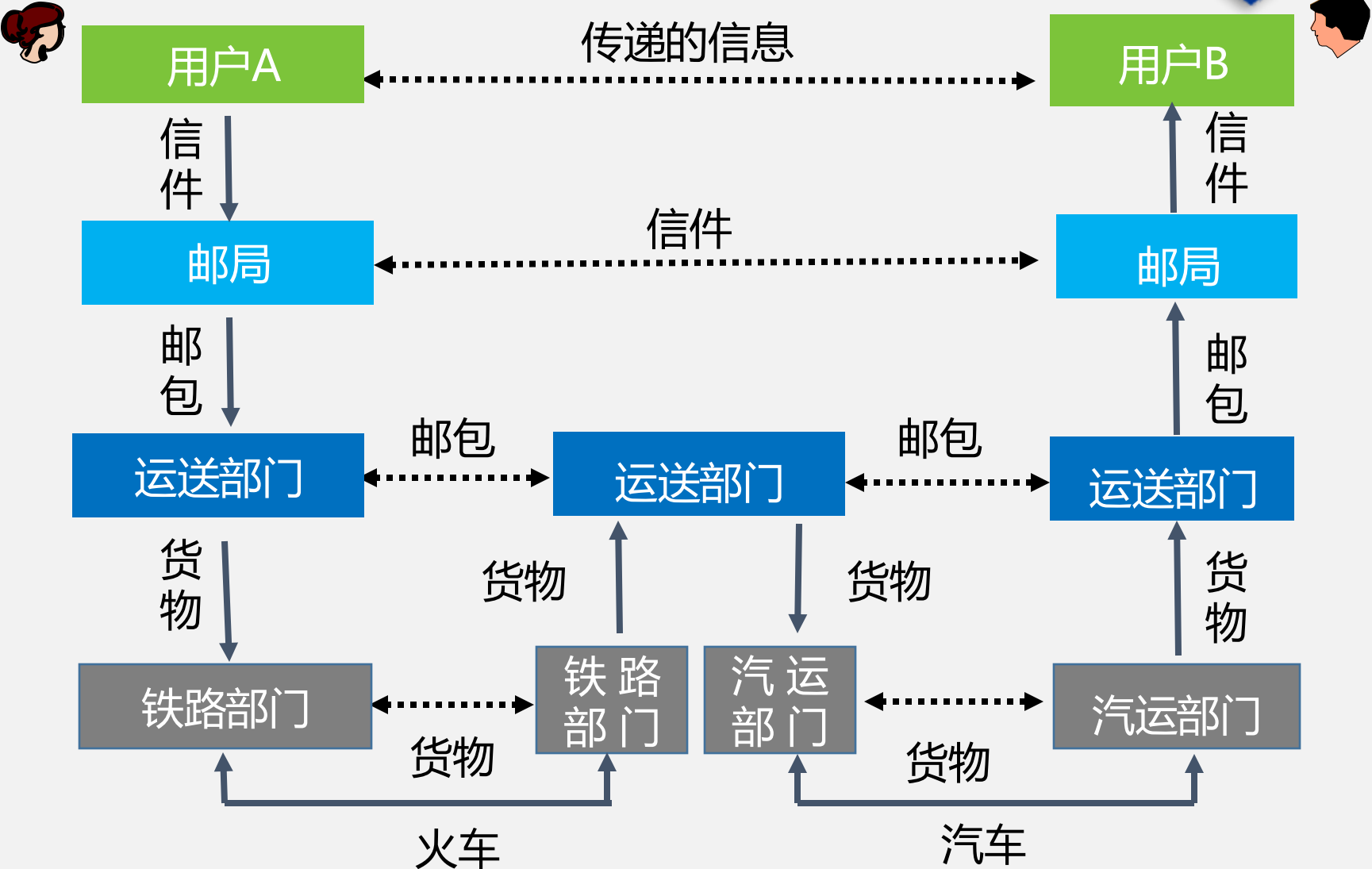


用户应用层

信件递送层

交通运输层

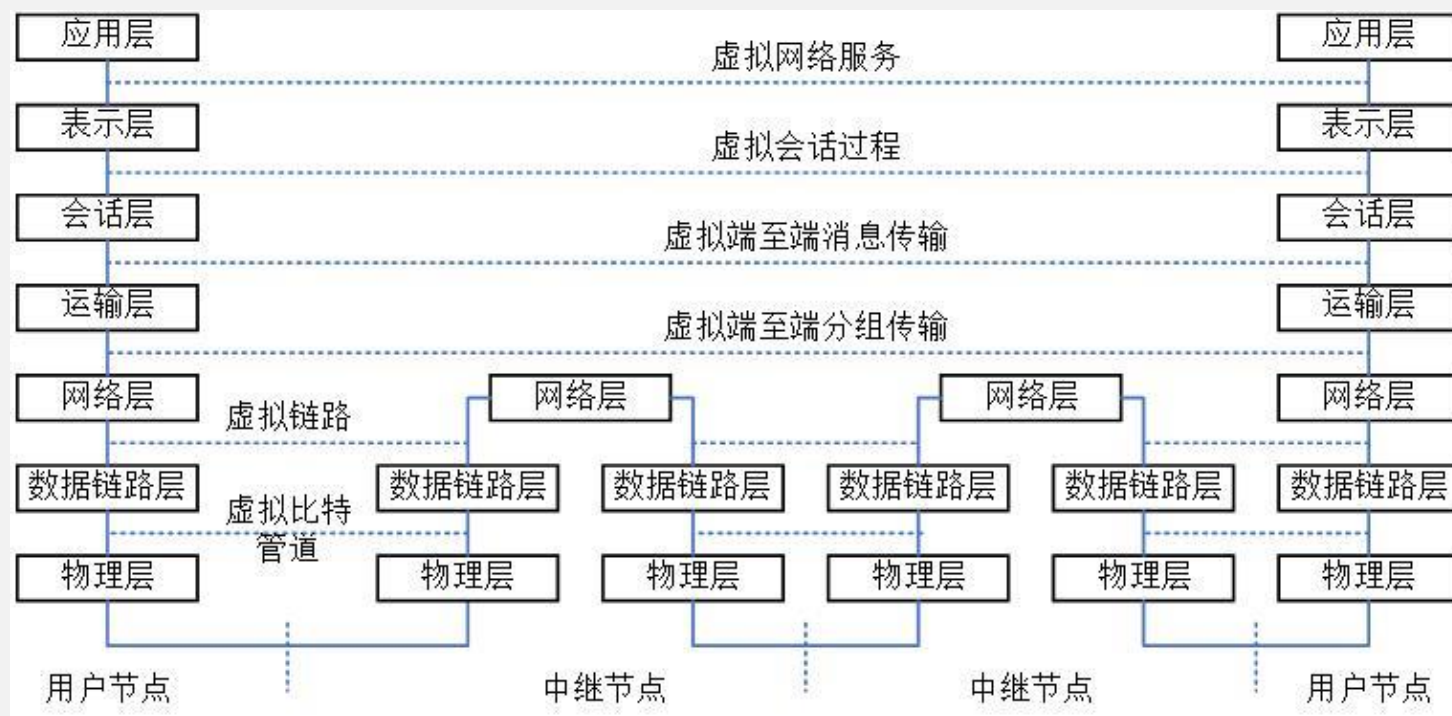
交通工具层



开放系统互联（OSI）参考模型（保障有效性和可靠性的平衡）



- 国际标准化组织（ISO）给出互联系统参考模型，该模型分为七个层：**物理层**、**数据链路层**、**网络层**、**运输层**、**会话层**、**表示层**和**应用层**



OSI协议体系结构模型

OSI模型与TCP/IP模型比较

• 7层模型与4层模型

- TCP/IP模型的网络接口层定义主机与传输线路之间的接口，描述了链路为无连接的互联网层必须提供的基本功能
- TCP/IP模型的互联网层、传输层与OSI模型的网络层、传输层大致对应
- TCP/IP模型的应用层包含了OSI模型的表示层与会话层

• 基本设计思想：通用性与实用性

- OSI：先有模型后设计协议，不局限于特定协议，明确了服务、协议、接口等概念，更具通用性
- TCP/IP模型：仅仅是对已有协议的描述

• 无连接与面向连接

- OSI模型网络层能够支持无连接和面向连接通信
- TCP/IP模型的网络层仅支持无连接通信（IP）

应用层
表示层
会话层
传输层
网络层
数据链路层
物理层

OSI 7层模型

应用层
传输层
互联网层
网络接口层

TCP/IP 4层模型

OSI模型与TCP/IP模型比较

OSI的失败：糟糕的时机、技术、实现、政策

OSI模型的不足

- 从未真正被实现
 - TCP/IP已成为事实标准，OSI缺少厂家支持
- 技术实现糟糕
 - OSI分层欠缺技术考虑：会话层、表示层很少内容；数据链路层、网络层内容繁杂。模型和协议过于复杂
 - 分层间功能重复：差错控制、流量控制等在不同层反复出现
- 非技术因素
 - TCP/IP实现为UNIX一部分，免费
 - OSI被认为是政府和机构的强加标准

TCP/IP模型的不足

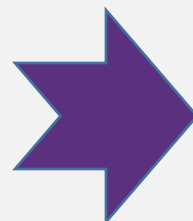
- 核心概念未能体现
 - 未明确区分服务、接口和协议等核心概念
- 不具备通用性
 - 不适于描述TCP/IP之外的其它协议栈
- 混用接口与分层的设计
 - 链路层和物理层一起被定义为网络接口层，而非真正意思上的分层
- 模型欠缺完整性
 - 未包含物理层与数据链路层
 - 物理层与数据链路层是至关重要的部分



OSI 7层模型



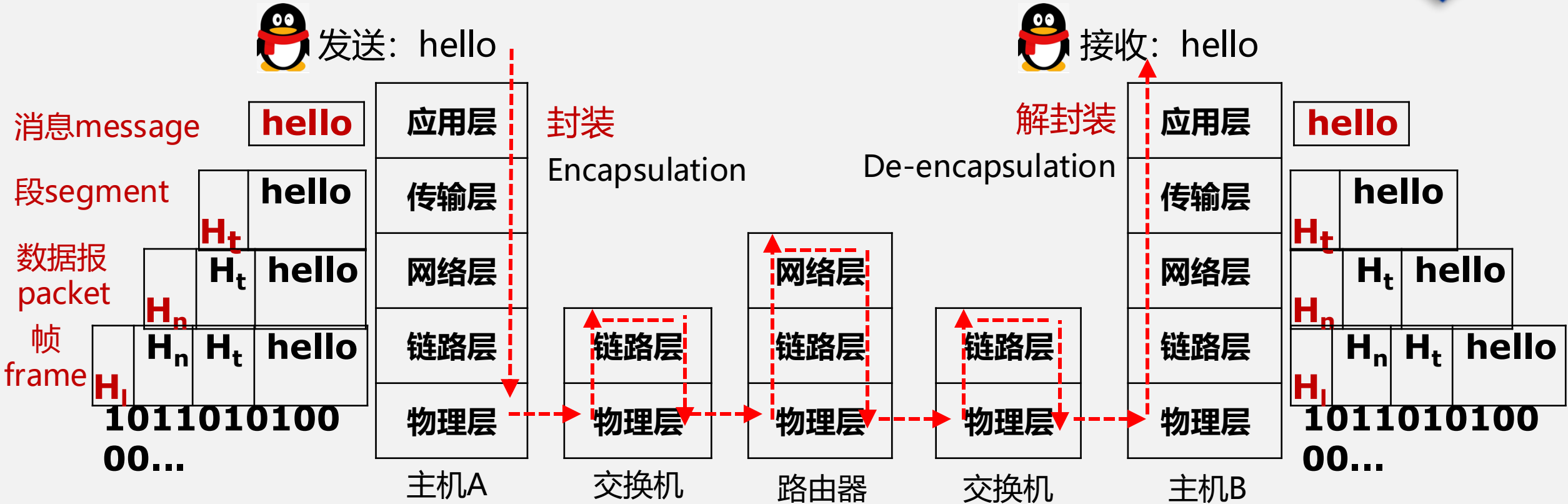
TCP/IP 4层模型



本课程的分层组织

- 突出核心概念
- 区分接口与分层
- 体现完整性
- 体现通用性
- 简化分层，易于教学
- 以通信系统为例

分层模型与网络实例



- 端到端通信实例：主机A上的QQ，发送消息；主机B上的QQ，接收消息
- 发送端层层封装，接收端层层解封装
- 不同层对应协议数据单元（PDU Protocol Data Unit）

- 本章主要内容：介绍物联网的特征与体系架构；物联网协议体系；物联网有线和无线通信技术概述。
- 本章学习目标
 - 了解物联网相关技术
 - 掌握物联网通信的基本概念与协议体系
- 思考题：
 - 工业物联网与工业互联网的区别和联系