



哈爾濱工業大學  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

立足航天，服务国防，面向国民经济主战场



# 《计算机网络》

## 第7章 无线与移动网络

主讲人：刘圣鑫



# 第7章 无线与移动网络

## 本章学习目标

- ❖ 理解无线网络组成要素
- ❖ 理解无线链路与无线网络特性
- ❖ 掌握IEEE802.11无线局域网体系结构
- ❖ 掌握CSMA/CA协议
- ❖ 了解移动通信网络体系结构
- ❖ 掌握实现网络移动性的基本原理
- ❖ 理解移动IP原理与通信过程
- ❖ 了解移动通信网络移动性原理

## 主要内容

- ❖ 7.1 无线与移动网络概述
- ❖ 7.2 无线链路与网络特性
- ❖ 7.3 无线局域网：IEEE802.11
- ❖ 7.4 移动通信网络体系结构
- ❖ 7.5 网络移动管理基本原理
- ❖ 7.6 移动IP
- ❖ 7.7 移动通信网络的移动管理
- ❖ 7.8 无线与移动对高层协议的影响





哈爾濱工業大學  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

立足航天，服务国防，面向国民经济主战场



## 7.1 无线与移动网络概述





# 无线和移动网络：背景

## 7.1 无线与移动网络概述

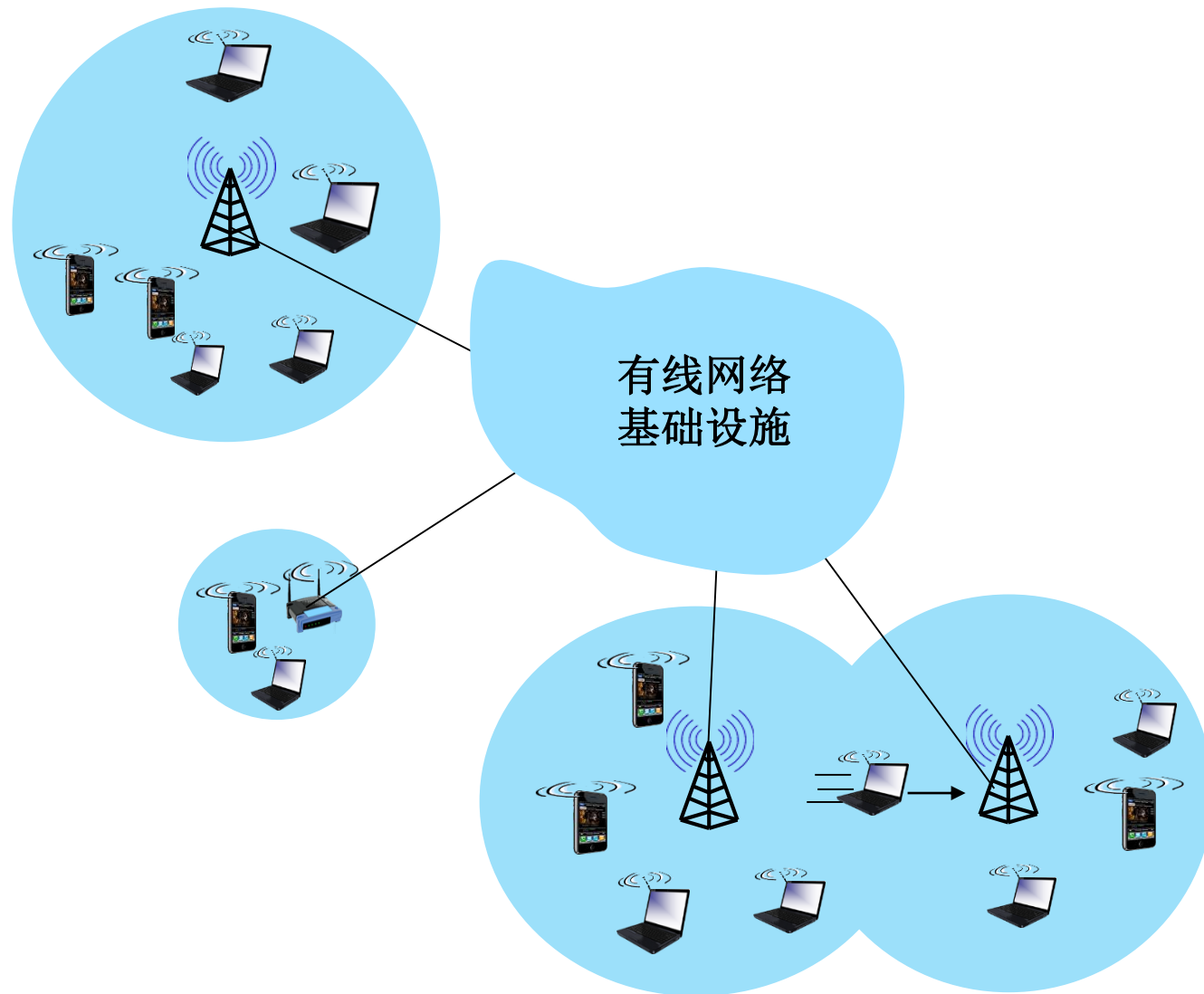
- ❖ 无线（移动）电话用户多于固定（有线）电话用户（2019年为10:1）！
- ❖ 移动宽带连接设备多于固定宽带连接设备（2019年为5:1）！
  - 4G/5G蜂窝网络现在采用互联网协议栈
- ❖ 两个重要（但不同）的挑战
  - 无线:通过无线链路进行通信
  - 移动:处理改变网络接入点的移动用户





# 无线网络的组成要素

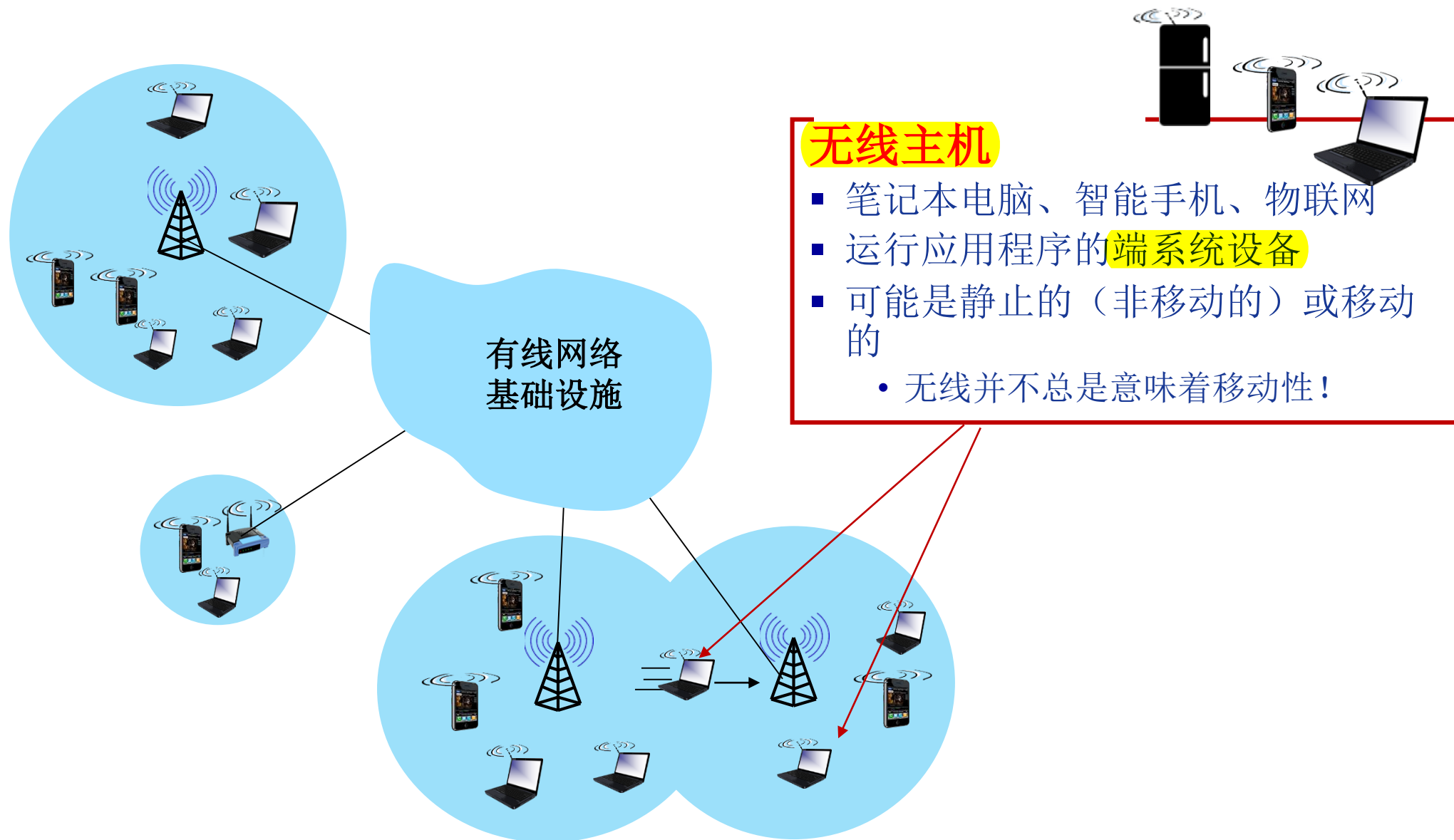
## 7.1 无线与移动网络概述





# 无线网络的要素

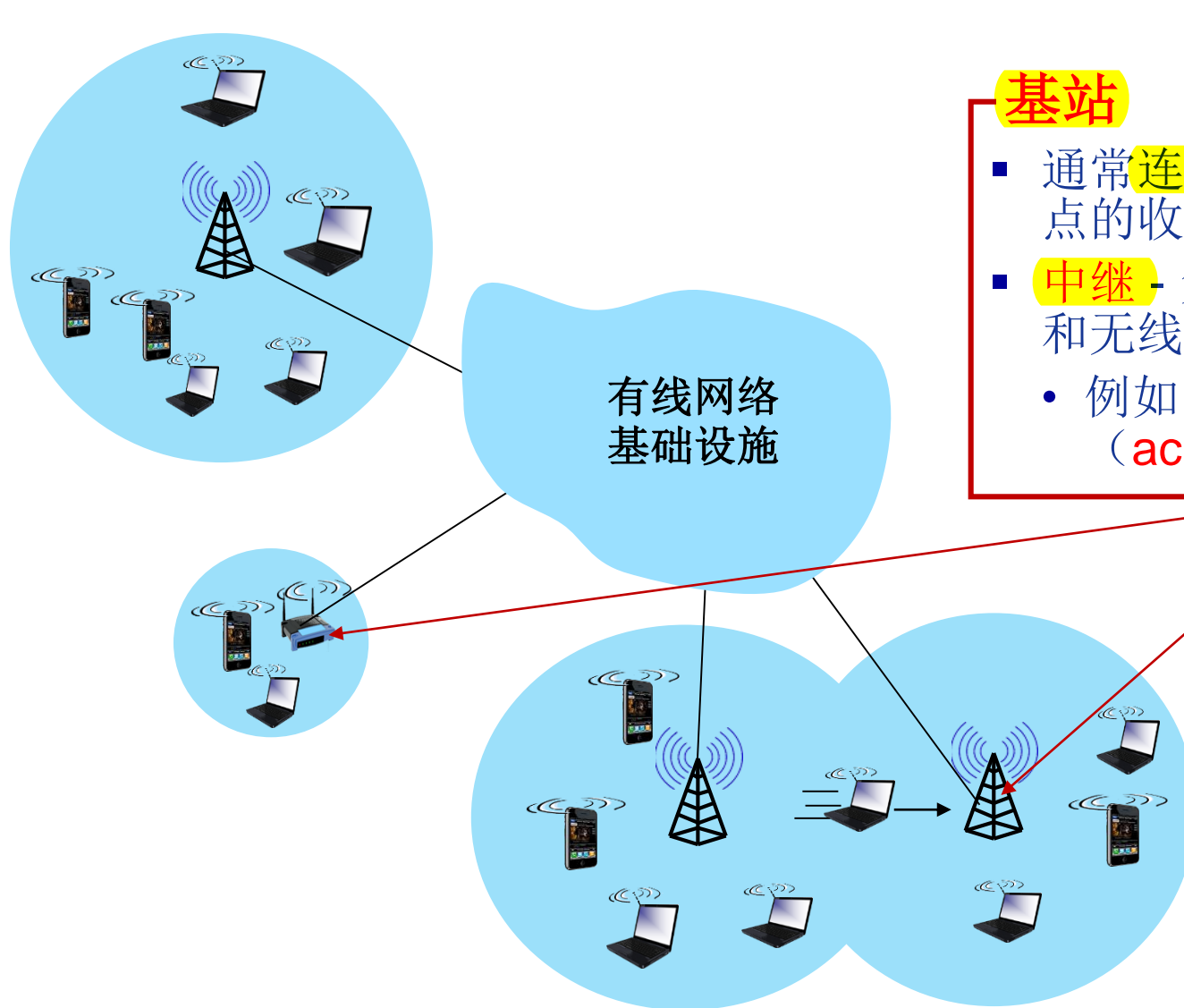
## 7.1 无线与移动网络概述





# 无线网络的要素

## 7.1 无线与移动网络概述



### 基站



- 通常连接到有线网络，协调各移动节点的收发（信道资源管理等）
- 中继 - 负责在其“区域”内的有线网络和无线主机之间发送数据包
  - 例如，手机蜂窝塔、802.11 接入点（access point, AP）

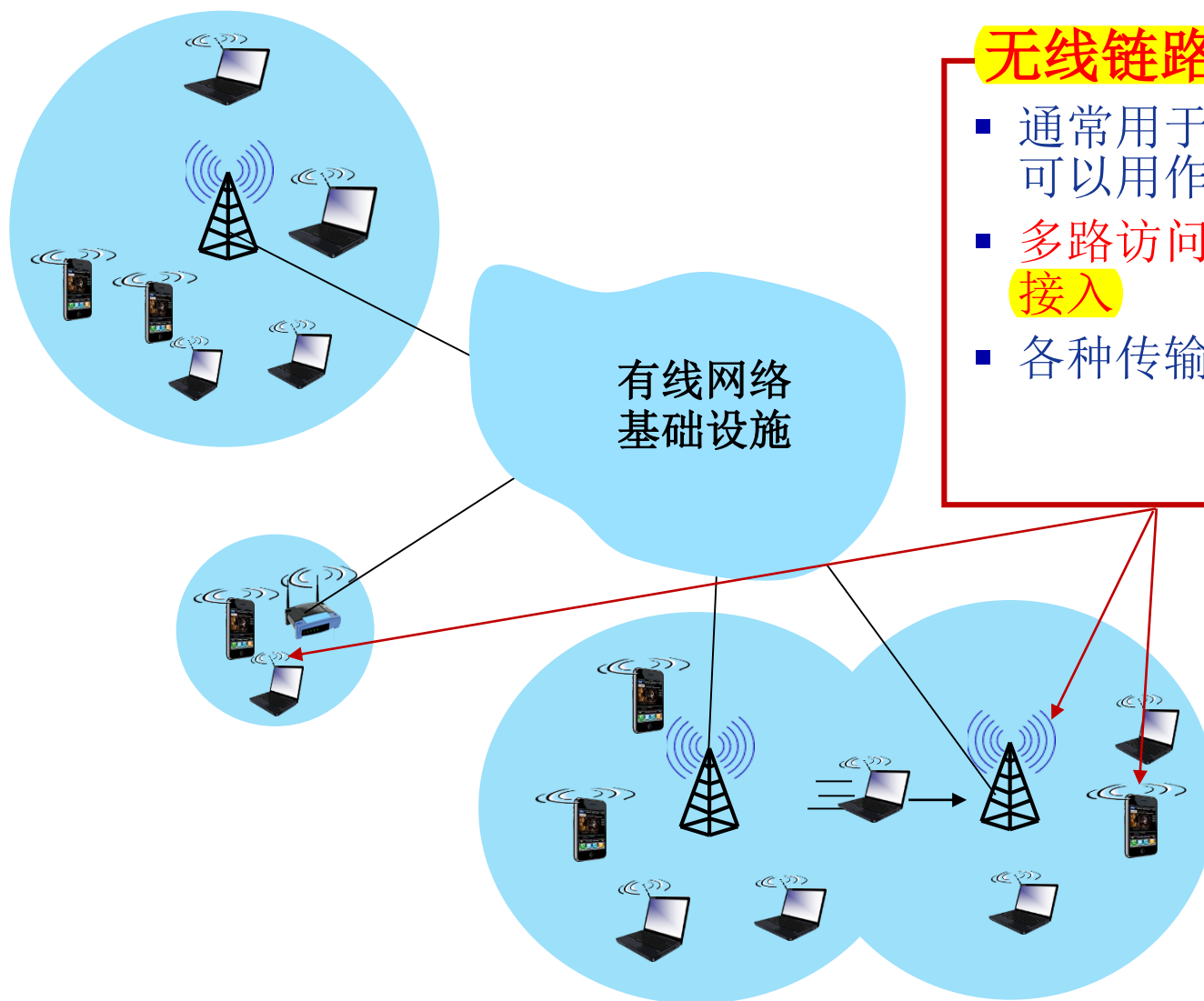






# 无线网络的要素

## 7.1 无线与移动网络概述



### 无线链路



- 通常用于将移动设备连接到基站，也可以用作骨干链路
- 多路访问控制协议（**MAC**）协调链路接入
- 各种传输速率、覆盖范围和频段

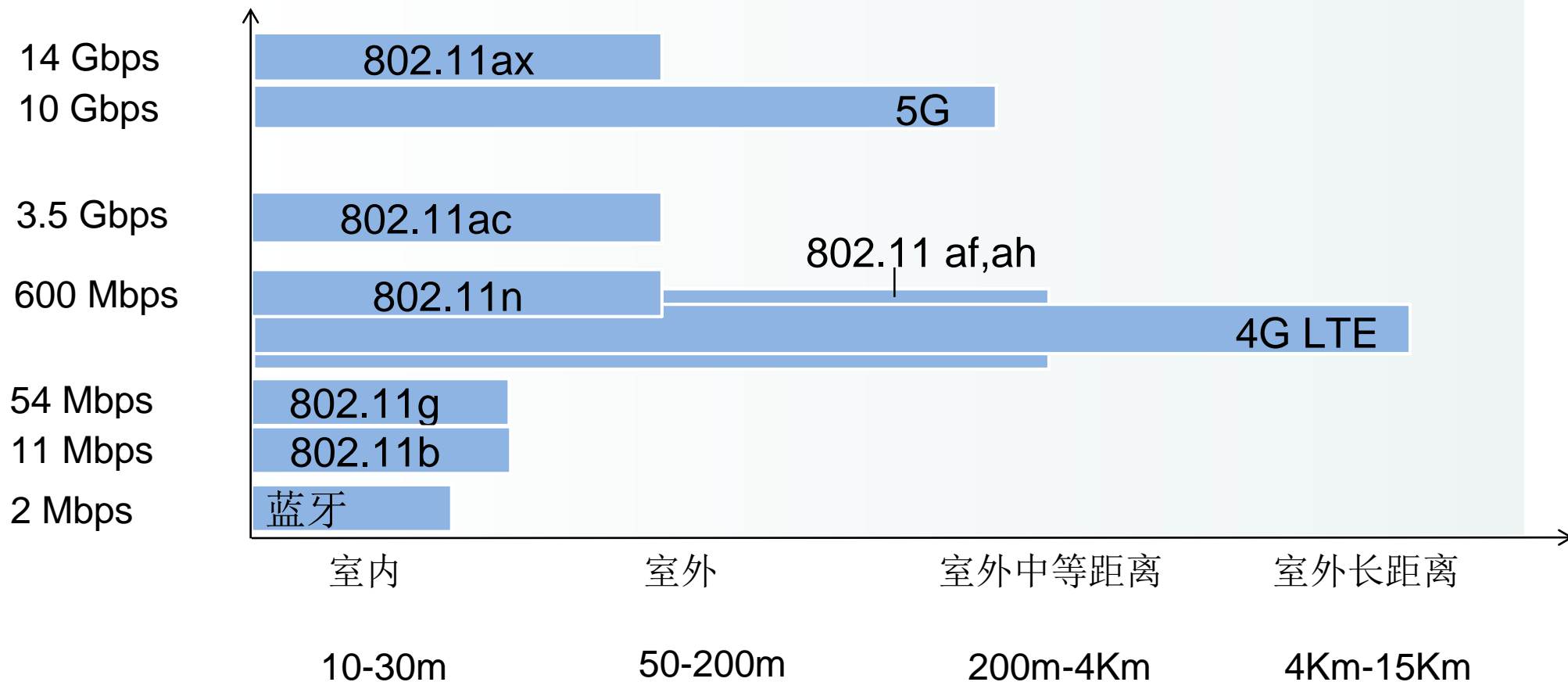






# 所选无线链路的特性

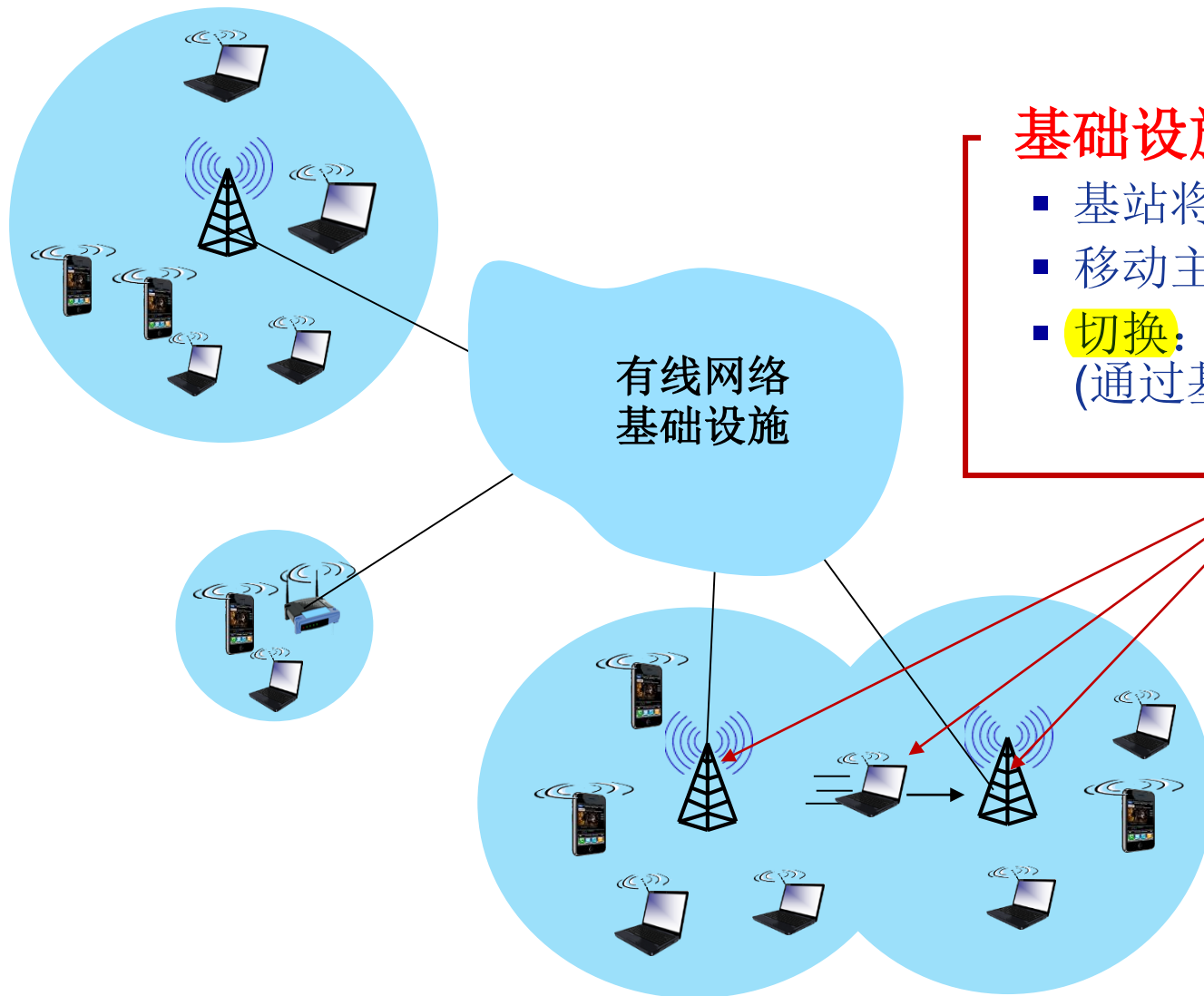
## 7.1 无线与移动网络概述





# 无线网络的模式

## 7.1 无线与移动网络概述



### 基础设施模式

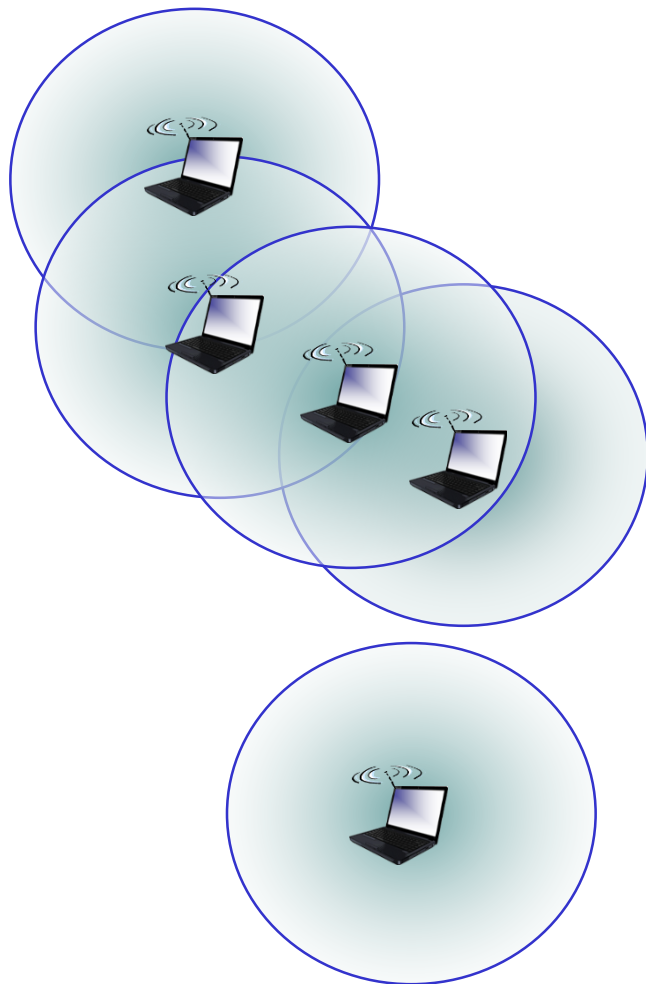
- 基站将移动主机连接到有线网络
- 移动主机之间不直接通信
- **切换**: 移动主机改变接入的基站 (通过基站连接到有线网络)





# 无线网络的模式

## 7.1 无线与移动网络概述



### 自组织网络模式 (ad hoc mode)

- 没有基站
- 结点只能传输到无线链路覆盖范围内的其他结点
- 结点自身组织成一个网络: 在内部进行路由







# 无线网络分类

## 7.1 无线与移动网络概述

	单跳	多跳
基础设施 (e.g., APs)	主机连接到基站（如WiFi，蜂窝），基站连接到更大的互联网	主机可能必须通过其他无线结点中继才能连接到更大的互联网： 网状网络
无基础设施	没有基站，没有连接到更大的互联网（蓝牙，自组织网络）	没有基站，没有连接到更大的互联网。可能必须中继才能到达其他给定的无线结点（移动自组织网络MANET，车载自组织网络VANET）





哈爾濱工業大學  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

立足航天，服务国防，面向国民经济主战场



## 7.2 无线链路与网络特性



# 无线链路特性（一）

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

与有线链路的重要区别.....

- **信号强度衰减**：无线电信号在介质中传播时衰减(路径损耗)
- **来自其他源的干扰**：许多设备（例如WiFi、蜂窝网络、电机）共享无线网络频段（例如 2.4 GHz）：相互干扰
- **多径传播**：无线电信号从物体地面反射，在不同时刻到达目的地
- ..... 使通过无线链路的通信（即使是点对点通信）更加“困难”





# 无线链路特性（二）

## 7.1 无线与移动网络概述

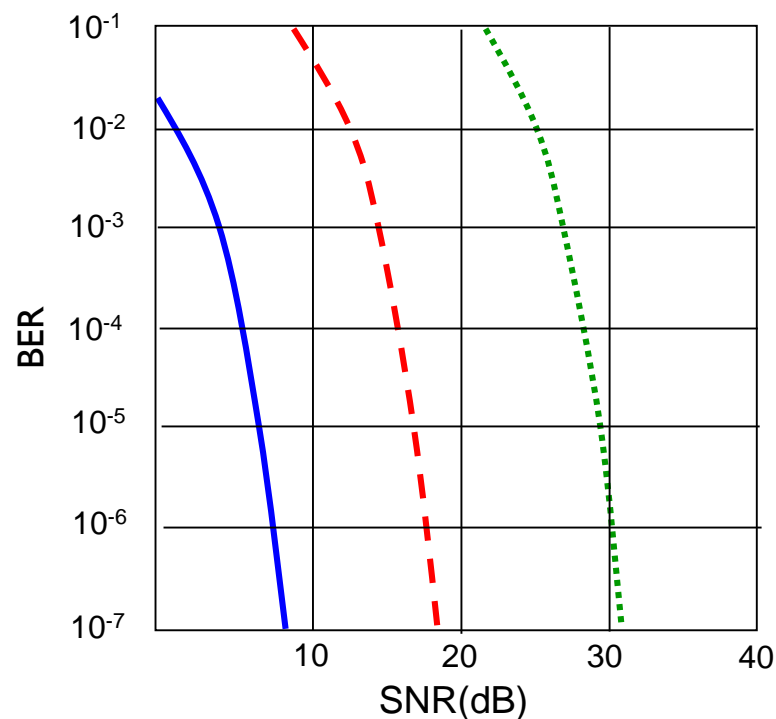
## 7.2 无线链路与网络特性

### ■ SNR: 信噪比

- 较大SNR – 更容易从噪声中提取信号

### ■ SNR vs BER（比特差错率）间的权衡

- 给定物理层（调制技术等）：增加功率 → 增加SNR → 降低BER
- 给定SNR：选择满足BER要求的物理层，提供最高的吞吐量
  - SNR 可能会随着移动性而变化：动态适应物理层（调制技术、速率）



..... QAM256 (8 Mbps)

- - - QAM16 (4 Mbps)

— BPSK (1 Mbps)



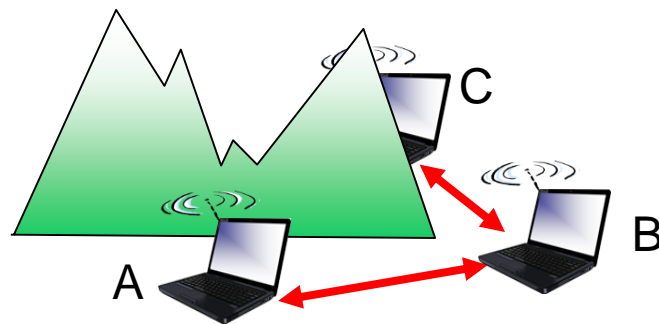


# 无线链路特性（三）

7.1 无线与移动网络概述

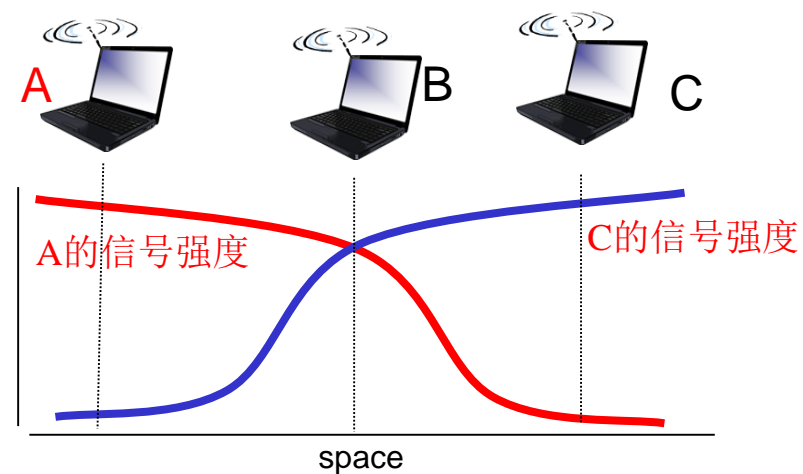
7.2 无线链路与网络特性

多个无线发送器、接收器会产生额外的问题（除了多路访问控制）：



## 隐藏站问题

- B、A可以互相听到对方
- B、C可以互相听到对方
- A、C听不到对方，意味着A、C不知道他们的信号在B处会互相干扰



## 信号衰减:

- B、A可以互相听到对方
- B、C可以互相听到对方
- A、C由于信号衰减，互相听不到，在B处会互相干扰





哈爾濱工業大學  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

立足航天，服务国防，面向国民经济主战场



## 7.3 无线局域网：IEEE802.11





# IEEE 802.11无线局域网

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

## 802.11b

- ❖ 2.4-2.5GHz免费频段  
(unlicensed spectrum)
- ❖ 最高速率: 11 Mbps
- ❖ 物理层采用直接序列扩频  
(DSSS)技术
  - 所有主机使用相同的码片序列

## 802.11a

- 5-6 GHz频段
- 最高速率: 54 Mbps

## 802.11g

- 2.4-2.5 GHz频段
- 最高速率: 54 Mbps

## 802.11n: 多天线(MIMO)

- 2.4-2.5 GHz频段
- 最高速率: 600 Mbps

- 
- ❖ 均使用CSMA/CA多路访问控制协议
  - ❖ 均有基础设施(基站)网络模式和特定网(自组织, ad hoc)网络模式





# IEEE 802.11无线局域网

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路和网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

标准	频段	数据速率	物理层	优缺点
802.11b	2.4 GHz	最高11 Mb/s	扩频	最高数据率较低，价格最低，信号传播距离最远，且不易受阻碍
802.11a	5 GHz	最高54 Mb/s	OFDM	最高数据率较高，支持更多用户同时上网，价格最高，信号传播距离较短，且易受阻
802.11g	2.4 GHz	最高54 Mb/s	OFDM	最高数据率较高，支持更多用户同时上网，信号传播距离最远，且不易受阻，价格比802.11b贵
802.11n	2.4 GHz 5 GHz	最高600 Mb/s	MIMO OFDM	使用多个发射和接收天线以允许更高的数据传输率，当使用双倍带宽(40 MHz)时速率可达600 Mb/s





# IEEE 802.11无线局域网

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

IEEE 802.11 standard	Year	Max data rate	Range	Frequency
802.11b	1999	11 Mbps	30 m	2.4 Ghz
802.11g	2003	54 Mbps	30m	2.4 Ghz
802.11n (WiFi 4)	2009	600	70m	2.4, 5 Ghz
802.11ac (WiFi 5)	2013	3.47Gpbs	70m	5 Ghz
802.11ax (WiFi 6)	2021	14 Gbps	70m	2.4, 5 Ghz
802.11af	2014	35 – 560 Mbps	1 Km	unused TV bands (54-790 MHz)
802.11ah	2017	347Mbps	1 Km	900 Mhz

- 均采用CSMA/CA的多路访问控制，并均有基站和自组织两种网络模式。





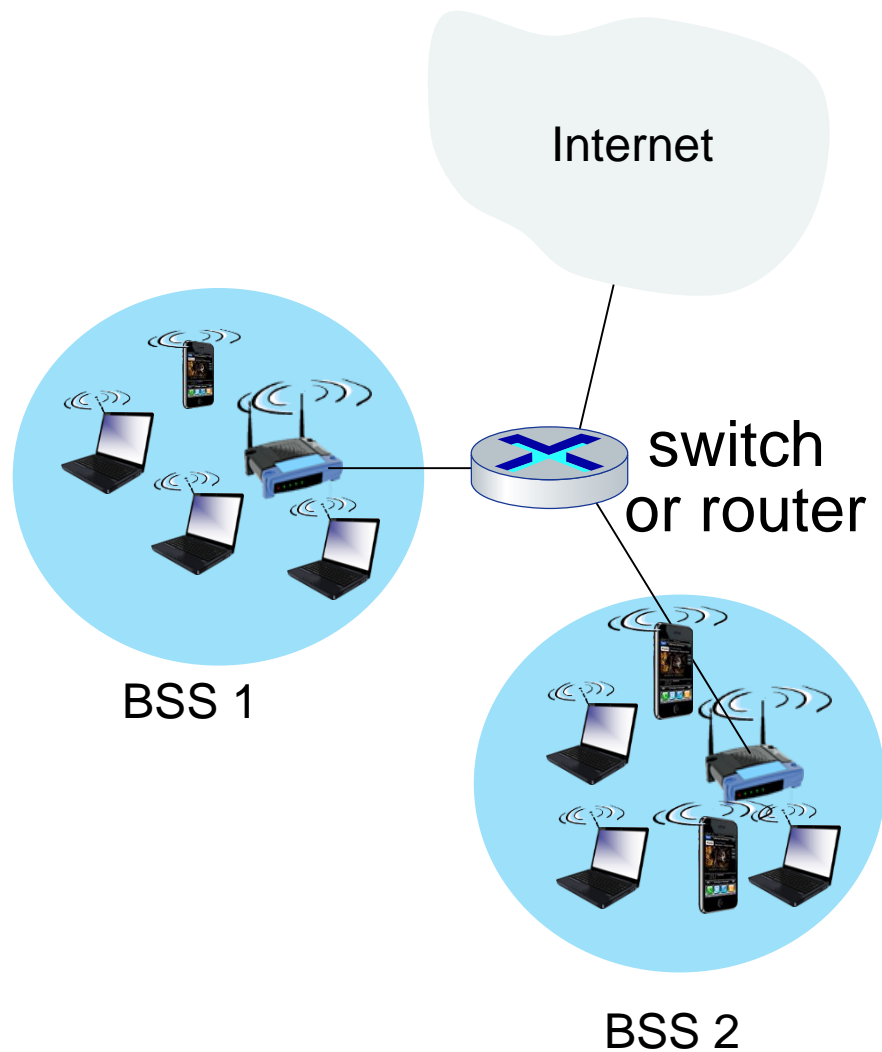


# 802.11 LAN体系结构

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11



## ❖ 无线主机与基站通信

- 基站(base station) = 访问点(access point, AP)

## ❖ 基本服务集BSS(Basic Service Set), 也称为单元(cell)

- 基础设施网络模式:
  - 无线主机
  - AP: 基站
- 自组织网(ad hoc)模式:
  - 只有主机





# 802.11:信道与关联

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

- 频谱划分为不同频率的信道
  - 每个AP选择一个频率(信道)
  - 存在干扰可能: 相邻的AP可能选择相同的信道!
- 主机: 必须与某个AP关联(associate)
  - 扫描信道, 监听包含AP名称(服务集标识符, SSID)和MAC地址的信标(beacon)帧
  - 选择一个AP进行关联
  - 可能需要进行身份认证
  - 典型情形: 运行DHCP获取IP地址等信息



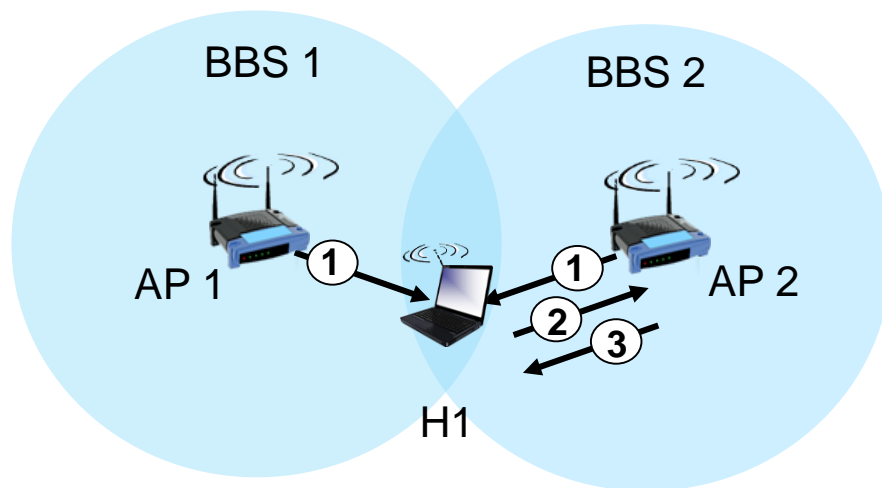


# 802.11关联:被动扫描与主动扫描

7.1 无线与移动网络概述

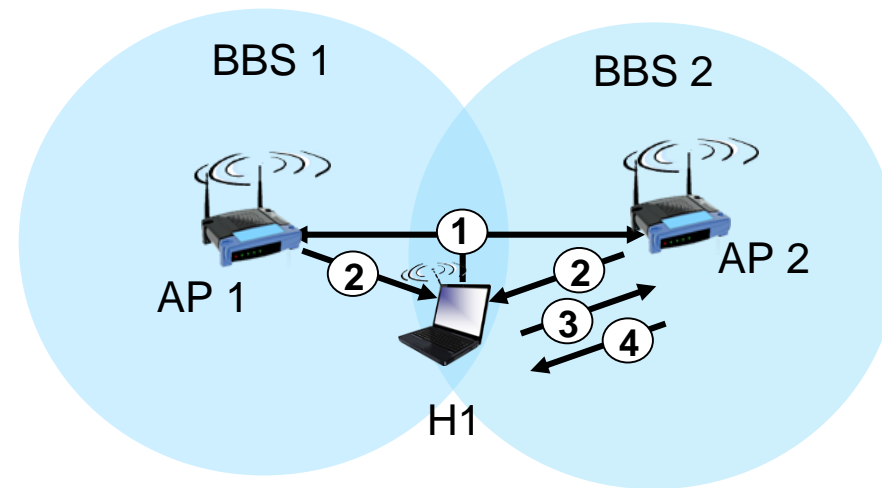
7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11



## 被动扫描(scanning):

- (1) 各AP发送信标帧
- (2) 主机(H1)向选择的AP发送关联请求帧
- (3) AP向主机(H1)发送关联响应帧



## 主动扫描:

- (1) 主机(H1)主动广播探测请求帧 (Probe Request Frame)
- (2) AP发送探测响应帧 (Probe Response Frame)
- (3) 主机(H1)向选择的AP发送关联请求帧
- (4) AP向主机(H1)发送关联响应帧





# IEEE 802.11:多路访问控制

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

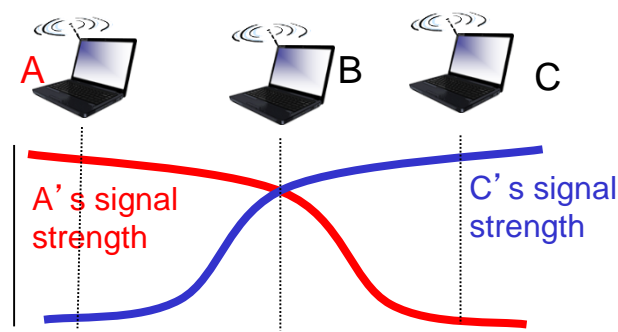
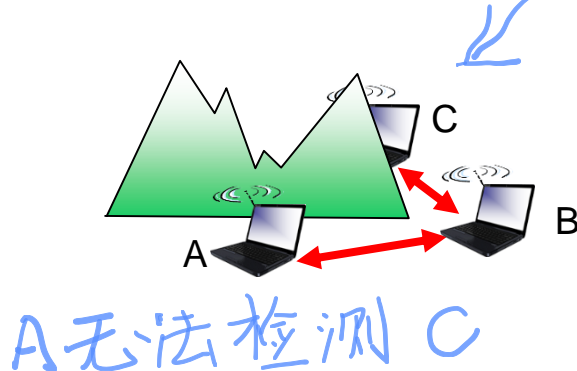
❖ 避免冲突: 2+结点同时传输

❖ 802.11: CSMA – 发送数据前监听信道

- 避免与正在进行传输的其他结点冲突

❖ 802.11: 不能像CSMA/CD那样, 边发送、边检测冲突!

- 无线信道很难实现: 发射信号强度远高于接收信号强度
- 无法侦听到所有可能的冲突: 隐藏站、信号衰落
- 目标: 避免冲突(avoid collisions)-CSMA/C(ollision)A(voidance)







# IEEE 802.11 MAC协议: CSMA/CA

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网: IEEE802.11

## 802.11 发送方

1 if 监听到信道空闲了 **DIFS** (分布式帧间间隙) 时间  
then

发送整个帧(无同时检测冲突, 即无CD)

2 if 监听到信道忙 then

开始随机退避计时

当信道空闲时 (并且经历 **DIFS** 时间后), 计时器  
倒计时

当计时器超时, 发送帧

if 没有收到ACK then

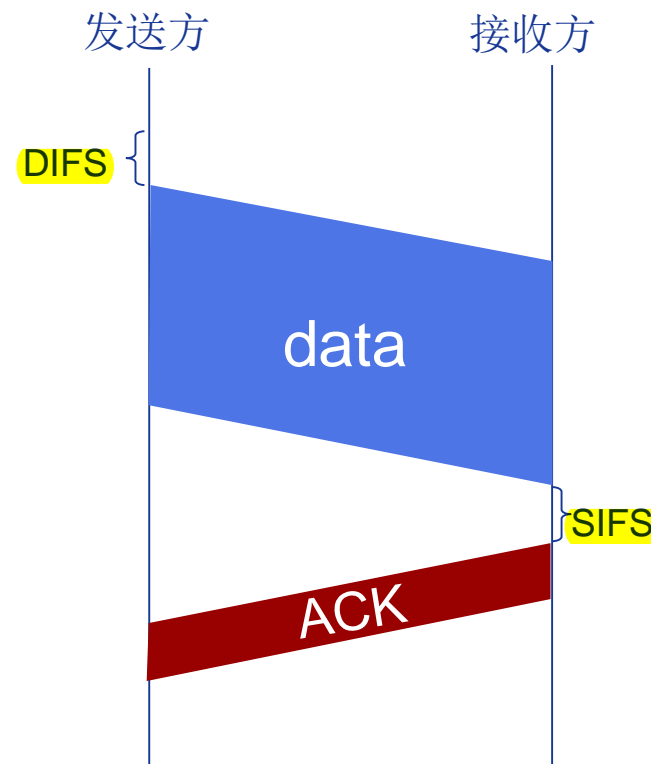
增加随机退避间隔时间

重复第2步

## 802.11 接收方

- if 正确接收帧

延迟 **SIFS** (短帧帧间间隙) 时间后, 向发送方发  
送ACK(由于存在隐藏站问题)





# IEEE 802.11 MAC协议: CSMA/CA

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网: IEEE802.11

**基本思想:** 允许发送方“预约”(reserve)信道, 而不是随机发送数据帧, 从而避免长数据帧的冲突

- ❖ 发送端首先利用CSMA向基站发送一个很短的RTS (request-to-send)帧
  - RTS帧仍然可能彼此冲突 (但RTS帧很短)
- ❖ 基站广播一个CTS (clear-to-send)帧作为对RTS的响应
- ❖ CTS帧可以被所有结点接收
  - 消除隐藏站影响
  - 发送端可以发送数据帧
  - 其他结点推迟发送

利用很小的预约帧彻底避免了数据帧冲突!



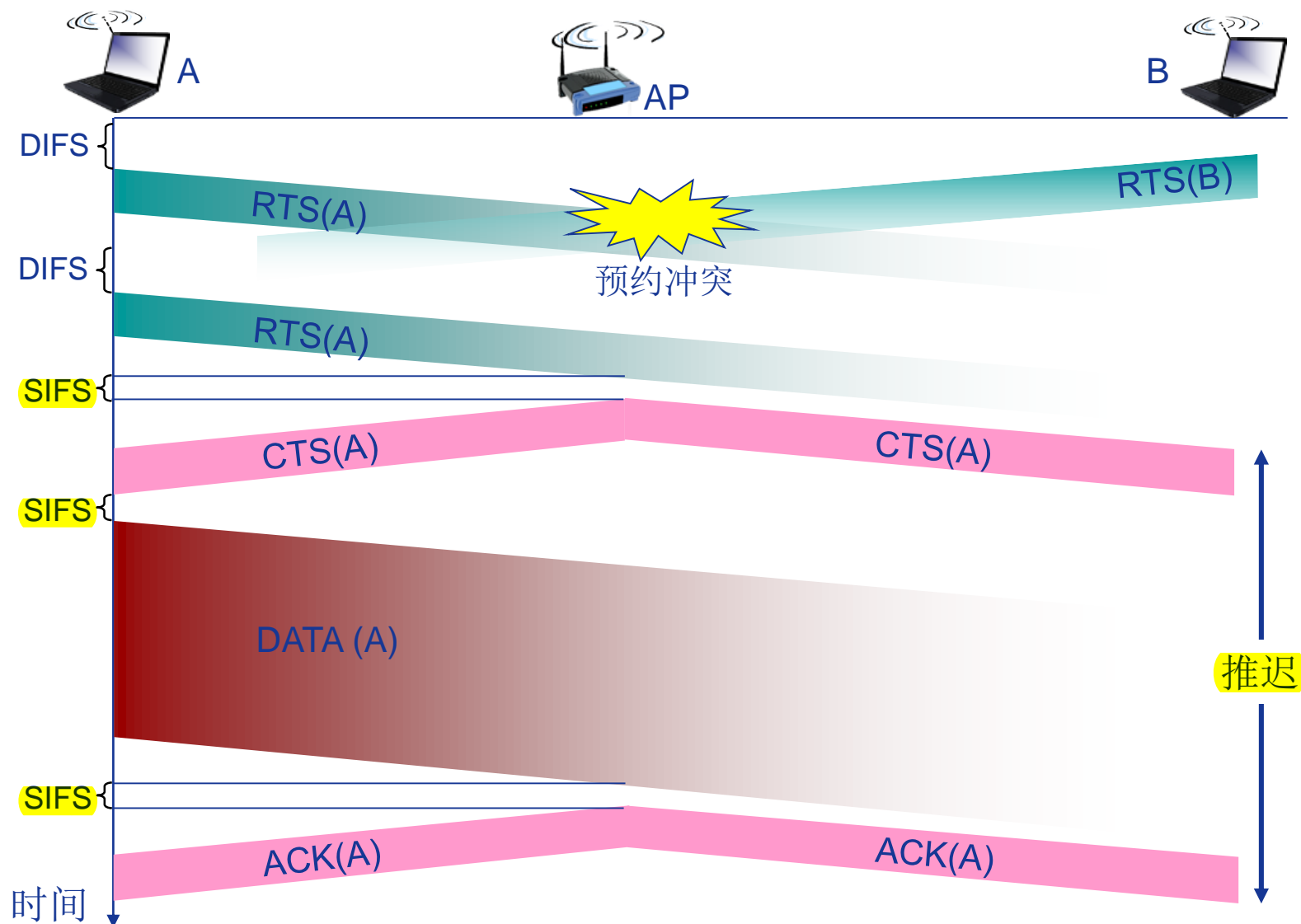


# 冲突避免(CA): RTS-CTS交换

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

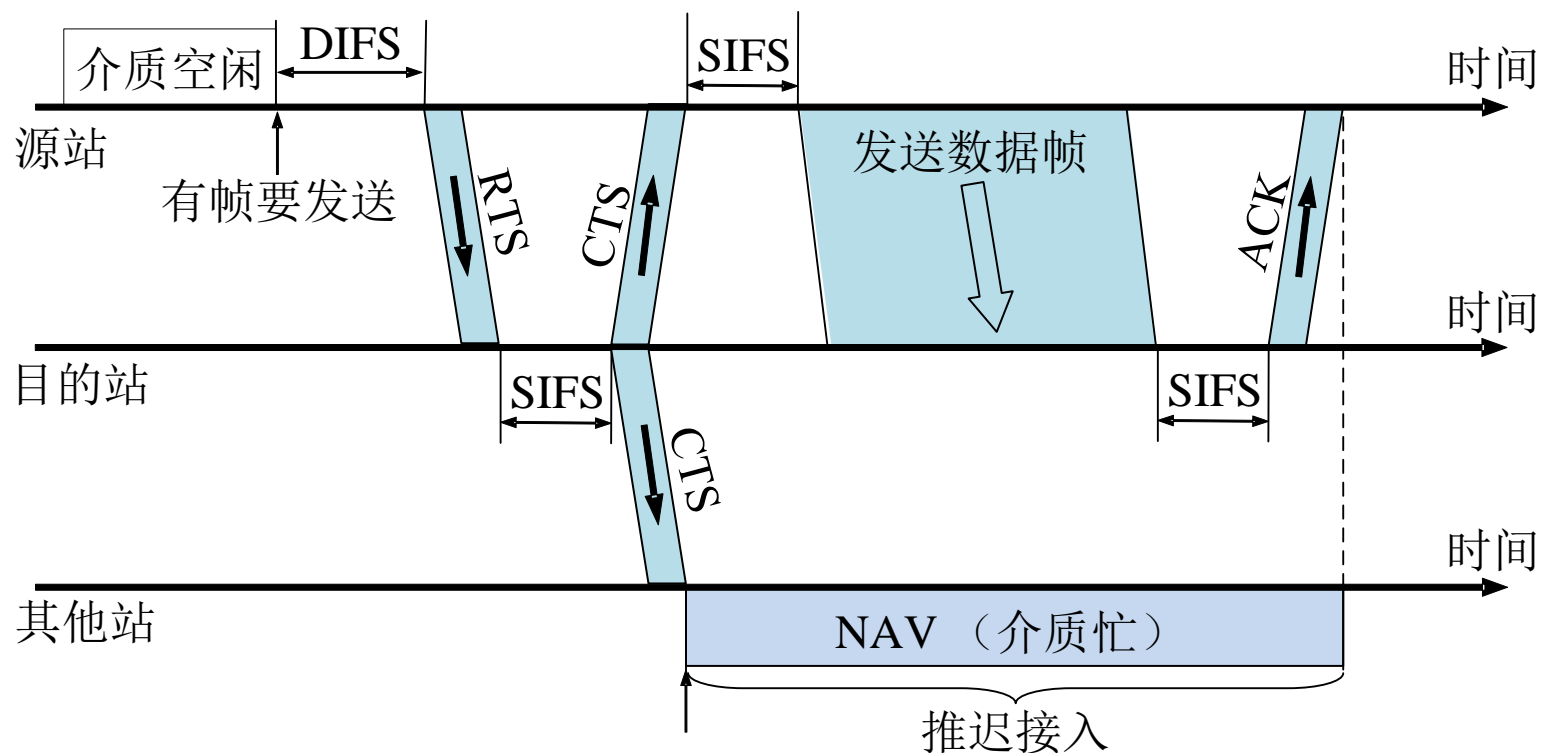




# 例题

【例1】CSMA/CA协议如何实现信道预约？一个主机从期望发送数据开始，到确认数据被接收方正确接收最快需要多少时间？（注：忽略传播时延、处理时延和传输时延）

■ DIFS+3SIFS





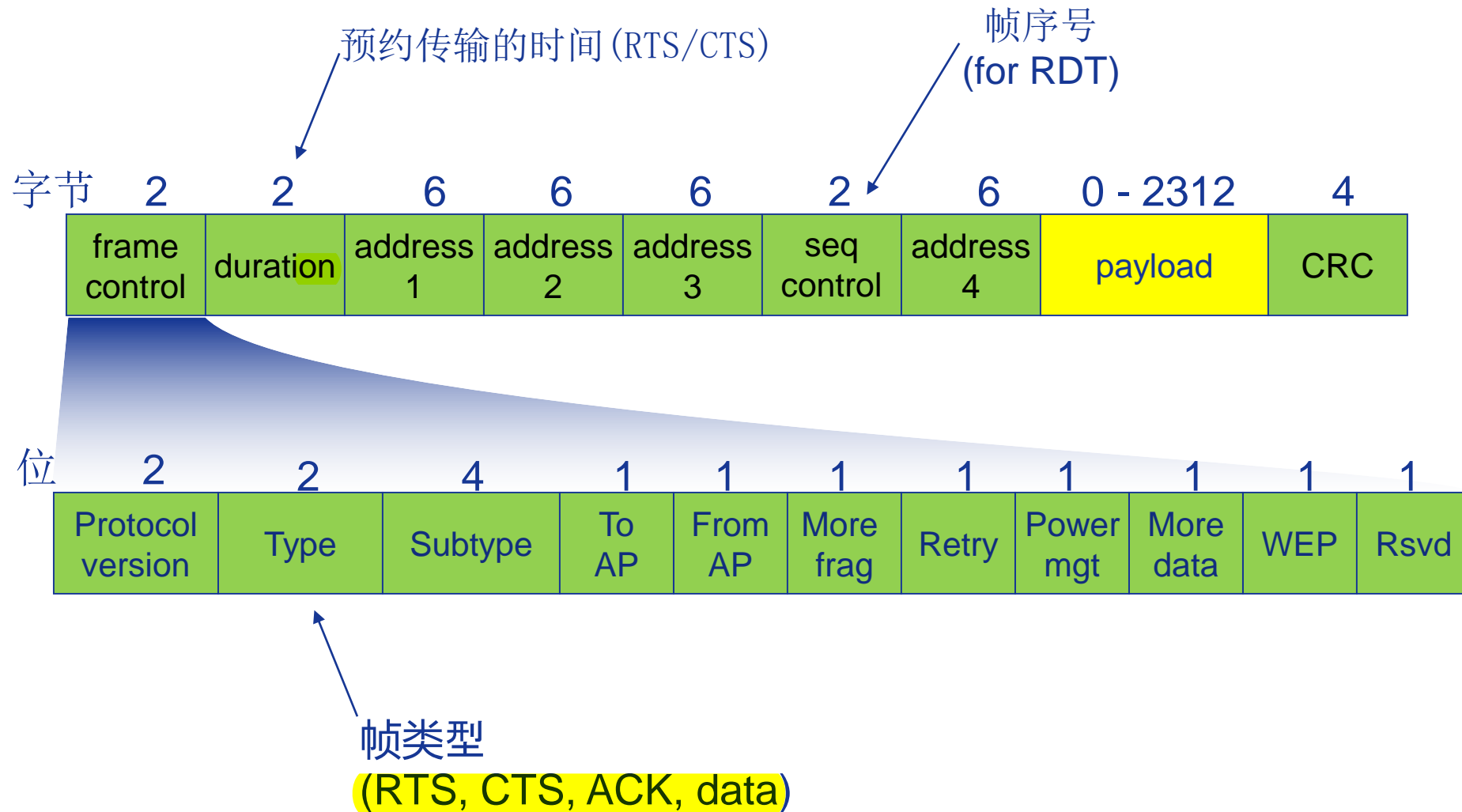


# IEEE 802.11 MAC帧

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11





# IEEE 802.11 数据帧地址

7.1 无线与移动网络概述

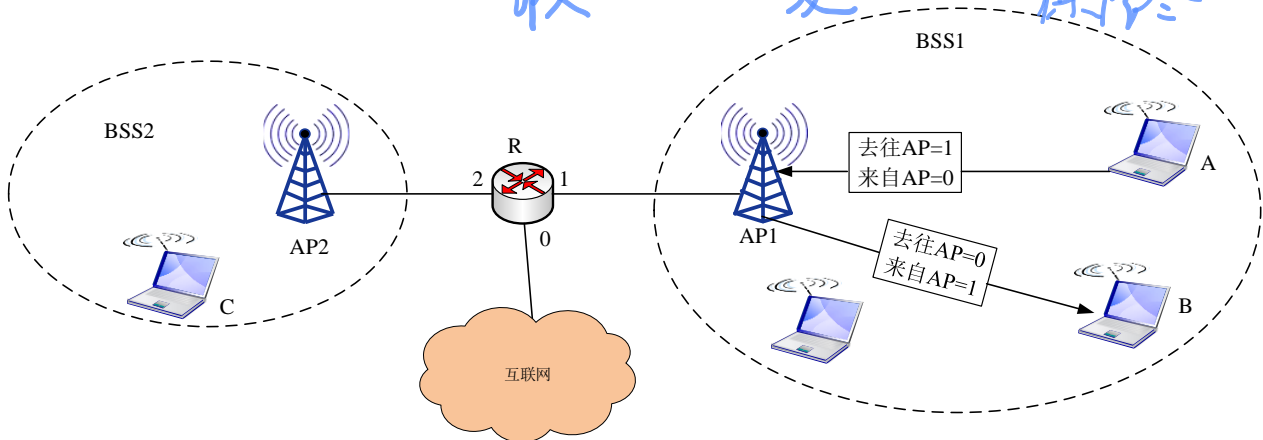
7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网: IEEE802.11

- ❖ 802.11数据帧有4个地址字段
  - ❖ 地址1: 主机或则AP的MAC地址, 指明帧的接收方
  - ❖ 地址2: 发送该帧的主机或则AP的MAC地址
  - ❖ 地址3: 最初原地址或最终目的地址 (例如网关路由器接口的MAC地址)
  - ❖ 地址4用于Ad-hoc或采用无线桥接 (无线DS) 的情形
- 最初源地址

去往AP	来自AP	地址1	地址2	地址3	地址4
0	1	目的地址	AP地址	源地址	——
1	0	AP地址	源地址	目的地址	——

收 发 源/终



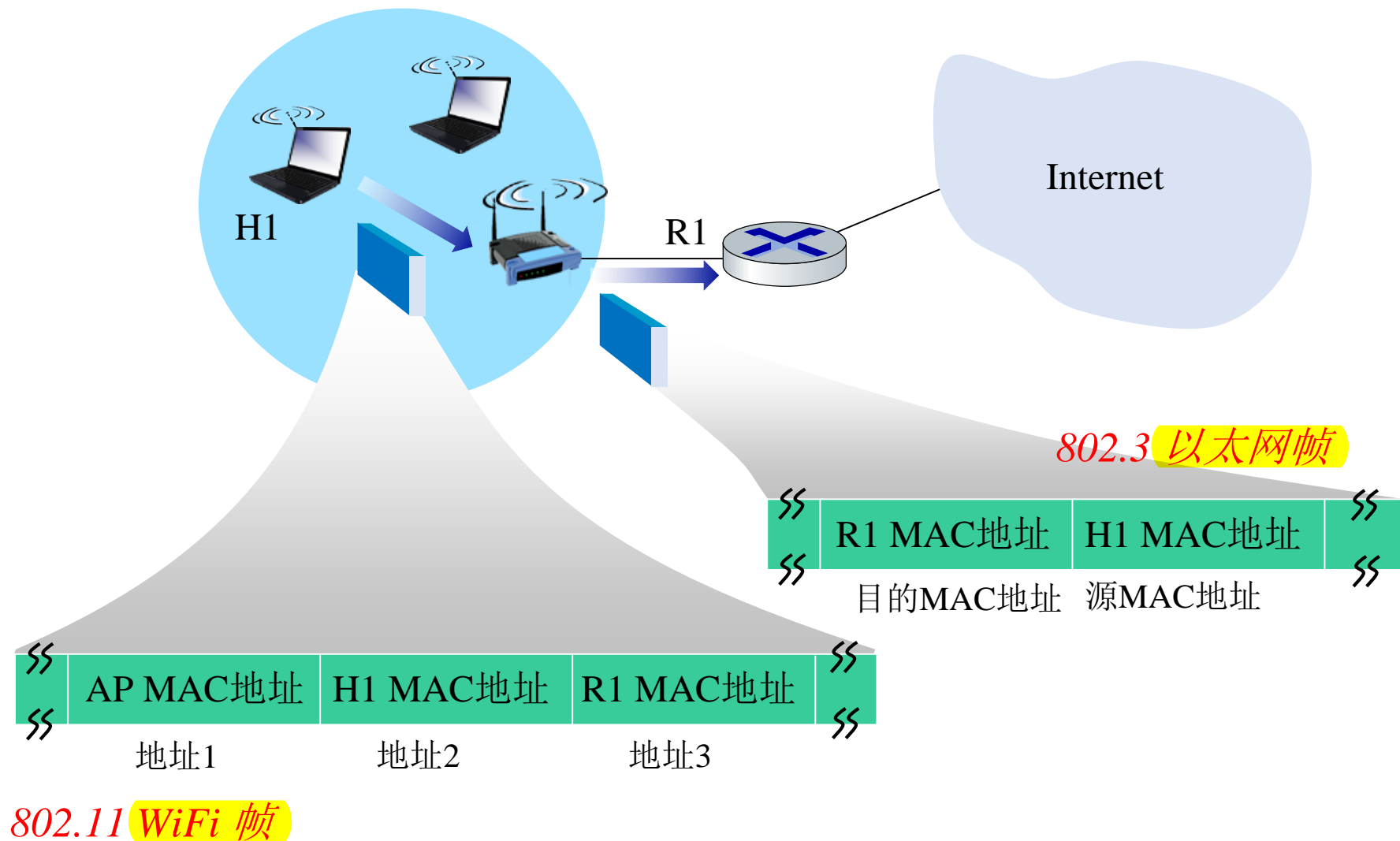


# IEEE 802.11帧的地址

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11





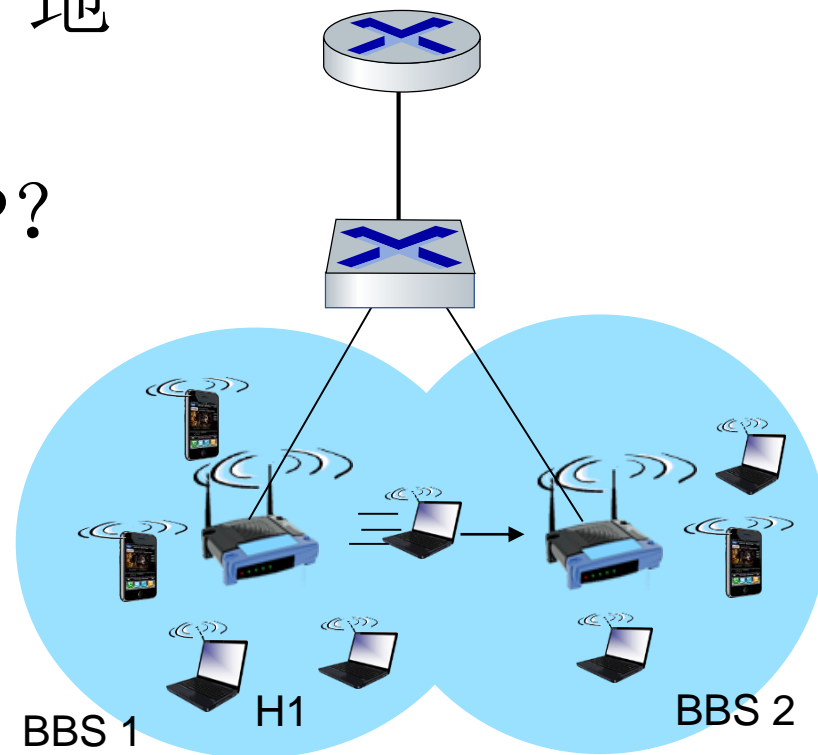
# 802.11：同一子网内的移动性

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

- H1保持在同一 IP 子网中：IP 地址可以保持不变
- 交换机：H1关联的是哪个AP？
  - **自学习**：交换机将看到来自H1的帧并“记住”哪个交换机端口可用于到达H1。







# 802.11: 高级功能

7.1 无线与移动网络概述

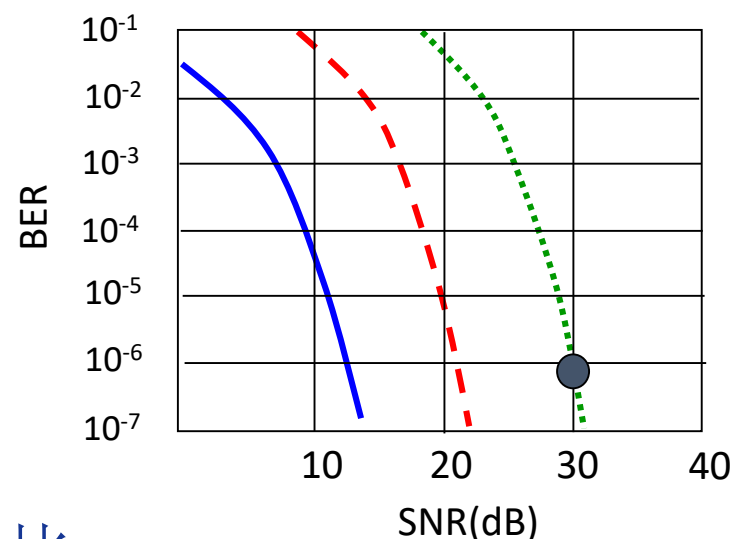
7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网: IEEE802.11

## 速率适应

- 当移动终端移动、SNR变化时，基站、移动终端动态改变传输速率（通过物理层调制技术）

- 当移动终端远离基站时，SNR 降低，BER（比特差错率）增加。
- 当 BER 变得过高时，切换到较低的传输速率，以降低BER。



..... QAM256 (8 Mbps)  
- - - QAM16 (4 Mbps)  
— BPSK (1 Mbps)  
● operating point



# 802.11: 高级功能

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

## 功率管理

- 结点到AP: “我要休眠到下一个信标帧”
  - AP 知道不向该结点发送帧
  - 结点在下一个信标帧之前唤醒
- 信标帧: 包含一个移动终端列表, AP 目前缓存了等待发送给这些移动终端的帧
  - 如果AP到移动终端的帧将要发送, 结点将保持唤醒状态; 否则, 再次休眠, 直到下一个信标帧。





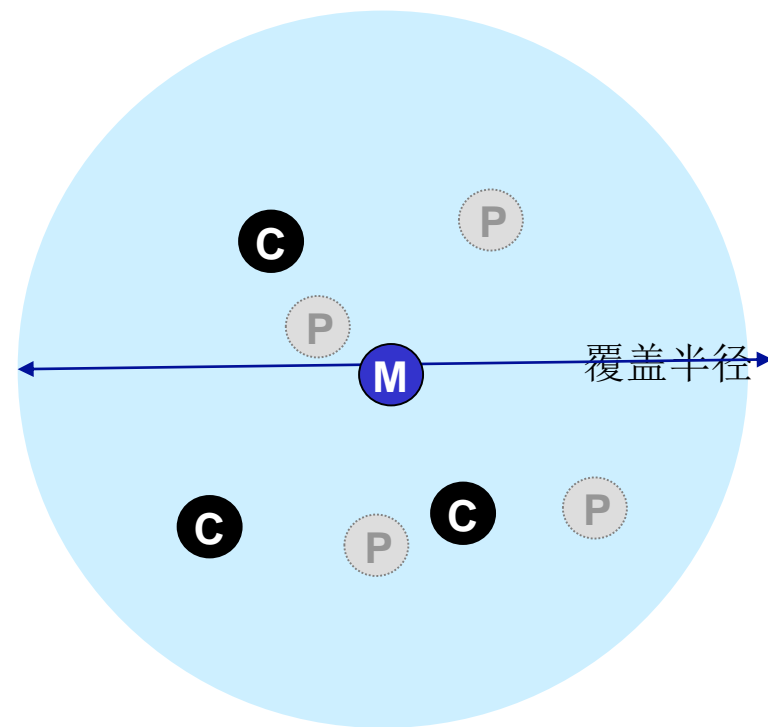
# 个人局域网：蓝牙

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

- 直径小于 10 m
- 电缆的替代品（鼠标、键盘、耳机）
- 自组织网络：不需要网络基础设施
- 2.4-2.5 GHz ISM 无线电频段，最高 3 Mbps
- 主设备/客户端设备：
  - 主设备轮询客户端，授予客户端传输请求



- M 主设备
- C 客户端设备
- P 寄放设备（非活动）



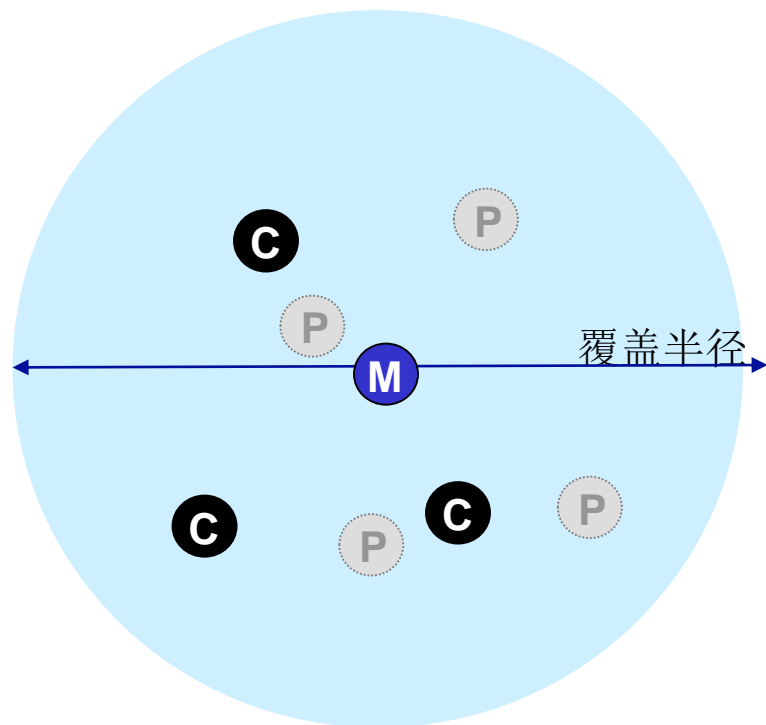
# 个人局域网：蓝牙

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

- TDM: 625毫秒时隙长度
- FDM: 发送方利用79个信道中的一个进行传输, 同时从时隙到时隙以个已知的伪随机方式变更信道(扩频)
  - 不在蓝牙微微网(皮可网)中的其他设备/设备仅干涉某些时隙
- 寄放模式: 客户端可以“进入睡眠”(寄放)并稍后唤醒(以节省电池)
- 自举: 节点自组装(即插即用)成皮可网



- M 主设备
- C 客户端设备
- P 寄放设备(非活动)





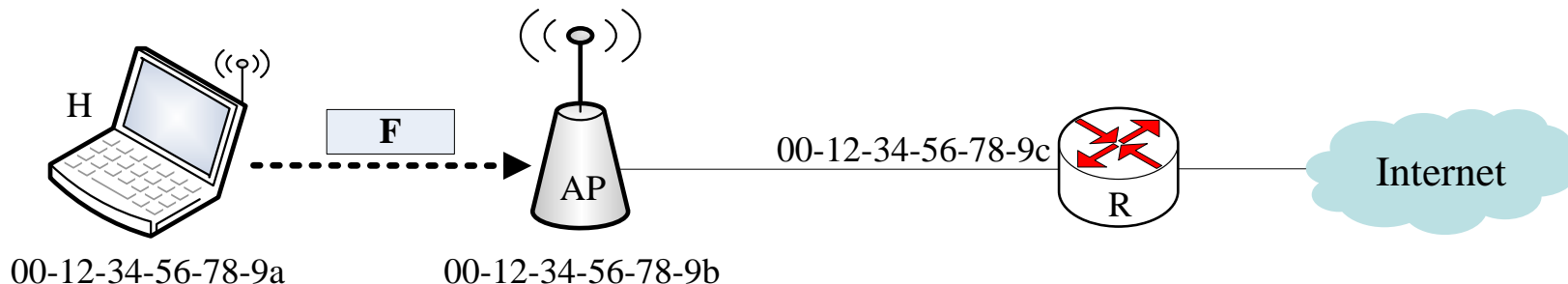
此题未设置答案，请点击右侧设置按钮

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路和网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

在下图所示的网络中，若主机H发送一个封装访问Internet的IP分组的IEEE 802.11数据帧F，则帧F的地址1、地址2和地址3分别是\_\_\_\_\_。



A 00-12-34-56-78-9a, 00-12-34-56-78-9b, 00-12-34-56-78-9c

B 00-12-34-56-78-9b, 00-12-34-56-78-9a, 00-12-34-56-78-9c

收/发/终

C 00-12-34-56-78-9b, 00-12-34-56-78-9c, 00-12-34-56-78-9a

D 00-12-34-56-78-9a, 00-12-34-56-78-9c, 00-12-34-56-78-9b

提交





哈爾濱工業大學  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

立足航天，服务国防，面向国民经济主战场



## 7.4 移动通信网络体系结构



# 蜂窝网络架构的组成部分

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

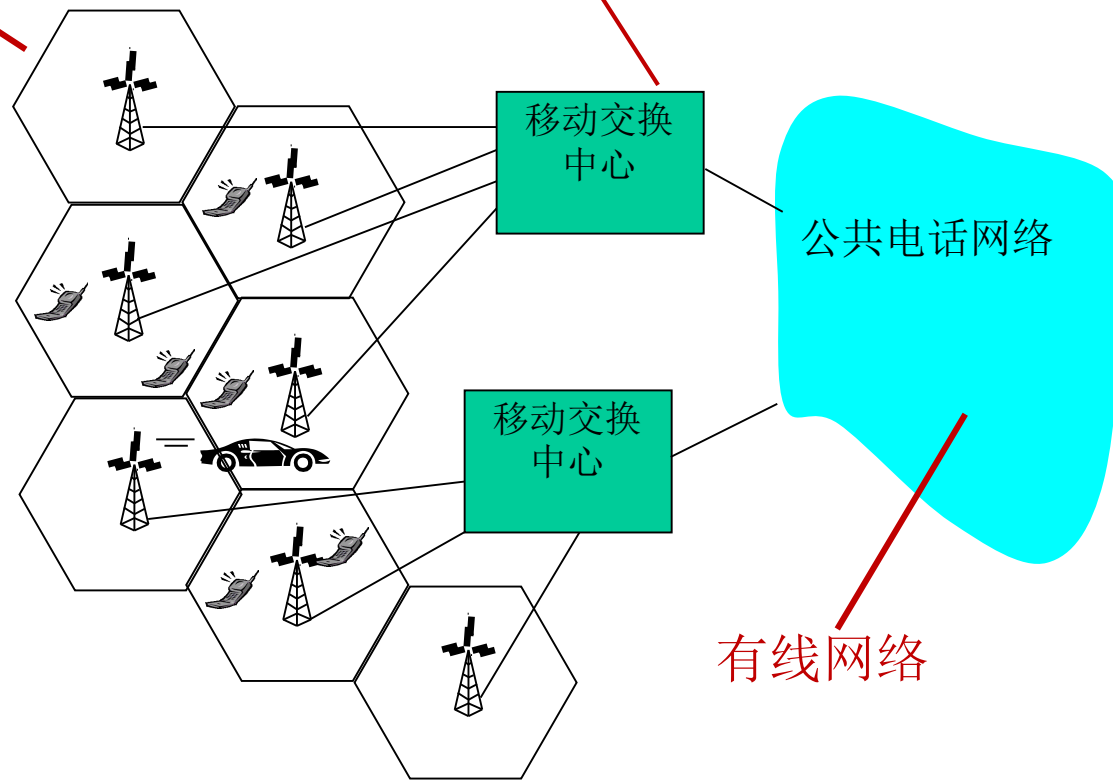
**7.4 移动通信网络体系结构**

## 小区

- ❖ 涵盖地理区域
- ❖ 类似于802.11AP的基站(BS)
- ❖ 移动用户通过BS连接到网络
- ❖ 空中接口: 移动设备和BS之间的物理和链路层协议

## 移动交换中心

- ❖ 将小区连接到有线电话网络
- ❖ 管理呼叫设置(稍后更多!)
- ❖ 处理移动性(稍后更多!)



# 蜂窝网络：第一跳

7.1 无线与移动网络概述

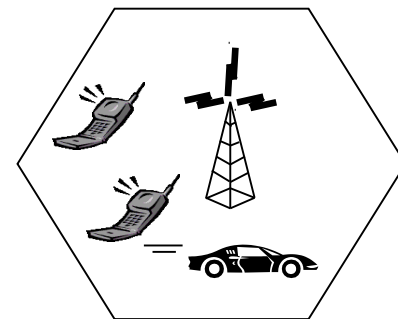
7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构

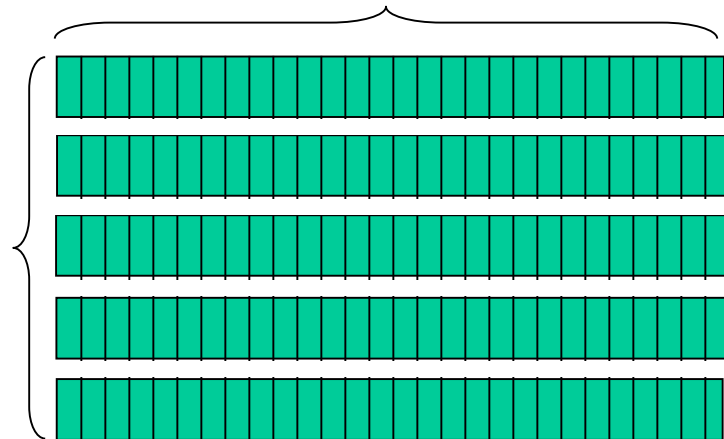
## 共享移动到基站无线电频谱的两种技术

- ❖ **FDMA/TDMA 组合**：在频道中划分频谱，将每个频道划分为时隙
- ❖ **CDMA**：码分多址



时隙

频段







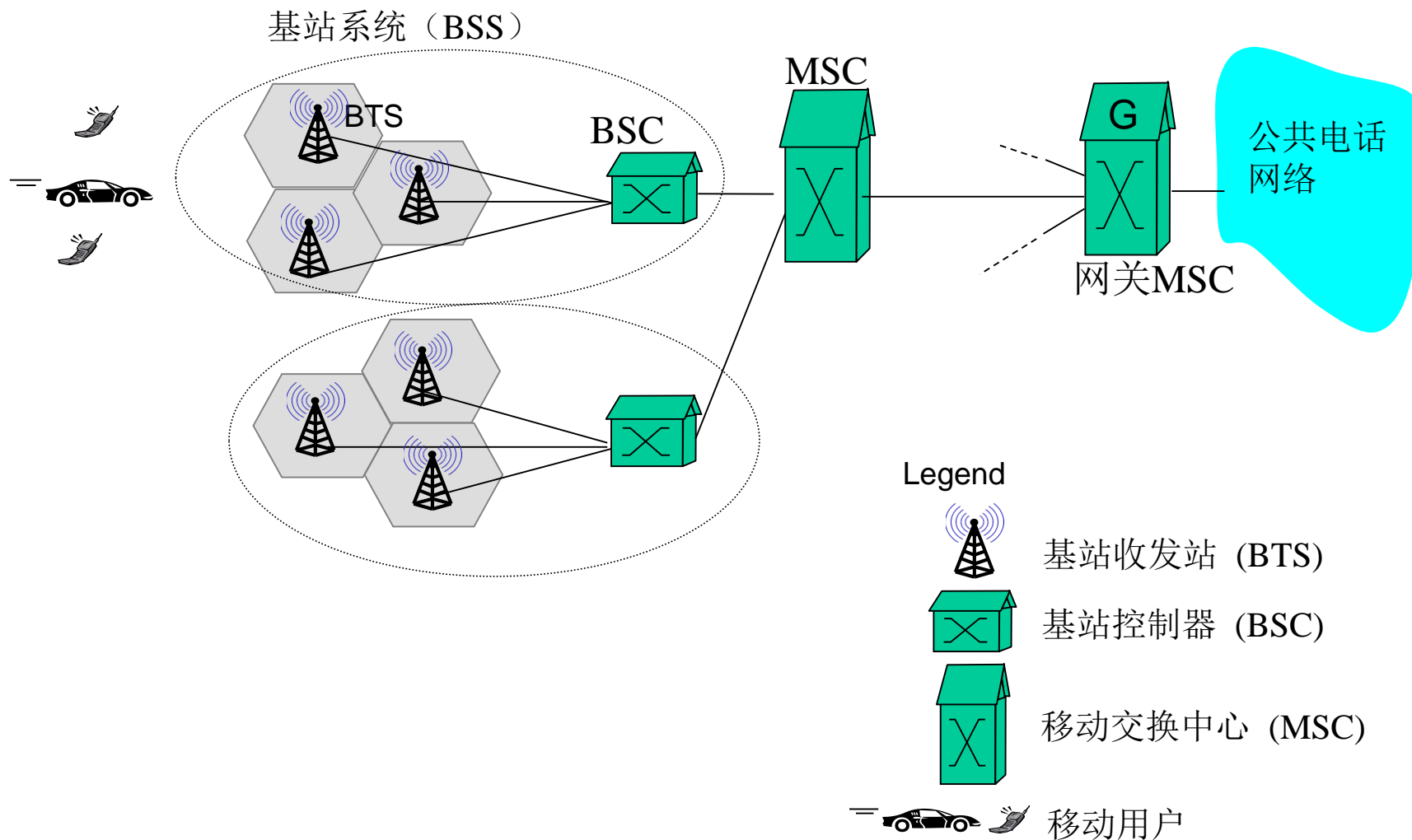
# 2G（语音）网络架构

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

**7.4 移动通信网络体系结构**





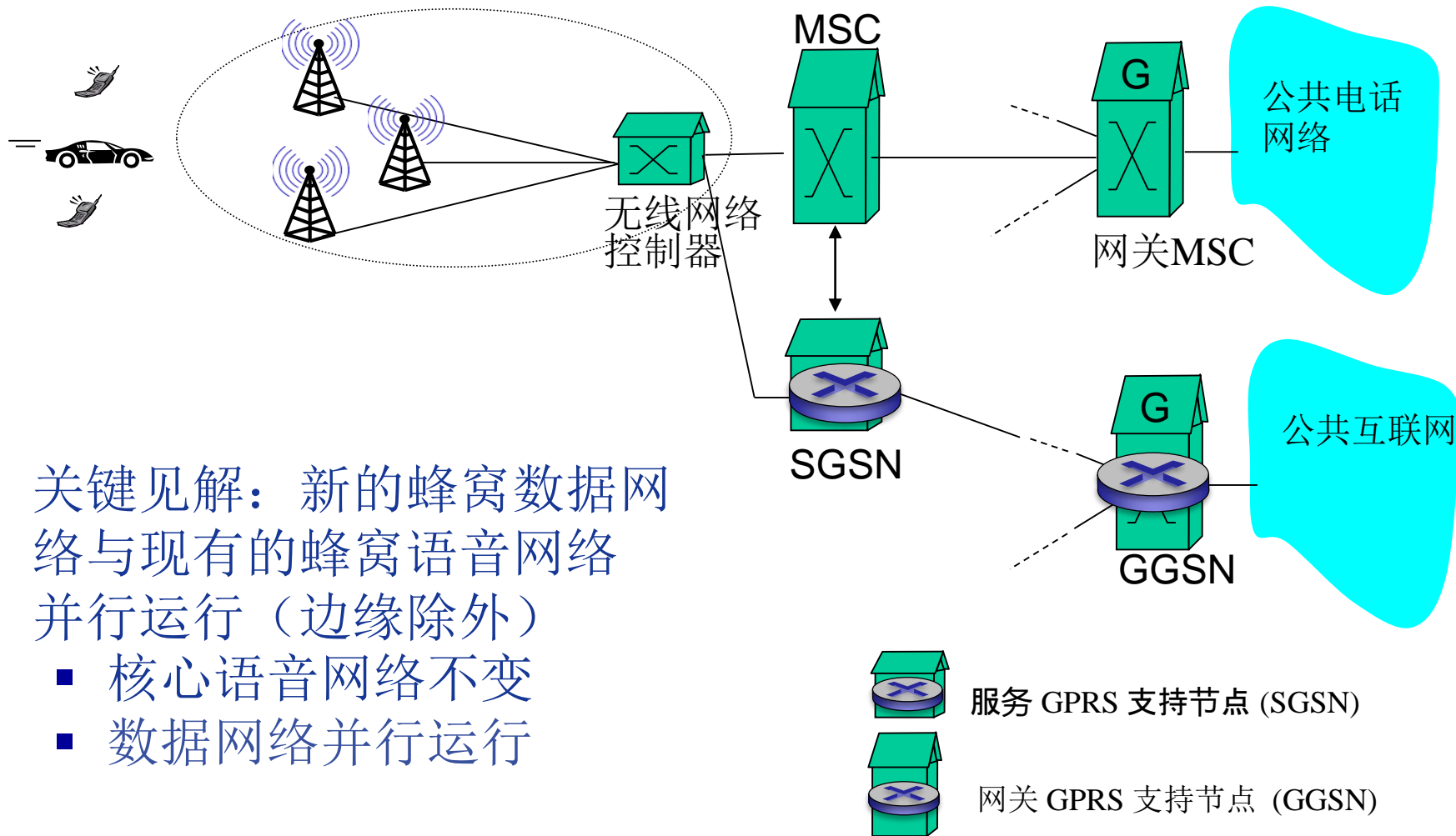
# 3G（语音+数据）网络架构

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构





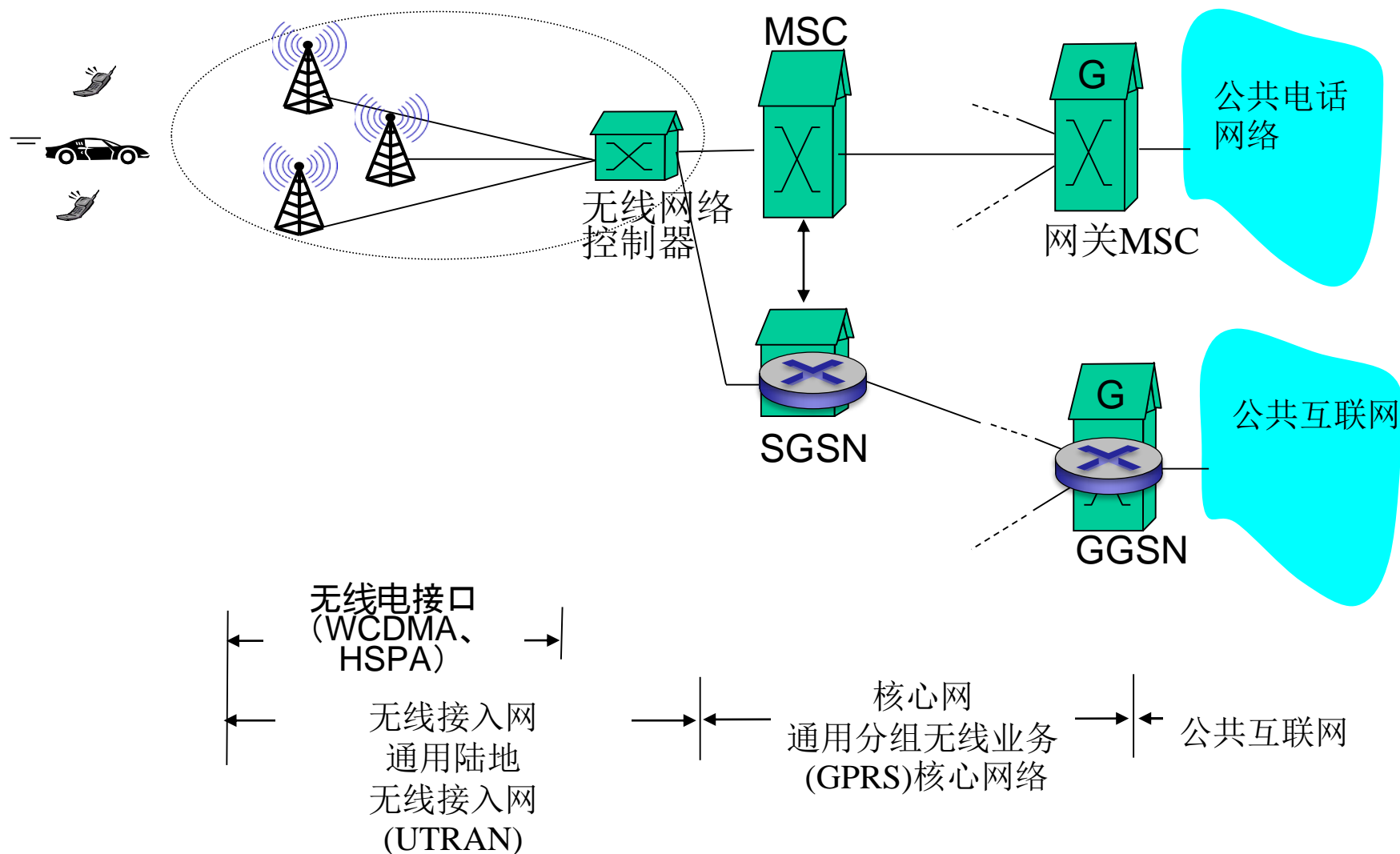
# 3G（语音+数据）网络架构

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

**7.4 移动通信网络体系结构**





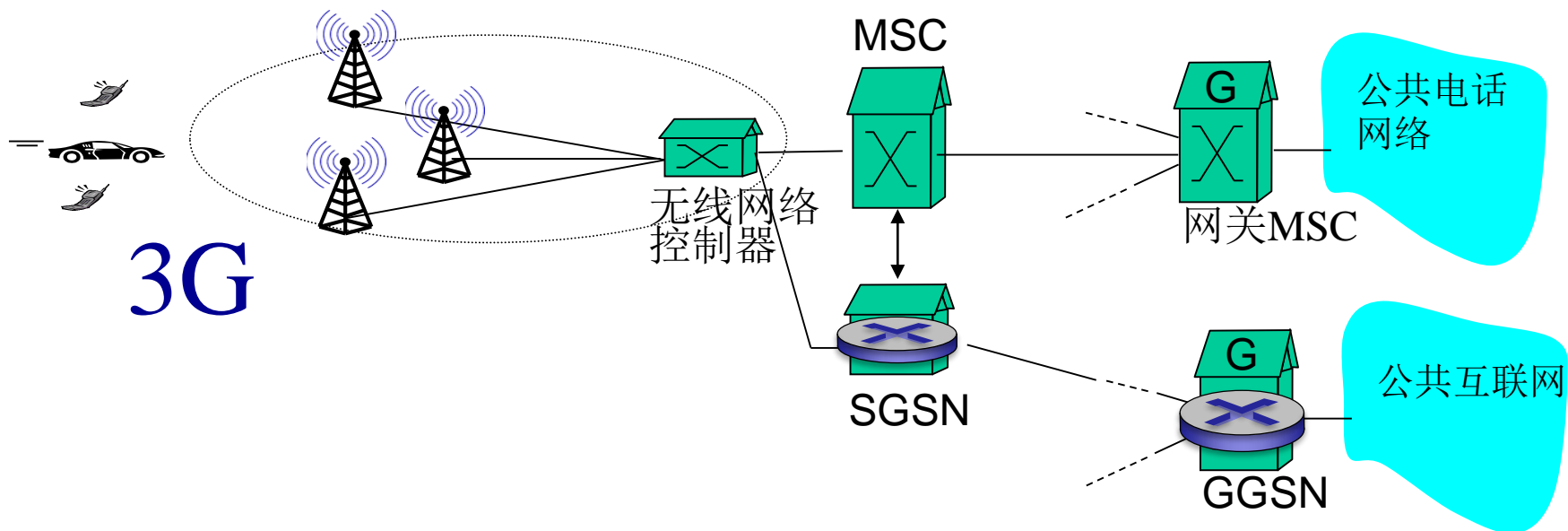
# 3G 与 4G LTE 网络架构

7.1 无线与移动网络概述

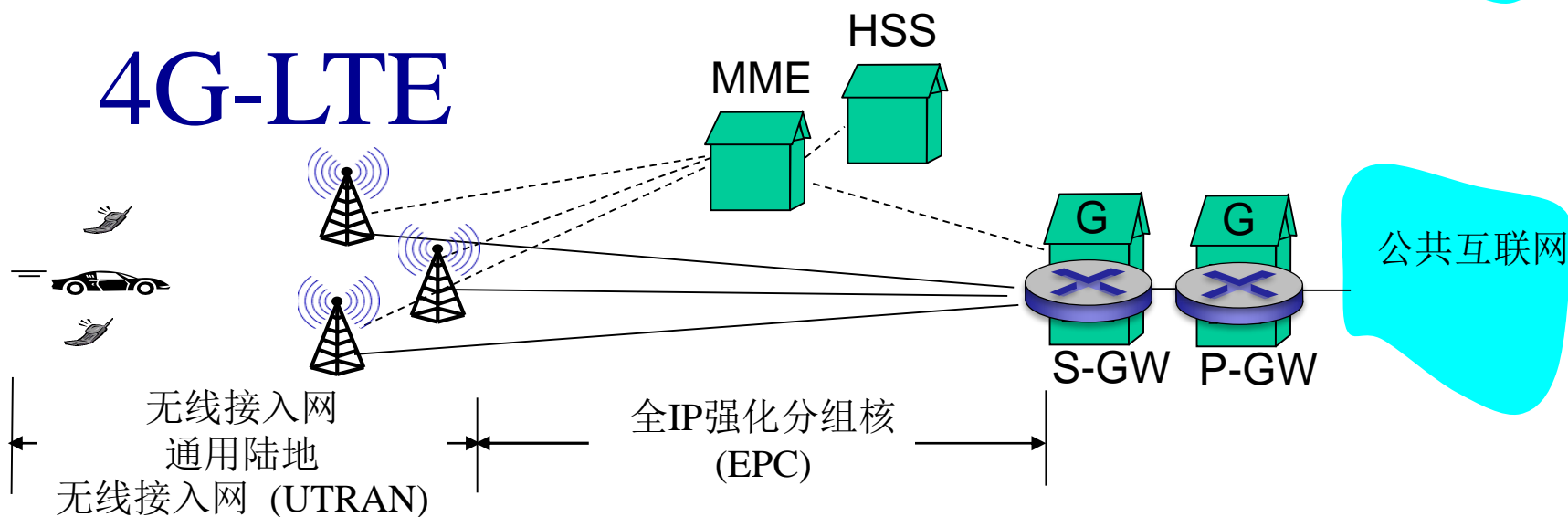
7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构



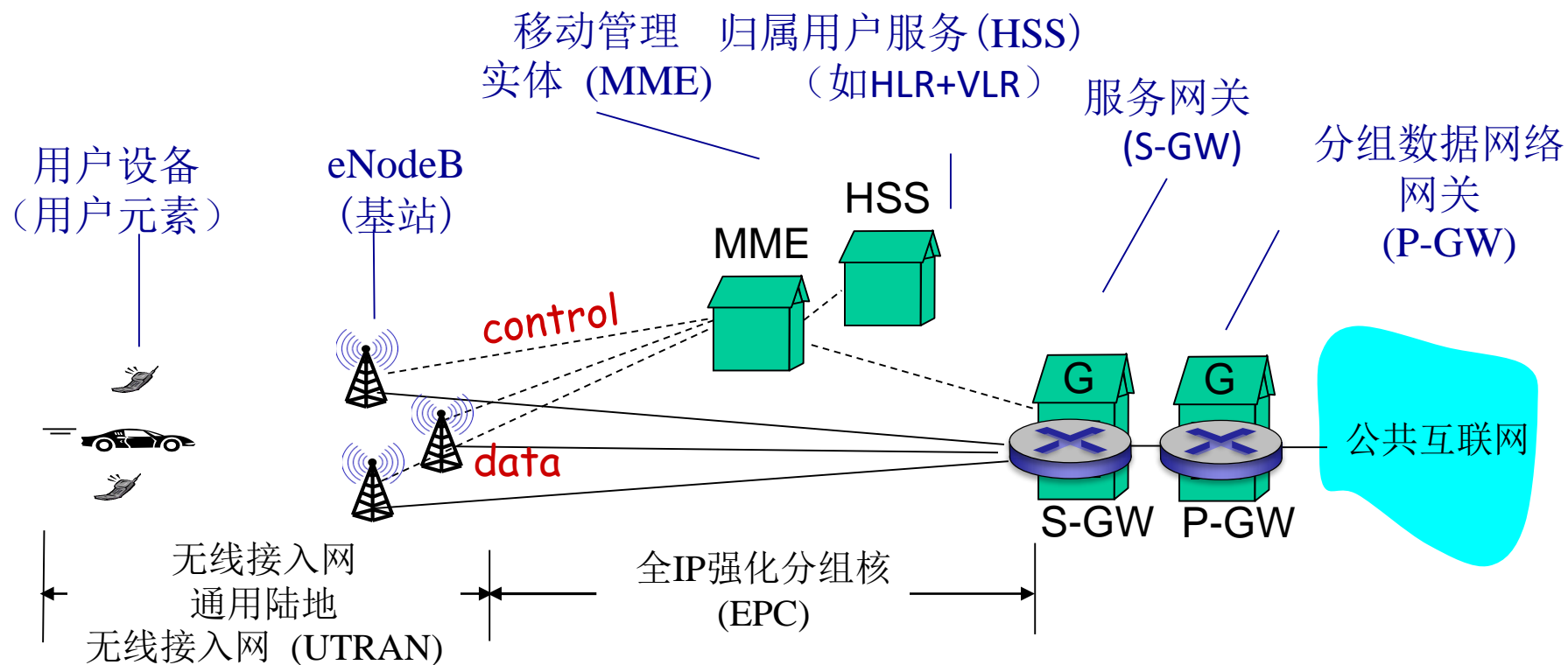
## 4G-LTE





# 4G: 与3G的区别

- ❖ 所有IP 核心: IP 数据包通过隧道 (通过核心 IP网络) 从基站到网关
- ❖ 语音和数据之间没有分离——所有流量都通过 IP 核心传输到网关





# 4G/5G 蜂窝网络

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

**7.4 移动通信网络体系结构**

- 广域移动互联网解决方案
- 广泛部署/使用：
  - 移动宽带连接的设备比固定宽带连接的设备多（2019 年 5-1）  
！
  - 4G 可用性：97% 的时间在韩国（90% 在美国）
- 传输速率高达 100 的 Mbps
- 技术标准：第三代合作伙伴计划（3GPP）
  - [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org)
  - 4G：长期演进（LTE）标准





# 4G/5G 蜂窝网络

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构

## ❖ 与有线互联网的相似之处

- edge/core distinction, but both below to same carrier
- 全球蜂窝网络：网络的网络
- 我们研究过的协议的广泛使用：  
HTTP、DNS、TCP、UDP、IP、NAT、数据/控制平面分离、SDN、以太网、隧道
- 与有线互联网互连

## ❖ 与有线互联网的区别

- 不同的无线链路层
- 流动性作为一等服务
- 用户“身份”（通过 SIM 卡）
- 商业模式：用户订阅蜂窝提供商
  - strong notion of “home network” versus roaming on visited nets
  - 具有认证基础设施和运营商间结算的全球访问





# 4G LTE 架构的元素

7.1 无线与移动网络概述

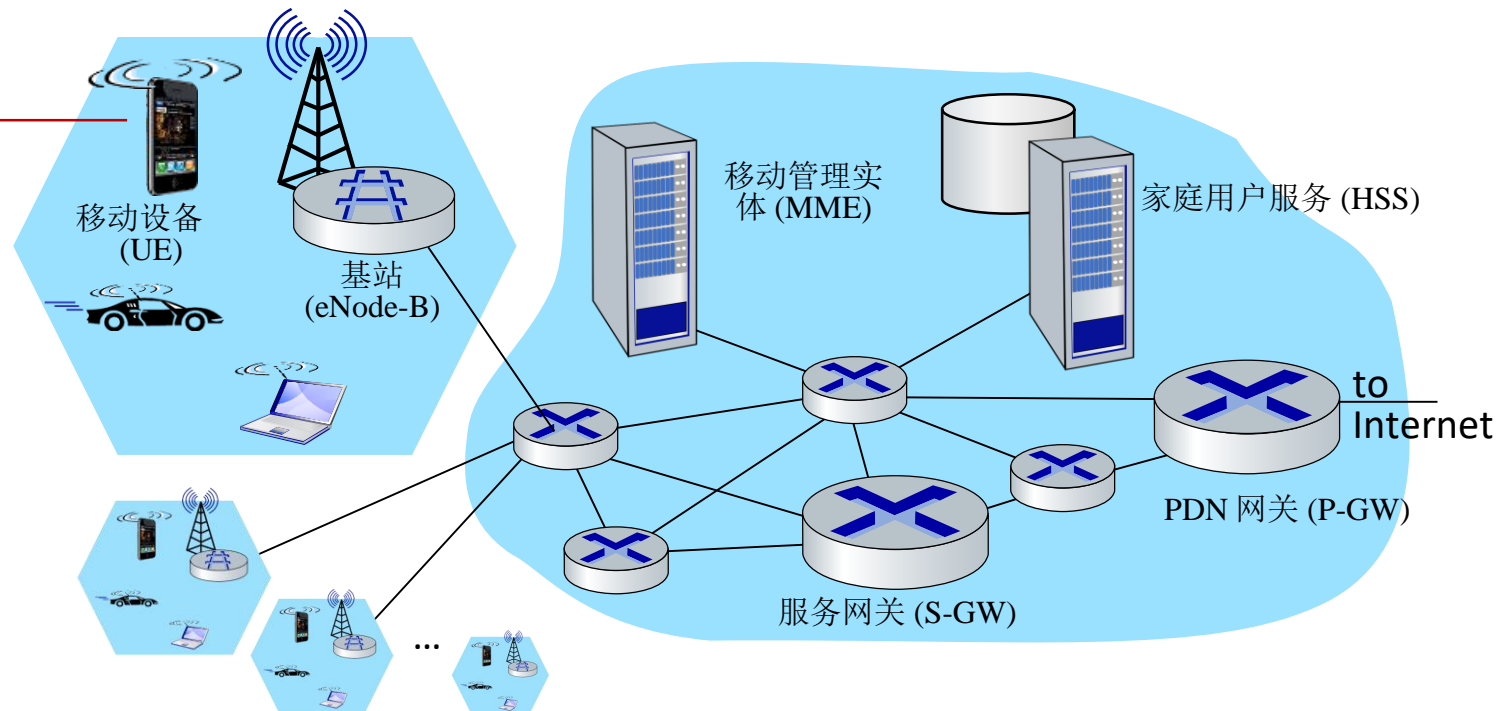
7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构

## 移动设备:

- 智能手机、平板电脑、笔记本电脑、物联网……配备 4G LTE 无线电
- 64 位国际移动用户身份 (IMSI), 存储在 SIM (用户身份模块) 卡上
- LTE 术语: 用户设备 (UE)







# 4G LTE 架构的元素

7.1 无线与移动网络概述

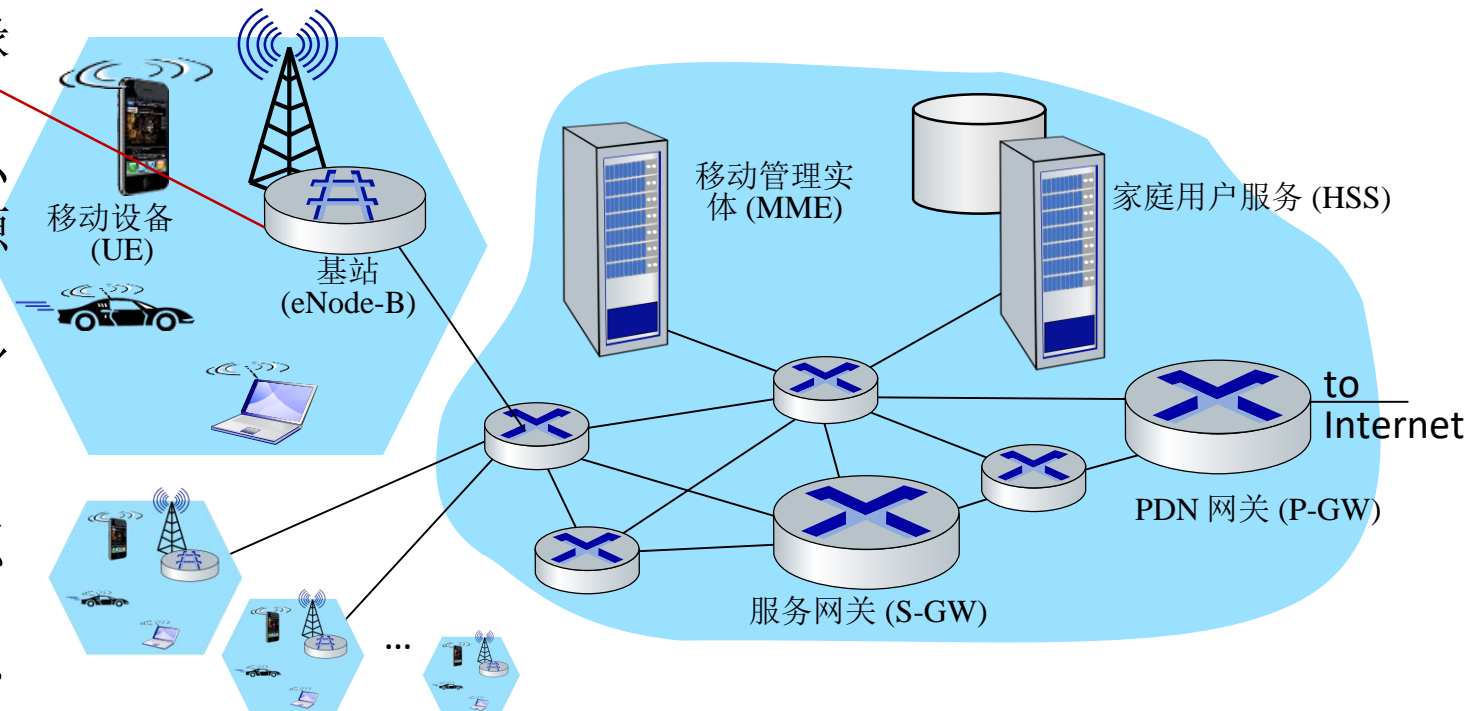
7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

**7.4 移动通信网络体系结构**

## 基站:

- 在运营商网络的“边缘”
- 管理其覆盖区域（“小区”）内的无线电资源、移动设备
- 与其他元素协调设备身份验证
- 类似于 WiFi AP，但：
  - 在用户移动性中的积极作用
  - 与附近的基站协调以优化无线电使用
- LTE 术语：eNode-B





# 4G LTE 架构的元素

7.1 无线与移动网络概述

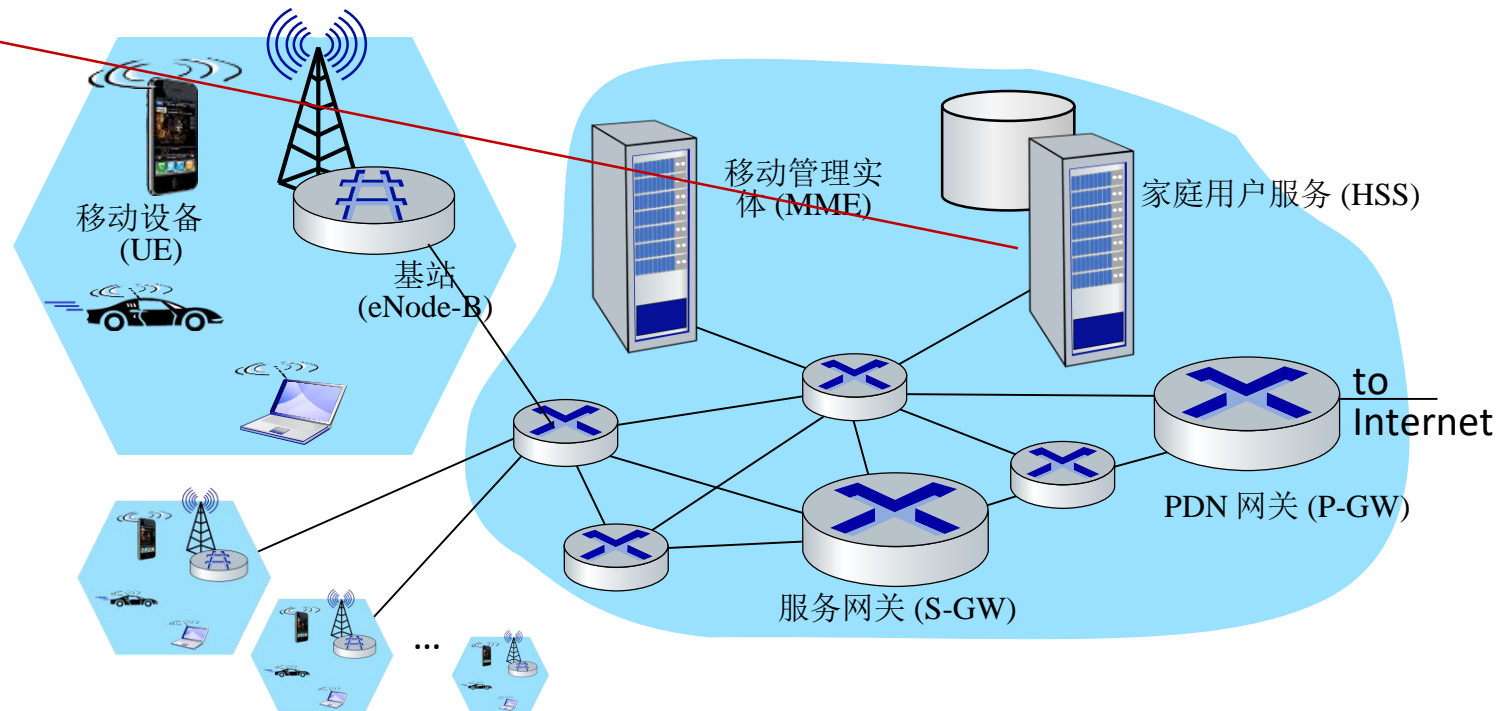
7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

**7.4 移动通信网络体系结构**

## 家庭用户服务

- 存储有关以 HSS 网络为其“家庭网络”的移动设备的信息
- 在设备身份验证中与 MME 配合使用





# 4G LTE 架构的元素

7.1 无线与移动网络概述

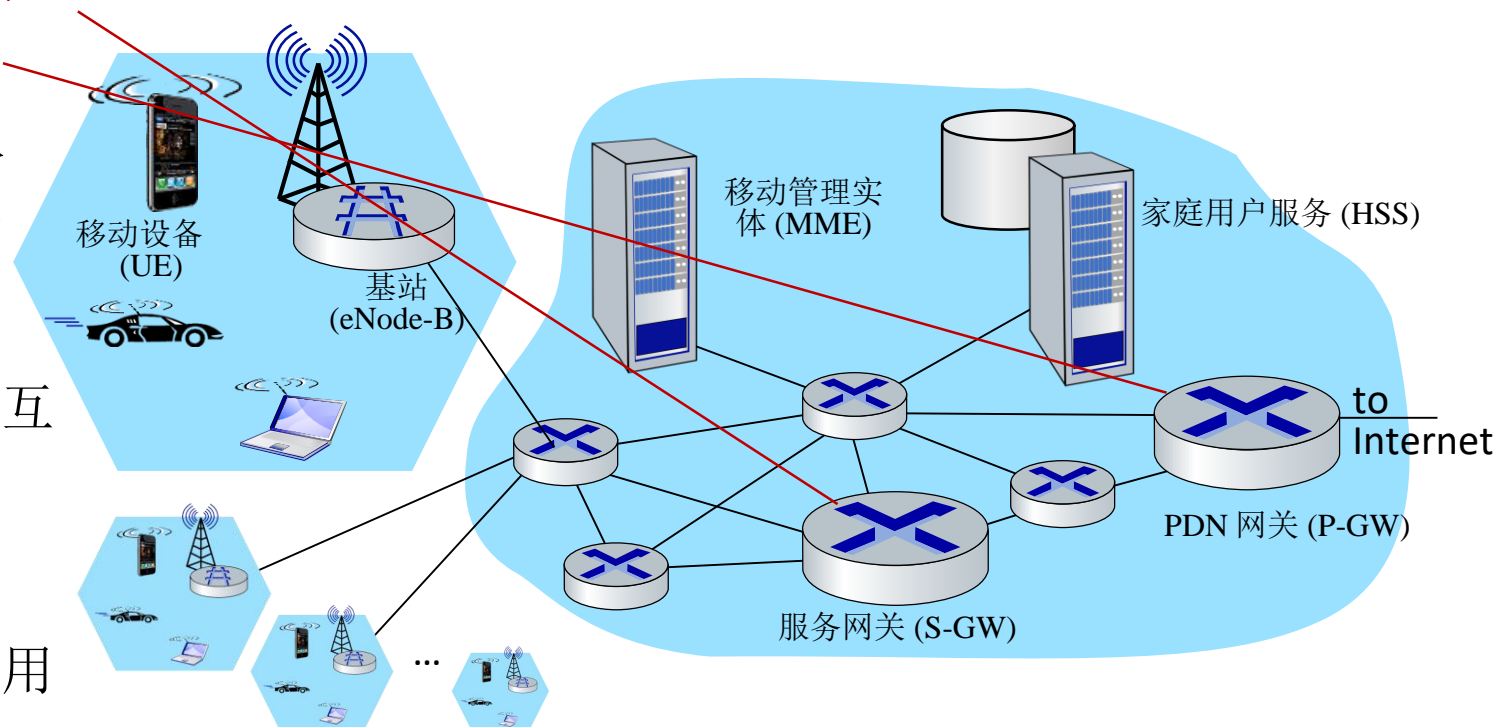
7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

**7.4 移动通信网络体系结构**

## 服务网关 (S-GW)、 PDN网关 (P-GW)

- 位于从移动设备到/从 Internet 的数据路径上
- P-GW
  - 移动蜂窝网络网关
  - 看起来像任何其他互联网网关路由器
  - 提供NAT服务
- 其他路由器:
  - 隧道技术的广泛使用





# 4G LTE 架构的元素

7.1 无线与移动网络概述

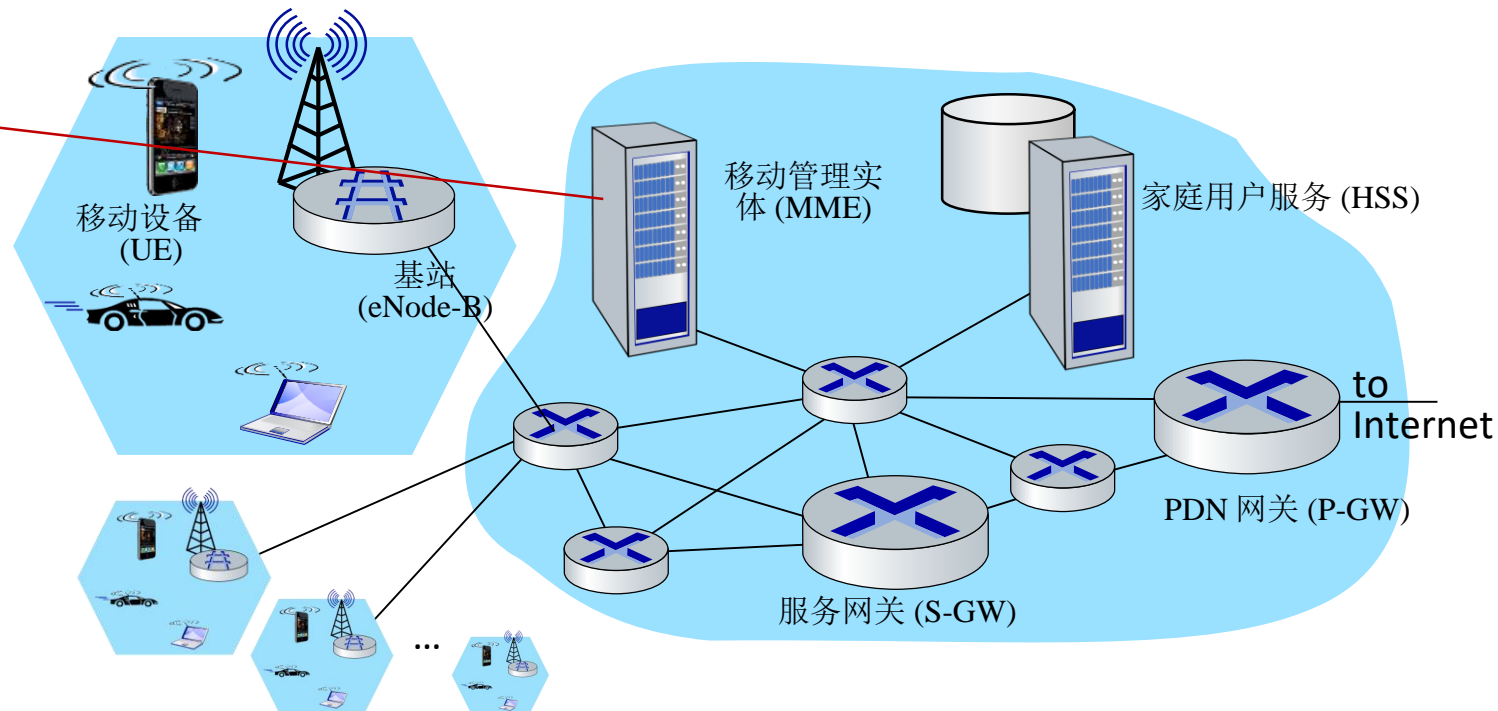
7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构

## 移动管理实体

- 与移动家庭网络 HSS 协调的设备认证（设备到网络、网络到设备）



- 移动设备管理：
  - 小区之间的设备切换
  - 跟踪/寻呼设备位置
- 从移动设备到 P-GW 的路径（隧道）设置







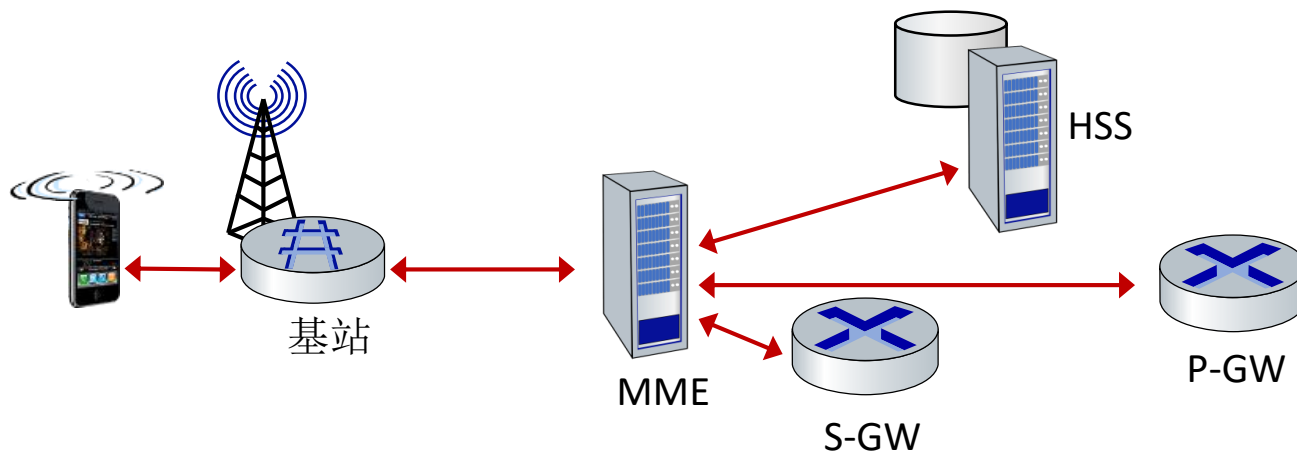
# LTE：数据平面控制平面分离

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

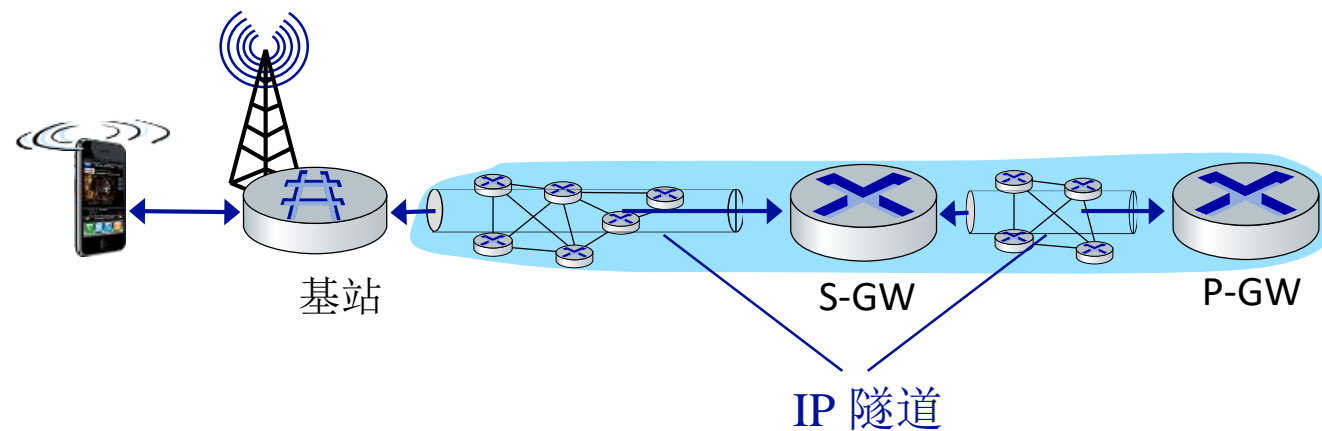
7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构



## 控制平面

- 用于移动性管理、安全性、身份验证的新协议（稍后）



## 数据平面

- 链路、物理层的新协议
- 广泛使用隧道以促进移动性





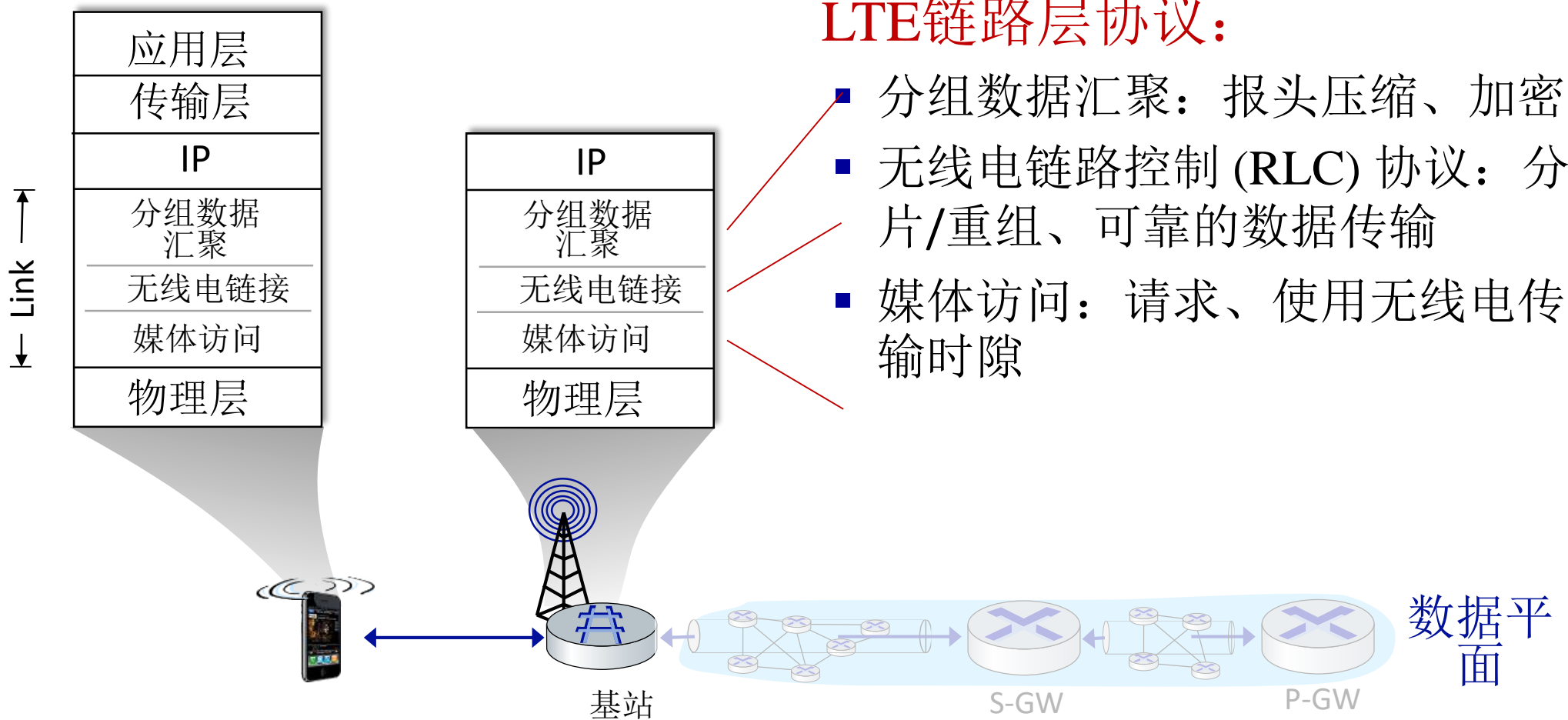
# LTE 数据平面协议栈：第一跳

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

**7.4 移动通信网络体系结构**





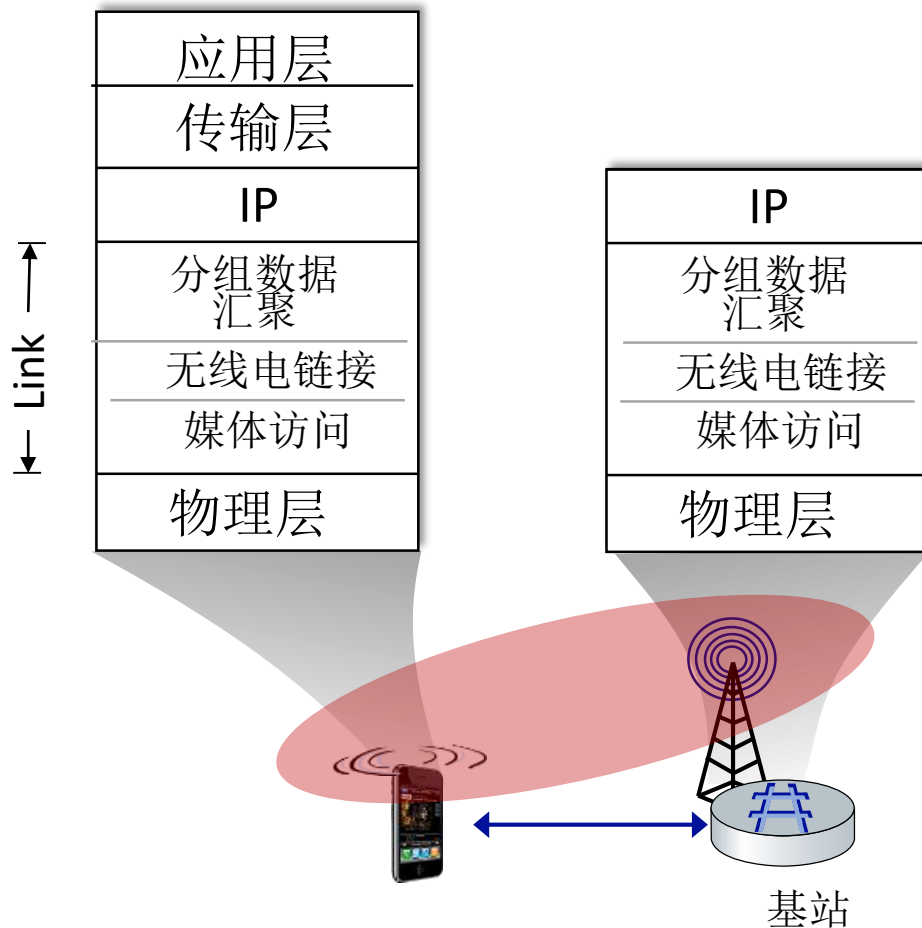
# LTE 数据平面协议栈：第一跳

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构



## LTE无线接入网：

- 下行信道：频率信道内的FDM、TDM（OFDM-正交频分复用）
  - “正交”：通道之间的干扰最小
  - 上行：FDM，TDM 类似于OFDM
- 每个活动的移动设备在 12 个频率上分配了两个或更多 0.5 ms 时隙
  - 调度算法未标准化——由操作员决定
  - 每台设备可能达到 100 Mbps





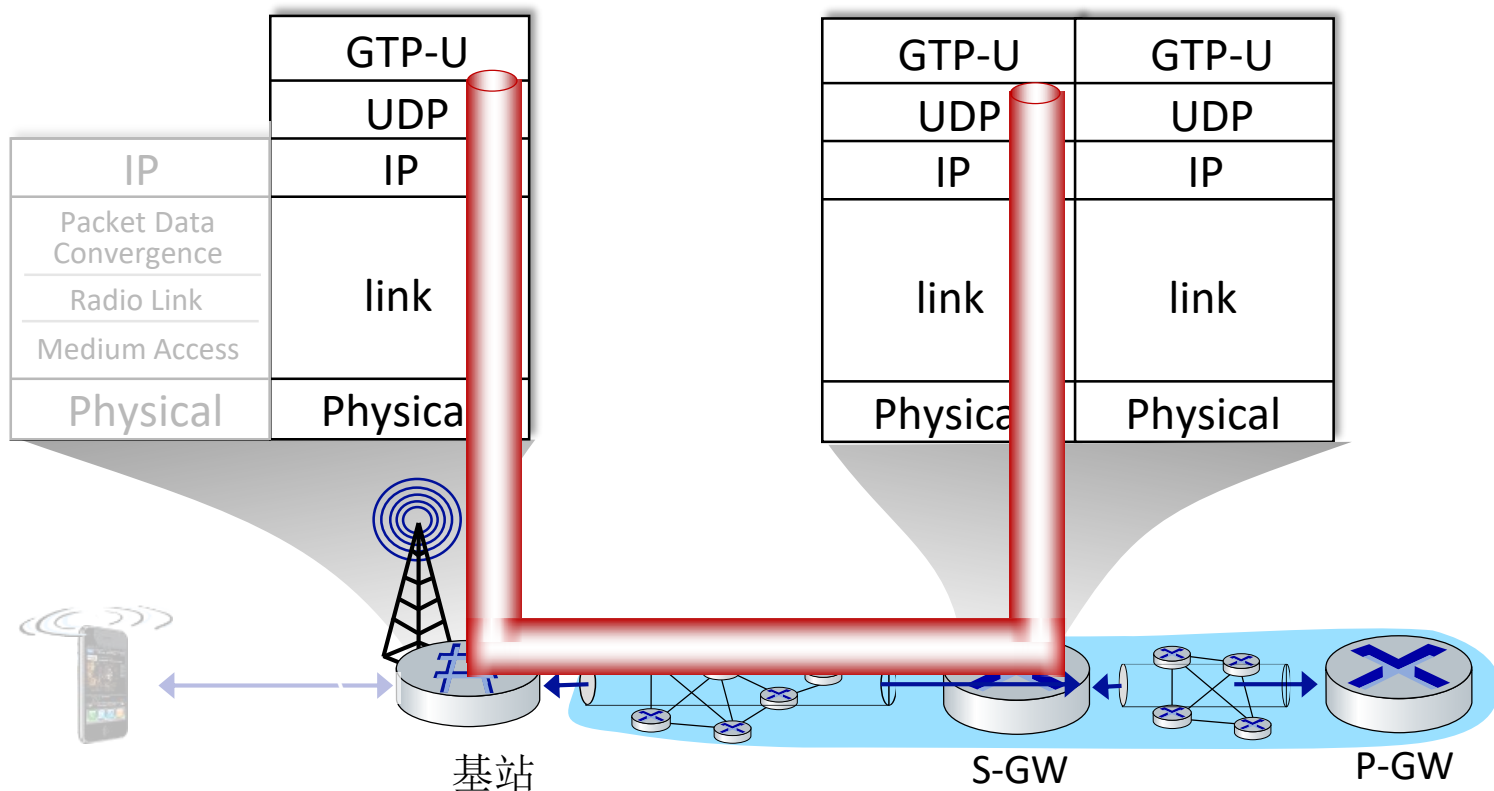
# LTE数据平面协议栈：分组核心

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构



## 隧道:

- 使用 GPRS 隧道协议 (GTP) 封装的移动数据报，在 UDP 数据报内发送到 S-GW
- S-GW 将数据报重新隧道化到 P-GW
- 支持移动性：移动用户移动时只有隧道端点发生变化







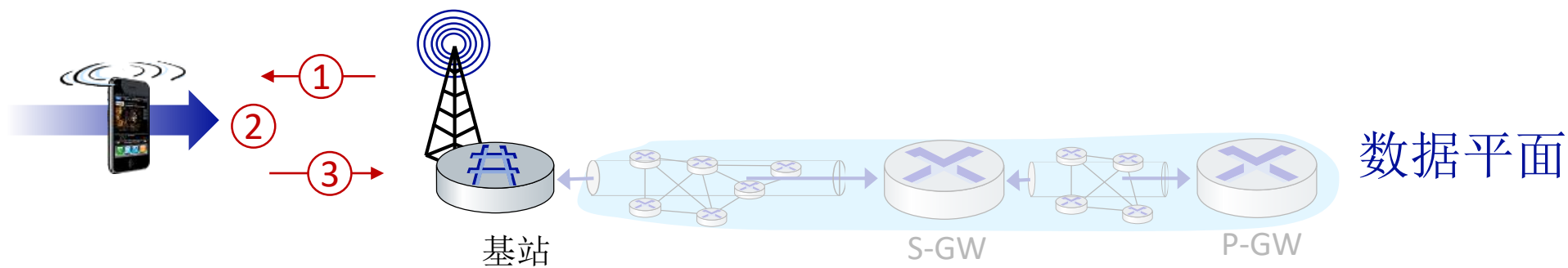
# LTE 数据平面：与 BS 关联

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构



- ① BS 在所有频率上每 5 毫秒广播一次主同步信号
  - 来自多个运营商的 BS 可能正在广播同步信号
- ② 手机找到一个主同步信号，然后在这个频率上定位第二个同步信号。
  - 移动然后找到BS广播的信息：信道带宽，配置；BS 的蜂窝运营商信息
  - 移动设备可能会从多个基站、多个蜂窝网络获取信息
- ③ 移动设备选择与哪个 BS 相关联（例如，对归属运营商的偏好）
- ④ 还需要更多步骤来进行身份验证、建立状态、设置数据平面



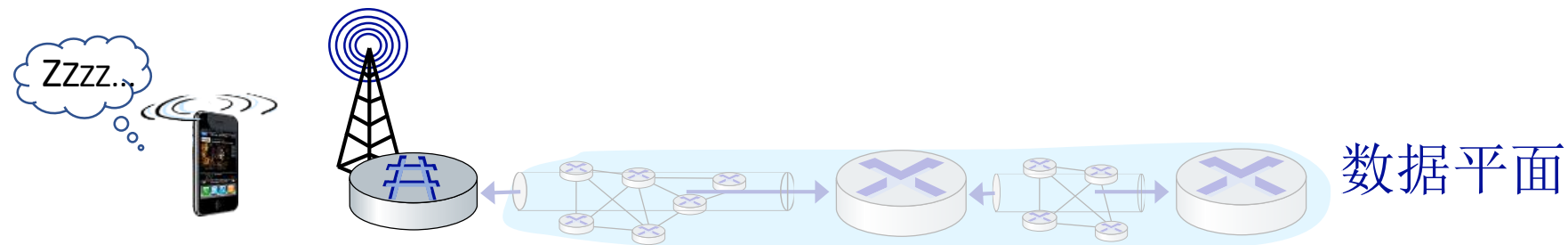
# LTE 移动设备：休眠模式

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构



与 WiFi 和蓝牙一样：LTE 手机可以让无线电“休眠”以节省电池电量：

- 轻度睡眠：100 毫秒不活动后
  - 定期唤醒（100 毫秒）以检查下行传输
- 深度睡眠：5-10 秒不活动后
  - 手机可能会在深度睡眠时更换小区 - 需要重新建立关联



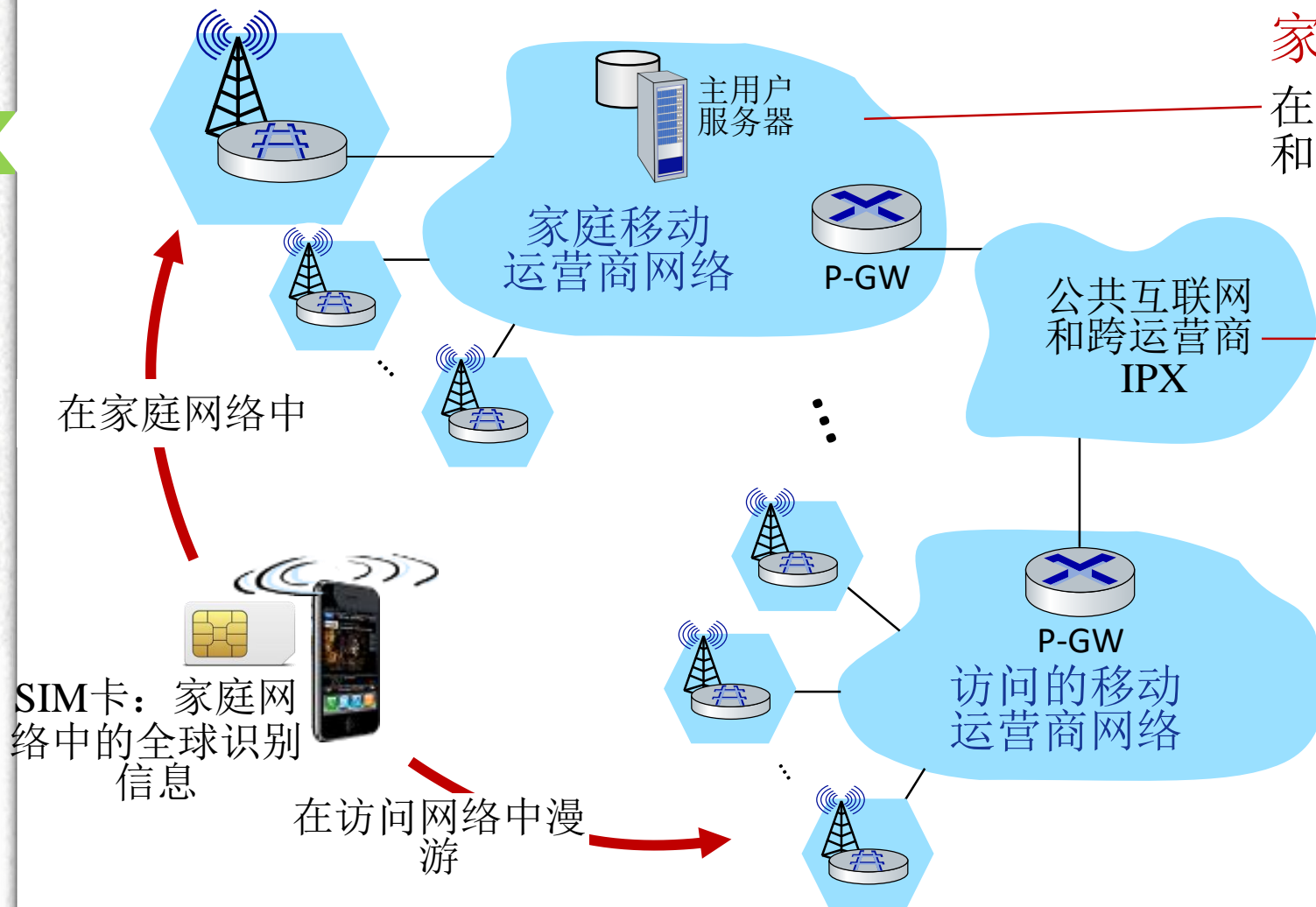
# 全球蜂窝网络：IP 网络网络

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构



家庭网络HSS:

在家庭网络和漫游中识别和服务信息

所有IP:

- 运营商相互连接，交换点公共互联网
- 旧版 2G、3G：并非所有 IP，否则处理





# 迈向5G!

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构

- **目标:** 峰值比特率提高 10 倍, 延迟降低 10 倍, 流量容量比 4G 提高 100 倍
- 5G NR (新无线电):
  - 两个频段: FR1 (450 MHz–6 GHz) 和 FR2 (24 GHz–52 GHz): 毫米波频率
  - 不向后兼容 4G
  - MIMO: 多向天线
- 毫米波频率: 更高的数据速率, 但距离更短
  - pico-cells: 细胞直径: 10-100 m
  - 需要大规模、密集部署新基站







哈爾濱工業大學  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

立足航天，服务国防，面向国民经济主战场



## 7.5 网络移动管理基本原理



# 什么是移动性？

## ❖ 从网络层观点来看各种程度的移动性：

无移动性

高移动性

设备在不同网络  
间移动，但设备  
在移动时关机

设备在同一个提  
供商网络的AP内  
移动

设备在运营商  
网络的各个AP  
之间移动

设备在不同运营商  
网络间移动，同时  
需保持通信连续性

我们对这些移动性感兴趣



# 移动性管理办法



7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路和网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构

7.5 网络移动管理基本原理

## ❖ 让网络（路由器）处理移动性:

- 移动节点移动到了被访网络，其永久地址不变，该节点向路由器通告其存在，路由器通过**BGP**等路由协议向外通过该移动节点的存在，或者号码（例如：电话号码）
- 互联网的路由已可以无代价地完成该工作！路由表通过最长前缀匹配指示了每个移动节点的位置！





# 移动方式

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路和网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构

7.5 网络移动管理基本原理

## ■ 让网络（路由器）处理移动性:

- 移动节点移动到了被访问网络，其永久地址不变，该节点向路由器通告其存在，通过该移动节点的永久地址（例如：电话号码）通过BGP等路由协议向外网发送数据。无法扩展到数十亿的移动设备
- 互联网的路由已可以完成该工作！路由表通过最长前缀匹配指示了每个移动节点的位置！

## ■ 让端系统来处理移动性：移动管理功能体现在边缘

- 间接路由：通信者到移动节点的通信通过归属代理，然后转发到远端的移动节点
- 直接路由：通信者获得移动节点的外部地址，直接向其发送







# 联系一个移动中的朋友：

- 7.1 无线与移动网络概述
- 7.2 无线链路与网络特性
- 7.3 无线局域网:IEEE802.11
- 7.4 移动通信网络体系结构

## 7.5 网络移动管理基本原理

考虑到你的一位朋友，她经常变换地址，如何才能够找到她？

- 查所有的电话号码簿？
- 期望她让你知道她的当前位置？
- 打电话给他/她的父母？
- Facebook!

拥有一个归属home的重要性：

- 关于移动节点位置的确切信息来源
- 其他人可以找到移动站点所在的位置

我想知道Alice搬到哪里去了？





# 归属网络、被访网络：4G/5G

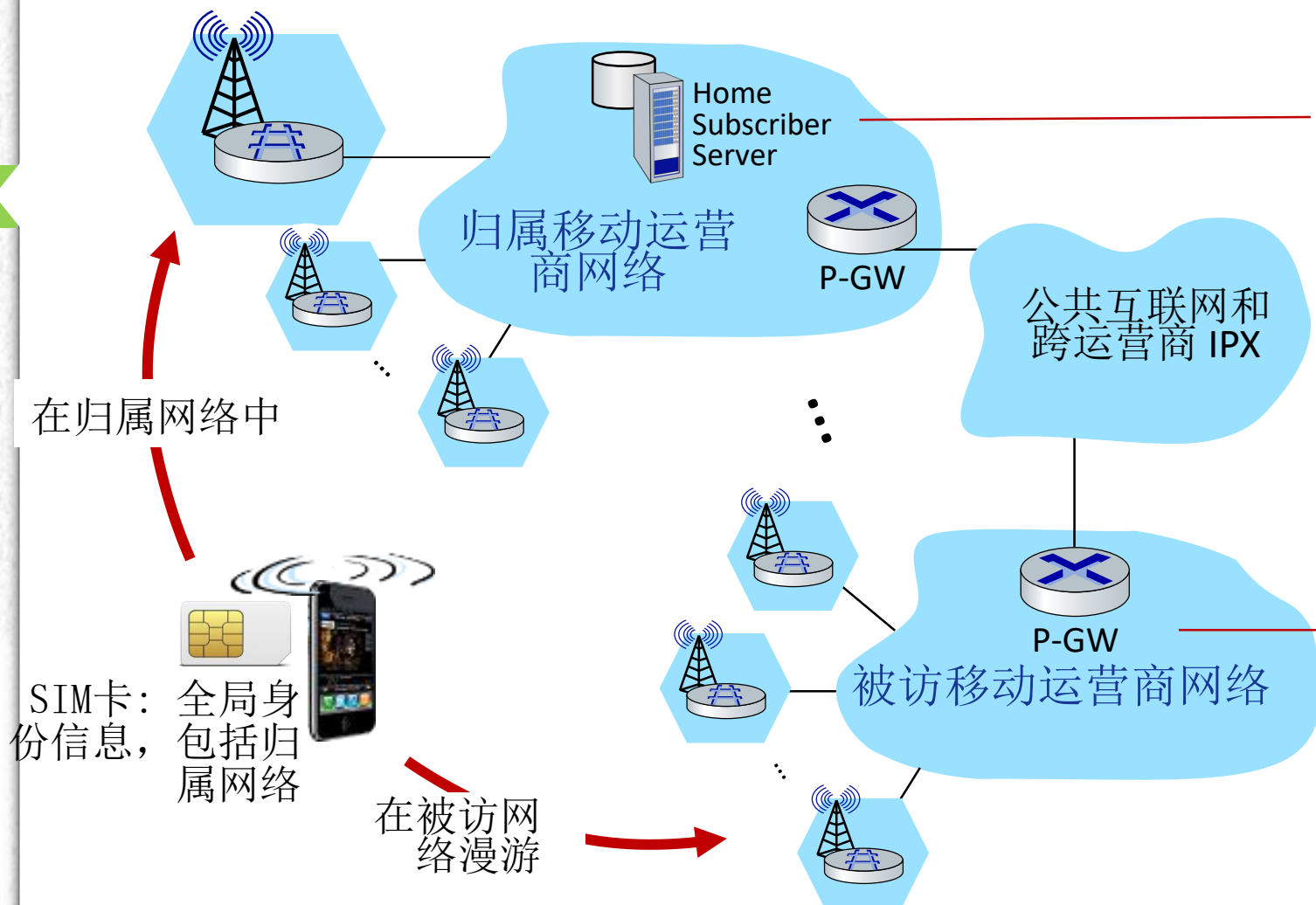
7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路和网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构

7.5 网络移动管理基本原理



## 归属网络:

- 移动用户与网络服务提供商之间有付费的服务套餐  
e.g., Verizon, Orange
- 归属网络的HSS存储订户的身份&服务信息

## 被访网络:

- 不在归属网络的其他任何网络
- 与其他被访网络之间有服务协议：为访问到该被访网络的节点提供接入服务





# 归属网络、被访网络：ISP/WiFi

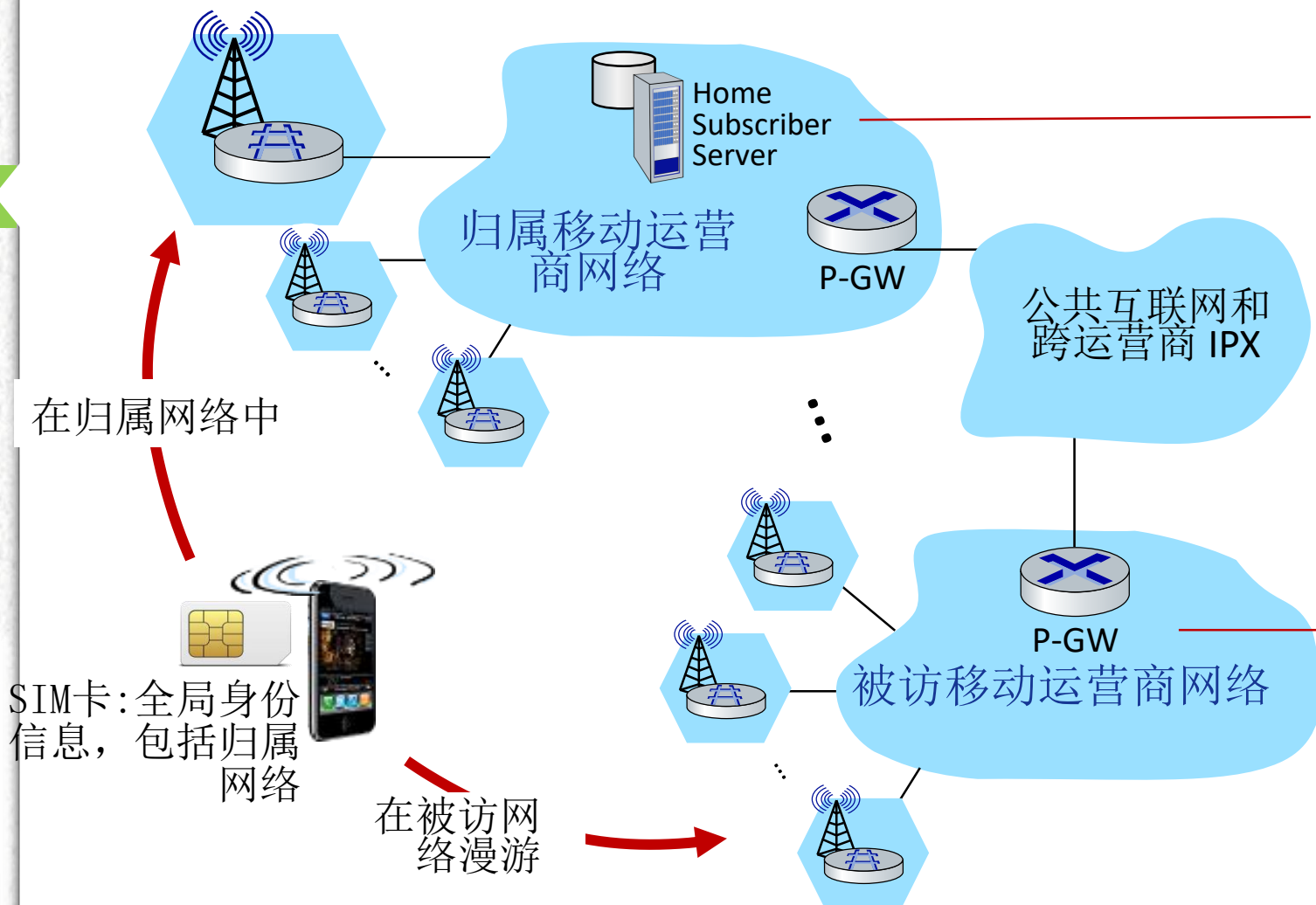
7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路和网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构

7.5 网络移动管理基本原理



## 归属网络:

- 移动用户与网络服务提供商之间有付费的服务套餐  
e.g., Verizon, Orange
- 归属网络的HSS存储订户的身份&服务信息

## 被访网络:

- 不在归属网络的其他任何网络
- 与其他被访网络之间有服务协议: 为访问到该被访网络的节点提供接入服务





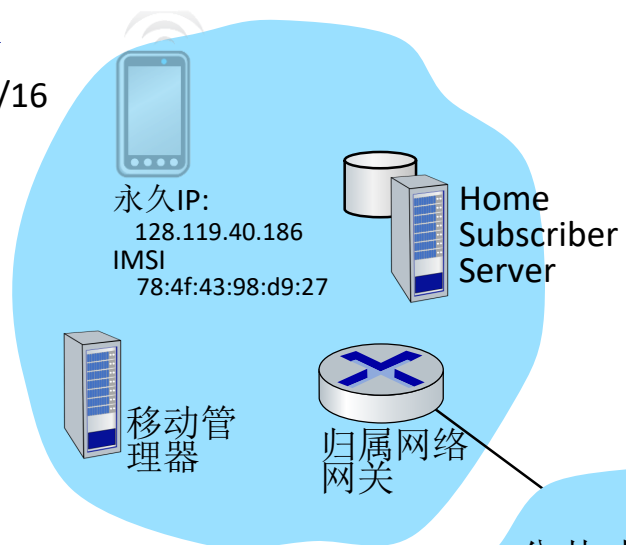
# 归属网络、被访网络：一般化移动性管理

- 7.1 无线与移动网络概述
- 7.2 无线链路与网络特性
- 7.3 无线局域网:IEEE802.11
- 7.4 移动通信网络体系结构

## 7.5 网络移动管理基本原理

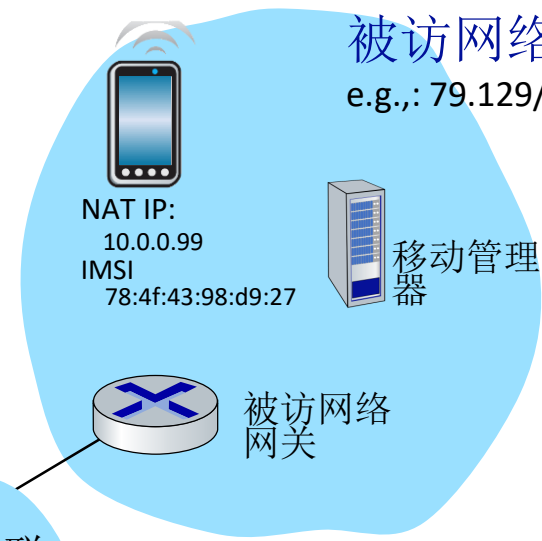
### 归属网络

e.g.: 128.119/16



### 被访网络

e.g.: 79.129/16



公共或私有互联网







# 注册：归属网络需要知道订户的当前位置！

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路和网络特性

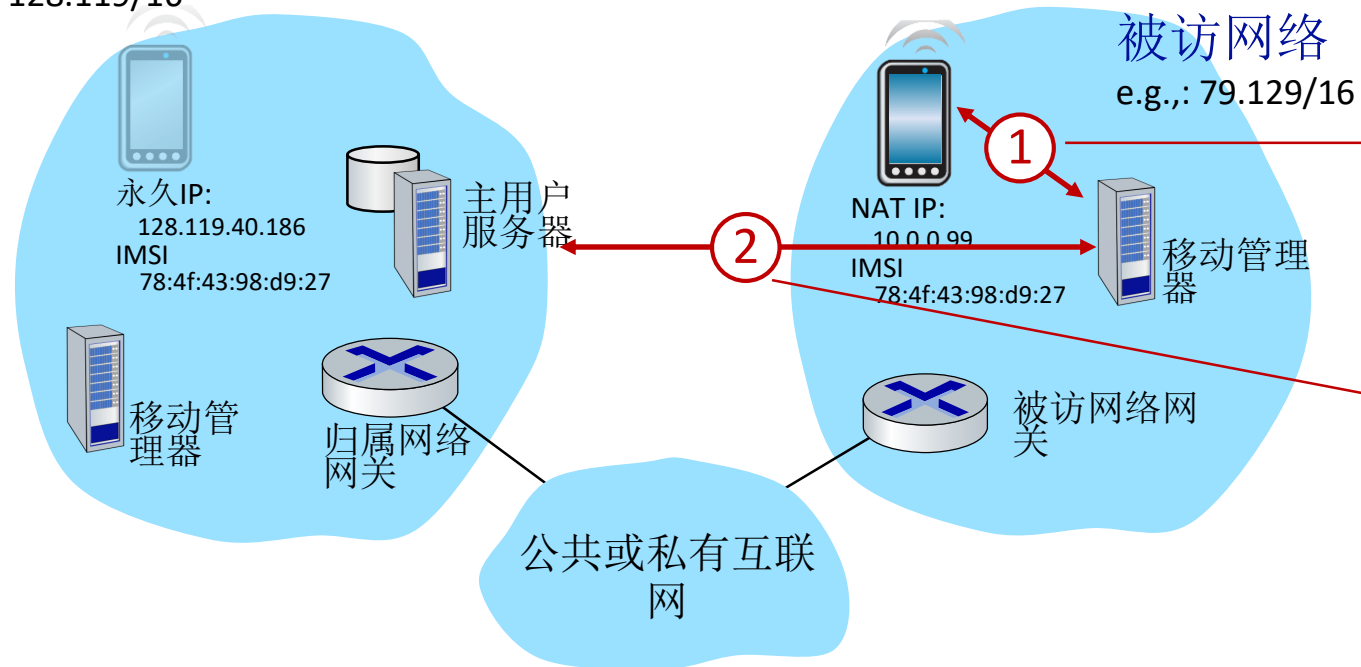
7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构

7.5 网络移动管理基本原理

## 归属网络

e.g.,: 128.119/16



移动站点关联被访网络的管理服务器MME

被访网络管理器向归属HSS做注册

最终结果:

- 被访移动管理者知道移动站点到达该网络
- 归属HSS知道当前移动订户设备的位置





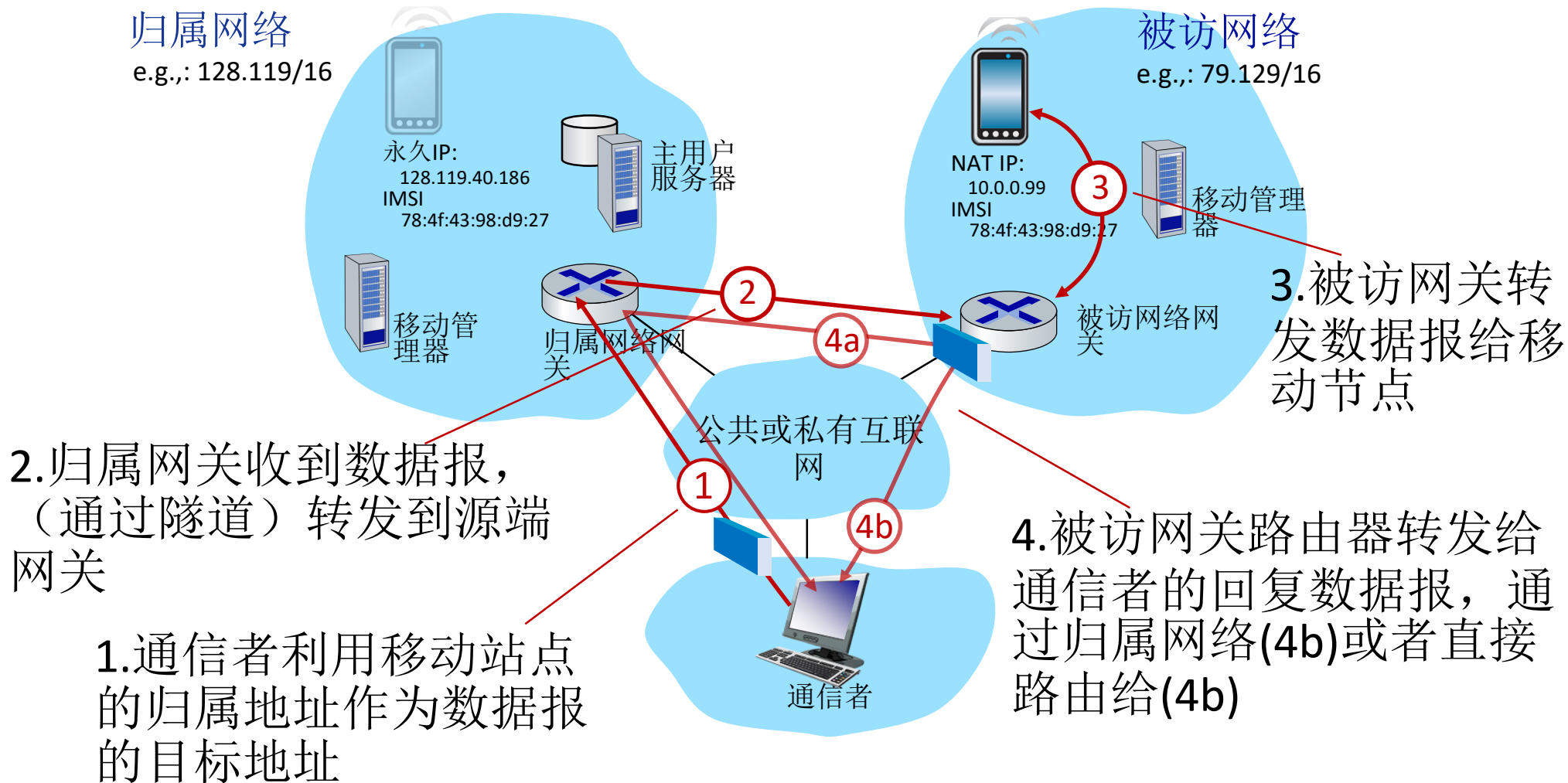
# 向移动设备间接路由

- 7.1 无线与移动网络概述
- 7.2 无线链路与网络特性
- 7.3 无线局域网:IEEE802.11
- 7.4 移动通信网络体系结构

## 7.5 网络移动管理基本原理

归属网络  
e.g.: 128.119/16

被访网络  
e.g.: 79.129/16





# 向移动设备间接路由：评述

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

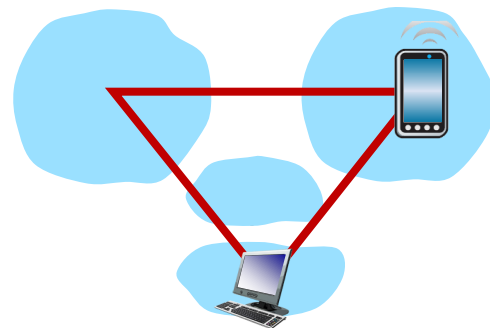
7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构

7.5 网络移动管理基本原理

## ■ 三角路由：

- 当通信者和移动节点在一个网络时效率尤其低



- 移动节点在多个被访网络间移动时：站点的移动性对于通信者而言是透明的！
  - 在新的被访网络中注册
  - 新的被访网络向归属HSS注册
  - 数据报持续向归属网络转发，然后转到移动节点所在的新被访网络
  - 正在进行的通信者和移动节点间通信（如：TCP连接）可以被维持！





# 移动性管理中的直接路由

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

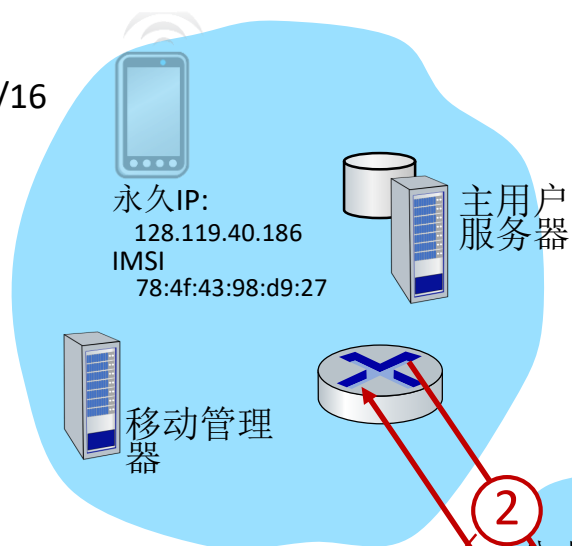
7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构

7.5 网络移动管理基本原理

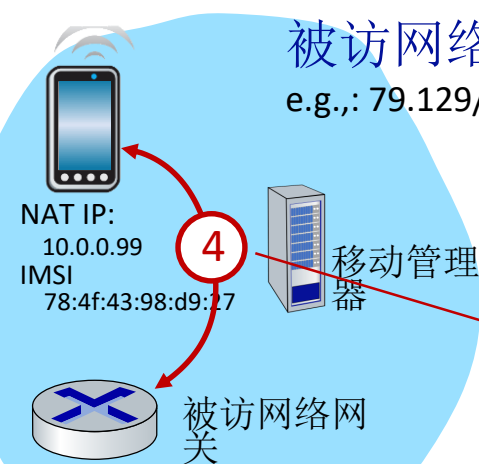
归属网络

e.g.,: 128.119/16



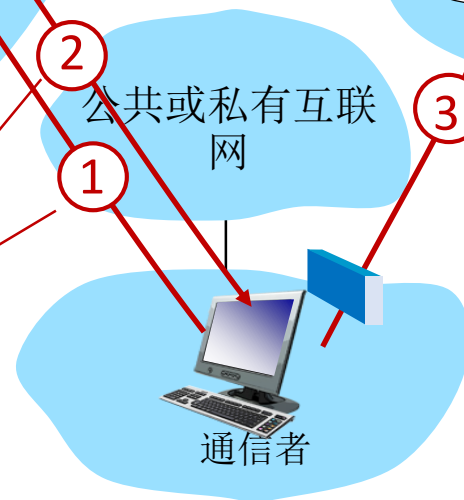
被访网络

e.g.,: 79.129/16



被访网关路由器转发到移动节点

1. 2. 通信者联系归属HSS, 获得移动节点当前所在的被访网络



通信者编址数据报到被访网络的地址





# 移动性管理中的直接路由:评述

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路和网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构

**7.5 网络移动管理基本原理**

- ❖ 克服了三角路由的低效问题
- ❖ 移动节点的外部地址对于通信者而言是非透明的: 通信者必须从归属代理那里获得临时地址 (care-of-address)
- ❖ 如果移动节点再次变换被访网络?
  - 可以被处理, 但是需要额外的复杂操作





哈爾濱工業大學  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

立足航天，服务国防，面向国民经济主战场



## 7.6 移动IP



# 移动IP

- 7.1 无线与移动网络概述
- 7.2 无线链路和网络特性
- 7.3 无线局域网:IEEE802.11
- 7.4 移动通信网络体系结构
- 7.5 网络移动管理基本原理

## 7.6 移动IP

### ❖ 移动IP架构大约在20年前被标准化 [RFC 5944]

- 远早于智能电话的普及，以及4G对于互联网协议的支持
- 目前没看到其大规模的部署和应用
- 也许当时用WiFi访问互联网，用2G/3G电话进行语音通信来说足够好

### ❖ 移动IP架构:

- 采用隧道技术间接路由到移动节点（通过归属网络）
- 移动IP归属代理：综合了4G HSS和归属G-PW的角色
- 移动IP外部代理：综合4G MME和S-GW的角色
- 在被访网络中执行代理发现协议，在归属网络中通过ICMP扩展进行被访地址的注册





7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路和网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构

7.5 网络移动管理基本原理

7.6 移动IP

## ❖ RFC 3344

## ❖ 有很多我们见过的功能:

- 归属代理, 外部代理, 外部代理注册, 转交地址 (COA), 封装 (packet-within-a-packet)

## ❖ 标准由三部分组成:

- 数据报的间接路由选择
- 代理发现
- 向归属代理注册





# 移动IP: 间接路由

7.1 无线与移动网络概述

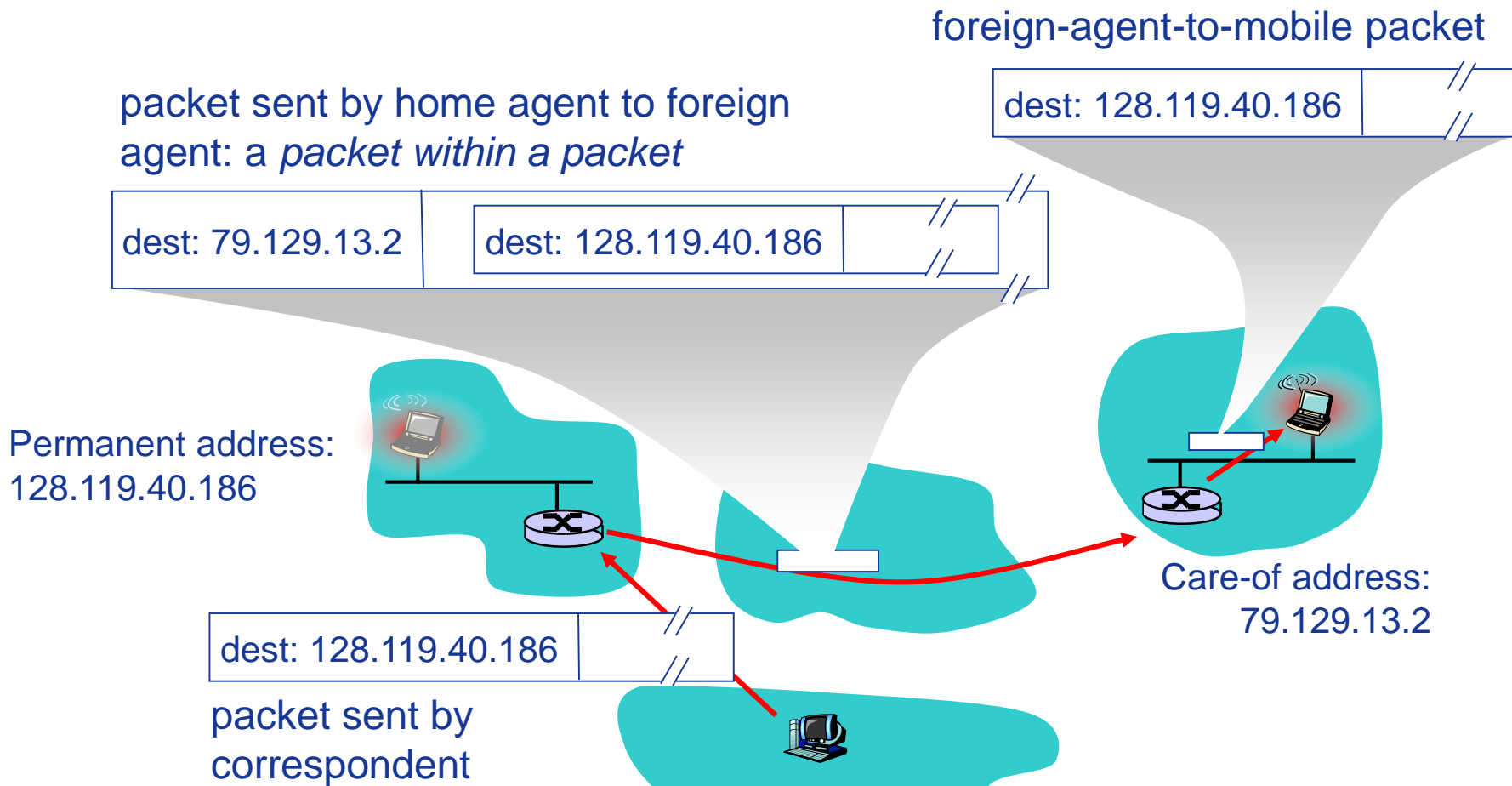
7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构

7.5 网络移动管理基本原理

## 7.6 移动IP



# 移动IP: 代理发现

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

7.4 移动通信网络体系结构

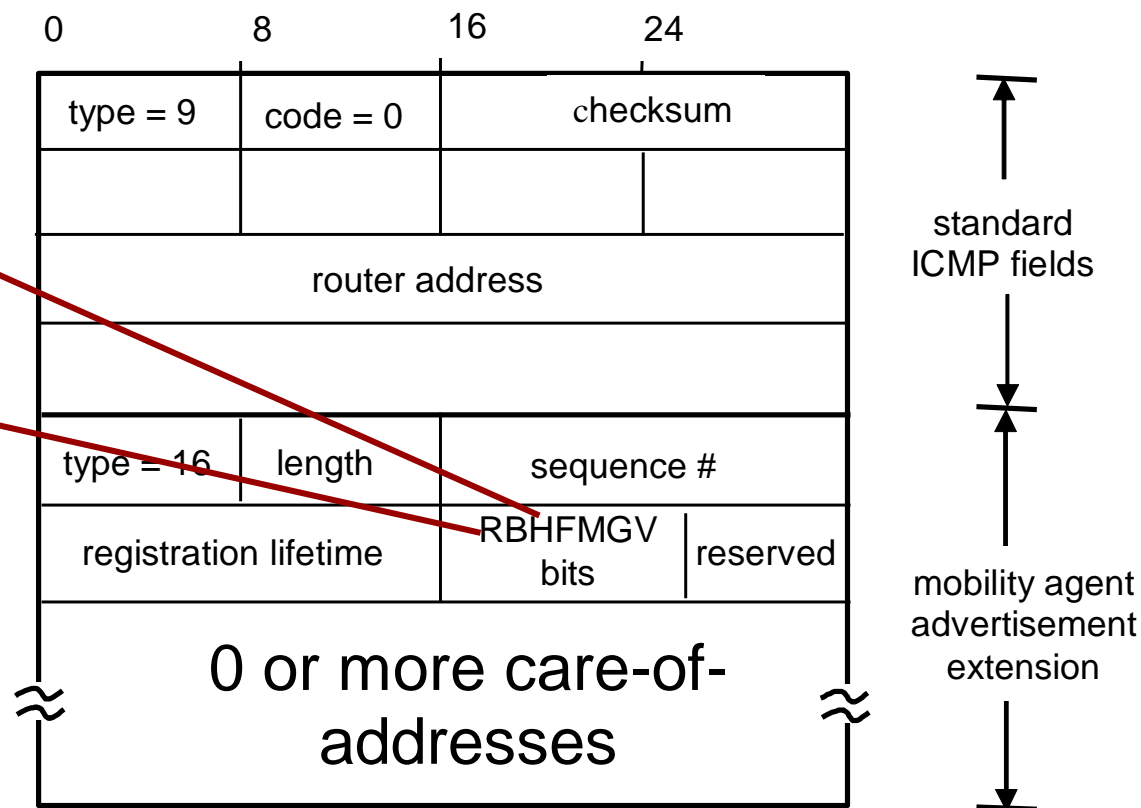
7.5 网络移动管理基本原理

## 7.6 移动IP

❖ 代理通告 (agent advertisement): 外部或归属代理通过广播 ICMP 报文来通告服务 (类型字段=9)

H,F bits: 归属代理 或/  
和 外部代理

R bit: 需注册

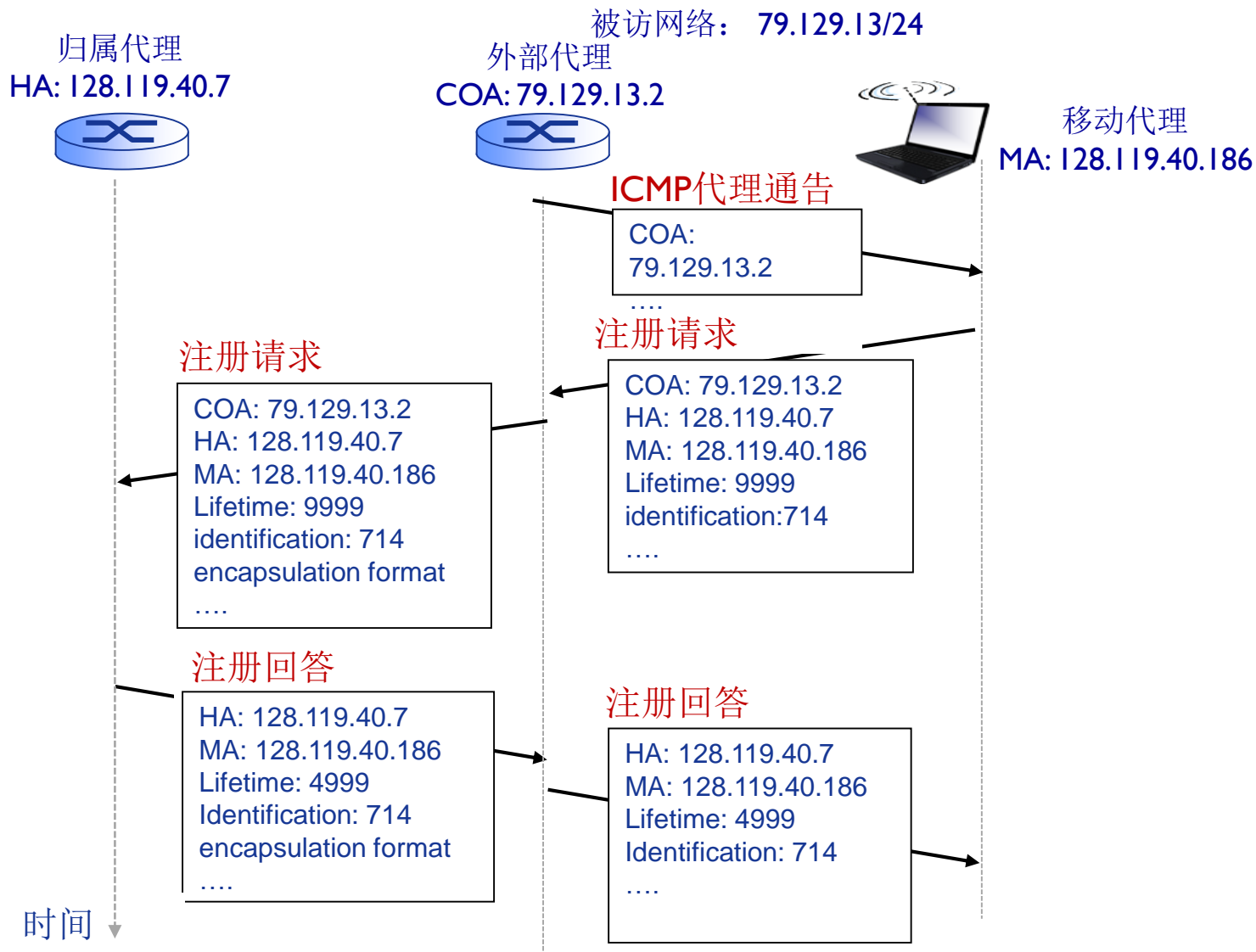




# Mobile IP: 注册举例

- 7.1 无线与移动网络概述
- 7.2 无线链路与网络特性
- 7.3 无线局域网:IEEE802.11
- 7.4 移动通信网络体系结构
- 7.5 网络移动管理基本原理

## 7.6 移动IP





哈爾濱工業大學  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

立足航天，服务国防，面向国民经济主战场



## 7.7 移动通信网络的移动管理





# GSM: 间接路由选择方法

- 7.1 无线与移动网络概述
- 7.2 无线链路和网络特性
- 7.3 无线局域网:IEEE802.11
- 7.4 移动通信网络体系结构
- 7.5 网络移动管理基本原理
- 7.6 移动IP

## 7.7 移动通信网络的移动管理

### ❖ 归属网络: 你订阅的蜂窝提供商网络（例如，Sprint PCS、Verizon）

- 归属位置注册器home location register (HLR): 归属网络中的数据库，包含永久手机号、个人资料信息（服务、偏好、计费）、有关当前位置的信息（可能在另一个网络中）

### ❖ 被访网络: 移动用户当前所在网络

- 访问者位置注册visitor location register (VLR): 当前在网络中的每个用户的条目的数据库
- 可以是归属网络



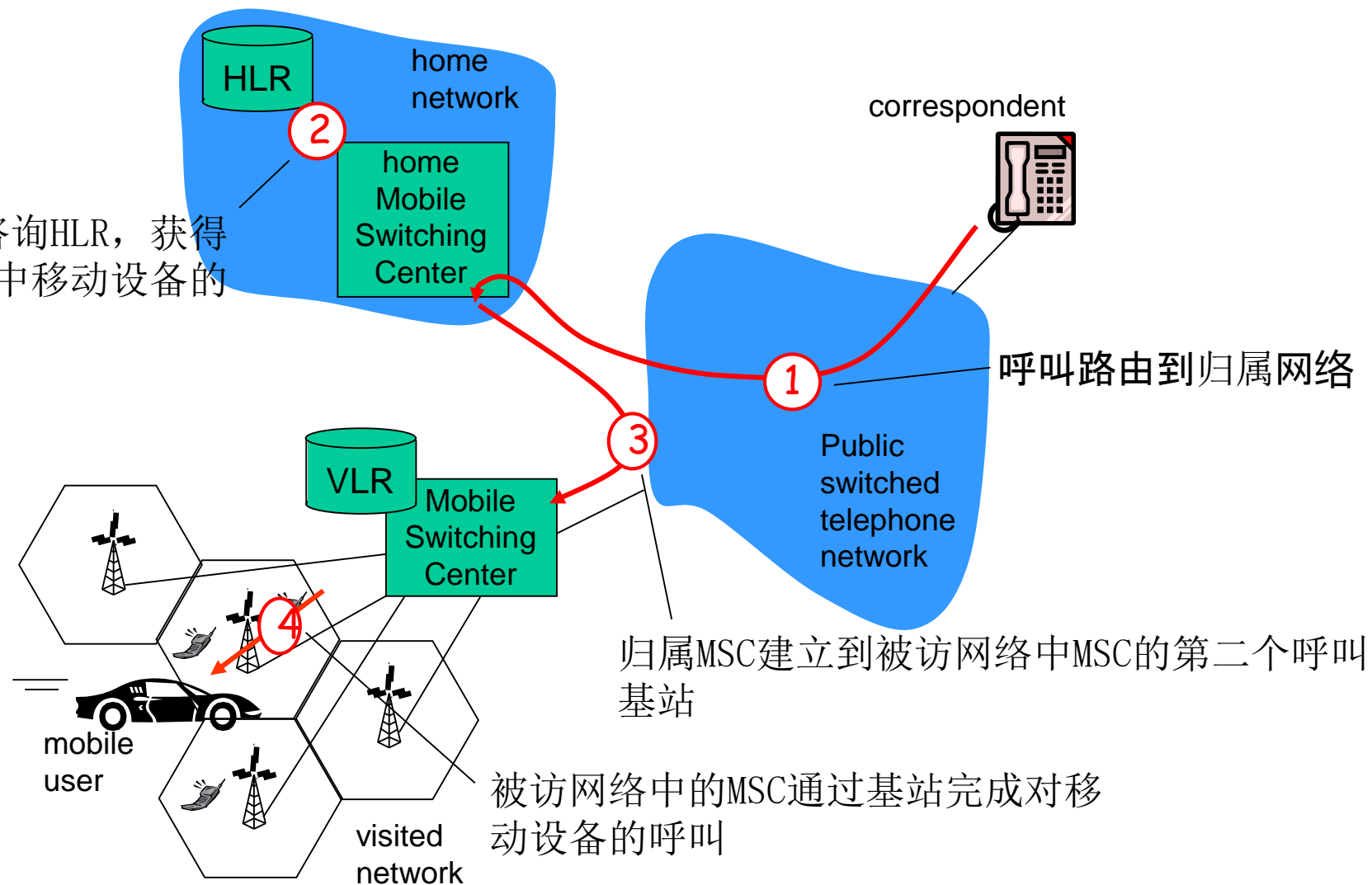


# GSM: 间接路由选择方法

- 7.1 无线与移动网络概述
- 7.2 无线链路与网络特性
- 7.3 无线局域网:IEEE802.11
- 7.4 移动通信网络体系结构
- 7.5 网络移动管理基本原理
- 7.6 移动IP

## 7.7 移动通信网络的移动管理

归属MSC咨询HLR，获得被访网络中移动设备的漫游号码





# 移动IP和GSM移动性之间的共性

- 7.1 无线与移动网络概述
- 7.2 无线链路和网络特性
- 7.3 无线局域网:IEEE802.11
- 7.4 移动通信网络体系结构
- 7.5 网络移动管理基本原理
- 7.6 移动IP

## 7.7 移动通信网络的移动管理

GSM 要素	对 GSM 要素的解释	移动 IP要素
归属系统	移动用户永久电话号码所归展的网络	归属网络
网关移动（服务）交换中心或简称归属MSC，归属位置注册器（HLR）	归属 MSC：获取移动用户路由地址的联系点。 HLR：归属系统中包含移动用户永久电话号码、个人信息、当前位置和订购信息的数据库	归属代理
被访问系统	移动用户当前所在的非归属系统网络	被访网络
被访问移动（服务）交换中心或简称被访问 MSC，访问者定位记录（VLR）	被访问 MSC：负责建立与 MSC 相关联的发射区中到/从移动节点的呼叫。VLR：访问系统中的临时数据库项，包含每个访问移动用户的订购信息	外部代理
移动站点漫游号码（MSRN）或漫游号码	用于归属 SC 和被访问 MSC 之间电话呼叫的路由地址，对移动用户和通信者均不可见	转交地址

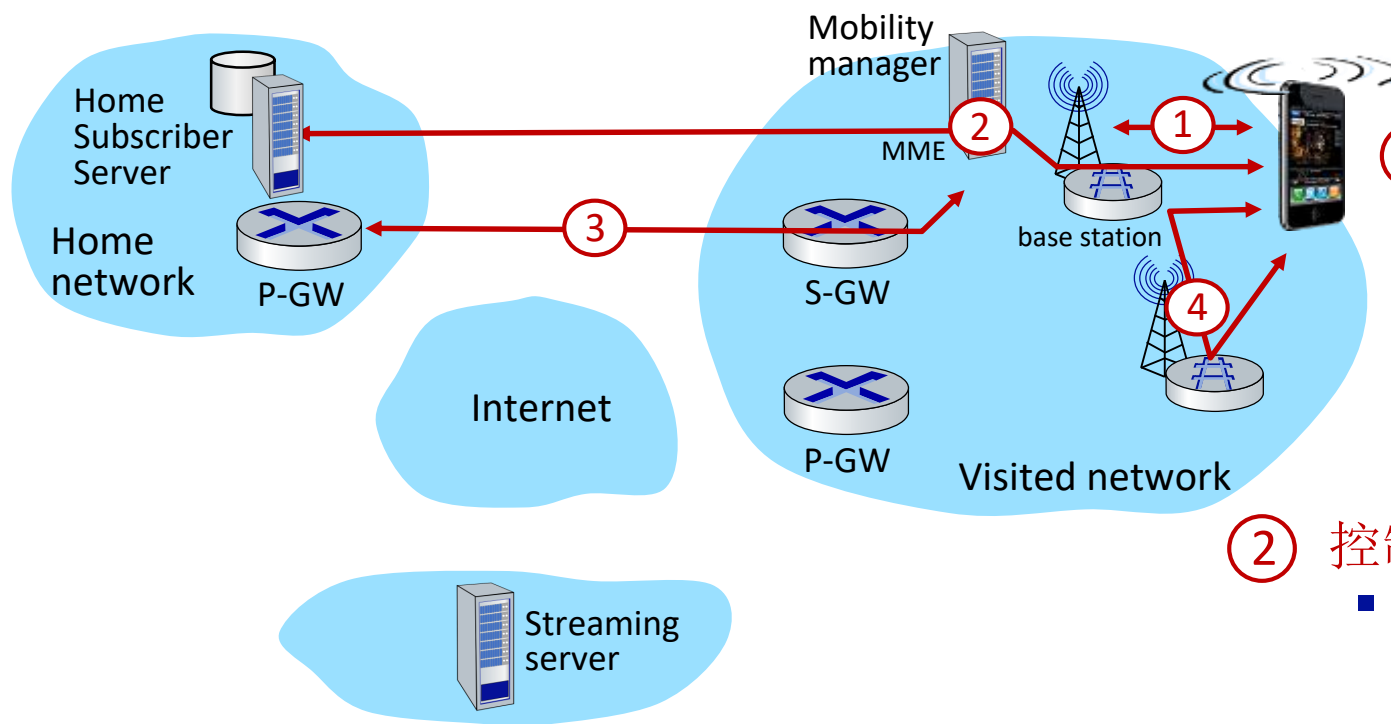




# 4G网络中的移动性：主要的移动性任务

- 7.1 无线与移动网络概述
- 7.2 无线链路与网络特性
- 7.3 无线局域网:IEEE802.11
- 7.4 移动通信网络体系结构
- 7.5 网络移动管理基本原理
- 7.6 移动IP

## 7.7 移动通信网络的移动管理



- ① 基站关联:
- 前面说过
  - 移动站点提供IMSI-标识自己和归属网络

- ② 控制平面配置:
- MME, 归属HSS建立控制平面状态-- 移动站点来到了被访网络

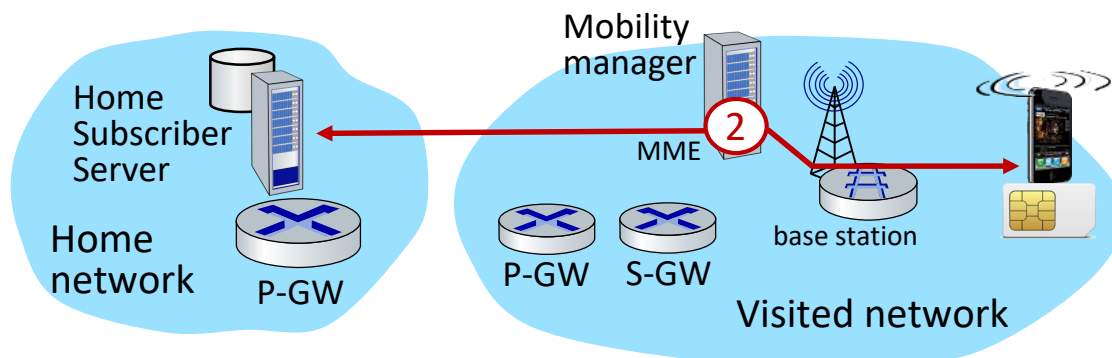
- ③ 数据平面配置:
- MME为移动站点配置转发隧道
  - 被访和归属网络建立隧道 (从归属P-GW) 到移动节点

- ④ 移动站点的切换:
- 移动站点变化在被访网络中的接入BS





# 配置LTE控制平面网元



- 移动节点通过BS控制平面信道，与MME通信
- MME采用移动设备的IMSI信息和移动设备的HSS沟通
  - 获取认证，加密和网络服务信息
  - 归属HSS知道移动站点目前被注册在该被访网络中
- BS、移动节点选择参数用于：BS-移动站点的无线信道





# 为移动节点配置数据平面隧道

7.1 无线与移动网络概述

7.2 无线链路与网络特性

7.3 无线局域网:IEEE802.11

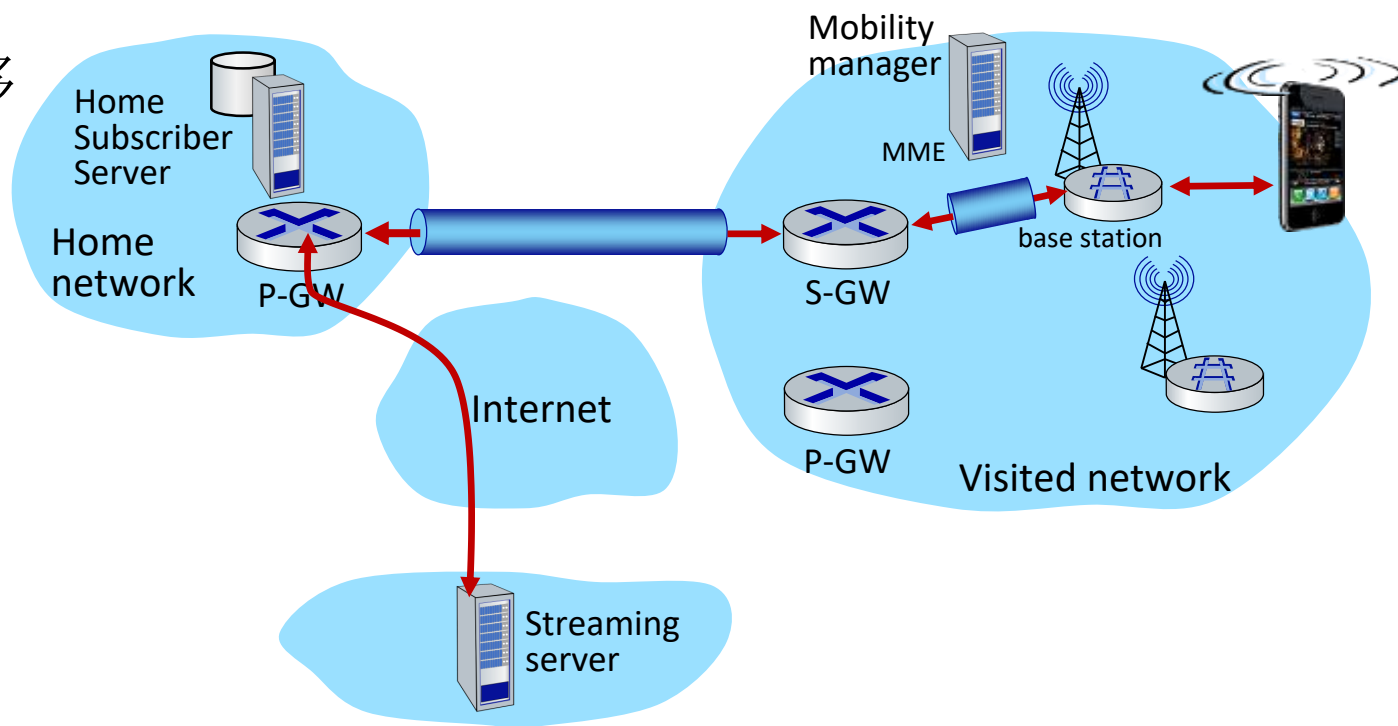
7.4 移动通信网络体系结构

7.5 网络移动管理基本原理

7.6 移动IP

7.7 移动通信网络的移动管理

- **S-GW 到 BS 隧道**: 当移动节点切换BS时, 仅仅变换一下隧道的另外一个端节点的IP地址就可以了
- **S-GW到归属P-GW隧道**: 间接路由



- **经过GTP隧道**(GPRS tunneling protocol): 移动节点到流媒体服务器的数据报, 采用GTP封装被封装在UDP

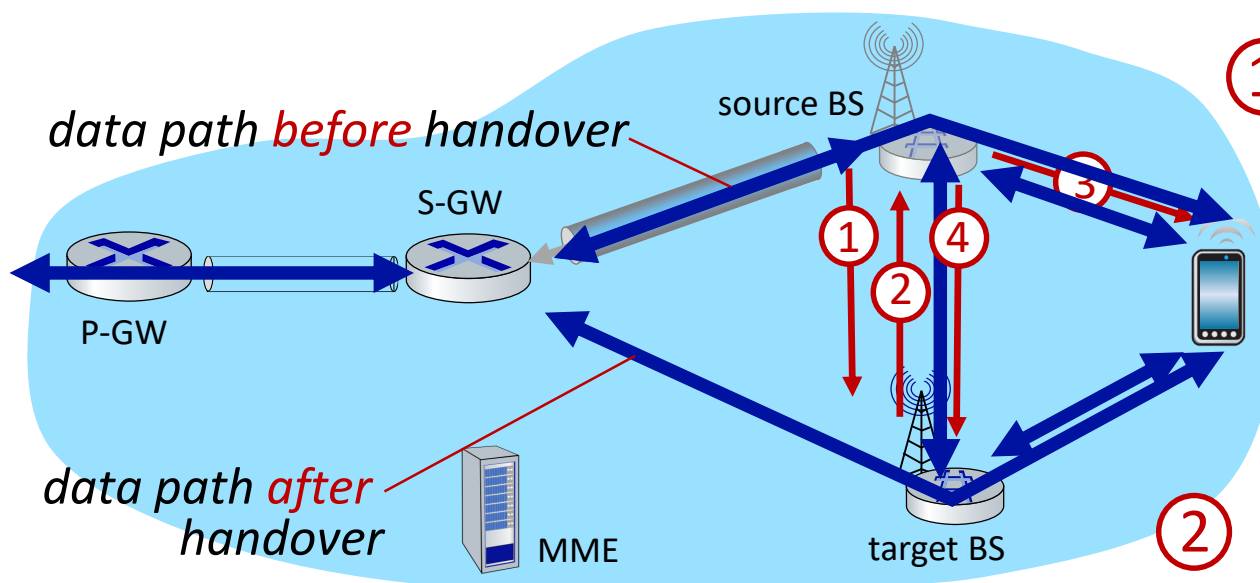




# 在同一个运营商网络内切换BS

- 7.1 无线与移动网络概述
- 7.2 无线链路与网络特性
- 7.3 无线局域网:IEEE802.11
- 7.4 移动通信网络体系结构
- 7.5 网络移动管理基本原理
- 7.6 移动IP

## 7.7 移动通信网络的移动管理



① 当前（源）BS选择目标BS，向目标BS发送切换请求报文

② 目标BS为移动站点预分配无线时隙，用HR ACK响应

③ 源BS通告移动站点，新BS可用

- 移动节点可以通过新BS发送了-切换对于移动站点来说已经完成

④ 源BS停止向移动站点发送数据报，而是向新BS转发 (新BS过无线链路向移动站点收发数据)

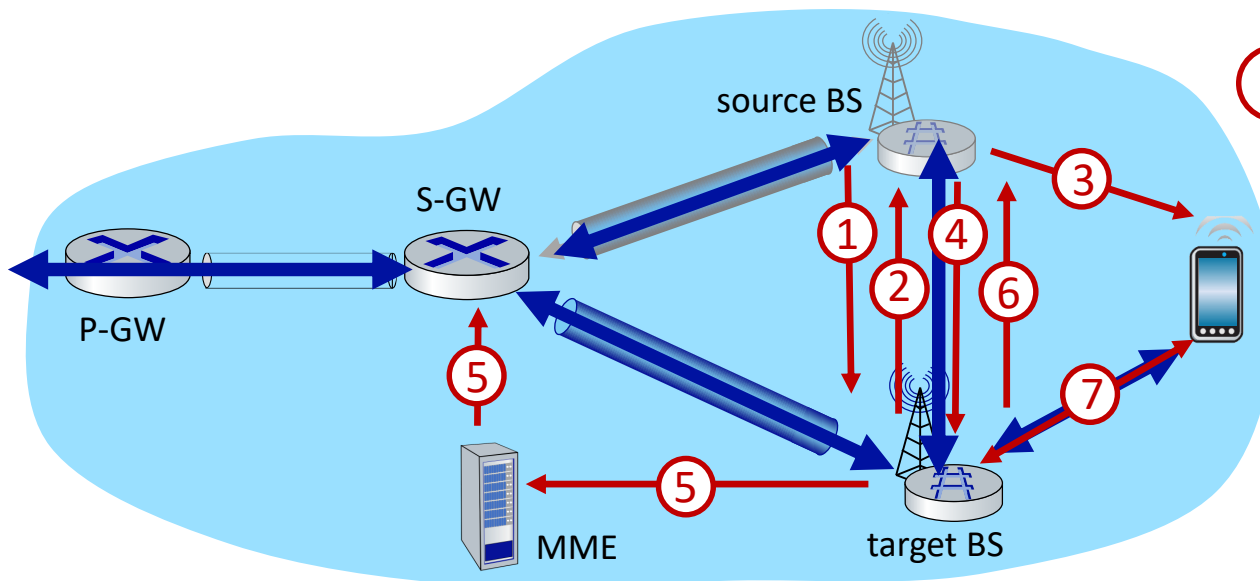




# 在同一个运营商网络内切换BS

- 7.1 无线与移动网络概述
- 7.2 无线链路与网络特性
- 7.3 无线局域网:IEEE802.11
- 7.4 移动通信网络体系结构
- 7.5 网络移动管理基本原理
- 7.6 移动IP

## 7.7 移动通信网络的移动管理



⑤ 目标BS通告MME 新的BS为BS服务

- MME指导S-SW改变隧道的端节点，改到到目标端BS

⑥ 目标BS给源BS确认ACK: 切换完成，源BS可以释放资源

⑦ 移动站点的数据报可以通过新隧道（从目标BS到S-SW）流动







哈爾濱工業大學  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

立足航天，服务国防，面向国民经济主战场



## 7.8 无线与移动对高层协议的影响



# 无线和移动性：对于高层协议的冲击

- 7.1 无线与移动网络概述
- 7.2 无线链路和网络特性
- 7.3 无线局域网:IEEE802.11
- 7.4 移动通信网络体系结构
- 7.5 网络移动管理基本原理
- 7.6 移动IP
- 7.7 移动通信网络的移动管理
- 7.8 无线与移动对高层协议的影响**

❖ 逻辑上来说，分层网络协议栈使得冲击应该很小的...

- IP网络尽力而为的服务模型没有变
- TCP和UDP确实可以运行于无线和移动节点之上

❖ ...但是在性能方面有着明显的差别:

- 由于1) 无线高比特出错率, 2) 分组的丢失/延迟 (丢弃的分组, 链路层的重发带来的延迟), 以及3) 切换丢失
- TCP将丢失 (出错或者切换丢失) 解释为拥塞, 会减少拥塞窗口, 但实际上没必要
- 多出来的延迟对于实时应用不友好
- 无线链路带宽是稀缺资源
- 位置感知提供一些应用可能性





哈爾濱工業大學  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

立足航天，服务国防，面向国民经济主战场



谢谢！