



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——无线和移动网络

詹东阳



Chapter 7: 无线网络和移动网络

Background:

- ❑ # 无线手机用户的数量已经超越了有线主机!
- ❑ computer nets: 笔记本、平板电脑、移动手机等构成了移动网络，在任何地点均可连接互联网
- ❑ 无线和移动网两个重要（且不同）的挑战
 - 基于无线的通信
 - 移动用户在不停移动，需要处理更改网络连接点的移动用户



Chapter 7 outline

7.1 Introduction

无线网络

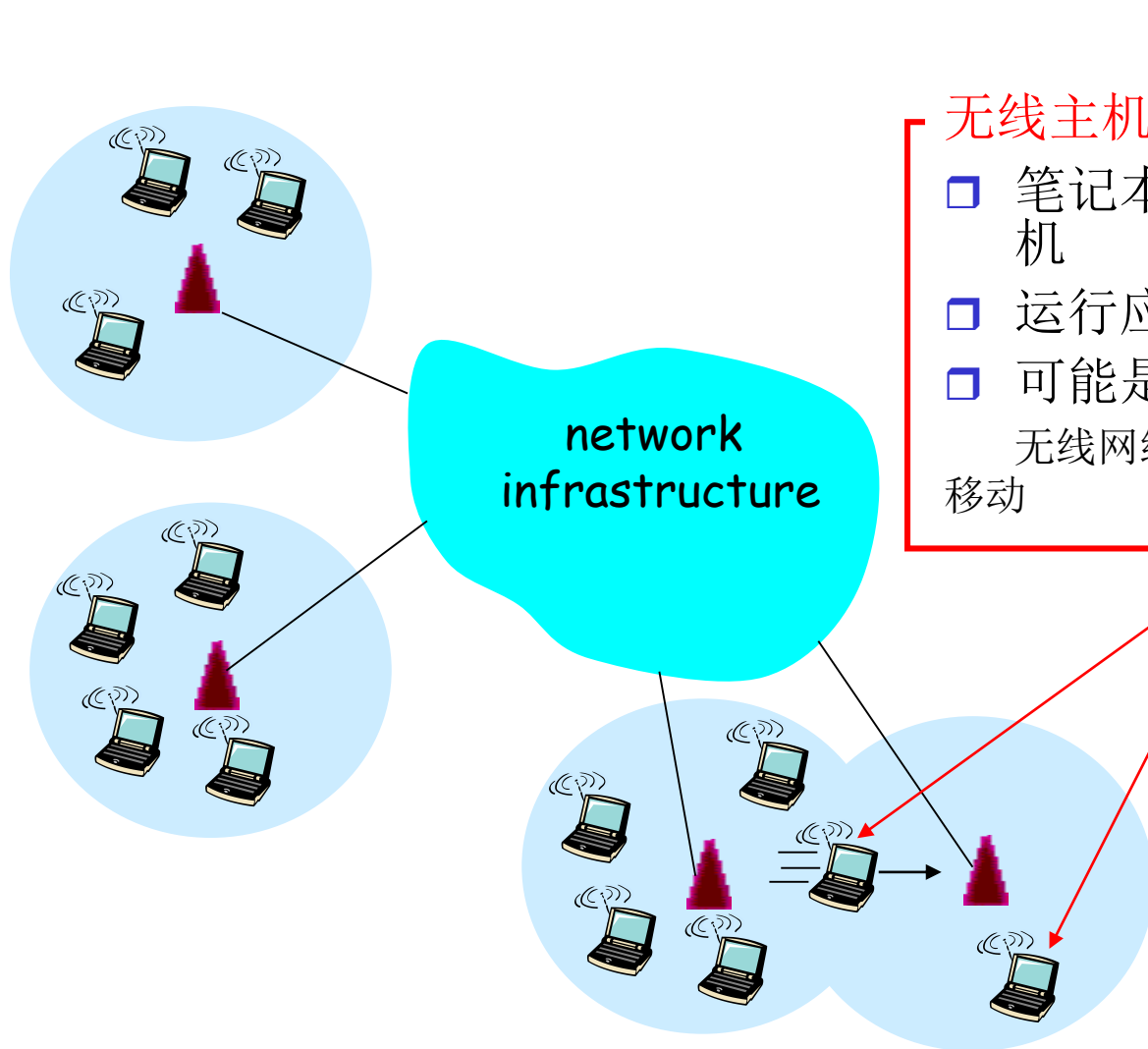
- ❑ 7.2 无线链路和网络特征
 - CDMA
- ❑ 7.3 IEEE 802.11 无线 LANs (“wi-fi”)
- ❑ 7.4 蜂窝因特网接入
 - 架构
 - 标准 (e. g., GSM)

移动网络

- ❑ 7.5 移动管理：原理
- ❑ 7.6 移动IP
- ❑ 7.7 管理蜂窝网中的移动性
- ❑ 7.8 无线和移动性：对高层协议的影响
- 7.9 Summary



无线网络的构成



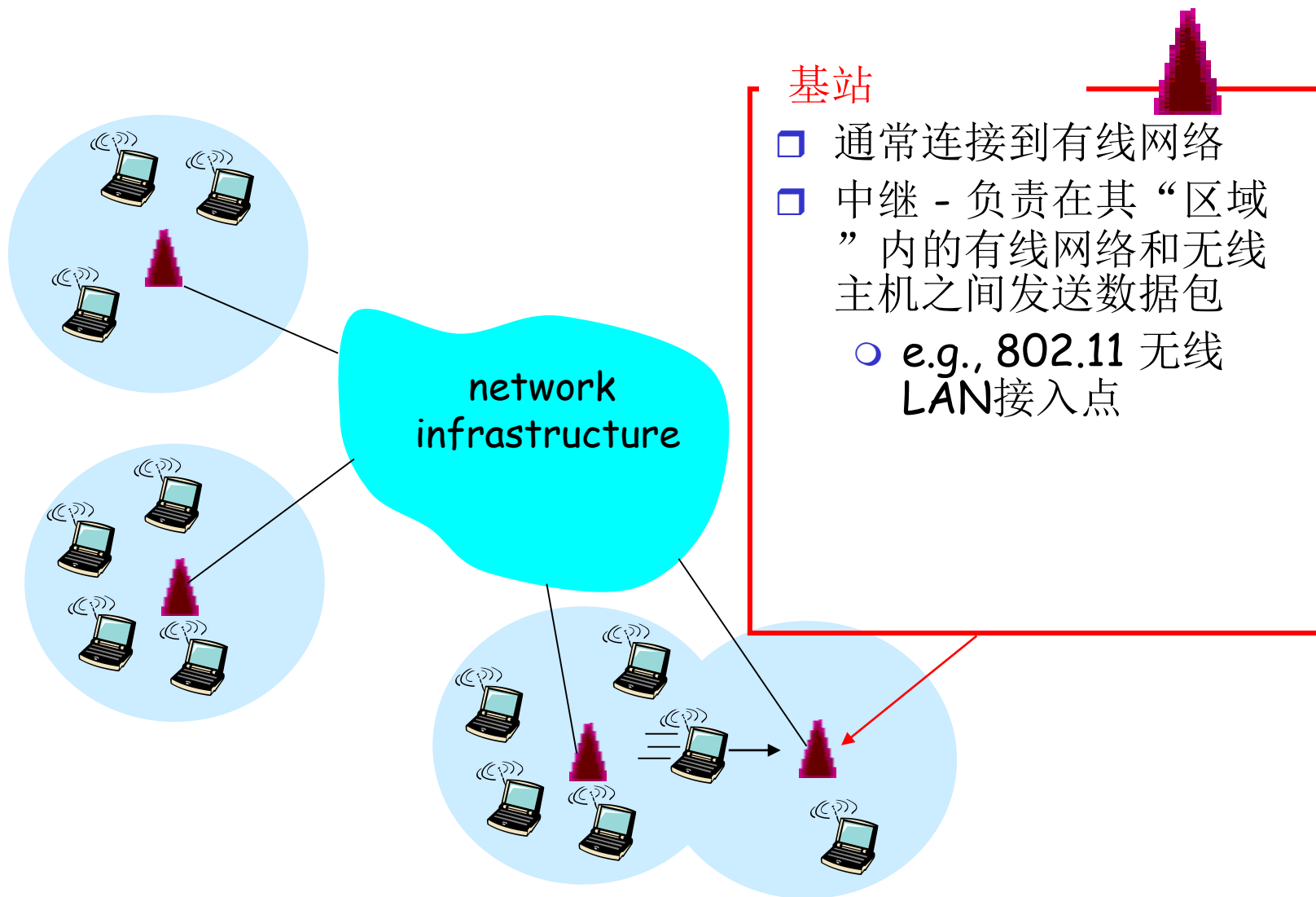
无线主机



- 笔记本、平板电脑、手机
 - 运行应用程序
 - 可能是固定或移动的
- 无线网络不意味着一定有位置移动

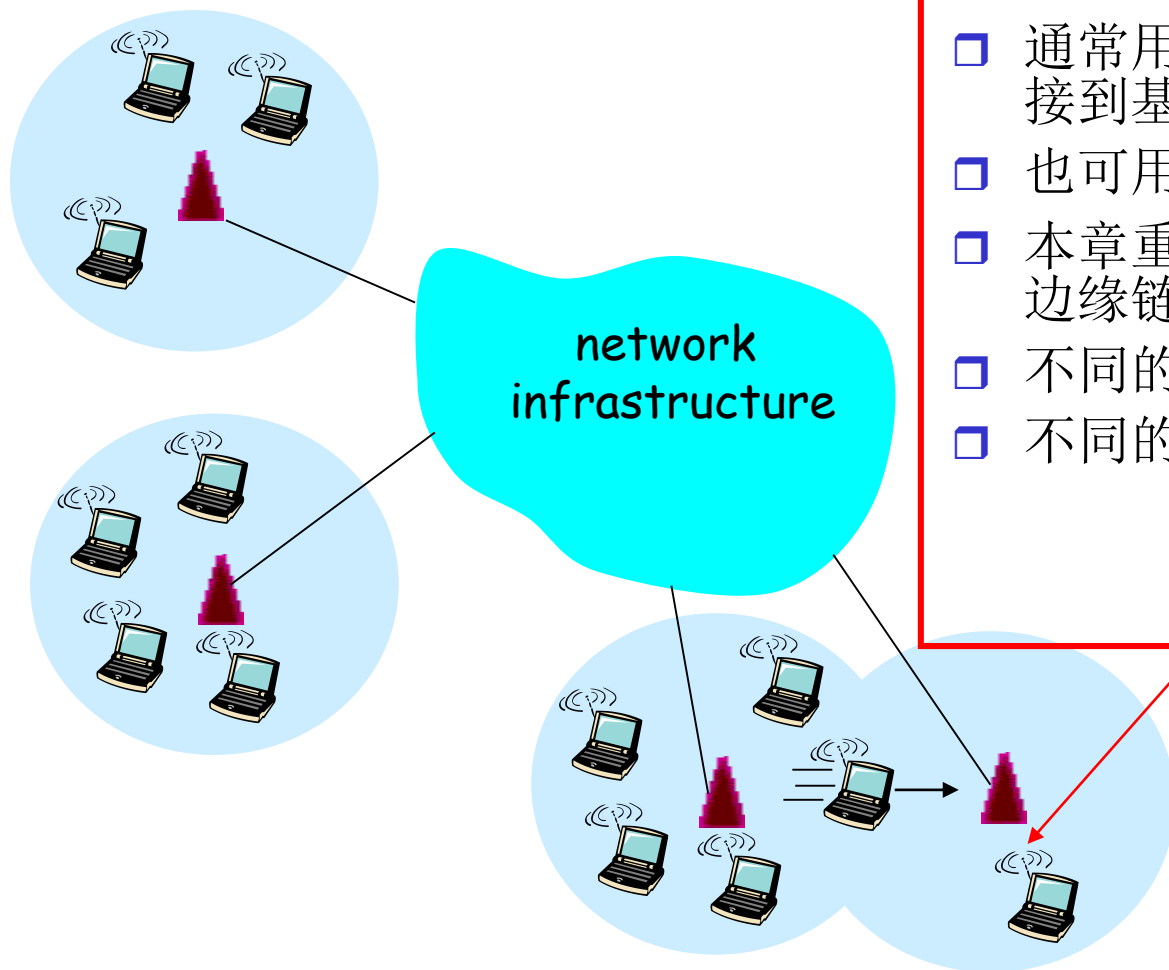


无线网络的构成





无线网络的构成



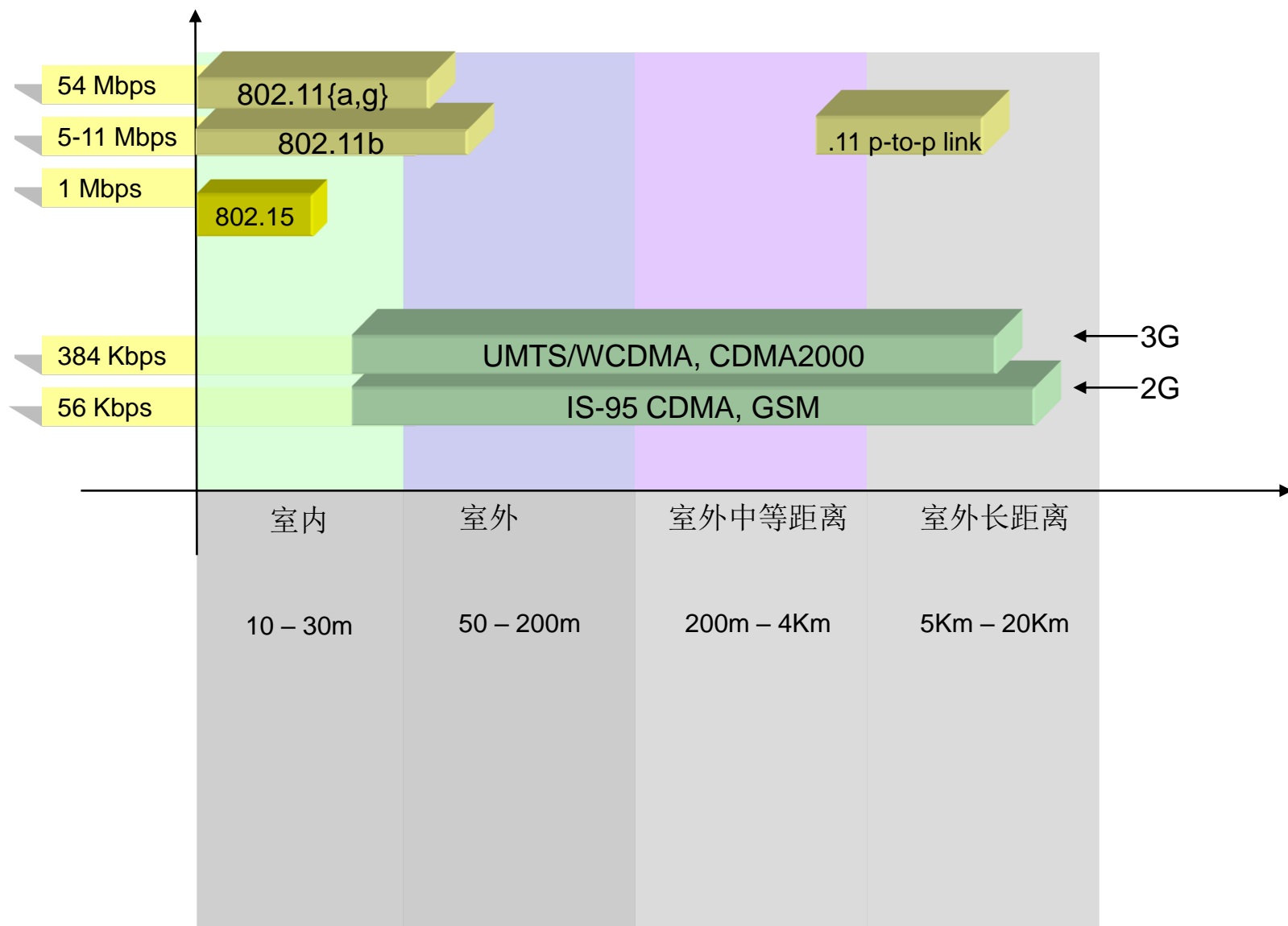
无线链路



- 通常用于将移动设备连接到基站
- 也可用作骨干链路
- 本章重点关注作为网络边缘链路
- 不同的无线链路技术
- 不同的传输速率和距离

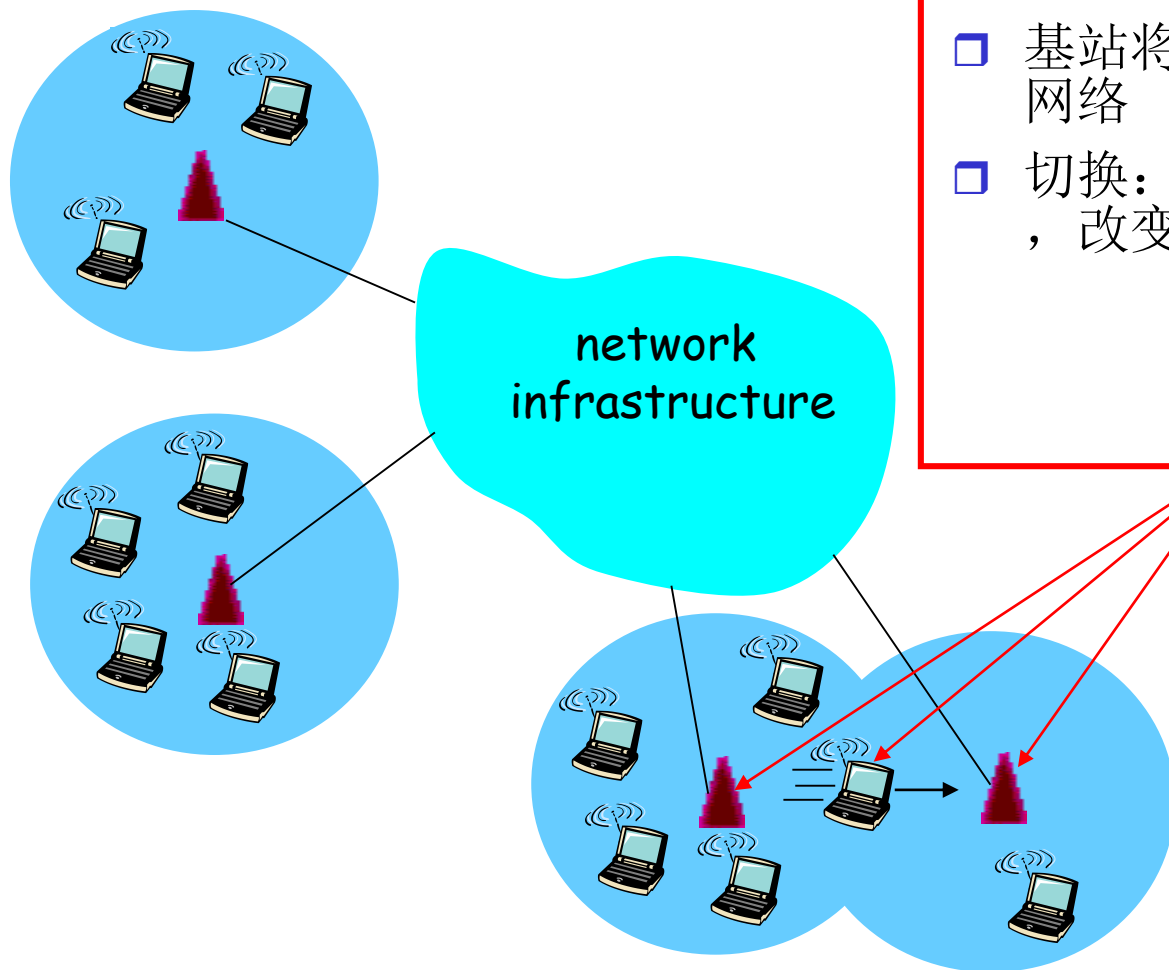


一些无线链路的标准和特性





无线网络中的模式

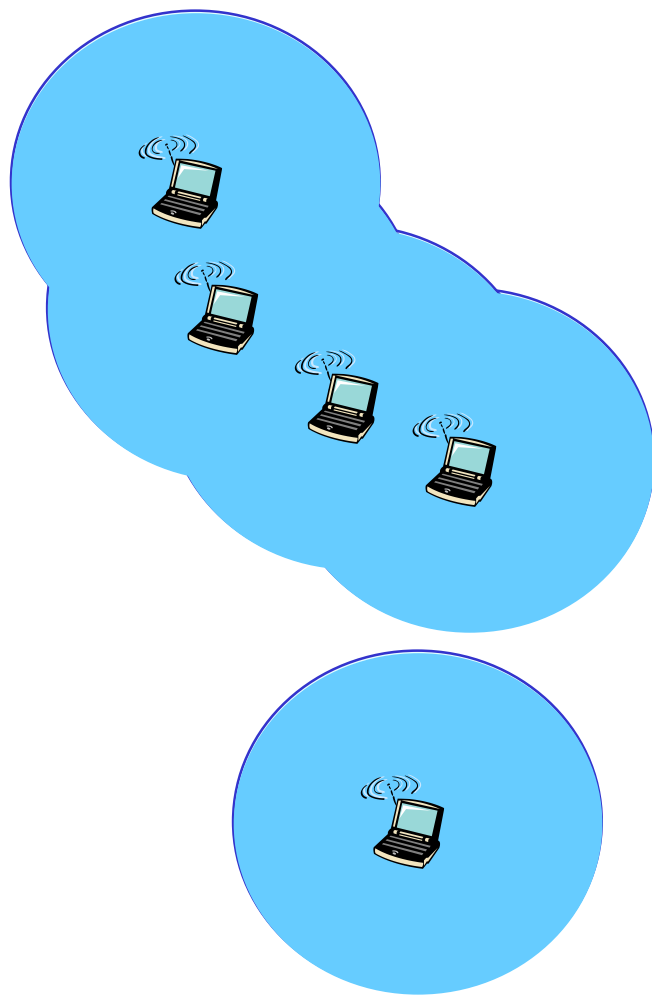


基础设施模式

- ❑ 基站将手机连接到有线网络
- ❑ 切换：移动主机移动后，改变接入点



无线网络中的模式



自组织网络

- 没有基站
- 节点只能向链路覆盖范围内的其他节点传输
- 节点将自己组织成一个网络：在节点之间路由



Chapter 7 outline

7.1 Introduction

无线网络

□ 7.2 无线链路和网络特征

- CDMA

□ 7.3 IEEE 802.11 无线 LANs (“wi-fi”)

□ 7.4 蜂窝因特网接入

- 架构
- 标准 (e. g., GSM)

移动网络

□ 7.5 移动管理：原理

□ 7.6 移动IP

□ 7.7 管理蜂窝网中的移动性

□ 7.8 无线和移动性：对高层协议的影响

7.9 Summary



无线链路和网络特征

与有线链路的区别....

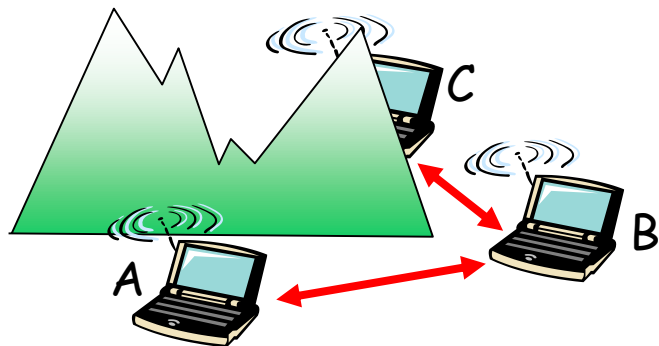
- **信号强度衰减**:无线电信号在通过物质传播时衰减（路径损耗）
- **来自其他信号源的干扰**:其他通信设备（例如电话）共享的标准化无线网络频率（例如 **2.4 GHz**）；物理设备（电机）也会产生干扰
- **多径传播**:无线电信号会被物体和地面反射，到达目的地走了不同长度的路径，时间也会略有不同

....使跨（甚至是点对点）无线链路的通信更加“困难”



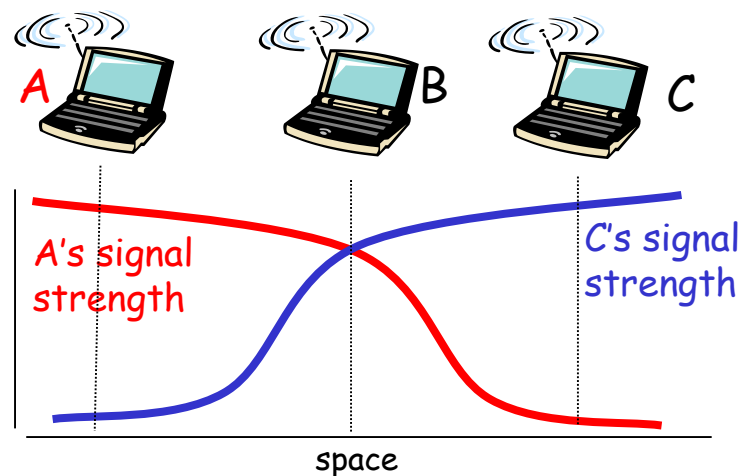
无线链路和网络特征

多个无线发送器和接收器会产生额外的问题（除了多路访问之外）：



隐藏终端问题

- ☐ B, A 可以通信
- ☐ B, C 可以通信
- ☐ A, C 无法直接通信，导致AC不知道对方存在，同时向B传输消息，可能在B发生干扰



信号衰减问题：

- ☐ B, A可以通信
- ☐ B, C可以通信
- ☐ A, C 无法相互感知，但是会在B发生干扰

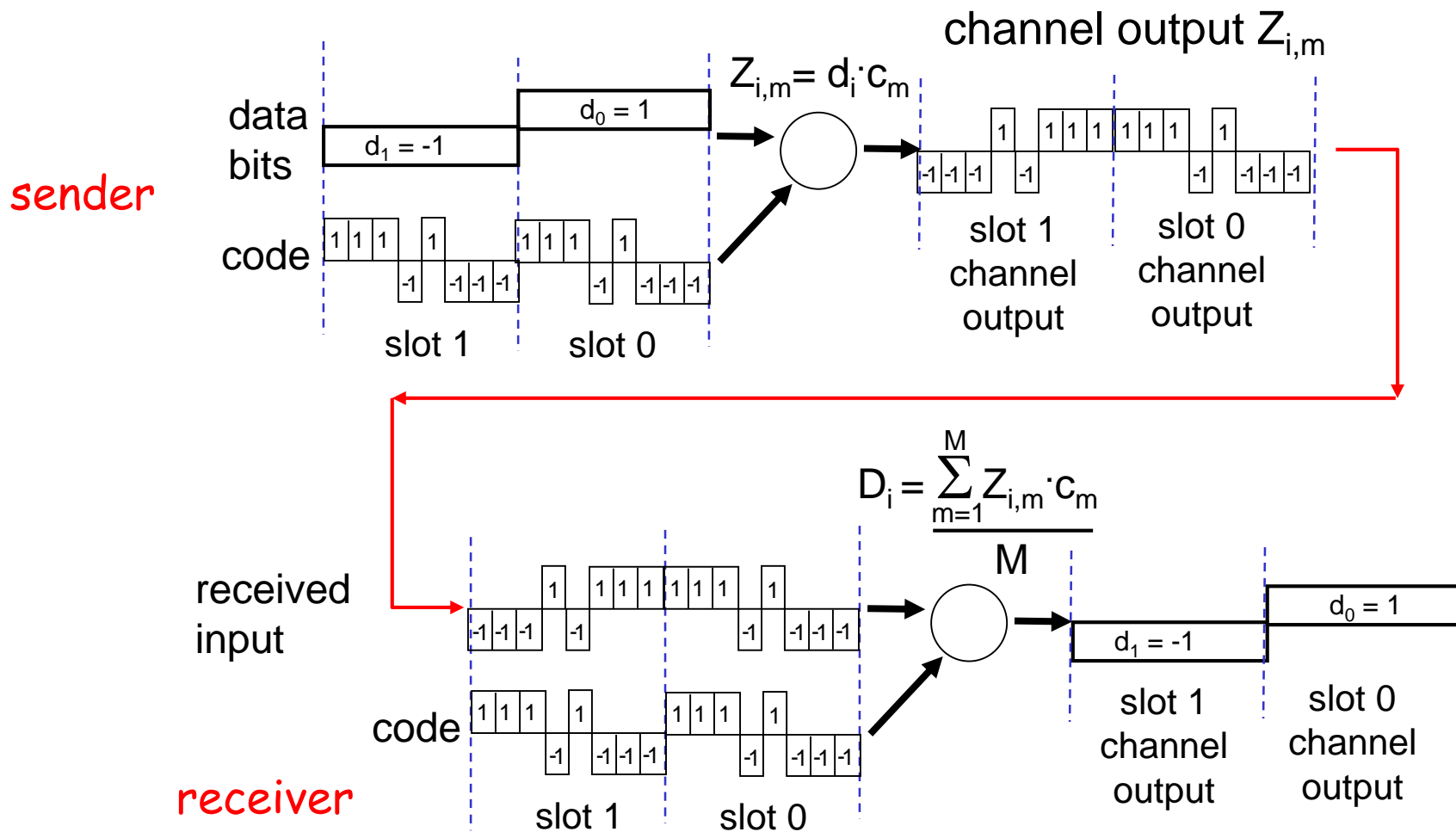


Code Division Multiple Access (CDMA)

- ❑ 用于多个无线广播频道（蜂窝、卫星等）标准
- ❑ 每个用户拥有唯一的编码
- ❑ 所有用户共享相同的频率，但每个用户都有自己的码片序列来编码数据
- ❑ **encoded signal** = (original data) X (chipping sequence)
- ❑ **decoding**: inner-product of encoded signal and chipping sequence
- ❑ 允许多个用户“共存”并以最小的干扰同时传输（如果编码是“正交的”）



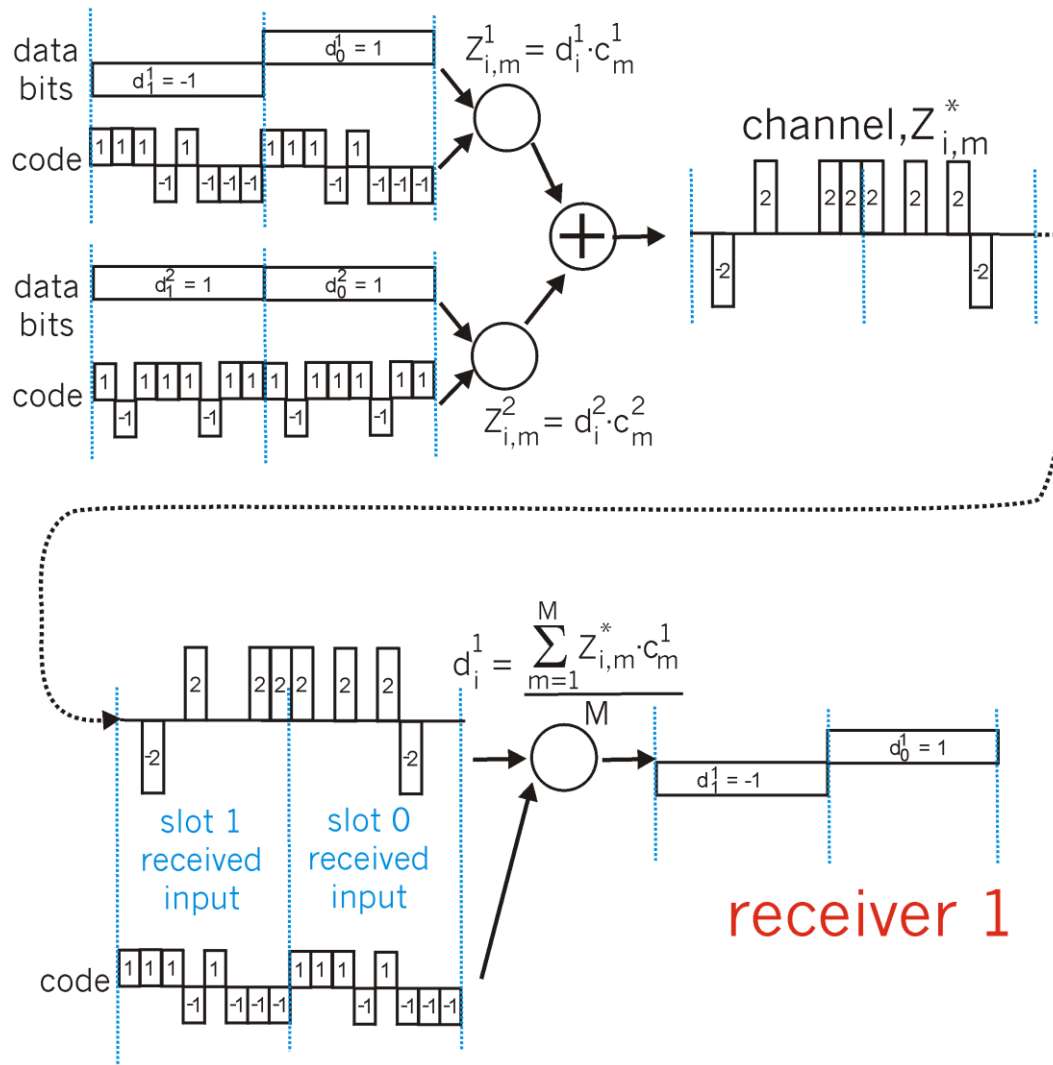
CDMA Encode/Decode





CDMA: 多用户数据叠加

senders



receiver 1



Chapter 7 outline

7.1 Introduction

无线网络

- 7.2 无线链路和网络特征
 - CDMA
- 7.3 IEEE 802.11 无线 LANs ("wi-fi")
- 7.4 蜂窝因特网接入
 - 架构
 - 标准 (e.g., GSM)

移动网络

- 7.5 移动管理：原理
- 7.6 移动IP
- 7.7 管理蜂窝网中的移动性
- 7.8 无线和移动性：对高层协议的影响

7.9 Summary



IEEE 802.11 无线 LAN

❑ 802.11b

- 2.4-5 GHz unlicensed radio spectrum
- up to 11 Mbps
- direct sequence spread spectrum (DSSS) in physical layer
 - all hosts use same chipping code
- widely deployed, using base stations

❑ 802.11a

- 5-6 GHz range
- up to 54 Mbps

❑ 802.11g

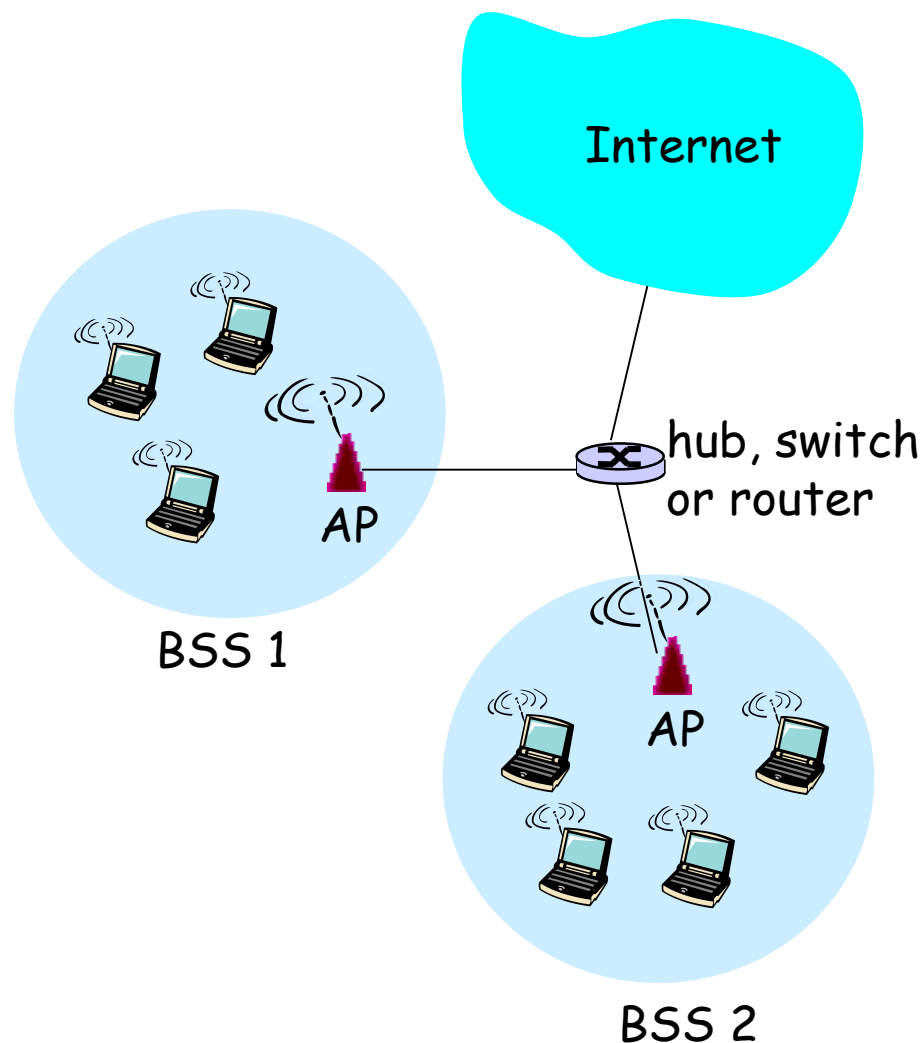
- 2.4-5 GHz range
- up to 54 Mbps

❑ All use CSMA/CA for multiple access

❑ All have base-station and ad-hoc network versions



802.11 LAN 体系结构



- 无线主机与基站通信
 - 基站= 接入点 **Access Point (AP)**
- 基本服务集 **Basic Service Set (BSS)** 包括:
 - 无线主机
 - **access point (AP):** 基站
 - 自组织网络: 仅有无线主机



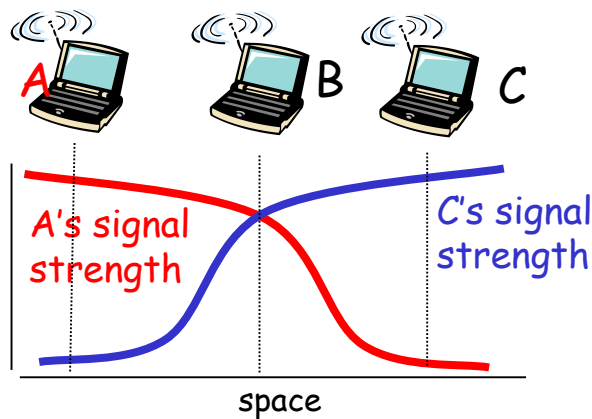
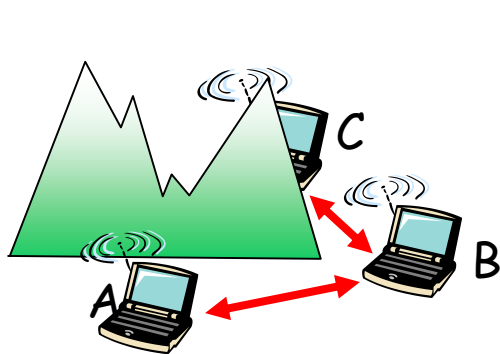
802.11: 信道与关联

- ❑ 802.11b: 2.4GHz-2.485GHz 按照频率分为11个部分重叠的信道
 - AP 管理员为 AP 选择频率
 - 可能干扰: 信道可以与相邻AP选择的信道相同!
- ❑ 主机: 必须与AP**关联**
 - 扫描信道, 侦听包含 AP 名称 (SSID) 和 MAC 地址的信标帧
 - 选择要关联的 AP
 - 可能需要身份验证
 - 通常会运行 DHCP 来获取 AP 子网中的 IP 地址



IEEE 802.11: 多路访问

- ❑ 冲突: 2+ 节点同时发送数据
- ❑ 802.11: CSMA/CD - 传输前监听载波
 - 不与其他节点正在进行的传输发生冲突
- ❑ 802.11: 无法进行冲突检测!
 - 信号衰减导致的冲突
 - 隐藏终端导致的冲突
 - 目标: 冲突避免: CSMA/C(ollision)A(avoidance)





IEEE 802.11 MAC 协议: CSMA/CA

802.11 发送方

1 if 检测到通道空闲 then, 在等待一个分布式帧间间隔 (**DIFS**) 后 传输整个帧

2 if 信道忙 then

开始随机退避时间

通道空闲时开始倒计时

倒计时结束发送

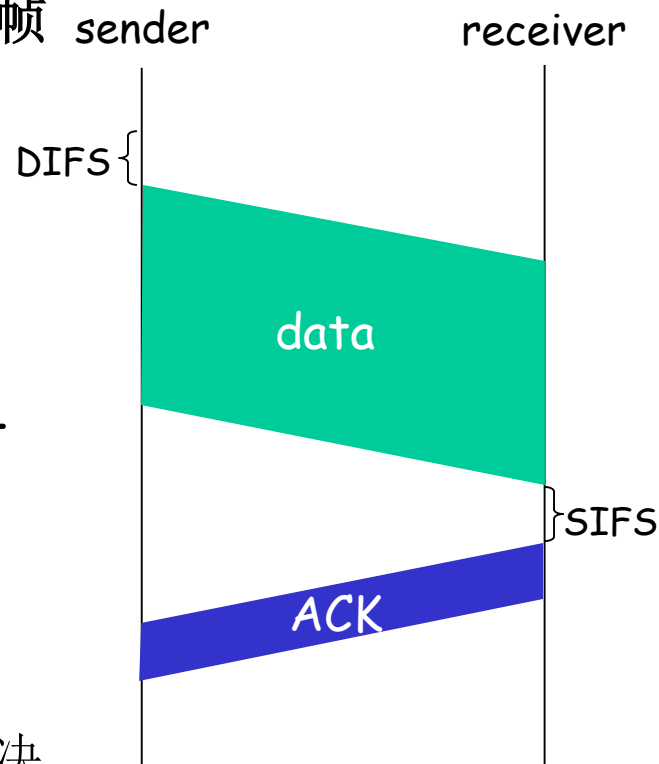
if no **ACK**, 增大随机退避的时间, repeat

2

802.11 接收方

- if 帧接收成功

在短帧间间隔 (**SIFS**) 后返回 **ACK** (如何解决冲突问题?)





冲突避免(more)

idea: 允许发送方“预留”信道而不是直接发送数据帧：避免长数据帧的冲突

- ❑ 发送方首先使用 **CSMA**向**AP** 发送短请求发送 (**RTS**) 数据包
 - **RTS** 可能仍会相互冲突（但它们很短）
- ❑ **AP**广播允许发送 (**CTS**) 以响应 **RTS**
- ❑ **CTS**被所有节点听到
 - 发送方传输数据帧
 - 其他设备延迟传输

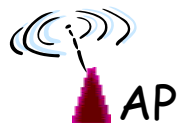
完全避免数据帧冲突
通过使用**RTS**



冲突避免: RTS-CTS 交互



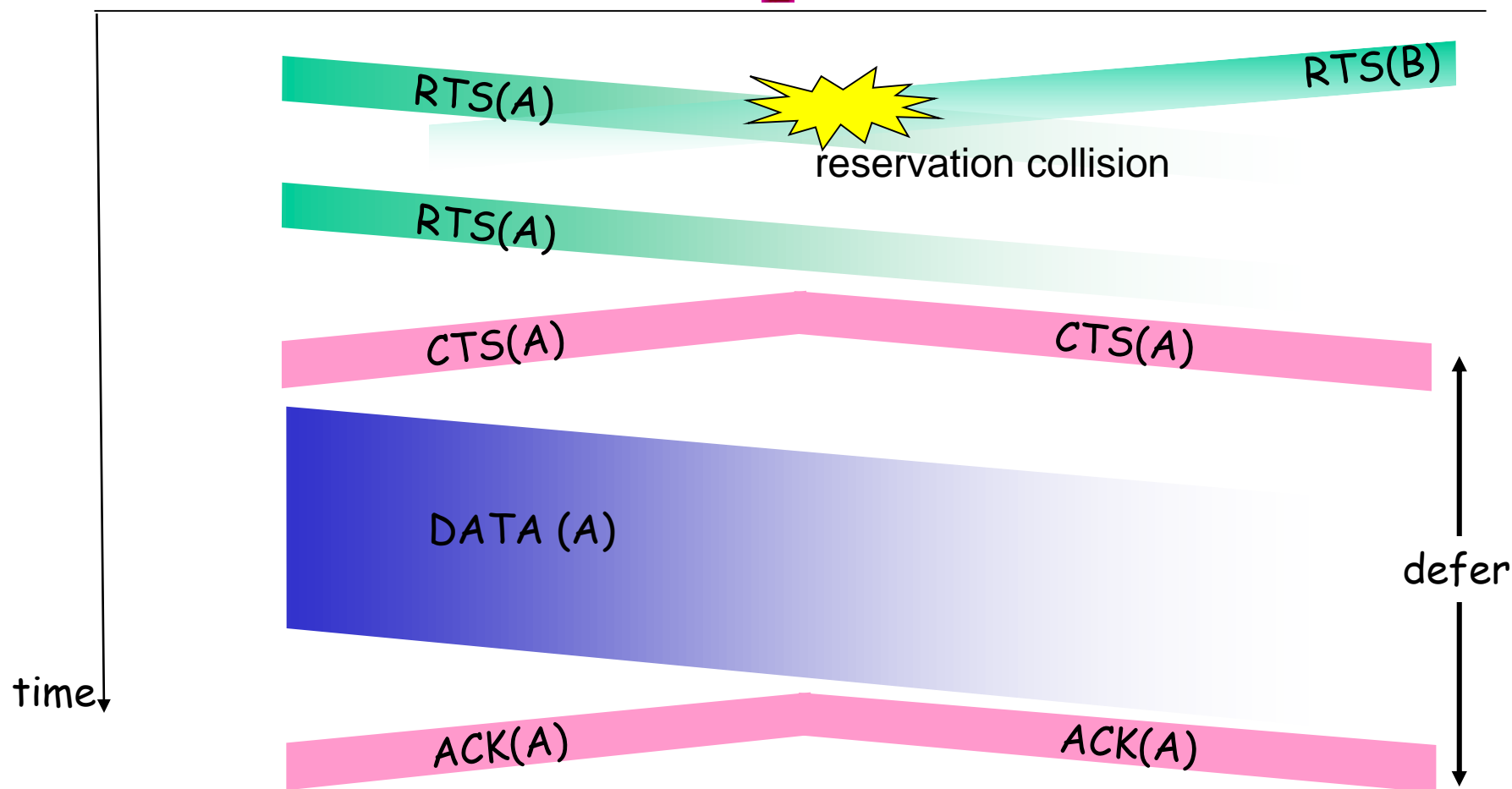
A



AP

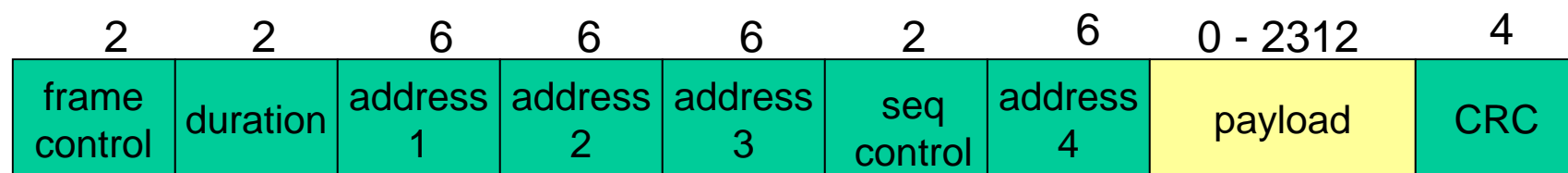


B





802.11 帧: 地址



Address 1: 接收此帧的无线主机或AP的MAC地址

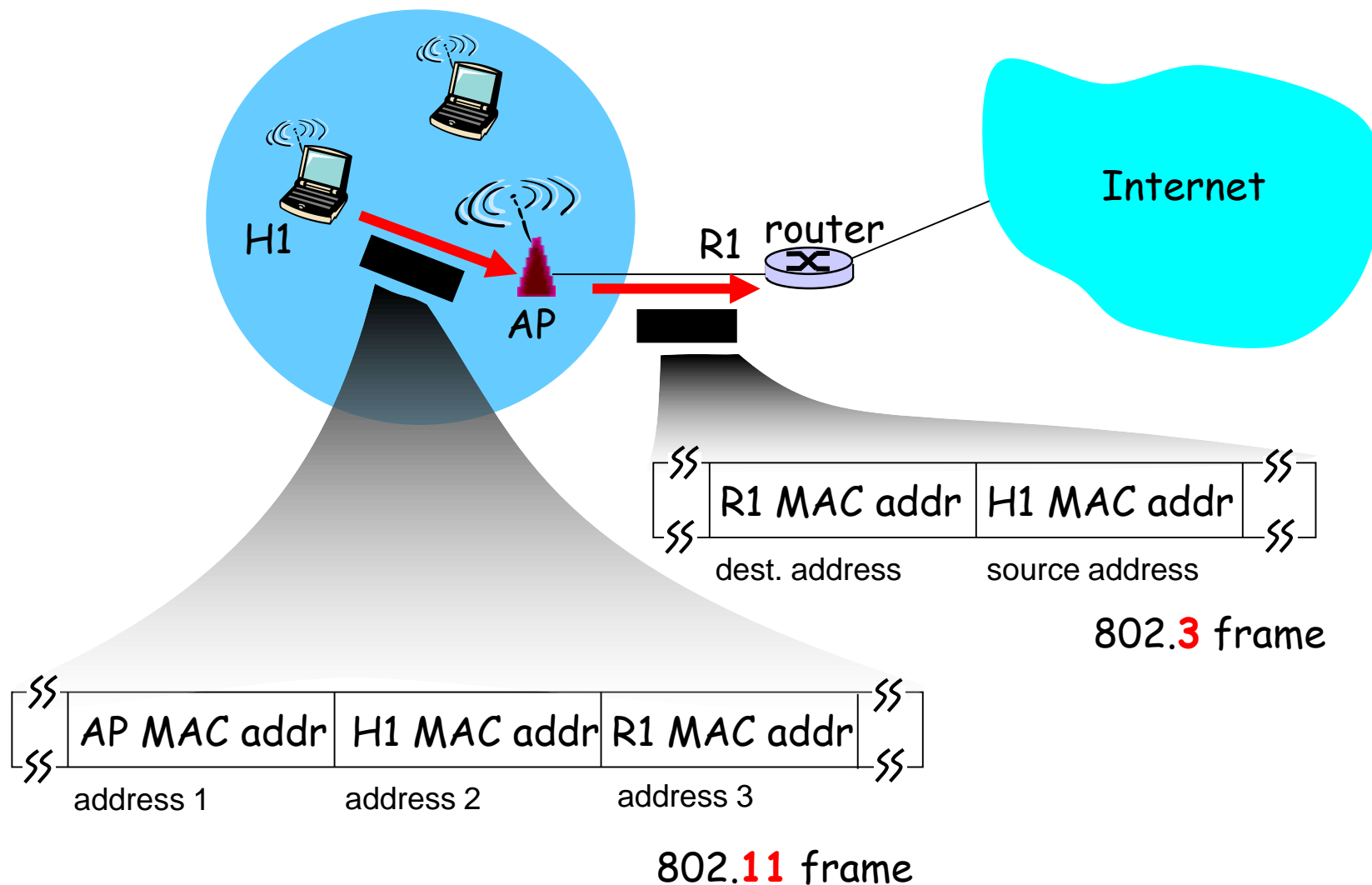
Address 2: 传输该帧的无线主机或AP的MAC地址

Address 3: AP 连接的路由器接口的 MAC 地址

Address 4: 仅在 ad hoc 模式下使用

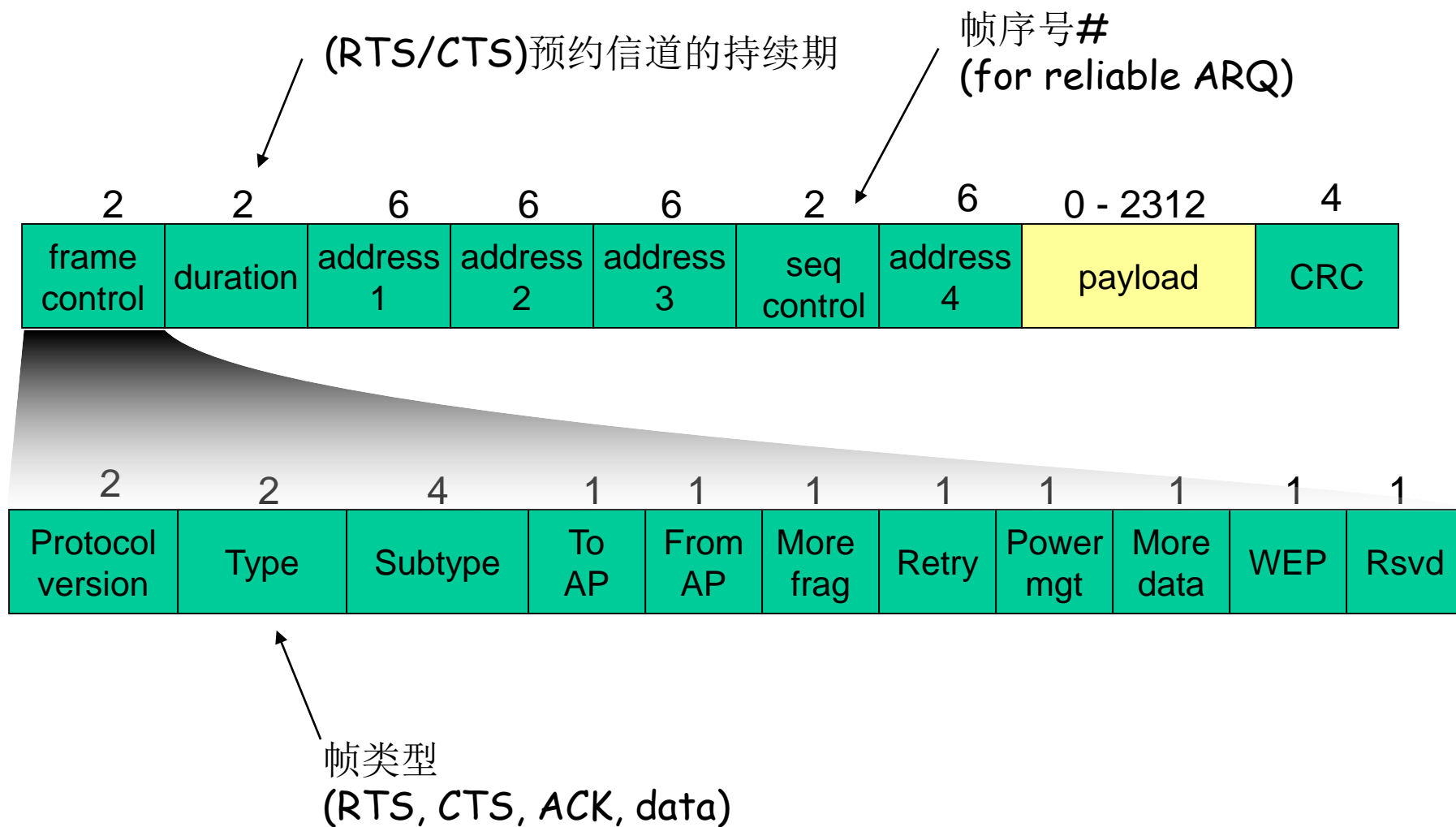


802.11 帧: 地址





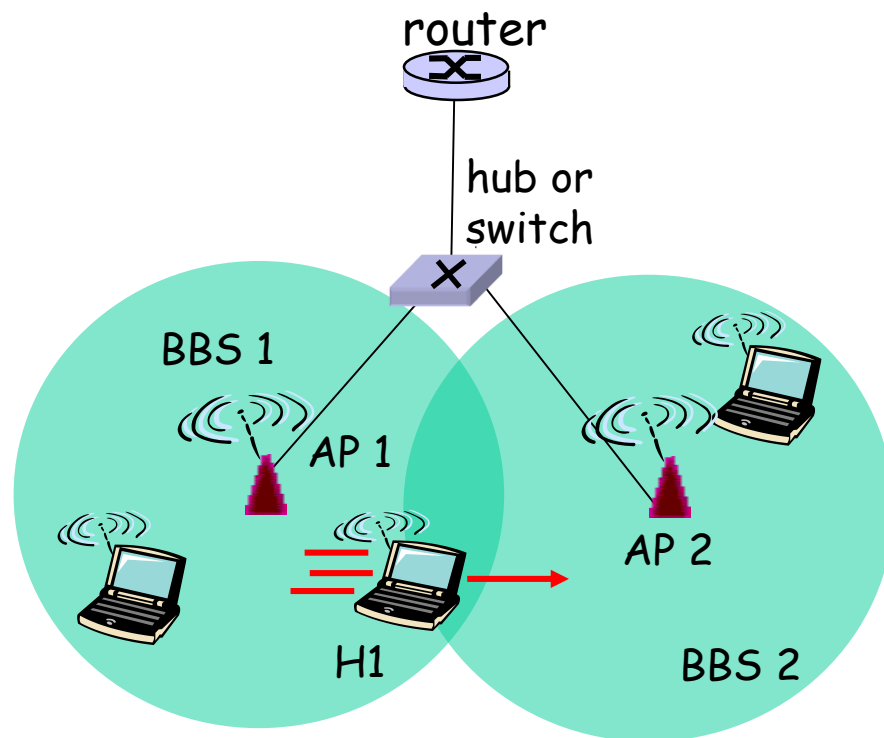
802.11 帧: more





802.11: 在相同IP子网中的移动性

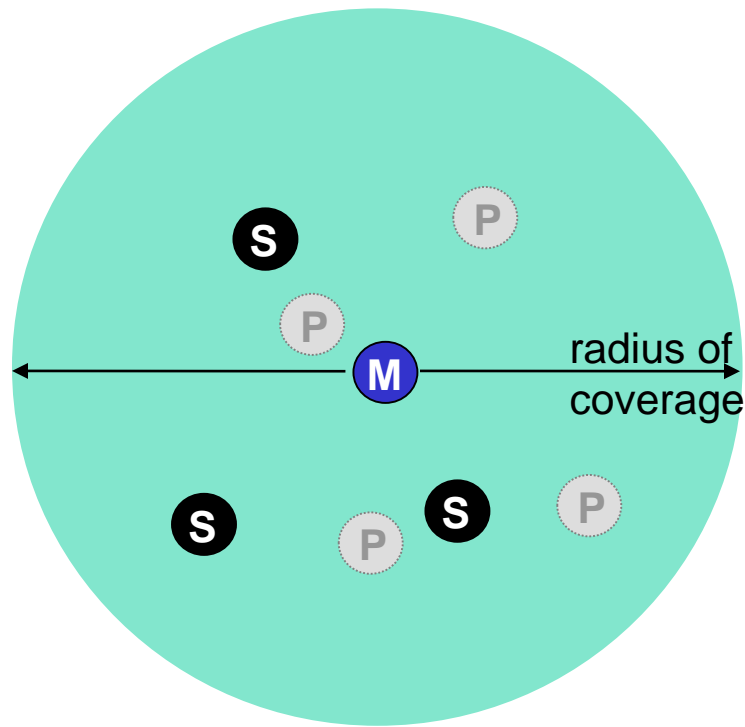
- ❑ 保持在同一个 **IP** 子网中：**IP** 地址可以保持不变
- ❑ 切换：哪个 **AP** 与 **H1** 相关联？
 - 自学习（第 5 章）：交换机将看到来自 **H1** 的帧并“记住”哪个交换机端口可用于到达 **H1**





802.15: 个人域网络：蓝牙和ZigBee

- ❑ 直径小于 10 m
- ❑ 替代电缆（鼠标、键盘、耳机）
- ❑ 自组网：没有基础设施
- ❑ 主节点与从节点：
 - 从节点请求允许发送（到主节点）
 - 主节点允许请求
- ❑ 802.15: 从蓝牙规范演变而来
 - 2.4-2.5 GHz radio band
 - up to 721 kbps



- (M)** Master device
- (S)** Slave device
- (P)** Parked device (inactive)



Chapter 7 outline

7.1 Introduction

无线网络

- 7.2 无线链路和网络特征
 - CDMA
- 7.3 IEEE 802.11 无线 LANs ("wi-fi")
- 7.4 蜂窝因特网接入
 - 架构
 - 标准 (e.g., GSM)

移动网络

- 7.5 移动管理：原理
- 7.6 移动IP
- 7.7 管理蜂窝网中的移动性
- 7.8 无线和移动性：对高层协议的影响

7.9 Summary



蜂窝因特网体系结构

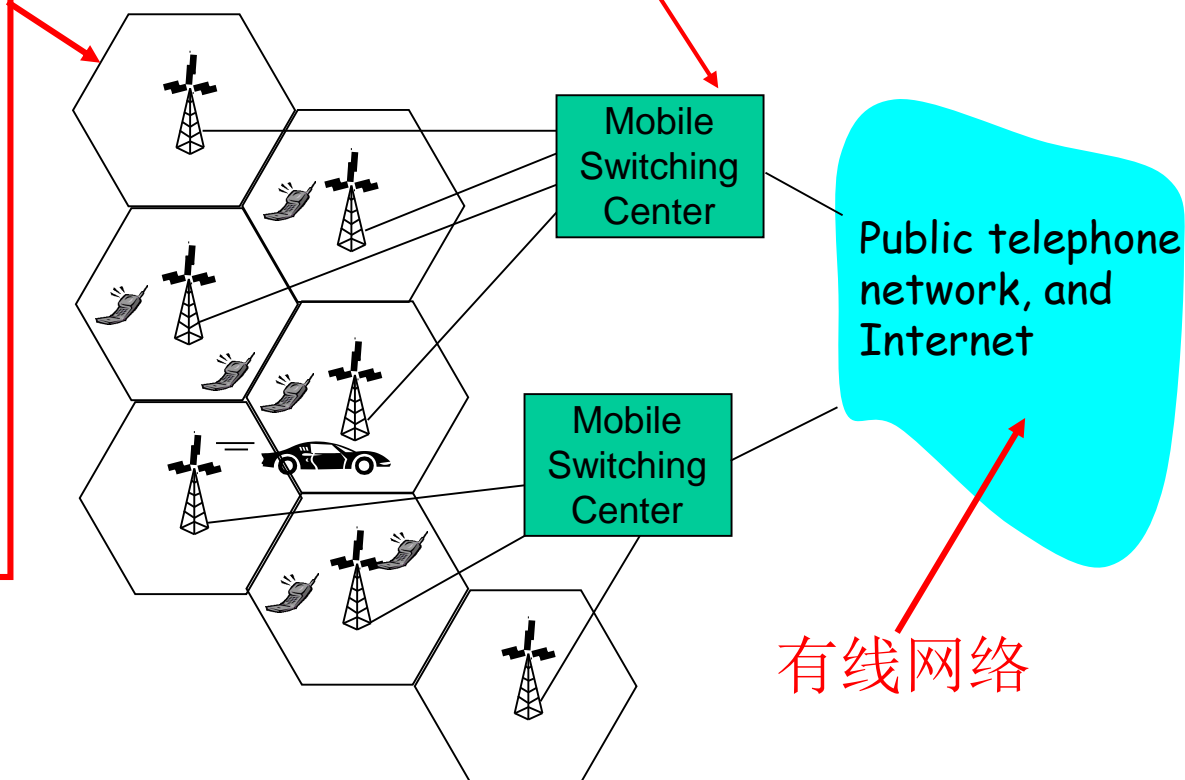
小区 cell

- 覆盖一片区域
- 收发基站 *base station* (BS) 类似于 802.11 中的 AP
- *移动用户* 通过基站连接到网络中
- *空中接口 air-interface*: 移动设备和基站之间的物理层和链路层协议

移动交换中心

MSC

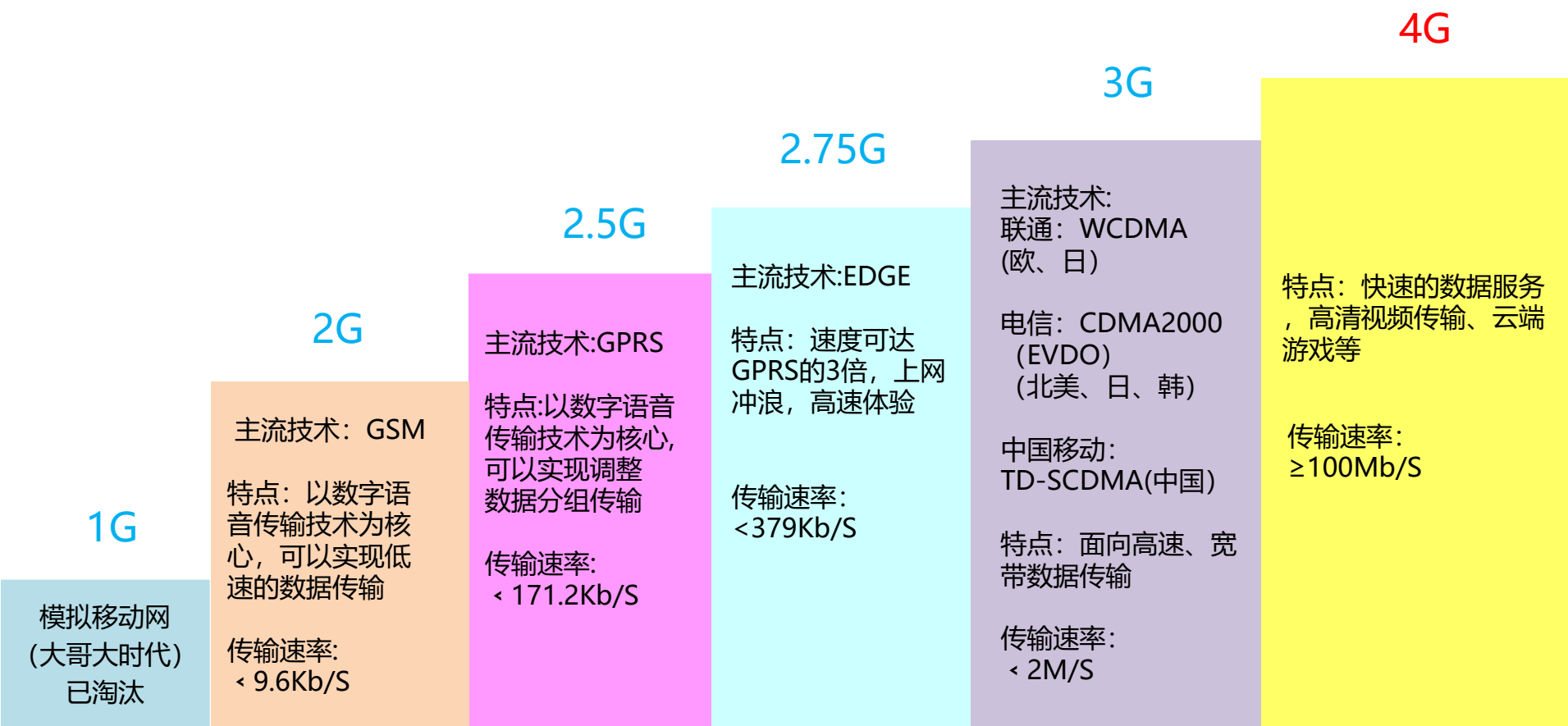
- 连接众多的 cell
- 管理呼叫连接 (more later!)
- 处理移动性 (more later!)



有线网络



移动通信技术发展

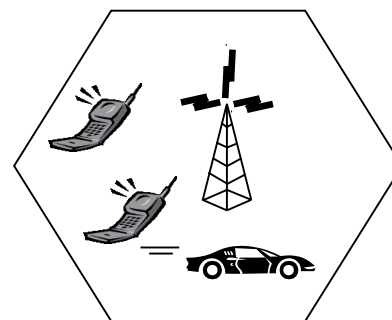




蜂窝网络：第一跳

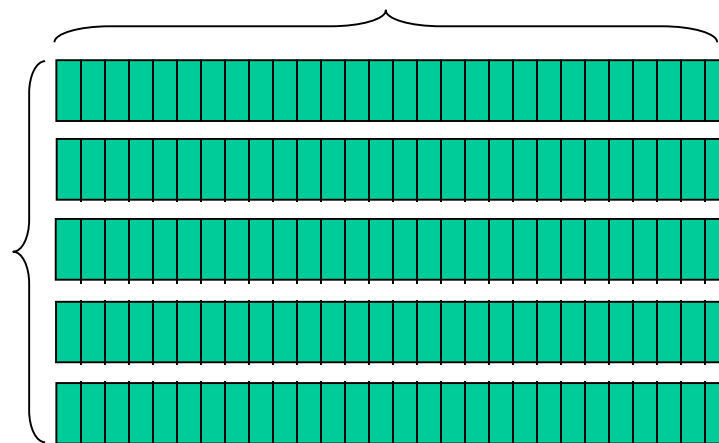
两种技术实现移动端到基站的通信

- 融合FDMA/TDMA: 时分或者频分多路复用
- CDMA: 码分多路复用



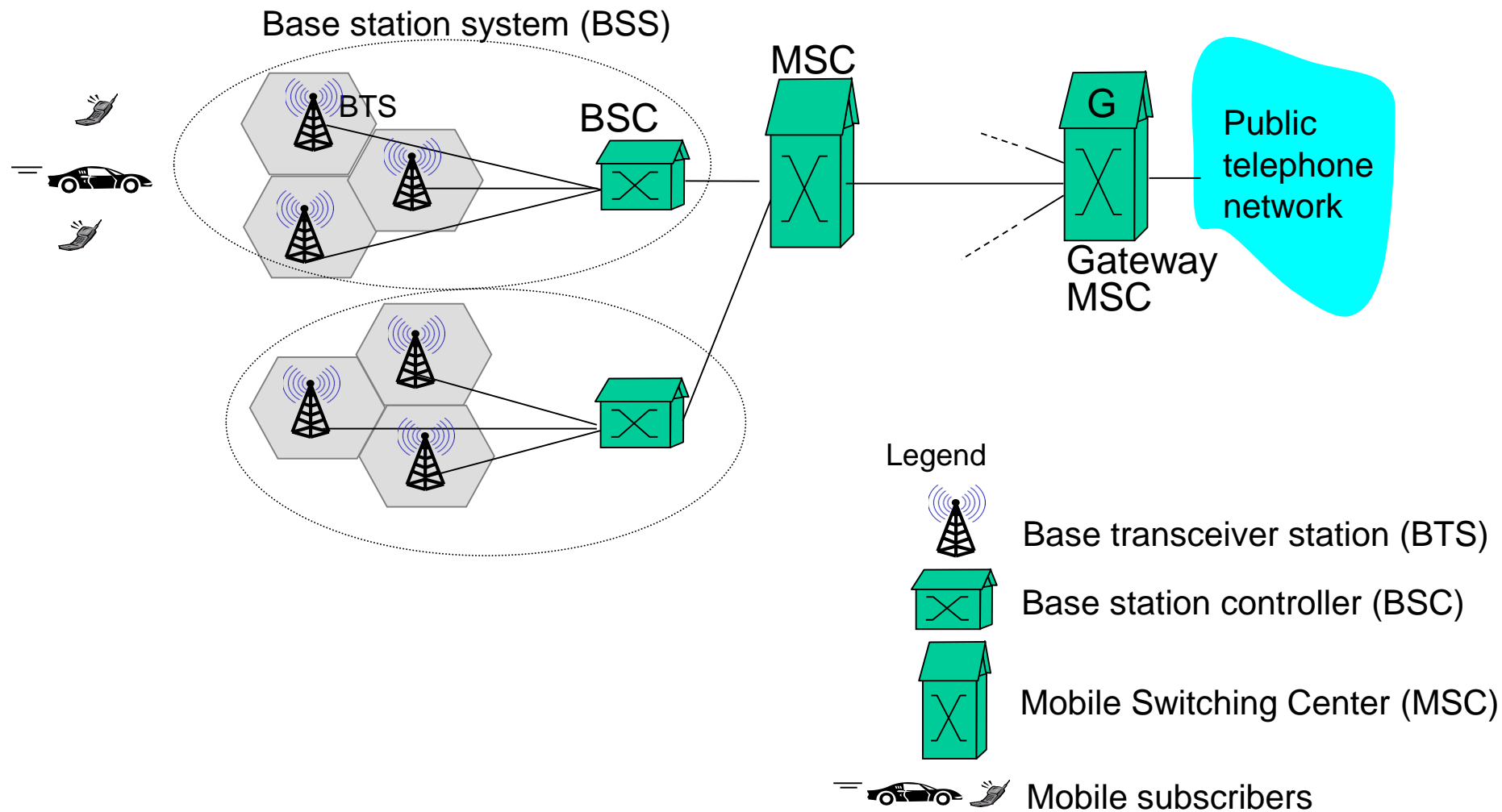
时隙分片

频带



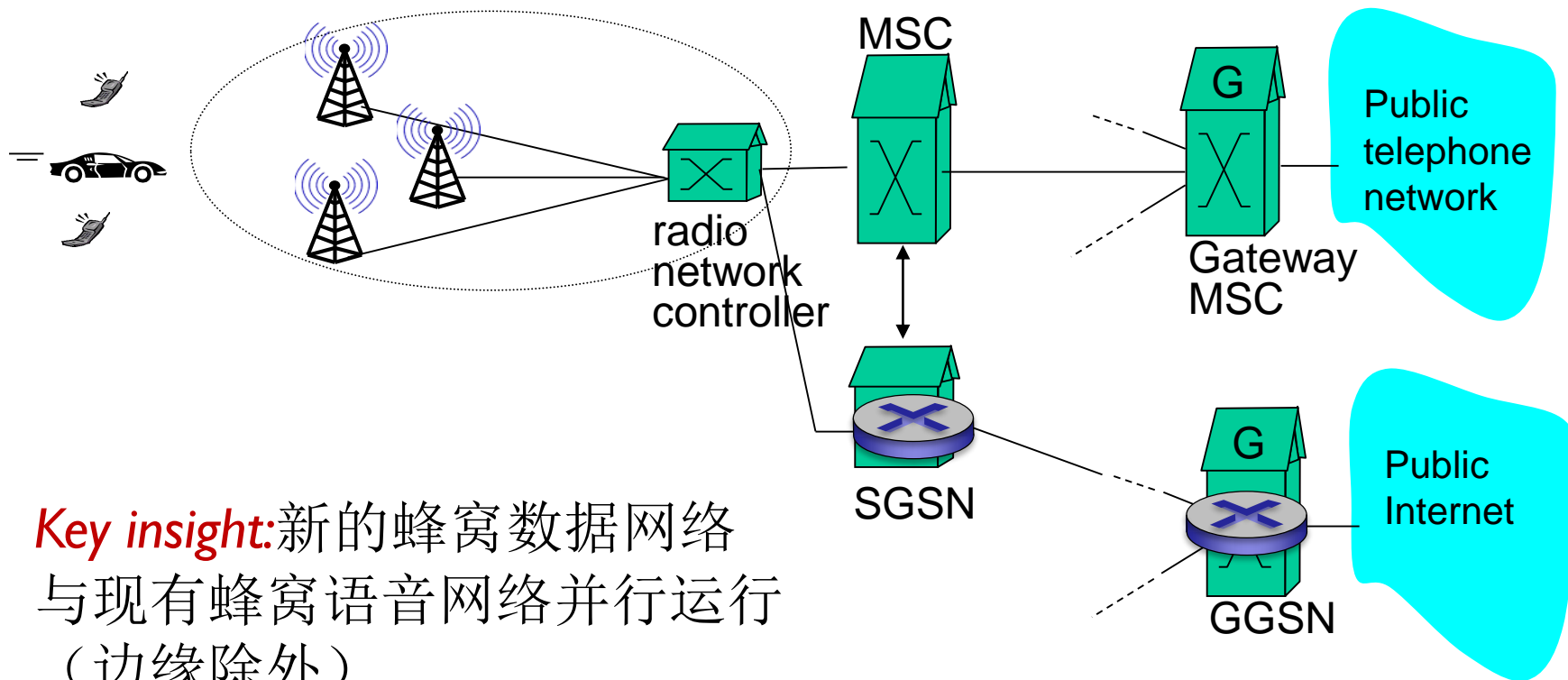


2G (voice) network architecture



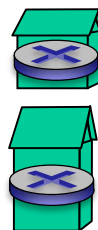


3G (voice+data) network architecture



Key insight:新的蜂窝数据网络
与现有蜂窝语音网络并行运行
(边缘除外)

- voice network unchanged in core
 - data network operates in parallel

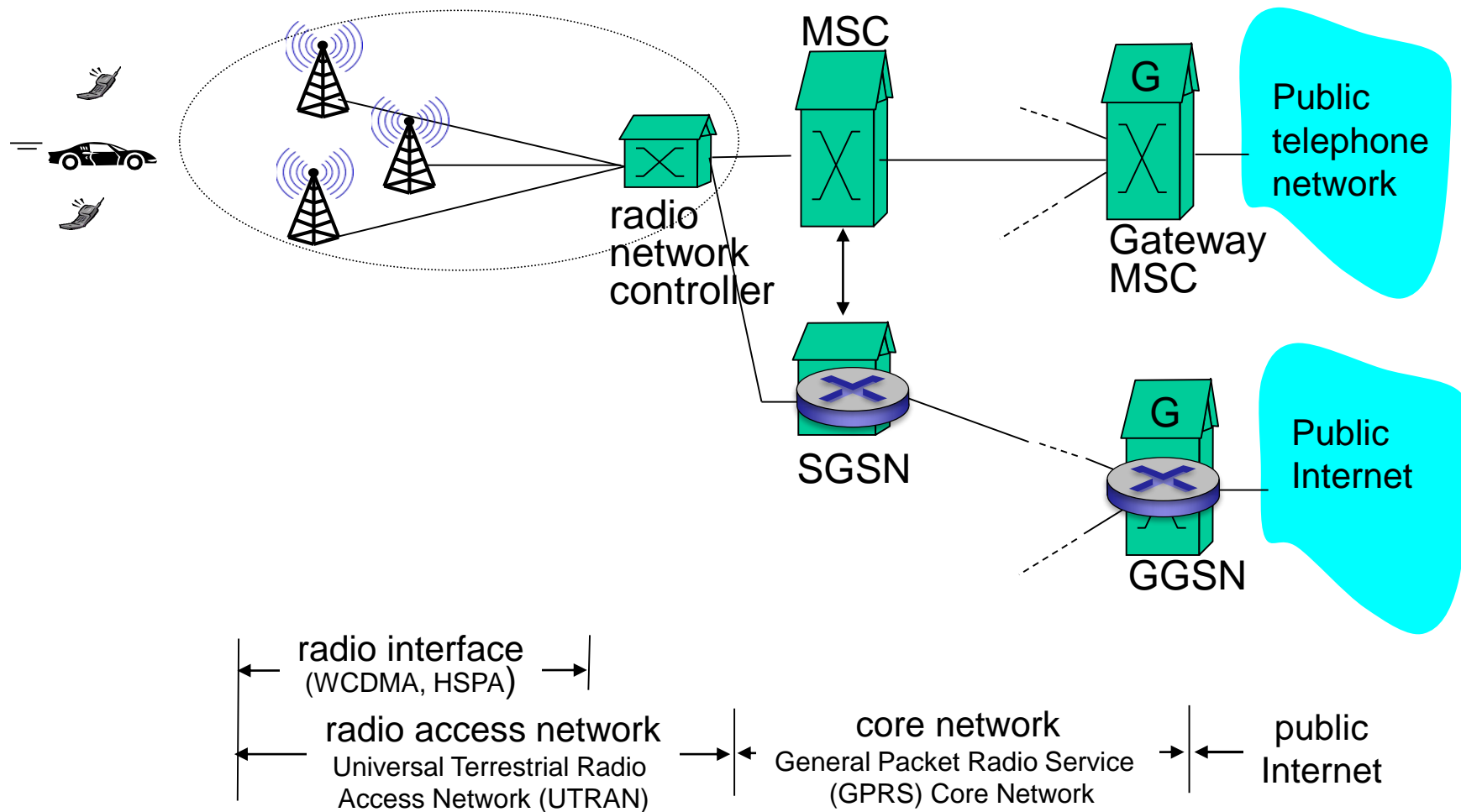


Serving GPRS Support Node (SGSN)

Gateway GPRS Support Node (GGSN)

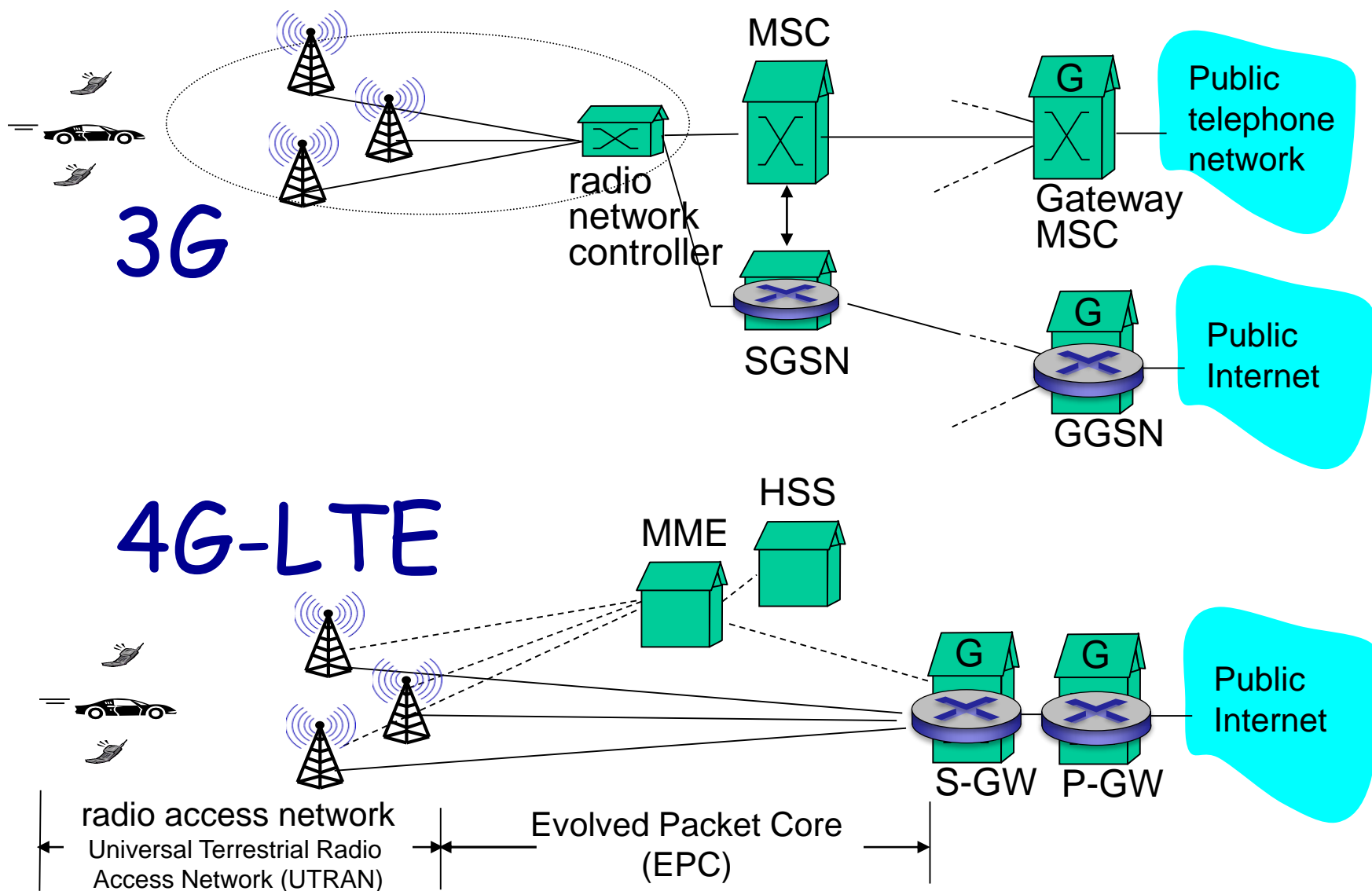


3G (voice+data) network architecture





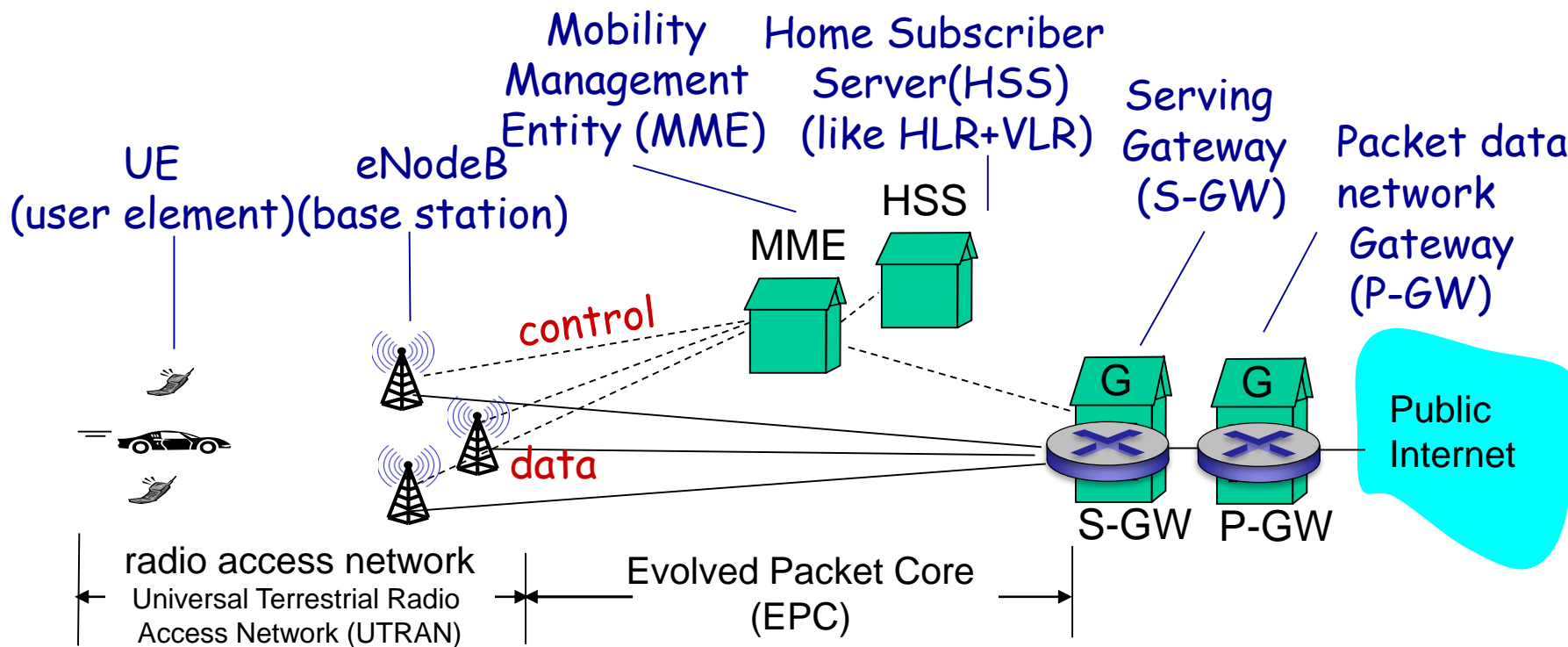
3G versus 4G LTE network architecture





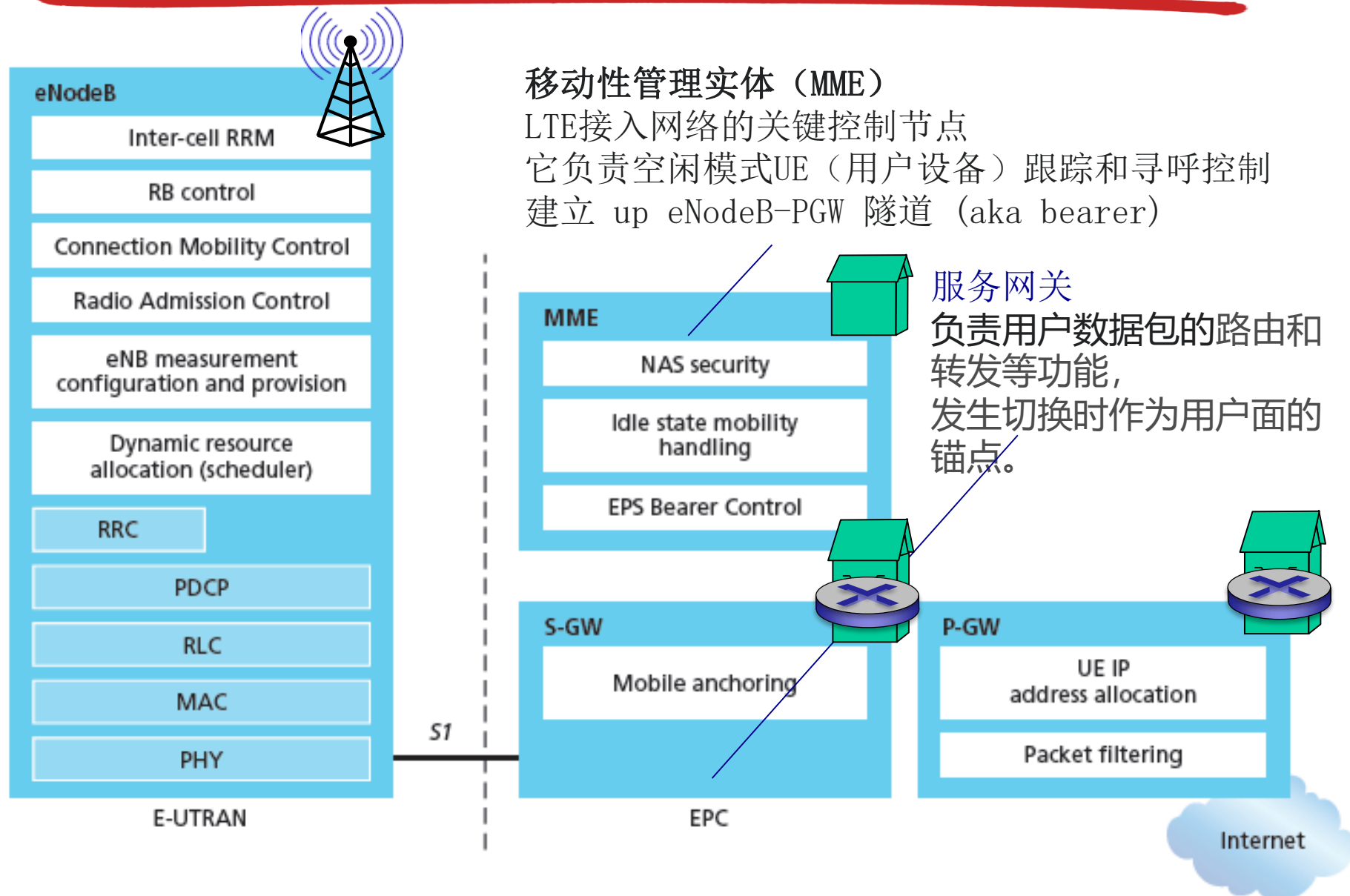
4G: differences from 3G

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





Functional split of major LTE components

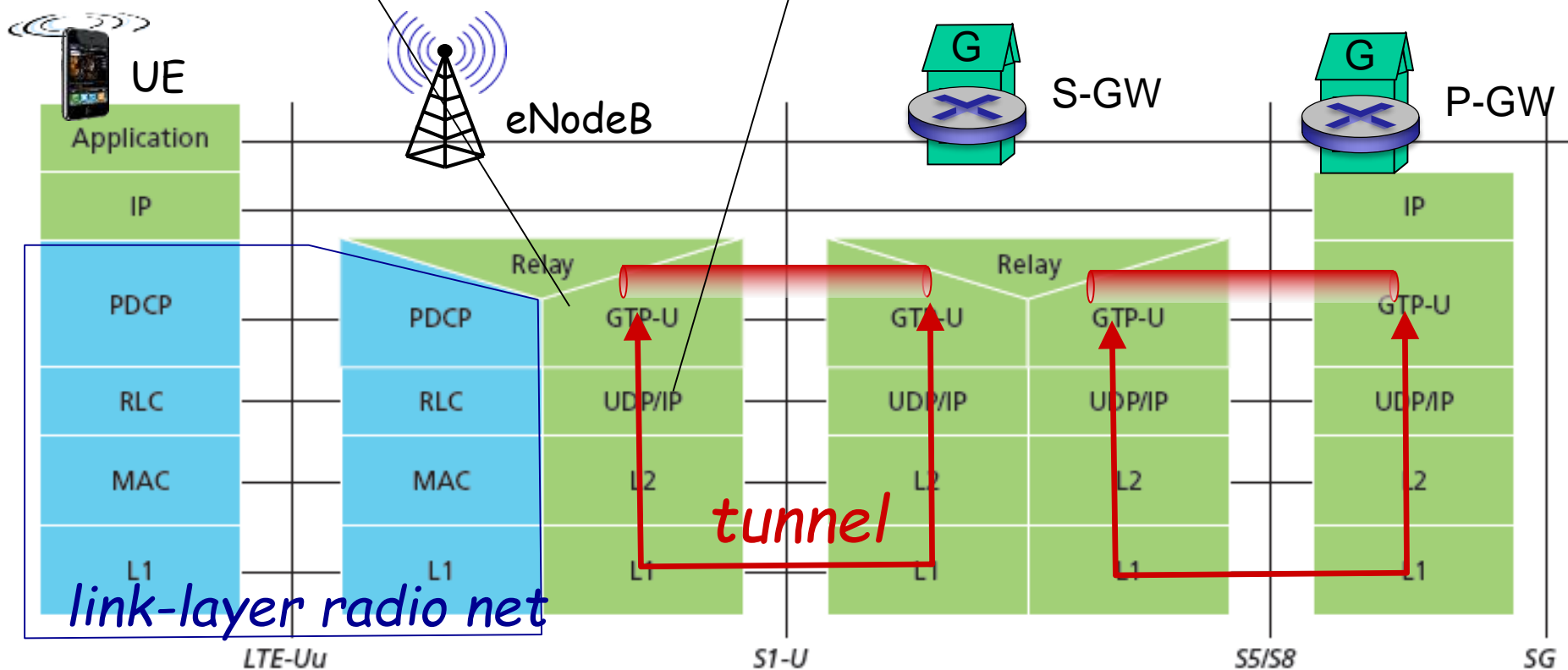




Radio+Tunneling: UE – eNodeB – PGW

IP packet from UE encapsulated in GPRS Tunneling Protocol (GTP) message at ENodeB

GTP message encapsulated in UDP, then encapsulated in IP. large IP packet addressed to SGW





Quality of Service in LTE

- QoS from eNodeB to SGW: min and max guaranteed bit rate
- QoS in radio access network: one of 12 QCI values

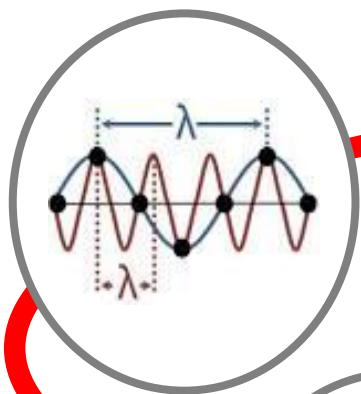
QCI	RESOURCE TYPE	PRIORITY	PACKET DELAY BUDGET (MS)	PACKET ERROR LOSS RATE	EXAMPLE SERVICES
1	GBR	2	100	10^{-2}	Conversational voice
2	GBR	4	150	10^{-3}	Conversational video (live streaming)
3	GBR	5	300	10^{-6}	Non-conversational video (buffered streaming)
4	GBR	3	50	10^{-3}	Real-time gaming
5	Non-GBR	1	100	10^{-6}	IMS signaling
6	Non-GBR	7	100	10^{-3}	Voice, video (live streaming), interactive gaming
7	Non-GBR	6	300	10^{-6}	Video (buffered streaming)
8	Non-GBR	8	300	10^{-6}	TCP-based (for example, WWW, e-mail), chat, FTP, p2p file sharing, progressive video and others
9	Non-GBR	9	300	10^{-6}	



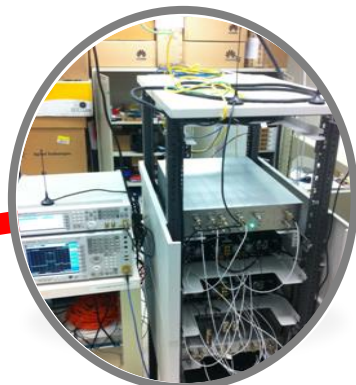
5G主要技术



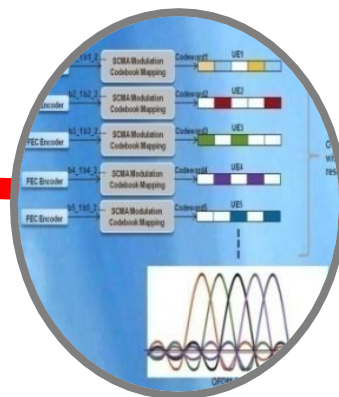
mmWave
(毫米波传输系统)



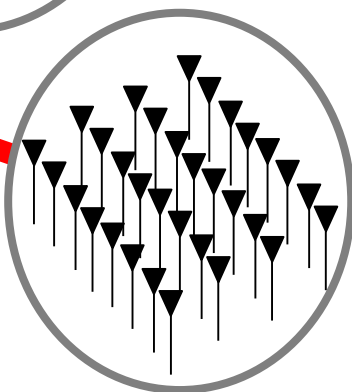
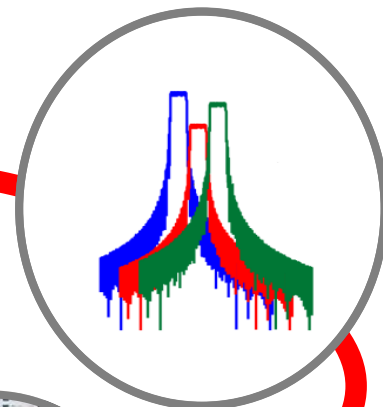
全双工



SCMA



f-OFDM



Massive MIMO



50Gbps基站



100Gbps传输系统

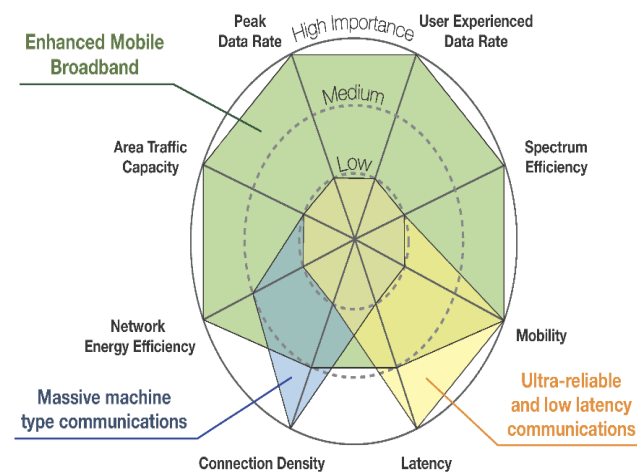
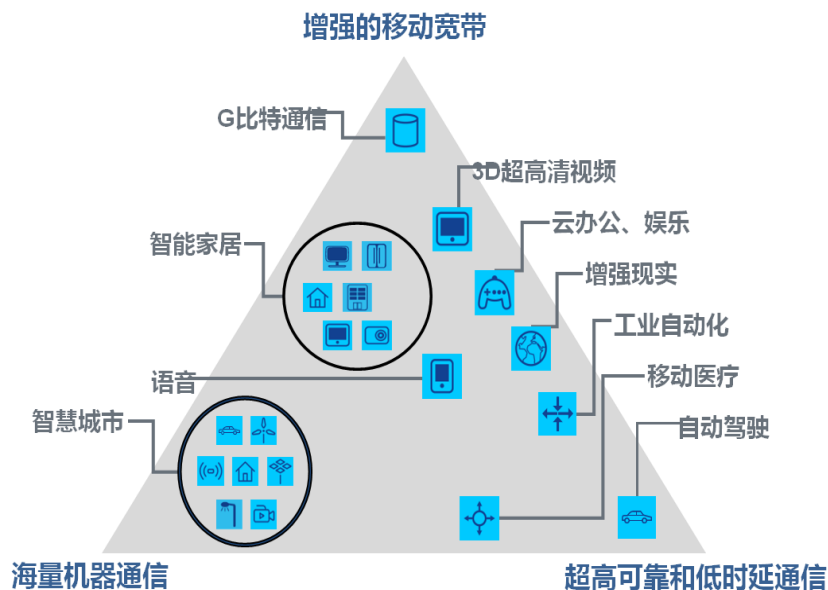


ITU定义的5G八大关键能力



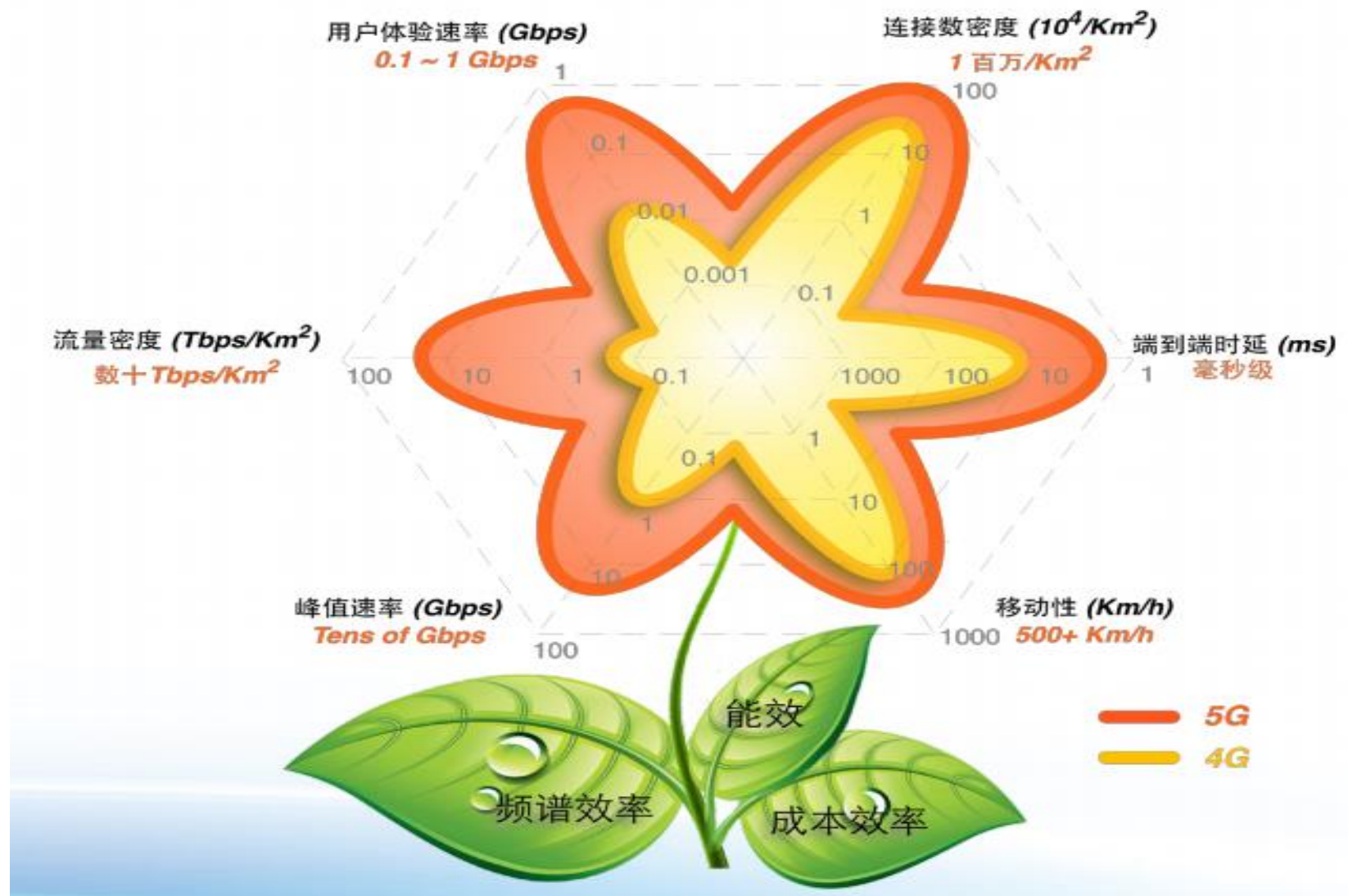
指标名称	流量密度	连接数密度	时延	移动性	能效	用户体验速率	频谱效率	峰值速率
4G参考值	0.1 Tbps/Km ²	10万/km ²	空口10ms	350Km/h	1倍	10 Mbps (urban/suburban)	1倍	1Gbps
5G取值	10 Tbps/Km ²	100万/Km ²	空口1ms	500 Km/h	100倍提升 (网络侧)	0.1-1Gbps	3倍提升 (某些场景5倍)	20Gbps

ITU定义的三大应用场景





中国5G之花





Chapter 7 outline

7.1 Introduction

无线网络

- 7.2 无线链路和网络特征
 - CDMA
- 7.3 IEEE 802.11 无线 LANs ("wi-fi")
- 7.4 蜂窝因特网接入
 - 架构
 - 标准 (e.g., GSM)

移动网络

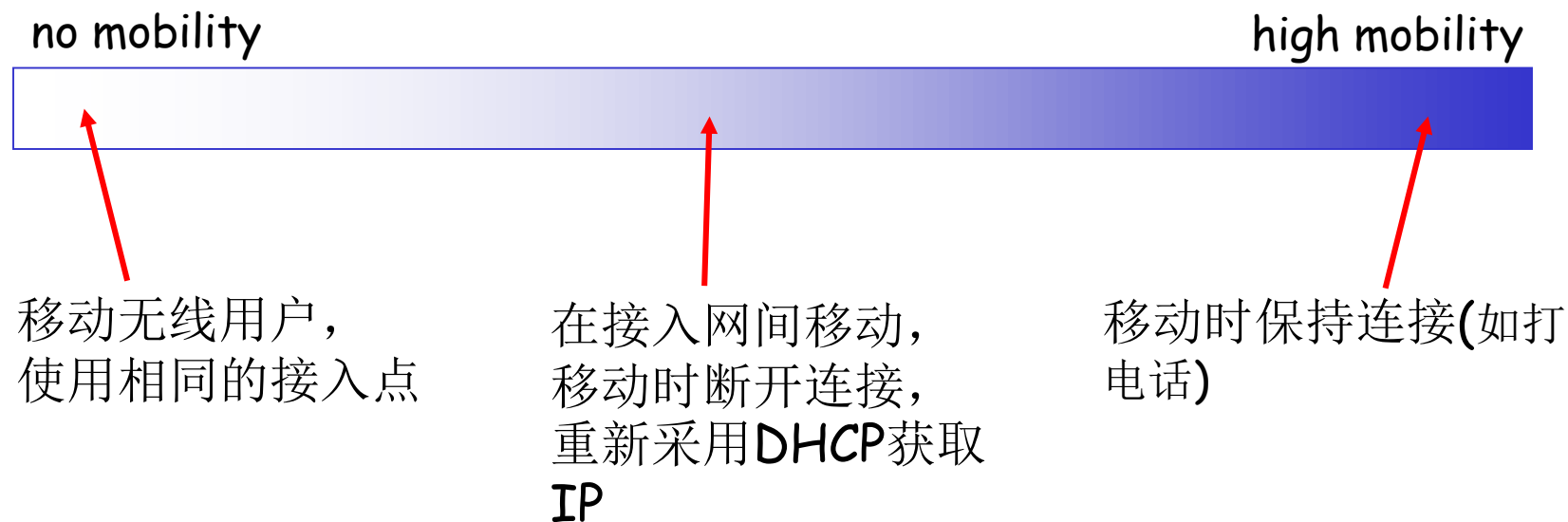
- 7.5 移动管理：原理
- 7.6 移动IP
- 7.7 管理蜂窝网中的移动性
- 7.8 无线和移动性：对高层协议的影响

7.9 Summary



什么是移动性?

□ 从网络层的角度看:





为什么保持地址很重要:

考虑朋友经常换地址，你将如何找到她？

- ❑ 寻找所有可能的地址？
- ❑ 找她的父母？
- ❑ 等待她把新地址告诉你？

I wonder where Alice moved to?





移动管理:方法

- **让路由来处理:** 路由通告移动设备的位置
无法适用于超大规模的移动网络
新路由的方式向其他路由器通告移动设备的位置
 - 路由表指示每个移动设备的位置
 - 端系统无需改变
- **通过端系统来处理:**
 - **间接路由:** 从发送方到接收方的通信经过归属代理, 然后转发到接收方, 接收方具有永久地址
 - **直接路由:** 发送方掌握接收方的最新地址, 直接向接收方发送数据

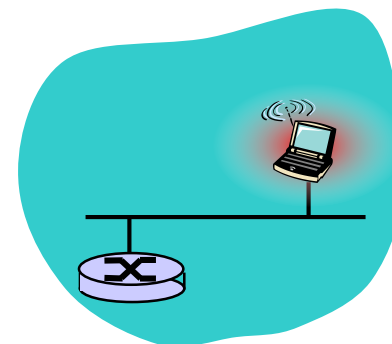
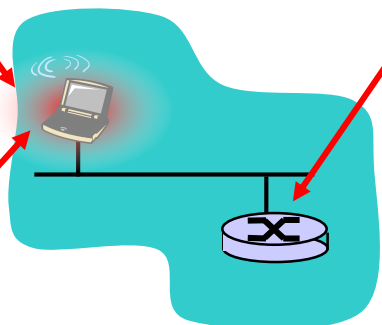


移动管理: 术语

归属网络: 移动节点的永久居所
(e.g., 一个IP子网128.119.40/24)

归属代理: 当设备移动到其他网络后, 将代表移动设备执行移动管理功能

永久地址: 在归属网络中的地址, 可以一直访问到目标设备
e.g., 128.119.40.186



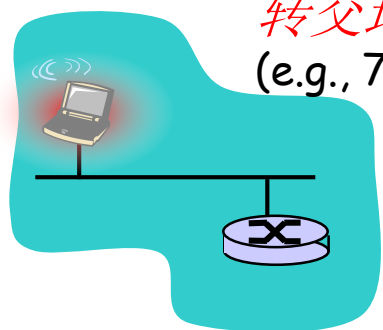


移动管理: 术语

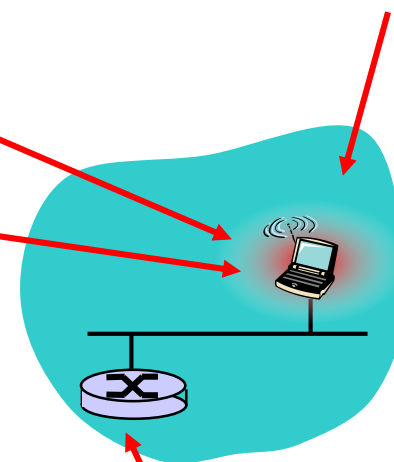
永久地址: 保持不变
(e.g., 128.119.40.186)

被访问网络: 目前移动设备
所属的网络(e.g., 79.129.13/24)

转交地址: 移动设备当前地址
(e.g., 79.129.13.2)

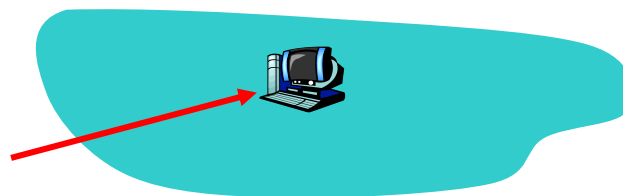


wide area
network



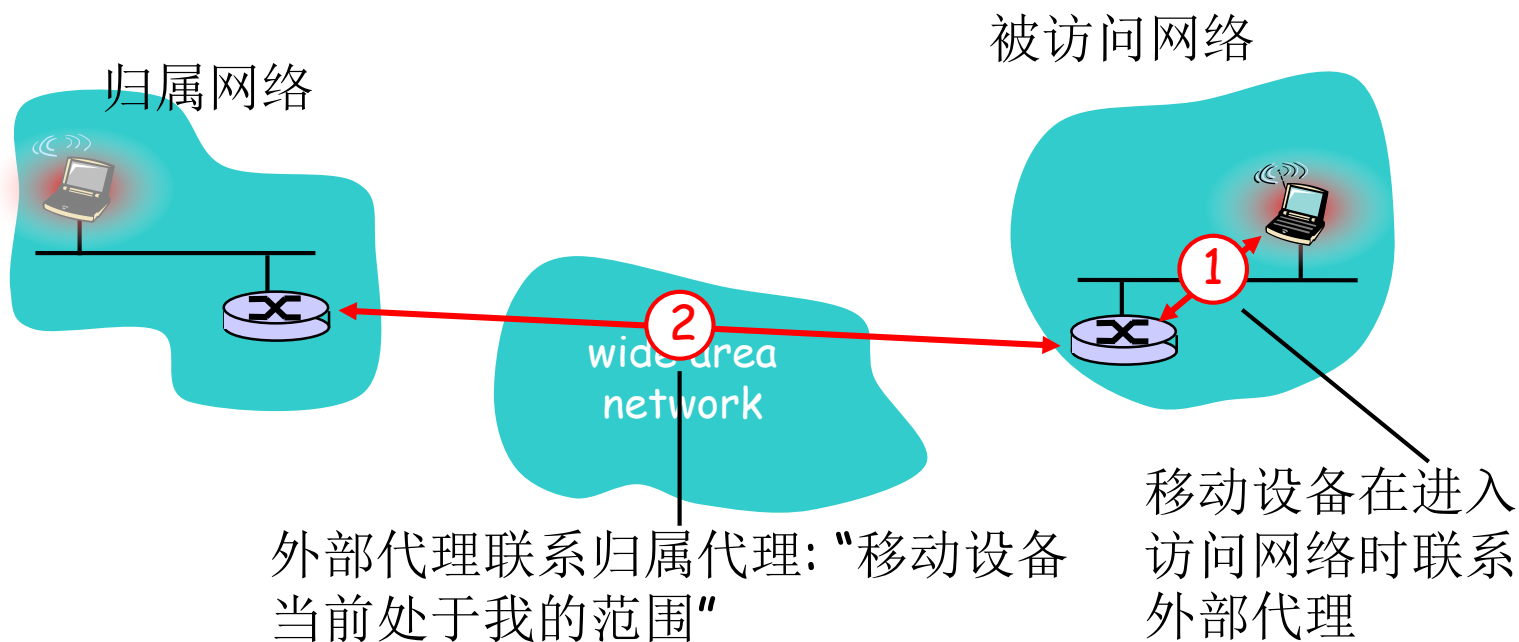
外部代理: 代表移动设备
对外通信。

通信者: 向移动设备发
起通信





移动管理: 注册

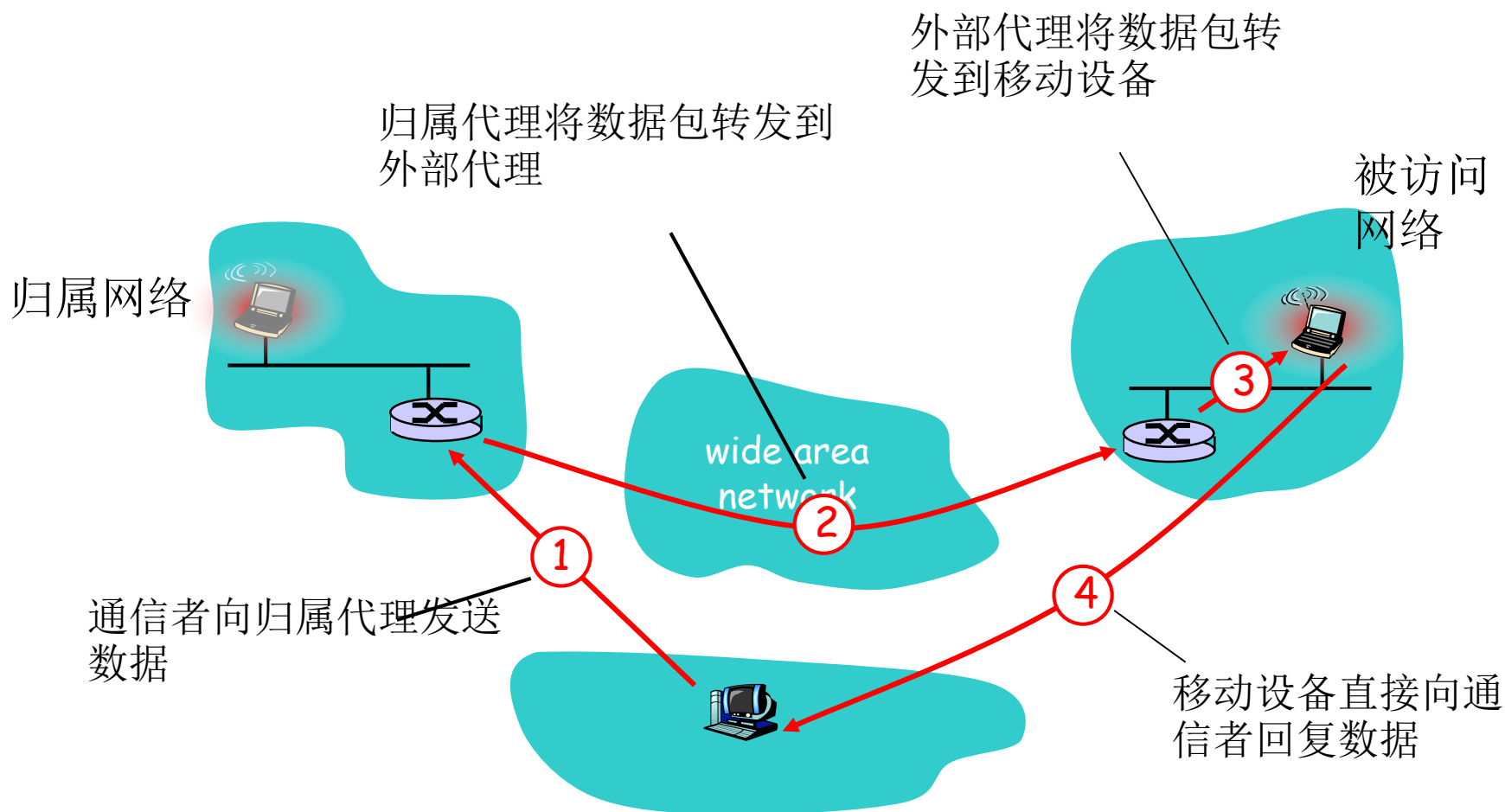


结果:

- ❑ 外部代理掌握移动设备位置
- ❑ 归属代理掌握移动设备位置



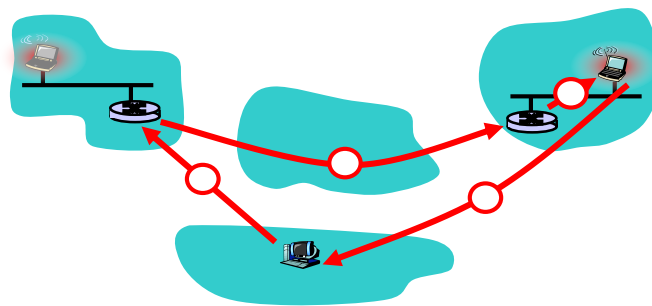
基于间接路由的通信





间接路由: 总结

- 移动设备有两个地址:
 - 永久地址: 通信者访问该地址 (因此设备地理位置对于通信者是透明的)
 - 转交地址: 归属代理向目标设备转发
- 移动设备可以直接作为外部代理
- 三角路由: 通信者-归属网络-移动设备
 - 如果通信者与移动设备在一个子网中, 效率低



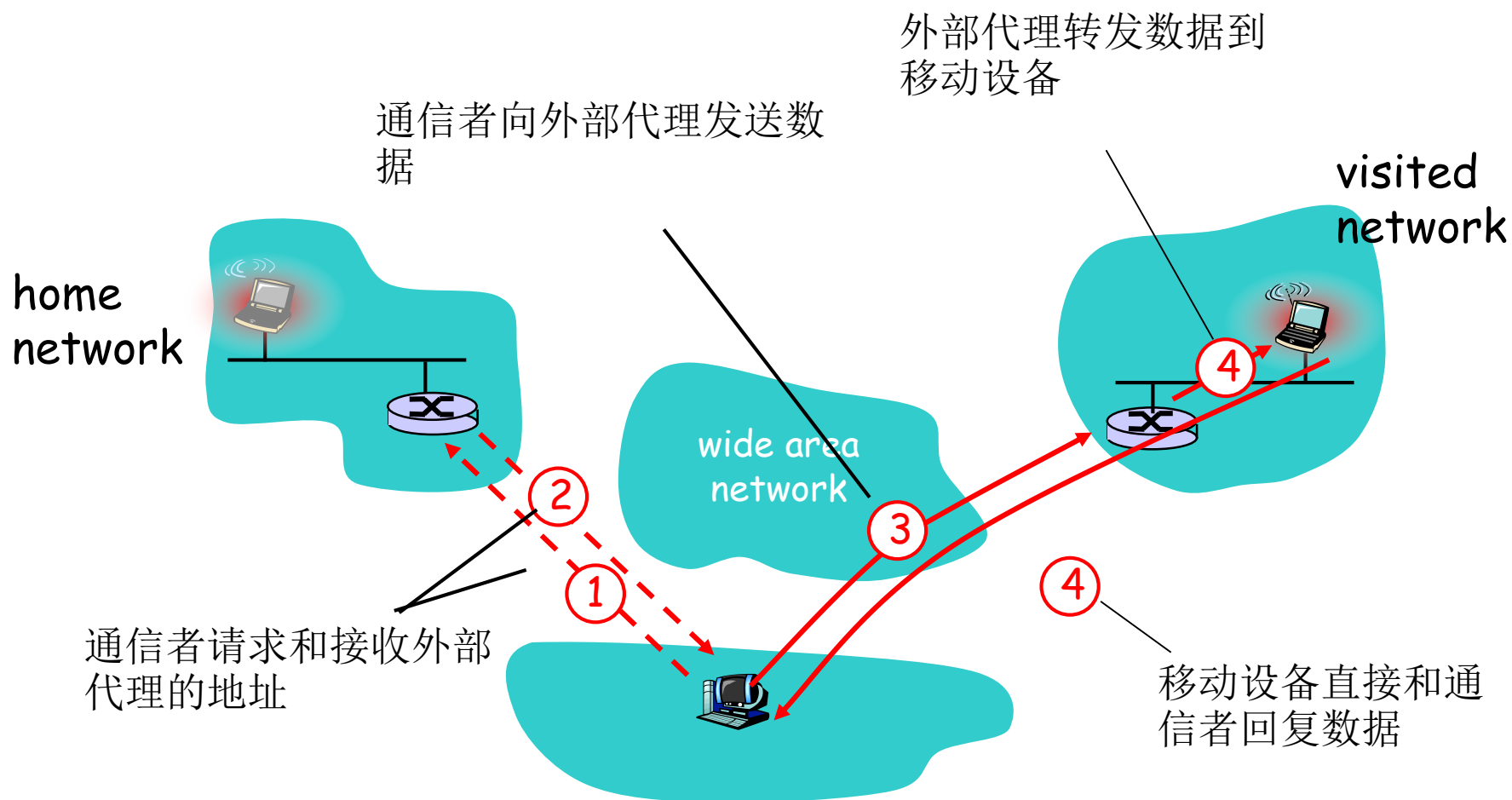


间接路由: 子网间移动

- 假设移动设备移动到另一个网络
 - 在新的外部代理注册
 - 新的外部代理向归属代理注册
 - 归属代理更新转交地址
 - 数据通过新的转交地址发送到移动设备
- 能够保持持续连接!



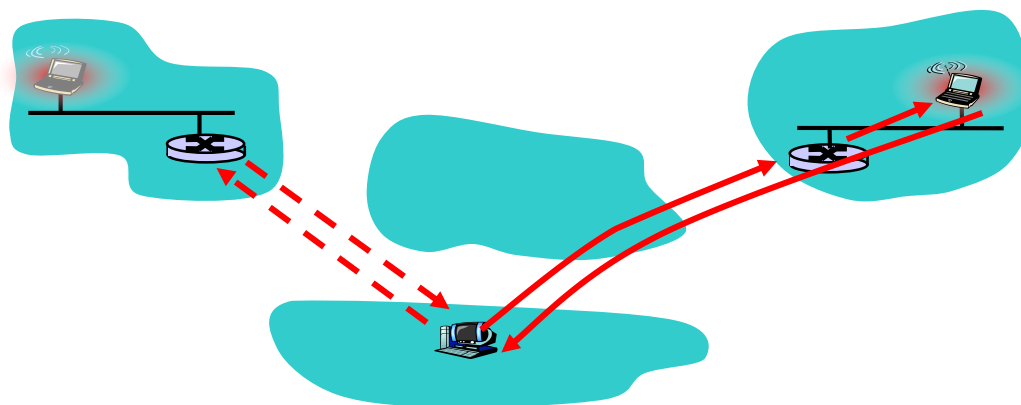
基于直接路由的通信





直接路由:总结

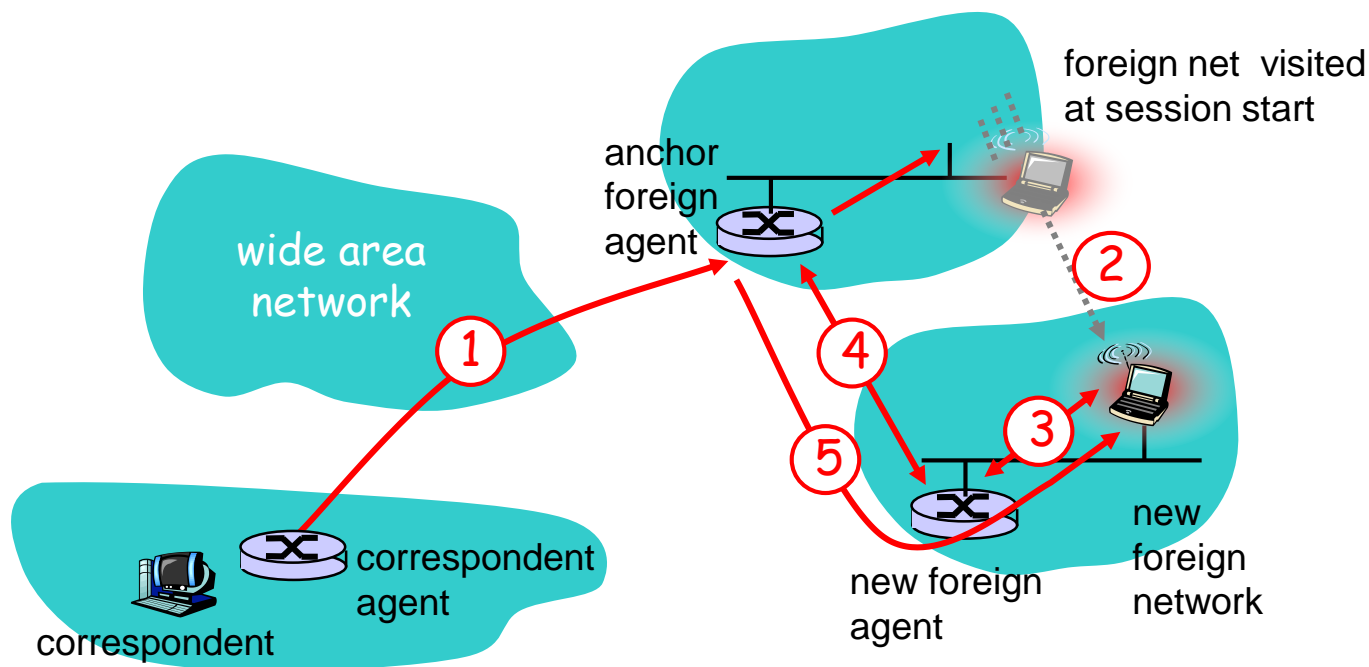
- 解决了三角路由问题
- 对于发送方不是透明的: 发送方必须获取转交地址
 - 如果移动设备变换子网怎么办?





直接路由的移动管理

- ❑ 锚外部代理：第一个发现移动设备的外部代理
- ❑ 数据永远通过锚外部代理转发
- ❑ 设备移动后：新的外部代理将转交地址发送给锚外部代理





Chapter 7 outline

7.1 Introduction

无线网络

- 7.2 无线链路和网络特征
 - CDMA
- 7.3 IEEE 802.11 无线 LANs ("wi-fi")
- 7.4 蜂窝因特网接入
 - 架构
 - 标准 (e.g., GSM)

移动网络

- 7.5 移动管理：原理
- 7.6 移动IP
- 7.7 管理蜂窝网中的移动性
- 7.8 无线和移动性：对高层协议的影响

7.9 Summary



移动 IP

□ RFC 3344

□ 特性:

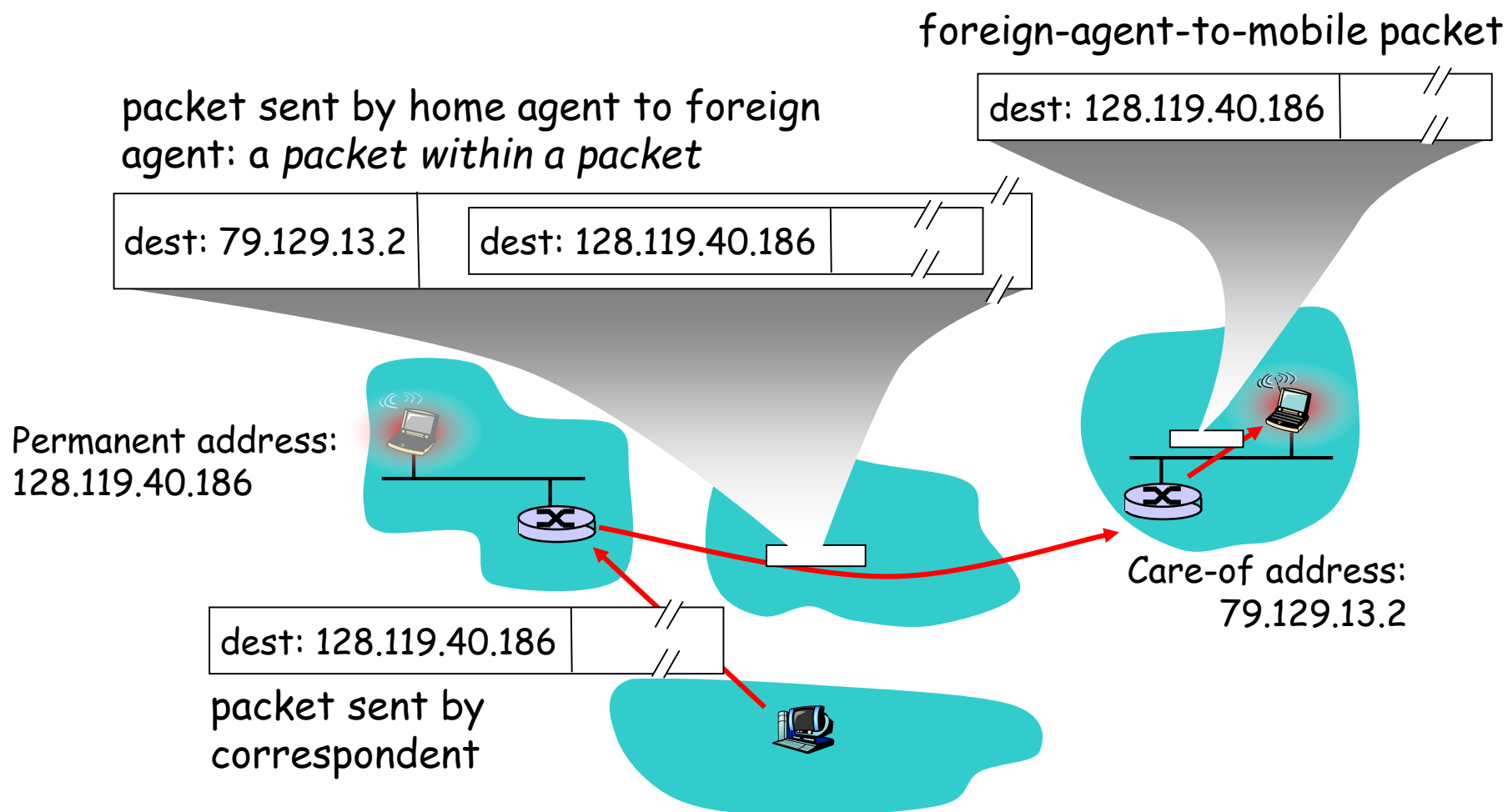
- 归属代理, 外部代理, 外部代理注册, 转交地址、封装 (归属代理将数据报封装到一个新的数据报中)

□ 三个组成部分:

- 间接路由
- 代理发现
- 向归属代理注册



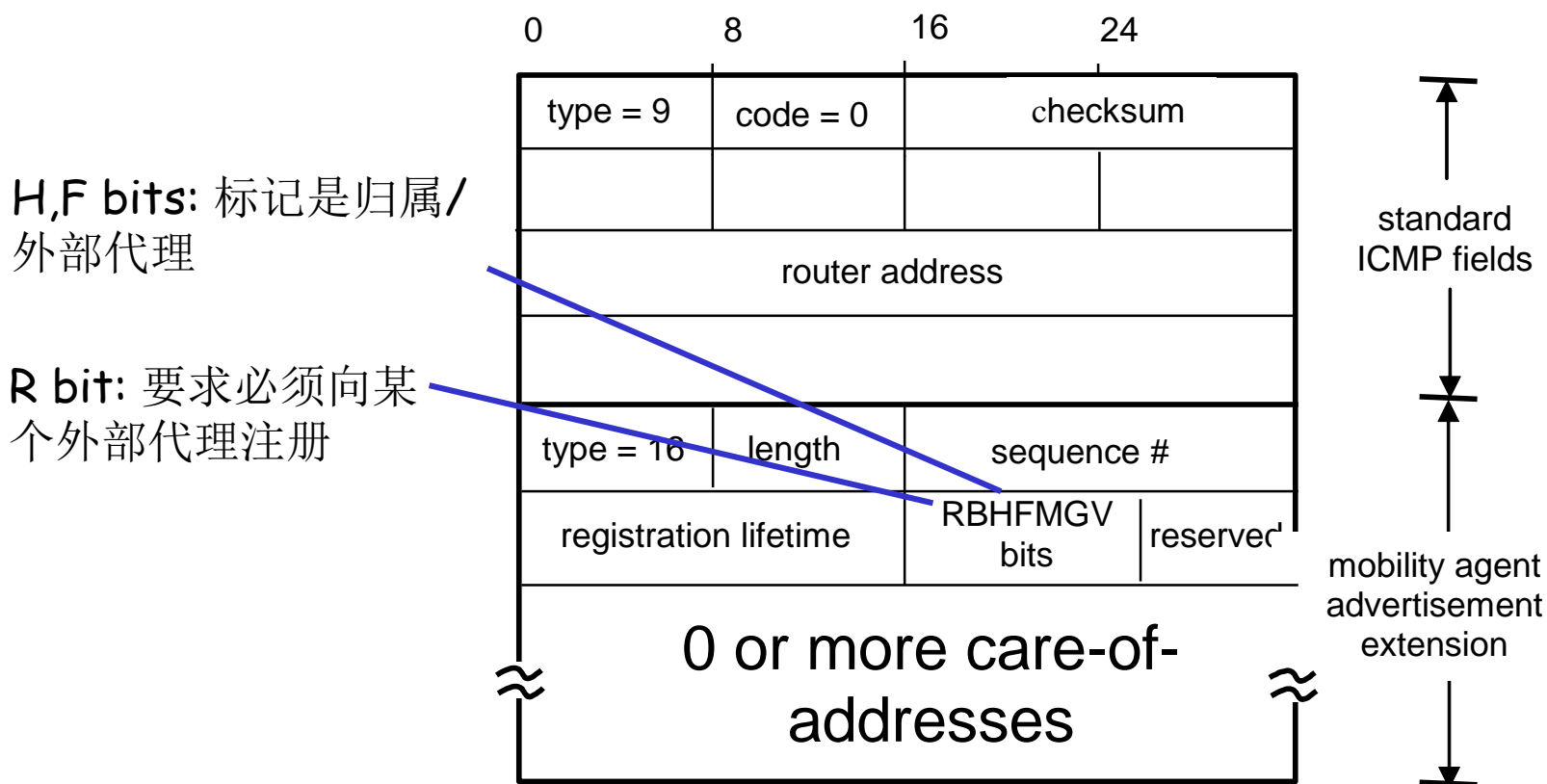
移动IP: 间接路由





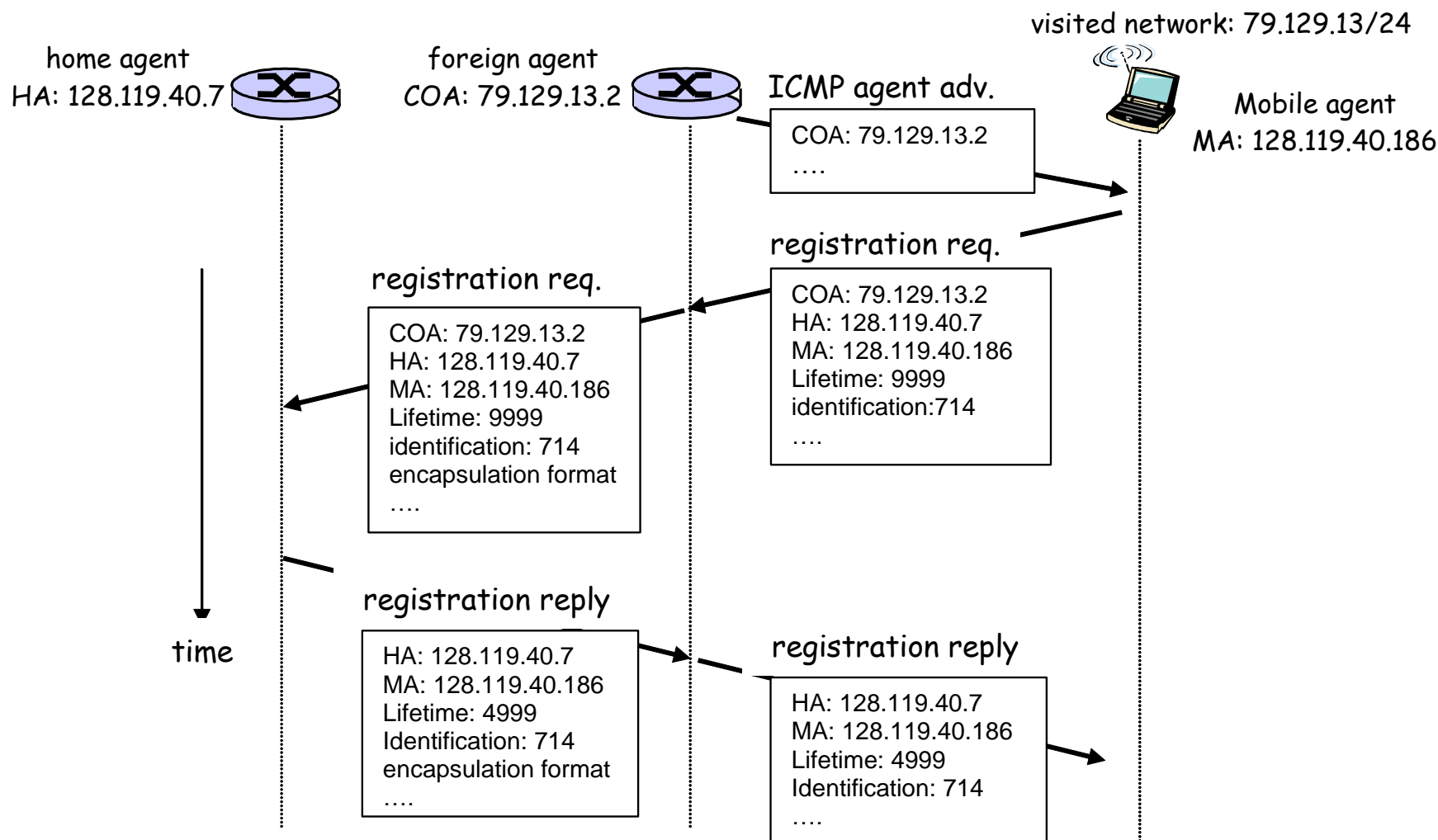
移动 IP: 代理发现

- **代理通告:** 外部/归属代理在所有链路上广播**ICMP**报文，允许移动端获取该**IP** (类型字段 = 9)





移动 IP: 注册过程





Chapter 7 outline

7.1 Introduction

无线网络

- 7.2 无线链路和网络特征
 - CDMA
- 7.3 IEEE 802.11 无线 LANs ("wi-fi")
- 7.4 蜂窝因特网接入
 - 架构
 - 标准 (e.g., GSM)

移动网络

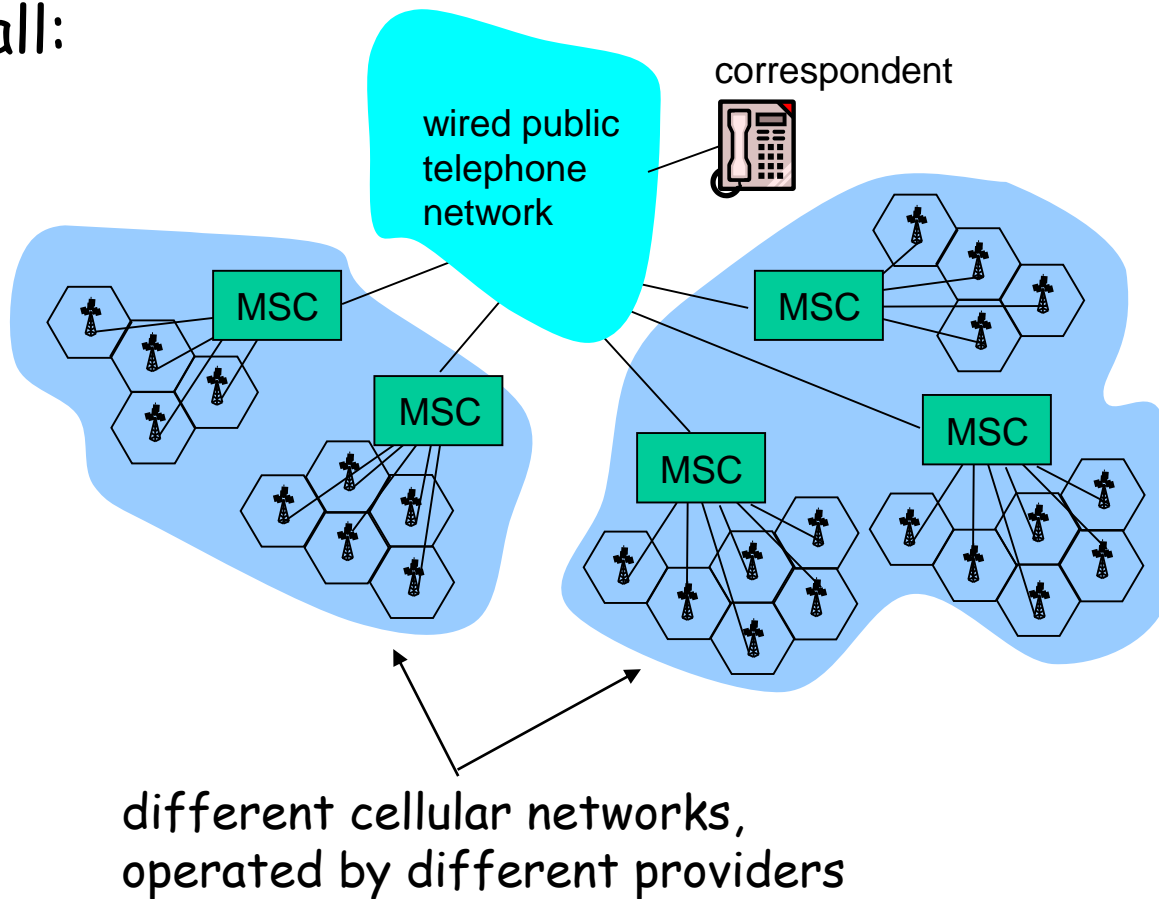
- 7.5 移动管理：原理
- 7.6 移动IP
- 7.7 管理蜂窝网中的移动性
- 7.8 无线和移动性：对高层协议的影响

7.9 Summary



蜂窝网络的体系结构

recall:



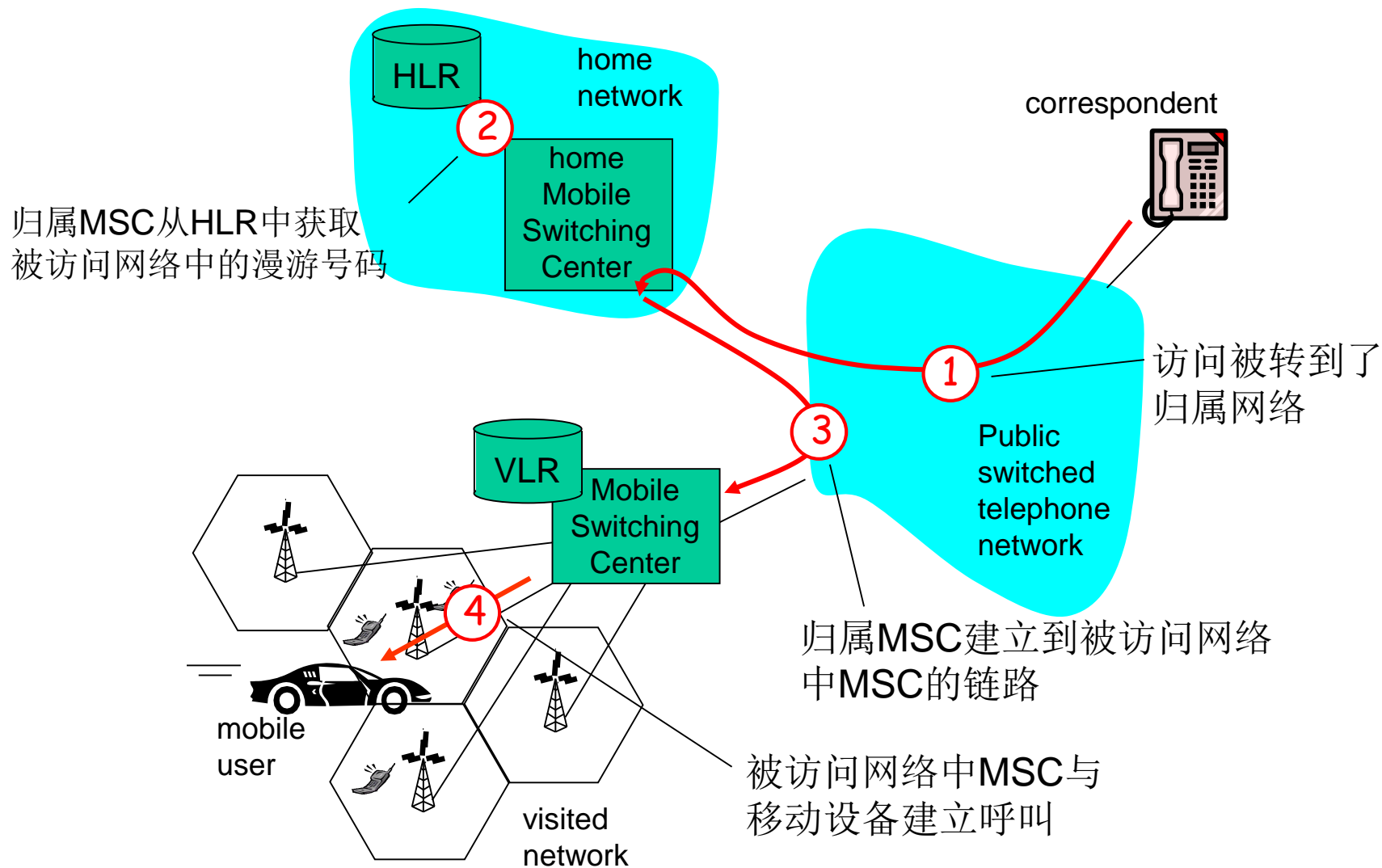


蜂窝网中的移动管理

- **归属网络:** 移动电话注册的蜂窝网(e.g., Sprint PCS, Verizon)
 - **归属位置注册器home location register (HLR):** 归属网络中的数据库, 包含永久手机号码、个人资料信息(服务、偏好、账单)、有关当前位置的信息(可能在另一个网络中)
- **被访问网络:** 移动电话目前的网络
 - **访问者位置注册visitor location register (VLR):** 包含当前网络中每个用户的条目的数据库
 - 也可能是归属网络

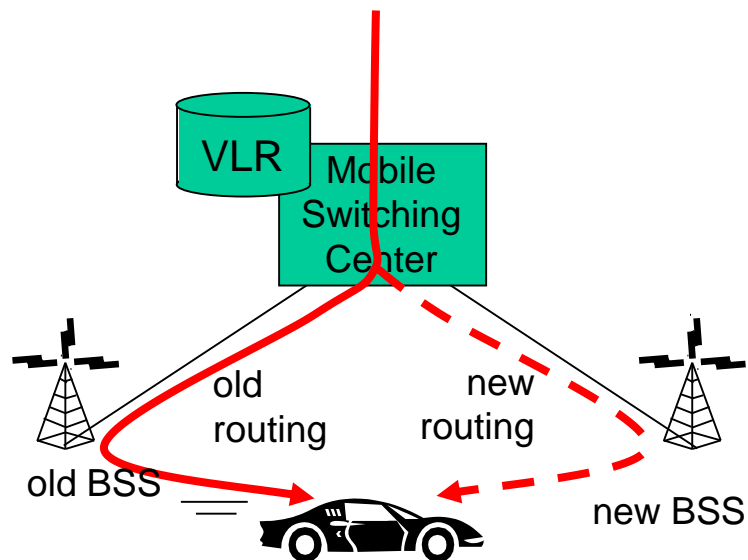


GSM: 间接路由到移动设备





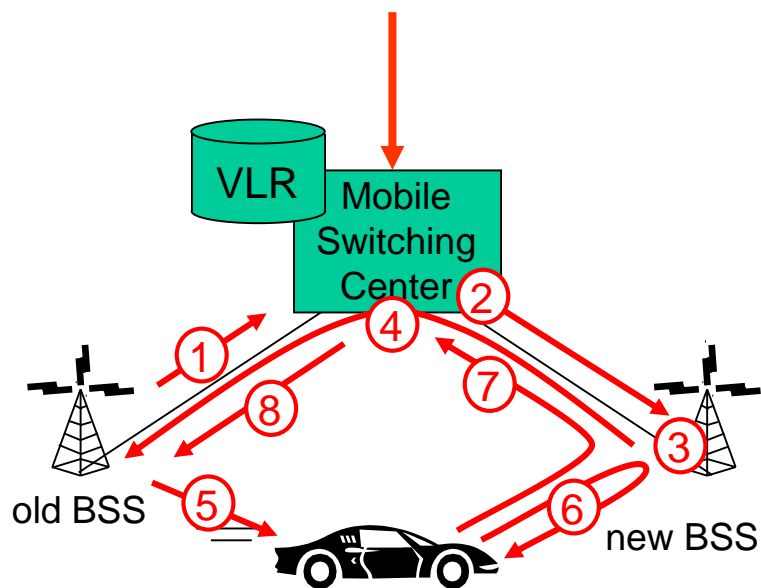
GSM: 在MSC中切换



- 切换目标: 将呼叫路由到其他基站 (无中断)
- 切换的理由:
 - 新基站信号更强 (保持连接, 减少电池消耗)
 - 负载均衡: 释放当前基站的信道
 - 切换由原基站发起



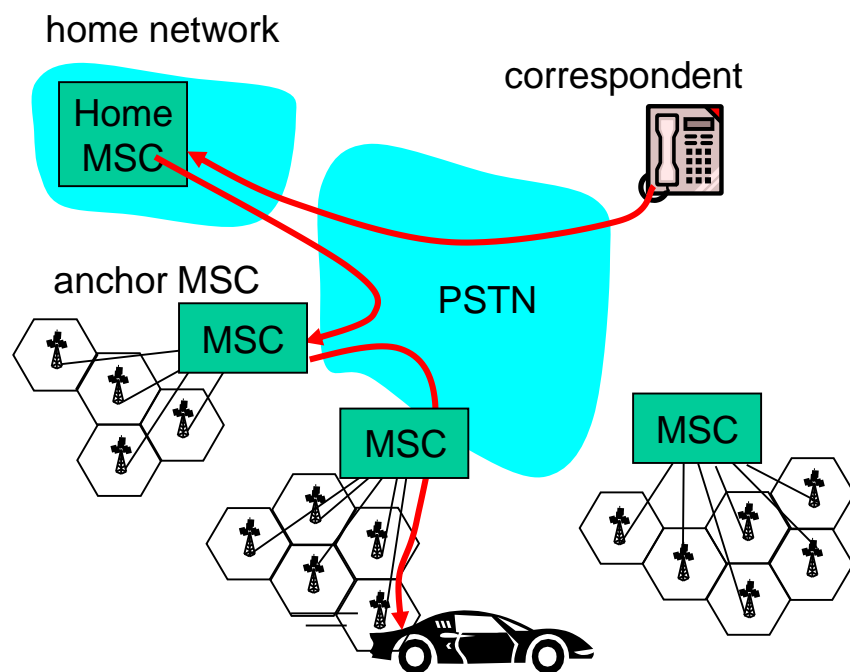
GSM: 在MSC中切换



1. 旧基站BSS向被访问 MSC 通知将要切换到新的基站
2. 被访问MSC 建立到新基站的路径
3. 新基站分配并激活一个无线信道供移动用户使用
4. 新基站发出信令返回被访问MSC和旧BS，准备完毕
5. 旧基站通知移动端即将发生切换
6. 移动端与新基站交互报文以激活信道
7. 移动端的数据通过新基站转给MSC：切换完成
8. 沿着旧基站的路径所分配的资源被释放



GSM: 在MSC间切换

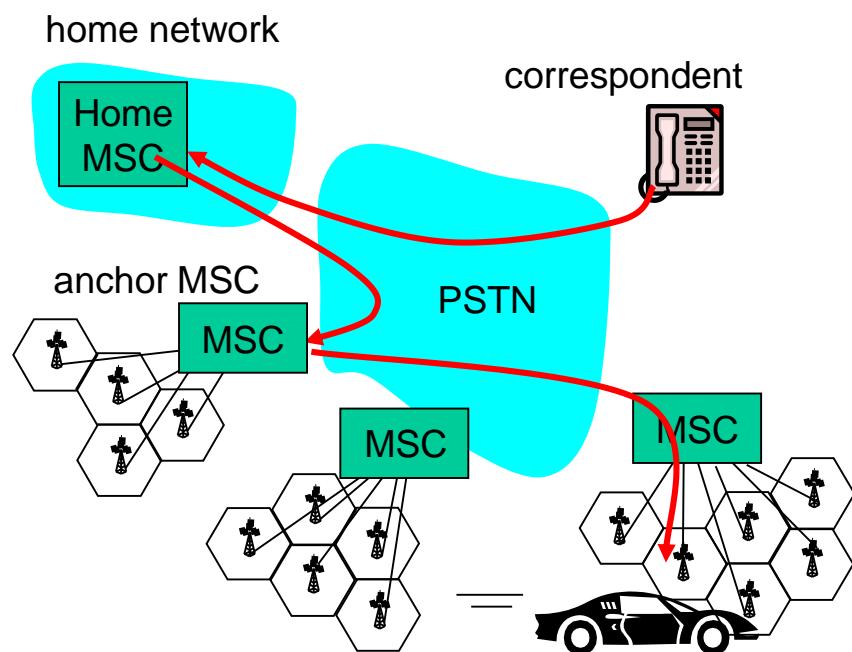


(a) before handoff

- ❑ **锚MSC**: 呼叫开始时移动端访问的 MSC
 - 呼叫一直由锚MSC路由保持
- ❑ 呼叫从归属MSC到锚MSC再到新的MSC



GSM: 在MSC间切换



(b) after handoff

- ❑ **锚MSC**: 呼叫开始时移动端访问的 MSC
 - 呼叫一直由锚MSC路由保持
- ❑ 呼叫从归属MSC到锚MSC再到新的MSC



移动IP和GSM之间的共性

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属网络	归属网络
网关移动交换中心 MSC,或者“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	被访问网络
被访问移动交换中心, 访问者定位记录. Visitor Location Record (VLR)	被访问MSC:负责建立与MSC相关联的发射区到/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
移动点漫游号码 (MSRN), 或者“漫游号码”	用于归属MSC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都不可见	转交地址



Chapter 7 outline

7.1 Introduction

无线网络

- 7.2 无线链路和网络特征
 - CDMA
- 7.3 IEEE 802.11 无线 LANs ("wi-fi")
- 7.4 蜂窝因特网接入
 - 架构
 - 标准 (e.g., GSM)

移动网络

- 7.5 移动管理：原理
- 7.6 移动IP
- 7.7 管理蜂窝网中的移动性
- 7.8 无线和移动性：对高层协议的影响

7.9 Summary



无线和移动性：对高层协议的影响

- ❑ 逻辑上，影响应当很小...
 - 尽力而为的服务模式保持不变
 - **TCP** 和**UDP** 可在移动和无线网络上运行
- ❑ ... 但是性能方面：
 - 由于比特错误（丢弃的数据包、链路层重传的延迟）和切换导致的数据包丢失/延迟
 - **TCP** 将丢失理解为拥塞，会不必要地减少拥塞窗口
 - 实时流量会受到延迟影响
 - 无线链路的带宽受限

在移动IP网络中，一个主机向移动主机H发送IP分组时，外代理收到的IP分组的目的IP地址是___。

- ☐ A H的永久地址
- ☐ B 归属代理地址
- ☒ C 转交地址 (COA)
- ☐ D 外代理地址

提交



Chapter 7 outline

7.1 Introduction

无线网络

- 7.2 无线链路和网络特征
 - CDMA
- 7.3 IEEE 802.11 无线 LANs ("wi-fi")
- 7.4 蜂窝因特网接入
 - 架构
 - 标准 (e.g., GSM)

移动网络

- 7.5 移动管理：原理
- 7.6 移动IP
- 7.7 管理蜂窝网中的移动性
- 7.8 无线和移动性：对高层协议的影响

7.9 Summary



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！