



第七章: 无线网络 和移动网络

1

7.1 概述

2

7.2 无线网络和网络特征

3

7.3 WiFi:802.11 无线局域网

4

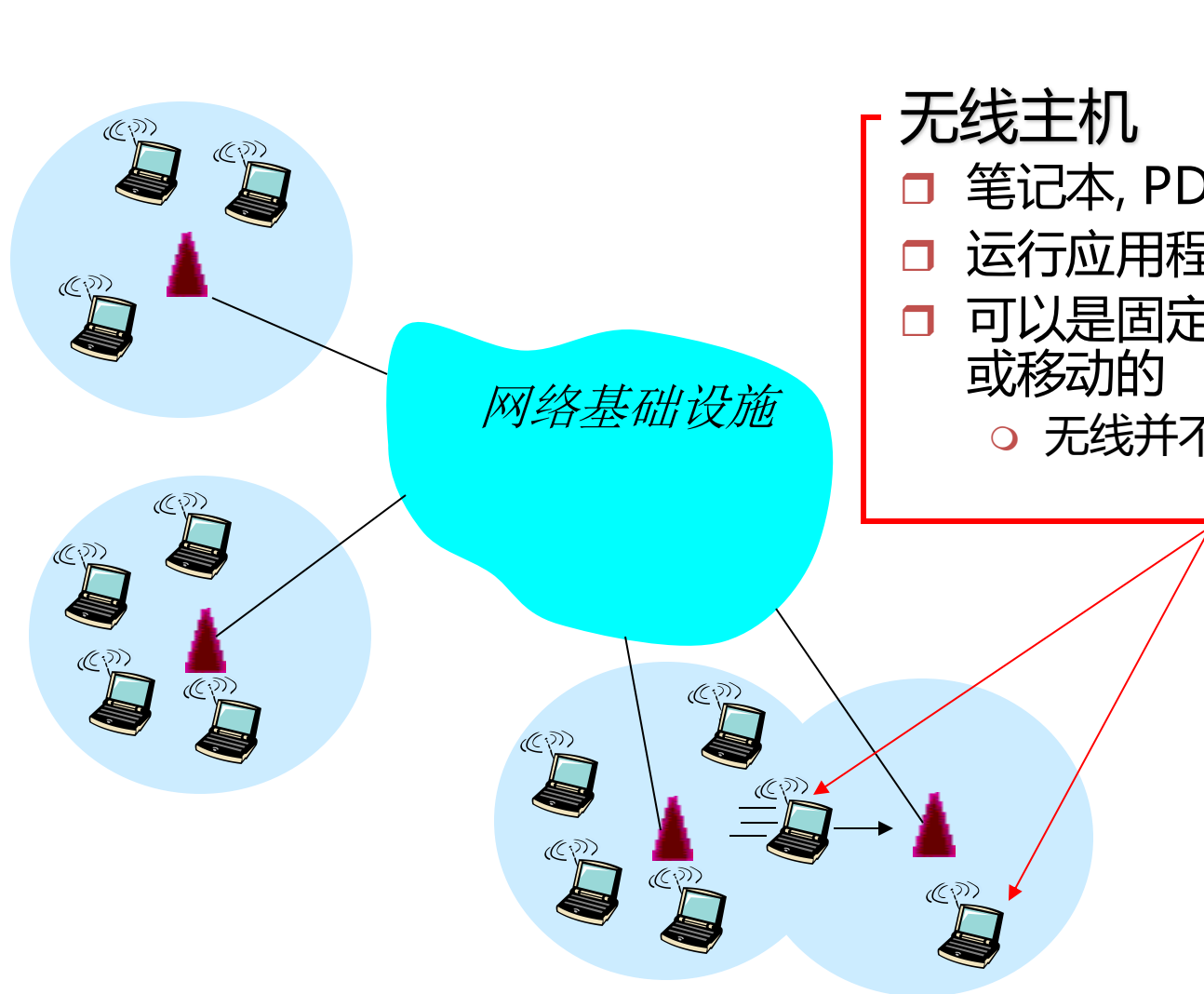
7.4 蜂窝网:4G 和 5G

5

7.5 移动性管理

背景:

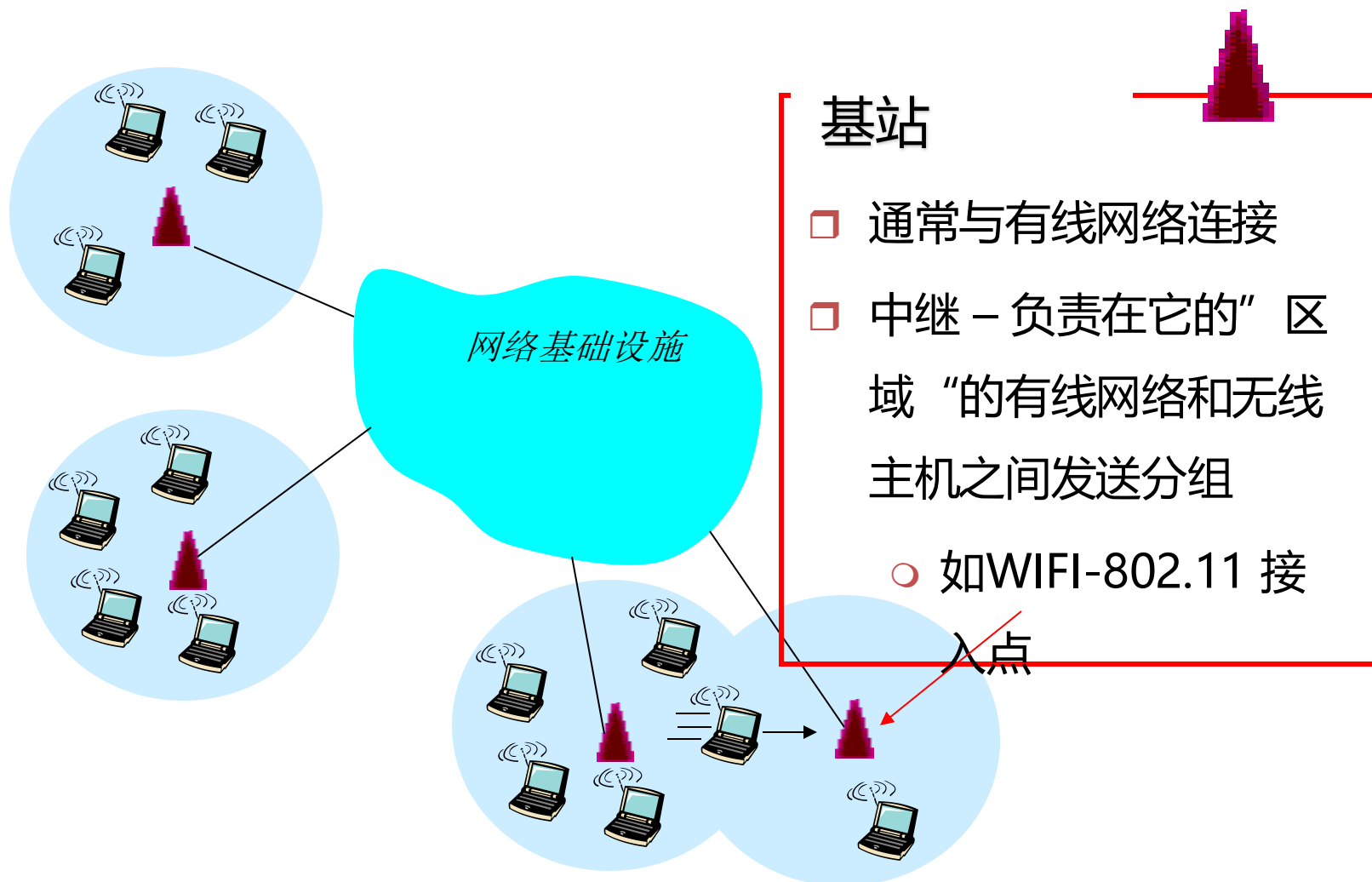
- 无线电话用户的数量超过了有线电话用户的数量!
- 计算机网络: 膝上电脑, 掌上电脑, PDA, 因特网使能电话
希望任何时间连接因特网访问
- 两个重要的(但不同的)挑战
 - 经无线链路通信
 - 移动用户与网络连接点

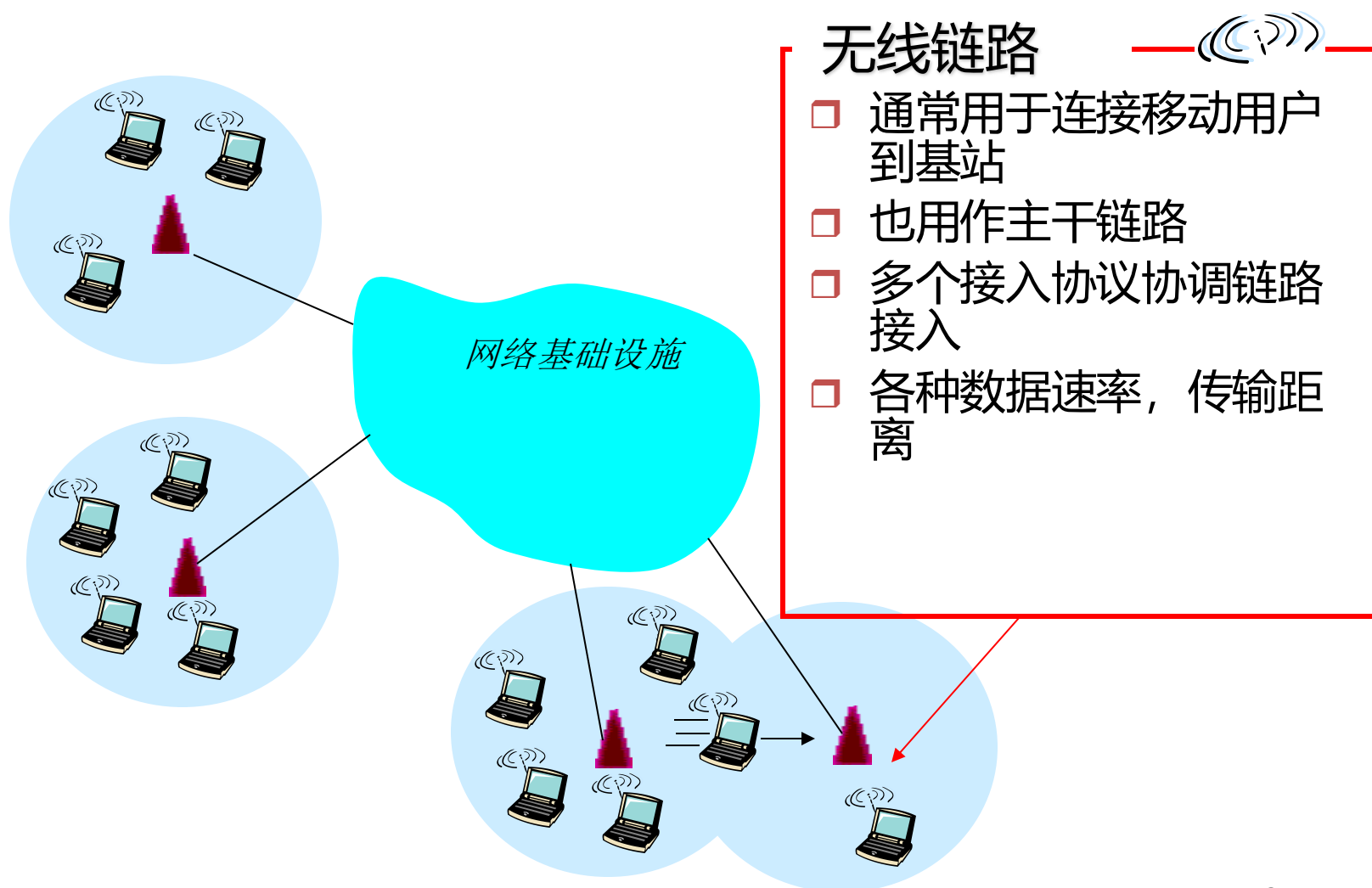


无线主机



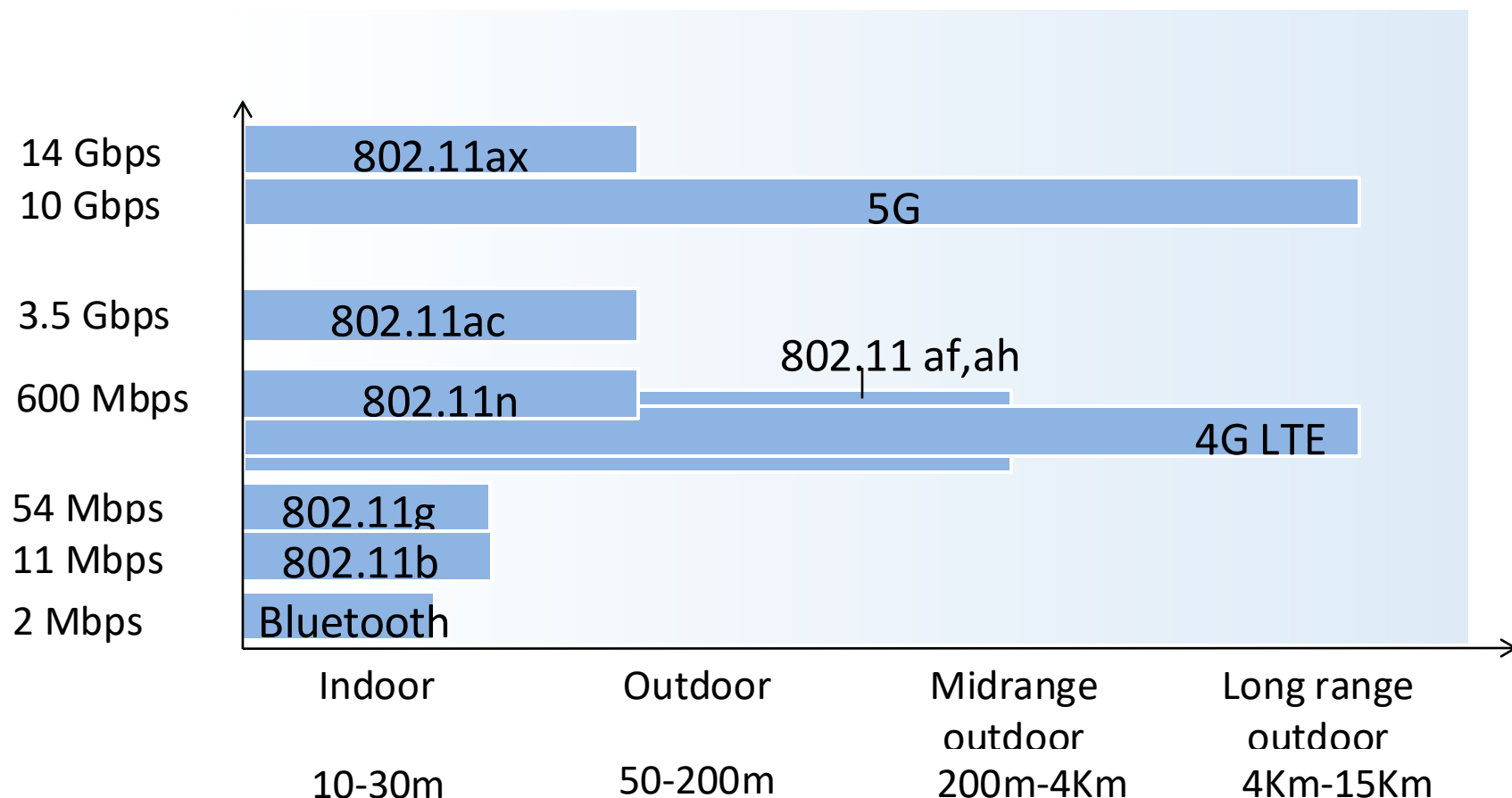
- ❑ 笔记本, PDA, IP电话
- ❑ 运行应用程序
- ❑ 可以是固定的 (非移动的) 或移动的
 - 无线并不总意味着移动





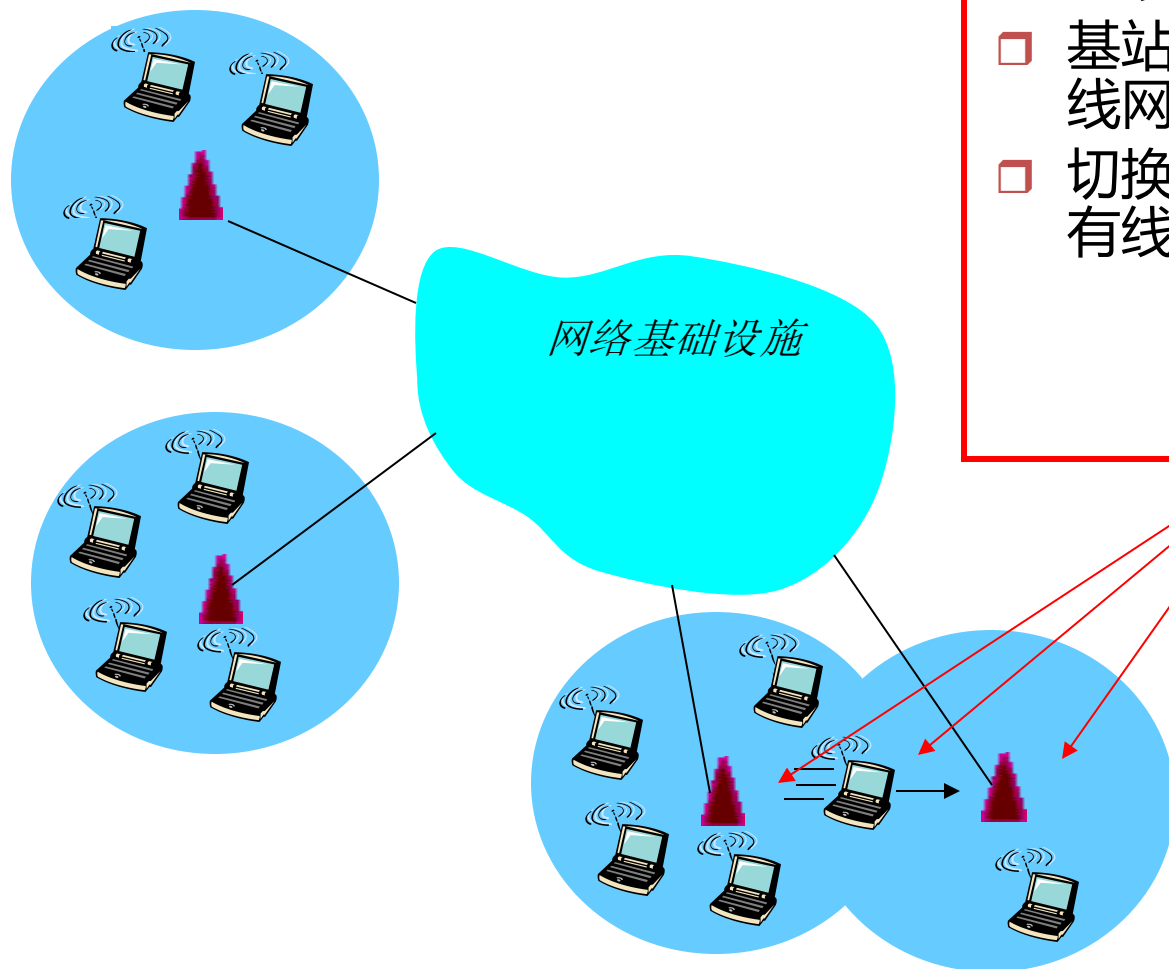
部分无线链路标准的特性

软件学院 · 计算机网络



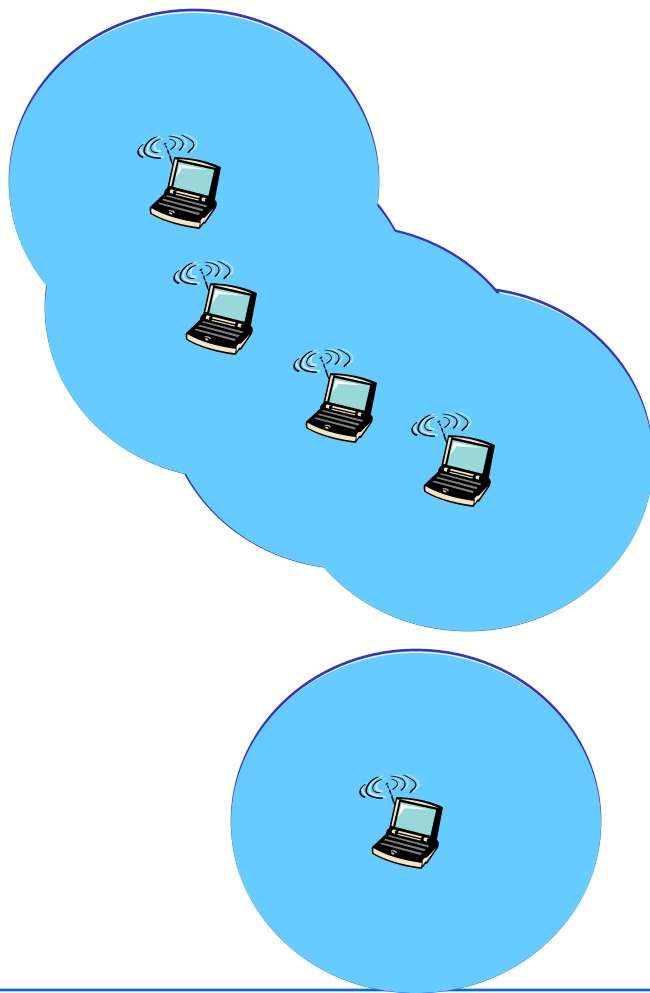
几种常用的 802.11 无线局域网

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，且易受阻碍
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，且不易受阻碍， 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



基础设施模式

- ❑ 基站连接移动用户到有线网络
- ❑ 切换: 移动用户改变与有线网络连接的基站



自组织模式

- ❑ 无基站
- ❑ 在链路覆盖的范围内节点仅能传输到另外的节点
- ❑ 节点将它们组织成为一个网络：在它们自己中选路

1 7.1 概述

2 7.2 无线网络和网络特征 &CDMA

3 7.3 WiFi:802.11 无线局域网

4 7.4 蜂窝网:4G 和 5G

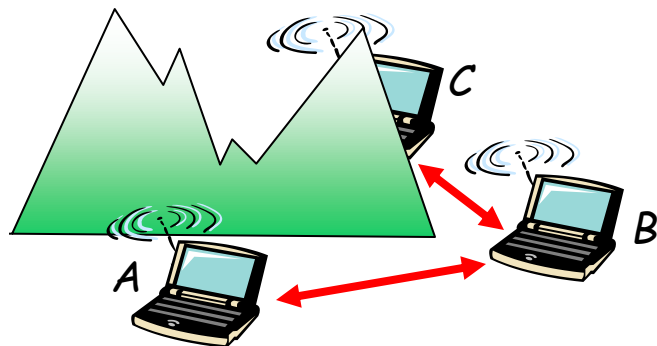
5 7.5 移动性管理

不同于有线链路....

- **衰减的信号强度**: 当无线电信号传播通过物质时, 信号削弱(路径损失)
- **来自其他源的干扰**: 标准的无线网络频率 (如 2.4 GHz) 由其他设备共享 (如电话); 设备(发动机) 干扰
- **多径传播**: 无线电信号反射离开物体, 以稍微不同的时间到达目的地

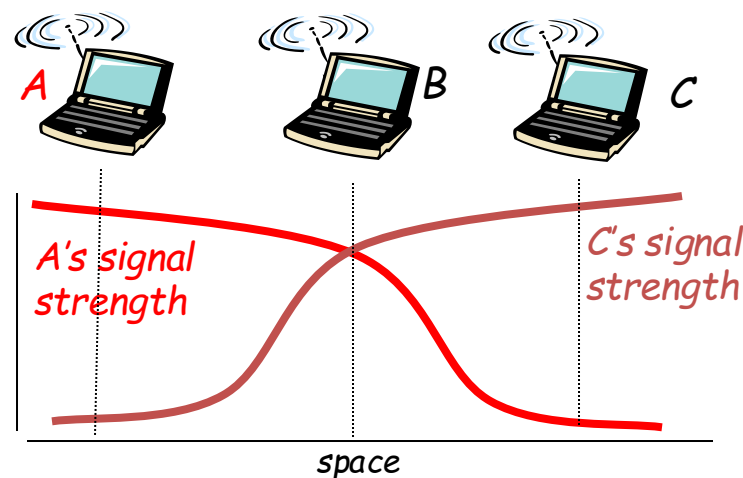
.... 使得通信跨越 (甚至点对点)无线链路 非常 “困难”

多个无线发送方和接收方产生另外的问题 (不同于多路访问):



隐终端问题

- ☐ B, A 彼此听到
 - ☐ B, C彼此听到
 - ☐ A, C彼此不能听到
- 意味着A, C不知道它们在B的干扰



信号衰减:

- ☐ B, A彼此听到
- ☐ B, C彼此听到
- ☐ A, C 不能听到在B的干扰

- 用于几种无线广播信道中(蜂窝, 卫星等)标准
- 独特的“编码”分配给每个用户; 即编码集合分割
- 所有用户共享相同频率, 但每个用户具有自己的“**码片速率**”序列 (即编码)以对数据编码
- **编码信号** = (原始数据) \times (码片速率序列)
- **解码**: 编码的信号和码片速率序列 的内积
- 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”)

- 将每一个比特时间划分为 m 个短的间隔，称为**码片** (chip)。
- 为每个用户指派一个**唯一的** m bit 码片序列。
 - ◆ **发送比特 1**：发送自己的 m bit 码片序列。
 - ◆ **发送比特 0**：发送该码片序列的二进制**反码**。

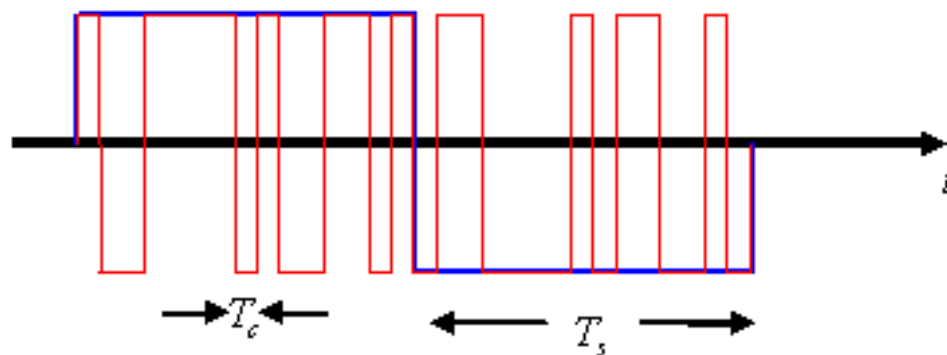
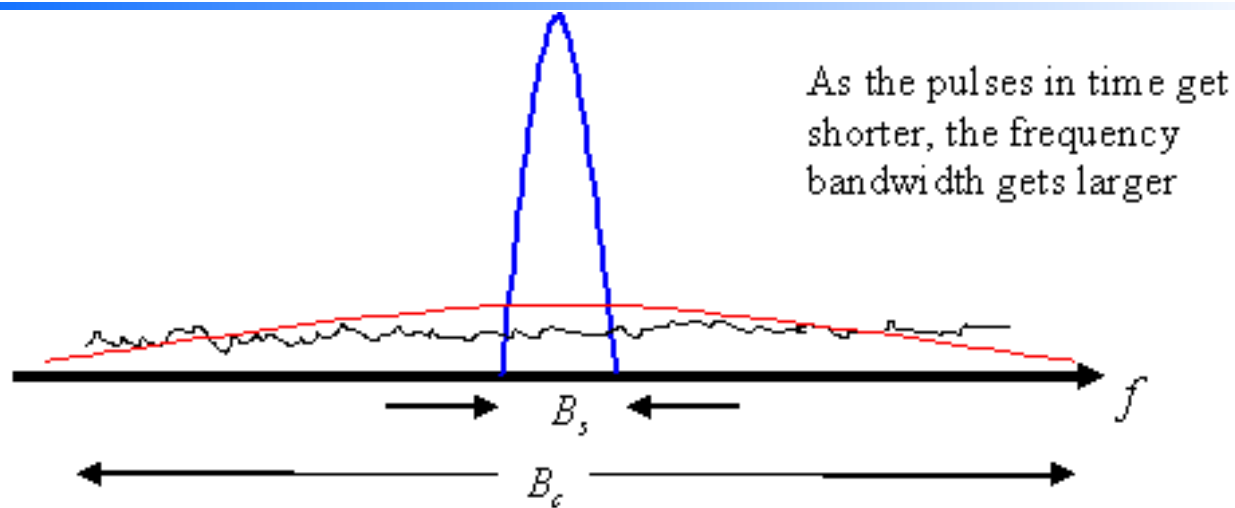
例如：S 站的 8 bit 码片序列是 00011011。

1 → 00011011

0 → 11100100

码片序列：(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)

- 要发送信息的数据率 = $b \text{ bit/s}$, 实际发送的数据率 = $mb \text{ bit/s}$, 同时, 所占用频带宽度也提高到原来的 m 倍。
- 扩频通常有 2 大类:
 - ◆ 直接序列扩频 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)。
 - ◆ 跳频扩频 FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)。



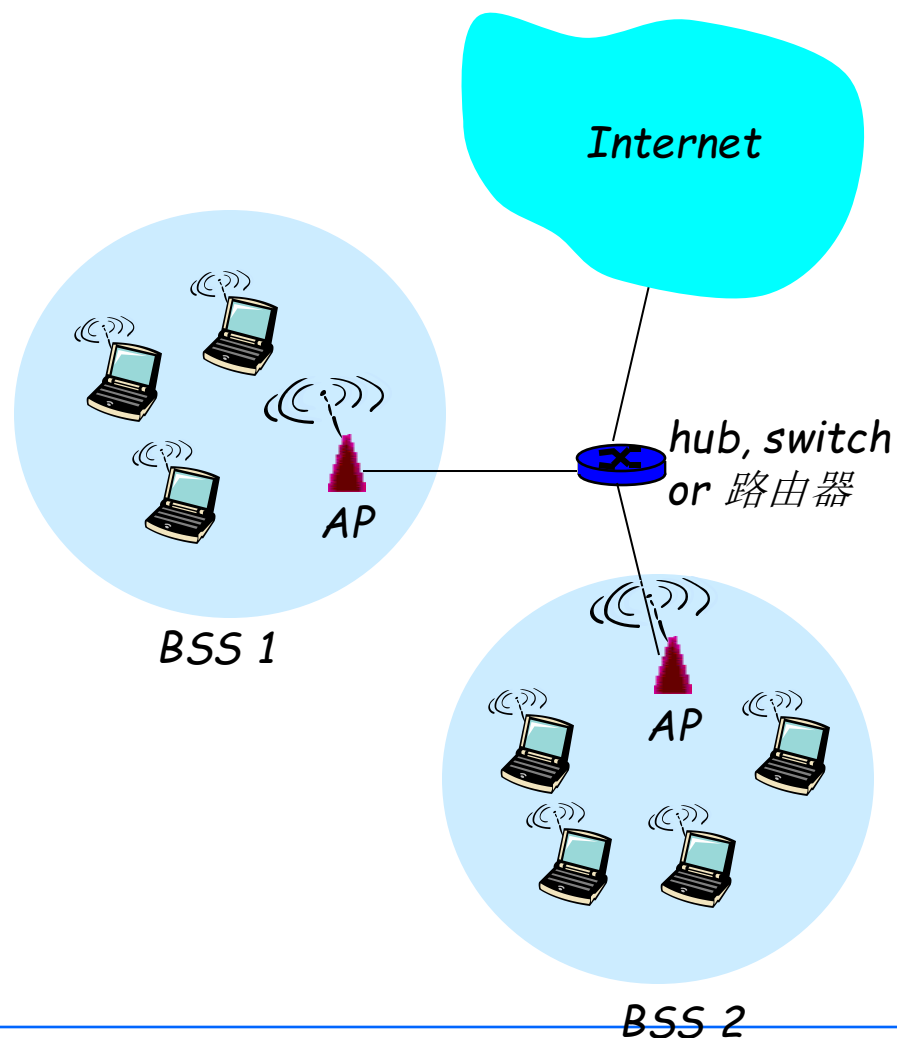
1 7.1 概述

2 7.2 无线网络和网络特征 &CDMA

3 7.3 WiFi:802.11 无线局域网

4 7.4 蜂窝网:4G 和 5G

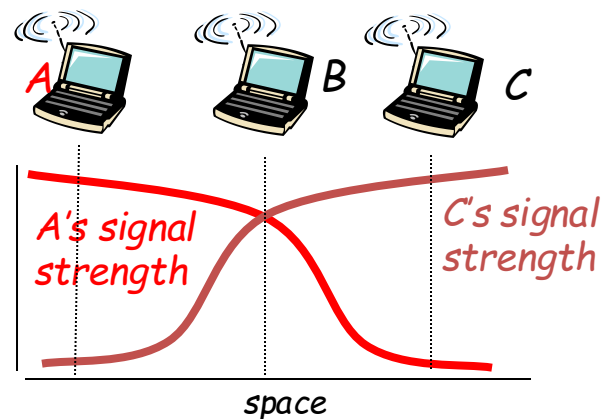
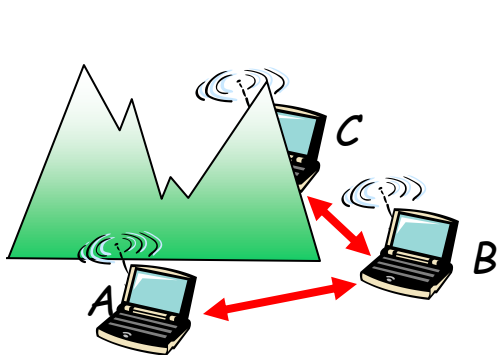
5 7.5 移动性管理



- ❑ 无线主机使用基站通信
 - 基站 = 接入点 (Access Point, AP)
- ❑ 基本服务集 (BSS) (又称为“单元”)在基础设施模式中包含:
 - 无线主机
 - 接入点(AP): 基站
 - 自组织模式: 仅有主机

- 802.11b: 2.4GHz-2.485GHz频谱划分为11个不同的频率的信道
 - 可能干扰: 信道能够与临近AP选择相同的信道!
- 主机: 必须与AP**关联**
 - 扫描信道, 监听包括该AP的SSID和MAC地址的信标帧
 - 选择AP去关联
 - 可能执行鉴别
 - 通常运行DHCP以得到在AP子网中的IP地址

- 避免碰撞: 2+ 节点同时传输
- 802.11: CSMA - 在传输前感知
 - 不与其他节点正在进行的碰撞
- 802.11: **无**碰撞检测!
 - 当传输时由于接收的信号变弱(衰退), 难以接收(感知碰撞)
 - 在任何场合不能感知所有碰撞: 隐终端, 衰退
 - 目标: **碰撞避免**: CSMA/C(ollision)A(voidance)



802.11发送方

1 如果感知信道空闲则

在DIFS (Distributed Inter-Frame Space)后, 传输整个帧 (无碰撞检测)

2 如果感知信道忙, 则

启动随机回退时间

定时器倒计时直到信道空闲

当定时器超时传输

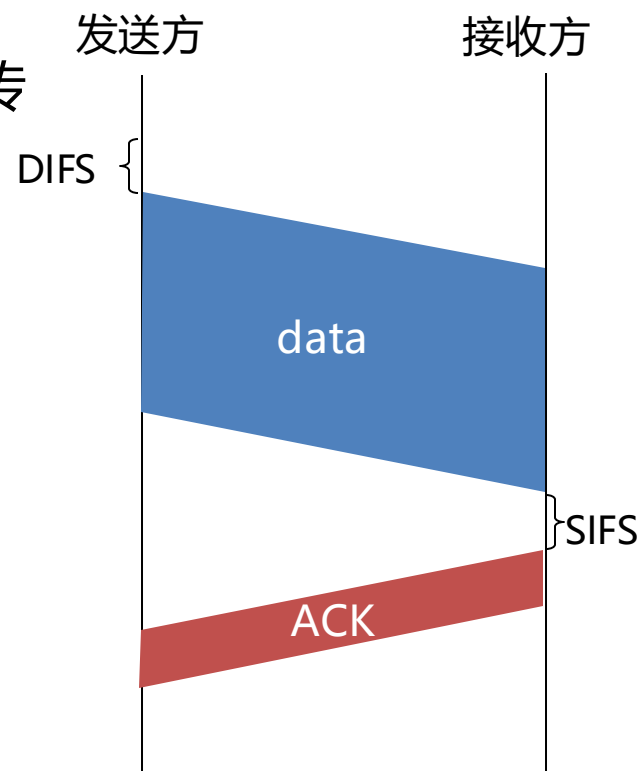
如果无ACK, 增加随机回退间隔

跳转2

802.11接收方

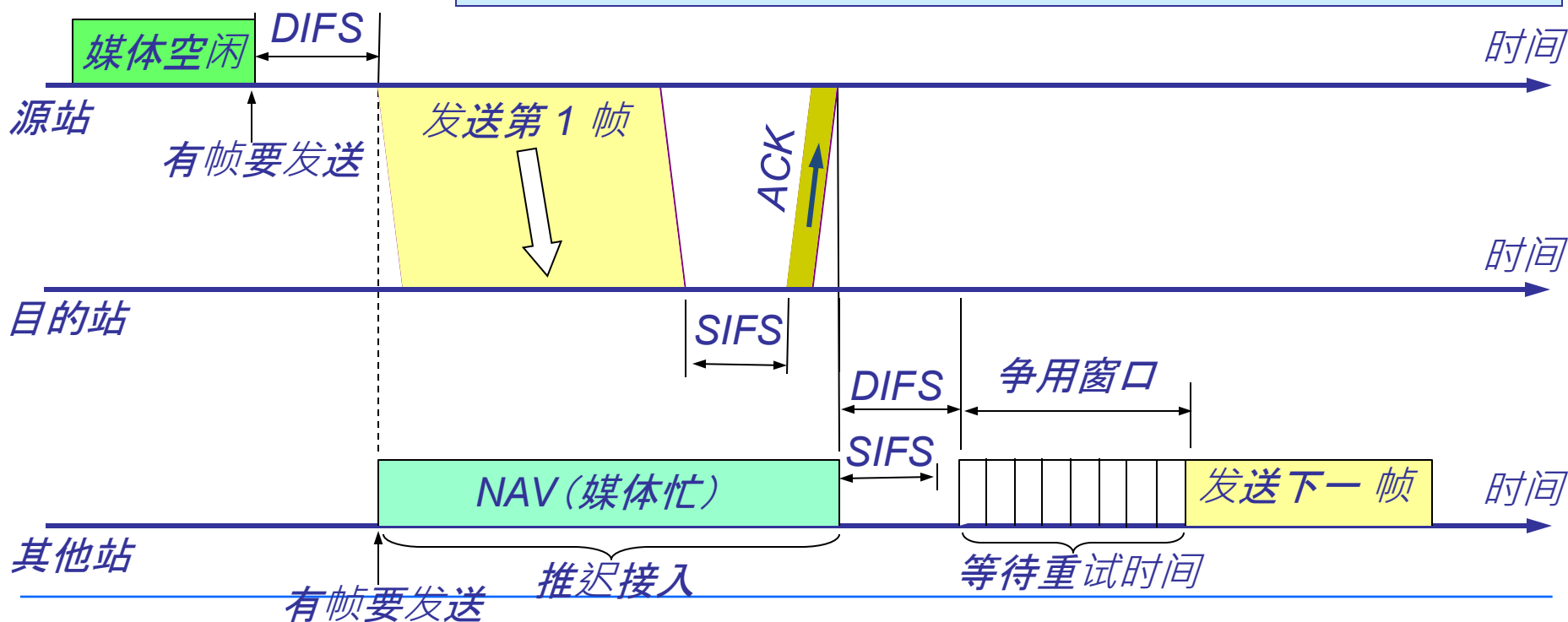
- 如果帧接收OK

在SIFS后返回ACK (由于隐终端问题, 需要ACK)



SIFS, 即短(Short)帧间间隔, 是最短的帧间间隔, 用来分隔开属于一次对话的各帧。一个站应当能够在这段时间内从发送方式切换到接收方式。

使用 SIFS 的帧类型有: ACK 帧、CTS 帧、由过长的 MAC 帧分片后的数据帧, 以及所有回答 AP 探测的帧和在 PCF 方式中接入点 AP 发送出的任何帧。



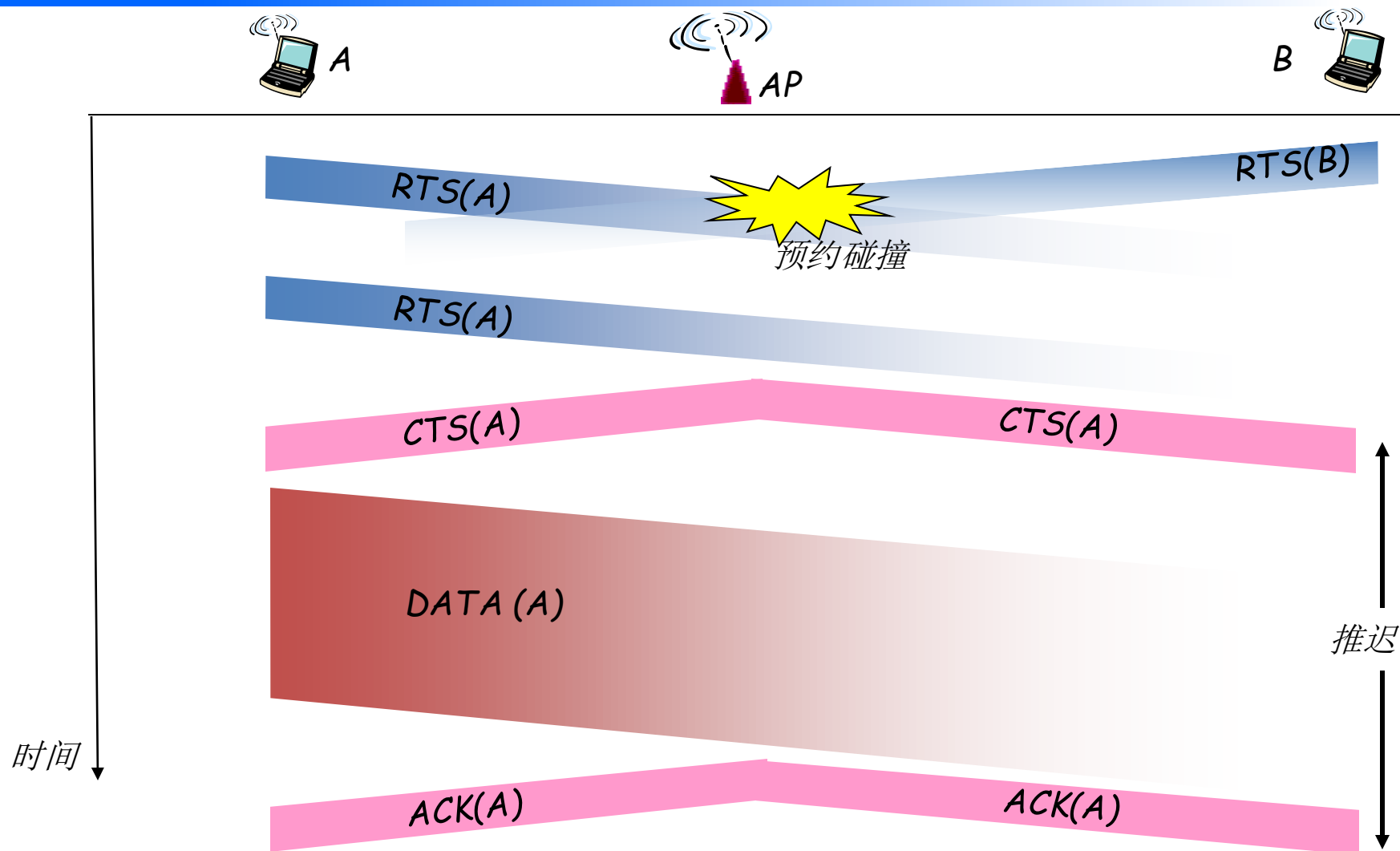
思考：允许发送方“**预约**”信道，而不是数据帧的随机访问：避免长数据帧的碰撞

- 发送方首先使用CSMA向BS传输请求发送 (RTS)分组
 - RTS仍可能与其他碰撞(但它们较短)
- BS为响应RTS广播允许发送 CTS
- RTS为所有站点听到
 - 发送方传输数据帧
 - 其他站点推迟传输

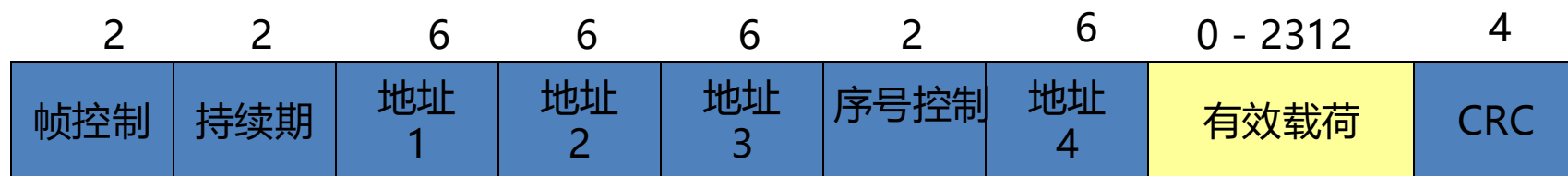
使用小预约分组，避免数据帧完全碰撞！

IEEE 802.11: CSMA/CA + RTS/CTS

软件学院 · 计算机网络



802.11帧: 编址



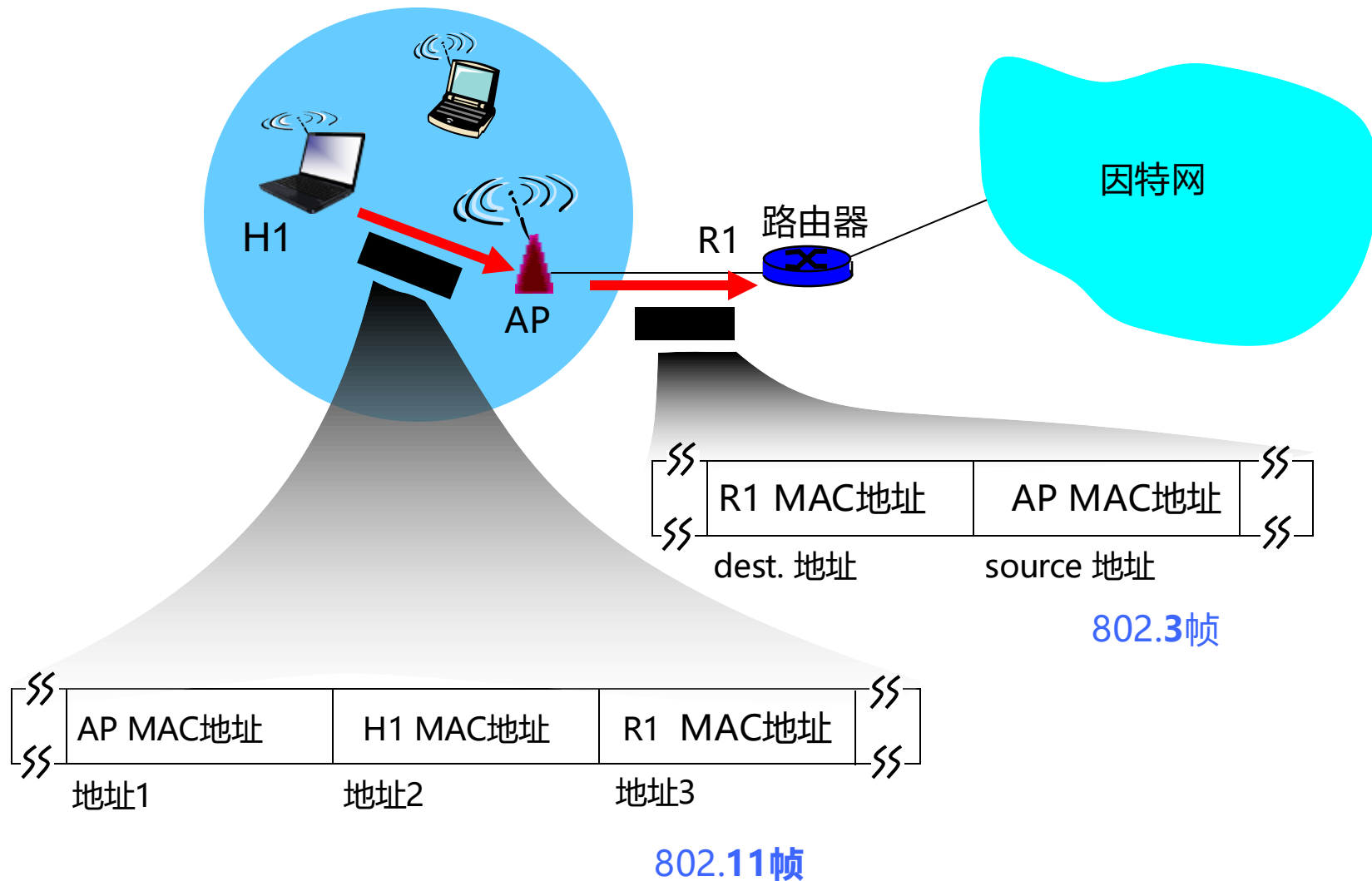
地址1: 无线主机或接收该帧
AP的MAC地址

地址2: 无线主机或AP
传输该帧的MAC地址

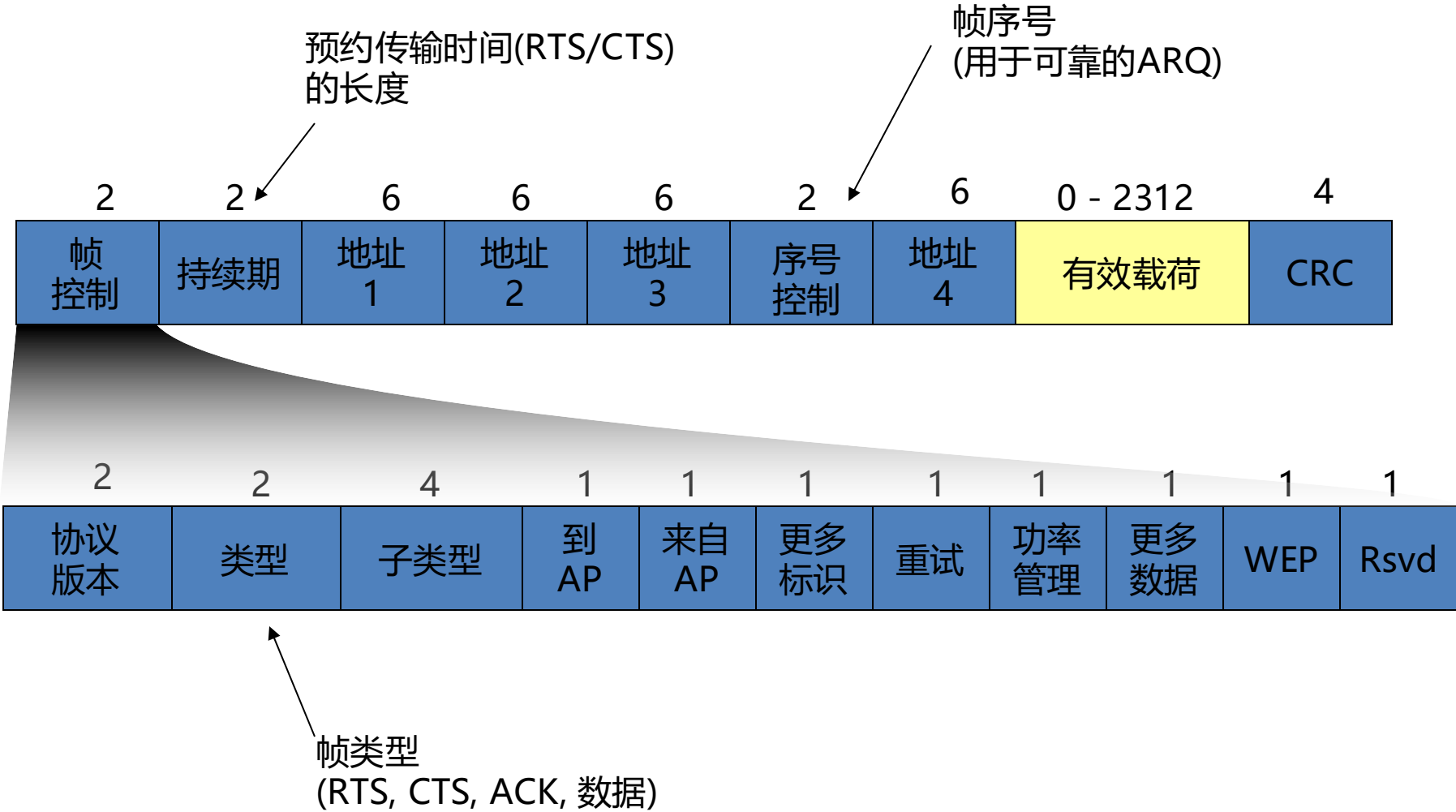
地址3: 与AP连接的路由器接口
的MAC地址

地址4: 仅用于自组织模式

802.11帧: 编址



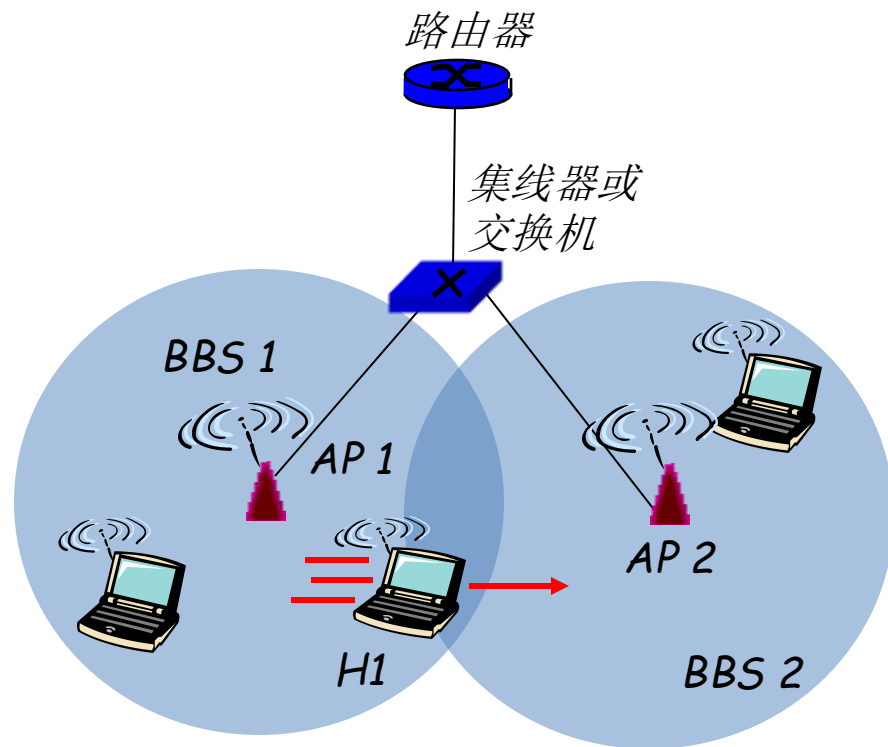
802.11帧: 编址



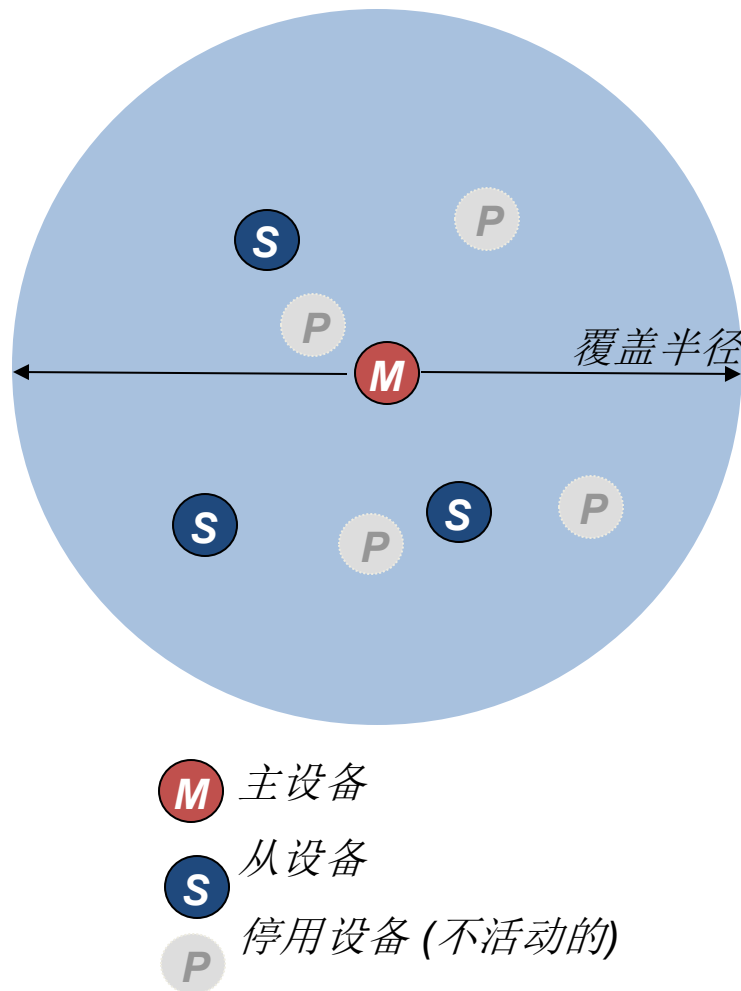
802.11:在相同子网中的移动

软件学院·计算机网络

- H1停留在相同的IP子网中:
IP 地址能够维持相同
- 交换机: 哪个AP与H1关联?
 - 自学习(第6章): 交换机将看到来自H1的帧并 “记住” 哪个交换机端口能用于到达 H1



- 小于10 m直径
- 替代电缆 (鼠标, 键盘, 耳机)
- 自组织: 无基础设施
- 主/从设备:
 - 从设备(向主设备)请求发送许可
 - 主设备同意请求
- 802.15: 由蓝牙规格参数演化而来



1 7.1 概述

2 7.2 无线网络和网络特征 &CDMA

3 7.3 WiFi:802.11 无线局域网

4 7.4 蜂窝网

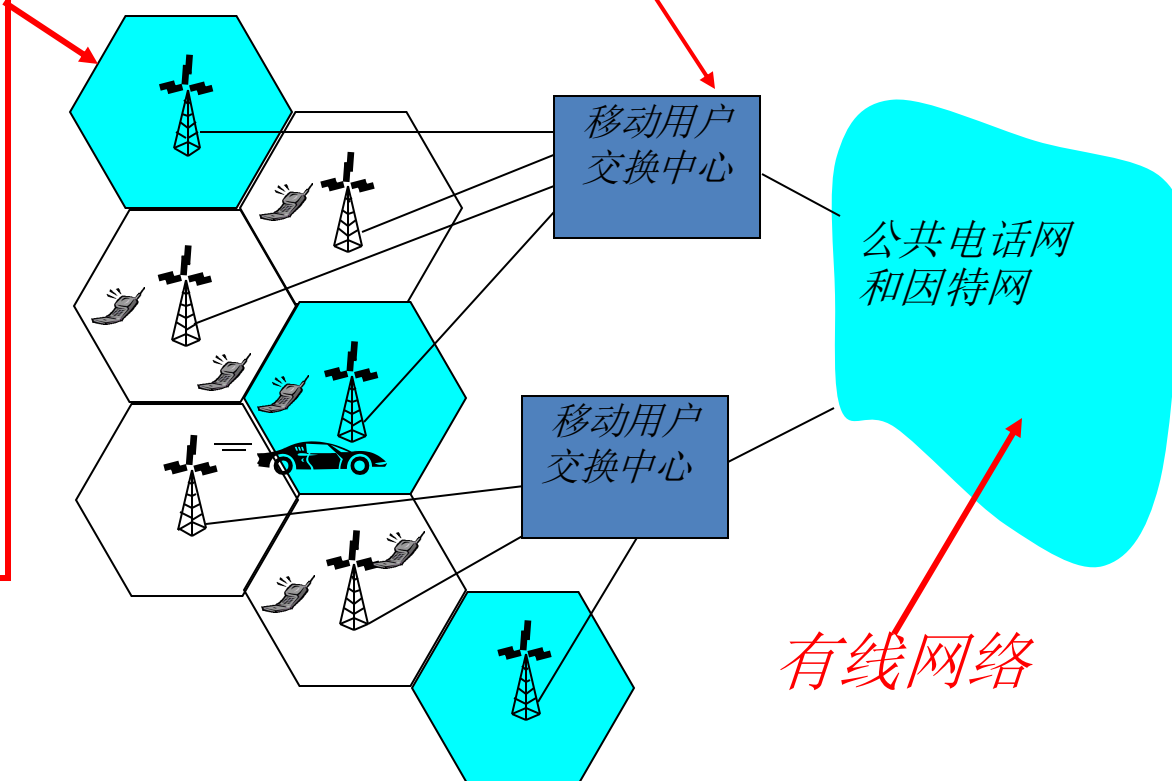
5 7.5 移动性管理

发射区cell

- ❑ 覆盖地理区域
- ❑ 基站 (BS) 类比 802.11 AP
- ❑ 移动用户通过BS与网络相连
- ❑ 空中接口: 在移动用户和BS之间的物理和链路层协议

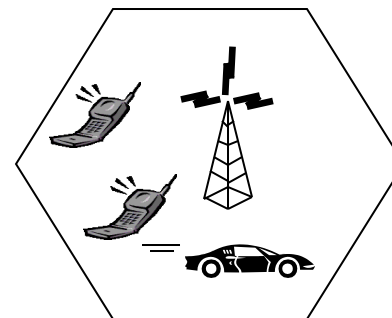
移动交换中心MSC

- ❑ 将cells与广域网相连
- ❑ 管理呼叫建立(详情见后!)
- ❑ 处理移动(详情见后!)



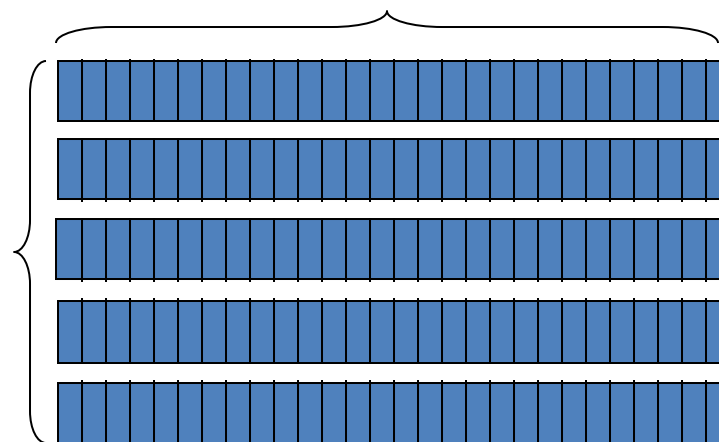
共享移动用户到BS无线电频谱的两种技术

- **FDMA/TDMA结合:** 将频谱划分为频道, 再将每个频道划分为时隙
- **CDMA:** 码分多址



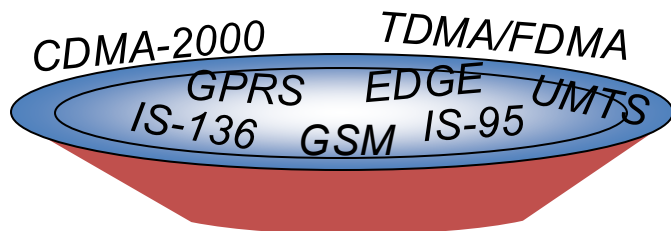
时隙

频段



2G系统: 语音信道

- IS-136 TDMA: FDMA/TDMA结合 (北美)
- GSM (移动通信全球系统): FDMA/TDMA结合
 - 广泛部署
- IS-95 CDMA: 码分多址



不要淹死在字母汤的碗里：仅使用它们作用参考

2.5 G系统: 语音和数据信道

- 提供给那些等不及3G服务的人: 2G扩展
- 通用分组无线电服务 (GPRS)
 - 从 GSM演化而来
 - 数据在多个信道发送(如果可能的话)
- Enhanced Data rates for Global Evolution (EDGE)
 - 也从GSM演化而来, 使用增强调制
 - 数据率高达 384K
- CDMA-2000 (阶段1)
 - 数据率高达 144K
 - 从 IS-95演化而来

3G系统: 语音/数据

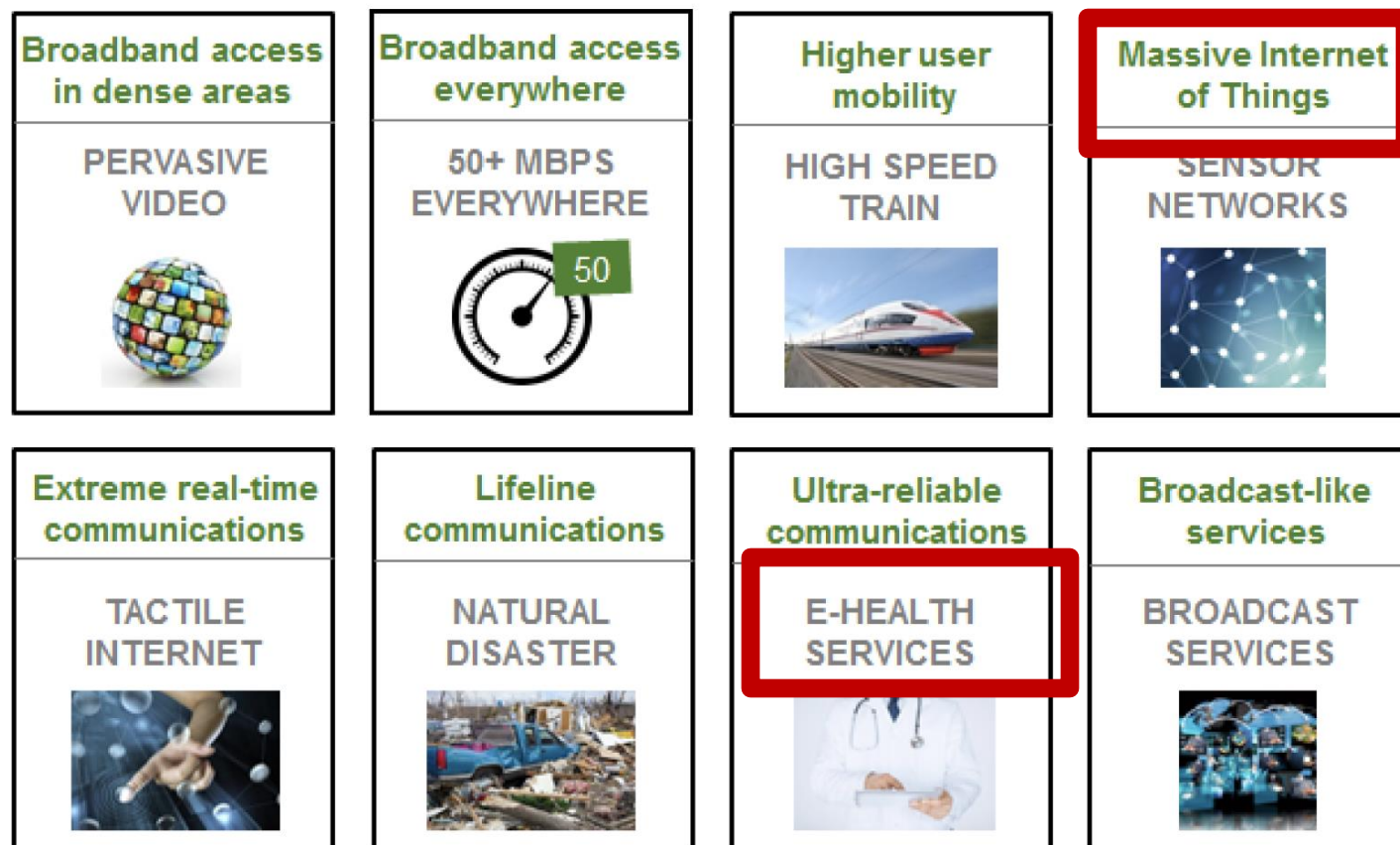
- 通用移动通信服务 (UMTS)
 - GSM的下一代, 使用 CDMA
- CDMA-2000

..... 由于更多(并且更为有趣)蜂窝网主题涉及到移动性

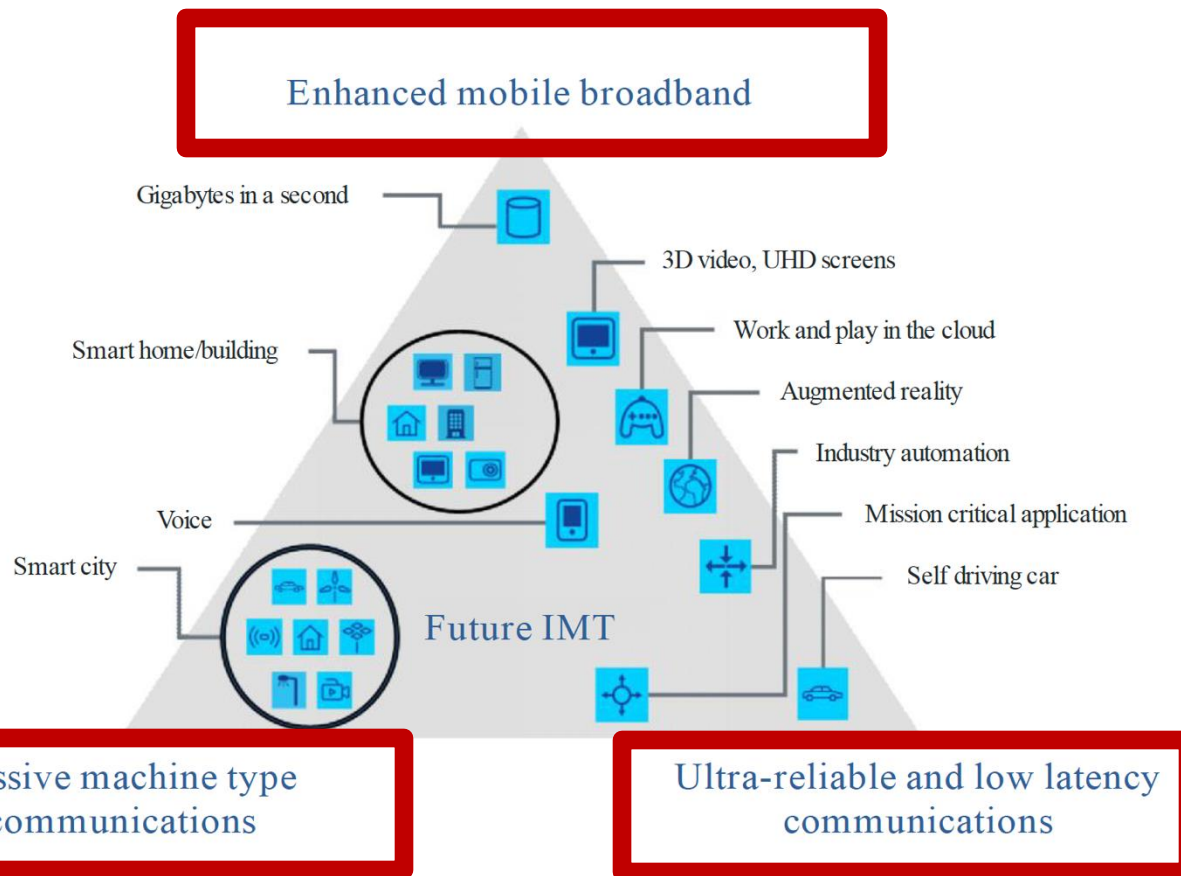
4G系统: 数据尤其是多媒体数据

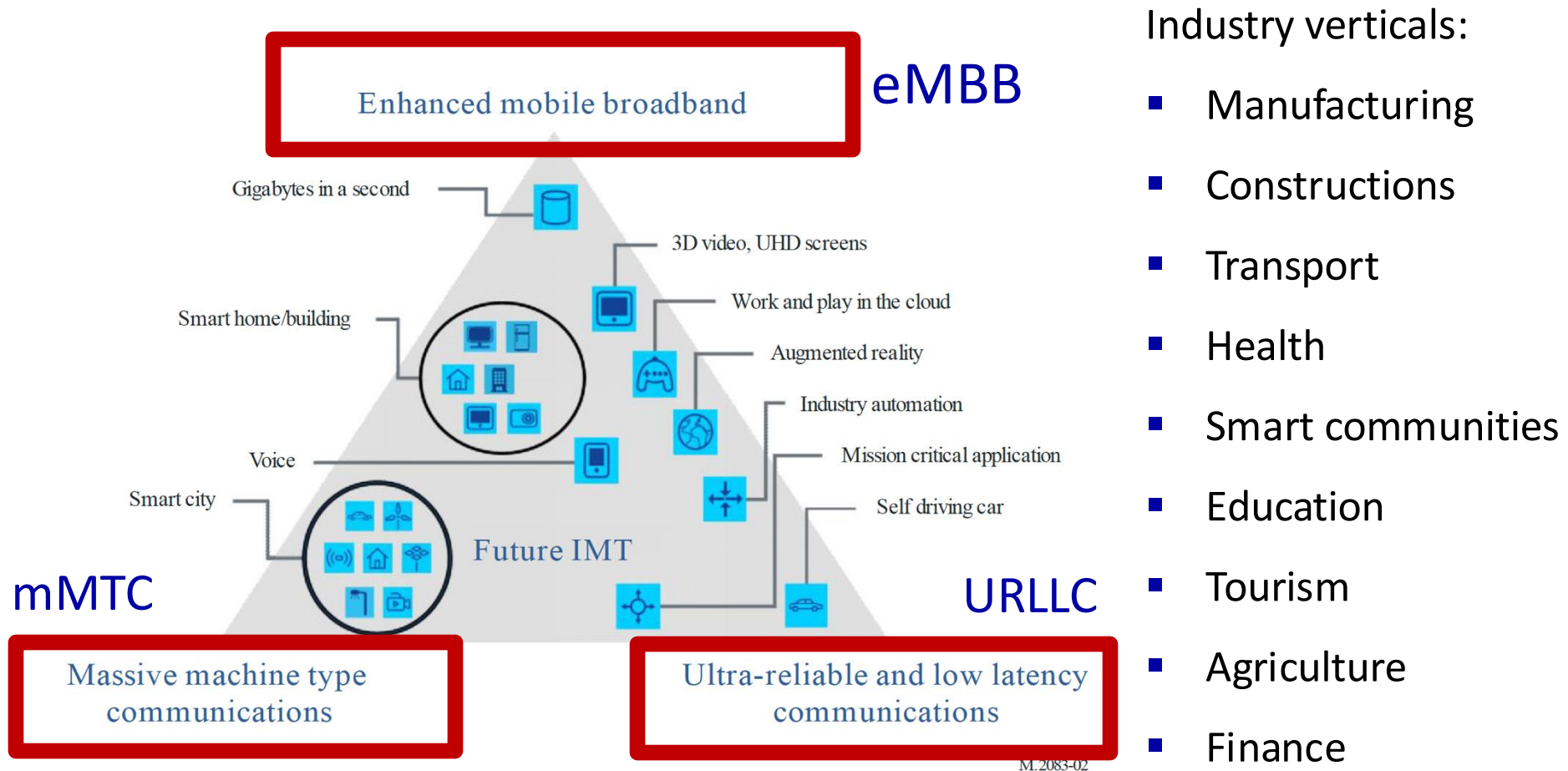
- 移动端(UE) 连接至基站 (eNode-B)
 - 1个基站可以同时服务多个移动端
 - 4G信道的共享方式:
 - **OFDM**: Orthogonal Frequency Division Multiplexing
 - combination of FDM, TDM
 - 速率可达100M每用户 (设备)
-

5G系统: 连接人到连接物



“initial standards and launches have mostly focused on **enhanced Mobile Broadband**, 5G is expected to increasingly enable new business models and countless new use cases, in particular those of **massive Machine Type Communications** and **Ultra-reliable and Low Latency Communications**.”





- **目标:** 相对于4G, 峰值速率增加10倍; 时延降低10倍, 通信容量增加100倍
- **5G NR (new radio):**
 - 两个频段: FR1 (450 MHz–6 GHz) ; FR2 (24 GHz–52 GHz): millimeter wave frequencies;
 - 与4G不兼容;
 - MIMO: multiple directional antennae
- **millimeter wave frequencies:** 高速率、近距离
 - pico-cells: cells diameters: 10-100 m
 - massive, dense deployment of new base stations required

1 7.1 概述

2 7.2 无线网络和网络特征 &CDMA

3 7.3 WiFi:802.11 无线局域网

4 7.4 蜂窝网

5 7.5 移动性管理

设想朋友经常改变地址，你怎样找她？

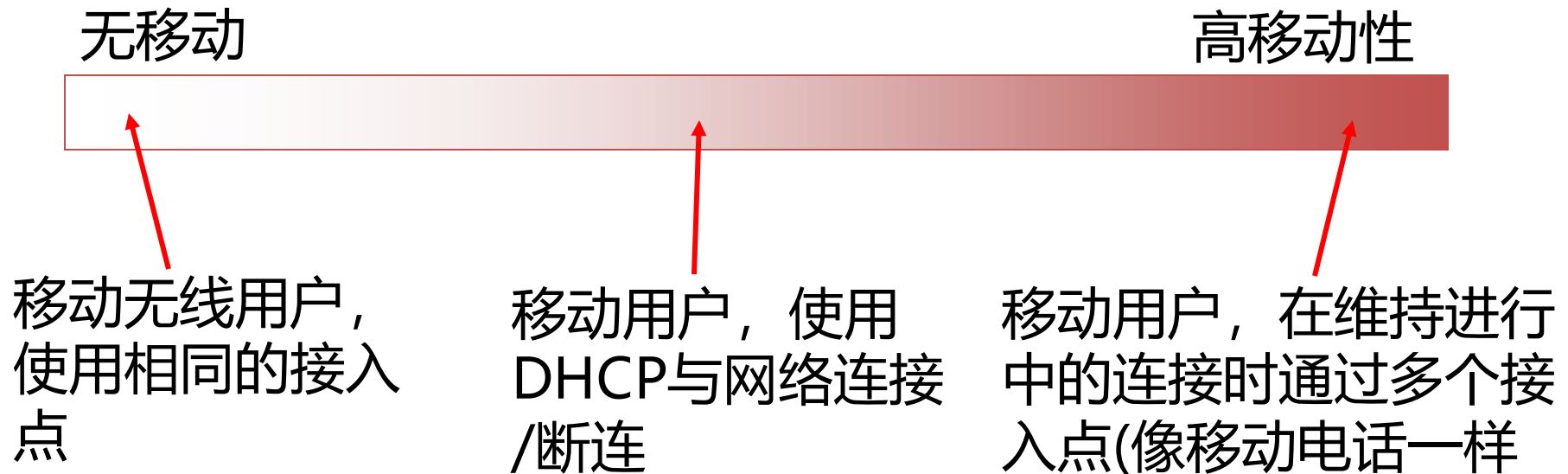
- 搜索所有的电话簿？
- 给她父母打电话？
- 期待她主动联系你？



- 让选路处理: 路由器使用通常的选路表交换, 通告移动用户在驻留地的节点永久地址
 - 选路表指示移动用户驻留的地方
 - 对端用户无改变
- 让端系统处理:
 - **间接选路:** 从通信者到移动用户的通信经过 归属代理, 然后向远地转发
 - **直接选路:** 通信者得到移动用户的外部地址, 直接向移动用户发送

对数以百万
计移动用户
无扩展性

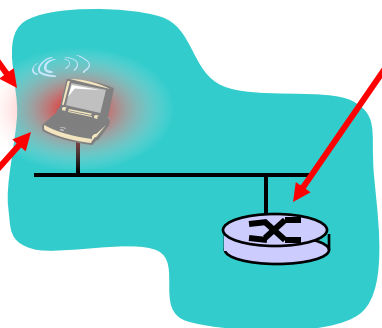
■ 移动谱, 从 网络 的角度:



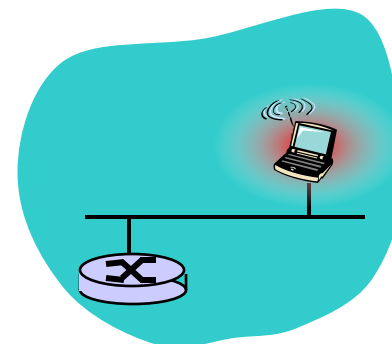
归属网络: 移动用户的
永久的“家”
(如 128.119.40/24)

归属代理: 当移动用户在远
地, 代表它执行移动功能的
实体

永久地址: 在归属网
络中的地址, 总能
被用于到达移动用
户, 如 128.119.40.186



广域网



通信者

永久地址: 保持不变 (如 128.119.40.186)

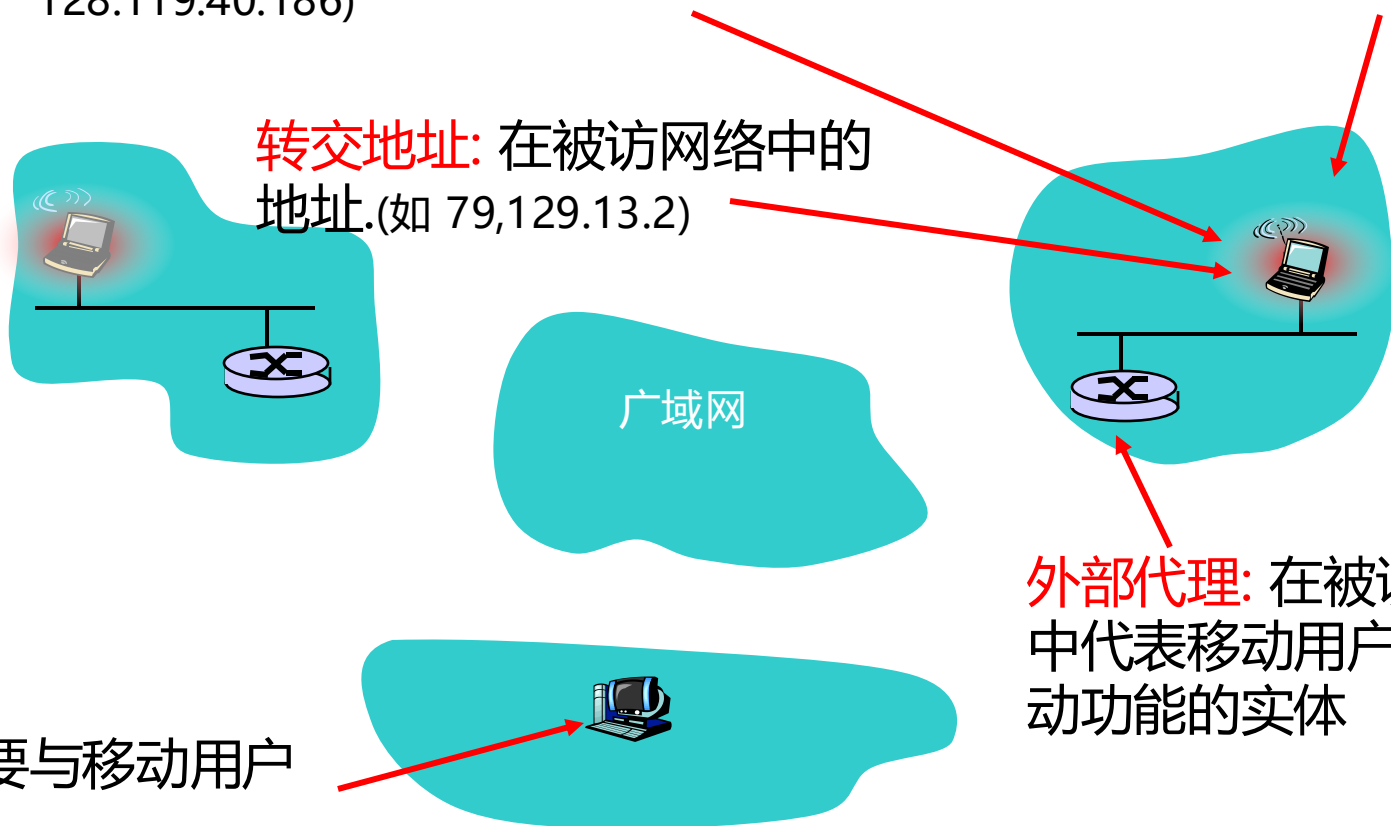
被访问网络: 移动用户当前驻留的网络 (如 79.129.13/24)

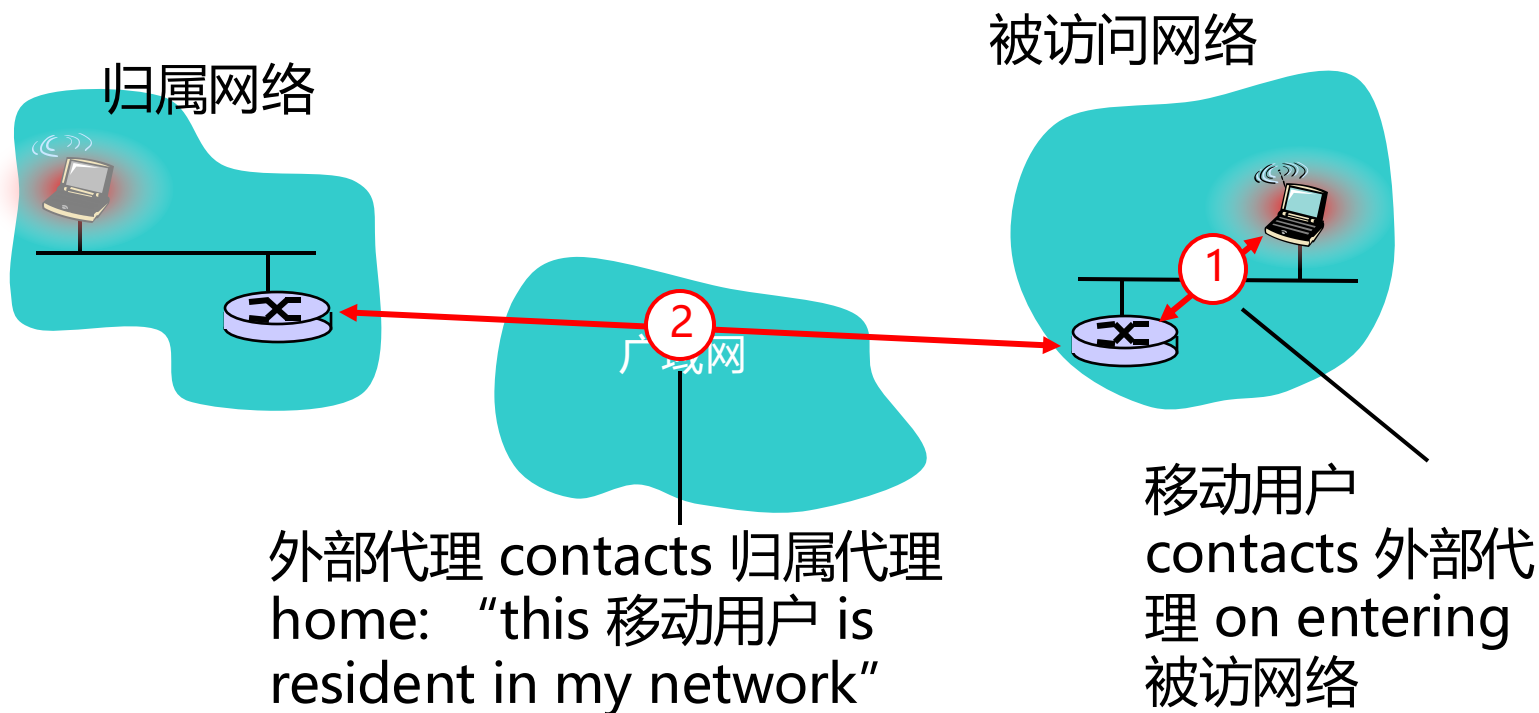
转交地址: 在被访网络中的地址 (如 79.129.13.2)

广域网

通信者: 要与移动用户通信

外部代理: 在被访网络中代表移动用户执行移动功能的实体

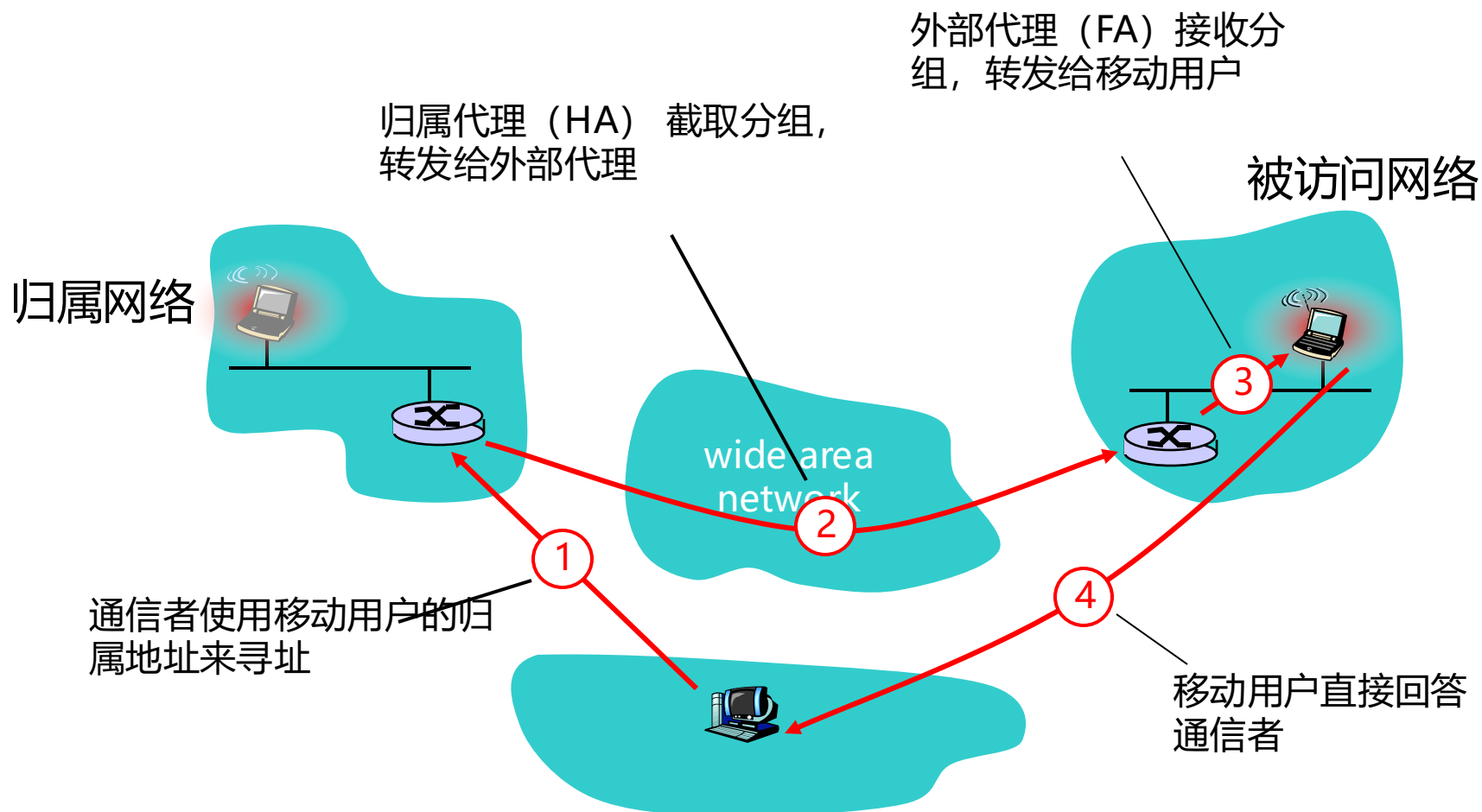




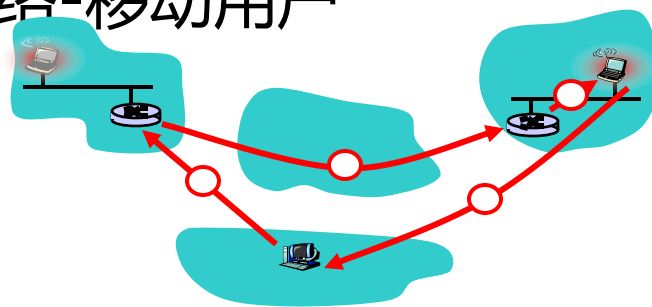
结果:

- 外部代理 (Foreign Agent) knows about 移动用户
- 归属代理 (Home Agent) knows location of 移动用户

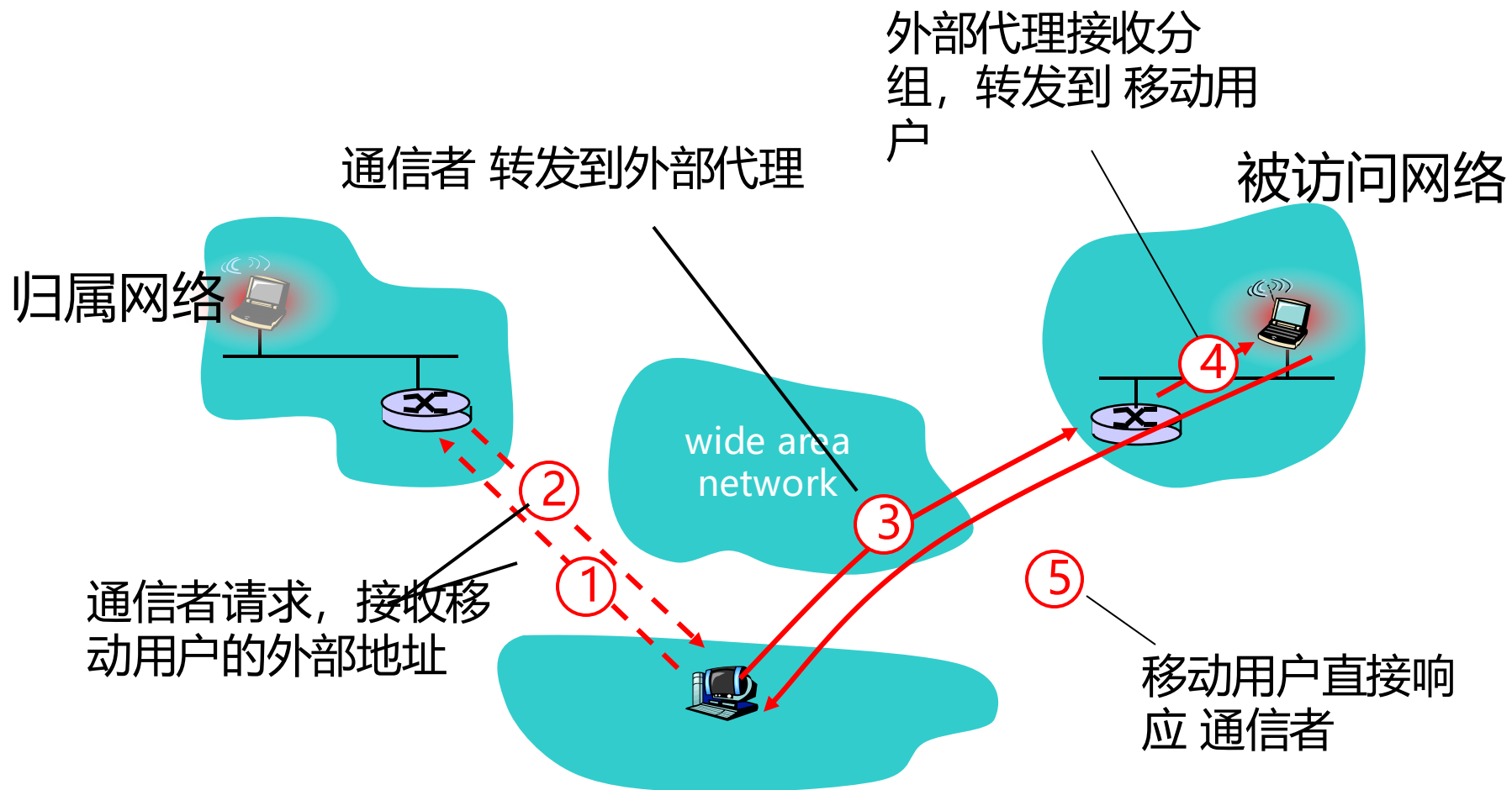
移动性：经间接选路



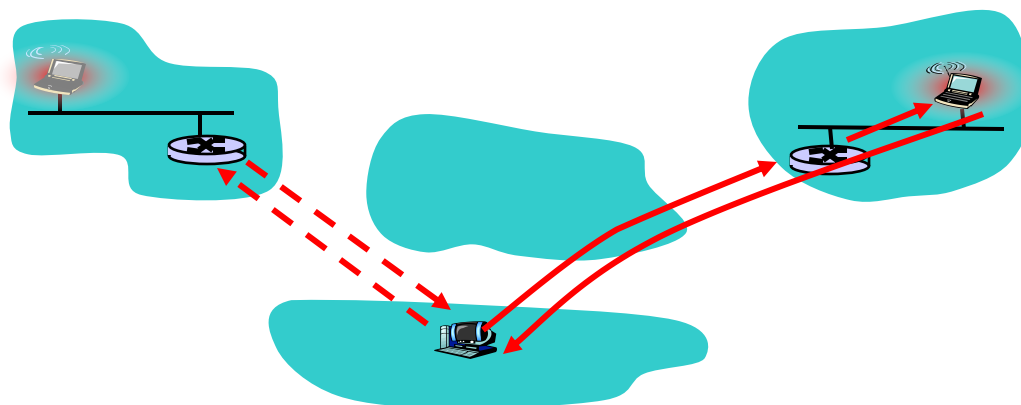
- 移动用户 使用两个地址:
 - **永久地址:** 由通信者所用(因此移动用户位置对通信者是**透明**的)
 - **转交地址:** 由归属代理所用, 以将数据报转发给移动用户
- 外部代理功能可以由移动用户自己做
- **三角形选路:** 通信者-归属网络-移动用户
 - 当通信者和移动用户位于相同网络时, 低效



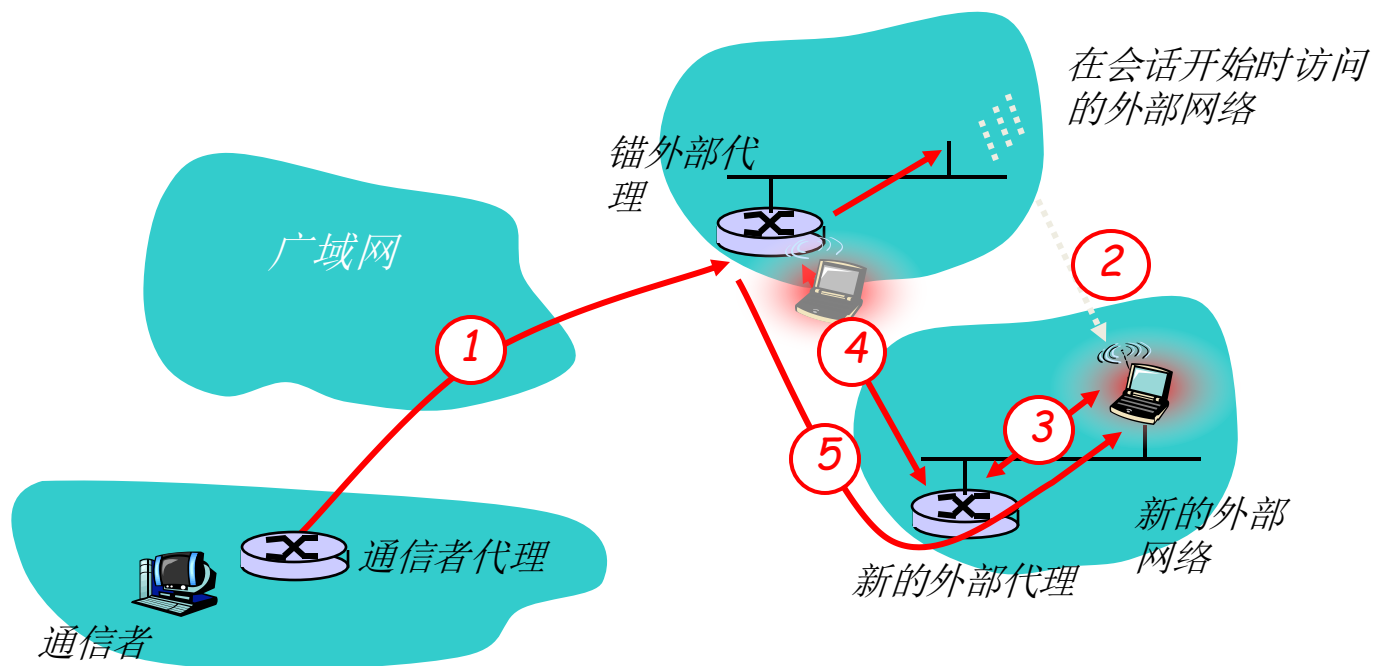
- 假定移动用户移动到另外的网络
 - 注册到新的外部代理
 - 新的外部代理向归属代理注册
 - 归属代理更新移动用户的转交地址
 - 分组继续向移动用户转发(但具有新的转交地址)
- 移动、访问网络是透明的: 进行中的连接能被维护!

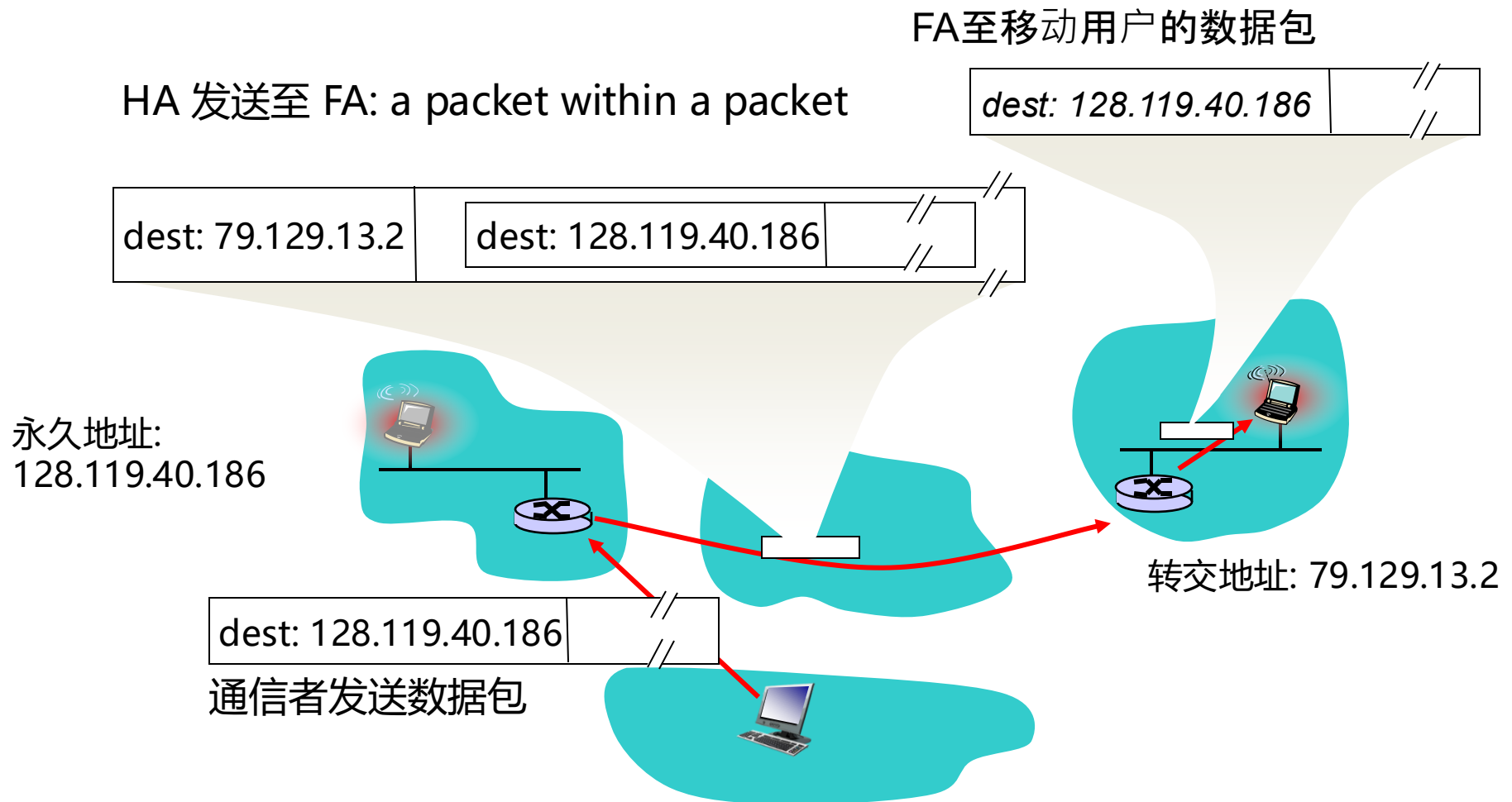


- 克服三角形选路问题
- **对通信者非透明:** 通信者必须从归属代理得到转交地址
 - 如果移动用户改变被访网络会怎样?

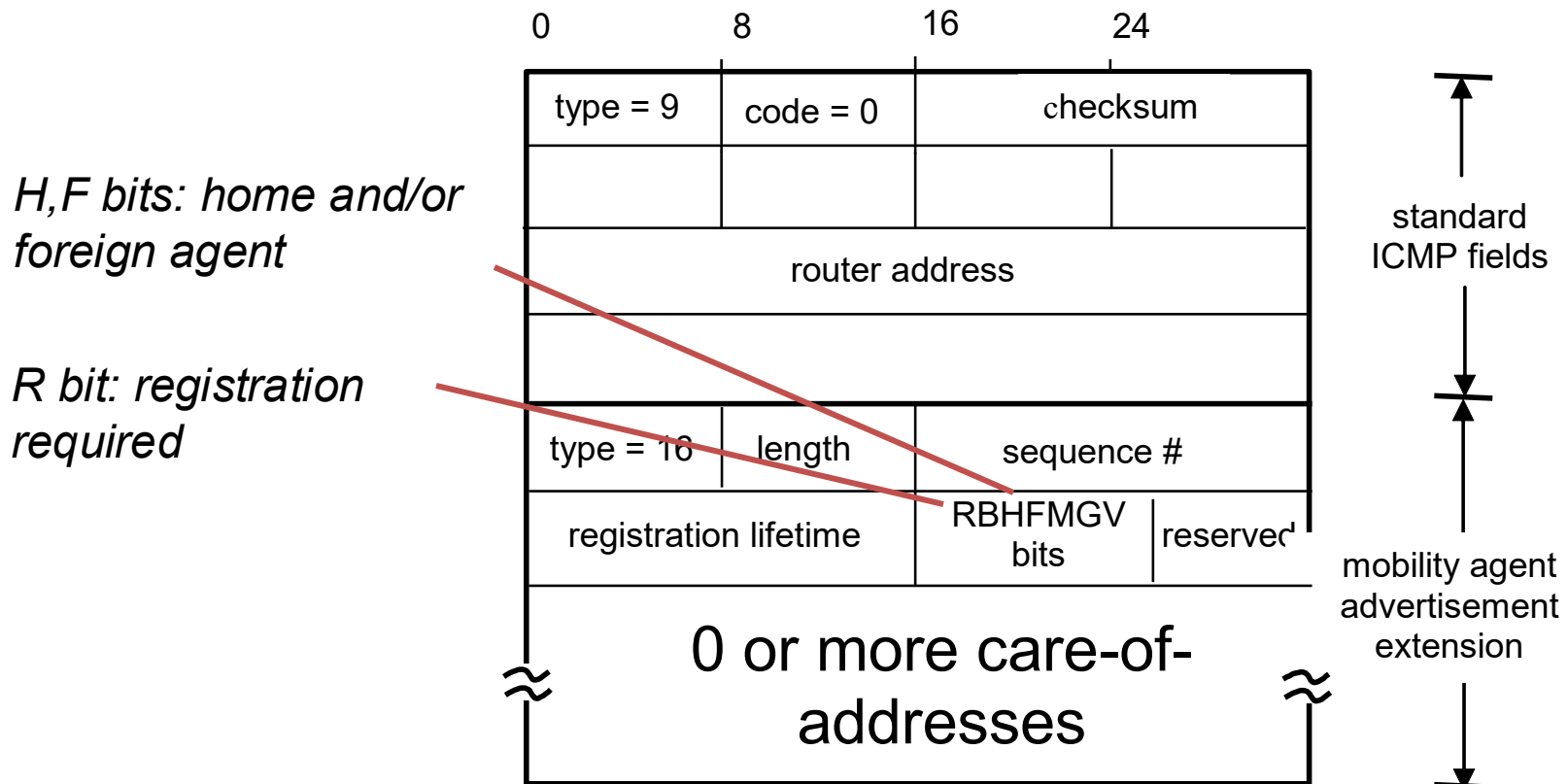


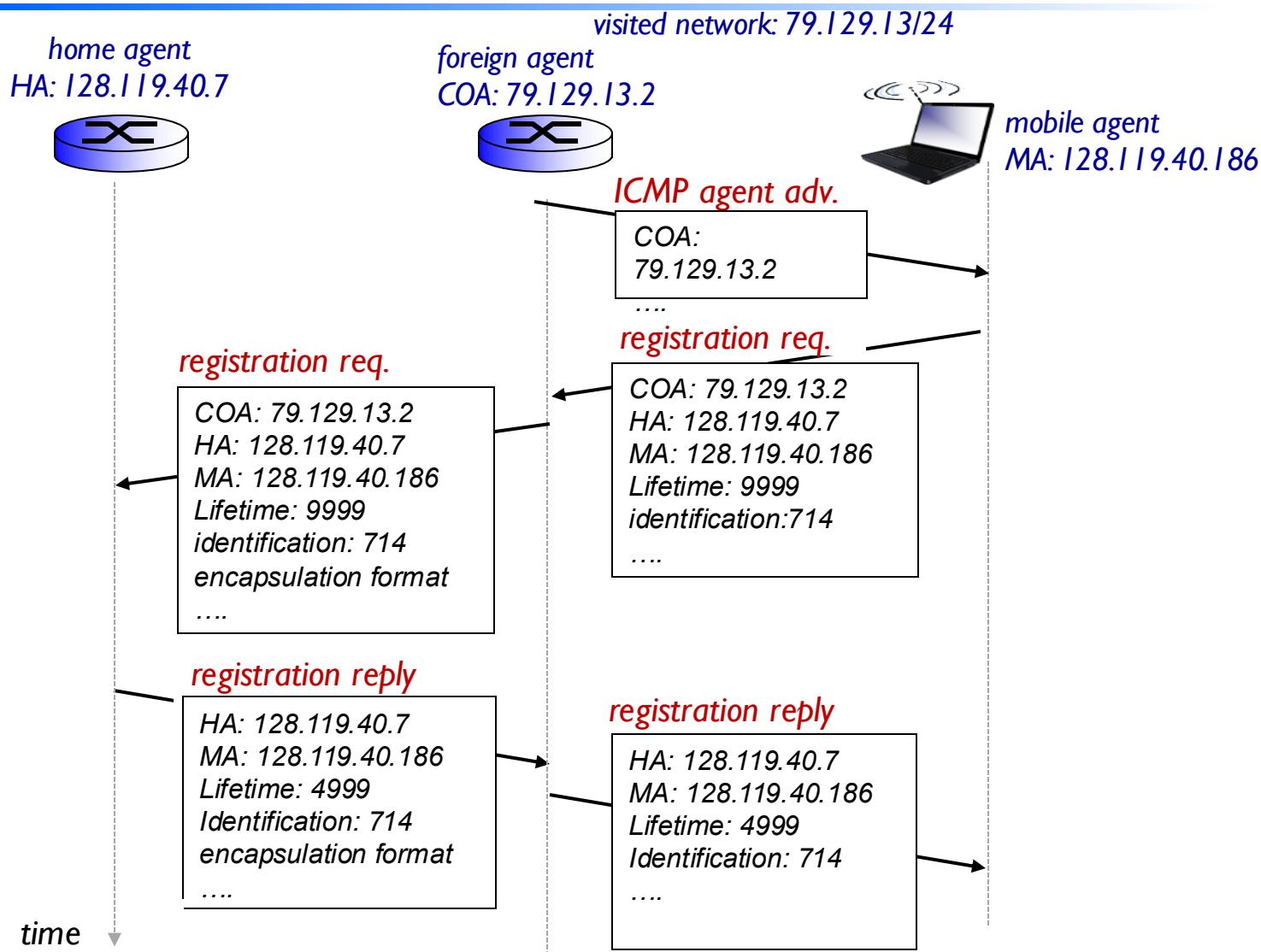
- 锚外部代理: FA位于首个被访网络中
- 数据总是首先路由到锚FA
- 当移动用户移动: 新的FA安排让数据从旧的FA(链接)转发



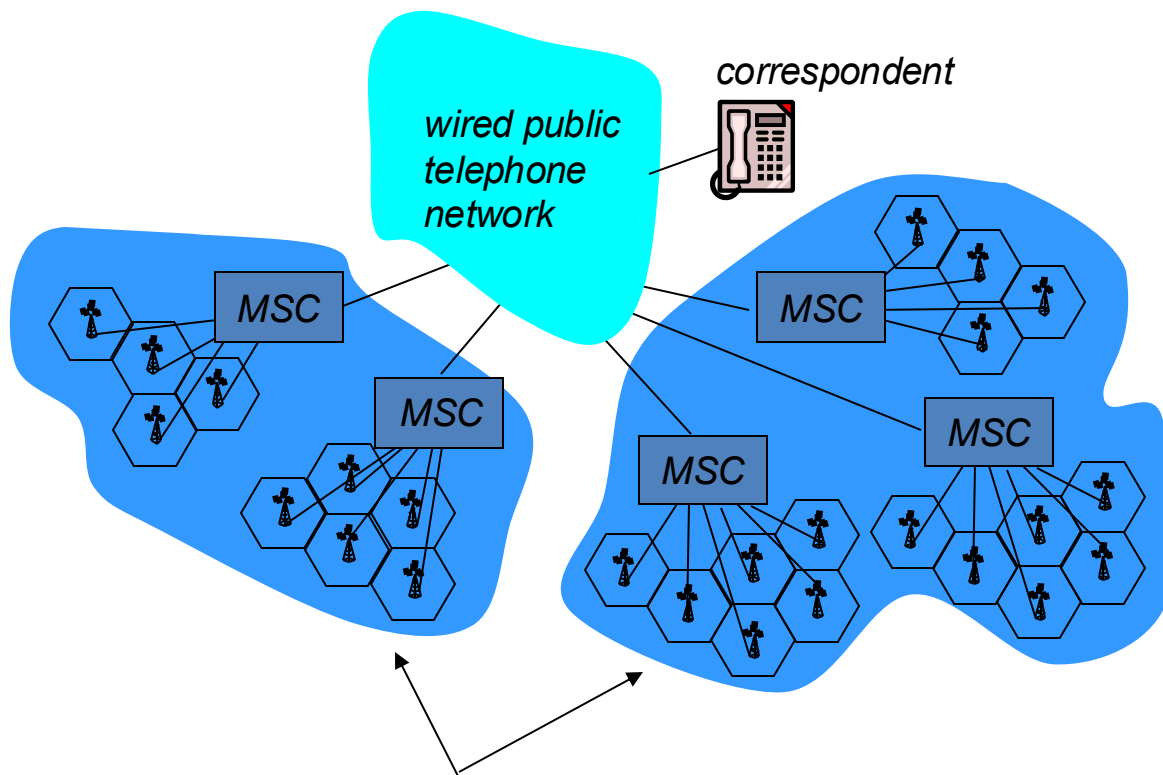


- *agent advertisement*: foreign/home agents advertise service by broadcasting ICMP messages (typefield = 9)





MSC: 移动交换中心

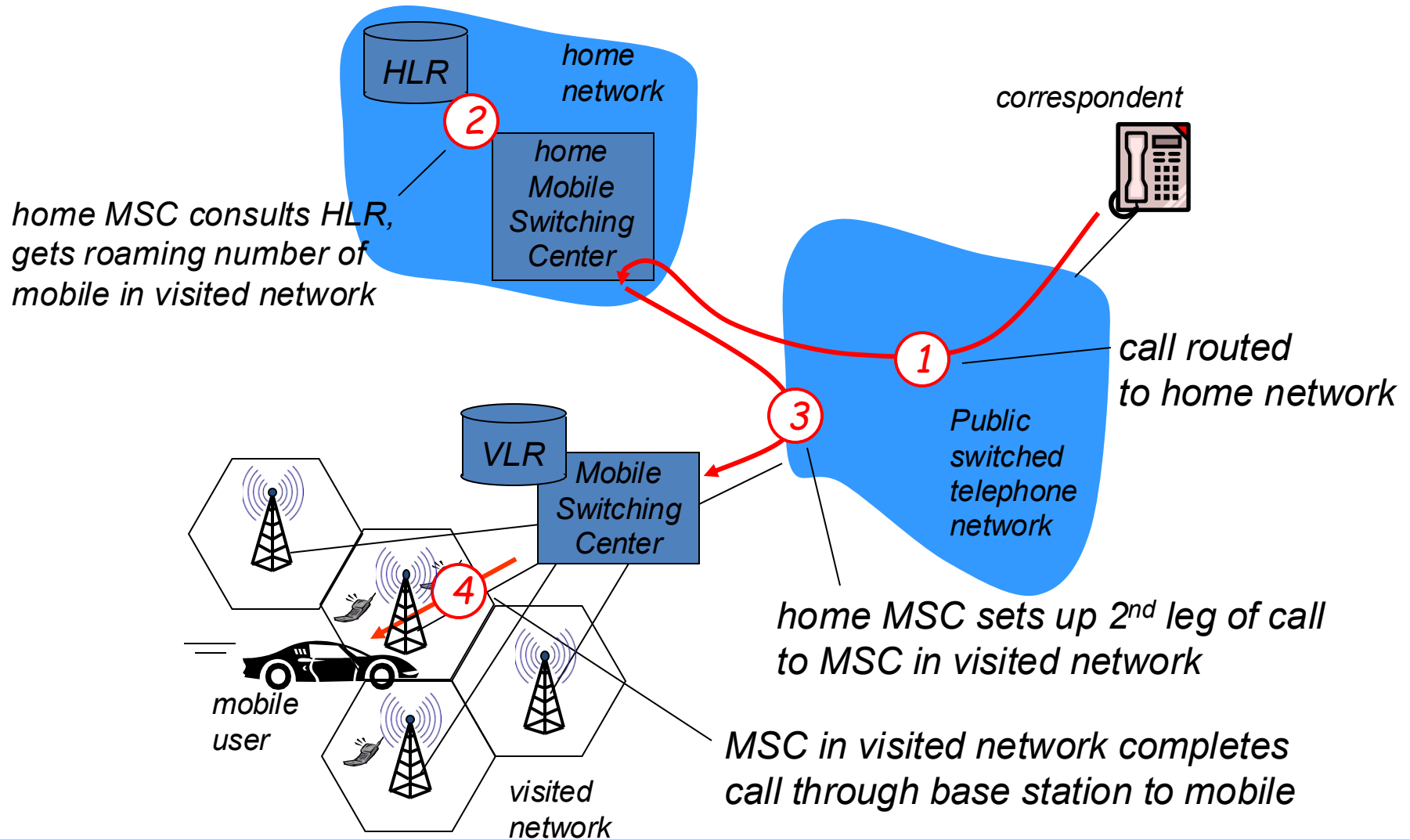


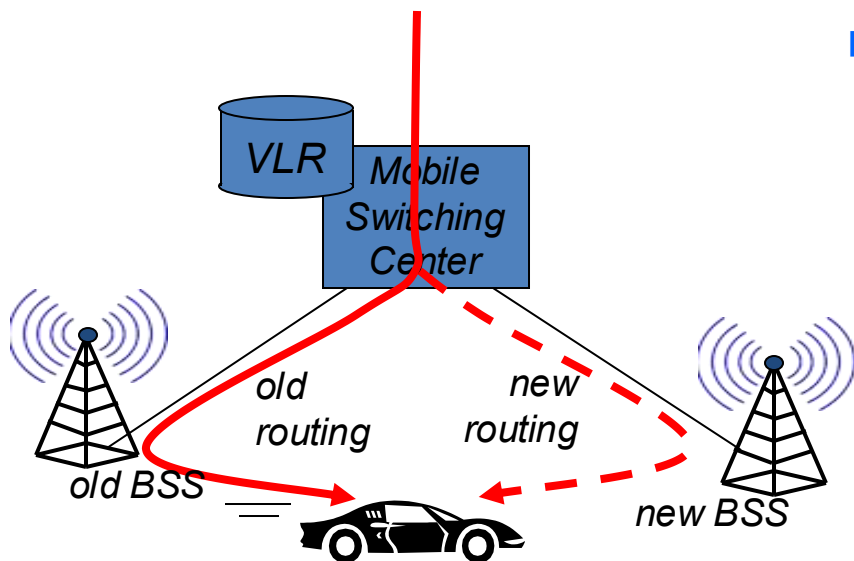
蜂窝网从属于不同运营商

- *home network*: 归属网络(e.g., 移动联通电信)
 - *home location register (HLR)*: database in home network containing permanent cell phone #, profile information (services, preferences, billing), information about current location (could be in another network)
- *visited network*: 移动用户漫游所在的网络
 - *visitor location register (VLR)*: database with entry for each user currently in network
 - 也可以是home network

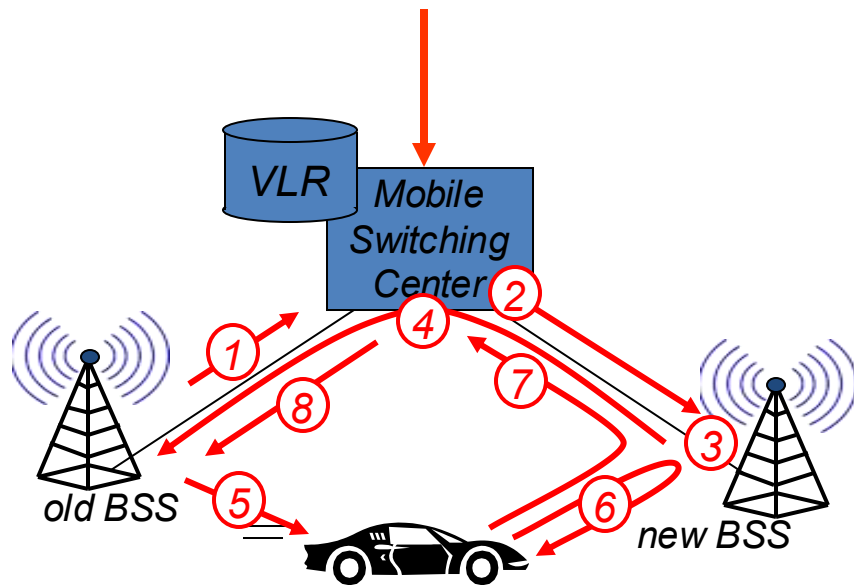
GSM蜂窝网: 间接转发

软件学院 · 计算机网络

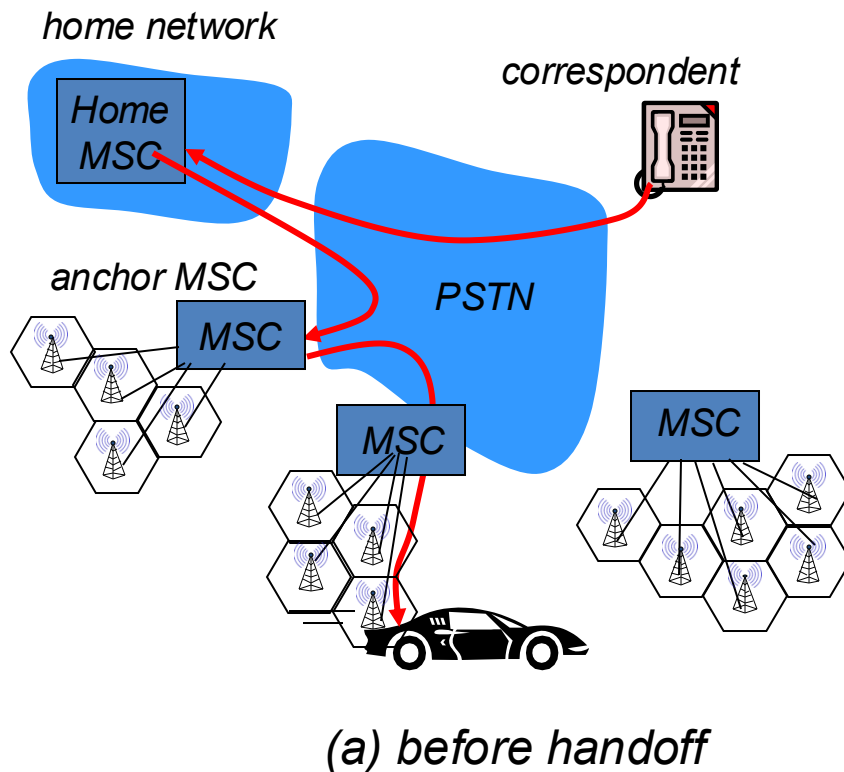




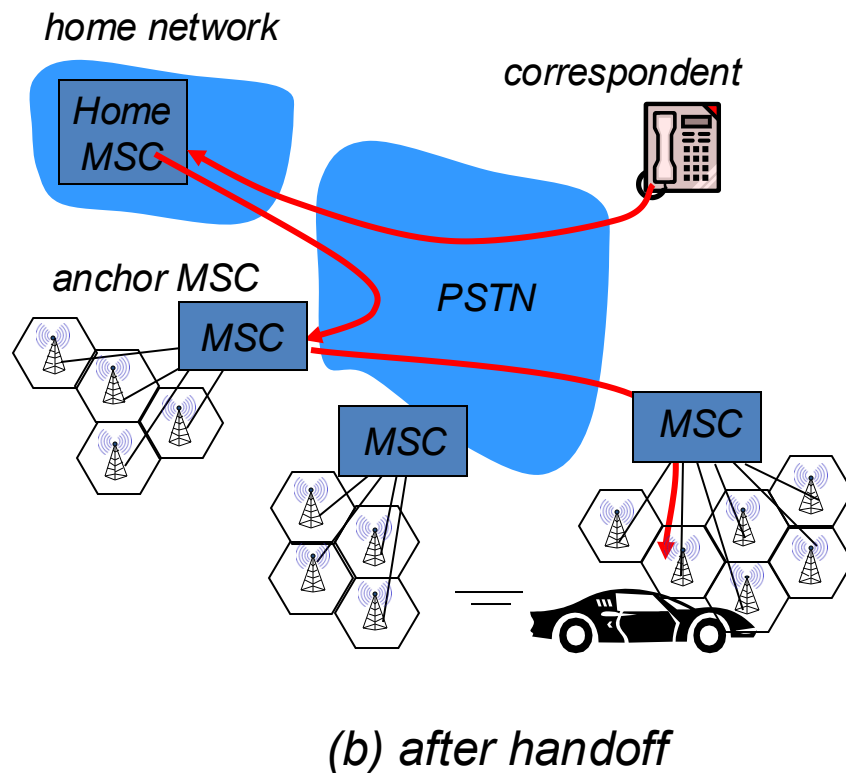
- **切换目的:** 当用户移动时, 在新旧基站之间实现无缝切换
- **导致切换的原因:**
 - 信号强度变化: stronger signal to/from new BSS (continuing connectivity, less battery drain)
 - 负载均衡: free up channel in current BSS
 - GSM doesn't mandate why to perform handoff (policy), only how (mechanism)
- old BSS 发起切换



1. *old BSS informs MSC of impending handoff, provides list of 1+ new BSSs*
2. *MSC sets up path (allocates resources) to new BSS*
3. *new BSS allocates radio channel for use by mobile*
4. *new BSS signals MSC, old BSS: ready*
5. *old BSS tells mobile: perform handoff to new BSS*
6. *mobile, new BSS signal to activate new channel*
7. *mobile signals via new BSS to MSC: handoff complete. MSC reroutes call*
8. *MSC-old-BSS resources released*



- 锚 (anchor) MSC: first MSC visited during call
 - call remains routed through anchor MSC
- new MSCs add on to end of MSC chain as mobile moves to new MSC
- optional path minimization step to shorten multi-MSC chain

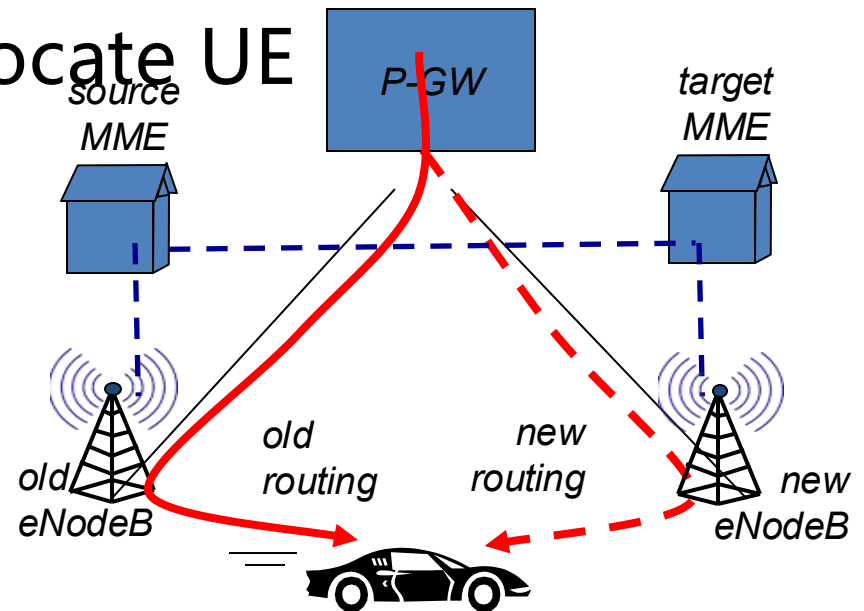


- **锚 (anchor) MSC**: first MSC visited during call
 - call remains routed through anchor MSC
- new MSCs add on to end of MSC chain as mobile moves to new MSC
- optional path minimization step to shorten multi-MSC chain

- 呼叫 (Paging) : idle UE may move from cell to cell: network does not know where the idle UE is resident
 - paging message from MME broadcast by all eNodeB to locate UE

- *handoff: similar to 3G:*

- *preparation phase*
- *execution phase*
- *completion phase*



cellular element	Comment on cellular element	Mobile IP element
Home system	Network to which mobile user's permanent phone number belongs	Home network
Gateway Mobile Switching Center, or "home MSC". Home Location Register (HLR)	Home MSC: point of contact to obtain routable address of mobile user. HLR: database in home system containing permanent phone number, profile information, current location of mobile user, subscription information	Home agent
Visited System	Network other than home system where mobile user is currently residing	Visited network
Visited Mobile services Switching Center. Visitor Location Record (VLR)	Visited MSC: responsible for setting up calls to/from mobile nodes in cells associated with MSC. VLR: temporary database entry in visited system, containing subscription information for each visiting mobile user	Foreign agent
Mobile Station Roaming Number (MSRN), or "roaming number"	Routable address for telephone call segment between home MSC and visited MSC, visible to neither the mobile nor the correspondent.	Care-of-address



- 本章主要内容
- 了解码分多址（CDMA）机制；
- 熟悉802.11协议及其性能指标；
- 了解广域网中的接入机制；