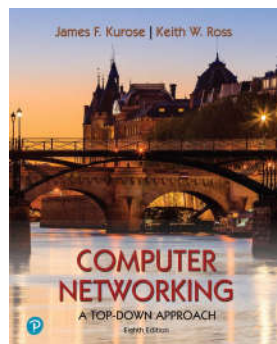


# 无线与移动网络（下）

中国科学技术大学  
自动化系 郑烜  
改编自Jim kurose, Keith Ross



*Computer Networking: A Top-Down Approach*  
8<sup>th</sup> edition  
Jim Kurose, Keith Ross  
Pearson, 2020

## 第七章 提纲

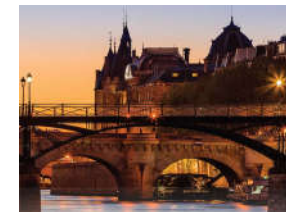
### ■ 引论

### 无线

- 无线链路和网络特征
- WiFi: 802.11 无线局域网
- 蜂窝网络: 4G 和 5G

### 移动性

- 移动性管理: 原理
- 移动性管理: 实践
  - 4G/5G networks
  - Mobile IP
- 移动性: 对于高层协议的冲击



Wireless and Mobile Networks: 7- 2

2021中科大高网

## 4G/5G 蜂窝网络

- 广域移动互联网解决方案
- 4G的广泛部署和使用
  - 移动宽带连接设备比固定宽带连接设备要多（5-1 in 2019）
  - 4G可用比例: 97%, 韩国（90% 美国）
- 最大传输速率可达: 100Mbps
- 技术标准: 3rd Generation Partnership Project (3GPP)
  - www.3gpp.org
  - 4G: Long-Term Evolution (LTE) 标准

Wireless and Mobile Networks: 7- 3

2021中科大高网

## 4G/5G 蜂窝网络

### 与有线互联网的相同点

- 都有网路边缘/核心之分, 边缘和核心同属于一个运营商
- 全球蜂窝网络: 也是网络的网络互联
- 大量使用我们已经学过的互联网协议: HTTP, DNS, TCP, UDP, IP, NAT, 数据平面/控制平面分离, SDN, 以太网, 隧道
- 和有线互联网互联

### 与有线互联网的差别

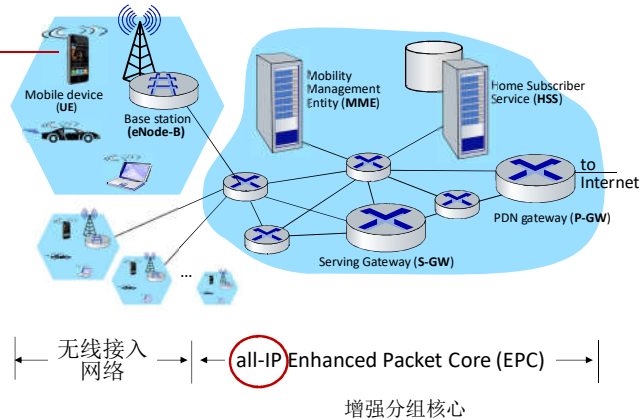
- 不同的无线链路层
- 移动性作为第一类服务类型
- 用户有“身份标识”（通过SIM卡）
- 商业模式: 用户订购运营商的业务
  - 有归属网络和被访网络的明确概念
  - 支持全球接入, 需要基础设施的认证, 以及网络运营商之间有合约

Wireless and Mobile Networks: 7- 4

## 4G LTE 架构的网元

### 移动设备

- 智能手机, 平板, 笔记本, IoT... 通过4G LTE无线接入
- 64-bit International Mobile Subscriber Identity (IMSI), 存储在SIM (Subscriber Identity Module) 卡中
- LTE术语: User Equipment (UE)

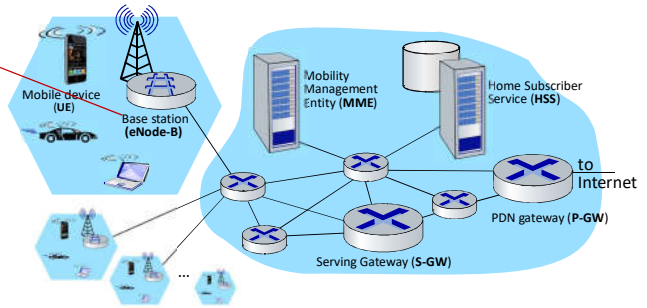


Wireless and Mobile Networks: 7- 5

## 4G LTE 架构的网元

### Base station:

- 在运营商网络的边缘
- 管理无线电磁波资源, 管理在其覆盖范围区域的基站 (蜂窝)
- 和其他网元协作完成移动设备的认证
- 和WiFi AP类似, 但是
  - 用户移动性管理中扮演主动角色
  - 和周边基站协调, 优化无线电磁波的使用
- LTE术语: eNode-B

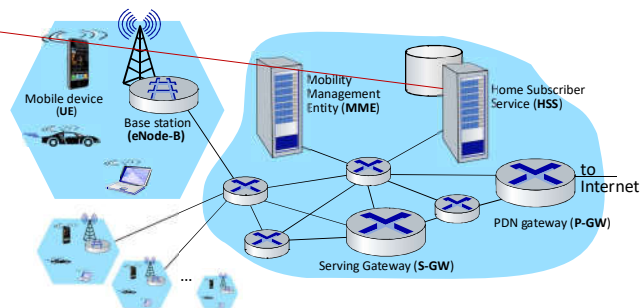


Wireless and Mobile Networks: 7- 6

## 4G LTE架构的网元

### Home Subscriber Service

- 存储移动设备的信息, 该HSS是这些移动设备的归属网络
- 在移动设备的认证工程中与 (被访网络中的) MME 协调动作

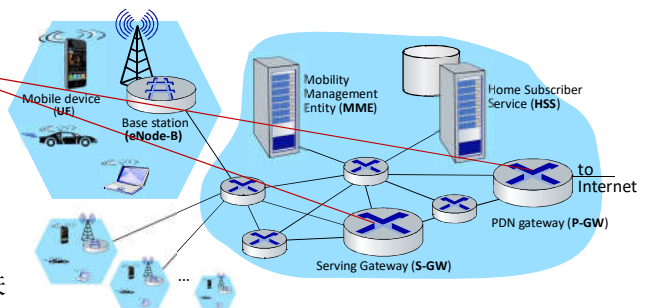


Wireless and Mobile Networks: 7- 7

## 4G LTE架构的网元

### Serving Gateway (S-GW), PDN Gateway (P-GW)

- 部署在 (移动设备---互联网) 数据的进出路径上
- P-GW
  - 移动蜂窝网络的网关
  - 看起来就像互联网的网关路由器
- 其他路由器:
  - 大量使用隧道技术

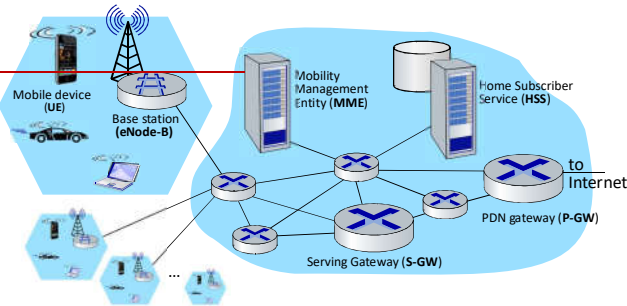


Wireless and Mobile Networks: 7- 8

## 4G LTE 架构的网元

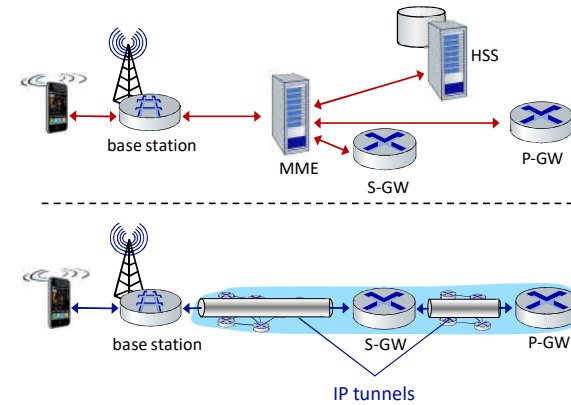
### Mobility Management Entity

- 设备认证（设备-网络双向认证）
- 和移动设备的归属HSS协调
- 移动设备的管理：
  - 设备在蜂窝间切换
  - 跟踪/寻呼设备位置
- 负责移动设备到P-GW间隧道的建立



Wireless and Mobile Networks: 7- 9

## LTE：数据平面控制平面分离



### 控制平面

移动性管理，安全和认证  
全新协议

### 数据平面

数据链路层和物理层新协议

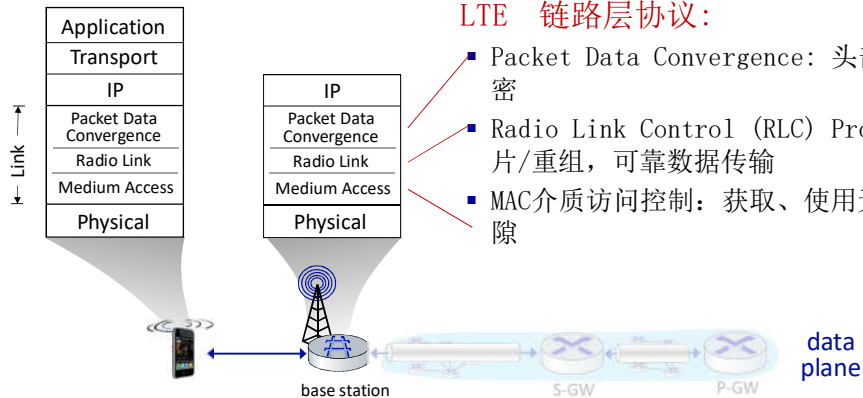
- 大量使用隧道方便支持移动性

Wireless and Mobile Networks: 7- 10

## LTE 数据平面协议栈：第一跳

### LTE 链路层协议：

- Packet Data Convergence: 头部压缩，加密
- Radio Link Control (RLC) Protocol: 分片/重组，可靠数据传输
- MAC介质访问控制：获取、使用无线传输时隙

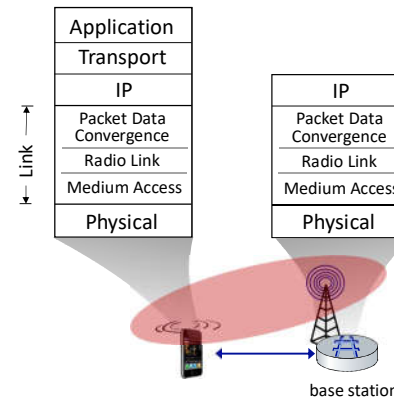


Wireless and Mobile Networks: 7- 11

## LTE 数据平面协议栈：第一跳

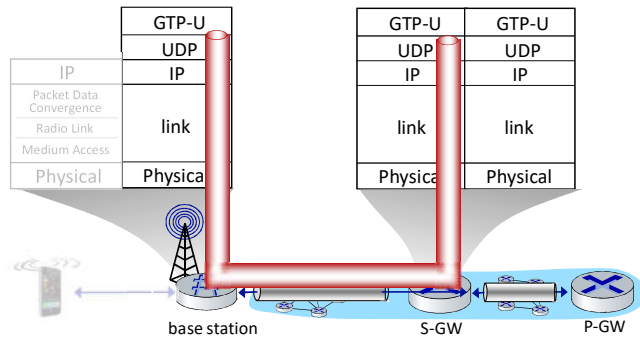
### LTE 无线接入网络：

- 下行通道：FDM, TDM 在频道中TDM (OFDM)
  - 正交频分多路复用
  - 正交：最小化信道间干扰，最大化频谱利用率
- 上行：FDM, TDM 和OFDM类似
- 每个活跃的移动设备在12个频段中分配到2个或者更多0.5ms时隙，
  - 下行的调度算法没有被标准化-取决于运营商、设备商
- 每个设备可能会达到100Mbps



Wireless and Mobile Networks: 7- 12

## LTE数据平面协议栈：分组核心



### 隧道：

- 使用GPRS隧道协议（GTP）封装的移动数据报，在UDP数据报内部发送至S-GW
- S-SW再隧道封装到P-SW
- 支持移动性：移动站点移动，隧道的端节点变化，S-GW和P-GW间的隧道不变

Wireless and Mobile Networks: 7- 13

## LTE 数据平面：和BS建立关联



- ① 基站每5ms在所有频段上广播其主要的同步信号
  - 不同运营商的基站可能都在广播同步信号
- ② 移动站点发现其主同步信号，然后在该频段上定位第二个同步信号
  - 移动站点之后发现被BS广播的信息：信道带宽、配置、BS运营商信息
  - 移动站点可能会获得多个基站和多个蜂窝网络的信息
- ③ 移动站点选择需要建立关联的基站（e.g., 优先自己的归属运营商）
- ④ 可能需要更多的步骤来进行认证，建立状态，设置数据平面

Wireless and Mobile Networks: 7- 14

## LTE 移动站点：休眠模式

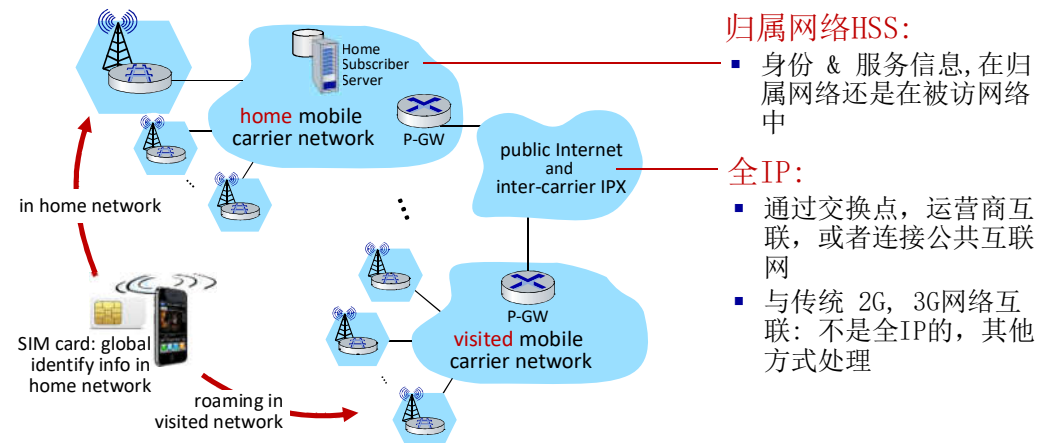


就像在WiFi和蓝牙中一样：LTE移动设备可能需要无线部分休眠来节省电池消耗：

- **轻休眠：** 100ms的非活跃
  - 周期性（100ms）醒来检查下行传输
- **深度休眠：** 5-10s的非活跃
  - 在休眠时，移动站点可能移动从而变换蜂窝，需要重新建立关联

Wireless and Mobile Networks: 7- 15

## 全球蜂窝网络：IP网络的网络



### 归属网络HSS：

- 身份 & 服务信息，在归属网络还是在被访网络中

### 全IP：

- 通过交换点，运营商互联，或者连接公共互联网
- 与传统 2G, 3G网络互联：不是全IP的，其他方式处理

Wireless and Mobile Networks: 7- 16

## 进行中的5G!

- **goal**: 相比于4G网络, 10x 峰值数率, 10x减少延迟, 100x流量容量
- 5G NR (new radio):
  - 2个频段: FR1 (450 MHz - 6 GHz) 和 FR2 (24 GHz - 52 GHz):毫米波频段
  - 不对4G向后兼容, 仅仅靠基站和软件升级不够, 必须重新部署
  - MIMO 多向天线 (波束成形)
- **毫米波频段**: 更高的数据速率, 但是更小的覆盖范围
  - 微基站: 蜂窝10-100m
  - 需要大量、密集部署5G新基站

Wireless and Mobile Networks: 7- 17

## 第七章 提纲

### 引论

#### 无线

- 无线链路和网络特征
- WiFi: 802.11 无线局域网
- 蜂窝网络: 4G 和 5G

#### 移动性

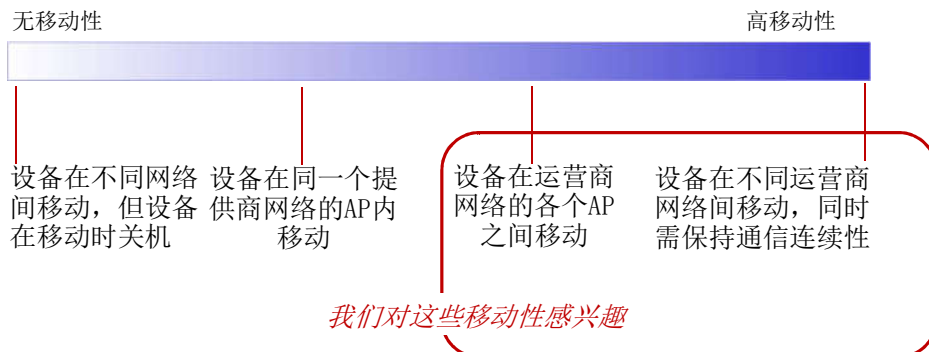
- 移动性管理: 原理
- 移动性管理: 实践
  - 4G/5G networks
  - Mobile IP
- 移动性: 对于高层协议的冲击



Wireless and Mobile Networks: 7- 18

## 什么是移动性?

### 移动性谱 (网络视角):



Wireless and Mobile Networks: 7- 19

## 移动性管理办法

### 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!

Wireless and Mobile Networks: 7- 20



## 移动性管理办法

- 让网络（路由器）处理移动性：
  - 路由器通过日常的路由表通告移动到本网络的节点地址（永久32位IP地址），例如：电话号码）
  - 互联网的路由已经可以完成这个工作！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

Wireless and Mobile Networks: 7- 21

## 联系你移动中的朋友：

考虑到你的一位朋友，她经常变换地址，如何才能找到她？

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

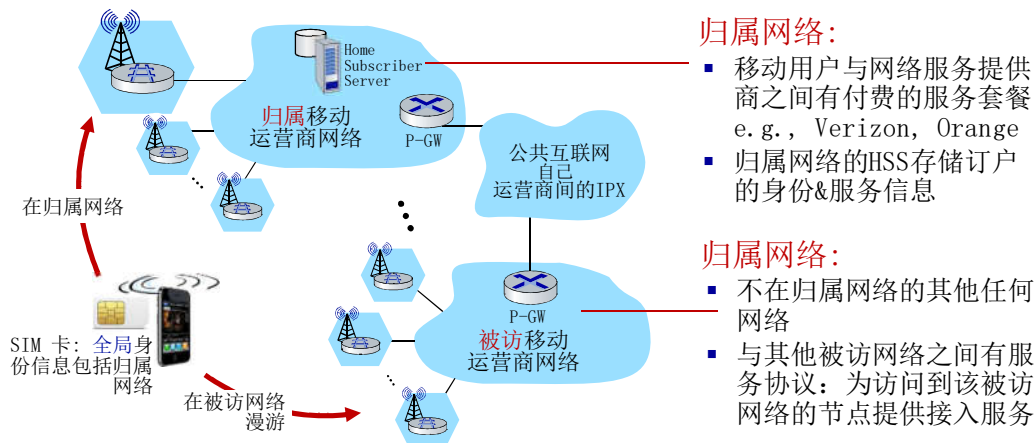
有个归属home的重要性：

- 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



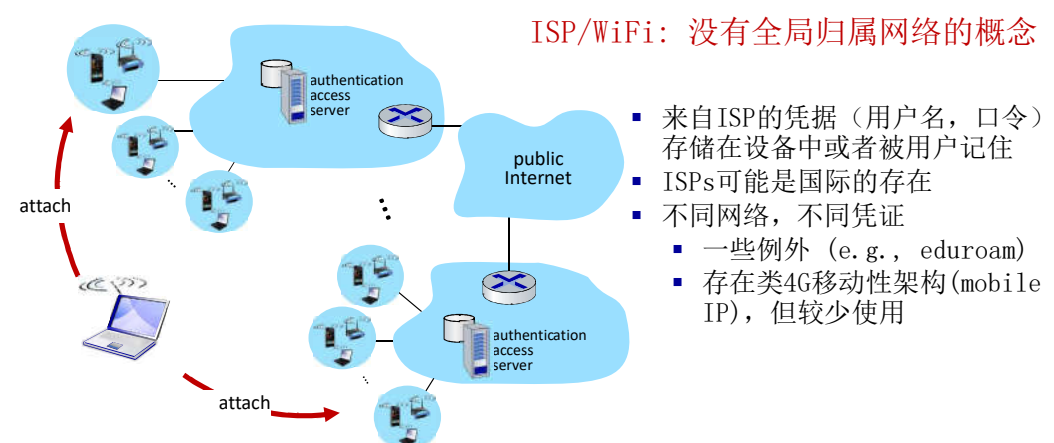
Wireless and Mobile Networks: 7- 22

## 归属网络、被访网络：4G/5G



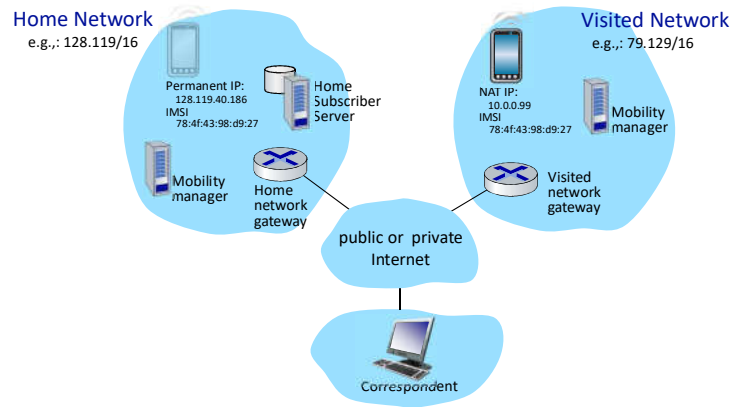
Wireless and Mobile Networks: 7- 23

## 归属网络、被访网络：ISP/WiFi



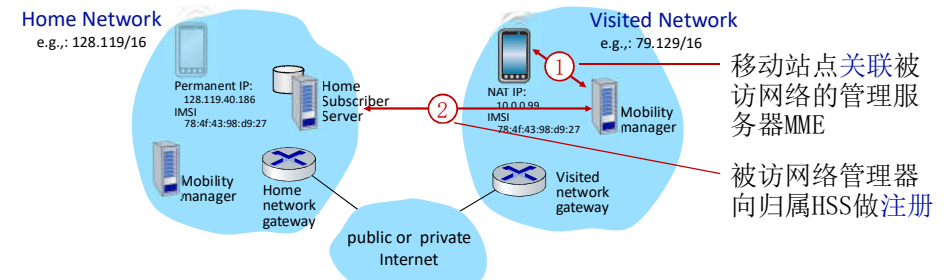
Wireless and Mobile Networks: 7- 24

## 归属网络、被访网络：一般化移动性管理



Wireless and Mobile Networks: 7- 25

## 注册：归属网络需要知道订户的当前位置！

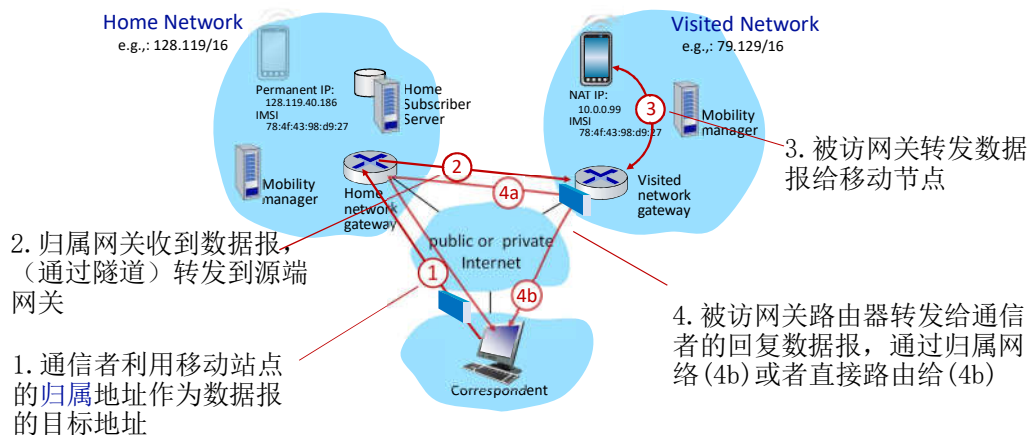


结果：

- 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

Wireless and Mobile Networks: 7- 26

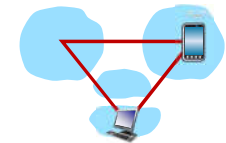
## 向移动设备间接路由



Wireless and Mobile Networks: 7- 27

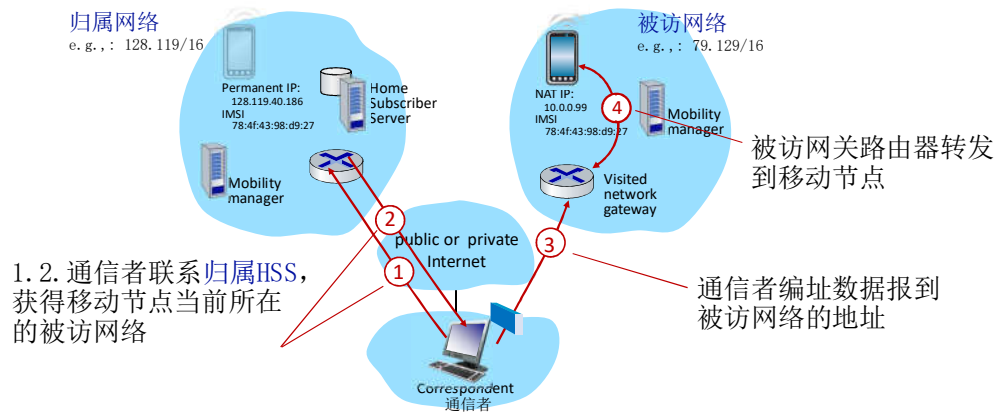
## 向移动设备间接路由：评述

- 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！



Wireless and Mobile Networks: 7- 28

## 移动性管理中的直接路由



Wireless and Mobile Networks: 7- 29

## 移动性管理中的直接路由: 评述

- 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

Wireless and Mobile Networks: 7- 30

## 第七章 提纲

### ■ 引论

### 无线

- 无线链路和网络特征
- WiFi: 802.11 无线局域网
- 蜂窝网络: 4G 和 5G

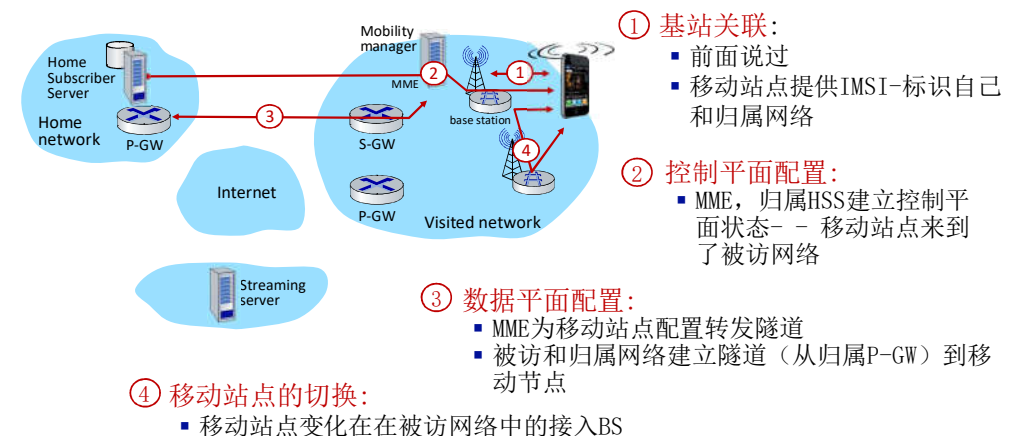
### 移动性

- 移动性管理: 原理
- 移动性管理: 实践
  - 4G/5G networks
  - Mobile IP
- 移动性: 对于高层协议的冲击



Wireless and Mobile Networks: 7- 31

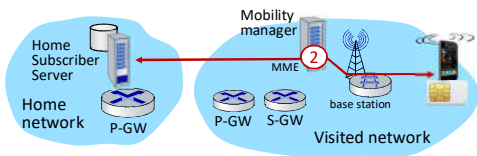
## 4G网络中的移动性: 主要的移动性任务



Wireless and Mobile Networks: 7- 32



## 配置LTE控制平面网元

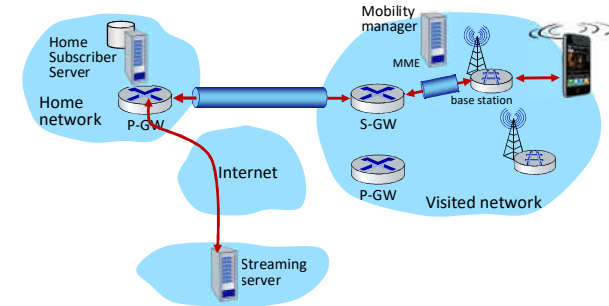


- 移动节点通过BS控制平面信道，与MME通信
- MME采用移动设备的IMSI信息和移动设备的HSS沟通
  - 获取**认证**，加密和网络服务信息
  - 归属HSS知道移动站点目前**被注册**在该被访网络中
- BS、移动节点**选择参数**用于：BS-移动站点的无线信道

Wireless and Mobile Networks: 7- 33

## 为移动节点配置数据平面隧道

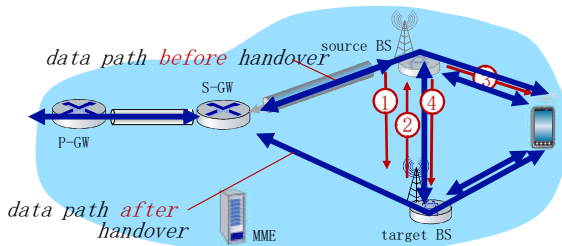
- S-GW 到 BS 隧道**：当移动节点切换BS时，仅仅变换一下隧道的另外一个端节点的IP地址就可以了
- S-GW到归属P-GW隧道**：间接路由



- 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

Wireless and Mobile Networks: 7- 34

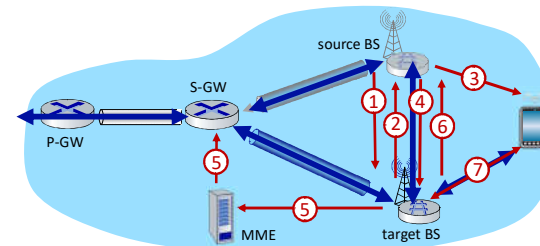
## 在同一个运营商网络内切换BS



- 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RACH 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）

Wireless and Mobile Networks: 7- 35

## 在同一个运营商网络内切换BS



- 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

Wireless and Mobile Networks: 7- 36

## Mobile IP

- mobile 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
- mobile 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

Wireless and Mobile Networks: 7- 37

## 第七章 提纲

### ■ 引论

### 无线

- 无线链路和网络特征
- WiFi: 802.11 无线局域网
- 蜂窝网络: 4G 和 5G

### 移动性

- 移动性管理：原理
- 移动性管理：实践
  - 4G/5G networks
  - Mobile IP
- 移动性：对于高层协议的冲击



Wireless and Mobile Networks: 7- 38

## 无线和移动性：对于高层协议的冲击

- 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

Wireless and Mobile Networks: 7- 39

## 第七章 总结

### 无线

- 无线链路和网络的特点
- WiFi: 802.11 WLANs
- 蜂窝网络: 4G和5G

### 移动性

- 移动性管理：原理
- 移动性原理：实践
  - 4G/5G网络
  - 移动IP
- 无线和移动性对于高层协议的冲击



Wireless and Mobile Networks: 7- 40