

第七章 无线与移动网络

Computer Networking
A Top-Down Approach
KUROSE + ROSS

计算机网络：自顶向下的方法

第七版
Jim Kurose, Keith Ross
Pearson/Addison Wesley
April 11, 2016

Nearly all PowerPoint slides come from the book "Computer Networking: A Top-Down Approach," 7th edition, Jim Kurose, Keith Ross, Pearson, 2016. Copyright, 1990-2020. All Rights Reserved.

Network Layer: Data Plane 4-1

无线网络和移动网络: 背景

- 移动（无线）电话的用户数量超过了固定（有线）电话的用户。截至2019年，前者用户数是后者的10倍！
- 使用移动宽带的设备数量超过了使用固定宽带的设备。截至2019年，前者数量是后者的5倍！
- 4G/5G 蜂窝网络已经采用了Internet协议栈，包括SDN（Software Defined Network，软件定义网络）
- 两个重要挑战
 - 无线：如何在无线链路上进行通信
 - 移动性：如何处理用户在不同接入点之间的切换

Wireless and Mobile Networks 7-2

第七章：大纲

简介

无线

- 无线链路网络的特征
- WiFi: 802.11 wireless LANs
- 蜂窝网络: 4G 和 5G

移动性

- 移动管理: 原理
- 移动管理: 实践
 - 4G/5G 网络
 - 移动 IP
- 移动性: 对高层协议的影响

Wireless and Mobile Networks 7-3

无线网络的要素

有线网络基础设施

Wireless and Mobile Networks 7-4

无线网络的要素

无线主机

- 笔记本, 智能手机, IOT设备
- 运行应用的终端
- 可以是移动的（如智能手机），也可以是不移动的（如摄像头）
 - 无线≠移动！

Wireless and Mobile Networks 7-5

无线网络的要素

基站

- 通常连接到有线网络
- 中继——负责在有线网络与无线主机之间发送数据包
- 如信号塔, 802.11 接入点

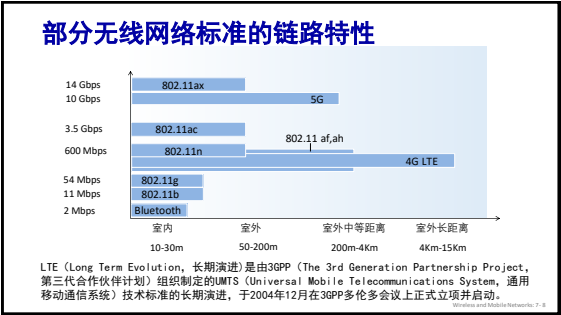
Wireless and Mobile Networks 7-6

无线网络的要素

无线链路

- 将移动设备连接到基站，也被用作骨干链路
- 协调多种访问控制协议
- 有不同的传输速率、距离和频率

Wireless and Mobile Networks 7-7



无线网络的要素

基础设施模式

- 移动设备通过基站连接到网络
- 切换 (Handoff): 移动设备从一个基站的范围移动到另一基站的范围时, 它会自动改变连接的基站。

Wireless and Mobile Networks 7-9

无线网络的要素

自组织模式

- 没有基站
- 节点只能向链路范围内的其他节点发送数据
- 所有的节点组织成一个网络; 由节点自己提供路由、地址分配等服务。

Wireless and Mobile Networks 7-10

无线网络分类

	单跳	多跳
基础设施 (e. g., APs)	主机连接到基站 (WiFi, cellular), 再由基站连接到更大的有线网络	主机必须通过几个无线节点进行中继才能连接到更大的 Internet。如网状网络 (mesh network)
无基础设施	不存在与无线网络连接的基站, 更没有通往更大网络的连接。如蓝牙、自组织网络等。	没有基站, 也没有通往更大有线网络的连接。每个节点可能需要中继其他节点之间的数据。如MANET, VANET

* MANET (Mobile Ad Hoc Network), 无线自组织网络

* VANET (Vehicular ad-hoc network), 车载随意移动网络

Wireless and Mobile Networks 7-11

第七章：大纲

简介

无线

- 无线链路和网络特征
- WiFi: 802.11 wireless LANs
- 蜂窝网络: 4G 和 5G

移动

- 移动管理: 原理
- 移动管理: 时间
 - 4G/5G 网络
- 移动 IP
- 移动性: 对高层协议的影响

Wireless and Mobile Networks 7-12

无线链路特征(1)

与有线网络之间的**重要区别**。

- **递减的信号强度**：无线信号在穿过物体时，强度将会逐渐减弱，即存在路径损耗 (path loss)
- **来自其它源的干扰**：使用相同频率的信号源（如 Wi-Fi, 蜂窝电话等）可能会彼此干扰，导致冲突 (interference)
- **多径传播**：当电磁波的一部分受物体和地面反射，在发送方和接收方之间走了不同长度的路径。这使得接收方收到的信号变得模糊。

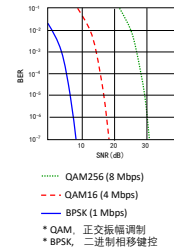
这些问题使无线链路上的通信（即便是点到点通信）比有线链路更困难。



Wireless and Mobile Networks 7.12

无线链路特征(2)

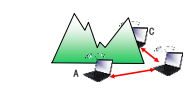
- **SNR: 信噪比 (signal-to-noise ratio)**
 - 信号强度与噪声强度的相对测量。
 - SNR 越大 - 表明更容易从背景噪声中提取原始信号
- **SNR 与 比特差错率 (BER) 的折衷**
 - 对于给定的物理层：提高功率 \rightarrow SNR 提高 \rightarrow BER 降低
 - 对于给定的 SNR：在满足 BER 要求的条件下，选择吞吐量尽可能高的物理层
 - SNR 可能会随着移动而变化：物理层调制技术的动态选择，实现了受制于 BER 约束前提下提供最高的可能传输速率



QAM256 (8 Mbps)
QAM16 (4 Mbps)
BPSK (1 Mbps)
QAM, 正交振幅调制
BPSK, 二进制相移键控

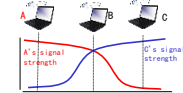
无线链路特征(3)

有多个无线发送者，接收者会有额外的问题（非多路访问控制问题）：



隐藏终端问题

- A和B可以侦测到彼此
- B和C可以侦测到彼此
- A和C不能侦测到彼此，因此A和C同时向B发送数据时，信号会在B处产生干扰。



信号衰减：

- A和B可以侦测到彼此
- B和C可以侦测到彼此
- A和C无法发现它们在B处发生了冲突。

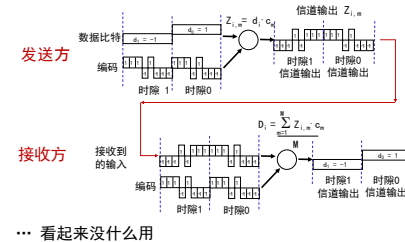
Wireless and Mobile Networks 7.13

码分多址 CDMA, Code Division Multiple Access

- 为每个用户分配不同的编码：即编码集划分
- 所有用户使用相同的频率发送数据，但是每个用户都使用自己的码片序列（即编码）对数据编码
 - 允许多个用户“同时存在”并且以最小的干扰同时传输
 - 码片序列需要“正交”
- **编码**：内积：(原始数据) * (码片序列)
- **解码**：内积和： \sum (编码数据) * (码片序列)

Wireless and Mobile Networks 7.14

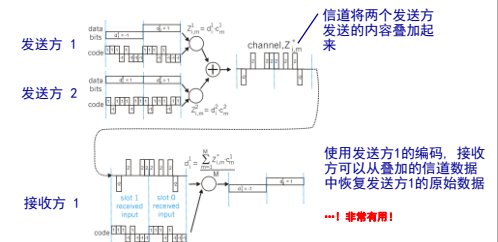
CDMA 编码/解码



... 看起来没什么用

Wireless and Mobile Networks 7.15

CDMA: 两个发送者干扰的情况



使用发送方1的编码，接收方可以从叠加的信道数据中恢复发送方1的原始数据

...! 非常有用!

Wireless and Mobile Networks 7.16

第七章：大纲

简介

无线

- 无线链路和网络特征
- WiFi: 802.11 无线 LANs
- 蜂窝网络: 4G and 5G



移动性

- 移动管理: 原理
- 移动管理: 实践
 - 4G/5G 网络
 - 移动 IP
- 移动性: 对高层协议的影响

Wireless and Mobile Networks 7. 12

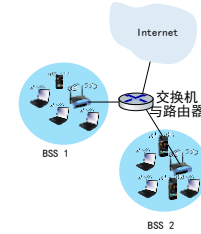
IEEE 802.11 无线局域网 (WiFi)

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	3.47Gbps	70m	5 Ghz
802.11ax (WiFi 6)	2020 (exp.)	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

均使用CSMA/CA 实现多路访问,并都有基站和自组织网络 (ad hoc)版本。

Wireless and Mobile Networks 7. 20

802.11 LAN 体系结构



- 基础设施模式中的基本服务集 (BSS, Basic Service Set) 包括:
 - 无线节点
 - 接入点 (AP): 基站
- 无线节点与基站通信
基站=接入点(AP, Access Point)

Wireless and Mobile Networks 7. 22

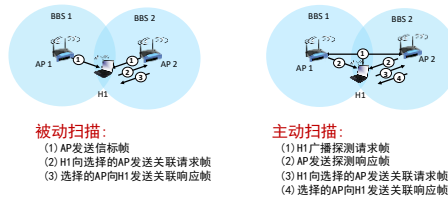
802.11: 信道与关联

- 频谱被划分为不同频率的信道
 - 由AP管理员为AP设定频率
 - 可能会存在冲突, 因为相邻的AP可能会选用相同频率的信道!
- 新加入的节点必须先与AP关联
 - 扫描信道, 侦听信标 (beacon) 帧。信标帧中包含了AP的名字 (即SSID) 和MAC地址
 - 节点选择AP并与之关联
 - 如果需要的话, 进行认证
 - 基于DHCP协议获得AP子网中的IP地址。



Wireless and Mobile Networks 7. 22

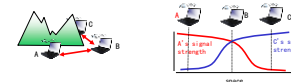
802.11: 被动/主动 扫描



Wireless and Mobile Networks 7. 23

IEEE 802.11: 多路访问

- 避免碰撞: 避免多个站点同时传输。
- 802.11: CSMA - 在传输之前进行探测
 - 传输之前侦听信道, 从而避免与其他节点的传输碰撞
- 802.11: 不使用碰撞检测!
 - 检测碰撞是困难的: 原因包括, 信号衰减; 传输信号较高, 而接收到的信号很弱
 - 无法检测所有情况下的碰撞: 如隐藏终端, 信号衰减
 - 目标: 避免碰撞: CSMA/Collision Avoidance

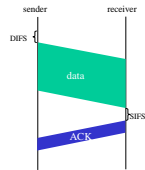


Wireless and Mobile Networks 7. 24

IEEE 802.11 MAC Protocol: CSMA/CA

802.11 发送方

- 1 若检测到信道是空闲的, 则经过一段时间 (称为分布式帧间间隔, DIFS-Distributed Inter-Frame Space)后传输整个帧 (不进行碰撞检测)
- 2 若检测到信道忙, 则
 - 选择一个随机的回退值进行计数
 - 信道空闲时, 计数递减
 - 计数减为0时发送整个数据帧并等待确认
 - 若没有收到确认, 则重新选择一个较大的回退值重新计数



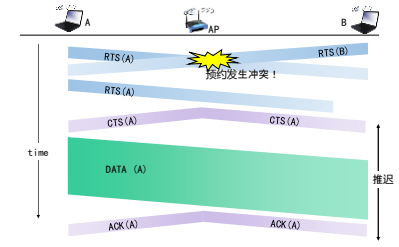
Wireless and Mobile Networks 7.18

避免碰撞

基本原理: 发送方使用小的“预订包”对信道的使用进行预约

- 发送方首先给基站发送一个小的RTS(request-to-send)-请求发送控制帧
 - RTSs 也可能彼此冲突 (但是它们很短)
- 基站针对RTS广播一个短的CTS (Clear-to-Send) 允许发送控制帧
- 所有的节点都会收到CTS帧
 - 发送者会发送数据帧
 - 其他站点将推迟发送

碰撞避免: RTS-CTS 交换



Wireless and Mobile Networks 7.19

802.11帧: 地址字段



地址1: 接收该帧的无线主机或AP的MAC地址。

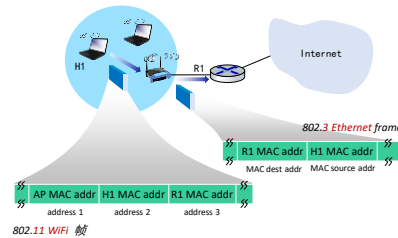
地址2: 发送该帧的无线主机或AP的MAC地址

地址3: AP连接到的路由器接口的MAC地址

地址4: 仅在ad hoc模式下使用

Wireless and Mobile Networks 7.18

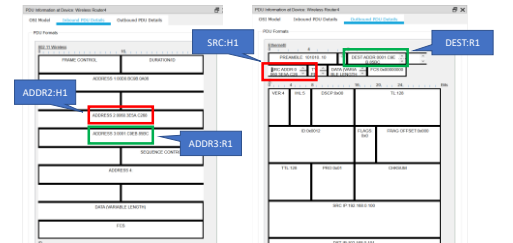
802.11帧: 地址字段



802.11 WIFI

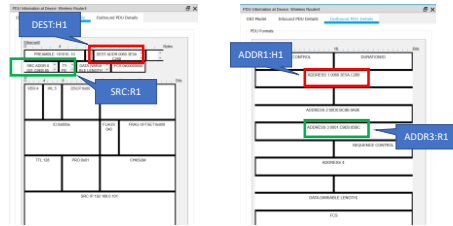
Wireless and Mobile Networks 7.19

802.11帧->802.3帧



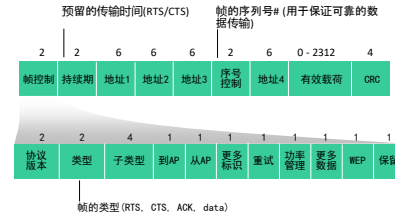
Wireless and Mobile Networks 7.19

802.3帧→802.11帧



Wireless and Mobile Networks 7.14

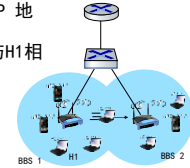
802.11帧: 地址字段



Wireless and Mobile Networks 7.15

802.11: 同一子网中的移动

- H1从BSS1移动到BSS2时
 - H1仍然在相同的子网中: IP地址可以不变。
 - 交换机如何确定哪一个AP与H1相连?
 - 自学习 (Ch. 6): 交换机收到来自于H1的帧, 并且“记住”到达H1的交换机端口。

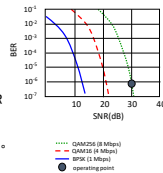


Wireless and Mobile Networks 7.16

802.11: 高级特性

速率适应

- 当移动设备移动时, 基站和移动设备通过物理层的调制技术动态改变传输速率。此时, SNR 会发生变化
 - 当节点逐渐远离基站时, SNR逐渐降低, BER则升高。
 - 当BER过高时, 则会降低传输速率以降低BER。



Wireless and Mobile Networks 7.14

802.11: 高级特性

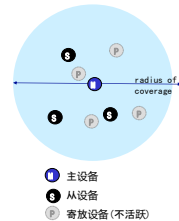
功率管理

- 节点告知AP: “我将在下个信标帧之前休眠一段时间”
 - AP不会向这个节点传输数据帧
 - 节点将在下一个信标帧之前唤醒
- 信标帧: 包含了节点列表, 这些节点在AP上有缓存的数据帧
 - 如果AP上缓存了需要发往节点的数据帧, 相应节点将保持唤醒状态; 否则节点会在下个信标帧到来之前进入休眠状态。

Wireless and Mobile Networks 7.15

个人域网络: 蓝牙

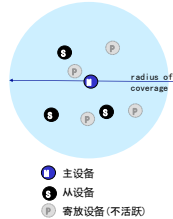
- 直径小于10米
- 电缆的替代 (鼠标, 键盘, 头戴式耳机)
- 自组织网络: 无基础设施
- 2.4-2.5 GHz ISM 无线频段, 高达3 Mbps
- 主控制器/ 客户端设备:
 - 主设备轮询客户端, 协调客户端的传输。



Wireless and Mobile Networks 7.16

个人域网络：蓝牙

- TDM, 时隙长度为625毫秒
- FDM: 发送方利用79个信道中的一个进行传输, 同时以一种已知的伪随机方式变更信道 (跳频扩展频谱)
 - 不在皮可网 (piconet) 中的其他设备会在某些信道发生干扰
- **寄放模式**: 从设备可以进入休眠状态 (寄放)、稍后唤醒 (节省电源)
- **bootstrapping**: 节点自己组成皮可网 (piconet), 可以实现 “即插即用”。



Wireless and Mobile Networks 7-17

第七章：大纲

简介

无线

- 无线链路与网络的特征
- WiFi: 802.11 wireless LANs
- 蜂窝网络: 4G 与 5G

移动性

- 移动管理: 原理
- 移动管理: 实践
 - 4G/5G 网络
 - 移动 IP
- 移动性: 对高层协议的影响



Wireless and Mobile Networks 7-18

4G/5G 蜂窝网络

- 广域移动互联网的解决方案
- 广泛的部署与使用:
 - 使用移动宽带的设备远多于使用固定宽带的设备, 2019年, 二者数量之比为5:1!
 - 4G 的可用性: 2018年中国4G覆盖率已达95%
- 高达100Mbps的传输速率
- 技术标准: 第三代合作伙伴计划 (3GPP)
 - www.3gpp.org
 - 4G: 长期演进(LTE)标准

Wireless and Mobile Networks 7-19

4G/5G 蜂窝网络

与有线网络的相似之处

- 边缘/核心的区别, 但都在同一运营商之下
- 全球的蜂窝网络: 一个由网络组成的网络
- 都支持广泛使用的网络协议 HTTP, DNS, TCP, UDP, IP, NAT, 数据/控制平面的隔离, SDN, 以太网, 隧道
- 与有线互联网互通

与有线网络的不同点

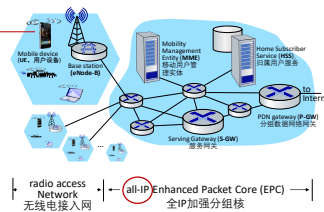
- 链路层不同
- 将移动性作为首要服务
- 用户身份 (通过SIM卡实现)
- 商业模式: 用户向蜂窝网络提供商订购服务
 - 较强的归属网络概念和被访网络上的漫游
 - 全球访问, 有认证基础设施以及运营商间的结算

Wireless and Mobile Networks 7-20

4G LTE 架构的要素

移动设备:

- 智能手机, 平板电脑, 笔记本电脑, IoT等使用4G LTE收发器的设备
- 使用64位国际移动用户识别码IMSI (International Mobile Subscriber Identity), 存储在SIM (Subscriber Identity Module)卡中
- 在LTE术语中, 被称为**用户设备 (User Equipment)**

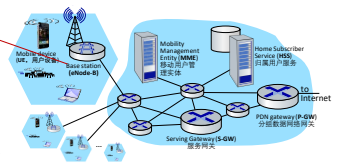


Wireless and Mobile Networks 7-21

4G LTE架构的要素

基站:

- 在运营商网络的边缘
- 管理自身覆盖区域内的无线电资源和移动设备
- 协调设备与其他要素间的认证
- 类似于WiFi中的AP, 但是:
 - 在用户移动中起积极作用
 - 可以与附近的基站协调从而优化信号
- LTE 术语: eNode-B

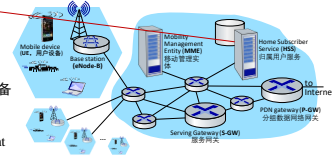


Wireless and Mobile Networks 7-22

4G LTE架构的要素

归属用户服务
(HSS, Home Subscriber
Server)

- 存储了将HSS的网络作为“归属网络”的那些移动设备的信息
- 与移动管理实体MME(Mobility Management Entity)一起实现设备认证

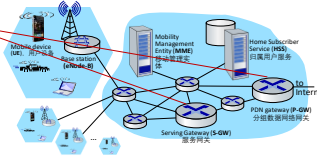


Wireless and Mobile Networks 7-12

4G LTE架构的要素

服务网关(S-GW), PDN 网
关(P-GW)

- 位于移动设备与互联网之间的数据路径上
- P-GW(Packet Data Network Gateway)
 - 移动蜂窝网络的网关
 - 与其他的互联网网路由器类似
 - 提供NAT服务
- 其他路由器:
 - 广泛应用于隧道



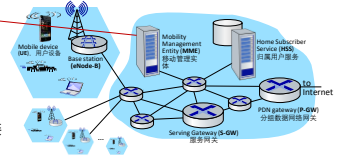
Wireless and Mobile Networks 7-14

4G LTE架构的要素

移动管理实体 (MME)

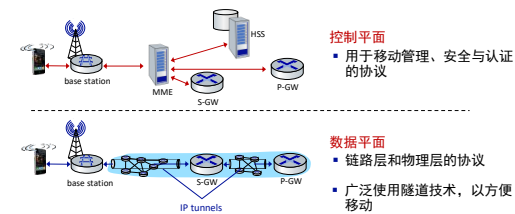
与归属用户服务HSS共同实现设备认证, 包括设备对网络的认证和网络对设备的认证

- 移动设备管理:
 - 在单元之间进行设备交接
 - 追踪设备的位置
- 建立移动设备到P-GW的路径 (隧道)



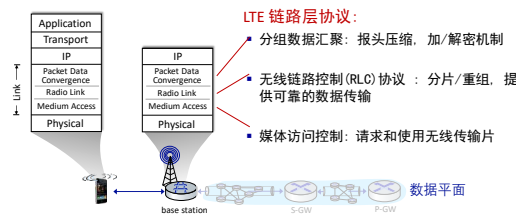
Wireless and Mobile Networks 7-15

LTE: 数据平面与控制平面的隔离



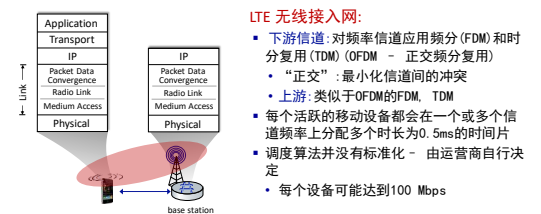
Wireless and Mobile Networks 7-16

LTE数据平面协议栈: first hop



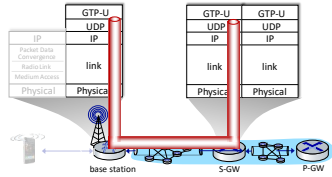
Wireless and Mobile Networks 7-17

LTE 数据平面协议栈: first hop



Wireless and Mobile Networks 7-18

LTE 数据平面协议栈: packet core

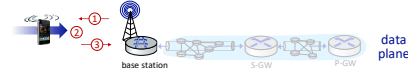


隧道:

- 使用GPRS隧道协议 (GTP) 对移动数据包进行封装, 使用UDP数据报发送到S-GW
- S-GW 将数据报转发给 P-GW
- 支持移动性: 当用户移动时, 只需更改隧道端点即可

Wireless and Mobile Networks 7.12

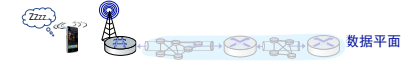
LTE 数据平面: 与BS关联



- BS每隔5毫秒在所有频率上广播一次主同步信号
 - 不同运营商的基站可能会同时广播同步信号
- 移动设备发现主同步信号后, 在这个频率上定位第二个同步信号
 - 移动设备获取到由基站广播的信息: 信道带宽和配置; 基站的运营商信息
 - 移动设备可以从多个基站、多个蜂窝网络获得信息
- 移动设备选择要关联的基站
- 还需要更多步骤进行身份验证、建立状态、设置数据平面

Wireless and Mobile Networks 7.13

LTE mobiles: 休眠模式

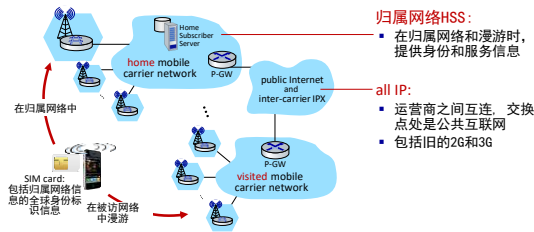


与Wifi和蓝牙类似: LTE 移动设备可以让无线电“休眠”以节省电力:

- 浅休眠: 无活动100毫秒后进入此状态
 - 每隔一段时间 (100' s msec) 定期唤醒 以检查下游传输
- 深度休眠: 无活动5~10秒后进入此状态
 - 在深度休眠中, 移动设备所处的基站范围可能会发生改变, 因此需要与基站重建关联

Wireless and Mobile Networks 7.14

全球蜂窝网络: 由IP网络组成的网络



归属网络HSS:

- 在归属网络和漫游时, 提供身份和服务信息

all IP:

- 运营商之间互连, 交换点是公共互联网
- 包括旧的2G和3G

Wireless and Mobile Networks 7.15

5G即将到来!

- 目标: 在4G的基础上, 峰值比特率提升10倍, 延迟降低10倍, 流量容量提升100倍!
- 5G NR (new radio):
 - 两个频段: FR1 (450 MHz–6 GHz) and FR2 (24 GHz–52 GHz): 毫米波频率
 - 不后向兼容4G
 - MIMO: 使用多天线
- 毫米波频率: 更高的数据传输速率, 但是传输距离更短
 - 单元非常小, 直径通常为10–100 米
 - 需要大量、密集地部署新基站。

Wireless and Mobile Networks 7.16

第七章: 大纲

简介

无线

- 无线链路网络的特征
- WiFi: 802.11 wireless LANs
- 蜂窝网络: 4G 和 5G

移动性

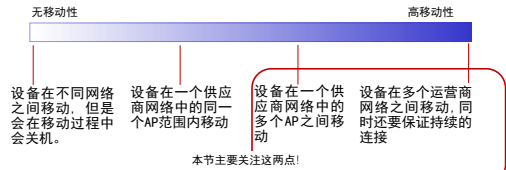
- 移动管理: 原理
- 移动管理: 实践
 - 4G/5G 网络
 - 移动 IP
- 移动性: 对高层协议的影响



Wireless and Mobile Networks 7.17

何为移动性?

- 从**网络**的角度来看, 移动性的程度谱如下:



Wireless and Mobile Networks 7.12

移动性的方法

- 由**网络(路由器)**处理:
 - 路由器通过路由表交换、公布常见的名字、地址(如32位的永久IP地址)或访问移动设备的数量
 - 互联网路由可以在不做改变的情况下做到这一点! 路由表通过最长前缀匹配找到移动设备的位置!

Wireless and Mobile Networks 7.13

移动性的管理方法

- 由**网络(路由器)**处理:
 - 路由器通过路由表交换、公布常见的名字、地址(如32位的永久IP地址)或访问移动设备的数量
 - 互联网路由可以在不做改变的情况下做到这一点! 路由表通过最长前缀匹配找到移动设备的位置!
- 由**终端系统处理**: 边缘网络的功能
 - 间接路由**: 通信者到移动设备的通信将先发送到归属网络, 然后转发给远程移动设备
 - 直接路由**: 通信者获得移动设备的外部地址, 然后直接发送给移动设备。

Wireless and Mobile Networks 7.14

联系一个“移动”的朋友:

考虑一种情况, 你的一个朋友每天在世界各地飞来飞去, 怎样才能找到他呢?

- 从电话本里面找?
- 等他主动把自己的位置告诉我?
- 问他的父母?
- 用WeChat!

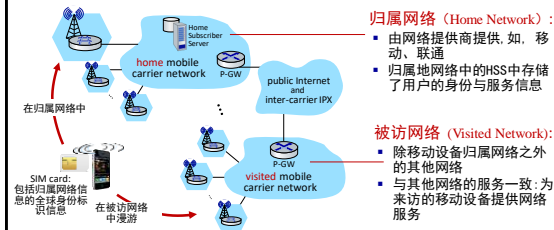
有“归属地”的好处:

- 一个可靠信息源, 可以准确地提供你的信息
- 其他人可以在归属地中查询到你位置



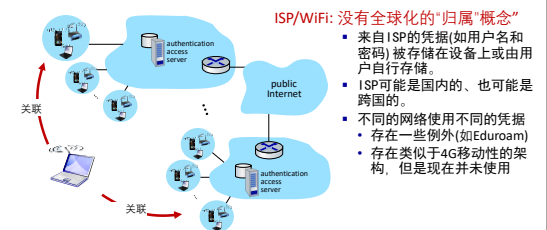
Wireless and Mobile Networks 7.15

归属网络, 被访网络: 4G/5G



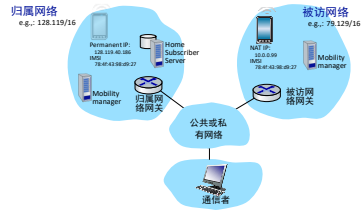
Wireless and Mobile Networks 7.16

归属网络, 被访网络: ISP/WiFi



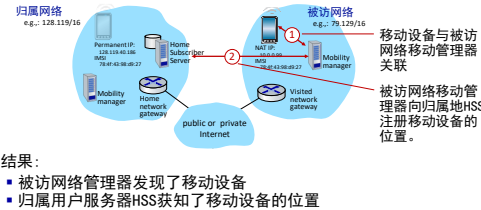
Wireless and Mobile Networks 7.17

归属网络和被访网络：示例



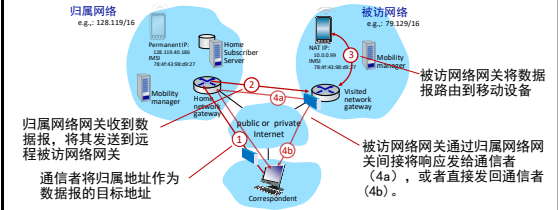
Wireless and Mobile Networks 7. 52

注册: 让归属网络知道你的位置!



Wireless and Mobile Networks 7. 53

间接路由实现的移动性



Wireless and Mobile Networks 7. 55

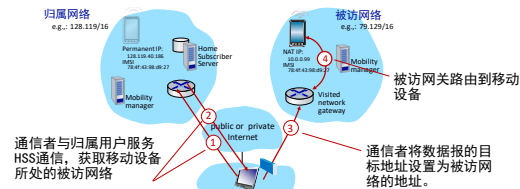
间接路由实现的移动性

- 三角路由:
 - 当通信者与移动设备在同一网络时, 会出现效率低下的问题
- 移动设备在注册网络与被访网络间移动: 对通信者是透明的!
 - 在新的被访网络中注册
 - 新的被访网络向归属网络注册
 - 在新的网络中, 数据报将继续从归属网络转发到移动设备
 - 通信者与移动设备之间的持续连接 (如TCP连接) 将被保持。



Wireless and Mobile Networks 7. 54

直接路由实现的移动性



Wireless and Mobile Networks 7. 56

直接路由实现的移动性

- 克服了三角路由选择的低效问题
- 对通信者不透明: 通信者必须从归属网络代理处得到地址
- 移动节点再次切换到新的被访网络时, 该怎么办?
 - 可以处理, 但会有额外的复杂度

Wireless and Mobile Networks 7. 58

Chapter 7 outline

Introduction

无线

- 无线链路与网络的特征
- WiFi: 802.11 wireless LANs
- 蜂窝网络: 4G and 5G

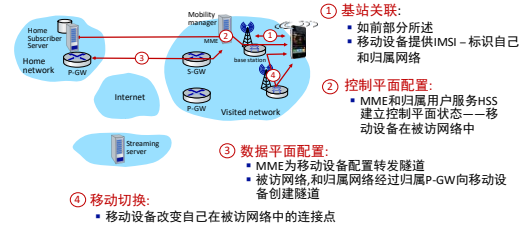
移动性

- 无线管理: 原理
- 无线管理: 实践
 - 4G/5G 网络
 - 移动 IP
- 移动性: 对高层协议的影响



Wireless and Mobile Networks 7-57

4G网络中的移动性:主要的移动任务



Wireless and Mobile Networks 7-58

配置 LTE 控制平面要素

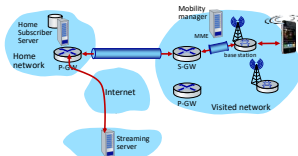


- 移动设备通过基站控制平面信道与本地的MME通信
- MME使用移动设备的IMSI信息与移动设备的归属地HSS通信
- 对认证、加密和网络服务信息进行检索
- 归属地HSS知道移动设备现在处于被访网络中
- 基站和移动设备为数据平面无线信道选择参数

Wireless and Mobile Networks 7-59

为移动设备配置数据平面隧道

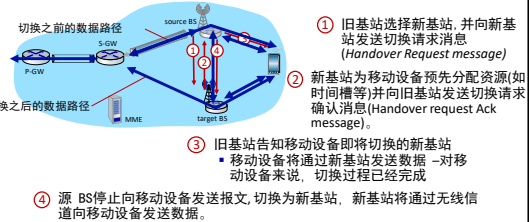
- S-GW到BS的隧道:** 当移动设备更换基站时, 仅需更改隧道端点IP地址
- S-GW到归属地P-GW的隧道:** 间接路由的实现



- 通过GTP的隧道 (通用分组无线服务GPRS 隧道协议):** 移动设备发往流服务器的数据报使用GTP被封装在UDP中。

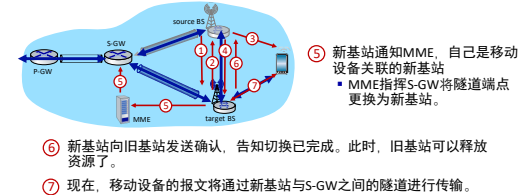
Wireless and Mobile Networks 7-70

同一蜂窝网络下基站间的切换



Wireless and Mobile Networks 7-71

同一蜂窝网络下基站间的切换



Wireless and Mobile Networks 7-72

移动IP

- 移动IP架构大约20年前就标准化了 [RFC 5944]
 - 智能手机普及之前，4G就已经支持互联网协议了
 - 当时并没有广泛的部署和应用
 - 可能是因为那个时候，Wifi 对互联网、2G/3G对于语音手机已经足够了。
- 移动IP架构：
 - 使用隧道（通过归属网络）对节点进行间接路由
 - 移动IP归属代理：4G中HSS 与归属P-GW的组合
 - 移动IP外部代理：4G中MME和S-GW的组合
 - 被访网络中的代理发现协议，通过ICMP的扩展在归属网络中注册被访位置

Wireless and Mobile Networks 7, 12

无线和移动：对高层协议的影响

- 从逻辑上来讲，影响应该非常小
 - 最佳交付服务模型保持不变
 - TCP与UDP 可以（也确实）运行在无线与移动网络上。
- 但在性能方面：
 - 比特错误（如链路层传输错误）和网络切换会造成丢包
 - TCP会把丢包当作网络拥塞，会不必要地缩小拥塞窗口
 - 进而对实时的传输产生延迟阻碍
 - 带宽是无线链路中的稀缺资源

Wireless and Mobile Networks 7, 14

Chapter 7 总结

无线

- 无线链路与网络的特征
- WiFi: 802.11 无线 LANs
- 蜂窝网络: 4G 与 5G

移动性

- 移动管理：准则
- 移动管理：实践
 - 4G/5G 网络
 - 移动 IP
- 移动性：对高层协议的影响



Wireless and Mobile Networks 7, 15