# Chapter 7 Wireless and Mobile Networks

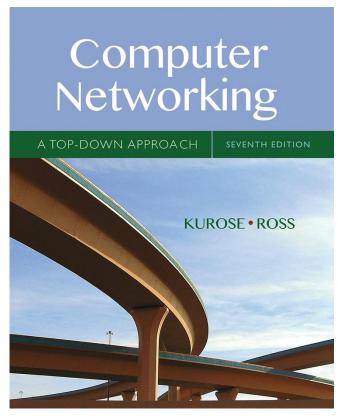
#### A note on the use of these Powerpoint slides:

We're making these slides freely available to all (faculty, students, readers). They're in PowerPoint form so you see the animations; and can add, modify, and delete slides (including this one) and slide content to suit your needs. They obviously represent a *lot* of work on our part. In return for use, we only ask the following:

- If you use these slides (e.g., in a class) that you mention their source (after all, we'd like people to use our book!)
- If you post any slides on a www site, that you note that they are adapted from (or perhaps identical to) our slides, and note our copyright of this material.

Thanks and enjoy! JFK/KWR

© All material copyright 1996-2016 J.F Kurose and K.W. Ross, All Rights Reserved



## Computer Networking: A Top Down Approach

7<sup>th</sup> edition Jim Kurose, Keith Ross Pearson/Addison Wesley April 2016

#### Chapter 7: 无线和移动网络

#### Background:

- □ 手机用户的数量已经超过了固话用户的数量(5:1)
- □ 无线上网的设备已经与采用有线方式上网的设备数量相等
- □ 与有线固定网络相比,无线移动上网增加了以下两方面的问题:
  - ○无线(wireless):使用无线链路通信,给物理层和数据链路层带来很多问题
  - ○移动(mobility):终端改变网络接入点,给网络层带来很大问题

#### Chapter 7 outline

#### 7.1 Introduction

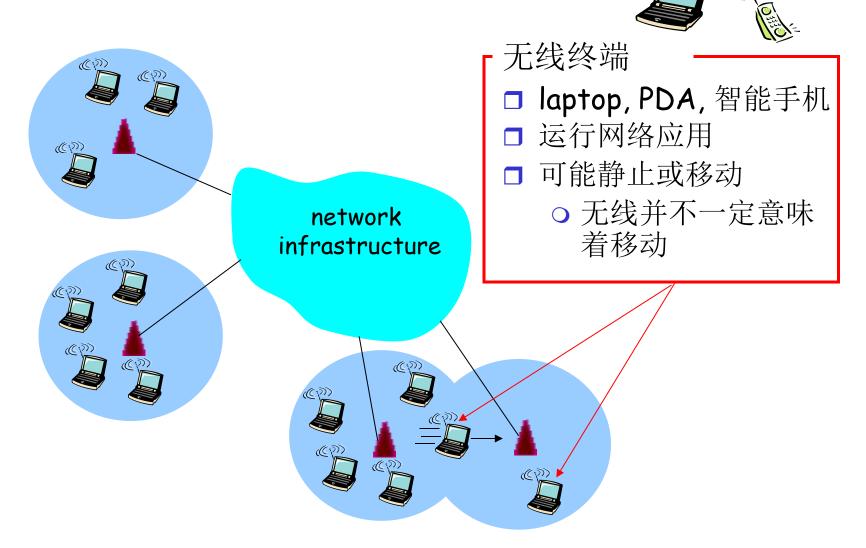
#### Wireless

- 7.2 Wireless links, characteristics
   CDMA
- 7.3 IEEE 802.11
  wireless LANs ("Wi-Fi")
- 7.4 Cellular Internet Access
  - o architecture
  - o standards (e.g., 3G, LTE)

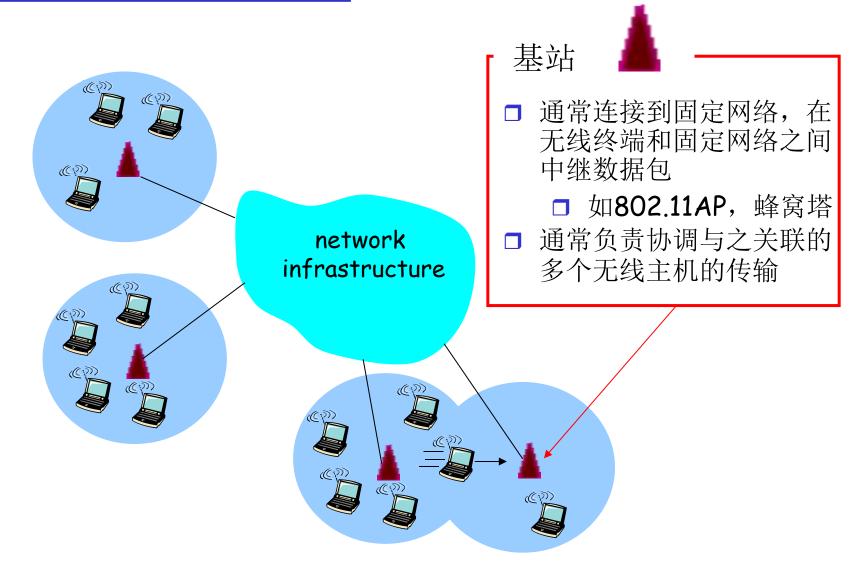
#### Mobility

- 7.5 Principles: addressing and routing to mobile users
- 7.6 Mobile IP
- 7.7 Handling mobility in cellular networks
- 7.8 Mobility and higherlayer protocols

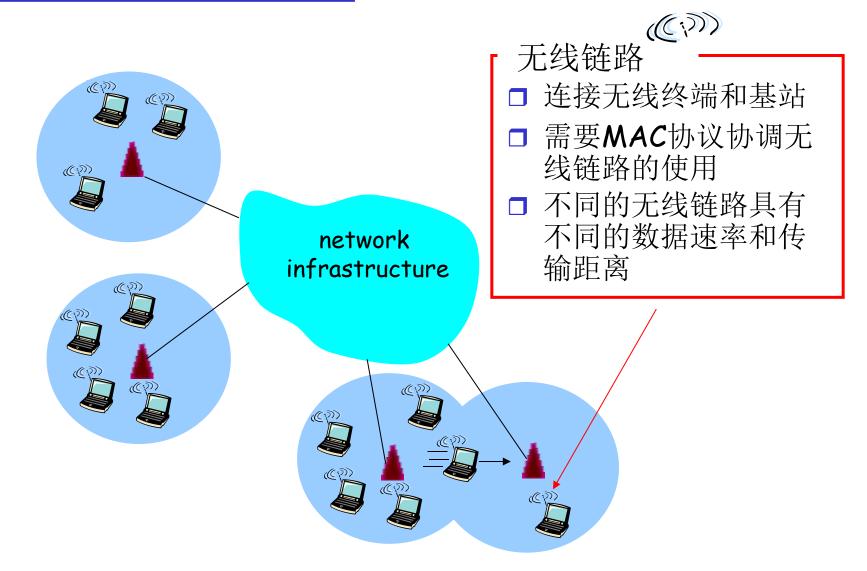
## 无线网络的组成



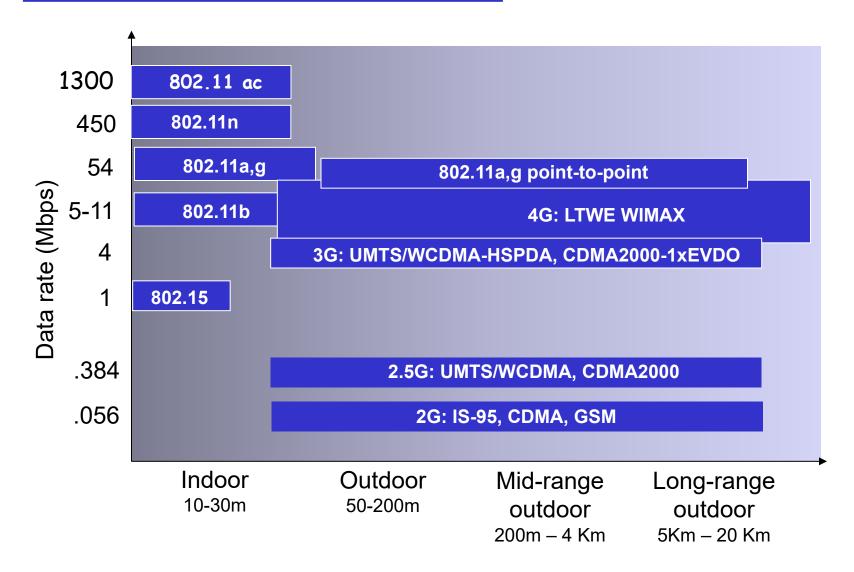
## 无线网络的组成



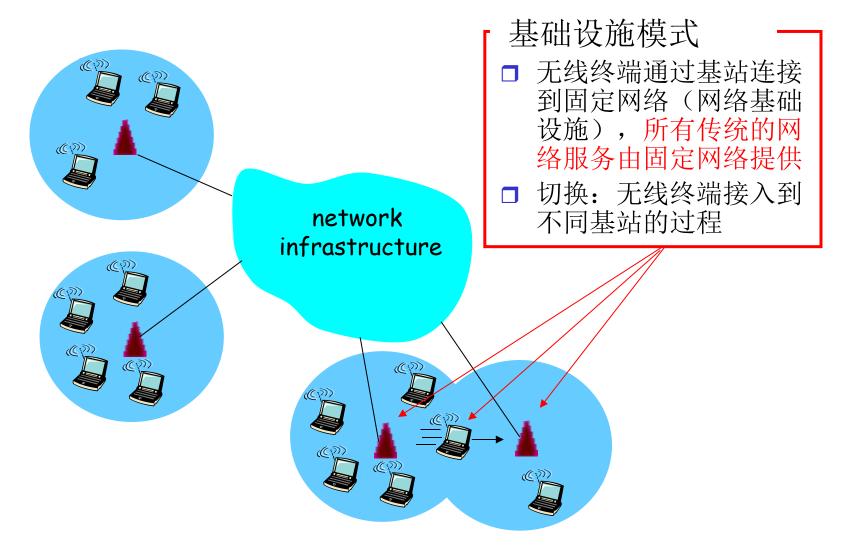
## 无线网络的组成



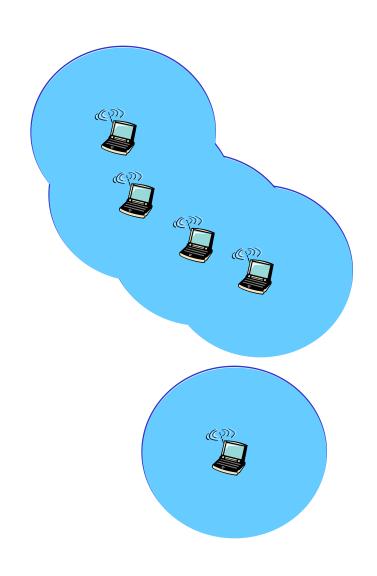
#### 一些无线链路的特性



## 无线网络的运行模式



## 无线网络的运行模式



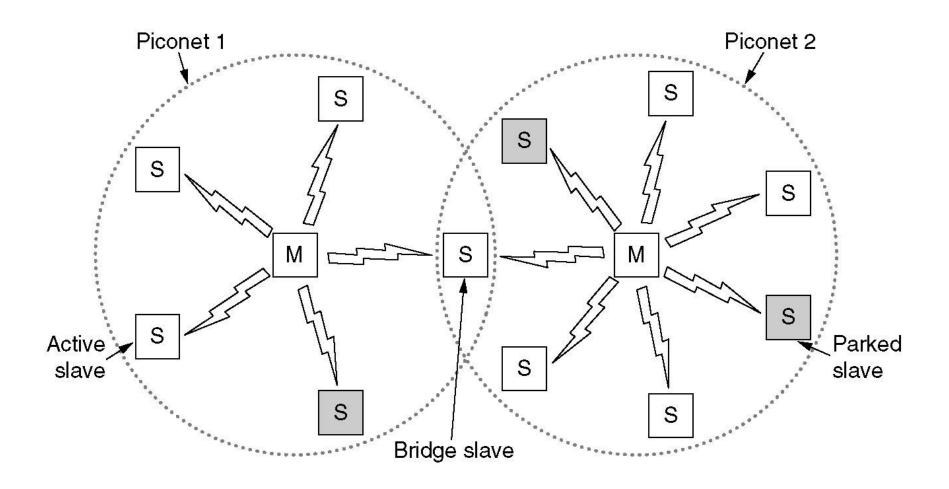
#### 自组织模式

- □ 网络中没有基站
- □ 节点只能与其通信 范围内的节点通信
- □ 节点相互帮助转发 分组,每个节点既 是终端又是路由器

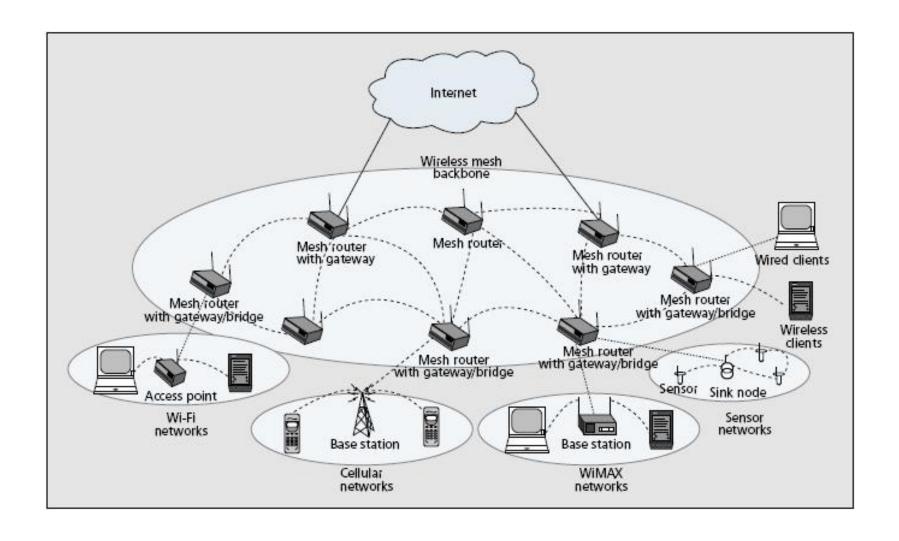
## 无线网络的分类

	单跳	多跳
有基础设施	主机连接到基站,基站连接到固定网络 (如WiFi, cellular)	主机通过多个无线节 点的转发才能到达固 定网络(如无线网状 网络)
无基础设施	无基站,不连接到固 定网络,节点间通信 不需要中继(如蓝牙 网络)	无基站,不连接到固 定网络,节点间通信 需要通过其它节点转 发(如自组网,车载 网)

## 蓝牙网络



## 无线网状网



#### Chapter 7 outline

7.1 Introduction

#### Wireless

- 7.2 Wireless links, characteristics
   CDMA
- 7.3 IEEE 802.11
  wireless LANs ("Wi-Fi")
- 7.4 Cellular Internet Access
  - o architecture
  - o standards (e.g., 3G, LTE)

#### Mobility

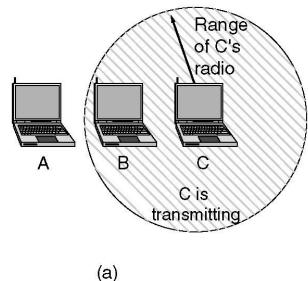
- 7.5 Principles: addressing and routing to mobile users
- 7.6 Mobile IP
- 7.7 Handling mobility in cellular networks
- 7.8 Mobility and higherlayer protocols

## 无线链路的特性

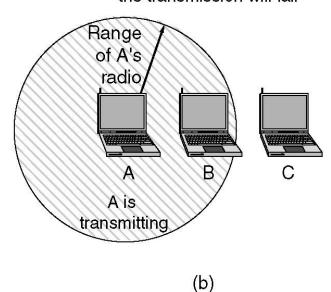
- □ 信号衰减: 信号在传播过程中能量逐渐减少(路 径损耗)
- □ 干扰: 受到其它信号源的干扰
- □ 多径传播: 由于地面或物体的反射作用,信号沿 多条不同长度的路径到达接收端
- □以上特性导致无线链路的传输距离受限、误码 率很高

#### 无线网络的特性

A wants to send to B but cannot hear that B is busy



B wants to send to C but mistakenly thinks the transmission will fail



(a) 隐藏节点问题:

- □ C正在向B发送
- □ A监听到信道空闲,A向B 发送
- □ A和C的信号在B冲突

(b) 暴露节点问题:

- □ B准备向C发送
- □ B监听到信道忙(A在发送)
- □ B不发送,但其实B可以发送( A和B的信号不会在C冲突)

#### CSMA在多跳无线网络中作用受限

- ■通过载波侦听,发送节点只能知道其周围是否有节点在发送;但真正影响此次通信的是接收节点周围是否有节点在发送
- □隐藏节点:不在发送节点的通信范围内、但在接收 节点通信范围内的活跃节点(发送节点听不到,但 影响接收)
- □暴露节点: 在发送节点的通信范围内、但不在接收 节点通信范围内的活跃节点(发送节点能听到,但 不影响接收)

#### Chapter 7 outline

7.1 Introduction

#### Wireless

- 7.2 Wireless links, characteristics
   CDMA
- 7.3 IEEE 802.11
  wireless LANs ("Wi-Fi")
- 7.4 Cellular Internet Access
  - o architecture
  - o standards (e.g., 3G, LTE)

#### Mobility

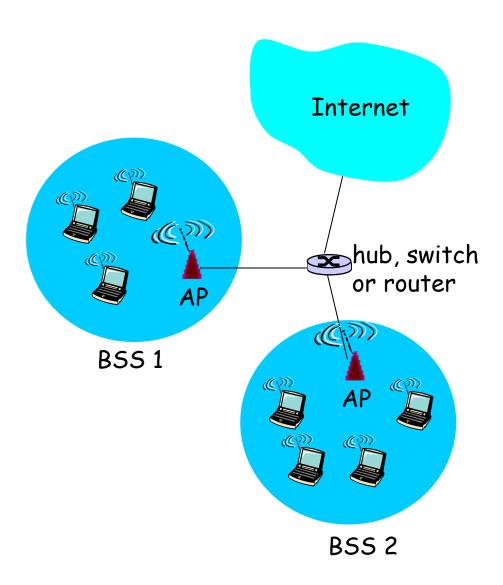
- 7.5 Principles: addressing and routing to mobile users
- 7.6 Mobile IP
- 7.7 Handling mobility in cellular networks
- 7.8 Mobility and higherlayer protocols

#### IEEE 802.11无线局域网

- □ 802.11b
  - ○2.4-5 GHz range
  - oup to 11 Mbps
- □ 802.11a
  - ○5-6 GHz range
  - oup to 54 Mbps

- **□** 802.11*g* 
  - ○2.4-5 GHz range
  - oup to 54 Mbps
- □802.11n: 多天线
  - ○2.4-5 GHz range
  - oup to 200 Mbps
- □均使用CSMA/CA 作为MAC协议
- □都支持基站模式和自组织模式
- □物理层不同

#### (1) 802.11无线局域网架构

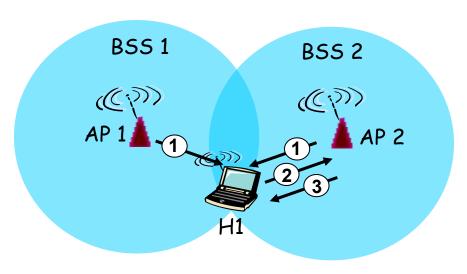


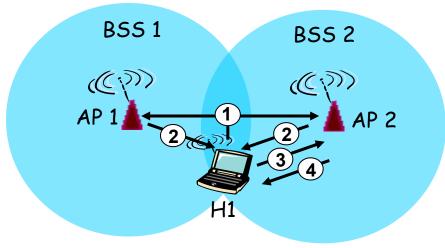
- □ 802.11无线LAN的基本组成单元是基本服务集(BSS)
- □ 一个BSS 包括:
  - o 若干无线终端
  - o 一个无线接入点AP
- 每个无线接口(终端及AP) 均有一个全局唯一的MAC地 址
- 注意: **AP**与路由器相连的有 线端口没有**MAC**地址(**AP**对 于路由器是透明的)

#### 802.11: 信道与关联

- □802.11将通信频段划分成若干信道,每个BSS分 配一个信道:
  - 管理员安装AP时,为AP分配一个服务集标识符 (SSID),并选择AP使用的信道
  - ○相邻AP使用的信道可能相互干扰
- □ 主机必须与一个AP关联:
  - ○扫描信道,监听各个AP发送的信标帧(包含AP 的SSID和MAC地址)
  - ○选择一个AP进行关联(可能需要身份鉴别)
  - 使用DHCP获得AP所在子网中的一个IP地址

#### 802.11: 主动/被动扫描





#### 被动扫描:

- (1)主机监听AP发送的信标帧
- (2)主机选择一个AP发送关联 请求帧
- (3)AP向主机发送关联响应帧

#### 主动扫描:

- (1)主机广播探测请求帧
- (2)AP发送探测响应帧
- (3)主机从收到的探测响应中 选择一个AP发送关联请求
- (4)AP发送关联响应帧

#### (2) IEEE 802.11: MAC协议

- □ 采用CSMA:
  - 发送前监听信道,不与当前正在进行的发送冲突
- □ 发送过程中不检测冲突:
  - 发送过程中检测冲突很困难(接收信号的强度远小于 发送信号的强度)
  - 不能检测出所有的冲突 (隐藏节点)
- □ 使用链路层确认:
  - 接收方收到帧后需发送确认帧,以便让发送方知道是 否发送成功
- □目标: 避免冲突 CSMA/C(ollision)A(voidance)

## 802.11的操作模式

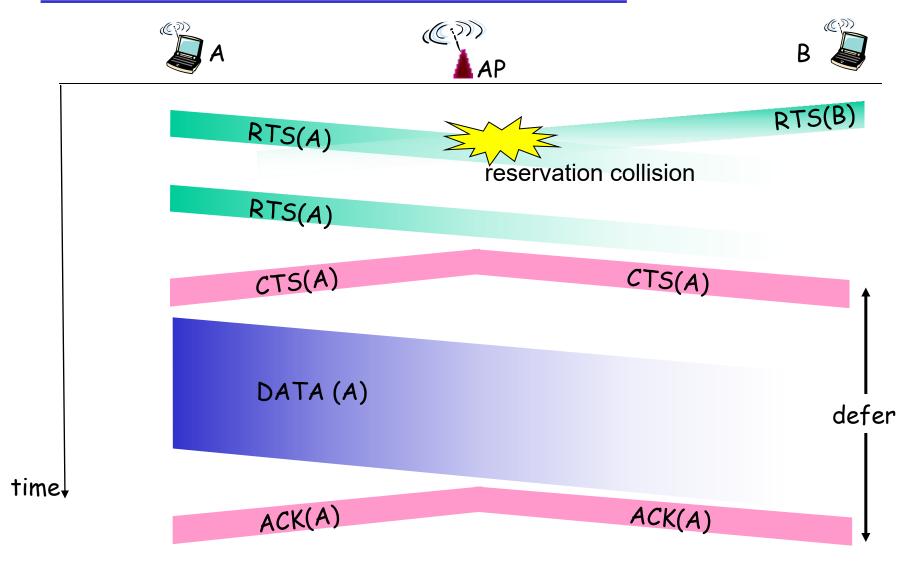
- □ PCF (Point Coordination Function) 模式 (可选)
  - 该模式只能用于有基础设施(基站)的无线网络,基站 控制单元内的所有通信活动
  - 轮询:基站依次询问单元中的节点,被询问到的节点可以发送它们的帧,不会有冲突发生
- □ DCF (Distributed Coordination Function) 模式:
  - ○可用于有基础设施和无基础设施的无线网络,所有节点 (AP和无线终端)使用CSMA/CA协议竞争信道
  - 支持两种机制: 信道预约机制(可选), 无信道预约的 机制(**所有实现必须支持**)

#### 使用信道预约机制的CSMA/CA

#### 假设A欲向AP发送一个数据帧:

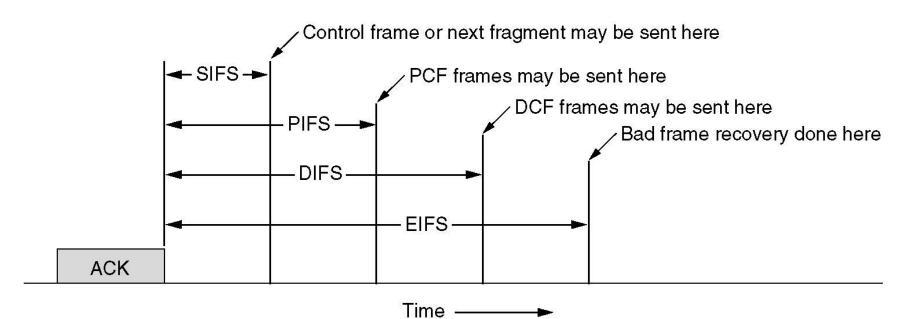
- □ A向AP发送一个RTS帧: 帧中给出随后要发送的数据帧及 ACK帧需要的总时间
- □ AP收到后回复一个CTS帧: 帧中给出同样的时间
- □ A收到CTS帧后: 发送数据帧
- □ AP收到帧后:发送一个ACK帧进行确认
- □ 收到RTS帧(A附近)及CTS帧(AP附近)的节点均沉默 指定的时间,让出信道让A和AP完成发送
- □ 若A和B同时发送RTS帧,产生冲突,不成功的发送方随机 等待一段时间后重试
- □ 当要发送的数据较少时,一般不使用信道预约机制

## 信道预约: RTS-CTS交换



## 帧间距机制

□802.11允许DCF和PCF在一个单元内共存,这是通过帧间距机制实现的。



## 帧间距机制(续)

- □ SIFS: 允许正处于会话中的节点优先发送,如收到RTS的节点发送一个CTS, 收到数据帧的节点允许发送一个ACK帧
- □ PIFS: 如果在SIFS后没有节点发送,PCF模式的基站可以发送一个信标帧或一个轮询帧
- □ DIFS: 如果PIFS后没有基站发送,任何节点可以 竞争信道
- □ EIFS: 如果以上间隔都没有发送,收到坏帧或未知帧的节点可以发送一个错误报告帧

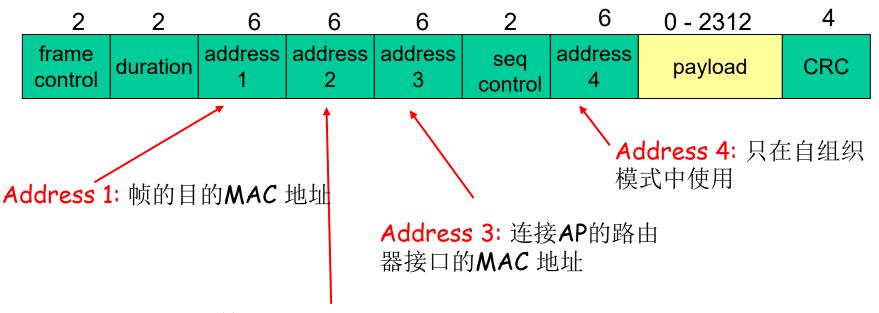
#### 不使用信道预约机制的CSMA/CA

- □ 当节点有帧要发送时,侦听信道:
  - 1) 若一开始就侦听到信道空闲,等待DIFS时间后发送帧
  - 2) 否则,选取一个随机回退值,在侦听到信道空闲时递减该值;在此过程中若侦听到信道忙,冻结计数值
  - 3) 当计数值减为0时,发送整个帧并等待确认
  - 4) 若收到确认帧,表明帧发送成功,若还有新的帧要发送,从第2步开始CSMA/CA;若未收到确认,重新进入第2步中的回退阶段,并从一个更大的范围内选取随机回退值
- □可见,如果有k个节点等待发送,它们随机选取的 回退值确定了它们的发送顺序

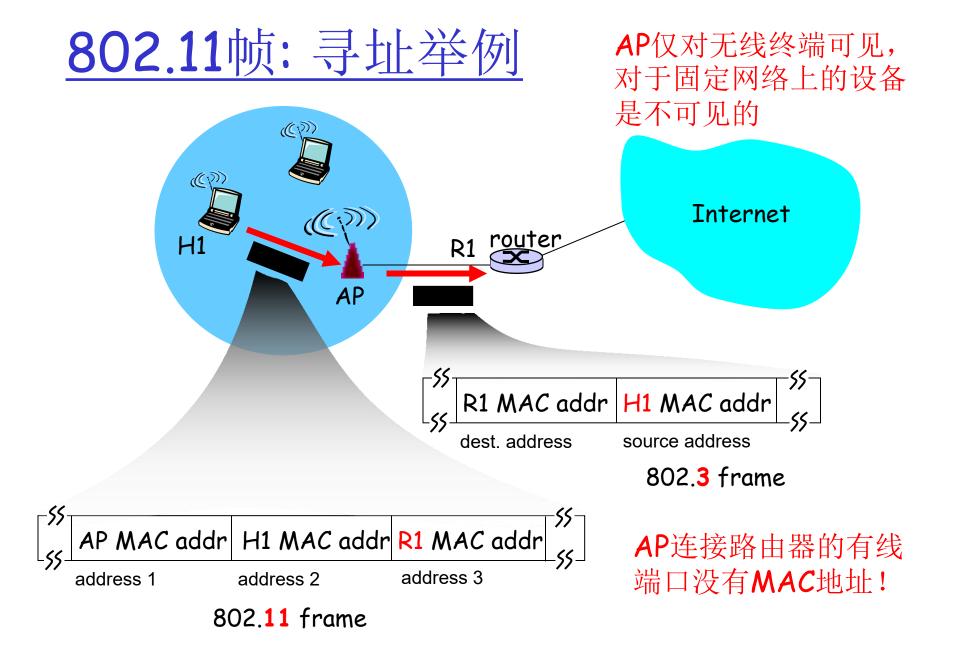
## CSMA/CA与CSMA/CD的不同

- □ CSMA/CA与CSMA/CD最主要的不同:
  - CSMA/CD在发送过程中检测冲突,不使用确认机制
  - CSMA/CA在发送过程中不检测冲突,使用确认机制
- □由此带来的协议处理方面的不同:
  - 在CSMA/CD中,节点侦听到信道空闲时立即发送( 不怕冲突,冲突后立即停发,损失不大)
  - 在CSMA/CA中,节点侦听到信道空闲后随机回退(冲突对无线网络损害很大,要尽量避免冲突)

## (3) 802.11帧格式

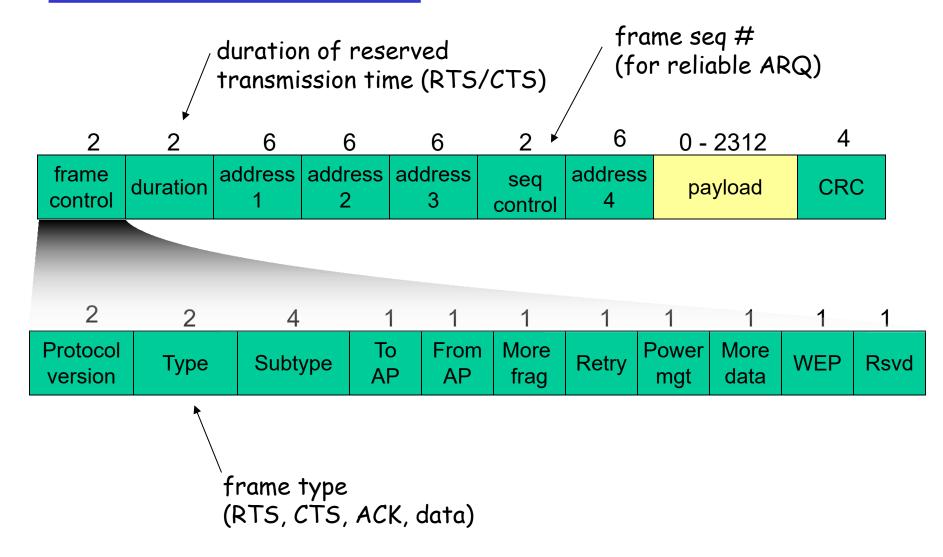


Address 2: 帧的源MAC地址



6-31

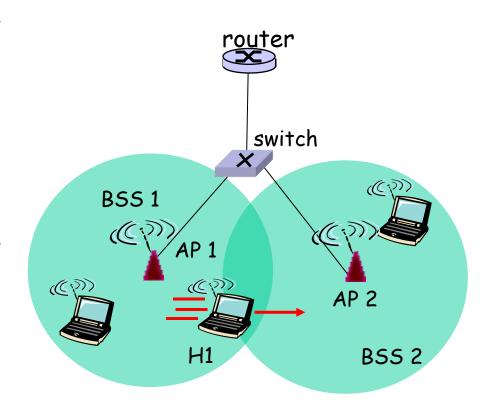
#### 802.11帧 (续)



#### (4) 802.11: 终端在子网内移动

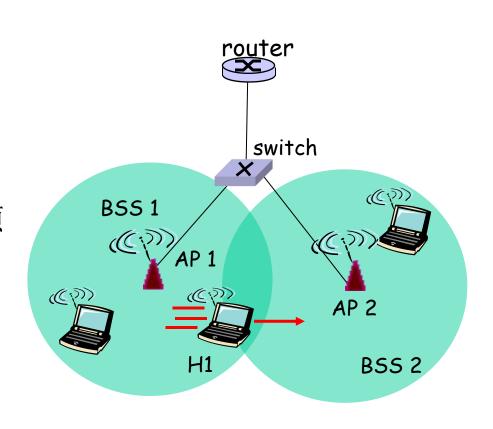
#### □切换:

- 终端从一个BSS移动到 另一个BSS
- □ 发生切换时,终端要关 联到新的AP上:
  - 当H1检测到来自AP1的 信号逐渐减弱时,开始 扫描新的信标帧
  - 当H1收到来自AP2、 信号更强的信标帧时, 先解除与AP1的关联, 然后关联到AP2



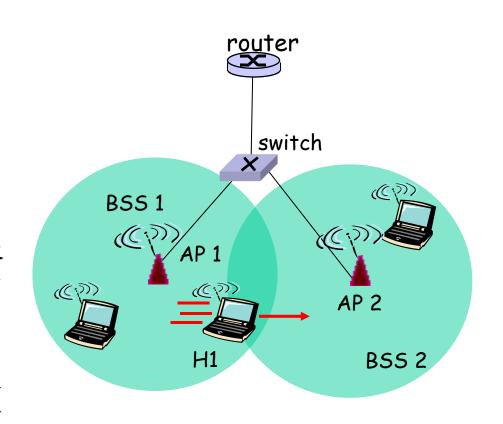
#### 802.11:终端在子网内移动

- □ 发生切换时,交换机中 的转发表也需要更新
- □ 交换机通过自主学习更 新转发表:
  - 交换机收到H1发送的帧时,更新H1所在的端口
  - 若转发表未及时更新, 可能产生丢包
- □ 802.11f规定了AP间漫游的方法



#### 802.11:终端在子网内移动

- □ 若主机停留在同一个 IP子网中,IP 地址保持不变
- □切换过程中,终端上 的应用正常运行:
  - ○由于**IP**地址没变,网络 层及以上层次感觉不到 这个移动
  - 切换过程中产生的延迟 及丢包,在上层协议看 来是正常的



## (5) 802.11: 先进功能

#### 速率适应

□当主机移动或信噪比变化时,基站和主机动态改变传 输速率 (物理层调制技术)

#### 功率管理

- □ 节点设置功率管理比特,告知AP它将进入休眠状态:
  - ○节点进入休眠,并在下一个信标帧之前醒来
  - ○在节点休眠期间,AP缓存发往该节点的帧
  - AP在发送的信标帧中包含一个移动节点列表,这些节 点有帧缓存在AP中
  - ○列表中的节点向AP请求帧,其余节点重新进入休眠

## 需要掌握的知识点

- □无线网络的特性:
  - 隐藏节点, 暴露节点
- □ CSMA/CA协议:
  - 信道预约机制
  - 无信道预约机制
- □终端在子网内移动:
  - ○切换AP
  - o交换机更新转发表

#### Chapter 7 outline

7.1 Introduction

#### Wireless

- 7.2 Wireless links, characteristics
   CDMA
- 7.3 IEEE 802.11
  wireless LANs ("Wi-Fi")
- 7.4 Cellular Internet Access
  - architecture
  - standards (e.g., 3G, LTE)

#### Mobility

- 7.5 Principles:
  addressing and routing
  to mobile users
- 7.6 Mobile IP
- 7.7 Handling mobility in cellular networks
- 7.8 Mobility and higherlayer protocols

### 终端在IP子网间移动

- □终端进入到一个新的子网后,必须分配该子网上 的一个地址(DHCP),并使用新的地址通信:
  - ○终端在进入新的子网后,不能保留其**IP**地址
- □然而,当终端改变IP地址后,终端上正在运行的 应用将中断:
  - 通信的对方不知道终端的新地址,无法与其通信
  - 即使对方获知了终端的新地址,应用必须重新建立 连接,因为通信的端点(套接字)变了
- □能否在移动的过程中维持正在进行的连接?

# 在移动中通信: 人类类比的例子

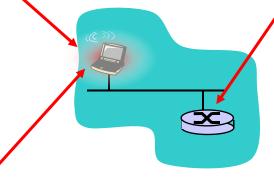
- □ 一个旅行爱好者经常外 出旅行,朋友如何联系 到他?
- □ 旅行者每到一地,立即 将当前住址告知家里
- □ 旅行者的家庭地址是固 定不变的
- □ 朋友可将信件寄到旅行者的家中,再由其家人转寄给旅行者;朋友也可用获得的新地址直接给旅行者寄信

- □ 旅行者使用了两个地址:
  - ○家庭地址:固定不变
  - 当前地址: 经常改变
- □ 家里总是知道旅行者的当 前地址
- □ 朋友总是可以通过旅行者 的家庭地址联系到他(直 接或间接)
- □移动终端好比是旅行者
- □ 与移动终端通信的另一方 好比是旅行者的朋友

#### 一些术语

归属网络:移动节点的 永久"居所"

(e.g., 128.119.40/24)

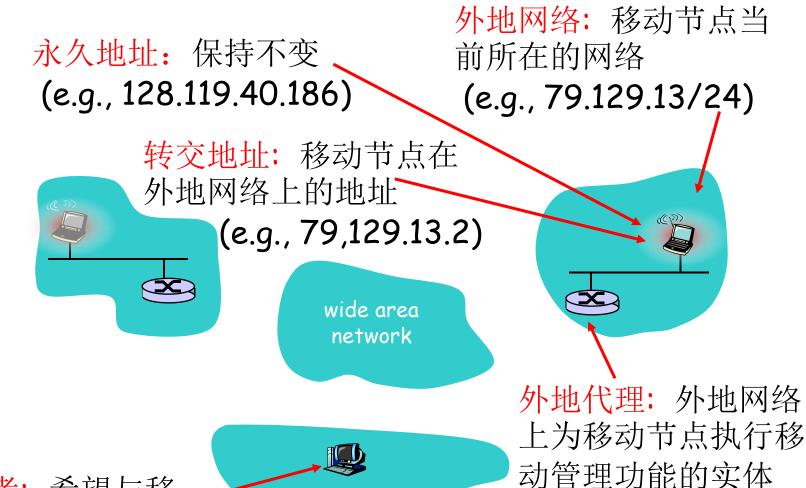


水久地址:移动节点 在归属网络中的地址 ,总是可以使用这个 地址与移动节点通信 e.g., 128.119.40.186 , <mark>归属代理:</mark> 当移动节点在 外地时, 为移动节点执行 移动管理功能的实体





### 一些术语(续)

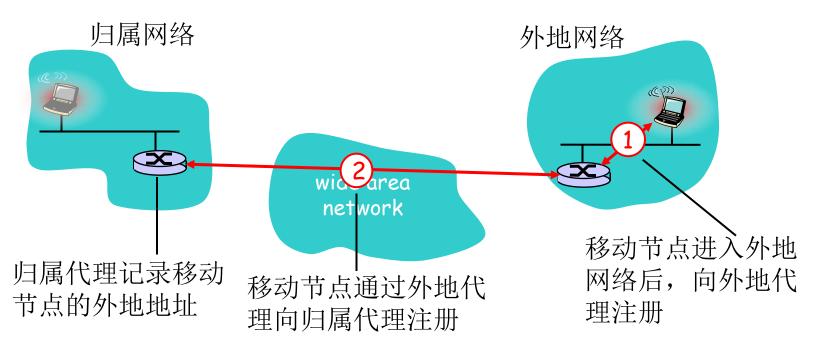


通信者:希望与移动节点通信的节点

### 移动节点注册

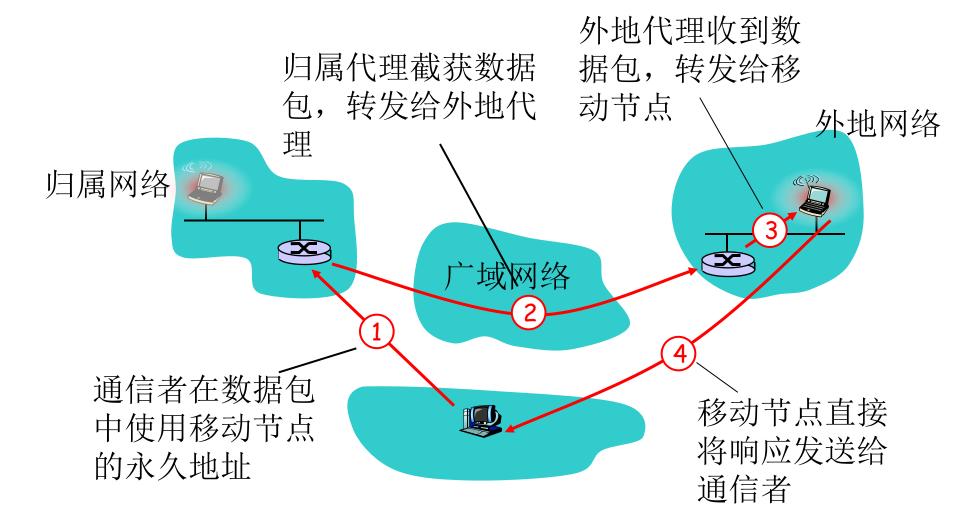
#### □ 注册:

○ 移动终端向归属代理通报其在外地网络的新地址



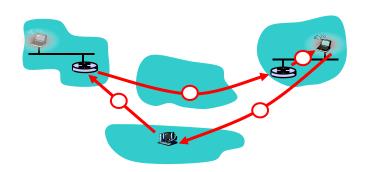
- □ 注册完成后:
  - 外地代理知道移动节点在本地网络上
  - 」归属代理知道移动节点的转交地址,记录到地址绑定表中

# 间接选路到移动节点



# 间接选路: 三角选路问题

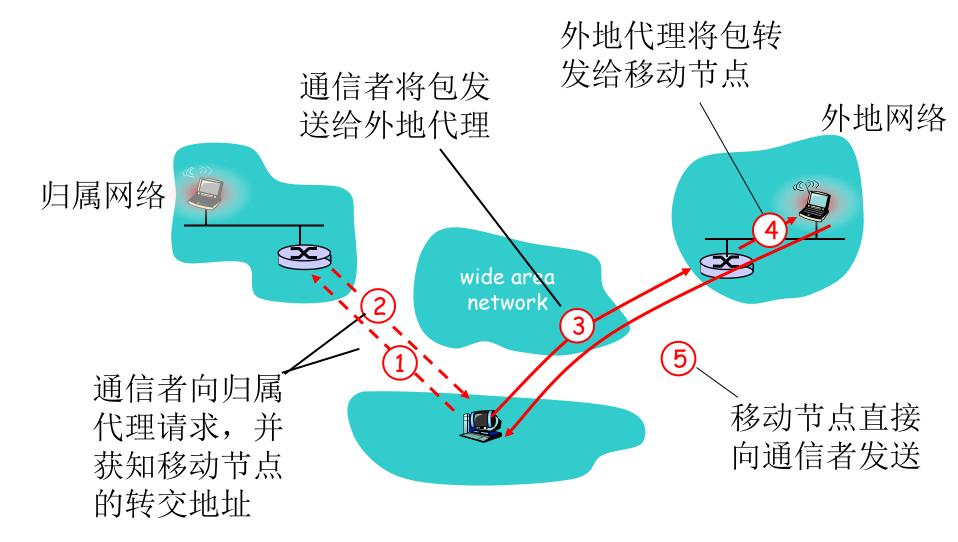
- □移动节点使用两个地址:
  - 永久地址:通信者用来向移动节点发送数据报(从 而移动节点的位置对于通信者是透明的)
  - ○转交地址: 归属代理用来向移动节点转发数据报
- □三角选路: 通信者-归属网络-移动节点
  - ○当通信者和移动节点在同一个网络中时很低效



### 间接选路:终端在外地网络间移动

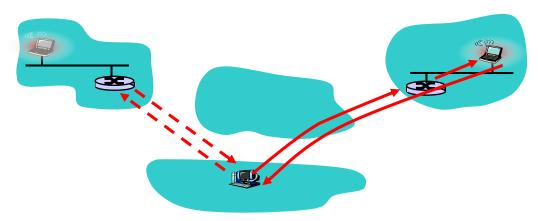
- □假设节点移动到另一个网络:
  - ○向新的外地代理注册
  - o新的外地代理向归属代理注册
  - o归属代理更新移动节点的转交地址
  - ○归属代理使用新的转交地址向移动节点转发包
- □ 节点移动及变换外地网络等对通信者都是透明的,移动节点的通信端点也没有改变,正在进行的通信可以保持!

## 直接选路到移动节点



# 直接选路: comments

- □克服了三角选路的问题
- □对通信者不透明:
  - ○通信者需要知道移动节点的转交地址
  - ○通信者(包括固定节点)需要增加对移动通信 的支持



#### Chapter 7 outline

7.1 Introduction

#### Wireless

- 7.2 Wireless links, characteristics
   CDMA
- 7.3 IEEE 802.11
  wireless LANs ("WiFi")
- 7.4 Cellular Internet Access
  - architecture
  - standards (e.g., 3G, LTE)

#### Mobility

- 7.5 Principles:
  addressing and routing
  to mobile users
- 7.6 Mobile IP
- 7.7 Handling mobility in cellular networks
- 7.8 Mobility and higherlayer protocols

### Mobile IP

- □移动IP: 支持移动性的因特网体系结构与协议
- □具有许多我们已经看到的特性,如:
  - ○归属代理,外地代理,永久地址,转交地址, 移动节点注册
- □标准化了三个部分:
  - o代理发现
  - ○移动节点注册
  - ○数据报间接选路

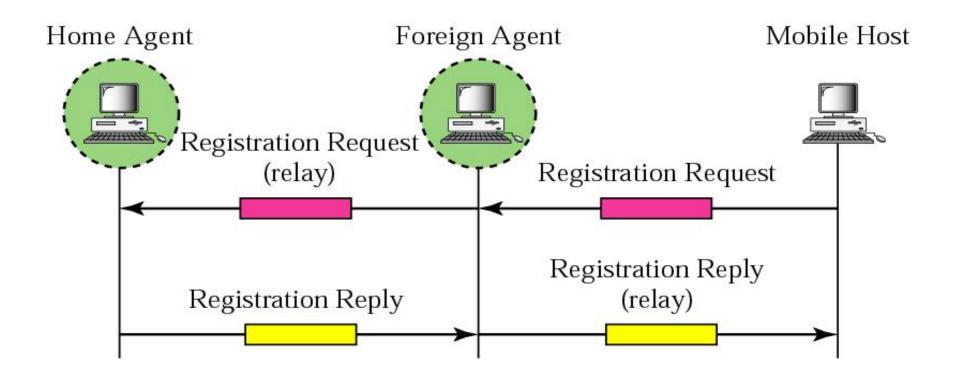
### (1) 代理发现

- □ 愿意充当归属代理或外地代理的路由器定期在网络 上发送代理通告,宣布自己的存在及**IP**地址
- □ 愿意充当外地代理的路由器在代理通告中会提供一个或多个转交地址(通常使用自己的**IP**地址作为转交地址)
- ■移动节点通过接收和分析代理通告,判断自己是否 处于外地网络以及是否切换了网络
- □ 如果发现在外地网络上,移动节点从外地代理提供的转交地址中选择一个作为自己的转交地址

#### (2) 移动主机注册

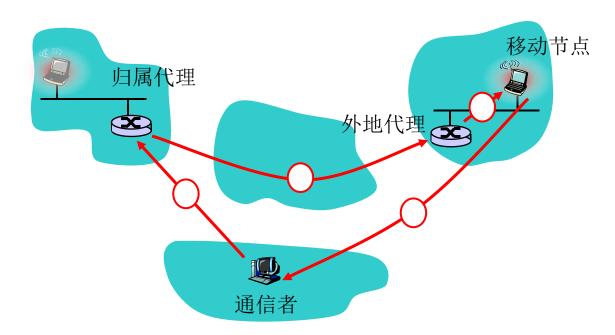
- 移动节点向外地代理发送一个注册请求,给出自己的永久 地址、转交地址、归属代理地址以及认证信息等
- □ 外地代理记录相关信息,向归属代理转发注册请求
- □ <u>归属代理</u>处理注册请求,若认证通过,将移动节点的永久 地址及转交地址保存在绑定表中,发回一个注册响应
- □ 外地代理收到有效的注册响应后,将移动节点记录在自己的转发表中,向移动节点转发注册响应
- □当移动节点回到归属网络时,要向归属代理注销

### 注册请求和响应



## (3) 数据报间接选路

- □ 数据包首先被归属代理得到
- 归属代理查找地址绑定表,获得移动节点当前的转交地址
- □ 归属代理将数据包发送到转交地址(外地代理)
- □外地代理将数据包转发给移动节点



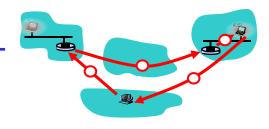
#### 归属代理如何得到数据报?

- □ 若通信者不在归属网络上:
  - 数据包首先到达移动节点归属网络上的路由器
  - 路由器查表得知可以直接交付,于是查找ARP缓存或者发送 ARP请求,得到与移动节点永久地址对应的MAC地址
  - o 利用得到的MAC地址,将数据报封装到链路层帧中发送
- □ 若通信者在归属网络上:
  - 通信者查表得知移动节点直接可达,于是查找ARP缓存或者 发送ARP请求,得到与移动节点永久地址对应的MAC地址, 封装数据报发送
- □ 数据报如何能被归属代理得到?
  - 帧的目的地址=归属代理的MAC地址
  - 也就是说,**移动节点的永久地址** 应当映射到**归属代理的** MAC地址。怎么做到?

#### 归属代理如何得到数据报?

- □ 归属代理作为移动主机的ARP代理:
  - 归属代理为位于外地网络的移动主机发送ARP响应, 用自己的MAC地址进行响应
  - 也就是说,将移动主机的永久地址映射到归属代理的 MAC地址
- □ 归属代理发送免费ARP:
  - 当接收到移动主机的注册请求后,<mark>归属代理主动发送</mark> ARP请求(将移动主机的永久地址关联到归属代理的 MAC地址),刷新其它节点的ARP缓存

#### 数据报如何到达转交地址?

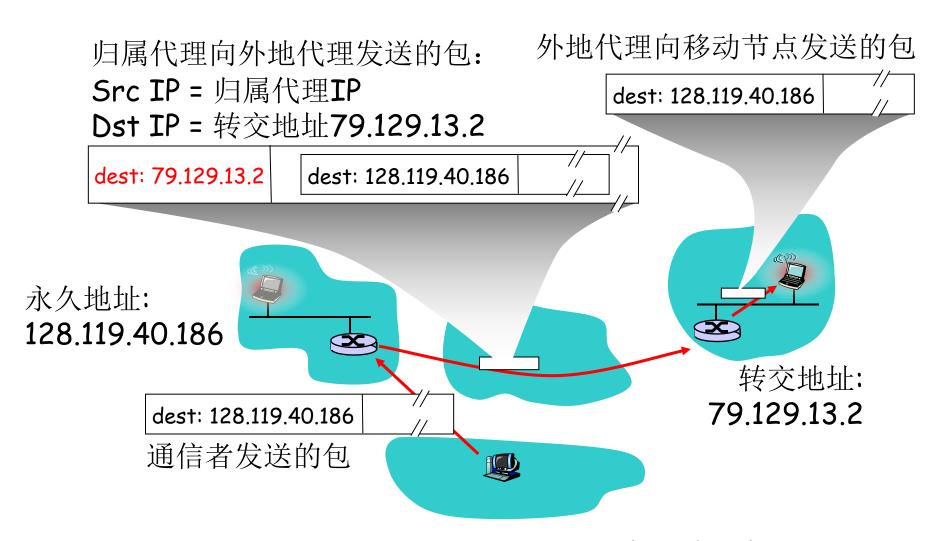


- □ 归属代理如何将数据报发送到转交地址?
  - 」归属代理收到的数据报,目的地址为移动节点的永久 地址,而移动节点的转交地址位于外地网络
  - ○如何将目的地址在本地的数据报送达外地网络?

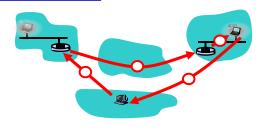
#### □方法:

- 修改目的地址=转交地址 (×) (转交地址是外地代 理的IP地址,而数据报的最终目的地应是移动节点)
- ○使用隧道( /) (隧道技术的又一个应用例子)

### 归属代理通过隧道转发数据包

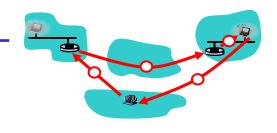


#### 外地代理如何转发数据包到移动节点?



- □外地代理解封装收到的数据包,得到原始数据报
- □外地代理如何获得移动节点的MAC地址?
  - 在移动节点注册阶段,外地代理获知了移动节点的永 久地址和MAC地址,记录在其转发表中
  - 外地代理利用目的IP地址查找转发表,得到移动节点的MAC地址
- □外地代理利用移动节点的MAC地址,将数据报封 装到链路层帧中,发送给移动节点

### 移动节点如何发送数据包?



- □移动节点将数据包发送给外地代理(缺省路由器):
  - SrcIP=移动节点永久地址,DestIP=通信者IP地址
  - SrcMAC=移动节点MAC, DestMAC=外地代理MAC
- □外地代理按照正常方式转发数据包
- □移动节点如何得知外地代理的MAC地址?
  - 代理通告报文的源MAC是外地代理的地址

## 需要掌握的知识点

- □移动通信相关的概念:
  - 」归属网络,外地网络,归属代理,外地代理,永久 地址,转交地址
- □移动节点注册
- □间接选路和直接选路
- □间接选路方式下数据报如何传输:
  - o归属代理如何得到数据报
  - 数据报如何到达转交地址
  - 数据报如何到达移动节点

#### Chapter 7 outline

7.1 Introduction

#### Wireless

- 7.2 Wireless links, characteristics
   CDMA
- 7.3 IEEE 802.11
  wireless LANs ("Wi-Fi")
- 7.4 Cellular Internet Access
  - architecture
  - standards (e.g., 3G, LTE)

#### Mobility

- 7.5 Principles:
  addressing and routing
  to mobile users
- 7.6 Mobile IP
- 7.7 Handling mobility in cellular networks
- 7.8 Mobility and higherlayer protocols

### 无线和移动对上层协议的影响

- □ 无线链路带来的问题:
  - 误码率高: 传输距离、环境干扰、多径传输造成信噪比 降低
  - 丢包率高:由于误码、发送冲突造成传输失败
  - ○延迟增大:由于冲突重传造成延迟增大
- □ 节点移动带来的问题:
  - 丢包增加: 切换(AP切换、交换机更新转发表、移动 **IP**注册)造成丢包
  - ○延迟增大:切换及间接选路带来延迟增大

### 无线和移动对上层协议的影响

- □逻辑上,没什么影响:
  - 为上层协议提供的仍然是尽力而为的服务,因此 TCP和UDP也可以运行在无线网络上
- □性能上,有很大影响:
  - 丢包率升高,传输延迟增大
  - TCP将丢包(长延迟也当作丢包)解释为拥塞,不 必要地减小拥塞窗口,导致应用吞吐率很低
  - 无线链路、有线/无线混合链路上的TCP拥塞控制是 一个研究问题

# Chapter 7 Summary

7.1 Introduction

#### Wireless

- 7.2 Wireless links, characteristics
   CDMA
- 7.3 IEEE 802.11
  wireless LANs ("Wi-Fi")
- 7.4 Cellular Internet Access
  - architecture
  - standards (e.g., 3G, LTE)

#### Mobility

- 7.5 Principles:
  addressing and routing
  to mobile users
- 7.6 Mobile IP
- 7.7 Handling mobility in cellular networks
- 7.8 Mobility and higherlayer protocols

# 作业

□ 习题: R7, R11, P5, P6

□提交时间: 12月5日