

智能网联系统导论



定位技术

裴欣，副研究员

中央主楼809房间

peixin@tsinghua.edu.cn



2020/12/4

清华大学自动化系系统工程研究所

大纲

2

- ▣ 1 位置信息的重要性
- ▣ 2 位置信息感知技术
- ▣ 3 定位方法
- ▣ 4 位置信息的应用
- ▣ 5 技术挑战与发展前景

1

位置信息的重要性

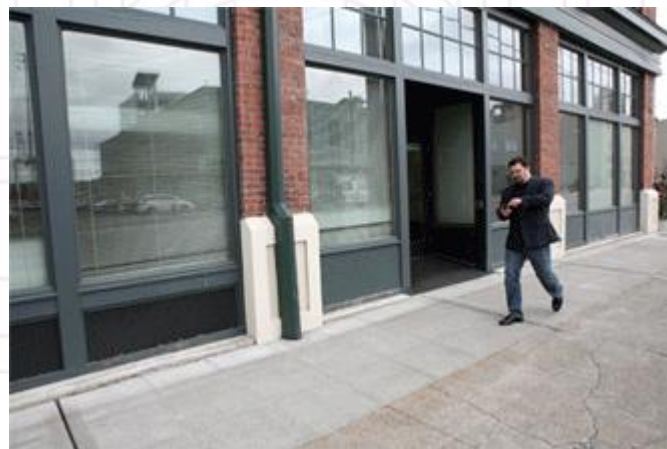
缺少位置的感知信息利用价值低

位置信息包括三大要素：空间信息、时间信息、对象信息

为什么需要定位？

4

- 缺少位置的感知信息没有使用价值
 - 基于位置的服务
 - ▣ 地图与导航：百度地图
 - ▣ 搜索周边服务信息：大众点评
 - ▣ 基于位置的社交网络：微信
 - ▣ 基于位置的游戏：[Ingress](#)，宝可梦
 - ▣ 基于位置的商业营销：商圈定向，[mini](#)，[蝴蝶](#)
 - 位置信息与我们的生活息息相关
 - 位置信息不是单纯的“位置”
 - ▣ 地理位置（空间坐标）
 - ▣ 处在该位置的时刻（时间坐标）
 - ▣ 处在该位置的对象（身份信息）
- 因地制宜，见机行事，因人而异



位置信息感知技术

传统定位系统：天文定位导航、遥感系统、惯性导航

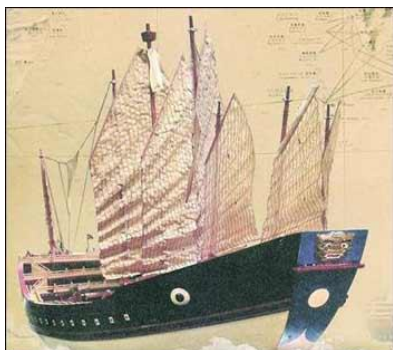
现代定位系统：卫星定位、蜂窝基站定位、室内定位(WiFi、RFID等)

天文导航

6

- 天文导航是根据天体来测定位置和航向的导航技术。
 - ▣ 天体的坐标位置和它的运动规律是已知的，测量天体相对于用户参考基准面的高度角和方位角就可以计算出用户的位置和航向。

□ 相关记载：



西汉《淮南子·齐俗训》：

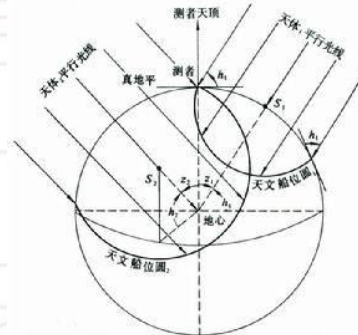
“夫乘舟而惑者，不知东西，见斗极则寤矣。”

北宋朱彧《萍洲可谈》：

“舟师识地理，夜则观星，昼则观日，阴晦观指南针。”

明《武备志》所收的《过洋牵星图》

记有南北、东西星体在水天线上方若干指（角度单位）的数据，用以估计船位。

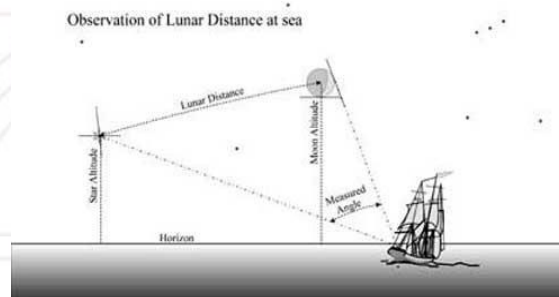


天文导航

7

□ 技术发展：

- 15世纪出现了用北极星高度或太阳中天高度求纬度的方法.当时只能先南北向驶到目的地的纬度,再东西向驶抵目的地.
- 16世纪出现了观测月距(月星之间角距)求经度法,但不够准确,而且解算繁冗.
- 18世纪六分仪和天文钟先后问世,前者用于观测天体高度,大大提高了准确性;后者可以在海上用时间法求经度.
- 1837年美国船长T.H.萨姆纳发现天文船位线,从此可以在海上同时测定船位的经度和纬度,奠定了近代天文定位的基础.
- 1875年法国海军军官圣伊莱尔发明截距法,简化了天文定位线测定作业,至今仍在应用.
- 20世纪出现了光机电结合的天文导航自动化设备。



天文导航

8

□ 天文导航设备：

六分仪



天文罗盘



星体跟踪器



现代位置信息感知技术

9

- 遥感技术
- 惯性导航
- 卫星定位
- 蜂窝基站定位
- 室内精确定位

遥感技术

10

- 20世纪60年代兴起的一种探测技术，根据电磁波理论，应用各种传感仪器对远距离目标所辐射和反射的电磁波信息，进行收集、处理，并最后成像，从而对地面各种景物进行探测和识别的一种综合技术。
- 技术分类
 - 根据探测器位置：航天、航空、地面遥感
 - 根据所利用电磁波光谱：热红外、可见光/红外、微波遥感
 - 根据监控对象：资源、环境遥感
 - 根据应用区域：全球、区域、城市遥感

惯性导航

11

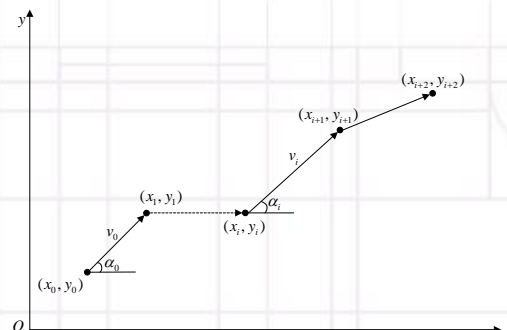
- 惯性导航（Inertial Navigation），是依据牛顿惯性原理，利用惯性元件来测量运载体本身的加速度和角速度，经过积分等运算得到速度和位置，从而达到对运载体导航定位的目的。
- 惯性测量装置包括加速度计和陀螺仪，又称惯性测量单元.3个自由度陀螺仪用来测量运载体的3个转动运动；3轴加速度计用来测量运载体的3个平移运动的加速度.计算机根据测得的加速度和角速度信号计算出运载体的速度和位置数据。



惯性导航

12

- 惯导定位方式：在运载体当前位置已知的条件下，通过测量加速度、角速度和时间等，积分运算出速度、航向等物理量来计算相对位移，确定运载体下一刻位置。
- 惯导的应用领域



卫星定位

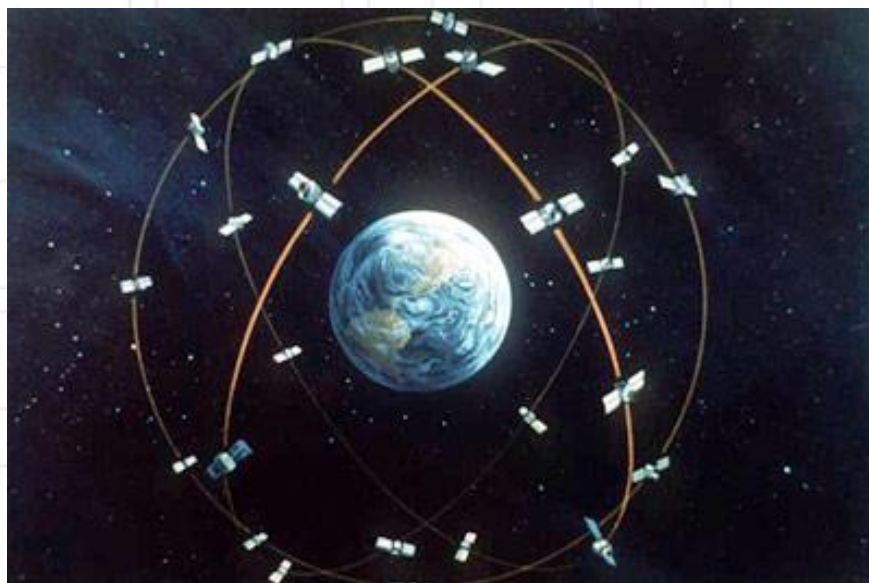
13

- 各国的卫星定位系统
 - ▣ 美国：GPS
 - ▣ 俄罗斯：GLONASS
 - ▣ 欧盟：伽利略
 - ▣ 中国：北斗

GPS：发展简史

14

- 1973年，美国国防部开始GPS计划
- 1983年，里根承诺将来对民间开放使用
- 1989年，正式开始发射GPS工作卫星
- 1994年，卫星组网完成，投入使用
- 2000年，克林顿下令取消军用/民用定位精度的差别
(300m->20m)



GPS：系统结构

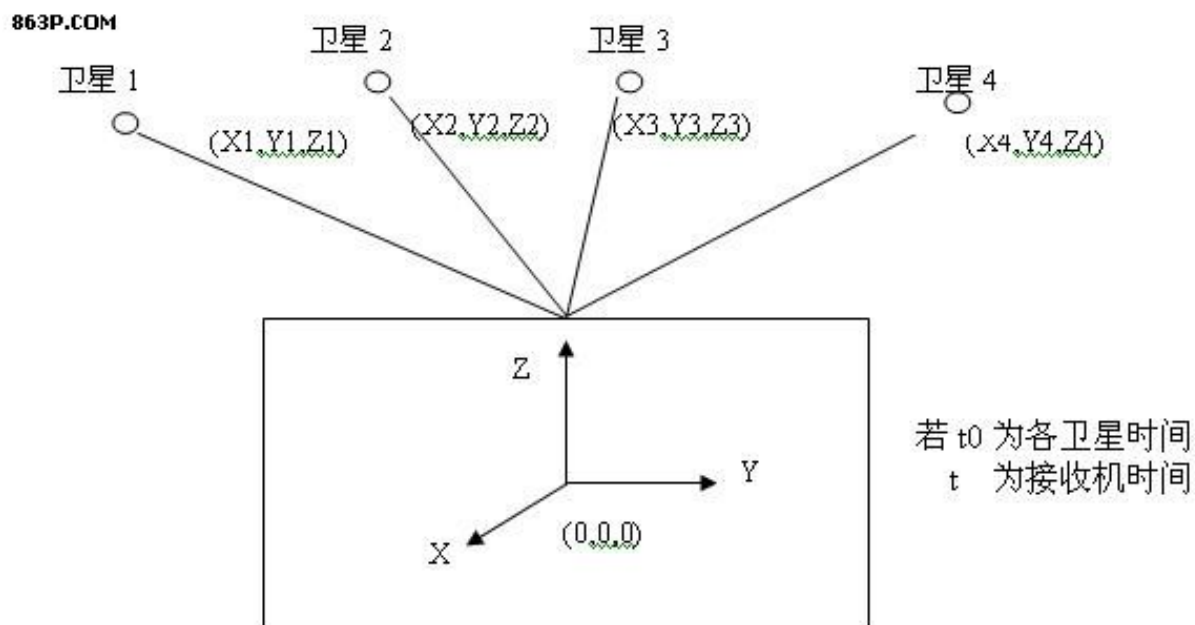
15

- 宇宙空间部分
 - 24颗工作卫星
- 地面监控部分（全部在美国境内）
 - 1个主控中心（另有1个备用）
 - 4个专用地面天线
 - 6个专用监视站
- 用户设备部分
 - GPS接收机

GPS：定位技术

16

- 基本原理：基于到达时间进行定位ToA(Time of Arrival)
- 由于接收端存在时间误差，需采用四颗卫星进行定位。



北斗系统

17

- 2020年7月31日上午，北斗三号全球卫星导航系统正式开通
- 北斗卫星导航系统由空间段、地面段和用户段三部分组成
 - ▣ 空间段包括静止轨道卫星（GEO）、地球同步倾斜轨道（IGSO）卫星和地球中轨道（MEO）卫星。
 - ▣ 地面段包括主控站、注入站和监测站等若干个地面站
 - ▣ 用户段包括北斗用户终端以及与其他卫星导航系统兼容的终端。
 - ▣ 介绍视频《北斗》纪录片
<https://tv.cctv.com/2020/10/08/VIDEeI4mnQDVzsvpL53a17Zc201008.shtml>

卫星定位主要优缺点

18

□ 优点

- ▣ 精度高
- ▣ 全球覆盖，可用于险恶环境

□ 缺点

- ▣ 启动时间长，3-5分钟
- ▣ 室内信号差，城市峡谷中信号反射等影响
- ▣ 静止时数据漂移严重
- ▣ 需要接收机

卫星定位典型应用：汽车导航

19

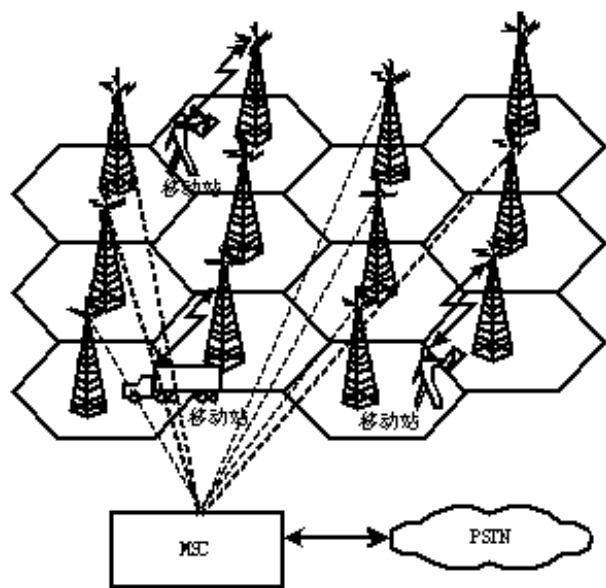
- 最初仅能提供位置和周边地图
- 第二代汽车导航系统可根据目的地自动计算“最短”路线
- 互联网时代，汽车导航可从交管部门取得路况咨询，优化路线，找出“最快”路线
- 物联网时代，感知更透彻
 - ▣ 综合道路状况，污染指数，天气状况，加油站的分布，驾驶员的身体状况等各种因素找出“最佳”路线
 - ▣ 由“以路为本”转变到“以人为本”
 - ▣ 车联网：两客一危监管



蜂窝基站定位

20

- 移动蜂窝网络
 - ▣ 通讯区域被分割成蜂窝小区
 - ▣ 每个小区对应一个通讯基站
 - ▣ 通讯设备连接小区对应基站进行通讯
- 利用基站位置已知的条件，可对通讯设备进行定位



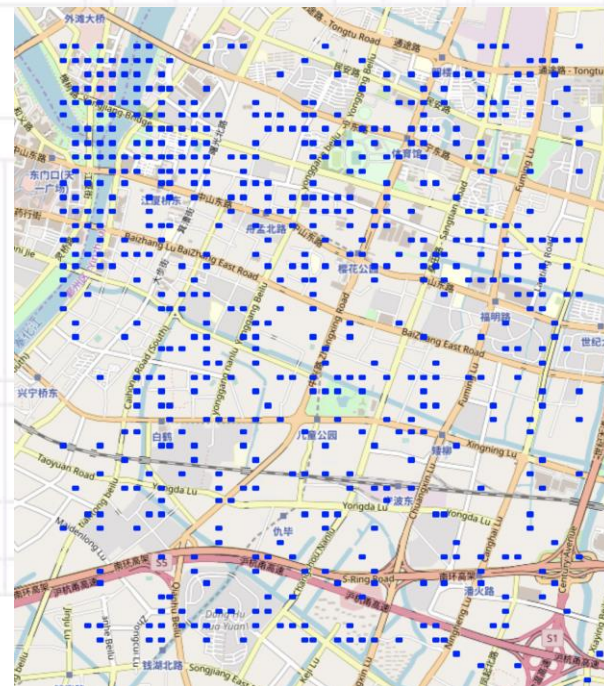
单基站定位法

21

□ COO定位（Cell of Origin）

- 将移动设备所属基站的位置视为移动设备的位置
- 精度直接取决于基站覆盖的范围
- 基站分布疏松地区，一个基站覆盖范围半径可达数公里，误差巨大

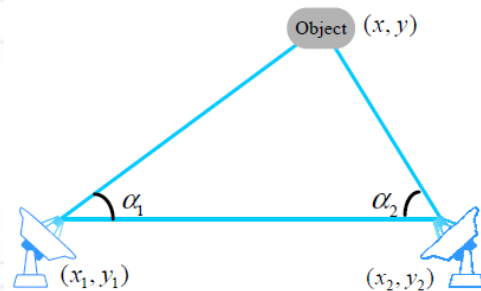
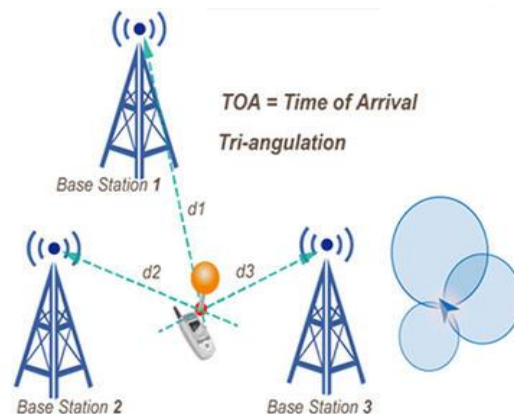
□ 优点：简单、快速，适用紧急情况



多基站定位法

22

- ToA/TDoA定位法(Time of Arrival)
 - ▣ 测量无线信号传播时间
 - ▣ 需要三个基站才能定位
 - ▣ 稀疏地区可能只能收到两个基站的信号，不适用
- AoA定位法(Angle of Arrival)
 - ▣ 测量无线信号传播方向
 - ▣ 需要两个基站
 - ▣ 但需要方向性强的天线阵列
- 信号强度定位



蜂窝基站定位：主要优缺点

23

□ 优点

- ▣ 可通讯即可定位
- ▣ 启动速度快
- ▣ 信号穿透能力强，室内亦可接收到

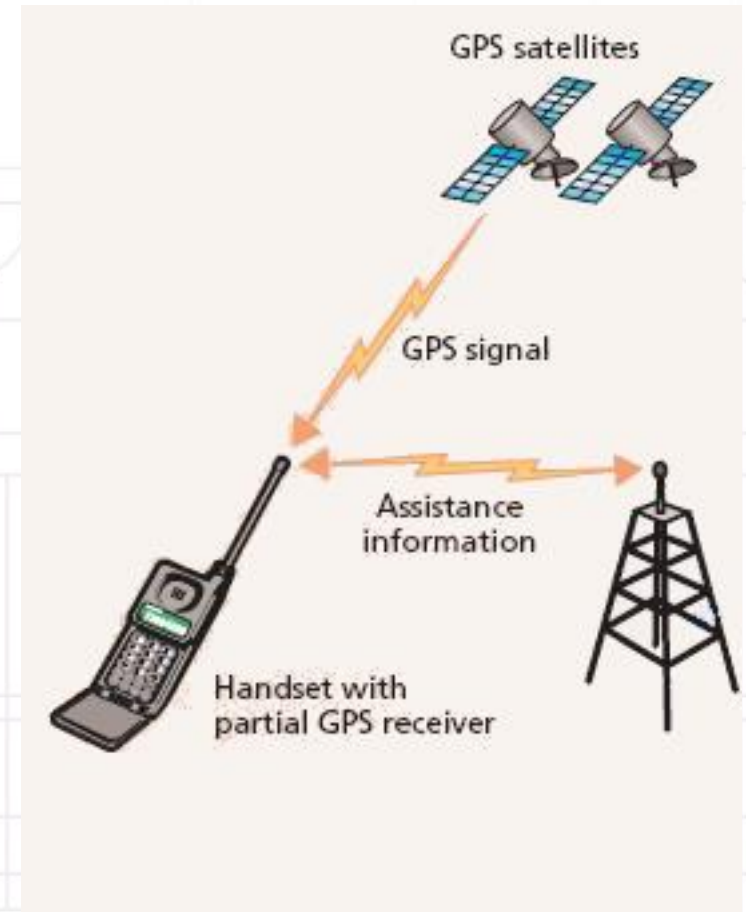
□ 缺点

- ▣ 定位精度相对较低
- ▣ 多径效应影响较大
- ▣ 基站需要有专门硬件，造价昂贵

A-GPS (Assisted GPS)

24

- GPS定位和蜂窝基站定位的结合体
- 利用基站定位确定大致范围
- 连接网络查询当前位置可见卫星
- 大大缩短搜索卫星的时间



典型应用：紧急电话定位

25

□ 美国E-911系统

- ▣ 拨打报警电话时，根据基站定位出手机位置，自动接到最近警局
- ▣ 综合了各种定位技术，包括ToA，TDoA，AoA，RSS，A-GPS
- ▣ 使用时尝试各种定位方法，择优而用



室内精确定位

26

- 用于室内相对位置的定位
- 室内环境的复杂性
 - ▣ 多径效应
 - 原因：障碍物反射电磁波，反射波和原始波在接收端混叠
 - 室内障碍物众多，多径效应明显
 - 基站定位效果受到影响
 - ▣ 对电磁波的阻碍作用
 - 长波信号（GPS）能量较低、穿透能力弱
 - 室内应选用短波信号来进行定位
 - ▣ 室内环境多变
 - 室内摆设、格局发生变化
 - 定位参考节点失效
 - ▣ 高度（楼层）信息的重要性

室内精确定位

27

- 早期部署专用设备进行定位，成本高
- 可以利用已有设备与网络，采用信号强度定位方法
 - ▣ 蓝牙（iBeacon），WiFi，RFID等
- 蓝牙 iBeacon位置服务
 - ▣ 布设Beacon设备，为附近的蓝牙设备提供服务
 - ▣ 当游览者刚好在景点附近时，就在传感信号提示下自动播放起讲述该景点的视频，对于恰好在商铺附近的用户则会收到商铺发来的优惠券。iBeacon 还能够监测你光顾某一地理位置的次数，从而帮助合作的零售商铺记住老主顾，并向他们提供回馈和优惠。
 - ▣ 多使用单点定位
 - ▣ [介绍视频](#)



RFID定位典型应用

28

□ 资产管理

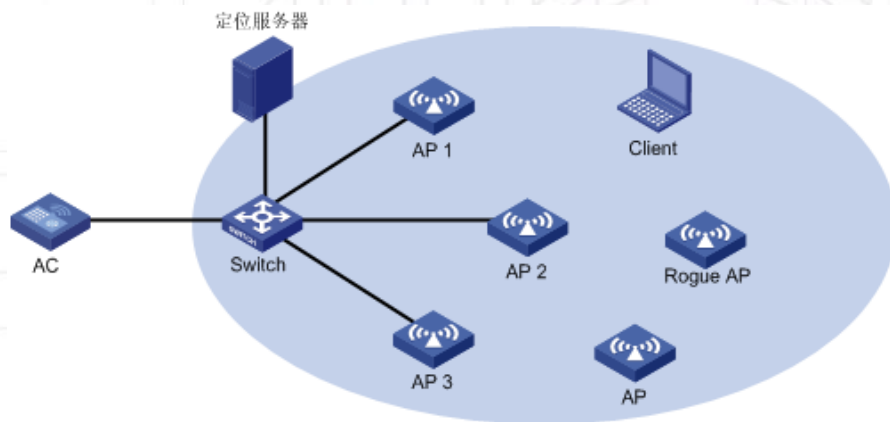
- ▣ 相对位置的定位，例如医院大型设备定位
- ▣ 在设备上贴上RFID标签
- ▣ 需要使用时通过RFID定位找到标签的位置，从而定位设备的位置
- ▣ 结合感知技术，还可以监控设备的状况
 - 是否空闲
 - 是否故障
 - 是否老化
- ▣ 借助信号强度定位技术，可以实现较为精确的定位

WiFi基站定位

29

□ 无线AP定位

- 利用可见Wi-Fi接入点来定位
 - 无线AP的MAC地址唯一，可以当做基站进行定位
 - 先通过AP的位置粗略定位
 - 再通过信号强度精确定位
- 在大城市中，无线AP数目多，定位非常精确
- 在智能手机中成熟应用



典型WiFi定位系统：Skyhook

30

- 建立AP位置数据库
 - 现场勘测（war-driving）：通过装载了GPS和WiFi接入点扫描设备的小车四处搜集
 - 用户主动提交AP信息
- 定位精度10米，响应时间1秒
 - 提供专门的开发SDK



定位方法

基于距离的定位方法 (**Time of Arrival, ToA**)

基于距离差的定位方法 (**Time Difference of Arrival, TDoA**)

基于信号特征的定位方法 (**Received Signal Strength, RSS**)

基于网络连通性的定位方法

定位方法

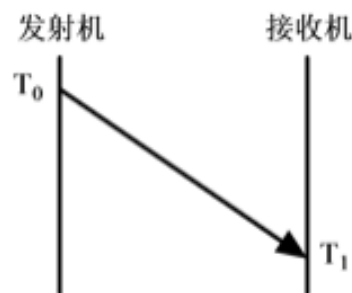
32

- 定位的关键：
 - ▣ 有一个或多个已知坐标的参考点（即信标节点/锚节点）
 - ▣ 待测目标点与已知参考点的空间关系
- 定位方法的两个步骤：
 - ▣ 测算：测量物理量→根据物理量+参考点坐标计算目标点位置
- 常用物理量：距离、角度、场强、连通性、跳数...
- 常见定位方法：
 - ▣ 基于距离的定位（Time of Arrival, ToA）
 - ▣ 基于距离差的定位（Time Difference of Arrival, TDoA）
 - ▣ 基于信号特征的定位（Received Signal Strength, RSS）
 - ▣ 基于网络连通性的定位

基于距离的定位（ToA）

33

- ToA：测量目标点与单个参考点的距离→多点测量计算定位
- 直接测量方法
 - ▣ 距离 $d = \text{波速}v * \text{传播时间}t$
 - ▣ 传播时间 $t = \text{收到时刻}T_1 - \text{发出时刻}T_0$
- 应用：GPS的定位方法
 - ▣ 卫星（发射端）向终端（接收端）发射信号
 - ▣ 发送数据包中包含发出时刻 T_0
- 条件：
 - ▣ 发射端和接收端需要时钟同步，而且同步精度要求较高（特别是近距离测量时）
 - ▣ 需要额外传输 T_0 信息



基于距离的定位（ToA）

34

□ 直接测量方法改进：利用波速差（类比雷电）

□ 发射端同时发射一道电磁波和声波（若做不到同时，可约定时间差 Δt ）

□ 接收端记录：

■ 电磁波到达时刻 T_1

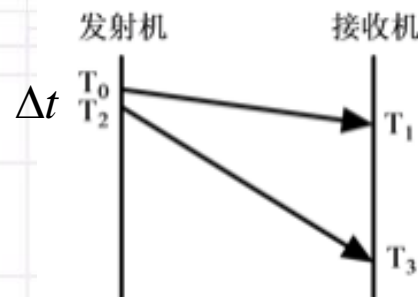
■ 声波到达时刻 T_3

□ 距离
$$d = \frac{v_r v_s (T_3 - T_1 - \Delta t)}{v_r - v_s}$$

□ 由于 v_r 远大于 v_s ，可以认为电磁波的到达时刻即发送时刻，上式可简化为

$$d = v_s (T_3 - T_1 - \Delta t)$$

□ 硬件条件：发射端需要具备两种波的发射功能，接收端需要具备两种波的接收功能



基于距离的定位 (ToA)

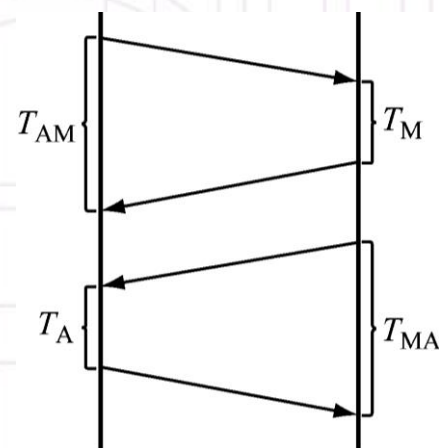
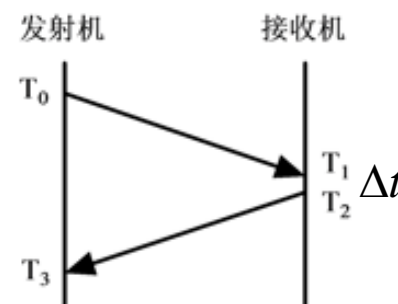
35

□ 间接测量方法：测量信号双向传播时间

- 发射端于时刻 T_0 发射波
- 接收端收到波后，等待时间 $\Delta t = T_2 - T_1$ 后返回同样的波
- 发射端记录收到回复的时间 T_3

- 距离
$$d = \frac{v(T_3 - T_0 - \Delta t)}{2}$$

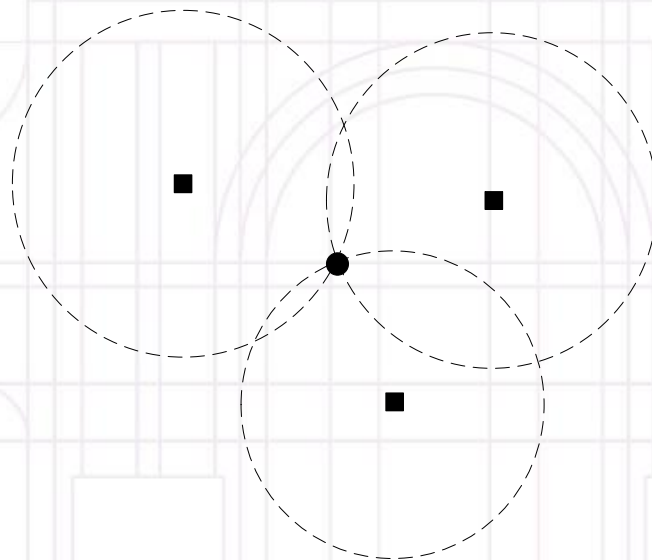
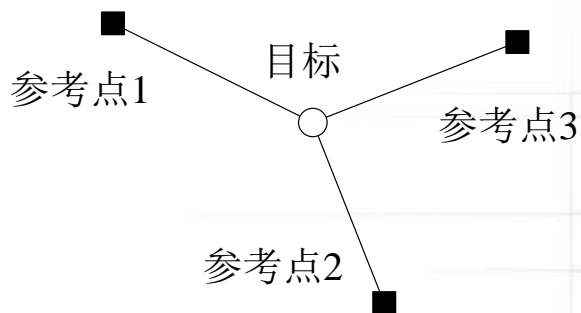
- 硬件条件：接收端和发送端都需要具备发射和接收功能
- 缺点：可能有时间漂移， Δt 有偏差
- 对策：对称双面双向测距方式



基于距离的定位（ToA）

36

- 位置计算方法：多边测量（也称多点测量）
 - 在平面上进行定位，需要至少三个参考点
 - 以每个参考点为圆心，到该参考点的距离为半径画圆，目标必在圆上
 - 平面上三个圆交于一点，即目标点
 - 实际中由于存在误差，可选取更多参考点进行估计（最小二乘法）



基于距离差的定位（TDoA）

37

- TDoA：获取目标点与两个参考点的距离差→多点测量计算定位
- 距离差测距方法
 - 目标点广播一个信号
 - 参考点*i, j*分别记录信号接收到的时刻 t_i, t_j
 - 计算目标点到*i, j*的距离差 $Dd_{ij} = v(t_i - t_j)$
- 条件：
 - 接收者之间需要时间同步发射端和接收端需要时钟同步，而且同步精度要求较高（特别是近距离测量时）

基于距离差的定位 (TDoA)

38

□ TDoA: 获取目标点与两个参考点的距离差→多点测量计算定位

□ 距离差测距方法

▣ 目标点广播一个信号

▣ 参考点*i, j*分别记录信号接收到的时刻 t_i, t_j

▣ 计算目标点到*i, j*的距离差 $\Delta d_{ij} = v(t_i - t_j)$

□ 位置计算方法

▣ 每次测量结果

■ 参考点坐标 $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$

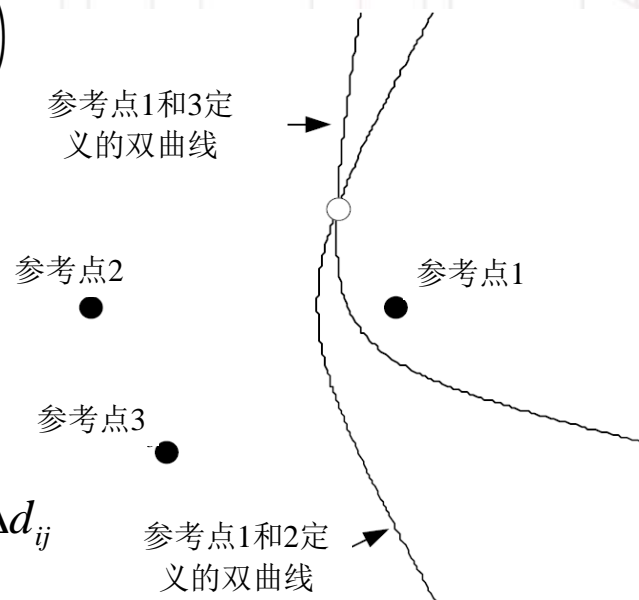
■ 到参考点的距离差 Δd_{ij}

■ 构建方程:

$$\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} - \sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2} = \Delta d_{ij}$$

▣ 至少两组数据（三个参考点）联立方程求解

▣ 实际采用多组数据最小二乘法求解



ToA/TDoA小结

39

- ToA
 - ▣ 直接测量方法需要参考点和测量目标点时钟同步
- TDoA
 - ▣ 不需要参考点和测量目标时钟同步
 - ▣ 参考点之间仍然需要时钟同步
- ToA和TDoA都需要纳秒级的时钟同步（米级精度），接收端有一定硬件要求，硬件成本高，能耗大，但定位精度较高，普通情况不常用

基于信号特征的定位（RSS）

40

- 面向应用：公共场所的室内定位（百度高德等）
- 直接利用无线网联系统的信号强度定位
- 原理：信号强度RSS（Received Signal Strength）随传播距离衰减（Friis方程）

$$P_r(d) = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 P_t G_t G_r$$

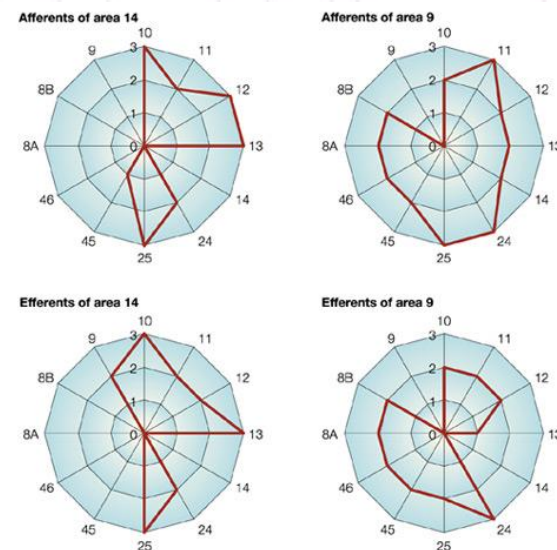
根据信号强度可以计算与基站（参考点）距离，ToA

- 问题：理想公式实际难以应用
 - 多径效应
 - 非视距遮挡造成的强度减弱（阴影衰落）
 - 仅适用于空旷电磁干扰小的地域

基于信号特征的定位（RSS）

41

- 解决方法：
 - 将信号强度看做“特征”（指纹）
 - 预先布置或利用已有的N个参考节点发送信号
 - **训练阶段**：事先测出区域中每个位置上N个参考节点信号的强度，得到一个N维特征向量，即RSS指纹，构成指纹库
 - **服务阶段**：将目标测出的特征向量和事先测量值比对，找出最相似指纹对应的位置
- 问题：参考点可能发生变化，指纹库失效
- 应对：
 - 重新训练指纹库
 - 设置“地标”，实时更新指纹库
 - 众包采集“指纹”，更新指纹库

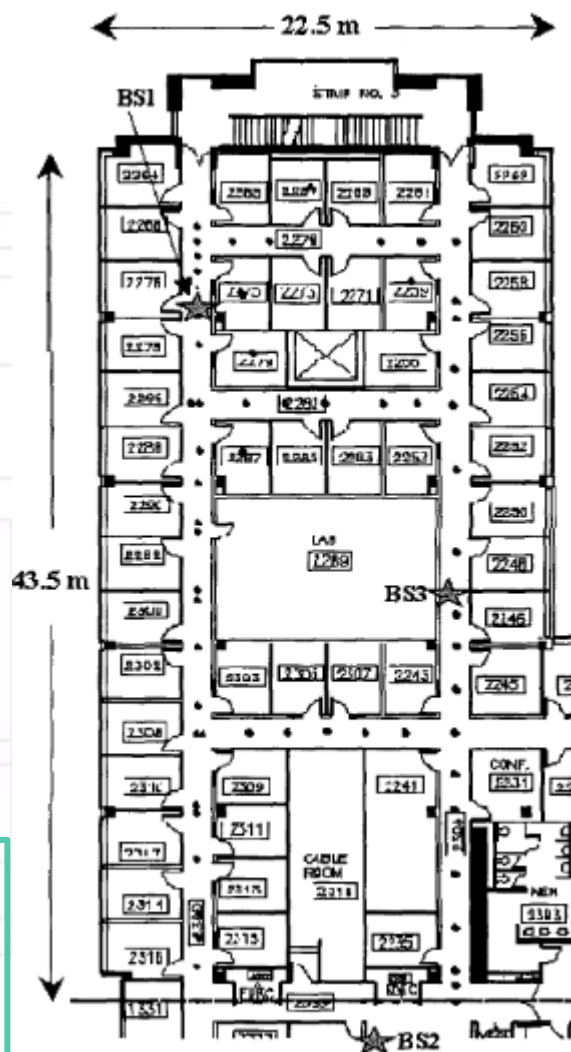


基于信号特征的定位（RSS）

42

- 典型系统1：RADAR定位系统（Microsoft, 1998）
 - 预先布置3个WiFi 接入点
 - 离线阶段：构建“信号强度-位置”数据库，考虑了用户朝向
 - 运行阶段：根据RSS特征，用最近邻法求解位置
 - 精度：3m（可区分房间）
 - 优点：成本低廉、部署简单
 - 缺点：环境变化导致指纹-位置关联失败，需重新勘探

Victor Bahl, Tong Liu, Imrich Chlamtac, Mobility Modeling, Location Tracking, and Trajectory Prediction in Wireless ATM Networks, IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, 1998,16(6): 922-936



基于信号特征的定位（RSS）

43

- 典型系统2：LANDMARC (HKUST, 2004)
 - 基于RFID信号特征的**动态定位方法**
 - 除了信号发送源（RFID阅读器），再布置一系列已知坐标的RFID标签作为参考标签
 - 实时记录每个参考标签被感知的RSS信号强度特征向量
 - 将目标的信号特征向量与参考标签此时的特征向量进行比对，越相似（欧式距离越小），坐标越接近。
 - 与近邻参考点坐标进行加权平均确定位置，误差可在1m范围以内

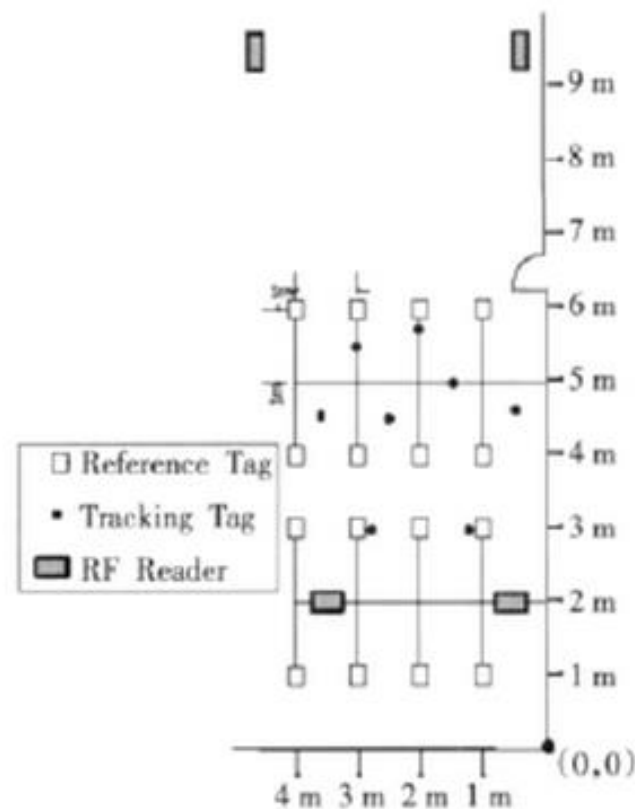


图1 LANDMARC 系统 RF 阅读器和 RF 标签分布图

Ni L M , Liu Y , Lau Y C , et al. LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID[J]. Wireless Networks, 2004, 10(6):701-710.

基于信号特征的定位（RSS）

44

- 典型系统3：LiFS (THU, 2012)
 - 基于群智感知的非现场勘测定位
 - 通过集成在智能手机上的运动传感器捕捉用户的运动信息，将原本互相独立的RSS指纹关联到一起，进而形成高维的指纹空间
 - 将原始的楼层平面图变换为高维空间中的无应力平面图
 - 通过匹配指纹空间和无应力平面图，得到指纹的位置信息
 - 无需用户主动参与，成功取消人工勘测环节

Yang Z., Wu C., and Liu Y., Locating in fingerprint space: Wireless indoor localization with little human intervention, in Proc. of ACM Mobicom, Istanbul, Turkey, 2012

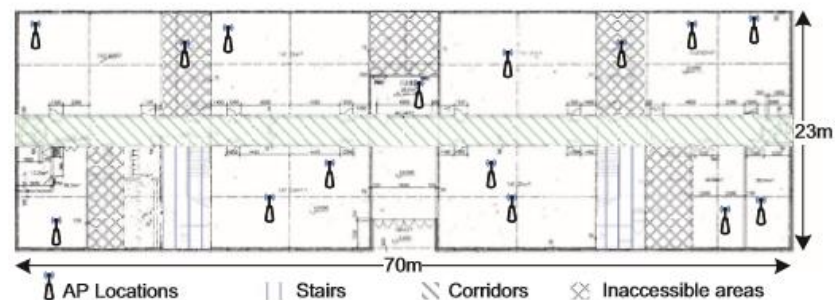


Figure 2: Floor plan of the experiment field.

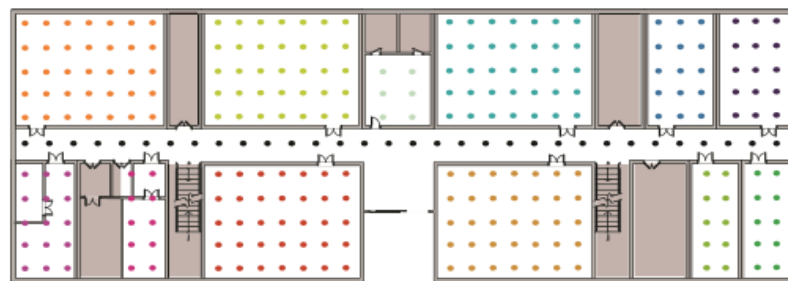


Figure 3: Floor plan with sample locations.

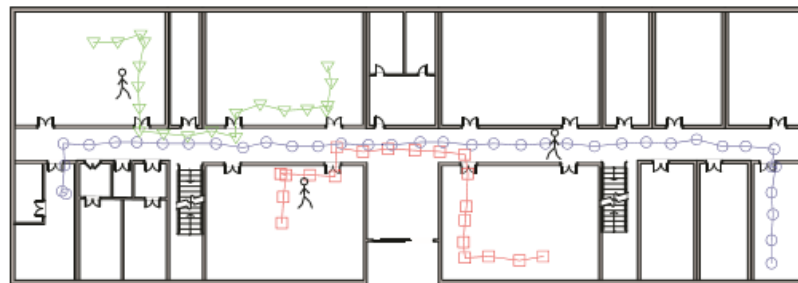


Figure 4: Moving paths.

基于信号特征的定位（RSS）

45

- 典型系统4：PosX无线室内定位系统
 - 清华大学刘云浩团队开发
 - 基于WiFi RSS的定位方法
 - 在每个位置上可以扫描到一系列WiFi AP，有些AP的信号强，另一些AP的信号弱。



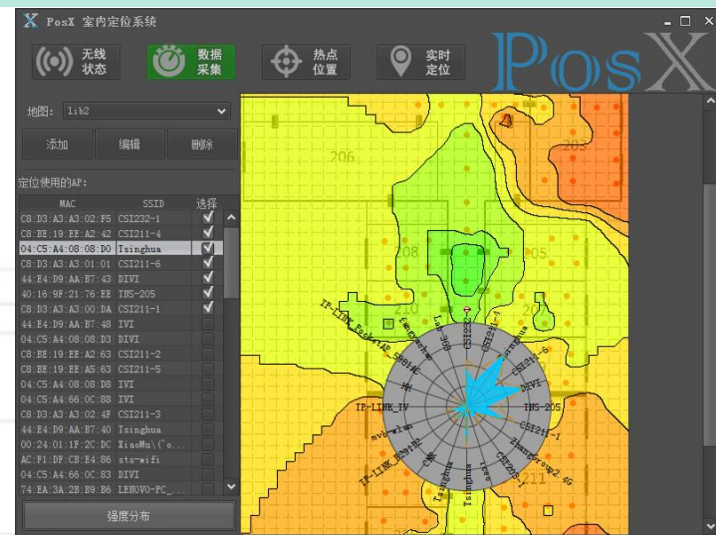
<http://tns.thss.tsinghua.edu.cn/posx/>



基于信号特征的定位（RSS）

46

- 典型系统4：PosX无线室内定位系统
 - 清华大学刘云浩团队开发
 - 基于WiFi RSS的定位方法
 - 在每个位置上可以扫描到一系列WiFi AP，有些AP的信号强，另一些AP的信号弱。
 - 右图以雷达图的形式呈现了空间中某个位置上的RSS特征向量。

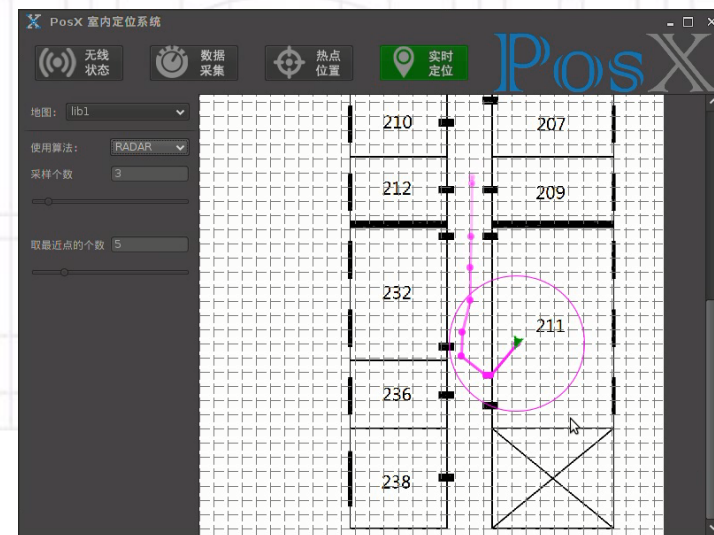
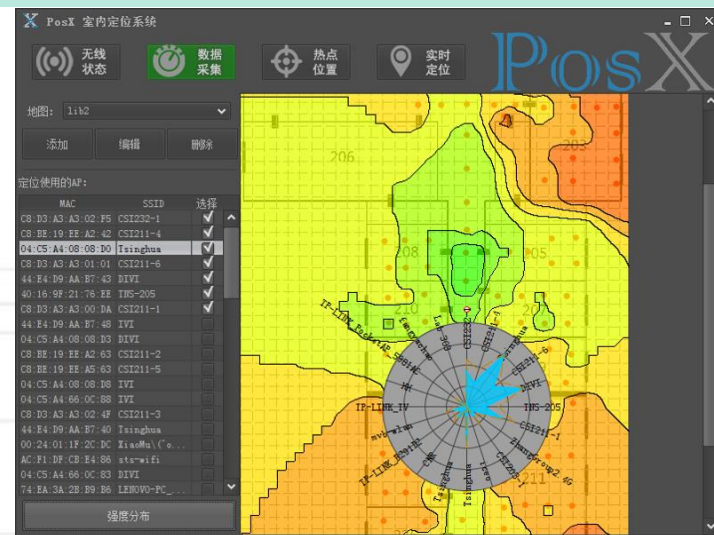


基于信号特征的定位（RSS）

47

- 典型系统4：PosX无线室内定位系统
 - 清华大学刘云浩团队开发
 - 基于WiFi RSS的定位方法
 - 在每个位置上可以扫描到一系列WiFi AP，有些AP的信号强，另一些AP的信号弱。
 - 右图以雷达图的形式呈现了空间中某个位置上的RSS特征向量。
 - 定位时，根据当前位置的无线信号指纹，在指纹数据库中寻找最相似的指纹及其对应的位置
 - 移动端实时显示当前位置以及历史移动轨迹

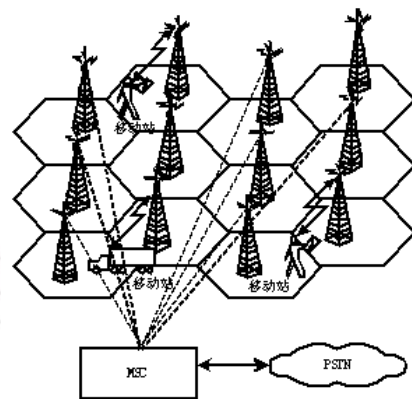
[PosX - Wireless indoor location System \(tsinghua.edu.cn\)](http://PosX-Wireless%20indoor%20location%20System%20(tsinghua.edu.cn))



基于网络连通性的定位方法

48

- 近似法
 - ▣ 目标坐标 = 连通参考点的坐标
 - ▣ 应用：运营商蜂窝网定位



基于网络连通性的定位方法

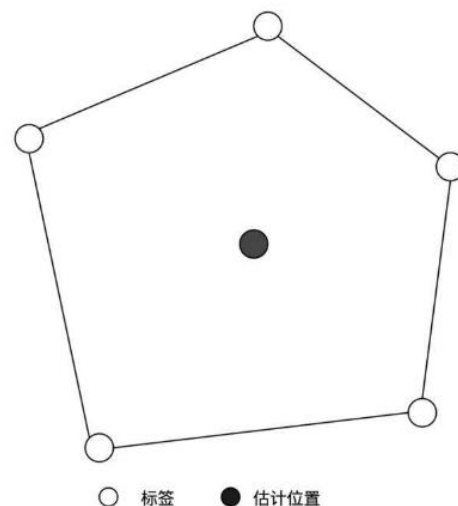
49

□ 近似法

- 目标坐标 = 连通参考点的坐标
- 应用：运营商蜂窝网定位

□ 质心定位算法

- 目标位置 = 连通的K个参考点的质心（k近邻）
- 对参考点的分布密度和匀质性有一定要求



基于网络连通性的定位方法

50

□ 近似法

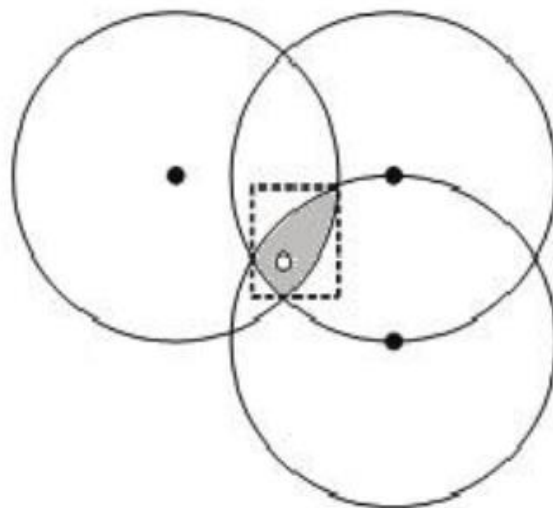
- ▣ 目标坐标 = 连通参考点的坐标
- ▣ 应用：运营商蜂窝网定位

□ 质心定位算法

- ▣ 目标位置 = 连通的K个参考点的质心（k近邻）
- ▣ 对参考点的分布密度和匀质性有一定要求

□ 凸规划算法

- ▣ 目标位置 = 参考点通信范围的交集
- ▣ 参考点尽量部署在网络边缘



基于网络连通性的定位方法

51

□ 近似法

- 目标坐标 = 连通参考点的坐标
- 应用：运营商蜂窝网定位

□ 质心定位算法

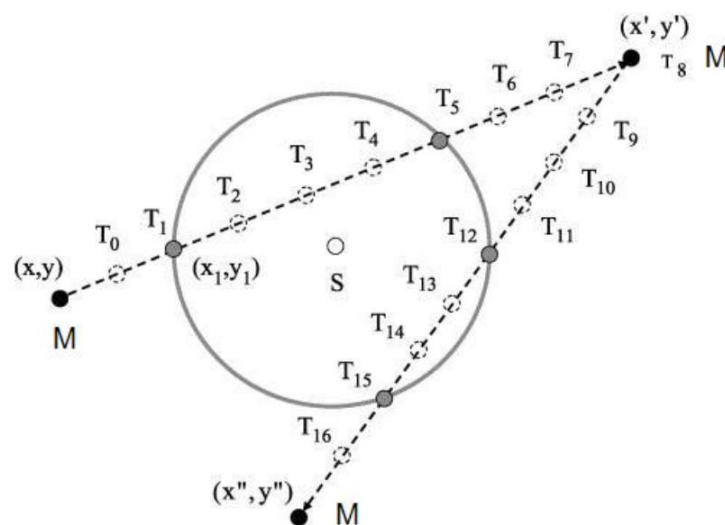
- 目标位置 = 连通的K个参考点的质心（k近邻）
- 对参考点的分布密度和匀质性有一定要求

□ 凸规划算法

- 目标位置 = 参考点通信范围的交集
- 参考点尽量部署在网络边缘

□ MAP算法（移动参考点）

- 移动参考点记录与目标点的连通性
- 目标位置 = 两条弦所在的圆心



基于网络连通性的定位方法

52

□ 近似法

- 目标坐标 = 连通参考点的坐标
- 应用：运营商蜂窝网定位

□ 质心定位算法

- 目标位置 = 连通的K个参考点的质心（k近邻）
- 对参考点的分布密度和匀质性有一定要求

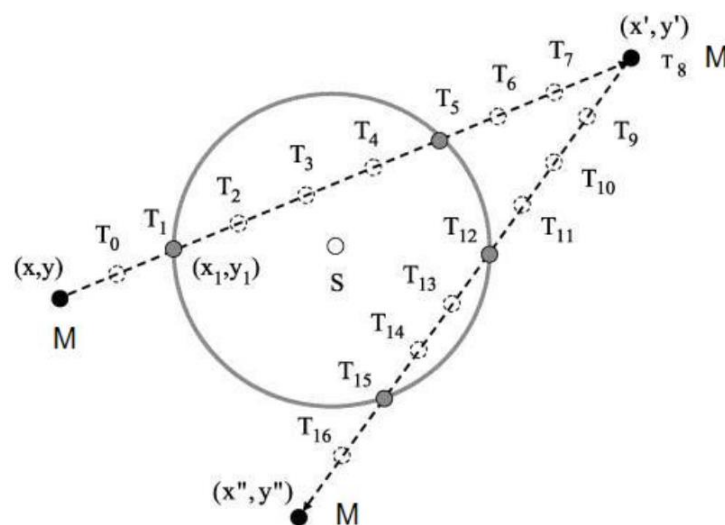
□ 凸规划算法

- 目标位置 = 参考点通信范围的交集
- 参考点尽量部署在网络边缘

□ MAP算法（移动参考点）

- 移动参考点记录与目标点的连通性
- 目标位置 = 两条弦所在的圆心

□ 多跳定位



各类定位方法对比

53

定位方法	定位精度	硬件成本	实现复杂度
ToA	高	高	中
TDoA	高	高	中
RSS	中	低	高
非测距方法	低	低	低

4

位置信息的应用

定位技术典型应用

55

- 城市规划与管理
- 应急响应
- 公共安全
- 流行病学调查
- 可视化应用（3D GIS）
- 商业市场：基于位置的服务

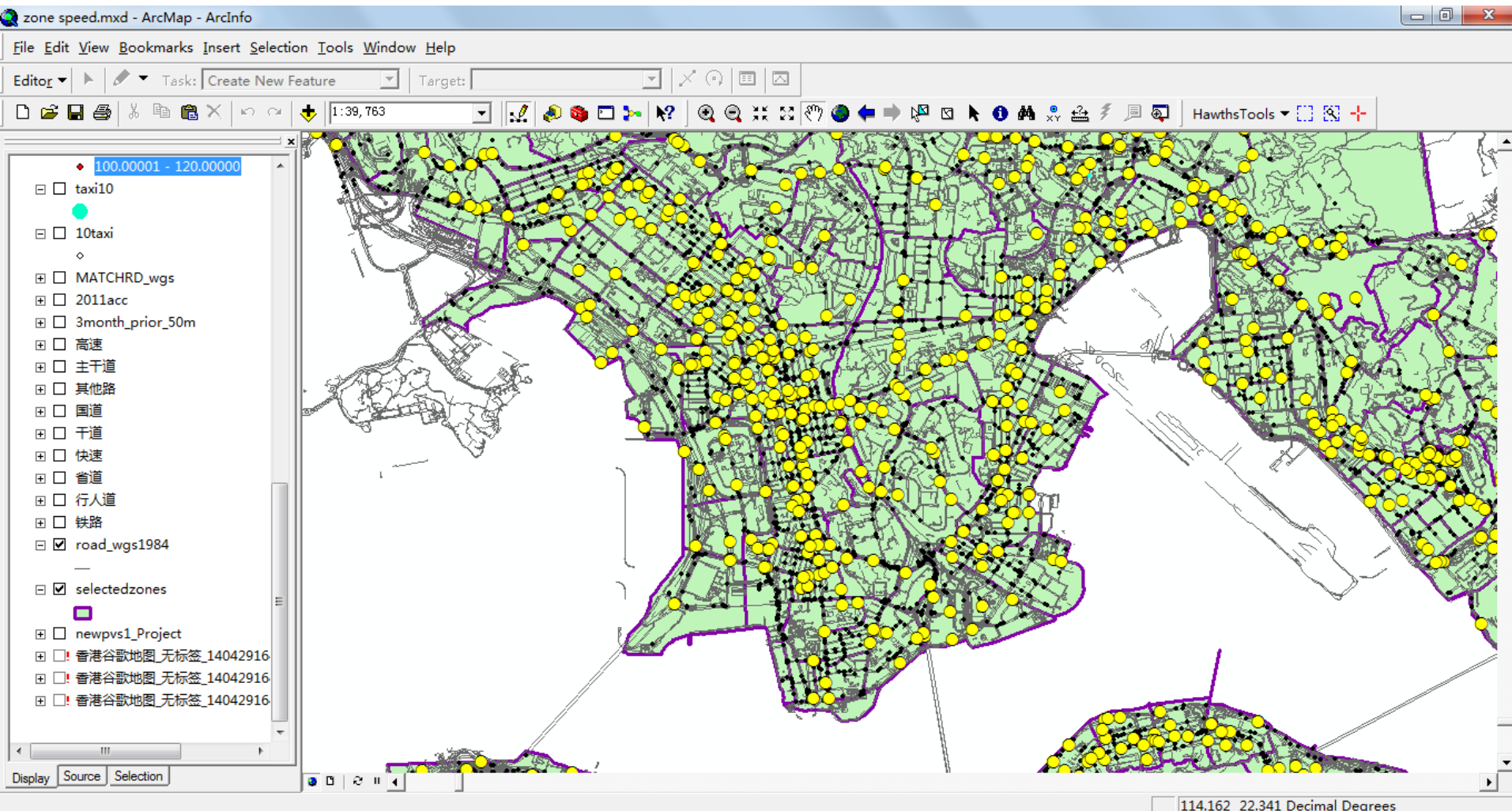
地理信息系统

56

- 地理信息系统（Geographic Information System, GIS）是在计算机硬、软件系统支持下，对整个或部分地球表层（包括大气层）空间中的有关地理分布数据进行采集、储存、管理、运算、分析、显示和描述的技术系统。
- 地理数据包括空间位置、属性特征、时域特征三部分。
- GIS功能
 - 空间分析功能
 - 数据采集、检验与编辑功能
 - 分析、查询、检索、统计和计算功能
 - 空间显示功能（可视化）

GIS举例

57



5

技术挑战与发展前景

物联网下定位技术的新挑战

59

□ 网络异构

- 接入物联网的设备五花八门

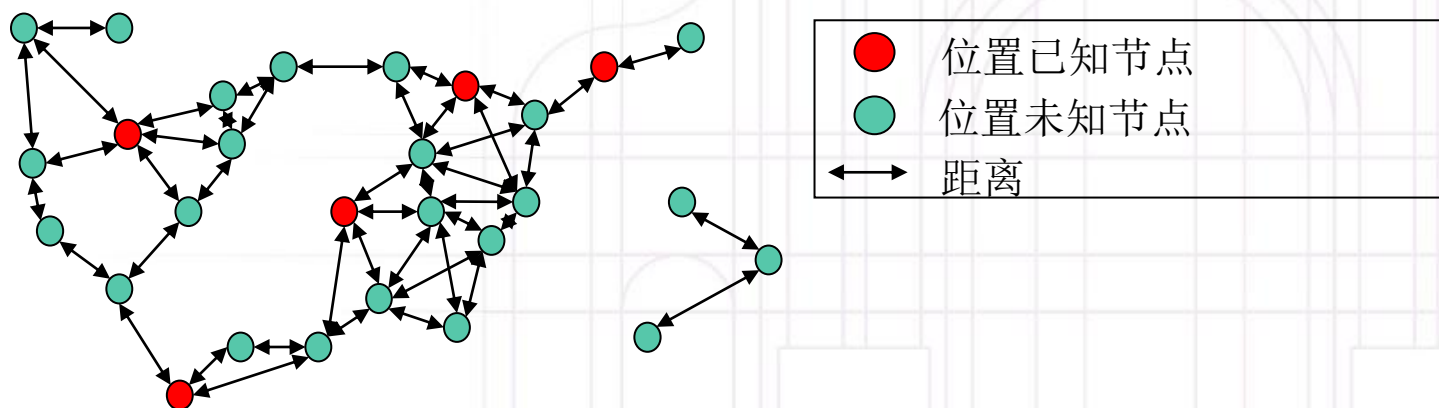
□ 连接起来的网络各自不同

→ 如何让不同的设备在不同的网络下准确定位

□ 新型定位技术：网络定位

- 适用于无线传感网、自组织网络

- 通过少量位置已知节点，定位出全网络节点的位置

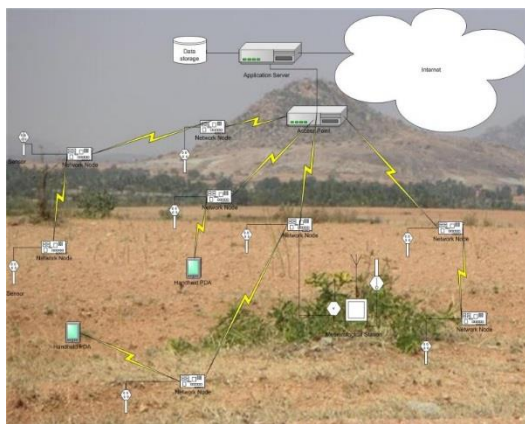


物联网下定位技术的新挑战

60

□ 环境多变

- 室外定位 VS. 室内定位
- 空旷场所 VS. 深山密林
- 静态场景 VS. 动态场景
- 高移动性 VS. 低移动性



物联网下定位技术的新挑战

61

□ 大规模应用

- ▣ 物联网时代，接入网络的设备将超过500亿台
 - 如何应对庞大的数量增长
 - 如何让定位技术为简单设备（如RFID标签）所用

□ 智能移动新需求

- ▣ 众包思想，群智感知
- ▣ 具有语义意义的定位技术
- ▣ 结合情境的位置信息

物联网下定位技术的新挑战

62

□ 信息安全与隐私保护

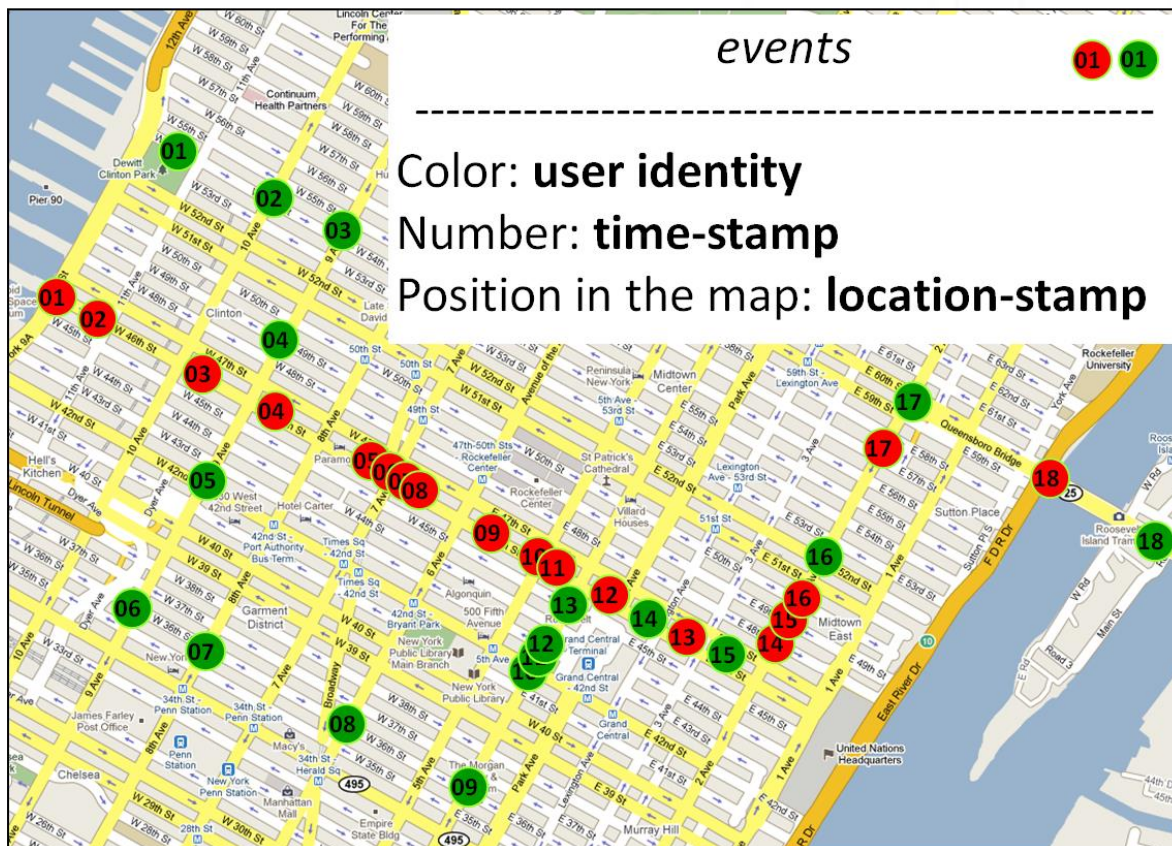
- ▣ 位置信息内涵丰富且隐私息息相关

- ▣ 高精度位置信息泄露的后果严重

→ 如何既保证信息精度，又保护个人隐私

位置信息与个人隐私 (1)

63



位置信息与基于位置的服务 (LBS)

位置信息与个人隐私（2）

64

□ 位置隐私的定义

- 用户对自己位置信息的掌控能力，包括：
 - 是否发布
 - 发布给谁
 - 详细程度

□ 保护位置隐私的重要性

- 三要素：时间、地点、人物
- 人身安全
- 隐私泄露

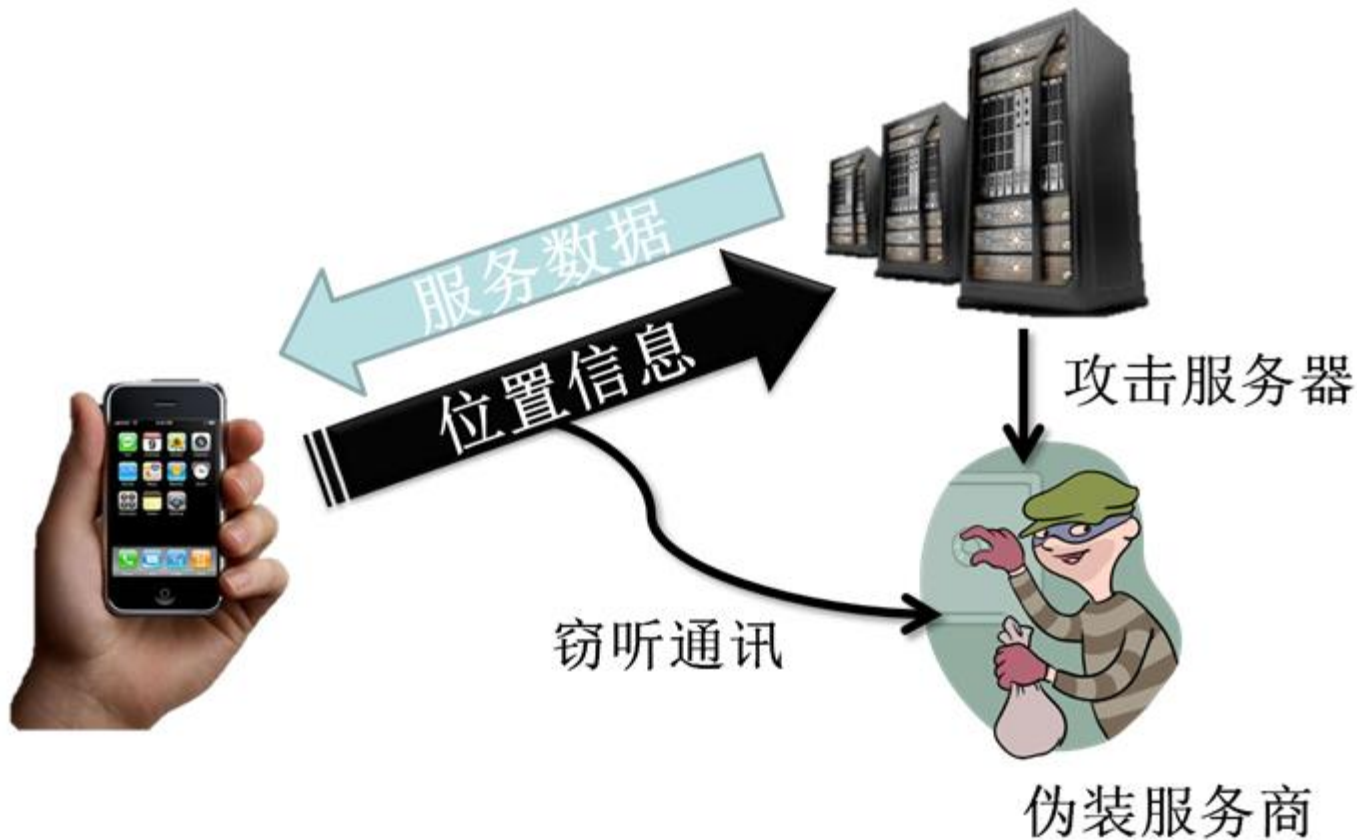
□ 位置隐私面临的威胁

- 通信
- 服务商
- 攻击者



位置信息与个人隐私（3）

65



保护位置隐私的手段

66

- 制度约束
- 隐私方针
- 身份匿名
- 数据混淆

保护位置隐私的手段（1）

67

□ 制度约束

- ▣ 5条原则（知情权、选择权、参与权、采集者义务、强制性）
- ▣ 优点
 - 一切隐私保护的基础
 - 有强制力确保实施
- ▣ 缺点
 - 各国隐私法规不同，为服务跨区域运营造成不便
 - 一刀切，难以针对不同人不同的隐私需求进行定制
 - 只能在隐私被侵害后发挥作用
 - 立法耗时甚久，难以赶上最新的技术进展

保护位置隐私的手段（2）

68

□ 隐私方针：定制的针对性隐私保护

□ 分类

- 用户导向型，如PIDF（Presence Information Data Format）
- 服务提供商导向型，如P3P（Privacy Preferences Project）

□ 优点

- 可定制性好，用户可根据自身需要设置不同的隐私级别

□ 缺点

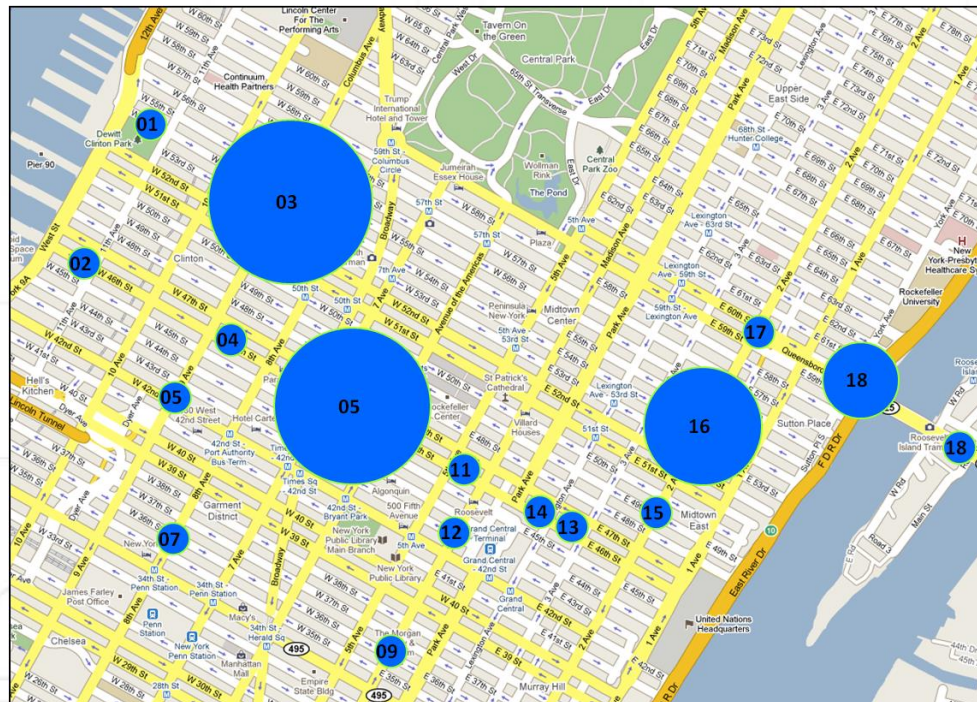
- 缺乏强制力保障实施
- 对采用隐私方针机制的服务商有效，对不采用该机制的服务商无效

保护位置隐私的手段 (3)

69

□ 身份匿名:

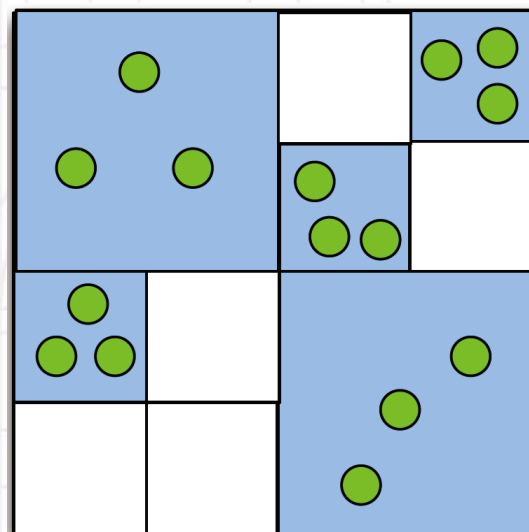
- 认为“一切服务商皆可疑”
- 隐藏位置信息中的“身份”
- 服务商能利用位置信息提供服务, 但无法根据位置信息推断用户身份
- 常用技术: K匿名



K匿名

70

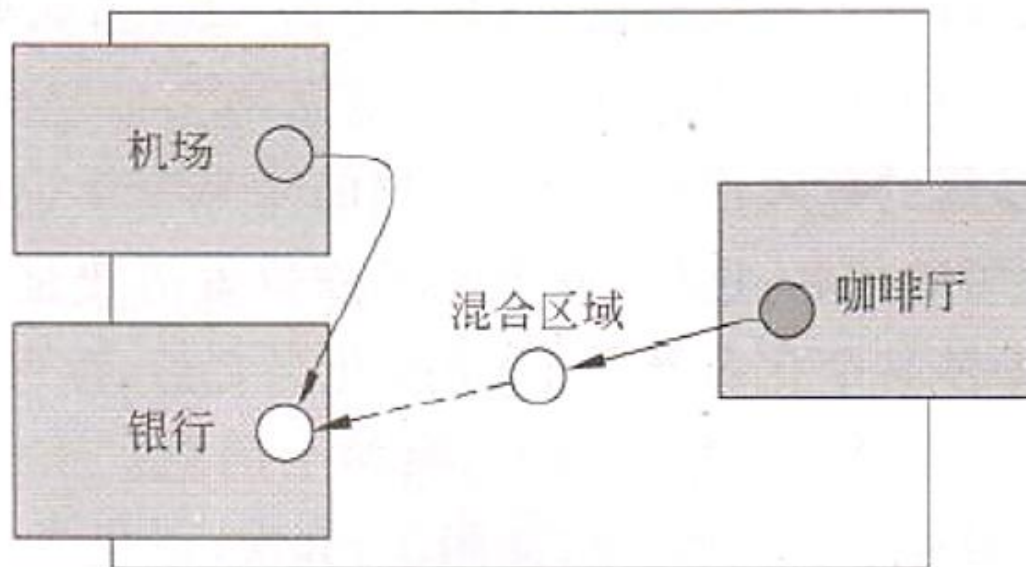
- **基本思想：** 让K个用户的位置信息不可分辨
- **两种方式**
 - ▣ 空间上：扩大位置信息的覆盖范围至覆盖k人
 - ▣ 时间上：延迟位置信息的发布至累积k人
- **例：3-匿名**
 - ▣ 绿点：用户精确位置
 - ▣ 蓝色方块：向服务商汇报的位置信息
- **问题：**
 - ▣ 结合历史信息推断身份



其他匿名方式

71

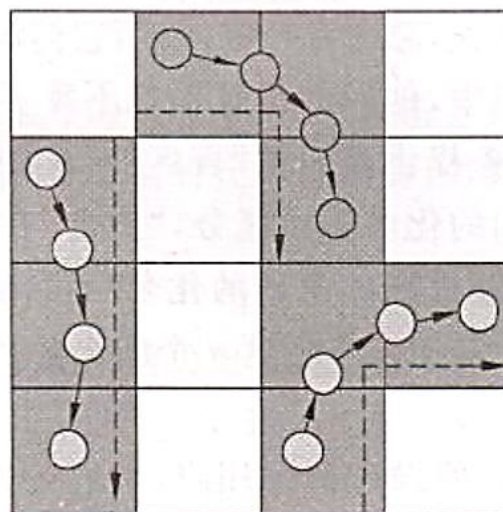
□ 更换代号（化名）



其他匿名方式

72

- 更换代号（化名）
- 傀儡位置

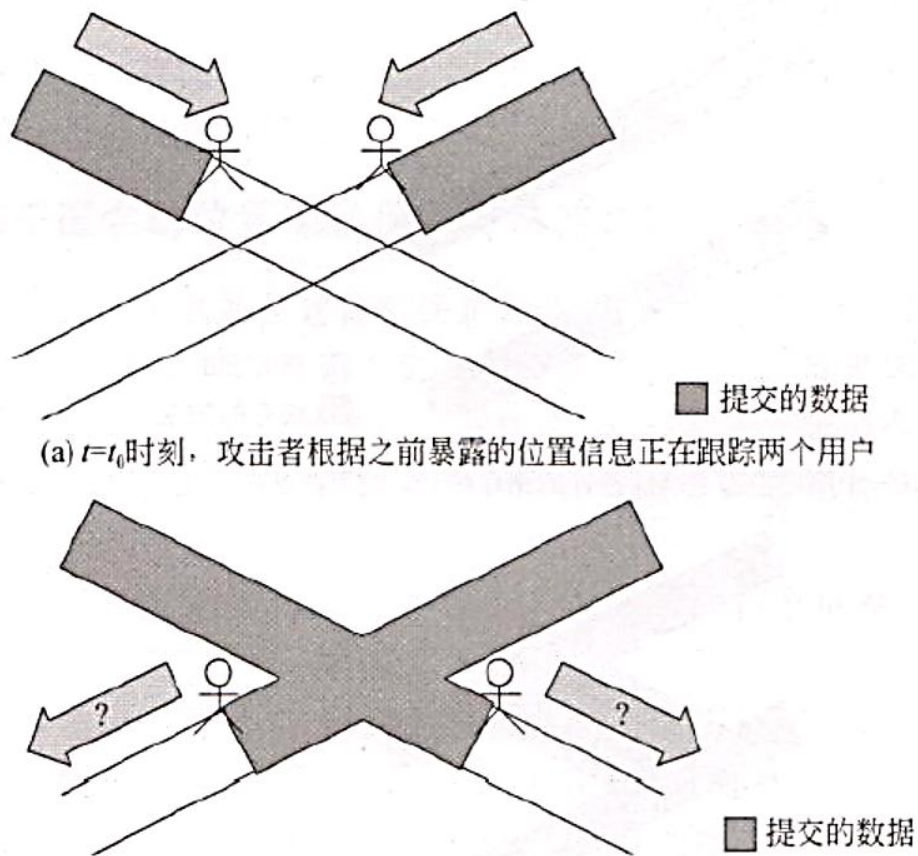


● 实际位置
○ 傀儡位置
■ 报告区域
--> 可能的移动

其他匿名方式

73

- 更换代号（化名）
- 傀儡位置
- 路径混淆



(b) 过了一会儿，两个用户的轨迹相交，攻击者不知道两个用户是直走了还是各自转弯了

保护位置隐私的手段（4）

74

□ 身份匿名（续）

□ 优点

- 不需要强制力保障实施
- 对任何服务商均可使用
- 在隐私被侵害前保护用户隐私

□ 缺点

- 牺牲服务质量
- 通常需要借助“中介”保障隐私
- 无法应用于需要身份信息的服务

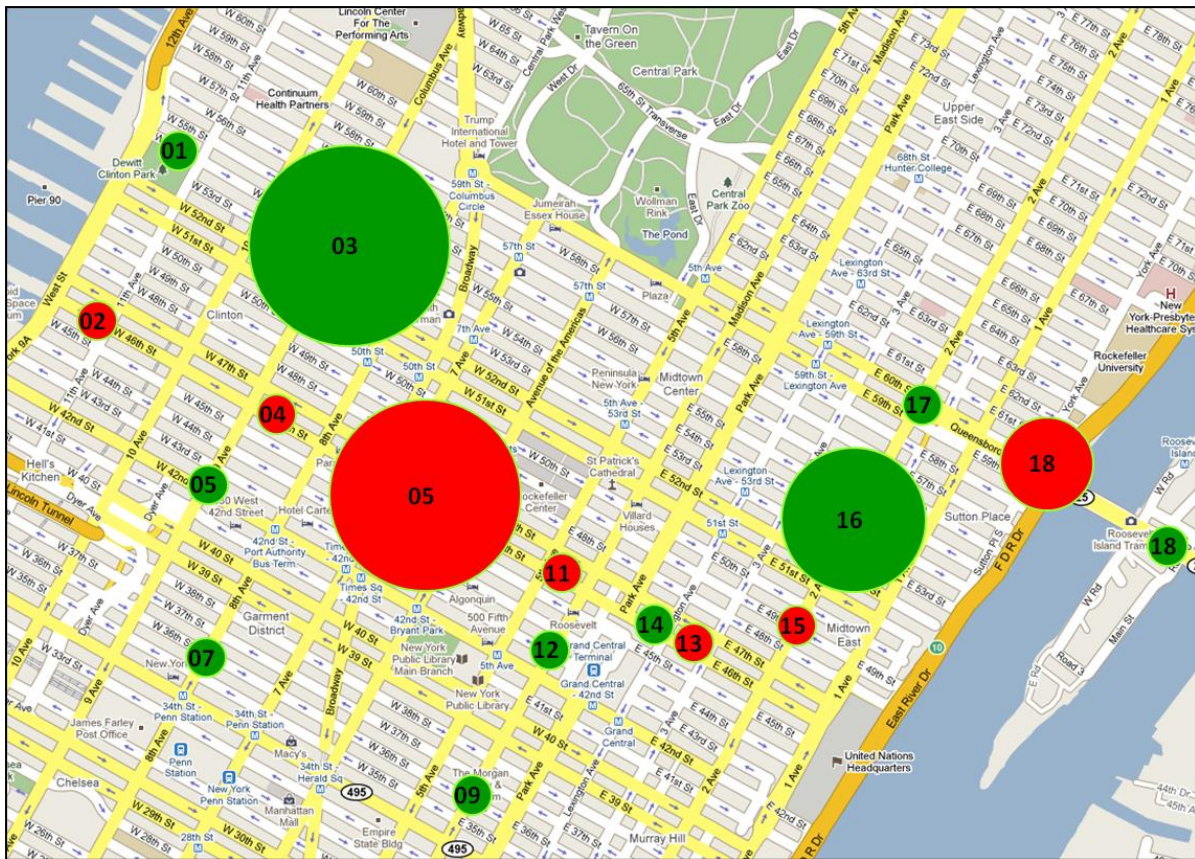
保护位置隐私的手段（5）

75

- **数据混淆：**保留身份，混淆位置信息中的其他部分，让攻击者无法得知用户的确切位置
 - 三种方法
 - 模糊范围：精确位置->区域
 - 声东击西：偏离精确位置
 - 含糊其辞：引入语义词汇，例如“附近”
 - 优点
 - 服务质量损失相对较小
 - 不需中间层，可定制性好
 - 支持需要身份信息的服务
 - 缺点
 - 运行效率低
 - 支持的服务有限

数据混淆：模糊范围

76



本章小结

77

□ 内容回顾

- 本章介绍了位置信息的基本概念，重点讨论了六种定位系统以及四种典型的定位方法，介绍了位置信息的常见应用和地理信息管理系统，最后探讨了物联网对定位技术的新挑战与应用。
- 位置信息要素
- 常用定位系统及性能分析
- 常用定位方法：基于距离、距离差、信号特征、网络连通性的定位
- 常用位置信息管理系统：GIS地理信息系统
- 技术挑战与未来发展