

第4章

定位系统

通过**定位系统**获取位置信息是物联网时代的重要研究课题。

本章将介绍典型的定位系统和定位技术。

内容回顾

- 第3章介绍了传感器技术
 - 传感器的设计需求（低成本与微型化，低功耗，灵活性与扩展性，鲁棒性）
 - 传感器的软硬件平台
- 本章介绍位置信息的概念，重点介绍典型的定位系统（卫星定位，蜂窝基站定位，无线室内环境定位，新兴定位系统）以及三种常见的定位技术。

本章内容

4.1 位置信息

4.2 定位系统

4.3 定位技术

4.4 物联网对定位技术的新挑战

位置信息的三大要素是什么？

为什么需要定位？

基于位置的服务LBS（Location Based System）

- ü 自动导航
- ü 搜索周边服务信息
- ü 基于位置的社交网络：Four square

位置信息和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）



本章内容

4.1 位置信息

4.2 **定位系统**

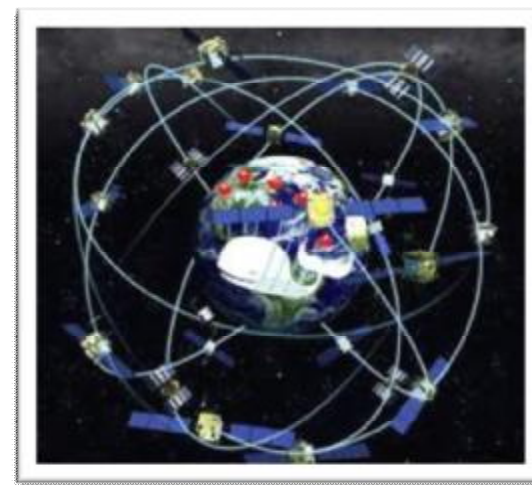
4.3 定位技术

4.4 物联网对定位技术的新挑战

典型的定位系统有哪些？各自有哪些特点？

现存主流定位系统

- 卫星定位：GPS (Global Positioning System)
- 蜂窝基站定位
- 无线室内环境定位
- 新兴定位系统：A-GPS，网络定位



卫星定位

各国的卫星定位系统

- 美国：GPS
- 俄罗斯：GLONASS（Russian GLObal NAVigation Satellite System）
- 欧盟：伽利略（Galileo positioning system）
- 中国：北斗一号（区域）、北斗二号（全球）

GPS是目前世界上最常用的卫星导航系统。

卫星定位

蜂窝基站定位

无线室内环境定位

新兴定位系统

GPS：发展简史

- 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，卫星星座组网完成，投入使用
- 2000年，克林顿下令取消军用/民用信号的精度差别对待 10m

卫星定位

蜂窝基站定位

无线室内环境定位

新兴定位系统

GPS：系统结构

- 宇宙空间部分

 - ü24颗工作卫星 星载时钟精确度-定位精度

- 地面监控部分（全部在美国境内）

 - ü1个主控中心（另有1个备用）

 - ü4个专用地面天线

 - ü6个专用监视站

- 用户设备部分

 - üGPS接收机（天线、处理器、高精度时钟）

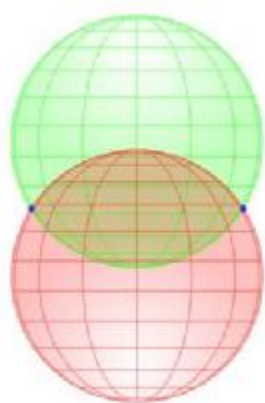
卫星定位

蜂窝基站定位

无线室内环境定位

新兴定位系统

GPS：定位原理（三点定位、4卫星）



$$[(x_1-x)^2+(y_1-y)^2+(z_1-z)^2]^{1/2}+c(\tau_{t_1}-\tau_{t_0})=d_1$$

$$[(x_2-x)^2+(y_2-y)^2+(z_2-z)^2]^{1/2}+c(\tau_{t_2}-\tau_{t_0})=d_2$$

$$[(x_3-x)^2+(y_3-y)^2+(z_3-z)^2]^{1/2}+c(\tau_{t_3}-\tau_{t_0})=d_3$$

$$[(x_4-x)^2+(y_4-y)^2+(z_4-z)^2]^{1/2}+c(\tau_{t_4}-\tau_{t_0})=d_4$$

未知：

x 、 y 、 z 为待测点坐标的空间直角坐标， τ_{t_0} 为接收机的钟差

已知：

x_i 、 y_i 、 z_i ($i=1, 2, 3, 4$) 分别为4卫星在 t 时刻的空间直角坐标，可由卫星导航电文求得。

τ_{t_i} ($i=1, 2, 3, 4$) 分别为4卫星的卫星钟的钟差，由卫星星历提供。

卫星定位

蜂窝基站定位

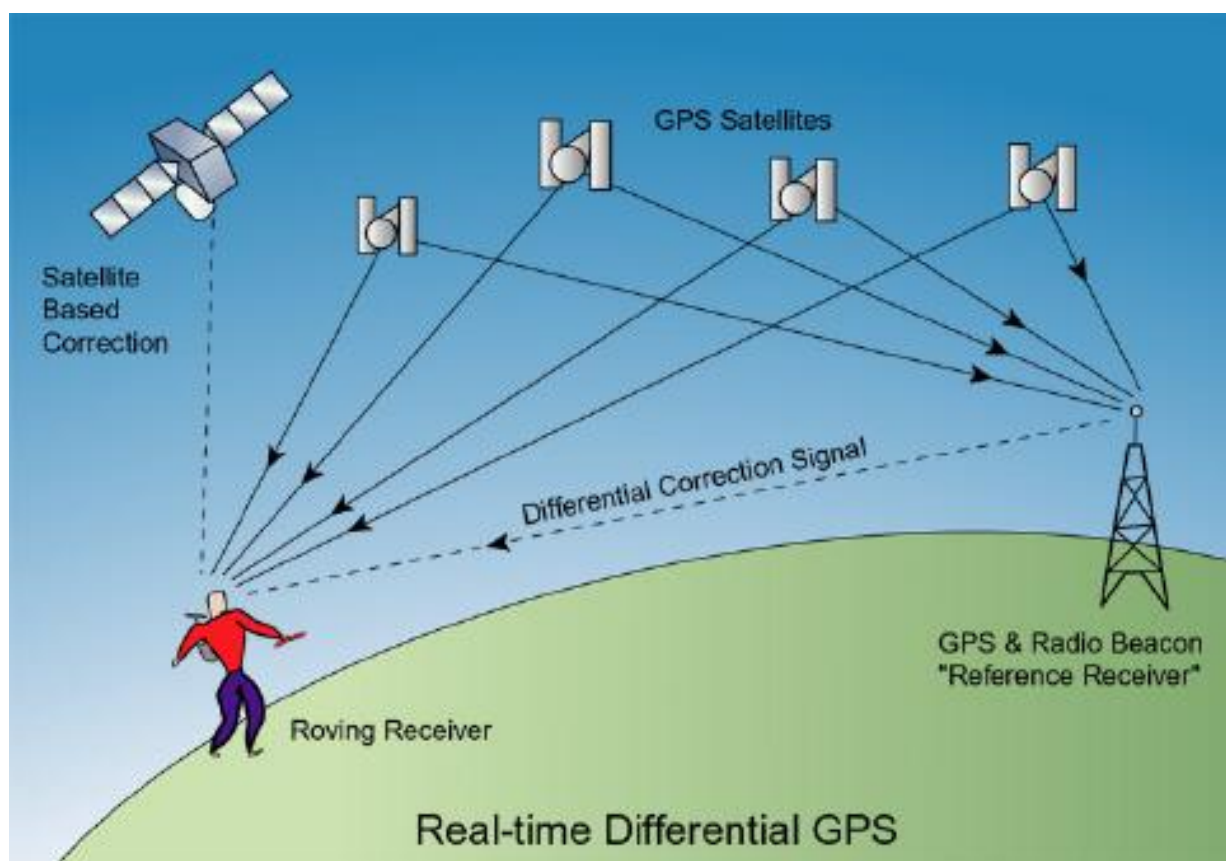
无线室内环境定位

新兴定位系统

GPS：定位原理（三点定位、4卫星）

GPS的基本定位原理是：卫星不间断地发送自身的星历参数和时间信息，用户接收到这些信息后，经过计算求出接收机的三维位置，三维方向以及运动速度和时间信息。

GPS：定位原理（三点定位、4卫星）



卫星定位

蜂窝基站定位

无线室内环境定位

新兴定位系统

GPS：主要优缺点

•优点

- ü精度高
- ü全球覆盖，可用于险恶环境

•缺点

- ü需要GPS接收机
- ü启动时间长，3~5分钟甚至10分钟以上的时间
- ü耗电多（需要额外硬件自然耗电多）
- ü室内信号差

卫星定位

蜂窝基站定位

无线室内环境定位

新兴定位系统

GPS典型应用：汽车导航

- 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



卫星定位

蜂窝基站定位

无线室内环境定位

新兴定位系统

GPS典型应用：汽车导航

- 物联网时代，感知更透彻

- ü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

- ü由“以路为本”转变到“以人为本”

卫星定位

蜂窝基站定位

无线室内环境定位

新兴定位系统

GPS典型应用

- 定时
除了经度、纬度和海拔，GPS提供一个关键的第四维参数—时间。每一个GPS卫星都装有多台原子钟为GPS信号提供非常精确的时间数据。GPS接收机可以将这些信号解码，有效地使每一个接收机与那些原子钟同步。这就使用户能够以万亿分之一秒的精确度确定时间，却不需要自己拥有原子钟。
- 航空 海运 铁路
- 精准农业
GPS让农民能够在雨、尘、雾及黑暗等能见度低的条件下工作，农机具导航、自动驾驶，土地高精度平整
- 公共安全与灾难救援
任何一个成功的救援行动，其关键因素是时间。了解地标、街道、建筑、紧急服务资源以及救灾地点的准确位置有助于减少延误并拯救生命。对于救援和公共安全人员来说，要保护生命、减少财产损失，这类信息极为重要。作为辅助技术，全球定位系统（GPS）满足了这些需要。
- 勘测和测绘地图
- 娱乐 户外探险活动 打高尔夫球

个人追踪器（相当于专用的移动电话）

- 供个人使用的GPS跟踪定位仪，同时也适用于车辆、贵重货物、宠物的定位监控。
- 一般具有体积小、外观时尚、定位精度高等特点。
- 通过自动获取GPS信息和其他数据信息，以手机短信的方式将这些数据反馈给用户，也可以通过内置的GPRS功能将数据传输给监控中心或者用户的电脑，利用免费的Google earth地图等实现实时跟踪，轨迹回放等。
- 双向通话功能：内置麦克风和扬声器，可以实现与授权号码或监控中心免提通话。
- 越界入界报警、紧急一键求助报警等等

工作模式

- 正常模式
按设定的间隔向服务器发送数据，使用GPS定位，当无运动时间大于5分钟，系统自动关闭GPS电源，关闭GPRS通信，系统进入低功耗模式；移动时GPRS通信重新开启，GPS电源开启重新定位。
- 车载模式
按设定的间隔向服务器发送数据，GPS一直开启，GPRS一直在线，适合车载定位追踪使用，功耗较大，若长时间使用，建议配合车载充电器一起使用。
- 基站模式
用于对定位精度要求不高的情况下，GPS模块的电源被关闭，只使用基站信息定位，此工作模式下功耗最低。

蜂窝基站定位

- GSM蜂窝网络（全球移动通讯系统Global System of Mobile communication）

- ü 通讯区域被分割成蜂窝小区
- ü 每个小区对应一个通讯基站
- ü 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

卫星定位

蜂窝基站定位

无线室内环境定位

新兴定位系统

单基站定位法

- COO定位 (Cell of Origin)

- ü 将移动设备所属基站的位置视为移动设备的位置

- ü 精度直接取决于基站覆盖的范围

- ü 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

卫星定位

蜂窝基站定位

无线室内环境定位

新兴定位系统

七号信令定位

- 该技术以信令监测为基础，能够对移动通信网中特定的信令过程，如漫游、切换以及与电路相关的信令过程进行过滤和分析，并将监测结果提供给业务中心，以实现
对特定用户的个性化服务。
- 可定位到一个小区，也可定位到地区。故适用对定位精确度要求不高的业务，如漫游用户问候服务，远程设计服务、平安报信和货物跟踪等。目前，国内各省和地区移动公司的短信欢迎系统采用的就是此种技术。

卫星定位

蜂窝基站定位

无线室内环境定位

新兴定位系统

多基站定位法

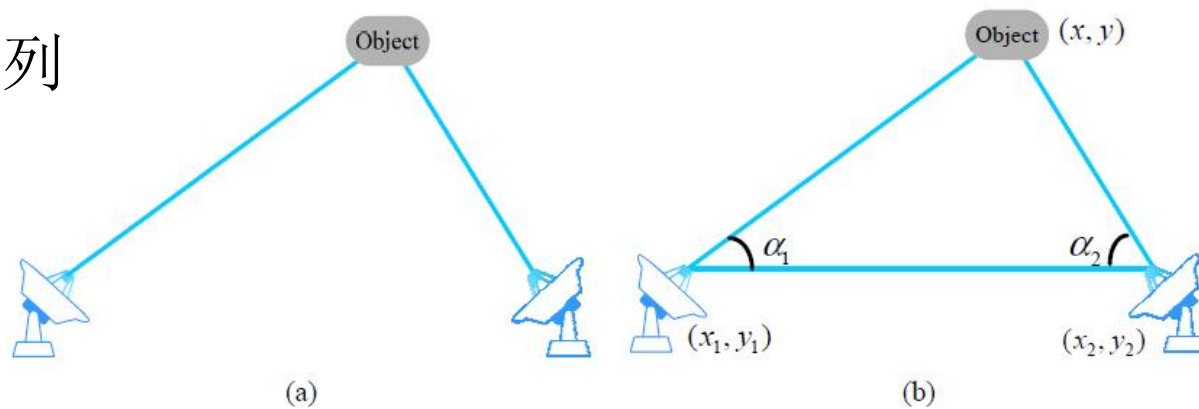
- ToA/TDoA (Time Difference of Arrival) 定位法

- ü 需要三个基站才能定位

- ü 稀疏地区可能只能收到两个基站的信号，不适用

- AoA (Angle of Arrival) 定位法 – 方向、天线

阵列



卫星定位

蜂窝基站定位

无线室内环境定位

新兴定位系统

蜂窝基站定位：主要优缺点

•优点

ü不需要GPS接收机，可通讯即可定位

ü启动速度快

ü信号穿透能力强，室内亦可接收到

•缺点

ü定位精度相对较低

ü基站需要有专门硬件，造价昂贵

卫星定位

蜂窝基站定位

无线室内环境定位

新兴定位系统

典型应用：紧急电话定位

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
- 综合了各种定位系统，包括ToA, TDoA, AoA, RSS, A-GPS
- 使用时尝试各种定位方法，择优而用

卫星定位

蜂窝基站定位

无线室内环境定位

新兴定位系统

无线室内环境定位

室内环境的复杂性

- 多径效应

- ü原因：障碍物反射电磁波，反射波和原始波在接收端混叠

- ü室内障碍物众多，多径效应明显

- 对电磁波的阻碍作用

- ü长波信号（GPS）传播能力强，穿透能力弱

- ü室内应选用短波信号来进行定位

卫星定位

蜂窝基站定位

无线室内环境定位

新兴定位系统

无线室内环境定位

需求主要来自企业和个人：难以购置ToA，TDoA，AoA等技术所需的昂贵硬件

RSS（Received/Radio Signal Strength）定位技术

- 使用信号强度进行定位
- 利用已有的无线网络（蓝牙、Wi-Fi、ZigBee）
- 红外线、超声波、蓝牙、RFID、超宽带.....

卫星定位
蜂窝基站定位
无线室内环境定位
新兴定位系统

RFID定位典型应用

资产管理 -- 医院，图书馆

- 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
 - ü是否空闲
 - ü是否故障
 - ü是否老化

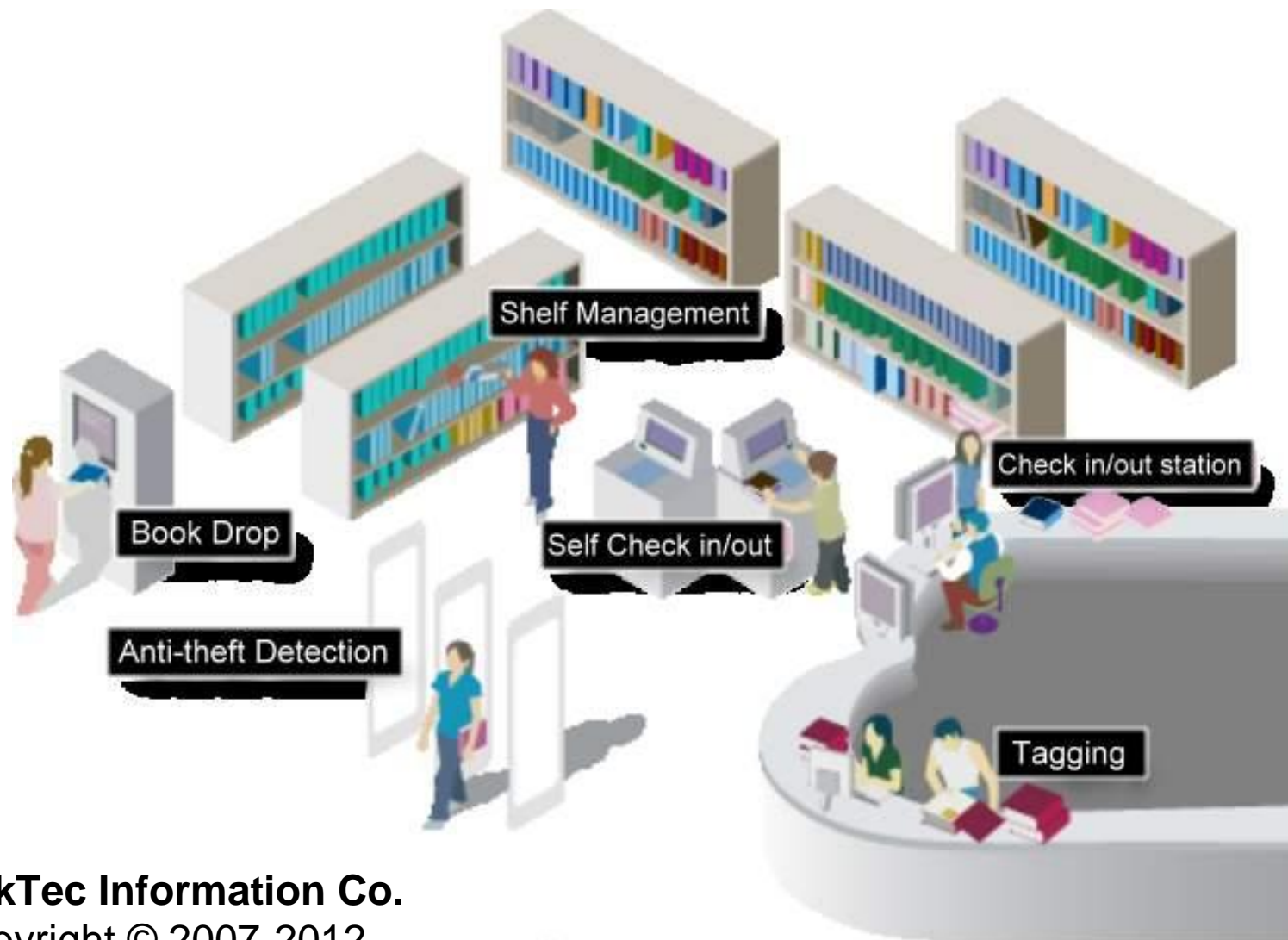
卫星定位

蜂窝基站定位

无线室内环境定位

新兴定位系统

LibBest - Library RFID Management System



BookTec Information Co.

Copyright © 2007-2012,
All Rights Reserved.

新兴定位系统

A-GPS (Assisted GPS)

- 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

卫星定位

蜂窝基站定位

无线室内环境定位

新兴定位系统

新兴定位系统（续）

无线AP（Access Point）定位

- 利用可见Wi-Fi接入点来定位 COO、RSS
- 在大城市中，无线AP数目多，定位非常精确
- 在iPhone中成熟应用，AP MAC数据库

网络定位

- 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

卫星定位
蜂窝基站定位
无线室内环境定位
新兴定位系统

百度Google地图定位（续）

1. 蜂窝基站定位（含3G等）（1公里）
2. GPS定位（10~20米）
3. 无线AP（Access Point）定位（50米以内）
 - 利用可见Wi-Fi接入点来定位 COO、RSS
 - 在大城市中，无线AP数目多，定位非常精确
 - 在iPhone中成熟应用，AP MAC数据库
- 移动设备（手机，街景小车等）通过后台地图定位服务搜集位置信息，包括附近WiFi热点的SSID/MAC组合和信号强度(信号强度取对数反比于距离)，上传至服务器并共享。

本章内容

4.1 位置信息

4.2 定位系统

4.3 **定位技术**

4.4 物联网对定位技术的新挑战

除了距离，哪些空间信息还可用于定位技术？

4.3 定位技术

定位技术的关键：

- 有一个或多个已知坐标的参考点
- 得到待定位物体与已知参考点的空间关系 - 距离、角度、区域、跳数

定位技术的两个步骤： 测量物理量 → 根据物理量确定目标位置

常见定位技术：

- ü 基于距离的定位（ToA）
- ü 基于距离差的定位（TDoA）
- ü 基于信号特征的定位（RSS）

基于距离的定位 (ToA)

基于距离

基于距离差

基于信号特征

距离测量方法

距离 d = 波速 v * 传播时间 Δt

传播时间 Δt = 收到时刻 t - 发出时刻 t_0

问题：接收端如何得知 t_0 ？

GPS

基于距离的定位 (ToA)

基于距离

基于距离差

基于信号特征

方法1: 利用波速差

发送端同时发送一道电磁波和声波

接收端记录:

- 电磁波到达时刻 t_r
- 声波到达时刻 t_s

距离 $d = \frac{v_r v_s (t_s - t_r)}{v_r - v_s}$

由于 v_r 远大于 v_s , 上式可简化为 $d = v_s (t_s - t_r)$

基于距离的定位 (ToA)

基于距离

基于距离差

基于信号特征

方法2: 测量波的往返时间

发送端于时刻 t_0 发送波

接收端收到波后, 等待时间 Δt 后返回同样的波

发送端记录收到回复的时间 t

距离 $d = \frac{v(t - t_0 - \Delta t)}{2}$

基于距离的定位 (ToA)

基于距离

基于距离差

基于信号特征

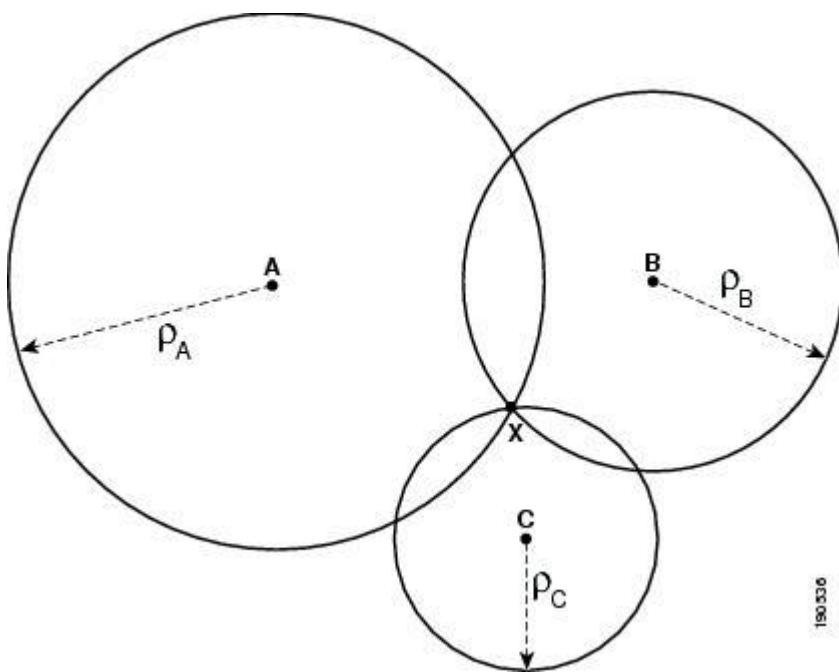
位置计算方法

多边测量（也称多点测量）multilateration

- 平面上定位，取三个参考点
- 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

实际中取用超过三个参考点，用最小二乘法减少误差

基于距离的定位（ToA）



- TOA算法要求参加定位的参考点和测量目标在时间上要严格同步，由于电磁波的传播速率很高（ 3×10^8 m / s），微小的误差将会在算法中放大，使定位精度大大降低。传播中的多径干扰、非视距以及噪声等干扰造成的误差会使圆无法交汇，或者交汇处不是一点而是一个区域

基于距离差的定位 (TDoA)

基于距离

基于距离差

基于信号特征

ToA的局限

- 需要参考点和测量目标时钟同步

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

基于距离差的定位 (TDoA)

基于距离
基于距离差
基于信号特征

距离差测距方法

测量目标广播信号

参考点*i*, *j*分别记录信号接收到的时刻*t_i*, *t_j*

测量目标到*i*, *j*的距离差

$$\Delta d_{ij} = v(t_i - t_j)$$

参考点坐标 (x_i, y_i) (x_j, y_j)

构建双曲线方程 (2维) :

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

基于距离差的定位 (TDoA)

基于距离

基于距离差

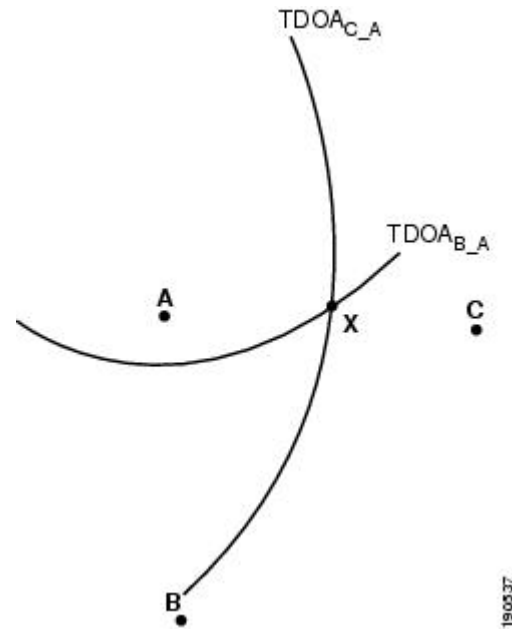
基于信号特征

位置计算方法

至少两组数据联立方程求解

实际采用多组数据最小二乘法求解

法求解



190337

基于信号特征的定位

基于距离
基于距离差
基于信号特征

- ToA和TDoA都需要接收端安装特殊装置（发、收）
- 基于信号特征的定位直接利用无线通信的射频信号定位，不需要额外设备

原理： 信号强度随传播距离衰减 Friis方程

$$P_r(d) = \left(\frac{1}{4\pi d} \right)^2 P_t G_t G_r$$

问题： 理想公式实际难以应用，噪音、多径效应、阴影效应

基于信号特征的定位

基于距离
基于距离差
基于信号特征

解决方法:

- 将信号强度看做“特征”
- 预先布置N个参考节点
- 测出N个参考节点信号的强度，得到一个N维向量
- 事先测出区域中每个位置的特征向量
- 将目标测出的特征向量和事先测量值比对，找出位置
- 缺点：不能应对动态变化
- RADAR定位系统，位置指纹定位技术，误差3m左右

基于信号特征的定位

基于距离

基于距离差

基于信号特征

LANDMARC: 基于信号特征的动态定位方法

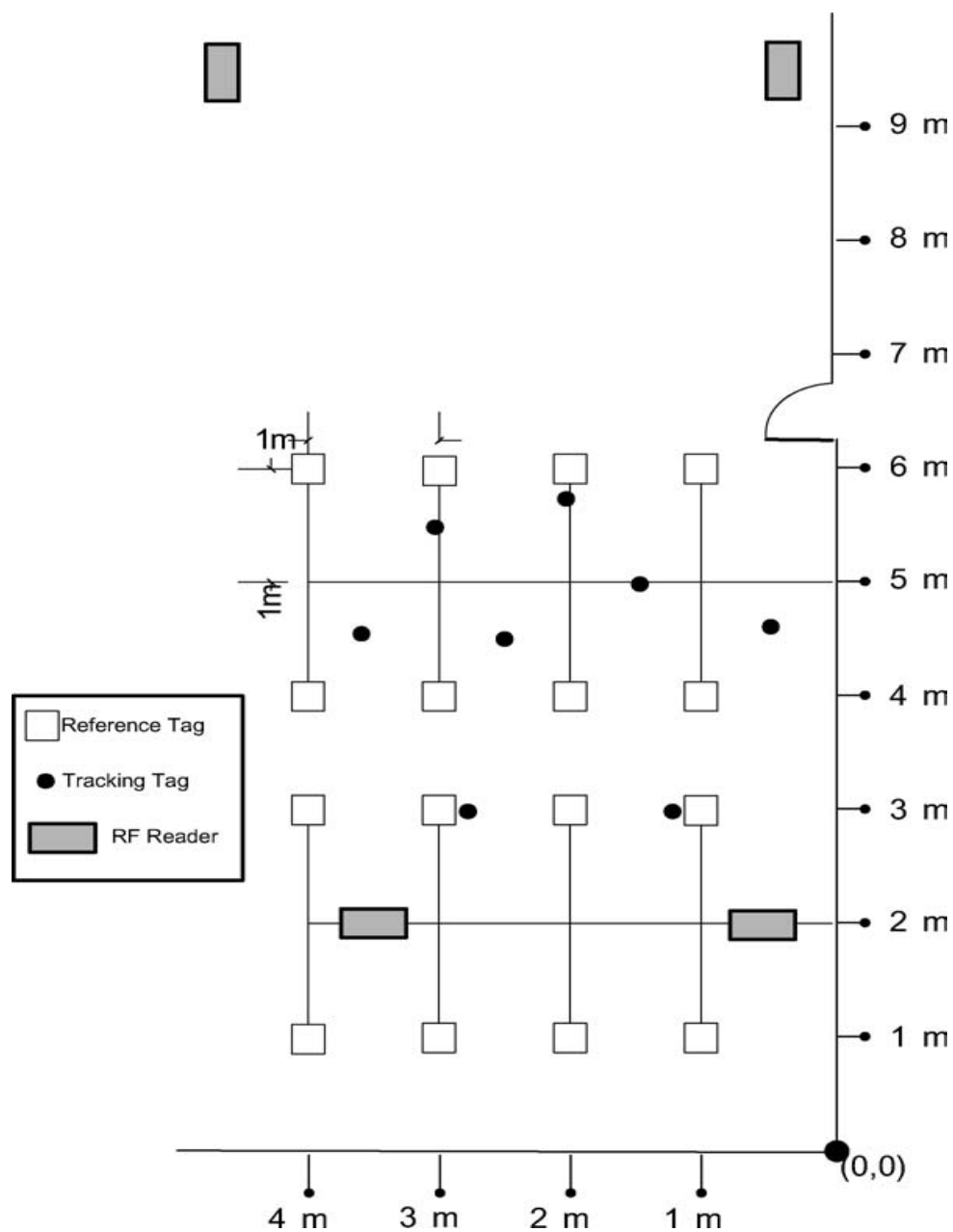
- 除了信号发送源，再布置一系列RFID标签作为参考

标志 RSS特征向量 $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$

- 每个定位目标的RFID标签随时记录自己收到的RSS

信号强度特征向量 $S = (S_1, S_2, \dots, S_n)$

- 将目标测得的信号特征向量与参考标志此时的特征向量进行比对，确定位置，误差在1m范围以内



$$E = \| \theta^j - S \| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\theta_i^j - S_i)^2}$$

$$E = (E1, E2, \dots, Em)$$

$$(x, y) = \sum_{i=1}^m w_i (x_i, y_i)$$

$$w_i = \frac{1 / E_i^2}{\sum_{j=1}^m 1 / E_j^2}$$

本章内容

4.1 位置信息

4.2 定位系统

4.3 定位技术

4.4 **物联网对定位技术的新挑战**

物联网背景对定位技术有哪些新的需求？

4.4 物联网下定位技术的新挑战

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

环境多变

室外 vs. 室内

空旷地带 vs. 障碍物众多

静止设备 vs. 频繁运动

4.4 物联网下定位技术的新挑战

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

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

基于位置的服务LBS（Location Based System）

本章小结

内容回顾

本章介绍了位置信息的基本概念，重点讨论了四种定位系统以及三种典型的定位技术，最后探讨了物联网对定位技术的新挑战。

重点掌握

- 了解位置信息的三要素。
- 了解GPS的系统组成，定位原理，典型应用和优缺点。
- 了解蜂窝基站定位（单基站和多基站）的方法以及优缺点。
- 回顾RFID的基本概念，举例说明RFID定位的应用，举例说明新兴定位技术。

本章小结

重点掌握（续）

- 掌握基于位置的定位距离测量的两种方法。
- 掌握基于位置差的定位测量方法和位置计算方法，与基于位置的定位相比有何优缺点。
- 了解基于信号特征的定位方法。
- 举例说明物理网环境下定位技术的新挑战。