



# 无线传感器网络 ——定位技术

---

重庆邮电大学



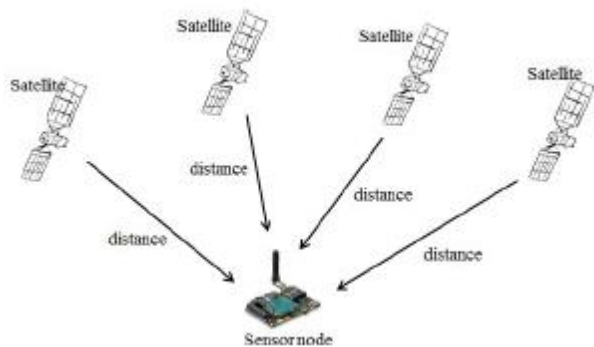
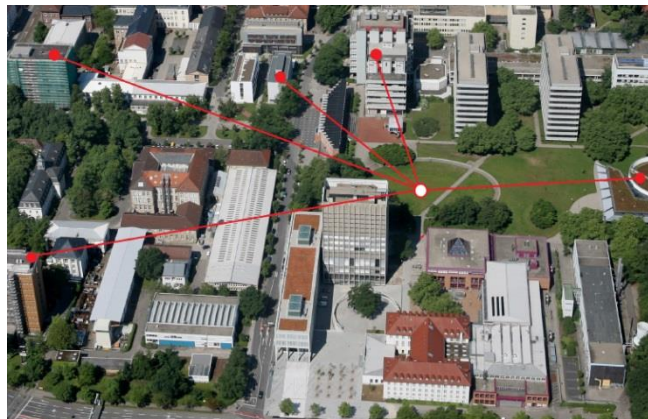
# 主要内容

---

- 定位的意义和特点
- 定位的基本概念和算法
- 定位的分类
- 基于距离的定位算法
- 距离无关的定位算法

# WSN定位的意义

- 在WSN的各种应用中，监测到事件之后关心的一个重要问题是该事件发生的位置，需要正确定位。
- 定位信息在WSN中还有其他一些用途
  - 目标行动路线跟踪和轨迹预测
  - 协助路由
  - 协助进行网络管理，构造拓扑图，统计覆盖情况
- GPS定位精度高，但考虑成本问题，难以为每个传感器节点都配备GPS模块
- 有必要针对WSN网络的特点设计专门的定位方法

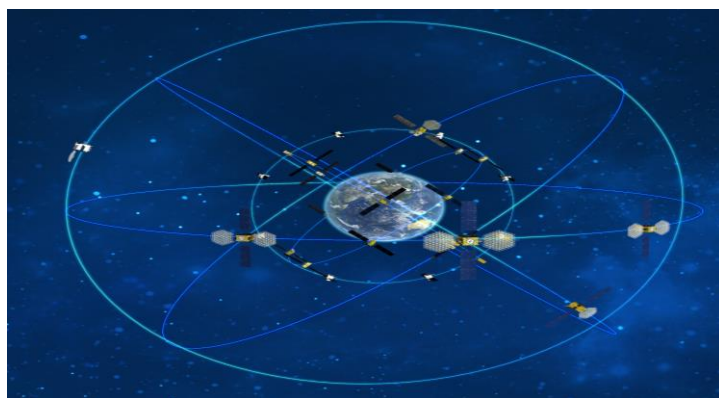


问题：除了GPS外，还听说过哪些卫星导航系统？

# 引申：卫星导航系统

---

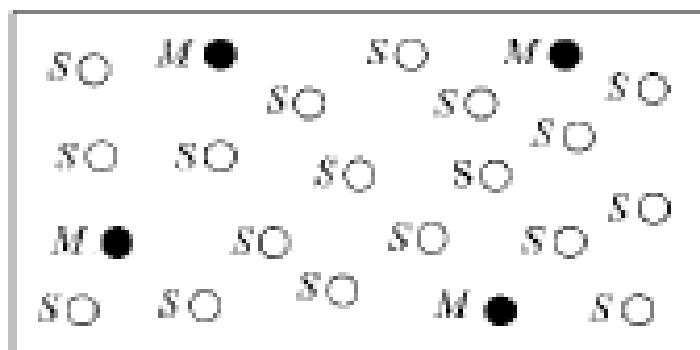
- 我国北斗系统
- 美国GPS系统
- 欧盟GALILEO系统
- 俄罗斯GLONASS系统



北斗总数55颗卫星

# 定位的基本概念

- 根据节点是否已知自身的位置，可以把传感器节点分为**锚节点**（Anchor node）和**未知节点**（Unknown node）
- 锚节点通过携带**GPS**模块等方式能够获得自身的精确位置，但所占数量较少
- 除锚节点外，其他节点属于未知节点，通过锚节点的位置信息运行定位算法来确定自身位置。



# WSN定位面临的挑战

- 低廉硬件条件下的精确测距
- 锚节点的优化部署
- 大规模多跳网络中累积误差的消除
- 资源受限条件下消除环境时变性的影响



# 定位算法分类

---

- 根据定位过程中是否测量实际节点间的距离，分为
  - 基于测距的定位算法
  - 测距无关的定位算法
- 根据节点定位的先后次序不同，分为
  - 递增式的定位算法
  - 并发式的定位算法
- 根据定位结果是物理位置还是逻辑位置，分为
  - 物理定位算法
  - 逻辑定位算法，该方法只关心节点间的相对位置

# 定位算法的评价标准

---

## ○ 定位误差

- **定位准度**：定位算法执行后计算得到的位置与实际位置的匹配程度，例如两者之间的欧式距离
- **定位精度**：满足定位准度要求的结果占有所有结果的百分比
- 例如：“该算法能够以**95%**的概率取得**3cm**以内的定位误差”，其中**95%**是定位精度，**3cm**是定位准度。

## ○ 定位代价

- 包括硬件代价和算法代价

## ○ 锚节点密度

## ○ 定位覆盖率

## ○ 鲁棒性



# 定位的术语

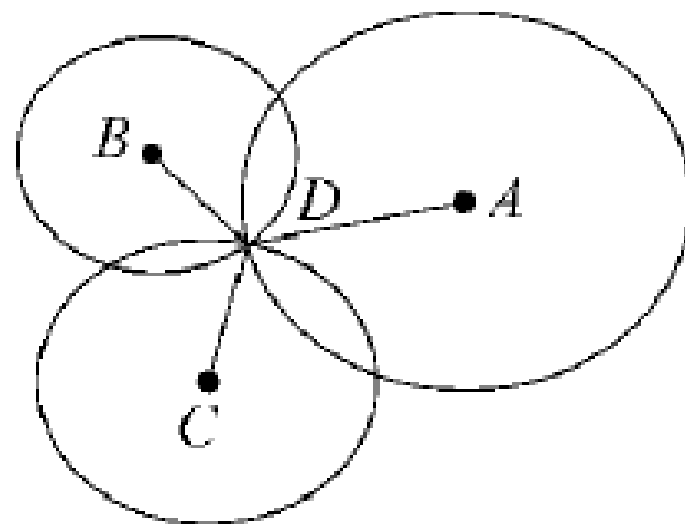
---

- **TOA** (Time of Arrival) : 到达时间
- **TDOA** (Time Difference of Arrival) : 到达时间差
- **AOA** (Angle of Arrival) : 到达角度
- **RSSI** (Received Signal Strength Indicator) : 接收信号强度指示

# 定位基本算法1——三边测量法

- 已知A、B、C三个节点的坐标分别为 $(x_a, y_a)$ ,  $(x_b, y_b)$ ,  $(x_c, y_c)$ , 未知节点D的坐标为 $(x, y)$ , D与A、B、C的距离分别为 $d_a$ ,  $d_b$ ,  $d_c$

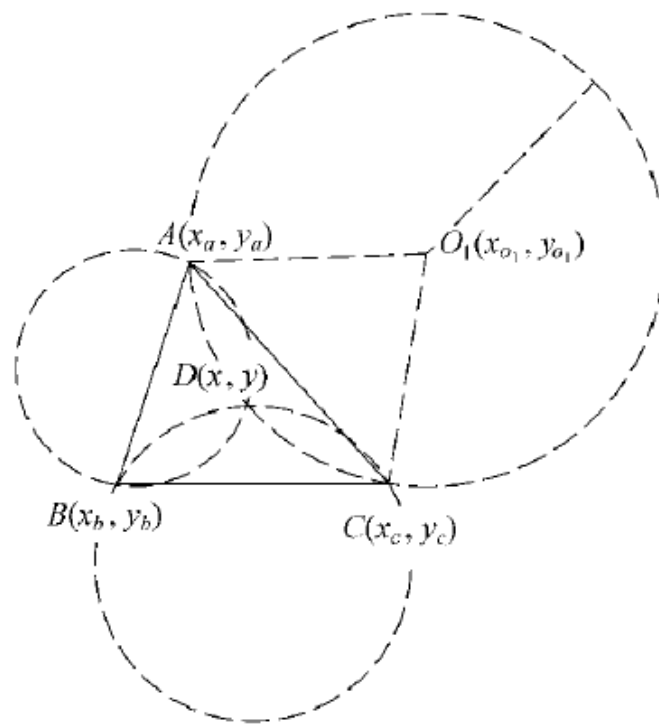
$$\begin{cases} \sqrt{(x-x_a)^2 + (y-y_a)^2} = d_a \\ \sqrt{(x-x_b)^2 + (y-y_b)^2} = d_b \\ \sqrt{(x-x_c)^2 + (y-y_c)^2} = d_c \end{cases}$$



解上述方程可得D的坐标。

## 定位基本算法2——三角测量法

- 已知A、B、C三个节点的坐标分别为 $(x_a, y_a)$ ,  $(x_b, y_b)$ ,  $(x_c, y_c)$ , 未知节点D的坐标为 $(x, y)$ , D与A、B、C的角度分别为 $\angle ADB$ ,  $\angle ADC$ ,  $\angle BDC$
- 通过角度计算可得D的坐标



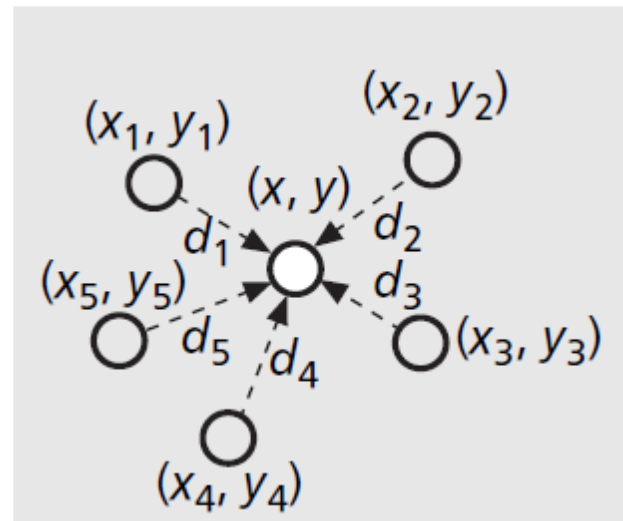
# 定位基本算法3——极大似然估计法

- 已知1,2,3,等n个节点的坐标分别为 $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ ,  $(x_3, y_3)$ , ...,  $(x_n, y_n)$ , 它们到未知节点D  $(x, y)$  的距离分别为 $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2$$

$\vdots$

$$(x - x_n)^2 + (y - y_n)^2 = d_n^2$$



- 方程数多于未知数的数量, 采用极大似然估计法可求解出D的坐标 (最小均方差)。

# 基于距离的定位算法的过程

---

测距阶段



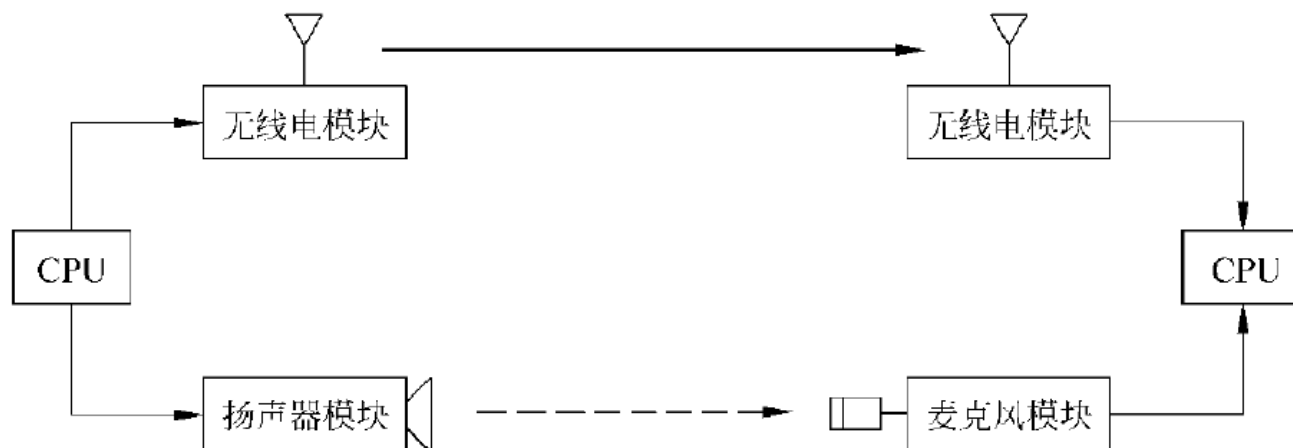
定位阶段



误差控制

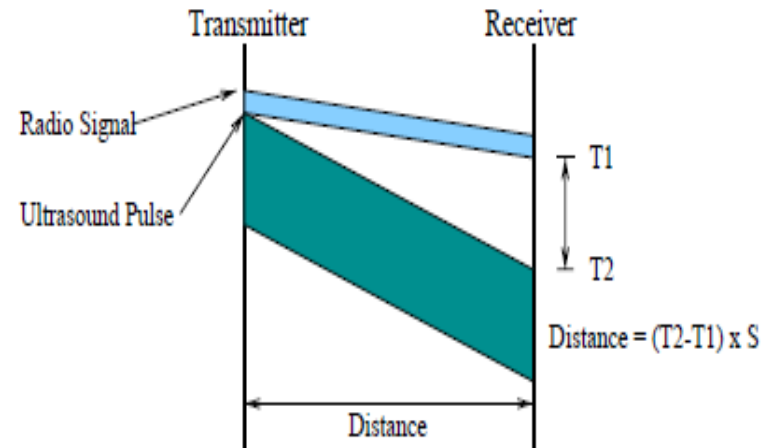
# 基于TOA的定位

- **原理：**已知信号的传播速度，根据信号的传输时间来计算节点间的距离，然后利用已有算法计算出节点的位置。
- **示例：**基于声波传输时间的定位系统
  - 利用无线电模块通知接收节点声波的发送时间
- **优缺点分析：**定位精度高，但要求节点间保持精确的时间同步，对节点的硬件和功耗要求较高。



# 基于TDOA的定位—多信号TDOA测距

- **原理：**发射节点同时发射两种不同传播速度的无线信号，接收节点根据两种信号到达的时间差，计算两个节点之间的距离，再通过已有的基本定位算法计算出节点的位置。
- **示例：Cricket系统、AHLos系统**
  - 每个信标节点同时发出无线射频信号和超声波信号
  - 射频信号中含有信标节点的位置坐标，超声波信号不含语义
  - 未知节点根据两种信号到达的时间差，可计算出到信标节点的距离，收集多个距离后获得定位位置。



# 基于TDOA的定位—多信号TDOA测距

## 计算过程

两种信号同时发出，到达时间分别为 $T_1$ ， $T_2$ ，传播速度为 $c_1$ ， $c_2$ ，则距离：

$$\begin{aligned}d &= c_1 \cdot (T_1 - T_0) \\ &= c_2 \cdot (T_2 - T_0)\end{aligned}$$

$T_0$ 为发出信号的时刻

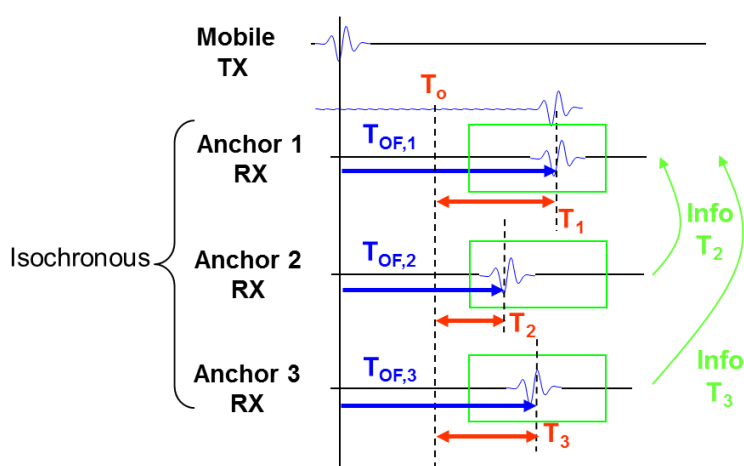
解出 $T_0$ ，再带入，可得

$$\begin{aligned}d &= (T_2 - T_1) \cdot S \\ S &= c_1 \cdot c_2 / (c_1 - c_2)\end{aligned}$$



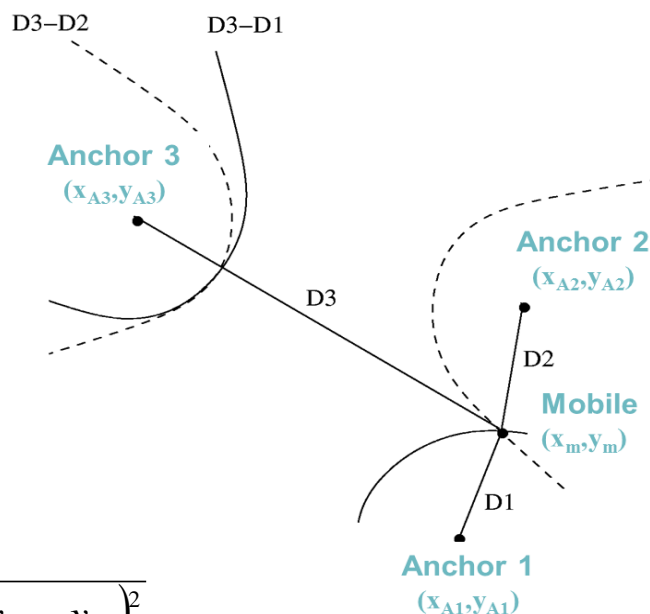
# 基于TDOA的定位—多节点TDOA测距

- 从多个同步好的锚节点同时向未知节点发射同一种无线信号，未知节点根据所有信号到达的时间差计算距离差。通过距离差双曲线交点确定位置。



$$d_{32} = \sqrt{(x_{A_3} - x_M)^2 + (y_{A_3} - y_M)^2} - \sqrt{(x_{A_2} - x_M)^2 + (y_{A_2} - y_M)^2}$$

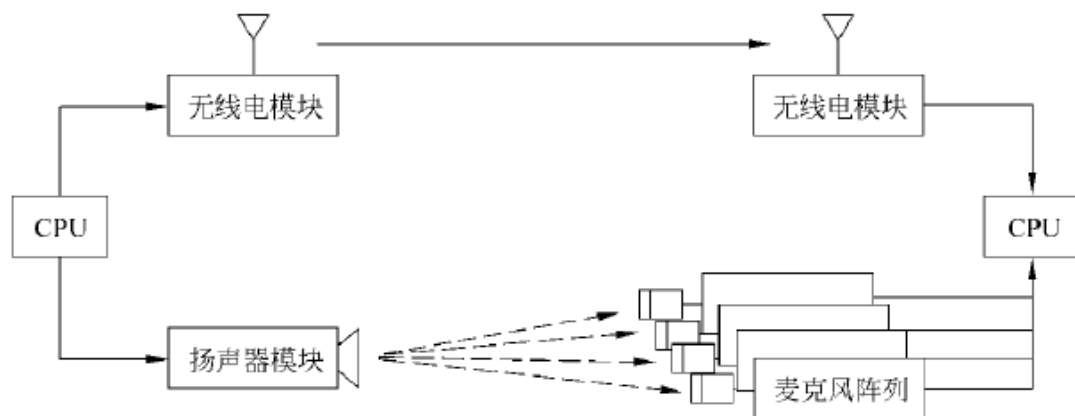
$$d_{31} = \sqrt{(x_{A_3} - x_M)^2 + (y_{A_3} - y_M)^2} - \sqrt{(x_{A_1} - x_M)^2 + (y_{A_1} - y_M)^2}$$



- 优缺点分析:** TDOA只需要测量时间差，不直接测量信号到达时间，在一定程度上能容忍硬件测量误差，降低了ToA测量对硬件的高精度要求。
- 多信号TDOA测距不需要时间同步，多节点TDOA测距需要锚节点之间精确同步。

# 基于AOA的定位

- **原理：**接收节点通过天线阵列或多个超声波接收机感知发射节点信号的到达方向，计算接收节点和发射节点之间的相对方位或角度，再通过三角测量法计算出节点的位置。
- **示例：**接收节点通过麦克风阵列，感知发射节点信号的到达方向。
- **优缺点分析：**不仅能确定节点的坐标，还能提供节点的方位信息，但AOA测距技术易受外界环境影响，且AOA需要额外硬件，在硬件尺寸和功耗上不适用于大规模的WSN。



# 基于RSSI的定位

---

- **原理：**根据接收的信号强度，利用理论模型计算出距离，再利用已有算法计算出节点的位置。
- 建立信号衰减与传播距离间的关系式，例如Log-Normal信号衰减模型。
- 根据实际测得的信号强度，实时计算节点与三个基站间的距离，再利用三边测量法计算节点的位置
- **优缺点分析：**在现实环境中，障碍物、传播模式等条件往往是变化的，影响RSSI定位技术的应用效果。

**课堂讨论：**

**除了上述因素，RSSI不准确的原因还有哪些？**

# 测距无关的定位算法

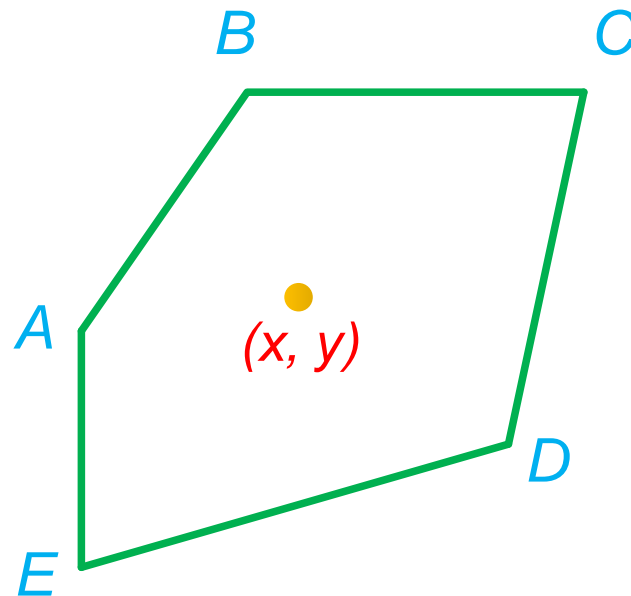
---

- 基于测距的定位方法对WSN节点的硬件要求高，测距无关的定位方法无需测量节点的绝对距离或方位，降低了对节点的硬件要求，定位精度有所降低，但能满足大多数应用的需求。
- 分为三类：
  - 确定一个包含未知节点的区域，将该区域的质心作为未知节点的坐标，例如质心算法
  - 对未知节点和信标节点之间的距离进行估计，再利用三边测量法等进行定位计算，例如DV-Hop算法
  - 通过采集区域中各个位置的指纹特征建立历史数据库，利用实时测量值与数据库中的值进行匹配定位，例如RADAR系统

# 质心算法 (1)

---

- 质心是多边形的几何中心，质心节点的坐标是多边形顶点坐标的平均值。
- 假设多边形 $N$ 个顶点的坐标分别  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ , ..., 则质心的坐标为  $((x_1+x_2+\dots)/N, (y_1+y_2+\dots)/N)$ 。



## 质心算法（2）

---

- **原理：**锚节点周期性的广播分组，分组中含有标识号和位置信息。
- 当未知节点收到来自不同锚节点的分组超过某一门限 $k$ 或接收一定时间后，就确定自身位置为这些锚节点所组成的多边形的质心。

$$(X_{est}, Y_{est}) = \left( \frac{X_{i1} + \dots + X_{ik}}{k}, \frac{Y_{i1} + \dots + Y_{ik}}{k} \right)$$

$(X_{i1}, Y_{i1}), \dots, (X_{ik}, Y_{ik})$  是所能接收到的锚节点的坐标。

- **优缺点分析：**无需锚节点和未知节点之间的协调，简单易实现，但假设条件较为理想，且锚节点的密度、分布位置对估计的精度影响较大。

# DV-Hop算法（1）

---

原理：分为三个阶段 阶段1：

- 锚节点向邻居节点周期性的广播自身位置信息的分组，其中包含跳数字段，初值为0。
- 接收节点记录到每个锚节点的最小跳数，然后将跳数加1并转发给邻居节点。
- 网络中所有节点都能够获得到每个锚节点的最小跳数。
- 注意：每个锚节点也能获得到其他锚节点的最小跳数。

# DV-Hop算法（2）

## 阶段2:

- 每个锚节点根据所获得到其他锚节点的跳数和坐标信息，利用下式估算平均每跳的实际距离：

$$\text{HopSize}_i = \frac{\sum_{j \neq i} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{j \neq i} h_j}$$

$(x_i, y_i), (x_j, y_j)$  是锚节点  $i, j$  的坐标， $h_j$  是  $i$  与  $j$  之间的跳数

- 锚节点将所计算的每跳平均距离进行广播，未知节点仅记录接收到的第一个每跳平均距离，并转发给邻居节点。
- 未知节点得到每跳平均距离后，根据记录的跳数，计算出到每个锚节点的跳段距离。



# DV-Hop算法（3）

---

## 阶段3:

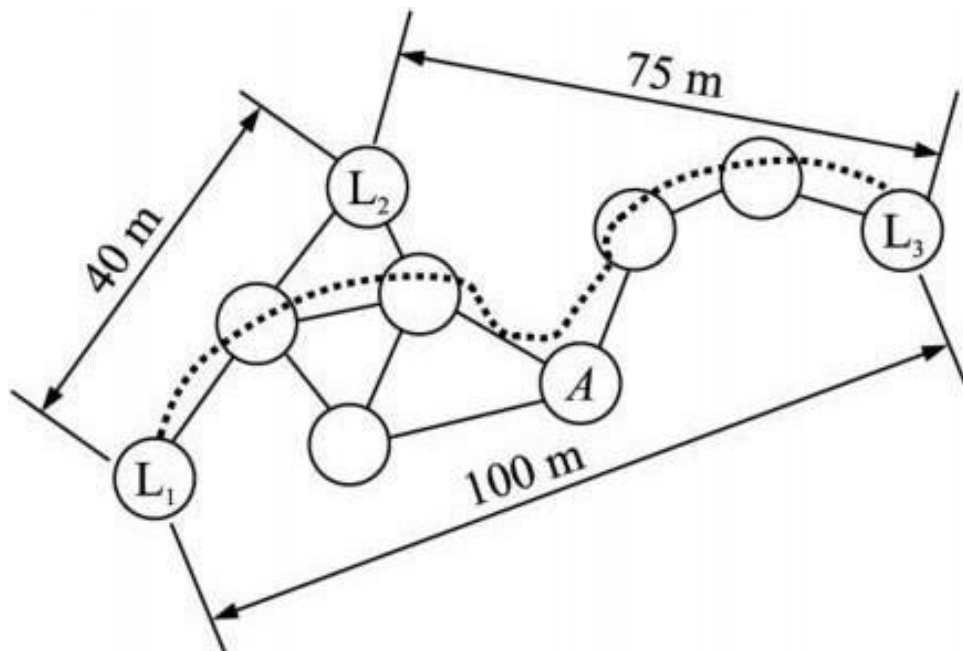
- 位置节点利用计算的跳段距离，采用三边测量法或极大似然估计法计算自身坐标。

## 优缺点分析:

- DV-Hop使用平均每跳距离计算实际距离，对节点的硬件要求低，实现简单。其缺点是使用跳段距离代替直线距离，存在一定的误差。

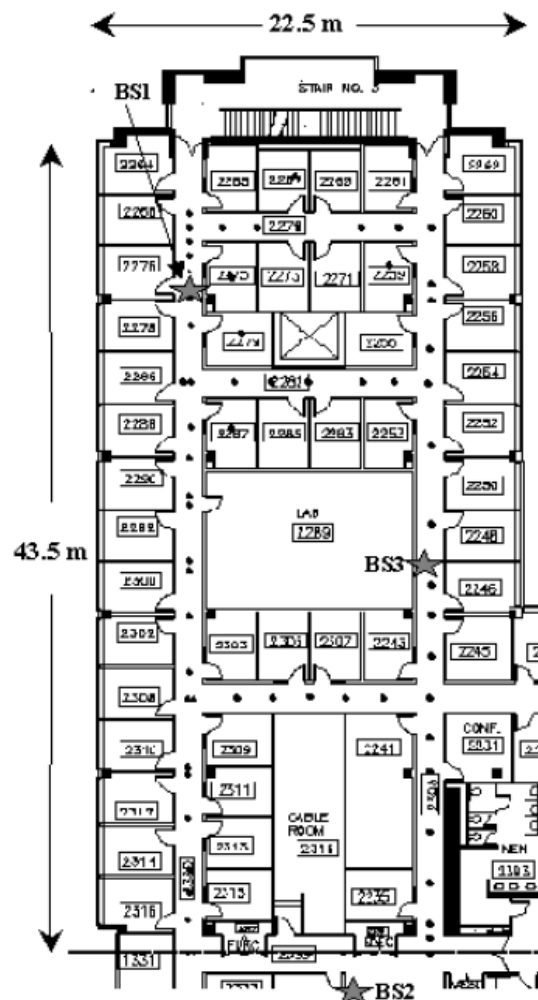
# DV-Hop算法举例

- L2 计算的每跳平均距离： $(40+75)/(2+5) = 16.42$ .
- 假设未知节点A 从L2 获得每跳平均距离，则A与三个锚节点之间的距离分别为：  
 $L1=3*16.42$ ,  $L2=2*16.42$ ,  $L3=3*16.42$
- 最后利用三边测量法计算出节点A的坐标。



# 指纹定位算法

- **RADAR系统**，将WIFI网络中基站的信号强度作为指纹，分为两个阶段
- 离线阶段：实际定位前，选取位置已知的若干测试点，建立各个点位置和信号强度关系的离线数据库。
- 在线阶段：实际定位时，根据测得的信号强度，与数据库中的记录进行比较，信号强度均方差最小的点的坐标作为节点的坐标。
- 优缺点：不局限于信号衰减模型，具有较高的定位精度。但需要离线建立繁琐的位置和信号强度指纹数据库，当基站移动时还需要重新建立数据库。



# 课下练习作业

---

- P417-419 **12.3 12.16**
- P448 **13.6 13.8**



---

*Thank you !*