# 室内定位算法及其混合算法剖析

　　随着科技的发展，LBS服务越来越深入人们的日常生活和工作，随着需求的增加，相应的室内定位技术也如雨后春笋般涌现出来并发展迅速，WIFI、蓝牙、Zigebee、地磁、UWB、WLAN等众多技术各有特色，但其核心的定位原理究竟怎样呢，今天小编就在这里与大家共同探讨常见的室内定位算法及其混合算法。

1 .1 AOA定位

基于到达角（Angle Of Arrival, AOA）也称为三角测量是一种远程定位系统，即通过已知移动设备和多个接入点间的角度进行定位。在AOA远程定位系统中，两个已知位置和方向的基站需要计算出发送自用户信号的角度。角度是通过不断调控方向天线波束，直到最大的信号长度或者相干相位来得到的。位置通过每个基站AOA测量的轨迹的交点计算得出，而AOA测量的轨迹为直线，如下图1-1所示。



图1-1 AOA定位示意图

在二维空间中，假设第N个基站的坐标为，移动待测点MS的坐标为，通过上图可以建立BS与MS的几何位置关系，表述如下：

 （1-1）

式中，为第N个基站获得的方位角信息，由两个基站的AOA得到方程组，即可求得移动待测点的坐标。

 （1-2）

如果用户和基站不在同一个平面内，需要用三维方向天线进行测量，用更多的基站能够大大提高精度。系统的整体精度取决于信号传播，方向天线的精度，以及天线到设备的距离。AOA定位的优点是不需要与每一个天线做时间同步，缺点是需要额外的硬件，有可能无法满足节点对硬件尺寸和功耗的要求，且算法复杂度较高。因此，在应用上有较大的局限性。

1.2 TOF定位

基于飞行时间（Time of Flight, TOF）的测距技术与TDOA有所不同，TOF测距技术主要是通过测量节点间信号传输的时间消耗来估算距离，而 TDOA 是通过不同信号到达同一节点或者一个信号到达不同节点的时间差来估算节点间距离。TOF测距技术主要包括到达时间（TOA） 测量以及往返时间（TWR）测量等。它们都是在已知信号传播速度的前提下，通过节点之间信号传播的时间测量来达到测距目的。TOA 测距过程中锚节点向未知节点发送测距信号，未知节点接收信号的同时记录信号到达时间，发射节点和接收节点之间保持精确的时间同步，从而获得信号在两个节点之间的传播时间。TOA 测距精度高，但对时间同步要求严格，需要额外的硬件辅助，这制约了它的应用范围。TWR 测距通过记录节点间信号往返时间来计算节点间距离，TWR 测距过程简单，易于实现，不需要额外硬件来确保两节点时间同步，但是容易受到时钟偏移的影响。以下着重介绍两种无需时间同步和额外硬件的TOF测距方法：TWR 和SDS-TWR，它们通过记录节点间信号往返时间来计算节点间距离。

一、TWR测距方法

TWR 测距方法需要两节点间的协作通信，记录信号在两节点的往返时间，具体测距过程如图2-10所示。未知节点Node1向锚节点Node2发送一个数据包，当Node2节点收到数据包时，会立即回复一个确认来响应这个数据包。Node1记录从发送数据包到接收确认的时间；

Node2记录了从收到数据包到回应 ACK 的时间，用时间减去周转时间就是两节点的数据包传递过程中的往返时间，那么 Node1 到 Node2 的距离就可以表示为，其中表示信号传播速度。如图1-2所示。



图1-2 TWR测距过程示意图

在 TWR 测距算法中分别用到了两节点的时钟进行计时，尽管不需要两节点时钟严格同步，但是要求时钟的频率和相位保持一致，否则两节点间会出现时钟偏移，记录的时间不在同一标准下，会造成比较严重的测距误差。当然可以选用高稳定性的时钟来降低这种误差的影响，但那是比较昂贵的，无法在无线传感器网络中大规模使用。SDS-TWR 测距方法在同等硬件条件下可以很大程度上降低 TWR 测距方法的时钟偏移影响。

二、SDS-TWR测距方法

整体来看，SDS-TWR 测距方法是在 TWR 测距方法的基础上进行了节点间对称测距，如图1-3所示，具体过程如下：

第一个阶段，节点 Node1 向节点 Node2 发送测距数据包，节点 Node2 收到测距包后，立即向 Node1 回复一个确认包ACK，处理时间为。当节点 Node1 收到来自节点 Node2的确认后，记录节点Node1 从发送测距数据包到收到确认包所用的时间；

第二个阶段，节点Node2向节点Node1发送测距数据包，节点 Node1 收到数据包后，经过时间给节点Node2回复一个确认包，当节点 Node2 收到来自节点 Node1 的确认后，节点 Node2 得到从发出数据包到收到确认的时间；

第三个阶段，节点 Node2 把记录的时间和通过数据包发送到节点 Node1，这样在节点 Node1 端得到了两对时间值、；

由以上获得的时间值，计算 Node1 和 Node2 之间的距离：，其中为信号的传播速度。如图1-3所示。



图1-3 SDS-TWR测距过程示意图

SDS-TWR 测距方法虽然降低了时钟偏移在 TWR 测距中的影响，提高了测距精度，但是仍存在一些问题，有些文献还指出 SDS-TWR 在两节点反应时间不同的情况下会引起测距误差，并且差异的程度越大，测距误差也会随之增加，针对这个问题引入了补偿函数来减小两节点间反应时间差异对测距的影响，通过多次往返对称测距求平均减轻时钟偏移对距离估计的影响，提高了测距精度。除了节点自身的时钟问题外，外界环境对 TOF 测距的影响也很大，比如在 NLOS 环境下，信号在节点间无法沿直线路径到达，而通过其他路径传播会增加时间延迟，使得测距误差增大。

1.3 TOA定位

基于信号达到时间（Time of Arrival, TOA）是一种通过计算信号由发射器到达接收点的延迟时间来确定二者相对距离的方法。由于一般情况下超声波、电磁波等在空气中的传播速度是确定的，因此，信号发射点到接收点的相对距离可以通过物理学中的时间-速度公式求得：d=vt。在理想状态下，通过时延计算的相对距离能够满足定位的需要。

当采用一个接收器时，目标可能出现的位置在以接收器为中心，以两者相对距离为半径的圆形轨迹上，因此无法确定目标的确切坐标。当采用两个接收器时，两个接收器形成的圆形轨迹有可能相交于两个点，因而目标的位置也无法进行准确的判定。通过理论和实践可知，对于一个待定位的目标来说，需要三个不在同一直线的接收器就可以实现精确的定位任务。假定待定位的目标为O，三个接收器分别为、、，那么采用TOA定位的原理如图1-4所示：



图1-4 TOA定位示意图

其中，、、分别为各个接收器与目标O之间通过信号的时间延迟计算的相对距离，每个接收器以相对距离为半径形成一个圆形轨迹。假设接收器的坐标为，定位目标的估计坐标为，由于每个接收器在定位空间部署时位置确定，因此的具体坐标在计算过程中为已知的。利用三个圆形方程能够完全计算出唯一的交点，计算公式如（1-3）所示：

**** （1-3）

由上式可以求得目标O点的坐标为：

 （1-4）

从以上的描述和计算方法可以看出，使用TOA进行定位相对比较简单，在某些超声波定位中，由于超声波波速较小，基本满足对物体定位精度的要求。但是TOA存在一个主要问题在于：当传播介质的速度很快时，如电磁波，在发射点和接收点之间进行需要高精度的时间测量装置来记录时间。如果时间测量设备精度不高，由于介质传播速度非常快，因此很细微的时间偏差都有可能使计算出的相对距离产生非常大的误差，从而造成定位精度的不准确。因此，在实际应用中，如果信号传播速度较慢或定位精度不高的远距离定位时，采用TOA方法进行定位是一种可行的定位方案。

1.4 TDOA定位

与TOA类似，基于达到时间差（Time Difference of Arrival）定位所使用的观测值也是发射点到接收点的时间延迟。然而不同的是，TDOA在定位过程中需要的是两个接收点的时间差值，通过三组差值方程式就能够推导出定位目标的一个三维坐标。

TDOA的基本原理是利用双曲线的特性，即双曲线上的点到两焦点距离之差为定值。

TDOA多天线定位系统的定位方式分为以下几步：

（1）测量出两接收天线接收到的信号到达时间差；

（2）将该时间差转化为距离，并带入双曲线方程，形成联立双曲线方程 组；

（3）利用有效算法求解该联立方程组的解，即待定位点坐标。



图1-13双曲线定位原理图

为了能够得到三组差值方程式并且便于计算，一般至少需要4个接收点，其中3个作为普通的接收点，另一个作为参考点，即定位的起始原点。假设4个接收器分别为目标节点为O，信号在介质中的传播速度为，那么求解O坐标的方程如公式（1-5）所示：

 （1-5） 其中，表示一个三维坐标，为各个接收点收到信号的时间值。

TDOA定位方法能够避免收发器之间的时间同步问题，精度高于TOA，但同样需要高精度的计时设备作支撑，而且功率控制会造成距离测量站较近的发射点功率变小的情况，因此会带来较大的误差。

1.5 基于RSSI定位

基于接收信号强度（Received Signal Strength Indication, RSSI）的定位方法是根据无线电波传播规律，无线信号能量在传播过程中，会有损耗，而这种损耗与传播路径相关的性质进行定位的，可以建立以下两种模型：RSSI测距模型和RSSI指纹库模型。

一、RSSI测距模型

RSSI测距法,正是利用此相关性得出发射节点到接收节点之间距离。无线信号的发射功率与接收功率的关系可以表示为式（1-6）:

 （1-6）

其中是无线接收端接收功率，为无线发射端发射功率，为收发两端之间的距离，为传播损耗因子。

再把式（1-6）中的移植左端，对两端取对数可以得到式（1-7）

 （1-7）

已知发射端节点的发射功率，代入到式（1-5）中可以得到式（1-6）

 （1-8）

把式（1-8）中的接收功率转换为dBm的表达式，即可直接改写为式

 （1-9）

在无线接收端器件中，用无线接收信号强度（RSSI）来表示接收功率强度。大多数无线器件能够获得RSSI值，从而使用根据RSSI估计算出发射端到接收端距离，通过相关的定位算法，估算出用户的位置坐标。

二、RSSI指纹库模型

类似于RSSI测距模型，RSSI指纹库模型也是利用了信号强度与传播距离的相关性。每个发射端周围的信号强度值会随着距离及环境的变化而变化，在定位区域中每个位置点的RSSI值特征情况可能都不一样。当在定位区域中有多个信标节点时，区域中的任意一个点的上每个信标节点对应的RSSI值特征不一样，此特征可以看成是此位置的RSSI指纹特征。在离线阶段，建立RSSI指纹特征库。在在线定位阶段，获取的RSSI特征后，让其与离线指纹库对比匹配，找到最近邻或最相似的位置点确定为未知节点的位置坐标。

2 混合定位技术

混合定位就是将一种或几种方法结合起来，以期得到较好的估计结果的定位方法。AOA/TOA、AOA/TDOA、TDOA/TOA。针对不同情况应制定不同无线局域网定位策略：当网络资源不够时，可以将几种技术结合起来，用较少的硬件系统来实现定位。

例如，使用TOA/AOA混合定位的计算公式为

 （2-1）

**（1） TOA/AOA混合算法**

下面介绍的混合近似最大似然（HAML）方法采用TOA/AOA测量值，可达到很好的性能，而且它仅需两个基站，避免了网络负荷的问题。

参数矢量为



式中，，其中 为第个BS所测TOA，为光速；是基站处受加性零均值高斯噪声干扰的AOA。AOA噪声方差为，且AOA噪声与TOA噪声相互独立。协方差矩阵为

 （2-2）

令矢量，其中为MS坐标；令，其中，为第个BS坐标且

 （2-3）

不失一般性，假定服务基站位于原点(0，0)。给定，则的条件概率密度函数为

 （2-4）

式（2-4）中，

 （2-5）

因此，ML估计就是求最小化的矢量。

令，产生如下等式：

 （2-6）

令，则式（2-6）变为

 （2-7）

式中，；；。

写成矩阵形式，为

 （2-8）

式中，；；。

利用最小二乘估计得

 （2-9）

将式（2-9）代入式（2-7）得

 （2-10）

为计算初始估计，首先考虑无噪情况，即

 （2-11）

 （2-12）

表示为矩阵形式，得

 （2-13）

式中，；；

则可以通过LS得到初始位置，即

 （2-14）

**（2）TDOA/AOA混合定位**

由于待测节点与定位节点间通常存在时间误差，为消除该误差，提出和TDOA进行混合定位的技术。TDOA通过两个不同传播速度的信号达到时间差，或同一信号达到不同节点所产生的时间差来测量距离。

基于TDOA/AOA的混合三维定位的主要思想是基于Chan算法、TDOA误差方程和AOA误差方程共同构建三维非线性方程组，通过两次位置估计确定移动移动台的三维坐标。第一次位置估计是根据WLS算法获取目标初始位置解，然后利用初始解分量之间的相关性并利用CWLS算法，重新建立方程来修正第一次估计。

**（3） 基于二步最小二乘的TOA/RSS定位算法**

如图所示为TOA/RSS定位技术的定位原理图，图中的实线部分为TOA测量值转换过来的距离测量值形成的圆，虚线部分为RSS测量值转换过来的距离测量值形成的圆。由于误差的存在，所以这些圆不再相交于一点，而移动站的位置位于所有圆形成的重叠区域内。



图2-14 TOA/RSS定位技术的定位原理图

假设移动站位置为，基站的位置为，第一个基站位于原点，则第个基站到移动站的距离测量值可建模为

 （2-15）

对式（2-15）取平方并进行整理，可得

 （2-16）

第个基站到移动站之间的信号损失强度可建模为

 （2-17）

化简式（2-17）可得

 （2-18）

将式（2-18）代入式（2-16），可得

 （2-19）

由于基站1位于原点，所以。

以为待求的未知参量，将式（2-16）和式（2-19）写成矩阵形式，可得

 （2-20）

式中，；；。

式（2-20）的最大似然解为

 （2-21）

式（2-21）中，为误差矢量的协方差矩阵：

 （2-22）

式（2-22）中，



式（2-21）即为的第一步加权解。

为了得到的第二步加权解，需要求解的协方差矩阵，这里采用扰动分析方法求解的协方差矩阵。对式（2-21）进行泰勒展开，并忽略二次项，可得到

 （2-23）

式中，为的扰动分量；

 （2-22）

由式（2-23）可得的协方差矩阵：







 （2-25）

在第一步加权解中未考虑到之间的相关，但实际上存在的关系，因此这里利用这种关系性来改进定位结果，以得到第二步加权解。

的前三项可表示为

，， （2-26）

式中，为的估计误差。

将上式重组可以得到

 （2-27）

式中，；； ，为误差矢量。

将式（2-26）代入式（2-27），并忽略二次项得

 （2-28）

由上式可求得的协方差矩阵

 （2-29）

式（2-27）中， （2-30）

式（2-27）的解为



 （2-31）

该式中的中的含有未知的移动站位置，因此使用近似，即

 （2-32）

最后得移动站的位置为

 （2-33）

因此，整个算法归纳为：

（1）通过式（2-25）得到移动站的第一步加权解；

（2）通过式（2-27）和式（2-28），求解出第二步计算中所需的加权矩阵，将加权矩阵代入式（2-31）得到；

（3）最后将代入式（2-33）得到移动站的位置。

**联系我们：**

**公司名称：郑州联睿电子科技有限公司**

**邮　箱：**[**haobing.qiao@locaris-tech.com**](mailto:haobing.qiao@locaris-tech.com)

[**yufeng.li@locaris-tech.com**](mailto:yufeng.li@locaris-tech.com)

**电　话： 185 3857 2321（乔先生）**

**185 3857 2328（李先生）**