# 5 自适应AP布局

## 5.1 总体方案及说明

在传统的基于位置指纹的室内定位系统中，由于室内环境复杂等因素，前期布局AP将耗费大量的人力、物力，而且布局效率较低。针对这一问题，本文提出一种基于室内定位的自适应AP（AP, Access Point）布局算法。自适应AP布局总体框架包括地图识别、AP数目的获取、仿真指纹库的构建以及AP布局位置的优化四个模块，总体方案如图所示：

图 5-1 自适应AP布局系统总体框图

首先，根据用户提供的室内环境地图，将环境信息进行识别并生成环境信息矩阵。例如，将地图等比例的生成数据矩阵，其中有墙壁存在的地方，矩阵中设置数字1，大厅、走廊环境设置数字2。然后基于单个AP的有效定位区域确定环境中布放AP的数目。经过测量，该系统的单个AP的有效定位区域为10m，也就是在距离该AP的10m范围内，信号的衰减特性比较明显。接着将AP初始化的布局在环境中，尽可能的平均分布。然后使用贪心算法，以仿真指纹库的区分度为目标函数进行AP布局优化，经过多次迭代进而达到经验布局或者优于经验布局，输出建议的AP布局坐标。

## 5.2 地图识别

该部分主要是在给定一张地图的情况下，对地图环境进行识别并生成环境信息矩阵。也就是将环境等比例的生成一个环境信息数据矩阵。其中在有墙壁的地方，数据矩阵中该位置填写数字1；在大厅或走廊的空间，数据矩阵中该位置填写2；在没有上述情况的地方，数据矩阵中默认填写数字0。对地图的识别主要是识别Microsoft Visio 软件绘制的地图，地图中主要有墙壁和空间两个对象，在读取地图过程中解析这两个对象便可以构造出数据矩阵。此方法是节约了工人勘探环境的时间。

## 5.3 AP数目的获取

该部分主要是根据上面的得到的环境信息矩阵以及单个AP的有效定位区域，通过完全覆盖的方法计算出该环境下所需布放AP的数目。经过测试单个AP的有效定位区域为以AP坐标为圆心，半径为10m的一个圆。其中单个AP的有效定位区域表示在距AP10米的范围内其信号的衰减模型比较明显，也就是在其有效定位区域内，信号的区分度比较明显，有利于定位。然后基于单个AP的有效定位区域，对定位环境进行覆盖直至完全覆盖，此时输出AP的数目。

## 5.4 仿真指纹库的构建

仿真指纹库的构建主要是依据初始的AP布局以及无线信号在室内环境下的传播模型。其中，无线信号在空旷室内环境下的传播符合对数衰减模型。随着传播距离加大，信号的衰减速率将会越来越低。在空旷的室内环境下，信号的衰减模型为：

 (5.1)

其中，表示距离AP一米处信号强度值；表示该环境下的无线信号的衰减因子；表示参考点和AP之间的距离。

无线信号的衰减因子值与环境相关。在使用信号衰减模型的时候，需要对值以及进行测试。典型的测试环境主要包含走廊和大厅，因此，使用蓝牙定位系统在两种区域环境下进行了数据采集并使用最小二乘法进行数据的拟合，可以确定走廊环境下的值取-2.5，取-53；大厅环境下的值取-2.3，取-53。

在建立仿真指纹库时，AP和参考点之间会出现两种情况：NLOS环境和LOS环境。

1. AP和参考点处于LOS环境，如图5-2所示:



图5-2 LOS环境

则可以依照简单的无线信号的衰减模型，得到在参考点处信号强度值为：

 (5.2)

其中，表示距离AP一米处信号强度值；表示该环境下的无线信号的衰减因子；表示参考点和AP之间的距离。

1. AP和参考点处于NLOS环境，这里我们提出虚拟信源的概念进行指纹库的建立，环境如图5-3所示：



图5-3 NLOS环境

在参考点处信号强度值表示为：

 (5.3)

为在距离AP一米处信号强度值，为无线信号的衰减因子，为AP与虚拟信源之间的距离，为虚拟信源和参考点之间的距离。

依据初始AP布局的位置，结合对上述两种情况的信号强度计算，遍历定位区域中所有的参考点，建立仿真指纹库。

## 5.5 AP布局位置的优化

### 5.5.1 AP布局原理

本方案将AP布局的好坏和在该布局下指纹库区分度联系在一起。指纹库区分度越大，那么AP布局越好。指纹库区分度的增大可以增强定位系统对信号自身波动的容忍力，进而提高定位精度。其中指纹库的区分度也就是所有参考点间信号的欧氏距离的求和。也就是将AP布局的好坏和参考点间信号欧氏距离联系起来。

为了更加充分的理解参考点间信号欧氏距离和定位精度的关系，下面本文使用图形的方式分析WKNN算法中定位误差和参考点信号空间欧氏距离的关系。在以往的基于位置指纹的定位技术中通常使用的是WKNN算法。该算法通过将在线阶段接收到RSSI值和数据库进行信号欧氏距离匹配，寻找距离待定位点距离最近的K个点，进而对每个点进行权重分配进而计算出定位点的坐标。

在在线定位的过程中，定位环境是实时变化的，所以在同一个点连续接收几秒的数据中，每一秒的数据都是时变的，但是通过以往的研究发现信号强度都是在一个标准值附近波动。假设在定位环境中的某个参考点接收的数据是一个随机变量，它是以为圆心，以为半径的圆中波动的。网格参考点将圆划分为四个面积s1,s2,s3,s4，圆的面积为S，其中B1、B2、B3、B4为定位区域中的四个参考点对应的信号空间欧氏距离，如图5-4所示。



图5-4 图5-5

由于点为去除信号自身波动所在的位置，其信号欧氏距离更加接近于B4点，所以点定位结果更加贴近B4点。其WKNN定位结果如下：

 (5.4)

由其计算过程可知，点的定位精度和s1，s2，s3，s4的面积有关。由于s4所占的比例最大，其定位结果更加贴近于B4点。

图5-5相比于图5-4增大了参考点间的信号欧氏距离，信号的波动是不变的，所以圆的面积是不变的，也就是S是一个定值。由于增大了参考点间的信号欧氏距离，s4在S中的占比相对于图5-4更大了。进而在使用WKNN算法计算点定位结果时，其定位结果相对于图5-4更加贴近于B4参考点，提高了其定位精度。倘若参考点间的信号欧氏距离增加到一定程度时s1，s2，s3的面积将趋近于0，s4的面积将等于S，所以其定位结果即为B4点。所以通过图5-4和图5-5比较可知，在信号波动不变的情况下，增加参考点间的信号欧氏距离，定位系统对信号波动的容忍能力会随之变强，进而可以提高系统的定位精度。

综上以上描述，在定位的过程中，定位环境不断变化，信号是时变的。为了减少信号波动对定位精度的影响，可以尽可能地增加参考点之间的信号欧氏距离。所以AP的布局方式要以增加指纹库间的信号欧式距离为目的，进而增强定位系统对信号波动的容忍力，提高系统的定位精度。

### 5.5.2 AP布局算法流程

贪心算法是一种能够得到某种度量意义下的最优解的分级处理方法,它总是在目标函数的驱动下做出当前条件下的最优选择，并不是从整体上加以考虑的，它总是做出在当前看来是最优的选择，也就是说贪心策略并不是从整体上加以考虑 ,它所做出的选择只是在某种意义上的局部最优解算法。

贪心算法的基本思路是从问题的某一个初始解出发一步一步地进行,根据某个优化测度，每一步都要确保能获得局部最优解。每一步只考虑一个数据，他的选取应该满足局部优化的条件。若下一个数据和部分最优解连在一起不再是可行解时，就不把该数据添加到部分解中, 直到把所有数据枚举完，或者不能再添加算法停止。

使用改进的贪心算法对AP进行最优化的布局。在定位环境不变的情况下，增大参考点间的欧式距离可以提高定位系统对信号自身波动的容忍力，进而提高在线定位阶段的定位精度。所以AP布局的效果需要增大参考点间的信号欧式距离即是增加指纹库的区分度。因此，以区分度作为算法中目标函数进行使用，目标函数如下：

 (5.5)

其中,是参考点总数；是AP的数目；即信号的维度，是第个参考点的RSS均值向量；是满足和第个参考点的物理距离小于（预先确定的值，这里取2m）的所有参考点的集合；是集合的元素个数；是第个参考点的维信号强度欧氏距离和值，是个AP的位置坐标，是个AP的一种放置方式，是所有参考点的维信号强度欧氏距离平均值，是所有参考点信号平均欧氏距离与其标准差的差值。我们需要求取的是最大区分度，然后输出其对应的AP布局位置坐标。

其中，该算法的具体实现流程为：分别对个AP进行编号，并将AP均布放在参考点上。首先对进行局部最优化处理，对在参考点上的位置进行上下左右四个方向的移动并通过目标函数分别计算移动后的适应度值，如图5-6所示为移动操作。



图5-6 移动操作

然后更新最大区分度值，并将放置所对应的位置上。重复上述步骤直至达到局部最优，也就是在其余AP位置不变的情况下，位置达到最优。接着对其余的AP依次重复上述的步骤，并一直更新。当所有的AP移动至当时情况的局部最优后，由于之前移动时其余AP的位置没有发生变动，然而遍历所有AP之后，由于其余的AP发生了位置变动，那么并未达到局部最优。需要重新对进行移动，并更新最大区分度值以及更新其最新位置坐标。其余的AP依次重复的步骤。该算法的停止条件为：在某次重新移动的过程中，最大区分度值从未更新，那么输出当时AP布局的位置坐标。此时，在此种情况下的AP布局可以到达最优布局或者接近最优布局，而且在此种布局的情况下采集的指纹库，其参考点间的信号欧式距离可以最大化的达到最大。也就是说让更多参考点的指纹可以最大化的抵抗信号的波动，从而提高定位精度。其中算法流程图如图5-7：

图5-7 算法流程图

## 5.6 逸夫楼环境自适应AP布局结果

实验场地为行政楼的一楼环境，该区域为典型的办公区域，由多间办公室、走廊以及大厅环境。其平面结果如图5-7所示。途中橙色部分为测试区域，总面积约为256㎡.，整个区域中布放了7个蓝牙Anchor，如图5-8所示为使用本文算法布局的AP位置图。

我们在定位区域中选取了一条轨迹上的单点用于蓝牙定位测试。图5-9为在该AP布局下蓝牙定位的误差累积分布函数（CDF， Cumulative Distribution Function）。可以看出，该AP布局的情况下，其定位精度为3m（置信度为75%）。



图5-7 环境平面地图



图5-8 AP布局地图



图5-9 CDF误差分析图