

设备部署受限下定位系统设计及算法的研究

姜博通, 袁东明, 张洪光

(北京邮电大学电子工程学院, 北京, 100876)

摘要: 针对设备部署受限情况下的定位场景, 如在机场环境中考虑到飞机的正常起落不能在任意位置部署设备, 设备尽量部署在航站楼上。本文对设备部署受限下的定位系统及算法进行了研究。定位系统使用球形天线阵列进行Wi-Fi数据采集, 该阵列能够满足设备部署受限的要求并能够反映三维空间内的电磁波传输特性。此外, 该研究结合球形天线阵列上电磁波的入射角度和K最近邻指纹匹配算法, 提出了一种改善的指纹匹配算法。经过实测仿真验证, 该算法不仅具有较好的实用性和可用性, 并且具有较高的定位精度。

关键词: Wi-Fi定位; 指纹定位方法; 天线阵列; 部署受限

中图分类号: TN961

Research on Positioning System Design and Algorithms under Limited Equipment Deployment

JiangBotong, YuanDongming, ZhangHongguang

(School of electronic engineering, Beijing university of posts and telecommunications)

Abstract: For positioning scenarios where equipment deployment is limited, for example, in the airport environment, taking into account the normal landing and landing of the aircraft, equipment cannot be deployed at any position. The equipment should be deployed in the terminal as much as possible. This paper studies the positioning system and algorithm under the limited equipment deployment. The positioning system uses a spherical antenna array for Wi-Fi data acquisition. The array can meet the requirements of limited equipment deployment and can reflect the electromagnetic wave transmission characteristics in three-dimensional space. In addition, this study combines the incident angle of electromagnetic waves on the spherical antenna array and the K-NearestNeighbor fingerprint matching algorithm to propose an improved fingerprint matching algorithm. After actual test and simulation, the algorithm not only has good practicability and usability, but also has high positioning accuracy.

Key words: Wi-Fi positioning; Fingerprint positioning method; Antenna array; Limited deployment

0 引言

基于位置的服务 (Location Based Service, LBS) 已经逐渐深入人们的日常生活中^[1], LBS 的应用领域主要包括导航、广告、游戏、个人跟踪、生活服务和公共安全等方面。现在常用的全球导航卫星定位由于信号在某些场景中被严重的影响, 导致无法获得精确的定位。因此目前有多种无线定位技术被应用于 LBS 系统中, 如超声波、蓝牙、Wi-Fi 等。其中, 基于 Wi-Fi 的定位技术凭借其基础设施完善、传输速率高、抗干扰能力强、定位精度高的优点成为当前主流的无线定位技术。

然而, 当前对于设备部署受限的场景下使用 Wi-Fi 技术进行精确定位的研究还很少。在

作者简介: 姜博通 (1995-), 男, 研究生, 主要研究方向: 无线定位, 大数据

通信联系人: 张洪光, 男, 副教授、博导, 侧重于物联网与移动互联网、智能算法设计和智能组网技术研究。E-mail: hongguang-zhang@bupt.edu.cn

民用机场中,飞机机场中某些车辆或人员需要进行定位,而定位设备的部署为了不影响飞机的正常飞行尽量部署在航站楼上;在战争环境中需要定位敌方阵地的 Wi-Fi 通信设备从而精确打击干扰敌方通信,定位设备只能部署在本方阵地。针对这种部署设备和位置受限的情况,本文结合球形天线阵列定位数据采集系统,提出了一种改善的指纹匹配算法,可以在设备部署受限的情况下对目标进行精确定位。

本文组织方式如下,引言部分介绍了设备部署受限情况下 Wi-Fi 定位的背景和本文的主要研究内容;第一章讲述了定位系统和 Wi-Fi 定位的相关工作;第二章详细阐述了本文定位系统的设计;第三章说明了提出的定位算法;第四章说明了实验设计;第五章总结全文。

1 相关研究

1.1 定位系统的相关工作

在 Wi-Fi 定位系统中,最常用的采集系统是使用现有定位区域内的接入点(Access Point, AP)或在定位区域内专门部署若干 AP,使用手机等终端设备自身的全向天线采集这些 AP 的数据信息。而 Jiang^[2]等人提出了一种十字形定向天线的数据采集系统,每个传感器节点都配有四个定向天线,呈十字形排列;Wu^[3]等人将 12 个定向天线组成一个两层的柱状数据采集器。每层包括 6 个天线,每一层中每两个天线之间的角度为 120 度。两个相邻天线在不同层上的夹角为 30 度。

1.2 Wi-Fi 定位算法的相关工作

当前基于 Wi-Fi 的定位算法主要包括到达角(Angle Of Arrival, AOA)和相关到达角(Direct Of Arrival, DOA)定位算法,到达时间(Time Of Arrival, TOA)和相关到达时间差(Time Difference Of Arrival, TDOA)定位算法以及基于信号强度(Received Signal Strength, RSS)的定位算法,这些算法的相关工作如下。

1.2.1 AOA 和 DOA 定位算法

AOA 和 DOA 算法需要从至少两个接入点测量入射波和参考方向之间的角度,根据两条沿角度方向的虚拟线的交点确定用户位置。Biswas^[4]等人讨论了利用距离、角度信息和纯角度信息相结合的传感器网络位置估计问题并提出了一种基于半定规划松弛的算法;Peng^[5]等人提出了一种通过测量噪声角度考虑信标信息多跳的定位方案。

1.2.2 TOA 和 TDOA 定位算法

TOA 和 TDOA 算法主要利用电磁波从发射机到接收机的传播时间,并将其转换为距离。Alon^[6]等人使用所有可用的不同时间差进行闭合形式的最小二乘法进行位置估计,并利用正交投影矩阵消除传感器与信号源之间距离的非线性项;Alex^[7]等人介绍了一种基于单接入点的定位系统。该系统使用客户端和接入点之间的信号传输延迟计算它们之间的距离,将该距离与智能手机的航位推算技术相结合,使用几何方法使用单个接入点生成客户端的位置。

1.2.3 基于 RSS 的定位算法

75 基于 RSS 的方法不需要特殊硬件设备的支持,且包括手机在内的诸多设备都可以测量 RSS 数据信息,因此基于 RSS 的方法越来越受到研究者的青睐。

目前已经有很多基于 RSS 的定位算法的研究。Huan^[8]等人采用了多层神经网络 (Multilayer Neural Network, MLNN) 进行基于 RSS 的定位,将 RSS 信号转换部分、原始数据去噪部分和节点定位部分集成到一个 MLNN 深层架构中进行定位;Xue^[9]等人考虑到由于接收信号强度与物理距离是指数关系,传统的加权 K 最近邻算法通过 RSS 差的变化来加权参考点坐标的精度不够高。而基于概率模型或数据融合的算法则没有考虑 RSS 的不均匀空间分辨率,因此作者提出了一种基于 RSS 物理距离的加权定位算法。

85 在众多算法中,基于 RSS 算法主要包括测距算法和指纹定位法。测距法通过路径损耗模型转换信号强度和距离,再通过三边定位算法等几何方法确定待测目标的位置,然而路径损耗模型是理想化的在部署受限的场景中不一定适用。指纹定位方法建立一组 RSS 和采样点位置映射的指纹数据库,在定位时将待定位位置测量的一组 RSS 值和指纹库匹配进行定位。指纹定位方法凭借其无需额外基础设施、精度较高和适应度较好的优点^[10]比较适用于设备部署受限情况下的精确定位,因此本文主要研究指纹定位方法。

2 设备部署受限下定位系统的研究

90 本章分析了定位设备部署受限下 Wi-Fi 定位的设计需求,针对定位设备部署受限的场景设计出一套以球形定向天线阵列为中心的定位系统。

2.1 设计需求

针对定位设备部署受限的场景,本章提出的定位系统的设计需求是:

95 (1) 能够在部署受限的情况下采集数据。由于定位设备部署受限,为了避免影响区域内人们的工作学习,如在机场环境中设备的部署不能影响飞机的正常起降和人员车辆的工作,因此定位系统需要在数量不能太多和尽量部署在定位区域一侧的情况下采集数据。

(2) 能够稳定的采集数据。定位系统的采集天线需要在信号聚集、信号源分布未知的机场环境下实现 Wi-Fi 数据的采集,这对天线的增益以及稳定性提出了要求。

100 (3) 能够采集尽量较多的数据。为了保证定位精度,定位系统需要在满足前两个需求的前提下收集尽量多的 Wi-Fi 信息,较多的数据会提高定位算法的精度。

2.2 系统架构

本章提出的定位系统的架构可由图 1 表示,该系统由球形天线阵列连接控制模块采集待定位目标的 Wi-Fi 数据,然后控制模块将 Wi-Fi 数据传输到定位服务器进行定位算法的运行与最终结果的输出。

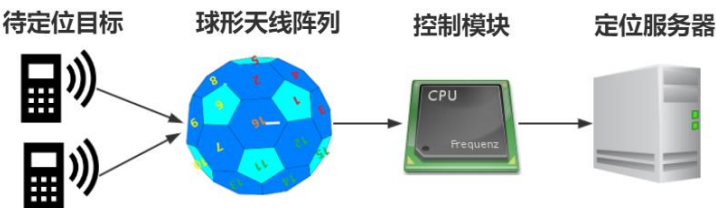


图 1 定位系统架构图

在此系统中，定位服务器通过笔记本电脑实现，球形天线阵列采集的数据传输到电脑上，通过程序的运行进行最终定位结果的输出。控制模块是实验室现有的控制模块，本节介绍的主要内容是球形天线阵列的设计和实现。

2.3 球形定向天线阵列

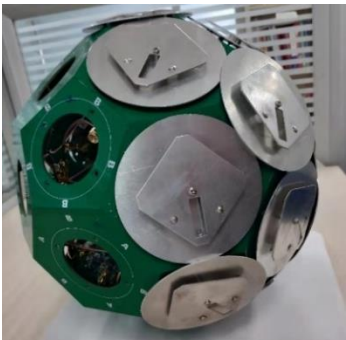


图 2 球形定向天线阵列图

在定位设备部署受限的场景中，Wi-Fi 信号的采集设备既需要满足数量不能太多和尽量部署在定位区域一侧的要求，也需要能够方便快捷准确的采集 Wi-Fi 信号来构成指纹，因此本文使用一套由球形定向天线阵列构成的采集设备。

使用定向天线的原因是定向天线相对于传统采集器的全向天线来说有更好的空间辨别性，因为它们在某些角度方向上具有更高的方向性^[11]。此外定向天线只在特定方向上辐射电磁波，会增强增益、减少干扰和冲突，也可以提供更好的抗同频干扰能力^[12]。

虽然定向天线拥有在特定方向上增益较强的优点。但是定向天线也具有某些缺点，例如耳聋和邻居发现问题，即只在特定的方向拥有探测能力，这使得它们不适用于本地化应用。如图 2 所示，本文使用一种 C60 结构的天线阵列，由于部署在定位区域的一侧，因此只需要安装半个球面即 16 个定向天线单元。它具有占用空间小、部署简单、一套设备就可以同时采集 16 路信号强度并且能够反映三维空间内的电磁波传输情况的优点。既满足设备部署受限要求，又可以采集较多的数据构成维度较多的指纹值。

3 设备部署受限下定位算法的研究

3.1 研究问题

根据第一章对现有相关研究的分析可知，当前的定位算法大多没有考虑部署受限的场景。AOA 和 DOA 等算法需要精确测量电磁波到达角和电磁波到达时间，这需要特殊硬件的支持，在部署受限的情况下很难满足这些特殊硬件的需求。而基于路径损耗模型的几何定

位法容易受到待测区域内障碍物的影响。除此之外，由于部署受限的要求，定位设备需要使用基于球形天线阵列的采集系统，这与现有的指纹定位方法使用的采集系统的设计不同，因此现有的指纹定位方法在部署受限的场景中效果不一定优异。本章主要研究如何在设备部署受限的条件下结合球形天线阵列进行二维平面的精确定位。

3.2 算法框架

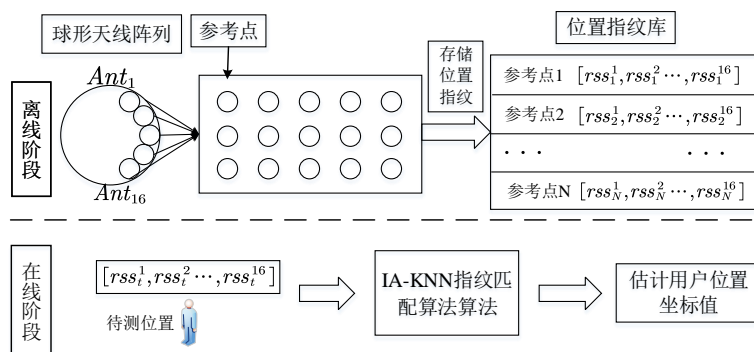


图3 指纹定位算法框架图

图3说明了本文研究的指纹定位算法的框架图。在离线阶段，以固定的布置间隔设置一定数量的参考点，之后使用球形天线阵列遍历采集各个参考点的信号强度，有效地构建包含各个参考点位置坐标的信号强度的位置指纹库，指纹如公式（1）所示：

$$rss_i^j = [rss_i^1, rss_i^2, \dots, rss_i^{16}] \quad (1)$$

其中 rss_i^j 表示指纹库中第 i 个参考点第 j 个天线单元采集的信号强度，球形天线阵列上共有16个定向天线单元，因此 j 是从1到16，整个阵列16个天线单元采集的信号强度构成第 i 个参考点的指纹。

在在线阶段：使用相同的球形天线阵列采集待定位位置的信号强度信息形成指纹，然后使用结合入射角度的K最近邻（Incident Angle K-NearestNeighbor, IA-KNN）指纹匹配算法将其与指纹库的数据进行匹配来获得用户位置。

3.3 结合入射角度的K最近邻指纹匹配算法

3.3.1 理论分析

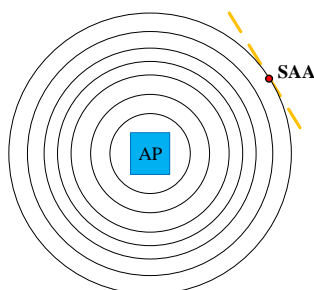


图4 球面波传输图

本文提出的算法主要是对传统KNN（K-NearestNeighbor）指纹匹配算法的改进。在实际场景中，常见通信设备内的天线为全向天线，发射的电磁波呈近似于球面波向外扩散[13]。在定位区域内，考虑到球形天线阵列的尺寸较小相对于定位区域内电磁波传播的

离可以忽略不计，因此在球形天线阵列上接收到的电磁波近似于平面波，如图 4 所示，图中的 SAA 是指球形天线阵列（Sphere Antenna Array）。

通常，在普通的定位系统中信号采集设备的天线是全向天线。电磁波是垂直入射到全向天线，各天线的入射角相同都为 90° ，天线垂线与入射波夹角都为 0° ，且各天线在 KNN 算法中对欧几里得距离的影响也相同。因此，每个天线测量的信号强度在欧几里德距离中的权重是相同的。如公式（2）所示，在欧式距离的计算中表现为在不同阶段接收信号强度差值的平方求和之后再取平方根，此时各个差值平方的权重相同都为 1。

$$Dis_i = \sqrt{\sum_{j=1}^M (rss_i^j - rss_i^j)^2 \times 1, i = 1, 2, \dots, N} \quad (2)$$

其中 rss_i^j 代表在线阶段中在待定位点球形天线阵列中第 j 个天线单元采集的信号强度， rss_i^j 表示在离线阶段建立的指纹库中第 i 个参考点处第 j 个定向天线测量的信号强度， N 表示总共有 N 个参考点， M 表示球形天线阵列总共有 M 个定向天线单元。

然而与传统的全向天线不同，球形天线阵列的结构为 C60 的球体结构，是三维空间中的立体结构，因此在阵列上的各个天线单元的朝向不同。在入射波为平面波的情况下，阵列上的各个天线单元由于朝向不同因此天线单元的电磁波入射角度也不同，则不同方向的天线单元采集的信号强度对欧氏距离的影响也不同。基于本分析，本文定义了一个影响因子来反映不同朝向的天线单元在同一电磁波传输下对欧氏距离的影响程度。

3.3.2 算法推导

在同样的电磁波传输情况下，由于球形定向天线阵列上各个天线的朝向不同，因此每个天线的影响因子也不相同。本文将入射方向的电磁波投影到各个天线单元的垂直线上用来反映同一测试点接收到的电磁波对球形天线阵列上不同朝向天线单元的影响，这也是为了统一计算时的参考基准。那么某个天线单元的影响因子可以等值为此定向天线的垂线和平面波方向之间夹角的余弦值。如图 5 所示，天线 5 的垂线与平面波方向之间的夹角为 θ ，将平面波投影到天线 5 的垂线上，则天线 5 的影响因子为 $\cos \theta$ 。

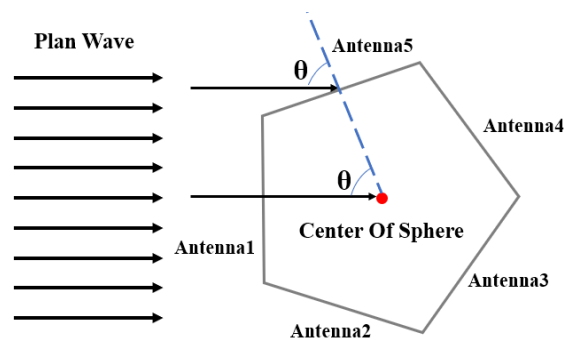


图 5 电磁波方向示意图

将此影响因子应用于欧氏距离的计算得到：

$$Dis_i = \sqrt{\sum_{j=1}^M (rss_i^j - rss_i^j)^2 \times \cos \langle Ant_i, Ant_j \rangle, i = 1, 2, \dots, N.} \quad (3)$$

$$\text{if } \cos \langle Ant_i, Ant_j \rangle < 0, \cos \langle Ant_i, Ant_j \rangle = \epsilon.$$

其中， Ant_i 表示在线阶段待定位点处平面波垂直入射的天线单元。在本研究中，由于电磁波垂直入射的天线单元通常可以接收到强度最大的信号，所以在在线阶段接收最大信号强度

的天线被认为是垂直入射天线。 Ant_j 表示第 j 个天线, $\cos \langle Ant_i, Ant_j \rangle$ 表示电磁波垂直入射天线的垂线和第 j 个天线的垂线之间夹角的余弦值, 这个数值可以通过计算 C60 结构中各个面中心与体心连线之间夹角的余弦值得到。 ε 是当 $\cos \langle Ant_i, Ant_j \rangle$ 小于 0 时的初始阈值, 表明虽然某些天线的垂线与电磁波垂直入射天线单元垂线之间的夹角大于 90° , 此时如果按照上述影响因子的计算方法得到影响因子的值为负值, 意味着对定位带来负影响。但其实这些天线的采集数据在定位系统中也存在一定的正向判别度, 因此本文设置了一个阈值用来表示天线初始的区分辨别度。基于多次实验测试, 本文将 ε 设置为 0.1。

传统的最近邻 (NearestNeighbor, NN) 算法^[14]是指纹定位方法中很常见的匹配算法。首先第一步需要计算出在线阶段中待定位点测量的指纹与离线状态下建立的指纹库中第 i 个参考点指纹的欧几里得距离, 如公式 (2) 所示。而经过上述分析之后改善的欧几里得距离的计算方式则为公式 (3) 所示。由于定位环境的错综复杂, 经常导致远离待定位点的参考点拥有比和待定位点最近邻的参考点更小的欧氏距离, NN 算法可能产生显著的误差。因此, KNN 算法选择 k 个 ($k > 1$) 具有最小欧式距离的参考点, 然后将这些参考点对应的坐标值的平均值作为待定位点的位置估计, 即:

$$(x, y) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (x_i, y_i) \quad (4)$$

其中 (x_i, y_i) 是第 i 个参考点的坐标值。除此之外, 可以使用欧式距离进行加权求平均更好的改善 KNN 算法的精度, 其中欧式加权之后的公式为:

$$\begin{cases} (x, y) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (x_i, y_i) \times w_i \\ \sum_{i=1}^N w_i = 1 \\ w_i = \frac{\frac{1}{Dis_i}}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{Dis_i}} \end{cases} \quad (5)$$

4 实验和结果分析

4.1 实验设计

为了验证本文提出的指纹匹配算法 IA-KNN 算法在设备部署受限时的有效性, 本文在两个实验场地进行自测数据的采集, 两个场地均模拟设备部署受限的条件: (1) 北京邮电大学西土城校区学生六公寓门口区域模拟机场环境, 机场环境中设备的部署受到限制, 在此环境中采集自测数据集 1。(2) 北京邮电大学西土城校区科研楼 1103 室, 室内环境中由于人员走动频繁、障碍物较多等原因设备的部署也受到限制, 在这个环境中采集自测数据集 2。使用手机作为被定位目标, 使用球形天线阵列采集器进行采集, 之后在电脑端进行训练和测试。从验证点即待定位点的实际误差与平均误差、标准差和均方根误差等指标进行评估。

4.1.1 室外场景自测数据集 1

实验场景 1 位于北京邮电大学西土城校区学生六公寓门口的空地, 实验环境如图 6 (a) 所示。空地模拟机场的实际情况, 球形天线阵列部署在区域的一侧模拟部署在机场航站楼。

图 6 (b) 为实验中测试点和验证点的部署位置, 实验区域面积为 100m^2 ($10\text{m}\times 10\text{m}$)。红色圆点表示参考点, 蓝色五角星表示验证点, 任意两个水平或垂直相邻的测试点的间隔等于 1m , 并且随机确定 10 个验证点位置。

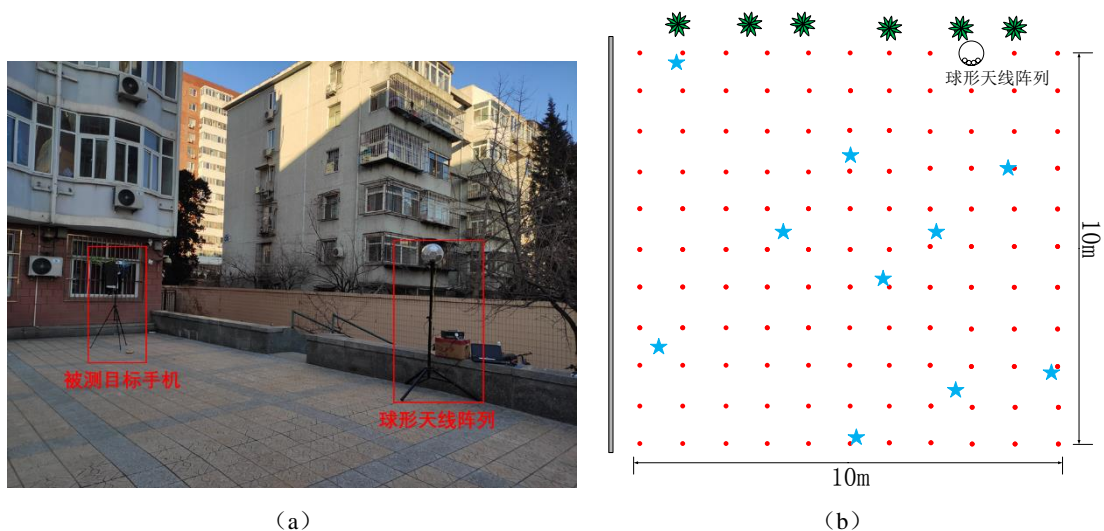


图 6 实验场景 1 测试现场和部署示意图

4.1.2 室内场景自测数据集 2

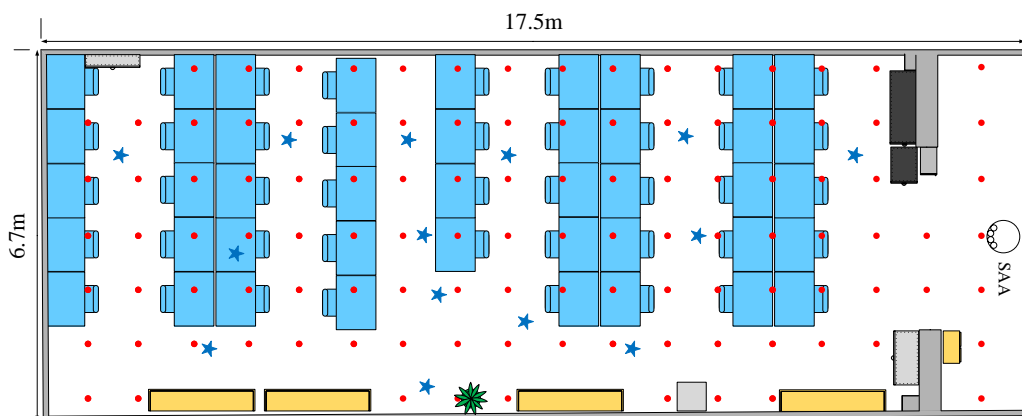


图 7 实验场景 2 部署示意图

实验场景 2 位于北京邮电大学西土城校区科研楼的 1103 实验室, 部署示意图如图 7 所示。由于室内空间中障碍物较多和人员密集等原因, 采集器的部署不应该影响待测区域内正常的活动, 因此室内空间也是部署受限的场景之一。实验区域面积为 117.25m^2 ($17.5\text{m}\times 6.7\text{m}$)。红色圆点代表参考点, 蓝色五角星代表验证点, 任意两个水平或垂直相邻的测试点的间隔等于 1m , 并且随机确定 11 个验证点。

4.2 数据预处理

为了在数据采集过程中最小化异常值的影响, 这些异常值主要来自测试过程中有流动人员直接遮挡整个天线阵列从而导致测量值不准确, 因此要对数据进行预处理并消除 RSS 的异常值^[15]。消除异常值的示例如下: 例如某个天线单元采集了某个测试位置的一系列信号强度值, 这个系列信号强度的最大值和最小值分别表示为 R_{\max} 和 R_{\min} , 则信号强度值的范围由 $R_{\text{range}} = R_{\max} - R_{\min}$ 表示, 经过多次实验计算验证, 消除概率 ξ 设定为 10%。如果 $R \in \{[R_{\min}, R_{\min} + R_{\text{range}} \times \xi] \cup [R_{\max} - R_{\text{range}} \times \xi, R_{\max}]\}$, 则舍弃相应的信号强度测量值 R 。

本文中的平均信号强度没有特别说明的话就是经过预处理后 RSS 的平均值。

4.3 选取对比算法

本节共选取了四种对比的 Wi-Fi 定位算法，分别多层感知机（Multilayer Perceptron，MLP）^[16]指纹定位算法、径向基函数方法结合三边测距定位算法（Radial Basis Function Trilateration，RBF-Trilateration）^[3]、基于 RSS 物理距离的加权 K 近邻（Spatial Weight K-NearestNeighbor，Spatial-WKNN）^[9]指纹匹配算法和基于欧式距离的加权 K 近邻（Euclidian Weight K-NearestNeighbor，EWKNN）指纹匹配算法。其中 MLP 算法在离线阶段使用多层感知机训练信号强度与对应位置的关系，在在线阶段使用训练好的模型进行定位；RBF-Trilateration 算法在第一步中使用电磁波入射角度和信号强度训练的径向基函数获得待定位目标角度，并确定未知位置所属的分区。在第二步，在确定的分区中使用三边测距定位算法获取准确的位置。对比算法的论文名称、来源和影响因子如表 1 所示。

表 1 选取对比算法

算法名称	论文名称	发表来源	影响因子
MLP 指纹定位算法	Integration of directional antennas in an RSS fingerprinting-based indoor localization system	2016 Sensors	3.72
RBF-Trilateration 定位算法	MAC-ILoc: Multiple Antennas Cooperation Based Indoor Localization Using Cylindrical Antenna Arrays	2017 年 International Conference on Collaborative Computing	-
Spatial-WKNN、EWKNN 指纹匹配算法	A New Weighted Algorithm Based on the Uneven Spatial Resolution of RSSI for Indoor Localization	2018 IEEE Access	4.96

4.4 实验结果

4.4.1 自测数据集 1 的结果

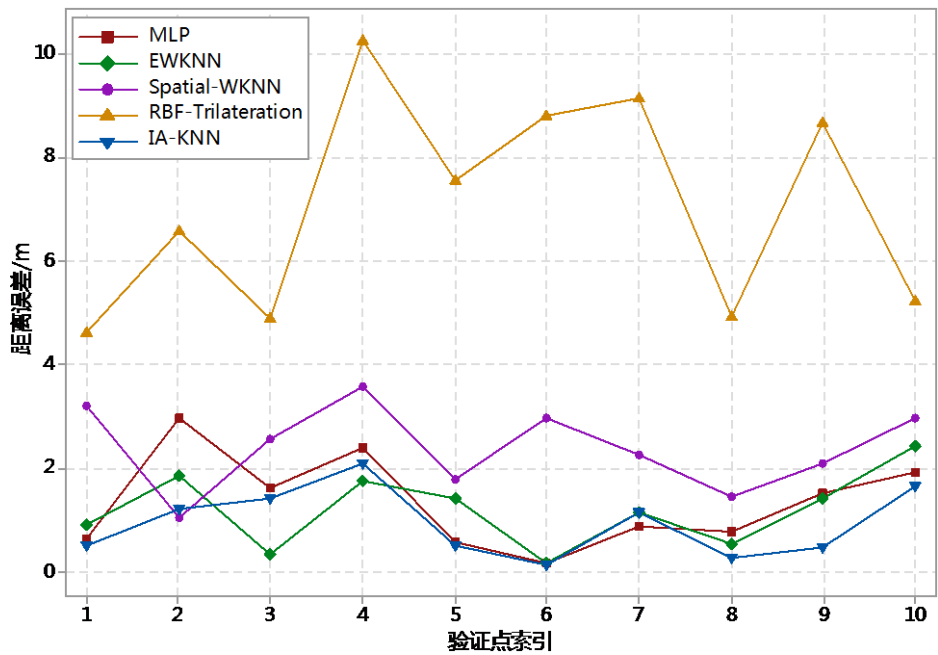


图 8 自测数据集 1 中验证点实际误差的折线图

图 8 为五种算法在室外测试的自测数据集 1 中验证点的实际误差折线图。可以看出，本文提出的算法在自测数据集 1 中大多数情况下位于所有折线的最低位，说明提出的算法在自测数据集 1 中具有较好的定位精度。

从表 2 可以看出，本文提出算法在自测数据集 1 中的平均误差为 0.93m，优于其他对比算法。且标准差和均方根误差均小于其他算法，说明提出算法的稳定性较高。

表 2 自测数据集 1 中不同算法定位误差的对比

算法	平均误差/m	标准差/m	均方根误差/m
EWKNN	1.19	0.69	1.88
Spatial-WKNN	2.37	0.77	2.50
RBF-Trilateration	7.06	1.98	7.33
MLP	2.36	1.16	2.57
IA-KNN	0.93	0.63	1.27

4.4.2 自测数据集 2 的结果

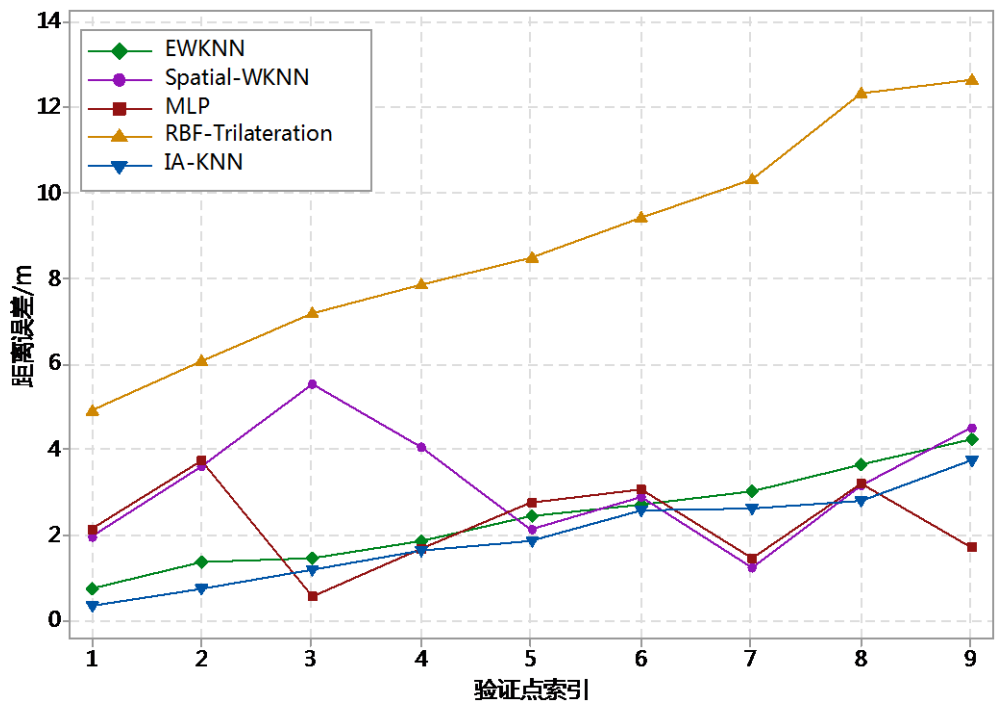


图 9 自测数据集 2 中验证点实际误差的折线图

图 9 显示了五种算法在自测数据集 2 中验证点实际误差的直接比较。可以看出，本文提出的算法在自测数据集 2 中在大多数情况下位于所有折线的最低位，具有较好的定位精度。

表 3 自测数据集 2 中不同算法定位误差的对比

算法	平均误差/m	标准差/m	均方根误差/m
EWKNN	2.41	0.99	2.61
Spatial-WKNN	3.23	1.27	3.47
RBF-Trilateration	7.08	2.44	8.56
MLP	2.38	0.96	2.57
IA-KNN	1.90	1.02	2.18

从表 3 可以看出，本文提出算法在自测数据集 2 中的平均误差为 1.90m，优于其他对比算法。且标准差和均方根误差均小于其他算法，说明提出算法在自测数据集 2 中的稳定性较

260 高。

5 结论

针对设备部署受限的场景, 本文对定位系统的设计和定位算法进行了研究, 在定位设备部署受限的环境中有效确保了定位的精度。首先, 本文提出了基于一个球形天线阵列的定位系统, 该阵列能够反映三维空间内的电磁波传输特性并能在部署受限的情况下收集较多的 Wi-Fi 数据。之后提出了一种结合球形天线阵列电磁波入射角度的指纹匹配算法, 进行实验验证证明了算法的定位精度较高且稳定性较好。然而在部署受限的场景中, 必须考虑定位环境的复杂性, 因此进一步研究复杂环境下的 Wi-Fi 定位算法是我们下一阶段的重点

[参考文献] (References)

- 270 [1] XUE W, HUA X, LI Q, et al. Improved Neighboring Reference Points Selection Method for Wi-Fi Based Indoor Localization [J]. IEEE Sensors Letters, 2018, 2(2): 1-4.
- [2] Jiang J R, Lin C M, Cheng K C, et al. Fingerprinting localisation with cruciate directional antennas for wireless sensor networks[J]. IJAHUC, 2014, 15(1/2/3): 161-170.
- 275 [3] Jie W, Minghua Z, Bo X. MAC-ILoc: Multiple Antennas Cooperation Based Indoor Localization Using Cylindrical Antenna Arrays[A]. International Conference on Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing[C]. Springer, Cham, 2017: 286-295.
- [4] BISWAS P, AGHAJAN H, YE Y. Integration of angle of arrival information for multimodal sensor network localization using semidefinite programming[A]. Proceedings of the 39th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers[C]. November, 2005.
- 280 [5] Rong P, Sichitiu M L. Angle of arrival localization for wireless sensor networks[A]. 2006 3rd annual IEEE communications society on sensor and ad hoc communications and networks[C]. Ieee, 2006, 1: 374-382.
- [6] Amar A, Leus G. A reference-free time difference of arrival source localization using a passive sensor array[A]. 2010 IEEE Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop[C]. IEEE, 2010: 157-160.
- 285 [7] Mariakakis A, Sen S, Lee J, et al. Single access point based indoor localization[A]. Proceedings of the 20th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys' 14)[C]. 315-328.
- [8] Dai H, Ying W, Xu J. Multi-layer neural network for received signal strength-based indoor localisation[J]. IET Communications, 2016, 10(6): 717-723.
- [9] Xue W, Hua X, Li Q, et al. A new weighted algorithm based on the uneven spatial resolution of RSSI for indoor localization[J]. IEEE Access, 2018, 6: 26588-26595.
- 290 [10] Zhang J, Han G, Sun N, et al. Path-loss-based fingerprint localization approach for location-based services in indoor environments[J]. IEEE Access, 2017, 5: 13756-13769.
- [11] Guzmán-Quirós Raúl, Martínez-Sala Alejandro, Gómez-Tornero José, et al. Integration of Directional Antennas in an RSS Fingerprinting-Based Indoor Localization System[J]. Sensors, 2015, 16(1):4-.
- 295 [12] Ramanathan R. On the performance of ad hoc networks with beamforming antennas[A]. Proceedings of the 2001 ACM Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc 2001)[C]. 2001.
- [13] Jiang J R, Lin C M, Cheng K C, et al. Fingerprinting localisation with cruciate directional antennas for wireless sensor networks[J]. IJAHUC, 2014, 15(1/2/3): 161-170.
- [14] Nagaraju S, Gudino L J, Kadam B V, et al. RSSI based indoor localization with interference avoidance for Wireless Sensor Networks using anchor node with sector antennas[A]. 2016 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)[C]. IEEE, 2016: 2233-2237.
- 300 [15] Sun W, Xue M, Yu H, et al. Augmentation of fingerprints for indoor WiFi localization based on Gaussian process regression[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2018, 67(11): 10896-10905.
- [16] Guzmán-Quirós R, Martínez-Sala A, Gómez-Tornero J L, et al. Integration of directional antennas in an RSS fingerprinting-based indoor localization system[J]. Sensors, 2016, 16(1): 4.
- 305