

题目： WiFi 指纹定位系统设计与开发

院 系 信息学院

专 业 计算机科学与技术

班 级 1521310082

学生姓名 何浩源

学 号 1521310082

导师姓名 唐恒亮

导师职称 副教授

2019 年 5 月 10 日

【摘要】

随着科技技术的发展，在室外环境当中，定位精度已经可以达到米级精度的定位。在当今以美国主导的全球定位系统（GPS）定位技术为主的今天，也同样有其他国家或组织所主导的卫星定位系统被投入使用和正在研究当中。例如中国的北斗卫星导航系统定位技术（BeiDou Navigation Satellite System, BDS）、俄罗斯格洛纳斯卫星导航系统（GLONASS）和欧洲伽利略卫星导航系统（Galileo satellite navigation system）。而近年来随着 IEEE 802.11 协议的不断完善，WiFi 定位技术因部署成本低、覆盖率高和可免费使用等多种因素，使其成为了室内定位技术的首选方案，以及室外定位技术的可选方案。正因为 WiFi 定位技术具有以上多种优点，WiFi 指纹定位系统可以作为全球定位系统（GPS）等卫星定位系统补充方案当中的首选方案。所以，WiFi 指纹定位系统设计与开发的设计与开发，具有很高的理论意义和现实意义。

另外，随着科学技术的发展，基于位置的服务（Location Based service, LBS）的需求和应用也越来越多。LBS 通常所指的是通过无线网络，例如电信运营商的手机信号基站，WiFi 网络和 GPS 定位系统，或者通过其他的定位方式，来获取移动终端的位置信息。然后，根据用户当前的位置，提供相关的 LBS 服务。因此，LBS 也常常被称为定位服务。虽然，LBS 最初是应用在军事和搜索领域。但是，随着科学技术的发展，尤其是 GPS 定位系统的小型化，LBS 技术也逐步被应用到了地理测绘、车辆导航等领域当中。尤其是随着智能手机的发展，现如今，在我们的生活当中，只需打开智能手机当中的地图应用，例如百度地图和高德地图等地图软件，我们就能够查询到我们当前位置周边的商场、美食、酒店、景点、公交地铁等信息了。因此，LBS 服务的广泛应用，即能够为使用者到达目标区域的导航服务，也为使用者在日常的生活、学习和工作当中，提供了极大的便利。

本文将主要完成基于 WiFi 指纹定位算法的研究，WiFi 热点信息的采集的开发，WiFi 指纹定位程序的服务器端的开发，WiFi 指纹定位客户端的开发和 WiFi 定位数据分析这五个部分。通过完成这五个部分，将可以实现从 WiFi 热点信息采集，到 WiFi 指纹定位和 WiFi 指纹定位的数据分析这整套 WiFi 指纹定位系统的流程。

关键词：Android 系统；WiFi 定位技术；GPS 定位技术；指纹定位；室内定位

备注：本文为预览版本，非最终发布在博客的版本。

【Abstract】

With the development of technology, in the outdoor environment, the positioning accuracy can reach the level of accuracy. Today, with the US-led Global Positioning System (GPS) positioning technology, satellite positioning systems led by other countries or organizations are also being put into use and under study. For example, China's BeiDou Navigation Satellite System (BDS), the Russian GLONASS navigation system (GLONASS) and the European Galileo satellite navigation system. In recent years, with the continuous improvement of the IEEE 802.11 protocol, WiFi positioning technology has become the preferred solution for indoor positioning technology and optional for outdoor positioning technology due to various factors such as low deployment cost, high coverage and free use. Program. Because WiFi positioning technology has many of the above advantages, the WiFi fingerprint positioning system can be used as the preferred solution among satellite positioning system supplements such as Global Positioning System (GPS). Therefore, the design and development of the design and development of WiFi fingerprint positioning system has high theoretical and practical significance.

In addition, with the development of science and technology, the demand and application of Location Based Service (LBS) are also increasing. The LBS usually refers to obtaining the location information of the mobile terminal through a wireless network, such as a mobile phone signal base station of a telecom operator, a WiFi network and a GPS positioning system, or by other positioning methods. Then, according to the current location of the user, the related LBS service is provided. Therefore, LBS is also often referred to as location service. Although, LBS was originally applied in the military and search fields. However, with the development of science and technology, especially the miniaturization of GPS positioning systems, LBS technology has gradually been applied to the fields of geographic mapping, vehicle navigation and so on. Especially with the development of smart phones, nowadays, in our life, we can query the information of shopping malls, food, hotels, scenic spots, bus and subway around our current location just by opening the map application of smart phones, such as Baidu Map and Gaode Map. Therefore, the wide application of the LBS service, that is, the navigation service that can reach the target area for the user, also provides great convenience for the user in daily life, study and work.

This paper will mainly complete the research based on WiFi fingerprint location algorithm, the development of WiFi hotspot information collection, the development of server side of WiFi fingerprint location program, the development of WiFi fingerprint location client and the analysis of WiFi location data. By completing these five parts, the flow of the entire WiFi fingerprint location system from WiFi hotspot information collection to WiFi fingerprint location and WiFi fingerprint location data analysis can be realized.

Key words: Android system; WiFi positioning technology; GPS positioning technology; Fingerprint positioning; Outdoor positioning

www.hehaoyuan.org

目录

1 绪论.....	1
1.1 研究背景及意义.....	1
1.2 国内外研究现状.....	2
1.2.1 国外研究现状.....	2
1.2.2 国内研究现状.....	2
1.3 本文的研究内容.....	3
1.4 论文结构.....	3
2 相关技术简介.....	4
2.1 定位相关技术.....	4
2.1.1 WiFi 定位技术.....	4
2.1.2 GPS 定位技术.....	8
2.2 开发相关技术.....	9
2.2.1 Windows.....	9
2.2.2 Linux.....	9
2.2.3 Android.....	10
2.2.4 PHP.....	10
2.2.5 MySQL.....	10
2.3 本章小结.....	11
3 WiFi 指纹定位系统的设计.....	11
3.1 WiFi 热点信息采集设备.....	11
3.1.1 设备简介.....	11
3.1.2 设备选型.....	11
3.2 程序开发语言和程序开发环境.....	13
3.2.1 客户端程序开发语言.....	14
3.2.2 服务器端程序开发语言.....	14
3.2.3 WiFi 指纹定位程序客户端开发环境.....	14
3.2.4 WiFi 指纹定位程序服务器端开发环境.....	14
3.3 系统总体结构设计.....	14
3.4 核心功能设计.....	15
3.4.1 WiFi 指纹信息采集设计.....	15

3.4.2 WiFi 指纹定位服务器端设计	16
3.4.3 WiFi 指纹定位客户端设计	18
3.5 本章小结	20
4 WiFi 指纹定位系统的实现	20
4.1 WiFi 热点信息采集客户端实现	20
4.1.1 程序说明	20
4.1.2 程序实现情况明	21
4.2 WiFi 指纹定位服务器端实现	21
4.2.1 程序说明	21
4.2.2 程序计算过程	23
4.2.3 程序实现情况明	25
4.3 WiFi 指纹定位客户端实现	26
4.3.1 程序说明	26
4.3.2 程序实现情况说明	26
4.4 WiFi 指纹定位结果的分析 and 对比	27
4.4.1 WiFi 指纹定位结果的分析	27
4.4.2 WiFi 指纹定位精度与 GPS 定位精度的对比	27
4.5 本章小结	28
5 结论	28
5.1 工作总结	29
5.2 展望	29
参考文献	30
致谢	32

1 绪论

本章将主要介绍 WiFi 指纹定位技术的研究现状和应用现状，并将会总结国内外的研究现状。并且，本段将会对本论文的论文结构，进行大致的概述。

1.1 研究背景及意义

随着科技技术的发展，在室外环境当中，定位精度已经可以达到米级精度的定位。在当今以美国主导的全球定位系统（GPS）定位技术为主的今天，也同样有其他国家或组织所主导的卫星定位系统被投入使用和正在研究当中。例如中国的北斗卫星导航系统定位技术（BeiDou Navigation Satellite System, BDS）、俄罗斯格洛纳斯卫星导航系统（GLONASS）和欧洲伽利略卫星导航系统（Galileo satellite navigation system）。而近年来随着 IEEE 802.11 协议的不断完善，WiFi 定位技术因部署成本低、覆盖率高和可免费使用等多种因素，使其成为了室内定位技术的首选方案，以及室外定位技术的可选方案^[1]。正因为 WiFi 定位技术具有以上多种优点，WiFi 指纹定位系统可以作为全球定位系统（GPS）等卫星定位系统补充方案当中的首选方案。所以，WiFi 指纹定位系统设计与开发的设计与开发，具有很高的理论意义和现实意义。

另外，随着科学技术的发展，基于位置的服务（Location Based service, LBS）的需求和应用也越来越多。LBS 通常所指的是通过无线网络，例如电信运营商的手机信号基站，WiFi 网络和 GPS 定位系统，或者通过其他的定位方式，来获取移动终端的位置信息。然后，根据用户当前的位置，提供相关的 LBS 服务。因此，LBS 也常常被称为定位服务。虽然，LBS 最初是应用在军事和搜索领域。但是，随着科学技术的发展，尤其是 GPS 定位系统的小型化，LBS 技术也逐步被应用到了地理测绘、车辆导航等领域当中。尤其是随着智能手机的发展，现如今，在我们的生活当中，只需打开智能手机当中的地图应用，例如百度地图和高德地图等地图软件，我们就能够查询到我们当前位置周边的商场、美食、酒店、景点、公交地铁等信息了。因此，LBS 服务的广泛应用，即能够为使用者到达目标区域的导航服务，也为使用者在日常的生活、学习和工作当中，提供了极大的便利。近几年来，人们对于 LBS 服务的需求越来越高，已经不仅仅满足于在室外环境当中使用 LBS 服务。例如：

（1）室内的定位导航服务

在室内停车场快速地寻找空闲的停车位，在大型商场指引用户到其想要去的门店，在机场候机厅指引用户快速登机 etc 应用前景。

（2）公共安全服务

在遇到火灾、地震等突发险情时，室内定位可以帮助救援人员在最短的时间内找到被困的具体位置，大型商场预防儿童走失等应用前景。

（3）社交服务及广告推广服务

用户可以根据位置信息与特定的人进行交友，商店可以根据位置信息向附近的用户推送商品的广告等应用前景。

因此，对于研究室内环境当中的 LBS 服务所需的技术和开发在室内环境当中的 LBS 服务，与研究室外环境当中的 LBS 服务相比，室内的 LBS 服务和室外的 LBS 服务，两者都同样拥有着广阔的研究的前景和应用的场景。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国外研究现状

WiFi 技术是由澳洲政府研究机构 CSIRO 在 20 世纪 90 年代发明的。美国于 1996 年成功申请了无线网技术专利。在 1999 年，IEEE 协会在定义 IEEE 802.11 无线网络通信标准的时候，IEEE 协会选择将 CSIRO 所发明的无线网络技术，作为 IEEE 802.11 无线网络通信标准的核心技术标准。随后世界各地高校以及研究人员对 WiFi 定位技术进行了深入的研究。例如，加州大学洛杉矶分校、匹兹堡大学和赫尔辛基大学等大学，IBM、Intel 等公司的研究机构，都对该技术的相关领域，例如定位技术，进行了大量的研究。随后，又有大量的大学和研究机构，在之前的大学和研究机构的研究基础上，又对 WiFi 定位技术的相关算法进行了改进和提高。例如，赫尔辛基大学研究的 Ekahau 系统。Ekahau 系统采用了指纹匹配法进行定位^[2]。因此，随着大量的大学和研究机构对于 WiFi 定位算法研究的深入，WiFi 定位算法的精度得到了进一步的提高。

1.2.2 国内研究现状

虽然国内对于 WiFi 定位技术的研究起步比较晚，但其发展趋势却是非常的迅速，在 WiFi 定位技术相关的领域也取得了重大的突破和成就。例如，北京邮电大学提出的 WiFi 定位系统、北京航空航天大学提出的 Weyes 系统以及香港科技大学研发的定位系统等都对定位精度有很大的提高。其中，北京航空航天大学研究的 Weyes 系统，该系统的原理是提前对采集的信号强度 RSSI 进行相关的处理，并获得各信号强度 RSSI 之间的差值，然后将其保存，构成信号分布图。其突出的特色是消除了移动终端设备本身对信号强度 RSSI 造成的影响。复旦大学提出了基于区域划分的距离损耗模型，该模型对定位精度有一定的提高。华东师范大学提出了基于信号强度 RSSI 经验值与估计融合的无线定位技术，该技术的定位误差在 3 米（m）左右^[2]。

在国内的商用领域，例如百度地图，高德地图等一些软件厂商，已经将 WiFi 定位技术投入到了相关产品的使用当中。并且，也提供了相应的 API（Application Programming Interface，应用程序编程接口），供开发者接入相关的平台使用其 WiFi 定位等功能。

1.3 本文的研究内容

在室外情况下，GPS 定位目前所存在的定位速度慢，无法在室内定位和在树木高大或茂密的区域，高架桥梁下方和高楼密集的区域定位精度差等问题^[3]。针对以上三类问题，本文将主要探讨 WiFi 指纹定位系统的算法与实现。因此，为了解决以上 GPS 定位当中所存在的三类主要问题，本文的主要研究内容如下：

（1）在 Android 系统的手机上，实现 WiFi 热点信息采集、GPS 定位信息采集和 WiFi 定位信息查询等功能。

通过编写相应的程序，读取手机的 WiFi 传感器信息和 GPS 传感器的经纬度坐标等信息，并对所扫描到的 WiFi 热点信息和 GPS 信息，存入到 Android 自带的 SQLite 数据库当中。当采集完成后，再批量以 JSON 格式的数据，上传所采集到的数据到服务器端。

（2）在服务器端，实现基于 PHP 和 MySQL 的 WiFi 热点信息的存储、处理和查询等功能。

通过读取手机所上传的 JSON 信息，并对上传的 JSON 信息存储后进行相应处理。当客户端提供所扫描到的 WiFi 热点信息和 GPS 经纬度等信息后，服务器端将返回经纬度坐标等信息，并存储客户端所上传到服务器的数据到数据库当中。

（3）实现基于 PHP 和 MySQL 的 WiFi 定位信息的综合分析和统计等数据分析和数据查询的功能，并提供数据信息展示的功能。

对于客户端每次所提交的查询数据，能够自动的数据存储到相应的数据库当中。并且，当网页查询相关信息的时候，能够自动生成并显示每次查询所对应的热力图等信息。

1.4 论文结构

本文共分为 5 个章节，各章节的顺序和内容如下：

第一章为绪论。本章将主要介绍 WiFi 指纹定位所需的相关技术，并对国外的研究现状和国内的研究现状进行总结。最后，将会对本文研究的主要内容进行简要的介绍。

第二章为 WiFi 指纹定位所需的相关技术的简介。本章将主要介绍 WiFi 指纹定位技术程序的编写和实现的过程当中，所涉及到的相关技术，并对相应的技术，进行详细的介绍。最后，将会对本文所使用的 WiFi 指纹定位算法，进行详细的介绍。

第三章为 WiFi 指纹定位系统的设计。本章将主要介绍在 WiFi 指纹定位系统当中，所使用到的设备，开发语言和开发环境。并对 WiFi 指纹信息采集的设计，WiFi 指纹定位服务器端的设计和 WiFi 指纹定位客户端的设计进行详细的介绍。

第四章为 WiFi 指纹定位系统的实现。本章将主要对 WiFi 指纹定位系统当中的 WiFi 热点信息采集客户端的实现过程，WiFi 指纹定位服务器端实现过程和 WiFi 指纹定位客户端的实现过程进行详细的介绍。然后，将会 WiFi 指纹定位的效果，进行详细的分析。

第五章为结论与展望。本章将主要对我在 WiFi 指纹定位系统设计与开发的这个项目当中的工作，进行详细的总结。并且，将会对 WiFi 指纹定位的未来，进行一定的展望。

2 相关技术简介

本章将主要针对 WiFi 定位技术所使用到的技术进行详细的介绍。并且，将会对开发所需的相关技术，进行简要的介绍。在本章的最后，将会对本文的开发环境进行介绍。

2.1 定位相关技术

2.1.1 WiFi 定位技术

2.1.1.1 简介

WiFi 是一种使用 IEEE 802.11 系列协议的，允许具有 WiFi 功能的电子设备连接到一个无线局域网（WLAN）的技术^[4]。WiFi 所使用的无线频段通常为为 2.4GHz 的 UHF 无线频段和 5GHz 的 SHF 无线频段当中的 ISM 无线频段。

WiFi 定位技术与 GPS 定位技术相比，主要解决的问题是 GPS 在室内无法使用的这种情况^[5]。在一般的情况下，由于信号强度等很多的原因，导致 GPS 在室内无法正常工作^[6]。因此，在室内定位技术当中，由于 WiFi 覆盖范围广，精度高，无需添加额外设备等优点^[7]，已经成为了近几年国内外学者的研究的热点方向^[8]。因此，对于 WiFi 定位技术，具有很高的前景^[9]。

WiFi 定位技术主要基于以下两大类技术：几何模型法和位置指纹定位法^[10]。

2.1.1.2 几何模型法

几何模型法又分为基于到达时间（Time of Arrival, TOA）、基于到达时间差（Time Difference of Arrival, TDOA）、基于到达角度差（Angle of Arrival, AOA）和传播损耗模型法（别名：基于 RSSI 定位方法）。

（1）基于到达时间（Time of Arrival, TOA）

TOA 的原理是通过无线信号的传播时间计算发射端与接收端之间的距离实现定位的。因无线信号传播速度极快，发射端和接收端的时钟必须严格同步，才能准确计算发射端与接收端之间的距离。该方法还需预先知道发射端的位置信息。

(2) 基于到达时间差 (Time Difference of Arrival, TDOA)

与 TOA 测量绝对时间差不同的是，TDOA 通过测量移动终端信号到达两个基站的时间差来进行定位。该方法通过计算两条双曲线的焦点来确定移动终端的位置信息，降低了对时钟同步的要求，但是需要额外的设备投入。

(3) 基于到达角度差 (Angle of Arrival, AOA)

AOA 的原理是通过移动终端接收到的发送端的信号传播角度来实现定位的。该方法同样需要知道发射端的位置信息，及两个基站到达移动终端的角度，利用三角形全等的原理，即可得到位置信息。该方法要求信号沿直线传播，不适用于室内建筑物多的环境，另外需要基站具有测量角度的功能，额外的增加了设备的投入。

(4) 传播损耗模型法 (别名：基于 RSSI 定位方法)

传播损耗模型法是通过建立无线信号的传播损耗模型，来计算接收机与发射机之间的距离；如果预先知道发射机的位置，并计算出多个发射机与同一接收机之间的距离，就可以通过三角定位法，来确定接收机的位置信息^[9]。

2.1.1.3 位置指纹定位法

WiFi 定位算法当中的位置指纹定位法的思路来自于模式识别。目前基于几何模型的 WiFi 定位算法，由于在无线通信技术当中，普遍存在着影响传播的三种最基本的传播机制，反射、绕射和散射这三大机制所造成的问题。且由于目前大部分 WiFi 运行在 2.4GHz 频段下，在实际的使用场景当中，2.4GHz 频段存在着很大的干扰。因此，由于以上几条原因，大部分的几何模型法，目前都停留于实验室阶段。在实际的研究过程当中，和实际的生产和生活当中，以 WiFi 定位算法当中的位置指纹定位法为主^[1]。例如，百度地图和高德地图，均采用了基于 WiFi 指纹定位算法的衍生算法。百度地图在基于 WiFi 指纹定位算法的基础上，又采用了局部模型和指纹法的结合算法，位置回归分析法和地磁定位法这三大类 WiFi 指纹定位算法的衍生算法，实现的 WiFi 定位算法。

2.1.1.4 本文所使用的 WiFi 指纹定位算法

在综合多方面考虑后，本项目最终决定实现的是 WiFi 指纹定位算法，并主要应用于室外定位环境当中。其中，主要有以下几个原因：

(1) WiFi 指纹定位算法在室外环境当中的研究较少。

在通过使用知网等工具查阅了相关的资料后，发现在科学研究领域，WiFi 指纹定位算法在室外环境当中的论文的数量和研究成果的数量，与 WiFi 指纹定位算法在室内环境当中

的论文的数量和研究成果的数量相对较少。虽然，WiFi 指纹定位算法主要由于其单次数据查询量大等缺点所造成的原因，未能在科研领域得到广泛的研究。但是，在商业领域，已经有大量的公司采用此算法，作为 WiFi 定位的基础算法，并进行了相应的改良^[11]。例如，通过查阅相关的资料，可以得知，百度地图和高德地图的室内定位算法，均采用了 WiFi 指纹定位技术的改进算法。但在室外 WiFi 定位当中，暂时未查到相关的定位技术和算法的相关资料。因此，经过我的合理推测，推测百度地图和高德地图在室外 WiFi 定位算法当中，很有可能也使用的是基于 WiFi 指纹定位算法的改进算法。并且，考虑到摩尔定律等因素的影响，计算机和手持设备，例如手机的计算能力，在未来的一段时间内，依然会有很明显的提升。所以，在目前看来，WiFi 指纹定位算法在室外环境当中的应用，有着很广阔的应用场景。

(2) 数据采集方便，且贴合实际生活。

在室外环境当中，通过 GPS 定位系统可以解决大部分的问题。但是，虽然经历了很多年的改善，GPS 定位系统首次定位慢的问题已经有了很大的改善，但现在依然存在着这类问题。并且，在高架桥下和城市高楼数量较多的区域，定位精度较差。这是由于在无线通信技术当中，普遍存在着影响传播的三种最基本的传播机制，反射、绕射和散射这三大机制所造成问题，导致 GPS 定位存在着漂移的问题。在隧道等相对密闭的区域，也会出现信号差，定位精度较低和无法定位等问题。而且，由于国际政治因素，虽然我国的北斗导航系统正在逐步的建设当中，在将来将会覆盖全球。但是，目前在室外定位领域，GPS 定位系统仍然是市场上定位设备的首选方案。

因此，综合以上几条原因，可以看出位置指纹定位法在室外环境当中，具有较为广阔的研究意义。

(3) 本文所使用的 WiFi 指纹定位算法的介绍。

WiFi 的信号分布，存在着一定的规律性。当 WiFi 热点信息采集完成之后，当需要通过 WiFi 热点进行 WiFi 指纹定位的时候，通过使用以下公式，可以得到信号相似度最高的一个点。其中，公式的定义如下：

首先，对于 WiFi 热点信息当中的 RSSI 信号强度的定义如下：

RSSI 代表在已经采集并整理好的 WiFi 热点信息数据库当中，某个 WiFi 热点信息的 RSSI 信号强度的大小。

rss_i 代表待测信号强度当中，某个 WiFi 热点信息当中的信号强度的大小。

i 代表 WiFi 热点信息的编号。

其次，对于 WiFi 热点信息当中的 RSSI 信号强度的集合的定义如下：

$$RSSI_i = (RSSI_1, RSSI_2, \dots, RSSI_n) \quad (1)$$

$RSSI_i$ 代表已经采集并整理好的 WiFi 热点信息数据库当中的 RSSI 信号强度的集合。

$$rssi_i = (rssi_1, rssi_2, \dots, rssi_n) \quad (2)$$

$rssi_i$ 代表 WiFi 定位设备采集到的 WiFi 热点信息当中的 RSSI 信号强度的集合。

并且,对于 $RSSI_i$ 和 $rssi_i$ 来说,定义当 $RSSI_i$ 和 $rssi_i$ 的编号 i 的数值大小相同的时候,其 WiFi 热点信息的 BSSID 和 SSID 相同。即当 i 的数值大小相同时,认为两个 RSSI 信号强度所反映的 WiFi 热点信息,是同一个 WiFi 热点。

最后,对于根据 WiFi 定位设备采集到的 WiFi 热点信息的 RSSI 的信号强度大小定位时,其计算公式如下:

$$RSSI_n = \sum_{i=1}^n (100 - |RSSI_i - rssi_i|) \quad (3)$$

其中, n 代表在某个以 1m 为间隔的墨卡托坐标系的经纬度坐标当中,总共有 n 个 WiFi 热点信息当中的 BSSID 和 SSID 相同,且共同在某个以 1m 为间隔的区域内。即认为采集到的 WiFi 热点信息当中,有 n 个 WiFi 热点与数据库当中的 WiFi 热点相同,且共同在某个以 1m 为间隔的区域内。

对于数据库当中的同一个区域范围内,存在多个相同的 BSSID 和 SSID 的 WiFi 的热点信息,即同一个 WiFi 热点信息的多条数据的情况下,在处理 RSSI 信号强度的过程当中,先计算 RSSI 信号强度的平均值,最后,再带入公式进行计算。计算公式如下:

$$RSSI_i = \frac{\sum_{j=1}^n RSSI_j}{n} \quad (4)$$

其中, j 代表 BSSID 和 SSID 相同的 WiFi 热点信息的编号,即 j 代表相同的 WiFi 热点。 n 代表总计有 n 个 BSSID 和 SSID 相同的 WiFi 热点信息的编号的数据。 $RSSI_i$ 则代表经过计算 n 个 BSSID 和 SSID 相同的 WiFi 热点信息的 RSSI 信号强度的平均值的数值大小。

$RSSI_n$ 为 WiFi 热点信息数据库当中的 WiFi 热点信息和 WiFi 定位设备采集到的 WiFi 热点信息当中,在某个以 1m 为间隔的区域内, n 个相同的 BSSID 和 SSID 的 WiFi 热点信息当中的 RSSI 信号强度的大小的差值之和。即在某个以 1m 为间隔的区域内, $RSSI_n$ 代表 n 个相同的 WiFi 热点信息的 RSSI 信号强度的差值之和。

在计算差值之和的过程当中,需要用 100 减去 WiFi 热点信息数据库和 WiFi 定位设备采集到的相同 BSSID 和 SSID 的 RSSI 信号强度之差。因为,当 RSSI 与 $rssi$ 相同时,相减的差值为 0。当差值为 0 时,对于观察总体的 RSSI 信号强度的差值数据来说,会变得非常难以观察和计算。所以,需要用 100 减去 RSSI 与 $rssi$ 的差值大小。当 100 减去 RSSI 与 $rssi$ 的差值大小后,可以更明显的看出当前 WiFi 热点采集设备采集到的热点信息与 WiFi 热点信息数据当中 RSSI 的差值大小。

在计算 n 个区域的 RSSI 信号强度差值之和之后,可以得到如下集合:

$$RSSI' = (RSSI'_1, RSSI'_2, \dots, RSSI'_n) \quad (5)$$

最后得到了 n 个区域的 RSSI 信号强度差值之和的集合。其中，为了避免与 WiFi 热点数据库当中的 RSSI 信号强度的数学符号相同，将上一步当中获得的 $RSSI_n$ ，记为 $RSSI'_n$ ，集合则记为 $RSSI'$ 。

为了获得定位坐标，最后，需要选取 $RSSI'$ 集合当中，权重最大的那个区域。计算过程如下：

$$RSSI'_{\max} = \max(RSSI') \quad (6)$$

其中，函数 $\max()$ 表示取集合当中元素的最大值。在上式当中，取 $RSSI'$ 的元素当中的最大值，并记为 $RSSI'_{\max}$ 。

最后，根据 $RSSI'_{\max}$ 所表示的墨卡托坐标系的经纬度，可以得出经纬度的坐标值。由此，最终可以根据 WiFi 热点数据库的 WiFi 热点信息和 WiFi 采集设备采集到的 WiFi 热点信息，最终可以推出 WiFi 采集设备的经纬度。

2.1.2 GPS 定位技术

GPS 是英文 Global Positioning System（全球定位系统）的简称。GPS 起始于 1958 年美国军方的一个项目。在 1964 年，美国军方的这个项目投入了使用。在 20 世纪 70 年代，美国陆海空三军联合研制了新一代卫星定位系统 GPS。在 GPS 卫星定位系统投入使用的最初阶段，GPS 卫星定位系统主要为陆海空三军提供全天候和全球性的导航服务等一些军事用途的服务。因此，GPS 卫星定位系统在建设的初期，其主要用途为军事用途。在 20 世纪 70 年代之后，GPS 卫星定位系统，又经历了 20 多年的研究和实验，耗资 300 亿美元。最终，截止到 1994 年，GPS 卫星定位系统的 24 颗卫星星座已经布设完成。并且，其全球覆盖率达 98%。

GPS 卫星定位系统的基本原理是测量已知的 GPS 卫星到用户的 GPS 接收机之间的距离，并在结合了多颗 GPS 卫星所发射的信号数据之后，通过相应的计算公式的计算，就可以得到当前用户 GPS 接收机的具体位置。GPS 卫星定位系统在定位的过程当中所使用的伪随机码，分为民用的 C/A 码和军用的 P (Y) 码。C/A 码的频率为 1.023MHz，重复周期为一毫秒，码间距为 1 微秒，相当于 300m；P 码的频率为 10.23MHz，重复周期为 266.4 天，码间距为 0.1 微秒，相当于 30m。而军用的 Y 码是在 P 码的基础上形成的，保密性能更佳。因此，虽然的民用的 C/A 码和军用 P (Y) 码的发射信号都来自相同的 GPS 卫星。但是，他们的定位精度却大不相同。另外，GPS 卫星定位系统的导航电文当中，包括卫星星历、工作状态、时钟改正、电离层时延修正、大气折射修正等信息。这些信息是从 GPS 卫星所发射的卫星信号当中解调制出来的。其中，GPS 卫星是以 50b/s 调制在载频上发射这些信息的。当用户接收到 GPS 卫星所发射的导航电文的时候，从导航电文当中，提取出卫星时间，并将卫星

时间与自己的时间做一下对比,就可以得知 GPS 卫星和当前用户的 GPS 接收机之间的距离。然后,再利用导航电文当中的卫星星历数据,推算出卫星发射导航电文时所处的位置,用户的 GPS 接收机就可计算出当前的 WGS-84 大地坐标系当中的经度、纬度、高度和速度等信息。

28 颗 GPS 卫星(其中 4 颗 GPS 卫星为备用卫星)早已升空,分布在 6 条交点互隔 60 度的轨道面上。GPS 卫星所在的运行轨道,距离地面大约为 20000 千米(km)。对于 GPS 卫星定位系统的精度方面,已经实现单机导航定位的精度约为 10m 左右。综合定位的话,精度可达厘米(cm)级和毫米(mm)级。但是,目前 GPS 卫星定位系统的民用领域所开放的定位精度约为 10m 左右。

2.1.2.1 GPS 定位的优点

- (1) 全球全天候定位
- (2) 定位精度高
- (3) 观测时间短
- (4) 测站间无需通视
- (5) 仪器操作简便
- (6) 可提供全球统一的三维地心坐标
- (7) 应用广泛

2.1.2.2 GPS 定位的缺点

- (1) GPS 定位设备受天气因素的影响较大。
- (2) GPS 定位设备受定位设备的位置影响较大^[12]。
- (3) GPS 定位设备有可能会受到国际政治因素的影响,从而导致 GPS 定位设备无法正常使用^[13]。

2.2 开发相关技术

2.2.1 Windows

Microsoft Windows 操作系统是由美国微软公司所研发的一套操作系统。最初版本的 Windows 操作系统在 1985 年发布。最初版本的 Windows 操作系统,仅仅是 Microsoft-DOS 的模拟环境。但是,Windows 操作系统在后续版本的不断的升级过程当中,变得比最初版本的 Microsoft-DOS 系统和 Windows 操作系统更加易于操作和使用。最终使得 Windows 操作系统成为了人们最喜爱的操作系统之一。

2.2.2 Linux

Linux 操作系统是一套免费的和自由传播的类 Unix 操作系统。最初版本的 Linux 操作系统由林纳斯·本纳第克特·托瓦兹（Linus Benedict Torvalds）编写，并在 1991 年 10 月 5 日正式向外公布的。Linux 操作系统是基于可移植操作系统接口（POSIX）和 UNIX 操作系统的多用户、多任务、支持多线程和多 CPU 的操作系统。Linux 操作系统支持 32 位和 64 位硬件。Linux 操作系统能够运行主要的 UNIX 工具软件、应用程序和网络协议。并且，Linux 操作系统继承了 Unix 以网络为核心的设计思想。因此，Linux 操作系统是一个性能稳定的多用户网络操作系统。

2.2.3 Android

Android 操作系统是基于 Linux 操作系统的开放源代码的操作系统，由 Google（谷歌）公司和开放手机联盟领导及开发^[14]。最初是由安迪·鲁宾（Andy Rubin）所创建的 Android 公司所研发。在 2005 年 8 月 17 日，谷歌（Google）公司收购了 Android 公司。在 2007 年 11 月 5 日，谷歌正式向外界展示了 Android 操作系统。并且，在这一天，谷歌公司以 Apache 开源协议发布了 Android 操作系统。Android 操作系统主要面向移动设备所开发，例如智能手机、平板电脑。但是，Android 操作系统也在机顶盒、快递柜和工业控制等方面，有一定的应用。

2.2.4 PHP

PHP（英文名：PHP: Hypertext Preprocessor，中文名：“超文本预处理器”）是一种通用的和开源的脚本语言。PHP 语言的语法吸收了 C 语言、Java 语言和 Perl 语言的特点。因此，PHP 语言比较容易学习。并且，在实际的生活和生产的过程当中，使用的十分广泛。其中，PHP 语言主要应用于 Web 开发领域。PHP 语言融合了 C 语言、Java 语言和 Perl 语言的语法。并且，虽然 PHP 语言融合了 C 语言、Java 语言和 Perl 语言的语法。但是，PHP 语言也自创了一部分的 PHP 语言的语法。PHP 语言与通用网关接口（CGI）或者 Perl 语言相比，可以更快速地执行动态网页。用 PHP 语言编写出来的动态页面与其他的编程语言所编写的动态页面相比，PHP 语言是将程序嵌入到了超文本标记语言（HTML）的文件中去执行，执行效率比完全生成 HTML 标记的 CGI 要高许多。另外，PHP 语言还支持执行编译后的代码，编译后的代码，可以做到优化代码和加密的功能。因此，也使得 PHP 语言所编写的代码运行的更快。

PHP 原始的缩写为 Personal Home Page。但是，现在 PHP 已经正式更名为“PHP: Hypertext Preprocessor”。对于类似“PHP: Hypertext Preprocessor”这种将名称放到定义中的写法，被称作递归缩写。

2.2.5 MySQL

MySQL 数据库是一个关系型数据库管理系统，MySQL 数据库最初是由瑞典 MySQL AB 公司开发。但是，MySQL AB 公司之后被 SUN 公司收购。SUN 公司后来又被甲骨文（Oracle）公司收购。因此，目前 MySQL 数据库属于甲骨文公司旗下的产品。MySQL 数据库是目前最流行的关系型数据库管理系统之一。在 WEB 应用方面，MySQL 是最好的关系数据库管理系统（Relational Database Management System, RDBMS）应用软件。

2.3 本章小结

本章主要通过简要的介绍介绍了 WiFi 定位技术和 GPS 定位技术的简介和发展历史，为第 3 章的 WiFi 定位技术的详细介绍，做了简要的介绍和铺垫。在介绍完 WiFi 定位技术和 GPS 定位技术之后，又介绍了本文所需的应用，在开发的过程中，所使用到了的相关技术。在介绍开发相关的技术的同时，也为第 4 章 WiFi 指纹定位程序的客户端和 WiFi 指纹定位程序的服务器端的详细开发流程，做了简要的介绍和铺垫。

3 WiFi 指纹定位系统的设计

本章内容将主要围绕着 WiFi 指纹定位系统的设计展开。WiFi 指纹定位系统的整体设计目标为：从 WiFi 热点信息的采集，到 WiFi 热点信息的处理，再到最终的 WiFi 指纹定位技术的实现和与 GPS 定位精度的对比和统计功能。3.1 节将主要介绍 WiFi 指纹信息采集设备的简介和设备的选型。3.2 节将主要介绍 WiFi 指纹定位程序的开发程序。3.3 节将主要介绍 WiFi 指纹定位的系统总体结构设计。3.4 节将主要介绍 WiFi 指纹定位的采集客户端，服务器端和定位客户端这三个部分。3.5 节将对本章的内容进行总结和回顾。

3.1 WiFi 热点信息采集设备

3.1.1 设备简介

WiFi 热点信息采集设备采用了 Android 操作系统的手机，作为 WiFi 热点信息采集的设备。Android 操作系统的手机，普遍具有 GPS 定位功能和 WiFi 功能，并且，设备的价格适中，开发难度较低。并且，在论文选题时，符合初期设计需要达到的实现 WiFi 热点信息的采集功能和实现根据 WiFi 热点信息的设备终端的定位功能的基本目标

3.1.2 设备选型

首先，WiFi 热点信息的采集设备，应该具有以下特性：

- （1）采集设备应具有便携性。

(2) 采集设备应具有 WiFi 功能。

(3) 采集设备应具有 GPS 功能。

(4) 采集设备应能够实现与数据采集和处理服务器的实时通信的能力，或能够在本地存储 WiFi 热点的数据信息。

因此，经过查阅资料，初期选定的，具有以上特性的，可以用于 WiFi 数据采集的设备有单片机、GSM 模块和 ESP8266 模块的组合，树莓派 3B+，Android 系统的手机，ARM 系列处理器的开发板和笔记本电脑这五类设备，作为 WiFi 信息的采集设备。

单片机、GSM 模块和 ESP8266 模块的组合，树莓派 3B+，Android 系统的手机，Android 系统的开发板和笔记本电脑的基本信息如下表（见表 3-1）：

表 3-1 WiFi 热点信息采集设备的对比

设备名称	可用的开发语言	WiFi 功能	GPS 功能	数据存储功能	网络通信功能	设备价格	编程开发难度	编程开发时长
单片机	C 和 C++等语言。	大部分不具有	大部分不具有	是	大部分不具有	低	高	很长
树莓派 3B+	C、C++、Python 和 Shell 等语言。	是	需要加装 GPS 模块	是	是	较低	中	中等
Android 系统的手机	Java 语言。	是	是	是	是	设备价格不等	较容易	较长
ARM 系列处理器	C, C++和 Python 等语言 (Linux 系统)。Java 语言 (Android 系统)。	是	否	是	是	较高	较容易	较长

表 3-1 WiFi 热点信息采集设备的对比（续）

笔记本电 脑	C, C++, Java, Python 等 语言。	是	否	是	是	设备价 格不等	中等	较长
-----------	-------------------------------------	---	---	---	---	------------	----	----

通过查阅上述资料，并综合考虑，我最终决定是用使用 Android 系统的手机作为 WiFi 信息的采集设备。主要原因有以下几点：

3.1.2.1 优点

(1) 价格适中，且几乎每个人都拥有一台智能手机。

2017 年，智能手机的市场占有率为 99.9%。Android 系统的设备的市场占有率为 85.9%，iOS 系统的设备的市场占有率为 14.0%，其他智能手机系统的市场占有率为 0.1%。

(2) 与其他 WiFi 热点信息采集设备的价格相比，具有一定的性价比。

Android 系统手机的价格，从几百元到几千元不等。与其他 WiFi 热点信息采集的设备的价格对比，是十分具有性价比的。

(3) 程序的通用性较强。

Android 由于其跨越了多个平台，从智能手机，到例如电视机顶盒，电脑，开发板，树莓派和快递柜等设备，所编写的程序拥有“一次编写，多平台通用。”的特性。

3.1.2.2 缺点

(1) Android 系统碎片化严重。

由于 Android 是开源的系统，因此，手机厂商在适配 Android 系统的时候，会对 Android 系统进行大量的修改，以便符合厂商对于自身手机系统的功能和界面上的要求。但是，在 Android 系统开源所带给手机厂商可以修改几乎系统所有的功能和界面的同时，也带来了 Android 系统的碎片化。由于很多厂商对于系统的底层进行了修改，因此，可能开发者编写的程序，在某些型号或某些厂商的手机上运行。但是，却无法在其他的 Android 系统的某些手机或某些厂商的平台上运行。2017 年，智能手机的市场占有率为 99.9%。Android 系统的设备的市场占有率为 85.9%，iOS 系统的设备的市场占有率为 14.0%，其他智能手机系统的市场占有率为 0.1%。

(2) Android 系统程序开发所需的时间较长。

由于 Android 系统，对于没有编写过 Android 系统的程序的人来说，具有一定的难度，需要一定的熟悉时间。因此，对于没有编写过 Android 系统的应用的人来说，Android 系统的程序开发所需的时长较长。

3.2 程序开发语言和程序开发环境

3.2.1 客户端程序开发语言

与 3.1 节当中，WiFi 热点信息采集设备选择使用 Android 系统的设备的原因相同，WiFi 指纹定位程序的客户端也需要具有以上几个特点。因此，由于 WiFi 热点采集程序和 WiFi 指纹定位程序的大部分代码可以重用。所以，WiFi 热点信息采集客户端和 WiFi 指纹定位客户端的程序开发，均选择在使用 Android 的系统上进行开发。

3.2.2 服务器端程序开发语言

由于采集到的 WiFi 热点信息的数据，在 Android 系统上开发，可能会受到多方面的限制。例如，在处理时长等方面。因此，采集到的 WiFi 热点信息，需要上传到服务器端进行处理。所以，经过对比 JSP，PHP 和 Python 等主流的网站开发相关的语言。最终，选择了 PHP 语言进行开发。使用 PHP 语言进行开发的主要原因是，PHP 是目前主流的网站开发语言，有着大量的网站，是使用的 PHP 语言进行的开发。另外，也与我之前有过 PHP 语言相关的项目开发经验。所以，我就选择了 PHP 语言，作为服务器端程序开发的语言。数据库方面，则选用与 PHP 语言结合的最好的 MySQL 作为服务器端的数据库。

3.2.3 WiFi 指纹定位程序客户端开发环境

在决定采用基于 Android 系统的手机开发手机端的 WiFi 热点信息采集程序和 WiFi 指纹定位程序之后，通过查阅相关的资料，最终决定使用 Android Studio 集成开发环境 (IDE) 作为 Android 程序开发的工具。Android Studio 集成开发环境是谷歌 (Google) 公司推荐的集成开发环境。Android Studio 支持的开发功能和特性，与 Android 最新的操作系统所支持的功能和特性所保持一致。

3.2.4 WiFi 指纹定位程序服务器端开发环境

服务器端采用 PHP 语言进行编写。其中，PHP 语言的编写，使用 JetBrains 公司开发的 PhpStorm 集成开发环境 (IDE)，作为 PHP 程序的开发工具。由于 PHP 环境的配置相对较麻烦，因此，我决定在测试阶段，在 Windows 平台下，使用 XAMPP 一键安装包，作为 PHP 程序的运行环境和 MySQL 数据库的运行环境。在程序开发并测试完成以后的正式运行阶段，将会使用 Linux 平台下的 LNMP.org 提供的一键安装包，作为 PHP 程序的运行环境和 MySQL 数据库的运行环境。

3.3 系统总体结构设计

WiFi 指纹定位系统总体结构设计的流程图如下图 (见图 3-1)。其中，WiFi 热点信息采集客户端主要实现的是 WiFi 热点信息的采集功能。WiFi 指纹定位服务器端主要实现的是 WiFi 指纹定位数据的读取和计算的功能。并且，将会为 WiFi 指纹定位客户端提供 API 调用的功能。WiFi 指纹定位客户端主要实现的功能是读取当前的 WiFi 热点信息和 GPS 信息，

并将读取到的 WiFi 热点信息和 GPS 信息，通过调用 WiFi 指纹定位服务器端的 API，从而得到 WiFi 指纹定位的经度、纬度和在 WiFi 指纹定位的计算过程当中，WiFi 指纹定位所使用的 WiFi 数量等信息。因为，Android 和 PHP 均支持读取并解析 JSON 格式的数据为数组等格式。或者，将数组等格式的数据，转换 JSON 格式的数据。所以，在上传数据和下载数据的过程当中，使用了 JSON 格式作为数据传输的格式。

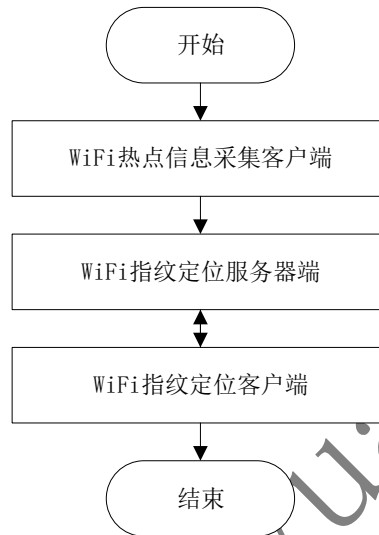


图 3-1 WiFi 指纹定位系统总体结构流程图

3.4 核心功能设计

3.4.1 WiFi 指纹信息采集设计

3.4.1.1 程序所需实现的目标

此部分程序，需要实现的功能为将 WiFi 热点信息当中的 BSSID 和 SSID 采集到本地的数据库当中。并且，在记录 WiFi 热点信息的同时，通过手机的 GPS 功能，记录当前采集点的经度和纬度等信息。在采集完成以后，将 WiFi 热点的 BSSID, SSID, 经度, 纬度和时间等 WiFi 热点相关的信息，存入到本地的数据库当中。当采集完成后，能够通过网络，将本地数据库当中的数据，上传到服务器端进行处理。

3.4.1.2 程序流程图

程序的 WiFi 热点数据采集，存储和上传到服务器的流程如下（见图 3-2）：

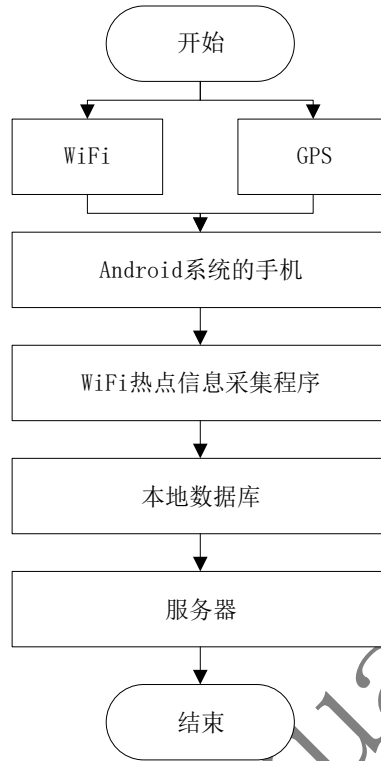


图 3-2 WiFi 热点信息采集部分流程图

3.4.2 WiFi 指纹定位服务器端设计

3.4.2.1 程序所需实现的目标

服务器端需要处理客户端提交的 WiFi 热点和 GPS 的经纬度信息，并将数据存入到服务器端。最后，在服务器端定时处理提交的数据，生成可用的数据，并提供相应的数据查询功能。

数据查询功能将返回 WiFi 指纹信息所推测出的经度和纬度。并且，在 Android 手机客户端工作正常的时候，提供 WiFi 指纹定位的误差计算功能。

3.4.2.2 程序流程图

WiFi 热点数据的接收过程的流程图如下（见图 3-3）：

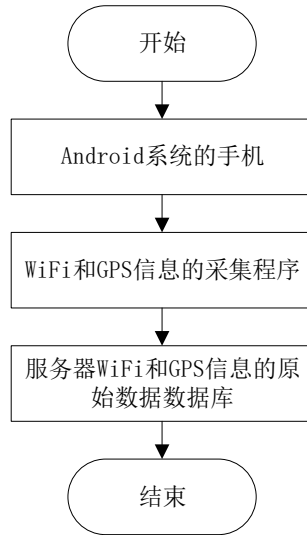


图 3-3 WiFi 指纹信息采集客户端上传到服务器端的流程图

当 WiFi 热点信息上传完成以后，在服务器端，将会对 WiFi 热点的数据进行处理。其流程图如下（见图 3-4）：

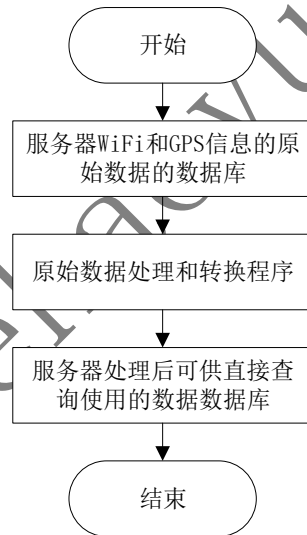


图 3-4 WiFi 指纹数据服务器端数据处理部分的流程图

3.4.2.3 算法实现

总体的程序流程图见上图。在计算的过程当中，为了减小数据库的查询压力，因此，在原始 WiFi 热点数据的基础上，对 WiFi 热点的数据进行了进一步的计算和处理。在计算和处理的过程当中，主要按照以下的顺序，对 WiFi 热点数据进行了以下的处理：

(1) 对相同的 BSSID, SSID 和信号强度的 WiFi 热点信息进行了合并处理，只保留一条 BSSID, SSID 和信号强度的 WiFi 热点信息。

(2) 对所有的 GPS 坐标信息，由 WGS-84 坐标系，转换为了 Web 墨卡托坐标系，以便在之后的定位过程当中，对在以 1m 为间距范围内的 WiFi 热点信息，进行更进一步的处理。

(3) 为了减小数据库的查询压力，对相同的 BSSID 和 SSID 的 WiFi 热点信息，按照一定的格式，进行了合并后写入或更新的处理。

在 Android 客户端进行定位的过程当中，将会对已经处理过的数据，进行进一步的计算和处理。以便最终得到当前设备的精度和纬度信息。在计算和处理的过程当中，主要按照以下的顺序，对 WiFi 热点的数据进行了以下的处理：

(1) 对 Android 客户端提交的 JSON 格式的 WiFi 热点信息进行转换。

(2) 循环查找数据库当中，是否存在相同的 BSSID 和 SSID 的 WiFi 热点信息的 Web 墨卡托坐标系的经度，纬度和信号强度的信息。如果存在相同的 BSSID 和 SSID 的 WiFi 热点信息，则将其信号强度记录到以经度和纬度为下标的数组当中。如果某一个 WiFi 热点信息，在同一个地点下，存在不同的信号强度信息，则对其信号强度求平均值。然后，再将其信号强度记录到以经度和纬度为下标的数组当中。

(3) 对相同 Web 墨卡托坐标的信息合并处理后数组当中的数据，求其平均值。

(4) 根据 2.1.1.4 节的计算公式，计算得出最终的经度和纬度信息。

(5) 以 JSON 形式的数据，将经度，纬度，此处的信号 WiFi 热点的 RSSI 信号强度差值之和（通过 2.8.3 节的公式得出的结果。），误差和 WiFi 数量，返回给客户端。

3.4.3 WiFi 指纹定位客户端设计

3.4.3.1 程序所需实现的目标

此部分程序，需要读取本机当前接收到的 WiFi 热点信息。当统计完成 WiFi 热点信息之后，将接收到的 WiFi 热点信息打包上传到服务器端。然后，根据服务器端返回的数据，将根据 WiFi 指纹信息得到的经纬度信息显示出来。如果当前 GPS 定位的信号接收正常，将会将本地的定位坐标，提交到服务器计算实际距离的接口当中。然后，将 WiFi 指纹定位误差与 GPS 定位的误差距离显示在当前的界面当中。

3.4.3.2 程序流程图

当 GPS 无法定位时，WiFi 指纹定位部分的客户端程序的流程图如下（见图 3-5）：

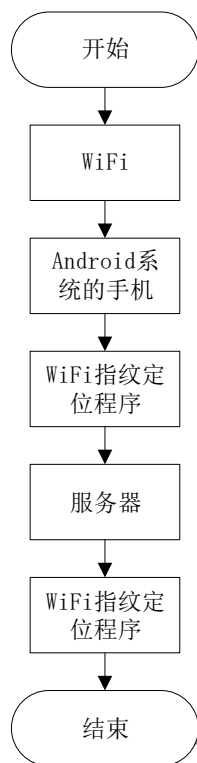


图 3-5 WiFi 指纹定位服务器端程序到客户端程序部分的流程图

当 WiFi 指纹定位客户端的 GPS 定位正常时，WiFi 指纹定位部分的客户端将会比较当前 GPS 定位的经度和纬度和 WiFi 指纹定位的经度和纬度的误差。当 WiFi 指纹定位客户端的 GPS 定位正常时，WiFi 指纹定位部分的客户端程序的流程图如下（见图 3-6）：

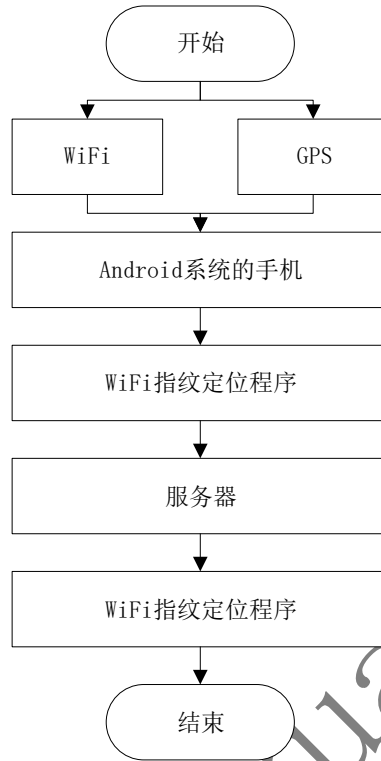


图 3-6 WiFi 指纹定位客户端请求服务器部分数据的流程图

3.5 本章小结

本章主要介绍了 WiFi 指纹定位系统的硬件和软件的设计，并对相应的程序运行的流程进行了一个介绍。并且，对于本文所使用的 WiFi 指纹定位算法，进行了详尽的描述。

4 WiFi 指纹定位系统的实现

本章内容将主要围绕着 WiFi 指纹定位系统的实现展开。4.1 节将主要介绍 WiFi 指纹信息采集功能的实现。4.2 节将主要介绍指纹定位服务器端的实现，并详细讲解 WiFi 指纹定位算法的实现过程。4.3 节将主要介绍 WiFi 指纹定位程序的实现。4.4 节将主要分析 WiFi 指纹定位系统的定位结果及分析，并对部分区域定位精度较差的原因，进行详细的分析。4.5 节将主要对本章的内容进行总结和回顾。

4.1 WiFi 热点信息采集客户端实现

4.1.1 程序说明

此部分程序主要用于 WiFi 热点信息的采集、存储和上传。主要采集的信息有：BSSID，SSID，RSSI 信号，GPS 经度，GPS 纬度，GPS 精确度和时间等信息。其中，GPS 定位的经度坐标和纬度坐标的坐标系，使用的是 GPS 默认的 WGS-84 坐标系。WiFi 热点信息采集客户端如图 4-1 所示。



图 4-1 WiFi 热点信息采集客户端程序截图

4.1.2 程序实现情况说明

通过此部分程序，实现了上述的功能。并且，在实际的测试过程当中，经过在三星 Galaxy Note 5 手机上进行测试，单次可以保证采集大约 30000 条 WiFi 热点数据的情况下，程序的运行性能不衰减。

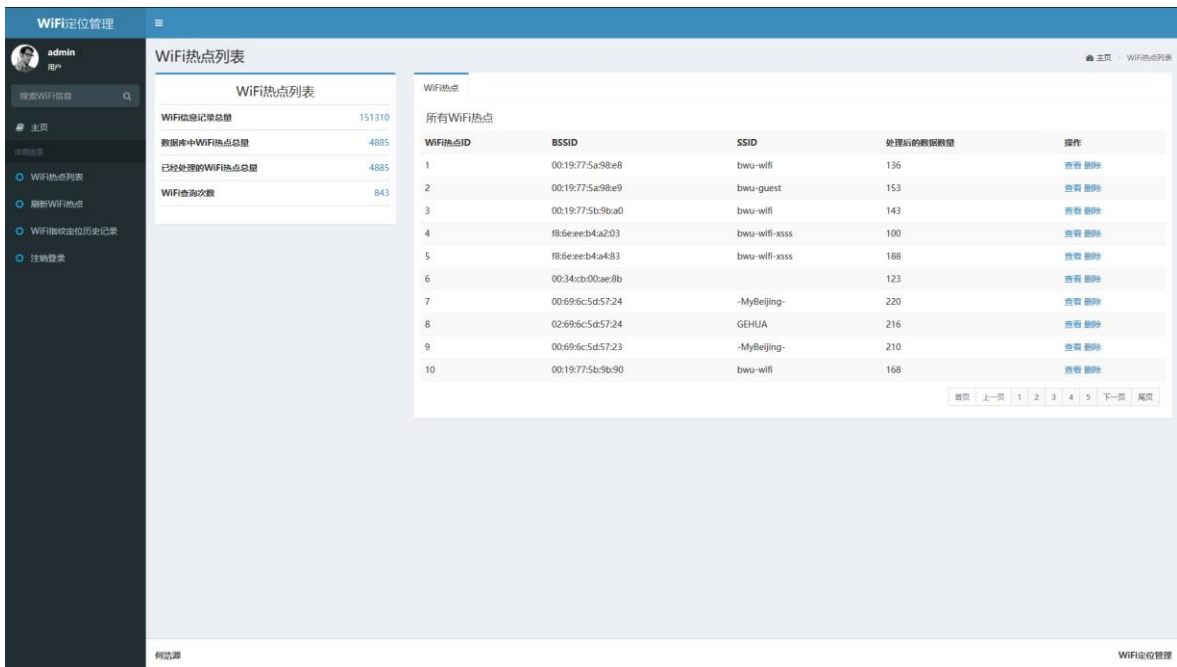
4.2 WiFi 指纹定位服务器端实现

4.2.1 程序说明

此部分程序主要用于接收 WiFi 指纹定位的数据，接收到的 WiFi 热点信息的数据，将会存入到数据库当中。并且，程序将会定时处理已经存入到数据库当中的数据，并存储成适合 WiFi 指纹定位的数据结构。其中，WiFi 热点信息的原始数据当中的经度坐标和纬度坐标，在本阶段将会由 WGS-84 坐标系，转换为 Web 墨卡托坐标系，并忽略小数点后的所有

位数。最终，将经度坐标和纬度坐标，转化为经度为 1m 的精度范围。对于在同一个范围内存在的多条数据，将会对其 RSSI 信号的强度，进行求平均值处理。

在数据处理完成后，可以在电脑的网页端查看采集到的数据。并且，可以对每个 WiFi 热点数据的详细信息进行添加、删除、修改和查询等操作。最后，在客户端查询完毕以后，可以在电脑端查看每次的查询记录，并分析相应的定位截图。在展示阶段，为了符合国家地球坐标系的标准和百度地图所使用的百度地图的地球坐标系的标准，对于 WGS-84 坐标系的数据，将会转化为 GCJ-02 坐标系，并再次将 GCJ-02 坐标系，转化为 BD-09 坐标系。对于 Web 墨卡托坐标系的数据，将会首先转化为 WGS-84 坐标系，再转化为 GCJ-02 坐标系。最后，再将 GCJ-02 坐标系，转化为 BD-09 坐标系。按照上述流程地球坐标系转化完成后，将会将相应的信息，展示在百度地图上。WiFi 指纹定位服务器端如图 4-2、4-3 和 4-4 所示。



The screenshot displays the 'WiFi定位管理' (WiFi Fingerprint Management) web interface. On the left, a sidebar menu includes options like 'WiFi热点列表' (WiFi Hotspot List). The main content area is titled 'WiFi热点列表' and features a summary table and a detailed list of hotspots.

WiFi热点列表	
WiFi信息记录总数	151310
数据库中WiFi热点总数	4885
已经处理的WiFi热点总数	4885
WiFi查询次数	843

所有WiFi热点				
WiFi热点ID	BSSID	SSID	处理后的数据数量	操作
1	00:19:77:5a:98:e8	bwu-wifi	136	查看 删除
2	00:19:77:5a:98:e9	bwu-guest	153	查看 删除
3	00:19:77:5b:9b:a0	bwu-wifi	143	查看 删除
4	fb:6e:ee:b4:a2:03	bwu-wifi-xsss	100	查看 删除
5	fb:6e:ee:b4:a4:83	bwu-wifi-xsss	188	查看 删除
6	00:34:cb:00:ae:8b		123	查看 删除
7	00:69:6c:5d:57:24	-MyBeijing-	220	查看 删除
8	02:69:6c:5d:57:24	GEHUA	216	查看 删除
9	00:69:6c:5d:57:23	-MyBeijing-	210	查看 删除
10	00:19:77:5b:9b:90	bwu-wifi	168	查看 删除

图 4-2 WiFi 指纹定位服务器端 WiFi 热点列表程序截图

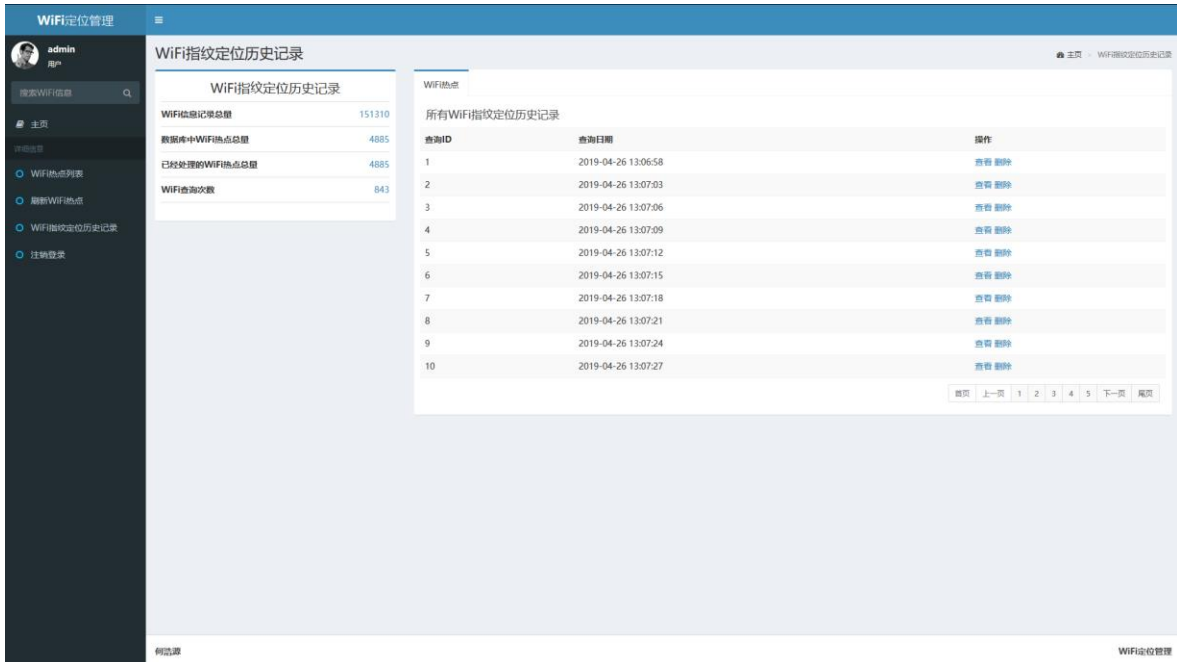


图 4-3 WiFi 指纹定位服务器端 WiFi 指纹定位历史记录截图

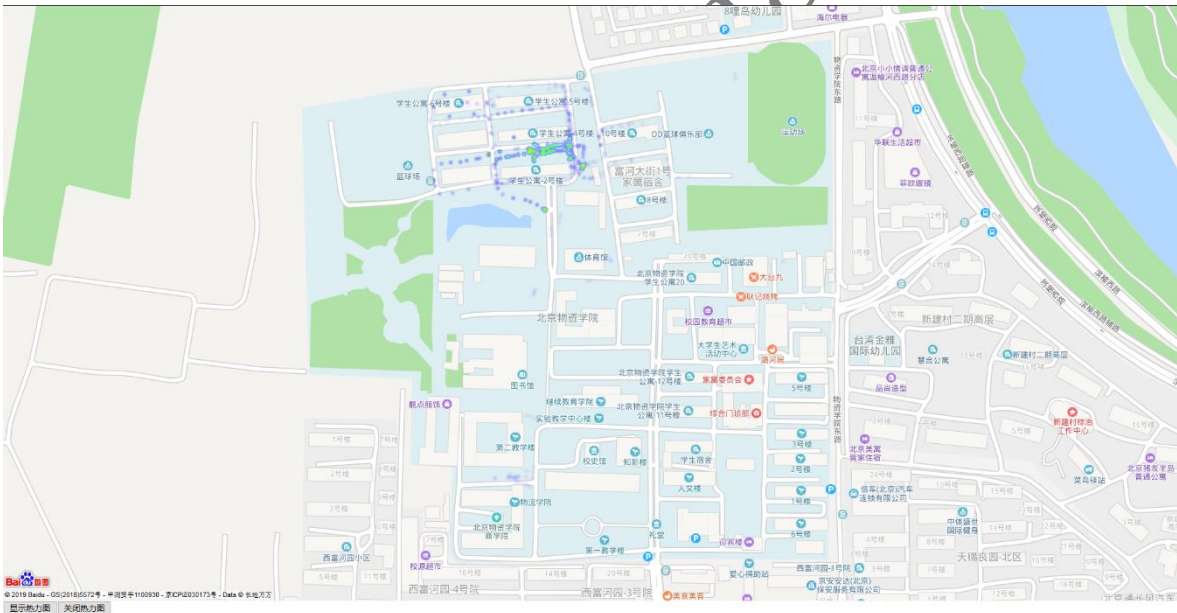


图 4-4 WiFi 指纹定位服务器端 WiFi 指纹定位历史记录详情截图

4.2.2 程序计算过程

WiFi 的信号分布，存在着一定的规律性。例如，下图为北京物资学院主教学楼外，一个 BSSID 为“06:69:6c:31:82:5e”，SSID 名称为“bwu-wifi”的热点数据。由此 WiFi 热点的 RSSI 信号强度所形成的热力图如下（见图 4-5）：

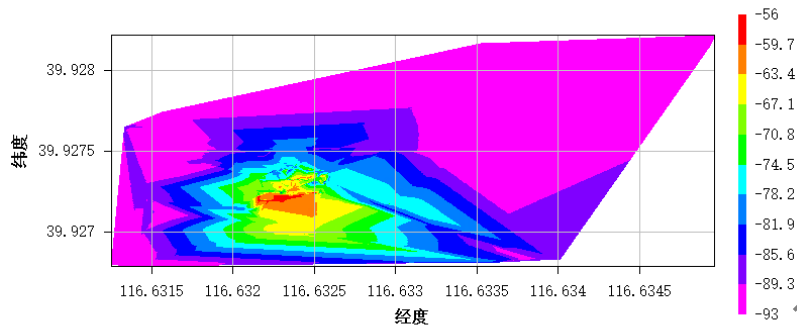


图 4-5 BSSID 为“06:69:6c:31:82:5e”，SSID 名称为“bwu-wifi”的 RSSI 信号强度等高图
另一个 BSSID 为“06:69:6c:31:82:5d”，SSID 名称为“bwu-wifi”的热点数据。由此 WiFi 热点的 RSSI 信号强度所形成的热力图如下（见图 4-6）：

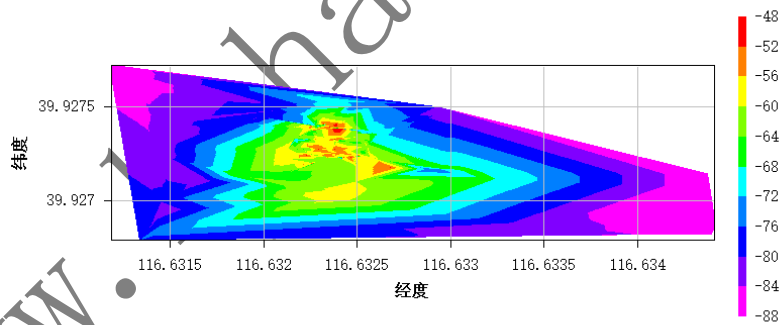


图 4-6 BSSID 为“06:69:6c:31:82:5d”，SSID 名称为“bwu-wifi”的 RSSI 信号强度等高图

根据 2.1.1.4 节的计算公式，并结合这两个 WiFi 热点的信息，当前 WiFi 数据库中已经存在经度为 116.6325022，纬度为 39.9275128 的两个 WiFi 的信息。其中，BSSID 为“06:69:6c:31:82:5d”的 WiFi 热点的 RSSI 信号强度为-76 分贝毫瓦 (dBm)，BSSID 为“06:69:6c:31:82:5e”的 WiFi 热点的 RSSI 信号强度为-86dBm。假设当前 WiFi 定位设备采集到 BSSID 为“06:69:6c:31:82:5d”的 WiFi 热点的 RSSI 信号强度为-76dBm，BSSID 为

“06:69:6c:31:82:5e 的 WiFi 热点的 RSSI 信号强度为-86dBm，根据上述计算公式的计算过程，可以得出根据 WiFi 热点的信号强度的计算结果的热力图如下（见图 4-7 和图 4-8）：

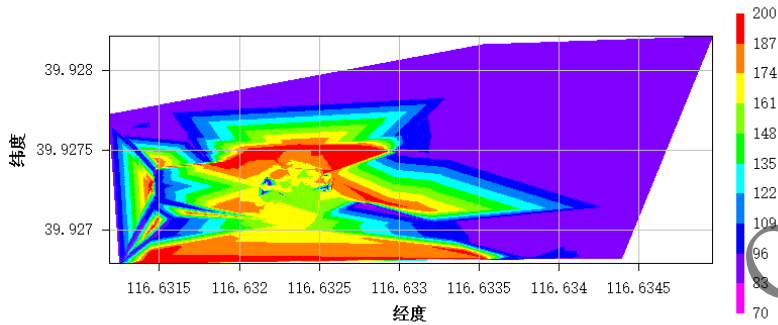


图 4-7 两点信号强度叠加等高图（等高图比例：70-200）

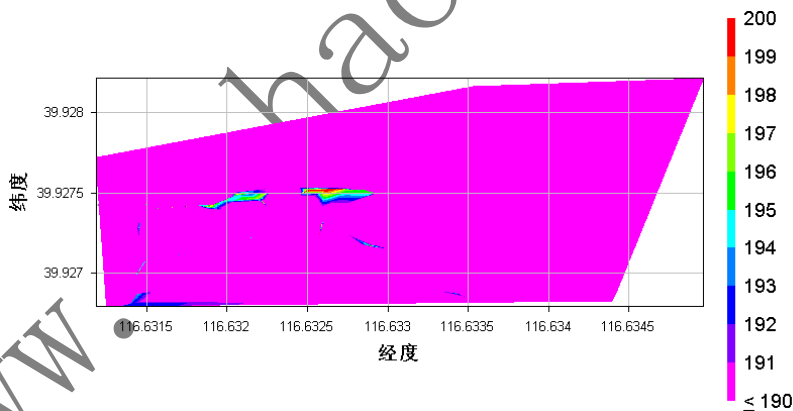


图 4-8 两点信号强度叠加等高图（等高图比例：190-200）

根据以上计算公式所得到的计算结果，可以得到 9 个点是最为可能的定位点，这 9 个定位点的权重为 200。最后，计算上述 9 个点的平均值，即可最终推出当前 WiFi 定位设备的定位点的经度为 116.6325884，纬度为 39.92751429。与数据库当中 WiFi 热点采集点的实际位置的经度 116.6325022，纬度 39.9275128 的实际误差为 7.352m。

4.2.3 程序实现情况明

通过在服务器端实现此计算过程，WiFi 热点定位设备的客户端只需调用服务器端的 API，并提供当前采集到的 WiFi 热点信息，即可得到当前 WiFi 热点定位设备的经度和纬度等信息。通过 API 的定位的调用形式，大大的减少了客户端程序开发量和计算量，对于计算能力较弱的手机，依然可以提供较为强劲的定位性能。并且，对于将来将本套 WiFi 指纹定位程序，移植或开发到其他的操作系统当中的程序的开发难度和工作量，也有所降低。

4.3 WiFi 指纹定位客户端实现

4.3.1 程序说明

此部分程序主要用于进行 WiFi 指纹定位。采集到的 WiFi 热点信息的数据，将会上传到服务器端，在服务器端进行 WiFi 指纹定位详细位置信息的计算，并最终返回计算得出的经度和纬度信息。WiFi 指纹定位客户端如图 4-9 所示。



图 4-9 WiFi 指纹定位客户端程序截图

4.3.2 程序实现情况说明

通过调用 WiFi 指纹定位服务器端的 API，即可快速获得当前 Android 系统的手机的经度和纬度。并且，通过调用并结合 GPS 的定位功能，即可对比当前 GPS 定位和 WiFi 指纹定位误差大小。对于分析 WiFi 指纹定位算法，可以大幅度的提高分析效率。

4.4 WiFi 指纹定位结果的分析 and 对比

4.4.1 WiFi 指纹定位结果的分析

通过采集相关的 WiFi 信息与 GPS 信息所对应的关系,本次数据库中总计采集到 151310 个 WiFi 热点的 GPS 地理坐标信息。并且,根据采集到的 151310 个 WiFi 热点的 GPS 地理坐标信息,总计生成了 4885 个 WiFi 热点的 WiFi 指纹定位信息。

根据在建立数据库时所覆盖的 WiFi 指纹采集的区域内,通过采集 200 个 WiFi 指纹定位点的详细数据,得到了以下关于定位误差数据的实验结果:

定位误差的平均值: 9.481m

定位误差的方差: 60.808

定位误差的标准差: 7.798m

定位误差的中位数: 7.6365m

4.4.2 WiFi 指纹定位精度与 GPS 定位精度的对比

当手机接收到 30 个至 50 个 WiFi 热点信息左右的时候,在已经对 WiFi 信息采集并覆盖了的区域当中进行测试,通过 WiFi 指纹定位系统得到的定位经度和纬度信息和 GPS 定位系统所得到的经度和纬度信息的误差大约为 1m-50m 之间。并且, WiFi 指纹定位系统取得首次定位经度和纬度所需的时间大约为 5 秒左右。

在 4.4.1 节当中的 200 个采样点当中,随机选取了 200 个采样点当中的其中 10 个连续的采样点。详细的 GPS 定位和 WiFi 热点定位的路线如下图(见图 4-10):

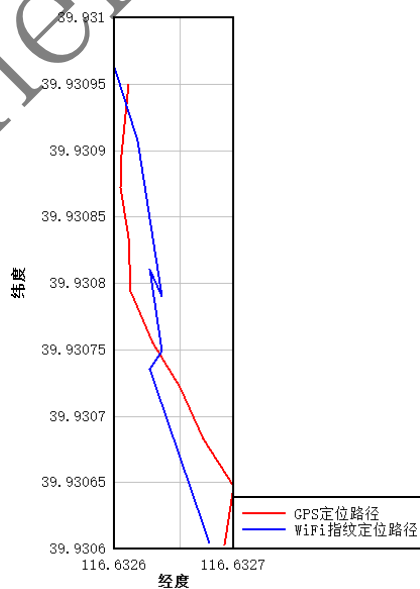


图 4-10 WiFi 指纹定位路径与 GPS 定位路径对比

通过上图 WiFi 指纹定位路径与 GPS 定位路径的对比（见图 4-10）可知，当 WiFi 定位设备可以接收到 30 个至 50 个 WiFi 热点信息左右的时候，WiFi 定位系统的定位结果与 GPS 定位系统的定位结果之间的定位误差的平均值为 3.5297m。通过上述数据可知，WiFi 定位系统的定位结果与 GPS 定位系统的定位结果之间的定位误差属于可以接受的范围内。分析其中的误差，可以得出误差的主要来源于数据库建立时，所采集到的 WiFi 热点的地理位置信息和 GPS 的地理位置信息的时间间隔较长和密度较小，WiFi 指纹定位时的采集间隔较长和算法的缺点所导致的。

对于 WiFi 热点的地理位置信息和 GPS 的地理位置信息的时间间隔较长和密度较小，WiFi 指纹定位时的采集间隔较长的这两个问题，目前除了更换 WiFi 热点信息和 GPS 信息采集的设备，暂时没有更好的解决方案。造成这个问题的主要原因是受到了手机 WiFi 热点扫描速度的限制。在 Android 8.0 及以上的手机，对于调用 `WifiManager.startScan()` 的次数，已经进行一定的限制。本次采集和测试所使用的三星 Galaxy Note 5 的 Android 版本为 Android 5.1.1 版，暂时不存在这个问题。三星 Galaxy Note 5，Android 系统版本为 Android 5.1.1 版的手机当中，运行本文当中的 WiFi 热点信息采集程序，WiFi 信息和 GPS 信息的采集的间隔大约为 3 秒左右。对于在 Android 系统版本在 Android 8.0 及以后系统版本的手机当中运行本文当中的 WiFi 热点信息采集程序，将可能会造成 WiFi 热点信息采集密度更低的问题。

对于算法的缺点所导致的问题，是由于当前的 WiFi 指纹定位算法，仅仅是将当前的地理位置信息，去匹配 WiFi 指纹数据库当中的 WiFi 指纹信息。对于在 WiFi 热点信息采集时，未采集到的区域，将会推测到最近的 WiFi 指纹数据库当中的 WiFi 指纹的经度和纬度。如果在将来继续研究 WiFi 指纹定位算法，如果在 WiFi 指纹定位覆盖密度不全的区域，可以对 WiFi 热点的指纹信息，进行一定的推测处理。或者，将 WiFi 指纹定位的信息，与其他的定位信息相融合在一起。这样，将可以大幅度的提高在 WiFi 热点的指纹信息覆盖不全的区域的定位精度。

4.5 本章小结

本章主要介绍了 WiFi 指纹定位系统功能的实现过程。并且，对于这三个模块的实现过程和实现效果，都进行了详细的描述。在描述完成各个模块的功能、实现过程和实现效果之后，对于 GPS 定位和 WiFi 指纹定位的精度，进行了详细的对比和分析，并对部分区域定位精度较差的原因，进行了详细的分析。

5 结论

本章将主要围绕着本篇文章当中所讲到的内容，进行相应的总结。并对 WiFi 指纹定位算法的未来，进行一定的展望。

5.1 工作总结

通过完成 WiFi 指纹定位系统设计与开发这个项目，本项目在实现了 WiFi 指纹定位算法的同时，还实现了以下几个 WiFi 指纹定位算法所需的程序。已经编写完成的 WiFi 指纹定位算法所需的程序的主要功能有：

(1) 通过 Android 系统的手机当中，所安装的 WiFi Location 软件，实现了 WiFi 热点信息的采集。

(2) 通过 PHP 和 MySQL 环境的服务器端的程序，实现了 WiFi 热点数据的处理和根据 WiFi 指纹信息计算经度和纬度的功能。

(3) 通过 Android 系统的手机当中，所安装的 WiFi Location 软件，实现了 WiFi 指纹定位数据的提交和读取，以及 WiFi 指纹定位数据与 GPS 定位数据的比较功能。

5.2 展望

通过以上数据表明，WiFi 指纹定位的精度，在一定程度上，能够达到 GPS 的定位精度。尤其是在 GPS 无法发挥作用的高架桥梁下方，高楼和隧道等 GPS 信号无法覆盖的范围内，只要存在大约 10 个 WiFi 热点信息以上，就可以达到 50m 以内的定位精度。对于 WiFi 指纹定位系统的实现，本算法达到了能够正常使用的定位精度。虽然，相对于 GPS 定位系统，WiFi 指纹定位系统的误差仍然较大。但是，随着科学技术的发展，对于提高 WiFi 指纹定位的精度，仍然有很大的提升空间。就目前阶段来说，可以有效的改善当前 GPS 无法定位的区域的定位精度。所以，我相信，WiFi 指纹定位技术在不久的将来，一定会有更大的用处。

参考文献

- [1]张鹏. 智能终端多传感器室内定位及相应导航数据库建立和更新方法研究[D]. 武汉大学, 2016.
- [2]刘旻. 基于 WiFi 定位的指纹数据库压缩技术研究[D]. 南京邮电大学, 2018.
- [3]Subramanian A P, Deshpande P, Gaojgao J, et al. Drive-By Localization of Roadside WiFi Networks[C]. INFOCOM 2008. The 27th Conference on Computer Communications. IEEE. IEEE, 2008.
- [4]刘克强. 基于室内位置与多维情境的人类活动识别方法研究[D]. 中国矿业大学, 2017.
- [5]Mok E, Retscher G. Location determination using WiFi fingerprinting versus WiFi trilateration[J]. Journal of Location Based Services, 2007, 1(2):145-159.
- [6]王海天. 基于 Android 的 WIFI 路测系统的研究与设计[D]. 中国人民公安大学, 2017.
- [7]宋宇, 喻文举, 程超, 王磊. 基于 WiFi、PDR、地磁相融合的室内定位研究[J]. 微电子学与计算机, 2018, 35(06):60-64+68.
- [8]徐素素, 谢宏. 基于 Android 平台和位置指纹算法的 WiFi 定位系统设计[J]. 微型机与应用, 2017, 36(18):80-83.
- [9]高峰. 基于 Android 平台的 WiFi 定位系统的研究与设计[D]. 南京邮电大学, 2017.
- [10]熊炜林, 赖华, 杜庆治, 孙纬民. 基于基站和 WiFi 的混合定位精度误差分析研究[J]. 通信技术, 2018, 51(11):2575-2578.
- [11]裴凌, 刘东辉, 钱久超. 室内定位技术与应用综述[J]. 导航定位与授时, 2017, 4(03):1-10.
- [12]马燕, 袁蔚林, 陈秀万, 许玉斌, 孙华波. 基于 WiFi 与 GPS 组合定位算法的无缝定位方法研究[J]. 地理与地理信息科学, 2013, 29(03):6-9+16.
- [13]邹含冰, 水晶. 从伊拉克战争看 GPS 系统的干扰与抗干扰问题[J]. 国防科技, 2003(09):30-32.
- [14]孙晓文. iOS 与 Android 操作系统的优缺点比较[J]. 无线互联科技, 2013(12):51+89.
- [15]徐小龙. 物联网室内定位技术[M]. 北京:电子工业出版社, 2017.
- [16]王鼎. 无源定位技术: 二次等式约束最小二乘估计理论与方法[M]. 北京:电子工业出版社, 2018.

[17] (德) 史蒂芬·山德等著, 郎为民等译. 无线通信系统中的定位技术与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2016.

[18] 梁久祯, 陈璟. 无线传感与定位新技术[M]. 北京: 科学出版社, 2018.

[19] 刘美, 刘桂雄, 张晓平. 无线传感器网络目标定位跟踪技术与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2018.

[20] 刘琪, 冯毅, 邱佳慧. 无线定位原理与技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2017.

www.hehaoyuan.org

致谢

我在北京物资学院的大学本科四年的学习时光即将结束。对于我们 2019 届的本科毕业生来说，校园生活将会成为我们难忘的回忆。在大学本科四年的这段难忘时光当中，我学习到了很多与我所学的专业相关的知识。并且，使我积累了一定的工程和项目的经验，收获了人生中一笔宝贵的财富。我在生活和学习当中所获得的这些收货，都应该归功于在我的学习和生活当中，经常给予我指导和帮助的老师，以及和我一起学习的同学们。

在完成 WiFi 指纹定位系统设计与开发的这个过程当中，我遇到了很多的问题。但是，通过查阅相关的资料，并询问唐恒亮老师后，均得到了解决。因此，我想要在此感谢唐恒亮老师，对于我的毕业设计的帮助，以及在网络上无私的撰写相关文章的那些人和企业。并且，对于此方面先前的研究者所写的论文等内容，也对我有很大的启发，并解决了很多实际程序设计和文章编写方面上的问题。如果没有老师、此方面的研究者、那些无私奉献的人和企业，也许，我可能完不成这个项目。所以，我在此感谢以上提到的人对我的 WiFi 指纹定位系统设计与开发这个项目和论文的帮助。

www.hehaoyuan.org