

基于WiFi的室内定位系统

崔惠娟, 王小伟, 王 伟, 覃锡忠

(新疆大学 信息科学与工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘 要: 随着移动互联网的迅猛发展和智能终端的普及, 人们对基于位置服务尤其是室内定位的需求日益增长。通过研究无线 WiFi 信号的特性, 利用 Android 智能手机, 结合计算机网络编程和 ArcGIS MAP 等技术设计并实现了一套基于位置指纹定位算法的室内定位系统。通过对某实验楼一个楼层的室内定位实验表明, 该系统使用灵活、简单、界面友好, 具有良好的定位精度。

关键词: 室内定位; WiFi; Android 平台; ArcGIS

中图分类号: TN926.24

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2014)23-0058-04

Indoor positioning system based on WiFi

Cui Huimei, Wang Xiaowei, Wang Wei, Qin Xizhong

(College of Information Science and Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: With the rapid development of mobile Internet and the popularity of intelligent terminal, the need of service based on location, especially indoor positioning grows. Studying the characteristics of wireless WiFi signal, using the Android smartphone, combining the technology of computer network programming and ArcGIS MAP, a set of indoor positioning systems based on fingerprint localization algorithm is designed and implemented. Experiments in a lab building show that the system is flexible and easy to use, and have good localization accuracy.

Key words: indoor positioning; wireless fidelity; Android platform; ArcGIS

0 引言

随着移动互联网时代的到来, 定位服务需求量迅速增长^[1], 例如大型商场或候机厅快速找到出口、家长跟踪小孩的位置、房屋根据人员位置开关电灯、商店根据用户位置向用户推送关于商品的介绍等。如今室外定位技术已经发展十分成熟, 然而在室内环境中, 经常会出现“都市峡谷”(Urban Canyon)效应^[2], GPS 系统无法精确定位。随着无线网络的覆盖范围越来越广, 基于 WiFi 的无线定位技术可以弥补卫星定位在建筑密集区和室内应用的限制, 扩大定位服务的应用行业和范围, 已经成为室内定位的普遍选择^[3]。

本文针对室内定位的需求, 设计并实现了基于 WiFi 的室内定位系统。该系统由客户端应用和后台定位服务构成, 用户可以通过智能终端进行定位, 并在终端的地图上显示定位位置, 同时服务器端记录用户定位时间、AP 名称及 RSSI(接收的信号强度指示)等定位信息。系统客户端使用 Java ME 开发, 地图信息采集与发布采用 ArcGIS, 定位算法采用位置指纹算法, 服务端架构采用

REST 技术^[4]。系统测试表明, 该系统定位精度较好, 响应时间较快, 具有良好的应用前景。

1 系统设计

1.1 系统工作原理

系统工作原理和基本模型如图 1 所示。

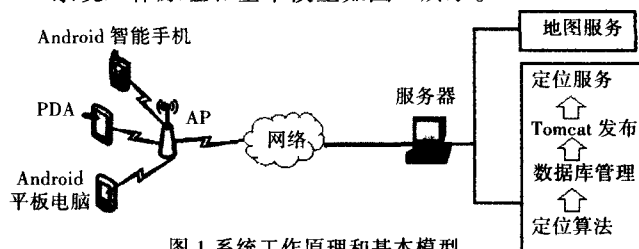


图 1 系统工作原理和基本模型

系统客户端的操作平台使用 Android。Android 系统设计之初就表现出其强大的开源性和可扩展性, 这为 Android 不断完善及应用带来了极大的用户群。据国际数据公司 (IDC) 公布的新数据^[5], 在 2013 年 Android 系统的市场占有率已经达到 75%。而在中国, 中投顾问发布报告^[6]显示, 2013 年 Android 手机占同期智能手机出货

量的 94.0%。本系统基于 Android 系统开发,可以满足大部分移动用户的定位需求。

服务器端包括定位服务、地图服务和指纹库数据管理。定位服务基于 Java SE 开发,并使用 Tomcat 平台发布。地图服务使用 ArcGIS Server 来发布室内地图并返回定位信息。数据库管理采用 Mysql。服务器端与客户端之间通过 Http 通信,完成数据的交互。

1.2 系统框架

本系统基于客户端/服务器架构。客户端由 RSSI 信号采集模块、通信模块、地图操作模块组成;服务器端由定位模块、地图模块、通信模块组成。系统框架如图 2 所示。

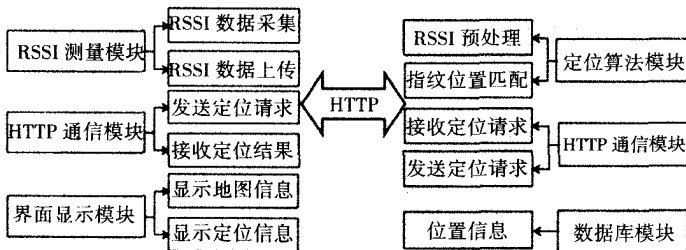


图 2 WiFi 定位系统的框架

系统的交互流程如下:

- (1) Android 客户端程序启动, 程序请求 ArcGIS 地图服务;
- (2) 地图服务器利用 ArcGIS for Server 响应地图服务, 向客户端发布在线地图;
- (3) 用户请求定位功能, 客户端调用 WiFiManager 扫描周围 AP 的信息, 包括 AP 的信号强度值、IP 地址、MAC 地址, 然后将此位置信息通过 Http 发送给服务器端;
- (4) 服务端将收到的位置信息与数据库进行匹配并结合位置指纹算法, 得到位置坐标, 通过 Http 回传给客户端;
- (5) 客户端接收到位置坐标, 并显示于地图上。

2 系统实现

系统的实现分为客户端的设计、服务器端的设计及定位算法的设计。

2.1 客户端设计

Android 客户端的主要功能是扫描周围的 WiFi 信号, 发送定位请求, 接收位置信息, 同时与服务器端进行通信。Android 内置的 WiFiManager 提供了管理所有 WiFi 连接的 API: WiFiInfo、WiFiConfiguration、ScanResult。利用 WiFiManager 可获取周围所有 WiFi 的 MAC 地址、信号强度值。地图部分利用 Esri 提供的移动应用开发包 ArcGIS Runtime SDK for Android^[7] 开发, 该插件通过 ArcGIS Server REST 方式获取地图数据和服务资源。

2.2 服务器端设计

服务器端分为定位服务器、地图服务器和指纹库数据管理 3 大部分, 如图 3 所示。定位服务负责接收、存储客户端传来的位置信息, 调用定位算法进行信号的匹配计算, 返回用户位置信息。地图服务负责地图的加载

和用户位置的显示。指纹数据库建有用户表和 AP 信息表, 用户表存储用户个人信息, 记录用户定位位置和访问时间; AP 信息表存储所有 AP 的 MAC 地址与平均信号强度值。

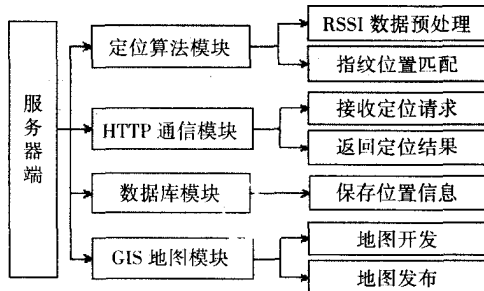


图 3 服务器端的框架

用户可以选择向服务器提交位置指纹数据或向服务器请求定位信息。当用户向服务器提交位置指纹数据时, 服务器端将强度和 MAC 地址等信息存入到数据库 AP 信息表中; 当用户请求定位时, 服务器读取用户上传的无线信号强度信息, 与数据库中指纹信息进行分析匹配, 同时调用定位算法, 得到用户所在位置的墨卡托坐标值, 作为用户位置反馈给客户端。

地图服务器选择 ArcGIS Server 10.1 作为 GIS 服务平台。该服务器主要功能: (1) 利用 ArcGIS Server Manager 发布在 ArcMap 中绘制的地图, 本文发布了两套地图: 某实验楼一个楼层的矢量地图和切片地图 (9 级), 用户根据当前所处网络环境来选择; (2) 在图层上标注用户位置。

2.3 定位算法

2.3.1 WiFi 信号特点和算法选取

基于 WiFi 的定位通常使用 RSSI。定位方法主要有两类: 三角算法和位置指纹识别算法^[8]。三角算法利用待测目标到至少 3 个已知参考点的距离信息或角度信息估计目标位置, 参考文献 [9-10] 给出了 WiFi 信号传播模型; 位置指纹识别算法通过采集到的信号特征与数据库中储存的信号特征进行对比实现定位。

射频信号的多径传播和由于定位节点或周围散射体的运动所引入的非线性时变特性是移动通信信道的主要特征, 这些特征是造成无线定位误差的主要因素^[11]。基于此, 本文先通过在实际应用环境中采集大量的无线信号来分析 WiFi 信号的传播特性: WiFi 无线信号在传播时信号强度与距离间的关系及 RSSI 的概率分布特征。实验环境: 校园内某篮球场, AP 固定在 2.5 m 高处。在正对 AP 40 m 内, 以 0.5 m 为间隔划分 80 个测量点。实验设备: AP: 腾达 Tenda W301A; 电脑 1: 联想天逸 F41A; 电脑 2: 宏基 4560G; 手机: 小米 1s。

(1) 无线信号强度的空间变化

观察距离与信号强度的关系, 从距 AP 0 m 开始, 逐渐向外移动手机, 在每个测量点上统计信号的强度平均值, 如图 4、图 5 所示。

实验表明, 收发端之间的距离越小, 接收到的信号强度越大; 信号强度越弱, 数据可靠性越低^[11]。正是由于存在这种关系, 导致了每个位置检测到的无线信号具

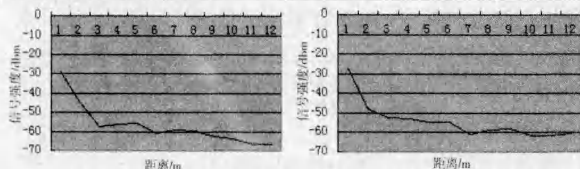


图4 手机测得信号随距离衰减 图5 电脑测得信号随距离衰减
有独特性,这也是能够区分每个位置指纹之间差异性的原因^[12]。

(2) 无线信号强度的时间变化 (RSSI 的概率分布)

影响无线信号强度的原因很多,如多径、散射、衍射等,这些相互独立的影响因素具有极大的随机性。这些随机的影响因素共同作用构成了对无线信号强度的随机不确定干扰^[12]。为了探究这种不确定干扰对无线信号的影响效果,用手机分别在各个测量点上采集了位置指纹数据。

图6、图7分别为6.5 m处(均值=-48.15 dBm,标准差=1.226)和18 m处(均值=-50.85 dBm,标准差=2.477)的200个采样值的处理结果。结果表明,在位置固定的情况下,AP的信号强度在一定范围内波动,长时间对无线信号强度进行采样时,WiFi信号强度的分布符合类正态分布^[12]。

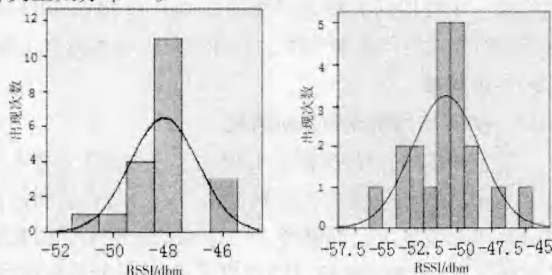


图6 6.5 m处 RSSI 分布直方图 图7 18 m处 RSSI 分布直方图

通过第二组实验可以看出,无线信号波动分布可视作为正态分布,因此本文在采集数据库时,首先去除偏离均值较大的值,然后以该点处的信号强度平均值来代表该位置的无线信号特征。第一组实验中电脑和手机端都表明同一现象,即只有在短距离内 WiFi 信号衰减规律是明显的,超过 4 m 这一规律不再适用。这意味着如果要使用三角算法必须将定位范围限制在 4 m 之内,这无疑将极大地限制系统的使用范围,而且不同环境下的信号传输损耗模型大不相同,建立一个精确的、适合实际应用的损耗模型存在着很大的困难^[8]。除此之外,根据参考文献[8]中通过实验得出的重要结论:基于位置指纹算法能够在一定程度上减少多径效应的影响,其定位精度远远高于基于三角形算法的定位精度。所以不管在具体实施上还是定位性能上,其较之于三角形算法的定位都具有较大的优越性。基于以上原因,本文选择基于位置指纹的定位算法。

2.3.2 位置指纹算法

所谓位置指纹识别算法是利用存有实际场地的地理

位置所对应的 RSSI 信号强度的数据库,进行对比分析识别的一种 WiFi 定位算法。其定位过程分为两个阶段^[8]:

(1)离线采样阶段:其目标在于建立一个位置指纹识别数据库。首先,选择合理的参考点分布,确保能为定位阶段的准确位置估计提供足够的信息。然后依次在各个参考点上测量来自不同 AP 的 RSSI 值,将相应的 MAC 地址与参考点的位置信息记录在数据库中,直至遍历区域内所有的参考点。

(2)在线定位阶段:给定数据库后,依据一定的匹配算法将待测点上接收的 AP RSSI 与数据库中已有数据进行比较,计算位置估计值。常用的匹配算法有 NN 法、KNN 法、神经网络等,本文采用简单的 NN 算法。假定待测点接收的 RSSI 观测值为 $s = [ss1, ss2, \dots, ssn]$, 数据库中的已有记录为 $Si = [SS1, SS2, \dots, SSNi]$, 其中 n 代表待测点上检测到的不同 AP 数; $i \in [1, NT]$, NT 为数据库中的记录数; Ni 代表第 i 条记录中存储的不同 AP 数。则 NN 算法可以表示成下述形式: $L = \text{argmin}_{i \in [1, NT]} \|s - Si\|$, 其中 $\|s - Si\|$ 代表 s 与 Si 之间的欧式距离。

3 系统测试与结果分析

3.1 离线采样阶段

在某实验楼五楼(环境布局如图8所示)内,利用楼道内运营商已布置好的 WiFi 环境,部署了6个采样点(全部为教室),每个区域范围为 1 m^2 ,以自定义坐标形式记录测试点的位置。所有 AP 的高度均为 3.2 m,位于两墙中间位置,两 AP 间距为 7 m。测试设备:AP 为腾达 Tenda W301A;服务器为华硕 A43s 笔记本;训练设备为小米 1s 手机。在每个采样点上传 200 次指定 AP 的 MAC 地址和信号强度,去除偏离较大值后将均值记录在数据库中,单点采集时间约为 3 min,完成所有位置的信号采集时间为 20 min 左右。

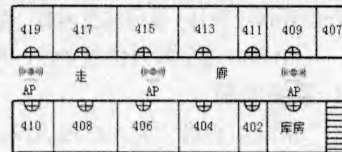


图8 测试环境效果图

3.2 在线定位阶段

实验共采集了6个点的位置信息,在每个测试点,以该点所处的墨卡托坐标标记该位置,使用小米 1s 手机采集 10 组 RSSI 数据后发起定位请求,服务器将数据进行定位计算。记录服务器反馈的位置信息,并记录所用时间,如表 1 所示。每个位置重复定位试验 200 次,统计定位误差结果如表 2 所示。

3.3 实验结果分析

实验结果表明,最大定位误差在 3.4 m,平均误差在 2.9 m 之内;从请求定位到返回位置信息均在 200 ms 内完成。由于考虑到实时性要求,客户端定位时只采集了 10 组数据,不足以客观反映该点 AP 信号的特征;以及划分的指纹区域不够精细造成定位精度不是很理想。此外教室 411 和 415 周围没有人员走动,并且周围电脑、打印机等电子设备较少,

表 1 测试实验结果及误差

位置	实际位置 (墨卡托坐标系)	定位结果	定位误差 /m	耗用时间 /ms
教室407	(374 386,-644 526)	(374 386,-644 526)	0	149
教室409	(374 386,-517 526)	(374 386,-378 355)	3	180
教室411	(374 386,-378 355)	(-226 881,-463 683)	3.4	151
教室415	(371 211,-35 454)	(373 605,-30 001)	0.5	150
教室404	(-226 087,-220 001)	(394 011,-323 861)	2.2	167
库房	(-226 881,-463 683)	(374 386,-378 355)	3.4	171

表 2 200 次测试定位误差

位置	最大 误差/m	最小 误差/m	平均 误差/m	误差 标准差/m
教室407	3.4	2.3	2.8	2.48
教室409	2.7	2.2	2.45	1.89
教室411	2.0	1.0	1.5	0.99
教室415	1.0	0	0.5	0.67
教室404	2.8	2.0	2.4	1.70
库房	3.1	2.4	2.75	2.67

所以平均误差较小,同时误差标准差小,说明定位的稳定性高;教室 409 和 404 内有很多教学仪器,干扰较大;教室 407 和库房在楼梯处,周围人员走动多,且教室内有多台电脑,干扰最大,误差的标准差较大,定位结果不稳定。

4 结束语

本文主要实现了一个基于 WiFi 的室内定位系统,为了更好地实现定位,对 WiFi 信号具有的特性进行了探究,得出了 WiFi 信号概率分布特点、随距离衰减特点。在此基础上,采用位置指纹算法,划分 1 m^2 的最小区域,以一个点的信号强度平均值作为该点的信号特征。该系统的定位结果表明,利用运营商已布置好的 AP,最大定位误差在 3.4 m,定位速度较快,且该系统成本低、使用方便,是一种具有可行性的室内定位方法。

室内定位技术一直处于不断完善的过程中,在今后的工作中,将致力于增加实验数据的预处理功能,从而

更好地提高定位精度;加入更为丰富的功能,例如导航;研究基于 IOS 和 Windows Phone 平台的移动 GIS 开发等。

参考文献

- [1] 秦泗明. 基于位置指纹的WiFi室内定位技术研究[D]. 成都:电子科技大学, 2013.
- [2] 何文涛,徐建华,叶甜春. 互相关干扰下的GNSS 弱信号检测算法[J]. 电子学报, 2011,39(2):471-475.
- [3] 潘立波. 基于WiFi技术的无线定位算法研究与实现[D]. 杭州:浙江大学, 2013.
- [4] 李久刚,唐新明,汪汇兵,等. REST架构的WebGIS技术研究与实现[J]. 测绘科学, 2011,336(3):85-87.
- [5] IDC.IDC Worldwide Mobile Phone Tracker[R]. FRAMINGHAM, Mass:IDC, November 12, 2013.
- [6] 中投顾问. 2014-2018年中国智能手机行业投资分析及前景预测报告[R]. 深圳:深圳市中投咨询顾问有限公司, 2014.
- [7] Esri.ArcGIS Resources[EB/OL].[2014-06-01].http://resources.arcgis.com/en/home/.
- [8] 卢恒惠,刘兴川,张超,等. 基于三角形与位置指纹识别算法的WiFi定位比较[J]. 移动通信,2010,34(10):72-76.
- [9] SERRANO O,CANAS J M,MATELLAN V,et al.Robot localization using WiFi signal without intensity map[D]. Spain:University of Girona,2004.
- [10] ROBERTS B,PAHLAVAN K.Site-specific RSS signature Modeling for WiFi localization[A].Global Telecommunications Conference,2009,GLOBECOM 2009.IEEE, 2009:1-6.
- [11] 丁涛. NLOS环境下基于DTV信号的定位算法研究[D]. 南京:东南大学, 2010.
- [12] 雷家毅. Android平台基于WiFi的定位算法与系统设计[D]. 上海:华东理工大学, 2012.

(收稿日期:2014-08-09)

作者简介:

崔惠媚(1991-),通信作者,女,本科在读,主要研究方向:通信系统, E-mail:1035083082@qq.com.

王小伟(1993-),男,本科在读,主要研究方向:电子与信息.

王伟(1992-),男,本科,主要研究方向:电子科学与技术.

(上接第 46 页)

- [5] 彭鸿才. 电机原理及拖动[M]. 北京:机械工业出版社, 2007.
- [6] 郁有文. 传感器原理及工程应用[M]. 陕西:西安电子科技大学出版社, 2008.
- [7] 杜家熙,陈艳锋,李国厚,等. 基于单片机的步进电机控制器设计[J]. 煤矿机械, 2007,28(2):88-91.
- [8] 赵晓昱,邢彦峰,吴铮,等. 基于ADAMS的汽车安全带卷收器锁止性能的研究[J]. 机械设计与制造, 2010(12):220-221.

- [9] 胡友鸣,何乐新. 安全带和安全气囊在碰撞中的保护作用[J]. 汽车维修与保养, 2013(5):80-82.
- [10] 徐赛丰,刘晓晨. 预紧式安全带的安全保护及检测方法探讨[J]. 科技与企业, 2013(9):305.

(收稿日期:2014-06-01)

作者简介:

恩德(1962-),男,博士,教授,主要研究方向:集成光学与传感技术.