

陈诗军<sup>1</sup> 林利成<sup>2</sup> 徐小龙<sup>2,3</sup> 陈大伟<sup>1</sup> 王园园<sup>1</sup>

# 一种面向位置数据隐私保护的离线地磁定位模型

## 摘要

基于位置服务给人们的生活带来极大的便利,而目前定位系统特别是室内定位普遍依赖于无线网络信号。很多情况下,用户有位置隐私保护的需求,然而,在目前的大数据时代,基于网络的室内定位服务要求用户将个人位置信息实时提供给服务提供商,这导致用户隐私的泄露。如何有效实现室内的基于位置服务,并且保护用户的个人位置信息就成了大数据时代的一个关键问题。本文介绍了一种面向位置数据隐私保护的离线地磁定位模型,利用加速度传感器和微机电磁力计检测行人步态和地球磁场来实现室内定位。本模型利用加速度计检测行人的步态信息,配合磁力计检测的磁场信息与指纹地图进行匹配,实现了室内定位需求的同时又解决了用户位置信息泄露的问题,为大数据时代如何保护用户的位置信息提供了一个有效的解决办法。

## 关键词

隐私保护;位置隐私;地磁指纹地图;离线定位

中图分类号 TP309;TP212

文献标志码 A

收稿日期 2017-07-01

资助项目 深圳市战略新兴产业发展专项基金(JSGG20150330145709677);“十三五”国家重点研发计划(2016YFB0502001)

## 作者简介

陈诗军,男,硕士,高级工程师,研究方向为信道采集与分析、无线定位。chen.shijun@zte.com.cn

徐小龙(通信作者),男,博士,教授,研究方向为分布式计算、移动计算。xuxl@njupt.edu.cn

## 0 引言

基于位置服务(Location Based Service, LBS)在测绘、导航、救援、交通以及军事领域都得到了丰富的应用。目前典型定位方法从实现定位所依赖的设备可以将其分为基于卫星、基于网络和基于传感器3大类<sup>[1]</sup>。主流的定位服务提供商主要提供基于卫星、移动基站和无线网络的室外定位服务。定位的算法分为三边匹配<sup>[2]</sup>和模式匹配<sup>[3]</sup>2种模式。三边匹配的原理是通过测量定位主体到信号源的距离或者角度,通过几何公式计算出定位主体的具体位置,包括基于到达时间差算法(Time Difference of Arrival, TDOA)、基于到达时间算法(Time of Arrival, TOA)、基于信号飞行时间的算法(Time of Flight, TOF)等。这种定位方法一般用于蜂窝基站中,无线网络定位技术也可以用这种方式。然而在范围较小的室内环境中,一般采用模式匹配的方法进行定位,这种定位方法的原理是首先将室内每一个点的信息采集到指纹数据库,然后在定位阶段通过采集实时点的数据信息与数据库匹配进行定位。

随着城市化进程的加快,人们80%的时间是在室内度过的<sup>[4]</sup>。因此,人们对基于位置服务的需求也渐渐从室外延伸到室内。由于全球定位系统(GPS)信号在障碍物遮挡的情况下衰减严重,导致室内环境下的定位精度很低,无法实现室内定位以及提供相关的基于位置服务。因此在室内环境下的基于位置服务已成为学术界和产业界研究的重点<sup>[5]</sup>。和室外环境相比,室内环境具有活动范围小、人口密度高、环境复杂等特点。因此,室内定位对定位精度的要求相比于室外定位有很大的提高。同时,随着智能移动终端的普及和室内环境的优势,使得在定位设备的部署上有一定的优势。

目前主流的室内定位方案主要是基于网络实现<sup>[6]</sup>,例如基于Wi-Fi的定位技术和基于蓝牙的iBeacon定位技术<sup>[7]</sup>。这些定位的方案已经可以提供很好的定位效果,但是和基于卫星的定位服务一样,都需要用户保持设备在线以提供定位服务。这种定位方法会使智能手机消耗大量的电量,并且用户的实时位置信息会被服务提供商通过网络获取。用户位置关键隐私信息泄露会带来很大的安全隐患。在大数据时代,如何保护用户的个人隐私已经成为大众和业界关注的焦点<sup>[8]</sup>。

地磁场是地球上固有的自然资源,虽然人类无法直接观察到它的存在,但是通过传感器就可以探测到其丰富的信息资源。利用地磁

1 中兴通讯股份有限公司,深圳,518055

2 南京邮电大学 江苏省大数据安全与智能处理重点实验室,南京,210003

3 中国科学院信息工程研究所 信息安全国家重点实验室,北京,100093

场进行室内定位有以下优势:

1) 全天候自然存在:地磁场是地球上天然存在的信息,且稳定存在。

2) 不依赖外部能源:使用地磁场作为室内定位的最大优势是不依赖设备信号源,尤其在无电力支持的情况下依然可用。

3) 无需增加任何设备:相比于 Wi-Fi 等定位方案,利用地磁场定位的方案无需在室内架设任何辅助设备。

4) 完全离线数据:只需要智能手机的传感器就可以采集信息,不需要网络交互,有效保护用户的位置信息。

本文提出一种面向位置数据隐私保护的离线地磁定位模型,利用智能手机所具备的地磁传感器,将用户的位置信息保存在智能手机里,既实现了室内定位的需求又能保证用户的个人信息不会泄露。由于定位精度要求高,所以定位的信号源的选择就成了一个关键因素。如何高效利用地磁场强度、方向等建立指纹地图成为目前室内定位研究的热点。本文分析了地磁场所含有的信息,以及利用地磁场进行定位的原理;在室内环境下,利用地磁场信息构建了离线指纹地图,有效保护用户的位置信息。

## 1 磁力计工作原理

地磁场是地球固有的特征,一直是人类及其他动物确定方向的重要依据。从司南到现在智能手机上的指南针,其应用的工作原理均基于地磁场。研究表明,目前的地球磁场可分为地核场和地壳场以及部分来自磁暴等快速变化的磁场,在平时的测量数据中,地核场占 95%,而当磁暴等发生时,磁场变化范围不大并且变化速度快<sup>[9]</sup>。因此,可以利用现有的稳定磁场作为定位导航的信号源。

随着微机电系统 (Micro-Electro-Mechanical System, MEMS) 的发展,陀螺仪 (gyroscope)、加速度计 (accelerometer) 和磁力计 (magnetometer) 等传感器的技术已经越发成熟。其中,微机电磁力计采用各向异性磁致电阻材料来检测空间中磁感应强度的大小。这种具有晶体结构的合金材料对外界的磁场很敏感,磁场的强弱变化会导致各向异性磁致电阻的电阻值发生变化。在制造过程中,将一个强磁场加在各向异性磁致电阻材料上使其在某一方向上磁化,建立起一个主磁域。为了使测量结果以线性的方式变化,各向异性磁致电阻材料上的金属导线呈 45°角倾

斜排列,电流从这些导线上通过。当有外界磁场时,电阻上主磁域方向就会发生变化而不再是初始的方向,那么磁场方向和电流的夹角也会发生变化。夹角的变化会引起各向异性磁致电阻自身阻值的变化,并且呈线性关系且电流的大小也呈线性关系。利用惠斯通电桥检测各向异性磁致电阻的阻值变化,没有外界磁场的情况下,电桥的输出为零,而在有外界磁场时电桥的输出为一个微小的电压  $\Delta V$ 。通过检测  $\Delta V$  的大小来输出磁场的大小<sup>[10]</sup>。

在室外时,地球磁场只可以给我们指明方向,并不可以提供导航的必要信息。但是当位置在室内时,建筑物中的钢筋结构以及室内的各种通电设备会影响室内的地磁场<sup>[11]</sup>。若使用磁感应线的概念来描述磁场,那么磁感应线上的每一个点的切线都是具有大小和方向的空间向量,这个空间向量的大小便是磁场的总强度,而这个总强度的大小和磁感应线的疏密程度有关。这样就可以形象地理解磁场在室内的分布情况了。

被建筑和通电设备影响以后的地磁场无疑是一个天然的信息源,具有天然固有、无辐射和无需外置信号源等优点。因此若使用其作为定位的依据则会减少很多成本。若想利用地磁场进行定位,就需要对磁场固有的丰富信息进行研究。首先,智能手机的传感器所获取的数据是三轴的数据。当我们面对智能手机屏幕时,垂直屏幕向外是  $z$  轴,沿着屏幕向右为  $x$  轴,沿着屏幕向上为  $y$  轴。其坐标系如图 1 所示。

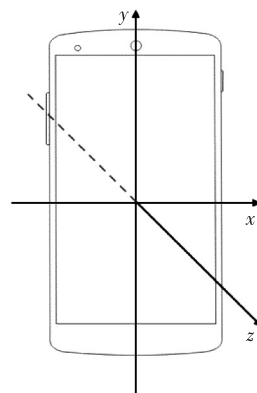


图 1 Android 系统坐标系

Fig. 1 Coordinate system for Android phone

在这样的坐标系基础上,智能手机所采集的地磁场信息由 3 个轴分量表示,将其复合以后就能表示其丰富的磁场信息。图 2 为磁场信息分析图。其中  $M$  为该点的磁感应线切线,具有大小和方向 2 个属

性,它在  $z$  轴上的投影称为垂直分量  $Z$ ,它在  $x-y$  平面上的投影称为水平分量  $H$ ,由  $x, y$  分量合成得到.

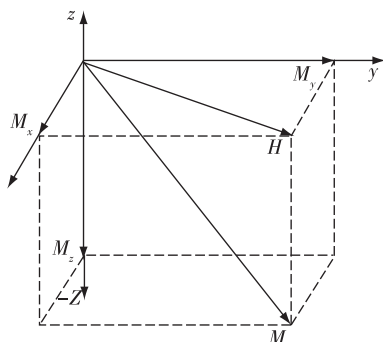


图2 磁场信息分析

Fig. 2 Magnetic field information analysis

磁感应线的切线可以表示这个点磁场的大小和方向,因此空间向量  $M$  同时具有大小和方向 2 个属性.将磁场总强度  $M$  用下面的公式表示:

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}, \quad (1)$$

式中  $M$  为地磁场总强度,  $M_x, M_y, M_z$  为手机磁力传感器采集的三轴分量.那么方向信息分别使用偏角  $D$  和倾角  $I$  来表示.由于建立的手机坐标系无法获取地球正北方向,所以当假设  $y$  轴指向正北时,偏角  $D$  为地磁场水平分量和地球正北方向的夹角:

$$D = \arctan \frac{M_x}{M_y}, \quad (2)$$

倾角  $I$  为磁场总强度和水平面的夹角:

$$I = \arctan \frac{M_z}{H}, \quad H = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}. \quad (4)$$

因此,地磁场具有丰富的信息,且在室内环境下这些信息的差异性得到了放大,可以根据这些被改变以后的信息来获取可用的信号源作为定位的依据.

## 2 定位模型架构

离线定位模型需要完全脱离网络对行人的位置进行估算,需要行人的行动方向、行动轨迹和用于匹配的指纹地图这 3 种信息.在智能手机普遍具备的传感器中,只需要磁力计和加速度计就可以获取这 3 种用于室内定位的关键信息,如图 3 所示.

首先通过磁力计和加速度计获取方向,在行人行走时,通过加速度数据获取行人的步数和步长,通过这些信息可以计算出行人的行动轨迹.然后,磁力

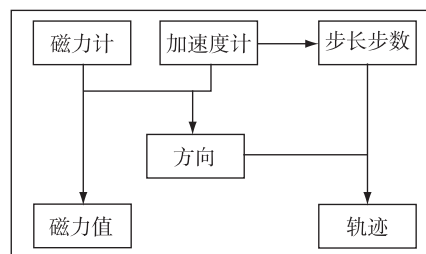


图3 磁力传感器和加速度传感器采集的信息示意

Fig. 3 Schematic of information collected by magnetic and acceleration sensors

计读取该位置的地磁场数据,使用该轨迹和实时采集的地磁数据与地磁指纹地图进行匹配,就可以获取用户的位置.定位模型工作流程如图 4 所示.

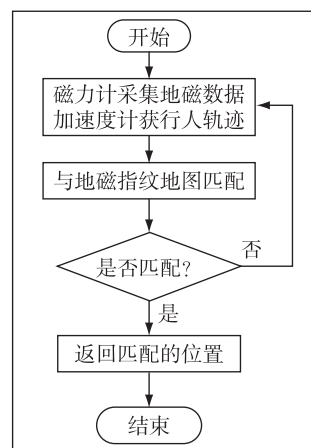


图4 离线定位模型的定位流程

Fig. 4 Positioning process of offline positioning model

仅仅通过用户在行走时的传感器采集数据就可以在完全离线的环境下获取到用户的位置信息,从而实现离线室内定位并提供相应的位置服务.

## 3 磁力指纹地图

### 3.1 地磁指纹地图定位原理

为了利用地磁信息进行定位,本文采用引言中介绍的模式匹配法.同样需要构建出离线的地磁指纹地图<sup>[12-13]</sup>.如图 5 所示,首先将室内环境分割为网格状,然后在地磁指纹地图构建阶段将每个点的地磁信息采集处理后,保存在地磁指纹地图数据库中.由于地磁信息的特殊性,也可以采用多点间的路径来存储地磁信息.不论如何处理,最后需要获取基于该环境的地磁场信息指纹库,这样就完成了离线指纹地图的构建工作.

在定位阶段,将智能手机采集的点或路径上的地磁信息与地磁指纹地图库的信息进行匹配,这样就可以给出智能手机所在的位置或者路径,从而达到定位的目的.

由上述对地磁场以及其所含有的信息和磁力计的工作原理可知,如何利用这些丰富的信息进行地磁指纹地图的构建是实现离线定位的关键.由于室内的地磁场强度在室内分布不均,并且是较稳定的存在,因此很容易想到通过对室内不同地点的强度信息进行采集从而建立一张指纹地图.然而在实际的测量中发现,使用 Nexus 5 的 AK8963 磁力传感器测得的室内地磁强度一般在  $40\sim 60\ \mu\text{T}$ ,这样的数值差异性不足以建立一张标准的地磁指纹定位地图.通过实验还发现,由于不同智能手机厂商提供的传感器型号、校准算法等的不同,不同智能手机对于同一个点的磁场强度测量会有一些的偏差<sup>[14]</sup>.因此这也将给地磁指纹地图构建工作带来难度.

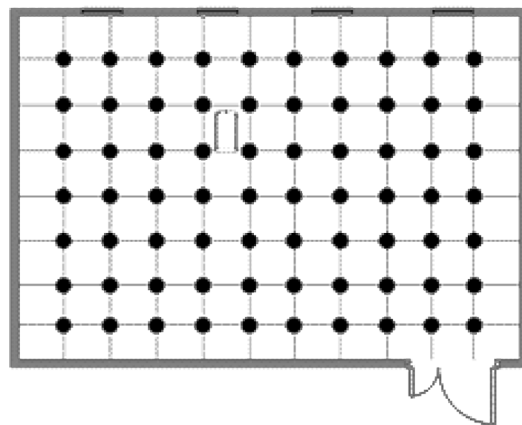


图5 模式匹配法示意

Fig. 5 A schematic view of pattern matching method

本文的实验地点为南京邮电大学的计算机学院学科楼1楼,场地平面如图6所示.

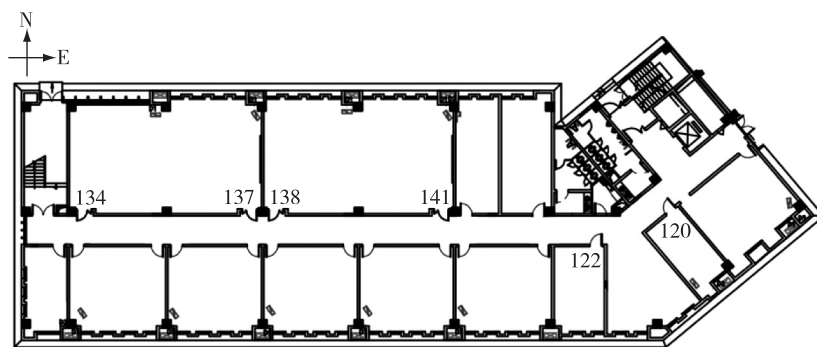


图6 南京邮电大学学科楼1楼平面示意

Fig. 6 Plan of experimental site in Nanjing University of Posts and Telecommunications

### 3.2 地磁指纹地图构建方案

地磁场总强度在同一地点保持稳定,且在一段距离内会产生明显的变化.Zhang 等<sup>[15]</sup>提出一种通过记录实际的路径和对应的磁场总强度变化的方法来构建用于定位的地磁指纹地图.他们通过对比不同型号的智能手机采集同一段路径的磁场总强度值,发现在相同路径上的磁场强度变化规律是一样的,这就可以解决不同传感器厂商的传感器校准数值不同的问题.

在测试开始前,本文使用智能手机的传感器对室内环境的磁场总强度进行了采集,并且根据采样点的数值估算出了室内地磁强度的示意图,如图7所示.

从静态采集的室内总强度可以了解到,室内环

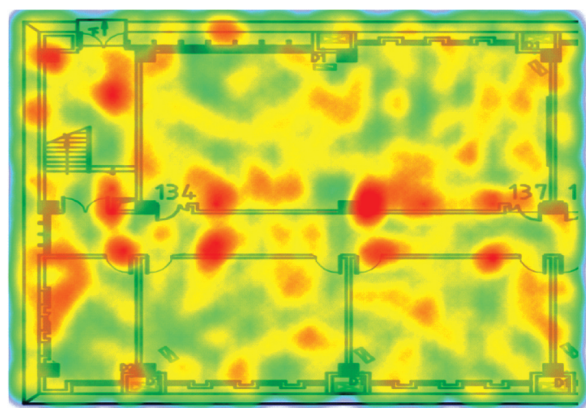


图7 室内地磁总强度示意

Fig. 7 Intensity distribution of indoor geomagnetic field

境确实存在磁场总强度的变化.为了验证磁场总强

度变化是否可以作为定位的依据,本文对室内环境进行了多路径测试,其中会有重复路径.在室内环境

规划了3条测试路径如图8所示,其中AB段为相同路径,BC、BD、BE为不同路径.

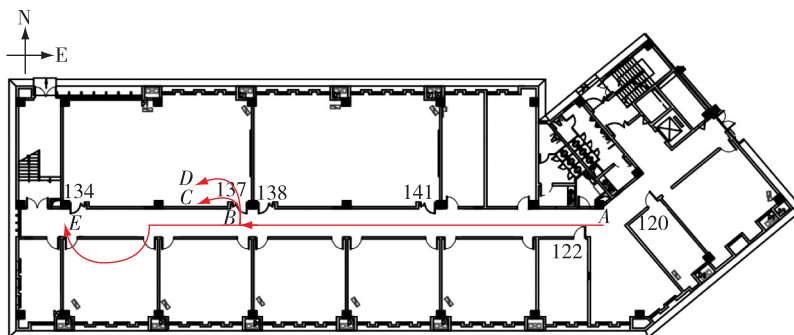


图8 不同的测试路径

Fig. 8 Paths of magnetic intensity measurement

通过使用 Nexus 5 对上述路径进行测试,结果如图9所示.通过对数据的对比分析发现,在相同路径AB上,传感器3次采集的数据基本吻合.在不同的路径BC、BD和BE段,传感器采集的磁场强度数据完全不同.

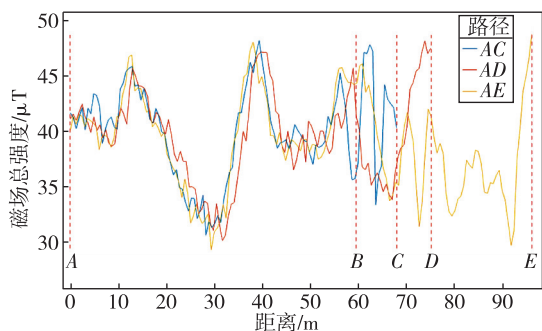


图9 不同路径的磁场总强度变化结果

Fig. 9 Data analysis result of indoor geomagnetic strength distribution for different paths

通过以上的实验,我们认为 Zhang 等<sup>[15]</sup>提出的采用路径和磁场总强度结合并记录总强度变化的方法来构建地磁指纹地图,并且用来作为室内定位的依据是可行的.我们在调研中发现,在智能手机的产品多元化、姿态变化频繁的情况下,利用地磁场总强度进行定位是目前较为可行的地磁定位方法.

#### 4 离线定位

在确定地磁指纹地图构建方案以后,我们按照模式匹配的方法进行设计地磁指纹地图的采集模块和定位模块.为了更好地验证离线定位模型的可行性,我们使用 Android 平台开发了测试系统,并且使

用如图10所示的数据库表存储地磁指纹信息.

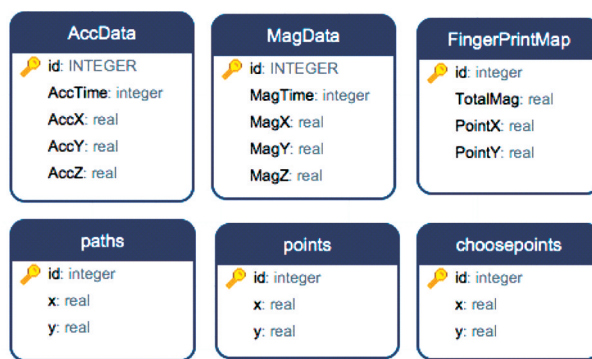


图10 测试系统地磁指纹地图存储方案

Fig. 10 Test system database tables

我们在数据库中存储加速度计和磁力计采集的原始数据,并且在指纹地图构建阶段通过惯导模型将采集的轨迹坐标存储在 paths 表中,将处理后得到的地磁指纹地图存储到 FingerPrintMap 表中.

为了高效地进行指纹地图的构建,根据实际情况在平面图上标记了8个坐标点,这样可以实现高效的路径采集.如图11所示,采用点和点之间的路径作为存储地磁信息的基本单元.

将采样路径的磁场信息处理以后,以平面图的宽作为 x 轴,高作为 y 轴,将地磁场的总强度作为 z 轴数据表示,未涉及的位置用线性插值的方法处理后可得结果如图12所示.

由图12可见,地磁场总强度的分布具有特异性且构建的采集模块可以有效采集这些信息用于构建地磁指纹地图,并且用作实现定位的依据.图13是本定位模型实现定位的效果:蓝色点为定位模块通

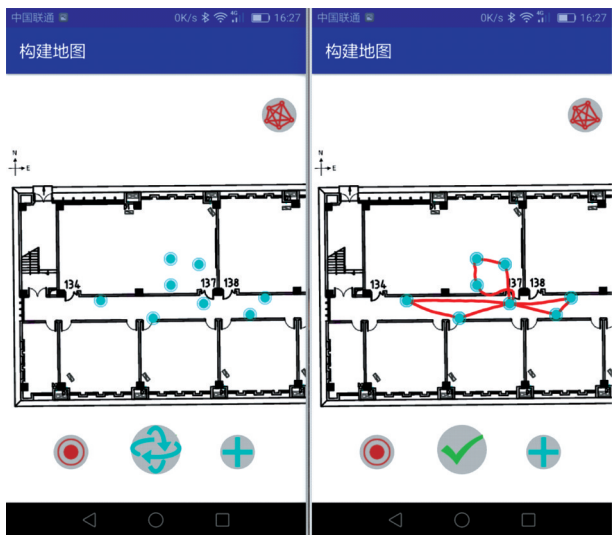


图 11 采集模块的采样点标记以及采集路径  
Fig. 11 Sampling points of the acquisition module and the acquisition path

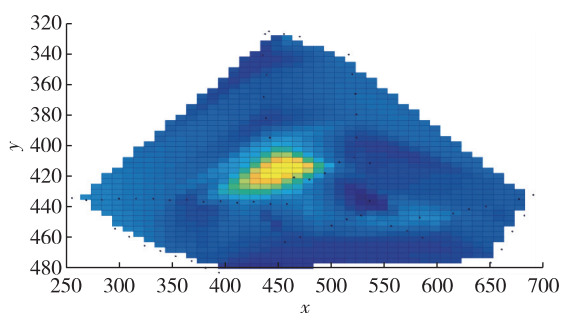


图 12 采样点的磁场总强度拟合示意  
Fig. 12 Fit of total magnetic field strength at sample points

过实时采集地磁信息和惯导信息与地址指纹地图匹配后返回的结果,以坐标的形式显示在平面图上,实现了离线的定位方法。

### 5 结束语

定位服务给我们的出行带来了极大的便利,但由于目前的定位服务主要依靠卫星和网络进行实时在线定位,这不仅仅让智能手机的电量消耗巨大,同时也带来了位置隐私的安全问题。

本文分析了地磁场所具备的信息,并且通过调研和实验验证了利用磁场总强度实现室内定位的方案。地磁场是天然存在的信息源,并且具有丰富的信息。本文通过使用智能手机的磁力计和加速度计实现离线地磁指纹地图的构建,并且基本实现了在室内的定位需求,不仅降低了定位时的能源消耗而且

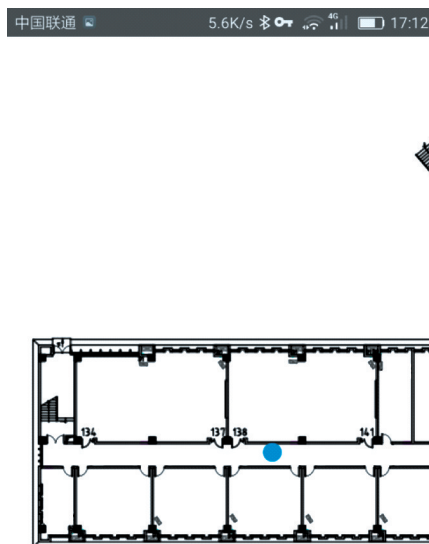


图 13 离线定位模型的测试定位效果

Fig. 13 Test result of the proposed offline positioning model

也保证了用户在完全离线的环境下可以达到室内定位的目的。通过传感器实现的离线定位模型有效地解决了用户的位置信息泄露问题,实现了在大数据背景下的位置信息隐私保护的的目的。

### 参考文献

#### References

[ 1 ] 叶凌鹏.基于数据挖掘的指纹室内定位[D].北京:北京交通大学电子信息工程学院,2017:1-3  
YE Lingpeng. Fingerprint indoor localization based on data mining[D]. Beijing: School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, 2017: 1-3

[ 2 ] He S N, Chan S H G. INTRI: Contour-based trilateration for indoor fingerprint-based localization[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2017, 16(6): 1676-1690

[ 3 ] 罗新禹,郝庆水,曹建梅,等.模式匹配法水下目标定位仿真研究[J].微处理机,2016,37(1):68-71  
LUO Xinyu, HAO Qingshui, CAO Jianmei, et al. Study on simulation of matched-mode processing for underwater locating[J]. Microprocessors, 2016, 37(1): 68-71

[ 4 ] 俞发荣,李登楼,谢明仁.苯污染对人类健康影响研究进展[J].生态科学,2016,35(2):195-199  
YU Farong, LI Denglou, XIE Mingren. Research progress

- on effects of benzene pollution on human health[J]. Ecological Science,2016,35(2):195-199
- [5] Liu K K, Liu X X, Li X L. Guoguo: Enabling fine-grained indoor localization via smartphone [C] // International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, 2013: 235-248
- [6] 袁国良, 宋显水. 基于 WiFi 和 IMU 结合的室内定位方法的研究[J]. 微型机与应用, 2017, 36(8): 11-14  
YUAN Guoliang, SONG Xianshui. Research of indoor position method based on WiFi and IMU combination[J]. Microcomputer & its Applications, 2017, 36(8): 11-14
- [7] 刘恺, 张仕斌. 基于 iBeacon 的室内定位技术发展综述[J]. 科技风, 2017(2): 2-3  
LIU Kai, ZHANG Shibin. Summary of the development of indoor location technology based on iBeacon[J]. Technology Wind, 2017(2): 2-3
- [8] 仝伟, 毛云龙, 陈庆军, 等. 抗大数据分析的隐私保护: 研究现状与进展[J]. 网络与信息安全学报, 2016, 2(4): 44-55  
TONG Wei, MAO Yunlong, CHEN Qingjun, et al. Survey of big-data-analysis-resistant privacy protection [J]. Chinese Journal of Network and Information Security, 2016, 2(4): 44-55
- [9] 艾文娟, 刘岩. 基于 MEMS 技术的惯性/地磁组合导航[J]. 自动化与仪器仪表, 2016(1): 110-113  
AI Wenjuan, LIU Yan. Inertial/geomagnetic integrated navigation based on MEMS technology [J]. Automation and Instrumentation, 2016(1): 11-113
- [10] 曹文. 基于磁阻传感器的地磁信号检测[D]. 武汉: 华中科技大学光学与电子信息学院, 2007: 8-15  
CAO Wen. Geomagnetic signal detecting based on magneto-resistive sensor [D]. Wuhan: School of Optical and Electronic Information, Huazhong University of Science and Technology, 2007: 8-15
- [11] 游修东, 陈勇, 陈遥沛. 近距离磁感应线圈的磁场计算与仿真分析[J]. 水雷战与舰船防护, 2017, 25(1): 55-56  
YOU Xiudong, CHEN Yong, CHEN Yaopei. Magnetic field calculation and simulation analysis of close range magnetic induction coil [J]. Mine Warfare & Ship Self-Defence, 2017, 25(1): 55-56
- [12] Grzechca D, Wrobel T, Bielecki P. Indoor localization of objects based on RSSI and MEMS sensors [C] // IEEE International Symposium on Communications and Information Technologies, 2015: 143-146
- [13] Song J, Hur S, Park Y, et al. An improved RSSI of geomagnetic field-based indoor positioning method involving efficient database generation by building materials [C] // International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, 2016: 1-8
- [14] Gozick B, Subbu K P, Dantu R, et al. Magnetic maps for indoor navigation [J]. IEEE Transactions on Instrumentation & Measurement, 2011, 60(12): 3883-3891
- [15] Zhang C, Subbu K P, Luo J, et al. GROPING: Geomagnetism and crowdsensing powered indoor navigation [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2015, 14(2): 387-400

## Offline geomagnetic positioning model for location privacy protection

CHEN Shijun<sup>1</sup> LIN Licheng<sup>2</sup> XU Xiaolong<sup>2,3</sup> CHEN Dawei<sup>1</sup> WANG Yuanyuan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ZTE Corporation, Shenzhen 518055

<sup>2</sup> Jiangsu Key Laboratory of Big Data Security & Intelligent Processing, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003

<sup>3</sup> State Key Laboratory of Information Security, Institute of Information Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093

**Abstract** Location based service brings great convenience for people's life. At present, most of the positioning services in indoor environment are based on the wireless network. However, big data makes the user's personal information no longer privacy. In particular, the service provider will obtain the user's personal location information in real time with the network-based positioning service. How to protect user's location information is an important issue in the big data era. This paper introduces an offline geomagnetic positioning model for indoor location data privacy protection. This model uses the accelerometer to detect pedestrian gait information and match the magnetic field information detected by the magnetometer with the fingerprint map. It can not only provide indoor location service, but also solve the problem of user's location information disclosure, thus gives an effective solution to user location privacy protection.

**Key words** privacy protection; location privacy; geomagnetic fingerprint map; offline positioning