

【GeoScience Café】旷俭：捷联 PDR 辅助的智能手机多源室内定位算法研究

核心提示：移动智能手机因内置丰富的传感器，已广泛用于行人室内定位应用。然而，智能手机平台存在传感器性能差、运动复杂以及室内环境复杂等典型问题，严重制约着行人室内定位系统的性能。在 GeoScience Café 第 233 期学术交流活动中，旷俭博士报告展示了一种捷联 PDR 辅助的智能手机多源室内定位算法，主要包括捷联 PDR 算法、轮廓磁场特征匹配算法和相对轨迹辅助算法。同时，分享使用该算法参加国际室内定位比赛的经历。

文字：王葭泐 摄影：李皓 摄像：李涛、杨婧如

>>>人物名片

旷俭，卫星导航定位技术研究中心博士后，主要研究行人航迹推算、磁场匹配定位和多源融合室内外无缝定位，发表论文 3 篇；2018 年 4 月参加美国国家标准与技术研究院（NIST）组织的智能手机室内定位比赛，获得全球总冠军；2018 年 9 月，参加法国交通部主办的第九届国际室内定位与室内导航大会（IPIN）室内定位比赛，获得智能手机组冠军和脚上安装惯性传感器组冠军。

>>>报告现场

人们的大部分时间生活在室内。然而在面对复杂的室内环境时，如机场、商场等，人们需要知道自己所在的空间位置，因此迫切需要一种高可用高精度的室内定位技术。随着智能手机的广泛普及，由于其强大的运算处理能力和集成的丰富的传感器，智能手机成为了消费类室内定位应用最理想的定位终端。越来越多的学者以智能手机为载体提出了不同的室内定位的方法。

2019 年 11 月 25 日，卫星导航定位技术研究中心旷俭博士做客 GeoScience Café 第 233 期学术交流活动。他结合自己的研究成果以及参与国际室内定位比赛的经历，介绍了多种智能手机室内定位的方法并着重讲解了捷联 PDR 辅助的智能手机多源室内定位算法的研究工作，同时分享了自己参与国际级比赛、做科学研究经验，让听众受益匪浅。

室内定位的研究背景

数据表明人们大部分时间都生活在室内空间，由此便产生了广泛的室内定位需求，例如定位与导航、社交网络、精准广告投放、公共安全与突发事件处置等。与室外环境使用 GNSS 就能够满足大部分定位需求的情况不一样；室内环境普遍比较复杂，无法仅使用单一的定位方法去解决室内定位问题。因此，室内定位是一种组合定位技术。

旷俭博士介绍到，他所做的工作是面向大众用户的应用，称之为消费类室内定位技术，依托于国家重点研发计划“高可用高精度室内智能混合定位与室内 GIS 技术”。其中，消费类室内定位的典型特点就是使用智能手机作为定位终端，这是因为智能手机普及率很高，同时其内置了丰富传感器，保障了室内定位的信号源。

智能手机室内定位研究现状

目前，手机集中了加速度计、陀螺仪、磁力计、气压计、光传感器和摄像头等传感器与 GNSS 定位技术与蓝牙、Wi-Fi、2G/3G/4G/5G 和 RFID/NFC 等射频信号。旷俭总结了目前在智能手机上可以利用的消费类室内定位方法，包括基于 Wi-Fi、蓝牙标签、2G/3G/4G/5G、视觉、磁场、行人航迹推算（PDR）等方法。每种方法因为定位机理的差异，有着不同的定位精度和优缺点。旷俭同时举例表示基于视觉的定位，虽然定位精度可以达到 cm-dm 级，但是需要用户去培养特定的使用习惯，因此现阶段视觉定位并不适合去做面向消费者的定位方案。

旷俭简要地介绍了 3 种典型的消费类行人室内定位方法的研究现状：

（一）行人航迹推算（PDR）。该方法具有全自主，即插即用属性，但是误差随着距离增加。PDR 的基本原理：通过检测用户的脚步来判断用户是否向前运动，若有新的脚步则利用模型估计出步长，同时使用姿态滤波估计行走方向，最终计算得到用户的位置。该方法最大的挑战是航向漂移速度快，不能即时估计手机安装角，这严重影响了 PDR 的可用性。

（二）匹配定位。包括无线信号指纹匹配和磁场特征匹配。无线信号指纹匹配存在着信号不稳定（如人体干扰、信号折射和反射等）、设备差异、指纹库迅速变化等问题。磁场特征匹配则是利用无处不在、无时不有的环境磁场信号，然而环境磁场信号普遍波动平缓，现阶段的磁场匹配算法（包括序列匹配和粒子滤波）无法在计算量和定位精度上同时满足实际应用需求。

(三) 组合定位。如 Wi-Fi/PDR、磁场匹配/PDR、Wi-Fi/磁场匹配/PDR。旷俭认为组合定位充分利用定位技术之间的互补特性，发挥各个定位技术的优势，从而构建一个高性能的定位系统。然而，面向计算资源和能耗都有限的智能手机，现阶段仍然缺少一种轻量级、可靠性高的组合定位算法。

室内定位研究工作及进展

旷俭介绍了自己的研究研究工作——捷联 PDR 辅助的智能手机多源室内定位算法，主要包括以下几个部分：

1. 改进的捷联行人航迹推算。

传统的 PDR 以脚步检测和步长估计为基础，捷联 PDR (S-PDR) 则以捷联惯导算法为核心，采用步长模型构造速度修正信息。

现有文献中的捷联 PDR 算法主要有两种。二者的区别在于观测信息的使用，第一种，通过检测用户状态，从而构造速度修正信息；第二种，则使用脚步模型 PDR 推算的位置修正信息。我们的改进工作主要在第一种方法的基础上，增加了重力向量信息和准静态磁场信息；同时为了适应用户使用手机模式来回切换等复杂动态，我们基于捷联惯导算法的自主推算能力设计了一种即时估计方法，从而提高 PDR 的可用性。

其中，具体使用了四种约束信息。1、准静态，即判断用户处于静止站立状态时，此时速度应该为零，同时航向角保持不变；2、伪速度和运动约束，即当用户正常步行时，在人体坐标系下只存在前向速度，侧向和垂向速度都为零，而前向速度通过估计的步长除以脚步周期获得；3、重力向量，当判断手机不存在外部作用力时，此时加速度计的输出在导航系下的投影应该等于重力向量；4、准静态磁场，虽然室内存在人造磁场的干扰，但一些局部区域的磁干扰是一样的，使用进入该区域时的观测值标定区域磁场，就可以获得相对航向修正信息。

2. 捷联 PDR 辅助的磁场轮廓特征匹配

磁力计观测的是复杂的环境磁场，无法应用稀疏点结合内插方法的思路不适用磁场数据库构建，因此需求一种高效率的指纹采集方法。针对该问题，我们基于脚上安装惯性传感器结合手机内置传感器，设计了一种高效率的定位指纹采集方法。其中，智能手机提供时间对齐基准，并用于采集指纹数据，而脚上传感器用于提供可靠的位置坐标。这种方式，因为精简了操作流程，减少了控制点的数量，在保证坐标精度的同时，提高了指纹数据采集效率。

在定位算法阶段，磁场特征因具有低维度的特点，我们从增强磁场特征区别度出发改善定位性能。主要措施有三个，第一，使用水平角将磁场强度模值分离为水平分量和垂直分量；第二，利用连续观测的磁场数据构成基本单元，也就是磁场时间序列；第三，将 PDR 提供的相对轨迹与磁场强度关联起来，构建磁场轮廓特征。相较于时间序列，轮廓特征增加了空间拓扑属性。

3. 相对轨迹辅助的捷联 PDR/磁场特征匹配/BLE 指纹匹配组合定位

该算法主要特点是观测值整体优化，其思路是：利用脚步模型 PDR 输出的高精度相对轨迹构造约束条件，探测出窗口内的少量粗差并剔除，生成新的观测值，并使用优化算法的估计残差提供理论标准差，从而减少匹配定位结果大跳动以及理论标准差缺失所带来的卡尔曼滤波不稳定现象。

室内定位比赛经历

2018 年 NIST 室内定位比赛是参照消防员室内活动而设计的比赛，运动状态包括前进、后退、侧走、爬行、推行、上下楼梯和上下电梯等复杂场景。除了运动状态远超平时科研算法的研究之外，参赛方所能使用的数据源只有传感器和 Wi-Fi 的数据，总体难度很大。而 2018 年 IPIN 手机定位数据处理比赛则相对简单：手机组是利用智能手机内置的传感器数据，给商场环境下的用户提供准确的定位服务，测试场景如乘坐电梯及扶梯、多楼层切换、车流密集的停车场、人流密集的购物区等更贴切用户的真实购物习惯；脚上安装组利用基于叫上安装惯性传感器的安装发难，主要针对无任何布设和无预先测绘条件下的室内紧急救援应用，测试数据总时长约 20 分钟，总里程约 1 公里，覆盖室内外切换、楼梯、直梯和扶梯等场景。

旷俭在三年博士期间中，抽出了将近八个月的时间参加这个比赛，取得了冠军的成绩。他总结的参赛经历感受是，团队合作很重要、仔细阅读比赛规则以及身体很重要。

>>>互动交流

观众 A: 师兄您好！在高德地图的室内定位应用中，例如在银泰创意城，室内定位的时候可以进行楼层切换，请问这是利用什么原理？

旷俭: 直接利用 Wi-Fi 即可。

观众 B: 旷俭博士，你好。我想问一下如何识别人在行走过程中是否处于准静态磁场环境？

旷俭: 首先陀螺可以估算出一个相对的角度变化量，磁力计也可以算出一个角度变化，这两个角度变化可以作为一个检校值，当它的波动大于一定阈值，就认为它不是准静态磁场。

观众 C: 您好，请问您在算法结果分析的时候，使用了四款最新款的手机，有没有考虑采用使用三四年的旧手机以及多系列的手机进行对比一下？实验场景有没有选择多个商场、多个办公楼等在场景之间进行对比分析？谢谢！

旷俭: 站在产业的角度，肯定需要进行上述的测试。在研究之中，考虑到了测试的时间成本，会选择比较简单的场景进行测试，体现提出来的算法的效果即可达到自己的需求。当然团队也做了很多测试，只是在这里没有将其呈现出来。在效果上来看是整体差不多，但是存在这用户使用行为差异带来的稳定性问题，也是在做工程化所面临的问题。

观众 D: 旷老师您好，您在捷联 PDR 之后，做了卡尔曼滤波。您的状态向量中除了位置、步长、航向之外，还有其他状态量吗？

旷俭: 我们的状态量包括位置、速度、姿态，以及传感器误差。



旷俭作精彩报告



观众认真听讲



观众提问



旷俭（左三）与 GeoScience Café 团队成员合影留念

GeoScience Café以“谈笑间成就梦想”为目标，于每周五晚 7:00 在实验室四楼休闲厅，邀请 1-4 位嘉宾，为大家带来学术报告或经验分享。报告内容包括摄影测量与遥感、地理信息系统、导航与定位服务等研究方向，听众可在报告结束后向嘉宾提问、与嘉宾交流探讨，同时每学期还会举办 2 期人文类讲座和 2 场导师信息分享会。每期报告会根据嘉宾意愿在 B 站开设直播，使不能来到现场的听众同步参与。报告 PPT 和视频会在征得嘉宾同意的情况下在 qq 群和 B 站上发布。

更多精彩内容（讲座预告、讲座回顾、报告 PPT、报告视频）敬请通过以下方式获取：



QQ群



微信公众号



B站直播