

从外在信号环境和内在感知能力 看手机室内定位的可行性

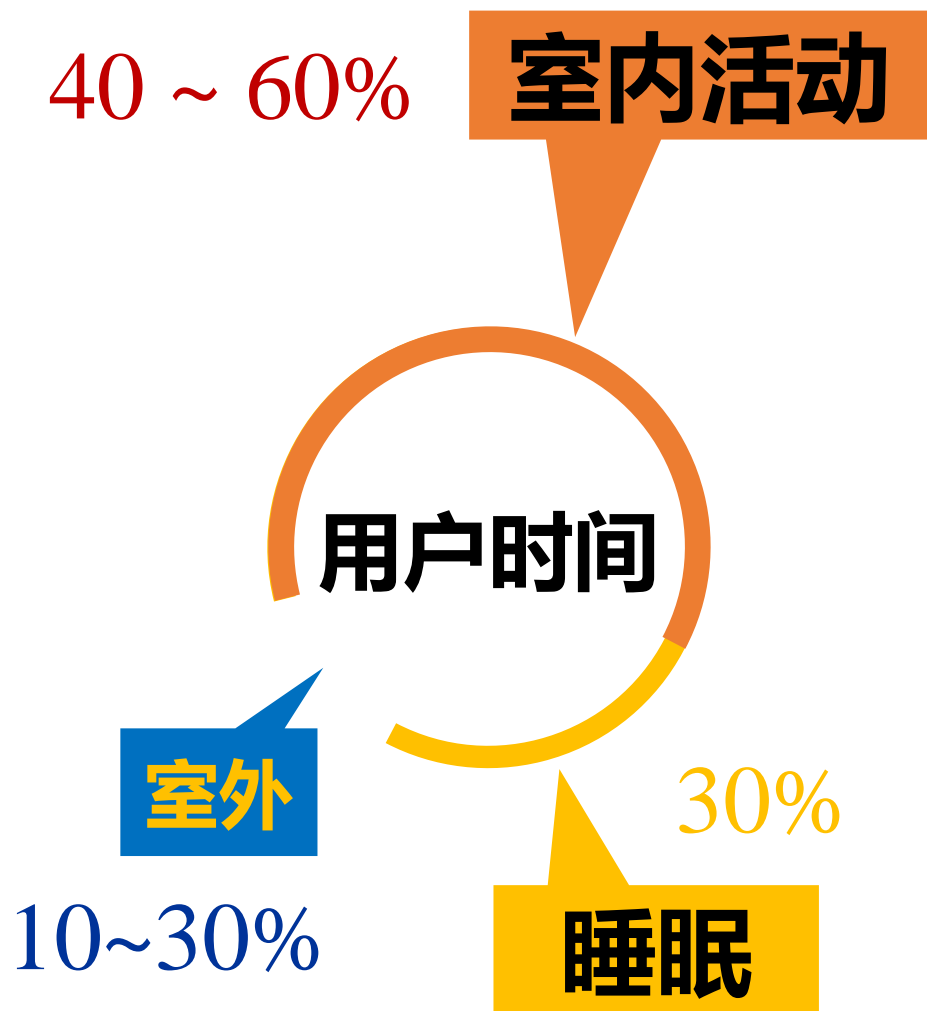
牛小骥 旷俭

武汉大学 卫星导航定位技术研究中心

目录

- **大众室内定位的机遇和挑战**
 - 室内定位信号的丰富多彩
 - 智能手机的信号感知能力
- **典型案例：**
 - 室内磁场特征匹配定位
- **两项必备技术：**
 - 稳健可靠的PDR
 - 特征地图的众源更新
- **总结与展望**

大众室内定位的迫切需求



- 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

典型公共场所的需求与挑战



复杂室内环境下，行人室内定位有着广泛的应用需求。

机场



我在哪？
怎么走？



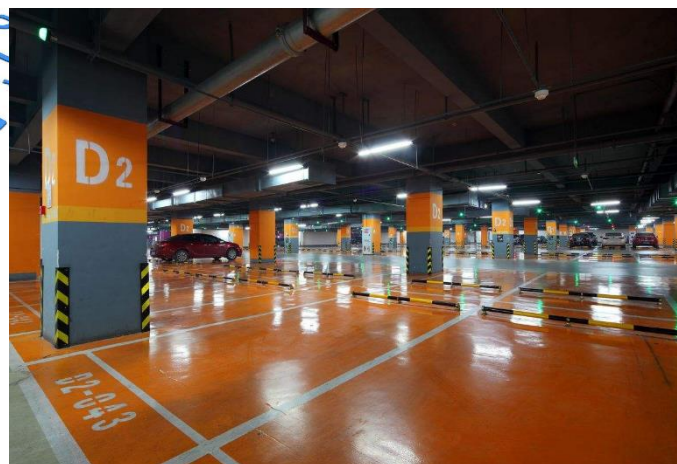
商场



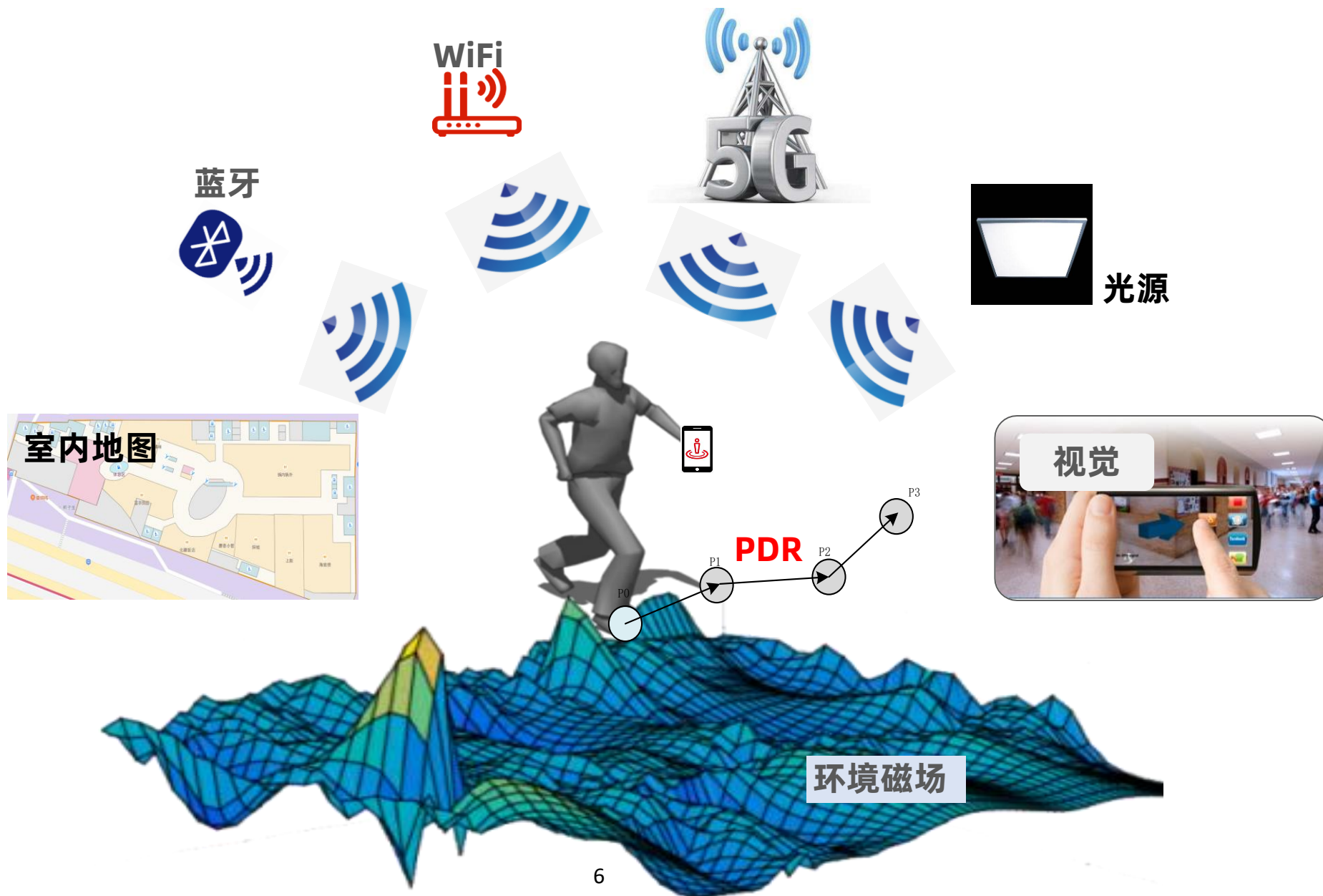
火车站



停车场



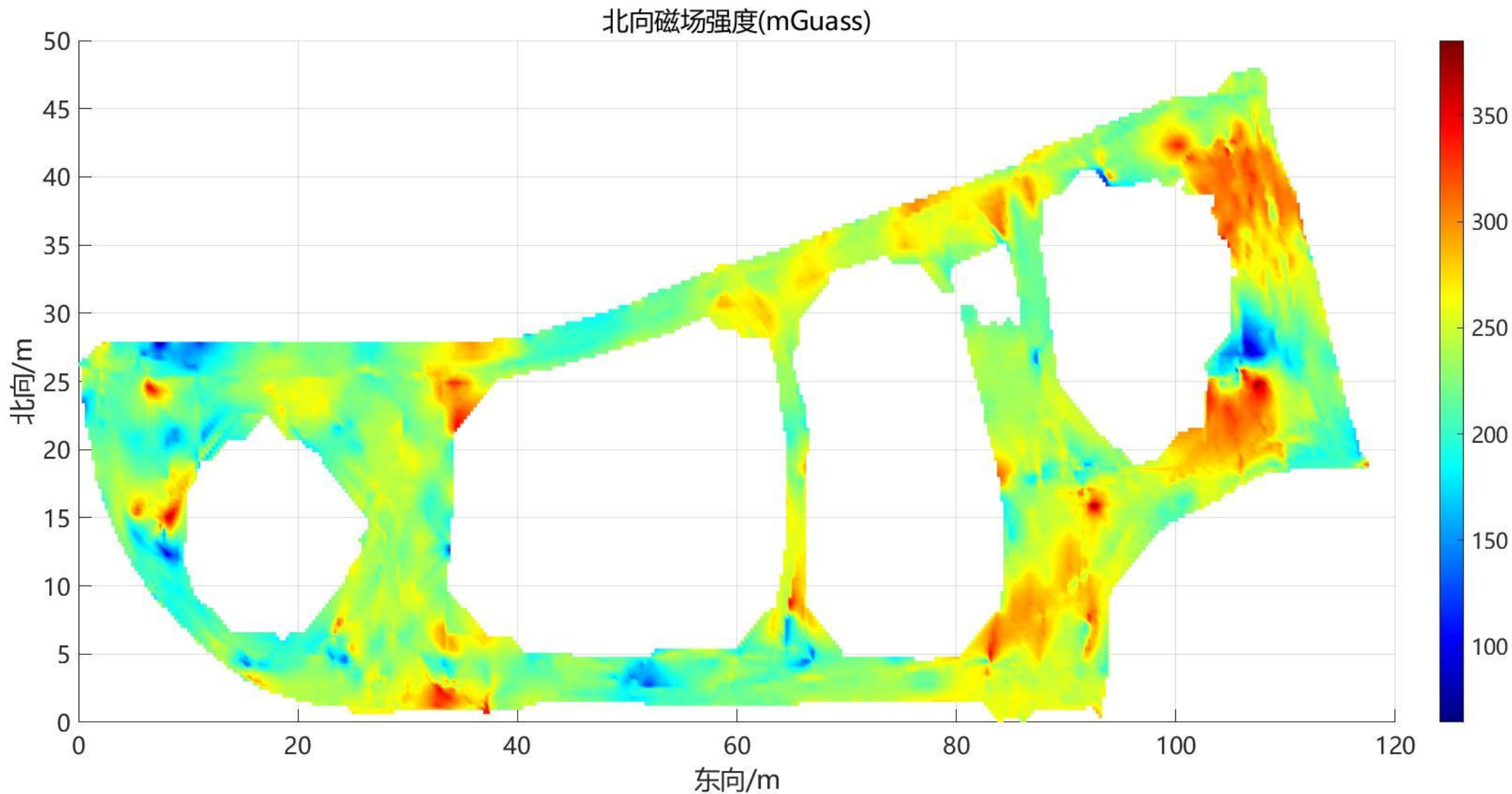
室内定位信号源 - 丰富的机会信号



视觉特征：典型室内视觉场景

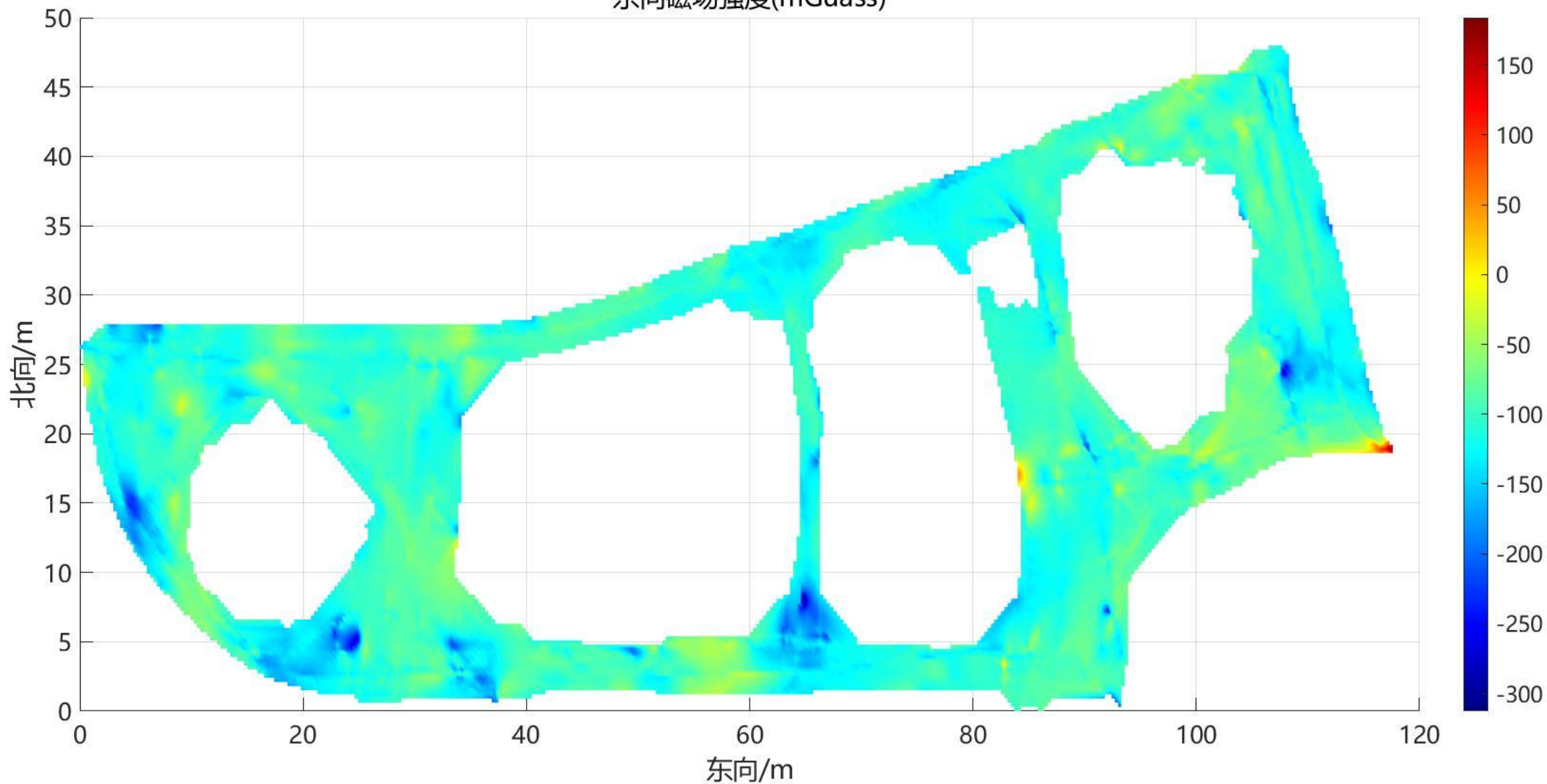


银泰创意城一层磁场分布图（北向）

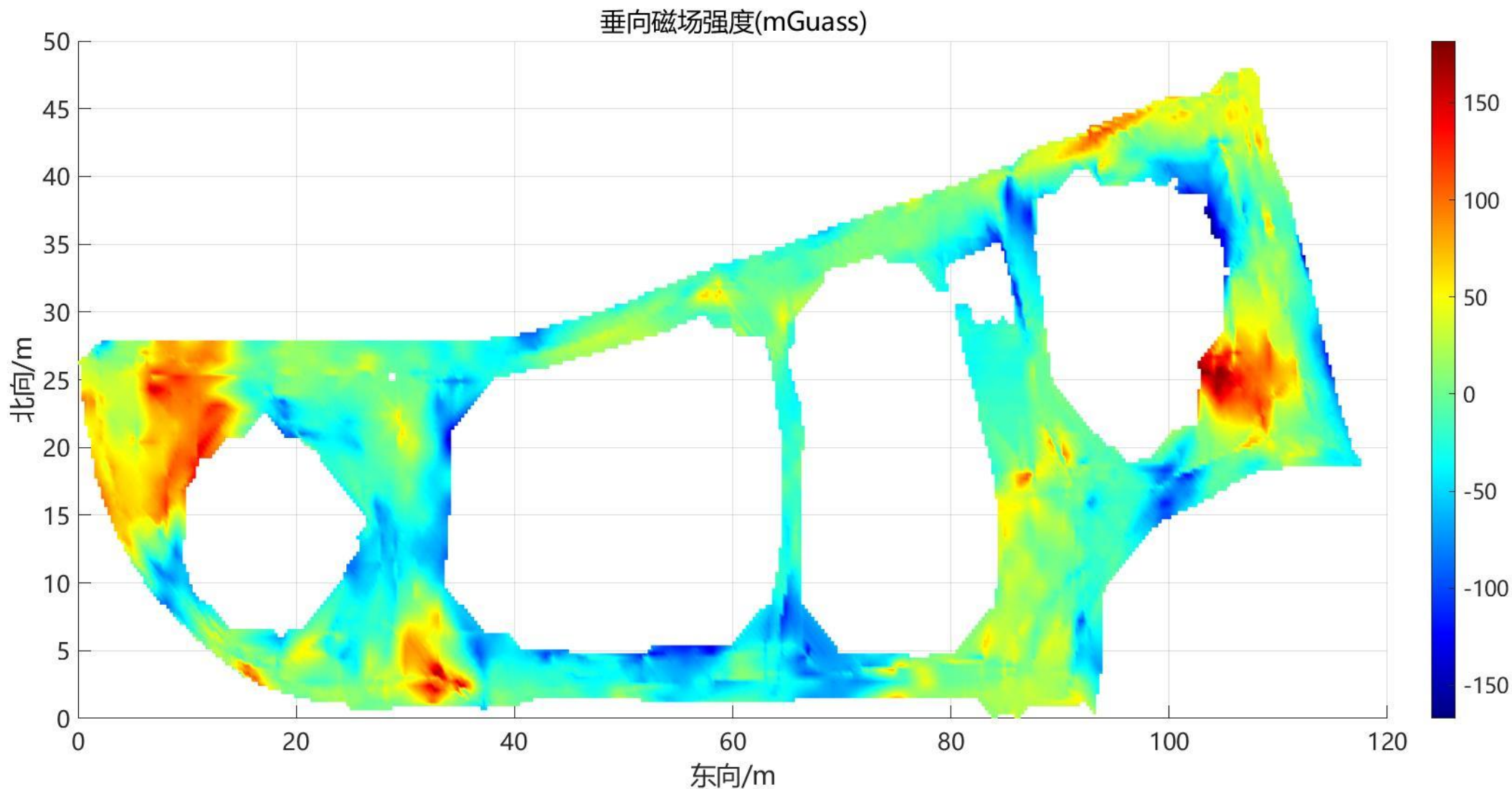


银泰创意城一层磁场分布图（东向）

东向磁场强度(mGuass)



银泰创意城一层磁场分布图（垂向）



室内定位信号列表



方法	定位精度	特点
5G	~m	非专业的定位信号基站，5G可提供米级定位，现阶段不可用。
Wi-Fi	3~10m (RTT 1~2m)	利用现有的设备，无额外硬件成本，指纹数据库维护成本高；RTT测距方法，现阶段不可用且发展趋势不明确。
蓝牙	1~10m (阵列~dm)	需要布设硬件，硬件成本低；维护周期需更换电池，任务繁重。天线阵列测角方案精度高，现阶段不可用。
UWB	~dm	定位精度高；需要布设高密度信号基站，设备安装工作量大，现阶段手机端不可用且发展趋势不明确。
LED光源	~m	需要特定的编码，受基站密度和排列方式影响；智能手机平台，数据计算量较大，且用户需要保持固定姿态。
视觉	cm ~ m	视觉里程计有累计误差，性能受环境纹理分布的影响；基于图片指纹库方法定位精度高，数据库构建与维护成本高。需要用户保持稳定的持握姿势。
音频	~dm	定位精度高，终端差异小；需要布设信号基站，基站成本低；终端计算量大、功耗大，或采用专用芯片。
磁场匹配	1~5m	磁场信号无处不在且长期稳定；指纹位置区别度低，不具有全局唯一特性，需要做序列匹配。
地图匹配	~m	只在特定区域有效(比如走廊)，性能由建筑结构和行人运动状态所决定，通常与PDR组合使用。
行人推算 (PDR)	行走距离1%~8%	误差随时间漂移，性能受传感器本身和用户运动状态影响较大。

智能手机的信号感知能力



智能手机普及率高，且集成了丰富的传感器，是大众室内定位的理想终端。



- 4G/5G
- GNSS芯片
- Wi-Fi/蓝牙
- UWB芯片
- NFC
- 麦克风&扬声器
- 摄像头
- 光传感器
- 陀螺仪&加速度计
- 磁力计
- 气压计

目录

- **大众室内定位的机遇和挑战**
 - 室内定位信号的丰富多彩
 - 智能手机的信号感知能力
- **典型案例：**
 - 室内磁场特征匹配定位
- **两项必备技术：**
 - 稳健可靠的PDR
 - 特征地图的众源更新
- **总结与展望**

室内磁场特征匹配定位

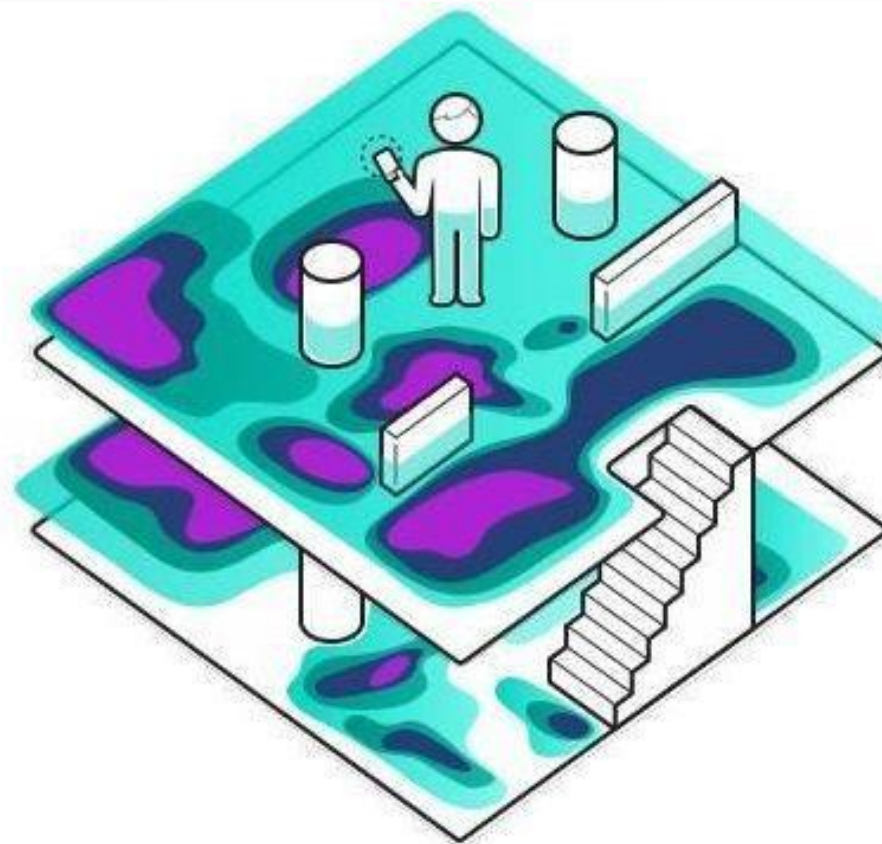


• 原理

- 室内地磁场畸变特征
- 建立磁场特征指纹库
- 手机磁力计测量并匹配定位

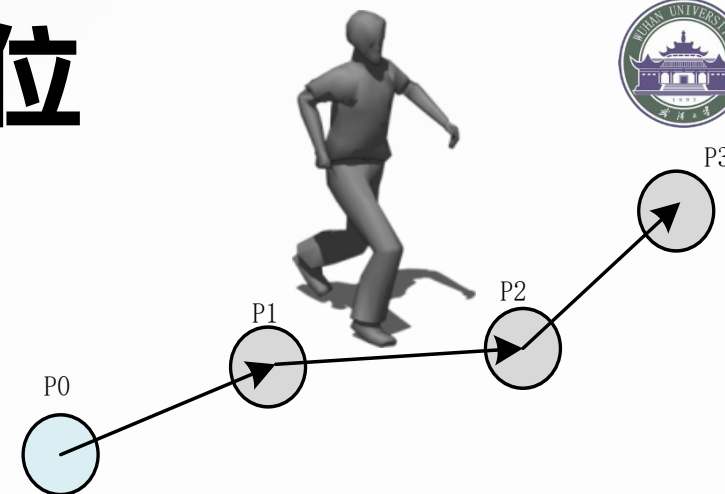
• 优势:

- 室内磁场特征无处不在，无需布设
- 室内磁场分布稳定（干扰范围小）
- 采样率不受限制
- 不用拿出手机
- 不受人体干扰



IndoorAtlas: <https://www.indooratlas.com/>

室内磁场特征匹配定位



- **存在的问题：**

- 磁场特征维度低（最多三维）
- 磁力计零偏不稳定

- **解决思路： 磁场特征匹配 + 行人推算(PDR)**

- **PDR辅助磁场匹配**

- ✓ 利用PDR生成的相对位置和姿态角，形成轨迹轮廓进行匹配，提升磁场指纹的位置区别度和消除磁力计零偏影响。

- **磁场匹配辅助PDR**

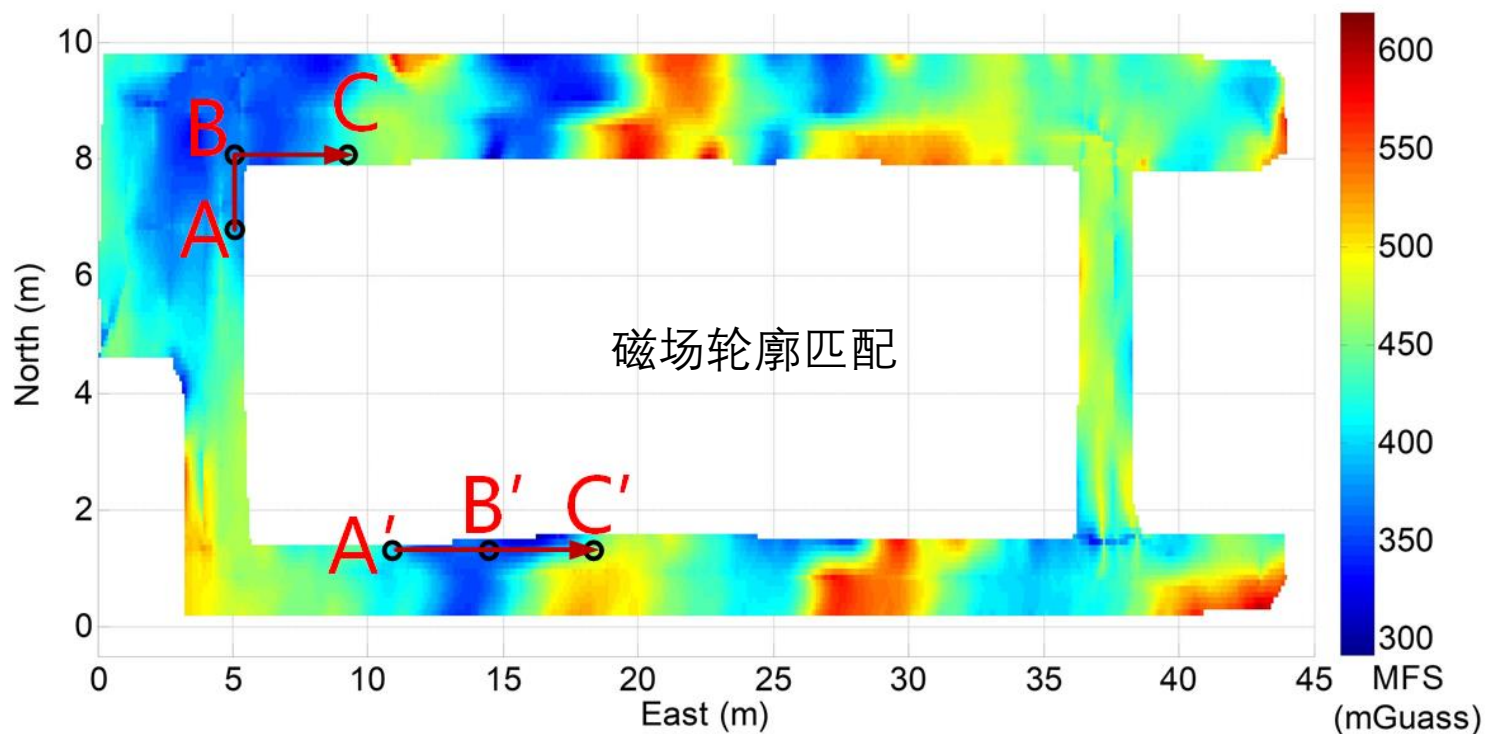
- ✓ 磁场匹配的位置误差不随时间积累，可用于补偿步长模型误差，以及估计手机安装角，从而增强PDR的稳健性。

PDR辅助磁场匹配

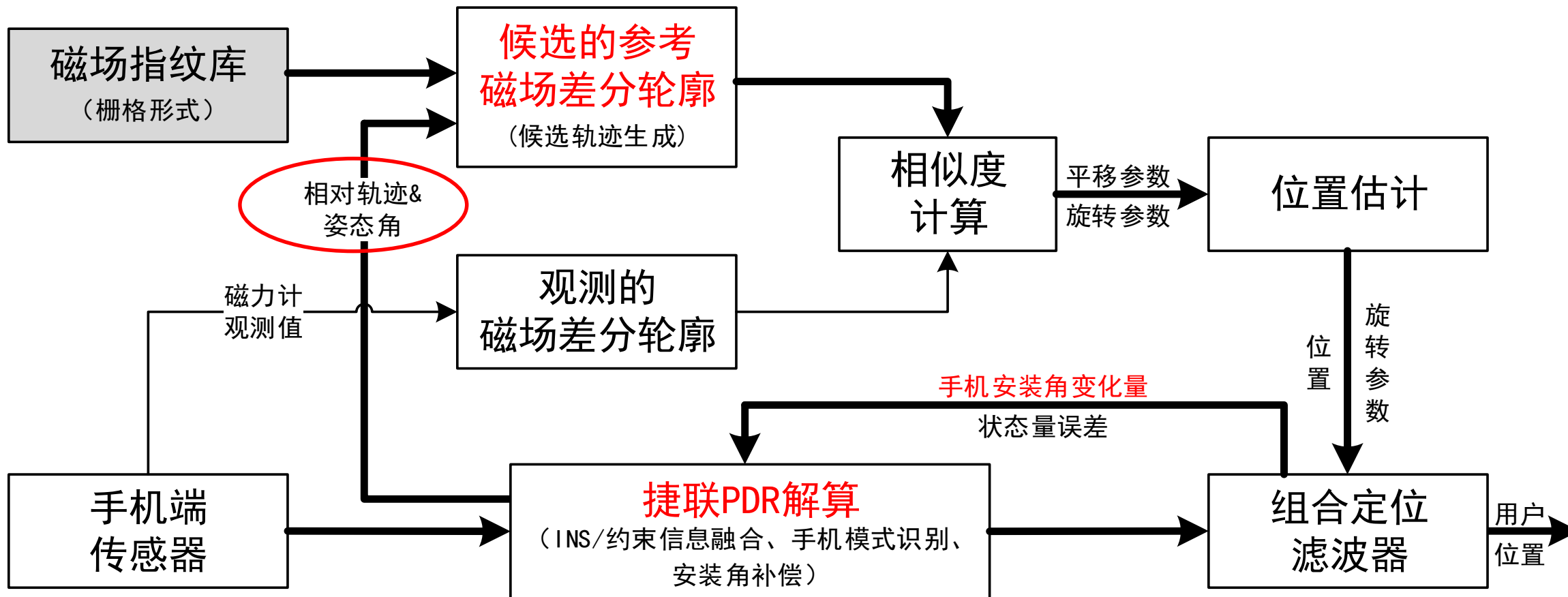


□ 磁场轮廓

- ✓ 磁场特征时间序列与空间关系的组合特征。
- ✓ 利用相邻磁场特征的相对位置和方向，进一步提升磁场特征的位置区别度。



PDR + 磁场特征匹配 方案设计

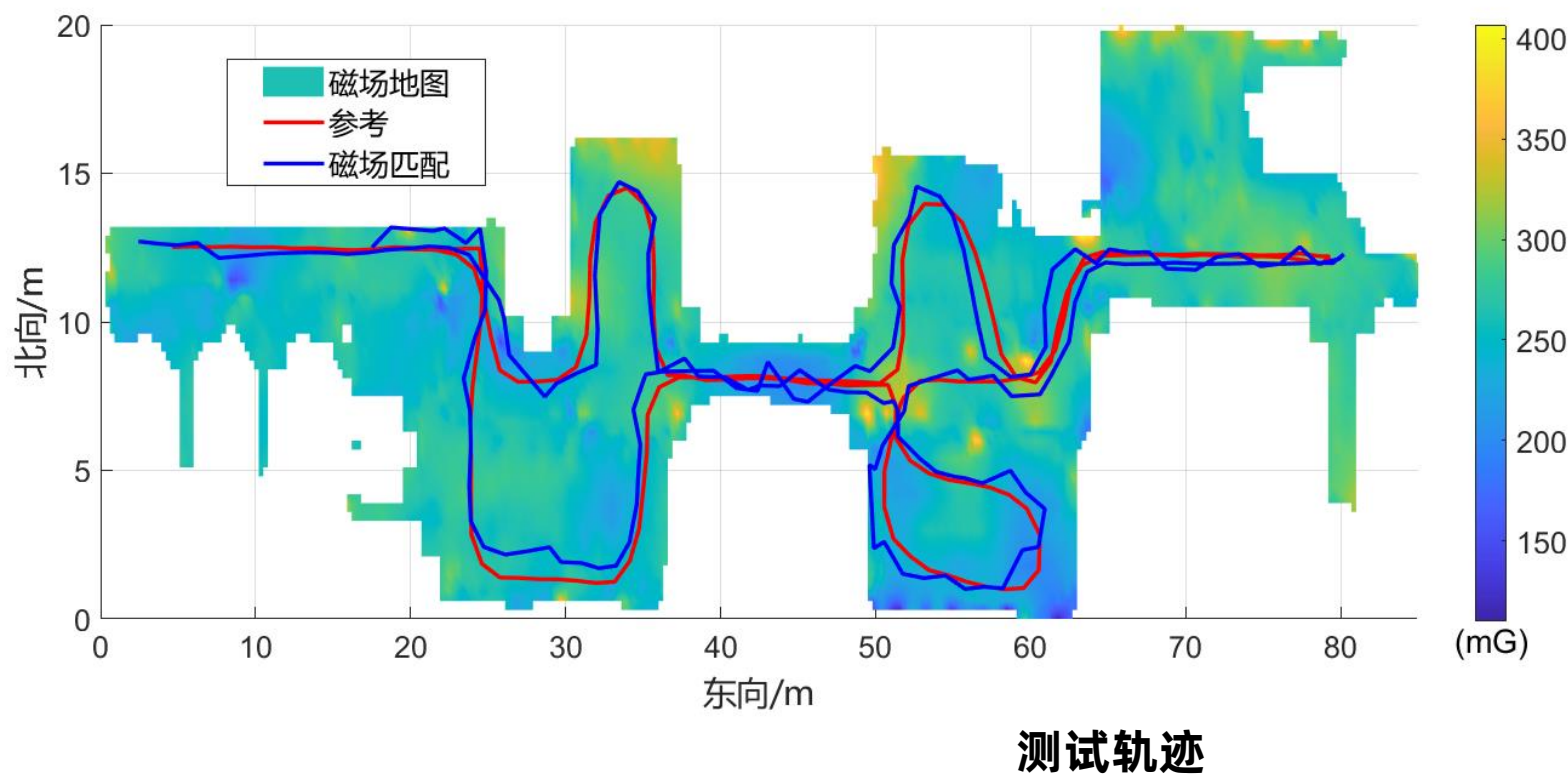


PDR + 磁场特征匹配 测试结果



测试描述

- ✓ 办公楼，包含走廊和房间
- ✓ 正常步行速度场景，手持模式
- ✓ 不同用户、不同手机



手机型号	误差统计		
	RMS (m)	67% (m)	95% (m)
pixel2	0.67	0.71	1.20
	0.80	0.73	1.57
Pixel3	0.91	0.88	1.68
	0.87	0.73	1.67
Pixel4	1.08	0.84	2.17
	0.81	0.77	1.52
Mate20	0.92	0.78	1.56
	0.77	0.74	1.51
P10	0.84	0.78	1.47
	0.78	0.77	1.23
V10	1.06	0.86	1.76
	0.66	0.66	1.27
S6	0.78	0.75	1.53
	0.75	0.82	1.36
S8	0.68	0.73	1.07
	1.11	0.94	2.27
S10	0.82	0.75	1.57
	0.69	0.71	1.15
Mi8	0.67	0.69	1.11
	0.85	0.84	1.62
Mi10	0.85	0.81	1.63
	0.61	0.65	1.05
6T	0.68	0.72	1.26
	0.65	0.64	1.20
6T	0.66	0.67	1.20
	0.83	0.90	1.41

目录

- **大众室内定位的机遇和挑战**
 - 室内定位信号的丰富多彩
 - 智能手机的信号感知能力
- **典型案例：**
 - 室内磁场特征匹配定位
- **两项必备技术：**
 - 稳健可靠的PDR
 - 特征地图的众源更新
- **总结与展望**

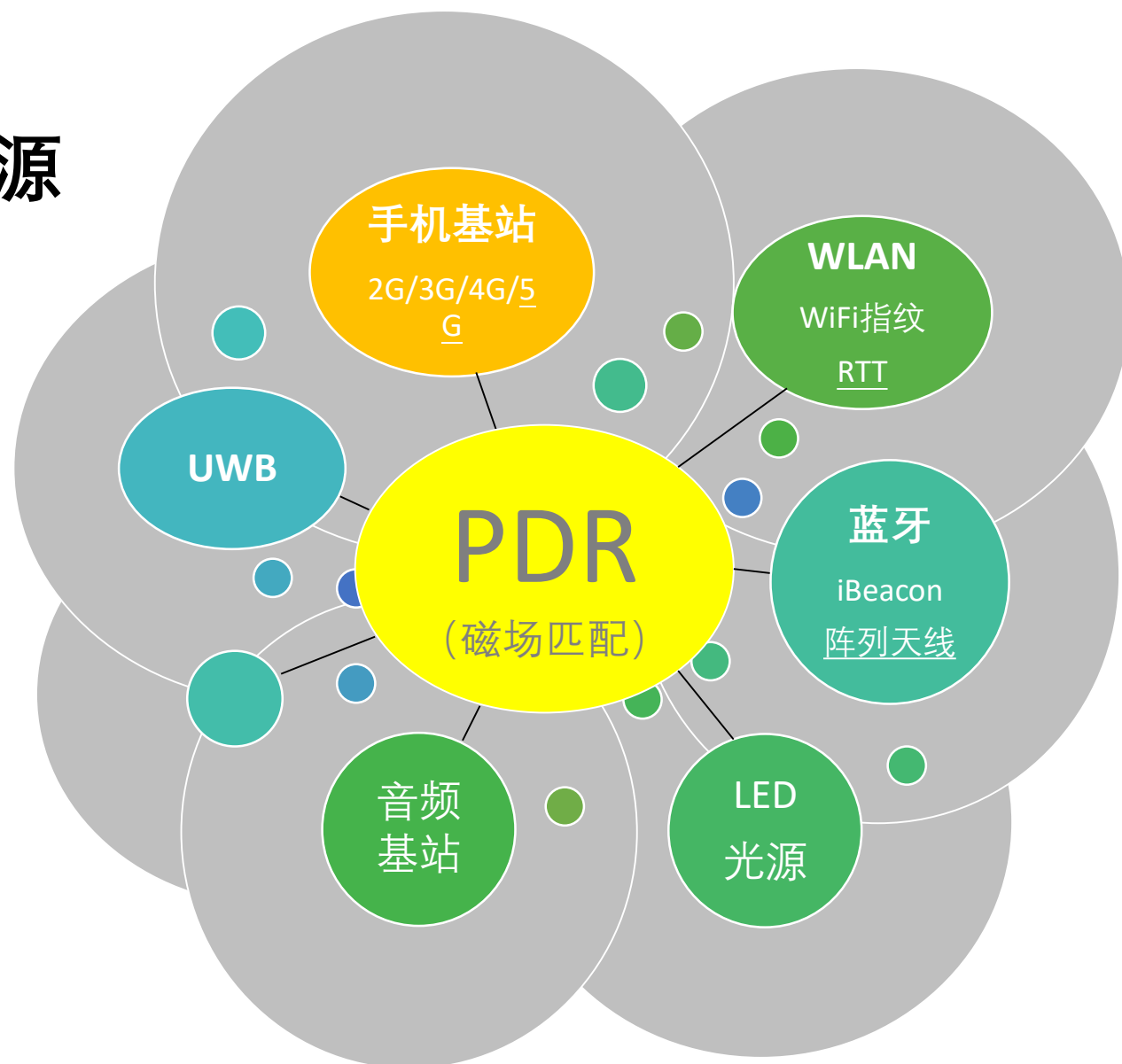
必备技术1： 稳健可靠的PDR

为多源信号穿针引线

- 延伸各定位源的影响范围
- 作为信息纽带联接各定位源

室内定位源：

- 手机基站 (5G)
- WLAN (WiFi指纹、RTT)
- 蓝牙 (iBeacon、阵列天线)
- 音频基站
- LED光源
- UWB
- 磁场匹配
- PDR



PDR的问题及解决



PDR典型问题：

- **步长估计模型精度低**

用户差异性太大，需要单个用户单独训练

- **手机安装角发生变化**

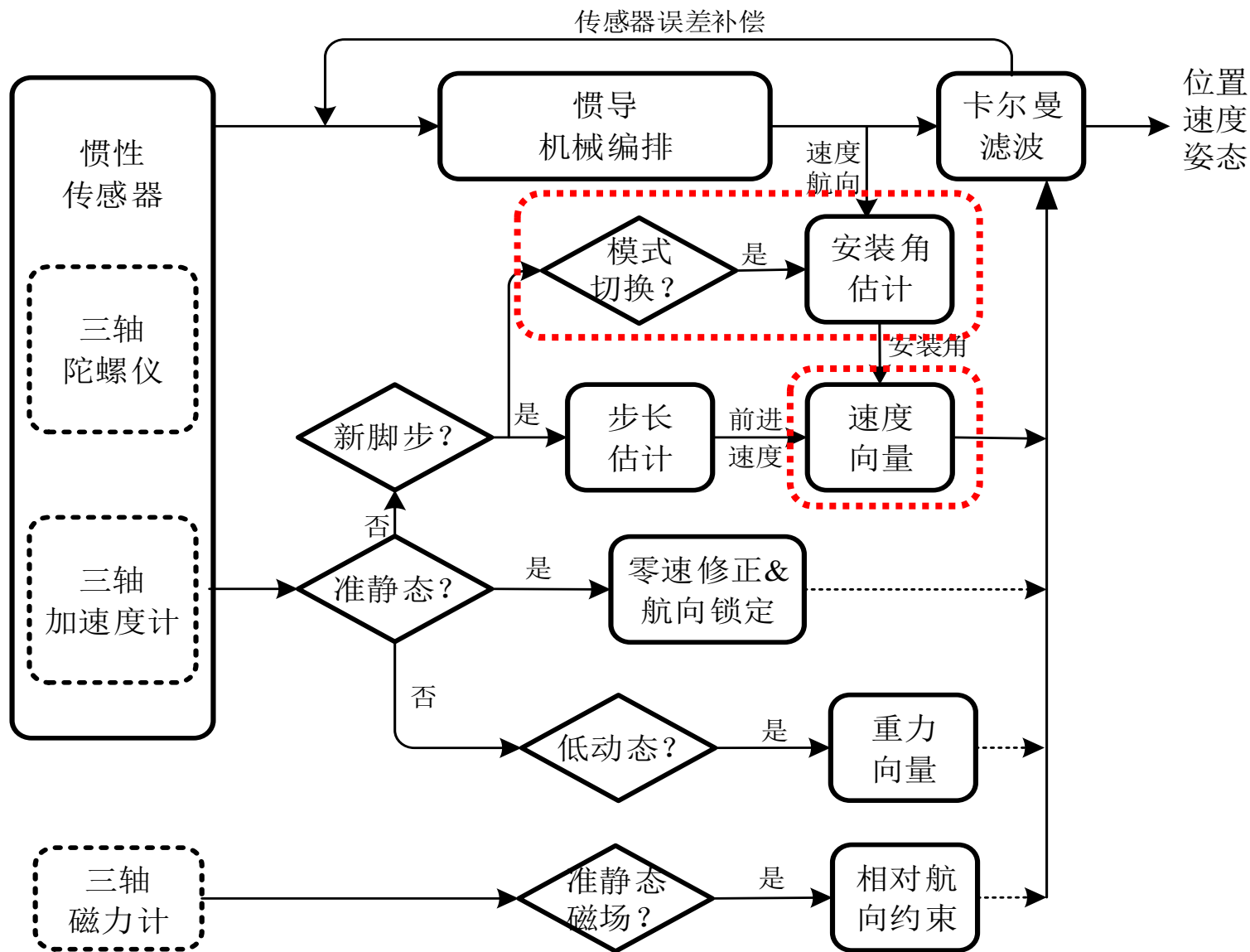
单个用户持握手机的方式变化，以及不同用户持握手机的方式差异

解决思路：

- ✓ **短时间不依赖脚步模型的自主推算能力**

- ✓ **需要借助其它信息源的监督**

PDR算法改进 - 捷联PDR



捷联PDR特点:

- ✓ 对步长变化和计步误差有一定的抗差能力;
- ✓ 对手机持握方式变化有探测和重估能力;
- ✓ 稳健性和可扩展性。

必备技术2： 特征地图的众源更新

降低室内定位方案的维护成本

特征地图的众源更新

信号特征地图的建立与维护相关影响因素：

- 特征地图的空间分辨率
- 用户位置标签精度
- 更新周期
- 众源数据利用率

用户的事后轨迹恢复是关键！

众源的潜在可行性

- ✓ 智能可穿戴产品的普及（手环/手表、无线耳机、智能鞋）
- ✓ 丰富的室内信号地标（强信号点、轨迹特征点、扫码支付点）
- ✓ 室内磁场特征分布总体稳定，可作为背景场

多用户的轨迹关联



□ 用户轨迹关联信息

- ✓ WiFi/蓝牙/手机信号/磁场的相似性关联
- ✓ 空间结构特征关联, 转角、扶梯口、楼梯口
- ✓ 电子设备所形成的的虚拟路标, 门禁、收银台、自动售货机



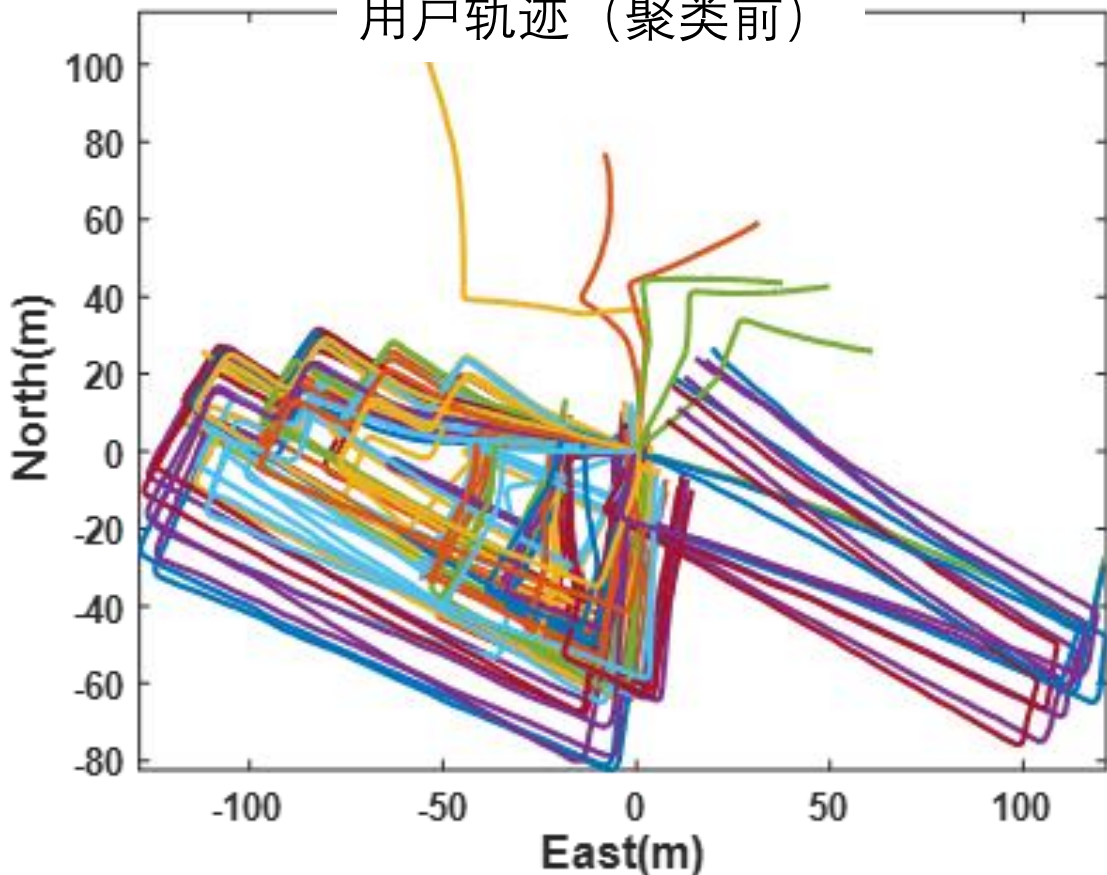
* 基于PDR提供的相对轨迹以及不同用户经过相同地方的约束, 进行整体优化解算 (比如图优化或因子图), 从而获得所有用户轨迹的相对关系。

指纹库众源建立实例

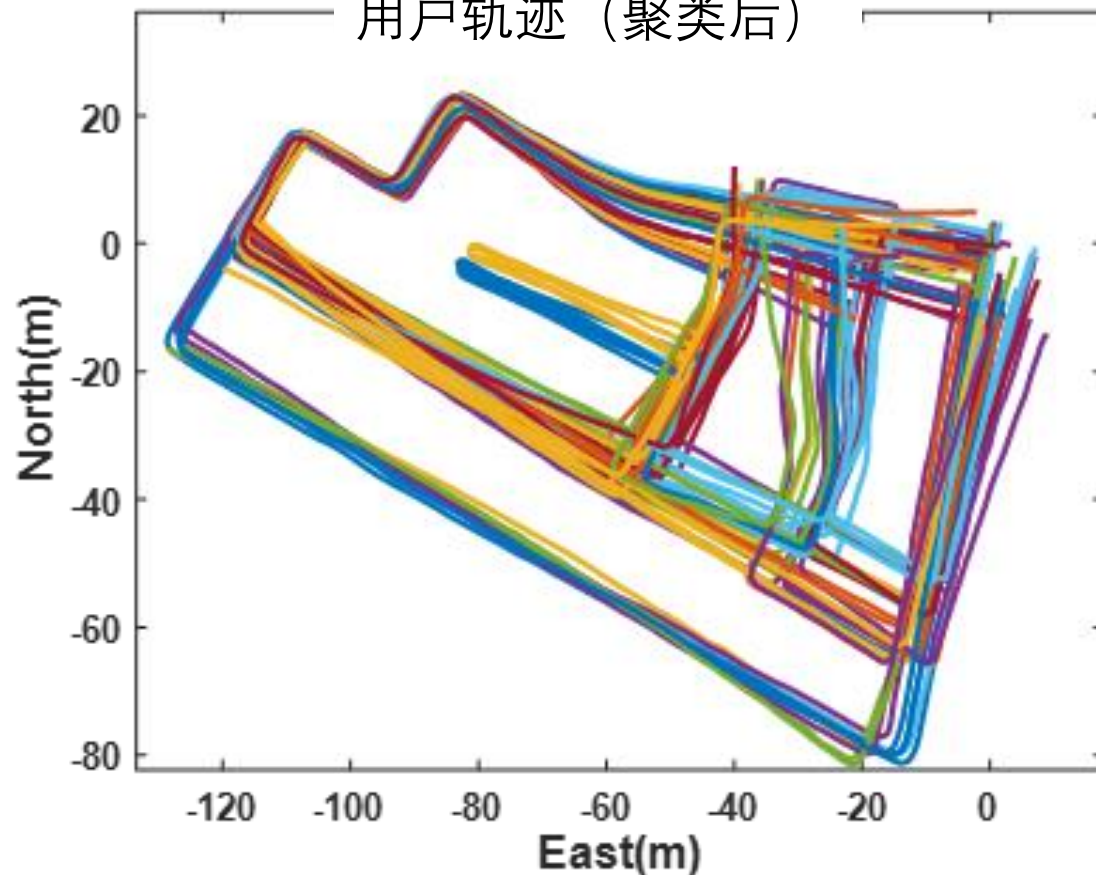


- ✓ 基于PDR提供的相对轨迹以及不同用户经过相同地方的约束，进行整体优化解算（比如图优化或因子图），从而获得所有用户轨迹的相对关系。
- ✓ 利用行走轨迹的转角特征和磁场特征，关联用户的轨迹。

用户轨迹（聚类前）



用户轨迹（聚类后）



结论与展望

- 室内公共场所定位信号的丰富性与智能手机强大的信号感知能力奠定了大众室内定位的可行性。
- PDR+磁场特征匹配 能够实现连续、稳健、精密的局部相对定位（误差1~2米），提供了一个利用室内机会信号实现手机定位的范例。
- 稳健可靠的PDR和众源更新特征地图是两项必备使能技术，需要重点攻关。

突破室内定位的最后一道关口！

THANKS



牛小骥: xjniu@whu.edu.cn

旷俭: kuang@whu.edu.cn

多源智能导航实验室 (i2Nav)



合作项目: 手机VDR算法; 手机PDR算法



高德地图
amap.com



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY