

医院室内定位与行为分析

USE CASE – V2.

1. 医疗环境

1.1 患者

- 活动追踪
 - ◆ 病房 → 走廊 → 公共区域的移动轨迹
 - ◆ 分析速度、活动频率和停留点
- 风险事件检测
 - ◆ 跌倒检测
 - ◆ 患者进入限制区域（ICU 或隔离病房等）时发出警报

1.2 工作人员

- ◆ 巡视路径监控/识别
- ◆ 工作负荷及拥挤区域检测
- ◆ 流程优化

1.3 医疗设备

- 硬件实时追踪
 - ◆ 轮椅、病床...
- 使用分析
 - ◆ 使用频率
 - ◆ 移动周期

2. 医院环境的限制

2.1 无线环境不稳定

- 文献调研强调，由于障碍物和动态条件，室内环境（尤其是医院）会导致无线信号高度波动。

Source: A Survey on Indoor Positioning Systems for IoT-Based Applications

- 病床、金属设备、人群的频繁移动以及门的开关会导致多径效应、信号衰减和严重的接收信号强度指示 (RSSI) 波动。

2.2 医疗设备的干扰

- 成像设备和电子医疗设备产生的电磁辐射可能会干扰定位技术。

2.3 隐私和伦理限制

- 传感器必须符合医疗隐私标准。
- 患者使用的可穿戴解决方案可能需要获得患者的同意和批准。

2.4 部署和运行限制

- 医院通常避免进行重大的基础设施改造。
- 低维护成本的解决方案。
- 多种技术 (Wi-Fi、BLE、红外线、超声波) 共存，增加了系统管理的复杂性。

3. 现有定位解决方案（医院应用）

基于 Wi-Fi RSSI 的定位	<ul style="list-style-type: none">• RSSI value.• 简单易用，应用广泛。• 典型精度：实际室内环境下 2-4 米。• 干扰较大，精度有限。
RSSI 指纹识别系统	<ul style="list-style-type: none">• 离线指纹数据库 + 在线匹配。• 可实现亚米级精度（理想条件下约为 60 厘米）。• 对环境变化高度敏感。• 维护成本高。
蓝牙低功耗 (BLE)	<ul style="list-style-type: none">• RSSI 信标序列（需要部署信标）• 部署成本低，功耗低。• 适用于房间级或走廊级定位。• 对环境动态变化敏感。
超宽带 (UWB)	<ul style="list-style-type: none">• 使用飞行时间 (ToF) / 到达时间差 (TDoA) 测量• 提供高精度（厘米级）• 成本高昂且对基础设施要求较高
基于惯性测量单元 IMU-Based Behavioral Monitoring	<ul style="list-style-type: none">• IMU 加速度计/陀螺仪 → 跌倒检测• 需要可穿戴设备

4. 医院定位中使用的传感器和方法

4.1 传感器

Wi-Fi RSSI	Uses existing APs; supports fingerprinting or signal-model methods	RSSI values	Good for coarse localization; affected by multipath	high interference, limited accuracy.
BLE	Low cost; RSSI-based	RSSI beacon sequences	Suitable for basic tracking and geofencing	requires beacon deployment; sensitive to environment.
UWB	ToF/TDoA; cm-level accuracy	Ranging distance / XYZ position	Best for asset tracking and precise zones	expensive; requires approval; deployment complexity.
IMU	Acceleration/gyro for behavior inference	3-axis acceleration	Useful for fall detection & motion analysis	wearable required; patient consent needed
RFID	Electromagnetic field activates tags and returns ID at short range.	Tag ID	Good for tracking equipment presence and movement.	not suitable for human

4.2 方法

POSITIONING TECHNIQUE COMPARISONS

Technique	Technology	Accuracy	Computation	Latency	Synchronization	Implementation
ToA	UWB	A few to tens of centimeters	Medium	Hard Realtime	Yes	LoS is required
TDoA	UWB	A few to tens of centimeters	Medium	Hard Realtime	Yes	Larger bandwidth and easier than ToA
RTT	UWB	A few centimeters	Medium	Hard Realtime	No	Higher delay in UWB
PoA	RFID	Tens of centimeter to a few meters	High	Soft Realtime	Yes	LoS is required for high accuracy, use as supplementary method
RSSI	BLE	Tens of centimeters to a few meters	Low	Hard Realtime	No	Prone to multi-path, environmental noise, inexpensive but labor intensive in wide areas
CSI	WiFi	Tens of centimeters with several APs	Medium	Hard Realtime	No	Labor-intensive site survey calibration
PSRP - PSRQ AoA	Cellular BLE 5.1	A few meters A few meters to tens of centimeters	High High	Soft Realtime Soft Realtime	No No	Need Cellular Fewer nodes is required, not accurate in long distance and NLoS and few practical use cases

- 基于距离和角度的方法
 - ◆ **ToA / TDoA**: 用 UWB; 需要同步。
 - ◆ **AoA**: 由 BLE 5.1 天线阵列支持; 部署成本较高。
- **RSSI 指纹识别**
 - ◆ 广泛应用于医院: 易于部署。
 - ◆ 常用算法包括 KNN、SVM、概率模型和深度学习。
- 基于信道状态信息 (CSI) 的定位
 - ◆ 提供更丰富的信道信息。
 - ◆ 提高稳定性和精度。
- 跟踪与滤波方法
 - ◆ 卡尔曼滤波器、粒子滤波器用于平滑轨迹。
 - ◆ 广泛应用于实时跟踪系统: 具有较强的抗噪性。
- 多传感器融合
 - ◆ 结合 Wi-Fi + BLE + IMU 或 UWB 等传感器。
 - ◆ 提高在动态医院环境中的鲁棒性。
 - ◆ 应对多径效应、遮挡和各种复杂条件