
从有源感知到无源感知： 人工智能时代下的智能感知机制研究

报告人： 谢磊

lxie@nju.edu.cn

南京大学计算机软件新技术国家重点实验室



1

物联网智能感知

2

有源感知计算

3

无源感知计算

物联网智能感知计算



有一说一
就事论事
简单直接

融会贯通 (协同)
举一反三 (逻辑)
见微知著 (推演)



无源感知

多模态感知

低级阶段感知

高级阶段感知

根本问题：如何从物联网智能感知计算的**理论、方法和系统研究**出发，有效提升智能感知计算的“**泛化能力**”，来进一步**拓展感知范畴**和**探索感知极限**？

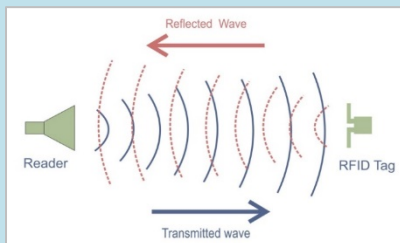
面向人机物融合的智能感知技术

研究内容



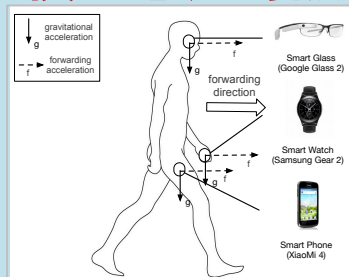
基于RFID的 无源感知

探索无源感知机理

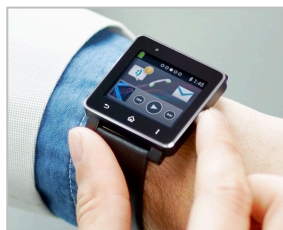


基于RFID反向散射通信机制特点，
实现从“识别”到“感知”的蜕变

多模态感知与融合



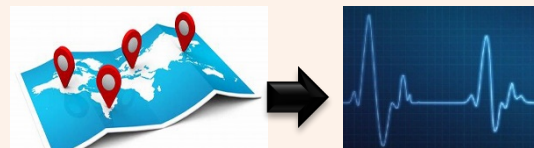
对多模态状态和信号之间建立感知模型，
实现精确、实时、可扩展的感知机制。



移动可穿戴 系统感知

研究目标

拓展感知范畴

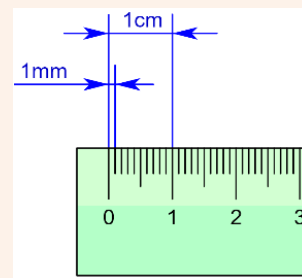


目标定位

呼吸心跳

从传统定位到新型模态感知

探索感知极限



从分米级感知到毫米级感知

1

物联网智能感知

2

有源感知计算

3

无源感知计算

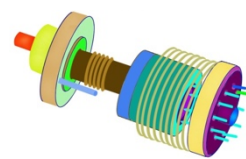
基于移动可穿戴终端的多模态感知机制研究

以移动可穿戴系统
为切入点

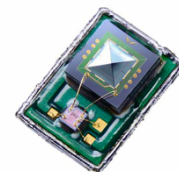
低端传感器



摄像头
(50-100元)



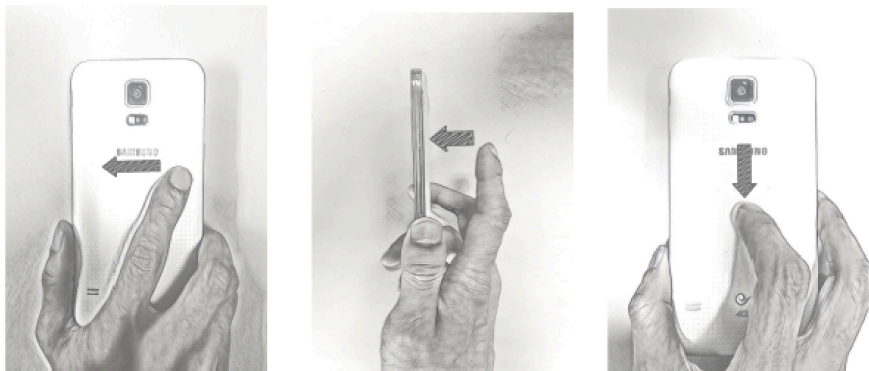
惯性传感器
(10-30元)



麦克风
(2-10元)

挑战：如何基于智能终端内置的低端传感器(惯性传感器、麦克风、摄像头等)，实现高精度感知？

VSkin: 基于超声波的新型手机触摸感知



(a) Back-Swiping (b) Back-Tapping (c) Back-Scrolling

Figure 1: Back-of-Device interactions

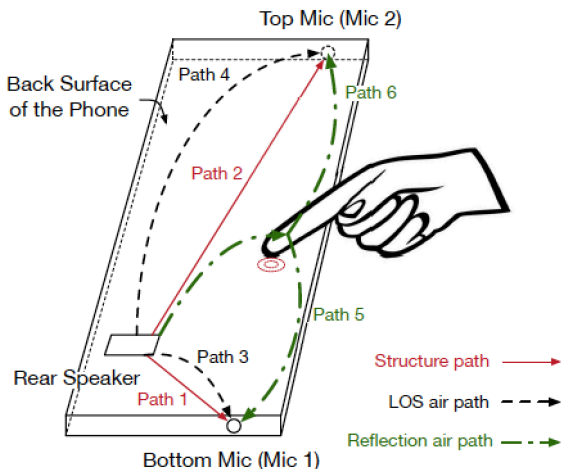


Figure 2: Sound propagation paths on a smartphone

难点: 如何在普通的交互介质上（如手机背板）实现高精度的触摸感知与定位？

创新思想: 深入探索智能终端上扩展“第二触摸屏”的可能性，实现了“毫米级”的高精度感知。在不增加任何硬件的基础上，在软件层面通过感知算法充分拓展移动设备的触摸交互空间，颠覆了传统的“需要靠硬件手段提供新型交互”的认知。

成果: MOBICOM 2018

79% 16:35

VSkin Scrolling

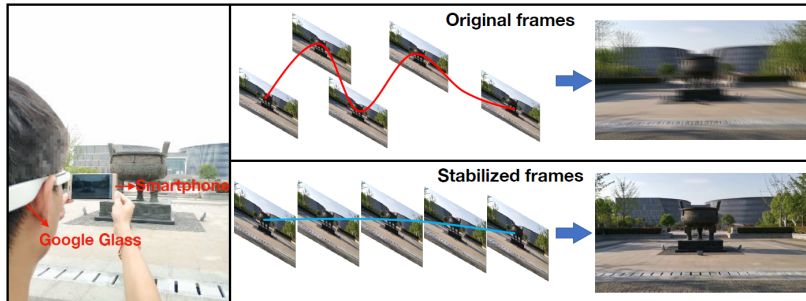
TOUCH
SCREEN



VSKIN
SCROLLING



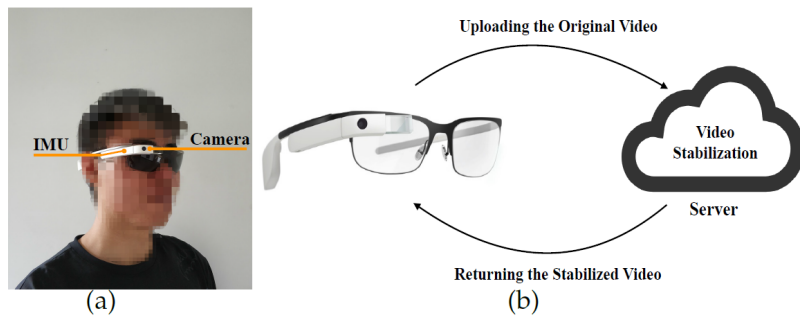
VStab: 基于惯性-视觉联合感知的视频防抖技术



难点： 如何设计轻量级的算法，在移动设备突然晃动时降低像素抖动，维持视频稳定？



创新思想： 提出基于惯性-视觉联合感知的视频防抖技术，通过平滑运动过程降低像素抖动。

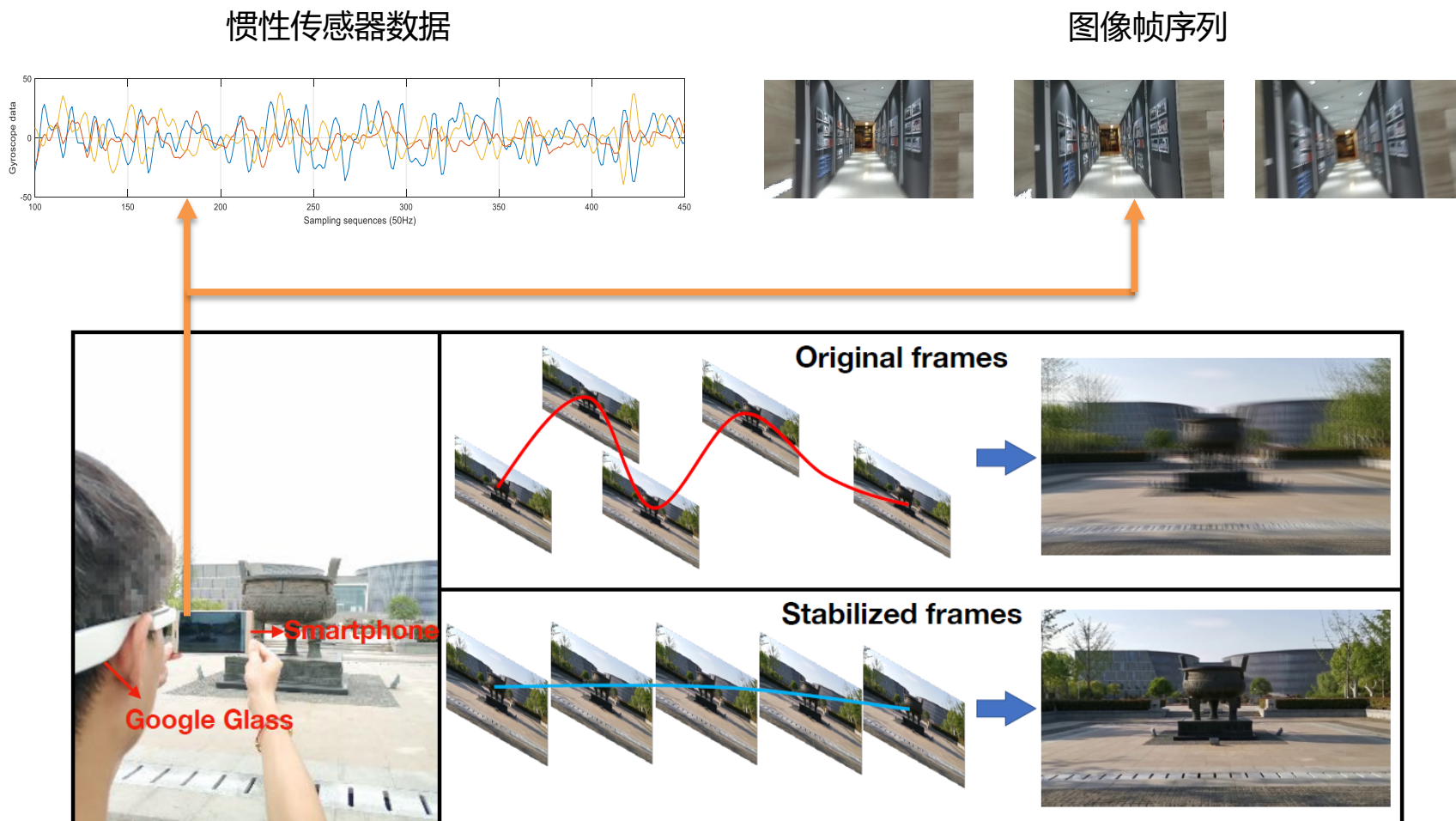


成果： IEEE Transactions on Mobile Computing 2020

Fig. 15. The video stabilization system for Google Glass

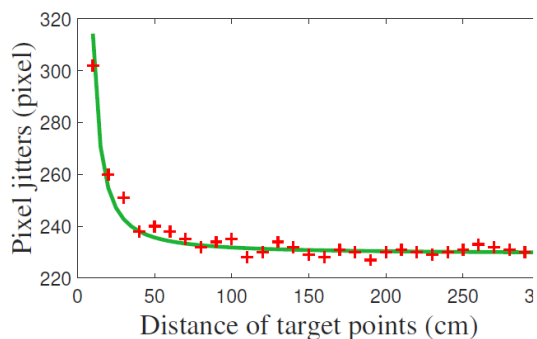
基于惯性-视觉联合感知的视频防抖技术

- 研究问题：如何利用移动设备内置的惯性传感器和摄像头实现视频防抖？

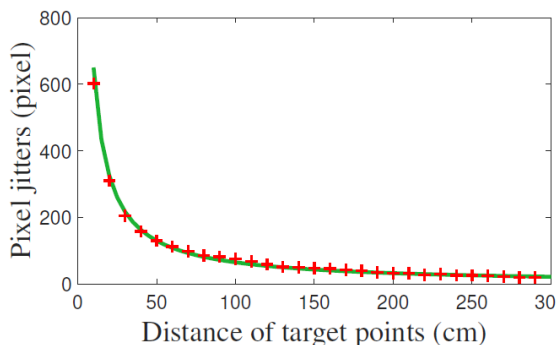


研究挑战

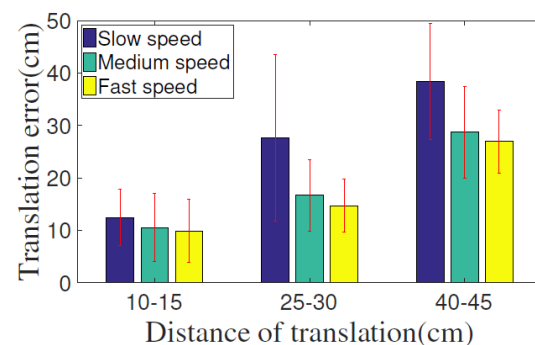
- 设备晃动造成视频/像素点位置的显著偏移和剧烈抖动



设备旋转造成显著的像素抖动

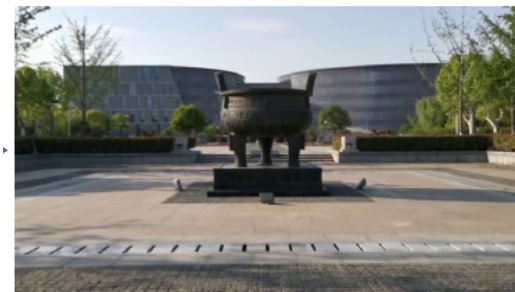
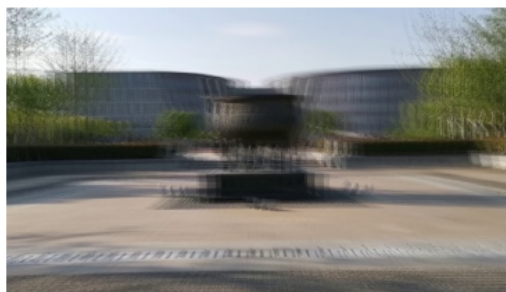
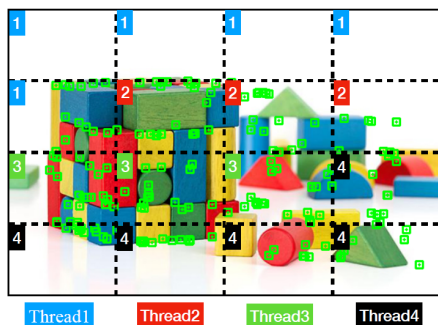


设备平移造成显著的像素抖动



加速度计由于累积误差无法精确计算设备平移

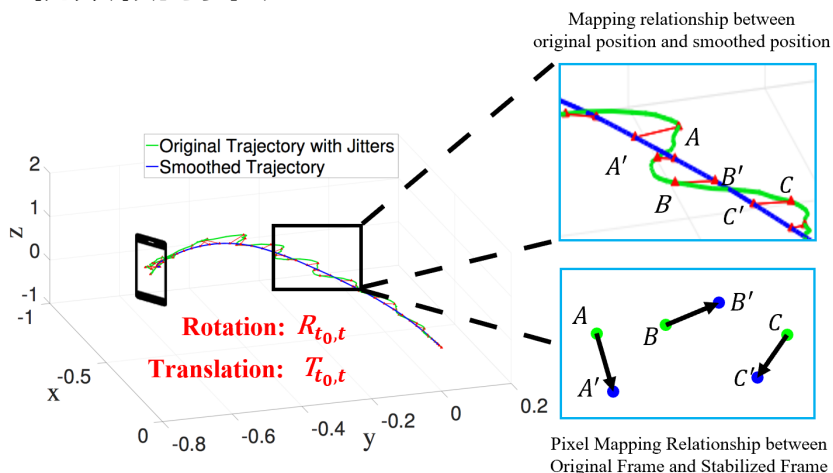
- 移动设备计算资源受限



像素级的特征点对选取和图像帧校正给资源受限的移动设备带来了极大的挑战

研究方法

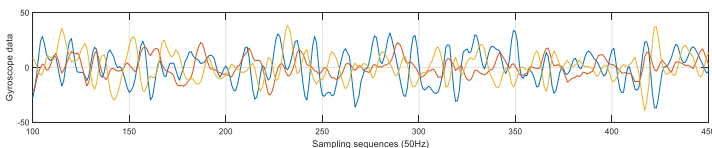
- 通过平滑设备的运动（旋转和平移）减少视频帧的抖动



Rotation $R_{t_0,t}$:

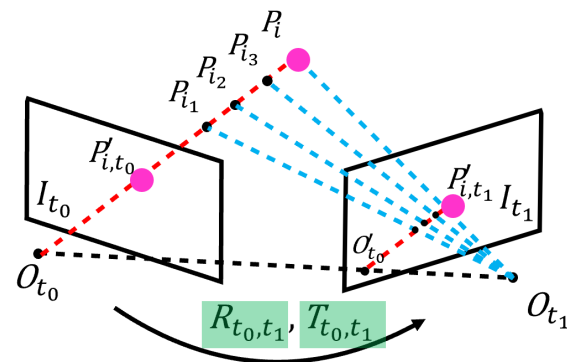
$$A_{t,t+\delta t} = \exp\left(\int_t^{t+\delta t} \Omega(t) dt\right)$$

$$\Omega(t) = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_z(t) & \omega_y(t) \\ \omega_z(t) & 0 & -\omega_x(t) \\ -\omega_y(t) & \omega_x(t) & 0 \end{bmatrix}$$



通过陀螺仪计算设备旋转

- 通过陀螺仪计算设备旋转，将设备运动的自由度从6降为3，极大地减少特征点对的计算

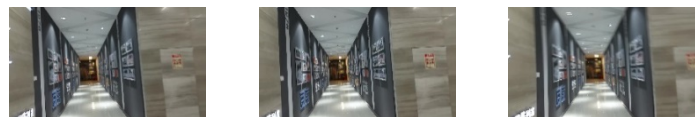


Translation $T_{t_0,t}$:

$$P'_{i,t_1}{}^T F_{t_0,t_1} P'_{i,t_0} = 0$$

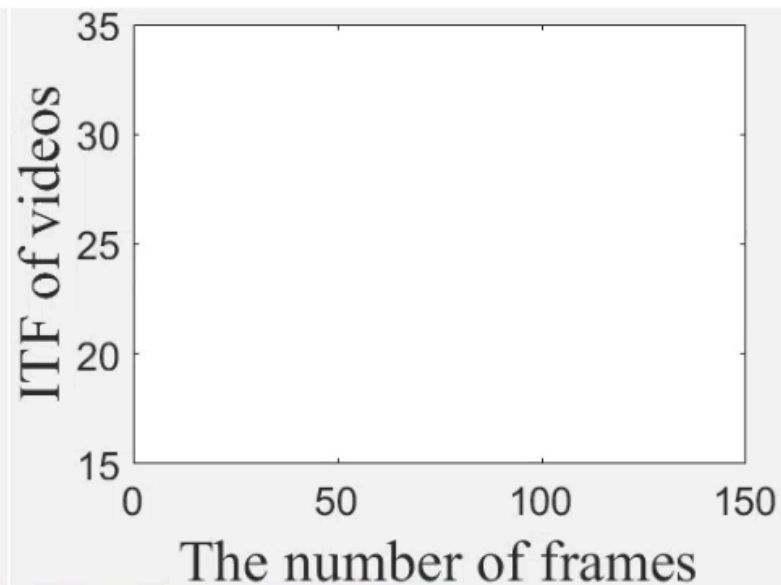
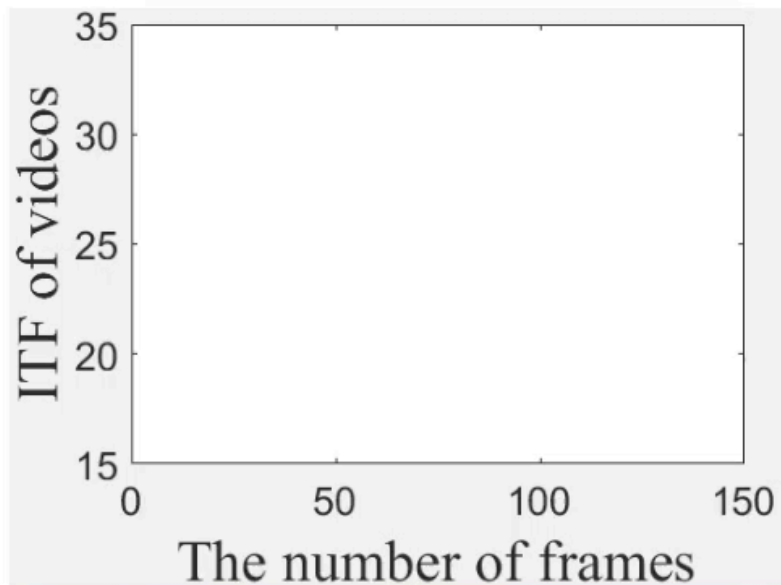
$$F_{t_0,t_1} = K^{-T} [T_{t_0,t_1}]_{\times} R_{t_0,t_1} K^{-1}$$

$$(P'_{i,t_1}{}^T K^{-T}) [T_{t_0,t_1}]_{\times} (R_{t_0,t_1} K^{-1} P'_{i,t_0}) = 0$$



通过图像帧之间的特征点对计算设备平移

系统性能



Unstabilized Video



Stabilized Video

基于惯性与触屏联合感知的身份认证技术

- **研究动机：**

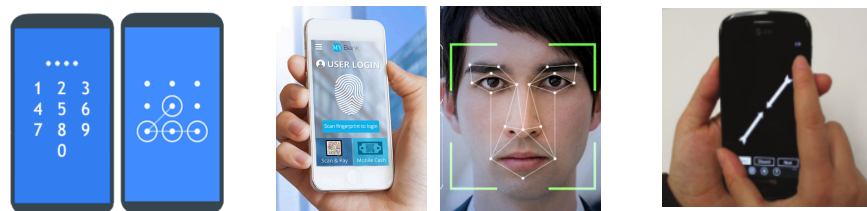
身份认证技术已逐渐成为智能手机上必不可少的重要技术。



智能手机包含大量用户隐私信息，身份认证必不可少

- **研究现状：**

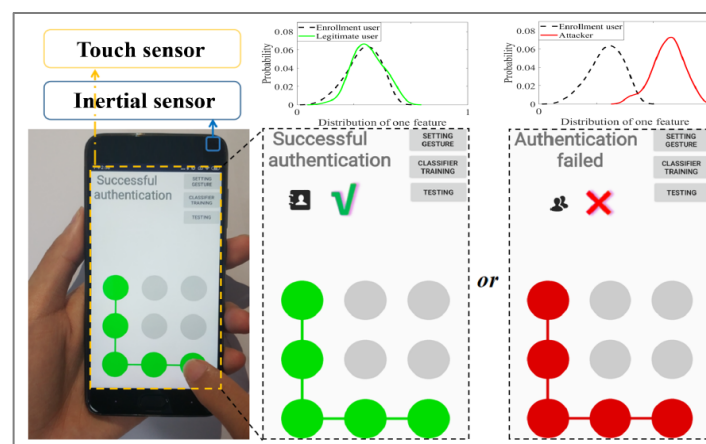
- **易受**肩窥、人造指纹/人脸、照片、视频等方式**攻击**；
- 自定义手势**难以广泛集成**到现有商用手机。



受肩窥攻击 受人造指纹/图片攻击 难以广泛集成

- **研究问题：**

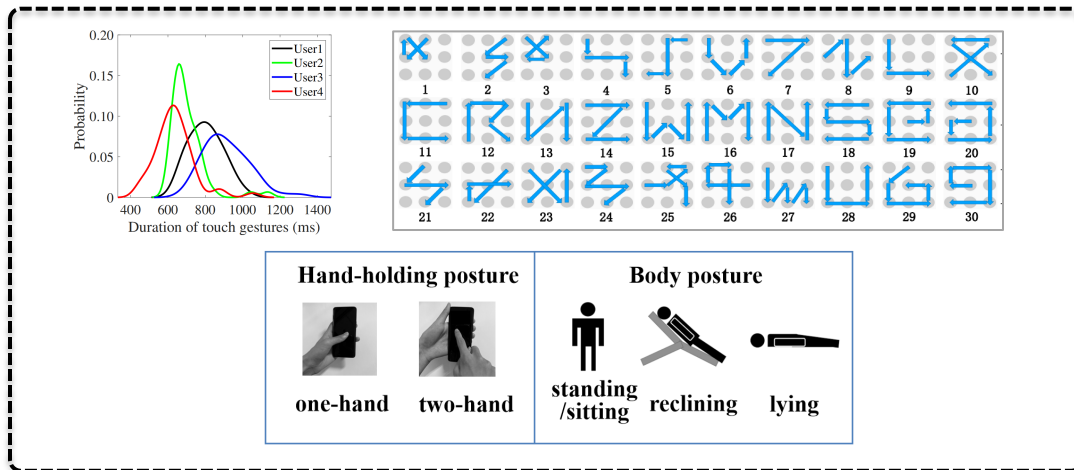
如何在基于智能手机内置的图案解锁方式实现**可见不可得**的用户**身份认证**技术？



基于惯性与触屏联合感知的身份认证技术

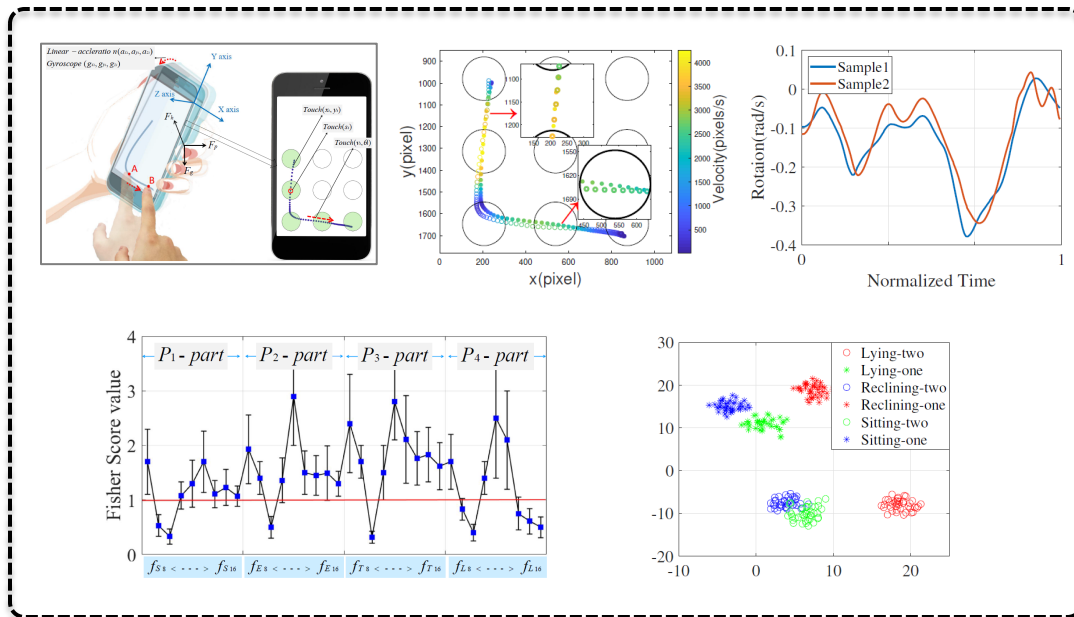
研究挑战：

- 如果环境用户手势的**类内差异性**并降低**类间相似性**？
- 如何对**不同拓扑结构**的解锁手势采用统一的特征集表示？
- 如何容忍**身体姿态**和**握姿差异**带来的扰动？



创新方案：

- 融合移动设备中的**惯性传感器**和**触摸屏**降低类内差异性和类间相似性，实现基于行为的身份认证；
- 提出**空间对齐**和**关键点切割**方法关联时序数据和触屏行为；
- 融合多阈值kNN的方法使模型自适应地**容忍用户姿态差异**。

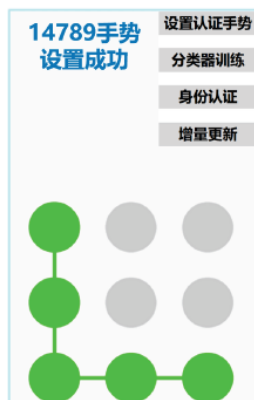


基于惯性与触屏联合感知的身份认证技术

系统说明



(a) 初始化界面



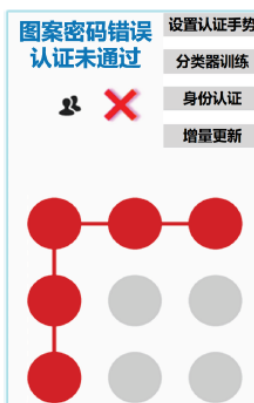
(b) 设置认证手势



(c) 手势数据采集和分类器训练



(d) 合法用户认证通过



(e) 非法用户认证密码错误



(f) 非法用户攻击分类器拒绝

图案认证

可见不可得的身份认证

1

物联网智能感知

2

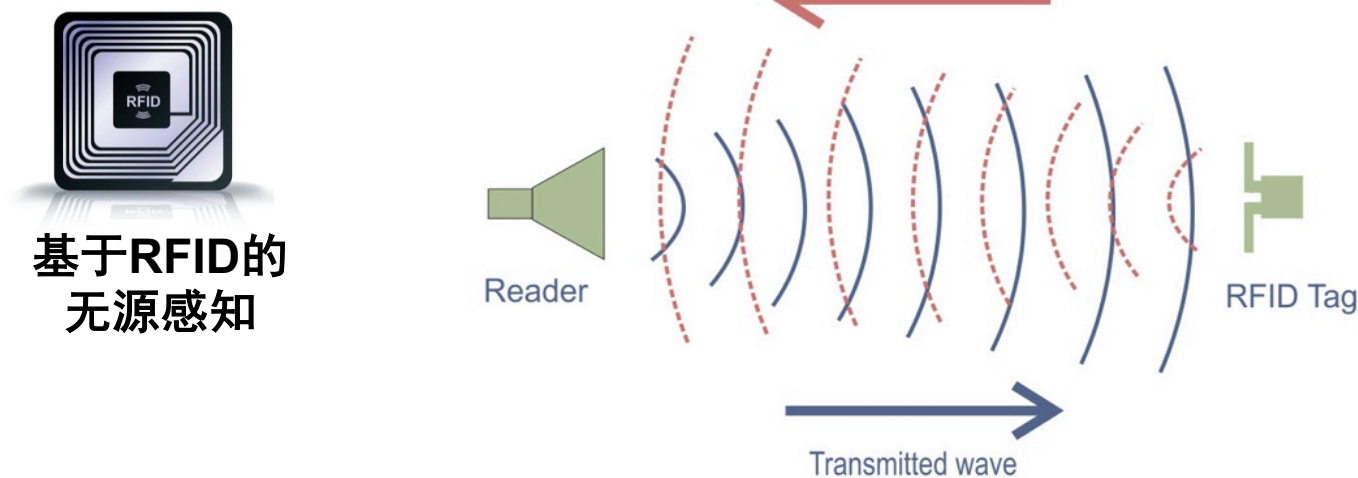
有源感知计算

3

无源感知计算

基于RFID的无源感知技术研究

探索无源感知机理



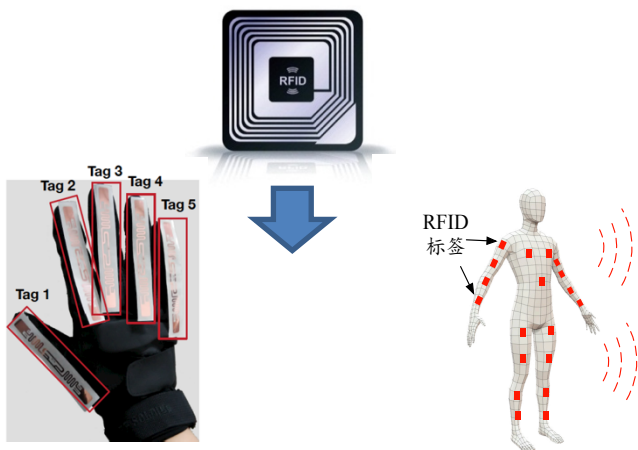
挑战：成本低廉的RFID并非传统意义上的传感器，如何实现“非传感器感知”和“无源感知”？

基于RFID的无源感知技术研究

创新思路：基于“反向散射通信对传输环境敏感”的特性，将通信信号特征转化为感知信号特征，实现由“识别”向“感知”的蜕变。

技术创新1

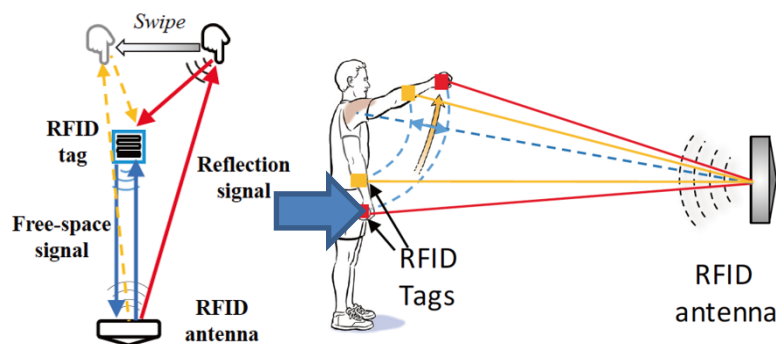
从“单标签感知”到
“标签阵列感知”



拓展感知维度

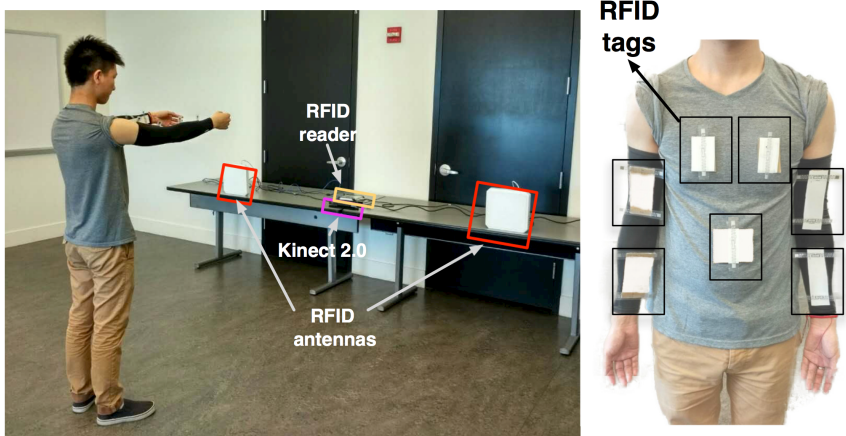
技术创新2

从“绝对定位”到
“相对定位”



提升感知敏感度

RF-Kinect : 基于可穿戴RFID标签阵列的肢体行为追踪



难点：如何仅利用双天线实现三维空间中的肢体追踪识别？

创新思想：提出基于标签相位关联的感知模型，利用标签阵列间的位置相关性实现了3D空间中肢体角度的追踪，消除了用户依赖性。

成果：ACM UBICOMP 2018

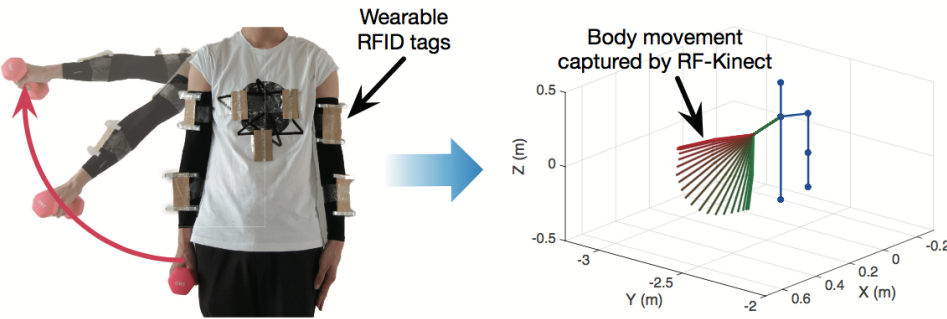
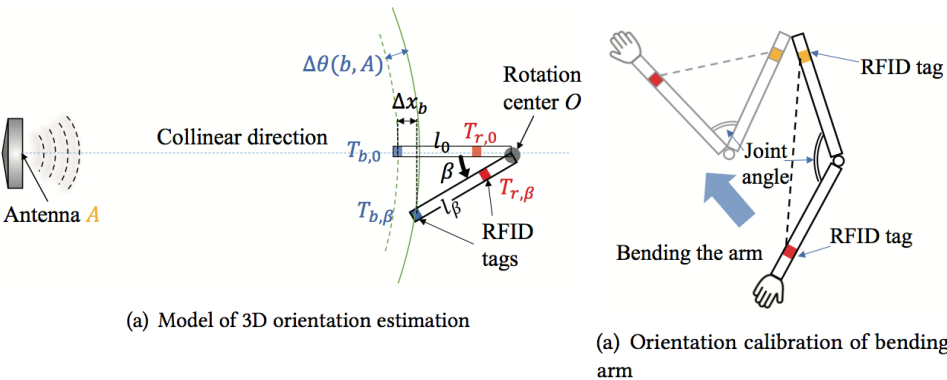
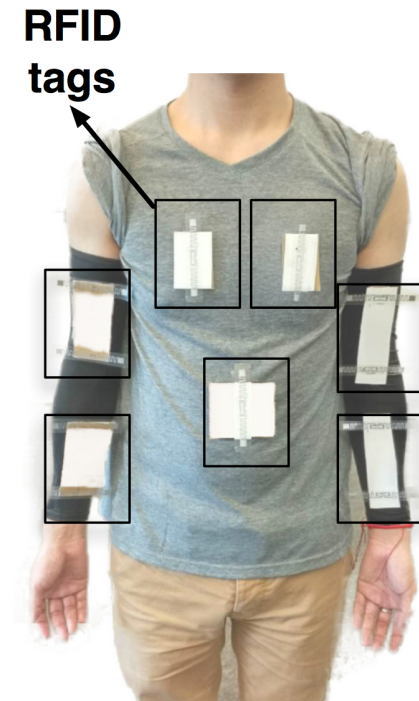
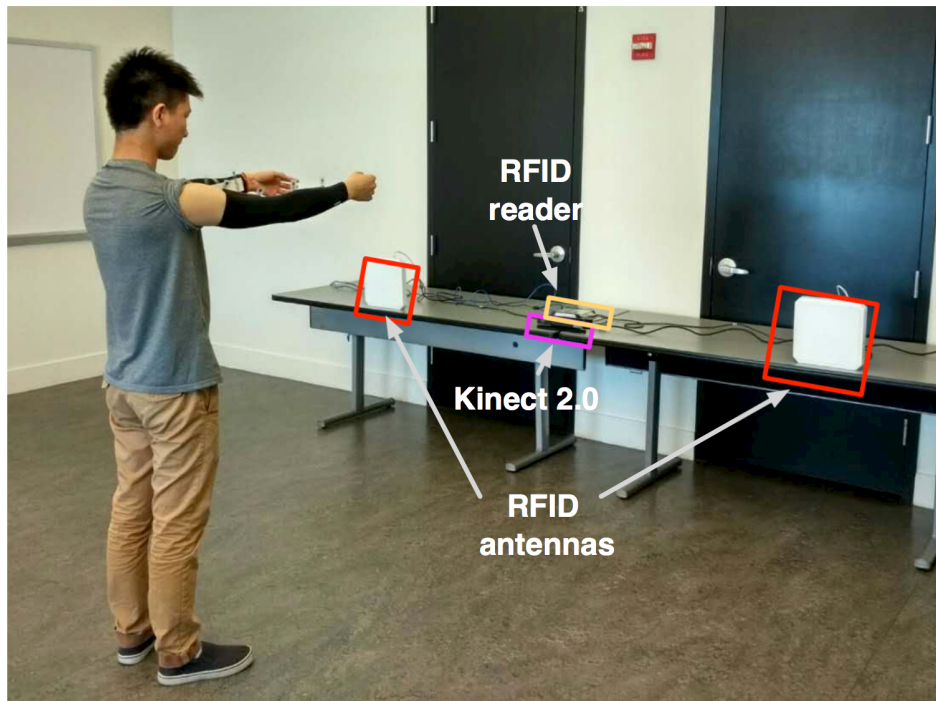


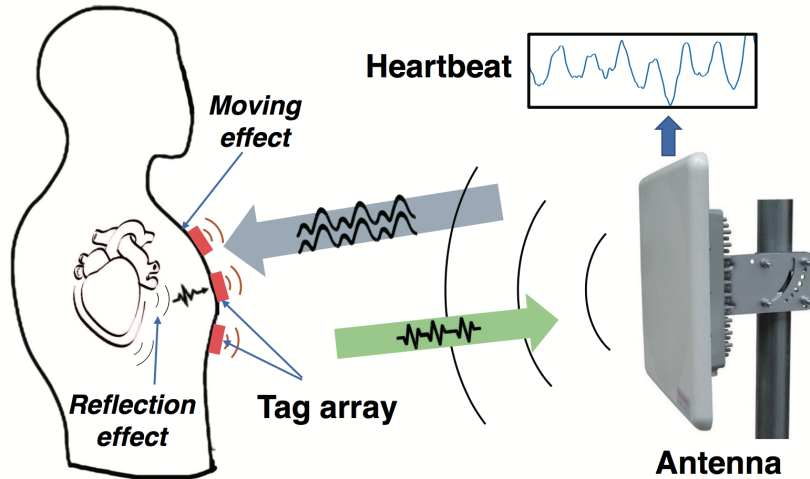
Fig. 1. RF-Kinect: tracking the body movement based on wearable RFID tags.



RF-Kinect : 基于RFID标签阵列的肢体运动追踪系统



RF-ECG: 基于RFID的高精度心电图监测



(b) Illustration of working flow of RF-ECG



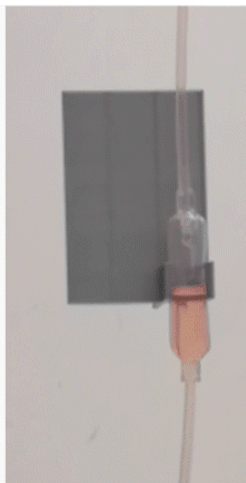
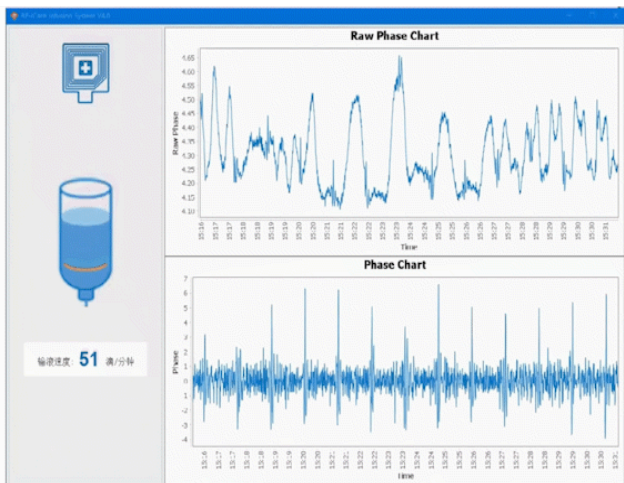
Fig. 15. Experiment setup.

难点: 如何从包含高强度呼吸信号的复合信号中, 提取微弱的细粒度心率信息?

创新思想: 提出基于标签阵列的反射感知模型, 利用模型过滤呼吸产生的标签运行, 并使用标签的反射信号融合抽取细粒度心率信息。

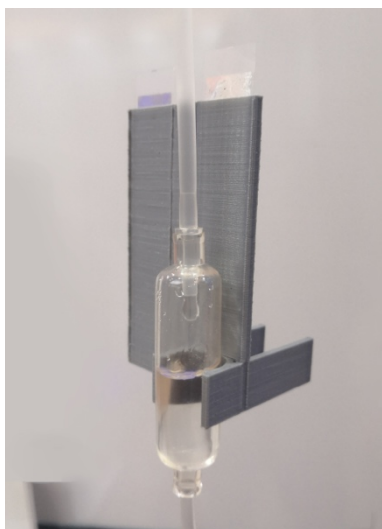
成果: ACM UBICOMP 2018

DropMonitor-基于RFID的高精度输液滴速监测



难点: 如何从包含泛在环境干扰的复合信号中, 提取微弱的细粒度输液滴速信息?

创新思想: 提出基于双标签的反射感知方案, 利用**感知标签**和**参考标签**的差分信号过滤环境干扰因素, 基于反射射频信号提取液面振荡特征, 推理滴速信息。



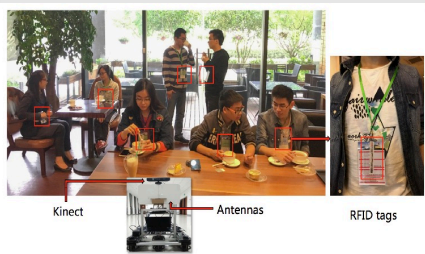
成果: ACM UBICOMP 2021

DropMonitor-基于RFID的高精度输液滴速监测

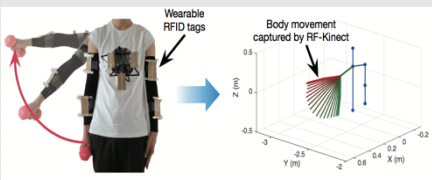


拓展感知范畴，探索感知极限

实时定位追踪

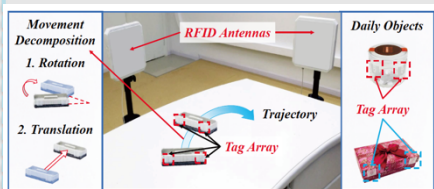


AR多目标区分

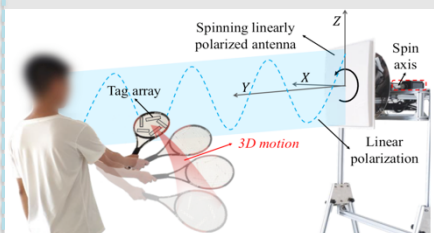


人体肢体追踪

物体姿态追踪



2D空间姿态感知



3D空间姿态感知

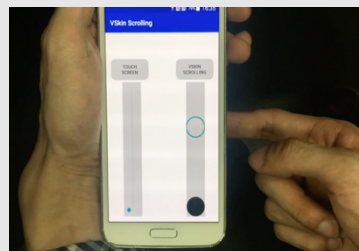
人体微动作感知



高精度隔空交互

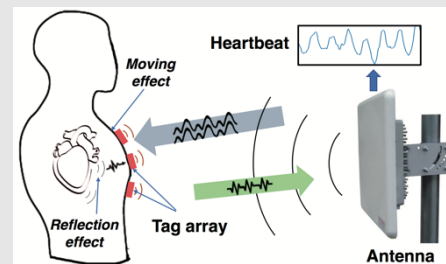


视觉键盘输入



手机触摸感知

心跳 / 呼吸监测



RFID心跳监测



IMU心跳监测

探索感知极限-以RFID无源感知为例

分米级感知

厘米级感知

毫米级感知

➤ 当前国际上定位与感知方案精度

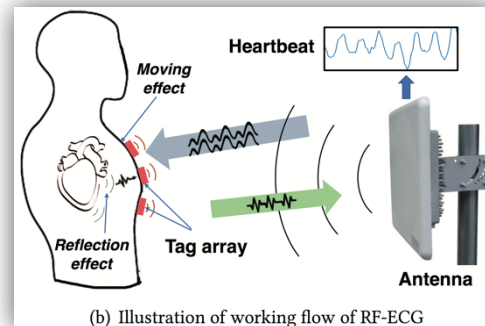
研究单位	会议/期刊	系统名称	感知精度
清华大学	MOBICOM'14	TagOram	7cm
美国MIT	SIGCOMM'14	RFIDraw	5cm
美国MIT	MOBICOM'17	RFind	2cm



微动作感知

➤ 我们系统的感知精度

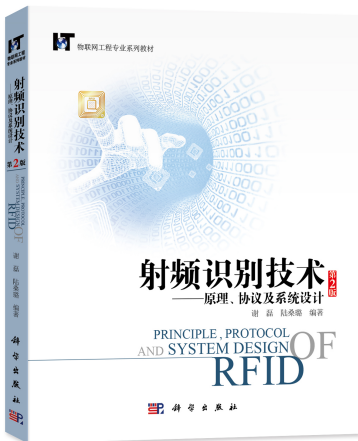
感知领域	系统名称	感知精度
微动作感知	RF-Glove	2-3cm
高精度液位感知	RF-Care	1cm
生命体征感知	RF-ECG	1-2mm
高精度滴速感知	DropMonitor	1mm



(b) Illustration of working flow of RF-ECG

生命体征感知

出版学术著作



谢磊，陆桑璐 著.

射频识别技术：原理、协议与系统设计.

物联网工程专业系列教材.

北京：科学出版社，

ISBN 978-7-03-049237-1.

2014年4月第1版，2016年6月第2版，2020年8月第3版

用作本科生/研究生课程教科书：

- 本书自2014年出版发行以来，先后出版三版（2014年第一版，2016年第二版，2020年第三版），已售2.6万多册。
- 包括清华大学、北京大学、浙江大学、中国科学技术大学、西安交通大学、中山大学等在内的120多所高校将此书作为教材。
- 2019年入选南京大学研究生品牌课程项目品牌教材。

成果实际应用

研究成果实际应用

以“面向医疗的智能感知”为应用切入点，研究成果在包括**广州医科大学附属第二医院、南京市鼓楼医院仙林分院、南京市紫金医院、江苏泰乐城凤栖护理院**等国内多家医疗和养老机构进行实际应用。



南京市紫金医院病房应用案例



无锡市第二中医医院挂水大厅应用案例



智能感知网关：一体化解决方案



RFID天线、多模态传感器

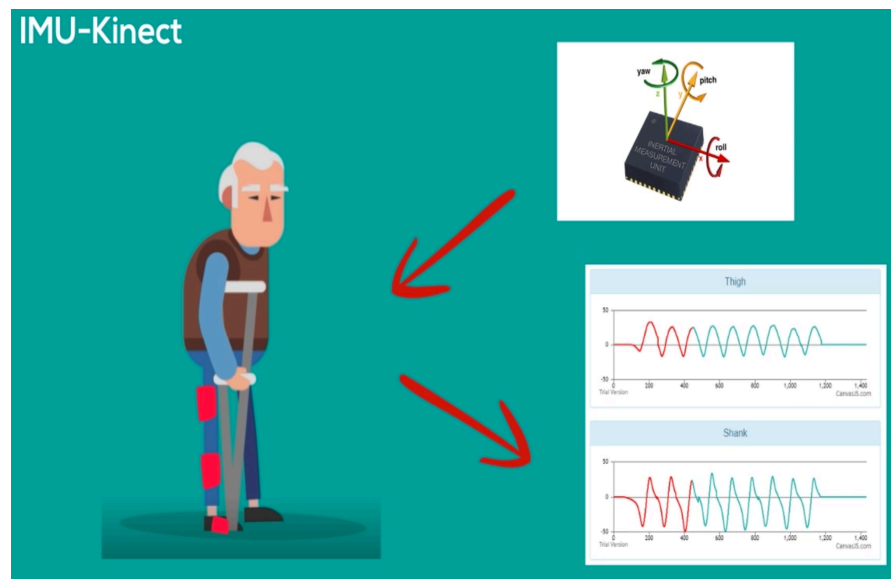
**微型化智能网关
(内嵌阅读器、处理器、
多接口网络模块)**

边缘计算理念在智能感知领域的全新实现



基于可穿戴感知的 术后康复步态监测

应用试点合作单位：
南京军区总医院



敬请各位专家
批评指正！