



南京大學

NANJING UNIVERSITY

感知技术

殷亚凤

智能软件与工程学院

苏州校区南雍楼东区225

yafeng@nju.edu.cn , <https://yafengnju.github.io/>



感知技术

- 传感网感知
- 非传感器感知
- 群智感知计算





传感器

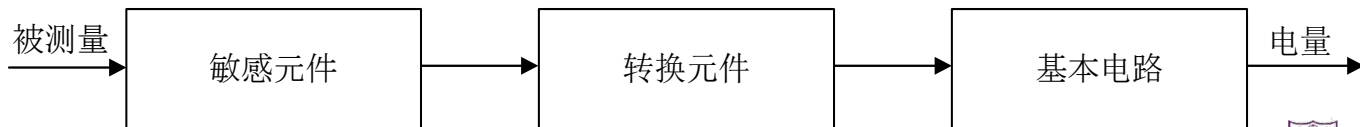
什么是传感器

- 人类是通过视觉、听觉等感性的方式感知周围环境的
- 而传感器是能感受被测物理量**并按照一定规律转换成可用输出信号**的器件或装置



传感器的基本组成

- 一般由敏感元件、转换元件和基本电路组成
- **敏感元件**是指能直接感受被测物理量的部分
- **转换元件**将敏感元件的输出转换成电路参量，如电压、电感等
- **基本电路**最终将电路参数转换成电量输出





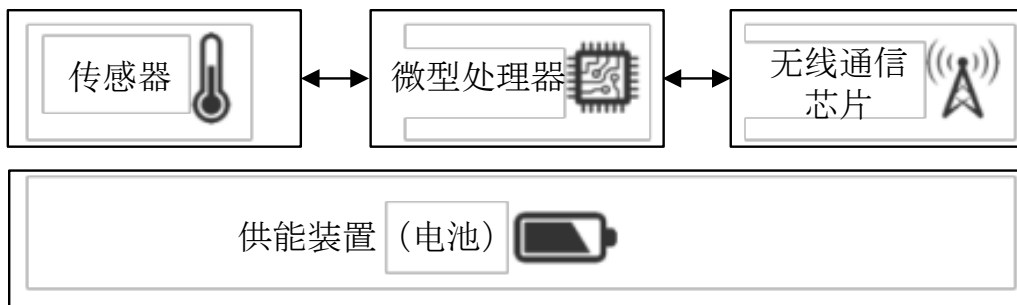
从传感器到传感网

传感网的诞生

- 传感器只能**单点测量**，网络化的程度有限，缺少信息共享
- 传感网则集成多个传感器，结合感知、计算与通信于一体，可进行规模化的有效感知。其中**通信功能**是最关键的不同点

传感网的基本组成

- 除传感器外，还集成了**微型处理器**、**无线通信芯片**和**供能装置（电池）**



无线传感网节点组成



从传感器到传感网

传感网的历史

美国军方在越南战争期间部署“雪屋”系统

1967

1996

UCLA的威廉·凯泽教授开展LWIM项目

1996

加州大学伯克利分校和军方发起了“智慧尘埃”项目

2002

在美国大鸭岛 (Great Duck Island) 实现部署



大鸭岛传感器网络节点和部署环境





软硬件平台

传感器

- 种类丰富，从相对简单的光传感器、温度传感器，到比较复杂的二氧化碳传感器等
- 处理器通过模拟和数字信号两种方式与传感器进行交互。基于模拟信号的传感器必须先数字化，而基于数字信号的传感器可直接使用

微型处理器

负责计算的核心

微处理器芯片集成了内存、闪存、模/数转换器和数字输入/输出 (input/output , I/O) 等

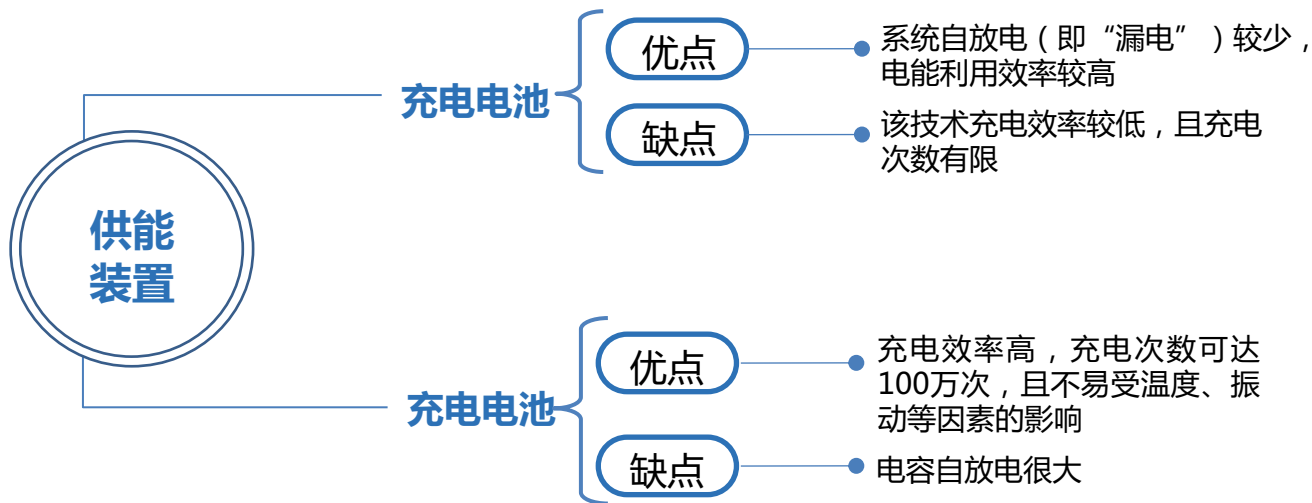




软硬件平台

无线通信芯片

- 通信芯片**能耗**是节点能耗的主要来源。例如，TelosB节点上CPU工作电流仅为500 μ A，而通信芯片工作电流达近20mA。且通信芯片各工作状态消耗的能量差别不大
- 通信芯片**传输距离**是节点的重要指标，其受**芯片的发射功率**等因素影响





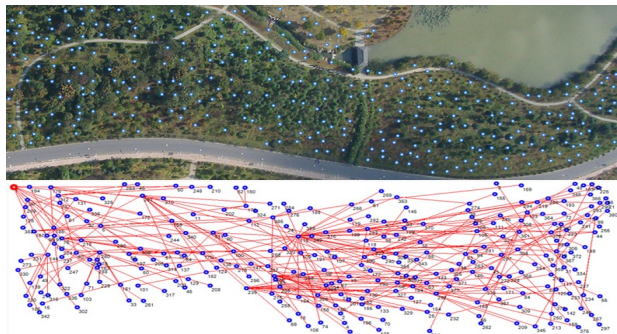
自组织网络协议

为什么不直接使用互联网的TCP/IP协议

- **资源限制**：传感网节点资源有限，而实现和运行完整的TCP/IP协议是比较消耗资源的
- **大材小用**：传感网数据采集传输的功能相对简单，是否有必要采用功能强大的TCP/IP协议存在疑问

什么是自组网

指网络中**没有固定的网络结构**，网络设备需要在**不依赖于中央控制设备**的情况下实现自组成网，处理节点移动、加入和退出等操作



GreenOrbs中的自组网





自组织网络协议

设计方法

- 网络的建立依赖于**对链路和路径质量的测量和评估**，典型的组网协议可以选择到达目的节点最短的路径
- **期望传输次数** (expected transmission count , ETX) 是无线传感网中广泛使用的路由指标之一
- 记 d_f 为从源节点到目的节点的收包率， d_r 为从目的节点到源节点的ACK的收包率，

则有：

$$ETX = \frac{1}{(d_f \cdot d_r)}$$

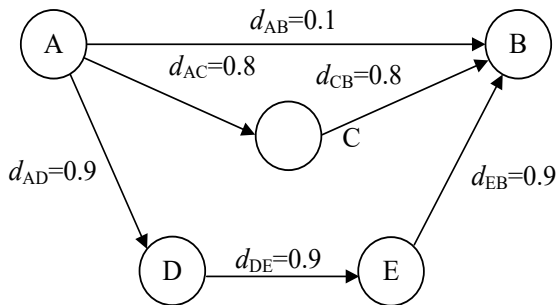




自组织网络协议

期望传输次数

- 把传输代价最小化，**提高带宽利用率，减少能量消耗**
- 测量双向链路质量，能有效**避免非对称路径链路**带来的影响
- 一条路径的ETX为该条路径所有链路的ETX之和。如图所示：（假设链路反向的收包率 d_r 均为1）



路径A→B : ETX=10

路径A→C→B : ETX=1.25+1.25=2.5





传感网系统探索

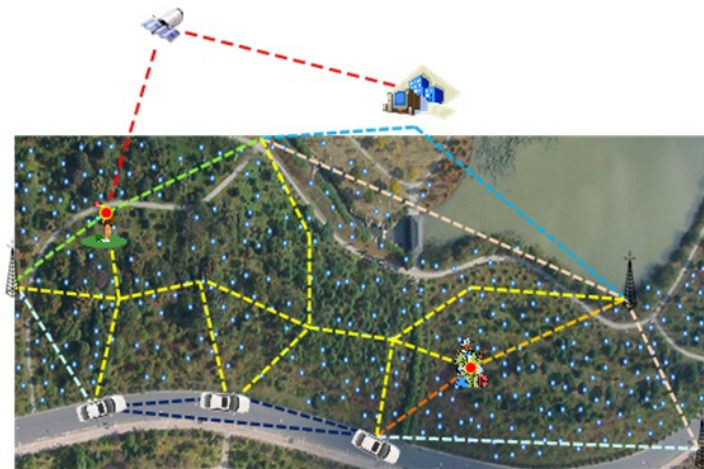
绿野千传 (GreenOrbs)

清华大学研究团队发起的大规模室外无线传感网项目

用途：森林碳监测传感网系统

部署地点：

- 浙江省天目山自然保护区
- 浙江农林大学校园部署



GreenOrbs系统部署（森林区域）





无线传感网发展中的挑战

传感失谐

传输和感知不匹配

- 图像等数据量大且要求实时传输，难度高
- 部分数据缺乏对应可大规模部署的低成本传感器

诊疗失据

网络管理困难

- 节点环境恶劣且通信和计算资源有限，类似SNMP类型的Agent汇报机制无法被有效支持

模型失用

模型过于理想

- 基于理想化的模型假设忽略了无线传感网运行过程中的不确定物理因素和环境动态性，与实际情况之间有落差



感知技术

- 传感网感知
- **非传感器感知**
- 群智感知计算





从传感网到无传感器感知

传统感知暴露问题

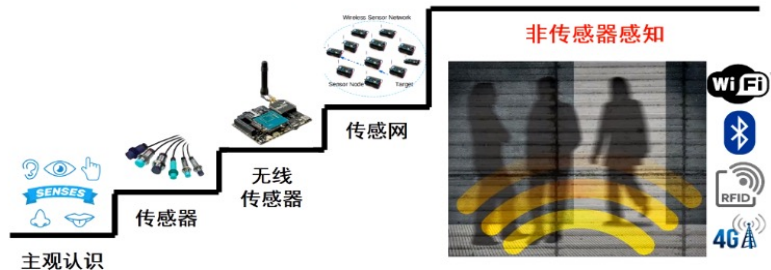
- 传感系统的**部署和维护成本太高**

非传感器感知打破传统思维

- 利用环境中**已有的感知媒介**，如**声、光、射频信号等无线信号**
- 通过分析无线信号在传播过程中的变化，获得信号传播空间的特性，以实现对环境的感知。

将感知与通信合二为一

- 具有“三无”的特性：**无传感器、无线和无接触**
- 基于雷达系统、超宽带信号和WiFi信号的感知技术层出不穷。以**WiFi感知**为例来介绍无线感知技术。



感知的发展历程

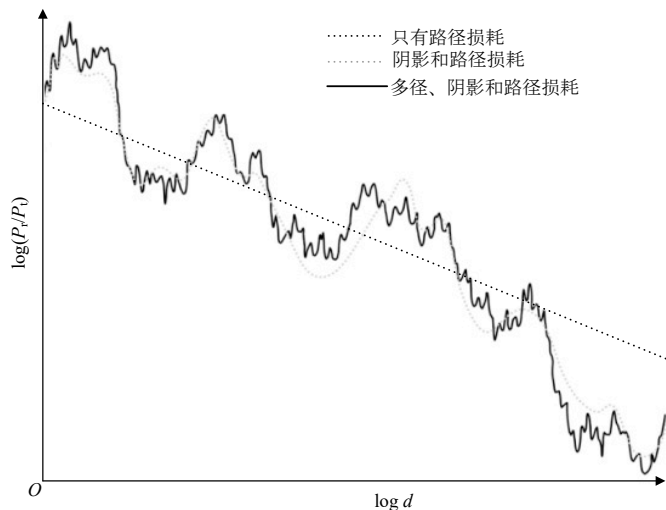




基于接收信号强度RSS

用RSS表征接收机位置信息

- RSS的**强弱**在一定程度上反映了信道质量的好坏
- 但RSS会因**信号阴影衰落**、**多径**等影响而不再随传播距离增加而单调递减，从而限制测量精度



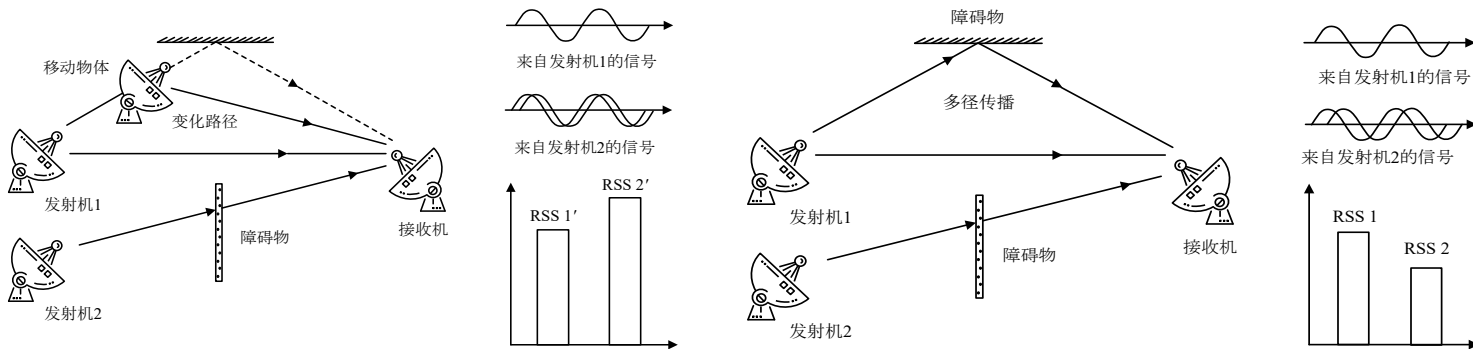
多径传播环境下接收功率随传播距离变化示意图





基于接收信号强度RSS

且RSS是多径叠加的结果，不能区分多径



不同多径叠加导致基于RSS的无线指纹变化



基于信道冲激响应CIR

用CIR表征接收机位置信息

- 为**刻画多径传播**，无线信道通常可用信道冲激响应CIR建模
- 在线性时不变假设下，CIR可表示为：

$$h(\tau) = \sum_{i=1}^N a_i e^{-j\theta_i} \delta(\tau - \tau_i)$$

- 式中： a_i 、 θ_i 、 τ_i 分别为第*i*条路径的幅度衰减、相位偏移和时间延迟。N为传播路径总数。 $\delta(\tau)$ 为狄拉克 (Dirac) 脉冲函数。式中的每一项从时域上表示了一条传播路径的幅度、相位和时延

对于WiFi信号

- WiFi设备可从每个接收数据包中获取一组CSI，每组CSI代表了一个**正交频分复用OFDM子载波的幅度和相位**，即：

$$H(k) = \|H(k)\| e^{j\angle H(k)}$$

- 式中： $H(k)$ 为第*k*个子载波的CSI。 $\|H(k)\|$ 和 $\angle H(k)$ 分别为其幅度和相位

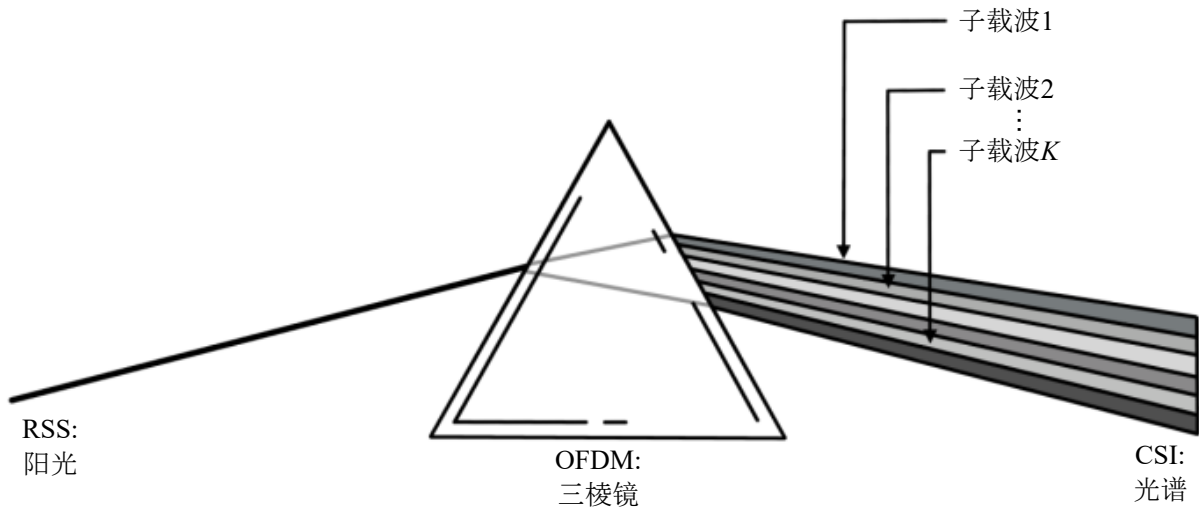




RSS与CSI的特性比较

CSI可以看作RSS的升级版本

若RSS是白光，则CSI是**以OFDM为棱镜色散出的光谱**。每一束单色光（对应OFDM中的不同子载波）都呈现了不同频率下多径传播的幅度和相



RSS 与 CSI 的关系





RSS与CSI的特性比较

CSI可以看作RSS的升级版本

- CSI同时测量**多个子载波**的频率响应
- CSI不仅测量子载波的幅度，还测量对应的**相位信息**

类别	RSS	CSI
网络层次	MAC层	物理层
时间分辨率	数据包尺度	多径信号簇尺度
频率分辨率	无	子载波尺度
稳定性	低	高 (CSI整体结构)
普适性	几乎所有WiFi设备	部分WiFi设备

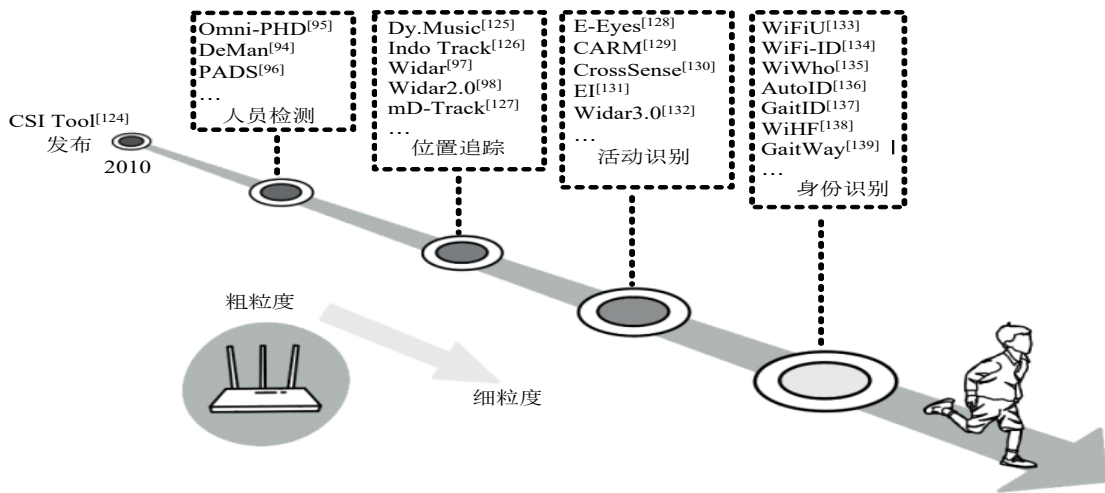




WiFi感知粒度的进步

WiFi感知技术的对象多样，应用丰富

提取WiFi网卡CSI的工具推动了感知粒度的发展



WiFi 感知发展历程





人员检测

PADS

- 人员会遮挡部分原始反射的信号，同时引入额外的反射信号
- PADS提出**对CSI的幅度和相位分别提取协方差矩阵**，即

$$\mathbf{A} = \left[\text{cov}(\overline{H}_i, \overline{H}_j) \right]_{K \times K}$$

$$\mathbf{B} = \left[\text{cov}(\overline{\phi}_i, \overline{\phi}_j) \right]_{K \times K}$$

式中： \overline{H}_i 为第*i*个子载波上的CSI幅度归一化之后的值。 $\overline{\phi}_i$ 为第*i*个子载波上的CSI相位做归一化之后的值。K为WiFi信号子载波的个数。



人员检测示意图

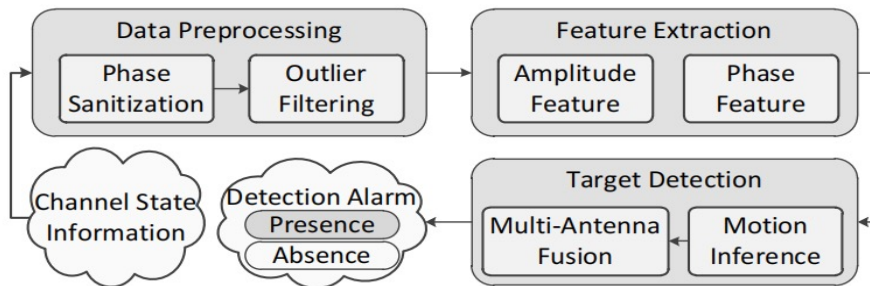




人员检测

PADS

- PADS分别提取了**两个协方差矩阵各自两个最大的特征值**组合成最终用于识别的特征向量，即
$$[\alpha_1, \alpha_2] = \max(\text{eigen}(A))$$
$$[\rho_1, \rho_2] = \max(\text{eigen}(B))$$
$$F = [\alpha_1, \alpha_2, \rho_1, \rho_2]$$
- 基于上述特征向量，PADS训练了一个支持向量机SVM用于对特征进行二分类
- 在区分噪声和人员引起的CSI扰动时，平均检测准确率达97%



PADS人员检测模型

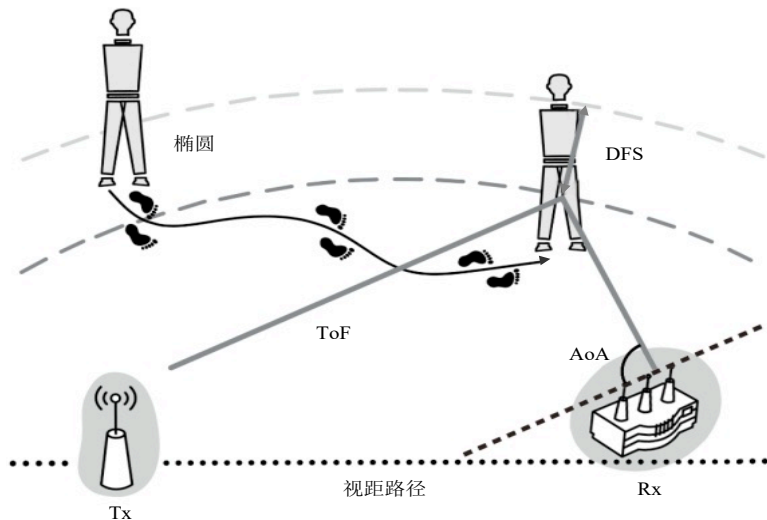




位置追踪

Widar 2.0

- 根据CSI的相位得到信号**飞行时间ToF**，那么人的位置就在以收发机为焦点的椭圆上
- 用3根等间隔摆放的天线计算出信号**到达角AoA**，进一步追踪



基于 CSI 的人员位置追踪模型

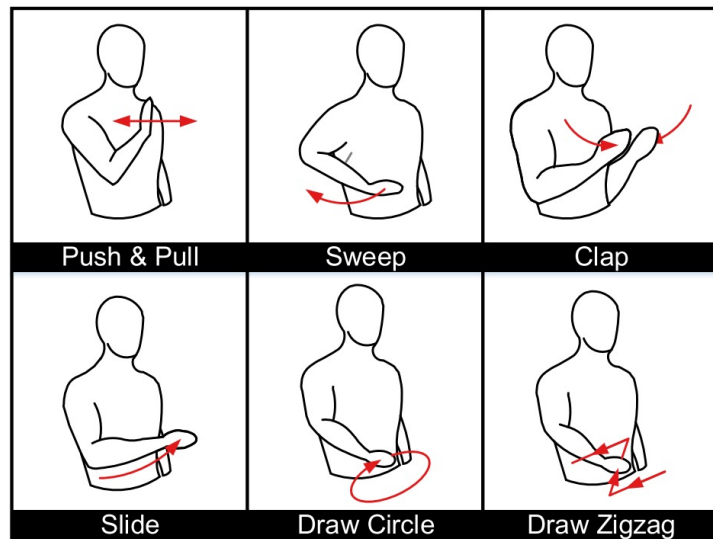




活动识别

Widar 3.0

- 提出人体坐标系速度谱BVP的概念，反映了**人体所有反射点的运动速度的能量分布**
- BVP通过旋转、放缩等操作来补偿人体的旋转、加减速等运动对信号的影响，并将环境反射的静态分量滤除
- 使用卷积神经网络CNN与循环神经网络RNN联合识别模型，达到92.7%左右的手势识别精度



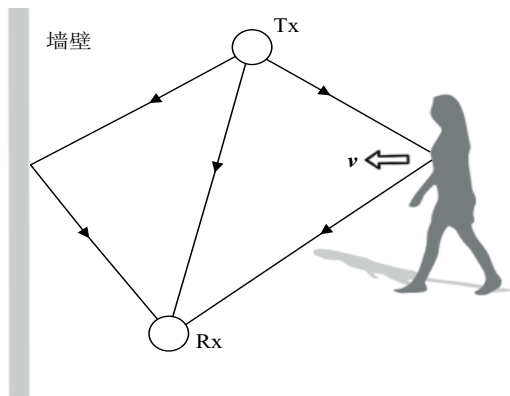
Widar 3.0活动识别模型



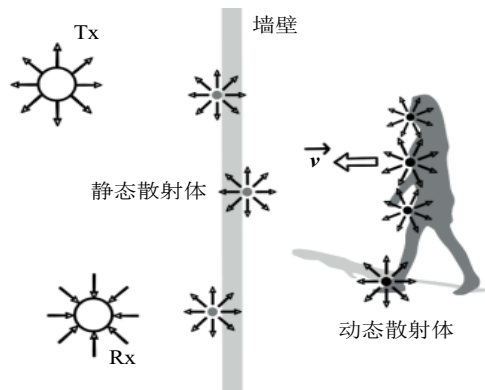
身份识别

GaitWay

- GaitWay提出一种新型的**散射模型**应对多径复杂的场景
- 通过散射体速度与CSI的关系，建立**CSI与人体运动速度的定量关系**
- 从中提取特征用于SVM分类器识别，达到90.4%的手势识别率



(a) 反射模型



(b) 散射模型

信号的反射模型与散射模型





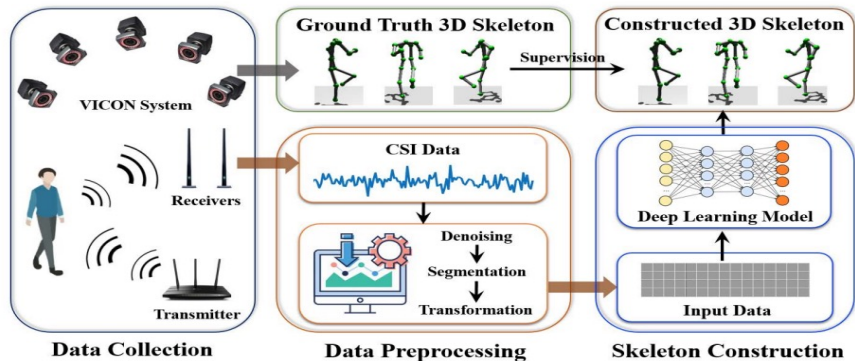
从朴素算法到人工智能

传统的朴素算法遇到瓶颈

- 难以满足高精度、高鲁棒性的感知需求

WiFi感知借力人工智能

- XModal-ID尝试将计算机视觉技术与WiFi感知紧密结合
- WiPose建立了CNN+RNN联合深度学习模型
- STFNNets提出短时傅里叶神经网络



WiPose人体姿态构造模型





非传感器感知技术前景

非传感器感知未来发展的挑战

感知维度

目前感知还主要集中在对**位置和动作**的感知。

感知精度

现实中感知**受噪声干扰**，感知**目标复杂**，导致实际感知精度降低。

场景适应

许多感知工作**只能在可控的实验场景**下达到较好的感知效果。

部署成本

感知信号的收发和处理仍**需要专门设备**，增加了部署成本。

隐私问题

感知覆盖的场景和范围较大，会对**人的隐私**造成一定影响。



感知技术

- 传感网感知
- 非传感器感知
- **群智感知计算**





概念

什么是群智感知

- 大量普通用户使用手机等移动设备作为基本感知单元
- 通过移动互联网进行协作，实现感知任务分发与数据收集利用
- 最终完成大规模的、复杂的感知任务

群智感知的特点

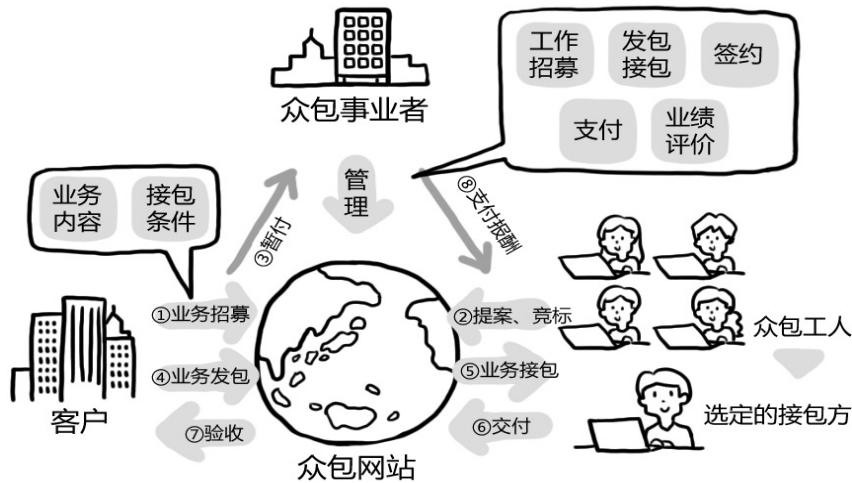
- 参与者无须是拥有专业技能的人士，可主动参与或被动参与
- 群智感知中的感知任务常是复杂的



感知任务的分发与收集利用

众包

- 企业利用互联网将工作分配出去、发现创意或解决技术问题
- 通过互联网，这些企业可以利用大量用户的创意和能力
- 与外包的不同点在于，任务和问题是外派给不确定的群体



众包示意图





感知任务的分发与收集利用

SETI@home 足不出户寻找外星人

- Arecibo望远镜搜索太空中的无线电信号并记录
- SETI@home服务器端将收集到的数据划分为工作单元，并通过互联网传送到全球各客户端进行处理
- 客户端在闲置时对数据进行处理，完成后送回并下载新的数据
- 服务器收集数据，并筛选出可用信号在下一次观测太空中在同一方位进行确认
- 一旦信号被确认，SETI@home将发表公告。相关客户端会被一起赋予“合作发现者”的称号

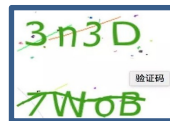




感知任务的分发与收集利用

reCAPTCHA利用全球智慧数字化古籍

早期验证码是将随机字符串图像进行设计而成的



Luis von Ahn提出用这些脑力解决“图书数字化”问题

reCAPTCHA让人们每次辨识两个而非一个验证码

其中一个为早期验证码，而另一个则是从印刷品中选取的计算机不认识的字符图像

The Norwich line steamboat train, from New-London for Boston, this morning ran off the track seven miles north of New-London.

morning



reCAPTCHA示意图

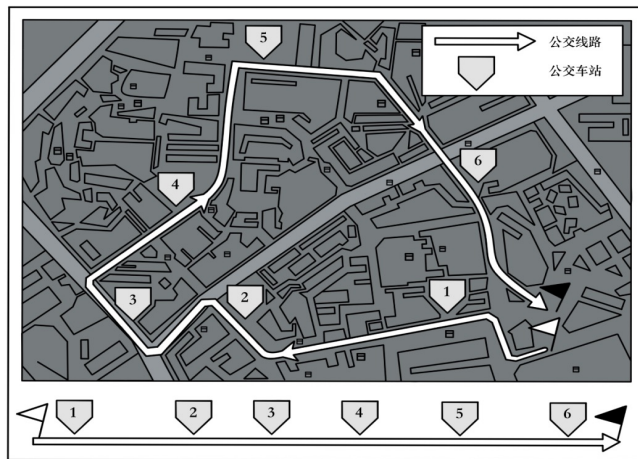




案例分析

公交车到站时间预测

- 公交车线路是一条特定的直线
- 利用手机信号形成一个信号塔的序列

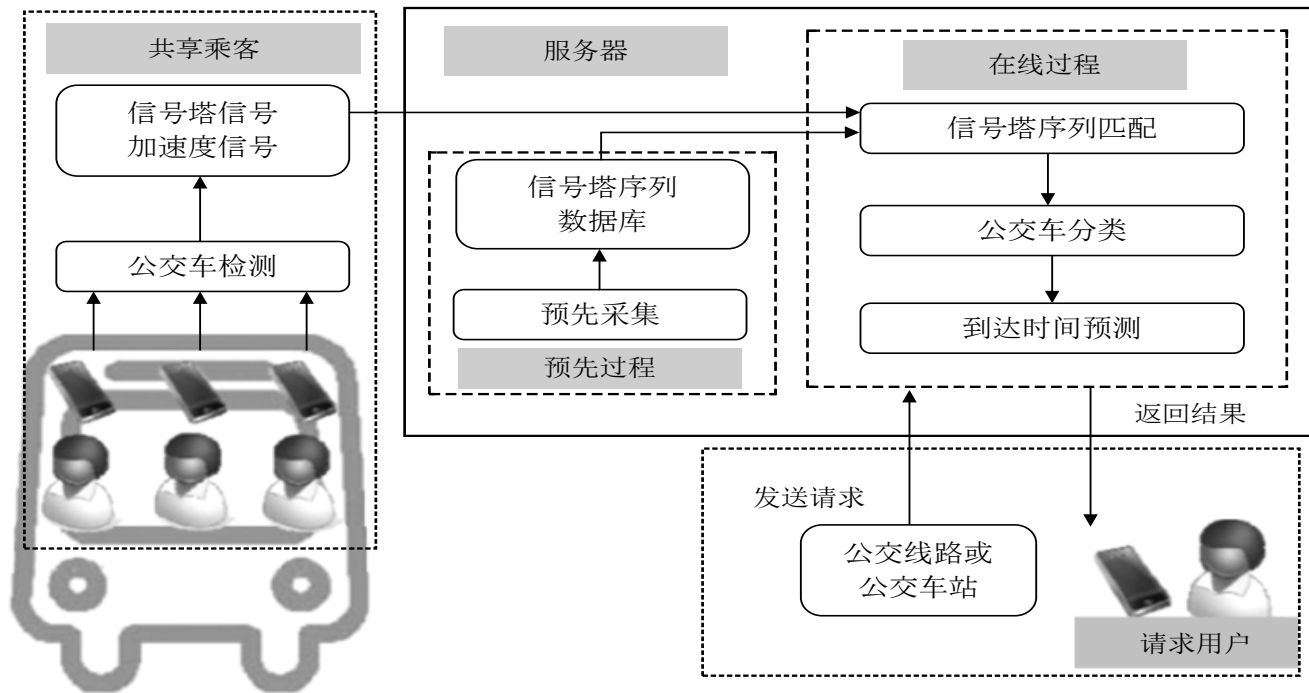


公交线路与信号塔序列



案例分析

公交车到站时间预测



公交预测系统整体框架



发展趋势

群智感知未来发展的挑战

数据质量管理

- 用户的感知数据存在不精确、不完整等质量问题
- 用户感知方式的不同影响感知数据的正确表达和解释
- 如何**有效管理不同参与者提供的**数据质量是重要挑战

多维数据融合

- 手机上的传感器数据包括加速度计、摄像头等，需要经过不同层次的加工，才能展现出人们感兴趣的内容
- 如何**利用多维度传感器**，挖掘社会事件与人群活动是重要挑战

用户协同感知

- 用户的社交行为是多个移动设备上感知信息协同处理的基础
- 如何**利用多用户协同感知**提供有效的群智感知的结果是重要挑战





提问

Q & A

殷亚凤

智能软件与工程学院

苏州校区南雍楼东区225

yafeng@nju.edu.cn , <https://yafengnju.github.io/>



南京大學
NANJING UNIVERSITY