

# 面向能源互联网的通信感知融合

Integrated Sensing and Communication for Energy Internet



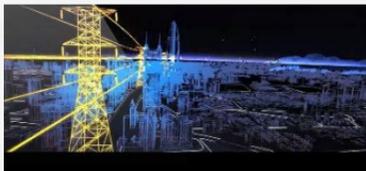
北京邮电大学 路兆铭

Zhaoming Lu, Beijing University of Posts and Telecommunications

# 能源互联网发展趋势及挑战

## 能源互联网的发展趋势

### 信息互联共享



### 状态全面感知



### 多传感协同



能源互联网通过全面感知能源生产、传输、消费信息，实现数字世界与物理世界的实时交互与智能应用

## 能源互联网的现有挑战

电力设备故障时，作业人员生命安全如何保障



如何跟踪工作人员活动轨迹，掌握具体情况



危险情况中如何快速搜救，及时精确寻找人员



# 如何解决能源互联网背景下衍生出来的问题

电力人员现场作业时，存在着众多的安全隐患，  
因此需要管控人员实时监测作业人员的“位置”和“安全”实况

## 位置实况

室外定位



室内定位



## 安全实况

运动姿态



呼吸质量



## 远程监控

室外由于空旷的环境，定位方式较为简单，而室内由于各种物体的遮挡等因素需要精心考虑定位方式

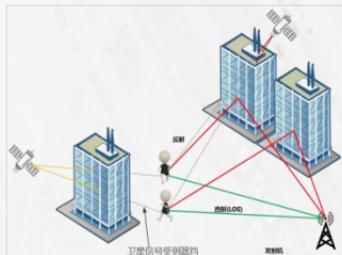


当远程监控系统自动监测到异常的运动姿态和呼吸质量时，可自动发出警报提醒管控人员

# 面向能源互联网的通信感知融合

通信感知的融合赋予数据更为生动的意义！

## 5G定位



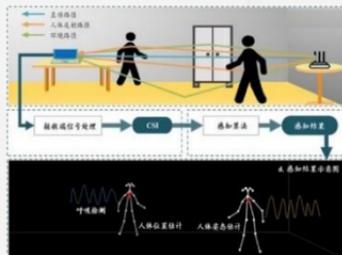
5G定位可以弥补GPS在室内、高楼桥隧环境下对物体定位精度不足的缺点。5G定位基于5G的技术特点，利用基站和终端之间直射径和反射径提供的信息，便可估计出物体的精确位置。

### 5G定位的独特优势

### 室内5G定位方法

### 室外5G与北斗融合定位

## Wi-Fi感知



无线信号在传播过程中遇到人体会发生反射、衍射和散射等现象，从而对信号的正常传播产生扰动。通过分析接收信号的扰动变化特征，便可感知信号在传播过程中所遇到的人体的状态。

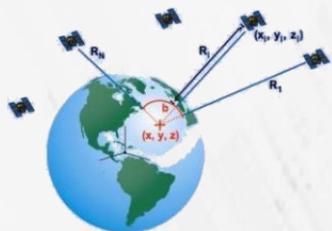
### 人体姿态成像

### 移动轨迹追踪

### 呼吸状态监测

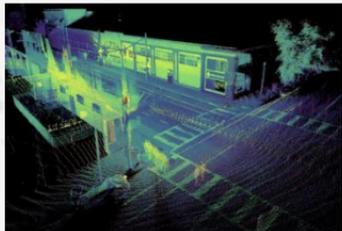
# 5G定位—其他定位测量技术的不足

## 差分GPS



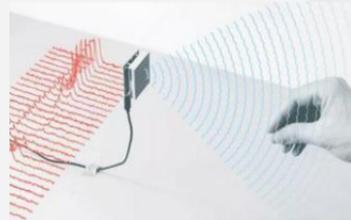
RTK基于卫星信号实现高精度定位，但是RTK技术在室内和高楼桥隧等**卫星信号遮挡**的环境下**精度急剧下降**

## 激光雷达



激光雷达定位速度与精度很优秀，其部署在工厂中可感知周围环境，但其**易受环境干扰**，且容易存在盲区

## 毫米波雷达



毫米波雷达体积小、质量轻和空间分辨率高，穿透烟雾灰尘等能力较强，但其**易受遮挡**，造成定位失效等问题

## 图像定位



视觉传感器室内外场景均可部署，为工作人员提供定位信息，但其**精度较差且受到场景限制**

因此，对人员的定位进行全方位精确的跟踪，需引入**5G定位技术**

# 5G定位—优势

## 5G现有基础设施



## 5G massive MIMO



角度分辨率  
提升

部署广泛  
»»



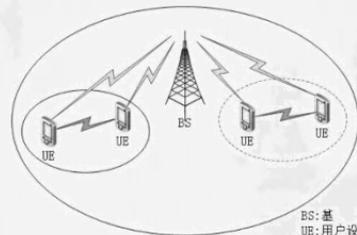
精度提升  
««



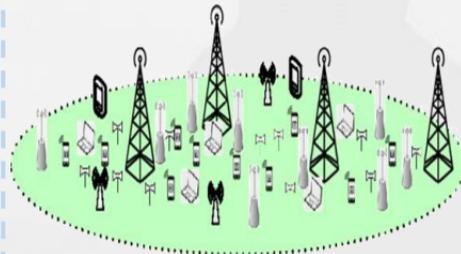
时间分辨率  
提升

5G 大带宽

## D2D通信



## 超密集网络

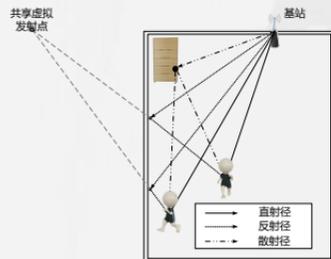


# 5G定位—基于无线的协作式即时建图与人员定位(1/2)

## 背景意义

- 可以利用**现有的5G网络基础设施**来定位室内人员
- 可以利用墙面对无线信号的反射来增加定位信息
- 多个人员对于公共环境特征的观测可以进一步**提高环境特征的估计精度**，从而提高定位精度

## 适用场景

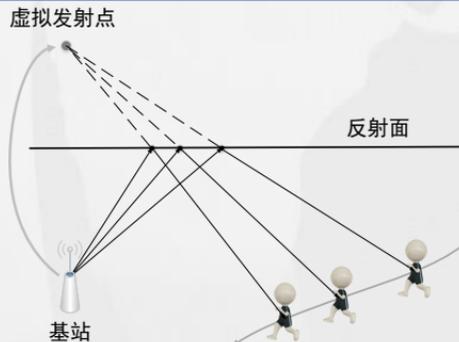


- 多个人员会接收到来自同一5G基站发送的下行信号
- 由于墙面反射，人员接收信号包含多径成分

## 虚拟发射点模型

### 虚拟发射点模型

- 虚拟发射点探寻了环境中反射环境的静态本质，将多径信号建模成从虚拟发射点到目标的直射路径，为定位提供更多的观测基准点。
- 虚拟发射点的位置只与反射面的位置以及基站的位置相关，不随时间的变化而变化。

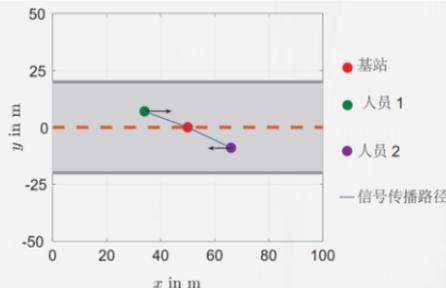


# 5G定位—基于无线的协作式即时建图与人员定位(2/2)

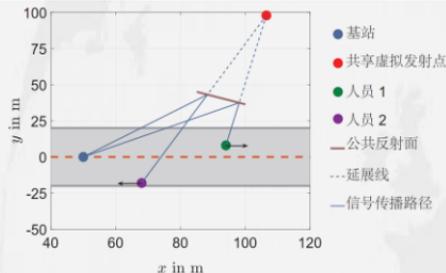
## 共享虚拟发射点模型

### 共享虚拟发射点模型

共享虚拟发射点利用了室内环境中人员协作的本质，**对于多人可以共同观测到的虚拟发射点进行建模**，提高虚拟发射点以及人员的定位精度。



a) 虚拟发射点来自不同车辆的直射径；



b) 虚拟发射点来自相同的反射面或者相同笛卡尔方程的反射面；

## 方法

- 基于多径信号成分构建**环境特征信息模型**
- 利用多人的观测对**公共环境特征估计**进行**优化**
- 协作粒子滤波算法通过**融合共享虚拟发射点以及观测信息**，迭代更新人员以及虚拟发射点的位置，完成协作式的即时无限特征提取与人员定位

## 优势

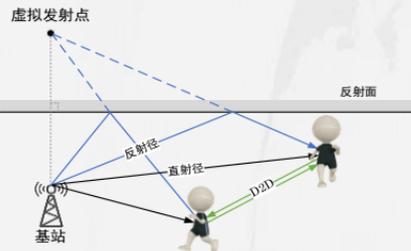
- 利用已有5G基站，成本低
- 利用无线反射实体的静态本质
- 利用室内的多人对静态特征点的共享特性

# 5G定位—多径辅助的D2D协作定位算法与研究(1/2)

## 背景意义

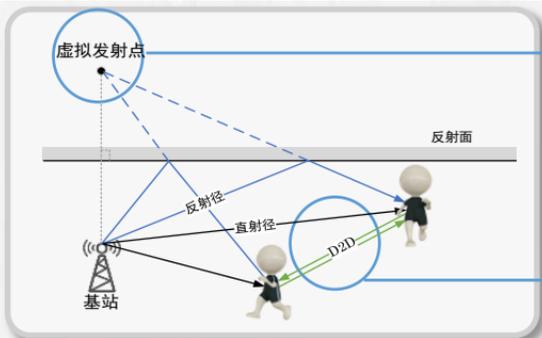
- 充分利用**室内5G网络**来定位室内人员
- D2D通信可以**获得相邻人员的位置信息**，可以解决某些人员与基站**通信质量不好**时的定位问题，同时提高定位精度

## 适用场景



- 多个人会接收到来自同一5G基站发送的**多径下行信号**
- 人员与人员之间可以进行通信，即**D2D通信**

## 协作方式



### 多个人**共用虚拟发射点**

- 区分前一时刻的和当前时刻新计算得到的
- 对新计算的虚拟发射点进行聚类合并

人员之间可以进行通信从而估计相对位置信息

# 5G定位—多径辅助的D2D协作定位算法与研究(2/2)

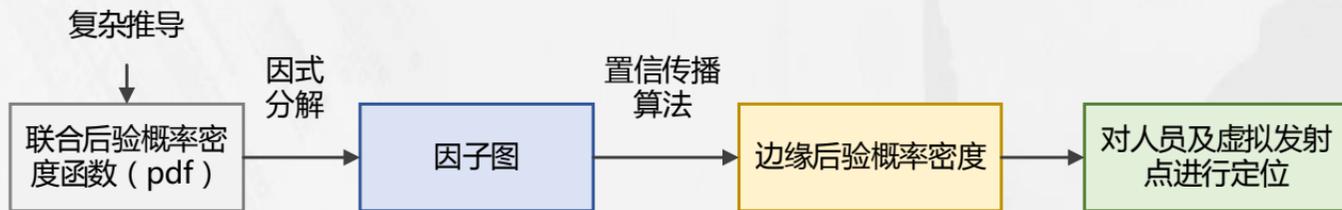
## 方法

- 基于多径信号成分构建**环境特征信息模型**
- 设置变量处理测量值和环境特征信息的**数据关联**
- 推导系统贝叶斯模型并建立因子图
- 运用**置信传播算法**进行人员间的协作定位

## 优势

- D2D通信**弥补单个人员信号不好**的情况
- 多径的利用使得可以利用单个基站定位，**节约资源，简单易行**
- 定位精度比单个人员**定位精度高**

## 协作方式

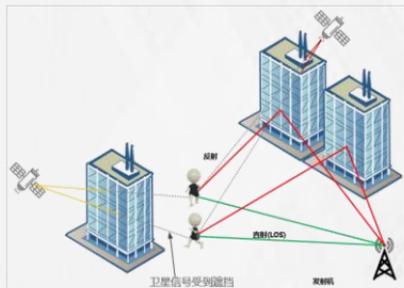


# 5G定位—室外5G与北斗融合定位(1/2)

## 背景意义

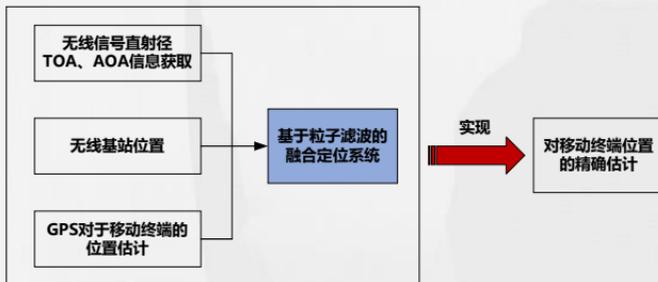
5G定位能够在北斗定位的基础上，通过融合定位的方法弥补卫星定位中由于城市高楼峡谷遮挡等原因造成的覆盖率不足、信号差等问题，提高电力场景对电力工作者以及电力设备的定位精度

## 适用场景



- 卫星信号覆盖率不足、信号差
- 提高对电力工作者及电力设备的定位精度

## 系统框图



# 5G定位—室外5G与北斗融合定位(2/2)

## 方法

### 基于粒子滤波的直射径与GPS信号融合定位系统的设计与实现



#### 无线信号直射径TOA、AOA信息获取

采用SAGE算法进行无线信道参数估计，获得每个时刻无线基站与移动端之间直射径的TOA、AOA信息：

$$z(t_k) = \{\alpha(t_k), \tau(t_k)\}$$



#### 基于粒子滤波的融合定位系统设计与实现

基于粒子滤波算法，将5G无线信号中直射径携带的定位信息与GPS定位信息进行融合，实现室外场景电力工作人员以及关键设备的高精度定位。

K时刻移动终端的位置可以表示为：

$$\hat{x}(t_k) = \int x(t_k) \times P(x(t_k) | z(t_k), x_{GPS}(t_k); x_{BS}) dx(t_k)$$

采用粒子滤波算法来求解估计式中移动终端位置所需的

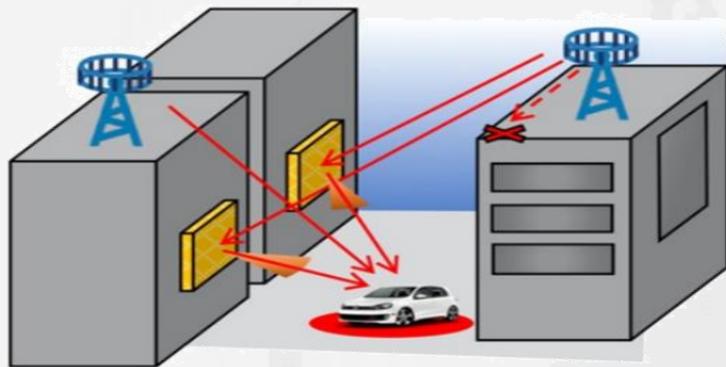
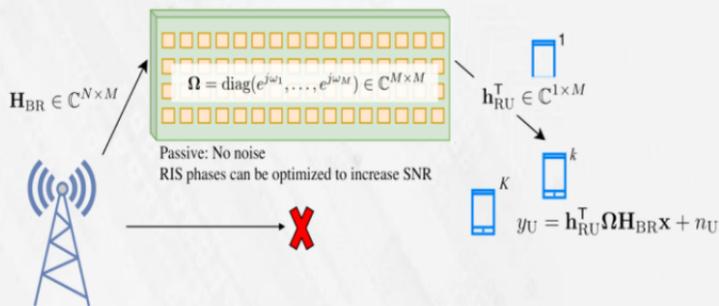
$$P(x(t_k) | z(t_k), x_{GPS}(t_k))$$

# 5G定位—未来展望

未来，5G定位可以引入RIS进一步提高定位性能



## Reconfiguration Intelligent Surface : 智能反射面



RIS特点：

- 能够克服**LOS阻挡**和**通信覆盖盲区**
- 具有**低功率**，**低成本**

RIS在定位中的应用：

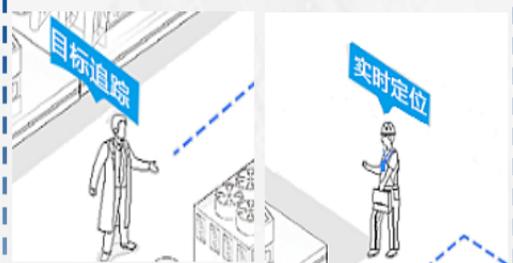
- 借助RIS对盲区的**电力人员进行定位和联络**，保障电力人员**生命安全**

# Wi-Fi感知—如何监测能源互联网背景下的安全实况

需要解决的是“作业人员**在哪儿**？作业人员**在做什么**？作业人员**是否安全**？”的问题



## 作业人员在哪？



通过**移动轨迹追踪**技术实现对作业人员的追踪



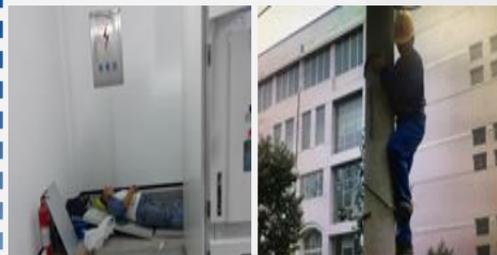
## 作业人员在做什么？



通过**移动轨迹追踪**技术和**姿态成像**技术判断作业人员的工作状态



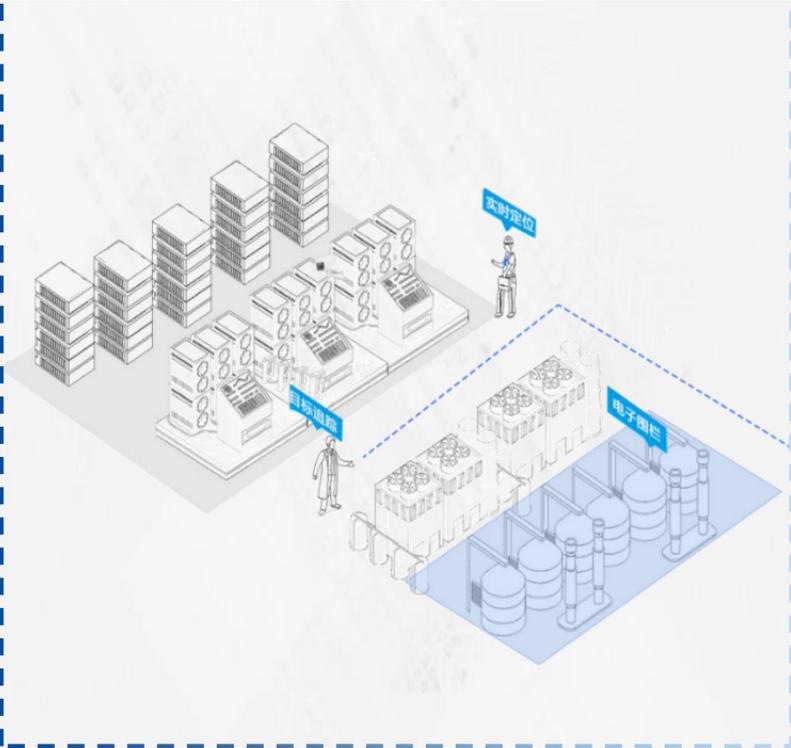
## 作业人员是否安全？



通过**姿态成像**技术和**呼吸检测**技术判断作业人员是否安全

# Wi-Fi感知—移动轨迹追踪可解决的问题

## 工厂场景



## 技术应用

- 对作业人员**实时追踪**，管理者可以根据工作情况实时安排人员流动
- 在安全区域设置**电子围栏**，当作业人员离开安全区域时系统自动发出警报
- 在发生事件时，相关人员的位置可以为救援科学决策提供保障

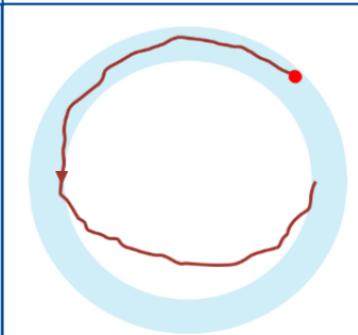
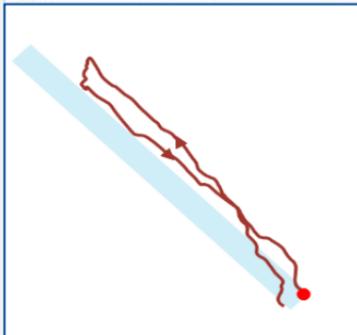
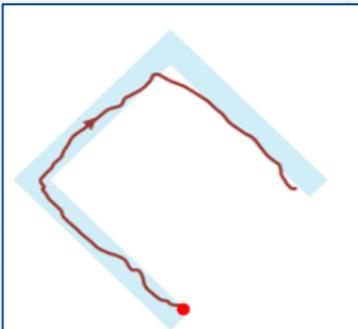
# Wi-Fi感知—移动轨迹追踪技术

## 研究内容

- 设计仅依赖于信号处理方法的人体追踪方案，根据CSI相位变化反推动态路径长度变化，由两组收发设备组成的菲涅尔区交点计算人体位置
- 在 $36.0m^2$ 感知区域内可实现分米级人体追踪
- 基于上述追踪技术，搭建轨迹追踪系统，追踪作业人员的**位置和轨迹**



## 效果展示



# Wi-Fi感知—人体姿态成像技术可解决的问题

能源互联网感知需要解决“人在做什么？人处于什么状态”的问题



人在做什么？→ 行为估计



**实时监控**作业人员工作状态，方便对作业人员进行管理和安排



人处于什么状态？→ 姿态估计



**智慧检测**作业人员的工作状态，为作业人员提供安全保障

人体姿态成像技术是人体行为、状态感知的关键

# Wi-Fi感知—人体姿态成像技术

## 研究内容

- 无线信号可穿墙且被人体反射，具有穿墙人体姿态成像的可行性，可以突破**摄像头遮挡**问题的局限性
- 跨形态监督学习神经网络、基于域对抗的模型泛化能力增强机制等
- 实验结果表明商用Wi-Fi设备可以达到与摄像头相似的人体姿态成像精度，完成可以实现精确的**穿墙成像**



## 效果展示



非穿墙场景成像结果



穿墙场景成像结果

# Wi-Fi感知—呼吸状态监测技术可解决的问题

能源互联网感知需要解决“作业人员**生理体征**是否正常”的问题



2021年1月事故通报

国家电网一工程13米深基坑1人窒息4人施救也窒息 死5人



## 安全问题——及时援助



智能监控作业人员的安全问题，**无需接触**即可得获取**人体生理状态**，搭配警报系统为作业人员提供安全保障

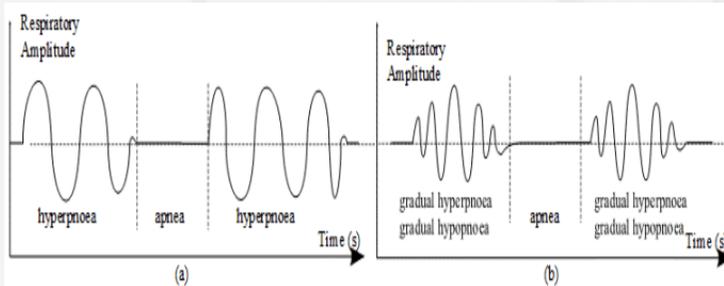
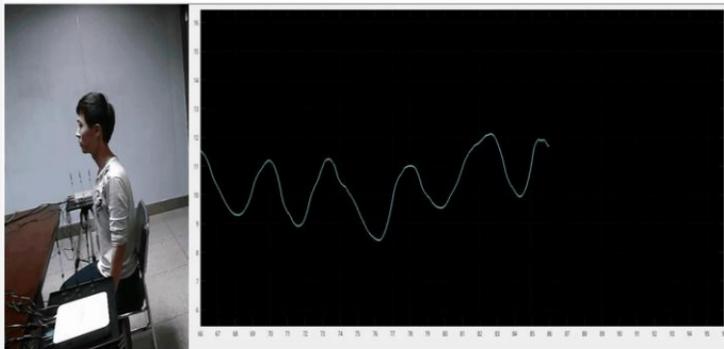
# Wi-Fi感知—呼吸状态监测技术

## 研究内容

- 基于Wi-Fi的呼吸检测系统关注实时呼吸波形，设计基于菲涅尔幅度相位补偿模型，筛选敏感CSI数据重构实时呼吸波形算法
- 基于实时呼吸波形可检测**呼吸频率**，**呼吸暂停**等
- 可根据不同呼吸异常波形对可能发生的事故**做预诊断和示警**



## 效果展示



# Wi-Fi感知—未来展望



丰富系统功能，结合数据**可视化**优化人员管理



提供**细粒度**感知，保障作业人员安全

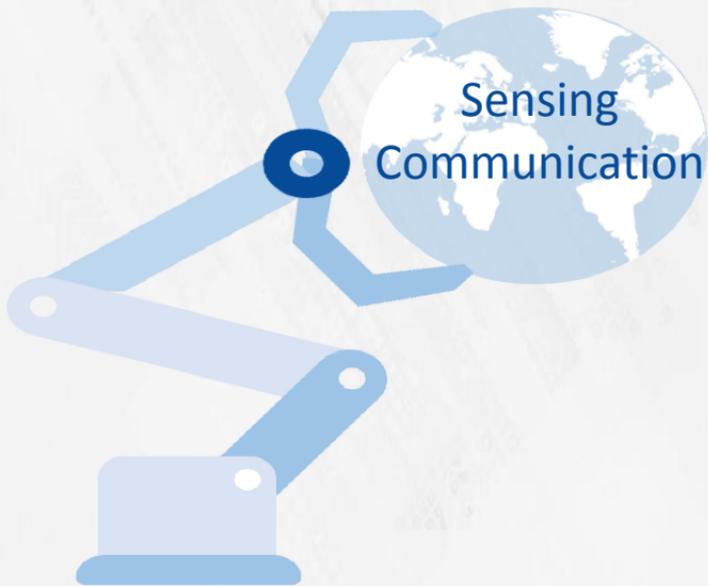


**复用**无线通信与智慧感知，降低部署成本

通过能源互联网感知实现对作业人员管理调度、安全保障的**一站式服务**

# 面向能源互联网的通信感知融合

Integrated Sensing and Communication for Energy Internet



请各位批评指正！

北京邮电大学 路兆铭

2021.5.18