



电子科技大学  
University of Electronic Science and Technology of China



网络空间安全  
研究院 Institute for Cyber  
Security UESTC

# 高实时工业安全无线技术的发展

The Development Of Industrial High Real-Time Safety Wireless Technology

孙超

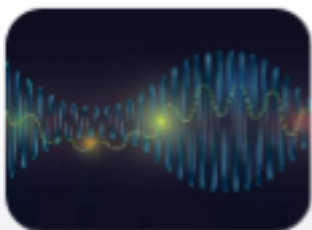
2024年3月



# 工业制造发展的四个阶段

## 工业1.0 机械化

伴随着蒸汽机驱动的机械制造设备的出现，人类进入了“蒸汽时代”



模拟阶段

## 工业2.0 电气化

伴随着基于劳动分工的，电力驱动的大规模生产的出现，人类进入了大批量流水线式及“电气时代”



数字阶段

## 工业3.0 自动化

随着电子技术、工业机器人和IT技术的大规模使用提升了生产效率，使大规模生产自动化水平进一步提高



网络化阶段

## 工业4.0 智能化

基于大数据和工业互联网融合的系统在生产中大规模使用

无线网络  
助力万物物联



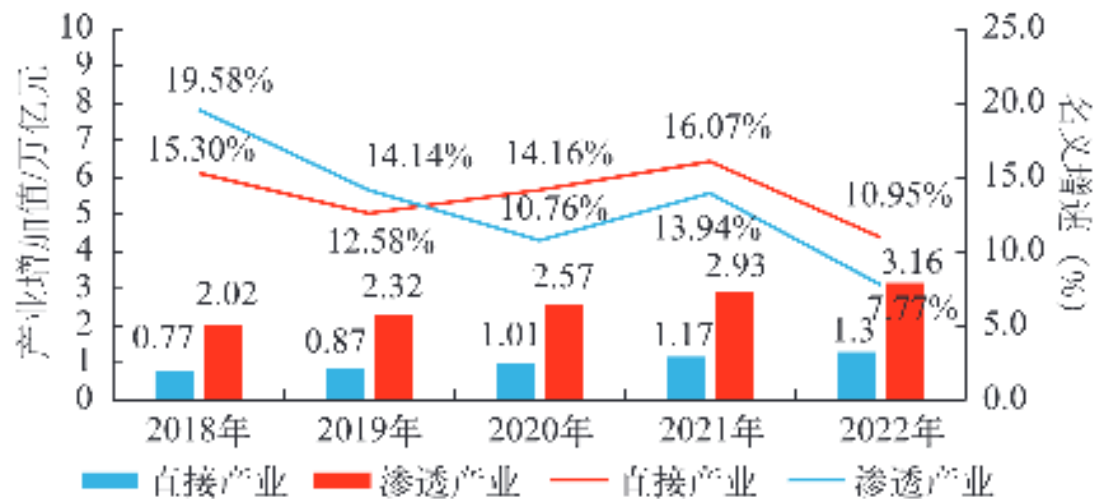
## 2021年工业和信息化部 联合八部委印发 《“十四五”智能制造发展规划》

智能制造是制造强国建设的主攻方向，其发展程度直乎我国制造业质量水平。发展智能制造对于巩固实体经济根基、建成现代产业体系、实现新型工业化具有重要作用。

工业制造的发展历程

# 近年来我国工业互联网产业发展迅速

智能制造行业的产值规模和市场规模持续增长，年复合增长率保持在较高水平。其中，以**智能装备、工业机器人、自动化控制系统**为代表的智能制造核心设备产值增长尤为显著，成为推动行业规模扩大的重要力量。中商产业研究院发布的《2022-2027年中国智能制造装备行业分析及发展报告》显示，2022年我国智能制造装备市场规模达到2.68万亿元，同比增长10.74%。中商产业研究院预测，2023年市场规模达到3.2万亿元，2024年将达3.4万亿元。



# 建设制造强国是我党二十大制定的重大国策



二十大报告指出，坚持把发展经济的着力点放在实体经济上，**推进新型工业化，推动制造业高端化、智能化、绿色化发展，促进数字经济和实体经济深度融合**。未来五年，将是推进新型工业化，加快建设制造强国和网络强国的关键时期，也是工业互联网从起步探索转向规模发展的

## 2017 国务院《关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》

- ✓ 促进实体经济振兴、加快转型升级
- ✓ 引导企业提高网络安全防护能力...围绕汽车、电子、能源、航空航天等重点制造领域建设网络和平台安全保障管理与技术体系



## 2020 工信部印发《关于推动工业互联网加快发展的通知》

- ✓ 加快新型基础设施建设
- ✓ 加快拓展融合创新应用
- ✓ 加快健全安全保障体系
- ✓ 加快壮大创新发展动能
- ✓ 加快完善产业生态布局



## 2019 十五部门联合印发《推动先进制造业和现代服务业深度融合发展的实施意见》

- ✓ 在深化新一代信息技术和制造业服务业融合领域，提出加快人工智能、工业互联网、5G、大数据、物联网、云计算、元宇宙等新一代信息技术在制造业、服务业的创新应用，培育一批智能经济新业态等



## 2021 工信部印发《工业互联网创新发展行动计划（2021-2023年）》

- ✓ 深入安全保障能力进一步增强。工业互联网企业网络安全分类分级管理有效实施，聚焦重点工业领域打造200家贯标示范企业和100个优秀解决方案。

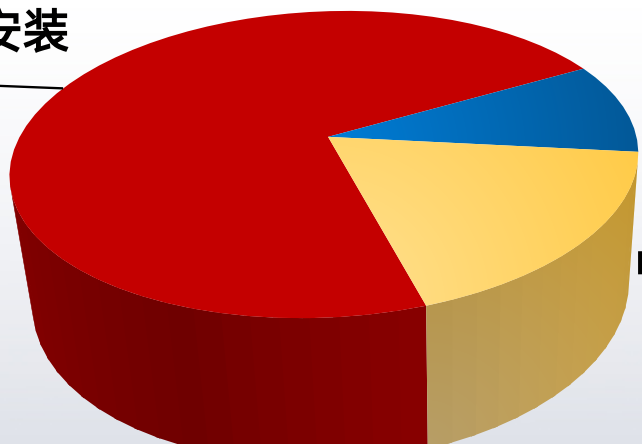


# 无线技术是工业制造的必然需求

- 网络是支持智能工厂等未来工业体系构建的关键使能技术，**无线网络**成为智能制造的必然选择。
- 根据最新的市场分析，工业无线传感器市场在预测期（2021-2026年）内的复合年增长率为12.4%，整个无线传感器市场的规模在2024年预计将达到117.1亿美元，并预计到2029年将增长到380.7亿美元，**复合年增长率为26.59%**。无线传感器的主要优势包括**准确性和可靠性**，以及易于与电子设备集成的能力。无线传感器因为安装无线传感器系统不需要布线或改变建筑结构在降低安装成本、减少对劳动力和室内装饰的干扰方面也表现出色。

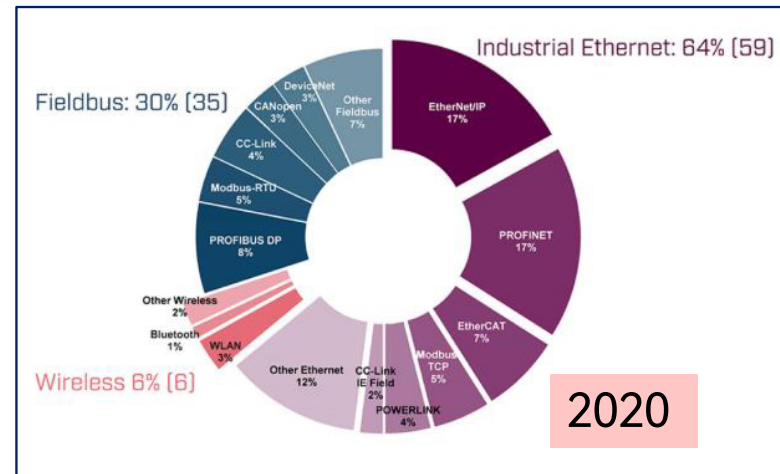
## 工业传感器安装成本

布线安装

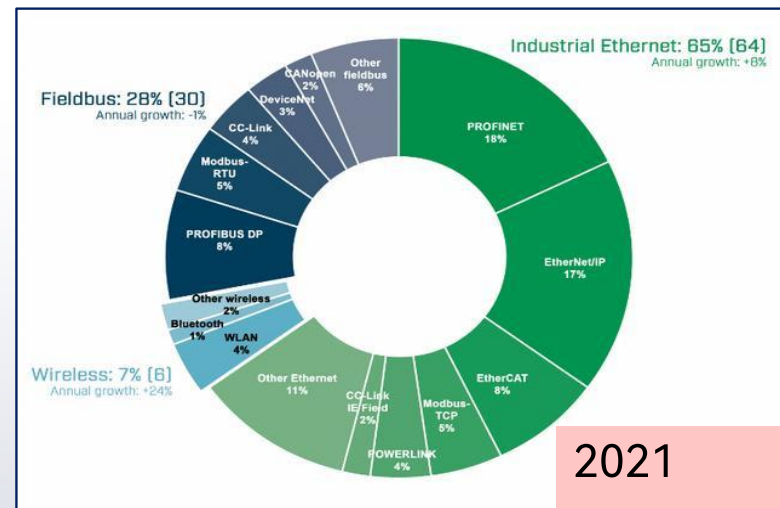


传感器

电缆



2020



2021

## 传统工业通信技术

- 1.采集信息数据慢
- 2.动态性不足
- 3.存储量小
- 4.传输不及时

## 我国行业现状

- 机械行业80%的设备仍在用传统的继电器和接触器进行控制，未使用数字化工控产品
- 已应用的中大型工控产品中，95%的大型PLC,75%的小型PLC，70%的高端SCADA来自国外，安全漏洞隐患较多，不少产品采用制造商专有协议，不开放
- IT企业无法采集产线数据，只能做数字大脑类项目
- 传统企业想向供应业互联网转型，数据孤岛过多，无法搭建平台

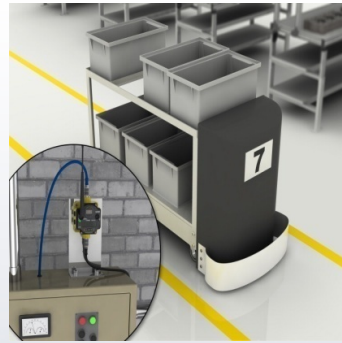
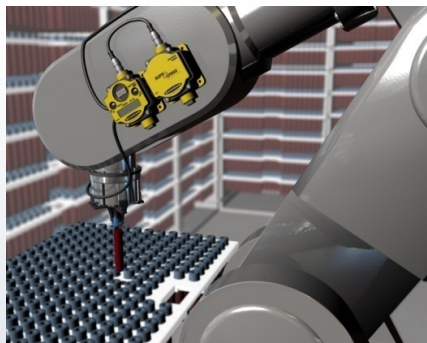
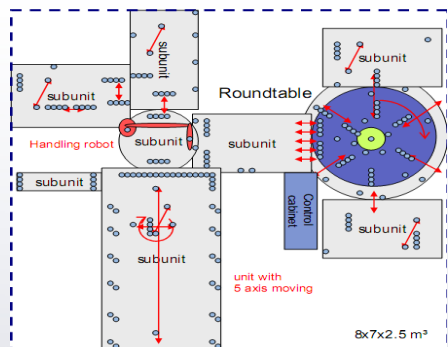
## 工业无线技术

- 1. 极大提高设备部署和移动灵活性
  - 采用无线接入的设备可快速移动灵活，方便的调整安装和日常工作使用位置，无线网络可达到有线网络不易覆盖的区域。
- 2. 实施、维护、建设经济成本低
  - 无线网络的部署减少了工业控制系统相关综合布线的费用，在生产、试验设备需要频繁移动和变化的柔性制造动态环境中，无线网络有着不可替代的价值和优势。
- 3. 节点增加便捷
  - 无线网络更方便扩展，可以根据工业控制系统的应用需求，便捷的增加无线设备，利用已有的无线网络环境，通过增加无线终端的接入和使用灵活方便的扩展应用场景和相关设备。
- 4. 支持多中设备连接、场景适用性强
  - 无线网络的模组化，可便于传感器、数控工业设备等智能硬件设备快速接入工业互联网平台

# 工业无线技术的核心应用领域-离散制造

## • 离散制造业的特点：

- 离散制造的产品往往由多个零件经过一系列并不连续的工序加工最终装配而成，如火箭、飞机、武器装备、船舶、电子设备、机床、汽车等制造业等。
- 从产品种类来说，一般的离散制造型企业都生产相关和不相关的较多品种和系列的产品。这就决定企业物料多样性。
- 从加工过程看，离散制造型企业生产过程是由不同零部件加工子过程或并联或串连组成的复杂的过程，其过程中包含着更多的变化和不确定因素。从这个意义上来说，离散制造型企业的过程控制对无线技术的要求更为复杂和多变。



## 离散制造业对无线技术的性能要求：

### 可靠性

面向控制： >99.99%

### • 实时性

机器人末端执行器： 10ms;

轨道挂载设备： 100ms;

旋转设备:控制器-IO:10ms,

控制器-控制器:100ms;

### • 节点高密度

机器人末端执行器:0.2-1/每立方米;

轨道挂载设备： 100+;

生产线： 1000+

### • 频繁移动

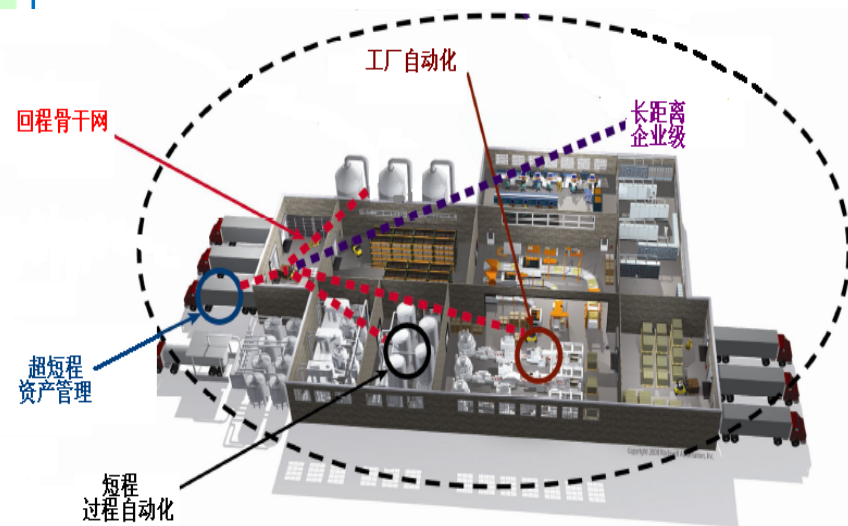
2m/s

# 工业无线的技术路线

- 国际上一直开展着工业无线化研究，最常见的工业无线技术包括

- 基于IEEE 802.11.协议的 WI-FI、WIA-FA等技术；
- 基于IEEE 802.15.1协议的蓝牙，蜂窝网络4G、5G等技术；
- 无需许可证的私有 ISM 频段无线电（如RFID等技术）；
- 基于IEEE 802.15.4 协议的 WIRELESSHART、ISA100.11A、WIA-PA 以及 ZIGBEE 等。

802.11体系的 WI-FI、WIA-FA等技术的使用通常伴随着工业以太网的部署，并且通常作为通信的第二支柱与工业以太网共存



# 工业无线的技术路线（续）

## • 短距离无线通信

WLAN、蓝牙、RFID（射频识别）等传统短距离通信技术和以WIRELESS HART、ZIGBEE、ISA100等为代表的面向工业应用的专用短距离通信技术。**蓝牙**用于替代点对点（如现场设备之间）的布线。

## • 广域网无线通信

蜂窝移动通信技术以及基于蜂窝技术的低功耗广域网技术已经在工业领域应用，包括2G/3G/4G移动通信技术，以NB-IOT、LORA等为代表的低功耗广域网技术。低功耗广域网是一种可以实现低带宽、低功耗、远距离、大量连接的物联网通信技术，其最大的特点是实现了远距离、低功耗。**蜂窝网络**通常用于工厂之间的远程通信，如远程SCADA 应用中远程设备的连接。

## • 无线芯片的情况

目前除采用国际通用协议的无线芯片外，**绝大多数基于各类GB国标的无线芯片主要面向的场景均为多媒体应用和办公等领域**，暂时没有采用国产工业无线协议标准的自主知识产权基带和芯片。同时一些基于5G、WIFI等技术芯片在可靠性、稳定低时延、组网容量等方面，**暂还不能达到工业领域高实时和安全的应用需求。**

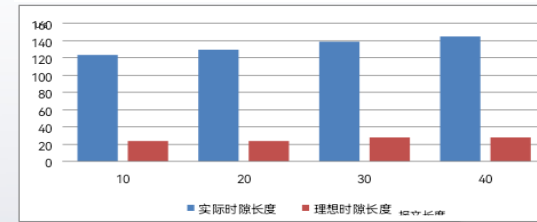
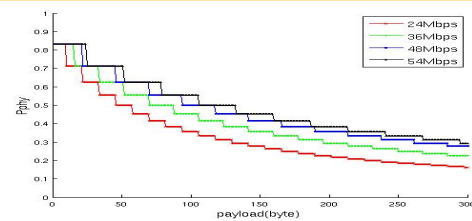
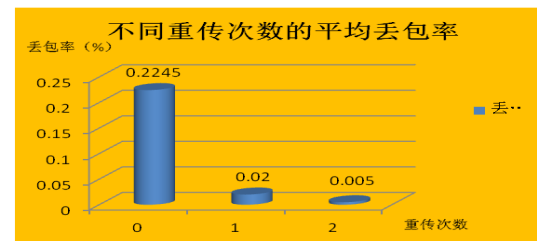
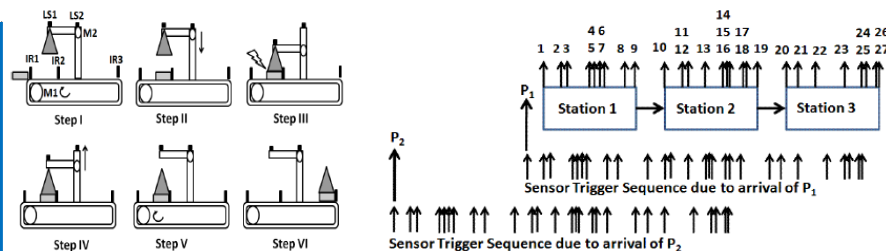
# 主流通信技术性能对比

主要网络技术指标*	WIA-FA技术	WIFI / WAPI 技术	广域网4G/5G技术	物联网Lora/Zigbee技术
应用场景	离散制造业、信创、工业互联网	面向民用消费类的协议，非工业、安全应用	消费类为主，广域公网	低速物联网
通信带宽	总吞吐达1Gbps以上	最高9.6Gbps (5.8GHz)	2.5Gbps (下行)	几十到几百Kbps
可靠性、安全性	极高	低	高	低
网络时延 (端到端)	1 ~ 20ms (根据规模)	50 ~ 200ms	20ms以上	秒级
漫游切换时间	0	50ms	R15: 10ms -100ms	秒级
频段	非授权频段	非授权频段	授权频段	非授权频段
网络主体	工业领域	主要为民用领域	运营商、民用	数据采集，石油、化工等
网络部署成本	一般	一般	高	低
应用场景覆盖	高带宽、高实时、低功耗	高带宽局域网	高带宽广域网	低功耗

# 核心研究问题剖析

## 高性能要求与低通信资源利用率之间的矛盾

- ▶ 通信资源分配问题复杂
- 业务流特点（事件之间有严格的顺序性、周期、非周期混杂）
- NP-HARD问题。
- ▶ 高可靠性保护资源
  - 限制单跳、加大频域分集、重传次数
  - 90%的丢包率，重传时隙3被利用的概率为0.1%
- ▶ 应用特征使得无线技术本身物理层开销较高
  - 小负载
  - 频发
  - ▶ 时间同步等问题造成的时隙长度浪费



# 工业无线技术国际三大标准



2007年中国工业无线联盟成立，申报并完成863工业无线项目（2011-2015），该联盟由中科院沈阳自动化研究所牵头，共19家单位参与

主要成员：Rosemont（罗斯蒙特）、ABB、Emerson、GE、Honeywell、Siemens等公司

得到霍尼韦尔、横河、埃克森美孚、GE、山武在内的过程控制厂商的支持

序号	协议名称	提出单位	发布时间/IEC标准号	应用领域
1	Wireless HART	HART通信基金会 (欧美主导国际组织)	2010年 IEC62591	面向工业过程测量和控制领域 Industrial networks - Wireless communication network and communication profiles - WirelessHARTTM
2	ISA100.11a	ISA(国际自动化学会)ISA100工业无线委员会	2014年 IEC62734	面向工业过程测量和控制领域 Industrial networks - Wireless communication network and communication profiles - ISA 100.11a
3	WIA-FA	中国科学院沈阳自动化研究所	2017年 IEC62948	<b>唯一</b> 面向工厂高速自动控制应用 Industrial networks - Wireless communication network and communication profiles - WIA-FA



# 工业无线接入面临更大更多的安全风险

**工业无线网络：**无线网络不能严格、高效的进行控制，网络信号易外溢，容易被攻击，数据易泄漏，网络信号易衰弱，工业应用存在隐患。

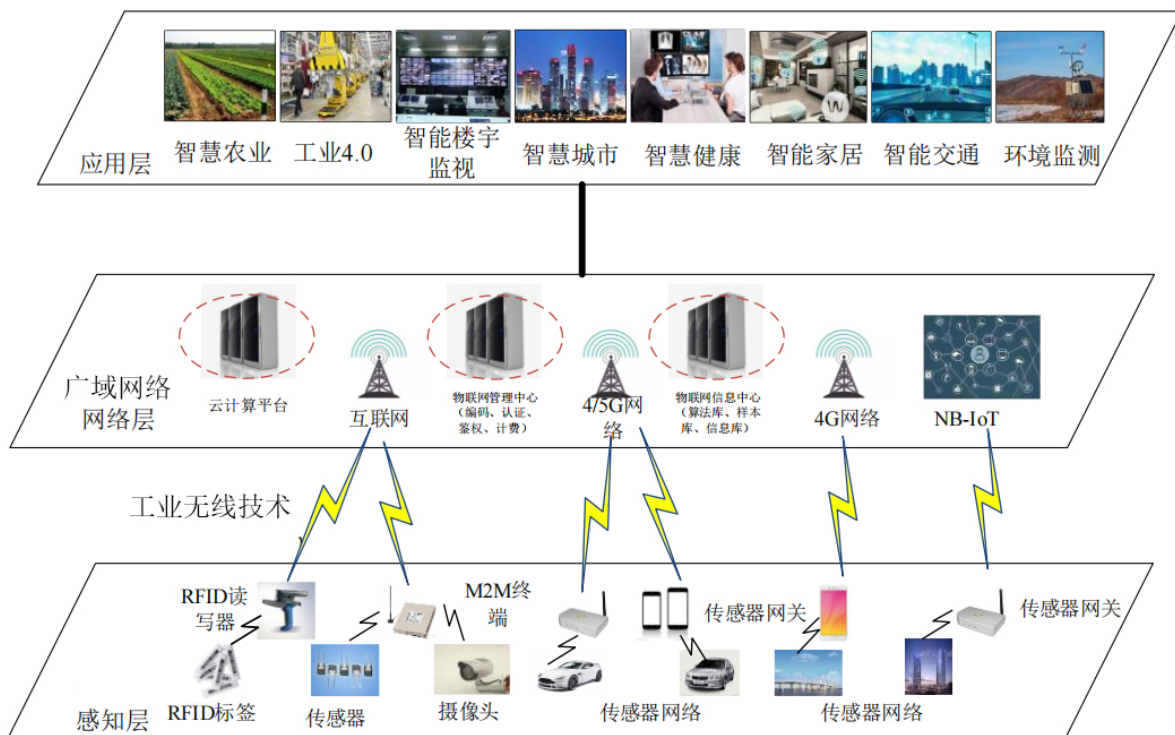
**无线接入的物理设备：**无线设备接入的物理设备易遭到入侵、劫持、植入等方式的攻击，进而攻击无线网络。

**工业数据无线传输安全问题：**工业数据采集上传、控制指令下发的无线传输中一些不加密或采用弱加密的传输方式会带来安全隐患。

**工业现场电磁干扰：**各类设备产生的电磁辐射，车间内违规使用的无线设备，车间周围异常无线通信信号较多。

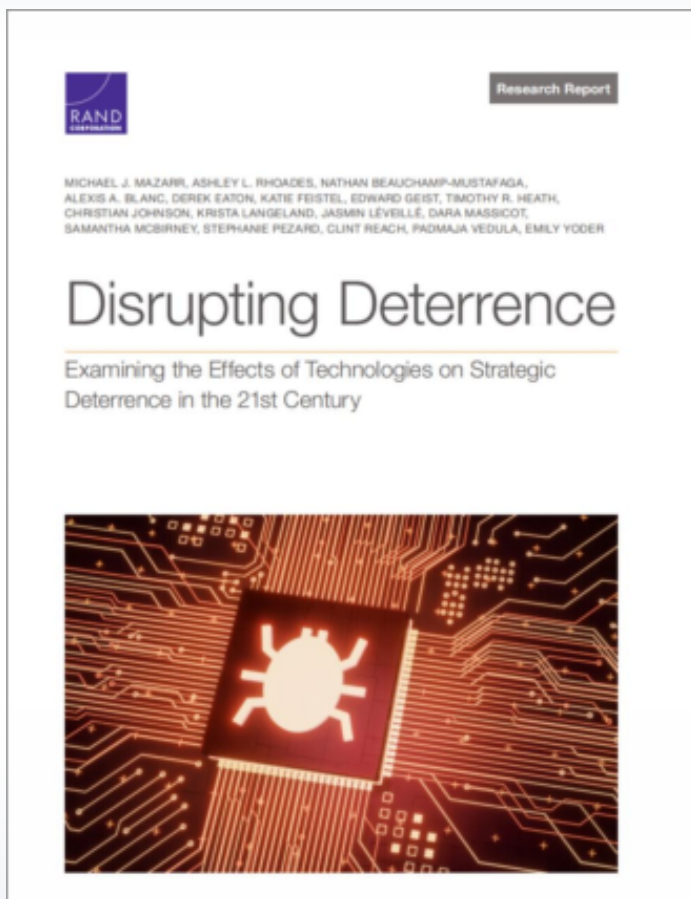


# 工业无线接入面临更大更多的安全风险



- 相较于传统工业网络，工业互联网使用无线技术接入的设备规模巨大且分布广泛，2015年，美国咨询机构 FORRESTER 就预测在 2020年，全球 IOT 的设备数量将达到 500 亿。
- IOT 设备间采用多种不同的通信协议，目前 IOT 设备生产设备厂商没有统一的安全规范，并且 IOT 设备多以轻量级设备为主，在通信、计算和存储能力等方面仍然受到严重限制，各设备生产商在设备生产过程中不能为其嵌入复杂而强大的安全加密程序，使得 IOT 设备存在诸多漏洞，如不安全的身份认证、脆弱的隐私保护算法等进而导致 IOT 相关的安全事件频发，且破坏力极大。如2016年10月，MIRAI 僵尸网络控制大量物联网设备发起流量高达 620GB/S 的 DDOS 攻击，导致大半个美国断网，成为 IOT 安全的标志性事件。

# 工业无线接入面临更大更多的安全风险（续）



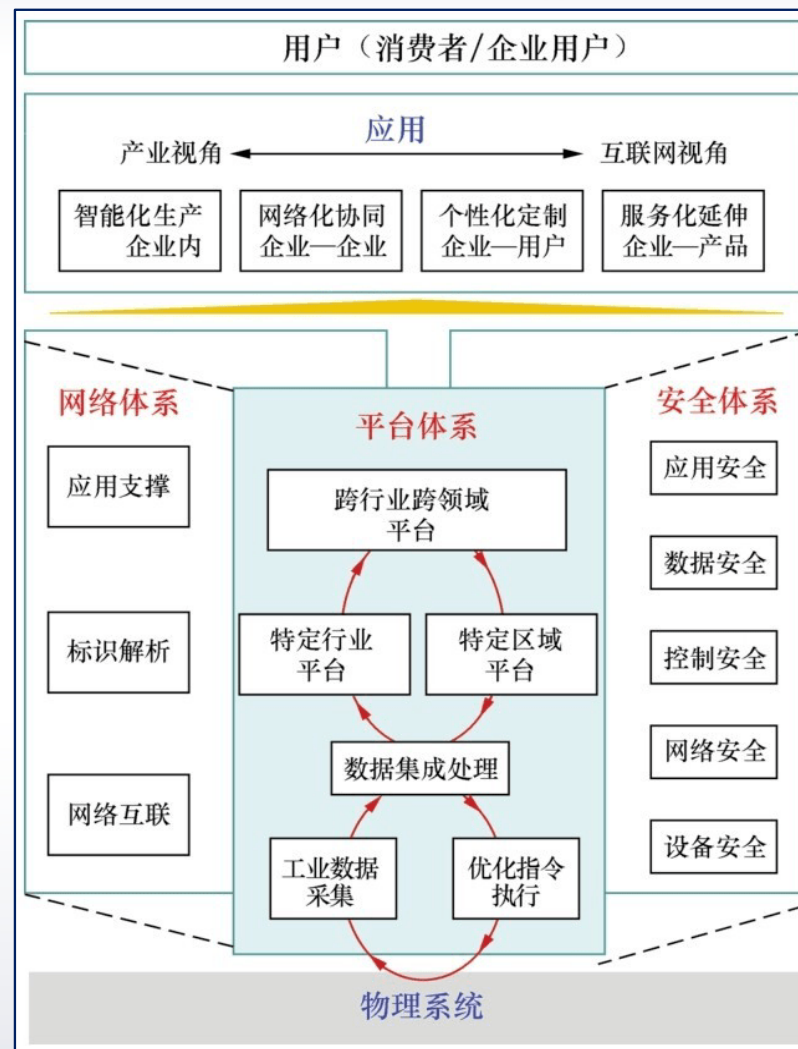
2022年4月16日，美国兰德公司发布研究报告《扰乱威慑：技术对21世纪战略威慑的影响》，研究中对八种新兴技术领域的军用现状与前景进行分析。其中**第一项就是“先进的网络战和电子战技术”**。基于无线网、物联网设备、5G的破坏，将为ISR（情报、监视、侦察）创造有利的环境。

工业控制领域广泛使用的**通用无线网络技术**如WirelessHart、ISA100、ZigBee、蓝牙Blue-tooth、超宽频UWB、WIFI等均为国外研发的无线局域网技术，其底层协议不能做到完全自主可控、技术容易被掌握破解或存在未知后门、漏洞等风险隐患



# 工业无线网络安全已经是工业网络必须解决瓶颈问题

- 网络是工业互联网互联的基础，平台是工业互联网发展的核心，安全是工业互联网的保障，三者相辅相成、必不可缺。随着工业智能化发展，互联网和新一代信息技术与工业系统全方位深度融合，CPS技术的应用使得工业控制网络的安全问题，远远大于传统互联网。基于漏洞、病毒、木马等网络攻击，严重危害到使用工业无线技术的工业设备的功能安全和信息安全。



# 高实时工业安全无线技术的研究进展与成果



电子科技大学  
University of Electronic Science and Technology of China



2017年国内某重点单位成为第一家应用单位。同年，无线课题写入国家有关部门课题指南。

2018年课题组在近二十余家申报单位中脱颖而出，成为课题承接单位。

2019年课题相关内容基本成型，逐步推进国内重点行业试点单位工作。

2020年年底试点单位验收完毕，开始布局在重点行业广泛应用示范。

2021年标准初稿完成、场景应用指南征求意见稿完成并上报有关部门。

2022年

- 获国家保密科技三等奖
- 党政机要密码科学技术三等奖
- 多个重点行业方案推进

2017

2018

2019

2020

2021

2022

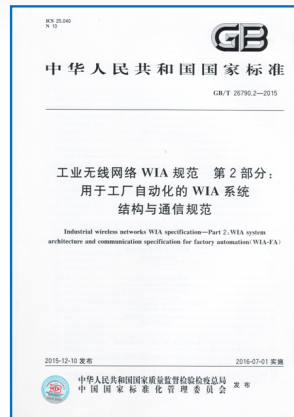


# 高实时工业安全无线技术的研究进展与成果-增强标准和专利

02

提出基于自主安全可信机制运行的无线技术增强标准、设计国产芯片和专利:

针对无线技术在工业领域应用安全体系不健全的问题,从双向认证、访问控制、身份鉴别、无线信道检测、抗截获等多维度进行技术和管理层面的设计,突破了多项的技术壁垒。



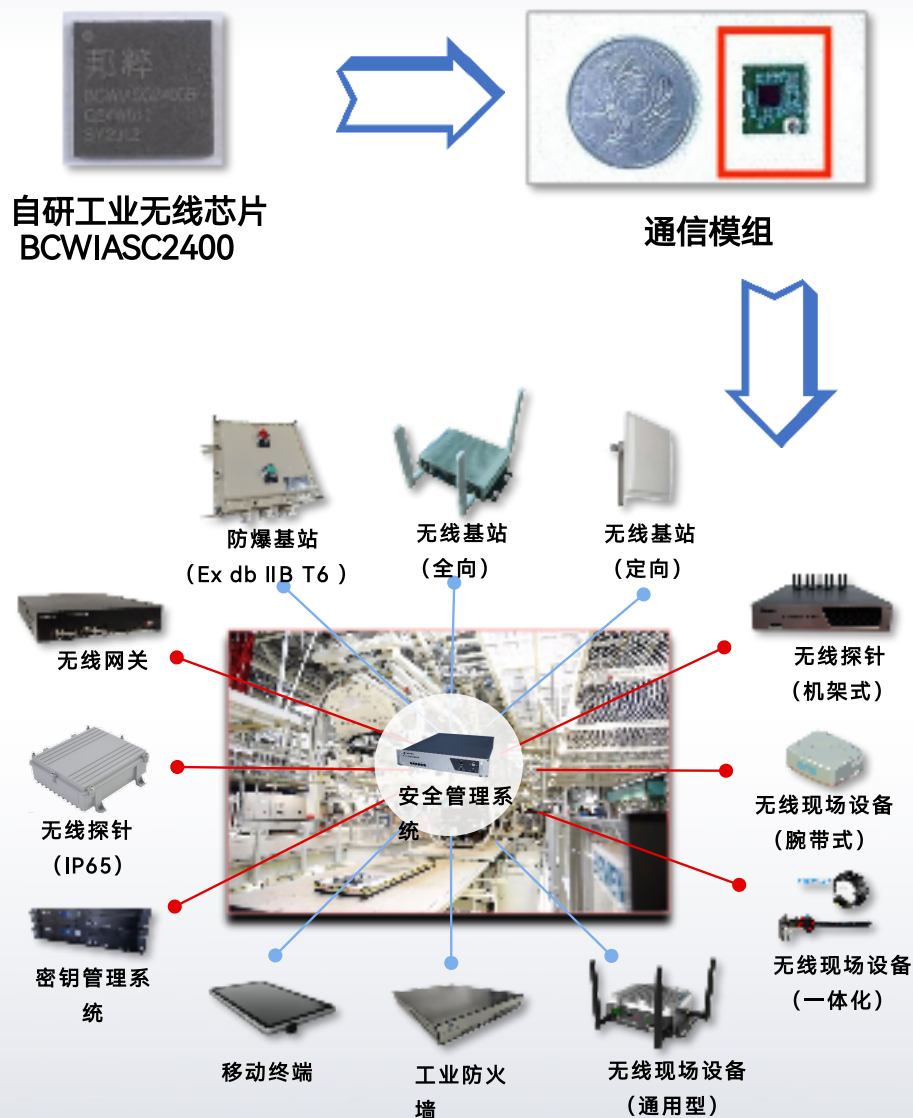
高实时工业安全无线技术协议基础“WIA-FA协议”是863计划《工业无线WIA网络关键技术测试认证平台》项目(课题编号2011AA040101)科研成果,具有GB国家标准和IEC国际标准。

序号	专利
1	一种无线调制解调通讯装置
2	一种便携式工业无线WIA-FA采集设备
3	一种无线WIA-FA采集设备的防护结构
4	一种高效无线收发装置用散热装置
5	网络无线采集设备 (WIA-FA)
6	一种基于WIA-FA的工业网关设备及服务方法
7	边缘计算场景下支持异构终端匿名接入的轻量级认证方法
8	一种针对IoT环境的僵尸网络检测的系统、方法及存储介质

# 高实时工业安全无线技术的研究进展与成果-多元化产品架构体系

03

设计针对多种工业设备多源异构数据无线传输架构体系：设计自有集成电路版权的工业无线芯片，研制了实现了不同工业协议、不同数据端口、不同工业数据帧结构、不同数据传输时隙的多源工业数据在同一工业无线网络体系下传输的安全无线产品。



自主国产化芯片模组的全场景实现， 保证安全的情况下

兼容高带宽、高实时、低功耗



## 移动机器人场景

01

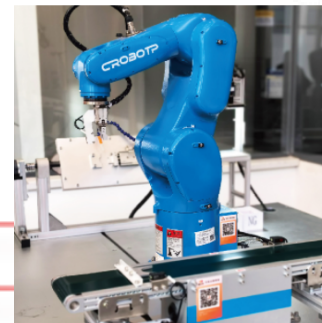
时延  $\leq 20\text{ms}$ ;  
可靠性  $\geq 99.99\%$   
无缝漫游  
移动速度  $\geq 5\text{m/s}$



## 生产控制类场景

02

时延  $\leq 10\text{ms}$ ;  
可靠性  $\geq 99.99\%$ ;



## 工具量具传感器类场景

03

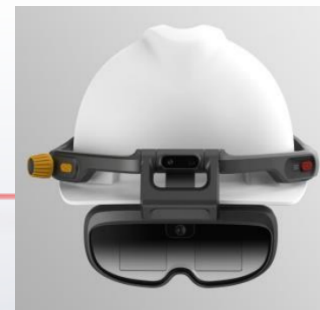
时延  $\leq 200\text{ms}$ ;  
可靠性  $\geq 99.99\%$ ;  
无缝漫游;  
超低功耗



## 移动终端、视频传输类场景

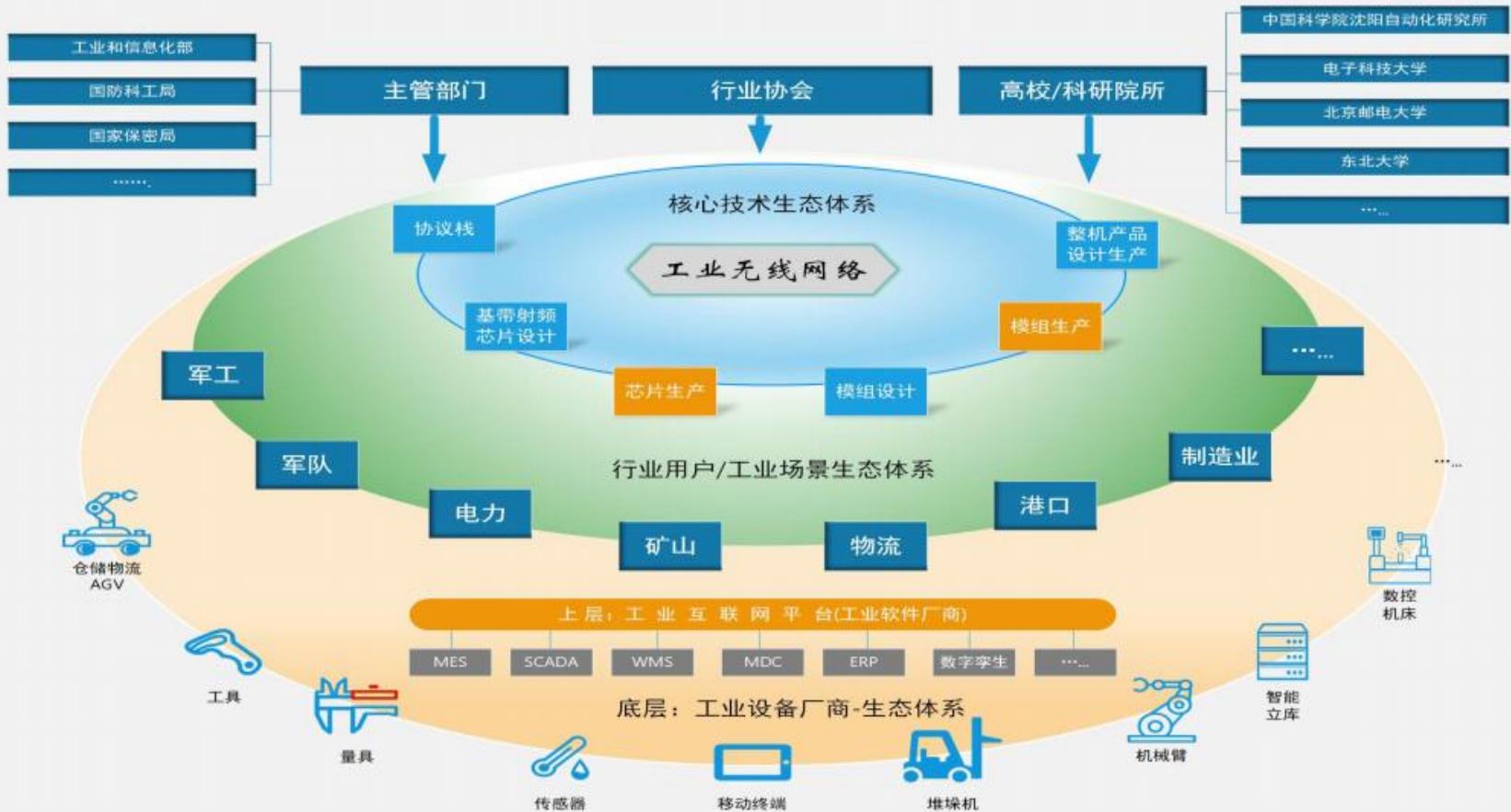
04

通信带宽  $\geq 100\text{Mbps}$   
无缝漫游



# 高实时工业安全无线技术的研究进展与成果-产业生态

## 工业无线产业生态全景图

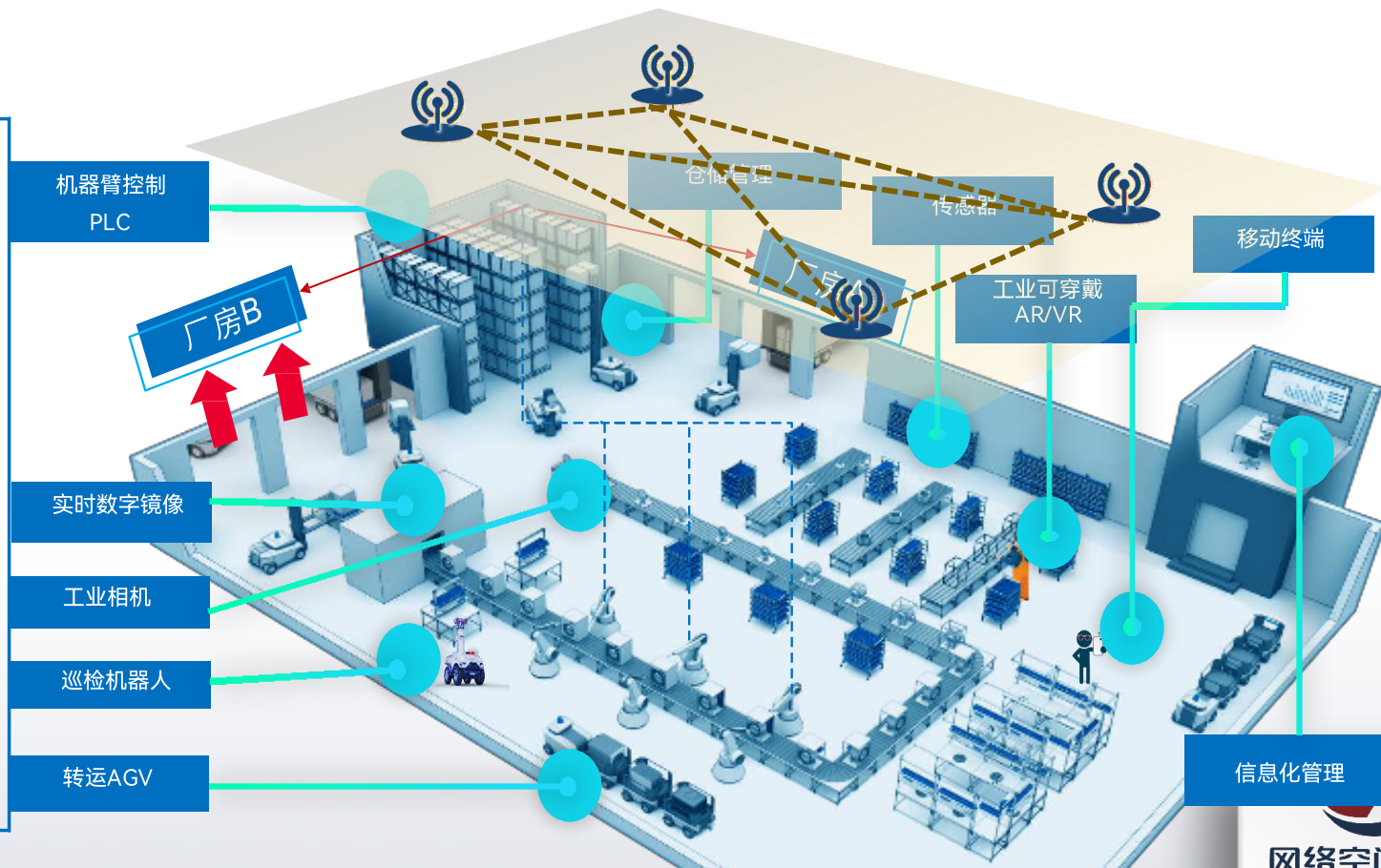


# 智能制造车间应用

通过应用工业无线技术，实现精确仓储管理、智能盘点、智能门禁、无纸化等，实现物流转运自动化、调度指令实时下达、提高生产效率，满足柔性生产需求。

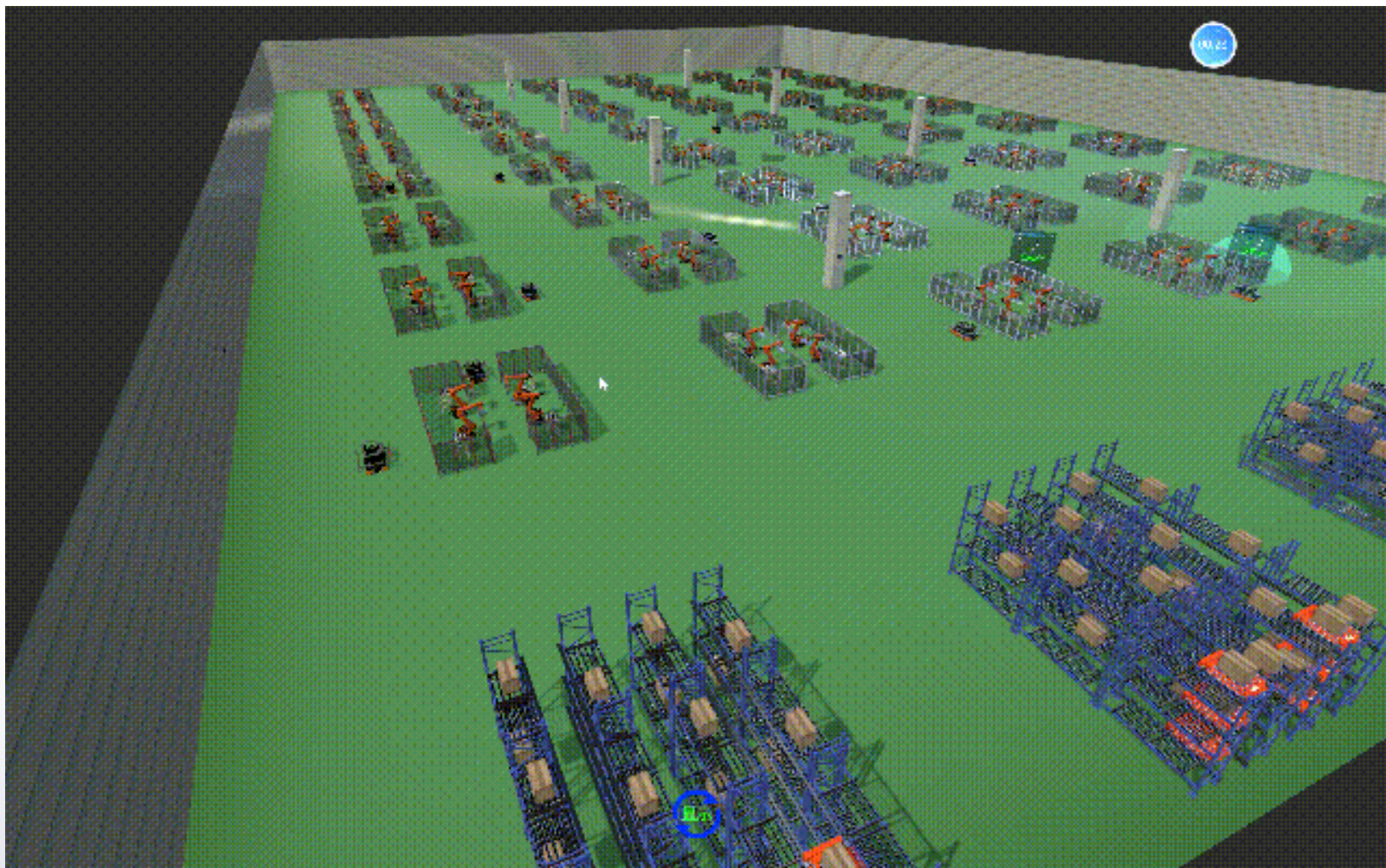
## 建设成效

- ▶ 有效控制库存
- ▶ 提高运输精度
- ▶ 避免线路缠绕
- ▶ 提高生产效率
- ▶ 提高数据准确度
- ▶ 降低安全事故率
- ▶ 具备降级运转能力
- ▶ 合理利用生产空间
- ▶ 提高仓储系统运转效率



## 使用成效

通过应用WIA-FA协议超低时延和超高确定性的无线通信能力，实现多台AGV类设备的协同作业，点对点通信时延小于1ms，通信可靠性大于99.9999%



# 与各类控制系统协同

AGV调度系统需要与梯控，门禁，产线传送带系统协同调度，实现物流全国产自动化转运

- ▶ 需要用物流打通多个楼层、甚至多个楼宇；
- ▶ AGV转运需要与电梯协同同步；
- ▶ AGV在同楼层需要跨不同车间，经过封闭式门禁；
- ▶ AGV需要与传送带控制系统联动



# 低时延高精度协同

通过应用WIA-FA协议超低时延和超高确定性的无线通信能力，实现多台AGV类设备的协同作业，点对点通信时延小于1ms，通信可靠性大于99.9999%

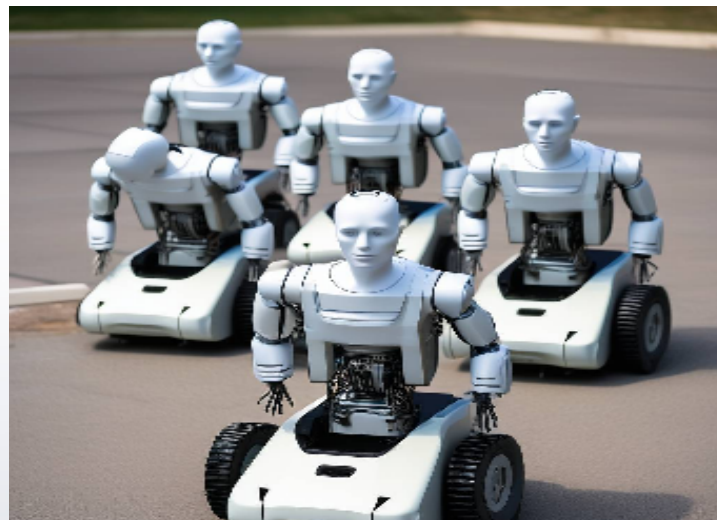
## 立体停车库自动泊车

实现密集存储，单个车位空间更小，相比其他类型停车库具有更高的平面空间利用率，同时对接升降机可向垂直空间扩展。



## 野外自组网靶车协同作训

实现在室内室外训练场，基于可快速部署的无线局域网，多靶车协同编队对抗作训，基于训练调度系统下发训练任务、路径，无需人工操作。



# 室外区域无线全覆盖



## 无线组网全覆盖

- ▶ 基于无线自组网技术，在工地搭建一套无线覆盖环境；
- ▶ 采用大功率天线，实现单基站1KM以上范围覆盖；
- ▶ 针对工地内各类需要数据采集的设备实现无线接入，无需运营商基站，不产生流量费用；
- ▶ 工地建设完毕后，可直接转为园区无线覆盖网络继续使用，一次投入，多阶段复用；
- ▶ PM2.5、PM10、噪声、烟感等传感器无线部署；
- ▶ 塔吊等设备高度、转角、倾斜角传感器无线部署；
- ▶ 摄像头无线部署。



# 无线自组网应用

通过应用自组网、大功率覆盖的天线，实现井下狭窄坑道环境或油库等重要场所的安全无线覆盖。

## 油库安全无线组网

实现重要场所，采用安全无线网络覆盖，通过PAD实现对油库园区内无线巡检，部署无线烟感、温感等传感器。



## 煤矿井下无线自组网

在煤矿的井下采煤作业面部署无线网络，实现设备井下的无线接入。



# 无线与AR、VR等移动设备融合

## 场景描述

通过应用工业无线技术，丰富工业现场智能移动终端的应用场景，通过平板电脑实现OA、ERP、MES、WMS等系统的灵活登录，实现工作任务查看、工作执行状态反馈、图纸查阅等；通过AR、VR等技术实现可视化作业、移动轨迹抓取、VR知识库培训、远程作业指导；实现对数控机床、生产线、物流转运等工业设备进行指

## 无线接入设备

- ▶ 平板电脑 (PAD)
- ▶ 手持终端 (PDA)
- ▶ 增强现实(AR)眼镜/头盔
- ▶ 虚拟现实(VR)眼镜/头盔
- ▶ 混合现实(MR)眼镜/头盔等

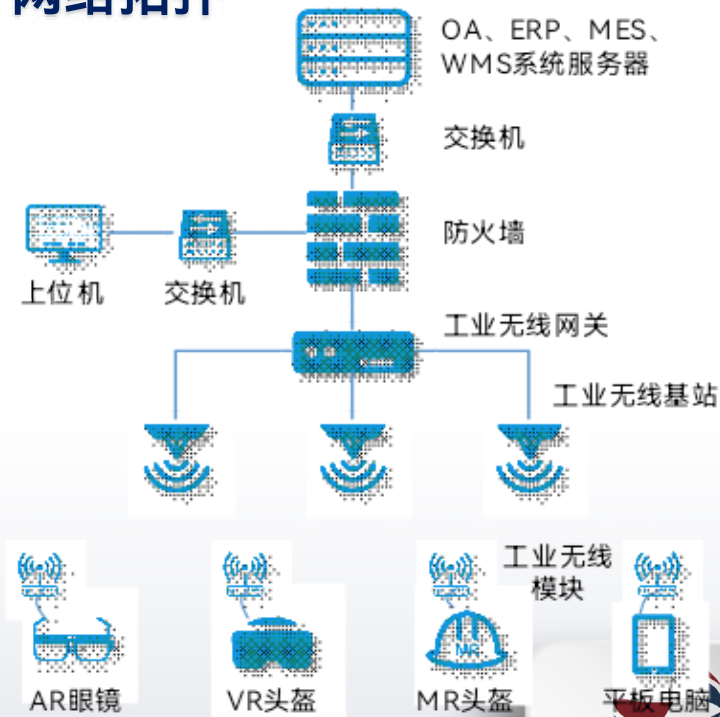
## 建设成效

- ▶ 提高现场人员处置能力
- ▶ 减少人员培训成本
- ▶ 实现无纸化办公
- ▶ 提高作业、检修、装配效率

## 场景示意图



## 网络拓扑



# 无线与AR、VR等移动设备融合



# 高实时工业安全无线技术的研究进展与成果-人工智能的融合探索

人工智能已经在计算机视觉、语音识别和机器翻译等领域发挥巨大作用，同时也推动着无线通信行业发展。随着移动数据流量爆炸性增长及业务多样化需求，许多国家重点研究AI与无线通信结合的智能通信，近年来该领域在信道估计、信号检测、信道解码、端到端通信系统等方面取得较多研究进展。

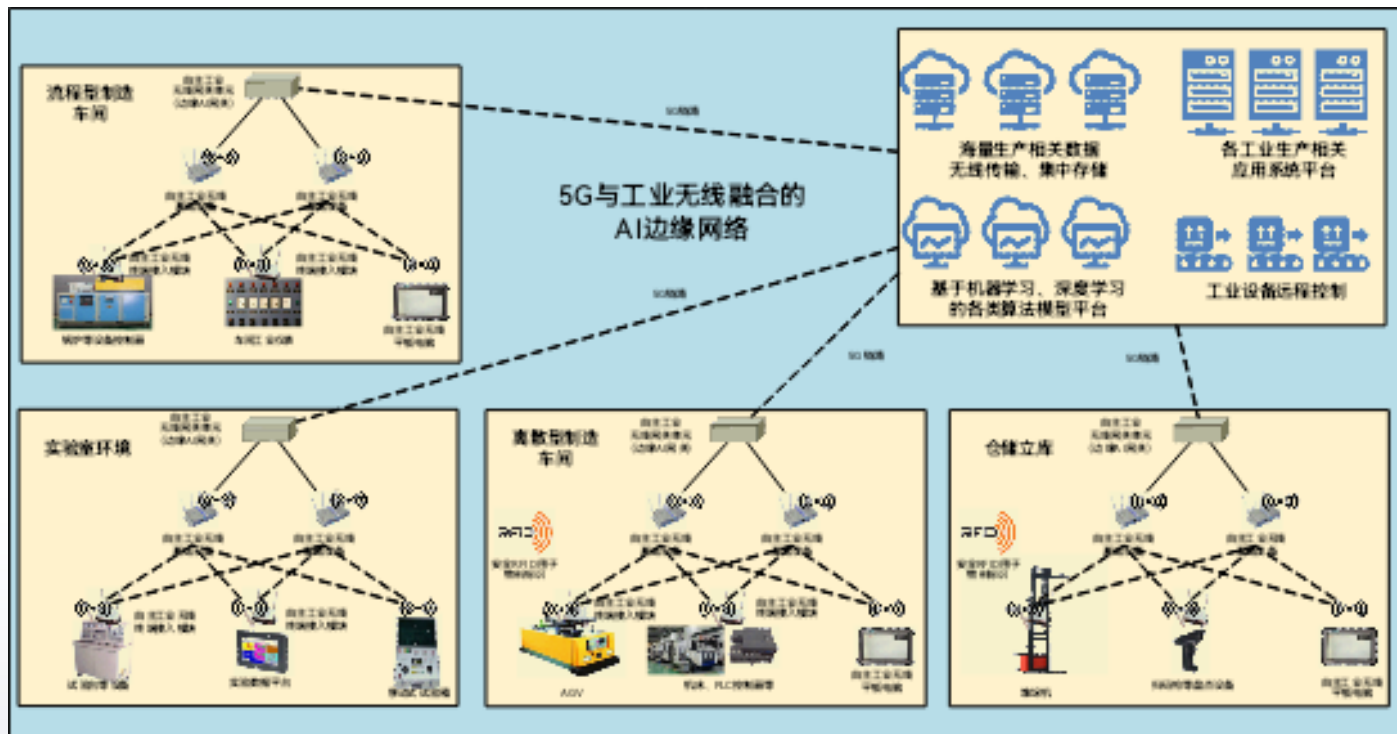
## 行业核心问题

传统训练方式

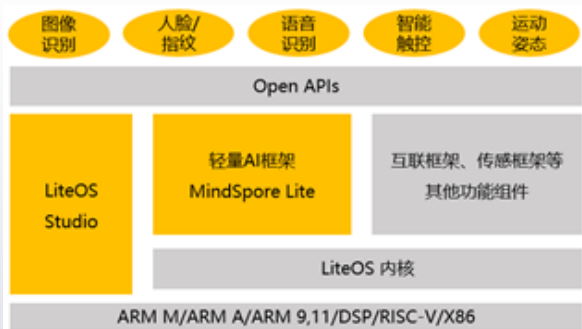
传统AI算法训练和推理都是在云端或服务器上实现，但端侧与云（服务器）侧的数据传输存在时延，实际体验不佳

未充分利用端侧设备

随着算法模型设计演进，大小更小，能力更强的模型可部署在端侧设备上，同时端侧设备的硬件计算能力不断提升



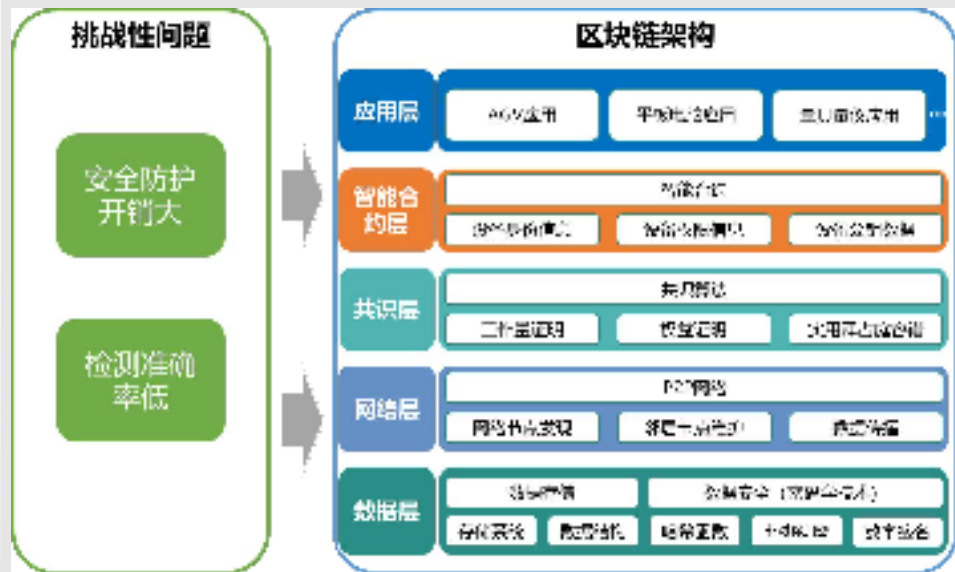
在无线网关平台采用LiteOS+ MindSpore Lite轻量级AI解决方案，可将AI模型快速部署到端侧实现端侧AI推理



# 高实时工业安全无线技术的研究进展与成果-区块链技术的融合探索

基于区块链“去中心化”、“分享”、“透明”等思想，建立基于融合区块链的自主可控工业无线网络与系统体系架构满足对数据进行及时、完整的无线收发。基于区块链账本等安全机制，形成新的无线安全防护方案，综合考虑区块链所提供的安全性、应用场景实际安全等级及通信性能需求，建立加密、认证等安全防护机制库，实现安全与通信的最优匹配，减低原有加密和认证等安全开销。

## 探索用区块链技术让无线传输更安全



## 区块链技术具体应用



**全节点:** 具有完整的区块结构与链上数据，每个节点配置有区块链中的所有功能，具有保存完整区块、路由、查询和安全验证等完整功能。自主可控无线网络中的应用系统服务器、识别算法和算力平台、无线网关平台等设备，计算、存储和安全防护能力较强，均可设置为全节点或主节点。



**轻节点:** 节点只保留链上的部分数据，不为整体网络提供算力，依托全节点的功能参与网络中的简单验证，仅具有保存区块链、路由、查询及简单安全验证等基础功能。自主可控无线终端模块算力输出和存储空间均不足以保留完整的区块链，可设置为轻节点或从节点。

综合保障、供应链管理等领域，对有寿命或其他需要建立数据履历的零件、设备、产品的履历信息采用区块链认证方式进行管理，结合自主工业无线技术的PAD、扫码设备、RFID等设备快速更新维护履历数据。

## 工业无线的现阶段短板



01

目前工业实时安全无线的产品链不完整，无法全面满足关键基础设施设备领域的需要，急需进一步丰富产品化种类和扩大产业化规模。

02

部分成果还需要提高国产化产业链供应能力，保证后续技术和产品的不断升级做到及时、可控，避免国际社会停产、制裁等问题带来的后续风险

03

工业现场电磁环境复杂，存在多变环境射频干扰，工业无线技术后续在电磁信号方向有待进一步优化

# 高实时工业安全无线技术的研究进展与成果

01

针对复杂的工业场景，不断修复应用中的缺陷，**升级技术和扩大产品形态种类**。工业实时无线技术产品普遍体积较大，在部分需要小型化的工业场景要推出新型产品，有效解决最后一公里问题。

02

补齐产业链短板。对未形成全部**自主可控的国产化能力的芯片等器件**加紧研发攻关，虽开发难度大，但对于未来产业发展是必要的、以及非常重要的。需要我国科研工作者们继续克服困难，解决挑战。

03

进一步**优化安全技术体系**。产品功能、性能形态适配的安全、密码技术体系要不断完善，**测试技术**要不断取得进展，**应用评估体系**需要建立等。

04

形成企业协同创新生态。坚持**企业主导**，从市场中挖潜力。激发企业的创新活力，促进企业等各类创新主体的协同发展，同时，加强**产业技术人才队伍建设**，创造产学研的科技生态。

## 未来展望



请多提出宝贵意见



网络空间安全  
研究院  
Institute for Cyber  
Security UESTC