

# 工业互联网牵引5G 5G智联产业变革



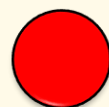
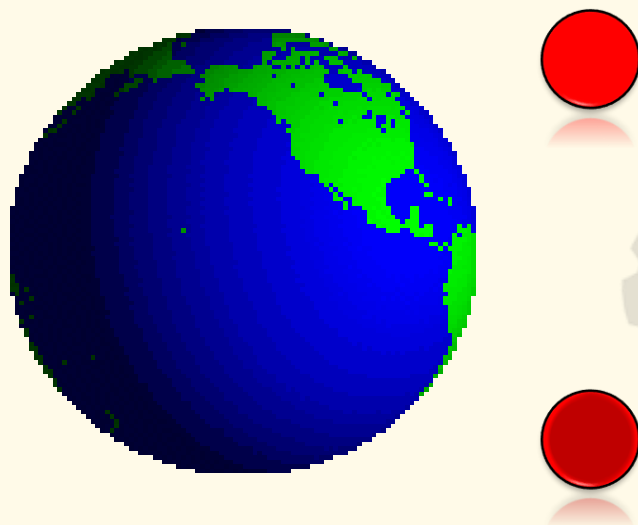
邬贺铨

中国工程院

2019.11.22

工业互联网驱动5G

5G赋能数字转型



工业互联网对**5G**的期待



工业互联网产业联盟  
Alliance

**5G**如何适应工业需求



**5G**赋能产业数字转型

工业互联网对**5G**的期待



工业互联网对5G的期待

# 从数字化到网络化和智能化

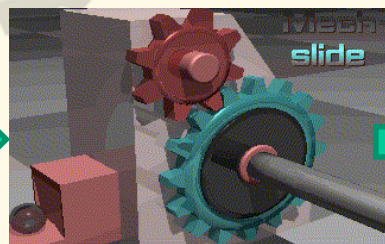
打造工业互联网平台，拓展“智能+”，为制造业转型升级赋能。

——2019政府工作报告

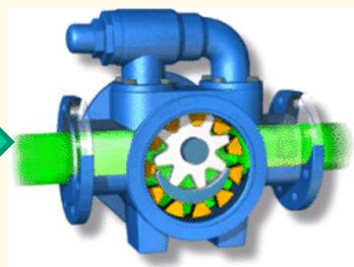
工业1.0 机械化



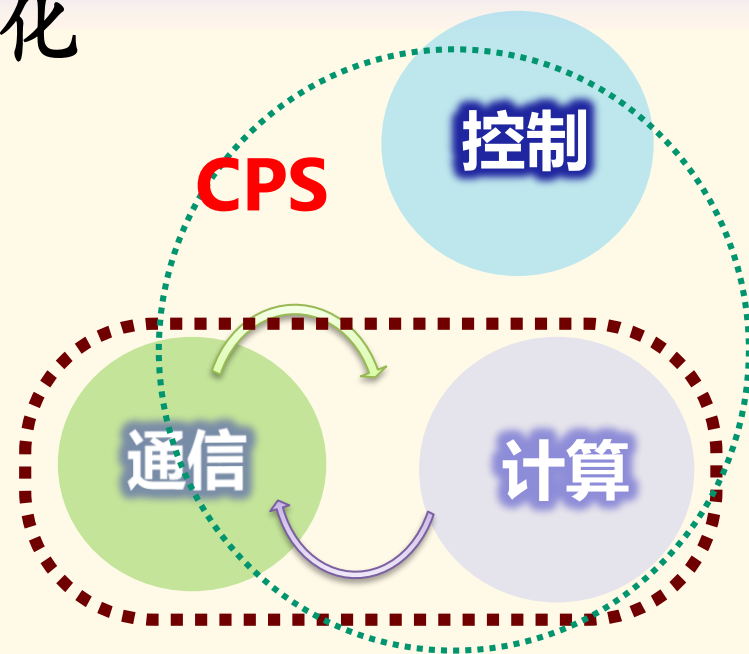
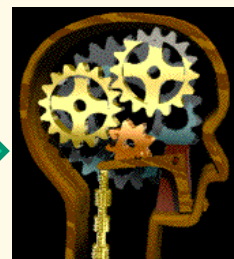
工业2.0 电动化



工业3.0 自动化



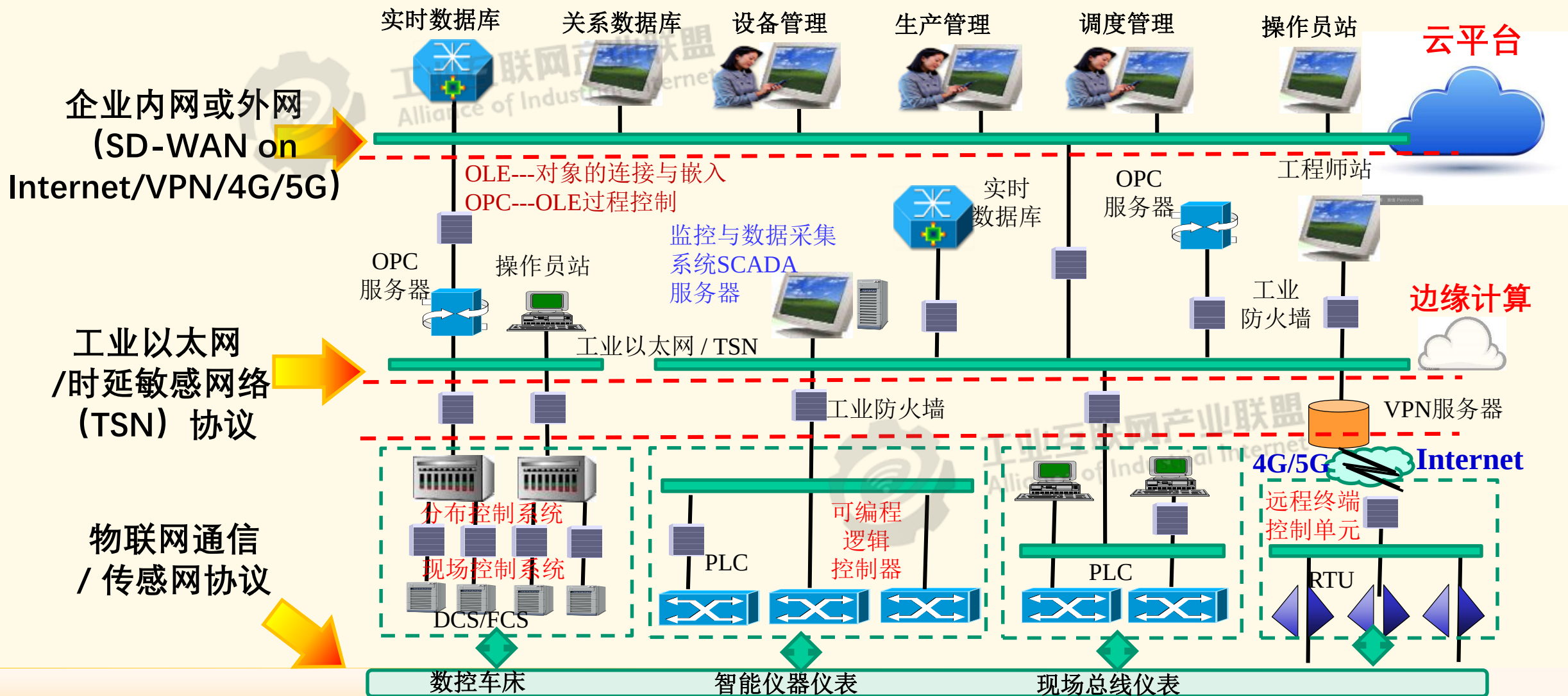
工业4.0 智能化



| 流程电子化                   | 管理数字化                                                                       | 生产自动化                                                                               | 运行网络化                               | 企业智能化                                          |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|
| 财务电算化<br>办公自动化<br>门户网站化 | 产品寿命管理 (PLM)<br>供应链管理 (SCM)<br>企业资源规划 (ERP)<br>客户关系管理 (CRM)<br>物流仓储管理 (WMS) | 监控与数据采集系统 (SCADA)<br>分布控制系统 (DCS)<br>制造执行系统 (MES)<br>计算机辅助设计 (CAD)<br>计算机辅助制造 (CAM) | 电子商务<br>协同制造<br>物联网<br>工业互联网<br>云制造 | 大数据<br>人工智能<br>信息-物理系统 (CPS)<br>价值链管理<br>生态链管理 |

# 工业互联网的组成

40%跨物联网应用的潜在价值以及某些环境中将近60%的潜在价值都需要运用互操作性。



# 工业互联网需要低时延

| 功能      | 非实时通信   | 信息集成   | 传感器/执行器   | 运动控制       | 实时通信         |
|---------|---------|--------|-----------|------------|--------------|
| 通信技术    | 以太网     | DCOM   | 工业以太网     | 工业以太网等时通信  | 延时敏感网络       |
| 通信周期    | >100ms  | >100ms | 10ms      | 1ms        | μs（同步精度数十ns） |
| L3~L4协议 | CSMA/CA | TCP/IP | TCP/IP+RT | TCP/IP+IRT | TCP/IP+IRT   |
| L1~L2协议 | 标准以太网   | 标准以太网  | 标准以太网     | 标准以太网+专用IC | 标准以太网+专用IC   |

| 场景         | 端到端时延 | 抖动     | 通讯服务可用性% | 可靠性%    | 用户体验数据速率/(Mbps) |
|------------|-------|--------|----------|---------|-----------------|
| 离散自动化-运动控制 | 1 ms  | 1 us   | 99.9999  | 99.9999 | 1 - 10          |
| 离散自动化      | 10 ms | 100 us | 99.99    | 99.99   | 10              |
| 过程自动化-远程控制 | 50 ms | 20 ms  | 99.9999  | 99.9999 | 1 - 100         |
| 过程自动化-监测   | 50 ms | 20 ms  | 99.9     | 99.9    | 1               |
| 配电-中压      | 25 ms | 25 ms  | 99.9     | 99.9    | 10              |
| 配电-高压      | 5 ms  | 1 ms   | 99.9999  | 99.9999 | 10              |
| 远程控制       | 5 ms  | 待定     | 99.999   | 99.999  | 从低到10           |

来源：3GPP标准，2015

| 车辆自动化等级 | 自动化程度 | 传输时延（ms） | 每车网速（Mbps） |
|---------|-------|----------|------------|
| L1      | 驾驶辅助  | 100~1000 | 0.2        |
| L2      | 部分自动化 | 20~100   | 0.5        |
| L3      | 条件自动化 | 10~20    | 16         |
| L4      | 高级自动化 | 1~10     | 100        |
| L5      | 全自动化  | 1~10     | 100        |

来源：刘韵洁院士

## 工业互联需要确定性通信

| 业务类型    | 流向特征            | 流量特性   |      |          |           |
|---------|-----------------|--------|------|----------|-----------|
|         |                 | 发包周期   | 包长   | 速率       | 抖动        |
| 电力继电保护  | 继电器间            | 1ms    | 356B | 2.92Mbps | < 0.4 ms  |
| 欧姆龙工控电机 | 电机伺服与云化PLC(MEC) | 1ms    | 100B | 0.8Mbps  | < 1 ms    |
| 倍福XTS   | 电机伺服与云化PLC(MEC) | 0.25ms | 100B | 3.2Mbps  | < 0.25 ms |

注：抖动的允许值的推算是按照伺服只存一条指令，而且不能丢失指令。

来源：华为2012网络技术实验室，2019

确定性通信需要在以下环境下保证：

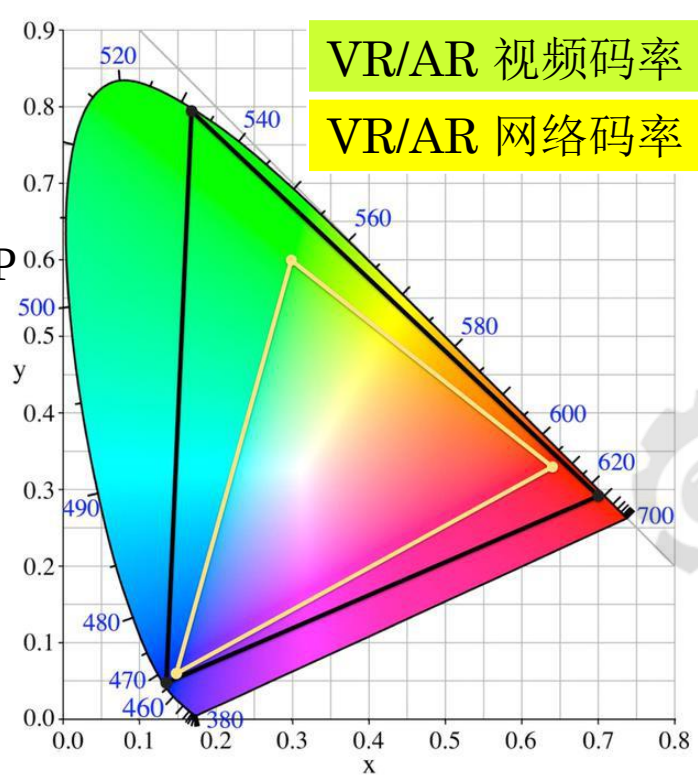
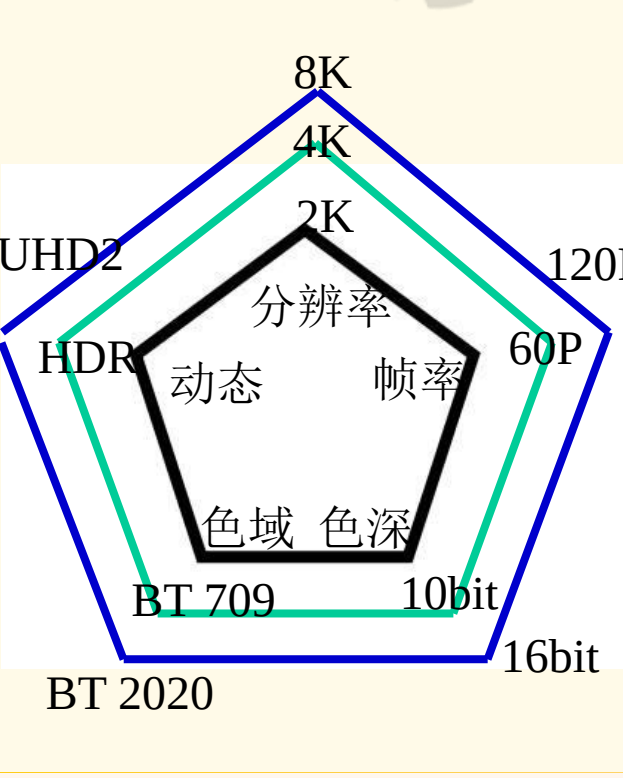
一般消费类电子芯片工作温度在  $-20^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$  ；

车载芯片的工作温度必须满足  $-40^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$  ，还要能经受住冷热冲击、电磁兼容、抗震性、抗干扰等压力。



# 工业超高清视频和VR/AR对带宽与时延的要求

|            | 分辨率          | 像素    | 帧率  | 位深    | 直播码率   | 点播码率   | 接入码率 | TV      |
|------------|--------------|-------|-----|-------|--------|--------|------|---------|
| 全高清 (FHD)  | 1920*1080    | 207万  |     |       |        |        |      | 40~55 吋 |
| 超高清 (UHD)  | 4096*2160 4K | 830万  | 60  | 10bit | 25~40M | 10~30M | 50M  | 65~85 吋 |
| 超高清 (UHD2) | 7680*4320 8K | 3320万 | 120 | 12bit | 50~80M | 35~60M | 100M | 100 吋以上 |



|            |                                |
|------------|--------------------------------|
| VR/AR 视频码率 | 预VR 16M、早期 64M、先进 279M、高级 3.3G |
| VR/AR 网络码率 | 预VR 25M、早期 100M、先进 418M、高级 1G  |

VR头盔如时延超过7毫秒就会产生眩晕感，而4G时延约40毫秒，5G可望满足VR要求。



工业高清视频应用需要高带宽与低时延通信支撑！

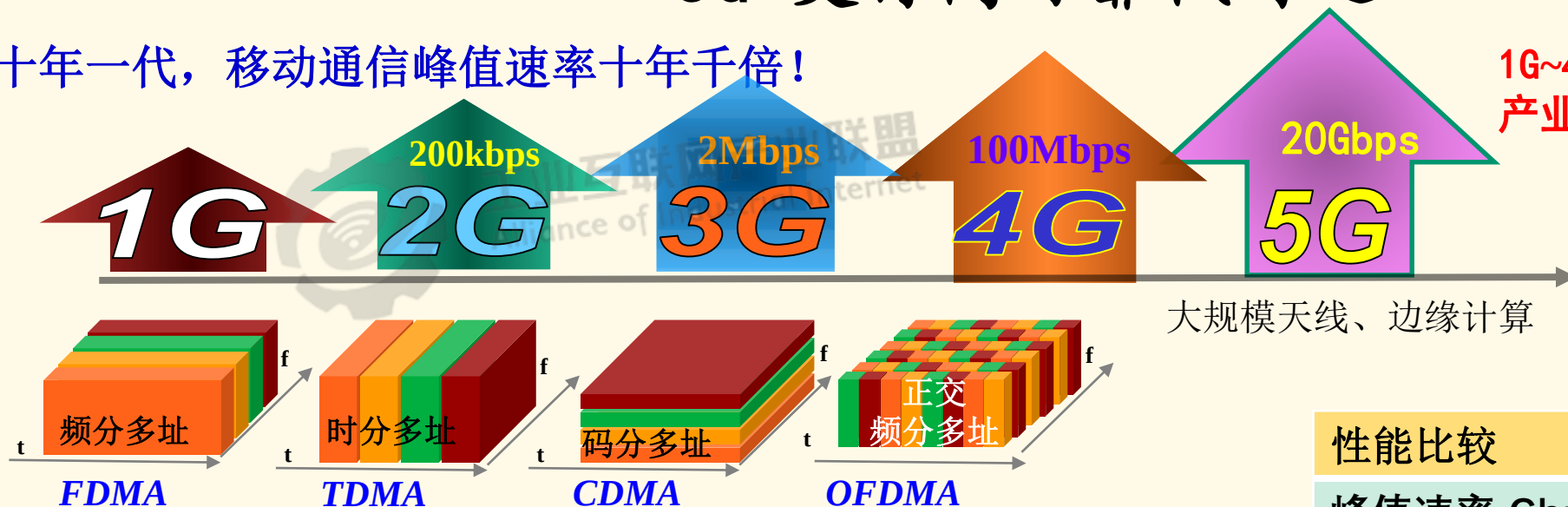


## 5G如何适应工业需求



# 5G 支撑高可靠低时延

十年一代，移动通信峰值速率十年千倍！



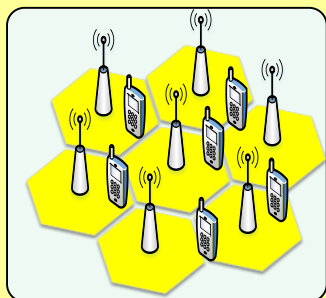
1G~4G面向个人通信，5G扩展到产业互联网和智慧城市应用

- 增强移动宽带 (eMBB)
- 超可靠低时延 (uRLLC)
- 广覆盖大连接 (mMTC)

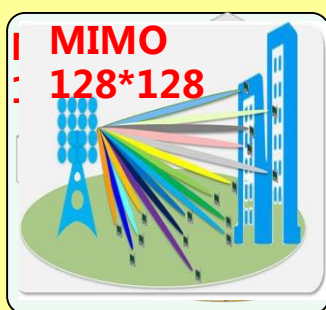
$$\text{容量} = [\text{基站数} \times f(\text{天线数 } n) \times \text{信道带宽} \times \log(\text{SNR})]$$

| 性能比较                     | 4G   | 5G    |
|--------------------------|------|-------|
| 峰值速率 Gbps                | 0.66 | 20    |
| 用户体验数据率 Mbps             | 10   | 100   |
| 频谱效率                     | X1   | X3    |
| 移动性 km/h                 | 350  | 500   |
| 无线接口延时 ms                | 10   | 1     |
| 连接密度 万/km <sup>2</sup>   | 10   | 100   |
| 能效                       | X10  | X1000 |
| 流量密度 Mbps/m <sup>2</sup> | 0.1  | 10    |

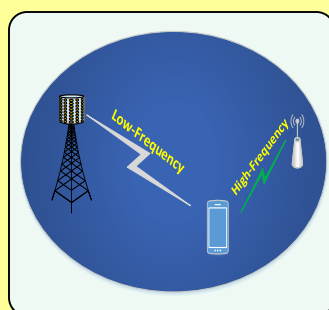
超密集组网



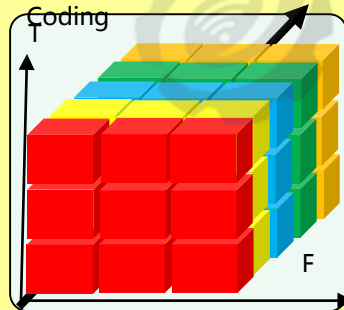
大规模天线阵



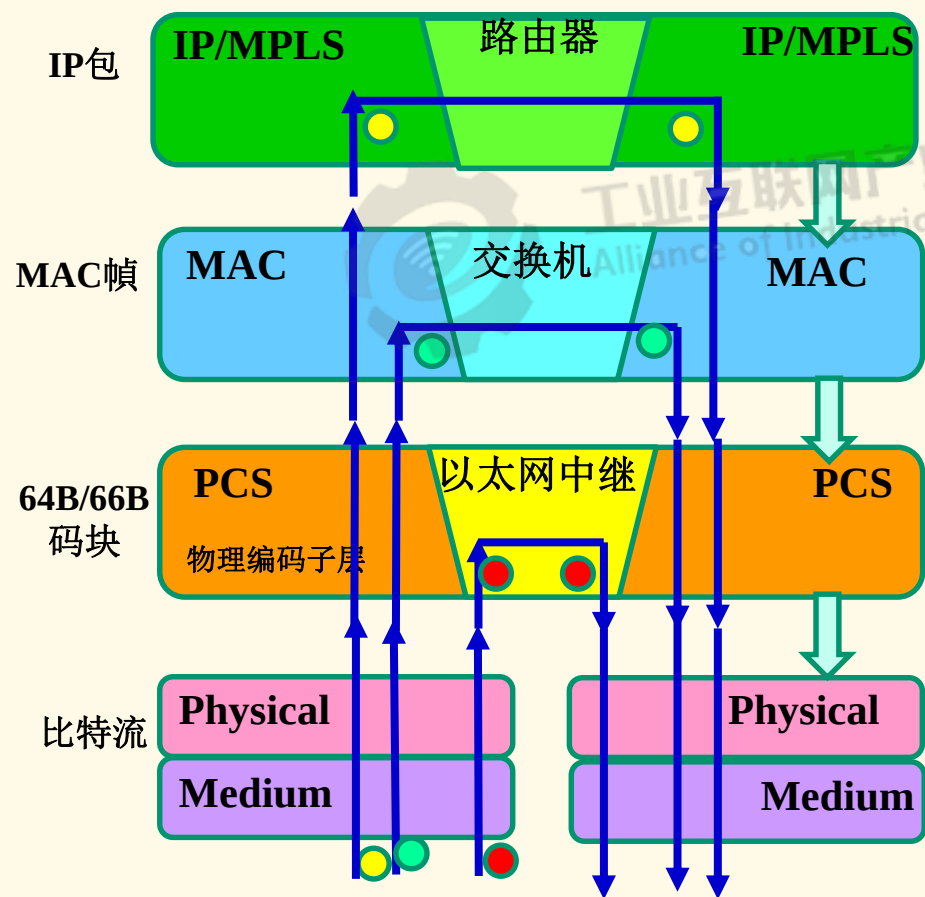
全频谱接入



新型多址技术及网络技术



# 多种转发模式与网络功能虚拟化 (NFV)

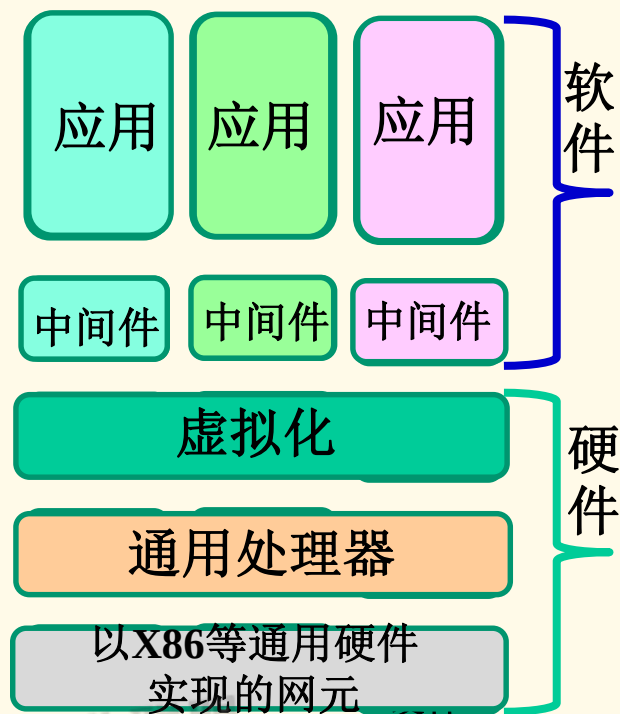


|      |       |         |               |
|------|-------|---------|---------------|
| L3   | 路由器   | IP包     | 颗粒性好，但时延大，效率低 |
| L2   | 交换机   | MAC帧    | 颗粒性仍较小，时延大    |
| L1.5 | 以太网中继 | 64/66码块 | 颗粒大，时延低，适应视频  |

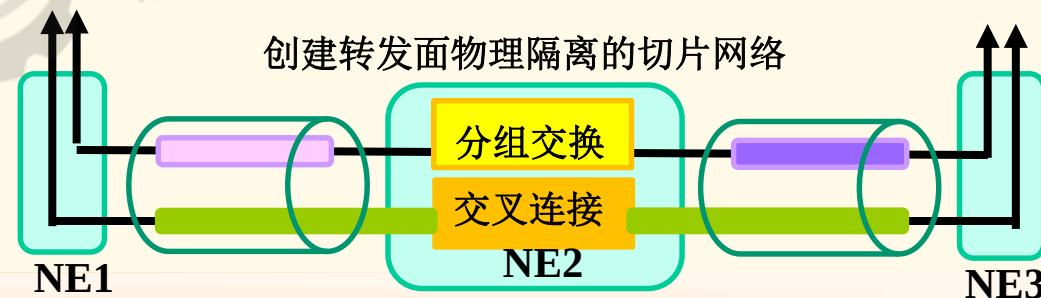
❑ 互联网初期网络不够稳定，所有业务都以IP包的方式独立选路。对于视频类长的IP流切成小包来选路效率太低。

❑ 网络需要有在不同层次的多转发单元，以适应不同规模的业务流。

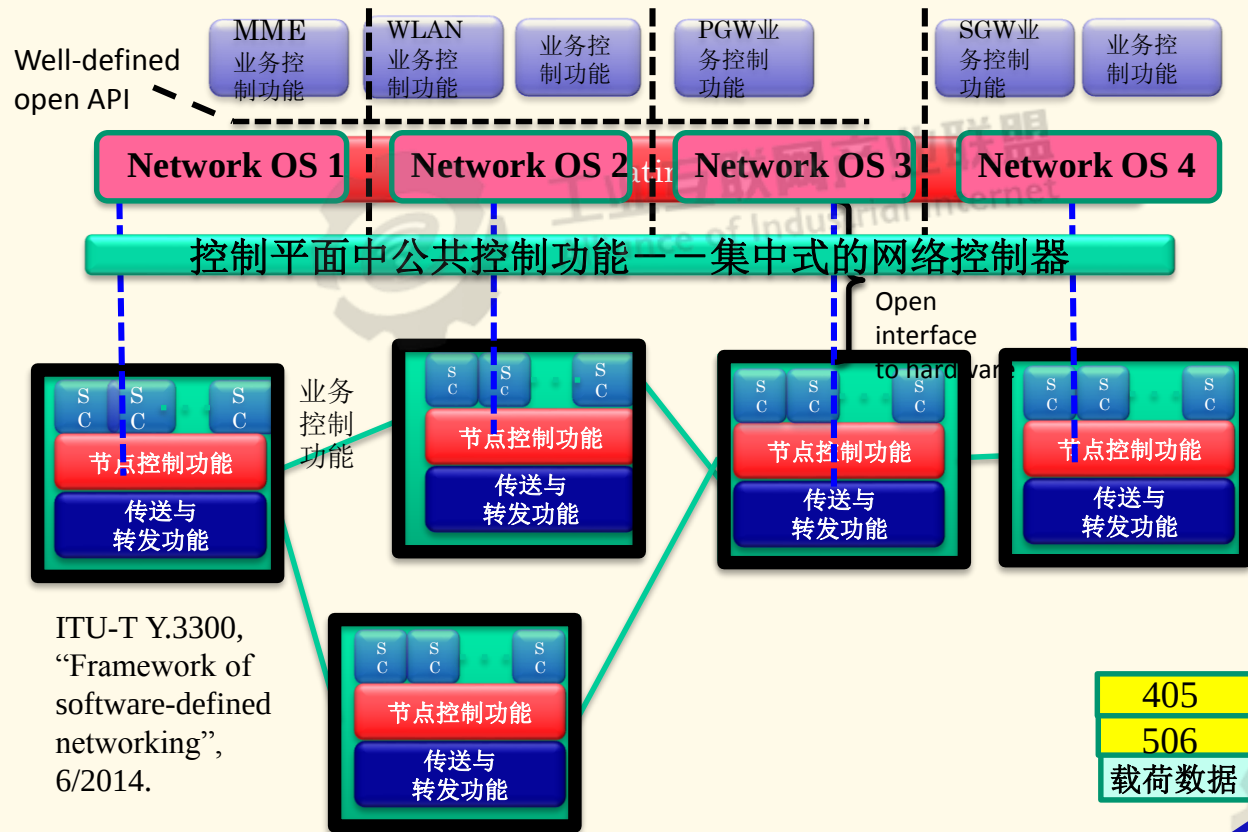
❑ 多转发模式带来灵活性，但需要网络具有识别业务流的智能管理能力。



**NFV (网络功能虚拟化)**



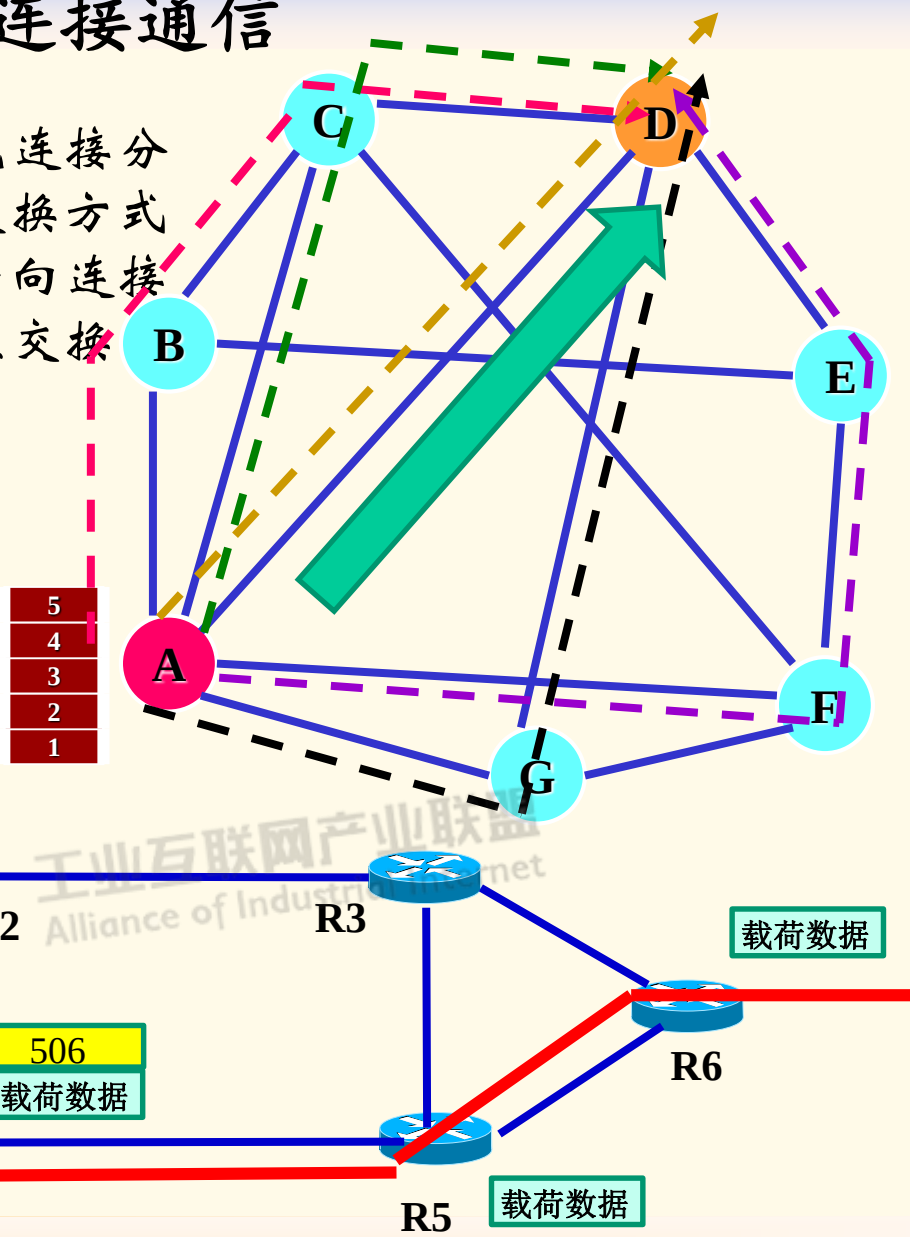
# 软件定义网 (SDN) 支撑面向连接通信



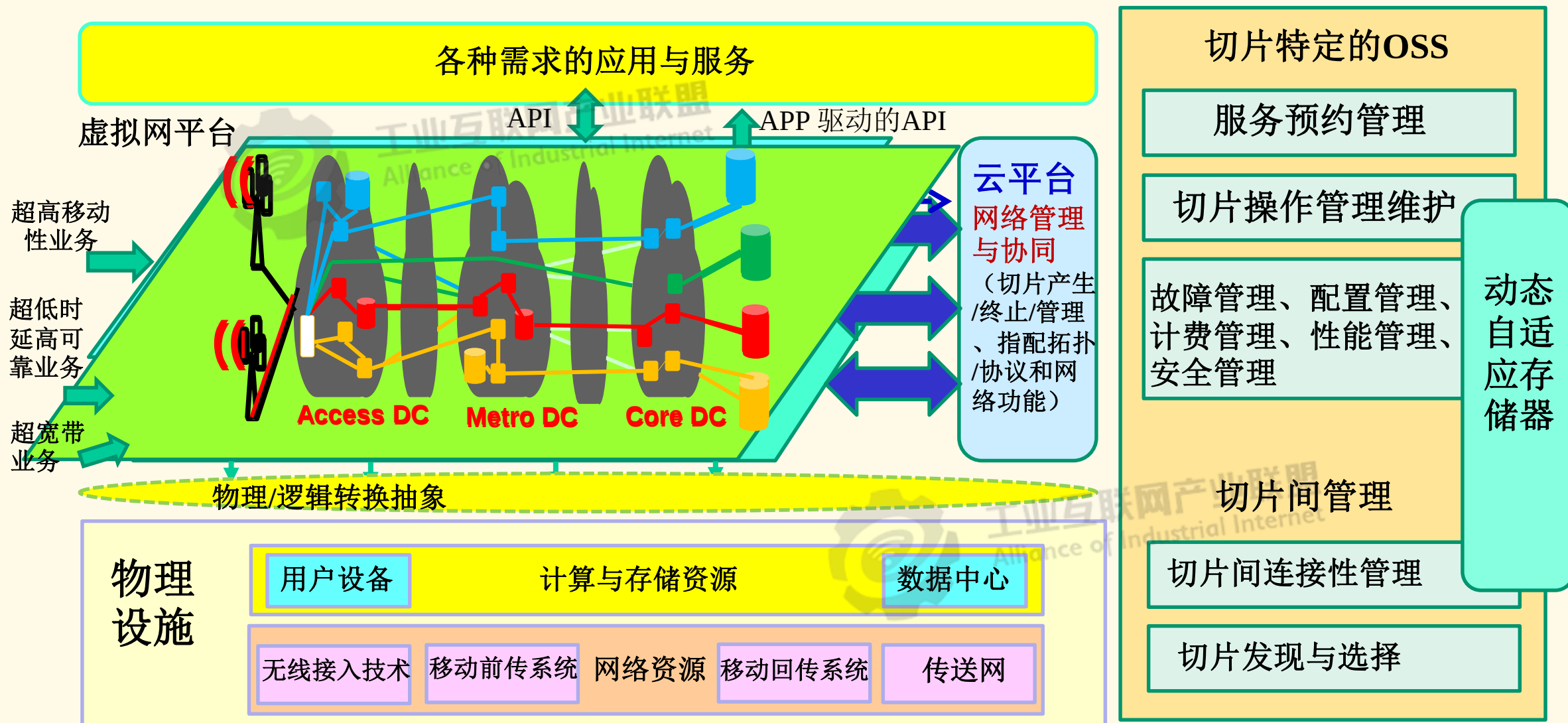
## 通过源选路并面向连接实现通信低时延



从 无 连 接 分  
组 交 换 方 式  
到 面 向 连 接  
分 组 交 换



# 网络切片组织虚拟专用网



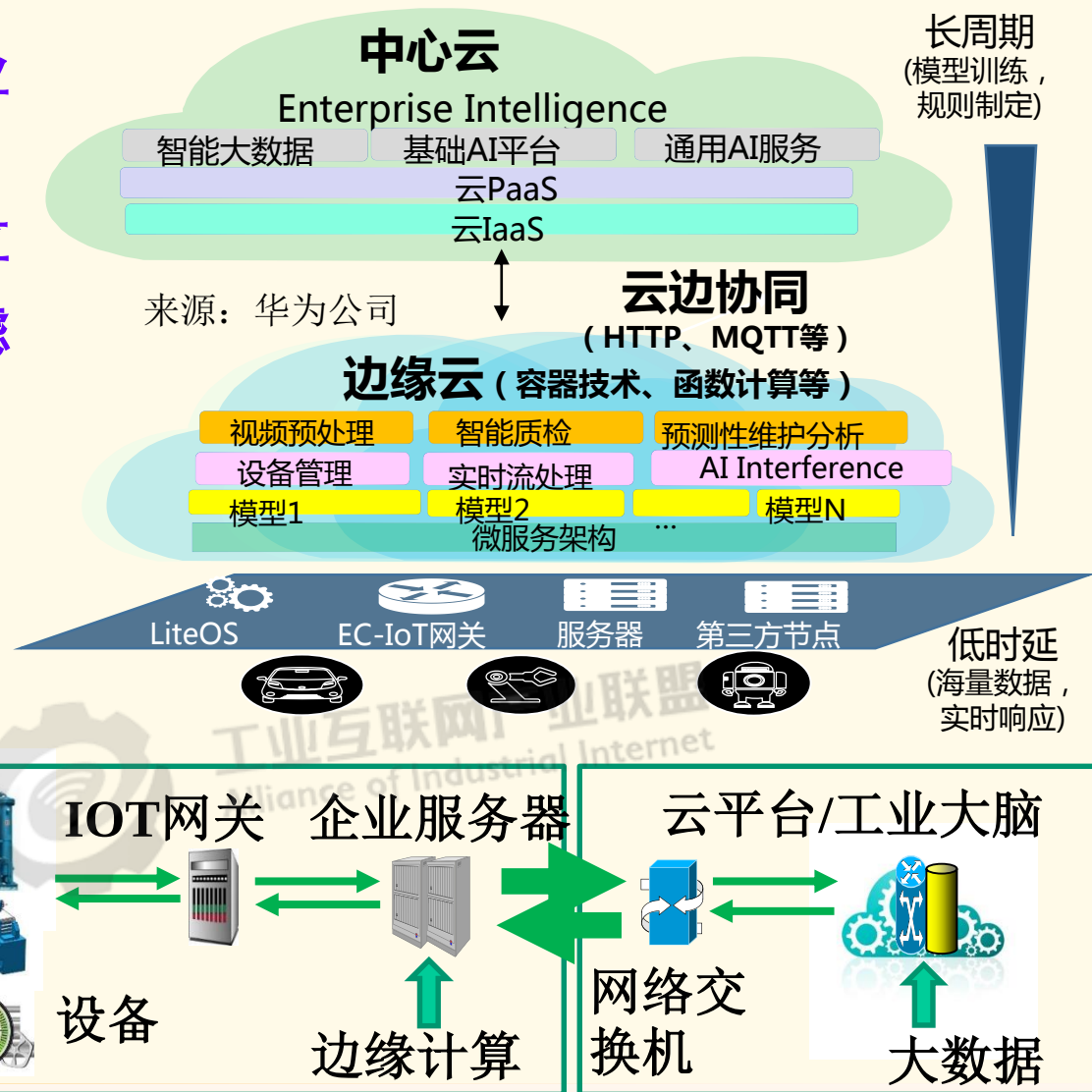
按业务特点组织适应性能需要的VPN信道，提供针对性的服务，但对网络的管理能力是很大挑战。



# 边缘计算

- ◆ 工业生产线上传感器、工件、机器人、工业的VR/AR应用都要求快速响应；
- ◆ 在降低无线空口时延的基础上，还需要将计算能力下沉，利用边缘计算实现本地缓存和过滤数据，降低到中心云的带宽压力；
- ◆ 提供确定性的传输时间，增强可靠性。

- 据IDC预测未来将有超过50%的数据在边缘侧处理。
- 到2020年边缘计算支出将占物联网基础设施总支出18%。
- 成本仅为单独使用中心云计算的39%。

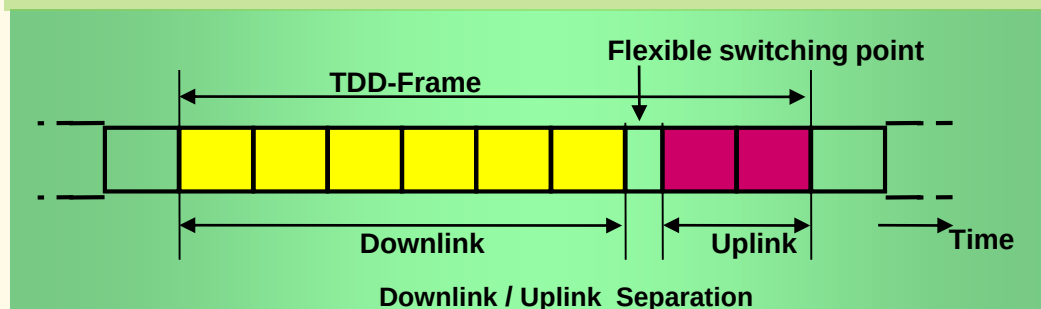




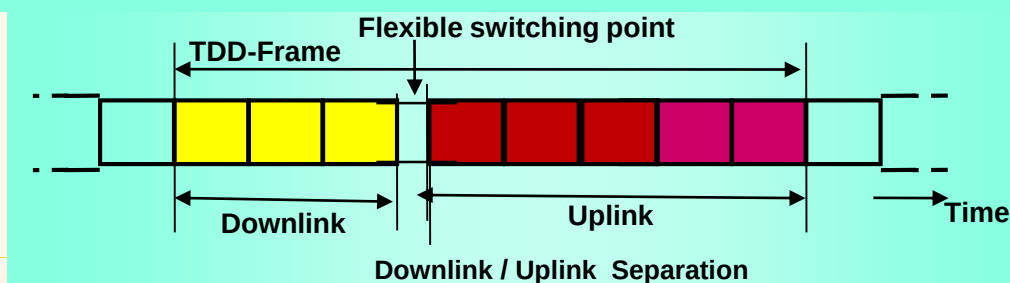
# 5G用于工业互联网的外网和内网

- ❑ 产业数字化需将厂内设备联网，而机器人、物料小车及工件无法用光纤。
- ❑ 现有无线技术因稳定性、扩展性、低速率等问题使得其在工业领域利用率仅6%。

面向消费者应用的TDD上下行配置

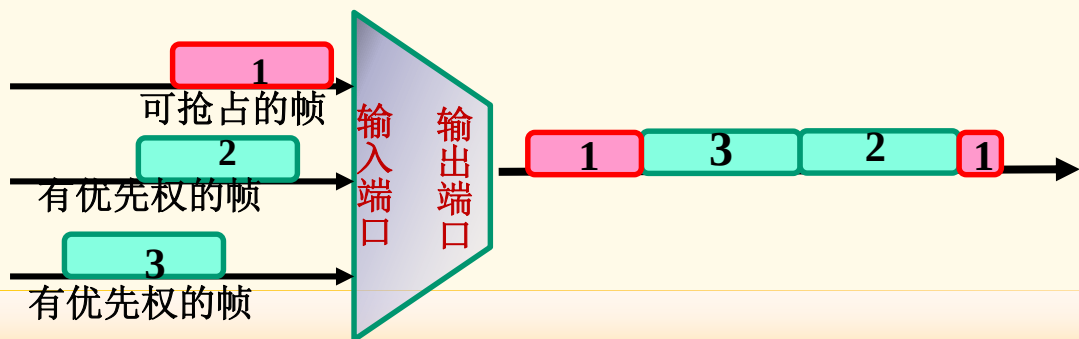
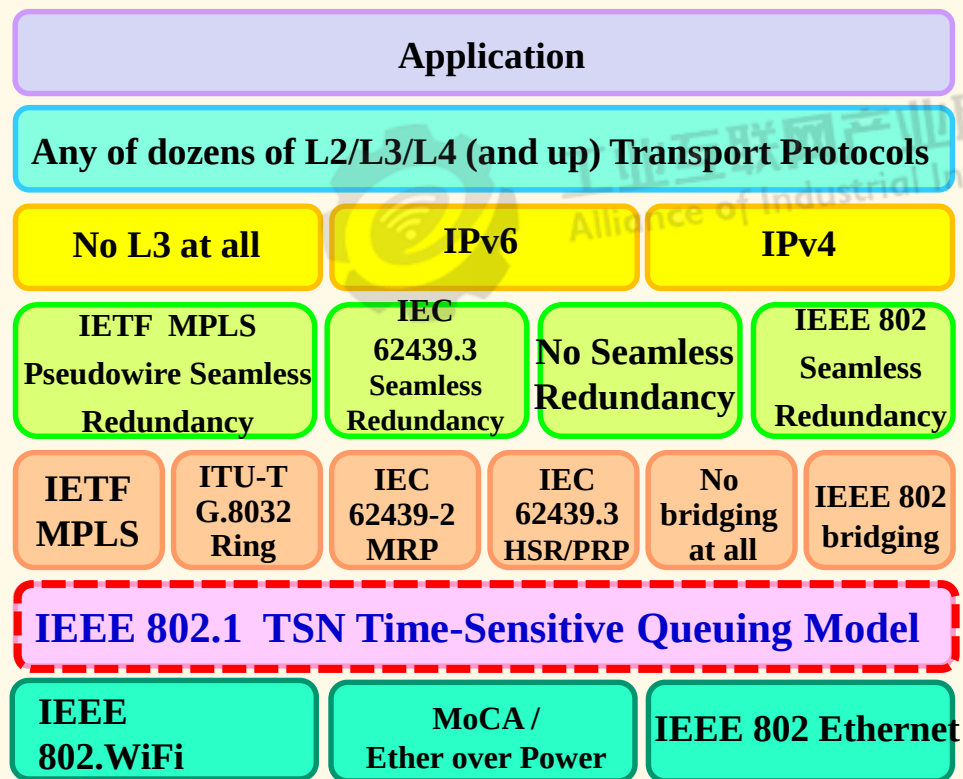


面向工业应用的TDD上下行配置

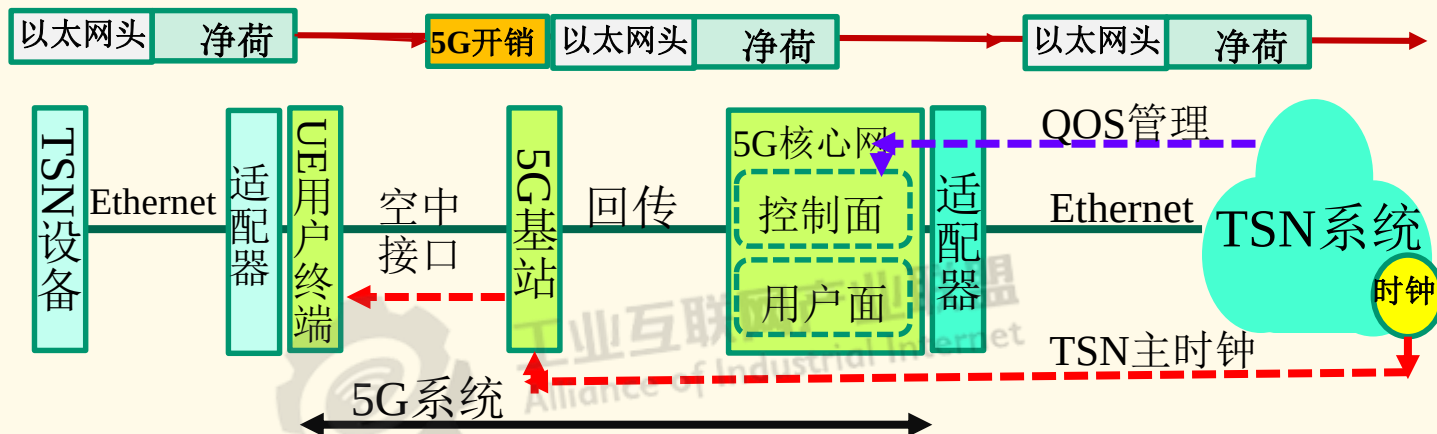


- ❑ 5G为工业互联网而设计，企业可租用运营商网络，以网络切片方式提供VPN。
- ❑ 但面向消费者应用时TDD（时分双工）下行容量高于上行，而工业互联网则需要更大容量用于上行。
- ❑ 相反的TDD上下行配置在运营商同一网络时需要有保护隔离，以应对互相干扰。
- ❑ 企业可申请专用频率自建5G专网，可实现灵活按需配置TDD的上下行时隙，无需考虑与公网TDD上下行时隙配置的兼容问题。
- ❑ 企业5G专网需有专用频率，ETSI测算需76MHz，德国分配100MHz。

# 企业内部时延敏感网络（TSN）及其与5G的连接



对于时延和同步要求十分严格的流程工业和自动化生产线，需采用时延敏感网络（TSN），它改进工业以太网，在数据链路层以太网报头的虚拟局域网标签中增加QOS分类，允许高优先级的帧打断低优先级帧的传输以保证低时延。



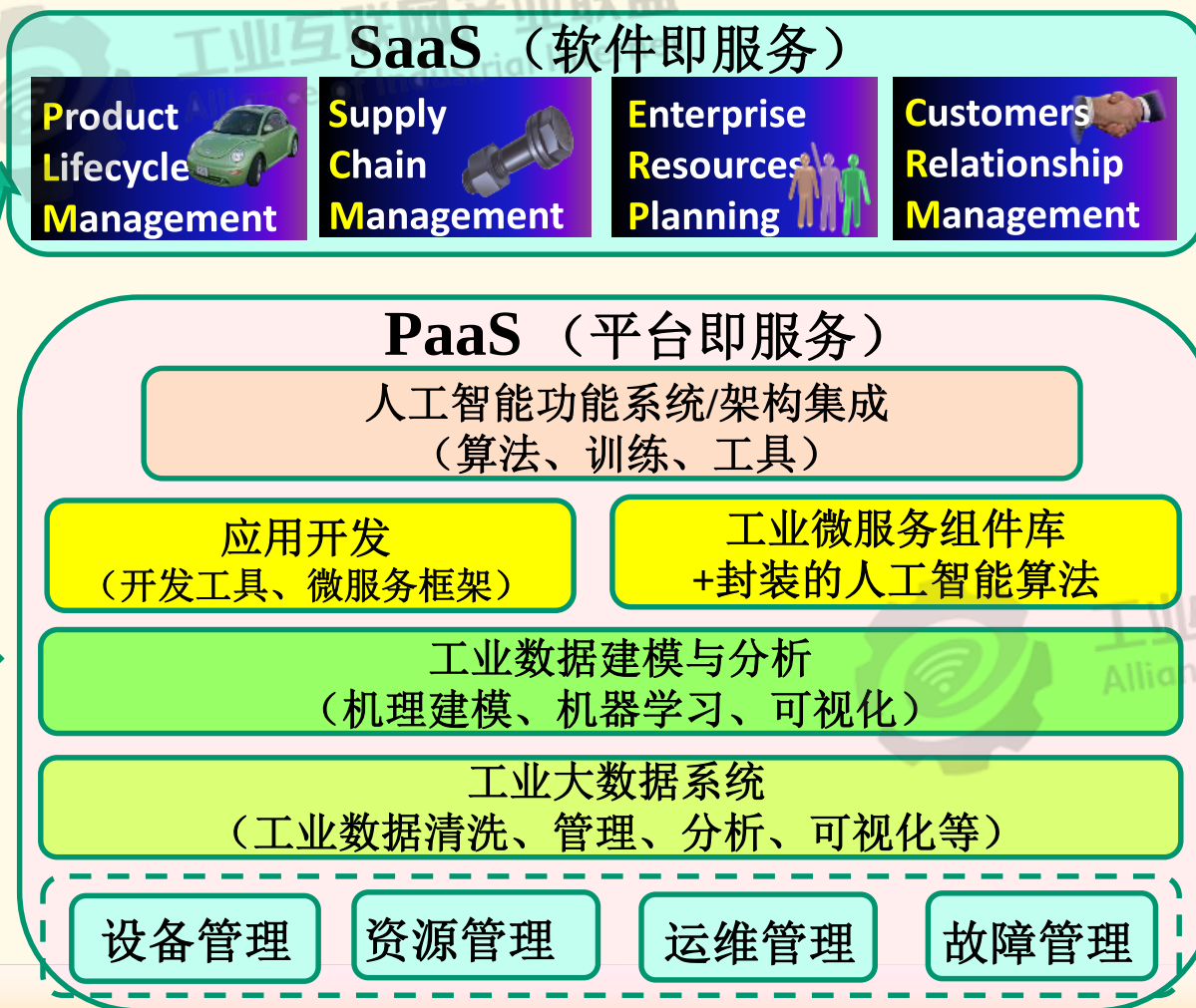
- 利用5G接入网和核心网能力为垂直行业提供局域网服务；
- 提供IP/non-IP连接；私网标识与管理；与公网的互操作；
- 5G架构支持TSN网络能力、同步配置和QOS要求。

# 5G 嵌入工控管理软件

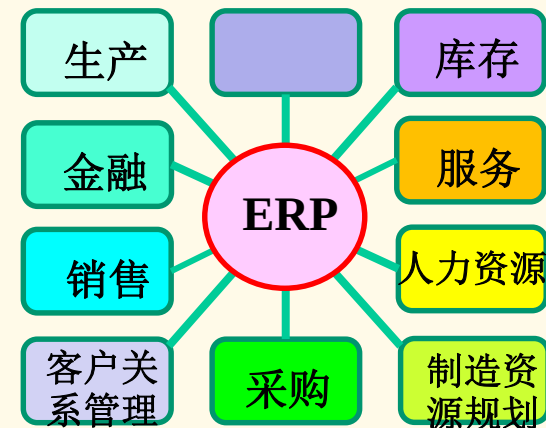
## 云架构



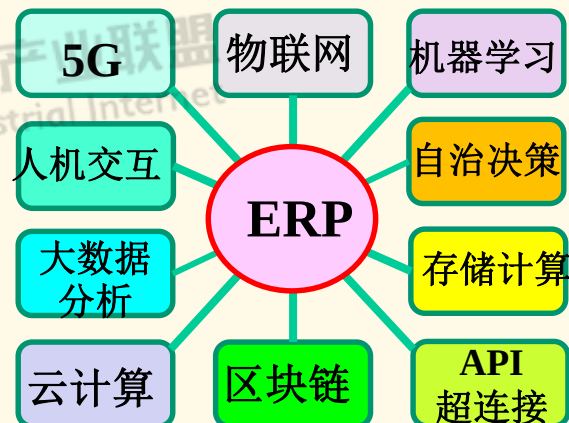
工控软件需要与物联网、大数据、云计算、AI结合，  
从静态发展到动态自适应实际场景。



## 基于Excel表的传统的ERP



## 智能ERP增加的功能



执行时间能缩短25%

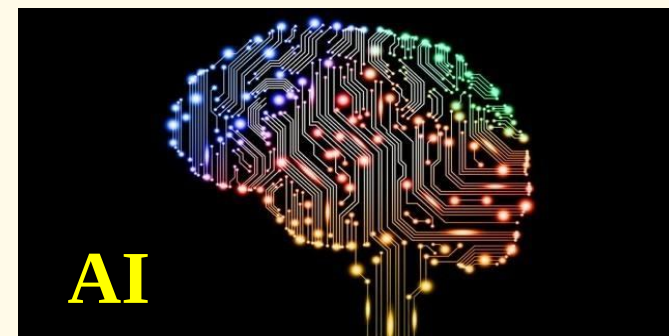
## 5G赋能产业数字化转型



5G赋能产业数字化转型



# 5G 推动AI+IOT发展到AIOT



$AI + IOT = AIOT$  (智联网)

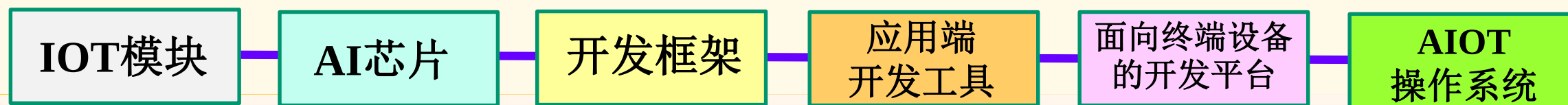
AIOT 使物联网所感知的大数据能直联AI实时决策；终端直接上云，相当于云端能力虚拟到终端，增强了终端能力。

5G的大连接要求：

- 100万/1km<sup>2</sup> 设备联网；
- 传输时延10秒内；
- 不高于1%的丢包率；
- 一定的连接效率。

3GPP通过仿真向ITU报告：在5G频段工作的NB-IOT和eMTC能满足5G的连接要求。

AIOT在产业链上更强调AI芯片与AI能力开发平台，帮助IoT开发者解决开发兼容问题。





## 5G+8K 视频直播与机器视觉

□ 据前瞻产业研究院的数据，中国每天在产线上进行目视检查的工人超过350万，但人工检测准确度不高。工业高清视频经过5G和边缘计算与中心云相连，结合AI能力，与预存的视频图像比对和分析，目前基于AI的机器视觉识别能力已经超过人类。

□ 5G+8K视频可遥控生产现场的机器故障排除，指导维护管理。

□ 华星光电公司与腾讯合作，对面板海量图片进行快速学习与训练，实现机器自主质检，分类识别准确率88.9%，节省人力60%。

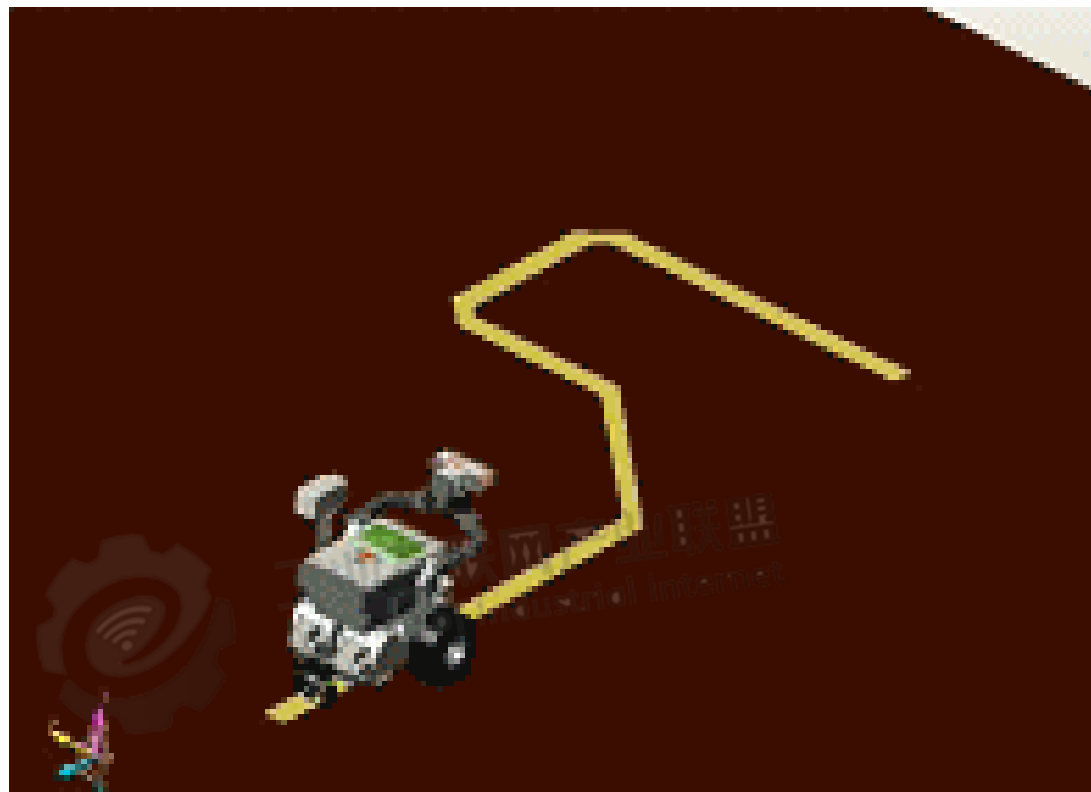
□ 5G+VR培训和辅助引导生产装配。





# 5G+AIOT 支持数字孪生

数字双胞胎(Digital Twin)借助安装在物理对象上的传感器数据和仿真手段来映射产品实时状态、工作条件或位置，获得物理对象的属性及状态的最新和准确的镜像，通过5G传输，可用于预防性维护。

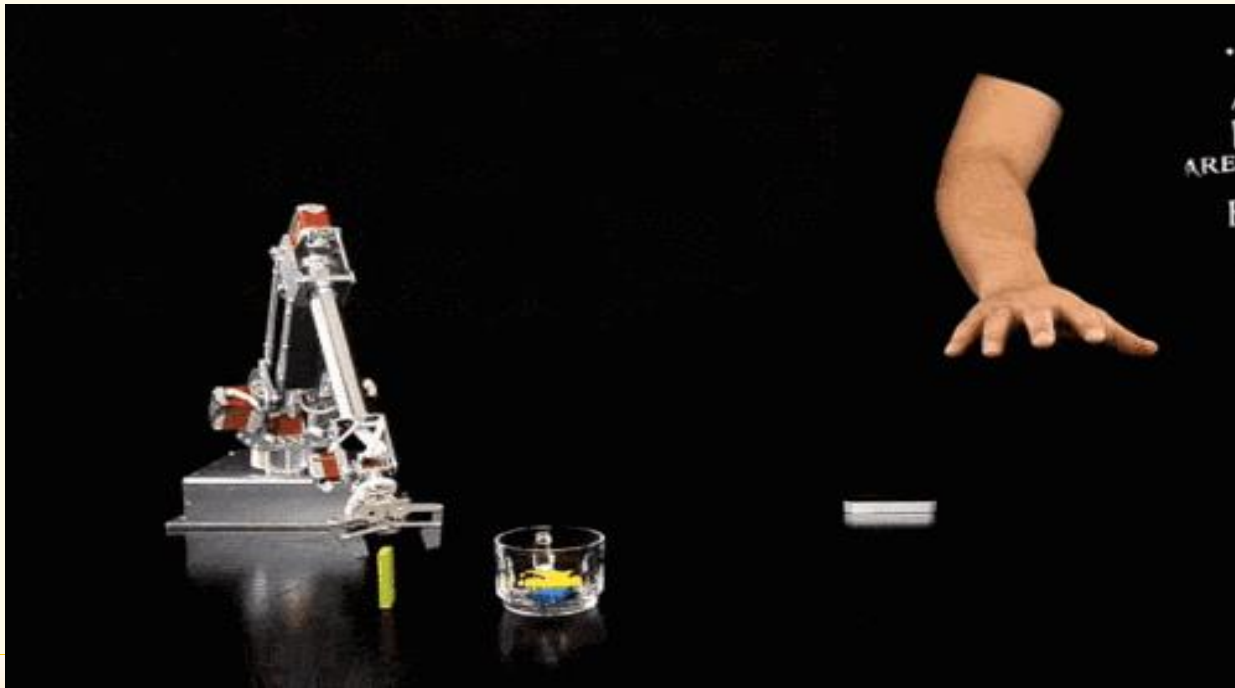


据IDC预测到2020年，全球2000强企业中的30%将利用数字孪生数据，提高产品创新能力和企业生产效率，从而提高企业25%的收益。GE将数字孪生技术用于风力发电管理，获得20%效率提升。

## 5G+AIOT 引领机器发展到智能机器人

- 5G+8K+移动边缘计算可使机器人反映更敏感。
- 沈阳新松公司开发智能焊接系统，能自主生成程序。
- 云控机器人-----以云端大脑通过5G的低时延来管理一批机器人，降低机器人成本。
- 旷视公司在4万平米的仓库中实现了500台机器人的协同作业，刷新了集群作业的行业记录。

大兴机场使用机器人帮助拿行李，  
城市试点机器人送快递！



## 结束语

- 针对工业互联网要求，5G定位提供增强移动宽带、高可靠低时延和广覆盖大连接能力。
- 5G的低时延促成了IOT与AI的无缝融合， $AI+IOT=AIOT$ （智能网）。
- 5G推动  $IT+OT$ （产业运营技术）=两化融合，工业互联网引领效率变革、质量变革与动力变革，成为数字经济的新引擎。



# 谢谢！



THANK YOU