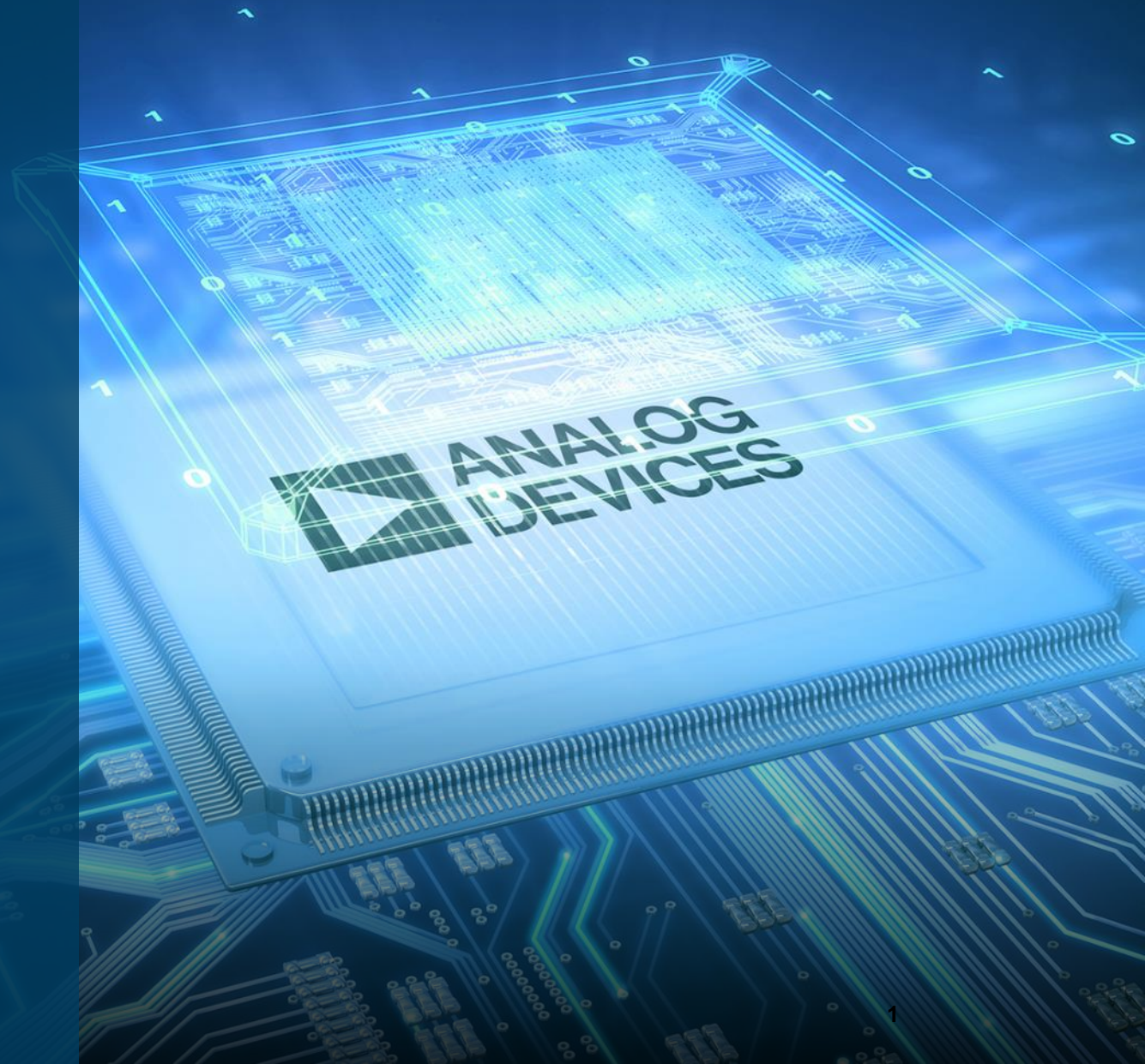


# 高性能惯性传感器助力运动物联网



# 演示文稿纲要

- ▶ 哪些场合及为什么运动对物联网很重要
- ▶ 运动物联网(IoMT)相关应用
- ▶ 实现高精度
- ▶ 支持高性能的传感器技术和集成
- ▶ 系统应用级考虑
- ▶ 解决方案

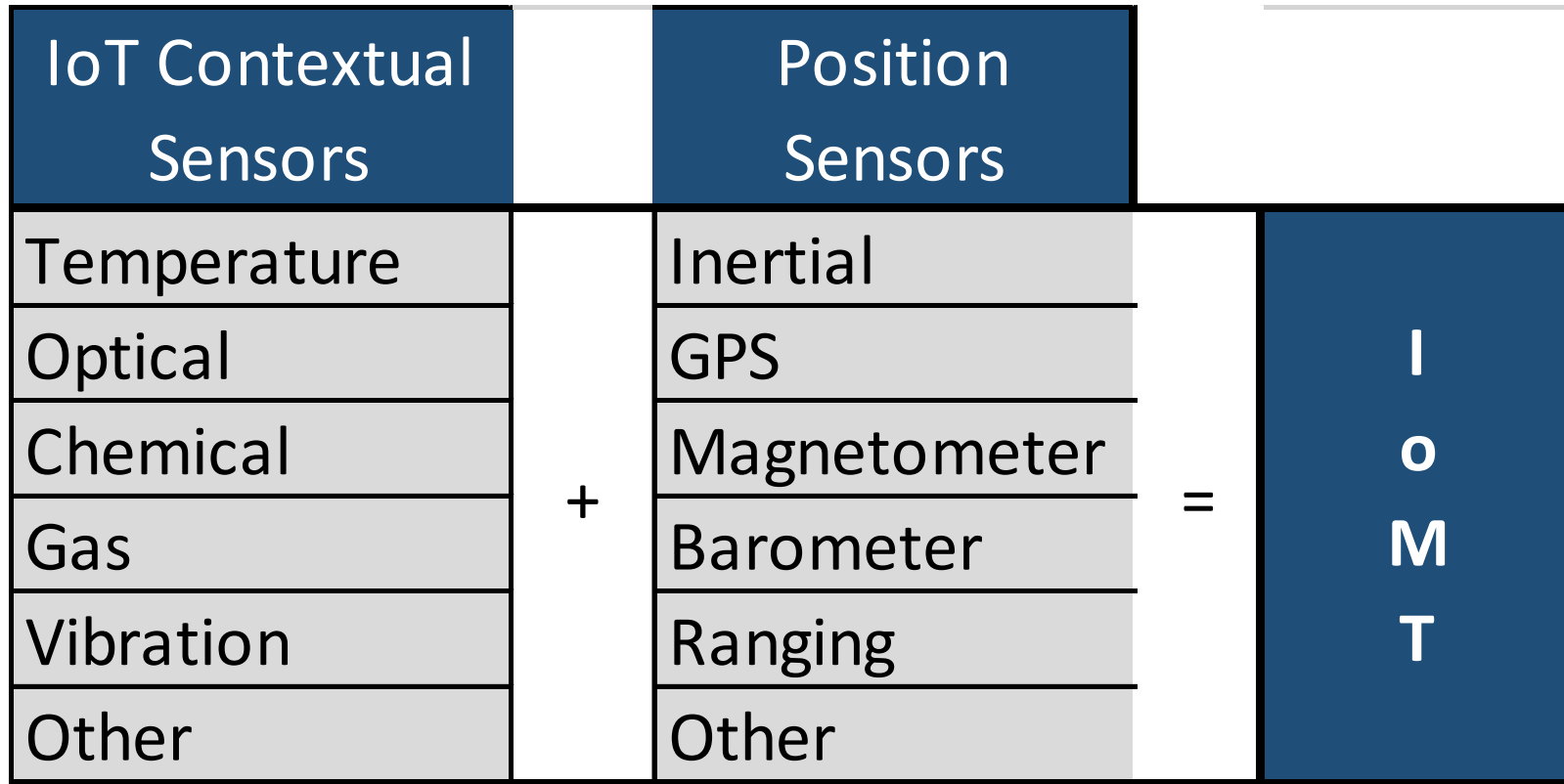
# 自主机器的演化...

- ▶ 传感器使得机器从传统的 *机械式、固定功能、静止设备* ... 变成越来越 *智能、自主、机动* 的设备。
- ▶ 机器 *测量* 增强为 *机器控制*，并进化到 *机器自动化和学习*
- ▶ 从传感器
  - ... 到多传感器
  - ... 到融合传感器
  - ... 到智能传感器
  - ... 到互连传感器
  - ... 到智慧传感器
  - ... 到 ...

融合：  
人、机器、机器人、无人机...



# 具丰富传感器的物联网节点的自主性和机动性越来越强



运动/位置或轻运动（即稳定定位）是有价值的 datapoint，可提高很多自主机器人的运行效率

# 针对高价值应用

System Drivers	Example Applications	Critical Needs
Resource Efficiency	Precision Farming; Inventory/Asset Control; Surveillance; Predictive Maintenance; ...	Multi-parameter sensing; Geo-Location; Data-basing / referencing; ...
Critical Accuracy	Factory Robotics; Surgical Instruments; Construction; Vehicle Guidance; ...	Precision; Stability; Repeatability; All-Condition Operation; ...
Improved Safety	Unmanned Vehicles; Condition Monitoring; Autonomous Machines; First Responders; ...	Reliability; Environmental Immunity; Ruggedness; Predictive Analysis; Fail-safe modes; ...

传感器数据的质量和精度是实现有挑战性的系统目标的核心赋能因素

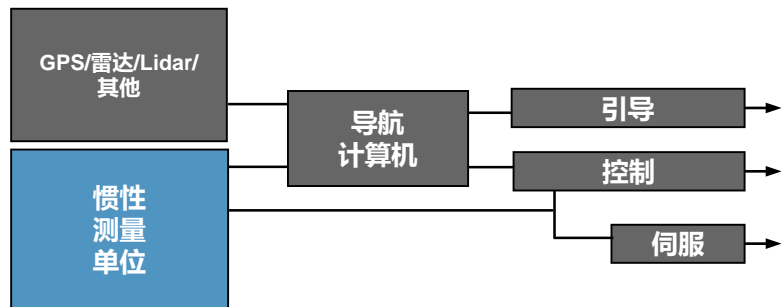
# 运动相关性的应用举例

<b>Industrial Equipment</b>	<b>Motion Relevance</b>
<b>Smart Tractor</b>	<b>Geo-Location; Antenna Stabilization</b>
<b>UAV/Drone</b>	<b>Geo-Location; Swarming; Payload Pointing</b>
<b>First Responder</b>	<b>Geo-Location; Mapping; Activity Monitor</b>
<b>High Value Assets</b>	<b>Geo-Location; Inventory Control</b>
<b>Train, Other Transport</b>	<b>Geo-Location; Safety</b>
<b>Augmented Reality</b>	<b>Geo-Location; Pointing</b>
<b>Smart Vehicles</b>	<b>Geo-Location; Sensor-Positioning; Dynamics</b>
<b>Robotics, Machinery</b>	<b>Geo-Location; Controls, Stabilization</b>
<b>Antennas, Cameras</b>	<b>Pointing Angle; Installation/Calibrations; Stabilization</b>



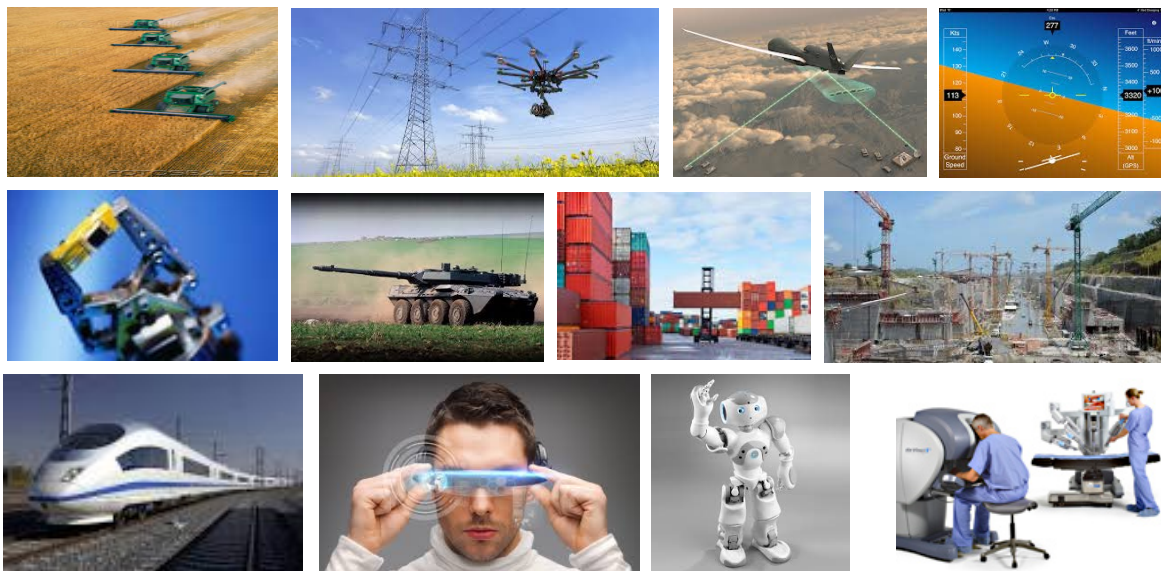
# 在困难的应用场景中确定位置

- ▶ **典型问题：**解决引导和控制的主要检测/反馈环路中的中断或不精确性
- ▶ **需要的解决方案：**稳定、低噪声、抗振、惯性检测集群。降低抖动，并在其他传感器中断期间提供主要引导

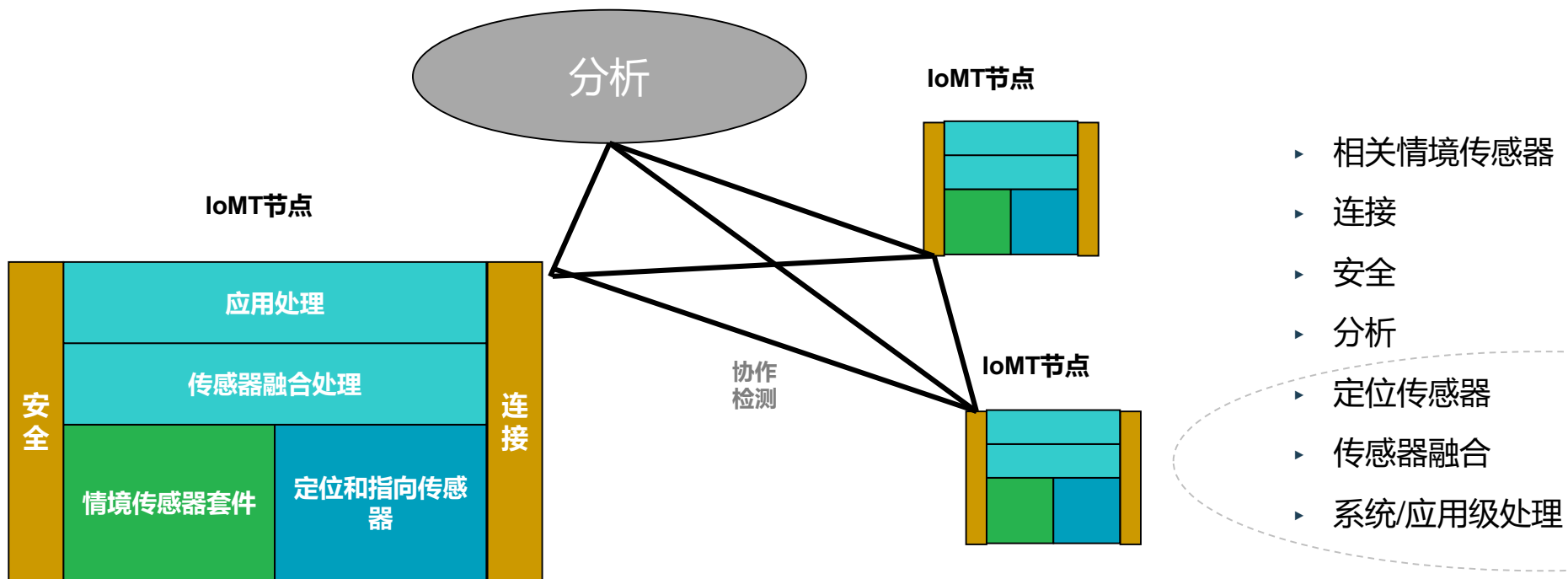


## 应用：

- 精密农业/建造
  - 自动转向
  - 智能工具
- 自主机器
  - 无人机
  - 机器人
- 运动物联网



# 有价值IoMT系统的要素



精密传感器是智能集成的核心要素，可付诸行动的信息是从边缘节点获得



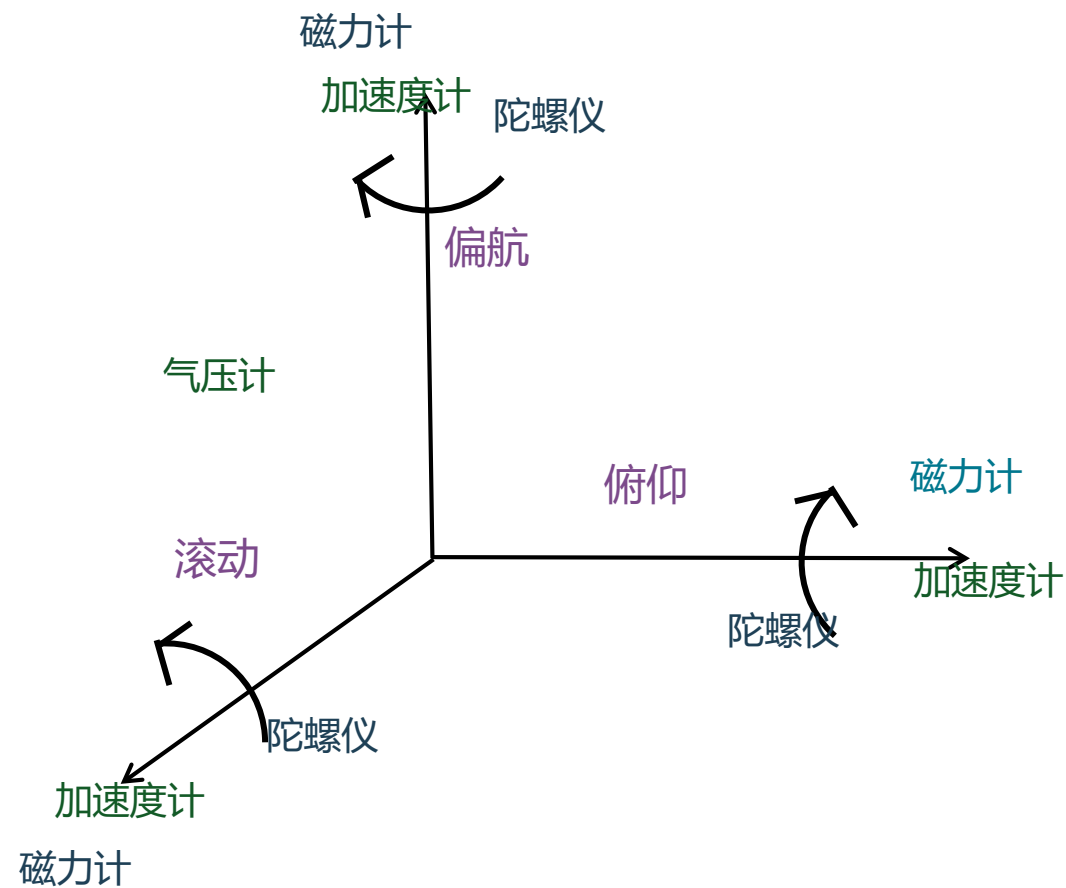
# 工业应用涉及复杂的运动检测

## ▶ 简单运动检测:

- 上/下/左/右, 足够好
- 非惯性传感器的权重要高得多 (即GPS)
- 高度受限的条件
- 很容易原谅错误/缺陷

## ▶ 工业实际情况:

- 指向精度优于 $1^\circ$
- 高度依赖惯性传感器
- 复杂/无法预测的条件
- 传感器精度对任务至关重要



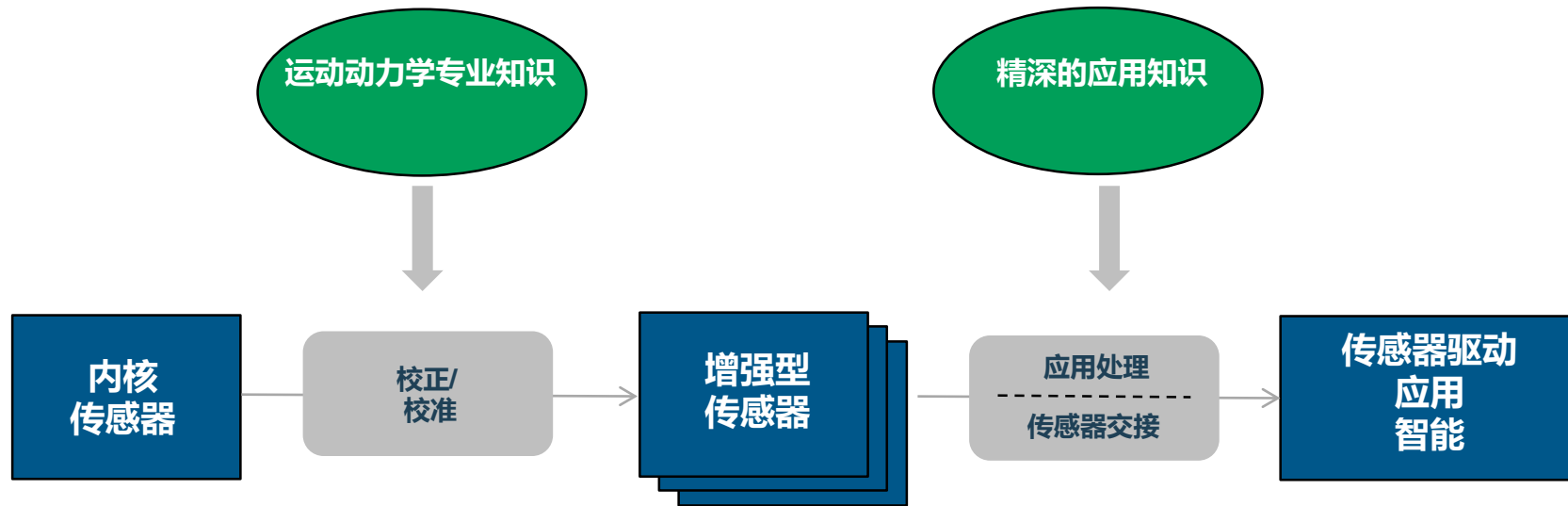
# 传感器选择对系统的最终精度和价值至关重要

Inertial Sensor Quality	Characteristics	Role in Sensor Fusion	Accuracy after Sensor Fusion	Suitable for:
High Precision	Ultra Low Noise, Stable operation under all conditions	Primary Sensor, heavily relied on, capable of supporting rugged/ unpredictable conditions	$\sim 0.1^\circ$	Complex Motion, Long Life, Mission Critical
Low Precision	Low to Moderate Noise, Poor Stability, Unspecified drift under vibration-temp-shock	back-up sensor with low weighting, restricted or conditional reliability	$3-5^\circ$	Simple Motion, Short Life, Error Tolerant use cases

# 早期设计选择阶段考虑的关键挑战总结

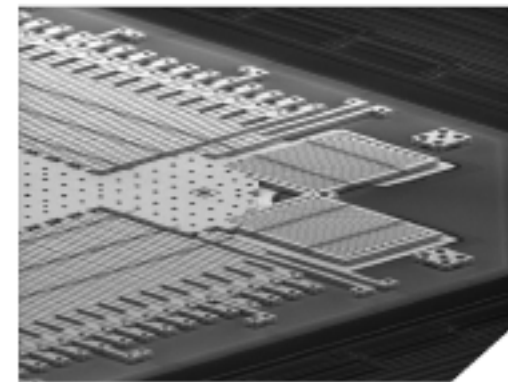
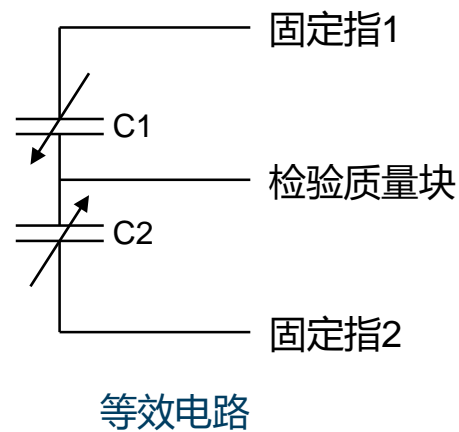
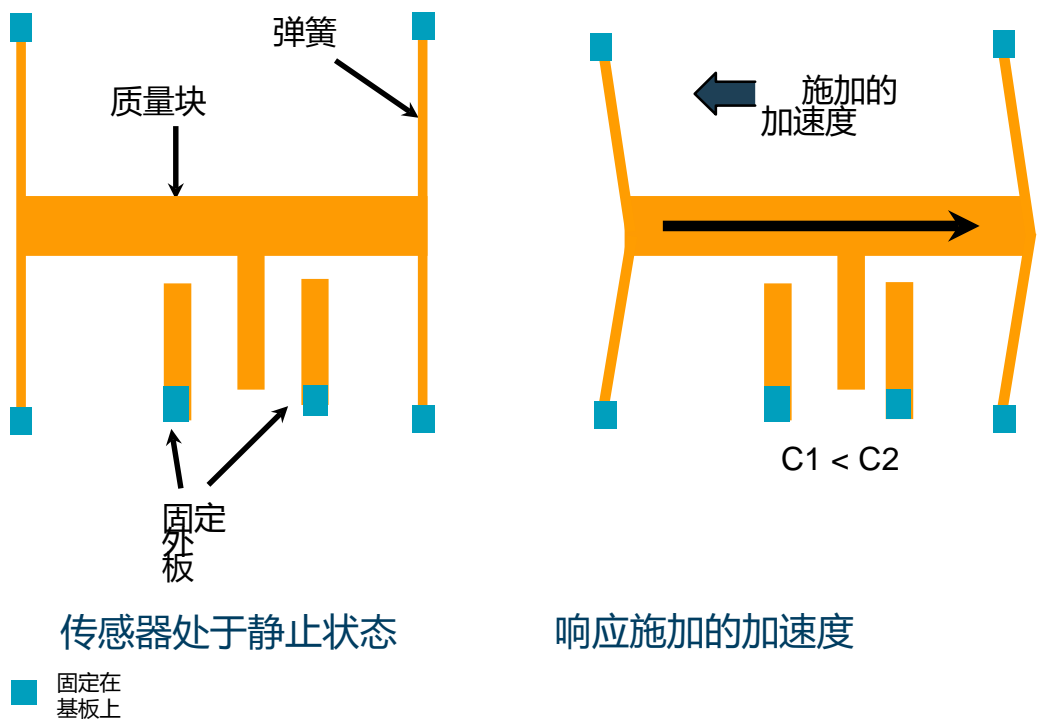
Key Challenges
Centimeter Level Accuracy in midst of GSP Blockage
Maintain Accuracy even under Vibration, Temperature extremes, Wind, etc
Reliable, Safe Operation, all-Conditions

# 通过设计和集成从传感器提取有价值的精度信息



# 加速度计工作原理

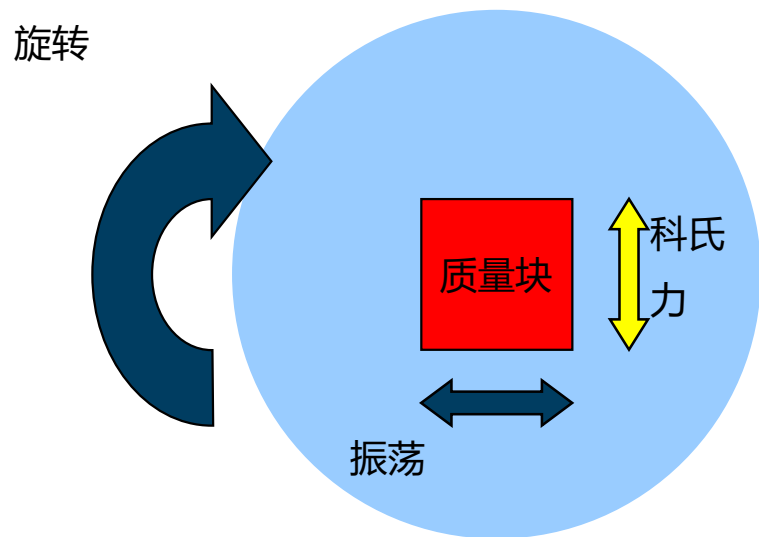
- ▶ 硅片模拟传统的弹簧/质量块系统，指状物构成可变差分电容
  - 通过测量差分电容的变化来检测位移变化



**MEMS加速度计对动态和静态加速度都很敏感**

# 陀螺仪工作原理

- ▶ 通过检测科氏力测量角速率
- ▶ 什么是科氏力?
  - 当物体做周期性运动（振荡或旋转）时，使该物体在周期性运动的正交平面上旋转会在另一正交方向上产生平移力。

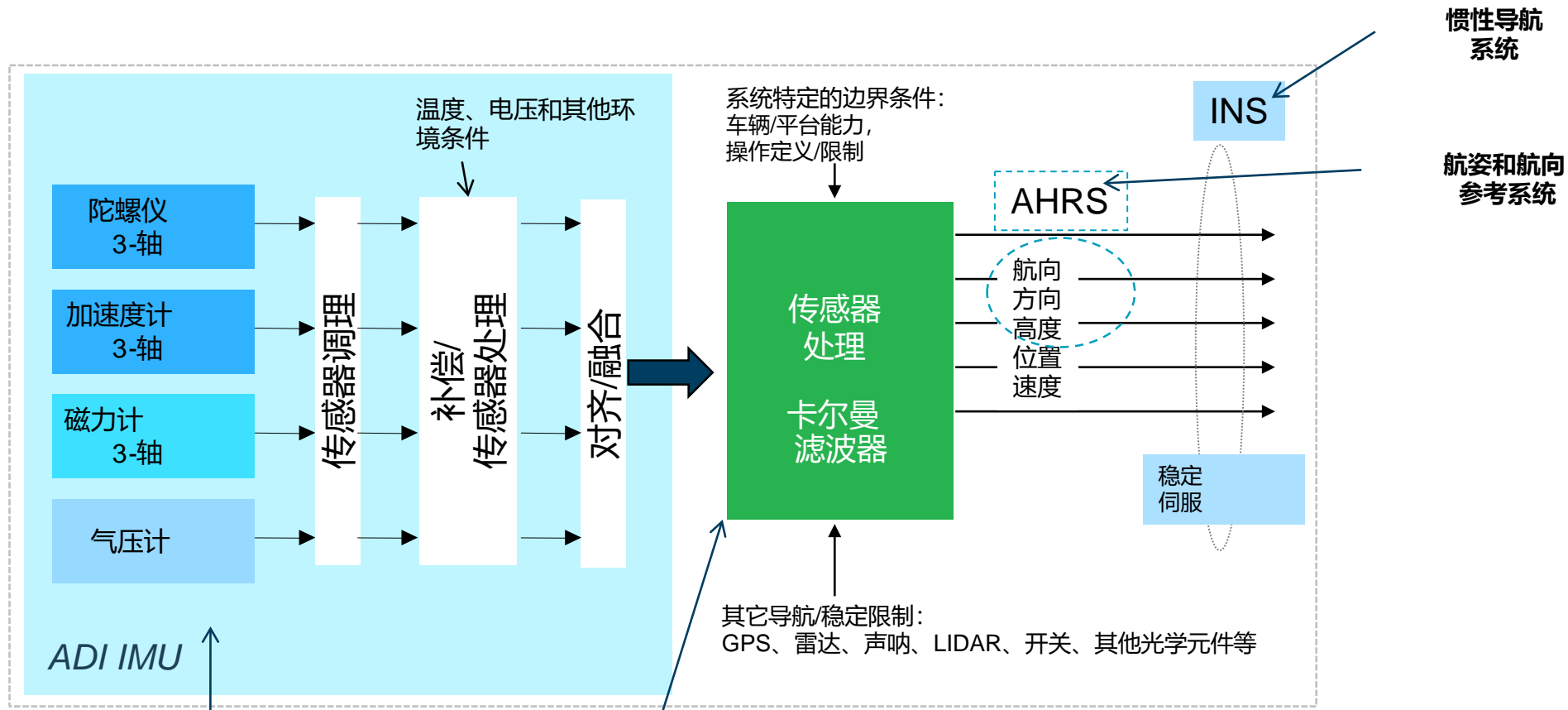


- ▶ 陀螺仪对 $g$ 效应敏感
- ▶ 加速度计本身不能区分不同类型的“ $g$ ”



# IMU在工业系统中发挥重要的传感器融合作用

## 在复杂应用中确定系统状态



### 惯性测量单元

- ▶ 通常4到10个自由度
- ▶ 稳定、精密的传感器输出
- ▶ 环境、跨轴、跨传感器校正

### 卡尔曼滤波器

卡尔曼滤波器将多个不完美的互补传感器加以合并来确定实际运动

- ▶ 系统动力学模型, 边界条件
- ▶ 控制输入; 权重
- ▶ 传感器输入

# 不是所有惯性传感器都相似...

- ▶ 如今大部分传感器的噪声相对较低
- ▶ 高稳定性传感器的选择受到更多限制
- ▶ 应用层面的精度高度依赖于多个常被“忽略”的特性：加速度效应、对齐、其他漂移因素
- ▶ 工业用传感器详细规定了所有对系统误差预算重要的特性
- ▶ 最佳工业传感器确保所有潜在误差源得到很好的平衡。

Parameter	Typical Industrial Spec	units	Delta Improvement over typical consumer device
<b>GYROSCOPES</b>			
Dynamic Range	up to 2000	deg/sec	~
Noise Denisty	0.004	°/sec/vHz rms	<b>2X</b>
Angular Random Walk	0.2	°/vHr	<b>2X</b>
in-run stability	6	°/hr	<b>3X</b>
Bias repeatability	0.2	°/sec	<b>100X</b>
-3 dB Bandwidth	465	Hz	<b>2X</b>
<b>ACCELEROMETERS</b>			
Dynamic Range	up to 40	g	<b>3X</b>
Noise Denisty	25	ug/vHz	<b>10X</b>
Velocity Random Walk	0.03	m/s/vHr	<b>10X</b>
in-run stability	10	micro-g	<b>10X</b>
Bias Repeatability	25	mg	<b>100X</b>
-3 dB Bandwidth	500	Hz	<b>2X</b>
		°/sec/vHz rms	
Axial Alignment	0.05	deg	<b>20X</b>
Linear Acceleration Effect	0.01	°/sec/g	<b>10X</b>
Vibration Rectification	0.004	°/sec/g <sup>2</sup>	<b>10X</b>
Sensivity Tempco	25	ppm/°C	<b>10X</b>
Bias Tempco	0.007	°/s/°C	<b>10X</b>

# 传感器选择决定系统应用精度

**稳定精度 (角向抖动最小化) :**  
选择指向精度小于1°的传感器, 在复杂运动动力学情况下



**导航精度:**  
更高质量的惯性传感器输出可以:

- 降低传感器融合/处理的复杂性
- 改善输出置信度
- 提高位置精度 (50倍以上)



抖动 = (噪声 + 振动 + 跨轴灵敏度) 的和方根

Example IMUs	Industrial		Consumer	
	Spec	Impact	Spec	Impact
PERFORMANCE				
Noise density (°/sec/√Hz)	0.004	0.036	0.0100	0.089
Linear-g (°/sec/g)	0.01	0.020	0.100	0.200
Cross-axis (%)	0.09%	0.090	2.00%	2.000
PROJECTED ERROR (°/sec)		0.099		2.012 ← ~最佳情况

假设条件: 50Hz带宽、2 g-rms振动、100°/s离轴旋转

MEMs Performance	error, as % of distance traveled
Mil-Grade	~0.1%
Industrial	<0.5%
Consumer	>>25%

# 传感器融合 - 优点和注意事项...

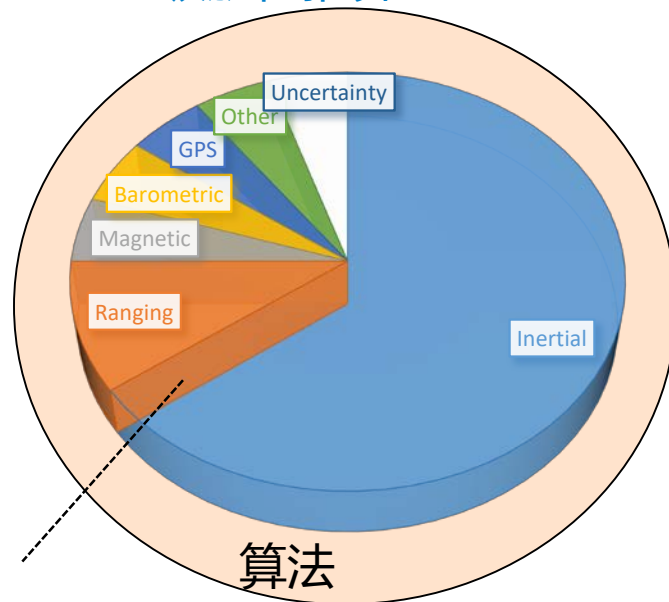
## 传感器融合可以:

- 1) 基于可靠的备用源校正可检测的漂移
- 2) 执行交接, 映射到应用状态

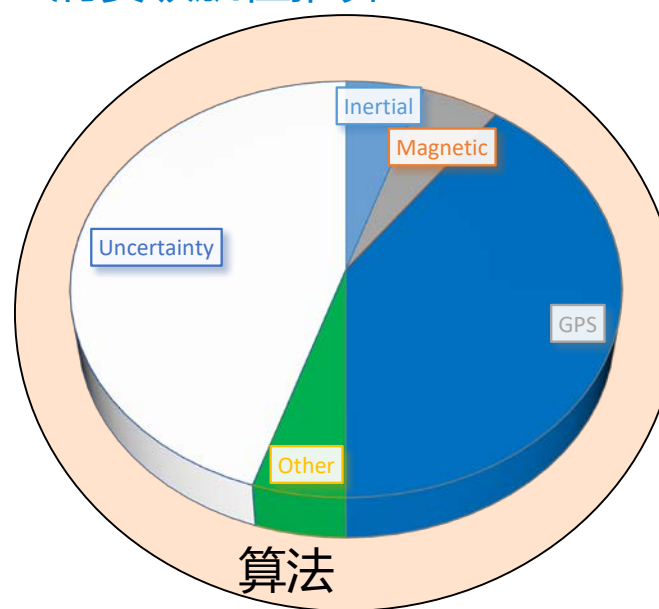
## 传感器融合不能:

- 解决传感器质量低劣问题

### 工业级航位推算



### 消费级航位推算

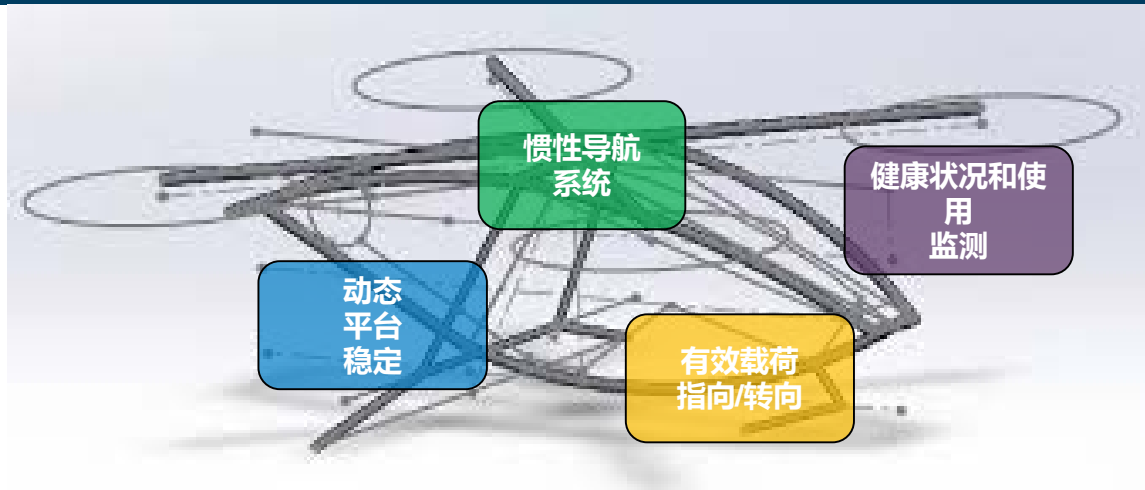


不同部分表示  
“可靠覆盖量”  
与应用状态相关

- 算法/滤波未填补不确定性空白
- 位置的置信度/精度由传感器质量决定

# 应用示例和运动相关性

## 无人机中的运动检测机会



**稳定**

- 最多6自由度
- 抗振
- 低噪声

**导航**

- 最多10自由度
- 抗振
- 低漂移

**指向**

- 最多6自由度
- 抗振
- 高分辨率

**监控系统**

- 最多3自由度
- 振动检测
- 超低噪声、宽范围/带宽

- 信号调理与处理
- 传感器融合
- 可靠性和鲁棒性
  - 认证路径

# 应用示例和运动相关性

## 追踪高价值资产，例如急救员

任务间隔	主要检测	辅助检测	周期	精度
抵达现场	GPS	惯性	---	锁定图
部署	测距/其他	惯性	未知	分米
建筑内部	惯性	随机发射信号	~30 分钟	米
救援	惯性	路径图，其他	分钟	





# 应用示例和运动相关性

## 智能农业、移动工厂...

### 多个互连系统

- 设备管理
- 资源管理
  - 水
  - 种子
  - 化肥
  - 农药
- 田野监控器 (土壤湿度...)
- 气象站
- 航空遥感器
- 地图定位
- 地理参考数据
- 基于“处方”, 或实时可变速率控制
- 主动安全系统



- 通过定位实现
- 具丰富传感器的潜能
- 高连接能力

# 选择正确的传感器

## 当性能、可靠性、耐用性很重要时

运动物联网有望获得快速增长，不仅在消费级应用领域，而且在**新兴高价值应用领域**。

这些新兴机会的市场接受和成长在**性能、安全、可靠性、标准、法规**等方面也存在**风险和挑战**。

能够提供可靠性能而**不会损害系统级尺寸-重量-功耗-成本目标**的技术选择，如今已经存在

### 消费级MEMS

- 性能打折
- 测试/校准/良品率损失导致成本增加
- 复杂封装、振动/热隔离增加成本
- “创口贴”式软件
- 塑料封装的性能在寿命周期中会漂移...
- 器件停产
- 可靠性打折...操作故障



### 工业级MEMS

- ✓ 出众的性能
- ✓ 坚固耐用，立即可应用
- ✓ 稳定性：性能和供货
- ✓ 可靠性：全面的航空电子认证

➤ **系统总体尺寸/重量/功耗/成本较低**

# 可用器件和模块 惯性传感器解决方案 适合高性能应用

## ▶ 低噪声、低漂移、抗振陀螺仪

- ADXRS290, 双轴
- ADXRS646, 单轴
- ADXRS62X、453, 较低性能、成本

## ▶ 低噪声、低漂移加速度计

- ADXL35X, 三轴
- ADXL203, 双轴
- ADXL34X、350: 较低性能、成本

## ▶ 6自由度惯性测量单元

- ADIS1649X、485, 战术级性能
- ADIS1646X/47X, 最佳尺寸/成本
- ADIS16445, 高性价比

## ▶ 10自由度惯性测量单元

- ADIS16448, 高性价比
- ADIS16488, 最高性能

## ▶ 振动/监控系统/冲击传感器

- ADXL100X, 单轴, 超低噪声
- ADIS16228, 三轴, 集成FFT
- ADXL372, 三轴, 高g, 超低噪声/功耗

## ▶ AHRS

- ADIS16480, 航姿和航向输出

## ▶ 倾斜传感器

- ADIS16209, 双轴精密倾斜
- ADIS16210, 三轴精密倾斜

## ▶ 运动激活/监控

- ADXL362, 三轴超低功耗加速度计/“开关”

# ADI IMU的进步强调性能提升，同时因应新兴工业应用的集成度和性价比要求

## ADI IMU产品组合

高性能



- ▶ 最佳性价比
- ▶ 颠覆传统军用解决方案

紧凑、高性能



- ▶ 比消费级IMU  
性能高出一个数量级
- ▶ 工业IMU市场份额第一



## 更多产品即将推出

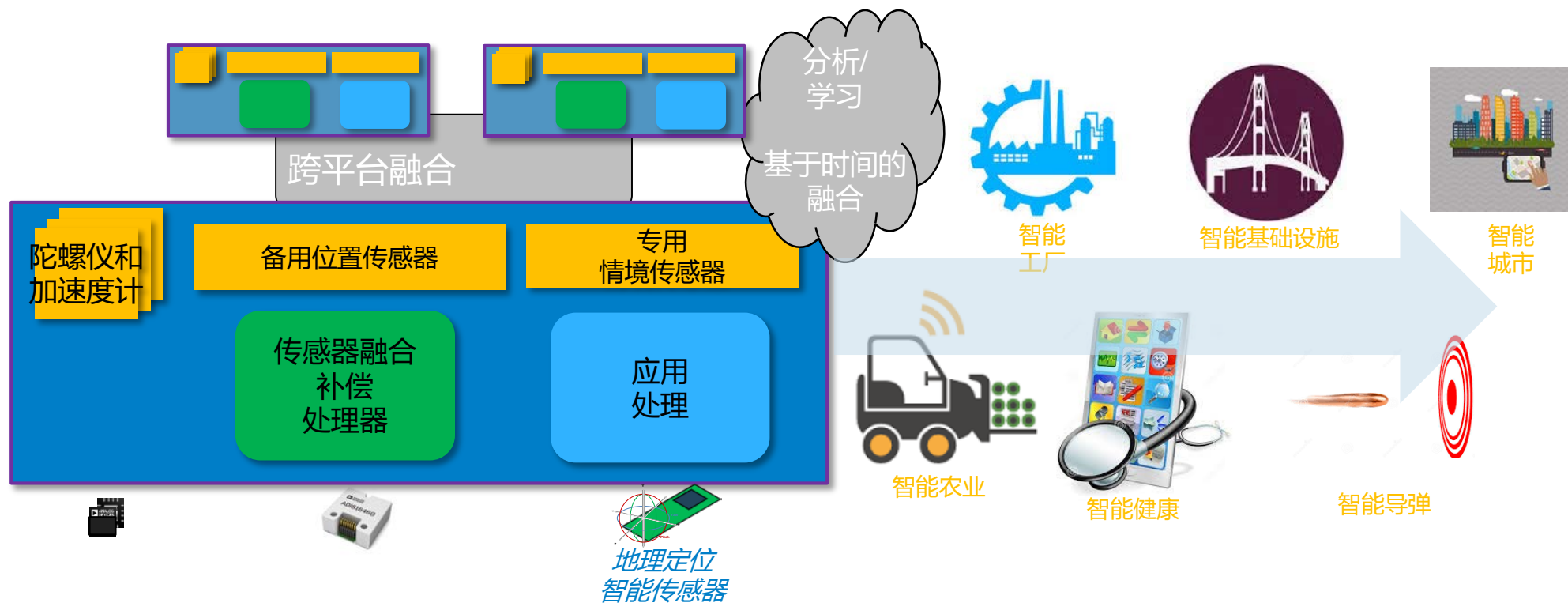


- ▶ 5倍性能提升
- ▶ 接口兼容



- ▶ 尺寸显著小于上一代产品
- ▶ 性能提升10倍
- ▶ 多种装配/接口选项

# IoMT 需要独特的解决方案



- 位置感知的工业智能检测促进自主机器的增长和价值提升
- 通过高质量、高精度的传感器数据实现有挑战性的系统目标
- 精密传感器推动智能集成以及在边缘节点获得可付诸行动的信息

# 谢谢观看!

- ▶ ADI中国地区技术支持热线：4006 100 006
- ▶ ADI中国地区技术支持信箱：  
[china.support@analog.com](mailto:china.support@analog.com)
- ▶ ADI样片申请网址：  
<http://www.analog.com/zh/sample>





超越一切可能™

