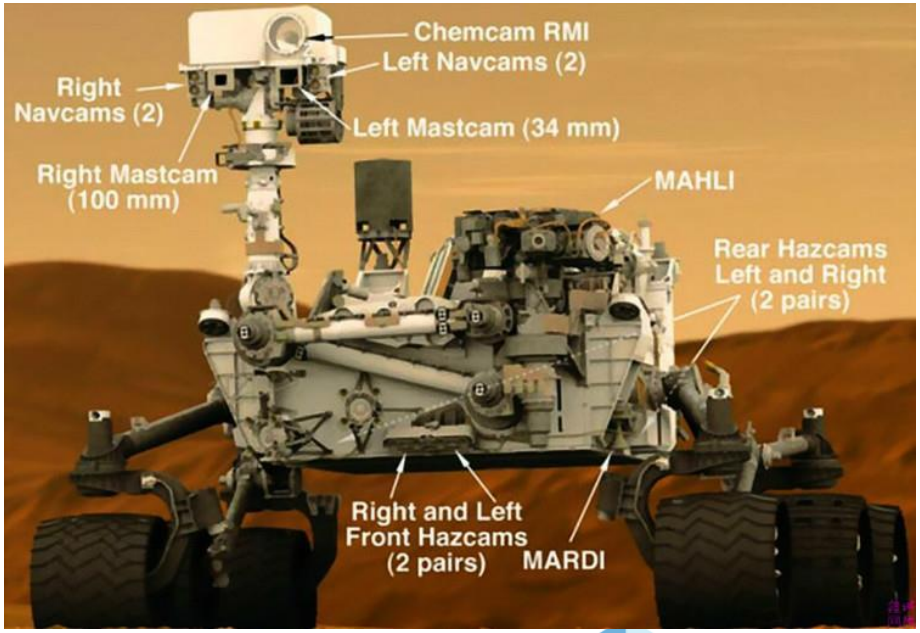
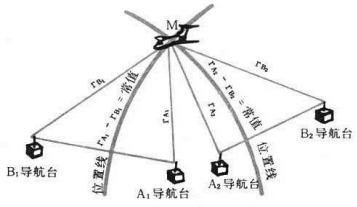
速感科技
QFEELTECH

# 机器人视觉惯性组合导航系统
## Robotic Visual Inertial Navigation

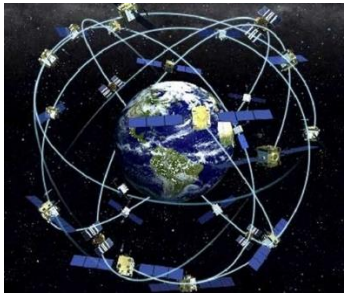
速感科技（北京）有限公司
张一茗

# 机器人位置环境的导航始终是个没能完全解决的问题



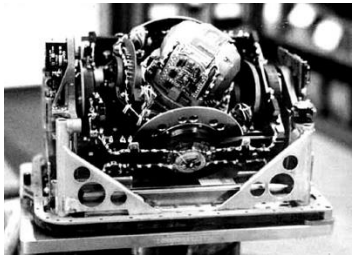




无线电导航



卫星导航

视觉导航



惯性导航

# 发展前景

摄像无人机

服务机器人

陪伴机器人

公共安全
无人机

各种各样的机器人
正在融入我们的生活

养老机器人

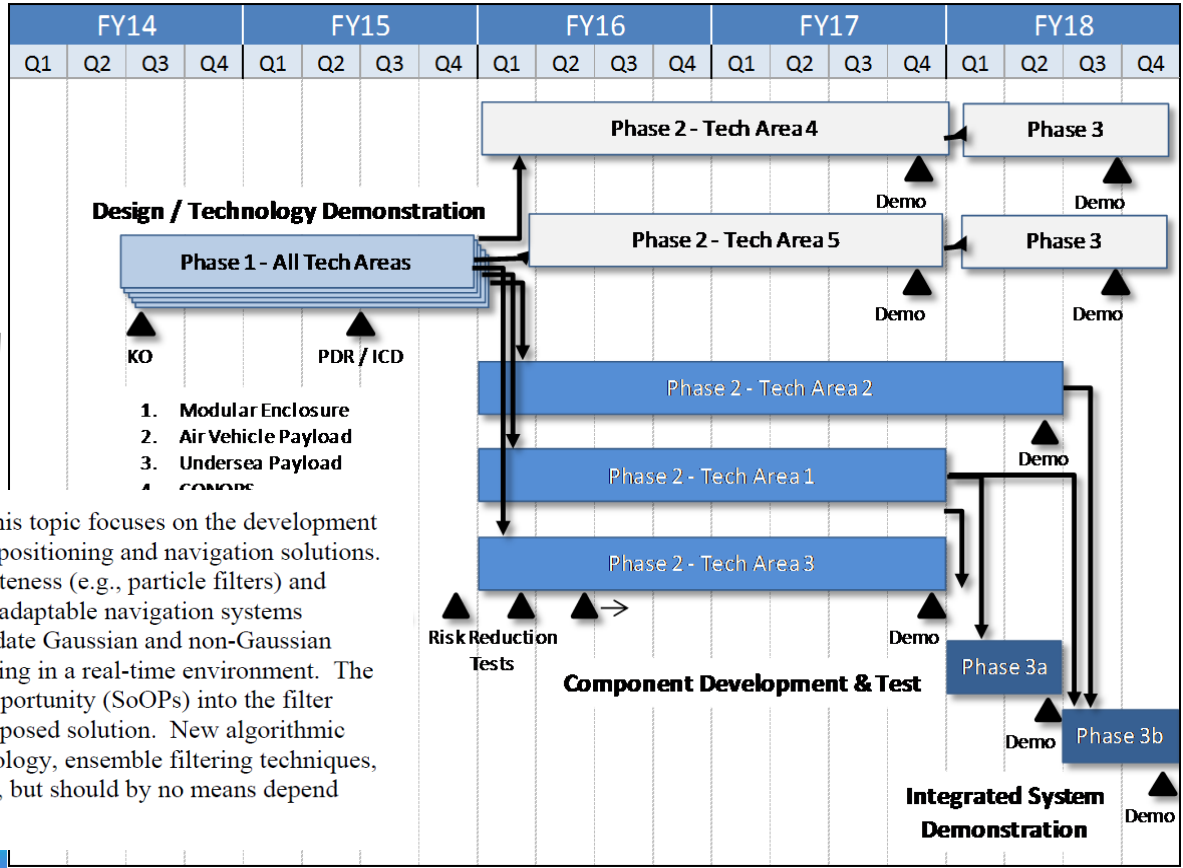
农业无人机

清洁机器人

快递无人机

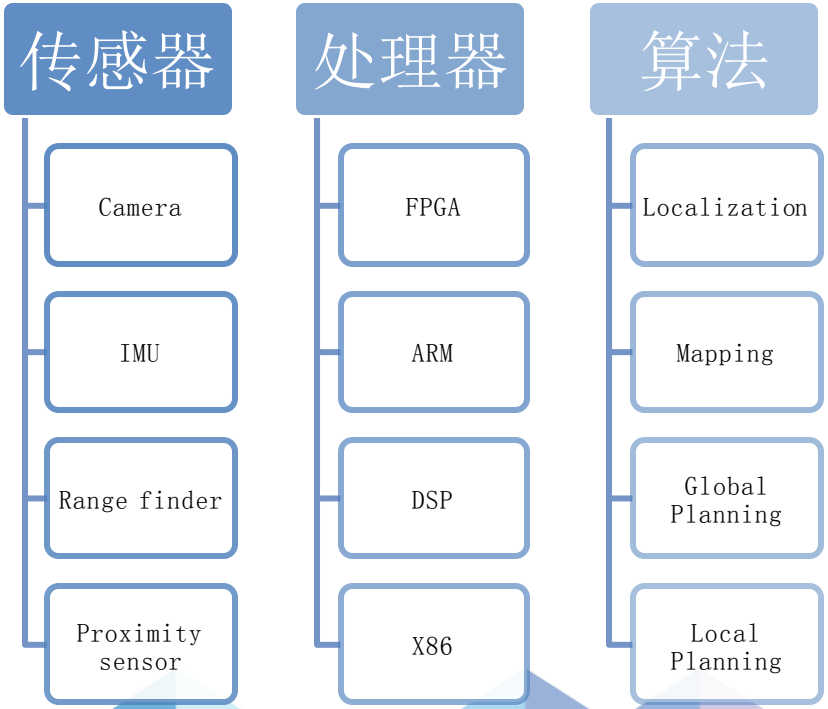
# 发展前景


2013年9月，DARPA启动了项目代号为HYDRA的项目，一个核心技术领域就是基于视觉惯性的单兵无源导航

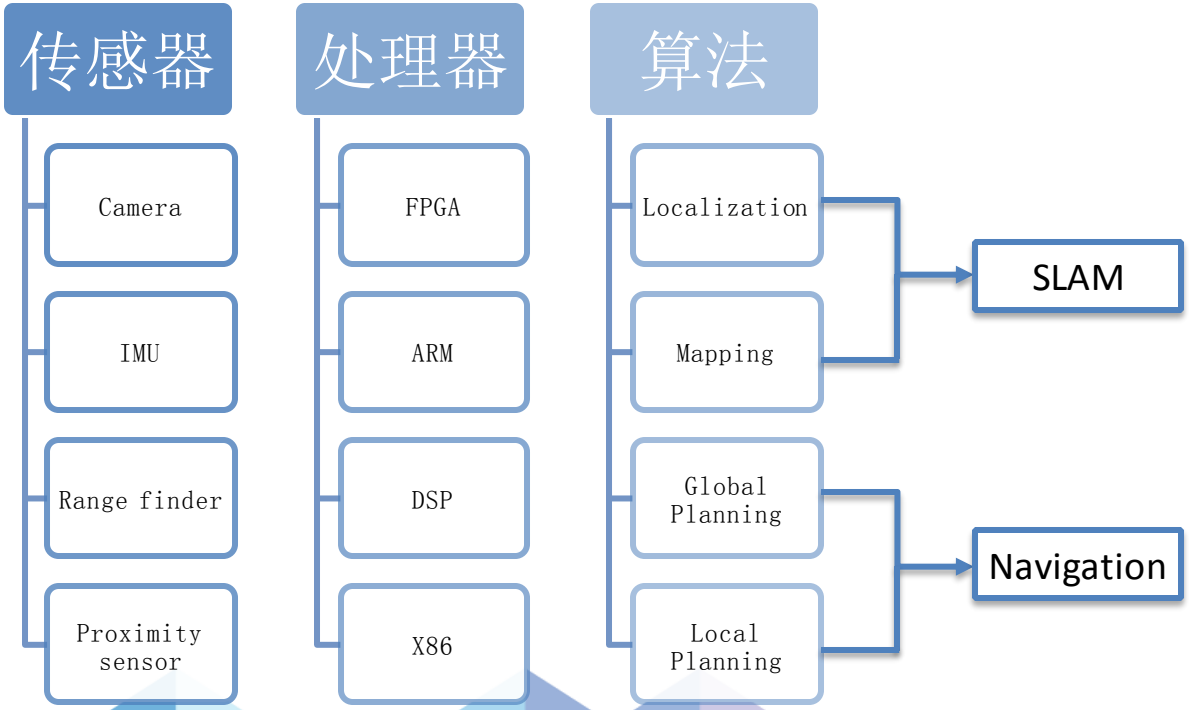



Technical Area Two: Real-Time Navigation Algorithms. This topic focuses on the development and maturation of ASPN navigation filtering algorithms for positioning and navigation solutions. Traditional navigation filters force a choice between completeness (e.g., particle filters) and efficiency (e.g., Kalman filters). The shift to all-source and adaptable navigation systems requires new filtering approaches that can readily accommodate Gaussian and non-Gaussian statistics and linear and non-linear models, while still operating in a real-time environment. The ability to rapidly incorporate novel sensors and signals of opportunity (SoOPs) into the filter solution as these become available will be critical to any proposed solution. New algorithmic solutions may benefit from recent advances in algebraic topology, ensemble filtering techniques, or simultaneous localization and mapping (SLAM) methods, but should by no means depend upon them.

# 机器人定位导航系统构成

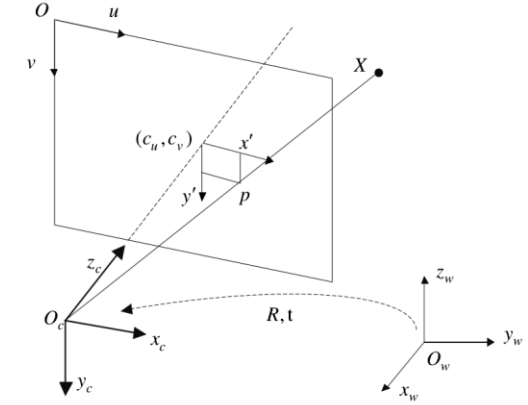


# 机器人定位导航系统构成

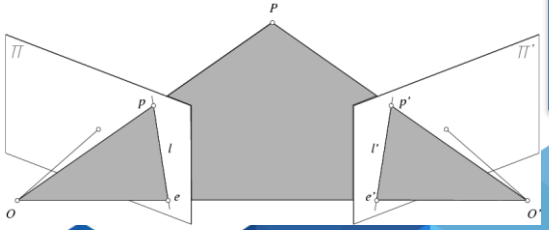


# 视觉传感器的发展现状

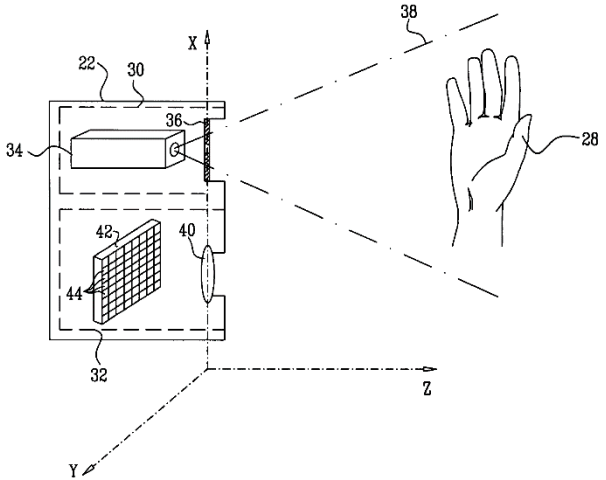
## 传统面阵相机



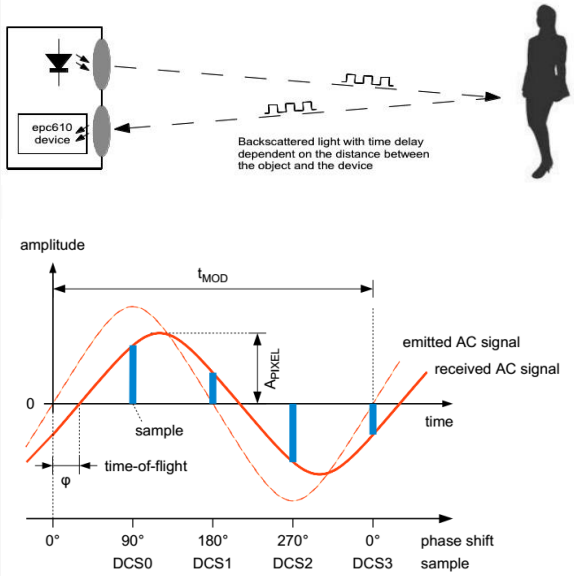

## 多目被动式相机




## 主动结构光相机




## 固态雷达相机(ToF)

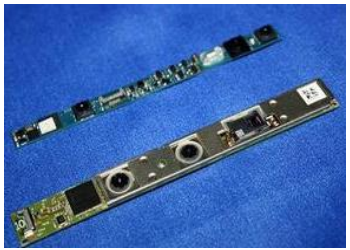


# 视觉传感器的发展现状

## 传统面阵相机/多目被动式相机



## 主动结构光相机



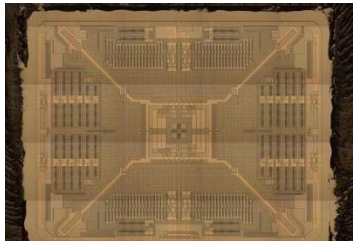

## 固态雷达相机(ToF)

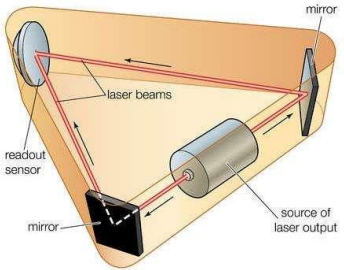
# 惯性传感器现状

## 角速率陀螺

机械转子式
三浮陀螺
挠性陀螺

MEMS硅陀螺
半球谐振陀螺
光纤陀螺
激光陀螺
静电陀螺
原子陀螺





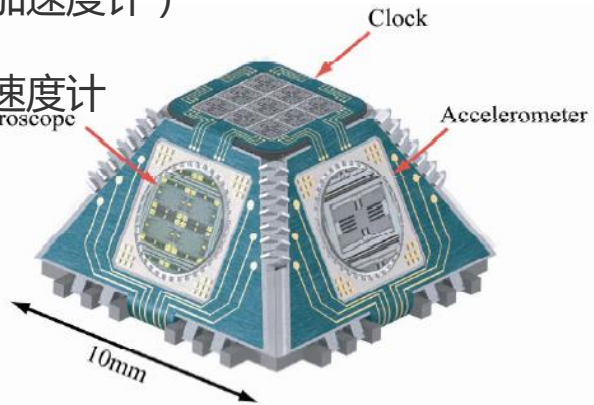

## 线加速度计

机械式线加速度计

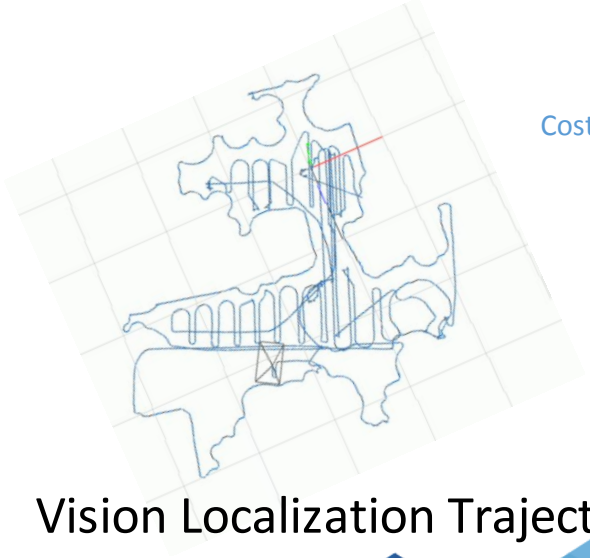
挠性线加速度计

MEMS硅、石英线加速度计（含压阻、压电线加速度计）

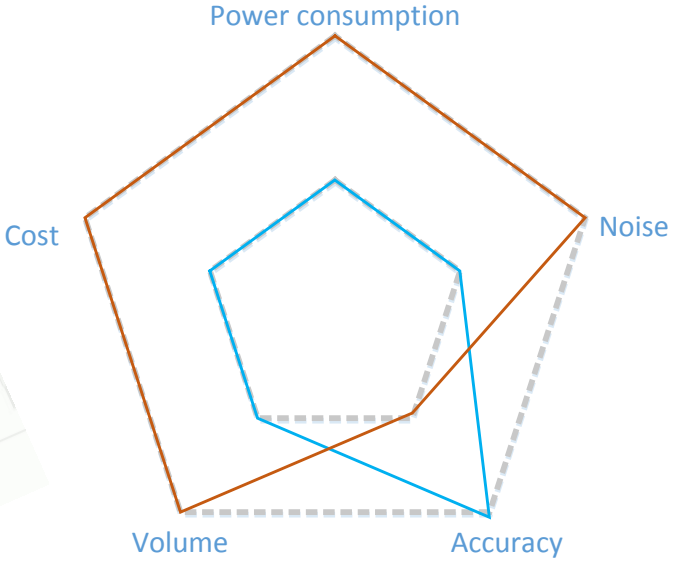
石英挠性线加速度计

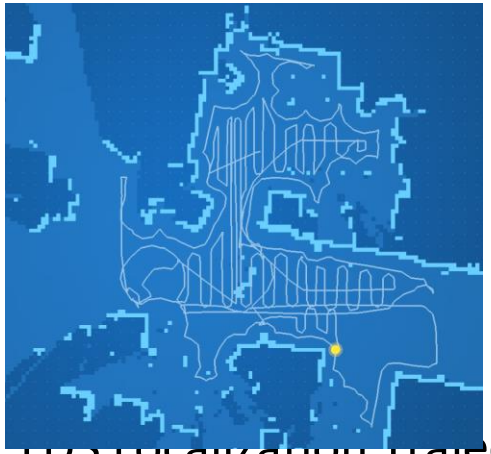


# 视觉惯性组合的优势



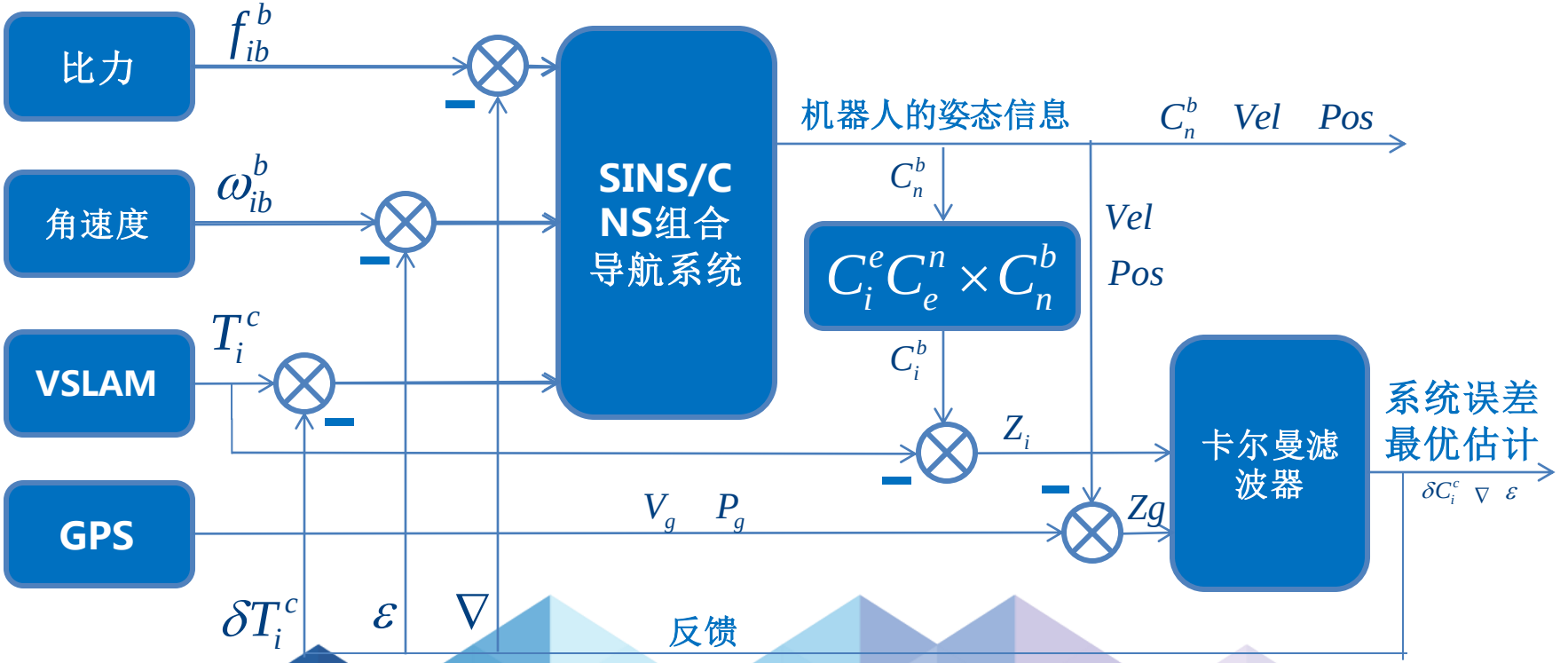
Vision Localization Trajectory



LDS Localization Trajectory

# 视觉|惯性|卫星组合松耦合方案



# 状态方程建立

$$\boldsymbol{x} = [\boldsymbol{\phi}^T \quad \delta \boldsymbol{V}^{nT} \quad \delta L \quad \delta\lambda \quad \delta h \quad \boldsymbol{\varepsilon}^{bT} \quad \nabla^{bT} \quad \boldsymbol{\theta}^{bT}]^T$$

$$\dot{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{F}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{G}\boldsymbol{w}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \delta\dot{V}^n \\ \delta\dot{L} \\ \delta\dot{\lambda} \\ \delta\dot{h} \\ \dot{\varepsilon} \\ \dot{\nabla} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_N & F_S & C_b^n & 0_{3\times3} & 0_{3\times3} \\ 0 & F_M & 0_{3\times3} & C_b^n & 0_{3\times3} \\ 0_{3\times3} & 0_{3\times3} & 0_{3\times3} & 0_{3\times3} & 0_{3\times3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi \\ \delta V^n \\ \delta L \\ \delta\lambda \\ \delta h \\ \varepsilon \\ \nabla \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$F_N = \begin{bmatrix} -(\omega_{ie}^n + \omega_{en}^n)\times\phi + \delta\omega_{en}^n - \varepsilon^n \\ -\phi\times f^n - (2\omega_{ie}^n + \omega_{en}^n)\times\delta V^n - (2\delta\omega_{ie}^n + \delta\omega_{en}^n)\times V^n + \nabla^n \\ \delta V_N/(R_M+h) - \delta h\cdot V_N/(R_M+h)^2 \\ \dfrac{\delta V_E\cdot\sec L}{R_N+h} + \dfrac{\delta L\cdot\tan L\cdot\sec L\cdot V_E}{R_N+h} + \dfrac{\delta L\cdot V_E\sec L}{(R_N+h)^2} \\ 0_{3\times3} \end{bmatrix}$$

$$F_S = \begin{bmatrix} 0_{3\times3} & \delta V C_b^n \\ 0_{3\times3} & 0_{3\times3} \\ 0_{3\times3} & 0_{3\times3} \end{bmatrix} \qquad F_M = 0_{9\times9}$$

安装失准角

加速度计零偏

陀螺漂移

位置误差

速度误差

姿态失准角

# 量测方程设计

VSLAM输出：$\tilde{C}_i^b = C_c^{b'}(C_i^c + v_c) = C_b^{b'}\tilde{C}_i^c = C_b^{b'}C_c^b(C_i^c + v_c) \approx (I_{3\times3} - [\boldsymbol{\theta}^b])C_i^b + v$

惯导系统输出：$\hat{C}_i^b = \hat{C}_n^b\hat{C}_e^nC_i^e = C_n^b(I + [\boldsymbol{\phi}]) \cdot (I - [\delta\boldsymbol{P}])C_e^n \cdot C_i^e$

做差

姿态阵误差：$\boldsymbol{z}_{3\times3} = \hat{C}_i^b - \tilde{C}_i^b = C_n^b[\boldsymbol{\phi}]C_e^nC_i^e - C_n^b[\delta\boldsymbol{P}]C_e^nC_i^e + [\boldsymbol{\theta}]C_n^bC_e^nC_i^e + v$

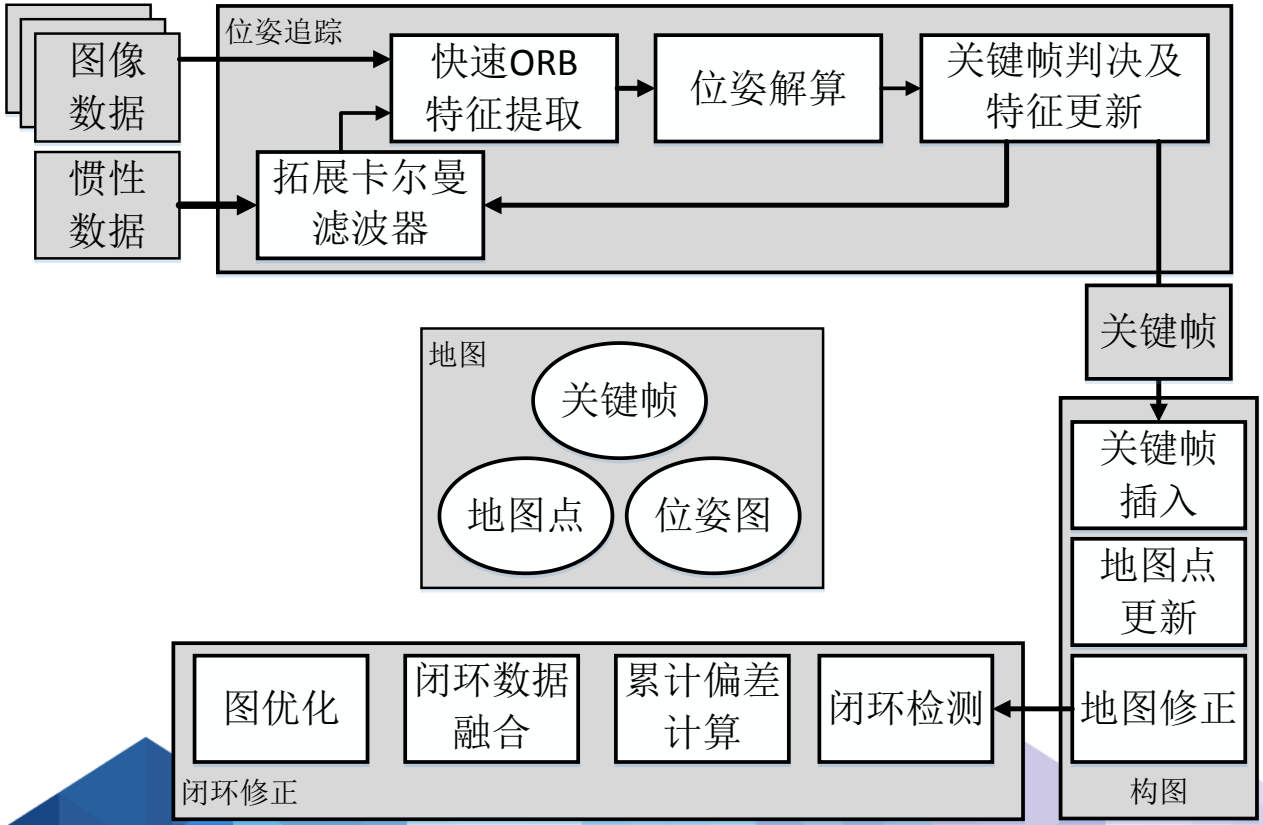
$\boldsymbol{z}_V = \mathrm{V} - \boldsymbol{V}_\mathrm{G}$

$\boldsymbol{z}_P = \mathrm{P} - \boldsymbol{P}_G$

$$\boldsymbol{z} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{z}_{3\times3} \\ \boldsymbol{z}_V \\ \boldsymbol{z}_P \end{bmatrix}^T, \quad \boldsymbol{H}_{(15\times18)} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{\boldsymbol{c}(9\times18)} \\ \boldsymbol{H}_{V(3\times18)} \\ \boldsymbol{H}_{P(3\times18)} \end{bmatrix}$$

$\boldsymbol{z} = \boldsymbol{H}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{v}$

# 惯性视觉紧耦合方案


图像数据
惯性数据
位姿追踪
快速ORB特征提取
位姿解算
关键帧判决及特征更新
拓展卡尔曼滤波器
关键帧
地图
关键帧
地图点
位姿图
关键帧插入
地图点更新
地图修正
构图
图优化
闭环数据融合
累计偏差计算
闭环检测
闭环修正

# 视觉处理器发展现状

## 通用处理器

- ARM
- Xilinx、 Altera
- ADSP、 TI C6000s、 CEVA
- X86 platform

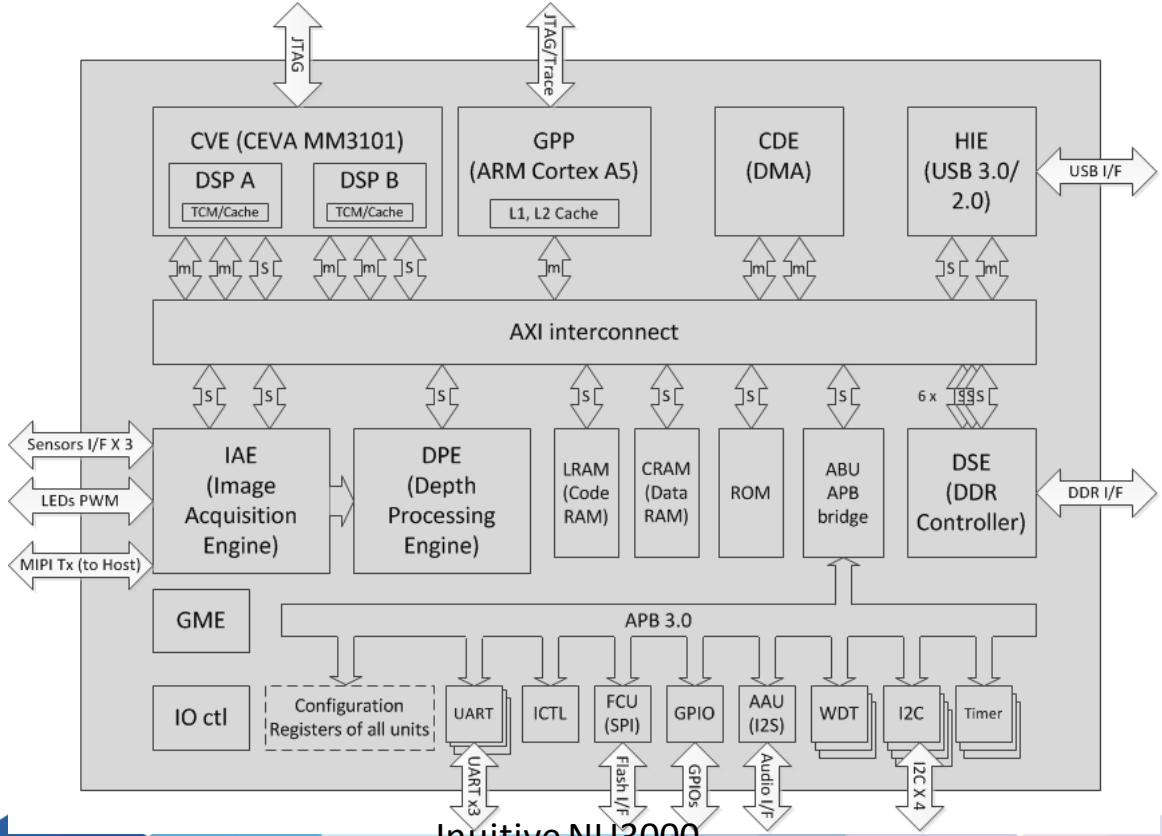
## 片上系统（SoC）

- Qualcomm 820、 RK3288
- Hisilicon
- Ambarella
- Novatec
- Xilinx ZYNQ series
- …

## 定制处理器

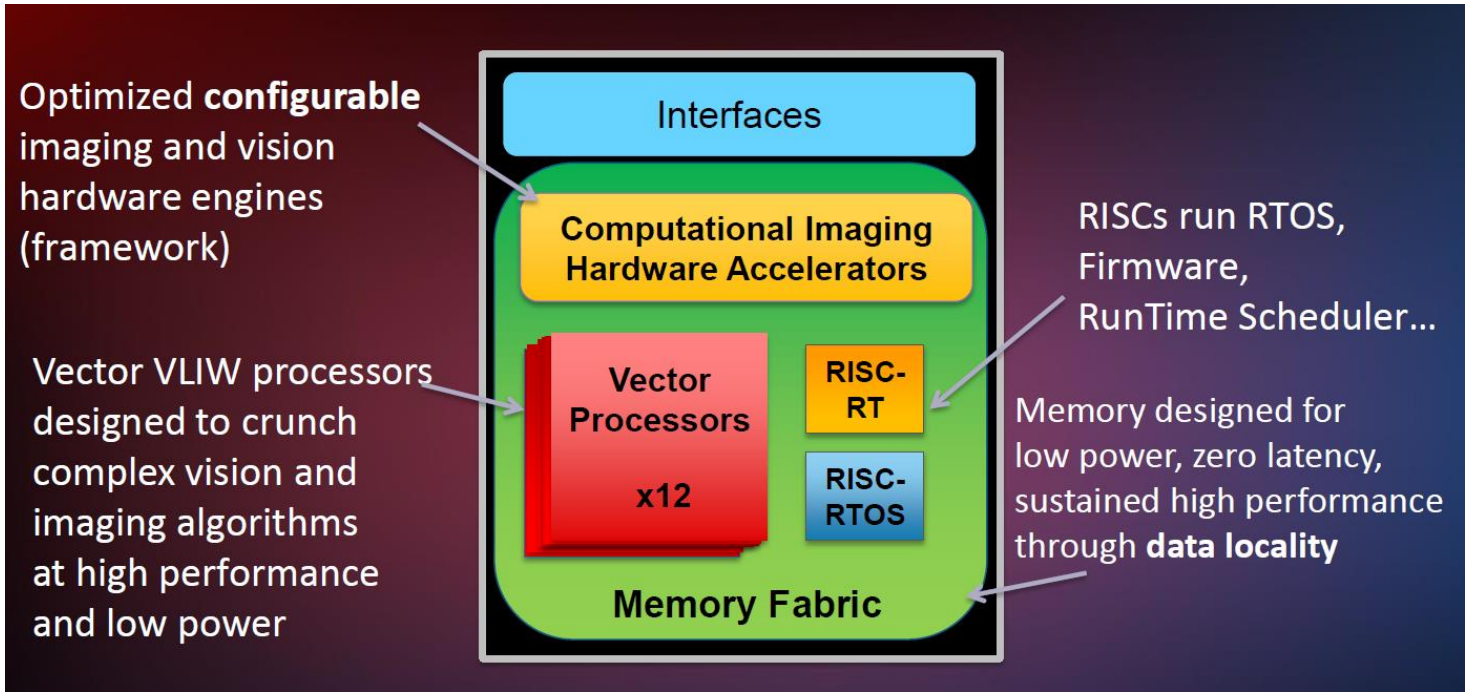
- PS1080 series
- Tensilica（Hololens HPU）
- Movidius
- …

# 例举两种视觉导航的处理器架构




Inuitive NU3000

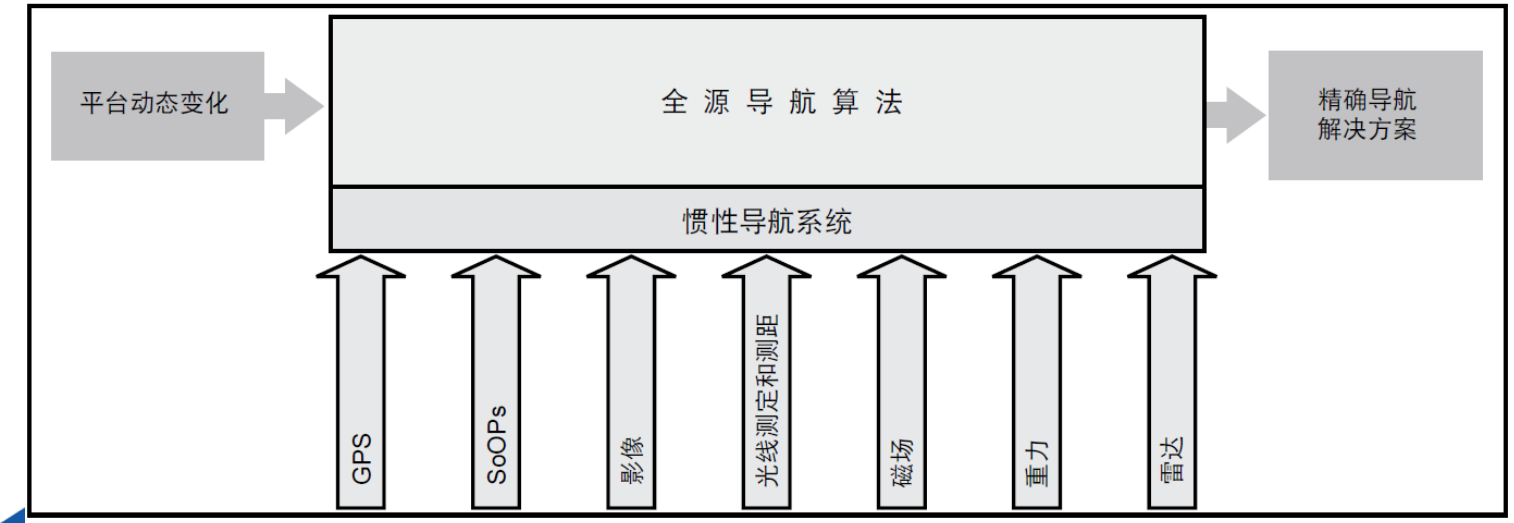
# 例举两种视觉导航的处理器架构




Movidius

# 机器人视觉定位导航机制

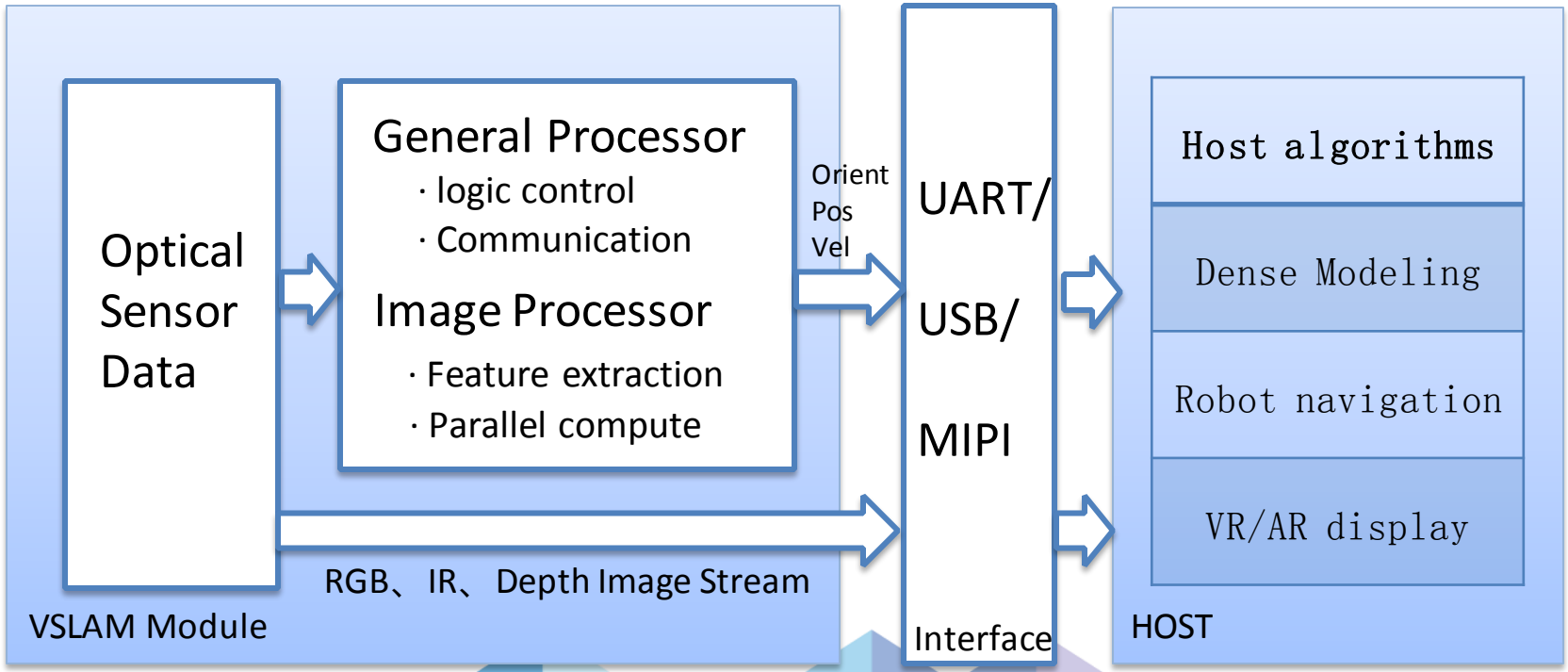
- 基于视觉的定位定姿可以称为视觉里程计VO
- VO加上闭环检测、全局优化机制可以演化为Visual SLAM
- 通过与不同原理的位置姿态传感器融合，提高组合精度



# 机器人深度摄像头发展趋势

- 小型化
  - Pixel尺寸越来越小；随着DOE、 Vscel、 MEMS微镜等技术的引入，大大缩小了视觉系统的体积
- 模块化
  - 机器人视觉导航系统功能越来越明确，通用性的接口逐步形成
- 前端化
  - 专用处理器越来越成熟，CPU Offloading的需求越来越明显，视觉导航算法逐渐往前端计算平台靠拢，核心处理器越来越偏向于交互

# CPU Offloading



# THANKS

张一茗 首席技术官 CTO

扫描二维码了解速感科技

让机器人认识世界，用机器人改变世界

http://www.qfeeltech.com

QFEELTECH

一家以［机器视觉］为核心的人工智能公司