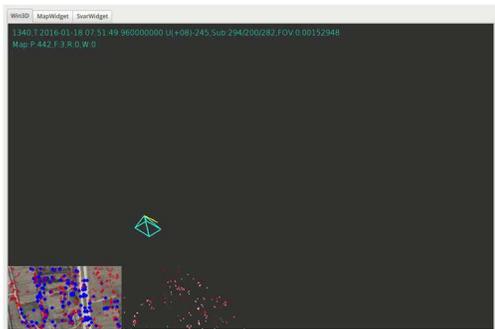




# 基于视觉SLAM的实时地图

西北工业大学 – 布树辉

[www.adv-ci.com](http://www.adv-ci.com)





# 西北工业大学？



西北工业大学重点研究**航空、航天、航海**等方面的科学与技术



# 内容

---

- 研究背景
- 实时地图系统 ( RTMapper )
  - ◆ 无人机/机器人
  - ◆ G-SLAM
  - ◆ 地图生成
  - ◆ 数据处理
- 展望未来



# 无人机

- 体积小、造价低
- 无人化
- 使用方便、对作战环境要求低
- 战场生存能力较强

- 航拍，侦察
- 打击
- 空中平台（中继等）
- 通航



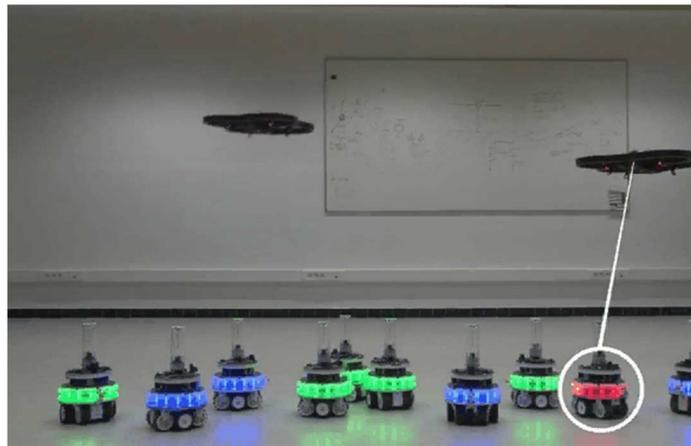


# 无人机 - 自主飞行

遥控为主

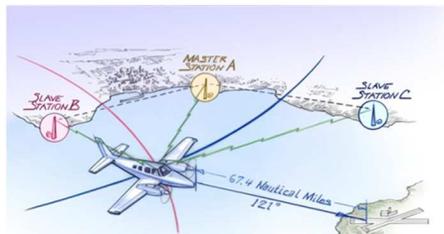
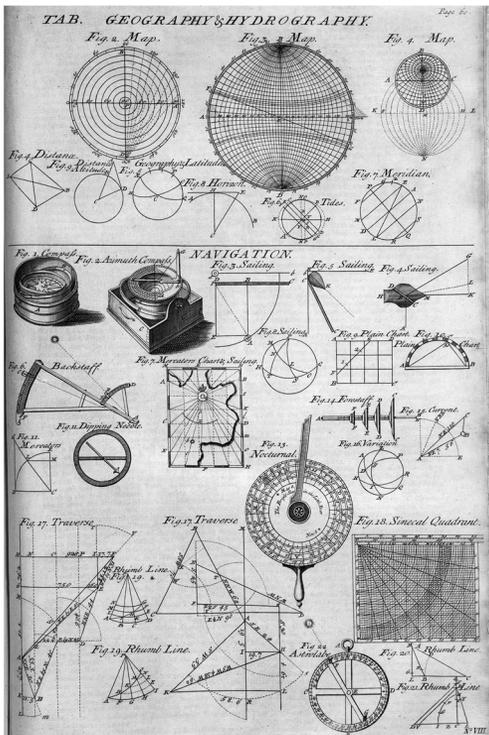
工作负荷大  
专业训练  
无法控制集群

自主能力

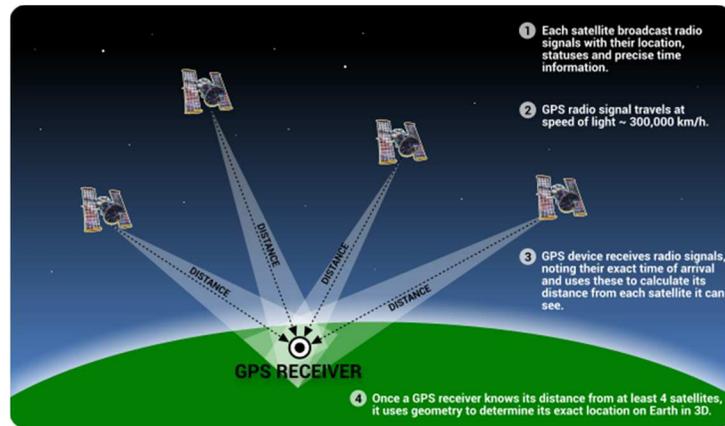
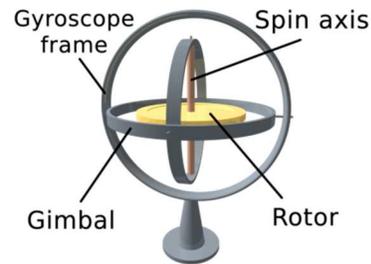
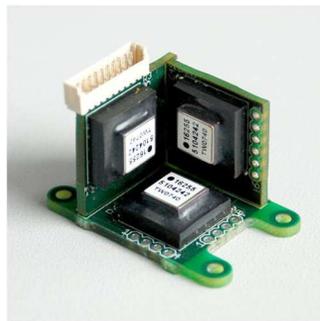




# 传统导航方法？

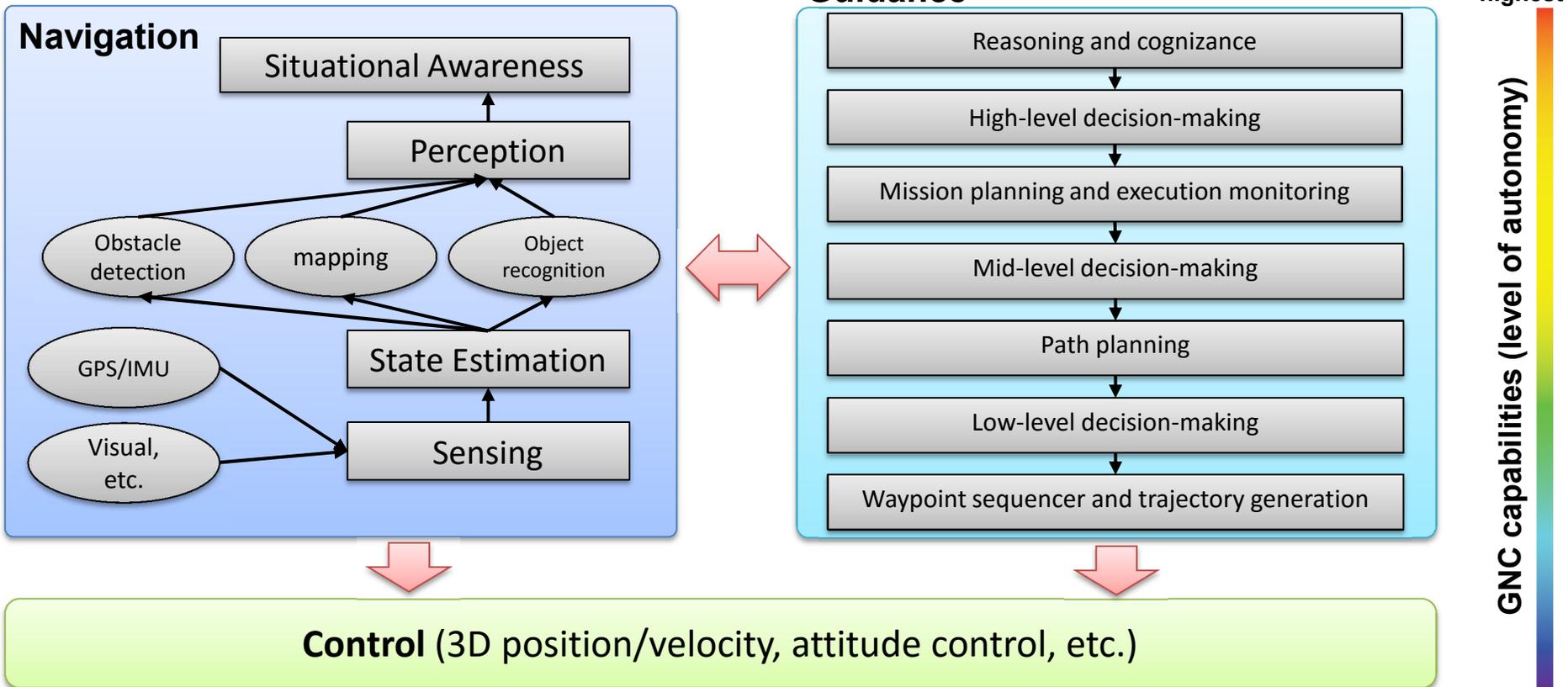


A microprocessor allows navigation to specific fixes or routes





# 导航、制导体系架构





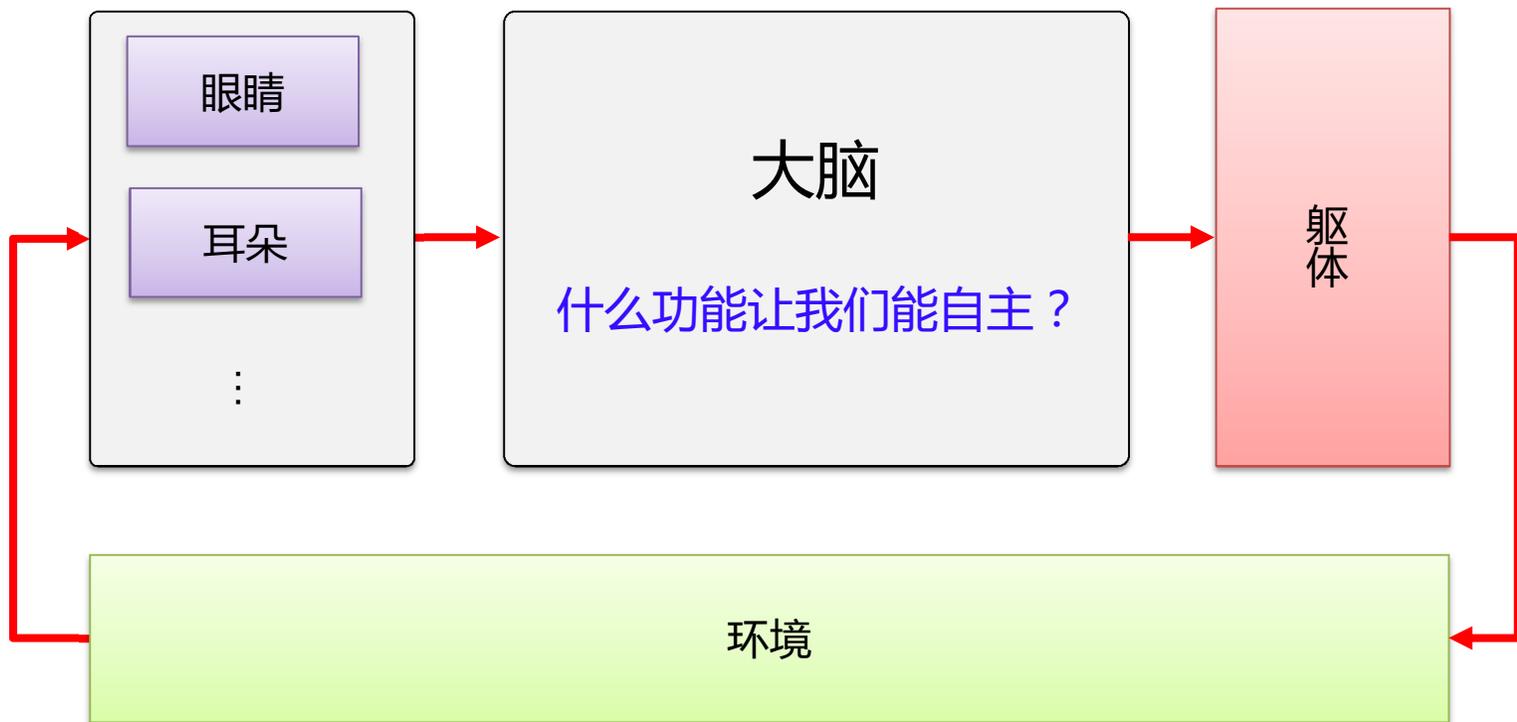
# 不忘初心 - 我们为什么做SLAM与实时地图？



我们的梦想是做全自主的飞行器、机器人

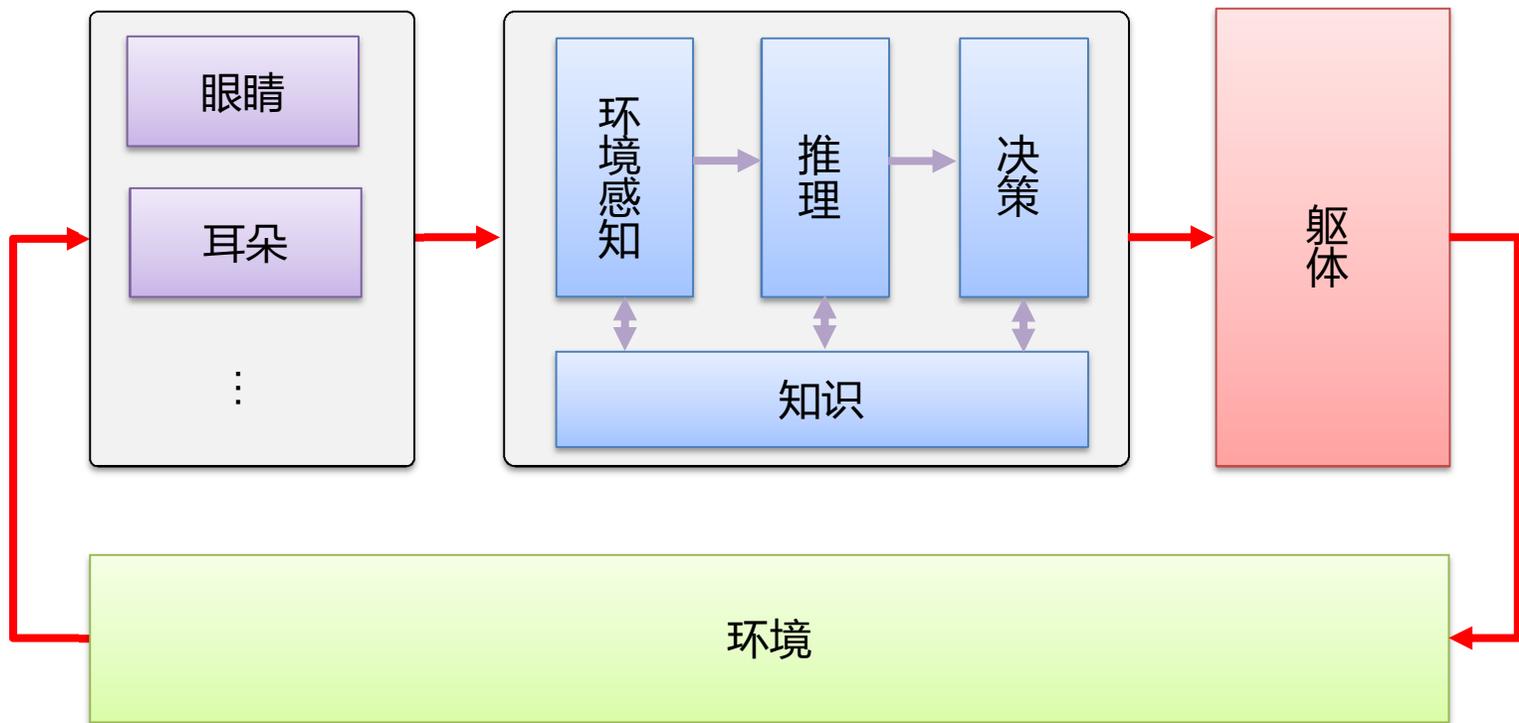


# 如何实现自主？



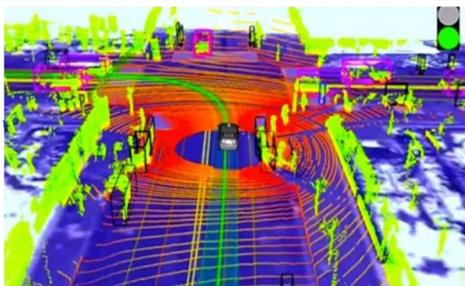


# 如何实现自主？

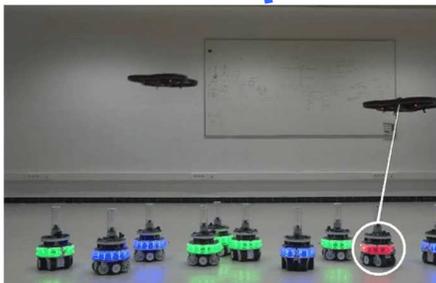




# 未来？ 已经到来！

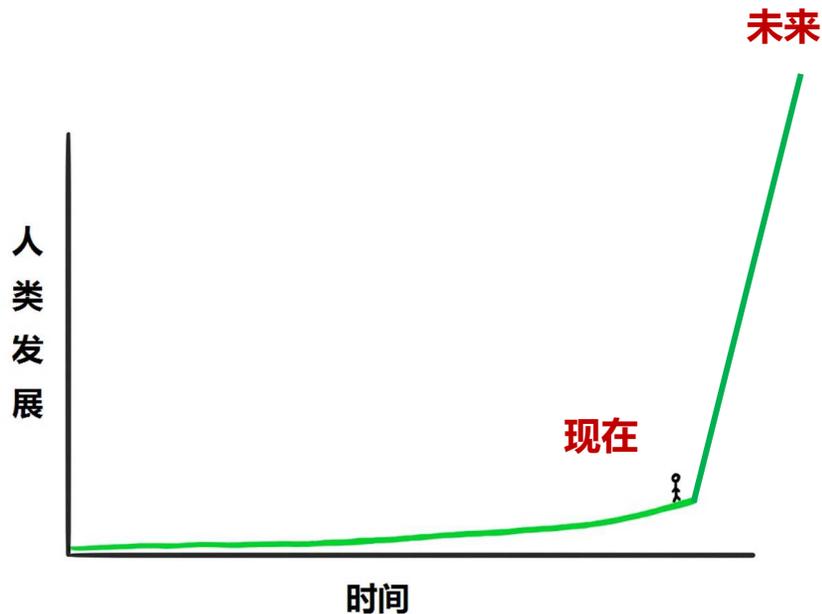


## 人工智能





# 人工智能时代的机遇





# 人工智能时代的挑战

人工智能

环境感知

SLAM

场景理解

推理

决策

知识

**多数据源**

图像  
LiDAR  
红外  
多光谱, 高光谱  
IMU  
MAP

**实时, 低延时**

**复杂环境**

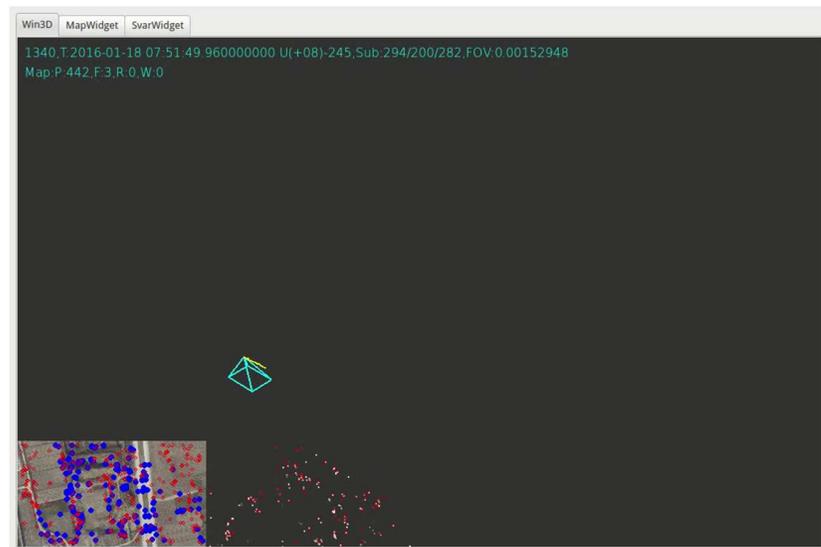
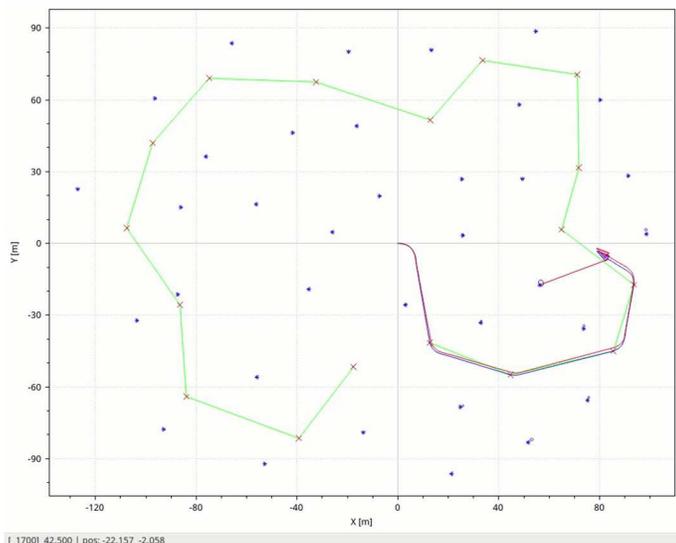
电磁环境, 气象环境

- 环境感知的效能与人相比, 差距很大
- SLAM系统主要依赖几何计算、认知层面的能力较弱
- SLAM的鲁棒性、可靠性还未达到实用化程度
- 环境感知的结果如何存储、访问
- 多智能体、动态环境的环境感知有待研究、开发



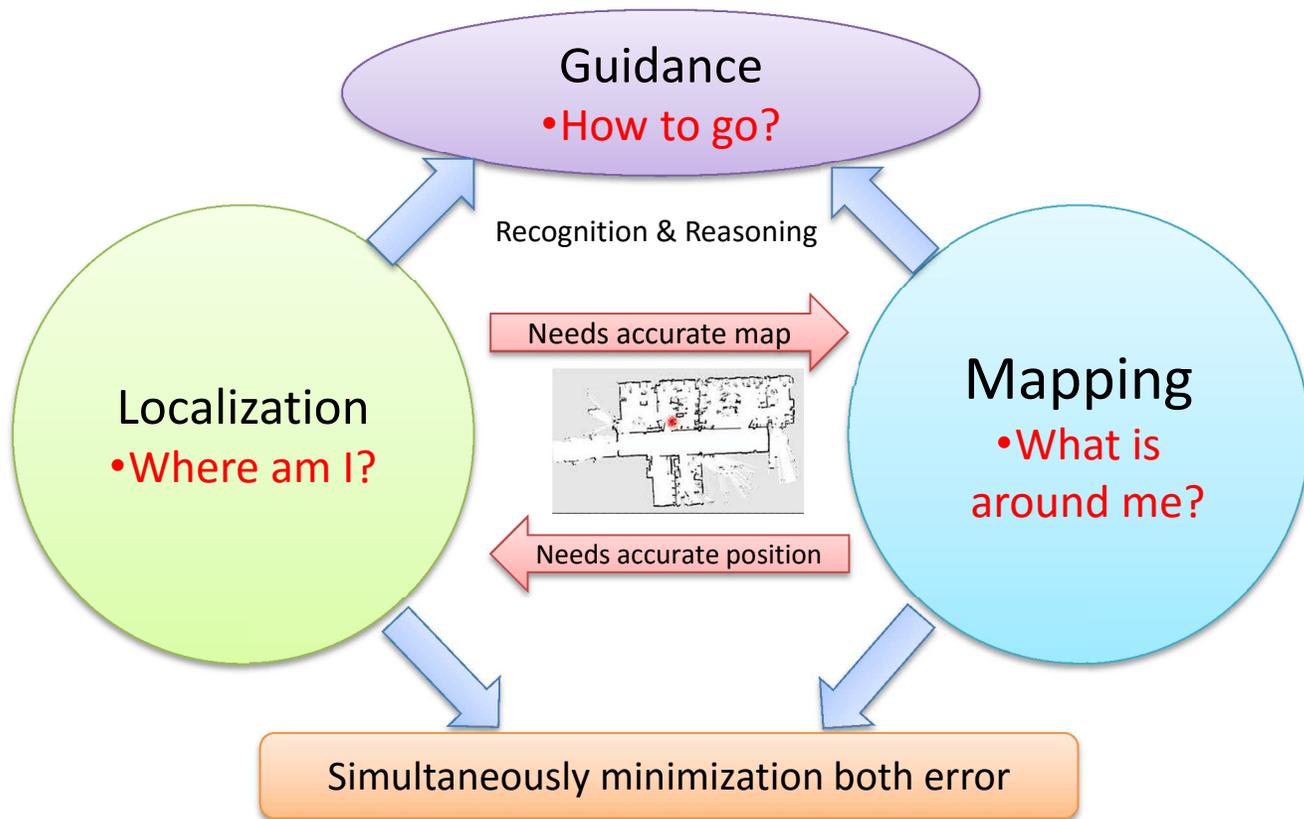
# SLAM ?

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), 即时定位与地图构建，最早由美国著名学者Smith于1988年提出，它是解决机器人视觉的关键核心技术，**被很多学者认为是实现真正全自主移动机器人的关键**。由于早期SLAM算法设计的局限性，以及传感器技术、计算机处理能力的限制，未能广泛应用。



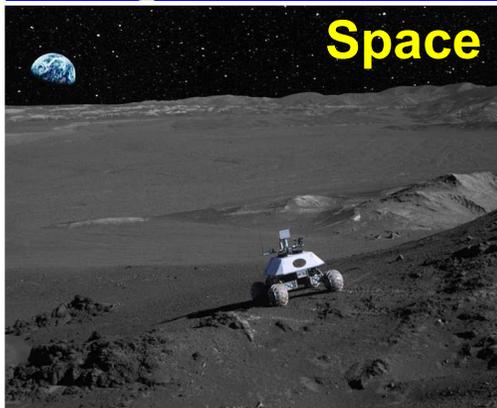
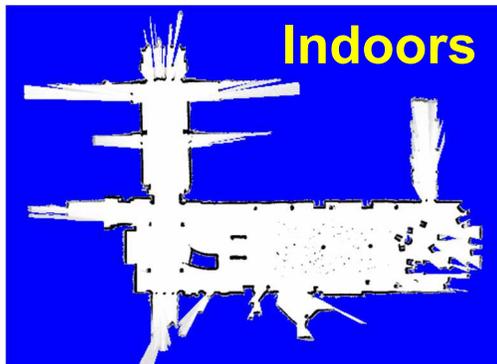


# SLAM – 自主导航





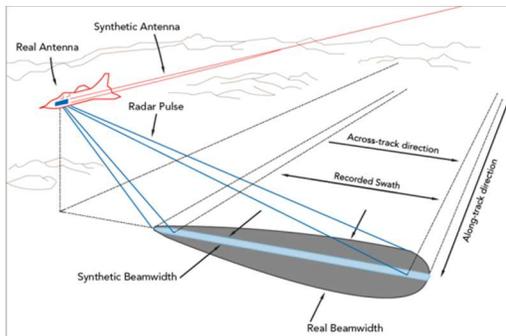
# SLAM – 广阔的应用领域



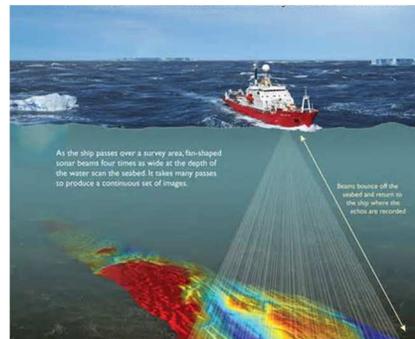
AR



# SLAM – 传感器



SAR



SONAR



LiDAR



Camera



# SLAM – 视觉? 激光?

- 低成本
- cm ~ km 范围
- 丰富的信息
- 精度相对低
- 与人类类似的感知
- 视觉SLAM难度高 ( 门槛高 )
- 应用前景广泛

- 高成本
- cm ~ m 范围
- 只有距离信息
- 精度高
- 超人类的感知
- 激光SLAM难度低 ( 门槛低 )
- 应用范围受限



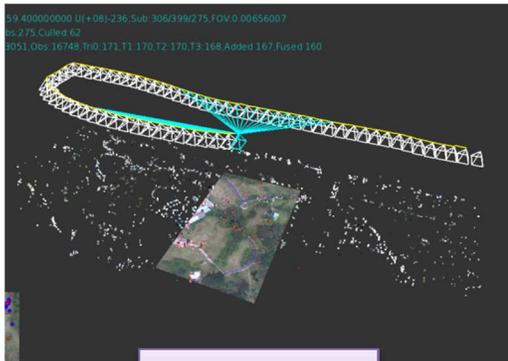
视觉



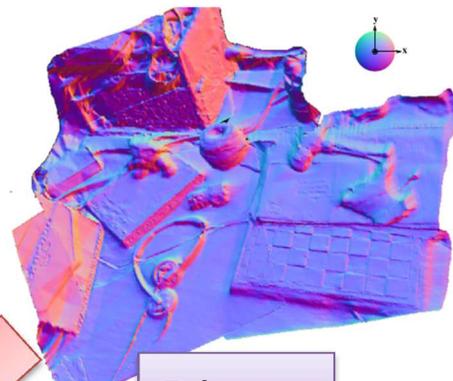
激光



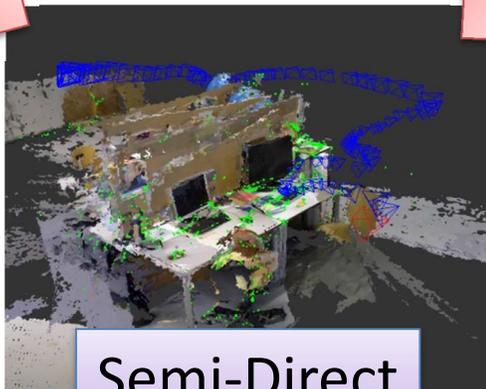
# 视觉SLAM – 基本分类



Feature



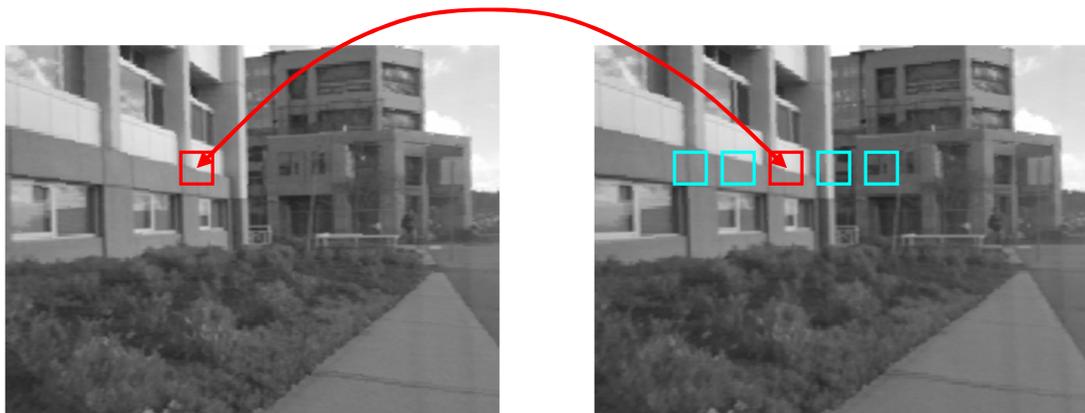
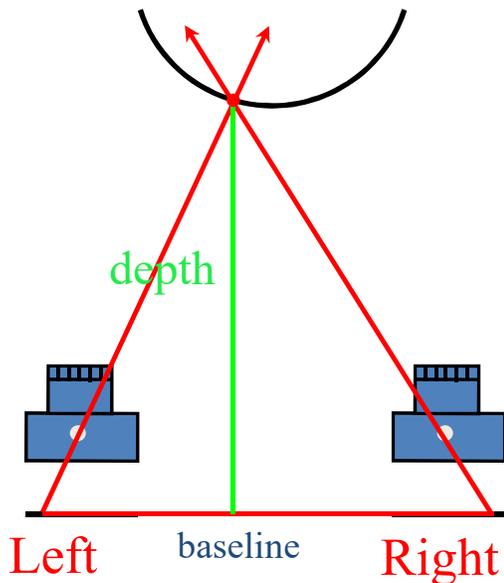
Direct



Semi-Direct



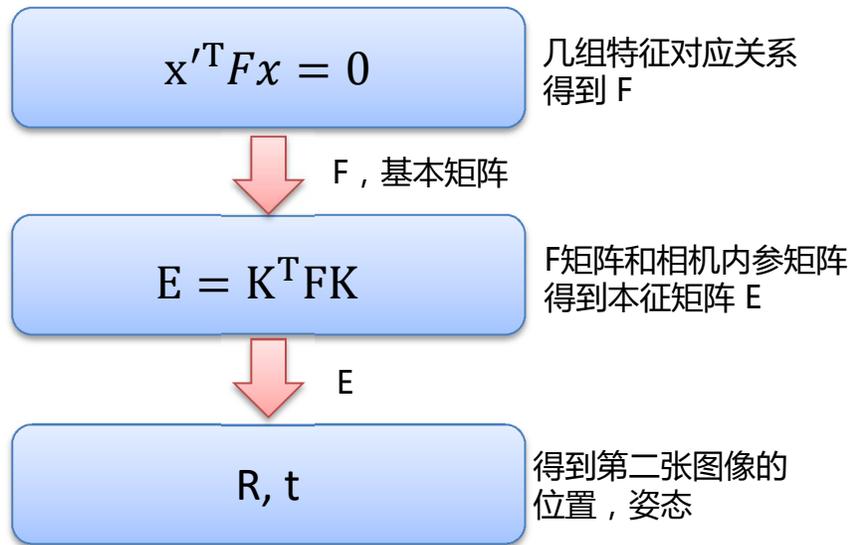
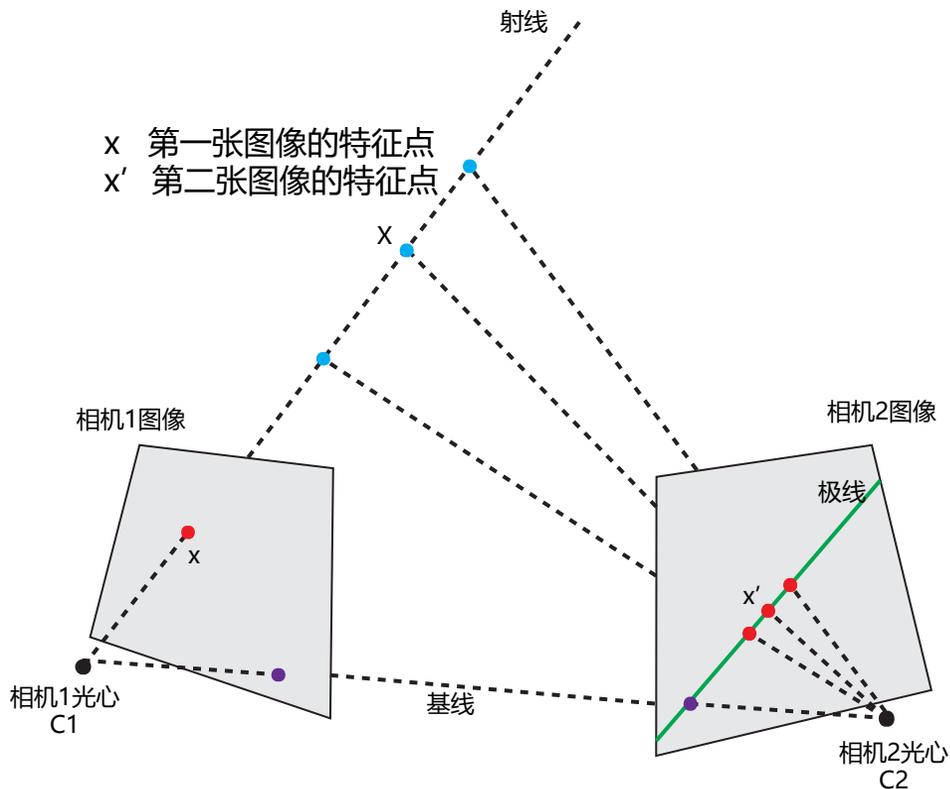
# 视觉SLAM – 基本原理



通过三角化两张图像上对应的点，能够恢复物体点到相机的相对深度值



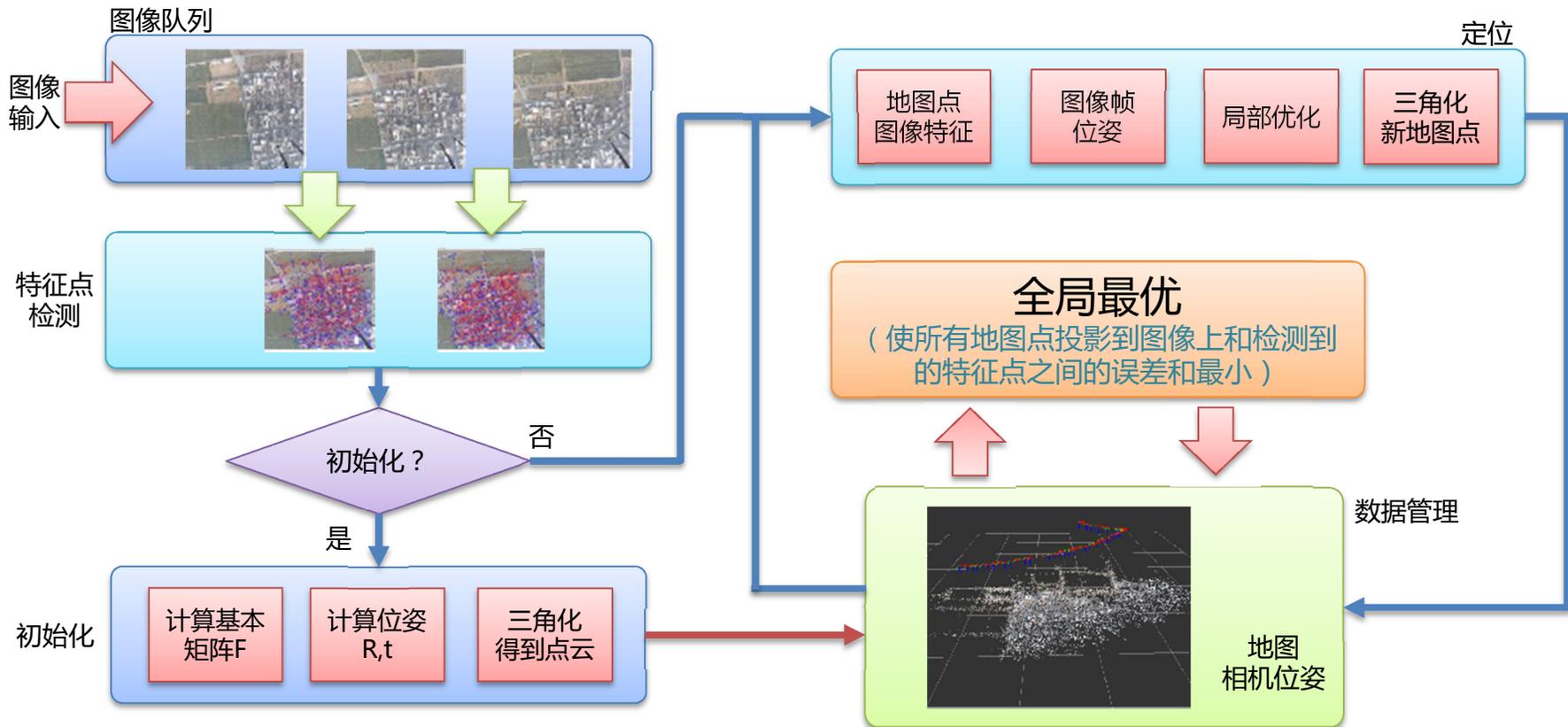
# 视觉SLAM – 如何计算相机的位置和姿态



假设第一张图像位于远点, 可以得到第二张图像的位置和姿态



# 视觉SLAM – 特征点方法





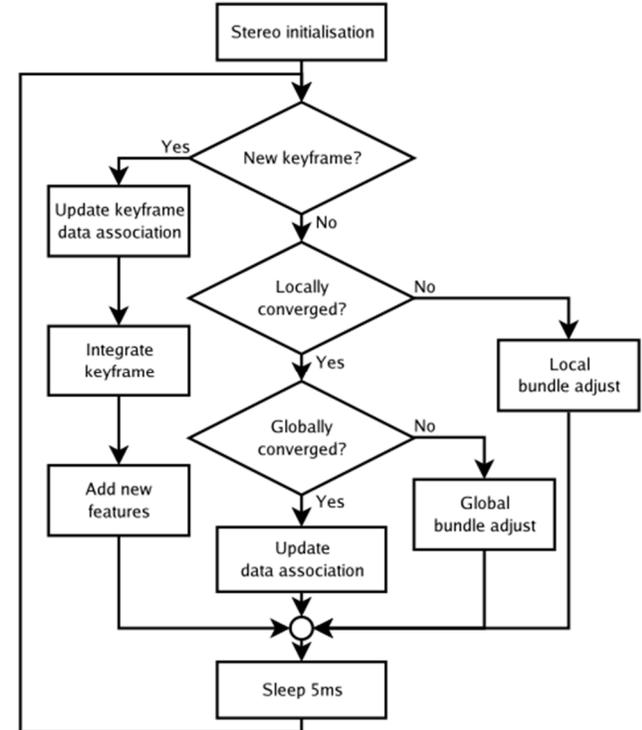
# Feature Based Methods - Parallel Tracking and Mapping

## Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces

Extra video results made for  
ISMAR 2007 conference

Georg Klein and David Murray  
Active Vision Laboratory  
University of Oxford

优酷





# Feature Based Methods - Parallel Tracking and Mapping

---



## Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces

Extra video results made for  
ISMAR 2007 conference

Georg Klein and David Murray  
Active Vision Laboratory  
University of Oxford

- Tracking and Mapping are separated, and run in two parallel threads
- Mapping is based on keyframes, which are processed using bundle adjustment
- The map is densely initialised from a stereo pair
- New Points are initialised with an epipolar search
- Large numbers of points are mapped



# Feature Based Methods – ORB-SLAM

## ORB-SLAM

Raúl Mur-Artal, J. M. M. Montiel and Juan D. Tardós

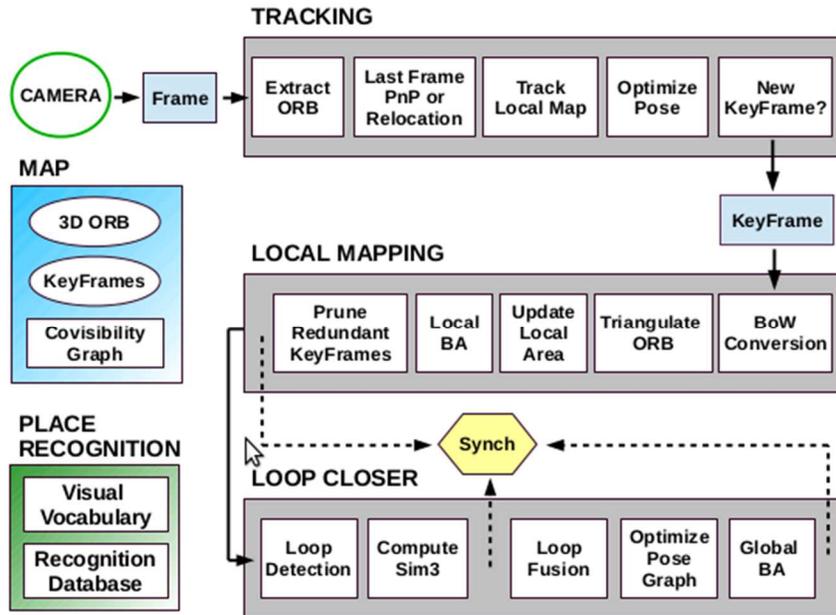
{raulmur, josemari, tardos}@unizar.es



Instituto Universitario de Investigación  
en Ingeniería de Aragón  
Universidad Zaragoza



Universidad  
Zaragoza





# Feature Based Methods – ORB-SLAM

---

## ORB-SLAM

Raúl Mur-Artal, J. M. M. Montiel and Juan D. Tardós

{raulmur, josemari, tardos} @unizar.es



Instituto Universitario de Investigación  
en Ingeniería de Aragón  
Universidad Zaragoza



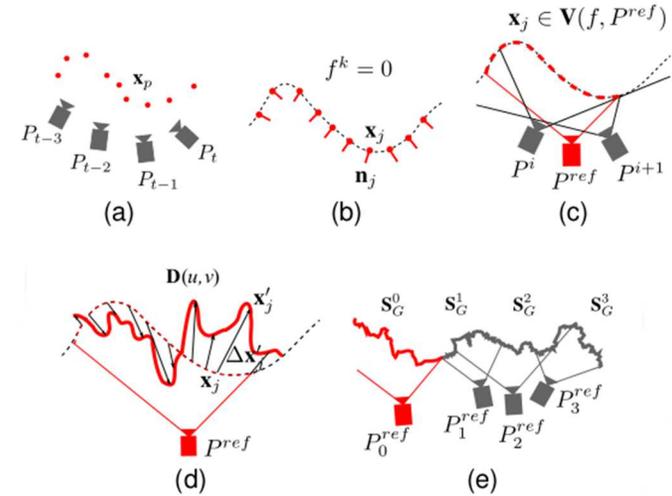
Universidad  
Zaragoza

- Covisibility information to operate at large scale
- BoW based place recognition system for relocalisation and loop closing



# Direct Based Methods – Dense Tracking and Mapping (DTAM)

## DTAM: Dense Tracking and Mapping in Real-Time





## Direct Based Methods – Dense Tracking and Mapping (DTAM)

---

# DTAM: Dense Tracking and Mapping in Real-Time

- Utilizing a coarse base surface model as the initial starting point for dense reconstruction
- Depth map creation is pipelined, and multiple depth maps are straightforwardly fused to create complete scene reconstructions
- Using GPU to accelerate the speed



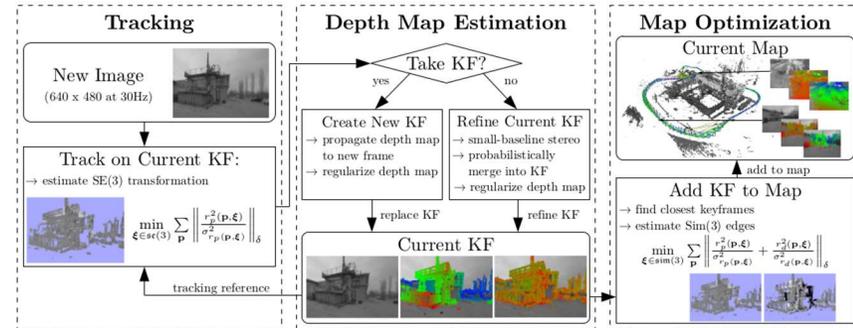
# Direct Based Methods – Large-Scale Direct Monocular SLAM (LSD-SLAM)

## Semi-Dense Visual Odometry for AR on a Smartphone

Thomas Schöps, Jakob Engel, Daniel Cremers  
ISMAR 2014, Munich



Computer Vision Group  
Department of Computer Science  
Technical University of Munich





# Direct Based Methods – Large-Scale Direct Monocular SLAM (LSD-SLAM)

## Semi-Dense Visual Odometry for AR on a Smartphone

Thomas Schöps, Jakob Engel, Daniel Cremers  
ISMAR 2014, Munich



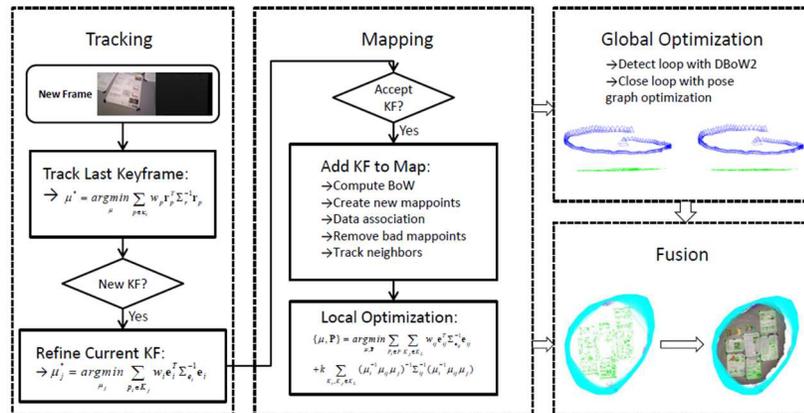
Computer Vision Group  
Department of Computer Science  
Technical University of Munich



- Using direct image alignment coupled with filtering-based estimation of semi-dense depth maps
- Probabilistically consistent incorporation of uncertainty of the estimated depth into tracking



# Semi-direct Tracking and Mapping (SDTAM)



- The direct method is adopted to track current motion with high-speed, followed with a motion refinement based on feature correspondences.
- Balance between accuracy and efficiency can be realized.



# 内容

---

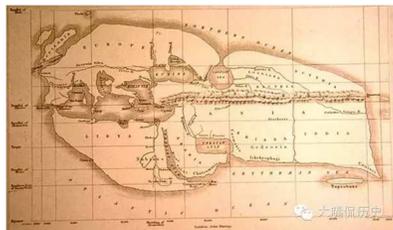
- 研究背景
- 实时地图系统 ( RTMapper )
  - ◆ 无人机/机器人
  - ◆ G-SLAM
  - ◆ 地图生成
  - ◆ 数据处理
- 展望未来



# 地图？



公元前xxx年  
(What? 世界地图?)



公元前276年  
(中国在哪里?)



中世纪  
(没有美洲)

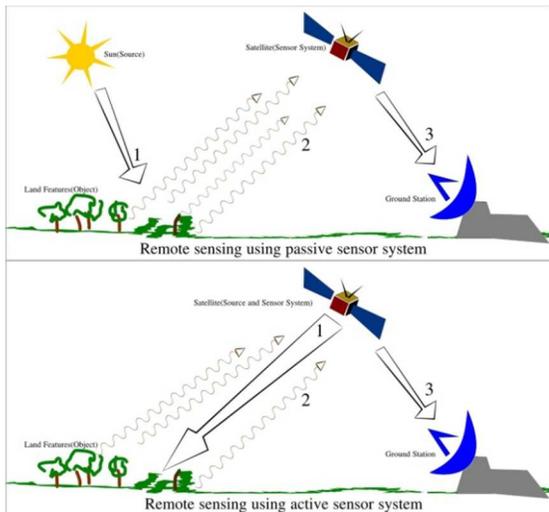


现代地图  
(卫星)



# 传统方法面临的问题

- 一般采用遥感，一种非接触、远距离的探测技术，运用传感器对物体的电磁波的辐射、反射特性的探测
- 面临的主要问题是实时性较弱，无法即时得到环境地图





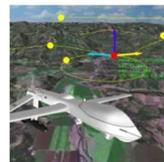
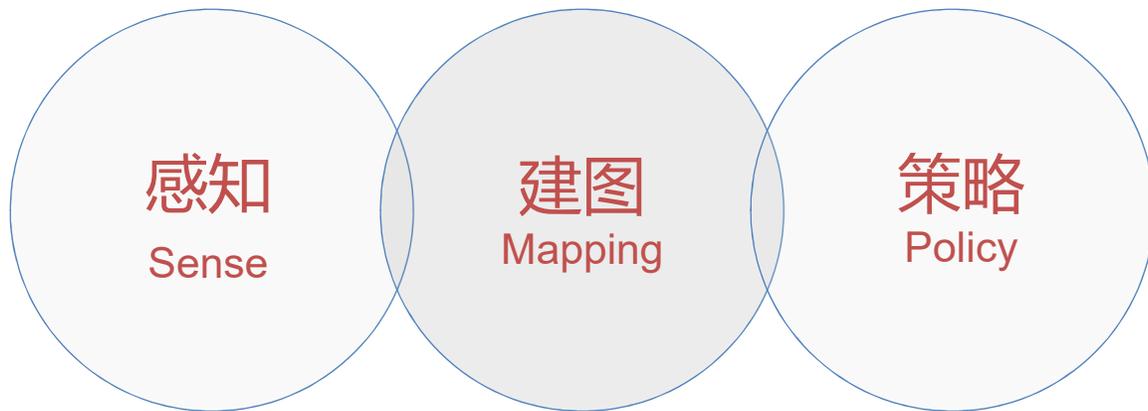
# 无人机自主飞行

- 环境的复杂，无人机数据链路中断，GPS受到干扰等情况下，必须自主飞行
- 自主飞行需要对环境进行感知，从而指导无人机的飞行
- 在无GPS的情况下，需要多种导航手段来提供导航信息
- 实时地图是一种重要的导航信息源





# 为何需要实时地图？



- 实时建图是未来智能系统的关键技术之一
- 实现高智能全自主机器人系统的重要支撑



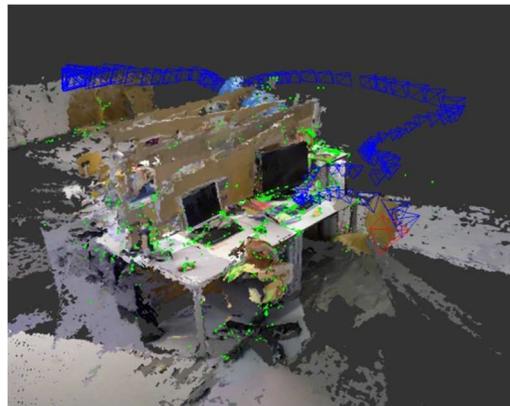
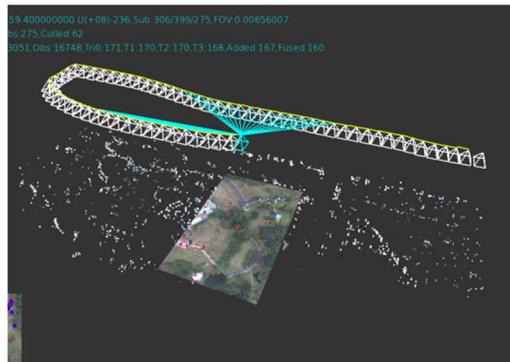
# SLAM中Mapping的问题

- Mapping为快速定位服务
- 主要是三维点云
- 环境表达能力较弱
- 有效数据存储效率低
- 较长时间间隔的重定位能力较弱
- 很多时候需要正摄影像地图 ( DOM )、高程地图 ( DEM )，三维模型，矢量地图



将Mapping增强

实时地图





# 实时地图的意义

## 智能GIS

- 为作战等提供时效性高的信息，降低对卫星的依赖程度，并提高地图的分辨率
- 简单易用的建模工具，能够提高工程、建筑等领域的工作效率
- 农业植保提供简单易用的高分辨率病虫害评估报告

## 智能控制

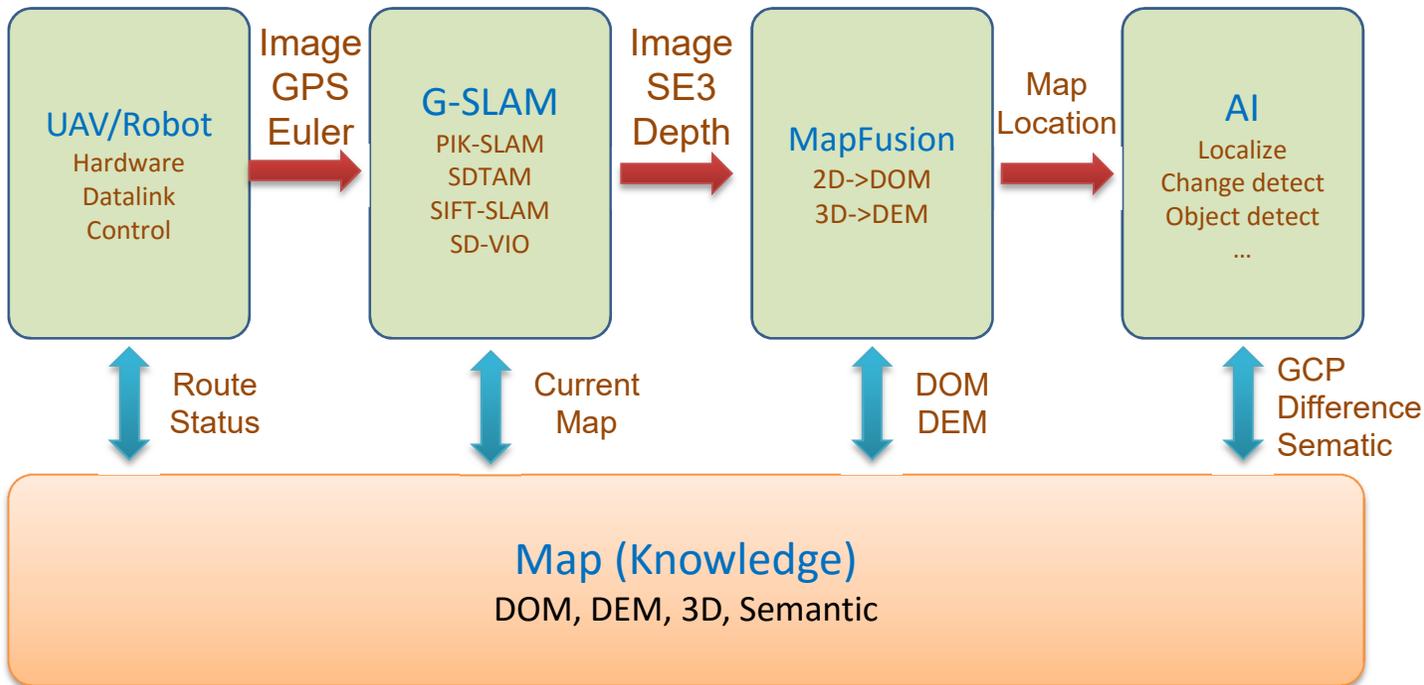
- 为机器人提供高智能程度的导航、控制功能
- 提供无人机、机器人等在卫星导航失效下导航定位，并提高自主运行所需要的环境信息
- 全自主农业植保无人机

实时地图





# 实时地图架构

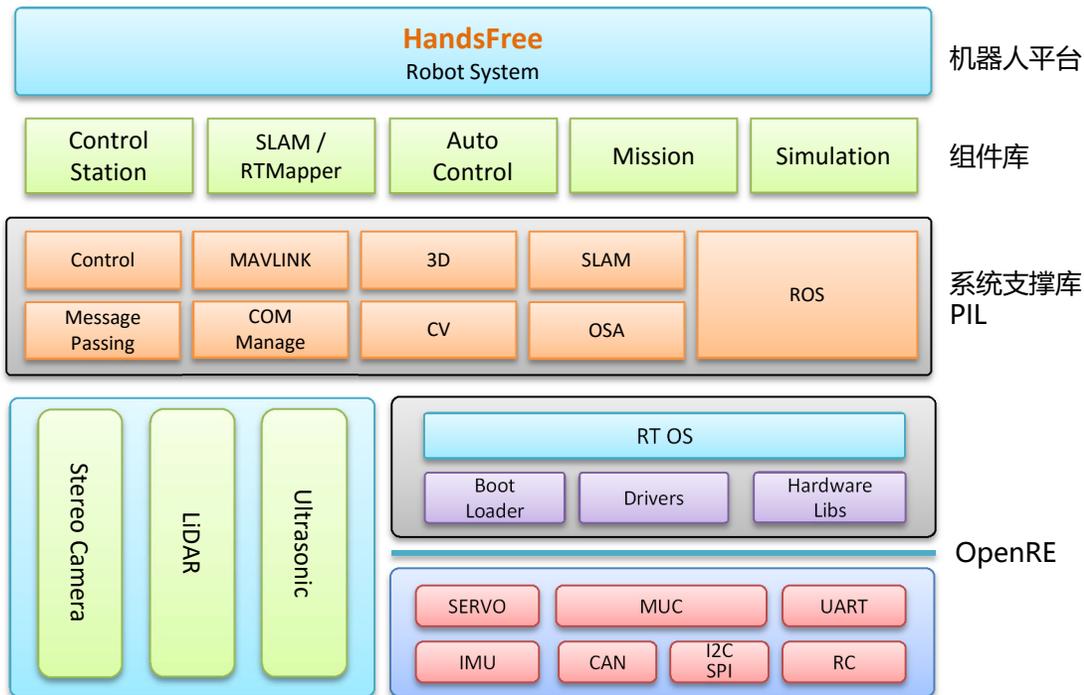






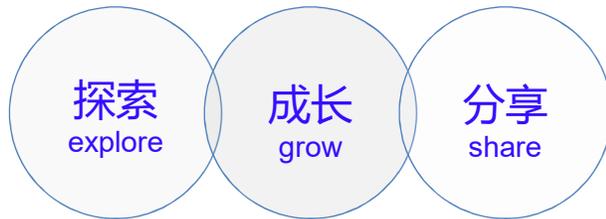
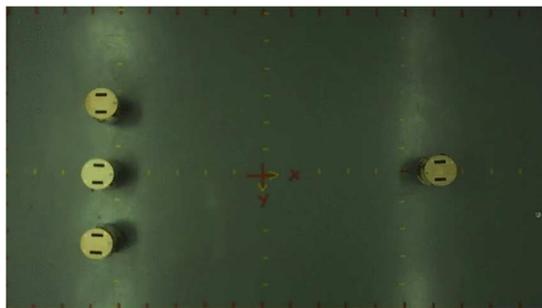
# ( 1 ) 机器人平台 Hands-Free

- 全自主设计
- 优秀的架构设计
- OpenRE (Open Robot Embedded ) 开源系统
- 多传感器：立体视觉，LiDAR，RGB-D，超声
- 支持ROS ( Robot Operation System )
- 国内最为完整的开源机器人平台
- 软硬件开源
- 全套开发、使用手册





# (1) 机器人平台 Hands-Free



[www.hands-free.org.cn](http://www.hands-free.org.cn)



## ( 2 ) G-SLAM

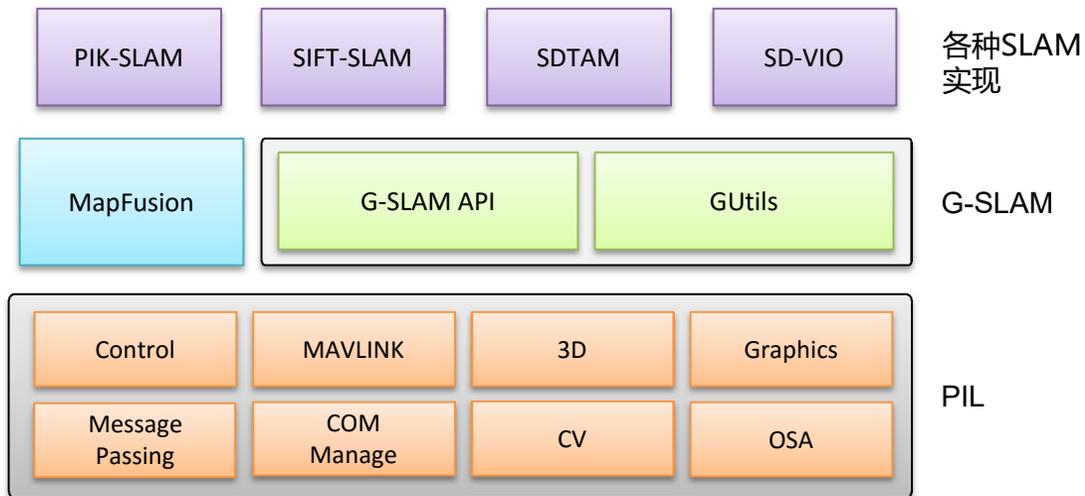
### 架构的特点

- 一个框架支持多种SLAM
- 统一的接口设计，插件化设计，复杂度隔离
- 使用PIL (Pilot Intelligent Library)系统支撑库
- 支持MapFusion ( 实时地图融合 )

### 支持的SLAM实现

- **PIK-SLAM** (Pilot Intelligent Keyframe SLAM)  
基于特征点/关键帧的SLAM
- **SIFT-SLAM** 基于SIFT的SLAM系统
- **SDTAM** (Semi-Direct Tracking and Mapping)  
半直接的RGBD SLAM
- **SD-VIO** (Semi-Direct Visual Inertial Odometry)  
半直接的视觉惯导里程计

### G-SLAM 框架/多种实现



<https://github.com/zdzaoyong/GSLAM>

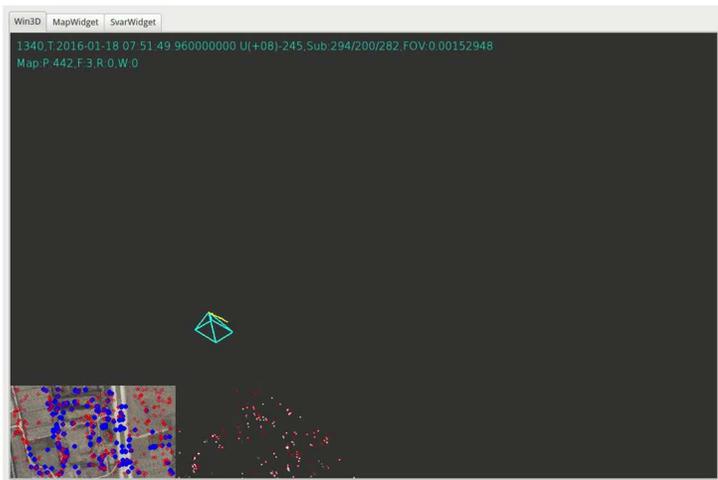
<https://github.com/zdzaoyong/PIL2>

<https://github.com/zdzaoyong/Map2DFusion>



## ( 2 ) G-SLAM : PIK-SLAM

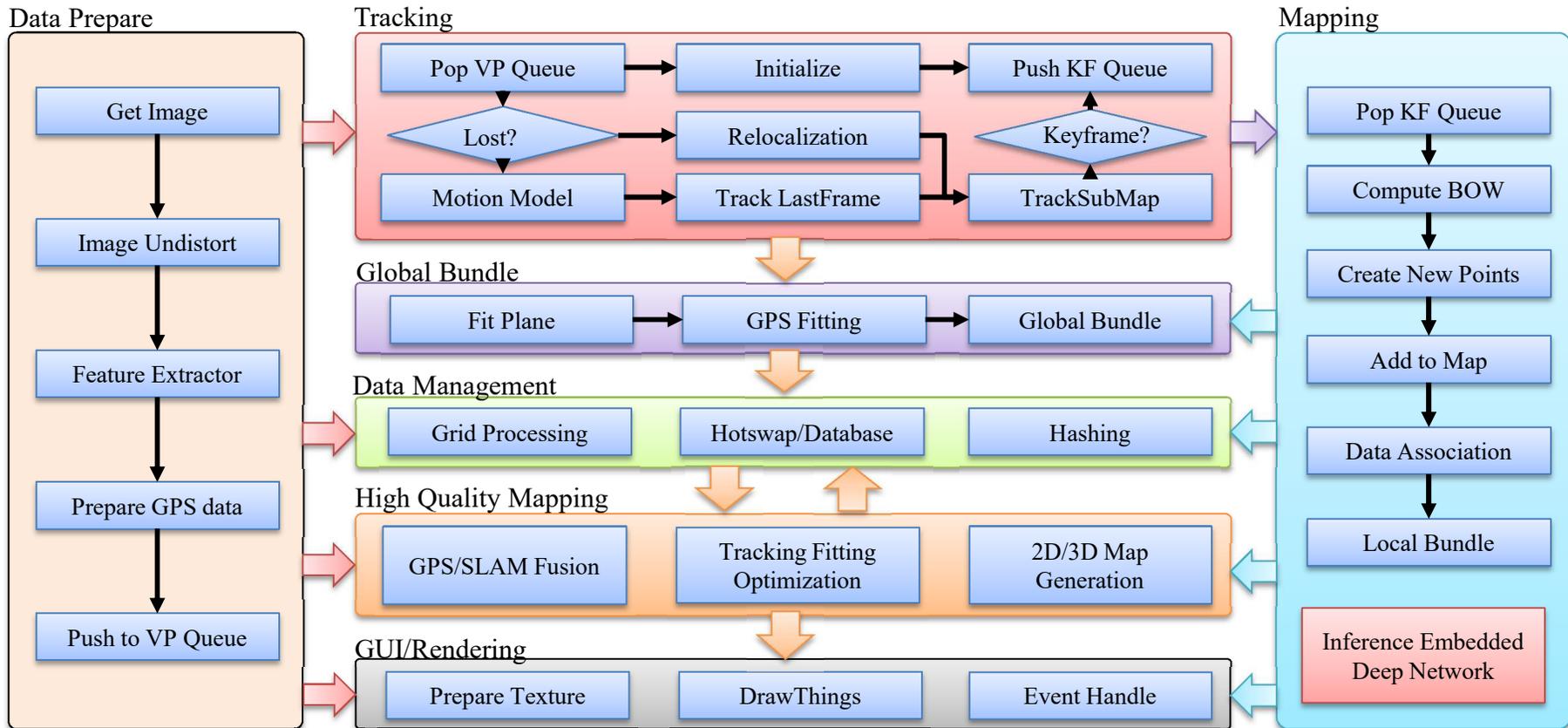
### Pilot Intelligent Keyframe SLAM ( PIK-SLAM )



- **高速处理** : 1080p 图像能够达到30 Hz
- **自动拟合GPS信息** : 视觉与GPS数据融合
- **实时正射影像生成**: 使用自适应加权方法融合多帧图像
- **大规模数据支持** : 支持数据网格划分, 数据热交换



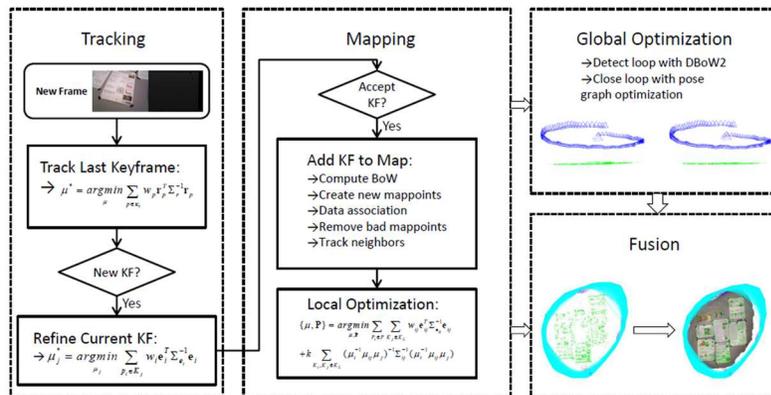
# ( 2 ) G-SLAM : PIK-SLAM





## ( 2 ) G-SLAM : SDTAM

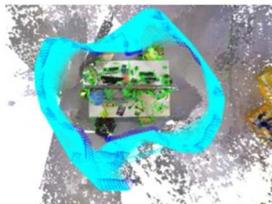
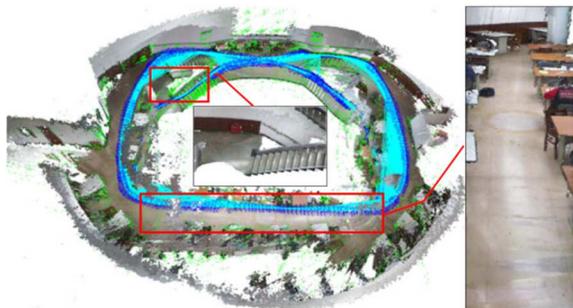
### Semi-direct Tracking and Mapping



- 使用直接法实现快速跟踪、定位，然后使用特征点法优化位姿
- 定义了融合深度和几何测量误差的误差函数，能够取得更好精度和鲁棒性
- 能够取得更好的精度与速度平衡



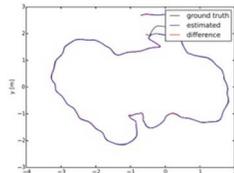
# ( 2 ) G-SLAM : SDTAM



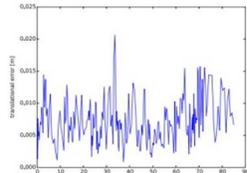
(a) Reconstruction result



(b) Fusion detail



(c) ATE



(d) RPE

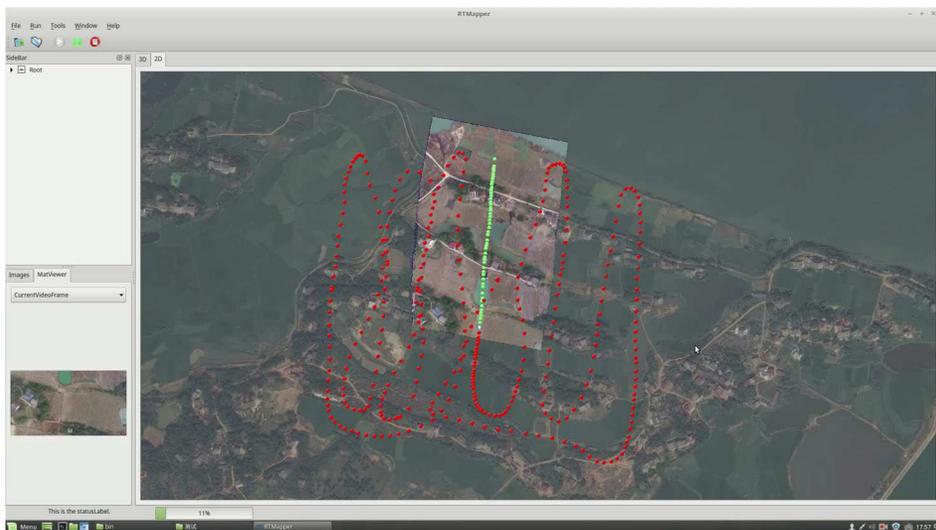
## Experiments on TUM dataset

Sequence Name	SDTAM (Ours)			DVO [34]	Kinect Fusion [29]	RGB-D SLAM [25]	Volume Fusion [36]
	Direct	Direct+KF	Direct+KF+Loop				
<i>fr1/xyz</i>	0.054	<b>0.011</b>	<b>0.011</b>	<b>0.011</b>	0.026	0.014	0.017
<i>fr1/rpy</i>	0.086	0.031	0.031	<b>0.020</b>	0.133	0.026	0.028
<i>fr1/desk</i>	0.055	<b>0.018</b>	<b>0.018</b>	0.021	0.057	0.023	0.037
<i>fr1/desk2</i>	0.117	<b>0.043</b>	<b>0.043</b>	0.046	0.420	0.043	0.071
<i>fr1/room</i>	0.305	0.205	0.084	<b>0.053</b>	0.313	0.084	0.075
<i>fr1/plant</i>	0.039	0.072	0.034	<b>0.028</b>	0.598	0.091	0.047
<i>fr2/xyz</i>	0.017	0.015	0.015	0.018	-	<b>0.008</b>	0.029
<i>fr2/person</i>	0.180	<b>0.079</b>	<b>0.079</b>	-	-	-	-
<i>fr3/long</i>	0.104	0.018	<b>0.010</b>	0.035	0.064	0.032	0.030
<i>fr3/nst</i>	0.045	0.020	<b>0.013</b>	0.018	-	0.017	0.031
<i>fr3/far</i>	0.010	<b>0.009</b>	<b>0.009</b>	0.017	-	-	-
<i>fr3/sit_xyz</i>	0.028	<b>0.008</b>	<b>0.008</b>	-	-	-	-
<i>fr3/sit_halfsph</i>	0.116	<b>0.012</b>	<b>0.012</b>	-	-	-	-
<i>fr3/walk_xyz</i>	1.436	<b>0.011</b>	<b>0.011</b>	-	-	-	-
<i>fr3/walk_halfsph</i>	0.649	<b>0.060</b>	<b>0.060</b>	-	-	-	-



## ( 2 ) G-SLAM : SIFT-SLAM

### SIFT-SLAM

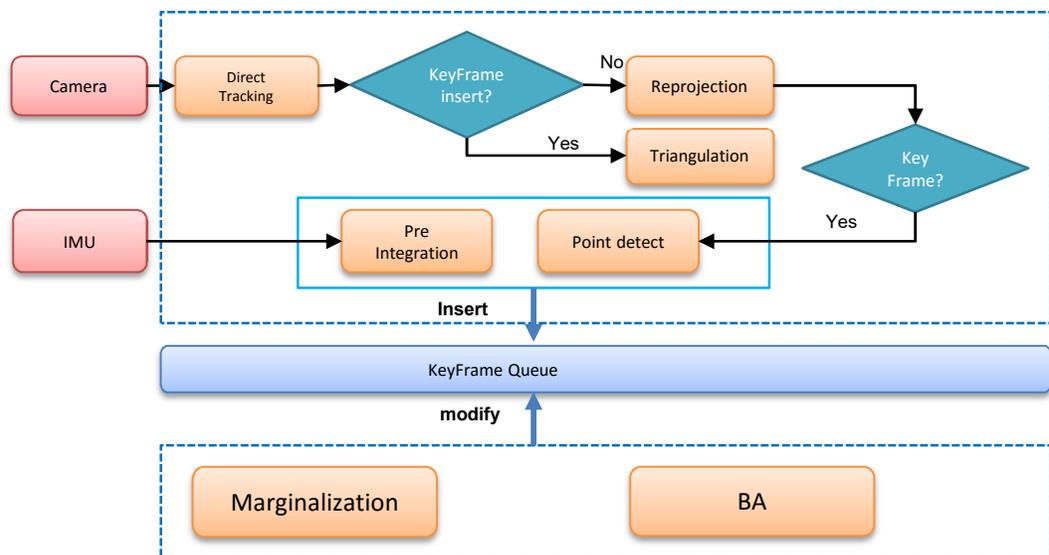


- 支持大的基线距离
- 专门针对实时地图设计，能够处理超大尺寸的图像（40M像素以上）
- 替代SfM，能够高速成图
- 半稠密点云
- 实时地图融合



## ( 2 ) G-SLAM : SD-VIO

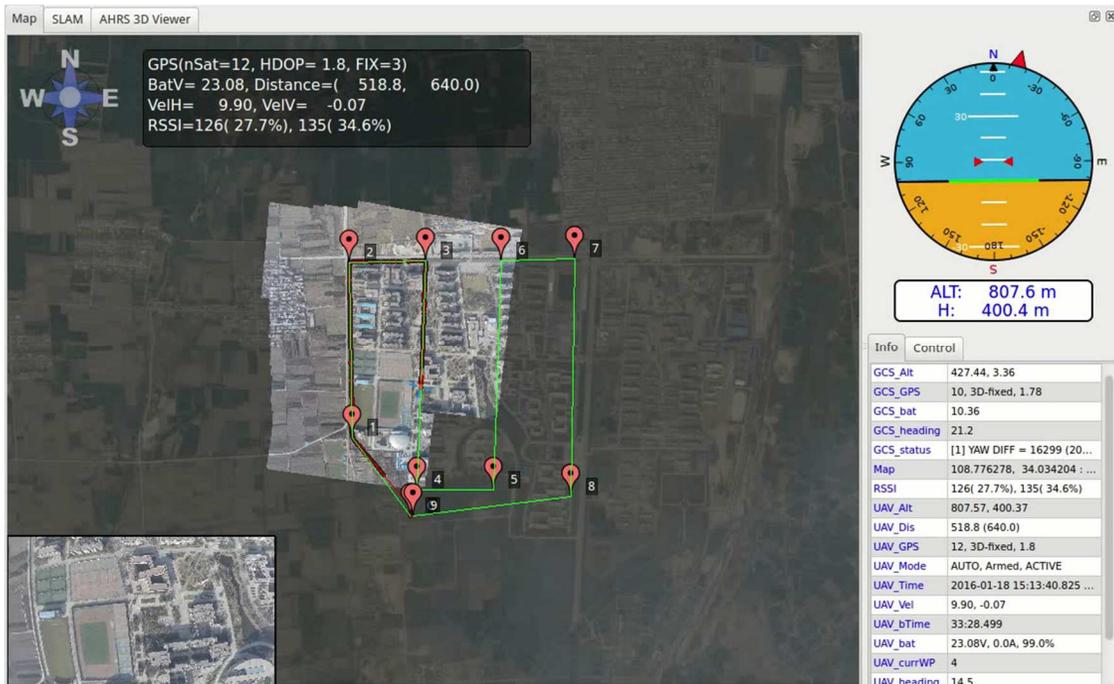
### Semi-Direct Visual Inertial Odometry



- 使用了Fast特征点而没有使用描述子，大大提升了前端速度
- 增加了梯度比较大的点作为弱化的线特征，提升了整体鲁棒性
- 使用预积分，将IMU和相机数据强耦合，得到绝对尺度和速度的同时，大大提升了系统的稳定性
- 使用了窗方法，尽可能保留了系统运行过程的数据，并为当前的估计提供了先验信息
- 针对低功耗CPU设计，支持单目/双目等



# ( 3 ) MapFusion



## 目标

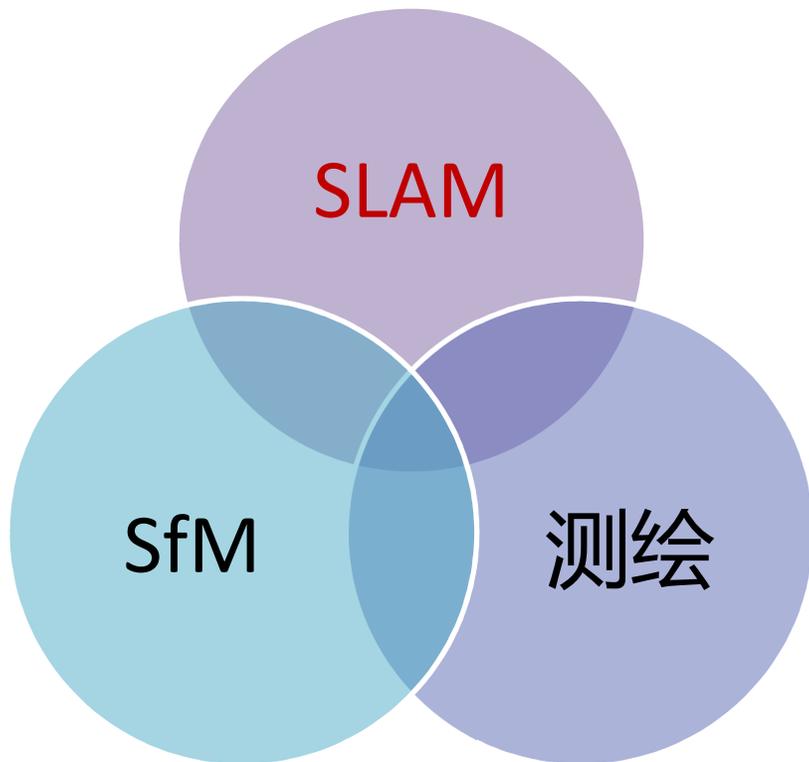
- 实时二维地图
- 实时高程地图
- 实时三维地图
- 具备扩展能力
- 能够整合数据处理、分析



## ( 3 ) MapFusion - 解决之道

### SLAM与SfM对比

- SLAM更多考虑图像之间的关系
- SLAM对算法做了更多的优化，能够达到实时
- **设计巧妙的算法能够实时融合采集的图像得到DOM**

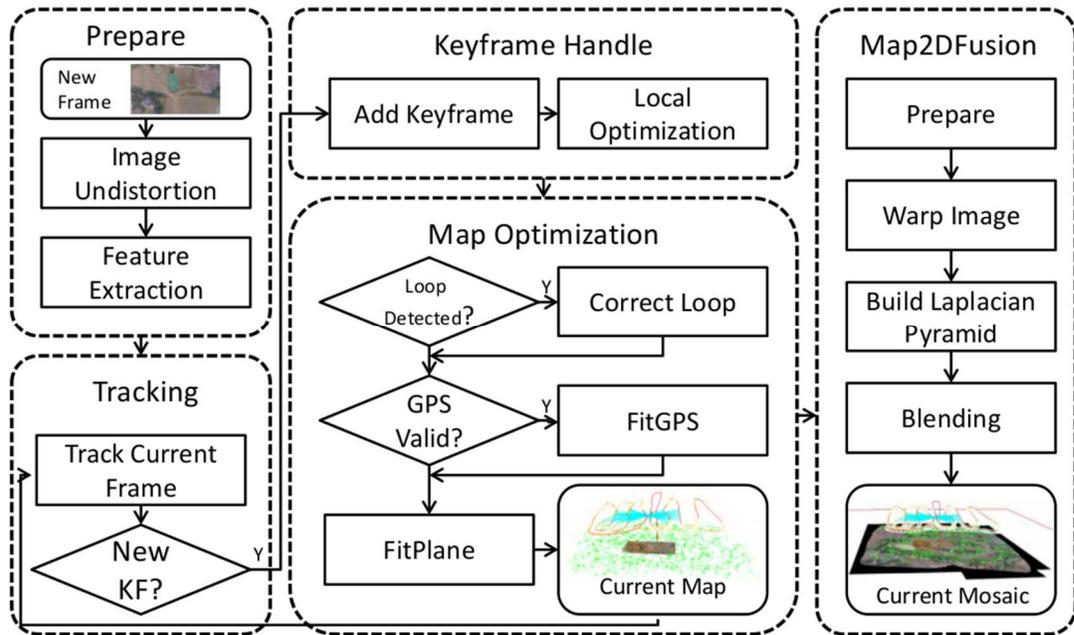


### SLAM与测绘方法对比

- 能够达到90%以上的精度
- 使用POS数据的方式不同，SLAM能够进行联合优化
- SLAM对算法做了更多的优化，能够达到实时
- **定位与地图生成同步进行，能够用到机器人自主导航**



# ( 3 ) MapFusion – 核心算法

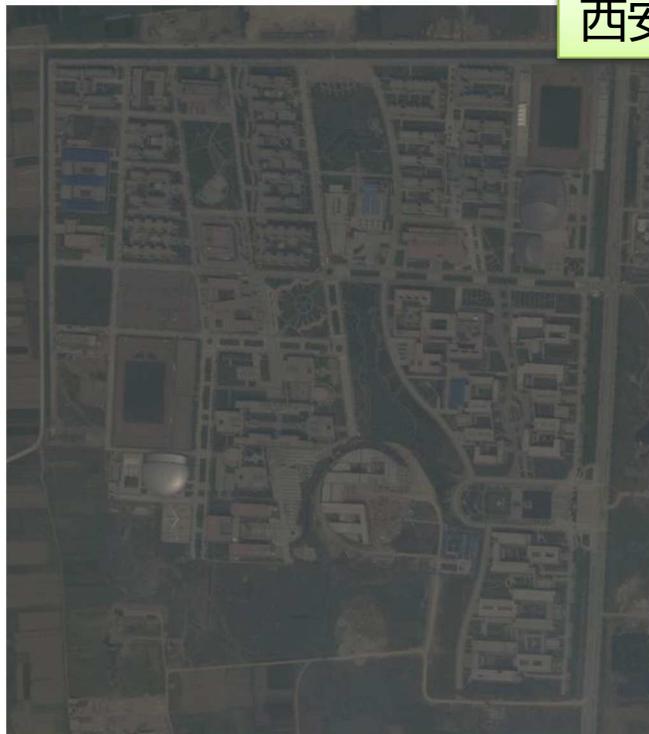


- **Feature based Visual SLAM System: PIK-SLAM/SIFT-SLAM**
- **Automatic GPS and video synchronization:** a graph based optimization is proposed to synchronize video time with GPS time from coarse to fine.
- **Real-time orthoimage blender:** an adaptive weighted multi-band method to blend and visualize images incrementally in real-time.



## ( 3 ) MapFusion – 卫星地图对比

西安 – 西北工业大学



卫星地图



RTMapper



## ( 3 ) MapFusion – 相关软件对比



PhotoScan



Pix4D



RTMapper



# ( 3 ) MapFusion – 相关软件对比



PhotoScan



Pix4D



RTMapper





## ( 3 ) MapFusion – 速度对比

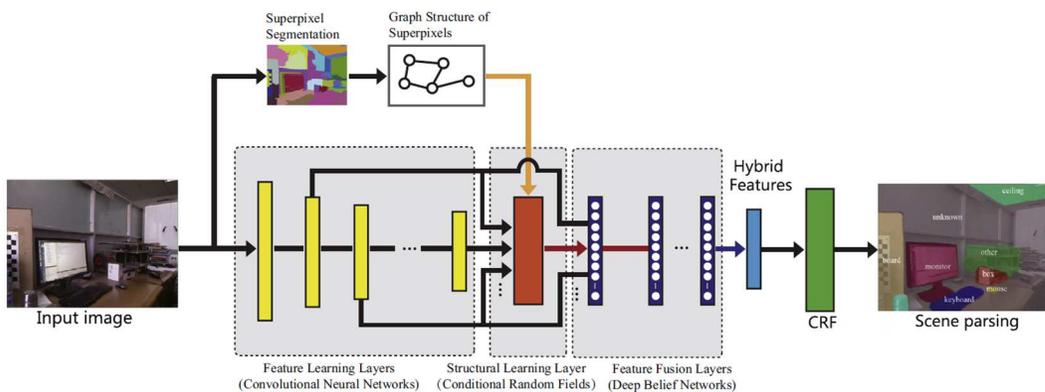
时间单位：分钟

Sequence	Frames	KFs	Ours	Pix4D	Photoscan
<i>gopro-npu</i>	28,493	337	15.84	107.05	153.62
<i>gopro-monticules</i>	18,869	395	10.49	52.62	334.73
<i>gopro-saplings</i>	19,371	482	16.44	83.75	683.98
<i>phantom3-npu</i>	13,983	457	9.32	140.08	532.38
<i>phantom3-centralPark</i>	12,744	471	8.49	127.73	563.57
<i>phantom3-grass</i>	4,585	648	2.39	154.77	999.67
<i>phantom3-village</i>	16,969	406	11.31	132.07	360.70
<i>phantom3-hengdong</i>	16,292	221	10.86	72.13	145.52
<i>phantom3-huangqi</i>	14,776	393	10.36	102.83	462.32

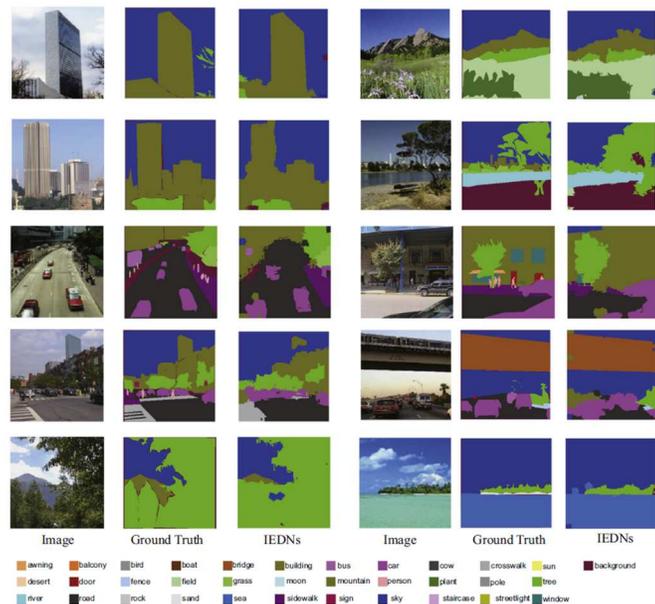
Map2DFusion 处理所有帧，Pix4DMapper和Photoscan处理关键帧



## (4) 数据处理 – 场景解析

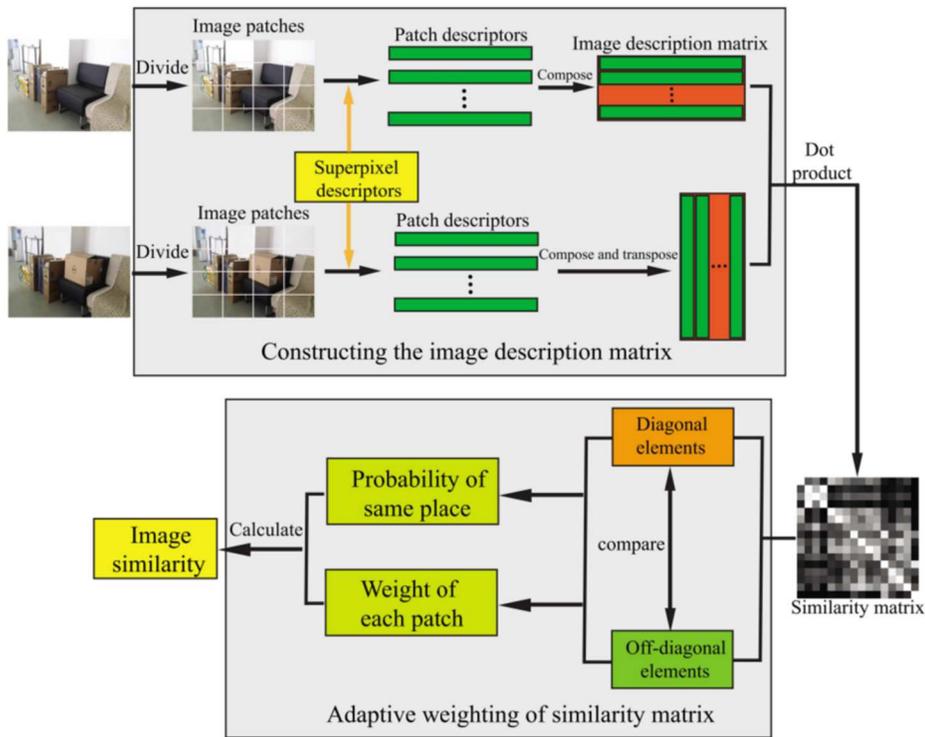


- 将结构化学习层显式融入深度学习
- 提出了空间推理特征
- 使用多模态学习融合表征特征与空间推理特征





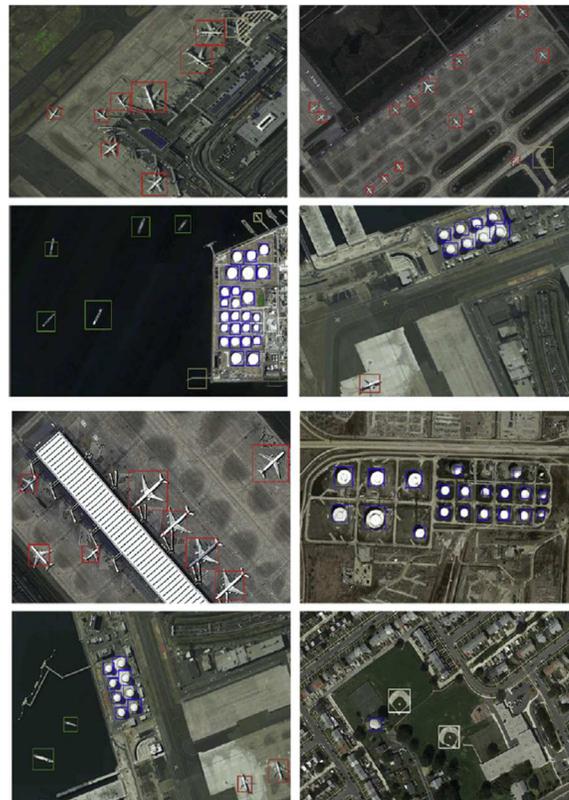
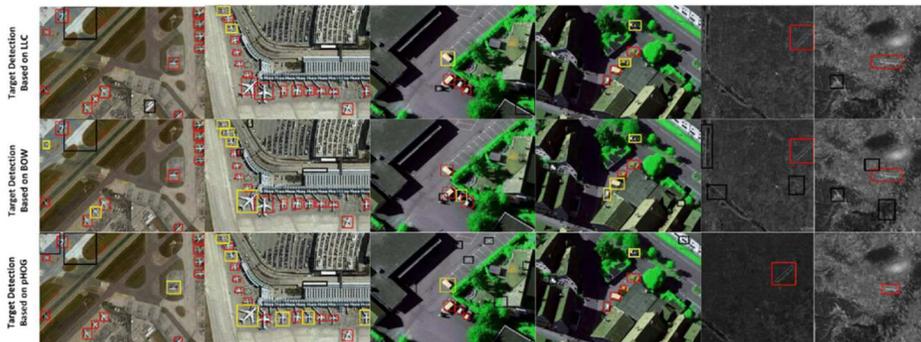
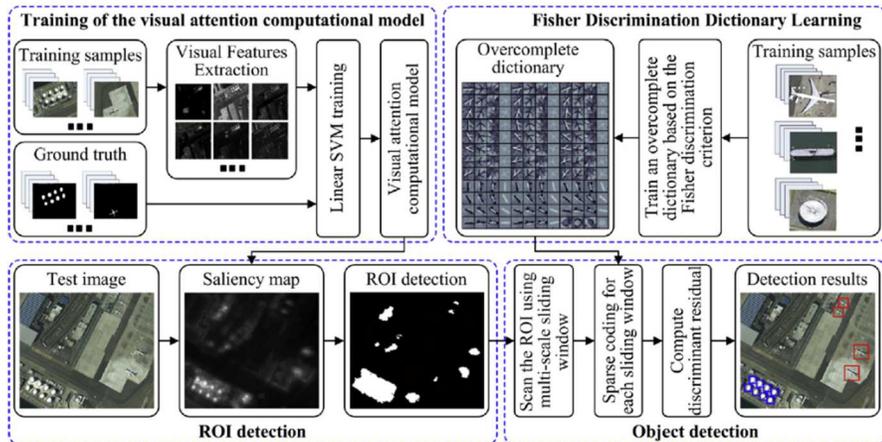
## (4) 数据处理 – 场景认识



- 使用CNN提取表征能力更强的特征
- 考虑图像中物体的空间分布关系

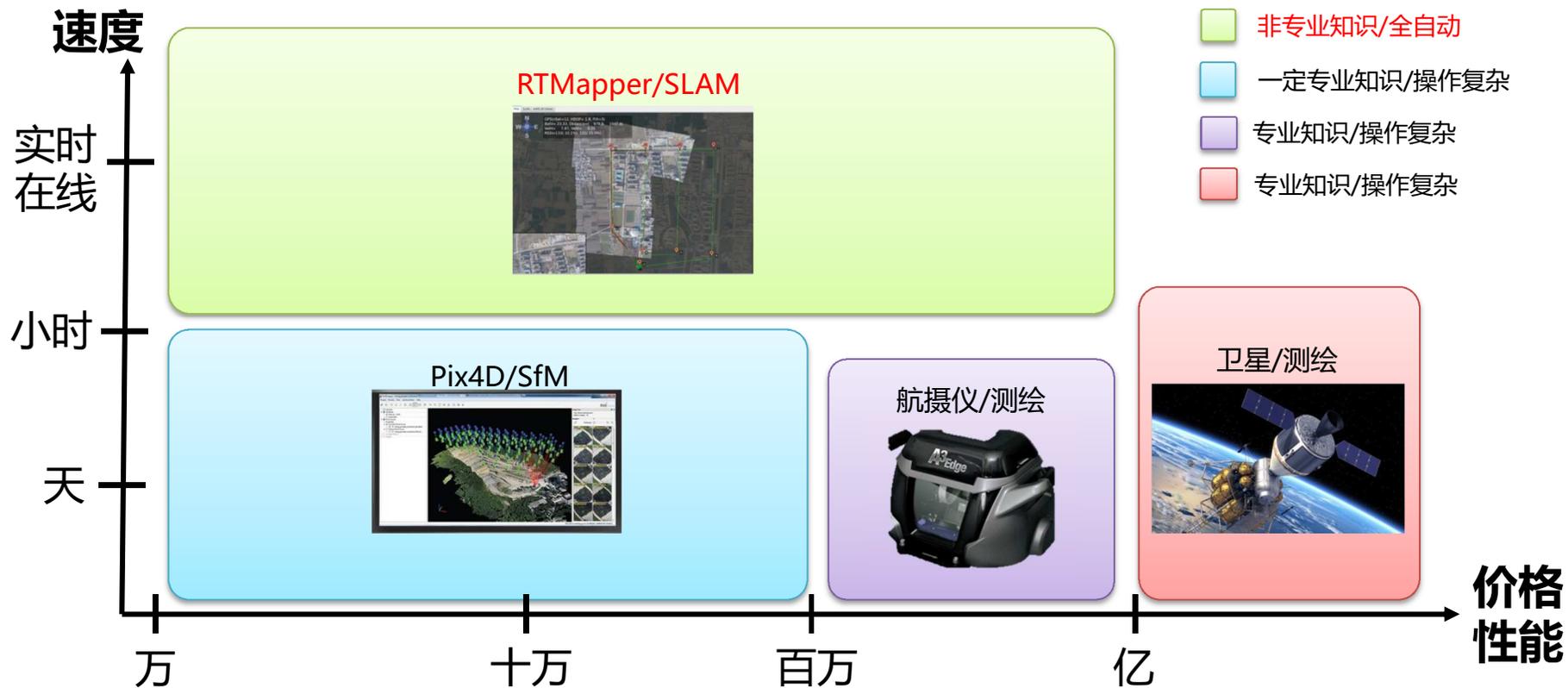


# (4) 数据处理 - 目标识别





# 实时地图RTMapper – 特点



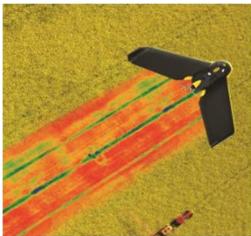


# 实时地图RTMapper – 相关方法的对比

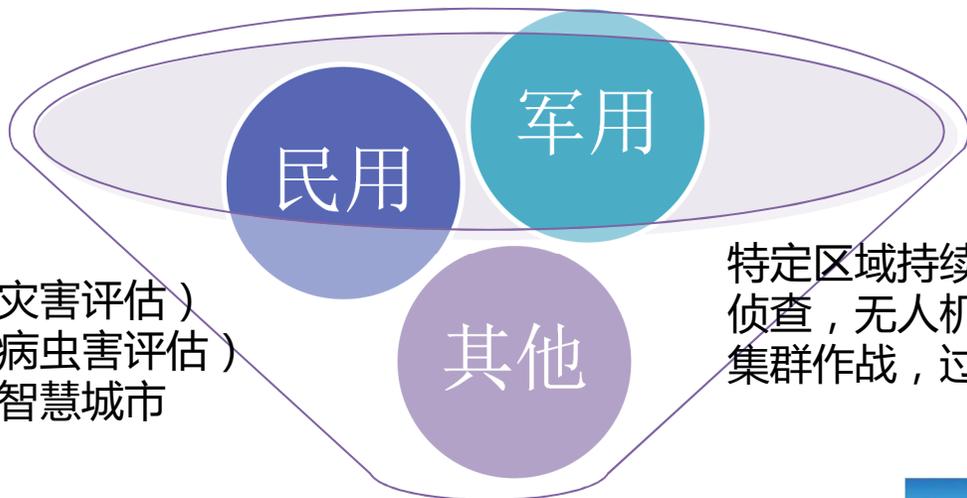
	Pix4D PhotoScan	DroneDeploy	航空摄影 测绘 倾斜摄影测量	本系统 RTMapper
实时性	离线计算 (数小时)	网络云计算 (需要联网)	离线计算 (数天)	在线实时
安全性	一般	较低	一般	高
测量精度	中	中	高	中
多信息源融合	无	无	具备	具备
地面站整合能力	无	无	无	具备
系统硬件要求	低	较低	高	较低
二次开发能力	无	无	无	具备
使用成本	高	高	很高	低
功能	DEM, DOM, 三维重建	DEM, DOM, 三维重建	DEM, DOM, 三维重建	DEM, DOM, 三维重建 地图构建、无GPS导航定位



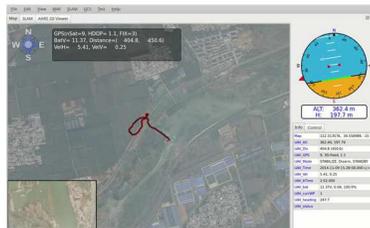
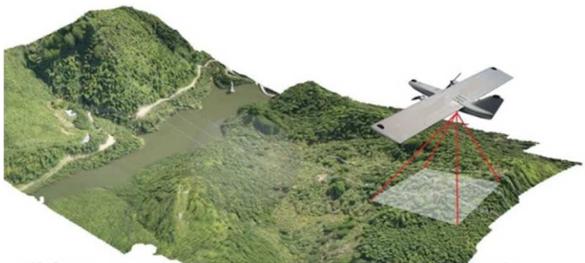
# 实时地图RTMapper – 应用领域



抗震救灾 ( 灾害评估 )  
农业植保 ( 病虫害评估 )  
自动驾驶 , 智慧城市

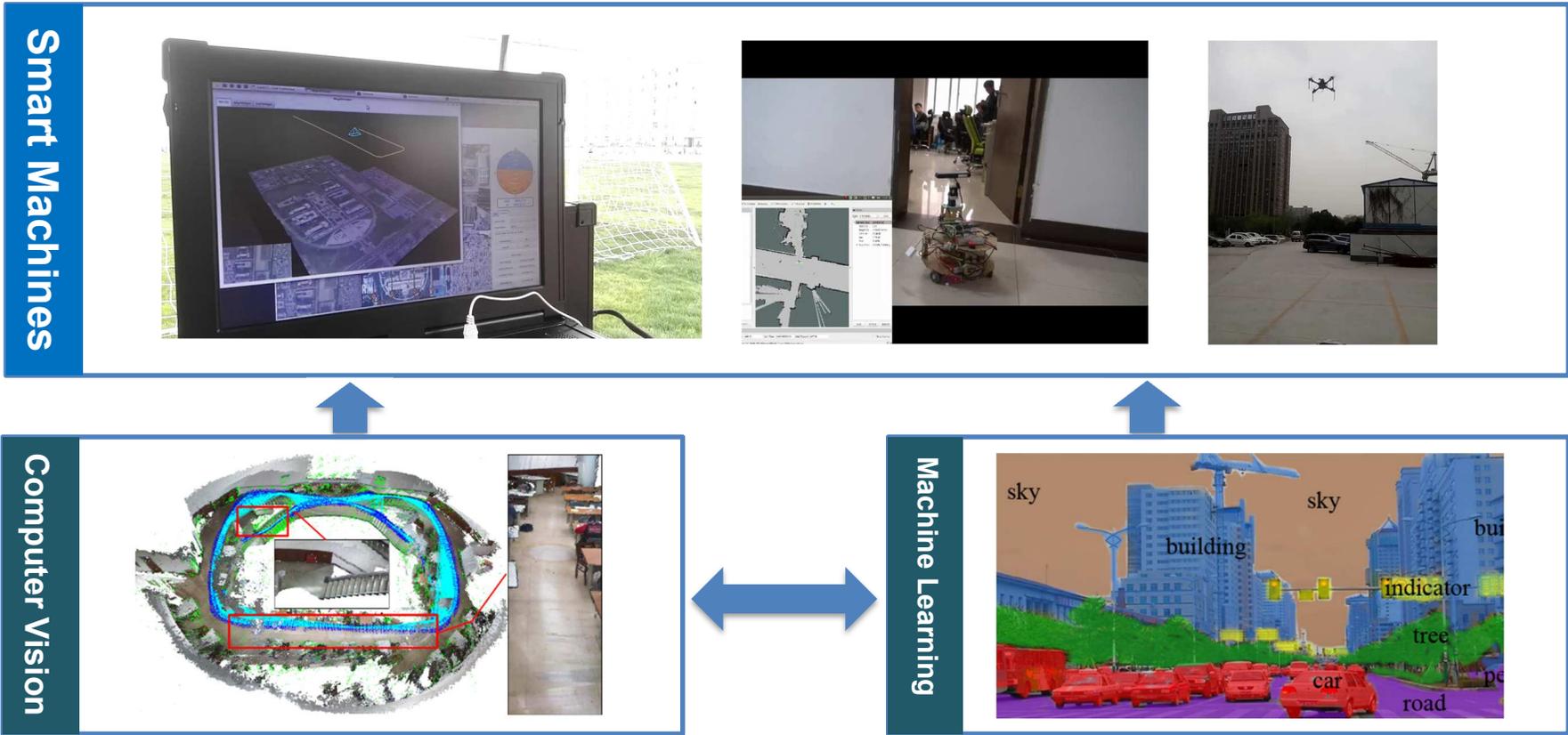


特定区域持续监视  
侦查 , 无人机作战  
集群作战 , 过饱和攻击

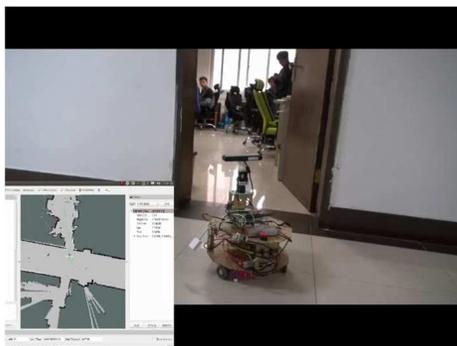




# 阶段成果



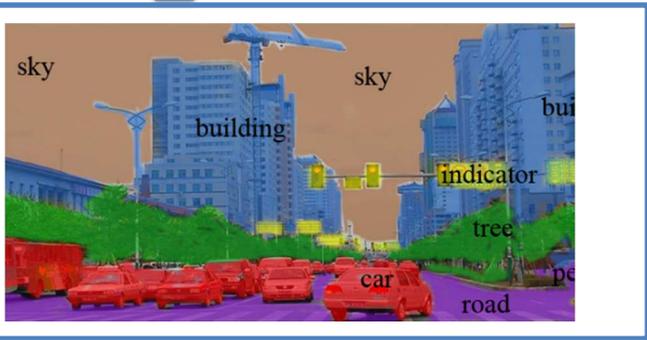
Smart Machines



Computer Vision



Machine Learning





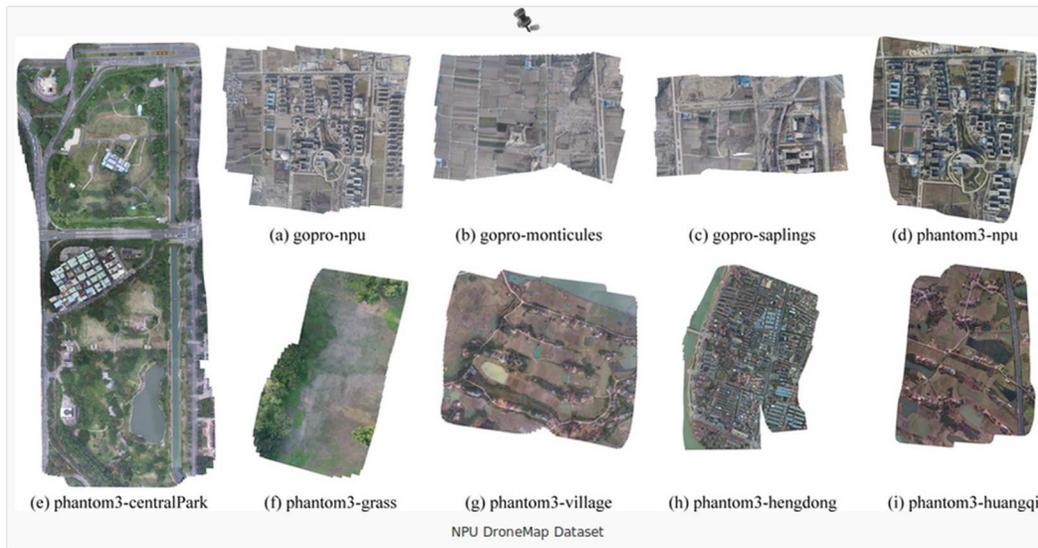
# 相关开源 : NPU Drone-Map Dataset & Sourcecode

Source code: <https://github.com/zdzaoyong/Map2DFusion>

Dataset: <http://www.adv-ci.com/blog/source/npu-drone-map-dataset/>

## NPU Drone-Map Dataset

This dataset contains several aerial video sequences captured in different terrains and heights, which is used to evaluate the effectiveness of our proposed open-source [Map2DFusion](#) system. Until now, the dataset is consisted of several sequences recorded in different locations with over 100GB data and more captured sequences will be added. Welcome to supply us more original flight data and share them on this website!





# 相关开源：NPU RGB-D Dataset

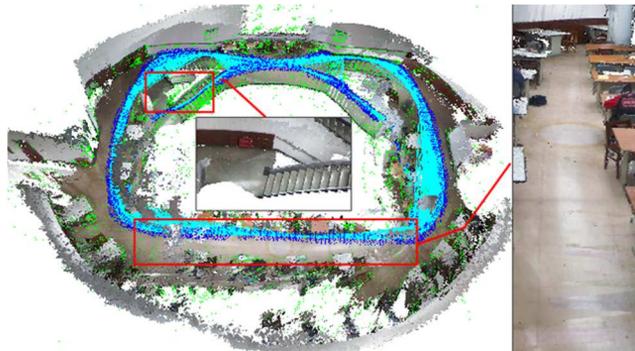
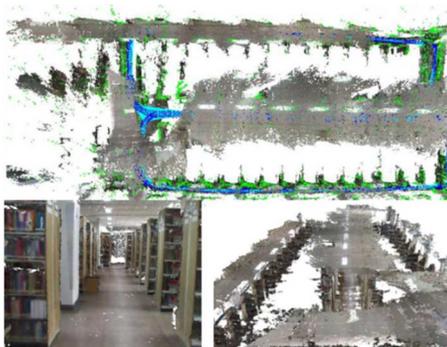
<http://www.adv-ci.com/blog/source/npu-rgb-d-dataset/>

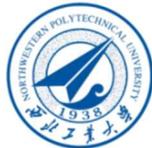
## NPU RGB-D Dataset

### 1. Large-scale RGB-D Dataset

In order to evaluate the RGB-D SLAM algorithms of handling large-scale sequences, we recorded this dataset which contains several sequences in the campus of [Northwestern Polytechnical University](#) with a Kinect for XBOX 360. This is a challenging dataset since it contains fast motion, rolling shutter, repetitive scenes, and even poor depth informations.

Each sequence is composed of thousands of colorful and depth image pairs which have been aligned with [OpenNI](#) and organized as the format used in [TUM](#) dataset. We provide reconstruction results of [SDTAM](#) (Semi-direct Tracking and Mapping, a RGB-D localization and mapping algorithm) and sample movies, so that users can preview the sequences before downloading.





# 相关开源：Hands-Free

<http://www.hands-free.org.cn>

HandsFree

About Us Community Robots Contributors Buy

**HANDSFREE**  
& ROBOT

If you like HandsFree : Fork 30 Star 25

## 关于 HandsFree

当你热爱某种事物，你可能会想办法去弥补它身上的缺点，即使意味着会牺牲你一点点，我们只是一群呆在大学里幼稚青年，但我们也有着对机器人事业的向往。

Hands Free，顾名思义解放双手。我们想到的是能够搭建一个共享的平台，一个友好的易于共同开发的框架。Hands Free 从嵌入式平台开始，逐步地扩展到了相应的其他周边，为的是让整个机器人的开发过程降低耦合，尽可能地减少一些底层的开发环节，在开发过程中提供了一个更好的交流方式。Hands Free 其理念核心是优化开发过程的同时，让设计的 Idea 的分享过程更加 Free，是乐于分享的，鼓励分享的。

HANDS FREE 是一个面向机器人研究、开发的开源软硬件系统。她有完备与科学的框架，以优秀的嵌入式系统框架为核心，精良的电路、机械设计为支撑，帮您快速实现多种形态的机器人。本系统包含机器人导航、SLAM、避障和路径规划模块，并提供自己上层软件和数据系统。地址：<http://hands-free.github.io/>

**开源机器人项目  
HANDS FREE**



# 内容

---

- 研究背景
- 实时地图系统 ( RTMapper )
  - ◆ 无人机/机器人
  - ◆ G-SLAM
  - ◆ 地图生成
  - ◆ 数据处理
- 展望未来



# 未来之路

人工智能

环境感知

推理

知识

SLAM

场景理解

决策

- 鲁棒性高、精度高的SLAM
- 语义层面的地图
- 基于深度学习的场景理解方法
- 推理、策略的学习
- 智能多机协同系统

**多数据源**

图像  
LiDAR  
红外  
多光谱, 高光谱  
IMU  
MAP

**实时, 低延时**

**复杂环境**  
电磁环境, 气象环境



# 地图与机器

- 地图不仅仅是为人提供空间信息的工具
- 更多是为机器提供空间信息，导航定位、环境感知
- 智能机器不仅仅是地图的使用者，也是地图的生成者，两者相互依赖
- 要求更高的实时性，更多样的表达形式

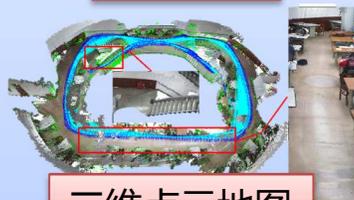
## 智能机器



## 机器地图



影像地图



三维点云地图



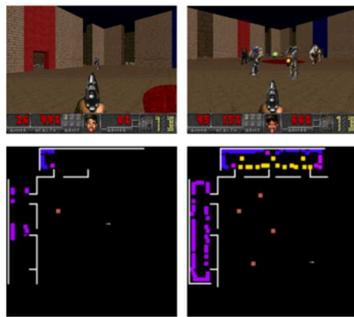
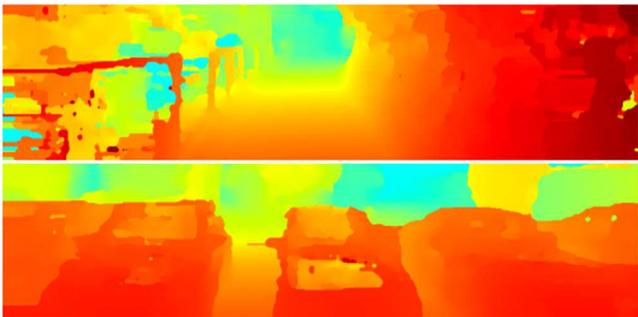
语义地图





# SLAM的发展方向

- 语义层面的信息能够实现更大规模、更可靠的SLAM系统
- 基于直接优化的方法，基于深度学习的光流
- SLAM为深度学习提供学习数据
- 端到端的学习实现导航、制导，全神经网络的机器人系统
- 实现无人机、机器人的全自主导航





# 关于我们



西北工业大学  
智能系统实验室

<http://www.adv-ci.com>



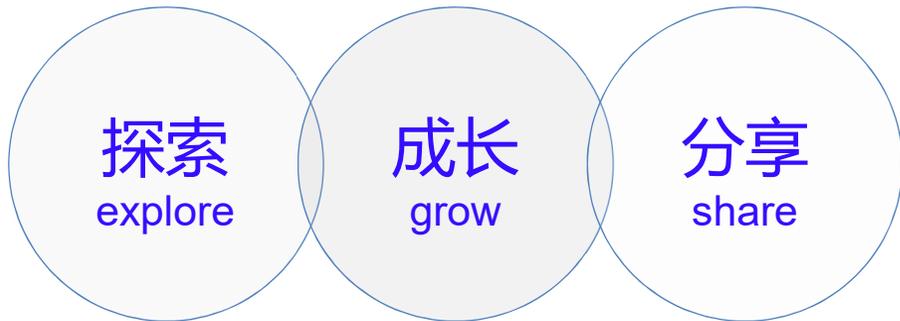
Hands Free  
开源社区

<http://www.hands-free.org.cn>



中国人民解放军  
信息工程大学

## 我们的理念

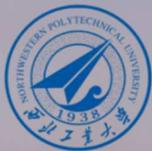


智能系统实验室



舞蹈机器人基地





THANK YOU



Detailed information can be found at <http://www.adv-ci.com> and <http://www.hands-free.org.cn>