



Pilot Intelligence Laboratory  
飞行器智能感知与控制实验室



西北工业大学  
NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY

# 无人机实时地图

西北工业大学 – 布树辉

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

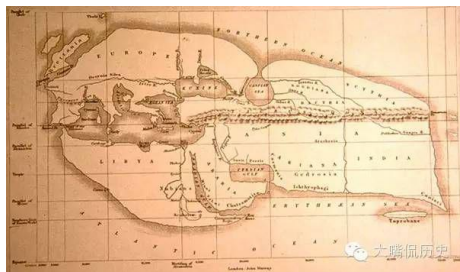
# 无人机？



- Small, cheap
- No pilot
- Convenient
- Strong survivability

- Aerial photograph
- Attack
- Air platform
- General aviation

# 地图？



公元前 276



中世纪



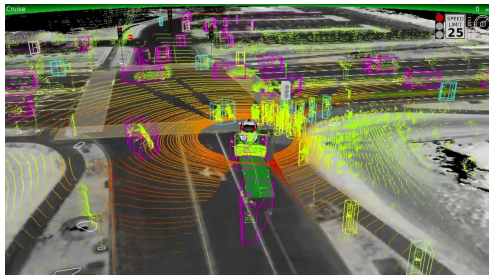
现代

- 
- The image is a composite. The left side shows a 3D rendering of a desert landscape with palm trees in the foreground and a city skyline in the background under a clear blue sky with a few green dots. The right side is a technical diagram titled "Unmanned Aircraft Systems (UAS) Integration in the National Airspace System (NAS) Project". The diagram illustrates the integration of various UAS into the NAS, showing communication links between different aircraft types (Communications aircraft, Cooperative aircraft, Sense and Avoid, Reconnaissance aircraft, Military UAS, and Commercial and Civilian) and ground stations. It also includes a table of UAS types and their capabilities, and a section on UAS Remote-ID Certification.
- | UAS Type                | Capabilities                                     |
|-------------------------|--------------------------------------------------|
| Communications aircraft | 1. High-altitude, long-endurance (HALE) aircraft |
| Cooperative aircraft    | 2. High-altitude, long-endurance (HALE) aircraft |
| Sense and Avoid         | 3. High-altitude, long-endurance (HALE) aircraft |
| Reconnaissance aircraft | 4. High-altitude, long-endurance (HALE) aircraft |
| Military UAS            | 5. High-altitude, long-endurance (HALE) aircraft |
| Commercial and Civilian | 6. High-altitude, long-endurance (HALE) aircraft |

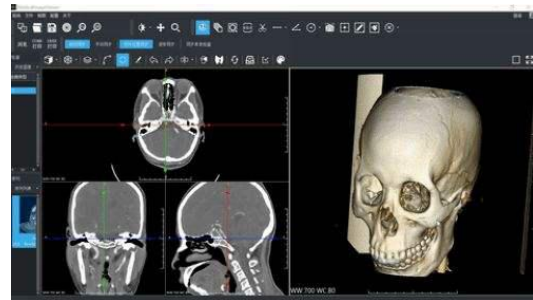




摄影测量



自动驾驶



健康医疗

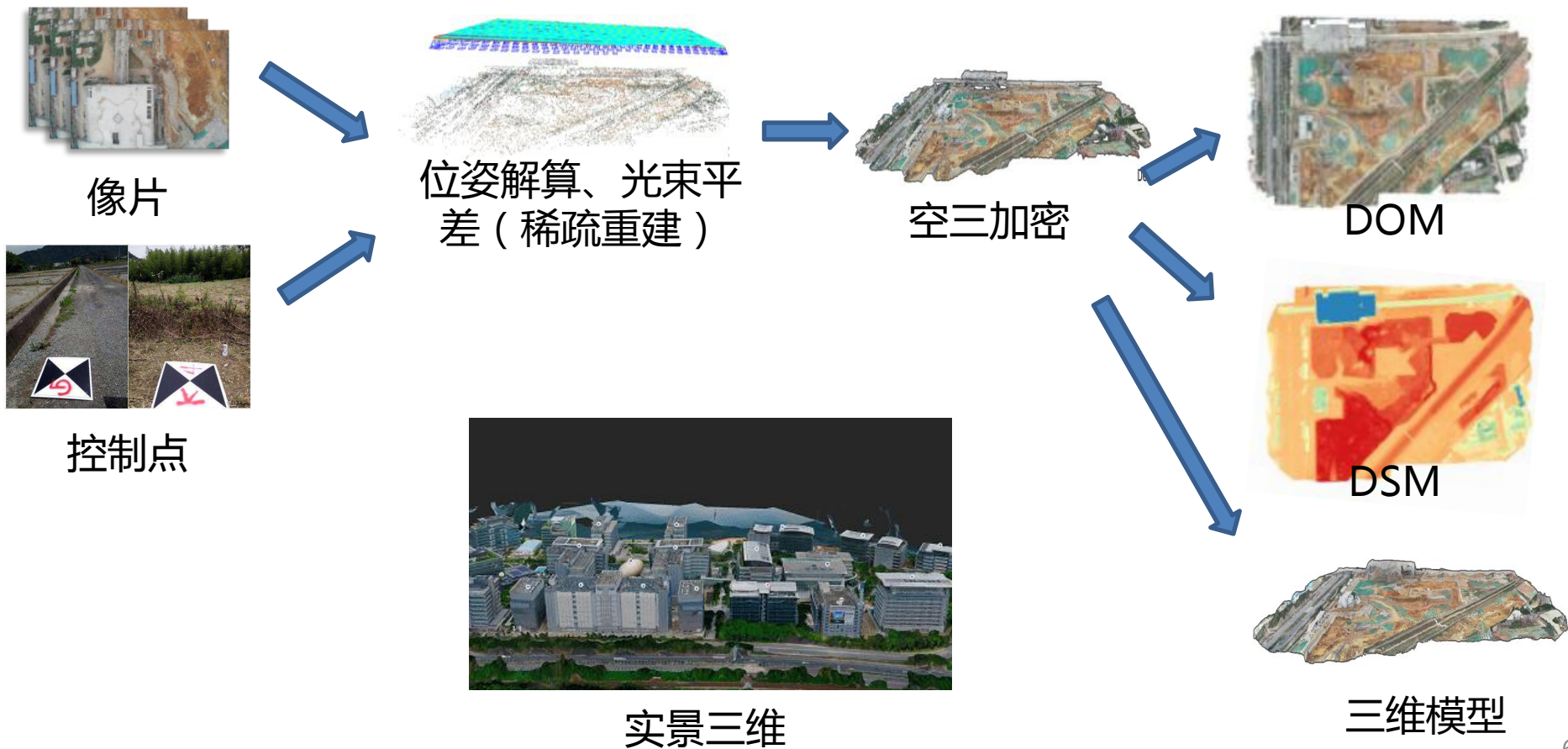


混合现实

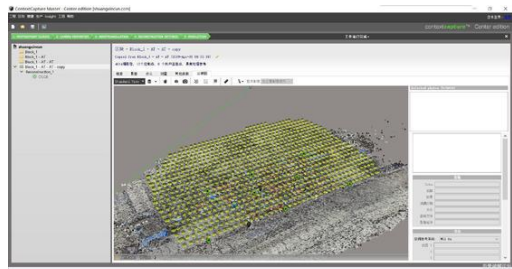


无人系统

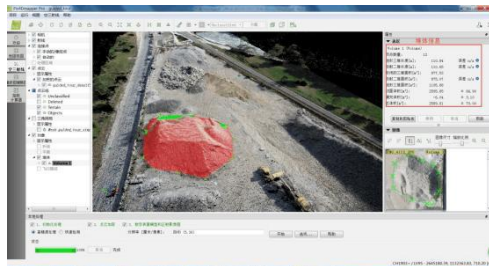
智慧城市  
数字孪生  
电影特效  
数字看房&装修  
数字博物馆  
3D打印  
。 。 。



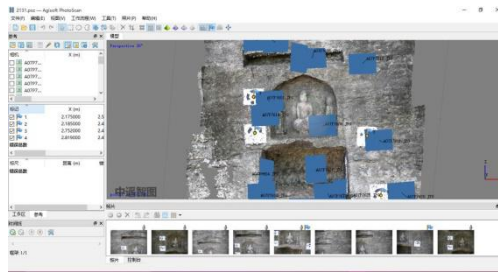
# 部分航测软件和公司



Smart3D (CC)



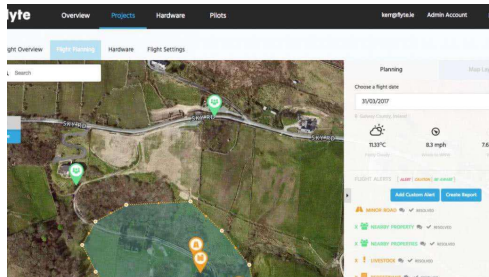
Pix4D



Photoscan



大疆智图



DroneDeploy



Altizure



讯图科技-天工



大势智慧-重建大师

# 离线SfM vs 在线SLAM

|    | 离线SfM                               | 在线SLAM                                   |
|----|-------------------------------------|------------------------------------------|
| 起源 | 计算机视觉领域用于解决 <b>视觉三维重建</b> 问题        | 机器人领域用于解决 <b>定位和建图感知</b> 问题              |
| 输入 | <b>无序</b> 图片列表                      | <b>有序</b> 图片观测流                          |
| 优点 | 能充分挖掘观测信息并进行统一的优化处理，获得 <b>较高的精度</b> | <b>实时</b> 给出结果，流程通过精心设计一般 <b>效率较高</b>    |
| 缺点 | 需要等待所有图片进行批处理， <b>无法实时给出结果</b>      | 一般 <b>难以处理高分辨率低重叠率图像</b><br>实时精度难以抗衡离线处理 |

基本理论是一致的，两个领域有大融和趋势，如何相互借鉴？



# 行业面临的问题

外 业

内 业

数据采集



图像拼接



数据分析



报告整理

- 现有工具软件功能不完全，且多数**收费高**，用户选择范围少
- 现有处理工具对计算平台硬件要求过高
- 图像**数据量大**，**上传慢、处理慢**，难以满足高频次服务需求
- **飞行数据采集不确定性高**，难以在现场确定数据质量，常常需要返工重采，从而拖慢整体工程进度

- 不同行业专业跨度大，同一分析方法难以满足不同行业需求
- **自动化程度低**，大多数分析依赖人力，且质量参差不齐
- 数据量大，分析慢，难以满足高频次服务要求

由于数据量及计算需求巨大，目前工具软件普遍存在**处理耗时长、成本高**等问题

# 产业的需求 — 速度更快



农业植保



能源巡检



应急响应与救险



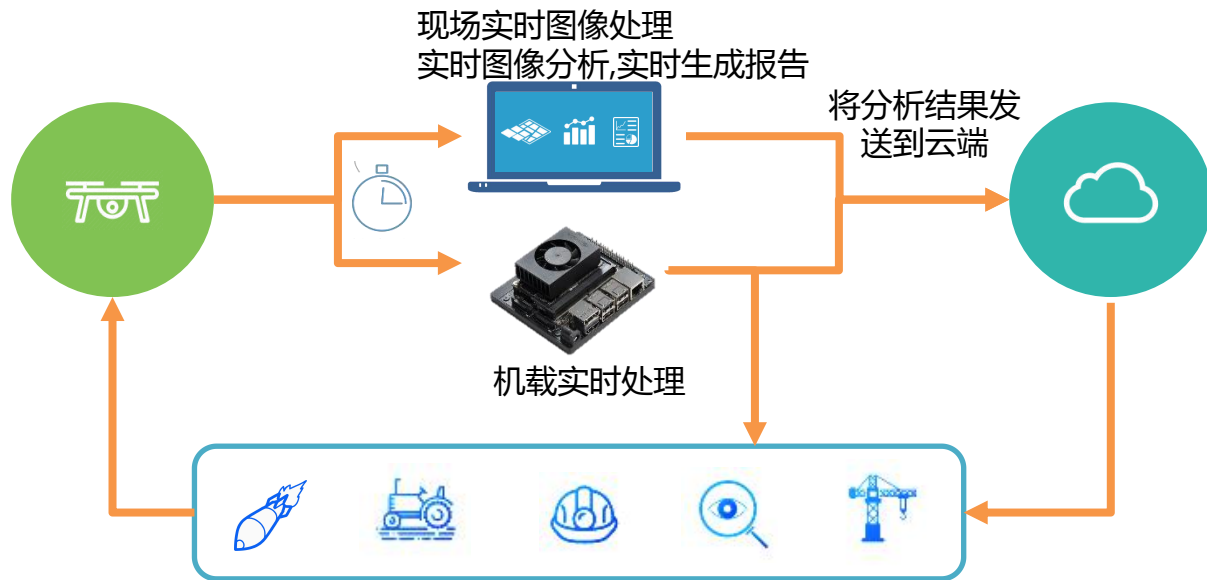
国防与公共安全

- 需要新的处理算法，提升采集处理效率，降低成本提供方便和效率
- 需要新的处理流程，提供实时处理能力，极致效率拒绝等待
- 需要新的部署模式，无需高性能服务器，低功耗算力机载及移动设备直接处理

**构建一个实时更新的时空数字孪生三维实景地球**

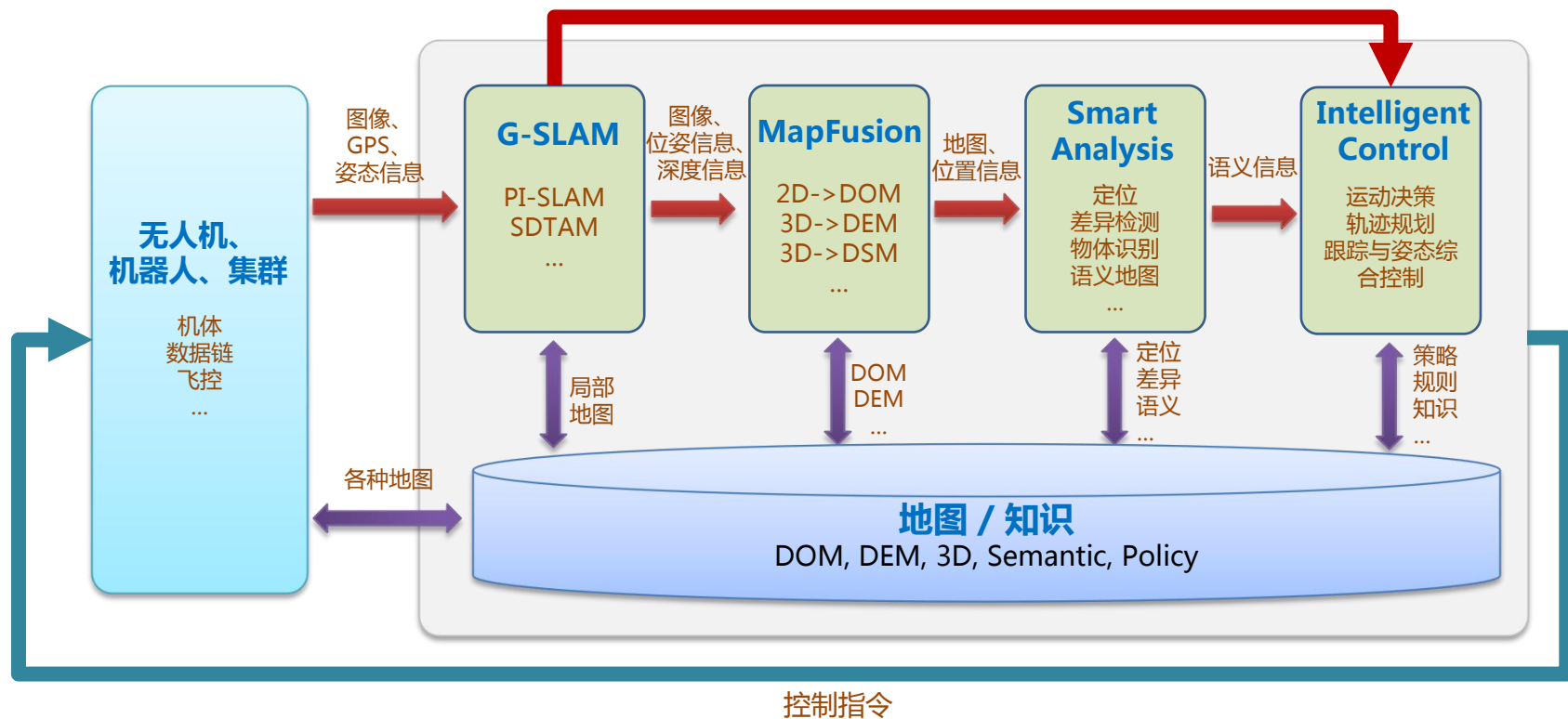
- 研究背景与意义
- 无人机实时地图
- 应用场景
- 总结与展望

无人机实时地图：利用机载传感器实时构建环境地图并进行智能分析，能够给各种智能体以及各种应用提供高时效性的空间地理信息

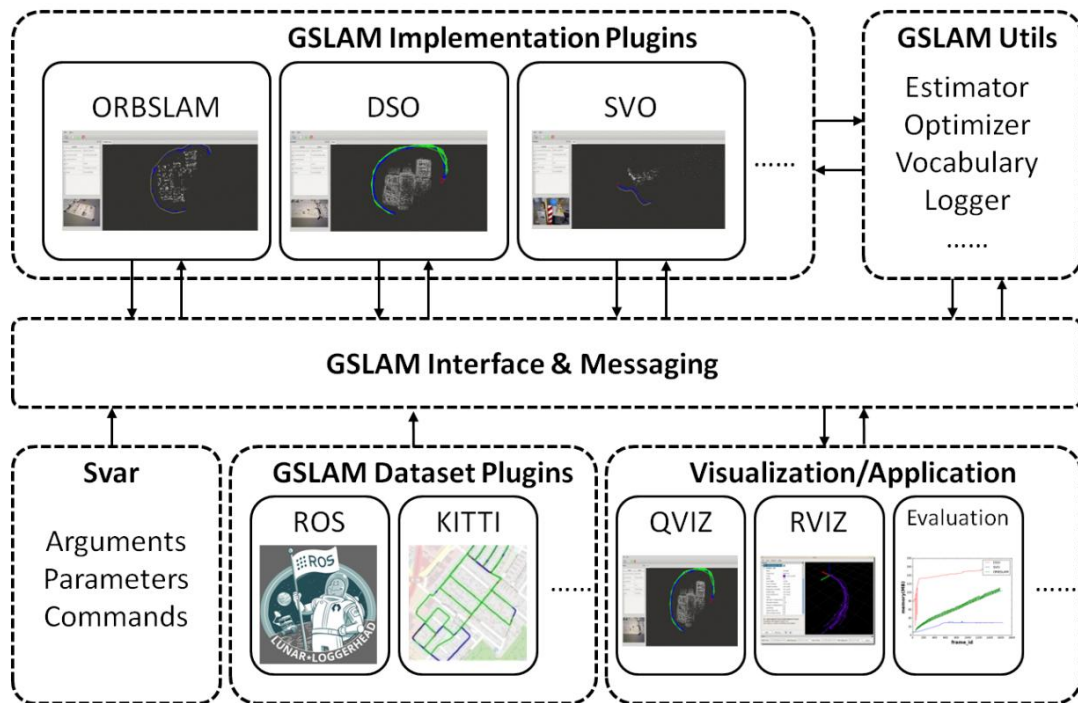


- 提高无人机建图效率、简化处理流程以及降低成本
- 为各类自主无人装备、地理信息应用提供高时效信息

# 无人机实时地图 — 体系架构



# ( 1 ) G-SLAM ( 通用的SLAM框架 )



- 开源通用的SLAM开发框架与平台
- 插件式架构设计
- 高性能组件和函数库
- 支持C++ 11
- 提供Python/Javascript 开发接口

# ( 1 ) G-SLAM – PI-SLAM

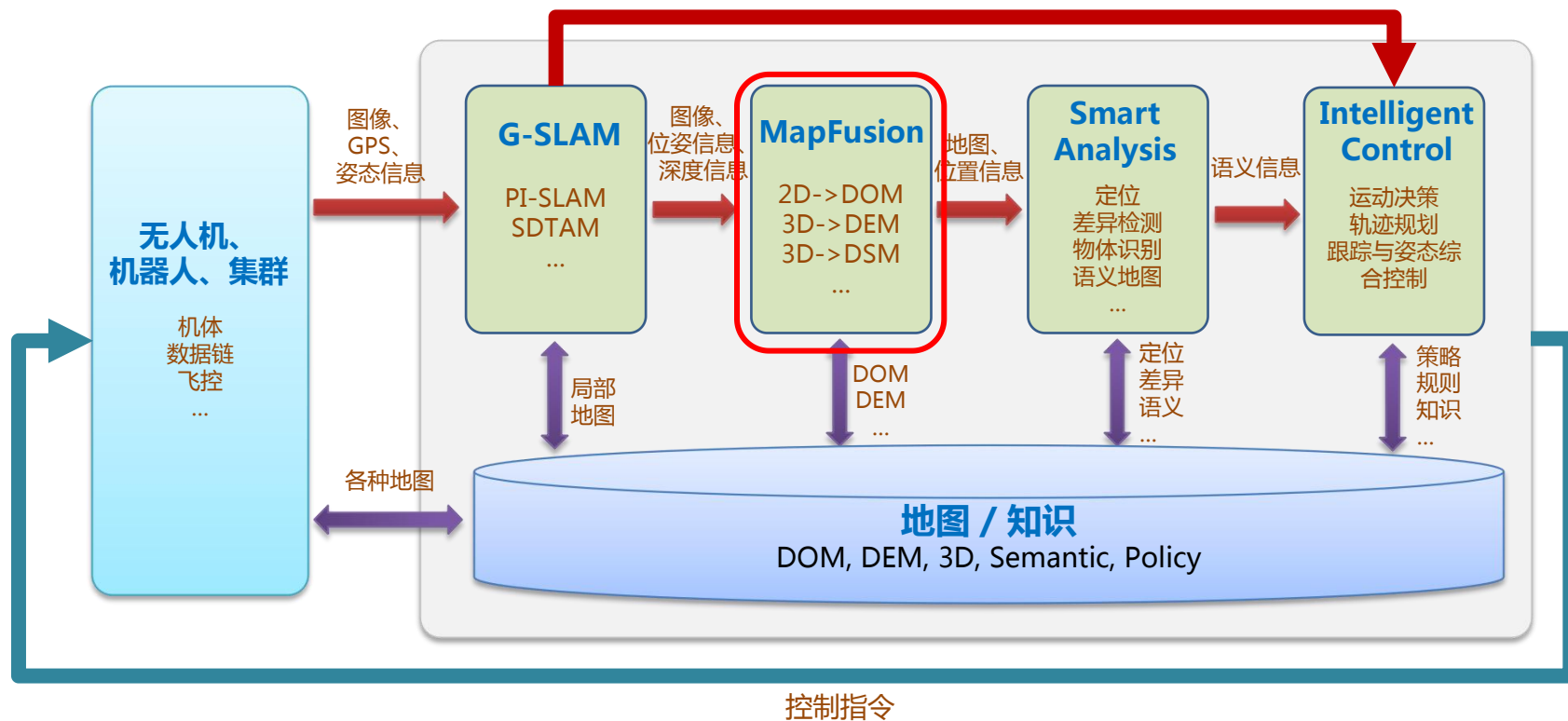


## Pilot Intelligent SLAM ( PI-SLAM )

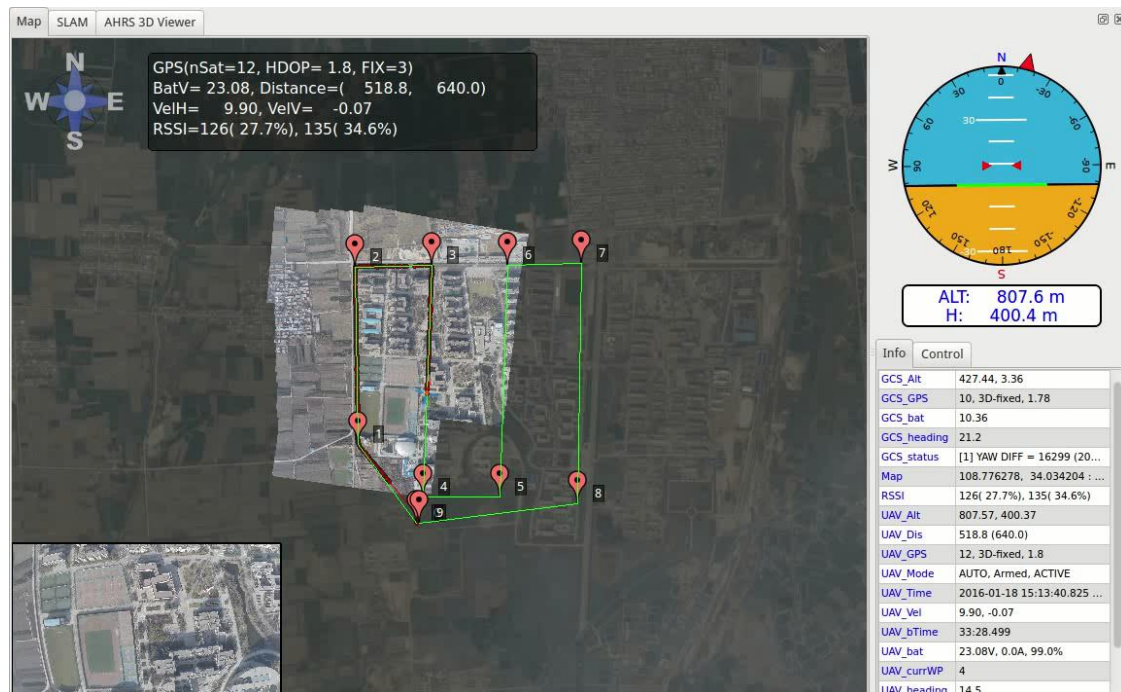


- 高速处理：1080p图像处理速度到30 FPS
- SLAM和SfM之间的平衡: 支持40M像素照片的快速处理
- 多源数据融合：各种类型的图像、导航数据能够融合并联合优化
- 实时 DOM/DSM: 自适应多波段融合方法，支持实时正摄影像地图生成
- 支持大范围：数据网格、在线缓存

## ( 2 ) MapFusion

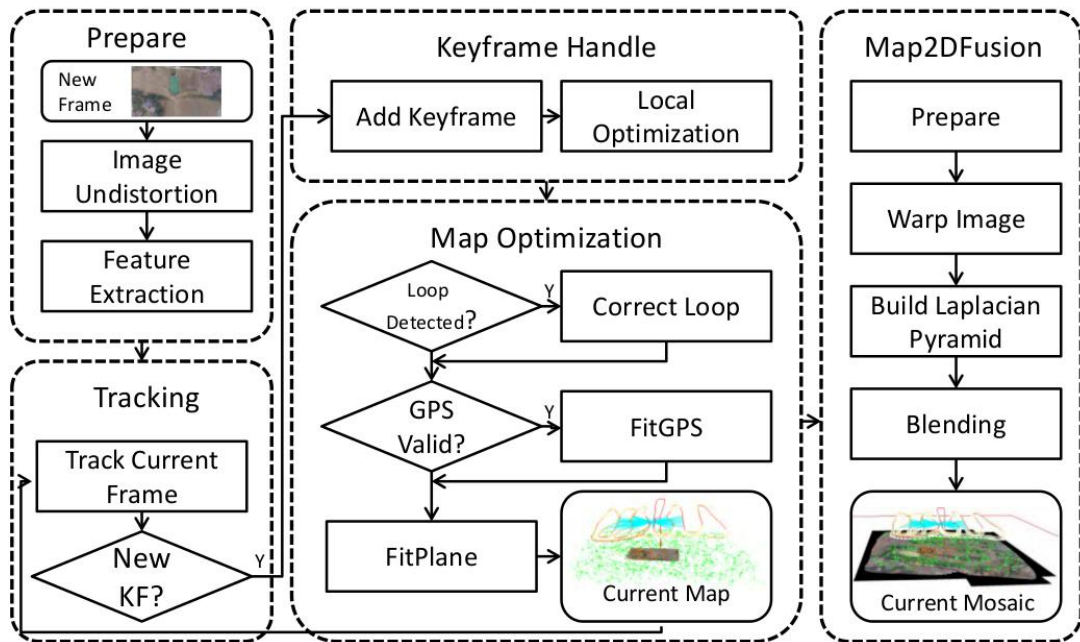


# ( 2 ) MapFusion – Map2DFusion



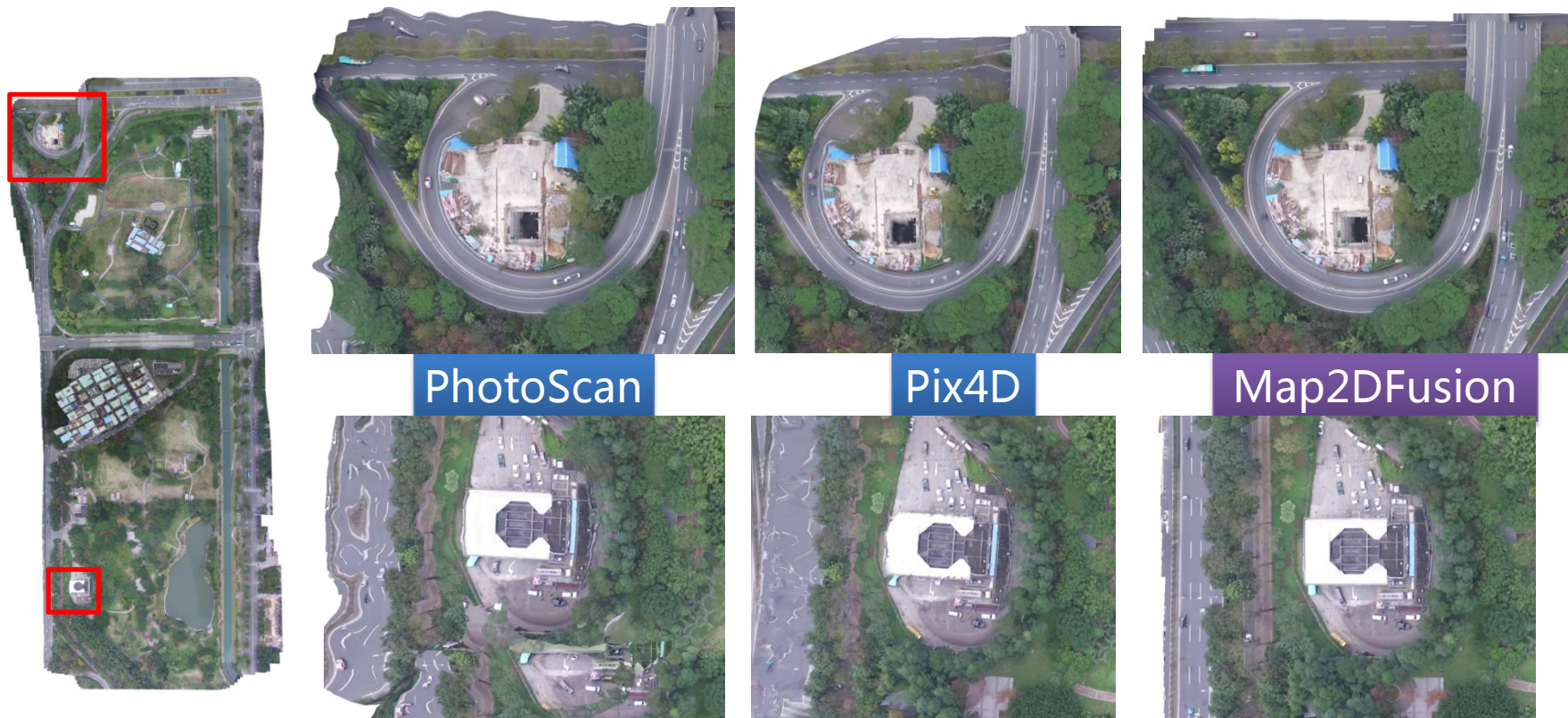
- 实时融合 2D正摄影像地图 (DOM), 2.5D 地图 (地形), 3D 地图(点云、网格)
- 具有扩展能力
- 整合数据处理、分析功能

# ( 2 ) MapFusion – Map2DFusion



- **Feature based Visual SLAM System: PI-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.

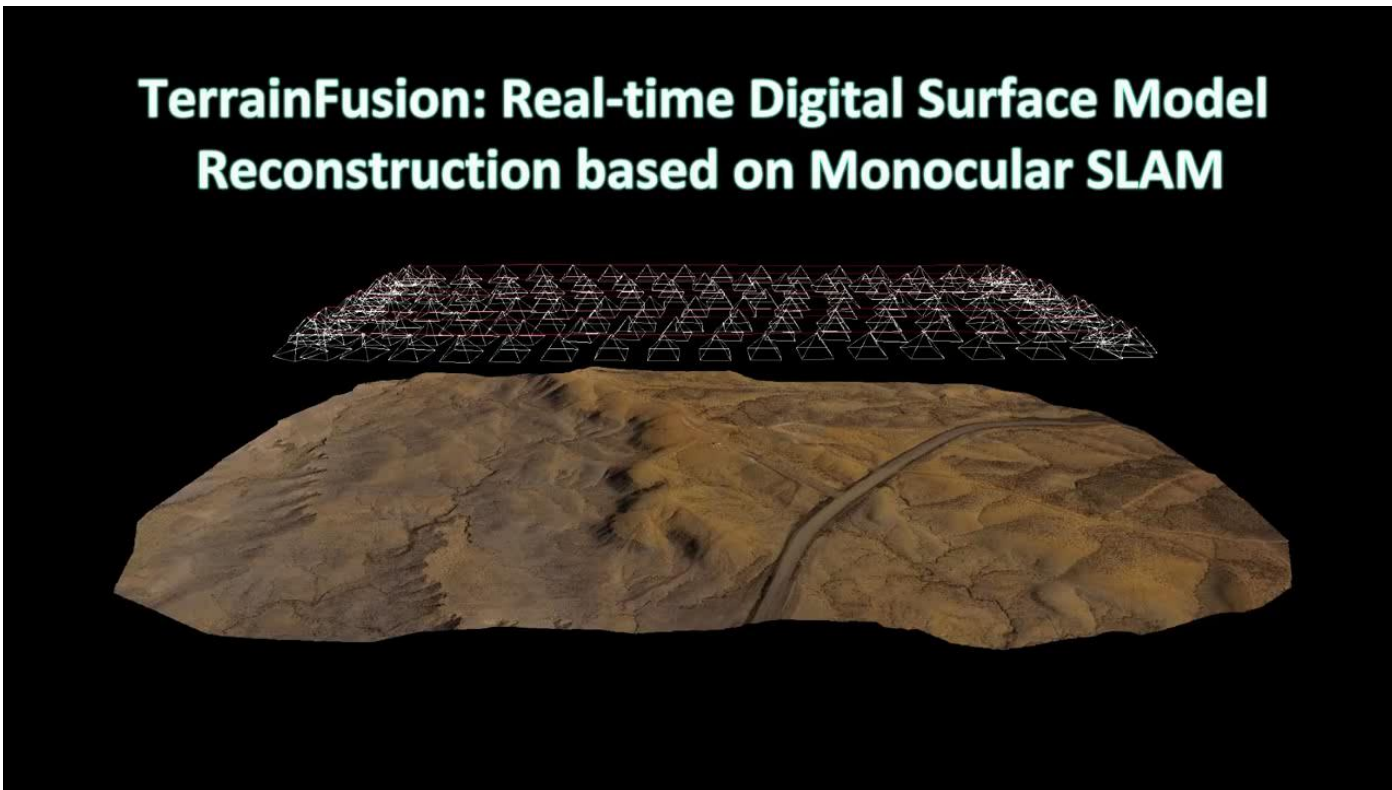
## ( 2 ) MapFusion – Map2DFusion



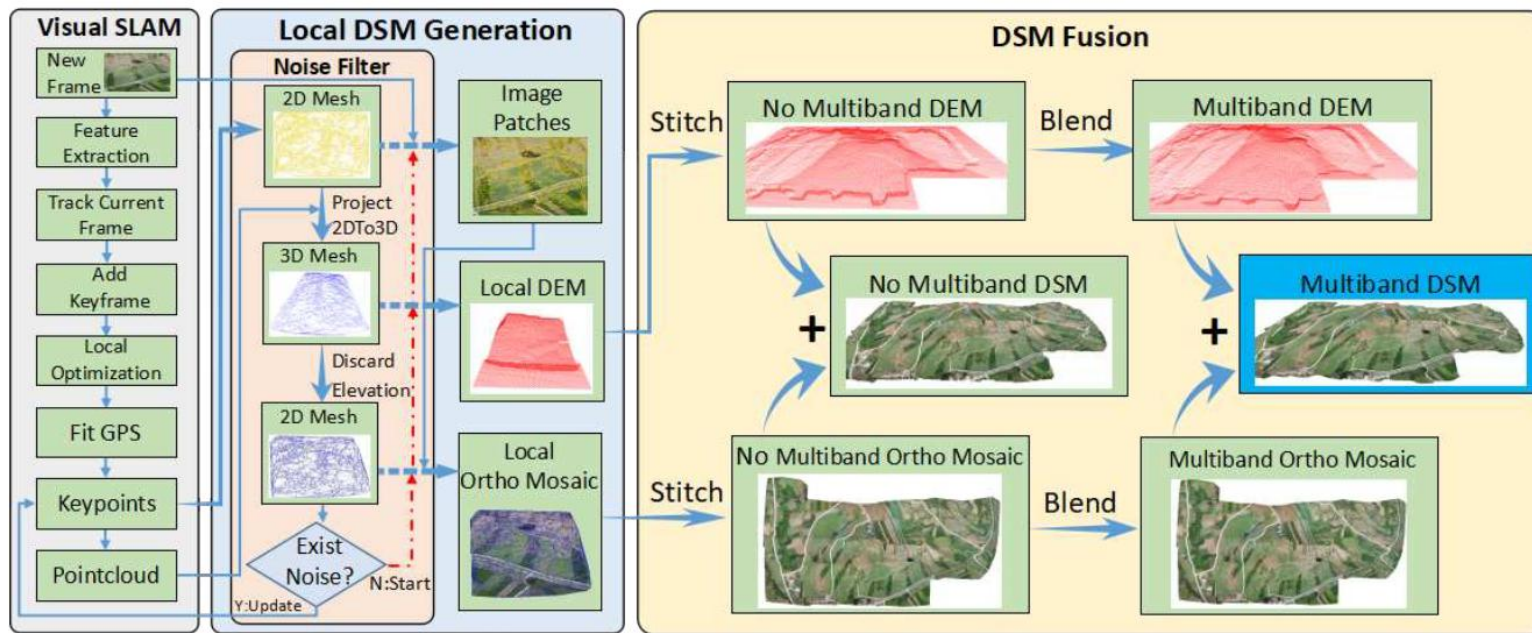
## ( 2 ) MapFusion – TerrainFusion



### **TerrainFusion: Real-time Digital Surface Model Reconstruction based on Monocular SLAM**



## ( 2 ) MapFusion – TerrainFusion



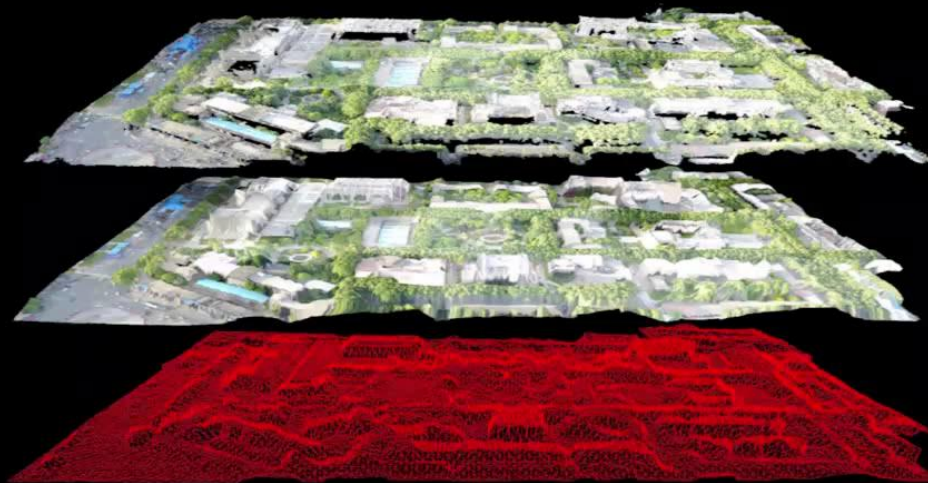
- Realtime 2.5 DSM generation
- Improved DOM quality
- Large area support
- Adaptive quality support

## ( 2 ) MapFusion – DenseFusion

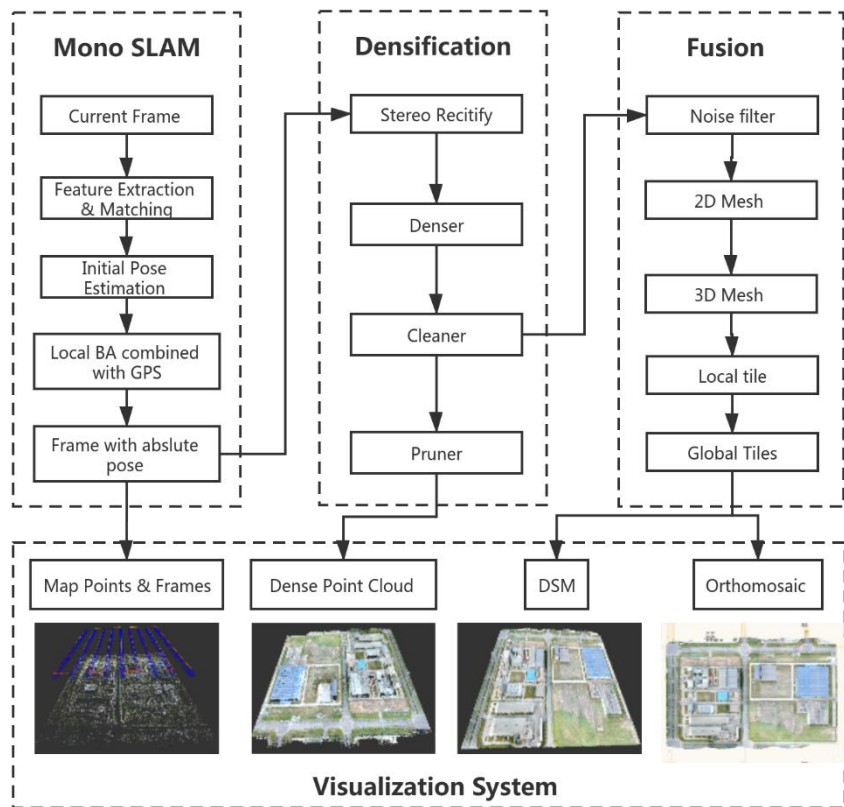


### DenseFusion: Large-Scale Online Dense Pointcloud and DSM Mapping for UAVs

L Chen, Y Zhao, S Xu, S Bu, P Han and W Gang

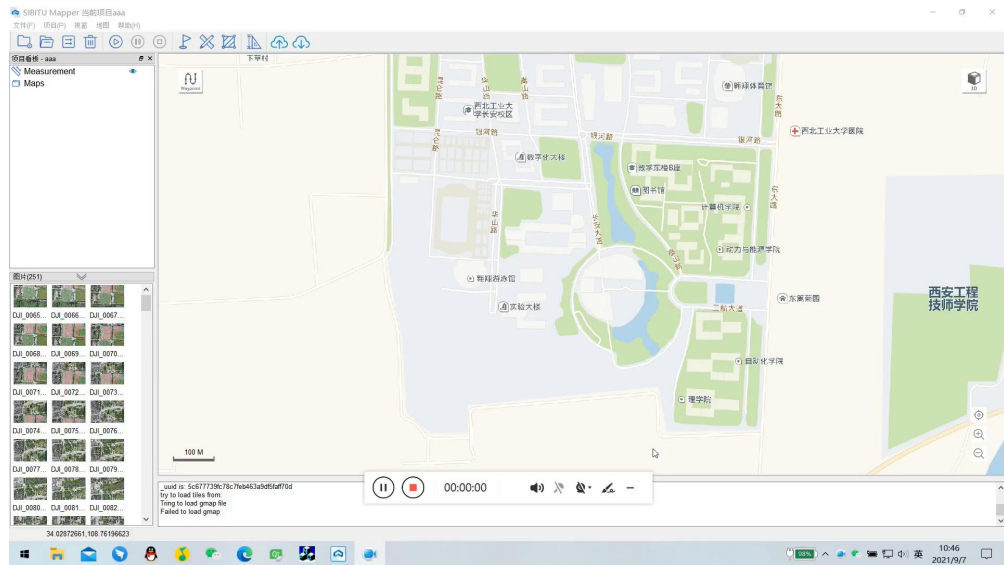


## ( 2 ) MapFusion – DenseFusion



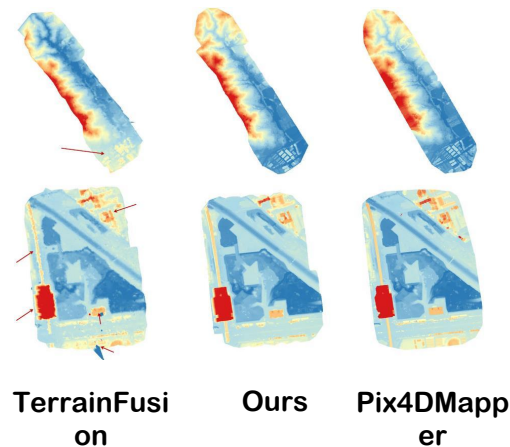
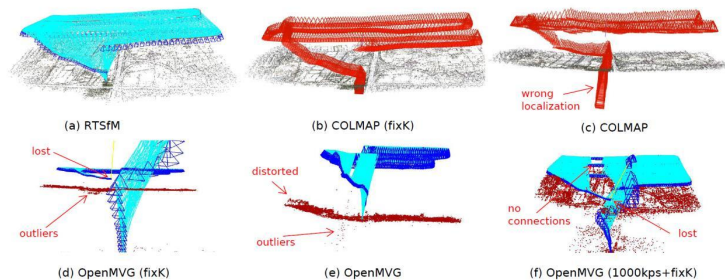
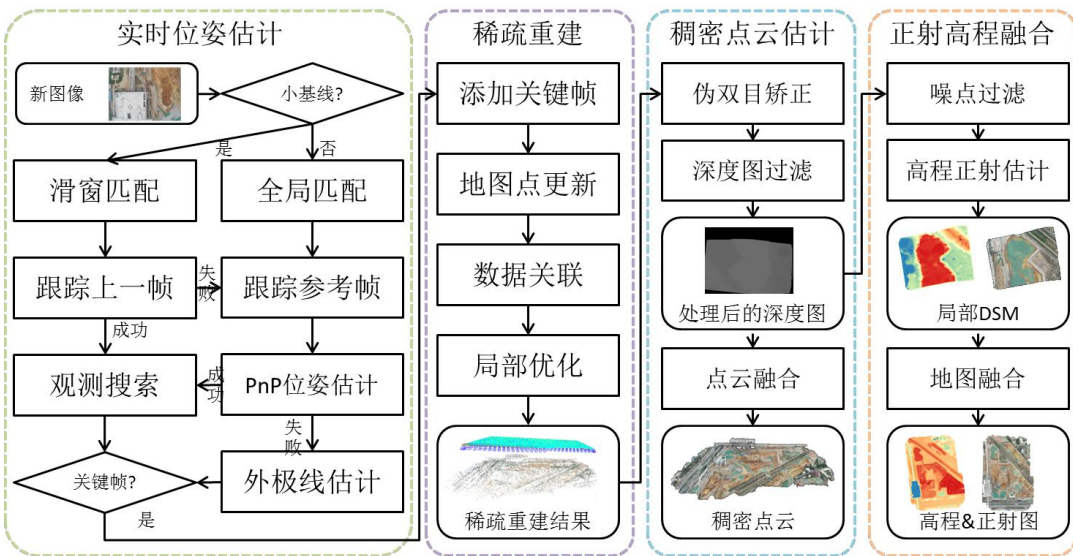
- 实时快速3D稠密点云和DSM生成 – 前端使用视觉SLAM，增量点云稠密化和融合
- 正射影像地图质量提升 – 从稠密点云生成正射影像地图，错位更少
- 大范围支持 – 处理流水线利用队列，结果切割成瓦片，降低内存需求

## ( 2 ) MapFusion – RTSfM无人机实时三维重建

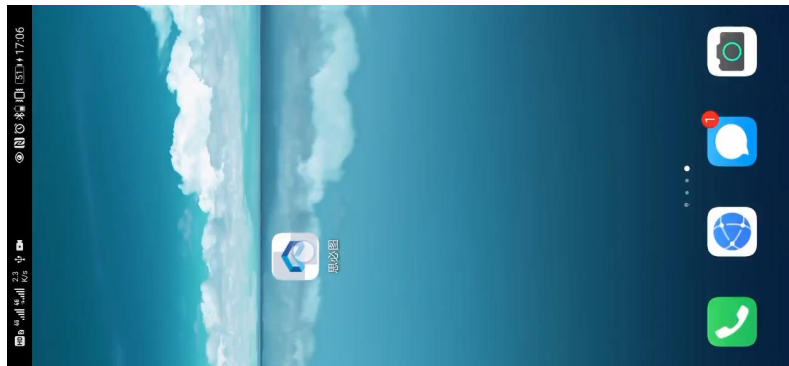


- 自研SLAM前端同时支持视频和  
低重叠率图片输入，在线GPS融合，  
每个地图点都有全球地理坐标
- 结合RTK信息精度可媲美离线处理结果，点云平均精度可达  
10cm，正射图水平精度可达  
20cm ( 100m飞行高度，p4r )

# (2) MapFusion – RTSfM无人机实时三维重建



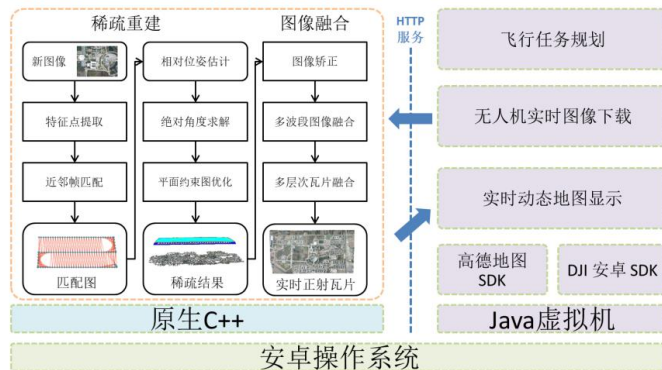
# ( 2 ) MapFusion – 嵌入式实时二维地图重建



安卓端APP演示  
( 西北工业大学长安校区 )

通过网络分享的实时地图仅需100KB/s带宽

- 自动区域&航点航线规划
- 自动图像&POS下载记录
- 实时正射影像拼接&渲染



## ( 2 ) MapFusion – 嵌入式实时二维地图重建



嵌入式实时二维地图

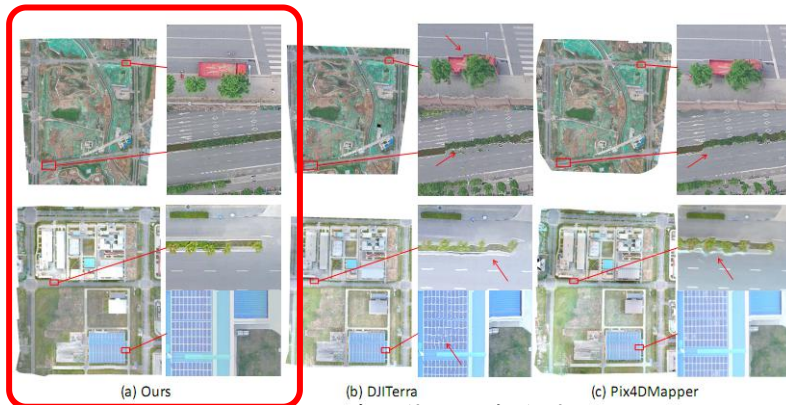
DJITerra

Pix4DMapper

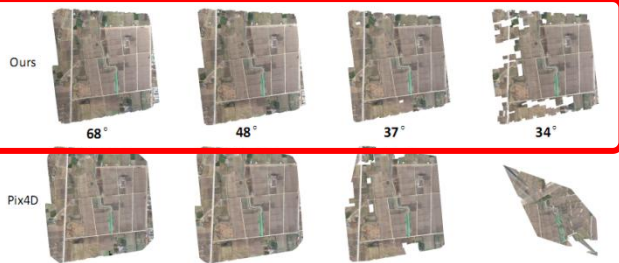
## ( 2 ) MapFusion – 离线快速低重叠率正射影像重建



在公开数据集dronemap2中表现优异



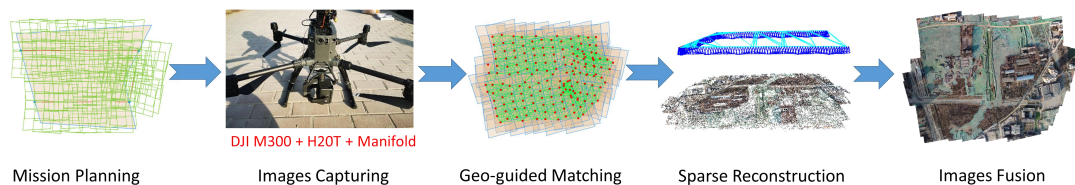
在道路等场景表现优于现有方法



对于长镜头效果优于现有软件

- 超快拼图,每秒约处理20MB被JPG压缩的图片,比PIX4D快两个数量级
- 分米级精度 ( RTK条件下 ), 满足大部分场景对地图的需求
- 对图片重叠率需求低,可处理高空长焦图片
- 时间复杂度接近于 $O(1)$ ,可处理海量数据

## ( 2 ) MapFusion – 基于高空长焦扫摆相机的地图重建

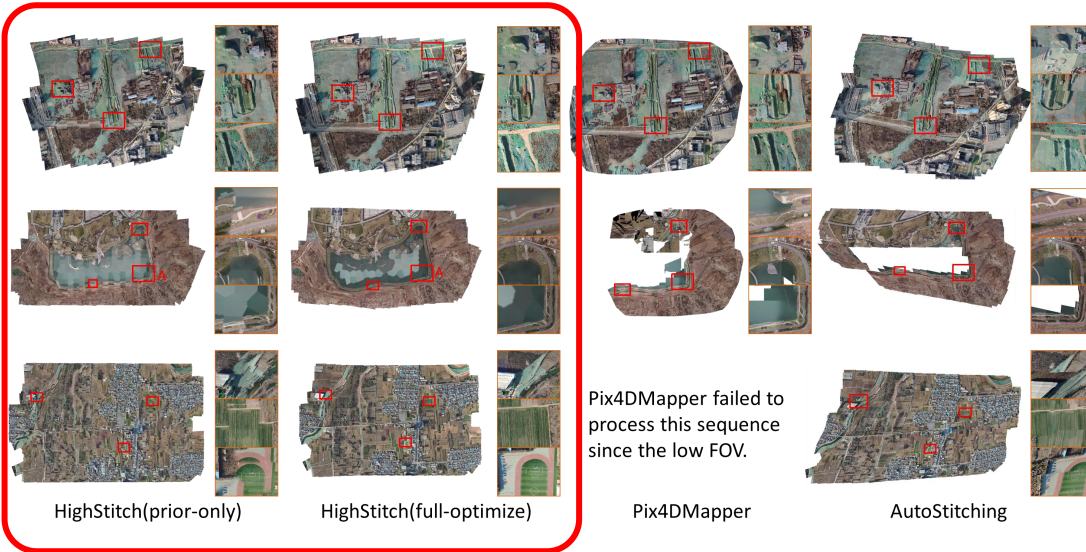


问题:

1. 已有超低空无人机测绘效率较低;
2. 高空GSD保证需要长焦;
3. 高效数据采集需要扫摆及对应控制策略;
4. 传统SfM, SLAM方法无法处理扫摆长焦数据;

贡献:

1. 高空扫摆采集, 效率巨幅提升;
2. 高效扫摆策略, 数据质量有保障;
3. 可靠高效高质量重建, 可处理弱纹理, 海量数据;
4. 可比传统方法快2个数量级;

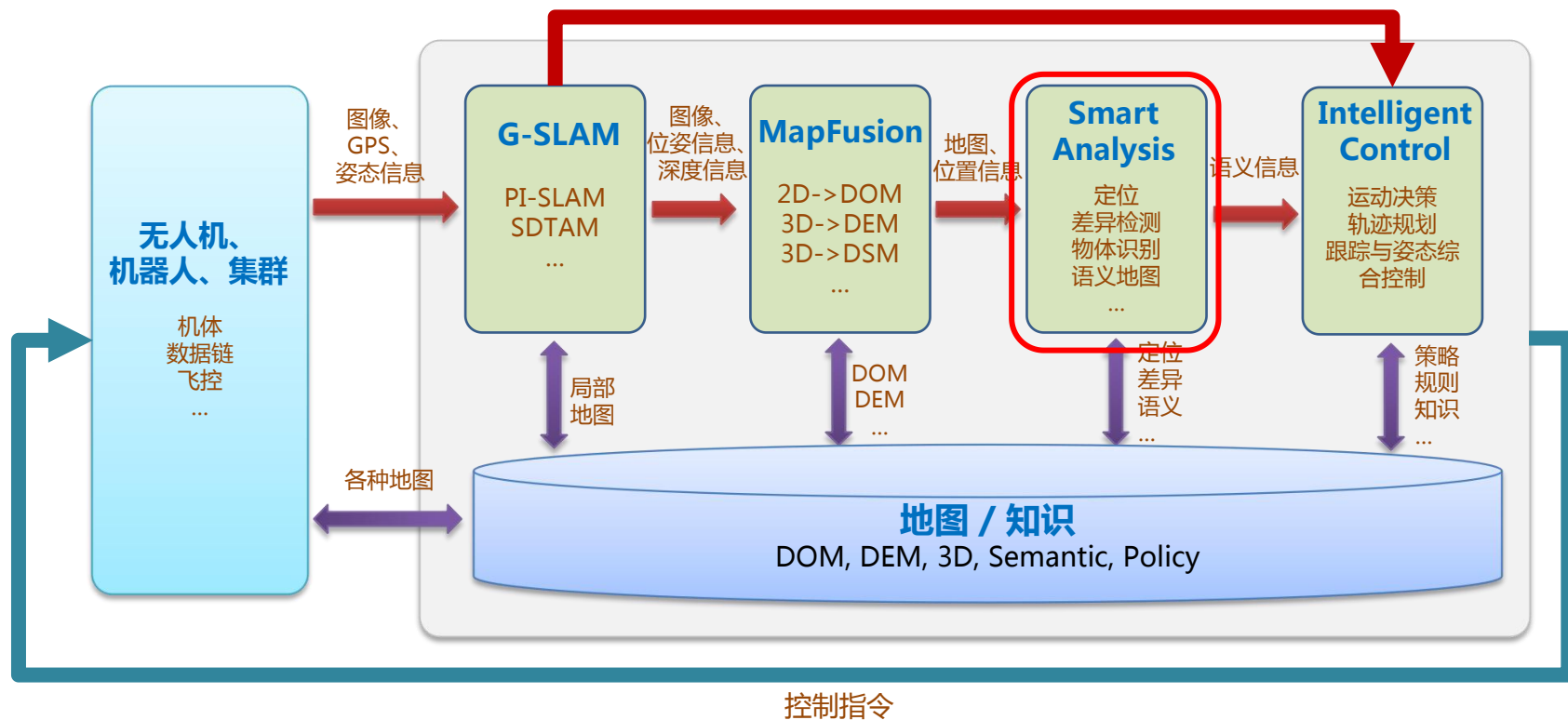


## ( 2 ) MapFusion – 正在研究中

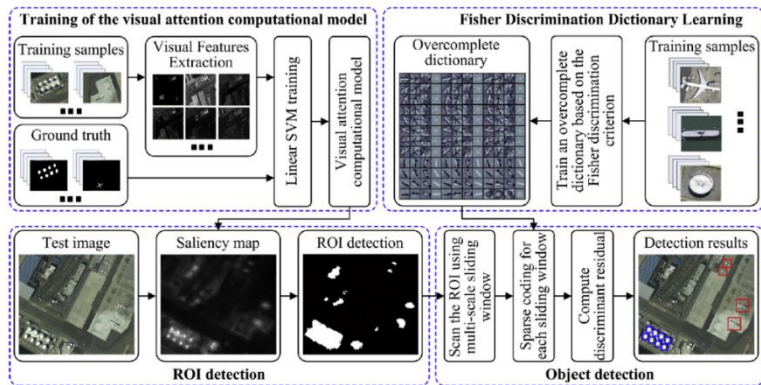
- AdaptiveFusion – 自适应实时三维建图
- HybridFusion – 融合视觉和激光雷达的实时三维重建
- ClusterFusion – 集群无人机的实时三维建图
- AutoMapping – 卫导拒止下的实时三维建图

⋮

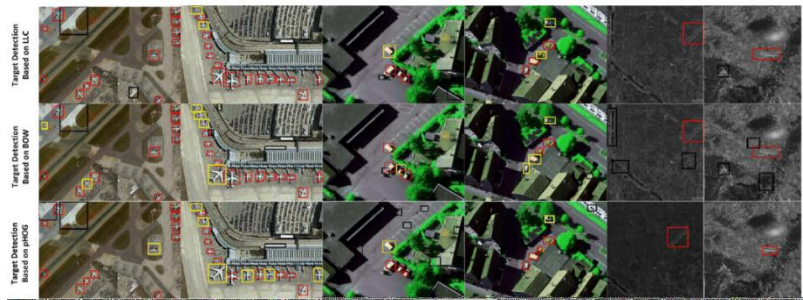
## ( 3 ) Smart Analysis ( 智能分析 )



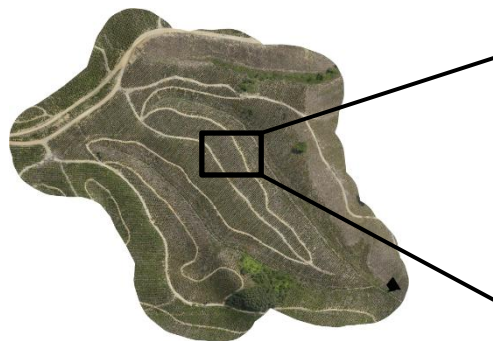
# ( 3 ) Smart Analysis – 物体检测



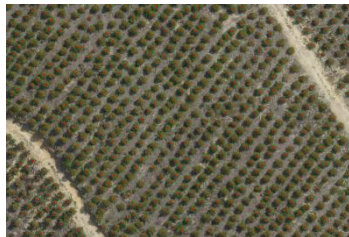
无人机车辆检测、识别



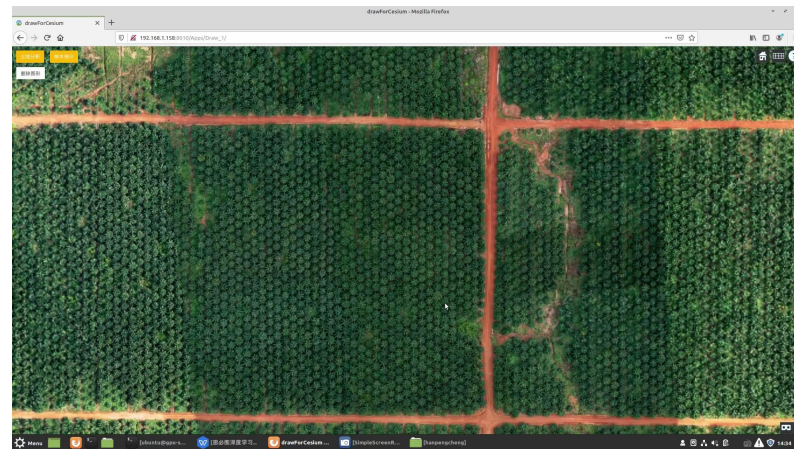
## ( 3 ) Smart Analysis – 物体检测



种植园航拍地图



数目检测与计数



系统演示

# ( 3 ) Smart Analysis – 差异检测

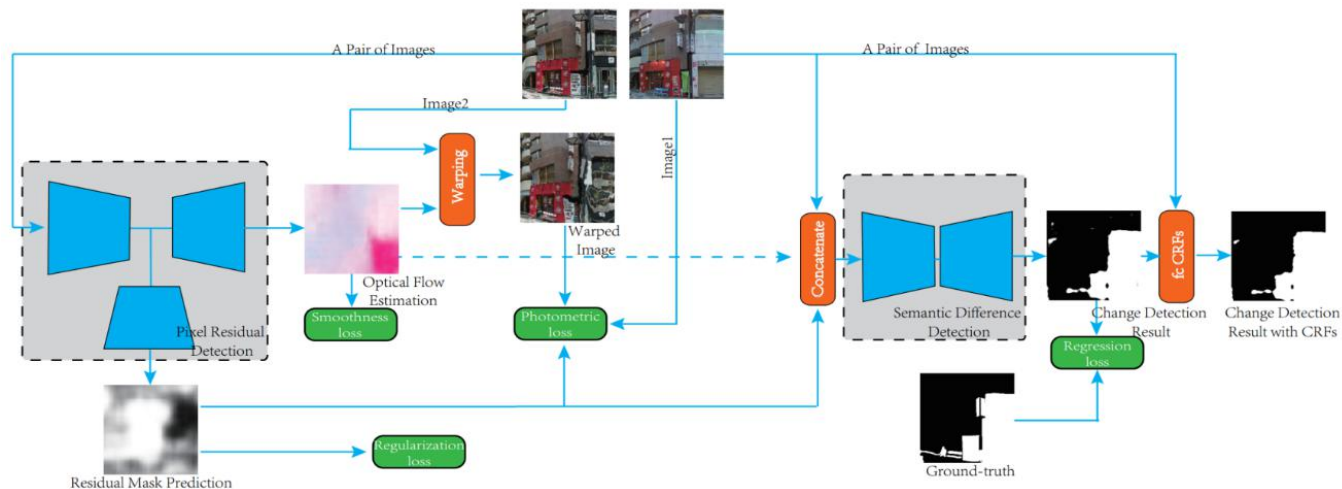
输入图像1



输入图像2



差异检测结果

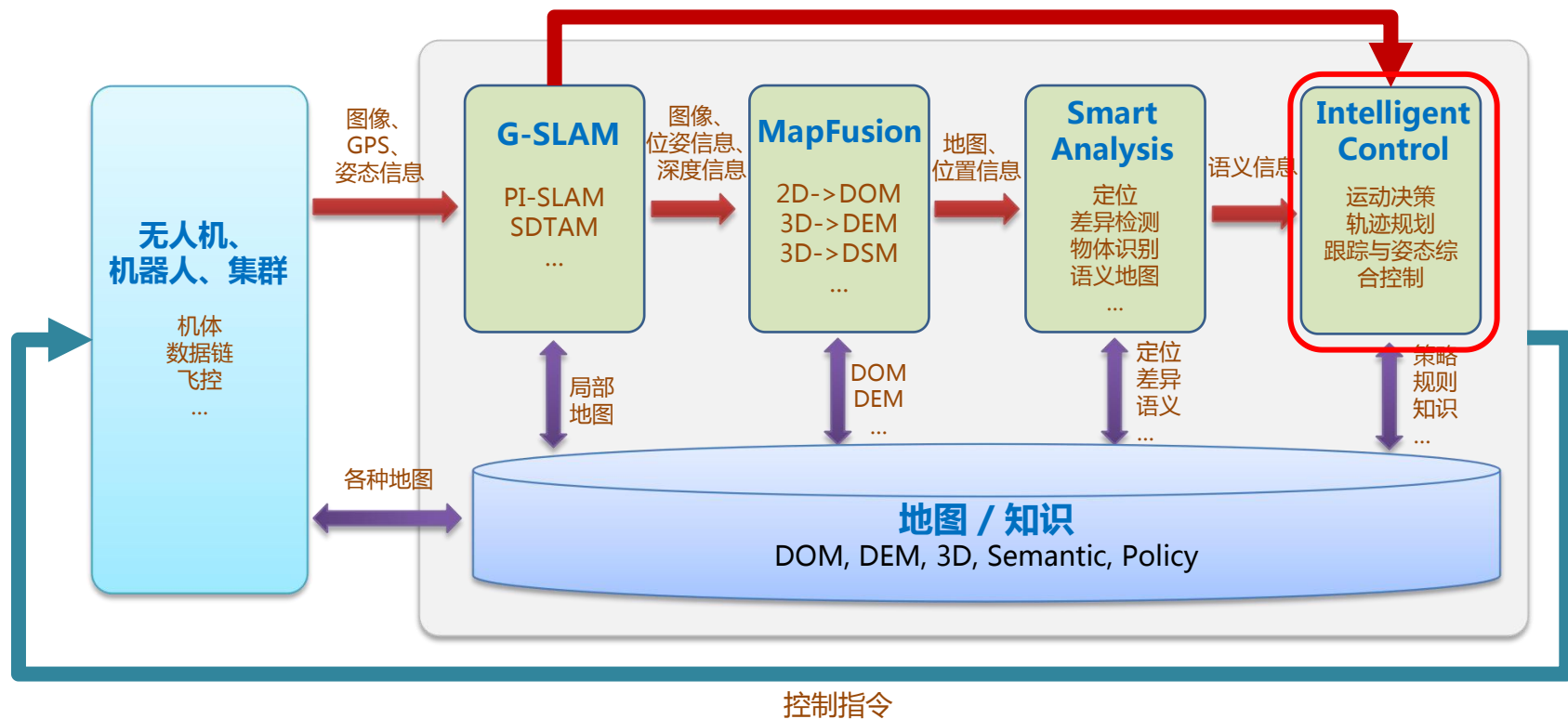


Suicheng Li, et al, "Change detection in images using shape-aware siamese convolutional network," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2020

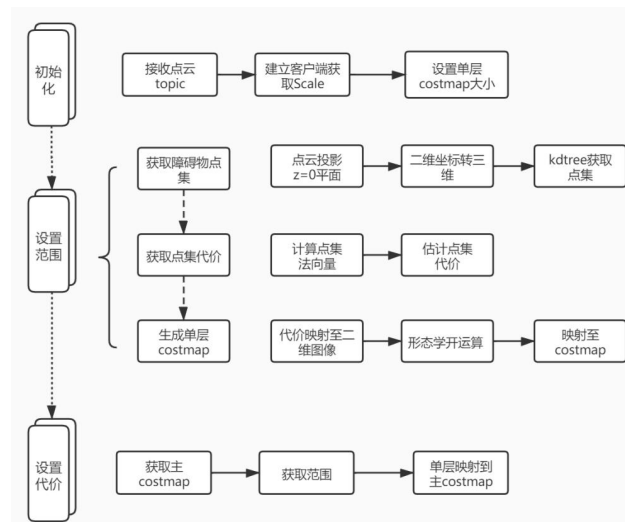
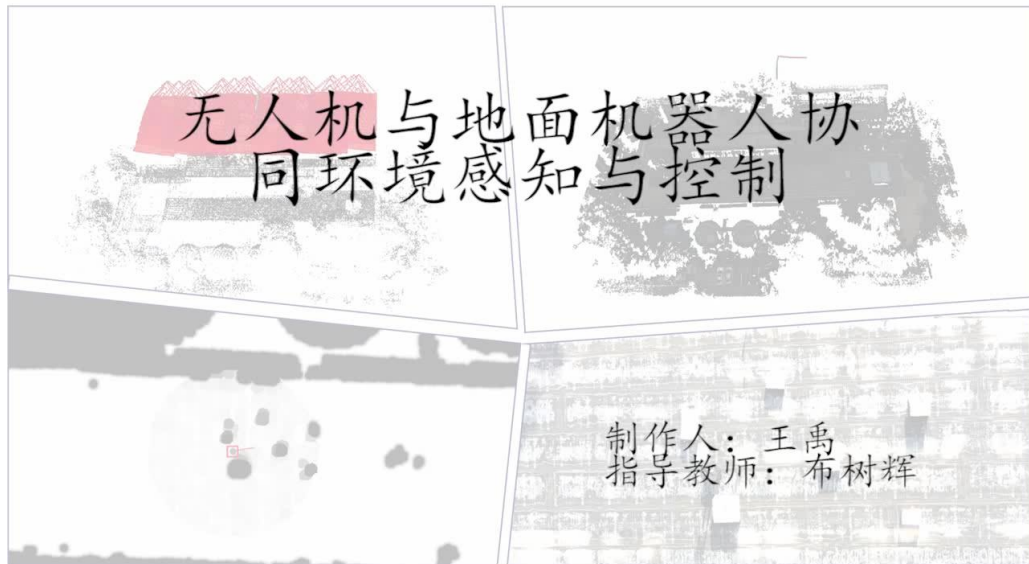
Shuhui Bu, et al., *Pixel-level Semantic Change Detection using Mask-CDNet*, 2019

Pengcheng Han, et al. "Aerial image change detection using dual regions of interest networks," *Neurocomputing*, 2019

## ( 4 ) Intelligent Control ( 智能控制 )

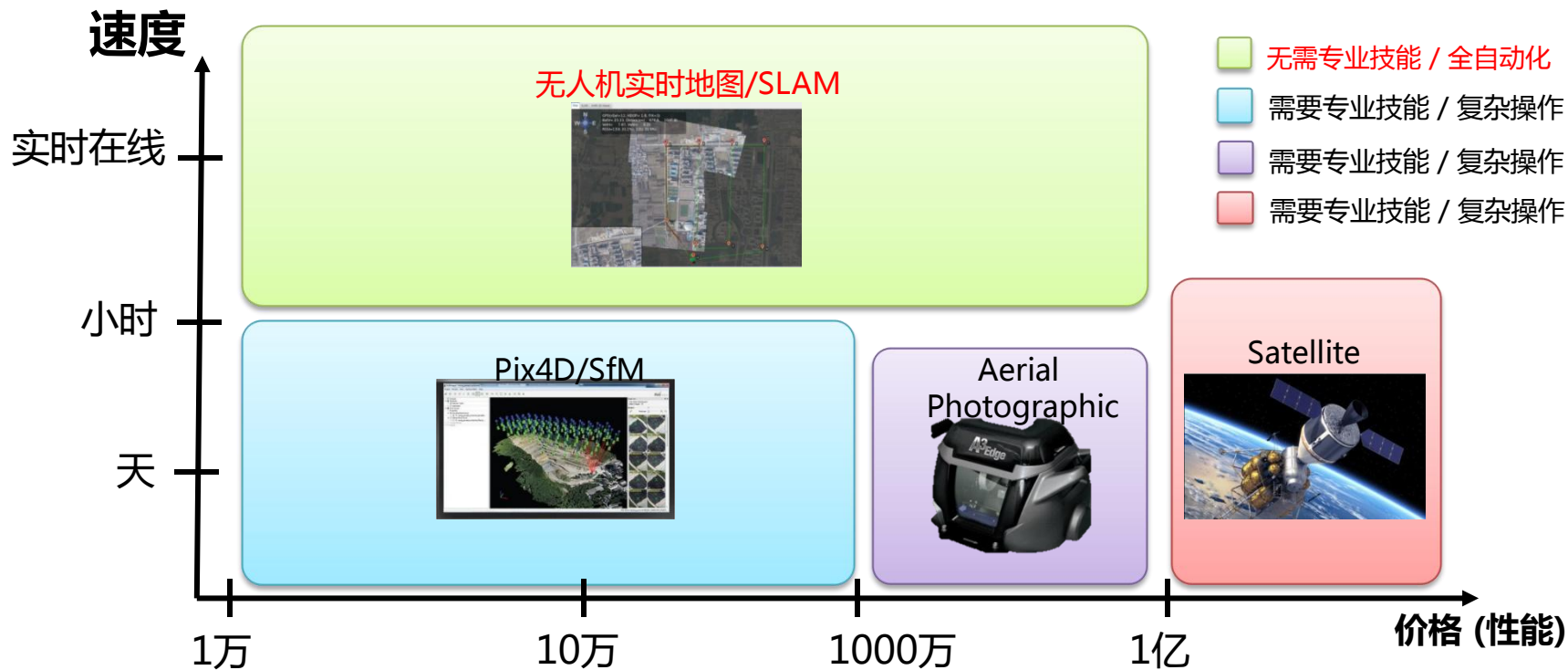


## ( 4 ) Intelligent Control – 空地协同



- 无人机生成的地图给地面机器人作为导航、避障的基础地图
- 提高地面机器人任务执行效率

- 研究背景与意义
- 无人机实时地图
- 应用场景
- 总结与展望





- 实时地图创建
- 态势感知
- 综合监视和作战
- 集群无人智能导航
- 协同导航



- 地图创建
- 植保无人机的全自动控制



- 勘探、监测、分析
- 开采规划

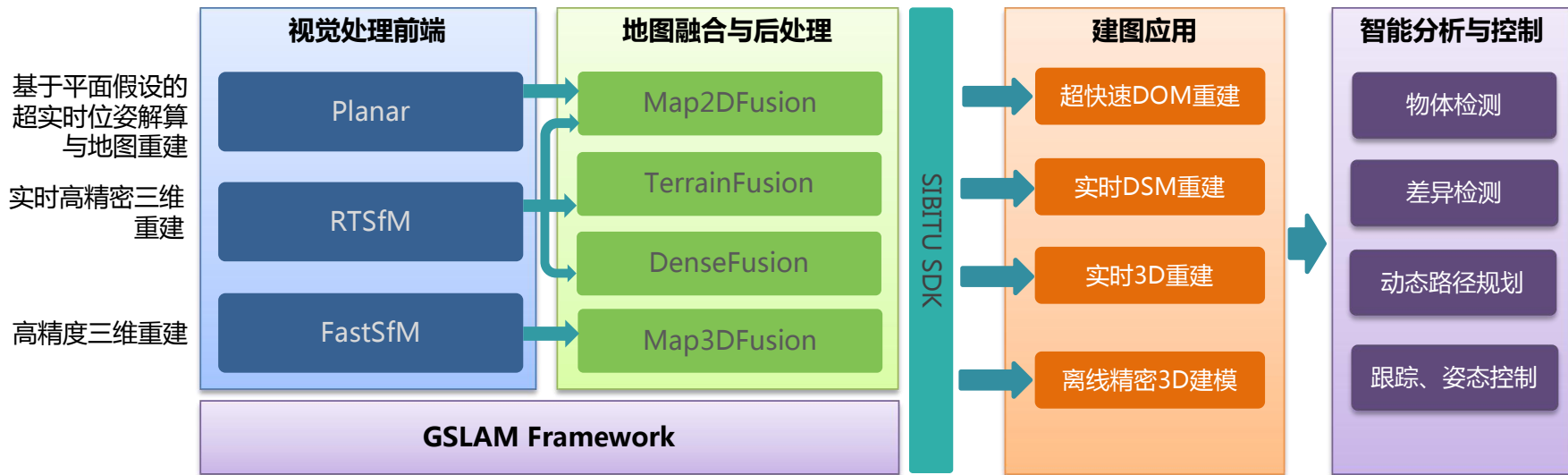


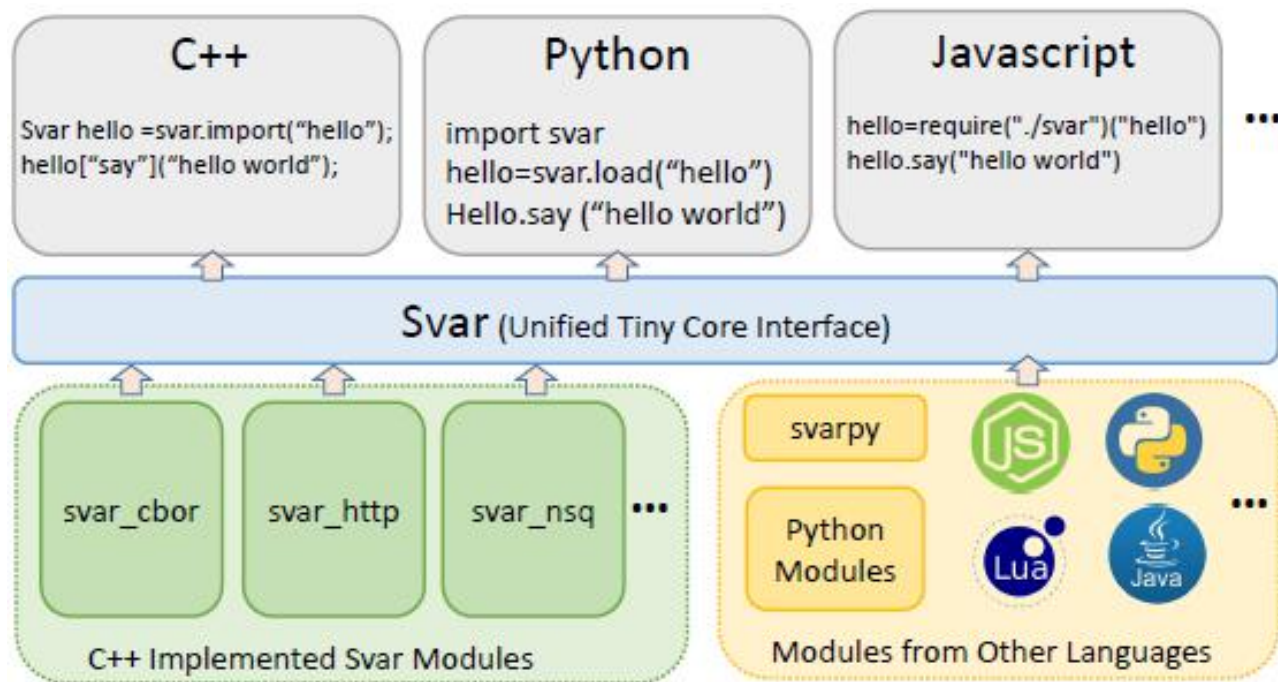
- 全局监控
- 自动数据采集



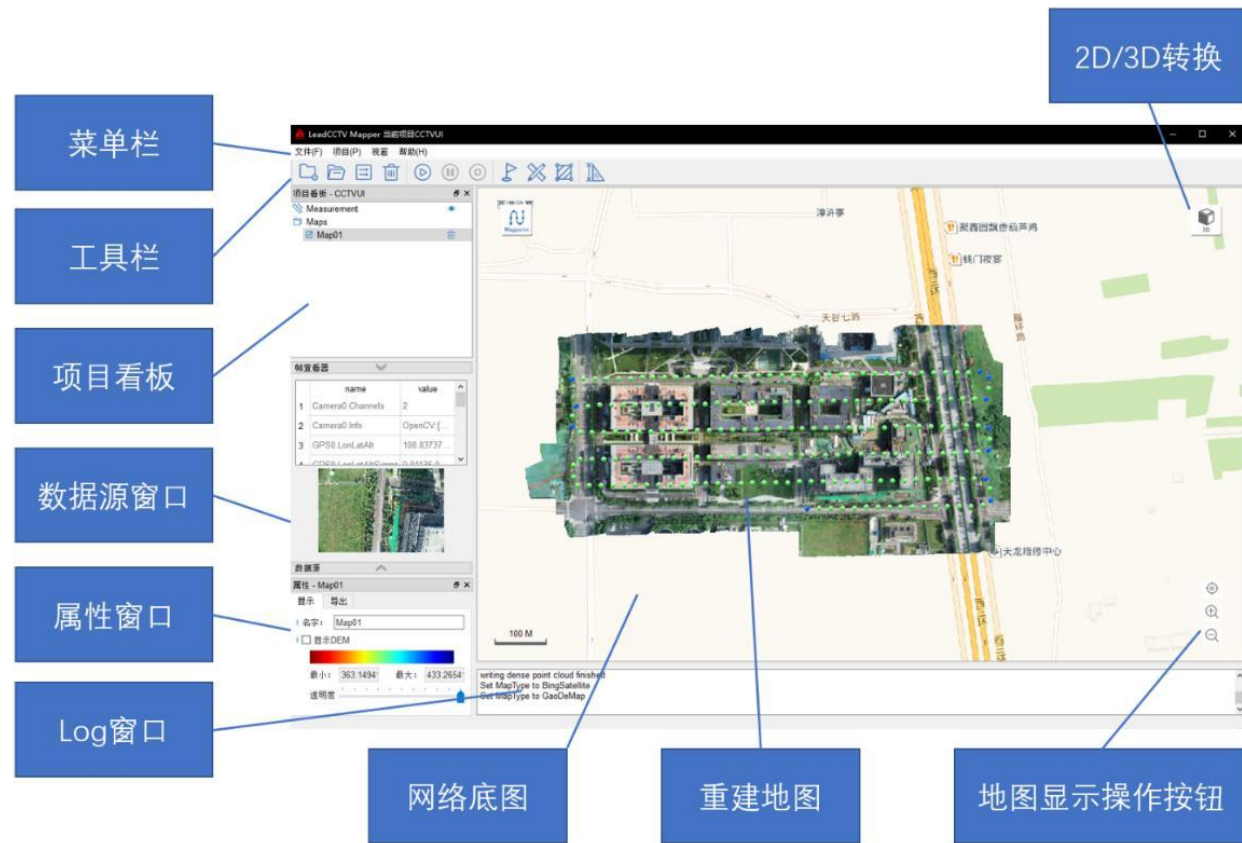
- 建筑施工  
2D/3D图定期绘制
- 保障施工进度和质量

# 软件系统架构





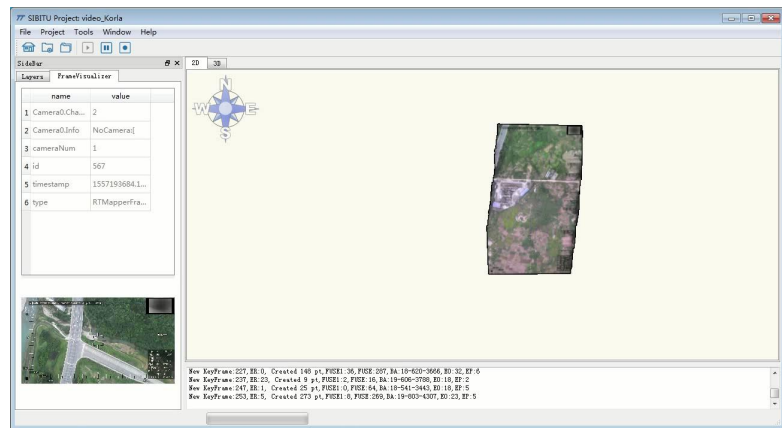
# 无人机实时地图软件 - Sibitu



- 实时二维、三维重建
- 离线快速重建
- 二维、三维标注测量
- 云地图分享

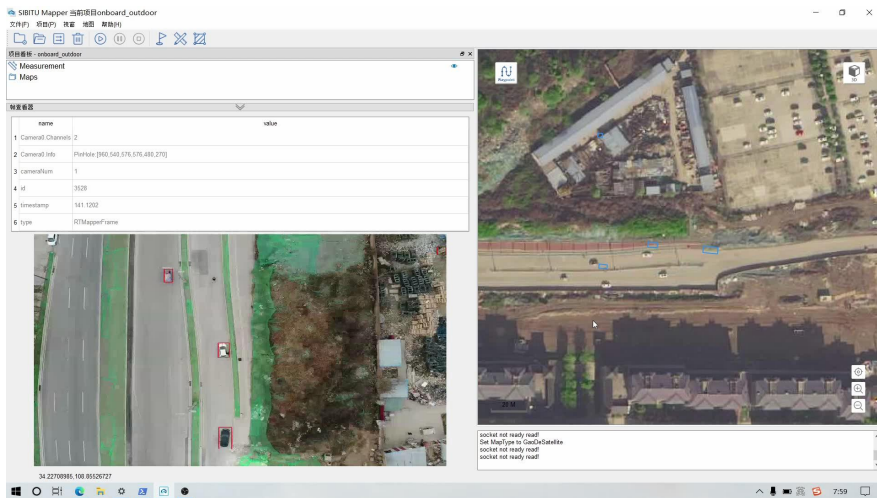
# 应用 – ①无人机监控

- 面对山体滑坡、泥石流、森林火灾、公共安全等应急巡检场景
- 同样要求对侦察区域获取信息速度够快。



# 应用 – ②物体检测与监控

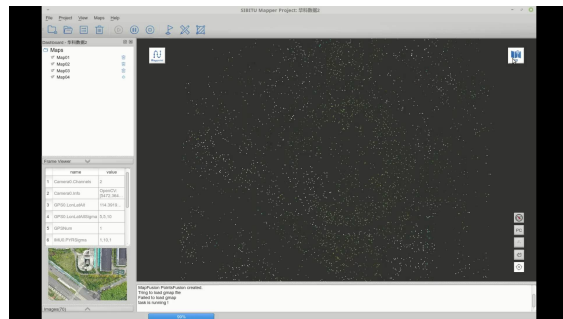
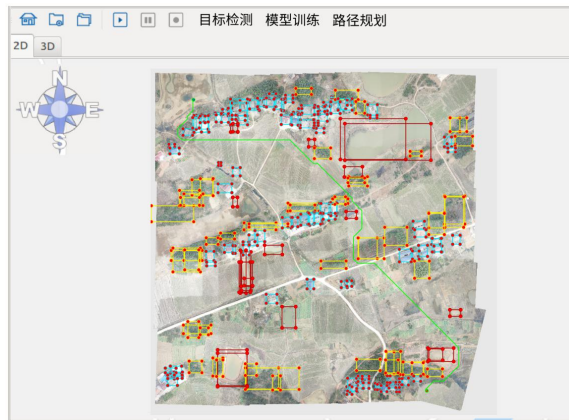
软、硬件一体化，机载计算进行实时二、三维地图重建，不受链路限制的实时建图方案，建图技术与深度学习技术深度集成，实时识别目标物并精确地理定位。



# 应用 – ③空地协同



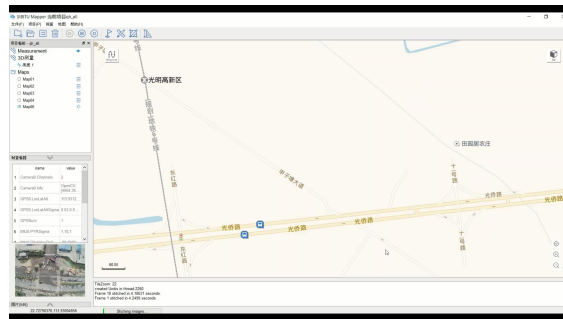
通过无人机实时完成指定区域的二维、三维地图构建，通过物体识别、检测、坡度分析实现地面机器人、车辆的路径规划



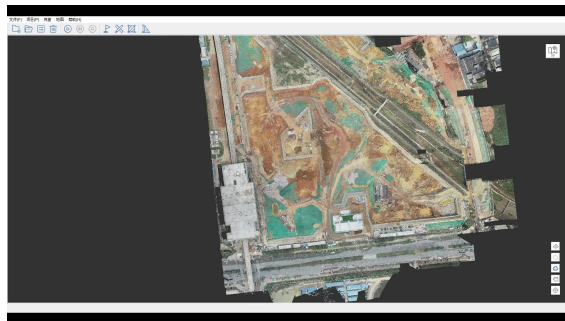
# 应用 – ④集群无人机实时地图

- 通过高空的无人机快速完成整体区域的二维实时地图生成；
- 针对重点区域通过任务动态弹性规划实现高精度扫描并生成自适应分辨率的三维地图。

为高响应速度的应用等信息获取、分析、决策提供有力的实时测绘支撑



实时异构三维地图

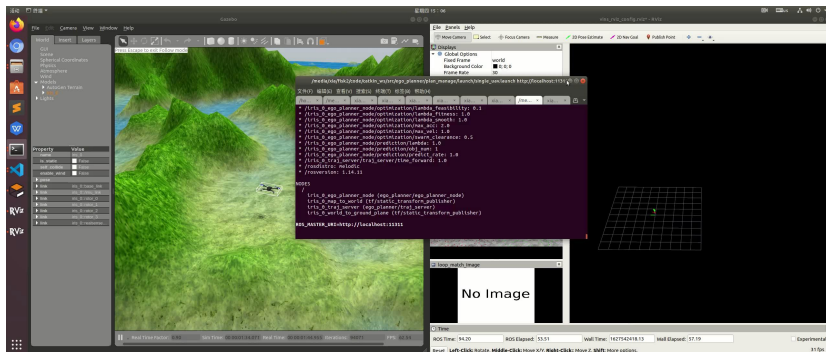
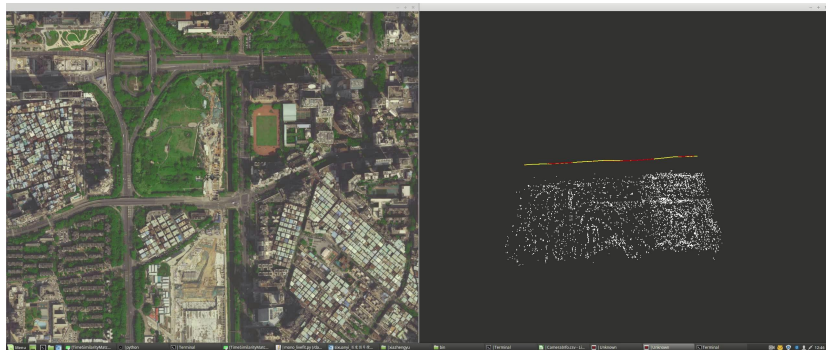


实时重点区域地图 (三维稠密点云)

# 应用 – ⑤自主控制

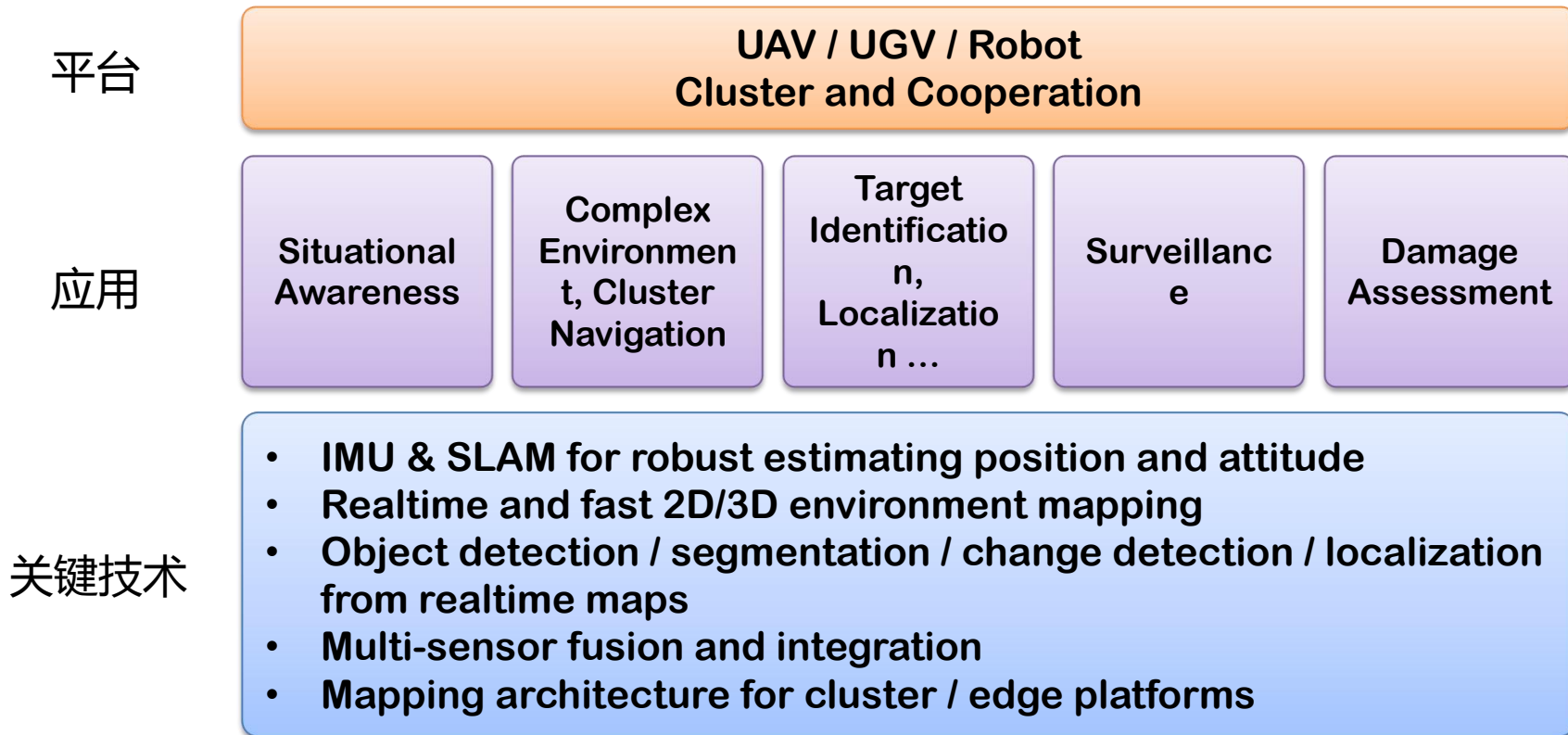


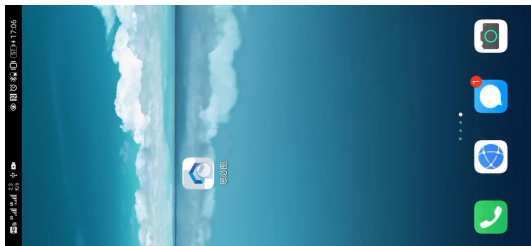
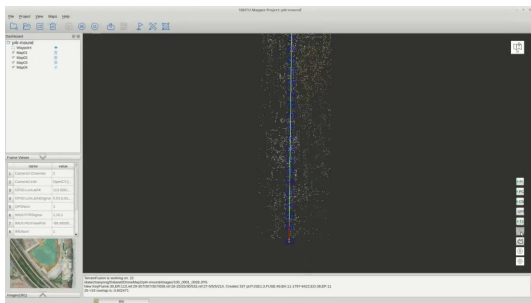
通过视觉传感器，SLAM算法实现对环境建模，在卫星导航不可用、失效的情况下导航定位，从而实现自主飞行。同时构建环境三维地图，为其他无人装备提供导航信息。



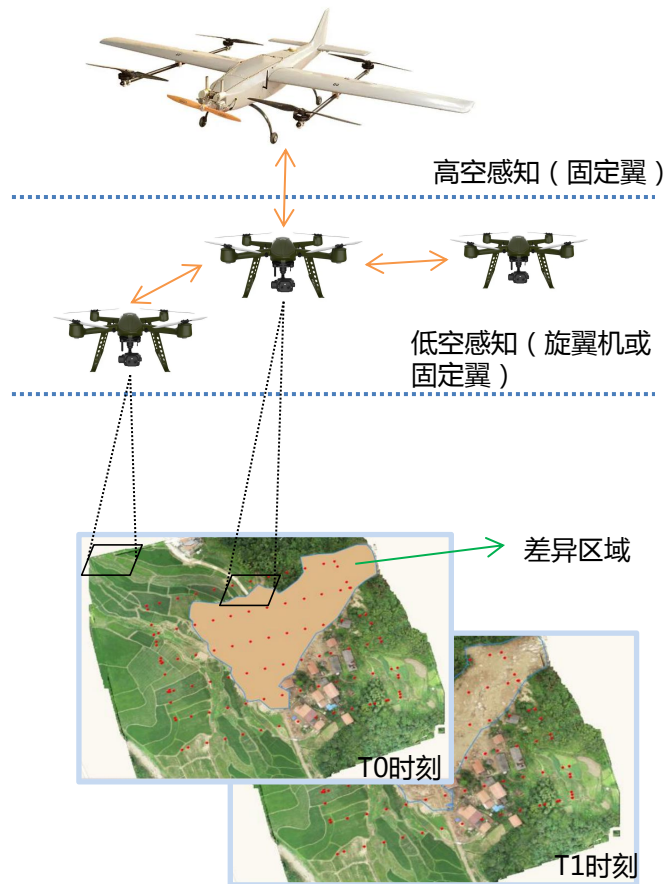
- 研究背景与意义
- 无人机实时地图
- 应用场景
- 总结与展望

# 总结 - 无人机实时地图体系架构





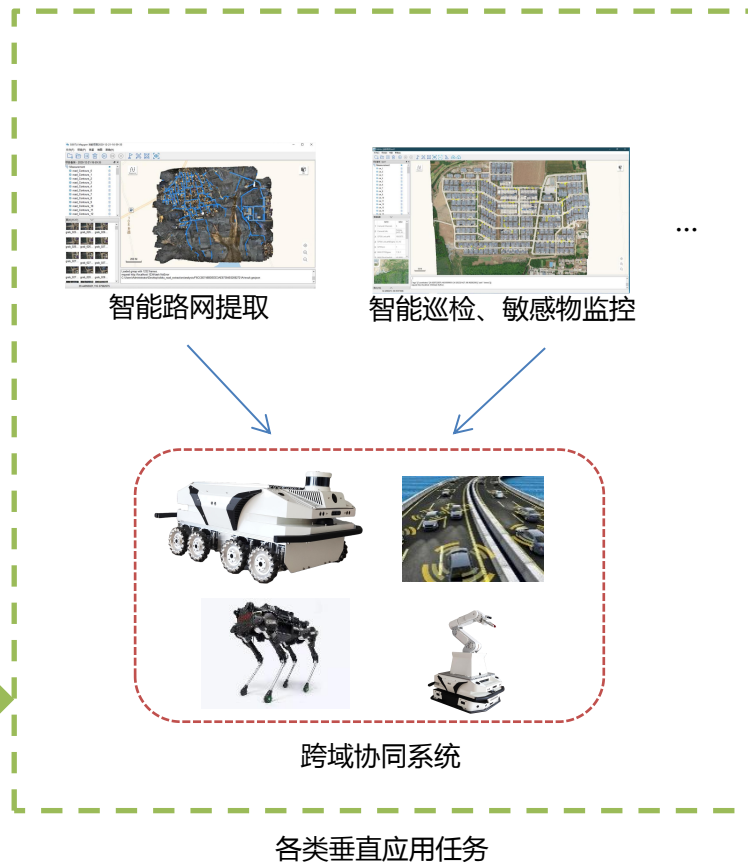
- 实时地图为无人系统、空间地理信息、导航制导与控制等诸多领域提供**高时效性信息**
- **地图实时重建与智能分析**整合将提供更多高附加值信息
- 整体的处理流程相较传统方法复杂，需要设计**灵活弹性的架构**



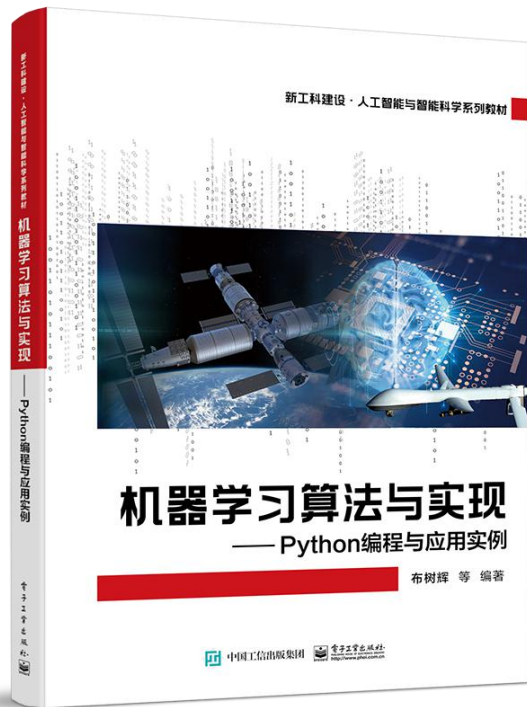
集群协同模块

实时建图模块

智能应用模块



# One more thing



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

机器学习无疑是21世纪计算机科学领域取得最瞩目成就的领域之一，尤其是近二十年来发展之迅速、应用之广泛，属实令人惊叹。在卷帙浩繁的介绍材料中，《机器学习算法与实现》是一本内容全面、编排精致，又十分具有现代气息的著作。布树辉老师在该领域有长期的执教经验，本书也考虑到读者的基础不同，设计了许多所见即所得的实验。相信读者在打开本书之后必将有所收获。—— 清华大学博士，高翔



淘宝



当当网



京东



西北工业大学  
NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY



THANK YOU

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