

视线角约束下多旋翼无人机拦截控制

Line-of-Sight Constraint Multicopter Interception Control

/ 答辩人：杨坤 / / 指导老师：白成刚教授、全权教授 / / 专业：导航、制导与控制 /



01

背景

02

研究内容

03

应用转化

04

总结





1. 背景

关键词解释

视线角约束下多旋翼无人机拦截控制

Multicopter Interception Control subject to Line-of-Sight Constraint



- 被控对象：多旋翼无人机（Multicopter）
- 控制目标：拦截控制（Interception Control）
- 控制难点：视线角约束（Line-of-Sight Constraint）

背景—无人机拦截很重要

军事领域改变战争形态



俄乌战场无人机战果



单兵无人机装备设想



- 近期俄乌、巴以冲突在实战中启示：无人机深刻影响作战方式，用于**侦察和炮火校正**，**投掷杀伤性武器**，**反坦克反步兵**，已普及到班排一级。目前**难以反制**，**成本低廉**
- 《新时代的中国国防》白皮书提出，按照空天一体、**攻防兼备**的战略要求，加快实现国土防空型向**攻防兼备型**转变。提出**反制需求**的同时兼备**作战需求**

背景—无人机拦截很重要

■ 民用领域亟需无人机探测与反制



无人机危害公共安全



无人机袭击克里姆林宫

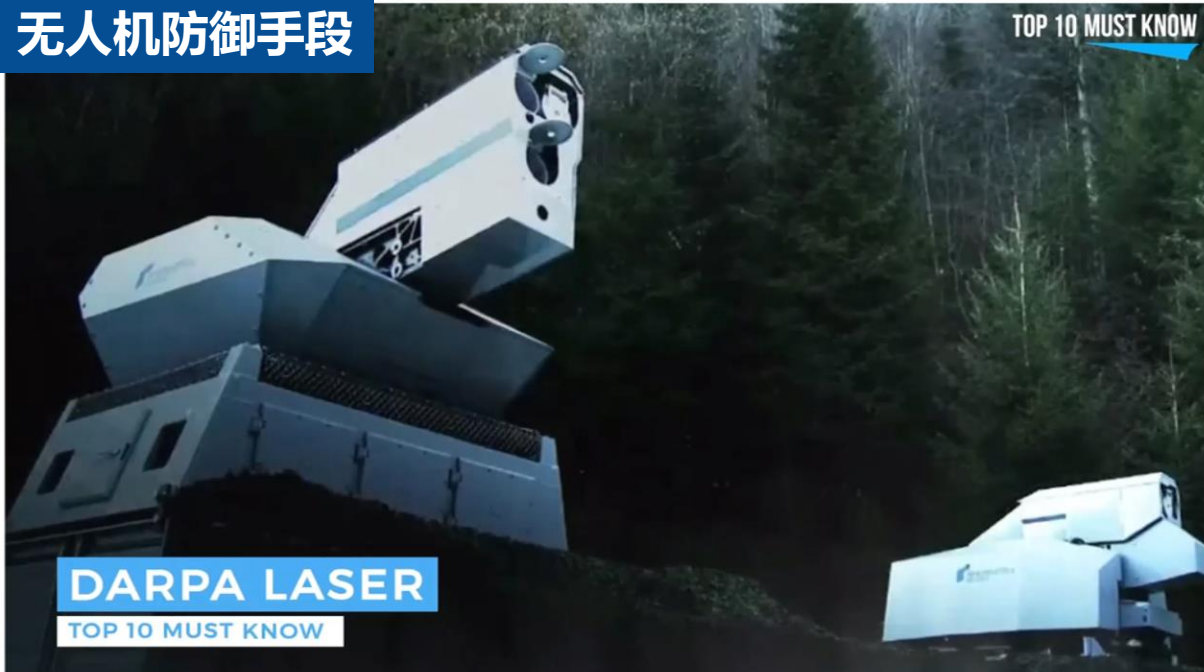


- “黑飞”危害航空、石油、电力等领域，影响公共安全甚至是国家安全，反制无人机已刻不容缓
- 国家反恐办出台行业标准，《北京市促进低空经济产业高质量发展行动方案》强调大力发展低空安防
- 反无人机市场也迎来了巨大的发展机遇，2024年全球反无人机市场规模达到**约合144亿元**

背景—无人机怎么拦截？

■ 无人机自主拦截是一个必要补充

无人机防御手段



无人机日益灵活自主



- 现有地面无人机防御系统不够灵活，难以应对具有高机动能力的入侵无人机的威胁。**应用无人机进行自主拦截**是一个解决方案
- 应用无人机自主拦截，是现有无人机反制技术的一个**空中视角补充**

背景—无人机怎么拦截？

无人机反制技术研究现状

类别	方法	优点	缺点
软杀伤	劫持	夺取控制权，可以安全降落	仅适用于已知协议的无人机
	电子欺骗	广泛可用	难以控制
	射频干扰	简单及时，对未知协议有效	高功率，会影响附近设施
	捕获	包括地面和空中的解决方案	难以瞄准和命中目标
硬杀伤	激光	远距离，实验中成功	维护和运行成本高，一般不适合非军事目标
	防空武器	远距离，销毁	维护和运行成本高，一般不适合非军事目标
	无人机拦截	维护和运行成本低，可能同时响应多目标	难以瞄准和命中目标



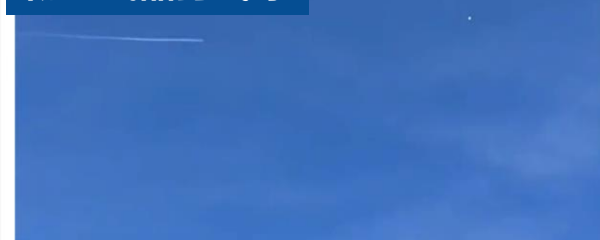
干扰和欺骗



捕获



防空武器打气球



1. 可结合软杀伤方法**抵近实施**； 2. 价格低； 3. **最后一道防线**

背景—捷联单目无人机方案很可行

多旋翼无人机自主拦截/无人机竞速研究现状



类别	方法	目标速度	拦截器速度	Pipeline
基于位置估计的方法	经典的感知-规划-控制流程	0m/s; 7m/s	2-3m/s; 几乎没有运动	
	最优终端速度控制指导	10m/s	10m/s	
基于学习的方法	模仿学习和底层控制	仿真慢速运动; 实飞目标静止	4-12m/s 1-3m/s	
基于图像视觉伺服的方法	伪线性卡尔曼滤波和3-D螺旋制导	5m/s	螺旋跟踪	

位置估计



学习

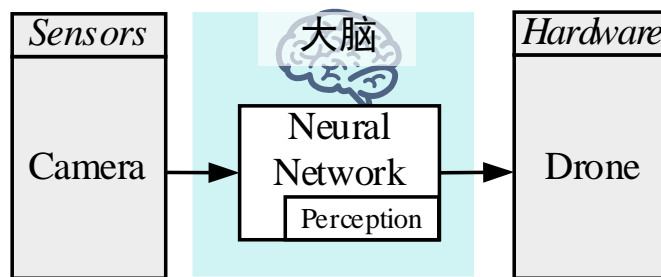
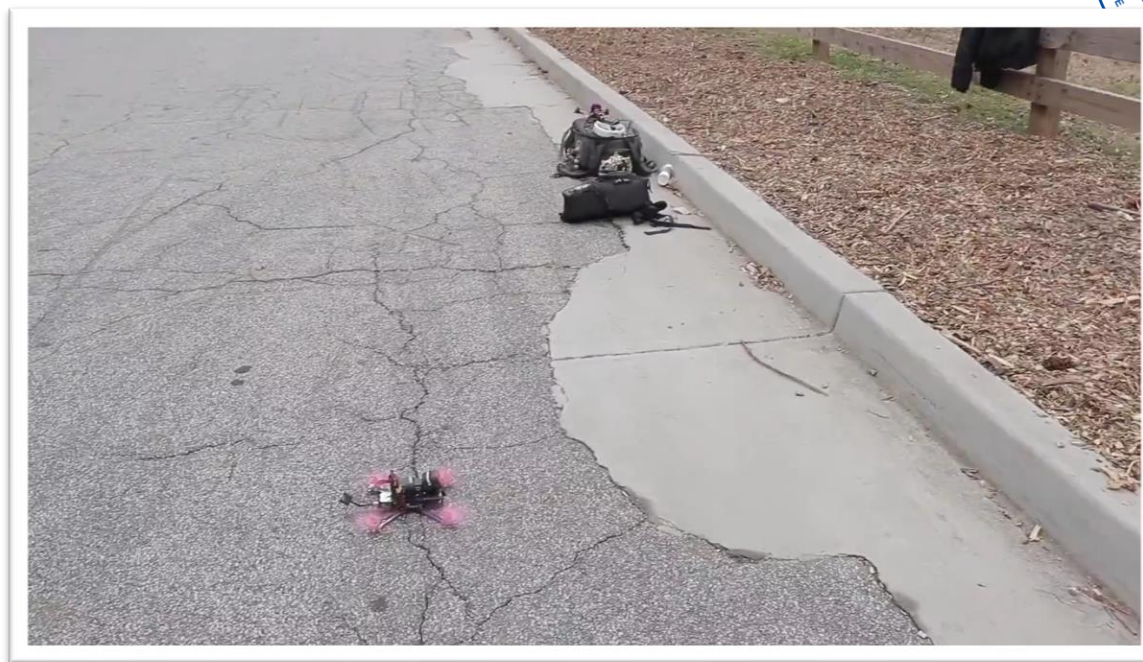
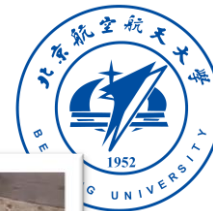


图像伺服



优势与挑战：1. 精度高；2. 价格低；3. 小型化

背景—捷联单目无人机方案很可行

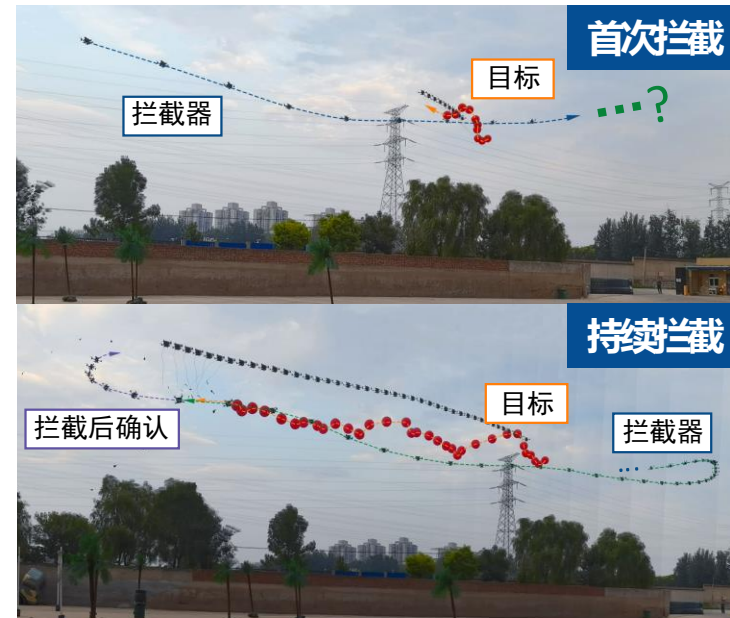
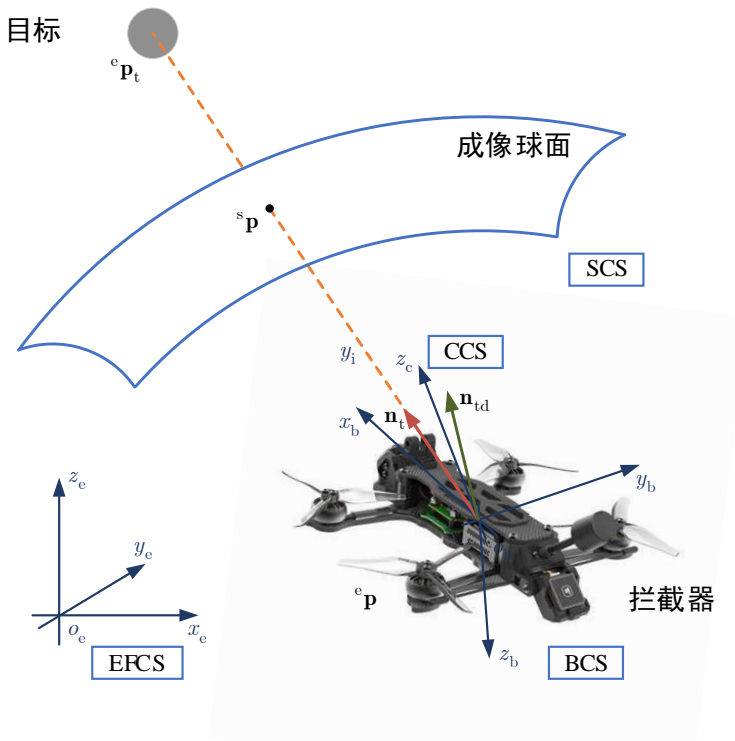


人类飞手能够很好的克服三个挑战

输入：图像

输出：摇杆控制指令

背景—自主拦截无人机有挑战



难点1：如何设计拦截器构型？

给定无人机是否适合拦截任务？
如何设计**最佳的拦截器构型**，
满足视线角约束时最快拦截目标？

难点2：相机运动与多旋翼运动耦合

多旋翼—相机作为一个**欠驱动系统**，
多旋翼运动将导致相机运动，
不可任意配置全部状态

难点3：如何持续拦截目标

单目摄像头无法直接获得机目相对位置。
如何在**观测目标和丢失目标时**都能持续拦截？

背景—单机向集群能力扩展



智能无人蜂群



DARPA OFFSET 定期进展



- 集群将无人机的能力边界放大，**成本低廉、饱和攻击**、自组织、抗损伤
- **难点4**：如何有效的组织一群无人机，观察周围环境并且做出各自决策，无中心自组织，与规模无关

背景—基于单目视觉的多旋翼拦截控制科学问题



难点

1. 如何设计拦截器构型
2. 相机运动与多旋翼运动耦合
3. 如何持续拦截目标
4. 如何有效的组织一群无人机



科学问题

1. 可拦截的极限是什么？
2. 如何逼近理论拦截极限？
3. 目标丢失如何持续拦截？
4. 多目标如何拦截？



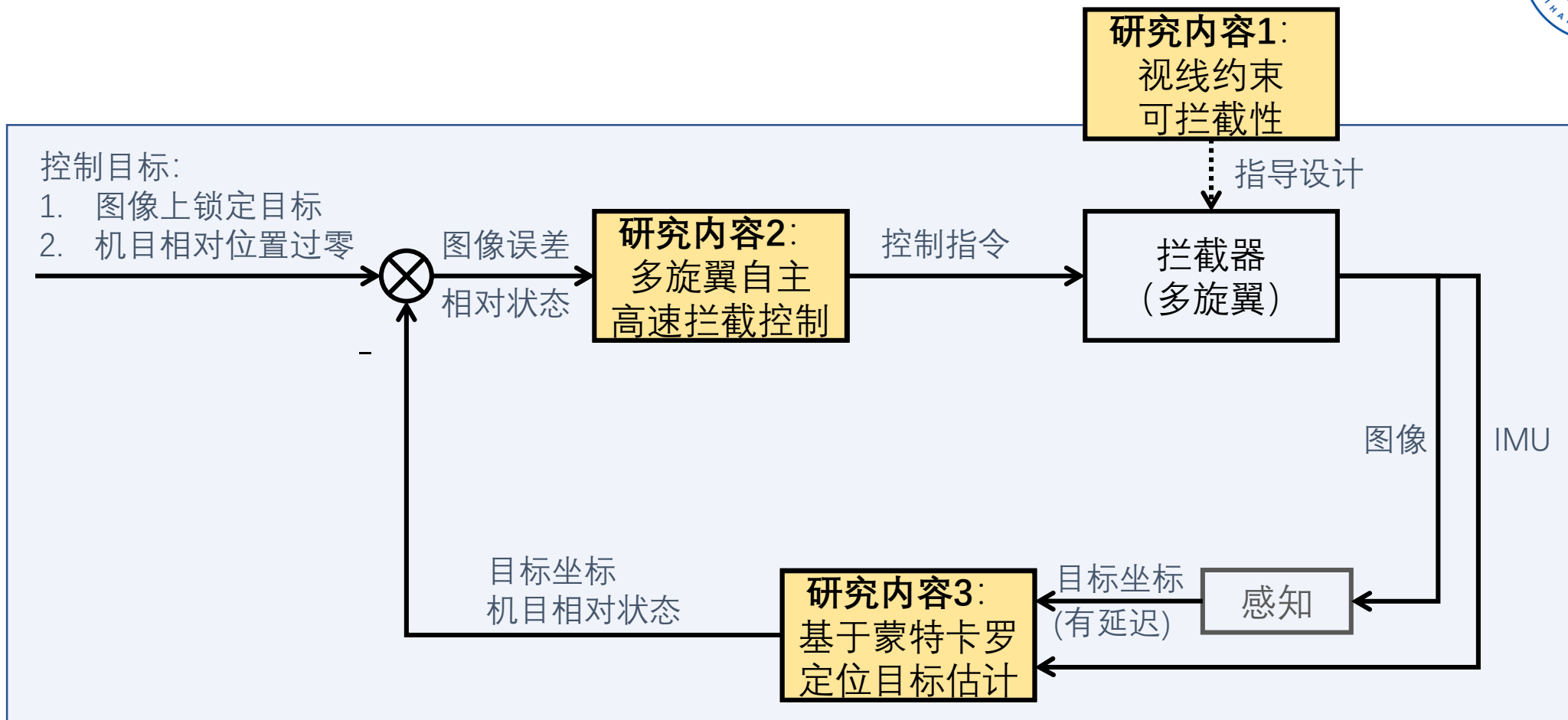
研究内容

1. 视线约束下可拦截性研究
2. 多旋翼自主高速拦截控制
3. 基于蒙特卡洛定位的目标估计
4. 集群多视角目标估计和基于图博弈的任务分配

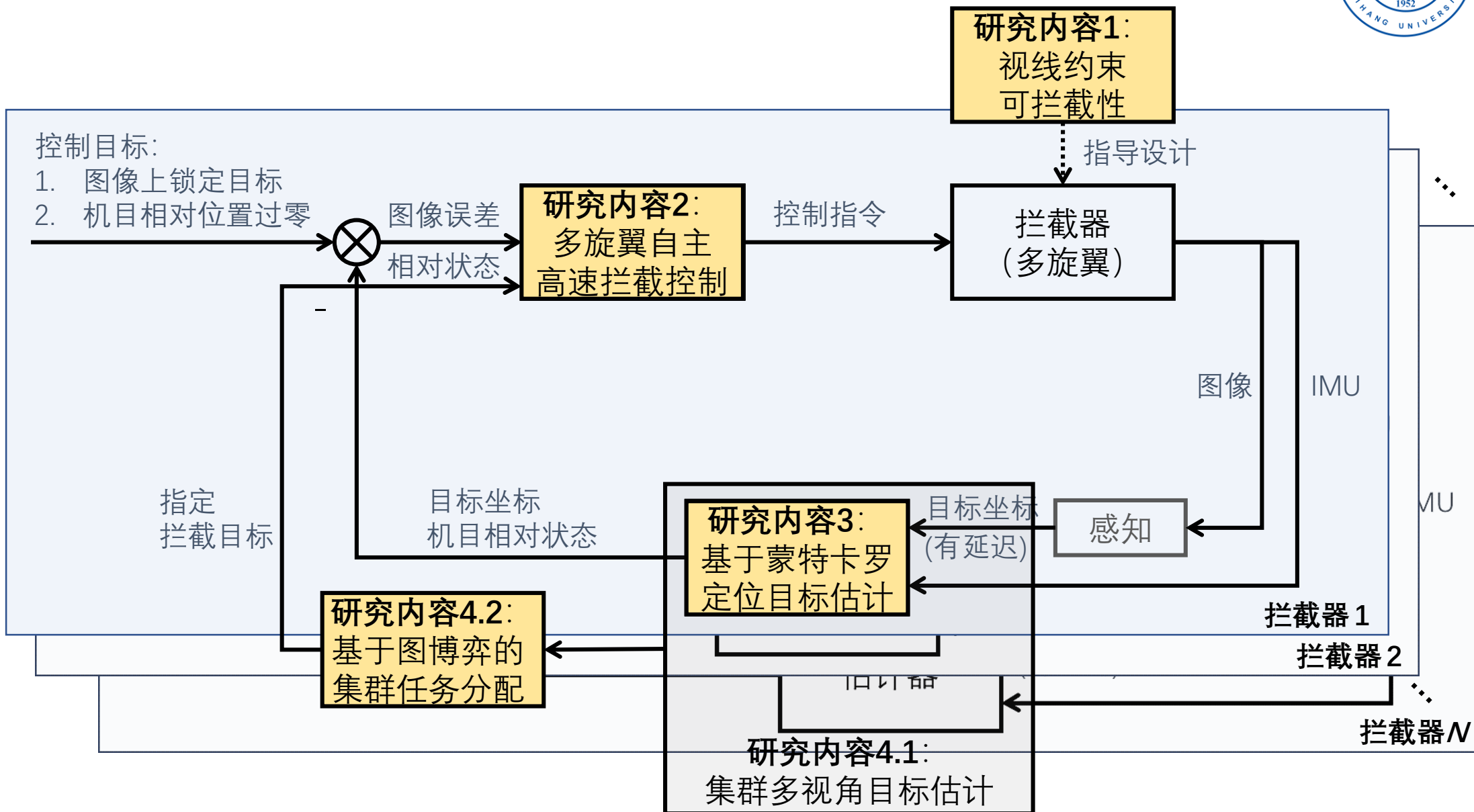


2. 建模和可拦截性

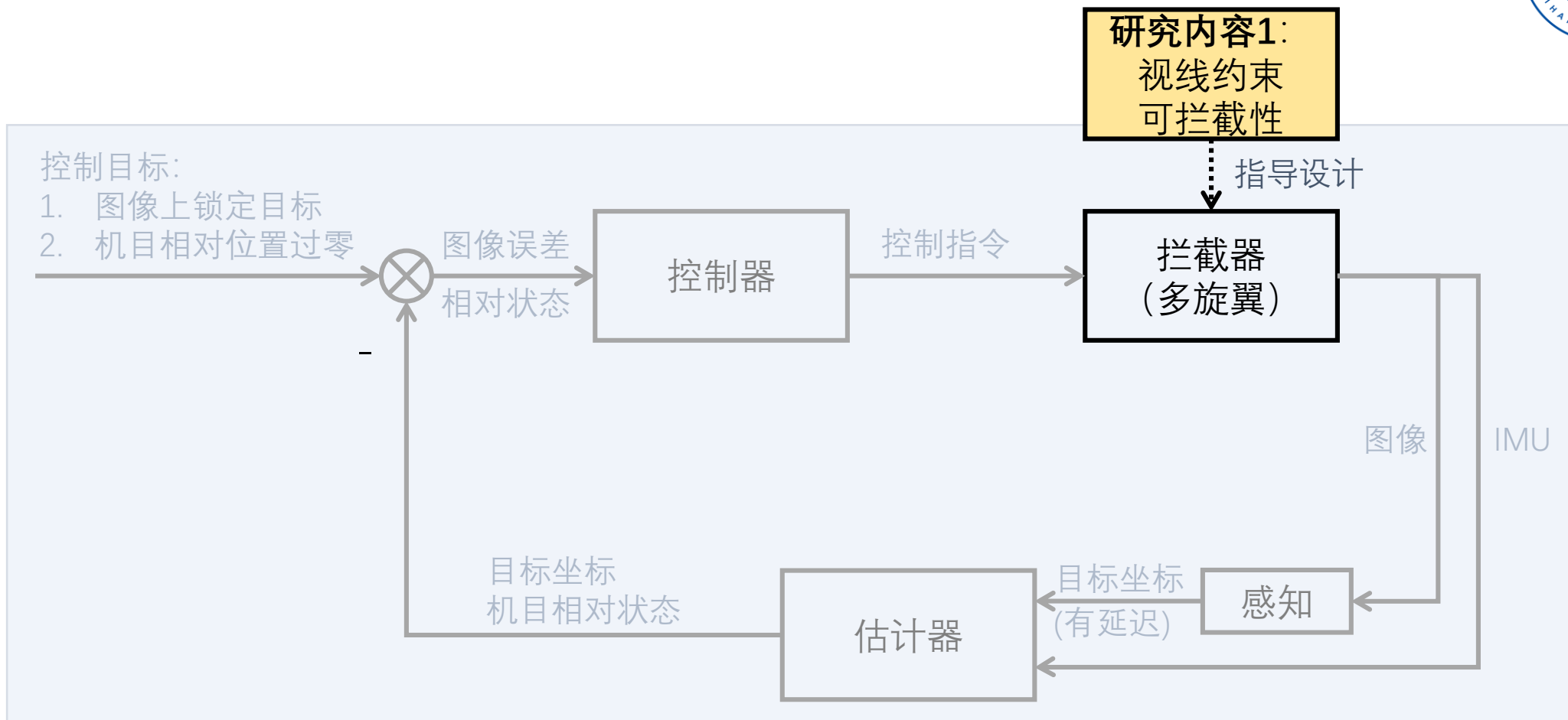
研究内容——总述



研究内容——总述



研究内容——1. 视线约束下可拦截性研究



可拦截的极限是什么？

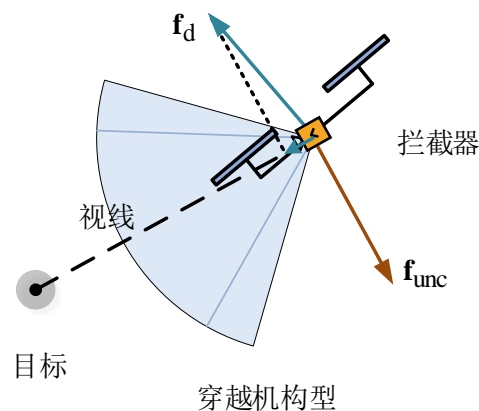
研究内容——1. 视线约束下可拦截性研究



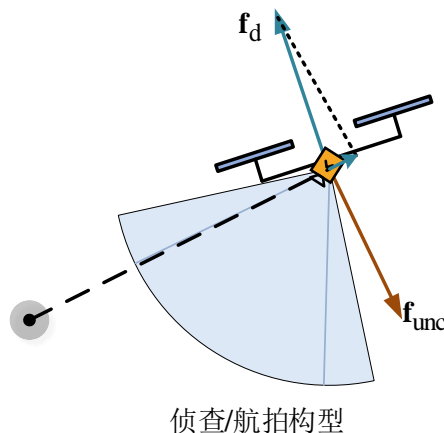
视线约束下的可拦截性理论

对于一类视觉传感器捷联的拦截系统，

1. 什么样的动力配置能够完成拦截任务？
2. 进一步地，如何评价拦截能力并指导拦截器设计？
3. 有限时间可拦截



(a) 可拦截。合力在视线上方量为正



(b) 不可拦截。合力在视线上方量为负



研究内容——1.1 视线约束下的可拦截与可拦截度定义



- **全局视线约束可拦截**: 对任意的初始状态 ${}^t\mathbf{p}(t_0), {}^t\mathbf{v}(t_0)$, 存在有限时间 $t_f > t_0$ 和控制量 $\mathbf{u}(t), t \in [t_0, t_f]$ 使得状态 ${}^t\mathbf{p}(t_f) = 0$, 同时视线约束成立。

- **可拦截度** (Degree of Interceptability, DOI)

评价系统拦截能力

$$I = \min_{\mathbf{e}^t\mathbf{a}_t} \max_{\mathbf{n}_{td}, {}^t\mathbf{f}_d} \frac{\mathbf{n}_{td}^T {}^t\mathbf{f}_{net}}{\tau_{t,max} mg},$$

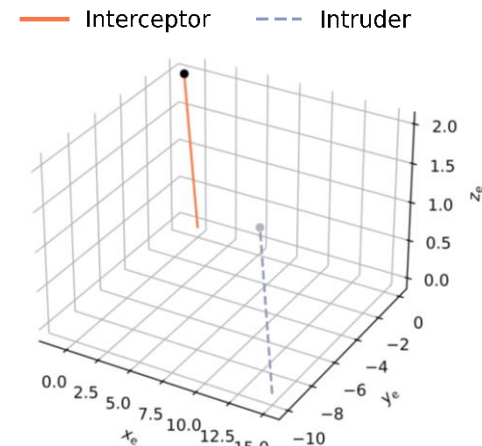
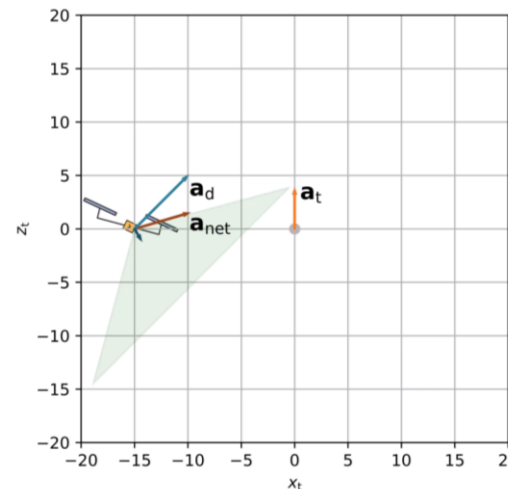
$$\text{s.t. } \Omega(0, \varepsilon) \subseteq \frac{1}{m} \mathbf{e}_3^T {}^t\mathbf{f}_{net},$$

$$\mathbf{n}_{td} \in \mathcal{C},$$

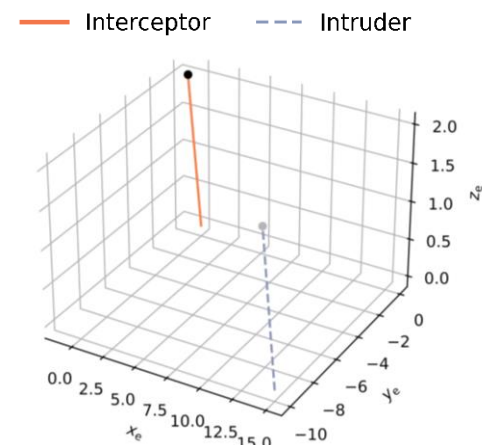
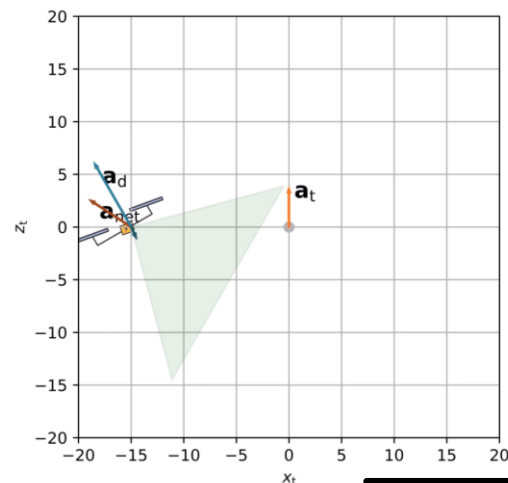
$$\|{}^t\mathbf{f}_d\| \leq f_m, \mathbf{R}_f \in \Omega_R,$$

$$\|\mathbf{e}^t\mathbf{a}_t\| \leq \tau_{t,max} g, \mathbf{n}_{td}^T \mathbf{e}^t\mathbf{a}_t \leq 0$$

定理 1. 当且仅当 $I > 0$, 拦截系统是全局视线约束可拦截的。

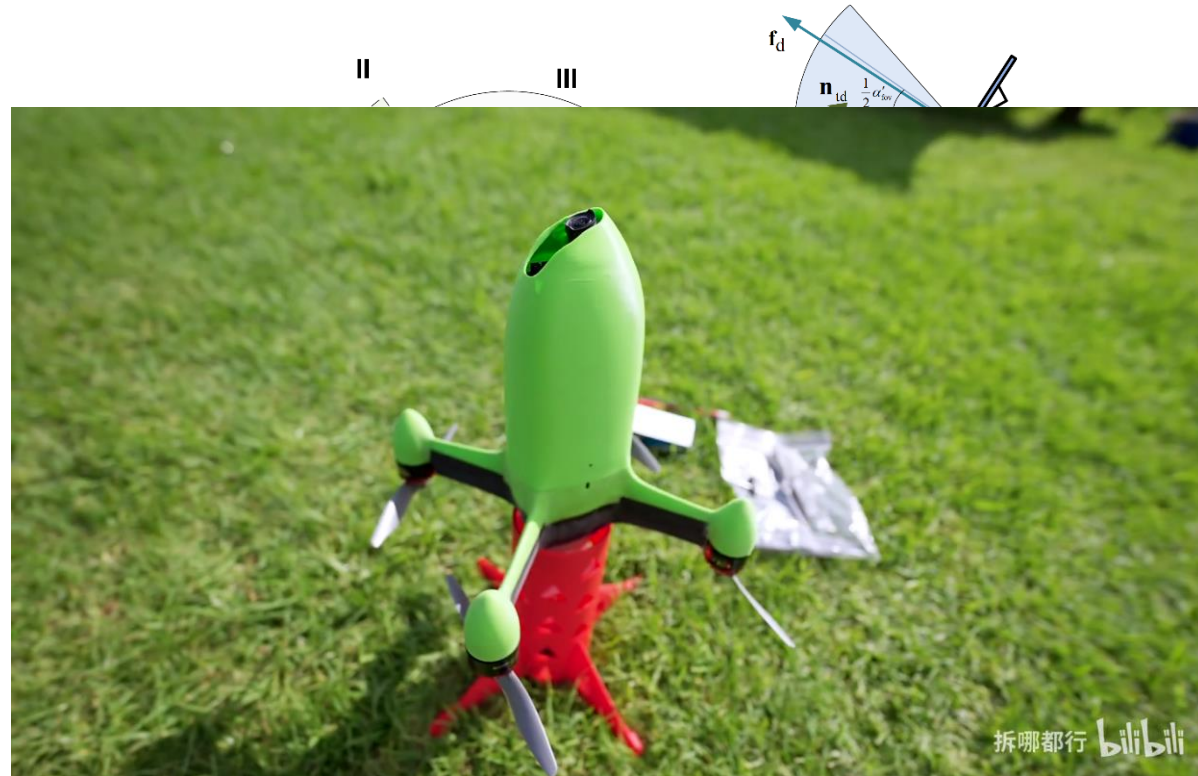
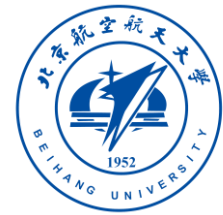


成功, $I = 0.71 > 0$



失败, $I = -0.50 \leq 0$

研究内容——1.1 多旋翼拦截器设计准则



可拦截, $I > 0$

建议:

- 推力具有前向分量; β 越大越有利于拦截任务;
- 设计的视线向量相对于光轴尽可能向上, $\gamma > 0$
- 相机有向上的安装角, $\delta_c < 0$ 。

最大可拦截度

当 $\lambda_d = \lambda_{\min}$ 时, 可拦截度达到最大。此时推力与光轴方向一致。

不可拦截, $I \leq 0$

原因:

- 拦截器的加速度小于目标的逃逸加速度;
- 多旋翼不合理的配置导致推力在视线向量上的投影为负, $\lambda_d \geq \frac{\pi}{2}$ 且 $(\cos \mu^* + \sin \mu^* \cot \lambda_d) \leq 0$ 。

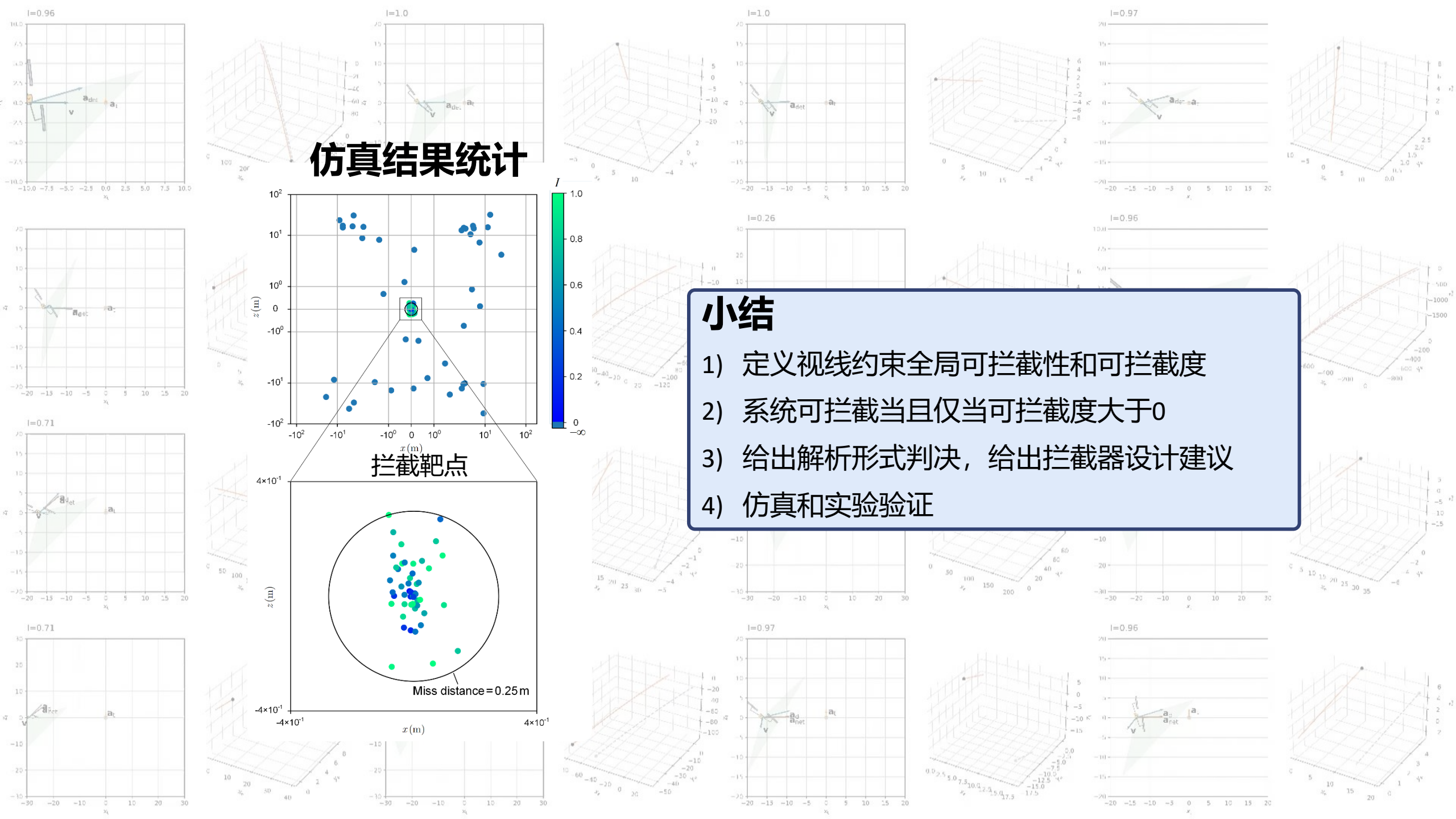
$$I = \frac{\|\mathbf{f}_{\text{unc}}\| (\cos \mu^* + \sin \mu^* \cot \lambda_d)}{\tau_{t,\max} mg}$$

Camera install angle: 0°



FPV

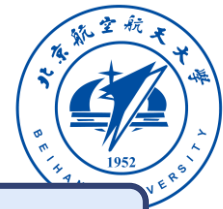
仿真结果统计



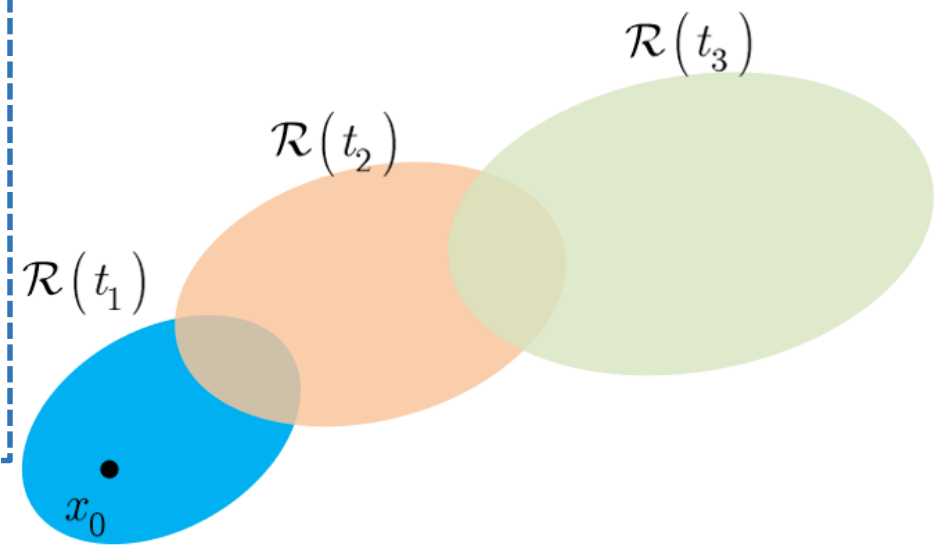
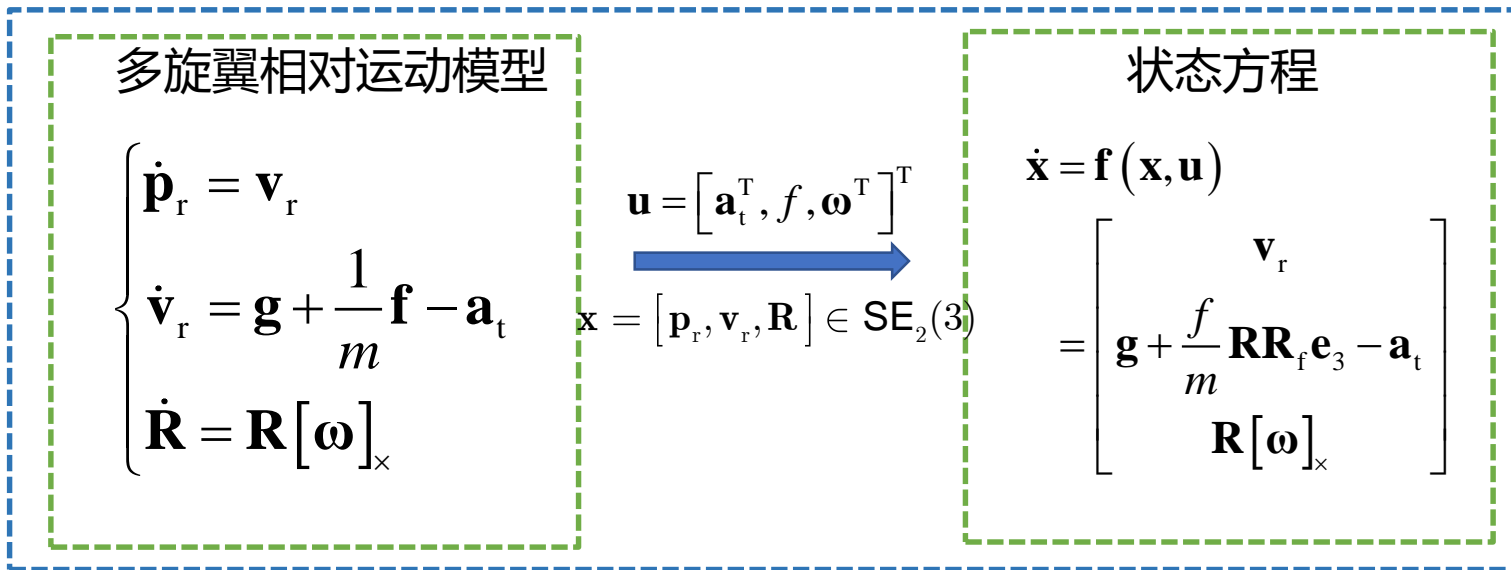
小结

- 1) 定义视线约束全局可拦截性和可拦截度
- 2) 系统可拦截当且仅当可拦截度大于0
- 3) 给出解析形式判决, 给出拦截器设计建议
- 4) 仿真和实验验证

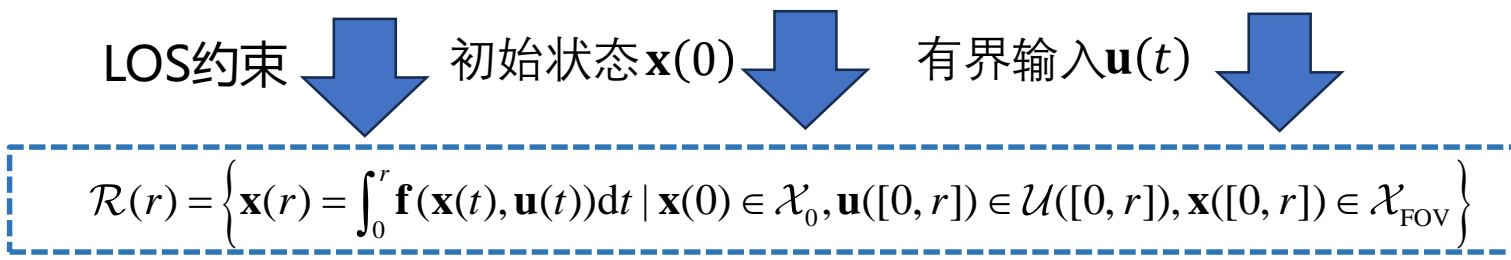
研究内容——1.2 视线约束可拦截区域建模



视线约束可拦截区域 (LOS-Constrained Interceptable Domain) 可以定义为：
包含控制器的动力系统在满足视线角约束下的状态演变过程。1. 直观对比控制器之间的优劣；2. 评价飞行器配置参数对可拦截区域的影响；3. 计算理论最优拦截策略



视线约束可拦截区域示意图



研究内容——1.3 无人机配置和参数



飞控&动力

- 250轴距机架 + Pixhawk Nano V5 飞控
- 三层架构：电源层/飞控电调/计算单元

计算单元

- NVIDIA Jetson Xavier NX

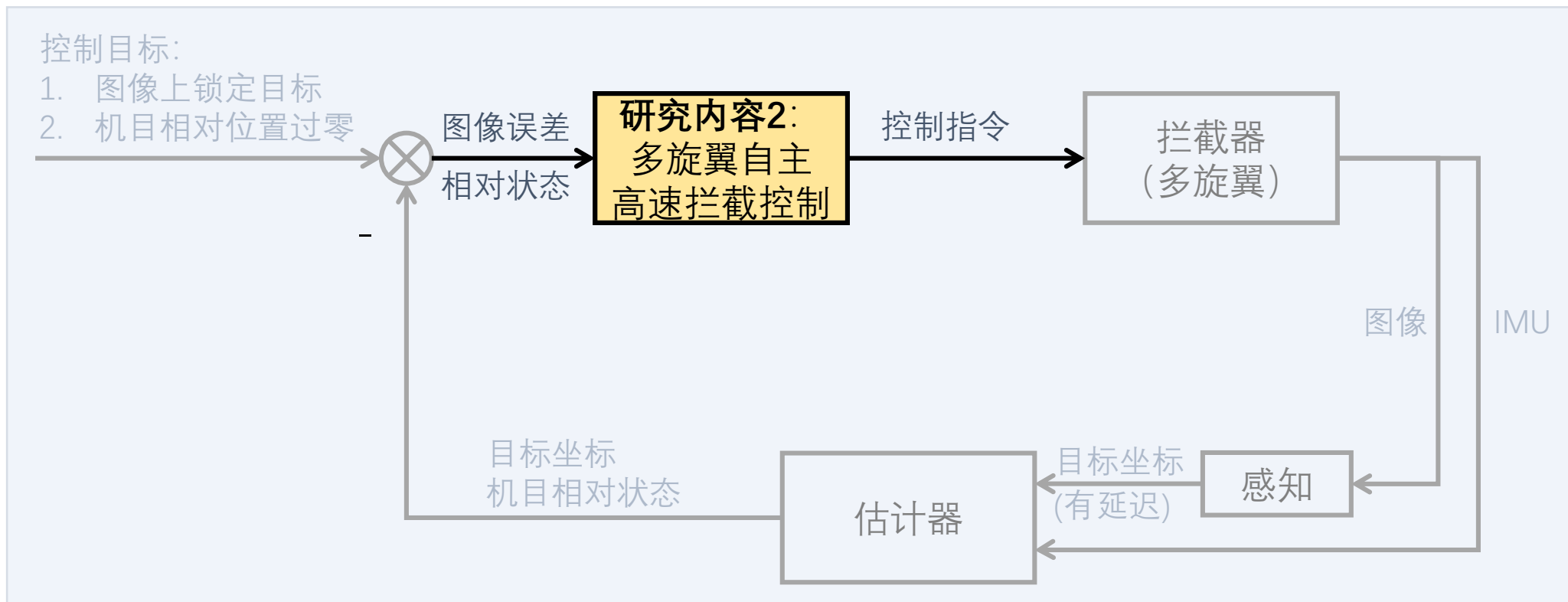
感知

- CSI 相机：120° 视场角

定位

- RTK：获取拦截器真值便于后期分析

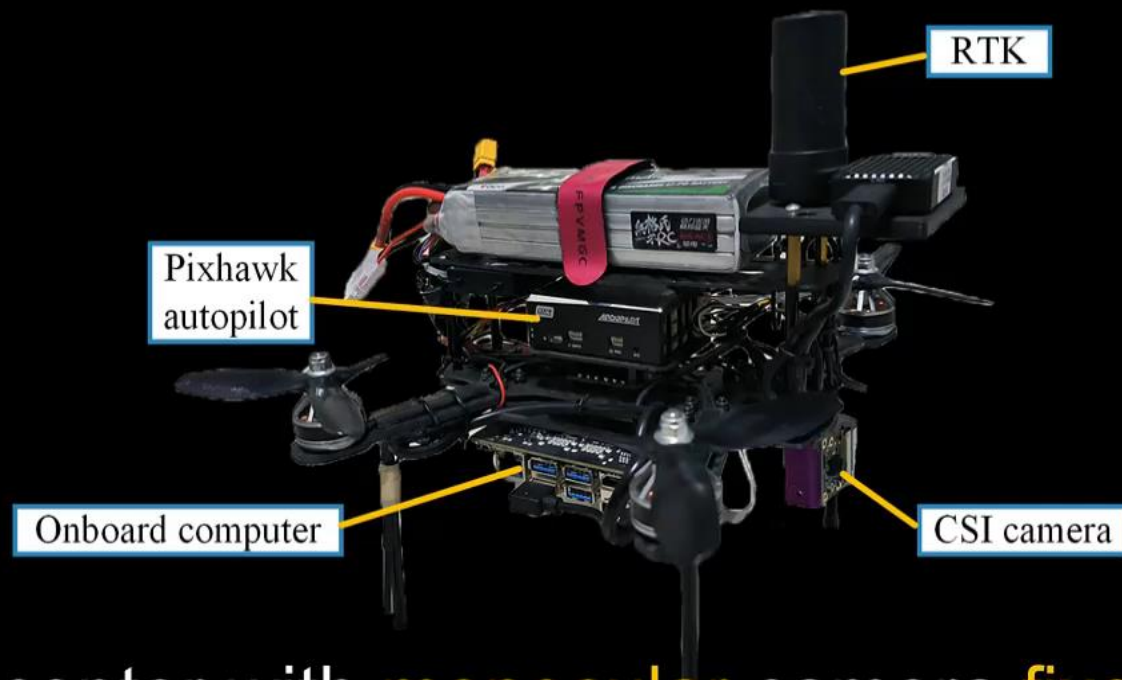
研究内容——2. 多旋翼自主高速拦截控制



如何逼近理论拦截极限？

Real Flight Experiments

All videos are at 1× speed



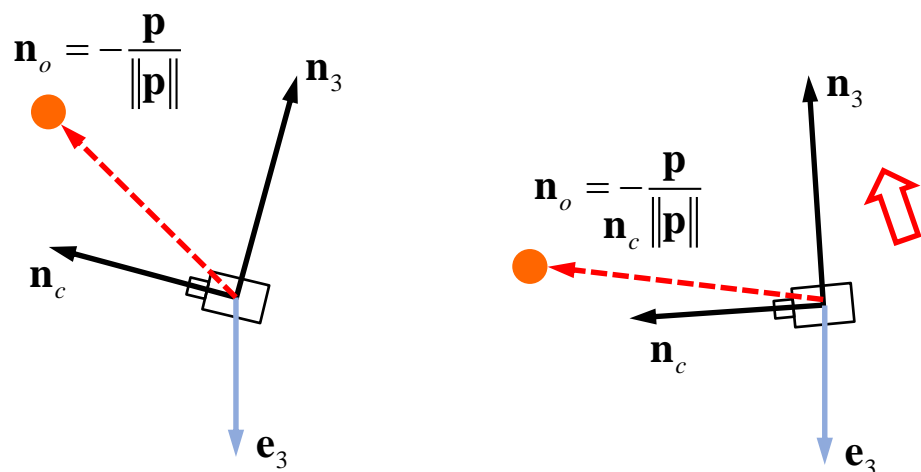
Interceptor multicopter with **monocular** camera **fixed** to the airframe

研究内容——2.1 基于图像视觉伺服的多旋翼自主高速拦截控制



研究目标:

设计基于**图像伺服**的高速拦截算法，使得无人机在仅有图像特征信息的情况下能够设计**高机动敏捷控制器**，实现精确拦截目标的要求。



同时控制到期望的姿态

$${}^b\boldsymbol{\omega} = \frac{z_1}{k_b^2 - z_1^2} \mathbf{R}_b^{eT} (\mathbf{n}_{td} \times \mathbf{n}_t) + {}^b\boldsymbol{\omega}_2$$

设计拉力调节高度

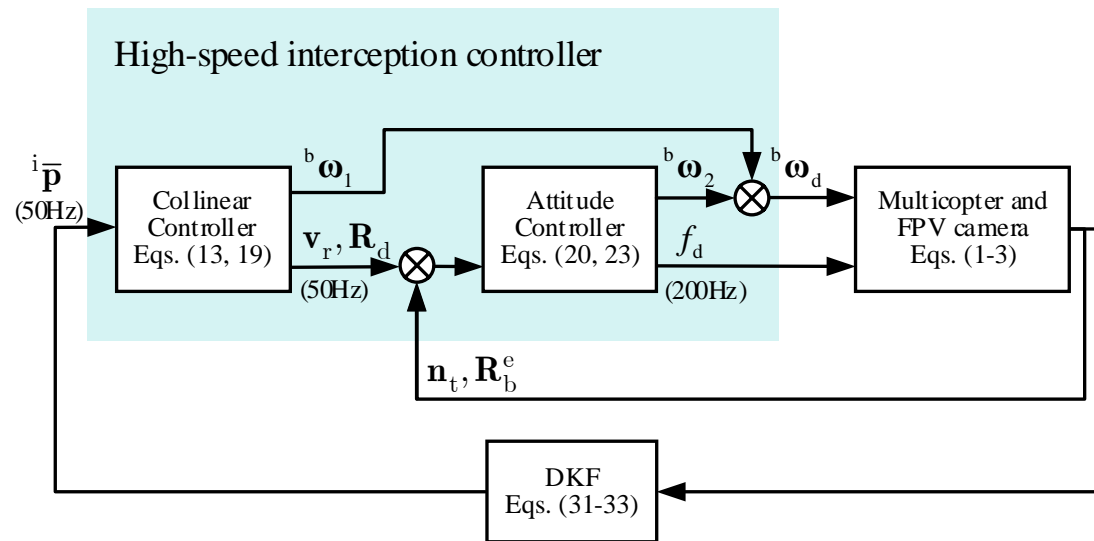
$$\mathbf{a}_d = \mathbf{g} + \frac{f}{m} \mathbf{n}_{fd} + \frac{1}{m} {}^e\mathbf{f}_{drag}$$
$$\Rightarrow f_d = \mathbf{n}_f^T (m\mathbf{a}_d - m\mathbf{g} - {}^e\mathbf{f}_{drag})$$

问题1. (控制器设计问题) 假定包括多旋翼飞机和图像测量在内的状态信息是准确可用的。同时，目标和拦截器在惯性系统中的位置是未知的。对于拦截器模型，设计 $f, {}^b\boldsymbol{\omega}$ 的控制器使图像跟踪误差收敛为零，即 $\mathbf{n}_t \rightarrow \mathbf{n}_{td}$ ，并且拦截器多旋翼飞机进一步接近目标，即 ${}^t\mathbf{p} \rightarrow \mathbf{0}$ 。

研究内容——2.1 基于图像视觉伺服的多旋翼自主高速拦截控制



为解决问题1(控制器设计问题)，在S0(3)上设计角速度环控制器，在距离收敛的情况下锁定目标



$$L = L_3 + L_4$$

$$= \frac{1}{2} \log \frac{k_b^2}{k_b^2 - z_1^2} + \frac{1}{2} \mathbf{p}_r^T \mathbf{p}_r + \frac{1}{2} \mathbf{z}_2^T \mathbf{z}_2 + \text{tr}(\mathbf{I} - \mathbf{R}_d^T \mathbf{R}_b^e)$$

证明了拦截器与目标的相对位置趋于零。整个拦截过程中，目标矢量始终锁定在拦截器的视野范围内

1. 约束目标在视野范围内

定义视线误差 $z_1 = 1 - \mathbf{n}_{td}^T \mathbf{n}_t$ ，设计屏障李雅普诺夫函数 $L_1 = \frac{1}{2} \log \frac{k_b^2}{k_b^2 - z_1^2}$ 保证视线角约束

2. 速度矢量与视线共线

定义速度跟踪误差 $\mathbf{z}_2 = \mathbf{v}_r + k_1 \mathbf{p}_r$ ，设计李雅普诺夫函数 $L_2 = \frac{1}{2} \mathbf{p}_r^T \mathbf{p}_r \geq 0$ 引导速度共线

$$L_3 = L_1 + L_2 + \frac{1}{2} \mathbf{z}_2^T \mathbf{z}_2 \geq 0$$

3. 姿态控制器跟踪期望姿态

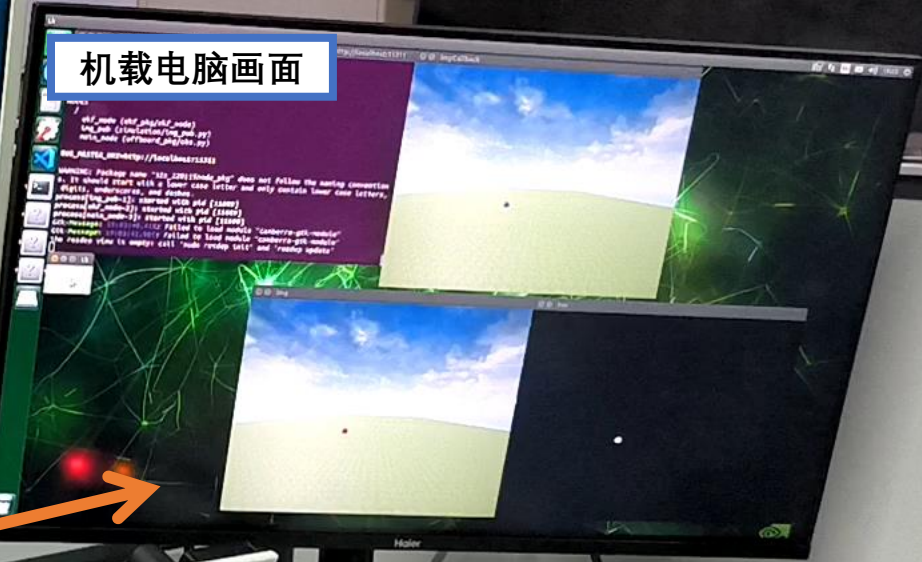
设计李雅普诺夫函数 $L_4 = \text{tr}(\mathbf{I} - \mathbf{R}_d^T \mathbf{R}_b^e)$ 引导姿态收敛

旋转矩阵无奇异性问题；姿态环控制相应时间短

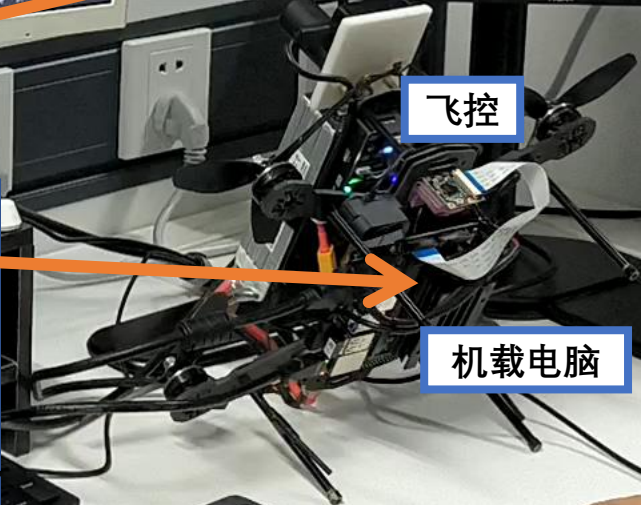
RflySim仿真平台



机载电脑画面



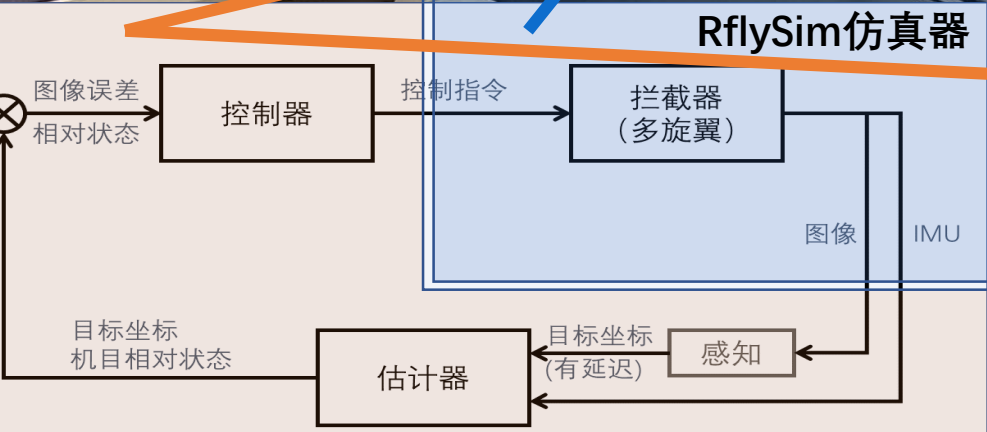
飞控



机载电脑

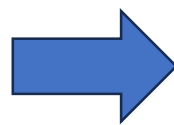
机载电脑+飞控

- 1. 图像上锁定目标
- 2. 机目相对位置过零



研究内容——2.2 结合制导思想的图像伺服控制方法

图像伺服本质：保证目标在视线范围内，控制飞行器速度与 \mathbf{n}_t 共线



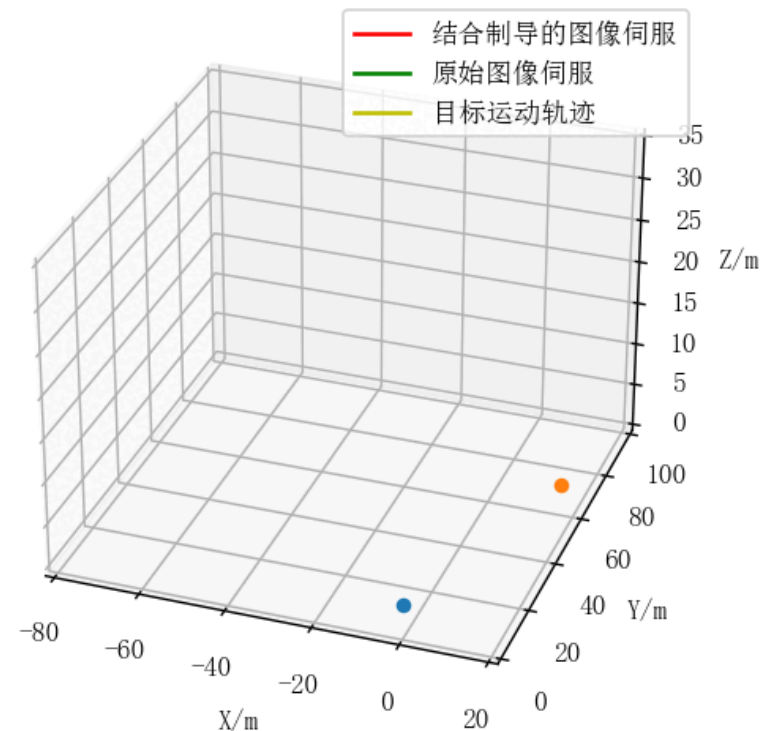
追踪法制导

在三维空间中，比例导引指令为 $\mathbf{a}_{\text{PNG}} = N\boldsymbol{\Omega}_R \times \mathbf{V}_m$

如何将PNG引入图像伺服？

$$\mathbf{a}_3 = -m\mathbf{g} - {}^e\mathbf{f}_{\text{drag}} + N\boldsymbol{\omega}_R \times \mathbf{v} + \frac{z_1}{k_b^2 - z_1^2} \frac{m}{\|\mathbf{p}_r\|} \left(-\mathbf{I} + \mathbf{n}_t \mathbf{n}_t^T \right) \mathbf{n}_{\text{td}} + k\mathbf{n}_t$$
$$f_d = \|\mathbf{a}_3\|$$

$${}^e\boldsymbol{\omega}_d = \left(\frac{z_1}{k_b^2 - z_1^2} (\mathbf{n}_{\text{td}} \times \mathbf{n}_t)^T + \frac{f_d}{m} \mathbf{z}_5^T [\mathbf{n}_f]_{\times} \right)^{\dagger} \mathbf{z}_5^T \left(-\frac{1}{m} \dot{\mathbf{a}}_3 + c_4 \mathbf{z}_5 \right)$$



改进后的图像伺服方法依然能够正确追踪目标，并且拦截时间小于改进前，运动轨迹也比改进前更加平滑。

研究内容——2.2 结合制导思想的图像伺服控制方法

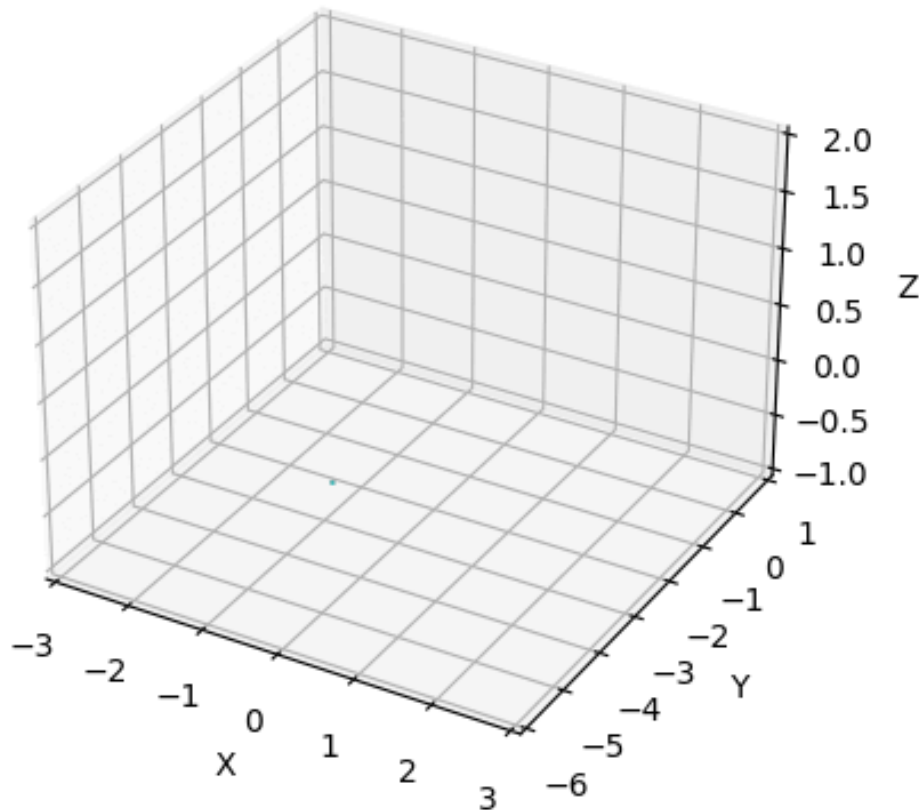


初始位置集合

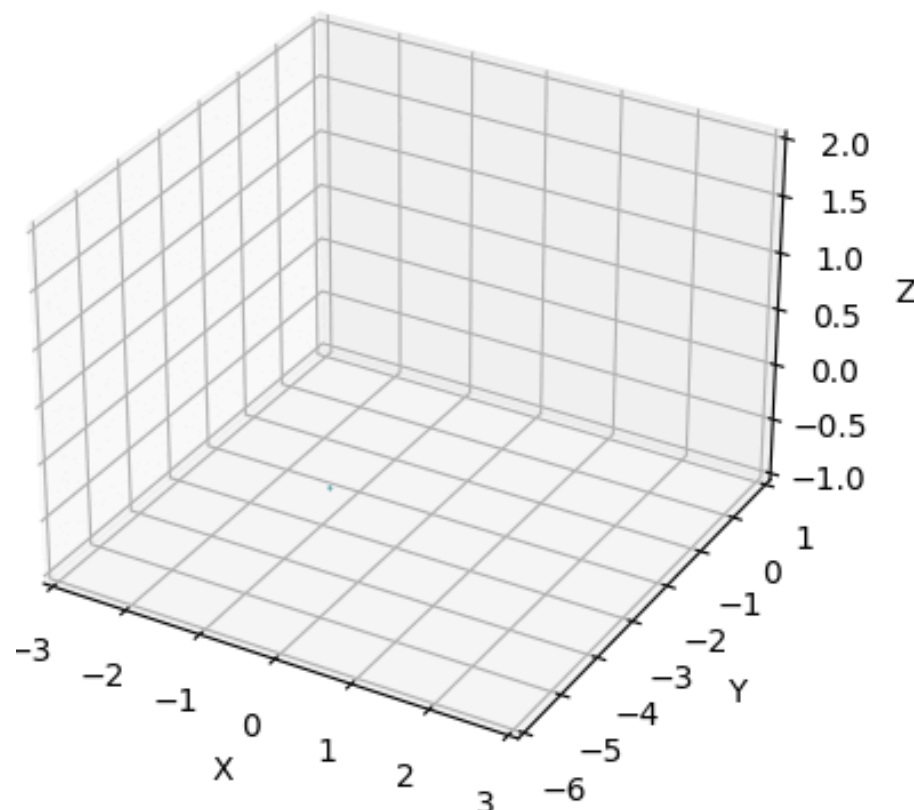
x:[-2.11,3.27]

y:[-4.92,1.23]

z:[-3.65,2.40]



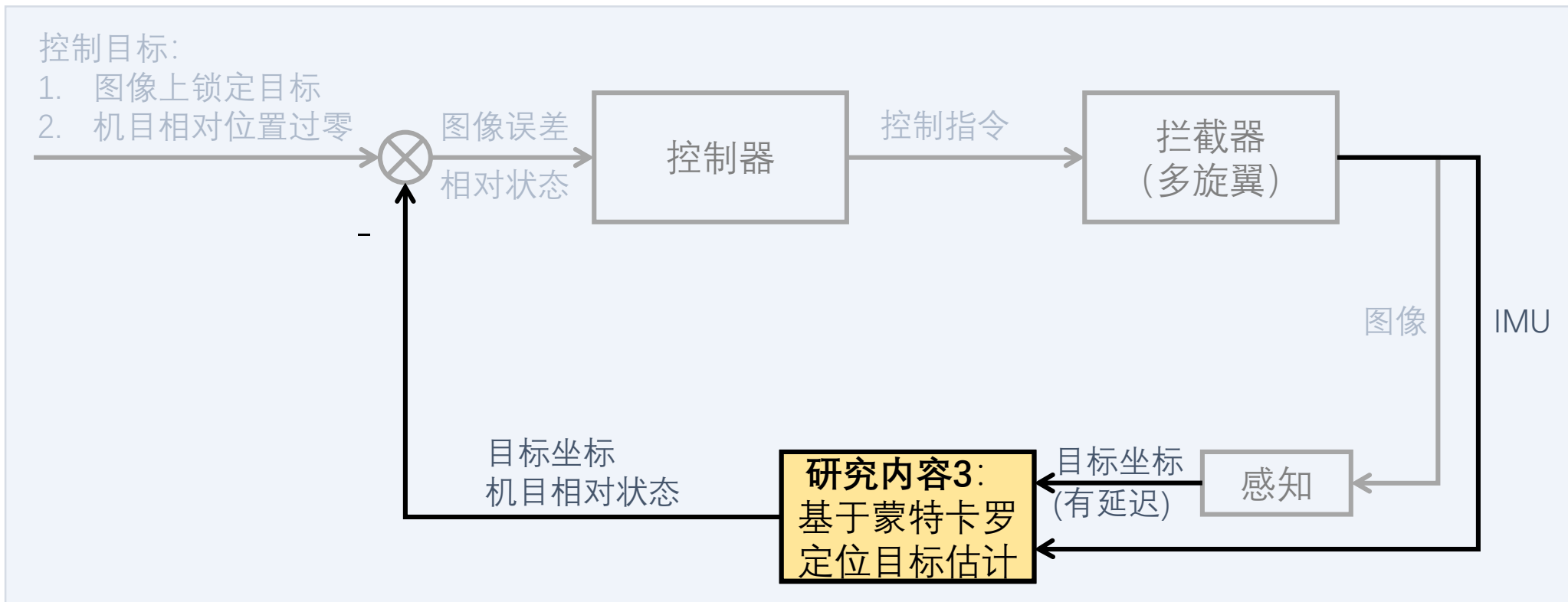
原始图像伺服控制器演变过程



结合制导的图像伺服控制器演变过程

对于远距离目标，结合制导的图像伺服控制器视线约束可拦截性区域更大，追踪性能优于原始图像伺服控制器。拦截过程均满足视线约束

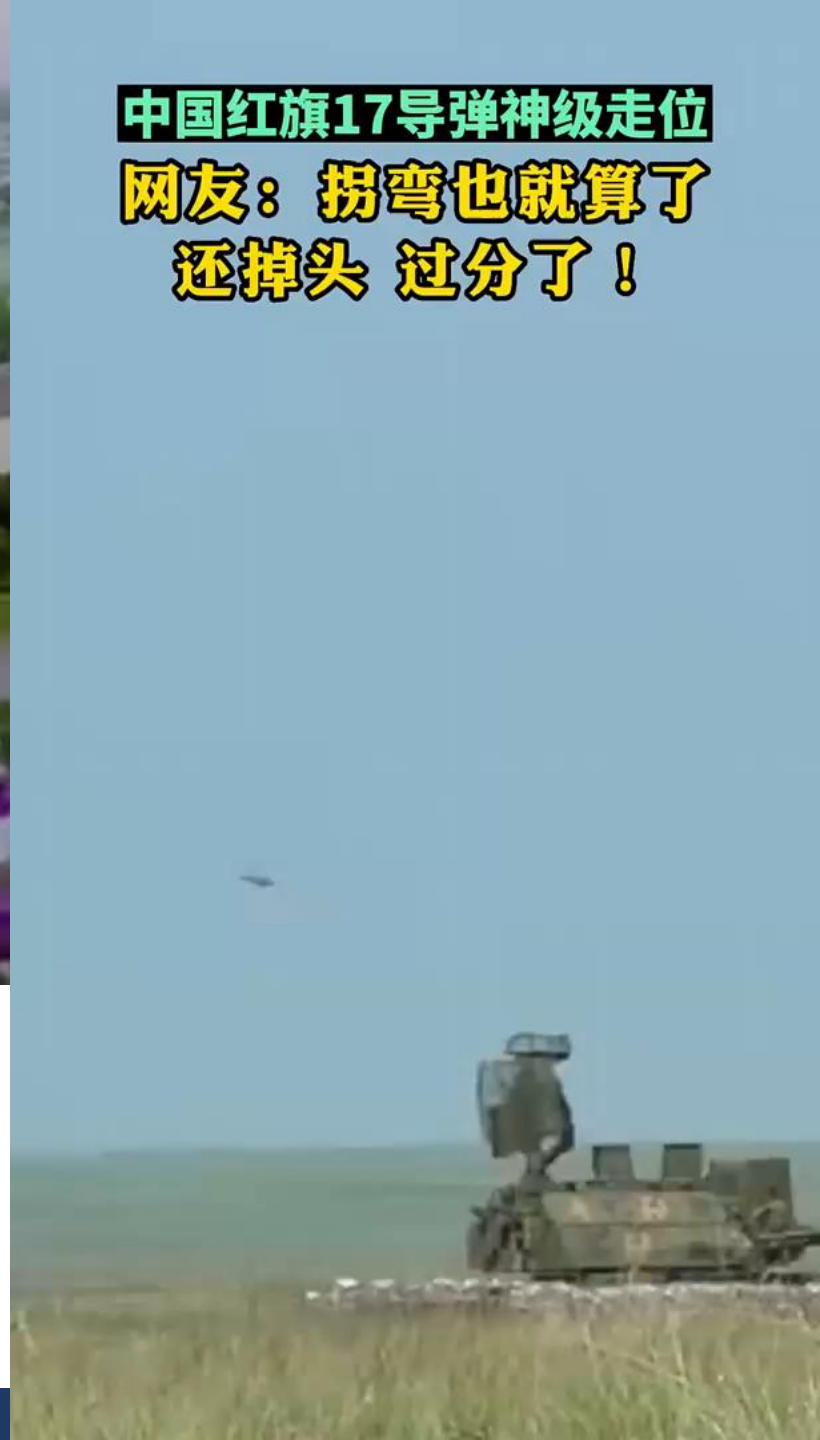
研究内容——3. 目标估计与任务分配



目标丢失如何持续拦截？



中国红旗17导弹神级走位
网友：拐弯也就算了
还掉头 过分了！



1. 如何在已知初始位置的情况下进行**主动搜索**？
2. 如何在拦截后**主动进行持续拦截或拦截确认**？

难点： 单目相机无法直接获得目标位置



Target

Post-interception Confirmation

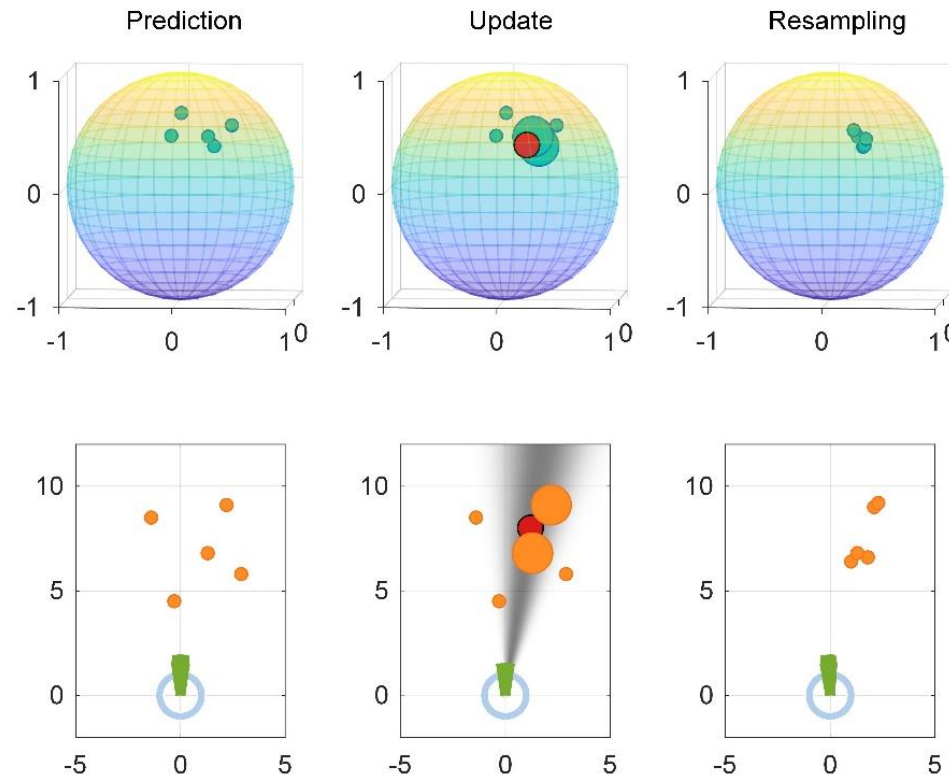
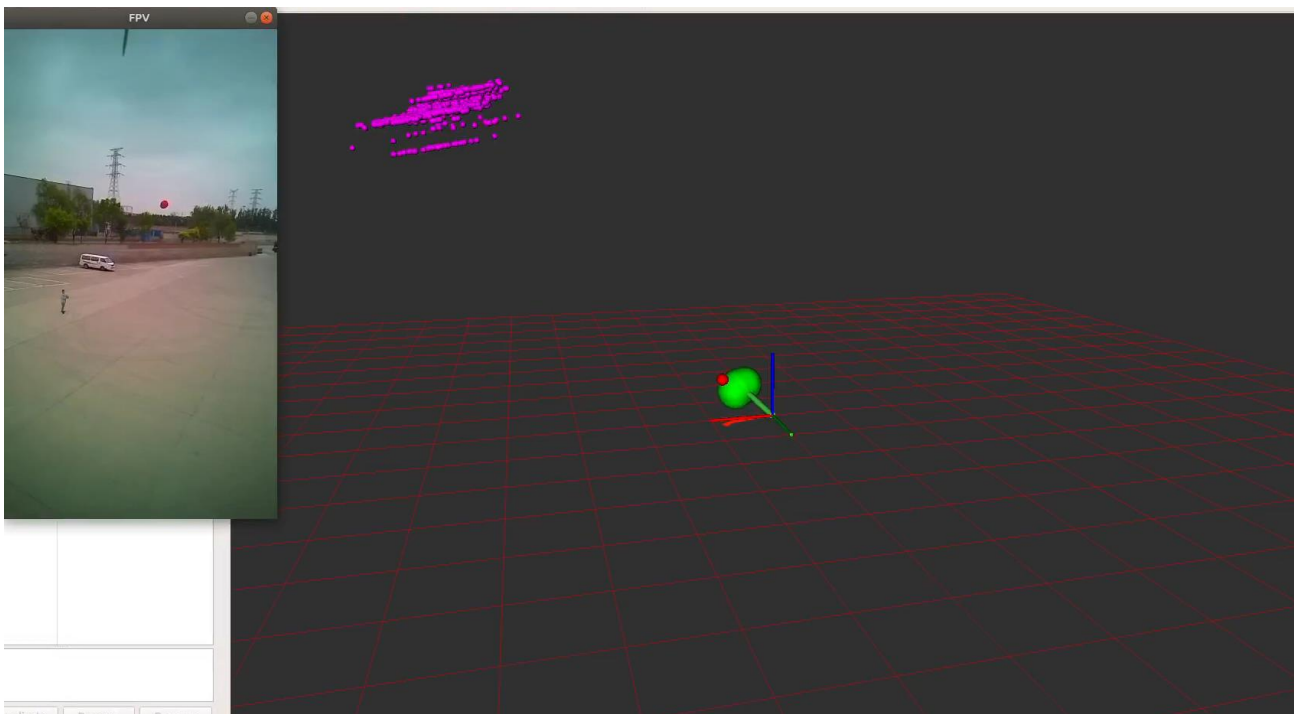
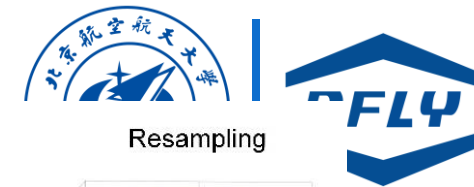
First Interception

Second Interception

Persistent Interception Experiments

(All videos are at 1x speed)

研究内容——3.1 蒙特卡罗定位方法状态估计



Step1: 运动递推

无人机运动时，粒子根据IMU运动指令预测无人机的位置

$$\mathbb{P}(\mathbf{x}_{k-D} | \mathbf{z}_{0:k-1}, \mathbf{u}_{0:k-D}) = \int \mathbb{P}(\mathbf{x}_{k-D} | \mathbf{x}_{k-D-1}, \mathbf{u}_{k-D}) \mathbb{P}(\mathbf{x}_{k-D-1} | \mathbf{z}_{0:k-1}, \mathbf{u}_{0:k-D-1}) d\mathbf{x}_{k-D-1}$$

Step2: 观测概率更新

根据预测的粒子的方位与观测的匹配程度，更新粒子权重

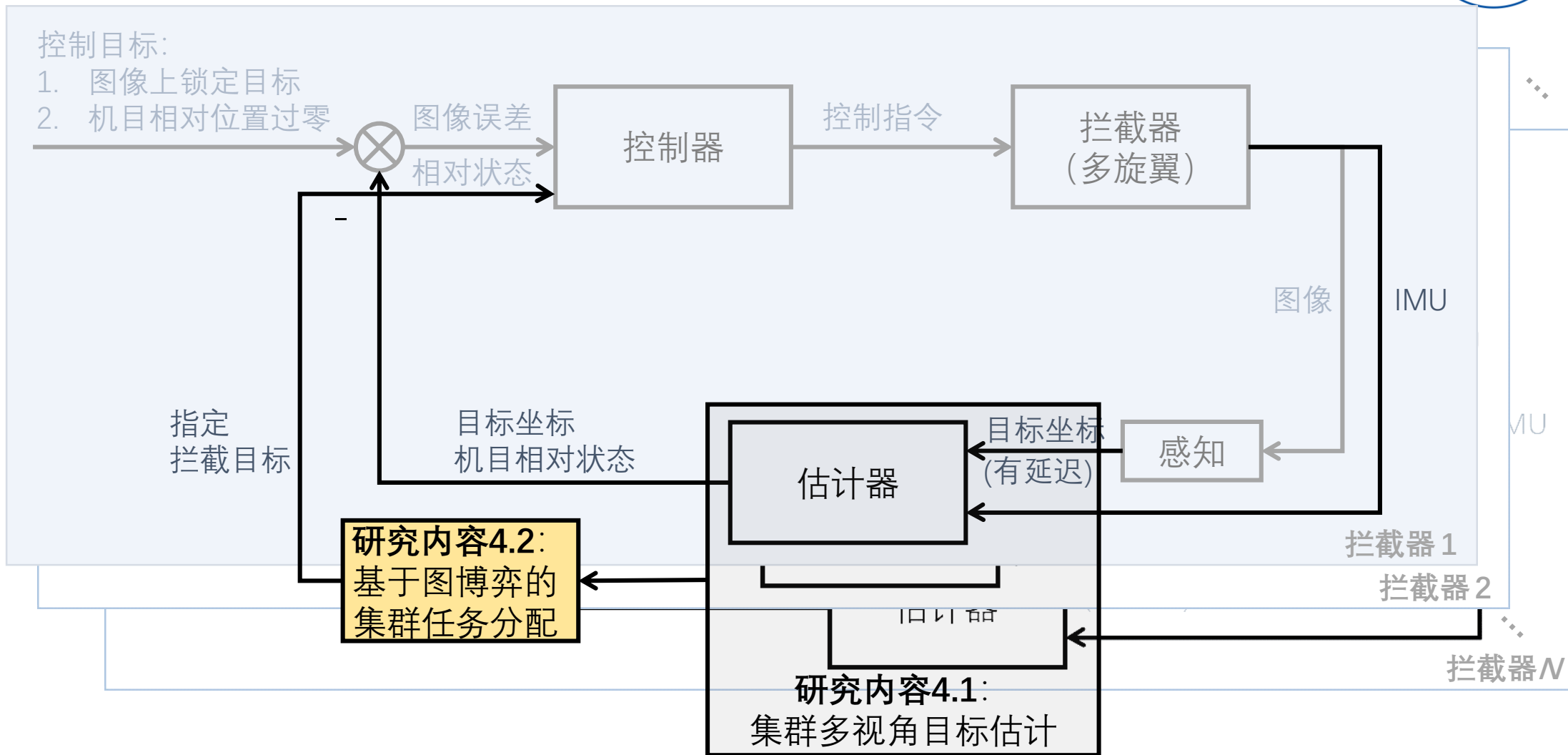
$$\begin{aligned} \mathbb{P}(\mathbf{z}_k | \mathbf{x}_{k-D}) &= \text{prob}(\arccos(\mathbf{s}^T \mathbf{p}_m^T \mathbf{p}_{k-D}), \sigma_p^2) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_p^2}} \exp\left\{-\frac{\arccos^2(\mathbf{s}^T \mathbf{p}_m^T \mathbf{p}_{k-D})}{\sigma_p^2}\right\} \end{aligned}$$

Step3: 依概率重采样

根据贝叶斯定理，重采样后的粒子概率分布为真值的无偏估计

$$\begin{aligned} &\mathbb{P}(\mathbf{x}_{k-D} | \mathbf{z}_{0:k}, \mathbf{u}_{0:k-D}) \\ &= \frac{\mathbb{P}(\mathbf{z}_k | \mathbf{x}_{k-D}) \mathbb{P}(\mathbf{x}_{k-D} | \mathbf{z}_{0:k-1}, \mathbf{u}_{0:k-D})}{\mathbb{P}(\mathbf{z}_k | \mathbf{z}_{0:k-1})} \\ &= \eta \mathbb{P}(\mathbf{z}_k | \mathbf{x}_{k-D}) \mathbb{P}(\mathbf{x}_{k-D} | \mathbf{z}_{0:k-1}, \mathbf{u}_{0:k-D}) \end{aligned}$$

研究内容——4 集群多视角目标估计



多目标如何拦截？

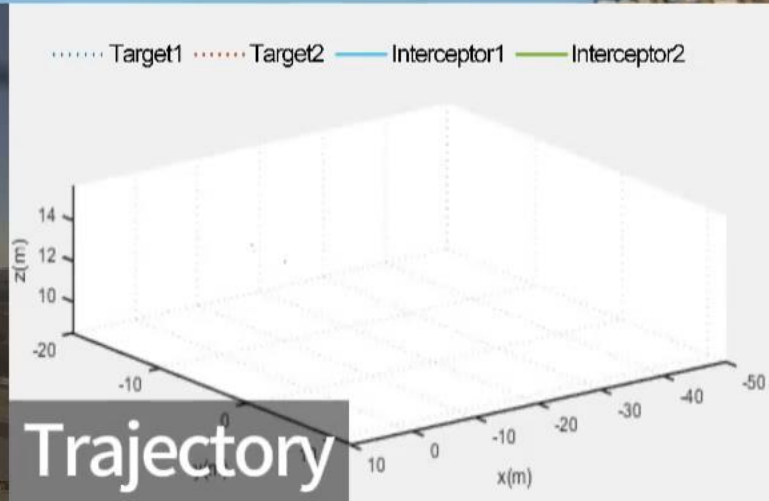
Real Flight Experiments



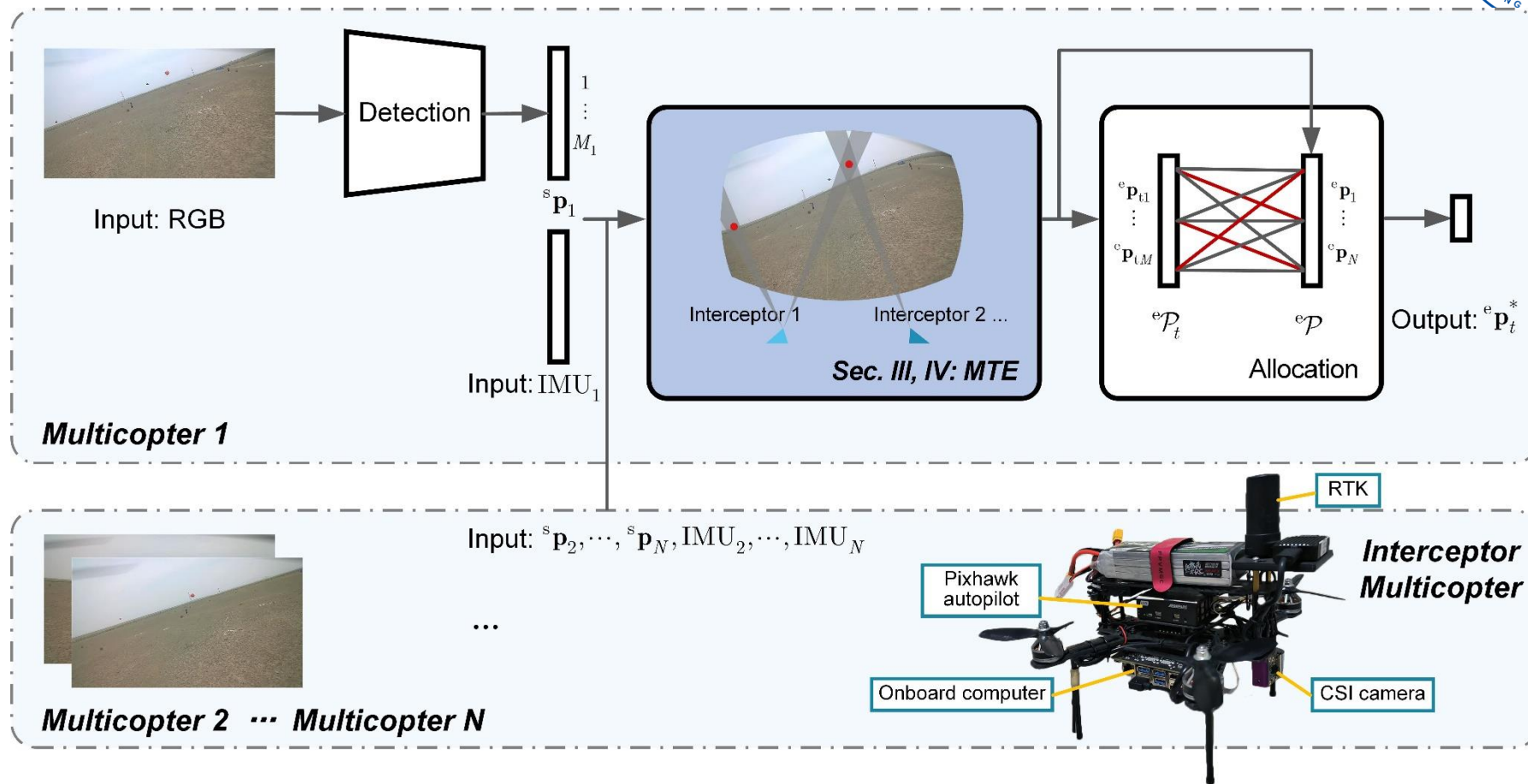
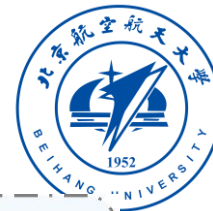
FPV 1



FPV 2



研究内容——4.1 集群多视角目标估计

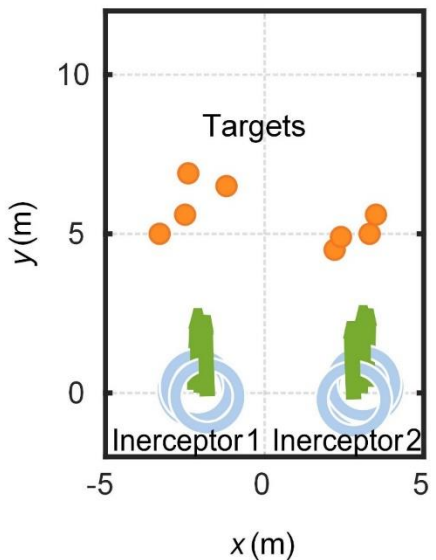


难点: 多视角目标匹配和目标估计, 如何统一各类数据

方法: 受动作捕捉系统的启发, 建立多视图几何匹配方法。蒙特卡罗粒子滤波统一本方法在单视角、多视角和有延迟情况下的估计

研究内容——4.1 集群多视角目标估计

上次状态

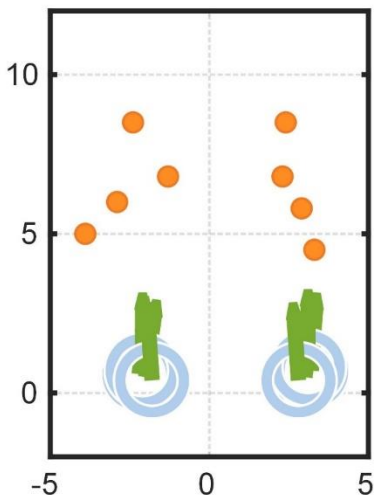


$$\mathbb{P}(\chi_{k-1} | \mathbf{z}_{0:k-1}, \mathbf{u}_{0:k-1})$$

Time: t_{k-1}

使用例子滤波框架估计目标位置

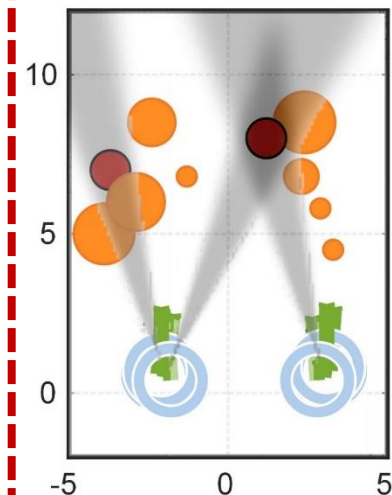
预测



$$\mathbb{P}(\chi_{k-D} | \mathbf{z}_{0:k-1}, \mathbf{u}_{0:k-D})$$

根据IMU信息预测粒子的运动

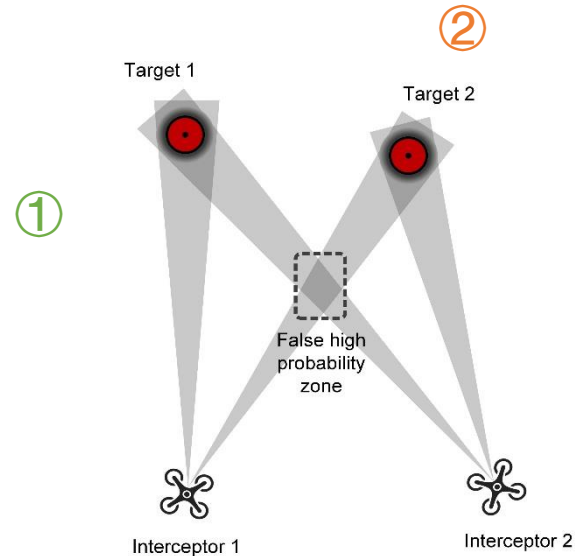
更新



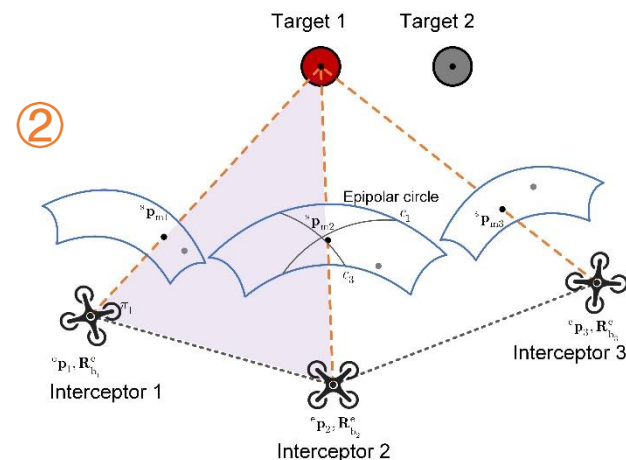
$$\mathbb{P}(\mathbf{z}_k | \chi_{k-D})$$

根据观测更新粒子权重

$$\mathbb{P}(\mathbf{z}_k | \chi_{k-D}) = \sum_{q_1=1}^{M_{\text{multi}}} \mathbb{P}({}^s \mathbf{p}_{mq_1,k} | \chi_{k-D}) + \sum_{q_2=1}^{M_{\text{mono}}} \mathbb{P}({}^s \mathbf{p}_{mq_2,k} | \chi_{k-D})$$

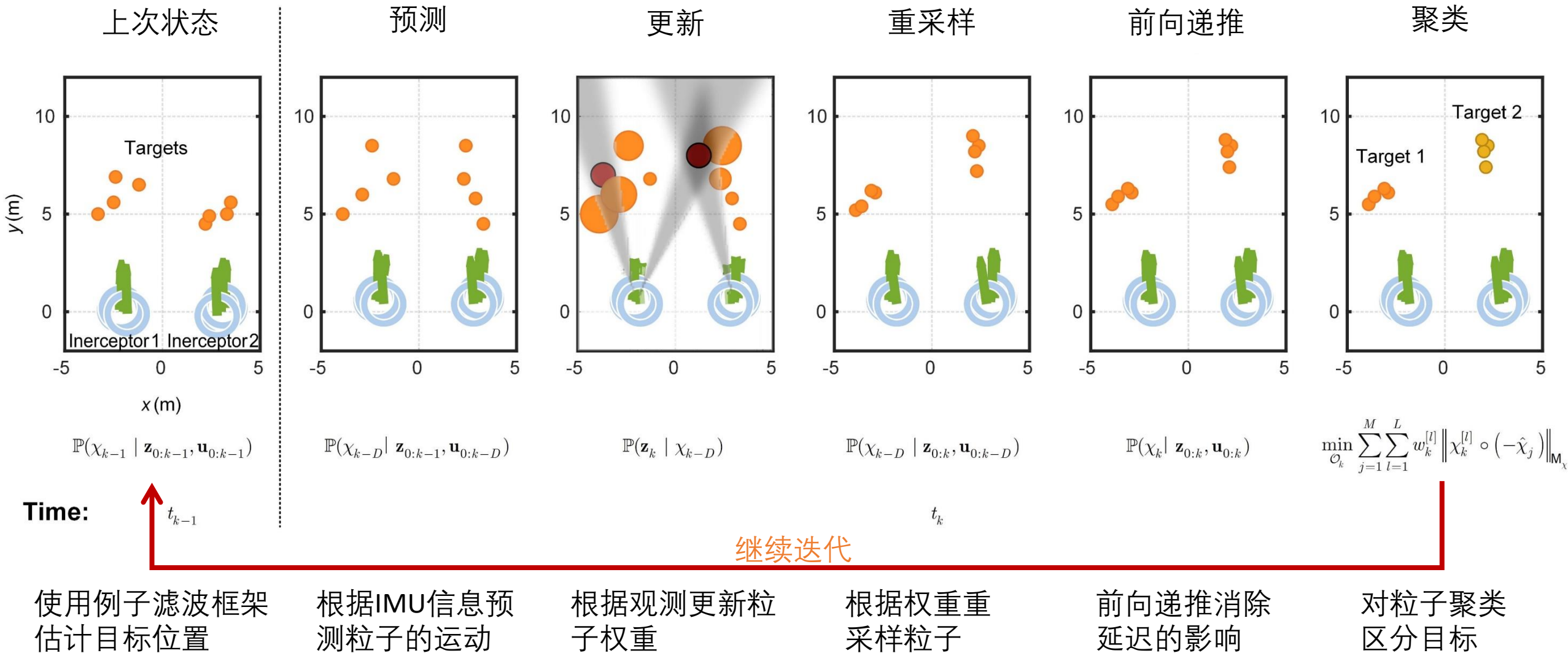


多个单目相机产生的权重累加，可能造成虚检



应用多视图几何约束和三维重建，确定对于构成多视图成像的目标的位置

研究内容——4.1 集群多视角目标估计



使用例子滤波框架
估计目标位置

根据IMU信息预
测粒子的运动

根据观测更新粒
子权重

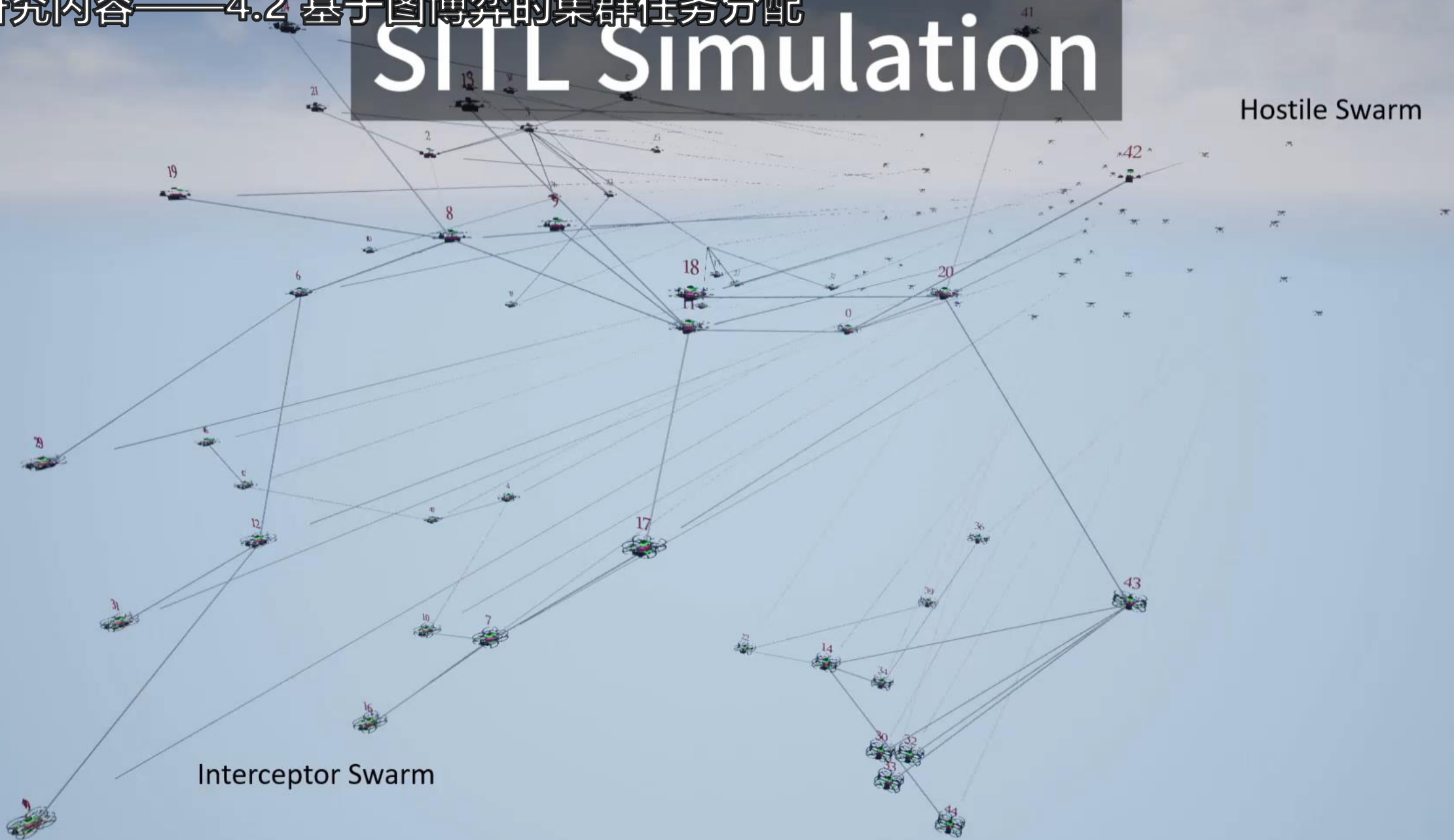
根据权重重
采样粒子

前向递推消除
延迟的影响

对粒子聚类
区分目标

研究内容——4.2 基于图博弈的集群任务分配

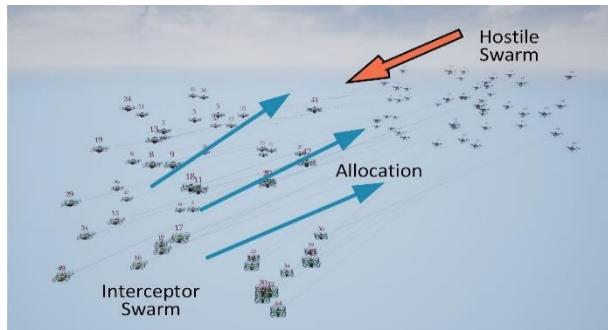
SITL Simulation



研究内容——4.2 基于图博弈的集群任务分配

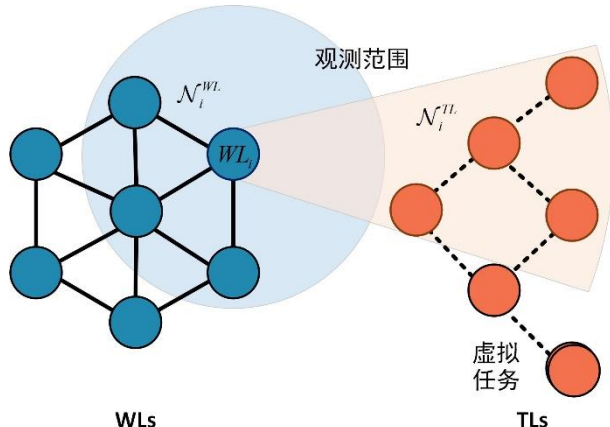


1. 集群拦截分配问题



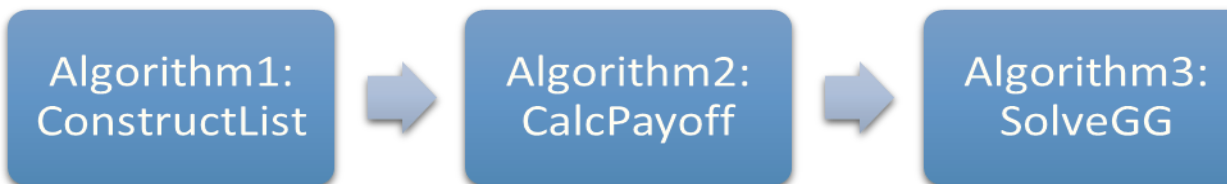
研究目标：无直接通信的多目标任务分配

2. 问题描述



寻找WLS到TLS的映射，使得全局收益最大

3. 分布式图博弈求解



1). 构建WLS和TLs, 统一不同集群规模

2). 计算worker和他邻居的收益函数

3). 以分布式架构求解图博弈模型

4. 邻域均衡达成图上均衡

$$\mathbb{G}: \max_{p_i(\mathbf{s}_i)} u^{global} = \sum_{i \in \mathcal{W}, a \in \mathcal{A}_i, \mathbf{s}_{-i} \in \mathcal{S}_{-i}} p_i(a, \mathbf{s}_{-i}) u_i(a, \mathbf{s}_{-i})$$

$$\text{s.t. } \sum_{\mathbf{s} \in \mathcal{S}} p(\mathbf{s}) = 1$$

$$p(\mathbf{s}) \geq 0, \forall \mathbf{s} \in \mathcal{S}$$

$$p_i(\mathbf{s}_i) = \sum_{\mathbf{s}[\mathcal{N}_i^{WLS}:\mathbf{s}_i] \in \mathcal{S}} p(\mathbf{s}) = \sum_{a \in \mathcal{A}_i} p_i(a, \mathbf{s}_{-i})$$

$$\sum_{\mathbf{s}_i[\mathcal{N}_{ij}^{WLS}:\mathbf{a}_{ij}] \in \mathcal{S}_i} p_i(\mathbf{s}_i) = \sum_{\mathbf{s}_j[\mathcal{N}_{ij}^{WLS}:\mathbf{a}_{ij}] \in \mathcal{S}_j} p_j(\mathbf{s}_j)$$

$$\sum_{\mathbf{s}_{-i} \in \mathcal{S}_{-i}} p_i(a, \mathbf{s}_{-i}) u_i(a, \mathbf{s}_{-i}) \geq \sum_{\mathbf{s}_{-i} \in \mathcal{S}_{-i}} p_i(a, \mathbf{s}_{-i}) u_i(a', \mathbf{s}_{-i})$$

策略定义

两邻域共有无人机策略一致

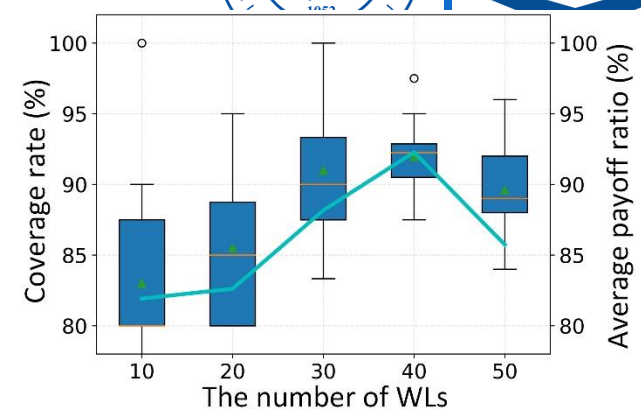
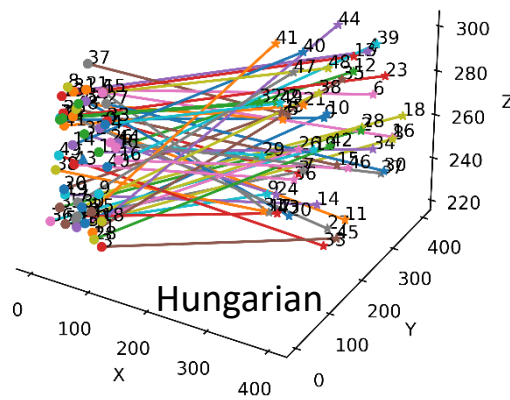
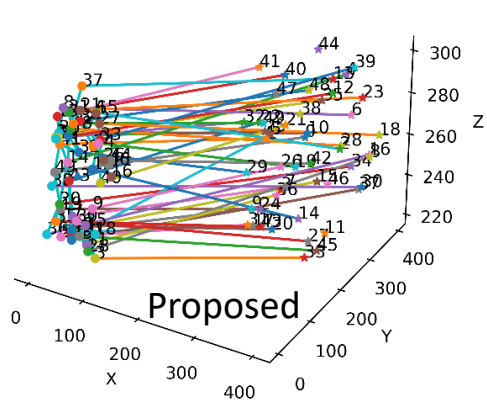
策略达成相关均衡, 单方面改变策略都无法获得更大收益

研究内容——4.2 基于图博弈的集群任务分配效果



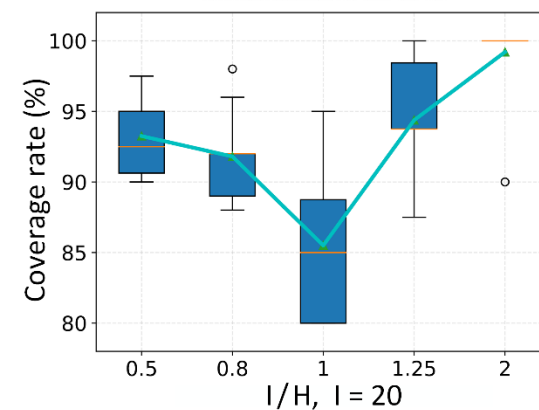
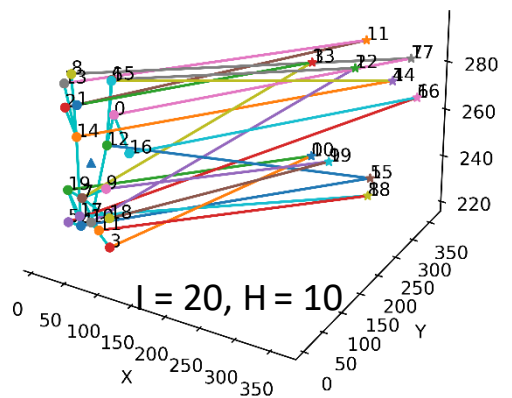
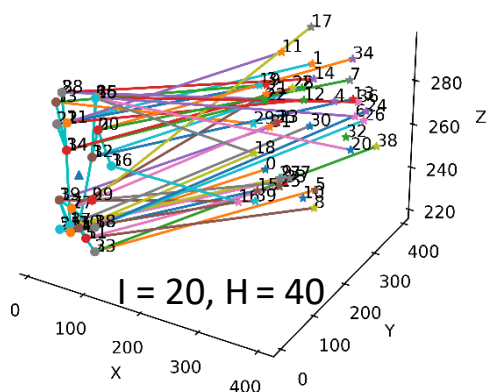
仿真 1. 比较集中式匈牙利算法

结果: 本方法与集中式匈牙利算法具有相近的覆盖率和收益, 但是不依赖直接通信



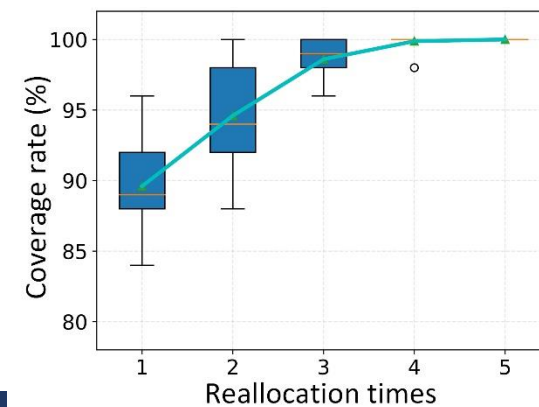
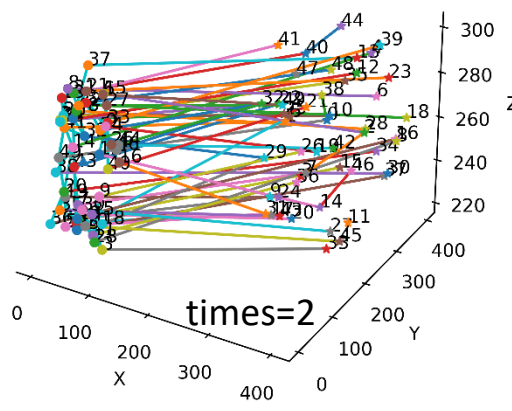
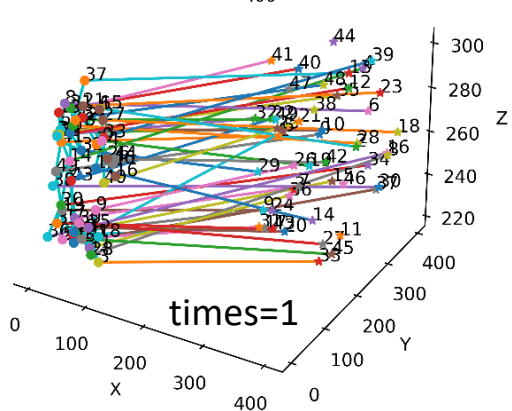
仿真 2. 不同拦截器—目标数量比

结果: 可以处理数量不一致情况。随着拦截器比例增加, 拦截效果更好, 符合预期



仿真 3. 多次分配

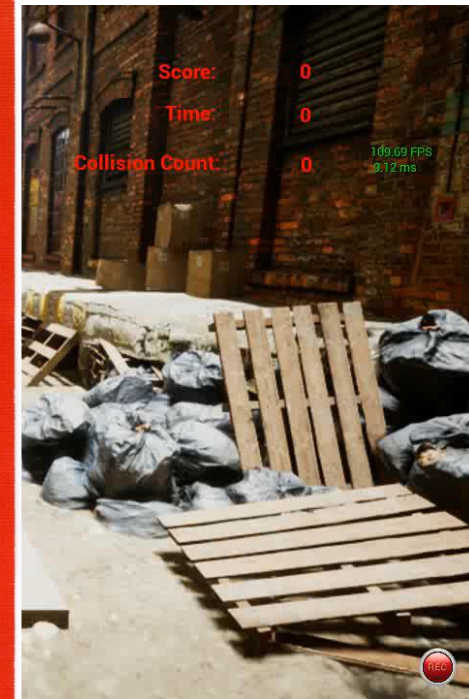
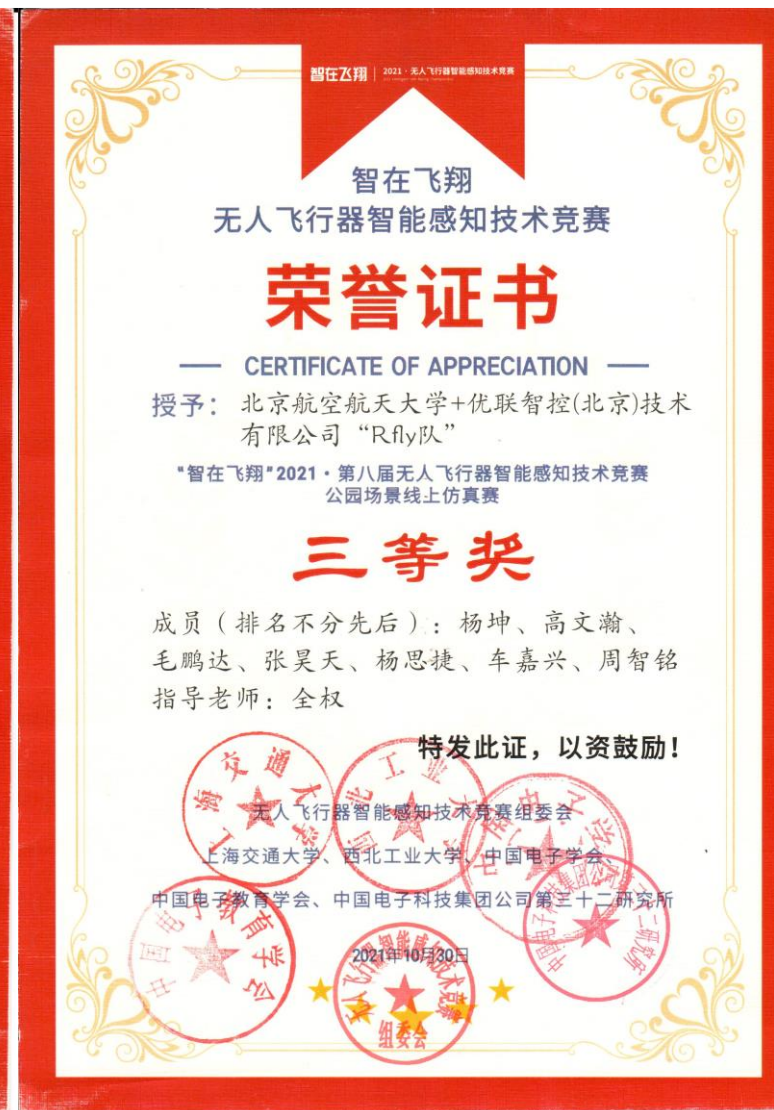
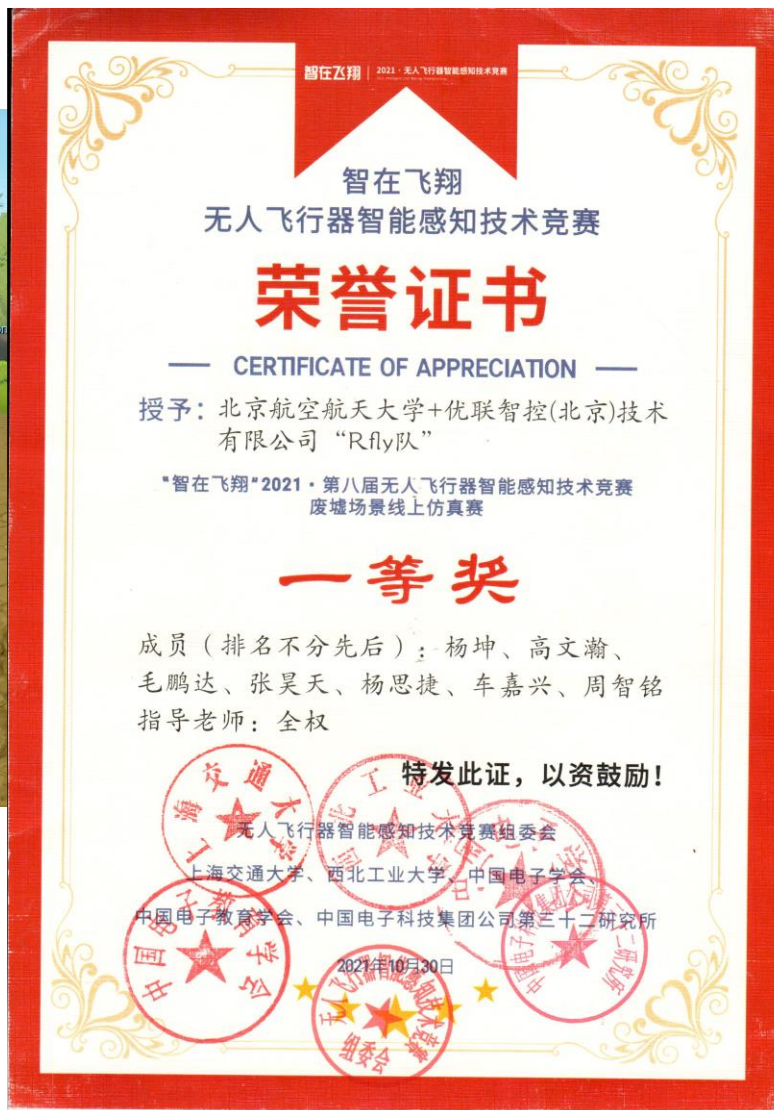
结果: 增加再分配次数可以提高拦截效果





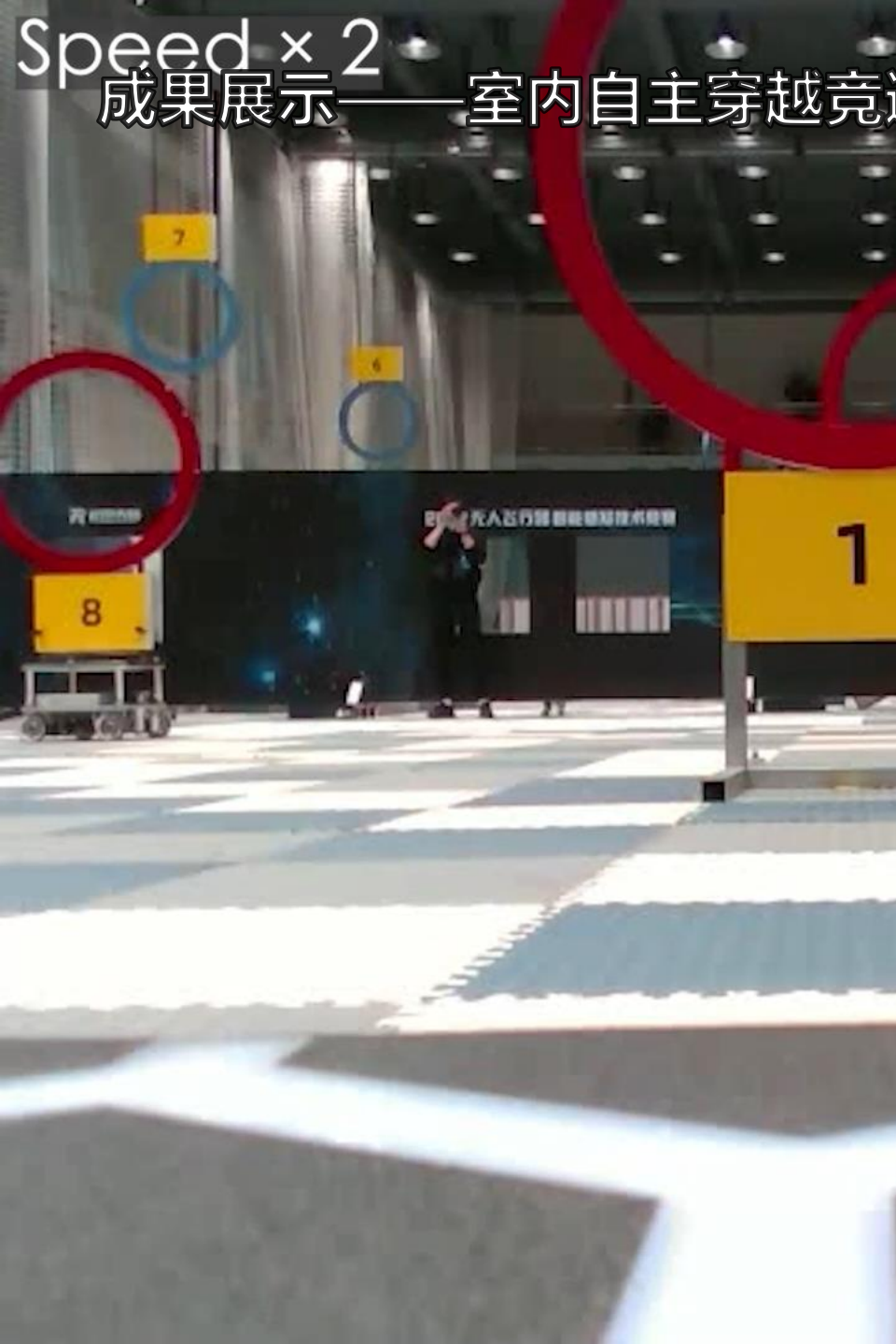
3. 研究成果应用转化

成果展示 —— 智在飞翔仿真赛



Speed x 2

成果展示——室内自主穿越竞速



智在飞翔 | 2021·无人飞行器智能感知技术竞赛

智在飞翔
无人飞行器智能感知技术竞赛

荣誉证书

— CERTIFICATE OF APPRECIATION —

授予：北京航空航天大学+优联智控(北京)技术有限公司“R.fly队”

“智在飞翔”2021·第八届无人飞行器智能感知技术竞赛线下赛

二等奖

成员（排名不分先后）：杨坤、高文瀚、
杨思捷、毛鹏达、张昊天、车嘉兴、周智铭
指导老师：全权

特发此证，以资鼓励！

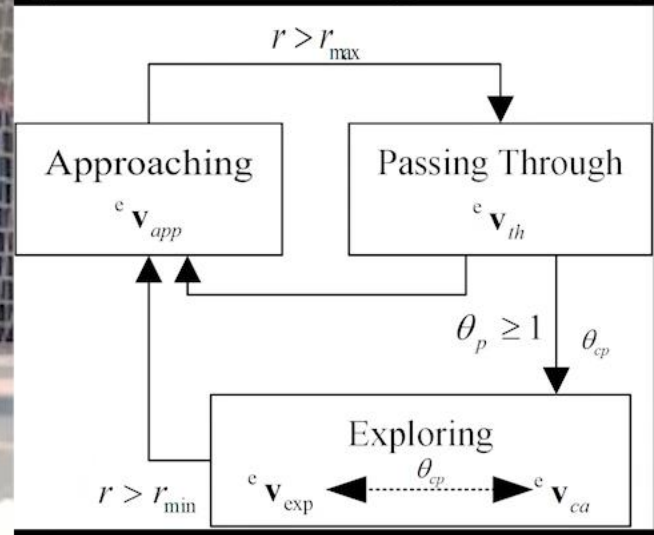
无人飞行器智能感知技术竞赛组委会
上海交通大学、西北工业大学、中国电子学会、
中国电子教育学会、中国电子科技集团公司第三十一研究所

2021年10月30日

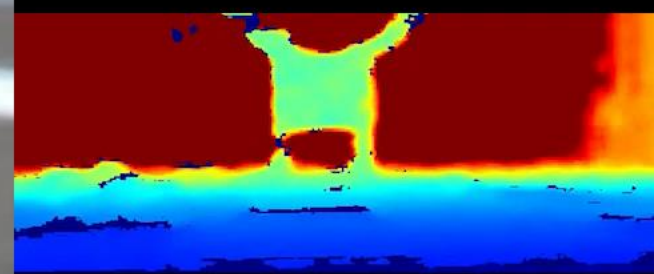
58.98s



↑Following View

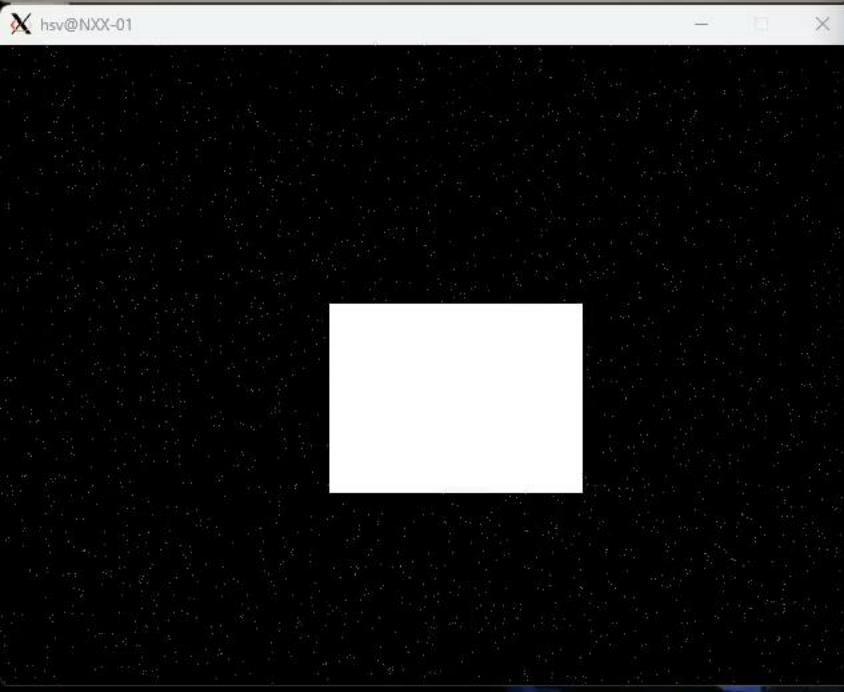


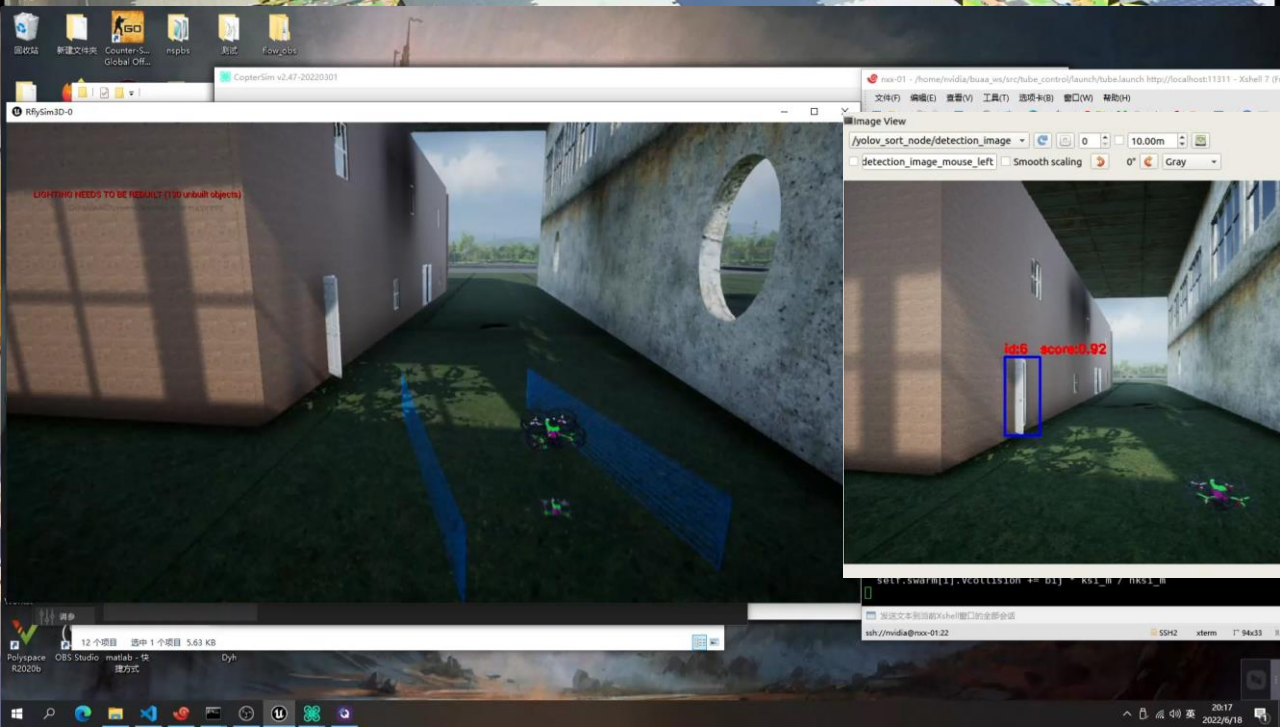
↑Phase Viewer



↑Depth View

成果展示——固定翼搜索DJ









4. 总结

概念创新

- 提出了多旋翼**可拦截性**和**可拦截度**的定义
- 理论上证明了可拦截度可以作为无人机是否全局可拦截的判据
- 据此给出多旋翼拦截器设计指导

方案创新

- 提出了针对**单目相机**的蒙特卡罗粒子滤波定位方法
- 提出了**弱通信条件**下基于图博弈的自主决策方法

方法创新

- 提出了**基于图像视觉伺服的多旋翼高机动拦截控制框架**
- 提出了可拦截度方法及应用，持续拦截、多视角目标估计、集群拦截等关键技术

应用创新

- 为无人机拦截系统提供了空中视角，增加总体拦截成功率
- 可进一步推广到无人机**自主跟踪**、多种机型（多旋翼、**固定翼**）**拦截/DJ**、**集群对抗**等多种应用

未来工作

- 无人机小型化
- 感知更远更全：近视眼和远视眼相结合
- 机动性进一步提高：从打气球到打飞碟
- 拦截效率进一步提高：单机拦截多个气球
- 机型扩展：从多旋翼到固定翼等
- 从单机到多机：结合以上性能进行群体博弈
- 防守策略提升：多地防守、地空协同
- ...





请各位专家批评指正！