

一、PPT 结构框架（共 10 页）

1. 项目背景与意义（第 1 页）

- 小型固定翼无人机在农业、军事、测绘等低空场景中应用广泛，但高速飞行状态下难以避免碰撞风险。
- 传统的感知与规避方法存在响应慢、算力瓶颈、感知盲区等问题。
- 本项目提出面向复杂低空环境的安全规避系统，通过软硬件协同提升无人机低空自主飞行安全。

2. 项目目标与整体方案（第 2 页）

- 构建软硬件高度集成的低空防撞系统。
- 系统包含感知（毫米波雷达+IMU）、路径规划（SLAM+轨迹优化）和规避策略（应急控制）三大功能模块。
- 适用于有效载荷>1.5kg、100~250m 低空飞行探测与避障任务。

3. 系统架构与关键算法（第 3 页）

- 输入数据：毫米波雷达点云 + IMU 导航信息。
- 输出控制量：速度指令 + 偏航角控制。
- 核心模块包括：障碍物建模模块 + 实时规避模块。

4. 关键技术 1：障碍物建模（第 4 页）

- 点云预处理：采用连通性与聚类算法去除异常值，使用鲁棒平滑算法保留结构特征。
- 雷达自运动估计：利用多普勒速度，通过最小二乘与 RANSAC 优化实时估计飞行器速度。
- 多传感器融合 SLAM：融合 IMU 与雷达，构建因子图优化结构，实现高频率姿态估计与空间建图。
- 地图格式优化：采用 Octomap 实现八叉树压缩建图，提升导航效率与地图利用率。

5. 关键技术 2：路径规避与运动基元（第 5 页）

- 全局路径规划：通过多项式轨迹规划，优化轨迹平滑度与物理可行性（最小 snap）。
- 局部动态重规划：实时 RRT*搜索局部路径，结合均匀 B 样条拟合，避免静态与新识别障碍。
- 应急规避策略：构建 115 个预定义运动基元，涵盖爬升、转弯、螺旋等常见操作，适配不同场景与飞行约束。

6. 实验平台与场景设计（第 6 页）

- 平台 1：Inno3000 固定翼无人机，搭载毫米波雷达与 NUC。
- 平台 2：DJI M300 旋翼无人机，集成事件相机与机载工控机。
- 场景涵盖：高压线、树林、建筑群等复杂地空环境，分别设置稀疏与稠密观测路径。

7. 试验结果展示（第 7 页）

- SLAM 可视化结果：回环检测精确，地图连续性良好。
- 点云建图与八叉树地图构建效果显著，导航有效区域清晰。
- 场景感知覆盖完整，毫米波雷达可远距检测高压线等典型障碍。

8. 性能指标与验证分析（第 8 页）

- 检测性能：检测最远距离>200m，误报率低。
- 避障性能：仿真与真实场景中避障成功率接近 100%。
- 实时性指标：平均规划响应时间控制在 100ms 以内。
- 最小安全分离距离保持在 2.5m 以上，满足安全要求。

9. 项目亮点与创新（第 9 页）

- 提出融合毫米波+IMU 的实时多传感器建图方案。

- 创建运动基元库提升避障策略实时性与泛化能力。
- 构建规避一体化流程，兼顾精度、速度、成本与可移植性。

10. 总结与展望（第 10 页）

- 项目构建了完整的低空避障系统，覆盖从感知、建图到规避的全流程。
- 在复杂环境中验证系统的可靠性与实用性。
- 未来可拓展至多无人机协同、夜航避障、异构平台适配等方向，具有广阔应用前景。

开场 (30 秒)

尊敬的各位老师好，我是 XXX，今天向大家汇报我所在团队的省级大创项目《小型固定翼无人机低空安全防撞技术》的结题成果。

第 1 页 (45 秒)

项目背景方面，近些年来，低空经济迎来爆发期。低空固定翼无人机越来越多用于军民领域，如巡逻、测绘、侦察等，但复杂地形下的避撞问题始终是难点。传统方法在响应速度与系统集成度方面存在不足。本项目即旨在解决这一关键问题。

第 2 页 (40 秒)

我们构建了一个涵盖感知设备选型、算法设计与路径控制的一体化系统。设计目标是在 100~250 米探测范围内，实现高效规避，保障飞行安全。

第 3 页 (50 秒)

系统包括障碍感知与规避两个核心模块。输入主要来自毫米波雷达和 IMU，输出为控制飞行的速度和偏航角。我们的方法将建图与运动规划深度结合，提升实时性和可靠性。

第 4 页 (1 分钟)

建图方面，我们提出了一套鲁棒的点云处理流程，包括异常值去除、雷达自运动估计与 SLAM 融合。利用八叉树地图结构替代点云，显著提升导航效率与地图压缩性能。

第 5 页 (1 分钟)

路径规划采用了“全局+局部”的策略。全局路径由多项式轨迹生成，局部则使用 RRT* 配合 B 样条进行动态重规划。应急避障方面，我们设计了 115 种运动基元，涵盖各种飞行机动状态，实时挑选避障路径，确保安全。

第 6 页 (45 秒)

我们使用了 Inno 3000 固定翼和 DJI M300 旋翼平台，分别覆盖稀疏与密集障碍场景，涵盖地形、建筑、林区等典型环境，进行了多轮飞行试验和数据采集。

第 7 页 (45 秒)

试验结果显示，系统可实现高精度建图与路径重规划。图中展示的是 SLAM 回环、障碍建图效果图、轨迹可视化结果。毫米波雷达对于高压线等典型目标具备良好识别能力。

第 8 页 (45 秒)

我们评估了系统的漏检率、虚警率、避障成功率、最小分离距离等核心指标，实验显示在速度 23m/s 以下、障碍密度小于 10% 的场景下，避障成功率可达 100%。

第 9 页 (30 秒)

本项目创新点包括毫米波与 IMU 融合 SLAM 技术、预定义运动基元策略、点云转八叉树导航等。实现了实用性强、通用性高的系统方案。

第 10 页 (30 秒)

总结来说，项目系统解决了复杂低空飞行安全问题，为无人机在危险环境中的应用提供了坚

实保障。未来我们将继续拓展系统在集群协同和异构平台中的应用能力。谢谢大家!
