分类号 编 号

U D C 密 级



**本科生毕业设计（论文）**

“题目”采用三号宋体加粗，打印。字数一般不超过24字，如有副标题，主副标题合计不超过30字。

**题 目：** **无人机室内定位建图与动态避障导航**

**姓 名：** 华羽霄

**学 号：** 12010508

**院 系：** 系统设计与智能制造学院

**专 业：** 自动化

“姓名、学号、指导教师、年级与专业、年月日”均用四号宋体打印，不得手写，各栏目下划线需统一长度

**指导教师：** 陈亮名

“姓名、学号、系别、专业、指导教师”均采用三号宋体加粗。打印。如姓名为两个字，中间要空出一个汉字符，如“王 某”。

2024年4月26日

填写定稿并打印的时间。

**诚信承诺书**

1.本人郑重承诺所呈交的毕业设计（论文），是在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果，所有数据、图片资料均真实可靠。

2.除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他人或集体已经发表或撰写过的作品或成果。对本论文的研究作出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确的方式标明。

3.本人承诺在毕业论文（设计）选题和研究内容过程中没有抄袭他人研究成果和伪造相关数据等行为。

4.在毕业论文（设计）中对侵犯任何方面知识产权的行为，由本人承担相应的法律责任。

作者签名：

2024 年 4 月 26 日

无人机室内定位建图与动态避障导航

---副标题（黑体小二）

华羽霄

（系统设计与智能制造学院 指导教师：陈亮名）

[摘要] （黑体三号）：……（摘要内容字体为四号宋体，行间距为固定值25磅。摘要应简明扼要的概括出论文的主要内容，字数应为300-500字。）

[关键词]：无人机; 四旋翼; 室内定位; 主动避障； 路径规划

**[ABSTRACT]** : This paper conclude……（Time New Roman四号，英文摘要字数250-400个实词，注意使用英文标点符号。）

**[Keywords]:** Keywords 1; Keywords 2; ……（Time New Roman四号，关键词不少于3个，不多于5个。中英文关键词要严格对译。）

英文为相应字号的Times New Roman字。

**目录**

**1.绪论.............................页码**

1.1论文研究背景与意义..................................页码

1.2国内外研究现状

1.2.1路径规划算法研究现状................................页码

1.3研究内容与创新..................................页码

1.4论文组织结构

**2.全文总结与展望.............................页码**

2.1全文工作总结..................................页码

2.2未来研究展望..................................页码

**参考文献(宋体四号，加粗)...............................页码**

**附录(宋体四号，加粗)...................................页码**

**致谢(宋体四号，加粗)...................................页码**

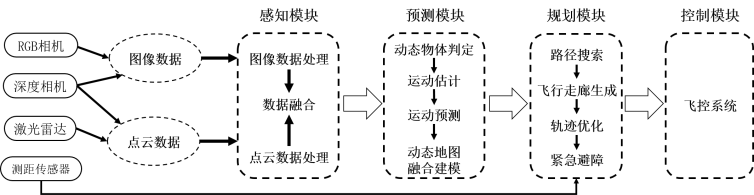
缩略词表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 英文缩写 | 英文全称 | 中文全称 |
| UAV | Unmanned Aerial Vehicle | 无人航空载具 |
| SLAM | Simultaneous Localization and Mapping | 同步定位与建图 |
| JPS | Jump Point Search | 跳点搜索 |
| PRM | Probabilistic Roadmap Method | 概率路图法 |
| RRT | Rapidly-exploring Random Tree Method | 快速拓展随机树算法 |
| SLP | State Lattice Planning | 状态格点规划 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

1.绪论

1.1 论文研究背景与意义

无人机全称无人航空载具 ( Unmanned Aerial Vehicle , UAV )，是指不载人的可以自主运动的航空飞行器，它主要包括固定翼无人机和旋翼无人机两种类型。无人机自上个世纪诞生以来，就一直受到人们广泛关注，无人机最初以固定翼无人机为主，且多用于军事用途。进入 21 世纪之后，旋翼无人机的应用变得更加广泛。伴随着控制技术、通信电子和计算机相关技术的进步，无人机逐渐朝着小型化、自动化和智能化的方向发展 [1]。相关技术的进步与商业模式的成熟使得人们能够在许多民用场景频繁看到无人机的身影，常见的包括航拍摄影、物流运输、电力巡检、灾难搜索救援等应用场景 [2–5]。在这些场景中，无人机会搭载专业设备，利用自身传感器感知周围环境，并根据任务需求和周围障碍物来实时规划飞行路线，在保证自身安全的同时，顺利完成相应任务。无人机目前之所以能够在众多民用领域大放异彩，背后靠的是一整套核心关键技术的支持。如图1-1所示，目前智能无人机的主流技术栈包括：感知、预测、规划和控制四大模块 [6–8]。



感知模块的主要功能是借助无人机机载传感器来感知周围环境，为其它模块提供环境信息。常见机载传感器有 RGB 相机、深度相机和激光雷达等，它们能获取周围环境的图像或点云数据，然后交由相应的数据加工与融合算法处理，最终得到一个表示周围环境的静态虚拟地图。

预测模块的主要功能是根据传感器数据来识别运动物体并预测其将来的运动情况。它首先要根据传感器数据来判断是否存在运动物体，其次使用运动估计方法来估计物体的运动信息，然后根据运动物体的历史运动信息来预测其未来运动情况，最后将其与静态环境地图结合建模，得到完整的飞行环境地图。

规划模块的主要功能是根据任务要求与环境信息，生成安全可执行的平滑飞行轨迹。规划模块既可以利用感知模块建模的环境地图，也可以直接利用传感器

测量数据。规划模块通常包括前端路径搜索、飞行走廊生成、后端轨迹优化和紧急避障这几部分。前两部分用于在全局地图中规划路径，前端路径搜索部分会得到一个全局的、粗糙的飞行路径；飞行走廊用于表示无人机飞行路径周围的自由区域。后两部分用于在局部环境中优化轨迹，轨迹优化部分会将局部路径进行优化，得到一个平滑的、可执行的运动轨迹 [9]。紧急避障作为轨迹规划补充部分，直接利用传感器数据进行快速规划，弥补前面部分无法处理的紧急情况。

控制模块的主要功能是使用各种控制算法控制无人机来跟踪上述模块生成的飞行轨迹。控制模块往往是由各种飞控系统构成，它们负责无人机各种基础飞行动作的底层控制，目前已较为成熟。

在前述应用场景中，无人机往往需要面对各种不同的任务场景与飞行环境，比如城市楼宇环境、森林环境、灾难环境等。在这样的环境中，无人机不仅要躲避各种不规则的静态障碍物，还要躲避随机出现的各种运动物体。这样的环境由于存在着不规则障碍物与随机运动的物体，因此无法用有限的规则进行描述，常被称为非结构化环境 [10]。对于静态环境，可以一次性在全局地图中执行运动规划算法来生成全局最优轨迹。相比静态环境，动态环境中的障碍物会随时间发生变化，这需要不断重复运行运动规划相关算法来对环境最新情况规划轨迹。这种方式可以很好适应动态环境，但随之而来就需要算法效率与速度更高、计算时间更短，而现有的运动规划相关算法计算时间较长，速度慢，难以在动态环境下实时运行。其次，相比于静态环境，动态环境中存在运动障碍物，不仅要考虑常规的配置空间，还要考虑时间维度。这极大地增加了运动规划相关算法的难度，导致现有算法对运动障碍物的避障效果欠佳，而且算法计算难度的提升也进一步延长了计算时间。因此，在运动规划层面开展动态环境下避障技术研究，缩短算法计算时间，提升对运动障碍物的避障效果，能够进一步增强无人机在动态环境下的生存能力，有利于无人机应用于更广泛的场景中。

1.2国内外研究现状

1.2.1室内SLAM算法研究现状

很多学者对室内SLAM问题做了大量研究工作，这些工作大体可以分为惯性导航定位建图、激光雷达定位建图、视觉定位建图等等。

1.2.1.1惯性导航定位

1.2.1.2 激光雷达定位

1.2.1.3 视觉定位

1.2.2室内建图算法研究现状

1.2.3路径规划算法研究现状

很多学者对路径规划问题做了大量研究工作，这些工作大体可以分为基于搜索的算法、基于采样的算法和基于动力学可行性的算法。

1.2.3.1基于搜索的路径规划算法

基于搜索的路径规划算法更适用于低维度的地图环境，此类算法包括 Dijkstra算法 [15]、 A\* 算法 [16] 和跳点搜索（Jump Point Search ，JPS）算法 [17] 等。 Dijkstra算法的策略是使用当前节点距出发点的最短距离来拓展节点，这种拓展方式没有倾向性，效率低下。 A\* 算法利用贪婪思想，使节点代价除了距离代价外，还包含启发式代价，启发式代价常使用欧式距离、曼哈顿距离和对角距离，这克服了 Dijkstra 算法没有倾向性的问题。 JPS 算法设计了 Look Ahead Rule 和 Jumping Rules 来打破 A\* 算法存在的节点对称性问题，但该算法只能用于标准栅格地图中。该类算法在低维空间中搜索速度更快，但生成路径为折线，未考虑无人机动力学可行性，后续优化过程中极有可能无法得到可执行的轨迹。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Dijkstra | A\* | JPS |

1.2.3.2基于采样的路径规划算法

基于采样的路径规划算法包括概率路图法（Probabilistic Roadmap Method , PRM） [11]、快速拓展随机树算法（Rapidly-exploring Random Tree Method， RRT） [12]、 RRT\* 算法 [13,14] 等。这类算法对整个状态空间进行采样，将得到的采样点连边构图，在得到的图中进行路径规划。基于采样的路径规划算法更适合高维空间，在低维无人机地图空间中，该类算法产生最优路径所付出的采样代价较大。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| PRM | RRT | RRT\* |

1.2.3.3基于动力学可行性的路径规划算法

基于动力学可行性的路径规划算法包括SLP算法 [18] [19]、Hybrid A\* 算法 [20] 和 Kinodynamic RRT\* 算法 [21] 等。该类算法由于考虑了无人机系统的微分特性，产生的路径更符合无人机实际运动特性，能够减小后端轨迹优化部分的计算负担。在该类算法中，Hybrid A\* 算法相比于SLP算法具有任务倾向性的优势，规划效率更高；相比于 Kinodynamic RRT\* 算法具有原理简单、计算难度小的优势，因此成为无人机路径规划领域最常用的算法。在Hybrid A\* 算法中，启发式函数的设计效果好坏会直接影响到算法的收敛速度，启发式代价 *h* 越接近于真实代价 *h∗*，则算法搜索数目越少，搜索时间越短。论文 [22]首先建模得到基于运动原语的无人机优化问题，对该优化问题进行松弛得到线性二次最小时间问题，将其解析解作为启发式代价。 Zhou 等人 [23] 借鉴论文 [24] 中计算运动原语的思想，考虑了连续状态条件与无人机动力学可行性，将启发式代价建模为最优边界值问题并进行求解，能够实现无人机到目标状态的实际代价的较好估计。这些启发式函数在无障碍物环境下具有很好效果，但其没有利用地图中的障碍物信息，求得的最优轨迹曲线往往会穿过障碍物，导致无人机后续实际飞行轨迹与其计算轨迹具有较大差异，出现启发式代价远离最优代价的问题，因此算法搜索速度仍较低，无法满足动态环境中快速搜索路径的需要。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| SLP | Hybrid A\* | Kinodynamic RRT\* |

1.3研究内容与创新

1.4论文组织结构

本论文共六章，各章节内容安排如下：

第一章为绪论。首先阐述本论文研究课题的背景与意义，然后讨论了相关研究现状，其次给出本论文研究内容与创新贡献，最后说明本论文的章节安排。

第二章研究动态环境下的快速路径搜索方法。首先阐述本章研究意义与研究内容；然后给出快速路径搜索算法的整体流程；接着重点阐述三个方面的创新工作：考虑障碍物存在的启发式函数、随距离变化的遮挡惩罚项、寻找最佳膨胀系数的自适应策略；最后设计不同仿真试验分别在整体上和各创新方面验证算法效果。

第三章研究基于端点任意直线栅格计算方法的飞行走廊生成算法。首先阐述了原始 Bresenham 画线算法的原理，然后阐述端点任意直线的地图栅格计算方法，接着对基于该栅格计算方法的飞行走廊生成算法的内容进行介绍。最后，设计对比实验分别分析验证端点任意直线的栅格计算方法与飞行走廊生成算法的效果。

第四章研究用于躲避动态环境中障碍物的轨迹优化算法。首先讨论了动态障碍物避障建模问题的重要性；然后设计出将动态障碍物分为三类进行避障建模的算法；接着建模完成以 MINVO 基函数的控制点为优化变量的优化问题；最后在MATLAB 上实现算法代码并设计实验验证算法效果与鲁棒性。

第五章研究用于保证无人机飞行安全的紧急避障规划算法。首先阐明了紧急避障算法的重要性；然后提出紧急避障规划算法，包括算法整体流程、单个墙面与多个墙面的避障规划方法；最后设计仿真实验与人工势场避障方法的效果进行对比，验证算法有效性。

第六章为全文总结与展望。首先总结了本论文的所有工作内容，然后展望了未来值得进一步探索的方向。

2.一级标题（中文黑体，英文Times New Roman，三号）

......（正文内容格式：中文为宋体，英文为Times New Roman，均为小四号字，段落首行缩进2字符，行距1.5倍，下同。）

2.2 二级标题（中文黑体，英文Times New Roman，四号）

......（正文内容格式：中文为宋体[[1]](#footnote-2)，英文为Times New Roman，均为小四号字，段落首行缩进2字符，行距1.5倍，下同。）

表序在表题左方，不加标点，中间空一格，标题末尾不加标点。全文表格可统一编序，也可按章节编序，表序须连续。

表的示例如下：

**表1 XX表**（中文黑体，英文为Times New Roman五号加粗，居中）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| XX（宋体五号） | XX | XXX  表格内容中文为宋体五号，英文为Times New Roman五号 |
| 1 | 11 | 111 |
| 2 | 22 | 222 |
| …… | …… | …… |

数据来源：......( 注于表下方，宋体五号，相对表格左下角缩进2个汉字。)

脚注（也可在论文篇末作尾注），字号小五，中文宋体英文Times New Roman。

图的示例如下：

图片

**图1 XX图**（中文黑体，英文为Times New Roman五号加粗，居中）

图序和图题居于图的下方正中，图序须连续。可用全文统一或按章节编序，但无论用哪种方式，应和表格、公式的方式统一。

3.一级标题（中文黑体，英文Times New Roman，三号）

3.1二级标题（中文黑体，英文Times New Roman，四号）

......（正文内容格式：中文为宋体，英文为Times New Roman，均为小四号字，段落首行缩进2字符，行距1.5倍，下同。）

3.1.1三级标题（中文黑体，英文Times New Roman，小四）

......（正文内容格式：中文为宋体，英文为Times New Roman，均为小四号字，段落首行缩进2字符，行距1.5倍，下同。）

（1）......（内容格式：中文为宋体，英文为Times New Roman，均为小四号字，段落首行缩进2字符，行距1.5倍，下同。）

（2）......（内容格式：中文为宋体，英文为Times New Roman，均为小四号字，段落首行缩进2字符，行距1.5倍，下同。）

结束语：（可选项，**中文黑体，英文Times New Roman，三号**）

......（正文内容格式：中文为宋体，英文为Times New Roman，均为小四号字，段落首行缩进2字符，行距1.5倍，下同。）

**参考文献**（黑体三号，另起一页）

[1] 作者．文献名[M]．出版地：出版者，出版年：起止页码（整体引用时不注）．(图书文献适用)

[2] 作者．文献名[J] ．刊名，年，卷（期）：起止页码．（期刊文献适用）

[3] 作者．文献名[N]．报纸名，出版日期（版次）．（报纸文献适用）

[4] 标准编号，标准名称[S]．（标准、法规文献适用）

[5] 作者．文献名[文献类型标识/载体类型标识]．出版地：出版者，出版年：起止页码（当整体引用时不注）．(载体类型标识为 “DK”、“MT”和“CD”，分别对应磁盘、磁带和光盘电子文献适用）

[6] 作者．文献名[文献类型标识/ OL]．（发表或更新日期）．[引用日期]．电子文献网址．(在线电子文献适用）

中文用宋体，英文用Times New Roman，均为五号字体。

附录（黑体三号字，为可选项，另起一页）

附录A

附A1

......（内容格式：中文为宋体，英文为Times New Roman，均为小四号字，段落首行缩进2字符，行距1.5倍。）

附录B

附录C

致谢（黑体三号字，为可选项，另起一页）

......（内容格式：中文为宋体，英文为Times New Roman，均为小四号字，段落首行缩进2字符，行距1.5倍。）

1. 作者.出处.出版年份.页码. [↑](#footnote-ref-2)