

基于RRT算法的桥检无人机航线规划仿真系统设计

刘 强, 阳小燕, 朱克佳

广州软件学院, 广东 广州

收稿日期: 2022年7月20日; 录用日期: 2022年8月19日; 发布日期: 2022年8月24日

摘 要

为了提升桥梁病害检测无人机航线规划仿真能力, 能方便高效地进行航线规划仿真研究, 设计了一套基于RRT (Rapid-exploration Random Tree)快速扩展随机树算法的航线规划仿真系统。该系统包含了环境模块, 算法模块以及GUI模块, 可实现对桥梁环境进行转换和利用GUI进行算法调参, 简化仿真环节, 直观规划过程。最后通过实验仿真验证, 证实其方便快捷, 可满足航线规划研究需要。

关键词

无人机, 航线规划, RRT算法, 仿真系统

Design of Bridge Inspection UAV Route Planning Simulation System Based on RRT Algorithm

Qiang Liu, Xiaoyan Yang, Kejia Zhu

Software Engineering Institute of Guangzhou, Guangzhou Guangdong

Received: Jul. 20th, 2022; accepted: Aug. 19th, 2022; published: Aug. 24th, 2022

Abstract

In order to improve the route planning simulation capability of the bridge disease inspection UAV and conduct route planning simulation research conveniently and efficiently, a route planning simulation system based on the RRT (Rapid-exploration Random Tree) algorithm is designed. The system includes environment module, algorithm module and GUI module, which can modify the

bridge environment and adjust the algorithm using GUI to simplify the simulation process and realize the visualization of the planning process. Finally, it is verified by experimental simulation that the system is convenient, fast and meets the needs of route planning research.

Keywords

Unmanned Aerial Vehicle, Route Planning, RRT Algorithm, Simulation System

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来随着经济的发展,我国建设的桥梁越来越多,而桥梁的安全是关系国计民生的大事[1]。桥梁的定期病害检测以及合理的保养维护是保证桥梁安全的有效措施。传统的桥梁病害检测有检测车、无损检测以及人工检测相结合,以上方式不仅检测速度缓慢,而且存在安全隐患[2]。随着无人机技术的不断提高,无人机也被应用在更多的领域。将无人机技术应用在桥梁病害检测上,组成智能检测系统已然成为近年来研究的热点问题[3]。

在无人机桥梁病害智能检测系统中,无人机的航线规划问题成为该系统的关键问题。近年来不少学者对无人机航线的问题进行研究。其中杨丽春为了提高无人机的自主任务能力,针对其飞行特征,开发了交互式规划以及实景仿真系统,满足了不同环境下的航迹规划以及模拟验证需求[4]。哈尔滨工程大学的曲贺基于桥梁病害检测,分析了无人机航线规划的关键因素,详细进行了风场分析以及全覆盖算法研究[5],为工程应用提供了指导。敬家焯通过研究无人机航线规划的影响因素[6]:环境信息和约束条件,并结合改进人工势场算法,提出了一系列规划方式。最后以普巴绒特大桥为例,进行了仿真演示。以上学者的研究成果都为后续基于桥梁病害检测无人机的航线规划研究奠定了良好的基础,但是缺乏对于仿真系统研究的整合以及特定算法仿真研究系统。

为了方便系统、高效地进行桥梁病害检测无人机航线规划仿真研究,本文进行了以下设计:在桥梁病害检测应用背景下,先分析了无人机的飞行环境(主要是桥梁),针对环境特点选用了RRT规划算法并设计出了航线规划仿真GUI系统,可以简单高效地实现航线规划仿真,便于调节参数,直观规划过程。

2. 系统组成

该仿真系统由环境模块,算法模块和GUI设计模块组成了如图1所示。

环境模块主要是桥梁模型以及自然威胁构成:桥梁模型是规划主体,自然威胁来源于检测桥梁周围自然条件对无人机飞行构成的危险性。算法模块:选用基于采样点的RRT(Rapid-exploration Random Tree)快速扩展随机树为原型,进行仿真研究。GUI模块设计中,利用Matlab软件中的GUIDE设计环境,进行可视化界面设计,这也是该系统的关键点。三个模块共同完成无人机的航线规划,如图2所示。

2.1. 环境分析

本文着重考虑桥梁模型在实际应用中,对无人机航线规划的影响。通过对桥梁模型进行剖析以及转换,可实现三维空间转换成二维平面,减少计算量。如图3所示三位桥梁结构仿真图。

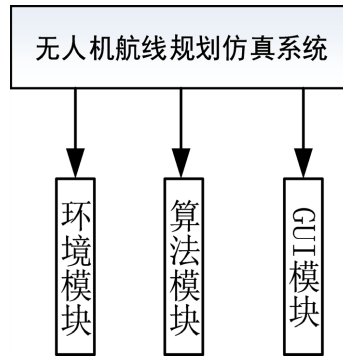


Figure 1. System composition
图 1. 系统组成

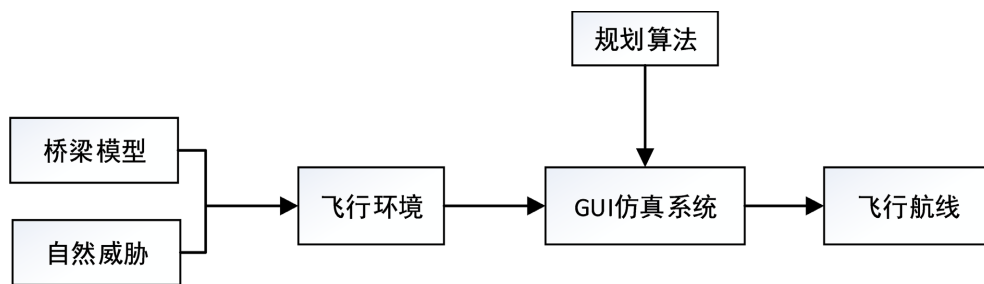


Figure 2. Route planning diagram
图 2. 航线规划示意图

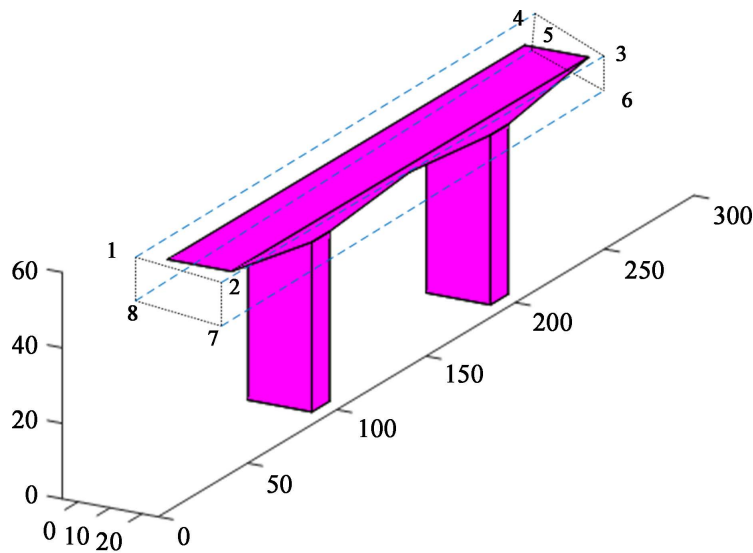


Figure 3. Bridge simulation model diagram
图 3. 桥梁仿真模型图

由上图 3 可以看出, 当进行桥体检测时, 需对桥体进行全覆盖检测, 待规划区域则为 1~8 顶点构成的长方体。应用几何知识, 可将该长方体展开如图 4 所示。

利用上图方式, 可将三维空间有效转换成二维, 此方式将减小规划计算量, 提高算法收敛速度。同时, 当桥体高度较小, 无人机从上表面可直接进入下表面, 线段 1-8、2-7、5-4、6-3 较短。所以在进一步预处理时, 将侧面面积等效为 0, 其等效图见图 5。

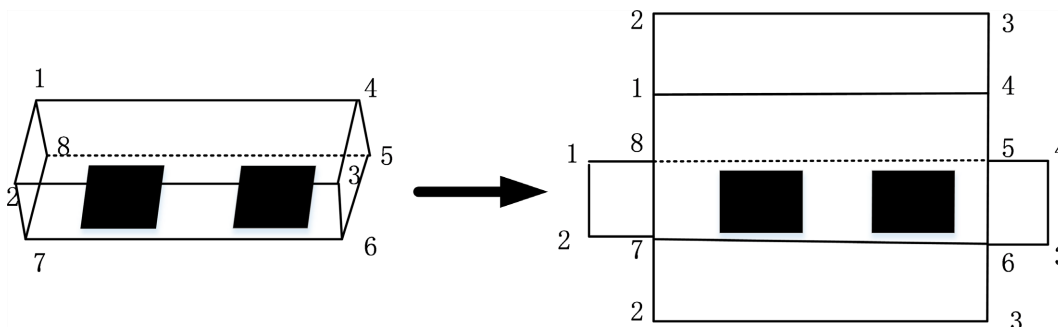


Figure 4. Spatial expansion diagram
图 4. 空间展开图



Figure 5. Pre-processing equivalence diagram
图 5. 预处理等效图

2.2. 算法选择及简介

航线规划算法种类繁多，各有优缺点。涉及有关航线规划的算法，可以大致分成两大类：传统算法[7]，人工势场算法、蚁群算法、A*算法等；智能算法[8]，如遗传算法、神经网络等。智能算法通常需要大量的迭代计算，收敛速度较慢，且易于陷入局部最优。上述传统的航线规划算法较为复杂，在处理低维空间的路径规划上体现出一定的优越性，但是在实际运用中，随着维度的增高，缺陷明显：表达构建空间需占用大量计算资源。而基于采样思想的规划算法，RRT (Rapid-exploration Random Tree)快速扩展随机树，无需对环境进行建模且适合高维空间。此类算法在无人机、机械臂等高维空间上体现出明显优势[9]。

RRT (快速扩展随机树)算法是一种可在多维空间高效进行路径规划的算法。RRT 算法相比与其他算法复杂度小，可直接应用于非完整约束系统的规划。该算法主要由两部分构成：随机树的生长和路径的搜索。其随机树的生长过程为：

假设在一个位姿空间 C 中，输入：初始位置为 Q_{int} ，目标位置是 Q_{goal} ；

Step 1: 以 Q_{int} 作为树的根，在任务空间中随机生成一个随机点 Q_{rand} ；

Step 2: 找到树中任意一个离随机点节点 Q_{rand} 最近的叶节点 Q_{near} ，连接 Q_{near} 与 Q_{rand} ；

Step 3: 选择步长 S ，从 Q_{near} 点出发在与 Q_{rand} 的连线上截取一段距离 S ，取该点为 Q_{new} ；

Step 4: 检查 Q_{new} 是否在障碍物区域内， Q_{near} 与 Q_{new} 的连线是否穿过障碍物。若是在障碍物区域内或不在区域内但连线穿过障碍物，则返回 Step 2、3；若都无，则将 Q_{new} 加入到随机树中成为新的叶节点。

Step 5: 随机树不断生长，直到新叶节点到达 Q_{goal} 或者离 Q_{goal} 距离在一个设定的范围内，这样随机树的生长结束。

在路径搜索中，从目标位置 Q_{goal} 开始，依次寻找父节点，直至到达初始位置 Q_{int} ，这样生成一条从起始节点 Q_{int} 到目标节点 Q_{goal} 的无碰撞路径，即最终生成一条包含目标节点的搜索树。随机树的扩展过程如下图 6 所示。

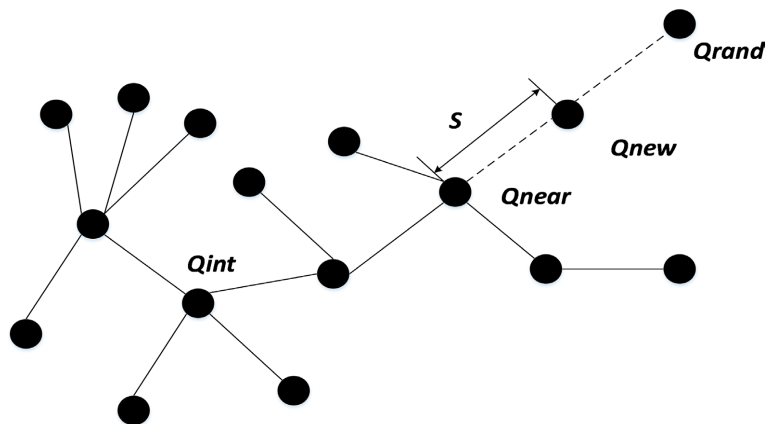


Figure 6. RRT algorithm growth process
图 6. RRT 算法生长过程

根据上述过程其 RRT 算法的伪代码如表 1。

Table 1. RRT algorithm pseudo-code
表 1. RRT 算法伪代码

基本RRT算法伪代码
Build RRT (Qint, Qgoal)
1 T.init (Qint)
2 for k=1 to K do
3 Qrand=RANDOM-STATE(C)
4 Qnear=NEAREST(Qrand, T);
5 Qnew=NEW-STATE(Qnear, Qrand, S);
6 if LINE(Qnear, Qnew) then
Go to 3
else
7 T.Add-Node(Qnew);
8 T.Add-Edge(Qnear, Qnew);
9 end if
10 if(Distance(Qnew, Qgoal)<S)
Break;
11 end if
12 end for
13 Return T

2.3. GUI 设计

本设计的图形用户界面(GUI)是利用 MATLAB 中的 GUIDE 模块编写, 主要针对 RRT 规划算法在航线规划中的交互问题。主界面如图 7 所示。

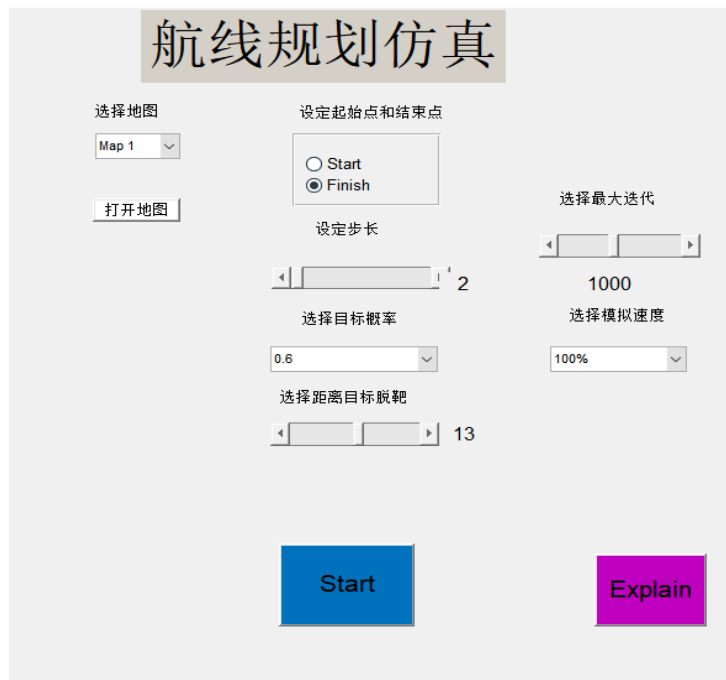


Figure 7. GUI main interface
图 7. GUI 主界面

面向 RRT 规划算法设计的 GUI 界面主要由以下几部分组成: 算法部分、选择部分、显示部分、解释部分、调节部分。其具体结构框图如图 8 所示。

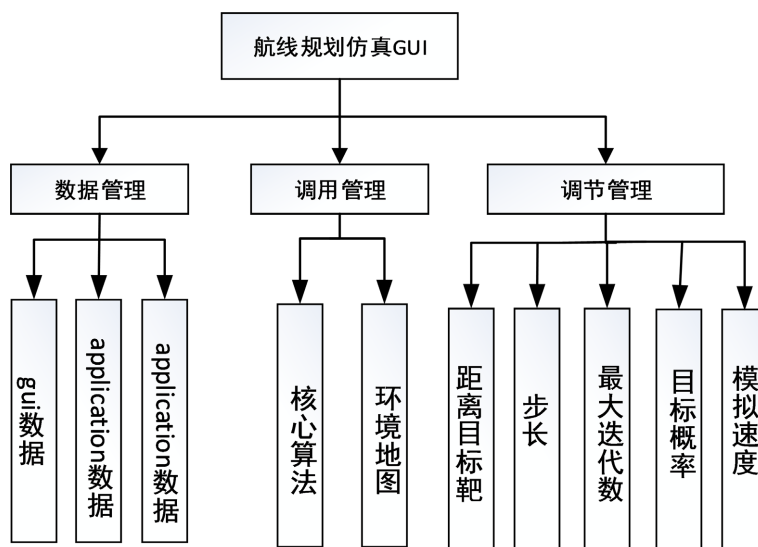


Figure 8. GUI structure diagram
图 8. GUI 结构图

RRT 算法航线规划 GUI 在使用时：第一步：选择载入地图，将预处理地图或绘制地图加载；第二步：依次设置起止点，设置参数(步长、目标概率、目标脱靶距离、最大迭代次数以及仿真速度)；第三步：点击 Start 进行仿真。为了初学者更快清晰了解以及使用该 GUI，该界面还设计了解释文档，点击 Explain 即可查看。

3. 仿真演示

这里以上述桥梁模型为例，经过转换桥地面的二维地图如图 9，利用 GUI 打开地图。

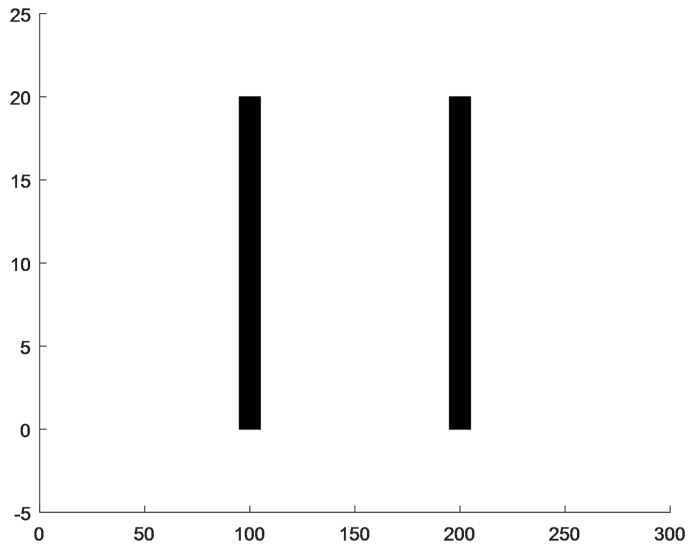


Figure 9. Equivalent diagram of the lower surface of the bridge
图 9. 桥梁下表面等效图

有时桥梁病害检测需要对某些部位易生病害进行专项检测，此时通过 GUI 打开地图后，随机设定(70, 11)为起始点(绿色五角星)，(155, 14)为目标点(红色五角星)，设定扩展步长，目标概率，目标脱靶距离等参数。为了便于观察 RRT 算法的扩展过程，在仿真研究中还可以选择模拟速度。仿真模拟效果图如图 10。

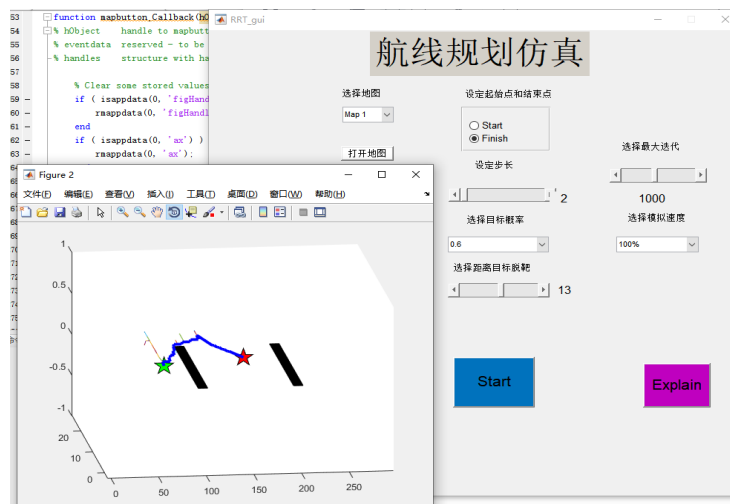


Figure 10. Simulation diagram
图 10. 仿真模拟图

在仿真过程中可以通过 MATLAB 的命令窗口和工作区获取规划地图信息、规划距离、生长树节点等信息。根据仿真情况结合实际需求,调整参数,达到规划目的。经过以上实验仿真证明了该研究方案及仿真系统具有一定的实用性和可行性。

4. 总结

针对桥梁病害检测无人机的航线规划仿真研究现状,本文分析了基于桥梁病害检测的无人机航线规划仿真存在的问题以及构建一套仿真系统的必要性。根据桥梁病害检测的实际要求,首先进行了环境分析,为了减少计算量,利用等效变换进行转换,然后选择适合要求的基本 RRT 算法,进而设计基于 RRT 算法的 GUI,最后进行实际仿真调试等方面实验,形成一套桥检无人机航线规划仿真系统,从而为后续研究工作提供了支撑。通过实验也证实了该系统的 GUI 设计在研究航线规划方面具有便捷性:只要将改进或设计的不同生长策略 RRT 算法脚本写入 GUI 中,就可以在线调试参数以及直观规划过程。

基金支持

校级科研项目:基于桥梁病害检测无人机的航线规划研究(ky202107)。

校级科研项目:基于图像处理与光纤 AE 传感器的桥梁裂缝检测(ky202102)。

参考文献

- [1] 勾红叶,刘畅,班新林,孟鑫,蒲黔辉. 高速铁路桥梁-轨道体系检测监测与行车安全研究进展[J]. 交通运输工程学报, 2022, 22(1): 1-23.
- [2] 邹俊志,杨建喜,李昊,帅聪,黄蝶,蒋仕新. 复杂背景下基于改进 YOLO v3 算法的桥梁表面病害识别[J]. 铁道科学与工程学报, 2021, 18(12): 3257-3266.
- [3] 贺拴海,王安华,朱钊,赵煜. 公路桥梁智能检测技术研究进展[J]. 中国公路学报, 2021, 34(12): 12-24.
- [4] 杨丽春,顾颖彦,陶明明. 无人机航路规划及视景仿真系统设计与实现[J]. 电子技术应用, 2016, 42(9): 19-23+28.
- [5] 曲贺. 桥梁检测无人机路径规划算法研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2018.
- [6] 敬家炽. 桥梁检测无人飞行器系统航迹规划初步研究[D]: [硕士学位论文]. 湘潭: 湖南科技大学, 2016.
- [7] 李永丹,马天力,陈超波,韦宏利,杨琼楠. 无人驾驶车辆路径规划算法综述[J]. 国外电子测量技术, 2019, 38(6): 72-79.
- [8] 卢东祥. 智能交通路径规划算法研究综述[J]. 电子科技, 2022, 35(7): 22-26.
- [9] 韩丰键,邱书波,李庆华,刘海英. 基于改进双向 RRT 算法的机器人路径规划[J]. 山东科学, 2021, 34(3): 109-118.