

基于 GIS 的无人飞行器路径规划

苏 康¹ 刘经南² 闫 利³

(1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(2 武汉大学校长办公室, 武汉市珞珈山, 430072)

(3 武汉大学测绘学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘要: 在研究无人飞行器路径规划与飞行地理环境关系的基础上, 提出了基于 GIS 无人飞行器路径规划方法, 研究了该方法的体系结构和 workflows。应用实例表明, 该方法能够有效地解决无人飞行器路径规划问题。

关键词: GIS; 路径规划; 飞行地理环境

中图法分类号: P208

无人飞行器(unmanned air vehicle, UAV)为了实现精确的导航和制导, 都安装有高灵敏度的传感器和相应的自主式导航和制导系统。随着传感器灵敏度的不断提高, 周围环境尤其是地理环境对其导航精度的影响是非常重要的。无人飞行器的传感器能够敏感到的并影响其导航精度的地理因素(如不同的地形地貌、地物等)称为飞行地理环境(flying geographical environment)。由于飞行地理环境的多样性和复杂性, 无人飞行器到达目标的路径不同, 所达到的效能也不同。因此, 需要路径规划系统对无人飞行器的飞行路径进行规划, 无人飞行器按预先规划好的路径飞行, 就能够达到预期的效能。

无人飞行器路径规划是一个很复杂的问题, 许多学者做了大量的研究工作, 提出了许多不同的方法^{2~4)}。但是这些方法大多从控制论或优化理论的角度来研究路径规划问题, 在规划环境较为简单、范围较小的情况下, 这些方法有较好的效果, 但是对于大范围复杂的规划环境, 这些方法适应性差。本文结合 GIS 原理, 从飞行地理环境 GIS 的角度出发, 从地理信息系统的原理, 提出了基于 GIS 无人飞行器路径规划方法, 试图给大范围复杂规划环境下的路径规划提供一个较好的解决方案。

1 无人飞行器路径规划问题描述

无人飞行器路径规划系统的根本任务就是综

合所有的约束条件为飞行器设计“满意”的路径。这些约束条件包括导航性、突防性、飞行器物理特性、战略和战术等约束条件。从信息处理和多目标优化的角度来看, 路径规划的实质是在对规划信息进行处理、分析、理解的基础上, 在给定的约束条件下, 搜索使代价函数值等于目标值的空间位置搜索过程。系统工作流程(图 1)如下。

1) 规划信息的获取。通过测量与遥感手段获取规划区内关于飞行地理环境、目标和威胁等方面的信息。充分的信息准备是无人飞行器路径规划的基础。

2) 规划信息的组织和管理。对所获取的规划信息按合适数据的数据结构和数据模型进行有效的组织和管理, 建立规划信息数据库。

3) 规划信息的分析和处理。通过大量的计算, 对数据库中的信息数据进行分析 and 处理, 提取满足约束条件的信息, 产生与约束条件参数对应的信息分布图, 构造路径搜索空间。

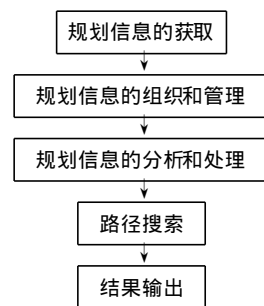


图 1 路径规划系统工作流程图

Fig. 1 Work Flow Diagram of Route Planning Systems

4) 路径搜索。用图搜索算法或人机交互方法, 在路径搜索空间中, 寻找使代价函数值等于目标值的每一组状态节点。任意一组状态节点所对应的空间位置的集合就是一条满足约束条件的飞行路径。

2 基于 GIS 的无人飞行器路径规划方法

2.1 GIS 技术的应用原理

GIS 是在计算机软硬件支持下, 使描述客观世界的各种数据, 按其地理坐标或空间位置输入计算机, 并在其中存储更新、查询检索、测量运算、分析处理、综合应用、显示制图和输出, 从而实现利用和改造客观世界的某种或某些目标的一种技术系统。这种系统是人类对客观世界中各种具有空间特征的事物、关系和过程, 进行描述、分析和模拟, 进而根据所得规律指导人类利用和改造客观世界的一种强有力的工具。也就是说, 它为人类由客观世界到信息世界的认识、抽象过程以及由信息世界返回客观世界的利用、改造过程的发展和转化, 创造了良好的条件和环境。作为一个完整的 GIS 应用系统, 一般具备以下功能。

1) 数据输入与存储功能。这项功能是指将具有统一地理基础的多源空间地理信息输入到计算机, 并存储在高密度大容量的介质中。

2) 图形和文本编辑功能。系统能够对信息进行编辑, 通过人机交互的方法实现系统的信息数据更新。

3) 数据管理功能。它是指系统通过数据库管理系统实现空间信息数据的管理。这一功能包括对整个数据库的运行控制、数据存储、更新管理、数据完整性和有效性控制以及数据共享时的并发控制等。数据库管理系统接收用户发出的操作指令, 完成信息数据修改、数据插入、数据检索和控制操作。

4) 空间查询与空间分析功能。它是指通过叠加分析、缓冲区分析、拓扑空间查询、空间集合的分析方法来回答用户提出的各种问题。

5) 数据输出与表达功能。它是指借助一定的设备和介质, 将分析或查询检索结果表示为某种人们需要的可以理解的形式过程。

2.2 基于 GIS 的无人飞行器路径规划模型

在无人机路径规划系统中所涉及的飞行地理环境信息实际上是 GIS 中所定义的地理信息, 路径规划系统的任务就是要对规划区内的地理信息

进行组织、分析和处理, 最后确定满足约束条件的路径。因此, 根据 GIS 的应用原理, 无人飞行器路径规划问题可以等效为一个 GIS 的应用问题, 无人飞行器路径规划系统实际上是一个 GIS 的应用系统。因此, 在 GIS 的理论框架下, 无人飞行器路径规划问题得到充分表达。基于 GIS 的无人飞行器路径规划层次模型如图 2 所示。

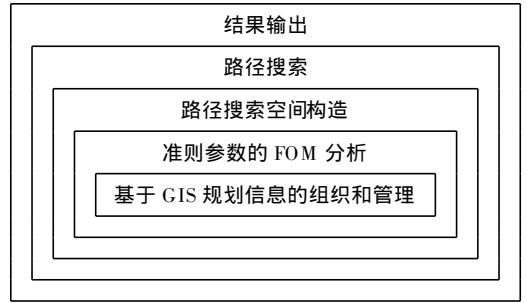


图 2 基于 GIS 的无人飞行器路径规划层次模型
Fig. 2 Diagram of GIS-based Unmanned Air Vehicle Route Planning Hierarchical Model

1) 基于 GIS 规划信息的组织和管理。它是指将多源的飞行地理环境信息用 GIS 的软件工具按统一的时间和空间基础组织起来, 建立一个集空间数据和属性数据于一体的飞行地理环境信息数据库。在建立数据库时, 要考虑数据结构、数据模型、数据吞吐量等问题, 使数据库具有简洁灵活的数据检索功能, 为规划信息的进一步分析和处理打下基础。

2) 准则参数的品质因数 FOM (figure of merit) 分析。无人飞行器为了提高导航精度, 一般装备有图像辅助导航系统。对于一个图像辅助导航系统来说, 在使用的系统硬件相同和导航算法一定的情况下, 系统的性能取决于系统所处的飞行地理环境。因此, 图像辅助导航系统对飞行地理环境有一定的要求, 这种要求体现在路径规划系统的导航性约束条件上。导航性约束条件明确了规划系统飞行地理环境的选取准则, 准则应包括图像辅助导航区域尺寸以及描述飞行地理环境对导航适宜程度的参数种类和参数值。无人飞行器路径规划系统要按照给定的准则对规划区进行分析, 即 FOM 分析, 以确定规划区内的飞行地理环境对准则参数的满足程度。在 GIS 空间分析的框架下, 准则参数的 FOM 分析可以通过邻域分析技术来完成。FOM 分析完成后, 可以得到准则参数的专题数据层, 如图 3 所示。

3) 路径搜索空间构造。它可以利用 GIS 的空间分析技术来完成。首先将所有准则参数的专题数据层进行叠加, 产生具有各准则参数属性的

合成数据层。然后根据准则参数的门限值,进行逻辑与(AND)运算,得到满足准则要求的状态节点分布图。

4) 路径搜索。根据无人飞行器路径规划问题的描述,建立每一个起始点到目标点的代价函数。运用图搜索算法(例如 A 算法等)或人机交互方法,找到满足约束条件的状态节点,这些节点构成了满足约束条件的路径。

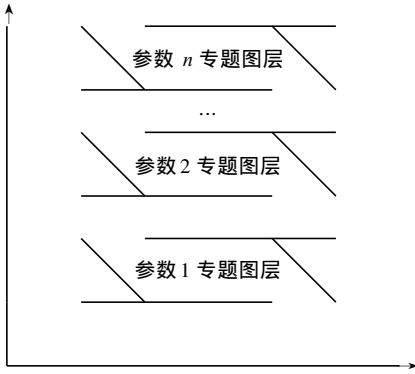


图 3 准则参数的专题数据层

Fig. 3 Thematic Data Layers of Criterion Parameter

5) 结果输出。把所得路径上的各状态节点所对应的空间地理位置按规定的格式输出。

基于 GIS 的无人飞行器路径规划模型能够利用 GIS 强大的地图可视化表达能力以及对海量数据的管理能力,对大范围复杂规划环境进行充分表达。路径规划人员提供不需要太多的思考就能理解的直觉信息,不仅解决了复杂规划环境的建模问题,克服了传统的基于控制优化理论的建模方法对复杂规划环境的不适应性,而且为规划人员进行各种干预提供了技术支持,通过辅助决策手段,解决了在复杂规划环境下的路径规划问题。

2.3 实例

为了说明本文提出的路径规划方法的可行性,笔者用 Arc/Info GIS 商用软件搭建了试验系统,主要包括两部分:①后台由 Oracle 和 SDE 组成,用作规划信息的组织和管理平台;②前端由 ArcView 组成,用于规划信息分析处理、规划环境可视化表达以及路径规划。试验采用 30 000km² 的 DEM,目的是规划出一条飞行路径,该路径尽量不经过坡度大于 60% 的地形。规划过程如下。

1) 将 DEM 数据导入由 Oracle 和 SDE 组成的空间数据库;

2) 利用 ArcView Spatial Analysis 模块提供的功能对 DEM 数据进行坡度参数处理,得到坡

度分布专题图;

3) 在坡度分布专题图构成的路径搜索空间内,采用人机交互的方法确定飞行路径。

图 4 表示规划的飞行路径;图 5 表示飞行路径与坡度分布的叠加结果。

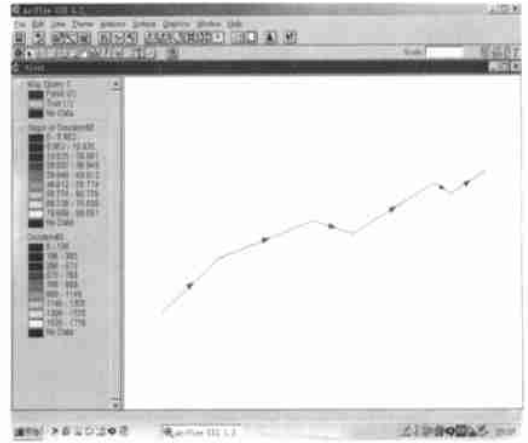


图 4 飞行路径

Fig. 4 A Planned Route

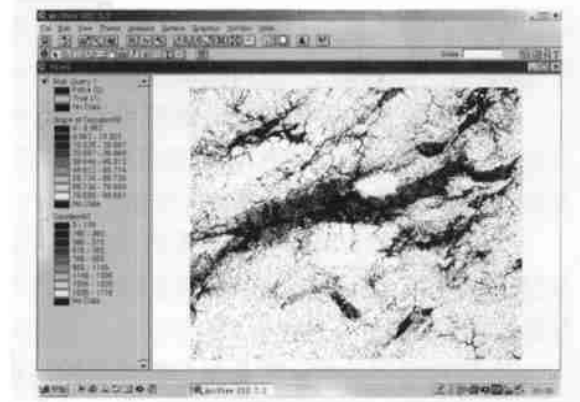


图 5 飞行路径与坡度分布图叠加

Fig. 5 Overlapping of the Planned Route and the Slope Thematic Layer

3 结语

基于 GIS 的无人飞行器路径规划方法是建立在 GIS 体系结构基础之上的,克服了传统的基于控制优化理论建模方法对复杂大范围的规划环境适应性差的不足,充分地利用了 GIS 强大的海量数据管理、空间数据可视化表达、空间分析等功能,能够对大范围复杂规划环境进行充分表达,并且为规划人员提供辅助决策所需要的各种干预手段,因此,能够解决大范围复杂规划环境下的路径规划问题。

(下转第 196 页)

temporal and multi-dimensional phenomenon. With regard to designing application system, the thesis studies the conceptual modeling method of spatiotemporal applications. Basing on analysis existing modeling methods and requirements which conceptual modeling of spatiotemporal application should meet, the thesis extends object model by introducing a small set of clear and simple notation, and presents a spatiotemporal extended object model. Compared with the traditional model, the spatiotemporal extended object model is able to speed up the data modeling process and to make model easier to comprehend and maintain.

Key words: GIS; spatio-temporal applications; conceptual modeling; object model

About the first author: ZHANG Shanshan, Ph. D, post-doctoral fellow. His main research interest is study on spatiotemporal data modeling in GIS and GIS application.

E-mail: z33@sohu.com

(上接第 190 页)

参 考 文 献

- 1 苏 康. 面向飞行任务规划的飞行地理环境研究: [博士论文]. 武汉: 武汉大学, 1998
- 2 Goldman J. Path Planning Problems and Solutions. IEEE National Aerospace and Electronics Conf., 1994
- 3 Bortoff S. Path Planning for UAVs. American Control Conf., Chicago, 2000

- 4 Holms P D, Jungert E R A. Symbolic and Geometric Connectivity Graph Methods for Route Planning in Digitized Maps. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(5): 549 ~ 563

第一作者简介: 苏康, 研究员, 博士, 博士后。研究方向为 GIS、GPS 以及飞行任务规划理论和应用。

E-mail: sukang@vip.sina.com

GIS-based Unmanned Air Vehicle Route Planning

SU Kang¹ LIU Jingnan² YAN Li³

(1 National Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan, China, 430079)

(2 Presidential Secretariate, Wuhan University, Luojia Hill Wuhan, China, 430072)

(3 School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan, China, 430079)

Abstract: The mechanism of how flying geographical environment affects unmanned air vehicle (UAV) route planning has been investigated. A method of GIS-based UAV route planning is proposed, and its architecture and work flows have been studied. The results of use case show that the method can provide an solution to UAV route planning problem.

Key words: GIS; route planning; flying geographical environment

About the first author: SU Kang, Ph. D, post-doctoral fellow. His research field involves in theory and applications of GIS, route planning, and GPS.

E-mail: sukang@vip.sina.com