

谢晓方 孙涛 欧阳中辉 著

FANJIAN DAODAN HANGLU GUIHUA JISHU

反舰导弹 航路规划技术



国防工业出版社

National Defense Industry Press

反舰导弹航路规划技术

谢晓方 孙 涛 欧阳中辉 著

國防工業出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书系统、深入地阐述了反舰导弹航路规划的相关技术,主要包括航路规划的基本概念,反舰导弹航路规划的数学描述,反舰导弹航路规划所涉及的大地主题问题、地理信息和威胁信息的处理方法。本书详细阐述了多种反舰导弹航路规划算法,并介绍了部分应用方法。

本书主要面向国防和武器装备研究人员,也可以作为相关专业研究生或本科生教材,以及从事导弹武器控制系统使用和维护的技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

反舰导弹航路规划技术/谢晓方,孙涛,欧阳中辉
著. —北京:国防工业出版社,2010.6
ISBN 978-7-118-07092-7

I. ①反... II. ①谢... ②孙... ③欧... III. ①反舰导
弹—航线—规划 IV. ①TJ761.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 183395 号

※

国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)
北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 12½ 字数 220 千字
2010 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 26.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422
发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474
发行业务:(010)68472764

前 言

现代舰艇攻防能力和信息综合集成能力不断提高,水面舰艇作为海战主要作战平台的地位越来越突出,如何在海战中摧毁敌方的水面舰艇,已经成为各国军方非常重视的实际问题。随着舰艇防御能力不断提高和防御范围不断扩大,在未来海上局部战争中,为了在保护己方的前提下对敌方舰艇实施打击,必然要求导弹在距离目标舰艇更远的防区外发射,并结合各种战术应用进行突防。由于飞行距离的增加,导弹航路上会出现各种复杂的情况,岛礁可能使导弹发生撞地;敌方的各种防空火力也可能将导弹拦截,战术目的的达成需要空间和时间上的严格配合;等等。为了解决这些矛盾,必须研究反舰导弹航路规划技术。

我国在反舰导弹航路规划方面的研究始于 20 世纪 90 年代,本书作者始终致力于相关的理论研究和应用技术研究。由于国内研究起步较晚,国外先进研究成果又相对封锁,所以可借鉴的资料和文献并不丰富,尤其缺少系统深入阐述反舰导弹航路规划技术的文献。本书结合了作者长期以来的研究成果,在借鉴可用文献的基础上,力求充实完善有关理论和算法。截至完稿时,仍未见有此类专著出版,本书的写作也是为了填补这一空白。

反舰导弹航路规划涉及到地理信息处理技术、威胁处理技术和最优化算法等许多方面。本书力求全面和深入阐述反舰导弹航路规划的概念、原理、方法和应用技术,并注重实用性。全书内容由三大部分组成:第一部分由第 1 章和第 2 章组成,对反舰导弹的基本概念、常用技术进行介绍,并从数学角度对反舰导弹航路规划进行描述;第二部分由第 3 章到第 5 章组成,对反舰导弹航路规划所涉及的大地主题问题、地理信息和威胁信息的处理方法进行阐述;第三部分由第 6 章及其后各章组成,对反舰导弹航路规划算法及相关应用技术进行阐述。各部分之间是递进关系,每一部分的各章之间又相对独立,读者可根据需要有选择地阅读。

由于水平有限,加之当前国内外对反舰导弹航路规划的研究仍在不断进行,新问题不断出现,相关技术的创新也不断出现,虽经多次推敲和修改,书中仍难免有不妥之处,衷心希望读者批评指正,并热诚欢迎读者就这一研究方向与作者进行交流。

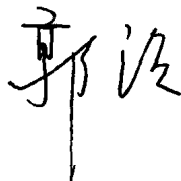
序

反舰导弹航路规划是武器系统与运用工程领域的一项新课题,也是一个复杂的多约束、多目标优化问题,其本质是综合利用信息处理、决策、优化等技术,在满足各种约束条件的情况下,为反舰导弹或弹群规划出符合特定优化指标的最优航路。

随着远程精确制导技术和计算机应用技术的发展,反舰导弹有了更加广阔的战术应用空间,而航路规划正是反舰导弹实现各种战术应用和提高打击效果的主要途径之一,其相关研究工作具有重要的意义。

20 世纪 80 年代,外军开始研究军事领域飞行器的航路规划。航路规划技术在西方军事发达国家尤其美国、英国以及法国研究深入,并在海湾战争期间被首次使用,对多国部队的成功作战起到了很大作用。在反舰导弹航路规划方面,国外先进军事国家,如美、俄等国,始终致力于此方面的研究和探索,投入了大量资源。由于此类先进技术问题比较敏感,国外相关资料基本处于封锁状态。相对于国外研究起步较早且投入较大而言,我国对反舰导弹航路规划的研究还有一定差距。面向需求,必须全面深入开展反舰导弹航路规划研究,尤其是对其中核心规划算法和相关地理信息处理技术等关键问题的研究。

谢晓方和孙涛等同志所著的《反舰导弹航路规划技术》一书,填补了此类专著的空缺,不仅系统深入地讨论了反舰导弹航路规划技术的理论和相关技术问题,而且注重实用性,书中的许多内容都来自作者的工程实践经验和研究心得。相信该书的出版一定能够对我国相关领域的研究起到推动作用。



2010 年 5 月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 飞行器航路规划的基本概念	1
1.1.1 飞行器航路规划系统的组成和分类	1
1.1.2 飞行器航路规划的基本约束和优化指标	4
1.1.3 航路规划需要解决的关键问题	6
1.2 飞行器航路规划基本方法	7
1.2.1 简单航线管理	7
1.2.2 分层规划思想	9
1.2.3 实时航路规划与 TF/TA^2	12
1.3 反舰导弹航路规划	16
1.3.1 反舰导弹航路规划的作用	16
1.3.2 反舰导弹航路规划系统发展趋势	17
第 2 章 反舰导弹航路规划问题的数学模型	21
2.1 反舰导弹航路规划的数学描述	21
2.2 反舰导弹航路规划的优化指标	23
2.2.1 战术效果指标	23
2.2.2 航程指标	27
2.2.3 安全指标	29
2.2.4 飞行时间指标	29
2.2.5 航路优化的综合评价指标	29
2.3 反舰导弹航路规划的约束条件	30
2.3.1 地形与威胁约束	30
2.3.2 战术约束	31
2.3.3 最大航程约束	32
2.3.4 机动性能约束	32

2.3.5 其他约束	34
2.4 反舰导弹航路规划的算法	34
第3章 大地主题相关问题	36
3.1 不同大地基准下目标定位误差	36
3.1.1 几种基本的大地基准	36
3.1.2 求解目标定位偏差时所涉及的数学模型	38
3.1.3 偏差的实例分析	42
3.2 大地主题解算的简化方法	46
3.2.1 椭球面上解算大地主题问题的精确算法: Bowring 公式	46
3.2.2 椭球体简化为圆球体的方法	48
3.2.3 椭球面简化为圆球面的方法	51
3.2.4 椭球面简化为平面的简化方法	56
第4章 数字地图技术	59
4.1 反舰导弹航路规划用图分析	59
4.1.1 数字地图概述	59
4.1.2 反舰导弹航路规划数据使用特点	61
4.2 栅格数字地图处理技术	63
4.2.1 数字高程模型	63
4.2.2 数字地图网格划分	64
4.2.3 单元格代价计算	66
4.2.4 有向图的建立	71
4.3 矢量数字地图处理技术	72
4.3.1 等高线预处理	72
4.3.2 基于扫描束的矢量地形裁剪方法	75
第5章 威胁处理技术	84
5.1 威胁的建模	84
5.1.1 已知固定威胁	85
5.1.2 已知移动威胁	85
5.1.3 未知威胁	86
5.1.4 实现方法	86
5.2 威胁的评估方法	87

5.3	矢量地形威胁通视性方法	89
5.3.1	基本算法原理	89
5.3.2	改进算法描述	89
5.3.3	算法仿真验证与分析	90
5.4	栅格地形通视性分析方法	92
5.4.1	通视性分析的基本算法	92
5.4.2	L - MinMax 区间	93
5.4.3	视线方向选择	93
5.4.4	算法描述	94
5.4.5	仿真验证与分析	95
5.5	其他处理方法	96
第6章	简单航路规划方法	99
6.1	各阶段航路规划的主要目标	99
6.2	求解航路关键点	100
6.2.1	求解起始段终点	100
6.2.2	求解搜索攻击段起点	100
6.2.3	最大转弯角调整	102
6.3	前置射击问题	103
6.3.1	目标运动预测	103
6.3.2	前置射击模型	107
第7章	基于 SAS 的航路管道规划	109
7.1	地形数据提取	109
7.1.1	提取高度层	109
7.1.2	规划区域地形裁剪	109
7.2	SAS 算法	111
7.2.1	SAS 算法简述	111
7.2.2	SAS 算法的存储结构	112
7.2.3	搜索节点的扩展	113
7.2.4	航路管道	115
7.3	末端进入角的控制	116
7.4	算法的改进	117
7.4.1	节点密集度约束	117

7.4.2	算法仿真验证与分析	117
7.4.3	算法复杂度	118
7.4.4	启发路径网	119
7.5	SAS 三维规划	119
7.5.1	SAS 高程规划的基本步骤	119
7.5.2	SAS 高程节点扩展	121
第8章	动态几何规划算法	123
8.1	算法基本流程	123
8.2	求解航路的基本算法	123
8.2.1	阶段划分	124
8.2.2	规避树	124
8.2.3	局部规避算法	126
8.2.4	基本几何运算	127
8.3	算法的改进	129
8.3.1	算法的复杂度	129
8.3.2	改进方法	129
8.4	三维航迹规划	130
8.4.1	总体规划流程	131
8.4.2	跃升区间	131
8.4.3	跃起点计算	132
8.4.4	邻近地形的高程规划	133
8.5	规划算法仿真对比与分析	134
第9章	基于遗传算法的航路规划	137
9.1	遗传算法的原理	137
9.2	遗传算法水平航路规划	138
9.2.1	染色体的编码	138
9.2.2	初始群体的确定	140
9.2.3	遗传操作	140
9.3	航路适应度函数	141
9.4	算法的改进与局限性	142
9.4.1	改进方法	142
9.4.2	算法的局限性	143

第 10 章 基于蚁群算法的航路规划	144
10.1 蚁群算法的原理	144
10.2 蚂蚁寻优模型	146
10.2.1 蚂蚁状态转移规则	146
10.2.2 信息素的更新	147
10.3 航路节点开辟与优化	148
10.4 算法仿真验证	149
10.5 蚁群算法与进化算法的对比	150
10.6 蚁群算法的改进	151
10.6.1 自适应航路点选择策略	151
10.6.2 信息素蒸发因子自适应调整策略	152
10.6.3 节点信息素最大/最小值限制策略	152
10.6.4 建立有向图	152
10.6.5 变步长	153
第 11 章 新兴的航路规划算法	154
11.1 改进的粒子群优化方法	154
11.1.1 粒子群优化算法分析	154
11.1.2 航路粒子的编码	160
11.1.3 小生境粒子群算法	160
11.1.4 共享适应值模型	162
11.1.5 动态调整小生境	162
11.1.6 子群体协同模式设计	164
11.2 鱼群算法	165
11.2.1 航路的 AF 模型	166
11.2.2 鱼群行为分析	167
11.2.3 Tabu 公告牌	169
11.2.4 AF 生存与竞争机制	170
11.3 模拟退火法	171
11.3.1 模拟退火算法流程	172
11.3.2 航路新解的产生	172
11.3.3 冷却进度表	173
11.3.4 循环终止条件	174

11.3.5 算法的改进	174
第12章 基于航路规划的战术应用	176
12.1 低空突防	176
12.2 迂回攻击	177
12.3 区域搜索攻击	178
12.4 饱和攻击	179
12.4.1 攻击角度的分配	180
12.4.2 发射时间的协调	180
12.5 近程打击	182
附录 中英文名词对照表	185
参考文献	187

第 1 章 概 述

1.1 飞行器航路规划的基本概念

飞行器航路规划是指在特定约束条件下,寻找从初始点到目标点,并且满足某种特定指标最优的飞行轨迹。作为飞行器任务规划的核心技术之一,它的研究对象主要包括民用和军用飞机、各种飞航式导弹以及各种航天器等。本书主要研究反舰导弹航路规划的相关原理和技术。反舰导弹航路规划的目的是利用地形信息和战场环境信息,在满足各种约束条件的前提下,规划反舰导弹的飞行航路,使得航路的特定评价指标达到最优,从而提高反舰导弹的作战效能。

在各种防空技术日益发展的现代战争中,要出色完成作战任务,需要了解和掌握诸如规划区域的地理信息、敌我双方的位置坐标和运动情况、敌方的防空火力分布、气象情报、武器的性能等多方面的信息,计算过程非常复杂,以往依靠人工利用各种图上测量工具进行航路规划的方法已经不能满足要求,取而代之的是由计算机程序控制的自动航路规划系统。

本章从飞行器航路规划系统的组成和分类、基本约束和优化指标、需要解决的关键问题等方面对飞行器航路规划的基本概念进行介绍。

1.1.1 飞行器航路规划系统的组成和分类

1. 飞行器航路规划系统的组成

航路规划系统通常由硬件和软件两部分组成。硬件可以是各种通用或专用型计算机及相关外设,为系统的运行提供平台。软件是航路规划系统得以实现其功能的最重要组成部分,航路规划任务完成得如何,很大程度上取决于航路规划软件。航路规划系统主要由以下几部分组成:

1) 地理信息

地理信息是飞行器航路规划所需要的最基本信息。为确保飞行器在飞行过程中不与地面发生碰撞,必须要掌握规划区域内的地理信息,其准确性与精确度直接决定了航路规划的结果是否可靠。地理信息属于静态数据,一般从数字地图数据库中获取。数字地图中专门描述海洋地理信息的一类称为数字海图,是

反舰导弹航路规划所使用的主要数据源。另外,描述地理信息时所采用的数据格式,也能在很大程度上影响到航路规划程序的性能,因此应该为不同目的的航路规划系统准备专用的数据格式。

2) 战场态势信息

战场态势信息是从作战系统获得的动态信息,主要包括敌我双方的位置和运动情况、敌方的防空火力分布、战略规避区和各种战术要求等。其中,敌我双方的位置规定了航路规划的起始点和目标点;敌方的防空火力分布主要用于计算航路的威胁代价;战略规避区主要包括各种禁飞区和安全区等;战术要求主要包括飞行器接近目标时的飞行方向和到达目标位置的时间等。

3) 信息描述模型

对于规划空间内的所有相关信息,尤其是地理信息和战场信息,必须建立适当的数据模型予以描述,数据模型建立是否适当将直接影响到航路规划程序的解算速度和系统资源的消耗程度。例如,当使用矢量数据格式时,等高线往往被描述为具有若干个顶点的任意多边形,而火力威胁则被描述为具有不同张角和半径的扇形区域;当使用栅格数据格式时,地形的起伏变化被描述为各个坐标网格内的高程值,而火力威胁则根据威胁的类型不同,以威胁区内的坐标网格代价进行描述。本书将针对反舰导弹航路规划的特点,给出适合其使用的数据描述模型和数据处理方法。

4) 航路规划算法

航路规划算法是整个航路规划系统的核心,它决定了航路规划系统以什么样的方式在规划空间中进行最优航路的搜索,以及用什么样的指标形式来评价规划结果的优劣。在系统计算资源确定的情况下,航路规划算法的设计还决定了系统的运行速度,如果算法设计不当,有可能会将系统资源耗尽也无法完成规划的情况。根据不同的任务要求,设计最适合的航路规划算法,正是目前国内学者研究航路规划问题的重点所在。根据规划数据源的格式不同和规划目的不同,航路规划算法有着很大的差异,不存在哪一种航路规划算法是通用的、最好的,而要根据航路规划的信息描述模型和航路规划的不同用途具体设计。

除以上列举之外,航路规划系统在组成上还可能包括态势分析、预设方案库、效果预测与评估、排序等组成部分。航路规划系统总体结构如图 1-1 所示。

2. 飞行器航路规划系统的分类

1) 按照规划用途分类

飞行器航路规划系统按照规划用途不同,可分为经济航路规划系统、战术航路规划系统和突防航路规划系统。

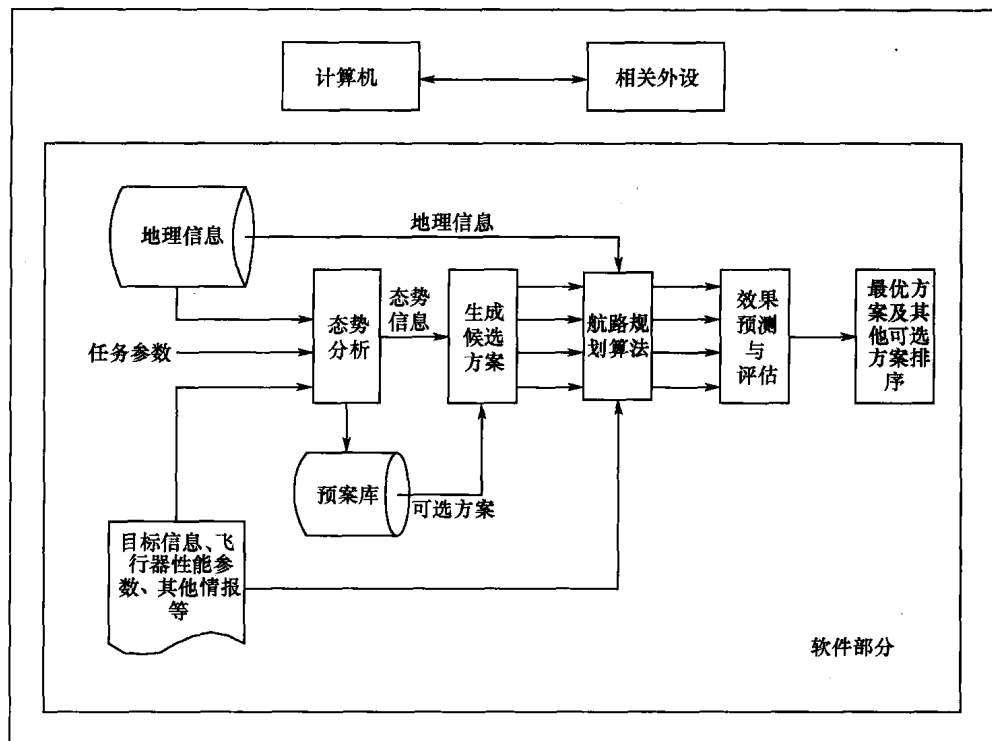


图 1-1 航路规划系统组成图

经济航路规划系统,主要用于对飞行器所要执行的任务进行合理排序和布置,从整体上提高飞行器执行任务的效率,一般用于飞机的航路规划。例如,当无人机执行空中侦察任务时,往往需要飞抵多个目标点进行侦查,通过合理安排无人机到达各任务节点的顺序,可以尽量避免无人机飞行路径的重复,使无人机在最短的时间内,或以最小的飞行航程完成全部侦察任务,从而提高无人机的工作效率。这类问题往往可以转化为旅行商问题(Travelling Salesman Problem, TSP)进行研究。

战术航路规划系统主要用于支持军用飞机、导弹执行迂回攻击、饱和攻击等战术任务,从而达到更好的攻击效果。

突防航路规划系统,主要用于生成航路关键点,来导引飞行器进行地形回避和威胁回避。该系统一般用于导弹或军用飞机的航路规划,尤其导弹的突防航路规划更是各国军方研究的焦点。随着飞行航程不断增加,导弹在飞行过程中将会遇到各种复杂的地形,可能使导弹撞毁;而为了回避敌方的雷达,导弹又必须尽量地实施低空飞行,以利用地形作为掩护。突防航路规划主要任务之一就是解决这样的矛盾,使导弹或军用飞机能够实现地形回避和威胁回避。

2) 按照适用对象分类

飞行器航路规划系统按照适用对象不同,可以分为飞机航路规划和导弹航路规划。

飞机航路规划又分为民航飞机的航路规划、军用飞机的航路规划和无人机的航路规划。民航飞机的航路规划主要是为了对各个航班进行有效的空中航线管理,以及对各航班的起飞与到达时间进行合理的安排,所采用的航路规划技术是比较简单的,规划所得到的航路也比较固定,很少更改。军用飞机航路规划,最大的特点是应对复杂多变的环境,除了可以在地面上完成总体任务规划外,还可以利用强大的机载传感器和处理器进行实时航路规划,进而实现地形跟踪、地形回避和威胁回避,即 TF/TA²。

导弹航路规划主要是为了提高导弹在复杂地形环境和威胁环境下的生存能力,以及引导导弹执行对目标打击的各种战术,常见于远程巡航导弹。巡航导弹的飞行速度相对较慢,一旦被雷达发现,则被拦截的概率较大,因此巡航导弹要尽可能对威胁进行回避,最好的办法是进行低空飞行,这样可以利用地形进行掩护。而低空飞行时,凹凸不平的地势又有可能使导弹发生撞地,这就需要对地形进行回避。由于巡航导弹上无法装配像军用飞机一样强大的传感器和处理器,因此其实时规划能力也相对较弱。

由于反舰导弹所处的战场环境与一般巡航导弹相比有其特殊性,因此其航路规划技术也与一般导弹的航路规划技术有较大的区别。反舰导弹的航路规划主要是在海面上进行的,所使用的地理信息数据主要来源于数字海图数据库,多为矢量图。在海面上,地形分布是比较稀疏的,主要是对岛屿、岛礁、火力威胁区和少量陆地区域进行规避。同时,由于导弹发射平台和攻击目标往往不是静止不动的,所以在反舰导弹的航路规划技术中还包含了许多战术因素,并且对航路规划算法的收敛速度要求较高。

1.1.2 飞行器航路规划的基本约束和优化指标

飞行器在飞行过程中,不允许发生撞地,而且其最大航程和机动性能有限,这些都是对飞行器航路的约束。对于任何一条航路,可以从不同的方面来评价其适合于完成特定任务的程度,即航路的优化指标,主要包括战术效果指标、航程指标、危险指标和飞行时间指标等。

飞行器航路规划的相关因素很多,这些因素之间往往相互耦合,改变其中一个,通常会引起其他因素的变化,因此在航路规划中要在各个因素之间相互权衡,明确各个因素在航路规划中的作用及影响,这对建立良好的航路规划数学模型有着重要的意义。

1. 基本约束

飞行器航路规划的基本约束可以归纳为以下几个方面。

1) 突防约束

如果敌方防御系统不能捕获和跟踪飞行器,或虽能捕获却来不及成功拦截,则飞行器达到了突防目的。尤其在低空突防飞行中,两种主要的约束是地形和敌方的防空火力。其中,地形约束是必须要满足的,否则飞行器必定撞毁;而防空火力约束则是要尽量满足,在确实无法满足的情况下,飞行器还可以进行强行突破。地形和防空火力构成了对飞行器航路规划的两种主要约束。

2) 飞行器机动性能约束

航路规划必须考虑飞行器机动性能的限制,确保航路规划结果是切实可行性。例如,过大的转弯角、爬升/下滑角在实际中都是无法实现的。而且,如果不考虑导弹机动性能的限制,在很多情况下会使得最优航路的搜索空间大大增加,从而增加航路规划程序的额外负担。

3) 飞行器导航精度约束

导航与定位能力是使飞行器能够沿规划航路飞行的前提。对于导航能力较差的飞行器,建立高精度航路规划模型的实际意义不大,同时也是对航路规划系统资源的浪费;而对于导航精度较高的规划对象,低精度的航路规划模型又不能够满足任务要求。在某些规划中,除了规划飞行器的参考航迹外,还要求给出符合误差模型的飞行安全管道,因此,导航精度是航路规划中必须考虑的因素。

2. 优化指标

航路优化指标用来评价航路的优劣,在所有可行航路中,优化指标最大(或小)的航路即为所求航路。建立优化指标的关键是建立优化指标函数。对于航路规划的不同用途,优化指标函数也有很大的差异。飞行器的优化指标主要包括任务效果指标和航路安全指标两个方面。

1) 任务效果指标

任务效果指标主要描述飞行器按照规划航路飞行时,对所执行任务的有利程度。例如:对无人侦察机来说,其任务效果要求其在最短的时间内遍历所有的任务地点;而对于导弹来说,其任务效果要求以最大的概率命中目标或能够对目标造成最大的毁伤。

2) 航路安全指标

航路安全指标主要描述飞行器按照规划航路飞行时,其自身是否会发生撞地以及被防空火力击毁等情况。例如:军用飞机和导弹需要对敌方的防空火力进行规避;低空飞行的飞行器需要对高于其飞行高度的地形进行规避。

1.1.3 航路规划需要解决的关键问题

航路规划涉及自动控制、导航、雷达、火控、作战效能分析、人工智能、运筹学、计算机和图像处理等多个学科和专业,是个综合性的研究课题。对军用飞行器航路规划而言,需要解决的关键问题包括以下几个方面。

1. 建立基础地理信息数据库

基础地理信息数据库的建立对于飞行器航路规划是至关重要的。航路规划程序根据地形数据确定飞行器的可飞区域及飞行高度等,数据的准确性和精确性直接影响到最终的航路规划结果。地理信息属于静态信息,在短时间内不会发生变化,因此可以通过测绘手段提前获得。测绘获得的原始数据主要包括航拍影像图、地理坐标数据和地形高程数据等。单纯的航拍影像数据是无法用于航路规划解算的,真正被航路规划程序使用的是包含空间坐标信息的地形数据。在将原始数据进行相关处理后,按照适合航路规划程序使用的格式存储于数据库中。为了便于访问数据库和对数据库进行维护,还应该开发标准化的数据库接口。目前建设最为完善的地理信息数据库是美国的数字地物分析数据库(Digital Feature Analysis Data, DFAD)和数字地形高程数据库(Digital Terrain Elevation Data, DTED)。

2. 战场情报获取

如果只有基础地理信息数据库,航路规划程序只能规划出飞行器从初始点到目标点地理意义上的最优航路,显然这并不是我们所期望的全部。理想的最优航路应该使满足威胁和战术约束条件的综合性能指标达到最优,而威胁信息和战术要求主要是根据情报系统送来的战场态势情报动态生成的,因此,情报系统的建设也是必不可少的。航路规划程序首先从地理信息数据库中读取规划区域内有用的地理信息,然后将从情报系统获得的各种动态情报信息转化成适于航路规划程序使用的信息描述模型,并和地理信息一起作为航路规划数据源。

情报系统建设的重点是战场信息网络的构建。未来战争是诸军兵种之间的协同作战,通过先进的网络技术,实现信息共享,实施“网络中心战”。将所有侦察探测系统、通信联络系统、指挥控制系统和武器系统组成一个以计算机为中心的信息网络体系,各级作战人员利用该网络体系了解战场态势、交流作战信息、指挥与实施作战行动的作战样式。各个作战平台作为“网络中心战”的一个信息节点,可以随时从网络上获取各种战场态势信息,提供给航路规划系统作为规划数据源。

3. 航路规划算法设计

随着防空体系的日益完善,对于飞行器航路规划能力的要求越来越高,以往