



国防科技图书出版基金

“十二五”国家重点出版规划项目

航天器和导弹制导、导航与控制

# 飞行器光学寻的 制导信息处理技术

Guidance Information Processing Methods in  
Aircraft Optical Imaging Seeker

张天序 王岳环 钟胜 © 等著



国防工业出版社

National Defense Industry Press



国防科技图书出版基金

张天序 王岳环 钟胜 等著

# 飞行器光学寻的 制导信息处理技术

Guidance Information Processing Methods in  
Aircraft Optical Imaging Seeker

Introduction

A Theoretical Model of Optical Seeker Information Processing

Spatial Characteristics and Relationship of Platform, Targets and Background

Reducing Disturbance Effects on Optical Imaging Onboard

Optical Imaging Seeking Approach to Earth Surface Fixed Targets

Optical Imaging Seeking Approach to Moving Targets

Design and Implementation of Real-Time Processing Systems

Optical Imaging Seeker Processing Simulation and Performance Evaluation



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

北京

## 图书在版编目(CIP)数据

飞行器光学寻的制导信息处理技术/张天序等著  
—北京:国防工业出版社,2014.6  
(航天器和导弹制导、导航与控制丛书)  
ISBN 978-7-118-09322-3

I. ①飞… II. ①张… III. ①飞行器-光学制导-寻的制导-信息处理 IV. ①V448.133

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第123755号

## 飞行器光学寻的制导信息处理技术

著 者 张天序 王岳环 钟胜 等

责任编辑 王 华

出版发行 国防工业出版社(010-88540717 010-88540777)

地址邮编 北京市海淀区紫竹院南路23号,100048

经 售 新华书店

印 刷 北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

开 本 710×960 1/16

插 页 4

印 张 22

印 数 1-2500册

字 数 336千字

版 印 次 2014年6月第1版第1次印刷

定 价 112.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)





国防工业出版社

“十二五”国家重点出版规划项目

《航天器和导弹制导、  
导航与控制》丛书

Spacecraft  
Guided Missile



顾问

陆元九

屠善澄

梁思礼

主任委员

吴宏鑫

副主任委员

房建成

## 致读者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题

和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金  
评审委员会

# 国防科技图书出版基金 第七届评审委员会组成人员

主任委员 潘银喜

副主任委员 吴有生 傅兴男 杨崇新

秘书长 杨崇新

副秘书长 邢海鹰 谢晓阳

## 委员（按姓氏笔画排序）

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 才鸿年 | 马伟明 | 王小谟 | 王群书 | 甘茂治 |
| 甘晓华 | 卢秉恒 | 巩水利 | 刘泽金 | 孙秀冬 |
| 芮筱亭 | 李言荣 | 李德仁 | 李德毅 | 杨伟  |
| 肖志力 | 吴宏鑫 | 张文栋 | 张信威 | 陆军  |
| 陈良惠 | 房建成 | 赵万生 | 赵凤起 | 郭云飞 |
| 唐志共 | 陶西平 | 韩祖南 | 傅惠民 | 魏炳波 |



# 《航天器和导弹制导、导航与控制》 丛书编委会

顾 问 陆元九\* 屠善澄\* 梁思礼\*

主任委员 吴宏鑫\*

副主任委员 房建成  
(执行主任)

## 委员 (按姓氏笔画排序)

|      |     |      |      |      |
|------|-----|------|------|------|
| 马广富  | 王 华 | 王 辉  | 王 巍* | 王子才* |
| 王晓东  | 史忠科 | 包为民* | 邢海鹰  | 任 章  |
| 任子西  | 刘 宇 | 刘良栋  | 刘建业  | 汤国建  |
| 孙承启  | 孙柏林 | 孙敬良* | 孙富春  | 孙增圻  |
| 严卫钢  | 李俊峰 | 李济生* | 李铁寿  | 杨树兴  |
| 杨维廉  | 吴 忠 | 吴宏鑫* | 吴森堂  | 余梦伦* |
| 张广军* | 张天序 | 张为华  | 张春明  | 张弈群  |
| 张履谦* | 陆宇平 | 陈士橹* | 陈义庆  | 陈定昌* |

|     |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|
| 陈祖贵 | 周 军  | 周东华  | 房建成  | 孟执中* |
| 段广仁 | 侯建文  | 姚 郁  | 秦子增  | 夏永江  |
| 徐世杰 | 殷兴良  | 高晓颖  | 郭 雷* | 郭 雷  |
| 唐应恒 | 黄 琳* | 黄培康* | 黄瑞松* | 曹喜滨  |
| 崔平远 | 梁晋才* | 韩 潮  | 曾广商* | 樊尚春  |
| 魏春岭 |      |      |      |      |

**常务委员**（按姓氏笔画排序）

|     |      |     |      |      |
|-----|------|-----|------|------|
| 任子西 | 孙柏林  | 吴 忠 | 吴宏鑫* | 吴森堂  |
| 张天序 | 陈定昌* | 周 军 | 房建成  | 孟执中* |
| 姚 郁 | 夏永江  | 高晓颖 | 郭 雷  | 黄瑞松* |
| 魏春岭 |      |     |      |      |

**秘 书** 全 伟 宁晓琳 崔培玲 孙津济 郑 丹

注：人名有\*者均为院士。

# 总序

航天器(Spacecraft)是指在地球大气层以外的宇宙空间(太空),按照天体力学的规律运行,执行探索、开发或利用太空及天体等特定任务的飞行器,例如人造地球卫星、飞船、深空探测器等。导弹(Guided Missile)是指携带有效载荷,依靠自身动力装置推进,由制导和导航系统导引控制飞行航迹,导向目标的飞行器,如战略/战术导弹、运载火箭等。

航天器和导弹技术是现代科学技术中发展最快,最引人注目的高新技术之一。它们的出现使人类的活动领域从地球扩展到太空,无论是从军事还是从和平利用空间的角度都使人类的认识发生了极其重大的变化。

制导、导航与控制(Guidance Navigation and Control,GNC)是实现航天器和导弹飞行性能的系统技术,是飞行器技术最复杂的核心技术之一,是集自动控制、计算机、精密机械、仪器仪表以及数学、力学、光学和电子学等多领域于一体的前沿交叉科学技术。

中国航天事业历经50多年的努力,在航天器和导弹的制导、导航与控制技术领域取得了辉煌的成就,达到了世界先进水平。这些成就不仅为增强国防实力和促进经济发展起了重大作用,而且也促进了相关领域科学技术的进步和发展。

1987年出版的《导弹与航天丛书》以工程应用为主,体现了工程的系统性和实用性,是我国航天科技队伍30年心血凝聚的精神和智慧成果,是多种专业技术工作者通力合作的产物。此后20余年,我国航天器和导弹的制导、导航与控制技术又有了突飞猛进的发展,取得了许多创新性成果,这些成果是航天器和导弹的制导、导航与控制领域的新理论、新方法和新技术的集中体现。为适应新形势的需要,我们决定组织撰写出版《航天器

和导弹制导、导航与控制》丛书。本丛书以基础性、前瞻性和创新性研究成果为主,突出工程应用中的关键技术。这套丛书不仅是新理论、新方法、新技术的总结与提炼,而且希望推动这些理论、方法和技术在工程中推广应用,更希望通过“产、学、研、用”相结合的方式使我国制导、导航与控制技术研究取得更大进步。

本丛书分两个部分:第一部分是制导、导航与控制的理论和方法;第二部分是制导、导航与控制的系统和器部件技术。

本丛书的作者主要来自北京航空航天大学、哈尔滨工业大学、西北工业大学、国防科学技术大学、清华大学、北京理工大学、华中科技大学和南京航空航天大学等高等学校,中国航天科技集团公司和中国航天科工集团公司所属的科研院所,以及“宇航智能控制技术”、“空间智能控制技术”、“飞行控制一体化技术”、“惯性技术”和“航天飞行力学技术”等国家级重点实验室,而且大多为该领域的优秀中青年学术带头人及其创新团队的成员。他们根据丛书编委会总体设计要求,从不同角度将自己研究的创新成果,包括一批获国家和省部级发明奖与科技进步奖的成果撰写成书,每本书均具有鲜明的创新特色和前瞻性。本丛书既可为从事相关专业技术研究和应用领域的工程技术人员提供参考,也可作为相关专业的高年级本科生和研究生的教材及参考书。

为了撰写好该丛书,特别聘请了本领域德高望重的陆元九院士、屠善澄院士和梁思礼院士担任丛书编委会顾问。编委会由本领域各方面的知名专家和学者组成,编著人员在组织和技术工作上付出了很多心血。本书得到了中国人民解放军总装备部国防科技图书出版基金资助和国防工业出版社的大力支持。在此一并表示衷心感谢!

期望这套丛书能对我国航天器和导弹的制导、导航与控制技术的人才培养及创新性成果的工程应用发挥积极作用,进一步促进我国航天事业迈向新的更高的目标。

丛书编委会  
2010年8月

# 序

本书作者及其研究团队根据多年来的创新成果,精辟地论述了飞行器光学寻的制导信息处理技术,包括光学寻的制导信息处理的独到理论模型、各种处理方法和技术实现等核心问题。

首先清楚地论述了飞行器寻的制导的平台、成像传感器与目标、背景之间的空间关系。为了适应地面固定目标的多样性,将目标划分为线条型目标、平面型目标、立体型目标三类,分别进行研究。建立了各类目标的识别算法、知识框架、目标/背景特征模型、仿射不变特征。特别是运动平台成像探测产生扰动的因素很多,本书系统地论述了平台动力学特性引起的扰动、平台与大气流场相互作用产生气动扰动、自然场景时相变化对目标成像引起图像反差扰动、平台载荷红外成像传感器特性随时间变化产生的扰动等,以及去扰动方法和算法。在运动平台条件下,对空中、海面和地面的运动目标多尺度探测定位,以及地面运动目标变尺度探测定位的信息处理方法。对五种典型的共用算法,成功研制了 ASIC 芯片,提高了飞行器信息处理速度,减少了对国外高性能 DSP 的依赖,在这一核心领域掌握了自主知识产权。通过建立仿真平台环境,在寻的制导信息处理研究的全过程中,贯穿了飞行器寻的制导信息处理流程的全链路仿真与性能评价。

正如本书第 1 章开头所说的“寻的制导是飞行器等运动平台最先进、最有效、最准确的一种制导体制,是人类长期学习和模仿大自然中众多生物在物竞天择后拥有的优异制导功能的基础上,在现代社会经济、军事需求的牵引和科技发展推动下的伟大发明。”据说,从模仿猛禽觅食捕猎的军用飞行器,到复制虫类飞行技巧的昆虫机器人等发明中,科学

家都是受大自然的启发,只有轮子的发明可能是唯一的例外。如何模仿和复制生物的行为,作者及其研究团队在光学成像寻的制导信息处理领域,完成了非常多的创新设计和技术实现,这是一本非常难得的理论联系实际的好书。

中国科学院院士

沈宗瀚

2013年5月12日

# 前 言

古语曰要“有的放矢”，飞行器光学寻的制导必须首先解决能在运动中“探测到”、“识别对”各种感兴趣的目标，然后才谈得上引导自身到达目标或目的地。

飞行器光学寻的制导信息处理技术与普通信息处理技术的根本区别有如下几方面：

- (1) 传感器和处理器所在的平台是运动的，甚至是高速变轨机动的。
- (2) 处理器处理的对象在自然场景或战场环境中是动态变化的，极其复杂。
- (3) 相关计算必须实时完成，对光学成像制导，通常需在大于 25 帧/s 内完成处理。
- (4) 处理器体积、重量、耗能受限。
- (5) 处理后所获信息要及时用于飞行器导航与制导，处理与制导控制耦合紧密。

因此，必须发展独特的理论、模型、方法算法和处理技术，这就是本书要着力论述的核心问题。

本书总结了作者及其研究团队过去 10 余年在光学寻的制导信息处理领域做的部分研究工作，并在国内外有关该领域研究进展的框架内阐述了这些研究成果，每章后都给出了相关的参考文献。本书重点论述了基于被动光学成像传感器（可见光/红外线）和主动光学成像传感器（激光）的制导信息处理若干问题。

本书共 8 章：第 1 章综述光学寻的制导信息处理的基本概念、所处的

地位、现状与发展;第2章讨论了光学寻的制导信息处理的一种理论模型,目标探测识别的准则、方法,两种寻的制导信息处理的流程,该章是全书的纲要和基础;第3章论述了飞行器寻的制导过程中必须预先规定和分析的关于运动平台、目标与背景之间变化的空间相互关系,目标、背景的几何形态与多尺度表达。这些关系和模型约束了探测识别定位算法的研究途径;第4章讨论了导致动平台成像品质下降的典型扰动因素,给出了抑制这些扰动效应的方法,实验结果表明,这些方法对达到优良的图像品质从而保证寻的制导中能“看得清目标”是至关重要的、有效的;第5章指出由远及近寻的制导过程中必须使用著者提出的多尺度识别定位方法,由粗到精,递推收敛到目标点,给出了典型地标、地物的识别定位算法,特别是目标—地标群关联识别定位方法的有效性;第6章重点阐述了动目标光学寻的信息处理方法,包括抗干扰,检测跟踪,时—空变尺度动目标检测分析等新概念、新方法;第7章介绍了著者在飞行器寻的信息处理器设计与实现的思路和成果,由于体积、重量、功耗的限制和面对复杂环境高性能要求,应该采用模块化、异构并行的体系结构,信息处理器是前6章论述内容的物化;第8章介绍了光学成像寻的信息处理仿真与性能评价,这是一个发展迅速、非常重要的研究领域,该章是著者在该方向上的心得和初步研究成果。

本书所涉及的研究工作是在国家自然科学基金重点项目(编号60736010)和国家重点预研项目(编号51301050105、51301050201、413010701)资助和支持下完成的;本书的出版得到了国防科技图书出版基金的资助。在此一并表示衷心的感谢。

在开展该领域研究工作和撰写本书的过程中,作者有幸得到刘永才院士、陈定昌院士、包为民院士、沈绪榜院士和丁晓白研究员、白晓东研究员、苏锦鑫研究员、赵汝涛研究员、袁健全研究员等许多专家和领导的指导、支持和帮助,在此表示诚挚的谢意。

奉献该书于读者的目的,是推动我国飞行器导航制导技术及其应用的深入发展,满足从事相关学科研究和教学的专业技术人员、教师和研究生



的需要,并可供相关领域的管理人员参考。全书内容与章节安排由张天序策划,第1章至第5章和第8章由张天序撰写,第6章由张天序、王岳环撰写,第7章由钟胜、王岳环和桑红石撰写,2.2.2节和2.2.3节,4.1节由费锦东撰写。

作者感谢在研究工作开展和本书文稿准备过程中诸多同事和学生的贡献。包括对有关问题的讨论、实验计划及其准备,参与的同事有杨卫东、黎云、颜露新、桑农、左峥嵘、邹腊梅、曹治国、彭雅等。数据的获取,软件编程,有关材料整理、补充、编辑和打印,参与的研究生有(不限于)汪小平、卢海风、王登位、王泽、杨效余、万美君、阳丰俊、贺文娇、彭凡、张力等。

作者感谢相关审稿专家对书稿修改所提宝贵、中肯的建议。

限于作者的认识水平,书中疏漏与不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

著者

2013年9月