



机载光电平台的目标跟踪技术

Target Tracking Technology on the Airborne
Photoelectric Platform

朱明 高文 郝志成/著



科学出版社

机载光电平台的目标跟踪技术

朱 明 高 文 郝志成 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

航空机载光电平台的目标跟踪技术是一门集图像处理、模式识别、人工智能、电子技术、自动控制等学科于一体的综合学科的专业技术。本书系统、深入地介绍了航空机载光电平台目标跟踪技术的基本原理、系统组成、经典方法、理论基础和研究进展。本书共9章,内容主要包括绪论、成像与数字图像处理、航空光电平台、目标跟踪技术、目标特征选择、目标匹配度量、目标的搜索策略、实用跟踪方法和机载目标跟踪系统。

本书可作为高等院校、科研院所中光信息科学与技术、光电信息工程、电子信息工程、计算机科学、自动化等专业的高年级本科生及研究生的专业参考书籍,也可供国防工业中从事精密制导、目标跟踪、火力控制、光电成像领域开发研究的工程师和设备的使用人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

机载光电平台的目标跟踪技术/朱明,高文,郝志成著.—北京:科学出版社,2016.10

ISBN 978-7-03-049538-9

I. ①机… II. ①朱… ②高… ③郝… III. ①机载电子设备—光电跟踪系统—研究 IV. ①V243

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第183660号

责任编辑:张震 杨慎欣 / 责任校对:张凤琴

责任印制:张伟 / 封面设计:无极书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京科印技术咨询服务公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年10月第一版 开本:720×1000 1/16

2016年10月第一次印刷 印张:17 1/4

字数:338 000

定价:99.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

19 世纪 50 年代出现了最早的机载平台的雏形（用风筝、气球将相机带到天上对地面拍摄），到 20 世纪初开始采用飞机进行照相侦查，第二次世界大战期间航空相机作为一种机载平台已经成为主要的航空侦查工具。20 世纪中后叶机载平台实现了图像传输和目标跟踪功能，开启了光电平台的新时代。现在，机载光电平台已经具有目标侦查、目标检测与跟踪、目标定位、火力校射、毁伤评估、导航与测距、场景图像实况传输等功能，机载成像设备也从单一的光学照相发展成为可见光、多光谱、红外、微波、合成孔径雷达等多种形式，其应用领域涉及视频转播、地理测绘、资源调查、环境监测、边防巡逻、地质勘探、航空侦查、军事打击、毁伤评估等众多领域。

而目标跟踪技术作为机载光电平台实现目标侦察、目标监控和跟踪打击的关键技术，也是计算机视觉研究领域的一个重要方向，它是融合图像处理、模式识别、人工智能、自动控制等多领域先进技术的应用研究。因此，掌握机载光电平台的目标跟踪技术的工作原理、系统结构、设计方法、应用前景等是十分必要的。

目前，能够系统并深入地介绍机载光电平台的目标跟踪技术的书籍并不多。为此，作者将多年来从事机载光电平台的目标跟踪技术的研究成果和工程应用经验进行了系统整理，并将这些专业科学技术在实际工程项目中的应用情况充实进本书，以满足广大相关领域同行与学者们学习和交流机载光电平台的目标跟踪技术的需求。

本书内容共 9 章。第 1 章为绪论，主要介绍机载光电平台的目标跟踪技术的基本概念和发展趋势；第 2 章介绍光电成像和数字图像处理的基本原理；第 3 章介绍航空机载光电平台的基本架构和系统组成；第 4 章介绍目标跟踪技术的基本原理和方法；第 5 章介绍现代目标特征选择的数学模型；第 6 章介绍目标匹配度量的算法；第 7 章介绍目标搜索策略；第 8 章介绍实用的目标跟踪方法；第 9 章介绍典型的航空机载光电平台的目标跟踪系统。

本书依据中国科学院长春光学精密机械与物理研究所图像处理技术研究室目标识别与跟踪课题组多年的科研成果和技术储备，充分汲取国内外机载光电

平台目标跟踪技术领域同行的先进经验。因此，衷心感谢所列参考文献的作者，没有他们的研究成果，作者实难系统地对日益发展的光电平台的目标跟踪技术作全面论述。

由于作者水平有限，本书涉及内容广泛，很多理论和实际的问题仍需要在长期工程项目研究与应用中，不断地发现、解决并逐步拓宽其应用范围。书中的不足之处在所难免，希望广大读者批评指正。

作 者

2016年8月

目 录

前 言

第 1 章 绪论	1
1.1 航空对地侦察的意义.....	2
1.2 航空光电平台的发展历史.....	3
1.3 航空光电平台的应用.....	6
1.4 目标跟踪的起源.....	7
1.5 目标跟踪的研究现状.....	13
1.6 目标跟踪的基本原理.....	16
1.7 航空光电平台目标跟踪的特点与难点.....	18
第 2 章 成像与数字图像处理	20
2.1 光学系统.....	20
2.1.1 光学系统的基本性能参数.....	21
2.1.2 光学系统的像差要求.....	26
2.2 成像传感器.....	32
2.2.1 图像传感器基本原理.....	33
2.2.2 CCD 图像传感器.....	34
2.2.3 CMOS 图像传感器.....	42
2.2.4 红外传感器.....	45
2.2.5 红外图像传感器的发展.....	47
2.3 图像工程的科学范畴.....	48
第 3 章 航空光电平台	50
3.1 航空光电平台的结构.....	50
3.1.1 框架结构.....	50
3.1.2 驱动机构.....	54
3.2 航空光电平台的组成.....	58

第 4 章 目标跟踪技术	61
4.1 基本方法和共性问题.....	61
4.2 目标跟踪当前技术水平及研究现状.....	64
4.2.1 国外研究现状.....	64
4.2.2 国内研究现状.....	66
4.3 经典跟踪算法.....	67
4.3.1 重心跟踪.....	68
4.3.2 边缘跟踪.....	69
4.3.3 相关跟踪.....	70
第 5 章 目标特征选择	73
5.1 目标表示数学模型.....	74
5.2 基于局部不变性特征的目标表示模型.....	76
5.2.1 SIFT.....	76
5.2.2 SURF.....	81
5.3 基于统计学的目标表示模型.....	82
5.3.1 LBP 算子.....	83
5.3.2 Haar 特征.....	86
5.3.3 2bitBP 算子.....	87
5.3.4 BRIEF 算子.....	88
5.4 基于稀疏表示的目标表示模型.....	95
第 6 章 目标匹配度量	103
6.1 相关系数.....	103
6.2 巴氏系数.....	110
6.3 汉明距离.....	111
第 7 章 目标的搜索策略	117
7.1 金字塔搜索.....	117
7.2 均值漂移搜索.....	119
7.3 卡尔曼滤波和粒子滤波.....	126
7.3.1 卡尔曼滤波.....	127
7.3.2 粒子滤波.....	134
7.4 滑动窗搜索.....	139

第 8 章 实用跟踪方法	142
8.1 自适应相关滤波学习的目标跟踪算法.....	142
8.1.1 传统相关跟踪算法.....	142
8.1.2 相关滤波跟踪.....	145
8.2 多实例学习 (MIL)	151
8.3 压缩跟踪 (CT)	159
8.3.1 相关理论推导.....	161
8.3.2 压缩跟踪算法流程.....	164
8.3.3 特征压缩在线距离度量学习目标跟踪.....	164
8.4 时空上下文视觉跟踪 (STC) 算法	172
8.5 检测学习跟踪 (TLD)	179
8.5.1 PN 学习	185
8.5.2 基于分类器的目标检测	198
第 9 章 机载目标跟踪系统	213
9.1 目标跟踪系统任务、功能和指标.....	214
9.2 目标跟踪系统组成.....	214
9.2.1 以 TMS320C6416 定点 DSP 为主处理器的目标跟踪硬件系统	215
9.2.2 以 TMS320C8147 为主处理器的目标跟踪硬件系统	236
参考文献	251
结束语	267

第1章 绪 论

侦察监视通常简称为侦察，是军队为获取军事斗争，特别是战争所需敌方或有关战区的情况（包括人员、武器装备、地形地物及作战结果等）而采取的措施，是实施正确指挥，取得作战胜利的重要保障。

现代侦察监视技术是指发现、识别、监视、跟踪目标并对目标进行定位所采用的技术。

现代侦察技术可在全球范围内进行全纵深、大面积的侦察和监视，并覆盖整个战场。作战侦察距离的增大，扩大了信息获取量，为实施远距离作战提供了条件。作战距离的扩大又使传统的近战战法受到严峻挑战，因此必须探索新的对敌作战方式。

空中侦察监视是指用航空器在环绕地球的空气空间时，对敌方军队及其活动、阵地、地形等情况进行的侦察与监视。

侦察是通过探测器接收目标的特征信息（声、光、电、磁、热等）来实现的。

现代战争侦察系统有可见光侦察、红外侦察、雷达侦察、电子侦察、多光谱侦察和声学侦察等。

空中侦察监视设备主要有有人驾驶侦察机、侦察直升机、无人驾驶侦察机和预警机等。

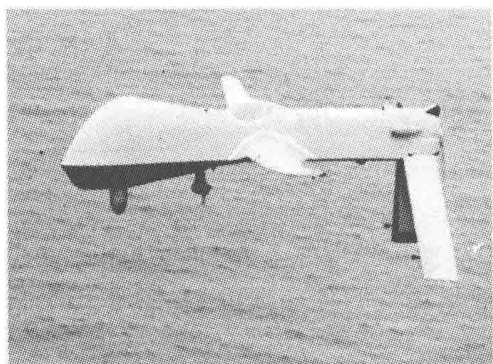
随着各种高新技术的广泛应用，现代侦察技术正在进入一个崭新的发展阶段。无论是侦察方式、侦察手段、器材设备本身，还是其战术技术应用，都将提高到一个新的高度。如图 1.1 所示为具有代表性的无人机。



(a) 全球鹰



(b) 不死鸟



(c) 捕食者



(d) 眼视

图 1.1 具有代表性的无人机

1.1 航空对地侦察的意义

21 世纪是高科技、信息化的时代，社会、经济和军事向前发展均离不开科技的发展，甚至从某种角度讲是依赖于科技的发展。军事方面，在 1955 年至 1975 年的越南战争、1979 年的阿富汗战争、1991 年的海湾战争、2003 年的伊拉克战争以及 2011 年的利比亚战争中，使用多种无人机为战区和各指挥官收集并提供电子情报，并对战场进行实地侦察、为战斗机提供准确的目标信息以及低空袭击重要的军事目标（如桥梁、运输车、坦克、船只等），这些对战局的胜败都起到了关键作用。各种无人机与远程精确制导武器的配合使美国在利比亚战争中拥有了绝对的制空权，而且实现了第一次“零地面部队”的战争，品尝出“新战争”的味道。

无人机在整个防御系统中的位置示意图如图 1.2 所示。无人机在军事上的应用具有以下几点优势：

(1) 作战灵活，消除了飞行员在驾驶飞机过程中的诸多壁垒（如长期驾驶的生理疲劳）；

(2) 有效避免伤亡；

(3) 节省资源；

(4) 无人驾驶使机身变小、变轻，这样有利于隐蔽机身以及适应多种复杂地貌；

(5) 无人机可以完成自动侦查、打击等任务。

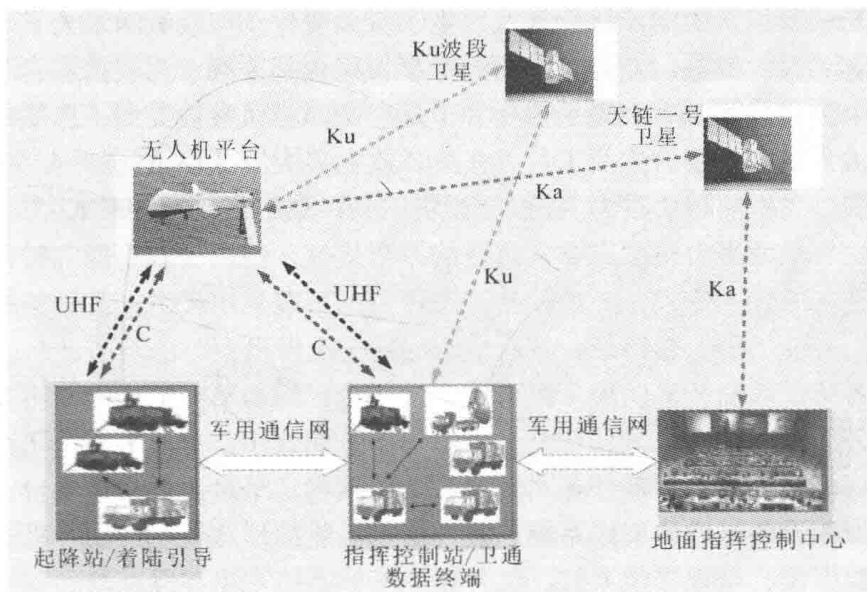


图 1.2 无人机在整个防御系统中的位置示意图

国务院颁布实施的《国家中长期科学和技术发展规划纲要》的第三章第 10 节“公共安全”中提到，在“2006 年至 2020 年的国家公共安全科技发展目标”中，要重点研究全方位无障碍危险源探测监测、精确定位和信息获取技术、多尺度动态信息分析处理和优化决策技术、国家一体化公共安全应急决策指挥平台集成技术等，构建国家公共安全早期监测、快速预警与高效处置一体化的应急决策指挥平台。显然，要达到“精确定位”的要求，就必须具有对监测监控目标的实时自动跟踪能力。由此可见，我国对地面移动目标低空实时自动跟踪系统的研究也给予高度重视。

此外无人机在交通监控、环境监测、资源调查、巡逻、视频转播、测绘、地质勘探、空间科学试验等方面也有广泛的应用。

1.2 航空光电平台的发展历史

航空侦察起源于 18 世纪末，当时用气球进行目视侦察。19 世纪 50 年代（1858 年）开始出现了航空照相，当时人们试图用风筝、气球将照相机带到空中对地面拍摄，绘制出地形图，这也成为机载平台最早的雏形^[1-3]。

1911 年底至 1912 年初，意大利首先用飞机进行了目视观察和采用民用照相机照相侦察。1915 年末开始有专用的航空照相机用于航空侦察。在第一次世界大

战（以下简称一战）中期，战争情况发生了很大变化，作战纵深增大了，军队的技术装备有了很大改进，双方对重要的军事目标也都采取了伪装措施。这时地面侦察和空中目视侦察已不能满足需要，于是空中照相侦察被提到了重要的地位，飞机逐渐成为航空侦察的主要工具。在第二次世界大战（以下简称为二战）中，主要交战国以飞机照相侦察为主，航空相机成为机载平台的一种形式^[4-6]。二战后，航空相机这种机载平台虽然有非常重要的军事价值，但由于其不能实时判读，不能满足战场实时性的需求，人们开始开发新型的机载光电平台，其目的是可以实时地把战场情况提供给指挥员，从而根据战场情况做出及时的判断。

随着遥感等科学技术的进步，机载光电平台已经由单一的光学照相向多光谱照相、红外成像、微波成像和可见光成像等多方面延伸。一般来说，飞机要在空中完成对目标的探测和跟踪任务，需要一个机载稳定平台，并在该平台上搭载一个由成像探测设备组成的集成系统，其外形以吊舱的形式表现。而“机载光电平台”由跟踪框架、电视摄像系统、红外激光干扰系统、电视跟踪器和伺服控制系统组成，可以实现对空中或地面目标的成像、捕获、跟踪和瞄准^[7]。光电载荷安装在稳定平台上，通过陀螺稳定平台隔离载机振动，获得相对惯性空间稳定的平台空间，并且在控制指令驱动下，实现光电载荷对目标的搜索、捕获、定位和跟踪。

美国的第一代瞄准吊舱于 20 世纪 80 年代投入使用，例如美国空军 F-16、F-15E 所挂载的蓝盾^[8-10]或海军 F/A-18 所挂载的夜鹰吊舱，其中以蓝盾最为典型。

目前最主要的瞄准吊舱分别是诺思罗普·格鲁曼公司的 Litening^[11]吊舱、雷神公司（Raytheon）的 ATFLIR 吊舱以及洛克希德·马丁公司（Lockheed Martin）的 Sniper XR 吊舱。

(1) LANTIRN (low altitude navigation and targeting infrared for night) 吊舱，夜间低空导航和瞄准红外系统，翻译为“蓝盾”，见图 1.3 (a)，飞行员能够借助它进行低空航行，瞄准目标，并投射激光制导炸弹和常规炸弹。至今洛克希德·马丁公司还在生产 LANTIRN 及其衍生的吊舱，其改进型“蓝盾”已成为列装军用设备。美国空军、海军的现役战斗机及战斗轰炸机如 F-16C、F-15E、F-14 和 F/A-18 等，均配有这套光电导航目标瞄准系统。

(2) Litening 吊舱^[12, 13]是一种套装、多传感器激光目标指示的导航系统，见图 1.3 (b)，它能使战斗机驾驶员探测、获取、跟踪和识别地面目标，高精度地投放常规和精确制导武器。Litening 吊舱与另外两种吊舱性能相近，但价格却相对便宜，因此一些新的平台大量装备这种吊舱。目前选用这种吊舱的平台包括 A-10、AV-8B (“鹞”)、B-52、F-15、F-16、F/A-18 和 B-1 等战斗机，而最初只计划装备在 AV-8B 和 F-16 战斗机上。

(3) ATFLIR (advanced targeting forward-looking infrared) 吊舱是雷神公司 Terlnitator 吊舱系列的一部分，见图 1.3 (c)，它的研发始于 1996 年。AN/ASQ-228

先进瞄准前视红外(ATFLIR)吊舱是美国雷神公司研制的一种光电瞄准吊舱,可为战斗机空地和空空攻击提供目标捕获能力,其由目标捕获与导航前视红外传感器、光电传感器、人眼安全激光测距机、激光指示器和激光点跟踪器组成。AN/ASQ-228 具备强大的目标探测、识别、定位和指示能力,可大大提高战斗机在近距离对地支援作战、空中作战和战场毁伤评估等任务中的效用。

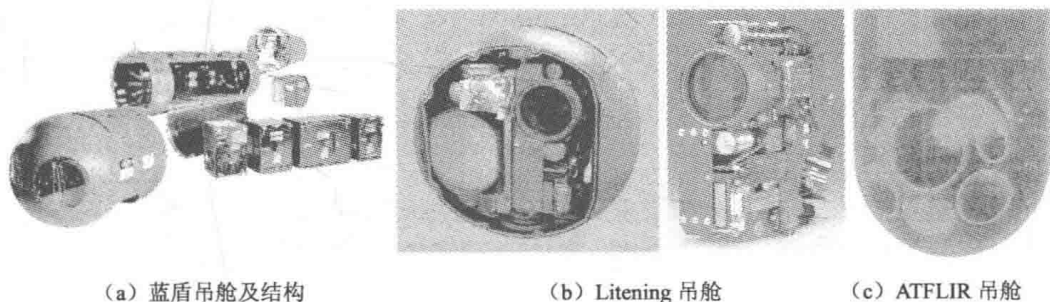


图 1.3 几款主流吊舱

我国在机载侦察测量技术研究及设备制造方面起步较晚,红外技术和可见光技术水平比较落后,整个机载光电成像侦察设备的发展水平落后于发达国家。空军空中侦察设备短缺,且多半为进口的老一代相机,机载测量站尚属空白。所以,大力发展机载光电跟踪测量系统具有十分重要的意义^[14,15]。

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所^[16,17](以下简称长春光机所)从 20 世纪 80 年代末开始机载吊舱和光电平台的研制,至今已取得丰富成果。目前光电平台已应用到超近程、近程、中程、远程,低空、中低空、中高空、临近空间,低速、亚音速、超音速等各个系列。值得一提的是 2015 年纪念反法西斯抗战胜利 70 周年大阅兵上亮相的 BZK-005 高空大航程无人机,被称为中国的“全球鹰”,主要用于执行侦察任务和搜集情报,其光电吊舱由中国科学院长春光学精密机械与物理研究所研制。图 1.4 为该型号无人机及光电吊舱。

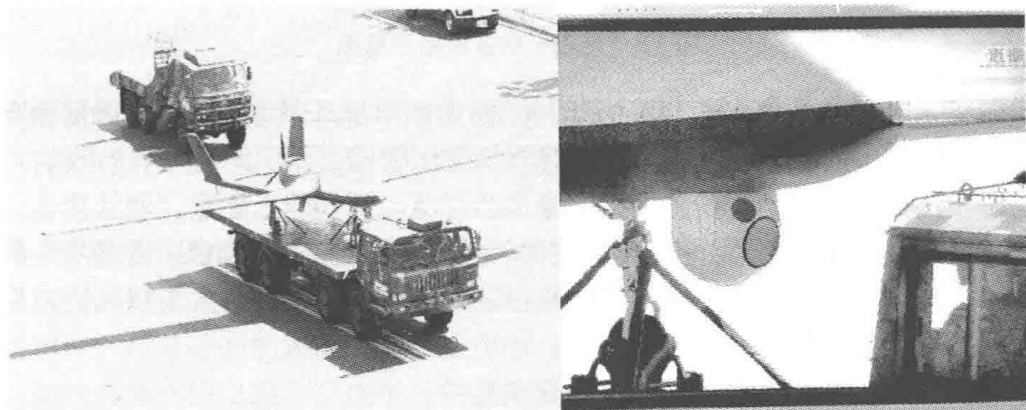


图 1.4 BZK-005 高空大航程无人机及其光电吊舱

1.3 航空光电平台的应用

航空光电平台^[17]是以光学成像为信息获取手段，以光电转换为技术基础，以动态视频图像为信息表述方式，以航空器为载体的光电成像测量平台，用于资源遥感、安全监察、地物侦测、效果评估等方面。航空光电平台可以搭载多种有效载荷，常用的工作谱段包括紫外、可见光、红外、太赫兹，并且具有多种的工作方式，包括扫描、搜索和跟踪。

现在航空光电平台已经在很多方面有了应用^[18-22]，如环境监测、资源调查、巡逻、视频转播、测绘、地质勘探、空间科学试验等，如图 1.5 所示。

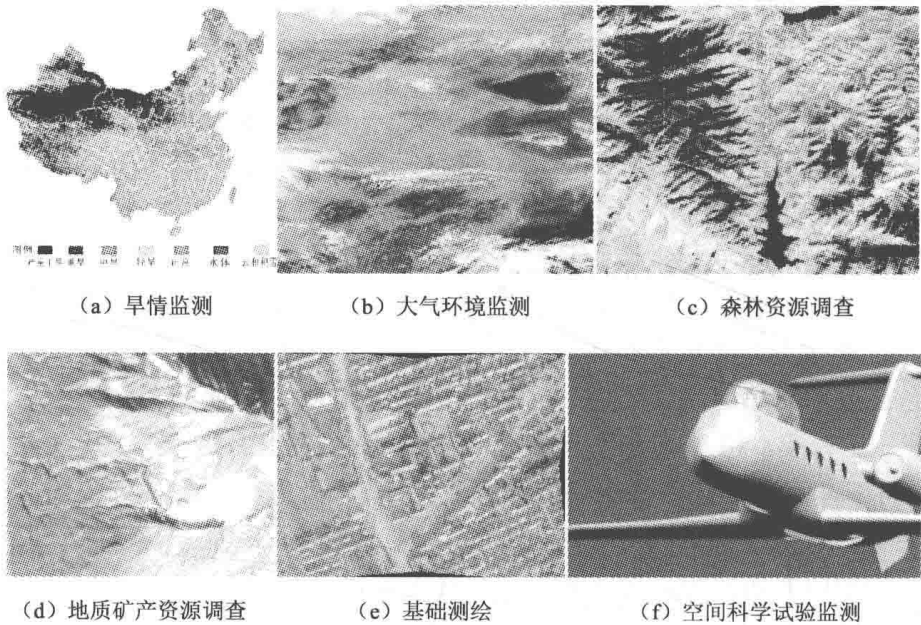


图 1.5 光电平台各应用示意图

航空光电平台具有分辨力高(空间/时间/光谱)、抗干扰能力强、频谱范围宽、可视性好等特点，但是同时还会受到对气候变化敏感、作用距离短等的限制。

在国民生产生活中，直升机应用越来越广泛，例如地形勘察、道路维修、人员搜救、电力巡查、抢险救灾、公安边防、海上缉私等任务，如图 1.6 所示。最近几十年，采用直升机巡查、搜索等任务中，其主要观测工具是人工望远镜，采用这种观测方式主要的缺点有：

- (1) 观测视场小、观察效果差、安全性差；
- (2) 长时间观测极易造成观察员视觉疲劳和晕机；

(3) 为了能够更加清晰地观察和搜索,直升机需要有宽阔的视窗,故需要对飞机进行改造、增加观察窗,此外飞机的飞行状态发生变化也会影响观察效果;

(4) 观察的信息无法储存,无法用于事后的研究和分析,地理位置无法准确定位,给事后处理带来困难。



图 1.6 巴西空军搜救法航失事客机

航空吊舱(又称机载稳瞄吊舱)与直升机上手持观测设备相比有以下优点:

①系统具有高精度稳瞄功能,可实现对目标的准确、稳定观察;②系统具有大范围搜索功能,视野开阔;③系统具有场景实时记录功能,便于事后分析;④系统具有可见光与红外传感器,可实现昼夜观测;⑤系统采用高分辨率 CCD 传感器,提高了目标清晰度。

1.4 目标跟踪的起源

最早的目标跟踪系统从早期的雷达系统发展过来,如图 1.7 所示。雷达主要利用目标的一维信号,随着信号处理理论和实现技术的发展,目标识别跟踪系统的处理能力得到了很大的提高,系统处理的信号也由一维信号向多维信号发展,产生了多维图像目标的识别跟踪系统,如各种无线电成像目标识别跟踪系统。工作于红外、可见光波段的图像目标跟踪器也得到了快速发展和广泛应用,如用于战略导弹、巡航导弹的末段制导、反弹道导弹的制导以及各种机载、舰载火控拦截系统等。雷达的出现,是由于一战期间英国和德国交战时,英国急需一种能探测空中金属物体(即能在反空袭战中帮助搜寻德国飞机)的技术。二战期间就已

经出现了地对空、空对地（搜索）轰炸、空对空（截击）火控、敌我识别功能的雷达技术。二战以后，单脉冲角度跟踪、脉冲多普勒信号处理、合成孔径和脉冲压缩的高分辨率、结合敌我识别的组合系统、结合计算机的自动火控系统、地形回避和地形跟随、无源或有源的相位阵列、频率捷变、多目标探测与跟踪等新的雷达体制得到发展。后来随着微电子等各个领域的科学进步，雷达技术的不断发展，其内涵和研究内容也随之拓展。雷达的探测手段已经由只有雷达一种探测器发展到了红外光、紫外光、激光以及其他光学探测手段融合协作。

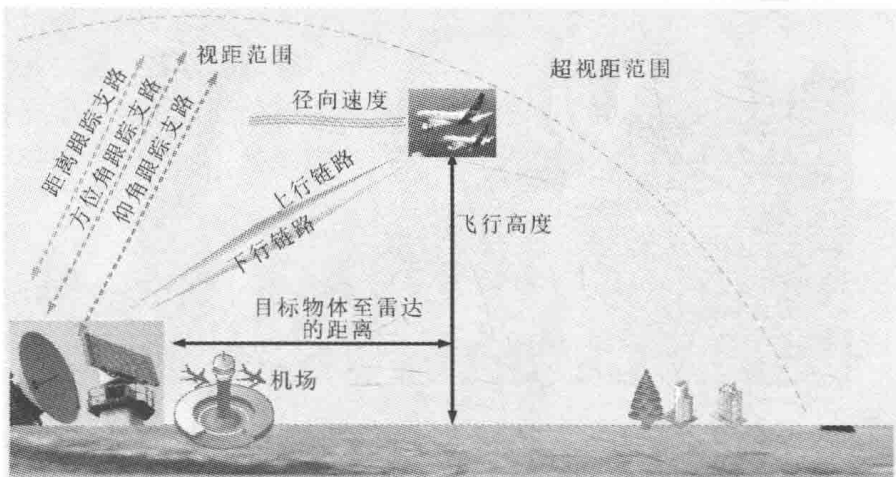


图 1.7 雷达目标跟踪示意图

跟踪雷达是能连续跟踪一个目标并测量目标坐标的雷达，它还能提供目标的运动轨迹。跟踪雷达一般由距离跟踪支路、方位角跟踪支路和仰角跟踪支路组成。它们各自完成对目标的距离、方位和仰角的自动跟踪，并连续测量目标的距离、方位和仰角。相干脉冲多普勒跟踪雷达还具有多普勒频率跟踪的能力，并能测量目标的径向速度。

跟踪雷达对目标方位、仰角的自动跟踪，就是雷达天线追随目标运动而连续地改变其指向，使天线电轴始终指向目标。实现这一追随过程，需要在雷达和目标之间建立闭环反馈控制。当雷达自动跟踪一个目标时，某一瞬时因目标运动到一个新的位置而偏离了天线电轴指向，在目标与天线电轴指向之间产生一个夹角，称为角误差。角误差使天线系统有误差信号输出，接收机对误差信号进行放大和变换后送到天线的方位、仰角驱动放大器的输入端，经功率放大后控制方位、仰角驱动电机，改变天线电轴指向，使天线电轴重新瞄准目标。这就是雷达对目标的角坐标自动跟踪过程，包括角误差信息提取、误差信号处理和对天线电轴指向的控制。跟踪雷达因角误差信息提取方法不同而形成几种不同的测角体制。

距离自动跟踪是基于比较目标回波脉冲与测距波门之间的时间差的原理。时

间差与距离差有严格的对应关系, 比较出时间差, 就可以控制测距波门移动到目标回波距离上, 即完成对目标的距离跟踪。跟踪雷达起源于对火炮瞄准控制的需要。最早用于火炮瞄准的雷达, 是 1938 年美国陆军通信队研制的手控跟踪雷达 SCR-268, 它采用波束转换法测角度, 测量误差约为 1° 。这种雷达一直使用到第二次世界大战的后期。

最基本的图像目标识别跟踪系统由面阵列的传感器(各种摄像机)、图像处理单元、跟踪处理器和伺服机构组成。

传统的图像处理单元是模拟检测系统, 它主要是通过检测提取目标与背景电平之间的差值, 从而判断出目标区域的大概位置, 其优点是速度快, 可进行全视场的搜索, 缺点是易受干扰, 且跟踪精度低。

目标跟踪系统的一个重要发展就是图像处理单元的数字化。将视频信号进行模/数(A/D)转换, 然后基于数字信号处理(DSP)等硬件技术, 实现各种图像处理跟踪算法, 真正实现图像的识别与跟踪, 它可输出准确的目标位置信息和运动参数。其优点是精度高, 抗干扰能力强, 缺点是进行全视场的搜索时, 实时性很难得到满足。其基本的工作原理是, 由模拟搜索、检测系统输出或人为指定视场内的待跟踪目标, 注意此时得到的仅是目标区域某一点的位置信息, 并不是目标。

图像目标的识别与跟踪是图像处理、分析应用的一个重要领域, 其所应用的各种技术几乎涵盖了图像处理和分析的各个方面。它在计算机视觉、交通监控、可视预警、机器导航等诸多民用领域有广泛的应用, 同时在靶场电视测量、火力拦截、导弹电视制导等军用领域也发挥着重要作用。

基于光学图像的目标识别和跟踪系统的显著优点是:

- (1) 被动探测跟踪系统, 不像雷达那样易受无线电波的干扰;
- (2) 跟踪近距离接近地面的目标;
- (3) 基于电视的图像识别跟踪系统可跟踪冷目标, 不像红外系统依赖于目标的红外辐射;
- (4) 基于图像特征的跟踪, 较单一点跟踪、脉冲信号的跟踪而言, 具有显示直观的特点, 同时利用图像识别, 具有较高的智能化程度。

当然它也有明显的弱点, 一个突出的弱点是作用距离较短, 易受气候环境的影响。但是由于其显著的优点及其广泛的应用前景, 研究图像目标识别跟踪系统具有重要的意义。从图像目标跟踪系统信号处理实现的角度看, 跟踪器的发展历程经历了由模拟到数字到模拟数字结合的过程; 由跟踪简单场景单一特定目标到跟踪复杂场景任意指定目标的过程; 由实现单一任务的硬件跟踪器到软硬件结合、智能可编程、可实现多任务的过程。

跟踪的目标是什么? 可用形状、色彩、运动的速度和方向等信息来对跟踪的