

现代电子信息技术丛书

导航与定位

——现代战争的北斗星

主编 干国强 副主编 邱致和



国防工业出版社

电子科学研究院组织编著

现代电子信
息技术丛书

导航与定位

——现代战争的北斗星

主 编 干国强
副主编 邱致和

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

导航与定位:现代战争的北斗星/干国强主编. —北京:
国防工业出版社, 2000. 2
(现代电子信息技术丛书)
ISBN 7-118-02145-8

I. 导… II. 干… III. ①无线电导航-基本知识②无线电定位-基本知识 IV. TN96

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 30377 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 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 23 498 千字

2000 年 2 月第 1 版 2000 年 2 月北京第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:32.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

内 容 简 介

本书全面介绍导航与定位技术在军用及民用中的重要作用。主要内容有:导航技术及其发展概貌;目前仍在使用的陆基无线电导航系统及其他一些出现较早的系统;新导航混合体中的各种系统,例如卫星导航系统,惯性导航系统,组合导航系统,地形辅助导航系统,飞机着陆系统,联合战术信息分发系统,定位报告系统等。

读者对象:具有中专以上文化程度的本专业或相关专业的技术人员、管理干部、业余爱好者,及大专院校师生。

《导航与定位》分册编著人员

主 编 千国强

副 主 编 邱致和

编著人员 (按姓氏笔划排序)

古思尧 叶自章 任思聪 包武纬 刘烈武

刘乾富 吴灶顺 何建新 张尚海 孟绍禹

保 谦 姜 琳 姜恩春 夏同祥 徐 刚

黄裕厚 谢世富 谢洪华

序

信息技术是一个复杂的多层次多专业的技术体系,粗略地可以分为系统和基础两个层次。属于系统层的一般按功能分,如信息获取、通信、处理、控制、对抗(简称为 5C 技术,即 Collection, Communication, Computing, Control, Countermeasure 五个词的第一个字母)等;基础层技术一般按专业分,如微电子、光电子、微波真空电子等。

信息技术革命的火炬是由微电子技术革命点燃的,它促进了计算机技术、通信技术及其他电子信息技术的更新换代,迄今,尚未有尽期。信息技术革命推动产业革命,使人类社会经历了农业、工业社会后进入了信息社会。

大规模集成电路的集成度是微电子技术革命的重要标志,它遵循摩尔(Moore)定律,每 18 个月翻一番,预计可延伸到 2010 年。届时,每个芯片可包含 100 亿(10^{10})个元件,面积可达到 10cm^2 ,作为动态存储器的存储量可达 64Gb(吉比特),接近理论极限 10^{11} 个元件和 256Gb 存储量。微处理器芯片的运算速度每 5 年提高一个数量级,到本世纪末,每个芯片运算速度可达 10~100 亿次每秒,有人认为,实现 2000 亿次的单片微处理器在技术上是可能的。与此相适应,每芯片比特存储量与每 MIPS(兆指令每秒)运算量的成本将呈指数式下降,现在一个 100 兆指令/s 专用数字信号处理芯片只售 5 美元。如果飞机的价格也像微电子那样呈指数式下降的话,70 年代初买 1 块比萨饼的费用在 90 年代就可以买 1 架波音 747 客机。3 年内 1 部电话机将只用 1 块芯片,5 年内 1 台 PC 机的全部功能可在 1 个芯片上实现,6 年内 1 部 ATM 交换机的核心功能也可用 1 个单片完成。由于微处理器芯片价格持续不断地下降,构成了它广泛应用的基础。现在,在一般家庭、汽车和办公室中,就有 100 多个微处理器在工作,不仅是 PC 机,而且在电话机、移动电话机、电视机、洗衣机、烘干机、立体声音响、家庭影院中也有。1 辆高档汽车中包含 20 多种可编程微处理器,1 架波音 777 客机含有 100 多万行的计算机程序代码。

通信技术的进步还得力于光子技术的进步。光通信速率(比特每秒)每两年翻一番,现在实验室中已可做到 10^{12}b/s ,即可将全世界可能传输的全部通信量于同一时刻内在 1 根光纤中传送,或相当于 1s 内传输 1000 份 30 卷的百科全书。通信速率的提高和通信容量的增大,使光通信成本也不断降低,与 80 年代相比,降低了两个数量级。

因特网是全球信息基础设施的雏形,其发展速度惊人。现在每 0.4s 增加

一个用户,每4min增加一个网络。1996年联网数大于10万,联网主机数大于1000万,用户数大于7000万(预计到本世纪末,将大于2亿),PC机总量将达5亿,联网主机达3000万,信息量每5年翻一番。越来越多的公司、团体、机关、个人通过信息网络相互联接,其应用范围从单纯的电子函件通信扩大到远程合作(包括教育、诊断、办公、会议、协作等)、按需点播、多媒体文娱、电子商务、银行、支付等,人类社会生存与发展的另一维空间,即信息空间或称为赛博空间(Cyberspace)正在形成。如果说工业社会是建筑在汽车与高速公路上的话,信息社会则是建筑在信息与信息高速公路上的。政府、军队、经济、金融、电力、交通、电信等关键部门都要依赖于信息基础设施的正常运行。信息技术和信息产业的水平已成为综合国力的重要标志,也是国际竞争力的焦点与热点。

信息技术的飞跃发展及其渗透到各行各业的广泛应用,不仅推动了产业革命,而且也深刻地改变了人们的工作、学习和生活的方式。信息技术不仅扩展了人的视觉、听觉等感知能力,而且还渗透到思维领域,减轻或部分地替代人的脑力劳动,提高思维的效率和质量,实现人的思维能力的延伸,增强人的认知能力。信息作为事物的属性与相互关系的状态的表达是客观存在的,但不是显在的,很多是潜在的,有的是深埋的,有待挖掘与提炼。信息技术大大地丰富了信息采集的内容,提高了信息处理的能力,为人们对客观事物及其规律的认识提供了创新的工具,也为人们正确认识与有效改造主观世界和客观世界提供了源泉,将使社会的物质文明与精神文明建设得到极大的发展。

信息、能源与物质是人类社会赖以生存与发展的三大支柱。在信息社会中,信息是最重要的支柱和最重要的产业,它影响着其他两个支柱的健康发展,包括生产、传输、分配、运行、减少损耗、改善管理、提高效率、降低成本等等;同时,它还能不断地培育与发展新物质和新能源的发明与生产,不断地改善生态环境,从而使人类社会进入可持续发展的健康轨道。

信息革命在带动产业革命的同时也带动军事革命,使得军事技术、武器装备、作战思想、作战方式、战争形态、军事原则、军事条令与部队编成等都将发生深刻的变化。如果农业社会是冷兵器时代,工业社会是热兵器时代,那么信息社会则是信息兵器时代。信息、信息系统与信息化平台、武器与弹药成为战场上的主战兵器。信息优势成为传统的陆地、海洋、空中、空间优势以外的新的争夺领域,并深刻地制约着传统领域的战斗胜负,从而构成信息化战争的新形态。在这种战争中,战争胜负决定于敌对双方掌握信息与信息技术的广度与深度。信息不仅是兵力倍增器,它本身就是武器和目标,是双方必争的制高点。1991年初的海湾战争,被称为硅片战胜钢铁的战争,即源于这样的认识。它开启了赛博空间战、网络战、信息战等簇新的作战方式。

以信息优势为核心的军事革命是建筑在先进的指挥、控制、通信、计算机、情报、监视、侦察及其一体化的信息战能力的基础上的,这个众系之系(系统的系统)我国称为综合电子信息系统,与美军后来提出的 C⁴ISR/TW 相当,它由以下 6 部分组成。

1. 鲁棒的多探测器信息栅格网络。为作战部队提供作战空间感知优势。
2. 先进的指挥控制与作战管理栅格网络。为部队提供作战的先期规划、胜敌一筹的作战部署,执行作战指挥控制与一体化兵力管理能力。
3. 从探测器到射击器的栅格网络。为部队提供精确制导武器的动态目标管理、分配与引导,协同作战,一体化防空,快速战损评估和再打击能力。
4. 联合的通信、导航与定位栅格网络。提供可靠、安全、大容量与高精度的信息,以支持部队的机动行动,确保全面优势。
5. 信息进攻能力。采取侵入、操纵与扰乱等手段,阻碍敌人作战空间感知、认知与有效用兵能力。
6. 信息防护能力。保证我方信息系统的安全,防护敌方对我信息网络的利用、干扰和破坏。

这个系统的系统涉及众多先进的信息技术的横向与纵向的有机集成,它包括雷达和光电的有源与无源探测技术、有线和无线及固定和移动通信技术、计算机硬件和软件技术、精确导航定位技术、航天航空测控技术、信息安全保密技术、电子战技术等横向专业技术的集成;也涉及微电子技术、光子与光电技术、真空电子技术、压电与传感器技术等先进元器件技术,电子材料技术、电源技术、测试技术、先进制造技术等纵向基础技术的集成。当代军事革命要求在创新的军事思想指引下,发展有层次多专业的纵横集成的信息技术;同时,又要求在先进的信息技术驱动下,培育与发展新的军事思想,并在此基础上推动作战原则、军事条令与部队编成的变革,形成军事革命与信息革命的有机结合。

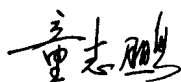
我们正处处于世纪之交,党的第十五次代表大会的胜利召开,启动了有中国特色的社会主义事业在邓小平理论的指引下全面进入 21 世纪。我国的国防与军队现代化建设的跨世纪历史进程已经开始。为了适应军事革命环境下的高新技术军事斗争的需要,我军必须拥有信息优势,必须拥有以先进的综合电子信息系统为基础结构的性能优良的武器装备,必须提高部队素质,把人才培养推上新的台阶。

江泽民总书记非常重视人才的培养,他多次指示,要用高新技术知识武装全军头脑。在未来的信息化战场上,知识将成为战斗力的主导因素,敌对双方的较量将更突出地表现为高素质人才的较量。本丛书的编写出版就是为贯彻这个伟大号召提供系统基础知识。全书以先进的综合电子信息系统为龙头,

多层次、全方位地介绍相关的各项先进信息技术,既包括系统技术,也包括基础技术,共17个方面,荟萃成17个分册。丛书的编写以普及先进信息技术知识为目标,以中专以上文化程度,从事军、民用电子信息技术有关业务的技术人员和管理干部为主要对象,努力做到深入浅出,雅俗共赏,图文并茂,引人入胜,文字简练,语言流畅,学术严谨,论述准确,使其具有可读性、可用性、先进性、系统性与权威性。参加丛书各分册撰写的作者都是长期从事现代信息技术研究与发展的专家,他们在繁重的业务工作的同时,废寝忘食,长期放弃节假日的休息,辛勤耕耘,鞠躬尽瘁,为本丛书做出了卓越的贡献。他们以自己的模范行动,“努力成为先进思想的传播者、科学技术的开拓者、‘四有’公民的培育者和优秀精神产品的生产者”。我谨代表总编委向他们致以衷心的感谢!

本丛书的编写出版得到原国防科工委与原电子工业部领导的大力支持,得到国防工业出版社领导及责任编辑们的积极推动与努力,借此之机,向他们表示由衷的感谢!

中国工程院院士
原电子工业部科技委常务副主任



前 言

本书是《现代电子信息技术丛书》的一个分册,介绍导航与定位技术的基础知识和最新发展概况。

导航从来就是保障人类交通及军事活动的必要手段。从 20 世纪开始,尤其是第二次世界大战以来,导航已发展成为一专门的技术,形成了较为完备的体系。从 80 年代开始,导航发生了巨大的转变,其所使用的技术,所产生的效能,以及在民用和军用中的作用都有了质的飞跃,导航的用户群体极大地扩展了。

本世纪以来,无线电技术的广泛采用,使导航从通过观测地形地物、天体的运动以及灯光地磁现象,改变为主要依赖电磁波的传播特性来实现,从而摆脱了天气、季节、能见度和环境的制约,以及精度十分低下的状况,使运载体在云海茫茫的天上、浩瀚无边的海上,能够随时掌握自己的位置,避免了撞山与触礁的危险,并安全地在机场着陆和驶入港湾。导航已成为航空和航海完全可以依赖的技术手段,促进了经济的发展,保障了军事任务的执行。

直到目前为止,人们主要使用的是陆基无线电导航系统,其中包括为航空服务的伏尔(VOR),测距器(DME),塔康(TACAN),航空无线电信标(Aeronautical Radiobeacon),仪表着陆系统(ILS),微波着陆系统(MLS),精密进近雷达(PAR);为航空和航海服务的罗兰—C(Loran—C),奥米伽(Omega);以及为航海服务的航海无线电信标(Maritime Radiobeacon)。这些在第二次世界大战以来陆续出现的系统相互搭配,构成较为完备的导航混合体,以满足运载体在不同航行阶段对导航的要求。

在 70 年代发展起来的信息技术推动下,导航技术呈现了新的面貌。卫星导航(GPS 和 GLONASS)及其增强系统和组合系统,能够廉价便捷地为全世界任何地方、任何时候,包括海陆空军,提供高精度和连续的位置、速度、航向与姿态和时间信息。光学陀螺捷联式惯性导航仪、地形辅助导航、联合战术信息分发系统(JTIDS)及定位报告系统(PLRS)提供了战场使用所需要的高精度、抗干扰、抗毁、反利用等性能,形成了新一代的导航混合体。这种导航方式能提供全球一致的准确导航信息,将明显提高世界空海运输的经济性与安全性,并对全球经济发展和一体化进程作出贡献。导航用户设备的小型化和低廉的价格,使车辆导航得以普及,导航的用户再不是成千上万而将是以百万和千万计。导航作为重要的基础,将完全改变空中、海上和陆上交通管制与调度系统的体制,为交通运输的发展提供更大的空间。

与此同时,导航的应用正在迅速超越交通运输的范围,成为十分重要的传感器,渗透到国民经济和人民生活的各个方面,包括工业、农业、林业、公安、医疗、急救、海上救援、邮电、电力传输、地质、石油开采、信息网络以及科学研究中。导航及其应用技术将发展成一个重要的信息产业,促进国民经济的发展,提高人民的生活质量。

在军事上,新一代导航混合体除了能够更好地保障执行军事任务的航行需要之外,还

产生了广泛的战术功能。导航的军事作用主要如下。

1. 用于各种精密打击武器的制导。今天各种弹道导弹、巡航导弹、炸弹和炮弹均已开始装备卫星导航或卫星导航/惯导组合导航系统,使命中精度大为提高,极大地改变了作战方式。比如过去在制订作战计划时考虑的是,要派多少架飞机才能摧毁给定的目标,而现在考虑的是要一架飞机去摧毁多少个目标。

2. 成为 C^3I 的重要组成部分。导航为分布在整个战场上的各参战单位提供准确的实时位置,再通过通信网络便能让所有参战成员了解整个战场我方单位的分布及相对位置,极大地方便了指挥员的决策和友邻部队的作战配合。导航所提供的统一准确的时间信息,是 C^3I 各组成部分协调高效工作的重要基础。有了导航提供的准确位置和时间信息,作战部队可以按指挥部的命令在准确的时间出现在准确的地点,从而使新型作战思想能够得以实施。导航还为各种机动平台提供位置和姿态信息,只有以它们为基础,比如预警机这样的传感器平台才能知道目标的真正位置,从而产生 C^3I 所需要的实时战场敌我态势。

3. 用于各种精确的定位,如海上陆上的布雷扫雷、空中扫雷、部队侦察、海上陆上救援、火炮及雷达阵地布列、快速测绘等。

4. 用于武器试验场的高速武器,如导弹及反导弹的跟踪和精确弹道测量、时统建立与维护、雷达威力及精度校验等,极大地提高效率和节约经费。

因此,导航已成为军事战斗力的组成部分,对军事作战将产生越来越重要的影响。

由于导航军事作用的增强,作为获取战场优势的导航战已提到日程上来,导航战已构成当代信息战的重要组成部分。

本书将在第一章介绍导航技术及其发展概貌;第二章着重介绍现在还在使用中的陆基无线电导航系统和其他一些出现较早的系统;从第三章开始,将对新导航混合体中的各种系统进行讨论,以期较为详尽地描述今天我们所处的这个导航技术变革时期的全貌。由于惯性导航的特殊性,将专辟一章集中论述。

全书由原电子工业部二十所编写。二十所是我国唯一从事无线电导航技术研究的大型专业骨干研究所,是我国海、陆、空无线电导航系统和海用火控雷达系统的研制和生产基地。书中论述的导航系统,几乎都有他们的优质产品在为国民经济和国防现代化服务,在导航领域享有崇高的信誉。

本书由于国强同志任主编,邱致和同志任副主编,负责全书写作的组织、结构安排与内容审阅。

参加各章编写的人员是:邱致和(第一章,导航技术概论);谢世富、吴灶顺、黄裕厚、姜琳、包武纬、古思尧(第二章,陆基无线电导航系统);徐刚、刘乾富、邱致和、夏同祥、叶自章(第三章,卫星导航系统);谢洪华、任思聪(第四章,惯性导航系统);谢洪华(第五章,组合导航系统);保谦、何建新(第六章,地形辅助导航);孟绍禹(第七章,飞机着陆系统);张尚海、刘烈武(第八章,联合战术信息分发系统);姜恩春(第九章,定位报告系统)。

除正副主编外,参加本书编审工作的还有郑德芳、谢世富和刘乾富同志。

此外,在本书编著过程中,丛书主编童志鹏院士出谋划策、精心指导;电科院邱荣钦副局长认真审阅、仔细校改;国防工业出版社王晓光编审,电科院张国敏同志对本书的编辑出版也付出了许多辛勤劳动;刘铭、许军为本书提供了封面设计图案,在此一并致谢。

本书的作者大多是长年从事相应系统研究的专家,书中的许多观点是他们工作经验的结晶,值得认真学习和借鉴。但由于参编人员较多,时间仓促,又涉及到许多高科技技术门类,疏漏或不妥之处在所难免,敬请读者不吝指正为谢!

作 者

目 录

第一章 导航技术概论	1
1.1 概述	1
1.1.1 导航的定义与作用	1
1.1.2 导航的基本功能是回答“我现在在哪里?”	2
1.1.3 导航与其他定位系统的关系	5
1.1.4 航行对无线电导航系统的要求	6
1.1.5 军事导航与民用导航	9
1.2 导航技术近代发展简史	10
1.2.1 陆基无线电导航系统	10
1.2.2 自主式导航	15
1.2.3 导航系统的发展	17
1.3 卫星导航及其作用	18
1.3.1 卫星导航的原理与现状	18
1.3.2 卫星导航在民用中的应用	22
1.3.3 卫星导航在军事中的应用	25
1.4 军事导航技术的发展	27
1.4.1 新时代军事作战对导航的要求	27
1.4.2 其他新型导航系统	29
参考文献	34
第二章 陆基无线电导航系统	35
2.1 概述	35
2.2 塔康系统	36
2.2.1 工作原理	36
2.2.2 系统的应用与技术指标	41
2.2.3 设备与应用技术	47
2.2.4 展望	50
2.3 伏尔系统	53
2.3.1 伏尔和多普勒伏尔的工作原理	53
2.3.2 系统的应用与技术指标	55
2.3.3 展望	57
2.4 测距器和精密测距器	57
2.4.1 工作原理	58
2.4.2 应用技术	62
2.4.3 设备概况	66
2.4.4 展望	69

2.5 其他航空无线电导航系统	69
2.5.1 高度表	69
2.5.2 多普勒导航仪	73
2.5.3 无线电罗盘与信标系统	81
2.6 罗兰—C 系统	84
2.6.1 工作原理	87
2.6.2 罗兰—C 设备	91
2.6.3 定位精度和覆盖区	95
2.6.4 系统应用的扩展	98
2.7 其他无线电导航系统	101
2.7.1 甚低频导航系统	101
2.7.2 台卡系统	105
第三章 卫星导航系统	108
3.1 概述	108
3.1.1 GPS 系统的定义	108
3.1.2 GPS 系统的构成	108
3.1.3 GPS 系统的特点	112
3.1.4 GPS 系统发展简史	113
3.2 GPS 系统的定位原理	114
3.2.1 如何描述卫星位置?	115
3.2.2 怎样得到卫星与用户之间的相对位置?	117
3.2.3 用户的位置是怎样得到的?	120
3.3 GPS 的信号结构和导航电文	121
3.3.1 GPS 的信号结构	121
3.3.2 GPS 的导航电文	126
3.3.3 GPS 的精度限制	128
3.4 精密时间同步	129
3.4.1 时间概念的形成	129
3.4.2 时间的计量及其计量标准的传递	130
3.4.3 时钟同步的方法及其发展	130
3.4.4 GPS 系统时间	131
3.4.5 GPS 卫星授时的基本原理	132
3.5 GPS 用户设备	132
3.5.1 GPS 接收机的基本组成	133
3.5.2 GPS 接收机的工作原理	134
3.5.3 GPS 接收机的主要技术指标	140
3.6 GPS 应用	141
3.6.1 GPS 的增强系统	141
3.6.2 GPS 与其他导航系统的组合	147
3.6.3 GPS 载波相位跟踪技术	147
3.6.4 GPS 的军事应用	150
3.6.5 GPS 在民用领域中的应用	156

3.7 美国的 GPS 政策	162
3.7.1 美国实施 SA 和 A-S 政策的背景	162
3.7.2 卫星导航技术与系统的国际发展对美国 GPS 政策的挑战	164
3.7.3 美国 GPS 民用政策的调整	165
3.7.4 美国 GPS 军用政策的调整	166
3.7.5 我国应重视对美国 GPS 政策的研究	166
3.8 GLONASS 卫星导航与定位系统	167
3.8.1 GLONASS 系统简介	167
3.8.2 GLONASS 系统的电文内容及格式	172
3.8.3 GLONASS 系统的空间信号和改频计划	175
3.8.4 GLONASS 系统的地面控制系统	176
3.8.5 GLONASS 系统的用户设备	176
3.8.6 俄罗斯联邦政府对 GLONASS 系统的政策	176
3.8.7 GLONASS 系统的差分和增强应用	177
3.8.8 GPS 系统与 GLONASS 系统的比较	177
3.8.9 GLONASS/GPS 兼容接收技术	178
3.9 INMARSAT 与 GPS 兼容技术	180
3.10 其他卫星导航定位系统	182
参考文献	183
第四章 惯性导航系统	184
4.1 概述	184
4.2 惯性导航系统的工作原理	184
4.2.1 地球自转速率的补偿	185
4.2.2 载体速率的补偿	186
4.2.3 哥氏加速度和向心加速度的补偿	186
4.3 陀螺	187
4.3.1 单自由度陀螺	188
4.3.2 双自由度陀螺	188
4.3.3 陀螺仪的发展	190
4.4 加速度计	191
4.4.1 振动加速度计	191
4.4.2 力再平衡加速度计	191
4.4.3 积分加速度计	192
4.5 平台式惯性导航系统	192
4.5.1 惯导的平台及其结构	192
4.5.2 平台式惯性导航系统的工作原理	193
4.5.3 平台式惯导系统的误差、初始对准与校准	198
4.6 捷联式惯性导航系统	200
4.6.1 数学平台与捷联式惯性导航系统	200
4.6.2 捷联式惯导系统的误差、初始对准	202
4.6.3 捷联式惯导系统与平台式惯导系统的比较	203
4.7 机载惯性导航系统	204

4.7.1 机载惯性导航系统的特点与要求	204
4.7.2 机载惯性导航系统的基本配置	205
4.7.3 国内外航空惯导系统的发展	206
第五章 组合导航系统	207
5.1 概述	207
5.2 组合导航技术	207
5.3 组合导航系统	208
5.3.1 GPS/惯导组合导航系统	208
5.3.2 GPS/多普勒导航雷达组合系统	213
5.3.3 GPS/罗兰—C 组合系统	215
5.3.4 惯性/天文组合系统	216
5.3.5 惯性/多普勒导航雷达组合系统	217
5.3.6 多传感器组合导航系统	218
5.4 组合导航系统的应用	220
参考文献	221
第六章 地形辅助导航系统	222
6.1 概述	222
6.1.1 地形辅助导航技术的发展背景	222
6.1.2 地形辅助导航技术的应用	223
6.2 地形辅助导航系统的类型	223
6.2.1 利用地形高度数据的地形匹配系统	223
6.2.2 景象匹配地形辅助导航系统	224
6.2.3 地形辅助导航的两种常用方法	224
6.3 地形辅助导航系统的关键技术	229
6.3.1 数字地图	229
6.3.2 存储技术	230
6.3.3 地形随机化线性技术	231
6.3.4 多模卡尔曼滤波技术	232
6.3.5 数字相关器	232
6.4 地形辅助导航系统的国外发展与装备概况	233
6.4.1 巡航导弹	233
6.4.2 飞机	234
6.4.3 潜艇	235
6.5 地形辅助导航系统的新进展	235
6.5.1 惯性/合成孔径雷达组合导航系统	236
6.5.2 ISS——一种联合地形参考导航系统	237
第七章 飞机着陆系统	239
7.1 概述	239
7.1.1 从目视着陆到仪表着陆	239
7.1.2 仪表着陆系统统治世界的 50 年	240
7.1.3 战争推动了雷达着陆系统的产生和发展	242

7.1.4 新一代飞机着陆系统——微波着陆系统	243
7.1.5 GPS 星基着陆系统向陆基着陆系统的挑战	246
7.1.6 探索中的其他着陆系统	248
7.2 仪表着陆系统	248
7.2.1 工作原理	248
7.2.2 航向台的组成及作用	251
7.2.3 下滑台的组成及作用	252
7.2.4 仪表着陆系统的性能要求	254
7.2.5 航向下滑的场地标准	254
7.3 雷达着陆系统	256
7.3.1 雷达测距、测角原理	256
7.3.2 着陆雷达工作原理	257
7.3.3 着陆雷达的主要性能	259
7.3.4 着陆雷达的安装和使用	260
7.3.5 雷达着陆的缺点	261
7.4 微波着陆系统	261
7.4.1 测角和测距原理	262
7.4.2 微波着陆系统地面设备	264
7.4.3 微波着陆系统机载设备	268
7.4.4 精密测距设备	271
7.4.5 微波着陆系统信号格式	272
7.4.6 微波着陆系统在机场的配置和使用	274
7.5 差分 GPS 着陆系统	276
7.5.1 基本的差分 GPS 着陆系统	277
7.5.2 差分 GPS 着陆系统研究的最新进展	277
7.5.3 多模式接收机	281
7.6 探索中的新着陆系统	282
7.6.1 自动精密引进着陆系统	283
7.6.2 多传感器前视探测器原理	284
第八章 联合战术信息分发系统	285
8.1 概述	285
8.1.1 系统由来	285
8.1.2 系统特点	286
8.2 系统时分多址通信工作原理	287
8.2.1 系统工作网	287
8.2.2 系统时划分	288
8.2.3 发射消息的构成及类型	288
8.2.4 扩频和跳时	290
8.2.5 系统工作网及网管理	292
8.2.6 同步过程及信息检测	293
8.3 系统相对导航工作原理	294
8.3.1 系统相对导航体系结构	295