

新世纪理工系列教材

通信对抗应用技术

主编 郭黎利 孙志国

NEW CENTURY

哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

新世纪理工系列教材

通信对抗应用技术

主 编 郭黎利 孙志国

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书从军事通信系统及通信对抗的基本概念出发,主要介绍了军事通信对抗系统的原理、系统构成、应用领域,以及现在的对抗技术和其发展趋势。全书共分7章,在第1章和第2章中,着重介绍了军事通信对抗系统、军事通信系统的基本组成和基本原理;第3章、第4章和第5章着重介绍了通信对抗系统的三大组成部分——通信侦察子系统、通信干扰子系统和通信抗干扰子系统及其各自应用的相关技术;第6章介绍了通信干扰效能监测与评估技术;第7章介绍了通信对抗系统和通信对抗技术发展的趋势。

本书可作为通信工程、电子信息工程和电子对抗工程专业及相关专业高年级本科生或研究生的教科书,也可以作为相关领域工程技术人员继续教育或深造的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

通信对抗应用技术/郭黎利,孙志国主编.—哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2007

ISBN 978-7-81073-614-5

I.通… II.①郭…②孙… III.军用通信-通信对抗 IV.①E96②TN975

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 085577 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂
开 本 787mm×960mm 1/16
印 张 8.75
字 数 175 千字
版 次 2007 年 10 月第 2 版
印 次 2007 年 10 月第 2 次印刷
定 价 18.00 元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

在现代战争中,战争机器是靠军事通信系统连接而成为一个有机整体的,情报的收集与分发、指控指令的下达都离不开安全可靠的通信手段的支持。战争对通信的高度依赖性决定了通信对抗应能发挥巨大的作战效能,因此,研究矛盾双方的技术现状及发展趋势具有重要意义。近年来,在通信对抗系统模式和相关技术领域研究已经取得丰硕的成果。但是,因通信对抗涵盖的相关领域太多、内容过于繁杂,以致适合本科生或研究生教学和培养专业技术人员的教科书甚少。本书编写的宗旨是为本科生编写一部较为全面、通俗的介绍通信对抗原理及相关技术的教材。

本书以介绍军事通信对抗系统的组成及工作原理为基础,着重介绍了通信对抗系统的三大组成部分,即通信侦察系统、通信干扰系统和通信抗干扰系统的系统构成及其相关技术,并对通信对抗系统的干扰效能,以及通信对抗系统和对抗技术的发展趋势进行了详尽的论述。

本书共7章,第1、2、6、7章由郭黎利编写,第3、4、5章由孙志国编写。

在本书的编写过程中,博士生孙甲琦同志在资料收集、部分内容的整理和加工方面提供了支持和帮助。同时,感谢所有为本书的编写给予支持和帮助的同行人和朋友。

由于编者水平有限,时间紧、资料少,书中难免有缺点和不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 通信对抗的基本概念	1
1.2 通信对抗技术的应用领域	2
第 2 章 军事通信系统的基本组成及基本原理	5
2.1 军事通信的基本业务	5
2.2 基本的无线传输方式及信道特征	10
第 3 章 通信侦察技术	26
3.1 通信侦察技术概述	26
3.2 测向系统的组成	27
3.3 无线电测向的方法及理论	29
3.4 无线电测向系统的天线元简介	34
3.5 无线电发射台的定位	41
3.6 扩频通信系统的测向技术	45
3.7 通信信号频率测定技术	48
第 4 章 通信干扰技术	58
4.1 通信干扰的特点与用途	58
4.2 通信干扰的分类	59
4.3 通信干扰系统的组成和工作原理	65
4.4 通信干扰的关键技术	78
第 5 章 抗干扰通信技术	89
5.1 扩频通信技术	89
5.2 自适应抗干扰技术	98
5.3 卫星通信的抗干扰和抗摧毁	99
第 6 章 通信干扰技术效能检测与评估准则	105
6.1 评估准则的一般特性	105
6.2 通信干扰效能检测与评估准则	106
6.3 通信干扰效能检测与评估方法	117
第 7 章 通信对抗的发展趋势	123
7.1 通信对抗的技术水平	123
7.2 通信对抗的发展趋势	125
参考文献	130

第 1 章 概 述

1.1 通信对抗的基本概念

1.1.1 通信对抗的概念

无线电通信对抗就是为削弱、破坏敌方无线电通信系统的使用效能并保护己方无线电系统使用效能的正常发挥所采取的措施和行为的总和,简称通信对抗。

通信对抗是电子战的重要分支,通信对抗的实质是敌对双方在无线电通信领域内为争取无线电频谱的控制权而展开的电波斗争。无线电通信对抗存在的主要前提是无线电通信是以电磁波辐射的形式进行的,具有空间开放性;发送的信号被己方接收的同时,难以避免被敌方侦察到;在接收己方通信信号时也不能避免敌方干扰信号的侵入。

1.1.2 通信对抗技术体系

从技术的角度来看,一个完整的通信对抗系统应该由通信(反)侦察系统、通信测向系统、通信(抗)干扰及控制系统组成。系统控制与通信侦察、测向、干扰三者是密切相关的,而且三者的配置有时是分散在不同地方的,其中保证各子系统之间联系并协调工作的系统控制是必不可少的环节。

1. 通信侦察系统

通信侦察是获取军事、外交情报的一种方式,即用无线电侦察设备对敌方的无线电通信设备所发射的信号进行搜索、检测、识别、定位、分析及破译,以获取各种情报供有关部门使用,并且根据上述的侦察内容对敌人的活动情况提出报告。因此,通信侦察历来被各国军事通信和情报部门所重视,是通信对抗系统的重要组成部分。

无线电通信侦察按完成任务的性质也可以分为情报侦察和技术侦察两种。在电子战领域中,又将无线电通信侦察称为通信电子支援。

无线电通信技术侦察主要是详细查明敌方无线电通信设施的技术性能,如通信体制、工作频率、调制方式、信号频宽等。在和平时期,通信技术侦察为研制通信干扰设备提供了设定系统技术参数的依据,在战时,它能引导通信干扰机有效地施放干扰。

无线电通信情报侦察的主要任务是侦听敌方各种通信、指挥联络信号,并将敌人传递的信息、密码和暗语记录下来,加以分析和破译,以获取军事情报。此外,情报侦察还担负查明敌方



无线电通信设备的型号、用途、数量、配置地点和变动情况等任务,从而间接地获取敌军的配置、编制及行动企图等重要军事情报。

一般来说,无线电通信情报侦察是以无线电通信技术侦察为技术支撑的。

2. 通信反侦察系统

通信反侦察系统的主要任务是采用各种措施,保障己方无线电信号不被敌方侦察出来。有时把通信反侦察称作“通信保密”或“保密通信”,其实“通信保密”或“保密通信”只是通信反侦察的一种实施手段。扩频通信和猝发通信由于其良好的通信隐蔽性与保密性,而成为主要的抗侦察通信模式。

3. 通信测向系统

通信测向系统在通信侦察的基础上,对感兴趣的通信辐射源进行测向与定位,从而使侦察的数据除了频率和时间属性外,加上地理位置信息而形成一个完整的文件。

4. 通信干扰系统

通信干扰系统应用无线电干扰设备发出干扰电磁波来扰乱敌方无线电通信系统的正常工作,使其完全失效或降低其工作性能。

通信干扰有自然干扰和人为干扰两类。因为我们考虑的是通信对抗,所以着重研究的是人为干扰,人为干扰是为了破坏敌方通信,有意识施放的干扰。对付敌人的通信系统,除了用火力直接摧毁的手段之外,主要依靠干扰/破坏敌方的正常通信,使敌方的指挥系统瘫痪,以掩护我军的战役或战略行动。

通信干扰不同于雷达干扰,在目前它还只能采用积极办法,不像对雷达的干扰那样进行消极干扰。因而通信干扰又称为积极的通信干扰。

5. 通信抗干扰系统

通信抗干扰也称通信反干扰,即采用各种措施使自己的无线电通信在复杂的电磁环境中仍能正常地进行工作。

可见,作为电子战的主要内容,无线电通信对抗主要应用于信息传输领域,而雷达对抗则主要应用于辐射源和运动物体的探测领域上。

1.2 通信对抗技术的应用领域

军事通信系统要在复杂的战地电磁环境下进行有效地通信,应该具有通信对抗的能力,即具备军事通信(抗)干扰、军事通信(反)侦察及通信测向功能。所以通信对抗技术在军事通信中扮演重要的角色,通信对抗在军事通信领域的应用主要有以下几方面。

1.2.1 军事通信情报侦察

通过对敌方无线电通信的侦察,可以了解敌方的兵力部署、作战意图、通信网的组成和位



置、敌方通信信号的技术参数(载频、带宽、调制方式、信号属性等),为作战指挥员制定作战计划提供依据。军事通信情报侦察主要是通过地面侦察、水面舰艇侦察、空中飞机侦察以及卫星侦察等手段来完成。

1.2.2 引导软硬杀伤武器对敌方通信系统进行压制和摧毁

通过对敌方的无线电通信进行通信侦察并对敌情进行分析,可以充分掌握敌方各级通信电台的频率、信号属性、机器位置等情况。一旦战争需要,可向软硬杀伤武器提供攻击目标的信息,以便利用通信干扰设备对敌方各级指挥系统进行软硬杀伤或利用各种火力兵器对敌方通信设施进行摧毁。

1.2.3 对敌方预警机的数据通信链路进行干扰

在现代战争中,敌方空中预警机的远程探测及空中指挥功能对我方的军事威胁非常大。为了削弱敌方空中预警机的功能,除了对预警机雷达进行干扰外,还可以对其通信链路进行干扰,以破坏其情报信息的传输和指挥通信的畅通。预警机的通信链路对预警机功能的发挥至关重要,一般的预警机的通信链路都具有极强的抗干扰功能,所以对预警机的通信链路的侦察与干扰也是十分困难的。

1.2.4 对敌方防空雷达网的数据链路进行干扰

在己方作战机群对敌方进行攻击任务时,可能遇到敌方火力网的拦截。此时除了应用己方雷达对敌方雷达的工作进行压制外,还要对敌方防空雷达网的数据通信链路进行干扰,这样才能达到更好的破坏效果。因为防空雷达对我方飞机的威胁并不在雷达本身,而在于雷达情报传递到作战指挥部后,引导防空武器对己方飞机进行攻击。因此,只要使雷达数据通信线路失灵,敌方指挥部门得不到情报,其防空武器就无用武之地了。

1.2.5 对敌地 - 空指挥通信和空 - 空通信进行干扰

在敌方歼击机拦截作战中,作战机群如果脱离了地面指挥和空中的通信联络就会极大地降低其作战能力,所以对敌方地 - 空指挥系统和空 - 空通信系统进行有效的干扰,是空战中一种有效的作战手段,可以大大削弱敌机群的战斗力,从而减少我方作战飞机的损失。

1.2.6 作为潜艇的自卫武器

潜艇是现代海上作战中最具威力的作战舰艇,可以对大型水面舰艇(如航空母舰、导弹驱逐舰等)构成很大的威胁。长期潜伏的潜艇更是一种十分隐蔽的战略洲际导弹的发射平台,对潜在的敌国构成极大的战略威胁。因此潜艇的活动轨迹,是被各国普遍关注的问题,其中一种叫做航空探潜技术,即探潜飞机向感兴趣的水域投下声纳浮标,这些浮标探测到潜艇后,通过



数据链路向探潜飞机发送情报,多个浮标的探测信息可以对潜艇进行定位,从而对潜艇的生存构成威胁。为了破坏这种探潜方法,除了潜艇本身尽量采用反侦察技术外,还可以用通信对抗手段实行自卫。具体方法是潜艇向感兴趣的水域放出一批通信对抗浮标,这种浮标专门侦察声纳浮标的数据通信链路,一旦发现它们开始发送信息,即刻施放干扰予以抑制,使探潜飞机得不到确切的信息,从而达到保护己方潜艇的目的。

1.2.7 对敌方广播通信进行干扰

战争期间,在必要时要对敌方广播通信进行干扰与欺骗,扰乱敌方军民的情绪,这也是通信对抗的一个很有意义的应用领域。

1.2.8 制造反通信侦察的干扰屏障,保护己方通信

通信对抗除了干扰敌方通信外,还要用于保护己方通信的安全,不让敌方侦察到。其方法是在距离敌方通信侦察站较近而距离我方较远的地方,用定向天线向敌方发射宽带噪声,频带宽度基本覆盖己方通信使用的频率范围,从而组成一个干扰屏障,使敌方的侦察站接收到的只是我方通信频段内的噪声,而我方通信信号完全淹没在噪声中。这种方法在战争的关键时刻才能使用。

1.2.9 配合防空雷达对入侵敌机进行航迹探测

当大规模的敌方机群入侵时,如果我方防空雷达网受到干扰而不能担负指挥作用时,无源探测网络仍然可以完成对敌机机群的探测,对通信信号进行测向与定位是无源探测的一个重要方面。

通信对抗技术也可以应用于非军事领域,主要是无线电监视。即国家无线电管理委员会负责无线电通信频率的使用和分配,并对实施情况进行监视。无线电安全监视是国家安全部门为了国家的安全需要不间断地对境内外敌对电台进行监视。

随着现代战争对战地信息的依赖性越来越强,己方军事通信系统的正常运行和对敌方通信系统的干扰、破坏显得越来越重要,通信对抗也逐步成为现代战争一个重要的领域。

本书在后面几章中,重点阐述了军事通信对抗系统几个主要的组成部分及其相关的技术。

第2章 军事通信系统的基本组成及基本原理

2.1 军事通信的基本业务

空军、海军和陆军是军事力量的主要组成部分,三者的通信系统都具有军事通信系统的共性,但是各军种不同的作战环境和作战形式决定了其通信系统各自的工作特征和模式。下面介绍具有鲜明特征的空军和海军通信系统的构成及特点。

2.1.1 空军通信

1. 空军通信的概念和分类

空军通信系统既有军事通信的共性,又有与陆军通信和海军通信不同的特征。

空军通信根据通信双方的位置的不同,可以分为:地-空通信、海-空通信、空-空通信、地-地通信,其中地-空通信是最能体现空军通信特点的,而以飞机为平台的机载通信是地-空通信的核心部分。

地-空通信(航空通信)、空-空通信包括地面和飞机之间的通信以及飞机之间的通信,是对飞机进行指挥和引导的主要手段,也是飞机作战、训练时基本的通信方式。地-空通信和空-空通信主要使用甚高频(VHF)和特高频(UHF)频段,属于视距通信,通信距离一般在350 km之内。对于超视距远程作战飞机、直升机、低空突防的飞机也使用短波通信。预警飞机、空中指挥飞机等大型飞机还装备卫星通信设备。

地-地通信(平面通信)是空军地面指挥机构、部队之间及与中央指挥系统和其他军兵种之间进行的通信,其通信手段主要包括卫星通信、散射通信、短波通信和有线通信等。

空军通信按作战目标又可以分为:航空战略通信和航空战术通信。航空战略通信主要是与远距离作战飞机进行通信,主要应用远距离通信手段(卫星通信、短波通信),通信距离可达上千千米;航空战术通信主要是指视距通信。

空军通信按信息内容可以分为:语音通信和数据通信。目前对飞机实施指挥和引导主要以语音通信为主,数据通信为辅。随着飞机作战对数据信息需求的增加,数据通信必将处于越来越重要的地位。

2. 空军通信系统的组成

空军通信系统的组成如图2-1所示。从功能上,空军通信系统可以分为:平面通信系统、地-空通信系统和空中管制系统。

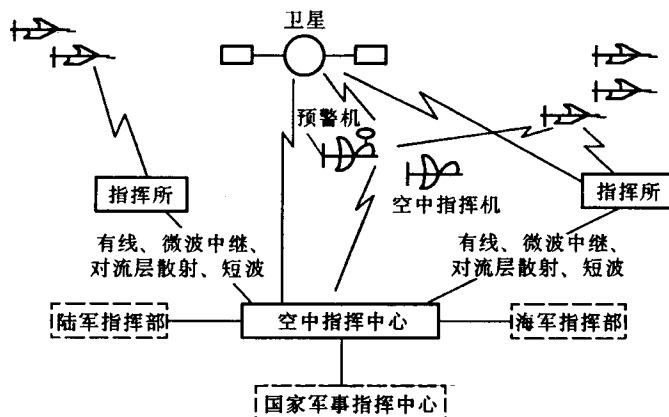


图 2-1 空军通信系统 2 MHz ~ 400 MHz 示意图

(1) 平面通信系统

平面通信系统用于保障在大范围内的各级空军部队之间的军事通信。情报信息的传输、指挥命令的下达主要依赖平面系统。平面通信系统通常由以下装备实现：空军卫星通信系统、对流层散射通信系统、短波通信系统和有线通信系统等。

(2) 地 - 空通信系统

最能反映空军通信特点的是地 - 空通信。地 - 空通信又包括：地 - 空远程通信和地 - 空近程通信。地 - 空近程通信是视距通信，又称地 - 空战术通信。地 - 空战术通信系统是保障空军作战、训练的主要通信系统，是空军装备数量最大和使用最广的通信系统。

空军地 - 空通信系统的组成如图 2-2 所示。它一般包括下列通信设施：机载通信电台、机载数据传输电台、机场塔台通信电台、各级指挥所对空指挥用通信电台、各级指挥所对空数据引导用电台、各种海军舰艇对空协同用通信电台、地面定向通信电台、着陆雷达引导用通信电台、空降兵引导组用通信电台、与陆军协同用通信电台和飞行员救生用通信电台等。

空军地 - 空通信的特点如下：

① 工作频带宽 (2 MHz ~ 400 MHz)。空军常用的频段为 108 MHz ~ 156 MHz 和 225 MHz ~ 400 MHz。为了解决强击机和远程轰炸机的超视距通信的问题，需要装备 2 MHz ~ 30 MHz 的短波电台；考虑到与陆军、海军协同通信的需要，还要装备工作在 30 MHz ~ 88 MHz 以及 156 MHz ~ 175 MHz 频段的电台。

② 以话音通信为主，数据引导为辅。但是数据引导的作用越来越重要。

③ 采用半双工工作方式，收 / 发同频并且组网工作。在地 - 空通信网中有大量的机载电台

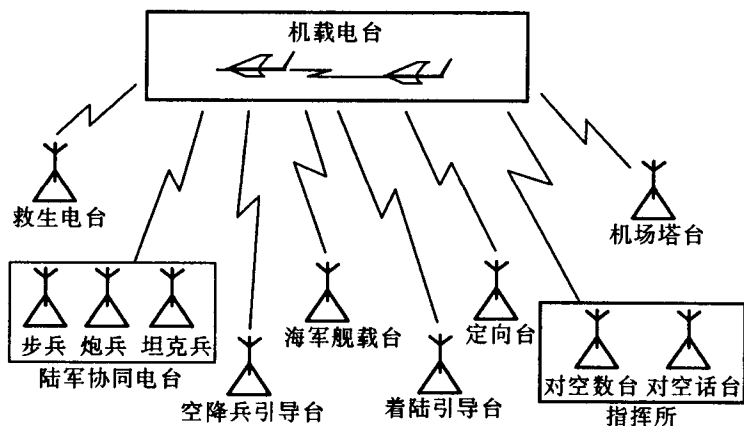


图 2-2 空军地 - 空通信系统示意图

和地面电台参加,任何一部电台发射,网络中其余所有电台均可以接收。参加空 - 地战术通信网的电台可以随时入网。

④ 为了保证飞机在复杂恶劣和高机动的环境下进行高效通信,要求机载通信设备体积小、质量轻、可靠性高。

⑤ 为实现防空作战指挥系统的自动化和同时引导多个作战飞机去拦截多目标,目前对空指挥采用数据传输和显示引导。

(3) 空中交通管制系统

为了保证空中飞机活动能安全可靠、高效地进行,必须对空域以及空域中的飞机交通情况实施严格的控制。一般的做法是:国家有一个全国性的空域管理系统,负责保障国家的全部航路和飞行业务。在某些特定的空域中,或在某些特定的军用航线内的空中交通管理系统,则由军方管理和控制。

空中交通管制中心对空中态势的了解和对飞机的控制,完全依靠通信系统为其传输有关的飞行计划、飞行活动和气象等信息。飞机利用所装备的 VHF/UHF 电台及航管(航空管理)应答机接收地面空中交通管制中心的管理和控制信息,以避免因飞机相撞或其他自然灾害所造成的空中交通事故。

3. 空军通信系统的抗干扰和保密

为了提高地 - 空通信系统的抗干扰能力,应该加强通信联系的组织工作并采用战术措施,还要在通信设施上采用如下技术措施:自适应调零天线、扩频通信技术和纠错编码技术等。

空军通信一般要求语音可懂度在 90% 以上,其信噪比要求在 10 dB 以上;数据通信误码率要求根据使用场合不同而不同,一般在 $10^{-5} \sim 10^{-7}$ 之间。使用纠错编码技术可以改善通信的误



码率。

地 - 空通信系统的抗干扰容限要求根据空战中敌方可能实施的干扰强度来确定。从未来电子对抗的环境来考虑,并结合技术实现的可能性和造价等因素,目前对地 - 空通信系统抗干扰容限的要求不能低于 18 dB。

对地 - 空通信系统的机载通信设备和地面通信设备都装备保密机,对传输的话音和数据加密,实现保密通信。

2.1.2 海军通信

海军通信必须具备足够完成一些远、中、近距离通信的能力,为一些岸上、空中、海上和水下提供足够多的、性能稳定可靠的通信线路,并拥有能够抵抗一些恶劣复杂环境的通信方式和手段,要求拥有能够抵御较强电磁干扰和破坏的先进通信技术。同时为了能够保证与各军、兵种协同作战,还要求海军通信系统有很强的兼容性和互联互通能力。这表明海军通信系统具有复杂性和多样性的特点。

海军通信的组成规模、编配方式和功能特征等各国不完全相同。下面仅以最复杂的进攻型海军的通信为例介绍海军通信的体系结构,如表 2 - 1、表 2 - 2 和图 2 - 3 所示。

表 2 - 1 当前海军使用的各种通信方式和手段

海 军 通 信	有线通信	岸上通信	对称电缆 明线载波 光缆(地下,水下,海底) 同轴电缆(地下,水下,海底)
		舰内通信	同轴电缆 光缆 音频电缆 电力电话(不用电)
	无线通信	岸上通信	卫星通信 微波中继通信 散射通信 地下通信 流星余迹通信 超短波视距通信 短波通信 中波通信 长波对潜通信 激光对潜通信
		舰艇通信	卫星通信 超短波视距通信 短波通信 长波对潜通信 中波通信 激光对潜通信 水声通信 水蒸气通道通信
	其他通信	灯光 舰语 传声筒(舰内)	



表 2-2 当前海军通信主要使用的无线通信频率及工作模式

频段名称	频率范围	工作方式	用 途
VLF	3 kHz ~ 30 kHz	电报	岸对潜通信 岸对舰通信
LF	30 kHz ~ 300 kHz	电报,电传	岸对舰通信 气象通信
MF	405 kHz ~ 535 kHz	电报	潜对岸通信 舰对岸通信 舰对舰通信 应急通信 国际海事通信
MF/HF	1.6 MHz ~ 4.0 MHz	数据,语音	舰对岸通信
		电传,电报	舰对舰战术通信
		语音,电报	国际海事通信
HF	4 MHz ~ 28 MHz	数据,语音	潜对岸通信 舰对岸通信
		电传,数据,电报	舰对舰战术通信
		传真	气象通信
		电传,电报	岸对舰通信
VHF	100 MHz ~ 156 MHz	调幅话	舰对机通信
	156 MHz ~ 174 MHz	调频话	舰对舰通信 舰对岸通信 港口作业
UHF	225 MHz ~ 400 MHz	电传,数据,语音	舰对舰战术通信 舰对机战术通信
		电传,语音	卫星对潜通信 舰对岸通信
		电传,电报	卫星对舰通信
SHF	7 GHz ~ 8 GHz	电传,语音	岸对舰卫星通信

海军通信系统包括两大部分,即岸基通信和海上通信。岸基通信包括海军各级作战指挥部门、岸上各作战平台及与国家、三军联合指挥中心和和其他有关部门的通信,同时还包括对海上各种作战平台以及驻外部队通信的岸上部分。海上通信包括了舰艇通信、航母通信和潜艇通信等。

从服务对象而言,海军通信既有利于国家安全的战略通信,又有利于局部地区军事冲突的战役、战术通信。所使用的通信手段大体上分为三类:有线通信、无线通信和其他通信方式。有线通信通常都用于舰艇内部和岸上,无线通信方式则在海军作战平台上普遍使用,尤其是在舰艇外部及编队间通信中,除了使用能力极为有限的灯光和旗语以外,只能依靠无线通信。目前,各国海军使用较多的通信频段有 HF、VHF/UHF、SHF、极高频(EHF)、LF 和 VLF 等。当前,许多国家海军通信系统都在进一步向网络化、系统化方向发展。这些综合性通信网络能提供作战指挥、协同、情报、警报、娱乐、广播以及火控等多种功能。从作战系统整体考虑,不仅在使用上具有了灵活方便的优点,而且其抗摧毁能力也有了很大提高,从而使海军无论在平时还是在战争中,其战场整体通信保障能力都获得了较大提高。海军通信网大体可分为远程岸舰通信网及舰队编队战术通信网(美海军还有专用的潜艇卫星通信网)。随着国际形势的发展和战略战

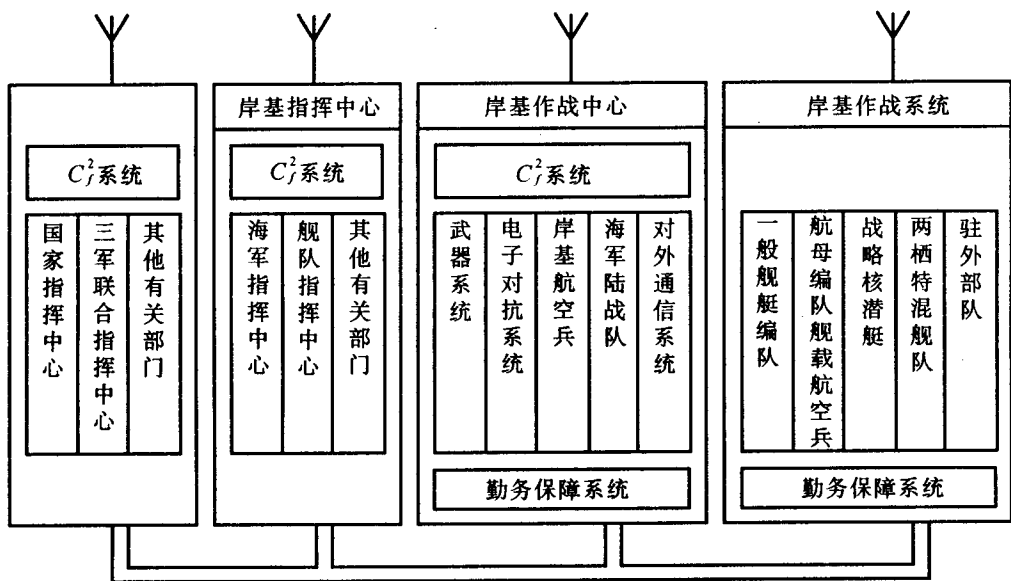


图 2-3 进攻型海军通信体系结构

术的变化,这些网络还将向综合化、一体化的方向发展。

2.2 基本的无线传输方式及信道特征

根据军事通信的特点可知,无线通信是军事通信的主要实现手段。无线通信信道是指以自由空间为传输介质的狭义信道,而不是包括收、发信机在内信息传输通道的广义信道。

在现代通信系统中,用于无线传输的频率可粗略地划分为短波(2 MHz ~ 30 MHz)、超短波(100 MHz ~ 1 000 MHz)和微波(1 000 MHz 以上)波段。对于不同频率和不同传播方式的无线通信信道,通信信号要受到自由空间损耗、信道噪声和人为干扰、多径传输、多普勒频移以及信道传输延时的影响,这将在以下各小节中分别讨论。

2.2.1 在无线信道中信号的衰减

1. 自由空间传输损耗

自由空间传输损耗定义为天线(发、收天线)为无方向性时,发射功率与接收功率之比。

当电波传播距离为 d 时,发射功率扩散在以 d 为半径的球面的功率密度是均匀的,其电场

强度 $E_0 = \frac{\sqrt{30P_T}}{d}$ (V/m), P_T 为发射功率;单位面积电波功率密度 $S = \frac{G_T P_T}{4\pi d^2}$, G_T 为发射天线增



益;接收天线获取的电波功率等于该点电波功率密度和接收天线有效面积的乘积,即 $P_R = S \cdot$

A_R , A_R 为接收天线有效面积, G_R 为接收天线增益;则 $P_R = P_T \cdot G_T \cdot G_R \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2$ 。

若天线增益为 0 dB, 即当 $G_T = G_R = 1$ 时, $P_R = P_T \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2$ 。

根据自由空间传播损耗 L_f 可定义为: $L_f = \frac{P_T}{P_R} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$, 以 dB 为单位可得

$$[L_f]_{(\text{dB})} = 10\lg\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2_{(\text{dB})} = 20\lg\frac{4\pi d}{\lambda} = 32.44 + 20\lg d_{(\text{km})} + 20\lg f_{(\text{MHz})} \quad (2-1)$$

由上式可见,自由空间电波传输损耗只与工作频率 f 和传输距离 d 有关。

2. 多径传播

自由空间电波传输损耗只计算无线电波在直射的情况下的传输损耗。但是通信信号在无线信道的传播过程中,由于传播介质是开放性的自由空间,存在于传播途径中的介质(电离层和对流层等)及障碍物(如地面建筑物、树木和山丘等)将改变信号的传输特性。这可能使信号在传输过程中会沿着不同路径从发端到达收端,形成所谓多径传播,这类信道称为多径信道。虽然各种信道形成多径传输的机理有所不同,但短波信道、超短波移动通信信道、散射信道和卫星移动信道都是典型的多径信道。

在多径信道中,接收端的信号是由来自不同路径的信号分量叠加而成,如公式(2-2)所示。

$$R(t) = \sum_i^n \mu_i(t) \cos \omega_0 [t - \tau_i(t)] = \sum_i^n \mu_i(t) \cos [\omega_0 t + \varphi_i(t)] \quad (2-2)$$

式中 $\mu_i(t)$ ——第 i 条路径接收信号的幅度;

$\tau_i(t)$ ——第 i 条路径接收信号的时延;

$\varphi_i(t) = -\omega_0 \tau_i(t)$ 。

由于 $\mu_i(t)$ 、 $\tau_i(t)$ 相对于 ω_0 为缓慢变化,公式(2-2)可表示成

$$\begin{aligned} R(t) &= \sum_i^n \mu_i(t) \cos \varphi_i \cos \omega_0 t - \sum_i^n \mu_i(t) \sin \varphi_i \sin \omega_0 t \\ &= X_c(t) \cos \omega_0 t - X_s(t) \sin \omega_0 t \\ &= V(t) \cos [\omega_0 t + \varphi(t)] \end{aligned} \quad (2-3)$$

式中 $X_c(t) = \sum_i^n \mu_i(t) \cos \varphi_i$;

$X_s(t) = \sum_i^n \mu_i(t) \sin \varphi_i$;

$V(t) = \sqrt{X_c^2(t) + X_s^2(t)}$;



$$\varphi(t) = \arctan\left(\frac{X_c(t)}{X_s(t)}\right)。$$

多径传输的结果使确定的载波信号 $A\cos\omega_0 t$ 成为包络和相位受调制的窄带信号,如图 2-4 所示,并在频谱上引起了频率的弥散。多径传输还可能引起选择性衰落,包括时间选择性衰落、频率选择性衰落和空间选择性衰落。

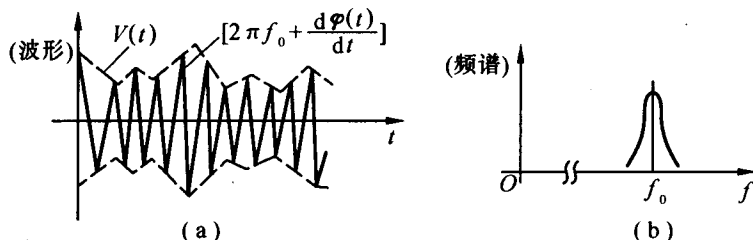


图 2-4 多径传输信号衰落示意图

3. 信道噪声和干扰

噪声是指接收机内部热噪声,而干扰是来自外部的自然和(非故意)人为干扰。

热噪声是由导体内带电粒子的随机热运动而产生的,只要它的环境温度不是绝对零度 ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$),这种随机运动就存在,从而形成噪声。噪声随机起伏幅度的概率分布为高斯分布,而功率谱密度(沿频率轴的分布)为常数,即在任何频率位置上具有相同频率间隔内的噪声功率都相等。这与可见光的白光由各种波长的有色光组成的情况类似,所以称具有所有频率分量的噪声为白噪声,这种普遍存在于通信系统的热噪声又称为高斯白噪声。通信系统中,信号经过信道传输后,进入接收机时已十分微弱,成为系统中最易受到噪声干扰的薄弱点。因此,在进行系统性能分析时,通常将等效噪声源置于信道输出端与接收机输入端之间,并认为噪声是信道引入的。

由于无线信道传输介质为自由空间,信道也将引入各类干扰,其中大气(雷电等)干扰和人为干扰(工业干扰、汽车干扰等)为主要的干扰,主要存在于短波、VHF 和 UHF 的超短波频段的系统。人为干扰主要分为窄带干扰和宽带干扰两种。除上述外部干扰以外,系统内还存在邻道(多址)干扰、交调干扰以及系统间干扰等。

噪声和干扰将使系统传输质量恶化、信噪比下降和传送的信息码元错误概率增加。

4. 多普勒频移

在战术通信系统中,通信终端往往是作战的小分队或单兵(或战车、飞机),实战要求在运动过程中通信不中断。而相对运动的收、发信机之间通信时,接收信号的频率将有别于发送信号的频率,即产生了所谓多普勒频移 f_d 。