

The Problems of Marine Metric Wave Communication and Its Solution

Qing-Hua Wu^{1,2}, Zi-Wei Zheng¹

1. Information science and technology school, Dalian Maritime University, Dalian, CHINA

2. Dept. of information and communication engineering, Dalian Naval Academy, Dalian, CHINA

1. e-mail wqhaaa76@163.com

Abstract: For security and reliability of information transmission, this paper studied marine metric wave communication. The paper analyzed the main problems of marine metric wave communication and their influence, including atmospheric refraction, especially atmospheric duct, and its influence on electromagnetic wave propagation and electronic system effective distance, interference and its influence on communication quality, omnidirectional antenna and its influence on anti-jamming ability of communication systems. The feasibility of applying adaptive antenna array technology and equilibrium technology to a marine metric wave communication system was also studied. The conclusion is that the information transmission security of marine metric wave communication systems can be enhanced when adaptive antenna array technology is applied, and the reliability can also be enhanced when equilibrium technology is applied.

Keywords: formation communication; atmospheric duct; interference; adaptive antenna array; equilibrium

海上超短波通信中的问题分析及对策研究

吴清华^{1,2}, 郑紫微¹

1. 大连海事大学信息科学技术学院, 大连, 中国, 116026

2. 海军大连舰艇学院信息与通信工程系, 大连, 中国, 116018

1. E-mail wqhaaa76@163.com

【摘要】基于提高信息传输的安全性和可靠性,对海上超短波视距通信进行了研究。分析了海上超短波通信中存在的主要问题及其影响,包括大气折射现象尤其是大气波导现象对电波有效传播距离及电子系统作用距离的影响、干涉现象对通信质量的影响以及全向天线对系统通信抗干扰能力的影响;研究了在海上超短波通信系统中采用自适应天线阵列技术和均衡技术的可行性。得到的结论是对于海上超短波通信系统而言,自适应天线阵列技术可提高信息传输的安全性;均衡技术可提高信息传输的可靠性。

【关键词】编队通信; 大气波导; 干涉; 自适应天线阵列; 均衡

1 引言

随着以信息化为标志的新军事变革的到来,战争形态、作战样式、作战手段都发生了巨大而深刻的变化,信息化条件下局部战争已经或正在成为现代战争的主要样式。

在信息化战争中,谁能取得制信息权,谁就能掌握战争的主动权。信息的获取、传输及处理成为决定战争成败的关键因素。如何保证可靠、有效、安全地传输信息成为一个重要研究课题。

在海上编队联合作战行动中,编队及编队内部之

间的信息传输可以实现传感器信息共享,从而达到增加传感器作用距离、提高战场态势透明程度及为指挥员做出正确决策提供依据的目的。由于舰船的移动性,无线通信成为编队通信的首选方式。其中,超短波通信由于具有较宽频带及视距传播的特点从而成为海上编队及编队内部之间的主要通信联络手段。

现代战争及武器系统的不断发展要求通信系统的工作性能在不同条件下都能够充分发挥出来。然而,由于折射、干涉等现象的存在以及全向天线的使用,严重影响了超短波通信的效果。为了保证海上编队通

信中信息可靠、安全的传输,有必要对海上超短波通信当中存在的问题及相应对策进行深入研究。

2 问题分析

2.1 折射现象

由于对流层的折射率随高度变化,电波在对流层中传输时将会发生不断的折射,从而导致传播轨迹的弯曲,这种现象称为大气折射。根据折射方向与原传播方向之间的关系,可将折射现象分为负折射、零折射和正折射(见图1)。

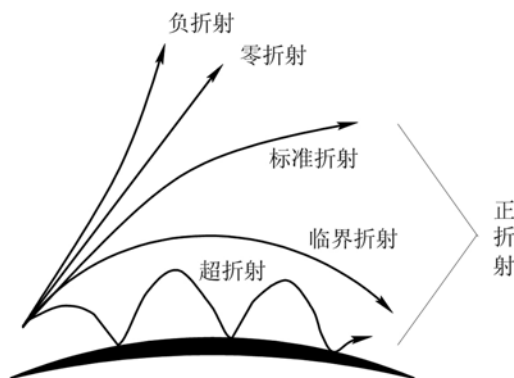


图1. 折射现象及其类型

2.1.1 负折射与零折射

当大气折射率随高度的增加而增大时,电磁波的传播轨迹将背离地球而凸起弯曲,这种现象被称为负折射;若大气折射率不随高度而变化,则称之为零折射。负折射与零折射现象在实际情况中很少发生。通常情况下所谓的视线距离就是在假定零折射的条件下得到的。此时,视线距离为:

$$r_0 \approx 3.57(\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2}) \text{ km} \quad (1)$$

式中:

r_0 ——视线距离,单位为 km;

H_1 ——发射天线架设高度,单位为 m;

H_2 ——接收天线架设高度,单位为 m。

如果收发天线之间的距离超出了 r_0 , 电磁波的绕射将使传播损耗大大增加。

2.1.2 标准大气折射

如果大气折射率随高度的增加而降低,则电磁波的传播轨迹将弯向地球,此时称之为正折射。正折射现象将导致视距传播的实际传播距离大于理想条件(零折射)下的视线距离。正折射又可以分为标准大

气折射、临界折射和超折射。

在标准大气条件下的折射称为标准大气折射。标准大气折射是与实际情况较为接近的一种特殊折射现象。标准大气折射时的视线距离可修正为:

$$r_0 \approx 4.12(\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2}) \quad (2)$$

根据惠更斯—菲涅尔原理,电波能量并非在收发两点之间简单地沿直线传播。只有当障碍物未进入第一菲涅尔椭圆时,收发两点之间的电波传播才能被视为自由空间传播。通常情况下,为了保证较好的通信效果,要求实际通信距离 $d < 0.7r_0$ 。

2.1.3 临界折射与超折射

临界折射和超折射是两种特殊的正折射现象。临界折射是指电磁波传播射线的曲率半径近似等于地球半径,从而导致水平发射的电波传播路径与地球表面保持同步弯曲的一种临界折射状态;超折射状态下电波传播射线的曲率半径小于地球半径,使得电波依靠大气折射和地面的反射向前传播,从而构成所谓的大气波导。

大气波导出现于海上的概率较高,是导致雷达探测系统及通信系统不能正常工作的一种重要环境因素,它可以捕获 30MHz 以上的无线电波,使其以很低的衰减传播到视距范围之外^[1]。特定气象条件下,大气波导能否将在大气中传播的电磁波捕获到波导层中形成波导传播主要取决于电磁波的频率、发射源与大气波导所处的相对位置以及发射源的发射角度。

当超短波在边界层大气中形成波导传播时,大气波导对其产生的影响主要表现在两个方面:一是增加传播的距离;二是增加电场强度^[2]。利用大气波导能使超短波实现超视距传播,扩大了有效通信距离。但同时探测、截收及电子对抗等电子系统的有效作用距离也相应增加,导致超短波通信中信息传输存在安全隐患。通常超短波波导传播距离可数倍于其正常的传播距离。

2.2 干涉现象

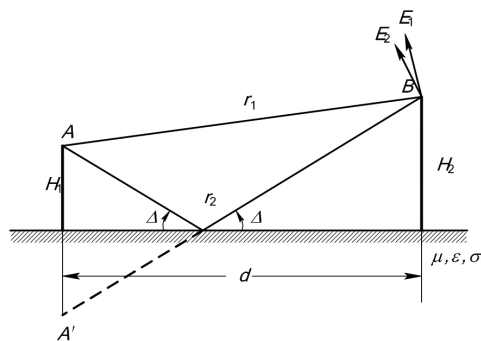


图2 直射波与反射波的矢量叠加

在海上超短波的视距传播中,接收点 B 的场强近似等于直接波(场强为 E_1)与反射波(场强为 E_2)的矢量叠加(见图 2)。当收发之间的距离远大于天线架设高度的情况下,可以近似认为直接波与反射波在接收点具有相同的增益系数及极化方向,区别仅仅体现在相位上。此时, B 点的场强近似为:

$$E = E_1 + E_2 = E_1(1 + \Gamma e^{-jk\Delta r}) \quad (3)$$

式中:

k ——自由空间相移常数, $k=2\pi/\lambda$, λ 为波长;

Γ ——海面反射系数,在满足收发之间距离远大于天线架设高度(投射角 Δ 小于布鲁斯特角)的情况下, $\Gamma \approx -1$;

Δr ——直接波与反射波之间的路程差,与收发天线架高及通信距离有关,

$$\Delta r \approx \frac{2H_1H_2}{d} \quad (4)$$

当 Δ 很小时,将(4)代入(3),考察接收端场强的幅度,则有:

$$|E| = |E_1(1 - e^{-jk\Delta r})| = \left| E_1 2 \sin\left(\frac{2\pi H_1 H_2}{\lambda d}\right) \right| \quad (5)$$

可见,由于直接波和反射波之间存在由路程差导致的相位差,且相位差与天线的架设高度、波长以及通信距离有关,因此,接收点场强的幅度决定于这三个参数之间的干涉情况(见图 3),这种现象称为干涉效应。

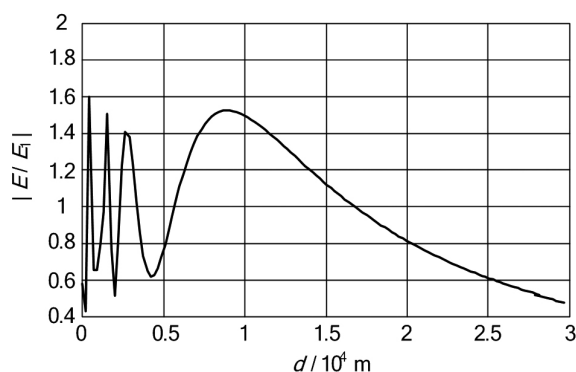


图 3 垂直极化波在海平面上的干涉效应^[3]
($\epsilon_r=80$, $\sigma=4$, $f=0.1\text{GHz}$, $H_1=50\text{m}$, $H_2=100\text{m}$)

由于海水的良导电性,反射波的强度与直接波相差不大。当直接波与反射波接近反相时,通信质量将受到严重影响,必须调整通信频率、距离或者收、发

天线架设高度当中的一个或多个参数。显然,干涉现象的存在直接影响了信息传输的可靠性和实时性。

2.3 电磁兼容与通信抗干扰

以信息技术为核心的新军事变革促进了预警探测、指挥控制和精确打击等作战职能的一体化,同时,数字化战场又将覆盖整个作战空间的通信、情报及指控系统紧密地联系了起来。

然而,新技术在推动武器装备发展的同时,也产生了许多新问题,其中,复杂恶劣的电磁环境与高灵敏度电子设备之间的矛盾尤为突出^[4]。舰船电磁兼容性(Electro Magnetic Compatibility, EMC)对无线电设备的技术指标提出了更高的要求,包括辐射功率、天线方向性、频率准确度、寄生辐射及谐波的抑制度等。

由于舰船的移动性,为了保证对整个通信区域的有效覆盖,编队通信中一般都采用水平平面内具有全向性的低增益天线。在电子设备高度密集的舰艇环境中,全向天线的使用无疑将进一步增加舰船 EMC 的难度。

全向天线带来的问题包括两方面,一是对其它电子设备的干扰,二是自身容易受到干扰,尤其是当存在人为大功率电子干扰时,系统难以保证正常工作。

3 对策研究

3.1 自适应天线阵列技术

在接收端以天线阵列代替单个接收天线,当相邻天线之间距离很近(一般不超过半波长)时,到达天线阵列的信号就具有了相关性。对接收端的阵列信号进行适当加权(见图 4),就可以获得一定的方向性增益,这就是自适应天线阵列(Adaptive Antenna Array, AAA)技术。根据收发互易定理,保持权值不变,发射天线也将具有相同的方向性。

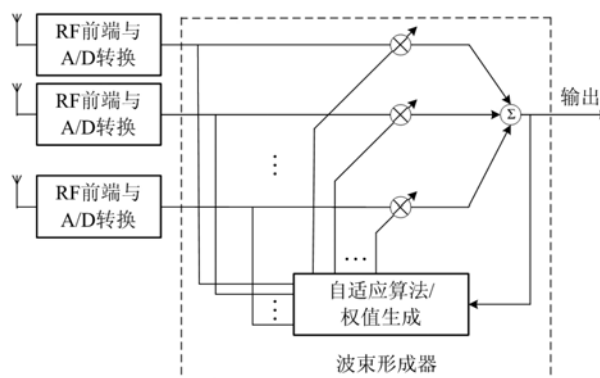


图 4 自适应天线阵列系统结构图

利用自适应天线实现对天线方向性的控制,可以降低对其它电子设备的干扰,更重要的是可以通过在干扰方向上形成零陷以提高抗干扰能力。

由两个阵元组成的二元阵,通过设计权值可以在一个期望方向上得到最大响应或者在一个干扰方向上形成零陷。这被称为具有一个自由度。由 M 个阵元组成的阵列(见图 5)具有 $M-1$ 个自由度,即可以形成 i ($i < M$) 个波束最大值和 j ($j = M-1-i$) 个零陷。因此,在理论上由 M 个阵元组成的自适应天线阵列可完全抵消 $j < M$ 个干扰信号的影响,同时还能获得 $M-j$ 重的增益,对 $j > M$ 个干扰也能进行明显的抑制^[5]。

通常,海上超短波通信时的干扰源(尤其是人为的强干扰源)一般不会太多。因此,阵列中的单元天线数目不需要太大(如 $M=8$)就可以实现较好的抗干扰效果。

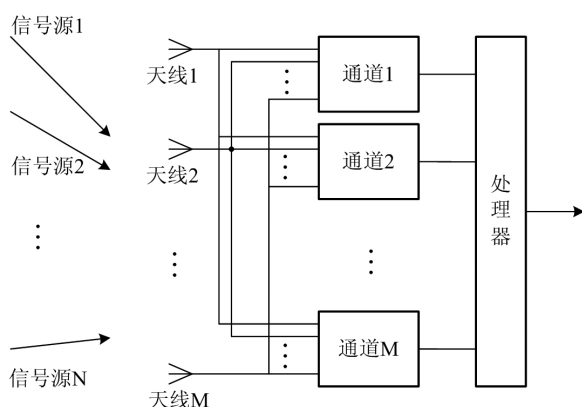


图 5 多通道自适应天线阵列

3.2 均衡技术

通信信号在通过无线信道传输过程中,由于带限发射和无线信道的多径效应,会存在码间干扰(Inter-Symbol Interference, ISI),从而严重影响通信质量^[6]。

由于海上超短波通信当中天线架设高度有限,当通信距离远大于天线架设高度时,直接波和反射波到达接收天线的入射角差别很小。阵元数量有限时,自适应天线阵列难以从空域将两路信号区分开,不能有效解决干涉效应。

均衡技术可以对信道传输函数进行矫正,抵消信道的多径效应引起的码间串扰,消除信道的频率选择性衰落和时间选择性衰落。均衡技术可以分为频域均衡和时域均衡。其中,频域均衡适用于信道特性不变且数据传输速率不高的场合,而时域均衡可以根据信道特性的变化进行调整,能够有效减小码间串扰,适

用于传输速率较高的数字传输系统^[7]。

海上超短波通信信道近似为恒参信道,多径路数不多且时延较小,利于采用均衡技术来对抗多径效应。均衡技术的应用可以使得系统工作频率无需经常更换,这一点对于信息传输的实时性及通信质量的提高具有重要意义。

4 结束语

利用超短波通信实现的编队之间及编队内部的实时数据传输、交换和情报资源共享,有效增加了海、空作战平台上的探测设备数量及作用距离,有利于形成整个战区的战场态势图,可极大提高编队作战能力。而折射现象、干涉现象及全向天线的采用使得以超短波通信为主要方式的编队通信的重要作用无法充分发挥。

因此,对基于自适应天线阵列技术和均衡技术的超短波通信系统展开深入研究,对保证编队及编队内部信息安全、可靠传输及编队战斗力的提升具有重要意义。

References (参考文献)

- [1] Lin Fajun, Liu Chengguo, Cheng Si, et al. Statistical analysis of marine atmospheric duct [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2005, 20(1). 26-28 (Ch)
蔺发军, 刘成国, 成思等. 海上大气波导的统计分析[J]. 电波科学学报, 2005, 20 (1): 64-68
- [2] Yao Zhanyu, Zhao Bolin, Li Wanbiao, et al. The Analysis on Characteristics of Atmospheric Duct and Its Effects on the Propagation of Electromagnetic Wave [J]. ACTA METEOROLOGICA SINICA, 2000, 28(3): 605~616(Ch)
姚展予, 赵柏林, 李万彪, 等. 大气波导特征分析及其对电磁波传播的影响[J]. 气象学报, 2000, 58 (5): 605-616
- [3] Song Zheng, Zhang Jianhua, Huang Ye, Antennas and Radio Wave Propagation[M]. Xian. Xidian University Press, 2003, 46-47 (Ch)
宋铮, 张建华, 黄冶. 天线与电波传播[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003. 46-47
- [4] Sun Guang. Summarization of Ship EMC Technology Development [J], Ship Electronic Engineering, 2007, 27(5): 20-23
孙光. 舰船电磁兼容技术发展综述[J]. 舰船电子工程, 2007, 27 (5): 20-23
- [5] Zhao Ruifeng, Tan Zhenhui, Jiang Hailin. The Smart Antenna of radio system [J]. Journal of Electronics, 2000, 28(12): 77-80 (Ch)
赵瑞峰, 谈振辉, 蒋海林. 无线系统中的智能天线[J]. 电子学报, 2000, 28 (12): 77-80
- [6] Zhang Lin. A Study on Constant Modulus Blind Equalization Algorithm in radio Communications [J]. Communications Technology, 2007, 40(12): 72-76 (Ch)
张玲. 无线通信中的恒模类盲均衡算法研究[J]. 通信技术,

2007, 40 (12) : 72-76

- [7] Fan Changxin, Cao Lina. The Principle of Communication (Sixth edition) [M]. Beijing. National Defense Industry Press, 2007,

164-172 (Ch)

樊昌信, 曹丽娜. 通信原理 (第 6 版) [M], 北京: 国防工业出版社, 2007, 164-172