

doi: 10.3969/j.issn.1002-0802.2015.10.001

海上短波通信频率优选技术现状与分析^{*}

徐 池¹ 邱楚楚¹ 李 梁² 韩 东¹

(1. 海军大连舰艇学院 辽宁 大连 116018; 2. 海军 91913 部队 辽宁 大连 116050)

摘 要: 短波信道因受电离层变化影响而不能及时实现频率的优选,制约了短波远程通信效果的提升。在分析了频率预测技术和频率探测技术优缺点的基础上,分别从预测和探测相分离与相结合两方面对当前海上短波远程通信频率优选技术的应用现状进行了分析。针对频率优选技术在海上远距离通信中的应用需求,提出了一种预测与探测组合应用的新模式,梳理了应用模式的实施流程,对海上短波通信频率优选的实现具有一定的参考价值。

关键词: 短波通信; 频率预测; 频率探测

中图分类号: P353 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-0802(2015)10-1101-05

Status and Analysis of Optimum Frequency Selection for Maritime HF Communications

XU Chi¹ , QIU Chu - chu¹ , LI Liang² , HAN Dong¹

(1. Dalian Naval Academy , Dalian Liaoning 116018 , China;

2. Unit 91913 of PLA Navy , Dalian Liaoning 116050 , China)

Abstract: Duo to the variation of ionosphere , it is difficult to select the optimum frequency of HF communication , thus restricting the performance improvement of HF telecommunication. Based on advantage and disadvantage analysis of frequency prediction and frequency sounding technology , the application status of optimum frequency selection technology is summarized systematically from separation and combination of prediction and sounding. Aiming at the demand of optimum frequency selection technology in long - distance marine communication , a novel integrated mode of frequency prediction and frequency sounding is proposed , the implementation process of application mode is combed up , thus providing certain reference for optimum frequency selection of maritime HF communication.

Key words: HF communication; frequency prediction; frequency sounding

0 引 言

短波通信是最早出现并广泛应用的无线通信方式,至今仍是中远距离无线通信的重要手段,在军事战略和战术通信中占据重要地位^[1-2]。与其它通信手段相比,短波通信有着通信距离远、机动性好、顽存性强,以及多种通信能力等独特优点。

随着对短波通信新技术、新体制研究的不断深

入,短波通信正朝着数字化、网络化方向发展。但是,人们在研究和实际应用中发现:通信频率的优选一直是影响短波远程通信效果的瓶颈。由于电离层的时变色散特性,短波信道具有明显的窗口效应。如果频率选择不当,即便通信设备采用了先进的调制解调器技术和差错控制技术,也很难克服恶劣信道的致命弱点。因此,实现短波远程通信频率的优

^{*} 收稿日期:2015-05-25;修回日期:2015-08-20 Received date:2015-05-25;Revised date:2015-08-20

基金项目:国家自然科学基金(No.11374001);海军大连舰艇学院2110工程三期资助学术预研课题(No.2014061)

Foundation Item: National Natural Science Foundation of China(No.11374001);Academic Preparatory Foundation of DNA 2110 Project(No.2014061)

选对于提升短波通信质量显得至关重要。为提高短波远程通信频率优选精度,改善短波通信效果,结合短波通信频率选择的不同时机、应用对象,国内外陆续出现了多种频率预测、频率探测及两者相结合的短波通信频率优选技术。

1 频率优选技术的基本分类

目前,短波通信频率优选技术并没有明确的分类方式。按照实现原理的不同,可分为频率预测、频率探测两种方式^[3]。其中,频率预测一般是指通过构建电离层相关的特性参数模型,运用数学分析、推算的方式实现频率优选的方法,它属于短波频率优选的“软手段”。按照预测的时效性区分,频率预测还可以分为长期预测、中期预测和短期预测。频率探测一般是指利用探测(收发)设备对通信链路上的信道质量进行探测,通过分析获取的信道质量参数实现频率优选的方法,它属于短波频率优选的“硬手段”。按照探测的不同方式,频率探测可分为垂直探测、斜向探测和斜向返回探测等方法;按照不同的探测信号体制,可分为脉冲探测技术、导频探测技术、错误计数技术、眼图技术、啁啾探测技术等。实际上,频率预测和频率探测是紧密联系的。预测方法的构建需要以探测方法获取的历史数据为前提;而在实际应用中,特别是在军事应用背景条件下探测手段的使用受到多种限制,如探测信道与通信信道存在使用上的冲突,实施探测时往往需要中断通信,因此长时间的探测会大量占用通信信道资源;探测手段容易造成通信目标的暴露,不符合军事通信中对安全性和保密性的要求。因此,探测方法应与频率预测结合使用,即在频率预测的前提下进行探测或在局部探测的基础上进行预测,以降低频率探测所耗费的各种时间、设备、频率资源。

综上所述,结合不同用户的频率选择需求及优选技术与通信设备的结合程度,当前常用的频率优选技术手段可分为:基于方法模型的频率预测技术和基于探测的信道估值选频技术。

2 频率优选技术的应用现状分析

2.1 基于方法模型的频率预测技术

目前,国内外对短波频率预测都还是以长期预测和短期预测为主,国际电信联盟无线电通信大会(ITU-R)即原无线电咨询委员会(CCIR)曾先后开发了三个独立的估算短波信道模型的方法^[4],即基

于报告 252、报告 252 补编和报告 894 的方法。除了这三种由 CCIR 提供的相应计算程序外,不同的国家和研究机构也推出了各自的短波频率预报程序,国外典型的短波频率预测模型软件如下:

(1) 电离层通信分析与预测程序 IONCAP: 由美国电信科学研究院研制,推出之后被广泛应用在美国海军大型舰船军事通信装备中;

(2) 电离层通信增强剖面分析和电路预测程序 VOACAP: 在 IONCAP 的基础上发展起来的,不仅能够适应中低纬度地区,同时也适用于高纬度地区和极区;

(3) 传播资源管理程序 PropMan: 由美国 Rockwell 国际公司和 Collins 航空公司通信部开发的,能够对短波天波频率及信道进行选择和分析,可进行频率预测和通信资源管理;

(4) 高频传输分析软件包 NTIA/ITS: 由美国电信科学研究院开发,ITS 软件涵盖了一系列的短波分析软件 VOACAP, REC533 等,其中,REC533 是为了与国际电联的短波电路性能的预测方法推荐书 Recommendation 533 保持一致而开发的^[5-6];

(5) 短波传播预测软件 W6ELProp: 由业余无线电爱好者 Sheldon C. Shallon 独立开发,发布在国际业余无线电联盟(IARU)的网站上。该软件允许使用者任意指定一个通信端点,通过输入当天的太阳黑子数和 K 指数得到频率预测图。

国内方面,中国电波传播研究所在国际参考电离层模型的基础上,根据亚洲、太平洋地区 39 个电离层观测站的记录数据,分析了亚大地区(北纬 65°至南纬 40°、东经 60°至东经 150°)不同太阳活动期电离层 F2 层频率参数,构建了具有“本地化”特点的亚大方法。在短波通信和电离层研究方面,亚大方法在国内及亚大地区得到了较为广泛的应用。考虑到电离层探测数据的完整性,电波传播研究所于 2007 年对亚大方法进行了改进,提出了“新版亚大方法”。研究者认为,新版亚大预测方法在较低纬度的改进更为显著,且有效地避免了原亚大法的参数换算误差^[7-8]。

除了电波传播研究所推出了亚大方法及相关软件外,国内其他研究学者及单位也对频率预测方法进行了大量的研究。较为典型的方法有:

(1) 基于最大李雅普诺夫(Lyapunov)指数的混沌预测方法:该方法原理是基于短波通信最高可用频率的混沌特性,利用混沌理论对其进行短期预测;

(2) 基于模糊小波神经网络的短波频率预测方

法: 该方法利用空间重构技术和模糊小波神经网络技术, 在运用奇异值分解对历史数据进行降噪处理的基础上, 实现对短波通信频率的预测^[9];

(3) 基于 ITU 模型的精细化方法: 该方法基于 ITU-R 频率预测方法体系, 在应用中国参考电离层模型的基础上, 利用电离层特征数据分析结果, 重构了参数转化的时空映射, 构建了中国区域的短波频率预测精细化方法^[10];

(4) 电离层同化短期预报方法: 该方法提出了一种基于卡尔曼同化技术的电离层特征参数短期预报方法, 为短波频率的预测提供精度较高的电离层参量^[11];

(5) 基于神经网络的临界频率预测方法: 该方法根据磁层系数和太阳黑子月均值作为风暴期训练序列, 运用神经网络预测电离层临界频率, 进而为短波通信频率的预测提供关键参数^[12]。

总体而言, 国内外研究机构和学者提出了很多先进的短波通信频率预测方法, 经研究者验证表明, 方法的预测精度得到了一定程度的提高。但同时也存在一些不足: 首先, 部分频率预测方法方法较先进, 但不易工程实现。相关研究成果的实际应用方面还存在一定差距, 主要体现在方法模型对输入参数的要求比较苛刻, 未考虑方法模型实际的应用背景^[3]。以海上舰船的远距离短波通信为例, 模型输入参数获取途径受限, 无法有效获取; 其次, 部分工程化实现的方法模型适用范围有限。对于已工程化实现和投入实际应用的频率预测方法, 由于结合了“本地化”的底层参数, 在一定区域范围内的预测结果具有较高的精度, 但局部的使用范围使其推广应用受到限制, 以亚大方法为例, 方法还无法完全满足舰船远海短波通信保障的使用需求, 特别是 4000 公里以上的远程通信距离, 需要电离层的多次跳变, 现有方法对于多模多跳模式不适用或预测精度很低; 最后, 频率预测方法对实现频率优选的作用仍然有限^[4]。基于方法模型的频率预测技术通过构建大尺度的统计模型来实现频率的优选, 大尺度的统计模型无法得到较高的频率预测精度, 现有方法只能实现频率的初步筛选。

2.2 基于探测的信道估值选频技术

由于频率预测技术存在的固有缺点, 为提高频率优选的精度和时效性, 出现了基于探测的信道估值选频技术。根据探测技术与通信设备的结合程度, 可分为探测与通信相分离、探测与通信相结合两种应用方式。

(1) 探测与通信相分离

探测与通信分离的信道估值选频技术一般应用于独立的探测系统, 如目前应用较为广泛的 Chirp 探测系统。独立的探测系统能够在整个短波频段范围内实现对频率的快速扫描探测, 从特定的通信模型出发, 实时地处理到达接收端的不同频率的信号。在接收端的一组规定的信道上测量各种参量, 如接收信号的能量、信噪比、误码率、多径延时、多普勒频移、衰落特征、基带频谱和失真系数等, 通过实时数据处理, 对参量进行统计分析, 确定在这一组信道上传输某种通信业务可能达到的通信质量指标, 选择通信使用的频段和频率。该技术能够实时地根据探测电离层传输条件和用户本地噪声干扰, 系统全面掌握短波频段的频率资源动态, 较快地实现短波频率的优选, 克服了基于统计学原理固定配置频率的不足。独立探测技术大多适用于固定的专用选频系统, 无法普遍应用于机动通信中, 需要配备实时的频率分发系统才能保证通信时的最佳频率与探测频率保持一致。在军事应用背景条件下, 探测手段的使用容易受到多种限制。以 Chirp 探测为例, 其频率探测扫描方式较为单一, 不能够根据接收端的接收情况实时进行调整, 容易造成移动平台的目标暴露; 持续的探测、接收也存在恶化电磁环境的现实问题。

(2) 探测与通信相结合

介于探测与通信相分离的信道估值选频技术存在的天线体制不统一、探测与通信存在空域距离等问题, 人们提出将探测与通信相结合, 在通信系统中直接应用基于探测的实时信道估值技术, 有利于推广应用于机动通信, 利用通信间隙对短波信道进行探测、评估。该方法无需由独立的探测系统单独实施探测, 再将探测优选结果汇集至频率分发系统, 最后由频率分发系统将优选频率分发至通信设备。探测与通信的结合应用省去了频率分发环节, 因此能够有效避免了频率分发过程造成的时延问题, 确保了频率优选的实时性^[3]。然而这种选频方法精度较低, 且存在一定的盲目性, 这是因为链路探测只在有限的待选频率点进行, 所选出的频率并非最佳可用通信频率, 且待选频率质量较差时容易陷入无法选取优质频率的死循环。

总体而言, 基于探测的信道估值选频技术能够提高频率优选的准确性和时效性。但由于探测技术的应用需要探测设备发射无线电探测信号, 容易造成电磁环境的恶化, 暴露通信企图和被敌方侦察和干扰, 使得探测技术的应用缺乏军事应用前景, 同样无法满

足当前岸海远距离短波通信的频率保障需求。

3 频率预测与频率探测组合应用模式

针对现有短波频率优选技术的特点,结合短波远程通信的军事应用需求,将基于空间局部重构的频率预测技术与基于频率感知的信道实时探测相结合,提出一种新的组合应用模式。该模式频率优选流程如图1所示,其选频实现策略如下:

(1) 基于空间局部重构的频率预测:借助导航定位信息确定通信双方的位置和距离,利用克里格方法预测待估区域的可用的频率范围。在特殊应用背景条件下,如果探测手段严格受到限制,则由基于空间局部重构的频率预测方法直接为通信设备提供参考用频;

(2) 基于频谱感知的本地噪声分析:采用快速傅里叶变换和循环谱分析技术,实时监测本地噪声和干扰情况,屏蔽部分干扰严重的频点^[13];

(3) 单向频率侦听:接收目标台站和已知地理位置的广播电台信号,采用单向信号侦听技术,分析短波信道的传播特性,优选出备用的频率组;

(4) 双向离散频率点探测:通过定时或人工方式启动对目标台站的双向频率探测,实现小样本、离散点的探测获取信道质量信息;

(5) 探测数据信息处理:利用信道参数相关特性,基于小样本、离散点探测数据进行指定频段的信道质量分析;

(6) 建立频率质量分析矩阵:对所有可能的目标台站建立频率矩阵库,并依据当前探测结果和历史信息更新矩阵库,为后续合理选频提供依据。

该应用模式区别于常规的先预测后探测的方式,依据频率探测数据之间的相关性,采用灵活的离散频率点的探测方法,不需要对整个短波频段进行扫描探测,运用探测数据属性的关联模型对分析确定探测的样本数量、间隔。最后再利用实际获取的、离散的、小样本探测数据进行频率预测,通过实际探测数据进行预测在提高频率预测精度的同时,还能够克服常规探测方法耗时过长、易暴露通信目标,探测组织方法不灵活等不足。在探测手段严格受到限制而无法有效实施的情况下,运用空间局部重构技术进行频率预测^[14]。空间局部重构技术就是短波频率数据重构方法是将电离层的区域特点与数据重构技术结合,根据电离层的连续性分析其变化规律,进而通过重构算法利用已知点的频率数据来构造频率未知区域的数据。这种方法不再单纯依靠发送探

测信号获得通信质量数据或利用已知频率数据的简单加权来预测可通频率,而是基于实测数据通过重构算法来构造频率的预测值,且该方法与通信距离无关,避免了传统方法受预测距离限制的弊端。

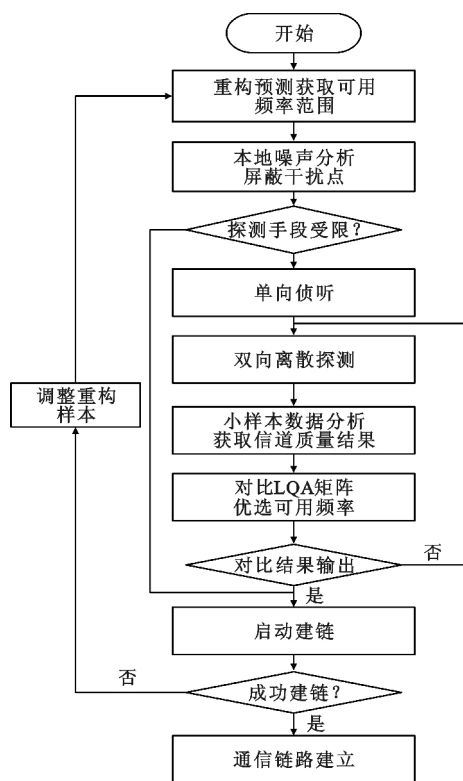


图1 频率优选流程图

4 结 论

短波通信具有良好的抗毁性,在远距离通信特别是海上通信中有着不可替代的作用。但短波信道是色散信道,要改善短波通信效果,必须提高频率优选能力。实现短波远程通信的频率优选,不能单纯依靠某一种方法,必须综合当前多种频率优选技术的优势。本文系统分析了当前短波通信频率优选技术的国内外应用现状,对各种频率优选技术的特点进行了总结归纳。结合短波远程通信频率优选技术在军事领域的应用需求,特别是海上远距离通信,提出了一种频率预测与频率探测组合应用的新模式,在短波通信频率优选技术的研究方面做了有益的探索。为使该应用模式得到实际应用,下一步还需要深化对空间局部重构技术、快速侦听技术^[15]、离散频率点探测技术、小样本频率数据分析技术的研究,结合高速DSP和大规模FPGA技术的发展,实现对短波通信设备的改进升级,提高短波通信设备在远距离通信中的频率优选能力。

参考文献:

- [1] 胡中豫. 现代短波通信 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2005: 5 - 8.
HU Zhong - yu. Modern Shortwave Communication [M]. Beijing: National Defense Industry Press 2005: 5 - 8.
- [2] 鞠茂光, 刘尚麟. 美国空军短波全球通信系统技术分析 [J]. 通信技术 2013(7): 97 - 98.
JU Mao - guang, LIU Shang - lin. Analysis on High - Frequency Global Communication System Technology of US Air Force [J]. Communications Technology 2013(7): 97 - 98.
- [3] 董航, 徐池, 易涛等. 基于信噪比估算的短波通信辅助决策模型研究 [J]. 通信技术 2014 47(11): 1313 - 1317.
DONG Hang, XU Chi, YI Tao, et al. Analysis of HF Communication Decision Support Model based on SNR Evaluation [J]. Communications Technology, 2014, 47(11): 1313 - 1317.
- [4] ITU - R P. 1240, Methods of Basic MUF, Operational MUF and Ray - Path Prediction [S]. 2007.
- [5] ITU - R P. 533 - 11, Method for the Prediction of the Performance of HF Circuits [S]. 2012.
- [6] 王林志, 谢绍斌. 基于 ITS 的短波链路频率指配与电磁计算 [J]. 空军工程大学学报 2006 7(3): 77 - 81.
WANG Lin - zhi, XIE Shao - bin. Frequency Assignment and Electromagnetism Calculation in Short - Wave Link Calculation based on ITS [J]. Air Force Engineering University 2006 7(3): 77 - 81.
- [7] 曹红艳, 孙宪儒. 新版亚大地区 F2 电离层频率预测方法 [J]. 空间科学学报 2009 29(5): 502 - 507.
CAO Hong - yan, SUN Xia - ru. A New Method of Predicting the Ionospheric F2 Layer in the Asia Oceania Region [J]. Chinese Journal of Space Science 2009 29(5): 502 - 507.
- [8] 鲁转侠, 曹红艳, 冯静. “新版亚大地区 F2 层电离层预测”方法数据验证 [J]. 中国电子科学研究院学报, 2011 6(1): 59 - 63.
LU Zhuan - xia, CAO Hong - yan, FENG Jing. New Method Data Verification of Predicting the Ionospheric F2 Layer in the Asia Oceania Region [J]. J. CAEIT, 2011 6(1): 59 - 63.
- [9] 任淑婷, 郭黎利. 基于模糊小波神经网络的短波频率预测 [J]. 通信技术 2011 44(4): 37 - 39.
REN Shu - ting, GUO Li - li. A Prediction Method for HF Radio Communication Frequency based on FWNN [J]. Communications Technology, 2011 44(4): 37 - 39.
- [10] 王健, 冯晓哲. 高频频率预测方法中国区域的精细化研究 [J]. 地球物理学报 2013 56(6): 1797 - 1808.
WANG Jian, FENG Xiao - zhe. Refined Study of HF Frequency Prediction Method in China Region [J]. J. Geophysics 2013 56(6): 1797 - 1808.
- [11] 汤军, 姬云生. 短波通信选频中的电离层同化短期预报方法 [J]. 电波科学学报 2013 28(3): 498 - 504.
TANG Jun, JI Yun - sheng. Assimilation Methods of Ionospheric Short Term Forecast for Selecting Frequency in Short - Wave Communication [J]. Radio Science, 2013 28(3): 498 - 504.
- [12] 金会彬, 张灿, 秦磊. 基于神经网络的电离层 F2 层临界频率预测方法 [J]. 中国科学院研究生院学报, 2008 25(3): 403 - 407.
JIN Hui - bin, ZHANG Chan, QIN Lei. Prediction Method of the Ionospheric F2 Layer Critical Frequency based on Neural Networks [J]. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 2008 25(3): 403 - 407.
- [13] 王瑞杰. 认知无线电技术及其在短波通信选频中的应用 [D]. 西安电子科技大学 2011.
WANG Rui - jie. Cognitive Radio Technology and Application in Frequency Selection of HF Communication [D]. Xidian University 2011.
- [14] 李梁, 张海勇, 徐池. 基于 Kriging 法的海上短波通信可用频率插值方法研究 [J]. 微波学报 2014 30(1): 85 - 89.
LI Liang, ZHANG Hai - yong, XU Chi. Maritime Short - Wave Communication Available Frequency Interpolation Methods based on Kriging Algorithm [J]. Microwaves 2014 30(1): 85 - 89.
- [15] 王金龙. 短波数字通信研究与实践 [M]. 北京: 科学出版社 2013: 249 - 250.
WANG Jin - long. Research and Application of HF Digital Communication [M]. Beijing: Science Press, 2013: 249 - 250.

作者简介:



徐池 (1984—), 男, 硕士, 讲师, 主要研究方向为通信系统分析与应用;

邱楚楚 (1987—), 女, 硕士, 主要研究方向为军事系统分析与应用;

李梁 (1984—), 男, 硕士, 主要研究方向为通信系统分析与应用。

韩东 (1978—), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为水声通信。