

短波空间谱测向技术同频信号分离测试方法研究

文 | 国家无线电监测中心乌鲁木齐监测站 胡荣飞 林自豪

摘要：本文通过参考通信行业标准和规范，结合空间谱监测测向理论与实际测试情况，对均匀圆阵短波空间谱监测测向系统的同频信号分离测试方法展开了研究。

关键词：空间谱测向 同频信号分离 测试方法

0 前言

在日常的短波无线电监测测向工作中，经常会遇到强弱不同的两个或多个同频信号叠加在一起传输的情况，这对于确定目标关注信号的方位会产生严重的干扰。因此，开展多目标信号测向分辨技术的研究对无线电监测测向工作起着至关重要的作用。20世纪60年代发展起来的空谱监测测向技术，随着多重信号分类算法（MUSIC）的应用，极大地促进了空谱估计理论体系的进步和完善。空谱估计测向采用多元天线阵，每个阵元接收到信号都从不同角度拍下所接收信号的特征，综合运用这些特性就能区分出不同的信号，其算法采用了一个线性方程组，保证了多个信号不同来波方向的求解。因此，与传统的测向方法相比，基于阵列接收信号处理的空间谱估计技术具有高精度、高分辨率、可同时对多目标信号进行测向等优势。该技术越来越受到重视，应用前景非常广阔。

1 同频信号分离的测试方法

1.1 测试目的

通过理论分析，为了验证空谱估计测向技术的特点，测试均匀圆阵短波空谱监测测向系统可同时对同一信道内的多个信号分别进行测向。

1.2 测试系统框图

测试系统框图如图1所示。

1.3 测试步骤

(1) 设置被测系统工作状态：测向模式选择空谱

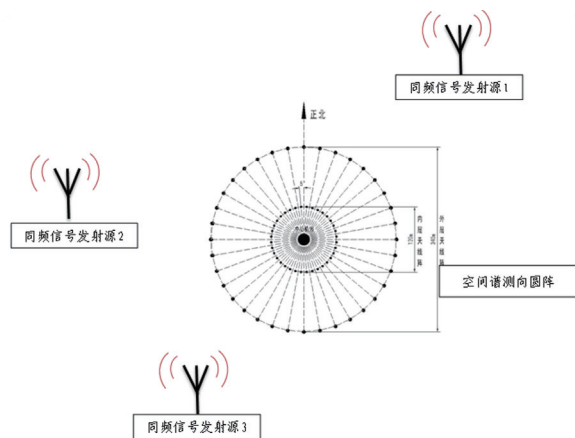


图1 测试系统框图

（注：信号源位置距离测向天线阵中心 $5\lambda \sim 30\lambda$ ，信号发射源远离高压线、河流、厂房、高大障碍物、公路及强辐射源等，两个信号源间隔大于等于系统的测向分辨率。）

测向，分离信号个数选择自动计算，衰减为0，信道模式选择常规，测向带宽设置为3kHz。

(2) 在短波频段范围内，选取2~3个测试频点 f_i ，测试频点应避开外界环境频率的干扰。

(3) 固定同频信号发射源1的位置，移动其他两部信号发射源于选定的测试地点，利用GPS准确测量该位置的经度和纬度，并计算得出与测向天线阵中心的距离和理论示向度，要求各个信号源之间的理论示向度间隔应该大于等于系统的测向分辨率。

(4) 设置三部信号源的发射频率为当前测试频率 f_i ，发射输出为标准单载波或者经过统一调制的信号，

调整发射功率使被测系统监测到信号的信噪比不低于 20dB, 且示向度稳定, 幅度相差不超过 5dB。

(5) 使用空间谱系统对频点 f_i 进行单频测向, 记录信号频率、测试时间、示向度 θ 、发射源经纬度等必需的测试数据, 并计算此方位角频率 f_i 上的示向度误差 $\Delta\theta_{ij}$ 。

(6) 改变频率 f_i , 重复步骤 (4) ~ (6), 直至完成所有频率的测试。

1.4 测试数据记录

测试数据记录如表 1 所示。

表 1 空间谱测向系统同频信号分离测试数据表

频率 (MHz)	调制 方式	同频信号发射源 1		同频信号发射源 2		同频信号发射源 3	
		理论示向度:		理论示向度:		理论示向度:	
		示向度	误差	示向度	误差	示向度	误差

2 测试结果

测试过程中选取单载波、AM 调制以及数字信号三种调制方式发射同频信号进行测试实验。单载波模式下三个同频信号源选取的理论示向度分别为 288.3° 、 154.8° 和 308.6° , 发射频率为 5.19MHz。从图 2 可以看出, 图上呈现三个明确的方位指向, 实际测试示向度最大概率指向分别为 287.4° 、 155.9° 和 308.2° , 测试结果和误差如表 2 所示。在 AM 调制方式下, 固定同频信号源 1 和 2 的位置不变, 另外在台站数据库中任意选取一个已知台站在发的 AM 广播信号进行测试。经过计算, 选取已知电台的理论示向度为 243.2° , 测试频率选择 7.305MHz。从图 3 中可以看出, 示向度图中明显有三个方位指向, 实际测试示向度最大概率指向分别为 288.7° 、 154.4° 和 242.4° , 测试结果和误差如表 3 所示。数字调制方式下同样固定同频信号源 1 和 2 的位置不变, 另外任意搜索选取一个天波信号进行同频信号分离测试, 测试频率选择 5.367MHz。从图 4 中可以看出, 示向度图中明显有三个方位指向, 实际测试示向度最大概率指向分别为 287.6° 、 155.7° 和 4.6° , 测试结果示向度和误差如表 4 所示。以上测试结果表明, 计算得到实际测试均方根误差为 0.745° , 示向度均方根误差在 1° 以内, 表明该均匀圆阵空间谱估计监测测向系统能有效地对多个同频信号进行分离测试, 同时也进一步验证了该测试方法的可行

性。

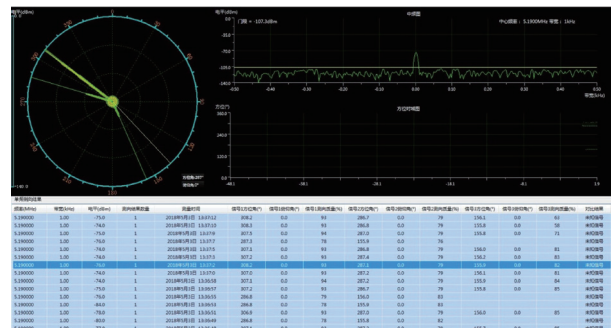


图 2 单载波同频多信号分离测试

表 2 单载波同频信号分离测试数据记录

频率 (MHz)	调制 方式	同频信号发射源 1		同频信号发射源 2		同频信号发射源 3	
		理论示向度: 288.3°		理论示向度: 154.8°		理论示向度: 308.6°	
		示向度	误差	示向度	误差	示向度	误差
5.190	单载波	287.4°	0.9°	155.9°	1.1°	308.2°	0.4°

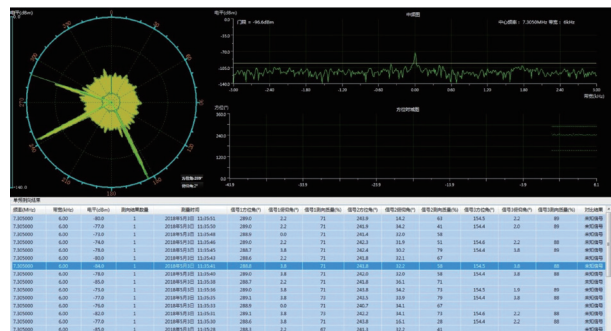


图 3 调幅同频多信号分离测试

表 3 调幅同频信号分离测试数据记录

频率 (MHz)	调制 方式	同频信号发射源 1		同频信号发射源 2		同频信号发射源 3	
		理论示向度: 288.3°		理论示向度: 154.8°		理论示向度: 243.2°	
		示向度	误差	示向度	误差	示向度	误差
7.305	AM	288.7°	0.4°	154.4°	0.4°	242.4°	0.8°

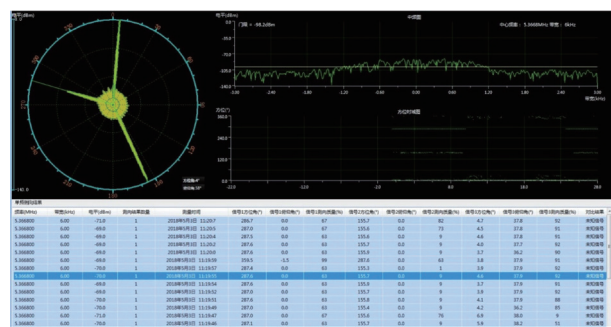


图 4 数字同频多信号分离测试

(下转 50 页)

得到的 RMS 值较为合适, 但通过表 3 可知, 其剔除异常值百分比偏小。综合考虑异常值剔除比例及 RMS 结果, 建议采用肖维勒准则。

在表 2 中的狄克逊准则得出的 RMS 值异常大。从狄克逊准则计算公式可知, 因为狄克逊准则在处理多个相近异常值的时候, 会因为最大或最小值与其最近的几个值差值很小, 致使无法超过狄克逊准则临界值表, 从而无法识别出是异常值。因此, 在异常值较多且大小接近的情况下, 不建议使用狄克逊准则。

4 无线电监测测向系统开场测试测向精度的测试数据异常值剔除准则建议

关于样本数据异常值的剔除准则, 目前国内外并没有统一适用的方法或标准。因此, 可以从数理统计方法出发, 根据实际情况选择适用的准则。针对无线电测向系统测向精度的测试数据异常值的避免及判别方法, 建议如下:

如果从技术或物理上 (例如更换频点) 可避免产生异常值, 则应避免或修正;

如果测向精度的测试数据存在所有方位整体偏离情况, 应优先进行均值补偿;

测向精度的测试数据异常值剔除采用双侧情形方法, 处理的数据为实测示向度而不是测向精度数据, 公式中残差为实测示向度与标准示向度的差值 (不加绝对值), 标准差公式中均值取实测示向度均值;

优先选择肖维勒准则判别异常值, 若采用肖维勒准则检出异常值超过总测试样本的 10% [3], 则应选择格拉布斯准则 (置信概率为 95%);

如果测试频点数超过 100, 则可根据不同频段测向精度指标 σ 、天线工作频率等将频率分段后单独计算, 否则, 可采用莱依达准则;

被剔除的异常值应作记录, 以备查询。

参考文献:

- [1] 王莹, 刘佳, 王欣, 刘宇, 王晓东. 计量检测中异常数据剔除的有效方法 [J]. 电子世界, 2016(24):93~95
- [2] GB/T 34089-2017, VHF/UHF 无线电监测测向系统开场测试参数和测试方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017
- [3] ITU-R SM.2097-0 建议书. 固定测向系统测向精度的现场测试程序. 2016
- [4] ITU-R SM.2060-0 建议书. 测量测向系统测向精度的测试程序. 2014
- [5] ITU-R SM.2125-1 报告. HF/VHF/UHF 监测接收机和电台的参数和测量程序. 2011
- [6] 熊艳艳, 吴先球. 粗大误差四种判别准则的比较和应用 [J]. 大学物理实验, 2010, 23(1):66~68
- [7] GB/T 4883-2008, 数据的统计处理和解释 正态样本离群值的判断和处理 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [8] 赵妮, 孙明珠, 王中禹. 计量测试中异常数据剔除方法的探讨 [J]. 应用科技, 2014(28):293
- [9] 国无办 [2019]3 号国家无线电办公室关于印发《省级无线电监测设施建设规范和技术要求 (试行)》的通知, 2019

(上接 40 页)

表 4 数字同频信号分离测试数据记录

频率 (MHz)	调制 方式	同频信号发射源 1		同频信号发射源 2		同频信号发射源 3	
		理论示向度: 288.3°		理论示向度: 154.8°		理论示向度: 未知	
		示向度	误差	示向度	误差	示向度	误差
5.367	16QAM	287.6°	0.7°	155.7°	0.9°	4.6°	—

3 总结

本文通过对短波空间谱固定监测测向系统性能的研究, 提出了短波空间谱监测测向系统对同频信号进行分离测向的测试方法。通过单载波、调幅信号和数字信号三种调制方式的实际测试与验证, 该测试方法实际有效,

空间谱估计体制测向技术能给出至少三个同频信号的示向度。

参考文献:

- [1] 王永良. 空间谱估计理论与算法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.11
- [2] 张洪顺、王磊. 无线电监测与测向定位 [M]. 西安电子科技大学出版社, 2011
- [3] 万峻, 陈良, 颜学彦. 关于短波监测测向系统性能开场测试方法的研究 [J]. 北京: 中国无线电, 2012.12
- [4] YD/T 3282-2017 HF 移动无线电监测测向系统开场测试参数和测试方法