

无线电监测测向技术

——测向原理



成都大公博创信息技术有限公司

CHENGDU DAGONGBOCHUANG INFORMATION TECHNOLOGY CO., LTD.

目录

一、测向体制



二、相关干涉仪测向



三、空间谱估计测向



四、总结





Part 1

测向体制

无线电测向方法与分类

1

幅度测量法

2

相位测量法

3

矢量测量法

4

时差测量法

幅度测量法

测量方向性天线间的相对电压幅度，并计算出电波方向。

常用体制有：

- 旋转定向天线测向机
- 旋转角度计测向机
- Adcock/Watson-watt测向机
- 改进型Adcock/Watson-watt测向机
- 单脉冲比幅测向机等

相位测量法

测量方向性天线间相对的输出电压相位差，并计算出电波方向。常用体制有：

- 相位干涉仪
- 多普勒测向机

■ 矢量测量法

测量天线阵列各天线间相对的复数电压，并计算出电波方向。常用体制有：

- 相关干涉仪测向机
- 空间谱估计测向机



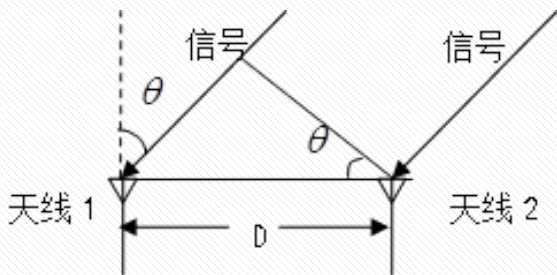
Part 2

相关干涉仪测向



原理

干涉仪测向的实质就是利用电磁波信号到达固定间距的天线阵中不同天线阵元之间的时间差所产生的相位关系来确定无线电信号的方位。



沿 θ 方向入射的电磁波信号在两个天线上产生的相位差 φ 为：

$$\varphi = (2\pi D / \lambda) \sin \theta$$

$$\theta = \arcsin(\lambda \varphi / 2\pi D)$$



原理

干涉仪测向会出现测向角度的不唯一性，即所谓的模糊性问题，包括镜像模糊和相位模糊。

当基线长度大于二分之一波长，即 $D > \lambda/2$ ，则相位 ψ 的范围超出了 $[-\pi, \pi]$ ，这样就会出现多值模糊。

“小基础”系统--所有基线长度均小于二分之一波长；

“大基础”系统--至少有一个基线长度大于二分之一波长。



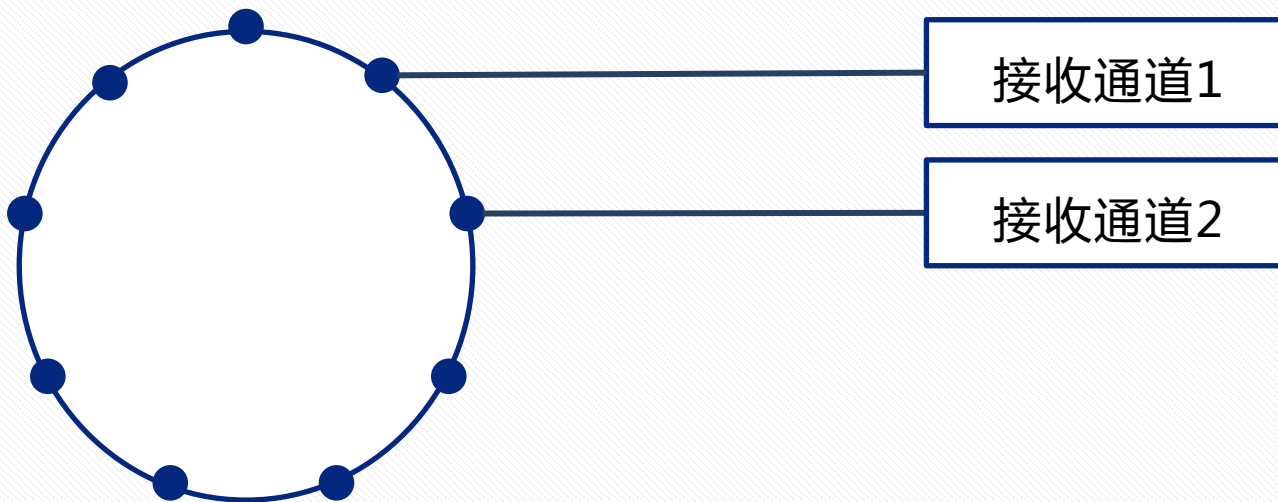
原理

相关干涉仪测向，是干涉仪测向的一种，它的测向原理是：在测向天线阵列工作频率范围内和360度方向上，各按一定规律设点，同时在频率间隔和方位间隔上，建立样本群，在测向时，将所测得的数据与样本群进行相关运算和插值处理，以获得来波信号方向。



双通道测向机

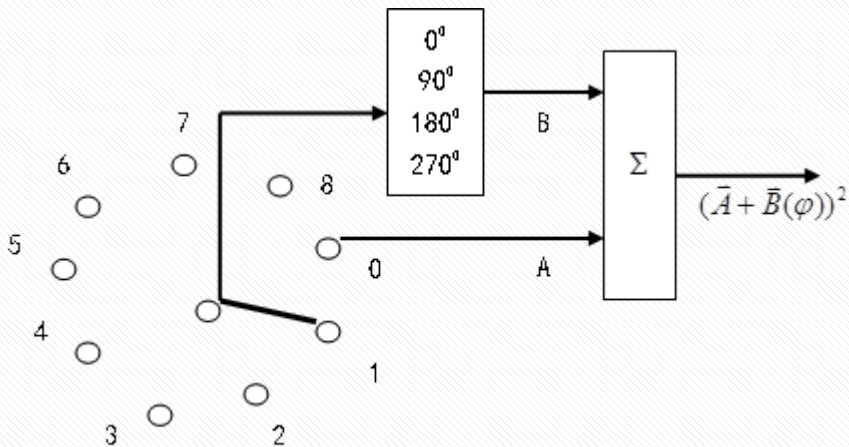
每次同时打通两个通道，可得到两个天线间的相位差。





单通道测向机

将其中一路经移相器后与另一路矢量相加。



$$\begin{aligned}
 &A^2 + B^2 + 2ABCos(\varphi) \\
 &A^2 + B^2 + 2ABSin(\varphi) \\
 &A^2 + B^2 - 2ABCos(\varphi) \\
 &A^2 + B^2 - 2ABSin(\varphi)
 \end{aligned}
 \begin{aligned}
 &4ABCos(\varphi) \\
 &4ABSin(\varphi) \\
 &4ABCos(\varphi) \\
 &4ABSin(\varphi)
 \end{aligned}
 \begin{aligned}
 &Ctg(\varphi) \\
 &Ctg(\varphi)
 \end{aligned}$$



测向流程

- 建立一个天线阵列（一般为均匀圆阵）；
- 通过复数电压测量技术，事先对不同频率、众多方向的电波建立标准数据库；
- 对未知方向电波测向时，首先按照建立标准数据库的程序实时测得一个复数数组；
- 通过相关（比较）运算，求得电波的到达方向。

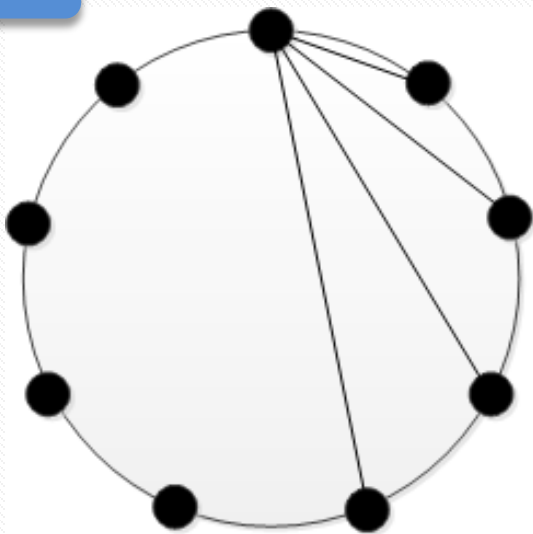


关键技术

1

样本选择

- 基线组合-长短基线组合
- 样本个数-是否越多越好？
- 数据处理





关键技术

2

相关算法

相关是指客观事物变化量之间的相依关系，在统计学中是用相关系数来描述两个变量 x ， y 之间的相关性的，即：

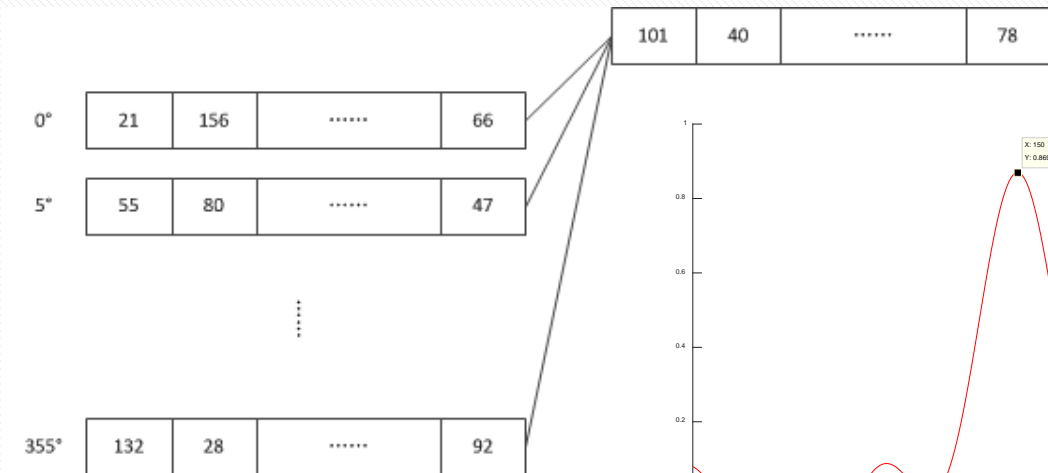
$$\rho_{xy} = \frac{c_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{E[(x - \mu_x)(y - \mu_y)]}{\{E[(x - \mu_x)^2]E[(y - \mu_y)^2]\}^{1/2}}$$



关键技术

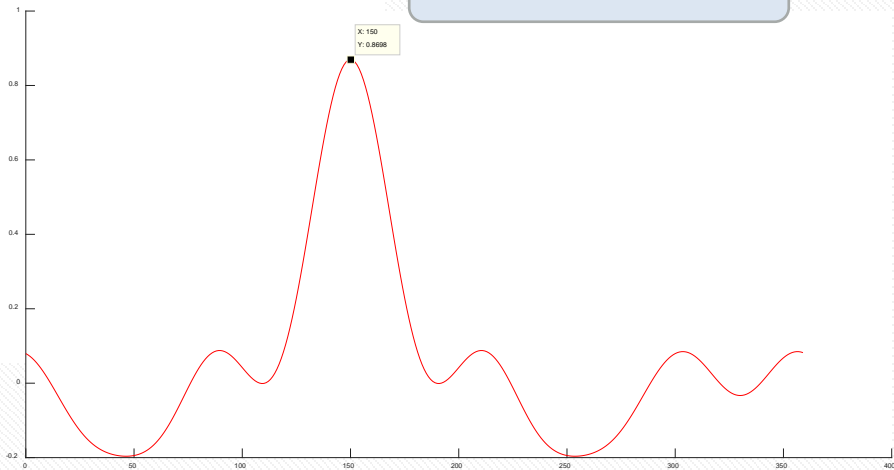
2

相关算法



抛物线插值

拉格朗日插值





技术优势

1

很强的抗多径失真能力

- 同时使用了天线间的矢量电压的分布，可以使用大尺寸天线阵。
- 天线孔径越大，抗相干干扰的能力越强

2

测向精度高

- 天线孔径大，相对误差变小
- 系统误差包含在样本中，通过相关算法消除

3

测向灵敏度高

- 天线孔径大，可降低白噪声干扰
- 相关增益，有类似积分的效果



 Part 3

空间谱估计测向

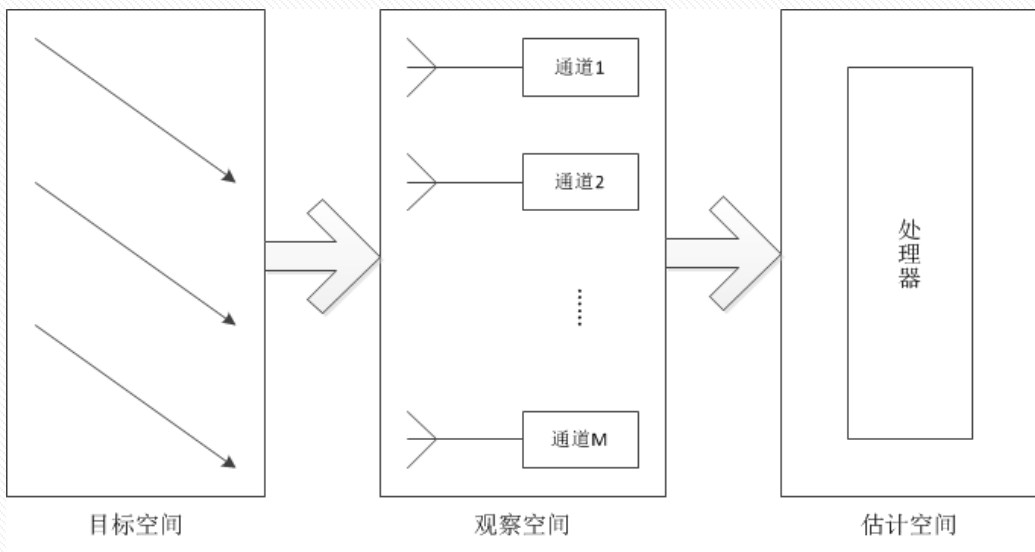
概述

空间谱测向技术是最近30年发展起来的一门新兴的测向处理技术。这种测向技术由于采用了先进的阵列信号处理方法，与传统测向体制相比，具有以下突出优点：

- 同频多信号测向能力
- 测向分辨率高
- 测向精度高
- 测向灵敏度高

原理

空间谱估计系统可由三部分组成：目标空间、观察空间与估计空间。



原理

阵列系统模型假设：

1. 远场假设
2. 窄带假设
3. 入射方向假设：点辐射源
4. 阵元间相互影响假设
5. 噪声假设：高斯白噪声

原理

多重信号分类(MUSIC)算法

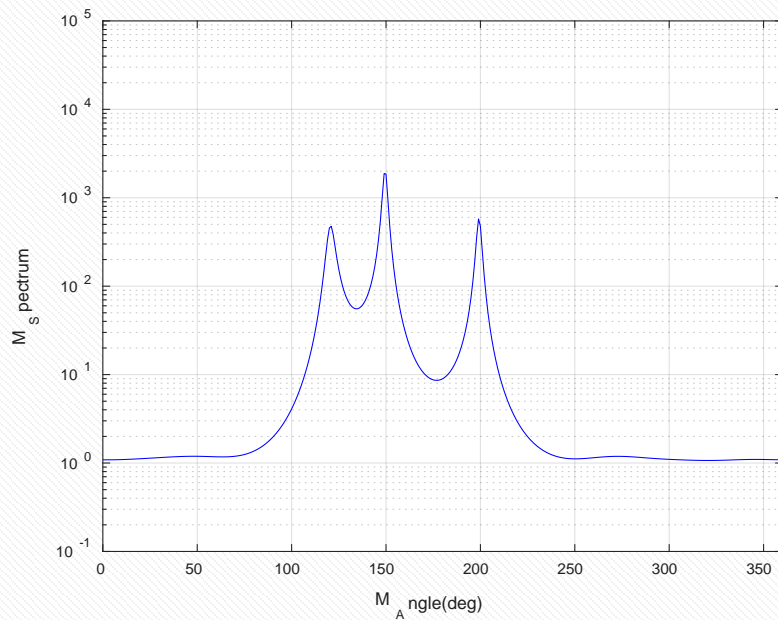
基本思想：对阵列输出数据的协方差矩阵进行特征分解，得到与信号分量相对应的信号子空间和正交的噪声子空间，再利用这两个空间的正交性来估计信号参数。

$$\mathbf{R} = \mathbf{U}_s \mathbf{\Sigma}_s \mathbf{U}_s^H + \mathbf{U}_N \mathbf{\Sigma}_N \mathbf{U}_N^H$$

$$P(\theta) = \frac{1}{\mathbf{a}^H(\theta) \mathbf{U}_N \mathbf{U}_N^H \mathbf{a}(\theta)}$$

原理

多重信号分类(MUSIC)算法





关键技术

1

信源数估计

常用的信源数估计算法主要有：

- 信息论准则信源数估计方法(AIC、MDL)
- 盖尔圆盘信源数估计方法
- 总体最小二乘拟合的信源数估计方法



关键技术

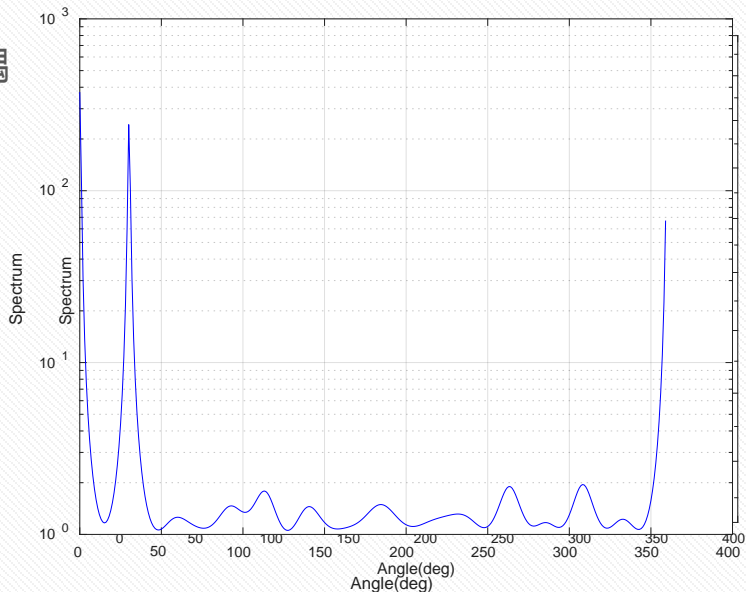
2

误差校准技术

误差分析：幅相误差与天线互耦

常用的校准方法有：

- 单信号源辅助校准法
- 多信号源辅助校准法
- 自校正方法





关键技术

3

解相干技术

- 空间平滑算法(前向平滑、后向平滑、双向平滑)
- 模式空间平滑算法
- 阵列虚拟平移算法



关键技术

4

计算速度优化

- 矩阵计算优化
- GCU实现
- 无需谱峰搜索的算法



性能分析

1

同频多信号测向

- 理论上最多可识别 $M-1$ 个信号(M 为天线阵元数)
- 由于系统误差、噪声等干扰难以达到

2

同频信号分离

- 无法确定感兴趣的信号
- 与数字波束合成技术相结合，可实现同频信号的分离



性能分析

3

测向分辨率

- 理想条件下可以分辨任意两个信号
- 工程上分辨率与采样样本大小、信噪比、系统误差、搜索步长等有关。

4

测向精度

- 利用了空域数据的所有信息，可以获得比其他测向体制更高的测向精度



缺点

1

对模型失真敏感

- 阵列天线间的互耦、天线元的位置误差、多通道接收机的幅相不一致误差等因素，都会导致空间谱估计测向性能下降甚至失效。

2

对噪声扰动敏感

- 低信噪比下性能下降，信源数估计不准。



缺点

3

相干信号源测向问题

- 虽然可以分辨相干信号，但大多数解相干算法对阵列形状有要求，且解相干算法会损失阵列的孔径。

4

设备复杂

- 设备复杂，对硬件要求高，运算量导致时效性差，成本高，机动性不好。



应用场景

1

短波测向

- 天线尺寸大，可以弱化因天线位置、工艺造成的误差
- 天线阵元间距大，天线间的互耦可以忽略
- 短波信号密集度高，电离层传播易产生多径干扰



应用场景

2

密集区测向

- 电磁环境复杂，多径干扰较多，相干干涉仪测向误差大
- 相关系数小于1，主信号电平与其他多径干扰相差较大时，空间谱估计测向有较好的测向精度与准确度。



Part 4

总结



两种测向体制对比

体制	相关干涉仪	空间谱估计
测向灵敏度	高	很高
测向准确度	高	很高
同频信号测向	无	有
抗干扰能力	高	高
系统机动性	中	低
测向距离	近、中、远	中、远
难度与造价	高	特高

用我们的专业
服务您的专业



关于我们
About US

地址：成都市高新西区百草路666号
电话：028-66329187
邮箱：cs@dgbc.net.cn

