

双通道多普勒测向机研究

宋朱刚, 陆安南

(中国电子科技集团第三十六研究所 浙江 嘉兴 314001)

【摘要】介绍了一种干涉仪测向机中相位差提取的方法和多普勒测向原理相结合的双通道多普勒测向机,它可以采用两部独立同型号的接收机实现对宽带信号测向。在阐述双通道多普勒测向机基本原理的基础上,给出了对调频信号进行测向的计算机仿真结果和部分外场测向试验数据,理论与实测表明:该测向机测向方法简单、可行。

关键词 测向; 多普勒; 干涉仪; 双通道
中图分类号 TN971 **文献标识码** A

Study on Dual-Channel Doppler Direction Finder

SONG Zhu-gang, LU An-nan

(No.36 Research Institute of China Electronic Technology Corporation Zhe jiang Jiaying 314001)

Abstract This paper introduces a dual-channel Doppler direction finder which combines the Doppler principle with the phase difference picking method used in the interferometer direction finder. The finder can be implemented with two independent receivers of same model for direction finding of broadband signals. On the basis of the description of fundamental principles of a dual-channel Doppler direction finder, this paper provides the computer simulation results of direction finding against FM signals and partial data from field tests. Theoretical deduction and test results both prove the simplicity and feasibility of the mentioned DF method.

Key words direction finding; doppler; interferometer; dual channel

多普勒测向机具有测向准确度高、场地适应性强、设备简单、工作可靠、便于维护的优点。但普通单通道多普勒测向机存在抗干扰能力差的问题,并且当发射信号本身存在频率调制或相位调制时,或者由于其他原因,天线接收到的信号包含频率调制或相位调制时,这种外部的频率调制或相位调制,就会跟天线转换时产生的调制混淆起来,因而使测向困难,甚至造成不能测向。

为了多普勒测向机对宽带信号测向,西方国家一般采用了二到三通道的测向接收机(以R&S公司的多普勒测向机为代表),由于对这种多通道测向接收机有一些特殊的要求(如要求不同的中频输出频率),所以多通道多普勒测向机成本升高,设备趋于复杂。

本文根据干涉仪测向机中相位差提取的方法和多普勒测向原理^[1,2],采用两部独立同型号的接收机进行双通道多普勒测向,它具有以下优点:(1)基本消除了宽带信号调制对测向机的影响,使双通道多普勒测向机具有对宽带信号测向的能力;(2)可以较大程度提高测向处理增益,提高测向灵敏度;(3)参考信号可以用测向天线附近的侦察天线和侦察接收机的输出信号替代;(4)不需要进行测向通道误差校正,提高了测向速度。

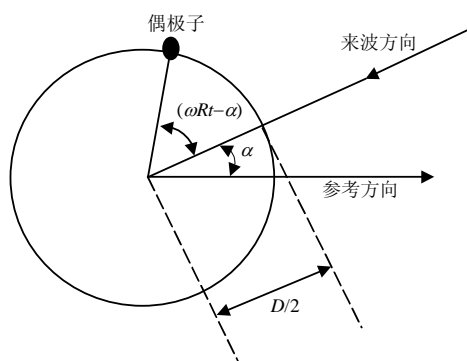


图1 多普勒测向基本原理

1 多普勒测向的基本原理

多普勒测向机中应用的物理效应是奥地利人克里斯琴·多普勒首先提出的。多普勒效应实质上是接收天线和发射天线的相对运动,导致接收信号的相位改变,使实际接收到的信号频率不同于发射台发射的频率。当接收天线向发射机移动时,多普勒效应使接收频率升高,反之则使接收频率降低。多普勒测向机原指由

收稿日期: 2003-10-27

作者简介: 宋朱刚(1969-),男,高级工程师,主要从事测向定位技术方面的研究。

单一天线旋转, 利用接收机中产生的多普勒频移进行测向的设备。如果测向天线沿着一个直径为 D 的圆形轨道运动, 旋转频率为 f_R 多普勒测向基本原理如图1所示。则瞬时电压为:

$$u(t) = A(t) \cos(\omega_T t + \varphi(t) + \eta \cos(\omega_R t - \alpha)) \tag{1}$$

式中 $A(t)$ 为接收信号的幅度; ω_T 为角频率; $\varphi(t)$ 为调制信号的瞬时相位; α 为方位角; η 为相位移; $\eta = \pi D / \lambda \cos \varepsilon$, ε 为仰角; ω_R 为测向天线旋转的角频率($\omega_R = 2\pi f_R$); T_R 为天线的旋转周期($T_R = 1 / f_R$)。

相位移 η 取决于接收电波的频率和仰角, 以及天线圆形轨道的直径 D 。偶极子朝入射电波的方向运动时相位移最大:

$$\eta = \frac{\pi D}{\lambda} \cos \varepsilon = \pi \lambda \tag{2}$$

如果电波有仰角, 则有效圆直径将减小, 减小的因数为 $\cos \varepsilon$ 。

对窄带信号, 特别是对 $A(t)=A$ 、 $\varphi(t)=\varphi_T$, 使用一个频率解调器进行处理, 解调器的输出信号由式(3)所示。在理想的频率调制时, 通过相位 Φ 的时间导数由式(3)求出瞬时频率 $\omega(t)$ 为:

$$\Phi(t) = \omega_T t + \varphi_T + \eta \cos(\omega_R t - \alpha) \tag{3}$$

$$\omega(t) = \frac{d\Phi(t)}{dt} = \omega_T - \eta \omega_R \sin(\omega_R t - \alpha) \tag{4}$$

滤除直流分量 ω_T 后得到的解调信号为:

$$S_{\text{Dem}} = -\eta \omega_R \sin(\omega_R t - \alpha) \tag{5}$$

将这个信号的负过零点与相同频率的参考信号 $S_D = -\sin(\omega_R t)$ 进行比较, 就可以得到方位角的值。

本文中所谓多普勒测向机实际上指的是一种准多普勒测向机, 它用射频开关顺序扫描转换多个排列成圆阵列的全向天线来代替多普勒测向机中的单一天线的机械转动。其组成如图2所示。图中包括了多普勒测向天线、参考信号接收天线、电子转换开关、通用接收机(两台)、双路A/D、处理与控制计算机等。

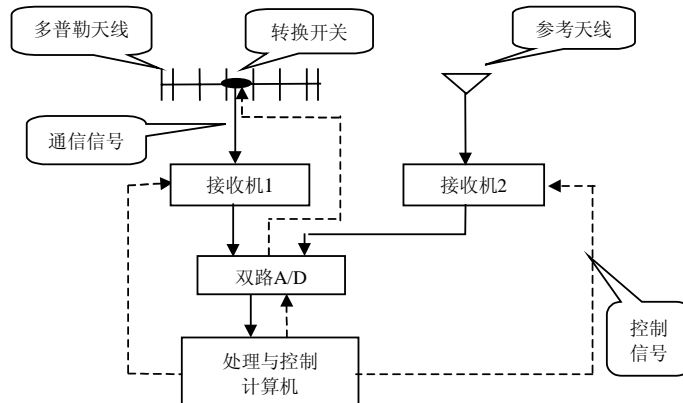


图2 多普勒测向机组成框图

2 双通道多普勒测向处理算法

设多普勒测向天线阵中心为参考点 O , 由参考点到第1个多普勒测向天线的方向为参考方向, 来波方向与参考方向的夹角为 α , 如图3所示。图中相对于参考点 O , 经过第 $n(n=1, 2, \dots, N)$ 个多普勒测向天线与接收机1的信号为:

$$S_n(t) = A_n \cos\{\omega_c t + \varphi(t - \tau_n) + \frac{\pi D}{\lambda} \cos[\frac{2\pi(n-1)}{N} - \alpha]\} \tag{6}$$

式中 A_n 为信号幅度; ω_c 为接收机中频; $\varphi(t)$ 为瞬时相位; $\tau_n = -\frac{D}{2C} \cos[\frac{2\pi(n-1)}{N} - \alpha]$; C 为光速。而对于参考点 O , 经过参考信号接收天线与接收机2的信号为:

$$S(t) = A \cos[\omega_c t + \varphi(t - \tau_0) + \phi_0(\omega, \Delta\omega, \tau_0)] \tag{7}$$

式中 A 为信号幅度; τ_0 为来波信号从参考天线到参考点 O 之间的时延; $\Delta\omega$ 为接收机2相对于接收机1的频

率误差。

在一次测向的短暂采样时间内 $\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_N$ 可视为常数, 并且对 $\varphi(t)$ 变化的影响来说一般也很小, 即有 $\varphi(t - \tau_n) \approx \varphi(t), n = 0, 1, \dots, N$ 。此外, 由于 $\omega, \Delta\omega, \tau_0$ 皆为常数, 因此 $\phi_0(\omega, \Delta\omega, \tau_0)$ 亦为常数。

用两路A/D对 $S(t)$ 和 $S_n(t)$ 同时量化保存, 分别用FFT提取 $S(t)$ 和 $S_n(t)$ 在 $t_n \in$ (信号稳定时刻, 下一次天线转换时刻-单次采样时间)时刻的相位:

$$\Phi = \varphi(t_n) + \phi_0(\omega, \Delta\omega, \tau_0) \quad (8)$$

$$\Phi_n = \varphi(t_n) + \frac{\pi D}{\lambda} \cos\left[\frac{2\pi(n-1)}{N} - \alpha\right] + \Delta\Phi \quad (9)$$

式中 $\Delta\Phi$ 是由于A/D引起的固定相位误差。计算 $S(t)$ 和 $S_n(t)$ 在 t_n 时刻的相位差可得:

$$\psi_n = \frac{\pi D}{\lambda} \cos\left[\frac{2\pi(n-1)}{N} - \alpha\right] + \psi_0 \quad (10)$$

式中 $\frac{\pi D}{\lambda} \cos\left[\frac{2\pi(n-1)}{N} - \alpha\right]$ 是多普勒相移, ψ_0 是与 n 无关的常数。多普勒测向天线转换开关转换一周后, 可以得到:

$$\psi_n = \frac{\pi D}{\lambda} \cos\left[\frac{2\pi(n-1)}{N} - \alpha\right] + \psi_0 \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (11)$$

式中 对 $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_N$ 做FFT, 可以计算出 α , 也可以将 $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_N$ 与方向-相位表进行比较得到方位角的估计值。

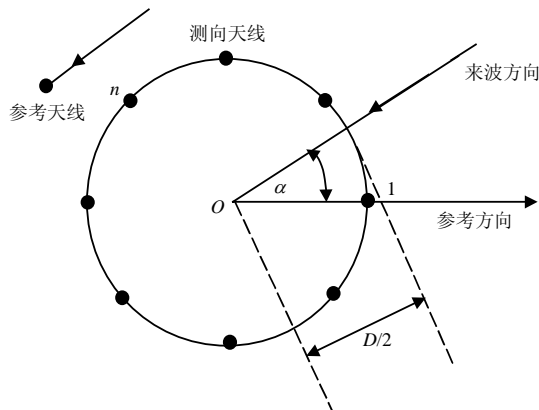


图3 双通道多普勒测向原理

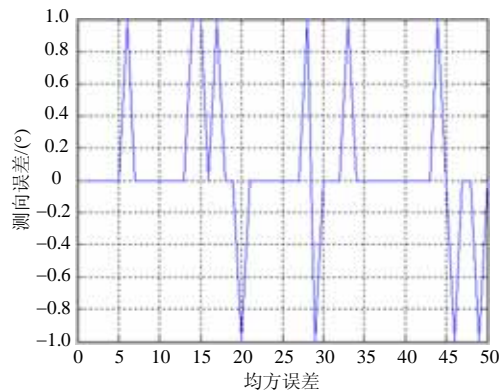


图4 50次测向的仿真结果

3 计算机仿真结果

以下是对有加性高斯白噪声 $G_n(t)$ 和 $G(t)$ 的单音调频信号测向计算机模拟的结果。

$$X_n(t) = A_n \cos\left\{\omega t + m \sin(\Omega t) + \frac{\pi D}{\lambda} \cos\left[\frac{2\pi(n-1)}{N} - \alpha\right]\right\} + G_n(t) \quad (12)$$

$$X(t) = A \cos[\omega t + m \sin(\Omega t) + \varphi_0] + G(t) \quad (13)$$

测向通道信噪比为5 dB, 参考通道信噪比为3 dB, $\omega = 2\pi \times 100$ MHz为载波中心角频率, $m = 1.4$ 为调制指数, $\Omega = 2\pi \times 5$ kHz为调制信号的角频率, $D = 3.2$ m, $N = 8$, $\alpha = 58^\circ$, $\varphi_0 = \pi/3$ 为信号的初相。仿真显示, 采用双通道多普勒测向体制能实现对宽带信号的测向。图4是对该调频信号的50次测向的结果。

4 实测结果

图5和图6是在某试验场近距离和远距离测试数据。

图5为实测数据的参数设置为: 信号源发射(30~80 MHz), 电平-20 dBm, 设置方位为 90° , 信源与测向机距离为100 m。测试三种信号样式, 全频段总均方根误差为 0.731° 。图6实测数据的参数设置为: 711军用电台, 设置方位为 237° , 距离为15 km。全频段(30~80 MHz)总均方根误差为 1.473° 。

(下转第487页)

像数据作为训练样本估计稀疏编码变换矩阵,较基于ICA基本模型的相干斑分离算法复杂,并且,只有在视数大于3时,该算法才能去除图像中近似服从高斯分布的相干斑噪声,否则,消除噪声能力非常有限。

从实验结果可以看出,基于ICA的两种方法都能有效减少相干斑,同时,具有较好的保留边缘纹理特征的能力,克服了传统的空域滤波方法在抑制相干斑的同时损失有用信息的缺陷,明显改善了图像质量,而且方法简单,自适应强。可以预见,这些方法将在雷达和遥感图像处理领域获得广泛应用。

参 考 文 献

- [1] Hyvarinen A, Karhunen J, Oja E. Independent component analysis[M]. New York: John Wiley, 2001.
- [2] Hyvarinen A, Oja E. Independent component analysis: Algorithms and applications[J]. Neural Networks, 2000, 13(4): 411-430.
- [3] Pi Yi-ming, Yang Xiao-bo, Liu Guo-qing. Polarimetric speckle reduction using multi-texture Maximum likelihood method[J]. IEE Electronic Letter, UK, 2003, 39(18): 1 348-1 349.
- [4] Arsenault H H, April G. Properties of speckle integrated with a finite aperture and logarithmically transformed[J]. Journal Optical Society America, 1976, 66(11): 1 160-1 163.
- [5] Hyvarinen A. Fast and robust fixed-point algorithms for independent component analysis[J]. Neural Processing letters, 1999, 10: 1-5.

编 辑 漆 蓉

(上接第480页)

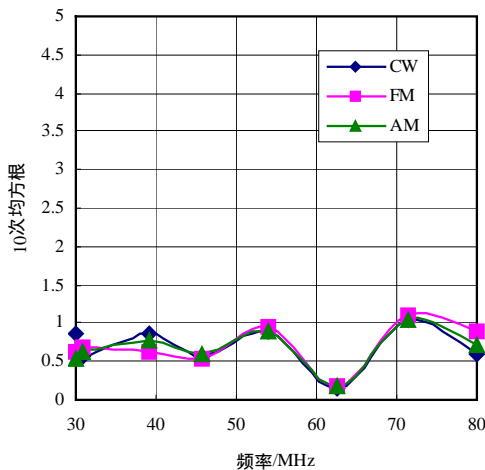


图5 近距离实测数据图

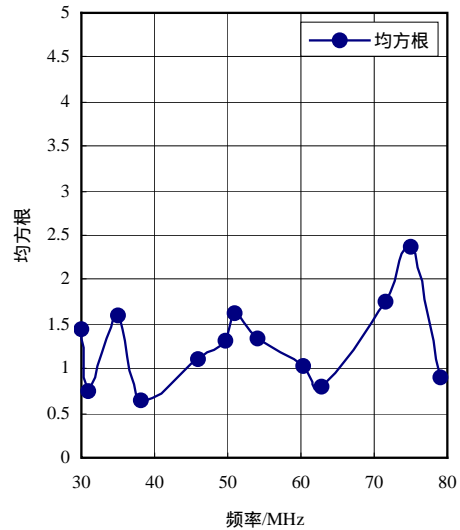


图6 远距离实测数据图

5 结 束 语

本文中的双通道多普勒宽带测向法着眼于设备简单、适应能力强这两个方面,它可以在已有的侦察接收天线和接收机的基础上增加少量设备使之具备测向能力。通过计算机仿真和实测结果显示,采用本文介绍的测向方法可以实现对宽带信号进行多普勒测向。

参 考 文 献

- [1] 鲁道夫 格拉鲍. 无线电测向技术[M]. 平良子译. 成都: 西南电子电信技术研究所, 1993.
- [2] 金克斯 H H. 小孔径无线电测向[M]. 蒋盘林, 钱晓华, 曹国英, 等译. 嘉兴: 电子部第三十六研究所《通信对抗》编辑部, 1995.

编 辑 刘 文 珍