

·信号与信息处理·

电离层回波信号的瞬时频率估计

李琼,余志惠,冷毅,石子言

(空军雷达学院,湖北 武汉 430019)

摘要:在电离层的探测与研究中,瞬时多普勒频率可以很好地表明多普勒效应随时间的变化情况,从而反映电离层的变化规律。文中采用相位差分法和相位建模两种瞬时频率估计方法,对实际电离层斜向返回探测系统的回波信号进行了仿真,并做出了比较分析,结果显示相位建模方法更能准确反映电离层的变化规律。

关键词:电离层斜向返回探测;多普勒;瞬时频率估计

中图分类号:TN911.7;TN957.51

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2011)02-0068-03

Instantaneous Frequency Estimation of Ionospheric Echo Signal

LI Qiong, YU Zhi-hui, LENG Yi, SHI Zi-yan

(Air Force Radar Academy, Wuhan 430019, China)

Abstract: In the detection and study of ionosphere, the instantaneous Doppler frequency can indicate the changes that the Doppler effect changes over time, to reflect the change law of ionosphere. Using the two instantaneous frequency estimation methods of the phase difference and phase modeling, the echo signal for actual ionospheric oblique backscattering sounding system is simulated and analyzed. The results show that the phase modeling can more accurately reflect the change law of the ionosphere.

Key words: ionospheric oblique backscattering sounding; Doppler; instantaneous frequency estimation

从物理学角度,信号可分为单分量和多分量信号两大类^[1]:单分量信号在任意时刻都只有一个频率,该频率称为信号的瞬时频率(instantaneous frequency);多分量信号则在某些时刻具有各自的瞬时频率。在电离层的探测与研究中,瞬时多普勒频率是多普勒效应随时间的变化规律,它反映了电离层的变化规律。在工程中,信号的瞬时频率是一个有着重要实际意义的信号参数,在雷达、声纳、通信和生物等领域有着广泛的应用^[2]。文中采用了相位差分法和相位建模这两种瞬时频率估计方法对电离层回波实测数据进行了仿真分析,并做出了比较。

1 瞬时频率

瞬时频率是将局部频率表征为时间的函数,即

$$f_i(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi(t)}{dt} \quad (1)$$

式中, $f_i(t)$ 为瞬时频率,是时间 t 的函数,即连续时间的实信号的瞬时频率定义^[3]; $\phi(t)$ 为连续时间的实信号对应的解析信号或基带信号的相位,它反映了信号能量作为时间的函数在频率集中的情况。

瞬时频率可以同时时在域和频域描述信号,瞬时频率的这一特性在信号建模、参数估计、重构、识别、目标跟踪中起着重要的作用。

2 相位差分法

由式(1)可知,连续时间的实信号瞬时频率的定义是一个微分形式,对于接收后通过A/D转换的

数字信号,微分运算对应着差分运算,即可得到离散时间瞬时频率的估计。不同的相位差分算子^[4]所对应的瞬时频率估计不同。其中,前向有限差分(forward finite difference)为

$$f_f(n) = \frac{1}{2\pi} [\phi(n+1) - \phi(n)] \quad (2)$$

相位差分法是一种最基本的频率估计方法,计算简单,但是受噪声影响较大。用离散的相位值估计瞬时频率,其采样率必须满足Nyquist准则,否则应采用其他方法对频率去模糊。

3 相位建模法

相位差分法对瞬时频率的规律未作任何明确的假设,但是一种常见情况是:瞬时频率的变化率可以用有限阶次的多项式表示。现在假定离散实信号 $s(n)$ 的解析信号 $z(n)$ 包含有 Gaussian 白噪声 $\varepsilon(n)$,即

$$z(n) = A(n)e^{j\phi(n)} + \varepsilon(n) \quad (3)$$

式中, $A(n)$ 为信号的幅值; $\varepsilon(n)$ 表示方差为 δ^2 的高斯白噪声过程; $\phi(n)$ 为信号的相位,由 p 阶多项式^[5]定义为

$$\phi(n) = a_0 + a_1n + a_2n^2 + \dots + a_pn^p = \sum_{k=0}^p a_k n^k \quad (4)$$

根据瞬时频率的定义,瞬时频率可以表示为

$$f_i(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi(n)}{dn} = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=1}^p k a_k n^{k-1} \quad (5)$$

由式(5)可见,瞬时频率的估计转化为多项式相位的阶次 p 及其系数 a_k ($k=0, 1, \dots, p$)的估计。

4 仿真分析

将利用相位差分法和相位建模法瞬时频率的估计方法对电离层斜向返回探测回波信号进行估计,并作出分析。

图1是电离层回波信号的多普勒谱,可以看到它的多普勒频移不大,幅度最大处频移约为0.18 Hz,但是展宽很大,无法了解到电离层回波多普勒效应随时间的变化情况。

图2a是电离层回波信号的相位差分法瞬时多普勒频率估计,由此可见,在27 s的时间内,多普勒

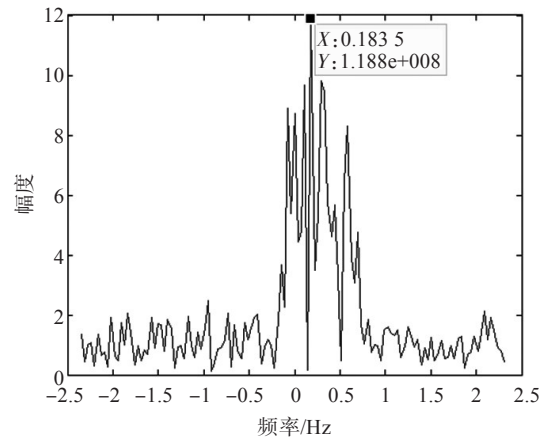
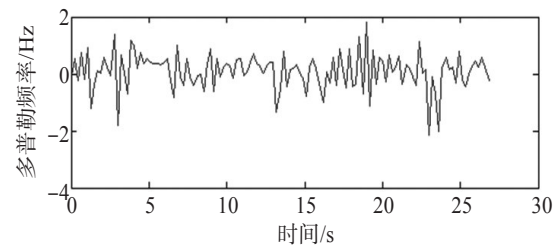


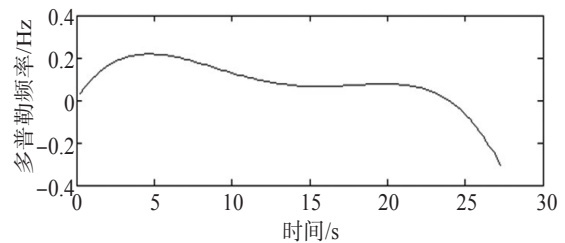
图1 电离层回波信号的多普勒谱图

频移大致在0.15 Hz左右,在噪声影响下,多普勒频率随时间在0.15 Hz附近快速变化,无法看出多普勒效应。

图2b是电离层回波信号的相位建模法瞬时多普勒频率估计,由于回波信号的多普勒谱展宽大,意味着相位模型阶数高,根据实际经验在文中取相位模型阶数为5阶。由图2b可以明显看出,相位建模法瞬时频率估计的曲线比较光滑,没有了频率的快速变化,能比较准确地估计多普勒频移,约0.2 Hz,多普勒展宽相对较小。



(a) 直接差分法



(b) 相位建模法

图2 电离层回波信号的瞬时多普勒频率估计图

5 结束语

瞬时频率在工程实践中是一个很重要的概念,并有着广泛的应用。文中重点研究了电离层斜向

返回探测系统回波信号瞬时频率估计的两种方法,并做出了仿真分析。

相位差分法是一种最基本的估计方法,是根据瞬时频率的定义来进行估计的,具有概念明确,计算简单的特点,但是这种方法只能在信噪比较高的情况下进行估计,受噪声影响很大,适用范围有限。

参数建模法是对相位差分法的改进算法,根据先验知识提前对信号的形式进行建模,然后估计模型的参数,可以达到较高的精度,适用于有限阶次的多项式相位信号,有一定的抗噪性能。但是估计所需的信噪比较高,估计的稳定性较差,要选择合适的模型阶数,对于相位多项式高阶系数影响较大

的信号计算成本较大。

参考文献

- [1] 叶钊. 时频分析在雷达信号处理中的应用[D]. 长沙:国防科技大学,2005:14-16.
- [2] 卫俊平. 时频分析技术及应用[D]. 西安:西安电子科技大学,2005:42-50.
- [3] Vile J. Theorie et applications de la notion de signal analytique[J]. Cables et Transmission, 1948, 2A: 61-74.
- [4] 张贤达. 保铮. 非平稳信号分析与处理[M]. 北京:国防工业出版社,1998:84-87.
- [5] 张贤达. 信号处理中的线性代数[M]. 北京:科学出版社,1997.

(上接第67页)

值。当输出数据不在图像最外一行(列)时,判断产生的中值与需要替代像素的原始值的差值 T ,当差值 T 很大时用中值替代,相差不大取原始数据。在此过程中为了把原始值与中值在一个时钟进行比较,需要将原始值用移位寄存器进行延时 $1280+6$ 个时钟周期,使它的值与mid_value在同一时钟内产生。 T 的选择可以通过实验选取一个恰当的值,这里对14位输入数据,选取30左右为宜。

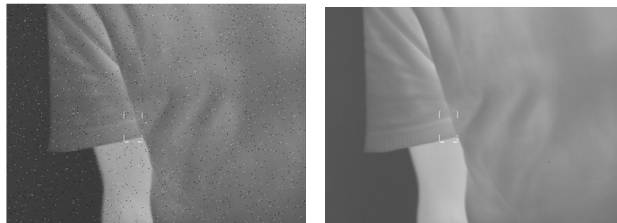


图7 中值滤波前原始图像 图8 中值滤波后图像

将一幅未经处理的原始红外图像(图7),原始图像加入了孤立的噪声点,输入FPGA中值滤波器得到滤波后的图像如图8,试验结果可以看出,原始图像中孤立的噪声点得到了有效的滤除,利用FPGA实现的中值滤波得到了预想的效果。

3 结束语

通过对传统的中值滤波算法进行改进,能够更好地保证图像质量。算法在 640×512 元红外焦平面阵列探测器实现 3×3 窗口对图像进行中值滤波,中值滤波对图像的点噪音的去噪能力效果明显。对

于 5×5 或 7×7 模板的中值滤波,求取中值过程复杂,但采用流水的方式处理,只是对数据多做几个延迟。当红外目标为几个像素点组成的弱小目标,为了便于进行目标识别处理,不建议选用 5×5 或 7×7 的模板处理。窗口内噪声个数大于窗口内元素数一半时,中值滤波效果下降。当目标为一个像素点或亚像素时最好不用中值滤波,采用基于形态学滤波与维纳差分滤波背景抑制算法,或直接选用比较好的非均匀校正与盲元替换效果更为理想,可以更好地保护目标信息不被滤除掉。

参考文献

- [1] 李洋波,赵不贿. 基于FPGA的图像中值滤波的硬件实现[J]. 现代电子技术,2008,22:99-101.
- [2] 李飞飞,刘俸宁,王艳华. 改进的中值滤波算法及其FPGA快速实现[J]. 计算机工程,2009(14):175-176.
- [3] 石岩. 凝视红外成像信息处理系统图像预处理方法与系统[D]. 武汉:华中科技大学,2006.
- [4] 姜勇,刘广文,赵丹培,等. 基于FPGA的图像增强以及滤波技术[J]. 长春理工大学学报,2002(12):20-22.
- [5] 任爱峰,初秀琴,常存,等. 基于FPGA的嵌入式系统设计[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004:260.
- [6] 朱梦宇,赵保军,韩月秋. 复杂背景下点目标检测算法[J]. 红外,2002(7):21-24.
- [7] Rafael C Gonzalez, Richard E Woods. Digital Image Processing[M]. 北京:电子工业出版社,2003:171-180.
- [8] Kenneth R Castleman. Digital Image Processing[M]. 北京:电子工业出版社,2002:205-210.