

相检积分法测量电离层的相干积累时间

黄 德 耀

(中国电波传播研究所)

摘 要

本文提出了一种相检积分法。试图用简单的模拟方法分析返回散射回波的频谱,以求出电离层返回散射信道的相干积累时间。

一、引 言

在利用高频返回散射技术探测目标时,为了改善信杂比,提高抑制地物杂波干扰的能力,在信号处理时,通常采用相干积累方法。根据脉冲多普勒雷达理论^[1],对相检信号进行相干积累可以提高抑制地物杂波的能力。当相干脉冲数 N 较大时,地物杂波抑制制度 CA (clutter attenuation) 和 N 有如下近似关系:

$$CA \cong 2N^2,$$

相干积累时间 $T_d = \frac{N}{F_r}$, 这里 F_r 为发射脉冲重复频率,可见:

$$CA \cong 2F_r^2 \cdot T_d^2.$$

在探测目标时,重复频率 F_r 一定。对于相干脉冲串的最佳检测系统是匹配滤波器,其带宽 b 和 T_d 成倒数关系,即 $b = \frac{1}{T_d}$, 所以 T_d 的大小决定了所用滤波器的最佳带宽。

高频返回散射信道是电离层信道。电离层是时变色散介质。由于电离层运动和电离层电子浓度的变化,使经过电离层传播的信号产生相位变化,产生多普勒频移。所以,经电离层传播的信号能够进行相干积累的时间取决于电离层的相对稳定性。电离层的相对稳定性是随时间变化的,所以如果能实时地测量电离层的相干积累时间,就能实时地、正确地选择高频返回散射探测仪的相干积累时间,从而提高探测仪的探测能力。

由电离层垂直运动或电子浓度变化这样大尺度折射效应所产生的多普勒频移,实际上对相干积累时间不是起决定作用的。而由小尺度的电离层不均匀体运动引起信号的随机相位变化所产生的频移谱线展宽,对于相干积累时间有决定意义。也就是说,若多普勒频移较大,而谱线相当窄,以致谱线宽度不大于单个滤波器带宽,那么,实际可相干积累的时间是相当长的;反之,若谱线较宽,致使谱线宽度大于单个滤波器的带宽,那么实际可相干积累时间就受到限制。从实际测量的结果来看,通常电离层引起的多普勒频移越大,相

应频谱展得越宽。这里, 取多普勒频移谱线宽度为多普勒频移概率密度谱的标准差的两倍, 而相干积累时间为谱线宽度的倒数。

二、测量设备及分析方法

图 1 给出了相检积分法测量电离层相干积累时间的设备框图。发射机的脉冲功率为 10kW, 脉冲宽度 100 μ s, 重复频率为 30Hz, 天线是 PT(70/6) 1.25 单菱形天线, 天线指向南偏西 2 度。发射机和接收机的振荡源使用同一个频率合成器, 稳定度为 10^{-9} /day。

发射一组脉冲, 每个脉冲的幅度比例于 $\text{Re}[a_0(t)e^{i(\omega_0 t + \varphi_0)}]$, 其中 $a_0(t)$ 为振幅, ω_0 为载频, φ_0 为初始相位。尽管 $a_0(t)$ 是时间的函数, 但由于发射脉冲的重复频率 (30 Hz)

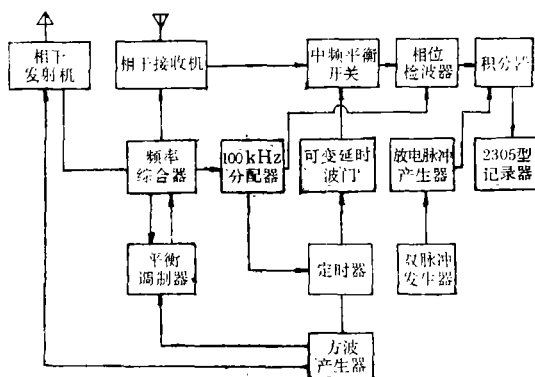


图 1 相检积分法测量电离层相干积累时间的系统框图
Fig. 1 The diagram of the phase detection integral method for measurement of the ionospheric coherent accumulative time

远大于 $2\sigma_{fa}$, 故不会影响测量结果。它经电离层传播和地面散射后, 进入接收机的信号比例于 $\text{Re}\{a(t)e^{i[\omega_0 t - \varphi(t)]}\}$, 其中 $a(t)$ 和 $\varphi(t)$ 是随机的, 引入了幅度和相位的变化。接收机的中频输出信号则比例于 $\text{Re}\{a(t) \cdot e^{i[\omega_0' t - \varphi(t)]}\}$, ω_0' 为中频, 它等于 100kHz。将一定时延距离门内的接收信号输入比相器 (取样速率为 24Hz), 与频率合成器的两路 100 kHz 比相 (其中一路相移 90°), 滤波后, 相检器输出两路正交信号^[2]:

$$A(t) = a(t) \cos \varphi(t), \quad B(t) = a(t) \sin \varphi(t).$$

$\varphi(t)$ 随机变化, 所以相检输出的脉冲幅度包络呈现出随机准周期性的变化。这包络曲线包含的频谱就是多普勒频谱。

对上述信号进行付里叶分析是可以得到其频谱的, 这种数学处理方法比较精确。我们试图用简单的模拟法处理, 以便能用简单的设备实时进行测量。

经电离层传播的信号多普勒频移为

$$f_d = -\frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi}{dt}, \quad (1)$$

若将相检器输出的信号相位变化 π 的时间记为 t , 则

$$t = \frac{\pi}{\frac{d\varphi}{dt}}, \quad (2)$$

因此,

$$|f_d| = \frac{1}{2t}. \quad (3)$$

这里研究的随机量 t 是时间,不能用事件概率密度来描述它的出现概率。例如,在两分钟的采样中,若 t 为 10 秒的事件出现了六次,而 t 为 1 秒的事件出现了六十次,则 $t = 10\text{s}$ 的事件概率密度为 9%,但实际上它在时间上却占了 50% 的时间。而实际上人们关心的是后者,即在考察的时间内, t 为某值的占多少时间。所以,把 t 出现的时间概率密度 P_i 定义为 t_i 出现时间与总取样时间之比,则

$$P_i = \frac{n(t_i)t_i}{T}, \quad (4)$$

而

$$T = \sum_{i=1}^m n(t_i)t_i. \quad (5)$$

记 $t > t_0$ (某一定时间)的时间概率密度为 P_k , 则有

$$P_k = \frac{\sum_{i=1}^k n(t_i)t_i}{\sum_{i=1}^m n(t_i)t_i}. \quad (6)$$

其中, $n(t_i)$ 为在取样时间内, t_i 出现的次数, T 为取样总时间, i 为 t 的种类, m 为 t 的种类数, k 为 $t > t_0$ 的种类数。

由此, t 和 $|f_d|$ 的数学期望为

$$Mt = \sum_{i=1}^m t_i P_i, \quad (7)$$

$$M|f_d| = \sum_{i=1}^m |f_d| P_i. \quad (8)$$

在取样时间内,多普勒频移有一个分布,取多普勒频移的概率密度谱的标准差两倍来定义多普勒展宽,则

$$\Delta f_d = 2\sigma_{fd} = 2 \sqrt{\sum_{i=1}^m (|f_{di}| - M|f_d|)^2 P_i}. \quad (9)$$

于是,电离层返回散射信道相干积累时间

$$T_d = \frac{1}{\Delta f_d}. \quad (10)$$

将相检器输出的两路正交信号 $a(t)\cos\varphi(t)$ 和 $a(t)\sin\varphi(t)$ 分别接入示波器的水平输入端和垂直输入端,在示波器上将合成为一个点。由于 $a(t)$ 、 $\varphi(t)$ 均随时间变化,所以,该点将旋转呈李萨如图。根据合成点旋转的方向,可以判断多普勒漂移的方向。

三、数据处理及结果

对相检输出的信号,如果能将相位变化了 180° 的时间记录下来就得到了需要作统计的量 τ 了。于是,将相检信号输入一直流积分器中,调整积分器工作状态,使积分器具有如下特性:当正极性输入时,则有积分作用,而负极性输入则无积分作用,只保持原来的积分电平。由放电脉冲产生器每隔一定时间(这里取 2 秒)产生一个放电脉冲,使积分器放电。积分器的输出电平用 2305 型记录器记录在一定速度(白天数据用 10mm/s,晚上用 30mm/s)的纸带上。记录的结果如图 2 所示。在图中的 $AB = 0.5s$, $BC = 0.3s$, 均是相应时间的 τ 值。一般分析取样时间每小时为 2 分钟,按 (4) — (10) 式统计,然后对全月的小时数据求小时月中值。由于散射仪探测目标时,散射仪的滤波器带宽不能经常变化,所以在实际应用中,对相干积累时间的小时月中值的日变化感兴趣。

表 1 是 6 月从新乡向南探测的测量结果。

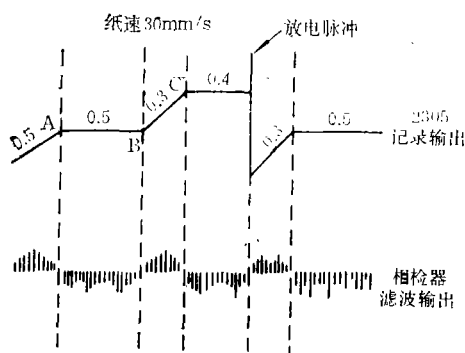


图 2 2305 记录及相检输出的关系

Fig. 2 The relationship between the 2305 record and the phase detection output

表 1 电离层返回散射回波多普勒频移绝对值、多普勒谱宽和相干积累时间小时月中值

项 目 \ 钟 点	01	03	05	06	07	08	10	12	14	16	19	20	21	23
多普勒频移 (Hz)	0.83	0.63	1.19	1.03	0.88	0.20	0.12	0.09	0.07	0.11	0.90	1.43	1.70	0.78
多普勒谱宽 (Hz)	1.19	1.00	1.41	1.03	1.21	0.46	0.39	0.26	0.21	0.28	1.18	1.14	1.40	1.73
相干积累时间 (s)	0.84	1.00	0.70	0.97	0.82	2.17	2.56	3.85	4.76	3.57	0.85	0.76	0.71	0.58

日出时间: 05:00, 日落时间: 19:00, 新乡向南探测, 1978 年 6 月

可以看出,电离层返回散射信道白天是较稳定的,相干积累时间的小时月中值为 4 秒左右,而日出日落时间稳定性就较差,其相干积累时间的小时月中值小于 1 秒。平均多普勒频移小时月中值数量级为 0.07—1.7Hz 之间,多普勒展宽小时月中值为 0.2—1.7Hz 之

间。这个结果与文献[3]的结果数量级相同。对于每次取样 120 秒的时间来说,在白天时间,相干积累时间可能达到 10 秒以上,而日出日落时却有不到半秒的。因此,对某些需要知道实时相干积累时间的系统来说,短期的相干积累时间也是十分有用的。

四、结 束 语

用模拟式相检积分法可以实时地测量电离层引起的多普勒漂移和电离层的相干积累时间,并能实时地、直观地显示出多普勒漂移的方向。这对于某些需要知道实时相干积累时间的系统来说是很有用的。

在本文研究工作中,焦培南和蒋泽民同志曾给予有益的帮助;卢云春、朱雄生、张秀菊等同志在研制设备、实验测试等方面作了大量的工作,特在此致谢。

参 考 文 献

- [1] M. I. 斯科尔尼克主编,雷达手册(谢卓译),国防工业出版社,第 1 页,1978.
- [2] Jain, C. L., *J. I. T. E.*, Vol. 19, p. 8, 1973.
- [3] Balser, M. and M. B. Smith, *S. Res. N. B. S.*, Vol. 66 D, p. 721, 1962.

PHASE DETECTION INTEGRAL METHOD FOR MEASUREMENT OF THE IONOSPHERIC COHERENT ACCUMULATIVE TIME

Huang De-yao

(China Research Institute of Radio-Wave Propagation)

Abstract

In this paper, a phase detection integral method is presented. An attempt is made to analyse the frequency spectra of the backscattering echo using the simple simulation method and to evaluate the coherent accumulative time of the ionospheric backscattering channel.