第17卷 第3期
1993年5月

大 气 科 学
SCIENTIA ATMOSPHERICA SINICA

Vol.17, No.3
May 1993

对“距离积分式天气雷达数字视频积分处理器的积分精度”一文的一些看法

——与庄荫模、程箴荣两同志商榷

袁立功

（南京气象学院大气系，南京 210044）

《大气科学》第13卷第4期发表的庄荫模、程箴荣两位同志的论文“距离积分式天气雷达数字视频积分处理器的积分精度”一文是有意义的，但文中某些内容也许是欠妥当，现提出讨论，不对之处请指正．文中主要的问题：(1) 题为“…… 数字视频积分处理器的积分精度”，但在计算数字距离平均有效独立样本数时，应用了连续的模拟的距离平均有效独立样本数的公式(3)，且公式(3)也不适用于对数回波信号．(2) 文中引用了独立时间公式 $T_0=1.71\times10^{-3}\lambda$，此式也不适用于对数回波信号，本人推导出的独立时间 $T_{0\,\log}=2.28\times10^{-3}\lambda$．

1. 关于数字视频积分器(DVIP)积分精度公式的说明

庄文中引用了小平信彦[1]得出的平均回波强度的标准差(当$K_I\geqslant10$)

$$\sigma=\frac{5.57\ \mathrm{dB}}{\sqrt{K_I}}\quad, \tag{1}$$

式中 K_I 是参加积分的有效独立样本数．此式是对对数回波信号积分平均处理后的结果，所以它只能适用于对数回波信号．另外，因为庄文讨论的是 DVIP 的积分精度，所以 $K_I=K_{rI}\cdot K_{pI}$ 中的K_{rI} 应是离散的数字距离平均的有效独立样本数，而不是连续的模拟距离平均的有效独立样本数．

2. 连续的模拟距离平均有效独立样本数与离散的数字距离平均有效独立样本数之差异

庄文题为“距离积分式天气雷达数字视频积分器的积分精度”，但在推导平均回波强度标准差(8)式时，应用了连续的模拟距离平均有效独立样本数的公式(原文公式(3))

$$K_{rI}=\frac{6K_1^{\,2}}{4K_1-1}\quad, \tag{2}$$

式中$K_1=\dfrac{L}{\frac{1}{2}c\tau}$，这里$L$是距离积分的距离库长度，$\tau$是脉冲宽度，$c$是电波传播速率．

1992年3月31日收到．

对数回波信号经离散的数字距离平均后，有效独立样本数[2] $N_{I\log}$ 可表达为

$$N_{I\log}^{-1}=\begin{cases}\dfrac{1}{N}+\dfrac{12}{N^2\pi^2}\sum_{K=1}^{K_u}\sum_{m=1}^{\infty}(N-K)m^{-1}(1-KL_r/D_0)^{2m} & k_u\leqslant d_0/L_r,\\ \dfrac{1}{N} & L_r>d_0,\end{cases}\tag{3}$$

式中 N 是离散的距离样本数，L_r 是 N 个离散样本的空间间隔距离，$D_0=\frac{1}{2}c\tau$ 即为雷达脉冲体积长度．

3. 对数接收机输入和输出的回波信号经连续距离平均后有效独立样本数的差异

通常天气雷达用大动态范围的对数接收机来适应降水等气象目标大范围的强度变化，但是对数接收机是非线性的，本文输出的回波信号的强度涨落谱和相关函数都会与输入信号的强度涨落谱和相关函数不同．距离平均独立样本数与相关函数有关，因此在相同的情况下对对数接收机输入和输出信号进行连续距离平均会有不同的有效独立样本数．

庄文中的(3)式，(即本文中的(2)式)只能用来计算对数接收机输入信号连续距离平均后有效独立样本数，而对数接收机输出信号连续距离平均后有效独立样本数[2]

$$N_{I\log}^{-1}=\begin{cases}\dfrac{12D_0^2}{\pi^2D_1^2}\sum_{m=1}^{\infty}m^{-2}\left[\dfrac{D_1/D_0}{2m+1}-\dfrac{1}{4m^2+6m+2}\right], & D_1\geqslant D_0,\\ \dfrac{12D_0^2}{\pi^2D_1^2}\sum_{m=1}^{\infty}\dfrac{1}{(2m+2)(2m+1)}\left[\left(1-\dfrac{D_1}{D_0}\right)2(m+1)+2(m+1)\dfrac{D_1}{D_0}-1\right], & D_1\leqslant D_0,\end{cases}\tag{4}$$

式中 D_0 是雷达脉冲长度，D_1 是距离积分库长度．

庄文中"…… 把 1 km 距离内的 16 次取样看成是连续的距离积分，这样可以用(8)式计算出用于 713 雷达的南京大学大气科学系等单位研制的距离积分式 DVIP 的积分精度(用 σ 表示)如表 3 所示．"，这段话有二个问题：

(1) 把 16 次离散取样看成是连续的距离积分是不妥的，因为离散的距离平均和连续的距离平均具有不同的有效独立样本数．

(2) 即使因为 1km 内取的样数较多(16 次)而近似地看成连续的距离平均，但也不能用(8)式来计算 σ，这是由于推导(8)式时，应用了只适用于对数接收机输入信号的距离平均的庄文中的(3)式，而现在处理的是对数回波信号．现以南京大学大气科学系等单位研制的距离积分式 DVIP 为例．已知参数：距离积分的距离库长度 $L=1$ km，脉冲宽度 $\tau=2\,\mu$s，1km 中取样 16 次，$D_0=\frac{1}{2}c\tau=300$m，$K_1=\dfrac{L}{\frac{1}{2}c\tau}=\dfrac{1000\text{m}}{300m}=3.3$，计算结果：

(1) 对数接收机输入回波信号连续距离平均的有效独立样本数 $K_{r,l}=5.4$；

(2) 对数接收机输出回波信号连续距离平均的有效独立样本数 $N_{I\log}=7$；

(3) 对数回波信号 1 km 中 16 次取样平均的有效独立样本数 $N_{\mathrm{I\,log}}=6.58$.
可见，庄文中用(3)式计算出的连续平均有效独立样本数 5.4 来替代 1km 16 次样本距离平均的独立样本数 6.58 是不妥当的，在物理概念上也是有区别的 .

4. 独立时间 $T_0=1.71\times10^{-3}\lambda$ 的修正

原文中引用了独立时间

$$T_0=1.71\times10^{-3}\lambda\ , \tag{5}$$

式中 λ 为雷达波长 .

假定回波强度涨落谱服从高斯分布，并根据强度涨落谱与自相关函数互为傅立叶变换，先推导出自相关函数，然后令自相关函数为0.01，作为独立取样的条件，则可得出(5)式[3]. 上面假定回波强度涨落谱服从高斯分布，这对于天线接收到的然后输入对数接收机的回波信号可以说是合理的，但经过非线性的对数接收机后对数回波信号的强度涨落谱已不是高斯分布[1)]，因此其相关函数也因之而变化，对数回波信号的相关函数[3]

$$\rho_{\log}(t)=\frac{6}{\pi^2}\sum_{m=1}^{\infty}m^{-2}\exp\left(-mt^2/\sigma_t^2\right)\ , \tag{6}$$

式中σ_t 是相关时间的尺度，$\sigma_t=\dfrac{\lambda}{4\pi\sigma_v}$. 令$\rho_{\log}(t)=0.01$ 作为先后二个脉冲样本的独立条件，则从(6)式可求出相应的独立时间 $T_{0\log}$. 在计算 $T_{0\log}$ 时与通常的假定一致，多普勒标准差 σ_v 仍取 1m/s，得独立时间

$$T_{0\log}=2.28\times10^{-3}\lambda\ . \tag{7}$$

可见，对数回波信号的独立时间较大，这是因为相同时距下对数视频信号的相关函数大于输入接收机信号的相关函数 .

参 考 文 献

[1] Kodaira, N., 1960, The characteristics of the averaged echo intensity received by the logarthmic I. F. amplifier. Proc. 8th Weather Radar Conf., 255 — 261.

[2] Walker, Geme B. P. S. Ray, D. Zrnic and R. Doviak, 1980, Time, angle and range averaging of radar echoes from distributed targets. *J. Appl. Meteor.*, 19, 315 — 323.

[3] 马振骅等, 1986, 气象雷达回波信息原理, 科学出版社, 76 — 79.

1) 袁立功, 刘辉, 1986, 中频对数放大器非线性问题的探讨, 气象教育与科技, 39 — 45.