

对袁立功同志文章的回答

庄荫模 程箴荣

(南京大学大气科学系, 南京 210008)

首先需要说明, “距离积分式天气雷达数字视频积分处理器积分精度”一文解决的问题是: 由 McGill 大学首创, 南京大学等单位改进研制的高分辨距离积分式数字视频积分处理器 (DVIP) 的积分精度, 和通用的低分辨率距离——方位积分式 DVIP 积分精度可用单一的数值表示的情况不同, 它本质上随距离和方位变化, 无法进行理论分析计算, 无法进行简单的定量描述, 不同类型, 不同设计参数的 DVIP 的积分精度无法互相比较. 和传统的距离——方位积分式低分辨 DVIP 相比, 高分辨距离积分式 DVIP 是否只是一种低积分精度 DVIP 的争论无法确切论断. 为了解决以上问题, 我们文章的技术路线是: 在已有的距离、方位积分理论的基础上, 根据数字模拟的距离积分式 DVIP 积分样本数随方位变化小, 随距离变化大的特点, 用推求其方位平均的网格内积分样本数的距离函数的方法来解决这些问题. 袁立功同志提出的问题对我们文章提出的解决问题的基本方法和作用没有影响.

袁立功同志提出的问题是我们的文章引用已有的距离积分等效独立样本数公式

$$K_{eff} = \frac{6K_1}{4K_1 - 1} \quad (1)$$

和独立取样时间的关系式

$$t_0 = 1.71 \times 10^{-12} \lambda \quad (2)$$

时发生的. 这里(1)式中的 K_{eff} 是距离积分等效独立样本数, $K_1 = \frac{L}{\frac{1}{2} \tau c}$, 其中 L 是

距离积分库长, τ 是雷达脉冲长度, c 是电波传播速度; (2)式中的 t_0 是独立取样时间, λ 是雷达波长.

(1) 袁立功同志提出(1)式是对模拟信号连续积分情况的, 不能在数字信号离散取样的情况下. 显然, 在样本数很少的情况下, 连续积分和离散取样积分等效独立样本数是可能有比较大的差别, 但是, 在大样本的情况下它们可能近似相等. 我们在文章中把 $L = 1 \text{ km}$ 内取样加密到 16 次作为连续取样, 这是一种近似处理. 按袁立功同志文章中的计算结果, 对数接收机连续积分等效独立样本数为 7, 而在同样情况下 1 km 内离散取样 16 次平均, 其等效独立样本数为 6.58, 这两个数值实际上也相差不大, 可以说近似.

(2) 袁立功同志提出(1)式只适用于对数接收机输入信号. 事实上(1)式是线性接收机输出信号的等效独立样本数表达式. 如果说它是对数接收机输入信号的等效独立

样本数公式, 则显然也可以说它也是线性接收机输入信号的等效独立样本数公式. 但是作为视频积分处理器进行距离积分的理论公式, 它当然是应用于放大器输出信号的公式.

(3) 袁立功同志提出(1)式和(2)式不适用于对数接收机的情况, 我们同意这个意见, 在这方面我们的文章有混淆的情况, 考虑袁立功同志的意见, 在对数接收机的情况下, 距离积分等效独立样本数 $K_{r,l}$ 的关系式为

$$K_{r,l} = \begin{cases} \frac{1}{K} + \frac{12}{K^2\pi^2} \sum_{i=1}^{K_u} \sum_{m=1}^{\infty} (K-i)m^{-1} \left(1 - \frac{iL_r}{h}\right)^{2m} & K_u \leq \frac{h}{L_r} \\ \frac{1}{K} & L_r > h \end{cases}, \quad (3)$$

式中 K 是离散取样的样本数, L_r 是样本间的距离间隔, $h = \frac{1}{2} \tau c$. 由于距离积分式 DVIP 方位取样的时间间隔比较长, 一般其值大于独立取样时间, 在距离积分取样比较密的情况下, $L_r < h$, 这样, 用(3)式中的第一个关系式代替(1)式, 表示距离积分式 DVIP 积分精度的平均回波强度标准差随距离变化的 $\sigma(r)$ 的表达式就应该是

$$\sigma(r) = 3.94 \left[\frac{v D^2}{2\pi r} \left(\frac{1}{K} + \frac{12}{K^2\pi^2} \sum_{i=1}^{K_u} \sum_{m=1}^{\infty} (K-i)m^{-1} \left(1 - \frac{iL_r}{h}\right)^{2m} \right) \right]^{-\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

式中 v 是天线扫描一周 DVIP 方位取样的总数, D 是显示器上直角坐标网格尺度 (km), r 是 PPI 上的径向距离 (km).

根据(4)式, 在 713 雷达的情况下, $\tau = 2\mu s$, 南京大学等单位研制的距离积分式 DVIP $v = 1024$, $L = 1\text{ km}$, $K = 16$, $L_r = 6.25 \times 10^{-2} \text{ km}$, “距离积分式天气雷达数字视频积分处理器积分精度”一文中的表 3, 713 雷达距离积分式 DVIP 的积分精度现在应该如附表所示:

表 713 雷达距离积分式 DVIP 的积分精度¹⁾

$\sigma(r)$ (dB) D^2 (km ²) \ r (km)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
4 × 4	0.19	0.27	0.33	0.38	0.43	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60	0.63	0.66
2 × 2	0.38	0.54	0.65	0.76	0.85	0.95	1.01	1.08	1.14	1.20	1.26	1.32
1 × 1	0.75	1.07	1.30	1.52	1.70	1.90*	2.02*	2.15*	2.17*	2.17*	2.17*	2.17*

* 号数据的样本数小于 10, 只供参考.

比较此表和原文中的表 3 可见, 从数值上看对应的积分精度 $\sigma(r)$ 值或者相差很小, 或者相同, 即现在的计算结果和原文差别很小. 其所以没有多大差别, 是因为线性接收机和对数接收机输出信号的等效独立样本数本来差别就不大, 再加上平均回波强度标准差 σ 是和距离积分等效独立样本数的平方根成反比, 这就使相应的 σ 的差别进一步缩小.

对袁立功同志的指正我们表示衷心的感谢.

1) 原文中此表内 D^2 (km²) = 2×2 (km²), $r = 20 \text{ km}$, $\sigma = 0.39 \text{ dB}$, 不是 0.30 dB .