

RCS 测量中的降采样率方法¹

薛明华 方 晖

(北京航空航天大学电子工程系 北京 100083)

摘 要 在进行外场 RCS 测量时, 测量距离模糊窗口远大于目标区有效窗口; 为此本文提出了一种测量数据减缩方法; 该方法用一个相关本振信号对目标区回波信号进行二次移频处理, 大幅度降低了信号载波频率, 从而有效地缩减了采样频率; 压缩了采集数据存储量。

关键词 RCS 测量, 扫频测量, 采样率减缩

中图分类号 TN015, TN951

1 引 言

在进行外场 RCS 测量 (包括成像测量) 时, 我们所感兴趣的目标区范围 D 一般比雷达至目标中心的测试距离 R 小很多; D/R 大约为几十分之一, 因此接收信号频谱中包含大量无用信息; 若能将目标区的频率分量从中分离出来, 并只对这部分信号进行采集、存储和处理, 则既解决了存储容量问题, 又可使计算机的计算处理工作负担大为减轻。本文提出的降采样率 RCS 测量方案采用一个低本振对回波信号进行二次移频, 将目标区的回波频率分量降至零频附近, 再用截止频率为 Δf_r 的低通滤波器进行滤波, 去掉高频分量; 其中 Δf_r 约等于目标区回波信号带宽, 这样就可使采样率大为降低, 只要取采样频率 $f'_s \geq 2\Delta f_r$ 即可, 采样序列长度 $N' = Tf'_s$ 将比原来 $N = Tf_s$ 缩短 $P = f_s/f'_s$ 倍。相应的原始采样数据阵所占存储空间只有原来的 $1/P$ 。

2 二次移频方案原理

二次移频降采样率方法原理框图如图 1 示; 在该系统的微波混频器输出端可获得关于 τ_k 处点目标回波与参考信号的自差拍信号^[1,2]:

$$s_k(t) \approx E_k \text{rect}(t/T) \cos(2\pi f_k t + \psi_k); \quad \text{rect}(t/T) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq T; \\ 0, & \text{其它}; \end{cases} \quad (1)$$

式中频率 $f_k = K\tau$; $K = B/T$ 是系统调频斜率, B 为扫频带宽, T 为信号持续时间; $\tau = 2r_k/c$ 是信号双程延迟时间; 相位 $\psi_k = 4\pi f_c r_k/c$, f_c 是发射中心频率, c 为光速。若目标区距雷达最近距离为 R_L , 最远距离为 $R_H = R_L + D$, 其回波时延分别为 $\tau_1 = 2R_L/c$ 和 $\tau_2 = 2R_H/c$, 则混频器输出的目标区回波信号带宽为 $\Delta f_r = f_H - f_L = 2BD/Tc$; 其中 $f_H = K\tau_2$ 和 $f_L = K\tau_1$ 分别对应 R_H 和 R_L 处的目标回波频率。由于 D 一般比 R 小很多, Δf_r 与 f_L (或 f_H) 相比是很窄的。将带通滤波器的上下限拐点频率设计成 f_L 和 f_H , 即滤波

¹ 1997-03-19 收到, 1997-09-24 定稿

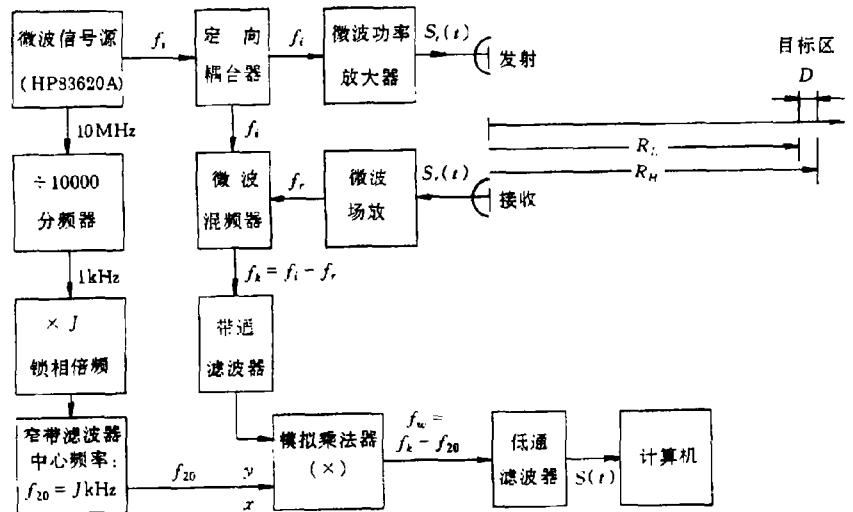


图1 二次移频降采样率方案原理框图

器输出端将只容许目标区内的差拍频率分量存在；这一信号是目标区所有后向散射信号分量之和： $S_c(t) = \sum_k s_k(t)$ 。在测量距离较远时，若直接对该信号进行采样和信号处理，将对十分庞大的数据阵。现在用模拟乘法器对该信号载波频率作二次降频处理；令 $S_c(t)$ 为乘法器 y 口输入信号，乘法器 x 口（第二本振口）的参考信号是由微波信号源所提供的 10MHz 时基信号通过分频和锁相倍频得到的，以保证采样信号序列间的相参性。设计第二本振信号频率 f_{20} 等于（或稍小于）带通滤波器的低端拐点频率 f_L ；此时乘法器输出端的信号频率降为 $f_w = f_k - f_{20}$ ；该信号再经过低通滤波器（截止频率为 Δf_r ）滤掉高次谐波，只保留频谱为 $0 \sim \Delta f_r$ 的目标区回波信号做为采样信号 $S(t)$ 。如前所述，采样率将降低为 $1/P$ ，相应的采样数据量也将缩减为 $1/P$ 。

3 信号处理

由于扫频测量系统中回波信号频率与目标距离成线性比例关系，若对 $S(t)$ 进行谱分析就可获得雷达目标散射率沿纵向距离的分布曲线（或称一维成像）。

获取任一方位角的 RCS 随扫频频率变化的曲线的信号处理过程有以下步骤^[3]：

(1) 对 $S(t)$ 采样；设计采样率 $f'_s \geq 2\Delta f_r$ ，取采样序列长 $N' \geq T f'_s$ 。

(2) 对采样信号取平方，即为回波信号的瞬时功率波形 $P_t(t)$ 。

(3) 对 $P_t(t)$ 作谱分析（DFT 运算）得到谱分布。由于包络的变化较载波缓慢的多，所以低频区的谱代表包络频谱，高频谱是载波频谱。

(4) 用数字滤波将低频区包络的谱滤出，并对包络的谱作 IFFT 运算即恢复包络波形，该包络是反射功率与信号持续时间的关系曲线，亦即 RCS 与扫频发射频率的关系曲线。

(5) 用标准散射体对测量数据定标；并取对数作图。

若想得到 RCS 随方位角的关系图，可对 $S(t)$ 进行 M 次方位角测量，获得采样矩阵 $S(M, N')$ ，然后进行 M 次上述信号处理过程获得 RCS 矩阵 $R(M, N')$ 。其行向量是某方位角上 RCS 随频率的分布关系；其列向量为某频率点上 RCS 随角度的分布关系。

4 测量分析

本文的理论验证工作是利用北航室内 RCS 测量系统进行的, 该系统 X 波段的某些实用参数为: $R=14.3\text{m}$, 成象区 $D \leq 2\text{m}$, 扫频周期 $T=19.2\text{ms}$, 扫频中心频率 $f_c = 10\text{GHz}$, 带宽 $B=3\text{GHz}$; 采样率 $f_s=83.333\text{kHz}$; 采样序列长 $N = Tf_s = 1601$; 根据以上条件可计算出目标区的最低回波频率 $f_L=13.854\text{kHz}$, 最高回波频率 $f_H=15.938\text{kHz}$, 因此满足采样定理的要求。图 2 是在上述条件下对 -15dB 定标球进行测量而获得的散射率沿距离向分布图; 该图截取的成象区为 2m , 极化为 $V-V$, 在进行 FFT 变换时将采样序列补零到 4096 点。图中主瓣幅度代表球的反射值, 其余为旁瓣或目标区背景引起的反射。

试验系统中取第二混频本振频率 f_{2O} 略低于 f_L , 即取 $f_{2O}=12\text{kHz}$; 经二次移频后的目标区回波频率范围降为: $f_{\min} = f_L - f_{2O}=1.854\text{kHz}$, $f_{\max} = f_H - f_{2O} = 3.938\text{kHz}$; 根据上节步骤, 实取采样率 $f'_s=10\text{kHz}$ 即满足要求; 扫频时间取 $T=20\text{ms}$; 采样序列长由原来 1601 点降为 $N' = Tf'_s = 200$ 点, FFT 运算点也由原 4096 点降为 1024 点; 图 3 是降采样率的定标球一维成象测量结果; 比较图 2 和图 3 关于定标球的测量结果可知: 二次移频后, 主瓣宽度(亦即图象分辨率)保持不变, 旁瓣或背景散射源相对幅度基本不变, 仍在 -40dBsm 以下; 低端背景噪声频谱略有增加。试验表明, f_{\min} 越低, 噪声影响越严重; 因此, 方案设计时 f_{\min} 和 f'_s 不宜取得太低。

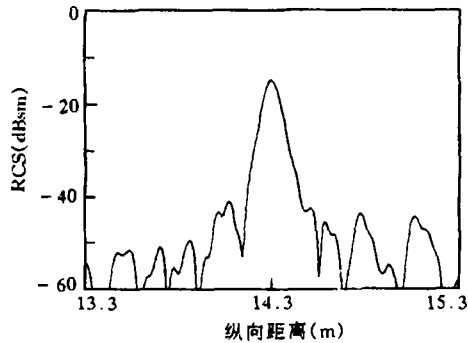


图 2 原测量系统目标区一维距离图

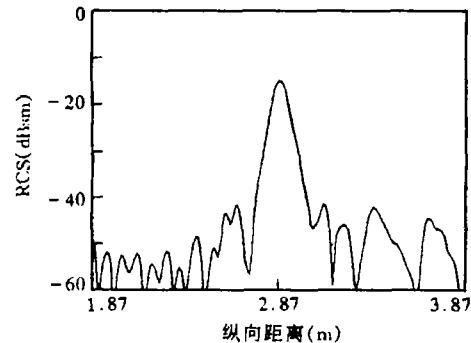


图 3 移频处理后目标区距离图

图 4 展示了移频系统对 B2(1:35) 模型进行测量获得的 RCS 测量结果, 可以看出这一结果与图 5 显示的原系统测量结果十分接近。测试条件为: 极化 $H-H$; 测量方位角范围 $0 \sim 180^\circ$; 角采样点 $M=721$; 采样序列长 $N' = 200$; 取样频率点 $f=10\text{GHz}$ 。

5 结束语

二次移频处理法使 RCS 测量的工作效率得到了明显提高。由测量结果可见, 降采样率方法完整保持了信号包络中关于目标特征的幅度和相位信息; 图象分辨率、有效动态范围和位置精度等指标同原系统基本一致。设计二次移频系统的一个关键问题是要保证取样序列与本振源之间的相关性。

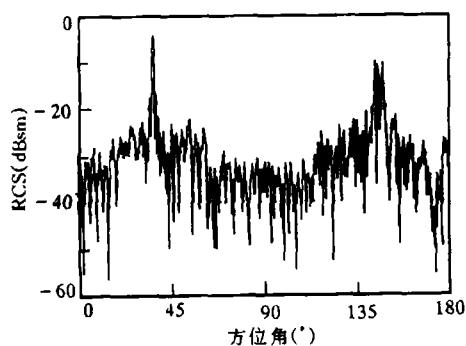


图 4 移频后 RCS 方位测量曲线

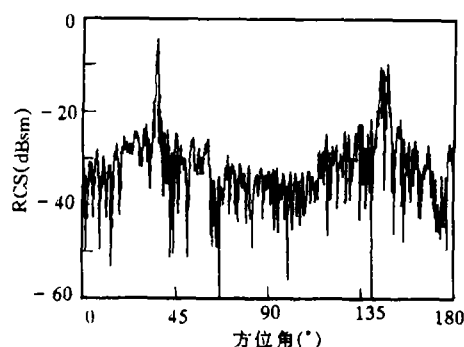


图 5 原系统 RCS 方位测量曲线

参 考 文 献

- [1] Mensa D L. High Resolution radar imaging. 610 Washington St., Dedham, MA: Artech House, 1981, 37-41.
- [2] 李文德, 王振荣, 薛明华. 微波成像中多采样率信号预处理方法. 电子科学学刊, 1993, 15(4): 410-415.
- [3] 薛明华, 王振荣. 扫频 RCS 测试系统原理及应用. 航空电子技术. 96年第4期(总第85期): 20-25.

AN EFFECTIVE METHOD OF REDUCING SAMPLING RATE
IN RCS MEASUREMENT

Xue Minghua Fang Hui

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

Abstract When performing RCS measurements for outdoor targets, usually the whole space range under measurement is greatly longer than the actual target zone, which causes very large data storage and makes further data processing difficulty. To solve this problem, an effective method is presented in this paper, which can largely reduce measurement data. In this method, a related local oscillation signal is generated to be mixed with the received signal, which can greatly decrease the carrier frequency of the return signal from targets. With this method, a much lower sampling rate is guaranteed, which can greatly reduce the data storage and signal processing time.

Key words RCS measurement, FM/CW method, Sampling rate reduction

薛明华: 男, 1953年生, 高级工程师, 现从事微波和射频系统、雷达成像技术、RCS计算和测量等方面的研究工作.

方晖: 男, 1973年生, 讲师, 现从事微波电子电路、雷达成像技术、信号处理、RCS计算和测量等方面的研究工作.