

# 基于 RDM 的动目标检测成像工程实现可行性研究<sup>1</sup>

何映霞 朱敏慧 王岩飞 张冰尘 何思源

(中国科学院电子学研究所 北京 100080)

**摘 要** 本文提出了基于 RDM 算法的动目标检测成像的工程实现方案的原理图, 通过对该算法的计算量的估计, 证实了该算法用于 LSAR 实时动目标检测的可行性。

**关键词** RDM, 实时动目标检测成像, 数据处理速率, 合成孔径雷达

**中图分类号** TP319.4

## 1 引言

RDM(Reflectivity Displacement Method) 最初是 DLR 实验室发展来用于解决载机平台扰动影响的一种运动补偿技术<sup>[1,2]</sup>, 在 1990 年由 J. R. Moreira 等首次将该方法用于 SAR 运动目标检测中, 得到了较好的效果, 文献 [3] 中证实了应用于我国的 LSAR 原始数据也可以得到良好的检测结果。RDM 中多普勒调频率图实时实现问题在文献中讨论过, 但对于该算法是否适合于动目标的实时检测成像没有进行过论述, 本文针对这一问题展开了讨论, 由于工程实现涉及许多问题, 无法一一论及, 在此仅从算法计算量的角度对其应用于动目标实时检测成像的可行性进行论证, 并且提出了基于 RDM 算法的实时动目标检测成像方案。

## 2 RDM 应用于动目标实时检测成像的可行性

由处理时间可知, 必须采用并行处理才能达到实时检测动目标的处理速率要求。为此, 提出基于 RDM 的运动目标实时检测的原理性框架如图 1。图中所采用的是距离-多普勒快速相关成像处理方案。回波信号的距离向压缩处理采用表面声波器件完成, 所以在成像处理器中仅需完成方位向的信号压缩处理。因此在原成像处理器中(不含运动目标检测部分)包括了以下 9 个部分: A/D 变换及缓存、方位向预处理、转置存储器(CTM)与逆转置存储器(ICTM)、方位向压缩处理、图像预处理、数据融合与图像传输接口、系统控制单元、图像实时显示和图像在线记录, 如图 1 中不加虚框的区域。图 1 中加虚框的区域为进行动目标实时检测成像所需增加的部分, 这几个功能块完成多普勒调频率图的计算以及根据多普勒调频率图得到的运动、静止目标区域的划分。根据划分的结果, 在 CTM(1) 中完成将静止目标和运动目标分离, 形成两路信号, 然后分别进行成像, 最后在数据融合单元进行静止目标与运动目标图像的叠加。CTM(1) 后静止目标和运动目标两路数据由于完成同样的方位向压缩运算, 仅所用的参考函数不同, 其中运动目标的参考函数的选取取决于检测结果。所以可采用同样的处理结构。为简化, 在原理框图中仅画出了其中一路信号的方位向压缩处理框架。另外, 为平衡 RDM 检测所需时间, 在方位预处理单元前增加了一缓存单元, 单元的大小由 RDM 检测所需的时间确定。

已经证明距离-多普勒快速相关成像处理方案能够实时实现, 因而在图 1 所示的处理器框架下是否能完成对运动目标的实时检测成像, 仅仅取决于实时形成多普勒调频率图的可能性以及所需检测时间是否能被增加的缓存单元补偿。由文献 [3] 可知, RDM 算法必须完成以下几个步骤:

(1) 计算多普勒调频率图: 包括计算方位谱, 以及计算相关函数并选取最大值, 所必须的步骤是对距离向进行平均, 对每一段数据进行 FFT, 分别求取功率谱。

(2) 判断动目标区域并进行运动参数的估计: 包括对多普勒调频率图进行划分, 确定动目标区域, 以及对动目标区域分别进行平均多普勒调频率的估计, 即计算相应的运动参数。

<sup>1</sup> 2000-01-07 收到, 2000-06-12 定稿

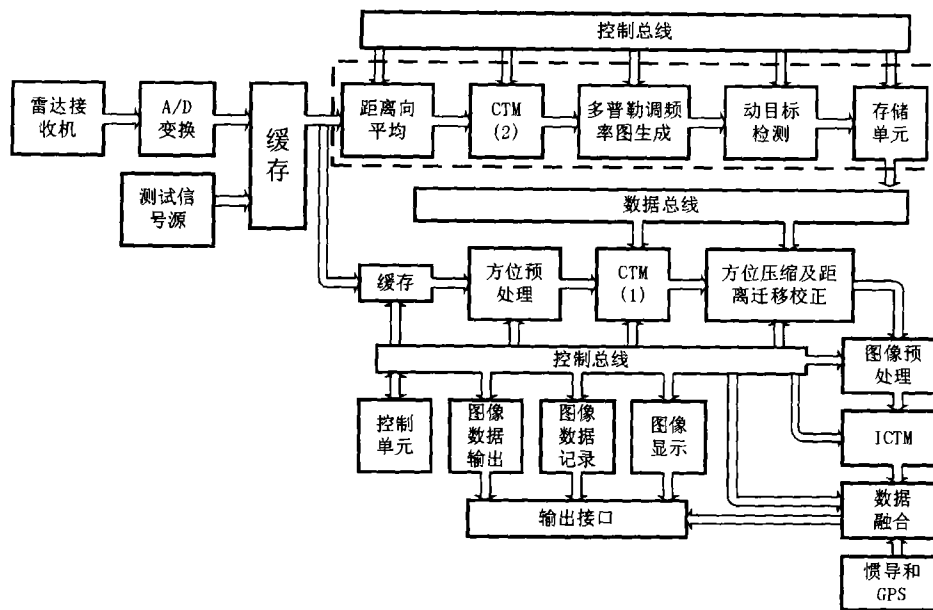


图 1 基于 RDM 的运动目标实时检测原理性结构框图

拟 A/D 变换后缓存输出数据率为  $2 \times 12.5\text{Mbyte/s}$ , LSAR 系统的脉冲重复频率为  $1024\text{Hz}$ , 缓存中有效数据应为  $2 \times 8192 \times 1024\text{Mbyte/s}$ , 经过简单的距离向平均后数据率应为  $2 \times 341 \times 1024\text{Mbyte/s}$ , 期间需完成的计算量为 8192 次实数乘法, 184k 次实数加法, 共计 192k 次浮点运算。由计算量可知, 这一步是容易实现实时处理的。

距离向平均后的数据以距离线的形式输入到 CTM(2), 以方位线的形式输出, 使数据位置发生  $90^\circ$  的变化。其结构应包括存储器、输入/输出接口、输入输出转换部分及控制和地址产生部分 [4]。

多普勒调频率图的产生为动目标检测的关键步骤之一, 包括 FFT、计算方位向功率谱、计算相关, 以及寻找最大值部分, 对于 LSAR, 所需要增加的运算量如表 1, 其中 FFT 的点数为 2048。由于所关心的目标速度一般在  $-50\text{m/s} \sim 50\text{m/s}$ , 所以无须将相关函数的所有值都求出, 若  $\Delta t = 0.506\text{s}$ ,  $N = 2048$ , 脉冲重复频率为  $1024\text{Hz}$ , 则相应的频移量为  $-9 \sim -36$ , 因此只计算相关函数的  $10 \sim -50$  的值是可以的。

表 1 计算多普勒调频率图部分所需计算量

计算步骤	实数乘 / 除法次数 (1/s)	实数加 / 减法次数 (1/s)
FFT	29.3M	43.96M
求方位向功率谱	2.66M	1.33M
计算相关	40.19M	40.17M
寻找最大值	0	20k(比较)
总计	72.15M	85.48M

共需增加的浮点运算量为  $157.63\text{MFlop}$ , 若采用 ADSP21060 芯片, 其最高运算速度为  $120\text{MFlop}$ , 运行速率取峰值速率的 50%, 执行效率为 70% 时, 需要用的芯片数为  $157.63 / (1200.5 \times 0.7) \approx 4$ 。因此说, 这一部分是可以实时实现的。

另外一个最主要的部分是动目标检测部分, 由于这一部分必须在接受到一整幅图像对应的多普勒调频率图后才能进行, 所以在预滤波之前增加缓存部分以平衡这一部分所需计算时间, 将动、静目标分离的工作交由 CTM(1) 完成。

以整幅图像对应的回波数据尺寸为  $8192 \times 8192$ , 设其中动目标数量最多为 200 个为例, 动目标检测部分所需的计算量如表 2, 共需  $7.67\text{M}$  次浮点运算。若采用 ADSP21060 芯片, 运行速率为峰值速率的 50%, 执行效率 70% 的情况下, 完成这部分工作共需  $7.67 / (120 \times 0.5 \times 0.7) = 0.18\text{s}$

表 2 动目标检测部分所需的计算量

计算步骤	实数乘 / 除法次数 (1/s)	实数加 / 减法次数 (1/s)	比较次数 (1/s)
设定标志位	2.0k	1.0k	5.0k
划定动目标区域	0	0	2.92M
计算 $V_c$	2.15k	5.97k	0
计算 $V_r$	0.59k	0	0
总计	4.74k		2.93M

为平衡动目标检测部分所需时间, 在方位预滤波前需增加缓存部分。缓存中容量应不少于  $0.18 \times 8192 \times 1024 \times 8 \approx 12\text{Mbit}$ 。

需做改变的 CTM(1) 中, 不仅要完成对数据顺序在距离向和方位向进行转换, 还应完成根据 RDM 检测结果进行的静止目标和动目标回波的划分。为方便实现, 方位向预滤波的阶数  $N_F$  取为降采样率  $K_r$  的整数倍, RDM 的时间间隔  $\Delta t$  对应的方位向点数也为方位向预滤波器阶数  $N_F$  的整数倍。对于 LSAR, 对应于 RDM 算法中  $\Delta t$  的方位向点数为 512, 当降采样率为 8 和预滤波器阶数为 32 时是可以满足上述要求的。

### 3 结论

本文首先对 RDM 应用于我国自行研制的 LSAR 进行了实验验证, 证实了 RDM 可以用于 LSAR 的运动目标检测成像。然后提出了一种基于 RDM 的实时动目标检测成像原理性方案, 以 LSAR 为例进行了分析计算, 从计算量的角度说明这种检测方案是切实可行的。由于这种检测成像方案并不针对具体的雷达系统, 所以对于其它系统也同样适用, 只是参数需做相应的调整。

### 参 考 文 献

- [1] J. R. Moreira, A new method of aircraft motion error extraction from radar raw data for real time motion compensation, IEEE Trans. on GRS, 1990, 28(4), 620-626.
- [2] J. R. Moreira, Wolfgang Keydel, A new MTI-SAR approach using the reflectivity displacement method, IEEE Trans. on GRS, 1995, 33(5), 1238-1244.
- [3] 何映霞等, RDM 算法应用于 SAR 动目标检测时参数选择原则, 电子与信息学报, 2001, 23(7), 631-636.
- [4] 张冰尘, 合成孔径雷达实用化运动目标检测和成像技术的研究, [硕士论文], 北京, 中科院电子所, 1999.

## THE STUDY FOR THE FEASIBILITY OF MTI-SAR REALIZATION

He Yingxia    Zhu Minhui    Wang Yanfei    Zhang Bingchen    He Siyuan

(Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

**Abstract** In this paper, the feasibility of real-time moving target detection using RDM is verified via the estimation of its calculation. The project of moving target imaging based on RDM for LSAR is also proposed.

**Key words** RDM(Reflectivity Displacement Method), Real-time moving target detection and imaging, Data-process rate, SAR(Synthetic Aperture Radar)

- 何映霞: 女, 1971 年生, 博士生, 研究方向为数字信号处理, 微波成像雷达。  
 朱敏慧: 女, 1943 年生, 研究员, 博士生导师, 研究方向为雷达信号与信息处理, 遥感图像处理。  
 王岩飞: 男, 1963 年生, 研究员, 博士生导师, 研究方向为微波成像雷达, 数字信号处理。  
 张冰尘: 男, 1973 年生, 助研, 研究方向为数字信号处理, 微波成像雷达。