

# 脉冲多普勒雷达杂波功率谱实时计算方法

杨 军<sup>1</sup>, 葛良波<sup>2</sup>, 孙琳琳<sup>2</sup>, 恽小华<sup>2</sup>

(1. 华中科技大学, 湖北武汉 430074; 2. 南京理工大学, 江苏南京 210094)

**摘 要:** 本文介绍了脉冲多普勒雷达的距离—多普勒杂波功率谱计算方法, 针对杂波仿真中存在的精度和实时性之间的矛盾, 提出一种新的杂波功率谱实时计算方法, 即事先存储部分计算量较大的面积单元数据, 然后实时构造杂波功率谱. 该方法既保持了非实时算法的高精度, 又满足了实时性要求, 计算时间小于 100ms.

**关键词:** 脉冲多普勒雷达; 杂波; 功率谱; 距离—多普勒

**中图分类号:** TN955. 3      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112 (2003) 10-1536-04

## Real-Time Clutter PSD Computation Method for Pulse Doppler Radar

YANG Jun<sup>1</sup>, GE Liang-bo<sup>2</sup>, SUN Lin-lin<sup>2</sup>, YUN Xiao-hua<sup>2</sup>

(1. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China;

2. Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210094, China)

**Abstract:** A range-Doppler clutter power spectrum density (PSD) computation method for pulse Doppler radar is introduced in this paper. For the contradiction between precision and rapidity in clutter-simulation, a novel and real-time computation method is proposed for clutter PSD, with which the data of the area units are pre-stored and then the clutter PSD is reconstructed at real time. High precision and high speed (The time of clutter PSD computation is less than 100ms.) are achieved by applying this method.

**Key words:** pulse Doppler radar; clutter; PSD; range-Doppler

### 1 引言

多普勒雷达在下视工作时, 往往要遇到强烈的地、海杂波, 进入接收机的杂波信号会大大影响雷达对目标信号的检测, 对杂波的抑制能力是检验多普勒雷达性能的重要指标, 因此, 在雷达检测性能仿真中, 选择准确且适合工程计算的杂波模型是非常重要的.

杂波功率谱的计算可采用等多普勒线积分模型, 该方法的原理是将雷达的杂波频谱分解为有限数目的相等并相接的多普勒增量  $f_d$ , 分别计算并汇总落入每一个多普勒增量中的杂波回波, 也就是计算从由适当的等速线限定的面积所反射回来的杂波, 就可算出完整的杂波频谱. 在计算时, 首先由雷达方程列出一个微分地面积的回波功率, 然后将此微分功率沿等速线进行积分, 则可得多普勒偏移为  $f$  到  $f + df$  之间的杂波功率, 在另一条等速线上重复以上步骤, 可得另外频率上的杂波功率. 该方法理论上简洁、清晰, 但需要进行大量的数值积分, 在工程上使用不方便.

1985 年 Jen King Jao 和 William B. Gogginst 给出了等距离—等多普勒线组成网格计算杂波功率谱的闭合表达式, 该表达式可适用于低飞行高度, 任意 PRF 雷达波形, 甚至是连续波雷达, 避免了数值积分, 大大减少了计算量, 而且计算精度

高. 但是其计算量仍然不小, 对于实时性要求较高的导弹导引头多普勒雷达半实物实时杂波仿真系统, 需要在 100ms 内实现一个攻击状态下的杂波计算和实时复现<sup>[2]</sup>, 若用前面 Jao 和 Gogginst 给出的非实时闭合算法, PC 机计算需要数分钟, 显然该方法仍不能满足要求.

为了解决实时性问题, Sandhu<sup>[2]</sup>采用了非均匀采样和各种数值近似方法, 但带来了较大的误差; Mitchell<sup>[3]</sup>事先存储一定航迹下可能出现的全部杂波数据, 然后实时播放, 但带来了较大的局限性, 实际仿真时, 一旦偏离预定的航迹, 就无法得到真实的杂波数据.

本文提出了一种适合工程计算的杂波功率谱实时计算方法, 即将 Jao 和 Gogginst 给出的杂波功率谱计算公式中的参数分类, 事先存储部分计算量较大的特征数据, 然后实时构造杂波功率谱, 用这种方法实现了高精度下的实时性.

### 2 杂波功率谱计算原理

为了计算杂波功率谱, 可以将雷达照射的地面分解成若干个散射单元, 假设这些散射单元是互不相关的, 各散射单元的后向散射信号是统计独立的, 则杂波功率可以认为是这些散射单元后向散射信号功率的和. 雷达相对地面具有相对运动, 各散射单元的后向散射信号相对雷达发射信号具有多普



实验前应调入相当网格面积单元及方向矢量数据、和/差通道增益平方数据、地面散射系数数据等。

### (3) 杂波功率谱的实时计算

杂波功率谱实时计算包括三个步骤:

#### 网格单元对应天线增益的确定

首先将导引头天线  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴向量转换到弹体坐标系,进而转到地球坐标系,最终转换到杂波计算坐标系,根据网格相当面积值及对应的向量值,求出网格单元向量在  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴向量上的投影,本研究所用天线和波束方向性图关于天线法线对称,求出天线  $x$  轴与网格单元向量的夹角,即可确定天线和通道增益值。天线差通道增益由网格向量在  $y$ 、 $z$  轴上的投影值确定,求出投影值,根据调入的数据表格即可求出差通道天线增益。

#### 计算归一化的杂波功率谱

相对于速度模值向下至零多普勒频率共划分 512 等份,根据雷达方程,求出单个网格到达导引头接收机的功率,进而求出对应多普勒频率环功率,然后求出 512 个多普勒频率环的功率,得到归一化杂波功率谱。

#### 计算当前速度下的相当杂波功率谱

假设所研究的导弹导引头的杂波多普勒频带不超过 100kHz,以 1024 个数(即多普勒分辨率 100Hz)可以满足杂波谱精度的要求,根据实际导弹速度,求出多普勒频率,按 100Hz 频率分辨率,如果超过 512 个数,则需要对归一化的多普勒谱内插,如果少于 512 个数,则需要对归一化的多普勒谱抽取。

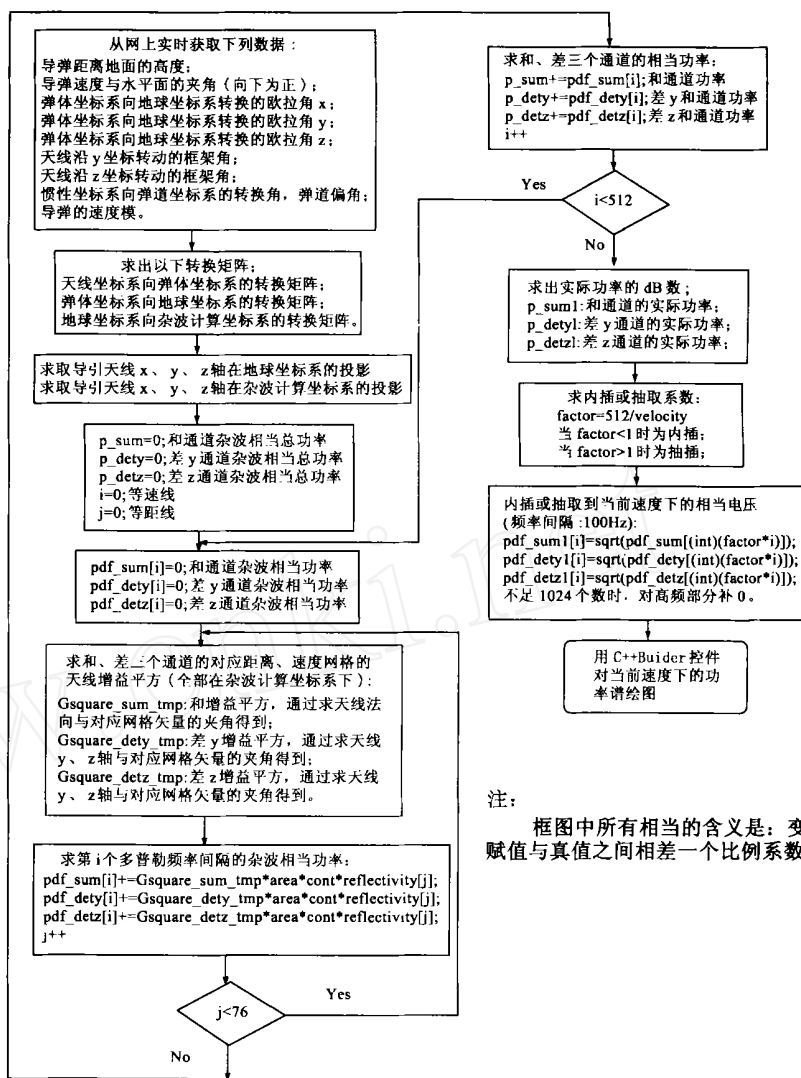
例如实际求得最大多普勒频率为 80kHz,按 100Hz 分辨率,需要 800 个数表示,这就需要对归一化的杂波功率谱内插  $800/512 = 1.5625$  倍得到。

又如实际求得最大多普勒频率为 40kHz,按 100Hz 分辨率,需要 400 个数表示,这就需要对归一化的杂波功率谱抽取  $400/512 = 0.78125$  倍得到。

杂波功率谱实时计算的流程图如图 2 所示。

## 4 仿真结果

为验证上述算法的有效性,本文对非实时数值积分算法、非实时闭合算法和实时算法这三种算法进行了对比。下面列举的是某种攻击状态天线法向与速度方向重合的三种算法的杂波功率谱计算结果:表 1 是三种算法的计算时间表,图 3~图 5 为采用非实时数值积分算法求出的和差通道杂波功率谱,图 6~图 8 为采用非实时闭合算法求出的和差通道杂波功率谱,图 9~图 11 为采用实时算法求出的和差通道杂波功率谱。比较图 3~图 11 可以看出:由不同算法计算得到的对应



注:

框图中所有相当的含意是:变量赋值与真值之间相差一个比例系数。

图 2 杂波功率谱实时计算流程图

的和差通道杂波功率谱曲线基本相同,三种算法都有很高的精度。由表 1 可知:实时算法效率最高,计算时间  $< 100ms$ ,可满足实时性指标,其他方法计算时间远不能满足实时性要求。

以上计算在 Pentium 计算机上完成。

表 1 某种攻击状态下三种算法的计算时间表

计算方法	非实时数值积分算法	非实时闭合算法	实时算法
计算时间	84,000ms	3,000ms	80ms

## 5 结论

本文提出了一种新的适合工程计算的杂波功率谱实时计算方法,即在 Jao 和 Gogginst 给出的杂波功率谱非实时计算闭合解的基础上将式中的参数分类,事先存储部分计算量较大的特征数据,然后实时构造杂波功率谱,从而实现高精度下的实时性,同时由于只存储杂波计算结果的一个自由度参数,数据存储也易于实现,该方法具有很强的工程实用价值。

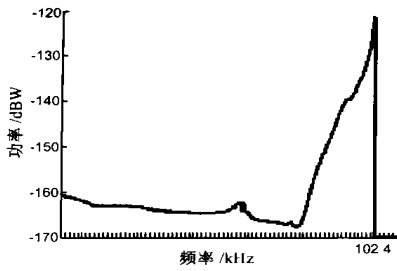


图 3 非实时数值积分算法求出的和通道杂波功率谱

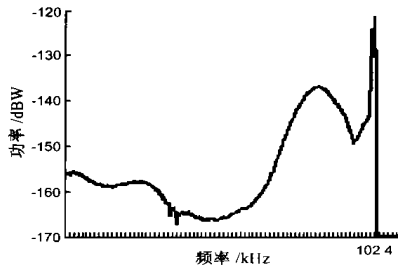


图 4 非实时数值积分算法求出的差 Y 通道杂波功率谱

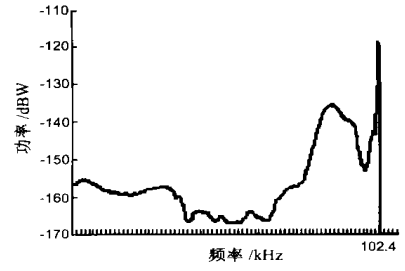


图 5 非实时数值积分算法求出的差 Z 通道杂波功率谱

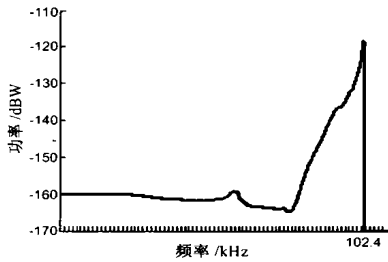


图 6 非实时闭合算法求出的和通道杂波功率谱

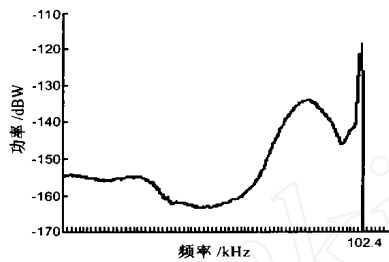


图 7 非实时闭合算法求出的差 Y 通道杂波功率谱

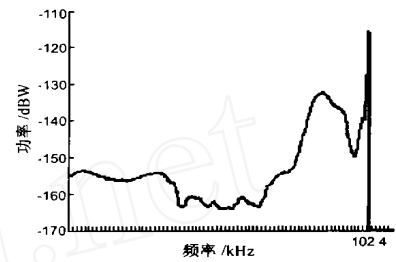


图 8 非实时闭合算法求出的差 Z 通道杂波功率谱

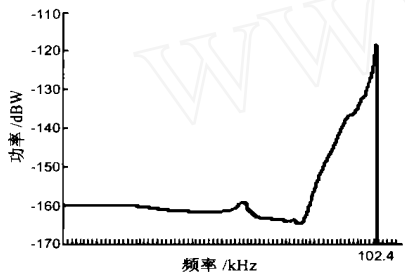


图 9 实时算法求出的和通道杂波功率谱

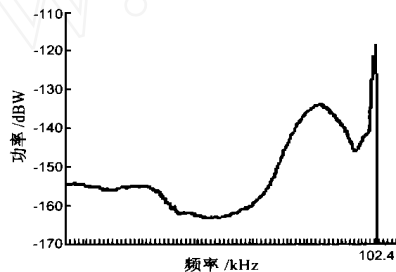


图 10 实时算法求出的差 Y 通道杂波功率谱

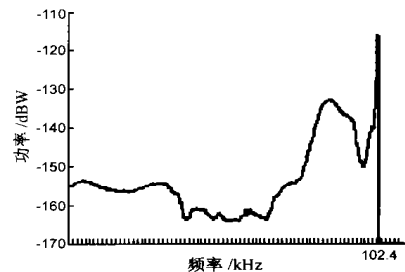


图 11 实时算法求出的差 Z 通道杂波功率谱

参考文献:

[ 1 ] Jao J K, Giggins W B. Efficient. Closed-form computation of airborne pulse-Doppler radar clutter [A]. Northern Virginia Section and IEEE AESS, IEEE International Radar Conference [C]. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 1985. 17 - 22.

[ 2 ] Sandhu G S. A real-time clutter model for an airborne pulse Doppler radar [A]. IEEE AESS, IEEE Southeast Con[C]. New York: The Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc, 1982. 316 - 321.

[ 3 ] Mitchell R L. Radar Signal Simulation [M]. Dedham, Massachusetts: Artech House, Inc, 1978. 1 - 328.

[ 4 ] G. V. 莫里斯[美]等著. 机载脉冲多普勒雷达. 北京:航空工业出版社, 1990.

作者简介:



杨 军 男, 1967 年生于北京, 1993 年毕业于华中科技大学光电子系, 获硕士学位, 主要从事计算机等方面科研工作, 获得过省部级科技进步三等奖.