

文章编号: 1671-0576(2023)03-0029-04

# 射频仿真系统高分辨雷达箔条云模型构建方法

韩红斌, 费惠佳

(91336 部队, 河北 秦皇岛 066326)

**摘要:** 借鉴 3ds Max 中箔条云可视化建模技术, 提出了一种适用于射频仿真系统的高分辨率雷达箔条云模型的构建方法。该方法可为高分辨末制导雷达抗箔条干扰半实物仿真试验提供模型支撑, 可用于构建高质量的箔条干扰场景, 提高箔条干扰环境构设逼真度, 也可为箔条弹的设计提供参考。

**关键词:** 射频仿真; 3ds Max; 箔条云

**中图分类号:** TJ765.4

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1671-0576.2023.03.005

## Construction Method of High-resolution Radar Chaff Cloud Model for Radio Frequency Simulation System

HAN Hongbin, FEI Huijia

(91336 People's Liberation Army, Qinhuangdao 066326, Hebei, China)

**Abstract:** Referring to the visualization modeling of chaff cloud in 3ds Max, a construction method of the high-resolution radar chaff cloud model for radio frequency (RF) simulation system was presented. The method can provide model support for anti-chaff jamming semi-physical simulation test of high-resolution terminal guidance radar. It can be used for constructing the high quality chaff jamming scenarios to improve the fidelity of the chaff jamming environment. It can also provide reference for the design of chaff cartridge.

**Key words:** radio frequency simulation; 3ds Max; chaff cloud

### 0 引言

箔条干扰是无源电子对抗常用的干扰方式。箔条干扰技术比较成熟, 而且箔条制造简单, 生产

速度比较快, 在干扰反舰导弹末制导雷达时使用方便, 是十分有效的无源干扰手段<sup>[1-7]</sup>。但目前针对高分辨末制导雷达的箔条干扰模型, 基本都是基于理论公式计算得到的, 在高分辨末制导雷达抗箔条干扰半实物仿真试验中, 无法满足箔条云一维距离扩展特性模拟的需求<sup>[8-9]</sup>。

本文针对高分辨末制导雷达抗箔条干扰试验需求, 借鉴文献[10]中的可视化建模技术, 通过

收稿日期: 2022-10-23

作者简介: 韩红斌(1985—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事射频仿真技术研究。

3ds Max 软件构建箔条云的三维几何模型,并利用 CST 三维电磁场仿真软件对不同情况下的箔条云模型进行一维距离扩展特性计算,对不同距离分辨率情况下的仿真结果进行对比分析,获得箔条云一维距离扩展的基本特性。将研究成果应用于导弹制导半实物仿真试验系统中,进行箔条云距离扩展特性模拟,以提高高分辨末制导雷达的抗干扰半实物仿真试验置信度。

## 1 箔条云的三维几何模型构建

本文基于 3ds Max 软件粒子系统中的粒子云对箔条云三维几何模型进行构建。

### 1.1 粒子系统的基本原理

粒子系统可表征为一个集合,其粒子总体表现规律相同,但其中个体却具有随机性,并表现出不同的特征。

粒子系统的基本原理是将微小粒子作为基本元素,利用大量随机的微小粒子来表征一个不规则的模糊物体,且每个粒子均具有一定的生命力和属性。粒子系统通过一系列粒子来确定物体形体,但该物体不是一个稳定的统一体,主要表现为随着时间的变化,系统中粒子的形式和运动状态都将发生变化。根据粒子自身属性,随时间变化,系统中会“诞生”一些新的粒子,一些旧的粒子也会随时间推移而“死亡”。每个粒子都会经历三个阶段,即产生、运动和消亡。粒子系统中的每个粒子都具有多种属性,如形状、颜色、尺寸、生命期、透明度、运动速度和运动方向等,且这些属性都是随时间变化的。物体的动态性和随机性随这些粒子的各种属性的变化而表征出来<sup>[11]</sup>。

粒子系统随时间不断变化。生命期的每一时刻,粒子系统生成单帧粒子都需要历经新粒子生成、粒子属性更新、消亡粒子删除、存活粒子绘制等过程。

新粒子生成是指由粒子源产生任意数量的新粒子,新粒子的初始属性由随机过程控制。系统中的每个粒子都有各自的生命期,生命期可根据实际属性设定,也可以是无限长的。粒子属性更新是指每一时刻都对现存粒子的属性进行更新。消亡粒子删除是指检查粒子的生命期,将生命期

为 0 的“死”粒子从系统中删除。存活粒子绘制是对系统中所有存在的“活”的粒子进行显示。粒子系统生成单帧粒子的过程如图 1 所示。

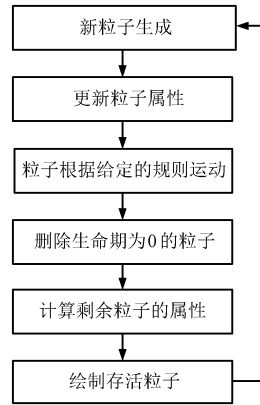


图 1 粒子系统生成单帧粒子的过程

### 1.2 基于粒子系统的箔条云模型构建

基于 3ds Max 粒子系统中的粒子云,设置箔条的基本属性,如形状、尺寸、运动速度、运动方向、颜色、重力、生命期等。根据箔条实际运动情况,调整粒子系统中的阻力、风速、风向等各种自然属性,来真实模拟箔条云的爆炸、扩散和消散过程。

综合考虑箔条根数对箔条云雷达散射截面(RCS)的影响及计算机的运算能力,本文建立了箔条根数为 5 000,10 000,20 000,40 000 的四种箔条云模型,并开展仿真计算。图 2 和图 3 分别为箔条根数为 20 000 的箔条云形成初期和扩散后的几何模型图。

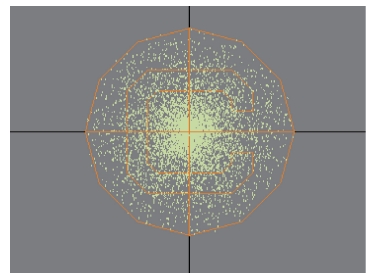


图 2 箔条云形成初期的几何模型

## 2 箔条云一维距离扩展模型的构建

本文采用 CST 软件中渐进求解器的弹跳射线(SBR)算法,对不同根数的箔条云模型进行仿真计算,得到不同距离分辨率、不同极化方式情况

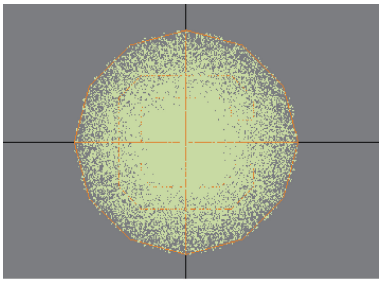


图 3 箔条云扩散后的几何模型

下箔条云的一维距离像。首先将在 3ds Max 中构建的每一时刻的箔条云几何模型文件导入 CST 软件中,然后利用 SBR 算法对该几何模型进行一维距离像的仿真计算。表 1 列出了 CST 软件生成箔条云一维距离像的典型参数。

表 1 CST 软件生成箔条云一维距离像的典型参数

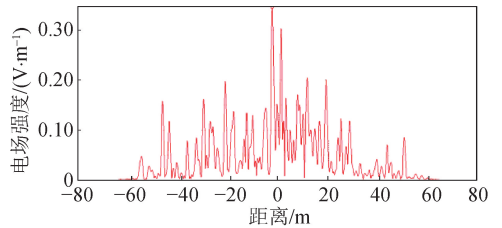
参数	取值
中心频率/GHz	15
距离分辨率/m	0.5,1.5,15.0
距离单元数	256,128,16
材质	氯化聚乙烯(PEC)
最大反射数	4
极化方式	水平(HH)、垂直(VV)

在不同距离分辨率、不同极化方式情况下,对 20 000 根箔条组成的箔条云的一维距离像进行仿真,结果如图 4~图 6 所示。可以看出,箔条云的一维距离像受极化方式影响较小,随着雷达距离分辨率的提高,箔条云的散射点数增多,最强散射点的 RCS 减小。根据能量守恒定律,在相同的能量下,散射点数的增多必然导致最强散射点的能量减小。

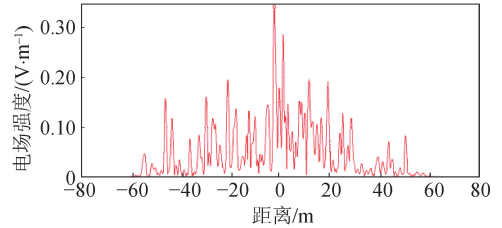
### 3 仿真分析

本文对箔条根数为 5 000,10 000,20 000,40 000 的箔条云进行了仿真。箔条云作为点目标和在 0.5,1.5,15.0 m 三种距离分辨率情况下的 RCS 仿真结果见表 2。

由表 2 可知:随着箔条根数的增多,箔条云的 RCS 总体呈上升趋势;随着雷达距离分辨率的提高,箔条云回波对雷达的极化信息不再敏感;随着雷达距离分辨率的提高,箔条云的强散射点数量

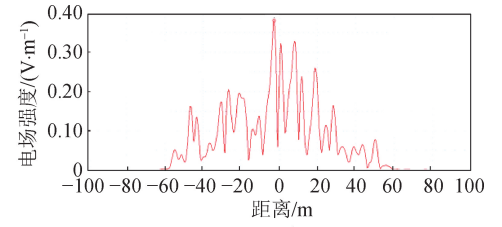


(a) HH极化

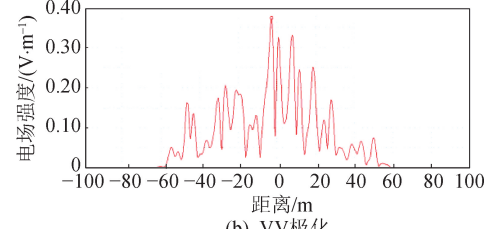


(b) VV极化

图 4 分辨率为 0.5 m 时箔条云的一维距离像

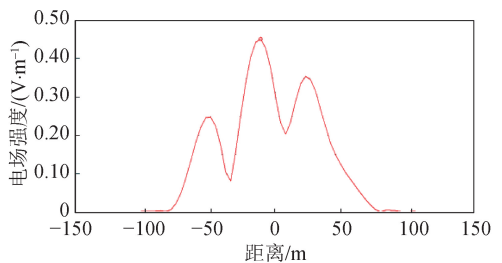


(a) HH极化

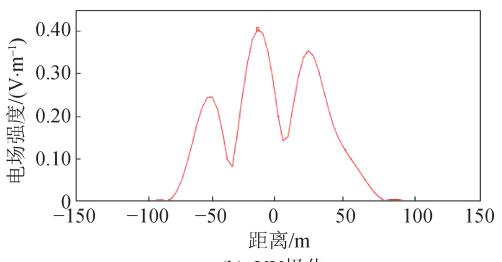


(b) VV极化

图 5 分辨率为 1.5 m 时箔条云的一维距离像



(a) HH极化



(b) VV极化

图 6 分辨率为 15.0 m 时箔条云的一维距离像

表 2 不同根数箔条云 RCS 的仿真结果

箔条根数	箔条云 RCS/dBsm							
	点目标		15.0 m 距离分辨率		1.5 m 距离分辨率		0.5 m 距离分辨率	
	HH 极化	VV 极化	HH 极化	VV 极化	HH 极化	VV 极化	HH 极化	VV 极化
5 000	16.8	13.9	2.72	2.78	1.52	1.46	-2.90	-2.64
10 000	17.8	14.5	7.04	7.23	1.67	0.83	-2.31	-2.69
20 000	15.9	20.0	4.09	3.13	2.59	2.46	1.78	1.67
40 000	22.9	25.7	1.10	2.67	2.70	3.44	3.83	3.27

增多,且最强散射点的能量比点目标的能量小(10~20)dB,但三种分辨率情况下各最强散射点的能量相差不大;点目标情况下,随着箔条根数的增多,VV极化下的箔条云回波能量大于HH极化下的回波能量;在15.0m分辨率情况下,箔条根数为40000的箔条云的最强散射点RCS比箔条根数为5000,10000,20000的箔条云的小,这可能是由箔条云各处回波相位的变化引起的。

## 4 结束语

本文借鉴3ds Max的箔条云可视化建模技术,提出了一种适用于射频仿真系统的高分辨率箔条云模型的构建方法,该方法可为末制导雷达抗箔条干扰半实物仿真提供模型支撑,也可为箔条弹的设计提供参考。

本文针对不同箔条根数和不同距离分辨率情况,在同一力学模型的驱动下,对箔条云某一时刻的一维距离像仿真结果进行了对比分析。仿真结果与理论和工程实践趋势一致,且箔条云回波能量存在一定的起伏,但起伏特性未在本文中研究。本文所提方法主要优点是可构建1:1的箔条云模型,利用3ds Max中不同条件下的力学模型驱动,经大量仿真计算,可得到不同气象条件下各个时刻的箔条云回波模型。其主要缺点是在工程实践中应用时需要耗费大量的计算资源,无论是对3ds Max还是对CST来说,都需要很大的计算量。后续可基于此方法在箔条云的起伏特性、箔条云的距离-多普勒特性等方面展开深入

研究。

## 参考文献

- [1] 黄培康,殷红成,许小剑. 雷达目标特性[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
- [2] DUDGEON D E, RICHARD T L. An overview of automatic target recognition [J]. The Lincoln Laboratory Journal, 1993, 6(1): 3-10.
- [3] LI H J, YANG S H. Using range profiles as feature vectors to identify aerospace objects [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1993, 41(3): 261-268.
- [4] VIGNAUD L. Inverse synthetic aperture radar imaging of satellite [J]. International Journal of Imaging Systems and Technology, 1998, 9(1): 24-28.
- [5] 计科峰,王世晞. 空间目标宽带雷达特征信号仿真建模[J]. 现代雷达, 2007, 29(3): 32-36.
- [6] 陈保辉. 雷达目标反射特性[M]. 北京:国防工业出版社,1993.
- [7] 克拉特. 雷达散射截面:预估、测量和减缩[M]. 阮颖铮,陈海,译. 北京:电子工业出版社,1988.
- [8] 赵博,田宇. 基于仿真技术的箔条云团RCS建模方法研究[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(10): 49-53.
- [9] 刘强,刘以安. 箔条云回波的一种建模与仿真方法[J]. 现代雷达, 2006, 28(8): 91-94.
- [10] 华翔,高武奇. 箔条干扰弹可视化建模及仿真[J]. 西安工业大学学报, 2010, 30(4): 392-396.
- [11] 精鹰公司. 3ds Max印象影视粒子特效全解析[M]. 北京:人民邮电出版社,2014.