



武汉大学

Wuhan University



SAR 回波模拟器设计

答 辩 人： 舒高峰 (2011302180396)

专业名称： 电波传播与天线

指导老师： 张云华 副教授





内容提要

- 选题背景、目的及意义
- SAR 的基本原理
- 点目标模型的 SAR 回波数据模拟
- 复杂目标的 SAR 回波数据模拟
- 总结



研究背景、目的及意义

选题背景

- 合成孔径雷达（**SAR**）相比于光学测量手段具有很大**优势**，并且发展迅速、应用广泛
- **SAR** 回波数据是获取**耗时耗费**均比较大
- 实测的数据并不能替代研究所需要的数据

研究意义

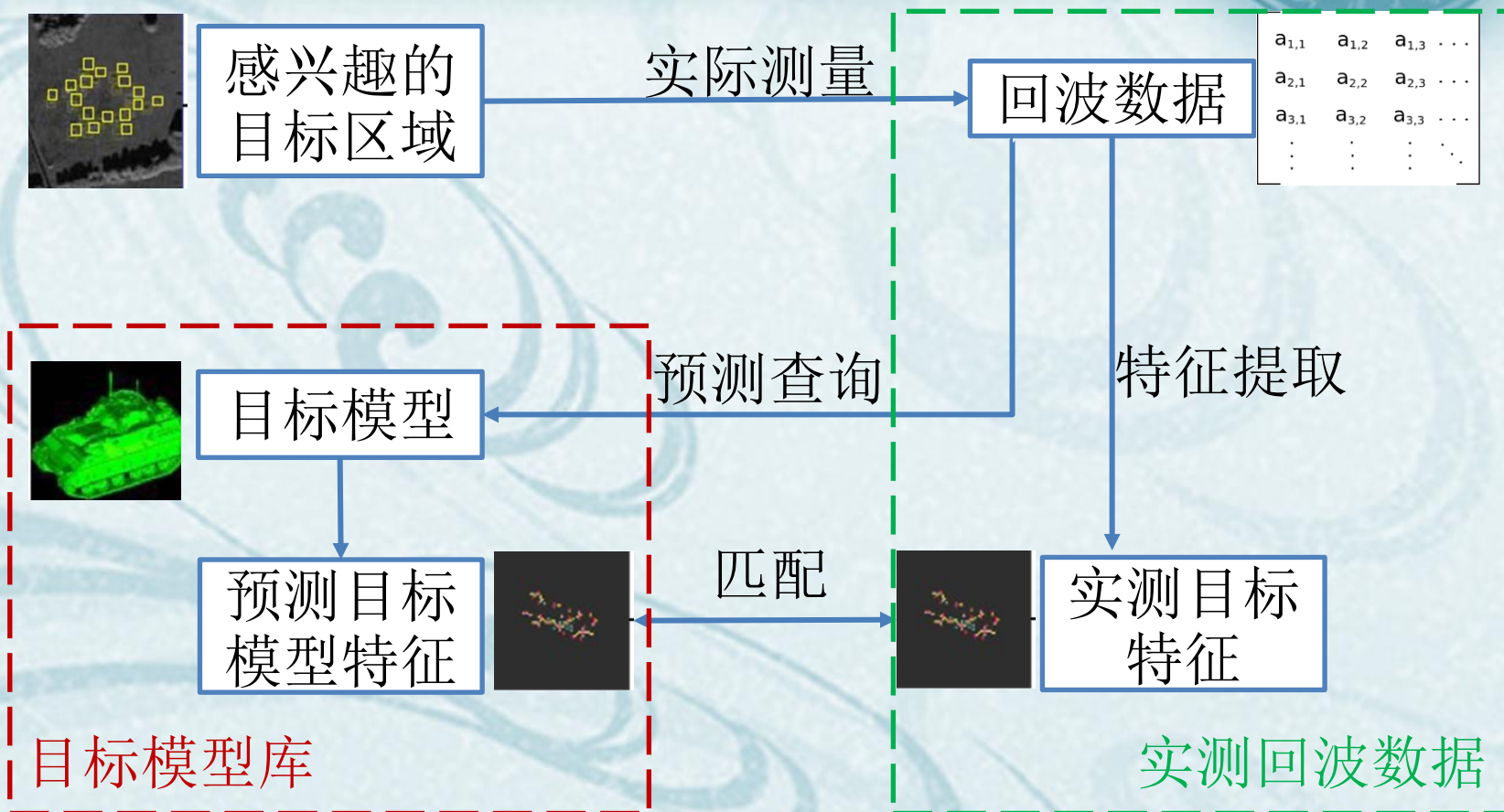
- 能为 **SAR** 系统设计做初步的性能评估
- 能够为后续 **SAR** 处理（如成像、图像解译、**ATR**等）提供数据源

研究目的

- **SAR** 是我研究生阶段的方向



SAR 回波数据实际应用过程

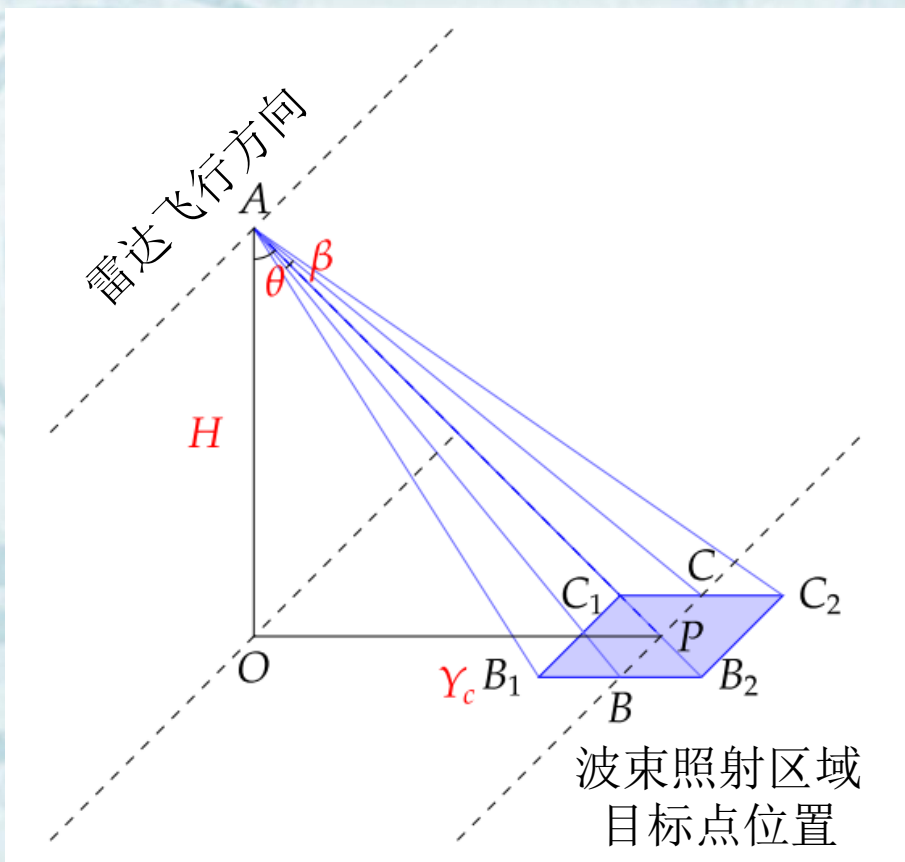




SAR 的工作原理

- SAR 通过雷达载体飞行，在空中形成等效的长天线阵列，对地面目标进行观测并接收回波信号
- 距离向和方位向的分辨率分别为

$$\rho_r = \frac{c}{2B}$$
$$\rho_a = \frac{d}{2}$$





点散射模型的回波信号模拟-1

解决思路

- 点散射模型可直接根据 SAR 信号的特点以及 SAR 的工作原理，可直接求出回波信号

回波数据结果

- 通过上述方法，再经过对距离向和方位向的数据进行抽样处理，可以得到离散回波数据

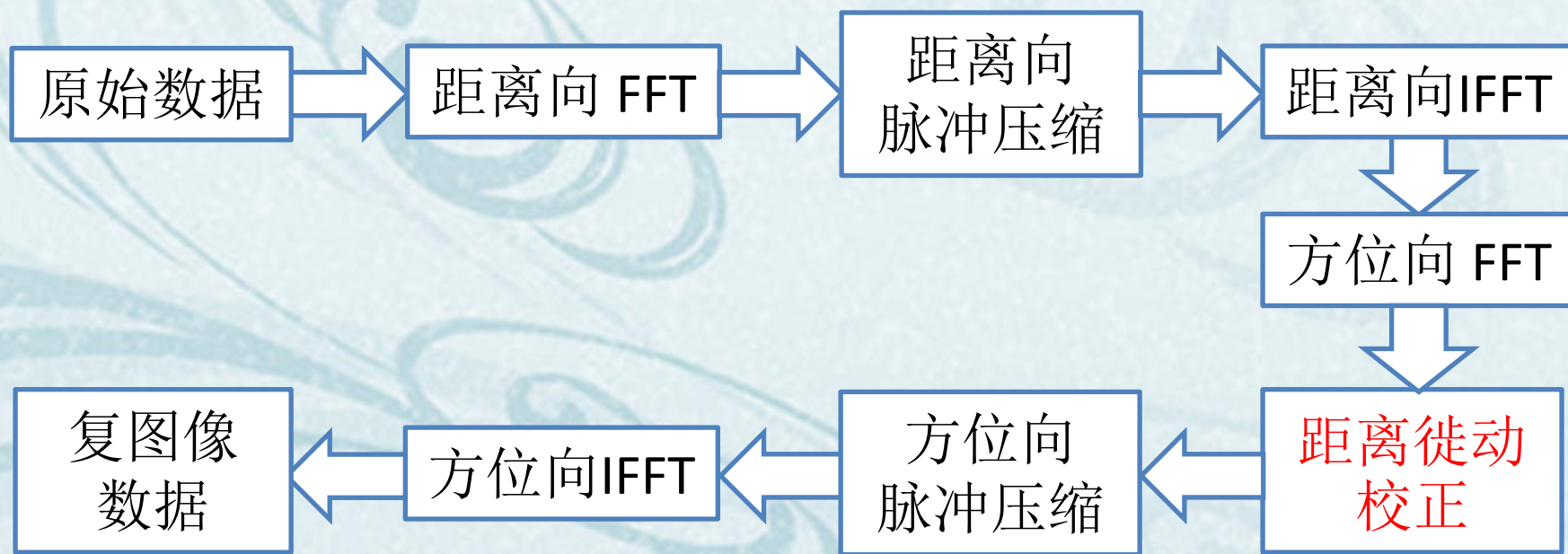
$$S_{echo}(n, m) = \sum_{k=1}^K \sigma_k \exp \left\{ j\pi \left[t_f(m) - \frac{2R(n, k)}{c} \right] \right\} \cdot \exp \left[-j \frac{4\pi}{\lambda} R(n, k) \right]$$



点散射模型的回波信号模拟-2

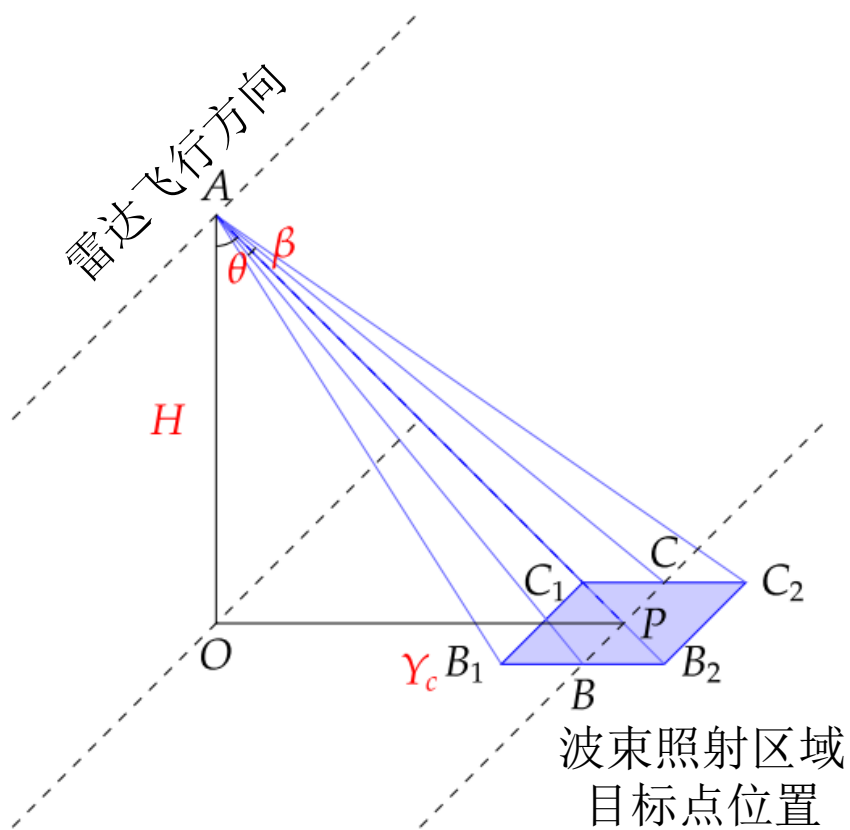
成像过程

- 成像采用 RD 算法





点散射模型的回波信号模拟器-1



雷达位置参数

雷达距地面高度 3000 m

飞行速度 150 m/s

俯仰角 45°

雷达信号参数

中心频率 10 GHz

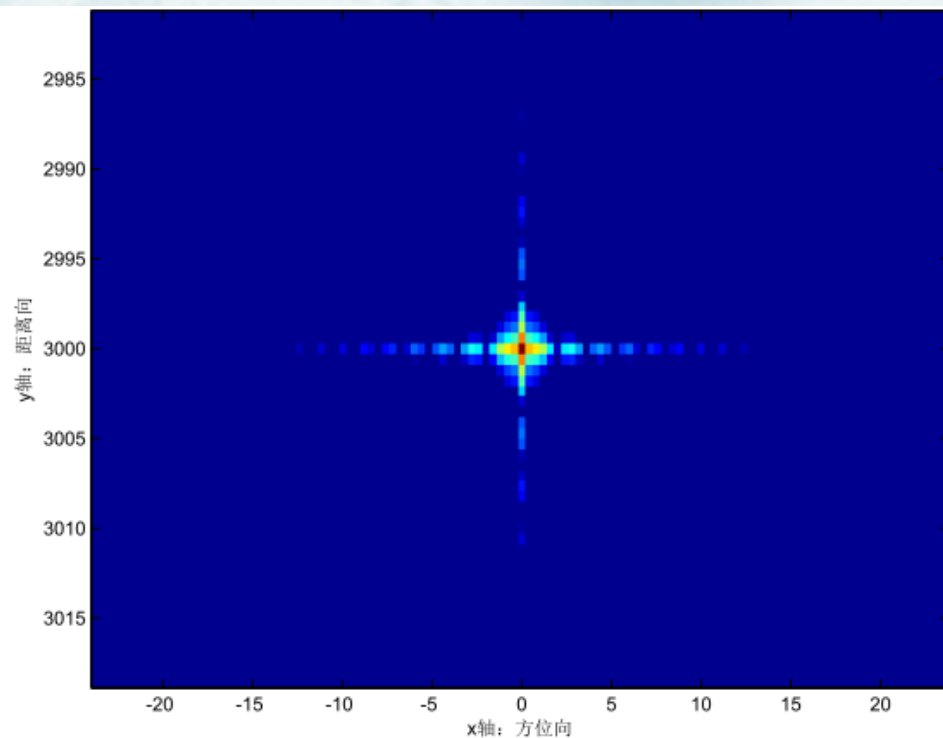
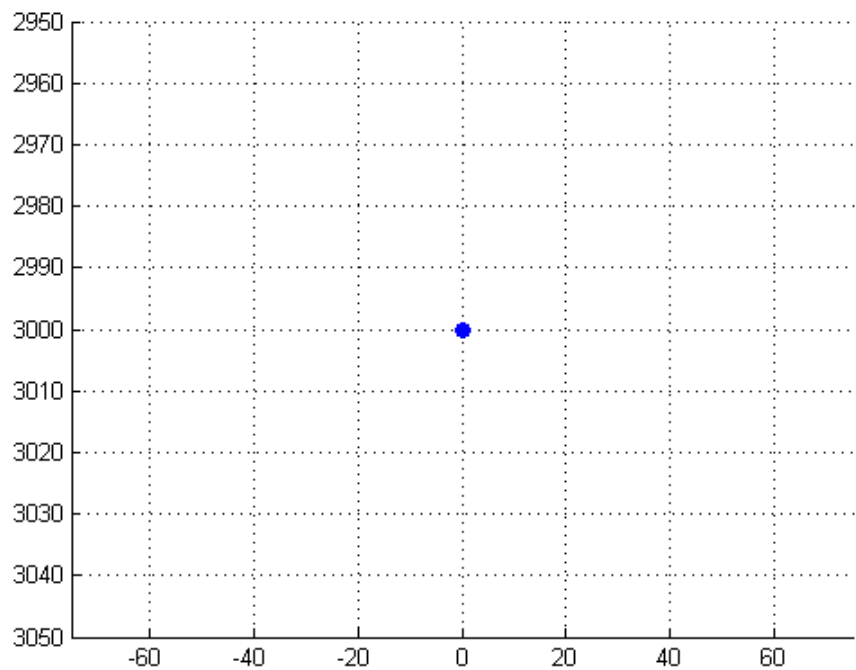
带宽 300 MHz

脉冲宽度 $1.5 \mu\text{s}$

分辨率 0.5 m

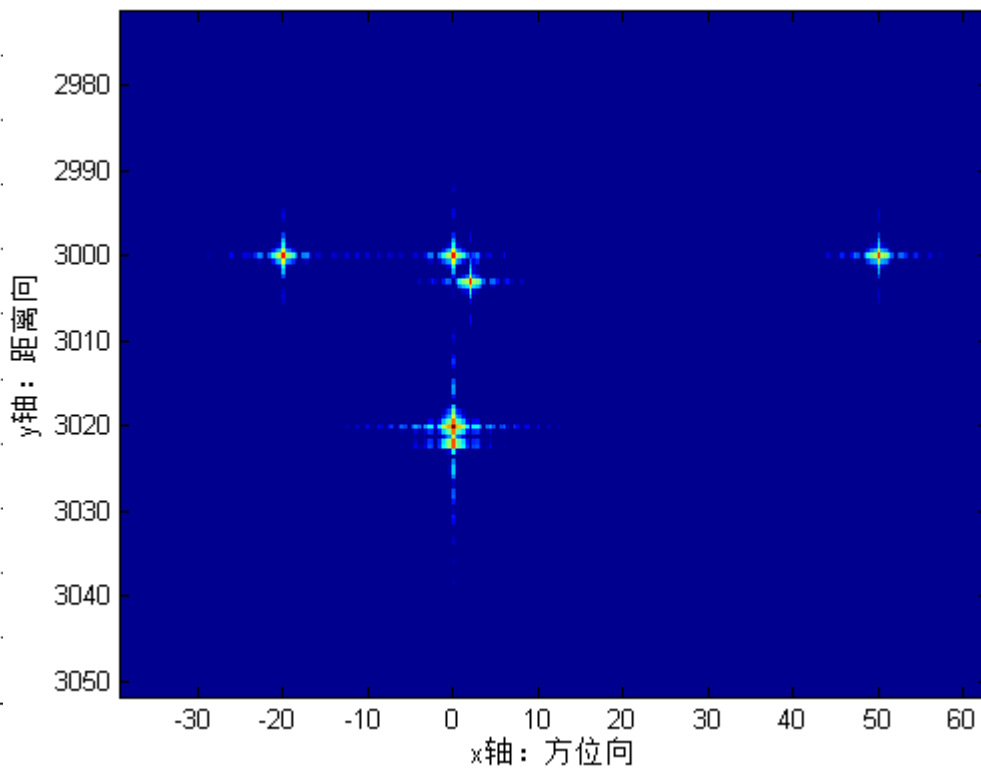
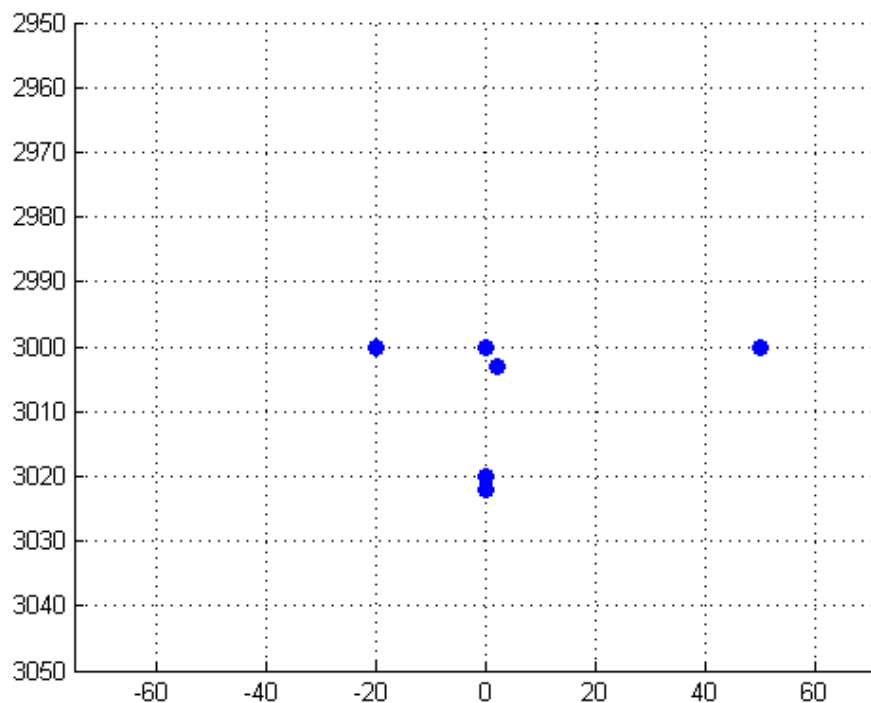


点散射模型的回波信号模拟器-2





点散射模型的回波信号模拟器-2



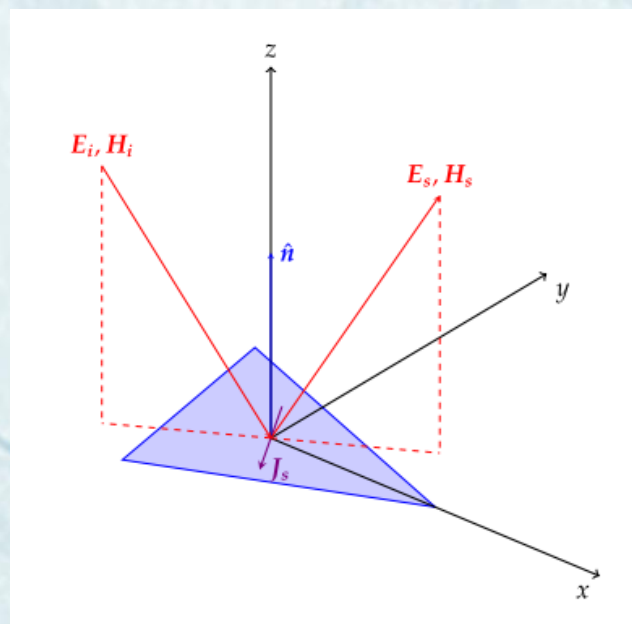


复杂目标的回波信号模拟-1

解决思路

- 复杂目标通过物理光学法的原理，求出目标中被电磁波照射部分的感应电流，再根据感应电流求出其回波方向的散射场

$$J_s = 2 \cdot \hat{n} \times H_i, \quad J_{ms} = -\hat{n} \times E_i = 0$$





复杂目标的回波信号模拟-2

散射回波结果

- Stratton-Chu 散射场公式可以化为如下形式

$$\mathbf{E}_s = -\frac{jke^{-jkr}}{4\pi r} [\hat{\mathbf{s}} \times (\eta_0 \hat{\mathbf{s}} \times \mathbf{J}_s)] \oint_S e^{jkr \cdot (\hat{\mathbf{i}} - \hat{\mathbf{s}})} dS$$

$$\mathbf{H}_s = -\frac{jke^{-jkr}}{4\pi r} (\hat{\mathbf{s}} \times \mathbf{J}_s) \oint_S e^{jkr \cdot (\hat{\mathbf{i}} - \hat{\mathbf{s}})} dS$$

- 根据 Gordon 介绍过的方法，上式可以继续化简

$$\mathbf{E}_s(\mathbf{r}) = -\frac{e^{-jkr}}{4\pi r} [\hat{\mathbf{s}} \times (\eta_0 \hat{\mathbf{s}} \times \mathbf{J}_s)] \cdot$$

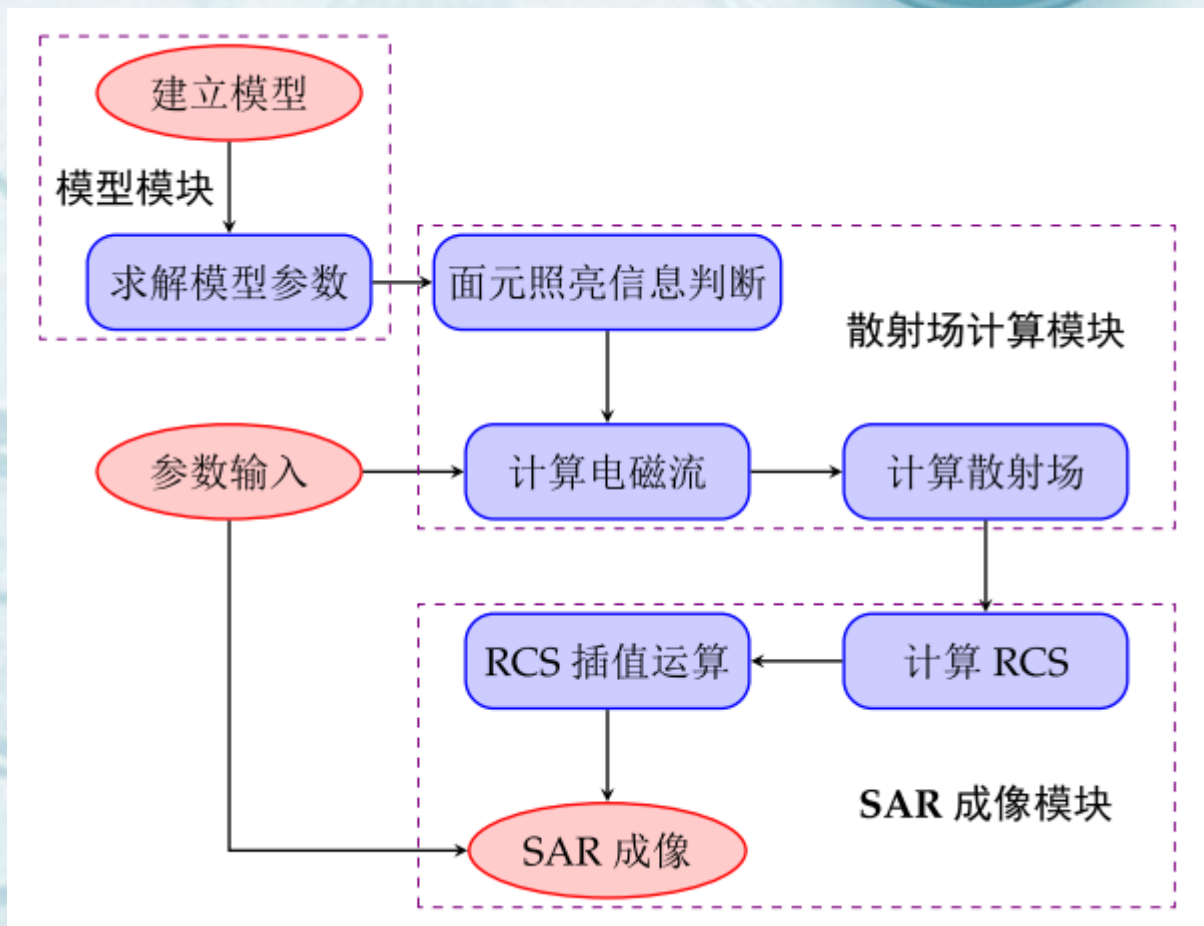
$$\sum_{n=1}^3 \frac{\hat{\mathbf{p}} \times \hat{\mathbf{z}}}{|\hat{\mathbf{p}} \times \hat{\mathbf{z}}|^2} \cdot \Delta \mathbf{a}_n \exp\left(-jk \frac{\mathbf{a}_n + \mathbf{a}_{n+1}}{2} \cdot \hat{\mathbf{w}}\right) \text{sinc}\left(\frac{k\hat{\mathbf{w}} \cdot \Delta \mathbf{a}_n}{2}\right)$$



复杂目标的回波信号模拟-3

模拟过程

回波模拟以及成像算法流程如右图所示





复杂目标的回波信号模拟器的实现-1

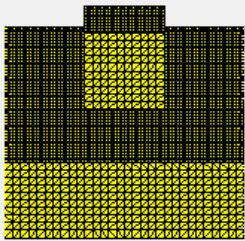
界面设计

SAR_Simulator_used_PO

模型导入

选择模型

模型预览



观察角度

$\theta =$ $\varphi =$

参数输入

频率 (单位 GHz)

$f_s =$ $f_e =$ $N_f =$

φ 角 (入射波投影与x轴的夹角)

$\varphi_s =$ $\varphi_e =$ $N_\varphi =$

θ 角 (入射波与z轴的夹角)

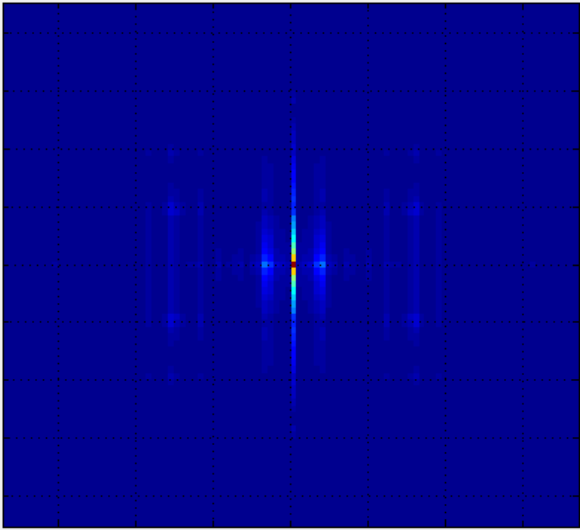
$\theta =$

极化

θ 极化 φ 极化

计算总共用时 18.595584 分!!

SAR 图像



横向往量

纵向距离



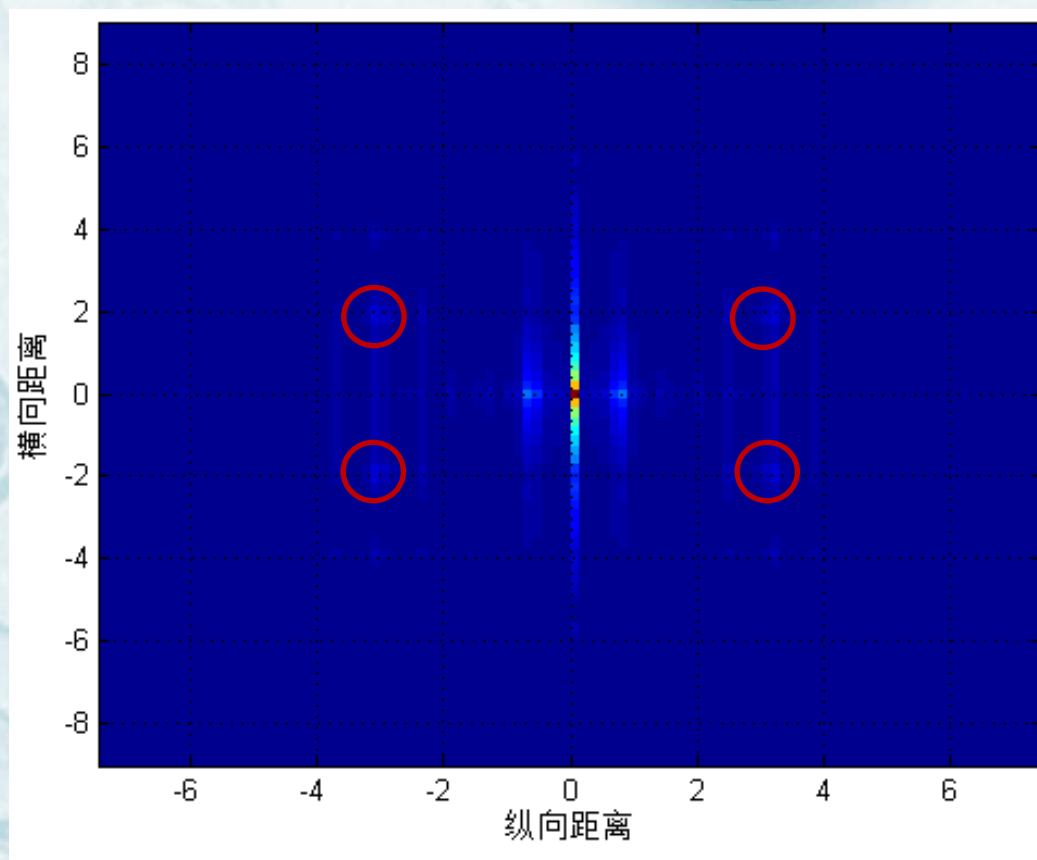
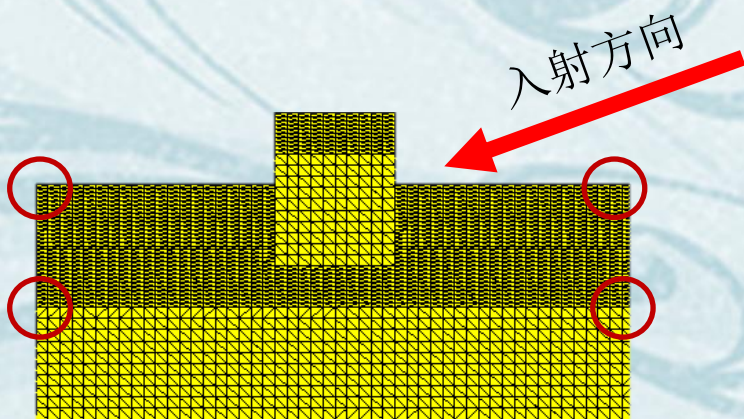
复杂目标的回波信号模拟器的实现-2

雷达信号参数

中心频率 10 GHz

带宽 1 GHz

视角 $\phi=0$, $\theta=70$





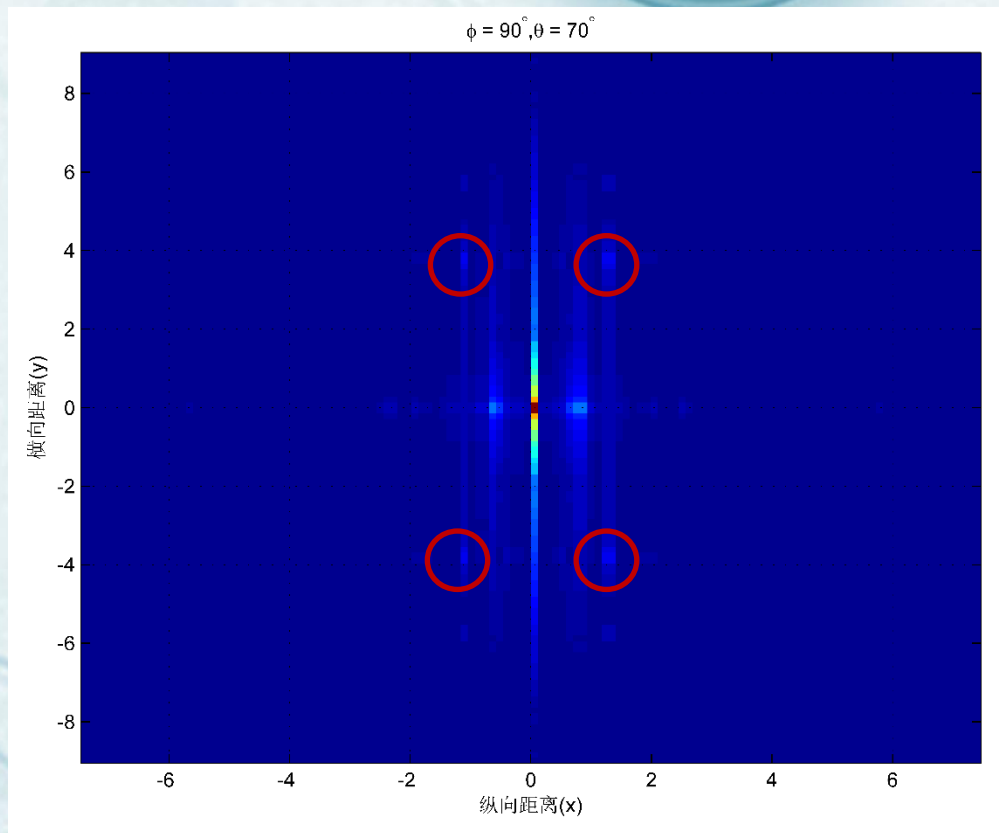
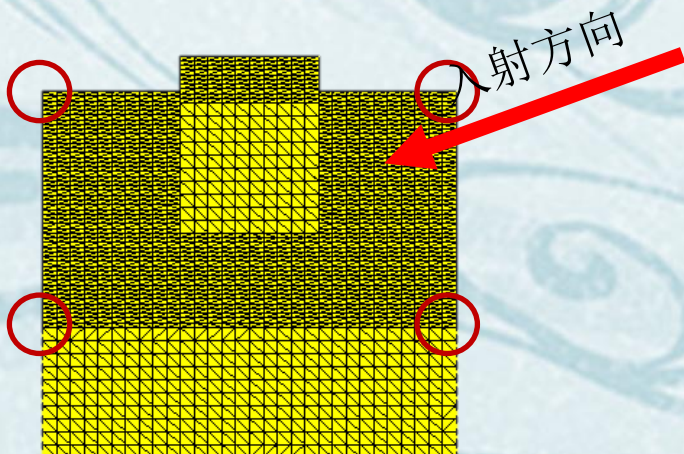
复杂目标的回波信号模拟器的实现-2

雷达信号参数

中心频率 10 GHz

带宽 1 GHz

视角 $\phi=90^\circ$, $\theta=70^\circ$





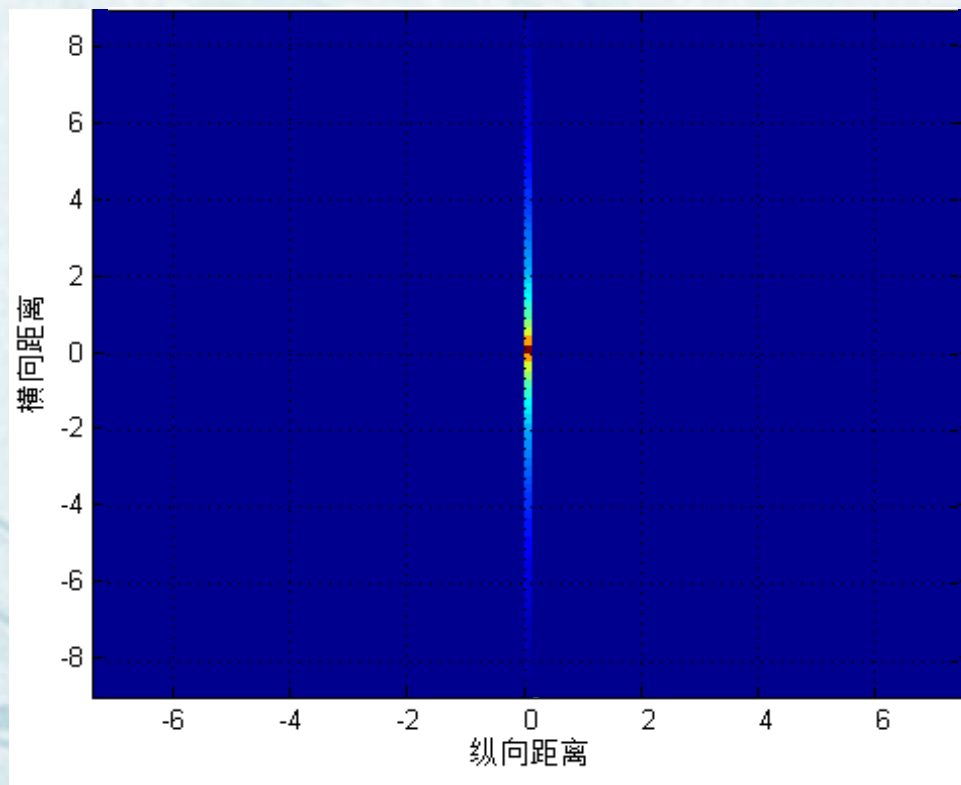
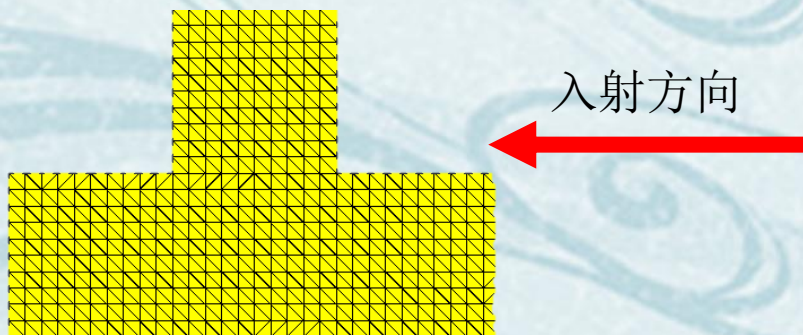
复杂目标的回波信号模拟器的实现-2

雷达信号参数

中心频率 10 GHz

带宽 1 GHz

视角 $\phi=90$, $\theta=90$





总结

- 自主学习了 **SAR** 的相关知识
- 设计实现了点散射模型的 **SAR** 回波模拟器
- 设计实现了复杂目标 **SAR** 回波模拟器
- 完成了 **SAR** 成像



武汉大学

Wuhan University



Thank you !

