



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109738890 B

(45) 授权公告日 2021.04.27

(21) 申请号 201811646045.0

(22) 申请日 2018.12.29

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109738890 A

(43) 申请公布日 2019.05.10

(73) 专利权人 湖北航天技术研究院总体设计所
地址 430040 湖北省武汉市东西湖区金山大道9号

(72) 发明人 罗雪平 吴丰阳 沈志 胡奇
杨凯新 陈术涛 王春联 闫士杰 蔡昔

(74) 专利代理机构 武汉智权专利代理事务所
(特殊普通合伙) 42225
代理人 余浩

(51) Int.Cl.

G01S 13/88 (2006.01)

G01S 13/90 (2006.01)

G01S 7/41 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 108490439 A, 2018.09.04

CN 107092014 A, 2017.08.25

邓欢等. 弹载曲线轨迹双基SAR反向滤波PFA成像与图像畸变校正算法.《电子与信息学报》.2018,第40卷(第11期),

李震宇等. 一种俯冲段子孔径SAR大斜视成像及几何校正方法.《电子与信息学报》.2015,第37卷(第8期),

审查员 孙慧

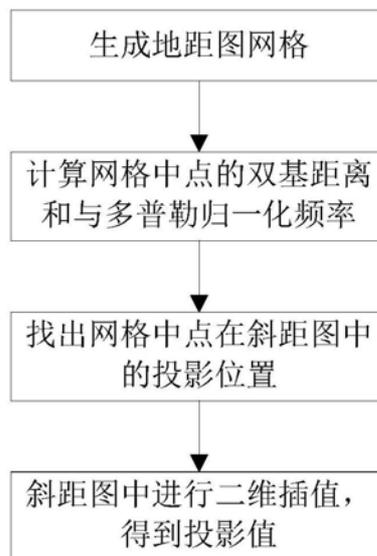
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于弹载双基SAR距离多普勒图像生成地距图的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于弹载双基SAR距离多普勒图像生成地距图的方法,包括以下步骤:生成地距图网格;任选所述地距图网格中的某一格点,计算该格点的双基距离和及多普勒频率;计算该格点在斜距图中的初步投影位置;计算所述初步投影位置的后向散射值,得到准确投影值;遍历所述地距图中的格点,重复进行S2~S4,直至遍历完成,涉及SAR成像技术领域。本发明紧密结合弹载双基SAR平台的特点,不依赖具体飞行构型,通过在弹载通用双基SAR成像构型下构建地面点与斜距图上点的投影关系,生成弹载双基SAR的地距图,处理方便,运算量较小。



1. 一种基于弹载双基SAR距离多普勒图像生成地距图的方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、生成地距图网格;

S2、任选所述地距图网格中的某一格点,计算该格点的双基距离和及多普勒频率;

S3、计算该格点在斜距图中的初步投影位置;

S4、计算所述初步投影位置的后向散射值,得到准确投影值;

S5、遍历所述地距图中的格点,重复进行S2~S4,直至遍历完成;

所述步骤S1具体包括以下步骤:

S11、以图像成像时刻接收弹在地平面投影位置为原点,速度方向在地面上的投影方向为X轴,竖直方向为Y轴,构件右手坐标系O-XYZ;

S12、以收发双站波束中心与XOZ平面的交点A($x_0, 0, z_0$)为中心点,根据成像要求图像幅宽M×N,图像几何分辨率 ρ ,生成M行N列,格长格宽均为 ρ 的地距图网格;

所述步骤S2具体包括以下步骤:

S21、任选所述地距图网格中某一格点P;

S22、分别计算格点P与发射弹的距离 R_{Tp} ,及格点P与接收弹的距离 R_{Rp} ,得到格点P的双基距离和 R_p ;

S23、分别计算发射弹对格点P的多普勒频率 f_{Tp} ,及接收弹对格点P的多普勒频率 f_{Rp} ,得到格点P的多普勒频率 f_p ;

所述格点P位于地距图网格中的第i行第j列,格点P的坐标为

$$\left(x_0 + \left(j - \frac{N}{2} \right) \rho, 0, z_0 + \left(i - \frac{M}{2} \right) \rho \right), \text{发射弹的坐标为 } (x_T, H_T, z_T), \text{接收弹的坐标为 } (0, H_R, 0),$$

则格点P与发射弹的距离 R_{Tp} 、格点P与接收弹的距离 R_{Rp} 、格点P的双基距离和 R_p 的计算公式分别为:

$$R_{Tp} = \sqrt{\left(x_0 + \left(j - \frac{N}{2} \right) \rho - x_T \right)^2 + H_T^2 + \left(z_0 + \left(i - \frac{M}{2} \right) \rho - z_T \right)^2};$$

$$R_{Rp} = \sqrt{\left(x_0 + \left(j - \frac{N}{2} \right) \rho \right)^2 + H_R^2 + \left(z_0 + \left(i - \frac{M}{2} \right) \rho \right)^2};$$

$$R_p = R_{Tp} + R_{Rp};$$

所述发射弹的速度矢量为 (V_{Tx}, V_{Ty}, V_{Tz}) ,接收弹的速度矢量为 $(V_{Rx}, V_{Ry}, 0)$,发射信号的波长为 λ ,则发射弹的速度矢量与波束中心指向方向的夹角 θ_T 、接收弹的速度矢量与波束中心指向方向的夹角 θ_R 、发射弹对格点P的多普勒频率 f_{Tp} 、接收弹对格点P的多普勒频率 f_{Rp} 、格点P的多普勒频率 f_p 的计算公式分别为:

$$\theta_T = \cos^{-1} \left(\frac{V_{Tx} \left(x_0 + \left(j - \frac{N}{2} \right) \rho - x_T \right) - V_{Ty} H_T + V_{Tz} \left(z_0 + \left(i - \frac{M}{2} \right) \rho - z_T \right)}{V_T R_{Tp}} \right);$$

$$\theta_R = \cos^{-1} \left(\frac{V_{Rx} \left(x_0 + \left(j - \frac{N}{2} \right) \rho \right) - V_{Ry} H_R}{V_R R_{Rp}} \right);$$

$$f_{Tp} = V_T \cos \theta_T / \lambda;$$

$$f_{Rp} = V_R \cos \theta_R / \lambda;$$

$$f_p = f_{Tp} + f_{Rp}.$$

2. 如权利要求1所述的基于弹载双基SAR距离多普勒图像生成地距图的方法,其特征在于,所述步骤S3具体包括以下步骤:

S31、计算格点P的归一化多普勒频率 f_p' ;

S32、分别计算格点P在斜距图上的距离行序号 row_p 、及格点P在斜距图上的方位列序号 col_p ;

S33、则格点P在斜距图上的初步投影位置为第 row_p 行,第 col_p 列。

3. 如权利要求2所述的基于弹载双基SAR距离多普勒图像生成地距图的方法,其特征在于,所述收发双站波束中心与XOZ平面的交点A的多普勒频率为 f_A ,则格点P的归一化多普勒频率 f_p' 的计算公式为:

$$f_p' = f_p - f_A.$$

4. 如权利要求3所述的基于弹载双基SAR距离多普勒图像生成地距图的方法,其特征在于,所述接收弹接收回波波门延迟为 τ ,采样频率为 f_s ,脉宽为 T_p ,光速为C,则格点P在斜距图上的距离行序号 row_p 、格点P在斜距图上的方位列序号 col_p 的计算公式分别为:

$$row_p = \frac{R_p - (\tau C - T_p C / 2)}{C / f_s} + 1;$$

$$col_p = f_p' N_a / f_r + N_a / 2 + 1.$$

5. 如权利要求4所述的基于弹载双基SAR距离多普勒图像生成地距图的方法,其特征在于,所述步骤S4具体包括以下步骤:

S41、选取样本;

S42、根据选取的样本进行二维sinc插值,计算所述初步投影位置的后向散射值,得到格点P的准确投影值。

6. 如权利要求5所述的基于弹载双基SAR距离多普勒图像生成地距图的方法,其特征在于:所述样本为以斜距图 row_p 行 col_p 列为中心, $(8\rho f_s / C)$ 行 $(8\rho f_s / C)$ 列范围内的样本。

一种基于弹载双基SAR距离多普勒图像生成地距图的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及SAR成像技术领域,具体是涉及一种基于弹载双基SAR距离多普勒图像生成地距图的方法。

背景技术

[0002] SAR(合成孔径雷达)是一种全天时、全天候的现代高分辨率微波遥感成像雷达,在军事侦察、地形测绘、植被分析、海洋及水文观测、环境及灾害监视、资源勘探以及地壳微变检测等领域,发挥了越来越重要的作用。双基SAR由于收发平台分置,可以实现由发射弹照射目标区域提供方位向多普勒高分辨,接收弹面对目标区域前视成像的能力,故而可以对目标场景实现高分辨二维雷达图像未制导。

[0003] 弹载双基SAR中,收发平台均高机动飞行,地面目标点的距离和与多普勒信息由发射弹和接收弹共同提供,成像回波模型复杂,成像处理得到的距离多普勒图像为斜距图,带有距离和信息,存在较大的几何畸变,必须将斜距图转换为与地面对应的地距图,才能进行后续的图像处理与目标识别定位,从而完成SAR成像制导。现有的双基SAR地距图生成方法中,一种通过搜索找出地面点在斜距图中的位置,需要两个飞机保持匀速平行飞行,无法应用于弹载通用的双基构型中,且运算量大;另一种将机载双基SAR的平飞模型等效为单基SAR的成像模型,然后再进行斜平面到地平面的投影,只适用于双站平行飞行这种特定构型,依然无法应用于弹载通用的双基构型中。

发明内容

[0004] 本发明的目的是为了克服上述背景技术的不足,提供一种紧密结合弹载双基SAR平台的特点,不依赖具体飞行构型的基于弹载双基SAR距离多普勒图像生成地距图的方法。

[0005] 本发明提供一种基于弹载双基SAR距离多普勒图像生成地距图的方法,包括以下步骤:

[0006] S1、生成地距图网格;

[0007] S2、任选所述地距图网格中的某一格点,计算该格点的双基距离和及多普勒频率;

[0008] S3、计算该格点在斜距图中的初步投影位置;

[0009] S4、计算所述初步投影位置的后向散射值,得到准确投影值;

[0010] S5、遍历所述地距图中的格点,重复进行S2~S4,直至遍历完成;

[0011] 所述步骤S1具体包括以下步骤:

[0012] S11、以图像成像时刻接收弹在地平面投影位置为原点,速度方向在地面上的投影方向为X轴,垂直方向为Y轴,构件右手坐标系O-XYZ;

[0013] S12、以收发双站波束中心与XOZ平面的交点A($x_0, 0, z_0$)为中心点,根据成像要求图像幅宽 $M \times N$,图像几何分辨率 ρ ,生成 M 行 N 列,格长格宽均为 ρ 的地距图网格;

[0014] 所述步骤S2具体包括以下步骤:

[0015] S21、任选所述地距图网格中某一格点P;

[0016] S22、分别计算格点P与发射弹的距离 R_{Tp} ，及格点P与接收弹的距离 R_{Rp} ，得到格点P的双基距离和 R_p ；

[0017] S23、分别计算发射弹对格点P的多普勒频率 f_{Tp} ，及接收弹对格点P的多普勒频率 f_{Rp} ，得到格点P的多普勒频率 f_p ；

[0018] 所述格点P位于地距图网格中的第i行第j列，格点P的坐标为

$$\left(x_0 + \left(j - \frac{N}{2} \right) \rho, 0, z_0 + \left(i - \frac{M}{2} \right) \rho \right), \text{发射弹的坐标为 } (x_T, H_T, z_T), \text{接收弹的坐标为 } (0, H_R, 0),$$

则格点P与发射弹的距离 R_{Tp} 、格点P与接收弹的距离 R_{Rp} 、格点P的双基距离和 R_p 的计算公式分别为：

$$[0019] \quad R_{Tp} = \sqrt{\left(x_0 + \left(j - \frac{N}{2} \right) \rho - x_T \right)^2 + H_T^2 + \left(z_0 + \left(i - \frac{M}{2} \right) \rho - z_T \right)^2};$$

$$[0020] \quad R_{Rp} = \sqrt{\left(x_0 + \left(j - \frac{N}{2} \right) \rho \right)^2 + H_R^2 + \left(z_0 + \left(i - \frac{M}{2} \right) \rho \right)^2};$$

$$[0021] \quad R_p = R_{Tp} + R_{Rp};$$

[0022] 所述发射弹的速度矢量为 (V_{Tx}, V_{Ty}, V_{Tz}) ，接收弹的速度矢量为 $(V_{Rx}, V_{Ry}, 0)$ ，发射信号的波长为 λ ，则发射弹的速度矢量与波束中心指向方向的夹角 θ_T 、接收弹的速度矢量与波束中心指向方向的夹角 θ_R 、发射弹对格点P的多普勒频率 f_{Tp} 、接收弹对格点P的多普勒频率 f_{Rp} 、格点P的多普勒频率 f_p 的计算公式分别为：

$$[0023] \quad \theta_T = \cos^{-1} \left(\frac{V_{Tx} \left(x_0 + \left(j - \frac{N}{2} \right) \rho - x_T \right) - V_{Ty} H_T + V_{Tz} \left(z_0 + \left(i - \frac{M}{2} \right) \rho - z_T \right)}{V_T R_{Tp}} \right);$$

$$[0024] \quad \theta_R = \cos^{-1} \left(\frac{V_{Rx} \left(x_0 + \left(j - \frac{N}{2} \right) \rho \right) - V_{Ry} H_R}{V_R R_{Rp}} \right);$$

$$[0025] \quad f_{Tp} = V_T \cos \theta_T / \lambda;$$

$$[0026] \quad f_{Rp} = V_R \cos \theta_R / \lambda;$$

$$[0027] \quad f_p = f_{Tp} + f_{Rp}.$$

[0028] 在上述技术方案的基础上，所述步骤S3具体包括以下步骤：

[0029] S31、计算格点P的归一化多普勒频率 f_p' ；

[0030] S32、分别计算格点P在斜距图上的距离行序号 row_p 、及格点P在斜距图上的方位列序号 col_p ；

[0031] S33、则格点P在斜距图上的初步投影位置为第 row_p 行，第 col_p 列。

[0032] 在上述技术方案的基础上，所述收发双站波束中心与XOZ平面的交点A的多普勒频率为 f_A ，则格点P的归一化多普勒频率 f_p' 的计算公式为：

$$[0033] \quad f_p' = f_p - f_A.$$

[0034] 在上述技术方案的基础上,所述接收弹接收回波波门延迟为 τ ,采样频率为 f_s ,脉宽为 T_p ,光速为 C ,则格点P在斜距图上的距离行序号 row_p 、格点P在斜距图上的方位列序号 col_p 的计算公式分别为:

$$[0035] \quad row_p = \frac{R_p - (\tau C - T_p C / 2)}{C / f_s} + 1;$$

$$[0036] \quad col_p = f_p' N_a / f_r + N_a / 2 + 1。$$

[0037] 在上述技术方案的基础上,所述步骤S4具体包括以下步骤:

[0038] S41、选取样本;

[0039] S42、根据选取的样本进行二维sinc插值,计算所述初步投影位置的后向散射值,得到格点P的准确投影值。

[0040] 在上述技术方案的基础上,所述样本为以斜距图 row_p 行 col_p 列为中心, $(8\rho f_s / C)$ 行 $(8\rho f_s / C)$ 列范围内的样本。

[0041] 与现有技术相比,本发明的优点如下:

[0042] 本发明紧密结合弹载双基SAR平台的特点,不依赖具体飞行构型,通过在弹载通用双基SAR成像构型下构建地面点与斜距图上点的投影关系,生成弹载双基SAR的地距图,处理方便,运算量较小。

附图说明

[0043] 图1是本发明实施例的基于弹载双基SAR距离多普勒图像生成地距图的方法的流程图;

[0044] 图2是本发明实施例的基于弹载双基SAR距离多普勒图像生成地距图的方法的几何构型图;

[0045] 图3是本发明实施例的基于弹载双基SAR距离多普勒图像生成地距图的方法的地距图网格示意图。

具体实施方式

[0046] 下面结合附图及具体实施例对本发明作进一步的详细描述。

[0047] 参见图1至图3所示,本发明实施例提供一种基于弹载双基SAR距离多普勒图像生成地距图的方法,包括以下步骤:

[0048] S1、生成地距图网格;

[0049] 本实施例中,步骤S1具体包括以下步骤:

[0050] S11、以图像成像时刻接收弹在地平面投影位置为原点,速度方向在地面上的投影方向为X轴,竖直方向为Y轴,构件右手坐标系O-XYZ;

[0051] S12、以收发双站波束中心与XOZ平面的交点A($x_0, 0, z_0$)为中心点,根据成像要求图像幅宽 $M \times N$,图像几何分辨率 ρ ,生成M行N列,格长格宽均为 ρ 的地距图网格。

[0052] S2、任选所述地距图网格中的某一格点,计算该格点的双基距离和及多普勒频率;

[0053] 本实施例中,步骤S2具体包括以下步骤:

[0054] S21、任选所述地距图网格中某一格点P;

[0055] S22、分别计算格点P与发射弹的距离 R_{Tp} ,及格点P与接收弹的距离 R_{Rp} ,得到格点P

的双基距离和 R_p ;

[0056] 格点P位于地距图网格中的第i行第j列,格点P的坐标为

$\left(x_0 + \left(j - \frac{N}{2}\right)\rho, 0, z_0 + \left(i - \frac{M}{2}\right)\rho\right)$,发射弹的坐标为 (x_T, H_T, z_T) ,接收弹的坐标为 $(0, H_R, 0)$,

则格点P与发射弹的距离 R_{Tp} 、格点P与接收弹的距离 R_{Rp} 、格点P的双基距离和 R_p 的计算公式分别为:

$$[0057] \quad R_{Tp} = \sqrt{\left(x_0 + \left(j - \frac{N}{2}\right)\rho - x_T\right)^2 + H_T^2 + \left(z_0 + \left(i - \frac{M}{2}\right)\rho - z_T\right)^2};$$

$$[0058] \quad R_{Rp} = \sqrt{\left(x_0 + \left(j - \frac{N}{2}\right)\rho\right)^2 + H_R^2 + \left(z_0 + \left(i - \frac{M}{2}\right)\rho\right)^2};$$

$$[0059] \quad R_p = R_{Tp} + R_{Rp}.$$

[0060] S23、分别计算发射弹对格点P的多普勒频率 f_{Tp} ,及接收弹对格点P的多普勒频率 f_{Rp} ,得到格点P的多普勒频率 f_p 。

[0061] 所述发射弹的速度矢量为 (V_{Tx}, V_{Ty}, V_{Tz}) ,接收弹的速度矢量为 $(V_{Rx}, V_{Ry}, 0)$,发射信号的波长为 λ ,则发射弹的速度矢量与波束中心指向方向的夹角 θ_T 、接收弹的速度矢量与波束中心指向方向的夹角 θ_R 、发射弹对格点P的多普勒频率 f_{Tp} 、接收弹对格点P的多普勒频率 f_{Rp} 、格点P的多普勒频率 f_p 的计算公式分别为:

$$[0062] \quad \theta_T = \cos^{-1} \left(\frac{V_{Tx} \left(x_0 + \left(j - \frac{N}{2}\right)\rho - x_T\right) - V_{Ty} H_T + V_{Tz} \left(z_0 + \left(i - \frac{M}{2}\right)\rho - z_T\right)}{V_T R_{Tp}} \right);$$

$$[0063] \quad \theta_R = \cos^{-1} \left(\frac{V_{Rx} \left(x_0 + \left(j - \frac{N}{2}\right)\rho\right) - V_{Ry} H_R}{V_R R_{Rp}} \right);$$

$$[0064] \quad f_{Tp} = V_T \cos \theta_T / \lambda;$$

$$[0065] \quad f_{Rp} = V_R \cos \theta_R / \lambda;$$

$$[0066] \quad f_p = f_{Tp} + f_{Rp}.$$

[0067] S3、计算该格点在斜距图中的初步投影位置;

[0068] 本实施例中,步骤S3具体包括以下步骤:

[0069] S31、计算格点P的归一化多普勒频率 f_p' ;

[0070] 所述收发双站波束中心与XOZ平面的交点A的多普勒频率为 f_A ,则格点P的归一化多普勒频率 f_p' 的计算公式为:

$$[0071] \quad f_p' = f_p - f_A.$$

[0072] S32、分别计算格点P在斜距图上的距离行序号 row_p 、及格点P在斜距图上的方位列序号 col_p ;

[0073] 所述接收弹接收回波波门延迟为 τ ,采样频率为 f_s ,脉宽为 T_p ,光速为C,则格点P在

斜距图上的距离行序号 row_p 、格点P在斜距图上的方位列序号 col_p 的计算公式分别为：

$$[0074] \quad row_p = \frac{R_p - (\tau C - T_p C / 2)}{C / f_s} + 1;$$

$$[0075] \quad col_p = f_p' N_a / f_r + N_a / 2 + 1。$$

[0076] S33、则格点P在斜距图上的初步投影位置为第 row_p 行，第 col_p 列。

[0077] S4、计算所述初步投影位置的后向散射值，得到准确投影值；

[0078] 本实施例中，步骤S4具体包括以下步骤：

[0079] S41、选取样本；

[0080] S42、根据选取的样本进行二维sinc插值，计算所述初步投影位置的后向散射值，得到格点P的准确投影值。

[0081] 插值的关键是要选取插值的样本大小，样本过大则计算量大，样本过小则计算不精确；在本实施例中，优选的，所述样本为以斜距图 row_p 行 col_p 列为中心， $(8\rho f_s / C)$ 行 $(8\rho f_s / C)$ 列范围内的样本；地距图网格的间隔大小为几何分辨率 ρ ，而斜距图点目标的分辨率通常为 ρ 的1~2倍，因此为了保证插值的准确性，斜距图中点的主瓣和邻近旁瓣都应作为插值样本进行计算，故样本宽度选择为 $8\rho \times 8\rho$ ，而斜距图距离行间距为 C / f_s ， 8ρ 宽度对应的样本点数为 $8\rho f_s / C$ ，即选取以斜距图 row_p 行 col_p 列为中心， $(8\rho f_s / C)$ 行 $(8\rho f_s / C)$ 列范围内的样本；插值时考虑了点目标的主瓣和第一副瓣能量的影响，处理的数据量较小。同时兼顾了插值精度和处理效率。

[0082] S5、遍历所述地距图中的格点，重复进行S2~S4，直至遍历完成。

[0083] 本领域的技术人员可以对本发明实施例进行各种修改和变型，倘若这些修改和变型在本发明权利要求及其等同技术的范围之内，则这些修改和变型也在本发明的保护范围之内。

[0084] 说明书中未详细描述的内容为本领域技术人员公知的现有技术。

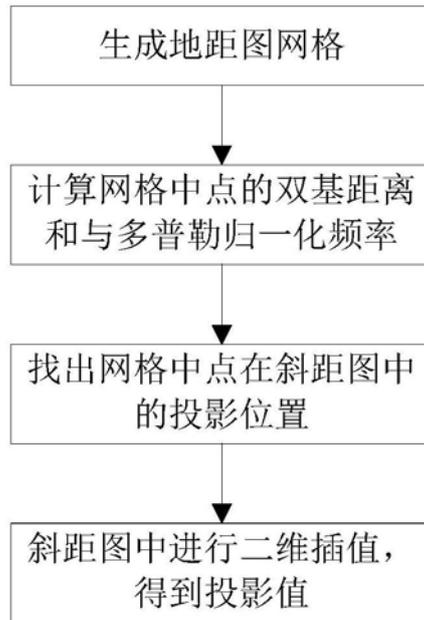


图1

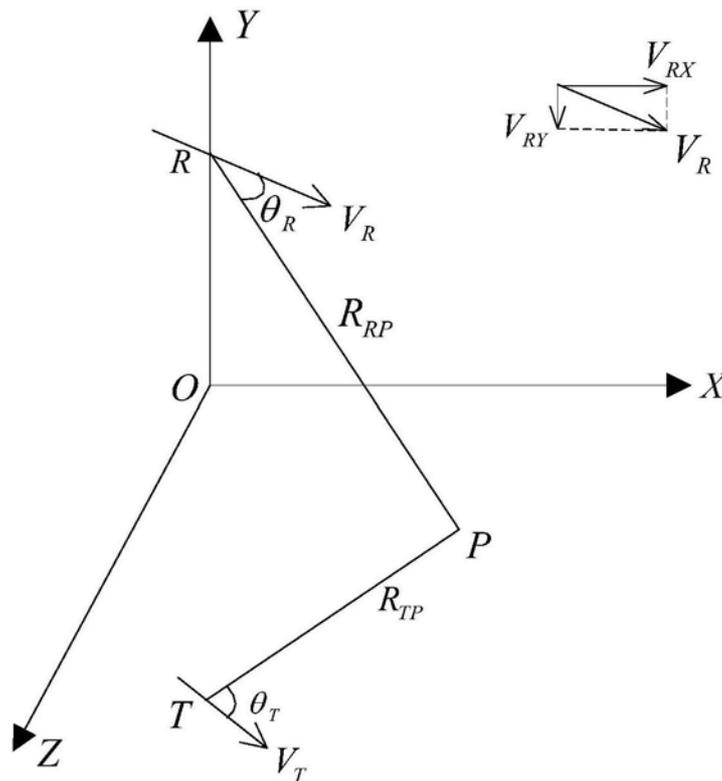


图2

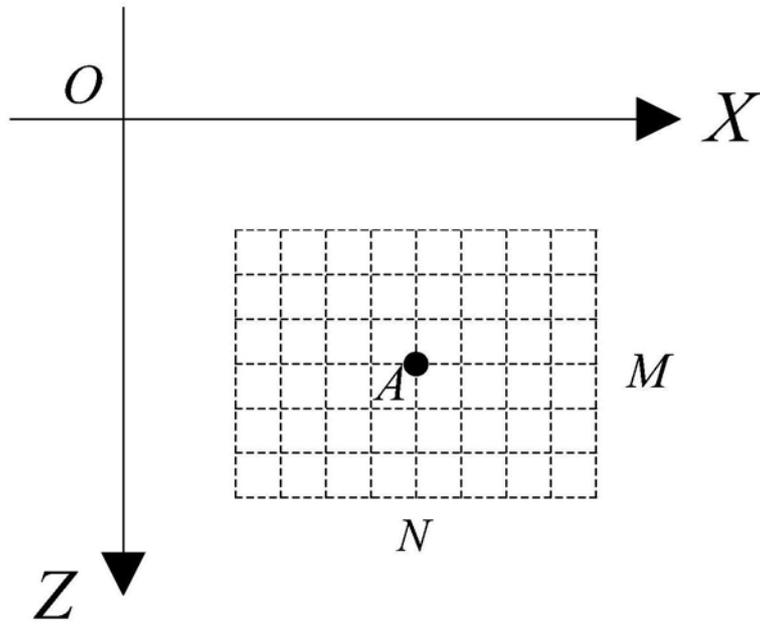


图3