



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109828362 B

(45)授权公告日 2020.07.07

(21)申请号 201910092092.3

(22)申请日 2019.01.30

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 109828362 A

(43)申请公布日 2019.05.31

(73)专利权人 武汉大学  
地址 430071 湖北省武汉市洪山区珞喻路  
129号

(72)发明人 曾国强 左玉弟 高玉东 黄岷

(74)专利代理机构 长沙国科天河知识产权代理  
有限公司 43225  
代理人 邱轶

(51)Int.Cl.  
G02B 17/06(2006.01) (续)

(56)对比文件  
CN 106596420 A,2017.04.26,  
CN 107152926 A,2017.09.12,  
CN 105043353 A,2015.11.11,  
CN 107168006 A,2017.09.15,

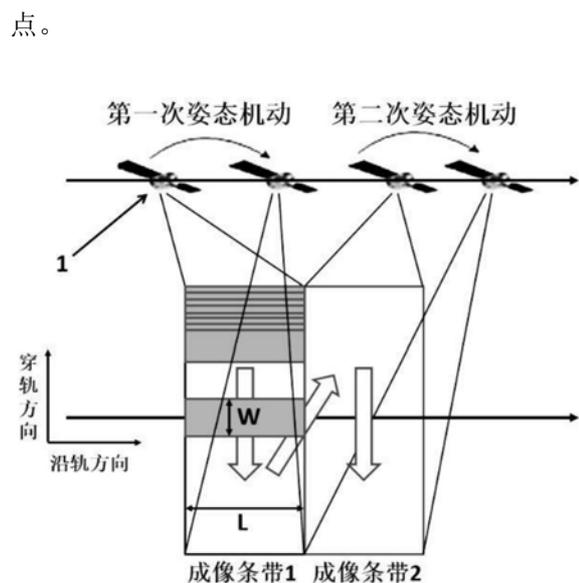
CN 106291546 A,2017.01.04,  
CN 108932384 A,2018.12.04,  
CN 105116910 A,2015.12.02,  
CN 108151711 A,2018.06.12,  
CN 107168005 A,2017.09.15,  
CN 103217987 A,2013.07.24,  
CN 106291546 A,2017.01.04,  
CN 108507539 A,2018.09.07,  
CN 107491591 A,2017.12.19,  
CN 104143042 A,2014.11.12,  
CN 109240322 A,2019.01.18,  
KR 101569715 B1,2015.11.17,  
WO 9742765 A1,1997.11.13,  
US 2012188372 A1,2012.07.26,  
KR 20160073114 A,2016.06.24,  
US 2011049302 A1,2011.03.03,  
EP 0415804 B1,1995.05.24, (续)

审查员 付宁

权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称  
一种基于整星快摆的超大幅宽成像方法

(57)摘要  
本发明公开了一种基于整星快摆的超大幅宽成像方法,首先设置敏捷卫星的控制参数,设置整星回摆至初始位置,完成一个钟摆的最长时限为 $t_{max}$ ,设卫星从角速度为0开始成像,到回摆至再次开始成像位置的时间为 $t$ ,则设置敏捷卫星的控制参数时,使 $t < t_{max}$ ,敏捷卫星运行时设置输入满足上述条件的控制参数,然后将控制参数输入敏捷卫星的姿态摆动控制组件,通过姿态摆动控制组件控制敏捷卫星进行快速往复摆动,通过搭载于其上的光学相机进行对地观测,完成多个无缝连续的成像条带,继而实现超大幅宽无缝连续成像,所述基于整星快摆的超大幅宽成像方法,有效实现对地目标的超大幅宽无缝连续机动成像,且具有机动性强、效率高、分辨率高的优



CN 109828362 B

[接上页]

(51) Int.Cl.

G02B 26/08(2006.01)

(56)对比文件

王亚敏.《敏捷卫星灵巧多模式成像设计与研究》.《中国博士学位论文全文数据库 工程技术II辑》.2017,(第08期),

胡芬 等.《高分辨率光学遥感卫星宽幅成像技术发展浅析》.《地理信息世界》.2017,第24卷(第5期),

Sylvain Durand.《Image deblurring, spectrum interpolation and application to satellite imaging》.《ESAIM》.2000,

范国伟 等.《面向新颖成像模式敏捷卫星的联合执行机构控制方法》.《自动化学报》.2017,

第43卷(第10期),

Liu Song et.al.《Time-dependent autonomous task planning of agile imaging satellites》.《Journal of Intelligent & Fuzzy Systems》.2016,第31卷(第3期),

许越 等.《敏捷卫星同轨多条带成像拼接重叠像元数阈值分析》.《光电工程》.2017,第44卷(第11期),

宋明珠 等.《航天相机环扫成像模式设计》.《红外与激光工程》.2018,第47卷(第7期),

潘小彤 等.《敏捷光学成像卫星多目标任务规划方法研究》.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 工程技术II辑》.2014,

史光辉 等.《像移对卫星摄影成像质量的影响》.《光学精密工程》.1997,第5卷(第4期),

1. 一种基于整星快摆的超大幅宽成像方法,其特征在于:包括以下步骤:

步骤一,设置敏捷卫星的控制参数,设整星回摆至初始位置,完成一个钟摆的最长时限为 $t_{\max}$ ,设卫星从角速度为0开始成像,到回摆至再次开始成像位置的时间为 $t$ ,则设置敏捷卫星的控制参数时,使 $t < t_{\max}$ , $t = 2 * \omega_{\max} * (I_x / M) + 2 * D / (S * \omega_{\max})$ ,其中 $M$ 为敏捷卫星控制力矩陀螺组件的控制力矩, $\omega_{\max}$ 为卫星的最大机动角速度, $I_x$ 为整星在穿轨方向上的转动惯量, $D$ 为整星成像幅宽, $S$ 为视场角为 $1^\circ$ 时所对应的视场区域; $t_{\max} = L / V_d$ ,其中 $V_d$ 为敏捷卫星与地面的相对运动速度, $L$ 为卫星沿轨方向的星下点幅宽;敏捷卫星运行时设置输入满足上述条件的控制参数;

步骤二,将控制参数输入敏捷卫星的姿态摆动控制组件,通过姿态摆动控制组件控制敏捷卫星进行整星快速往复摆动;

步骤三,敏捷卫星在大角度往复快速摆扫过程中,通过搭载于其上的光学相机进行对地观测,完成多个无缝连续的成像条带,同时通过光学相机中的快摆镜完成像移补偿,从而实现超大幅宽无缝连续成像。

2. 根据权利要求1所述的一种基于整星快摆的超大幅宽成像方法,其特征在于:所述步骤三中,所述像移补偿过程为,通过控制快摆镜的转动角度,使得敏捷卫星的相机像面与地物相对静止,继而实现像移补偿。

3. 根据权利要求2所述的一种基于整星快摆的超大幅宽成像方法,其特征在于:控制所述快摆镜转动时,使光轴经过快摆镜指向地面景物点,进而使光轴对地指向发生变化,从而使敏捷卫星的相机像面与地物相对静止,继而实现像移补偿。

4. 根据权利要求1所述的一种基于整星快摆的超大幅宽成像方法,其特征在于:所述步骤二中,所述姿态摆动控制组件设置为控制力矩陀螺组件。

5. 根据权利要求1所述的一种基于整星快摆的超大幅宽成像方法,其特征在于:所述步骤二中,所述姿态摆动控制组件控制敏捷卫星进行往复快速摆动的方向为穿轨方向。

## 一种基于整星快摆的超大幅宽成像方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及空间光学遥感技术领域,尤其涉及一种基于整星快摆的超大幅宽成像方法。

### 背景技术

[0002] 空间对地遥感成像技术具有观测范围广、目标信息丰富、信息时效性高等特点,在目标监测、地理测绘、国防安全、农林资源普查等领域的具有极其重要的作用。超大幅宽对地观测可显著缩短卫星对地目标的重访周期,有效提高探测信息的时效性,这就使得用户对超大幅宽、高分辨、高时效性成像数据的需求越来越迫切。

[0003] 现有技术中,获得超大幅宽、高分辨、高时效性成像数据的方法主要包括:多载荷视场拼接成像、单载荷整体摆扫成像和扫描摆镜摆扫成像。多载荷视场拼接成像方式简单且可以实现大幅宽成像,如比利时PROBA-V全球植被观测卫星,采用三个成像载荷拼接,可实现地面扫描幅宽度2250km高分辨率成像;我国的GF-1卫星,采用四台相机拼接,实现了地面扫描幅宽度830km高分辨率成像;多载荷视场拼接成像虽然可以获得超大幅宽的高分辨率成像,但系统重量体积较大,不利于提高系统的探测灵敏度,而且光学相机的机动成像过程控制起来比较困难。如附图4所示,单载荷整体摆扫和扫描镜摆扫成像方式,其基本原理与实现效果相同,都可实现超大幅宽的成像,且与多载荷视场拼接方法相比,其系统重量轻体积小,有利于提高系统的灵敏度。但是其缺陷在于:随着摆扫角度增大,整星姿态控制能力和地面分辨率会明显降低。

[0004] 以上三种成像方式在技术上已经很成熟了,也可以满足一定应用领域的对地观测需求。但是,随着空间对地遥感技术的普及化和产业化以及结合国内外在轨及在研遥感成像载荷的发展现状,可以看出未来遥感成像载荷的发展趋势为轻小敏捷型、超大幅宽、高分辨率和高时效性,而显然上述现有的三种成像技术并不能完全满足这些条件。

### 发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是:提供一种具有轻小敏捷型、超大幅宽、高分辨率和高时效性的整星快摆成像方法。

[0006] 为了解决上述技术问题,本发明是通过以下技术方案实现的:

[0007] 一种基于整星快摆的超大幅宽成像方法,包括以下步骤:

[0008] 步骤一,设置敏捷卫星的控制参数,设整星回摆至初始位置,完成一个钟摆的最长时限为 $t_{\max}$ ,设卫星从角速度为0开始成像,到回摆至再次开始成像位置的时间为 $t$ ,则设置敏捷卫星的控制参数时,使 $t < t_{\max}$ ,敏捷卫星运行时设置输入满足上述条件的控制参数;

[0009] 步骤二,将控制参数输入敏捷卫星的姿态摆动控制组件,通过姿态摆动控制组件控制敏捷卫星进行整星快速往复摆动;

[0010] 步骤三,敏捷卫星在大角度往复快速摆扫过程中,通过搭载于其上的光学相机进行对地观测,完成多个无缝连续的成像条带,同时通过光学相机中的快摆镜完成像移补偿,

从而实现超大幅宽无缝连续成像。

[0011] 作为优选,所述步骤三中,所述像移补偿过程为,通过控制快摆镜的转动角度,使得敏捷卫星的相机像面与地物相对静止,继而实现像移补偿。

[0012] 作为优选,控制所述快摆镜转动时,使光轴经过快摆镜指向地面景物点,进而使光轴对地指向发生变化,从而使得敏捷卫星的相机像面与地物相对静止,继而实现像移补偿。

[0013] 作为优选,所述步骤二中,所述姿态摆动控制组件设置为控制力矩陀螺组件。

[0014] 作为优选,所述步骤二中,所述姿态摆动控制组件控制敏捷卫星进行往复快速摆动的方向为穿轨方向。

[0015] 与现有技术相比,本发明的有益之处是:所述基于整星快摆的超大幅宽成像方法,通过控制敏捷卫星的姿态沿穿轨方向在规定时间内进行整星的大范围快速摆动,并结合卫星光学成像系统中快摆镜的像移补偿技术,从而有效实现对地目标的超大幅宽无缝连续机动成像,且具有机动性强、效率高、分辨率高的优点,可为轻小型敏捷光学遥感器的的发展提供技术支持,因而具有较好的应用前景。

## 附图说明

[0016] 下面结合附图对本发明进一步说明:

[0017] 图1是本发明中敏捷卫星的超大幅宽无缝连续成像示意图;

[0018] 图2是本发明中敏捷卫星超大幅宽无缝连续成像原理图;

[0019] 图3是本发明中的快摆镜摆扫成像示意图;

[0020] 图4是现有技术中的大幅宽推扫成像示意图;

[0021] 图5是本发明的应用实施例在仿真软件中的某一运行状态示意图。

## 具体实施方式

[0022] 下面将对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅是本发明的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其它实施例,都属于本发明保护的范围:

[0023] 一种基于整星快摆的超大幅宽成像方法,包括以下步骤:

[0024] 步骤一,设置敏捷卫星的控制参数,设整星回摆至初始位置,完成一个钟摆的最长时限为 $t_{\max}$ ,设卫星从角速度为0开始成像,到回摆至再次开始成像位置的时间为 $t$ ,则设置敏捷卫星的控制参数时,使 $t < t_{\max}$ ,敏捷卫星运行时设置输入满足上述条件的控制参数;

[0025] 步骤二,将控制参数输入敏捷卫星的姿态摆动控制组件,通过姿态摆动控制组件控制敏捷卫星在穿轨方向进行整星快速往复摆动,在本实施例中,为提高控制过程稳定性,所述姿态摆动控制组件设置为控制力矩陀螺组件,通过整星快速往复摆动,因而能有效提高为卫星成像过程中的机动性,系统的灵敏度,而且成像的分辨率高,时效性高;

[0026] 步骤三,敏捷卫星在大角度往复快速摆扫过程中,通过搭载于其上的光学相机进行对地观测,完成多个无缝连续的成像条带,同时通过光学相机中的快摆镜完成像移补偿,从而实现超大幅宽无缝连续成像。

[0027] 在实际应用中,如图3所示,由于敏捷卫星在对地观测过程中,卫星平台的轨道运

动、大范围快速机动以及地球自转运动因素的影响,会导致形成相机像面的像移速度矢量,而为了保持相机像面与地物相对静止,需要进行像移补偿,在本实施中,为实现像移补偿,在敏捷卫星的光学相机中设置有光学系统中的快摆镜,控制快摆镜的角度转动,使光轴经过快摆镜指向地面景物点,进而使光轴对地指向发生变化,从而使得敏捷卫星的相机像面与地物相对静止,从而实现像移补偿过程。

[0028] 在具体应用过程中,设上述步骤一中的 $t < t_{\max}$ 为式(1),在本实施例中,所述式(1)的确定过程如下,

[0029] 设敏捷卫星与地面的相对运动速度为 $V_d$ ,像元分辨率为 $G$ ,轨道高度为 $H$ km,整星成像幅宽要求为 $D$ ,如图1、图2所示,同时设敏捷卫星的光学相机中采用 $mK*nK$ 规格的探测器,则该卫星的星下点幅宽为 $L*W$ ,其对应的视场角为 $\theta_L*\theta_W$ ,因而可以得如下式所示:

$$[0030] \quad L = Gm; W = Gn; \quad (2)$$

$$[0031] \quad \theta_L = L/S; \theta_W = W/S; \quad (3)$$

[0032] 其中, $S$ 为视场角为 $1^\circ$ 时所对应的视场区域,表达为: $S = H \sin 1^\circ$  (km);

[0033] 另外, $L$ 和 $\theta_L$ 分别对应卫星沿轨方向的星下点幅宽和视场角, $W$ 和 $\theta_W$ 分别对应卫星穿轨方向的幅宽和视场角。

[0034] 则根据上述参数,若要实现快摆式无缝连续成像,则整星回摆至初始位置,完成一个钟摆的最长时限如下式所示:

$$[0035] \quad t_{\max} = L/V_d = Gm/V_d; \quad (4)$$

[0036] 同时,当整星成像幅宽为 $D$ 时,所需完成沿穿轨方向的摆动角度如下式所示:

$$[0037] \quad \theta_D = D*\theta_W/W \quad (5)$$

[0038] 设敏捷卫星控制力矩陀螺组件的控制力矩为 $M$ ,整星在穿轨方向上的转动惯量为 $I_x$ ,则卫星沿穿轨方向的机动角加速度如下式所示:

$$[0039] \quad \alpha_D = M/I_x \quad (6)$$

[0040] 设卫星的最大机动角速度为 $\omega_{\max}$ ,卫星从角速度为0加速到 $\omega_{\max}$ 所需的时间设为 $t_1$ ,卫星转过的角度设为 $\theta_1$ ,则可得如下式:

$$[0041] \quad t_1 = \omega_{\max}/\alpha_D = \omega_{\max}*I_x/M \quad (7);$$

$$[0042] \quad \theta_1 = \alpha_D t_1^2/2 \quad (8)$$

[0043] 另外,由于卫星加速及减速所需的时间及转动的角度均相同,由此可得卫星匀速摆动的角度 $\theta_2$ 及时间 $t_2$ 分别为:

$$[0044] \quad \theta_2 = \theta_D - 2\theta_1 \quad (9);$$

$$[0045] \quad t_2 = \theta_2/\omega_{\max} \quad (10);$$

[0046] 因此,卫星从角速度0转过 $\theta_D$ ,再减速到0所需耗时为:

$$[0047] \quad t_3 = 2t_1 + t_2;$$

[0048] 则卫星从角速度为0开始成像,到回摆至再次开始成像位置的时间 $t$ 为:

$$[0049] \quad t = 2t_3 = 4t_1 + 2t_2 \quad (11)$$

[0050] 则根据式(11)、(10)、(7)可得:

$$[0051] \quad t = 2*\omega_{\max}*(I_x/M) + 2*D/(S*\omega_{\max}) \quad (12)$$

[0052] 因而,在实际应用中,在设置和输入姿态控制组件的控制参数时,据式(12)可知,在保持常量参数不变的情况下,改变和调整相应的变量参数,总体上只需保证 $t < t_{\max}$ ,敏捷

卫星就可有效实现敏捷卫星无缝连续机动成像的机动过程。

[0053] 下面结合具体应用进行说明，

[0054] 设敏捷卫星对地的相对运动速度 $V_d$ 为6.8km/s；敏捷卫星像元分辨率 $G=3m$ ；轨道高度为500km，设卫星要求探测的幅宽 $D$ 为1000km，所述探测器采用以13K\*7K探测器拼接3片，则拼接后的探测器为39K\*7K，其对应的星下点幅宽 $L*W=117*21km$ ，其中 $1^\circ$ 所对应的区域 $S=500*\sin 1^\circ=8.7262km$ ，则根据相应的计算公式，对应视场角 $\theta_L*\theta_W=13.41^\circ*2.41^\circ$ ， $L=117km$ 为沿轨方向；整星成像幅宽为 $D$ 时所需完成的穿轨方向摆动角度为： $\theta_D=D*\theta_W/W=90^\circ$

[0055] 若要实现无缝连续成像，则卫星回摆至初始位置，完成一个钟摆的最长时限为： $t_{max}=L/V_d=117km/6.8km/s=17.2s$ ；

[0056] 设卫星控制力矩陀螺的力矩 $M=1Nm$ ，卫星在穿轨方向上的惯量 $I_x=7kgm^2$ ，卫星的最大机动角速度为 $\omega_{max}=15^\circ/s$ ，则其角加速度为 $\alpha_D=M/I_x=8.19^\circ/s^2$ ，从0加速到 $15^\circ/s$ 所需时间1.83s，转过的角度 $13.7^\circ$ ；

[0057] 卫星再转过 $90^\circ-13.7^\circ*2=62.6^\circ$ 时开始减速，转过 $62.6^\circ$ 耗时4.17s，减速耗时1.83s；

[0058] 因此，卫星从角速度0转过 $90^\circ$ ，再减速到0耗时 $t_3=1.83*2+4.17=7.83s$ ；可得出卫星从角速度为0开始成像，到回摆至再次成像位置的时间为： $t=7.83*2=15.66s$ ；

[0059] 因而， $t=15.66s < t_{max}=17.2s$ ，敏捷卫星可有效实现 $90^\circ$ 超大幅宽无缝连续机动成像的机动过程。

[0060] 因而，在满足卫星的机动过程时，敏捷卫星上的光学相机在规定的机动时间内完成多条成像条带，同时通过光学相机中的快摆镜完成像移补偿，从而实现超大幅宽无缝连续成像。

[0061] 上述实例应用采用专业姿态仿真软件STK进行算例仿真，在姿态仿真软件STK上，敏捷卫星形成了完整且稳定的快速扫摆的连续成像的动态过程，如图5所示，其为快速扫摆过程中某一时刻的摆扫状态图，仿真结果表明：在上述应用中设置的控制参数条件下，可完美实现敏捷卫星的 $90^\circ$ 超大幅宽无缝连续快摆机动成像过程。

[0062] 需要强调的是：以上仅是本发明的较佳实施例而已，并非对本发明作任何形式上的限制，凡是依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化与修饰，均仍属于本发明技术方案的范围。

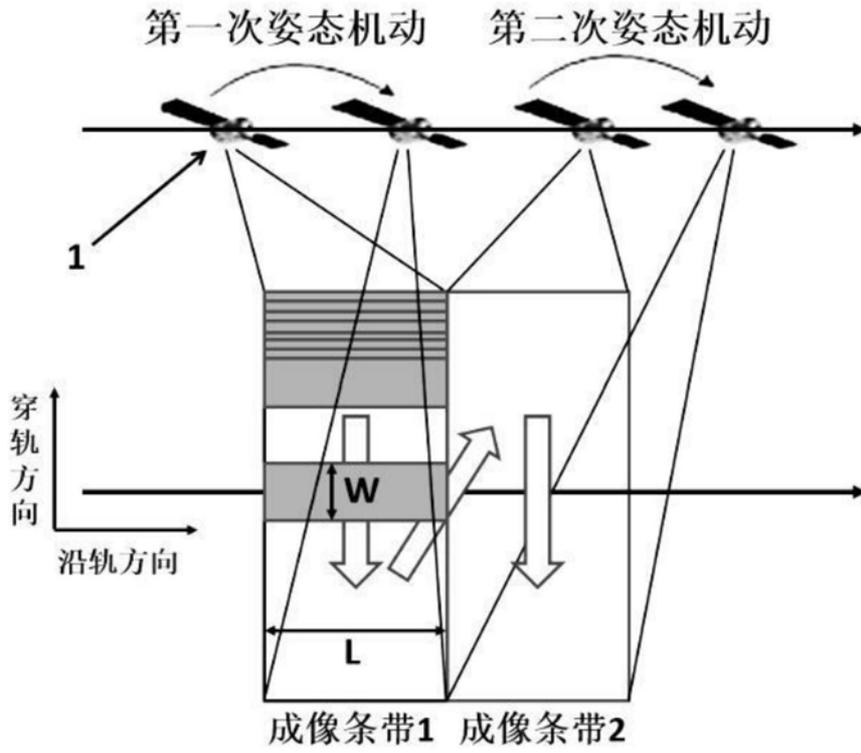


图1

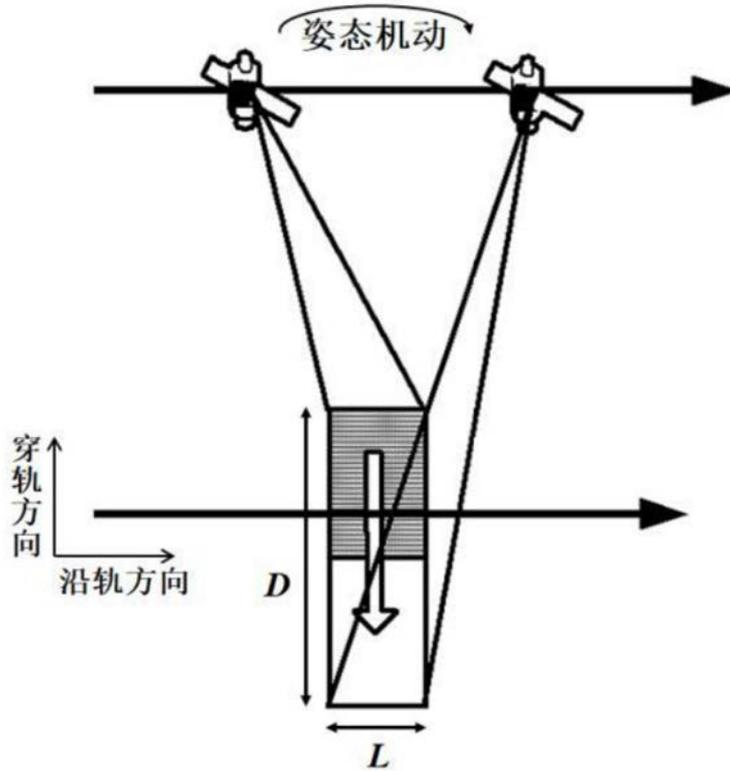


图2

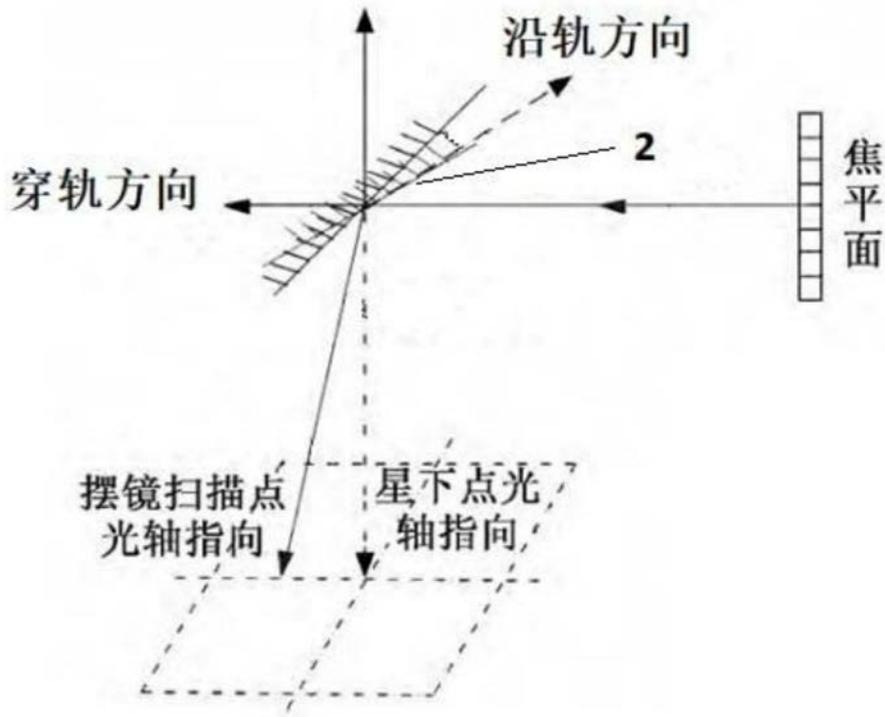


图3

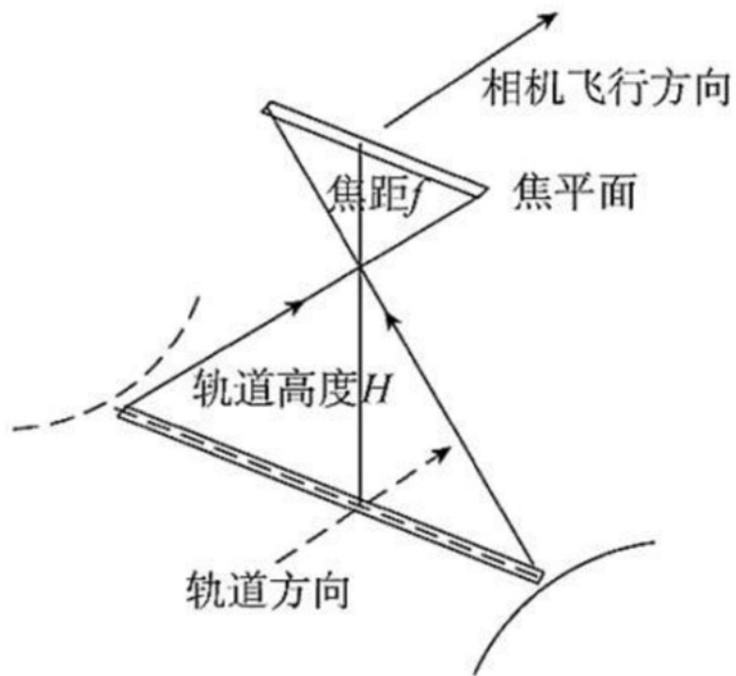


图4

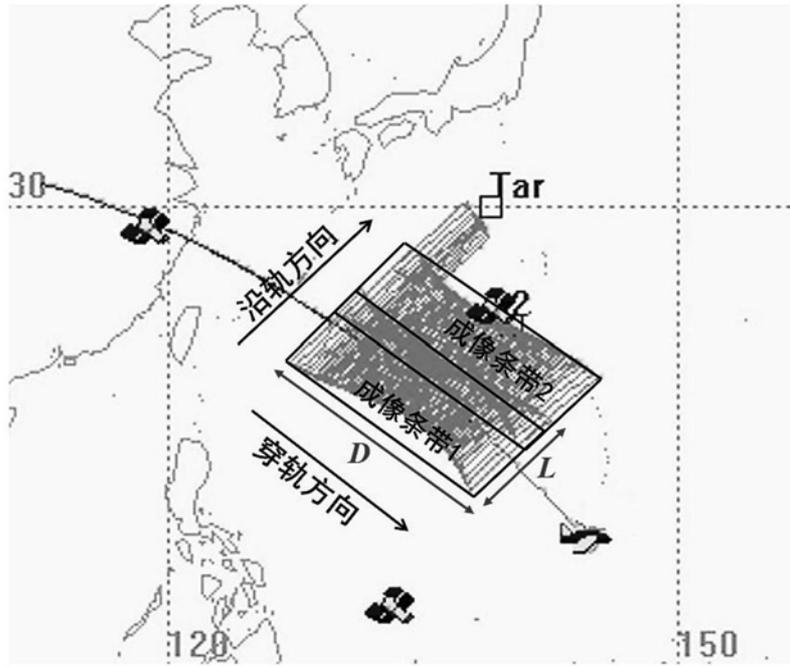


图5