



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102162739 A

(43) 申请公布日 2011.08.24

(21) 申请号 201010613596.4

(22) 申请日 2010.12.30

(71) 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路3888号

(72) 发明人 李宪圣 任建伟 任建岳 刘则洵 万志

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 陶尊新

(51) Int. Cl.

G01C 25/00 (2006.01)

G01C 11/02 (2006.01)

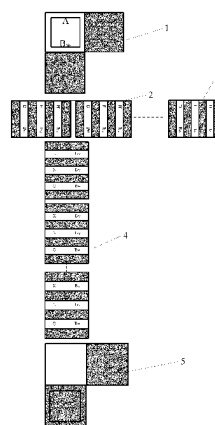
权利要求书 3 页 说明书 7 页 附图 1 页

(54) 发明名称

空间相机在轨动态传函测试方法及装置

(57) 摘要

空间相机在轨动态传函测试方法及装置,涉及空间光学领域,它解决在现有相机在轨动态传函测试中在地面铺设的靶标辐射亮度测量中只能测试象元地面分辨力内的局部小区域,且由于靶标的不均匀等造成的测试数据有比较大的偏差,同时采用软件计算大气透过率和大气后散射与实际值偏差大的问题,本发明通过空间相机作为光学遥感器,在地面增加摆设空间频率为 1lp/mm 的靶标,利用空间相机图像,直接获得相机的在轨动态传函测试数据,避免了因地面测量不准确和用大气软件计算引入的误差,直接获得包含大气透过率和大气后向散射在内的地面靶标到达相机入瞳的调制度,能更准确方便的获得相机在轨动态传函。本发明应用于在轨动态传函测试中。



1. 空间相机在轨动态传函测试方法,其特征是,该方法包括以下步骤:

步骤一、将第一直角靶标(1)、第二直角靶标(5)、奈奎斯特频率的纵向靶标(2)和奈奎斯特频率的横向靶标(4)摆在同一水平地面上;

步骤二、采用步骤一所述的第一直角靶标(1)和第二直角靶标(5)获得到相机入瞳处的包含大气影响在内的调制度 $M_{物}$,

具体计算过程为:所述第一直角靶标(1)中的黑靶标、白靶标与第二直角靶标(5)中的黑靶标、白靶标在同一太阳高角下,在地面上具有相同的反射率和相同的辐亮度;

在地面上具有相同反射率 $\rho_{W\lambda}$ 的白靶标具有相同的辐亮度 B_W ,

$$B_W = \sum_{\lambda=500}^{900} \frac{E_{\lambda} \times \rho_{W\lambda}}{\pi} = \sum_{\lambda=500}^{900} B_{W\lambda} \quad (1)$$

式中: B_W -白靶标的辐亮度;

$B_{W\lambda}$ -白靶标的光谱辐亮度;

E_{λ} -太阳到达地面的光谱辐照度;

$\rho_{W\lambda}$ -白靶标的光谱反射率;

λ -波长单位为 nm;

在地面上具有相同反射率 $\rho_{D\lambda}$ 的黑靶标具有相同的辐亮度 B_D ,

$$B_D = \sum_{\lambda=500}^{900} \frac{E_{\lambda} \times \rho_{D\lambda}}{\pi} = \sum_{\lambda=500}^{900} B_{D\lambda} \quad (2)$$

式中: B_D -黑靶标的辐亮度;

$B_{D\lambda}$ -黑靶标的光谱辐亮度;

$\rho_{D\lambda}$ -黑靶标的光谱反射率;

所述大气光谱透过率为 τ_{λ} ,大气散射光谱辐亮度为 $B_{SCAT\lambda}$,所述白靶标到达相机入瞳的辐亮度 L_W 为

$$\begin{aligned} L_W &= \sum_{\lambda=500}^{900} \left(\frac{E_{\lambda} \times \rho_{W\lambda}}{\pi} \times \tau_{\lambda} + B_{SCAT\lambda} \right) \\ &= \sum_{\lambda=500}^{900} \frac{E_{\lambda} \times \rho_{W\lambda}}{\pi} \times \tau_{\lambda} + \sum_{\lambda=500}^{900} B_{SCAT\lambda} = \sum_{\lambda=500}^{900} \frac{E_{\lambda} \times \rho_{W\lambda}}{\pi} \times \tau_{\lambda} + B_{SCAT} \\ &= \sum_{\lambda=500}^{900} B_{W\lambda} \times \tau_{\lambda} + B_{SCAT} \end{aligned} \quad (3)$$

式中: B_{SCAT} -大气后向散射积分辐亮度;

黑靶标到达相机入瞳的辐亮度 L_D 为

$$\begin{aligned} L_D &= \sum_{\lambda=500}^{900} \frac{E_{\lambda} \times \rho_{D\lambda}}{\pi} \times \tau_{\lambda} + B_{SCAT} \\ &= \sum_{\lambda=500}^{900} B_{D\lambda} \times \tau_{\lambda} + B_{SCAT} \end{aligned} \quad (4)$$

相机输出 DN 值为:

$$DN = R \times L$$

式中, DN-图像灰度值;

R-响应度;

L-相机入瞳辐亮度;

所述相机输出的白靶标 DN 值的均值为 DN_W ,相机输出的黑靶标 DN 值的均值为 DN_D ,可

得：

$$DN_w = R \times L_w$$

$$\text{即} : L_w = DN_w / R$$

同样可得：

$$L_D = DN_D / R$$

$$\text{获得} : M_{\text{物}} = \frac{L_w - L_D}{L_w + L_D} = \frac{DN_w - DN_D}{DN_w + DN_D}$$

$M_{\text{物}}$ - 相机入瞳处的包含大气影响在内的调制度；

步骤三、采用步骤一所述的奈奎斯特频率纵向靶标和奈奎斯特频率的横向靶标 (4) 测试相机在空间频率为奈奎斯特频率处的像的调制度 $M_{\text{像}}$ ，获得相机在轨动态传函；

具体的计算过程为：所述奈奎斯特频率的纵向靶标 (2) 和奈奎斯特频率的横向靶标 (4) 到相机入瞳的调制度 $M_{\text{物}}$ 与步骤二中第一直角靶标 (1) 和第二直角靶标 (5) 获得到相机入瞳处的包含大气影响在内的调制度 $M_{\text{物}}$ 相等；即：

$$M_{\text{物}} = \frac{L_w - L_D}{L_w + L_D} = \frac{DN_w - DN_D}{DN_w + DN_D}$$

计算相机垂直卫星飞行轨道方向的像的调制度 $M_{\text{像V}}$ 和沿轨方向的像的调制度 $M_{\text{像H}}$ 为：

$$M_{\text{像V}} = \frac{\pi}{4} \times \frac{DN_{V\max} - DN_{V\min}}{DN_{V\max} + DN_{V\min}}$$

$$M_{\text{像H}} = \frac{\pi}{4} \times \frac{DN_{H\max} - DN_{H\min}}{DN_{H\max} + DN_{H\min}}$$

获得相机在轨动态传函；所述相机的在轨动态传函分别为相机在垂直卫星飞行轨道方向的动态传函 MTF_V 和沿轨方向的动态传函 MTF_H ：

$$MTF_V = \frac{M_{\text{像V}}}{M_{\text{物}}}$$

$$MTF_H = \frac{M_{\text{像H}}}{M_{\text{物}}}$$

2. 根据权利要求 1 所述的空间相机在轨动态传函测试方法，其特征在于，步骤一所述的奈奎斯特频率的纵向靶标 (2) 和奈奎斯特频率的横向靶标 (4) 分别是由 N 个奈奎斯特频率靶标单元 (3) 组成的具有 $1/N$ 位错的纵向靶标和 N 个奈奎斯特频率靶标单元 (3) 组成的具有 $1/N$ 位错的横向靶标，所述 N 为大于等于 5 的正整数。

3. 根据权利要求 2 所述的空间相机在轨动态传函测试方法，其特征在于，所述 $1/N$ 位错的纵向靶标和 $1/N$ 位错的横向靶标中相邻的靶标单元的距离为 $(N-1)/N$ 的靶条宽度。

4. 根据权利要求 1 所述的空间相机在轨动态传函测试方法，其特征在于，步骤一所述的第一直角靶标 (1) 中白靶标和第二直角靶标 (5) 黑靶标在空间上构成与空间相机的空间频率为 $1lp/mm$ 对应的靶标。

5. 空间相机在轨动态传函测试装置，其特征在于，该装置包括第一直角靶标 (1)、第二直角靶标 (5)、奈奎斯特频率的纵向靶标 (2) 和奈奎斯特频率的横向靶标 (4)；所述奈奎斯特频率的纵向靶标 (2) 与卫星飞行轨道平行，奈奎斯特频率的横向靶标 (4) 与卫星飞行轨

道垂直,所述第一直角靶标(1)、第二直角靶标(5)、奈奎斯特频率的纵向靶标(2)和奈奎斯特频率的横向靶标(4)分别由白靶标和黑靶标组成;所述黑靶标与白靶标的对比度相同。

6. 根据权利要求5所述的空间相机在轨动态传函测试装置,其特征在于,所述第一直角靶标(1)的白靶标和第二直角靶标(5)的黑靶标在空间上构成与空间相机的空间频率为1lp/mm对应的靶标。

7. 根据权利要求5所述的空间相机在轨动态传函测试装置,其特征在于,所述奈奎斯特频率的纵向靶标(2)和奈奎斯特频率的横向靶标分别由N个奈奎斯特频率单元组成的具有1/N位错的纵向靶标单元和N个奈奎斯特频率单元组成的具有1/N位错的横向靶标单元组成,所述N为大于等于5的正整数。

空间相机在轨动态传函测试方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及空间光学领域,具体涉及一种空间相机在轨动态传函测试方法及装置。

背景技术

[0002] 相机动态传递函数是检验相机成像质量的重要参数,目前,相机在轨动态传函测试是通过测试地面靶标的对比度,即:通过反射比计算靶标的调制度,采用软件计算大气透过率和大气后向散射,而后计算相机入瞳的黑白靶标调制度。该方法存在几个方面的问题,其一、地面测试数据为点测量,只是测量靶标的局部,测试区域只是象元地面分辨力内的小部分,由于靶标的不均匀会造成比较大的偏差。其二,用软件计算大气透过率和大气后散射与实际偏离较大,软件提供的是理想化的模型,并不能正好与当时的天气状况相对应,造成计算值与实际值有较大的偏差。因而给最终的相机在轨动态传函测试造成较大的偏差。要获得准确的动态传函就必须准确的获得靶标(包含大气透过率和大气后向散射)到相机入瞳的调制度。

发明内容

[0003] 本发明为解决现有相机在轨动态传函测试中在地面铺设的靶标辐射亮度测量中只能测试象元地面分辨力内的局部小区域,且由于靶标的不均匀等造成的测试数据有比较大的偏差,同时采用软件计算大气透过率和大气后散射与实际值偏差大的问题,提供一种利用空间相机获取的地面靶标的图像获得在轨动态传函测试方法及装置。

[0004] 空间相机在轨动态传函测试方法,该方法包括以下步骤:

[0005] 步骤一、将第一直角靶标、第二直角靶标、奈奎斯特频率的纵向靶标和奈奎斯特频率的横向靶标摆在同一水平地面上;

[0006] 步骤二、采用步骤一所述的第一直角靶标中白靶标和第二直角靶标中的黑靶标获得到相机入瞳处的包含大气影响在内的调制度 $M_{物}$,

[0007] 具体计算过程为:所述第一直角靶标中的黑靶标、白靶标与第二直角靶标中的黑靶标、白靶标在同一太阳高角下,在地面上具有相同的反射率和相同的辐亮度;

[0008] 在地面上具有相同反射率 $\rho_{w\lambda}$ 的白靶标具有相同的辐亮度 B_w ,

$$[0009] \quad B_w = \sum_{\lambda=300}^{900} \frac{E_{\lambda} \rho_{w\lambda}}{\pi} = \sum_{\lambda=300}^{900} B_{w\lambda} \quad (1)$$

[0010] 式中: B_w -白靶标的辐亮度;

[0011] $B_{w\lambda}$ -白靶标的光谱辐亮度;

[0012] E_{λ} -太阳到达地面的光谱辐照度;

[0013] $\rho_{w\lambda}$ -白靶标的光谱反射率;

[0014] λ -波长单位为 nm;

[0015] 在地面上具有相同反射率 $\rho_{D\lambda}$ 的黑靶标具有相同的辐亮度 B_D ,

$$[0016] \quad B_D = \sum_{\lambda=500}^{900} \frac{E_{\lambda} \times \rho_{D\lambda}}{\pi} = \sum_{\lambda=500}^{900} B_{D\lambda} \quad (2)$$

[0017] 式中： B_D - 黑靶标的辐亮度；

[0018] $B_{D\lambda}$ - 黑靶标的光谱辐亮度；

[0019] $\rho_{D\lambda}$ - 黑靶标的光谱反射率；

[0020] 所述大气光谱透过率为 τ_{λ} ，大气散射光谱辐亮度为 $B_{SCAT\lambda}$ ，所述白靶标到达相机入瞳的辐亮度 L_W 为

$$[0021] \quad L_W = \sum_{\lambda=500}^{900} \left(\frac{E_{\lambda} \times \rho_{W\lambda}}{\pi} \times \tau_{\lambda} + B_{SCAT\lambda} \right)$$

$$[0022] \quad = \sum_{\lambda=500}^{900} \frac{E_{\lambda} \times \rho_{W\lambda}}{\pi} \times \tau_{\lambda} + \sum_{\lambda=500}^{900} B_{SCAT\lambda} = \sum_{\lambda=500}^{900} \frac{E_{\lambda} \times \rho_{W\lambda}}{\pi} \times \tau_{\lambda} + B_{SCAT}$$

$$[0023] \quad = \sum_{\lambda=500}^{900} B_{W\lambda} \times \tau_{\lambda} + B_{SCAT} \quad (3)$$

[0024] 式中： B_{SCAT} - 大气后向散射积分辐亮度；

[0025] 黑靶标到达相机入瞳的辐亮度 L_D 为

$$[0026] \quad L_D = \sum_{\lambda=500}^{900} \frac{E_{\lambda} \times \rho_{D\lambda}}{\pi} \times \tau_{\lambda} + B_{SCAT}$$

$$[0027] \quad = \sum_{\lambda=500}^{900} B_{D\lambda} \times \tau_{\lambda} + B_{SCAT} \quad (4)$$

[0028] 相机经过实验室辐射定标，得出相机输出 DN 值与相机入瞳处的辐射亮度关系为：

$$[0029] \quad DN = R \times L$$

[0030] 式中，DN- 图像灰度值；

[0031] R- 响应度；

[0032] L- 相机入瞳辐亮度；

[0033] 所述相机输出的白靶标 DN 值的平均值为 DN_W ，相机输出的黑靶标 DN 值的平均值为 DN_D ，可得：

$$[0034] \quad DN_W = R \times L_W$$

$$[0035] \quad \text{即：} L_W = DN_W / R$$

[0036] 同样可得：

$$[0037] \quad L_D = DN_D / R$$

$$[0038] \quad \text{获得：} M_{物} = \frac{L_W - L_D}{L_W + L_D} = \frac{DN_W - DN_D}{DN_W + DN_D}$$

[0039] $M_{物}$ - 相机入瞳处的包含大气影响在内的调制度；

[0040] 步骤三、采用步骤一所述的奈奎斯特频率纵向靶标和奈奎斯特频率的横向靶标测试相机在空间频率为奈奎斯特频率处的像的调制度 $M_{像}$ ，获得相机在轨动态传函；

[0041] 具体的计算过程为：所述奈奎斯特频率的纵向靶标和奈奎斯特频率的横向靶标到相机入瞳的调制度 $M_{物}$ 与步骤二中第一直角靶标和第二直角靶标获得到相机入瞳的调制度 $M_{物}$ 相等；即：

[0042]

$$M_{物} = \frac{L_W - L_D}{L_W + L_D} = \frac{DN_W - DN_D}{DN_W + DN_D}$$

[0043] 计算相机垂直卫星飞行轨道方向的像的调制度 $M_{像V}$ 和沿轨方向的像的调制度 $M_{像}$

M_H 为：

[0044]

$$M_{\text{像}V} = \frac{\pi}{4} \times \frac{DN_{V\max} - DN_{V\min}}{DN_{V\max} + DN_{V\min}}$$

[0045]

$$M_{\text{像}H} = \frac{\pi}{4} \times \frac{DN_{H\max} - DN_{H\min}}{DN_{H\max} + DN_{H\min}}$$

[0046] 获得相机在轨动态传函；所述相机的在轨动态传函分别为相机在垂直卫星飞行轨道方向的动态传函 MTF_V 和沿轨方向的动态传函 MTF_H ：

[0047]

$$MTF_V = \frac{M_{\text{像}V}}{M_{\text{物}}}$$

[0048]

$$MTF_H = \frac{M_{\text{像}H}}{M_{\text{物}}}$$

[0049] 空间相机在轨动态传函测试装置，该装置包括第一直角靶标、第二直角靶标、奈奎斯特频率的纵向靶标和奈奎斯特频率的横向靶标；所述奈奎斯特频率的纵向靶标与卫星飞行轨道平行，奈奎斯特频率的横向靶标与卫星飞行轨道垂直，所述第一直角靶标、第二直角靶标、奈奎斯特频率的纵向靶标和奈奎斯特频率的横向靶标分别由白靶标和黑靶标组成；所述黑靶标与白靶标的对比度相同。

[0050] 本发明的工作原理：本发明提出一种利用相机图像能准确获得相机在轨动态传函的方法；即：通过相机空间频率为 11p/mm 的靶标图像获得包含大气透过率和大气后向散射的到相机入瞳的调制度的方法，通过相机空间频率为奈奎斯特频率的靶标图像获得像的调制度的方法，从而准确获得相机在轨动态传函的测试方法，并发明相应的测试装置。本发明是在地面摆设两种靶标，包括对应空间相机的空间频率为 11p/mm 的靶标和空间频率为奈奎斯特频率的靶标，空间频率为 11p/mm 的靶标用于测试靶标（包含大气透过率和大气后向散射等影响在内）到达相机入瞳处的包含大气影响在内的调制度 $M_{\text{物}}$ ，空间频率为奈奎斯特频率的靶标用于测试相机在空间频率为奈奎斯特频率处的像的调制度 $M_{\text{像}}$ ，从而获得相机在轨动态传函，即： $MTF = M_{\text{像}}/M_{\text{物}}$ 。在该方法中，用空间频率为 11p/mm 的靶标图像获得相机入瞳的调制度 $M_{\text{物}}$ ，是该靶标辐射亮度经过大气传输（即受大气透过率和大气后向散射等影响后）到达相机入瞳，被相机接收后转化为图像输出的，相机输出的图像灰度值和相机入瞳的辐亮度是线性响应关系，即图像灰度值正比于相机入瞳辐亮度，因而用空间频率为 11p/mm 的靶标对应的图像灰度值（该图像几乎不受空间频率影响）即可求得相机入瞳处的调制度 $M_{\text{物}}$ ，该 $M_{\text{物}}$ 是包含当时大气透过率和大气后向散射在内的，是通过空间相机直接测得的真实值。与空间频率为奈奎斯特频率的靶标经大气透过率和大气后向散射后到达相机入瞳的状态是一致的，相同的太阳高角、相同的反射率、相同的大气透过率，相同的大气后向散射辐亮度，只是空间频率不同，因而该方法避免了因地面测量不准确和用大气软件计算引入的误差。能更准确方便的获得相机在轨动态传函。

[0051] 本发明的有益效果：本发明通过地面摆设对应空间相机的空间频率为 1lp/mm 的靶标，和摆设对应相机空间频率为奈奎斯特频率靶标，通过分析空间相机获得的靶标图像，直接获得相机的在轨动态传函测试数据，该方法准确、简单和方便，避免因地面测量误差和估算大气透过率及大气后向散射等引入的误差。

附图说明

[0052] 图 1 为本发明所述的空间相机在轨动态传函测试装置摆放示意图。

[0053] 图中：1、第一直角靶标，2、奈奎斯特频率的纵向靶标，3 奈奎斯特频率靶标单元，4、奈奎斯特频率的横向靶标，5、第二直角靶标。

具体实施方式

[0054] 具体实施方式一、结合图 1 说明本实施方式，空间相机在轨动态传函测试方法，该方法由以下步骤实现：

[0055] 步骤一、将第一直角靶标 1、第二直角靶标 5、奈奎斯特频率的纵向靶标 2 和奈奎斯特频率的横向靶标摆在同一水平地面上；

[0056] 步骤二、采用步骤一所述的第一直角靶标 1 中的白靶标和第二直角靶标 5 中的黑靶标获得到相机入瞳处的包含大气影响在内的调制度 $M_{物}$ ，

[0057] 具体计算过程为：所述第一直角靶标 1 中的黑靶标、白靶标与第二直角靶标 5 中的黑靶标、白靶标在地面上具有相同的反射率和相同的辐亮度；在相机成像时刻，结合图 1 中的所有靶标都在相同的太阳高角下，经过相同的大气透过率，受相同的大气后向散射影响后，到达相机入瞳，再经过具有线性响应的相机后，获得相机输出的靶标图像。

[0058] 在地面上具有相同反射率 $\rho_{W\lambda}$ 的白靶标具有相同的辐亮度 B_W ，

$$[0059] \quad B_W = \sum_{\lambda=500}^{900} \frac{E_{\lambda} \times \rho_{W\lambda}}{\pi} = \sum_{\lambda=500}^{900} B_{W\lambda} \quad (1)$$

[0060] 式中： B_W —白靶标的辐亮度；

[0061] $B_{W\lambda}$ —白靶标的光谱辐亮度；

[0062] E_{λ} —太阳到达地面的光谱辐照度；

[0063] $\rho_{W\lambda}$ —白靶标的光谱反射率；

[0064] λ —波长单位为 nm。

[0065] 在地面上具有相同反射率 $\rho_{D\lambda}$ 的黑靶标具有相同的辐亮度 B_D ，

$$[0066] \quad B_D = \sum_{\lambda=500}^{900} \frac{E_{\lambda} \times \rho_{D\lambda}}{\pi} = \sum_{\lambda=500}^{900} B_{D\lambda} \quad (2)$$

[0067] 式中： B_D —黑靶标的辐亮度。

[0068] $B_{D\lambda}$ —黑靶标的光谱辐亮度

[0069] $\rho_{D\lambda}$ —黑靶标的光谱反射率；

[0070] 此时的大气光谱透过率为 τ_{λ} ，大气散射光谱辐亮度为 $B_{SCAT\lambda}$ ，则白靶标到达相机入瞳的辐亮度 L_W 为

$$[0071] \quad L_W = \sum_{\lambda=500}^{900} \left(\frac{E_{\lambda} \times \rho_{W\lambda}}{\pi} \times \tau_{\lambda} + B_{SCAT\lambda} \right)$$

$$[0072] \quad = \sum_{\lambda=500}^{900} \frac{E_{\lambda} \times \rho_{W\lambda}}{\pi} \times \tau_{\lambda} + \sum_{\lambda=500}^{900} B_{SCAT\lambda} = \sum_{\lambda=500}^{900} \frac{E_{\lambda} \times \rho_{W\lambda}}{\pi} \times \tau_{\lambda} + B_{SCAT}$$

$$[0073] \quad = \sum_{\lambda=500}^{900} B_{W\lambda} \times \tau_{\lambda} + B_{SCAT} \quad (3)$$

[0074] 式中： B_{SCAT} - 大气后向散射积分辐亮度；

[0075] 黑靶标到达相机入瞳的辐亮度 L_D 为

$$[0076] \quad L_D = \sum_{\lambda=500}^{900} \frac{E_{\lambda} \times \rho_{D\lambda}}{\pi} \times \tau_{\lambda} + B_{SCAT}$$

$$[0077] \quad = \sum_{\lambda=500}^{900} B_{D\lambda} \times \tau_{\lambda} + B_{SCAT} \quad (4)$$

[0078] 在图 1 所示的靶标中,所有白靶标的反射率相同,因而到达相机入瞳的辐亮度 L_w 相等,所有黑靶标的发射率相同,同样到达相机入瞳的辐亮度 L_D 相等。

[0079] 对于相机输出 DN 值与入瞳处的辐射亮度 L 有如下关系：

$$[0080] \quad DN = R \times L$$

[0081] 式中, DN- 相机输出 DN 值；

[0082] R- 响应度；

[0083] L- 相机入瞳辐亮度。

[0084] 在图 1 中,白靶标选取 1 中 A 区域,输出 DN 值的均值为 DN_w ,黑靶标选取 5 中的 B 区域,输出 DN 值的均值为 DN_D ,A 区域和 B 区域在空间位置上构成相机空间频率为 11p/mm 的靶标,此时相机的传函为 0.9999,因而在两个区域上输出的 DN 值几乎不受相机传函影响,于是

$$[0085] \quad DN_w = R \times L_w$$

$$[0086] \quad \text{即求得: } L_w = DN_w / R$$

[0087] 同样可得：

$$[0088] \quad L_D = DN_D / R$$

$$[0089] \quad \text{可求得 } M_{\text{物}} = \frac{L_w - L_D}{L_w + L_D} = \frac{DN_w - DN_D}{DN_w + DN_D}$$

[0090] $M_{\text{物}}$ - 相机入瞳调制度；

[0091] 步骤三、采用步骤一所述的奈奎斯特频率纵向靶标和奈奎斯特频率的横向靶标 4 测试相机在空间频率为奈奎斯特频率处的像的调制度 $M_{\text{像}}$,获得相机在轨动态传函；

[0092] 具体计算过程为：所述奈奎斯特频率的纵向靶标 2 和奈奎斯特频率的横向靶标 4 到相机入瞳的调制度 $M_{\text{物}}$ 与步骤二中第一直角靶标 1 和第二直角靶标 5 获得到相机入瞳的调制度 $M_{\text{物}}$ 相等；图像是受奈奎斯特频率空间频率影响,由于奈奎斯特频率的纵向靶标 2 和奈奎斯特频率的横向靶标 4 上的白靶标的材料与第一直角靶标 1 和第二直角靶标 5 中白靶标材料一致,该奈奎斯特频率的纵向靶标 2 和奈奎斯特频率的横向靶标 4 上的黑靶标的材料与第一直角靶标 1 和第二直角靶标 5 中的黑靶标材料一致,即分别具有相同的反射率,因而到达相机入瞳的 $M_{\text{物}}$ 为

[0093]

$$M_{\text{物}} = \frac{L_w - L_D}{L_w + L_D} = \frac{DN_w - DN_D}{DN_w + DN_D}$$

[0094] 利用奈奎斯特频率的纵向靶标 2 和奈奎斯特频率的横向靶标 4 中的靶标图像,可

以计算出相机垂直轨道方向的像的调制度 $M_{\text{像}V}$ 和沿轨方向的像的调制度 $M_{\text{像}H}$

[0095]

$$M_{\text{像}V} = \frac{\pi}{4} \times \frac{DN_{V\max} - DN_{V\min}}{DN_{V\max} + DN_{V\min}}$$

[0096]

$$M_{\text{像}H} = \frac{\pi}{4} \times \frac{DN_{H\max} - DN_{H\min}}{DN_{H\max} + DN_{H\min}}$$

[0097] 于是求得相机的在垂直轨道方向的动态传函 MTF_V 和沿轨方向的动态传函 MTF_H

[0098]

$$MTF_V = \frac{M_{\text{像}V}}{M_{\text{物}}}$$

[0099]

$$MTF_H = \frac{M_{\text{像}H}}{M_{\text{物}}}$$

[0100] 结合图 1, 本实施方式所述的所有白色区域都是有同一种材料制成的高漫反射率白靶标, 所有黑色区域有另外一种相同的材料制成的低漫反射率黑靶标, 黑、白靶标具有相同的对比度; 其中第一直角靶标 1 和第二直角靶标 5 中白色区域和黑色区域大小为 20 倍的地面象元分辨力的正方形, 第一直角靶标 1 和第二直角靶标 5 在空间上构成相机空间频率为 1lp/mm 的靶标, 用于获得相机入瞳处的包含大气影响在内的调制度 $M_{\text{物}}$; 3 是纵向靶标单元, 2 是由 N 个奈奎斯特频率靶标单元 3 组成的具有 1/N 位错的纵向靶标, 即相邻的两个纵向靶标单元 3 在空间位置上摆放时之间的距离为 (N-1)/N 的靶条宽度, 所述每个靶条宽度为 1 倍地面象元分辨力, 每个靶条长度为 8 倍地面象元分辨力, 用于测量垂直轨道方向的动态传递函数; 4 是由 N 个奈奎斯特频率的靶标单元 3 组成的具有 1/N 位错的横向靶标, 即将与 2 相同的靶标转 90 度放置, 成为横向靶标, 用于测量沿轨道方向的动态传递函数; 所述 N 为大于等于 5 的正整数。

[0101] 具体实施方式二、空间相机在轨动态传函测试装置, 该装置包括第一直角靶标 1、第二直角靶标 5、奈奎斯特频率的纵向靶标 2 和奈奎斯特频率的横向靶标 4; 所述奈奎斯特频率的纵向靶标 2 与卫星飞行轨道平行, 奈奎斯特频率的横向靶标 4 与卫星飞行轨道垂直, 所述第一直角靶标 1、第二直角靶标 5、奈奎斯特频率的纵向靶标 2 和奈奎斯特频率的横向靶标 4 分别由白靶标和黑靶标组成; 所述黑靶标与白靶标的对比度相同。

[0102] 本实施方式所述的第一直角靶标 1 和第二直角靶标 5 构成与空间相机的空间频率为 1lp/mm 对应的靶标。

[0103] 本实施方式所述的奈奎斯特频率的纵向靶标 2 和奈奎斯特频率的横向靶标 4 分别由 N 个奈奎斯特频率靶标单元 3 组成的具有 1/N 位错的纵向靶标单元和 N 个奈奎斯特频率靶标单元 3 组成的具有 1/N 位错的横向靶标单元组成, 所述 N 为大于等于 5 的正整数。

[0104] 本发明通过空间相机作为光学遥感器, 直接获得包含大气透过率和大气后向散射在内的地面靶标到达相机入瞳处的包含大气影响在内的调制度 $M_{\text{物}}$, 避免了因地面测量不准确和用大气软件计算引入的误差, 能通过相机获得靶标图像更准确方便的获得相机在轨

动态传函。

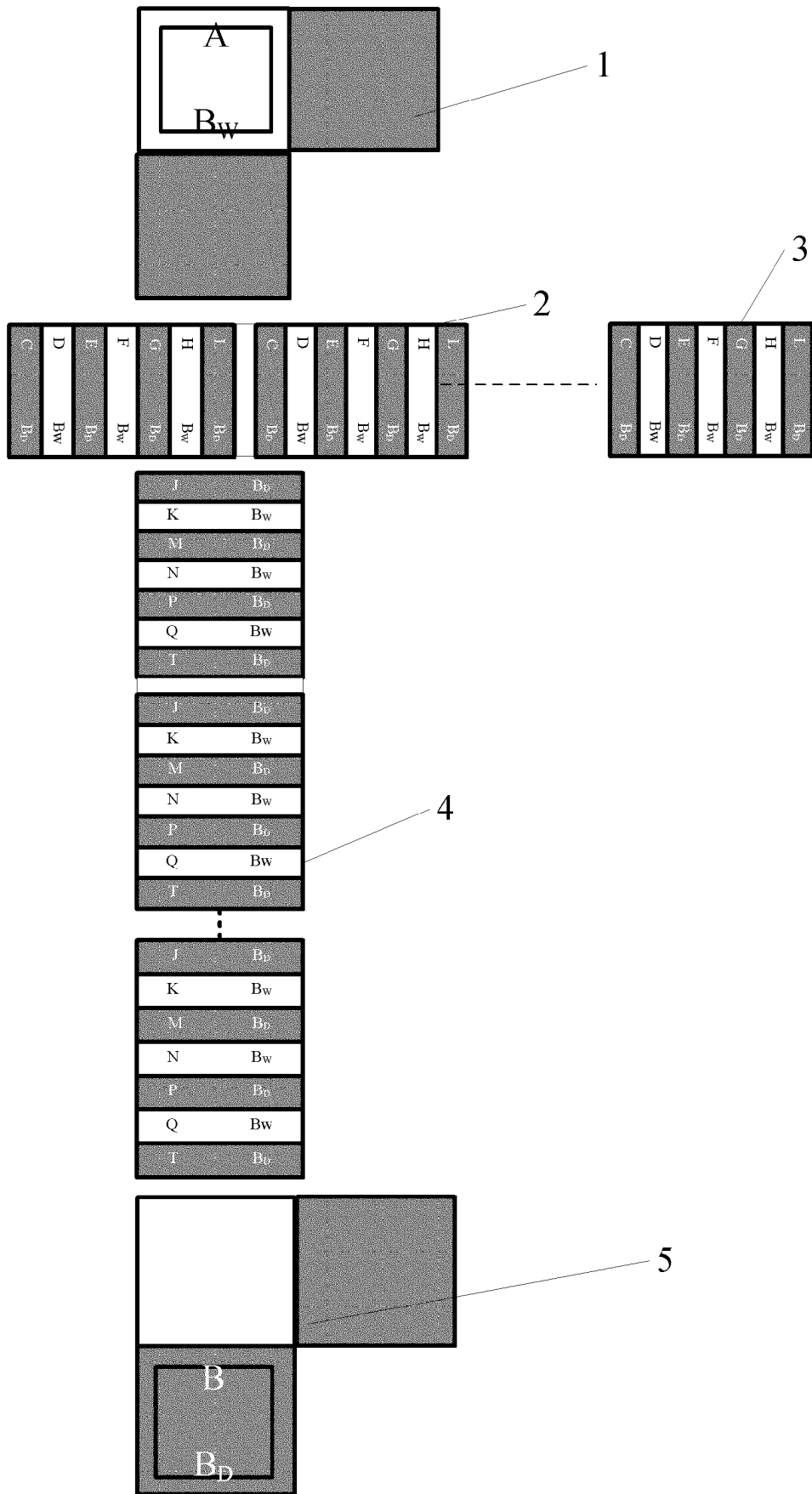


图 1