



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111884721 B

(45) 授权公告日 2022. 08. 02

(21) 申请号 202010734739.0

(22) 申请日 2020.07.27

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 111884721 A

(43) 申请公布日 2020.11.03

(73) 专利权人 哈尔滨工业大学(威海)

地址 264209 山东省威海市文化西路2号

(72) 发明人 赵占锋 于思源 周志权 卜文君

周宪堂

(74) 专利代理机构 威海科星专利事务所 37202

专利代理师 初姣姣

(51) Int. Cl.

H04B 10/112 (2013.01)

(56) 对比文件

CN 107707297 A, 2018.02.16

CN 107272015 A, 2017.10.20

US 6347001 B1, 2002.02.12

US 2014373369 A1, 2014.12.25

马晶, 李密, 谭立英, 于思源等. 卫星光通信中空间辐射对EDFA性能的影响分析.《宇航学报》.2009, 全文.

审查员 齐雅男

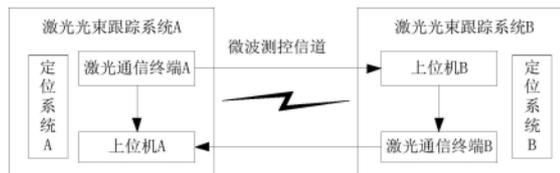
权利要求书4页 说明书7页 附图1页

## (54) 发明名称

基于微波测控的舰载激光通信双向光束跟踪系统及其跟踪方法

## (57) 摘要

基于微波测控的舰载激光通信双向光束跟踪系统及其跟踪方法,属于舰载激光通信技术领域,本发明为解决现有技术中舰船之间激光通信光束跟踪精度低的问题。它包括:两个激光光束跟踪系统和微波测控信道;两个激光光束跟踪系统分别设置在两个舰船上;微波测控信道设置在激光光束的链路中,用于实现两个激光光束跟踪系统的实时信息互传;激光光束跟踪系统包括:激光通信终端、定位系统和上位机;激光通信终端,设置在舰船上,用于发射和接收激光光束;定位系统,用于获取激光通信终端的三维位置信息;上位机,根据两个激光通信终端的实时三维位置信息,对激光光束跟踪的瞄准角度进行预测。本发明用于舰载激光通信的光束跟踪。



1. 基于微波测控的舰载激光通信双向光束跟踪系统, 其特征在于, 它包括: 两个激光光束跟踪系统和微波测控信道;

两个激光光束跟踪系统分别设置在两个舰船上;

微波测控信道设置在激光光束的链路中, 用于实现两个激光光束跟踪系统的实时信息互传;

激光光束跟踪系统包括: 激光通信终端、定位系统和上位机;

激光通信终端, 设置在舰船上, 用于发射和接收激光光束;

定位系统, 用于获取激光通信终端的三维位置信息;

上位机, 根据两个激光通信终端的实时三维位置信息, 对激光光束跟踪的瞄准角度进行预测;

所述对激光光束跟踪的瞄准角度进行预测的方法包括:

两个定位系统分别采集两个激光通信终端的实时三维位置信息, 并将实时三维位置信息发送至上位机;

两个上位机分别根据实时三维位置信息预测期望时刻的瞄准期望角位置;

重复执行, 根据两个激光通信终端的实时三维位置信息实时预测期望时刻的瞄准期望角位置, 完成光束跟踪;

所述上位机根据实时三维位置信息预测期望时刻的瞄准期望角位置的过程包括:

两个激光光束跟踪系统分别为激光光束跟踪系统A和激光光束跟踪系统B, 分别设置在舰船A和舰船B上, 激光光束跟踪系统A包括激光通信终端A、定位系统A和上位机A, 激光光束跟踪系统B包括激光通信终端B、定位系统B和上位机B;

激光光束跟踪系统A获取实时预测期望时刻的瞄准期望角位置的过程为:

上位机A根据S1获取的实时三维位置信息计算当前时刻舰船A的瞄准偏差 $[\Delta\theta_A, \Delta\theta_E]$ , 同时记录当前时刻舰船A光束跟踪角度的绝对位置 $[\theta_{A0}, \theta_{E0}]$ ;

上位机A根据激光通信终端A的实时三维信息获得激光通信终端A的位置矢量 $\vec{r}_A(t_A)$ ,  $t_A$ 表示激光通信终端A实时数据对应的测量时间;

上位机A通过微波测控信道接收激光通信终端B的实时三维信息, 获得激光通信终端B的位置矢量 $\vec{r}_B(t_B)$ ,  $t_B$ 表示激光通信终端B实时数据对应的测量时间;

上位机A根据 $\vec{r}_A(t_A)$ 和 $\vec{r}_B(t_B)$ 分别预测提前瞄准传输时延 $\Delta t$ 后的三维数据 $\vec{r}_A(t_{PA})$ 和 $\vec{r}_B(t_{PB})$ , 其中:  $t_{PA}$ 表示期望时刻,  $t_{PA} = t_A + \Delta t_A = t_B + \Delta t_B$ ;

然后上位机A计算舰船A和舰船B之间的相对位置矢量:

$$\vec{r}_{PA}(t_{PA}) = \vec{r}_B(t_{PB}) - \vec{r}_A(t_{PA});$$

上位机A计算出期望时刻 $t_{PA}$ 的提前瞄准角度量:

$$\zeta_{v,h}(t_{PA}) = \theta_{v,h}\left(t_{PA} + \frac{2\rho(t)}{c} + t_D\right) - \theta_{v,h}(t_{PA});$$

其中,  $\theta_{v,h}(\cdot)$ 表示激光终端A瞄准激光光束的角度量,  $\rho(t)$ 表示激光通信终端A的斜距,  $c$ 表示光速,  $t_D$ 表示激光通信终端A的响应时间;

根据提前瞄准角度量获得瞄准期望角位置：

$$[\theta_{A1}, \theta_{E1}] = [\theta_{A0} + \Delta \theta_A + \zeta_v(t_{PA}), \theta_{E0} + \Delta \theta_E + \zeta_h(t_{PA})];$$

其中,  $\zeta_v(t_{PA})$  表示期望时刻提前瞄准角度量在俯仰角方向上的分量,  $\zeta_h(t_{PA})$  表示期望时刻提前瞄准角度量在方位角方向上的分量。

2. 根据权利要求1所述的基于微波测控的舰载激光通信双向光束跟踪系统, 其特征在于, 它还包括:

二维摆镜, 设置在激光通信终端的收发光路中, 对激光光束跟踪的瞄准角度的预测值进行实时补偿。

3. 根据权利要求1所述的基于微波测控的舰载激光通信双向光束跟踪系统, 其特征在于, 所述定位系统通过GPS或北斗卫星定位获得激光通信终端的三维位置信息。

4. 基于微波测控的舰载激光通信双向光束跟踪方法, 该方法基于权利要求1所述的基于微波测控的舰载激光通信双向光束跟踪系统实现, 其特征在于, 所述跟踪方法的具体过程包括:

S1、两个定位系统分别采集两个激光通信终端的实时三维位置信息, 并将实时三维位置信息发送至上位机;

S2、两个上位机分别根据实时三维位置信息预测期望时刻的瞄准期望角位置;

S3、重复执行S1和S2, 根据两个激光通信终端的实时三维位置信息实时预测期望时刻的瞄准期望角位置, 完成光束跟踪;

S2所述上位机根据实时三维位置信息预测期望时刻的瞄准期望角位置的过程包括:

两个激光光束跟踪系统分别为激光光束跟踪系统A和激光光束跟踪系统B, 分别设置在舰船A和舰船B上, 激光光束跟踪系统A包括激光通信终端A、定位系统A和上位机A, 激光光束跟踪系统B包括激光通信终端B、定位系统B和上位机B;

激光光束跟踪系统A获取实时预测期望时刻的瞄准期望角位置的过程为:

S2-1、上位机A根据S1获取的实时三维位置信息计算当前时刻舰船A的瞄准偏差  $[\Delta \theta_A, \Delta \theta_E]$ , 同时记录当前时刻舰船A光束跟踪角度的绝对位置  $[\theta_{A0}, \theta_{E0}]$ ;

S2-2、上位机A根据激光通信终端A的实时三维信息获得激光通信终端A的位置矢量  $\vec{r}_A(t_A)$ ,  $t_A$  表示激光通信终端A实时数据对应的测量时间;

上位机A通过微波测控信道接收激光通信终端B的实时三维信息, 获得激光通信终端B的位置矢量  $\vec{r}_B(t_B)$ ,  $t_B$  表示激光通信终端B实时数据对应的测量时间;

S2-3、上位机A根据  $\vec{r}_A(t_A)$  和  $\vec{r}_B(t_B)$  分别预测提前瞄准传输时延  $\Delta t$  后的三维数据  $\vec{r}_A(t_{PA})$  和  $\vec{r}_B(t_{PA})$ , 其中:  $t_{PA}$  表示期望时刻,  $t_{PA} = t_A + \Delta t_A = t_B + \Delta t_B$ ;

然后上位机A计算舰船A和舰船B之间的相对位置矢量:

$$\vec{r}_{PA}(t_{PA}) = \vec{r}_B(t_{PA}) - \vec{r}_A(t_{PA});$$

S2-4、上位机A计算出期望时刻  $t_{PA}$  的提前瞄准角度量:

$$\zeta_{v,h}(t_{PA}) = \theta_{v,h} \left( t_{PA} + \frac{2\rho(t)}{c} + t_D \right) - \theta_{v,h}(t_{PA});$$

其中,  $\theta_{v,h}(\cdot)$  表示激光终端A瞄准激光光束的角度量,  $\rho(t)$  表示激光通信终端A的斜距,  $c$  表示光速,  $t_D$  表示激光通信终端A的响应时间;

S2-5、根据提前瞄准角度量获得瞄准期望角位置:

$$[\theta_{A1}, \theta_{E1}] = [\theta_{A0} + \Delta\theta_A + \zeta_v(t_{PA}), \theta_{E0} + \Delta\theta_E + \zeta_h(t_{PA})];$$

其中,  $\zeta_v(t_{PA})$  表示期望时刻提前瞄准角度量在俯仰角方向上的分量,  $\zeta_h(t_{PA})$  表示期望时刻提前瞄准角度量在方位角方向上的分量。

5. 根据权利要求4所述的基于微波测控的舰载激光通信双向光束跟踪方法, 其特征在于, S2-1所述上位机A计算当前时刻舰船A的瞄准偏差  $[\Delta\theta_A, \Delta\theta_E]$  的方法包括:

S2-1-1、采用CCD获取激光光束的成像光斑灰度分布;

S2-1-2、根据光斑灰度分布, 采用阈值判断法读取光斑的像素灰度值;

S2-1-3、获取光斑的形心坐标, 光斑的形心坐标  $(X_c, Y_c)$  为:

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^n (g_i - B) u(g_i - B) x_i}{\sum_{i=1}^n (g_i - B) u(g_i - B)};$$

$$Y_c = \frac{\sum_{i=1}^n (g_i - B) u(g_i - B) y_i}{\sum_{i=1}^n (g_i - B) u(g_i - B)};$$

其中,  $n$  表示CCD采样窗口中光斑的像素个数,  $g_i$  表示像素灰度值,  $B$  表示采样阈值,  $u(\cdot)$  表示单位阶跃函数,  $(x_i, y_i)$  表示像素坐标, 根据激光通信终端的实时三维位置信息获取;

S2-1-4、根据光斑的形心坐标获取二维角度偏差  $(\psi_h, \psi_v)$  :

$$\psi_h = \arctg\left(\frac{X_c}{f_c}\right);$$

$$\psi_v = \arctg\left(\frac{Y_c}{f_c}\right);$$

其中,  $f_c$  表示聚焦成像透镜的焦距;

所述二维角度偏差即为舰船A的瞄准偏差  $[\Delta\theta_A, \Delta\theta_E] = (\psi_h, \psi_v)$ 。

6. 根据权利要求5所述的基于微波测控的舰载激光通信双向光束跟踪方法, 其特征在于, 采样阈值B的获取方法包括:

对CCD的采样窗口边缘光斑的像素灰度值取平均值, 获取采样阈值B:

$$B = \frac{\sum_{i=1}^{2(W+H)-4} g_i}{2(W+H)-4};$$

其中,  $W$  表示采样窗口横向的像素个数,  $H$  表示采样窗口纵向的像素个数。

7. 根据权利要求6所述的基于微波测控的舰载激光通信双向光束跟踪方法, 其特征在

于,所述CCD的采样窗口的像元数取 $100 \times 100$ 。

8.根据权利要求4所述的基于微波测控的舰载激光通信双向光束跟踪方法,其特征在于,S4所述 $\theta_{v,h}(\cdot)$ 表示激光终端A瞄准激光光束的角度量,其俯仰角 $\theta_v(t)$ 为:

$$\theta_v(t) = \arctg \left[ \frac{r_z^2(t)}{\sqrt{r_s^2(t) + r_E^2(t)}} \right];$$

水平角为:

$$\theta_h(t) = \arctg \left[ \frac{r_E(t)}{r_s(t)} \right];$$

S4所述激光通信终端A的斜距 $\rho(t)$ 为:

$$\rho(t) = \sqrt{r_s^2(t) + r_E^2(t) + r_z^2(t)};$$

其中: $r_s(t)$ 、 $r_E(t)$ 和 $r_z(t)$ 分别表示 $\vec{r}_p(t)$ 在水平俯仰坐标系下的三个分量。

## 基于微波测控的舰载激光通信双向光束跟踪系统及其跟踪方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于微波测控的舰载激光通信双向光束跟踪系统及其跟踪方法，属于舰载激光通信技术领域。

### 背景技术

[0002] 激光通信技术以其优越的传输带宽和保密性，成为军、民通信领域竞相发展的热点，发展舰载激光通信装备并形成网络通信能力，是解决海上射频通信遇到的防电磁泄漏和通信对抗难题的新思路。

[0003] 舰载激光通信具有通信数据率高、抗干扰性好和保密性好等优点，且不需要频率许可申请，在今后的舰船间、舰地、舰岛通信技术领域具有重要的应用前景。与目前发展较快的卫星激光通信不同，舰载激光通信的工作平台的移动属于非预定轨道状态，这对于双向光束跟踪提出了较大挑战。在卫星激光通信的双向光束跟踪过程中，由于双方的运行轨道是预定的，激光通信终端可根据对方预定轨道进行提前瞄准角度预测，以提高光束跟踪精度。对于舰船之间的激光通信，由于舰船平台的运行轨迹无法准确预设，提前瞄准角度很难预测，这将造成光束跟踪精度下降，影响激光通信质量，严重时将造成激光链路异常中断。

[0004] 因此，为了使现有的激光通信技术应用到舰船平台进行激光链路和通信，需要新的技术手段解决舰船之间激光通信光束跟踪过程中的提前瞄准角度预测的难题。

### 发明内容

[0005] 本发明目的是为了解决现有技术中舰船之间激光通信光束跟踪精度低的问题，提供了一种基于微波测控的舰载激光通信双向光束跟踪系统及其跟踪方法。

[0006] 本发明所述基于微波测控的舰载激光通信双向光束跟踪系统，它包括：两个激光光束跟踪系统和微波测控信道；

[0007] 两个激光光束跟踪系统分别设置在两个舰船上；

[0008] 微波测控信道设置在激光光束的链路中，用于实现两个激光光束跟踪系统的实时信息互传；

[0009] 激光光束跟踪系统包括：激光通信终端、定位系统和上位机；

[0010] 激光通信终端，设置在舰船上，用于发射和接收激光光束；

[0011] 定位系统，用于获取激光通信终端的三维位置信息；

[0012] 上位机，根据两个激光通信终端的实时三维位置信息，对激光光束跟踪的瞄准角度进行预测。

[0013] 优选的，它还包括：

[0014] 二维摆镜，设置在激光通信终端的收发光路中，对激光光束跟踪的瞄准角度的预测值进行实时补偿。

[0015] 优选的,所述定位系统通过GPS或北斗卫星定位获得激光通信终端的三维位置信息。

[0016] 本发明所述基于微波测控的舰载激光通信双向光束跟踪方法,所述跟踪方法的具体过程包括:

[0017] S1、两个定位系统分别采集两个激光通信终端的实时三维位置信息,并将实时三维位置信息发送至上位机;

[0018] S2、两个上位机分别根据实时三维位置信息预测期望时刻的瞄准期望角位置;

[0019] S3、重复执行S1和S2,根据两个激光通信终端的实时三维位置信息实时预测期望时刻的瞄准期望角位置,完成光束跟踪。

[0020] 优选的,S2所述上位机根据实时三维位置信息预测期望时刻的瞄准期望角位置的过程包括:

[0021] 两个激光光束跟踪系统分别为激光光束跟踪系统A和激光光束跟踪系统B,分别设置在舰船A和舰船B上,激光光束跟踪系统A包括激光通信终端A、定位系统A和上位机A,激光光束跟踪系统B包括激光通信终端B、定位系统B和上位机B;

[0022] 激光光束跟踪系统A获取实时预测期望时刻的瞄准期望角位置的过程为:

[0023] S2-1、上位机A根据S1获取的实时三维位置信息计算当前时刻舰船A的瞄准偏差 $[\Delta\theta_A, \Delta\theta_E]$ ,同时记录当前时刻舰船A光束跟踪角度的绝对位置 $[\theta_{A0}, \theta_{E0}]$ ;

[0024] S2-2、上位机A根据激光通信终端A的实时三维信息获得激光通信终端A的位置矢量 $\vec{r}_A(t_A)$ , $t_A$ 表示激光通信终端A实时数据对应的测量时间;

[0025] 上位机A通过微波测控信道接收激光通信终端B的实时三维信息,获得激光通信终端B的位置矢量 $\vec{r}_B(t_B)$ , $t_B$ 表示激光通信终端B实时数据对应的测量时间;

[0026] S2-3、上位机A根据 $\vec{r}_A(t_A)$ 和 $\vec{r}_B(t_B)$ 分别预测提前瞄准传输时延 $\Delta t$ 后的三维数据 $\vec{r}_A(t_{PA})$ 和 $\vec{r}_B(t_{PA})$ ,其中: $t_{PA}$ 表示期望时刻, $t_{PA} = t_A + \Delta t_A = t_B + \Delta t_B$ ;

[0027] 然后上位机A计算舰船A和舰船B之间的相对位置矢量:

$$[0028] \quad \vec{r}_{PA}(t_{PA}) = \vec{r}_B(t_{PA}) - \vec{r}_A(t_{PA});$$

[0029] S2-4、上位机A计算出期望时刻 $t_{PA}$ 的提前瞄准角度量:

$$[0030] \quad \zeta_{v,h}(t_{PA}) = \theta_{v,h}\left(t_{PA} + \frac{2\rho(t)}{c} + t_D\right) - \theta_{v,h}(t_{PA});$$

[0031] 其中, $\theta_{v,h}(\cdot)$ 表示激光终端A瞄准激光光束的角度量, $\rho(t)$ 表示激光通信终端A的斜距, $c$ 表示光速, $t_D$ 表示激光通信终端A的响应时间;

[0032] S2-5、根据提前瞄准角度量获得瞄准期望角位置:

$$[0033] \quad [\theta_{A1}, \theta_{E1}] = [\theta_{A0} + \Delta\theta_A + \zeta_v(t_{PA}), \theta_{E0} + \Delta\theta_E + \zeta_h(t_{PA})];$$

[0034] 其中, $\zeta_v(t_{PA})$ 表示期望时刻提前瞄准角度量在俯仰角方向上的分量, $\zeta_h(t_{PA})$ 表示期望时刻提前瞄准角度量在方位角方向上的分量。

[0035] 优选的,S2-1所述上位机A计算当前时刻舰船A的瞄准偏差 $[\Delta\theta_A, \Delta\theta_E]$ 的方法包括:

[0036] S2-1-1、采用CCD获取激光光束的成像光斑灰度分布；

[0037] S2-1-2、根据光斑灰度分布，采用阈值判断法读取光斑的像素灰度值；

[0038] S2-1-3、获取光斑的形心坐标，光斑的形心坐标  $(X_c, Y_c)$  为：

$$[0039] \quad X_c = \frac{\sum_{i=1}^n (g_i - B) u(g_i - B) x_i}{\sum_{i=1}^n (g_i - B) u(g_i - B)};$$

$$[0040] \quad Y_c = \frac{\sum_{i=1}^n (g_i - B) u(g_i - B) y_i}{\sum_{i=1}^n (g_i - B) u(g_i - B)};$$

[0041] 其中， $n$ 表示CCD采样窗口中光斑的像素个数， $g_i$ 表示像素灰度值， $B$ 表示采样阈值， $u(\cdot)$ 表示单位阶跃函数， $(x_i, y_i)$ 表示像素坐标，根据激光通信终端的实时三维位置信息获取；

[0042] S2-1-4、根据光斑的形心坐标获取二维角度偏差  $(\psi_h, \psi_v)$ ：

$$[0043] \quad \psi_h = \arctg\left(\frac{X_c}{f_c}\right);$$

$$[0044] \quad \psi_v = \arctg\left(\frac{Y_c}{f_c}\right);$$

[0045] 其中， $f_c$ 表示聚焦成像透镜的焦距；

[0046] 所述二维角度偏差即为舰船A的瞄准偏差  $[\Delta\theta_A, \Delta\theta_E] = (\psi_h, \psi_v)$ 。

[0047] 优选的，采样阈值 $B$ 的获取方法包括：

[0048] 对CCD的采样窗口边缘光斑的像素灰度值取平均值，获取采样阈值 $B$ ：

$$[0049] \quad B = \frac{\sum_{i=1}^{2(W+H)-4} g_i}{2(W+H)-4};$$

[0050] 其中， $W$ 表示采样窗口横向的像素个数， $H$ 表示采样窗口纵向的像素个数。

[0051] 优选的，所述CCD的采样窗口的像元数取 $100 \times 100$ 。

[0052] 优选的，S4所述  $\theta_{v,h}(\cdot)$  表示激光终端A瞄准激光光束的角度量，其俯仰角  $\theta_v(t)$  为：

$$[0053] \quad \theta_v(t) = \arctg\left[\frac{r_z^2(t)}{\sqrt{r_s^2(t) + r_E^2(t)}}\right];$$

[0054] 水平角为：

$$[0055] \quad \theta_h(t) = \arctg \left[ \frac{r_E(t)}{r_S(t)} \right];$$

[0056] S4所述激光通信终端A的斜距 $\rho(t)$ 为:

$$[0057] \quad \rho(t) = \sqrt{r_S^2(t) + r_E^2(t) + r_Z^2(t)};$$

[0058] 其中: $r_S(t)$ 、 $r_E(t)$ 和 $r_Z(t)$ 分别表示 $\vec{r}_p(t)$ 在水平俯仰坐标系下的三个分量。

[0059] 本发明的优点:本发明提出的基于微波测控的舰载激光通信双向光束跟踪系统及其跟踪方法,利用微波测控实时传递对方舰船平台的三维位置信息,结合自身平台的三维位置信息,对光束跟踪提前瞄准角度进行预测,也可以对光束跟踪提前瞄准角度进行补偿,有效提升光束跟踪的精度,确保激光通信质量。

### 附图说明

[0060] 图1是本发明所述基于微波测控的舰载激光通信双向光束跟踪系统的结构示意图。

### 具体实施方式

[0061] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,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作出创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0062] 需要说明的是,在不冲突的情况下,本发明中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0063] 具体实施方式一:下面结合图1说明本实施方式,本实施方式所述基于微波测控的舰载激光通信双向光束跟踪系统,它包括:两个激光光束跟踪系统和微波测控信道;

[0064] 两个激光光束跟踪系统分别设置在两个舰船上;

[0065] 微波测控信道设置在激光光束的链路中,用于实现两个激光光束跟踪系统的实时信息互传;

[0066] 激光光束跟踪系统包括:激光通信终端、定位系统和上位机;

[0067] 激光通信终端,设置在舰船上,用于发射和接收激光光束;

[0068] 定位系统,用于获取激光通信终端的三维位置信息;

[0069] 上位机,根据两个激光通信终端的实时三维位置信息,对激光光束跟踪的瞄准角度进行预测。

[0070] 进一步的,它还包括:

[0071] 二维摆镜,设置在激光通信终端的收发光路中,对激光光束跟踪的瞄准角度的预测值进行实时补偿。

[0072] 本实施方式中,采用二维摆镜进行实时补偿,能够显著提升双向光束跟踪的精度,确保通信质量。

[0073] 再进一步的,所述定位系统通过GPS或北斗卫星定位获得激光通信终端的三维位

置信息。

[0074] 具体实施方式二：下面结合图1说明本实施方式，本实施方式所述基于微波测控的舰载激光通信双向光束跟踪方法，该方法基于舰载激光通信双向光束跟踪系统实现，所述跟踪方法的具体过程包括：

[0075] S1、两个定位系统分别采集两个激光通信终端的实时三维位置信息，并将实时三维位置信息发送至上位机；

[0076] S2、两个上位机分别根据实时三维位置信息预测期望时刻的瞄准期望角位置；

[0077] S3、重复执行S1和S2，根据两个激光通信终端的实时三维位置信息实时预测期望时刻的瞄准期望角位置，完成光束跟踪。

[0078] 进一步的，S2所述上位机根据实时三维位置信息预测期望时刻的瞄准期望角位置的过程包括：

[0079] 两个激光光束跟踪系统分别为激光光束跟踪系统A和激光光束跟踪系统B，分别设置在舰船A和舰船B上，激光光束跟踪系统A包括激光通信终端A、定位系统A和上位机A，激光光束跟踪系统B包括激光通信终端B、定位系统B和上位机B；

[0080] 激光光束跟踪系统A获取实时预测期望时刻的瞄准期望角位置的过程为：

[0081] S2-1、上位机A根据S1获取的实时三维位置信息计算当前时刻舰船A的瞄准偏差 $[\Delta\theta_A, \Delta\theta_E]$ ，同时记录当前时刻舰船A光束跟踪角度的绝对位置 $[\theta_{A0}, \theta_{E0}]$ ；

[0082] S2-2、上位机A根据激光通信终端A的实时三维信息获得激光通信终端A的位置矢量 $\vec{r}_A(t_A)$ ， $t_A$ 表示激光通信终端A实时数据对应的测量时间；

[0083] 上位机A通过微波测控信道接收激光通信终端B的实时三维信息，获得激光通信终端B的位置矢量 $\vec{r}_B(t_B)$ ， $t_B$ 表示激光通信终端B实时数据对应的测量时间；

[0084] S2-3、上位机A根据 $\vec{r}_A(t_A)$ 和 $\vec{r}_B(t_B)$ 分别预测提前瞄准传输时延 $\Delta t$ 后的三维数据 $\vec{r}_A(t_{PA})$ 和 $\vec{r}_B(t_{PA})$ ，其中： $t_{PA}$ 表示期望时刻， $t_{PA} = t_A + \Delta t_A = t_B + \Delta t_B$ ；

[0085] 然后上位机A计算舰船A和舰船B之间的相对位置矢量：

$$[0086] \quad \vec{r}_{PA}(t_{PA}) = \vec{r}_B(t_{PA}) - \vec{r}_A(t_{PA});$$

[0087] S2-4、上位机A计算出期望时刻 $t_{PA}$ 的提前瞄准角度量：

$$[0088] \quad \zeta_{v,h}(t_{PA}) = \theta_{v,h}\left(t_{PA} + \frac{2\rho(t)}{c} + t_D\right) - \theta_{v,h}(t_{PA});$$

[0089] 其中， $\theta_{v,h}(\cdot)$ 表示激光终端A瞄准激光光束的角度量， $\rho(t)$ 表示激光通信终端A的斜距， $c$ 表示光速， $t_D$ 表示激光通信终端A的响应时间；

[0090] S2-5、根据提前瞄准角度量获得瞄准期望角位置：

$$[0091] \quad [\theta_{A1}, \theta_{E1}] = [\theta_{A0} + \Delta\theta_A + \zeta_v(t_{PA}), \theta_{E0} + \Delta\theta_E + \zeta_h(t_{PA})];$$

[0092] 其中， $\zeta_v(t_{PA})$ 表示期望时刻提前瞄准角度量在俯仰角方向上的分量， $\zeta_h(t_{PA})$ 表示期望时刻提前瞄准角度量在方位角方向上的分量。

[0093] 再进一步的，S2-1所述上位机A计算当前时刻舰船A的瞄准偏差 $[\Delta\theta_A, \Delta\theta_E]$ 的方法包括：

[0094] S2-1-1、采用CCD获取激光光束的成像光斑灰度分布；

[0095] S2-1-2、根据光斑灰度分布，采用阈值判断法读取光斑的像素灰度值；

[0096] S2-1-3、获取光斑的形心坐标，光斑的形心坐标  $(X_c, Y_c)$  为：

$$[0097] \quad X_c = \frac{\sum_{i=1}^n (g_i - B) u(g_i - B) x_i}{\sum_{i=1}^n (g_i - B) u(g_i - B)} ;$$

$$[0098] \quad Y_c = \frac{\sum_{i=1}^n (g_i - B) u(g_i - B) y_i}{\sum_{i=1}^n (g_i - B) u(g_i - B)} ;$$

[0099] 其中， $n$ 表示CCD采样窗口中光斑的像素个数， $g_i$ 表示像素灰度值， $B$ 表示采样阈值， $u(\cdot)$ 表示单位阶跃函数， $(x_i, y_i)$ 表示像素坐标，根据激光通信终端的实时三维位置信息获取；

[0100] S2-1-4、根据光斑的形心坐标获取二维角度偏差  $(\psi_h, \psi_v)$ ：

$$[0101] \quad \psi_h = \arctg\left(\frac{X_c}{f_c}\right) ;$$

$$[0102] \quad \psi_v = \arctg\left(\frac{Y_c}{f_c}\right) ;$$

[0103] 其中， $f_c$ 表示聚焦成像透镜的焦距；

[0104] 所述二维角度偏差即为舰船A的瞄准偏差  $[\Delta\theta_A, \Delta\theta_E] = (\psi_h, \psi_v)$ 。

[0105] 本实施方式中，所述采样阈值 $B$ 的选取由系统和传感器的固有噪声以及背景光干扰的情况决定。

[0106] 本实施方式中， $f_c$ 表示聚焦成像透镜的焦距，增大 $f_c$ 可提高测角精度。在实际的卫星光通信系统设计中，出于减小终端体积方面的考虑， $f_c$ 不能取得很大。因此，通常需要在光路中增加一个望远镜，将偏差角度倍乘放大，提高测角精度以满足跟瞄要求。

[0107] 再进一步的，采样阈值 $B$ 的获取方法包括：

[0108] 对CCD的采样窗口边缘光斑的像素灰度值取平均值，获取采样阈值 $B$ ：

$$[0109] \quad B = \frac{\sum_{i=1}^{2(W+H)-4} g_i}{2(W+H)-4} ;$$

[0110] 其中， $W$ 表示采样窗口横向的像素个数， $H$ 表示采样窗口纵向的像素个数。

[0111] 本实施方式中，在瞄准捕获跟踪控制过程中，在不同的情况下需要调整采样窗口的大小和位置。例如，为了增加捕获视阈，通常采用较大的采样窗口，而为了提高跟瞄误差的采样频率，应采用较小的采样窗口，并根据光斑的坐标值实时调整采样窗口的位置，这样降低背景光对角度偏差信号计算的影响和提高图像数据处理速度。

[0112] 再进一步的,所述CCD的采样窗口的像元数取 $100 \times 100$ 。

[0113] 再进一步的,S4所述 $\theta_{v,h}(\cdot)$ 表示激光终端A瞄准激光光束的角度量,其俯仰角 $\theta_v(t)$ 为:

$$[0114] \quad \theta_v(t) = \arctg \left[ \frac{r_z^2(t)}{\sqrt{r_s^2(t) + r_e^2(t)}} \right];$$

[0115] 水平角为:

$$[0116] \quad \theta_h(t) = \arctg \left[ \frac{r_e(t)}{r_s(t)} \right];$$

[0117] S4所述激光通信终端A的斜距 $\rho(t)$ 为:

$$[0118] \quad \rho(t) = \sqrt{r_s^2(t) + r_e^2(t) + r_z^2(t)};$$

[0119] 其中: $r_s(t)$ 、 $r_e(t)$ 和 $r_z(t)$ 分别表示 $\vec{r}_p(t)$ 在水平俯仰坐标系下的三个分量。

[0120] 本发明提出的一种基于微波测控的舰载激光通信双向光束跟踪系统及其跟踪方法用于解决舰船之间激光通信光束跟踪过程中的提前瞄准角度预测难题。该方法是在激光链路系统中加入了微波测控信道,可实现链路双方激光通信终端间的三维位置信息实时互传。利用双方实时位置信息进行对方终端的光束跟踪提前瞄准角度预测,并通过收发光路中的二维摆镜进行实时补偿,可显著提升双向光束跟踪精度,确保通信质量。

[0121] 由于舰船间激光通信是在两个高速运动的卫星之间进行,并且通信距离较远,因此在光束跟踪控制过程中必须考虑加一个提前瞄准量。在舰船间光通信过程中,通常可通过GPS或北斗卫星定位获得平台的三维位置信息。

[0122] 虽然在本文中参照了特定的实施方式来描述本发明,但是应该理解的是,这些实施例仅仅是本发明的原理和应用的示例。因此应该理解的是,可以对示例性的实施例进行许多修改,并且可以设计出其他的布置,只要不偏离所附权利要求所限定的本发明的精神和范围。应该理解的是,可以通过不同于原始权利要求所描述的方式来结合不同的从属权利要求和本文中所述的特征。还可以理解的是,结合单独实施例所描述的特征可以使用在其他所述实施例中。

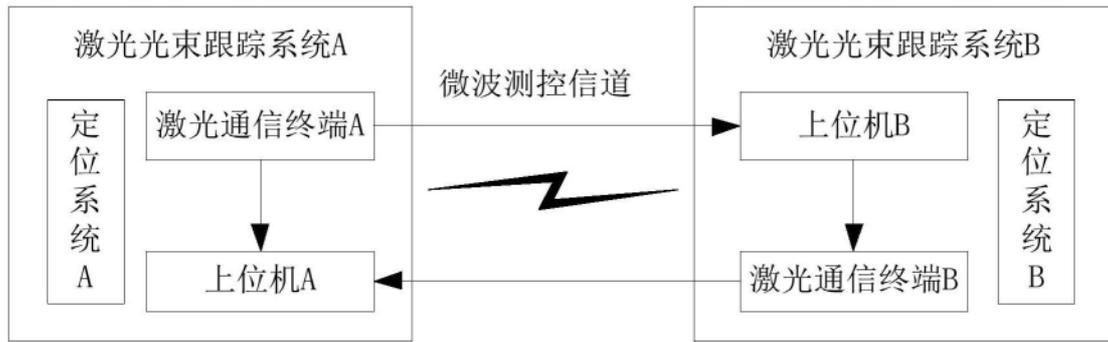


图1