

速率偏频激光陀螺寻北仪设计

马尖奔 王省书 战德军

(国防科学技术大学光电科学与工程学院光信息系, 湖南 长沙 410073)

摘要 设计了一套高精度的速率偏频激光陀螺寻北仪样机。样机主要由 90 型速率偏频激光陀螺和高精度单轴一体化转台构成,采用东西向二位置寻北方案,通过滑动平均法处理采样数据,降低量化误差的影响。在地理纬度 28.2° 处进行寻北实验,结果表明,静基座条件下 200 s 寻北精度优于 $16''$ 。

关键词 激光陀螺; 寻北仪; 速率偏频; 滑动平均

中图分类号 U666.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP49.021405

Designing of North Finder Based on Rate Biased Ring Laser Gyro

Ma Jianben Wang Xingshu Zhan Dejun

(Department of Optics Information Science and Technology, College of Opto-Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China)

Abstract A high precision north finder based on rate biased ring laser gyro (RLG) is designed. The north finder is constituted by the 90-type RLG and a high precision one-axis rotation platform. The north finding experiment is realized by using two-position sampling scheme. To weaken the effect of quantification error, moving average method has been carried out. The experiment is carried out at the geography latitude of 28.2° . It is shown that the precision of north finder on stationary base is better than $16''$ after 200 s.

Key words ring laser gyro; north finder; rate biased; moving average

OCIS codes 140.3370; 120.3930; 060.2800

1 引言

速率偏频激光陀螺(RLG)^[1]是指将激光陀螺安装在速率偏频转台上,匀速转动几周后快速换向再反转几周,周而复始运行。这种偏频方式使激光陀螺长时间工作在锁区外,大大减少了闭锁效应带来的误差^[2],同时通过正反向周期旋转使偏频机械系统中的一些相关误差相互抵消,进一步提高陀螺的实际使用精度。

在军事应用中,快速得到高精度的北向信息对制导和导航具有重要意义^[3]。例如在导弹发射准备中,激光陀螺寻北仪可以快速得到高精度的北向信息,加快对准,缩短准备时间。受国内激光陀螺精度的限制,激光陀螺寻北仪的精度还有待提高。本文使用工作在速率偏频方式下的高精度 90 型二频激光陀螺,设计了一套速率偏频激光陀螺寻北仪样机。

2 寻北仪设计

设计的寻北仪主要由二频激光陀螺、速率偏频转台和高精度单轴一体化转台三部分组成。将二频激光陀螺安装在一个带有光栅角编码器的速率偏频转台上,构成速率偏频激光陀螺。寻北过程中,利用高精度单轴一体化转台实现对速率偏频激光陀螺的旋转、定位等操作。寻北仪的寻北流程如图 1 所示,寻北仪的结构图如图 2 所示。在开机设置参数后,开始速率偏频,首先进行粗略寻北找到东向,然后进行精确寻北。

收稿日期: 2011-09-16; 收到修改稿日期: 2011-10-09; 网络出版日期: 2011-11-28

作者简介: 马尖奔(1987—),男,硕士研究生,主要从事寻北仪方面的研究。E-mail: majianben3@yahoo.cn

导师简介: 王省书(1963—),女,教授,博士生导师,主要从事激光陀螺方面的研究。E-mail: gfkdwxs@yahoo.com.cn

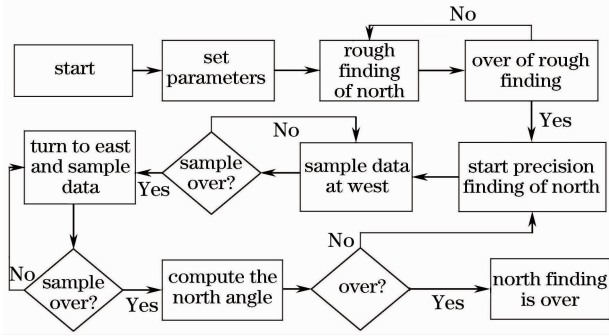


图1 寻北流程图

Fig. 1 Flow diagram of north finding

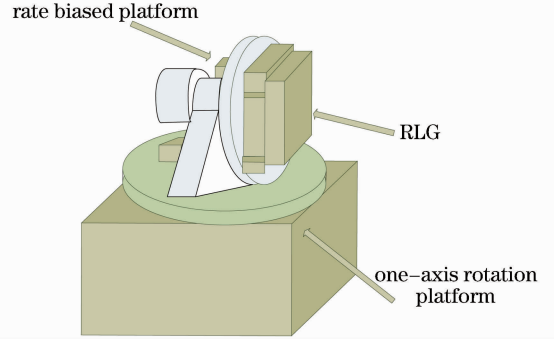


图2 寻北仪结构图

Fig. 2 Structure of north finder

3 寻北方法及数据处理

采用操作简单、精度高的东西向二位置法^[4]来实现寻北仪的寻北。其操作方法如下:转动高精度单轴一体化转台,使激光陀螺敏感轴大致指向东向,定点对激光陀螺采样一段时间,然后旋转高精度单轴一体化转台 180° ,定点采样相同时间。如此,寻北仪完成一次寻北。

假设寻北仪与北向初始夹角为 Ψ_0 ,则激光陀螺在 Ψ_0 和 $\Psi_0 + \pi$ 两个位置的采样输出分别为

$$\omega_1 = \omega_B + K\omega_0 \cos \theta \cos \Psi_0, \quad (1)$$

$$\omega_2 = \omega_B + K\omega_0 \cos \theta \cos(\Psi_0 + \pi), \quad (2)$$

式中 ω_B 为激光陀螺零偏, ω_0 为地球自转角速度, K 为激光陀螺的标度因数, θ 为所在地的地理纬度。通过对称位置相减,激光陀螺零偏 ω_B 的影响可以有效消除。由(1),(2)式可得东西向二位置法的方位公式

$$\Psi_0 = \arccos[(\omega_1 - \omega_2)/(2\Omega_{eh})], \quad (3)$$

式中 $\Omega_{eh} = K\omega_0 \cos \theta$ 。对(3)式两边进行微分并整理得

$$\partial \Psi_0 = -\frac{1}{\sin \Psi_0} \frac{\partial \omega_1 - \partial \omega_2}{2\Omega_{eh}}, \quad (4)$$

由(4)式可知 $\Psi_0 = 90^\circ$ 时,对 Ψ_0 微分的绝对值达到最小,当 $\Psi_0 > 85^\circ$ 时, $1/\sin \Psi_0 < 1.004$,因此方位角的影响较小。当粗略寻北后,(4)式可以化简为

$$\partial \Psi_0 = -(\partial \omega_1 - \partial \omega_2)/(2\Omega_{eh}), \quad (5)$$

由(5)式得到寻北标准差为

$$\sigma_p = \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}{2\Omega_{eh}} = \frac{\sqrt{2}\sigma_g}{2\Omega_{eh}}, \quad (6)$$

式中 $\sigma_g = \sigma_1 = \sigma_2$ 为激光陀螺输出的角速度标准差,其模型为^[5]

$$\sigma_g = \sqrt{B^2 + R_w^2/t + Q^2/t^2}, \quad (7)$$

式中 B 为零偏残差, R_w 为随机游走系数, Q 为采样噪声, t 为采样时间。

设寻北时间为 T ,不考虑旋转平台的时间,则分配到每个采样点的采样时间 $t = T/2$ 。将(7)式的 t 换成 $T/2$ 代入(6)式,得到二位置法的寻北标准差公式为

$$\sigma_p = \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{\sqrt{B^2 + 2R_w^2/T + 4Q^2/T^2}}{\Omega_{eh}}. \quad (8)$$

由(7)式可知,激光陀螺输出的角速度存在各种误差。首先采用普通平均法对其进行处理,对采样点的采样数据求平均值。设采样时间间隔 ΔT_i 为一恒定值 ΔT , A_i 为激光陀螺采样数据, N 为采样次数。则该采样点使用普通平均法得到的测量结果表达式为

$$\omega = (A_1 + A_2 \cdots + A_N)/(N \times \Delta T). \quad (9)$$

其次,根据激光陀螺输出的角速度标准差模型,量化噪声为一主要误差源,采用对量化噪声具有较好抑制作用的滑动平均法^[6]对寻北数据进行处理。同样设采样时间间隔 ΔT_i 为一恒定值 ΔT ,将测量过程中的

N 个采样数据 A_i 分为 M 组, 进行滑动平均处理

$$\begin{aligned} F_1 &= (A_1 + A_2 \cdots + A_{N-M+1}) / (N - M + 1), \\ F_2 &= (A_2 + A_3 \cdots + A_{N-M+2}) / (N - M + 1), \\ &\vdots \\ F_M &= (A_M + A_{M+1} \cdots + A_N) / (N - M + 1), \end{aligned} \quad (10)$$

则使用滑动平均法得到的测量结果表达式为

$$\omega = (F_1 + F_2 \cdots + F_M) / (M \times \Delta T). \quad (11)$$

4 实验结果

使用 90 型二频激光陀螺在室温静基座条件下进行寻北实验, 所在地的地理纬度 $\theta = 28.2^\circ$ 。速率偏频旋转方案采用正反转各 8 圈法, 偏频角速度 $\Omega_B = 180^\circ/\text{s}$, 换向加速度 $|\sigma_B| = 5000^\circ/\text{s}^2$ 。速率偏频装置每转动一圈完成一次采样, 东西向二位置各采样 48 次, 即采样时间各为 96 s。转台从东至西(西至东)旋转需 8 s, 由此可知, 得出一个寻北值的时间 T 大致为 200 s。

在同一东西指向下, 对速率偏频激光陀螺寻北仪的寻北标准差进行计算。为了体现滑动平均法与普通平均法不同, 同时给出两种方法的处理结果。系统共进行 10 次寻北实验, 寻北时间 T 为 200 s 的情况下, 每次实验的寻北标准差如图 3 所示。其中第 3 次实验的寻北标准差与寻北时间的关系如图 4 所示。

图 3 的横坐标为实验次数, 纵坐标为寻北标准差。由图可见, 滑动平均法处理的 10 次实验, 其 200 s 寻北标准差都优于 $16''$ 。普通平均法的寻北标准差不但波动大而且比滑动平均法所得结果大得多。图 4 的横坐标为寻北时间, 纵坐标为寻北标准差。由图可见, 无论滑动平均法还是普通平均法, 寻北标准差在短时内都得到迅速降低。寻北时间为 400 s 时, 滑动平均法寻北标准差优于 $10''$ 。

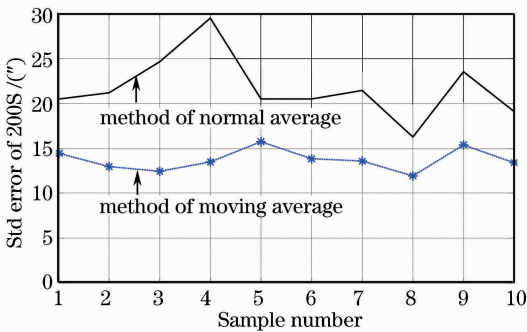


图 3 200 s 寻北标准差

Fig. 3 Standard error of north finding at 200 s

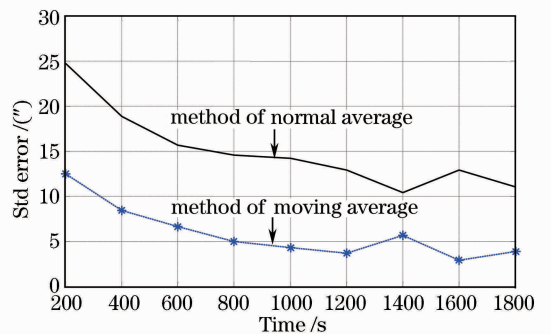


图 4 各时间的寻北标准差

Fig. 4 Standard error of north finding at different time

为了研究系统在外界角速度输入较小时的工作状况, 在未标校真北的情况下进行实验。当激光陀螺敏感轴指向东向时, 地球自转角速度在敏感轴的方向变得很小, 因此对敏感轴指向东向时的系统进行实验。首先通过初步测量, 得到敏感轴指向东向位置时单轴一体化转台的输出角度, 当单轴一体化转台显示 0.1345° 时, 敏感轴与东向夹角约为 1° 。然后通过改变转台的转角使敏感轴转动约 2° , 转台每转动 0.0167° 即 $1.002'$, 进行一次 200 s 寻北, 其他设置不变。设激光陀螺寻北仪输出的寻北值为 Y , 则其与寻北次数 X 的理想线性关系应为

$$Y = 1.002X - 60. \quad (12)$$

利用滑动平均法处理实验数据, 寻北值及拟合结果如图 5 所示。图中 * 号代表寻北值, 直线为寻北值的线性拟合, 拟合公式为

$$Y = 1.002X - 59.93. \quad (13)$$

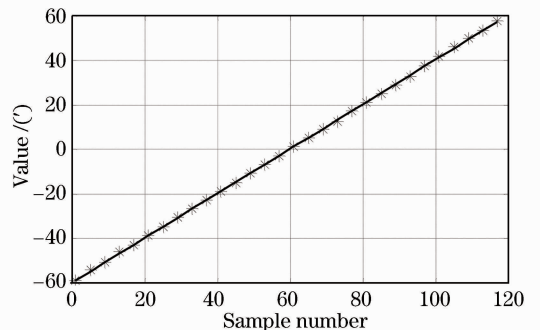


图 5 寻北结果拟合

Fig. 5 Fitting of north finding result

从图 5 可以看出寻北值和拟合直线基本重合,拥有良好的线性。拟合公式与理想关系式基本吻合,说明了拟合结果的正确性。这表明外界输入角速度较小时,系统能良好运行。

5 结 论

设计了一套速率偏频激光陀螺寻北仪样机,并进行初步寻北实验。采用操作简单精度高的东西向二位置法寻北,并用滑动平均法抑制寻北仪采样过程中量化误差带来的影响。结果表明,在地理纬度 28.2° ,不考虑粗略寻北时间的情况下,寻北仪 200 s 寻北精度优于 $16''$,能在短时间内达到较高精度。同时,系统在外界角速度输入较小时,能良好运行。

参 考 文 献

- 1 H. J. Buschelberger, E. H. Handrich, H. Malthan *et al.*. Laser gyros in system applications with rate-bias technique[C]. Symposium Gyro Technology, 1987. 7.0~7.28
- 2 Zhan Dejun, Qin Shiqiao, Zhang Baodong *et al.*. Analysis on lock-in error characteristic for rate-biased laser gyro[J]. *J. Chinese Inertial Technology*, 2007, **15**(6): 730~733
战德军,秦石乔,张宝东等. 速率偏频激光陀螺过锁区误差特性分析[J]. 中国惯性技术学报, 2007, **15**(6): 730~733
- 3 Bai Yunchao, Liu Siwei, Tian Yuming *et al.*. Status and development trends of high-precision north seeker[J]. *Geomatic Science and Engineering*, 2008, **28**(17): 52~55
白云超,刘思伟,田育民等. 高精度寻北仪的现状与发展趋势[J]. 测绘科学与工程, 2008, **28**(17): 52~55
- 4 Huang Zongsheng. Research on the Rotary North Finder Based on Ring Laser Gyro[D]. Changsha: National University of Defense and Technology. 2007. 11~14
黄宗升. 旋转式激光陀螺寻北仪的研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2007. 11~14
- 5 Ling Mingxiang, Zhang Shuxia. Ring laser gyro random noise analysis and its performance characterization[J]. *J. Chinese Inertial Technology*, 1998, **6**(4): 51~55
凌明祥,张树侠. 激光陀螺随机噪声分析及其性能评价[J]. 中国惯性技术学报, 1998, **6**(4): 51~55
- 6 Zhan Dejun, Qin Shiqiao, Wang Xingshu *et al.*. Algorithm of measuring rate biased laser gyro static angle rate based on moving average[J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(11): 3197~3201
战德军,秦石乔,王省书等. 基于滑动平均的速率偏频激光陀螺静态角速率测量算法[J]. 光学学报, 2009, **29**(11): 3197~3201