

三轴一体化光纤陀螺时分复用技术研究

徐长彬, 刘军, 鲁军
(军械工程学院, 河北 石家庄 050003)

摘要:介绍了基于时分复用的三轴一体化光纤陀螺的结构及其工作原理,分析了共享光源方案光源驱动原理,对改善光源驱动控制精度提出了解决方法,重点讨论了三轴时分复用系统中的陀螺信号处理方法,并对器件复用对陀螺系统性能的影响给出了解决方案。

关键词:光纤陀螺;时分复用;信号处理

中图分类号:V241.5 **文献标识码:**A

Research on Time-division Multiplexing of Three-axis Integrative Fiber Optic Gyroscopes

XU Chang-bin, LIU Jun, LU Jun
(Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: In this paper, the structure and the fundamental principle of time-division multiplexing of three-axis integrative fiber optic gyroscopes are introduced. The current source principle of sharing the same light source was analysed and the solution of current source precision to improve was presented. The focus is on the technique of signal processing in system of time-division multiplexing. And the solution of element sharing to effect the performance of gyroscope system was given.

Key words: fiber optic gyroscope; time-division multiplexing; signal processing

1 引言

作为敏感载体角运动信息的陀螺是惯性导航系统中最为关键的测量装置之一,而基于 Sagnac 效应的光纤陀螺代表着陀螺研究的发展方向,并且在惯性制导与导航的许多应用领域,已将其作为一项关键技术。随着光纤陀螺趋向小型化和低成本的方向发展,采用三轴测量装置代替单轴陀螺已经成为一种趋势^[1-2]。因在实际应用中需要测量三个相互垂直方向的角速率信息,采用三个单轴陀螺进行测量体积大、成本高。为了降低系统的体积、成本,可以采用器件复用的方式^[3-4]。基于时分复用的三轴一体化光纤陀螺系统采用光源、探测器和信号处理电路共享,这种方式可以进一步降低系统的体积、质量和成本。

2 时分复用总体结构

三轴一体化光纤陀螺时分复用系统结构如图 1

所示。系统由光源驱动电路、共用光源、耦合器、探测器、信号处理电路和三个光纤环及其多功能光学相位调制器(MIOC)组成。

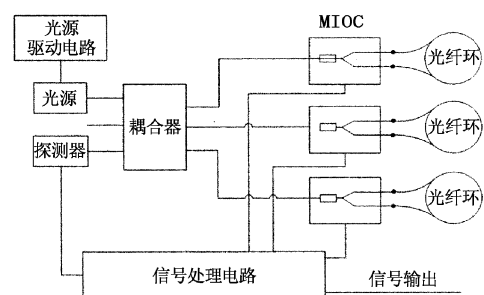


图1 三轴一体化光纤陀螺时分复用系统结构
光源驱动电路驱动光源工作并控制光源内部温度

作者简介:徐长彬(1983-),男,在读研究生,主要从事光纤传感技术研究。E-mail: xcbgxc@163.com
收稿日期:2008-04-01

度保持稳定。三路光纤陀螺分时进行调制交替工作,陀螺转动时光沿光纤环顺、逆方向传播后,汇聚时形成相移,光电探测器输出的信号经信号处理电路滤波、解调并形成相应轴的误差信号,反馈给相应的 MIOC,形成闭环控制。

3 时分复用光路原理及光源驱动控制

3.1 光路工作原理

光源发出的光经耦合器后,分为三束进入三个光纤环,每束光经分光器分成顺、逆时针方向的两路光,陀螺转动时,顺时针方向的光经过的光程为:

$$L^+ = 2\pi R + R\Omega t^+ = c^+ t^+ \quad (1)$$

逆时针方向的光经过的光程为:

$$L^- = 2\pi R - R\Omega t^- = c^- t^- \quad (2)$$

两束光重新在分光器汇合时传播的时间差 τ 为:

$$\tau = t^+ - t^- = 2\pi R \left[\frac{1}{c^+ - R\Omega} - \frac{1}{c^- + R\Omega} \right] \quad (3)$$

转速相对于光速是可以忽略的 $c^+ = c^- = c/n$ 。因此顺逆方向光的相移为:

$$\Delta\phi_s = \frac{2\pi LD}{\lambda} \Omega \quad (4)$$

三个光纤环的输出信号经过耦合器合成,再由光电探测器输出。

3.2 光源驱动控制

时分复用三轴一体化光纤陀螺系统采用共享光源方案。一般共用光源采用超辐射发光二极管 SLD^[5]。光源驱动控制系统如图 2 所示。

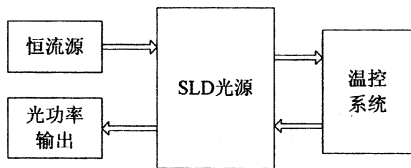


图2 光源驱动原理框图

通常 SLD 光源采取组件方式由发光管管芯、半导体制冷器及热敏电阻等组成。恒流源驱动 SLD 光源工作,热敏电阻将光源工作产生的温度变化转化为电误差信号,温控系统根据接受的误差信号的正负,使半导体制冷器工作在加热或制冷状态,从而保持光源内部温度稳定,进而稳定输出光功率。

4 时分复用信号处理

三轴一体化光纤陀螺时分复用系统共享光源、探测器及信号处理电路,因此每路陀螺采用分时工作的方式,工作原理时序如图 3 所示。三轴陀螺系统中每个陀螺交替工作,即系统对 X 轴加调制使其处于工作状态,并对 X 轴采样一段时间,对采样数据进行处理并形成反馈阶梯波,Y 轴和 Z 轴不加调

制并处于非工作状态。

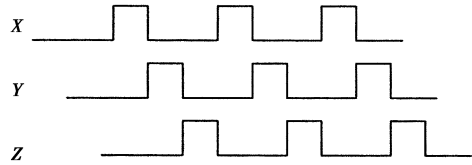


图3 工作时序

单轴陀螺采用方波偏置调制^[6],因此顺、逆两束光沿光纤环传播时有:

顺时针:

$$P^+ = P_0 [1 + \cos(\Delta\phi_s + \phi_b)] \quad (5)$$

逆时针:

$$P^- = P_0 [1 + \cos(\Delta\phi_s - \phi_b)] \quad (6)$$

其中, $\Delta\phi_s$ 为陀螺的 Sagnac 相移; ϕ_b 为方波偏置调制引起的相移。两种调制的差为:

$$\Delta P = P_0 [\cos(\Delta\phi_s - \phi_b) - \cos(\Delta\phi_s + \phi_b)] \quad (7)$$

化简整理得:

$$\Delta P = 2P_0 \sin \Delta\phi_s \sin \phi_b \quad (8)$$

当方波偏置调制 ϕ_b 为 $2/\pi$ 时, ΔP 有最大灵敏度。

当陀螺系统工作时,探测器测到的光强为三个陀螺输出信号之和。如果光源相干波长远小于三个光纤陀螺之间的光程差,则三个陀螺之间的信号不会发生干涉^[7]。设 P_k 为第 K 轴陀螺干涉信号, P 为三轴陀螺复合的干涉信号,则:

$$P = \sum_{k=1}^3 P_k = P_1 + P_2 + P_3 \quad (9)$$

三轴陀螺采用分时工作时,其中一路陀螺工作信号的频率远高于另两路非工作状态的陀螺,因此探测器输出的信号经过放大、滤波、解调后的输出为:

$$P(t) = GP_0 \sin(\Delta\phi_s(t) + \Delta\phi_f(t)) \quad (10)$$

式中, G 是放大、滤波、解调过程产生的增益; $\Delta\phi_f$ 为反馈相移。因 $\Delta\phi_s$ 和 $\Delta\phi_f$ 几乎大小相等、方向相反,由小角度的三角近似公式得:

$$\sin(\Delta\phi_s(t) + \Delta\phi_f(t)) \approx \Delta\phi_s(t) + \Delta\phi_f(t) \quad (11)$$

则式(5)变为:

$$P(t) = GP_0 (\Delta\phi_s(t) + \Delta\phi_f(t)) \quad (12)$$

解调后输出的信号变为 $\Delta\phi_s$ 和 $\Delta\phi_f$ 的误差信号,对其进行积分、累加产生阶梯波电压,驱动相位调制器形成陀螺的反馈信号,实现陀螺的闭环控制。

5 时分复用对系统性能的影响及解决方案

三轴陀螺时分复用方案减少了器件的数量、缩小了系统的体积,降低了系统的成本,但也带来些问题。

光源驱动的控制精度和稳定性决定着光源输出

功率、工作波长的稳定性,进而成为影响陀螺系统精度的重要因素。三轴陀螺共用光源,因此对光源驱动的精度、稳定性要求比单轴陀螺的更高。在光源驱动控制系统中,对驱动系统进行优化设计,抑制负载对恒流的影响,减少器件的随机误差对控制系统精度的影响。

三轴复用光源将引起光强调制产生互扰,因反馈到光源的是三轴陀螺信息的复合信号。为减小互扰对系统的影响,通常在光源输出端加隔离器^[8]。由于在绕制过程中不能保证三轴陀螺的光纤线圈有相同的长度,将引起陀螺本征频率的差异。因此,在三轴陀螺信号调制解调时,需要设计新的检测电路时序^[9]。

6 结束语

本文探讨了基于时分复用的共用光源、探测器及其信号处理电路的三轴一体化光纤陀螺系统的主要方案及其技术。光纤陀螺以其特有的优点在惯性设备中占据了重要地位,进行多轴复用技术研究对于光纤陀螺系统小型化、降低功耗和体积以及提高系统的可靠性和一致性具有潜在的经济价值和实际意义。

参考文献:

- [1] Gilmore J P, Freier L, Nolan E. Three-axis nested fiber optic [J]. Position Location and Navigation Symposium, IEEE, 2000: 411 - 418.
- [2] 盛钟延,周柯江,叶炜. 光纤陀螺(FOG)小型化技术[J]. 激光与红外, 2000, 30(1): 53 - 55.
- [3] Page J L. Multiplexed approach for the fiber optic gyro inertial measurement unit [J]. SPIE Proceeding, 1990, 367: 93 - 102.
- [4] 邹燕,刘军,李鹏. 低成本光纤陀螺及其军事应用[J]. 激光与红外, 2005, 35(12): 962 - 964.
- [5] 刘会文,朱杰,李佳程. 三轴一体化光纤陀螺技术[J]. 中国惯性技术学报, 2007, 15(5): 612 - 614.
- [6] Hervé C Lefèvre. The fiber-optic gyroscope [M]. Boston: Artech House, 1993. 135 - 139.
- [7] 赵忠华,张炎华. 多轴光纤陀螺频分多路系统调制信号的研究[J]. 压电与声光, 2002, 24(6): 437 - 439.
- [8] Fidric B, Tazartes D, Cordova A, et al. A rate integrating fiber optic gyros: from the theoretical concept to system mechanization [J]. SPIE Proceedings, 1991, 1585: 437 - 448.
- [9] 潘雄,宋凝芳,金靖,等. 三轴一体轻小型光纤陀螺仪的时序设计[J]. 北京航空航天大学学报, 2006, 32(11): 1377 - 1379.

现代科技 光电信息 内容丰富 开卷有益

敬请订阅《激光与红外》杂志(月刊)

《激光与红外》杂志是中国光学光电子行业协会、电子工业激光与红外专业情报网、中国电子学会量子电子学与光电子学分会的联合刊物,国内外公开发行。报道以激光与红外为重点的光电子技术及应用领域的科技进展、新技术成果等。主要栏目有:综述与评论、激光技术、红外技术、光电材料器件、光学元件与材料、光纤技术、图像与信号处理、市场动态、企业介绍、行业概况等。是国内本专业创刊最早的刊物之一。本刊为中国科技论文统计源期刊、中文核心期刊,并被“中国期刊网”、“中国科技期刊(光盘版)”、“万方数字化科技期刊群”、“中文科技期刊数据库”和美国 CA、中国台湾华艺等数据库全文收录。

本刊为月刊,大 16 开本,2009 年每期定价 16 元,全年定价 192 元。

订阅办法:可在全国各地邮局订阅,邮发代号 2 - 312。也可直接向本刊编辑部订阅。汇款方式:开户行:中国工商银行北京市望京支行营业部,帐号:0200003509089113201,户名:《激光与红外》杂志社;邮局汇款请寄:北京 8511 信箱,激光与红外杂志社收,邮编:100015。

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告

通信地址:北京市 8511 信箱《激光与红外》杂志社 邮编:100015
 电话:010 - 84321112 传真:010 - 64387667 E-mail: paper@ laser-infrared. com jgyhw@ ncrieo. com. cn