文章编号:1009-671X(2006)05-0056-04

基于 TMS320F2812 的 IFOG 信号检测方法研究及实现

吴军伟,高洪涛,王 威,王立辉

(哈尔滨工程大学 自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要:高精度光纤陀螺是导航与制导系统的主要组成部分.采用基于数字信号调制解调技术对光纤陀螺进行 闭环控制可以有效地提高光纤陀螺的精度.对光纤陀螺原理及信号检测方法进行了大量的研究和实验,以高速 数字信号处理芯片 TMS320F2812 为基础,研制成功了基于阶梯波调制技术的闭环光纤陀螺全数字式信号检测 系统,并给出了性能及测试结果.

关键词:光纤陀螺;相位调制;阶梯波;数字信号处理;

中图分类号:TH824.3 文献标识码:A

Research and realization of TMS320F2812 IFOG signal detection

WU Jun-wei, GAO Hong-tao, WANG Wui, WANG Li-hui

(School of Automation, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: High precision FOG is the important part of navigation and guidance system. The closed-loop control based on digital modulating and demodulating technique can greatly improve the precision of FOG. The principle and signal detection method of FOG are studied and experimented. On the basis of TMS320F2812, the digital closed-loop detecting system of FOG is successfully developed with the step wave modulating technology. Finally the performance and results of tests are given.

Keywords: FOG; phase modulation; step wave; DSP

光纤陀螺是一种先进的载体自转角速度测量 仪,是导航与制导系统的主要组成部分,它利用固态 的全光纤结构实现光学 Sagnac 效应的测量.随着国 内外对光纤陀螺的研究不断深入,光纤传感部分已 达到很高的性能指标,信号检测技术日益成为提高 光纤陀螺精度的关键.

目前,中等精度的光纤陀螺已进入实用化阶段, 进一步提高光纤陀螺的灵敏度、线性度、稳定性以及 测量的动态范围是其今后的发展方向.文中通过对 IFOG 信号检测原理、结构方案及实现方法的分析与 研究,研制成功了基于阶梯波调制技术的闭环干涉 型光纤陀螺全数字式信号检测系统,对提高光纤陀 螺的精度有十分重要的意义. 1 IFOG 基本原理

光纤陀螺是基于 Sagnac 效应而发展起来的一种新型角速率传感器,干涉型光纤陀螺(IFOG)是其中的代表,基本原理如图 1 所示.



图 1 Sagnac 干涉仪原理图

当光纤环相对于惯性空间有一转动角速度时,2 束光的出发点从 M 经转到了 M'点,根据洛仑兹— 爱因斯坦速度变换公式可得顺、逆时针传输的光的

收稿日期:2004-08-09.

作者简介:吴军伟(1981-),男,硕士研究生,主要研究方向:计算机控制、IFOG 数字信号处理.

高洪涛(1979 -),女,博士研究生,主要研究方向:导航制导与控制,E-mail:july0106@ sohu. com.

· 57 ·

传播速度分别为

$$c_a = \frac{c/n + R\Omega}{1 + R\Omega/nc}, \qquad (1)$$

$$c_b = \frac{c/n - R\Omega}{1 - R\Omega/nc}.$$
 (2)

式中:R、 Ω 分别为环形光路的半径和转动时的角速 度, c_a 、 c_b 分别为光路中沿顺、逆时针传输的光的传 播速度.此时2束光在光纤环中绕行一周的时间 t_a 、 t_b 应分别满足如下关系式:

$$t_a = \frac{2\pi R + R\Omega t_a}{c_a},\tag{3}$$

$$t_b = \frac{2\pi R + R\Omega t_b}{c_b}.$$
 (4)

将式(1)和式(2)分别代入到式(3)和式(4)中可得

$$t_a = \frac{2\pi R(nc + R\Omega)}{c^2 - (R\Omega)^2}, \qquad (5)$$

$$t_b = \frac{2\pi R(nc + R\Omega)}{c^2 - (R\Omega)^2}.$$
 (6)

由于 $c^2 \gg (R\Omega)^2$,完全可以忽略 $(R\Omega)^2$ 项.则由此可求出 2 束光绕行一周的时间差 Δt 及光程差 ΔL 为

$$\Delta t = \frac{4\pi R^2}{c^2} \Omega = \frac{4A}{c^2}, \qquad (7)$$

$$\Delta L = \frac{4\pi R^2}{c} \Omega = \frac{4A}{c} \Omega. \tag{8}$$

式中:*A* 为环形光路所围成的面积.当环形光路是由 *N* 圈单模光纤组成时,则相应的光程差为

$$\Delta L = \frac{4NA}{c}\Omega. \qquad (9)$$

根据光程差可求得顺、逆光的相位差为

$$\Delta \Phi = \frac{2\pi\Delta L}{\lambda} = \frac{8\pi NA}{\lambda c} \Omega = \alpha \Omega . \qquad (10)$$

式中:λ 为光的波长,L 为光纤环的长度.由式(10) 可以看出,在环形光路中,顺、逆时针传播的光的相 位差(非互易相移)与光纤环的转速成线性关系.在 信号检测过程中,只要能够准确检测出干涉仪的非 互易相移,就可以准确地检测出光纤环的转速信号.

2 阶梯波调制及信号检测原理

根据阶梯波对 Sagnac 干涉仪的调制原理,在阶梯波的阶梯段,阶梯波产生的非互易相移为 Φ ;而在复位阶段,使阶梯波的最高阶梯单元产生的相移为2 $\pi - \Phi$,时,则干涉仪中产生的非互易相移为2 $\pi - \Phi$,从而使得阶梯波调制产生干涉信号始终相等

为 sin Φ_r . 阶梯波调制原理如图 2 所示.



图 2 阶梯波调制原理图

方波作为偏置信号,在正负半周产生的非互易 相移为±π/2. 陀螺有转动时,在 Sagnac 干涉仪中产 生的非互易性相移为

$$\Delta \Phi = \Phi_s + \Phi_f + \Phi_{1}. \tag{11}$$

式中: $\boldsymbol{\Phi}_{s}$ 、 $\boldsymbol{\Phi}_{f}$ 、 $\boldsymbol{\Phi}_{J}$ 分别为转动信号、方波、阶梯波所 产生非互易相移.这时 Sagnac 干涉仪的输出信号为

 $I = A [1 + \cos(\Phi_{s} + \Phi_{f} + \Phi_{J})].$ (12)

在方波的正、负半周,干涉仪的输出信号为

$$I = A[1 - \sin(\Phi_s + \Phi_J)], \qquad (13)$$

 $I = A[1 + \sin(\Phi_{s} + \Phi_{J})], \qquad (14)$

相减可得: $\Delta I = -2A\sin(\Phi_s + \Phi_J)$. (15)

可以看出,由于 $\Phi_s + \Phi_J$ 很小,所以只要保持 $\Delta I \approx 0$,就可以有 $\Phi_s + \Phi_J \approx 0$,而当 $\Delta I \neq 0$ 时,便用 ΔI 作为控制量去控制阶梯波发生器,改变阶梯波的阶 梯高度,从而也就改变了阶梯波的相移 Φ_J ,使 Φ_J 抵 消 Sagnac 相移 Φ_s ,从而使 $\Delta I \approx 0$,通过闭环反馈控 制始终使 $\Phi_s \approx -\Phi_J$.由于 Sagnac 相移 $\Phi_s \Phi$ 和光纤 陀螺的转速之间是线性关系,则 Φ_J 和光纤陀螺的 转速之间也是线性关系.因此在闭环达到平衡时,阶 梯波的阶梯高度同所测量的角速率成正比,阶梯高 度就是陀螺输出的角速率信号.

3 结构方案与实现方法

阶梯波调制的数字闭环方案的最大特点是实现 了信号处理的全数字化,消除了电路噪声和漂移的 影响,是目前世界上中、高精度干涉型光纤陀螺普遍 采用的研究方案之一.通过对光纤陀螺主要光器件 的性能分析和各种调制方案讨论,确定数字闭环光 纤陀螺的基本结构如图3所示.在该方案中,光源为 超辐射光源(SLD),相位调制器为Y波导(多功能 集成光学器件),光纤为熊猫型保偏光纤,调制方式 为阶梯波调制,偏置信号为方波.数字闭环检测电路 主要包括前置放大模块、A/D模块、数字信号处理 模块、D/A 模块、光源驱动及温控模块等部分.由于 光电转换器输出的是极其微弱且带有大量噪声的方

第33卷

波信号,选择低噪声、高放大倍数的放大器. A/D、 D/A 的位数、转换速度和建立时间由 IFOG 的动态 范围和精度来决定.



图 3 数字闭环光纤陀螺的基本结构

以 TI 的新一代 DSP 中的代表 TMS320F2812 作 为信号处理器,它是硬件部分的核心,用来实现数据 采集、控制信号处理、数字解调、数字滤波、阶梯波方 波生成和反馈以及反馈量输出等功能.另外,它还用 作陀螺数据格式转换以及和 PC 机的通讯.

TMS320F2812 内部自带 12 位 16 通道 A/D, 陀 螺输出的光信号经光电检测器后输出方波信号, 再 经过滤波, 放大后由 DSP 顺序采样并进行进一步处 理生成陀螺数据. 滤波后的陀螺数据由 2 个加法器 生成阶梯波并和方波合成再经由 D/A 转换后一起 送给陀螺进行闭环控制. DSP 内置 128 KB FLASH 和 18 KB RAM,程序由 C 语言和汇编语言混合编 写,存储在 FLASH 中并在 RAM 中运行.采用单块 DSP 设计硬件和 C 语言编程,系统结构简单、紧凑 并且可靠性大为提高. IFOG 检测电路原理及软件流 程分别如图 4、5 所示.



图 4 IFOG 检测电路原理图



图 5 软件流程图

4 主要性能指标测试及结果

4.1 零漂及灵敏度测试

通过 DSP 的 SCI 向计算机发送数据,在陀螺水 平静止放置时进行零漂测试,然后分别沿顺时针方 向和逆时针方向转动陀螺,其零漂及灵敏度测试结 果如图 6、7 所示、

4.2 标度因数及非线性测试

测试转台角速度输入±100(°)/s、±0.01(°)/ s、±0.05(°)/s、±0.1(°)/s、±0.5(°)/s、±1(°)/s、 ±1.5(°)/s、±2.5(°)/s、±4(°)/s、±6(°)/s、±10(°)/s、 ±15(°)/s、±25(°)/s、±40(°)/s、±60(°)/s、±100(°)/s



图 6 零漂测试曲线 图 7 灵敏度测试曲线 时的输出.标度因数和非线性度测试结果如图 8.9 所示.

5 结束语

采用阶梯波反馈的数字闭环方案,系统实现方便,对器件的要求低,重复性好.TMS320F2812作为中心控制与计算的计算机,集成度高,运算速度快,

(下转第62页)

技

应

电极材料,在有机电解液 1.0 mol·L⁻¹ LiClO₄/AN 和 1.0 mol·L⁻¹ LiPF₆/EC + DMC 中,均具有良好的 法拉第准电容特性,且电解液对电极材料可逆工作 电位有很大的影响.

2)用恒电流放电法测 MnO₂电极的比容量,不同 电流密度下的放电比容量值为 142.3 ~171.2 F/g.

3) MnO₂电极在 1.0 mol · L⁻¹ LiClO₄/AN 中以 1.0 mA/cm²的电流充放电,循环过程中比容量几乎 没有衰减,5 000 次后比容量为 169 F/g,衰减幅度为 初始容量的 1.3%,很有希望成为一种新型的超级 电容器材料.

参考文献:

[1] CONWAY B E, BIRSS V, WOJTOWICZ J. The role and utilization of pseudocapacitance for energy storage by supercapacitors
[J]. Journal of Power Sources, 1997,66:1 - 14.
[2] CONWAY B E. Transition from "supercapacitor" to "batter-

(上接第58页)



图8 标度因数测试 图9 非线形度测试

算法软件丰富,编程方便,适合于作滤波计算和实时 控制,能有效地降低系统噪声,同时满足实时控制和 处理要求.测试结果表明,数字闭环光纤陀螺的标度 因数非线性度和长期零漂稳定性、灵敏度等参数均 能满足要求,陀螺精度的进一步提高正在调试和试 验中. y" behavior in electrochemical energy storage[J]. J Electrochem Soc, 1991,138(6): 1539 - 1548.

- [3] WANG Gui-xin, ZHANG Bo-lan, YU Zuo-long. Manganese oxide/MWNTs composite electrodes for supercapacitors
 [J]. Solid State Ionics, 2005, 176:1169 1174.
- [4]张宝宏,张 娜. 纳米 MnO₂超级电容器的研究[J]. 物理[•] 化学学报,2003,19(3):286-288.
- [5] 刘献明,张校刚,王永刚,等. 超级电容器复合材料
 MnO₂/活性炭的研究[J]. 功能材料,2003,34(5):550 552.
- [6]李 娟,李清文.纳米 MnO₂粉体固相合成及其电化性能
 (Ⅲ)固相氧化还原反应合成纳米 α MnO₂的性能[J].
 应用化学,1999,16(3):103-105.
- [7] FURTADO C A, DE SOUZA P P, BOULART G, et al. Electrochemical behavior of polyurethane ether electrolytes: carbon black composites and application to double layer capacitor[J]. Electrochimica Acta, 2001, 46:1629 – 1634.

[责任编辑:杨 振]

参考文献:

- [1] SANDERS A. Fiber optic gyros for space, marine and aviation application [M]. SPIE, 1996,8: 61-71.
- [2]ZHU Y, QIN B, CHEN S. Closed-loop fiber optic gyroscope with homodyne detection[J]. SPIE, 1996:505-512.
- [3]GERORGE A. 惯性级光纤陀螺的研制[M]. 吴 涛, 译. 北京:惯导与仪表,2000.
- [4]张桂才,王 巍. 光纤陀螺仪[M]. 北京:国防工业出版 社,2002.

[责任编辑:李雪莲]