

# 采用分段法估算 Allan 方差中的各噪声系数

阎晓琴, 张桂才

(四川压电与声光技术研究所, 重庆 400060)

**摘 要:** 指出采用传统的最小二乘拟合法估算存在于 Allan 方差中各噪声系数存在的问题, 提出采用分段法来估算 Allan 方差中的各噪声系数, 并通过对多组实测陀螺数据进行分析, 证明了分段估算法与最小二乘拟合法相比是一种更有效的、科学的噪声估算方法。提出了一种根据数据点的多少自动改变 Allan 方差积分时间的算法, 可在保证估算精度的前提下减少不必要的计算过程, 有效地缩短了 Allan 方差的计算时间。

**关键词:** 光纤陀螺; Allan 方差; 噪声

**中图分类号:** U666.1

**文献标识码:** A

## Estimation of Various Noise Factors from Allan Variance by Subsection Method

LV Xiao-qin, ZHANG Gui-cai

(Sichuan Institute of Piezoelectric & Acousto-optic Technology, Chongqing 400060, China)

**Abstract:** We found that the estimation of various kinds of fiber optic gyro noise factors from Allan variance by using the least square fitting method has some problems. The subsection method was brought forward to estimate errors from Allan variance and several sets of gyro data have been analyzed. The analyzed result showed that the subsection method was more effective and scientific than the least square fitting method. In addition, an algorithm which can change the integral time of Allan variance automatically based on the length of consecutive data points was proposed. Using this method can reduce some unimportant calculations and shorten Allan variance calculating time effectively, as well as guarantee Allan variance calculating and noise estimating precision.

**Key words:** fiber optic gyroscope; Allan variance; noise

为了减少光纤陀螺(FOG)的误差并提高其精度, 需要首先对陀螺仪进行性能评估, 了解内部影响其性能的各种误差源。Allan 方差分析是在时域上对频率稳定性进行分析的一种通用方法, 在 Allan 方差与功率谱密度(PSD)间存在定量关系, 利用这一关系可在时域上直接由 FOG 的输出数据得到 FOG 中各种误差源的类型和幅度<sup>[1]</sup>。通过分析陀螺仪测试数据的 Allan 方差可得各类型噪声对陀螺仪性能所造成的影响。但采用传统的最小二乘拟合法估算 Allan 方差中的各噪声系数时, 通常会存在个别系数出现负值现象, 这是由于拟合处理方法不当而产生的一种计算误差。人们仅简单地取这种负值系数的绝对值得出相应的噪声系数, 从而使这种计算误差放大, 这在一定程度上掩盖了光纤陀螺真实的噪声特性。本文提出采用分段法来估算存在于 Allan 方差中的各噪声系数, 有效地避免了负值问题, 为光纤陀螺误差的准确估算奠定了基础。

### 1 Allan 方差的基本原理

Allan 方差法是一种在时域上对频域稳定性分

析的方法。假定  $N$  个连续的数据点, 每个点的采样时间为  $t_0$ , 我们把  $(n < N/8)$  个连续的数据点作为一个组, 每个组称为一个群。与每个群有关的是时间  $t, t = nt_0$ , 如图 1 所示。

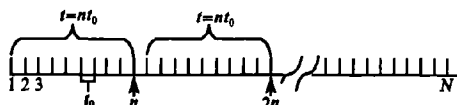


图1 Allan 方差分析数据结构框图

如果陀螺的瞬时输出速率为  $\Omega(t)$ , 群平均<sup>[1-2]</sup>

$$\bar{\Omega}_k(t) = \frac{1}{t} \int_k^{t_k+t} \Omega(t) dt \quad (1)$$

下一个群的平均

$$\bar{\Omega}_{\text{next}}(t) = \frac{1}{t} \int_{k+1}^{t_{k+1}+t} \Omega(t) dt \quad (2)$$

式中  $t_{k+1} = t_k + t_0$ 。

我们求出每相邻两个群的平均值差

$$\xi_{k+1,k} = \bar{\Omega}_{\text{next}}(t) - \bar{\Omega}_k(t) \quad (3)$$

Allan 方差就是由整个数据生成的具有相同尺寸的所有群的方差

$$\sigma^2(t) = \frac{1}{2} \langle [\bar{\Omega}_{\text{next}}(t) - \bar{\Omega}_k(t)]^2 \rangle \quad (4)$$

## 2 采用分段法估算 Allan 方差各噪声源

估计 Allan 方差时,数据中可能存在各种成分的随机噪声。如果各噪声源统计独立,则计算的 Allan 方差是各类型误差的平方和。故可从 Allan 方差中抽取出各类型误差源的贡献。

量化噪声是由全数字闭环光纤陀螺信号处理中的 A/D 与 D/A 转换器的数字特性引起的,噪声的大小取决于数据采集系统的精度和初始采样时间的选取等。量化噪声通常代表了光纤陀螺的最低分辨率水平。在  $\sigma(t)-t$  双对数曲线中,量化噪声的斜率为-1。

角随机游走的主要来源是光源相对强度噪声、探测器的电噪声和散粒噪声以及相关时间比采样时间短的其他高频噪声项(如振动实验中的高频振动等)、光纤陀螺中的 2 阶背向散射。这些噪声项均可用陀螺仪输出的白噪声描述,其中一些噪声可通过优化设计来消除(如提高光路系统的信噪比)。角随机游走噪声的斜率为-0.5。

零偏不稳定性可能源于法拉第磁场效应、温度波动引起的漂移或其他低频环境噪声等。零偏不稳定性还可能源于光纤陀螺中的偏振演变及探测器的闪烁噪声。由于其低频特性,在数据中表现为零偏值的波动。在  $\sigma(t)-t$  双对数曲线中,由曲线的平直部分便可估计出零偏不稳定性。

速率随机游走是带宽角加速率的功率谱密度积分的结果,引起速率随机游走的噪声源尚有待研究。在  $\sigma(t)-t$  双对数曲线中,速率斜坡噪声的斜率为-0.5。

速率斜坡本质上是一种确定性误差,而不是随机过程。这是出现在光纤陀螺测试数据中的一种趋势项漂移,其原因可能是光纤陀螺光源强度随时间发生缓慢而单调的变化,探测器前置放大及后置放大电路的电子漂移,环境条件如温度引起的单向缓慢变化等;也可能是因测试平台在一个方向上长时间持续着微小加速度所致。在  $\sigma(t)-t$  双对数曲线中,速率斜坡噪声的斜率为 1。

如果陀螺这 5 项主要噪声源在统计学上是独立的,则 Allan 方差是各类噪声方差和<sup>[1-2]</sup>

$$\sigma^2(t) = \frac{R^2 t^2}{2} + \frac{K^2 t}{3} + B^2 \left[ \frac{2}{\pi} \right] \ln 2 + \frac{N^2}{t} + \frac{3Q^2}{t^2} \quad (5)$$

式中  $Q$  为量化误差; $N$  为角度随机游走系数; $K$  为角速率随机游走系数; $B$  为零偏不稳定性; $R$  为速率斜坡。文献报道现在普遍采用最小二乘拟合法对万方数据

式(5)进行拟合求得<sup>[3-6]</sup>。将式(5)简化可得

$$\sigma^2(t) = \sum_{n=-2}^2 C_n t^n \quad (6)$$

式中  $C_n$  为正实数才有噪声表征意义。假设  $\sigma(t)$  的单位是( $^{\circ}$ )/h, $t$  的单位是 s,对式(6)进行最小二乘拟合,可得

$$Q = \frac{\sqrt{C_{-2}}}{3600 \times \sqrt{3}} \quad (7)$$

$$N = \frac{\sqrt{C_{-1}}}{60} \quad (8)$$

$$B = \frac{\sqrt{C_0}}{\sqrt{2 \ln 2 / \pi}} \quad (9)$$

$$K = 60 \times \sqrt{C_1} \quad (10)$$

$$R = 3600 \times \sqrt{2 C_2} \quad (11)$$

对大量的陀螺测试数据进行处理时发现,采用这种最小二乘拟合法估算出来的  $C_n$  在许多情况下会出现个别为负的现象,使采用上述方法求取噪声系数变得不可能。因此,我们提出了一种对 Allan 标准偏差进行分段估算的方法,如图 2 所示。

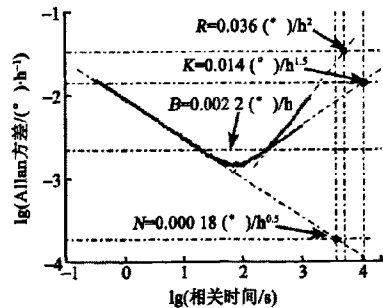


图2 某陀螺的 Allan 方差噪声估算示意图

由于在  $\sigma(t)-t$  双对数曲线中每一特征段内只有一种噪声起主导作用,因此分段拟合的关键就是找出 5 种主要噪声在曲线上分布的分界点。我们首先对测量数据的  $\sigma(t)-t$  曲线进行最小二乘拟合,得到一条较平滑的曲线,计算该曲线上每个点的斜率,根据与 5 种主要噪声对应的不同斜率进行分段;然后对每段的原始数据点重新进行直线拟合,根据直线的斜率和所在位置在  $\sigma(t)-t$  双对数曲线上外推各个噪声系数。

量化噪声的估算是通过对  $\sigma(t)-t$  双对数曲线中斜率大概为-1 的曲线部分进行直线拟合,外推至  $t=\sqrt{3} h$ ,估算出  $Q$ 。若双对数曲线中无斜率约为-1 的曲线部分,则  $Q=0$ 。图 2 中无量化噪声,故  $Q=0$ 。

角随机游走的估算是通过对  $\sigma(t)-t$  双对数曲线中斜率约为-0.5 的曲线部分进行直线拟合,

外推至  $t=1\text{ h}$ , 估算出  $N=0.000\ 18\ (^{\circ})/\text{h}^{1/2}$ 。

偏置不稳定性的估算是与曲线的底部适配一条零斜率的直线, 将这条曲线与纵坐标交点的值除以  $\sqrt{2\ln 2/\pi}$ , 得到  $B=0.002\ 2\ (^{\circ})/\text{h}$ 。

速率随机游走的估算是通过对  $\sigma(t)-t$  双对数曲线中斜率大概为 0.5 的曲线部分进行直线拟合, 外推至  $t=3\text{ h}$ , 估算出  $K=0.014\ (^{\circ})/\text{h}^{2/3}$ 。若双对数曲线中无斜率约为 0.5 的曲线部分, 则  $K=0$ 。

速率斜坡的估算是通过对  $\sigma(t)-t$  双对数曲线中斜率约为 1 的曲线部分进行直线拟合, 外推至  $t=\sqrt{2}\text{ h}$ , 估算出  $R=0.036\ (^{\circ})/\text{h}^2$ 。若双对数曲线中无斜率约为 1 的曲线部分, 则  $R=0$ 。

### 3 应用分段拟合估算各噪声系数

图 3(a)为某光纤陀螺的零漂测试曲线, 其采样间隔为 113 ms。在 3 个多小时的测试数据, 有将近 110 000 个采样数据点的情况下, 存在着计算量大, 耗费 CPU 时间的缺点, 无法快速地得到 Allan 方差的分析结果, 特别是在要求实时性好的工程应用上, 受到很大的限制。因此, 本文提出了一种算法, 在保证估计精度的前提下, 根据采样数据点的大小, 自动调节  $t=nt_0$ 。中  $n$  因子的大小来改变积分时间的步长, 从而在保证估计精度的前提下减少不必要的计算过程, 有效地缩短计算时间, 达到缩短 Allan 方差计算时间的目的。图 3(b)为相应的 Allan 标准偏差对相关时间的双对数曲线图。采用此法, 110 000 个采样数据点的 Allan 方差的计算时间不超过 2 s。

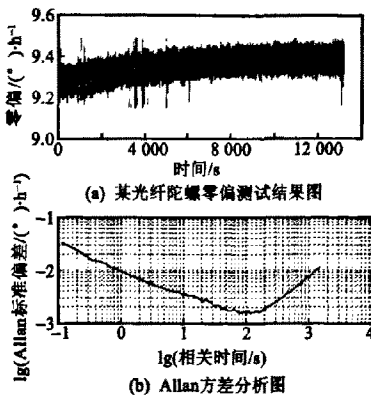


图3 某光纤陀螺零漂测试结果及 Allan 方差分析

表 1 为传统的最小二乘拟合和分段估算的结果比较表。由表可见, 采用最小二乘拟合时,  $K$  为虚数, 说明  $C_1$  为负数。通过对大量的测试数据进行分析发现, 每个  $C_n$  都有可能是负数, 且几乎每组测试数据的分析结果中都会有负数出现。采用我们提出的分段估算法就不存在这个问题。

表 1 两种噪声估算方法的比较

	最小二乘法	分段估算
$Q/^{\circ}$	$3.579\ 6\times 10^{-7}$	0
$N/^{\circ}\cdot\text{h}^{-1/2}$	0.000 147 88	0.000 170 23
$B/^{\circ}\cdot\text{h}^{-1}$	0.003 145 3	0.002 695 1
$K/^{\circ}\cdot\text{h}^{-3/2}$	0.011 123i	0.017 683
$R/^{\circ}\cdot\text{h}^{-2}$	0.040 183	0.038 237

### 4 结束语

以上的分析和实验结果表明, 采用分段法估算 Allan 方差中各噪声源的方法是一种有效科学的方法。通过分析陀螺仪测试数据的 Allan 方差可得各类型噪声对陀螺仪性能所造成的影响。另外, 本文采用的在保证估计精度的前提下, 根据采样数据点的大小, 自动调节  $t=nt_0$ 。中  $n$  因子的大小来改变积分时间的步长, 从而在保证估计精度的前提下减少不必要的计算过程的方法, 有效地缩短计算时间, 达到缩短 Allan 方差计算时间的目的, 这点对光纤陀螺的在线实时 Allan 方差估算具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] IEEE Std 952-1997. IEEE standard specification format guide and test procedure for single-axis interferometric fiber optic gyros[S].
- [2] TEHRANI M M. Ring laser gyro data analysis with cluster sampling technique[J]. SPIE, 1983, 412: 207-220.
- [3] 赖际舟, 刘建业, 林雪原, 等. 干涉型光纤陀螺的性能评价[J]. 传感器技术, 2004, 23(9): 31-34.
- [4] 刘巧光, 许辅义, 滕云鹤, 等. 环形激光陀螺仪随机误差模型的研究[J]. 清华大学学报, 1999, 39(2): 71-74.
- [5] 杨亭鹏, 高亚楠, 陈家斌, 等. 光纤陀螺仪零漂信号的 Allan 方差分析[J]. 光学技术, 2005, 31(1): 87-89.
- [6] 柳贵福, 张树侠. 光纤陀螺零漂数据滤波方法的研究[J]. 中国惯性技术学报, 2001, 9(4): 66-69.

# 采用分段法估算Allan方差中的各噪声系数

作者: 阎晓琴, 张桂才, LV Xiao-qin, ZHANG Gui-cai  
作者单位: 四川压电与声光技术研究所, 重庆, 400060  
刊名: 压电与声光 **ISTIC PKU**  
英文刊名: PIEZOELECTRICS & ACOUSTOOPTICS  
年, 卷(期): 2009, 31(2)  
被引用次数: 0次

## 参考文献(6条)

1. 柳贵福;张树侠 光纤陀螺零漂数据滤波方法的研究[期刊论文]-中国惯性技术学报 2001(04)
2. 杨亨鹏;高亚楠;陈家斌 光纤陀螺仪零漂信号的Allan方差分析[期刊论文]-光学技术 2005(01)
3. 刘巧光;许辅义;滕云鹤 环形激光陀螺仪随机误差模型的研究[期刊论文]-清华大学学报(自然科学版) 1999(02)
4. 赖际舟;刘建业;林雪原 干涉型光纤陀螺的性能评价[期刊论文]-传感器技术 2004(09)
5. TEHRANI M M Ring laser gyro data analysis with cluster sampling technique 1983
6. IEEE Std 952-1997. IEEE standard specification format guide and test procdure for single-axis interferometric fiber optic gyros

## 相似文献(10条)

1. 期刊论文 祝树生. 任建新. 张安峰. ZHU Shu-sheng. REN Jian-xin. ZHANG An-feng 光纤陀螺随机游走分析方法研究 -应用光学2009, 30(6)

光纤陀螺测试中, 随机游走系数的分析对陀螺整体性能的评价起着很重要的作用. 分别介绍了分析光纤陀螺随机游走噪声的两种方法: Allan方差法和改进的Allan方差法. 分别应用这两种方法, 在对某型光纤陀螺(FOG)实测静态数据计算的基础上进一步分析了该光纤陀螺中的噪声分量, 并对分析结果进行比较. 最终计算结果表明: 在增加计算时间为代价的前提下, 改进Allan方差法能方便地区别出各种噪声, 并明显提高了光纤陀螺各随机噪声游走系数的计算精度.

2. 学位论文 唐江河 基于小波和Allan方差的FOG信号处理 2004

惯性导航系统已广泛应用于国防及航空航天等各个领域. 随着惯性技术的发展, 惯性导航系统主要是以新型的固态陀螺(光纤陀螺、激光陀螺)代替传统的机械陀螺, 以捷联惯导系统代替平台惯导系统. 导航系统的精度是其应用的关键, 如何在已有的导航系统硬件设备的基础上提高导航的精度是一个重要的课题. 而对陀螺信号噪声的精确描述是这一工作的基础. 因此该文针对陀螺噪声的描述具体完成了以下几方面的内容: 首先在进行陀螺信号分析之前, 我们设计了GPIB接口实现的陀螺信号采集试验. 接着在陀螺噪声分离的分析中, 我们应用了Allan方差的方法来估计陀螺信号中的五种主要噪声: 角度随机游走、速率随机游走、偏差非稳定性、量化噪声、速率斜坡; 针对这种方法的一个弊端引出了修正Allan方差; 而为了提高方差计算的准确性我们将两种方差结合考虑. 有了三种方差分析方法, 我们希望能够仿真出几种常用的噪声来比较这三种方差分析方法. 我们结合FFT方法和小波方法来仿真噪声, 而且将这种方法仿真出的噪声与FFT方法和小波方法仿真出的噪声从功率谱密度和Allan方差两方面进行了比较; 同时我们以一组仿真出的噪声为标准来比较了三种方差方法的精度以及Mavr对Avar的修正. 我们用两种方法对陀螺信号的随机成分的模型进行参数辨识, 首先是普通的模型参数的辨识, 而且在其中利用了小波软阈值滤波的方法进行了信号序列的预处理. 基于两个ARMA模型序列的和仍然是一个ARMA模型这一定理我们提出了一套新的模型参数辨识的方法: Allan方差+小波. 其中序列的预处理、模型类型的确定、模型阶次的确定以及参数的估计都可利用Allan方差和小波联合来进行, 这种方法要比上面提到的方法简单得多, 然而这种方法是建立在对序列中噪声的精确估计, 这就要求Allan的辨识精度, 这也说明了修正Allan方差引入的必要性.

3. 期刊论文 熊凯. 雷拥军. 曾海波. XIONG Kai. LEI Yongjun. ZENG Haibo 基于Allan方差法的光纤陀螺建模与仿真 -空间控制技术与应用2010, 36(3)

介绍了一种与实际情况相接近的陀螺模型, 并给出了根据光纤陀螺的角度随机游走(ARW)和角速率随机游走(RRW)系数模拟产生陀螺随机误差数据的方法. 角度随机游走和角速率随机游走系数可通过Allan方差法获得. 理论分析表明, 模拟产生的陀螺随机误差具有与实际的角度随机游走和角速率随机游走误差相一致的功率谱密度. 通过仿真对文中所述的模拟产生陀螺随机误差的方法进行了验证, 表明了方法的有效性. 该方法可用于分析由陀螺和灵敏传感器构成的卫星姿态确定系统的性能.

4. 期刊论文 宋凝芳. 陈婧. 金靖. SONG Ning-fang. CHEN Jing. JIN Jing 光纤陀螺随机误差特性的小波方差分析 -红外与激光工程2010, 39(5)

光纤陀螺各项随机误差的频率特性各不相同. 小波变换的多分辨分析兼具时频分析和尺度分析的功能, 故采用小波方差法来表征噪声在不同频率分量的变化情况, 从而为特定环境下光纤陀螺的故障诊断以及误差分析提供参考. 通过与传统的分析光纤陀螺随机误差特性的Allan方差法对比可知, 只要小波基函数的支撑区间足够小, 小波方差就能克服Allan方差能量泄露的缺点. 利用60Co辐照源模拟空间辐照, 进行光纤陀螺整机辐照实验, 分析实验数据, 证明小波方差比Allan方差能够更加精确地反映光纤陀螺各项随机误差的变化情况.

5. 学位论文 王珏 光纤陀螺动态测试与噪声分析的研究 2008

光纤陀螺是建立在萨格奈克效应基础上的光学干涉仪, 主要用来检测外部载体的运动角速度. 随着对光纤陀螺研究的不断深入, 对光纤陀螺精度及稳定性的要求越来越高, 光纤陀螺输入输出特性中的随机噪声的分析及滤波方法也在不断提高.

本文首先介绍了光纤陀螺各种测试方法的发展现状, 选择国内外比较先进的测试方法进行比较, 还简要介绍了光纤陀螺的基本原理和主要性能指标, 并对其输出信号进行了分析, 给出了其数学模型.

其次, 分析了光纤陀螺随机误差常用的滤波方法. 并以小波滤波为主要滤波方法, 对光纤陀螺输入输出特性进行了不同算法下滤波处理, 比较了滤波前后陀螺的输出精度.

再次, 针对光纤陀螺的随机误差特性, 从原理上分析了IEEE标准中的Allan方差法并采用此方法对光纤陀螺的性能进行评价, 给出FOG的随机误差特性, 并进行了误差项辨析. 辨析结果可以用于实际中提高FOG的性能设计和补偿FOG的误差.

再次,本文提出了光纤陀螺动态测试的方法。由于动态特性是解决光纤陀螺快速响应必须进行的研究工作,非常的具有实际的意义。但目前国内外各科研机构还未能对光纤陀螺的动态特性形成一个统一的测试方法和衡量标准。本文提出了比较在不同频率下陀螺的输出与理论值的差别,以及在实验室现有的三轴转台条件下,比较陀螺实际的转动频率与转台设定转动频率之间的差别,用于评价光纤陀螺动态性能的优劣。

最后,为了进一步提高陀螺采集数据及数据处理的时效性,本文把数据采集部分与陀螺数据处理部分编制到一个程序中并且进行了大量的实验。其中数据处理部分包含:标度因数的计算、陀螺输出信号的滤波、光纤陀螺动态性能评价、平均值及方差的计算等以及Allan方差分析陀螺噪声。这些大量的实验数据和数据处理结果为陀螺性能的改进提供了非常有价值的参考。

## 6. 期刊论文 [韩军良, 葛升民, 沈毅, HAN Jun-liang, GE Sheng-min, SHEN Yi 基于总方差方法的光纤陀螺随机误差特性研究 -哈尔滨工业大学学报2007, 39\(5\)](#)

为解决Allan方差在长相关时间上存在估计误差较大的问题,根据光纤陀螺随机误差信号的频率特性,提出了采用总方差来对光纤陀螺的随机误差特性进行分析的方法。用模拟的光纤陀螺各项随机噪声对Allan方差和总方差方法进行了比较仿真研究,并利用总方差方法分析和辨识了光纤陀螺实际测试数据中随机噪声的类型和噪声水平。试验结果表明在长相关时间上,总方差的值和实际的幂律谱噪声的行为特征是一致的;在平均因子较大的情况下,总方差能够有效地提高方差估计值的置信度,估计精度优于Allan方差分析方法。

## 7. 期刊论文 [任春华, 熊林香, 赵雪江, 潘英俊, REN Chunhua, XIONG Linxiang, ZHAO Xuejiang, PAN Yingjun 小波阈值滤波在光纤陀螺信号处理中的应用 -压电与声光2010, 32\(6\)](#)

根据光纤陀螺信号的数学模型和小波多分辨率分析的特点,利用小波变换阈值滤波可有效地处理光纤陀螺信号的噪声。利用Allan方差法并通过最小二乘拟合得到光纤陀螺信号噪声中各误差源的幅度,对某型号光纤陀螺静态输出信号进行了小波阈值滤波,并定量地分析和比较了4种常用阈值下的滤波效果。通过实验结果分析,验证了小波变换阈值滤波在光纤陀螺信号处理中的可行性,并验证了针对某型号光纤陀螺静态输出信号,采用长度对数阈值滤波的优越性,对光纤陀螺信号处理具有参考价值。

## 8. 学位论文 [赵华 干涉型光纤陀螺的噪声理论及关键参数测试 2007](#)

光纤陀螺等是基于萨格奈克(Sagnac)效应而制成的角速率传感器,它代表了惯性仪表和元件发展的一个新方向。与传统的机械陀螺相比,它有许多优点:诸如对重力加速度不敏感、启动快、贮存寿命长、无运动部件、可承受强震动和高加速度、动态范围宽、标度因数线性度稳定等。光纤陀螺的这些优点使其非常适合于捷联式惯性导航系统,因此,它在导航、GPS定位等领域具有广泛应用。本文以干涉型光纤陀螺为研究对象,开展了以下几方面的工作:

根据干涉型光纤陀螺系统的实际结构特点,总结出系统的闭环控制为积分控制,由此建立了与实际情况最为接近的动态模型,并对动态系统进行仿真,以验证建模的合理性和可靠性。

影响光纤陀螺性能的噪声很多,诸如角度随机游走、偏置不稳定性、速率随机游走、速率斜坡、量化噪声、马尔科夫噪声以及正弦噪声等。探讨和研究了光纤陀螺所包含的随机噪声种类及其来源和特性,对上述前五种主要随机噪声的特性进行了仿真和分析,侧重于偏置不稳定性噪声的研究。

引入Allan方差分析方法对光纤陀螺的随机噪声进行分析,建立了光纤陀螺的误差模型,通过此误差模型可对光纤陀螺各项随机误差进行分析和评估;结合实际测得的输入输出特性曲线,将各项噪声系数从Allan标准差曲线中分离出来,从而对影响光纤陀螺的五种随机噪声有了更直观的认识。

最后在实验部分,利用901C型单轴陀螺测试转台对一开环干涉型光纤陀螺的两个主要性能指标——标度因数和零偏稳定性进行了系统的测试和数据分析,同时利用光纤陀螺敏感地球自转速率。实验工作对提高陀螺精度的研究有重要参考意义。

## 9. 期刊论文 [李战, 冀邦杰, 国琳娜, 王海陆, 严由嵘, LI Zhan, JI Bang-jie, GUO Lin-na, WANG Hai-lu, YAN You-rong 光纤陀螺零漂信号的Allan方差分析 -鱼雷技术2007, 15\(2\)](#)

介绍了数字光纤陀螺(FOG)零漂实验的设备及环境,在测得特定光纤陀螺静态零漂信号的基础上,运用Allan方差理论对陀螺零漂信号进行定量的分析,得到了光纤陀螺随机游走、零偏不稳定性、速率随机游走、速率斜坡和量化噪声5个误差源系数的大小,通过对各系数大小的分析,确定出该光纤陀螺在使用中有较大影响的误差源为角随机游走和零偏不稳定性系数,为该光纤陀螺进行各种误差补偿提供了理论依据。

## 10. 学位论文 [韩军良 小波分析在光纤陀螺信号处理中的应用 2004](#)

小波分析作为一种最新的时-频分析工具,具有多分辨率分析的特点,在时域和频域都有表征信号局部特征的能力,很适合处理非平稳信号。利用信号和噪声在各尺度下的小波变换系数特性不同的特点,对它们进行分离,从而达到去除噪声恢复信号的目的。光纤陀螺输出信号微弱,背景噪声强。由于噪声的干扰,光纤陀螺输出信号中包含着多种随机误差。该文的研究目的就是运用小波分析去噪的方法来减小陀螺信号中的随机误差,抑制零点漂移。由于可用于去噪的小波母函数是一个集合,在小波去噪的实际应用中采用哪一种小波函数才能得到最好的去噪效果,是该文的一个研究内容。小波去噪的另一个重要问题就是阈值的选取和量化问题,在去噪的过程中如何更有效地进行阈值选取和量化,使得在噪声被去除的同时尽可能的避免有用信号的丢失,是该文研究的另一个内容。该文首先介绍了小波分析的基本理论和小波去噪的原理与方法,利用Allan方差分析方法建立了光纤陀螺的随机误差模型。该文重点研究了小波阈值去噪方法,对不同阈值选取规则、不同阈值量化方式及不同阈值重调方式下小波去噪效果进行了比较和分析,研究了小波消失矩阶数对去噪效果的影响。根据仿真实验结果,得到了最优小波和最优的阈值处理方式,并运用Allan方差方法对原始信号和小波去噪后的随机误差项进行了比较。最后,根据选出的最优小波和最优的阈值处理方式,给出了小波去噪的实时处理算法的程序流程。

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_ydysg200902007.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_ydysg200902007.aspx)

授权使用: 胡乃志(wfhygcdx), 授权号: 10d5a5c8-aab6-47eb-baab-9f060109f239

下载时间: 2011年6月18日