

# 基于Allan方差的MEMS陀螺误差分析\*

张亚宁, 朱 涛, 傅 军

(海军工程大学导航工程系 武汉, 430033)

**摘 要:** 利用Allan方差法对国外一款MEMS陀螺仪进行误差分析, 通过长时间静态数据分析, 对陀螺误差系数进行标定, 验证了Allan方差法用于陀螺误差分析的可行性。

**关键词:** MEMS陀螺; Allan方差; 误差分析

**Abstract:** In this paper, the analysis method of MEMS Gyro error is based on Allan variance by long static data analysis. The main coefficient of gyro error is recognized. This proves the feasibility of the Allan variance method for gyro error analysis.

**Key words:** MEMS Gyro; Allan variance; Error syalysis

**中图分类号:** TP391

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-9227 (2013) 03-0157-02

## 0 引 言

MEMS惯性器件在导航系统中的应用日益受到重视, 但是MEMS陀螺的误差较大, 这些误差随着在导航算法中数据积分的积累, 将会引起较大误差。因此对MEMS陀螺误差的估计和建模变得十分必要。本文通过对国外一款MEMS陀螺STIM-210的输出数据进行长时间采集, 然后利用Allan方差分析法对数据进行处理得到 $\sigma-\tau$ 双对数曲线, 通过对曲线进行分析, 得到其量化噪声、零偏不稳定性、角度随机游走等误差系数。

## 1 Allan方差分析法

Allan方差是20世纪60年代由美国国家标准局David Allan提出的, 它是一种基于时域的分析方法。Allan方差的突出特点是能够非常容易的对各种误差源及对整个噪声统计特性的贡献进行细致的表征和辨识, 而且具有便于计算、易于分离等优点<sup>[1]</sup>。

以采样时间 $\tau_0$ 对陀螺输出角速率进行采样, 共采样N点, 把所获得的N个数据分为K组,  $K=N/M$  每组包含 $M(M \leq (N-1)/2)$ 个采样点, 每一组的持续时间

$$\tau_M = M\tau_0 \quad (1)$$

$\tau_M$ 称为相关时间, 每一组的平均值为:

$$\bar{\omega}_k(M) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \omega_{(k-1)M+i} \quad (k=1, 2, \dots, K) \quad (2)$$

Allan方差计算公式为:

$$\sigma_A^2(\tau_M) = \frac{1}{2(K-1)} \sum_{k=1}^{K-1} (\bar{\omega}_{k+1}(M) - \bar{\omega}_k(M))^2 \quad (3)$$

## 2 MEMS陀螺误差分析

表1列出了MEMS惯性器件的主要随机误差源与Allan方差的关系。测试表明, 在大多数情况下, 不同的噪声项将出现

在不同的域, 这就使辨别各种误差容易工程实现<sup>[2]</sup>。

**表1 Allan方差与常见噪声对应关系**

噪声类型	参数	Allan标准差	单位
量化噪声	Q	$\sigma_Q = \sqrt{3} Q/\tau$	$\mu\text{rad}$
角度随机游走	N	$\sigma_N = N/\sqrt{\tau}$	$^{\circ}/\sqrt{h}$
零偏不稳定性	B	$\sigma_B = B/0.6648$	$^{\circ}/h$
角速率随机游走	K	$\sigma_K = K \sqrt{\tau/3}$	$(^{\circ}/h)/\sqrt{h}$
速度斜坡	R	$\sigma_R = R\tau/\sqrt{2}$	$(^{\circ}/h)/h$

若各噪声源是统计独立的, 则Allan方差可以表示为各项误差的平方和, 假设MEMS陀螺主要存在上述五项误差, 则

$$\sigma_{total}^2(\tau) = \sigma_Q^2(\tau) + \sigma_N^2(\tau) + \sigma_B^2(\tau) + \sigma_K^2(\tau) + \sigma_R^2(\tau) \quad (4)$$

上式可简化为:

$$\sigma_A^2(\tau) = \sigma_{total}^2(\tau) = \sum_{n=1}^5 A_n^2 \tau^n \quad (5)$$

在最小均方意义下, 通过最小二乘法拟合, 可以求出 $A_n$ , 进而求的各项误差系数。各项误差系数和 $A_n$ 的关系如下:

$$\begin{aligned} Q &= A_{-2}/\sqrt{3} \\ N &= A_{-1}/60 \\ B &= A_0/0.6648 \\ K &= 60\sqrt{3} A_1 \\ R &= 3600\sqrt{2} A_2 \end{aligned} \quad (6)$$

## 3 实验设计及分析

本文通过计算机长时间采集陀螺输出, 采样频率设为125Hz, 采样时间为10小时。图1是MEMS陀螺X轴的输出。

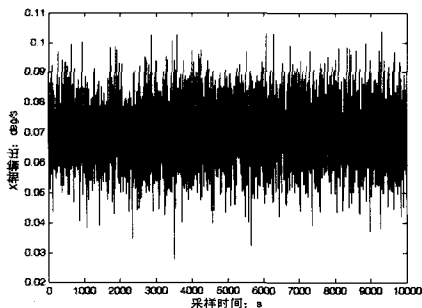


图1 MEMS陀螺采样输出曲线

收稿日期: 2013-03-20

作者简介: 张亚宁 (1988-), 男, 河北保定人, 硕士研究生, 主要研究方向为惯性技术与应用。

\*基金项目: 总装装备预研基金(9140A09050112JB11112)

将采集的数据保存于文本文件 data.txt, 通过 matlab 读取并计算各轴的 Allan 方差, 关键代码如下:

```
load('ascii','data.txt');%读取数据
allan_t=data(:,1); %第一列为时间
x=data(:,2); %第二列为x轴输出
y=data(:,3); %第三列为y轴输出
z=data(:,4); %第四列为z轴输出
n=length(allan_t);
for i=1:n;
m=allan_t(i)
k=(all-mod(all,m))/m;
for j=1:k; %以下为计算allan方差
x_omiga(j)=0;
for mi=1:m;
x_omiga(j)=x_omiga(j)+x((j-1)*(m)+mi);
end;
x_omiga_mean(j)=x_omiga(j)/m;
end;
temp=0;
for ti=1:k-1;
temp=temp+
(x_omiga_mean(ti+1)-x_omiga_mean(ti))^2;
end;
allan(i)=sqrt(temp/2/(k-1)); %allan 标准差
end; %allan 方差计算完毕
loglog(allan_t,allan); %画双对数曲线
```

图2为MEMS陀螺X轴的Allan标准差-相关时间双对数曲线。

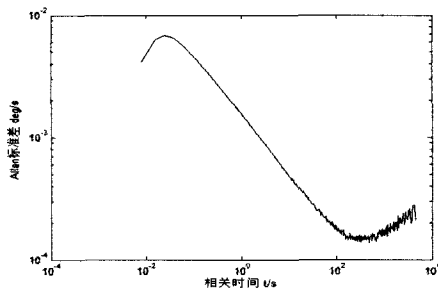


图2 MEMS陀螺Allan方差-时间双对数曲线

在最小均方意义下, 利用 matlab 进行拟合, 关键代码如下:

```
X=allan_t';
Y=allan';
B=zeros(1,2*2+1);
M=2;
F=zeros(length(X),2*M+1);
for i=1:2*M+1
kk=i-M-1;
F(:,i)=X.^kk;
```

```
end
A=F'*F;
B=F'*Y;
C=A^(-1)*B; %C=[A1 A2 A3 A4 A5]
```

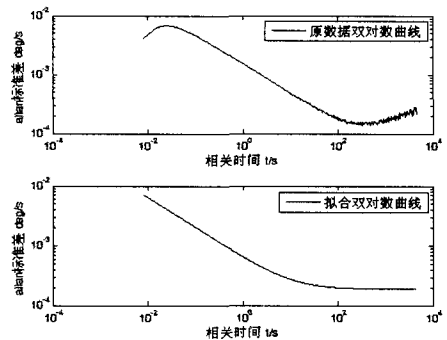


图3 拟合曲线与原曲线对比

拟合曲线如图3所示, 经过拟合得到 $A_n$ , 然后通过公式(6)进行系数变换, 得到各项误差系数如下<sup>[3]</sup>:

$$\begin{aligned} Q &= 0.10366 \mu \text{ rad} \\ N &= 0.39370^\circ / \sqrt{h} \\ B &= 10.58474^\circ / h \\ K &= 0.89649(^\circ/h) / \sqrt{h} \\ R &= 0.00958(^\circ/h) / h \end{aligned}$$

根据拟合结果可知, 量化噪声主要出现在相关时间较小的时刻, 在采样速度较快的系统中(如跟踪系统), 量化噪声会成为主要的噪声源, 需要抑制; 在拟合曲线中, 角度随机游走和零偏不稳定性的拟合较为平滑, 其零偏较大, 用此陀螺构成捷联惯导系统长时间工作会导致较大误差, 在应用过程中应注意误差补偿或者与其他导航系统的组合; 角速率随机游走和速度斜坡出现在相关时间较大时刻, 拟合曲线并不明显, 增加采样时间会得到更精确的拟合系数, 但由此带来的数据处理量增加也必须重视。

## 4 结论

本文利用 Allan 方差法对 MEMS 陀螺 STIM-210 进行分析, 画出 Allan 方差-相关时间双对数曲线, 通过最小二乘拟合得到引起陀螺偏差的五种误差系数, 验证了 Allan 方差法用于陀螺误差分析的可行性。

## 参考文献

- [1] 毛奔, 林玉荣. 惯性器件测试与建模[M]. 哈尔滨工程大学出版社, 2007.
- [2] 张代兵. 一种基于 Allan 方差方法的激光陀螺性能评价方法[J]. 仪器仪表学报, 2004.
- [3] 高宗余, 方建军, 于丽杰. MEMS 传感器随机误差 Allan 方差分析[J]. 仪器仪表学报, 2011.