

高精度定角脉冲产生方法研究

叶明*, 聂宜云

航空工业北京航空精密机械研究所, 北京 100076

摘要: 使用定角测时法进行转台速率精度检测时, 定角脉冲信号是关键信号, 其精度直接影响检测结果。转台现有定角脉冲发生装置未考虑位置误差的影响, 为此提出一种提高定角脉冲精度的方法, 利用位置误差补偿数据对定角脉冲产生的位置进行补偿, 经验证方法可行且有效。此方法无论对转台速率精度测试还是对与定角脉冲相关的其他测试都具有重要意义。

关键词: 定角脉冲; 定角测时; 速率精度; 转台

中图分类号: TP311 文献标识码: A DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2018.12.053

陀螺仪表的测试与标定过程需要转台提供高精度速率基准^[1], 转台的速率精度和速率平稳性指标高低直接影响被测试与标定的陀螺仪标的精度^[2]。定角的角度信号(简称定角脉冲)输出是转台速率性能测试的主要信号, 依据 GJB1801 惯性技术测试设备主要性能试验方法, 转台速率精度的试验方法有两种(定时测角法和定角测时法^[3]), 其中定角测时法需要转台提供定角脉冲, 通过测量定角脉冲之间的时间间隔来标定速率精度和速率平稳性, 可见定角脉冲的精度将直接影响速率检测结果的准确性; 另一方面, 有些惯性器件的测试过程需要转台能够提供高精度的定角度脉冲输出用以同步采集其产品的相关数据, 进而标定其产品的相关性能。由此可见, 提高定角脉冲产生精度无论对转台自身的性能测试还是对与定角脉冲相关的其他测试都具有重要意义。

1 原有定角脉冲产生原理

常用的角位移传感器有感应同步器^[4]和码盘。在基于感应同步器的测角系统中, 使用鉴幅方式^[5]不便于设计定角脉冲电路, 使用鉴相方式^[6]可以产生较高精度定角脉冲^[7], 但随着码盘技术的提升和成本的下降, 使得码盘成为主流的角位置传感器。基于码盘的定角脉冲生成主要有两种方式: 一种方式是按指定角度间隔换算出码盘计数值, 通过专用计数模块对走过角度进行计数, 当计数值达到指定值时, 硬件模块立即产生定角脉冲输出, 这种实现方式主要应

用于以增量式码盘为角位置传感器的转台系统中, 原理框图如图 1 所示。

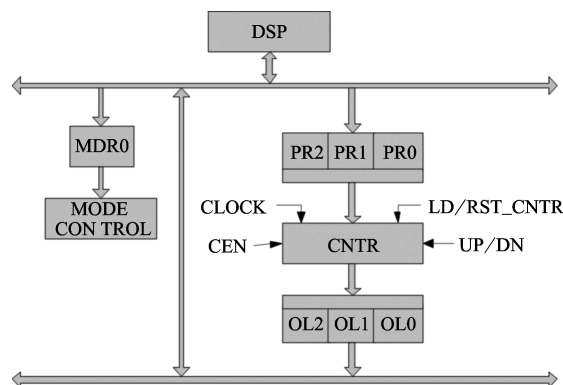


图 1 原有定角脉冲产生方式原理框图

Fig.1 The schematic block diagram of the original angle pulse generation

码盘的 AB 信号接入 LS7566 的相应通道, 工作在正交 X4 计数、模 N 方式 (N 的大小可以任意设置, 如需要每 10° 产生一个定角脉冲, $N=10^\circ$ 对应的 count 数), 用来产生定角度脉冲, 定角度脉冲在相应通道的 FLGa 上输出。配置 FLGa 在“比较”及“借位”上均产生标志脉冲, 以满足正/负两个方向上产生定角度脉冲。FLGa 方式设置为锁存方式, 产生一个定角脉冲, FLGa 由高电平跳变到低电平并锁存在低电平, 当清除“比较”及“借位”标志后, FLGa 由低电平变到高电平, 允许下次脉冲产生。

另一种方式是在定时中断中依据当前角度实时解算

收稿日期: 2018-10-24; 退修日期: 2018-11-09; 录用日期: 2018-11-25

* 通信作者. Tel.: 18810240749 E-mail: gnimye@163.com

引用格式: Ye Ming, Nie Yiyun. Research on the method of high precision angle pulse generation[J]. Aeronautical Science & Technology, 2018, 29 (12): 53-56. 叶明, 聂宜云. 高精度定角脉冲产生方法研究[J]. 航空科学技术, 2018, 29 (12): 53-56.

产生定角脉冲,需要额外的硬件模块支持。具体算法是在定时中断中检测当前角度,当角度未达到需要发脉冲的指定角度,而在下一个定时中断将超过需要发脉冲的指定角度时,计算角度差值和当前速率,解算出延迟发送脉冲的时间,设置延迟发送脉冲硬件模块,延迟输出脉冲。这种实现方式主要应用于以绝对式码盘为角位置传感器的转台系统中。

以上两种基于码盘的定角脉冲实现方法均未考虑位置精度误差因素,产生的定角脉冲存在一定的误差。

2 高精度定角脉冲产生原理

为进一步提高定角脉冲的精度,根据现有技术中的不足,对定角脉冲的生成算法进行了改进,消除位置误差对定角脉冲精度的影响,原理框图如图2所示。

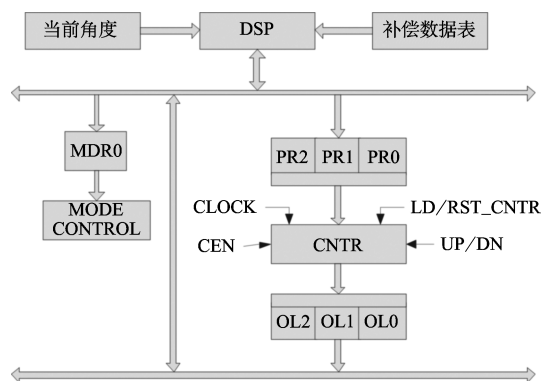


图2 定角脉冲产生的改进算法原理框图

Fig.2 The schematic block diagram of the angle pulse generation with the modified algorithm

DSP 精密运动控制器采用 TI 公司的 TMS320C32 芯片作为主控制器,完成数据处理功能,采用 LS7566 芯片对码盘脉冲进行计数^[8]和产生定角脉冲,两者之间通过 DSP 的总线完成数据通信^[9]。采用 IDT7006 双端口 RAM 芯片实现 DSP 精密运动控制器与工控机的通信。与现有定角脉冲产生方式不同的是,算法中增加了两个输入模块,其中,当前角度模块实现当前角度的实时读取,补偿数据表模块存放角度位置误差补偿数据,补偿数据通过谐波分析的方法确定,将圆周 360° 均分为 36000 个补偿点,即每个补偿步距为 0.1°。

DSP 精密运动控制器收到定角脉冲启动命令后,将命令解析并提取出定角度间隔参数值,记录当前角度值,标记为角度 1 (如图 3 所示),依据定角脉冲间隔值求出下一期望产生定角脉冲的角度值,标记为角度 2 (如图 3 所示),在

补偿表中查找角度 1 和角度 2 各自的左右相邻角补偿值,经一阶线性插补算法^[10]解算出角度 1 和角度 2 的误差修正值,通过两个角度误差修正值求出下一个定角脉冲产生位置需要走过的修正后的角度计数值,标记为定角间隔修正计数值,将此值写入计数模块 LS7566 的 PR 寄存器,当计数模块计数达到定角间隔修正计数值时产生定角脉冲输出。

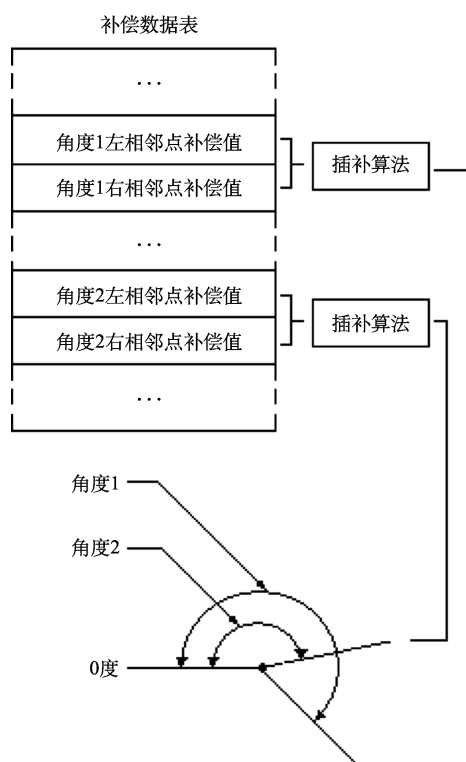


图3 补偿算法示意图

Fig.3 Compensation algorithm schematic

3 试验验证

将此定角脉冲产生方法应用在 920E 型单轴位置速率转台上,进行了 0.1 (°)/s, 0.5 (°)/s, 1.0 (°)/s, 5.0 (°)/s, 50.0 (°)/s 速率精度测试,测试结果见表 1,绘制曲线如图 4 所示。

按国军标 GJB1801 要求,速率 $V < 1 (°)/s$ 使用 1° 定角脉冲, $1 (°)/s \leq V < 10 (°)/s$ 使用 10° 定角脉冲, $V \geq 10 (°)/s$ 使用 360° 定角脉冲。经过对测试数据的分析,在 50 (°)/s 速率精度测试时,两种算法的测试结果相近,这是因为该速率点使用 360° 定角脉冲,两种算法都不受系统综合位置误差影响,而在其他非整圈定角脉冲的测试中,都得到了较好的效果。

表 1 速率精度测试数据
Table 1 Test data of rate accuracy

速率 / ($^{\circ}$) /s)	速率精度 (原算法测 10 次)	速率精度 (新算法测 10 次)
0.1	3.5E-05, 5.7E-05 6.5E-05, 2.5E-05 1.1E-05, 5.0E-05 8.1E-05, 7.4E-05 6.8E-05, 5.4E-05	5.0E-06, 6.5E-06 1.8E-06, 2.6E-06 7.9E-06, 1.1E-06 1.0E-05, 4.8E-06 6.0E-06, 5.3E-06
0.5	1.5E-06, 6.4E-05 8.0E-05, 4.0E-05 4.2E-06, 5.4E-05 9.6E-05, 9.0E-05 2.0E-05, 3.5E-05	1.0E-05, 2.4E-06 9.6E-06, 8.3E-06 7.0E-08, 8.2E-06 1.1E-05, 2.5E-06 5.2E-06, 7.3E-06
1.0	2.5E-05, 5.8E-06 2.3E-05, 2.8E-05 1.8E-05, 5.0E-05 3.5E-05, 1.8E-05 2.4E-05, 2.5E-05	3.1E-07, 2.0E-06 3.5E-07, 3.2E-07 2.1E-06, 5.3E-07 8.0E-07, 1.2E-06 2.1E-07, 1.1E-06
5.0	4.0E-05, 9.0E-07 3.1E-05, 1.1E-05 3.9E-05, 3.7E-05 1.7E-05, 4.2E-05 2.0E-07, 3.7E-05	8.0E-07, 6.8E-07 1.9E-06, 8.3E-06 1.0E-05, 4.9E-06 3.6E-07, 2.1E-06 2.3E-06, 8.1E-07
50.0	3.4E-08, 4.9E-08 2.6E-08, 1.9E-08 2.3E-08, 1.9E-08 5.0E-08, 5.7E-08 2.2E-08, 2.7E-08	6.9E-09, 4.7E-08 1.4E-08, 8.8E-08 4.0E-08, 4.0E-08 3.4E-08, 1.3E-08 3.8E-08, 3.3E-08

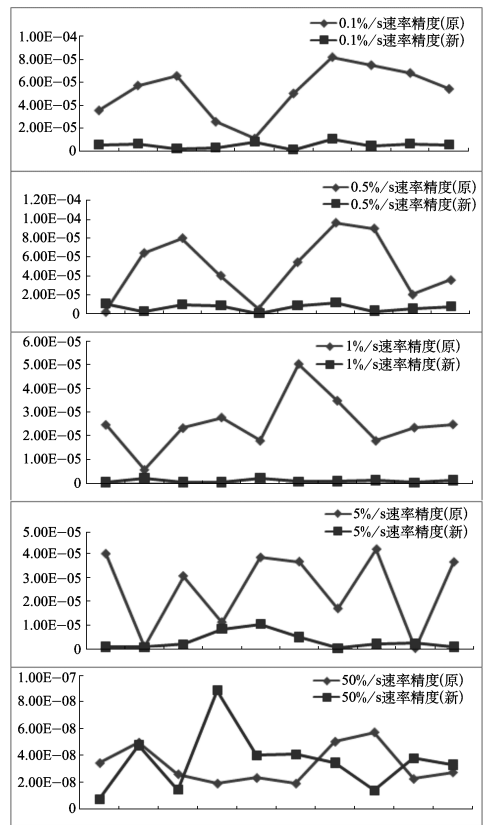


图 4 速率精度对比
Fig.4 Comparison of rate accuracy

4 结论

本文论述的采用对定角度间隔按绝对角度进行误差补偿的方法,由硬件计数并产生定角脉冲,消除了系统综合位置误差对定角脉冲精度的影响,提高了定角脉冲精度,在转台的角速率精度检测以及与定角脉冲相关的其他测试方面都具有重要意义。

AST

参考文献

[1] 杨亚非,张翔.带有惯性敏感元件的新型陀螺测试转台系统建模[J].中国惯性技术学报,2013,21(6):834-839.
Yang Yafei, Zhang Xiang. System modeling for new type of gyro-test turntable with inertial sensors[J].Journal of Chinese Inertial Technology, 2013, 21 (6): 834-839. (in Chinese)

[2] 刘樾,李亚军.惯导测试与运动仿真技术的特点与发展[J].航空精密制造技术,2008,44(6):1-6.
Liu Yue, Li Yajun. Development of inertial guidance test and motion simulation technology[J].Aviation Precision Manufacturing Technology, 2008, 44 (6): 1-6. (in Chinese)

[3] 沈宗廉,张丽珠,虞家云,等. GJB1801—1993 惯性技术测试设备主要性能试验方法[S].北京:国防科工委军标出版发行部,1994.
Shen Zonglian, Zhang Lizhu, Yu Jiayun, et al. GJB1801—1993 Testing methods of major performance for test equipments of inertial technology[S].Beijing: State Commission of Science and Technology for National Defense Industry Military Standard Press, 1994. (in Chinese)

[4] 陆永平,岑文远.感应同步器及其系统[M].北京:国防工业出版社,1985.
Lu Yongping, Cen Wenyuan. Induction synchronizer and its system[M].Beijing: National Defence Industry Press, 1985. (in Chinese)

[5] 秦宝艳.一种新的测角电路的设计与实现[C]//中国惯性学会测试专业委员会第十次学术交流会,2007.
Qin Baoyan. A new measure-angular design[C]// Tenth Meeting of Academic Community Exchange of Chinese Inertial Technology Testing Committee, 2007. (in Chinese)

[6] 姜复兴,庞志成.惯导测试设备原理与设计[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1998.
Jiang Fuxing, Pang Zhicheng. Principle and design of inertial navigation test equipment[M].Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 1998. (in Chinese)

- [7] 陈杰. 速率检测中新型定角脉冲产生电路[J]. 航空精密制造技术, 2008 (3): 29-32.
Chen Jie. A new incremental pulse generate circuit[J]. Aviation Precision Manufacturing Technology, 2008 (3): 29-32. (in Chinese)
- [8] LSI/CSI. LS7566 24-bit four-axes quadrature counter[EB/OL]. 2005. <http://mhtml.alldatasheet.com/html-pdf/184490/LSI/LS7566/53/1/LS7566.html?lang=en>.
- [9] TI.TMS320C32 digital signal processor SPRS027C[EB/OL]. 1995. <http://mhtml.alldatasheet.com/html-pdf/29037/TI/TMS320C32/23/1/TMS320C32.html?lang=en>.
- [10] 叶明, 陈杰, 李建平. 一种基于 DSP 的嵌入式测角系统的设计与实现 [C]// 中国惯性技术学会第七届学术年会, 2015.
Ye Ming, Chen Jie, Li Jianping. A design and realization of embedded angular measure system based on DSP[C]//The 7th Academic annual Conference of Chinese Society of Inertial Technology, 2015. (in Chinese)

作者简介

叶明 (1978-) 男, 学士, 高级工程师。主要研究方向: 惯导测试与运动仿真设备研究。

Tel: 18810240749

E-mail: gnimye@163.com

Research on the Method of High Precision Angle Pulse Generation

Ye Ming*, Nie Yiyun

AVIC Beijing Precision Engineering Institute, Beijing 100076, China

Abstract: The angle pulse is the most important signal when using the method of “fixed angle measuring time” for rate accuracy testing. The existing angle pulse generator of the turntable does not take into account the factor of angle accuracy. In view of this, the paper describes a new method of improving the angle pulse precision with the compensation datas. Empirical evidence, the method is feasible and effective.

Key Words: angle pulse; fixed angle measuring time; rate accuracy; turntable

Received: 2018-10-24; Revised: 2018-11-09; Accepted: 2018-11-25

*Corresponding author. Tel.: 18810240749 E-mail: gnimye@163.com