

文章编号: 1001-3806(2010)05-0673-03

基于 RLS 算法实现激光陀螺抖动信号剔除

张庆华, 樊振方*

(国防科学技术大学 光电学院, 长沙 410073)

摘要: 为了减小陀螺输出数据的时延, 以满足机械抖动激光陀螺在快速跟踪中的应用, 基于递归最小二乘(RLS)自适应滤波技术实现了激光陀螺抖动信号的剔除。首先对 RLS 自适应消除抖动算法进行了理论分析, 其次通过通用串行总线接口将 A/D 采集的抖动反馈信号和激光陀螺计数脉冲信号传至上位机, 最后基于 MATLAB 编写了 RLS 自适应程序, 实现了激光陀螺抖动信号的剔除。剔除后的陀螺信号再经过 11 阶的有限脉冲响应滤波器和陀螺输出直接经过 31 阶的滤波器剩余的脉冲数基本相当, 而时间延迟却明显减小。结果表明, 该算法具有较快的收敛速度且能够有效去除激光陀螺计数脉冲中的抖动成分。

关键词: 激光技术; 激光陀螺; 最小二乘自适应滤波; 抖动剔除

中图分类号: TN249; V241.5 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2010.05.026

Dither signal removal of ring laser gyro based on RLS

ZHANG Qing-hua, FAN Zhen-fang

(School of Photoelectrical Science & Technology, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: In order to reduce the data delay in the ring laser gyro (RLG) and adopt it in the fast tracking application, the small delay dither signal removal method was proposed based on recursive least-squares (RLS) adaptive filter. Firstly, the theory of RLS adaptive noise cancelling was described. Secondly, the hardware was designed through which the dither feedback signal after A/D transfer and RLG readout signal could be sent to computer via universal serial bus interface. Finally, the RLS adaptive software was programmed to remove the dither signal based on MATLAB. The residual count of deprived signal filtered by an 11-order finite impulse response (FIR) filter is corresponding with that of original RLG readout signal filtered by a 31-order FIR filter, but the latency is smaller. Experiments show this algorithm has a faster convergence speed and the dither signal can be removed effectively.

Key words: laser technique; laser gyro; recursive least-squares adaptive filter; dither signal removal

引言

机械抖动激光陀螺 (ring laser gyro, RLG) 是目前普遍使用的一种激光陀螺, 它通过人为地引入机械交变角速度使激光陀螺大部分时间工作在陀螺闭锁区之外。由于机械抖动角速率的加入, 陀螺输出中不仅包含了外界惯性输入角速度信息, 也包含了机械抖动的信息。必须把陀螺输出中的抖动信息去除, 即对输出进行解调。目前普遍使用的一种抖动解调方案是滤波法, 在大多数使用中都比较成功, 但是, 由于这种解调方法使陀螺输出信号存在较大的时延, 限制了机械抖动激光陀螺在快速跟踪中的应用。作者基于自适应消除技术实现了抖动信号的剔除, 以减小陀螺输出数据的时延。对抖动剔除技术的研究, 国外始于 20 世纪 80 年代^[1-5], 现已获得应

用; 国内学者^[6]对基于自适应滤波算法实现抖动剔除的理论进行了分析, ZHANG 等人^[7]基于相关滤波技术实现了抖动信号的剔除, 该算法需要抖动反馈信号及其正交信号, 增加了硬件电路的复杂性。作者基于递归最小二乘 (recursive least-squares, RLS) 自适应消除算法实现了激光陀螺抖动信号的剔除。

1 理论分析

陀螺经光电对管输出信号经低噪声放大和整形电路后进行鉴相、计数, 输出脉冲信号可表示为:

$$N = B \sin(\omega t + \varphi) + K \int \Omega dt + \varepsilon(t) = N_a + N_b + \varepsilon(t) \quad (1)$$

式中, $N_a = B \sin(\omega t + \varphi)$ 为陀螺敏感到的由抖动成分引起的角位移, 即为陀螺计数输出中的抖动误差信号, ω 为其角频率, B 为其幅度, φ 为其相位; $\varepsilon(t)$ 为激光陀螺的随机输出, 主要是由于抖动幅度的随机变化和陀螺本身的随机噪声、漂移引起的脉冲数; $N_b = K \int \Omega dt$ 即为所要求的载体转动的角度量。

作者简介: 张庆华 (1979-), 女, 博士研究生, 主要从事激光陀螺电子学方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: Xwlong110@sina.com

收稿日期: 2009-08-28; 收到修改稿日期: 2009-12-02

经传感器反馈并经过放大电路拾取得的抖动信号可以表示为:

$$a = \Omega \sin(\omega t + \phi) \quad (2)$$

式中, Ω 为抖动反馈信号幅度, ϕ 为其相位。由于温度变化和老化等因素^[8], 抖动反馈信号的相位 ϕ 和幅度 Ω 都会发生一定的变化, 这种变化具有不确定性, 很难用确定的量进行描述, 采用自适应滤波器能够很好地跟踪这一变化, 达到相位与幅度的实时调整。

采用 2 阶 RLS 自适应滤波器^[9-10] 实现激光陀螺抖动信号剔除的结构如图 1 所示。

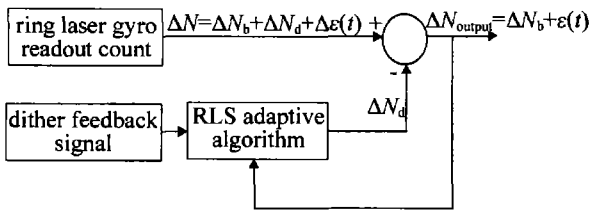


Fig. 1 The structure of adaptive filter

图中:

$$\Delta N_d = w_1(n-1)\Delta a(n) + w_2(n-1) \times \Delta a(n-1) \quad (3)$$

式中, $w_1(n-1), w_2(n-1)$ 为 $n-1$ 采样时刻的两个权系数, $\Delta a(n), \Delta a(n-1)$ 分别为第 n 次和 $n-1$ 次采样得到的抖动反馈信号。采用 RLS 算法权系数的更新公式为:

$$w(n) = w(n-1) + K(n)\eta(n) \quad (4)$$

$$K(n) = \frac{P(n-1)a(n)}{\lambda + a^T(n)P(n-1)a(n)} \quad (5)$$

$$P(n) = \lambda^{-1}P(n-1) - \lambda^{-1}K(n)a^T(n)P(n-1) \quad (6)$$

$$\eta(n) = \Delta N(n) - a^T(n)w(n-1) \quad (7)$$

式中, $w(n) = [w_1(n), w_2(n)]$ 为权向量, $a(n) = [\Delta a(n), \Delta a(n-1)]^T$, T 为矩阵转置符号, $K(n)$ 为增益矢量, $P(n)$ 为自相关矩阵的逆矩阵, $\eta(n)$ 为误差估计。 λ 为加权因子(又称遗忘因子), 以赋予老数据与新数据不同的权值, 使得自适应滤波器具有对输入过程特性变化的快速反应能力, $0 < \lambda < 1$ 。

2 实验及结果分析

系统中用 A/D 采样获得抖动反馈信号, A/D 取样存在着量化误差, 为尽量减小 A/D 取样对抖动剔除效果的影响, 本设计中选用了 TI 公司 16 位高速串口 SPI 通信 AD 芯片 ADS8344。陀螺光电对管输出的两路 A, B 正弦信号经低噪声前置放大和整形电路后得到两路逻辑门电路电平的方波信号 A 和 B, 基于可编程逻辑芯片(field-programmable gate array, FPGA) 实现了鉴相和计数。计数脉冲信号和 AD 采集量由 FPGA 内置软核通过 USB 接口芯片传输至上位机, 硬件结构框图如图 2 所示。上位机

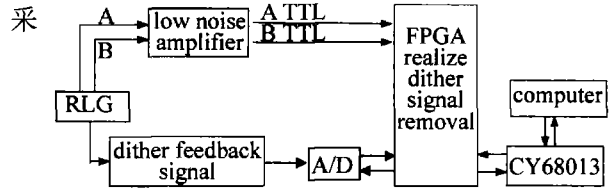


Fig. 2 The hardware of dither signal removal

用 VC++ 编写了数据接收程序, 将通过 USB 口接收到的数据存储在硬盘, 便于后续处理。

用所设计的系统对某一频率为 350Hz 的激光陀螺在静态条件下进行了测试, 采样频率为 2.5kHz, 陀螺计数脉冲信号的功率谱密度如图 3 所示, 可以看出

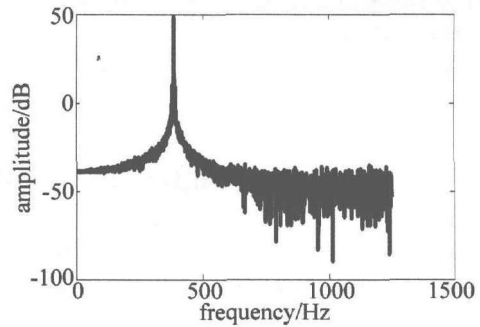


Fig. 3 The initial magnitude/frequency diagram of RLG

陀螺计数输出中含有很强的抖动成分, 完全淹没了地球自转引起的角速度分量。为了测得该微小量, 必须先消除抖动偏频信号的影响, 即对陀螺输出信号进行解调。

在 MATLAB 中编程实现 RLS 算法实现了自适应抖动剔除。取 $\lambda = 0.8$, 经自适应对消程序计算的两个权系数 w_1 和 w_2 的自学习曲线如图 4 和图 5 所示, 可见系统仅需要几十毫秒就可以达到稳态。

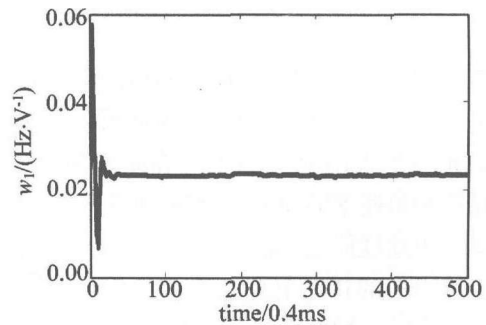


Fig. 4 The variation trend of w_1

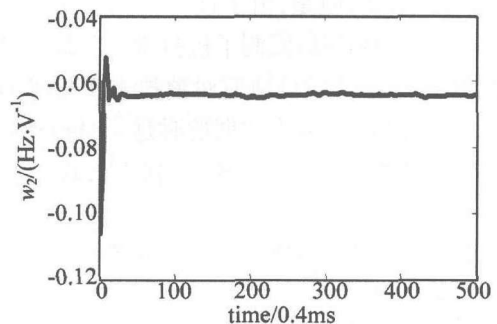


Fig. 5 The variation trend of w_2

陀螺原始计数脉冲信号和抖动反馈信号(A/D 采

样值)如图6所示,可以明显看出二者在幅度和相位上的差异。抖动反馈信号经过 RLS 自适应算法后得到的陀螺原始脉冲中抖动信号的估计值和陀螺原始计数脉冲信号如图7所示,因此,经自适应算法所得到的估计量经过几个抖动周期后,其幅度和相位已经和陀螺脉冲信号趋于一致,就可以通过相减的方法将其从陀螺输出脉冲中除去了。

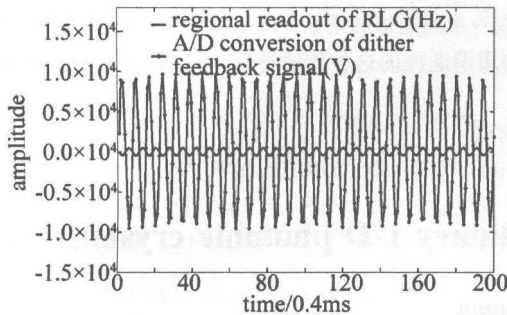


Fig. 6 The original readout count of RLG and dither feedback signal sampled in phase

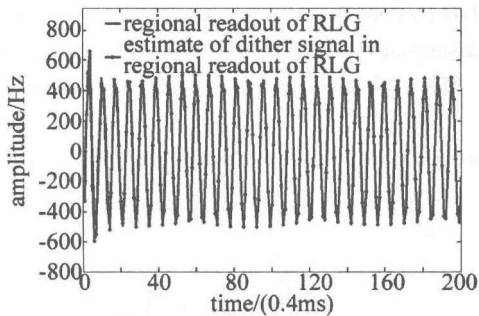


Fig. 7 The original readout count of RLG and the estimate dither signal in it

RLS 自适应算法只能对陀螺原始输出脉冲中的抖动信号进行抑制,对抖动以外的其它噪声无能为力,还需要后续的低通滤波器除去其它高频噪声。图8是陀螺计数信号经过自适应消除抖动后的脉冲信号再经过11阶的FIR低通滤波器后剩余的脉冲数。图9是陀螺输出直接经过31阶的FIR低通滤波器的输出。

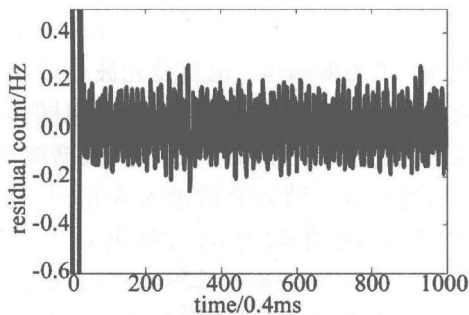


Fig. 8 The result of deprived signal filtered by an 11-order FIR filter

根据FIR滤波器引起的时延为 $\frac{N-1}{2f_s}$, N 为FIR滤波器

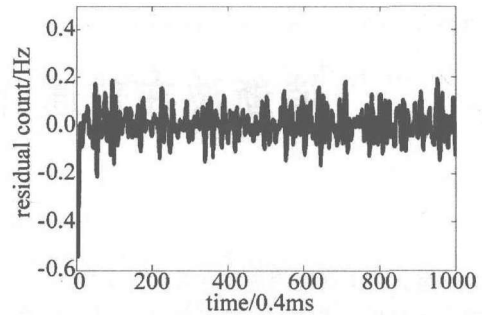


Fig. 9 The result of original readout signal filtered by a 31-order FIR filter

3 结论

基于递归最小二乘自适应算法实现了激光陀螺抖动信号的实时剔除,实验结果表明,该算法能有效去除激光陀螺的抖动信号,算法具有较快的收敛速度。剔除后的陀螺信号经过阶数较低的FIR滤波器即可取得非常好的输出结果,同时输出延迟很小。由于陀螺输出信号的时延较小,拓展了机抖激光陀螺的应用范围。

参考文献

- [1] DOHENY D A, KOLLIG J L. Dither stripper having least-mean-squares adaptive updating of dither stripper gains: U S, 7440109 B1 [P]. 2008-10-21.
- [2] MARIO B I. Dither signal removal for a dithered ring laser gyro: U S, 5048963 [P]. 1991-09-17.
- [3] KILLPATRICK J E. Dither stripper with non-linearity correction: U S, 0201851 [P]. 2004-10-28.
- [4] CALLAGHAN S P, KILLPATRICK J E. Dither signal remover for a dithered ring laser angular rate sensor: U S, 4826320 [P]. 1989-05-02.
- [5] LJUNG BO H G, SCHRODER G F. Ring laser gyro dither pulse eliminator: U S, 4344706 [P]. 1982-08-17.
- [6] XIE Y P, ZHANG G F. Dither signal remover for a dithered ring laser gyroscope utilizing adaptive noise canceling [J]. Laser Application, 2000, 20(3): 121-123 (in Chinese).
- [7] ZHANG Q H, XIE Y P. Dither signal removal of ring laser gyro based on correlate filter [J]. Journal of Transducer, 2009, 22(9): 121-123 (in Chinese).
- [8] ZHANG P F, LONG X W. Research of the relation between dither frequency and temperature in mechanically dithered ring laser gyro [J]. Laser Technology, 2006, 30(5): 523-525 (in Chinese).
- [9] HE Zh Y. Adaptive signal processor [M]. Beijing: Science Press, 2002: 15-20 (in Chinese).
- [10] HAYKIN S. Adaptive filter theory [M]. 4th ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002: 347-350 (in Chinese).