

文章编号: 0258-7025(2009)Supplement 2-0287-05

# 相位生成载波数字解调中“环境漂移”的积分效应及解决方案

王 琢<sup>1,2</sup> 曹家年<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 哈尔滨工程大学信息与通信工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

<sup>2</sup> 东北林业大学, 黑龙江 哈尔滨 150040

**摘要** 受环境因素的影响,干涉型光纤传感器相位将产生“环境漂移”。在相位生成载波(PGC)数字解调方案中,此漂移在通过积分环节时随积分时间的增长逐步增大,当增大到一定程度后,将导致数据寄存器溢出,致使数字解调系统复位,导致解调结果出现部分信号的消息。针对此种“环境漂移”的积分效应,利用“环境漂移”的低频特性,提出低通滤波(LPF)消除法,同时给出了相应的解决方案。实验结果表明,采用此方法有效地解决了“环境漂移”的积分效应。

**关键词** 光学器件;光纤干涉仪;相位生成载波;积分;低通滤波

中图分类号 TP212 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL200936s2.0287

## Integral Effects and Solution of the “Environment-Drifting” in the Phase Generation Carrier Digital Demodulation

Wang Zhuo<sup>1,2</sup> Cao Jianian<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> College of Information and Communication Engineering, Harbin Engineering University, Harbin, Heilongjiang 150001, China  
<sup>2</sup> Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040, China)

**Abstract** The “environment-drifting” caused by the environmental factors will happen to the work point of an interferometric fiber optic sensors. In the phase generation carrier (PGC) digital demodulation process, when the drifting gets through the integral link, it increases with the growth of time; the large enough drifting will lead to register's overflowing and the reset of the digital demodulation system, and the last part of the signals of the demodulation result will be hidden. Focusing on the integral effects and using the low-frequency characteristic, a method of low-pass filtering (LPF) elimination is put forward, and the relevant solution is given. The experiment result shows that the method settles the integral effects of environment drifting well.

**Key words** optical devices; fiber interferometer; phase generation carrier; integral; low-pass filtering

## 1 引言

光纤传感器凭借其具有灵敏度高、动态范围大、检测频带宽、结构设计灵活、耐高压高温、抗电磁干扰、抗腐蚀性强等诸多优点,越来越得到广泛的应用。在各类光纤传感器中,干涉型光纤传感器是重要的研究方向之一<sup>[1~3]</sup>。在干涉型光纤传感器的实

验过程中发现外界环境变化(主要是待测环境的温度变化)对光纤干涉仪相位存在缓慢的影响,称之为“环境漂移”。在相位生成载波(PGC)数字解调方案中,此种“环境漂移”在通过积分环节时,随着积分时间的增长逐步增大,当增大到一定程度后,将导致数据寄存器溢出,致使数字解调系统复位,最终使解调

**作者简介:** 王 琢(1979—),男,讲师,博士研究生,主要从事光纤通信、光纤传感器等方面的研究。

E-mail: wangzhuo@nefu.edu.cn

**导师简介:** 曹家年(1948—),男,研究员,博士生导师,主要从事光纤通信、光纤传感器等方面的研究。

结果出现部分信号的消隐。本文采用虚拟仪器技术分析上述现象,并根据“环境漂移”的低频特性提出低通滤波消除法,同时给出了相应的解决方案。实验结果表明,采用此方法有效地解决了“环境漂移”的积分效应。

## 2 PGC 解调原理

干涉仪的输出端接光电转换器,转换后的电信号再送入 PGC 检测电路进行处理。干涉仪输出的光强可表示为

$$I = A + B\cos[C\cos\omega_c t + \phi(t)], \quad (1)$$

式中  $\phi(t)$  是由待测信号与环境因素共同引起的相位漂移,设待测信号频率为  $\omega_s$ , 则可表示为

$$\phi(t) = D\cos\omega_s t + \varphi(t),$$

式中  $D$  为待测信号幅度,  $\varphi(t)$  为由环境因素引起的缓慢相位变化,即“环境漂移”。常数  $A$  和  $B$  与输入的光强成正比,且  $B = \kappa A$ ,  $\kappa \leq 1$  为干涉条纹可见度。 $C$  和  $\omega_c$  分别为载波信号幅度和载波信号角频率。

针对以上所述的光纤干涉信号,采用图 1 所示 PGC 解调系统原理。由图 1 可知,将幅度分别为  $G, H$ , 角频率分别为  $\omega_c$  和  $2\omega_c$  的信号分别与干涉仪的输出信号进行混频,然后通过低通滤波器得到的结果分别为

$$-BGJ_1(C)\sin\phi(t) \text{ 和 } -BHJ_2(C)\cos\phi(t).$$

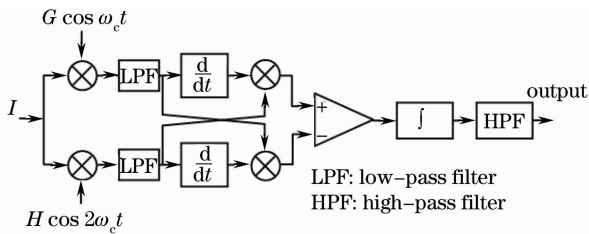


图 1 PGC 检测原理框图

Fig. 1 Block diagram of PGC detection principle

接着,采用微分交叉相乘(DCM)技术,分别得到

$$-B^2GHJ_1(C)J_2(C)\sin^2\phi(t)\phi'(t),$$

$$B^2GHJ_1(C)J_2(C)\cos^2\phi(t)\phi'(t).$$

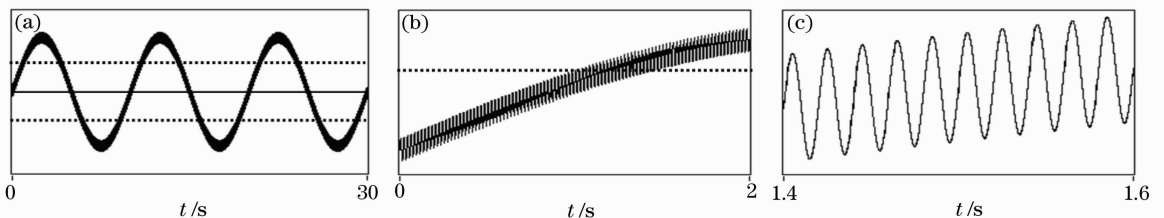


图 2 “环境漂移”的积分效应。(a) 0~30 s; (b) 0~2 s; (c) 1.4~1.6 s

Fig. 2 Integral effects of “environment drifting”. (a) 0~30 s; (b) 0~2 s; (c) 1.4~1.6 s

之后,两路信号经差分放大器进行差分运算可得

$$S_1 = B^2GHJ_1(C)J_2(C)\phi'(t), \quad (2)$$

再经过积分运算得到

$$S_2 = B^2GHJ_1(C)J_2(C)\phi(t), \quad (3)$$

将  $\phi(t) = D\cos\omega_s t + \varphi(t)$  代入,得到

$$S_2 = B^2GHJ_1(C)J_2(C)[D\cos\omega_s t + \varphi(t)], \quad (4)$$

(4)式包含了待检测信号的信息(幅度、频率)以及外部环境所造成的相位扰动项(又称为噪声项),后者通常情况下是缓变信号,在某些情况下可以通过高通滤波器滤去噪声项,就得到了待测的信号,系统最后的输出为

$$S_3 = DB^2GHJ_1(C)J_2(C)\cos\omega_s t. \quad (5)$$

## 3 “环境漂移”的积分效应

由上面的分析可以看出,理论上由(2)式通过积分环节得到(3)式,式中

$$\phi(t) = D\cos\omega_s t + \varphi(t),$$

将  $\phi(t) = D\cos\omega_s t + \varphi(t)$  代入到(2)式中,得到

$$S_1 = -B^2DGHJ_1(C)J_2(C)\omega_s \sin\omega_s t + B^2GHJ_1(C)J_2(C)\varphi'(t), \quad (6)$$

理论上此信号通过积分后得到(3)式。

但是,由于  $\varphi(t)$  是一种由环境因素引起的缓慢变化,这种慢变化将导致待测信号在通过积分环节的过程中将随着积分时间逐步增大,如图 2 所示,此时待测信号  $D\cos\omega_s t$  将叠加在“环境漂移”上导致积分结果  $\phi(t) = D\cos\omega_s t + \varphi(t)$  大于系统的存储上限。实验中,以光纤加速度计为例,待测信号为 50 Hz,“环境漂移”为 0.1 Hz 的正弦型漂移。

在图 2 中以虚线表示数字解调系统的数据存储空间的上限值,可以看出由于“环境漂移”因素的存在,当数据达到存储的极限(即虚线位置),将导致信号通过积分环节之后数据溢出,以致系统复位,产生如图 3 所示的情况。

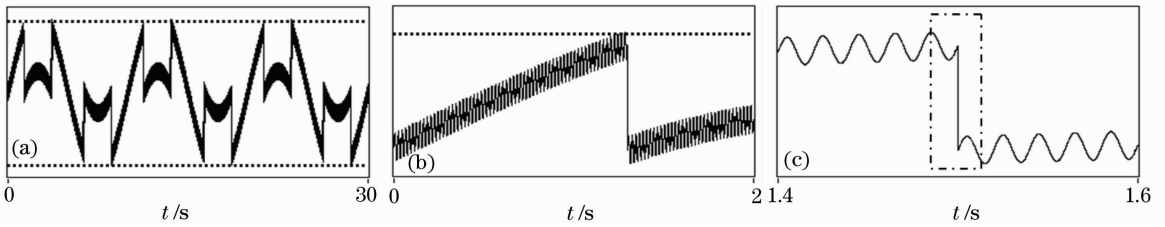


图 3 溢出复位波形。(a) 0~30 s; (b) 0~2 s; (c) 1.4~1.6 s

Fig. 3 Reset waveform after overflow. (a) 0~30 s; (b) 0~2 s; (c) 1.4~1.6 s

## 4 解决方案

从上面的分析可以看到“环境漂移”的积分效应对于 PGC 数字解调将有很大的影响,尤其对于瞬发信号的测量系统,积分效应将导致信号消隐以致于使系统产生漏测。针对这种效应,提出 3 种解决方案。

### 4.1 方案 1:增大数据存储空间

由前面的分析可知,造成这种积分效应的原因是由于数据的溢出,可以很自然地想到一种最为直接的解决方案,即增大数据存储空间。在实验的过程中采用如图 4 所示的以计算机为主的虚拟仪器解决方案。

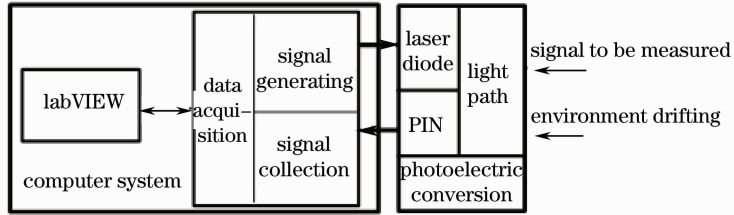


图 4 虚拟仪器测试平台结构

Fig. 4 Virtual instruments test terrace

利用计算机的高存储空间及运算能力,可以保证数据存储空间满足要求,数据不会溢出。在干涉型加速度计测试实验中,选取漂移为 8 rad,0.1 Hz,此时积分效应已经导致部分数据值很大,但是数据仍然不会溢出,表明利用以计算机为主的虚拟仪器技术,可以有效地解决“环境漂移”的积分效应。但是虚拟仪器的信号处理方式是:采集-存储-处理的结构,当处理结构比较复杂因而运算量比较大的情况下,计算所显示的信号与实际信号之间存在一定的延时,延时的大小主要受计算机数据运算能力的影响<sup>[4]</sup>。在光纤加速度计实验中受计算机处理能力的限制,系统处理时间比较长,造成测量结果与待测信号之间存在一定的延时,系统的实时性差。

### 4.2 方案 2:高通滤波法

结合图 1 PGC 检测原理框图,在两路信号在差分之后,得到

$$S_1 = -B^2 DGH J_1(C) J_2(C) \omega_s \sin \omega_s t + B^2 GH J_1(C) J_2(C) \varphi'(t).$$

可以看到此信号由待测信号和漂移信号的导数组成。信号求导过程不会改变信号的频率成分,由于“环境漂移”属于慢变化,在频域上与待测信号可

以区分开,由此,设想在信号进入积分器之前利用滤波器将待测信号与漂移信号区分开。将图 1 中的积分器与高通滤波器的位置互调,在信号进入到积分器之前,利用高通滤波器滤除掉漂移信号,能够有效地去掉漂移信号,解决“环境漂移”的积分效应。

在光纤加速度计的实验中,由于测量范围的最低频率要达到 1 Hz,传统的解调方案里高通滤波器的位置在最后一级,为了保证系统的实时性,所以一般在最后输出端利用电容耦合实现高通滤波的功能,而在方案 2 中为解决积分效应要将滤波器的位置提至积分器之前,这样必须采用数字滤波器。在数字解调系统中采用 FIR 滤波器实现 1 Hz 的高通滤波器需要滤波器的阶数降到几百阶才能满足要求。有限长脉冲响应(FIR)滤波器的阶数与所需运算步骤近似成正比关系,对于数字解调系统,运算步骤×指令周期=运算时间<sup>[5~7]</sup>。

高阶数的滤波器最终将造成信号运算时间过长,导致系统效率降低,设备的实时性将会下降。数字解调系统将大量的时间用于 FIR 滤波程序处理,这样导致测量结果存在一定的延时。如果处理时间达到一定长度将会造成系统时间被占用,无空闲进

行信号采集,将造成信号的漏测。

### 4.3 方案 3:低通滤波消除法

由方案 2 可知,可以利用滤波器将待测信号与“环境漂移”区分开。但是高通滤波器执行时间长导

致系统效率降低,而相应的低通滤波器效率要高很多,基于这种思想,设计出一种如图 5 所示的低通滤波消除法。

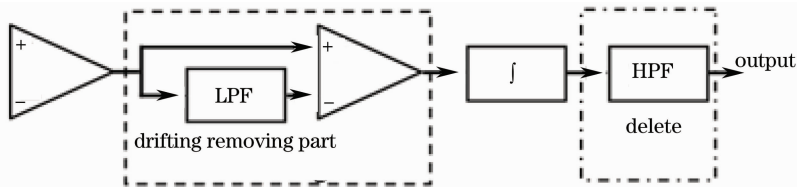


图 5 低通滤波消除法框图

Fig. 5 Frame diagram of LPF removing method

两路信号在进行差分之后,不直接进入积分器,在差分器与积分器之间加入如图 5 虚线框内所示的漂移消除部分。漂移消除部分使得信号

$$S_1 = B^2GHJ_1(C)J_2(C)[D\cos\omega_s t + \varphi(t)]',$$

通过低通滤波器后得到

$$B^2GHJ_1(C)J_2(C)\varphi'(t),$$

将两路信号再次经过差分环节得到

$$S_4 = B^2GHJ_1(C)J_2(C)\{[D\cos\omega_s t + \varphi(t)]' - \varphi'(t)\} = -B^2GHJ_1(C)J_2(C)\omega_s \sin\omega_s t. \quad (7)$$

从(7)式中可以看出,此时信号中的“环境漂移”已经完全被消除了,这个信号再进入到积分器就可以得到待测信号。这种新方法的引入使得环境漂移的影响在积分器之前就得到去除,这样在 PGC 检测系统中就可以去除掉图 5 中点划线框内的高通滤波器。综上所述,针对“环境漂移”在 PGC 数字解调过程中的积分效应问题,采用前面所述的低通滤波消除法,形成了如图 6 所示的 PGC 改进结构。

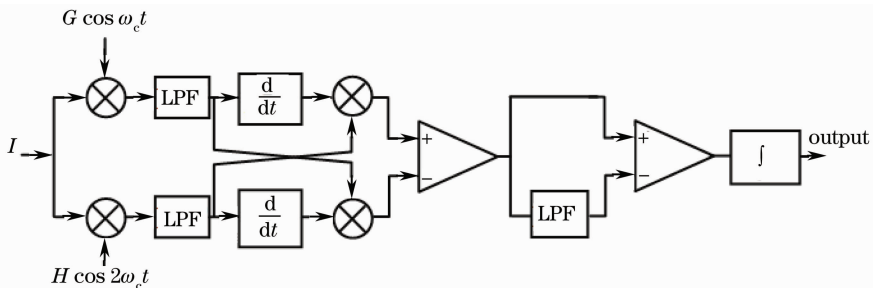


图 6 PGC 改进结构框图

Fig. 6 PGC structure after improvement

利用 LabVIEW 软件设计的虚拟仪器平台对图 6 所示的 PGC 改进结构进行了实验,并将待测信号(图 7 曲线 a)、不存在环境漂移的测量结果(图 7 曲线 b)、存在环境漂移的测量结果(图 7 曲线 c)进行了如图 7 所示的对比。

PGC 系统都能够正确地对信号进行检测。所以,通过加入低通滤波消除法模块,可以有效地解决由于“环境漂移”引起的积分效应。

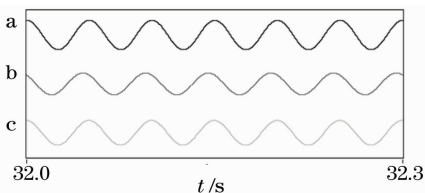


图 7 测量结果对比图

Fig. 7 Contrast of measured results

如图 7 中所示,通过 3 种情况检测结果的对比可以看到,无论环境漂移是否存在,采用改进型的

## 5 结 论

通过分析,可知在 PGC 数字解调方案中,“环境漂移”所带来的积分效应对数字解调过程会有很大的影响,导致解调系统工作状态不稳定,测量结果出现偏差甚至漏测。针对这个问题,提出了 3 种解决方案,其中方案 1 以目前新兴的虚拟仪器技术为主,能够有效地解决问题,具有广阔的应用前景;方案 2 同样也能够有效地解决问题,但在实用化的检测仪器研制过程当中,方案 1 需要依赖于计算机,方案 2 指令复杂,执行时间长,这两种方案都存在系统

效率低、实时性差、漏测等问题。同时对于解决目前以 DSP 为主体的数字解调系统意义不大；第 3 种方案针对积分效应的源头，提出低通滤波消除法，此方案合理、流程简单、效率高，并通过实验验证了其原理的正确性。同时，采用第 3 种方案能够使整个数字解调系统只含有低通滤波器而不含有高通滤波器，这样可以大大简化数字解调系统的复杂性提高系统的性能，对于改进 PGC 数字解调系统中具有一定的参考价值。

### 参 考 文 献

- 1 A. Dandridge, A. B. Tveten, T. G. Giallorenzi. Homodyne demodulation schemes for fiber optic sensors using phase generated carrier [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1982, **QE-18**(10): 1647~1651
- 2 A. D. Kersey, D. A. Jackson, M. Corke. High-sensitive fiber-optic accelerometer[J]. *Electron. Lett.*, 1982, **18**(13): 559~561
- 3 Cao Jianian, Lu Shan, Yang Gewen *et al.*. Detection by interferometric fiber-optic accelerometer [J]. *J. Harbin Engineering University*, 2003, **24**(2): 217~220  
曹家年, 卢 山, 杨革文 等. 基于 DSP 的干涉型光纤加速度计检测方案的研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2003, **24**(2): 217~220
- 4 Zou Xiang, Sun Xiaozhi. Method of designing virtual instrument based on graphics language labview [J]. *Modern Electronic Technique*, 2003, (1): 36~38  
邹 翔, 孙肖子. 基于图形化编程语言 LabVIEW 虚拟仪器的方法[J]. 现代电子技术, 2003, (1): 36~38
- 5 N. J. Frigo, A. Dandridge, A. B. Tveten. Technique for elimination of polarization fading in fiber interferometers [J]. *Electron Lett.*, 1984, **20**(4): 319~320
- 6 A. D. Kersey, M. J. Marrone. Optimization and stabilization of visibility in interferometric fiber optic sensors using input-polarization control [J]. *IEEE J. Lightwave Technol.*, 1988, **6**(10): 1599~1609
- 7 A. D. Kersey, M. J. Marrone. Polarization-insensitive fiber optic Michelson interferometer [J]. *Electron. Lett.*, 1991, **27**(6): 518~519