

应变与温度同时测量的二阶灵敏度分析

马建军 汤伟中

(浙江大学信息与电子工程学系电子信息技术研究所 杭州 310027)

提要 分析了应变与温度同时测量的光纤传感器中普遍存在的二阶灵敏度问题, 导出了二阶灵敏度引起的误差的一般计算公式, 并将这些公式和双模椭圆芯光纤温度、应变扰动的理论模型结合, 给出了二阶灵敏度对线性近似误差影响的定量分析结果。

关键词 光纤传感器, 应变与温度的同时测量, 交叉灵敏度, 二阶灵敏度, 误差分析

1 引 言

应变与温度的同时测量是近年来光纤传感器研究中的一个很有前途的方向, 其基本原理是产生应变与温度的两个线性方程, 通过解方程组得到待测值。由于这两个线性方程都是泰勒展开式中截取的线性项, 因此忽略高阶项必然引入误差。在所有二次高阶项中, 一般认为交叉灵敏度项对解的精度影响最大, 但当应变与温度的变化较小时又可忽略其引起的误差^[1,2], 然而对这些问题的讨论均停留在实验结果的分析, 尚未见报道给出计算公式来定量评估所有二次高阶项是如何影响测量误差的, 本文将探讨这一问题。

2 二阶灵敏度误差理论

2.1 一种计算二阶灵敏度引起的应变与温度误差的方法

对于干涉型应变与温度同时测量的光纤传感器, 应变与温度同时作用于光纤时, 有一般关系式 $\Phi = \Phi(\epsilon, T)$, 将其用泰勒公式在某个应变和温度值 (ϵ_0, T_0) 处展开, 得

$$\Delta\Phi = \Lambda_T \Delta T + \Lambda_\epsilon \Delta\epsilon + \Lambda_{\epsilon T} \Delta\epsilon \Delta T + \Lambda_{T^2} \Delta T^2 + \Lambda_{\epsilon^2} \Delta\epsilon^2 + \dots \quad (1)$$

$\Lambda_T = \frac{\partial\Phi}{\partial T}$ 和 $\Lambda_\epsilon = \frac{\partial\Phi}{\partial\epsilon}$ 分别为应变与温度灵敏度, 而 $\Lambda_{\epsilon T} = \frac{\partial^2\Phi}{\partial\epsilon\partial T}$, $\Lambda_{T^2} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2\Phi}{\partial T^2}$ 和 $\Lambda_{\epsilon^2} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2\Phi}{\partial\epsilon^2}$ 分别为交叉灵敏度、二阶温度灵敏度和二阶应变灵敏度。

很显然, 这三个二阶灵敏度的物理意义在于它们分别反映了应变和温度灵敏度在不同的温度和(或)应变时不是一个恒定值, 而是遵循一定规律变化的。

(1) 式中忽略高阶项, 运用干涉机理获得的关于应变与温度的两个不同的线性方程组, 即

$$\begin{cases} \Delta\Phi_1 \approx \Lambda_{1,\epsilon} \Delta\epsilon + \Lambda_{1,T} \Delta T \\ \Delta\Phi_2 \approx \Lambda_{2,\epsilon} \Delta\epsilon + \Lambda_{2,T} \Delta T \end{cases} \quad (2)$$

一般情况下都采用这种线性近似方程来计算被测参量值。显然, (2) 式仅是(1)式的近似

式,如考虑交叉灵敏度效应,则较精确的方程组应为

$$\begin{cases} \Delta\Phi_1 \approx \Lambda_{1,\epsilon}\Delta\epsilon + \Lambda_{1,T}\Delta T + \Lambda_{1,\epsilon T}\Delta\epsilon\Delta T \\ \Delta\Phi_2 \approx \Lambda_{2,\epsilon}\Delta\epsilon + \Lambda_{2,T}\Delta T + \Lambda_{2,\epsilon T}\Delta\epsilon\Delta T \end{cases} \quad (3)$$

如考虑所有二阶灵敏度效应,则更精确的方程组为

$$\begin{cases} \Delta\Phi_1 \approx \Lambda_{1,\epsilon}\Delta\epsilon + \Lambda_{1,T}\Delta T + \Lambda_{1,\epsilon T}\Delta\epsilon\Delta T + \Lambda_{1,\epsilon^2}\Delta\epsilon^2 + \Lambda_{1,T^2}\Delta T^2 \\ \Delta\Phi_2 \approx \Lambda_{2,\epsilon}\Delta\epsilon + \Lambda_{2,T}\Delta T + \Lambda_{2,\epsilon T}\Delta\epsilon\Delta T + \Lambda_{2,\epsilon^2}\Delta\epsilon^2 + \Lambda_{2,T^2}\Delta T^2 \end{cases} \quad (4)$$

很明显,(3)式和(4)式虽然比(2)式精确,但其求解的过程要复杂得多,(2)式虽然只是近似的方程组,但两个被测量的变化量都较小时,其解将与实际值有着较好的接近程度,在很多应用中仍有十分重要的意义。如果两个量之一很大,而另一个很小,或两个量都很大,线性近似方程组的解与实际值间的误差就不容忽视了。

由(2)和(3)式,可得到仅考虑交叉灵敏度的影响时,应变与温度误差的一般公式为

$$\begin{cases} \frac{\delta(\Delta\epsilon)}{\Delta\epsilon} = C_{11}\Delta T \\ \frac{\delta(\Delta T)}{\Delta T} = C_{21}\Delta\epsilon \end{cases} \quad (5)$$

其中

$$C_{11} = \frac{\Lambda_{2,T}\Lambda_{1,\epsilon T} - \Lambda_{1,T}\Lambda_{2,\epsilon T}}{\Lambda_{1,T}\Lambda_{2,\epsilon} - \Lambda_{2,T}\Lambda_{1,\epsilon}} \quad (6)$$

$$C_{21} = \frac{\Lambda_{2,\epsilon}\Lambda_{1,\epsilon T} - \Lambda_{1,\epsilon}\Lambda_{2,\epsilon T}}{\Lambda_{1,\epsilon}\Lambda_{2,T} - \Lambda_{2,\epsilon}\Lambda_{1,T}} \quad (7)$$

由(2)和(4)式,可得到考虑所有二阶灵敏度影响时,应变与温度误差的一般公式为

$$\begin{cases} \frac{\delta(\Delta\epsilon)}{\Delta\epsilon} = C_{11}\Delta T + C_{12}\Delta\epsilon + \frac{C_{13}\Delta T^2}{\Delta\epsilon} = \left[\frac{\delta(\Delta\epsilon)}{\Delta\epsilon} \right]_{\epsilon T} + \left[\frac{\delta(\Delta\epsilon)}{\Delta\epsilon} \right]_{\epsilon^2} + \left[\frac{\delta(\Delta\epsilon)}{\Delta\epsilon} \right]_{T^2} \\ \frac{\delta(\Delta T)}{\Delta T} = C_{21}\Delta\epsilon + \frac{C_{22}\Delta\epsilon^2}{\Delta T} + C_{23}\Delta T = \left[\frac{\delta(\Delta T)}{\Delta T} \right]_{\epsilon T} + \left[\frac{\delta(\Delta T)}{\Delta T} \right]_{\epsilon^2} + \left[\frac{\delta(\Delta T)}{\Delta T} \right]_{T^2} \end{cases} \quad (8)$$

其中

$$C_{12} = \frac{\Lambda_{2,T}\Lambda_{1,\epsilon^2} - \Lambda_{1,T}\Lambda_{2,\epsilon^2}}{\Lambda_{1,T}\Lambda_{2,\epsilon} - \Lambda_{2,T}\Lambda_{1,\epsilon}} \quad (9)$$

$$C_{13} = \frac{\Lambda_{2,T}\Lambda_{1,T^2} - \Lambda_{1,T}\Lambda_{2,T^2}}{\Lambda_{1,T}\Lambda_{2,\epsilon} - \Lambda_{2,T}\Lambda_{1,\epsilon}} \quad (10)$$

$$C_{22} = \frac{\Lambda_{2,\epsilon}\Lambda_{1,\epsilon^2} - \Lambda_{1,\epsilon}\Lambda_{2,\epsilon^2}}{\Lambda_{1,\epsilon}\Lambda_{2,T} - \Lambda_{2,\epsilon}\Lambda_{1,T}} \quad (11)$$

$$C_{23} = \frac{\Lambda_{2,\epsilon}\Lambda_{1,T^2} - \Lambda_{1,\epsilon}\Lambda_{2,T^2}}{\Lambda_{1,\epsilon}\Lambda_{2,T} - \Lambda_{2,\epsilon}\Lambda_{1,T}} \quad (12)$$

$\left[\frac{\delta(\Delta\epsilon)}{\Delta\epsilon} \right]_{\epsilon T}$, $\left[\frac{\delta(\Delta\epsilon)}{\Delta\epsilon} \right]_{\epsilon^2}$, $\left[\frac{\delta(\Delta\epsilon)}{\Delta\epsilon} \right]_{T^2}$ 分别为交叉灵敏度、应变的二阶灵敏度和温度的二阶灵敏度对应变误差的贡献。 $\left[\frac{\delta(\Delta T)}{\Delta T} \right]_{\epsilon T}$, $\left[\frac{\delta(\Delta T)}{\Delta T} \right]_{\epsilon^2}$, $\left[\frac{\delta(\Delta T)}{\Delta T} \right]_{T^2}$ 分别为交叉灵敏度、应变的二阶灵敏度和温度的二阶灵敏度对温度误差的贡献。

(8)式的重要结论在于,当温度变化量足够大,而应变变化量足够小的情况同时出现时,应变误差中第三项将足够大,这时应变变化量的求解误差将很大。当然,此时温度的误差则可能较小。对于温度变化量的求解误差也有类似的结论。

应当指出,虽然我们讨论的是干涉型光纤传感器中的二阶灵敏度,但任何应变与温度同时测量的原理均可归结为类似 $\Phi = \Phi(\epsilon, T)$ 的函数形式,因此前面的结论适合于任何一种双参

量同时测量的情形, 例如应用双光纤光栅^[4]的情形。

下面利用一个特定的数学模型来分析二阶灵敏度究竟是怎样影响线性方程组求解精度的。

2.2 椭芯双模光纤应变与温度同时测量的二阶灵敏度公式的导出

当单色光沿椭圆纤芯双模光纤传播时, 接收端可以观察到偏振或双模干涉^[3]。由文献[3]给出的理论模型, 可导出应变与温度同时测量的三个二阶灵敏度的公式。

由 $\Lambda_{\epsilon, T} = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \epsilon \partial T}$, 文献[3]的(27), (15)式, 可以导出应变与温度的交叉灵敏度

$$\Lambda_{i, \epsilon T} = -\lambda(\alpha + \zeta L \left[1.558 \frac{\partial(\Delta\beta_i)}{\partial \lambda} + 0.605\lambda \frac{\partial^2(\Delta\beta_i)}{\partial \lambda^2} \right]) \quad i = x, y, 1, 2 \quad (13)$$

由 $\Lambda_{T^2} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial T^2}$, 文献[3]的(24), (26), (27)式, 可以得到温度的二阶灵敏度

$$\Lambda_{i, T^2} = \frac{1}{2} \lambda(\alpha + \zeta^2 L \left[\frac{\partial(\Delta\beta_i)}{\partial \lambda} + \lambda \frac{\partial^2(\Delta\beta_i)}{\partial \lambda^2} \right]) \quad i = x, y, 1, 2 \quad (14)$$

由 $\Lambda_{\epsilon^2} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \epsilon^2}$, 文献[3]的(14), (15)及 $\delta\epsilon = \delta L/L$ 得应变的二阶灵敏度

$$\Lambda_{i, \epsilon^2} = \left[0.405\Delta\beta_i + 0.76\lambda \frac{\partial(\Delta\beta_i)}{\partial \lambda} + 0.183\lambda^2 \frac{\partial^2(\Delta\beta_i)}{\partial \lambda^2} \right] L \quad (15)$$

利用此三式结合前面的(2)~(12)式, 可以定量计算在任何应变与温度下, 忽略二阶灵敏度, 采用线性近似求得的应变与温度值所产生的误差。

3 数值计算实例

由于(13), (14), (15)式给出的二阶灵敏度与光纤双折射随波长的变化有密切的关系, 因此可利用文献[3]中图2(a)的 $\Delta\beta_x \sim \lambda$ 关系曲线, 以双波长(分别为 580 nm 和 600 nm)双模干涉 (x 方向 LP_{01}^x 和 $LP_{11}^{x, \text{even}}$ 的干涉)产生的关于应变与温度的联立方程组为例, 分析二阶灵敏度对求解精度的影响。

由文献[3]的(27), (15), 本文(13), (14), (15)式以及 $\Delta\beta_x \sim \lambda$ 的关系曲线, 可以得到

$$\Lambda_{x, \epsilon} \Big|_{\lambda=580 \text{ nm}} \approx 22000 \text{ rad}/\epsilon, \quad \Lambda_{x, \epsilon} \Big|_{\lambda=600 \text{ nm}} \approx 21000 \text{ rad}/\epsilon, \quad \Lambda_{x, T} \Big|_{\lambda=580 \text{ nm}} \approx 0.10 \text{ rad}/\text{C}$$

$$\Lambda_{x, T} \Big|_{\lambda=600 \text{ nm}} \approx 0.12 \text{ rad}/\text{C}, \quad \Lambda_{x, \epsilon T} \Big|_{\lambda=580 \text{ nm}} \approx 0.69 \text{ rad}/\epsilon \cdot \text{C}, \quad \Lambda_{x, \epsilon T} \Big|_{\lambda=600 \text{ nm}} \approx 1.04 \text{ rad}/\epsilon \cdot \text{C}$$

$$\Lambda_{x, \epsilon^2} \Big|_{\lambda=580 \text{ nm}} \approx -1.05 \times 10^4 \text{ rad}/\epsilon^2, \quad \Lambda_{x, \epsilon^2} \Big|_{\lambda=600 \text{ nm}} \approx -2.20 \times 10^4 \text{ rad}/\epsilon^2,$$

$$\Lambda_{x, T^2} \Big|_{\lambda=580 \text{ nm}} \approx -4.79 \times 10^{-6} \text{ rad}/\text{C}^2, \quad \Lambda_{x, T^2} \Big|_{\lambda=600 \text{ nm}} \approx -7.46 \times 10^{-6} \text{ rad}/\text{C}^2$$

代入(6), (7), (9)~(12)式求出 C_{ij} ($i = 1, 2, j = 1, 2, 3$) 的值, 再由(5), (8), 有

1) 仅考虑交叉灵敏度的影响时, 线性近似方程组的解与实际值间的误差为

$$\begin{cases} \delta(\Delta\epsilon)/\Delta\epsilon \approx 3.93 \times 10^{-3} \Delta T \% \\ \delta(\Delta T)/\Delta T \approx 1.55 \times 10^{-3} \Delta\epsilon \% \end{cases} \quad (16)$$

2) 当考虑所有二阶灵敏度的影响时, 线性近似方程组的解与实际值间的误差为

$$\begin{cases} \frac{\delta(\Delta\epsilon)}{\Delta\epsilon} \approx 3.93 \times 10^{-5} \Delta T - 1.74 \times 10^{-6} \Delta\epsilon - 3.19 \times 10^{-10} \frac{\Delta T^2}{\Delta\epsilon} \\ \frac{\delta(\Delta T)}{\Delta T} \approx 15.5 \Delta\epsilon - 0.488 \frac{\Delta\epsilon^2}{\Delta T} - 1.18 \times 10^{-4} \Delta T \end{cases} \quad (17)$$

由(17)式, 我们发现: 当 $\Delta\epsilon\Delta T > 0$, 即应变与温度同向变化时, 应变与温度的二阶灵敏度

引起的误差和交叉灵敏度引起的误差符号相反,从而部分抵消了交叉灵敏度引起的误差,抵消的程度取决于外界施加的应变与温度的大小。这一特性产生的原因在于 $\Delta\beta_x \sim \lambda$ 曲线斜率在所选择的波长附近是负值;当 $\Delta\epsilon\Delta T < 0$, 即应变与温度反向变化时,应变与温度的二阶灵敏度引起的误差和交叉灵敏度引起的误差符号相同,使总误差加大。下面我们仅分析 $\Delta\epsilon\Delta T > 0$ 的情况,对于 $\Delta\epsilon\Delta T < 0$ 的情形可用类似的方法分析。

为简单起见且不失合理性,设应变与温度最大值分别为 $4 \times 10^{-3}\epsilon$ 和 100°C ,可以得出:

1) 由(17)式,可以以温度-应变变化取值按照应变和温度误差的主要来源分为四个区域来研究各种应变和温度取值时的误差情况,如图 1(a), (b) 所示。

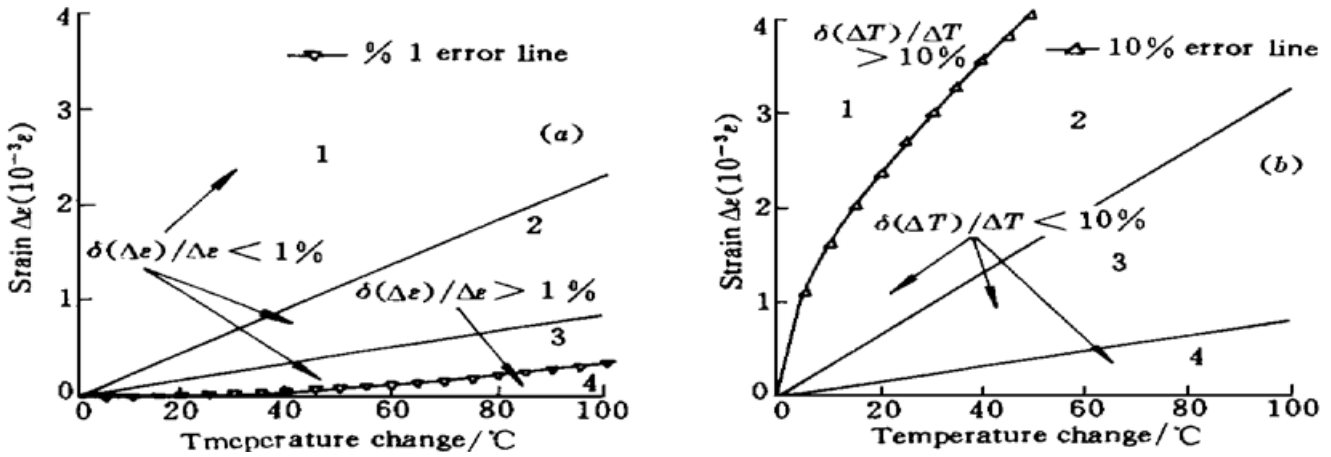


图 1 应变和温度误差分区

(a) 应变误差主要来源分区。区域 1: 二阶应变灵敏度; 区域 2: 交叉灵敏度; 区域 3 和 4: 二阶温度灵敏度;
 (b) 温度误差主要来源分区。区域 1 和 2: 二阶应变灵敏度; 区域 3: 交叉灵敏度; 区域 4: 二阶温度灵敏度

Fig. 1 Strain and temperature error distribution regions

(a) The main source of errors for the strain. The main error contributors in regions 1, 2 and 3~ 4 are the second-order strain sensitivity, cross-sensitivity and the second order temperature sensitivity, respectively. (b) The main source of errors for the temperature change. The main error contributors in regions 1~ 2 and 3, 4 are the second-order strain sensitivity, cross-sensitivity and the second order temperature sensitivity, respectively

2) 图 2 (a), (b) 给出了在一个较大的应变和温度变化范围内应变和温度变化的误差分布曲面。很明显,较大的误差并不是出现在应变和温度变化均较大的情形,因为:

(i) 如果应变足够小,同时温度变化足够大,则应变误差将很大,比较图 1(a), 图 2(a) 可知,这时应变误差的主要来源是温度的二阶灵敏度。此时相应的温度误差较小。

(ii) 如温度变化足够小,而应变很大,则温度变化的求解误差将很大。比较图 1(b), 图 2(b) 可知,这时温度误差主要来源是应变二阶灵敏度。此时相应的应变误差较小。

3) 对于应变误差,当应变与温度应变与温度变化分别满足 $\Delta\epsilon \approx 8.12 \times 10^{-6}\Delta T$ 和 $\Delta T \approx 4.43 \times 10^4\Delta\epsilon$ 时,对应前者,由二阶温度灵敏度引起的应变误差与交叉灵敏度引起的应变误差抵消,因此二阶应变灵敏度为误差的唯一来源,对应后者由二阶应变灵敏度引起的应变误差将与交叉灵敏度引起的应变误差抵消,因此二阶温度灵敏度是应变误差的主要来源。

由(17)式,不存在应变误差为零的条件。

4) 对于温度变化的误差,同样可得到类似的结论,但当 $\Delta\epsilon \approx 1.91 \times 10^{-5}\Delta T$ 时,由三个二阶灵敏度引起的温度变化的误差互相抵消,即 $\delta(\Delta T)/\Delta T = 0$, 而应变的相对误差为

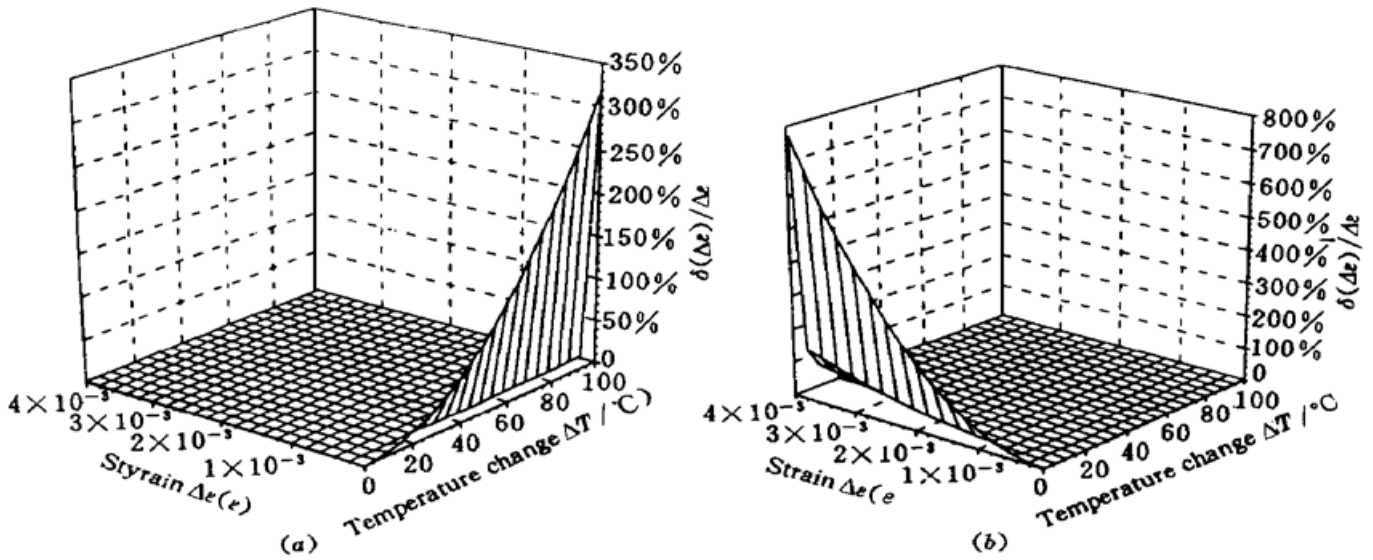


图 2 应变和温度误差分布曲面图

(a) 应变误差分布曲面图。取 $1 \times 10^{-6} \epsilon \leq \Delta \epsilon \leq 4 \times 10^{-3} \epsilon$ 和 $0^\circ\text{C} \leq \Delta T \leq 100^\circ\text{C}$

(b) 温度误差分布曲面图。取 $0 \leq \Delta \epsilon \leq 4 \times 10^{-3} \epsilon$ 和 $1^\circ\text{C} \leq \Delta T \leq 100^\circ\text{C}$

Fig.2 Strain and temperature error distribution surface charts

(a) The strain error distribution surface chart. Where $1 \times 10^{-6} \epsilon \leq \Delta \epsilon \leq 4 \times 10^{-3} \epsilon$ and $0^\circ\text{C} \leq \Delta T \leq 100^\circ\text{C}$

(b) The temperature error distribution surface chart. Where $0 \leq \Delta \epsilon \leq 4 \times 10^{-3} \epsilon$ and $1^\circ\text{C} \leq \Delta T \leq 100^\circ\text{C}$

$\delta(\Delta\epsilon)/\Delta\epsilon \approx 1.06 \times 10^{-3} \Delta T\%$ (或 $55.7\Delta\epsilon\%$), 从而 $[\delta(\Delta\epsilon)/\Delta\epsilon]_{\max} \approx 0.106\%$ (或 0.223%)。因此应变和温度变化的值满足上述条件时,即使应变或温度变化很大,用较简单的近似线性方程组(2)求得的应变和温度变化的值也可以与较复杂而精确的非线性方程组(4)的解将有很高的近似程度,甚至完全相等。

5) 对于温度变化和应变最大值 100°C 和 $4 \times 10^{-3} \epsilon$, (2) 式和(4) 式的解的误差为 $\delta(\Delta\epsilon)/\Delta\epsilon \approx 0.383\%$ 和 $\delta(\Delta T)/\Delta T \approx 2.79\%$ 。与仅仅考虑交叉灵敏度的影响比较,由式(16)求出的应变最大误差为 0.393% , 温度的最大相对误差为 6.2% , 我们发现二阶应变和温度灵敏度引起的误差与交叉灵敏度误差部分抵消,特别是温度变化误差将有明显的改善。

6) 如果只考虑交叉灵敏度的影响,那么应变和温度变化取最大值时出现它们的最大误差(式(16)),显然这种近似不能反映实际情况,特别是在小应变大温度变化,或小温度变化大应变时。但在另一方面,由图 1(a), (b) 和图 3,在应变和温度变化均不是很小的情况下,在一个较大的范围内它们的误差都将小于 10% 。图 3 的区域 2 表示在此区域两者的误差均小于 1% 。很明显,在此区域,对误差产生主要影响的是交叉灵敏度。

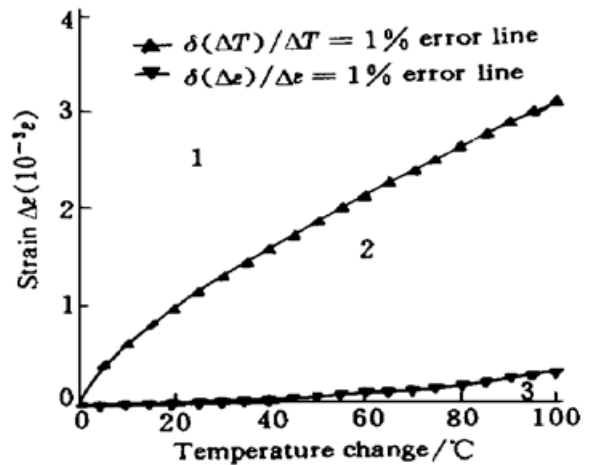


图 3 应变和温度变化误差分布图

区域 1: $\delta(\Delta T)/\Delta T > 1\%, \delta(\Delta\epsilon)/\Delta\epsilon < 1\%$; 区域 2: $\delta(\Delta T)/\Delta T < 1\%, \delta(\Delta\epsilon)/\Delta\epsilon < 1\%$; 区域 3: $\delta(\Delta T)/\Delta T < 1\%, \delta(\Delta\epsilon)/\Delta\epsilon > 1\%$

Fig.3 The strain and temperature change errors distribution chart

In region 1, $\delta(\Delta T)/\Delta T > 1\%, \delta(\Delta\epsilon)/\Delta\epsilon < 1\%$; In region 2, $\delta(\Delta T)/\Delta T < 1\%, \delta(\Delta\epsilon)/\Delta\epsilon < 1\%$; In region 3, $\delta(\Delta T)/\Delta T < 1\%, \delta(\Delta\epsilon)/\Delta\epsilon > 1\%$

4 结 论

本文分析了应变与温度同时测量的光纤传感器中存在的二阶灵敏度问题,导出了二阶灵敏度影响应变和温度测量误差的一般公式;利用椭芯光纤的应变和温度扰动模型,定量分析了用线性近似方程组求解应变与温度值产生的误差。可以得出结论:三个二阶灵敏度均对应变和温度误差产生影响,但哪一个起主要作用与应变及温度的取值有密切关系。当足够小的应变和足够大的温度变化同时出现时,温度的二阶灵敏度将使近似线性方程组求解的应变值产生很大的误差,但此时求解的温度值仍可保持较高精度;当足够小的温度和足够大的应变同时出现时亦有类似结果。考虑到光纤传感器在实际情况中应变与温度变化的随机性,运用本文方法了解线性近似方程组求解的应变与温度值的可靠程度,并进行误差补偿是有益的。

参 考 文 献

- 1 Ashish M. Vengsarkar, W. Craig Michie, Ljilja Jankovic *et al.*. Fiber-optic dual-technique sensor for simultaneous measurement of strain and temperature. *J. Lightwave Technol.*, 1994, **12**(1) : 170~ 177
- 2 Faramarz Farahi, David J. Webb, Julian D. C. Jones *et al.*. Simultaneous measurement of temperature and strain: cross-sensitivity considerations. *J. Lightwave Technol.*, 1990, **8**(2) : 138~ 142
- 3 Shang-Yuan Huang, James N. Blake, Byoung Yoon Kim. Perturbation effects on mode propagation in highly elliptical core two-mode fibers. *J. Lightwave Technol.*, 1990, **8**(1) : 23~ 33
- 4 M. G. Xu, J.-L. Archambault, L. Reekie *et al.*. Discrimination between strain and temperature effects using dual-wavelength fibre grating sensors. *Electr. Lett.*, 1994, **30**(13) : 1085~ 1087

Analysis of Second-order Sensitivities of an Optical Fiber Sensor for Simultaneous Measurement of Strain and Temperature

Ma Jianjun Tang Weizhong

(*Electronic Information Technology Laboratory, Department of Information and Electronic Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027*)

Abstract In this paper, theoretical formulae were developed to calculate the second-order sensitivities of strain and temperature. Numerical results were given to show how the second-order sensitivities introduce the errors between the solutions to the set of linear equations and the set of nonlinear equations including the second-order terms.

Key words optical fiber sensors, simultaneous measurement of temperature and strain, second-order sensitivity, cross-sensitivity, error analysis