

激光扫描相位边缘检测方法的研究

张南洋生 杨坤涛

(华中科技大学光电子工程系, 武汉, 430074)

摘要: 在激光扫描检测技术中, 被测件边缘信号的检测精度将直接影响到系统测量的精度。讨论了一种新的边缘检测方法, 即对扫描激光束进行调制, 并利用调制信号的相位突变提取边缘信号。采用该方法可使工件边缘的检测精度小于微米量级。

关键词: 激光扫描 相位 边缘检测

Research of laser scanning phase edge measurement

Zhang Nanyangsheng, Yang Kuntao

(Department of Optoelectrical Engineering, HUST, Wuhan, 430074)

Abstract: The system precision is directly affected by the sample edge measurement precision in laser scanning measuring technology. A new method is proposed to detect the edge through modulating scanning laser beam and picking up the phase reversal of the detection signal as the edge signal. Based on the method, the edge measurement precision can be improved less than one micron.

Key words: laser scanning phase edge measurement

引 言

随着工业的飞速发展, 高精度工件直径的光电自动测控在许多行业成为关键技术, 同时也出现了许多测径方法, 大致可分为激光扫描^[1~5]、衍射干涉条纹^[6~8]、激光-CCD 成像^[9~12]等。在国内外这些现有的测量方法中, 对于测量范围在 1mm 至几十毫米的多采用激光扫描或激光-CCD 成像的方法, 测量精度达到 10 μ m 量级; 而精度在 1 μ m 量级的多采用干涉衍射条纹的方法, 但测量范围大多不超过 1mm。国外在 90 年代形成了系列产品, 其中美国 Laser Mike 公司和 Zygo 公司较为著名。国内则以研究单位为使用厂家分别研制为主。在测径技术中, 工件边缘的检测是至关重要的。国内外各种直径检测技术的边缘检测常采用半光强检测^[13]或者 CCD 成像检测。但要实现在大的量程内高精度测量, 现有的边缘检测方法是难以达到的。故有必要研究一种将激光扫描技术和相位边缘检测方法相结合的高精度边缘检测方法。

1 激光扫描相位边缘检测原理

相位边缘检测是以经过调制有一定光斑图形的激光束扫过待测工件的边缘, 通过光强的相位突变实现对工件边缘的精确定位, 从而实现高精度的测量。可以采用线性光电效应实现对激光束光强的调制^[14]。应用边缘相位检测方法的激光扫描直径测量原理如图 1 所示。

图 1 中经调制后的激光束, 先经一个偏振分光镜 1 分成两束, 则这两束光的光强分别为:

$$I_x = i \times (1 + \sin \omega \cdot t) \quad I_y = i \times (1 - \sin \omega \cdot t) \quad (1)$$

式中, ω 是调制频率, i 是未经调制的光强分布函数。

由于调制, 这两束偏振光具有 π 的位相差。分别由两个方向相互垂直的条形光阑拦光, 形

成两个方向相互垂直的矩形光斑,然后再经另一个偏振分光镜 3 合成形成一个具有十字型光斑图形的调制激光光束。图 1 中, 2 所示均为反射镜。经过调制的十字型光束入射到由同步电机驱动的八面转镜, 通过 $f-\theta$ 透镜后形成扫描光束匀速扫过被测件。再由接收物镜会聚到光电探测器上, 探测器输出信号送到处理电路整形、滤波、鉴相后触发计时装置。计时装置输出到计算机中进行直径测算。

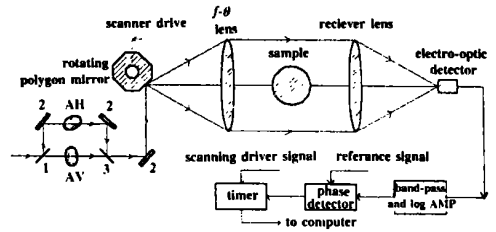


Fig. 1 Laser scanning phase edge measurement system

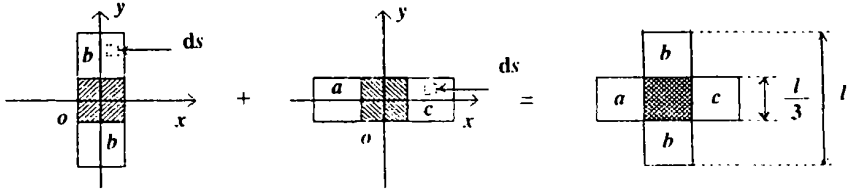


Fig. 2 Beam modulation

十字型光斑的 3 个部分如图 2 中 a, b, c 所示。其中 a, c 同相位且和 b 具有 π 的相位差。其中 l 为光斑直径。根据高斯光束的对称性及上述 (1) 式的光强分部函数可知, 两个条形光斑的中间阴影部分相重叠后调制相互抵消。设十字型光斑 a, b, c 部分的光强分别为 $I_1(1 - \sin \omega \cdot t), I_2(1 + \sin \omega \cdot t), I_3(1 - \sin \omega \cdot t)$ 。其中 I_1, I_2, I_3 之间关系为: $I_1 = I_2 = 2 \times I_3$ 。由其扫过被测件产生具有相位突变的光强信号, 并由探测器接收, 通过检测突变信号以确定被测件边缘。

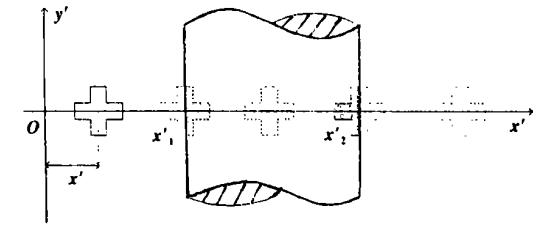


Fig. 3 The laser scanning process of sample

利用调制激光束沿径向扫过待测工件的过程如图 3 所示。图 3 中, 阴影部分为光斑被被测件挡住的部分。 x' 是光斑中心在坐标系中的横向坐标量, $x'1, x'2$ 是被测件边缘的坐标。

根据图 2 写出光电探测器接受到的光强表达式。为计算方便, 将两个条形光斑分别计算。其中图 2 中虚线框示的 ds 为面积元:

$$I = (1 - \sin \omega \cdot t) \iint_{s_1} ds + (1 + \sin \omega \cdot t) \iint_{s_2} ds \tag{2}$$

式中, I 为探测器接收的光强, s_1 和 s_2 是两个条形未被被测件遮挡可被探测器接收的面积。在图 2 所示的直角坐标系中计算 s_1 和 s_2 的光强, 当两个条形未被挡住时其光强为:

$$I = (1 - \sin \omega \cdot t) \int_{-l/6}^{l/6} \int_{-l/2}^{l/2} i(x, y) dx dy + (1 + \sin \omega \cdot t) \int_{-l/2}^{l/2} \int_{-l/6}^{l/6} i(x, y) dx dy.$$

在直角坐标系中, 光强分布函数 i 为坐标 (x, y) 的函数, 面积元 ds 可写为 $dx dy$ 。当两个条形被被测件挡住一部分时, 其光强为:

$$I = (1 - \sin \omega \cdot t) \int_{-l/6}^{l/6} \int_{-l/2}^{x'1 - x'} i(x, y) dx dy + (1 + \sin \omega \cdot t) \int_{-l/2}^{l/2} \int_{-l/6}^{x'2 - x'} i(x, y) dx dy$$

其它过程如图 3 所示, 用同样的方法可求得光斑扫过整个被测件过程中其光强的变化:

$$I = \begin{cases} (1 - \sin \omega \cdot t) \int_{-l/6}^{l/6} \int_{-l/2}^{l/2} i(x, y) dx dy + (1 + \sin \omega \cdot t) \int_{-l/2}^{l/2} \int_{-l/6}^{l/6} i(x, y) dx dy, x' < x'_1 - l/2 \\ (1 - \sin \omega \cdot t) \int_{-l/6}^{l/6} \int_{-l/2}^{x'_1} i(x, y) dx dy + (1 + \sin \omega \cdot t) \int_{-l/2}^{l/6} \int_{-l/6}^{l/6} i(x, y) dx dy, x'_1 - l/2 < x' < x'_1 - l/6 \\ (1 - \sin \omega \cdot t) \int_{-l/6}^{l/6} \int_{-l/2}^{x'_1} i(x, y) dx dy + (1 + \sin \omega \cdot t) \int_{-l/2}^{x'_1} \int_{-l/6}^{x'_1 - x'} i(x, y) dx dy, x'_1 - l/6 < x' < x'_1 + l/6 \\ (1 - \sin \omega \cdot t) \int_{-l/6}^{l/6} \int_{-l/2}^{x'_1} i(x, y) dx dy, x'_1 + l/6 < x' < x'_1 + l/2 \\ 0, x'_1 + l/2 < x' < x'_2 - l/2 \\ (1 - \sin \omega \cdot t) \int_{-l/6}^{l/6} \int_{x'_2}^{l/2} i(x, y) dx dy + (1 + \sin \omega \cdot t) \int_{-l/6}^{l/6} \int_{x'_2}^{l/2} i(x, y) dx dy, x'_2 - l/2 < x' < x'_2 - l/6 \\ (1 - \sin \omega \cdot t) \int_{-l/6}^{l/6} \int_{x'_2}^{l/2} i(x, y) dx dy + (1 + \sin \omega \cdot t) \int_{-l/2}^{l/6} \int_{x'_2}^{l/6} i(x, y) dx dy, x'_2 - l/6 < x' < x'_2 + l/6 \\ (1 - \sin \omega \cdot t) \int_{-l/6}^{l/6} \int_{x'_2}^{l/2} i(x, y) dx dy + (1 + \sin \omega \cdot t) \int_{-l/2}^{l/6} \int_{x'_2}^{l/6} i(x, y) dx dy, x'_2 + l/6 < x' < x'_2 + l/2 \\ (1 - \sin \omega \cdot t) \int_{-l/6}^{l/6} \int_{-l/2}^{l/2} i(x, y) dx dy + (1 + \sin \omega \cdot t) \int_{-l/2}^{l/6} \int_{-l/6}^{l/6} i(x, y) dx dy, x' > x'_2 + l/2 \end{cases}$$

2 计算机仿真

根据光斑扫过被测件边缘的过程, 取一些典型数值, 可求得探测器输出边缘检测信号的计算机仿真结果。仿真得到的曲线示于图 4。图中, x 轴是光斑中心的位置, y 轴是信号的幅值。

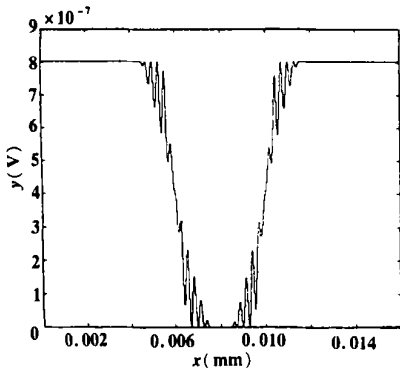


Fig. 4 The simulation curve of detector output

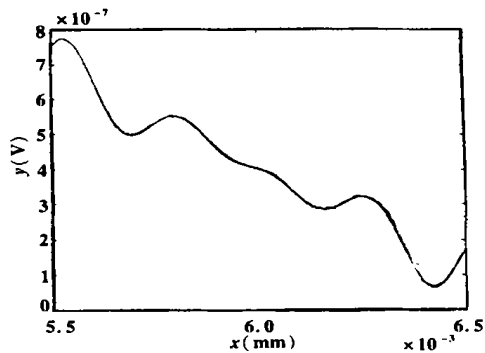


Fig. 5 The simulation curve with 3mm sample diameter

当十字型光斑扫过被测件一个边缘时其探测器的信号波形如图 5 所示, 其中光斑直径取为 3mm。改变扫描光斑的大小为 5mm 后的信号波形如图 6 所示。经过仿真鉴相, 滤波整形过程后信号波形如图 7 所示。由图 7 可以看到, 无论光斑大小如何都有明显的相位突变, 扫描

光斑的大小并不影响相位的检测及边缘的确定。

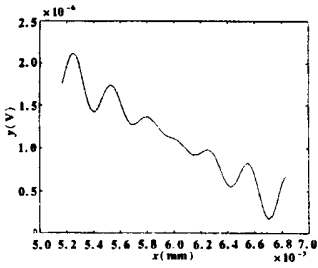


Fig. 6 The simulation curve with 5mm sample diameter

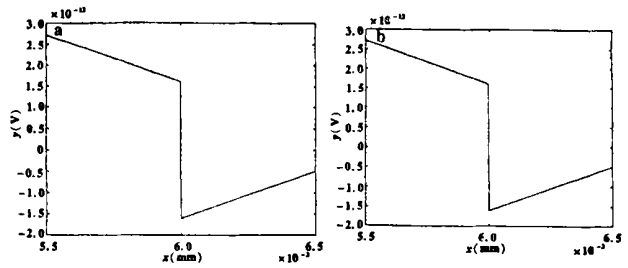


Fig. 7 The simulation curve of phase reversal
a—3mm sample diameter b—5mm sample diameter

3 相位边缘检测精度的评估

为评估相位检测的精度, 设测量系统其它元件是理想的, 而仅考虑光电瞄准误差。在一个光束调制周期内, 扫描光斑移动的距离为 s (mm), 则有: $s = 2\pi n \cdot f' / f_v$ (3) 式中, f_v 是光束调制频率(Hz), f' 是透镜的焦距(mm), n 是扫描转速(r/s)。考虑到光电瞄准误差 $\Delta\phi$ (rad) 后, 精度 Δs 则是一个调制周期内光斑移动的函数。

$$\Delta s = \Delta\phi s / 2\pi \quad (4)$$

将(3)式代入(4)式得:

$$\Delta s = \Delta\phi \cdot n \cdot f' / f_v \quad (5)$$

因此, 若对光束进行 2.5×10^7 Hz 的调制, 30 r/s 的高速扫描, 采用 80mm 焦距的透镜, 相位检测误差为 0.087rad。则由(5)式可估计相位边缘检测的理论精度约为: 1×10^{-5} mm。

由于该方法的边缘检测理论精度达到 1×10^{-5} mm, 因此, 实际测量中要求被测件要有较高的表面光洁度。另外, 因为对光束进行了调制, 在实际应用中还要考虑到调制的均匀性及信号处理装置的带宽的影响。应用该方法后, 实际测量系统可以忽略边缘检测的误差, 而探测器的噪声、 $f-\theta$ 透镜的非线性误差及计时装置的光电读数误差还要影响到测量的精度。可以采用低噪声放大器, 用软件方法修正减小 $f-\theta$ 透镜的非线性误差, 选用高分辨率的计时装置减小光电读数误差, 从而使系统的测量结果达到更高的精度。

参 考 文 献

- 1 陈本智, 陈兴语. 计量学报, 1995; (3): 221~ 225
- 2 李承志. 激光技术, 1994; (5): 303~ 305
- 3 张从周, 刘兰昊, 李承志. 长春光机学院学报, 1997; (4): 31~ 35
- 4 Fotowicz P, Jablonski R. SPIE, Laser Technology ④, 1987; 859: 245~ 248
- 5 Reich F R. SPIE Advance in Laser Engineering, 1977; 122: 22~ 29
- 6 郑继贵, 叶声华, 陶国智. 光电工程, 1996; (3): 59~ 63
- 7 房晓勇, 任克勤, 曹茂盛. 激光杂志, 1996; (1): 25~ 28
- 8 郭强, 白贵儒. 光学仪器, 1997; (4~ 5): 93~ 97
- 9 林棋榕, 谢树森, 周川钊 *et al.* 光学精密工程, 1997; (2): 109~ 114
- 10 陈岳林. 计量与测试技术, 1998; (3): 25~ 28
- 11 Mainsah E, Wong C M G, Stout K J. SPIE, Measurement Technology and Intelligent Instruments, 1993; 2101: 381~ 395
- 12 Meggitt B T. Optic & Technology, 1989; 21(5): 343~ 344
- 13 吕海宝, 谌廷政, 周卫红 *et al.* 激光杂志, 1998; (3): 14~ 17

Study on green problem of SHG*

Zhu Changhong^a, Liu Baining^c, Li Zhengjia^a, Wang Ying^a, Qiu Junlin^a
Li Dehua^b, Zhang Zhiguo^b, Volker Gabler^c, Hans Joachim Eichler^c
(^a National Laboratory of Laser Technology, HUST, Wuhan, 430074)
(^b Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080)
(^c Optisches Institut, TU-Berlin, Str. d. 17. Juni 135, 10623 Berlin, Germany)

Abstract: An extended physical model on intracavity binary wave plates based on the Jones matrix formalism that gives the prerequisite for independently intracavity frequency doubling under CW multi-longitudinal mode operation has been obtained. The formulas for eliminating the noise of the frequency doubled output in phase matching type \oplus and type iv conditions are presented. A general condition concerning the round-trip Jones matrix has been achieved. The eigenvectors for the phase matching type \oplus and type iv have been determined analytically.

Key words: sum-frequency generation(SFG) phase matching type \oplus and iv second harmonic generation (SHG)

关于倍频绿光问题的研究

朱长虹^a 刘百宁^c 李正佳^a 王英^a 丘军林^a
李德华^b 张治国^b Volker Gabler^c Hans Joachim Eichler^c
(^a华中科技大学国家激光技术重点实验室, 武汉, 430074)
(^b中国科学院物理研究所, 北京, 100080)

(^c Optisches Institute, TU-Berlin, Str. d. 17. Juni 135, 10623 Berlin, Germany)

摘要: 采用双波片晶体的物理模型和 Jones 矩阵方法, 得到了在连续多纵模腔内倍频激光器中压缩噪声的必要条件, 推导出与 \oplus 类和 iv 类相位匹配方式相对应的消除和频效应的公式, 并推广为往返 Jones 矩阵元所应满足的关系, 以及相应的腔内本征矢。

关键词: 和频效应 \oplus 类和 iv 类相位匹配方式 倍频效应

Introduction

Second harmonic generation (SHG) is a widely used nonlinear optical frequency conversion to generate coherent radiation in visible and UV spectral regions. However, the output noise due to large amplitude fluctuations emerging in CW intracavity SHG lasers under multi-longitudinal

* The project was aided financially by the Federal Ministry of Education and Research(BMBF) of Germany(1999.2~ 1999.11).