

重心法中的非线性加权系数研究

郭晓松,唐圣金,周召发,孙磊

(西安第二炮兵工程学院 兵器发射理论与技术实验室,陕西 西安 710025)

摘要:基于最优非线性加权的光点定位方法是一种改进的重心法,但其加权系数的传统解法计算复杂、计算量大。为了寻找简单的解法,通过大量数据研究了含有不同功率噪声光斑的最优加权系数,结果表明该系数对噪声功率不敏感,可以应用到一般的光斑中去,并求出近似最优加权系数为 2.15。与传统的亚像素算法相比,基于该系数的加权重心法使偏差缩小了 1/3,结果令人满意。

关键词:光点定位;重心法;非线性;最优加权系数

中图分类号:TN391.4 **文献标识码:**A

Study on optimal nonlinear weighting coefficient of barycenter algorithm

GUO Xiao-song, TANG Sheng-jin, ZHOU Zhao-fa, SUN Lei

(The Second Artillery College, Xi'an 710025, China)

Abstract: Optimal nonlinear weighting method for light-spot positioning is an improved barycenter algorithm. In view of its complexity and enormous calculation for calculating optimal weighting coefficient, an easy method is proposed. The optimal coefficient of different light-spot is studied with large numbers of data in this method. The result shows that the optimal coefficient is independent of the power of noise and could be applied to the positioning of ordinary light-spot. Moreover, the optimal coefficient is ascertained as 2.15. Compared with other sub-pixel algorithm, the weighting barycenter algorithm based on the optimal coefficient reduces the error by 1/3, and the result is satisfying.

Key words: light-spot positioning; barycenter algorithm; nonlinear; optimal weighting coefficient

1 引言

光电准直技术在现代经纬仪上已大量采用,它是将反射镜的角度变化量转化为线阵 CCD 上的位置变化量,位置检测的精度直接影响到准直的精度。随着测量精度要求的提高,像素级精度已不能满足实际应用的需要,需要对光斑中心进行亚像素细分。

线阵 CCD 的常用亚像素细分算法有阶梯法^[1]、拟合法^[2]和重心法^[3],阶梯法通过对波形的分层截断,选取三个与基准特征相近的截断点,利用二次曲线拟合,再以某一阈值重新截断确定中心,阶梯法相对二值法来说,利用了更多的灰度信息,但对波形的稳定性要求较高,属于亚像素细分中精度较低的方法。拟合法对光斑进行曲线拟合,把拟合曲线的最

高位置作为光斑中心,拟合法的精度依赖于假定的曲线形式,一般较难获得很高的精度。重心法通过计算信号的重心位置代替光斑中心,精度较高,但对噪声比较敏感。

2 非线性加权重心法

为了提高重心法的抗噪能力,人们不断地提出改进的重心法,文献[4]将目标区域分成内部像素区域和边缘像素区域,将内部像素均值化,从而有效地抑制了内部噪声,该方法对线阵 CCD 的效果明显,但对于只有两个边缘点的线阵 CCD 效果不太明

作者简介:郭晓松(1957-),男,教授,博导,主要从事光电瞄准、自动检测、故障诊断等方面的研究。

收稿日期:2009-07-31

显。文献[5]的仿真实验研究表明平方加权重心法的精度要高于重心法。文献[6]提出一种基于最优非线性加权的光点定位方法,通过求目标函数的极小值把平方加权推广到对任意系数的加权,公式如下:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=n_1}^{n_2} x_i f^t(x_i)}{\sum_{i=n_1}^{n_2} f^t(x_i) + n_1} \quad (1)$$

式中, \bar{x} 为求得的中心坐标; x_i 为像素坐标; $f(x_i)$ 为像素在*i*点处的灰度值; t 为加权系数; n_1, n_2 是对信号分割的两点位置。其中, x_i 表示位置信息, $f(x_i)$ 表示灰度信息,非线性加权重心法通过调节加权系数*t*来调节灰度信息的权重。当*t*=0时,式(1)变为:

$$\bar{x} = (x_{n_2} - x_{n_1})/2 + n_1$$

即为二值法;当*t*=1时,式(1)变为:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=n_1}^{n_2} x_i f(x_i)}{\sum_{i=n_1}^{n_2} f(x_i) + n_1}$$

即传统的重心法;当*t*=2时,即平方加权重心法;当*t*=∞时,式(1)的值取决于灰度最大值的像素点,这就是极大值法。由式(1)可知,当*t*增大时,灰度较大像素点的作用得到加强,灰度信息得到加强,反之,位置信息得到加强。

由以上分析知,*t*=0时,非线性加权重心法表现为二值法,*t*=∞时,则为极大值法,这两种方法精度较低,而*t*=1时的重心法则精度较高。当*t*连续变化时,算法的精度也连续变化,说明在*t*=0~∞之间,存在一点*t*使算法的精度取得极大值,即偏差取得极小值,偏差取极小值时的*t*值就是最优加权系数。

实际应用中,*t*何时为最优是非线性加权方法需要解决的关键问题。文献[6]提出了基于建立欧氏距离目标函数的极小值来求加权系数*t*,函数建立如下:

$$J = \sum_{i=n_1}^{n_2} [x_i - \frac{\sum_{i=n_1}^{n_2} x_i f^t(x_i)}{\sum_{i=n_1}^{n_2} f^t(x_i) + n_1}]^2 f^t(x_i) \quad (2)$$

从式(2)可以看出,要得到*t*的解析解并不容易,需要用数值方法进行求解,而这种解法计算复杂、计算量大,无法实时地计算出最优加权系数*t*。同时,经多次仿真实验发现,公式(2)在大部分情况下没有极值。因此需要对非线性加权系数*t*进行研究,寻找简单有效的计算方法。

3 最优非线性加权系数的仿真分析

对于不同噪声的光斑,最优加权系数的*t*值也不同,而根据实际光斑分布来求最优加权系数*t*值的方法往往计算量较大,因此本文考虑分析大量不

同噪声光斑的最优加权系数,从求得的结果中寻找适用于一般信号的最优加权系数。

实验表明光强分布类似于高斯分布,光斑一般占有20~30个像素,则仿真信号可表示为:

$$I = 100 \exp\left(-\frac{2(x-50.65)^2}{100}\right) \quad (3)$$

其中,光斑中心位置为50.65,灰度最大值为100,*x*取0~100。在计算光斑中心前,需要分割CCD信号,文献[2]通过截止阈值来分割信号,截止阈值 $f' = k(f_{\max} - f_{\min}) - f_{\min}$ 。实验显示,当*k*=0.1时,计算结果与整个信号积分相差不大;当*k*>0.1且不断增加时,光斑定位的精度和稳定性都显著降低。本文取*k*=0.1,由于 f_{\min} 约等于零,则取截止阈值 $f' = 0.1f_{\max}$ 。

实际检测过程中,由于受激光束能量分布不均匀、CCD噪声、信号传输中产生的随机噪声等的影响,CCD检测到的信号中掺杂了不同程度的噪声,这些噪声可以看作是服从高斯分布的白噪声。下面在仿真信号中加入不同的噪声,对不同的*t*值计算光斑中心并进行误差分析,由于噪声是随机的,本文进行了多次运算,其偏差的均值和标准差如图1、图2所示,*p*为功率。

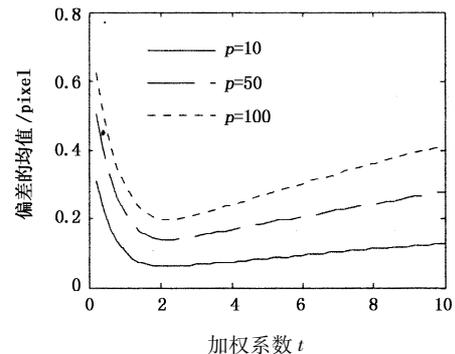


图1 偏差均值与加权系数*t*的关系

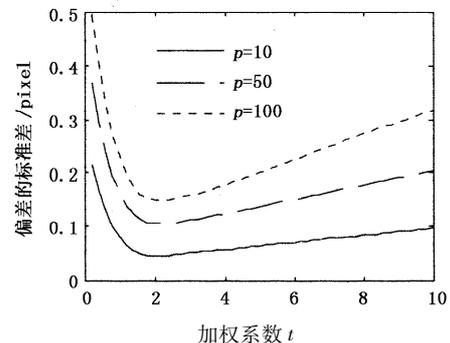


图2 偏差标准差与加权系数*t*的关系

从以上两图看出,对于不同的*t*值,偏差的均值与标准差存在极小值,该极小值在*t*=2~3之间,该

极小值附近偏差的变化比较缓慢。而对于不同功率的噪声,从以上两图中还可以看出取该极小值时, t 的值大致不变。是不是对于所有功率的噪声, t 的值都不变,需要进一步验证。下面对不同功率 p , 以 2.5 为步长分别计算取极小值时的 t 值,如图 3、图 4 所示。

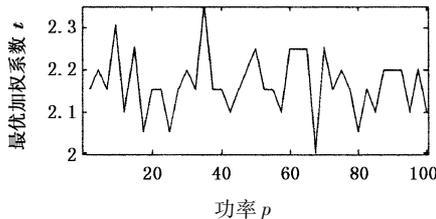


图3 基于最小均值的最优加权系数 t

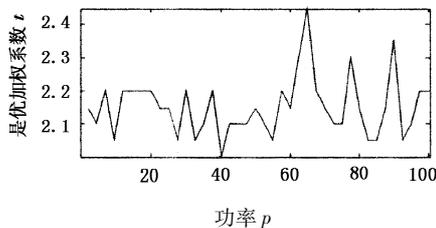


图4 基于最小标准差的最优加权系数 t

计算结果表明,不管是基于最小均值还是基于最小方差的最优加权系数都与功率无关,可以看作是一个常数。设不同功率下基于最小均值和最小标准差的最优加权系数的均值为 t_1, t_2 , 可得 $t_1 = 2.1650, t_2 = 2.1513$, 由于极小值附近偏差的变化比较缓慢,为简单起见,本文取 $t = 2.15$ 。

4 最优非线性加权算法的验证

本文取非线性加权系数为 2.15,并对各种亚像素算法进行多次仿真计算,其偏差的平均值和标准差如图 5、图 6 所示。

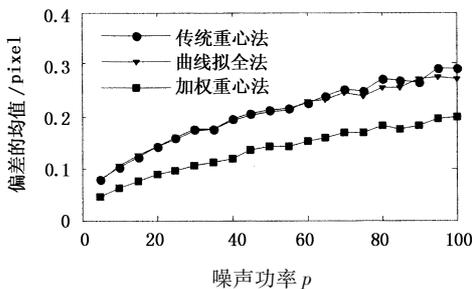


图5 偏差均值与噪声功率的关系

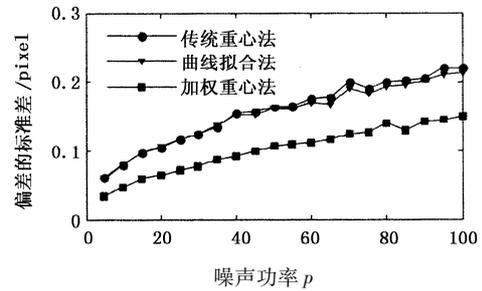


图6 偏差标准差与噪声功率的关系

从仿真结果可以看出,重心法和高斯曲线拟合法的精度和稳定性相差不大,而本文方法的精度和稳定性明显高于前两种,其偏差的均值和标准差大致为重心法的 2/3 左右,较为理想地提高了光斑定位的精度。

5 结论

对重心法的非线性加权系数进行了研究,通过多次仿真实验求出了重心法的最优加权系数为 2.15,并与传统的亚像素算法进行了比较,结果表明该方法的精度和稳定性都得到了提高。本文算法的最优加权系数是通过仿真实验求得的,对于为何重心法以系数 2.15 加权时精度相对较高,还需要在理论上进行进一步的研究。

参考文献:

- [1] 张志利,李国英,赵军阳,等. 阶梯法在线阵 CCD 位置检测中的应用[J]. 传感器技术,2004,34 (6):58-65.
- [2] 李为民,俞巧云,胡红专,等. 光点定位中的曲面拟合算法[J]. 光学技术,2004,30 (1):33-35.
- [3] 李静,李为民,陈晓东,等. 重心法在光电信号处理中的应用[J]. 光学技术,1999,25 (2):57-59.
- [4] 郭玉波,姚郁,童晓光,等. 一种改进的亚像素算法[J]. 光电工程,2006,33 (10):137-140.
- [5] 魏新国,张广军,江洁. 星敏感器中星图像的星体细分定位方法研究[J]. 北京航空航天大学学报,2003,29 (9):812-815.
- [6] 潘静,李为民,邢晓正. 基于最优非线性加权的光点定位方法[J]. 光学技术,2006,32 (5):685-687.