

doi:10.3788/gzxb20164507.0710002

# 基于简化对焦模型的自动对焦窗口调整方法

吴迪,冯华君,徐之海,李奇,陈跃庭

(浙江大学 现代光学仪器国家重点实验室,杭州 310027)

**摘 要:**提出一种基于简化对焦模型的自动对焦窗口调整方法用于数码相机自动对焦过程.根据初始对焦窗口和初始像距计算初始对焦窗口边界的视场角,镜头位置改变后,再根据此视场角和新的像距计算新的对焦窗口边界,进而调整对焦窗口,实现景物跟随.实验结果表明,该方法能够在物距未知的情况下近似地计算出目标的像高,与固定对焦窗口相比,能够避免背景信息的干扰,使评价函数具有单峰性.且该方法计算过程与图像内容无关,不受图像模糊程度的影响.

**关键词:**自动对焦;调整;基于窗口的图像处理;成像系统;图像评价

中图分类号:O435

文献标识码:A

文章编号:1004-4213(2016)07-0710002-5

## Autofocus Window Adjustment Based on Simplified Focus Model

WU Di, FENG Hua-jun, XU Zhi-hai, LI Qi, CHEN Yue-ting

(State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** A method for window adjustment based on simplified focus model was proposed, which can be used in autofocus process of digital camera. Firstly, the field angles of initial focus window boundary points were calculated with initial positions of those points and initial image distance. After the lens moved, the field angles and new image distance were used to calculate the new positions of focus window boundary points. Thus the focus window was adjusted to follow the target. Experimental results show that the proposed method can estimate the drift caused by imaging magnification changing on condition that the object distance is unknown. Compared with stationary focus window, the proposed method can avoid interference of background information, thus making the evaluation function unimodal. Besides, the proposed method is independent of the defocus blur for its calculation process has nothing to do with the image content itself.

**Key words:** Autofocus; Adjustment; Window-based image processing; Imaging systems; Image evaluation

**OCIS Codes:** 100.0100; 080.0080; 110.0110

## 0 引言

随着数码相机的不断发展,基于数字图像处理的自动对焦技术以其智能、灵活的特点发挥出愈加重要的作用.与传统的对焦技术相比,数字对焦技术可以灵活地选择对焦窗口,其目的一方面在于减小计算量,另一方面在于减少背景信息干扰<sup>[1-3]</sup>,只对所关心的目标对焦.在图像中选取一个固定的窗口能够有效地减少计算量,然而在自动对焦过程中,镜头的前后调整会造成成像放大率发生变化,使对焦窗口内景物发生漂移,

同时一部分背景进入对焦窗口,从而使对焦窗口失去原有作用,最终导致对焦不稳定或对焦失败.

很多学者针对运动目标的追踪技术进行了大量研究,文献[4]使用 Camshift 算法实现了对人像的识别和追踪;文献[5]提出了基于模板匹配的对焦窗口选择方法,解决了红外成像自动对焦过程中含有动目标的问题;文献[6]通过检测隅角、线或边等自然特征实现自动对焦追踪;文献[7]通过 KLT 特征点匹配来估计相机的运动矢量,并使用空间位置不变准则进行匹配点校验,该算法能够有效去除误匹配点的影响;文献

基金项目:国家自然科学基金(No. 61475135)资助

第一作者:吴迪(1993—),男,博士研究生,主要研究方向为光学成像工程与图像处理. Email: 18243172058@163.com

导师(通讯作者):冯华君(1963—),男,教授,博导,主要研究方向为光学成像工程与图像处理. Email: fenghj@zju.edu.cn

收稿日期:2015-01-11;录用日期:2016-03-25

http://www.photon.ac.cn

0710002-1

[8-10]利用目标颜色、轮廓等特征实现了基于粒子滤波的目标追踪;文献[11]提出基于相位一致性的实时压缩跟踪方法,该算法在光照变化剧烈的情况下仍具有很好的鲁棒性;文献[12]在 KLT 追踪器中引入尺度不变性因子,能有效解决尺度变化的问题。

目前,针对自动对焦过程中放大率变化导致像漂移问题的解决方法鲜有报道,而针对运动目标追踪方法的计算过程较为复杂,且对焦过程中的离焦模糊也给匹配带来较大困难<sup>[13]</sup>。因此,本文简化了传统的对焦模型,在此基础上,提出一种自动对焦窗口调整方法。通过简单的计算,使对焦窗口随镜头位置调整,从而实现目标景物的快速跟随。

## 1 对焦窗口调整的必要性

### 1.1 漂移原因

从对焦模型出发,讨论目标景物随镜头移动漂移的原因,并以 12233 分辨率板上的一处靶标为例展示这一现象。如图 1、2,镜头在初始位置时,目标  $S$  在成像面上的像为  $S_0'$ ,物距和像距分别为  $-l$  和  $l'$ 。像高  $-h_0'$  为

$$-h_0' = \frac{l'}{-l} \cdot h \quad (1)$$

式中,  $\frac{l'}{-l}$  为成像放大率。

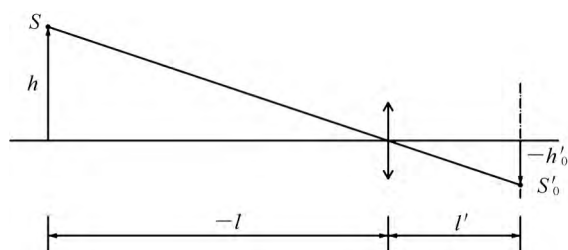


图 1 目标  $S$  的初始像高

Fig. 1 Initial image height of target  $S$



图 2 目标的初始像

Fig. 2 Initial image of target

当镜头移动  $\Delta l'$  时,如图 3,物距和像距分别变为  $-l + \Delta l'$  和  $l' - \Delta l'$ ,目标  $S$  的像高变为  $-h_1'$ ,即

$$-h_1' = \frac{l' - \Delta l'}{-l + \Delta l'} \cdot h \quad (2)$$

式中,  $\frac{l' - \Delta l'}{-l + \Delta l'}$  为此时的成像放大率。从图 3、4 可以看

出由于镜头的移动,目标的像发生了漂移。

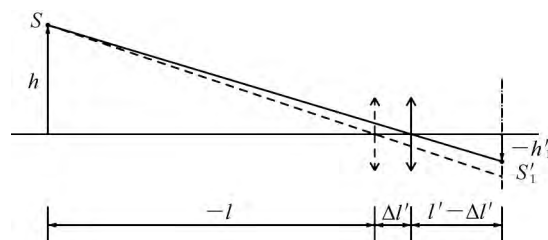


图 3 镜头移动后目标  $S$  的像高

Fig. 3 Image height of target  $S$  after moving camera lens

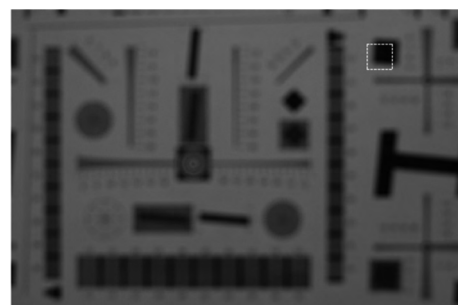


图 4 镜头移动后目标的像

Fig. 4 Image of target  $S$  after moving camera lens

### 1.2 漂移量分析

将式(1)代入式(2),消掉  $h$  得到

$$-h_1' = \frac{l' - \Delta l'}{-l + \Delta l'} \cdot \frac{-l}{l'} \cdot (-h_0') \quad (3)$$

于是像漂移量可表示为

$$|-h_0' - (-h_1')| = \left| 1 - \frac{l' - \Delta l'}{l'} \cdot \frac{-l}{-l + \Delta l'} \right| \cdot (-h_0') \quad (4)$$

从式(4)可以看出,对于初始像高和视场角相同的景物,物距  $-l$  越大像漂移量越小,但即使物距为无穷远时,像漂移量仍然存在,即

$$\lim_{l \rightarrow \infty} |-h_0' - (-h_1')| = \left| \frac{\Delta l'}{l'} \right| \cdot (-h_0') \quad (5)$$

定义景物到成像面的距离为拍摄距离  $D$ 。图 5 表示  $D$  分别为 0.4 m、1 m、100 m 时,像高随镜头位置的变化。初始像距  $l' = 60$  mm,初始像高  $-h_0' = 10$  mm,镜头位移量  $\Delta l' = -10 \sim 10$  mm。从图 5 中可以看出,拍摄距离较远时仍然存在很大漂移量。因此在自动对焦过程中,有必要随镜头位置对对焦窗口做出针对性调整。

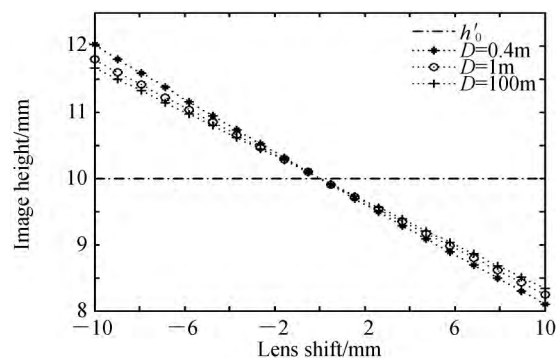


图 5 不同拍摄距离下像高随镜头位移的变化

Fig. 5 Image height with different lens shift

## 2 窗口调整方法

### 2.1 基本原理

由式(3)可知,在物距 $-l$ 未知的情况下,无法准确地计算出目标景物的漂移量。于是本文提出图6所示的简化聚焦模型,其基本思路是,假设自动对焦过程中镜头位置保持不变,通过成像面的移动来搜寻准焦位置。

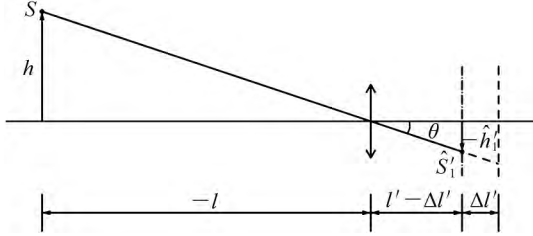


图6 自动对焦简化模型

Fig. 6 Simplified model of autofocus

图6中虚线表示初始成像面,其移动 $\Delta l'$ 距离后,得到新的像的位置 $\hat{S}_1'$ 和像高 $-\hat{h}_1'$ , $-\hat{h}_1'$ 可在物距 $-l$ 未知的情况下由式(6)算出。

$$-\hat{h}_1' = (l' - \Delta l') \cdot \tan \theta = \frac{l' - \Delta l'}{l'} \cdot (-h_0') \quad (6)$$

式中, $\theta$ 为目标 $S$ 的视场角。

用 $-\hat{h}_1'$ 作为实际像高 $-h_1'$ 的估计值,由式(3)和式(6)可计算出相对误差,即

$$e_r = \frac{|-h_1' - (-\hat{h}_1')|}{-h_1'} = \frac{|\Delta l'|}{-l} \quad (7)$$

根据式(6),用图5中的参数计算 $-\hat{h}_1'$ ,并与三种拍摄距离的 $-h_1'$ 比较,结果如图7。从图7中可以看出,随着拍摄距离增大,估计值 $-\hat{h}_1'$ 越来越接近真实值 $-h_1'$ 。实际上,根据式(7), $D=1\text{ m}$ 时误差最大处的相对误差只有1.06%。

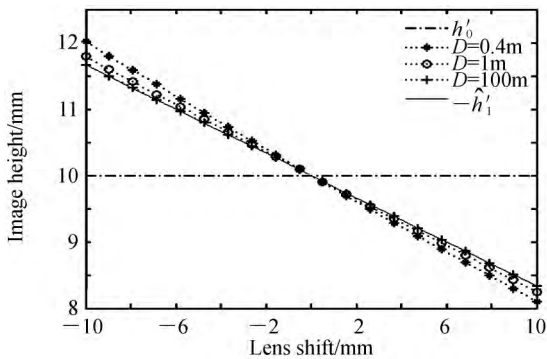


图7 像高估计值与真实值比较

Fig. 7 Comparison between estimated image height and real image height

### 2.2 评价函数

由于自动对焦窗口大小是动态改变的,故引入式

(8)所示的像素平均对焦评价函数。像素平均对焦评价函数是以普通对焦评价函数作为分子,对焦窗口内的像素数目作为分母所得的比值<sup>[1]</sup>。

$$F(I) = \frac{E(I)}{MN} \quad (8)$$

式中, $E(I)$ 为普通的对焦评价函数, $M$ 和 $N$ 是对焦窗口的大小。显然像素平均对焦评价函数 $F(I)$ 和 $E(I)$ 的性质相同,也就是说,像素平均对焦评价函数仍然满足单峰性、无偏性和尖锐性<sup>[1]</sup>。

该自动对焦窗口调整方法与评价函数的选取无关。为了比较固定对焦窗口和本文对焦窗口的性能,使用四种典型的评价函数<sup>[14-15]</sup>,其像素平均对焦评价函数形式为

#### 1) 梯度能量法

$$\begin{cases} E(x, y) = [I(x+1, y) - I(x, y)]^2 + \\ [I(x, y+1) - I(x, y)]^2 \\ F_{\text{EOG}}(I) = \frac{1}{MN} \sum_x \sum_y E(x, y) \end{cases} \quad (9)$$

#### 2) Tenengrad 函数

$$\begin{cases} S_x = [I(x+1, y-1) + 2I(x+1, y) + \\ I(x+1, y+1)] - [I(x-1, y-1) + \\ 2I(x-1, y) + I(x-1, y+1)] \\ S_y = [I(x-1, y+1) + 2I(x, y+1) + \\ I(x+1, y+1)] - [I(x-1, y-1) + \\ 2I(x, y-1) + I(x+1, y-1)] \\ F_{\text{TEN}}(I) = \frac{1}{MN} \sum_x \sum_y (S_x^2 + S_y^2) \end{cases} \quad (10)$$

#### 3) Brenner 函数

$$F_{\text{BRE}}(I) = \frac{1}{MN} \sum_x \sum_y [I(x+2, y) - I(x, y)]^2 \quad (11)$$

#### 4) Laplace 函数

$$\begin{cases} L(x, y) = 4I(x, y) - I(x-1, y) - \\ I(x+1, y) - I(x, y+1) - I(x, y-1) \\ F_{\text{LAP}}(I) = \frac{1}{MN} \sum_x \sum_y [L(x, y)]^2 \end{cases} \quad (12)$$

### 2.3 算法流程

根据式(6),提出针对自动对焦过程中放大率导致像漂移的对焦窗口调整方法,具体流程如图8。首先,根据初始对焦窗口和初始像距计算初始对焦窗口边界的视场角,镜头位置改变后,再根据此视场角和新的像距计算新的对焦窗口边界,进而调整对焦窗口。若新的对焦窗口边界超出图像的边界,超出的部分用所在图像边界代替,即舍弃对焦窗口内超出图像边界部分。更新对焦窗口后,对新的对焦窗口内图像进行对焦评价,判断当前图像是否为准焦图像。若不是准焦图像,则移动镜头获取下一帧图像。

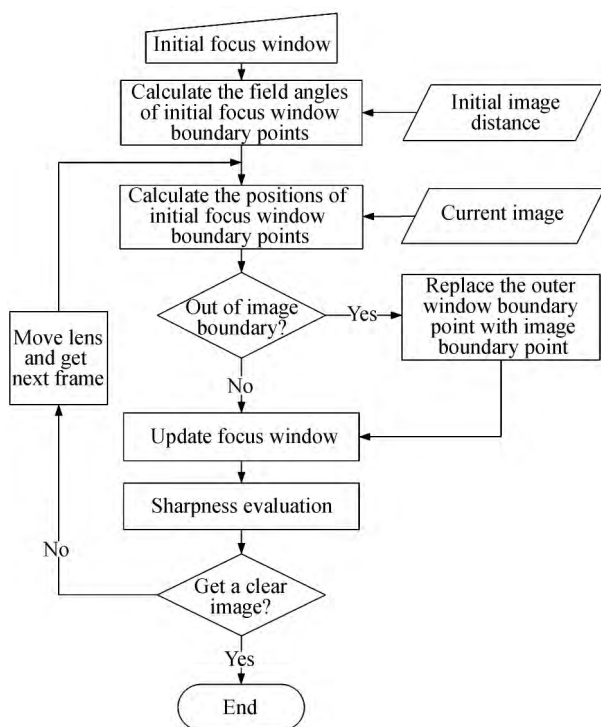
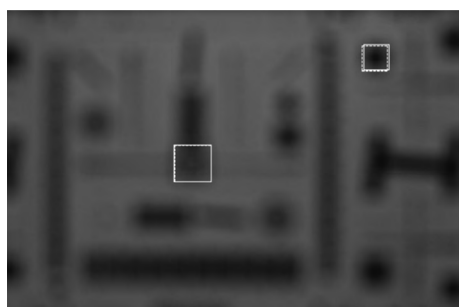


图8 对焦窗口调整流程

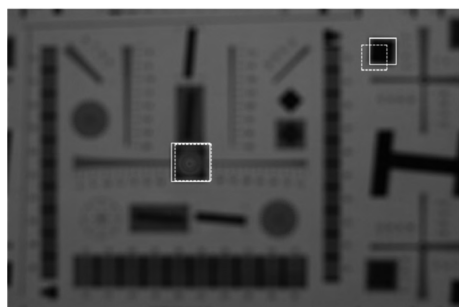
Fig. 8 Autofocus window adjustment flow chart

### 3 实验结果及分析

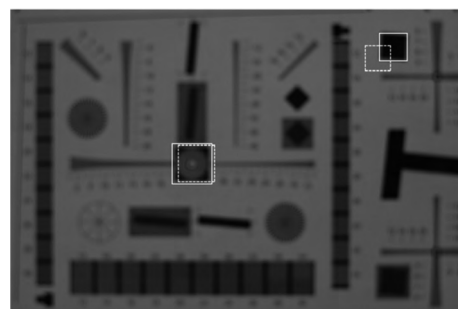
以 12233 分辨率板上的两处图像作为目标景物, 移动镜头位置, 拍摄多张图像, 在不同的图像中用本文方法调整对焦窗口的位置和大小, 结果如图 9(a)~(c). 其中, 虚线窗口为初始对焦窗口, 实线窗口为调整后的对焦窗口. 可以看出本文方法能有效地调整对焦窗口, 使其跟随目标景物缩放和移动.



(a) Frame 3



(b) Frame 12



(c) Frame 21

图9 分辨率板图像

Fig. 9 Resolution chart

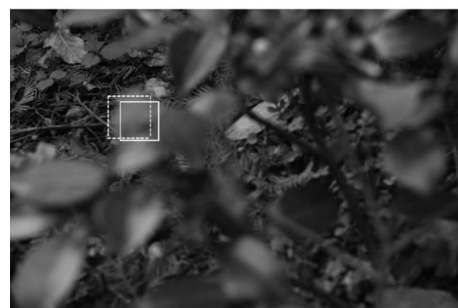
采用本文方法对实际景物进行自动对焦实验. 实验中的部分图像及对焦窗口如图 10(a)~(c), 其中, 虚线窗口为初始对焦窗口, 实线窗口为采用本文方法调整后的对焦窗口.



(a) Frame 3



(b) Frame 12



(c) Frame 21

图10 实际景物图像

Fig. 10 Real scene

用 2.2 节介绍的四种像素平均对焦评价函数分别对固定对焦窗口和本文对焦窗口内图像进行清晰度评价, 归一化后结果如图 11. 可以看出, 随着放大率的变化, 背景图像逐渐进入了固定对焦窗, 使评价函数受到

了干扰,产生了局部极大值.而本文的对焦窗口能跟随景物缩放和移动,避免了背景图像的干扰,从而使其评价函数具有单峰性.

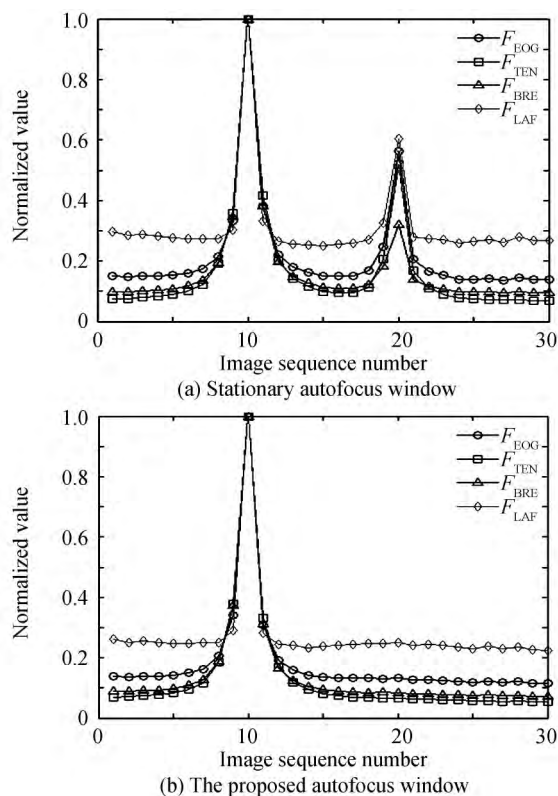


图 11 对焦窗口评价函数曲线

Fig. 11 Evaluation results with autofocus window

## 4 结论

本文提出的自动对焦窗口调整方法有效解决了自动对焦过程中由于放大率变化导致的像漂移问题,使对焦窗口能够随镜头位置调整,从而跟随目标景物缩放和移动,避免了背景信息的干扰,使评价函数具有单峰性.此外,方法计算过程与图像内容本身无关,不受图像模糊程度的影响,具有计算简单、针对性强、稳健性好等优点.

### 参考文献

- [1] 李奇. 数字自动对焦技术的理论及实现方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
- [2] ZHU Kong-feng, JIANG Wei, GAO Zan, *et al.* Focusing window choice and parameters determination in automatic focusing system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(6): 836-840.

朱孔凤, 姜威, 高赞, 等. 自动聚焦系统中聚焦窗口的选择及

参数的确定[J]. *光学学报*, 2006, **26**(6): 836-840.

- [3] WANG Yan-fang, JIANG Wei. Application of artificial fish swarm algorithm on adaptive auto-focusing window selection[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2011, **47**(14): 180-182.
- 王彦芳, 姜威. 应用于聚焦窗口自适应选择的人工鱼群算法改进[J]. *计算机工程与应用*, 2011, **47**(14): 180-182.
- [4] YAO Shu-jun, CHEN Xiao-dong, WANG Sen, *et al.* Camshift algorithm-based moving target recognition and tracking system[C]. 2012 IEEE International Conference on Virtual Environments Human-Computer Interfaces and Measurement Systems (VECIMS), 2012: 181-185.
- [5] LI Ming-ming, WANG Xin-sai, LI Jian, *et al.* Study of focus window selection for moving target in auto-focusing of infrared images[J]. *Infrared*, 2010, **31**(6): 5-9.
- 李明明, 王新赛, 李坚, 等. 红外成像自动调焦中动目标对焦窗口选择研究[J]. *红外*, 2010, **31**(6): 5-9.
- [6] 高通股份有限公司, 斯维特三世 C·W, 斯宾德拉戴茨 S. 自动对焦追踪: 中国, CN201280019909[P]. 2012-02-24.
- [7] PENG Xiao-jiang, ZHANG Jia-shu. Robust real-time electronic image stabilization based on feature matching and checking[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2011, **40**(9): 1442-1446.
- 彭小江, 张家树. 基于特征匹配和校验的鲁棒实时电子稳像[J]. *光子学报*, 2011, **40**(9): 1442-1446.
- [8] CZYZ J, RISTIC B, MACQ B. A particle filter for joint detection and tracking of color objects[J]. *Image and Vision Computing*, 2007, **25**(8): 1271-1281.
- [9] GUAN Hai-ke, NIINAMI N, LIU Tong. Real-time object tracking for moving target auto-focus in digital camera[C]. IS&T/SPIE Electronic Imaging. International Society for Optics and Photonics, 2015: 940009.
- [10] LI Pei-hua, ZHANG Tian-wen, PECE A E C. Visual contour tracking based on particle filters[J]. *Image and Vision Computing*, 2003, **21**(1): 111-123.
- [11] ZHANG Lei, WANG Yan-jie, HE Shu-wen. Real-time compressive tracking method based on phase congruency[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2014, **43**(8): 0810003.
- 张雷, 王延杰, 何舒文. 基于相位一致性的实时压缩跟踪方法[J]. *光子学报*, 2014, **43**(8): 0810003.
- [12] LEE H K, CHOI K W, KONG D, *et al.* Improved Kanade-Lucas-Tomasi tracker for images with scale changes[C]. 2013 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), 2013: 33-34.
- [13] ANABTAWI N, FERZLI R M. An auto focus framework for computer vision systems [C]. IS&T/SPIE Electronic Imaging. International Society for Optics and Photonics, 2015: 94050W.
- [14] 刘雪超. 基于数字图像处理的自动调焦技术研究[D]. 长春: 长春光学精密机械与物理研究所, 2014.
- [15] 黄德天. 基于图像技术的自动调焦方法研究[D]. 长春: 长春光学精密机械与物理研究所, 2013.