

文章编号: 0253-2239(2006)06-0836-5

自动聚焦系统中聚焦窗口的选择及参量的确定

朱孔凤 姜 威 高 赞 周 贤 张 进

(山东大学信息科学与工程学院, 济南 250100)

摘要: 在使用图像分析进行自动聚焦时, 聚焦的准确性和有效性至关重要。聚焦窗口过大不仅增加计算量, 且背景图像太多会引起误判; 窗口太小则会导致目标偏离窗口, 亦会引起误判。深入研究了聚焦窗口的选择问题, 提出了一种新的选择方法, 有效解决了上述问题。引入非均匀采样, 可以保证中央的高分辨率和较大的视场范围, 既保证目标图像位于聚焦窗口之内, 又显著减小了背景图像的负面影响。同时对采样参量做了进一步的研究, 以获得更好的效果。实验结果表明该方法有效提高了对焦的准确性和有效性而且减少了数据量, 没有影响系统的实时性。

关键词: 图像处理; 聚焦窗口; 非均匀采样; 图像评价函数

中图分类号: TP751 文献标识码: A

Focusing Window Choice and Parameters Determination in Automatic Focusing System

Zhu Kongfeng Jiang Wei Gao Zan Zhou Xian Zhang Jin

(School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250100)

Abstract: The accuracy and validity are the most important aspects in auto focusing system using image processing. If the focusing window is too big or small, there will be incorrect focus result because of too much background image in the window and complicated computation or object deviating the window. Further study on the choice of the focusing window is carried out and an innovative method solving the above problem efficiently is proposed. Un-uniform sampling is introduced in order to get higher resolution in central part of image and wider view field and make sure that the object is located in the focusing window and the negative effect of the background image is decreased. In addition, sampling parameters are further studied for better performance. The experimental results indicate that the veracity and the validity of focus are improved efficiently and the focusing time is not affected.

Key words: image processing; focusing window; un-uniform sampling; image evaluation function

1 引 言

在摄影时, 准确判断出清晰图像对应的镜头位置, 俗称调焦或对焦, 是摄影成败的关键之一。由相机直接接收由被摄物发出的光信号, 经过电子电路处理和图像处理后, 使镜头自动移动到聚焦位置, 称为被动式对焦方式。在被动式自动对焦系统中, 需要对图像求取聚焦评价函数。而在实际应用中, 首先要选取应用聚焦评价函数的图像区域, 即聚焦窗口。而目标在视场中心区域出现的几率高, 因此常规的对焦窗口选择方法只是一些简单的选择, 如中央选择法、多区域选择法等, 这些方法都是均匀采

样, 即认为采样区域中不同位置的像素具有相同的权重。其中, 中央选择法就是仅仅选择图像中央的小部分区域; 多区域选择法是特别针对某一类图像而言的, 具有太强的针对性, 比如针对日常生活中拍摄人和物的情况时, 则仅仅选择图像的中央和下部区域形成的倒 T 字型区域作为聚焦区域, 这是因为人一般都是位于图像的中间和下面。目前大部分文献都是讨论和改进聚焦评价函数^[1~9], 很少提及聚焦窗口的选择问题, 一般都是简单的选择图像中央区域不足 5% 的像素, 显然很难保证目标图像位于所选择的区域中。国外对自动聚焦的研究, 前期也

作者简介: 朱孔凤(1982~), 女, 山东临沂人, 山东大学信息科学与工程学院硕士研究生, 主要从事数字信号处理与图像处理方面的研究。E-mail: zhb090721@sohu.com

收稿日期: 2005-06-29; 收到修改稿日期: 2005-09-14

是主要针对聚焦评价函数的研究和聚焦系统的硬件实现^[10],目前有一些专家学者使用边缘提取、模式识别^[7,11]等处理方法先确定出聚焦的对象,能够有效地提高聚焦的准确性,但只能针对特定的目标对象(如:人的脸、手、皮肤、眼睛等)进行识别。如果对聚焦窗口选择过大,一方面增加了参与运算的像素数,使运算量增大;另一方面,窗口中背景图像的比重增大,影响判断的准确性。如果对聚焦窗口过小,目标图像容易偏离窗口,也会导致误判。因此,必须研究对聚焦窗口的选择问题,这样才能更加有效地提高聚焦的准确性和实时性。研究发现,采用高斯型非均匀采样函数得到采样图像后,再应用聚焦算法效果不错,即在图像的中心区域采用较高的采样率,以提高空间分辨率;边缘区域采用较低的采样率,以扩大视场。

2 提出的非均匀采样方法

文献[1]中用于红外亚成像扫描系统中的非均匀采样,是为了降低图像中央的采样率,增加边缘区域的采样率,在不增加计算量的同时减小了边缘区域的失真,有效地解决了玫瑰扫描亚成像系统中图像的分辨力和数据量之间的矛盾,但是由于文献[1]降低了图像中央的采样率,用于自动聚焦系统显然存在一定的局限性。文献[2,3]中提到的非均匀采样方式主要为了减少参与计算的像素数量,以达到实时性的要求,有效地减少了计算量,提高了聚集系统的实时性,但是正如文献[2]所说由于非均匀采样法涉及图像变换预处理,对焦系统尚不能实现实时化,也没有在准确性上做进一步研究。文献[2,3]中的采样方式只是简单地将采样小单元的半径以等差数列从内向外的延展,不能很好地降低背景图像的不良影响。基于上述原因,我们对非均匀采样作了更加深入的研究,采用高斯型非均匀采样函数采样,提出了非均匀采样的改进形式。

一般来说,图像在计算机中常表示一个整数矩阵,其中,像素的位置用矩阵的行、列坐标 (i, j) 来表示,该坐标位置上的整数值即为此像素的灰度值。若对一幅数字图像进行非均匀采样,设图像的大小为 $M \times N$,可用 $M \times N$ 维的矩阵来表示这幅图像,图像中某个像素的值可表示为 $I_0(a_0, b_0)$ 。为了方便用极坐标表示,先把图像的中心设为直角坐标系的原点,并将该像素的值表示为 $I(a, b)$,并且:

$$\begin{cases} a = -\left(a_0 - \frac{M+1}{2}\right), \\ b = b_0 - (N+1)/2, \end{cases} \quad (1)$$

如图 1 所示。

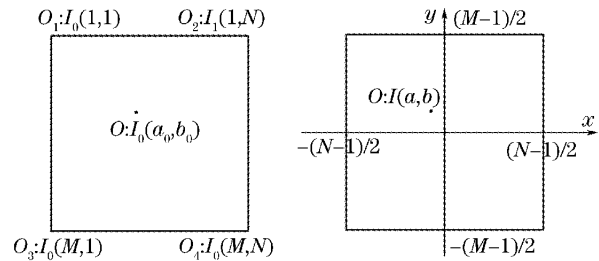


图 1 图像矩阵(a)和直角坐标系中的图像(b)

Fig. 1 Matrix of image (a) and image in the rectangular coordinate system (b)

进一步用极坐标 (ρ, θ) 来表示图像中的该点,转换关系式如下:

$$e(\rho, \theta) = I(\rho \sin \theta, \rho \cos \theta) = I(a, b), \quad (2)$$

因此,视场中某一点处的采样率 s 可表示为^[1]

$$s = f(\rho), \quad (3)$$

式中 ρ 为该点距中心的距离, $f(\cdot)$ 为非均匀采样函数。

$$g(\rho', \theta') = e(\rho, \theta), \quad (4)$$

式中 $g(\rho', \theta')$ 为非均匀采样前的输出图像, $e(\rho, \theta)$ 为输入图像。

设输出图像中某一点的极坐标为 (ρ', θ') ,输入图像中相应点的极坐标为 (ρ, θ) 。对于数字图像来说,其坐标点是取离散值的,因此,视场中的某一点距中心的距离可用序列 $\rho(k)$ $(k = 0, 1, \dots, n)$ 表示;相应的采样率也可用序列 $s(k)$ $(k = 0, 1, \dots, n)$ 表示,则输出图像与输入图像之间有如下关系:

$$\begin{cases} \rho'(0) = 0, \\ \rho'(k) = s(k)[\rho(k) - \rho(k-1)] + \rho(k-1), k \geq 1 \\ \theta' = \theta \end{cases} \quad (5)$$

通过选取合适的非均匀采样函数使 $\rho'(k) < \rho(k)$,则经过非均匀采样后得到的数字图像就比原图像数据量小,达到了减少图像数据量的目的。

采样区域都对应于一个输出的像素,该像素值可以按照以下处理方式计算得出:

- 1) 线性处理:采样区域原像素的平均值作为输出;
- 2) 非线性处理:采样区域原像素的中值作为输出;
- 3) 形态学处理:采样区域原像素的最大值或最小值作为输出。

采用线性处理,以采样区域原像素的平均值作为输出,相对于另外两种方法在算法上更易实现而

且效果也很理想。表示方法如下:

$$I'(a', b') = I'(\rho' \sin \theta', \rho' \cos \theta') = g(\rho', \theta'), \quad (6)$$

$$\begin{cases} \bar{I}(A, B) = \frac{1}{n_{\text{number}}} \sum_i I'(A_i, B_i), \\ A = [A_i] + 1, \\ B = [B_i] + 1, \end{cases} \quad (7)$$

式中 $[A_i]$ 表示对 A_i 取整。

最终输出的图像矩阵如下:

$$\begin{cases} \bar{I}'(A', B') = \bar{I}(A, B), \\ A' = -\left(A - \frac{M' + 1}{2}\right), \\ B' = B + \frac{N' + 1}{2} \end{cases} \quad (8)$$

得到非均匀采样的输出图像矩阵后,便可以使用各种清晰度评价函数进行评判。

3 非均匀采样参量的确定

现有的数字成像系统自动对焦时,其对焦窗口往往仅限于中央的不足5%的像素,把成像主体排除在对焦窗口外是对焦失败最主要的原因。如果加大对焦窗口,不仅会增加计算量,更重要的是会增大背景图像的比重,影响评价函数的准确性和单调性,极易造成误判,依旧不能提高聚焦的准确性。选择一个大的对焦窗口并进行非均匀采样,既可以保证大视窗又可以抑制背景图像的负面影响,从而有效地解决这个问题。

实验证明高斯型非均匀采样函数能够很好地满足上述要求,其形式为

$$s(k) = a \exp\left[-\frac{\rho(k)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (9)$$

式中 a 和 σ 为非均匀采样参量, ρ 为采样点距视场中心的距离。 a 决定视场中心的采样率, σ 决定视场边缘区域的采样率。若希望视场中心的采样率保持不变, a 的取值应该等于1。采样后图像的数据量与高斯参量之间有如下关系:

$$N \times N = (a \sqrt{2\pi\sigma^2}) \times (a \sqrt{2\pi\sigma^2}), \quad (10)$$

根据需要的图像数据量和分辨力即可确定采样参量 a 和 σ 的值,文献[1]中给出了详细的证明。

由于聚焦系统在成像时,目标一般被放置在图像中央或中央附近,因此,图像的中央区域的高采样率应保持不变,采样率 $s = 1$,故 a 的取值为1。背景图像大部分处于边缘区域,故应该减小边缘区域的采样率以减小背景图像的对聚焦准确性的负面影

响。研究发现,边缘区域的的采样率和 σ 成正比,即 σ 越大,采样率越大,得到的输出图像的数据量就越大,背景图像的比重就越大;反之, σ 越小,采样率越小,输出图像的数据量就越小,背景图像的比重就越小。可见 σ 越小,背景图像的负面影响就越小,但是,如果 σ 过小,亦会使得偏离中心区域的目标图像的比重减小。所以,非常有必要对 σ 的取值作进一步的研究。

实验表明, σ 的取值和输入图像的大小有关。一般来说, σ 的值确定后,由(10)式就可以得到输出图像的数据量,只要 σ 的值能使输出图像的数据量是输入图像数据量的10%~30%就可以满足对聚集准确性的要求。

4 计算仿真及结果

图2为清晰的原始图像和非均匀采样后的输出图像,可以看出输出图像中心区域的采样率较高,边缘区域的采样率较低,而且距离中心区域越远采样率越低。满足了对大视场的要求,有效地解决了因视场太小使目标图像偏离视场而造成的误判,同时边缘区域的低采样率还能有效地抑制处于边缘区域的背景图像的负面影响。可见,非均匀采样可以解决自动聚焦系统中选择聚焦窗口的矛盾,即目标图像较小且偏离图像的中心区域时,聚焦窗口太小则因不能包括目标图像而产生误判;聚焦窗口过大,则在包括目标图像的同时也包含大量的背景图像,背景图像的负面影响也会导致误判。

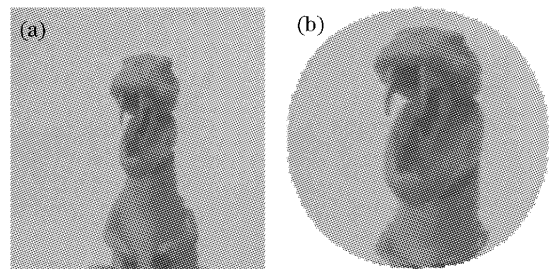


图2 原始图像(a)和非均匀采样图像(b)

Fig. 2 Original picture (a) and un-uniformly sampled picture (b)

本文采用梯度函数对非均匀采样的输出图像进行判别,实验中使用的是自行开发的自动聚焦系统拍摄的一系列离焦—清晰—离焦的图。图3是其中最清晰的一张图像,目标图像是偏离中央区域的布娃娃,稍远一些的书橱是细节比较丰富的背景图像。

图4给出了仿真结果,即评价函数的归一化曲

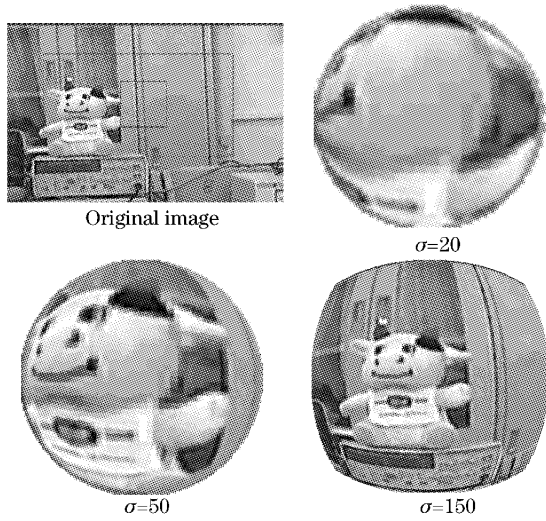


图 3 实验图像

Fig. 3 Experimental picture

线,其中横坐标为镜头的位置,纵坐标为评价函数的归一化值。其中,图 4(a)为不同的选择窗口方法之

间的比较。很显然,非均匀采样的函数曲线($\sigma=43$)在聚焦位置具有唯一的峰值,峰值两侧具有很好的单调性,满足图像清晰度评价函数的基本要求,可以准确地判断出聚焦图像;而大聚焦窗和小聚焦窗的函数曲线在峰值两侧都不具备单调性,这将会使得镜头位置陷入局部极大值造成误判。实验中还发现,虽然对图像进行非均匀采样后再用评价函数进行聚焦,但与大窗口选择法相比并没有影响自动聚焦的实时性。这是因为虽然非均匀采样增加了系统的计算量,但是采样后图像的像素数量减少了。与小窗口选择法相比,虽然计算量增大,但是非均匀采样的准确性却是小窗口选择法所无法比拟的。另外,对于目标图像偏离中心的图像,其非均匀采样参量大小要选取适中,过大或过小都会影响聚焦的准确性。从图 4(b)中可以看出 $a=1$ 时,取值过大或过小,归一化函数曲线都出现了多个局部极值,非常不利于聚焦的准确性。

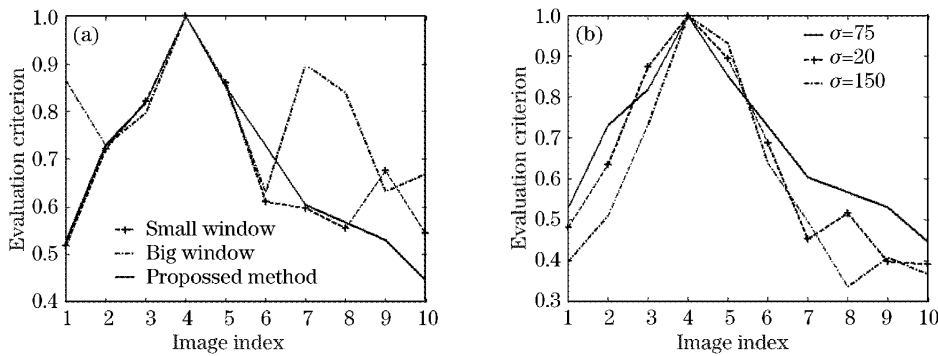


图 4 实验结果对比

Fig. 4 Comparison of experimental results

实验还发现,该法对于目标图像较大或位于中央区域的一般图像也有很高的准确性和有效性。图 5 是目标图像处于中心区域的一般图像以及当参

量 σ 取不同值时所得到的评价函数的归一化曲线,可见 σ 的取值大小对聚焦准确性的影响不大,归一化曲线的单峰性和陡峭性都非常理想。

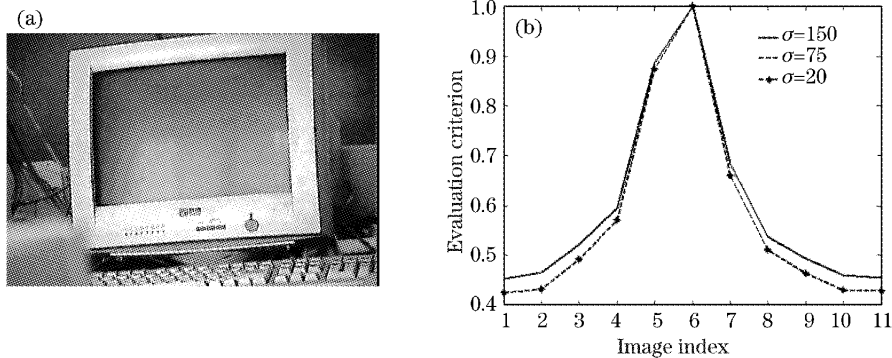


图 5 一般图像(a)及其仿真结果(b)

Fig. 5 Normal picture (a) and its simulated result (b)

4 结 论

提出的高斯非均匀采样方式克服了文献[1]中的方法在自动聚焦系统的局限性,既达到了文献[2]中减少参与运算的像素数的目的,又提高了自动聚焦的准确性。此方法主要针对目标图像较小且偏离中心区域的图像,有效地克服传统取窗策略的弊端,使评价函数准确有效。进一步研究了采样参量对聚焦准确性的影响,选取合适的采样参量后,聚焦的准确性和有效性进一步提高,系统的实时性也比较理想。实验中还发现,由于此法很好地保留了中央区域的细节,对于目标图像较大或位于中央区域的图像,都具有很好的准确性和有效性,所以提出的非均匀采样法适合于各种类型的图像。

参 考 文 献

- 1 Wang Qianqian, Liu Jinghai, Lin Youna. Study on unequally spaced sampling parameters in rosette scanning imaging subsystem[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2002, **31**(4): 322~325 (in Chinese)
王茜倩,刘敬海,林幼娜. 玫瑰扫描亚成像系统中非均匀采样参量的确定[J]. *红外与激光工程*, 2002, **31**(4): 322~325
- 2 Li Qi, Feng Huajun, Xu Zhihai. Autofocus system experiment study using variational image-sampling [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(12): 1499~1501 (in Chinese)
李 奇,冯华君,徐之海. 自动对焦系统中图像非均匀采样的实验研究[J]. *光子学报*, 2003, **32**(12): 1499~1501
- 3 Huang Jianqi, Xu Zhihai, Feng Huajun *et al.*. The application of space variable resolution to automatic focusing [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2001, **28**(1): 22~26 (in Chinese)
黄剑琪,徐之海,冯华君 等. 基于分辨力空间变化的自动聚焦方法[J]. *光电工程*, 2001, **28**(1): 22~26
- 4 Zhu Kongfeng, Jiang Wei, Wang Duanfang *et al.*. New kind of clarity-evaluation-function of image [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2005, **34**(4): 465~468 (in Chinese)
朱孔凤,姜 威,王端芳 等. 一种新的图像清晰度评价函数[J]. *红外与激光工程*, 2005, **34**(4): 465~468
- 5 Zhuo Ning, Sun Huayan, Zhang Haijiang. A new approach for improvement of CCD imaging resolution[J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(6): 777~780 (in Chinese)
卓 宁,孙华燕,张海江 等. 一种新的提高 CCD 成像分辨率的方法[J]. *光学学报*, 2005, **25**(6): 777~780
- 6 Li Qi, Xu Zhihai, Feng Huajun *et al.*. A descriptive method for image stability[J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(3): 427~430 (in Chinese)
李 奇,徐之海,冯华君 等. 一种图像稳定程度的描述方法[J]. *光学学报*, 2004, **24**(3): 427~430
- 7 Mukul V. Shirvaikar. An optimal measure for camera focus and exposure[J]. *Proceeding of the Thirty-Sixth Southeastern Symposium on System Theory*, 2004. 472~475
- 8 Jie He, Rongzhen Zhou, Zhiliang Hong. Modified fast climbing search auto-focus algorithm with adaptive step size searching technique for digital camera[J]. *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, 2003, **49**(2): 257~262
- 9 Yun Gao, Stanley J. Reeves. Optimal sampling in array-based image formation [J]. *Proceedings, 2000 International Conference on Image Processing*, 2000, **1**: 733~736
- 10 Murali Subbarao, Jenn-Kwei Tyan. Selecting the optimal focus measure for autofocusing and depth-from-focus [J]. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998, **20**(8): 864~870
- 11 Yoon Kim, June-Sok Lee, Aldo W. Morales *et al.*. A video camera system with enhanced zoom tracking and auto white balance[J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2002, **48**(3): 428~434