

文章编号: 1003-501X(2010)12-0046-04

光学变焦与缩放算法对图像分辨率的影响

王德江^{1,2}, 匡海鹏¹, 李文明¹, 陈浠惠¹

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 为了研究光学变焦与缩放算法对图像分辨率的影响, 首先深入论述了三种分辨率定义, 即光学镜头分辨率、探测器分辨率、摄影分辨率, 然后从采样理论出发分别分析了光学变焦与缩放算法对图像分辨率的影响与二者之间的区别。最后搭建了分辨率测试系统, 获取了变焦距与缩放算法的靶标图像。实验结果表明, 100 mm 焦距的靶标图像边沿清晰、分辨率高, 而经缩放算法放大一倍的 50 mm 焦距靶标图像边沿模糊, 分辨率下降。

关键词: 光学变焦; 缩放算法; 分辨率

中图分类号: O438

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.1003-501X.2010.12.009

Effect of Optical Zoom and Scaling Algorithms on Image Resolution

WANG De-jiang^{1,2}, KUANG Hai-peng¹, LI Wen-ming^{1,2}, CHEN Xi-hui¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: In order to study effect of optical zoom and scaling algorithms on image resolution, firstly, lens resolution, detector resolution and photographic resolution are discussed thoroughly. Then, differences between optical zoom and scaling algorithms are deduced from sampling theory. Finally, a resolution measurement system is established, and image of drones are obtained based on variable focus and scaling factors. Experimental results indicate that drone of 100 mm focus is vivid in edge and owns higher resolution, and drone of 50 mm amplified by one time is blurred in edge and owns lower resolution.

Key words: optical zoom; scaling algorithm; resolution

0 引言

分辨率是成像系统的关键技术指标^[1]。不同测试目的与测试环境对应的分辨率定义是不相同的。如有光学镜头分辨率、探测器分辨率、静态照相分辨率、动态照相分辨率等^[2]。光学焦距是成像系统的重要技术指标, 一般情况下焦距越长对应的照相分辨率越高, 在相同工作状态下, 如相机焦距为 500 mm 时, 目标对应的像素为 10×10, 而当焦距为 1 000 mm, 该目标对应的像素为 20×20, 这种变化使目标的纹理更加清晰, 有利于图像的判读。另一方面经典的缩放算法如最邻近点插值、线性插值、三次样条插值等也可以对目标进行放大^[3], 有些算法还声称能保留原图像的边沿信息, 克服经典插值算法带来的边沿模糊或锯齿现象^[4-5]。

光学变焦距与缩放算法对图像分辨率有什么影响, 两种方法之间有什么区别, 工程中正确理解与运用两种方法对相机设计与应用技术人员具有重要意义。本文首先深入论述了三种分辨率定义, 然后从采样理

收稿日期: 2010-04-16; 收到修改稿日期: 2010-06-25

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划项目(2006AA06A208)

作者简介: 王德江(1981-), 男(汉族), 黑龙江双鸭山人。博士研究生, 主要研究工作的航空相机设计。E-mail: wangdj04@live.cn。

论出发详细阐述了光学变焦与缩放算法本质上的联系与区别, 最后试验验证了光学变焦与缩放算法对图像分辨率的影响。

1 分辨率分类

1.1 光学镜头分辨率

镜头对被照物体细节的分辨能力称为光学镜头分辨率, 以 1 mm 的宽度内能清晰分辨线对数来定义, 单位为线对/毫米。镜头分辨率是衡量相机成像质量的重要指标。由于镜头存在像差和光的衍射, 使照相镜头的分辨率受到限制。对于无像差的镜头或者像差校正到瑞利极限的优质镜头, 无限远处的物点在系统焦平面上所得的像, 决定于系统通光孔径的形状和大小, 以及光波波长的夫琅和费衍射图样, 这使光学系统由靠近的两个物点所成的像可能发生重叠, 从而限制了光学系统的分辨率。由于衍射的存在, 即使是无像差镜头的分辨率也是有限的。判别两个点经光学系统的准则主要如式(1)的斯帕罗准则与式(2)的瑞利准则。

$$b_1 = \frac{2.976f\lambda}{\pi D} \quad (1); \quad b_2 = \frac{1.22f\lambda}{D} \quad (2)$$

式中: b_1, b_2 是能分辨的最小线宽, f 为焦距, λ 为入射光波长, D 为光学系统的入瞳孔径。

1.2 光电探测器分辨率

光电探测器的基本功能是将光学信号的二维空间分布转变为电子信息, 经过信号处理与转换等变为人眼可辨识的二维光学图像^[6]。探测器接收到的自然界光学图像是连续的, 但探测器每个感光像元的尺寸是离散的, 根据 Shannon 采样定理, 像元截止频率为

$$f_{\text{detector}} = 1/P \quad (3)$$

式中 P 为像元尺寸, 截止频率单位为线对/毫米。

1.3 摄影分辨率

摄影分辨率指成像系统实际工作时对目标的分辨能力。测试方法为放置不同尺寸的靶标, 以成像系统能分辨的最小靶标为基准计算实际摄影分辨率, 如式(4)所示:

$$R = \frac{1}{R_G} \cdot \frac{H}{f} \quad (4)$$

式中: R 为摄影分辨率(线对/毫米), R_G 为靶标一组黑白线条宽度, H 为实际照相高度, f 为相机镜头焦距。

2 光学变焦与缩放算法

2.1 图像采样

缩放算法与光学变焦的目的都是要放大图像, 从而提高判图人员辨别目标的能力。自然界中的景物为连续的, 而经 CCD(Charge Coupled Device)探测器采集后的图像为离散的, 从连续信号到离散信号的转换即为经典的采样过程。地面景物采样间隔的大小如式(5)所示:

$$L = bH/f \quad (5)$$

式中: L 为采样间距, b 为 CCD 像元尺寸大小, H 为实际照相高度, f 为相机焦距。根据采样定理, 采样间距越小, 截止频率越高, 采样获得的数据细节信息量越丰富^[7]。

2.2 光学变焦距

变焦距镜头是一种焦距(或倍率)可以连续变化而像面位置保持相对稳定的镜头。变焦过程中像面尺寸一般是不变的, 因此系统的视场会因为焦距变长而减少, 如式(6)所示:

$$u_p = -h/f \quad (6)$$

式中: u_p 为相机视场角, h 为探测器尺寸, f 为相机焦距。虽然此时相机的视场角减少, 但光学系统的放大率增大, 如式(7)所示:

$$m = f/x \quad (7)$$

式中: x 为景物与相机间的距离。按照式(4)所示, 当焦距为 f 时, 相机对地面景物采样间距为 $H/(R_G f)$,

当焦距为 $2f$ 时, 相机对地面景物采样间距为 $H/(2R_G f)$, 虽然视场减少了一半, 但空间采样频率提高一倍, 景物的细节更容易分辨, 如图 1 所示。另一方面较大范围内的改变光学焦距对相机的相对孔径亦有影响, 而相对孔径对像面平均照度关系如式(8)所示:

$$E = \frac{\pi}{4} \left(\frac{D}{f} \right)^2 L \tau \cos^4 \beta \quad (8)$$

其中: E 为像面上的平均照度, D 为光学镜头的入瞳直径, f 为相机焦距, L 为视场内景物的平均亮度, τ 为镜头的透射率, β 为镜头的视场角。当焦距增加 1 倍后像面的照度降低为原照度的 1/4, 此时需要延长曝光时间才能保持图像的信噪比。

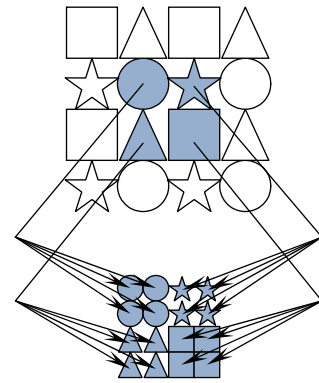


图 1 $f, 2f$ 采样示意图

Fig.1 Diagram of sample in f and $2f$ focus length

2.3 图像缩放算法

为了更好的判读目标, 一般采用缩放算法放大遥感图像, 这是因为遥感图像单个像素对应的地面景物大, 而视神经能分辨两像点间最小距离应至少等于两个神经细胞直径, 否则视神经无法分辨出两点。在良好照明时, 人眼能分辨的物点间最小角为视角分辨率, 如式(9)所示:

$$\tan \varepsilon = \frac{0.006}{f'} \times 206\,265'' \quad (9)$$

当眼睛在无调节的松弛状态下, 焦距 $f=23\text{ mm}$, 此时 $\varepsilon=60''$ 。遥感图像中感兴趣的目标放大后进入人眼的视场角随之增大, 更多的视神经参与感测目标, 从而人眼的判别能力得到增强。对一幅连续图像信号 $s(x, y)$ 采样, 当满足奈奎斯特采样定理即连续信号频谱的最高频率小于折叠频率, 则抽样后在傅里叶频率域将产生周期延拓的连续频谱 $s(u, v)$, 并且原信号的频谱和各延拓分量的频谱彼此不重叠。所以, 仅当奈奎斯特采样定理满足时, 采用一个理想低通滤波器就能把原始图像连续信号 $s(x, y)$ 从采样后的离散信号 $s(k, l)$ 完全恢复出来。理想滤波器的脉冲响应是无限的, 工程中通常采用的缩放算法为最邻域法插值、线性插值、B 样条插值、三次插值等。这些算法本质上都是利用一个低通滤波器重构原图像, 因此图像的高频分量不可避免的都会受到损失。

2.4 光学变焦与缩放算法的区别

光学变焦与缩放算法本质上的区别在于: 光学变焦改变的是相机对连续景物的采样频率 f_c , 而缩放算法没有改变采样频率, 只是重构了 1/2 采样频率内的图像信息^[8-9]。因此在其它条件相同的情况下光学变焦能够提高相机的照相分辨率, 而图像缩放只是放大了采集图像对人眼的视场角, 更有利于后期的图像判读, 但并不能改变相机的照相分辨率。

3 试 验

为了验证光学变焦与缩放算法对照相分辨率的影响, 搭建了一个试验平台, 如图 2 所示。试验测试系统主要包含四部分: 可见光源、标准靶标、准直仪、可变焦面阵 CCD 相机。可见光源照射在标准靶标图案上, 形成摄影目标, 试验中选用四条形靶, 一条亮条纹或一条暗条纹的宽度为 0.3 mm ; 准直仪用光学方法将目标置于无穷远处, 本次试验选用的准直仪焦距为 $1\,500\text{ mm}$; 镜头焦距在 $50\sim 200\text{ mm}$ 范围内可调; 选用面阵 CCD 相机作为接收元件, 其中像元尺寸为 $13\text{ }\mu\text{m} \times 13\text{ }\mu\text{m}$ 。根据第一节的论述, 当焦距为 50 mm 时, 单个亮条纹或暗条纹在像面上对应的宽度为 $10\text{ }\mu\text{m}$; 当焦距为 100 mm 时, 对应的宽度为 $20\text{ }\mu\text{m}$ 。

图 3 给出了当光学焦距为 50 mm , 获取的靶标图像, 图 4 为光学焦距为 100 mm 时获取的靶标图像。从中可明显发现, 焦距增加一倍, 空间采样频率提高一倍, 从而使靶标图案的边沿信息更加丰富, 但同时由于相对孔径的减少, 图 4 的亮度有所降低。对 50 mm 焦距靶标图案采用最邻域插值, 线性插值、双三次插值算法放大一倍, 如图 5、6、7 所示, 虽然靶标图像放大了一倍, 与 100 mm 焦距采集的图像大小一致, 但由于欠采样的原因, 边沿信息明显模糊, 分辨率并没有提高。

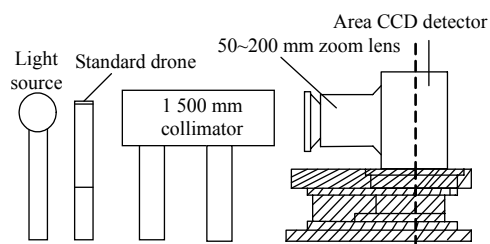


图 2 测试系统框图

Fig.2 Diagram of measurement system

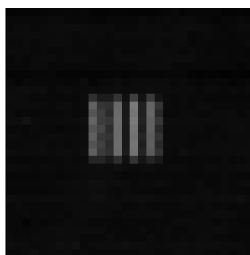


图 3 50 mm 焦距靶标图像

Fig.3 Drone of 50 mm focus length



图 4 100 mm 焦距靶标图像

Fig.4 Drone of 100 mm focus length

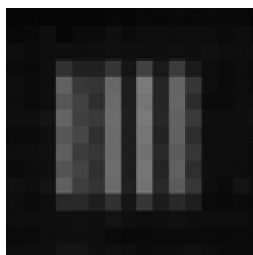


图 5 最邻域插值

Fig.5 Nearest interpolation

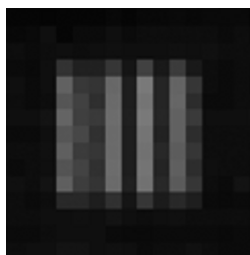


图 6 线性插值

Fig.6 Linear interpolation

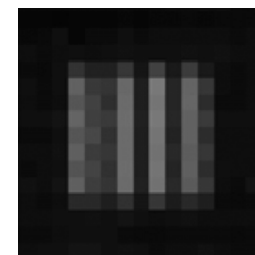


图 7 双三次插值

Fig.7 Bi-cubic interpolation

4 结 论

针对光学变焦与缩放算法对图像分辨率有什么影响,本质上有何区别这一问题,本文从采样理论出发,将光学变焦与图像缩放结合起来分析,在理论上深入讨论了二者之间的联系与区别,并搭建起了分辨率测试平台,试验验证了变焦距与缩放算法对分辨率的影响。本文的分析与试验希望对相机的设计与应用技术人员提供一点启发,从而更深入的理解与运用这两种方法。

参考文献:

- [1] 王德江, 张涛, 匡海鹏, 等. 陀螺关键参数的标定及对航空相机伺服控制系统的影响[J]. 光电工程, 2010, 37(1): 43-48.
WANG De-jiang, ZHANG Tao, KUANG Hai-peng, *et al.* Calibration of Gyro's Key Parameters and Their Effect on Aerial Camera's Servo Control System [J]. **Opto-Electronic Engineering**, 2010, 37(1): 43-48.
- [2] Smith W J. **Modern Optical Engineering** [M]. New York: McGraw-Hill, Inc, 2000.
- [3] Eehmann Thomas M. Survey: Interpolation Methods In Medical Image Processing [J]. **IEEE Transaction on Medical Imaging**(S0278-0062), 1999, 18(11): 1049-1075.
- [4] Xin L, Orchard M T. New Edge-Directed Interpolation [J]. **IEEE Transaction on Image Processing**(S1057-7149), 2001, 10(10): 1521-1527.
- [5] Saif Zahir, Rabab Ward. A New Edge Preserving Binary Images Resizing Technique [J]. **Journal of Circuits, Systems, and Computers**(S1793-6454), 2002, 11(3): 247-257.
- [6] Holst G C. **CCD Array, Cameras and Displays** [M]. Bellingham: SPIE Optical Engineering Press, 1996.
- [7] 曹琦, 王德江, 张齐, 等. 红外点目标的能量积累[J]. 光学 精密工程, 2010, 18(3): 741-747.
CAO Qi, WANG De-jiang, ZHANG Qi, *et al.* Energy Accumulation in Infrared Point Target Detection [J]. **Optics and Precision Engineering**, 2010, 18(3): 741-747.
- [8] 刘妍妍, 张新, 徐正平, 等. 利用异型像元探测器提高空间分辨率[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(10): 2620-2627.
LIU Yan-yan, ZHANG Xin, XU Zheng-ping, *et al.* Enhancing spatial-resolution with detectors of special-shaped pixels [J]. **Optics and Precision Engineering**, 2009, 17(10): 2620-2627.
- [9] Smith Steven L. Understanding image quality losses due to smear in high-resolution remote sensing imaging systems [J]. **Optical Engineering**(S0091-3286), 1999, 35(5): 821-826.