

文章编号: 0253-2239(2005)06-777-4

# 一种新的提高 CCD 成像分辨率的方法

卓 宁<sup>1</sup> 孙华燕<sup>1</sup> 张海江<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 装备指挥技术学院, 北京 101416  
<sup>2</sup> 中国人民解放军 92941 部队 98 分队, 辽宁 葫芦岛 125001)

**摘要:** 提高数字图像的分辨率一直是一个热门话题,在现代高技术战争中发挥着重要的作用。从 CCD 成像原理出发,分析了 1/2 像素错位的低分辨率图像与高分辨率图像各像素灰度值之间的对应关系,提出了一种新的提高 CCD 成像分辨率的方法。通过多次移动 CCD 获得多幅低分辨率图像,按照介绍的算法合成一幅高分辨率图像,达到了 CCD 分辨率提高多倍的目的,算法的本质是使一超定解多元方程组变成有唯一解的方程组。通过仿真实验和分析表明:所建立的提高分辨率的方法是正确的,分辨率可以提高 2 倍、3 倍甚至更高在理论上是可行的,而计算时间的复杂度远远小于其它方法。

**关键词:** 成像光学; CCD; 空间分辨率; 多次移位

中图分类号: TN911.73 文献标识码: A

## A New Approach for Improvemnet of CCD Imaging Resolution

Zhuo Ning<sup>1</sup> Sun Huayan<sup>1</sup> Zhang Haijiang<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> *Institute of Equipment Command and Technology, Beijing 101416*  
<sup>2</sup> *PLA 92941 Command and 98 Unit, Huludao, Liaoning Province 125001*)

**Abstract:** Improvemnet of imaging resolution is a hot topic, it plays the important role in modern war. The relation of pixel gray-level of low resolution images and high resolution image is found based on charge coupled device (CCD) imaging theory, and a new approach for improvement of CCD imaging resolution is proposed. A high resolution image is obtained by moving multi-shift images with low resolution, the objective of improvement of CCD resolution for many times is attained. Making the indeterminate equation into unique-value equation is the essence of this approach. The simulation examples show that the approach for improvemnet of CCD imaging resolution is right, resolution can be improved 2 times, 3 times and even  $N$  times in theory. In addition, operation time is lower than other methods.

**Key words:** imaging optics; CCD; high resolution; multi-shift

## 1 引 言

近年来,随着光电技术的发展,提高 CCD 空间分辨率成为现代光电子学测试技术中最为关注的研究热点之一。在国防军事领域,CCD 成像技术在微光、夜视、遥感应用中发挥着巨大的作用,是图像采集及数字化处理不可少的器件,特别是在传感器应用方面取得了令人瞩目的发展,成为现代高科技战争中不可或缺的重要手段,因而成为军事微电子学的研究热门。但由于 CCD 是由多个感光小单元排

列而成的,所以从原理上就决定了其空间分辨率受 CCD 感光小单元的几何尺寸限制。为了提高数字成像系统的分辨率,即有效提高 CCD 的分辨率,目前主要有纯硬件法、纯软件法、软硬件结合三类方法<sup>[1~10]</sup>。

关于这几类方法许多文献都有报道:文献[1]提出了利用多幅互有位移的图像序列合成更高分辨率图像的方法。文献[8,9]提出了通过移动 CCD 获取互有位移图像序列,然后由软件合成一幅具有更高

作者简介:卓 宁(1976~),女,安徽蚌埠人,工程师,硕士研究生,主要从事图像信号处理方面的研究。

E-mail: rechselzn@sohu.com

收稿日期: 2004-09-07; 收到修改稿日期: 2004-11-15

分辨率图像的方法,其中文献[8]采用 16 幅图像分辨率可提高 2.5 倍;文献[9]采用 4 幅图像分辨率可提高 1.5 倍。

本文在仿真的基础上提出一种新的通过多次移动 CCD 获得多幅低分辨率图像从而合成一幅高分辨率图像的方法。算法的实质是使一超定解多元方程组变成有唯一解的方程组,这与文献[8,9]中的方法有本质区别,本方法是对应像素一对一解算出来的,采用的基本上是加、减运算,分辨率可以提高 2 倍、3 倍甚至更高,而计算时间的复杂度远远小于已有方法,速度快,易于硬件实现。

## 2 基本原理

CCD 摄像器件每个光敏单元都是分离的,即图 1 中虚线框中的黑色区域,CCD 探测到的不是整个图像的信息,而是其中被光敏面覆盖的部分,读出的信号是光敏单元感光面上的平均光强,然后经模-数转换,以数字图像方式进行存储和显示。因此,CCD 对信号的采样不是连续的,而是以矩形脉冲的形式进行离散采样。既然每个像素所表示的是对应光敏单元四边形感光面上的平均光强,就让它等于图中每个虚线框所在四边形的平均光强,相当于让 CCD 的感光单元一个个紧挨着排列。如图 2 所示。

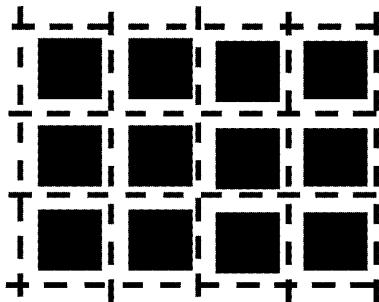


图 1 CCD 受光面结构示意图

Fig. 1 The structure of light sensitive surface of CCD

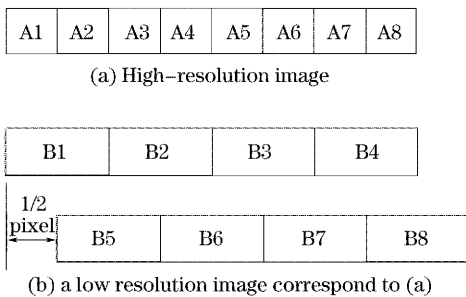


图 2 图像移位示意图

Fig. 2 Sketch map for image shift

由于二维面阵 CCD 成像的情况比较复杂,但与

一维线阵的原理一致,所以下面以一维线阵 CCD 成像分辨率提高 2 倍的例子来说明本方法的基本原理。

如图 2(a)所示,假设“真实”图像(即高分辨图像)只有 1 行,且只有 8 个像素。其中 A1-A8 表示高分辨图像中的 8 个未知像素,可以通过图 2(b)中低分辨率图像来求得。分辨率提高 2 倍,即低分辨率图像的像素宽度与高分辨图像的像素宽度之比为 4:2。显然,提高同样的倍数可以采用不同的移位方式。本文采用的是原始图像、水平方向错位 1/2 像素、垂直方向错位 1/2 像素及水平和垂直方向均错位 1/2 像素的 4 幅低分辨率图像。

取图 2(b)中像素 B1 的左边界与图 2(a)中像素 A1 的左边界对齐,根据几何关系,B4 右边界和 A8 右边界对齐。如果不考虑成像镜头引起的畸变等不可知因素的影响,低分辨率图像与高分辨图像中各个像素灰度值之间符合以下解析关系:

$$G_{B1} = (G_{A1} + G_{A2}) \times 1/K; \quad (1)$$

$$G_{B5} = (G_{A2} + G_{A3}) \times 1/K; \quad (2)$$

式中  $K$  为分辨率提高的倍数,本文中分辨率提高 2 倍即  $K=2$ (原理如图 2 所示)。从式(1)、(2)可以看出由  $G_{B1}$ 、 $G_{B5}$  解  $G_{A1}$ 、 $G_{A2}$ 、 $G_{A3}$  三个未知数出现了超定解的情况,未知数的解不唯一。怎样才能得到唯一解呢?如果令高分辨图像中  $G_{A1}$  的初始灰度值  $G_{A1}$  为零,并由式(1)、(2)可得

$$\begin{aligned} G_{A1} &= 0; \\ G_{A2} &= 2 \times G_{B1}; \\ G_{A3} &= 2 \times G_{B5} - G_{A2}; \\ &\dots \end{aligned} \quad (3)$$

以此类推可解出  $G_{A2}$ 、 $G_{A3}$ 、 $G_{A4}$ 、 $G_{A5}$ 、 $G_{A6}$ 、 $G_{A7}$ 、 $G_{A8}$ 。

对于二维图像只需在水平和垂直方向分别移动一次,每次错位 1/2 像素,得到 4 幅低分辨率图像(包括原始图像),然后找到低分辨率图像与高分辨图像中各个像素灰度值之间的解析关系,即可求解出水平和垂直方向分辨率都提高 2 倍的图像。而文献[9]中的算法需要 16 幅图像才能使图像的分辨率提高 2 倍。

## 3 仿真实验与结果分析

仿真实验采用模拟靶标图像和实际拍摄的图像对算法进行验证。模拟靶标图像是由 Matlab 生成(如图 3),其原理是模拟 CCD 阵列对原始图像进行降低空间分辨率扫描;图 4 中的低分辨率图像是对

一幅法国地球资源探测卫星 (Satellite Probatoire d'Observation de la Terre, SPOT)5 图像采用焦距为 10~100 mm、CCD 像元大小为 8  $\mu\text{m}$  的变焦距数码相机进行拍摄而来。因为 CCD 像元大小为

8  $\mu\text{m}$ , 移动相机难度较大, 所以采用移动图片的方法, 经计算每个像元对应物平面上的尺寸为 2 mm, 移动 1/2 像元即图片移动 1 mm。

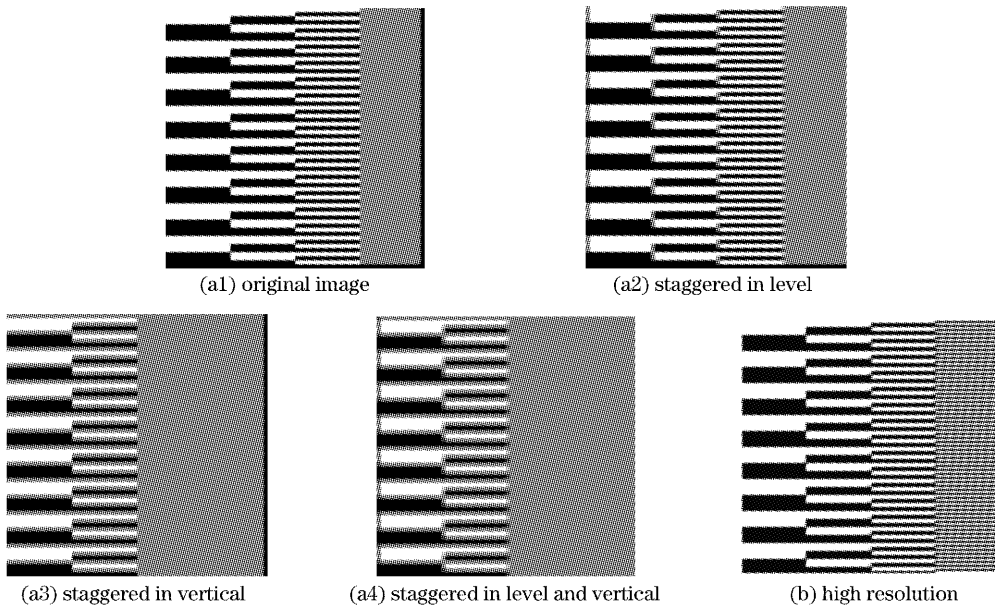


图 3 分辨率提高两倍的靶标模拟图像

Fig. 3 Spatial resolution improved double for drone image

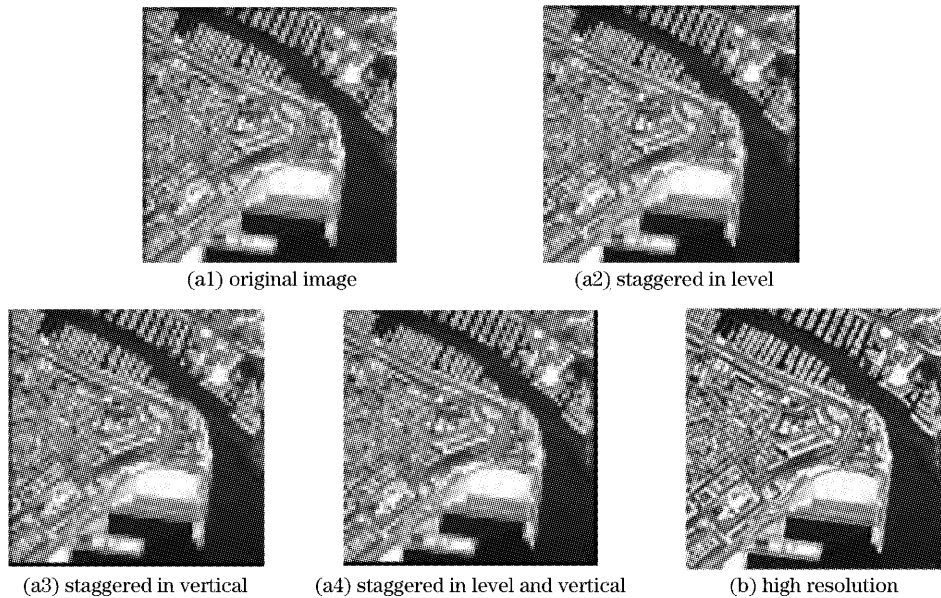


图 4 分辨率提高两倍的实拍图像

Fig. 4 Spatial resolution improved double for real image

将相机固定在三脚架上, 图片固定于两个千分尺上, 拍摄第一副图像, 记录两个千分尺位置; 然后将图片向右、向下分别移动 1 mm 以及向右向下均移动 1 mm, 拍摄其它三幅图像。试验结果如图 4 所示。

在图 3 和图 4 中, (a1)~(a4) 是四幅低分辨率图像, (b) 是分辨率提高 2 倍的高分辨率图像。

图 3(b) 可以分辨出低分辨率分辨不出的靶标条纹, 证明了本方法是正确可行的。本文又进一步对实际拍摄的四幅低分辨率图像进行了验证, 可以明显看出图 4(b) 的像元变小了, 图像变细腻了, 本来看不见的街道都清晰可见了。

为了增加可比性, 本文对文献[8,9]中的算法也

用 Matlab 软件进行了实现,下面就这三种算法作一简单比较:

表 1 几种方法的比较

Table 1 Compare with some methods

	Inversion analysis	New approach	Inversion analysis	New approach
Image number /set	4	4	16	16
Improve resolution /times	1.5	2.0	2.5	4.0
Image shift /pixel	1/3	1/2	1/5	1/4
Time /s	3.8760	2.2640	12.0410	7.7710

从表 1 可见,在具有同样数目的低分辨率图像时,本方法提高的倍数比文献[8,9]中的方法要多且移动像元数也大,像元数移动得越大在硬件上越容易实现,而且本方法计算时间远远小于以上两种方法。

(3)式中的  $G_{A1} = 0$  是非常理想的情况,为了分析  $G_{A1} \neq 0$  对图像质量的影响,本文引用平均梯度  $\bar{g}$ :

$$\bar{g} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (\Delta I_x^2 + \Delta I_y^2),$$

$$\Delta I_x = f(i+1, j) - f(i, j),$$

$$\Delta I_y = f(i, j+1) - f(i, j).$$

平均梯度反映了图像中微小细节反差与纹理变化特征及清晰度,可以为评价分辨率是否提高提供一个参考。在仿真中对二维图像的第一行和第一列亮度提高 3%,则平均梯度降低了 14.47%。因此,  $G_{A1} \neq 0$  将影响图像的质量,降低图像的分辨率。

## 4 结论与展望

本文只是对算法的初步研究,要将这一理论应用到实际工程,还需要解决实际光学系统中点扩展函数(PSF)和噪声对算法的影响以及光学镜头的畸变等问题,这虽然不是本课题的研究范围,但是下一步研究的重点。作者对初始条件的解决提出了以下两种方法:

1) 采用蒙版的方法,在光学镜头后上侧及左侧添加蒙版,用于阻挡一半光线,以实现初始条件。但是蒙住的部分的灰度值可能不完全等于零;

2) CCD 单元减半的方法,将 CCD 成像阵列的上侧及左侧的边缘感光单元面积减半,使其曝光量相当于其他 CCD 感光单元曝光量的一半,以实现初始条件。限于实验条件,文中仿真采用通过计算将四幅图像的左边缘及上边缘灰度减半的方法仿真。

但是以上两种方法需要考虑衍射的影响,精确度难于控制,这就需要继续研究。

## 参 考 文 献

- 1 D. Mendlovic, A. W. Lohmann, N. Konforti *et al.*. One-dimensional superresolution optical system for temporally restricted objects[J]. *Appl. Opt.*, 1997, **36**(11): 2353~2359
- 2 R. Y. Tsai, T. S. Huang. Multiframe image resolution and registration [J]. *Advances in Computer Vision and Image Processing*, 1984, **1**(1): 317~319
- 3 J. Fryer, K. McIntosh. Enhancement of image resolution in digital photogrammetry [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2001, **67**(6): 741~749
- 4 L. Wald, T. Ranchin. Fusion of images and raster-maps of different spatial resolutions by encrustation: an improved approach [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 1995, **19**(2): 77~87
- 5 H. Li, B. S. Manjunath, S. K. Mitra. Multisensor image fusion using the wavelet transform [J]. *Graphical Models and Image Processing*, 1995, **57**(3): 235~245
- 6 Tao Jiasheng. Study of the CCD sensor imaging resolution of the imaging reconnaissance [J]. *Optical Technique*, 2003, **29**(1): 94~95 (in Chinese)
- 陶家生. 用于成像侦察的 CCD 探测器成像分辨力的探讨 [J]. *光学技术*, 2003, **29**(1): 94~95
- 7 Zhou Chunping, Tian Yue, Ji Tongkai *et al.*. The study of method for improving the spatial resolution of satellite images with CCD cameras [J]. *J. Remote Sensing*, 2002, **6**(3): 179~182 (in Chinese)
- 周春平,田越,季统凯等. 一种提高 CCD 成像卫星空间分辨率的方法研究 [J]. *遥感学报*, 2002, **6**(3): 179~182
- 8 Wang Ling, Zhang Ping, Feng Huajun *et al.*. An inversion analysis method based on multi-shift imaging for improvement of CCD imaging resolution [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2003, **30**(3): 62~65 (in Chinese)
- 王凌,张平,冯华君等. 用多次移位成像提高 CCD 成像分辨率得反演解析法 [J]. *光电工程*, 2003, **30**(3): 62~65
- 9 Zhang Ping, Wang Ling, Feng Huajun *et al.*. High-resolution image reconstruction from multiple low-resolution images [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(2): 192~194 (in Chinese)
- 张平,王凌,冯华君等. 基于多次成像的分辨率提高算法研究 [J]. *光子学报*, 2003, **32**(2): 192~194
- 10 Qian Lin, Ye Yan. Primary investigation on improving spatial resolution of CCD imaging [J]. *Optical Technique*, 2002, **28**(4): 374~375 (in Chinese)
- 钱霖,叶燕. 一种提高 CCD 像元分辨率方法的初步探讨 [J]. *光学技术*, 2002, **28**(4): 374~375