

文章编号 : 0253-2239(2002)11-1396-04

CCD 细分技术方法研究及应用 *

谌廷政 吕海宝

(国防科技大学机电工程与自动化学院 , 长沙 410073)

摘要 : 依据线阵 CCD 和面阵 CCD 细分技术的原理 , 提出了九点四线曲面拟合的面阵 CCD 细分方法 , 并通过与均值法对比以及在图像放大和图像定位中的实际应用 , 证明了该方法不仅计算简便、图像相关度高、边缘趋势保持较好 , 而且可大大提高图像的分辨率和目标图像的定位精度。

关键词 : CCD ; 九点四线 ; 曲面拟合 ; 细分技术

中图分类号 : TN386.5 文献标识码 : A

1 引 言

电荷耦合器 (Charge Coupled Device , 简称 CCD) 成像的过程 , 也就是 CCD 像元对空间光信号抽样的过程。像元之间的离散性 , 导致原来平缓过渡的连续灰度图像被抽样分割成阶梯状离散灰度图像。离散度与 CCD 本身的分辨率有关 , 分辨率越低 , 离散度越大。目前高分辨率的 CCD 摄像机 , 线阵可达 12000 线以上 , 面阵可达上千万像元之多。但由于速度、价格及出口限制等原因 , 并不是每个用户都能获得分辨率满足要求的产品。本文在 CCD 细分原理的基础上 , 提出了一种计算简便的九点四线曲面拟合面阵 CCD 细分方法。利用该方法 , 可在低分辨率 CCD 摄像机上获得高分辨率的图像 , 降低图像灰度的离散度 , 使抽样后的图像更接近于原始图像 , 并能大大提高目标图像的定位精度。

2 CCD 细分技术的原理

2.1 线阵 CCD 细分技术原理

线阵 CCD 细分采用的基本方法是数学插值^[1]。插值可分为线性插值^[2]和非线性插值。线性插值包括均值插值和中值插值^[3] ; 非线性插值有三次插值^[4]、B 样条插值、最小二乘法多项式曲线拟合等。曲线拟合过程中 , 设每个像元对应的宽度范围内 , 只在中心点的灰度值为该像元对应的灰度值 , 其它位置的灰度值需经插值方可获得。则已知 n 个像元对应

的灰度值 $G_i (i = 0, 1, \dots, n)$, 可构造 $m (2 \leq m < n)$ 次多项式 :

$$G_i = a_0 + a_1 x_i + \dots + a_m x_i^m , \quad (1)$$

$(i = 0, 1, 2, \dots, n)$

式中 , x_i 表示第 i 个像元的中心位置坐标。细分后 , 图像的灰度离散度降低 , 比细分前的采样图像更接近于原始图像。

2.2 面阵 CCD 细分技术原理

由于面阵 CCD 上每个 CCD 像元的灰度值在空间分布上对应于一个曲面 , 因此面阵 CCD 细分需做曲面拟合。根据已知成像区域内 $N \times M$ 个像元的坐标 $(x_i, y_j) (i = 1, \dots, N ; j = 1, \dots, M)$ 和相应的灰度值 G_{ij} , 可利用最小二乘法拟合出一个描述灰度分布的曲面多项式 :

$$G(x, y) = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^L a_{ij} x^{i-1} y^{j-1} , \quad (2)$$

K, L 分别为水平和垂直方向的多项式最高阶次。

这种方法的好处是灰度曲面拟合比较准确 , 缺点是计算量大 , 计算费时 , 不利于大数据量图像的实时或准实时处理。下面介绍一种计算简便、效率更高的九点四线曲面拟合面阵 CCD 细分法。

3 九点四线曲面拟合面阵 CCD 细分技术

面阵 CCD 细分 , 需要充分考虑 CCD 阵列上各像元对应灰度之间的相关性。事实上 , 面阵 CCD 除四条边上的像元外 , 其它每个像元的灰度值均与四周八个像元的灰度直接相关 (或者说相关度最大) , 见图 1(a)。因此 , 细分后的面阵 CCD , 每个细分亚

* 国家自然科学基金 (50005022) 资助课题。

E-mail : dfzt2001@163.com

收稿日期 : 2001-11-19 ; 收到修改稿日期 : 2002-01-04

像元的灰度值要由水平、垂直和两个对角线四个方向的灰度变化趋势综合决定。利用每个方向上已知的三个以上像元灰度值,可拟合出四条曲线,根据这四条拟合曲线在细分亚像元对应位置上的细分插值,可求出一个能比较客观真实反映当前点图像变化情况的灰度值。具体计算方法如下:

设二细分后,一个像元被细分成四个亚像元,对应的灰度值函数为: $\Delta(\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4)$ 。由于四个方向拟合曲线上的三个细分插值点位置坐标相同,因此,令四条曲线在三个细分插值点上的插值灰度分别为 $G_1(g_1, g_2, g_3, g_4)$, $G_2(g'_1, g'_2, g'_3, g'_4)$ 和

$G_3(g''_1, g''_2, g''_3, g''_4)$ 则

$$G_1 = \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \\ g_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{10} & a_{11} & a_{12} \\ a_{20} & a_{21} & a_{22} \\ a_{30} & a_{31} & a_{32} \\ a_{40} & a_{41} & a_{42} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ x_1 \\ x_1^2 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

其中,图 1(b)以及(3)式中的 x_1 、 x_2 和 x_3 分别为细分插值点的坐标值。利用(3)式同样可求出 $G_2(g'_1, g'_2, g'_3, g'_4)$ 和 $G_3(g''_1, g''_2, g''_3, g''_4)$ 将四条灰度拟合曲线在细分亚像元处的灰度插值加权求和,即可得到细分亚像元的灰度值 $\Delta(\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4)$ 。

$$\Delta = \begin{bmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \Delta_3 \\ \Delta_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & q_2 & q_3 & q_4 \\ 0 & 0 & 0 & q_4 \\ q_1 & q_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \\ g_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} q_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q_3 & 0 \\ 0 & 0 & q_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g'_1 \\ g'_2 \\ g'_3 \\ g'_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ q_1 & q_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_4 \\ 0 & q_2 & q_3 & q_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g''_1 \\ g''_2 \\ g''_3 \\ g''_4 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

其中, q_1 、 q_2 、 q_3 和 q_4 分别为曲线 1、2、3、4 在细分像元处的灰度加权值。利用以上公式即可以对面阵 CCD 图像进行二细分插值。同理可推导出四细分插值公式和八细分插值公式。该方法的优点是:编程容易,计算简便,不仅图像处理速度快,可用于准实时处理,而且提高了图像分辨率和目标图像的定位精度。

利用(3)式和(4)式,对图 2(a)九个像元面的中间像元二细分,像元面上每个方格中的数字代表该像元对应的灰度值。图 2(b)和图 2(c)分别为均值法和九点四线曲面拟合法计算的细分结果,计算权值取 $q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = 0.25$ 。用该像元的每个细分灰度值代替原灰度值,并计算与原图像的相关系数,结果见表 1。

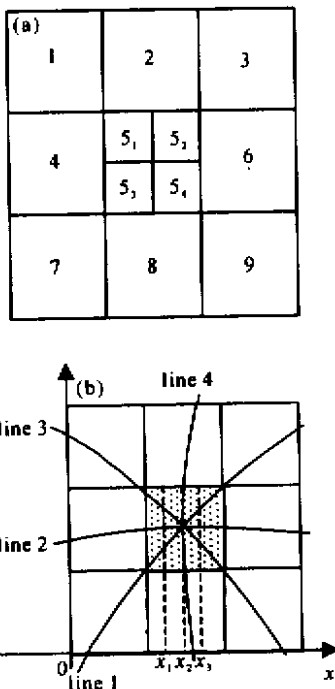


Fig. 1 Twice subdividing for area CCD surface fitting using nine points-four lines. (a) Twice subdividing; (b) Twice subdividing using fitting curves in four directions

	10	80	150
(a)	70	140	160
	130	200	220
	10	80	150
(b)	70	75 133	160
		135 180	
	130	200	220
	10	80	150
(c)	70	128 139	160
		140 150	
	130	200	220

Fig. 2 The comparison between two kinds of subdividing methods. (a) Gray scale of original picture; (b) Twice subdividing using average; (c) Twice subdividing using nine points-four lines

从图 2 和表 1 可以看出,均值二细分后的图像

虽然与原图像保持较高的相关度,但易导致图像边缘模糊;九点四线曲面拟合面阵 CCD 细分新方法不仅使细分后的图像与原图像保持了很高的相关度,而且保持了原图像的边缘效果,极大地降低了细分模糊效应。

Table 1. The comparison of correlations between two kinds of subdividing methods

subdividing gray scale	g_{51}	g_{52}	g_{53}	g_{54}
averaging method /%	94.84	99.94	99.97	98.08
nine points-four curves method /%	99.82	100	100	99.87

4 九点四线曲面拟合面阵 CCD 细分技术的应用

4.1 图像高分辨率放大

细分的过程实际上就是一个图像放大的过程。二细分后,一个像元变成四个亚像元,对应四个灰度值,因此,整个二细分部分的亚像元在计算机屏幕上显示的就是一个放大四倍的图像,如图 3 所示。且细分后的图像分辨率由原来的半个像元提高到四分之一像元。四细分、八细分的分辨率则更高。

细分放大还可以使图像细化,边缘过渡平缓,大大减弱马赛克现象。在图 3 中,图 3(a)、图 3(c)是直接拉伸放大的图像,图 3(b)、图 3(d)是用九点四线曲面拟合 CCD 细分技术获得的放大图像(取加权值 $q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = 0.25$)。由图 3 可以看出,细分放大图像的马赛克现象要比直接拉伸放大的小得多,且细分度越高,图像边缘过渡越平缓,畸变越小。

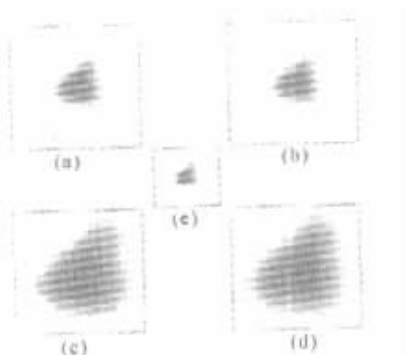


Fig.3 Picture enlargement. (a) Twice draw enlargement; (b) Twice subdividing enlargement; (c) Four times drawing enlargement; (d) Four time subdividing enlargement; (e) Original picture

4.2 目标图像识别定位

用 TM1300(1300 × 1030 像素)摄像机拍摄间隔为 0.5 mm 的标准网格板(如图 4),以图 4 中的某一点为原点,沿垂直方向判读十组数据,判读结果及判读均方根误差(σ)见表 2,表 2 中数据未经光学畸变修正。

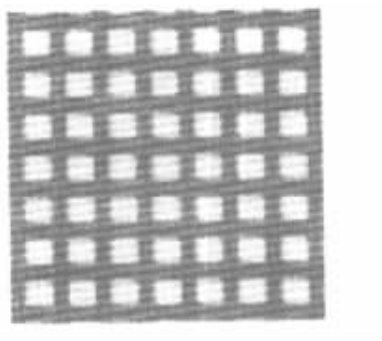


Fig.4 The picture of standard grid plate captured by CCD camera

Table 2. The locating comparison between the original picture and subdivided picture

No.	standard value /mm	locating results /mm		locating error / μm	
		before subdividing	after subdividing	before subdividing	after subdividing
1	-0.5	-0.50601	-0.50601	-6.01	-6.01
2	-1.0	-1.01203	-0.99178	-12.03	8.22
3	-1.5	-1.51804	-1.49780	-18.04	2.20
4	-2.0	-2.00381	-2.00381	-3.81	-3.81
5	-2.5	-2.50982	-2.50982	-9.82	-9.82
6	-3.0	-3.01583	-2.99559	-15.83	4.41
7	-3.5	-3.52185	-3.50161	-21.85	-1.61
8	-4.0	-4.00762	-4.00762	-7.62	-7.62
9	-4.5	-4.51363	-4.50863	-13.63	-8.63
10	-5.0	-5.01964	-4.99940	-19.64	0.60
Average	—	—	—	-12.83	-2.21
σ	—	—	—	14.05	6.12

从表 2 中的比对结果可以看出,细分后网格定位的均方根误差要远小于细分前的均方根误差,细分前的定位结果离差较大,而且导致定位误差均值偏离零值半个像元宽度,而细分后的定位结果离差较小,且定位误差在零值上下波动。因此,将细分技术应用于图像目标定位中,可以降低因 CCD 分辨率较低引入的误差,较大地提高目标定位精度。

结束语 从前面的分析和应用可以看出,本文提出的九点四线曲面拟合面阵 CCD 细分新方法,不仅可使细分后的图像与原图像保持很高的相关度,而且保持了原图像的边缘效果,极大地降低了细分模糊效应,提高了目标图像的分辨率和定位精度,具有较高的实用价值。

当然,细分也不是无止境的,影响精度的还有其它客观因素,如光学畸变修正等。细分到一定程度

后,细分数再高,则既浪费计算时间又不会提高精度。

参 考 文 献

- [1] Sakamoto T, Nakanishi C, Hase T. Software pixel interpolation for digital still camera suitable for A 32-bit MCU. *IEEE Trans Consumer Electronics*, 1998, **44**(4): 1342 ~ 1352
- [2] Kuo Kuotang, Chen Saugee. Fast integrated algorithm and implementations for the interpolation and color correction of CCD-sensed color signals. *Proceedings of the 1998 IEEE International Symposium on Circuit and System*. Monterey **4** 225 ~ 228
- [3] Li Qi, Feng Huajun, Xu Zihai. A color interpolation algorithm of CCD based on green components. *J. Optoelectronics · Laser* (光电子·激光), 2001, **12**(8): 842 ~ 844 (in Chinese)
- [4] Keys R G. Cubic convolution interpolation for digital image processing. *IEEE Trans. Acoust. Speech. Signal Processing*, 1981, **29**(6): 1153 ~ 1160

CCD Subdivision Method and Application

Chen Tingzheng Lü Haibao

(College of Mechanism Electronics Engineering and Automatization, NUDT, Changsha 410073)

(Received 19 November 2001; revised 4 January 2002)

Abstract: The subdivision principles of linear CCD and area CCD are described. A new subdivision method of area CCD using surface fitting with nine points in four lines is proposed and this new method has been put into actual application for image enlargement and target location. It has been proved that, using the new subdividing method, the calculation is simplified, the higher relativity and good edge trend are reserved, and the image resolution and target locating precision are improved greatly.

Key words: CCD; nine points-four lines; surface fitting; subdivision technique