

⑬

模板图像匹配中的亚像元定位新方法*

赵立初 施鹏飞 俞勇

(上海交通大学图像处理与模式识别研究所, 上海, 200030)

周煦潼 与那霸诚

(上海住金控制系统有限公司, 上海, 200080)

TN 941.1

摘要 研究了模板与图像匹配中元定位的方法, 分析了在亚像元定位中的重采样和曲面拟合方法, 对重采样方法进行如下改进: 仅对模板进行 n 倍重采样, 产生 $(3+n-1)$ 个子模板, 计算每个子模板与图像的归一化相关系数 (NC 值), 则 NC 最大值的子模板所对应的偏移即为要求取的亚像元偏移. 并提出了一种导数求取曲面拟合系数的方法; 融合重采样和曲面拟合提出了一种新的亚像元定位方法, 实验结果表明了此算法的有效性.

关键词 亚像元, 重采样, 曲面拟合.

模板 图像匹配

引言

模式识别中的目标匹配和定位是一个传统问题, 已经提出许多经典算法, 但是大多数定位精度都是象素级. 大规模集成电路制造、摄影测量、工业检测和目标检测等应用对精度要求不断提高, 而亚像元匹配算法可以突破物理分辨率的限制, 提高匹配和定位精度从象素级到亚像元级^[1,2,3]. 亚像元定位一般有 4 种方法: (1) 基于图像高分辨率重采样的方法; (2) 基于曲面拟合的方法; (3) 微分法; (4) 幅角法. 在实际应用中, 经常使用重采样和拟合方法. 由于重采样方法在实现插值时需花费大量的时间, 而曲面拟合方法所能达到的精度是有限的, 但所需时间极少. 这两种方法结合, 既能达到所要求的精度, 又减少所需时间, 是图像模板亚像元定位的一种新方法.

1 图像重采样法

一般重采样方法是对图像和模板进行 n 倍重采样, 在采样后图像上进行模板匹配. 一方面, 此种方法需对整幅图像进行重采样, 计算量大, 难以满足实时要求; 另一方面, 重采样后许多相邻点会产生相同的值. 这是由于以下 3 个原因: (1) 量化误差; (2) 进行高分辨率重采样, 由于所知信息是有限的, 所得到的信息不一定完全; (3) 插值函数的选取直接影响所能达到的亚像元精度. 虽然 Sinc 函数在理论上能够完全重建连续图像, 但是由于在计算任一象素点灰度值时需扫描计算所有图像点, 所以在实际中是不可行的.

为提高运算效率, 通常选用最近邻、线性插值和立方样条插值等近似方法^[3-4]. 最近邻插值函数具有 0.5 象素偏移, 在亚像元定位中应不予考虑. 立方样条函数具有最好的带通特

* 国家自然科学基金(编号 69931010)资助项目

稿件收到日期 1999-02-03, 修改稿收到日期 1999-06-08

性,而线性插值不如立方样条插值精确,所以本文选用立方样条插值函数,其方程为

$$f(x) = \begin{cases} |x|^3 - 2|x|^2 + 1, & |x| < 1 \\ -|x|^3 + 5|x|^2 - 8|x| + 4, & 1 \leq |x| < 2 \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$$

二维空间的样条插值示意图如图1,在二维情形下,样条插值的计算公式为

$$a_n = F(i-1, j+n-2)f(\Delta x+1) + F(i, j+n-2)f(\Delta x) + \\ F(i+1, j+n-2)f(\Delta x-1) + F(i+2, j+n-2)f(\Delta x-2),$$

其中: $n=1, 2, 3, 4$, 则 $F(k, l) = a_1 f(\Delta x+1) + a_2 f(\Delta x) + a_3 f(\Delta x-1) + a_4 f(\Delta x-2)$.

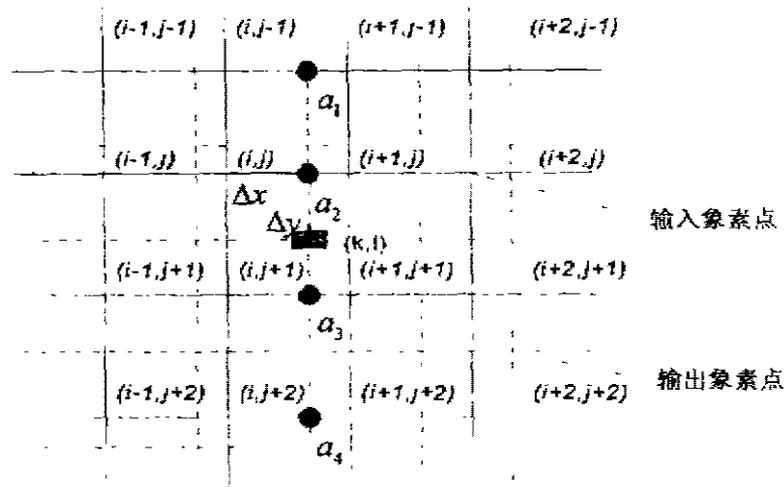


图1 样条函数在二维空间中的应用

Fig. 1 The application of spline function in two-dimensional space

考虑到对整幅图像进行重采样计算量大,本文提出的重采样方法仅对模板进行重采样.由于模板尺寸比整幅图像小很多,可以节省大量的运算时间.实现步骤如下:(1)模板在整幅图像上移动,计算其归一化相关系数,选取最大值,获得像素级上的最优匹配点;(2)若需获得 $1/n$ 亚像素精度,则对模板进行 n 倍重采样.显然重采样后模板大小为原来的 n 倍,而且此时像素间距与原图间距是不一致的,为保持像素间距的一致性,产生 $(2 * n - 1)$ 个子模板,相邻模板的偏移为 $(1/n)$;(3)计算此 $(2 * n - 1)$ 个子模板与最优匹配点处数据的 NC 值,找到最大值对应子模板,则此子模板对应的偏移值即为所要计算的亚像素偏移.

2 曲面拟合法

考虑到采样间隔可使极值点发生偏移,曲面拟合法是以像素级上的最佳像素点为中心按相似性度量进行曲面拟合,然后通过求导获得极值点的精确位置^[5].拟合函数选择范围很大,下面将对不同拟合函数做一简要说明.

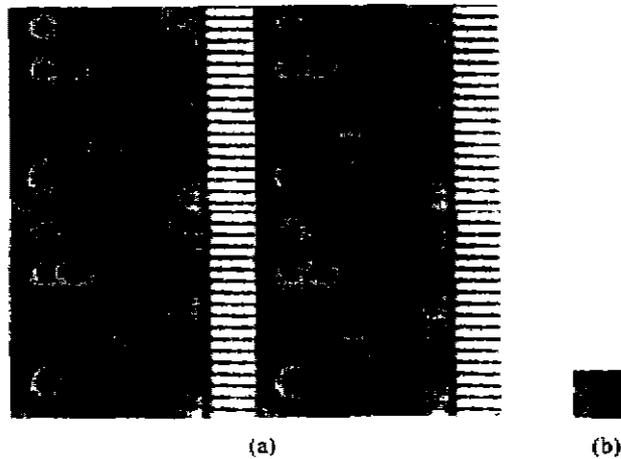


图 2 (a) 待匹配图像 (b) 模板
Fig. 2 (a) The image to be matched, (b) the model

2.1 二次曲线法

设拟合函数为 $f(x) = ax^2 + bx + c$, 其中, $f(x)$ 为对应于 x 点的 NC 值. 通过导数法估计系数 a, b 和 c , 则所求的亚像元偏移 $dx = -\frac{b}{2a}$. 若 X 和 Y 方向是可分离的, 用二次曲线拟合函数可以得到精确的亚像元偏移. 在实际中不一定满足此假设, 因此引入双二次曲线法.

2.2 双二次曲线法

双二次曲线法把 X 和 Y 方向综合起来考虑, 所选用的拟合函数为

$$z(x, y) = ax^2 + by^2 + cxy + dx + ey + f \quad (1)$$

其中: $z(x, y)$ 为对应于位置 (x, y) 的 NC 值.

关于拟合函数系数的估计, 最常见的是伪逆矩阵法^[1]. 但是由于此方法需要计算矩阵的逆, 费时而且计算复杂. 本文提出一种导数法求取系数的方法, 先对式(1)进行求导运算, 即

$$\begin{cases} \frac{\partial z}{\partial x} = 2ax + cy + d, \\ \frac{\partial z}{\partial y} = 2by + cx + e, \\ \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = 2a, \\ \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = 2b, \\ \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} = c. \end{cases}$$

通过联立解上述方程组, 即可以求得双二次拟合函数的系数. 同样, 利用导数法可以求得亚像元偏移

$$\begin{cases} \frac{\partial z}{\partial x} = 2ax + cy + d = 0, \\ \frac{\partial z}{\partial y} = 2by + cx + e = 0, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = \frac{(2db - ce)}{c^2 - 4ab}, \\ y = \frac{(2ae - dc)}{c^2 - 4ab}. \end{cases}$$

可以选取更高阶的曲面拟合方法以期达到更精确的亚像素偏移,但是实验表明高阶系数近似等于0,所以本文选取双二次曲面拟合方法。

3 融合重采样和曲面拟合函数的亚像元定位方法

若想通过重采样方法达到1/100的精度,显然要对图像进行100倍重采样,这在实用中是不可行的。曲面拟合方法具有快速、容易计算的优点,但精度不够;而重采样方法定位准确,但计算费时。为此,我们提出了一种融合重采样和曲面拟合的亚像元定位新算法,其步骤如下:(1)利用归一化相关系数法(NC)找到像素级上的最优匹配点;(2)对模板进行 n 倍重采样,产生 $(2 * n - 1)$ 个子模板,求取最大NC值对应的子模板,求得亚像元偏移为 (dx, dy) ;(3)以此子模板为中心的 3×3 窗口的9个子模板对应的NC值进行双二次曲面拟合,求得亚像元偏移为 $(dx1, dy1)$;(4)则得到待测图像的亚像元偏移为 $dx = dx + dx1/n$, $dy = dy + dy1/n$ 。

4 实验结果分析

融合曲面拟合和重采样算法应用于模板与图像的亚像元定位中,模板大小为 64×64 ,如图2所示。算法选取重采样倍数为5,表1给出了实验结果,由重采样方法可以得到1/5的亚像元精度,而由新方法可以达到1/20的亚像元精度,大大提高了亚像元定位的精度。

表1 新方法测得的亚像元定位结果
Table 1 The sub-pixel displacement using the new method

最优匹配点位置	测得 dy	期望 dy	误差
(114, 332)	0.003229	0.00	0.003229
(408, 333)	-0.345706	-0.40	0.054294
(117, 66)	0.318342	0.20	0.118342
(409, 67)	-0.199642	-0.20	0.000458

5 结语

本文研究了模板和图像匹配中的亚像元定位方法,对重采样方法进行了改进,仅仅对模板进行重采样,大大提高了运算速度。由于曲面拟合方法具有快速和计算方便的优点,而重采样方法则具有定位正确、计算上比较费时的特点。本文提出了一种融合曲面拟合和重采样相结合的亚像元定位新方法,实验结果验证了算法的有效性。

REFERENCES

- 1 Qi Tian, Michael N Huhns. Algorithms for subpixel registration, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 19, 35: 220-233
- 2 Ingemar J C, Kruskal J B, Wallach D A. Predicting and estimating the accuracy of a subpixel registration algorithm, *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1990, 12(8): 721-734
- 3 Parker J Anthony, Kenyon Robert V, Donald E Troxel. Comparison of interpolating methods for image resampling, *IEEE Trans on Medical Imaging*, vol M1-2, No 1, March 1983, M1-2(1): 31-39
- 4 LI Jie-Gu, SHI Peng-Fei. *The Technique of Image Processing*, Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press (李介谷, 施鹏飞, 图像处理技术, 上海: 上海交通大学出版社), 1988
- 5 Shaun S Gleason, Martin A Hunt. Subpixel measurement of image features based on paraboloid surface fit, *Machine Vision Systems Integration in Industry*, SPIE, 1990, 1386;

A NEW ALGORITHM WITH SUB-PIXEL ACCURACY IN IMAGE/MODEL MATCHING *

ZHAO Li-Chu SHI Peng-Fei YU Yong

(Institute of Image Processing and Pattern Recognition, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

ZHOU Xu-Tong YU Na-Ba-Cheng

(Zhujiu Control System Ltd. Co., Shanghai 200080, China)

Abstract The algorithms to obtain sub-pixel accuracy in image/model matching were discussed. The resampling and fitting methods' characteristics were analyzed. The following improvement was made to alleviate the computation burden: 1) only the model is needed to be resampled n times; 2) $(2 * n - 1)$ sub-models are generated; 3) the NCs among each sub-model and the image are calculated; 4) the maximum among the sub-model is chosen and the shifts corresponding to this sub-model are the sub-pixel shifts required. Then a new algorithm was proposed to combine the resampling and fitting methods. The effectiveness of the proposed algorithm was validated by the experiment.

Key words sub-pixel accuracy, resampling, curve fitting.

* The project supported by the National Natural Science Foundation of China
Received 1999-02-03, revised 1999-06-08