

# 标准互相关的灰度无关特性及其应用\*

孙明磊, 宗光华, 毕树生, 于靖军

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100083)

**摘 要:** 对用于图像特征定位的标准互相关算子灰度无关特性展开了研究. 由于在显微视觉中的大多数图像灰阶较低, 接近于三值甚至二值图像; 可籍此灰度无关特性对模板匹配的算法进行优化. 实验结果表明, 标准互相关的灰度无关特性可以在实际中指导设计模板图像, 降低相关运算计算速度, 以及指导改善照明条件.

**关键词:** 图像; 模式匹配; 相关; 灰度; 无关

**中图分类号:** TP242.6<sup>+</sup>2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-4213(2009)02-435-6

## 0 引言

相关法的基本原理是基于互相关函数的相关特性. 函数  $C(I, T)$  可以准确评价图像  $I(x, y)$  与图像  $T(i, j)$  之间的相似程度. 由相关函数衍生的图像相似程度评测算子有很多: 相关算子 (Correlation Operator, CO)、标准化互相关算子 (Normalized Cross Correlation Operator, NCCO)、统计相关算子 (Statistical Correlation Operator, SCO)<sup>[1]</sup>、相相关算子 (Phase Correlation Operator, PCO)<sup>[1]</sup>、协方差相关算子 (Covariance Correlation Operator, CCO)<sup>[2]</sup> 等. 虽然计算量较大, 但 NCCO 仍被认为是其中最佳的相似性判据<sup>[1]</sup>.

基于互相关的图像定位技术以其准确度高、灵活性好、适应性及抗干扰能力强等优点, 广泛应用于半导体制造、MEMS 制造领域中的视觉引导、目标跟踪, 以及精密测量、机器视觉等等许多需要对图像特征进行高准确度识别及配准的领域. 其主要缺点

则是相关算子运算量大, 遍历方式的匹配搜索耗时严重<sup>[3]</sup>. 因此, 加速寻优算法势在必行.

本文证明了标准互相关算子具有灰度无关特性, 可以将该特点利用到显微视觉的应用中, 一些典型应用的实验表明, 灰度无关特性对于优化模式匹配算法具有重要研究价值.

## 1 二值图像灰度无关性

设  $I$  是大小为  $u \times v$  的目标灰度图像,  $T$  是大小为  $m \times n$  的匹配模板灰度图像阵列.  $I$  与  $T$  均为只包含两种灰度的理想二值图像.

设  $T$  中包含  $n_{th}$  个灰度值为  $g_{th}$  的像素构成了图像特征, 同时由  $n_{tl}$  个灰度值为  $g_{tl}$  的像素构成了图像背景.

$I_{xy}$  是  $I$  在任意位置  $(x, y)$  子图, 其大小为  $m \times n$ ; 设  $I_{xy}$  中包含  $n_{oh}$  个灰度值为  $g_{oh}$  的像素构成了图像特征, 同时包含  $n_{ol}$  个灰度值为  $g_{ol}$  的像素构成了图像背景.

对于 NCCO 算子

$$C(x, y) = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} [(I_{xy}(i, j) - \bar{I}_{xy})(T(i, j) - \bar{T})]}{\sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} (I_{xy}(i, j) - \bar{I}_{xy})^2 \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} (T(i, j) - \bar{T})^2}} \quad (1)$$

有

$$\bar{I}_{xy} = \frac{g_{oh}n_{oh} + g_{ol}n_{ol}}{mn}, \text{ 其中 } n_{oh} + n_{ol} = mn$$

$$I_{xy}(i, j) - \bar{I}_{xy} = \begin{cases} g_{oh} - \frac{g_{oh}n_{oh} + g_{ol}n_{ol}}{mn} = \frac{(g_{oh} - g_{ol})n_{ol}}{mn} & \text{若 } I_{xy}(i, j) = g_{oh} \\ g_{ol} - \frac{g_{oh}n_{oh} + g_{ol}n_{ol}}{mn} = \frac{(g_{ol} - g_{oh})n_{oh}}{mn} & \text{若 } I_{xy}(i, j) = g_{ol} \end{cases}$$

令  $\rho_o = \frac{g_{oh} - g_{ol}}{mn}$ , 则有

$$I_{xy}(i, j) - \bar{I}_{xy} = \begin{cases} \rho_o n_{ol} & \text{若 } I_{xy}(i, j) = g_{oh} \\ -\rho_o n_{oh} & \text{若 } I_{xy}(i, j) = g_{ol} \end{cases}$$

\* 国家 863 高技术研究与发 展计划 (2004AA404260) 和中国 博士后科学基金 (20070420287) 资助  
Tel: 010-82338019 Email: sunminglei@gmail.com  
收稿日期: 2007-08-15

$$\sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} (I_{xy}(i,j) - \bar{I}_{xy})^2} = \sqrt{n_{oh}\rho_o^2 n_{ol}^2 + n_{ol}\rho_o^2 n_{oh}^2} = \rho_o \sqrt{n_{oh}n_{ol}(n_{oh} + n_{ol})} \tag{2}$$

同理,对于模板图像  $T$ ,有

$$T(i,j) - \bar{T} = \begin{cases} g_{th} - \frac{g_{th}n_{th} + g_{tl}n_{tl}}{mn} = \frac{(g_{th} - g_{tl})n_{tl}}{mn} & \text{若 } T(i,j) = g_{th} \\ g_{tl} - \frac{g_{th}n_{th} + g_{tl}n_{tl}}{mn} = \frac{(g_{tl} - g_{th})n_{th}}{mn} & \text{若 } T(i,j) = g_{tl} \end{cases}$$

同样令  $\rho_t = \frac{g_{th} - g_{tl}}{mn}$ ,则有  $T(i,j) - \bar{T} = \begin{cases} \rho_t n_{tl} & \text{若 } T(i,j) = g_{th} \\ -\rho_t n_{th} & \text{若 } T(i,j) = g_{tl} \end{cases}$

$$\sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} (T(i,j) - \bar{T})^2} = \sqrt{n_{th}\rho_t^2 n_{tl}^2 + n_{tl}\rho_t^2 n_{th}^2} = \rho_t \sqrt{n_{th}n_{tl}(n_{th} + n_{tl})} \tag{3}$$

$$\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} [(I_{xy}(i,j) - \bar{I}_{xy})(T(i,j) - \bar{T})] = \rho_o \rho_t (n_1 n_{ol} n_{tl} - n_2 n_{ol} n_{th} - n_3 n_{oh} n_{tl} + n_4 n_{oh} n_{th}) \tag{4}$$

式中,  $n_1, n_2, n_3, n_4$  分别为  $n_{ol}n_{tl}, n_{ol}n_{th}, n_{oh}n_{tl}, n_{oh}n_{th}$  出现的频数,并有  $n_1 + n_2 + n_3 + n_4 = m \times n$ . 综合式(2)~(4),有二值图像的 NCCO 算子计算式

$$C(x,y) = \frac{n_1 n_{ol} n_{tl} - n_2 n_{ol} n_{th} - n_3 n_{oh} n_{tl} + n_4 n_{oh} n_{th}}{mn \sqrt{n_{oh}n_{ol}n_{th}n_{tl}}} \tag{5}$$

若目标图像与模板图像均为二值图像,依据式(5),有 **结论一:**

标准互相关函数值  $C(x,y)$  与灰度分布情况有关,与图像灰度值  $g_{th}, g_{tl}, g_{oh}, g_{ol}$  无关.

## 2 模板为二值图像

可以将模板图像  $T$  设计为二值图像:由  $n_{th}$  个灰度值为  $g_{th}$  的像素构成了图像特征,同时由  $n_{tl}$  个灰度值为  $g_{tl}$  的像素构成了图像背景.

实际图像不可能为二值图像. 设目标图像  $I_{xy}$  中包含  $n_{o1}$  个灰度值为  $g_{o1}$  的像素、 $n_{o2}$  个灰度值为  $g_{o2}$  的像素、...、 $n_{ou}$  个灰度值为  $g_{ou}$  的像素.

令  $\bar{I}_{xy} = \frac{g_{o1}n_{o1} + g_{o2}n_{o2} + \dots + g_{ou}n_{ou}}{mn}$ , 有  $n_{o1} + n_{o2} + \dots + n_{ou} = mn$

$$I_{xy}(i,j) - \bar{I}_{xy} = \begin{cases} i_1 = g_{o1} - \frac{g_{o1}n_{o1} + \dots + g_{ou}n_{ou}}{mn} = \frac{(g_{o1} - g_{o2})n_{o2} + \dots + (g_{o1} - g_{ou})n_{ou}}{mn} & \text{若 } I_{xy}(i,j) = g_{o1} \\ i_2 = g_{o2} - \frac{g_{o1}n_{o1} + \dots + g_{ou}n_{ou}}{mn} = \frac{(g_{o2} - g_{o1})n_{o1} + \dots + (g_{o2} - g_{ou})n_{ou}}{mn} & \text{若 } I_{xy}(i,j) = g_{o2} \\ \dots \\ i_u = g_{ou} - \frac{g_{o1}n_{o1} + \dots + g_{ou}n_{ou}}{mn} = \frac{(g_{ou} - g_{o1})n_{o1} + \dots + (g_{ou} - g_{o(u-1)})n_{o(u-1)}}{mn} & \text{若 } I_{xy}(i,j) = g_{ou} \end{cases}$$

令  $\rho_{11} = 0, \rho_{12} = \frac{g_{o1} - g_{o2}}{mn}, \rho_{13} = \frac{g_{o1} - g_{o3}}{mn}, \dots, \rho_{1(u-1)} = \frac{g_{o1} - g_{ou}}{mn}$ .

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ \dots \\ i_{u-1} \\ i_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \rho_{12} & \rho_{13} & \rho_{14} & \dots & \rho_{1(u-2)} & \rho_{1(u-1)} \\ -\rho_{12} & 0 & \rho_{23} & \rho_{24} & \dots & \rho_{2(u-2)} & \rho_{2(u-1)} \\ -\rho_{13} & -\rho_{23} & 0 & \rho_{34} & \dots & \rho_{3(u-2)} & \rho_{3(u-1)} \\ -\rho_{14} & -\rho_{24} & -\rho_{34} & 0 & \dots & \rho_{4(u-2)} & \rho_{4(u-1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -\rho_{1(u-2)} & -\rho_{2(u-2)} & -\rho_{3(u-2)} & -\rho_{4(u-2)} & \dots & 0 & \rho_{(u-1)(u-1)} \\ -\rho_{1(u-1)} & -\rho_{2(u-1)} & -\rho_{3(u-1)} & -\rho_{4(u-1)} & \dots & -\rho_{(u-1)(u-1)} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_{o1} \\ n_{o2} \\ n_{o3} \\ n_{o4} \\ \dots \\ n_{o(u-1)} \\ n_{ou} \end{bmatrix} \tag{6}$$

$$\sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} (I_{xy}(i,j) - \bar{I}_{xy})^2} \sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} (T(i,j) - \bar{T})^2} = \sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} (I_{xy}(i,j) - \bar{I}_{xy})^2} \sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} (T(i,j) - \bar{T})^2}$$

$$\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} [(I_{xy}(i,j) - \bar{I}_{xy})(T(i,j) - \bar{T})] = \rho_u n_u [n_1 i_1 + n_2 i_2 + \dots + n_{u-1} i_{u-1} + n_u i_u] - \rho_u n_{th} [p_1 i_1 + p_2 i_2 + \dots + p_{u-1} i_{u-1} + p_u i_u] \tag{7}$$

式中,  $n_1, n_2, \dots, n_{u-1}, n_u, p_1, p_2, \dots, p_{u-1}, p_u$  为  $i_1 n_{tl}, i_2 n_{tl}, \dots, i_{u-1} n_{tl}, i_u n_{tl}, i_1 n_{th}, i_2 n_{th}, \dots, i_{u-1} n_{th}, i_u n_{th}$  共  $2u$  个乘积

形式出现的频数, 并有  $n_1 + n_2 + \dots + n_u + p_1 + p_2 + \dots + p_u = mn$ .

联立式(5)~(7), 有

$$C(x, y) = \frac{\rho_t n_{tl} [n_1 i_1 + n_2 i_2 + \dots + n_{u-1} i_{u-1} + n_u i_u] - \rho_t n_{th} [p_1 i_1 + p_2 i_2 + \dots + p_{u-1} i_{u-1} + p_u i_u]}{\rho_t \sqrt{n_{th} n_{tl} (n_{th} + n_{tl})} \sqrt{\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{m-1} (I_{xy}(i, j) - \bar{I}_{xy})^2}}$$

, 约去  $\rho_t$ , 有

$$C(x, y) = \frac{n_u [n_1 i_1 + n_2 i_2 + \dots + n_{u-1} i_{u-1} + n_u i_u] - n_{th} [p_1 i_1 + p_2 i_2 + \dots + p_{u-1} i_{u-1} + p_u i_u]}{\sqrt{n_{th} n_{tl} (n_{th} + n_{tl})} \sqrt{\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{m-1} (I_{xy}(i, j) - \bar{I}_{xy})^2}} \quad (8)$$

结论二:

若模板为二值图像, 则无论目标图像的灰度组成情况为何, 标准互相关函数值  $C(x, y)$  与模板图像灰度值无关.

特殊地: 当  $n_{th} = n_{ol}$  时, 此时, 根据式(8), 有

$$C(x, y) = \frac{[n_1 i_1 + n_2 i_2 + \dots + n_{u-1} i_{u-1} + n_u i_u] - [p_1 i_1 + p_2 i_2 + \dots + p_{u-1} i_{u-1} + p_u i_u]}{\sqrt{mn} \sqrt{\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{m-1} (I_{xy}(i, j) - \bar{I}_{xy})^2}}$$

此时的  $C(x, y)$  得到进一步简化.

### 3 应用

#### 3.1 为制作模板图像提供依据

使用模板匹配算法进行图像特征定位, 模板的选择与制作对于实现算法的准确度与鲁棒性非常关键.

根据结论一与结论二, 若模板采用仿真二值化图像, 则无须考虑模板的灰度值应与目标图像的灰度值相同或相近, 只需关注图像特征的几何形状分布即可.

可以依据结论一与结论二优化模板图像尺寸.

令  $\lambda_o = \sqrt{\frac{n_{oh}}{n_{ol}}}$ ,  $\lambda_t = \sqrt{\frac{n_{th}}{n_{tl}}}$ , 则式(5)可进一步简化为

$$C(x, y) = \frac{n_1 \frac{1}{\lambda_o \lambda_t} - n_2 \frac{\lambda_t}{\lambda_o} - n_3 \frac{\lambda_o}{\lambda_t} + n_4 \lambda_o \lambda_t}{mn} \quad (9)$$

特殊地, 若令  $\lambda_t = 1$ , 则在峰值点附近, 一般有  $\lambda_o = 1$ , 则式(5)可最大限度简化为

$$C(x, y) = \frac{n_1 - n_2 - n_3 + n_4}{mn} \quad (10)$$

即按照  $\lambda_t = 1$  的原则优化模板尺寸.

#### 3.2 提高计算速度

式(1)具有大量求和、乘积、平方以及开方运算, 运算量较大. 与式(1)相比, 式(5)只有求和与开方运算, 在计算量上要减少许多.

以仿真图像为例, 见图 1. 从目标图像  $I$  中, 任意提取  $M \times N$  大小子图  $I_{xy}$ , 分别利用式(1)与式(5), 使之与同阶的模板图像  $T$  进行标准互相关运算, 记录式(1)与式(5)算子的计算时间; 改变  $M \times N$  的大小, 得到一组数据, 参见图 2. 根据实验结果, 式(5)比式(1)在计算速度上约提高 30%.

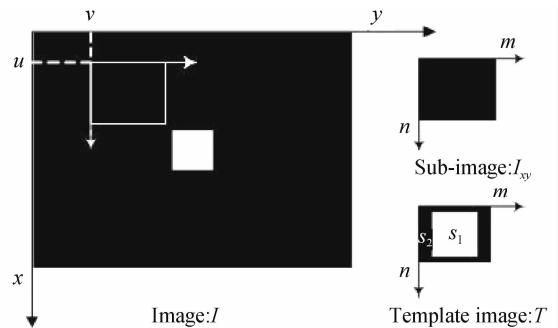


图 1 正方形特征的模板仿真图像与目标图像  
Fig. 1 Square-shaped template image and the target image

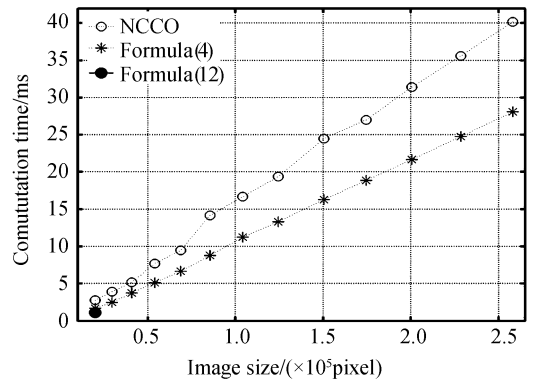


图 2 式(4)与式(12)的计算速度对比

Fig. 2 Template image and target image

特殊地, 适当设计模板图像, 令  $S_1 = S_2$ , 则 NCCO 的表达式体现为式(10). 对比式(1), 式(10)的计算时间仅为其 42%.

实验表明, 在保证匹配准确度的前提下, 将模式匹配任务简化为二值图像的匹配, 将大为节省标准互相关算子计算速度, 大幅提高遍历方式匹配搜索的实时性.

#### 3.3 算法误差

将实际图像的模式匹配任务简化为二值图像的模式匹配. 图 3 为用于 PMMA 微流控芯片自动对准装配的十字对准标记显微图像<sup>[4]</sup>. 模板图像  $T$  采

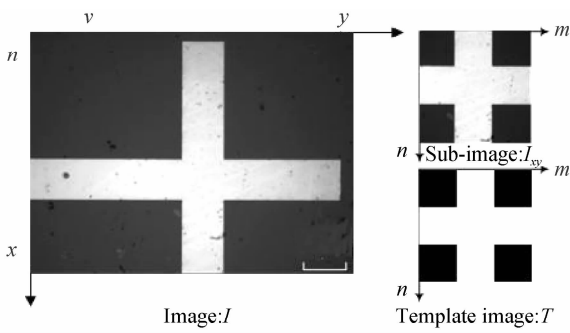


图3 十字特征的模板图像与目标图像  
Fig.3 Cross-shaped template image and the target image from microscope

用仿真二值图像,由255与0两种灰度组成(根据结论二,此灰度值不影响NCCO计算结果)。

传统算法:依据式(1)计算图3所示的目标图像与模板图像的标准互相关函数值  $C_{\gamma}(x, y)$ , 函数分布情况见图4(a)。

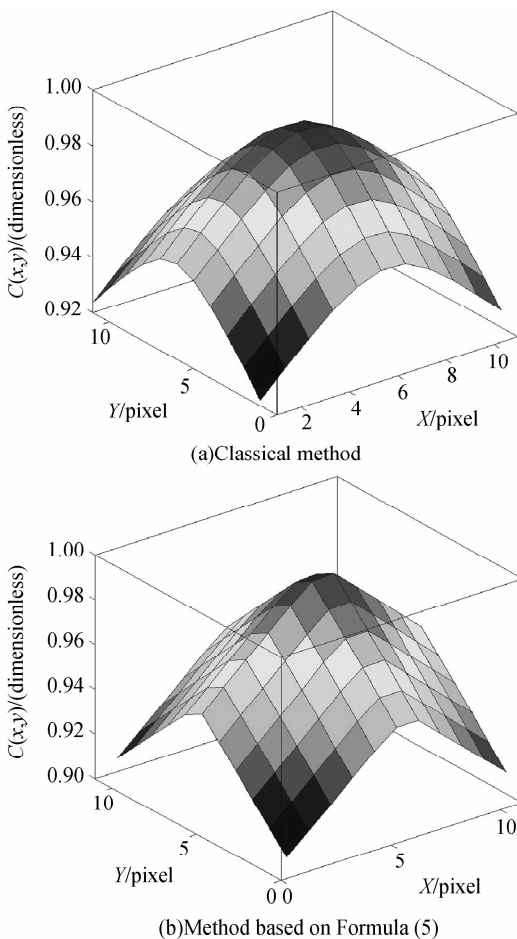


图4 十字图像特征相似函数  $C(x, y)$  的三维分布  
Fig.4 Results of pattern matching computation in 3D distribution between two cross-shaped image characteristics

二值化算法:对图3所示的目标图像取阈值,进行二值化处理,而后利用式(5)将目标图像  $I_w$  与模板图像  $T$  进行匹配计算,图4(b)给出了在阈值为123时的  $C_{t=123}(x, y)$  函数分布情况。

在80~180范围内选取不同阈值,利用二值化算法进行图像特征定位实验,实验结果表明,无论阈值为何,其整像素定位结果  $(x_s^*, y_s^*)$  与传统方法的结果  $(x_t^*, y_t^*)$  相同。

根据文献[4],对互相关值进行曲面拟合,该方法定位准确度可达0.01~0.1个像素,是公认较为实际有效的亚像素定位方法.对于传统方法,有

$$\begin{cases} x_{\gamma} = x_{\gamma}^* + \Delta x_{\gamma} \\ y_{\gamma} = y_{\gamma}^* + \Delta y_{\gamma} \end{cases}, \rho_{\gamma} = \sqrt{\Delta x_{\gamma}^2 + \Delta y_{\gamma}^2}$$

对于二值化算法,则有

$$\begin{cases} x_t = x_t^* + \Delta x_t \\ y_t = y_t^* + \Delta y_t \end{cases}, \rho_t = \sqrt{\Delta x_t^2 + \Delta y_t^2}$$

$$\text{令 } \rho = |\rho_{\gamma} - \rho_t|.$$

使用高斯曲面对  $C_{\gamma}(x, y)$  及  $C_{t=80\sim 180}(x, y)$  在峰值点附件的离散点进行最小二乘拟合,并求解曲面的极值点坐标,计算得到  $\rho$ ,见图5.统计图5中数据,有  $\rho_{\max} = 0.12, \rho_{\min} = 0.0003, \bar{\rho} = 0.053$ .表明二值化的模式匹配简化算法在亚像素定位准确度上与传统方法非常接近。

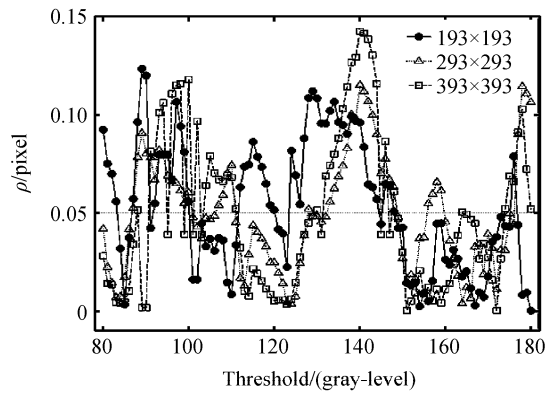


图5 二值化互相关模板匹配简化算法定位准确度实验结果  
Fig.5 Experimental positioning accuracy results of improved iNCCO algorithm between two binary images

### 3.4 照明因素影响

显微视觉中,照明条件非常重要[5].以照明强度为例,照明强度不同将对图像质量造成很大影响[6].在显微镜25倍(NA=0.28)下,使ICV分别取0~255(ICV=0表示光源关闭,ICV=255表示照明灯箱达到最大功率),共计摄取256帧十字型特征图像.利用图像样本标准差[6]对256帧图像进行计算,见图6。

为方便讨论,依据ICV将整个照度区间划分为5个区域,即

$$\begin{cases} Z_1: 30 \leq ICV < 50 \\ Z_2: 50 \leq ICV < 100 \\ Z_3: 100 \leq ICV < 150 \\ Z_4: 150 \leq ICV < 200 \\ Z_5: 200 \leq ICV \leq 255 \end{cases}$$

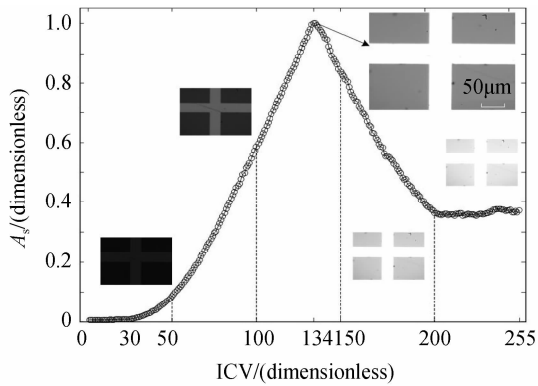


图6 照明因素对图像质量的影响

Fig. 6 Image quality assessment under different illuminating condition

图像的样本标准差可以有效反映图像的噪音强度<sup>[7]</sup>. 结合图6中的  $A_s/ICV$  曲线, 当照明强度达到200以上时, 图像的噪音强度达到饱和, 此时的图像的灰度分布更接近于二值图像.

由此考虑在显微视觉中, 可以有意识地增加照明强度, 使目标图像灰度分布更接近二值图像, 而后利用式(4)进行亚像素图像定位, 可获得高的定位准确度.

对图6中的  $Z_1 \sim Z_5$  图像分别进行高斯曲面拟和亚像素定位. 整理数据为

令  $Z_n: n_1 \leq ICV < n_2$ , 有

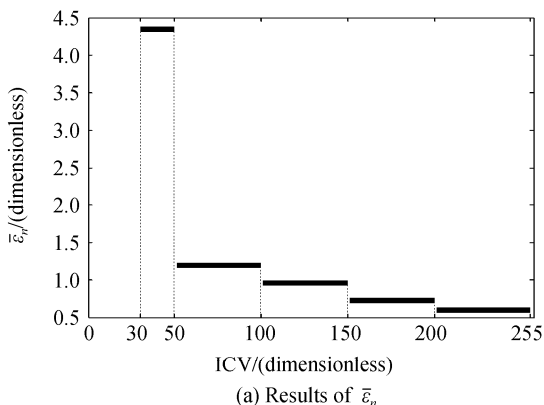
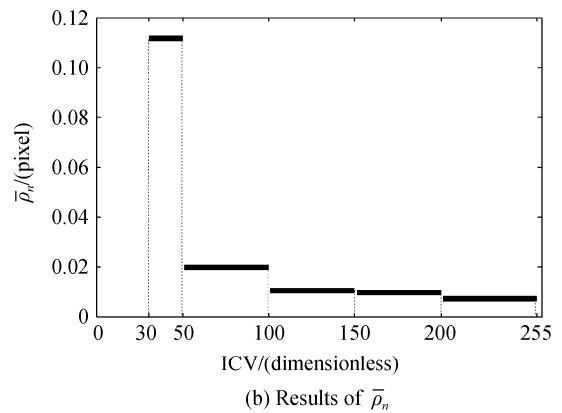
$$\epsilon_{ICV}(x, y) = \sum_{j=0}^M \sum_{t=0}^N |C_j(x, y) - C_t(x, y)|$$

$$\bar{\epsilon}_n = \frac{1}{n_2 - n_1} \sum_{ICV=n_1}^{n_2} \epsilon_{ICV}(x, y) \quad (11)$$

$$\rho_{ICV} = |\rho_j - \rho_t|$$

$$\bar{\rho}_n = \frac{1}{n_2 - n_1} \sum_{ICV=n_1}^{n_2} \rho_{ICV} \quad (12)$$

式(11)与式(12)中的  $\bar{\epsilon}_n$  与  $\bar{\rho}_n$  实验结果表明(见图7), 提高视觉照明强度, 能够使以式(4)为基础的定位方法与传统的 NCCO 定位方法在定位准确度上更加接近.

(a) Results of  $\bar{\epsilon}_n$ (b) Results of  $\bar{\rho}_n$ 图7 照明强度增加导致两种特征定位算法准确度趋于一致  
Fig. 7 Illuminating intensity having a great impact on position accuracy of improved NCCO algorithm

## 4 结论

本文对显微视觉中基于标准互相关的图像特征定位问题展开了研究. 研究结果表明: 1) 若目标图像与模板图像均为二值图像, 标准互相关函数值只与灰度分布情况有关, 而与图像灰度值无关; 2) 若仅模板为二值图像, 不论目标图像的灰度组成情况, 标准互相关函数值仍与模板图像灰度值无关.

结论对于显微视觉图像定位技术研究具有实用价值, 体现在: 1) 为制作模板图像提供依据; 2) 二值化简化算法兼具速度与准确度; 3) 可以通过显微视觉照明强度的控制对二值化简化算法进行优化.

### 参考文献

- [1] BROWN L G. A survey of image registration techniques[J]. *ACM Computer Surveys*, 1992, **24**(4): 325-376.
- [2] YU Qi-feng, LU Hong-wei, LIU Xiao-lin. Precision measurement and motion measurement based on image[M]. Beijing: Science Press, 2002: 132-134.  
于起峰, 陆宏伟, 刘肖琳. 基于图像的精密切量与运动测量[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 132-134.
- [3] SONKA M, HLAVAC V, BOYLE R. Image processing, analysis, and machine vision [M]. BROOKS and COLE Publishing of Thomson USA, 1998: 622-623.
- [4] SUN Ming-lei, ZONG Guang-hua, BI Shu-sheng, et al. A microassembly workcell with macro to micro automatic operations[J]. *China Mechanical Engineering*, 2005, **16**(20): 2125-2130.  
孙明磊, 宗光华, 毕树生, 等. 宏-微操作结合的自动微装配系统[J]. *中国机械工程*, 2005, **16**(20): 2125-2130.
- [5] GE Yang. Scale-based integrated microscopic computer vision techniques for micromanipulation and micro assembly [D]. Minnesota: The University of Minnesota, 2004.
- [6] SUN Ming-lei. Application and experimental reasearch on image - analysis based methodology in microscopic computer

vision[D]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2006.

孙明磊. 显微视觉图像分析技术应用及实验研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2006.

[7] WANG Z, SHEIKH H R, BOVIK A C. No-reference perceptual quality assessment of JPEG compressed images[C]. *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*, 2002, 1: 477-480.

## Characteristics of Independence on Image Gray Level in Pattern Matching Algorithm and its Application

SUN Ming-lei, ZONG Guang-hua, BI Shu-sheng, YU Jing-jun

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Received date: 2007-08-15

**Abstract:** A characteristic that Normalized Cross Correlation Operating (NCCO) results independent of image gray levels in pattern matching for image feature positioning was presented. In the field of microscopic vision research, the majority of images can be approximated to an image with three gray levels, or even binary image. So with this attractive feature, a method of improved pattern matching algorithms was presented. Experimental results show that the characteristic of gray level independence can give guidance to designing template images, reducing time consumption of calculations, and improving illuminating conditions.

**Key words:** Image; Pattern matching; Correlation; Grey-level; Independence



**SUN Ming-lei** was born in 1974. He received the B. E. degree in mechanical manufacturing engineering in 1997 and the Ph. D. degree in mechanical and electrical engineering in 2006, both from Beijing University of Aeronautics and Astronautics. He is currently a post-doctor fellow at Astronautics Science and Technology, BUAA, and his research interests focus on the robotic vision, micromanipulation robotic system and micropic image analysis.