

# 基于融合的高分辨率彩色图像 拷贝—变换—移动篡改检测

王鑫<sup>1)</sup> 轩波<sup>2)</sup> 彭思龙<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(解放军信息工程大学应用数学系, 郑州 450002)

<sup>2)</sup>(中国科学院自动化研究所国家专用集成电路设计工程技术研究中心, 北京 100080)

**摘要** 拷贝—变换—移动篡改是一种操作简单但非常有效的数字图像篡改方法, 现有检测框架无法检测。同时, 在处理高分辨率篡改图像时, 基于穷举搜索的现有算法框架会有计算量的困难。针对高分辨率彩色图像拷贝—变换—移动篡改提出了基于图像融合和尺度不变特征变换(SIFT)特征点匹配的检测算法。首先利用基于加权多尺度基本形的图像融合方法将降采样后的彩色图像信息融合至单幅灰度图像中, 然后设计快速匹配方法得到融合图像中匹配的SIFT特征点作为种子点, 最后根据图像处理规则和SIFT特征点的尺度和方向信息制定合适的生长策略逐步生长出被篡改区域。对手动制作的篡改图片和可疑新闻图片的实验结果表明, 该算法对常用的润色操作和亮度调整以及JPEG有损压缩有较强的稳健性。

**关键词** 图像取证 图像篡改 拷贝变换移动篡改 尺度不变特征变换(SIFT)

中图法分类号: TP301.4 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2010)07-1047-07

## Copy-transform-move Forgery Detection of High-resolution Color Images Based on Image Fusion

WANG Xin<sup>1)</sup>, XUAN Bo<sup>2)</sup>, PENG Silong<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(Department of Applied Mathematics, Information Engineering University, Zhengzhou 450002)

<sup>2)</sup>(National ASIC Design and Engineering Center, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

**Abstract** Copy-transform-move forgery is a simple and powerful digital image forgery technique in which a region is copied and transformed and then pasted in another position on the same image. Copy-transform-move forgery defeats all existing copy-move forgery detection methods. The high resolution of forged images brings obstacles to existing exhaustive search based detection methods. In this paper, copy-transform-move forgery of high resolution color images is studied and a detection method based on image fusion and scale-invariant feature transform(SIFT) points is proposed. Firstly, the high-resolution image is down-sampled. Secondly, the proposed method fuses the multi-channel down-sampled image information into a single gray-level image. Then a fast matching method is designed to find matching SIFT points in the fused images. The forged regions grow up stepwise based on an appropriate region growing strategy with matching SIFT points as “seed-points”. The method is tested using man-made high-resolution forgery images and doubtful news pictures. Experiment results show that the method is robust to common retouch tools, brightness adjustments and lossy compression.

**Keywords** image forensics, image forgery, copy-transform-move forgery, scale-invariant feature transform(SIFT)

基金项目: 国家科技支撑计划重点项目(2006BAK07B04); 中国科学院青年科技创新基金项目(DG07J01)

收稿日期: 2009-01-19; 改回日期: 2009-03-26

第一作者简介: 王鑫(1978—), 女, 讲师。2002年于解放军信息工程学院获应用数学专业硕士学位。主要研究方向为数字水印和数字图像篡改鉴别。E-mail: wangxinwsj@163.com

## 0 引言

图像作为信息的一种直观描述方式,在实际生活中扮演着重要角色。不真实的图像内容直接导致人们对场景信息的错误认知与推断。图像篡改是指以恶意误导人的感知为目的的图像操作。在传统相机时代已经存在通过暗房技巧篡改图像内容的技术<sup>[1]</sup>。功能强大的图像编辑软件使数字图像篡改更加容易,数字彩扩等后处理技术进一步消除了篡改痕迹,判别数字图像真实性变得更加困难。

判别数字图像真实性的“主动”方式是在真实的图片中预先嵌入信息或预先提取并储存真实图片的信息,根据待检测图像中提取信息的完整性和准确性来判别图像是否真实,这就是数字水印和数字签名技术<sup>[2]</sup>。对所有数字图像进行预操作是不现实的,这限制了“主动”方式的应用范围。“被动”方式是在无嵌入或预先提取信息可依赖的情况下凭借对图像产生和传播过程的分析来鉴别图像真实性,这种技术被称为盲被动图像取证或图像篡改鉴别<sup>[3]</sup>。图像拼接和图像修复等技术都可用于图像篡改,篡改技术的多样性决定了盲被动图像取证没有统一的解决方案,需要通过一系列工具的联合取证提高取证的正确率。已有方法可参见盲被动图像取证方法的综述<sup>[3-4]</sup>。

将图像的一部分拷贝至同一幅图像中的另一位置以遮盖目标或制造虚假目标是一种简单有效的图像篡改方法,称为拷贝—移动篡改。Fridrich 首次研究了这种篡改方法,提出利用子块特征向量的字典排序提取出篡改区域<sup>[5]</sup>。Popescu 和 Ju 等人利用主成分分析(PCA)变换减少子块特征向量的维数以减少计算量<sup>[6-7]</sup>。Mahdian 等人利用 kd-tree 对子块两两匹配来寻找篡改区域<sup>[8]</sup>。

在实际篡改中,为了保证纹理尺度在视觉上的一致性或伪造透视效果,被拷贝的区域不是简单移动粘贴,而是经几何变换后再移动粘贴到合适的位置,本文将之称为拷贝—变换—移动篡改。现有的拷贝—移动篡改检测方法在寻找相似区域时,均依赖于图像矩形子块的特征。矩形子块在几何变换下不具有不变性,因此现有框架无法检测出拷贝—变换—移动篡改。同时,现有算法框架均基于图像块的暴力穷举搜索,当篡改图像的分辨率较高时,现有检测算法会遇到计算量过大的问题。

本文提出了基于图像融合和 SIFT (scale-invariant feature transform) 特征点的高分辨率彩色图像拷贝—变换—移动篡改检测方法。检测算法先将高分辨率彩色图像降采样,然后利用图像融合技术将彩色图像的多通道信息融合至单幅灰度图像中,在融合图像中检测是否有互相匹配的 SIFT 特征点,匹配点的存在表明篡改的存在;然后算法以匹配的 SIFT 特征点为种子点,根据图像处理规则,利用 SIFT 特征点的参数设计合理的区域生长策略,逐步生长出篡改区域。SIFT 特征点的旋转和尺度不变性以及合理的区域生长策略确保这种方法能够处理被拷贝区域经过旋转和伸缩变换的情形。

## 1 拷贝—变换—移动篡改和检测模型

拷贝—变换—移动篡改是指将图像的一部分经过几何变形后拷贝至同一幅图像中的另一位置以遮盖或产生虚假目标的图像篡改方法。几何变形的目的是保证“近大远小”的 3 维透视效果。篡改后的图像往往经过润色操作以保证篡改效果并抹除篡改痕迹,主要的润色操作有模糊、添加噪声等,篡改图像还可能经过 JPEG 有损压缩后保存。

如果将原图像记为  $I(x, y) : [0, N] \times [0, M] \rightarrow \mathbf{R}^3$ ,  $\mathbf{R}_c$  表示被拷贝区域的坐标集合,  $\mathbf{R}_s$  表示移动后区域坐标集合,则篡改图像  $F(x, y)$  可以表示为

$$F(x, y) = \begin{cases} I(x, y) + n(x, y) & (x, y) \notin \mathbf{R}_c \\ O(T(I(x - \Delta x, y - \Delta y))) + n(x, y) & T^{-1}(x - \Delta x, y - \Delta y) \in \mathbf{R}_c \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $T$  表示对拷贝区域的几何变换,  $(\Delta x, \Delta y)$  为平移位移,  $O$  表示对几何变换后的区域可能进行的局部操作,  $n$  表示其他全局润色操作和有损压缩结果。检测算法的目的是自动寻找  $\mathbf{R}_c$  和  $\mathbf{R}_s$ 。

稳健的篡改检测算法需要能够抵抗变换、润色及有损压缩对检测方法的干扰。对检测算法的要求还依赖于新闻媒体或检测机构对图像编辑的要求,目前还没有统一的标准,一般常见的允许操作是调整图像的尺寸<sup>[9]</sup>,因此,本文提出的检测算法对尺寸调整后的高分辨率篡改图像也是有效的。

## 2 拷贝—变换—移动篡改检测算法

在式(1)中,当  $T$  和  $O$  均为恒等变换时,拷贝—变换—移动篡改就退化为 Fridrich 提出的拷贝—移

动篡改<sup>[5]</sup>,此时被拷贝区域和篡改区域可以通过遍历寻找互相匹配的图像子块得到<sup>[5-7]</sup>。当 $T$ 不为恒等矩阵时,匹配子块的形状无法预知,引入图像特征点可以部分解决这个问题。

特征点是不依赖于区域形状和方向的图像局部特征。自然景物的多样性和物体在丰富的光影变化下表现出的不规则表面纹理决定了在同一幅自然图像中不会出现相同的局部区域,拷贝—变换—移动篡改后的图像出现了变换意义下的异常相似局部区域,反映在特征点上就是出现了互相匹配的特征点。因此,同一幅图像中互相匹配的特征点的存在可以作为篡改的证据。本文检测算法的基本思想是检测同一幅图像中是否有互相匹配的特征点,并将匹配特征点作为种子点,逐步生长出被篡改的区域。

## 2.1 特征点检测方法的选择

SIFT算子,即尺度不变特征变换算子,是Lowe提出的一种基于尺度空间的图像局部特征描述算子<sup>[10]</sup>。和其他特征点相比,SIFT特征点是旋转和尺度不变的;在自然物体表面及纹理区域数量多;点的方向信息和尺度信息可以在检测过程中获得;点的检测速度很快,能够抵抗噪声干扰。因此,本文选择SIFT特征点作为检测篡改的工具。

## 2.2 利用图像融合丰富细节信息

Lowe采用强特征点信息,弱特征点相关的方式将图像的匹配局部化<sup>[10]</sup>,这种方式要求图像局部信息丰富。常用的SIFT检测方法将彩色RGB图像经线性变换转换为灰度值图像进行检测,造成了信息的丢失,JPEG压缩和图像尺寸调整等后处理也会造成局部信息的丢失。为了处理经过降采样的篡改图像并更好地利用彩色图像多通道信息定位篡改区域,可采用图像融合的方法对待检测图像进行预处理。融合的一个作用是可以将待检测高分辨率篡改图像降采样为低分辨率图像进行处理,减少检测算法的计算量。

算法采用陈涛等提出的基于加权多尺度基本形式的图像融合方法将多通道信息融合至一幅图像中<sup>[11]</sup>。

设 $I = (I_1, I_2, \dots, I_N)$ 是一幅连续多值图像,其加权第一基本形式(WMFF)为

$$\|dI\|^2 = \begin{pmatrix} dx \\ dy \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^N \alpha_i \left(\frac{\partial I_i}{\partial x}\right)^2 & \sum_{i=1}^N \alpha_i \frac{\partial I_i}{\partial x} \frac{\partial I_i}{\partial y} \\ \sum_{i=1}^N \alpha_i \frac{\partial I_i}{\partial x} \frac{\partial I_i}{\partial y} & \sum_{i=1}^N \alpha_i \left(\frac{\partial I_i}{\partial y}\right)^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dx \\ dy \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\text{式中, } \alpha_i = \frac{\left(\frac{\partial I_i}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial I_i}{\partial y}\right)^2}{\sum_{k=1}^N \left(\frac{\partial I_k}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial I_k}{\partial y}\right)^2}$$

设 $\theta(x, y)$ 是“àtrous”小波变换所采用的2维可微平滑函数,它对应的两个小波函数为 $\psi^1(x, y) = \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial x}$ 和 $\psi^2(x, y) = \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial y}$ 。 $L^2(\mathbf{R}^2)$ 中函数的

$f(x, y)$ 在尺度 $2^j$ 上的小波变换为

$$L_{2^j} = f * \theta_{2^j}(x, y)$$

$$W_{2^j}^1 = f * \psi_{2^j}^1(x, y)$$

$$W_{2^j}^2 = f * \psi_{2^j}^2(x, y)$$

$L_{2^j}, W_{2^j}^1$ 和 $W_{2^j}^2$ 分别为 $f(x, y)$ 的 $j$ 级低通分量和两个高通分量,且

$$\theta_{2^j}(x, y) = \frac{1}{2^{2j}} \theta\left(\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j}\right)$$

$$\psi_{2^j}^{[1,2]}(x, y) = \frac{1}{2^{2j}} \psi_{2^j}^{[1,2]}\left(\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j}\right)$$

可以看出,小波变换实际上对应了 $f(x, y)$ 经函数 $\theta_{2^j}(x, y)$ 平滑后的梯度。

$I$ 经“àtrous”小波变换后得到的高通分量微分的平方模,即 $j$ 级加权基本形式为

$$\|d(I * \theta_{2^j}(x, y))\|^2 =$$

$$2^{-2j} \begin{pmatrix} dx \\ dy \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^N \beta_i (W_{i,2^j}^1)^2 & \sum_{i=1}^N \beta_i W_{i,2^j}^1 W_{i,2^j}^2 \\ \sum_{i=1}^N \beta_i W_{i,2^j}^1 W_{i,2^j}^2 & \sum_{i=1}^N \beta_i (W_{i,2^j}^2)^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dx \\ dy \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中, $\beta_i = \frac{(W_{i,2^j}^1)^2 + (W_{i,2^j}^2)^2}{\sum_{k=1}^N ((W_{k,2^j}^1)^2 + (W_{k,2^j}^2)^2)}$ 。 $W_{i,2^j}^1$ 和 $W_{i,2^j}^2$ 是

平滑的图像分量 $I_i$ 经小波变换得到的 $j$ 级高通分量。 $j$ 级加权基本形式反应了图像 $I$ 在尺度 $2^j$ 处的边缘信息。非负定矩阵 $W_{2^j}$ 的特征向量 $v_{2^j}^+, v_{2^j}^-$ 分别代表了平滑的图像 $I * \theta_{2^j}(x, y)$ 的最大和最小变化方向,其特征值 $\lambda_{2^j}^+$ 和 $\lambda_{2^j}^-$ 则分别是这些变化的速率。

多值图像 $I$ 的 $j$ 级尺度信息可以由以下的4个细节图像表示

$$W_{2^j}^{1,+} = \sqrt{\lambda_{2^j}^+} v_{2^j,x}^+, W_{2^j}^{2,+} = \sqrt{\lambda_{2^j}^+} v_{2^j,y}^+ \quad (4)$$

$$W_{2^j}^{1,-} = \sqrt{\lambda_{2^j}^-} v_{2^j,x}^-, W_{2^j}^{2,-} = \sqrt{\lambda_{2^j}^-} v_{2^j,y}^-$$

对于矩阵 $W_{2^j}$ ,利用下式来确定 $v_{2^j}^+$ 的符号:

$$\mathbf{v}_{2^j}^+ = \begin{cases} \mathbf{v}_{2^j}^+ & {}_cW_{2^j}^1 \mathbf{v}_{2^j,x}^+ + {}_cW_{2^j}^2 \mathbf{v}_{2^j,y}^+ \geq 0 \\ -\mathbf{v}_{2^j}^+ & \text{其他} \end{cases}$$

式中,  $G =: \sqrt{\sum_{i=1}^N I_i^2}$ ,  ${}_cW_{2^j}^1$  和  ${}_cW_{2^j}^2$  是  $G$  的  $j$  级小波变换。对应地, 选择  $\mathbf{v}_{2^j}^-$  的符号使它对应的角度比  $\mathbf{v}_{2^j}^+$  对应的角度大  $\pi/2$ 。

式(4)给出了一个多值图像的小波多尺度表示。忽略第 2 个特征值  $\lambda^-$ , 基于 WMFF 的图像融合算法如下: 首先通过平均多值图像各带低通分量  $\{L_{i,2^d}, i=1, \dots, N\}$  或者选择其中之一来获得  $d$  级低通分量  $\bar{L}_{2^d}$ 。高通分量  $W_{2^j}^{l,+}$  由式(4)确定。于是多值图像  $I$  可由  $\{\bar{L}_{2^d}, W_{2^j}^{l,+}, l=1, 2; j=1, \dots, d\}$  多尺度表示。最后, 对此多尺度分解进行逆“à trous”小波变换, 即得到原图像  $I$  的融合结果。

### 2.3 融合图像中 SIFT 点的快速匹配

检测融合图像, 得到 SIFT 特征点集合  $\{p_k = (x_k, y_k, \sigma_k, o_k) \mid k=1, 2, \dots, N\}$  和它们的描述子  $\{F_k \mid k=1, 2, \dots, N\}$ , 其中  $(x_k, y_k)$  为点的空间位置,  $\sigma_k$  为点所在尺度,  $o_k$  为点的方向信息,  $F_k$  为点的特征向量<sup>[10]</sup>。

较稳健的特征点匹配方法是采用特征点描述子的欧氏距离作为特征点相似性判定度量<sup>[10]</sup>。对特征点  $p_i$ , 找出  $\{F_j \mid i \neq j\}$  中距  $F_i$  欧氏距离最近的两个特征点  $p_1, p_2$ , 如果最近的距离除以次近的距离少于某个比例阈值  $T_{\text{sim}}$ , 则  $\{p_i, p_1\}$  为一对匹配点。

上述匹配方法需要对特征点描述子的相关度进行两两运算, 如特征点较多, 会占用大量计算时间, 而在图像内容细节丰富的情况下, 算法的图像融合步骤会较大程度地增加 SIFT 特征点的数量。为解决匹配过程中的计算量问题, 本文采用基于邻域强度排序的方法对 SIFT 点进行快速匹配。对特征点  $p_i$ , 在融合图像内计算它的  $B \times B$  邻域强度均值  $\bar{i}_p$ , 对  $\{\bar{i}_p \mid p \text{ 为 SIFT 特征点}\}$  进行字典排序, 对排序后索引为  $j$  的特征点, 仅在索引为  $\{k \mid |j-k| < T_{\text{ind}}\}$  的点中按照上面所述方法寻找匹配点。其中,  $T_{\text{ind}}$  为阈值, 用于控制寻找 SIFT 正确匹配需要的数据量,  $B$  的作用是依据  $B \times B$  邻域均值, 预先对 SIFT 点按粗略的相似程度做排序以保证可能匹配的 SIFT 点都处在排序后较为相邻的位置。

对自然图像的实验结果表明, 虽然概率较小, 但快速匹配算法得到的 SIFT 匹配点可能会有误匹配。

### 2.4 寻找相似区域

算法用类似串行区域分割中区域生长的方法在融合图像中寻找相似区域。方法的基本思想是将相似性质的图像区域合并在一起。首先选择匹配点对为“种子点”, 种子点的邻域作为生长的“种子区域”, 判断这两个区域是否相似, 然后判断和“种子区域”相邻的区域是否相似, 将相似的区域不断合并到已经生长的区域中, 直到没有相似区域加入为止。区域生长过程依赖于生长策略, 生长策略的关键是匹配区域的选择和区域生长准则。

需要指出的是, 若“种子区域”不相似, 则放弃这对匹配点, 判断“种子区域”是否相似的作用是消除可能出现的 SIFT 点的误匹配。

#### 2.4.1 匹配区域的选择

如图 1 所示, 以互相匹配的 SIFT 特征点对  $p_i = (x_i, y_i, \sigma_i, o_i), p_j = (x_j, y_j, \sigma_j, o_j)$  为“种子点”, 选择以  $p_i$  为中心的半径为  $r$  的圆形区域作为生长的“种子区域”, 以  $p_j$  为中心的半径为  $r_j = r \times \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_j}\right)$  的圆形区域为与其对应的“种子区域”。根据区域生长准则判断这两个区域是否匹配, 如果匹配, 在  $p_i$  的 8 邻域方向找到和它距离为  $2r$  的 8 个相邻点  $p'_i = (x'_i, y'_i)$ , 和  $p'_i$  对应的  $p_j$  的相邻点  $p'_j = (x'_j, y'_j)$  满足:

$$\begin{pmatrix} x'_j - x_j \\ y'_j - y_j \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(o_j - o_i) & -\sin(o_j - o_i) \\ \sin(o_j - o_i) & \cos(o_j - o_i) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x'_i - x_i \\ y'_i - y_i \end{pmatrix} \times \frac{\sigma_j}{\sigma_i} \quad (5)$$

定位  $p'_j$  后, 找到以  $p'_i$  为圆心的半径为  $r$  圆形邻域和以  $p'_j$  为圆心的半径为  $r_j$  的圆形邻域, 判断两者是否匹配, 如果匹配则继续比较  $p'_i$  的 8 邻域相邻点的圆形邻域和对应的待匹配区域, 直到再也找不到匹配的邻域为止。

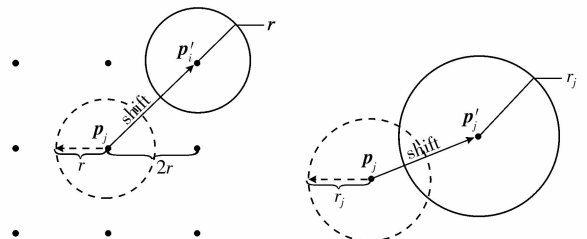


图 1 待比较区域选择示意图, 虚线区域为初始匹配区域  
Fig. 1 The choice of regions for comparison, the broken circle regions are initial regions

#### 2.4.2 区域生长准则

区域生长准则即区域是否匹配的判别准则。它

依赖于自然图像的性质和式(1)中 $O$ 的选择。已有文献的模型并没有考虑 $O$ 的作用,常见的 $O$ 为亮度的调整。考虑到算法的计算量,需要一个计算简单的准则使其能检测出经局部亮度调整区域。先将待匹配区域像素值集合 $S$ 分为两部分 $S_1, S_2$ ,其满足若 $a \in S_1, b \in S_2$ ,则 $a \geq b$ 。计算 $S_1$ 均值 $m_{\max}$ ,取归一化区域特征

$$f = \frac{1}{m_{\max} |S|} \sum_{a \in S} a$$

如果两个区域的特征 $f_1, f_2$ 满足

$$|f_1 - f_2| < T_s$$

则认为两个区域相似, $T_s$ 为阈值。

#### 2.4.3 生长停止条件

在一对“种子点”所对应的匹配区域生长完毕后,对未包含在已生长区域中的“种子点”重复上面的过程,直至所有“种子点”的生长过程完毕。

检测算法框图如图2所示,过程大致可分为4步。首先将经过降采样的待检测彩色图像融合为单幅图像,然后从中寻找匹配的SIFT特征点;再从匹配点对出发逐步生长篡改区域;最后,对生长的篡改区域的掩模进行形态学操作并找到对应的相似区域。

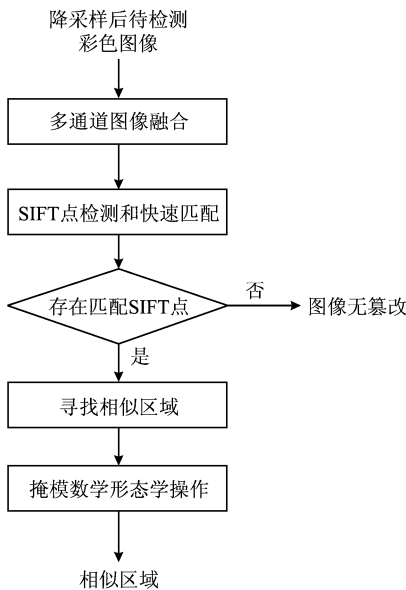


图2 检测算法流程图

Fig. 2 The flow chart of the proposed method

### 3 实验结果

本文算法共有4个参数, $B, T_{\text{ind}}, r$ 和 $T_s$ 。主要

的参数是半径 $r$ ,较大的 $r$ 会加快区域生长速度,更好地抵抗润色操作的干扰,但是对篡改区域的勾勒不精确,较小的 $r$ 能更好的勾勒篡改区域,但对润色操作和JPEG压缩比较敏感。 $r$ 的取值是一个经验值,取值依据是对检测结果的需求。 $T_{\text{ind}}$ 是控制SIFT特征点匹配所需要数据量的阈值, $T_{\text{ind}}$ 越大则SIFT匹配越准确,但计算量也越大。通过对哥伦比亚大学像片和计算机生成图片数据库中的800幅自然图像<sup>[12]</sup>的实验发现,当 $T_{\text{ind}} \geq 400$ 时,本文的SIFT点快速匹配方法不会在真实的自然图片中得到匹配的SIFT特征点,匹配方法有效。 $B$ 和 $T_s$ 也是经过对大量自然图像的实验得到的经验值, $B=8$ 和 $B=16$ 时,实验结果无显著变化。在本文实验中,选择 $B=8, T_{\text{ind}}=400, r=3, T_s=0.02$ 。为了减少计算时间和存储消耗,若待检测图像最长边尺寸超过512,先通过降采样将其变为512。

目前还没有图像篡改的公认数据库。可采用网上下载的两幅Philip Greenspun拍摄的高分辨率图像作为原始图片<sup>[13]</sup>,以Photoshop为工具制作篡改图像,如图3所示。图3(a)的分辨率为 $1600 \times 1200$ 。在图3(b)中,一块区域旋转大约 $10.4^\circ$ ,拉伸105%并适当调整亮度后遮盖了自行车所在区域。图3(c)的分辨率为 $1312 \times 2000$ 。在图3(d)中,一块区域经拉伸110%后遮盖了画面上方的工人。在这些篡改图中,为了更好的篡改效果,区域在被粘贴之前,经过了旋转缩放变换和亮度调节。

为说明算法在实际中的应用,选择两幅新闻摄影图片作为待检测图片<sup>[14-15]</sup>,如图4所示。图4(a)为2006年7月23日《今日早报》头版题为《大雨袭杭百舸归》的新闻图片。图4(b)为2007年5月25日《安徽日报》头版题为《武警苦练船艇操作技能》的新闻图片。仔细观察可以看出,图4(b)中最后排的冲锋舟及水波部分和其前排的内容基本相同但大小不同,可以猜测是经过篡改并特意伪造出“近大远小”的3维透视效果,图4(a)以同样的手法伪造了“百舸”的效果。

表1比较了融合图像的特征点检测和经线性变化得到的灰度图的特征点检测的效果。可以看出,对于细节丰富的图像,图像融合得到的特征点数量显著增多,有更好的定位复制区域的能力。对其他图像,因为融合过程去除噪声的功能会造成与噪声

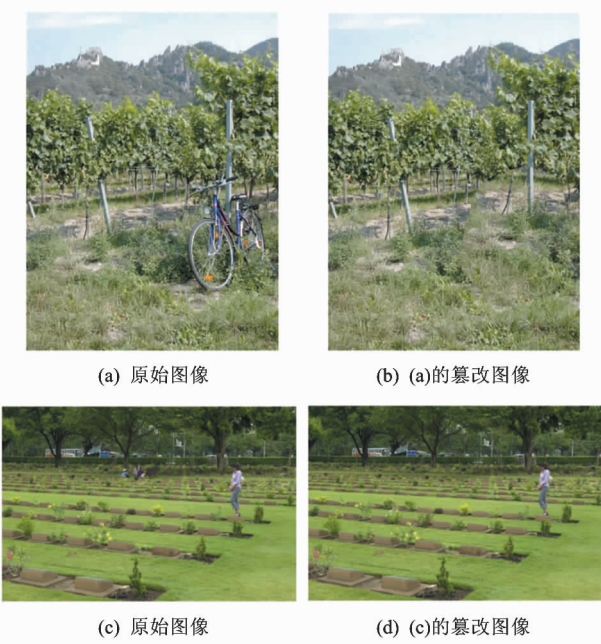


图 3 利用高分辨率数码图像制作的篡改图片  
Fig.3 The forged photos made by high-resolution images



图 4 疑似篡改图像  
Fig.4 Doubtful news pictures

表 1 融合图像和灰度图像特征点数量比较  
Tab.1 The numbers of SIFT points

图片	融合图像特征点数量	灰度图像特征点数量
图 3 (b)	3 275	3 145
图 3 (d)	2 643	1 928
图 4 (a)	2 036	2 060
图 4 (b)	2 483	1 558

分布类似的细节被去除,融合图像得到的特征点数量有所减少,但融合图像和灰度图像得到的特征点数量相当,因而定位能力不会受到影响。

篡改图片的检测结果即篡改对应的图像内容如图 5 和图 6 所示。本文的算法较完整地勾勒出了篡改图像的被拷贝区域和被篡改区域。对新闻图片的

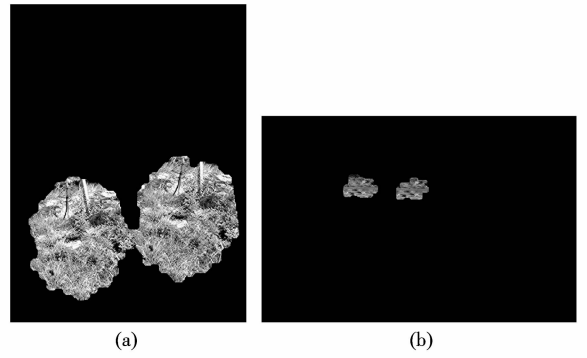


图 5 图 3 中篡改图像检测结果得到的篡改区域内容  
Fig.5 The contents of forged regions of Fig. 3

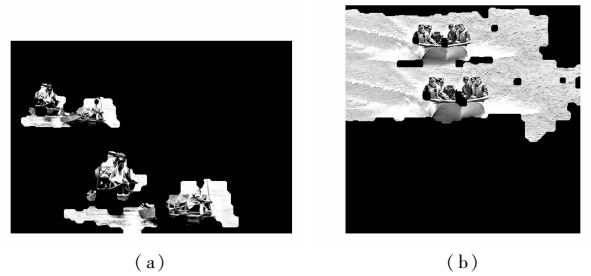


图 6 图 4 检测得到的篡改区域内容  
Fig.6 The contents of forged regions of Fig. 4

检测结果也验证了对篡改内容的猜测。算法检测效果和耗费时间依赖于图像的内容,细节内容丰富的图像有较多的 SIFT 特征点,需要花费更多的匹配时间,能得到更好的检测效果。

为验证算法的稳健性,将篡改图像加入噪声,进行不同程度的模糊,以不同的质量因子进行 JPEG 压缩。其中使用 Photoshop 进行模糊操作,其他操作利用 Matlab 完成。若检测到的篡改区域位置集合为  $A$ ,原始篡改区域为  $B$ ,使用  $M = \frac{|A \cap B|}{|B|}$

衡量算法的稳健性。噪声对特征点的检测和区域生长准则中的归一化特征有影响,因此对算法的影响较大。以图 3 (b) 为例,对应着添加的高斯噪声方差的变化,检测得到的匹配点个数和  $M$  的变换如图 7 所示。可以看出,随着加入噪声的增多,检测算法得到的匹配特征点数量减少, $M$  也随之变化。椒盐噪声和斑点噪声有类似的效果。实验结果还表明,模糊操作和 JPEG 有损压缩对检测效果影响不大,即使在 JPEG 质量因子低至 40 或经 3 个像素的高斯模糊后, $M$  仍可达到 0.9。在多种润色方法组合操作后,算法也能得到令人满意的检测结果。

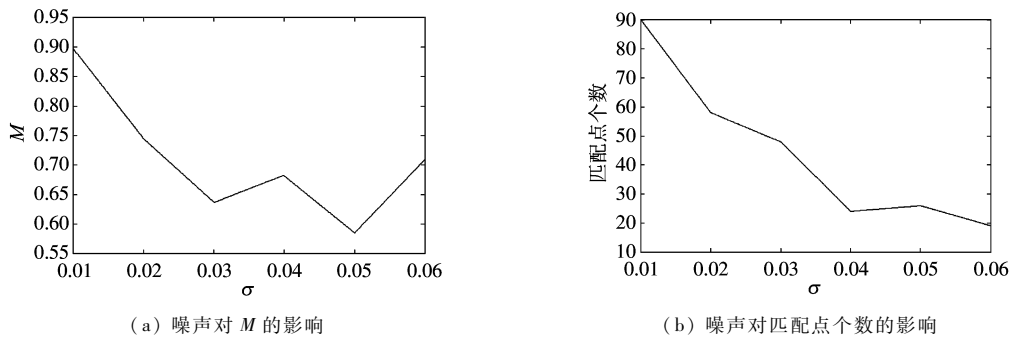


图7 图3(b)加入噪声的方差带来的  $M$  以及匹配点个数的变化

Fig. 7 Top:  $M$  vs. variance of Gaussian noise. Bottom the number of SIFT points vs. variance of Gaussian noise

## 4 结论

拷贝—变换—移动篡改是一种操作简单但非常有效的篡改技术,已有的篡改检测框架无法检测出这种篡改。本文建立了拷贝—变换—移动篡改模型并针对此模型提出了基于图像融合和匹配特征点的检测算法。算法有以下几个特点:1)能够检测出经旋转和尺度变换后的篡改区域。2)利用图像融合丰富图像细节信息,使检测算法能够将高分辨率图像降采样为低分辨率图像后进行检测,有利于高分辨率图像的批量快速检测。3)利用同一幅图像中互相匹配的 SIFT 特征点对标明篡改存在,结合 SIFT 特征点信息,利用区域生长的方法逐步生长出篡改区域。针对高分辨率篡改图像和新闻图片的检测结果验证了检测算法的有效性。本文算法对常见的润色操作和 JPEG 压缩也有较强的稳健性。

## 参考文献 (References)

- [1] Farid H. Digital Doctoring: Can we trust photographs? [EB/OL]. [2009-01-15]. <http://www.cs.dartmouth.edu/farid/publications/deception07.html>.
- [2] Fridrich J. Image watermarking for tamper detection [C]//Proceedings of International Conference on Image Processing. New York, USA: IEEE Computer Society, 1998: 404-408.
- [3] Luo W, Qu Z, Pan F, et al. A survey of passive technology for digital image forensics [J]. *Frontiers of Computer Science in China*, 2007, 1(2): 166-179.
- [4] Ng T T, Chang S F, Lin C Y, et al. Passive-blind image forensics [C]//Zeng W, Yu H, Lin C Y. *Multimedia Security Technologies for Digital Rights Management*. Orlando: Academic Press, 2006: 383-412.
- [5] Fridrich J, Soukal D, Lukáš J. Detection of copy-move forgery in digital images [C]//Proceedings of Digital Forensic Research Workshop. Cleveland, USA, [s. n.], 2003: 5-8.
- [6] Popescu A C, Farid H. Exposing digital forgeries by detecting duplicated image regions [R]. TR2004-515, Hanover, NH, USA: Department of Computer Science, Dartmouth College, 2004.
- [7] Ju S, Zhou J, He K. An authentication method for copy areas of images [C]//Proceedings of Fourth International Conference on Image and Graphics. New York, USA: IEEE Computer Society, 2007: 303-306.
- [8] Mahdian B, Saic S. Detection of copy-move forgery using a method based on blur moment invariants [J]. *Forensic Science International*, 2007, 171: 180-189.
- [9] Zeng Huang, Ren Yue. *The handbook of picture editing* [M]. The second edition, Beijing: China Photographic Publishing House, 2006: 201-206. [曾璜, 任悦. *图片编辑手册* [M]. 第2版, 北京: 中国摄影出版社, 2006: 201-206.]
- [10] Lowe D. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 60(2): 91-110.
- [11] Chen Tao, Yue Yongjuan, Peng Silong. Weighted multiscale fundamental form and its applications [J]. *Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics*, 2005, 17(10): 2263-2268. [陈涛, 岳永娟, 彭思龙. 加权多尺度基本形式及应用 [J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2005, 17(10): 2263-2268.]
- [12] Ng T T, Chang S F, Hsu J, et al. Columbia Photographic Images and Photorealistic Computer Graphics Dataset [R]. ADVENT Technical Report TR205-2004-5, New York, USA: Columbia University, 2005.
- [13] Philip Greenspun's Digital Photos [DB/OL]. [2008-07-24]. <http://photo.net/philip-greenspun/photos/digiphotos>.
- [14] Top 10 most famous false news of 2006: Returning boats in heavy rain of Hangzhou [EB/OL]. [2006年十大假新闻:大雨袭杭百舸归 [EB/OL].] [2006-12-30]. <http://media.people.com.cn/GB/5236205.html>.
- [15] Top 10 most famous false news of 2007: Paramilitary soldiers practice hard in ship training [EB/OL]. [2007年十大假新闻:武警苦练船艇操作技能 [EB/OL].] [2008-01-02] [http://news.cnwest.com/content/content\\_1111177.htm](http://news.cnwest.com/content/content_1111177.htm).