

基于 SURF 算法的 JPEG 地质资料复制-移动篡改检测

刘助龙^{1,2}, 方先知³, 廖苗², 李香花⁴, 赵于前², 戴塔根^{1,2}, 贾亮亮^{1,2}, 陈瑜²

(1. 中南大学 有色金属成矿预测教育部重点实验室, 长沙 410083;

2. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 长沙 410083;

3. 湖南省国土资源厅, 长沙, 410007; 4. 中南大学 土木工程学院, 长沙 410083)

摘要: 针对 JPEG 地质资料的复制-移动篡改, 提出一种结合 SURF 特征匹配与 JPEG 块伪影特征矩阵因子的篡改区域检测方法。首先运用 SURF 算法提取图像特征点并进行特征点匹配, 根据剔除伪匹配点后的匹配对计算仿射变换参数, 定位复制-移动区域, 然后通过引入 JPEG 块伪影特征矩阵因子实现篡改区域的定位。结果表明: 相比其他算法, 本方法能够更有效地探测 JPEG 地质资料的复制-移动篡改, 并精确定位篡改区域。

关键词: 篡改探测; 复制-移动; JPEG; 地质资料

中图分类号: P208

文献标志码: A

Copy-move forgery detection for JPEG geological images based on SURF algorithm

LIU Zhu-long^{1,2}, FANG Xian-zhi³, LIAO Miao², LI Xiang-hua⁴, ZHAO Yu-qian²,

DAI Ta-gen^{1,2}, JIA Liang-liang^{1,2}, CHEN Yu²

(1. Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals, Ministry of Education,
Central South University, Changsha 410083, China;

2. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China;

3. Department of Land and Resources of Hunan Province, Changsha 410007, China;

4. School of Civil Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Aiming at copy-move forgery in the JPEG geological images, a new tampered region detecting method was presented based on the speeded up robust features (SURF) matching and JPEG blocking artifact characteristics matrix (BACM) factor. Firstly, the SURF algorithm was applied to extract and match the feature points of the image, the affine transformation parameters are obtained by the matched feature points, and were used to detect the copy-move tampered regions. Then, the tampered region was located according to the JPEG BACM factor. The results show that the proposed method can detect the copy-move tampered region in JPEG geologic images more effectively, and can also locate the tampered region more precisely than the other methods, which can therefore ensure the security and accuracy of the digital geological data.

Key words: tampering detection; copy-move; JPEG; geological data

随着现代数字技术的发展, 数字化信息资源已经成为重要的信息交流与共享方式。为满足社会经济发展对地质资料提出的多层次、多范围和多样化要求,

国家及省级地质资料馆开展了长达十多年的地质资料图文数字化工作^[1-2]。全国地质资料馆和多个省级的地质资料管理部门已在网上提供了上万份资料的全文在

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61172184), 湖南省国土资源厅科技计划项目(2012032)

收稿日期: 2013-05-16; 修订日期: 2013-06-30

通信作者: 李香花, 讲师, 博士; 电话: 0731-88836665; E-mail: lpstonecsu@163.com

线浏览服务。毋庸置疑, 地质资料数字化将更好地对馆藏资料进行安全有效保管, 且能及时便捷地为社会提供服务^[3]。然而, 在这些资料通过互联网面向公众服务的过程中, 使用者采用简单的 PhotoShop、Matlab、Paint 等图像编辑软件, 就能很容易地对一些数字图像资料进行篡改^[4-8]。“世纪金矿勘查骗案”和播卡金矿事件就是利用虚假的数据资料, 搅乱市场, 损害投资者利益的典型案例。为确保地质资料的真实性, 《地质资料管理条例》、《地质勘查资质管理条例》、《湖南省地质灾害防治管理办法》等多个规定和文件对地质资料的真实性做了明确要求。如何快捷准确地检测数字化地质资料的真实性已成为地质资料管理和服务过程中面临的重要课题。

复制-移动篡改^[9-13]是一种直接在原图上进行的篡改方式, 复制原图中感兴趣的区域并粘贴到原图中其他位置, 以达到隐藏目标或增加对象的目的。由于篡改图像的篡改区域与真实区域均来自同一幅图像, 他们的光源方向、色温以及模式噪声均一致, 因此, 经复制-移动篡改后的图像, 篡改区域与真实区域能很好地融合且肉眼很难分辨。此外, 复制-移动篡改较易操作, 没有任何图像处理经验的用户也能轻易通过复制-粘贴操作达到篡改目的。因此, 需要对该种篡改方式设计专门的检测算法。目前, 用于复制-移动篡改检测的方法主要为基于 DCT、PCA、空域和统计域的块匹配算法^[14-17], 这类方法往往存在计算量大、鲁棒性较差以及无法分辨被复制区域与移动区域(即, 篡改区域)以及篡改区域定位不精准等问题。

针对现有方法的缺点与不足, 本文作者提出结合 SURF 特征匹配与 JPEG 块伪影特征矩阵因子的快速自动探测 JPEG 地质资料复制-移动区域以及定位篡改区域的算法。首先对待检测图像进行预处理, 然后运用 SURF 算法^[18]提取待检测图像的特征点和特征描述符并根据特征描述符间的欧式距离进行特征点匹配, 根据匹配对估计仿射变换参数并剔除伪匹配点, 再根据仿射变换参数计算区域关联图, 定位复制-移动区域, 最后通过比较复制-移动区域的块伪影特征矩阵因子的大小定位篡改区域。

1 算法流程

1.1 预处理及 SURF 特征点提取

首先对待检测彩色图像进行预处理。将图像从

RGB 色彩空间转换到 YCbCr 色彩空间, 由于 JPEG 压缩过程是对 YCbCr 色彩空间以 4:2:2 或 4:2:0 的比例进行缩减采样, 因此, 采用 YCbCr 图像的 Y 分量进行后续处理。然后运用 SURF 算法提取特征点和特征描述符。

1.2 特征点匹配

根据所提取特征点的特征描述符进行 SURF 特征点匹配, 运用欧式距离作为判断特征点是否具有相似性的度量标准, 计算公式如下:

$$d = \sqrt{\sum_{l=1}^r (w(l) - v(l))^2} \quad (1)$$

式中: w 和 v 表示两个不同的 r 维向量, $w(l)$ 和 $v(l)$ 分别表示第 l 维向量的值。当两个特征点的特征描述符的欧氏距离 d 小于阈值 ε 时, 认为这两点为匹配特征点。因此, ε 值越大, 得到的匹配点越多。当待检测图像为经复制-移动篡改图像时, ε 值越大, 虽然能得到更多的来自复制-移动区域的匹配特征点, 但是同样也会增加真实区域的伪匹配特征点; ε 值越小, 虽然能大大减少真实区域的伪匹配特征点, 但这会以丢失部分复制-移动区域的匹配特征点为代价。

为了确定参数 ε , 从 UCID 无压缩彩色图像数据库^[19]中随机挑选 20 幅原始自然图像, 运用 SURF 算法提取其特征点和特征描述符, 并对所有特征点对应的特征描述符之间的欧式距离进行统计, 统计结果如图 1 所示。很明显可以看到, 真实图像特征点的欧式

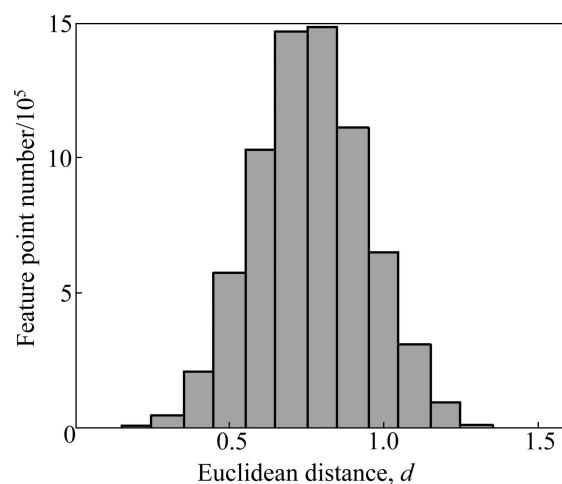


图 1 真实图像中 SURF 特征点之间欧式距离统计结果

Fig. 1 Statistical result of Euclidean distance among SURF feature points in authentic images

距离基本呈以 0.8 为中心的正态分布, 欧式距离小于 0.2 的特征点数目几乎为 0, 这也表明, 在一幅真实图像中, 出现两个极为相似的特征点的可能性极小。因此, 在本算法中, 取阈值 $\varepsilon=0.15$ 。

1.3 伪匹配点剔除

根据匹配成功的特征点的坐标位置可以计算仿射变换参数, 但是求解该参数的前提是不存在伪匹配点。图 2(a)所示为一幅经复制-移动篡改后的图像进行 SURF 特征点匹配的初始匹配结果, 很明显可以看到, 虽然大部分匹配特征点来自复制-移动区域, 但还是存在少数来自图像真实区域的伪匹配点。且由图 2(a)可以得出: 对于复制-移动区域运用 SURF 算法提取的特征描述符进行特征点匹配是有效的, 大多数匹配正确; 真实区域的伪匹配点是客观存在的, 且数量较少, 分布离散。

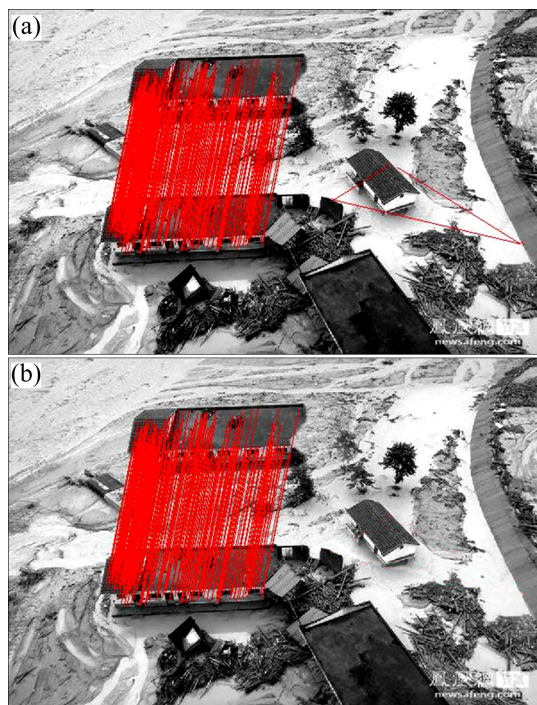


图 2 伪匹配点剔除示例: (a) 初始匹配特征点对; (b) 剔除伪匹配点后的特征点对

Fig. 2 Example for removing false matched feature points: (a) Initial matched feature point pairs; (b) Feature points pairs after removing false matched points

伪匹配点的存在会影响仿射变换参数的计算, 因此必须进行剔除。对于一组给定的匹配特征点 $\mathbf{a}_1=(x_1, y_1)^T$ 和 $\mathbf{a}_2=(x_2, y_2)^T$, 可以通过特定二维矩阵 $\mathbf{T}=[t_{11}, t_{12},$

$t_{21}, t_{22}]$ 和偏移向量 $\Delta\mathbf{x}=(x_0, y_0)^T$ 对其进行二维仿射变换 $\mathbf{a}_2=\mathbf{T}\mathbf{a}_1+\Delta\mathbf{x}$, 即:

$$\begin{cases} x_2 = t_{11}x_1 + t_{12}y_1 + x_0 \\ y_2 = t_{21}x_1 + t_{22}y_1 + y_0 \end{cases} \quad (2)$$

因此, 随机选取 3 对或更多初始匹配点对, 运用式(2)便可计算出仿射变换参数 \mathbf{T} 和 $\Delta\mathbf{x}$, 然后运用得到的仿射变换参数, 对所有初始匹配特征点(设为 $\mathbf{a}_m=(x_m, y_m)^T$ 和 $\mathbf{a}_o=(x_o, y_o)^T$)进行判断, 如果 $\|\mathbf{a}_o - \mathbf{T}\mathbf{a}_m - \Delta\mathbf{x}\|_2^2 \leq \delta$, 则判定该初始匹配特征点为内点, 否则为外点。重复以上仿射变换参数估计以及判断内、外点等步骤 k 次, 并记录下每次仿射变换参数对应的内点个数。选择内点最多时对应的参数作为最终的仿射变换参数, 同时剔除该仿射变换参数下得到的外点, 即为伪匹配点, 得到结果如图 2(b)所示。在本算法中, 分别取 $\delta=0.08$, $k=80$ 。

1.4 复制-移动区域定位

为了准确定位复制-移动区域, 根据仿射变换参数计算区域关联系数, 公式如下:

$$D_1(p) = \frac{\sum_{s \in \Omega(p), t \in \Omega(p_2)} I(s)I(t)}{\sqrt{(\sum_{s \in \Omega(p)} I(s)^2)(\sum_{t \in \Omega(p_2)} I(t)^2)}} \quad (3)$$

其中: $\Omega(p)$ 表示以像素点 p 为中心、大小为 5×5 的像素块, $I(s)$ 表示像素点 s 的灰度值, 且 p_2 为 p 仿射变换结果, 即 $p_2=\mathbf{T}p+\Delta\mathbf{x}$ 。得到的 $D_1(p)$ 值的范围为 $[0, 1]$, $D_1(p)$ 值越大, 表示对应区域的相关性越强。由于被复制区域与移动区域之间的仿射变换互为逆变换, 为了准确探测出被复制、移动这两个区域, 需将式(2)中所有像素点进行逆仿射变换(即 $p_2=\mathbf{T}^{-1}(p-\Delta\mathbf{x})$), 然后进行关联系数计算, 得到的结果记作 $D_2(p)$ 。然后, 分别将两幅区域关联图像 $D_1(p)$ 和 $D_2(p)$ 进行高斯滤波以及二值化, 并对二值化后的结果取并集。最后运用数学形态学去噪, 得到复制-移动区域。

1.5 篡改区域定位

由于 JPEG 压缩操作是分块进行的, 忽略了块与块之间的相关性, 因此, 块重构解压缩后的 JPEG 图像将引入水平和垂直的网格。基于 JPEG 压缩网格, LUO 等^[20]提出了运用块伪影特征矩阵(Blocking artifact characteristics matrix, BACM)来判断一幅原始

JPEG 图像是否被裁剪。该方法只能判断整幅图像是否经裁剪、旋转等操作, 而不能检测图像的局部篡改以及定位篡改区域。

对于复制-移动篡改, 被复制区域为真实区域, 而移动区域为篡改区域, 其块伪影特征矩阵将遭到破坏, 基于此, 本文作者提出运用块伪影特征矩阵因子 (F_{BACM}) 对复制-移动后的篡改区域进行定位。设待检测图像为 f , 首先对 f 中每个像素点进行如下计算:

$$f'_{(i,j)} = |A + D - B - C| \quad (4)$$

$$f''_{(i,j)} = |E + H - F - G| \quad (5)$$

其中, $A=f(i,j)$, $B=f(i,j+1)$, $C=f(i+1,j)$, $D=f(i+1,j+1)$, $E=f(i+4,j+4)$, $F=f(i+4,j+5)$, $G=f(i+5,j+4)$, $H=f(i+5,j+5)$, 且 $f(i,j)$ 为图像中位于 (i,j) 的像素值。A—H 的相对位置关系如图 3 所示。然后将得到的 f' 和 f'' 分别分成连续不重叠的 8×8 块, 设每个块的相对位置为 (x,y) ($x \in [1, 8]$, $y \in [1, 8]$), 分别取 f' 和 f'' 中相对位置相同的像素值建立直方图, 分别记作 $h'_{(x,y)}(n)$ 和 $h''_{(x,y)}(n)$, 其中 $n \in [0, 500]$ 。再计算 $h'_{(x,y)}(n)$ 与 $h''_{(x,y)}(n)$ 差的绝对值 K :

$$K_{(x,y)}(n) = |h'_{(x,y)}(n) - h''_{(x,y)}(n)| \quad (6)$$

从图 3 中 A—H 的相对位置关系可知, A—D 与 E—H 的相对位置关系只存在以下两种情况: (1) A—D 与 E—H 的坐标分别位于一个 8×8 块内 (均位于同一个块或分别位于不同的块); (2) A—D 与 E—H 的坐标一个位于同一个块内, 另一个则位于不同块中, 即当 A 的坐标 (x,y) 满足 $x=4, y=4$, $x=8, y=8$ 这 4 个条件中的任意一个时。由于 JPEG 压缩形成块伪影栅格, 如果 A—D 的坐标位于不同的 8×8 块中, 则计算得到的 $f'_{(i,j)}$ 值将较大, 此时, E—H 的坐标则位于同一个块内, 计算得到的 $f''_{(i,j)}$ 值较小, 因此, 两者的直方图分布差异较大, 直方图差值绝对值 $K_{(x,y)}$ 也相应较大。对于 E—H 的坐标位于不同的 8×8 块也可以得到类似的结论。然而, 当 A—D 与 E—H 的坐标均在一个 8×8 块内时, $f'_{(i,j)}$ 与 $f''_{(i,j)}$ 值均较小, 两者的直方图分布相近, 因此, 得到的 $K_{(x,y)}$ 值也很小。图 4 所示为 A 在所有 8×8 块中位于 $(4, 4)$ 、 $(1, 8)$ 、 $(5, 8)$ 、 $(6, 6)$ 、 $(2, 5)$ 和 $(2, 1)$ 位置时原始 JPEG 图像的 $K_{(x,y)}(n)$ 值, 该结果是 UCID 数据库的 1 338 幅图像以压缩因子 50 对其进行 JPEG 压缩后统计求平均而得。可以看到, 当 A—D 与

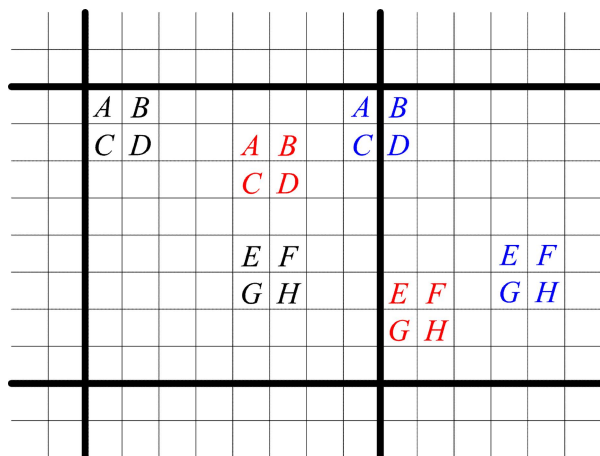


图 3 A—H 的相对位置关系

Fig. 3 Relative position relationships of A—H

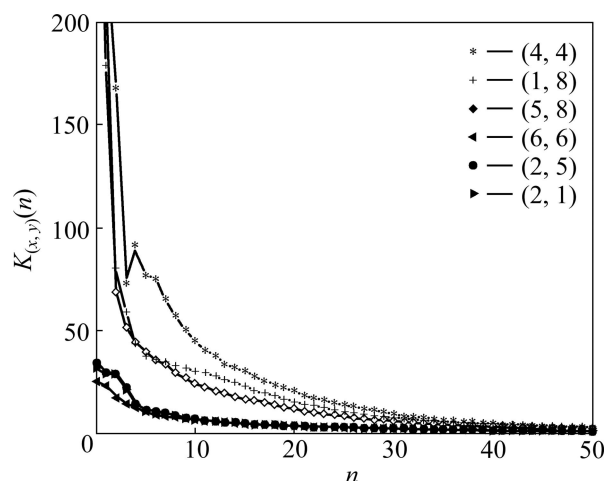


图 4 当 A 位于不同位置时得到的 $K_{(x,y)}(n)$ 值

Fig. 4 $K_{(x,y)}(n)$ values obtained at A in different positions

E—H 的坐标分别满足位于同一个块内时, K 值较小; 否则, K 值较大。

由于相邻像素间的差值一般较小, 从而计算得到 $f'_{(i,j)}$ 、 $f''_{(i,j)}$ 值均相对较小, 从图 4 可以看到, 无论 A 处于什么位置, 当 $n > 30$ 时, $K_{(x,y)}(n)$ 值均趋近于 0, 因此, 本文作者取 $K_{(x,y)}(n)$ 的前 30 个值进行计算。对 8×8 块的左上角区域 R_1 ($R_1 = \{(x,y) | x \in [1, 3], y \in [1, 3]\}$) 的 K 值平均值求和, 得到块伪影特征矩阵因子 F_{BACM} 如下:

$$F_{BACM} = \sum_{x=1}^3 \sum_{y=1}^3 \frac{\sum_{n=0}^{29} K_{(x,y)}(n)}{30} \quad (7)$$

对于没有经过任何篡改的 JPEG 原始图像, 当 A

处于 8×8 块的左上角区域 R_1 时, $K_{(x,y)}(n)$ 均较小, 因此, 计算得到的 F_{BACM} 值也较小。然而, 对于经复制-移动篡改的 JPEG 图像, 真实区域的 F_{BACM} 较小, 由于篡改区域与真实区域的块伪影栅格极有可能不匹配, 因此, 由篡改区域计算得到的 F_{BACM} 值将较大。因此, 可通过比较复制-移动两个区域的 F_{BACM} 值定位篡改区域。

2 结果与分析

图 5(a)所示为 JPEG 质量因子为 50、大小为 590×897 的山洪灾害原始图像, 图中山洪连同其携带

的泥沙冲毁掩盖了该区, 该区因山洪导致受损的房屋只有四处, 人民财产损失较少, 重建较容易, 投入资金较少。图 5(b)所示为运用 Adobe Photoshop CS5 对图 5(a)进行复制-移动篡改后的图像(TIFF 格式)。与图 5(a)相比, 图 5(b)通过人为复制该区的房屋使得受损的房屋比原来有所增加, 从而夸大了受灾情况, 使得对该区的重建费用过多地增加。图 5(c)所示为剔除伪匹配点后的 SURF 特征点匹配对, 可以看到匹配特征点完全来自复制-移动区域。图 5(d)所示为通过计算区域关联系数得到的复制-移动区域。图 5(e)所示为通过比较图 5(d)中两个区域的 F_{BACM} 值得到的篡改区域结果。图 5(f)所示为在原图中标记的篡改区域。很明显, 采

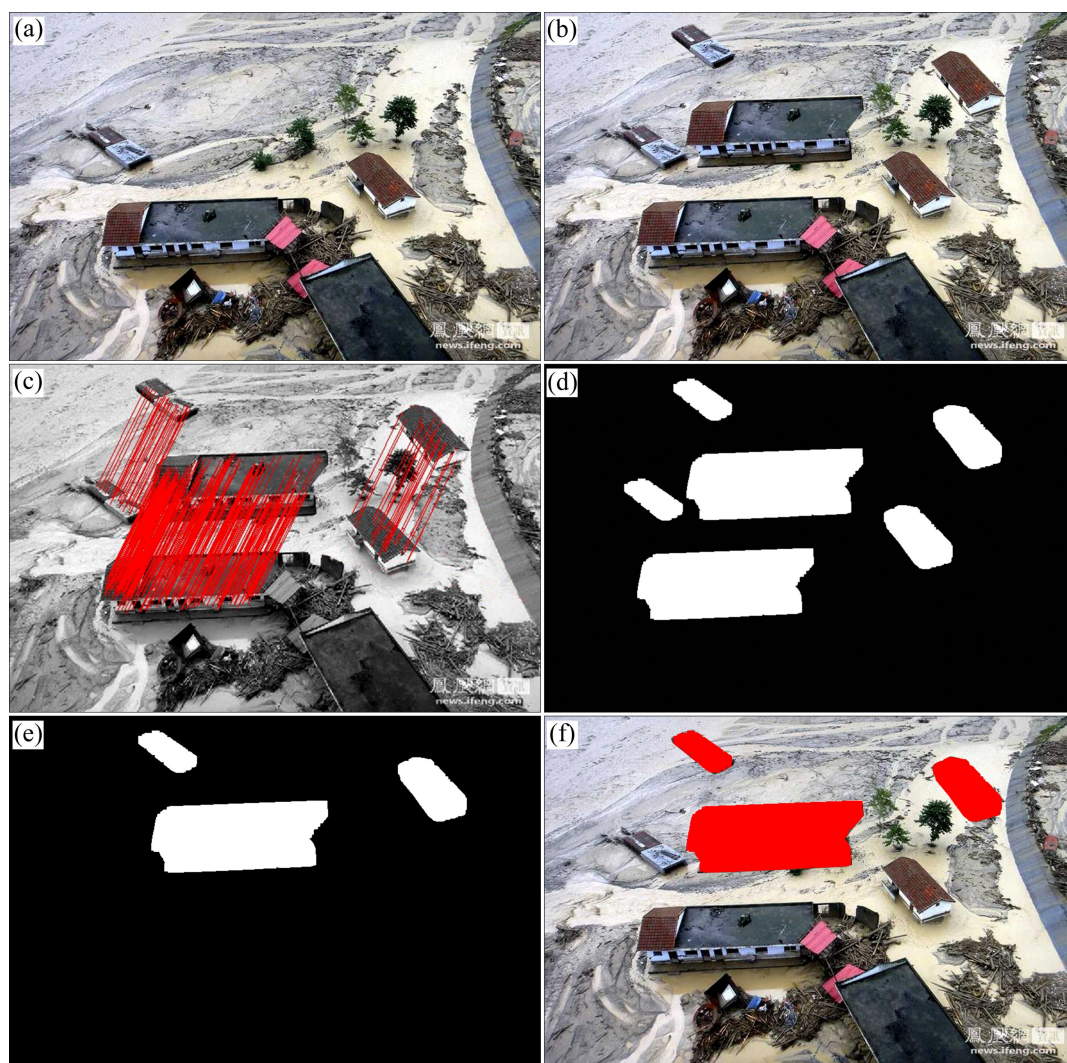


图 5 经复制-移动篡改的地质灾害图像检测结果: (a) 原始图像; (b) 篡改图像; (c) 特征点匹配; (d) 复制-移动区域定位; (e) 篡改区域定位; (f) 篡改区域标记

Fig. 5 Detection results of copy-move forgery in geological hazard image: (a) Original image; (b) Tampered image; (c) Feature points matching; (d) Copy-move regions location; (e) Tampered region location; (f) Tampered region marking

用本方法能有效地检测地质灾害图像的复制-移动篡改, 并成功定位篡改区域。

图 6 所示为对图 5(b)运用其他方法进行检测的结果, 由图 6 可以看出, 文献[15]和[17]方法只能检测出复制-移动区域, 无法分辨被复制与篡改区域, 且存在大量噪声, 文献[21]方法虽然能大致检测出篡改区域, 但同时存在若干噪声和漏检区域。

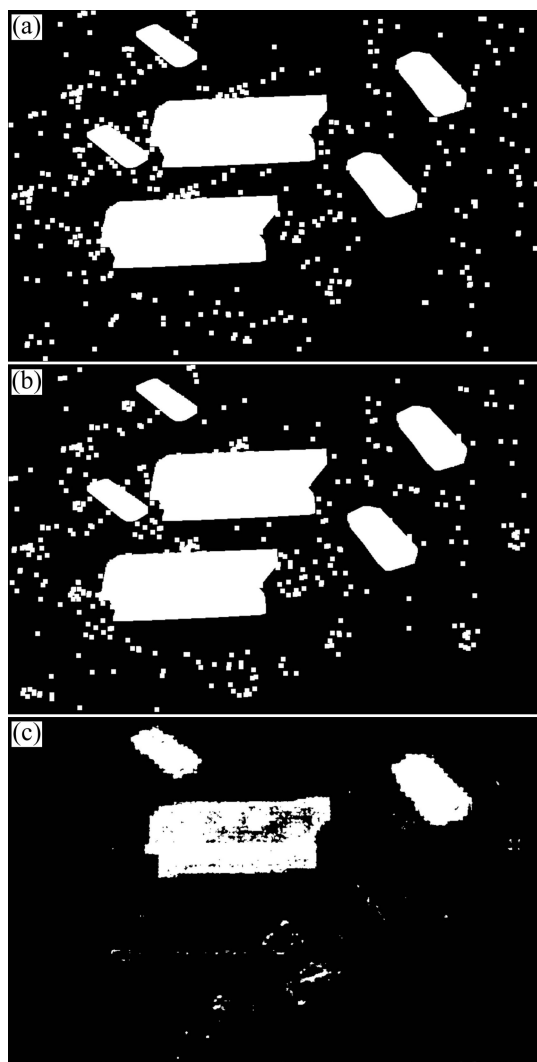


图 6 其他方法对图 5(b)的检测结果: (a) 文献[15]方法; (b) 文献[17]方法; (c) 文献[21]方法

Fig. 6 Detection results of Fig. 5(b) with different methods: (a) Method in Ref. [15]; (b) Method in Ref. [17]; (c) Method in Ref. [21]

图 7(a)所示为 JPEG 质量因子为 80、大小为 $1\,142 \times 1\,068$ 的某铜矿区地质剖面图, 由图可知该区发育有一条含铜石英脉, 石英脉较窄, 因此, 该区的

投资前景一般, 投资成本不需太多。图 7(b)所示为图 7(a)经复制-移动后的篡改图像, 与图 7(a)相比, 该图 中含铜石英脉被人为篡改增加为两条, 尽管每条矿脉不太宽, 但该区成矿较密集, 其下部可能会有更好的成矿前景, 使该区成为一个很有前景的投资前景区, 从而大大提高该矿区的价格。图 7(c)~(e)所示分别为文献[15]、[17]和[21]的检测结果。图 7(f)所示为本方法的检测结果。可以看到, 由于手绘扫描地质资料的背景比较单一, 文献[15]和[17]方法检测失败; 文献[21]方法虽然能大致检测出篡改区域但是得到的篡改区域面积有所增大。本方法则能较精准地定位篡改区域。

图 8(a)所示为 JPEG 质量因子为 75、大小为 $1\,168 \times 200$ 的某矿区一段描述性资料。由图中可知, 该区最大的石英脉厚度为 20~30 m, 延长 1 km, 说明该区投资前景很好, 其投资成本可根据该石英脉作参考而定。图 8(b)所示为图 8(a)经复制-移动篡改后的资料, 与图 8(a)相比, 该区厚度为 20~30 m, 延长 3 km, 这种改变带给投资者错误信息, 将使投资成本增加, 从而使投资者做出错误的决策。图 8(c)~(e)所示分别为文献[15]、[17]和[21]的检测结果。图 8(f)所示为本方法的检测结果。可以看出, 文献[15]和[17]方法检测失败, 而本文方法对于较小的篡改区域也有很好的检测效果且篡改区域的定位精度高于文献[21]提出的方法。

为了定量评价本算法的检测效果, 在本研究中, 选择覆盖率(overlap, E_{ol})和误检率(detection error, E_{de})两个指标^[22], 分别定义如下:

$$E_{ol} = \frac{2(A_1 \cap A_2)}{(A_1 \cup A_2) + (A_1 \cap A_2)} \quad (8)$$

$$E_{de} = \frac{W_1 + W_2}{2T_R} \quad (9)$$

式中: A_1 表示检测出的篡改区域, A_2 为实际篡改区域, W_1 表示将未篡改区域判定为篡改区域的像素个数, W_2 表示将篡改区域判定为未篡改区域的像素个数, T_R 表示真实篡改区域的像素个数。 E_{ol} 值越大、 E_{de} 值越小, 检测结果就越好。对图 5~8 中本算法与文献[15]、[17]和[21]方法的检测结果分别用 E_{ol} 和 E_{de} 值进行评价, 结果如表 1 所列。可以看出, 本方法计算得到的 E_{ol} 值均远高于文献[15]、[17]和[21]方法, 且 E_{de} 值均大大低于文献[15]、[17]和[21]方法, 表明本方法能更精确有效地定位篡改区域。

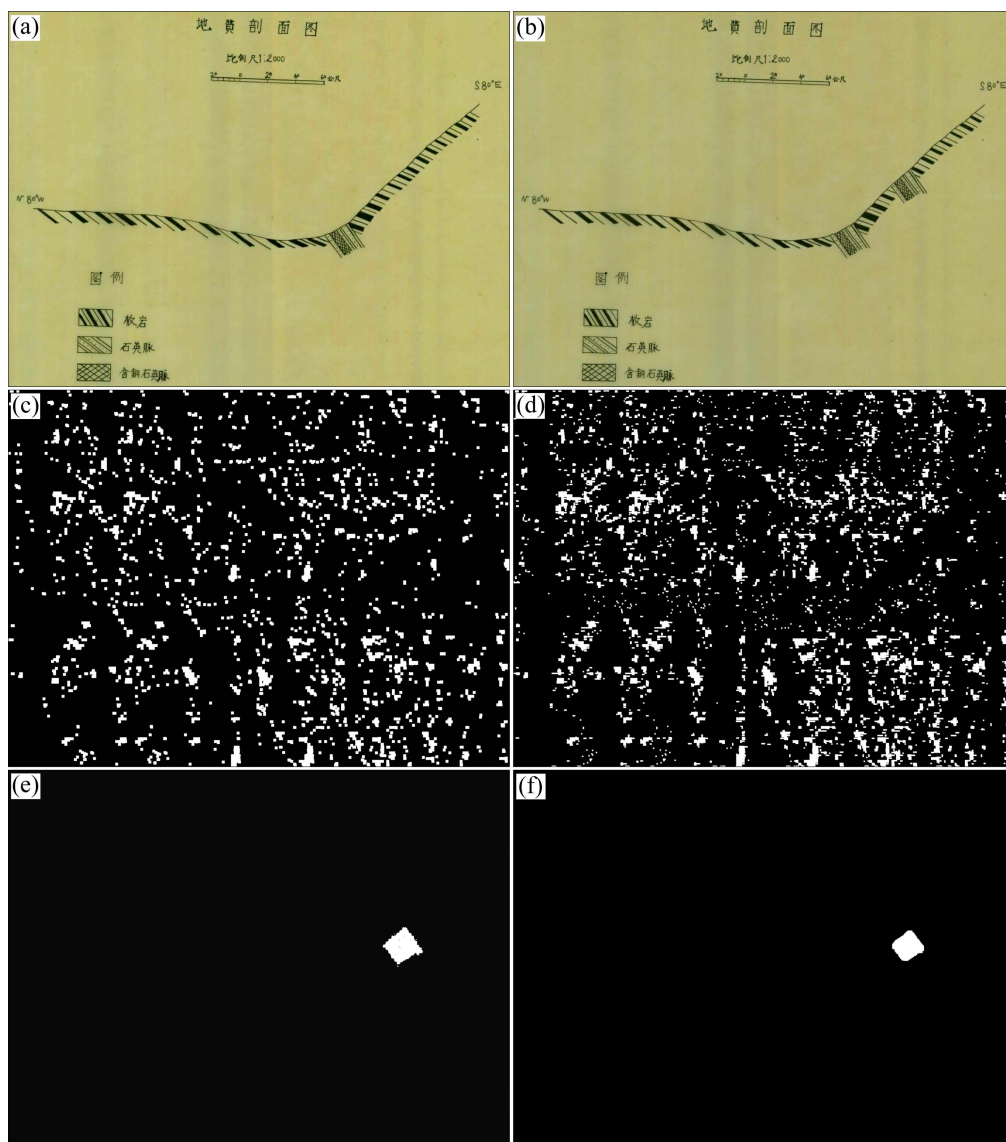


图7 经复制-移动篡改的某铜矿区地质剖面图像检测结果: (a) 原始图像; (b) 篡改图像; (c)~(e) 文献[15]、[17]和[21]的检测结果; (f) 本方法检测结果

Fig. 7 Detection results of copy-move forgery in copper mining section map: (a) Original image; (b) Tampered image; (c)~(e) Detection results of methods in Refs. [15], [17] and [21], respectively; (f) Detection result of proposed method

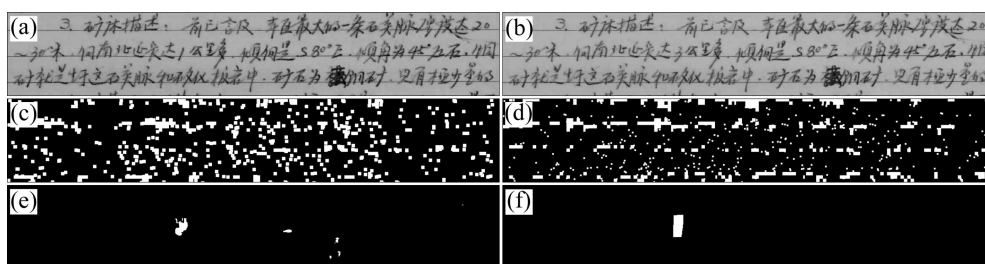


图8 经复制-移动篡改的某矿区描述性资料检测结果: (a) 原始图像; (b) 篡改图像; (c)~(e) 文献[15]、[17]和[21]的检测结果; (f) 本方法检测结果

Fig. 8 Detection results of copy-move forgery in some mining data: (a) Original image; (b) Tampered image; (c)~(e) Detection results of methods in Refs. [15], [17] and [21], respectively; (f) Detection result of proposed method

表 1 图 5~8 中不同算法检测结果比较

Table 1 Comparison of detection results by different algorithms in Figs. 5~8

| Algorithm | In Figs. 5~6 | | In Fig. 7 | | In Fig. 8 | |
|---------------------|--------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| | E_{ol} | E_{de} | E_{ol} | E_{de} | E_{ol} | E_{de} |
| Method in Ref. [8] | 0.871 9 | 0.144 7 | 0 | 13.996 0 | 0.000 8 | 18.052 0 |
| Method in Ref. [10] | 0.879 2 | 0.135 2 | 0 | 15.483 0 | 0.001 1 | 13.505 0 |
| Method in Ref. [14] | 0.868 9 | 0.138 6 | 0.883 9 | 0.130 3 | 0.595 5 | 0.383 9 |
| Proposed method | 0.984 8 | 0.015 1 | 0.958 0 | 0.041 8 | 0.892 1 | 0.115 6 |

3 结论

1) 为确保数字化地质资料在共享服务过程中的安全性、完整性和准确性, 针对 JPEG 地质资料的复制-移动篡改, 提出了一种基于 SURF 特征匹配和 JPEG 块伪影特征矩阵因子的自动检测方法。首先运用 SURF 算法定位复制-移动区域, 然后通过比较复制-移动区域的块伪影特征矩阵因子大小达到识别篡改区域的目的。

2) 以不同类型真实 JPEG 地质资料为实验对象, 与其他多种检测算法进行比较, 实验结果表明, 本方法相比其他方法不仅能够更有效地检测不同类型地质资料的复制-移动篡改, 而且能更准确地定位篡改区域, 从而更加安全有效地为数字化地质资料管理和提供服务提供保障与支持。

REFERENCES

[1] 周进生. 关于成果地质资料社会化服务的理性思考[J]. 资源与产业, 2007, 9(6): 119-122.
ZHOU Jin-sheng. Views on public service of archived geological data [J]. Resources & Industries, 2007, 9(6): 119-122.

[2] 丁克永, 庞振山, 颜世强. 馆藏青藏高原地区成果地质资料概况[J]. 中国矿业, 2011, 20(5): 16-18.
DING Ke-yong, PANG Zhen-shan, YAN Shi-qiang. The general situation of Qinghai-Tibet plateau geological data and achievements kept at National Geological Archives [J]. China mining magazine, 2011, 20(5): 16-18.

[3] 李桂芳. 成果地质资料汇交中存在的问题及对策[J]. 资源环境与工程, 2007, 21(4): 476-478.
LI Gui-fang. Problems and countermeasures existing in delivery of geological achievement and material [J]. Resources Environment & Engineering, 2007, 21(4): 476-478.

[4] 刘助龙, 赵于前, 廖苗, 张竣凯, 戴塔根. 基于 JPEG 压缩的数字化地质资料篡改探测方法及应用[J]. 中国有色金属学报, 2012, 22(3): 961-969.
LIU Zhu-long, ZHAO Yu-qian, LIAO Miao, ZHANG Jun-kai, DAI Ta-gen. Forgery detection and application of digital geological images based on JPEG compression techniques [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2012, 22(3): 961-969.

[5] ZHAO Yu-qian, SHIH F Y, LIAO Miao. Passive detection of copy-paste forgery among JPEG images [J]. Journal of Central South University, 2012, 19(10): 2839-2851.

[6] KEE E, JOHSON M, FARID H. Digital image authentication from JPEG headers [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2012, 7(2): 393-402.

[7] KANG X, LI Y, QU Z, HUANG J. Enhancing source camera identification performance with a camera reference phase sensor pattern noise [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2012, 7(2): 393-402.

[8] MAHALAKSHMI D S, VIJVALAKSHMI K, PRIYADHARSINI S. Digital image forgery detection and estimation by exploring basic image manipulations [J]. Digital Investigation, 2012, 8(3/4): 215-225.

[9] AMERINI I, BALLAN L, CALDELLI R, BIMBO A D, TONGO L D, SERRA G. Copy-move forgery detection and localization by means of robust clustering with J-Linkage [J]. Signal Processing: Image Communication, 2013, 28(6): 659-669.

[10] KAKAR P, SUDHA N. Exposing post processed copy-paste forgeries through transform-invariant features [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2012, 7(3): 1018-1028.

[11] LYNCH G, SHIH F Y, LIAO H Y M. An efficient expanding block algorithm for image copy-move forgery detection [J]. Information Sciences, 2013, 239: 253-265.

[12] LI Yue-nan. Image copy-move forgery detection based on polar cosine transform and approximate nearest neighbor searching [J]. Forensic Science International, 2013, 224(1/3): 59-67.

[13] 赵于前, 陈瑜, 李香花, 廖苗. 一种新的复制-移动篡改

- JPEG 图像探测方法[J]. 中南大学学报, 2012, 43(10): 3964–3970.
- ZHAO Yu-qian, CHEN Yu, LI Xiang-hua, LIAO Miao, LIU Zhu-long. A novel detection method of copy-move forgery in JPEG images [J]. Journal of Central South University, 2012, 43(10): 3964–3970.
- [14] HUANG Yan-ping, LU Wei, SUN Wei, LONG Ding-yang. Improved DCT-based detection of copy-move forgery in images [J]. Forensic Science International, 2011, 206(1/3): 178–184.
- [15] FRIDRICH J, SOUKAL D, LUKAS J. Detection of copy-move forgery in digital images [C]// Proceedings of Digital Forensic Research Workshop. Cleveland, OH, USA, 2003: 55–61.
- [16] POPESCU A C, FARID H. Exposing digital forgeries by detecting duplicated image regions [R]. Technical Report, TR2004-515, 2004.
- [17] JU S, ZHOU J, HE K. An authentication method for copy areas of images [C]// Fourth International Conference on Image and Graphics. Chengdu, 2007: 303–306.
- [18] BAY H, ESS A, TUVTELAARS T. SURF: Speeded Up Robust Features [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(3): 346–359.
- [19] SCHAEFER G, STICH M. UCID: an uncompressed colour image database [C]// Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering, Storage and Retrieval Methods and Applications for Multimedia, San Jose, USA, 2004, 5307: 472–480.
- [20] LUO Wei-qi, QU Zhen-hua, HUANG Ji-wu. A novel method for detecting cropped and recompressed image blocks [C]// Proceedings of 2007 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Honolulu, Hawaii, USA, 2007, II: 217–220.
- [21] LIU Z, LI X, ZHAO Y. Passive detection of copy-paste tampering for digital image forensics [C]// Proceedings of Fourth International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, 2011, 2: 649–652.
- [22] LI Xiang-hua, ZHAO Yu-qian, LIAO Miao, SHIH F Y, SHI Y Q. Detection of tampered region for JPEG images by using mode based first digit features [J]. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2012, 190: 1–10.

(编辑 龙怀中)