

中图法分类号: TN911.73 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)03-0316-08

论文索引信息: 扈文斌, 刘凯. 基于量化表不一致性的 JPEG 图像篡改盲检测 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(3): 316-323

基于量化表不一致性的 JPEG 图像篡改盲检测

扈文斌¹⁾, 刘凯^{1),2)}

¹⁾ (上海大学通信与信息工程学院, 上海 200072)

²⁾ (新型显示技术及集成应用教育部重点实验室, 上海 200072)

摘要: 利用篡改后 JPEG 图像量化表不一致的特性, 提出一种针对 JPEG 图像的篡改盲检测新方法。通过智能选取若干图像块, 迭代估计出待测图像的原始量化表, 大致定位出篡改区域。然后用估计出的原始量化表对篡改区域再进行一次 JPEG 压缩, 由压缩前后图像像素值的差值最终确定篡改位置。实验结果表明, 提出的估计量化表算法复杂度小, 精度高。检测算法能有效地检测出多种篡改类型的 JPEG 图像, 且对篡改区域和未篡改区域压缩因子相差较小的 JPEG 合成类篡改, 检测正确率更高。

关键词: 量化表; JPEG 压缩; 篡改盲检测

Blind detection of the doctored JPEG image based on the inconsistencies of quantization table

Hu Wenbin¹⁾, Liu Kai^{1),2)}

¹⁾ (School of Communication and Information Engineering, Shanghai 200072 China)

²⁾ (Key Laboratory of Advanced Displays and System Application, Ministry of Education, Shanghai 200072 China)

Abstract: A new approach is proposed to detect JPEG image forgery through the inconsistencies of quantization table. The original quantization table is estimated iteratively by selecting qualified blocks intelligently and further used to position the approximately doctored areas. Then the doctored area is compressed by the original quantization table estimated. Using the difference between the double compressed image and the test image, doctored areas will be more precisely determined. Simulation results show that the quantization table estimation algorithm proposed is less time consuming and of higher precision. The detection algorithm can expose various kinds of JPEG image forgeries and it is more effective for small difference quality factor between the doctored area and undoctored area's JPEG images.

Keywords: quantization table; JPEG compression; blind forgery detection

0 引言

随着图像编辑和处理工具的迅速发展, 使得利用这些图像编辑工具造出肉眼难以分辨其真伪的数字图像变得更容易, 颠覆了人们“眼见为实”的传统观念。特别当数字图像篡改和伪造用于政治、军事

和司法等敏感领域, 将会对社会的稳定产生重大影响, 可见针对数字图像篡改检测的研究具有十分重要的意义。传统的数字水印, 数字签名技术受到设备成本等因素的影响而无法普及, 所以不依靠任何先验信息来对一幅图像进行篡改盲检测的技术更具实际意义。

JPEG 图像是当今最为常用的数字图像格式之

收稿日期: 2009-09-11; 修回日期: 2009-10-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(60872114); 上海市重点学科和科委重点实验室项目(S30108, 08DZ2231100)。

第一作者简介: 扈文斌(1985—), 男, 上海大学通信与信息工程学院信号与信息处理硕士研究生, 主要研究方向为图像处理。E-mail: binbin04124307@shu.edu.cn。

一,故针对 JPEG 图像的篡改检测已成为近年来的热点。Fridrich^[1-2]提出的方法可以估计经过两次 JPEG 压缩图像的原始量化表,该方法可以作为 JPEG 图像篡改检测的辅助手段。文献[3-4]利用 JPEG 图像 DCT 系数的特征,引入支持向量机(SVM)来训练,最终分出篡改图像和未篡改图像。Ye 等人^[5]提出了一种简单的算法来估计 JPEG 图像的量化表,从而计算图像的块特征,通过块特征的不连续性,检测图像是否进过篡改。Farid^[6]提出的方法不需要估计 JPEG 量化表,直接用 matlab 中压缩因子 1~99 对待测图像进行二次压缩,从而检测篡改。然而文献[5]对于数值较大的量化步长检测精度较低,且须人工指定可能的篡改区域,不利于计算机的自动检测;文献[6]对 photoshop 生成的篡改图像而言,检测效果明显不如 matlab 生成的篡改图像,而且为了对齐原始 JPEG 的块网格,相同的算法要重复 64 次,这大大增加了算法的复杂度。

提出一种新的方法来判断一幅图像是否存在量化表不一致的现象,进而定位出被篡改的位置,在估计量化表的环节上,本文提出一种简单有效的方法,直接从 DCT 系数直方图进行估计,复杂度远远小于文献[7]中利用最大似然估计的方法,和文献[5]相当;在量化步长较大时,估计的精确度高于文献[5]中的方法,且整个检测算法不需要人工指定可能的篡改区域;相比文献[6],当原始图像压缩因子和篡改区域压缩因子相差较小时,检测正确率更高。实验结果显示,该算法能有效检测出不同篡改类型的 JPEG 图像,并定位篡改区域。

1 基于量化表不一致性的检测原理

不同的数字图像获取设备和数字图像处理软件在对图像进行 JPEG 压缩时为了使输出的图像有尽可能好的视觉效果或者达到一定的压缩程度往往引入不同 JPEG 量化表。通常,一幅经过篡改的 JPEG 图像,会呈现出量化表不一致的特性。对于一幅未经篡改的 JPEG 图像 I_1 ,其整幅图像都由唯一量化表 $Q_{ij}^1(i, j = 1, 2, \dots, 8)$ 进行压缩,如果进行合成类的篡改,把另一幅用量化表 Q_{ij}^2 压缩的 JPEG 图像 I_2 中的一部分粘贴进 I_1 ,那么合成后的图像 I_3 中将有 2 种量化表 Q_{ij}^1 和 Q_{ij}^2 ;如果对图像 I_1 进行局部模糊的篡改操作,将破坏该区域原始的量化表;而 Copy-Move 则会使篡改区域的块网格不匹配,导致量化表变化。

用量化表 Q_{ij}^1 对经过篡改的图像 I_3 再进行一次 JPEG 压缩。对于 I_3 中未经篡改的 8×8 像素块,忽略 DCT 反变换(IDCT)后四舍五入带来的影响,有

$$\hat{I}_{ij}^1 = \text{IDCT}(Q_{ij}^1 \text{round}(d_{ij}^1 / Q_{ij}^1)) \quad (1)$$

$$\tilde{I}_{ij}^1 = \text{IDCT}(Q_{ij}^1 \text{round}(\text{DCT}(\hat{I}_{ij}^1) / Q_{ij}^1)) = \text{IDCT}(Q_{ij}^1 \text{round}(d_{ij}^1 / Q_{ij}^1)) = \hat{I}_{ij}^1 \quad (2)$$

其中:round 表示四舍五入到整数; d_{ij} 表示 DCT 系数; \hat{I}_{ij}^1 表示用 Q_{ij}^1 一次压缩后的图像像素值; \tilde{I}_{ij}^1 表示用 Q_{ij}^1 两次压缩后的图像像素值。

同理,对于 I_3 中经过篡改的 8×8 像素块而言,第一次用 Q_{ij}^2 压缩后的像素值 \hat{I}_{ij}^2 为

$$\hat{I}_{ij}^2 = \text{IDCT}(Q_{ij}^2 \text{round}(d_{ij}^2 / Q_{ij}^2)) \quad (3)$$

再用 Q_{ij}^1 压缩后的像素值 \tilde{I}_{ij}^2 为

$$\tilde{I}_{ij}^2 = \text{IDCT}\left(Q_{ij}^1 \text{round}\left(\frac{1}{Q_{ij}^1} Q_{ij}^2 \text{round}(d_{ij}^2 / Q_{ij}^2)\right)\right) \neq \hat{I}_{ij}^2 \quad (4)$$

由式(2)(4)可得以下结论:用未篡改区域的量化表对待测图像再次压缩,压缩前后的像素值发生明显变化的像素被认为是经过篡改的。整个算法流程如图 1 所示,通过智能选择参考图像块,初步估计未篡改部分图像量化表,由此粗略定位篡改区域。根据初步定位出的未篡改区域,进一步估计未篡改部分图像量化表,并用此对待测图像作第 2 次 JPEG 压缩,得到精确定位的篡改区域。最后,引入后处理以更直观地显示检测结果。其中,在选择参考图像块,两次估计未篡改部分量化表和初步定位篡改区域的步骤中,均需估计量化表。

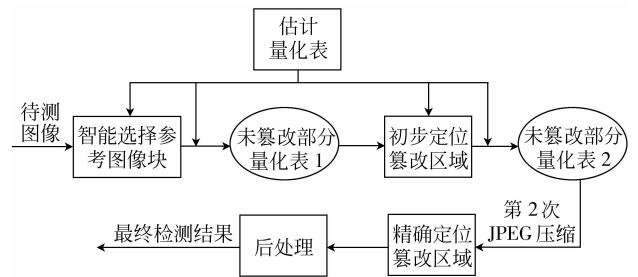


图 1 整个算法流程图

Fig. 1 Flowchart of the whole algorithm

2 量化表估计算法

整个算法需要多次估计量化表,本节给出量化

表估计算法。如图 2 所示,把量化表中 64 个量化步长按 Zigzag 模式排序。定义: $q_i (i = 1, 2, \dots, 64)$ 为量化步长, i 为 q_i 在 8×8 矩阵中位置的索引。JPEG 压缩是用 q_i 对每个 8×8 像素块中位置为 i 处的 DCT 系数进行量化。

q_1	q_2	q_6	q_7	q_{15}	q_{16}	q_{28}	q_{29}
q_3	q_5	q_8	q_{14}	q_{17}	q_{27}	q_{30}	q_{43}
q_4	q_9	q_{13}	q_{18}	q_{26}	q_{31}	q_{42}	q_{44}
q_{10}	q_{12}	q_{19}	q_{25}	q_{32}	q_{41}	q_{45}	q_{54}
q_{11}	q_{20}	q_{24}	q_{33}	q_{40}	q_{46}	q_{53}	q_{55}
q_{21}	q_{23}	q_{34}	q_{39}	q_{47}	q_{52}	q_{56}	q_{61}
q_{22}	q_{35}	q_{38}	q_{48}	q_{51}	q_{57}	q_{60}	q_{62}
q_{36}	q_{37}	q_{49}	q_{50}	q_{58}	q_{59}	q_{63}	q_{64}

图 2 按 Zigzag 模式排序的量化表

Fig. 2 Quantization table listed by Zigzag order

将整幅图像分为不重叠的 8×8 像素块,对每块进行 DCT 变换,统计各位置 $i (i = 1, 2, \dots, 64)$ 处的 DCT 系数并画出直方图。对于位置 i 处的 DCT 系数直方图,如果其具有周期性的峰值,那么该位置的 DCT 系数很有可能被数值为该周期的量化步长所量化^[7]。图 3 和图 4 给出了经过 JPEG 压缩和未压缩图像的 DCT 系数直方图,根据周期性的峰值来估计量化步长。

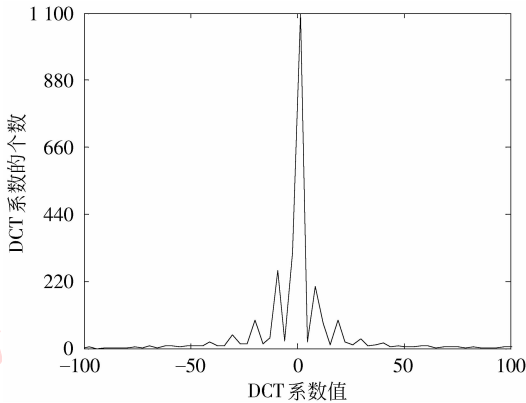


图 3 JPEG 压缩图像的 DCT 系数直方图

Fig. 3 DCT coefficients histogram of JPEG image

下面介绍估计量化表的具体步骤。

2.1 画 DCT 系数直方图

对于一幅彩色图像 I , 取其 RGB 颜色分量中任一分量, 如绿色通道 I_g 。对于 I_g 画出各位置 $i (i = 1, 2, \dots, 64)$ 处的 DCT 系数直方图。其中位置 i 处的 DCT 系数直方图由 H 个区间来显示, 对应关系如

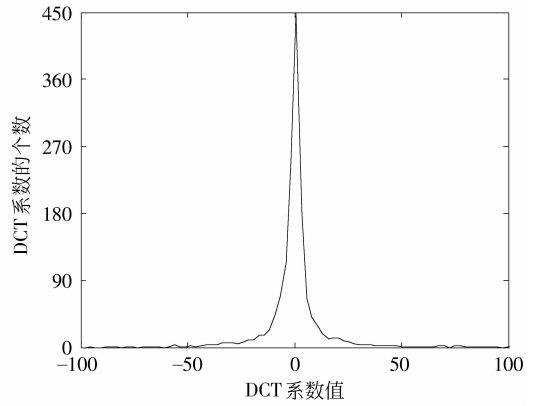


图 4 未压缩图像的 DCT 系数直方图

Fig. 4 DCT coefficients Histogram of uncompressed image

表 1 所示, 因为除了位置 $i = 1$ 处的 DCT 系数大都分布在零附近, 且随着 i 的增大, 量化步长 q_i 整体上呈现增大的趋势。所以对于较小 i 的位置, 希望直方图的零值附近保留更多的“细节”, 取较大的 H ; 相反, 对于较大 i 的位置, 希望直方图的曲线更为平滑, 所以取较小的 H , 这样可以提高估计的精确度。

表 1 H 和 i 的对应关系

Tab. 1 Relationship of H and i

i	H	i	H
2 ~ 3	600	22 ~ 28	120
4 ~ 6	350	29 ~ 36	115
7 ~ 10	150	37 ~ 43	110
11 ~ 15	130	44 ~ 64	100
16 ~ 21	125		

2.2 估计量化步长 q_n

任一 8×8 图像块经 DCT 变换后的 64 个 DCT 系数由 1 个 DC 系数 (位置 $i = 1$ 处) 和 63 个 AC 系数组成。量化后, AC 系数的统计直方图峰值具有周期性和对称性, 所以能通过直方图的峰值特性估计该位置的量化步长; 而 DC 系数的统计直方图不具有上述特性, 所以只能通过周围的 AC 系数近似估计。

2.2.1 估计 q_2 和 q_3

对于位置 $i (i = 2, 3)$ 处的 DCT 系数直方图, 考察其正半轴, 找出所有的波峰 (最靠近零值处, 即正中间的那点波峰除外), 并按峰值的大小降序排列, 记录排序后每个峰值所对应的横坐标 xa_j , 组成一列向量

$Xa_{M \times 1} = [xa_1, xa_2, \dots, xa_j, \dots, xa_M]^T$, 其中 M 为找出的波峰个数。对负半轴作相同的操作, 得到列

向量 $\mathbf{Xb}_{M \times 1} = [xb_1, xb_2, \dots, xb_j, \dots, xb_M]^T$ 。令量化步长 $q_i = \frac{1}{2}(xa_i + xb_i)$ 。

2.2.2 估计 q_1

用 q_2 和 q_3 给出 q_1 的估计值 $q_1 = \frac{1}{2}(q_2 + q_3)$ 。

2.2.3 估计 $q_i (i=4, 5, \dots, 64)$

对于位置 $i (i=4, 5, \dots, 64)$ 处的 DCT 系数直方图,先做第 2 步相同的操作,从正半轴获取一列向量 $\mathbf{Xa}_{M \times 1} = [xa_1, xa_2, \dots, xa_j, \dots, xa_M]^T$ 。由于随着 i 的增大,量化步长 q_i 整体上呈现增大的趋势,为了避免明显的错误估计,故作如下判断:如果满足 $(q_{i-1} - xa_j) / q_{i-1} > K_1 (j$ 从 1 开始取,根据经验取阈值 $K_1 = 0.4)$,则令常数 $a = xa_j$ 。否则对 xa_{j+1} 作相同的判断,直到找到向量 \mathbf{Xa} 中符合条件的元素。如果 \mathbf{Xa} 中 M 个元素都不满足不等式,则令 $a = q_{i-1}$ 。对负半轴作同样的操作,用上述得到常数 a 的步骤获取常数 b 。令 $q_i = \frac{1}{2}(a + b)$ 。

至此,依次得到了 $q_2, q_3, q_1, q_4, \dots, q_{63}, q_{64}$ 的值,即完成了整个量化表的估计。

3 篡改区域定位

该节给出整个篡改检测算法,其中估计量化表由上节给出的算法实现。

3.1 选择参考图像块

由第 1 节可知,我们希望估计出图像中未经篡改部分的量化表,并用此量化表对待测图像作第 2 次压缩,从而检测图像中量化表的不一致性。选择参考图像块,利用第 2 节中估计量化表的方法对参考图像块进行估计,可以初步得到未篡改部分图像的量化表,并粗略定位篡改区域。

为了智能地,准确地实现参考图像块的选取,应遵循两点标准。1) 参考图像块具有一定的纹理复杂度。纹理不丰富的图像块,如天空,草地等,其 DCT 系数几乎都集中在零值附近,估计量化表的误差较大。2) 避免参考图像块中包含经过篡改的部分。选择步骤如下:

1) 确定初始参考图像块

假设待测图像的大小为 $M \times N$ 。如图 5 所示,选取待测图像 4 个角上大小为 $L \times L$ 的图像块 $BLK_i (i=1, 2, 3, 4)$ 作为初始的参考图像块,其中 $L = 128$ 。

2) 选择具有一定纹理复杂度的参考图像块

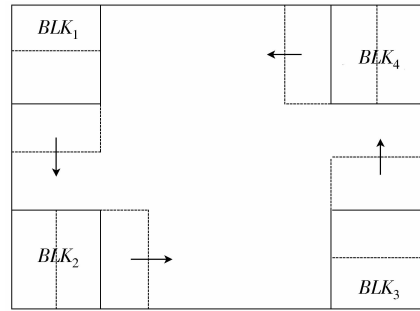


图 5 选取参考图像块示意图

Fig. 5 Sketch map of selecting reference blocks

以 BLK_1 为例,采用 canny 边缘检测算法^[8]对 BLK_1 作边缘检测,统计出边缘的像素点个数 p ,纹理复杂度由边缘像素点个数和图像块像素点总数的比值 p/L^2 衡量。判断 p/L^2 是否大于阈值 K_2 ,根据经验取 $K_2 = 0.11$ 。如果大于阈值 K_2 ,认为其具有一定的纹理复杂度,记录下 BLK_1 ;如果不满足, BLK_1 向下移动 $L/2$ 个像素点,继续作判断。 BLK_1 共有 $\lfloor 2M/L - 2 \rfloor$ 个图像块可供选择(BLK_1 不与 BLK_2 的初始值重合),其中 $\lfloor x \rfloor$ 表示小于等于 x 的最大整数。如果 $\lfloor 2M/L - 2 \rfloor$ 个图像块都不满足条件,则不记录 BLK_1 。

对 $BLK_i (i=2, 3, 4)$ 作相同的操作,当不满足条件时, BLK_2 向右移动; BLK_3 向上移动; BLK_4 向左移动。

3) 衡量参考图像块的量化表之间差异程度

假设 4 块参考图像块共记录了 $t (t \in \{1, 2, 3, 4\})$ 块,重新命名为 $BK_i (i=1, \dots, t)$ 。分别估计 t 块参考图像的量化表 $Q_i (i=1, \dots, t)$ 。对于 $t=1$ 的情况,估计出的量化表 Q_i 为未篡改部分图像的量化表 Q_{raw_1} ,操作到此结束,无需后续步骤;对于 $t=2, 3, 4$ 的情况,把 Q_i 看做 8×8 的矩阵,对 Q_i 两两作如下运算,得

$$\Delta_{ij} = \sum_{k=1}^{64} [(Q_i(k) - Q_j(k)) \cdot Q_{mask}(k)]^2 \quad (5)$$

式中矩阵

$$Q_{mask} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

相当于一个加权矩阵,运算符“.”表示矩阵对应元素相乘。 Δ_{ij} 的大小衡量了 Q_i 和 Q_j 的相似程度, Δ_{ij} 越大, Q_i 和 Q_j 差别越大。定义:如果 $\Delta_{ij} > 600$,认为 Q_i 和 Q_j 具有明显差别。

4) 确定最终的参考图像块

如果量化表 Q_i 和其余 $t-1$ 个量化表都具有明显的差别,则不再选择 BK_i 作为参考图像块,否则记录下 BK_i 。对于特殊情况: $t=2$ 且 Q_1 和 Q_2 具有明显差别的情况,则分别把 Q_1 和 Q_2 作为未篡改部分图像的量化表 Q_{raw_1} 参与后续的算法。

5) 通过参考图像块初步估计未篡改部分图像的量化表

假设经过上一步,从 t 块参考图像块中共记录了 r 块,则这 r 块图像块为最终确定的参考图像块,通过 r 块参考图像块,共同估计出未篡改部分图像的量化表 Q_{raw_1} 。

3.2 初步定位篡改区域

上述通过选择参考图像块的方法估计出未篡改部分图像的量化表 Q_{raw_1} ,而本文提出的估计量化表的方法是建立在 DCT 系数的统计特性上的,对越大的区域进行估计,获得的量化表越准确,所以我们通过 Q_{raw_1} 初步定位出篡改区域,然后通过未篡改区域的图像估计未篡改部分图像的量化表 Q_{raw_2} ,显然 Q_{raw_2} 比 Q_{raw_1} 更精确。

估计量化表 Q_{raw_2} 的方法如下。

3.2.1 对待测图像进行分块

把大小为 $M \times N$ 的待测图像自左向右,自上向下分为大小为 $L \times L$ 的重叠的图像块。对于相邻的图像块,水平或垂直方向上相差 8 个像素点。因此待测图像可以被分成 $T = \left\lfloor \frac{M-L}{8} + 1 \right\rfloor \times \left\lfloor \frac{N-L}{8} + 1 \right\rfloor$ 块图像块 $B_i (i=1, 2, \dots, T)$ 。

3.2.2 估计待测图像子块的量化表

估计出每块图像块的量化表 $Q_i (i=1, 2, \dots, T)$ 。计算 S_i 来衡量 Q_i 和 Q_{raw_1} 之间的差异程度:

$$S_i = \sum_{k=1}^{64} [(Q_i(k) - Q_{raw_1}(k)) \cdot Q_{mask}(k)]^2 \quad (6)$$

3.2.3 设定阈值

设定动态阈值,因为对于不同的量化表而言, Q_i 和 Q_{raw_1} 之间的差异大小是不同的。画出 T 个 $\Delta_i (i=1, 2, \dots, T)$ 的直方图,直方图由 1 000 个区间来表示。如图 6 所示, S_i 的值在 $[0, V]$ 内非常密集,在 $[V, +\infty]$ 内可能存在几个零星的值,这些值是由于对某 Q_i 估计误差较大或噪声引起,取阈值 $Var = 0.5V$ 。

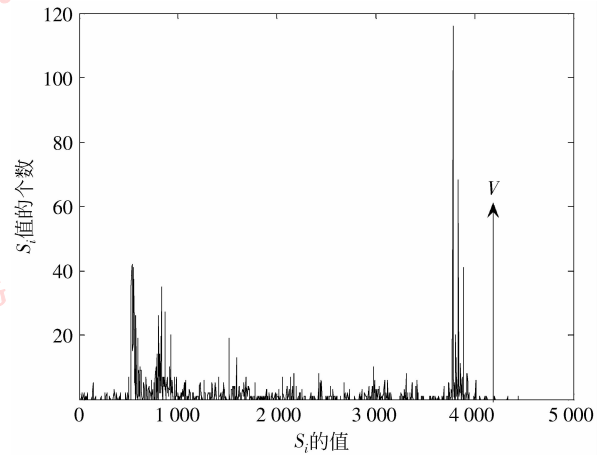


图 6 S_i 值的直方图

Fig. 6 Histogram of S_i

3.2.4 根据阈值分离篡改区域和未篡改区域

判断是否满足 $S_i < Var$ 。如果满足条件,认为 B_i 不包含经过篡改的区域;反之,认为 B_i 包含经过篡改的区域。

3.2.5 进一步估计未篡改部分图像的量化表

通过上述定位出的未篡改的区域估计量化表,得到 Q_{raw_2} 作为未篡改部分图像的量化表。

3.3 精确定位篡改区域

用未篡改部分图像的量化表 Q_{raw_2} 对上述初步定位的篡改区域 img_1 再进行一次 JPEG 压缩,得到 $img_2 (img_1$ 和 img_2 为初步定位的篡改区域 RGB 颜色分量中任一分量),计算 img_1 和 img_2 差的绝对值,绝对值大的像素点被认为是经过篡改的像素点。

$$Map_{ij} = \text{abs}(I_{ij}^1 - I_{ij}^2) \quad (7)$$

式中 I_{ij}^1 和 I_{ij}^2 分别是 img_1 和 img_2 的像素值,由此得到的差值图像 Map 精确定位了篡改区域。

3.4 对检测结果的后处理

为了消除由于量化表估计的误差和噪声的影响造成的误检,以更直观的方式显示检测结果,我们对检测结果图 Map 进行 3 步后处理。

1) 对差值图像 Map 进行亮度变换,增强其对比度。

2) 设定阈值,生成二值图像

因为第 2 次压缩前后图像像素值的差值由两种原因导致,一是对未篡改区域量化表估计的误差造成,这一原因导致的差值往往较小;二是量化表的不一致性造成,这一原因导致的差值通常比较大。所以,接着画出差值图像 Map 各点的值的直方图,直方图划分为 10 个区间显示。设第 9 个区间横坐标

的值为 T_{map} , 将 Map 中个点的像素值同阈值 T_{map} 作比较, 像素值大于 T_{map} 的点判为 1, 反之为 0, 由此生成二值图像 Map' 。

3) 消除奇异点

对于二值图像 Map' , 则可认为白点聚集较多区域为篡改区域, 必要时, 可进一步对判决结果做后处理, 消除误检的奇异点, 假设 (x, y) 为 Map' 中非零像素点坐标, 对 Map' 中离散点 Map'_{ij} 做如下分析:

$$\text{if } \sum_{i,j} Map'_{ij} \neq 0 \geq T \quad (\sqrt{(i-x)^2 + (j-y)^2} \leq R)$$

$$Map'(x, y) = 1$$

else

$$Map'(x, y) = 0$$

式中, R 为预设局部区域大小, T 为判断阈值, 本文中取 $R = 10, T = 10$ 。

4 实验结果

经过实验 (在 Dell Dimension 8250, 3060 MHz

CPU, 512 M 内存, windows XP 操作系统上完成实验), 表 2 给出量化表估计算法的时间, 可见本文算法较文献 [5, 7] 中的算法更高效。

表 2 估计量化表的时间/ms

Tab. 2 Quantization table estimation time /ms

方法	压缩因子			
	80	70	60	50
文献[7]	14 893	14 950	14 828	14 737
文献[5]	228	225	222	228
本文	157	173	169	159

为了验证篡改检测算法的有效性, 我们选取未压缩彩色图像库 (UCID) [9] 中的 1 000 幅大小为 512×384 的图像, 图像涵盖大量不同场景下的内容。用 matlab 或 photoshop 以不同的压缩因子对图像进行压缩, 并作各种篡改操作, 将篡改后的图像保存为 TIF 格式。

图 7 给出了图像合成、Copy-Move 和局部模糊的检测结果。第 1 列图像为未经篡改的图像, 第 2 列

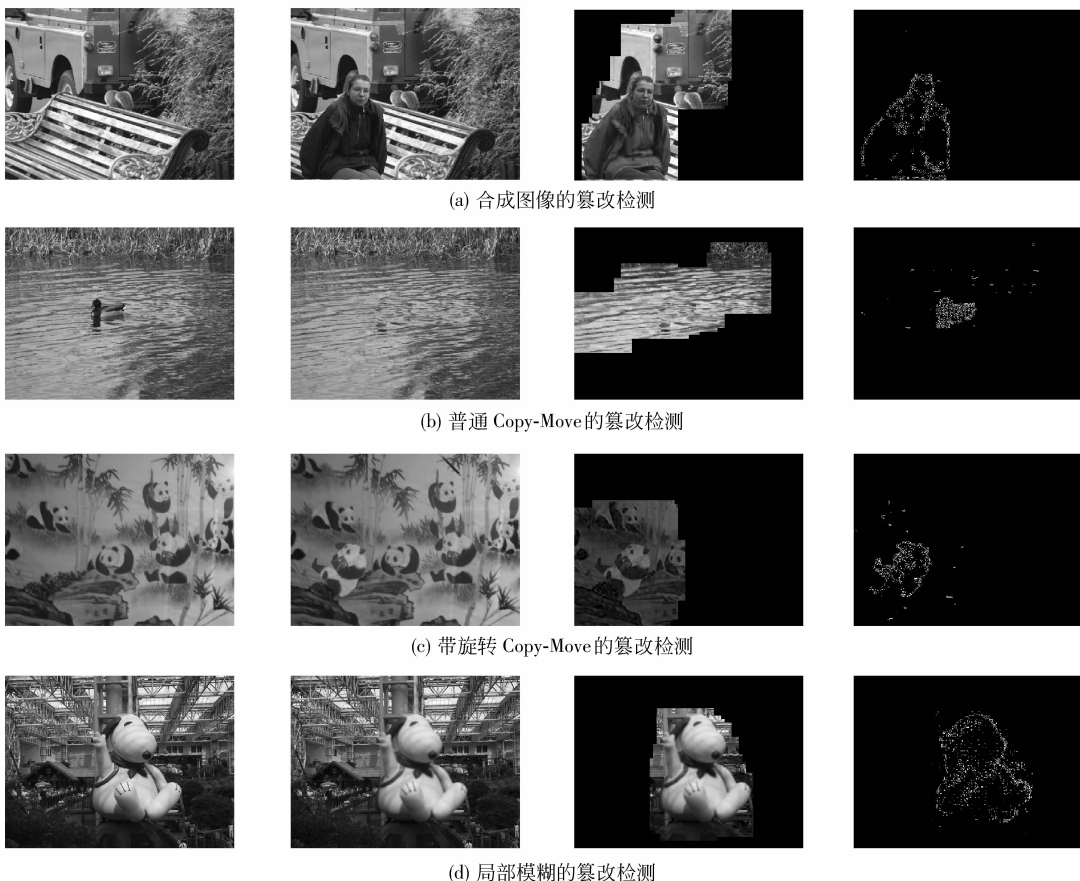


图 7 各种类型的篡改图像检测结果

Fig. 7 Detection results of various kinds of forgeries

为篡改后的图像,第 3 列为初步定位篡改区域后的图像,最后一列为经过后处理的最终检测结果。可见,本文提出的算法可以检测出针对 JPEG 图像的合成、Copy-Move(可以带旋转)和局部模糊类的篡改。

在图像合成类的篡改操作中,篡改区域的大小;篡改部分图像和原始图像压缩因子的差值都将影响检测算法的正确率。以 matlab 为标准,压缩因子从 0~99 范围内取值。篡改比例以篡改部分面积占整幅图像面积的百分比来衡量。表 3 给出了检测算法在不同篡改比例和不同压缩因子差值下的检测正确率,其中 P 为篡改比例, Δ_Q 为篡改部分图像压缩因子减去原始图像压缩因子得到的差值,小括号内为文献[6]中的检测正确率。首先观察表 3 的行数据,随着 Δ_Q 的增大,衡量篡改区域和未篡改区域的量化表不一致性变得更容易,检测正确率随之提高。然后观察表 3 的列数据,随着 P 的增大,检测正确率先变大后变小,这是由于本文中提出的估计量化表的方法是建立在图像 DCT 系数的统计特性上的,如果篡改区域过小,统计特性不会明显改变,所以检测正确率降低;如果篡改区域过大,那么未篡改区域将变小,估计原始量化表的准确率降低,所以整个检测算法的正确率降低。但决定检测算法正确率的关键因素是 Δ_Q ,在相同的 Δ_Q 值下,不同的 P 对检测算法正确率的影响相对较小。最后比较括号内外的检测正确率,当 Δ_Q 较小时,本文提出的算法检测正确率高于文献[6]。

表 3 合成篡改检测正确率/%

Tab. 3 Accuracy of splicing detection/%

P	Δ_Q			
	5	10	20	30
1.5	63(5.4)	67(27.9)	83(77.8)	90(97.7)
5	67(12.6)	70(44.1)	85(91.1)	92(99.8)
10	73(14.1)	86(48.5)	87(91.9)	93(99.8)
20	70(14.8)	80(52.6)	86(93.8)	90(99.9)

固定篡改区域面积占整幅图像面积 10% 的情况下,图 8 给出了检测算法在不同压缩因子差值($Q_i, i=1, 2$)条件下的抗噪性能。可见,信噪比在 30 dB 以上,检测算法的正确率逼近表 3 中未加噪声时的正确率,因而本文所提出的检测算法具有良好的抗噪声性能。

图 9 给出了经过 Copy-Move 和局部模糊的篡改图像在不同压缩因子下的检测性能。对于 Copy-Move 和局部模糊的篡改检测正确率随原始图像压

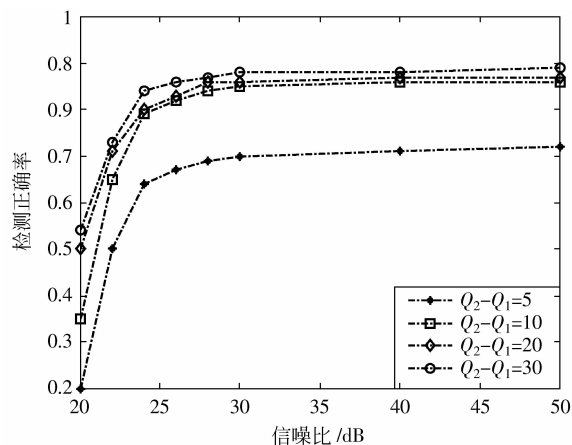


图 8 加噪条件下的检测性能

Fig. 8 Performance under noise

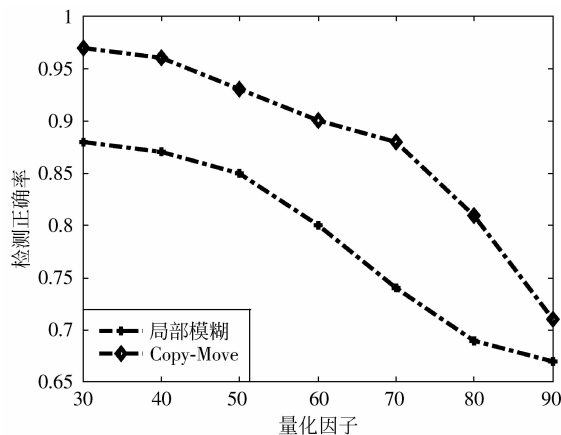


图 9 不同篡改方式的检测性能

Fig. 9 Performance of various kinds of forgeries

缩因子的增大而降低。因为模糊操作可以等效为减小量化表中每个量化步长的大小,所以随着原始图像压缩因子增大,衡量篡改区域和未篡改区域的量化表不一致性变得更困难,检测正确率降低。另外,压缩因子越大,压缩后的图像质量越好,导致第 2 次压缩前后的差值表小。

5 结 论

首先提出一种复杂度低且精度高的量化表估计算法。在此基础上通过选择参考图像块的方法,初步分离未篡改区域和篡改区域,进而精确估计出未篡改部分图像的量化表,从而准确定位出篡改区域;最后进行亮度变换、消除奇异点等后处理,使检测结果更为直观。

对于 Copy-Move 和局部模糊的篡改操作,检测算法的正确率随着原始图像压缩因子的增大而降低。对于图像合成类的篡改,篡改部分图像压缩因子和原始图像压缩因子的差值大小对检测算法的正确率影响较大;篡改比例的影响较小。在篡改部分图像压缩因子和原始图像压缩因子的差值较小的情况下,本算法的检测正确率较文献[6]有了较大的提高;在性能方面,本算法具有良好的抗噪性能,在信噪比为 30 dB 处,检测正确率开始逼近无噪声时的检测正确率。

参考文献 (References)

- [1] Lukas J, Fridrich J. Estimation of Primary Quantization Matrix in Double Compressed JPEG Images [DB/OL]. 2003 [2009-08-03]. <http://www.ws.binghamton.edu/fridrich/publications.html>.
- [2] Pevny T, Fridrich J. Detection of double-compression in JPEG image for applications in steganography [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2008, 3(2): 247-258.
- [3] He Junfeng, Lin Zhouchen, Wang Lifeng, et al. Detecting doctored JPEG Images via DCT coefficient analysis [C] // Lecture Notes in Computer Science. Graze, Australia: Springer, 2006: 423-435.
- [4] Luo Weiqi, Qu Zhenhua, Huang Jiwu, et al. A novel method for detecting cropped and recompressed image block [C] // IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Washington DC, USA: IEEE Press, 2007: 217-220.
- [5] Ye Shuiming, Sun Qibin. Detecting digital image forgeries by measuring inconsistencies of blocking artifact [C] // IEEE International Conference on Multimedia & Expo. Washington DC, USA: IEEE Press, 2007: 12-15.
- [6] Farid H. Exposing digital forgeries from JPEG Ghosts [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2009, 4(1): 154-160.
- [7] Fridrich J, Goljan M, Du R. Steganalysis based on JPEG compatibility [C] // Multimedia Systems and Applications. Bellingham, WA, USA: SPIE, 2001: 275-280.
- [8] Rafael C Gonzalez. Digital Image Processing Using MATLAB [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005: 293-295. [冈萨雷斯. 数字图像处理: Matlab 版 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 293-295.]
- [9] Schaefer G, Stich M. Uncompressed Color Image Database [DB/OL]. 2004 [2009-10-06]. <http://www-staff.lboro.ac.uk/~cogs/datasets/UCID/ucid.html>.