

基于缩放不变矩的鲁棒DCT域图像拷贝检测方法

余艳玮^{1,2}, 周学海^{1,2}, 许华杰³

(1. 中国科学技术大学软件学院 合肥 230051; 2. 中国科学技术大学苏州研究院嵌入式系统实验室 江苏 苏州 215123;
3. 广西大学计算机与电子信息学院 南宁 530004)

【摘要】提出一种基于不变矩的DCT域图像拷贝检测方法,选取图像亮度分量的整体DCT变换后的中低频系数的符号作为其DCT域特征,分别计算原始图像及其角度规范化后图像的DCT域特征,计算并比较查询图像与图像库中图像的两类特征的相关性,取较大的相关值来判断图像是否存在拷贝。图像的整体DCT中低频系数已被验证对于信号处理攻击鲁棒性高,且随着图像缩放攻击呈规律性变化,因而利用图像的整体DCT中低频系数构建的DCT域特征对于信号处理和图像缩放攻击鲁棒性高;利用图像的缩放不变矩估算出图像特征角度,再依据特征角度对图像进行角度规范化可消除旋转失真的影响,因而利用角度规范化后的图像的DCT域特征能抵抗旋转、以及旋转和等比例缩放的混合攻击。实验结果证明在抗旋转和包含旋转的混合攻击方面,该算法的检测效果明显优于已有算法。

关键词 拷贝检测; 几何失真; 图像归一化; 查准率; 查全率

中图分类号 TP391.41

文献标志码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2013.04.014

Scale-Invariant Moment Based Robust Image Copy Detection in DCT Domain

YU Yan-wei^{1,2}, ZHOU Xue-hai^{1,2}, XU Hua-jie³

(1. School of Software Engineering, University of Science and Technology of China Hefei 230051;

2. Embedded Systems Laboratory, University of Science and Technology of China Suzhou Jiangsu 215123;

3. School of Computer and Electronic Information, Guangxi University Nanning 530004)

Abstract In this paper, an invariant moment based robust image copy detection algorithm in discrete cosine transformation (DCT) domain is proposed. Low and middle frequency coefficients which are calculated from full DCT transformation on luminance component of image are used as the image eigenvector in DCT domain. The query image and its angle normalized image eigenvector in DCT domain are computed, then correlation values of two eigenvectors of the query image and those of test image are respectively computed and the larger one is used to judge whether the query image is a copy or not. Full DCT coefficients are verified to have high robustness against common signal attacks and regularly vary with scaling attacks, thus the DCT eigenvector constructed by middle and low frequency full DCT coefficients can resist signal attacks and scaling distortion. The characteristic angle estimated by the image scale invariant moment is used to normalize the image to counteract the rotation distortion, so the angle normalized image can resist rotation distortion. The experimental results show that the algorithm is superior to Ling's methods in terms of rotation distortion.

Key words copy detection; geometric distortion; image normalization; precision; recall

数字媒体处理技术和网络技术的发展,使数字媒体的复制、编辑处理和分发更容易便捷,但同样地,非法盗版者可以在对数字图像的拷贝版本进行不影响内容的篡改处理后,很容易躲避一些盗版追踪,因此迫切需要解决数字图像的版权保护问题^[1]。

数字图像的版权保护方法可以分为两类:数字水印技术和基于内容的拷贝检测技术^[2]。其中数字

水印技术需先将版权信息嵌入到图像中后才能进行分发,再通过从可疑作品中提取版权信息来证明版权归属,因而存在诸多局限性;而基于内容的拷贝检测技术利用图像自身的鲁棒特征来唯一标识作品,通过匹配特征信息来实现拷贝的检测和识别。

早期基于内容的图像拷贝检测算法直接利用传统的图像检索方法中基于颜色分布的图像特征^[3-5],

收稿日期: 2012-08-25; 修回日期: 2013-02-15

基金项目: 江苏省产学研前瞻性联合研究项目(BY2009128)

作者简介: 余艳玮(1981-),女,博士,主要从事多媒体安全和智能手机安全等方面的研究。

如基于颜色直方图的方法。然而这类特征提取方法并不能明显区分视觉相似的作品和拷贝作品，另外特征的鲁棒性也不高，因而不适用于图像拷贝检测。

文献[6-7]提出了顺序测度方法，将图像分块灰度均值的灰度级之间的大小排序关系作为图像的特征矢量，这类特征对灰度变化不敏感，无法抵抗180°翻转等攻击。为了进一步提高顺序测度方法的鲁棒性，文献[8]提出了基于AC系数的顺序测度方法，将图像分成8×8块并计算出每个分块的灰度均值，再对8×8个灰度均值进行DCT后将AC系数值的大小排序关系作为图像特征，提取出的特征对图像的180°翻转、缩放、直方图量化、模糊、高斯噪声等变换攻击都有较好的鲁棒性，然而无法抵抗图像的旋转、裁剪、拉伸和平移攻击。

为了能抵抗几何攻击，文献[9]提出了一种基于整体DCT系数顺序测度的鲁棒图像拷贝检测方法，选取彩色图像YCbCr颜色空间Y平面整体DCT变换后的中低频系数，计算其顺序测度作为图像特征矢量。由于整体DCT中低频系数随着图像缩放有规律的变化，引入顺序测度提取中低频系数的序列作为图像特征，因而对缩放失真具有较好的抵抗力。但是，用于构建图像特征的图像整体DCT中低频系数本身对较大角度的旋转敏感，因而文献[9]提出了旋转补偿的策略来抵抗不超过30°的旋转攻击，通过对查询图像枚举7种不同角度的补偿，包括0°、5°、10°、15°、20°、25°、30°，将进行了7种不同角度补偿后的查询图像与测试数据库中某测试图像的相似度中的最大值作为该查询图像与测试图像的最终相似度，用来判定该查询图像是否为测试图像的拷贝版本。这种通过枚举来逐一搜索最接近图像曾遭受的旋转攻击角度 θ 的旋转补偿策略，计算时间开销增加了6倍，这是典型的以牺牲时间开销为代价来获取拷贝检测性能的提升，而且这种策略也并不能从根本上解决整体DCT系数顺序测度对于任意大角度旋转攻击的敏感性。

文献[10]提出了抗旋转的DCT域拷贝检测算法，利用图像归一化技术消除旋转、缩放、镜像翻转等几何失真的影响，并将归一化图像主要区域的DCT低频系数符号作为特征信息。这类特征信息对于信号处理攻击、不涉及平移和裁剪的全局几何攻击的鲁棒性很好，但是图像归一化技术要求已知查询图像的原始尺寸信息，而查询图像的尺寸可能并不固定，且图像所遭受的攻击是未知的，因而该算法仅适用于查询图像的原始大小已知的应用场景，通用

性不强。

为了从根本上解决现有拷贝检测算法对于旋转缩放等几何攻击不够鲁棒的问题，根据文献[9]的理论证明和实验验证，整体DCT中低频系数能较好地抵抗图像的缩放、抖动等几何攻击和常规信号处理攻击，并进一步利用缩放不变的中心矩来消除旋转失真的影响，本文提出了一种基于不变矩的DCT域鲁棒拷贝特征提取方法。该算法通用性强，无需查询图像的任何信息即可进行拷贝检测，且实验结果表明该算法对一般信号处理攻击和旋转缩放等几何攻击是鲁棒的。

1 算法描述

1.1 不变矩

对于一幅大小为 $M \times N$ 的数字图像 $f(x, y)$ ，分别定义其 $p+q$ 阶原点矩 $m_{p,q}$ 和中心矩 $\mu_{p,q}$ 为：

$$m_{p,q} = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N x^p y^q f(x, y) \quad (1)$$

$$\mu_{p,q} = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) \quad (2)$$

式中， (\bar{x}, \bar{y}) 为图像的质心， $\bar{x} = \frac{m_{1,0}}{m_{0,0}}$ ， $\bar{y} = \frac{m_{0,1}}{m_{0,0}}$ 。

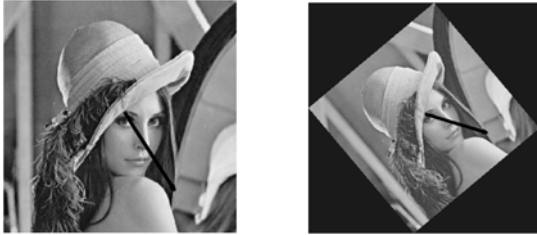
定义矩 $Z = -\frac{\mu_{3,0} + \mu_{1,2}}{\mu_{0,3} + \mu_{2,1}}$ ，根据文献[11]的理论推

导，证明矩 Z 是缩放不变的，且能反映出图像的旋转度数。假定图像 f 的矩 $Z_f = \tan \theta_0$ ，那么将图像 f 经过逆时针旋转参数为 θ ，缩放参数为 R 的几何变换后得到图像 f' 的矩 $Z_{f'} = \tan(\theta_0 + \theta)$ 。显然，直接利用矩 $Z = -\frac{\mu_{3,0} + \mu_{1,2}}{\mu_{0,3} + \mu_{2,1}}$ 不能唯一地确定图像的旋转度数，因此需加上额外的约束条件以便能唯一地确定图像的旋转度数 θ 。定义特征角度为^[11]：

$$\theta_c = \begin{cases} -\arctan \frac{\mu_{3,0} + \mu_{1,2}}{\mu_{0,3} + \mu_{2,1}} \\ -(\mu_{3,0} + \mu_{1,2}) \sin \theta_c + (\mu_{0,3} + \mu_{2,1}) \cos \theta_c \geq 0 \\ \pi - \arctan \frac{\mu_{3,0} + \mu_{1,2}}{\mu_{0,3} + \mu_{2,1}} \quad \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

下面利用一个范例来直观展示缩放旋转攻击前后图像的特征角度的缩放不变性及其与旋转角度的对应关系。对于如图1a所示的256×256的Lena图像，经过逆时针旋转参数为40°、缩放参数为2的几何攻击后，得到的图像如图1b所示。利用不变矩 Z 计算得到攻击前后的图像的特征角度并以图像质心为参照，

用从图像中心发出的黑色箭头直观展示图像的特征角度方向。通过对比观察容易发现, 图像遭受旋转攻击前后, 图像的特征角度方向也相应地随着发生同等角度的旋转, 固定地指向同一方向。旋转攻击前后图像的特征角度分别为 57.18° 和 17.07° , 攻击前后图像特征角度相差 40.11° , 与旋转参数 40 基本一致, 实验结果表明通过特征角度可以较好地反映图像曾遭受的旋转攻击角度。因而依据图像特征角度将图像进行规范化, 可以消除旋转攻击对图像造成的失真影响。



a. 原始Lena图像 b. 逆时针旋转 40° 并放大2倍的Lena图像上的特征角度
图1 原始Lena图像和逆时针旋转 40° 并放大2倍

1.2 图像DCT域特征提取方法

依据估算的特征角度将图像进行规范化后, 可以抵抗旋转攻击; 再计算规范化图像的整体DCT系数顺序测度, 可获得对于缩放攻击的抵抗力。因而依据特征角度规范化后的图像的DCT系数顺序测度作为图像特征对于旋转缩放攻击是鲁棒的。但是图像进行非等比例拉伸后, 可能导致质心发生偏移, 从而导致规范化图像所使用的特征角度的精确度降低, 因而规范化图像上的特征角会对引起质心改变的一类攻击敏感。考虑到图像的DCT特征对于拉伸的鲁棒性, 为了提高特征鲁棒性, 图像的DCT域特征和将规范化图像的DCT域特征联合作为图像的特征。图像的鲁棒DCT域特征提取算法的具体描述如下。

输入: 图像 I 。输出: 图像的特征向量 $\mathbf{V}=\{V_1, V_2\}$ 。

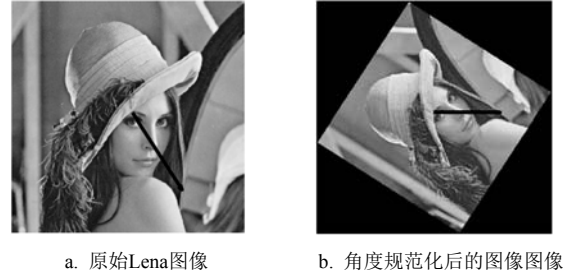
1) 若图像 I 为彩色图像, 则需进行颜色空间的转换: RGB \rightarrow YCbCr, 提取 Y (亮度)分量作为灰度图像, 并计算灰度图像的特征角度。

2) 对图像进行整体DCT变换, 并按Zig-Zag扫描顺序提取从DC系数开始的连续 L 个中低频DCT系数的符号位作为 V_1 。其中, 若某DCT系数值为正数, 则其符号位为1; 否则, 其符号位为0。

3) 依据特征角度将灰度图像进行角度规范化, 使规范化图像的特征角度为0, 并类似步骤2)提取角度规范后图像的 L 个中低频DCT系数的符号作为 V_2 。

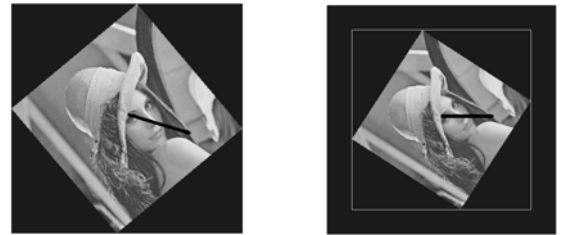
4) 联合两类特征 V_1 和 V_2 , 作为图像的特征向

量, 即 $\mathbf{V}=\{V_1, V_2\}$



a. 原始Lena图像 b. 角度规范化后的图像

图2 图像的角度规范化



a. 逆时针旋转 40° 并放大2倍 b. 角度规范化后的失真图像

图3 旋转缩放攻击后失真图像的角度规范化

图像的角度规范化如图2所示, 需强调的是, 进行角度规范化后的图像都存在图2b所示的黑边部分。但遭受旋转缩放攻击后的失真图像, 其角度规范化后的图像较原始图像存在多余的黑边部分, 如图3中所示的白色框外部分。这些过多的黑边部分, 严重影响了整体DCT中低频系数的符号, 导致拷贝图像之间的相关性降低。为了减少黑边部分对DCT系数的影响, 必须先去除角度规范化后图像的多余黑边, 再进行整体DCT变换提取其DCT域特征。

事实上, 不同尺寸的图像所包含的中低频系数的个数显然不同, 这将导致参数 L 的选取存在较大差异。为便于统一选取最佳参数 L , 必须保证图像尺寸差距不会过大。考虑到特征角度具有缩放不变性, 因而本文采取如下策略: 对图像进行等比例缩放, 使得图像的宽高不低于256, 再进行鲁棒DCT域特征提取。

1.3 鲁棒的DCT域拷贝检测系统

在图像拷贝检测系统中, 首先依据1.2节所述特征提取算法提取测试图像库中图像的鲁棒特征并预先存入特征数据库中。当进行拷贝检测时, 提取查询图像 Q 的特征 $\mathbf{V}^q=\{V_1^q, V_2^q\}$, 分别计算 $\mathbf{V}_i^q(i=1,2)$ 与数据库中某测试图像 T 的特征 $\mathbf{V}^t=\{V_1^t, V_2^t\}$ 中 \mathbf{V}_i^t 之间的归一化相关性 Sim_i , 并选取较大的值作为查询图像 Q 与测试图像 T 之间的相似度 Sim :

$$\text{Sim}_i = \frac{(\mathbf{V}_i^q - \bar{\mathbf{V}}_i^q)(\mathbf{V}_i^t - \bar{\mathbf{V}}_i^t)}{\sqrt{[(\mathbf{V}_i^q - \bar{\mathbf{V}}_i^q)(\mathbf{V}_i^q - \bar{\mathbf{V}}_i^q)][(\mathbf{V}_i^t - \bar{\mathbf{V}}_i^t)(\mathbf{V}_i^t - \bar{\mathbf{V}}_i^t)]}} \quad (4)$$

$$\text{Sim} = \max(\text{Sim}_i) \quad i=1,2 \quad (5)$$

式中, \bar{V}_i^a 为特征向量 V_i^a 的均值; \bar{V}_i^t 为特征向量 V_i^t 的均值。设定相似度阈值 t , 当两图像之间的相似度 $\text{Sim} \geq t$, 则认为这两幅图像之间存在拷贝关系。

2 实验与分析

下面给出了4个实验。实验1验证图像特征角度的缩放不变性; 实验2验证利用特征角度来估算旋转攻击角度的准确性; 实验3利用查准率和查全率曲线图选取最佳参数, 包括DCT系数数目 L 和相似度阈值 t ; 实验4对比分析本文方法与文献[9]方法的拷贝检测精度, 特别是抗旋转失真的能力。

实验1 特征角度的等比例缩放不变性。

将图4所示的8幅 256×256 的图像作为测试图像, 分别进行不同参数的等比例缩放攻击, 并计算不同缩放参数下攻击前后图像亮度分量上的特征角度差异的平均值。图5是缩放参数变化范围为 $[0.5, 2]$ 时缩放攻击前后图像特征角度的绝对差平均值的曲线图。观察图5中的实验结果, 发现缩放攻击前后特征角度的绝对差最大为 2.988×10^{-8} , 很接近0, 表明图像特征角度具有缩放不变性。

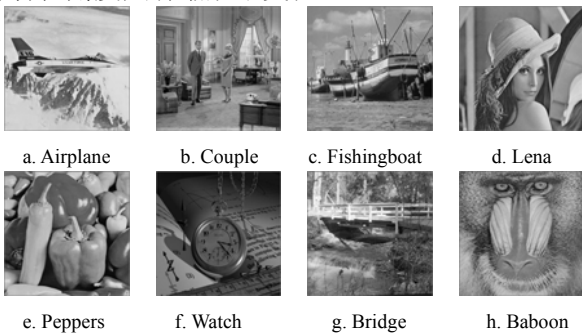


图4 测试图像

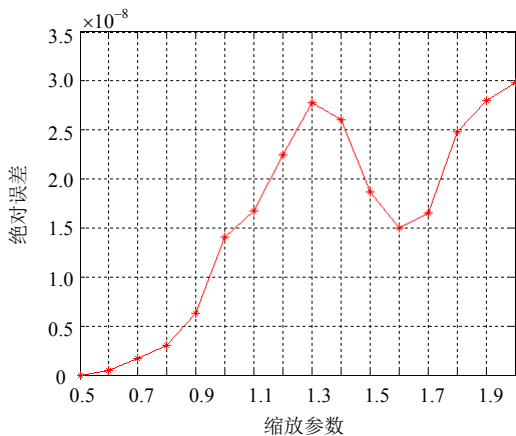


图5 缩放攻击前后特征角度差异

实验2 用特征角度估算的旋转角度的准确性。

通过计算旋转攻击前后图像亮度分量上的特征角度的差值, 可估算旋转角度。将图4所示的8幅 256×256 的图像作为测试图像, 分别进行不同角度的

旋转攻击, 并计算不同旋转参数下估算的旋转角度与实际旋转角度之间的绝对差异的平均值, 用来衡量估算的旋转角度的准确性。

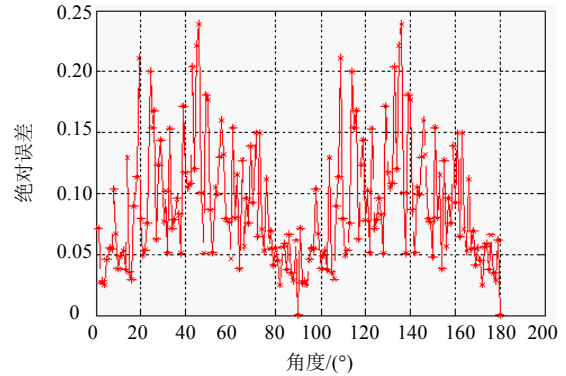


图6 旋转攻击后利用特征角度估算旋转参数平均绝对误差

图6是旋转参数变化范围为 $[1^\circ, 180^\circ]$ 时不同旋转角度攻击后估算的旋转角度的绝对误差平均值。观察图6中的实验结果, 发现角度估算的绝对误差最大为 0.2398° , 表明利用不变矩 Z 计算得到的特征角度来估算旋转参数的准确性高。

实验3 最佳参数的选取。

拷贝检测系统的性能评价指标包括查全率和查准率。查全率(recall)为检测出的拷贝数目占所有真实拷贝图像的比率, 而查准率(precision)为检测出的拷贝数目中正确拷贝图像所占的比率。理想的拷贝检测系统, 要求查全率和查准率都应尽可能趋近于1, 即查准率查全率($P-R$)曲线应接近右上角。实际情况中, 查全率与查准率的大小受到拷贝检测系统中参数选取的影响, 是一对相互制约的因素。因而, 通过权衡查全率和查准率, 可确定最佳参数。

采用文献[12]提供的10 000幅图像作为图像测试库。从图像测试库中随机选取100张彩色图像构成原始查询图像集, 对每一幅原始查询图像, 采用StirMark工具生成各自的88个拷贝版本并加入到图像测试库中, 故图像测试库中共包含18 800幅图像。对每一幅原始查询图像, 包含88个真实拷贝图像, 图像测试库中不相关的18 712副其他图像作为非拷贝测试数据。

1) DCT系数数目 L 。 L 直接影响图像特征的性能, 若 L 设置太小, 则提取的特征辨识度差, 将难以区分拷贝和非拷贝作品, 导致查准率过低; 若 L 设置太大, 则提取的特征容易受攻击的干扰, 可能导致很多失真的拷贝作品无法被正确检测到, 从而导致查全率过低。对于某DCT系数数目 L , 分别计算所有查询图像在相似度阈值从0到1变化时的平均查全率和平均查准率, 可绘制出一条 $P-R$ 曲线。

图7给出了4种不同L值的P-R曲线。从图7可得知, L=128时的P-R曲线最靠近右上角, 表明L=128时获得最佳查全率和查准率, 故最终选择L=128。

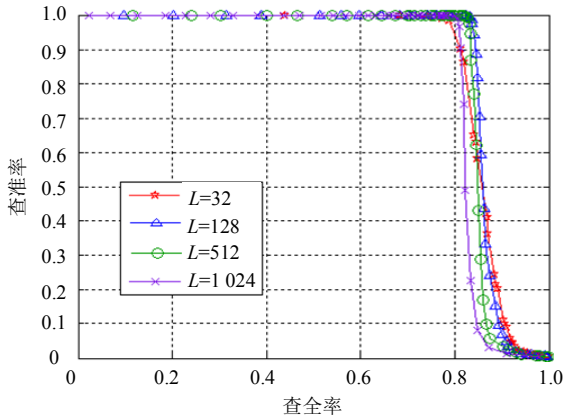


图7 不同DCT数目L的取值情况下P-R曲线图

2) 相似度阈值t。设置DCT系数数目L=128, 计算不同相似度阈值下所有查询图像的平均查全率和平均查准率, 可绘制出图8所示的平均查全率和平均查准率曲线图。观察图8可发现, 当相似度阈在0.4~0.42之间时, 查全率和查准率能得到最佳权衡。因此, 本文试验中选取相似度门限值t=0.41。

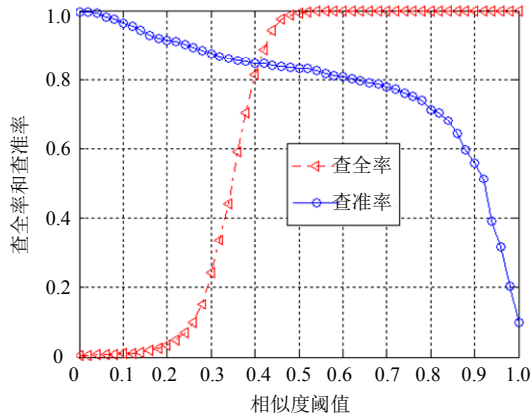


图8 不同相似度阈值下的查全率和平均查准率

实验4 拷贝检测算法的检测精度。

实验4所采用的图像测试库与实验3的完全相同。本文实验从以下3个方面来综合对比提出的算法与文献[9]算法的检测精度: 1) 在StirMark的88种攻击下, 不同相似度阈值下的平均P-R曲线图; 2) 对每一种攻击, 所生成的失真图像中成功判定为拷贝图像的数目(即命中数目); 3) 单独分析针对旋转攻击的P-R曲线。

将随机选取的100幅原始图像作为查询图像, 对于每幅查询图像, 包含88个真实拷贝图像, 图像测试库中不相关的18 712幅其他图像作为非拷贝测试数据。为了对比所有88种攻击下不同算法的平均性

能, 将100幅查询图像逐一到测试图像库进行查询, 计算不同相似度门限值下所有查询图像的平均查全率和平均查准率, 生成图9所示的平均P-R曲线图。从图9中可以看出, 本文算法的查全率和查准率可同时达到84%左右, 明显高于文献[9]的算法。

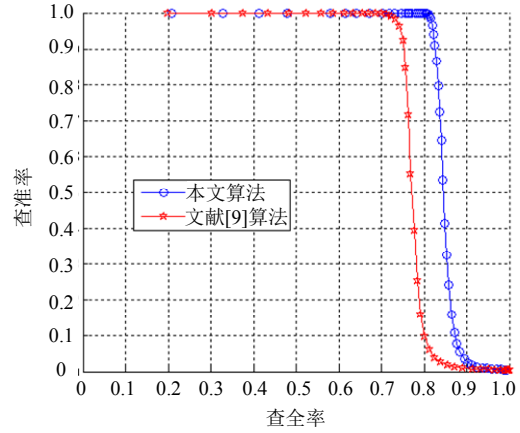


图9 所有攻击下的平均P-R曲线

表1 不同攻击后成功检测到的拷贝数目

攻击类型	命中数目		攻击类型	命中数目	
	本文算法	文献[9]算法		本文算法	文献[9]算法
FMLR	100	100	等比例缩放1.1	100	100
2×2中值滤波	100	100	等比例缩放1.5	100	100
4×4中值滤波	100	96	等比例缩放2.0	100	100
3×3锐化	100	100	Shearing(0,1)	100	100
3×3高斯滤波	100	100	Shearing(5,0)	100	100
JPEG压缩(Q=10)	100	100	Shearing(5,5)	99	100
JPEG压缩(Q=40)	100	100	随机扭曲	100	88
JPEG压缩(Q=70)	100	100	裁剪1%	100	100
移除第1行第1列	100	100	裁剪2%	100	99
移除第1行第5列	100	100	裁剪5%	100	54
移除第5行第17列	100	100	裁剪10%	90	6
线性变换 [1.007,0.010; 0.010,1.012]	100	95	裁剪15%	51	4
线性变换 [1.010,0.013; 0.009,1.011]	100	92	裁剪20%	16	1
线性变换 [1.013,0.008; 0.011,1.008]	100	92	旋转1°+裁剪	100	98
拉伸0.8×1	100	100	旋转2°+裁剪	100	68
拉伸0.9×1	100	100	旋转5°+裁剪	70	3
拉伸1×1.1	100	100	旋转10°+裁剪	16	0
拉伸1×1.2	100	100	旋转1°+裁剪+等比例缩放	100	95
等比例缩放0.5	100	100	旋转2°+裁剪+等比例缩放	100	54
等比例缩放0.75	100	100	旋转5°+裁剪+等比例缩放	66	1
等比例缩放0.9	100	100	旋转10°+裁剪+等比例缩放	19	0

针对表1中列出的每一种攻击,由随机选取的100幅原始图像产生100个失真图像构成查询图像集,分别计算100幅查询图像与其对应原始图像的相似度来判别是否为拷贝图像,其中相似度门限值 t 设置为0.41。为分析对比各种不同攻击下本文算法和文献[9]算法的鲁棒性,统计100幅查询图像中被检测为拷贝版本的数目(即命中数目),实验结果如表1所示。从表1可看出,本文算法的检测效果明显优于文献[9]的算法,特别是在抗线性变换、裁剪、旋转(+缩放)+自动裁剪的攻击方面。这主要因为文献[9]的算法中使用整体DCT系数的顺序测度作为特征,而这类特征对裁剪和缩放外的其他几何攻击都较敏感。

为了更明显突出本文算法对于旋转攻击的检测效果,针对不同旋转角度(旋转角度取值范围为 $[1^\circ, 180^\circ]$)的攻击,由随机选取的100幅原始图像产生100幅失真图像,统计各个不同旋转角度下查询图像与原始图像之间的平均相关性,如图10所示。从图10中可看出,180种旋转角度攻击后,失真图像与原始图像之间的平均相关性都不低于0.859 3,远远超出相似度阈值0.41,这表明本文算法可以抵抗任意角度的旋转失真。

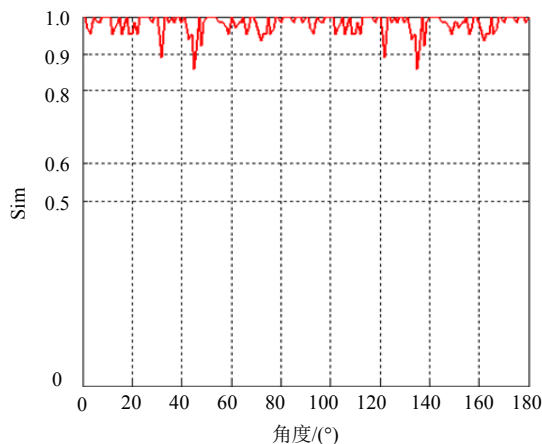


图10 旋转攻击下的P-R曲线图

3 结束语

为了从根本上解决现有拷贝检测算法对于旋转缩放等几何攻击不够鲁棒的问题,利用整体DCT中低频系数能较好地抵抗图像的缩放、抖动等几何攻击和常规信号处理攻击,并进一步利用缩放不变的中心矩来消除旋转失真的影响,提出了一种基于不变矩的DCT域图像拷贝检测方法。该算法通用性强,无需查询图像的任何信息即可进行拷贝检测。实验结果证明该算法对于一般信号处理攻击、缩放、线性变换等攻击的检测效果好,而且能抵抗任意角度

旋转的旋转失真,检测效果明显优于已有算法。但由于本文算法中所采用的DCT域特征仍属于全局特征,而图像遭受大幅度裁剪后会导致DCT域系数发生大幅度变化,因而该算法对于大幅度裁剪攻击的检测效果不理想。如何结合空间几何不变域的思想,提出能抵抗裁剪等几何攻击的更鲁棒的拷贝检测算法,是下一步的研究工作。

参 考 文 献

- [1] HSIAO Jen-hao, LI Cheng-hung, CHIU Chih-yi, et al. Effective content tracking for digital rights management in digital libraries[C]//Proc of the 10th European Conf on Digital Libraries. Berlin: Springer, 2006: 415-425.
- [2] WU Ming-ni, LIN Chia-chen, CHANG Chin-chen. Novel image copy detection with rotating tolerance[J]. Journal of Systems and Software, 2007, 80(7): 1057-1069.
- [3] KIM J Y, KIM C Y, SEO Y S, et al. Color indexing using chromatic invariant[J]. Pattern Recognition, 2001, 34(6): 1189-1197.
- [4] CHAN Y K, CHANG C C. A color image retrieval method based on color moment and color variance of adjacent pixels[J]. International Journal on Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2002, 16(1): 113-125.
- [5] CHAN Y K, CHEN C Y. Image retrieval system based on color-complexity and color-spatial features[J]. The Journal of Systems and Software, 2004, 71(122): 65-70.
- [6] BHAT D N, NAYAR S K. Ordinal measures for visual correspondence[C]//Proc of the IEEE Computer Society Conf on Computer Vision and Pattern Recognition. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society, 1996: 351-357.
- [7] BHAT D N, NAYAR S K. Ordinal measures for image correspondence[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(4): 415-423.
- [8] KIM C. Content-based image copy detection[J]. Signal Processing: Image Communication, 2003, 18(3): 169-184.
- [9] 凌贺飞, 许治华, 邹复好, 等. 基于整体DCT系数顺序测度的鲁棒图像拷贝检测算法[J]. 计算机研究与发展, 2010, 47(10): 1812-1822.
HE Ling-fei, XU zhi-hua, ZOU Fu-hao, et al. A robust image lopy detection scheme using ordinal measure of full DCT coefficients[J]. Journal of Computer Research and Development, 2010, 47(10): 1812-1822.
- [10] LIN He-fei, XU Zhi-hua, ZOU Fu-hao, et al. LI Li, XU He-huan, CHANG Chin-chen. Rotation Invariant Image Copy Detection Using DCT Domain[J]. International Journal of Innovative Computing Information and Control. 2011, 7(7A): 3633-3644.
- [11] YU Yan-wei, LING He-fei, ZOU Fu-hao, et al. Robust localized image watermarking based on invariant regions[J]. Digital Signal Processing, 2012, 22(1): 170-180.
- [12] WANG J Z, LI Jia, WIEDERHOLD G. SIMPLcity: Semantics-sensitive integrated matching for picture libraries[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(9): 947-963.