

基于 SURF 和归一化的数字图像零水印算法

贾 超,张政保

(军械工程学院 信息工程系,河北 石家庄 050003)

摘 要:当前,零水印算法计算多比较复杂,不能应用于实时性强的系统。SURF 算法是一种尺度不变、旋转不变且性能较好的算法,它的计算量小,很适合应用在对检测速度有要求的平台。图像归一化能使图像在受到一些处理或攻击时在经过相同参数的归一化处理后,得到相同形式的标准图像。利用归一化和 SURF 特征生成的零水印信息不仅能够抵抗剪切、旋转、JPEG 压缩等各种常规攻击,而且支持实时性要求高的系统。实验表明,与其他算法相比,该算法具有较好的鲁棒性和高效性,能够应用于对检测速度有要求的系统平台。

关键词:加速健壮特征;归一化;水印同步;零水印

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)04-0144-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.04.035

A Digital Image Zero-watermarking Algorithm Based on SURF and Normalization

JIA Chao,ZHANG Zheng-bao

(Department of Information Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: The zero-watermark algorithm is more complex currently in calculation and can not be applied to real-time systems. SURF algorithm is the algorithm of scale-invariant, rotation-invariant and better performance, and it has the small amount of calculation, it is suitable for application in detection speed platform. Image normalization aims to get the standard images after the same parameters normalized what had suffered some processings or attacks. Owned by one and the SURF feature, the zero-watermark is not only able to resist conventional attack, such as scaling, rotation, JPEG compression and so on, but also supports real-time requirements of the system. The experiments show that compared with other algorithms, the algorithm has good robustness and efficiency and can be applied to the platform which has detection speed requirements.

Key words: SURF; normalization; watermark synchronization; zero-watermarking

0 引 言

随着通信技术和多媒体技术的飞速发展,数字媒体的安全、版权保护和认证等方面的问题日益突出。数字水印技术能够很好地解决以上问题^[1~3],已经成为信息安全领域的研究热点。传统的水印算法是通过原始数字媒体的修改实现数字水印的嵌入,因此水印的不可感知性和鲁棒性这一矛盾必然存在,为了解决水印的鲁棒性和不可见性之间的矛盾,零水印方案被提了出来^[4],成为数字水印技术一个新的研究方向。文献[4]提出利用高阶累积量提取图像特征来构造零水印,实验证明这种方法能有效抵抗旋转、剪切等

几何攻击。文献[5]提出一种基于混沌系统和 DCT 变换的零水印算法,通过对图像进行分块 DCT 变换,利用混沌系统的唯一性和不可破解性生成水印序列,有效地提高了对 JPEG 压缩、滤波等操作的鲁棒性,但抵抗几何攻击的性能较差。文献[6]中通过利用两个稳定又相距较远的 SIFT 特征点估计图像经历的旋转和缩放参数并进行校正,具有更好的恢复能力。文献[7]通过为生成的零水印加盖时间戳以防止攻击者伪造零水印信息从而很好地保护作品版权。但以上算法由于计算复杂,不适用于对检测速度有要求的网络平台以及实时性比较强的系统等,于是 SURF 特征点应运而生。SURF(Speeded Up Robust Features)是由 Herbert Bay^[8]在 2006 年提出的一种特征提取算法,包括特征点检测和特征点描述两个部分。

相比其他算法,SURF 在特征点匹配数量上略少,但对基于图像特征的数字水印而言,对特征点的数量要求很低。因此 SURF 特征点适合应用于数字水印算

收稿日期:2012-07-14;修回日期:2012-10-18

基金项目:河北省科技基金资助项目(05213579)

作者简介:贾 超(1988-),男,硕士研究生,研究方向为信息安全与数字水印;张政保,教授,研究生导师,研究方向为信息安全、数字水印和智能检测。

法的研究,特别是网络平台上版权保护对速度有要求的图像或视频水印算法。当前只出现了个别基于 SURF 的视频水印算法^[9],而基于 SURF 特征点的图像数字水印算法的研究则刚刚起步。文中提出一种基于 SURF 和图像归一化的数字图像零水印算法。

1 SURF 特征点原理

SURF 的处理主要包括:积分图像、快速 Hessian 检测、特征点描述符三个部分。

1.1 积分图像

SURF 之所以能够在算法性能上获得很大的提高,很大程度上归功于积分图像的使用。可以非常迅速地计算出一个初始图像的积分图像,所以它通常被用来加快任何右上方矩形区域的处理速度。假设输入图像为 I ,而图像上点 (x,y) 的积分图像为 IP ,那么 IP 通过计算该点与图像零点之间所有区域的像素和来获得,如下公式所示:

I_{\Sigma}(x,y) = \sum_{i=0}^{i \leq x} \sum_{j=0}^{j \leq y} I(x,y) \tag{1}

通过使用积分图像,计算右上方矩形区域的工作量减少了 4 倍。假定矩形的四个顶点 $A、B、C、D$,那么矩形的像素和可以通过公式(2)计算。

\Sigma = A + D - (C + B) \tag{2}

1.2 快速 Hessian 检测

SURF 检测器是基于 Hessian 矩阵行列式值的。

H(X,\sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(X,\sigma) & L_{xy}(X,\sigma) \\ L_{xy}(X,\sigma) & L_{yy}(X,\sigma) \end{bmatrix} \tag{3}

这里 $L_{xx}(X,\sigma)$ 表示二阶高斯导数 $\partial^2 g(\sigma)/\partial x^2$ 与图像在点 $X=(x,y)$ 的卷积,同理 L_{yy} 和 L_{xy} ,这个导数即大家熟知的高斯拉普拉斯函数。

为了在图像中定位尺度特征点,使用了一个 3×3 的邻域,判断 3 层相邻尺度图像中间尺度上的点是否为尺度邻域内 27 个点中的极值点(见图 1)。文中使用一种 Neubeck and Van Gool^[10] 介绍的快速方法。Hessian 矩阵行列式的最大值便在尺度图像空间进行插值,插值方法使用 Brown 建议的方法^[11]。

1.3 特征点描述符

SURF 描述符描绘了在特征点(快速 Hessian 检测到的)尺度依赖的邻域内像素强度是如何分布的,为了增加鲁棒性以及减少计算时间,文中使用 Haar 小波。Haar 小波的模板如图 2 所示,其中左侧模板计算 x 方向的响应,右侧模板计算 y 方向的响应,黑色表示 -1,白色表示 +1。

(1) 方向分配(Orientation Assignment)。

为了获得图像旋转的不变性,每一个被检测到的

特征点被重新分配一个重新构建的方向。为了确定这个方向,计算特征点 6σ 范围的一组像素的 4σ 尺度的 Haar 小波响应值,这里 σ 表示该点的特征尺度。

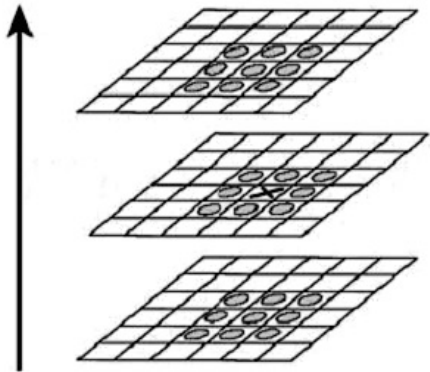


图 1 尺度空间极值

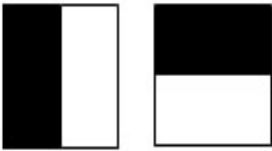


图 2 Haar 小波滤波器

使用以特征点为中心的高斯函数对该响应值进行加权。用图 2 所示的 Haar 小波滤波器对圆形邻域进行处理后,就得到了该邻域内每个点所对应的 $x、y$ 方向的响应,然后用以特征点为中心的高斯函数($a=Zs$)对这些响应进行加权。用一个圆心角为 $\pi/3$ 的扇形以特征点为中心环绕一周,计算该扇形处于每个角度时,它所包括的图像点的 Haar 小波响应之和。把扇形区域环绕一周所形成的矢量都记录下来,取长度最大的矢量,其方向即为该特征点所对应的方向,如图 3 所示。

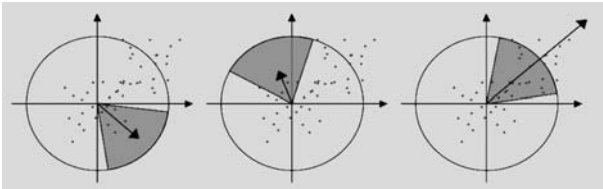


图 3 方向分配图

(2) 描述子组件(Descriptor Components)。

为了构建描述子向量,首先要确定一个以特征点为中心的正方形邻域。把该正方形区域分成 4×4 个子块区域,在每一个子块区域中使用 Haar 小波滤波器进行处理。然后对所得响应进行插值处理,从而得到相对于特征点方向的 $dx、dy$ 。在每个子块区域中对 $dx、dy、|dx|、|dy|$ 求和,从而得到一个 4 维向量

v_{sub} = [\Sigma dx, \Sigma dy, \Sigma |dx|, \Sigma |dy|] \tag{4}

把 4×4 个子块区域的向量连接起来就得到了一个 64 维的向量,此向量就是描述该特征点的描述子(descriptor)特征向量。如果对 $dx、|dx|$ 求和时分成 dy

$<0, dy \geq 0$ 两种情况,相应的在对 $dy, |dy|$ 求和时分成 $dx < 0, dx \geq 0$ 两种情况,就会得到 128 维的描述子向量。128 维的描述子向量尽管比 64 维的描述子向量具有较好的独特性,但是在匹配阶段,128 维的向量间匹配所耗费的计算量要明显大于 64 维的向量间匹配。综合考虑文中选用 SURF-64 作为描述子。

2 图像归一化与水印同步

图像归一化是指对图像进行了一系列标准的处理变换,使之变换为一固定标准形式的过程,该标准图像称作归一化图像。原始图像在经历一些处理或攻击后可以得到多种副本图像,这些图像在经过相同参数的图像归一化处理,能够得到相同形式的标准图像。文中使用基于矩的图像归一化方法^[12],归一化参数 $\alpha = \sqrt{\beta/m_{00}}$,其中 m_{00} 为原始图像的矩。其实质是利用矩的不变性获得图像在特殊仿射变换获得图像结果的唯一性。

图 4 为 Lena、Baboon、Peppers 的归一化图像。

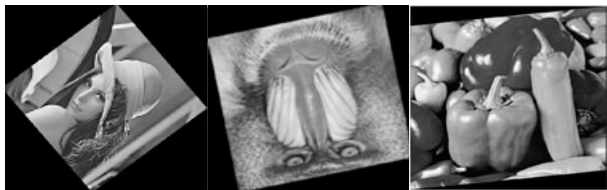


图 4 Lena、Baboon、Peppers 的归一化图像

水印算法的同步过程是在水印提取时得到与水印嵌入时内容相同的水印区域的过程。

文中方案在生成水印检测的特征区域时,其缩放参数不再使用待检测图片对应的特征点的尺度,而是使用原始图像的特征点尺度与归一化尺度的缩放因子,检测水印时特征点匹配在原始图像和待检测图像间进行。注册水印时,特征区域为

$$(x - x_N)^2 + (y - y_N)^2 = (k\sigma)^2 \quad (5)$$

则检测水印时对应的特征区域为

$$(x - x_N)^2 + (y - y_N)^2 = (S \cdot k\sigma)^2 \quad (6)$$

其中 (x_N, y_N) 为特征点坐标, σ 为特征点的特征尺度, S 为图像缩放因子。

3 零水印算法

算法的基本思想是:首先对原图像进行归一化,然后对归一化图像进行 SURF 检测,提取 SURF 特征点及相关信息,对其进行加密处理后作为图像水印信息注册存储;在水印检测时,同注册类似,先对待检测图像进行归一化,然后提取 SURF 信息,并与原图像注册水印特征点进行匹配,若相似度大于一定阈值即匹配成功,说明图像中含注册水印。

3.1 水印注册

具体步骤如下:

Step1. 对原始图像进行归一化。得到归一化参数 $\alpha_1 = \sqrt{\beta/m_{00}}$,其中 m_{00} 为原始图像的矩。

Step2. 提取 SURF 特征点及相关信息。获得每个特征点的特征信息 $(x, y, \text{scale}, \text{descriptor}, \text{responseValue})$,其中 (x, y) 为特征点坐标, scale 为特征尺度, descriptor 为特征点描述符, responseValue 为特征点的尺度图像响应值。

Step3. 生成特征区域。首先初次筛选特征点,筛选尺度为 4~8 范围的特征点,生成集合 SFP。对 SFP 集合的特征点依照特征点的尺度图像响应值 responseValue 的大小进行二次筛选特征点,得到集合 FFP 获得自适应参数 K 值,依据公式(6)生成特征区域。筛选方法为:首先获取响应值最大值点,加入最终特征点集合,依据其画圆,对余下点的最大值继续画圆,若与先前所画圆相交则删除该点,若不相交则加入最终特征点集合,如此循环筛选,直至所有的特征点筛选完成。其后,利用 K 值自适应画圆,确保特征圆的个数适中大约 5~8 个,过多或过少都改变 K 值大小,直至找到范围内的最优解,这个过程主要防止特征区域过大或过小,为水印嵌入或提取提供方便。 K 值初始值为 10。

Step4. 对每个圆形特征区域中的 SURF 特征点和特征信息的组合 M_i 使用公钥水印方式进行加密,将其用原图像拥有者的密钥 K_u 加密,密文即作为水印信息向 IPR 注册,与密钥对应的公钥 K_p 和图像一同发布,作为其他用户验证其版权关系的依据。

3.2 水印检测

具体步骤如下:

Step1. 对待检测图像进行归一化。

Step2. 生成 SURF 特征点及特征信息。并获得每个特征点的特征信息 $(x, y, \text{scale}, \text{descriptor}, \text{response})$,其中 (x, y) 为特征点坐标, scale 为特征尺度, descriptor 为特征点描述符, response 为特征点的尺度图像响应值。

Step3. 特征点匹配及特征区域生成。

提取原始图像特征点信息,与待检测图像特征点匹配,匹配方法采用 Lowe 提出的最近距离与特征点次近距离的比率来匹配特征点, $d1/d2 < 0.65$ 则认为特征点匹配,将匹配成功的特征点用来生成待检测特征区域。提取归一化尺度参数,获得特征区域半径。提取特征区域缩放半径 K 和原始图像归一化参数 α_1 。提取待检测图像归一化参数 $\alpha_2 = \sqrt{\beta/m_{00}}$,利用公式 $R = \sigma * K * \alpha_1 / \alpha_2$ 计算特征区域半径。以匹配到的特征点和对应的半径生成特征区域。

Step4. 对每个匹配成功圆形特征区域进行水印提取得到每个区域的 SURF 特征点及特征信息 M_i' , 用公钥 K_p 对原始水印进行解密得到 M_i , 利用公式进行相似性检测。

$$r(M_i, M_i') = \frac{\sum_i m_i m_i'}{\sqrt{\sum_i m_i^2} \sqrt{\sum_i m_i'^2}} \tag{7}$$

若 $r \geq U$, 可以判定被测图像中有水印存在, 即两幅图像为同一幅图像; 否则, 不能认定两幅图像相关, 其中 U 为门限值。通过计算大量随机分布序列(文中取 400 个)与 Lena、Baboon、Peppers 图像的原始零水印序列的 NC 值, 发现 NC 值基本在 $[0.2, 0.5]$ 之间, 于是文中选择 0.8 作为 U 值。

4 实验与分析

实验中所采用的图像为 USC-SIPI 数据库的 512×512 大小的灰度图像, 包括 Lena、Baboon、Peppers 等。对以上三幅图像使用 StirMark 分别做旋转、缩放、平移、加噪、JPEG 压缩以及中值滤波等图像仿真变换操作, 并用文中算法对其中水印进行检测, 实验结果如表 1 所示。

表 1 攻击下水印提取相似度

攻击方式	Lena	Baboon	Peppers
旋转 15 度	0.896	0.891	0.906
旋转 45 度	0.869	0.921	0.885
高斯噪声	0.891	0.813	0.854
缩放 0.6 倍	0.851	0.866	0.887
缩放 0.9 倍	0.984	0.969	0.958
缩放 1.5 倍	0.906	0.891	0.896
平移 30 像素	1.000	1.000	1.000
JPEG 压缩 40%	0.938	0.829	0.875
JPEG 压缩 60%	0.958	0.927	0.906
JPEG 压缩 80%	0.999	0.956	0.944
中值滤波 5×5	0.875	0.817	0.891
中值滤波 3×3	0.969	0.864	0.906
旋转 1 度+缩放 0.9 倍	0.969	0.912	0.936
旋转 10 度+缩放 0.9 倍	0.953	0.906	0.922

由表 1 可以看到文中算法抵抗 RST 等几何变换的能力良好, 在大尺度旋转及缩放时仍能够成功地提取其中的水印序列。此外, 可以看到算法仍能够很好地抵抗 JPEG 压缩等常规图像处理。

对于信息量越来越庞大的今天, 鲁棒性达到一定要求后, 检测时长就成为决定算法优劣的一种途径。从算法的检测水印的原理分析, 该算法匹配的效率比较高。实验证明, 以旋转 45 度操作为例, 经计算以上三幅图像的特征点匹配时长分别为: 0.42s、0.51s、0.39s, 而文献[4~5]中水印提取时间均在 1s 以上, 文献

[6]SIFT 特征点匹配时长更是达到了 10s 之长。因此文中算法具有很好的高效性。

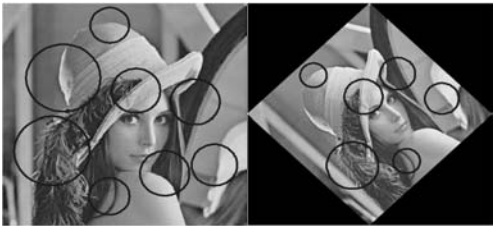


图 5 Lena 图像旋转 45 度特征区域匹配

5 结束语

文中提出的基于 SURF 和图像归一化构建数字图像零水印的新算法, 以 SURF 特征点和图像的归一化为基础, 实验证明具有很好的鲁棒性, 利用归一化获得缩放参数, 以保证水印同步, 而且大幅提高了水印的检测速度, 满足对检测速度有要求的平台, 因而性能更加稳定高效。

参考文献:

[1] 钮心忻. 信息隐藏与数字水印[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2004.

[2] 尹浩, 林闯, 邱峰, 等. 数字水印技术综述[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(7): 1093-1099.

[3] 李旭东. 图像量化水印方法中量化公式的最优化分析[J]. 光电工程, 2010, 37(2): 96-102.

[4] 温泉, 孙铨锋, 王树勋. 零水印的概念与应用[J]. 电子学报, 2003, 31(2): 214-216.

[5] Yang Weimin, Meng Lingmei. A zeros-watermarking algorithm based on chaotic system and DCT[C]//IEEE 2nd Asia Pacific Conference on Computational Intelligence and Industrial Applications. [s. l.]: [s. n.], 2009: 71-74.

[6] 廖其男. 基于空域的水印图像几何校正和零水印算法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(13): 91-94.

[7] 刘会英, 张政保, 文家福, 等. 一种基于时间戳的 DCT 域零水印方案[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(9): 143-145.

[8] Bay H, Tuytelaars T, Gool L. SURF: Speeded Up Robust Features[C]//Proceedings of the 9th European Conference on Computer Vision, Graz, Austria: [s. n.], 2006: 404-417.

[9] 毛运柳, 黄东军. 基于 SURF 视频分割的视频水印算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(19): 241-243.

[10] Neubeck A, van Gool L. Efficient non-maximum suppression[C]//ICPR. [s. l.]: [s. n.], 2006.

[11] Brown M, Lowe D. Invariant features from interest point groups[C]//BMVC. [s. l.]: [s. n.], 2002.

[12] Dong P, Brankov J G, Galatsanos N P, et al. Digital Watermarking Robust to Geometric Distortions[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2005, 14(12): 2140-2150.

基于SURF和归一化的数字图像零水印算法

作者: [贾超, 张政保](#)
作者单位: [军械工程学院 信息工程系, 河北 石家庄050003](#)
刊名: [计算机技术与发展](#)
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2013(4)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjz201304037.aspx