

基于DCT的图像信息隐藏算法的研究

郭少坤¹, 冼学辉²

(1. 华北电力大学 图书馆, 河北 保定 071003; 2. 华北电力大学 信息与网络管理中心, 河北 保定 071003)

摘要: 该文以数字图像信息隐藏技术作为研究内容, 主要讨论了基于DCT算法的图像信息隐藏的实现。离散余弦变换(DCT)是变换域技术中主要是用的一种方法; 根据数字图像像素值的统计特性, 结合其DCT系数的特性, 提出了基于DCT系数的信息隐藏算法。将隐藏信息嵌入在载体的中频部分, 达到既不引起视觉变化, 又不被轻易破坏的目的。

关键词: 信息隐藏; DCT; 数字图像

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3044(2015)18-0159-04

DOI:10.14004/j.cnki.ckt.2015.1544

Research on Image Information Hiding Algorithm Based on DCT

GUO Shao-kun¹, XIAN Xue-hui²

(1. The library of North China Electric Power University, Baoding 071003, China; 2. Information & Network Management Center, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: Take digital image information hiding technology as research, mainly discuss the image information hiding algorithm based on DCT (Discrete cosine transform) implementations. DCT is a method of transform domain technique is mainly used in: according to the statistical characteristics of image pixel values, combined with the characteristics of the DCT coefficients, information hiding algorithm based on DCT coefficients is presented. Generally to embed hidden information in the part of the carrier frequency, reach does not cause visual changes, without being easily damaged ends.

Key words: information hiding; DCT; digital images

图像信息隐藏技术是当今信息安全领域的一个研究热点, 其原理是利用载体中存在的冗余信息来隐藏秘密对象, 即使图像被恶意涂改, 隐藏在图像里的秘密对象仍能被完整、准确地保存下来。“911”事件之后, 媒体宣传等使得公众认识到图像隐写被用于恐怖袭击的巨大可能性, 引起了强烈关注, 这一事件对图像隐藏技术的发展[1]有重要推进作用。

图像信息隐藏技术不仅具有很高的社会实用价值, 在学术研究方面也有重要意义。一方面, 作为图像信息隐藏技术对立面隐写分析技术在不断迅速发展, 破解隐藏技术的手段越来越丰富, 导致原有的一些方法已经不能很好地隐藏加密信息, 这就驱使图像信息隐藏技术的继续深入研究。另一方面, 图像隐藏还会通过对含密图像的视觉表现和统计规律做相应的研究, 为隐藏通信的实现提供可靠的理论依据和有效的处理方法。

1 变换域技术

1.1 变换域算法分类

1) 傅里叶变换的信息隐藏: 傅里叶变换在信号处理、密码学等多个领域有着广泛的应用, 是一种经典有效的数学工具, 它在信息隐藏领域也同样得到了充分的应用。一般, 它将图像分割成多个感觉频段, 选择合适频段来嵌入秘密信息。文献[2]提出基于原始图像的傅里叶变换, 对秘密信息进行调制, 选择合适的固定的幅值谱, 将秘密信息加入其中。傅里叶变换具有

一些特性[3]: 空间域旋转的角度和所引起的频域旋转的角度是一致的; 在空间域的平移只会引起频域上的相移, 而不会改变幅度; 空间域尺度的变化会引起频域尺度反向变化。这些与变换无关的完整的特性可以抵御诸如旋转、平移、尺度等几何攻击。

2) 小波变换域的信息隐藏: 小波分析是自1986年以来由Y. Meyer、S. Mattat 和 L. Daubechies 等的奠基工作而发展起来的一门新兴科学[4]。使用DWT域进行图像信息隐藏是信息隐藏的一种常见手段, 其基本算法步骤如下: 首先使用多级离散小波变换对载体图像进行初步处理, 取得载体图像在不同分辨率下的细节子图和逼近子图, 然后用秘密信息对DWT的系数进行调制, 最后对嵌入的秘密信息DWT系数进行相应级别的离散小波逆变换, 这样便完成信息隐藏全部过程。

3) DCT域的信息隐藏: 在20世纪末, Cox 提出了基于DCT域的信息隐藏方法[5], 其算法一般步骤为: 先对载体图像进行一次二维的离散余弦变换, 然后用秘密信息对离散余弦变换系数进行调制, 最后对调制后的离散余弦变换系数做离散余弦反变换即可。

1.2 变换域算法原理及步骤

变换域隐藏技术是指, 将秘密信息通过正交变换嵌入到数字图像的某一变换域中。常用的变换域方法有离散余弦变换(DCT)和离散小波变换(DWT)等。变换域隐藏技术利用了扩

频通信的原理来提高整个隐藏系统的鲁棒性。变换域隐藏技术的嵌入方法和提取方法如图1,图2所示。

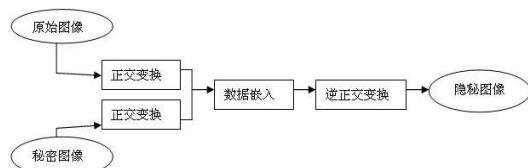


图1 变换域隐藏技术的嵌入方法

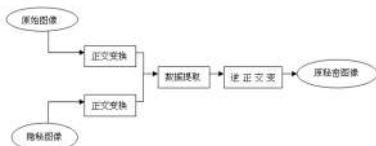


图2 变换域隐藏技术的提取方法

1.3 变换域技术的优点

1) 变换域中嵌入的信号能量在载体图像空间域的任何像素上都有分布的可能性,这样既确保了秘密信息分布性,又保证了秘密信息的不可见性;

2) 在变换域中,秘密信息的编码可以利用人类视觉系统的频率掩蔽效应,从而提高算法的鲁棒性;

3) 变换域方法兼容大部分的数据压缩标准,这样不仅可以直接将数字图像大小的压缩,还减少了相应的有损压缩,同时也提高隐秘性。

2 基于离散余弦变换(DCT)的图像信息隐藏算法

2.1 离散余弦变换算法原理

离散余弦变换属于正交变换图像编码方法中的一种。基于DCT的图像信息隐藏算法为了提高算法的鲁棒性,利用频域特性将秘密信息分布到载体图像的各个像素上。在数字图像处理的过程中,利用二维离散余弦变换(2D-DCT),将图像从空间域转换到DCT变换域,可以同时减弱或直接去除数字图像数据相关性。这里定义大小为 $M \times N$ 的图像 $f(x,y)$ 的二维离散余弦变换 $F(u,v)$ 为:

$$C(u), C(v) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & (u,v=0) \\ 1 & (u,v \neq 0) \end{cases}$$

其中 $x, u=0,1,\dots,M-1; y, v=0,1,\dots,N-1$

$$C(u), C(v) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & (u,v=0) \\ 1 & (u,v \neq 0) \end{cases}$$

2D-DCT的正反变换核是相同的,且是可分离的,二维离散余弦变换的矩阵表示为:

$$x_i(i,j) = x(i,j) + am_i$$

基于DCT的图像信息隐藏算法如下:首先把图像载体进行均分,一般分成 8×8 的像素块,然后进行二维离散余弦变换,得到对应的 8×8 个DCT系数,并将这些得到的DCT系数从低频到高频按照Zig-Zag编码的次序进行排列。DCT系数中左上角为直流和低频部分,右下角为高频部分,中间区域为中频部分,另外,左上角的第一个值为直流系数,其余为交流系数。低频部分代表像素之间的慢变化,高频部分代表快变化。此外,高频部分为图像载体中的主要噪声部分,这以部分很容易被有损压缩或者滤波去掉;中低频部分则包含了图像的大部分能量信息,是人类视觉系统获取图像信息最重要的来源;低频部分的

任何微小变化都可能会引起图像较大的变动。所以,为了将隐藏的信息与载体图像的视觉重要部分绑定,一般选择图像的中频部分将隐藏信息嵌入其中。这样,既不引起图像在视觉变化又不会被轻易地破坏。

基于DCT变换的信息隐藏算法主要分为三种:

方法1:

隐藏方法:在中频系数中,以某种特定的选定方式进行挑选隐藏位置(可以是所有的中频系数或者某几个特定的、最大的几个中频系数)。在这些选定的中频系数中叠加秘密信息,公式为: $x_i(i,j) = x(i,j) + am_i$, 其中 $x(i,j)$ 为选定的DCT系数, m_i 为第 i 个秘密信息比特(秘密消息表示为1和-1), $x_i(i,j)$ 为隐藏后的DCT系数,参数 a 的大小决定隐藏信息的强度。

提取方法:秘密信息 m_i 的提取,根据以上公式可知,只需将原始图像与隐藏信息图像一起做DCT变换,然后相应DCT系数相减并除以 a 就可以得到 m_i 。显然, a 越大,隐藏信息的能量越强,但对载体图像的影响越明显。因此,为了达到隐藏算法在健壮性和可觉察性之间的平衡,需要选择合适的参数 a 。

方法2:

隐藏方法:在第一种算法中,选定 a 后对秘密信息的进行嵌入,不管所选定的DCT系数的大小,加上的值都是固定的,因此较大的DCT系数,对嵌入秘密信息的影响比较小,反之,较小的DCT系数,对嵌入秘密信息的影响则比较大。因此,一个改进的算法就是按照DCT系数的大小,成比例地嵌入秘密信息,使得嵌入信息对DCT系数的影响比较均匀。嵌入方法为: $x_i(i,j) = x(i,j) + (1 + am_i)$ 。

提取方法:与第一种DCT算法的提取方法大致相同,只不过是原载体图像和隐密图像的DCT系数从相减变为了相除,算法的原理是一致的。

方法3:

隐藏方法:主要是利用载体中两个特定数的相对大小来表示隐藏信息。发送方和接收方事先约定好嵌入过程中所使用的两个DCT系数的位置(为了隐藏的健壮性和不可觉察性,这两个DCT系数应该在DCT的中频系数中选择)。例如,设定 (u,v) 和 (m,n) 为所选定的两个系数的坐标。嵌入过程为:如果 $B_i(u,v) > B_i(m,n)$,就代表隐藏信息“1”,如果 $B_i(u,v) < B_i(m,n)$ 就代表隐藏信息“0”。如果需要隐藏的信息位为1,但是 $B_i(u,v) > B_i(m,n)$ 那么就把这两个系数交换,最后发送方通过二维逆DCT变换将图像转化为空间域进行传输。

提取方法:接收方接收到图像后,对图像进行二维DCT变换,通过比较每一块中约定位置的DCT系数的相对大小,得到隐藏信息的比特串,从而提取出秘密信息。

从上面的三种DCT算法可以看出:前两种在DCT域的信息方法,其缺点是都需要原始载体作为参考,但在实际应用中,可能无法得要原始载体,因此,这种算法有一定的局限性。而第三种算法只需要有含有秘密信息的载体图像,通过对约定位置的DCT系数进行比较,就可以得到秘密信息,这就不再需要与原始载体进行计算比较,实现起来比较方便。所以下面就采用这种算法来实现基于变换域的信息隐藏。

2.2 DCT算法部分重要代码

(1) DCT信息隐藏算法:

T=dctmtx(8);

DCTrgb=blkproc(io,[8 8], 'P1*x*P2',T,T); %对载体图像进

行DCT变换

```

[ row col ] = size(DCTrgb);
row = floor(row/8);
col = floor(col/8);
alpha = 0.02;
k = 1;
temp = 0;
for i = 0:(row - 1)
    for j = 0:(col - 1)
        irow = i * 8;
        jcol = j * 8;
        if k <= count
            if msg(k) == 0
                %选择(5,2),(4,3)这两对系数
                if DCTrgb(irow + 5, jcol + 2) < DCTrgb(irow + 4,
jcol + 3)
                    temp = DCTrgb(irow + 5, jcol + 2);
                    DCTrgb(irow + 5, jcol + 2) = DCTrgb(irow + 4,
jcol + 3);
                    DCTrgb(irow + 4, jcol + 3) = temp;
                end
            else
                if DCTrgb(irow + 5, jcol + 2) > DCTrgb(irow + 4,
jcol + 3)
                    temp = DCTrgb(irow + 5, jcol + 2);
                    DCTrgb(irow + 5, jcol + 2) = DCTrgb(irow + 4,
jcol + 3);
                    DCTrgb(irow + 4, jcol + 3) = temp;
                end
            end
            %将原本小的系数变的更小,使系数差变大
            if DCTrgb(irow + 5, jcol + 2) < DCTrgb(irow + 4,
jcol + 3)
                DCTrgb(irow + 5, jcol + 2) = DCTrgb(irow + 5, jcol +
2) - alpha;
            else
                DCTrgb(irow + 4, jcol + 3) = DCTrgb(irow + 4, jcol +
3) - alpha;
            end
            k = k + 1;
        end
    end
end
wi = blkproc(DCTrgb, [8 8], 'P1*x*P2', T, T); %嵌入信息的载体DCT变换,恢复图像
(2) DCT信息提取算法
T = dctmtx(8);
DCTcheck = blkproc(wi, [8 8], 'P1*x*P2', T, T); %对隐秘图像进行DCT变换
[ row col ] = size(DCTcheck);
row = floor(row/8);
col = floor(col/8);
k = 1;

```

```

for i = 0:(row - 1)
    for j = 0:(col - 1)
        irow = i * 8;
        jcol = j * 8;
        %通过比较(5,2),(4,3)这两对系数,判断隐藏的信息是1还是0
        if k <= count
            if DCTcheck(irow + 5, jcol + 2) < DCTcheck(irow + 4,
jcol + 3)
                msg(k, 1) = 1;
            end
            if DCTcheck(irow + 5, jcol + 2) > DCTcheck(irow + 4,
jcol + 3)
                msg(k, 1) = 0;
            end
            k = k + 1;
        end
    end
end

```

2.3 DCT信息隐藏结果

如图3所示,为DCT信息隐藏程序的主界面:

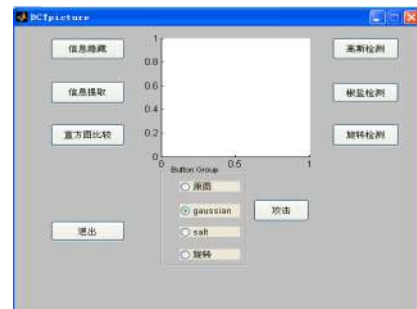


图3 DCT主界面

当点击信息隐藏按钮后,会弹出两个对话框,提示用户选择秘密信息图像和载体图像。用户选择完图像后,程序就会自动读取用户所选择的图像分别作为秘密信息和载体,通过DCT信息隐藏算法把信息图像嵌套到载体图像中,同时会产生一个携带有秘密信息的隐秘图像hideDCT.bmp。结果如图4所示:



图4 隐藏结果显示

在提取信息时,点击界面上的提取信息按钮,即会弹出选择图像对话框,用户选择含有秘密信息的图像hideDCT.bmp,程序会读入此图像,通过DCT变换以及DCT系数比较,得出隐藏在该图像中的二进制信息,经过转化,就可显示出秘密信息图像。如图5所示:



图5 提取结果

下面,比较一下原载体图像与含有秘密信息图像的差别,同样采用图像的直方图来直观地显示两幅图像的差别,点击直方图比较按钮,会显示如图6所示图像:

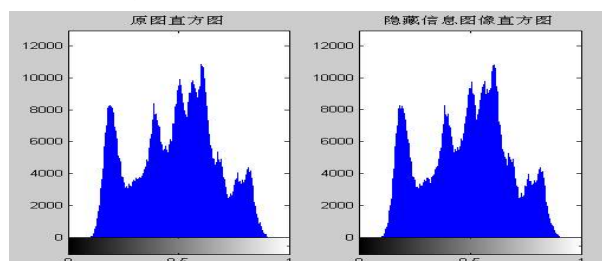


图6 直方图比较

通过,直方图比较可以看出,两幅图的直方图之间的差别是细微的。可以看出采用DCT算法进行信息隐藏,是将秘密信息隐藏到载体图像的各个像素上,分布均匀,所以图像内部的信息发生的变化是细微的。

3 信息隐藏算法的攻击检测

信息隐藏算法的鲁棒性是衡量信息隐藏技术性能的一个重要标准之一,而鲁棒性的体现就要通过对算法的攻击检测来验证(如:噪声攻击、正常图像操作等),接下来要对基于DCT变换的图像信息隐藏算法进行一系列的攻击检测。

3.1 对算法进行噪声检测

对嵌入了秘密图像信息的隐秘图像加上高斯噪声和相乘噪声,高斯噪声的强度参数为0.0001,相乘噪声的强度参数为0.001。经噪声攻击后,再提取出载体信息中的秘密信息,与原秘密信息进行比较,基于DCT算法的信息隐藏高斯噪声攻击检测结果如图7所示,基于相乘噪声攻击检测结果如图8所示:

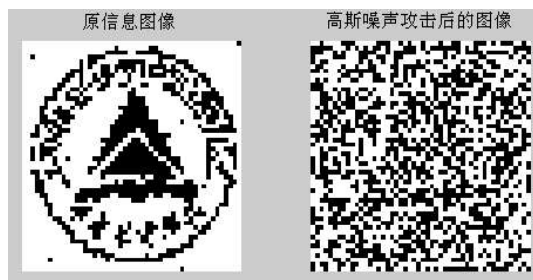


图7 高斯噪声

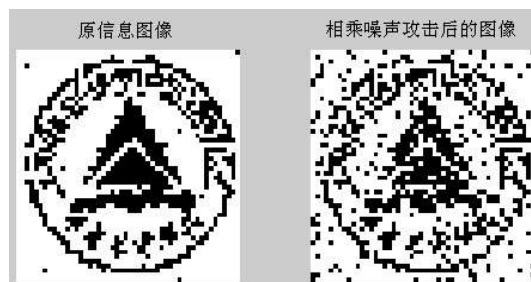


图8 相乘噪声

3.2 对算法进行旋转检测

对嵌入了秘密图像信息的隐秘图像进行45度的旋转,检测图像变换后隐藏信息的变化。DCT算法旋转检测如图9所示:

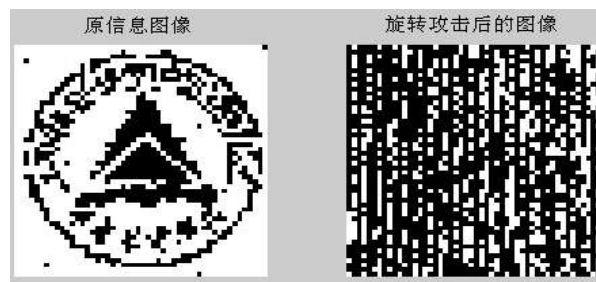


图9 旋转检测

3.3 检测数据分析

在遭受到噪声攻击和正常的图像操作后,隐藏在载体图像中的信息图像也受到了影响,我们可以把受影响的信息图像与原信息图像进行误码率对比,从而量化的评估一个信息隐藏算法的鲁棒性。基于DCT信息隐藏算法受到以上所述三种攻击后,信息图像所产生的误码率如表1所示:

表1 攻击检测结果

| | 攻击强度 | 误码数 | 误码率 |
|--------|--------|-----|----------|
| 高斯噪声攻击 | 0.0001 | 17 | 0.340000 |
| 乘法噪声攻击 | 0.001 | 4 | 0.080000 |
| 旋转攻击 | 旋转45度 | 41 | 0.820000 |

4 结论

基于DCT信息隐藏算法,首先通过调试基于DCT的信息嵌入程序和提取程序,保证可以准确嵌入信息并能完整的提取信息,另外,人眼无法识别隐藏信息之后的图像和原始图像之间的差别,这说明算法具有很好的不可感知性。

对含有隐藏信息的图像进行噪声攻击和正常的图像处理,观察在这些攻击下被隐藏的信息图像会发生的变化,从而初步能看出信息隐藏算法的稳定性。通过把实验结果分析,DCT算法具有较强的鲁棒性;而在图像旋转的情况下,隐藏的信息图像都发生了很大变化,以致无法辨认。说明DCT算法对图像进行几何变换的鲁棒性很差。

参考文献:

- [1] 王炳锡, 陈琦, 邓峰森. 数字水印技术[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2003.

(下转第166页)



(c) 建筑



(d) 骏马

图5 部分图像示例

3.2 评价指标

为了评价纹理图像分类的效果,准确率(Accuracy)定义如下:

准确率(Accuracy) = 正确分类样本数 / 测试样本总数

3.3 结果与分析

本文中将提出的方法与 GLCM 的特征提取方法进行对比,分类器均采用 SVM。实验结果如表 1 所示。

表 1 基于两种特征提取方法的纹理图像分类结果

| 实验方法 | 图像类别 | 训练样本个数 | 测试样本个数 | 准确率(%) |
|--------|------|--------|--------|--------|
| GLCM | 巴士 | 40 | 10 | 60.00 |
| DT-CWT | | | | 80.00 |
| GLCM | 花朵 | 40 | 10 | 90.00 |
| DT-CWT | | | | 90.00 |
| GLCM | 建筑 | 40 | 10 | 50.00 |
| DT-CWT | | | | 80.00 |
| GLCM | 骏马 | 40 | 10 | 100.00 |
| DT-CWT | | | | 100.00 |
| GLCM | 四类图像 | 160 | 40 | 75.00 |
| DT-CWT | | | | 87.50 |

从表 1 的分类结果可见,就所选图像库而言,基于 DT-CWT 的纹理特征提取方法的分类准确率比基于 GLCM 的纹理特征提取方法的分类准确率高了 12.50%。就不同的图像类别而言,“骏马”和“花朵”两种特征提取方法得到的准确率基本没有差

异,经分析可见,这两种类别的图像类别之间的纹理特征差异较小,因此较容易被识别出来;而“建筑”的识别率最低,这是因为建筑本身就是形状各异,纹理特征的差异会较大,故识别效果较差。由表可知,相比于 GLCM 算法,采用 DT-CWT 算法可以更好地提取图像中的纹理特征,有效消除纹理特征之间的干扰和冗余信息;此外,采用非线性分类能力强的 SVM 分类器对图像进行分类,能够有效地提高分类准确率。

4 结束语

本文针对当前纹理图像分类的应用需求,提出了一种基于小波变换和支持向量机的纹理图像分类方法。经实验验证,本文中采用的 DT-CWT 纹理特征提取算法不但能够解决传统纹理图像特征提取存在的一些缺陷,而且与基于多类 SVM 的分类器相结合,获得了较高的纹理图像分类准确率。

参考文献:

- [1] 张妙兰, 付新文. 一种纹理图像分类方法的研究[J]. 中国图象图形学报, 1999, 4(8): 680-683
- [2] Tuceryan M, Jain A K. Texture analysis in the handbook of pattern recognition and computer vision[J]. Singapore: World Scientific Publishing Co, 1998, 36(18): 207-248.
- [3] Haralick, Robert M, Shanmugam, K, Dinstein. Textural feature for image classification[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1973, 3(6): 610-621.
- [4] Zhang Hong, Zhang Xuanbing. Texture feature extraction based on wavelet transforms[J]. International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM), 2010 (14): 146-149.
- [5] 孙娅斌. 基于支持向量机的纹理图像分类算法[J]. 计算机仿真, 2012, 29(5): 287-290.
- [6] Hatipoglu S, Mitra S K, Kingsbury N. Texture classification using dual-tree complex wavelet transform[J]. Seventh International Conference on Image Processing And Its Applications (Conf. Publ. No. 465), 1999, 1: 344-347.
- [7] 庞鹏飞. 纹理特征提取与自动分类算法研究[D]. 天津: 天津大学硕士学位论文, 2012. [8] 董春曦, 饶鲜, 杨绍全. 径向基支持向量机推广能力快速估计算法[J]. 西安电子科技大学学报, 2004, 31(4): 557-561

(上接第162页)

- [2] 李黎, 潘志庚. 一种稳健性好的图象盲水印算法[J]. 中国图象图形学报, 2003, 8A(5): 567-571.
- [3] 徐献灵. 基于数字图像的信息隐藏技术及其应用[D]. 中山大学, 2007.
- [4] Xia Xiang-Gen, Boncellet C G, et al. Wavelet transform

based watermark for digital images[J]. Watermarking Special Issue of Optice Express. 1998, 3(12): 497-511.

- [5] Cox I J, Kilian J, Leighton T. A secure robust watermark for multimedia[J]. IEEE Transaction on Image Processing, 1997, 6 (12): 673-1687.