

文章编号:1001-9081(2007)06-1527-04

一种新型高效的 JPEG 信息隐藏盲检测系统

陶砚蕴,徐萃华,毛家发,林家骏

(华东理工大学信息科学与工程学院,上海 200237)

(tyy8219@163.com)

摘要:设计并开发了一种基于 DCT 系数能量及能量差特征,三层前馈非线性神经网络来作为分类器的 JPEG 图像隐藏信息的盲检测系统。整个系统的开发环境是 VC++6.0,采用了多线程 XML 技术以及 SQL Server 数据库,实现了 JPEG 图片的批量盲检测,检测信息存储以及报表生成。系统对三千多幅 JPEG 图像进行盲检测测试,对于多种隐写方法取得平均检测率 90.085%,包括低嵌入率的 JPEG 含秘图像和平滑、锐化、缩小、剪切和再压缩处理后的 JPEG 净图。

关键词:盲检测;JPEG 图片;能量;神经网络;分类器;XML

中图分类号:TP309 **文献标识码:**A

New and effective JPEG steganographic content detecting system

TAO Yan-yun, XU Cui-hua, MAO Jia-fa, LIN Jia-jun

(College of Information Science and Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: A blind detecting JPEG Steganographic Content system was designed and developed whose class is based on the characteristics of DCT coefficients energy and 3-layer forward neural network. The whole system was developed in VC++ 6.0, using the multi-thread, XML, SQL Server database and the JPEG library of Thomas G. Lane, and a blind detecting JPEG Steganographic Content system was realized which can store detecting information and create reports. This system has detected more than 3000 pictures and the average detecting rate of various Steganographic methods is 90.085%, including jpeg pictures with low stega rate and cover pictures which are smoothened, sharpened, shirked, cuted or re-compressed.

Key words: blind detecting; JPEG; energy; neural network; classification; XML

0 引言

JPEG 图片容量小,图像质量高,因此是网络中使用最广泛的图片格式。隐藏信息检测是信息隐藏的逆过程,针对 JPEG 的信息隐藏的检测技术则是近几年来国内外各国军事、安全等敏感部门的研究的热点和难点。随着 JPEG 图片的各种隐写算法,例如 F5、Jsteg、Outguess、Jphide 等的出现,使得对 JPEG 图片隐藏信息检测的难度更大,至今未出现效率很高的 JPEG 图片盲检测系统。

提高盲检测效率的关键在于找出合适的特征和优秀分类方法。DCT 系数能量和能量差可以准确反映 JPEG 图片特性,三层前馈非线性神经网络来作为分类使对 JPEG 隐藏信息的盲检测效率很高。目前网络中传输的 JPEG 图片数量庞大,不可能手工对所有的图片检测,加上 JPEG 图片格式较 BMP 要复杂许多,多数信息隐藏检测的研究人员都习惯用 Matlab 仿真,但 Matlab 本身的缺陷使测试图片十分烦琐,设计出高效的,实用的 JPEG 图片盲检测平台具有很高的实验和工程应用价值。

1 系统总体设计

1.1 系统功能

JPEG 隐藏信息盲检测系统实现平台为 VC++6.0,采用

了多线程,XML 以及数据库技术。系统中读写 JPEG 文件部分调用了 Thomas G. Lane. 96 版的 JPEG 库文件。整个系统分为四个部分:界面模块,盲检测算法模块(特征提取和分类器),数据库模块(包括 XML)和报表模块。整个系统的流程如图 1 所示。

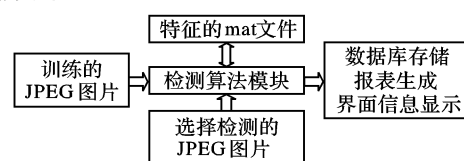


图 1 系统框图

整个系统采用图形化的友好界面,使用简便。用户可以选择任意数量的 JPEG 图片(内存充足)进行批量的图片检测,这克服了手工机械式检测的局限性。图片进入检测模块后,检测主线程将运行得到的检测结果。

系统界面可以追踪当前检测的图片名称,路径以及是否含有隐秘等信息,并且即时显示检测进度和检测信息。检测结束后,用户可以通过报表对话框完成结果的存取以及报表的生成工作。

1.2 系统实现技术

系统以 VC++ 的 Dialog 为应用程序模板,采用多线程技术,分为界面线程和检测主线程。界面线程主要实现 JPEG

收稿日期:2006-12-29;修订日期:2007-03-20

作者简介:陶砚蕴(1982-),男,江苏苏州人,博士研究生,主要研究方向:信息隐藏、信息融合;徐萃华(1983-),女,安徽合肥人,博士研究生,主要研究方向:信息隐藏、信息安全评估;毛家发(1970-),男,江西上饶人,讲师,博士研究生,主要研究方向:信息隐藏;林家骏(1948-),男,上海人,教授,博士生导师,博士,主要研究方向:信息融合、信息隐藏。

图像检测信息的即时追踪,它从主线程得到检测信息进行实时显示。主线程则调用盲检测算法模块对进行 JPEG 图片的训练和隐藏信息的检测。

盲检测技术是整个系统的核心。检测算法以 DCT 系数能量及能量差特征,三层前馈非线性神经网络来作为分类器,实验证明这种算法具有很高的检测率,算法流程如图 2 所示。

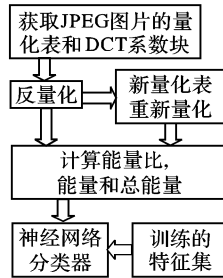


图2 检测算法模块

后台数据库采用 SQL Server2000,我们对每次检测结果以及检测到的每个含有隐秘图像的名称,路径信息都存入数据库的表中。SQL Server2000 可以与应用程序在一台主机上,或者独立架构在一台服务器上,实现远程存储和读取。这里使用前种方式。

盲检测的结果报表的存储格式为 XML。XML 是面向 web 应用的一种描述性语言,它的优点在于它的灵活性,用户可以自定义描述的格式和意义。报表的 XML 描述为:

```

<?XML?version="1.0"? encode="gb2312" >
<Detection >
  <DetectInfo >
    <filePath >文件夹路径 </filePath >
    <ImgNum >图片数量 </ImgNum >
    <DetectRatio >检测率 </DetectRatio >
  </DetectInfo >
  <ImgInfo >
    <ImgName >图片名称 </ImgName >
    <ImgPath >图片所在路径 </ImgPath >
    <Dirty >净图或者脏图 </Dirty >
  </ImgInfo >
  <ImgInfo >
    ...
  </ImgInfo >
</Detection >
  
```

用户可以根据不同 xslt 文件样式表对 XML 报表进行转换。

2 盲检测算法分析

2.1 DCT 系数能量特征

根据文献[1]、[2],基于 DCT 变换域的隐写方式描述为:

$$t^h(u, v) = t^o(u, v) + J(u, v) \cdot \alpha \cdot w(u, v) \quad (1)$$

其中 $t^o(u, v)$, $t^h(u, v)$ 分别表示原始图像和嵌入信息后图像的 DCT 系数, (u, v) 表示 DCT 系数的位置, α 是控制因子, $w(u, v)$ 表示是秘密信息或水印信息(可能是二进制数也可能是实数), $J(u, v)$ 是强度阈值。

定义 1 设图像的像素值为 $I(x, y)$, 则图像能量定义为:

$$EN = \frac{1}{N \times M} \sum_x \sum_y E[I(x, y)^2] \quad (2)$$

其中 N, M 表示图像的行数和列数, $E[\cdot]$ 表示均值。

定义 2 设图像的 DCT 系数为 $t(u, v)$, 则图像的 DCT 系数能量定义为:

$$DEN = \frac{1}{N \times M} \sum_u \sum_v E[(t(u, v))^2] \quad (3)$$

JPEG 压缩过程中能量的损失主要出现在量化过程中,量化造成的图像能量损耗是无法补偿的。JPEG 格式图像解压后能量与 DCT 变换域中的能量是相同的,即有 $EN = DEN$ 成立。因此,下面指的图像能量就是 DCT 变换域中的能量。目前出现的 DCT 变换域隐写工具,如 F5、Jsteg、Outguess、Jphide 等隐写工具都将秘密信息嵌入到量化后的 DCT 系数中,必然会引起图像能量的改变。

定理 1 直接嵌入图像 DCT 系数中的隐写过程会引起图像能量的增大,即 $DEN_t^h > DEN_t^o$ 。

证明: 根据等式(1),令:

$$\omega(u, v) = J(u, v) \cdot \alpha \cdot w(u, v), \text{ 则等式的左边等转变成: } t^h(u, v) = t^o(u, v) + \omega(u, v) \quad (4)$$

原始图像能量为:

$$DEN_t^o = \frac{1}{N \times M} \sum_u \sum_v E[(t^o(u, v))^2 \cdot (q(u, v))^2] \quad (5)$$

这里的 $q(u, v)$ 是在点 (u, v) 的量化步长,是个常量。

含秘图像能量为:

$$\begin{aligned} DEN_t^h &= \frac{1}{N \times M} \sum_u \sum_v E[(t^h(u, v))^2 \cdot (q(u, v))^2] \\ &= \frac{1}{N \times M} \sum_u \sum_v E[(t^o(u, v) + \omega(u, v))^2 \cdot (q(u, v))^2] \\ &= \frac{1}{N \times M} \sum_u \sum_v \{ (q(u, v))^2 \cdot E[(t^o(u, v))^2 + 2 \cdot t^o(u, v) \cdot \omega(u, v) + (\omega(u, v))^2] \} \quad (6) \end{aligned}$$

由于秘密信息与图像信息是相互独立的^[2], 所以有:

$$E[t^o(u, v) \cdot \omega(u, v)] = E[t^o(u, v)] E[\omega(u, v)] \quad (7)$$

通常地,对于嵌入的秘密信息一般都看成是一个具有零均值的加性白噪声,也就是说 $E[\omega(u, v)] = 0$, 那么, (6) 式就转变为:

$$\begin{aligned} DEN_t^h &= \frac{1}{N \times M} \sum_u \sum_v \{ (q(u, v))^2 \cdot \{ E[(t^o(u, v))^2] + E[(\omega(u, v))^2] \} \} \\ &= DEN_t^o + \frac{1}{N \times M} \sum_u \sum_v \{ (q(u, v))^2 \cdot E[(\omega(u, v))^2] \} \quad (8) \end{aligned}$$

(8) 式的最后部分 $(q(u, v))^2 \cdot E[(\omega(u, v))^2] > 0$, 所以 $DEN_t^h \geq DEN_t^o$, 定理 3 成立。

我们把图像能量,也就是 DCT 系数能量当作 DCT 变换域的一个特征。

2.2 DCT 系数能量差特征

图像自身能量有大小之分,能量小的图像,即使再加上一定的噪声能量也大不过能量大的图像,因此这种图像嵌入秘密信息后会很容易被误判为净图的。反过来,能量大的净图像也会很容易被误判成含秘图像。仅用一个特征来检测 JPEG 格式图像是否含秘是不够的。

用量化操作去噪^[5,6], 一个典型的信号(如图像)是结构相关的,好的编码器利用结构相关性对数据进行压缩,而且噪声没有结构冗余信息,不容易被压缩。因此,一个好的量化方

法可提供一个适当的模型来识别信号和噪声。对于量化去噪,当系数的幅值小于量化步长时被置为零,而大于门限的系数被进一步量化,量化是数据压缩的关键步骤,只要量化步长合适,不会引起图像的显著失真。量化也同时具有消噪功能。基于以上的原理,得出以下定理:

定理2 含秘图像 I^h 的DCT系数能量与其经量化攻击后的DCT系数能量差 $DDEN_I^h$ 大于等于原始图像 I 的DCT系数能量与其经量化攻击后的DCT系数能量差 $DDEN_I$,即有 $DDEN_I^h \geq DDEN_I$ 成立。

证明: 由以上分析可知,量化操作具有消噪功能。图像嵌入秘密信息过程相当于加入噪声过程。当对含秘图像执行量化操作时,其原有图像的噪声被消掉部分,加入的秘密信息噪声也将被消去部分噪声,所以其损失的能量显然比原始图像经量化攻击后损失的能量大。也就有 $DDEN_I^h \geq DDEN_I$ 成立。证明完毕。

我们把图像的DCT系数能量特征和经量化攻击后的DCT系数能量差特征构成一个二维特征向量 $(DEN_I, DDEN_I)$ 。

2.3 分类器的设计

设计一个与特征相适应、与图像结构吻合的、具有最大识别率(也就是最小的虚警率和漏警率)的分类器是检测成功的关键。对于空域或DCT变换域图像,当其特征被提取出来后,能否判定是否含有秘密信息是一个二类分类的问题。

在系统中,我们采用了文献[7]的三层前馈非线性神经网络来作为分类器。在输入层是二个神经元,即是我们提取出来的二维特征向量(空域格式图像是 (GE_I, RGE_I) ,DCT变换域图像是 $(DWN_I, DDEN_I)$);输出层是一个神经元,即是分类结果有或无;中间层是由若干个神经元组成,用来记忆训练样本集的。在多层神经网络中,采用C型螺线函数 $g(x) = 1/(1 + \exp(-x))$ 作为分类因子。其值域为 $(0.0, 1.0)$,当输出值靠近1时,就将测试图像判为含秘图像。相反地,当输出值靠近0时,就将测试图像判为干净图像。当然,分类前首先要决定是空域图像还是DCT变换域图像(JPEG图像),因为不同格式的图像特征不同,分类器的隐层结构不同。

3 系统实现及测试

3.1 系统实现

JPEG图片格式较复杂,系统实现的难点和关键点在于JPEG图片读写方法以及核心算法的编制。我们使用了现成的JPEG LIB库,其中包含了所有读写JPEG图片需要的类和结构体。

1) 读取JPEG图片方法(调用库)

```
struct jpeg_decompress_struct cinfo;
//获得解压缩结构变量
struct my_error_mgr jerr;
//获得出错结构体
FILE * infile;
// 原文件指针
JSAMPARRAY buffer;
char buf[ 250];
if ((infile = fopen(lpstrFileName, "rb")) == NULL)
//读写方式打开JPEG文件
{
```

```
sprintf( buf, "JPEG: \nCant open %s\n",
lpstrFileName);
m_strJPEGError = buf;
return NULL;
}
jpeg_create_decompress( &cinfo);
// 初始化JPEG解压缩参数
jpeg_stdio_src( &cinfo, infile);
(void) jpeg_read_header( &cinfo, TRUE);
// 读取文件头参数 jpeg_read_header()
2) 检测算法实现的主要程序:
jpeg.JpegQuanttab( quant_temp, sWholeFileName);
//得到量化表
dct_coef = new double[ width * height];
//动态分配空间
jpeg.JpegDctCcoef( dct_coef, sWholeFileName);
//得到dct系数
mp = dct_coef;
for( int blk_i = 0; blk_i < sub_R; blk_i ++ )
for( int blk_j = 0; blk_j < sub_C; blk_j ++ )
{
for( i = 0; i < 8; i ++ )
for( j = 0; j < 8; j ++ ) //得到dct系数块
{
tempdct = * ( mp + i * 8 + j);
dctcoef_block1[ i][ j] = ( int) tempdct;
dctcoef_block2[ i][ j] = tempdct;
}
//重新量化后计算块能量
Eng.dequante( dctcoef_block1, quanttables, dequant_coef);
subenergy = Eng.energying( dequant_coef);
Eng.quante( dequant_coef, newqtables, newqucoef);
Eng.dequante( newqucoef, newqtables, newcoef);
newsenergy = Eng.energying( newcoef);
ratenergy = subenergy/newsenergy;
//计算能量比率
imgenergy = imgenergy + subenergy;
total_ratenergy = total_ratenergy + ratenergy;
//计算总能量
k = k + 1; mp + = 64;
}
imgenergy = imgenergy/k;
total_ratenergy = total_ratenergy/k;
mark = Eng.quantmatch( quanttables);
//分类器判别,如果脏图,则tempsum为1,否则为0
tempsum = Eng.oneclassify( mark, imgenergy, total _ ratenergy,
numberbyte);
```

系统的界面和报表对话框如图3所示。



(a)系统的界面 (b)系统报表模块
图3 实验结果

3.2 系统测试和比较

首先测试系统对JPEG图片盲检测的准确率:利用图库中的三千多幅JPEG图片对系统进行测试,系统首先对300幅JPEG图片(干净图片和含秘图片)训练,得到的特征存储为

sortfea.mat 文件。系统可以一次性检测所有的图片,存储结果信息并生成报表,有效提高了盲检测效率。

JPEG 干净图像有 1500 幅,含秘图像包括:F5 嵌入图片 500 幅,F5 嵌入 1% 的图片 500 幅,JPhide 嵌入图片 100 幅,Jsteg 嵌入图片 250 幅,Outguess 嵌入图片 200 幅。含秘图像的检测率如表 1 所示。

干净图像的检测率为 90%,含秘图像的检测率略高于干净图像的检测率,这与阈值的选择有很大关系。总体的检测率在 90.38% 以上。

表 1 测试结果

嵌入方法	检测率/%
F5	96.5
JPhide	94
Jsteg	88
F5 嵌入 1%	90.5
Outguess	90

其次,我们对系统的稳定性和可靠性进行了测试:用相同的图片进行多次测试,每次都能得到相同的结果,而且大批量的检测图片并未影响系统检测速率,运行计算机的内存和 CPU 使用情况稳定。系统的运行测试效果令人满意。

比较结果表明:本系统相比于先前的检测方法的通用性更强。

4 结语

本文设计并开发了基于 DCT 系数能量及能量差特征,三层前馈非线性神经网络来作为分类器的 JPEG 图像隐藏信息的盲检测系统。系统对 JPEG 图像(包括含秘图像与干净图像)进行盲检测测试,对于 F5、Jsteg、Outguess、Jphide 图片的

平均检测率 90.385%,包括低嵌入率的 JPEG 含秘图像,其中净图检测效率也较高,系统运行的测试结果也令人满意。

参考文献:

- [1] HUANG J, SHI YQ. Adaptive image watermarking scheme based on visual masking[J]. Electron. Lett., 1998, 34(8): 148 - 750.
- [2] OGIHARA T, NAKAMURA N, YOKOYA N. Data embedding into pictorial with less distortion using discrete cosine transform[J]. in Proc. ICPR'96, 1996: 675 - 679.
- [3] JAIN AK. Fundamentals of Digital Image Processing[M]. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1989.
- [4] LIE W-N, LIN G-S, WU C-L. Robust image watermarking on the DCT domain[A]. in Proc. IEEE Int. Symp. Circuits and Systems [C]. 2000. I228 - I231.
- [5] SAITO N. Simultaneous noise suppression and signal compression using a library of orthonormal bases and the MDL criterion[A]. in Wavelets in Geophysics[C]. New York: Academic, 1995. 299 - 324.
- [6] NATARAJAN B. Filtering random noise from deterministic signals via data compression[J]. IEEE Trans. on Signal Processing, 1995, 43(10): 2595 - 2605.
- [7] LIE W - N, LIN G - S. A Feature - based classification technique for blind image steganalysis[J]. IEEE Transactions on multimedia, 2005, 7(6): 1007 - 1020.
- [8] KONG X, ZHANG T, YOU X, et al. A new steganalysis approach based on both complexity estimate and statistical filter[A]. in Proc. IEEE Pacific-Rim Conf. on Multimedia, LNCS 2532[C]. 2002. 434 - 441.
- [9] HARMSEN JJ, PEARLMAN WA. Steganalysis of additive noise modelable information hiding[A]. Proc. SPIE[C]. 2003. 21 - 24.
- [10] AVCIBAS I, MEMON N, SANKUR B. Steganalysis using image quality metrics[J]. IEEE Trans. Image Process. 2003, 12(2): 221 - 229.

(上接第 1526 页)

此外,本文的思想和方法可以方便地推广到参数曲面上的降阶逼近。实验结果表明,本文的方法能够在保留原曲线端点处几何信息的前提下达到较好的逼近精度。

参考文献:

- [1] 王国瑾,汪国昭,郑建民. 计算机辅助几何设计[M]. 北京: 高等教育出版社; 柏林: 施普林格出版社, 2001.
- [2] FORREST AR. Interactive interpolation and approximation by Bézier curves[J]. The Computer Journal, 1972, 15(1): 71 - 79.
- [3] FARIN G. Algorithms for rational Bézier curves[J]. Computer Aided Design, 1983, 15(2): 73 - 77.
- [4] HOSCHEK J. Approximate conversion of splines curves [J]. Computer Aided Geometric Design, 1987, 4(1): 59 - 66.
- [5] HU SM, SUN JG, JIN TG, et al. Approximate degree reduction of Bézier curves[J]. Tsinghua Science and Technology, 1998, 3(2): 997 - 1000.
- [6] WATKINS MA, WORSEY AJ. Degree reduction of Bézier curves [J]. Computer Aided Design, 1988, 20(7): 398 - 405.
- [7] ECK MA. Degree reduction of Bézier curves[J]. Computer Aided Geometric Design, 1993, 10(4): 237 - 251.
- [8] 满家巨,胡事民,雍俊海,等. Bézier 曲线的降阶逼近[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2000, 40(7): 117 - 120.
- [9] 陈国栋,王国瑾. 基于广义逆矩阵的 Bézier 曲线降阶逼近[J]. 软

件学报, 2001, 12(3): 435 - 439.

- [10] 陈国栋,王国瑾. 带端点插枝条件的 Bézier 曲线降阶逼近[J]. 软件学报, 2000, 11(9): 1202 - 1206.
- [11] 陈国栋. CAGD 中的降阶转换和等距变换[D]. 杭州: 浙江大学, 2001.
- [12] 侯晓辉,陈昆侏. Bézier 曲线的缩减[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003, 15(8): 967 - 971.
- [13] 梁秀霞,张彩明,徐琳,等. L_∞ 范数下使用基本曲线和修正曲线的带约束 Bézier 曲线降阶[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(3): 401 - 405.
- [14] SEDERBERG TW, CHANG GZ. Best linear common divisor for approximation degree reduction[J]. Computer Aided Design, 1993, 25(3): 163 - 168.
- [15] 康宝生,石茂,张景峒. 有理 Bézier 曲线的降阶[J]. 软件学报, 2004, 15(10): 1522 - 1527.
- [16] KENNEDY J, EBERHART RC. Particle Swarm Optimization [A]. In: Proc. IEEE Int. Conf. Neural Networks[C]. 1995. 1942 - 1948.
- [17] HU X, SHI Y, EBERHART RC. Recent advances in particle swarm [A]. In: Proceedings of IEEE Congress on Evolutionary Computation 2004 (CEC 2004)[C]. 2004. 90 - 97.
- [18] SHI Y, EBERHART RC. A Modified Particle Swarm Optimization [A]. In: Proc. of the 1998 IEEE Conf. on Evolutionary Computation[C]. 1998.