

针对 EzStego 隐写图像的检测方法

周治平¹⁾²⁾ 王永志²⁾ 纪志成²⁾

¹⁾ (华东理工大学信息科学与工程学院, 上海 200237) ²⁾ (江南大学通信与控制工程学院, 无锡 214122)

摘 要 针对基于调色板图像的 EzStego 隐写算法, 在分析比较了目前常见的 χ^2 统计分析与 RS 分析方法后, 指出了这两种方法在低嵌入率的 EzStego 隐写图像检测中的不足及其产生问题的主要原因, 考虑到 EzStego 隐写算法的以下两个显著特征: 颜色对及顺序嵌入, 提出了一种基于颜色对频度统计的新型检测算法。实验结果表明, 这种方法适用于 EzStego 隐写图像的检测, 在低嵌入率情况下, 其检测率和虚警率优于 χ^2 统计分析与 RS 分析方法。该方法在使虚警率降低 1 ~ 2 倍的情况下, 检测率达到 87%, 而其他两个方法的检测率只有 63% ~ 69%, 该新方法 19 ~ 24 个百分点。

关键词 隐写分析 信息隐藏 EzStego 频度统计

中图法分类号: TP309 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2006)09-1317-05

A Steganalysis Method for EzStego

ZHOU Zhi-ping¹⁾²⁾, WANG Yong-zhi²⁾, JI Zhi-cheng²⁾

¹⁾ College of Information Science and Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237)

²⁾ College of Communication and Control Engineering, Southern Yangtze University, Wuxi 214122)

Abstract The EzStego algorithm based on the palette images is studied, and the well known χ^2 and RS are analyzed based on which we pointed out their disadvantages when they are used to detect the lower embedding rate images processed by EzStego. Color pairs and sequential embedding are two characters of EzStego, according to which a new method is proposed. Experimental results show that this method works well for detecting stego images of Ezstego and can achieve better performance comparing to both χ^2 and RS in case of detecting little-embedded stego images.

Keywords steganalysis, information hiding, EzStego, frequency statistic

1 引 言

隐写技术是一种隐写通信的技术, 其目的是将需要传递的信息通过一种载体隐藏起来, 然后通过公共信息渠道发送出去, 是信息隐藏技术的一个重要分支。随着信息技术的发展, 隐写技术也同时得到了飞速的发展, 各种隐写工具出现在网络上, 而且许多可以随意下载。这样就带来了不法分子用来进行违法信息的传输的隐患, 于是隐写分析技术应运而生。隐写术和隐写分析就像密码学和密码分析的关系一样, 隐写分析就是将用隐写术生成的隐写载

体中的信息检测出来, 对其进行破坏或是提取。互联网上现有的图像载体主要有 JPG, GIF, BMP 等文件格式, 其中 GIF 图像文件由于文件较小, 相对其他图像格式的文件能以更快的速度在网络中传输, 因此实用中占有相当大的比例。以 GIF 文件作为隐写载体的算法工具有很多种, EzStego^[1] 即是其中的典型代表。由于 GIF 图像文件不大, 一般在 100KB 以下, 而只有几 KB 的 GIF 文件又太小, 在嵌入量上受到限制, 所以, 实际应用中, 根据隐藏信息量的大小, 嵌入率一般在 10% 以下(这里称为低嵌入率), 过高的嵌入率或较大的 GIF 载体文件都易被检测出来或被引起怀疑^[2]。国内外公开发表的十几种比较实

收稿日期 2005-11-29 改回日期 2006-03-17

第一作者简介: 周治平(1962 ~)男, 1982 获大连海事大学工学学士学位, 现为华东理工大学博士研究生, 江南大学副教授。主要研究方向为计算机智能控制、信息安全、图像与信号处理等。E-mail: zzping@sytu.edu.cn

用的隐写检测算法中,Westfeld 等人提出的视觉检测法和 χ^2 检测法^[3],Fridrich 等人提出的 RS (regular/singular group of pixels)检测法^[4,5]常用于针对 EzStego 算法的检测。本文通过对 EzStego 隐写算法和 χ^2 统计分析与 RS 分析两种隐写检测算法的分析,指出这两种方法在用于低嵌入率的 EzStego 隐写图像时,其检测效果不佳的原因,提出了颜色对频度统计(pair of colors frequency, PF)检测方法,从而有效地提高了检测算法的性能。

2 EzStego 算法原理

EzStego 隐藏算法是通过创建一个临时的重新排序后的调色板来隐藏信息,它的排序方式在相邻的颜色之间进行,由于视觉对颜色的辨别能力有一定限制,故通常很难辨别排序后调色板上两个相邻颜色之间的差别。其隐藏信息的嵌入是从图像的左上角到右下角连续逐行进行的,图 1 用简化的调色板描述了 EzStego 的嵌入原理。

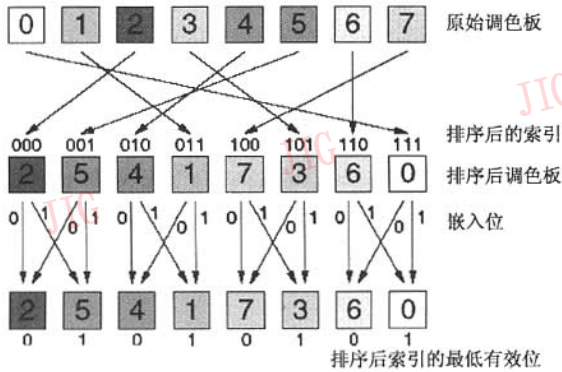


图 1 EzStego 的嵌入原理

Fig. 1 Embedding Function of EzStego

在图 1 中,如要在原始图像的第 i 行,第 j 列的像素 p (设索引值为 7)中,嵌入消息位 1,则索引值变为 3,也就是原来位置上的像素 p 变为 p_1 (即索引值为 3 对应的像素);如果要嵌入消息位 0,则什么也不要变,也就是说,原来的颜色不变,像素仍为 p_0 。

3 隐写分析方法

3.1 χ^2 统计方法^[3]

设嵌入信息前某索引值为 n ,嵌入信息后为 $\hat{n}$,

则理论上嵌入信息后一个索引值为偶数的像素点出现的频率应该是 $n_{2i} = \frac{n_{2i} + n_{2i+1}}{2}$,若通过抽样得到的实际索引值为 $2i$ 的像素点出现的次数为 $\hat{n}_{2i}$,则构造的统计量为 $W = \sum_{i=0}^k \frac{(n_{2i} - \hat{n}_{2i})^2}{n_{2i}}$,计算得到的嵌入概率为

$$P = 1 - \frac{1}{2^{\frac{k-1}{2}} \Gamma(\frac{k-1}{2})} \int_0^{\frac{W}{2}} e^{-\frac{w}{2}} w^{\frac{k-1}{2}} dw \quad (1)$$

当存在信息,则嵌入概率 P 应接近于 1,显然该方法适用于 EzStego 算法的信息隐藏分析。

虽然这种方法充分考虑了已知算法中的颜色对,但针对低嵌入率的 EzStego 隐写图像,其检测精度并不高。主要原因是在较低嵌入率情况下,由大数定理^[6]引出的 χ^2 分布与实际情况相距较远的缘故。考虑如图 2 所示的 χ^2 分布密度函数曲线:

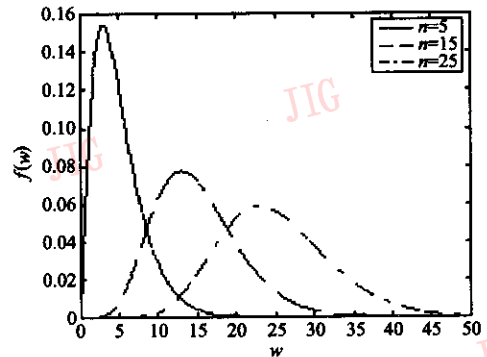


图 2 χ^2 分布密度函数图

Fig. 2 Density Function of χ^2

图 2 中 $f(w)$ 表示统计量 W 的 χ^2 分布密度函数, w 表示离散统计量。当嵌入信息后,理想情况下,统计量 W 的求和表达式中的各个分项都是 0,也即图 2 中横坐标是 0,则用式 (1) 算得的概率是 1,但随着颜色对的频度相差额度相对量的增加时,则 W 的各个分项误差累积后的值也向横轴右面偏移,从图 2 中可以看出,曲线都是上凸的,也就是说,在初始时候变化较明显,检测结果容易受图像内容干扰。在嵌入率较高的情况下,其除了能更好地满足大数定理外,一方面由于颜色对频度差与颜色对的频度比一般很小,另一方面,由于密度函数曲线前面部分比较平坦,所以对隐藏信息的检测率也较高。实验证明,在嵌入率接近 40% 的情况下,有的隐写图像用 χ^2 统计分析方法得到的嵌入概率甚至能够

达到99.9999%。但在低嵌入率的情况下,由于用大数定理计算的统计量相对误差较大,加上一般情况下,此时因自由度(颜色对数目)减小而引起的上凸坡度增加,因此致使 χ^2 方法检测性能明显降低。

3.2 RS 分析^[4,5]

RS 隐写分析主要思想是考察各个图像的分块的“光滑度”。首先定义光滑度的分辨函数:

$$f(u_1, u_2, \dots, u_n) = \sum_{i=1}^{n-1} |u_{i+1} - u_i| \quad (2)$$

LSB 嵌入的操作 F 和 LSB 嵌入的偏移操作 F_{-1} 定义如下:

$$F_{-1}(u) = F_1(u+1) - 1 \quad (3)$$

如果是原始载体图像,则操作 F 与偏移操作 F_{-1} 对图像的光滑度影响应该是几乎相等的。也即有

$$R_M \cong R_{-M}, S_M \cong S_{-M} \quad (4)$$

式(4)中 R, S 分别代表正常与异常的块数与总块数的比率,下标 M 代表掩码。如果图像已经是经过操作 F 处理过了,也就是说如果测试图像是经过 LSB 嵌入的隐写图像,那么两个操作对图像光滑度的影响就有了差别,根据这个差别就可以判别是否是隐写图像。通常,这种方法在检测连续 LSB 替换

中具有较高的精度,甚至对不连续的嵌入也具有高可靠性的检测功能,但若用在 EzStego 的较低嵌入率的隐写图像检测中,则由于一方面没有考虑到其颜色对在检测中的特殊作用,另一方面由于没有考虑到嵌入的局部性,是在整个图像数据中进行统计,所以检测效果不好。

综上所述,针对这类低嵌入率的 EzStego 隐写图像,需要一种更实用的检测算法来提高监测性能。

3.3 颜色对频度统计方法

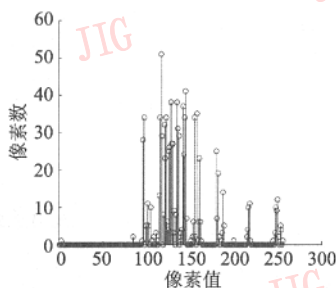
颜色对频度统计方法(pair of colors frequency, PF)方法的出发点很简单,因为根据 EzStego 算法原理中的各个颜色对,就可以统计出图像数据前 N (本文中取 3KB)个像素各颜色的频度,如果检测的图像文件是 EzStego 嵌入的隐写图像,则各个颜色对的频度应该相差不多,否则就不是 EzStego 的隐写图像。考虑低嵌入率情形,可通过考察样本图像前 3KB 的颜色频率分布来达到检测的目的。

3.3.1 双阈值检测

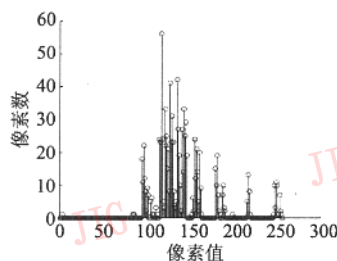
图 3(a)是一张 90KB 的 GIF 图像,原始图像的前 3KB 的新调色板索引直方图与隐写图像的新调色板索引直方图分别如图 3(b)、图 3(c)所示。



(a) 样本图像



(b) 原始图像的新调色板索引直方图



(c) 隐写图像的新调色板索引直方图

图3 样本图像及直方图

Fig. 3 Sample Graph and its Sorted Palette Histograms

从这张图的隐写图像的颜色对频度分布可以看出,用 χ^2 分布很难判别出隐写图像与载体图像,而用 RS 方法也不能检测出隐写图像,其原因是一般只有一半嵌入量起到效果,因而在嵌入比率较小时,按照式(4)求得的 R, S 之间的差异被弱化了。

双阈值 PF 方法的检测原理是:首先设定两个值,一个是频度相差多少时可以算是颜色对的阈值,显然,这里只能是相对数;另一个就是如果前 N 个像素中有 x 对颜色,统计出多少对颜色对才能算是 EzStego 隐写图像的阈值,也可以用一个相对

数来表示。设 EzStego 算法中的一个颜色对的两种颜色分别为 c_1, c_2 , 其对应的频度分别为 f_1, f_2 ; 在前 x 对颜色对中统计出有 y 对颜色对,则定义两个阈值 T_1, T_2 分别为

$$T_1 = \frac{|f_1 - f_2|}{f_1}, T_2 = \frac{y}{x} \quad (5)$$

则双阈值 PF 检测方法的伪代码描述如下:

```
function Name : DoubleThDetectPF
Data : image
newPalette ← order oldPalette as EzStego
nFreq ← every newPalette indexed color occurrences of the
```

first N pixels

```

x ← PaletteLen/2 , y ← 0
for( i ← 0 ; i < PaletteLen - 1 ; i ← i + 2 ) do
    if( nFreq[ i ] = 0 And nFreq[ i + 1 ] = 0 )
        x ← x - 1
        continue
    end if
    if( fabs( nFreq[ i ] - nFreq[ i + 1 ] ) / nFreq[ i ] < T1 )
        y ← y + 1
    end if
end for
if( y/x < T2 )
    image is cover image
else
    image is stego image
endif
    
```

实验中, 阈值 T_1 与 T_2 可以通过测试的方法取得。阈值数调节的原则是: 如果虚警率高, 那么就降低 T_1 或增加 T_2 ; 如果检测率低就要增加 T_1 或是降低 T_2 , 而阈值既可以单独调节, 也可以一起调节。另外, 还能用训练的方法来得到 T_1 与 T_2 : 设无隐藏信息的载体图像用式 (5) 计算得到的 T_1 的平均值为 $\bar{T}_{no}$, 由有隐藏信息的隐写图像计算得到的 T_1 的平均值为 $\bar{T}_{yes}$, 则

$$T_1 = (\bar{T}_{no} + \bar{T}_{yes}) / 2 ;$$

T_2 也可以用同样方法训练得到。

3.3.2 单阈值检测

为了降低阈值调节的工作量, 以下提出了一个单阈值颜色对频度分布的检测方法。设前 N 个像素中总共有 n 类颜色, 每一类即是一个颜色对。其可以用一个简单的二分图(见图 4)来表示:

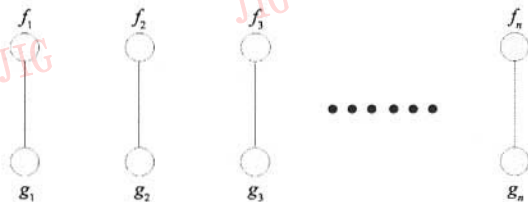


图 4 颜色对二分图

Fig.4 Binary Graph of Color Pairs

图 4 中 $f_i, g_i (i = 1, \dots, n)$ 都是对应颜色的频度。3 个向量 F, G, H 定义如下:

$$\begin{aligned}
 F(f_1, f_2, \dots, f_n) \quad G &= (g_1, g_2, \dots, g_n), \\
 H &= (h_1, h_2, \dots, h_n)
 \end{aligned} \quad (6)$$

其中,

$$h_i = \lceil \frac{f_i + g_i}{2} \rceil, i = 1, \dots, n \quad (7)$$

式 (7) 中 $\lceil \theta \rceil = \min \{ n \in \mathbb{Z} | n \geq \theta \}$ 表示大于或等于 θ 的最小整数, 则隐写图像相关系数 ρ 定义为 F 与 G 的内积与 H 的模的平方比:

$$\rho = \frac{F \cdot G}{H \cdot H} = \frac{F \cdot G}{|H|} \quad (8)$$

于是单阈值 PF 方法检测的判断准则为: 设 T 为一阈值, 如果 $\rho > T$ 则测试图像是隐写图像, 否则不是隐写图像。单阈值 PF 检测方法的伪代码描述如下:

```

function Name : SingleThDetectPF
Data : image
newPalette ← order oldPalette as EzStego
nFreq ← every newPalette indexed color occurrences of the
first N pixels
S ← inner product of vector F and G
m ← inner product of vector H and H
ρ = S / m
if( ρ > T )
    image is cover image else
    image is stego image
endif
    
```

4 实验结果与分析

为了测试本方法的有效性, 对 χ^2 统计分析、RS 分析方法与 PF 方法进行了对比检测实验。实验中取了 200 张样本图像(其中 60 张是由 JPEG 图像转化过来的, 60 张是通过扫描得到的, 60 张是通过反复抽样真彩色图像转化得到, 20 张是直接通过 24bit 真彩色图像转为 GIF 格式的 8bit 彩色图像, 大小从 10.7KB ~ 324KB 不等), 实验中各种方法的阈值分别为: 对于 χ^2 方法, 如果求得式 (1) 中的概率 $P > 0.95$, 则认为是隐写图像; 对于 RS 方法, 如果 $|R_M - R_{-M}| < 0.1$ 且 $|S_M - S_{-M}| < 0.1$, 则认为是正常的载体图像; 对于 PF 方法, 式 (5) 中的 $T_1 = 0.5, T_2 = 0.75$ 。实验时, 先分别用上述 3 种方法检测样本图像的虚警率, 样本图像的检测结果如表 1 所示, 由表 1 可以看出, 同一批图像在嵌入量为 0 的情况下, PF 方法检测的虚警率仅为 9%, 而 χ^2 方法检测的虚

表 1 χ^2 、RS 与 PF 算法的对比实验

Tab. 1 Comparison of Detection Rate for χ^2 , RS and PF

检测方法	虚警实验数据		检测实验数据	
	嵌入量 (Byte)	虚警率 (%)	嵌入量 (Byte)	虚警率 (%)
χ^2	0	15	3K	69
RS	0	27	3K	63
PF	0	9	3K	87

警率为 15% ,RS 方法的检测虚警率高达 27% ,然后从中筛选出 100 张没有虚警的图像 ,都嵌入同样 3KB 大小的文本文件 ,再在与第 1 次实验同样的阈值条件下 ,用 3 种算法进行检测 ,检测的结果如表 1 右侧检测实验数据所示。从表 1 可以看出 ,PF 方法的检测率(87%)显著高于其他两种方法。

5 结 论

基于调色板图像的 EzStego 隐写是互互联网中常见的一种信息隐藏算法和工具 ,目前应用较多的 χ^2 统计和 RS 检测分析方法虽可用于针对 EzStego 隐写算法嵌入的图像 ,但对在实际应用中出现的低嵌入率的检测效果不佳。采用基于 EzStego 算法特征的颜色对频度 PF 分析方法能够有效地提高检测

性能 ,考虑双阈值 PF 检测中的参数调整问题 ,本文利用计算隐写图像相关系数的单阈值 PF 法在改善调整频度上取得了较好的效果。实验对比分析表明 ,PF 检测分析方法在低嵌入率图像上的检测性能优于 χ^2 统计和 RS 检测分析方法。

参考文献(References)

1 Romana Machado. EzSteg[CP/OL] , available from : <http://www.stego.com>

2 Eggers J J ,Bauml R ,Girod B. A communications approach to image steganography[A]. In : Proceedings of SPIE :Electronic Imaging , Security and Watermarking of Multimedia Contents[C] , San Jose , California ,USA ,2002 ,4675 :26 ~ 37.

3 Westfeld A , Pfitzmann A. Attacks on steganographic systems breaking the steganographic utilities ezstego , jsteg , steganos , and S-tools and lessons learned[A]. In : Andreas Pfitzmann(Ed.) : Proceedings of Information Hiding Third International Workshop [C]. Dresden , Germany : Springer-Verlag ,1999 :61 ~ 75.

4 Fridrich J ,Goljan M. Practical steganalysis of digital images-state of the art[A]. In : Proceedings of SPIE Photonics West[C] , San Jose ,California , USA ,2002 :1 ~ 13.

5 Fridrich Jessica ,Goljan Miroslav ,Du Rui. Reliable detection of LSB steganography in color and grayscaleImages[A]. In :Proceedings of ACM Conference on Special Session on Multimedia Security and Watermarking[C] ,Ottawa ,Cannada ,2001 :27 ~ 30.

6 Dixon Wilfrid J ,Massey Frank J. Introduction to statistical analysis [M]. New York : McGrawHill Book Company ,Inc. 1957.