

一种修改 JPEG 图像量化表的信息隐藏方法

白建荣¹ 贾永红^{2,3} 潘 鹏²

(1 甘肃省地图院,兰州市东岗西路 793 号,730000)

(2 武汉大学遥感信息工程学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)

(3 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,武汉市珞喻路 129 号,430079)

摘 要:以 JPEG 图像为载体,探讨了一种修改 JPEG 图像量化表的信息隐藏方法。由于 JPEG 图像编码信息损失主要发生在量化过程,因此,首先通过计算 JPEG 图像量化后的 DCT 系数和反量化后的 DCT 系数之间的差异寻找信息隐藏的最佳位置;其次修改量化表相应的位置数值,将隐藏的信息嵌入到相应位置,使之与原始系数之间的差异最小,以保证 JPEG 图像信息损失最少。

关键词:编码;信息隐藏;JPEG 图像;量化表

中图法分类号:P237.3

随着 Internet 的高速发展,在 Internet 上传输信息越来越普遍。但是,如何保证 Internet 上传输的信息安全是急需解决的问题之一。目前,主要采取的措施之一是对信息进行加密,但这容易引起攻击者的注意,进而对信息进行攻击或破坏。基于信息隐藏技术的掩密通信^[1,2]将是未来信息对抗的焦点,同加密通信技术相比,它不仅能保护通信的内容,而且让非接受者觉察不到有隐藏信息的存在^[3]。由于 JPEG 图像编码用有损压缩方式去除冗余的亮度和色度数据,达到用最少的空间保存图像并保证图像质量较好,因此, JPEG 图像格式已被广泛应用于 Internet^[4]。JPEG 图像作为载体的信息隐藏技术是网络安全通信的研究热点之一,但直接基于 JPEG 图像隐藏信息,信息隐藏容量是有限的^[5,6]。本文提出了一种基于修改 JPEG 量化表的信息隐藏方法,并探讨在不影响 JPEG 图像质量的情况下, JPEG 图像隐藏信息容量的问题。

1 基于修改量化表的 JPEG 图像信息隐藏方法

JPEG 编码是将原始图像划分成若干 8×8

的数据单元,针对每一个数据单元编码,首先进行离散余弦变换 DCT,得到一个 8×8 的系数矩阵。该矩阵由位于 $(0,0)$ 位置代表直流分量 DC(direct current)的系数和 63 个代表交流分量 AC(alternate current)的系数 $AC(k)$ ($AC(k)$ 按照“之”字形编码)组成;然后将变换系数 $AC(k)$ 量化为整数,按照“之”字形(zig-zag)扫描顺序,对 $AC(k)$ 采用行程和 Huffman 编码成二进制位流存入 JPEG 文件。

在系数量化过程中,数据单元的每一项都要除以量化表相应的量化值,得到浮点类型的量化结果,然后经四舍五入用最接近的整数值表示。

若用 $F(i, j)$ 表示数据单元第 (i, j) 处的系数,则量化结果 $F_q(i, j)$ 可表示为:

$$F_q(i, j) = \text{Round}(F(i, j)/Q(i, j)) \quad (1)$$

式中, $0 \leq i \leq 7; 0 \leq j \leq 7; Q(i, j)$ 代表量化值。通常, JPEG 用默认量化表和控制压缩率的量化因子 Q 来产生编码所用的量化表 $Q(i, j)$ 。量化后的系数 $F_q(i, j)$ 在中、高频率区域大部分为零值。

如果对 $F_q(i, j)$ 进行逆运算,即反量化,则得到一个新的数据单元 $F'(i, j)$:

$$F'(i, j) = F_q(i, j) \times Q(i, j) \quad (2)$$

$F(i, j)$ 和 $F'(i, j)$ 之间的差异称为量化误差

(quantization error, QE)。对每个数据单元而言,都对应一个同样大小的量化误差表(quantization error table, QET):

$$QET(i, j) = F(i, j) - F'(i, j) \quad (3)$$

量化误差表明了 JPEG 图像有信息损失,且只要量化误差在许可范围内,则生成的 JPEG 图像是满足需求的。许可的量化误差代表了数据单元中相应位置的系数可以在阈值范围内进行修改,而不会导致图像信息明显地损失。

1.1 根据 DCT 系数选择信息隐藏位置

QET 为信息隐藏提供了空间,但并不是所有的 DCT 系数都被当作候选位置。在 JPEG 编码过程中,数据单元经过 DCT 变换和量化后,大部分的系数值变成零,且集中在右下角。系数中连续零的数目越多,编码的效率越高。因此,本文提出的隐藏方法是通过计算数据单元中连续零的数量,当其超过某一阈值时,其后零的位置就可以被用来嵌入隐秘信息,并且量化后 DCT 系数中的零值越多,可以嵌入的隐藏信息也越多。

1.2 嵌入隐秘信息

确定隐秘信息的嵌入位置后,就可以将隐秘数据 d 嵌入 $F'(i, j)$ 中,结果记为 $F''(i, j)$ 。嵌入过程可以为:

$$F''(i, j) = \begin{cases} F'(i, j) + d, & QET(i, j) > 0 \\ F'(i, j) - d, & QET(i, j) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

其中, $0 \leq d \leq |QET(i, j)|$ 。若 $Q(i, j) = 0$, 则不嵌入任何隐秘信息。

相对于 $F'(i, j)$ 而言, $F''(i, j)$ 更接近 $F(i, j)$ 。由于隐秘数据 d 的大小被限定在 0 到 $|QET(i, j)|$ 的范围内,所以在该系数上允许嵌入的二进制位数为:

$$E(i, j) = \log_2(|QET(i, j)| + 1) \quad (5)$$

最后,将已经嵌入隐秘信息的数据单元使用行程和 Huffman 进行编码并写入到 JPEG 文件中。

1.3 修改量化表

JPEG 编码采用 $YCbCr$ 彩色模型,而不是常用的 RGB,这是由于人眼对图像亮度 Y 的变化远比比色差 C_b/C_r 的变化敏感, $YCbCr$ 模型更适合图像压缩。图像经过 DCT 变换后,可以将图像中视觉上容易察觉的部分和不容易察觉的部分分离,由此达到有损压缩的目的。本文基于 JPEG 的信息隐藏方法,就是根据每个数据单元中隐秘信息的嵌入位置,将量化表相应的位置数值修改成 1,以免图像重建后有较大的信息损失。

以 JPEG 格式存储的 Lena 图像为例(见

图 1),图像经 DCT 变换后,选择数据单元中 AC(13) ~ AC(63)作为隐秘信息的嵌入位置,则修正后的量化表如下所示。

16	11	10	16	1	1	1	1
12	12	14	1	1	1	1	1
14	13	16	1	1	1	1	1
14	17	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1

可见,将量化表数值修改为 1,在随后的量化过程中就不会影响已经嵌入的隐秘信息。即对数据单元中这些位置上的 DCT 系数没有必要再进行量化了。

2 试验与分析

为了验证上述方法,采用图 1 Lena 图像进行了试验。按照从左上到右下的顺序对图像进行扫描,将整幅图像划分成 8×8 的数据单元。对每一个数据单元进行处理,最后输出嵌有隐秘信息的 JPEG 压缩图像。图像“Lena”第 448 个经过 DCT 变换后的数据单元为:

317	0	-53	1	-3	3	-1	-1
132	-90	-2	2	2	-4	-1	-1
71	-5	-111	-1	0	-6	-1	0
1	-3	1	1	-2	-1	0	0
-3	1	5	0	1	2	1	1
-4	1	0	2	0	-3	2	1
-1	4	-1	0	2	1	0	0

对上述数据单元进行反量化后的结果为:

320	0	-52	0	0	0	0	0
133	-92	0	0	0	0	0	0
73	0	-109	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

将上述结果相减得到量化误差表(QET)为:

-3	0	-1	1	-3	3	-1	-1
-1	2	-2	2	2	-4	-1	-1
-2	-5	-2	-1	0	-6	-1	0
1	-3	1	1	-2	-1	0	0
-3	1	5	0	1	2	1	1
-4	1	0	2	0	-3	2	1
-1	4	-1	0	2	1	0	0
0	0	0	1	1	0	0	0

按照前述的系数选择方法,根据 DCT 变换后的数据单元得到嵌入隐秘信息的系数是 AC13 ~ AC63。若将字符串“Lena”(二进制位流为 01001100 01100101 01101110 01100001)嵌入到 Lena 灰度图像中,将 AC(13)选作嵌入字符串隐秘信息的起始位置,则 QET 对应的数值是 2,根据式(5)得到在 AC(13)上嵌入的二进制位数为:

$$E(1,3) = \log_2(|QET(1,3)| + 1) = \log_2(|2| + 1) = 1$$

那么从隐秘信息中提取第一位(0),按照式(4)将其嵌入 AC(13)中,即

$$F'(1,3) = F(1,3) + d = 0 + 0 = 0$$

同理,AC(14)对应位置为(0,4), $E(0,4) = \log_2(|-3| + 1) = 2$,即可嵌入 2 位二进制数,从字符串信息中提出(10)嵌入到 AC(14)所在位置。 $F''(0,4) = F'(0,4) - 2 = -2$ 。依此类推,将所有的隐秘信息嵌入图像所有的数据单元中,所得结果为:

320	0	-52	0	-2	2	-1	0
133	-92	0	0	0	-2	0	0
73	0	-109	0	0	-3	0	0
0	0	0	0	-1	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	1
-1	0	0	0	0	0	0	1
0	0	-1	0	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

计算的 QET 为:

-3	0	-1	1	-1	1	0	-1
-1	2	-2	2	-2	-2	-1	-1
-2	-5	-2	-1	0	-3	-1	0
1	-3	1	1	-1	-1	0	0
-3	1	5	0	0	2	1	0
-3	1	0	2	0	-3	2	0
-1	4	0	0	1	0	0	0
0	0	0	1	1	0	0	0

对比前后两次得到的 QET 发现,在嵌入隐秘信息后,量化误差反而降低了。

将嵌入信息后的影像图 2 与图 1 相比,视觉上几乎没有差异,表明基于修改 JPEG 量化表的信息隐藏法既实现了信息隐藏,又能保证重建后图像的质量几乎不受影响。

表 1 给出了在不同嵌入位置 and 不同 JPEG 图像的质量控制系数情况下 Lena 图像的隐藏信息量。其中,Pos 代表隐秘信息在每个数据单元中的嵌入位置;Q 是 JPEG 图像的质量控制系数(Q 越大,压缩率越小,图像质量越好)。由表 1 可见,JPEG 图像可以隐藏的信息容量除了与其嵌



图 1 Lena 灰度图像

图 2 嵌入信息的 Lena (起始位置为 30)

Fig. 1 Gray Image of Lena

Fig. 2 Lena Image Embedded Information(Start Point at 30)

表 1 Lena 图像的信息隐藏量/bit

Tab. 1 The Information Hiding Content of Lena/bit

Q/(%)	Pos			
	30	40	50	60
5	61 612	40 418	21 255	3 847
25	89 727	57 394	28 866	5 316
50	93 953	59 505	29 642	5 433
75	95 101	59 981	29 781	5 450
100	95 560	60 164	29 809	5 451

入位置有关外,还与 JPEG 压缩质量有关。JPEG 压缩率越小,其隐藏信息的容量就越大。

虽然试验采用灰度图像,但是本文提出的方法同样适用于彩色图像,只将隐秘信息嵌入到亮度分量 Y 的 DCT 系数,而不用修改色分量 C_b 和 C_r ,就可以实现信息隐藏。

若需从该隐藏方法生成的隐秘图像中提取隐秘信息,需要提供原始图像。首先由隐秘图像的量化表确定哪些 DCT 系数被选作隐秘信息的嵌入位置,再由原始图像提取量化误差表,最后利用式(4)就可以从隐秘图像中提取出隐藏信息。

以上按照从上到下,从左到右的扫描顺序,将秘密信息隐藏在 JPEG 图像中,隐藏的信息分布显得很有规律,容易受到攻击者的攻击。为了克服这一缺点,我们采用伪随机置换策略,研制了基于修改 JPEG 量化表的信息隐藏系统,将文本位流或者图像位流嵌入到 JPEG 图像中,实现了在公开信道上安全传输隐秘信息的目的。

参 考 文 献

[1] Anderson R. Information Hiding Terminology[C]. First Information Hiding Workshop, New York, 1996

[2] Petitcolas F A P, Anderson R J, Kuhn M G. Information Hiding a Survey[J]. IEEE, 1999, 87(7):

1 062-1 070

- [3] 吴新秋,钮心忻,杨义先,等. 信息隐藏技术——隐写术与数字水印[J]. 北京:人民邮电出版社,2001: 27-29
- [4] Pennebaker W, Mitchell J. JPEG Still Image Data Compression Standard [C]. Van Nostrand Reinhold, New York, 1993
- [5] Kobayashi H, Noguchi Y, Kiya H. A Method of Embedding Binary Data into JPEG Bitstream[J]. IEICE Trans. Information and Systems, 1999, 83 (2): 1 469-1 476
- [6] Wong P H W, Au O C, Wong J W C. A Data Hiding Technique in JPEG Compressed Domain [C].

SPIE Conference on Security and Watermarking of Multimedia Contents III, San Jose, CA, USA, 2001

- [7] Huang Hsiangcheh, Fang Waichi. Intelligent Multimedia Data Hiding Techniques and Applications Isa [OL]. <http://www.studytemple.com/10082-intelligent-multimedia-data-hiding-new-directions-studies-computationalintelligence-jeng-shyang-pan-hsi>, 2008

第一作者简介:白建荣,高级工程师,主要从事摄影测量与遥感、GIS 等科研工作。

E-mail:yhjia2000@sina.com

An Approach of Information Hiding Based on Adjusting JPEG Quantification Table

BAI Jianrong¹ JIA Yonghong^{2,3} PAN Peng²

(1 Institute of Gansu Mapping, 793 West Donggang Road, Lanzhou 730000, China)

(2 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(3 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: An information hiding method based on adjusting the JPEG quantification table is proposed. First of all, the differences between the quantified DCT coefficients and the counter-quantification DCT coefficients of a JPEG image are calculated for seeking the best positions of hiding information. Secondly, the value of the JPEG quantification table at best position was adjusted, and the secret information was inserted at the responding position. Finally, the information hiding content of a JPEG image was discussed.

Key words: coding; information hiding; JPEG image; quantification table

About the first author: BAI Jianrong, senior engineer, majors in photogrammetry and GIS.

E-mail: yhjia2000@sina.com

下期主要内容预告

- | | |
|---------------------------------|-------|
| ▶ 单颗导航卫星精密定轨与激光精度评估 | 李建文,等 |
| ▶ 网络 RTK 低成本高精度终端集成和数据处理技术研究 | 唐卫明,等 |
| ▶ 地基 GPS 水汽实时监测系统及其气象业务应用 | 李国平,等 |
| ▶ 基于偏振光-地磁-GPS 的多信息源融合导航方法研究与实现 | 范之国,等 |
| ▶ 一种超高灵敏度 GPS 信号的跟踪方法 | 巴晓辉,等 |