

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2013 4
Vol.18 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2013 年 4 月 第 18 卷 第 4 期(总第 204 期)

目 次

综述

车载视觉系统中的行人检测技术综述 许腾,黄铁军,田永鸿(359)

图像处理和编码

利用边缘匹配矢量量化和变率编码的高嵌入效率信息隐藏 王凌飞,潘志斌,邓晓曼,胡森(368)

小波变换和 SHA-1 相结合的图像压缩加密 李园园,张绍武(376)

图像分析和识别

基于 Haar 纹理的非结构化道路消失点检测 王永忠,文成林(382)

多种人群密度场景下的人群计数 覃勋辉,王修飞,周曦,刘艳飞,李远钱(392)

计算机图形学

大规模散乱点的 k 邻域快速搜索算法 杨军,林岩龙,王阳萍,王小鹏(399)

三角 Bézier 曲面的几何约束形变 陈军(407)

遥感图像处理

面向测绘任务的光学遥感影像质量分级评定 王昱,时红伟,胡闻达(415)

采用高斯归一化水体指数实现遥感影像河流的精确提取 沈占锋,夏列钢,李均力,骆剑承,胡晓东(421)

地理信息技术

图层约束下的点状自然灾害风险地图综合 潘东华,王静爱,贾慧聪,袁艺(429)

模板阴影体扩展方法 曹雪峰,万刚,李锋,李明(436)

“第 9 届中国计算机图形学大会”专栏

利用 SIFT 特征的非对称匹配图像拼接盲检测 杜振龙,杨凡,李晓丽,郭延文,沈钢纲(442)

视觉感知的图像和视频抽象 宋杰,徐丹,时永杰(450)

局部线性模型优化的灰度图像彩色化 厉旭杰,赵汉理,黄辉(460)

分区域去运动模糊 张璐,盛斌,马利庄(467)

脑血管体绘制的快速表意式增强 吴腾飞,骆岩林,田云,武仲科,闫建平(476)

第七届国际图象图形学学术会议征文通知 封 3

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 18 No. 4 April 2013

Contents

Review

Survey on pedestrian detection technology for on-board vision systems Xu Teng, Huang Tiejun, Tian Yonghong(359)

Image Processing and Coding

Highly efficient information hiding using SMVQ-compressed images and variable length coding
..... Wang Lingfei, Pan Zhibin, Deng Xiaoman, Hu Sen(368)

Image compression and encryption based on DWT and SHA-1 Li Yuanyuan, Zhang Shaowu(376)

Image Analysis and Recognition

Vanishing point detection of unstructured road based on Haar texture Wang Yongzhong, Wen Chenglin(382)

Counting people in various crowded density scenes using support vector regression
..... Qin Xunhui, Wang Xiufei, Zhou Xi, Liu Yanfei, Li Yuanqian(392)

Computer Graphics

Fast algorithm for finding the k -nearest neighbors of a large-scale scattered point cloud
..... Yang Jun, Lin Yanlong, Wang Yangping, Wang Xiaopeng(399)

Shape modification of triangular Bézier surfaces with geometric constraints Chen Jun(407)

Remote Sensing Image Processing

Optical image quality grading assessment orienting to surveying & mapping mission requirements
..... Wang Yu, Shi Hongwei, Hu Wenda(415)

Automatic and high-precision extraction of rivers from remotely sensed images with Gaussian normalized water index
..... Shen Zhanfeng, Xia Liegang, Li Junli, Luo Jiancheng, Hu Xiaodong(421)

Geoinformatics

Generalization for point features in risk mapping of natural hazards based on layer constraint
..... Pan Donghua, Wang Jing'ai, Jia Huicong, Yuan Yi(429)

Extension method of stencil shadow volume Cao Xuefeng, Wan Gang, Li Feng, Li Ming(436)

Issum of Chinagraph'2012

Fogery image blind detection by asymmetric search based on SIFT
..... Du Zhenlong, Yang Fan, Li Xiaoli, Guo Yanwen, Shen Ganggang(442)

Visual perception based image and video abstraction Song Jie, Xu Dan, Shi Yongjie(450)

Local linear model optimization based grayscale image colorization Li Xujie, Zhao Hanli, Huang Hui(460)

Motion deblurring based on image segmentation Zhang Lu, Sheng Bin, Ma Lizhuang(467)

Fast illustrative enhancements on volume rendering of cerebral vessel
..... Wu Tengfei, Luo Yanlin, Tian Yun, Wu Zhongke, Yan Jianping(476)

中图法分类号: TP391 TN191.8 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2013)04-0368-08

论文引用格式: 王凌飞, 潘志斌, 邓晓曼, 胡森. 利用边缘匹配矢量量化和变率编码的高嵌入效率信息隐藏[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(4): 368-375.

利用边缘匹配矢量量化和变率编码的高嵌入效率信息隐藏

王凌飞, 潘志斌, 邓晓曼, 胡森

西安交通大学电子与信息工程学院, 西安 710049

摘要: 衡量信息隐藏方法性能的优劣, 一个重要指标为嵌入效率。在 Deng 方法的基础上, 提出一种对其嵌入效率的改进算法, 利用边缘匹配矢量量化(SMVQ)更强的索引间相关性以及当前块与相邻块索引差值更集中的数值分布范围进行信息隐藏。实验结果表明改进后的算法能够显著提高嵌入性能, 与 Deng 方法相比, 比特率下降了 10.43%~19.80%, 嵌入容量提高了 25.61%~46.95%, 嵌入效率则提高了 41.33%~71.95%。

关键词: 信息隐藏; SMVQ; 嵌入容量; 比特率; 嵌入效率

Highly efficient information hiding using SMVQ-compressed images and variable length coding

Wang Lingfei, Pan Zhibin, Deng Xiaoman, Hu Sen

School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiao Tong University, Xi'an 710049, China

Abstract: Embedding efficiency is one of the most important factors to measure the information hiding performance. Our proposed method is based on Deng's scheme in order to improve its embedding efficiency. Our proposed method embeds secret data by using the highly correlated SMVQ index and variable length coding. Experimental results show that the proposed method can increase embedding efficiency significantly. Compared with Deng's scheme, our proposed method achieves not only 10.43%~19.80% reduction of bit rate but also 25.61%~46.95% increasment of embedding capacity. As a result, the embedding efficiency is increased to 41.33%~71.95% in total.

Key words: information hiding; side-match vector quantization; embedding capacity; bit rate; embedding efficiency

0 引言

信息隐藏是通过将隐秘的信息隐藏到一个公开的载体中进行传播以实现秘密通信的方法。衡量信息隐藏方法的性能, 通常会关注嵌入容量、比特率、嵌入效率和算法复杂度等方面。在信息隐藏中, 尤为重要的就是嵌入容量, 通过嵌入大量秘密信息, 实

现秘密通信;但随着嵌入容量的增加, 通常会带来比特率的增加, 因此通过算法的设计使得在嵌入大量秘密信息的同时也能尽力降低比特率, 以在总体上提高嵌入效率是信息隐藏能得到实际应用的追求。最早的 LSB(least significant bit)算法, 利用数据信息的最低有效位^[1]的改变不会明显引起人眼视觉或人耳听觉上的差异这一特点, 将秘密信息转化为二值流文件序列依次替换到载体数据的最后一位, 以

收稿日期: 2012-07-23; 修回日期: 2012-10-21

基金项目: 高校博士点基金项目(20100201110030); 西安市科技计划(CX1251-3); 浙江大学开放基金项目(A1115)

第一作者简介: 王凌飞(1988—), 男, 西安交通大学信息与通信工程专业在读博士研究生, 主要研究方向为图像处理、信息隐藏和数字水印。E-mail: Wang.lingfei@stu.xjtu.edu.cn

完成秘密信息的隐藏过程。变换域中通过修改变换系数实现嵌入,但是考虑到减小失真,容量往往受到限制。在压缩域中可将矢量量化(VQ)压缩后的索引图作为载体来隐藏信息^[2],它的高压缩率可使得传输的数据显著减少。矢量量化应用在信息隐藏中的一类方法是对码书中码字的排列做处理,还有一类是改变索引图中的索引。2005年Yang等人提出了modified fast correlation VQ(MFCVQ)的方法在VQ压缩域插入秘密比特^[3];2006年Lin等人在VQ压缩域用码字配对的方法改进了Yang的算法^[4];2009年,Chang等人提出了joint neighboring coding VQ(JNCVQ)^[5-7]的隐藏方法,利用索引表中当前块的左邻块和上邻块进行一比特的隐藏,不额外引入图像失真,提高了嵌入容量;2011年,Deng等人提出了对JNCVQ隐藏方法进一步的改进^[8],增加了使用的邻块数目,使用4邻块与当前块的相对位置关系,每个当前块可以嵌入两比特,同时改进了文献[7]中情况3索引差值 $d=0$ 的编码方法,从两个方面增加了嵌入的容量,并在增加容量的基础上省略了文献[7]情况4中 m 个0的发送,抑制了比特率的明显增加。本文是在Deng方法的基础上,结合边缘匹配矢量量化(SMVQ)算法^[9]的思想,并改进了编码和嵌入的方式,使得嵌入算法的性能有了明显改善。

1 相关的工作

1.1 Deng方法

矢量量化作为一种高效压缩算法,编码过程为在 k 维空间中的给定码书 C 中搜索与输入矢量 x 最匹配码字 y_m ,从而使得 x 与 y_m 之间的欧氏距离失真最小。最匹配码字也就是距离最小的码字,即

$$d(x, y_m) = \min_i \{d(x, y_i), y_i \in C\} \quad (1)$$

那么码字 y_m 就是输入矢量 x 的最匹配码字, m 为 y_m 的索引。

对于大小为 $W \times H$ 的图像 I ,采用大小为 N 的 k 维码书 C ,遍历整个码书并计算出每个码字 y_i 的均值 M_i ,将码书 C 按照上面的均值 M_i 进行从小到大的升序排列(即 $M_0 < M_1 < \dots < M_{N-1}$),找出输入矢量 x 的最佳匹配码字 y_m 并将 m 赋予给索引图相应的当前索引值 $P_{r,c}$ 。

重复这一过程,当图像块为 4×4 时,可以将

512×512 的载体图像压缩成 128×128 的索引图 P ,如图1所示,索引图中阴影部分区域称为种子区域,不作嵌入,直接传输。然后将秘密比特嵌入到索引图 P 中去,得到二进制码流实现信息隐藏。

124	112	237	78	98
98	98	87	78	77
97	67	99	84	45
89	92	56	128	99

图1 索引图示意图

Fig. 1 Diagram of index map

嵌入过程一次先读取两位秘密信息,然后根据这两位秘密比特值来确定当前块 $P_{r,c}$ 与相邻块的索引差值 d 的获取方式,即 d 由嵌入信息决定,如图2所示,接着按照 d 的取值分布情况,将对 d 本身的编码分为4种情况。最后把2位的秘密信息,2位的标志位和 d 的编码按顺序发送,码流格式为:2位秘密信息 || 2位情况码 || m 位 d 的编码,这里“||”表示比特连接操作,嵌入过程结束后,将码流发送给接收方。

	$P_{r-1,c-1}$ (01)	$P_{r-1,c}$ (10)	$P_{r-1,c+1}$ (11)	
	$P_{r,c-1}$ (00)	$P_{r,c}$		

图2 4邻块的位置关和对应指针

Fig. 2 Layout of four neighboring blocks and their relative address pointer

提取过程可以理解为是嵌入的逆过程,只要按照其相应的规则,就可以将秘密信息提取出来并还原图像。

Deng方法有效地利用了VQ索引差值和4邻块的思想,与已有类似工作Chang^[7]的方法相比,大大提高了嵌入容量以及编码效率,在比特率仅增加5.13%~13.10%的情况下可将嵌入容量提高到Chang方法容量的2.11~3.16倍,嵌入效率由原来平均0.10提高到了0.26,总体来说是非常高效的算法^[8]。

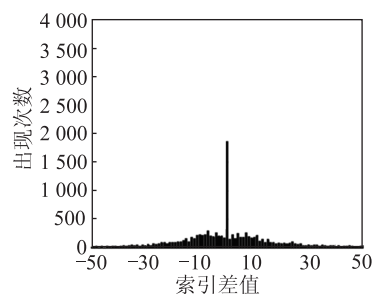
1.2 SMVQ

边缘匹配矢量量化(SMVQ)^[9]1992年由Kim提出。假设原始图像被分为 $N_w \times N_h$ 个图像块,每

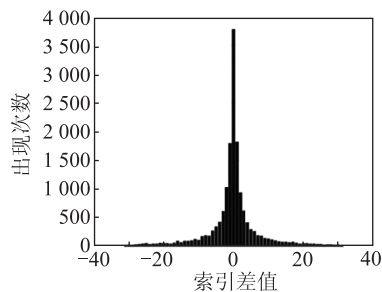
SMVQ 进行量化之后,经过对边缘失真 $d_{sm}(x, y_i)$ 排序后生成的新状态码书的索引值只在 $0 \sim N_s$ (本文 N_s 取 32) 之间,从而使得差值 d 的取值就只分布在 $-31 \sim +31$, 这样,不但编码的位数可以减少,而且差值 $d=0$ 的情况的概率也比以前大大增加了。图 5(b) 所示是经过 SMVQ 量化之后的索引分布图,它变得很集中,差值 d 的取值在很小的范围。图 6(a) 为使用 VQ 量化对 Lena 图的索引差值 d 的分布,图 6(b) 为使用 SMVQ 量化对 Lena 图的索引差值 d 的分布,可以看出使用了 SMVQ 算法之后使得 d 的值变得小而集中,而且 $d=0$ 这一情况的概率变得非常大,这使得在 $d=0$ 的时候能嵌入的有效秘密信息也变得更加多了,算法性能可以得到进一步提升,这样的索引差值分布图十分有利于提高嵌入效果。

2.2 基于 SMVQ 直方图特性的编码方法

观察图 6(b) 中索引差值 d 的分布不难看出,除了 $d=0$ 的情况数很多以外,还有一个特点就是,在 $d=0$ 的周围,也就是说, d 为 $\pm 1, \pm 2$ 等值的情况数也很多,而在 Deng 方法中,门限 m 以内的编码都统一用 m 位的 d 的二进制来表示,这就造成了编码的浪费。因为,假设 $m=3$,那么在 $-7 \sim +7$ 之间都是用 3 位来编码,这就造成了很大的冗余,例



(a) Deng方法



(b) 本文方法(状态码书32)

图6 Deng方法和本文方法对Lena图像的相邻块索引差值分布

Fig.6 Distribution of d in Deng's method and SMVQ for Lena ($N=512$, $N_s=32$)

如 $d=1$ 的时候其实用一位比特就可以进行 d 的二进制编码。

所以,根据 d 分布在“0”的附近非常集中这一有利的因素,可以得到嵌入更多秘密信息的机会,本文提出了表1的方法,将编码方式重新划分并嵌入相应的秘密信息,每一种情况差值 d 的取值范围如图7所示。

表1 本文的变率编码方式

case	取值范围
1	$0 < d \leq 2^{m-2} - 1$
2	$-(2^{m-2} - 1) \leq d < 0$
3	$2^{m-2} - 1 < d \leq 2^{m-1} - 1$
4	$-(2^{m-1} - 1) \leq d < -(2^{m-2} - 1)$
5	$d = 0$
6	$2^{m-1} - 1 < d \leq 2^m - 1$
7	$-(2^m - 1) \leq d < -(2^{m-1} - 1)$
8	$2^m < d $

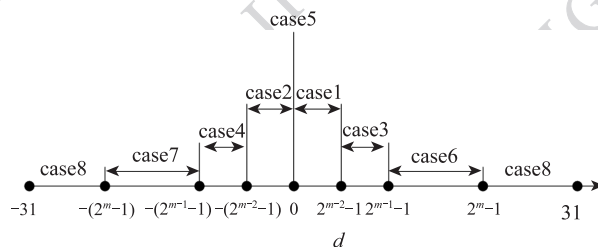


图7 8种case的索引差值 d 分布示意图

Fig.7 Distribution of d for eight cases

2.3 本文方法

2.3.1 嵌入步骤

第1步引入 SMVQ 量化,生成新索引图的过程与 1.2 节中的方法相同。根据得到的输入矢量在状态码书中的索引编号,得出新的索引图 P 。然后将随机生成的秘密信息嵌入到新的 SMVQ 的索引图 P 中,进而得到二进制码流。

索引图的第1行第1列及最右一列为种子区域,不做嵌入,直接传输。

嵌入时,每一次先读取两位秘密信息,然后根据这两位秘密比特来确定差值 d 的计算方法,嵌入信息为 00 时, $d = P_{r,c-1} - P_{r,c}$; 嵌入信息为 01 时, $d = P_{r-1,c-1} - P_{r,c}$; 嵌入信息为 10 时, $d = P_{r-1,c} - P_{r,c}$; 嵌入信息为 11 时, $d = P_{r-1,c+1} - P_{r,c}$ 。这样根据嵌入的两位秘密信息不同将 d 分为 4 种情况,也代表了邻块相对于当前块的位置关系。

再将 d 的取值分布用 3 位的标志位 000—111 区别为 8 种情况,并根据 d 所在的范围来确定 d 的 8 种编码方式。码流格式为 2 位秘密信息 || 3 位情况码 || m 位(d 的编码 + 可能的秘密信息),每一种情况码及其与差值 d 的编码方式都与表 2 中的规则一一对应。

case 1: $0 < d \leq 2^{m-2} - 1$, 标志位为 000, d 编码为 $m-2$ 位的 d 的二进制表示,并在之后嵌入 2 位秘密信息;

case 2: $-(2^{m-2} - 1) \leq d < 0$, 标志位为 001, d 编码为 $m-2$ 位的 d 的相反数的二进制表示,并在后面嵌入 2 位秘密信息;

case 3: $2^{m-2} - 1 < d \leq 2^{m-1} - 1$, 标志位为 010, d 编码为 $m-1$ 位的 d 的二进制表示,并在之后嵌入 1 位秘密信息;

case 4: $-(2^{m-1} - 1) \leq d < -(2^{m-2} - 1)$, 标志位为 011, d 编码为 $m-1$ 位的 d 的相反数的二进制表示,并在后面嵌入 1 位秘密信息;

case 5: $d = 0$, 标志位为 100, d 不需要传输,其后 m 位全部用来直接嵌入秘密比特;

case 6: $2^{m-1} - 1 < d \leq 2^m - 1$, 标志位为 101, d 编码为 m 位的 d 的二进制表示,无秘密比特;

case 7: $-(2^m - 1) \leq d < -(2^{m-1} - 1)$, 标志位为 110, d 编码为 m 位的 d 的相反数的二进制表示,无秘密比特;

case 8: $2^m - 1 < |d|$, 即为剩下的所有情况,标志位为 111, d 直接编码为 $\log_2 N_s$ 位的 $P_{r,c}$ 的二进制表示进行传输,无秘密比特。

然后把两位的秘密比特,3 位的标志位和 m 位的(d 的编码 + 可能的秘密信息)打包发送,表 2 给出本文的对应编码规则,式中 d_2 和 $(P_{r,c})_2$ 为 d 和 $P_{r,c}$ 的 8 种情况相对应的二进制编码结果。接着返回到读取步骤继续重复工作直至完成对所有索引的嵌入处理。嵌入过程结束后,将码流发送给接收方。

2.3.2 提取步骤

首先将码流截断,每一次都从码流中读取 $(5 + m)$ 位比特。这 $(5 + m)$ 位中的前 2 位一定为秘密比特,可以直接进行提取,并根据这两位对应的秘密信息的内容,可知道嵌入时提取差值 d 使用的是 4 邻块中的哪一个;再根据随后 3 位标志位可知 d 编码为 8 种情况中的哪一种;最后将末 m 位记为 s 。接着根据标志位的指示来处理 m 位的 s ,恢复出相邻块之间的索引差值 d 。

标志位为 000: 对应 case 1, 先在 s 中读取 $m-2$ 位比特记为 s_1 , 再读取随后两位,添加到秘密信息序列之后,将 s_1 转化为十进制记为 d 。

标志位为 001: 对应 case 2, 先在 s 中读取 $m-2$ 位比特记为 s_1 , 再读取随后两位,添加到秘密信息序列之后,将 s_1 转化为十进制并取相反数记为 d 。

表 2 本文的编码及嵌入方式

Table 2 Coding and embedding rule for eight cases based on 2-bit secret data

case	00	01	10	11
1	00 000 ($d_2 + 2$ 位秘密信息) m 位	01 000 ($d_2 + 2$ 位秘密信息) m 位	10 000 ($d_2 + 2$ 位秘密信息) m 位	11 000 ($d_2 + 2$ 位秘密信息) m 位
2	00 001 ($d_2 + 2$ 位秘密信息) m 位	01 001 ($d_2 + 2$ 位秘密信息) m 位	10 001 ($d_2 + 2$ 位秘密信息) m 位	11 001 ($d_2 + 2$ 位秘密信息) m 位
3	00 010 ($d_2 + 1$ 位秘密信息) m 位	01 010 ($d_2 + 1$ 位秘密信息) m 位	10 010 ($d_2 + 1$ 位秘密信息) m 位	11 010 ($d_2 + 1$ 位秘密信息) m 位
4	00 011 ($d_2 + 1$ 位秘密信息) m 位	01 011 ($d_2 + 1$ 位秘密信息) m 位	10 011 ($d_2 + 1$ 位秘密信息) m 位	11 011 ($d_2 + 1$ 位秘密信息) m 位
5	00 100 m 位秘密信息	01 100 m 位秘密信息	10 100 m 位秘密信息	11 100 m 位秘密信息
6	00 101 (d_2) m 位	01 101 (d_2) m 位	10 101 (d_2) m 位	11 101 (d_2) m 位
7	00 110 (d_2) m 位	01 110 (d_2) m 位	10 110 (d_2) m 位	11 110 (d_2) m 位
8	00 111 [$(P_{r,c})_2$] $\log_2 N_s$ 位	01 111 [$(P_{r,c})_2$] $\log_2 N_s$ 位	10 111 [$(P_{r,c})_2$] $\log_2 N_s$ 位	11 111 [$(P_{r,c})_2$] $\log_2 N_s$ 位

标志位为010:对应 case 3,先在 s 中读取 $m-1$ 位比特记为 s_1 ,再读取随后一位,添加到秘密信息序列之后,将 s_1 转化为十进制记为 d 。

标志位为011:对应 case 4,先在 s 中读取 $m-1$ 位比特记为 s_1 ,再读取随后一位,添加到秘密信息序列之后,将 s_1 转化为十进制并取相反数记为 d 。

标志位为100:对应 case 5, $d=0$,则 s 为 m 位的秘密比特,可直接提取并添加到秘密信息序列。

标志位为101:对应 case 6,将 s 转化为十进制记为 d ,无秘密比特。

标志位为110:对应 case 7,将 s 转化为十进制并取相反数记为 d ,无秘密比特。

标志位为111:对应 case 8,再读取 $(\lceil \log_2 N_s \rceil - m)$ 位连接到 s ,将它转化为十进制的 d ,无秘密比特。

然后就可以根据 d 的值恢复出当前索引 $P_{r,c}$ 。标志位如果是“111”,可直接得到了当前索引值 $P_{r,c} = d$;标志位如果不是“111”,按照截断码流中最前面的2位秘密比特找到确定相邻块的位置,再与 d 一起计算出当前索引 $P_{r,c}$ 。秘密比特为00时, $P_{r,c} = P_{r,c-1} - d$ 。秘密比特为01时, $P_{r,c} = P_{r-1,c-1} - d$ 。秘密比特为10时, $P_{r,c} = P_{r-1,c} - d$ 。秘密比特为11时, $P_{r,c} = P_{r-1,c+1} - d$ 。

重新读取 $(5+m)$ 位进行秘密信息提取,直至处理完全部码流,就完成了提取过程,即可不失真地恢复出秘密比特和索引图。

3 实验结果

3.1 实验环境

实验在 Intel core2 主频 2.93 GHz、内存 2 G 的个人计算机上进行。嵌入的秘密比特采用 rand 函数模拟产生。主码书大小为 512,图像采用 4×4 分块。本次实验用到的 512×512 ,256 灰度值的载体测试图分别为 Lena, baboon, airplane, boat, goldhill, peppers。

3.2 实验参数

m 的取值分别为 3、4 及 5,关注的主要代表性的指标为嵌入容量 cp ,比特率 $rb/(\text{bit}/\text{pixel})$,以及嵌入效率 ee 。

嵌入容量为

$$cp = (n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6 + n_7 + n_8) \times 2 + (n_1 + n_2) \times 2 + (n_3 + n_4) + n_5 \times m \quad (3)$$

式中, $n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6, n_7$ 和 n_8 分别表示属于 case 1、case 2、case 3、case 4、case 5、case 6、case 7 和 case 8 的图像块的数目(下同)。

比特率计算方法为 $rb = c/(H \times W)$,单位为 bit/pixel, c 为编码后的总比特数,即

$$c = (n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6 + n_7) \times (5 + m) + n_8 \times (5 + \log_2 N_s) \quad (4)$$

嵌入效率计算方法为 $ee = cp/(rb \times H \times W)$ 。嵌入效率是图像每像素嵌入的秘密比特数和每像素所用的编码比特数的比值,该值表征了传输过程中每比特平均携带秘密信息的数量,数值上越大越好。值越大,表示嵌入方法越有效,即传输较少的比特就可以携带较多的秘密信息。

表3给出了在 m 取值不同时8种情况数目各自所占的百分比。表中的正常情况由 case 1、case 2、case 3、case 4、case 6、case 7 这几种情况构成;表中的零情况指的就是 case 5 $d=0$ 的情况;特殊情况即为 case 8。 m 的取值相当于一个门限,在门限外的就是特殊情况。所以,随着 m 的增加,特殊情况的比重也在减少,最终当 m 取到5时,由于 $N_s = 32$,特殊情况数变为零。

表4中给出了 m 取值不同时本文算法对6幅图像的嵌入容量和比特率以及嵌入效率,每幅图像都分别取 m 为3、4和5。通过观察表4可以看出,随着 m 值的增大,每幅图的嵌入容量也在增加,因为随着 m 的增加,case 1、case 2、case 3 和 case 4 的比例在增加,使得嵌入的秘密信息增多;同时 $d=0$ 情况中嵌入的 m 位秘密信息也一定相应的增加;然而比特率也随着 m 增大呈增加趋势;总体上看嵌入效率却并没有随着 m 的增大有确定的变化趋势。

表5给出了对全部6幅图都进行了 Deng 方法和本文提出的改进算法的对比实验数据(m 取值为3时)。表5着重在嵌入容量,比特率和嵌入效率上对两种算法进行了对比,并归一化成百分比,可以直观地看出本文算法性能增长的程度。

容量提高百分比定义为 $\alpha_{cp} = [(cp_2 - cp_1)/cp_2] \times 100\%$,式中 cp_1 表示改进后算法的嵌入容量, cp_2 表示对比方法的嵌入容量。比特率降低系数为 $\alpha_{rb} = [(rb_2 - rb_1)/rb_2] \times 100\%$,式中 rb_1 表示改进后算法完成编码的比特数, rb_2 表示对比方法完成编码的比特数。嵌入效率增加系数为 $\alpha_{ee} = [(ee_1 - ee_2)/ee_2] \times 100\%$,式中 ee_1 表示改进后算法的嵌入效率, ee_2 表示对比方法的嵌入效率。

表 3 m 取值不同时 6 幅测试图像中各种情况所占百分比

Table 3 Percentage of three cases in six test cover images /%

	$m=3$			$m=4$			$m=5$		
	正常情况	零情况	特殊情况	正常情况	零情况	特殊情况	正常情况	零情况	特殊情况
Lena	57. 52	23. 99	18. 49	68. 68	23. 99	7. 33	0. 7601	23. 99	0
baboon	47. 56	7. 38	45. 06	71. 96	7. 38	20. 66	92. 62	7. 38	0
airplane	48. 88	32. 48	18. 64	58. 50	32. 48	9. 02	67. 52	32. 48	0
boat	44. 83	29. 70	25. 47	57. 99	29. 70	12. 31	70. 30	29. 70	0
goldhill	55. 50	19. 02	25. 48	71. 49	19. 02	9. 49	80. 92	19. 02	0
peppers	56. 19	26. 15	17. 66	66. 57	26. 15	7. 28	73. 85	26. 15	0
平均	51. 75	23. 12	25. 13	65. 87	23. 12	11. 01	76. 88	23. 12	0

表 4 本文算法 m 取值不同时的嵌入容量、比特率和嵌入效率

Table 4 Effect of m 's value on the embedding capacity, bit rate and efficiency

m	指标	Lena	baboon	airplane	boat	goldhill	peppers	平均
3	cp	60 786	43 399	66 512	62 670	54 629	61 715	58 285
	rb	0. 547	0. 559	0. 558	0. 562	0. 550	0. 549	0. 554
	ee	0. 423	0. 296	0. 454	0. 424	0. 378	0. 428	0. 400
4	cp	66 256	49 087	70 824	67 007	60 850	67 326	63 558
	rb	0. 575	0. 573	0. 581	0. 581	0. 573	0. 576	0. 576
	ee	0. 439	0. 326	0. 464	0. 439	0. 404	0. 445	0. 420
5	cp	70 267	56 138	73 992	71 080	66 479	71 425	68 230
	rb	0. 616	0. 616	0. 616	0. 616	0. 616	0. 616	0. 616
	ee	0. 434	0. 347	0. 457	0. 439	0. 411	0. 441	0. 421

表 5 算法性能对比

Table 5 Comparison of the proposed algorithm and Deng's algorithm ($m=3$)

	指标	Lena	baboon	airplane	boat	goldhill	peppers	平均
Deng 方法 ($m=5$)	cp	41 364	34 099	51 004	49 894	42 674	45 154	44 032
	rb	0. 642	0. 697	0. 623	0. 635	0. 656	0. 635	0. 648
	ee	0. 246	0. 187	0. 312	0. 300	0. 248	0. 271	0. 261
本文算法 ($m=3$)	cp	60 786	43 399	66 512	62 670	54 629	61 715	58 285
	rb	0. 547	0. 559	0. 558	0. 562	0. 550	0. 549	0. 554
	ee	0. 423	0. 296	0. 454	0. 424	0. 378	0. 428	0. 400
性能提高	$\alpha_{cp}/\%$	46. 95	27. 27	30. 41	25. 61	28. 01	36. 68	32. 49
	$\alpha_{rb}/\%$	14. 80	19. 80	10. 43	11. 50	16. 16	13. 54	14. 37
	$\alpha_{ee}/\%$	71. 95	58. 28	45. 51	41. 33	52. 42	57. 93	54. 57

从表6给出的数据可以分析得出,对Lena图本文算法的嵌入容量比Deng方法提高了46.95%,嵌入效率由Deng方法的0.246提高到了0.423,比特率比Deng方法减少了14.80%;嵌入容量提高最小的是Baboon图,嵌入容量只提高了27.27%,嵌入效率由原来的0.187提高到现在的0.296,比特率减少了19.80%;而嵌入容量提升最大的是Airplane图,嵌入容量提高了30.41%,是6幅图中效果最显著的,嵌入效率由原来的0.312提高到现在的0.454,比特率减少了10.43%。

本文算法在嵌入容量上比Deng方法的提高,首先得益于使用了SMVQ量化的思想得到了更加适合进行嵌入和编码的新索引图;其次改变了Deng方法中的嵌入编码方法,令过去本不执行额外嵌入情况可以进行额外秘密信息的嵌入。

同时运用SMVQ量化的思想,使case 5 $d=0$ 情况的概率从原来的平均15.03%提高到了平均23.12%左右, $d=0$ 情况增加也使嵌入容量和嵌入效率得到提升,使嵌入容量比Deng方法平均提高了32.49%。另外,本文算法在编码上用3位的标志位来区别差值 d 的数值范围的8种情况,编码的位数比Deng方法的位数进一步减少,与Deng方法相比,在嵌入容量提高的情况下,比特率反而平均下降了14.37%。

整体而言,本文算法的嵌入效率比Deng方法平均提高了54.57%,说明本文算法传输每比特都能比Deng方法多携带50%以上的秘密信息。

4 结 论

本文算法是在Deng方法的基础上,首先引入了SMVQ量化获取更加有利于嵌入的更集中的索引分布,并更合理的根据差值 d 的集中分布特性增加细分为8种编码方式。在利用Deng方法中当前块的4个邻块的相对空间位置关系嵌入2比特秘密信息的基础上,在case 1、case 2时额外又嵌入了2位秘密信息,在case 3、case 4的时候额外嵌入了1位秘密信息,在case 5 $d=0$ 时省略 d 的编码部分而直接

嵌入 m 位的秘密比特,使得嵌入容量得到3方面的增长。虽然用3位标志位表示 d 的数值范围的8种情况,但由于用到SMVQ使得 m 的取值变小从而使比特率反而下降。从对比实验的结果可以看出,对于6幅测试图像本文算法的比特率下降了10.43%~19.80%,嵌入容量则将Deng方法提高了25.61%~46.95%,容量提高以及比特率减少使得编码效率大大增加,总体来看本文算法嵌入效率比Deng方法提高了41.33%~71.95%。

参考文献 (References)

- [1] Chan C K, Cheng L M. Hiding data in images by simple LSB substitution[J]. Pattern Recognition, 2004, 37(3): 469-474.
- [2] Sun S H, Lu Z M. Technology and Application of Vector Quantization[M]. Beijing: Science Press, 2002: 31-48. [孙圣和, 陆哲明. 矢量量化技术及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 31-48.]
- [3] Yang B, Lu Z M, Sun S H. Reversible watermarking in the VQ-compressed domain [C]//Proceedings of the 5th International Conference on Visualization, Imaging, and Image Processing. Calgary: ACTA Press, 2005: 289-303.
- [4] Lin C Y, Chang C C. Hiding data in VQ-compressed images using dissimilar pairs[J]. Journal of Computers. 2006, 17(2): 3-10.
- [5] Chang C C, Lin C Y. Reversible steganographic method using SMVQ approach based on declustering [J]. Information Sciences, 2007, 177(8): 1796-1805.
- [6] Chang C C, Kieu T D, Chou Y C. Reversible information hiding for VQ indices based on locally adaptive coding[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2009, 20(1): 57-64.
- [7] Chang C C, Kieu T D, Wu W C. A lossless data embedding technique by joint neighboring coding[J]. Pattern Recognition, 2009, 42(7): 1597-1603.
- [8] Deng X M, Pan Z P, Qiao R P, et al. A high capacity information embedding scheme in VQ-compressed image [J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16(9): 1583-1591. [邓晓曼, 潘志斌, 乔瑞萍, 等. 面向索引图的大容量信息隐藏方法[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(9): 1583-1591.]
- [9] Kim T. Side match and overlap match vector quantizers for Images [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1992, 1(2): 170-185.