

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **1**
Vol.17 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

2012年1月 第17卷 第1期(总第189期)

目 次

综述

压缩感知基本理论:回顾与展望 邵文泽, 韦志辉(1)

图像处理和编码

完全质量保持的 AVS 视频可逆信息隐藏算法 郭宝安, 陈彪, 张飏, 于志强, 张卫明(13)

多成分正则化约束的断层图像重建算法 王丽艳, 韦志辉, 李星秀(20)

基于单幅图像景深和大气散射模型的去雾方法 郭珈, 王孝通, 胡程鹏, 徐晓刚(27)

结合 NSS 和小波变换的无参考图像质量评价 金波, 李朝锋, 吴小俊(33)

结合区域分割和双边滤波的图像去噪新算法 杨学志, 徐勇, 方静, 卢洁, 左美霞(40)

种子像素滤波法去除随机脉冲噪声 单建华(49)

基于纹理和亮度感知特性的率失真优化策略 俞力克, 代锋, 张勇东, 林守勋(54)

单通道散焦模糊置换图像的盲分离 王伟, 方勇(62)

侧扫声呐图像的 3 维块匹配降斑方法 范习健, 李庆武, 黄河, 王敏(68)

新适应模型的提出及分类扩散 李彦宝, 姜广峰, 王治强, 刘薇(75)

图像分析和识别

从神经切片图像中识别功能束类型的研究 钟映春, 罗鹏(82)

融合 SPA 遮挡分割的多目标跟踪方法 丁欢, 张文生(90)

目标识别中的稳定图像特征组合发掘 姜永兵, 彭启民(99)

基于结构特征的高分辨率 TerraSAR-X 图像船舶识别方法研究 殷雄, 王超, 张红, 吴樊(106)

图像理解和计算机视觉

机器人的混合特征视觉环境感知方法 杨俊友, 马乐, 白殿春, 东俊光(114)

纹理分布分析的快速图像修复算法 张晴, 林家骏(123)

计算机图形学

圆的整数反走样生成算法 贾银亮, 张焕春, 经亚枝(130)

遥感图像处理

SAR 图像的快速核主成分分析识别方法 于红芸, 姜涛, 关键 (137)

基于图像内容层次表征的遥感图像分割方法 张学良, 肖鹏峰, 冯学智 (142)

地理信息技术

保持几何模式的城市道路路网简化方法 杨必胜, 张云菲, 栾学晨 (150)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健 月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 1 期

2012 年 1 月 16 日出版

主管单位 中国科学院
主 办 中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所
主 编 李小文
编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会
北京 9718 信箱 邮编 100101
电子信箱: jig@irsa. ac. cn
电话: 010-68407995 010-82614429
网 址: www. cjig. cn

印刷装订 北京北林印刷厂
广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号
总 发 行 北京报刊发行局
订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
(中国国际书店)
(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
CAS China Society of Image and Graphics
Institute of Applied Physics and Computational
Mathematics
Chief editor LI Xiaowen
Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
of Journal of Image and Graphics
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
E-mail: jig@irsa. ac. cn
Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
and Journals
Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading Corporation
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)
Printed by Beijing Beilin Printing House

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 1 January 2012

Contents

Review

Advances and perspectives on compressed sensing theory *Shao Wenze, Wei Zhihui*(1)

Image Processing and Coding

Complete video quality-preserving reversible data-hiding based on AVS *Guo Bao'an, Chen Biao, Zhang Biao, Yu Zhiqiang, Zhang Weiming*(13)

Morphological component analysis for tomography reconstruction *Wang Liyan, Wei Zhihui, Li Xingxiu*(20)

Single image dehazing based on scene depth and physical model *Guo Jia, Wang Xiaotong, Hu Chengpeng, Xu Xiaogang*(27)

No-reference image quality assessment based on natural scene statistics and wavelet *Jin Bo, Li Chaofeng, Wu Xiaojun*(33)

New filter based on region segmentation and bilateral filtering *Yang Xuezhi, Xu Yong, Fang Jing, Lu Jie, Zuo Meixia*(40)

Removal of random-valued impulse noise based on seed pixels filter *Shan Jianhua*(49)

Novel rate distortion optimization strategy based on perceptual properties of texture and luminance *Yu Like, Dai Feng, Zhang Yongdong, Lin Shouxun*(54)

Blind separation of single-channel permuted defocus blurred image *Wang Wei, Fang Yong*(62)

Side-scan sonar image despeckling based on block-matching and 3D filtering *Fan Xijian, Li Qingwu, Huang He, Wang Min*(68)

New well-posed model and classified diffusion *Li Yanbao, Jiang Guangfeng, Wang Zhiqiang, Liu Wei*(75)

Image Analysis and Recognition

Type recognition of fascicular groups from nerve slice image *Zhong Yingchun, Luo Peng*(82)

Multi-target tracking approach combined with SPA occlusion segmentation *Ding Huan, Zhang Wensheng*(90)

The mining of stable image feature-compositions in object recognition *Jiang Yongbing, Peng Qimin*(99)

Vessel recognition with high resolution terraSAR-X image based on structure feature *Yin Xiong, Wang Chao, Zhang Hong, Wu Fan*(106)

Image Understanding and Computer Vision

Robot vision environmental perception method based on hybrid features *Yang Junyou, Ma Le, Bai Dianchun, Toshimitsu Higashi*(114)

Fast image inpainting algorithm using color texture distribution analysis *Zhang Qing, Lin Jiajun*(123)

Computer Graphics

Integral algorithm for circle anti-aliasing *Jia Yinliang, Zhang Huanchun, Jing Yazhi*(130)

Remote Sensing Image Processing

SAR images recognition based on kernel principal component analysis *Yu Hongyun, Jiang Tao, Guan Jian*(137)

Remotely sensed imagery segmentation based on the hierarchical representation of image content *Zhang Xueliang, Xiao Pengfeng, Feng Xuezhi*(142)

Geoinformatics

Pattern preserving method for grid simplification in road networks *Yang Bisheng, Zhang Yunfei, Luan Xuechen*(150)

中图分类号: TP309.7 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)01-0013-07

论文引用格式: 郭宝安, 陈彪, 张飏, 于志强, 张卫明. 完全质量保持的 AVS 视频可逆信息隐藏算法 [J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(1): 13-19

完全质量保持的 AVS 视频可逆信息隐藏算法

郭宝安¹, 陈彪², 张飏¹, 于志强¹, 张卫明²

1. 航天信息股份有限公司, 北京 100195;

2. 中国科学技术大学信息科学技术学院, 合肥 230027

摘要: 可逆信息隐藏在医学资料管理、法律取证等领域有广泛的应用。提出一种以 AVS 视频为载体的可逆信息隐藏算法, 通过同时修改宏块的量化参数和 DCT 量化系数实现信息的嵌入。算法不仅在提取出嵌入信息后能完全恢复出原始载体视频, 而且信息的嵌入不会对载体视频的视觉质量造成任何损失。为了解决算法引起的码率扩张问题, 在 RZL(reverse zerorun length) 编码的基础上提出 IRZL(improved RZL) 编码方法。实验结果表明, 新编码方法能有效抑制码率扩张。在中等及大嵌入率的情况下, IRZL 编码比 RZL 编码的效果更好。

关键词: 可逆信息隐藏; AVS 视频; 完全视频质量保持; 反零游程长度编码

Complete video quality-preserving reversible data-hiding based on AVS

Guo Bao'an¹, Chen Biao², Zhang Biao¹, Yu Zhiqiang¹, Zhang Weiming²

1. Aisino Corporation, Beijing 100195, China; 2. University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China

Abstract: Reversible data hiding has extensive applications in fields like medical data management and forensic material authentication. A new reversible data hiding algorithm using AVS video as cover is proposed in this paper. The secret information is embedded into the cover video by simultaneously modifying quantization parameter and quantized DCT coefficients of a macroblock. The original cover video can be completely recovered after the secret information is extracted, and moreover, the data embedding process brings no visual distortion to the cover video. In order to restrain the video bitrate increment caused by this algorithm, an improved reverse zero run length (IRZL) coding strategy is applied. The experiment results indicate that the new strategy is quite effective in restraining bitrate increment. Under situation that embedding rate is large enough, IRZL coding is more effective than original reverse zero run length (RZL).

Key words: reversible data hiding; AVS video; complete video quality-preserving; reverse zero run length (RZL) coding

0 引言

信息隐藏技术是一种通过将秘密信息嵌入多媒体载体数据, 来实现隐蔽通信或版权保护的技术。一般的信息隐藏技术更关注于秘密信息的准确提取, 而对载体本身的精确恢复没有太高的要求, 因此

都会对载体造成轻微却不可恢复的修改。在大部分场合, 载体轻微的质量损失是可以被接受的; 然而, 在一些比较特殊的应用场合, 如医学资料管理、法律取证, 对载体数据的轻微修改都可能造成误诊或举证失败, 因此要求采用的信息隐藏技术不能对载体的质量产生任何影响。为了满足这些应用的需求, 学者们提出可逆信息隐藏技术^[1]。可逆信息隐藏

收稿日期: 2010-12-27; 修回日期: 2011-04-25

基金项目: 国家科技支撑计划基金项目 (2008BAH22B07)

第一作者简介: 郭宝安 (1963—), 男, 教授, 1993 年于北京邮电大学获通信与电子系统专业博士学位, 主要研究方向为编码理论、密码学、信息安全等。E-mail: guobaoan@aisino.com

是指这样一种信息隐藏技术:在信息嵌入的过程中可能对载体带来修改,但在提取出信息之后能够无损地恢复出原始载体。

研究人员已经提出了许多以数字图像为载体的可逆信息隐藏算法^[2-6];Tian^[4]提出一种利用差值扩展的可逆信息隐藏算法,Chang 等人^[5]提出了一种基于边缘匹配矢量量化的可逆信息隐藏算法,Ni 等人^[6]的可逆信息隐藏算法则采用了图像直方图平移(histogram shift)的策略。陆续有学者对这些方法提出了改进和扩展。

目前,针对以视频为载体的可逆信息隐藏技术的研究还不多。Wong 等人^[7]提出一种基于 MPEG-1 视频的可逆信息隐藏算法,该算法不仅能够提取出信息后完全恢复出视频载体,而且信息的嵌入不会对视频的视觉质量产生任何影响。同时,针对该算法的码率扩张问题,他们提出反游程(RZL)编码方法。

本文首先将文献[7]中基于 MPEG-1 视频的可逆信息隐藏算法移植到 AVS(audio video coding stanford)视频中。借鉴文献[7]的基本思路,利用 AVS 视频的编解码过程嵌入信息,并阐明本文方法可以实现可逆性和完全保持载体视频的质量。然后,为了更有效抑制码率扩张,改进了 RZL,提出改进 RZL(IRZL)编码方法。实验结果表明,新的编码方法在中等及大嵌入率的情况下抑制码率扩张的效果比 RZL 要好。

1 基于 AVS 视频的可逆信息隐藏

1.1 基于 MPEG-1 视频的可逆信息隐藏算法

文献[7]提出一种新颖的以视频为载体的可逆信息隐藏算法。该算法以 MPEG-1 视频为载体,其信息嵌入过程不会对载体视频的视觉质量产生任何影响;在提取出秘密信息之后能够完全恢复出原始视频载体。

该算法利用了 MPEG-1 解码过程中反量化过程的信息。MPEG-1 视频解码标准^[8]中的反量化是对 8×8 残差数据块进行的,其过程表达为

$$x = \frac{1}{8}yq \cdot QT \quad (1)$$

式中, x 是重构出的 DCT 系数, y 是量化后的 DCT 系数; q 是量化参数; QT 是 MPEG-1 标准的量化步长。

该算法通过控制是否对宏块进行修改来嵌入信息:若嵌入的比特是“1”,则对宏块进行修改;若嵌入的比特是“0”,则不修改宏块。对宏块的修改方式是:将宏块的 q 除以 b (b 是一个大于 1 的整数),将宏块所有的 y 乘以 b 倍。如果一个宏块经过了这样的修改,再由式(1)计算出新的 DCT 系数,将和原本的 x 完全相同的。这样,解码得到的图像序列也是没有误差的。因此,该算法可以完全保持载体视频的质量。

而在信息提取端,可以很容易地判断出某宏块是否经过了修改:如果解码时发现一个宏块所有的 DCT 量化系数均能被某个自然数 b ($b > 1$) 整除,那么这个宏块就是经过修改的,可以提取出比特“1”;否则提取比特“0”。同时由于对宏块的修改只是简单的乘除操作,通过逆向操作——将 q 乘以 b ,所有的 y 都除以 b ,再把更新过的数据按 MPEG-1 标准进行熵编码,就可以得到原始的载体视频流。因此,该算法是可逆的。

这个算法存在一个问题:如果在嵌入信息前一个宏块的所有 QDCTC 都能被某个整数 b 整除,嵌入的信息是“0”。但是,在接收端却会认为嵌入的比特是“1”。这个歧义性问题会在后面得到解决。

1.2 基于 AVS 视频的可逆信息隐藏算法

AVS(audio video coding standard)是我国自主提出的第二代音视频编码标准^[9]。本文试图将文献[7]中的信息隐藏算法移植到 AVS 标准中,并且希望算法仍然具有“可逆”和“质量完全保持”的特性。

本文算法的流程如图 1 所示。图中 c 是原始视频,如果用一个普通的 AVS 解码器对 c 进行解码,得到的图像序列记为 v_1 ,如图 1(a)所示;在信息嵌入端,对 c 进行部分解码,取出各宏块的 q 和 DCT 量化系数(QDCTC),通过修改 q 和 QDCTC 来嵌入信息,再将修改后的 q 和 QDCTC 进行熵编码,得到含信息的视频流 s ,如图 1(b)所示;在信息提取端,接收者可以从 s 中提取出嵌入的秘密信息 m ,并在提取出信息之后能完全恢复出原始载体视频 c ,这就是“可逆”的含义,如图 1(c)所示;另一方面,如果用一个普通 AVS 解码器对 s 进行解码,得到的图像序列为 v_2 ,那么 v_1 和 v_2 具有完全相同的视觉质量,这是“质量完全保持”的含义,即信息的嵌入不会对视频的视觉质量造成任何影响。

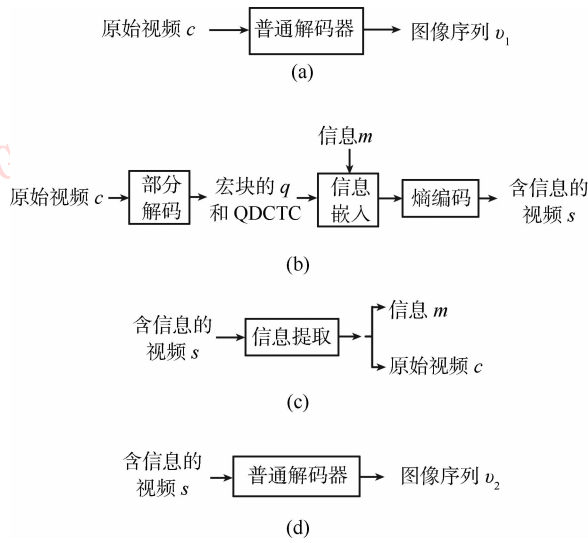


图 1 质量完全保持的视频可逆信息隐藏框图

Fig. 1 Block diagram of proposed scheme

1.2.1 信息嵌入过程

现在讨论如何在 AVS 视频中嵌入信息。

首先观察 AVS 解码器中的反量化公式

$$x = \text{round}((y \cdot DT(q)) \gg ST(q)) = [y \cdot DT(q) + (1 \ll ST(q) - 1)] \gg ST(q) \quad (2)$$

式中, x 是 DCT 系数, 取值范围为 $-2^{13} \sim 2^{13} - 1$; y 是量化后的 DCT 系数, 取值范围为 $-2^{11} \sim 2^{11} - 1$; q 是量化参数, 它是一个取值在 $0 \sim 63$ 之间的整数; $DT(\cdot)$ 是 AVS 标准的量化步长; $ST(\cdot)$ 是 AVS 标准的量化尺度。它们可以在 AVS 标准中查到。

与文献[7]类似, 信息的嵌入是通过修改宏块的量化参数 q 和将相应的量化 DCT 系数乘以 b 倍来实现的: 如果要嵌入的比特是“1”, 则修改宏块; 如果要嵌入的比特是“0”, 则不修改宏块。为了能完全保持视频的视觉质量, 在修改前后利用式(2)计算得到的 DCT 系数必须是完全相同的。观察式(2), 如不考虑舍入操作, 可以认为 x 是由下面的方法计算得到的。先把 y 和 $DT(q)$ 相乘, 再把它们的积右移 $ST(q)$ 位得到。假设修改前宏块的量化参数为 q_1 , 修改后的量化参数为 q_2 。那么在不考虑舍入操作的情况下, q_1 和 q_2 应该满足

$$y \cdot DT(q_1) \gg ST(q_1) = b \cdot y \cdot DT(q_2) \gg ST(q_2)$$

即

$$DT(q_1) \gg ST(q_1) = b \cdot DT(q_2) \gg ST(q_2) \quad (3)$$

通过仔细分析 AVS 标准的反量化表和量化尺度表, 我们发现了一些 q_1 - q_2 - b 的组合可以满足式(3), 所有这些 q_1 - q_2 - b 组合在表 1 中给出。如果一个宏块的量化参数值是表 1 中的某个 q_1 , 可以把该宏块的量化参数值改成对应的 q_2 , 并把所有的 DCT 量化系数都乘以对应的 b , 那么在不考虑舍入操作的情况下得到的 DCT 系数是不变的。

表 1 q_1 - q_2 - b 映射表
Table 1 The map q_1 - q_2 - b

q_1	q_2	b	q_1	q_2	b
62	54	2	35	11	8
61	53	2	34	26	2
60	52	2	33	25	2
57	49	2	32	16	4
54	38	4	30	14	4
53	45	2	26	18	2
52	44	2	25	17	2
49	33	4	20	4	4
48	40	2	18	10	2
44	20	8	17	9	2
43	35	2	13	5	2
42	34	2	11	3	2
40	32	2	10	2	2
38	30	2			

现在考虑式(3)中舍入操作的影响。由于 $DT(q)$ 总是正的, 那么 y 和 $b \cdot y$ 的舍入方向总是一致的。所以舍入操作不会引入误差。

在信息嵌入端, 如果部分解码得到的某宏块满足条件: 1) 宏块的量化参数是表 1 中某个 q_1 值; 2) 宏块中存在非零的 DCT 量化系数, 那么这个宏块就可以用来嵌入信息。如果要嵌入的比特是“1”, 那么只要将该宏块的量化参数由 q_1 改成相应的 q_2 , 再把所有的 DCT 量化系数都乘以 b 倍即可; 如果要嵌入的比特是“0”, 则不修改宏块。经过这样修改并重编码后得到的视频 s 是没有视觉质量损失的。

在信息嵌入时, 如果一个宏块的所有 QDCTC 都是 0, 那么这样的宏块必须跳过, 因为对该全零宏块嵌入信息后所有的 QDCTC 仍然都是 0, 即该宏块的 QDCTC 没有发生变化, 在信息提取时将无法判断该宏块是否经过了修改。因此, 在信息嵌入和提

取时要跳过这些特殊宏块。

1.2.2 信息提取过程

在信息提取端,先对 s 部分解码得到一个宏块的量化参数和 QDCTC。如果该宏块的所有 DCT 量化系数全是 0,则跳过此宏块;否则,可以从此宏块提取信息。如果宏块的所有 DCT 量化系数都是某个自然数 $b(b=2,4$ 或 $8)$ 的整数倍,那么该宏块是经过修改的,可以提取出比特“1”;反之则提取“0”。同时,如果某宏块是经过修改的,那么其当前的量化参数值应该是某个 q_2 ;如果把量化参数从 q_2 改回相应的 q_1 ,再把该宏块所有的 QDCTC 全部除以 b ,最后把更改后的数据熵编码就可以得到原始的 AVS 视频载体 c 。这表明我们的算法是可逆的。

如前所述,这个算法还存在一个漏洞,即如果原始视频中某个宏块的 QDCTC 全是 b 的整数倍($b=2,4$ 或 8),那么不管该宏块是否经过修改,在信息提取端都会认为该宏块经过修改了,因而提取出比特“1”,这样会导致信息提取的失败。所幸这种异常情况出现得很少:对于 4:2:0 格式的视频,一个宏块有 4 个亮度块和 2 个色度块,一共有 $(4+2) \times 8 \times 8 = 384$ 个 QDCTC,一个宏块的所有 QDCTC 全是 2 的整数倍(如果一个数不是 2 的整数倍,那它不可能是 4、8 的整数倍)的概率是很小的,事实上在我们的实验中,5 300 个可嵌入信息的宏块里这种异常宏块只有 2 个。因此,我们的解决办法是,在视频的第 1 帧中,把这些异常宏块的位置(帧号、宏块号)标记出来,在嵌入信息和提取信息时避开这些异常宏块。

用各种测试视频做载体进行实验,实验结果表明,本文算法确实可以恢复出原始视频载体,信息嵌入过程对视频的视觉质量也没有任何影响。图 2 是以标准测试视频 news. avs 为载体进行实验的结果,图 2(a)(b)分别是信息嵌入前后的同一帧图像,它们的像素值是完全相同的。

2 改进的 RZL 编码

同文献[7]中的算法一样,本文的算法也会造成视频码率扩张。如果嵌入的比特是“1”,就要将宏块的所有 QDCTC 全部乘以 b ,这样重编码后视频码流的比特率会有所增加,这称为码率扩张。码率扩张在很多情况下是不希望看到的,因此有必要采



(a) v_1 的一帧图像



(b) v_2 中与图 (a) 对应的一帧图像

图 2 news. avs 视频信息嵌入前后的视频图像

Fig. 2 A picture of news. avs before and after information is embedded

取一些措施抑制码率扩张。

2.1 RZL 编码

抑制码率扩张最直接的想法是减小信息的嵌入量,比如限制视频中可以用于嵌入信息的宏块数。但在实际应用中,首先需要保证一定的嵌入量。所以希望在嵌入量给定的情况下获得最小的码率扩张。为了作出客观的评价,文献[7]使用嵌入率 α 描述相对嵌入量

$$\alpha = K/N \quad (4)$$

式中, K 表示实际嵌入载体的比特数, N 表示载体的长度,在本文指可用的宏块数目。因而嵌入率 α 表示单位长度的载体内可以嵌入的比特数。

原始视频中的宏块都没有经过修改,相当于一个“全零串”。如果对某个宏块进行了修改,就相当于把相应的“0”改成了“1”。因此,如果可以减少信息串中“1”的比例,就可以减小码率的增长。基于这个事实,借鉴游程编码(run length encoding)的思想,文献[7]提出反游程编码(RZL)。RZL 的基本思路是把待嵌入载体的二

进制信息串分成 k 比特长的小段,计算每个小段对应的十进制数 run ,然后在载体的连续 run 个“0”后嵌入一个“1”。文献[7]通过实验表明,RZL可以有效抑制码率扩张。而且随着 k 取值的不同,RZL可以得到可变的嵌入率,因此可以在嵌入率和码率扩张之间进行折中,以适应各种应用环境的需要。

2.2 IRZL 编码

在 RZL 编码中,每个信息段所占用的位置数是 $run + 1$,其中 run 是信息段对应的十进制数。因此,信息段的首位是最重要的,它的权值是 2^{k-1} ,称为最重要位(MSB)。如果减小 MSB 位是“1”的概率,那么嵌入一段信息所需的平均位置数就会减小,相应的嵌入率会提高。基于这个想法,提出改进的 RZL 编码方法(IRZL)。

仍将原始信息串分成 k 比特长的小段,然后把 n (n 是大于 1 的奇数) 个小段构成一组,用一个标志位 f 控制这 n 个信息段。如果这 n 个段的 MSB 位中“1”的个数超过一半,则将它们全部翻转,并置 f 为“1”;否则,这 n 个 MSB 位不翻转,置 f 为“0”。这样处理后再将这 n 个段用 RZL 编码嵌入到载体中,最后把标志位 f 直接嵌入到载体中。其流程图见图 3。

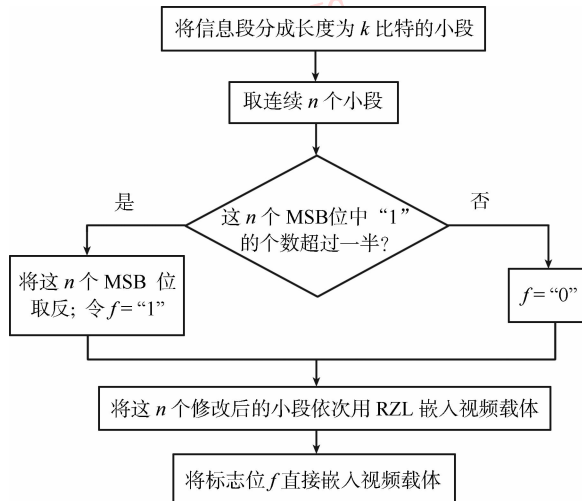


图3 IRZL 编码流程图

Fig. 3 Flowchart of IRZL coding

2.3 IRZL 编码的实验结果

为了验证 IRZL 编码的有效性,以多个标准测试视频进行了对比实验。下面以 news. avs 为例阐述实验的过程和结果。

选取标准视频 news. cif,它的格式是 YUV 4:2:0。

将 news. cif 用 AVS 编码器进行压缩编码,产生的 AVS 码流文件 news. avs 作为实验的原始视频 c_0 。AVS 编解码器使用标准的参考代码 rm52j。

原始 news. avs 文件的大小为 726×275 字节。表 2 给出了用矩阵编码(ME)^[10]、RZL 编码、IRZL 编码嵌入信息后的嵌入率和 AVS 码流文件增量的大小。一种编码在相同的嵌入率下码流文件增加量越小,表明这种编码越有效。文献[7]通过理论分析和实验论证,证明了 RZL 编码比 ME 编码更有效。

表 2 各种编码方法下 news. avs 文件增量的对比

Table 2 Increase of file size of news. avs under each coding method

		k				
		2	3	4	5	6
ME	α	0.666	0.429	0.268	0.162	0.095
	len	20 131	10 028	5 088	2 545	1 284
RZL	α	0.797	0.663	0.449	0.307	0.181
	len	31 866	17 676	9 093	5 241	2 317
IRZL ($n = 3$)	α	0.856	0.779	0.579	0.340	0.228
	len	37 965	23 597	13 353	7 468	3 153
IRZL ($n = 5$)	α	0.854	0.769	0.551	0.361	0.215
	len	36 173	21 628	12 208	6 301	3 182
IRZL ($n = 7$)	α	0.852	0.745	0.541	0.359	0.198
	len	35 268	20 588	11 664	5 852	2 847

注:原始 AVS 文件大小为 726 275 B;满嵌时信息嵌入量为 5 300 bit

在 IRZL 编码中通过选择参数 (k, n) 可以得到适用于多种嵌入率的编码。其中, k 表示分段的大小,即每个小信息段的长度; n 表示 IRZL 编码中一个标志位控制的信息段的个数, n 是大于 1 的奇数。当 n 很大时, n 个段中“1”的比例非常接近 1/2, 翻转操作没有太大的意义。因此,实验中 n 最大只取到 7。表 2 列出了各种编码的嵌入率 α , 以及在此嵌入率下嵌入消息后码流文件的绝对增加量 len 。从表 2 中可以看出,我们的编码方法对码流文件大小影响并不大。在嵌入率最大的情况下 (IRZL 编码, $k = 2, n = 3$, 嵌入率达到 0.856) 码流文件也只增加了约 40 kB, 增加的比率不超过 6%。表 2 也给出了满嵌时嵌入视频的信息量为 5 300 bit。对 300 帧的视频而言,如果要记录视频的摘要或者其他信息,一般就够用了。如果不够的话,也可以在 P 帧,进而在 I 帧中,嵌入信息。

表 3 和表 4 分别给出了以 foreman. avs 和

stefan. avs 为载体进行实验的结果。3 组实验结果很类似,显示了本文算法的普适性。

表 3 各种编码方法下 foreman. avs 文件增量的对比

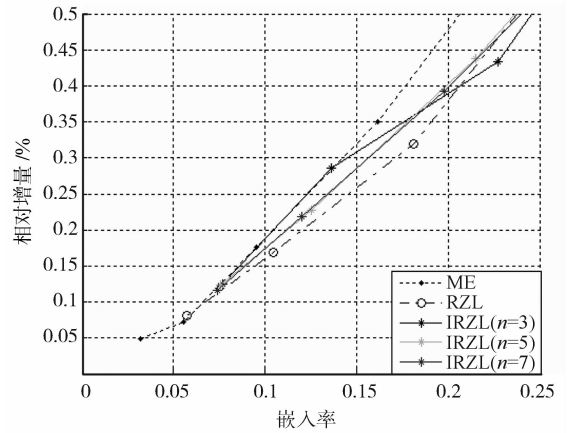
Table 3 Increase of file size of foreman. avs under each coding method

		k				
		2	3	4	5	6
ME	α	0.667	0.429	0.267	0.161	0.096
	len	39 302	20 227	10 082	4 772	2 528
RZL	α	0.792	0.658	0.457	0.302	0.186
	len	58 907	33 105	17 804	9 341	4 963
IRZL (n = 3)	α	0.857	0.775	0.580	0.384	0.241
	len	70 330	44 253	24 764	13 472	7 088
IRZL (n = 5)	α	0.859	0.758	0.549	0.359	0.221
	len	68 199	41 408	23 397	12 290	6 031
IRZL (n = 7)	α	0.856	0.744	0.537	0.348	0.212
	len	66 513	39 721	21 979	11 167	5 519

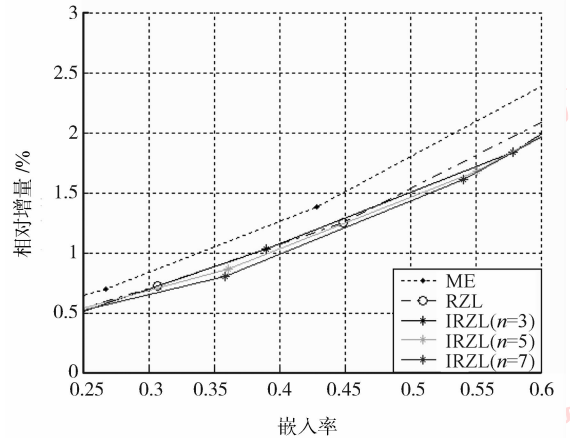
注:原始 AVS 文件大小为 1 042 161 B;满嵌时信息嵌入量为 17 846 bit

表 2—表 4 呈现了大量的数据,但很难对 3 种编码方法进行比较。为此,在图 4 中给出了分别采用 ME、RZL 和 IRZL(n = 3,5,7) 编码嵌入信息时码流文件的增加率。图 4 中,横坐标是嵌入率,纵坐标是码流文件的增加率,对于给定的嵌入率,如果码流文件的增加率越小,则说明编码的性能越好。图 4 表明,对于小嵌入率情况 ($\alpha < 0.25$),IRZL 编码的性能较 RZL、ME 并没有改进;对于中等嵌入率 ($0.25 < \alpha < 0.6$) 和大嵌入率 ($0.6 < \alpha < 0.9$) 情

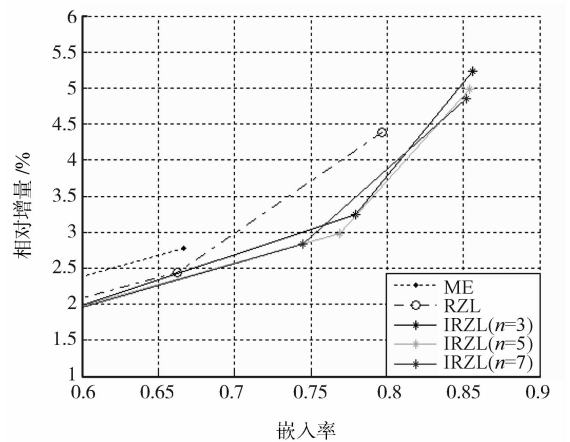
况,IRZL 比 RZL 更有效,并且大嵌入率情况下改进效果尤为明显。另外,几乎对任一个嵌入率,RZL 都比 ME 更有效。



(a) 小嵌入率



(b) 中等嵌入率



(c) 大嵌入率

表 4 各种编码方法下 stefan. avs 文件增量的对比

Table 4 Increase of file size of stefan. avs under each coding method

		k				
		2	3	4	5	6
ME	α	0.667	0.428	0.267	0.161	0.095
	len	223 290	112 678	55 596	27 675	13 825
RZL	α	0.795	0.660	0.461	0.299	0.181
	len	342 996	191 365	101 867	52 416	27 149
IRZL (n = 3)	α	0.855	0.782	0.581	0.386	0.241
	len	421 376	260 511	147 713	78 675	40 821
IRZL (n = 5)	α	0.859	0.760	0.552	0.361	0.224
	len	400 559	242 901	133 690	69 361	36 673
IRZL (n = 7)	α	0.858	0.748	0.537	0.351	0.217
	len	388 688	231 347	126 031	66 381	33 559

注:原始 AVS 文件大小为 2 514 221 B;满嵌时信息嵌入量为 45 938 bit

图 4 各种编码方式下 news. avs 文件的相对增量

Fig. 4 Increase rate of file size of news. avs under each coding method

以其他视频为载体的实验也反映出了类似的结果。

在实际情况下,码率扩张是一个需要仔细考虑的问题。如果嵌入率很小,那么它引起的微弱的码率扩张并不会带来很大的害处。但随着嵌入率的增大,码率扩张问题也越来越严重。而 IRZL 算法恰恰是在大嵌入率下表现得很好,能很有效地抑制大嵌入率下的码率扩张,让这种编码方法显得更有竞争力。

3 结 论

借鉴了文献[7]的思想,提出基于 AVS 视频的可逆信息隐藏算法。该算法不仅在提取出信息后能恢复出原始视频,而且信息的嵌入不会对视频的视觉质量产生任何影响。这种算法的代价是视频码率的扩张。为了更好地解决码率扩张问题,对文献[7]中提出的 RZL 编码进行了改进。实验表明,我们的编码方法在中等嵌入率及大嵌入率的情况下性能优于 RZL 编码。

参考文献 (References)

[1] Honsinger C, Jones P, Rabbani M, et al. Lossless Recovery of an Original Image Containing Embedded Data. US, #6278791 [P]. 2001-8-21.

[2] Domingo-Ferrer J, Sebe F. Invertible spread-spectrum

watermarking for image authentication and multilevel access to precision-critical watermarked images [C]//Proceedings of International Conference on Information Technology, Coding and Computing. Las Vegas, USA: IEEE Press, 2002: 152-157.

[3] Fridrich J, Goljan M, Du R. Lossless data embedding for all image Formats [C]//Proceedings of SPIE Photonics West. San Jose, USA: Security and Watermarking of Multimedia Contents, 2002: 572-583.

[4] Tian J. Reversible data embedding using a difference expansion [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(8): 890-896.

[5] Chang C C, Tai W L, Lin C C. A reversible data hiding scheme based on side match vector quantization [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(8): 1147-1156.

[6] Ni Z C, Shi Y Q, Ansari N, et al. Reversible data hiding [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2006, 16(3): 354-362.

[7] Wong K, Tanaka K, Takagi K, et al. Complete video quality-reserved data hiding [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2009, 19(10): 1499-1512.

[8] ISO-IEC/JTC1 SC29. Moving Pictures Expert Group. ISO/IEC 11172. Information Technology-coding of Moving Pictures and Associated Audio for Digital Storage Media at up to about 1.5 Mbps [S/OL]. [2010-11-26]. //http: www. mpeg. com.

[9] GB/T 200090. 2-2006, Information Technology-Advanced Coding of Audio and Video-Part 2: Video [S], 2006 (AVS). [GB/T 200090. 2-2006, 信息技术-先进音视频编码, 第 2 部分: 视频 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.]

[10] Fridrich J, Soukal D. Matrix embedding for large payloads [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2006, 1(3): 390-395.