

高比特率信息隐藏技术的视频嵌入视频方案

肖创柏, 王首道, 司 薇

(北京工业大学 计算机学院, 北京 100124)

摘 要: 通过对高比特率信息隐藏算法的改进, 设计了一种视频嵌入视频的方案, 实现了隐秘视频信息的安全传输. 实验结果表明, 改进的信息隐藏算法比原有算法隐藏信息操作速度快 20%; 含有隐藏信息的宿主视频没有出现明显的视觉质量下降, 亮度分量的峰值信噪比平均下降仅 0.22 dB, 提取隐藏信息平均比特误码率仅为 0.015%.

关键词: 信息隐藏; 视频; 嵌入

中图分类号: TP 391

文献标志码: A

文章编号: 0254-0037(2011)08-1249-06

信息隐藏是利用多媒体数字信号本身存在的冗余, 将信息隐藏在宿主信息中进行编码和传输, 不被人的感知系统觉察或不被注意到, 并且不影响宿主信号的感觉效果和使用价值. 随着高比特率信息隐藏技术的发展, 能把辅助或者附属信息隐藏在数字多媒体(数字音频、数字图像、数字视频等)中混合编码、压缩、传输等.

在信息隐藏算法中, 根据算法的工作域不同分为空间域算法和变换域算法: 最简单的空间域算法通过修改每个像素的最低有效位在数字图像中嵌入信息, 然而这种算法对于有损压缩十分敏感; 变换域算法在宿主信息的变换域中嵌入信息. Swanson 等^[1]提出了一种基于高比特信息隐藏算法的向量射线比较法; Fang 等^[2]提出一种在数字视频中基于帧间宏块运动向量的相位角变换嵌入数据的方法; Chang 等^[3]提出一种通过图像白化和量化每个 DCT(discrete cosine transform)系数来嵌入数据的算法; Chae 等^[4]使用晶格结构对信息进行编码并把该信息保存在 DCT 块的中频系数位置.

本文对 Yang 等^[5-6]的算法进行了深入研究, 总结出高比特率信息隐藏算法的设计目标: 1) 高比特率即大信息容量: 每个 4×4 的子块嵌入 1 个比特的信息. 2) 盲信息检索: 接收端独立提取嵌入的信息, 不需要原始宿主数据. 3) 视觉透明: 几乎没有可视质量下降, 不会带来视觉上的失真. 4) 有损压缩中的鲁棒性: 嵌入的信息必须在 H264/AVC 有损压缩编码的情况下生存. 5) 嵌入信息不影响宿主信息数据量: 信息隐藏操作未改变宿主信息大小.

1 高比特率信息隐藏算法的改进

在信息隐藏算法中, 增加嵌入宿主信息的隐藏信息量是最基本的目标. 由于数字视频节目以压缩格式进行存贮和传输, 隐藏信息在有损视频压缩中的鲁棒性也十分重要^[7-8]. 由于人类视觉经验表明人眼对下取样过的色度成分的改变比亮度改变更加敏感, 为了避免造成视觉失真, 信息仅被隐藏在亮度成分中^[9]. 从视频文件中提取亮度成分, 每帧中亮度成分本质上是一个灰度层次图, 可用来做信息隐藏. 静止图像信息隐藏技术也可在视频嵌入视频方案中得到应用^[10].

DCT 由于频谱是实数, 具有较好的能量聚集性, 在图像和视频压缩国际标准中占据重要位置. 在变换域信息隐藏算法中, 系数的选择和嵌入/提取方法是关键环节, 应选择最重要的系数或分量作为隐藏信息

收稿日期: 2009-09-11.

基金项目: 国家“八六三”计划资助项目(2009AA01Z437); 北京市自然科学基金资助项目(4092006, 4072004).

作者简介: 肖创柏(1962—), 男, 湖南临湘人, 教授, 博士生导师.

的载体和变换基础. 重要的分量是信号的主要成分,携带较多的信号能量,在隐秘信号有一定失真的情况下,仍能保留主要成分,作为隐藏信息载体,有利于提高隐藏信息的稳健性.

对1幅图像所包含的4×4分块图像(如图1所示)(其微观构成为16个像素数值)进行DCT变换之后,成为16个DCT系数,其中最重要的系数为低频区域的直流系数. 令其他所有系数为0,对直流系数(0,0)进行IDCT(inverse discrete cosine transform)变换得到原像素平均值构成的图像,如图2(a)所示. 对最重要的变换系数依次按锯齿形路径扫描增加DCT系数进行IDCT变换,得到的重建图像逐次接近原图像,如图2(b)、(c)、(d)、(e)、(f)所示,图2(e)为用5个变换系数做IDCT变换的结果,其重建图像块已经相当接近原图像块,继续增加变换系数个数,重建图像的质量没有明显提高,因此,去掉一些不重要的系数,用较少的变换系数来描述整个图像块,可以保证重建后的图像质量下降较小. H264/AVC等压缩编码方案正是采用这种策略,这也是DCT变换带来的压缩效果,因此低频系数在有损压缩中保存了下来.

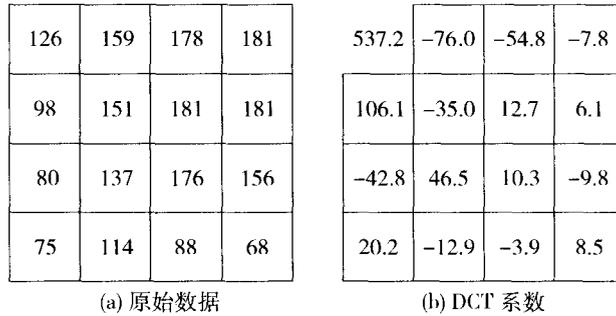


图1 4×4块的DCT变换
Fig.1 DCT transform of 4×4 block

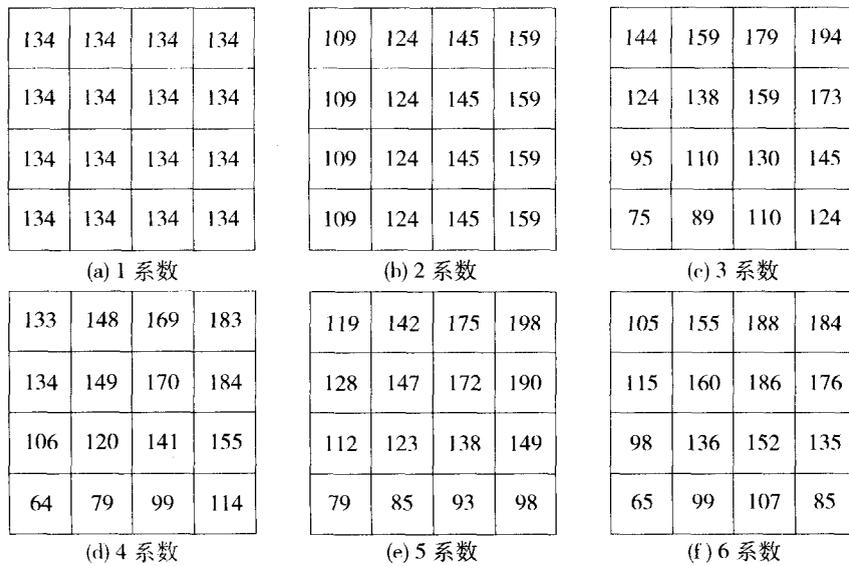


图2 不同系数个数得到的重构数据
Fig.2 Reconstructed data by different coefficient unit

传统的客观评价方法用恢复图像偏离原始图像的误差来衡量图像恢复的质量,最常用的均方误差(mean square error, MSE)σ的表达式为

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (f_{ij} - f'_{ij})^2}{M \times N} \tag{1}$$

其中, f_{ij} 、 f'_{ij} 分别表示原始图像和恢复图像(i,j)位置处的像素值,且 $1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N$; M和N表示图像的

长度和宽度. 在这里用 σ 辅助衡量重建图像质量. 通过小范围计算图像中不同 DCT 系数重建图像像素值的均方误差统计, 令 $\delta_k = \frac{\sqrt{\sigma}}{\eta}$, 当 $\delta_k \leq \varepsilon$ 时认为此时 k 个系数恢复的图像基本接近原始图像, 其中 δ_k 表示用 k 个系数恢复图像的 MSE 的平方差与原图像像素均值 η 的比值, ε 表示可以接受的误差限(阈值). 结合主观质量评价标准和对 lena、girl、baboon 等标准图像进行实验发现, 当 $k=5$, 即采用 5 个系数恢复图像时, δ_5 基本保持在 0.1 以下, 即 ε 为 0.1; 而当 $k>5$ 时, δ_k 没有明显变小且主观观察恢复的图像质量也没有明显提高. 因此, 本文算法依次选取 5 个低频系数作为信息隐藏的载体, 保证信息隐藏载体的简洁性和有效性.

基于 DCT 频域的信息隐藏算法正是利用 DCT 低频系数作为隐藏信息载体来实现信息隐藏的, 低频区域的 5 个系数在压缩编码中有很好的鲁棒性, 因此, 采用直流系数开始的 5 个低频系数作为变换运算载体, 简化了隐藏信息运算.

2 视频嵌入视频方案

2.1 总体设计框架

图 3 为视频嵌入视频的总体设计框架.

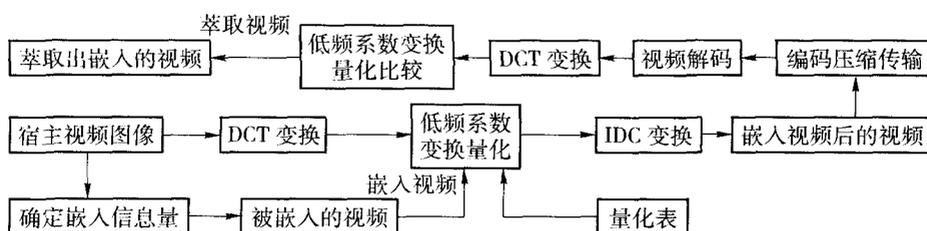


图 3 视频嵌入视频总体设计框架

Fig. 3 The design framework of Video in Video

2.2 实现过程

1) 首先根据宿主视频图像格式计算每帧图像包含 4×4 子块的数目, 即每帧视频能嵌入的比特量, 再根据宿主视频总帧数获得该视频序列所能隐藏的信息总量; 然后根据可嵌入信息总量计算能嵌入视频帧的格式和帧数量. 宿主视频尺寸越大, 可隐藏信息量越多.

2) 选择信息隐藏策略, 把视频信息隐藏在 YUV 域的亮度成分域, 对每帧宿主视频图像提取亮度成分所在的 4×4 子块系数矩阵, 通过 DCT 变换到频域, 按照锯齿形扫描顺序提取 5 位低频系数进行一系列变换和量化, 并根据当前比特序列值决定嵌入的比特信息是 0 还是 1, 改变 5 位低频系数的值, 再进行 IDC 变换, 把频域系数转换为空域, 最后把携带嵌入不同比特信息的系数矩阵放回相应亮度成分的空间位置. 在宿主视频序列中重复操作, 直到所有帧都完成信息隐藏.

3) 在接收端, 根据信息隐藏策略对携带隐藏信息的宿主视频序列提取亮度成分区域, 对每个 4×4 子块进行 DCT 变换, 并按照锯齿形扫描顺序提取包含隐藏信息的 5 位低频系数, 通过对比变换前后差值符号提取出嵌入的比特信息. 利用提取出的比特信息可以重构所嵌入的视频帧序列.

3 实验结果分析

为验证视频嵌入视频方案的效率和正确性, 应用 MatLab7.0 仿真了视频嵌入视频的过程和信息提取过程; 并用 H.264/AVC 编解码参考软件 JM11.0 进行如下配置: 5 帧参考帧, 32×32 运动搜索窗口尺寸, 不采用率失真最优化(RDO), 量化系数选取 16、20、24, 对嵌入视频后的宿主视频进行了编码实验. 本文

选取代表不同运动强度的3个CIF格式(352×288)视频序列(“News”, “Foreman”, “Mobile”)作为宿主视频各进行96帧IPP…P编码。

96帧CIF格式视频序列可嵌入比特数: $96 \times 352 \times 288 \text{ b}/16 = 608\,256 \text{ b}$,刚好可以隐藏2帧QCIF格式视频序列(每帧QCIF格式视频图像有304 128 b)。

采用客观质量评估方法评价实验结果. 峰值信噪比(peak signal to noise rattoo, PSNR)是一种常用的图像质量客观评价标准,用 P 表示(dB),即

$$P = 10 \lg \frac{255^2}{\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [f(x,y) - F(x,y)]^2} \quad (2)$$

其中, M 是图像宽度; N 是图像高度; $f(x,y)$ 是原图像像素值; $F(x,y)$ 是解码恢复图像的像素值. 由于人眼对视频图像中亮度成分比色度成分敏感得多,因此本文只关注视频图像中亮度成分的峰值信噪比,记作 P_y , ΔP_y 表示原始宿主视频与嵌入视频信息后的宿主视频通过解码器重构后的图像亮度成分峰值信噪比之差. 比特误码率(bit error rate, BER)用来衡量提取出的隐藏信息准确率的质量标准,用 B 表示(%).

表1列出了3种不同格式视频序列在量化参数 Q 不同时信息隐藏仿真和编码实验结果,前2列分别为原算法的 ΔP_y 与改进算法的 $\Delta P'_y$;后2列分别为原算法与改进后算法产生的 B' .

表1 各种序列在 Q 不同时的实验结果
Table 1 Experimental result of different sequences in 3 different Q

序列	Q	$\Delta P_y/\text{dB}$	$\Delta P'_y/\text{dB}$	$B/\%$	$B'/\%$
News_cif. yuv	16	-0.04	-0.02	0.000 7	0.000 8
	20	0.34	0.28	0.008 6	0.008 6
	24	0.92	0.85	0.000 9	0.001 0
Foreman_cif. yuv	16	0.04	0.03	0.019 6	0.019 6
	20	0.03	0.01	0.030 2	0.030 3
	24	0.36	0.06	0.035 1	0.035 0
Mobile_cif. yuv	16	0.10	0.04	0.013 2	0.013 0
	20	0.13	0.09	0.014 2	0.014 3
	24	0.12	0.08	0.016 9	0.016 9

表2列出了3种不同格式视频序列在 Q 不同时,文献[5-6]中原信息隐藏算法嵌入隐秘视频序列所需的时间和本文改进后的信息隐藏算法嵌入视频所需时间的对比。

表2 各种不同序列在 Q 不同时的视频嵌入所需时间
Table 2 The consumed time of different sequences in 3 different Q

序列	Q	原算法嵌入所需时间/s	改进后所需时间/s
News_cif. yuv	16	172	133
	20	170	135
	24	170	134
Foreman_cif. yuv	16	169	134
	20	175	140
	24	169	135
Mobile_cif. yuv	16	171	135
	20	171	135
	24	170	134

图 4 显示了 News 视频序列在 $Q = 20$ 时, 前 64 帧原始图像与嵌入视频信息后的压缩解压图像的峰值信噪比 P_1 以及原始图像与视频单独压缩解压图像的峰值信噪比 P_2 ; 图 5 显示了 Foreman 视频序列在 $Q = 20$ 时, 前 64 帧原始图像与嵌入视频信息后的压缩解压图像的峰值信噪比 P_1 以及原始图像与视频单独压缩解压图像的峰值信噪比 P_2 .

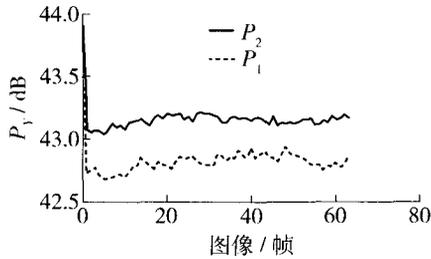


图 4 News 序列原图像与嵌入视频后图像 P

Fig. 4 The P of original and embedded video images of News

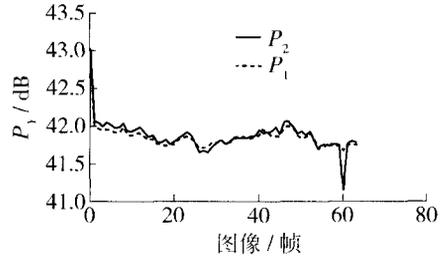


图 5 Foreman 序列原图像与嵌入视频后图像 P

Fig. 5 The P of original and embedded video images of Foreman

图 6、图 7 分别显示了 News 和 Foreman 原始视频序列、嵌入视频信息后压缩解压视频序列图像以及视频单独压缩解压视频序列图像第 1 帧的 RGB 彩色图像. 图 8 显示了 News 和 Foreman 两种视频序列分别隐藏的 QCIF 格式 Container 视频序列第 1 帧的 RGB 彩色图像及原始的 Container 视频序列图像.



图 6 News 视频第 1 帧原始和单独压缩以及嵌入视频信息后压缩恢复后图像

Fig. 6 The original and reconstructive images of the first frame of News

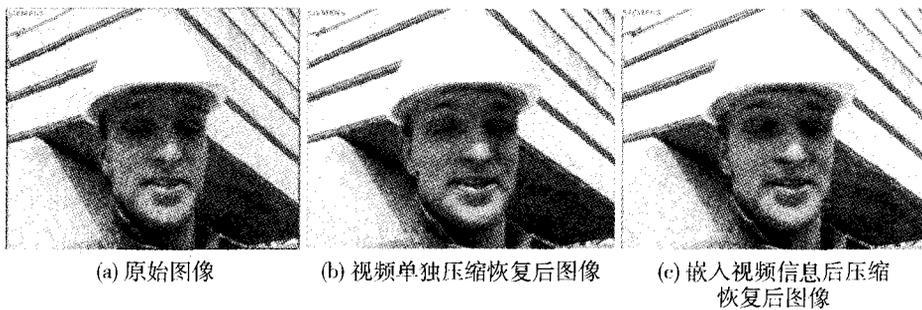


图 7 Foreman 视频第 1 帧原始和单独压缩以及嵌入视频信息后压缩恢复后图像

Fig. 7 The original and reconstructive images of the first frame of Foreman

简而言之, 从峰值信噪比来看, 通过对 DCT 系数进行修改来嵌入视频信号, 使嵌入视频信息的视频解码后图像质量与视频单独编码相比有所下降, 但是下降幅度很小, 平均差值仅为 0.22 dB, 而且在调整 Q 的过程中发现, 适当减小 Q 值可以明显遏制峰值信噪比的下降; 另一方面, 从 BER 来看, 高比特率信息隐藏在视频嵌入视频的方案非常成功, BER 整体处于很低的水平, 最高值仅为 0.035%. 被嵌入的视频信息在有损压缩编码中保持很高的鲁棒性, 隐藏的视频信息在不需要原始宿主视频信息的前提下成功地提取出来, 恢复成的图像接近原始图像, 如图 8 所示.



图8 Container 视频序列原始图像及分别嵌入在 News 与 Foreman 序列中恢复出的图像

Fig. 8 The original and reconstructive images of Container embedded in the sequences of News and Foreman

4 结束语

本文提出一种基于高比特率信息隐藏技术的视频嵌入视频方案,改进了信息隐藏算法,通过修改视频亮度成分图像 4×4 DCT 块的低频系数嵌入比特信息,宿主视频在嵌入隐秘视频后图像质量没有明显下降,人眼几乎无法发现宿主视频质量的变化,嵌入视频信息后的宿主视频在 H. 264/AVC 等有损压缩编码过程中呈现很强的鲁棒性. 实验结果表明,基于改进算法的方案可以有效提高信息隐藏速度,信息隐藏操作时间减少 20%,亮度成分峰值信噪比 P 平均下降 0.053,在接收端提取隐秘视频信息过程中出现比特误码率 B 比原算法仅提高 0.0001%,提取出的隐秘视频的比特误码率很低,图像质量接近嵌入前的图像,而且完成信息嵌入后的宿主视频大小没有发生变化,因此可以实现隐秘视频的安全传输和存储.

参考文献:

- [1] SWANSON Mitchell D, ZHU Bin, TEWFIK Ahmed H. Data hiding for video-in-video [C] // Proceedings of the 1997 International Conference on Image Processing. Santa Barbara, CA: IEEE Comput Soc, 1997, 2: 676-679.
- [2] FANG Ding-yu, CHANG Long-wen. Data hiding for digital video with phase of motion vector [C] // 2006 IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Piscataway: IEEE, 2006: 1422-1425.
- [3] CHANG Alturki, MERSEREAU R. A novel approach for increasing security and data embedding capacity in images for data hiding applications [C] // Proceeding of International Conference on Information Technology: Coding and Computing 2001. Los Alamitos: IEEE Comput Soc, 2001: 228-233.
- [4] CHAE J J, MANJUNATH B S. Data hiding in video [C] // Proceeding of the 6th IEEE International Conference on Image Processing. Piscataway: IEEE, 1999, 1: 311-315.
- [5] YANG M, BOURBAKIS N. A high bitrate information hiding algorithm for digital video content under h. 264/avc compression [C] // 2005 48th IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems. Piscataway: IEEE, 2005, 2: 935-938.
- [6] YANG M, BOURBAKIS N. High bitrate multimedia information hiding for digital image/video under lossy compression [J]. SPIE Journal of Electrical Imaging, 2007(16): 1-12.
- [7] MANICCAM S S, BOURBAKIS N. Lossless compression and information hiding in images [J]. Pattern Recognition, 2004, 37(12): 475-486.
- [8] XIE J, XIE Q, HUANG D. A robust high capacity information hiding algorithm based on DCT high frequency domain [C] // Proceedings of the 2009 International Symposium on Computer Network and Multimedia Technology. Piscataway: IEEE, 2009: 1-4.
- [9] SHIMIZU S. Performance analysis of information hiding [C] // Proceedings of SPIE Int Conf on Security and Watermarking of Multimedia Contents IV. Santa Clara: SPIE, 2002, 4675: 421-432.
- [10] YANG M, BOURBAKIS N. A high bitrate multimedia information hiding algorithm in DCT domain [C] // Proceedings of the Eighth World Conference on Integrated Design & Process Technology. Piscataway: IEEE, 2005: 13-17.

A Key Frame Interpolation Method Enhancing Motion Details of Skeletal Animation

KONG De-hui, WANG Li-chun, ZHENG Chong-yu

(Beijing Multimedia Key Laboratory of Multimedia and Intelligent Software, College of Computer Science, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: This paper presents a key frame interpolation method, which can represent swing and variable motion for virtual human animation. Based on motion features of angles between bones, key frames are extracted from captured motion data using curve simplification method. Key frames are classified through motion details, and different interpolation methods are used to compute internal frames for different class. Experiments show that method provided by this paper can simulate arm's swing and variable motion animation.

Key words: key frame; interpolation method; motion capture; motion details

(责任编辑 梁 洁)

(上接第 1254 页)

High Bitrate Information Hiding Technique for Video in Video

XIAO Chuang-bai, WANG Shou-dao, SI Wei

(College of Computer Science, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: An high bitrate information hiding algorithm is improved, and a scheme of video in video is implemented for secret video information transmission. Experimental results show that improved information hiding algorithm saves 20% time than the original algorithm, and the host video in which is embedded numerous auxiliary information has little visual quality decline, PSNR Y of host video only degrades 0.22 dB in average, and the average bit error rate of hidden information is 0.015%.

Key words: information hiding; video; embed

(责任编辑 梁 洁)