

基于矢量量化的数字水印综述^{*}

黄松¹ 张伟^{1,2} 陈军^{1,3} 杨华千^{1,2}

(重庆教育学院计算机与现代教育技术系 重庆 400067)¹

(重庆大学计算机科学与工程学院 重庆 400044)² (西南大学计算机与信息科学学院 重庆 400715)³

摘要 基于矢量量化的数字水印作为新出现的水印技术,对数字产品的版权保护起着非常重要的作用。本文对基于矢量量化的数字水印算法做了综述,介绍了现有的各种水印算法,分析了各自的特点,并指出下一步的研究方向。

关键词 数字水印,矢量量化,版权保护

A Survey of Digital Watermarking Based on Vector Quantization

HUANG Song¹ ZHANG Wei^{1,2} CHEN JUN^{1,3} YANG Hua-Qian^{1,2}

(Department of Computer and Modern Education Technology, Chongqing Education College, Chongqing 400067)¹

(Department of Computer Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044)²

(School of Computer & Information, Southwest China Normal University, Chongqing 400715)³

Abstract As a new technique, digital watermarking based on vector quantization plays an important role in the copyright protection for digital products. This paper reviews various watermarking algorithms based on vector quantization and analyzes their characteristics. The paper also proposes several research topics at next stage.

Keywords Digital watermarking, Vector quantization, Copyright protection

1 引言

数字水印技术随着网络和多媒体时代的到来应运而生,因其在数字产品版权保护等方面的潜在应用得到了越来越多的研究者的重视,并成为数据图像处理和信息安全领域的一个研究热点^[1,2]。传统的数字水印算法大致分为空间域方法和变换域方法两类。空间域方法主要是利用人眼视觉辨别上的有限性设计一种合适的算法,通过修改图像的某些像素来嵌入水印信息,如最早提出的最低有效位法 LSB (Least Significant Bits)^[3]。变换域方法先将图像做某种变换(如离散傅立叶变换 DFT、离散余弦变换 DCT、离散小波变换 DWT 等),然后把水印嵌入到图像的变换域中,再进行反变换生成含有水印信息的图像,如 Cox 的基于扩频通信技术的变换域数字水印^[4]等。

近年来又有学者利用矢量量化(VQ)技术提出一类新的数字水印算法——基于 VQ 的数字水印算法^[6~24],并逐渐成为数字水印研究领域的热点。本文根据这些算法的特性进行了综述,并指出了基于 VQ 的水印技术的发展方向。

2 矢量量化

矢量量化是近年来图像、语音信号编码技术中颇为流行的一种新型量化编码方法,它可以取得很高的压缩比。在图像存档或一对多通信等环境,解码器的简单使矢量量化非常有效。简而言之,矢量量化可以定义为一个从多维 Euclidean 空间到有限子集 $C = \{c_i | i = 0, 1, \dots, N-1\}$ 的一个映射。这个子集被称为码书, c_i 为码字, N 为码书大小。矢量量化首先需要从大量训练矢量中生成一个具有代表性的码书,常使用

的算法有迭代聚类算法^[5]。在矢量量化时,待编码的图像先被分割为矢量,然后对一个个矢量依次编码。在编码阶段,当针对某一矢量编码时,则直接到码书中寻找与其最接近(以 Euclidean distance 来判断)的码字,并以该码字在码书中的索引值来代表原始的矢量,如此即完成该矢量的编码工作。传输时并不传送码字本身,只传送其索引值。解码时非常简单,只要从码书中取出索引值所对应的码字即可完成解码的工作。压缩是通过传输和存储码字索引而不是码字本身来获得。

码书在矢量量化中起着非常重要的作用。码书的大小和码书中码字的数量在重构图像的质量和压缩比之间起着平衡作用。此外索引分派也是码书设计的一个重要问题,码书的生成也需要精心的设计。

3 基于 VQ 的数字水印算法

在过去的几年中,水印研究者提出了大量基于 VQ 的水印方案。本节对基于 VQ 的水印算法的嵌入方法进行了分析总结,并阐述了各算法的主要特点。

3.1 基于码书划分的方法

码书划分的目的是把码书分为多个区,编码时根据选用哪一个区的码字来传递相应的水印信息。在嵌入操作前,原始图像被划分成多个子块,然后寻找与每个子块最匹配的码字的索引,最后根据对应的水印比特来修改原始码字索引从而获得嵌入水印信息的码字索引。码字索引的修改必须满足如下条件:修改后引入的额外失真不超过给定的失真阈值。在解码阶段,嵌入水印的码字被用作输入图像块来提取水印。

目前提出的基于 VQ 的水印算法大多是基于码书划分来

^{*} 基金项目:国家自然科学基金资助项目(60573047);重庆市科委自然科学基金资助项目(CSTC, 2005B2286),重庆市教委资助项目(No. kj051501)。黄松 硕士,主要研究方向:神经网络,数字水印;张伟 教授,博士后,主要研究方向为信息安全、计算智能与数据挖掘;陈军 硕士研究生,主要研究方向为信息安全;杨华千 博士研究生,主要研究方向:信息安全,混沌数字水印。

设计的,但它们又存在各自的特点,如文[6]提出的一个通过修改 VQ 索引来隐藏水印信息的水印算法,是根据用户密钥将码书划分为多个子码书,然后参照对应的水印比特信息修改原始码字索引。

文[7]提出了一个类似的算法。为了获得较好的不可见性,它建议将码书划分为三组。

文[8]也与上述算法类似,它引入了码书扩展技术来产生码书划分进而满足水印的盲提取。

文[9]根据码字的不同特点将其分为不同的组,每一组包含两个码字,分别用来嵌入水印比特“0”和“1”,然后将二值水印比特嵌入到被选编码块。其主要特点是压缩图像和解压后的重构图像中都存在水印。

文[10]利用遗传算法设计了一个基于 VQ 的优化算法,该算法适合无记忆的对称双通道中的嵌水印图像传输。它实质上将码书分为了两部分,根据水印信息的不同分别选用不同部分的码字来进行编码。水印提取时也是根据码字所属哪一部分来实现。

文[11]提出了使用带标签码书的水印算法,其主要思想就是嵌入水印时把每个输入矢量优先指派给与其最匹配且码字标签等于待嵌入的水印比特的码字。

文[12]利用有限状态矢量量化(FSVQ)的状态改变的轨线特点设计了一种新的水印算法。它先利用水平和垂直边缘匹配检测将状态码书平分两部分,一部分水平边缘检测失真最小,另一部分垂直边缘检测失真最小。水印信息的嵌入是通过在编码时对状态改变的轨线做足够的改变来实现,即水印嵌入时根据对应的水印比特来选择状态码书相应部分的码字进行编码。水印提取时根据嵌有水印的矢量所属状态码书的哪一部分来判断水印信号。

文[13]提出了一个基于变维矢量量化(VDVQ)的数字水印算法。其主要思想是采用一个码字维数可变的码书。该算法将水印嵌入到输入图像的变维重构块的维数信息中,水印提取通过鉴别重构块的维数来实现。如为了嵌入一个二值水印,采用的码书需要包含两种维数不同的码字。在图像编码时被选码字的维数要根据待嵌入的水印信息来确定。这种方法嵌入的水印比较脆弱,对压缩图像解码或再编码则很容易去除嵌入的水印。

为了提高嵌入容量,文[14]和文[15]使用 VQ 技术对大尺寸灰度水印图像进行编码,并将其转换为二进制格式,然后使用前面介绍的方法将其嵌入到掩饰图像。

文[16]提出了一个在水印中隐藏水印的算法。先在一个灰度水印中嵌入一个二值水印,再使用基于码书划分的 VQ 技术将其嵌入到掩饰图像,从而进一步提高了水印容量。

3.2 基于 VQ 索引特点的方法

为了提高抗旋转和 VQ 压缩攻击,文[17]于 2001 年提出了一种利用自然图像和矢量压缩技术的特点来嵌入水印的算法。它利用自然图像相邻子块之间的量化索引非常相似的特点来产生极性,即先计算某个索引和周围索引之间的方差,再通过该方差与预设阈值的大小比较来判定极性值。为了方便,一般把阈值设为码书大小的一半。最后再通过极性矩阵与水印的异或操作得到嵌入水印或密钥。在水印检测时,先计算待测图像的极性,再通过极性矩阵和密钥的异或操作得到提取水印。

文[18]在此基础上利用相邻索引的特点如均值、方差等进一步地提出了基于 VQ 索引特点的多水印算法。

与基于码书划分的水印算法不同的是上述算法并未修改 VQ 压缩域的值,它实际上是将水印隐藏在了参照 VQ 索引

产生的密钥里面,因而称为“指纹”或者“安全指纹”可能更合适,有时也被称为“零水印”。这类算法一般具有较好的稳健性,可以抵抗较大角度的旋转攻击,但是存在以下两个问题:①这种算法在未嵌有水印的图像中也可以提取出水印;②码书必须作为密钥使用,否则用户获得码书后也可以不加任何修改就嵌入自己的水印。

3.3 基于约束 VQ 的方法

文[19]利用约束 VQ 技术,在每个索引嵌入一位水印比特。与通常的 VQ 编码不同,假如在索引中选择的嵌入位为 m ,则水印嵌入操作在满足待选码字索引的第 m 位等于待嵌入的水印比特的条件下,搜索与输入矢量最匹配的码字。水印提取时根据索引的第 m 位获得水印信息。

文[20]与文[21]引入多重描述编码技术提出了适合在有噪声的信道进行错误弹性传输的 VQ 数字水印算法。水印嵌入时先把原始码字索引依次向左移一位,然后把水印比特添加到末尾生成新的码字索引(即最后一位必须和水印信息相同)。水印提取时根据“多数投票”原则来判断水印信息,若投票数相同的话随机判定。

这类水印算法的特点是要求用来代表输入矢量的码字索引的某一位(由各算法设定)必须与待嵌入的水印比特相同。

3.4 综合几种方法的多水印算法

一些文献综合上述嵌入方法提出了多功能、多水印算法。

文[22]提出了一个基于去均值 VQ 结构的多用途数字水印算法。它在均值索引和剩余索引中分别使用不同的方法嵌入脆弱水印和稳健性水印从而实现多用途目的。

文[23]提出了一个基于多阶段 VQ 结构的多用途数字水印算法。它在不同的量化阶段分别选择基于 VQ 特点的方法和约束索引的 VQ 方法嵌入稳健性水印和脆弱水印,且水印提取时不需要原始图像。多阶段 VQ 的基本思想是将编码任务分割为多个连续的阶段:第一个阶段主要使用一个较小的码书对输入矢量进行相对较粗糙的量化;第二阶段主要对原始矢量和第一阶段的量化输出之间的误差矢量进行量化操作,被量化的误差矢量可以用来对输入矢量进行更精确的描述;第三阶段中量化器又被用来量化第二阶段的误差,依此类推。

文[24]结合 DCT 提出了一个基于 VQ 的多水印嵌入算法。它通过在同一数据源的不同的压缩域中分别嵌入多个水印来提高水印抵抗恶意攻击的能力。

4 总结与展望

数字水印作为新兴的研究领域,在过去十年中得到了蓬勃的发展,VQ 技术应用于水印研究,更为其注入了新的活力。基于 VQ 的数字水印算法的优点是:可以减少数据传输量,解码简单,且对 VQ 攻击具有很好的抵抗能力。但是存在下列一些以待将来解决的问题或不足:在基于 VQ 的数字水印系统中并未考虑人眼的视觉特点;对于版权保护来说,使用现有基于 VQ 的数字水印算法所获得的嵌水印图像质量还不够高等。

基于 VQ 的水印自适应性、鲁棒性、安全性、抗攻击性的研究和多媒体水印及其与加密技术、网络应用的结合,将是以后研究的重点。从现有技术和需求分析来看,未来基于 VQ 的水印研究热点为:

- (1)结合相关技术进一步完善基于 VQ 的数字水印算法。
- (2)多用途数字水印算法的研究。
- (3)基于 VQ 的自适应算法研究。VQ 未能反映人眼的视觉特性,得到的图像视觉效果相对较差,结合 HVS(人类视

觉系统)构造自适应算法是未来具有挑战性的水印研究方向。

(4) 现有图像水印算法向多媒体领域的移植。基于 VQ 的水印算法多集中在图像水印研究, 基于音频等领域的水印还较欠缺。现有水印算法向多媒体领域的移植, 将是今后的发展方向。

参考文献

- Swanson M D, Kobayashi M, Tewfik A H. Multimedia Data Embedding and Water marking Technologies [J]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(6):1064~1087
- Miller M L, Cox I J, Bloom J A. Informed Embedding; Exploiting Image and Detector Information During Watermark Insertion [A]. In: Proc. of IEEE Intl. Conf. on Image Processing [C]. Vancouver: IEEE Press, 2000. 1~4
- Tirkel A Z, Rankin G A, Van Schyndel R G, et al. Electronic watermark [C]. Proceedings DICTA-93, Macquarie University, Sydney, 1993, 1:666~673
- Cox I J, Kilian J, Leighton F T, Shamoon T. Secure spread spectrum watermarking for multimedia [J]. IEEE Trans. Image Processing, 1997, 6(12): 1673~1687
- Linde Y, Buzo A, Gray R M. An algorithm for vector quantizer design [J]. IEEE Trans. Commun, 1980, 28(1):84~95
- Lu Z M, Sun S H. Digital image watermarking technique based on vector quantisation [J]. Electronics Letters, 2000, 36(4):303~305
- Jo M, Kim H D. A digital image watermarking scheme based on vector quantization [J]. IEICE Trans. Inf. & Syst., 2002, E85-D(6):1054~1056
- Lu Z M, Pan J S, Sun S H. VQ-based digital image watermarking method [J]. Electron. Lett., 2000, 36(14):1201~1202
- Wu Hsien-Chu, Chang Chin-Chen. A novel digital image watermarking scheme based on the vector quantization technique [J]. Computers & Security, 2005, 24(6): 460~471
- Pan J S, Sung M T, Hsiang C H, et al. Robust VQ-based Digital Watermarking for Memoryless Binary Symmetric Channel [J]. ISCAS, 2004(5):580~583
- Lu Z M, Xing W, Xu D G, et al. Digital Image Watermarking Method Based on Vector Quantization with Labeled Codewords

- [J]. IEICE Trans. Inf. & Syst., 2003, E86-D(12):2786~2789
- Lin Y C, Huang Z K, Pong T T, et al. A Robust Watermarking Scheme Combined with the FSQV for Images [J]. ICITA'05, 2005
- Makur A, Selvi S S. Variable dimension vector quantization based image watermarking [J]. Signal Processing, 2001, 81(4): 889~893
- Wang F H, Jain L C, Pan J S. VQ-based gray watermark embedding scheme with genetic index assignment [J]. Int. Journal of Computational Intelligence and Applications (IJCIA), 2004, 4(2):165~181
- Wang F H, Jain L C, Pan J S, et al. A VQ-Based Image Data Hiding Scheme [J]. ICME, 2004. 2191~2194
- Wang F H, Jain L C, Pan J S. Hiding Watermark in Watermark [J]. In: IEEE Intl. Symposium on Circuits and Systems, 2005. 4018~4021
- Huang H C, Wang F H, Pan J S. Efficient and robust watermarking algorithm with vector quantisation [J]. Electronics Letters, 2001, 37(13):826~828
- Huang H C, Wang F H, Pan J S. A VQ-based robust multi-watermarking algorithm [J]. IEICE Trans. Fundamentals, 2002, E85-A(7):1719~1726
- Lu Z M, Liu C H, Xu D G. Semi-fragile Image Watermarking Method Based on Index Constrained Vector Quantization [J]. Electron. Letter, 2003, 39(1):35~36
- Pan J S, Hsin Y C, Huang H C, et al. Robust Image Watermarking Based on Multiple Description Vector Quantisation [J]. Electronics Letters, 2004, 40(22):1409~1410
- Pan J S, Hsin Y C, Huang H C, et al. Multiple Description Watermarking for Lossy Network [J]. In: 2005 IEEE Int'l Symposium on Circuits and Systems, 2005. 3990~3993
- Lu Z M, Sun Z. An Image Watermarking Method Based on Mean-Removed Vector Quantization for Multiple Purpose [J]. MVA2005, 2005. 558~561
- Lu Z M, Xu D G, Sun S H. Multipurpose Image Watermarking Algorithm Based on Multistage Vector Quantization [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(6):822~831
- Shieh C S, Huang H C, Wang F H, et al. An Embedding Algorithm for Multiple Watermarks [J]. J. Inf. Sci. Eng., 2003, 19(2):381~395

(上接第 92 页)

一方面, OSD 能够从 QoS 属性那里轻易地得知应用请求的服务模式(服务类型), 这个信息对大部分传统的存储系统而言是很渴求却又很难得到的, 因为服务模式对于存储设备的相关策略和算法都有很重要的参考价值。另一方面, OSD 掌握着存储空间的分配权, 可以通过优化数据在存储设备上的布局以达到提供性能的目的。

综合以上两点, 考虑到基于带宽需求的应用请求所具有的周期特性, 结合 Buffer 的预取策略, 我们可以给出一个基于带宽请求优先的应用请求优化(Bandwidth-based Request Priority, BRP)算法。BRP 算法通过优先考虑基于带宽需求的请求来达到整个系统性能优化的目的。对基于带宽需求的写请求, 该算法尽量把该应用请求的数据放在一片连续的空间中; 对该请求, 则采用 Buffer 的预取策略, 把数据提前读出。算法描述如下:

BRP 算法:

(1) 系统服务是否中止。如果是, 转(5);

(2) 判断系统请求队列中是否有基于带宽需求的请求。

如果没有, 转(4);

(3) 摘取系统请求队列中第一个基于带宽需求的请求, 判断该请求是不是请求的类型:

如果是 Write 请求, 则用一个系统唯一 ID 来标识该请求。接着遍历系统队列, 找到同一应用的其它基于带宽需求的请求, 并且用同一 ID 标识它, 判断在该请求与紧邻的前一个同 ID 的请求合并后, 两者间的其它应用请求需求是否仍然可以满足。如果满足, 则把该请求提前并且完成合并。转(2);

如果是 Read 请求, 则生成一预取数据请求。预取的数据

与该请求对应的数据相邻。如果该预取请求对应的数据在 Buffer 中没有命中, 则把预取请求附加在该请求上, 否则撤销预取请求。转(2);

(4) 是否有某 ID 对应的应用请求全部完成, 有, 则回收该 ID。转(1);

(5) 结束

结束语 OSD 对外提供一个全新的、富有表达力的对象级接口, 使得基于 OSD 存储系统能够很好地支持应用程序的 QoS 服务; 智能性使 OSD 的系统性能得到优化, 从而更进一步保证了 OSD 提供稳定的 QoS 服务。本文在分析基于对象存储系统的 QoS 需求之后, 对 OSD SCSI 协议集标准进行扩展, 接着采取量化的方法对 QoS 进行了分析, 给出了应用客户和 OSD 之间 QoS 信息交互的工作过程。最后, 紧密结合 OSD 的特性, 提出 OSD 上的 QoS 三层模型 Q-Model 和请求优化算法 BRP。在未来的工作中, 我们将研究多个 OSD 环境下的 QoS。

参考文献

- Satran J, et al. Object-based Storage Device Commands. <http://www.t10.org/drafts/osd/>, Oct. 2004
- Lustre project, <http://www.lustre.org>
- Lu Yingping, Du D H C, Ruwart T. QoS Provisioning Framework for an OSD-based Storage System. IEEE/NASA MSST 2005, Apr. 2005
- KleinOowski K, Ruwart T, Lilja J. Communicating Quality of Service Requirements to an Object-Based Storage Device. IEEE/NASA MSST 2005, Apr. 2005
- Wijayaratne R, Reddy A L N. Integrated QoS management for disk I/O. IEEE, 1999
- Henson V, Bonwick J, Ahrens M. Existential QoS for Storage. 1999