

一种自适应数字水印嵌入方法

张 伟^{1,2} 彭 军^{1,3} 廖晓峰¹ 吴中福¹

(重庆大学计算机学院 重庆400044)¹

(重庆教育学院计算机与现代教育技术系 重庆400067)²

(重庆工业高等专科学校计算机系 重庆400050)³

An Adaptive Digital Watermarking Embedding Approach

ZHANG Wei^{1,2} PENG Jun^{1,3} LIAO Xiao-Feng¹ WU Zhong-Fu¹

(Department of Computer, Chongqing University, Chongqing 400044)¹

(Department of Computer & Modern Education Technology, Chongqing Education College, Chongqing 400067)²

(Department of Computer, Chongqing Polytechnic College, Chongqing 400050)³

Abstract As an effective method of ownership assertion for digital media, digital watermarking has been targeted especially in recent years. In this paper, an adaptive digital watermarking embedding approach is presented. By applying fuzzy c-means clustering algorithm based on human visual system, the clustering result may carry out the adaptive selection of the strength value of watermark. Compared with other means, the embedded watermark is more imperceptible and robust. In the same time, there is more anti-attack ability for embedded watermark in frequency domain than that in spatial domain. In the end, we also present results to show that our approach is applicable in practice.

Keywords Digital watermarking, Human visual system, Fuzzy C-means clustering

1 引言

多媒体数据的数字化为多媒体信息的存取提供了极大的方便,同时也极大地提高了信息表达的效率 and 准确性。随着因特网的日益普及,其上的数字媒体(数字声音、文本、图像和视频)应用正在呈爆炸式地增长,越来越多的知识产品以电子版的方式在网上传播。由于数字信号处理和网络传输技术可以对数字媒体的原版进行无限制地任意编辑、修改、拷贝和散布,造成数字媒体的版权问题日益突出。因此如何既利用因特网的便利,又能有效保护知识产权,受到了人们的高度重视^[1~5]。数字水印技术作为数字媒体版权保护的有效办法,从1993年 Caronni 正式提出到现在短短的时间里,已经成为多媒体信息安全领域的一个热点。

聚类的目标是将数据聚集成类,使得类间的相似性尽量小,而类内的相似性尽量大。聚类通过比较数据的相似性和差异性,能发现数据的内在特征及分布规律,从而获得对数据更深刻的理解与认识,所以它受到了科技界的广泛关注。本文基于人类视觉系统(HVS)模型,巧妙利用模糊 C-均值聚类(FCM)^[6,8,9],提出了一种自适应数字水印的嵌入方法。

2 基本思想

图像作为一种数字媒体,选择图像中适合嵌入水印的位置(或像素点)是值得研究的课题。在水印嵌入方案中,基本遵循的原则是最大限度地利用人类视觉系统 HVS(Human Visual System)模型。其基本思想是利用从视觉模型导出的 JND(Just Noticeable Distortion)描述来确定在图像的各个部分所能容忍的数字水印信号的最大强度,从而避免破坏视觉质量。我们采用的手段是应用 HVS 模型,并结合 FCM 算法,将图像划分为两个类:一个类适合于嵌入数字水印,有较强的透明性和鲁棒性;另一个类则不适合于嵌入数字水印。水印强

度 α 取为由 FCM 得到的隶属度 $\mu_c(i, j)$, 以实现自适应水印嵌入。

设像素 (i, j) 周围 3×3 邻域为 $N(i, j)$ 。为了对图像的局部特征进行模糊聚类,我们依据人类视觉系统模型(HVS)和相关统计知识,考察如下五个特征(我们在文[7]中的四个特征基础上,增加了梯度敏感值一个特征):

(1)亮度敏感值,即灰度均值,代表子图的亮度。

$$B = \frac{1}{9} \sum_{(u,v) \in N(i,j)} g_{uv}$$

(2)梯度敏感值,即梯度模,用于衡量图像在所有方向变化的敏感度。

$$G = \frac{1}{9} \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 |g_{i+k,j+l} - g_{i,j}| \quad (k \text{ 和 } l \text{ 不同时为零})$$

(3)纹理敏感值,即灰度的方差,决定子图的纹理。

$$T = \sum_{(u,v) \in N(i,j)} |g_{uv} - B|$$

(4)对比度敏感值,即灰度之间的最大距离,表现为子图对比度。

$$C = \max(g_{ij}) - \min(g_{ij})$$

(5)熵敏感值,即信息论中的熵计算式,用于对子图的不确定性进行度量。

$$E = - \sum_{(u,v) \in N(i,j)} p_{uv} \cdot \log p_{uv}$$

其中 g_{ij} 表示像素 (i, j) 的灰度值, p_{ij} 定义如下:

$$p_{ij} = g_{ij} / \sum_{(u,v) \in N(i,j)} g_{uv}$$

这样每个像素点就对应了五个值,它们构成了一个特征向量 $X = (B, G, T, C, E)$

因此,可以将整幅图像的所有像素点看作是五维向量空间构造原始图像的五维特征向量空间 $\Omega = \{(B, G, T, C, E)\}$, 对它们应用 FCM 算法,就能够把图像分为两个类:一个类适合于嵌入数字水印,而另一个类则不适合于嵌入数字水印。同时,水印强度 α 取为由 FCM 得到的隶属度 $\mu_c(i, j)$, 以实现自

适应水印嵌入。

3 具体方案

将水印 X 插入到图像 V 中的方法有如下三种:

$$v'_i = v_i + \alpha x_i \quad (1)$$

$$v'_i = v_i (1 + \alpha x_i) \quad (2)$$

$$v'_i = v_i e^{\alpha x_i} \quad (3)$$

其中, v 是图像 V 的 DCT 变换系数, α 是水印 X 的强度。

方程(1)不适用于 v_i 变化范围很大的情形,而方程(2)和(3)则对 v_i 的变化具有适应性。因此本文采用方程(2)。水印强度 α 取为由 FCM 得到的隶属度 $u_i(i, j)$, 以实现自适应水印嵌入。

3.1 水印嵌入方法

水印嵌入过程如图1所示。

水印嵌入具体方案如下:

1. 水印: 由一系列实数构成, $X = x_1, x_2, \dots, x_n$, 符合正态分布 $N(0, 1)$, 这里 $n=1600$ 。

2. 构造原始图像的五维特征向量空间 $\Omega = \{(B, G, T, C, E)\}$, 对其运用 FCM 进行模糊聚类(划分为两类)。

3. 对原始图像进行 DCT 变换。

4. 选取 DCT 变换系数中最大的1600个(不包括直流 DC 系数), 对它们进行如下修改:

$$v'_i = v_i (1 + \alpha_i x_i)$$

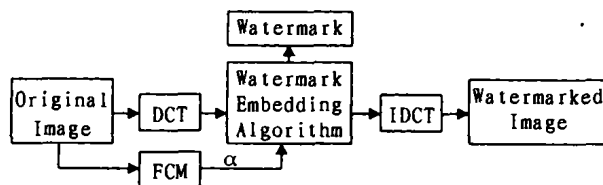


图1 水印嵌入过程

其中, v_i 表示 DCT 系数, x_i 表示水印, α_i 为水印嵌入强度, 这里用 v_i 对应坐标处的模糊隶属度替代, 以实现自适应水印嵌入。

5. 对系数修改了的 DCT 矩阵进行 IDCT 变换, 得到嵌入了水印的水印图像。

3.2 水印检测方法

水印检测过程如图2所示。

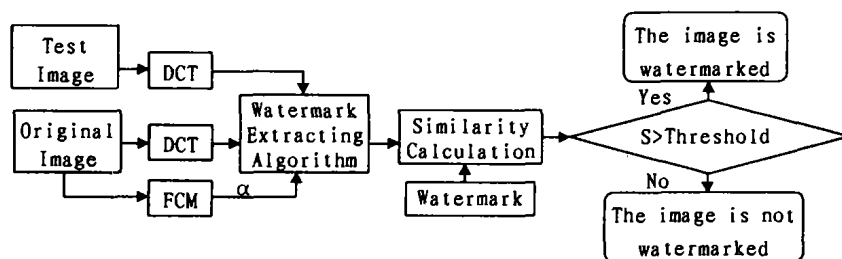


图2 水印检测过程

水印检测具体方案如下:

1. 对测试图像和原始图像分别进行 DCT 变换, 如水印嵌入方案中, 选取最大的1600个 AC 系数。设 v_i^* 为测试图对应的 DCT 系数, v_i 为原始图对应的 DCT 系数。按如下公式提取出水印 x_i^*

$$x_i^* = \frac{v_i^* - v_i}{v_i \cdot \alpha_i}$$

α_i 含义同上。

2. 计算相似度

$$\text{sim}(X, X^*) = \frac{X \cdot X^*}{\sqrt{X \cdot X \cdot X^* \cdot X^*}}$$

其中 $(X, X^*) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot x_i^*$, 为向量 X 与 X^* 的内积。

3. 给定判定阈值 T , 如果 $\text{sim}(X, X^*) > T$, 则认为测试图像包含水印 X , 否则就不包含水印 X 。

4 实验结果

我们对图像 Lena(256 * 256)进行了计算机仿真实验, 结果如下:



图3(a) 原始图像



图3(b) 水印图像

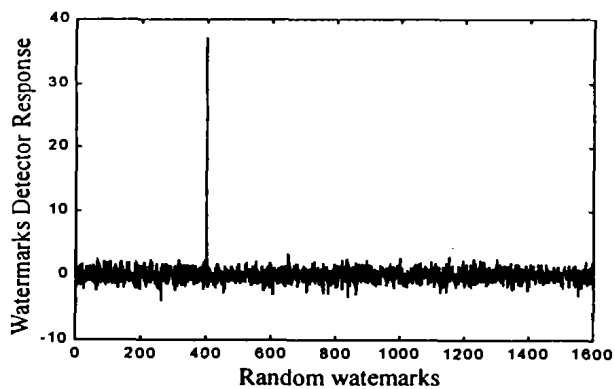
图3(c) 检测器响应 $\text{sim}=37.06$

图3(c) 检测器对1600个随机产生的水印的响应, 只有一个与图3(b)中的水印相匹配($x=400$ 处), 检测器响应 $\text{sim}=37.06$ 。

另外, 我们还进行了抗攻击测试:

1. 噪声攻击



图4(a) 对图3(b)加入 Gaussian 噪声

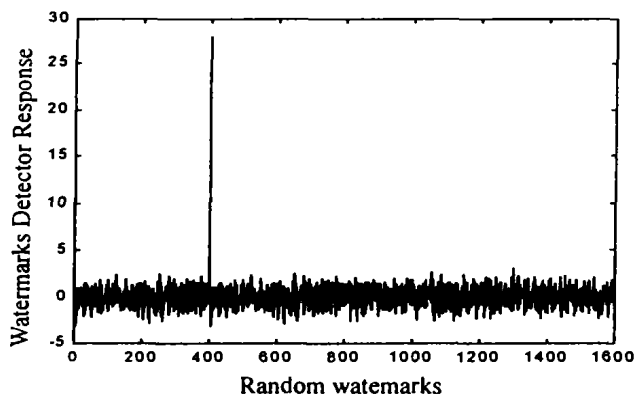
图4(b) 检测器响应 $\text{sim}=28.14$

图4(a)是对图3(b)加入了 Gaussian 噪声, 图4(b)则对其进行检测器响应, $\text{sim}=28.14$ 。

2. 低通滤波

图5(a)是对图3(b)进行低通滤波, 图5(b)则对其进行检测器响应, $\text{sim}=13.65$ 。

3. 图像增强

图6(a)是对图3(b)进行 Unsharp 图像增强, 图6(b)则对其进行检测器响应, $\text{sim}=9.17$ 。



图5(a) 对图3(b)进行低通滤波

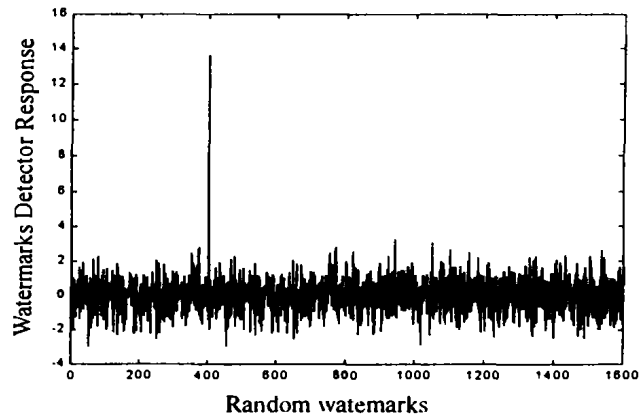
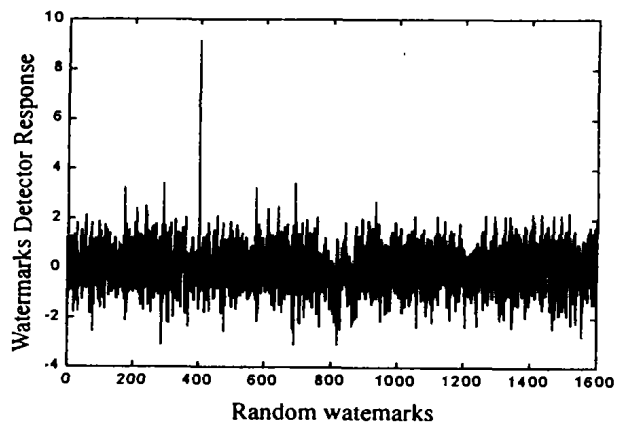
图5(b) 检测器响应 $\text{sim}=13.65$ 

图6(a) 对图3(b)进行 Unsharp 图像增强

图6(b) 检测器响应 $\text{sim}=9.17$

结束语 本文提出了一种自适应数字水印的嵌入方法, 该方案主要有以下特点: (1) 基于 HVS 模型, 巧妙利用 FCM

模糊 C-均值聚类,聚类结果可以用来实现水印的强度自适应选择。与一般方法相比,嵌入的水印更具有隐蔽性和不可见性;(2)在频域中进行水印的嵌入,比空域方法有更强的抗攻击能力(比如常见的图像处理等方法);(3)方法思路新颖,容易实现,水印图像具有较好的鲁棒性。

参考文献

- 1 Barni M, Bartolini F, Cappellini V, Piva A. A DCT-domain System for Robust Image Watermarking. *Signal Processing*, 1998, 66(3): 357~372
- 2 Cox I J, Kilian J, Leighton F T, Shamoon T. Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia. *IEEE Trans. Image Processing*, 1997, (12): 1673~1687
- 3 Cox I J, Linnartz J-P. Some general methods for Tampering with

Watermarks. *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, 16(4): 587~593

- 4 Hsu C-T, Wu J-L. DCT-based Watermarking for video. *IEEE Trans. Consumer Electronics*, 1998, 44(1): 206~216
- 5 Huang J, Shi Y Q. Adaptive image watermarking scheme based on visual masking. *IEE Electron. Lett.*, 1998, 34(8): 748~750
- 6 Jain A K, Dubes R C. *Algorithms for Clustering Data*. Prentice Hall, 1988
- 7 Lou D-C, YIN T-L. Adaptive Digital Watermarking Using Fuzzy Clustering Technique. *IEICE trans. fundamentals*, 2001, E84-A(8)
- 8 张伟, 廖晓峰, 吴中福. 一种基于遗传算法的聚类新方法. *计算机科学*, 2002, 29(6)
- 9 张伟. 数字水印中 FCM 算法的应用研究. *计算机科学*, 2002, 29(8)

(上接第102页)

是 Intranet, 用户面对扑面而来的大量信息, 想要及时、准确地获取有用信息并非易事, “Push(推送)技术”^[15]与传统的“Pull(拉取)技术”有明显不同, 其最大的差别是: 用户不再辛苦地花时间上网搜寻, 就可以获取最新的信息, 用户可以预先订阅频道, 设定什么时间、将什么内容送到操作系统桌面上显示出来。图1是我们提出的智能化 push 系统框架。该系统是一个采用开放式 Browser / Server 网络体系结构建立起来的分布式计算机网络, 具有如下特征与功能:

(1) 能自由增加、修改信息频道, 自由选择、优化信息资源。

(2) 系统利用知识库(KB)、方法库(WB)及模型库(MB)和机器学习(ML)、知识发现(KDD)等人工智能的理论和方法, 形成多库协同系统, 提高系统信息获取的智能化水平; 其中知识库用于知识信息的存储和查询。模型库用于模型信息的存储与调用。方法库用于方法信息的存储和调用。在方法库中主要存放决策过程中常用的方法, 如优化方法、预测方法等。

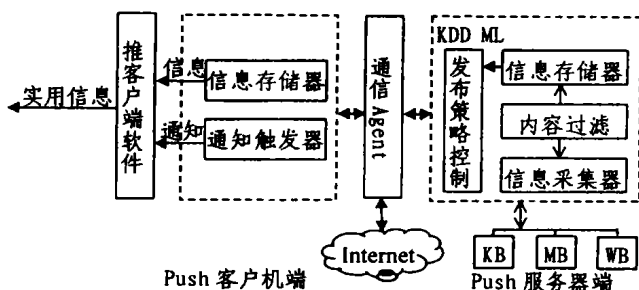


图1 智能 push 系统框架

(3) 具有智能化的信息预采集机制, 同时选择较好的发布策略, 可更加有针对性地向用户推送信息。

总结 WWW 已经成为人们交流和获取信息的重要手段, 随着资源的极大丰富, 广大网络用户在资源使用中所遇到的困难也愈来愈多。因此, 根植于问题求解与知识处理的人工智能技术在 Web 信息获取中大有用武之地, 为各种信息获取

方式的智能化提供理论与技术上的支持。尽管文中所提及的一些原型系统及框架距实用化还有一定距离, 但相信在各方科研人员的共同努力下, 其最终实现为时不远。

参考文献

- 1 涂序彦. 智能信息“推一拉”技术. *计算机世界*, 2000(14)
- 2 Zamir O, Etzioni O. Web Document Clustering: A Feasibility Demonstration. <http://citeseer.nj.nec.com/>
- 3 Mui C, McCarthy W E. FSA: Applying AI Techniques to the Familiarization Phase of Financial Decision Making. *IEEE Expert*, 1987, 2(3): 33~41
- 4 FAQFinder. <http://www1.ics.uci.edu/~burke/faqfinder/>
- 5 Burke R D, et al. Question Answering from Frequently-Asked Question Files: Experiences with the FAQFinder System. The Univ. of Chicago: [Technical Report TR-97-05]
- 6 Cooper E. Improving FAQfinder's Performance: Setting Parameters by Genetic Programming. <http://citeseer.nj.nec.com/16618.html>
- 7 Internet 与 Intranet 中的人工智能技术. <http://member.netease.com/~rygshen/tech/inetai.html>
- 8 应晓敏, 婁文华. 智能 Web 浏览器及其关键技术. *计算机科学*, 2001(9)
- 9 Joachims T, Freitag D, et al. Webwatcher: A Tour Guide for the World Wide. <http://www-2.cs.cmu.edu/afs/cs.cmu.edu/project/theo-6/web-agent/www/project-home.html>
- 10 鄢琦, 彭岩, 齐剑锋, 涂序彦. 基于 Agent 结构的 MIS 系统设计与实现. *计算机工程与应用*, 2002
- 11 Canter S. Browser Buddy. <http://www.zdnet.com/pcmag/features/utility/>
- 12 Judge P C. FIREFLY: THE WEB SITE THAT HAS MAD AVE. BUZZING
- 13 Webdoggie, a personalized WWW document filtering system. <http://webhound.www.media.mit.edu/projects/webhound/>
- 14 Lang K. NewsWeeder: Learning to filter netnews. In: *Proc. of the Twelfth Intl. Conf. on Machine Learning*, pp. 331~339
- 15 Web-based Push Technologies. <http://www.itc.virginia.edu/~s/powerpoint/push/tsld006.htm> point/push/tsld006.htm