

一种新的基于小波变换的自适应可视水印嵌入算法^{*})

A New Visible Watermark Embedding Algorithm Based on DWT

刘 挺 黄继凤

(上海师范大学数理信息学院 上海200234)

Abstract It becomes more and more popular in the modern life along with the growing of the Internet that people mostly choose network to publish their digital image products such as ichnography. So, it becomes a hot point of research that how to display the authority information clearly but cause no influence of enjoying the image at the same time. In this paper, we introduce an algorithm of embedding visible watermark. Through calculating the average value and difference value of the original image by 8×8 block, we adapt the watermark image according to the result to fit the luminance change of the original image. And, we use WT to embed the watermark image in low and high band differently to enhance the robustness. The algorithm could resist common image processing such as image transform.

Keywords Digital watermark, Visible watermark, Image processing, Wavelet transform

一、前言

随着当代信息技术的迅猛发展,各种数字化产品、电子出版物(图片、音频、视频、文本等)的发布变得日益流行,数字信息的复制也变得越来越简单。同时,伴随着 Internet 的日益普及,使得人们可以通过计算机网络传播多媒体资源而带来巨大的商业利润。因此对于内容提供商和版权所有者而言,在网上发布他们的数字作品(例如数字图像、数字音乐、数字视频等)时如何保护他们的知识产权就成了一个非常迫切的问题。众所周知,网络上传播最为广泛的是各种数字图像,许多个人平面设计师、广告公司、建筑设计单位、报社编辑部门、网络公司等,在将其作品通过网络传播的同时,如何有效地防止作品被篡改、复制,如何证明自己的版权所有等问题,正是目前各界研究的热点。数字水印技术正是解决这一问题的一个关键技术,它既能使作者在“可见的”情况下发布和共享其作品的同时,又能减少对其作品被盗版、篡改等问题的担心。

传统水印研究的热点一般是不可视水印,这种水印应满足如下一些原则:

- 水印在视觉上应对原图像没有造成任何可察觉的质量降低。

- 水印必须是不可或极难擦除的,并且嵌入水印后不影响原图像的使用价值。

- 水印必须能抵抗一些常见的图像处理,例如图像缩放、重采样、剪切、压缩等。

- 在一些水印应用中,公认的权威检测机构应能较容易地检测到水印,从而可以有效地保护作品的版权归属。

相比较于不可视水印,可视水印同样具有极大研究价值。可视水印一般应满足如下一些原则:①水印应自适应地保持半透明,不可对原图像造成太大的视觉影响。②水印必须是不可或极难擦除的。

本文提出了一种基于小波变换的自适应可视水印嵌入算法,通过分块计算原始图像的均值、方差,然后使水印图像按照计算结果能自适应地对原图像中的亮、暗区域灰度变化进行自动调整适应,从而使得嵌入水印后的图像仍保持较高的

观赏价值。由于采用了小波变换进行分频段水印嵌入,低频段嵌入水印低频部分,高频段嵌入水印高频部分,使得加入水印后的图像具有较强的鲁棒性,能抵抗一般的图像处理时水印不会丢失。

二、算法描述

本算法实验使用的原始图像为256级灰度图像,水印图像为同样大小的二值图(如果非二值图则可通过设定阈值转化为二值图),我们假设白色的像素值为255,黑色的像素值为0。

1. 水印图像预处理

我们知道,对于二值图来说,图像只有两种灰度,即黑和白。我们准备将水印图像嵌入原始图像的亮度通道中,因此,必须先对水印图像进行预处理,也就是先要确定前景色和背景色。比如我们选择水印图像中的白色作为透明色,将其像素值设为0;黑色作为前景色,其像素值应能跟随原始图像的灰度变化而变化。

2. 计算自适应水印系数

如上文所述,水印图像中的前景色灰度值应能随原始图像中的灰度值变化而变化。因此,在嵌入水印前,我们先要根据原始图像的灰度值计算水印图像的自适应水印系数。

已知水印的自适应系数计算公式如下:

$$\begin{cases} W_{xy} = W_{xy} \cdot \frac{y_w}{38.667} \sqrt{\left(\frac{y_{xy}}{y_w}\right)^2 \cdot \Delta L}, & \frac{y_{xy}}{y_w} > 0.008856 \\ W_{xy} = W_{xy} \cdot \frac{y_w}{903.3} \cdot \Delta L, & \frac{y_{xy}}{y_w} \leq 0.008856 \end{cases} \quad (1)$$

其中, W_{xy} 是经过计算的水印系数,可以直接嵌入原始图像; W_{xy} 是水印图像中在位置 (x, y) 处的非透明像素值; y_w 是白色像素的像素值; y_{xy} 是原始图像中在位置 (x, y) 处的灰度值; ΔL 是控制嵌入水印能量的参数。

如果我们把水印图像 W_{xy} 和原始图像 y_{xy} 看作为两个独立的随机变量,其中 y_{xy} 的变化范围为 $(0, 255)$,并且使 $y_w = 255$,则公式(1)可以简化为:

$$\begin{cases} W_{xy} = 0.163998 \cdot W_{xy} \cdot f(\alpha, \beta^2) \cdot \Delta L, & y_{xy} > 2.2583 \\ W_{xy} = 0.282298 \cdot W_{xy} \cdot \Delta L, & y_{xy} \leq 2.2583 \end{cases} \quad (2)$$

其中,我们假设 y_{xy} 为正态分布, α 和 β^2 分别为其均值和方差,

^{*})本文受上海教委科学技术发展基金(CL200009)资助,刘 挺 硕士,专业方向:数字通信。

因此, $f(\alpha, \beta^2)$ 如公式(3)所示:

$$f(\alpha, \beta^2) = \int_0^{255} t^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\beta^2}} e^{-\frac{(t-\alpha)^2}{2\beta^2}} dt \quad (3)$$

我们将原始图像(256×256)分成8×8小块,分别计算每块的均值 α 和方差 β^2 ,然后代入公式(3)中即可计算出每块的 $f(\alpha, \beta^2)$ 的值。同样,我们将水印图像也分成8×8小块,分别和原始图像的每块对应起来。为简便起见,我们用均值 α 代替公式(2)中的 y_{xy} ,于是便得到了分块水印系数计算公式如下:

$$\begin{cases} W_{xy} = 0.163998 \cdot W_{xy} \cdot f(\alpha, \beta^2) \cdot \Delta L, & \alpha > 2.2583 \\ W_{xy} = 0.282298 \cdot W_{xy} \cdot \Delta L, & \alpha \leq 2.2583 \end{cases} \quad (4)$$

其中, W_{xy} 为计算出的水印图像中第 i 块 ($i=1, 2, \dots, 64$) 子块中在位置 (x, y) 处的像素值; α, β^2 为原始图像中第 i 子块的均值和方差; ΔL 的值可以改变嵌入水印的深浅,在本实验中, ΔL 取值 0.05 和 0.08。

到此,我们便计算出了待嵌入的可自适应的水印系数。

3. 小波变换和水印的嵌入

为了使嵌入的水印具有较强的鲁棒性,我们选择了离散小波变换(DWT)在小波域中嵌入水印图像。

众所周知,对于图像信号来说,低频成分十分重要,它蕴含着图像的特征和概貌,而高频成分则给出了图像的细节和差别。在图像的小波变换中常用到近似与细节,其中近似即表示了信号的高尺度,低频率成分;而细节则表示了信号的低尺度、高频率成分。我们通过对原始图像和处理完毕的水印图像进行小波分解成低频段和高频段,然后分别在两个频段中进行水印的嵌入,这样一来,如果试图要去掉水印图像,则必将对原始图像造成破坏。小波变换并嵌入水印的示意图如图1所示。

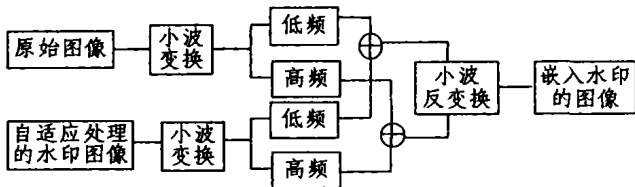


图1 水印嵌入示意图

由图1可见,设 I_{xy} 表示原始图像, I_{Lxy} 和 I_{Hxy} 分别表示原始图像经小波变换后的低频和高频部分;设 W_{xy} 表示自适应处理后的水印图像, W_{Lxy} 和 W_{Hxy} 分别表示处理后的水印图像经小波变换后的低频和高频部分;设 O_{xy} 为最终嵌入水印的图像,则有下列公式成立:

$$DWT(I_{xy}) = \begin{cases} I_{Lxy} \\ I_{Hxy} \end{cases} \quad (5)$$

$$DWT(W_{xy}) = \begin{cases} W_{Lxy} \\ W_{Hxy} \end{cases} \quad (6)$$

$$O_{xy} = IDWT[(I_{Lxy} + W_{Lxy}) \oplus (I_{Hxy} + W_{Hxy})] \quad (7)$$

其中,我们使用的小波为 Daubechies 小波,它是非对称的,满足正交性和双正交性,紧支撑小波。其数学表达式如下所示。

$P(y) = \sum C_N^{N-1+k} \gamma^k$, 其中, C_N^{N-1+k} 表示二项式系数,那么,

$$|m_0(\tilde{\omega})|^2 = (\cos^2 \frac{\omega}{2})^2 P(\sin^2(\frac{\omega}{2})),$$

$$\text{其中, } m_0(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{k=0}^{N-1} h_k e^{-j\omega k}$$

三、实验结果

图2是 $\Delta L=0.05$ 时的实验结果。



(a) 原始图像

Liu Ting Watermark Image

(b) 水印图像



(c) 嵌入可视水印后实验结果

图2 可视水印例 ($\Delta L=0.05$)

四、算法鲁棒性分析

对于可视水印来说,不存在水印的提取问题,因为水印是浮现在原始图像上的,起的是一种直观的版权信息告示,然而又不能影响对原始图像作品的欣赏。所以,可视水印的鲁棒性分析主要集中在如何抵抗盗版者试图去掉水印而又不损害原始图像方面。

由上文的算法描述可以看出,水印图像先经过了自适应系数计算,这一步是结合原始图像来进行的。经过这一步后,水印图像的灰度值随着原始图像的变化而改变。然后算法在小波域中将水印嵌入原始图像中,由于小波变换的不可逆性,所以,假设盗版者得到了嵌入水印的作品,并且根据观察制作了一幅二值水印图像,他也无法计算出水印图像的自适应系数(因为这需要原始图像,如果盗版者已得到原始图像,就不存在盗版问题了)。即使盗版者将嵌入水印的图像做小波变换,直接与未经处理的自制水印图像在小波域中相减,然后再小波反变换,那么,图像的破坏将是显而易见的。

图3是对由本算法嵌入可视水印后图像的一些常见处理,由结果可见,本算法水印的鲁棒性是较好的。

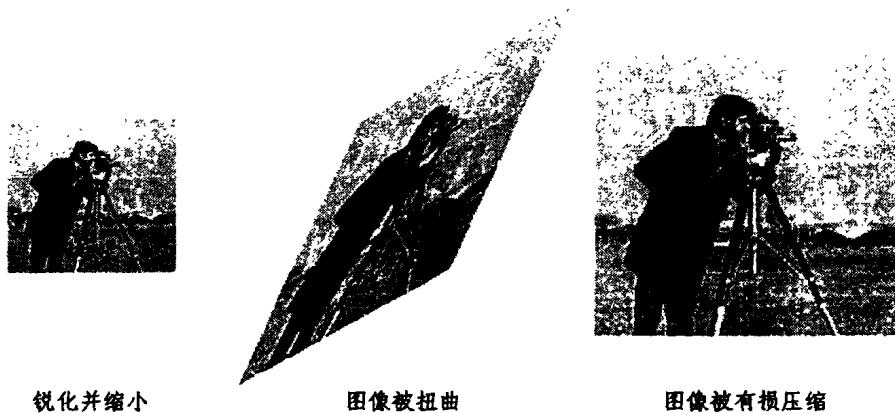


图3

总结 从以上实验结果可以看出,本算法对原始图像进行了分块求均值和方差,然后对水印图像按照计算所得的结果进行自适应的调整,从而使水印图像对于原图像的亮、暗灰度变化同样具有自动调整适应的能力,使得图像在嵌入水印后并不影响其观赏价值。另外,由于采用小波变换进行分频段水印嵌入,低频段嵌入水印低频部分,高频段嵌入水印高频部分,从而使得水印具有较强的鲁棒性,如果通过小波反变换试

图去掉水印,则必然破坏原图像。从中还可以看出,算法对于常见的图像变换压缩等处理具有较好的抵抗性。

参考文献

- 1 Braudaway G W. Protecting Publicly-Available Images with a Visible Image Watermark IBM Research Division, T. J. Watson Research Center: [Technical Report 96A000248] (下转第142页)

(上接第118页)

•DataItemModel[][0]:当前数据项在界面显示所使用的控件类型,例如0代表 TextField,1代表 TextArea、2代表 CheckBox 等,3代表 Table 等;

•DataItemModel[][1]:当前数据项在组件库中的位置索引;

•DataItemModel[][2]:当前数据项的数据类型,例如0代表 String,1代表 int 等;

•DataItemModel[][3]:当前数据项的取值是否允许为空;

•DataItemModel[][4]:当前数据项在界面中是否显示(处理那些数据位不连续的情况);

•DataItemModel[]:第一维数组下标标识当前数据项的ID;

•DataItemInputRule:采用数据项ID作为键值,采用数据字典中针对特定数据项定义的输入规则字符串作为取值;

•DataItemAccountRule:采用数据项ID作为键值,Vector 类型对象作为取值。Vector 对象中的元素为数据字典中在数据项级上针对一个数据项定义值约束规则;

•Data[]:存放数据的具体取值,其下标和 DataItemModel[]对应;

•BufferData[]:是 Data[]的拷贝,所有数据在校验前都用它保存;

笔者曾经负责上海证券交易所上市公司定期报告申报和实时发布系统的设计和开发,对大型数据采集和管理系统所采用的技术、方法及实施过程都有切身体会,受篇幅所限,下面仅就如何利用数据字典定义的数据对象控制模型进行用户界面构造和数据库自动入库设计系统开发等几个基本模型开发进行探讨。

结论 经过对传统数据字典模型的改造,并将其应用于应用系统数据模型的定义上,新型的数据字典及其定义的元

数据控制模型具有如下优点:

•针对数据申报系统而言,元数据项的名称经常需要改变。由于引入了数据字典,代表具体表格数据的类中只需要定义数据域的代码,而不必定义数据域对应的字符串表示信息,系统在需要这些表示信息时,可以直接从数据字典中获取。这样更改数据域表示名称的操作也变得非常简便,只需更改数据字典中的设置即可;

•通过整数类型的数据变量标识每个数据对象中的元数据,这样大大减少了数据对象所占用的内存空间;

•基于数据字典的元数据控制模型的引入使得开发自动入库设计工具成为可能。

•大大提高了操作的可重用性,这表现在两个方面:一方面整个系统在数据控制方面均通过一个数据字典配置即可完成,与程序代码无关;另一方面即使数据库表发生了结构变化,也只需要修改数据字典中有关数据项入库规则的配置而不需要修改程序本身;

•系统设计周密,逻辑性强,且编程接口统一,不因开发者不同而异;

•系统可扩展性强,维护容易。

本文中讨论的基于数据字典的元数据控制模型的设计,已经成功地应用于上海证券交易所上市公司定期报告在线采集和实时发布系统中,并在上交所管理的500余家上市公司中成功应用。

参考文献

- 1 车敦仁,周立柱,OLAP 及多维数据库技术.见:第十三届全国数据库会议论文集.1995
- 2 秦晓.元数据字典及其实现.计算机学报.1994.2
- 3 郭胜辉,孙玉芳.基于数据字典库的信息系统的设计,计算机学报,2000.4
- 4 徐鹏.基于客户端 GUI 构件实例缓存技术的系统性能优化处理.计算机工程与应用,2001.1

L_1 和 L_2 具有等价表达能力。

定理14 下面命题等价

- (1) L_2 能够表达 L_1 ;
- (2)从 L_1 到 L_2 存在一个等价翻译函数;
- (3)从 L_1/\leq_1 到 L_2/\leq_2 存在一个单射函数;
- (4)从 L_1 到 L_2 存在一个翻译函数 T ,且 T_{\leq} 是单射函数。

定义16 双射翻译:等价翻译函数 T 是一个双射翻译函数,如果满足

$$\square d' \in L_2 \cdot \square d \in L_1 \cdot T(d) \equiv_2 d'$$

定理15 下述命题等价:

- (1) $T: L_1 \rightarrow L_2$ 是一个双射翻译函数;
- (2)从 L_2 到 L_1 存在一个双射翻译函数;
- (3) L_1 和 L_2 具有等价表达能力;
- (4) T_{\leq} 是一个双射函数。

在上述三种翻译函数中,一般翻译函数和等价翻译函数是单向的,即从 L_1 到 L_2 存在一个一般翻译函数或等价翻译函数并不能导出从 L_2 到 L_1 存在一个一般翻译函数或等价翻译函数,而双射翻译函数则是双向的。

值得指出的是,无论是哪一种翻译,都包括规格的转换和该规格的求精知识(求精关系)的转换,二者是统一的,缺一不可;因此,文[11]中的翻译技术是不正确的,因为它只有规格的转换,而没有求精关系的转换。

2.4 不同规格语言间的规格关系与规格转换

在处理多种规格语言间的规格关系和规格转换时,或者是处理同一规格语言在不同求精关系下的规格关系和规格转换时,一种方法是把表达能力弱的规格语言的规格通过等价翻译函数转换为表达能力强的规格语言的规格,另一种方法是寻找一种表达能力最强的规格语言(即能表达所有其它规格语言的规格语言),把其它规格语言的规格通过等价翻译函数转换成这一规格语言的规格,然后只需处理同一规格语言的规格关系和规格转换。由此可见,在多视点需求工程中,并不需要所有的规格语言都具有等价的表达能力,这一点与实际情形相符^[13]。

为简便起见,下面只给出使用前一种方法——即把一种规格语言的规格等价翻译成另一种规格语言的规格——来扩充有关规格关系和规格转换的定义,使用另一种方法的定义类似。假设 $d_1 \in L_1, d_2 \in L_2, T: L_1 \rightarrow L_2$ 是等价翻译函数。

定义17 规格等价:

$$d_1 \equiv_2 d_2 \stackrel{\text{def}}{\iff} T(d_1) \equiv_2 d_2$$

定义18 规格相容:

$$d_1 C_2 d_2 \stackrel{\text{def}}{\iff} T(d_1) C_2 d_2$$

定义19 集成转换:集成转换是一个函数 $U: L_1 \times L_2 \rightarrow L_2$,如果

$$\square d_1 \in L_1, d_2 \in L_2 \cdot U(d_1, d_2) \leq_2 T(d_1) \square U(d_1, d_2) \leq_2 d_2$$

定义20 最大集成转换:集成转换 U 是一个最大集成转换,如果

$$\square d \in L_2 \cdot d \leq_2 T(d_1) \wedge d \leq_2 d_2 \rightarrow d \leq_2 U(d_1, d_2)$$

在上述相容关系和集成转换的扩充定义中,如果用一般翻译函数代替等价翻译函数,则定义是不完备的。

对于相容关系,如果 T 是一般翻译函数,则

$$d_1 C_2 d_2 \Leftarrow T(d_1) C_2 d_2$$

对于集成转换,如果 T 是一般翻译函数,则

$$U \text{ 是集成转换函数} \Leftarrow \square d_1 \in L_1, d_2 \in L_2 \cdot U(d_1, d_2) \leq_2 T(d_1) \square U(d_1, d_2) \leq_2 d_2$$

总结 本文全面地提出一种基于求精关系的多视点需求工程框架模型。该框架模型包括求精关系、同一规格语言内的规格关系与规格转换、规格翻译和不同规格语言间的规格关系与规格转换四个方面。其中,求精关系是基础,其它规格关系与规格转换均依赖于求精关系,规格翻译则可以把不同规格语言间的规格关系与规格转换转化为同一规格语言内的规格关系与规格转换。该框架模型没有涉及具体的需求工程过程和形式描述语言,是一般通用模型。我们下一步的工作则是在本文研究的基础上,提出一种基于求精关系的多视点需求工程具体模型,并将其应用于实际的分布式系统需求工程中。

参考文献

- 1 何炎祥,等. 基于多视点的需求工程方法. 计算机科学, 2000, 27(2): 64~68
- 2 何炎祥,等. 视频点播系统的开放式分布处理视点. 计算机科学, 2000, 27(4): 82~84
- 3 Steen M W A. Consistency and composition of process specifications. [PhD thesis]. The Subject of Computer Science, The University of Kent at Canterbury, 1998
- 4 ISO/IEC JTC1/SC21/WG7. Basic Reference Model of Open Distributed Processing. ISO 10746, 1993. Parts 1~4
- 5 Spanoudakis G, Finkelstein A, Emmerich W. Viewpoints 96: International workshop on multiple perspectives in software development (SIGSOFT 96). ACM SIGSOFT Software Engineering Notes, 1997, 22(1): 39~41
- 6 Bowman H, et al. A formal framework for viewpoint consistency. [Computing Laboratory Technical Report 22-99]. University of Kent at Canterbury, United Kingdom, Dec. 1999
- 7 何炎祥,等. 多视点需求工程的模型研究. 计算机科学, 2001, 28(2)
- 8 何炎祥,等. 基于状态转换系统的Z规格的STS语义模型. [武汉大学软件工程国家重点实验室技术报告]. 武汉大学, 2000
- 9 何炎祥,等. 基于STS语义模型的Z规格的平衡集成. [武汉大学软件工程国家重点实验室技术报告]. 武汉大学, 2000
- 10 Boiten E A, et al. Viewpoint consistency in ODP. Computer Networks, 2000, 34(3): 503~537
- 11 Derrick J, et al. Viewpoints and consistency: translating LOTOS to Object-Z. Computer Standards and Interfaces, 1999, 21: 251~272
- 12 Qiang S, et al. Two generic frameworks of multiple viewpoints oriented requirements methods and their comparison. [State Key Laboratory of Software Engineering Technical Report]. Wuhan University, P. R. China, 2000
- 13 何炎祥,等. 从LOTOS规格到Z规格. [武汉大学软件工程国家重点实验室技术报告]. 武汉大学, 2000
- 14 何炎祥,等. 分布式多视点需求工程模型研究. [武汉大学软件工程国家重点实验室技术报告]. 武汉大学, 2000

(上接第68页)

- 2 Meng J, Chang S-F. Embedding Visible Video Watermarks in the Compressed Domain. 1998, IEEE
- 3 李华,等. 基于视觉特性和小波分解的数字水印隐藏方法. 通信学报, 2000, 21(6)
- 4 韦志辉,等. 基于小波域中视觉门限模型的数字水印技术. 东南大学学报, 1998, 28(5)
- 5 孟兵,等. 基于小波变换的静态图像数字水印算法. 计算机辅助设

计与图形学学报, 2000, 12(10)

- 6 夏良正. 数字图像处理. 东南大学出版社, 1999. 43~81
- 7 陈桂明,等. 应用Matlab语言处理数字信号与数字图像. 科学出版社, 2000. 273~307
- 8 清源计算机工作室. Matlab高级应用—图形及影像处理. 机械工业出版社, 2000. 252~288
- 9 胡昌华,等. 基于Matlab的系统分析与设计—小波分析. 西安电大出版社, 1999. 1~23, 203~264