

# 基于 B-spline 矢量图形数字水印方法

范铁生, 孟 瑶, 房肖冰

FAN Tie-sheng, MENG Yao, FANG Xiao-bing

辽宁大学 信息科学与技术学院, 沈阳 110036

Institute of Information Science and Technology, Liaoning University, Shenyang 110036, China

E-mail: fts0@lnu.edu.cn

FAN Tie-sheng, MENG Yao, FANG Xiao-bing. Method of vector graphics digital watermarking based on B-spline. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(17): 69-70.

**Abstract:** This paper presents a method of digital watermarking of vector graphics to protect its authority. The proposed algorithm adds a spread spectrum sequence to the coordinates of the B-spline control points. Robustness to some common manipulations, such as translation, rotation scaling and local modification, have been proved by the experiment.

**Key words:** digital watermarking; vector graphics; B-spline

**摘 要:** 提出了一种针对矢量图形的数字水印算法, 用于矢量图形的版权保护。算法利用了 B-spline 良好的持续逼近曲线形状的特点, 将水印嵌入到 B-spline 的控制点坐标中。经实验证明, 该算法对于通常的图形几何变换, 如平移、旋转、缩放以及局部修改攻击, 均有令人满意的鲁棒性。

**关键词:** 数字水印; 矢量图形; B-spline

文章编号: 1002-8331(2007)17-0069-02 文献标识码: A 中图分类号: TP391.4

## 1 引言

数字水印技术, 作为一种对数字产品保护版权、认证来源以及确定完整性的技术, 近年来已经引起了人们的高度重视, 并已成为多媒体信号处理及信息安全领域的一个研究热点。但是, 对于数字水印技术的研究大部分都集中在数字图像和音视频方面, 而对于图形数字水印的研究较少<sup>[1]</sup>。实际上, 图形数据, 作为多媒体信息的一种重要形式, 它的版权保护也是一个非常重要的问题。随着计算机辅助设计和 GIS 的日益发展, 各种图纸、地图的安全性和知识产权保护问题开始备受重视。另外, 还有各种图形与动画等等, 这些都属于图形数据。近年来, 图形数据的数字水印技术开始逐渐得到重视, 出现了许多研究图形数字水印方法的论文。文献[2]依据顶点坐标和顶点间的关联性开发了空域水印算法; 文献[3]将矢量图按照顶点个数分成密度均匀的子块, 把水印嵌入到子块图像的顶点中; 文献[4]提出了基于傅里叶描述子的针对多边形数据的水印方法; 文献[5]把矢量线组成的图形转化成某种频率表示, 并在频域上嵌入水印信息; 文献[6]不同以往, 提出了在线段中插入点、改变线段长度、改变线段方向和改变线段属性等 4 种不同的水印方法等。

一般而言, 目前典型的数字水印系统采用了基于特征集合的方式进行水印信号的嵌入。通过对多媒体数据的不同表示形式及其特点的分析, 建立相应的有效表达模型。特征集合选取的恰当与否对水印系统的性能有很大的影响。二维图形是一种在数据表示、使用方式等方面有着其自身特点的数据形式, 与以点阵形式存在的二维图象和一般由三角面片网格组成的三

维模型有较大的不同, 很难简单地应用现有的数字水印技术来处理二维图形数据。应当从对二维图形数据的特点分析与有效表达模型入手, 结合数字水印系统透明性与鲁棒性的要求, 选择确定适合数字水印嵌入的特征集合<sup>[7]</sup>。曲线是图形数据的主要成分, 而曲线的形状是其最根本的特征, 因此, 可以考虑选择一个能够有效表现曲线形状的特征集合作为水印的嵌入域。作为最广泛流行的形状数学描述的主流方法之一, B-spline 方法能够很好地持续逼近曲线的形状, 而一个合适的 B-spline 控制点集就代表了曲线形状的最显著特征。基于以上分析, 这里采用 B-spline 的控制点集作为嵌入水印的特征域。

## 2 特征选取

对于控制点集选取, 要根据 B-spline 曲线的具体特征来确定。

### 2.1 B-spline 曲线

若  $P(t)$  为曲线上的位置向量, 则沿着参数  $t$  的 B-spline 曲线可定义为:

$$P(t) = \sum_{i=0}^n C_i N_{i,k}(t) \quad (1)$$

其中  $2 \leq k \leq n+1$ ,  $C_i (i=0, 1, \dots, n)$  是第  $i$  个控制点,  $N_{i,k}(t) (i=0, 1, \dots, n)$  称为  $k$  阶 ( $k-1$  次) B 样条基函数, 它是一个  $k$  阶分段多项式, 其 Boor-Cox 递推定义如下:

$$N_{i,1}(t) = \begin{cases} 1 & t_i < t < t_{i+1} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$N_{i,k}(t) = \frac{(t-t_i)N_{i,k-1}(t)}{t_{i+k-1}-t_i} + \frac{(t_{i+k}-t)N_{i+1,k-1}(t)}{t_{i+k}-t_{i+1}} \quad (2)$$

$$\text{规定 } \frac{0}{0} = 0$$

其中  $\{t_i\} (i=0, 1, \dots, n+k)$  是节点向量, 且  $t_i \leq t_{i+1}$ 。

### 2.2 确定参数

令  $t = s_0, s_1, \dots, s_{n-1}$ , 且  $s_0 < s_1 < s_2 < \dots < s_{n-1}$ , 为了更好地逼近曲线, 本文采用基于曲率的方法来指定参数  $t$ :

$$s_i = s_{i-1} + \frac{\sum_{j=1}^{n-1} \hat{k}(s_j)}{(n-1)\hat{k}(s_i)} \quad (3)$$

$$\hat{k}(s_i) = \left| \arctan \frac{p_y(s_{i+1}) - p_y(s_i)}{p_x(s_{i+1}) - p_x(s_i)} - \arctan \frac{p_y(s_i) - p_y(s_{i-1})}{p_x(s_i) - p_x(s_{i-1})} \right| \quad (4)$$

其中  $s_0 = 0, \hat{k}(s_i)$  为点  $p(s_i) = (p_x(s_i), p_y(s_i))$  的曲率近似值。这样就使得  $t$  值的增幅与曲率成反比, 等价于在曲率较大的地方设置较多的控制点, 在曲率较小的地方设置较少的控制点。

### 2.3 反算控制点

为了减小 B-spline 曲线与原曲线的误差, 采用 least-squares 方法反算控制点集:

$$\min_c \|NC - P\|^2 \Rightarrow C = (N^T N)^{-1} N^T P = N^{-1} P \quad (5)$$

这样, 可以尽可能精确地提取有关特征。

## 3 水印算法

### 3.1 水印嵌入

根据所确定的特征, 水印嵌入的主要过程如下:

**步骤 1** 采用大小在  $-1 \sim 1$  之间、符合标准正态分布的随机数序列作为水印信号  $W$ , 水印的生成由密钥  $Key$  控制。

**步骤 2** 提取矢量图  $V$  的顶点坐标, 作为位置向量  $P(t)$ 。

**步骤 3** 采用开放均匀的 B-spline 曲线, 取  $k=3$ , 节点向量  $\{t_i\}$  为:  $[t_0, t_1, \dots, t_{n+3}] = [0, 0, 0, 1, 2, 3, \dots, n-2, n-1, n-1, n-1]$ , 根据公式 (3) 和公式 (4) 计算参数  $t$ , 由  $t$  和公式 (2) 计算基函数  $N_{i,k}(t)$ , 最后由  $N_{i,k}(t)$  和公式 (5) 得出控制点集  $C_i$ 。

**步骤 4** 采用扩展频谱的方式嵌入水印:  $C' = C + \alpha W$ ,  $\alpha$  为水印嵌入强度。

**步骤 5** 将  $C'$  作为新的控制点集, 由  $N_{i,k}(t)$  和公式 (1) 计算位置向量  $P'$ , 重构嵌入水印后的矢量图  $V'$ 。

### 3.2 水印检测

为尽可能快速准确检测, 采用相关系数的方法来检测水印是否存在:

$$\tilde{C} = C' - \bar{C} \quad (6)$$

$$\tilde{W} = W - \bar{W} \quad (7)$$

$$\delta = \frac{\tilde{C} \cdot \tilde{W}}{\sqrt{\tilde{C} \cdot \tilde{C}} \sqrt{\tilde{W} \cdot \tilde{W}}} \quad (8)$$

其中,  $\bar{C}$  和  $\bar{W}$  分别为  $C$  和  $W$  的均值, 这样做可以得到单位向量, 不会使得相关计算受到向量幅度改变的影响, 而“ $\cdot$ ”表示向量间的点积, 得到的  $\delta$  为相关系数值。如果  $\delta$  大于给定阈值即说明水印存在, 否则水印不存在或者被破坏。

## 4 实验结果

选择一幅顶点个数为 1500 的矢量图进行仿真试验。图 1(a) 为原图, 图 1(b) 为嵌入水印之后的结果图, 其视觉效果并没有明显改变, 表明其具有较好的不可见性。

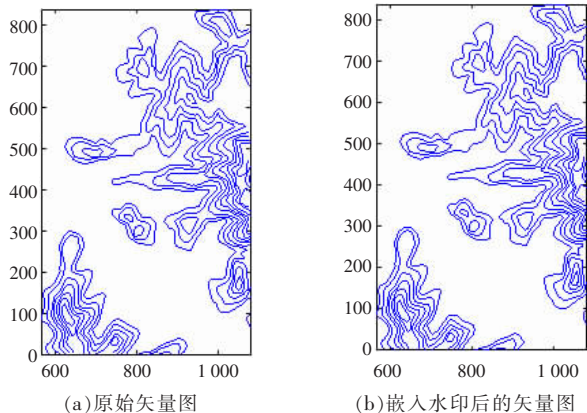


图 1 实验结果

对已嵌入水印的图形进行平移、旋转、缩放、增、删顶点和局部修改 (修改方式为  $x+2, y-2$ ) 操作来测试水印的鲁棒性。表 1 为上述 6 种情况下水印检测时得到的相关系数值, 阈值取经验值 0.07。由表 1 中数据可以看出, 该算法对于平移、旋转、缩放具有较好的鲁棒性。由图 2 可以看出, 该算法有效抵抗了对于增、删顶点和局部修改的攻击。

表 1 鲁棒性测试结果

平移 (x 轴 150, y 轴 100)	0.085 3
旋转 (以原点为中心旋转 45°)	0.085 3
缩放 (以原点为中心缩小 1.5 倍)	0.085 3
增加顶点 (50 个)	0.082 1
删除顶点 (50 个)	0.077 9
局部修改 (50 个)	0.076 4

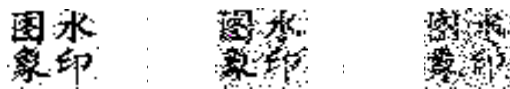


图 2 鲁棒性测试的部分结果

## 5 结论

本文充分利用了矢量图形的自身特点, 利用 B-spline 曲线将矢量图形中的曲线参数化, 将水印嵌入到其控制点集中。实验证明, 可以保证水印的不可见性, 且能有效抵抗平移、旋转、缩放、增删顶点和局部修改攻击, 即具有较好的鲁棒性。若将此方法进一步应用到三维图形中, 则需解决运算量较大的问题。(收稿日期: 2006 年 12 月)

### 参考文献:

[1] Chang H, Chen T, Kan K. Watermarking 2D/3D graphics for copy-right protection[C]//Proc IEEE ICASSP, 2003: 720-723.  
 [2] Kitamura I, Kanai S, Kishinami T. Watermarking vector digital map using wavelet transformation[C]//Proceedings of Annual Conference on the Geographical Information Systems Association (GISA), Tokyo, 2000: 417-421.  
 [3] Ohbuchi Ryutarou, Ueda Hiro, Endoh Shu. Robust watermarking of