

结合判别函数的分形 IFS 图像检索¹

陈添丁 刘济林

(浙江大学信息与电子工程学系 杭州 310027)

摘要: 该文提出一种分形编码的图像比对搜索方法, 即把迭代函数系可反映图像的拓扑特性, 用于图像的储存和检索。而图像经过分形编码后, 得到大量资料, 需要一个有效的方法进行检索, 文中根据 Fisher 判别函数来判定图像相似度。实验结果表明, 图像比对搜索引擎能准确找出查询图像的相似图像外, 还证实本方法对图像有一定的容错性能, 能有效地提高图像比对搜索引擎在实际应用中的可适性。

关键词: 迭代函数系, 检索, 判别函数, 比对搜索引擎

中图分类号: TP391.4, TN911.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5896(2003)12-1598-05

A New Method of Fractal IFS Image Database Retrieval Combining Discriminant Function

Chen Tian-ding Liu Ji-lin

(Dept. of Information and Electronics Eng., Zhejiang Univ., Hangzhou 310027, China)

Abstract In this paper, a new method of image compare search engine for fractal coding is proposed, namely using image topology characteristic of Iterative Function System (IFS) and applying to image deposit and retrieval. However, the image produces a lot of data by fractal coding and needs an effective method to retrieval, so this paper is based on Fisher discriminant function to estimate images similarity. Experiment shows image compare search engine can get exactly similar image of query image, it also has been testified better for tolerate-error and can effectively improve adaptivity in practice of image compare search engine.

Key words Iterative Function System(IFS), Retrieval, Discriminant function, Compare search engine

1 引言

分形在图像压缩, 已被证实有良好效果^[1-5], 但作为一个新方法来处理图像搜索, 所见研究尚少。目前以图像为键值进行图像数据库索引的技术大致可分为根据图像的颜色、形状、内容建立图像数据库索引文件。上述研究方向虽有特定擅长的处理条件, 但无法保证其使用的方式能符合: (1) 相似图像能产生相似索引文件; (2) 相似索引文件能检索回相似图像。

本文尝试利用空间域的分形图像处理方法, 来取得图像的特征值, 同时将所得的特征值存入数据库中, 以达到减少资料量的目的。不同的初始输入图像, 经相同的分形迭代函数迭代后, 最终都将收敛于同一张图像, 这张收敛图像称为归结图。归结图只与分形迭代函数有关, 起始图像与最后归结图互不相关的。利用这个性质作为图像搜索特征, 在图像存入数据库前, 先经分形编码, 得到其分形迭代函数, 以此作为搜索键值, 伴随图像存入数据库中, 日后要寻找相似图像时, 可将输入图像经相同方法编码, 得到其分形迭代函数, 再与数据库中预先存储的分形迭代函数比对, 找出相似图像。

如此, 本文在第 2, 第 3 节介绍分形索引理论及应用; 第 4 节对于使用分形迭代函数系统作为特征, 进行图像搜索提出研究方法及结果, 最后是结论和今后的工作。

¹ 2002-08-26 收到, 2003-01-15 改回

2 分形索引理论

迭代函数系统 (Iterative Function System, IFS) 被定义为多个具有收敛变换函数所构成的集合, 可表示为 $T = \{t_i: R^2 \rightarrow R^2 | i = 1, 2, \dots, m\}$ 。而变换的收敛性是当 d 为计算两点的距离函数, t 为一变换, p_1, p_2 为空间中两个点, 若 t 满足: $d(t(p_1), t(p_2)) \leq sd(p_1, p_2)$, 其中 $s < 1$, 则 t 满足收敛性^[6-8]。对于空间中任意一个点, 经过多次变换, 将趋近一固定位置, 称为不动点^[6-8]。分形迭代函数满足收敛性, 将具有不动点, 即无论初始图像如何, 只要经分形迭代函数足够次数操作, 将得到唯一归结图。

由上述可知, 唯有良好索引文件才能产生好的正确性相关的排名输出, 利用分形技术建立的图像索引, 具有: (1) 相似图像有相似分形函数能产生相似索引文件; (2) 相似归结图有相似分形函数, 因而相似索引文件能检索到相似图像。在完备距离空间中, 满足收敛性函数, 必有唯一的不动点^[9], 这是 Banach 不动点定理。若函数满足不动点定理, 此函数的不动点即可由此函数表示。同理, 分形函数符合不动点定理, 其归结图可以由此函数表示, 以达到图像压缩的目的。若此函数无法符合不动点定理, 自然无法得到归结图, 可以说不动点定理是分形编码技术的精髓。

本文提出分形编码方法建立图像数据库索引文件, 将使索引文件具有上述两个性质。这在研究图像数据库索引是一大突破。有些研究提出的建立图像数据库索引文件方法, 无一能证明其具有良好图像数据库索引文件的性质。

3 索引理论应用

Jacquin 在文献 [9] 使用的分形编码函数包含了缩小、旋转、翻转及不动点函数 $f(x) = \alpha x + g$, 而使用的函数 $f(x) = \alpha x + g, 0 \leq \alpha < 1$, 满足收敛性, 依 Banach 不动点定理, 其不动点唯一存在, 因此, 初始点改变, 并不影响不动点, 故在编码时, 尽可能地使 α 不靠近 1, 且斜率 (α) 范围小, 即取一足够小区间 $[a, b] \subset [0, 1)$, $\alpha \in [a, b]$, Jacquin 使用的方法将具有上述分形编码方法建立图像数据库索引文件的两个性质。这样说明分形具有建立良好图像数据库索引文件的性质。因此使用分形编码方法建立图像数据库索引文件, 可以说是最佳方向。

在 Jacquin 提出分形压缩编码法^[3]后, 陆续有许多研究提出改良方法, 以 Zhao 和 Yuan^[10]为例, 他们提出以二次多项式取代 Jacquin 提出的一次多项式, 其形式为 $Z = g(z) = \alpha_1 z + \alpha_2 z^2 + o$, $o = \bar{z} - \alpha_1 \bar{z} - \alpha_2 \bar{z}^2$, Zhao 和 Yuan 证明这个方式可使误差最佳化, 但这个方法无法保证不动点唯一存在^[6], 因此所得的归结图可能因初始图像而异, 其一可能为误差最小的图像 (与原图像最相似), 另一图像则为误差最大的图像 (与原图像最不相似), 再者, 此二次多项式任两点 z_1, z_2 , 切线斜率绝对值为

$$m_{z_1 z_2} = \left| \frac{g(z_1) - g(z_2)}{z_1 - z_2} \right| = |\alpha_1 + \alpha_2(z_1 + z_2)| \quad (1)$$

再由 Zhao 和 Yuan 提供的 α_1, α_2 分布情形^[10], 可知 $0 \leq |\alpha_1| \leq 2, 0 \leq |\alpha_2| \leq 0.02$, 且 $0 \leq |z_1 + z_2| \leq 255$, 推得 $0 \leq m_{z_1 z_2} \leq 7.1$, 这将使得 Zhao 和 Yuan 使用的分形编码法无法满足收敛性, 也无法符合成为良好图像数据库索引文件的条件。因此在使用分形编码建立图像数据库索引文件时, 应先检查其是否符合文献 [9] 定理 1 的条件, 在条件成立时, 方可确定建立的索引文件具有上述性质, 也才能确保由数据库中检索回的图像相似。

4 研究方法及结果

Jacquin 为使每张图像能自变换, 需使图像结构简单化, 所以 Jacquin 在文献 [3,9,11] 提出的分形编码方法, 第一步先将图像分割成数个不重叠方块, 大小为 $B \times B$, 称为 Range(值域

区块), 同一张图像, 再分割成数个重叠方块, 大小为 $D \times D$, 称为 Domain(定义域区块), 且 $D > B$, 经适当大小分割后, 所得的 Range 方块有较简单结构, 易于从同一张图像中找一 Domain 方块, 使其缩小、翻转后相似。这就是改良的分形提取法, 即同一张图像中找出相似的 Range, Domain 方块。

在本文, 取 Domain 大小为 $8 \times 8(\text{Pixel}^2)$, Range 大小为 $4 \times 4(\text{Pixel}^2)$, 所以一张图像可分 R, G, B 3 个平面, 每个平面可分成 4800 个 Range 方块, 72384 个 Domain 方块。配合 Jacquin^[12,13] 中提出 8 个变换, 每张图像最多需进行 $3 \times 4800 \times 72384 \times 8$ 次比对。每次比对主要目的乃是对于每一个 Range 方块 R_i , 找到一个 Domain 方块 D_j , 及一变换函数 τ_k , 使得 R_i 与 $\tau_k(D_j)$ 有小的差异。

得到最佳 Domain 及变换组合后, 为使其误差更小, 将每个 $\tau_k(D_j)$ 再以函数 g 做修正, $Z = g(z) = sz + o$, z 为 $\tau_k(D_j)$ 上每个像素的颜色, $s = \{0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1\}$, $o = \frac{R_i - s\tau_k(D_j)}{B \times B}$ 。

为求最佳的编码效果, 参考 Zhao 和 Yuan^[10] 的作法, Zhao 和 Yuan 将函数 g 改为上述的二次表示, 其误差为 $\text{error} = \sum_{i=1}^K [Z_i - g(z_i)]^2 = \sum_{i=1}^K [Z_i - \alpha_1 z_i - \alpha_2 z_i^2 - o]^2$, 再求其误差最小。

以二次多项式代替一次多项式虽可由上述阐明其有最小误差, 但二次多项式将造成两个不动点^[6], 其中之一即为误差最佳化(最小)后的不动点, 但另一个不动点却非所要, 所以使用 Zhao 和 Yuan 编码后, 若其误差较 Jacquin 方法大, 则选择 Jacquin 编码结果。

4.1 Fisher 判别分析函数

判别分析理论是多变量统计用来区别资料的方法, 在资料点归属群体已知前提下, 求取一函数能将数据点区别开, 此函数称为 Fisher 直线判别函数。设有两群资料点 G_1, G_2 , 维数为 k , 其样本数分别为 n_1, n_2 , $G_1 = \{(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik}) | i = 1, 2, 3, \dots, n_1\}$, $G_2 = \{(b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{ik}) | i = 1, 2, 3, \dots, n_2\}$, S_1, S_2 为其对应群体样本变异数和共变量矩阵: $y = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^T S_{\text{pooled}}^{-1} x$. \bar{x}_1, \bar{x}_2 分别为 G_1, G_2 的平均向量, $S_{\text{pooled}} = \frac{(n_1-1)S_1 + (n_2-1)S_2}{n_1+n_2-2}$, 共变量矩阵定义如下:

$$S = [S_{ij}], S_{ij} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (y_{ki} - \bar{y}_i)(y_{kj} - \bar{y}_j) \quad (2)$$

分别代入 G_1, G_2 平均向量, 得: $\bar{y}_1 = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)' S_{\text{pooled}}^{-1} \bar{x}_1$, $\bar{y}_2 = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)' S_{\text{pooled}}^{-1} \bar{x}_2$ 。

假设 $\bar{y}_1 > \bar{y}_2$, 若 $y \geq \frac{1}{2}(\bar{y}_1 + \bar{y}_2)$, 则将 x 归到 G_1 , 反之, 则归到 G_2 。但并非所有 G_1, G_2 资料点都能被顺利区分开, 在 G_1 与 G_2 重叠部分会造成资料点区分错误。

上述分形编码中, 将图像分成 R, G, B 3 个平面进行编码, 每个平面分割成 4800 个 Range 方块, 每个 Range 方块编码后, 得到 Range 方块序号、Domain 方块左上角 X, Y 坐标、变换函数编号、调整像素值函数的一次、二次及常数项系数等共 7 项信息, 以一个点向量表示这些信息, 其型式为: $(R_i, D_x, D_y, v_i, \alpha_1, \alpha_2, o)$, 如此, 一张平面即可表示为 4800 个点向量的集合, 分别表示为 G_r, G_g, G_b 。在这里, 将 $I_1 = \{G_{1r}, G_{1g}, G_{1b}\}$, $I_2 = \{G_{2r}, G_{2g}, G_{2b}\}$ 视为两图像特征点集合, 使用 Fisher 判别函数, 分别求出两张图像 R, G, B 3 平面重叠率 D_r, D_g, D_b (判别函数的错误率), 若值愈高, 表明两张图像愈不可区分, 也就是愈相似。

4.2 实验结果

本文选择电影“卧虎藏龙”建立图像数据库, 在 PIV-1.7G, 32MRAM 的 linux 下, 由上述介绍的判别分析方法, 配合分形迭代函数中包含的信息, 再对排名输出进行权重计算, 决定相关度, 产生结果。其中 similarity 表示与查询图像之间相似程度的度量, 即相似距离, 与查询

图像越相似, 相似距离越小, 图 1 就是本文分形索引新方法检索的结果, 左上方为输入的搜索键值图像 (查询图像)。在实验过程中, 考虑到用户图像的取得可能会有一些噪声或不清楚, 这样进一步把查询图像做处理, 如图 2。对一般模糊、高斯模糊、椒盐噪声和切割左上角四分之一以白色代替等四种情况, 经过搜索比对, 结果如表 1。这说明利用图像比对搜索引擎中的一般查询功能, 仍可以把相似的图像找出来。这在现实环境中是十分重要的, 这也证明了我们的搜索引擎具有较好的容错性能。



图 1 本研究方法的检索结果



图 2 加入效果的图像

表 1 两张图像各种效果搜索结果比较

	原始图像	一般模糊	高斯模糊	噪声	切割四分之一
Lena 图	100%	42%	无法识别	51%	无法识别
查询图像	100%	45%	38%	81%	无法识别

5 结 论

本文将分形编码运用于图像数据库检索上, 并且证明其具有成为良好图像数据库索引文件的性质, 而这个性质却是其它方法先天的缺点, 利用分形图像索引及处理方法对图像比对搜索是高效可行的, 图像识别与比对搜索引擎的结合, 是资料搜索方式的一大突破。因此, 未来研究可放在使分形编码所得的函数与人类直觉更接近, 增大图像数据库, 进一步提高识别率和降低遗漏率, 如此, 将可建立一套确保搜索结果与人类直觉相符的图像检索方法。

参 考 文 献

[1] Mandelbrot B. The Fractal Geometry of Nature. San Francisco, CA: Freeman, 1982, Chapter3.

- [2] Barnsley M F. *Fractals Everywhere*. San Diego: Academic Press, 1988, Chapter 2.
- [3] Jacquin A E. A fractal theory of iterated Markov operators with applications to digital image coding. [Ph.D. Thesis], Georgia Institute of Technology, 1989.
- [4] Fisher Y, Jacobs E W, Boss R D. Iterated transformation image compression. NOSC Tech. Rep. TR-1408, San Diego, CA: Naval Oceans Systems Center, 1991.
- [5] Fisher Y. *Fractal Image Compression: Theory and Application*. New York: Springer-Verlag, 1996, Chapter1.
- [6] Beardon A F. *Iteration of Rational Functions*. New York, USA: Springer-Verlag, 1991, Chapter2.
- [7] Dunford N, Schwartz J T. *Linear Operators*. New York: Wiley, 1966, Chapter4.
- [8] Ortega J M, Rheinboldt W C. *Iterative Solution of Nonlinear Equations in Several Variables*, UK: Academic Press, 1970, Chapter3.
- [9] Jacquin A E. Image coding base on a fractal theory of iterated contractive image transformations. *IEEE Trans. on Image Processing*, 1992, 1(1): 18-30.
- [10] Yao Zhao, Baozong Yuan. A new affine transformation, its theory and application to image coding. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 1998, 8(3): 47-51.
- [11] Jacquin A E. Fractal image coding: A review. *Proc. IEEE*, 1993, 81(10): 1451-1465.
- [12] Finlayson G D, Chatterjee S S, Funt B V. Color angular indexing. ECCV96, New York: 1996, vol.11: 16-27.
- [13] Pei S C, Cheng C M. Extracting color features and dynamic matching for image data-base retrieval. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 1999, 9(3): 501-512.

陈添丁: 男, 博士, 主要研究领域是多媒体通信、图像处理、图像(视频)检索。

刘济林: 男, 博士生导师, 主要研究领域是图像处理、机器人视觉与导航、ITS、MPEG 系列及视频检索。