

基于3-D IFS 理论的自然景观模拟^{*}

王兴元 刘波

(大连理工大学电子与信息工程学院 大连116024)

Simulation of Natural Scene Based on 3-D IFS Theory

WANG Xing-Yuan LIU Bo

(School of Electronic & Information Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024)

Abstract This article elaborates the theory of Iterated Function System (IFS) and gives the stochastic algorithm and the deterministic algorithm with which to construct IFS attractor. Based on the technique of coloring, lighting, shadow and mist in computer graphics, the authors construct a series of 3 dimension IFS (3-D IFS) characterized with the feature of natural scene on computer. The changing rules of the 3-D IFS are also discussed when the parameters mentioned above are changed.

Keywords Fractal, Iterated function system, Coloring, Lighting, Shadow, Mist

1 引言

数学家 Mandelbrot 在20世纪70年代所提出的分形几何,给出一种描述具有随机形态特征及无穷细节的自然现象的全新的数学工具^[1,2]。此后,以 Hutchinson 和 Barnsley 等的工作为基础,人们注意到许多分形集都可以用 IFS 递归构造出来,并可以用来逼近任意现实对象^[3-5],可见分形技术是计算机真实感几何造型方面十分活跃且有效的方法和手段。Peitgen、Pritchard 等在计算机模拟分形自然景观方面做了大量工作,形成一系列有效算法^[2,6,7];我国许多学者也做出了不少有益的工作^[2,8]。目前利用2-D IFS 模拟自然景观,人们已进行了较多的尝试^[2,9-11],而对基于3-D IFS 模拟自然景观的研究却不多。为此,本文基于计算机图形学的着色、光照、阴影和雾化技术,利用计算机构造了一系列具有自然景观特征的3-D IFS 吸引子,并讨论了当上述技术参数变化时3-D IFS 吸引子的变化规律。

2 IFS 理论与 IFS 吸引子的构造方法

如果 (X, ρ) 是度量空间, $(F(X), h_p)$ 表示相应的带有 Hausdorff 距离的非空紧子集空间,则确定性分形是分形空间 $(F(X), h_p)$ 上的压缩映射的不动点。

定理1 设 $w: X \rightarrow X$ 是度量空间 (X, ρ) 上的连续映射,则由 $w(B) = \{w(x) : x \in B\}, \forall B \in F(X)$, 定义的变换 w 把 $F(X)$ 映射到自身。

上述定理说明在旧空间上连续的拉伸或压缩映射在其分形空间上也是拉伸或压缩的,因此可以构造 $(F(X), h_p)$ 上的压缩映射。

定理2 设 $w: X \rightarrow X$ 是度量空间 (X, ρ) 上具有压缩比 c 的压缩映射,则由下式定义的 $w: F(X) \rightarrow F(X)$ 是 $(F(X), h_p)$ 上具有压缩比 c 的压缩映射:

$$w(B) = \{w(x) : x \in B\} \quad \forall B \in F(X)$$

定理3 设 (X, ρ) 是度量空间,又设 $\{w_n, n=1, 2, \dots, N\}$ 是

$(F(X), h_p)$ 上的一簇压缩映射,相应 w_n 的压缩比为 c_n , 由下式定义 $W: F(X) \rightarrow F(X)$

$$W(B) = w_1(B) \cup w_2(B) \cup \dots \cup w_N(B) = \bigcup_{i=1}^N w_i(B) \\ \forall B \in F(X)$$

则 W 是具备压缩比为 $c = \max_{1 \leq i \leq N} \{c_i\}$ 的压缩映射。

定义1 度量空间 (X, ρ) 与定义在其上的一有限个的压缩映射簇 $w_n: X \rightarrow X (n=1, 2, \dots, N)$, 组成一(双曲)IFS, 记为: $\{X; w_n, n=1, 2, \dots, N\}$; 如果 w_n 的压缩比为 $c_n (n=1, 2, \dots, N)$, 则称 $c = \max_{1 \leq i \leq N} \{c_i\}$ 为此 IFS 的压缩比。

把压缩映射原理应用到完备度量空间 $(F(X), h_p)$ 上,可以得到在分形空间上的压缩映射原理(不动点原理):

定理4 设 $\{X; w_n, n=1, 2, \dots, N\}$ 是完备度量空间 (X, ρ) 上的(双曲)IFS, 压缩比为 c , 变换 $W: F(X) \rightarrow F(X)$ 由下式定义:

$$W(B) = \bigcup_{n=1}^N w_n(B) \quad \forall B \in F(X)$$

则 W 是 $(F(X), h_p)$ 上压缩比为 c 的压缩映射,即

$$h_p(W(B), W(C)) \leq c h_p(B, C) \quad \forall B, C \in F(X)$$

且存在唯一的不动点(不变集) $A \in F(X)$, 满足:

$$A = W(A) = \bigcup_{n=1}^N w_n(A)$$

并且对任意 $\forall B \in F(X)$

$$A = \lim_{n \rightarrow \infty} W^n(B)$$

定理4中的不动点 A 称为这个 IFS 的吸引子。IFS 的吸引子一般都是分形,称为确定性分形。利用定理4可以建立绘制 IFS 吸引子的确定性算法和随机迭代算法。

确定性算法如下^[2]:任找一个初始集 $B_0 \in F(X)$, 根据下面的递归方法

$$B_{n+1} = W(B_n) = \bigcup_{i=1}^N w_i(B_n) \quad n=0, 1, 2, \dots$$

直接计算序列 $\{B_n = W^n(B_0)\}$ 的极限集 A , 则 A 就是 IFS 的吸引子。

随机迭代算法为^[2]: 设 $\{X; w_i, i=1, 2, \dots, N\}$ 是一个双曲

^{*} 本文得到国家自然科学基金(编号:69974008)、中国博士后科学基金及辽宁省自然科学基金(编号:972194)资助。王兴元 博士,副教授,主要研究方向为混沌与分形理论及其在生物医学工程中的应用。刘波 硕士生,主要研究方向为分形理论与分形的计算机模拟。

的 IFS, 对于每一个映射 w_i , 伴随一个概率 $p_i > 0$, 其中 $\sum_{i=1}^N p_i = 1$. 取 $x_0 \in X$ 并且依照递归方式独立地取

$$x_n \in \{w_1(x_{n-1}), w_2(x_{n-1}), \dots, w_N(x_{n-1}), n=1, 2, \dots\}$$

其中事件 $x_n = w_i(x_{n-1})$ 的概率是 p_i . 选取充分大的整数 N_{max} , 则序列 $\{x_n, n \geq N_{max}\}$ 收敛于 IFS 的吸引子 A.

但利用上述两种算法, 由计算机绘制吸引子 A 的图像, 当迭代次数 n 达到一定值时, 由于计算机屏幕的图像分辨率限制, 再增加迭代次数并不能明显改变图像效果. 那么此时所得的分形集 E 与 IFS 吸引子 A 的差别是多少? 下面的拼贴定理对这个问题给出了 Hausdorff 测度意义下的估计.

定理5 设 (X, ρ) 是完备度量空间, $\{X, (w_0), w_1, \dots, w_N\}$ 是压缩比为 c 的 IFS, 它的不动点(不变集)是 A, 则

$$h_p(E, A) \leq (1-c)^{-1} h_p(E, \bigcup_{n=1}^N w_n(E)) \quad \forall E \in F(X)$$

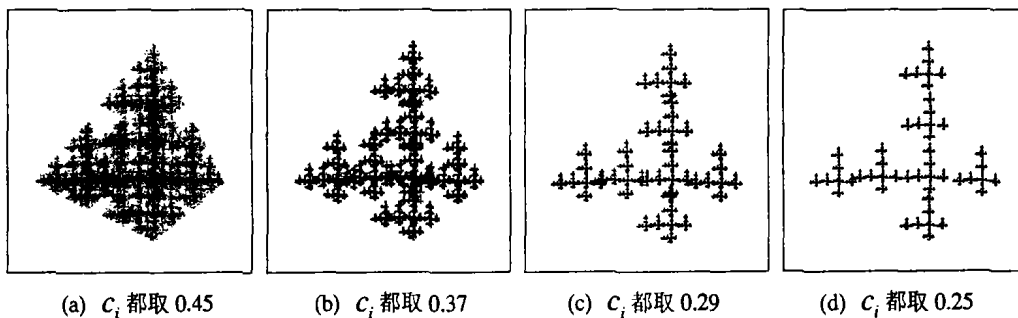


图1 确定性算法构造的2-D IFS 吸引子

图1表明随 c_i 同步减小, 吸引子的内部结构由稠密转为稀疏. 图1酷似树木在水中的倒影, 图1(a)枝叶繁茂, 图1(d)则枝叶干枯, 随 c_i 的变化, 图1给出了树木一年四季在水中的倒影的变化. 这里表现出这些吸引子与自然景观之间的惊人相似之处.

复映射 $f(z) = z^2 + c$, 通过迭代, 可在动力 Z 平面上生成 Julia 集^[12,13]. 因该映射有两个反函数 $w_1(u) = \sqrt{u-c}$ 和 $w_2(u) = -\sqrt{u-c}$, 故我们也可把 $\{C; w_1, w_2\}$ 看成一个 IFS, 然后采用随机迭代算法, 即可绘制 Julia 集(如图2所示).

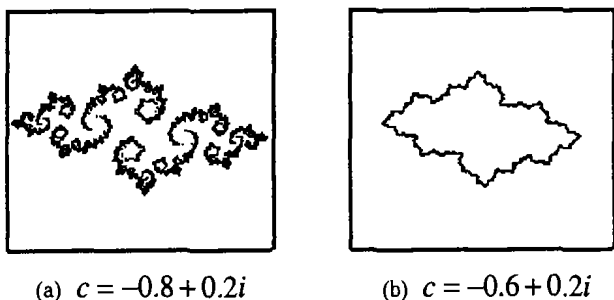


图2 随机迭代算法构造的2-D IFS 吸引子

对于上述两种算法, 随机迭代算法实现简单, 速度较快. 然而确定性算法也有一些优点. 在后面的研究中, 我们发现, 当迭代次数较少时, 使用三维实体作为生成元, 利用确定性算法可以很快得到吸引子, 而随机迭代算法则仅产生一些不规则的点集.

3 3-D IFS 吸引子的构造方法

为了增强3-D IFS 吸引子的艺术感染力, 使3-D IFS 吸引子具有高度的真实感, 以便于更有效地模拟自然景观, 本文采

用拼贴定理保证了在计算机屏幕上, 来自于迭代 n 次 IFS 后的分形集 E 就是这个 IFS 的吸引子 A 的一种逼近. 这两个集合之间的 Hausdorff 距离, 可以用集合 E 与集合 E 的像之间的 Hausdorff 距离来估计. 因此, 拼贴定理提供了构造 IFS 吸引子的计算机逼近理论依据.

考虑如下的仿射变换

$$\begin{pmatrix} x_{n+1} - x_0(i) \\ y_{n+1} - y_0(i) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c \cos \theta - c \sin \theta \\ c \sin \theta - c \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_n - x_0(i) \\ y_n - y_0(i) \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中 θ 是旋转角; c 是与不动点 $(x_0(i), y_0(i)) (i=1, 2, \dots, N)$ 对应的压缩比, 即 $c < 1$. 按确定性算法, 选取不动点为 $(0.95, -0.44)$ 、 $(0.3, -0.4)$ 、 $(-0.3, -0.4)$ 、 $(-0.85, -0.44)$ 、 $(0.28, -0.95)$ 、 $(0.3, 0.2)$ 、 $(0.28, 0.8)$. 旋转角为0, 压缩比 c 同步变化, 利用式(1)迭代50000次, 作者绘制出2-D IFS 吸引子如图1所示.

用着色、光照、阴影和雾化技术对3-D IFS 吸引子进行了处理.

3.1 着色

着色是光照、阴影、雾化等操作的基础. 本文对物体和光源均设置了颜色, 其中光源的颜色决定了光源发出的各种光的颜色, 而物体的颜色则决定了反射光(包括漫反射光和镜面反射光)的颜色. 根据色度学中三基色原理^[15], 在 RGB 彩色空间中(R 代表红色, G 代表绿色, B 代表蓝色), 任意彩色光 F 的配色方程为

$$F = rR + gG + bB$$

r, g, b 为三色系数, rR, gG, bB 为 F 色光的三色分量.

设物体的颜色三元组为 (MR, MG, MB) , 光源的颜色三元组为 (LR, LG, LB) , 则反射光的颜色三元组为 $(MR * LR, MG * LG, MB * LB)$. 对于 n 个光源的情况, 设光源1的颜色三元组为 (LR_1, LG_1, LB_1) , 光源2的颜色三元组为 (LR_2, LG_2, LB_2) , ..., 光源 n 的颜色三元组为 (LR_n, LG_n, LB_n) , 则它们的混合颜色三元组为 $(LR_1 + LR_2 + \dots + LR_n, LG_1 + LG_2 + \dots + LG_n, LB_1 + LB_2 + \dots + LB_n)$, 若某一分量的值超过1, 就令其为1. 本文采用了一个环境光源和一个点光源. 为了更好地观察光照效果, 在本文的程序中设置了快捷键, 可以使用键盘上的方向键旋转光源以控制光照效果.

3.2 光照

光照模型可分为: 环境光、漫反射、镜面反射、散射光. 对于全局环境光源, 它的光强是不衰减的, 故场景中的任何地方得到的效果是一样的. 而对于点光源则不同, 从一个点光源发射的光强按因子 $1/d^2$ 衰减(d 为光线传播的距离). 因此, 距离光源越近的物体表面获得的入射光强度越大; 反之, 则获得的入射光强度越小. 故考虑光强的衰减可更加真实模拟自然景

观。又当 d 较小时,光强衰减很大; d 较大时,光强衰减又很小。这亦表明简单的点光源并不总能产生真实感的图形。为此,本文定义光强的衰减因子 γ 如下

$$\gamma = \frac{1}{k_r + k_l d + k_q d^2}$$

式中 k_r 称为常数衰减因子, k_l 称为线性衰减因子, k_q 称为二次衰减因子。所以距离 d 一定时,调节 k_r 、 k_l 和 k_q 的值,可得到不同的效果。

若全局环境光强度的颜色三元组为 $A = (a_r, a_g, a_b)^T$, 其中 T 表示矩阵的转置操作。第 i 个点光源强度的颜色三元组为 $P_i = (p_{ir}, p_{ig}, p_{ib})^T (i=1, 2, \dots, n)$, 则点 (x, y, z) 处的光强可由下式计算

$$I = A + \sum_i \frac{P_i}{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2}$$

式中 (x_i, y_i, z_i) 是第 i 个点光源的位置。给定复合光强 I 和点 (x, y, z) 处的颜色三元组 $C = (r_r, r_g, r_b)$, 则从点 (x, y, z) 发射出的光强 I' 为

$$I' = IC^T$$

3.3 阴影

阴影由两部分组成:本影和半影^[14]。位于中间全黑的轮廓分明部分称为本影;本影周围半明半暗的区域称为半影。点光源只形成本影,位于有限距离内的分布光源则同时形成本影和半影。本文只使用了点光源和环境光,其阴影算法的思想可以推广到分布光源。关于阴影的详细算法可参考文[14]。

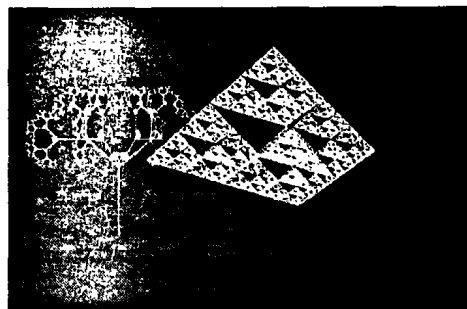
在绘制阴影时,一值得注意的问题是:若物体某点入射光的方向角为 θ ,该点法线的方向角为 φ ,则当 $|\theta - \varphi| > 90^\circ$ 时,该点就不会被光源照到,故显现暗色;反之则能被光源照射。

3.4 雾化

雾化效果在表示真实场景中物体距离观察者的远近是必不可少的。在一雾化环境中,物体距离观察者越远,从物体发出的被观察到的光越弱。所以随着物体与观察者的距离从有限增至无穷,物体将逐渐变得模糊,最后消失,融入背景之中。



(a)



(b)

图3 3-D IFS 吸引子的组合图

选择适当的初始点与参数(如表1所示),计算时方程(2)最初的1000次迭代被抛弃,以保证系统的轨道已收敛到吸引子上,使式(2)迭代50000次,采用着色、光照和雾化技术,作者又绘制出许多具有自然景观特征的3-D IFS 吸引子。图4~图7是较有代表性的几例。图4采用了雾化技术,可见随雾浓度的增加,图中景物逐渐变得模糊,反映出景物与观察者的距离逐渐增大。图5~图6的光照强度一定,但照射方向不同;图7的光照强度不同,而照射方向一致。图5~图7反映出光照强度或方向连续变化时,图中景物的亮暗程度也在连续变化。基于上述一系列景物——3-D IFS 吸引子的演化,可建立双曲 IFS 的吸引子与着色、光照、阴影和雾化技术参数的连续依赖关系:对

换句话说,随着距离的增加,从物体发出的被观察到的光的强度 I'' 从初值 I' 逐渐减至背景光的强度 $B = (b_r, b_g, b_b)$ 。故 I'' 由下式计算

$$I'' = tI' + (1-t)B$$

式中

$$t = \frac{1}{1 + (1/d) \sqrt{(x_c - x)^2 + (y_c - y)^2 + (z_c - z)^2}}$$

(x_c, y_c, z_c) 是观察者坐标, (x, y, z) 是物体坐标, d 是从物体发出的光的强度减为初值一半时光传播的距离。

4 结果

本文采用的3-D IFS 如下

$$\begin{cases} x_{n+1} = a_{11}(i)x_n + a_{12}(i)y_n + a_{13}(i)z_n + b_1(i) \\ y_{n+1} = a_{21}(i)x_n + a_{22}(i)y_n + a_{23}(i)z_n + b_2(i) \\ z_{n+1} = a_{31}(i)x_n + a_{32}(i)y_n + a_{33}(i)z_n + b_3(i) \end{cases} \quad (2)$$

$$(i=1, 2, \dots, N)$$

式(2)也可表示为

$$\begin{bmatrix} x_{n+1} \\ y_{n+1} \\ z_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}(i) & a_{12}(i) & a_{13}(i) \\ a_{21}(i) & a_{22}(i) & a_{23}(i) \\ a_{31}(i) & a_{32}(i) & a_{33}(i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_n \\ y_n \\ z_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1(i) \\ b_2(i) \\ b_3(i) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$(i=1, 2, \dots, N)$$

选择适当的参数与初始点,使式(2)迭代50000次,采用着色、光照、阴影和雾化技术,作者绘制出3-D IFS 吸引子的组合图(即由若干个 IFS 吸引子组成)(如图3所示)。图3(a)由蕨类植物、Sierpinski 地毯和蓝天白云组成,其中蕨类植物使用随机迭代算法绘制, Sierpinski 地毯由确定性算法绘制,而蓝天白云则是由随机点位移法生成。图3(b)以龙图覆盖沼泽地表面,使用随机迭代算法生成 Sierpinski 金字塔和分形树。由于采用了雾化技术,图3(b)近处的景物较清晰,而远处的景物则趋于暗淡。

双曲 IFS,上述技术参数的微小变化也会引起相应吸引子所表现的景物的微小变化。这是非常重要的,因为在图像资料信息的压缩中,我们可以调整技术参数达到连续地控制 IFS 的吸引子的目的,同时也使我们能平滑地在吸引子间插值,这对图像的计算机模拟也是相当有用的。

结论 (1)本文基于计算机图形学的着色、光照、阴影和雾化技术,利用计算机构造了一系列具有自然景观特征的3-D IFS 吸引子,并讨论了当上述技术参数变化时3-D IFS 吸引子的变化规律。

(2)研究结果表明:借助计算机在处理图形上的强大功能,3-D IFS 吸引子可再现那些具有无限细节的自然景观,3-

表1 3-D IFS 参数的选取

图号	w_i	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{31}	a_{32}	a_{33}	b_1	b_2	b_3
No. 4	w_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.18	0	0	0
	w_2	0.83	0	0.06	0	0	0	-0.05	0	0.85	0	0	0.2
	w_3	0.22	0	-0.25	0	0	0	0.22	0	0.23	0	0	0.2
	w_4	-0.14	0	0.26	0	0	0	0.28	0	0.25	0	0	0.2
	w'_1	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0
	w'_2	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0.5	0
	w'_3	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0.25	0.25	0
No. 5	w_1	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0	0.5	0	-0.675	0
	w_2	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0	0.5	-0.45	-0.375	-0.15
	w_3	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0	0.5	-0.15	-0.375	0.525
	w_4	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0	0.5	-0.375	-0.37	-0.15
No. 6	w_1	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0	0.5	0	-0.4	0
	w_2	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0	0.5	-0.25	-0.2	-0.1
	w_3	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0	0.5	0	-0.2	0.3
	w_4	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0	0.5	0.25	-0.2	-0.1
No. 7	w_1	0.0047	0	0	0	0.5	0	0	0	0.0086	0	-20	0
	w_2	0.4714	0	0	0	0.5	0	0	0	0.8558	0	18	0
	w_3	0.3333	-0.3536	0	0.3333	0.3535	0	0	0	0.8558	-14.15	4.14	0
	w_4	-0.1666	0.1768	-0.74112	0.3333	0.3535	0	0.2887	-0.3061	-0.4279	7.07	4.14	-12.245
	w_5	-0.1666	0.1768	0.74112	0.3333	0.3535	0	-0.2887	0.3061	-0.4279	7.07	4.14	12.245

注:图4中,分形树为 $\{w_n, n=1,2,3,4\}$ 的吸引子,Sierpinski 地毯 $\{w'_n, n=1,2,3\}$ 的吸引子。

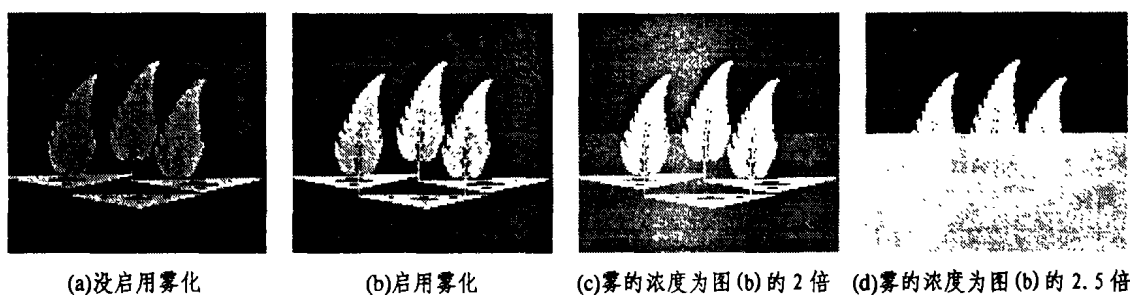


图4 采用着色与雾化技术,利用随机迭代算法绘制的 Sierpinski 地毯及分形树

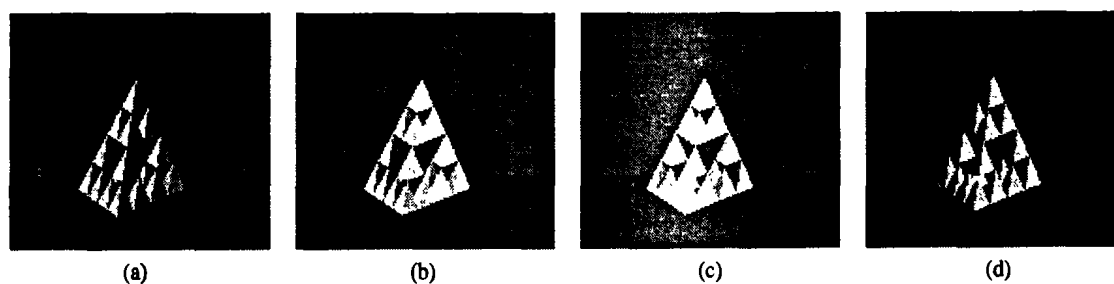


图5 采用着色与光照技术,利用确定性算法构造的 Sierpinski 四面体:(a)光源位于四面体的左前方;(b)以四面体顶点指向底面的垂线为轴,逆时针旋转光源75°;(c)再逆时针旋转光源30°;(d)继续逆时针旋转光源60°。

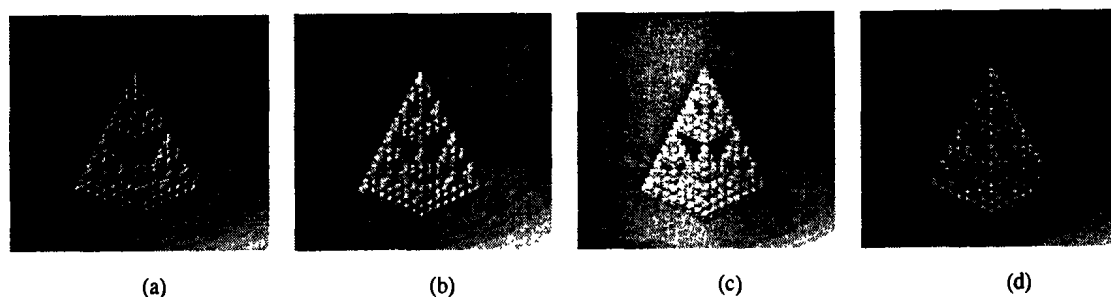


图6 采用着色与光照技术,利用确定算法构造的彩色地板上的球状 Sierpinshi 晶体:(a)光源位于晶体的左后方;(b)以四面体晶体顶点指向底面的垂线为轴,逆时针旋转光源75°;(c)再逆时针旋转光源45°;(d)继续逆时针旋转光源30°。

(下转第69页)

其次我们比较采用新的相似度函数前后视频流中人脸识别率的变化,实验结果见表4,表明了新相似度函数优于旧相似度函数。

表4 以视频流为单位在特征筛选和加权后比较新旧相似度函数的人脸识别率

实验(100段视频流)	识别率(%)
旧相似度函数的EGM	86
新相似度函数的EGM	93

就系统速度而言在我们采用 AdaBoost 算法进行快速人脸定位,用 Simple DAM 算法进行人脸特征定位后,我们的系统达到了每帧0.5s,而传统的EGM算法^[7]至少要每帧30s。

结论 在这篇论文里我们研究了如何改进弹性图匹配算法,以便将它应用到视频流中的人脸识别,实验结果显示:通过特征点筛选和排序可以有效地扩大类间距,提高系统速度;各特征点的实际识别能力与经验认识是不一样的;重新定义后的特征相似函数可以动态地将失败的特征点排除在相似度计算之外,从而提高了系统的鲁棒性;不是在人脸定位、特征定位和人脸识别的全过程都采用弹性图匹配,而是在各个阶段采用不同的算法从而使系统能够实时识别人脸。

参考文献

- Chellapa R, Wilson C L, Sirhey S. Human and machine recognition of faces: A survey. Proc. IEEE, 1995, 83: 705~740
- Kotropoulos C, Tefas A, Pitas I. Frontal Face Authentication Using Morphological Elastic Graph Matching. IEEE trans. On Image Processing, 2000, 9(4)
- Lades M, et al. Distortion invariant object recognition in the dynamic link architecture. IEEE Trans. On Computers, 1993, 42(3): 300~311
- Mel B W. SEEMORE: Combining color, shape, and texture histogramming in a neurally-inspired approach to visual object recognition. Neural Computation, 1997, 9(4): 777~804
- Viola P A. Complex feature recognition: A Bayesian approach for learning to recognize objects. A. I. Memo 1591, Artificial Intelligence Laboratory of the MIT., 1996
- Wiskott L. Face Recognition by Elastic Bunch Graph Matching. Internal Report 96-08 Institut fur Neuroinformatik, Ruhr-Universitat Bochum, FRG, 1996
- Wiskott L. The Role of Topographical Constraints in Face Recognition. Pattern Recognition Letters, 1999, 20(1): 89~96
- Cootes T, Edwards G J, Taylor C J. Active Appearance Models. In: H. Burkhardt, B. Neumann, eds. 5th European Conf. on Computer Vision, volume 2, Springer, 1998. 484~498
- Li S Z, Cheng Y S, Zhang H, Cheng Q. Multi-View Face Alignment Using Direct Appearance Models. FGR2002
- 肖习攀. 人脸检测与检索. [清华大学硕士论文]. 2002
- Viola P, Jones M. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features. in CVPR2001

(上接第64页)

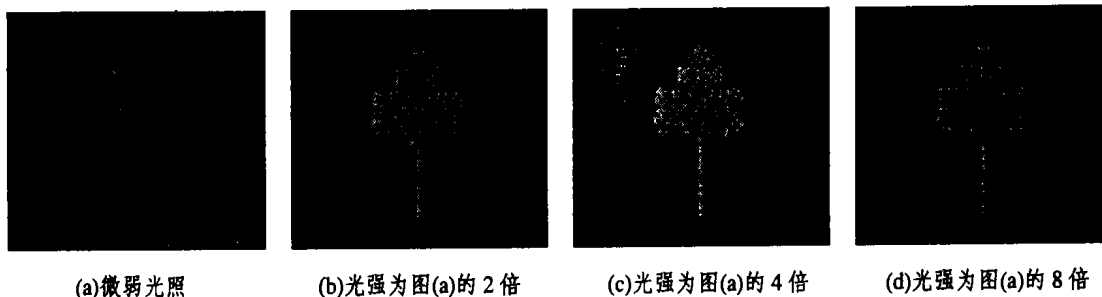


图7 采用着色与光照技术,利用确定性算法构造的球状分形树

D IFS 吸引子在描述自然界的真实特征和细节纹理方面具有特殊的作用。本文的进一步工作可完善着色、光照、阴影、雾化等技术,来增强3-D IFS 真实感;或利用3-D IFS 来模拟更复杂的自然景观;另外还可利用非线性迭代函数(Nonlinear Iterated Function System, NIFS)来模拟自然景观。

(3)上述分析还可以看出,由压缩映射族组成的IFS,只要很少的一些数据就可以产生极其复杂的集——分形吸引子。这意味着表象上巨大的数据量在某种映射下只要少量数据就可以表达出来,因此可把复杂的图像数据用一组能产生该IFS吸引子的压缩映射来代替,只要记忆存储这组压缩映射的参数。所以如何寻找可以对给定的实物图像提供较好表现的IFS,成为问题的关键。如果这些想法能实现,那么对复杂信息资料的压缩,对各种奇特自然景观的有效储存和传输就有极其重大的意义。

参考文献

- Mandelbrot B B. The fractal geometry of nature. San Fransisco: Freeman W H, 1982
- 王兴元. 广义 M-J 集的分形机理. 大连: 大连理工大学出版社, 2002
- Barnsley M F. Fractals everywhere. Boston: Academic Press Professional, 1993
- Barnsley M F, Demko S G. Iterated function systems and the global construction of fractals. The Proceedings of the Royal Society, London Ser., 1985, A399: 243~275
- Hutchinson J. Fractals and self-similarity. Univ. J. Math., 1981, 30: 713~747
- Peitgen H O, Richter P H. The beauty of fractals [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1986. 25~36
- Peitgen H O, Saupe D. The science of fractal images [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1988. 137~218
- 王兴元,朱伟勇. IFS 吸引子的计算机模拟. 计算物理, 2000, 17(3): 407~413
- Elton J, Yan Z. Approximation of measures by Markov processes and homogeneous affine iterated function systems. Constr. Approx., 1989, 5: 69~87
- Vrscay E R, Roehrig C J. Iterated function systems and the inverse problem of fractal construction using moments. In: Computers and Mathematics. New York: Springer-Verlag, 1989. 250~259
- Vrscay E R, Weil D. "Missing moment" and perturbative methods for polynomial iterated function systems. Physica D, 1991, 50: 478~492
- Wang Xingyuan, Liu Xiangdong, Zhu Weiyong, et al. Analysis of c-plane fractal images from $z \leftarrow z^c + c$ for $\alpha < 0$. Fractals, 2000, 8(3): 307~314
- Wang Xingyuan. Fractal structures of the non-boundary region of the generalized Mandelbrot set. Progress in Natural Science, 2001, 11(9): 693~700
- David F R. 计算机图形学的算法基础. 石教英, 彭群生译. 北京: 机械工业出版社, 2002