

计算机动画的人工生命方法研究 ——人工鱼的自繁衍模型¹⁾

陈泓娟¹ 班晓娟^{1,3} 涂序彦¹ 卢汉清²

¹(北京科技大学计算机系 北京 100083)

²(中国科学院自动化研究所模式识别国家重点实验室 北京 100080)

³(清华大学智能技术与系统国家重点实验室 北京 100084)

(E-mail: chenhongjuan@hotmail.com)

摘要 该文将人工生命的“自繁衍”特性引入到计算机动画创作中,提出并建立了基于基因控制的人工鱼的一种自繁衍模型,建立了人工鱼的基因模型,给出了人工鱼的遗传规则.提出并建立了基于生物学理论的人工鱼的一种生命历程模型,包括形态生长模型和生理发育模型,使人工鱼具有了更全面的生命特征,为提高人工鱼动画的创作效率和自动化水平打下了基础.

关键词 人工生命,人工鱼,自繁衍

中图分类号 TP242.6

Research of Artificial Life for Computer Animation —— The Self-Reproduction Model of Artificial Fish

CHEN Hong-Juan¹ BAN Xiao-Juan^{1,3} TU Xu-Yan¹ LU Han-Qing²

¹(Department of Computer Science, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083)

²(National Laboratory of Pattern Recognition, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

³(State Key Laboratory of Intelligent Technology and System, Tsinghua University, Beijing 100084)

(E-mail: chenhongjuan@hotmail.com)

Abstract Self-reproduction characteristic of artificial life is introduced for computer animation. A self-reproduction model of artificial fish based on gene control is put forward. Based on artificial fish's phenotype, the contents of chromosome, the gene model of fish, and heredity rules are given. Artificial fish could reproduce and grow in the virtual marine environment. A life process model based on theory of biology, including model of form growth and model of physiology development, is also put forward, which makes artificial fish animation full of life characteristic. This work improves the efficiency and automatic level of artificial fish animation.

Key words Artificial life, artificial fish, self-reproduction

1) 国家自然科学基金(60075012)和中国科学院自动化研究所模式识别国家重点实验室开放课题基金资助
Supported by National Natural Science Foundation of P. R. China(60075012) and by Open Project Foundation of National Laboratory of Pattern Recognition, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences
Received May 9, in revised form November 22, 2001
收稿日期 2001-05-09 收修改稿日期 2001-11-22

1 引言

计算机动画近十几年取得了很大的进展,正逐渐渗透到我们生活的各个方面.如何在动画中逼真地展现自然界中的具有复杂运动和行为的动物群体,对计算机动画创作者来说,是富有吸引力和挑战性的难题.涂晓媛博士开拓了计算机动画的一种新途径——计算机动画的人工生命方法.这种方法将计算机图形学和人工生命两个领域有机地结合起来.

本文在“晓媛的鱼”^[1]的基础上,将人工生命的“自繁衍”特性引入到计算机动画创作中,建立了人工鱼的自繁衍模型^[2],为进一步提高人工鱼动画的创作效率和自动化水平打下了基础.

2 人工鱼的自繁衍

2.1 人工鱼的染色体结构模型

生物体的性状主要是由位于染色体上的基因决定的,基因间的任意一种组合方式称为基因型,它决定了生物体的所有性状,即表现型^[3].海洋中的鱼千差万别,颜色、形状、习性各不相同,人工鱼也有不同的先天习性和外表形状,这些是由染色体决定的.为了简化模型,我们给每条人工鱼只赋予一条染色体,每条染色体由三组共 21 个基因(都是显性基因)组成(如图 1 所示),分别决定了人工鱼的形状、大小、寿命和习性等 21 个不同的性状.

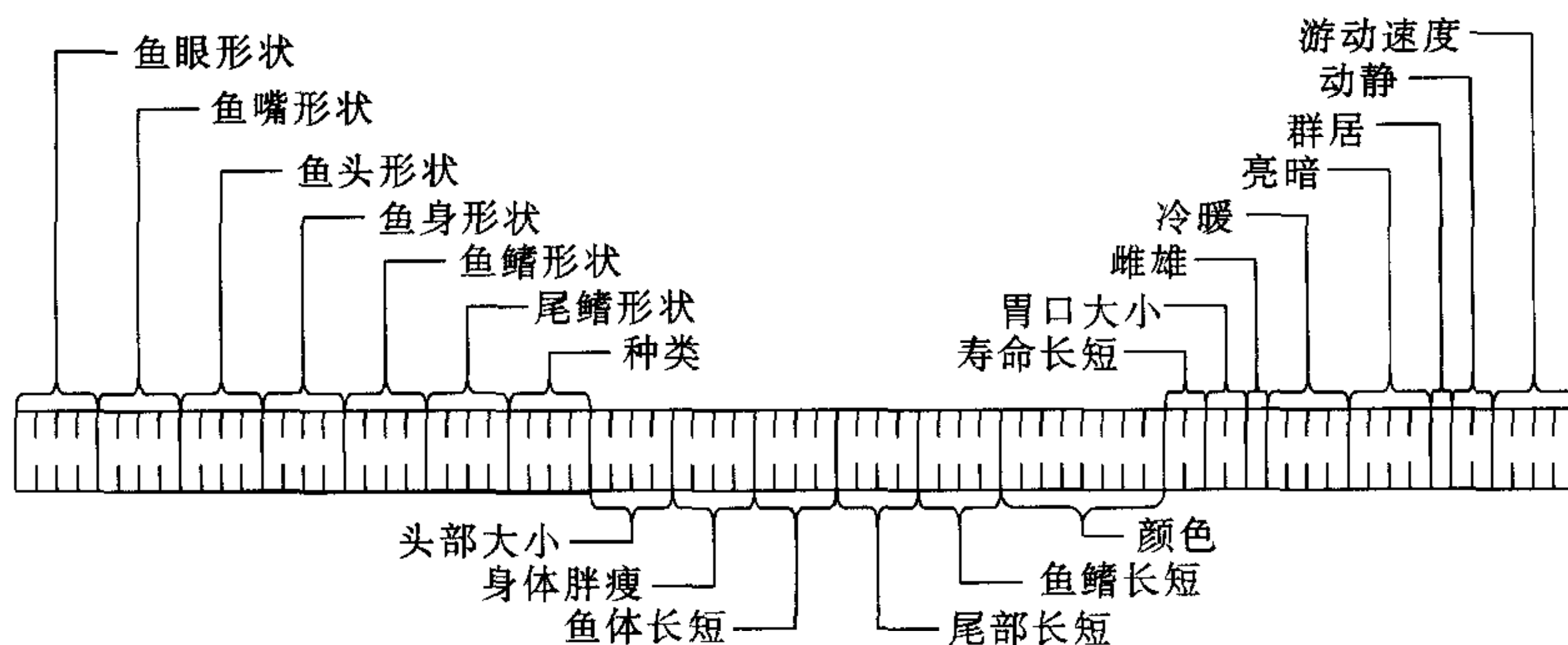


图1 人工鱼的染色体结构模型

Fig. 1 Chromosome structure model of artificial fish

2.2 遗传规则

John Holland 教授创立的遗传算法^[4]将自然选择、遗传、变异均看作是遗传信息传递和处理的方式,是研究人工生命的基础理论之一.下面是我们设计的遗传操作规则.

2.2.1 单点交叉遗传规则

在人工鱼的染色体结构中,决定人工鱼各种性状的基因是由长度不同的二进制编码组成的,我们将每一个基因看成是一个不可分割的最小单元,每个单元的不同取值,决定了人工鱼某个性状的不同表现,如红色的鱼或灰色的鱼等等.在单点交叉遗传操作中,在人工鱼所组成的染色体上,随机地选择一个基因点(不象遗传算法中那样,随机地选择一个二进制点),互换该基因点前后雌鱼和雄鱼的各个基因值,生成两个新的小鱼的染色体.

人工鱼染色体上有 21 个基因,则可能有 20 个不同的交叉点,即每两条人工鱼通过单点交叉遗传操作能够产生 20 种特征不同的子代.

2.2.2 多点交叉遗传规则

所谓多点交叉遗传操作,就是在人工鱼染色体的基因上,选择多个基因点,互换雌鱼和雄鱼在这些基因点之间的基因值,生成新的小鱼的染色体.

在多点交叉遗传操作中,人工鱼有 21 个基因.如果是三个交叉点,则会有 $P_{20}^3 = 1140$ 种不同的遗传操作结果;如果是 n 个交叉点,则会有 P_{20}^n 种不同的遗传操作结果.

3 人工鱼生命历程模型

要制作一个鱼在虚拟的海洋中繁衍、生息的动画,传统的动画技术是无法胜任的.为了让人工鱼自主地完成这样的动画,需要建立人工鱼从小逐渐长大的形态生长模型.

3.1 形态生长模型

鱼类的生长受到遗传因素和环境因素的综合影响.要精细地刻画鱼的生长,生长模型可以很复杂,但考虑到动画的效果及计算复杂度,忽略一些次要因素,认为鱼的生长是个只同遗传因素和时间相关的函数.在生长的过程中,每个器官的形状都会变化,但器官不同,生长的速度是不一样的.人工鱼在生命周期中,其形体由小逐渐长大,达到某个值后,其外形基本不会发生变化,其函数值基本符合升半正态分布.我们构造人工鱼的生长函数如下式:

$$G_i(t) = g_i(1 - e^{-kp(t/a)^2}), \quad i = 0, 1, 2, 3, 4$$

这里 $i = 0$ 表示头部大小, $i = 1$ 表示身体胖瘦, $i = 2$ 表示鱼体长短, $i = 3$ 表示尾部长短, $i = 4$ 表示鱼鳍大小; G_i 分别代表这些外形特征的生长函数; g_i 是相应外形特征的遗传基因值; a 是此种人工鱼的寿命; p 代表同种鱼不同部位的生长系数, p 值大生长速度快,不同的鱼种具有不同的生长特性; 阈值 k 为反映不同种类人工鱼生长速率的相关系数, k 值越大,则成鱼期越短.图 2 中所示的两条曲线分别表示两种不同的人工鱼在同一部位(取 $p = 0.5$)的生长函数曲线,其中曲线 1: $k = 20$, 曲线 2: $k = 10$.

3.2 生理发育模型

自然界中大多数动物的繁殖是有性繁殖,动物体刚出生时不具备繁殖能力,长到一定年龄,性成熟后才具有了繁殖能力^[4].鱼的生长发育也要经历从出生到成熟、衰老和死亡的过程.为了让人工鱼自主地完成自繁衍的动画,需要建立人工鱼的生理发育模型.

由于 VBGF^[5]模型是在理论生物学的基础上提出的生长法则,因此我们借鉴了 VBGF 来建立人工鱼的生理发育函数.人工鱼的发育函数 D 应是一个与时间有关的函数,我们定义人工鱼的发育函数 $D(t)$ 在闭区间 $[0, 1]$ 上取值, $D(t)$ 可由下式给出

$$D(t) = \begin{cases} 1 - e^{-k \times (\frac{t}{a} - k_0)}, & \text{当 } 0 \leq t \leq 0.5a \text{ 时} \\ 1 - e^{-k \times (\frac{2(a-t)}{3a} - k_0)}, & \text{当 } 0.5a < t \leq a \text{ 时} \end{cases}$$

其中 a 表示由遗传基因决定的某条鱼的寿命, k 为生理发育系数, k_0 为常数.其函数如图 3 所示.

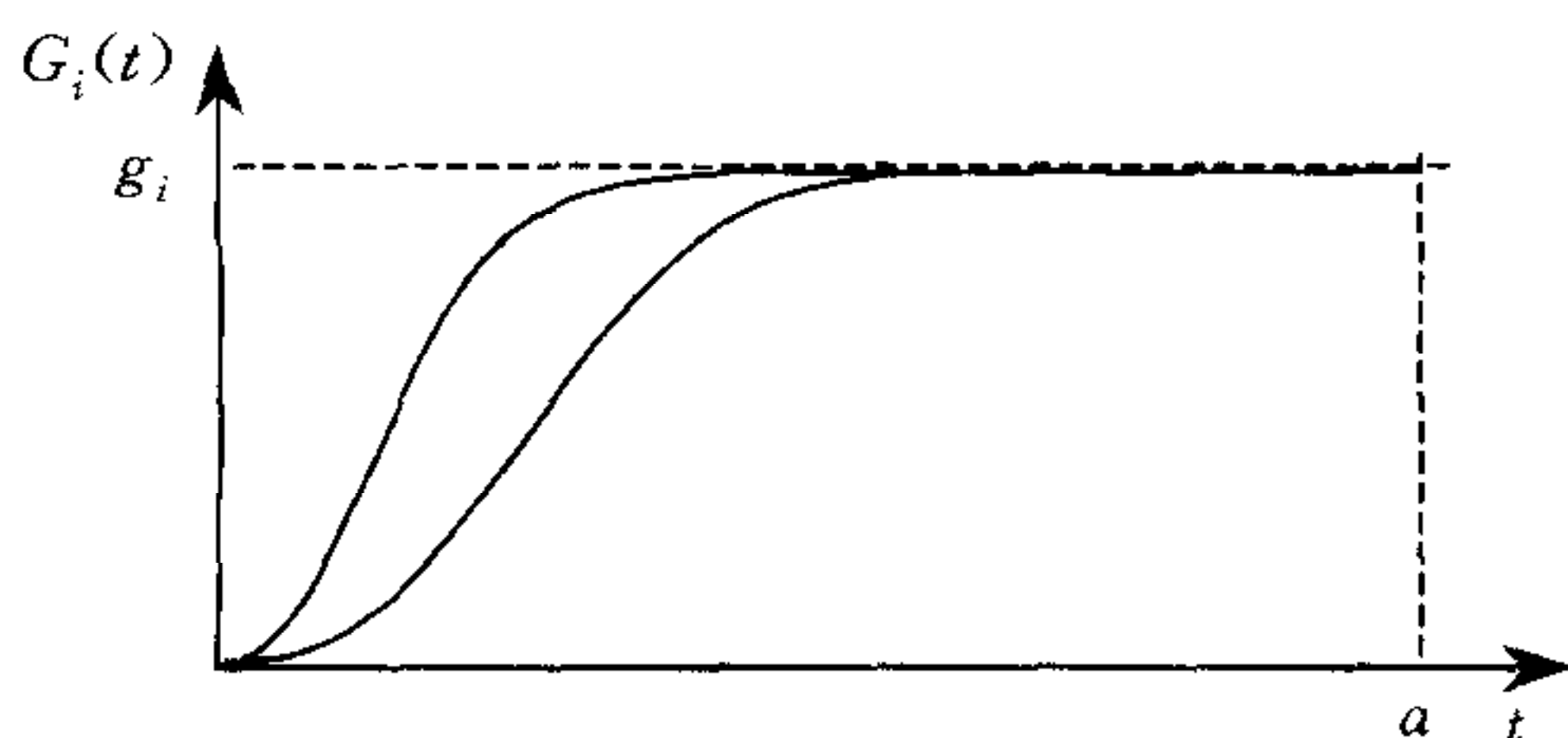


图 2 人工鱼形态生长模型 $G_i(t)$

Fig. 2 Form growth model of artificial fish

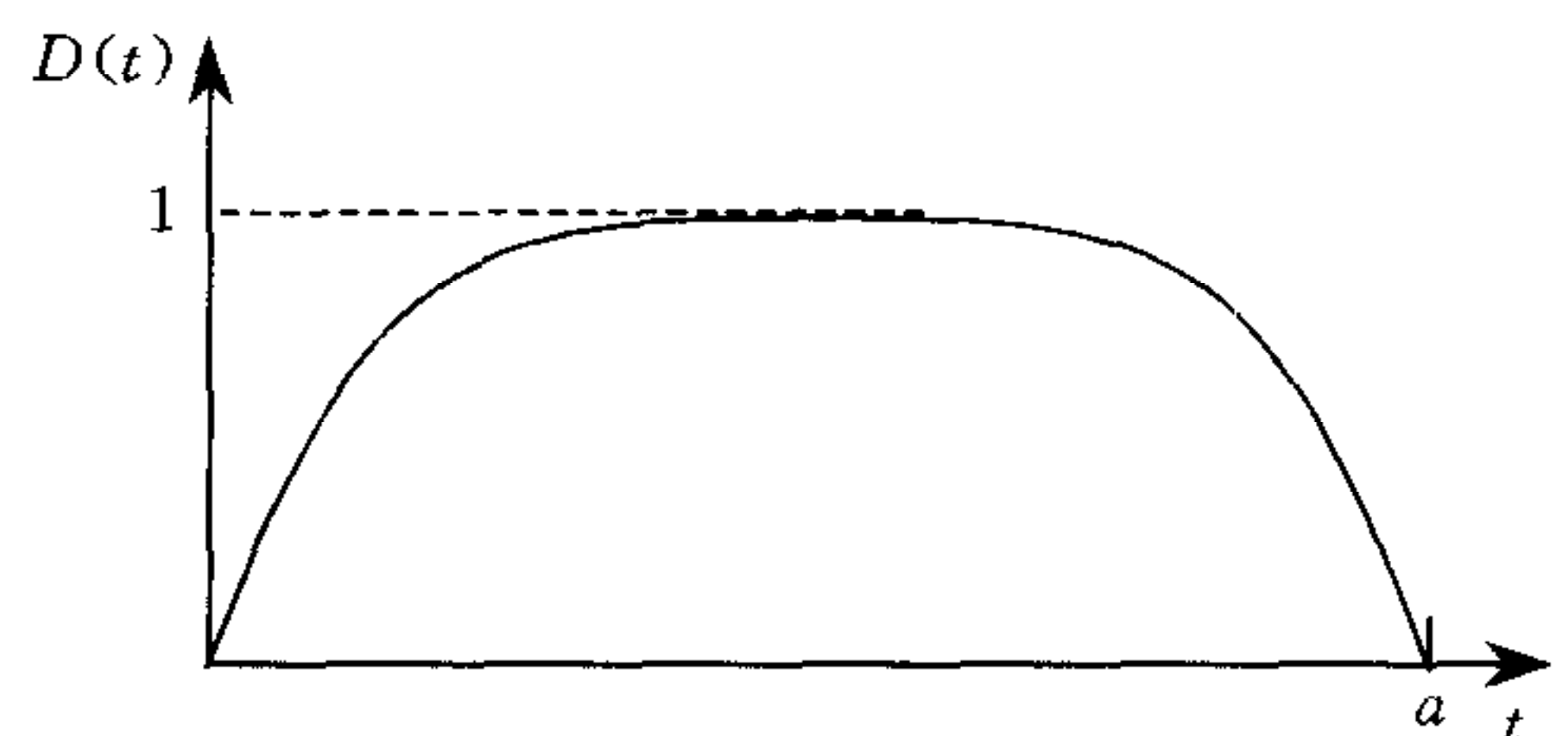


图 3 人工鱼生理发育模型 $D(t)$

Fig. 3 Physiology development model of artificial fish

4 可视化仿真程序的实现

仿真程序是在奔腾 PC 上,在 Windows 2000 下,以 Visual C++6.0 为开发平台,使用 OpenGL 实现的. 仿真程序的主界面如图 4 所示. 仿真程序分为参数控制(初始化)、数据分析、保存、装入和进程控制 5 个部分. 参数控制面板如图 5 所示,用户通过控制面板可以对人工鱼的种类、数目、成鱼的大小、寿命、鱼的择偶标准等参数进行设置.

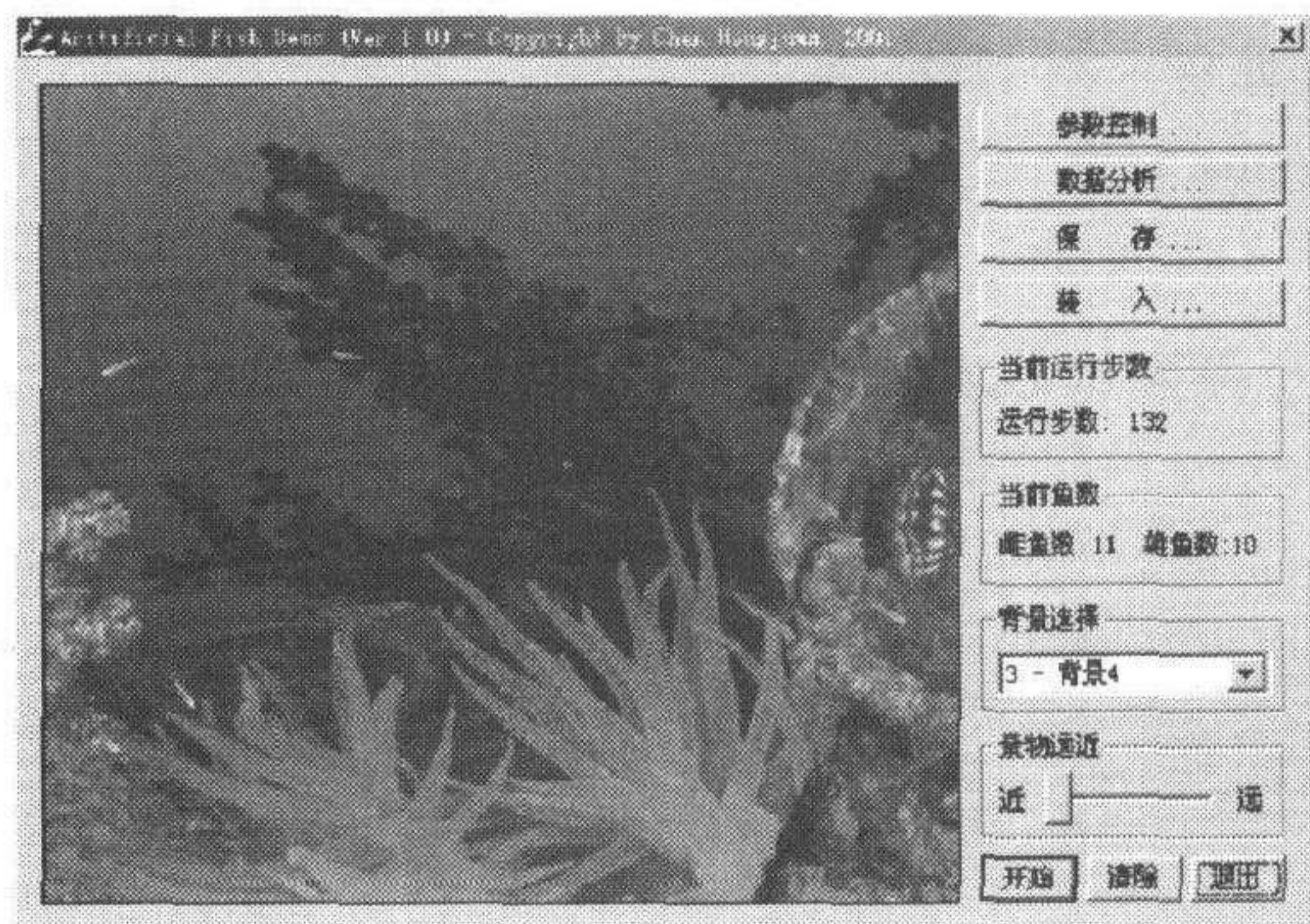


图 4 人工鱼自繁衍动画主界面

Fig. 4 The main screen of artificial fish's animation

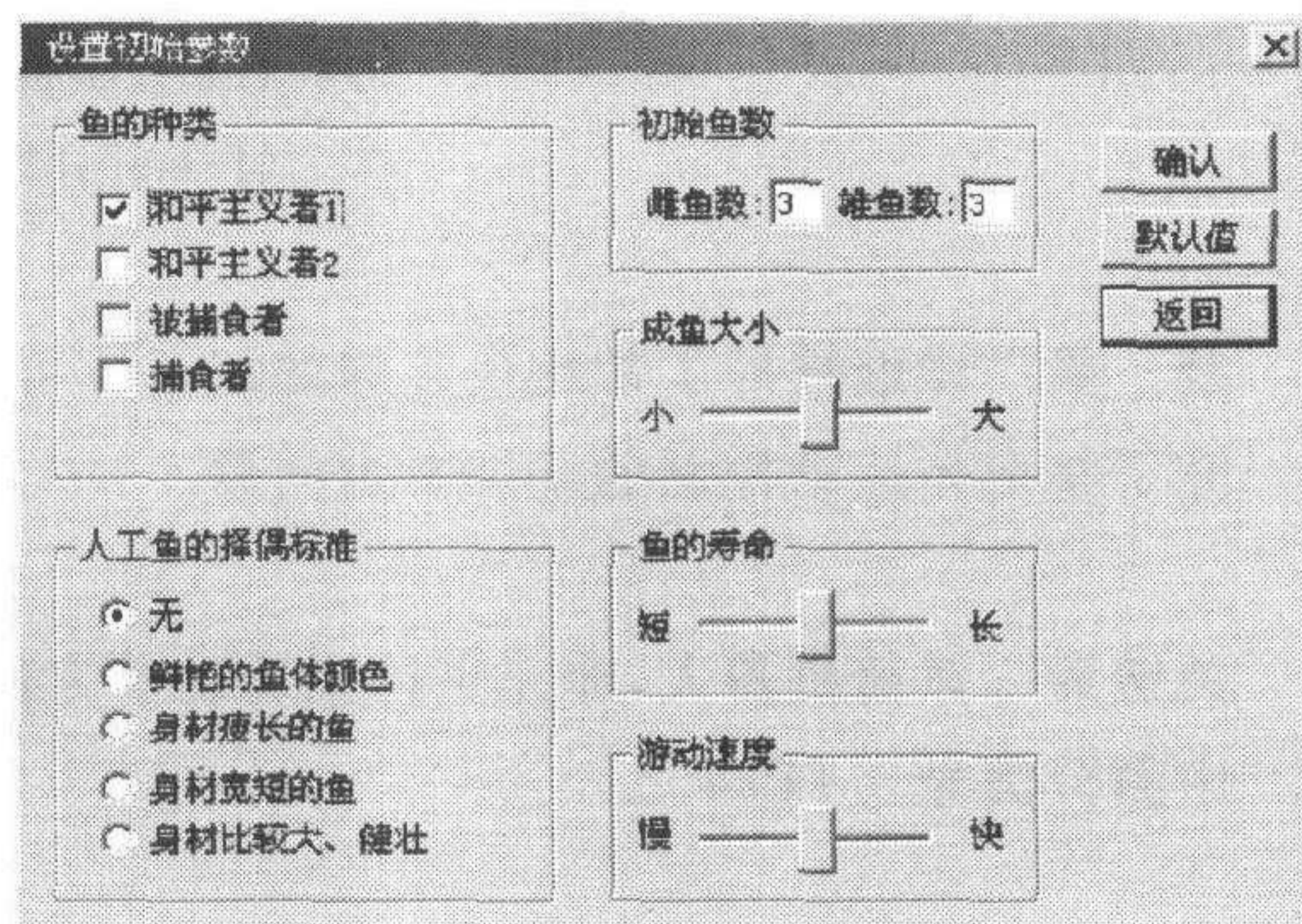


图 5 参数控制面板

Fig. 5 Parameter control panel

5 结论

本文以人工鱼为研究对象,研究人工动物的“自繁衍”理论方法和实现技术,提出并建立了基于基因控制的人工鱼的一种自繁衍模型和基于生物学理论的人工鱼的一种生命历程模型,并在模型的基础上,制作了人工鱼自繁衍的动画.

人工鱼的自繁衍模型可推广移植于其他人工动物的创作和生成,可以用来创作自然生态系统的动画,建立虚拟动物园、虚拟生态系统等. 此外,还可以应用于人工生命、生态学、医学、计算机视觉、机器人学等领域,如动物学家可以用计算机仿真自然动物,以便系统地研究动物的控制和行为;生态学家可以用来作为研究自然生态系统的工具.

参 考 文 献

- 1 Tu Xiao-Yuan. Artificial animals for computer animation: Biomechanics, locomotion, perception, and behavior. ACM Outstanding Ph. D Dissertation Book Series, New York, USA: Springer-Verlag, 1999
- 2 Chen Hong-Juan. The research of theory and method on self-reproduction of artificial fish[Ph. D. dissertation]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2002(in Chinese)
- 3 Chen Yu-Zeng. General biology. Beijing: Higher Education Press, 1997. 212~213
- 4 Holland J H. Adaptation in Natural and Artificial Systems. Michigan, USA: The University of Michigan Press, 1975
- 5 Von Bertalanffy L. On the Von Bertalanffy Growth Curve. *Growth*, 1996, **30**:123~124

陈泓娟 博士,副教授. 研究方向为人工生命和计算机动画.

(CHEN Hong-Juan Ph. D., associate professor. Her research interests include artificial life and computer animation.)

班晓娟 博士研究生,讲师. 研究方向为人工生命、计算机动画.

(BAN Xiao-Juan Ph. D. candidate, lecturer. Her research interests include artificial life and computer animation.)

涂序彦 教授,博士生导师. 研究方向为人工生命、智能管理.

(TU Xu-Yan Professor. His research interests include artificial life and intelligent management.)