

文章编号:1001-9081(2008)02-0315-04

计算机动画中的虚拟角色路径规划研究

吴崇浩¹,班晓娟²

(1. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 2. 北京科技大学 信息工程学院, 北京 100083)

(smartweh@163.com)

摘要:动画或游戏中的虚拟角色的路径规划与机器人路径规划不同,它除了需要在运动空间找出一条无碰撞路径之外,更重要的是要体现出虚拟角色的生物行为特性。以人工鱼(晓媛鱼)为对象,在其活动的虚拟海洋环境中对其进行路径规划:将人工鱼抽象为一个有限状态机,采用人工势场方法。为体现人工鱼的生物行为特性,引入基于视觉和嗅觉的模糊判断。经动画仿真,得到了满意的效果。

关键词:人工鱼;路径规划;有限状态机;人工势场方法

中图分类号:TP391.9 **文献标志码:**A

Research on path-planning of virtual characters in computer animation

WU Chong-hao¹, BAN Xiao-juan²

(1. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

2. School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: The path-planning of virtual player is different from that of a robot's. Besides the need to find a non-collision path in its motion space, the former should also show the biologic characteristic of the virtual player. Artificial fish or Xiaoyuan's fish was researched in this paper. The path-planning was conducted in the virtual ocean, in which the fish lives. And the artificial fish was abstracted as a Finite State Machine(FSM). The fuzzy judgements based on biological vision and olfaction were introduced to artificial potential field to match the biologic characteristic of fish. By computer simulation, satisfying result was achinvded.

Key words: artificial fish; path-planning; Finite State Machine(FSM); artificial potential field

0 引言

路径规划和运动规划是多机器人研究领域的热点。机器人和虚拟角色的路径规划有一些区别,对于机器人的路径规划^[1],其目的是在机器人的工作空间中找到一条从起始状态到目标状态的能避开障碍物的最优路径。判断其最优的条件有一条或多条准则,比如工作代价最小、行走路线最短、行走时间最短等,而且大多数都是基于二维空间。对于虚拟角色的路径规划,其目的也是找到一条从起始状态到目标状态的无碰撞路径,也可以要求行走路线最短、行走时间最短等,但最主要的是要体现虚拟角色的生物特性。再者,对于虚拟角色的路径规划很多都是基于三维空间的。不过虽然这两者之间有些不同点,但是它们的一些方法还是可以互相借鉴。本文研究人工鱼在它们所生活的虚拟海洋环境中的路径规划。

1 人工鱼动画实现

人工鱼是具有广泛行为的人工动物,为人工生命领域人工动物的构造提供了很好的范例。

1.1 人工鱼系统的动画实现结构

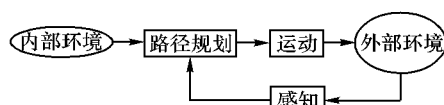


图1 人工鱼动画实现结构

鱼的运动行为主要表现为背鳍、尾鳍的摆动和身体的前

进、转向。鱼自身身体的相对运动变化过于简单和类似,无法展示它们对环境变化的感知和响应,更难以表现它们的生理和心理状态、行为偏好和认知能力,因此我们只能通过鱼在动画中位置的变化,即运动路径来表达鱼复杂的行为选择过程和内部状态的微妙差异。

人工鱼通过感知模块感知外部环境,感知模块包含聚焦器,聚焦器将感知器所获得的环境信息进行过滤,只将人工鱼当前感兴趣的环境信息输出给路径规划模块,以减小系统计算量和信息冗余(如图1)。内部环境数据则包括人工鱼的内部心理和生理状态,路径规划模块、综合感知模块和内部环境数据进行一步路径规划决策,将决策输出给运动模块,由运动模块执行行动,人工鱼进行一步规划之后,对周围环境状态产生影响,接着再重复上述过程,不断循环,直到人工鱼死亡^[2]。

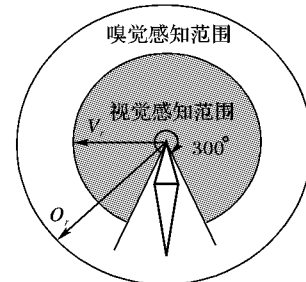


图2 人工鱼感知范围

鱼的感知范围都是有限的,据生物学上的研究,对于大多数鱼类而言,视力范围很有限,嗅觉感知是鱼感知的一个重要

收稿日期:2007-09-04;修回日期:2007-10-30。 基金项目:国家自然科学基金资助项目(60503024)。

作者简介:吴崇浩(1976-),男,河北辛集人,硕士研究生,主要研究方向:人工智能、人工生命; 班晓娟(1970-),女(回族),天津人,副教授,博士,主要研究方向:人工智能、人工生命及其在计算机动画中的应用。

组成部分^[3,4]。因此人工鱼的感知模块所感知的是以人工鱼的头部为中心的一个有限范围的事物,其感知范围如图 2 所示。

人工鱼的视觉范围是以人工鱼速度方向 $\pm 150^\circ$, 半径 v_r 的球体, 图中的半径为 O_r 的球体即为人工鱼的嗅觉感知范围。当物体位于 O_r 之外时, 人工鱼不感知; 当位于 O_r 和 v_r 之间时, 主要由嗅觉感知; 当位于 v_r 之内时, 由嗅觉和视觉同时感知。 O_r 和 v_r 的大小视人工鱼的种类而定, O_r 、 v_r 大的鱼会显得比较“敏感”, 而较小的鱼则可能显得比较“迟钝”^[5]。

1.2 路径规划类型

在机器人路径规划中, 根据机器人对环境信息掌握程度和障碍物的类型, 可以分为几种类型: 已知环境下的静态环境路径规划、未知环境下的静态环境路径规划、已知环境下的动态环境路径规划、未知环境下的动态环境路径规划^[6]。

另外, 还可以根据机器人对环境信息的掌握程度分为两种类型: 一种是基于事先掌握的环境完全信息的全局路径规划; 另一种是基于传感器信息的局部路径规划; 这种情况下, 环境信息是未知或部分未知的, 即障碍物信息如位置, 速度, 尺寸等必须通过传感器实时获取。在人工鱼生活的虚拟海洋环境中, 有静态障碍物(如岩石), 也有动态障碍物(如其他鱼), 环境是动态变化的。同时, 人工鱼不可能对环境有一个先验的完全信息。如图 1 中所述, 人工鱼只能依靠感知模块感知它周围有限范围内的事物, 类似于机器人的传感器。所以人工鱼的路径规划是属于动态环境中的局部路径规划。

2 行为有限状态机

我们为人工鱼设计了 9 个行为程序: 1) 躲避静态障碍物; 2) 躲避动态障碍物; 3) 追逐目标; 4) 进食; 5) 求偶; 6) 离开; 7) 闲逛; 8) 逃逸; 9) 集群。

集群行为属于群体行为, 不在本文讨论范围内。以上行为根据其激发关系可以组织在一个有限状态机中, 如图 3 所示。

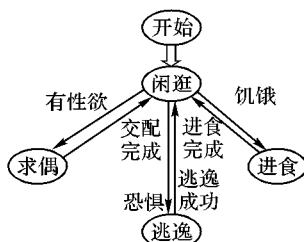


图 3 人工鱼行为有限状态机

其中性欲、饥饿感、恐惧感属于鱼的内部心理状态, 用以下几个公式进行量化:

$$H(t) = \min[1 - n^e(t)r(\Delta t^H)/n^\alpha + \alpha_h S^h(t), 1] \quad (1)$$

$$L(t) = \min[l(\Delta t^L)(1 - H(t)) + \alpha_l S^l(t), 1] \quad (2)$$

$$F(t) = \min[\sum_i F^i, 1]; F^i = \min[D_0/d^i(t), 1] \quad (3)$$

其中, 带上划线的部分表示人工鱼的内部冲动部分, t 表示时间, $n^e(t)$ 是所消耗的食物量, 按实物颗粒数或被捕食鱼的数目来衡量; $r(x) = 1 - p_0x$ 是消化率, 其中 p_0 为常数; Δt^H 是自从上次进食以来的时间; n^α 是一个常数, 它表明鱼的胃口大小(大鱼具有较大的 n^α 值); $\alpha_h S^h(t)$ 体现外部刺激的影响, 如对邻近食物感知; 包含常数 p_1 的 $l(x) = p_1x$ 是性欲函数; Δt^L 是自从上

次交配以来的时间; $\alpha_l S^l(t)$ 计算对潜在交配的感知的影响; $D_0 = 200$ 是一常数; F^i 和 $d_i(t)$ 分别表示对所发现的捕食者 i 的恐惧感和距离; $p_0 = 0.00067, p_1 = 0.0025$ 是标称值。

从行为层次上来说, 进食、求偶是高层行为, 而躲避障碍物、追逐目标等则属于相对低层的行为。高层行为可以继续向下分解成多个低层行为的组合。以进食为例, 它可以分解成追逐目标、躲避静态障碍物, 躲避动态障碍物和逃逸几个低层行为, 如图 4 所示。

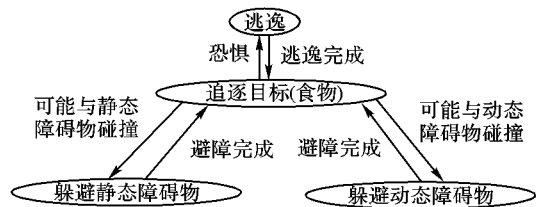


图 4 进食行为有限状态机

求偶行为的分解与进食一样, 只不过在追逐目标行为中所追逐的目标是异性鱼, 而不是食物。由上述的行为可知, 路径规划只需针对躲避静态障碍物、躲避动态障碍物、追逐目标(包括追逐事物和异性鱼, 但没有实质上的区别)和逃逸四种行为。

3 行为优先级及持续性

因为人工鱼有多种行为, 有可能在某种环境下, 满足激发多种行为的条件。比如视野内同时出现了食物和异性鱼, 而此时鱼又同时处于饥饿和有性欲状态, 这时就同时满足了追逐食物和追逐异性鱼的激发条件。此时只能选择一种行为, 所以为人工鱼的各种行为设置一个优先级。对动物而言, 生存是最根本的需求, 所以将逃逸、躲避动态、静态障碍物三种行为设为最高优先级, 为第 1 级; 追逐食物行为设为次高级, 为第 2 级; 追逐异性鱼设为第 3 级。高优先级行为优先于低优先级行为执行。那么在前面所说的情况下, 因为追逐食物的比追逐异性鱼的优先级更高, 所以人工鱼将选择去进食, 而不是求偶。

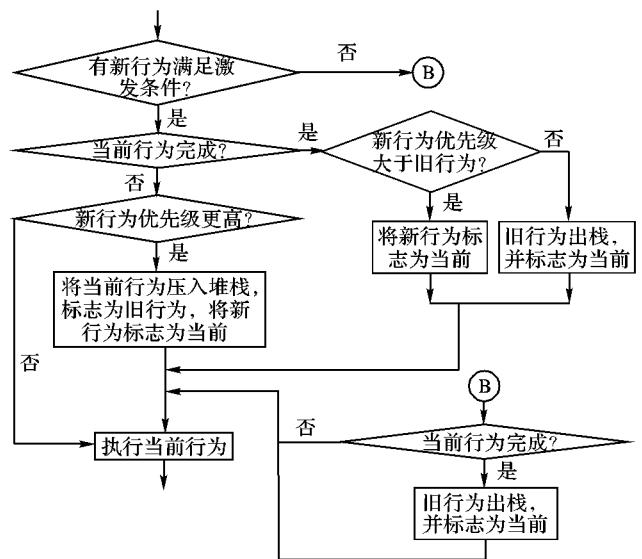


图 5 行为调度流程

在一个行为的执行过程中, 还可能由于环境状况的改变而激发另一种行为。比如一条人工鱼在追逐食物的过程中可能会遇到静态障碍物, 这就满足了躲避静态障碍物的激

发条件,这时显然需要先绕过障碍物再进食。因此这里规定优先级高的行为可以中断优先级低的行为,低优先级行为不能中断高优先级行为,同优先级的行为可以相互中断。这样,追逐食物行为就被躲避静态障碍物行为所中断,但这又出现了一个问题,就是在躲避完障碍物之后需要继续执行追逐食物行为,即需要维持行为的持续性,否则会造成人工鱼行为的不稳定。所以在这里设置一个行为堆栈,用来记录被中断的行为。先将各种行为编号,然后将被中断的行为编号压入堆栈,当一个新的行为被激发前,检查堆栈中是否有被中断的行为。如果有,则比较被中断行为和将被激发行为的优先级,如果被中断行为优先级较高,则不激发新行为,而将被中断行为弹出堆栈,继续执行之;如果新行为的优先级更高,则被中断行为继续存放在行为堆栈中,激发新行为。

图5所示的过程在人工鱼路径规划的每一个时间步中都执行一次。其中新行为是指满足激发条件,即将被激发的行为,当前行为指人工鱼当前正在执行的行为,旧行为指被中断的压入堆栈的行为。为每个行为都设置一个标志,以表明其是新、旧或是当前,人工鱼每个时间步中执行的都是被标志为当前的行为。

4 基于行为的路径规划

在机器人路径规划中,基于行为的设计方法是一种很重要的方法,应用十分广泛,它比较好的可扩充性,随着行为设计的不断深入或者加入新的行为,系统应对复杂环境的能力也就越来越强。本文在这种设计方法的基础上,综合考虑鱼的生理特征进行人工鱼的路径规划。

由于人工鱼的感知分为视觉和嗅觉两部分,因而对于人工鱼的路径规划就是综合视觉和嗅觉两者的感知数据进行规划。又由生物学上的研究可知,大多数鱼类的嗅觉主要对鱼的发育变态、觅食、集群、避敌、求偶、繁殖和定向等生态活动有重要影响^[3]。在本文中,主要考虑嗅觉对追逐目标(包括追逐食物和异性鱼)和逃避行为的影响。

4.1 Avoid_static_obstacle 行为设计

Avoid_static_obstacle 即躲避静态障碍物行为,这里采用基于人工势场的方法,该行为的输入为 $(d_{si}, S_i, \theta_{sofi}, \omega_{sofi})$ 。 d_{si} 为人工鱼视觉范围内第*i*个静态障碍物离人工鱼的距离。 S_i 是第*i*个障碍物的尺寸,这里为减少系统的计算量,人工鱼和障碍物的形状都认为是包围其自身的最小长方体,即其“包围盒”。人工鱼和障碍物的尺寸就认为是其“包围盒”的体对角线长度。 θ_{sofi} 为第*i*个静态障碍物与人工鱼连线与人工鱼速度在水平方向上的夹角; ω_{sofi} 为其在竖直方向上的夹角。 (θ, ω, V) 为 Avoid_static_obstacle 行为的输出, θ 表示人工鱼水平偏角, ω 为竖直方向的俯仰角, V 表示下一步的运动速度。再设 L, R, U, D 四个变量分别表示人工鱼视野前部中左、右、上、下的障碍物里人工鱼的迫近程度,它们用以下公式进行计算:

$$\begin{cases} L = \sum_{i \in SO_L} \frac{S_i \cos \theta_{sofi}}{d_{si} + m_0} \\ R = \sum_{i \in SO_R} \frac{S_i \cos \theta_{sofi}}{d_{si} + m_0} \\ U = \sum_{i \in SO_U} \frac{S_i \cos \omega_{sofi}}{d_{si} + m_0} \\ D = \sum_{i \in SO_D} \frac{S_i \cos \omega_{sofi}}{d_{si} + m_0} \end{cases} \quad (4)$$

其中, SO_L, SO_R, SO_U, SO_D 分别表示位于当前人工鱼速度方向的左边、右边、上边、下边的静态障碍物集合; m_0 是一个裕量;那么, θ 和 ω 由下式决定:

$$\theta = \begin{cases} -\pi/8, & L < R \\ \pi/8, & L > R \\ \theta_c, & X \leq M_{\min X} (X = L, R) \end{cases} \quad (5)$$

$$\omega = \begin{cases} \pi/8, & U < D \\ -\pi/8, & U > D \\ \omega_c, & X \leq M_{\min X} (X = U, D) \end{cases} \quad (6)$$

其中 θ_c, ω_c 表示人工鱼当前运动方向,并规定左转为负,右转为正;上转为正,下转为负。 $M_{\min X}$ 是一个阈值,计算方法如下:

$$M_{\min X} = \int_{-\pi/2}^0 \frac{1}{v_r + m_0} d \cos \theta = \frac{1}{v_r + m_0}; X = L \quad (7)$$

当 $X = L$ 时的情况,即计算人工鱼左边的障碍物迫近度阈值;积分范围 $(-\pi/2, 0)$ 表示当躲避静态障碍物时,只考虑人工鱼视觉范围的前半部分。同理,当 $X = R, U, D$ 时,都有 $M_{\min X} = \frac{1}{v_r + m_0}$ 。那么式(5),(6)最后一行的条件的意义就是 L, R, U, D 都小于等于 $M_{\min X} \cdot v_r$,即1.1中所述的人工鱼视觉范围的半径。

下面是速度 V 的确定:

$$V = \begin{cases} V_c, & \text{其他} \\ V_c/2, & X > M_{\max} (X = L \vee R \vee U \vee D) \end{cases} \quad (8)$$

式中, V_c 表示人工鱼当前的运动速度,公式第二行的条件表示,在 L, R, U, D 中任意一个或多个大于 M_{\max} 的话,则输出速度为当前速度的 $1/2$ 。 M_{\max} 的计算公式如下:

$$M_{\max} = \frac{S_f}{V_{\max} t + m_0} \quad (9)$$

其中: S_f 为人工鱼的尺寸, V_{\max} 是人工鱼的最大运动速度, t 为一个时间步的步长。

由上述可知,Avoid_static_obstacle 行为完成的判定条件即为 $X \leq M_{\min X} (X = L, R, U, D)$ 。

4.2 Avoid_dynamic_obstacle 行为设计

Avoid_dynamic_obstacle 行为即躲避动态障碍物行为。该行为的输入为 $(d_{di}, S_i, \theta_{dofi}, \omega_{dofi}, \alpha_i)$ 。 d_{di} 为人工鱼视觉范围内第*i*个动态障碍物离人工鱼的距离; θ_{dofi} 为第*i*个动态障碍物与人工鱼连线与人工鱼速度在水平方向上的夹角; ω_{dofi} 为其在竖直方向上的夹角; α_i 为动态障碍物*i*的运动方向与人工鱼当前运动方向的夹角。Avoid_dynamic_obstacle 行为的输出也是 θ, ω 和 V 。躲避静态障碍物与静态障碍物类似,但是因为动态障碍物也有速度和方向,所以需要在 Avoid_static_obstacle 行为基础上进行一些修改。角度 θ 及 ω 的输出仍用式(5)、(6),但是需要对 L, R, U, D 及 $M_{\min X}$ 进行修改,修改如下:

$$\begin{cases} L = \sum_{i \in DO_L} \frac{-S_i \cos \alpha_i \cos \theta_{dofi}}{d_{di} + m_0} \\ R = \sum_{i \in DO_R} \frac{-S_i \cos \alpha_i \cos \theta_{dofi}}{d_{di} + m_0} \\ U = \sum_{i \in DO_U} \frac{-S_i \cos \alpha_i \cos \omega_{dofi}}{d_{di} + m_0} \\ D = \sum_{i \in DO_D} \frac{-S_i \cos \alpha_i \cos \omega_{dofi}}{d_{di} + m_0} \end{cases} \quad (10)$$

$$M_{\min X} = \int_{-5\pi/6}^0 \frac{-\cos \alpha_i}{v_r + m_0} d \cos \theta = -\frac{(1 + \sqrt{3}/2) \cos \alpha_i}{v_r + m_0}; X = L$$

式中: DO_L, DO_R, DO_U, DO_D 分别表示位于当前人工鱼速度方向的左边、右边、上边、下边的动态障碍物集合。用 $-\cos \alpha_i$ 是因为这里认为在当前人工鱼视觉范围中的动态障碍物中, 与人工鱼相向运动的动态障碍物的危险性大于与人工鱼同向运动的障碍物。当 α_i 大于 90° 时, 障碍物即有向着人工鱼运动的速度分量, 而此时 $\cos \alpha_i$ 为负值, 所以在其前加一个负号。关于 $M_{\min X}$ 的计算, 当 $X = L$ 时, 积分范围为 $(-5\pi/6, 0)$ 是当躲避动态障碍物时, 考虑了人工鱼整个视觉范围, 即人工鱼速度方向的 $\pm 150^\circ$ 。与躲避静态障碍物同理, 当 $X = R, U, D$ 时, 都

$$M_{\min X} = -\frac{(1 + \sqrt{3}/2) \cos \alpha_i}{V_r + m_0}$$

V 的计算修改如下:

$$V = \begin{cases} V_c, & X \leq M_{\min X} (X = L, R, U, D) \\ 0, & X > M_{\min X} (X = L \vee R \vee U \vee D) \\ V_{Omin}, & \text{其他} \end{cases} \quad (11)$$

其中, V_{Omin} 为动态障碍物中速度最小障碍物的速度。 M_{\max} 的计算修改如下:

$$M_{\max} = \frac{S_f}{(V_{\max} + V_{Omax})t + m_0}$$

V_{Omax} 为动态障碍物中速度最大障碍物的速度。

Avoid_dynamic_obstacle 行为完成的判定条件也为 $X \leq M_{\min X} (X = L, R, U, D)$ 。

4.3 Move_to_goal 行为设计

Move_to_goal 行为即追逐目标行为, 本行为需要考虑嗅觉感知。本文中将其看成一种预处理, 它是一种较模糊的处理: 设 d_{fg} 为人工鱼当前位置到目标的距离, 当 $v_r < d_{fg} < O_r$ 时, 主要靠嗅觉感知。 θ, ω, V 输出如下所示:

$$\theta = \begin{cases} -\pi/8, & \text{目标在左前方} \\ \pi/8, & \text{目标在右前方} \\ \theta_c, & \text{目标在前方} \\ -\pi/4, & \text{目标在左后方或后方} \\ \pi/4, & \text{目标在右后方} \end{cases} \quad (12)$$

$$\omega = \begin{cases} -\pi/8, & \text{目标在上方} \\ \pi/8, & \text{目标在下方} \\ \omega_c, & \text{目标在前方} \end{cases} \quad (13)$$

$$V = V_{\max} \quad (14)$$

这里左前方的定义为人工鱼速度方向的 $(-\pi/2, -\pi/6)$ 范围, 右前方为 $(\pi/6, \pi/2)$, 前方为 $(-\pi/6, \pi/6)$, 左后方为 $(-5\pi/6, -\pi/2)$, 右后方为 $(\pi/2, 5\pi/6)$, 后方为 $(-\pi, -5\pi/6) \cup (5\pi/6, \pi)$ 。如图 6 所示。

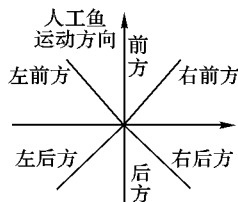


图 6 人工鱼感知区域水平截面图

对于前上方、前下方、后上方、后下方和后方的划分与图

6 类似, 上方包含前上方和后上方, 下方包括了前下方和后下方, 如图 7 所示。

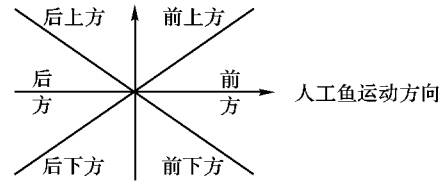


图 7 人工鱼感知区域竖直截面图

当 $d_{fg} < v_r$ 时, θ, ω, V 输出为:

$$\theta = \begin{cases} \pi/4, & \theta_{fg} > \pi/4 \\ -\pi/4, & \theta_{fg} < -\pi/4 \\ \theta_{fg}, & |\theta_{fg}| < \pi/4 \end{cases} \quad (15)$$

$$\omega = \begin{cases} \pi/4, & \omega_{fg} > \pi/4 \\ -\pi/4, & \omega_{fg} < -\pi/4 \\ \omega_{fg}, & |\omega_{fg}| < \pi/4 \end{cases} \quad (16)$$

$$V = \begin{cases} V_{\max}, & d_{fg} > d_0 \\ 0, & d_{fg} \leq d_0 \end{cases} \quad (17)$$

式(15) ~ (17) 中, θ_{fg}, ω_{fg} 分别为人工鱼当前运动方向与人工鱼和目标连线的水平夹角和竖直夹角, 并设人工鱼的一次最大转动角度为 45° ; d_0 为一个阈值, 当人工鱼与目标距离小于等于阈值时就认为人工鱼追逐目标成功。因此 Move_to_goal 行为完成的判定条件即为 $d_{fg} \leq d_0$ 。

4.4 Escape 行为设计

Escape 行为即逃逸行为, 本行为也需要考虑嗅觉感知, 当 $v_r < d_{fg} < O_r$ 时, θ, ω, V 输出为:

$$\theta = \begin{cases} \pi/8, & \text{捕食者在左前方} \\ -\pi/8, & \text{捕食者在右前方} \\ \theta_c, & \text{其他} \end{cases} \quad (18)$$

$$\omega = \begin{cases} \pi/8, & \text{捕食者在下方} \\ -\pi/8, & \text{捕食者在上方} \\ \omega_c, & \text{其他} \end{cases} \quad (19)$$

$$V = \begin{cases} V_{\max}, & \text{捕食者在后方} \\ V_c/2, & \text{捕食者在前方} \end{cases} \quad (20)$$

当 $d_{fg} < v_r$ 时, θ, ω, V 输出为:

$$\theta = \begin{cases} \pi/4, & -\pi/2 < \theta_{fp} < 0 \\ -\pi/4, & \theta_{fp} < \pi/2 \\ \theta_c, & \theta_{fp} < -\pi/2 \text{ 或 } \theta_{fp} > \pi/2 \end{cases} \quad (21)$$

$$\omega = \begin{cases} \pi/4, & -\pi/2 < \omega_{fp} < 0 \\ -\pi/4, & \omega_{fp} < \pi/2 \\ \omega_c, & \omega_{fp} < -\pi/2 \text{ 或 } \omega_{fp} > \pi/2 \end{cases} \quad (22)$$

$$V = \begin{cases} V_{\max}, & d_{fp} \leq v_r \\ V_{\max}/2, & d_{fp} > v_r \end{cases} \quad (23)$$

其中, θ_{fp}, ω_{fp} 分别为人工鱼当前运动方向与人工鱼和捕食者连线的水平夹角和竖直夹角; d_{fp} 为人工鱼当前位置到捕食者的距离, Escape 行为完成的判定条件为 $(\theta_{fp} > \pi/2 \text{ 或 } \theta_{fp} < -\pi/2)$ 且 $(\omega_{fp} > \pi/2 \text{ 或 } \omega_{fp} < -\pi/2)$ 且 $d_{fp} > v_r$ 。

优化曲线。限于篇幅,现在只给出函数 f_1, f_2, f_4 在 30 维数,50 个粒子以及 f_3 在 10 个粒子下的图像。从图中可以看出,由于混沌策略的引入增加了原算法的多样性,从而使新算法能跳出局部最优点,达到全局最优,全局寻优能力得到了加强。

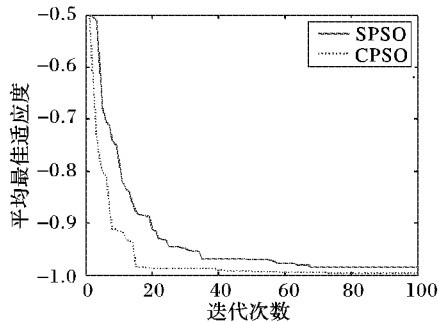


图 5 $f_3: D = 2, N = 10$

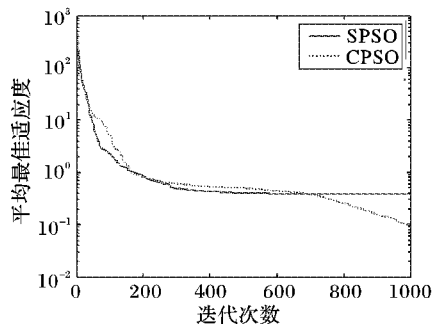


图 6 $f_4: D = 30, N = 50$

6 结语

本文利用混沌模型特性构造了一种混沌粒子群优化算法,数值实验结果表明这是一种较基本粒子群优化算法更好的混合优化算法。混沌粒子群优化算法一方面能克服早熟现象,另一方面也提高了算法的收敛精度和全局收敛性。

(上接第 318 页)

5 程序运行结果

图 8 为进食和躲避静态障碍物时的程序运行结果。

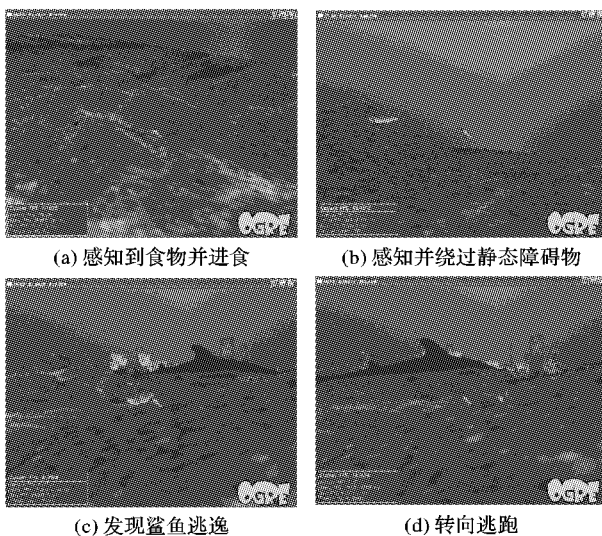


图 8 感知到食物并进食

6 结语

路径规划在生物仿真和游戏中都是必需的。本文用人工

参考文献:

- [1] KENNEDY J, EBERHART R C. Particle swarm optimization[C]// Proceeding of IEEE International Conference on Neural Networks. Perth: IEEE Piscataway, 1995: 1942 - 1948.
- [2] KENNEDY J, EBERHART R. Swarm Intelligence[M]. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2001.
- [3] 吴晓军, 薛会锋, 李愨, 等. GA-PSO 混合规划算法[J]. 西北大学学报, 2005, 35(1): 39 - 43.
- [4] 高尚, 杨静宇, 吴小俊, 等. 基于模拟退火算法思想的粒子群优化算法[J]. 计算机应用与软件, 2005, 22(1): 103 - 104, 80.
- [5] 高鹰, 谢胜利. 免疫粒子群优化算法[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(6): 4 - 67.
- [6] 支成秀, 梁正友. 融合粒子群优化算法与蚁群优化算法的随机搜索算法[J]. 广西科学院学报, 2006, 22(4): 231 - 233, 239.
- [7] 郝柏林. 从抛物线谈起: 混沌动力学引论[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 1993.
- [8] 李兵, 蒋尉孙. 混沌优化方法及其应用[J]. 控制理论与应用, 1997, 14(4): 613 - 615.
- [9] 张劲松, 李歧强, 王朝霞. 基于混沌搜索的混合粒子群优化算法[J]. 山东大学学报, 2007, 37(1): 47 - 50.
- [10] 孟红记, 郑鹏, 梅国晖, 等. 基于混沌序列的粒子群优化算法[J]. 控制与决策, 2006, 21(3): 263 - 266.
- [11] 桂传志. 混沌序列在优化理论中的应用[D]. 南京: 南京理工大学, 2006.
- [12] SHI Y, EBERHART R C. Empirical study of particle swarm optimization[C]// Institute of Electrical and Electronics Engineers. Piscataway: IEEE Service Center, 1999: 1945 - 1949.
- [13] KRINK T, VESTERSTROEM J S, RIGET J. Particle swarm optimization with spatial particle extension[C]// Proceedings of the IEEE congress on Evolutionary Computation (CEC). Honolulu: IEEE, 2002: 1474 - 1479.
- [14] 吕振肃, 侯志容. 自适应变异的粒子群优化算法[J]. 电子学报, 2004, 32(1): 416 - 420.
- [15] 王凌. 智能优化算法及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.

势场方法对人工鱼路径进行了规划,在规划时综合考虑了鱼类的生理和心理因素,对人工势场方法进行了改造以符合鱼类的生物特性,并用程序实现证明了算法的有效性。本文所采用的框架对以后研究其他人工动物(如人工狗、人工马等)以及游戏中角色的路径规划都有借鉴意义。

参考文献:

- [1] STENTZ A. Optimal and efficient path planning for partially-known environments[C]// Proceedings IEEE International Conference on Robotics and Automation. Minnesota: IEEE Robotics and Automation Society, 1994: 3310 - 3317.
- [2] TU X Y. Artificial animals for computer animation: biomechanics, locomotion, perception, and behavior[D]. Toronto: University of Toronto Department of Computer Science, 1996.
- [3] 李信书, 郑伟. 鱼类的嗅觉[J]. 生物学通报, 2006, 41(2): 21 - 22.
- [4] 刘东, 张振玲, 赵亚辉, 等. 鱼类嗅觉器官的形态与生理研究进展[J]. 动物学杂志, 2005, 40(6): 122 - 128.
- [5] 尚玉昌. 动物行为学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2005.
- [6] 王于, 林良明, 颜国正. 动态障碍物环境下移动机器人路径规划[J]. 上海交通大学学报, 2002, 36(10): 1430 - 1434.