

基于重组思想的人工动物仿真平台的框架设计

宁淑荣,姚亦飞,陈 飞,肖超恩,涂序彦

(北京科技大学计算机与通信工程学院,北京 100083)

摘 要: 针对角色动画制作过程中模型和场景重用效率低、修改困难以及运动控制复杂等问题,利用混沌算法的良好随机特性设计了应用于场景复用的场景管理器;借鉴基因序列重组理论,提出了基于重组思想的角色模型可重建建模方法和基于分层索引的、适用于可重组角色模型的运动控制方法;分析了角色模型在智能化环境中的路径规划方法.基于以上内容,以人工动物为例,构建了基于重组思想的人工动物仿真平台框架,并对平台中涉及的其他关键组成部分进行了详细阐述.

关键词: 可重建建模方法; 分层索引; 场景管理器; 仿真平台

中图分类号: TP302.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2012) 01-0108-07

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn>

DOI: 10.3969/j.issn.0372-2112.2012.01.018

Framework Design of Artificial Animal Simulation Platform Based on Reconfiguration

NING Shu-rong, YAO Yi-fei, CHEN Fei, XIAO Chao-en, TU Xu-yan

(School of Computer and Communication Engineering, University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083; China)

Abstract: Considering the inefficiency in model and scene reconfiguration, difficulty in modification and complexity in motion-control using current 3D modeling technologies, we researched a reconfigurable 3D modeling method based on gene recombination. Based on hierarchical indexing, a new motion control method applying to reconfigurable character modeling was proposed. Path-planning method on Characteristic model in intelligent area was analyzed. Finally, an artificial animal simulation framework, based on reconfiguration, was given. The function of each important component of the framework was proposed.

Key words: model reconfigurable method; hierarchical indexing; scene manager; simulation platform

1 引言

制约大规模角色动画^[1,2]生产效率的因素之一是无法复用已有的角色模型和角色场景.现有的角色模型的建模方法^[3~5]仍然无法解决这个问题.

角色模型的典型代表之一是人工动物^[6,7],如人工鱼^[8,9]等.本文以虚拟海洋中的人工动物为例,借鉴基因序列重组思想和混沌思想,提出一种基于重组思想的人工动物仿真平台的框架,重点论述可重组模型设计方法、运动控制算法以及平台场景管理器的设计中的相关问题.目的是为角色模型和角色场景的复用提供一种研究思路.

2 相关知识

2.1 可重组动画

可重组动画指动画中的角色模型和场景通过重组的方式可以重复利用的动画创作方式.如果已存在角色

的类模型或场景模型,则角色建模或场景建模无需从零开始.

2.2 设计思想

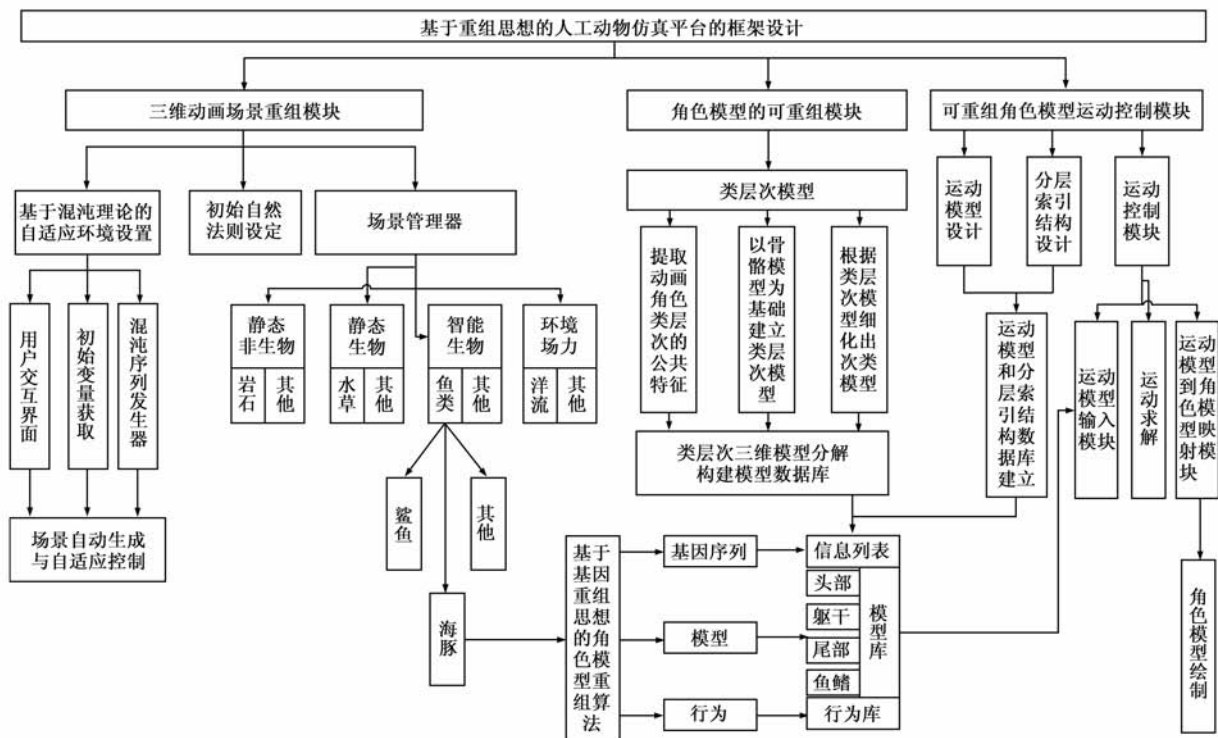
场景的复用主要利用混沌算法的良好随机特性.使场景布局符合混沌随机布局特性,以满足不同用户的需求.这部分主要由场景管理器来完成.

角色模型的复用主要借鉴基因序列重组的思想.首先建立类层次模型,在类层次模型的基础上构建具体的角色模型.

建模方法的不同会直接导致运动控制方法的不同.采用分层索引算法的运动控制方法以骨骼肌肉组合结构为运动模型,通过局部动作索引和全局动作索引方法实现运动控制.

3 仿真平台的框架设计

基于重组思想的人工动物仿真平台(图1)由三部分组成:场景重组模块、角色模型重组模块和运动控制模块.



场景重组模块主要包括场景管理器设计和基于混沌理论的自适应环境设置.角色模型重组模块主要包括提取类层次角色模型的公共特征;建立类层次模型;类模型分解与模型数据库的建立;基于基因序列的模型自重组方法以及关节整合方法.运动控制模块主要包括关键节点的确定和分层索引运动控制算法.

3.1 场景管理器的设计

3.1.1 场景管理器结构

场景管理器用于存储和管理动画系统中所有角色模型以及动画场景的基本信息. 场景管理器主要负责系统所需要对象所有信息的管理. 其结构采用树形结构, 场景中各对象按照各种信息知识来进行分类, 各对象属于且仅属于其中的一类. “对象表”, “行为表”, “类别表”等, 是场景管理器实现时数据库的设计方式, 表与表之间的关系如图 2 所示. 以海洋生态环境为例说明场景管理器的结构(图 3), 环境中的对象分为静态非生物、静态生物、动态生物、智能生物和环境场力五大类. 并将所有动画角色按所属类别进行存储. 在集合了场景中所有对象模型以后, 下一步就是要集中处理对象的属性使其适应新的场景. 所有改变对象的行为可以分为三个类别: 空间操作、时间操作和行为调整操作.

为适应用户对场景的不同需求,场景管理器后台设置了对象类别和类别中对象的增删改操作.对于对象分类相同的系统,可以直接利用场景管理器前台的重组功能来直接组织管理对象.

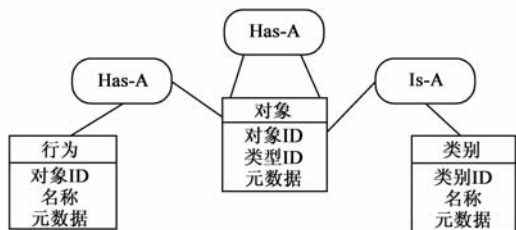


图2 场景管理器各表结构间关系

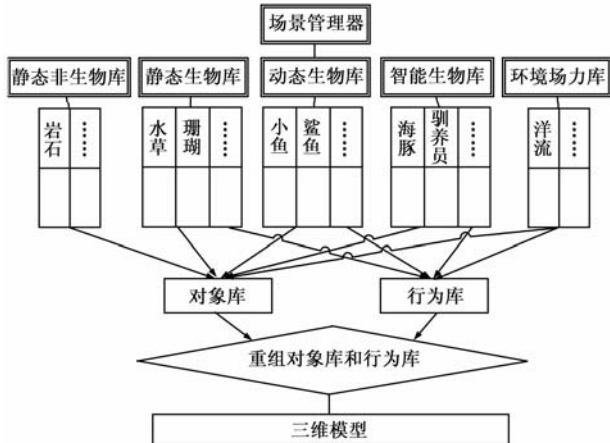


图3 模拟海洋生态环境的动画系统

3.1.2 基于混沌序列的场景随机布局模块

较大规模的场景中,为每个场景对象安排合适的位置往往会耗费较大的时间与精力.以混沌序列的场景随机布局模块(图4)将会减少这部分的工作量,该模块主要分为三个部分.

(1)用户交互界面:用于接收用户设置信息的外部接口。

(2)混沌序列产生器:根据用户的设置信息和系统的当前状态,生成用于场景布局的混沌序列。

(3)布局生成器:将所得混沌序列与对象的属性信息相结合,生成较符合客观规律的三维场景位置信息,并在场景中自动生成该对象。

用户首先通过交互界面设置或更改动画角色的数量和属性信息,混沌序列产生器读取这些信息,并将系统时间作为基准量,将其与物体属性信息作为微增量进行组合得到混沌的初始值。用系统时间和属性信息生成初始值,目的是要使得位置产生器对不同的物体以及不同的计算产生互不相同的初始值,同时利用混沌系统对初值敏感的特性,进而使产生的位置信息具有更好的随机性。

在得到混沌系统初值之后,将其代入 Logistic 映射进行计算,在其进入混沌状态后,会产生一个随机性较好的参数序列。混沌序列产生器将根据用户设定的物体数量信息截取出一段混沌序列,将其发送给布局生成器。布局生成器需要根据对象的属性信息来对混沌序列进行调整,得到符合对象自然属性的三维位置信息,最后在该位置生成对象个体。

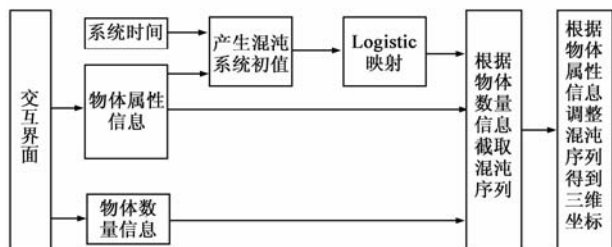


图4 场景随机布局模块设计原理

3.2 三维角色模型的可重组建模方法

3.2.1 类层次模型到角色模型的转换

类层次模型也称基本三维模型,包含一类对象的基本属性。其核心是通过分析与提取一类事物在形态结构与运动方面的公共特征,使用骨骼关节结构设计和实现类层次三维建模。形态结构特征包含物体的常见体积、形体的组成部分及比例,以及生理结构等重要信息。运动特征包括基本运动方式、产生方法,形体各部分的协调方式、运动能力以及所受约束等信息。关节点用于运动控制,骨骼体现关节运动的约束与相互影响,并反映模型的体态特征。以海洋生态环境中的鱼类为例,类层次模型由27个关节点构成(图5)。

类层次模型的设计目的是通过对类模型的调整,使动画系统自动生成特定动画角色的模型,实现模型的重复利用。为突显模型复用中各对象自身的特征,在

建立类模型的同时,为关节点与骨骼分别设定属性参数,并突出设计动画角色形态上的不同组成部分,如人工动物类模型由头部、躯干、尾部、左胸鳍和右胸鳍这几个关键部分,为了便于模型控制,将躯干分为前骨架结构和后骨架结构两部分(图5)。可通过修改关节点和骨骼参数使类层次模型转换为具体动画角色的模型。

由于可能存在需要修改已有类层次模型,或者添加关节点和骨骼的情况,所以采用动态生成的方法产生动画角色模型,保证了类层次三维建模方法的开放性。使用者根据类层次模型生成动画角色模型后,系统并不是根据参数信息生成一个固定的模型,而是将类层次模型作为基准量,将参数设置作为偏移量动态生成角色模型。当类层次模型发生变化后,只需修改或添加变化关节点和骨骼的偏移量即可,不会对其他参数以及模型的生成产生影响。

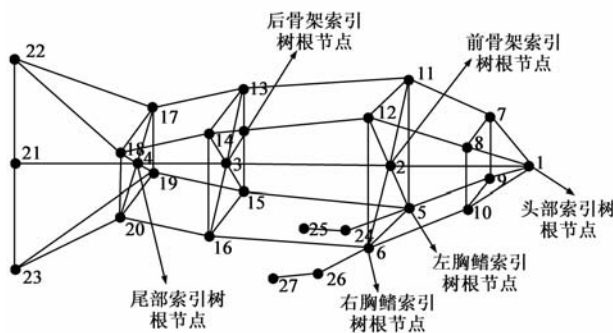


图5 鱼类的类层次模型

3.2.2 基于基因序列的模型重组方法

基于基因序列重组的模型重组方法是动画仿真平台框架设计的核心。主要分为三个部分。

(1)类层次三维模型的分解与模型数据库的建立。类层次建模方法提高了模型重用率,但存在需要设置复杂参数,影响动画角色模型生成效率的问题。采用类层次模型分解的方法可解决该问题。如何缩小类层次模型的一般性与个体的特殊性之间的差异是解决问题的关键。将原有的大类分解为多个次类,并根据每个次类的特点对类层次模型进行预处理,分别生成次类三维模型。通过预设值降低设置复杂性。在此基础上,将次类三维模型分解为多个模型模块,由面向对象的设计思想,将这些模型模块作为整体进行存储和操作,作为整个可重组动画模型设计的基本元素。如图5所示,将鱼类三维模型分解为头部、躯干、尾部、胸鳍四个模块。

将类层次模型分解为模型模块是根据建模时提取的物体形态组成特征进行的,这保证了分解方法的可行性。模型模块选择的是在形态上具有突出特点,与物体运动关系密切并具有独立功能的组成部分。选择特定模型模块后再进行参数设置的复杂程度将远小于对整个模型进行设置。

场景管理器按照类与次类的层次关系对角色模型进行划分,并在该类对应的位置上建立模型数据库,实现对三维模型重组的管理.模型数据库的设计及其与场景管理器的关系如图 6 所示.

(2)模型重组与关节整合.采用分组链表结构连接各模型模块,目的是将模型数据库设计为开放的结构,在动画设计过程中可以根据需要动态添加新的元素.

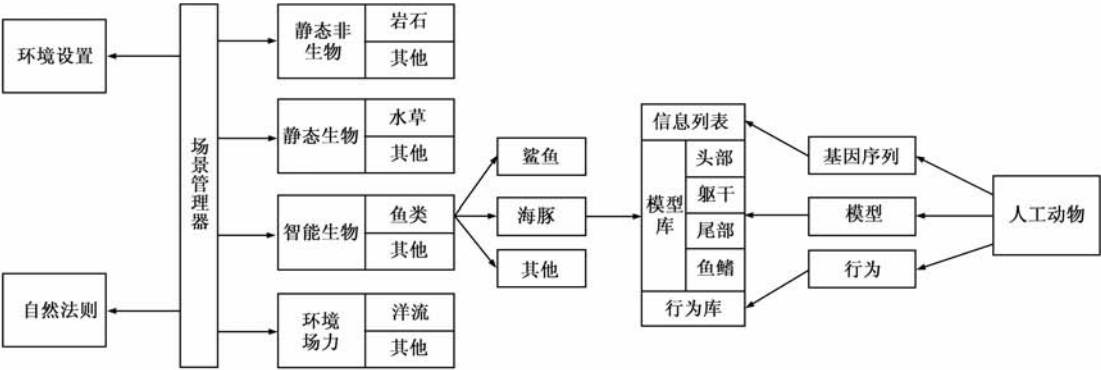


图6 模型与场景管理器关系

采用关节整合技术实现多模块的重组.以人工动物类模型为例,在对模型模块进行分类重组时,同时保存关节点的空间位置信息和属性信息,如图 5 所示,将躯干模块与头部模块相连接的四个点分别用 A1, A2, A3, A4 进行标识,相应地,将头部模块中负责与躯干模块相连接节点也用同样的符号进行标识,将标识作为模块节点的属性进行保存.在模型重组过程中,设计者首先根据动画角色的类别选择最为相近的模型模块并设置参数,随后动画系统会根据关节点的表示信息将各部分模块自动重组为整体,实现模型的自动生成.

(3)基于基因序列的模型自重组算法.通过分析基因序列对生物生长所起的决定作用,结合场景管理器和模型数据库的特点,设计基于基因序列的动画角色信息抽象与自重组方法.其核心是采用基因序列方法对动画角色三维模型信息进行抽象、存储和自重组控制.将角色模型各模块在数据库中的索引值作为基准量,将模块参数的修改信息作为偏移量抽象为一条基因序列,则该序列包含三维模型的全部信息.动画系统只需保存角色的基因序列,在需要显示时,根据基因序列中的信息对模型进行动态自重组与显示.与保存个体模型相比,减小了动画对存储器容量的依赖.图 7 是人工动物基于序列的一部分内容.

根据基因序列信息实现模型的自重组时,场景管理器首先提取基因序列中动画角色的类别信息,并找

类别信息	头部模块索引值	关节点1修改信息	...	关节点n修改信息	躯干模块索引值	关节点1修改信息	...	关节点n修改信息
------	---------	----------	-----	----------	---------	----------	-----	----------

图7 人工动物部分基因序列

链表中的每个元素对应一种模型模块,并通过设定的数据结构保存了该模块的类别,空间位置以及关节点参数.当设计了新类别的人工动物三维模型时,首先在场景管理器中找到该人工动物所属的类别,然后将各模型模块添加到相应的链表中.随着模型数据库规模的增大,用户在进行可重组模型设计时需要对各部分进行的调整不断减少,三维模型生成效率将不断提高.

到相应类别的模型数据库.然后提取各模型模块的索引值,从模型数据库中找到相应模块,并根据基因序列中各模块节点的修改信息对其进行修改.最后,通过关节整合技术将各模块融合为整体,实现模型的自重组.

与模型数据库相似,基因序列同样设计为具有开放性特点的控制序列.可以根据动画系统的发展需要在序列中添加其他控制信息.

3.2.3 采用分层索引算法的运动控制方法

运动控制方法以骨骼肌肉组合结构为运动模型,采用分层索引算法组织运动数据.

(1)采用骨骼和肌肉的组合模型作为运动模型.运动可视为由一系列的典型行为组合而成.典型行为确定的方法主要有阅读文献、视频观察和实地考察等,典型行为判断的标准是重复性高、有规律性.重点是确定各典型行为间的切换姿态.典型行为分为刚体运动和非刚体运动两大类.骨骼结构为刚体与非刚体运动提供约束条件,肌肉组织主要用于模拟非刚体运动.

刚体运动的产生只需要将已有典型运动映射到新的动画模型上即可.模型的骨骼结构和当前状态以及环境因素将作为约束条件作用于映射过程,对典型运动作出修正和限定,产生针对该模型的运动信息.

非刚体运动的产生分为两个步骤:一、通过分层索引确定各肌肉的收缩、伸展量;二、将整个人工动物作为一个整体进行牛顿力学求解,将肌肉的变化转化为人工动物体的变化.与非刚体相连的刚体的受力也要考虑,其求解分为三个步骤:①根据仿射变换和刚体的牛顿力学导出刚体的受力;②刚体受力转换为与其相

邻的非刚体受力;③非刚体求解.在人工动物肌肉上确定几个特征点,并在骨骼上确定几个对应的特征点,要求这些特征点的相对位置不变.在肌肉求解完成后,通过这些特征点计算骨骼的变化.

(2)采用分层索引算法组织运动数据.根据可重组模型设计中对模型模块的划分,在每个模型模块中选取一个关键节点,并以此关键节点为根节点,根据骨骼节点间的相互连接关系使每个模型模块中的骨骼节点生成一棵分层索引树,同时从关键节点中根据对运动影响的程度选取一个作为根节点,将各分层索引树相连接,组成用于运动控制的复合索引结构.图8所示的是鱼类模型(图5)所产生的复合索引结构.

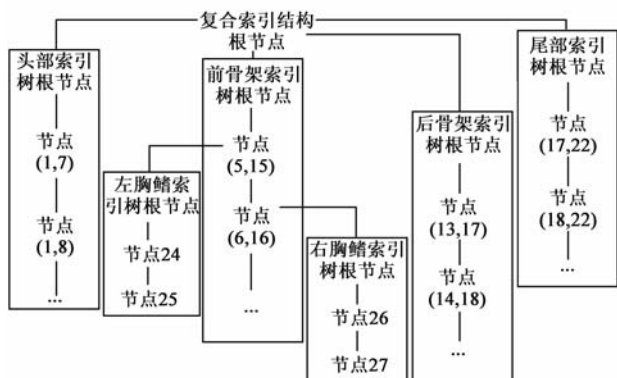


图8 鱼类模型的复合索引结构

分层索引运动控制算法包括局部动作索引和全局动作索引。

局部动作索引:每个动作由身体各部分相互协调共同完成.当控制系统发出某个动作指令时,由复合检索系统将运动标识 P_x 发送给每个检索树检索相应部位的动作.检索树得到标识 P_x 后,即搜索含有该标识的节点,当发现一条能够从根节点到叶节点的路径时,说明检索到正确的运动.这里选取的运动均为典型细节运动,因此在建立索引树时,规定一种运动只能对应一条从根节点到叶节点的路径.复杂的运动通过典型运动的重复或者相互组合实现的.检索到的典型运动,也可通过权值来控制运动的细节.每个节点的权值通过变换函数与给定的参数结合,即可实现对运动速度等方面的控制,表现各种不同的效果.对于参数的取值范围、权值等,都要通过做试验来确定。

全局动作索引:各检索树得到部分运动数据之后,还需要考虑如何将这此运动数据综合为运动模型整体控制量的改变.这里主要需要注意的就是各部分运动的先后与速度是不同的.为了达到协调各部分运动的目的,复合索引结构给每个索引树赋予了不同的时间权值,将其与参数相乘即可控制各部分运动的先后顺序.同时,复合索引结构又将速度权值发送给各个部分

索引树,使其按照不同的速率进行运动,从而使整个运动过程达到逼真的效果。

4 角色模型的路径规划问题

角色模型的路径规划^[10]要注重体现虚拟角色的生物特性^[11],并在适当的情况下应用环境智能化为路径规划问题注入新的活力。

4.1 采用“分离-解决”策略^[12]的路径规划

“分离-解决”策略可简化搜索问题.主要包含三个问题。

(1)剥离障碍物:把障碍物从环境中分离出来,确定人工动物的活动区域。

三维空间解路径问题拟采用先转换成二维空间解路径问题,然后再将二维空间中的解决方法扩展到三维空间中去。

二维空间解路径求解的基本思路是把环境的边界视为一个大的障碍物,然后针对如图9中几种情况分别在顶点向上或向下延伸,将空间分解成一个个独立的细胞,然后在细胞中间或细胞分界线上分别取样点,取样点连线即可视为解路径。

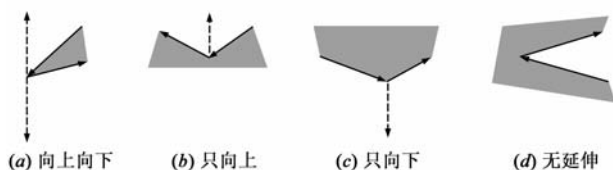


图9 求解二维空间路径的细胞延伸方法

二维空间解路径求解方法扩展到三维空间中拟采用平面扫描的方法将三维空间投影成二维平面,进而将问题转换成递归二维平面求解路径的方法。

(2)障碍物分离中,子空间界定问题。

在进行平面扫描的时候,对每个扫描平面都进行二维垂直分解,两个发生关键变化的扫描平面之间有

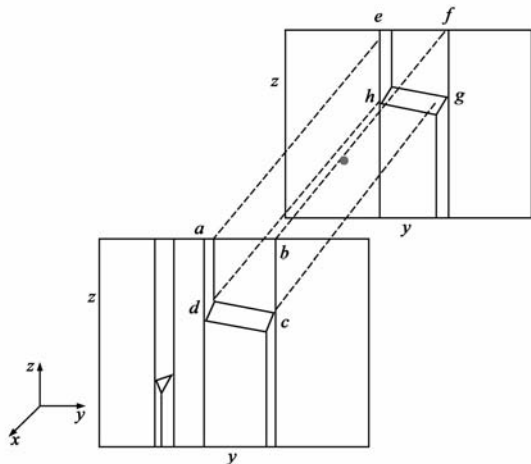


图10 3-cell的结构

许多个扫描平面,这些扫描平面叠加成一个空间区域,其中包含有 N 个 3-cell.图 10 中虚线连接所示部分就是一个 3-cell.

面 $abcd$ 和面 $efgh$ 分别是两个关键切平面,这两个面平行于 yz 平面;面 $bcbf$ 和面 $adhe$ 都是垂直到 xy 平面的;由障碍物区域的面 $abfe$ 来确定上方的范围,障碍物的面 $dcgh$ 来确定下方的范围.

(3) 关键点变化

关键点变化如二维切面上障碍物的个数或形状发生了变化,以图 11 为例:从 (a) 到 (b),从 (b) 到 (c),都发生了关键的变化.

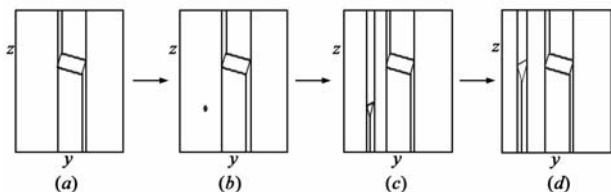


图11 扫描切面变化图

4.2 智能区路径规划方法

智能区也称环境智能化,指具有某种特定约束的区域.在智能区环境约束下,人工动物路径规划带有鲜明的智能区环境特点.图 12 给出了几种智能区的例子.

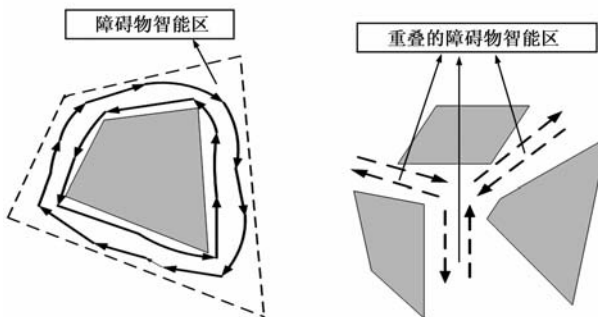


图12 智能区

智能区的存在给路径规划带来了特定的路径求解过程.如果把智能区路径规划方法预先移植到智能区

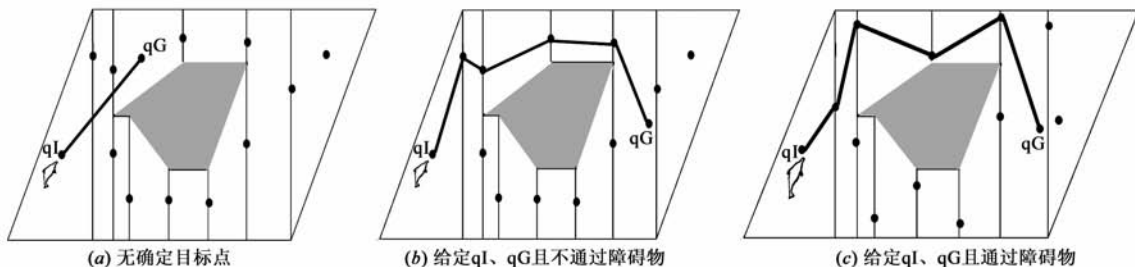


图14 自由区路径规划的几种情况

中,当人工动物到达智能区阈值范围时,就触发智能区路径规划.

智能区路径规划问题主要包括智能区界定、自由区路径规划方法、智能区路径规划算法、智能区行为触发条件及容错研究、智能区与自由区的路径衔接问题、智能区和自由区切换过程中的处理方法.

无论是障碍物型还是边界型智能区路径规划均可借鉴自由区的路径规划方法.以圆柱体智能区为例,对智能区的路径规划拟采用切片方式,将整个智能区用有限个切面表示出来(图 13(b)).图 13(b)中的虚线区域表示的是切面,在圆柱体两侧智能区的切面是圆形,但是在圆柱体上的切面是圆环.切片的目的是要在智能区里规划人工动物的路径,人工动物进入智能区以后,在每一个切面上取一些随机点,连接随机点就可以形成人工动物的游动路径,例如图 12 中顺时针箭头所示.

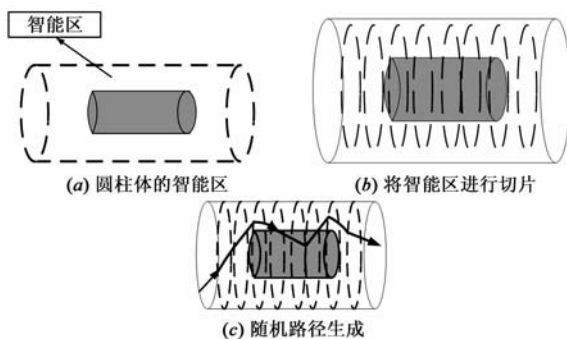


图13 圆柱体智能区路径规划

(1) 无确定目标点.路径规划拟照垂直细胞分解法随机生成;如图 14(a).

(2) 给定 qI 、 qG 且不通过障碍物.直接连接 qI 和终点 qG 生成解路径,依次输出通路上顶点的坐标,得到一条从起始点到目标点的路径.

(c) 给定 qI 、 qG 且通过障碍物.在 1-cell 上选择取样点,直至到达 qG 所在细胞,各取样点随机选取,取样点互相连接构成解路径.

5 结论与下一步工作

本文通过对目前常用三维建模技术在动画设计的可重用性与效率方面的不足的分析,提出了基于人工

动物的可重组动画设计平台框架,详细叙述了平台各重要组成部分的功能,并总结了各模块的实现方法.

下一步我们将根据本文提出的方法与技术实现并完善各个模块的功能,最终使该平台能够应用于实际

的设计工作,提高三维动画的设计与制作效率.

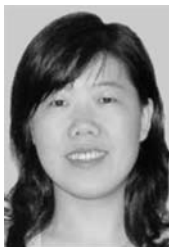
参考文献

- [1] Chang S J. Interactive level of detail control for film quality crowd animation[A]. Proceedings of the International Conference on Control: Automation and Systems (ICCAS) [C]. USA: IEEE Press, 2008. 1309 – 1312.
- [2] Cynthia D Bruynsa, Steven Sengerb. Interactive cutting of 3D surface meshes[J]. Computers & Graphic, 2001, 25(4): 635 – 642.
- [3] Cuno A, Esperanca C, Oliveira A. Shape aware deformation using a skeletonguid-ed scheme[A]. Proceedings of the 2008 XXI Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing[C]. USA: IEEE Press, 2008. 278 – 285.
- [4] Stamos I, Gene Yu, Wolberg G, Zokai S. 3D modeling using planar segments and mesh elements[A]. Proceedings of the Third International Symposium on 3D Data Processing, Visualization, and Transmission (3DPVT' 06) [C]. USA: IEEE Press, 2006. 599 – 606.
- [5] Jiliun Park, Sungmm Park, Yoohun Won. Geometry-based muscle forces and inverse dynamics for animation[J]. Technologies for E-Learning and Digital Entertainment, 2007, 4469: 584 – 595.
- [6] 黄向阳, 彭岩, 张树东, 等. 一个基于情景演算的自主非玩家角色模型研究[J]. 电子学报, 2010, 38(5): 1221 – 1225.
Huang Xiangyang, Peng Yan, Zhang Shudong, et al. A model for autonomous nonplayer characters based on situation calculus [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(5): 1221 – 1225. (in Chinese)
- [7] Huang Xiangyang. A virtual entertainment robot based on harmonic of emotion and intelligence[J]. Chinese Journal of Electronics, 2010, 19(4): 667 – 670.
- [8] 涂晓媛. 人工鱼[D]. 清华大学出版社, 2001.
- [9] 班晓娟, 曾广平, 涂序彦. 基于自学习的人工鱼感知系统设计及实现[J]. 电子学报, 2004, 32(12): 2041 – 2045.

Ban Xiaojuan, Zeng Guangping, Tu Xuyan. Design and implementation of perception system based on self-learning for artificial fish[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(12): 2041 – 2045. (in Chinese)

- [10] 陈后金. 生物神经网络计算机仿真中数学建模与信号处理[J]. 电子学报, 2003, 31(4): 502 – 505.
Chen Houjin. Mathematical modeling and signal processing in computer simulation for biological neural networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2003, 31(4): 502 – 505. (in Chinese)
- [11] 班晓娟, 江道平, 宁淑荣, 尹怡欣. 计算机动画环境中基于认知的行为路径选择研究[J]. 电子学报, 2009, 37(4): 758 – 763.
Ban Xiaojuan, Jiang Daoping, Ning Shurong, Yin Yixin. Research on behavior route selection from a cognitive prospective in computer animation[J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(4): 758 – 763. (in Chinese)
- [12] Steven M LaValle. Planning Algorithms[D]. Cambridge University Press, 2006.

作者简介



宁淑荣 女, 博士. 1976 年 3 月出生. 山西运城人. 2006 年获北京理工大学工学博士学位. 现为北京科技大学副教授. 主研方向: 计算机动画、人工智能、计算机可视化.
E-mail: fancyning@163.com



姚亦飞 女, 博士. 1981 年 1 月出生. 吉林长春人. 2008 年在中国科学技术大学获工学博士学位. 现为北京科技大学讲师. 主研方向: 计算机动画、信息安全、分布式算法等方面的研究工作.
E-mail: yaoyifei@mail.ustc.edu.cn