

# 智能虚拟环境中的决策模型及其应用

许威威 潘志庚 张明敏

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室虚拟现实和多媒体研究室, 杭州 310027)

**摘要** 针对智能虚拟环境中决策所必须解决的实时性和动态性的问题,研究了智能虚拟环境中决策模型的结构,对传统的规划方法做了改进.采用了能进行实时规划的限时 A\* 算法,同时使用了动作栈,该方法可以对当前动作进行即时评价,使得决策可以满足动态开放的虚拟环境要求,在此基础上实现了一个决策 Agent,它能产生一定的智能行为,最后实现了一个小型的智能虚拟环境,并应用该模型来指导其中虚拟人物的行为.

**关键词** 虚拟环境 人工智能 计算机图形 动画 决策模型

**中图分类号:** TP182 TP391.41 TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2001)05-0496-06

## Decision Model in Intelligent Virtual Environment

XU Wei-wei, PAN Zhi-geng, ZHANG Ming-min

(Virtual Reality and Multi Media Research Division, State Key Lab of CAD&CG, Zhejiang University, HangZhou 310027)

**Abstract** This paper discusses the structure of decision model in intelligent virtual environment. Intelligent virtual environment is dynamic environment, that is to say it keeps on changing, decision in intelligent virtual environment also should be dynamic, it must be rapid enough to react to the change of environment. To meet the real time and dynamic requirement of decision in intelligent virtual environment, this paper improve the traditional planning method. The time critical A\* algorithm is used to implement real time planning, current action is generated only in a predetermined decision time slice, which is different to traditional planing method. action stack is also employed to store the selected action, which is convenient to evaluate the action in time according to the situation of environment, so, we can discard those unreachable targets in time. Based on that, this paper develops a decision agent to instruct the virtual human in intelligent virtual environment. In addition, a small intelligent virtual environment is developed to test the decision model. At last, Influence of length of decision time slice is test, it shows that the suitable length of decision time slice is about 0.3 seconds.

**Keywords** Virtual environment, Artificial intelligence, Computer graphics, Animation, Decision model

### 0 问题的提出

虚拟环境(Virtual Environment,简称 VE)是从计算机图形学派生出来的一项新技术,从90年代初开始在全世界范围内形成了对VE的研究热潮,经过近10a的发展,在实时图形绘制算法、开发工具、分布式VE、实验性系统等诸多方面均取得了令人瞩目的研究成果,如VE技术除在空间技术、娱乐

等领域获得成功应用外,其应用范围已扩展到虚拟制造、可视化、医学和教育等领域<sup>[1,2]</sup>.

虚拟环境用于模仿真实世界中的场景,其场景中物体的属性是根据物理世界中的相应物体决定的,就现有的VE系统(如建筑漫游、虚拟游览、虚拟手术等)而言,虽然其中大多数都采用静态的三维场景,即场景中的物体是静态的、被动的、无生命的<sup>[2]</sup>,然而,由于真实世界中很多对象是有生命的,为了更逼真地模仿真实世界,并使得参加的用户具有沉浸

感,所以就迫切需要在虚拟世界中加入有生命的对象(虚拟人或动物)<sup>[3,4]</sup>。在VE中,用户通常用一个代表他的化身(avatar,称为用户化身)来表示,然后用户化身就能和场景中的对象进行交互。在有多个用户的情况下,多个用户化身之间也能进行交互和通讯,同时场景中有生命的对象和用户化身的活动还具有一定的智能性,这样即形成了一个智能虚拟环境(Intelligent VE,简称IVE)。

由此可见,将人工智能的技术引入虚拟环境中,是实现智能虚拟环境的一条有效途径,国际上进行的与IVE相关的工作主要有:美国加州大学洛杉矶分校的研究人员在PC平台上开发了一个支持网络虚拟世界开发的软件系统<sup>[5]</sup>,该系统可以对VE中的行为关系进行描述,多个图形对象可以进行基于物理行为模型的交互;Johnson把具有教学辅助功能的Agent引入到VE中,从而使得系统能有效地指导参加训练的人员<sup>[9]</sup>;Carazza从知识表示层讨论了IVE的实现框架问题<sup>[6]</sup>;Reiguiet等对IVE的实现结构进行了讨论,并提出了一种、面向对象程序设计和VE的方法,该结构允许多个智能Agent加入到共享的虚拟世界中,在虚拟世界中进行协同工作<sup>[7]</sup>。另外,在使用多Agent方面还有一些其他研究结果<sup>[8,9]</sup>。

智能虚拟现实系统中对智能生命的模拟是一个关键问题,因为现实生活中的智能行为是由它们产生的,所以,对于智能行为模型的研究是IVE的一个热点,这方面目前已有一些研究成果,可以大致将其分为基于认知模型<sup>[10]</sup>与基于行为模型两大类,也有一些学者在决策模型中引入了心理学模型<sup>[5]</sup>,力图在虚拟人物的模拟中产生更符合现实生活中人的行为习惯,其中基于行为的决策模型虽然形式上较认知模型简单,且具有很高的实时性,但是很难产生复杂的智能行为;而基于认知的决策模型是人工智能规划技术的延拓,由于搜索特性决定了其对于实时性的要求不能很好地满足。

本文研究了一种基于认知的决策模型,并且针对在智能虚拟现实中需要面对的实时性和动态性,对决策模型做了必要的改进,即采用了实时搜索的限时A\*算法来满足决策的实时性要求,同时采用动作栈来存储决策模型产生的动作,以便进行及时评价,从而满足决策的动态性,并在此基础上实现了一个可以指导智能生物行为的Agent。

## 1 智能虚拟环境中的决策

### 1.1 决策的特点

这里,需要强调的是,智能虚拟环境中的决策一定要具有实时性和动态性,现以智能虚拟环境研究人员常引用的实例场景“Brighttown”<sup>[6]</sup>为例来概述一下这种决策的实时性和动态性,在该例中,由于它要求的是一个真实虚拟城镇,场景中除有街道、商店、图书馆等建筑物外,还有在城镇中活动的各种人物,在这个场景中用户可以扮演多种角色,如学生、售货员、电气工程师、服务员等等,同时由于这个场景是动态变化的,即每个时刻可能会有很多事件发生,例如下雨等天气现象、某个建筑物着火或者很多人前往观看足球赛等,所以,本文所采用的决策模型必须能处理这种动态的环境,而且首先需要能对突发事件加以处理,这就是所谓的实时性,再者,当以前决策产生的行为在当前环境中无法得到执行时,还需要对以前作出的决策进行更改,即所谓决策的可更改性。利用这种决策的可更改性,可以将规划产生的行为压入栈中,再根据智能生物所感知的环境对其进行评价,一旦发现该决策中某个动作无法执行,就应将该决策撤消。另外,对规划产生的动作进行评价也应满足实时性,若时间过长,则毫无意义,在本文中采用评价函数来对执行动作后Agent的状态进行预评价,若评价值高于阈值,则撤消该决策,因此比较简单易行。

传统的规划技术本质上是启发式的搜索,为了加快搜索的速度,本文引入了问题分解技术、层次规划技术,尽管如此,由于这种搜索在本质上很难保证实时性,特别是在复杂的环境中,从“Brighttown”实例中也可看出,由于虚拟环境是动态的、不断变化的,因此只根据当前条件做出的决策很难适应动态的环境。目前也存在一些动态环境中的实时搜索算法,如Korf的RTA\*、跳步搜索算法<sup>[11]</sup>,其基本思想是将规划与执行阶段交替执行,缩短规划的时间,时间区间越短,环境发生的变化越少,所做出的规划越符合实际情况。本文采用了限时A\*算法,通过对规划的时间加以限制来达到实时性要求。

### 1.2 限时A\*算法

限时A\*算法的关键是当规划时间超过规定值时,则停止规划,而转为动作的执行,当然也可以认为所给的时间足以产生至少一个动作。本文为了保

证搜索到目标状态,而采用了宽度优先的搜索策略,其基本算法描述如下:

(1) 如果目标改变,置 Close 表<sup>[11]</sup>为空,否则保持 Close 表中节点,再在 Open 表<sup>[11]</sup>中置入当前状态节点,并记录当前时间到 OldTime.

(2) 如果 Open 表为空,失败退出.

(3) 如果在 Close 表中发现目标节点,则生成动作序列,成功退出.

(4) Open 表中的第一个节点进行扩展,生成新状态集合  $M$ .

(5) 对  $M$  中的每个节点  $N$ ,向下执行<sup>[6,7]</sup>.

(6) 如果节点  $N$  已在 Close 表中,则舍弃该节点.

(7) 用启发式函数对节点计算  $h$  值,并将其指针指向当前节点,再将该节点加入到 Open 表尾部.

(8) 将当前节点从 Open 表中加入到 Close 表中.

(9) 对 Open 中的节点进行排序.

(10) 取得当前时间,减去 OldTime,如果超过限定值,则从 Open 表中选择一最优节点,来生成动作序列,退出.

(11) 转(2).

由于采用了宽度优先搜索策略,因此在限定时间内,能保证算法所找到的解是局部最优解,至于全局最优解,只有在整个路径生成后才能进行判定,可见这与实时性的要求是相违背的,而且实际设计的系统只能追求近似最优,很难达到绝对最优,对于实时性系统来说,因为所要求的是在限定时间内作出响应,所以由该搜索算法所得到的动作是可以接受的解.另外,该算法能够保证搜索到目标状态,但需注意算法的第 1 步,如果目标不发生改变,则由于在 Close 表中记录了以前搜索到的状态,因此,算法不可能再去搜索所达到过的状态,经过有限次搜索后,在穷尽可能状态后总能达到目标状态.

## 2 基于认知的决策模型

本文建立基于认知的决策模型,其一般步骤是:

①根据当前环境产生目标;②由规划器根据目标产生动作;③Agent 执行产生的动作,具体模型见图 1.下面将讨论感知器、目标产生器、目标栈、行为规划器、评价器和动作栈、动作执行器等的作用.

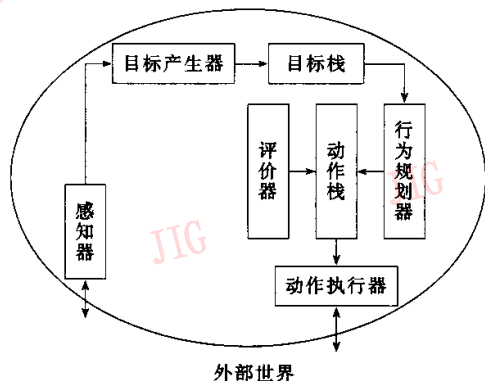


图 1 基于认知模型的决策模型

### 2.1 感知器

感知器是 Agent 取得外部世界信息的接口,它的主要作用是从系统的消息总线中获取系统中其他对象的情况,而且可分主动和被动两种情况,其中,主动是指感知器主动向系统询问有关对象的信息;而被动是指系统主动的向感知器发送信息,这些信息主要是在系统中一些需要通知各个对象的公共信息,或者是特定对象之间发送的消息.

### 2.2 目标产生器和目标栈

目标产生器的作用是根据感知器传送来的信息实时生成目标,在目标的产生过程中有一个优先级别的问题,如在“Brighttown”中,若给其中的虚拟人物 Agent 一个去商店购物的指令,则其在去商店的过程中,会有很多事件发生,比如碰上一辆汽车需要避让,遇到熟人需进行交谈等.由于系统是不可能预知所有事件的,因此这就要求系统具有根据当前的情况来产生新目标,并作出规划的能力,如在上面的各种情况中,Agent 必须首先避让汽车,然后继续去商店购物,这说明避让汽车目标的优先级应高于去商店购物的优先级.

决策模型中的目标产生器则采用了一个简单的专家系统,且对系统中的规则按优先级排列,并在推理时进行正向推理,即首先使用高优先级别的规则,一旦目标产生就中断推理,规则优先级别的基本原则是简单目标优先级高于复杂目标的优先级,突发事件目标高于长期事件的目标.例如让产生避让汽车目标规则的优先级高于产生购物目标规则的优先级,这样就能够实时地处理避让汽车情况.目标栈的作用是为了模拟用户注意力的转移情况,使得 Agent 能在处理完突发事件后,继续先前目标的处理,这样更符合实际情况.

### 2.3 行动规划器

行动规划器是用于在目标栈中取出当前目标,然后将规划出的动作存入动作栈中,而规划的实时性则是要考虑的首要问题,本文采用了限时 A\* 算法,从而保证了 Agent 在规定时间内作出响应.由于路径规划在虚拟人物的行动中有较重要的地位,且执行目标时往往是需要我们先规划出行动路径,因此本文将目标规划分解为两步,即第 1 步规划路径,让 Agent 走到目标地点,第 2 步规划完成目标所要进行的动作.

### 2.4 动作栈与评价器

动作栈用于存储已规划出的动作,并且栈中的动作是有先后次序的,只有栈顶的动作得到执行后,才能执行栈中的其他动作.动作栈的作用是让评价器能对今后将要执行的动作进行评价,从而保证规划得到的动作符合环境当前的条件,这也是保证决策能满足动态环境要求的一条重要途径.这些评价器采用了评价函数的方法.

### 2.5 动作执行器

负责执行动作栈中的动作,在智能虚拟环境中,一般是要求对虚拟人物进行动画,由于规划器所给出的动作是描述性的,因此具体动画则要靠动作执行器根据当前环境来计算生成.

下面给出 AgentC++ 描述:

```
class CAgent {
STATE S;          //状态
Sensor Sen;      //感知器
CExpertsystem *m_Expert; //专家系统,用于产生目标
CPlan *m_Plan;   //规划器
CEvaluate Eval; //评价器
Stack m_GoalStack; //目标栈
Stack m_ActionStack; //动作栈
BOOL newPlan;   //是否新目标标志,由专家系统推理后设定
};
```

由于本文中所实现的 Agent 是与具体应用无关的,因此只要对 Agent 使用的规则和对象的属性进行修改,即可将它应用到其他系统中.

## 3 系统实现

现通过建立一个虚拟环境来验证决策模型的有效性,为了适当增加模拟的复杂性,在本文的虚拟环境中,有两种虚拟人物:机器人警察和一个虚拟逃

犯,并设计逃犯需要逃出某一场景,且在逃逸的过程中要进行躲藏、寻觅食物等智能行为.为了集中检验决策模型的有效性,这里使用了一个较简单的场景,以避开场景实时绘制这一问题,但是场景中仍保留了必要的环境,例如障碍物、食物等,以用来考察逃犯的智能.

### 3.1 虚拟人物及动画

大家知道,虚拟人物的设计是智能虚拟现实系统的中心问题,且虚拟人物的设计包括形象、智能、动画的设计,图 2 和图 3 即是本文所设计的虚拟人物.目前对人物表情、人物动作生成的研究已经较为深入,有很多生成人物表情和人物动作的办法,虽然当前较流行的是基于传感器的动作捕捉(Motion Capture),但是这种方法需要昂贵的硬件设备支持,而纯软件的方法由于一般是基于运动学逆问题求解以及人体动力学分析,因此计算较为复杂.

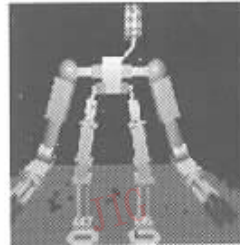


图 2 机器人警察



图 3 逃犯

不同于纯粹的计算机动画,本文的侧重点是用智能决策模型来指导虚拟人物产生智能行为,所以,使用两种简单动画技术来产生人物行走的动画,对于机器人警察,采用了关节动画,即通过对每个关节自由度参数的设定来产生动画,例如对颈关节,就可以认为有两个自由度,即它可左右和上下转动,同时这两个自由度参数的值要在限定范围内,图 4 就是机器人警察关节结构的示意图,图 5 是通过关节动画产生的几帧画面,而对于逃犯,则采用了关键帧技术来产生行走动画,图 6 就是关键帧及通过在关键帧中插值所产生的几帧画面(中间帧).

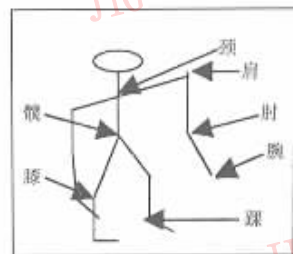


图 4



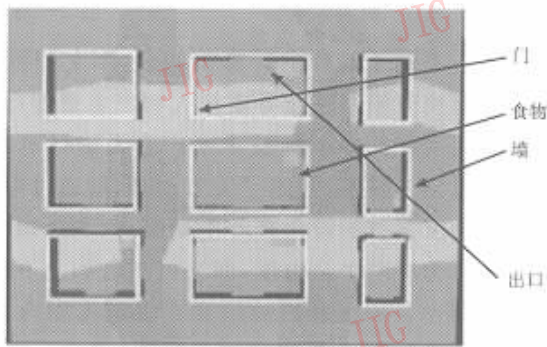
图5 机器人警察行走动画



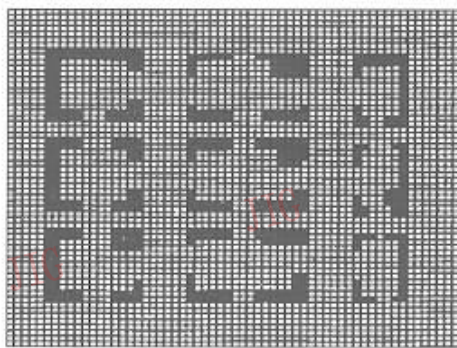
图6 用关键帧技术产生的行走动画

根据前面所描述的 Agent, 只要对机器人警察和逃犯设计适当的规则, 就可以指导虚拟人物进行动画, 以产生动态的场景。

本文给逃犯设定的内部状态有能量状况、逃犯与



(a) 场景顶视图



(b) 生成的二维平面投影图

图7

### 3.3 系统结果

在上面介绍的虚拟人物设计和路径规划所采用技术的基础上, 建立了虚拟环境中虚拟人物自动漫游及路径规划系统, 该系统中有两个机器人警察在巡逻, 一个逃犯力图逃出该地区, 出口在图7所示的场景视图的上部, 图8是系统的整体界面. 实验结果表明, 逃犯可以完成避碰障碍物、躲藏和觅食等智能行为, 并且能根据当前情况来动态地更新决策. 同时, 本文还对规划所应采用的时间进行了实验, 具体

场景中机器人警察的距离和逃犯与目标地点的距离等, 而评价函数则采用如下权值乘以评价值的形式

$$E = w_1 f(e) + w_2 g(d_1) + w_3 h(d_2)$$

其中,  $w_1, w_2, w_3$  为权值,  $e$  为能量值,  $d_1$  为逃犯与机器人警察的距离, 由于场景中有两个机器人警察, 因此  $d_1$  取两个距离中小一个,  $d_2$  为逃犯与目标地点的距离,  $f, g, h$  为将状态值转换为评价值的函数, 为了更好地模拟智能行为,  $f$  和  $g$  采用了分段函数的形式, 当  $e$  或者  $d_1$  小于某个危险值时, 取很大的一个值, 以便使总评价值超过阈值, 从而使逃犯转入一种特殊情况的处理。

### 3.2 虚拟场景中的路径规划

为了指导虚拟人物在虚拟环境中的自动漫游, 本文的路径规划采用 A\* 算法, 为了达到实时, 采用了限时 A\* 搜索. 对于在三维场景中的漫游, 本文首先基于基本单元剖分地平面, 得到地平面网格后, 建立基于地平面的二维平面投影图, 并且在每个网格中记录投影在其上的物体信息, 例如覆盖该网格物体的类别、高度等, 以此来支持虚拟人物的漫游和一些特殊的动画, 图7是本文所采用场景及其二维投影图, 投影图中白色代表空区域, 黑色代表墙, 浅灰色代表食物地点。

结果见表1. 实验结果表明, 缩短规划时间虽可以提高逃犯的反应能力, 但是如果时间太短, 会引起逃犯频繁地更改目标, 从而降低决策的效率, 所以本文建议规划时间在 0.3s 左右。

表1 虚拟人物动作规划模拟实验结果

规划时间段(单位:s)	产生动作数	最后结果
1	20	被第一个警察发现
0.5	12	被第二个警察发现
0.3	7	成功逃脱
0.1	3	成功逃脱

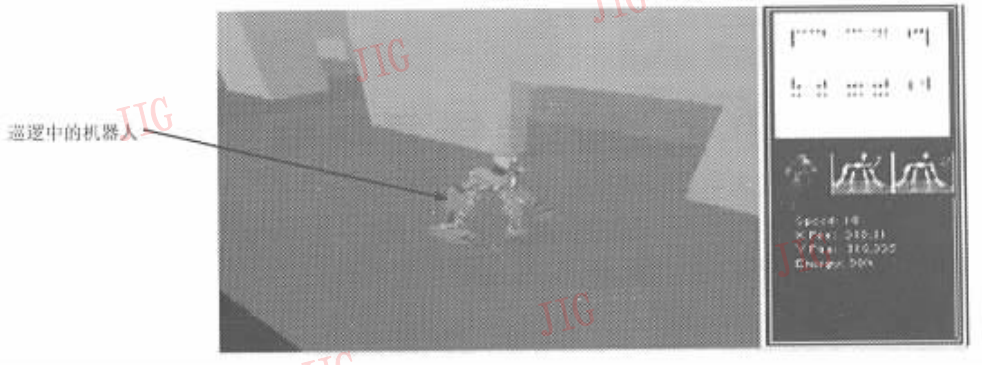


图 8 系统界面

## 4 结 论

由于智能的引入,在现有的虚拟现实系统上又增加了一层结构,因此系统结构更为复杂、庞大,实现时,不仅要考虑便于绘制和动画,而且要考虑能够支持决策的执行,同时因为人工智能的研究本身就很困难,故使得智能虚拟现实的研究很具有挑战性.

本文重点研究了对智能行为模拟的问题,其所提出的决策模型能够产生一定的智能行为,并能在一定程度上满足实时性和动态性的要求,因而具有一定的通用性,但这只是一个初步的研究,将来应考虑智能生物学习能力的模拟.

## 参 考 文 献

- 1 Terzopoulos D. Artificial life for computer graphics. Communication of ACM, 1999,42(8):33~42.
- 2 Pan Zhigeng, Shi Jiaoying, Lu Qin. Virtual Reality and its application in China. International Journal of Virtual Reality, 1999,(3):2~13.
- 3 Johnson W L, Ricbel J, Stiles R. Integrating pedagogical agents into VE. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 1998,7(6):523~546.
- 4 Fisher S S, Fraser G. Intelligent virtual worlds continue to develop. Computer Graphics, 1998,32(3):15~19.
- 5 Ricardo Imbert, Maria Isabel Sánuchez. The amusement internal modelling for believable behaviour of avatars in an intelligent virtual environment. ECAI'98 Workshop on IVE, Brighton, UK August,1998.
- 6 Carazza M. High-level interpretation in dynamic virtual environments. In: ECAI'98 Workshop on IVE, Brighton, UK August,1998.
- 7 Reignier P, Harrouet F, Morvan S. AréVi: A virtual reality mutliagent platform. In:Proceedings of First International Conference on Virtual World, J C Heudin (Ed.), Spring Verlag Berlin,Paris, France July 1998:229~240.

- 8 史忠植. 高级人工智能. 北京: 科学出版社,1998.
- 9 李红兵,张东摩,陈世福. 虚拟环境的系统设计方法及计算模型研究. 计算机学报,1999,22(3):313~318.
- 10 John Funge, Tu Xiaoyuan. Cognitive modeling:knowledge, reasoning and planning for intelligent character. In: Computer Graphics proceedings Annual Series, Acm Press, New York, 1999:29~38.
- 11 罗翔,胡蓬,石纯一. 在动态环境中的一种跳步实时搜索算法. 软件学报,1997,8(1):7~13.

许威威 1975年生,博士研究生. 主要研究方向为虚拟现实、智能虚拟环境.

潘志庚 1965年生,研究员,博士生导师. 主要研究方向为虚拟现实、分布式图形、智能虚拟环境.

张明敏 1968年生,硕士,工程师. 主要研究方向为虚拟现实、图象压缩.