

虚拟角色不确定性行为建模研究

田尊华, 赵 龙, 贾 焰

(国防科学技术大学 计算机学院, 湖南 长沙 410073)

摘 要: 为了增强虚拟环境中虚拟角色行为表现的多样性和变化性, 从虚拟角色不确定性行为的相关概念入手, 系统地研究了虚拟角色的不确定性行为及其建模的基本问题. 指出并证明了个体与群体不确定性行为的关系, 基于不确定性函数证明了虚拟角色不确定性行为建模的3种途径—不确定性决策、规划和动作建模, 分析了不确定性行为建模的具体实现方法. 最后基于坦克群对战仿真实验, 说明了相关概念的合理性, 验证了相关结论的正确性, 实验表明, 虚拟角色不确定性行为对仿真应用具有重要的影响.

关键词: 不确定性行为; 行为建模; 虚拟角色; 虚拟现实

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-4785(2009)04-0314-07

Research on modeling the uncertain behavior of virtual characters

TIAN Zun-hua, ZHAO Long, JIA Yan

(School of Computer Science and Technology, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: In order to improve the diversity and variability of behavioral representations of virtual characters in a virtual environment, we systematically studied associated modeling problems. Relationships between the uncertain behavior of individuals and of the colony were found and proven. Based on the definition of an uncertainty function, it was proven that we have three ways to set up mathematical models of uncertain behavior in virtual characters. These are: uncertain decision-making; planning; action modelling. Furthermore, the practical ways in which uncertain behaviors could be modeled were analyzed. Finally, in a battle simulation among tank groups, we proved the effectiveness of the concepts presented and validated the conclusion. Experiments were also carried out, showing that the uncertain behavior of virtual characters has important effects in applications using simulations.

Keywords: uncertain behaviors; behavior modeling; virtual character; virtual reality

对智能虚拟角色固有的不确定性行为建模可以增强虚拟现实系统的真实度和可信度^[1-3]. 目前对人类行为的建模依然相当简单^[4], 这使得虚拟角色的行为看起来显得不够逼真, 甚至影响到仿真应用效果^[5]. 近年来, 为了增强虚拟角色行为的真实感, 不确定性行为建模越来越受到重视. Wray 和 Laird 指出了行为变化性 (variability) 对于训练与分析仿真的重要性, 另外, 他们还提出从人类操作员学习不同个性的特征数据, 然后用于实现虚拟角色的情感表达以体现行为的多样性 (diversity)^[6]. Sukthankar 等人利用运动数据捕获方法从人类主体获取身体运

动数据, 并用这些数据实现对奔跑、跳跃等运动方面的体能进行建模来实现虚拟角色行为的变化性^[7], 他们还研究了一种基于代价模型对身体差异建模的方法^[7]. 还有学者通过赋予虚拟角色学习能力或不同知识以实现行为的变化性^[8]. Balch 还研究了机器人团队行为的多样性^[9-10]. 在无人机路径规划研究中, 有学者提出了基于概率地图的路径规划方法^[11]. 虽然其初衷并非为了实现不确定性规划, 但客观上达到了不确定性规划建模的效果. 这些工作都是从某个侧面对不确定性行为建模, 存在片面性和随意性, 没有形成理论体系, 也没有形成清晰的研究脉络. 不确定性行为本身也有不同的表达, 如行为多样性、行为变化性和非重复性行为 (unrepeated behavior) 等.

收稿日期: 2008-12-12.

基金项目: 国家高技术发展计划资助项目 (2006AAJ210).

通信作者: 田尊华. E-mail: tzh_nudt@yahoo.com.cn.

文中系统地研究了不确定性行为的建模问题,对不确定性行为相关的概念及其关系、不确定性的层次性及其与不确定性行为的关系、不确定性行为建模途径等进行了探讨.基于坦克群对战实验验证了相关工作,并着重演示了虚拟角色不确定性行为对仿真结果的影响.

1 不确定性行为

1.1 相关概念

定义1 情景.情景是虚拟世界状态的一个快照,具有时序性,记为 s_t , t 为仿真时刻.

定义2 虚拟角色.虚拟角色指虚拟世界中由计算机生成和控制的智能角色.它的显著特征是具有智能性.虚拟角色记为 e ,多个虚拟角色组成的群体称为虚拟群体,记为 g .

定义3 动作.动作是虚拟角色可以直接执行的行动,也称为基本行为.动作具有原子性.一般而言,动作体现了虚拟角色的行为能力.虚拟角色 e 可执行的动作构成了角色的动作空间,记为 $A = \{a_i | 1 \leq i \leq |A|\}$.

定义4 行为.行为是虚拟角色可观察的、与其所在环境的交互过程.角色行为可以递归定义为

$$b :: = a \mid (b \cdot a) \mid (a \cdot b).$$

式中: b 和 a 分别是行为和动作, \mid 是行为合成算子^[5].行为具有层次性、目标性和不确定性.动作是最基本的行为,规划也可看作复杂行为.

1.2 不确定性行为及其性质

不确定性行为是同一角色多次(或多个角色)遇到类似的情景时表现出的不同行为,为此首先给出如下辅助定义:

定义5 同质情景.2个本质上相同的情景 s_t 和 s_k 称为同质情景,记为 $\text{Sim}(s_t, s_k)$.同质情景具有传递性、自反性和交换性.由同质关系可以将情景分为不同的等价类,由情景 s 生成的同质等价类记为 s^* .显然有 $(s_t = s_k) \Rightarrow \text{Sim}(s_t, s_k)$.同质情景可以有多种具体定义方式,如角色在同一地域、具有同一任务或面临同一处境等都可以用于定义情景的同质关系.

定义6 个体不确定性行为.假设情景 s_t 和 s_k 满足 $\text{Sim}(s_t, s_k)$,那么对于角色 e ,如果至少存在下列情况之一:

1)在 s_t 中执行行为 b_t ,在 s_k 中执行行为 b_k ,存在 $b_t \neq b_k$ 的情况;

2)存在不确定性动作(见定义15).

就称 e 具有个体不确定性行为,记为 $\text{ub}(e)$.

定义7 个体间不确定性行为.假设 e_i 和 e_j 分别是情景 s_t 和 s_k 中的2个不同角色,且有 $\text{Sim}(s_t, s_k)$,如果存在如下情况之一:

1) e_i 在 s_t 执行行为 b_t ,而 e_j 在 s_k 中执行行为 b_k ,存在 $b_t \neq b_k$ 的情况;

2) e_i 和 e_j 至少有一个存在不确定性动作.

就称 e_i 和 e_j 之间存在个体间不确定性行为,记为 $\text{ub}(e_i, e_j)$.

定义8 群体不确定性行为.对于由 n 个角色 e_1, e_2, \dots, e_n 组成的虚拟群体 $g = \{e_i | 1 \leq i \leq n\}$,如果它们之间存在角色间不确定性行为,即在 g 中存在2个不同的角色 e_i 和 e_j ,满足 $\text{ub}(e_i, e_j)$,那么就称 g 具有群体不确定性行为,记作 $\text{ub}(g)$.

定理1 设 g 为虚拟群体,即 $g = \{e_i | 1 \leq i \leq n, n \geq 2\}$,那么 $\exists e_k ((e_k \in g) \wedge \text{ub}(e_k) \Rightarrow \text{ub}(g))$ 成立.

证明 假设角色 $e_k \in g$ 且 $\text{ub}(e_k)$.由于定义7可设情景 s_r 和 s_t 满足 $\text{Sim}(s_r, s_t)$,且 $\forall s \in s_r^*$ (或 s_t^*), e_k 至少存在2个可以执行的不同行为 b_{k1} 和 b_{k2} ($b_{k1} \neq b_{k2}$),或者存在不确定性动作 a^u .任取 g 中一个异于 e_k 的实体 e_h ,只要证明 $\text{ub}(e_k, e_h)$ 成立即可.下面分2种情况进行讨论:

第1,当 $\neg \text{ub}(e_h)$ 时,即 e_h 不具有不确定性行为.因此,在 $\forall s \in s_r^*$ 中 e_h 只能执行惟一行为 b_h ,并且只有确定性动作.因此存在2种情况:1) e_k 属于定义7情况2)时.即执行不确定性动作 a^u ,就满足定义7情况2),为此有 $\text{ub}(e_k, e_h)$ 成立;2) e_k 属于定义7情况1)时.此时又可以分3种情况:①当 $b_h \neq b_{k1} \wedge b_h \neq b_{k2}$ 时,虽然在 s 中 e_h 只能执行 b_h ,但不管 e_k 在 s 执行 b_{k1} 和 b_{k2} ,皆满足定义7情况1),因此 $\text{ub}(e_k, e_h)$ 成立;②当 $b_h = b_{k1}$ 时,在 s 中,由于 e_h 只能执行 $b_h(b_{k1})$,故 e_k 可以选择执行 b_{k2} ,故也满足定义7情况1),因此 $\text{ub}(e_k, e_h)$ 成立;③当 $b_h = b_{k2}$ 时,与②同理.

第2,当 $\text{ub}(e_h)$ 时,即 e_h 也具有不确定性行为.根据定义7,要么当 e_h 在 $\forall s \in s_r^*$ 中至少可以有2个行为可供执行,不失一般性,设为 b_{h1} 和 b_{h2} ($b_{h1} \neq b_{h2}$);要么也执行不确定性动作 a^u .因此 e_k 与 e_h 有4种组合:1) e_k 与 e_h 都执行 a^u ;2) e_k 执行 a^u ,而 e_h 不执行 a^u ;3) e_k 不执行 a^u ,而 e_h 执行 a^u ;4) e_k 与 e_h

都不执行 a^u 。显然1)、2)和3)符合定义7情况1),因此都有 $\text{ub}(e_k, e_h)$ 成立。对于4),可以分5种情况讨论:①当 $b_{k1} \neq b_{k1} \wedge b_{k2} \neq b_{k2}$ 且 $b_{h2} \neq b_{k1} \wedge b_{h1} \neq b_{k2}$ 时,在 s 中不管 e_k 和 e_h 执行什么行为,皆满足 $\text{ub}(e_k, e_h)$ 成立;②当 $b_{h1} = b_{k1}$ 且 $b_{h2} \neq b_{k2}$ 时,如果 e_k 执行行为 b_{k1} , e_h 可以执行 b_{k2} ,或如果 e_k 执行行为 b_{k2} , e_h 执行 b_{h1} 或 b_{h2} ,皆满足 $\text{ub}(e_k, e_h)$ 成立;③当 $b_{k1} = b_{h2}$ 且 $b_{k2} \neq b_{h1}$ 时,与②同理;④当 $b_{k1} = b_{h1} \wedge b_{k2} = b_{h2}$ 时,如果 e_k 执行 b_{k1} , e_h 可执行 b_{h2} ,或 e_k 执行 b_{k2} , e_h 执行 b_{h1} ,满足 $\text{ub}(e_k, e_h)$ 成立;⑤当 $b_{k1} = b_{h2} \wedge b_{k2} = b_{h1}$ 时,与④同理。

综上所述,对于满足条件的各种情况皆有 $\text{ub}(e_k, e_h)$ 成立,由虚拟群体行为的定义可知 $\text{ub}(g)$ 成立。

定理1意味着对个体不确定性行为建模可以实现群体不确定性行为,这正是所希望的结果。定理1的逆命题是不成立的。假设2个角色 e_k 和 e_h 满足 $\neg \text{ub}(e_k) \wedge \neg \text{ub}(e_h)$,且 e_k 在 $s_i (s_i \in s^*)$ 中可行行为集为 B_k , e_h 在 $s_j (s_j \in s^*)$ 中执行的行为集为 B_h ,当 $B_k \cap B_h = \emptyset$ 时,满足 $\text{ub}(e_k, e_h)$ 成立,因而包含 e_k 和 e_h 的虚拟群体 g 必定满足 $\text{ub}(g)$,但由假设知 e_k 和 e_h 都只具有确定性行为。

定义9 实例内不确定性行为。仿真运行实例内存在的不确定性行为称为实例内不确定性行为。

定义10 实例间不确定性行为。同一系统在多次仿真运行实例间存在的不确定性行为称为实例间不确定性行为。

实例内不确定性行为与实例间不确定性行为没有必然的因果关系。但可以证明个体不确定性行为既能产生实例内不确定性行为,也能产生实例间不确定性行为。

2 建模途径与实现方法

行为具有层次性,不同的层次具有不同的不确定性,由此可以找到不确定性行为建模的3种途径——不确定性决策、不确定性规划和不确定性动作建模。而不确定性决策、规划和动作建模则需要通过具体方法的实现。

2.1 不确定性空间与不确定性函数

定义11 不确定性空间。不确定性空间定义为二元组 $\langle L, \gamma \rangle$,其中 L 为非空集合, $\gamma: L \rightarrow (0, 1]$,设 x 为 L 上的不确定性变量,且满足下列条件之一:

1) L 为可数集时,有 $0 < \gamma(x) \leq 1$ 且 $\sum_{x \in L} \gamma(x) = 1$;

2) L 为连续集时,有 $\gamma(x) > 0$ 且 $\sum_{D \subseteq L} \gamma(x) = 1$ 。

定义12 不确定性函数。设函数 $f: D \rightarrow R$,如果 R 为不确定性空间 $\langle L, \gamma \rangle$,那么就称 f 为不确定性函数,记为 f_u 。当 $d \in D$ 时, $f_u(d)$ 按照概率指派函数 γ 在 L 上不确定性地取值。

2.2 不确定性决策、规划与动作

可以将不确定性分为如图1的3个层次,分别对应于不确定性决策、不确定性规划和不确定性动作,虚拟实体行为的不确定性最终都体现在这3个层次中。

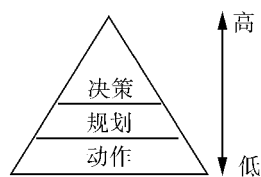


图1 不确定性的层次关系

Fig. 1 Hierarchy of uncertainty

定义13 不确定性决策。不确定性决策定义为五元组 $\text{ud} = \langle D, B(D), w, s, \phi_u \rangle$,其中 D 为决策空间, w 为可用规划信息, s 为决策情景, ϕ_u 为不确定性决策算法,是 D 上的不确定性函数。决策结果为 $d = \phi_u(D, B(D), w, s)$ 。决策目标 $d (d \in D)$ 最终需要通过具体的规划实现。设实现 d 的所有可行规划构成可行规划空间 $B(d_i)$, $B(D) = \{B(d_i) | i = 1, 2, \dots, |D|\}$, $|D|$ 为决策空间的大小。 $B(D)$ 满足:至少存在2个决策目标 d_i 和 d_j ,使得 $B(d_i) \neq B(d_j)$ 。

定义14 不确定性规划。不确定性规划定义为五元组 $\text{up} = \langle B, s_T, v, s, \varphi_u \rangle$,其中 s 为规划情景, s_T 为目标情景, v 为可用决策信息, B 为虚拟角色的动作空间且 $|B| \geq 2$, φ_u 为不确定性规划算法,是 B 上的不确定性函数。规划结果为 $b = \varphi_u(B, s_T, v, s)$ 。

定义15 不确定性动作。不确定性动作定义为五元组 $\text{ua} = \langle a, p, R, s, do_u \rangle$,其中 a 为动作名, p 为动作参数集, R 为动作的可能结果空间, s 为虚拟世界。 do_u 为动作执行函数,是 R 上的不确定性函数。动作执行结果为 $r = do_u(a, p, R, s)$ 。

定理2 虚拟角色的不确定性决策可以产生个体不确定性行为。

证明 设 s^* 是情景 s 的同质等价类,角色 e 具有不确定性决策 $\text{ud} = \langle D, B(D), w, s, \phi_u \rangle$ 。由定义13,必有 $\exists d_i d_j (d_i \neq d_j) \wedge (d_i \in D) \wedge (d_j \in D)$,使 $B(d_i) \neq B(d_j)$ 。任取 $s_i, s_j \in s^*$,由于 e 具有不确定性

决策 $\phi_u(D, B(D), w, s)$, 故存在 d_i 和 d_j 使 $d_i = \phi_u(D, B(D), w_i, s_i)$, $d_j = \phi_u(D, B(D), w_j, s_j)$, 由于 $B(d_i) \neq B(d_j)$, 故必存在 $b_i \in B(d_i)$ 和 $b_j \in B(d_j)$ 使 $b_i \neq b_j$, 由定义 7 情况 1 有 $\text{ub}(e)$ 成立.

定理 3 虚拟角色的不确定性规划可以产生个体不确定性行为.

证明 设 s^* 是情景 s 的同质等价类, 角色 e 具有不确定性规划 $\text{up} = \langle B, s_T, v, s, \varphi_u \rangle$. 令 $s_i \in s^*$ 及 $s_j \in s^*$. 由定义 15 知, 必存在 $b_i \in B \wedge b_j \in B$ 且 $b_i \neq b_j$, 使得 $b_i = \varphi_u(B, s_T, v_i, s_i)$ 和 $b_j = \varphi_u(B, s_T, v_j, s_j)$, 由于规划本身就表现为行为, 据定义 7 情况 1) 有 $\text{ub}(e)$.

定理 4 虚拟角色不确定性动作可以产生个体不确定性行为.

证明 由定义 7 的情况 2 可直接得出结论.

由定理 1 及定理 2~4 可以直接得到如下推论:

推论 1 虚拟角色的不确定性决策可以产生群体不确定性行为.

推论 2 虚拟角色的不确定性规划可以产生群体不确定性行为.

推论 3 虚拟角色的不确定性动作可以产生群体不确定性行为.

由定理 2~4 及推论 1~3 可知, 只要对决策、规划和动作有影响的因素都可以让虚拟角色产生不确定性行为. 因此, 可以将它们作为基准来判别导致不确定性行为的因素; 另一方面, 也可以将它们用作不确定性行为建模的理论指导.

2.3 不确定性行为建模方法

在虚拟角色的行为模型中加入学习机制、情感机制及不确定性感知模型等都可以实现不确定性行为建模. 这些都可以对虚拟角色的决策、规划和动作产生影响, 因而可以导致虚拟角色行为的不确定性.

2.3.1 学习机制

通过学习, 角色可以获得失败的教训和成功的经验. 再次遇到类似的情景时可以做出不同于以往的决策或规划, 从而表现出不确定性行为. 目前学习方法有很多, 适合于虚拟角色行为建模的主要有增强学习、事例学习、进化学习和神经网络学习等^[10].

2.3.2 情感机制

情感对行为的影响研究虽然很早, 但主要是定性研究, 情感的定量研究则是近几年的事情. 在行为模型中引入情感机制可以对决策、规划和动作产生影响, 这样虚拟角色在面对相同的情景, 但具有不同

情感状态时仍然会表现出不一样的行为反应.

情感建模是当前虚拟现实和人工智能研究的热点, 而情感行为建模则是目前情感建模的研究难点之一^[12]. 当前的情感行为建模主要集中在较低的层面上, 如面部表情、姿势和手势建模等, 而对更高层次情感行为的影响则需要进一步研究.

2.3.3 不确定性感知

感知结果是决策、规划和动作的基础. 感知器通常是不全面和不精确的, 因此感知结果具有不确定性. 对感知的不确定性建模会导致角色在感知同一情景时得到不同的信息, 由此会使决策、规划和动作产生不确定性.

假设角色 e 所处的情景为 s , 要感知的流为 x , 在 s 中的实际取值为 x_0 . 由于角色 e 的感知具有不确定性, 故有:

$$x' = \psi(x, s).$$

式中: ψ 是不确定性函数, $x' = x_0 + \varepsilon$, ε 为感知噪声.

不确定性感知建模通常可以使用概率论、模糊集和区间代数等方法.

2.3.4 群体不确定性行为建模途径

群体不确定性行为往往是人们更关心的, 因为一个群体中各成员角色表现更具有对比性, 也更易察觉. 对群体不确定性行为建模有 2 种方式: 1) 由定理 1 知道, 对个体不确定性行为建模可以实现群体不确定性行为; 2) 直接实现群体不确定性行为, 而不必要求个体具有不确定性行为.

尽管二者实现群体不确定性行为的途径不同, 但是, 根据推论 1~3 知, 都要从决策、规划和动作着手. 与方式 1) 相比, 方式 2) 有一个显著的缺点, 即群体中的成员角色需要具有不同的行为模型或不同的知识, 而方式 1) 则可以让群体中的成员角色使用相同的行为模型和知识. 方式 2) 的实质就是要让群体中的成员具有差异性, 可以有 2 种方式实现: 一是为群体中的角色建立不同的模型; 二是让角色拥有不同的知识.

3 实验

通过虚拟坦克群对战仿真展示给出的概念, 验证概念之间的关系及不确定性行为对仿真结果的重要影响.

3.1 基本想定

实验的基本想定为红、蓝 2 个坦克群对战. 通过

建立坦克实体的不确定性行为模型演示来验证相关的结论.如图2(a)所示,假设红(图2(a)左边,分为A和B 2个阵地,各5辆坦克)、蓝(图2(a)右边)2个坦克群各有10辆坦克,双方坦克的作战性能基本相同,所有的坦克都是由计算机控制.为了简单起见,假设命中率会随各种因素的影响而发生变化,比如,不同的行进路径、决策等最终都体现在命中率上.并且假定红方坦克的正常命中率为0.6,蓝方主动突袭红方.假定由于山地的遮挡红方开始时并不知情,但是它会采取预案防备敌方偷袭.红方直到发现蓝方坦克(蓝方坦克位于视场范围内)时才采取行动.还假定在攻击红方某个阵地时,红方另一阵地处的坦克开始驰援,驰援坦克的命中率为0.6.坦克的动作有 go_forward、go_backward、turn_right、turn_left、fire_scatter_gun 和 fire_cannon.假定每辆坦克的炮弹不受限.当出现一方完全失去战斗力时决出胜负,此时还有战斗力的一方获胜,如果两方都失去战斗力,则比较有机动能力的坦克数目,数目多者获胜,如果相等则为平局.获胜得1分,失败为-1分,平局为0分.

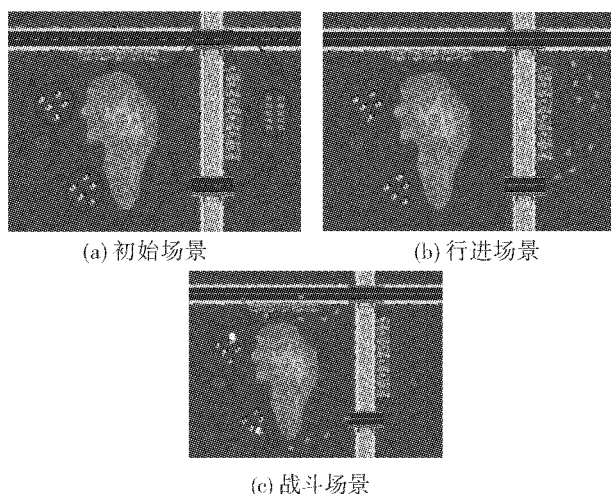


图2 坦克群对战仿真场景

Fig. 2 Simulation scenes of tank groups fighting

3.2 个体与群体不确定性行为关系验证

假定红方只针对蓝方进攻阵地A的情况制定防御计划,因此如果蓝方进攻阵地A,那么红方的命中率为0.9,但进攻阵地B时红方的命中率为0.4.

1)通过个体不确定性行为建模实现群体不确定性行为.假定蓝方的所有坦克具有完全相同的行为模型,但它们在攻击敌方时,目标阵地和行进路径的选择都具有不确定性.对于蓝方而言,表1规定了各种路径概率.图2(b)和(c)是仿真运行过程中的

2个画面,蓝方各坦克的行进路径和表现都各不相同,体现出了群体行为的差异性.

表1 蓝方路径选择概率及相关的命中概率

Table 1 Routes probability for the blue and the hit rates

阵 地	路 线	选择概率	命中率
A	1a	0.2	0.8
	1b	0.3	0.7
	2a	0.2	0.8
	2b	0.2	0.7
B	1c	0.3	0.7
	2c	0.7	0.8

2)直接实现群体不确定性行为.为蓝军的每辆坦克指定不同、但固定的路径行进.仿真运行结果类似于图2(b)和(c),与1)不同的是,每个坦克的行为都是预定好的,是确定的,但仍然能表现出群体不确定性行为.

3.3 不确定性行为对仿真结果的影响

从不确定性决策、规划和动作3个方面进行实验.对于不确定性决策和规划,假定让红方模拟受训者,具有记忆和预测能力.假设红方可以记住前 n 次对战中蓝方的进攻方案,因而可以根据前 n 次蓝方进攻方案确定下一轮的防御方案.

3.3.1 不确定性决策对仿真结果的影响

假定红方制定的防御计划只针对阵地A和B中的一种,假定 $n = 0, 1, 3$.当 $n = 0$ 时,红军没有预测能力,坦克采取与上一轮同样的防御计划.假定红军第一轮的防御计划是针对阵地A制定的.蓝方攻击目标A的概率从0逐步增加到1,步长为0.1.针对 n 的不同取值运行仿真100次.当蓝军选定进攻阵地后,各坦克按照表1的概率选择进攻路线.记录蓝方每100次仿真的总积分,并作出其随攻击阵地A的概率变化的图形,如图3所示.

从图3可以看出:1)当 $n = 0$ 时,随着攻击阵地A的概率增加,蓝方获胜的概率不断下降.这是因为红方的防御方案是针对阵地A而制定的,当蓝方攻击阵地A的概率增加时,蓝方获胜的可能性不断下降,2)但当 $n = 1$ 和3时,随着进攻阵地A的概率增加,蓝方积分都是先上升后下降,这是由于红方具有记忆和预测能力.当蓝方攻击A的概率靠近0.5时,不确定性最大,红方预测的准确度最低,蓝方得分是最多的;但当攻击A的概率向0或1靠近时,红方的

预测越来越准确,因此蓝方的得分也越来越低。另外,与 $n=1$ 的情况相比, $n=3$ 时蓝方在0.5处得分较大,但在向两端靠近时得分下降速度比较快。这说明利用这种预测算法,预测步长变长并没有起显著作用,有时还不如一步预测。

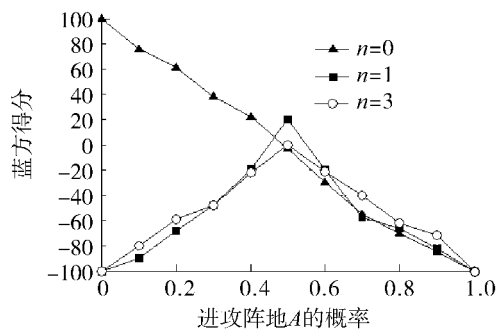


图3 不确定性决策对仿真结果的影响

Fig. 3 Effects of uncertain decisions on simulations

3.3.2 不确定性规划对仿真结果的影响

红方总是针对蓝方从 a 方向进攻阵地 A 制定防御计划。蓝方进攻的阵地为 A ,但进攻方式有4种规划结果:1a、1b、2a和2b,如表1所示,不同路径的命中率具有一定差异。假定1a的概率 p_a 从0.1~1.0变化,其余路径的概率为 $(1-p_a)/2$ 。假定前 n 次中蓝方从 a 和 b 进攻的次数分别为 n_a 和 n_b ($n_a+n_b=n$),那么第 $n+1$ 的防守方向就是 $\max(n_a, n_b)$ 对应的方案。假定蓝方从 a 方向进攻阵地 A ,那么红方的命中率提高0.3,变为0.9,但从 b 方向进攻时红方保持正常命中率0.6。 p_a 从0每次增加0.1,直到1为止,每改变一次,针对 n 的不同取值运行仿真100次。当 $n=0,1$ 和3时,分别记录蓝方每100次仿真的总积分,作出其随 p_a 变化的图形,仿真结果如图4所示。

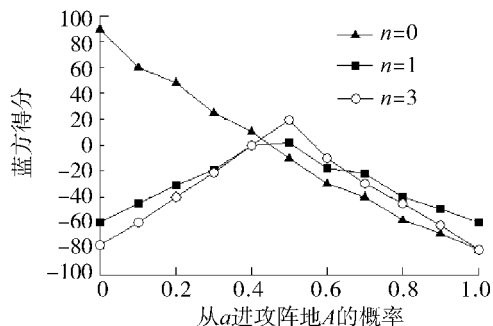


图4 不确定性规划对仿真结果的影响

Fig. 4 Effects of uncertain plans on simulations

图4与图3基本类似,图4中蓝方得分随概率的变化要趋缓一些,这是因为红方即便在方向 b 上遭到进攻,其命中率依然能够维持0.6,比0.4要高。

3.3.3 不确定行动对仿真结果的影响

假定蓝方和红方在相对对等的条件下进行对战,仿真开始后,蓝方和红方都从阵地出发向对方发起进攻。在2种情况下运行仿真:1)假定红方的命中率恒定为0.7,而蓝方的命中率则从0逐步增加到1,每增加一次并运行仿真100次。红、蓝双方致对方的轻度、中度和严重毁伤概率分别为30%、40%和30%;2)假定红、蓝双方的命中率皆为0.7,红方的轻度、中度和严重毁伤概率分别为30%、40%和30%,而蓝方的严重毁伤概率 p 从0递增至1,步长为0.1,轻度和重度毁伤概率皆为 $(1-p)/2$ 。

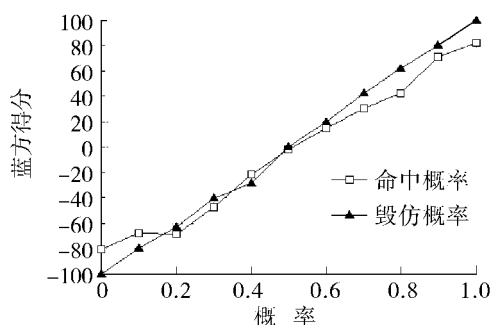


图5 不确定性动作对仿真结果的影响

Fig. 5 Effects of uncertain actions on simulations

结果如图5所示,在其他条件相当的情况下,fire_cannon的命中率和毁伤力对仿真结果都具有非常重要的影响。由于在考虑严重毁伤概率递增时,轻度毁伤和重度毁伤都会递减,而这也影响到仿真结果,因此图5中命中率对蓝军的积分影响相对要大些。

4 结 论

从基本概念入手,研究了虚拟角色的不确定性行为建模的基本问题,通过虚拟坦克对战仿真展示相关的概念,验证相关结论,由研究及实验可以得出如下结论:

- 1)群体不确定性行为可以通过个体不确定性行为建模实现;
- 2)不确定性行为可以通过不确定性决策、规划和动作建模实现;
- 3)不确定性行为会影响到仿真结论,因此对实体固有的不确定性行为建模有助于增强虚拟现实环境的逼真度和可信度。

在对虚拟实体行为建模时应该要注意:

不要刻意追求不确定性,而应该视应用需求而定。不确定性会增加行为模型的开发、验证和测试难

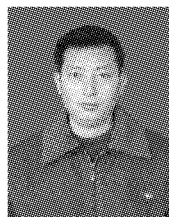
度,从而会增加开发代价. 不确定性行为不是随意的、毫无根据的不确定性,一定要符合被建模实体的客观实际、具有内在规律性的不确定性,不恰当的不确定性行为反而会让人感觉不真实和多余. 下一步的研究主要有:

- 1) 不确定性决策、规划和动作的建模方法.
- 2) 通过情感、学习与自适应、不确定性感知等实现不确定性行为建模的方法;
- 3) 支持不确定性的虚拟角色行为建模语言、可视化行为编辑工具和行为引擎.

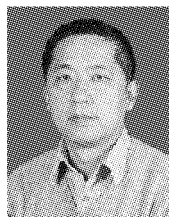
参考文献:

- [1] RAZA M, VENKAT V S S S. Variability in behavior of command agents with human-like decision making strategies [C]//Proceedings of Tenth International Conference on Computer Modeling and Simulation (UKSIM 2008). Cambridge, UK, 2008:562-567.
- [2] COX C, FU D. AI for automated combatants in a training application [C]//Proceedings of the Second Australasian Conference on Interactive Entertainment. Sydney, Australia: Creativity & Cognition Studios Press, 2005:57-64.
- [3] TIAN Z H, ZHAO L, JIA Y. Research on consistent measurement of uncertainty based on entropy [C]//Proceedings of 2008 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation. Changsha, China, 2008:684-697.
- [4] FUNGE J, TU X, TERZOPOULOS D. Cognitive modeling: knowledge, reasoning and planning for intelligent characters [C]//Proceedings of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York: ACM Press, 1999:29-38.
- [5] YOHEI M, YUKI S, TORU I. Modeling human behavior for virtual training systems [C]//The Twentieth National Conference on Artificial Intelligence. Pittsburgh, USA, 2005:127-132.
- [6] WRAY R, LAIRD J. Variability in human behavior modeling for military simulations [C]//Proc of BRIMS 2003. Scottsdale, USA, 2003:233-240.
- [7] SUKTHANKAR G, MANDEL M, SYCARA K, et al. Modeling physical capabilities of humanoid agents using motion capture data [C]//Proceedings of International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems. New York, USA, 2004:344-351.
- [8] RICK E, FRANK E R, SIMON R, et al. Modeling rules of engagement in computer generated forces [C]//Proc of the 16th Conference on Behavior Representation in Modeling and Simulation. Orlando, USA: Univ of Central Florida, 2007:123-134.
- [9] NEWELL K M, CORCAS D M. Variability and motor control [M]. Chicago, USA: Human Kinetics Publishers, 1993:121-132.
- [10] BALCH T. Behavioral diversity in learning robot teams [D]. Atlanta: Georgia Institute of Technology, 1998.
- [11] 孙汉昌, 朱华勇. 基于概率地图方法的无人机路径规划研究 [J]. 系统仿真学报, 2006, 18(11):3050-3054.
SUN Hanchang, ZHU Huayong. Study on path planning for UAV based on probabilistic roadmap method [J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(11):3050-3054.
- [12] HOWARD P J, HOWARD J M. The big five quickstart: an introduction to the five-factor model of personality for human resource professionals [R]. ED384754, 1995.

作者简介:



田尊华,男,1976年生,博士研究生,主要研究方向为虚拟现实、人工智能. 发表学术论文10余篇,其中被EI检索5篇.



赵龙,男,1958年生,研究员,硕士研究生导师. 主要研究方向为虚拟现实与可视化、分布式计算机系统. 曾获国家科技进步二等奖1项,部委级一等奖2项,部委级二等奖5项. 发表学术论文40余篇.



贾焰,女,1960年生,教授,博士生导师,CCF高级会员,中国计算机学会数据库专业委员会委员,中国计算机学会普适计算专业委员会委员,国家“863”中间件系统集成总体组组长. 主要研究方向为分布式计算、数据库. 曾获国家科技进步二等奖1项,部委级一等奖2项,部委级二等奖7项,发表学术论文100余篇.