

坦克分队计算机生成兵力(CGF)实体仿真研究

韩志军, 徐克虎, 李 锰

(蚌埠坦克学院, 安徽蚌埠 233013)



摘要: 坦克分队 CGF 实体仿真模型是陆军作战仿真系统研制不可缺少的一部分。本文从建立 CGF 实体的抽象模型入手, 研究坦克实体行为的表示、生成和控制方法。在分析了模拟系统中所需的 CGF 实体模型分类的基础上, 重点实现了一般物理行为的生成方法, 包括 CGF 实体的机动、侦察、射击、外弹道、射弹散布等模型, 以及研究了坦克分队在虚拟战场中的路线规划、队形转换、火力运用等聚合级实体行为的实现方法。最后, 从人工智能理论着手, 就坦克分队 CGF 实体智能行为仿真的方法进行了理论探索, 提出了相应的方案, 为今后的实践性开发工作打下基础。

关键词: 坦克分队; 计算机生成兵力; 仿真系统; 人工智能

文章编号: 1004-731X (2004) 07-1365-04 中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

Simulation Study on the CGF Entities of Tank Element

HAN Zhi-jun, XU Ke-hu, LI Meng

(Tank College of Bengbu, Bengbu 233013, China)

Abstract: Tank element CGF entity model is an indispensable part of developing fight simulation systems of army. Starting with building the abstract model of CGF entity's behavior, it studies CGF tank entity on expression, production and controlling the method of behavior. In analysis the classification of CGF entity model is used in the simulation system of tank element fight. It realizes the formulation method of the general physics behavior especially, including the locomotion, reconnaissance, fire, outside trajectory, and cannon scattering model of CGF tank entity, and studies the method of aggregating entity realization, such as route program, formation changing, firepower employment of the tank element in virtual battle fields. Finally, setting about from artificial intelligence theory, it carries on the theory study at the advanced intelligent behavior simulation method of tank element entity and puts forward corresponding implementation methods, so as to lay the foundation emulation about training simulation system for practicality development in the future.

Keywords: tank element; computer generated forces; simulation system; artificial intelligence

引言

为了提高训练效果、降低训练费用以及保障参训人员安全, 各国开始利用计算机仿真来提供虚拟的兵力 (CGF, Computer Generated Forces) 参与演习和训练, 并通过一定的协议把分布在模拟器中的士兵与虚拟敌军和友军联入同一个虚拟战场环境中实现综合训练仿真^[1]。坦克分队计算机生成兵力实体仿真研究是“63A 式两栖坦克分队渡海登岛作战模拟训练系统” (图 1 所示) 的一个组成部分, 系统除了开

发人在回路中的 63A 式两栖坦克模拟车外, 还需要一定量的 CGF 坦克仿真实体和其它火力仿真实体, 以满足虚拟战术演练的要求。本文以地面坦克车辆和暗堡火炮作为坦克分队 CGF 研究的主要火力实体对象, 构建平台级及分队聚合级作战模拟训练的 CGF 坦克实体作战模型, 供我军装甲兵综合作战演练仿真训练系统使用。

1 坦克分队 CGF 实体模型

坦克分队作战仿真训练系统是在满足坦克分队级的营、连、排或单车多级指挥员或战斗员进行红蓝双方对抗、单方模拟演练等形式下的指挥训练, 能在山地、丘陵地、平原地、水网稻田地等多种地形, 以及在春夏秋冬不同季节、晴阴雨雪不同天候、白昼夜晚不同时辰、月星云雾不同现象等自然环境中遂行攻、防战斗以及渡海登陆战斗的仿真演练, 获取实验数据, 为研究坦克兵作战理论提供依据。在坦克分队作战模拟训练系统中所涉及的 CGF 实体模型可用图 2 所示, 各个分支模型的建立是完成 CGF 实体仿真的关键。

2 坦克分队 CGF 实体一般行为建模

CGF 坦克实体一般行为是指坦克在战场中的物理行为,

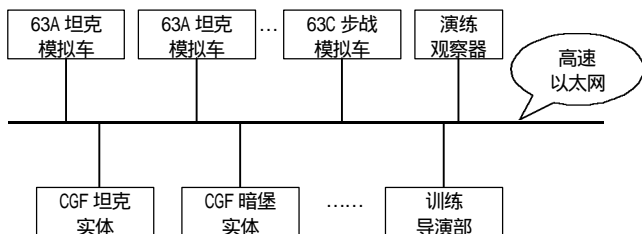


图 1 63A 式两栖坦克分队渡海登岛作战模拟训练系统

收稿日期: 2003-04-03 修回日期: 2004-04-25

基金项目: 总参兵种部资助科研项目(02CX1211)

作者简介: 韩志军(1976-), 男, 河南漯河人, 助教, 硕士, 研究方向为计算机仿真技术; 徐克虎(1963-), 男, 安徽人, 博士后, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为计算机仿真系统、计算机图形图像处理。李锰(1977-), 男, 硕士生, 研究装甲兵战术。

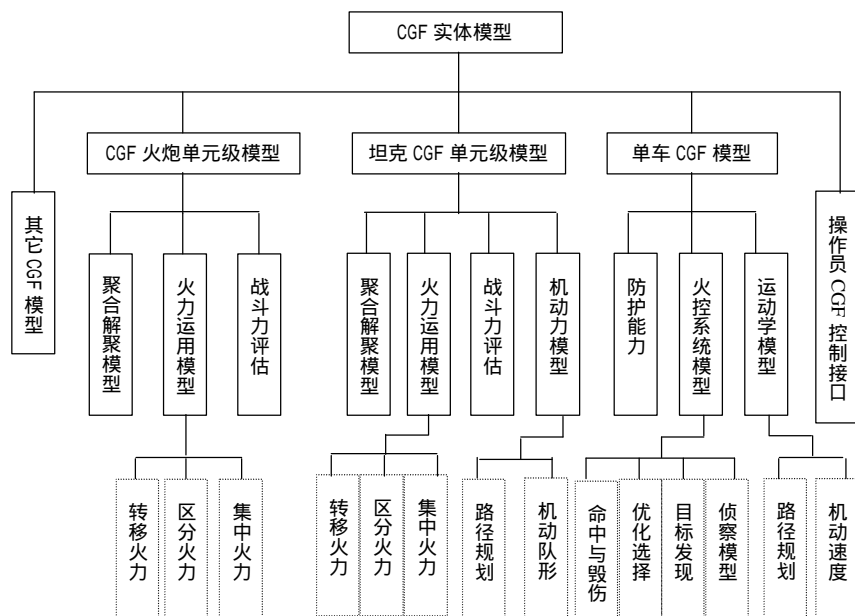


图2 坦克分队 CGF 实体模型

反映其物理状态变化的一些动作。如坦克实体在虚拟战场环境中的机动、侦察、开火，射弹散布，以及坦克分队路径规划、队形转换、火力运用等聚合级行为。

2.1 坦克 CGF 平台级实体模型

2.1.1 机动速度与地形的匹配

机动是坦克分队进行战斗的基础，机动存在于整个作战过程的始终。因此，对坦克作战实体机动的合理描述，是作战模拟的一项重要内容。机动模型的建立，不仅依赖于机动实体的机动能力、破障能力以及机动路线所处的地形环境，而且还与战场情况的变化紧密相关。

机动模块由坦克本身的机动能力判断、机动速度修正、确定机动角度及坐标三个部分组成。机动模块是由直接下达的机动命令或其它命令分解后解释成的机动命令启动的。该模块开始时，应首先判断接收该命令的坦克实体是否生存，如果实体已经死亡，则该命令无效。如果机动命令中下达了具体的速度，则直接取该机动速度；否则按照基本速度的中速作为初始的坦克的机动速度，尔后，通过对道路、河流、障碍、对方炮火袭击、空袭、己方火力支援的各种因素修正，最终得到修正后的实际行进速度，将此速度赋予该 CGF 坦克实体。操作员也可直接干预 CGF 坦克或其它实体的行进速度。

2.1.2 坦克实体火力行为仿真

除机动行为外，CGF 坦克实体的物理行为重点是火力行为的仿真，包括目标侦察、目标选择、外弹道、命中概率和毁伤的计算，以及实际射击时的射弹散布情况等，其意义在于能够较为真实地模拟坦克火炮射击时的效果。

(1) 目标的侦察。

侦察是坦克在战场上的一种重要战术行为，坦克在机

动的同时不断的对战场进行着侦察。侦察模型要能描述坦克的这种行为，必须至少满足三个条件：一是侦察模型要能反映坦克在完成一次完整的侦察或者说战场搜索所需要的时间；二是反映出坦克的侦察性能，即坦克侦察能力的高低；三是必须对发现的结果进行收集、整理、分发等一系列的处理。为了满足以上条件，在侦察行为建模时，采取了异步步长的控制机制，即坦克的侦察步长与模型机的运行步长进行分离，以保证坦克的侦察行为在时间上的要求，从而确保模型的真实度。

侦察中，如果是在分队组网、通信顺畅的情况下，则假设任意车发现目标，认为该目标被发现。每一目标

发现过程定为 3 次（取随机数），根据目标的发现概率判断是否小于随机数，若“发现概率 < 随机数”为没发现，反之则目标被发现，如果没有一次发现，则表示该目标没有被发现。

(2) 目标的选择

坦克在射击时目标选择的一般原则是：同类目标不同距离，先打距离近的；不同目标相同距离，先打威胁大的；不同目标不同距离，先打威胁大且容易击毁的。为了简化模型运算量和实时性的要求，在目标优化选择模型中，首先给各类型实体定一个威胁值，威胁值的取法可根据坦克直射距离和攻击的难易程度来确定。如武装攻击直升机可取 4000，M1A2 坦克取 2500，96 式坦克取 2300，M60A3 坦克取 2000，63A 式坦克取 1800，土木质发射点取 500。然后计算双方的距离，用威胁值除以距离，得到该目标的威胁系数，威胁系数大的即为优先射击目标。

(3) 外弹道曲线

模拟弹道轨迹是一个相对复杂的问题。由于受到弹丸初速、弹丸旋转角速度、弹丸发射角度、弹丸质量与形状和重力、空气阻力、风向、风速及偏流等诸多因素的影响，炮弹弹丸在空中的飞行轨迹是一条非常复杂的空间曲线。在已知火炮初速和火炮瞄准角（ α_0 由目标距离查射表数据库得到）的条件下，可以解算下面外弹道微分方程。

$$\begin{cases} dv_x / dt = -CH(y)G(v)v_x \\ dv_y / dt = CH(y)G(v)v_y - g \\ dx / dt = v_x \\ dy / dt = v_y \end{cases} \quad (1)$$

式中 C 为弹形系数， $H(y)$ 为空气密度函数， $G(v)$ 为阻力函数。它是速度 v 与阻力定律 $G_{\bar{x}_0}(v/a)$ 的函数，其值 $G(v) = 4.737 \times 10^{-4} v G_{\bar{x}_0}(v/a)$ 。

根据坦克射击的特点,对此微分方程进行以下简化:

坦克火炮弹道低伸、不在高原地区射击, $H(y) = 1$;

$G_{\bar{x}_0}(v/a)$ 采用 1943 年阻力定律,对高速弹种 $v_0 > 1300m/t$, 则 $G_{\bar{x}_0}(v/a) = \text{常数}$, 当 $v_0 \leq 1300m/t$ 时, 采用一阶插值法求取对应速度下的阻力系数。初始条件: $t = 0, x = 0, y = 0$, $v_x = v_{x0} = v_0 \cos(a_0)$, $v_y = v_{y0} = v_0 \sin(a_0)$, (v_0 为火炮初速, a_0 为火炮瞄准角) 为已知条件下, 采用四阶 Runge-Kutta 法可精确求解上述方程组。

(4) 射弹散布

由于各种随机因素的影响, 弹丸并非指向哪里就能打到哪里, 而是存在着射弹散布, 服从正态分布。CGF 坦克实体对目标射击时, 假设瞄准点在目标的中心, 弹着点以目标的中心成椭圆散布。射弹散布分距离和方向散布, 遵从正态分布定律, 散布表征分别为距离公算偏差 G_d 和方向公算偏差 G_f 。

弹着点的随机干扰模拟计算, 设坦克炮射击的系统误差为零, 其随机干扰量的计算采取如下步骤:

利用计算机均匀分布的伪随机数发生器产生两个在 $(0, 1)$ 上均匀分布的随机数 x_1, x_2 ;

令 $V_1 = 2x_1 - 1, V_2 = x_2 - 1$, 则产生两个在 $(-1, 1)$ 内均匀分布的 V_1, V_2 。设 $S = V_1^2 + V_2^2$, 如果 $S > 1$, 舍弃 V_1, V_2 并转到步骤。如果 $S \leq 1$, 则在射面内有一个随机点 (V_1, V_2) 。

建立 $h_1 = V_1 \sqrt{-2 \ln S / S}, h_2 = V_2 \sqrt{-2 \ln S / S}$, 则 h_1, h_2 是独立地服从正态分布 $N(0, 1)$ 的随机数。

在已知坦克弹种和射击距离参数的情况下, 访问射表数据库查找方向公算偏差 G_f , 高低公算偏差 G_g , 落角 q_c , 距离公算偏差 $G_d = G_g \times \text{ctg } q_c$;

计算随机干扰量

X 方向随机干扰量 = 方向公算偏差 $G_f \times h_1$, Y 方向随机干扰量 = 距离公算偏差 $G_d \times h_2$ 。

2.2 CGF 坦克聚合级实体模型

2.2.1 坦克分队路径规划

在由自然环境和自然条件组成的战场环境中, 对坦克分队作战行动影响最大的就是地形。地面的起伏影响了坦克的行军和机动, 除坡度之外, 地表的植被、地质、水系以及道路、桥梁等都不同程度地影响着通行。在一般的虚拟战场环境模型中, 根据目前通用的地图数字化标准, 量化成统一的网格地形数据格式 $G(i, j, f_1, f_2, f_3, f_4)$, i, j 分别表示网格横向和纵向编号, f_1, f_2, f_3, f_4 分别表示网格的坡度、障碍、土质和水系。CGF 实体在战场中首先要自主地运动, 因此需要预先制定优化的路线, 沿着这条规划好的路径向目的地前进^[2]。

将作战地区按适当的尺寸栅格化分区后, 栅格作为单坦克实体的行动点, 采用 A* 启发式搜索算法, 结合模糊数学评判来实现坦克分队 CGF 实体的路径规划。在搜索的过程中, 关键的一步是如何确定下一个要考察的节点。用于估价节点重要性的函数称为估价函数, 形式为: $f(n) = g(n) + h(n)$ 。启发式函数

$h(n) = \sqrt{(x_n - t_x)^2 + (y_n - t_y)^2}$, (t_x, t_y) 是目标点所在的坐标, (x_n, y_n) 是第 n 个节点的坐标。代价函数:

$$g(n) = \sum_{i=1}^{n-1} \text{amend}(s_i) \times \text{dist}(s_i) \quad (2)$$

$$= g(n-1) + \text{amend}(s_{n-1}) \times \text{dist}(s_{n-1})$$

其中: s_i 表示第 i 个节点到第 $i+1$ 个节点之间的通路; $g(n)$ 表示从初始节点到第 n 个节点的路径的损耗值, $g(n)$ 体现了路线的通行性和防护性;

$\text{amend}(s_i)$ 表示通路对坦克分队开进的影响, 将它作为地形对坦克在距离上的补偿因子。它与第 i 个节点到第 $i+1$ 节点通路的坡度、障碍、土质、水系等因素有关, 而这些因素的确定均具有模糊性, 因此采用了模糊评判的方法计算;

$$\text{dist}(s_i) = \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2} \quad (3)$$

A* 算法运行的最终结果是从起始点到目标点的一条最为可行的坦克行进路径。对启发函数的形式进行修改, 如考虑油料、受到的威胁等因素, 可以得到在上述一种或多种约束条件下的最优路径。

2.2.2 坦克分队队形转换

队形转换是由一种队形变为另一种队形的行动。其目的在于使坦克充分发扬火力, 减少敌火损伤, 并提高运动速度。战斗队形是坦克排进攻战斗时将坦克展开的队形, 可成一字、前(后)三角、左(右)梯形和纵队队形。各种队形运用的时机^[3]:

一字队形, 坦克排基本的战斗队形。通常在得到上级强有力的火力支援, 翼侧有保障而地形又平坦开阔时采用。

前三角队形, 通常是在上级的炮兵火力支援有限, 两翼安全受到威胁、纵深战斗情况不明时采用。后三角队形, 通常在谷地上实施进攻, 遭遇战斗中向敌人攻击时采用。左(右)梯形队形, 通常在某一翼暴露, 有敌情顾虑, 友邻暴露时采用。纵队队形, 采用这种队形时, 侧翼拥有绝佳保护, 但正面火力较弱。采用在车队必须迅速前进, 穿越非常狭隘的地形且不大可能与敌人相遇时使用。

以坦克排的三台车为例, 在其队形转换过程中, 排长车前进, 其它车跟进, 在跟进过程中各车以排长车为参照物, 判断本车在目标队形中相对位置, 不断修正本车的速度和方向, 向预定位置逼近。当完成队形变化后保持目标队形前进。在实现坦克排队形的变换过程中一般还应考虑三个问题: 一是以何种方式来描述坦克排的各种队形; 二是在队形转换过程中, 各车的速度和方向以及每种队形中各车炮塔旋转的范

围的确定；三是坦克队形转换控制如何实现^[4]。

2.2.3 坦克分队火力运用

火力运用是分队指挥员对所属坦克火力的组织和使用，是坦克分队战斗动作的重要内容。其目的是使火力得到充分发挥，在最短的时间内以最少的弹药消耗有效地阻止和歼灭对方。坦克分队火力运用样式分为集中火力和区分火力两种。

在虚拟的战场环境中，CGF 坦克实体的火力运用可以通过 CGF 操作员使用操作接口适时地干预指挥，也可以通过计算机程序制定射击规则来决定其行为，规则包括战场环境中典型的条件以及坦克实体在该条件下的火力决策结论。每条规则由火力动作条件和火力运用动作组成，规则的制定依据坦克射击的可靠性和经济性^[5]，具体判断步骤如下：

依据目标距离和目标性质定性确定 CGF 坦克实体的火力运用方式；

依据目标数量确定区分火力时 CGF 坦克实体目标火力分配的方案；

依据单坦克命中概率和射击可靠性指标确定集火射击 CGF 坦克实体的数量；

依据目标的性质和目标的距离确定 CGF 坦克实体的弹药类别。

在系统初始化后，按照 CGF 坦克排经侦察发现目标，根据目标的距离首先判断出火力运用的样式，集火射击还是分火射击，如果是集火射击，则根据 CGF 单坦克本身射击命中概率和射击可靠性指标计算集火所需要的坦克数量，最后在开火射击过程中依据目标的性质合理的选择弹药种类，用不同的火焰、声响、外弹道轨迹来模拟显示。如果根据判断条件需进行分火射击时，按照计算单辆坦克对单位目标的毁伤概率来采用是确定性还是随机性均匀目标的分配方案。

3 坦克分队 CGF 智能行为仿真方法研究

CGF 实体智能行为实际上是仿真武器平台操作员或分队指挥员在战场中进行“思考”或“决策”自身行为的智能动作。CGF 实体在战场中与对手作战，需要遵循一定的战术规则，这些规则来自作战条令、大纲以及军事专家的作战经验。坦克分队 CGF 实体在瞬息万变的战场环境中，无论进攻还是防御都不是随意进行的，而是根据双方所处的条件、战场态势的变化，采取一定的作战行动规则进行的。这些规则是对不同级别的部、分队实施的各种攻、防、机动等作战行动，在全计算机或半实兵半计算机仿真条件下的行动规则描述。坦克分队攻防战斗行动仿真规则可分为：坦克分队对阵地防御之敌进攻战斗行动规则，坦克分队仓促防御战斗行动规则等，如图 3 所示。

对战场态势进行自动判断并选取合适的战术规则，是智

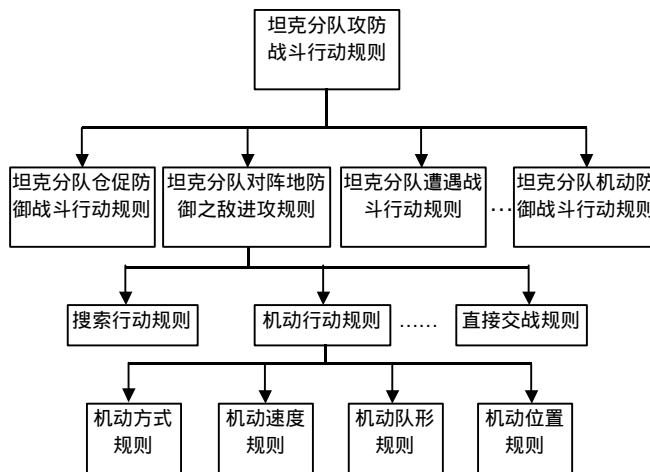


图3 坦克分队作战行动规则

能决策的过程，是实现 CGF 坦克实体智能行为的重要体现。智能决策技术是 CGF 实现中的关键技术之一，它直接影响计算机生成兵力的可信度、真实性和实用性。CGF 坦克实体智能决策过程的仿真通过建立坦克分队作战指挥专家系统来实现的，它利用了计算机速度和精度的优势，模拟军事专家处理坦克分队作战指挥问题的思维过程。智能决策过程如图 4 所示。

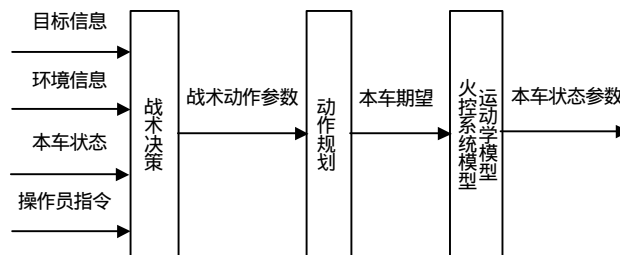


图4 基于专家系统的智能决策过程

4 结束语

本文从基本的理论入手，理论联系实际，并着重从实践中摸索方法和建立模型。在建立实体行为模型时力求切合实际，对于提炼的方法力求具有较强的可操作性。坦克分队计算机生成兵力实体的研究是分队作战仿真训练系统实现虚拟化、智能化的基础，也是作战模拟系统跃上新水平的重要标志。

参考文献：

- [1] 庞国峰. 分布式虚拟战场环境中计算机生成兵力系统的研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2001.
- [2] 韩云军. 自动任务规划研究[D]. 北京: 军事科学院, 1999.
- [3] 张文华等. 坦克连排战术教材[M]. 北京: 解放军出版社, 1996.
- [4] 杨立功. M1A2 坦克 CGF 研究[D]. 北京: 装甲兵工程学院, 2000.
- [5] 王建民等. 坦克远距离射击[M]. 北京: 军事科学出版社, 2001.