

战术弹道导弹攻防对抗及电子战仿真模型^{*}

朱一凡 张学斌 王维平 杨峰

(国防科技大学系统工程与数学系 长沙 410073)

摘要 本文提出一种用于研究战术弹道导弹攻防对抗及电子战的面向对象的仿真模型, 结合导弹攻防对抗仿真的特点给出仿真模型的结构, 并讨论了相应的仿真算法。

关键词 战术弹道导弹, 攻防对抗仿真, 电子战仿真, 仿真模型

分类号 TJ760.625, TP391.9

Simulation Model for Tactical Ballistic Missile Engagement in Electrical Combat Case

Zhu Yifan Zhang Xuebin Wang Weiping Yang Feng

(Department of Systems Engineering and Mathematics, NU DT, Changsha, 410073)

Abstract This paper presents an object-oriented simulation model for TBM engagement in electrical combat, proposes the structure of this model with the characteristics of simulation on TBM engagement, and discusses the corresponding simulation algorithm.

Key words TBM, system engagement simulation, electrical combat simulation, simulation model

战术弹道导弹是未来高技术战争中主要作战武器, 导弹攻防战是未来战场的主要作战形式之一。战术弹道导弹可以打击敌方政治、经济和军事目标, 在使敌方造成伤亡损失的同时, 能够给敌方造成政治、经济和外交上的压力。战术弹道导弹在未来高技术局部战争中将起举足轻重的作用。同时, 电子战已成为现代战争的主要内容之一, 争夺制电磁频谱权进而夺取信息优势, 已成为取得战争主动权的主要手段。

未来的战术弹道导弹攻防对抗是在复杂的战场环境下进行的。如何评价在未来复杂的战场环境中战术弹道导弹的作战效能, 提高战术弹道导弹的突防能力已经成为一项重大课题^[1]。

数字仿真是进行电子战条件下战术弹道导弹攻防对抗效能评估的重要手段。利用仿真技术可以对在不同战场环境和不同导弹攻防对抗以及电子战条件下战术弹道导弹的作战过程进行分析, 并确定战术弹道导弹的作战效能指标; 或以仿真演示的方式形象且定量地评价系统的综合对抗性能。

本文中提出一种用于研究战术弹道导弹攻防对抗及电子战的面向对象的仿真模型, 该模型已在面向对象的多媒体仿真平台 SimStudio^[2]上进行应用研究, 取得良好效果。

1 仿真模型结构

1.1 导弹攻防对抗仿真的特点

模型技术是系统仿真中的重要环节。只有建立能够准确反映系统内在特性和变化规律的模型, 才能得到准确的仿真结果。建模过程中必须考虑系统的特点和仿真研究的目的。

战术弹道导弹攻防对抗仿真具有以下主要特点:

(1) 连续—离散事件混合

战术弹道导弹攻防对抗仿真涉及的作战单元多、技术领域多, 因此模型单元较多。在各类模型单元中, 有的涉及连续系统问题, 如战术弹道导弹的弹道计算; 有的涉及离散事件问题, 如导弹发射、雷

* 重大试验技术研究项目资助

1998年10月5日收稿

第一作者: 朱一凡, 男, 1963年生, 副教授

达发现目标等。因此,战术弹道导弹攻防对抗仿真是一个连续—离散事件混合系统仿真问题。

(2) 对抗性作用关系

系统仿真中模型状态变化是由各个实体之间相互作用关系决定的,多数情况下,实体之间的相互作用是协同活动,如排队模型中服务员和顾客之间的作用关系。而在战术弹道导弹攻防对抗仿真中,进攻方实体和防御方实体之间是对抗关系。所谓对抗关系是指一方活动的目的是限制另一方的活动。这种关系对模型的建立带来了约束,如防御方的拦截决策与进攻方的导弹作战参数相关的,但在决策时防御方并不知道作战参数的真实值。

1.2 导弹攻防对抗仿真模型结构

根据对战术弹道导弹攻防对抗仿真特点的分析,战术弹道导弹攻防对抗仿真模型应具有以下特点:

- (1) 层次化;
- (2) 面向对象;
- (3) 进攻方和防御方模型“背靠背”。

战术弹道导弹攻防对抗仿真模型中涉及的实体包括战术弹道导弹、突防措施、预警系统、制导雷达、反导导弹、评判方。相应的模型层次结构如图1所示。

各模块的功能为:

- (1) 战术弹道导弹: 计算战术弹道导弹飞行时的位置和姿态。包括战术弹道导弹一级、二级、弹头。
- (2) 突防措施: 计算突防措施的实施时刻和实施范围。考虑的突防措施可以有电子干扰机、轻重诱饵、红外诱饵等。
- (3) 预警系统: 计算探测发现目标的概率。
- (4) 制导雷达: 计算反导导弹拦截飞行的制导指令。
- (5) 反导导弹: 计算反导导弹飞行弹道以及实施拦截的时机。
- (6) 评判方: 计算拦截效果和战术弹道导弹对目标的毁伤效果。

1.3 仿真模型作用关系

战术弹道导弹攻防对抗仿真模型中各模块相关作用关系如图2所示。其对应的消息传递过程为:

- (1) 战术弹道导弹的位置和姿态参数传送到评判方,再由评判方传送到防御方的各个模块。
- (2) 突防措施的作用参数传送到评判方,再由评判方传送到防御方的各个模块。
- (3) 评判方传送到预警系统的参数已经考虑了虚警概率和探测误差。
- (4) 评判方传送到制导雷达的参数已经考虑了探测误差。
- (5) 反导导弹将实施拦截时的状态传送到评判方。
- (6) 评判方将拦截效果(反导导弹被拦截)传送到反导导弹。

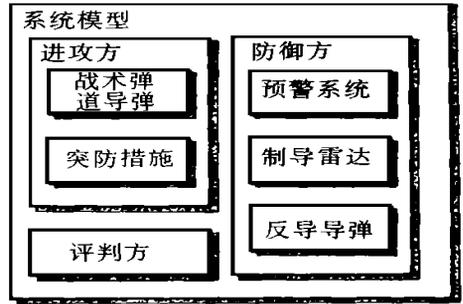


图1 战术弹道导弹攻防对抗仿真模型结构
Fig. 1 Structure of TBM Engagement combat Simulation model

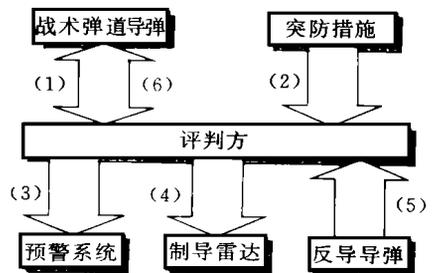


图2 实体模型作用关系
Fig. 2 relation between entity models

2 模型算法

2.1 战术弹道导弹弹道模型

战术弹道导弹的空间运动包括质心运动和绕质心转动两部分。利用战术弹道导弹空间运动的动力

学原理可以分别建立相应的动力学方程, 与反映空间速度关系的运动方程、空间姿态角关系的几何方程以及控制方程联立, 求解常微分方程组可以得到战术弹道导弹在各个时刻的运动参数, 包括位置参数、速度参数和空间姿态角。

2.2 战术弹道导弹对目标毁伤模型

以战术弹道导弹使用子母弹头对军用机场跑道进行封锁为例, 需要考虑以下几个关键问题。

(1) 子弹头散布点的计算

子弹头的落点可以有两种计算方法:

(1) 从子弹头抛撒开始仿真计算, 首先要计算母弹头在开始抛撒子弹头时的速度和姿态, 其次要计算子弹头抛撒时的相对速度, 还要考虑大气的影晌, 动力学计算非常复杂。

(2) 对于子弹头落点的散布做合理的假设, 再根据所假设的分布抽样得到具体的落点。在正常情况下, 子弹头的散布区域应当是一个以母弹头落点为中心的椭圆, 但椭圆的偏心率很小, 因此可以假设子弹头在以母弹头理论落点为中心, 半径为 R 的圆区域内均匀分布, 半径为 R 。

(2) 机场最小起飞通道搜索算法

机场跑道上如果能够找出一个矩形, 它满足一定的长度和宽度要求, 且在矩形之内没有战术弹道导弹弹头或子弹头炸出的弹坑, 则认为最小起飞通道存在。

具体的搜索方法可以采用块扫描法。块扫描法的思想是作一个与最小起飞通道相同的矩形, 首先沿跑道的宽度方向搜索, 再沿跑道长度方向搜索。在搜索过程中, 如果发现任何一个矩形中没有子弹头弹着点存在, 则认为该矩形为最小起飞通道。只有搜索完所有的矩形且其中皆有弹着点时, 才能说最小起飞通道不存在。

(3) 子弹头对机场跑道混凝土层的穿透能力计算

子弹头对机场跑道混凝土层的穿透能力与以下因素有关:

(1) 混凝土的特性, 包括混凝土的密度、弹性模量、抗拉强度、摩擦系数。

(2) 子弹头的运动条件, 包括子弹头的速度、攻角及落地角。

(3) 子弹头的结构因素, 包括子弹头直径、子弹头高度。

目前, 子弹头对机场跑道混凝土层的穿透厚度的计算尚无完善的理论, 一般只能用经验公式进行计算。

2.3 探测与拦截决策模型

(1) 目标威胁等级判定

目标威胁等级判定原则: 对主跑道威胁越大的目标, 其威胁等级越高。目标落点沿跑道宽度方向的 y 坐标对毁伤效果的影响很大。目标威胁等级判定准则为: 威胁等级为 β 的目标, 其 y 坐标满足

$$(c - \beta + 1) \frac{D}{C} < y < (c - \beta) \frac{D}{C}, \quad \beta = 1, 2, \dots, C$$

式中, C 是威胁等级分类数, D 标志着在 Y 轴方向上对主跑道保护范围的大小。

目标威胁等级采取正排序, 即 β 越大, 威胁等级越高。

(2) 发射架优先等级排序

发射架优先等级排序原则: 拦截弹按直线弹道飞行时, 在拦截遭遇点处, 拦截弹速度矢量之间的夹角 α 越小, 则对应的发射架的优先序等级越高。

(3) 拦截决策

采用悲观决策原则: 取目标威胁等级分类数为 N 。认为 N 个威胁目标具有不同的威胁等级, 并且 N 个目标对发射架的需求程度是相同的, 即发射架对各个目标的拦截优先序相同。采用悲观决策原则可以在目标威胁等级不高时, 为后续威胁目标预留一部分优先级较高的发射架。

3.4 拦截作战效果评判模型

(1) 拦截弹破片飞散的动力学计算

通过拦截弹破片的动力学计算可以得出任意时刻破片的位置及破片杀伤球的外缘边界位置:

- (a) 计算拦截弹爆炸时破片获得的平均速度;
- (b) 计算任意仿真时刻 T 破片杀伤球外缘上的破片在相对坐标系中的坐标。

(2) 破片杀伤球锥的可拦性判断

在进行可拦性判断过程中, 采用仿真逐步判断的方法, 从拦截弹爆炸时刻开始至杀伤破片的最长作用时间, 在拦截弹破片的作用范围内判断各个时刻破片和进攻弹头的相对位置, 考察拦截弹破片和进攻弹头是否满足碰撞条件。

拦截弹对进攻弹头的可拦性判断分两步进行:

- (a) 判断进攻弹头是否在假想静态破片杀伤锥的角度范围内。
- (b) 判断拦截弹破片和进攻弹头相对于拦截弹爆心的距离是否满足碰撞的最小距离要求。

可拦性判断的终止时间根据杀伤破片的最长作用距离确定。

(3) 破片杀伤概率计算

在满足可拦性条件的情况下, 可以计算与进攻弹头碰撞的破片的数目。破片散布在一个球锥面内, 只有一部分破片将与进攻弹头碰撞。根据进攻弹头的轴向与破片飞散锥的中轴线之间的夹角可以计算出进攻弹头在破片杀伤球面上的投影截面, 在投影截面内的破片将与进攻弹头碰撞。

- (a) 进攻弹头在拦截弹破片杀伤锥外缘球面上的投影面积计算;
- (b) 与进攻弹头发生碰撞的杀伤破片数目计算;
- (c) 拦截弹对进攻弹头杀伤概率计算。

3.5 电子对抗模型

(1) 红外诱饵干扰原理

红外诱饵对红外导引头的干扰是质心干扰。战术弹头及红外诱饵的辐射功率, 由其表面温度、发射率和辐射源在红外导引头方向的投影面积决定。

(2) 无源干扰

无源箔条干扰的效果取决于以下几个因素:

- 箔条云质心位置坐标;
- 箔条云的平均有效反射面积;
- 弹头的位置坐标;
- 弹头的平均 RCS 值。

(3) 有源诱饵

有源诱饵的目的是破坏雷达的检测和距离、角度跟踪系统, 使其难以发现目标, 或使其丢失目标或增大跟踪误差, 或使拦截弹偏离目标或跟踪干扰源。地面雷达天线处接收到的干扰信号功率为:

$$P_{Jr} = \frac{P_J \lambda^2 L_J L_r BW_r G_J G_r}{(4\pi)^2 R_J^2 BW_J} \quad (8.20)$$

式中, P_J 为干扰机发射平均功率; λ 为工作波长; L_J 为干扰天线发射信号的极化损耗; L_r 为雷达接收损耗; BW_r 为雷达接收机带宽; BW_J 为干扰信号带宽; R_J 为干扰机载体与雷达的斜距; G_J 为干扰天线增益; G_r 为雷达天线在干扰机方向上的增益。

参考文献

- 1 王维平等. 现代武器系统原理. 国防科技大学. 1992
- 2 陈定昌等. 防空导弹武器系统软件工程. 北京: 宇航出版社. 1994
- 3 周自全等. 现代飞行模拟技术. 北京: 国防工业出版社. 1997
- 4 方辉煜等. 防空导弹武器系统仿真. 北京: 宇航出版社. 1995
- 5 彭望泽等. 防空导弹武器系统电子对抗技术. 北京: 宇航出版社. 1995