

7-2-2020

Design and Implementation of Real Confrontation Oriented Simulation Models for Artillery Firepower

Baoyu Xu

1. College of Command Information Systems, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China;; 2. PLA 65067 Force, Shenyang 110035, China;

Hongjun Zhang

1. College of Command Information Systems, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China;;

Guo Hong

2. PLA 65067 Force, Shenyang 110035, China;

Guangming Xu

2. PLA 65067 Force, Shenyang 110035, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Design and Implementation of Real Confrontation Oriented Simulation Models for Artillery Firepower

Abstract

Abstract: Aiming at the training requirement of real confrontation, *a simulation method based on real equipment for artillery firepower was proposed* on the basis of the analysis of artillery firepower attacking behavior characteristics. By comprehensive use of the sensor, exterior ballistic calculation, satellite positioning, geographic information and damage assessment technology, using a embedded simulation method, *a simulation model of artillery firepower fused information collection of artillery firing data, ballistic endpoint simulation and damage assessment was built*, which could reflect systematically and comprehensively artillery firepower attacking process and the result of the strike in the actual combat environment. The model effectiveness and feasibility was verified by a comparison analysis of the results of real and simulation shooting results.

Keywords

real confrontation, artillery firepower, simulation models, design and implementation

Recommended Citation

Xu Baoyu, Zhang Hongjun, Guo Hong, Xu Guangming. Design and Implementation of Real Confrontation Oriented Simulation Models for Artillery Firepower[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(3): 508-515.

面向实兵对抗的炮兵火力仿真模型设计与实现

徐宝宇^{1,2}, 张宏军¹, 郭虹², 胥广明²

(1. 解放军理工大学指挥信息系统学院, 南京 210007; 2. 中国人民解放军 65067 部队, 沈阳 110035)

摘要: 针对实兵对抗训练需要, 在分析炮兵火力打击行为特性的基础上, 提出了一种基于实装的炮兵火力仿真方法。综合运用传感器、外弹道解算、卫星定位、地理信息和毁伤评估技术, 采用嵌入式仿真方法, 构建了融火炮射击诸元信息采集、弹道终点仿真和毁伤效果评估于一体的炮兵火力仿真模型, 能够全系统、全要素真实反映实战环境下炮兵火力打击过程和打击效果。通过实弹射击与模拟射击结果的比对分析, 验证了模型的可行性和有效性。

关键词: 实兵对抗; 炮兵火力; 仿真模型; 设计与实现

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2016) 03-0508-08

Design and Implementation of Real Confrontation Oriented Simulation Models for Artillery Firepower

Xu Baoyu^{1,2}, Zhang Hongjun¹, Guo Hong², Xu Guangming²

(1. College of Command Information Systems, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China;
2. PLA 65067 Force, Shenyang 110035, China)

Abstract: Aiming at the training requirement of real confrontation, a simulation method based on real equipment for artillery firepower was proposed on the basis of the analysis of artillery firepower attacking behavior characteristics. By comprehensive use of the sensor, exterior ballistic calculation, satellite positioning, geographic information and damage assessment technology, using a embedded simulation method, a simulation model of artillery firepower fused information collection of artillery firing data, ballistic endpoint simulation and damage assessment was built, which could reflect systematically and comprehensively artillery firepower attacking process and the result of the strike in the actual combat environment. The model effectiveness and feasibility was verified by a comparison analysis of the results of real and simulation shooting results.

Keywords: real confrontation; artillery firepower; simulation models; design and implementation

引言

炮兵是遂行地面火力突击任务的兵种, 通常协同步兵、装甲兵和其他兵种作战, 也可单独进行火力战斗。作为陆军的主要火力突击力量, 用以歼灭

敌有生力量, 击毁敌坦克等装甲目标和水面舰艇, 摧毁、压制敌炮兵和指挥系统, 破坏敌工程设施和交通枢纽。

实兵对抗训练是集实装操作、作战指挥、战术运用和训练评估于一体的集成训练形式, 对于全面检验和提高部队实战能力具有重要意义^[1]。着眼实兵对抗训练需求, 运用建模与仿真技术, 构建基于实装的炮兵火力仿真模型, 实现实战环境下炮兵火力打击过程和打击结果的逼真模拟, 是加强和改进



收稿日期: 2015-07-16 修回日期: 2015-10-08;
基金项目: 国家自然科学基金(70971137);
作者简介: 徐宝宇(1974-), 男, 辽宁辽中, 博士生, 高工, 研究方向为训练仿真与毁伤评估; 张宏军(1963-), 男, 江苏泰州, 博士, 教授, 研究方向为军事运筹学; 郭虹(1959-), 女, 辽宁沈阳, 硕士, 高工, 研究方向为自动控制。

<http://www.china-simulation.com>

炮兵实兵对抗训练模拟手段,提升陆军合同战术实战化训练水平的重要举措。本文着眼实兵对抗条件下炮兵火力行为特点和功能建模需求^[2],借鉴美军在 LVC 建模仿真领域取得的成功经验^[3-5],对实兵实装对抗条件下的炮兵火力进行了建模仿真,以期尽可能真实反映炮兵在实战环境下的作战效能。

1 炮兵火力仿真模型设计

1.1 炮兵火力仿真模型结构组成

炮兵实兵对抗训练是真实的炮手在真实的战场环境中操作真实的火炮所进行近似实战的训练,真实反映了实战中的炮兵指挥、火炮操作和战术运用过程。与实战相比,惟一的区别在于没有实际弹丸射出,无法客观反映弹目交汇及目标毁伤效果。综合考虑炮兵火力行为和实兵对抗训练仿真需求,基于实装的炮兵火力仿真模型应能具备火炮信息采集、弹目交汇解算和目标毁伤效果评估三大基本功能,主要由火炮信息采集模型、弹道终点仿真模型、虚拟炸点显示模型、目标毁伤评估模型和目标控制模型组成。其结构组成及在实兵对抗训练系统中的位置如图 1 所示。

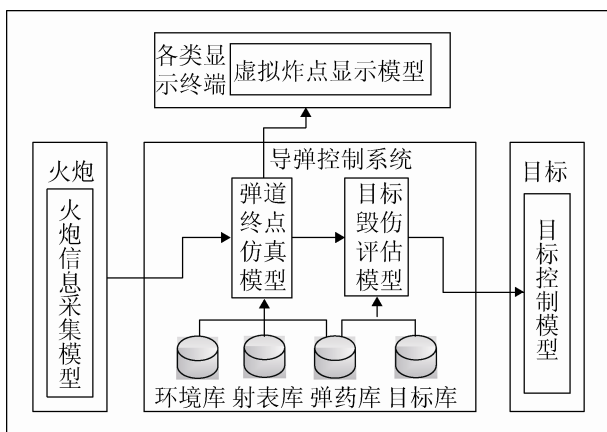


图 1 炮兵火力仿真模型组成结构图

1.2 炮兵火力仿真模型运行机理

炮兵火力仿真模型为事件驱动模型,驱动事件为火炮发射事件,模型结束于弹道终点时刻,其运行流程如图 2 所示。当检测到火炮发射事件时,模

型开始运行并启动仿真时钟,获取火炮当前位置、弹道条件、地形条件、气象条件等射击条件数据,根据射表、外弹道方程组和地形模型,计算弹道终点时刻和弹着点坐标。当仿真时钟到达弹道终点时刻时,在相应显示终端上显示虚拟炸点,并确定虚拟弹丸对周围目标的毁伤情况,模型运行结束;若未到达终点时刻,继续等待直到到达。

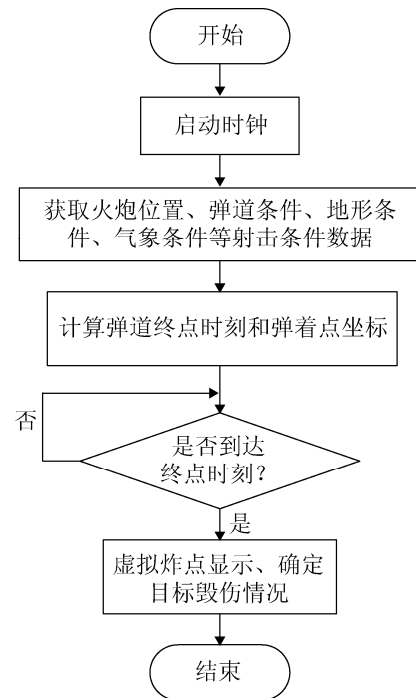


图 2 炮兵火力仿真模型运行流程图

2 炮兵火力仿真模型构建

2.1 火炮信息采集模型

火炮信息采集模型主要用于采集火炮发射时的精确位置坐标、表尺密位数和射击方位,主要包括火炮差分定位模型、表尺检测模型和射击方位检测模型。

2.1.1 火炮差分定位模型

火炮差分定位模型用于解算火炮的精确坐标。主要由 GPS 定位终端、DGPS 码差分信号接收模块和差分运算模块 3 部分组成。经过差分运算后,火炮的定位精度可达 0.3 m,满足基于实装的炮兵火力仿真定位精度要求;同时模型采用 Coast 技术,

能够在差分信号丢失情况下，仍能保持较高的定位精度。

2.1.2 表尺检测模型

表尺检测模型用于检测火炮发射时的表尺密位数。为提高火炮高低的检测精度，解决火炮本身存在的射角不一致的问题，模型采用硅微机械倾角传感器技术，以水平面为参面，通过测量静态重力加速度变化，推算火炮发射时的高低角(即表尺密位数)。该倾角传感器的测量范围为±60°，响应速度为 5 Hz，检测分辨率为 0.016 密位，检测精度为 0.16 密位，安装在火炮水平检测平台上。

2.1.3 射击方位检测模型

射击方位检测模型用于检测火炮发射时的射击方位，即火炮射向相对于正北方向的夹角。模型通过绝对式光电方向编码器和具有差分功能的 GPS 定位模块，依次完成基准射向角 β 的求取、相对方位角 γ 的检测和射击方位角 α 的计算，3 种方位角之间的关系如图 3 所示。

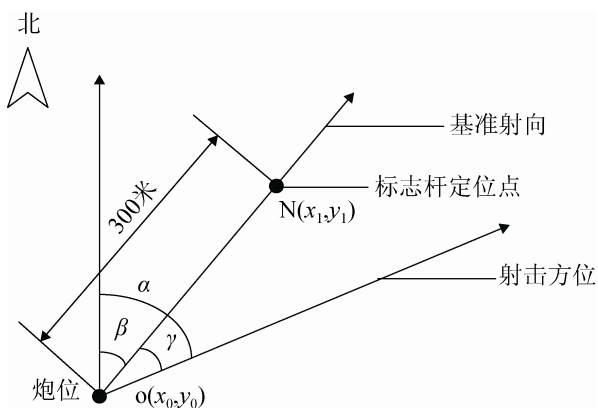


图 3 基准射向、相对方位和射击方位关系图

基准射向作为火炮方向转动的基准，是确定射击方位的前提。其计算方法为：在射击准备阶段赋予火炮基准射向的过程中，当火炮瞄准标志杆时，分别获取炮位和标志杆两点的精确坐标，根据公式(1)求取基准射向，并将此时方向编码器的输出值作为其方向检测的零位值。当定位精度为 0.3 m，炮位和标志杆两点距离为 300 m 时，基准射向的检

测精度可达 1 密位。相对方位角 γ 是射击方位相对于基准射向的夹角，可通过方向编码器输出值直接读取，方向编码器安装于火炮下基轴室，其检测精度为 0.092 密位。

$$\beta = \arctg \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \quad (1)$$

式中： β 为基准射向角； (x_0, y_0) 为炮位坐标； (x_1, y_1) 为标志杆处坐标。

由图 3 可知，射击方位角 α 可通过公式(2)计算求得。

$$\alpha = \beta + \gamma \quad (2)$$

式中： α 为射击方位角； β 为基准射向角； γ 为相对方位角。

2.2 弹道终点仿真模型

弹道终点仿真模型主要由弹着点理论位置解算模型、弹道地形遮蔽检测模型和射弹散布仿真模型组成。其工作流程如图 4 所示。

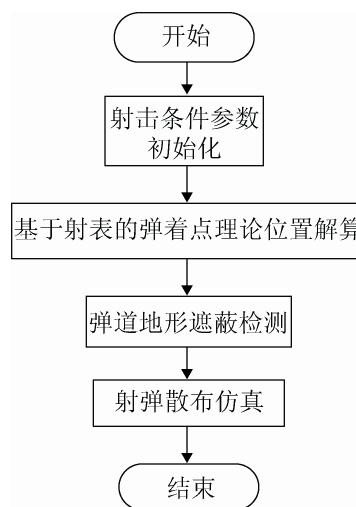


图 4 弹道终点仿真模型工作流程

2.2.1 弹着点理论位置解算模型

弹着点理论位置解算模型依据射表和射击条件数据，通过反向推算炮位至弹着点的理论测地距离和方位，来求取特定射击条件下的弹着点理论位置坐标，能够保证解算出的弹着点理论位置具有较高的精准度。其解算过程为：第 1 步，根据表尺检测模型检测到的火炮表尺 θ_p ，在相应射表中检索

出第 i 行, 使第 i 行对应的表尺 θ_i 与 θ_p 相差绝对值最小, 记录第 i 行对应的射距离 X_i 和基本诸元; 第 2 步(若 $\theta_p = \theta_i$, 此步略过, 直接执行第 3 步), 检索出与第 i 行相邻的第 j 行(若 $\theta_p > \theta_i, j = i + 1$; 若 $\theta_p < \theta_i, j = i - 1$), 第 j 行对应的表尺和射距离分别记为 θ_j 和 X_j ; 第 3 步, 根据实际射击条件(地形、弹道、气象等), 用第 i 行对应的偏差量数据, 计算距离综合修正量 ΔD 和方位综合修正量 ΔF ; 第 4 步, 采用差分拟合的方法, 利用公式(3)求取 θ_p 对应的射距离 X_p ; 第 5 步, 通过距离综合修正, 利用公式(4)求取炮位至弹着点的理论测地距离 D_M ; 第 6 步, 通过方位综合修正, 利用公式(5)求取炮位至弹着点的理论测地方位 F_W ; 第 7 步, 利用公式(6)计算火炮弹着点理论坐标 (x_l, y_l) 。

$$X_p = \begin{cases} \frac{X_i - X_j}{\theta_i - \theta_j} \times (\theta_p - \theta_i) + X_i & (\theta_p = \theta_i) \\ X_i & (\theta_p = \theta_i) \end{cases} \quad (3)$$

$$D_M = X_p - \nabla D \quad (4)$$

$$F_W = \alpha - \Delta F \quad (5)$$

式中: α 为射击方位角。

$$\begin{cases} x_l = P_x + D_M \times \cos(F_W \times PI / 3000) \\ y_l = P_y + D_M \times \sin(F_W \times PI / 3000) \end{cases} \quad (6)$$

式中: α 为射击方位角; P_x, P_y 分别为火炮的横、纵坐标; PI 取 3.141 592 6。

2.2.2 弹道地形遮蔽检测模型

弹道地形遮蔽检测模型用于判断弹丸是否超越遮蔽顶或落在高地上。模型采用火炮外弹道微分方程组进行计算分析, 结合数字地图对应射击方位上的高程数据, 判断飞行弹道在到达弹着点理论位置前是否与地形交汇, 若发生交汇, 将弹着点理论位置坐标更新为交汇点坐标。针对常规火炮射程和弹道高较小的特性, 结合实兵对抗训练中炮兵射击条件获取的可行性, 兼顾遮蔽检测的精准性和求解的方便性, 模型引入了如下假设:

(1) 弹丸为理想的轴对称体, 且在全部飞行时间内对应的攻角为 0;

(2) 气象条件采用炮兵训练中的气象通报数据, 且在一次的弹道解算中是恒定的;

(3) 不考虑地球曲率及重力加速度随高度的变化。

主要包括弹道解算模型、坐标转换模型和地形交汇判断模型。

1) 弹道解算模型

弹道解算模型以时间 t 为自变量, 解算炮弹飞行过程中的空间位置坐标 $D(x, y, z)$, 其模型方程组如公式(7)。

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = a \cdot (v_x - w_x) - 2 \cdot \Omega \cdot (v_z \cdot \sin \lambda + v_y \cdot \sin F_M \cdot \cos \lambda) \\ \frac{dv_y}{dt} = a \cdot v_y - g + 2 \cdot \Omega \cdot (v_x \cdot \cos \lambda \cdot \sin F_M + v_z \cdot \cos F_M \cdot \cos \lambda) \\ \frac{dv_z}{dt} = a \cdot (v_z - w_z) - 2 \cdot \Omega \cdot (v_y \cdot \cos \lambda \cdot \cos F_M - v_x \cdot \sin \lambda) \\ \frac{dx}{dt} = v_x \\ \frac{dy}{dt} = v_y \\ \frac{dz}{dt} = v_z \\ a = -1.36829 \times 10^{-6} \cdot c \cdot \frac{P(y)}{\tau(y)} \cdot v_\tau \cdot C_{xon}(Ma) \\ v_\tau = \sqrt{(v_x - w_x)^2 + v_y^2 + (v_z - w_z)^2} \\ Ma = 4.98122 \times 10^{-2} \cdot \frac{v_\tau}{\sqrt{\tau(y)}} \end{cases} \quad (7)$$

式中: Ω 为地球自转角速度, 取值 $7.272e-5(\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})$; F_M 为火炮实际射击方位; λ 为火炮所处的纬度; v_x 为弹丸纵向速度; v_y 为弹丸垂直速度; v_z 为弹丸横向速度; w_x 为纵向风速; w_y 为垂直风速; w_z 为横向风速; c 为弹道系数; c_{xon} 为 43 年阻力系数; $p(y)$ 为高程为 y (m) 处的气压(pa); $\tau(y)$ 为高程 y (m) 处的虚温。

积为初始条件为: $t=0$ 时, $v_{x0} = v_0 \cdot \cos \theta_0$;

$v_{y0} = v_0 \cdot \sin \theta_0$; $v_{z0} = 0$; $x_0 = P_x$; $y_0 = P_y$; $z_0 = P_z$;
式中: v_0 为弹丸初速; θ_0 为初始射角; P_x, P_y, P_z 分
别为炮位的横坐标、纵坐标和高程。

上述方程组可用定长四阶龙格-库塔法求解^[6],
计算公式如式(8)、式(9)和式(10)。

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = f(x, y, t) \\ \frac{dy}{dt} = g(x, y, t) \\ \frac{dz}{dt} = h(x, y, t) \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} x(t_0) = x_0 \\ y(t_0) = y_0 \\ z(t_0) = z_0 \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} x_{n+1} = x_n + (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) / 6 \\ y_{n+1} = y_n + (q_1 + 2q_2 + 2q_3 + q_4) / 6 \\ z_{n+1} = z_n + (p_1 + 2p_2 + 2p_3 + p_4) / 6 \end{cases} \quad (10)$$

其中: 各项参数的求取如式(11)、式(12)和式(13)。

$$\begin{cases} k_1 = h \cdot f(x_n, y_n, z_n, t_n) \\ q_1 = h \cdot g(x_n, y_n, z_n, t_n) \\ p_1 = h \cdot p(x_n, y_n, z_n, t_n) \\ k_2 = h \cdot f(x_n + k_1 / 2, y_n + q_1 / 2, \\ z_n + p_1 / 2, t_n + h / 2) \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} q_2 = h \cdot g(x_n + k_1 / 2, y_n + q_1 / 2, \\ z_n + p_1 / 2, t_n + h / 2) \\ p_2 = h \cdot p(x_n + k_1 / 2, y_n + q_1 / 2, \\ z_n + p_1 / 2, t_n + h / 2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} k_3 = h \cdot f(x_n + k_2 / 2, y_n + q_2 / 2, \\ z_n + p_2 / 2, t_n + h / 2) \\ q_3 = h \cdot g(x_n + k_2 / 2, y_n + q_2 / 2, \\ z_n + p_2 / 2, t_n + h / 2) \\ p_3 = h \cdot p(x_n + k_2 / 2, y_n + q_2 / 2, \\ z_n + p_2 / 2, t_n + h / 2) \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} k_4 = h \cdot f(x_n + k_3, y_n + q_3, z_n + p_3, t_n + h) \\ q_4 = h \cdot g(x_n + k_3, y_n + q_3, z_n + p_3, t_n + h) \\ p_4 = h \cdot p(x_n + k_3, y_n + q_3, z_n + p_3, t_n + h) \end{cases} \quad (13)$$

式中: h 为积分步长, 这里取值为 0.05 s。

2) 坐标转换模型

利用上述方法计算的得到的弹道坐标是基于
弹道坐标系的, 为了将其转化为地理坐标系下的坐
标, 需要对其进行转换, 弹道坐标系与地理坐标系
关系如图 5 所示, x 轴、 y 轴和 z 轴构成弹道坐标
系, x_D 轴、 y_D 轴和 z_D 轴构成地理坐标系, 其中 y
轴与 y_D 轴同轴且垂直于 x 轴和 z 轴组成的平面。
若弹道坐标系下的坐标为 (x, y, z) , 射击方位角为
 F_M , 则对应的地理坐标系下的坐标 (x_D, y_D, z_D)
可按公式(14)求得。

$$\begin{cases} x_D = x \cdot \cos F_M - z \cdot \sin F_M \\ y_D = y \\ z_D = x \cdot \sin F_M + z \cdot \cos F_M \end{cases} \quad (14)$$

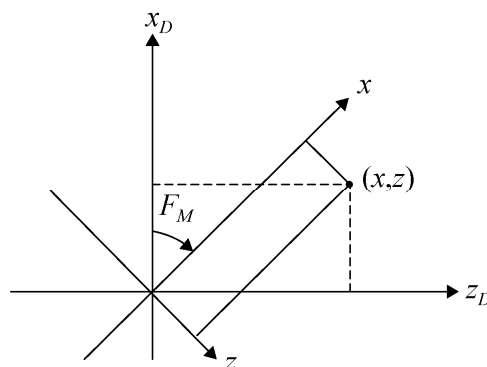


图 5 弹道坐标系与地理坐标系关系图

3) 地形交汇判断模型

地形交汇判断模型根据弹道解算模型和坐标
转换模型求得的炮弹在 t_i 时刻的地理坐标
 (x_{Di}, y_{Di}, z_{Di}) , 检索数字高程模型(DEM), 求得地
形在坐标点 (x_{Di}, z_{Di}) 处的高程 y_{DEMi} , 若
 $y_{DEMi} > y_{Di}$, 说明炮弹此刻与地形发生交汇, 将炮
弹弹着点理论位置平面坐标更新为 (x_{Di}, z_{Di}) , 模型
数学表示如公式(15)。

$$\begin{cases} y_{DEMi} = G(x_{Di}, z_{Di}) \\ x_l = x_{Di}, y_l = z_{Di} \quad (y_{DEMi} > y_{Di}) \end{cases} \quad (15)$$

式中: $G(x, z)$ 为数字高程模型函数; x_l, y_l 分别为
炮弹弹着点理论位置横、纵坐标。

2.2.3 射弹散布仿真模型

利用弹道终点仿真模型得到的弹着点理论位置具有唯一确定性, 无法反映实际射弹随机性和散布规律, 即以散布中心为准, 由里向外射弹越来越少(亦称不均匀性), 而前后、左右具有对称性, 且有一定的范围。根据大量的实验证明, 射弹在距离和方向上的散布, 服从正态分布规律, 且可以认为几乎所有的射弹全部落在 ± 4 倍的公算偏差范围内, 其散布概率特征如图 6 所示。

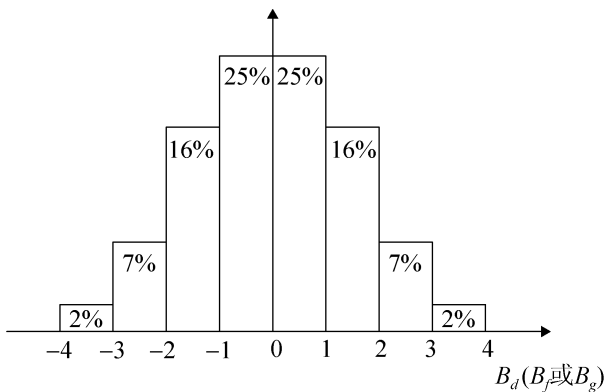


图 6 射弹散布概率特征

炮弹散布仿真模型, 依据射表提供的公算偏差, 运用蒙特卡洛方法^[7-8], 模拟炮弹的散布规律, 在弹着点理论位置的基础上, 确定每次火炮射击时的仿真弹着点。具体计算方法如式(16)

$$\begin{cases} x_f = x_l + \sqrt{\frac{-\ln \xi_1}{0.227468}} \cos(2\pi\xi_2) \cdot B_d \\ y_f = y_l + \sqrt{\frac{-\ln \xi_1}{0.227468}} \sin(2\pi\xi_2) \cdot B_f \end{cases} \quad (16)$$

式中: ξ_1, ξ_2 为[0, 1]区间上的随机数; B_d, B_f 分别为距离和方向上的公算偏差; (x_l, y_l) 为炮弹的理论弹着点坐标; (x_f, y_f) 为炮弹的仿真弹着点坐标。

2.3 毁伤评估模型

毁伤评估模型用于根据目标性质和炮弹效力, 评估目标的毁伤情况。可分为命中毁伤律模型和矩形坐标毁伤律模型。

2.3.1 命中毁伤律模型

命中毁伤律适用于必须直接命中才能毁伤目标的情况, 如坚固工事、重型坦克、大型军舰等, 有的命中一发就能毁伤, 有的命中数发才能毁伤。命中条件下毁伤程度主要与命中弹数有关, 具体计算方法如式(17)。

$$P_H = \eta \cdot \frac{1}{\omega} \quad (17)$$

式中: P_H 为一发炮弹命中目标时的毁伤概率; ω 为毁伤目标所需命中弹数的数学期望; η 为炮弹命中系数, 若弹着点落入目标幅员内(即命中目标), η 取 1, 否则 η 取 0。判断炮弹命中目标的方法见图 7 所示。

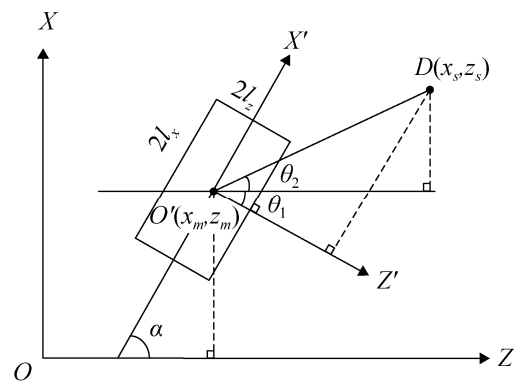


图 7 炮弹命中目标判定

图 7 中, α 为目标方位相对于地理坐标系 z 轴的夹角; $(x_m, z_m), (x_s, z_s)$ 分别为目标中心和弹着点位置坐标; l_x, l_z 分别为目标幅员纵深和正面的一半; d 为弹着点至目标中心的平面直线距离。 η 的计算过程如公式(18)。

$$\begin{cases} \theta_1 = 90^\circ - \alpha \\ \theta_2 = \arctg \frac{z_s - z_m}{x_s - x_m} \\ \theta = \theta_1 + \theta_2 \\ d = \sqrt{(x_s - x_m)^2 + (z_s - z_m)^2} \\ \eta = \begin{cases} 1 & |d \cdot \sin \theta| \leq l_z \text{ 且 } |d \cdot \cos \theta| \leq l_x \\ 0 & |d \cdot \sin \theta| > l_z \text{ 或 } |d \cdot \cos \theta| > l_x \end{cases} \end{cases} \quad (18)$$

2.3.2 矩形坐标毁伤律模型

矩形坐标毁伤律模型适用于不一定直接命中就能毁伤目标的情况,如人员、汽车、简易工事等,只要炮弹落达以目标为中心的某一范围内就能毁伤目标,这一矩形范围称为毁伤幅员,毁伤幅员可根据弹目属性直接查表获取或通过计算求取^[9-10],其毁伤概率可按公式(19)计算。

$$P_H = \begin{cases} 1 & \text{炮弹落入毁伤幅员内} \\ 0 & \text{炮弹未落入毁伤幅员内} \end{cases} \quad (19)$$

式中: P_H 为目标毁伤概率,炮弹是否落入毁伤幅员的判定方法同公式(18)。

2.4 虚拟炸点显示模型

虚拟炸点显示模型用于显示炸点位置,为在非实弹射击条件下炮兵进行试射校正提供条件,逼真模拟炮兵实施拦阻、护送射击过程和非物质毁伤效果。炸点通常显示在炮观显示终端、指挥所态势显示屏和目标侦察显示器的数字化地图上。

2.5 目标控制模型

目标控制模型主要完成目标坐标采集、方位计算和毁伤控制。其工作流程为:通过卫星定位模块实时采集目标的精确坐标,根据前、后时刻的坐标数据计算目标的方位,将上述信息通过无线网络传输给目标毁伤评估模型;当接收到毁伤评估模型发出的目标毁伤信息后,控制目标做出相应的毁伤反映(如发烟示意、控制行动或火力模拟系统失效等)。

3 炮兵火力仿真模型验证

为了验证基于实装的炮兵火力仿真模型的有效性,我们在某型加农炮上,分别进行了模拟射击试验和实弹射击试验,对模拟弹着点和实弹弹着点分别进行了采集和比对分析。

3.1 验证条件与过程

炮兵火力仿真模型的验证条件主要包括:某型加农炮 1 门,基于炮兵火力仿真模型的间瞄火炮射

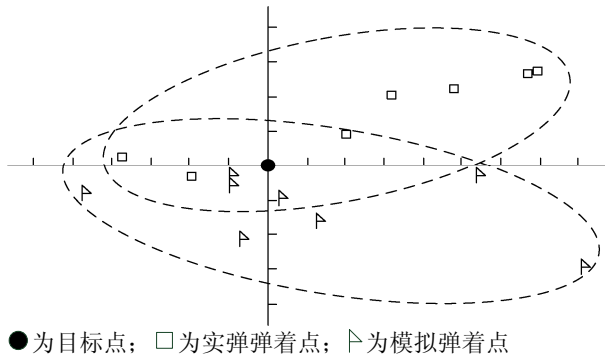
击模拟系统 1 套;目标位置坐标:(3 973 500, 11 453 466);气象条件:风向 2 300,风速 4 m/s,气温 29 °C,气压 760 Pa;弹道条件:某型榴弹 8 发,瞬发引信,4 号装药,药温 32 °C;地形条件:丘陵,海拔 1 200 m;射击开始诸元:基准射向 12-00,表尺 299,方向-0-82,表尺修正-3,方向修正-3。具体验证过程为:按照炮兵射击要求设置阵地,炮班进行操瞄、装弹,完成射击准备;在每次发射实弹前先利用间瞄火炮射击模拟系统进行模拟射击,记录模拟弹着点坐标,尔后进行实弹射击,采集并记录实弹弹着点坐标。

3.2 验证结果及分析

试验测得的模拟弹着点和实弹弹着点坐标如表 1 所示。实弹(模拟)弹着点位置及散布区域对比如图 8 所示。通过统计可得:实弹弹着点的散布中心坐标为(3 973 513, 11 453 486),距目标点直线距离 23.85 m,纵向偏差 13 m,横向偏差 20 m;模拟弹着点的散布中心坐标为(3 973 480, 11 453 480),距目标点直线距离 24.41 m,纵向偏差 20 m,横向偏差 14 m。从上述统计结果不难看出:模拟弹着点与实弹弹着点的平均横向及纵向偏差均<7 m,每个模拟弹着点偏离目标的横向及纵向距离均在 4 倍公算偏差范围内,且弹着点分布符合各公算偏差区域内的概率特征,较好地反映了相同射击条件下实弹弹着点的散布规律,进一步验证了基于实装的炮兵火力仿真模型的有效性。

表 1 模拟弹着点与实弹弹着点坐标统计表

弹着点号	实弹弹着点坐标		模拟弹着点坐标	
	X/m	Z/m	X/m	Z/m
1	3 973 513	11 453 486	3 973 471	11 453 458
2	3 973 525	11 453 497	3 973 485	11 453 469
3	3 973 527	11 453 513	3 973 491	11 453 458
4	3 973 536	11 453 534	3 973 487	11 453 422
5	3 973 537	11 453 536	3 973 497	11 453 522
6	3 973 495	11 453 505	3 973 491	11 453 458
7	3 973 492	11 453 447	3 973 466	11 453 547
8	3 973 505	11 453 431	3 973 480	11 453 480
落弹散布	92 × 30		100 × 26	



●为目标点; □为实弹弹着点; ▽为模拟弹着点

图 8 弹着点位置及散布区域对比图

4 结论

本文采用嵌入式实装信息采集和数学模型解算相结合的方法, 构建了基于实装的炮兵火力仿真模型, 实现了火炮操瞄结果的精确检测, 炮弹弹着点散布规律的逼真模拟和目标毁伤效果的科学评估, 较好地解决了实兵实装非实弹条件下炮兵火力打击过程和打击结果难以有效模拟的问题, 实现了真正意义上的炮兵自主对抗。

模型已成功应用于某型实兵对抗训练系统, 综合反映了实战环境下人员和装备的综合作战效能, 通过与实弹射击结果的比对分析, 进一步证明了模型的有效性, 对于提高炮兵部队实战化训练水平具有重要意义。

目前, 模型中的毁伤效果评估主要是通过毁伤幅员确定整个目标的毁伤情况, 评估结果还比较粗糙, 不能获取目标毁伤的详细信息。后续将根据弹药毁伤机理和目标功能结构, 对目标部件展开进一步研究。

参考文献:

- [1] 刘大为, 吕战强. DK07实兵对抗训练系统 [M]. 北京: 军事科学出版社, 2013.
- [2] 谢文. 炮兵火力毁伤仿真实验系统 [J]. 火力与指挥控制, 2012, 37(2): 136-138.
- [3] Gray W Allen, Robert Lutz, Robert Richbourg. Live, Virtual, Constructive, Architecture Roadmap Implementation and Net-Centric Environment Implications [J]. ITEA Journal of Test & Evaluation (S1054-0229), 2010, 31(3): 355-364.
- [4] Jennifer T Brooks, Anthony W Hughes, D Paul Sellers, et al. Training Community Modeling and Simulation Business Plan, 2009 Edition [R]. Alexandria, Virginia, USA: Institute for Defense Analyses, 2010.
- [5] Mann J, Fisher D, Kraus M, et al. An Analysis of Engagement Algorithms for Real-Time Weapons Effects [J]. Journal of Defense Modeling & Simulation (S1545-5129), 2006, 3(3): 189-201.
- [6] 赵新生, 舒敬容. 弹道解算理论与应用 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 2006.
- [7] 张浩淼, 虞红娅, 杨超, 等. 基于概率的地形感知告警系统前视阈值分析 [J]. 系统仿真学报, 2013, 25(3): 523-529. (Zhang Haomiao, Tuo Hongya, Yang Chao, et al. Forward-looking Alerting Threshold Analysis of TAWS Based on Probability Methods [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2013, 25(3): 523-529.)
- [8] 付成群, 律秀原, 王勇, 等. 机载激光雷达海洋探测的模拟研究 [J]. 系统仿真学报, 2015, 27(5): 1038-1043. (Fu Chengqun, Lü Xiuyuan, Wang Yong, et al. Simulation Research on Airborne Lidar Bathymetry System [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2015, 27(5): 1038-1043.)
- [9] 路航, 石全, 胡起伟, 等. 目标毁伤幅员的炮兵营火力毁伤效能评估及应用 [J]. 火力与指挥控制, 2012, 37(11): 159-162.
- [10] 吴正龙, 王大鹏. 基于仿真弹群的目标毁伤预测模型 [J]. 火力与指挥控制, 2012, 37(9): 68-70.