

坦克 CGF 发现目标过程的建模与仿真

汤再江¹, 石少勇¹, 薛青¹, 陈琪²

(1. 装甲兵工程学院作战仿真室, 北京 100072; 2. 济南 71446 部队, 青岛 266200)



摘要: 坦克计算机生成兵力是陆军作战仿真系统的重要组成部分, 其模型由机动模型、发现目标模型、火力模型等组成。针对坦克发现目标的过程, 分析了影响坦克发现目标的相关因素, 描述了坦克扫描、发现、识别目标的主要过程, 建立了坦克发现目标的军事概念模型和各环节的数学模型, 建立的模型在坦克单车对抗仿真系统中分别进行了不同植被、不同能见度、不同倍率条件下的发现目标仿真试验, 并分别与“人在环”坦克模拟器、资料数据以及实地观测数据进行了对比, 验证了模型的有效性。

关键词: 坦克 CGF; 发现目标模型; 建模与仿真; 模型验证

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2013) 05-0957-05

Modeling and Simulation of Tank CGF Detecting Object Process

TANG Zai-Jiang¹, SHI Shao-yong¹, XUE Qing¹, CHEN Qi²

(1. Warfare Simulation Center, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China;
2. Unit of 71446, Qingdao 266200, China)

Abstract: Computer Generated Tank is a main part of land forces combat simulation system. The model is composed of move model, detecting object model, fire model and so on. Aiming at the process of tank detecting object, the main influences of the optical reconnaissance and the scanning-finding-recognising process of detecting objects were researched. A reasonable military detecting conceptual model of tank and its mathematics models were built based on the process. A simulation experiment was implemented to test the model on conditions of different vegetation, different visibility and different in a single-to-single tank combat simulation system. And the model was validated by the results from “human-in-loop” tank simulator data, history data and road-test data.

Key words: tank CGF; detecting object model; Modeling and Simulation; model validated

引言

坦克是陆军的主要突击装备, 坦克计算机生成兵力 (Computer Generated Forces, CGF) 是陆军作战仿真系统的重要组成部分, 坦克模型主要由发现目标模型、机动模型、火力模型和防护模型等组成。发现目标是坦克射击的前提, 发现目标模型是坦克模型中的一个重要模型, 是对坦克车长、炮长的潜望镜、瞄准镜等光学观瞄设备在作战中观察

战场、搜索目标、发现并识别目标的侦察功能进行建模与仿真, 为坦克火力仿真提供射击目标输入。所谓“发现目标”, 就是把目标与其背景作比较, 将可疑区域内的目标提取出来, 即确定在某个地方有目标, 并识别目标, 确定目标的属性和认清目标的特征。

1 坦克发现目标相关因素分析

坦克乘员利用观瞄器材对目标进行发现和识别, 能否发现目标与以下四方面的因素有关, 如图 1 所示。

第一, 与坦克观瞄系统的战术技术性能指标有关, 例如侦察半径、侦察视场角、放大倍率等。

第二, 与战场环境的影响有关, 例如地形通视情况、地物对通视的影响、气象因素(雾、雪、雨、阴天和晴天等)、

收稿日期: 2011-05-04 修回日期: 2011-11-19
作者简介: 汤再江(1976-), 男, 云南昆明人, 博士生, 讲师, 研究方向为作战仿真; 石少勇(1983-), 男, 湖北天门人, 博士研究生, 研究方向为系统建模与仿真; 薛青(1961-), 男, 辽宁锦州人, 博导, 教授, 研究方向为装备作战仿真、装甲车辆模拟器; 陈琪(1986-), 男, 山东泰安人, 本科, 研究方向为作战指挥。

大气能见度等。

第三，与目标特性有关，战场上目标的种类很多，性质各不相同，目标的大小形状是最直观的因素，还有观察距离、有无伪装、目标与背景反差、目标的状态（开火、静止、运动）等有关。

第四，运用侦察仪器的人也对侦察有影响，例如搜索的次数，对一目标的观察时间长短、观察人员的技能水平等因素。因此，发现目标的建模需要考虑以上因素的影响。

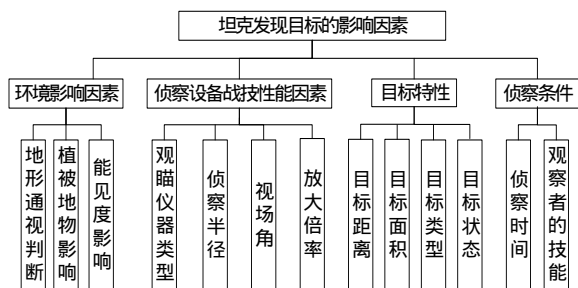


图 1 坦克发现目标的影响因素

2 坦克发现目标的过程及其建模

对于某一坦克在某次观察中能否发现目标和识别目标，有 5 个基本环节的模型，主要流程如图 2 所示。

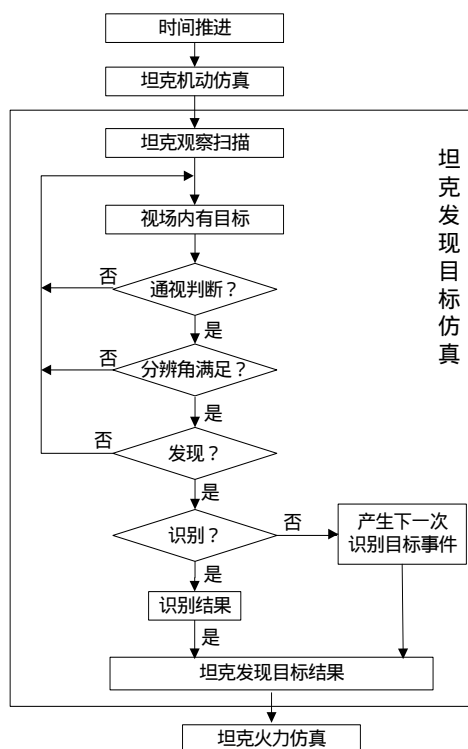


图 2 坦克发现目标模型的主要流程

2.1 视场覆盖目标模型

发现目标的第一个前提条件是坦克观察视场覆盖住目标，即目标在观瞄器材的视场覆盖范围内。坦克乘员观察区域有一定的分工，体现划分坦克观察界^[1]，划分观察界的目的是为保证环形和不间断的观察，如图 3 所示。

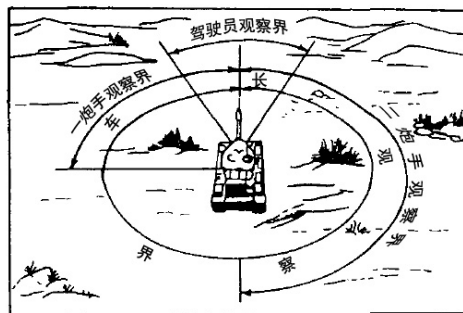


图 3 坦克乘员观察界的划分示意图^[1]

人眼注视一点后迅速地移到另一点进行注视，这一过程称为扫视。坦克乘员按坦克观察界划分区域不断进行搜索扫描，扫描一周划定的观察区域的时间 T 定义为扫描周期，由观瞄设备的视场角、扫描速度和观察界确定。

根据观瞄器材的作用距离和视场角、目标与坦克的位置就可以判断目标是否落入侦察视场覆盖范围内。例如 XX 式坦克炮长镜在 1 倍时的视场为视场高低 20 度 \times 水平 35 度，在放大倍率为 8 倍时，视场为 8 度 \times 8 度，能见度为 15 公里的天气下炮长镜在最大作用距离 8 公里。根据坦克和目标两点位置计算距离，根据坦克当前扫描的角度和视场角判断目标是否在坦克视场范围内。

2.2 两点间的通视判断模型

在坦克乘员扫描过程中，视线与视场内目标相接触，需判断目标与坦克两点间是否能够通视，如果不通视，目标在坦克视场覆盖范围内也不能被发现。地形标高的量化方法不同，通视判定计算方法也不相同，目前该领域的研究成果较为成熟。本文采用网格法量化地形起伏，使用地形高程 DEM 数据，采用离散判定法进行通视判断，基本原理是在观察者与目标连线上取等间隔的点进行判定，如果这些点处的标高值均低于连线上相应点的高度，则为通视，否则为不通视。应用成熟地理信息系统软件点通视算法计算两点之间是否通视，例如本模型中使用的地形分析“两点间通视判断函数”如下：

```
void GetViewPoint(double *x,double *y,int n,float  
man_height,float goal_height,int *IsVisualAble);
```

其中，输入参数： $*x$:经度坐标 X 数组指针(存放坦克与目

标两点的经度坐标), *y: 纬度坐标 Y 数组指针(存放坦克与目标两点的纬度坐标), man_height: 视线起点的高度(观察镜离地的高度), goal_height: 视线终点的高度(目标中心高度), n: 点数。

返回参数: int* IsVisualAble(是否通视)。

值得一提的是, 利用两点的高程数据来计算通视, 与在两点高程数据基础上分别增加观察镜高度和目标高度, 通视计算结果差别较大, 通过本模型的实验表明, 一定要考虑观察镜的高度和目标高度。

2.3 分辨角判断模型

在通视能见的情况下, 能否发现目标还需要考虑能否满足最小分辨角。人眼能区别两发光点的最小角距离称为极限分辨角 $\theta^{[2]}$ 。眼睛的分辨角与很多因素有关, 从内因分析, 这与眼睛本身有关; 从外因分析, 主要是决定于目标的亮度与对比度。文献[2]给出了不同亮度和对比度条件下最小分辨角。根据目标尺寸、距离、仪器的倍率计算张角, 与侦察设备的发现目标的最小分辨角比较, 如果张角小于最小分辨角, 则不能发现目标; 反之, 可进行下一步计算。

2.4 发现目标判断模型

在视线与目标接触、两点通视并且满足最小分辨角条件下, 是否发现目标还需进一步判断。首先是要计算发现概率, 在通视、分辨角满足的条件下, 坦克搜索“发现目标”是一随机事件, 该事件发生的概率称发现概率。发现概率表示在一定条件下发现目标可能性大小的量, 用 0~1 之间的数值来表示。由侦察设备性能(如倍率、分辨力等)、目标可视面积、目标距离、大气能见度、目标反射率、太阳高度角、背景反射率等相关的函数计算得出发现概率 P 。应用蒙特卡洛法, 产生 0~1 之间均匀分布的随机数, 如果随机数落入发现概率 P 内, 认为发现目标; 反之没有发现。

2.4.1 发现目标概率模型

作者曾经在文献[3]中, 对较为常见的四个光学发现目标概率模型进行研究, 模型涉及到的输入因素主要有: 仪器的放大倍率 M 、观察者距离目标的距离 R 、目标面积 S 、目标对可见光的反射率 r_b 、背景对可见光的反射率 r_b 、大气能见度 V 、太阳高度角 h 、野战修正系数 k 等, 对各个模型之间的相关因素进行了对比分析, 在相同的实验环境下, 分析对比各个发现目标概率模型的变化趋势。同时, 对模型中主要的中间变量进行单独研究, 细致分析其中的区别与联系, 评判模型中变量的合理性。从输入参数、中间变量、输出变量等方面对每个模型进行了对比, 找到各模型之间的本质联系与区别, 重复内容不再赘述, 详见文献[3]。

本文在此基础上进一步进行了深化研究, 组合出了以下要素较全的目标发现概率模型, 由公式(1)-(8)组成。

文献[5]中, 在分析光学探测概率的蒂法尼(Tiffany)试验数据基础上, 目标被发现到的概率为:

$$P = 1 - 2^{-(C/C_t)^m} \quad (1)$$

常数 m 根据实验数据决定, 当取 $m = \sqrt{5}$ (指数曲线形状参数)时, 较接近实验数据^[4]。

C - 目标视在对比度; C_t - 目标阈值对比度。

2.4.2 目标视在对比度 C 计算模型

在文献[4]中, 视在对比度 C 计算如下:

$$C = C_0 \frac{1}{1 + SG(\tau - 1)} \quad (2)$$

其中: C_0 - 零距离时的目标固有对比度; SG - 天空-地面背景亮度比; τ - 大气透射率。

大气透射率 $\tau = e^{-\sigma R}$ 的计算方法是由大气消光系数 σ 和距离 R 决定。 σ 比较准确的描述是由光的辐射波长和能见度共同决定, 文献[6]给出计算公式为:

$$\sigma = C(\lambda)/V \quad (3)$$

常数 $C(\lambda)$ 与波长有关, 文献[6]给出了不同波长下 $C(\lambda)$ 变化的关系曲线图, 例如, 波长等于 0.5 微米(500 纳米, 在可见光谱的绿色部分)时, $C(\lambda) = 4.1$ 。

SG 的定义为: 天空-地面背景亮度比, Huschke R.E^[4]给出了利用地面背景反射率 r_b 、能见度 V 、太阳高度角 h 和观察俯仰函数 F_δ 来计算 SG 为:

$$SG = \frac{1}{3} [(SG)_{rb} + (SG)_h + (SG)_v] \times F_\delta \quad (4)$$

其中:

$$\begin{cases} (SG)_{rb} = \exp[-1.15 \ln(r_b) - 0.75] \\ (SG)_h = \exp[-3.4 \sin(h) + 2.7] \\ (SG)_v = \exp[-0.5 \ln(V) + 1.5] \end{cases} \quad (5)$$

观察俯仰函数 F_δ 仅随太阳高度角 h 而变化^[4]:

$$\begin{cases} F_\delta = 2, & h \leq 10^\circ \\ F_\delta = 1.5, & 10^\circ < h \leq 55^\circ \\ F_\delta = 1, & h > 55^\circ \end{cases} \quad (6)$$

2.4.3 目标阈值对比度 C_t 计算模型

目标阈值对比度 C_t 是指发现概率为 50% 所对应的人眼刚好能够将目标从其所处背景中区分出来所需的目标—背景阈值亮度对比度。

文献[5]中 C_t 由对目标的张角 α 和背景亮度 B 来确定, 在特定背景亮度下, 张角 α 的对数与相应的阈值对比度 C_t 的对数位于一条双曲线上, 双曲线的具体形状依赖于背景的亮度, 下面给出双曲线方程^[5]:

$$\lg(C_i) = \{\sqrt{(B\lg\alpha + C)^2 + 4A[(\lg\alpha)^2 - D\lg\alpha - E]} - (B\lg\alpha + C)\} / 2A \quad (7)$$

式中系数 A 、 B 、 C 、 D 、 E 按实验数据确定为：

$A=45.68751$ ， $B=94.23752$ ， $C=165.2692$ ， $D=254.8118$ ， $E=102.6167$ ，并对 C_i 作野战修正： $C'_i = kC_i$ ，式中 k 为修正系数。而阈值对比度 C_i 取决于观察者对目标的张角，计算张角的公式为^[5]：

$$\alpha = T\sqrt{S}/R \quad (8)$$

式中： T 为仪器的倍率，目视时取 1； S 为目标的视向截面积(单位为平方米)； R 为观察者到目标的距离(单位为 km)。

2.4.4 识别目标判断模型

在每次发现目标的瞬间，紧接着进行是否能识别目标的判断。在坦克识别目标模型中，识别主要有三个层次，第一是发现疑点，判断是否目标；第二是确认目标，判断敌我，第三辨别目标类型，描述特征。第一个层次识别，认为发现的都是目标；第二个层次识别敌我模型根据敌我识别装备的识别概率，采用蒙特卡洛法仿真；第三个层次识别模型，首先根据张角，详见公式(8)，判断是否满足识别所需分辨力要求，一般地，人眼在搜索处于一定背景中的目标或成像系统显示器上的目标像时，眼睛识别和认清目标 50% 概率时所需分辨力分别为 4.0 ± 0.8 、 6.4 ± 1.5 线对^[2]。

在满足分辨力要求条件下，能否识别目标也是一个随机事件，识别目标的概率与侦察设备性能、目标可视情况、目标状态、战场环境、观察者的技能和素质等相关的函数。

$$P = P_0 \times P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4 \times P_5 \times P_6 \times P_7 \quad (9)$$

式中： P 为识别概率(无量纲，0 - 1 之间的数)；

P_0 为侦察设备条件识别概率(由装备性能指标决定)。

P_1 为是否发现目标，如果发现 $P_1=1$ ，如果没有发现 $P_1=0$ 。

P_2 目标可视系数(与目标性质、面积、形状有关，无量纲)。

P_3 为距离影响因子，与观察距离和最大能见度限定值相关的函数。

P_4 目标状态系数，运动状态 $P_4=0.8$ ，静止状态 $P_4=0.5$ ；发射状态 $P_4=1$ 。

P_5 战场环境隐蔽系数(与植被、建筑物、烟幕、尘土等因素有关，无量纲)。

P_6 伪装系数(无量纲)，严密伪装 0.2，一般伪装 0.5，较差伪装 0.8，无伪装 1。

P_7 观察者的技能、素质(无量纲)。训练时间较多，技术水平较高，能力较强为 1；训练时间多，技术水平高，能力强为 0.8；训练时间、技术水平、能力一般 0.6；训练时间、技术水平、能力差 0.4；训练时间、技术水平、能力较差 0.2。

3 仿真试验及仿真结果

3.1 坦克对抗仿真试验

将坦克发现目标模型加入到坦克模型中，组成坦克对抗仿真系统，界面如图 4 所示。

以相同的某型坦克参数为输入条件，在不同植被(绿色植被、干枯植被)、不同的能见度条件下(15km、6km)，使用不同倍率的观察镜(1 倍、6 倍)进行仿真试验，在机动中观察搜索，发现目标后开始调炮、瞄准、测距、射击，确定命中部位和毁伤效果，最后以毁伤情况判断作为对抗结束的条件。



图 4 坦克单车对抗仿真系统界面

3.2 仿真结果示例

实验条件是：在 10×10 公里的平坦地形上，晴天(能见度为 $V=15\text{km}$)，绿色植被背景(背景反射率为 0.08)，观察军绿色坦克目标(目标反射率 0.05)，目标高 3.5 米，宽 2.37 米，太阳高度角 $h=45^\circ$ 条件下，坦克以 35 公里/小时的速度相向而行。

试验一：通过观察镜人眼进行观察(放大倍率为 1 倍)，对抗 1000 次试验的发现目标距离结果数据用 SPSS 软件统计，试验可知坦克对目标的平均发现距离为 2130 米，样本均方差为 484 米。

试验二：在试验一基础上，将大气能见度降为 6 千米时，试验 1000 次，发现距离明显降低，平均发现目标距离为 1406.4 米，发现距离在区间(800, 1800)之间的概率为 92%。

试验三：坦克对抗中，坦克车长、炮长均可能切换高倍和低倍的观瞄镜进行目标观察，例如采用 6 倍率的观瞄仪器时，其视场角会相应的变小为 8 度，搜索相同角度区域所需的时间会相应增加。试验假设：坦克只采用 1 倍和 6 倍观瞄镜，作战过程中使用 1 倍观察镜的概率为 2/3，使

用 6 倍观瞄镜的概率为 1/3, 使用 1 倍观察镜时的搜索周期为 30 秒, 使用 6 倍观察镜时的搜索周期为 180 秒。对抗试验 1000 次, 坦克对目标的平均发现距离为 4348.6 米, 发现目标的分布如图 5 所示。

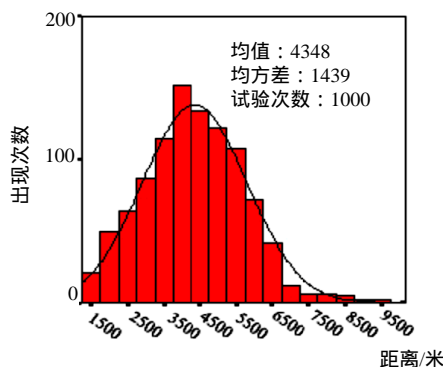


图 5 切换不同倍率情况下坦克发现目标距离分布图

限于篇幅, 其它不同能见度、不同植被、不同倍率、不同观察镜使用方式等条件下的试验数据不再一一罗列。

4 模型验证

4.1 与“人在环”实验数据相验证

通过“人在环”坦克模拟器对抗实验系统, 由车长、炮长、驾驶员操作红蓝两套坦克模拟器进行对抗, 实验条件与前面相同或相当进行实验。坦克型号相同, 在较平坦地形上, 相向而行进行对抗。例如: 在与试验一相似的情况下, 进行“人在环”模拟器进行 100 次, 发现目标的平均距离为: 2311 米, 均方差 550.73 米。相对来说, 与试验一平均发现距离为 2130.651 米, 均方差为 484.305 米, 两者实验数据相对较吻合。

4.2 资料数据验证

文献[8]中, 某次试验得到的反坦克武器发现并认清运动坦克的数字特征: 目视(1 倍)发现坦克的均值是 2900 米, 6~8 倍放大倍率时发现坦克的平均距离为 6920 米。对运动坦克的探测距离高于本模型试验得出的数据, 其原因一方面可能是本试验模型中的坦克目标借助了绿色植被的伪装, 降低了对比度, 从而使探测变得相对困难。另一方面, 可能是在观测实验中各种客观条件较好, 利于对目标的发现。

在文献[9]中, 在 2000 米距离上, 人眼目视对坦克和其他类型车辆难以区别, 用 4~6 倍仪器看到坦克的指挥塔和履带, 容易判定坦克类型。在 3000 米距离上, 目视能看见行驶的汽车, 用 4~6 倍仪器可辨别坦克和自行火炮。该数据在本模型计算出的发现目标距离范围内。

4.3 实地验证

为了更好的验证模型的可信性或可用性, 陈琪^[10]同志在北京对高速公路上的汽车进行连续 30 多天的观测实验。研究在不同天气条件(能见度分别为 3、8、11、20、25、30 公里), 使用不同放大倍率(1 倍、3 倍、6 倍)照相机、摄像机记录每天观测的结果。在 15 千米能见度的条件下, 目视情况下对静止车辆目标的发现距离在 2000 米附近, 对于运动着的目标, 其发现距离明显的增大。通过实地测量数据分析, 与模型计算出的结果相对一致。

5 结论

本文对影响坦克发现目标坦克观瞄系统的战术技术性能指标(侦察半径、侦察视场角、放大倍率等)、战场环境(地形通视、能见度等)、目标特性(目标性质、大小形状、观察距离、伪装、目标与背景反差、目标的状态等)、观察人员的主观因素(搜索的次数、对目标的观察时间、观察人员的技能水平等), 对坦克发现的主要过程进行研究并建立相对应坦克发现目标模型, 在坦克单车对抗仿真系统中分别进行了不同植被、不同能见度、不同倍率条件下的发现目标仿真试验, 并结合“人在环”坦克模拟器、资料数据以及实地观测对比的方法对模型进行了验证, 将其模型成果应用于坦克模型之中, 并在装甲装备仿真模型库、陆军师作战仿真系统中得到应用, 应用结果表明本文研究的坦克发现模型更加逼近真实作战过程中坦克的发现效果。因为模型的影响因素较多, 模型在各种情况下的可信性评价和验证较为困难, 模型的合理性和可信性还需进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 总参谋部兵种部. 坦克单车战术教材[M]. 北京: 解放军出版社, 1996, 6.
- [2] 白廷柱, 金伟其. 光电成像原理及技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006, 1.
- [3] 汤再江. 光学侦察发现概率模型研究, 09 全国仿真技术学术会议[J]. 计算机仿真, 2009, 9(S): 220-225.
- [4] 冯皓, 张军. 地面目标物可见光探测概率规律研究[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2003, 4(1): 93-98.
- [5] 倪忠仁. 地面防空作战模拟[M]. 北京: 解放军出版社, 2001, 1.
- [6] Paul G Fahlstrom, Thomas J Gleason. 无人机系统导论[M]. 吴汉平译. 第 2 版, 北京: 电子工业出版社, 2003, 9.
- [7] 周立伟, 刘玉岩. 目标探测与识别[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002, 12.
- [8] 张夷人. 军事运筹数据概论[M]. 北京: 军事科学出版社, 1987.
- [9] 王凤成, 朱秀航, 陈元熙. 坦克射击手册[K]. 北京: 解放军出版社, 1990, 1.
- [10] 陈琪. 坦克 CGF 中发现目标模型研究[D]. 北京: 装甲兵工程学院, 2009, 6.