doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.04.004

成爆弹量预测模型研究

肖旭青，周奕，黄伟，陈昌明
（第二炮兵指挥学院 作战指挥教研室，湖北 武汉 430012）

摘要：以概率论的相关知识为基础，针对打击目标性质、毁伤要求和导弹毁伤的特性，建立完成作战任务所需成爆弹量计算模型。分析单目标所需命中弹数计算模型和导弹单发命中概率计算模型，得出单目标成爆弹量计算式，并结合实例进行验证。结果表明，该方法能有效降低计算复杂度，具有较高的军事应用前景。

关键词：成爆弹量；预测模型；导弹
中图分类号：N945.13 **文献标识码**：A

Research on Model of Explosive Missile Number

XIAO Xu-qing, ZHOU Yi, HUANG Wei, CHEN Chang-ming
(Staff Room of Campaign-Command, Second Artillery Command College, Wuhan 430012, China)

Abstract: On the basis of probability knowledge, the paper establish the computing model of explosive missile number according to stricken target property, damage demand and damage characteristic of missile. By analysis of the computing model about hit missile number for destroy single-target and hit probability of single shot of missile, established the computing formula of explosive missile number for single-target and validate this formula by instance. The results indicate that the method can effectively reduce the computational-complexity so it has practical military application prospect.

Keywords: Explosive missile number; Forecast model; Missile

0 引言

导弹杀伤力大、技术密集、作战准备复杂，科学地预测成爆弹量是指挥机构确定导弹力量投入规模的重要依据。由于导弹通过火力毁伤目标完成作战任务，与打击目标的性质、目标毁伤要求和弹头毁伤特性密切相关。故成爆弹量计算模型建立的基本思路是：首先，按照毁伤要求计算出打击目标所需的命中弹数，然后计算打击目标的命中概率 p_h，根据命中概率计算出针对该目标所需的成爆弹量。

1 单目标所需命中弹数 m_{nd} 计算模型

毁伤要求以概率的形式反映，可描述为战斗部直接命中目标区域的条件下，对目标的条件毁伤概率。如果用 m 表示命中目标弹数，那么这个概率可表示为命中弹数 m 的函数 $G(m)$。其一般表达式为：

$$G(m) = 1 - \prod_{m=1}^{\infty} [1 - p(m)] \tag{1}$$

式中，$p(m)$ 为前面 m−1 发弹无毁伤条件下，第 m 发导弹的毁伤概率。

如果知道 $p(m)$，则按作战任务给定 $G(m)$ 后，用试凑法根据式 (1) 计算出所需命中弹数 m_{nd}。

$p(m)$ 的确定，应根据具体目标的易毁特性和弹头威力用终点效用学的方法加以分析，甚至采用仿真或实验方法取得，典型的有突变型、指数型、线型、正态型、反转正态型、二次指数型等，如表 1。

表 1 各种类型的条件毁伤概率 $p(m)$ 计算方法

	表达式	备注
突变型	$p(m)=\begin{cases}1, m=1\\0, m=0\end{cases}$	该类型表现的是命中即摧毁的毁伤特性，适用于核导弹打击点目标或常规导弹打击油库、弹药库目标等情况。
指数型	$p(m)=1-\exp(-k\dfrac{m}{\omega})$	ω 为击毁目标所需命中弹数的数学期望；k 为曲线的形状系数。
线型	$p(m)=\begin{cases}1, m\ge\omega\\km, 0<m<\omega\end{cases}$	k 为线性积累强度。该类型适用于导弹打击具有均匀“质量”面目标时的情况。
正态型	$p(m)=0.5\left[1-\dfrac{x}{\lvert x\rvert}\sqrt{1-\exp\left(-\dfrac{2x^2}{\pi}\right)}\right]$ $x=4(1-2m/\omega)$	该类型适用于导弹打击地面指挥通信设施、桥梁、库房等目标。
反转正态型	$p(m)=\dfrac{2m}{\omega}-0.5\left[1-\dfrac{x}{\lvert x\rvert}\sqrt{1-\exp\left(-\dfrac{2x^2}{\pi}\right)}\right]$	该类型适用于导弹打击具有相当防护力的目标，如机堡、野战工事、装甲车辆等。
二次指数型	$p(m)=\begin{cases}1, m>\omega\\\exp\left[-\dfrac{(\omega-m)^2}{km}\right], 0\le m\le\omega\end{cases}$	该类型适用于导弹打击具有可靠防护力的目标，如半地下指挥机构、坑道、洞库、航母等。

2 导弹单发命中概率 p_h 的计算模型

命中概率 p_h 取决于战斗部炸点或弹着点相对目标中心的偏差。该偏差是随机变量，一般认为服从正态分布规律。实际计算中，设定 2 个假设条件：

1) 弹着点满足圆形正态分布，即弹着点在 x、

收稿日期：2009-10-11；修回日期：2009-12-18
作者简介：肖旭青（1975-），男，湖南人，第二炮兵指挥学院讲师，武汉大学在读博士，从事通信与信息系统、指挥理论与军事运筹研究。

y 方向的标准偏差相等，即 $\sigma_x = \sigma_y$；

2) 弹着点的散布中心或平均弹着点相对目标中心（即瞄准点）的偏差等于零，即 $m_x = m_y = 0$。

另外，为简化起见，按目标的形状特性，将导弹打击的目标大致分为单个小幅员目标、圆形面目标和矩形面目标 3 种类型，对其命中概率分别计算。

2.1　单个小幅员目标的命中概率

当导弹毁伤半径或子母弹抛撒半径远大于单个小幅员目标，如图 1，此时导弹命中目标的概率为：

$$p_h(R) = \frac{1}{2\pi\sigma^2}\iint_D \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right)\mathrm{d}x\mathrm{d}y = \int_0^{R/\sigma} e^{-t^2/2} t\mathrm{d}t = 1 - e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}} \qquad (2)$$

若 R 等于圆公算偏差 CEP，即 $R = CEP = 1.177\,4\sigma$，计算导弹命中目标概率，得：$p_h(CEP) = 0.5$，与圆公算偏差的定义一致，由此验证了公式的正确性。

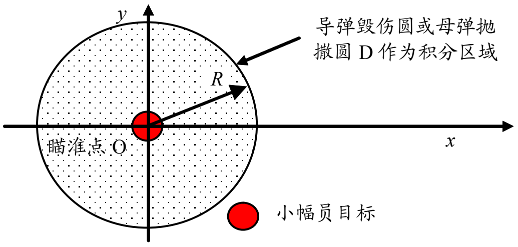

图 1　单个小幅员目标命中概率计算

2.2　圆形面目标的命中概率

当圆形目标面积较大，相对导弹毁伤面积不可忽视，此时积分区域半径是目标圆半径 R_m 和导弹毁伤半径圆半径 R_p 相加，如图 2。导弹命中概率为：

$$p_h(R) = 1 - e^{-\frac{(R_m+R_p)^2}{2\sigma^2}} \qquad (3)$$

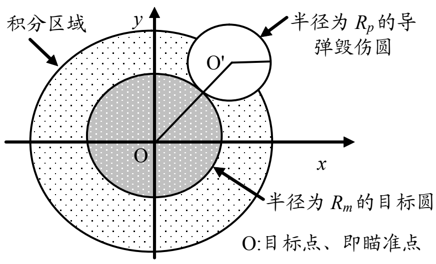

图 2　圆形面目标命中概率计算

2.3　矩形面目标的命中概率

同理，对于矩形面目标，积分区域应是边长为 L_x+R_p、L_y+R_p 的大矩形，如图 3。导弹命中概率为：

$$P\{x_1 < X \le x_2, y_1 < Y \le y_2\} = P\{x_1 < X \le x_2\}P\{y_1 < Y \le y_2\}$$

$$= \left[\Phi\left(\frac{L_x+R_p}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{-L_x-R_p}{\sigma}\right)\right]\left[\Phi\left(\frac{L_y+R_p}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{-L_y-R_p}{\sigma}\right)\right]$$

$$= \left[2\Phi\left(\frac{L_x+R_p}{\sigma}\right) - 1\right]\left[2\Phi\left(\frac{L_y+R_p}{\sigma}\right) - 1\right] \qquad (4)$$

$\Phi(x)$ 为概率积分或拉普拉斯函数，$\Phi(x) = \int_{-\infty}^{x} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2}\mathrm{d}t$，人们已经编制了 $\Phi(x)$ 函数表（具体表可在浙江大学出版的《概率论与数理统计》第 2 版中查找）。

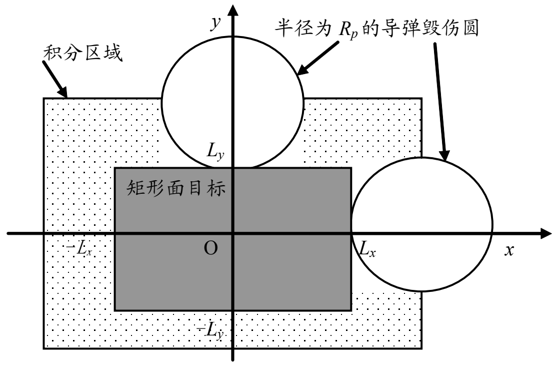

图 3　矩形面目标命中概率计算

3　单目标成爆弹量 W 预测

通过前面两步获得单目标所需命中弹数 m_{nd} 和命中概率 p_h 后，单目标成爆弹量 W 可计算如下：

$$W = m_{nd} / p_h \qquad (5)$$

必须看到：在 W 次成爆中，命中目标的次数 X 是一个随机变量，它服从参数为 W、p_h 的二项分布。那么，在 W 次成爆中，命中目标次数至少为 m_{nd} 的概率 $P_{\ge m_{nd}}$ 为：

$$P_{\ge m_{nd}} = P\{X \ge m_{nd}\} = \sum_{m=m_{nd}}^{W} C_W^m p_h^m (1-p_h)^{W-m} \qquad (6)$$

由于 $P_{\ge m_{nd}}$ 小于等于 1，因此，需修正式 (5) 为：

$$W = l m_{nd} / p_h\,, \qquad l > 1 \qquad (7)$$

式中：l 为修正系数。l 的取值方法为：根据式 (5) 获得初步的成爆弹量 W_1，将 W_1 代入式 (6) 得到 $P_{\ge m_{nd}}$，则 l 应在 $1/P_{\ge m_{nd}}$ 值的附近进行取值，取值范围可定义在[$1.2/P_{\ge m_{nd}}$, $1.5/P_{\ge m_{nd}}$]之间。当然，这个修正也可在最后计算导弹投入总量的时候考虑。

4　算例

给定的初始条件如下：根据作战意图，某型号导弹毁伤半径为 10 m，标准偏差 $\sigma = 50$ m，需打击半径 $R_m = 60$ m 的某“质量”均匀的圆形面目标，其毁伤要求 $G(m) = 0.8$。根据要求，$p(m)$ 采用指数型公式，其中参数 k=0.1。

（下转第 16 页）

2.6　VGA 显示

摄像头输入的模拟视频信号是按照黑白视频信号的规定采集视频信息，因此，转换后的数字视频流也是按奇偶场输出数字视频流，其中奇偶场各 312.5 行。场频 50 Hz，行频 15.625 kHz[2]，显然行频超出了 VGA 的行频显示范围。因此，需要将接收到的奇偶场视频信号转化为帧视频流信号，同时，也要根据视频解码器输出的行、场同步信号转换为符合 VGA 显示标准的行、场同步信号，才能通过 VGA 显示器正常显示视频图像。

由于中值滤波后的视频流分两路输出，一路用于目标检索，另一路用于 VGA 显示。两路之间数据没有冲突，不会对图像处理本身产生任何影响。因此，为了满足 VGA 显示系统的实时性要求，在系统原理图中增加了场转帧功能模块，此模块并未利用先将奇偶场数据存储，然后在合并转换为一帧视频数据输出，而是将奇偶场数据分别输出，每行数据输出 2 次，这样并不会影响观察效果。输入和输出的 VGA 时序仿真效果如图 5。

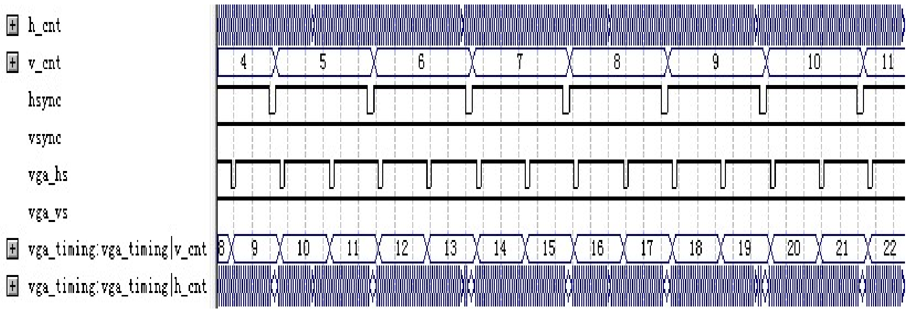

图 5　VGA 同步信号实现仿真图

3　结束语

系统采用按场处理、按帧显示的思想，既降低了处理的数据量和对存储空间的需求，又最大限度满足了系统的实时性。FPGA 执行视频图像采集、预处理、目标检测、只针对目标区域的图像数据进行存储、波门叠加，降低 DSP 的处理负荷。实验表明，该系统能实时高效地完成目标检测与跟踪任务。

参考文献：

[1] 李尊民. 电视图像自动跟踪的基本原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.

[2] Texas Instruments. TVP5146 Data Maunal[Z]. Literature Number: SPRU357C, 2007.

[3] 姚智刚, 付强. 基于 DSP 和 FPGA 的电视跟踪系统设计[J]. 电子工程师, 2006, 32(12): 40-42.

[4] 夏宇闻, 甘伟. Verilog HDL 入门[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.

[5] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. Digital Image Processing Second Edition[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.

****

（上接第 13 页）

则成爆弹量计算如下：

1) 计算所需命中弹数。根据式 (1)，用试凑法通过编程，可得所需命中弹数 $m_{nd}=4$。

2) 计算单发导弹命中概率。根据式 (3)，可计算出圆形面目标的命中概率 $p_h(R)=0.6247$。

3) 计算修正系数 l。根据式 (5)，大致估算 W_1=6.403 1，为导弹打击足够有效使 W_1=7。再根据式 (6) 可得 $P_{\geq m_{nd}}=0.7564$。则修正系数的大致范围为[1.59,1.98]，取 $l=1.7$。

4) 最后根据式 (7)，计算成爆弹量 W=1.885 2。也就是说大约需要成爆 11 枚某型号导弹，才能达到具体的毁伤要求。

5　结束语

考虑到现代战争作战节奏加快，模型的建立除了要保证准确性外，还必须具有实用性，其运算的复杂度不能过高。以概率论的相关知识为基础，根据目标毁伤特性、形状特性以及弹头威力，研究了导弹的毁伤概率，建立了单目标命中弹数计算模型和单发导弹命中概率模型，提出和分析了单目标成爆弹量的计算方法，有效降低了计算的复杂度。

参考文献：

[1] 陆军装备部. 终点弹道学原理[M]. 王维和, 李惠昌 译. 北京: 国防工业出版社, 1988.

[2] 张最良. 军事运筹学[M]. 北京: 军事科学出版社, 2000.

[3] 米特洛波尔斯基 AK. 正态分布[M]. 施步嘉, 译. 北京: 科学出版社, 1959.

[4] H.H.Germond. THE CIRCULAR COVERAGE FUNCTION [R]. PROJCET RAND RM-330, 1950.

[5] 盛聚. 概率论与数理统计第 2 版[M]. 北京: 高等教育出版社, 1993.