

面向防空的空袭目标流时间特性分析

高山, 李孝军, 陈杰生

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:为使防空兵力运用更具针对性和科学性,通过对不同突击模式空袭目标流定性及定量分析,运用巴尔姆流描述空袭目标流特性,建立了不同突击模式空袭目标流时间间隔分布模型。仿真应用表明该模型能为防空兵力运用决策提供定量分析依据,亦对空防对抗作战模拟仿真具有一定参考价值。

关键词:空袭目标流;时间特性;巴尔姆流

中图分类号: TJ762.1+3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2008)01-0041-05

防空作战中,空袭兵器进入防空火力区的到火时间间隔是一随机变量。防空方通常从最不利条件考虑,忽略目标流的后效性,将其看作泊松流进行兵力运用决策。但空袭方会根据不同打击策略,考虑作战效果对后续攻击的影响,分情况确定空袭兵器批次间隔。因此,防空方应据其不同突击模式建立更加准确的目标到火时间间隔分布模型。事件间隔时间服从负指数分布的泊松流以及服从其它分布形式的事件流都是巴尔姆流的特殊形式。基于此特性,巴尔姆流能描述不同时间特性的空袭目标流,可据此建立不同空袭突击模式的目标到火时间间隔分布模型。

1 空袭目标流模型分析

1.1 问题的提出

空袭过程是随机过程,一般用泊松流,即最简单流描述空袭目标流。空袭作战实际统计资料表明,最简单流描述空袭目标流有其局限性,只在某些空袭模式下适用。究其原因有:①最简单流无后效性,而通常情况下空袭目标流有一定的后效性;②最简单流有固定的参数,而一般情况下空袭目标流在单位时间内的事件数随时间而变化^[1];③随着高技术空袭作战中的运用,解决问题的精度要求越来越高。因此,我们可以试用更一般的流——巴尔姆流来描述空袭目标流。

1.2 巴尔姆流的定义

设某事件序列的时间间隔为 T_1, T_2, \dots, T_n , T 是随机变量且具有独立同分布 $f(t)$, $f(t)$ 往往不是负指数函数而是任意函数,这种事件序列流就是巴尔姆流。设在时间轴 ot 上分布着巴尔姆流,流的相邻事件的时间间隔 T 是连续随机变量,分布密度 $f(t) = F'(t)$ 。设有随机点 t^* 落在 T^* 间隔内,并将 T 分为 Q 和 R 两部分(如图1所示), $T^* \in (t, t+dt)$ 。根据随机变量 Q 和 R 的关系,可推导出巴尔姆流的各种特性^[1]。

1.3 巴尔姆流的性质

巴尔姆流是 k 阶爱尔朗流。其性质有

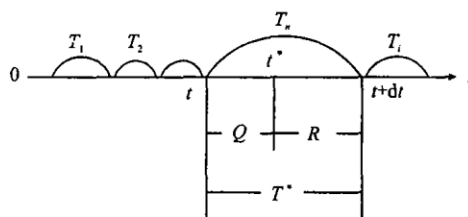


图1 连续随机变量

Fig.1 Continuous random variable

收稿日期:2007-05-08

作者简介:高山(1979-),男,河北保定人,博士生,主要从事重点地区防空决策研究。E-mail:gs-speed@163.com

1) k 阶爱尔朗流分布密度: $f(t) = f^{(k)}(t) = \lambda(\lambda t)^{k-1} e^{-\lambda t} / (k-1)! \quad (t > 0)$;

2) 标准 k 阶爱尔朗流。

在应用 k 阶爱尔朗流时,随着阶数 k 的增加,其计算复杂性也随之增加。因为 k 阶爱尔朗流的强度是最简单流强度的 $1/k$ 。为了使爱尔朗流的强度不随 k 的增大而减少,把爱尔朗流缩小 k 倍,这种流称之为标准 k 阶爱尔朗流。这样

$$\bar{T}^{(k)} \approx \frac{T^{(k)}}{k} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k T_i \quad (1)$$

由式(1)可知,可以用 n 阶广义爱尔朗分布模拟任意分布密度函数的非负随机变量,且能保证足够的精度,因此可以模拟巴尔姆流。随着 k 的增大, T 将有如下变化:

随着 k 的增大,趋近于正态分布,因为

$$\bar{T}^{(k)} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k T_i \quad (2)$$

根据中心极限定理,随着 k 的增大,同分布随机变量之和越接近正态分布,因为

$$E(\bar{T}^{(k)}) = \frac{1}{\lambda} \quad (3) \quad \sigma(\bar{T}^{(k)}) = \sqrt{\frac{1}{k\lambda^2}} = \frac{1}{\lambda\sqrt{k}} \quad (4)$$

由数学期望和均方差公式可知,前者与 k 无关,后者随着 k 的增大而减小。

随着 k 的增大, $\sigma(\bar{T}^{(k)}) \rightarrow 0$, 即间隔的随机性越来越小,最后趋向于调整流(等间隔流)。

因此,用标准爱尔朗流模拟巴尔姆流并反映着不同的后效性。当 $k=1$ 时,为最简单流,即最简单流是巴尔姆流的特例;当 k 由 10-20 时,巴尔姆流趋向正态分布;当 $k \rightarrow \infty$ 时,巴尔姆流成为等间隔流。

2 典型突击模式的空袭目标流特性

不同需求的空袭采取的突击模式不同,但目前空袭编队是一个通用的形式,只是取典型模式全部或局部,在结构上进行变异。典型的突击模式有集中突击、连续突击、随机突击和同时突击等。通过对目标流的分析,可将空袭目标流看作巴尔姆流,空袭编队的间隔时间随着空袭突击模式的不同采用不同的分布模型。

2.1 集中突击模式空袭目标流特性

集中突击,即空袭方使用较多的兵力,在短时间内对地(水)面单个目标或目标群实施密集的空袭。特点是目标集中,时间集中,兵力、火力集中。此模式,为达成打击的突然性和饱和攻击的效果,空袭方会基于己方信息系统能力,综合多方面情报确定攻击编队或发射空袭武器的间隔时间,力求间隔时间尽可能短。空袭平台从防区外和视线外,在预警机的指挥引导下,于统一的时间段内,从一个或几个方向,向防空体系所保卫的目标发射大量的空袭武器。在较短的时间段内,集中使用大量导弹以极短的时间间隔近似等速率向既定打击目标发射。此种条件下,可认为空袭武器到达防空火力区间隔时间服从均匀分布:

$$f(t) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & a < t < b \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (5)$$

为进一步验证结论的正确性,下面分析了一组巡航导弹突击防空阵地的数据^[2]。表 1 中第 1 行第 2 列中的“1”表示前两枚巡航导弹的时间间隔,第 1 行第 3 列中的“2”表示第 2、3 枚反导弹的时间间隔,其余依此类推。

表 1 导弹流时间间隔数据

Tab. 1 Interval time of missile - flow

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
时间间隔	1.6	2.2	0.2	1	1.6	0.8	1.4	0.2	1	1.6	0.8	1.4	0.2	1	1.6	0.8	1.4	0.2	1

本例前后导弹的平均间隔时间为 1.1 s, 方差为 0.32, 显然与泊松分布的数学期望和方差相等这一特征相差甚远,而且从第 3 枚开始,巡航导弹的进入时间具有很强的规律性,这与泊松分布的条件不符,但非常接近在区间 $[0.2, 2.2]$ 内均匀分布的数字特征(数学期望为 1.2, 方差为 0.33)。因此,将此种突击模式下巡航

导弹的进入间隔时间近似为均匀分布是基本可信的。进行作战仿真时间间隔时间可采用式(6)模拟:

$$t_{JC} = a + (b - a)x \quad (6)$$

式中: a 、 b 分别表示间隔时间的下限和上限; x 为0-1均匀分布随机数。

2.2 连续突击模式空袭目标流特性

连续突击,即空袭方组织多批兵力按一定的时间间隔,对选定的地(水)面目标进行不间断空中突击。连续突击模式作战持续时间长,整个突击过程中出动编队总量较大,空袭编队进入目标间隔时间有后效性,并受多种误差影响^[3]。空袭方做ATO时所计划的飞机到达突击目标预定时刻由式(7)确定:

$$T_y = T_l + t_y \quad (7)$$

式中: T_y 为飞机预达某一预定点的时刻; T_l 为飞机离开基地的时刻; t_y 为预计飞抵突击目标的时间。其中 t_y 要受领航误差等多种因素的影响,这就决定了飞机预达时刻 T_y 是一个在某个范围内的随机变量,从而也影响了飞机批次时间间隔的取值。综合考虑以上因素,根据概率论中大数定理可知,此种条件下空袭编队间隔时间可认为服从对数正态分布:

$$f(t) = \begin{cases} \frac{1}{t \sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}}, & t > 0; \\ 0, & t \leq 0 \end{cases} \quad (8)$$

进行作战仿真时间间隔时间可采用式(9)模拟^[4]:

$$\begin{cases} t_{JC} = \exp \left\{ M_1 + E_1 \sqrt{\frac{-\ln x_1}{0.227468}} \cos(2\pi x_2) \right\} \\ M_1 = \ln \left[\frac{M^2}{(2.198E^2 + M^2)^{1/2}} \right] \\ E_1 = 0.67449 \sqrt{\ln \left(\frac{2.198E^2 + M^2}{M^2} \right)} \end{cases} \quad (9)$$

式中: M 、 E 分别为相邻机或小编队到达间隔时间的数学期望和概率偏差; x_1 、 x_2 为0-1均匀分布随机数。根据训练的经验, M 可取180 s, E 取30 s。

2.3 随机突击模式空袭目标流特性

随机突击,即航空兵以小编队在一定空域内的游猎活动中,伺机对临时发现的敌地(水)面目标进行的空中突击^[5-6]。该模式是空袭兵器到达防空区最不规则的情况,此时平稳泊松流可以较好地反应该过程特性。对于泊松流,在某给定时间间隔 τ 内发生 k 次事件的概率由式(10)给出:

$$p(k) = \frac{\alpha^k}{k!} e^{-\alpha} \quad (10)$$

式中: α 是在时间间隔 τ 内平均事件数; λ 表示单位时间的平均事件数,称之为事件流密度。当 λ 为常数时,事件流称为平稳的泊松流,又称为最简单流。这种情况下在时间间隔 τ 内所发生的平均事件数 α 与时间间隔 τ 的长短成比例,即 $\alpha = \lambda\tau$ 。由前面对随机突击模式的过程分析可知,在防空火力单位某一战备值班周期内,空袭方进行突击的次数与该周期长短成比例。并且对于随机突击模式,可忽略空袭行动的后效影响。故此种突击模式可用最简单流描述。又由概率论有关定理可知,最简单流任意两个事件发生的事件间隔服从负指数分布:

$$f(t) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda t} & t > 0 \\ 0 & t \leq 0 \end{cases} \quad (11)$$

通过以上分析,可以认为此种突击模式下空袭编队到达防空区间隔时间服从负指数分布。进行作战仿真时间间隔时间可采用式(12)模拟:

$$t_{JC} = -\frac{1}{\lambda} \ln x \quad (12)$$

式中: λ 为到达率,即单位时间内目标到达的数量; $1/\lambda$ 为目标到达的平均间隔时间。

2.4 同时突击模式空袭目标流特性

站在防空角度从保卫单目标考虑,同时突击模式可认为是上述几种模式的综合运用。该情况下分析空袭目标流的特性考虑因素较多,涉及到各保卫目标之间的关联性和各空袭编队之间的影响^[7]。在防空方掌

握空袭目标流信息较少时,可以直接用埃尔朗分布反映空袭目标流间隔时间分布情况^[8-9]。

2.5 到火时刻预测

基于以上到火的间隔时间,可进一步计算各单机和小编队进入防空火力区到火时刻^[10]为

$$T_{JR(i)} = T_{JR(i-1)} + t_{JC} \quad (13)$$

式中, $T_{JR(i)}$ 为第*i*个单机或编队进入防空区的时刻。

3 仿真应用

运用上述模型(5)-(13)模拟产生空袭目标到火时间间隔数据如表2。由表2可看出,集中突击模式空袭兵器到火最大时间间隔56.36 s,最小时间间隔20.0 s,模型能较好反映空袭突击的集中性;连续突击模式空袭兵器到火最大时间间隔4.33 min,同主流防空兵器射击周期具有可比性;随机突击模式空袭兵器到火最小时间间隔0.19 h,最大时间间隔趋近于无穷大,表示两个攻击波次不在一个作战日,反映此模式随机性强的特点。参数可视情设定,供防空作战仿真模拟空袭目标流使用。

表2 目标流间隔时间仿真数据
Tab.2 Interval time simulation data of target - flow

模式	时间间隔/s										
	Δt_1	Δt_2	Δt_3	Δt_4	Δt_5	Δt_6	Δt_7	Δt_8	Δt_9	Δt_{10}	
集中突击		52.72	35.55	20.00	49.09	41.81	34.55	52.72	52.72	20.10	39.39
	$a=20$	49.09	20.00	30.90	56.36	45.57	27.27	23.63	20.80	29.33	45.45
	$b=60$	27.72	23.63	52.72	20.79	20.70	21.99	38.18	45.45	49.09	38.18
		41.18	38.18	27.27	20.00	20.10	27.27	34.55	38.29	49.10	49.09
		41.19	20.76	27.67	41.81	49.09	38.18	27.27	56.36	42.81	30.90
连续突击		4.07	4.31	3.32	2.62	3.24	2.39	1.97	3.19	2.85	2.66
	$M=3$	3.05	2.82	2.72	2.50	1.86	3.07	2.03	3.01	2.90	2.37
	$E=0.5$	2.85	3.29	3.78	2.64	2.37	2.70	0.00	3.72	4.33	2.69
		2.78	2.67	3.06	3.81	1.79	2.44	3.19	2.45	2.82	2.12
		3.33	0.00	3.47	2.77	4.09	3.29	1.73	2.97	1.92	3.60
随机突击		2.02	1.57	3.41	2.02	3.40	4.99	-	1.21	0.64	0.19
	$\lambda=0.5$	4.79	0.19	2.60	0.41	3.40	0.40	0.40	5.12	2.59	3.21
		3.41	-	0.40	-	0.19	2.59	0.19	-	4.80	2.02
	0.63	1.58	0.19	0.71	2.01	0.40	0.90	0.19	0.40	4.86	0.19
		0.40	1.57	0.90	0.19	1.21	0.47	5.00	2.59	0.70	

4 结束语

空袭兵器编队(包括导弹和飞机)进入防空火力的间隔时间是一个随机变量,实战中应根据不同情况灵活判断其特征。本文内容根据现代典型空袭模式分别提出了空袭目标流的时间分布模型,使防空部署决策时更具针对性,同时,还可为空防对抗作战模拟仿真提供一定参考。

参考文献:

- [1] 李夏苗,陆凤山. 巴尔姆流的模拟与应用[J]. 交通运输工程学报,2003,2(1):88-91.
LI Xiamiao, LU Fengshan. Approximation of flow - Palm and Application[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2003, 2(1): 88-91. (in Chinese)
- [2] 唐瑞栋. 反舰导弹入射流的数字特征研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2004, 18(6): 32-35.
TANG Ruidong. Research on Parameter Character of Anti - Warship Missile[J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 2004, 18(6): 32-35. (in Chinese)
- [3] RAND. Dire Strart? [R]MR-1217, Calif: RAND, 2000.
- [4] 崔晓宝. 航空兵作战模拟概论[M]. 北京: 蓝天出版社, 2001.

- CUI Xiaobao. Introduction Aviation Force Battle Simulation[M]. Beijing: Lan Tian Press, 2001. (in Chinese)
- [5] (俄) 萨布林. 侦察 - 打击一体化系统和雷达对地观测系统[M]. 吴飞, 译. 北京: 国防工业出版社, 2005.
Sabulin. Reconnaissance - attack System and Radar Surveillance to Ground System[M]. WU Fei, Translate. Beijing: National Defense Industry Press, 2005. (in Chinese)
- [6] 武文军. 美军空袭作战研究[M]. 北京: 军事科学出版社, 2005.
WU Wenjun. Research on US Raid [M]. Beijing: Military Science Press, 2005. (in Chinese)
- [7] Mahnken, Thomas G. The American Way of War in the Twenty - First Century [J]. Review of International Affairs, 2003, 3 (2): 97 - 103.
- [8] 陈治亚. 巴尔姆流在交通运输中的应用[J]. 铁道学院学报, 2000, 18(4): 26 - 33.
CHEN Zhiya. Application of Palm Flow in Transportation[J]. Journal of Changsha Railway University, 2000, 18(4): 26 - 33. (in Chinese)
- [9] Darilek R, Perry W, Bracken J, et al. Ni - chiporuk, Measures of Effectiveness for the Information - Age Army[R]. MK - 1155 - A Santa Monica, Calif: RAND Corporation, 2001.
- [10] 王剑飞. 美军航母战斗群空袭火力及其效能分析[J]. 火力指挥与控制, 2006, 31(6): 23 - 30.
WANG Jianfei. Analysis on Effectiveness of Airforce Firepower of US Carrier Battle Group[J]. Fire Control and Command Control, 2006, 31(6): 23 - 30. (in Chinese)

(编辑: 田新华)

The Analysis of Time Characteristic of Air - raid Target Stream for Air - defence

GAO Shan, LI Xiao - jun, CHEN Jie - sheng

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China)

Abstract: On the basis of analysing the characteristic of Air - raid target stream, a conclusion is reached that the Air - raid stream can be taken as flow - Palm in research. For the different air - raid modes, relevant models about the interval distributing of air - raid formation are introduced. That provides the basis for quantitative analysis of the air defence deployment and simulation.

Key words: air - raid target stream; time characteristic; flow - Palm

(上接第 32 页)

A New Method of Increasing the Versatility of the Graphical Electromagnetic Computation

ZHANG Jun¹, JU Zhi - qin¹, WANG Xiao - li², CUI Jing¹

(1. The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China; 2. Radar and Electric Antagonize Department, Air Force Equipment Research Institute, Beijing 100086, China)

Abstract: A new method of increasing the versatility of the Graphical Computing Method is presented. The disadvantage of changing the size of the viewing volume according to the size of the targets is overcome, the aim that the targets can be shown in the view port absolutely and divided as small as possible is realized, and the versatility of the software is improved. The computation result by using the method presented in this thesis is consistent with the result in the literature, which shows that the method presented in this thesis is feasible.

Key words: graphical electromagnetic computing; physical optics; equivalent current method; normalization