

用随机模型改进作战效能分析的纯概率模型

韩松臣

(南京航空航天大学民航学院, 南京, 210016)

IMPROVEMENT ON PURE PROBABILITY MODEL

FOR COMBAT EFFECTIVENESS ANALYSIS BY STOCHASTIC MODEL

Han Songchen

(Civil Aviation College, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing, 210016)

摘要 无论对战斗机还是对武器系统,沿任意一条航迹试图突破防区目标的生存概率或伤亡概率都是重要的效能指标。利用随机服务系统理论改进了这些效能指标的计算模型,改进后效能指标计算的准确程度显著地提高了。

关键词 效能分析 随机服务系统理论 随机模型

中图分类号 E917, TJ761.1

Abstract The survival probability or the casualty probability of targets that attempt to penetrate the defended area along any flight path is an important effectiveness index whether to the battleplanes or to the weapon systems. This paper improved the computation model for this effectiveness by a stochastic service system theory. Under the influence of this improvement the exactness of computation of the effectiveness index is advanced obviously.

Key words effectiveness analysis, stochastic service system theory, stochastic model

无论对战斗机还是对武器系统,沿任意一条航迹试图突破防区目标的生存概率和伤亡概率都是一类重要的效能指标。由于影响这类效能指标的因素较多,多年来研究人员普遍采用 Monte-Carlo 方法分析这类效能指标。然而 Monte-Carlo 方法耗时长,不便于实时作战应用;同时该方法尚有参变量与效能指标间关系不能直接用解析模型表达等缺陷,也限制了该方法的应用。相关领域的研究人员一直在寻找分析计算这类效能指标的解析方法。

1 纯概率分析方法

T. J. Horrigan^[1]用概率分析的方法,给出了目标按任一航迹通过防御体系的生存概率和伤亡概率。这是到目前为止能够看到的较为完整的解析分析方法。为了本文讨论问题方便,化简武器可靠性等因素对效能指标的影响,纯概率分析模型可以表达为

$$S_i(x, z) = \begin{cases} 1 - A(x, z) & i = 0 \\ 0 & 0 < i < I_{\max} \\ A(x, z) [1 - D(x, z)]^{I_{\max}} & i = I_{\max} \\ 0 & i > I_{\max} \end{cases} \quad (1)$$

模型中 $A(x, z)$ 和 $D(x, z)$ 分别为在航迹 x 上武器系统对空袭目标的发现概率和对目标的单发杀伤概率,其中: z 为武器系统的横向位置坐标; x 为航迹的横向位置坐标; $S_i(x, z)$ 为在这种作战布局条件下,空袭目标受到 i 发导弹射击且生存的概率; I_{\max} 是武器系统能在该航迹上对目标进行射击的最大次数。在此基础上,利用全概率公式可以递推出有 n 个空袭目标时生存目标数为 k 事件的概率 $P_r\{D_n = k\}$ 。

由于使用单纯的概率分析方法的局限,文献[1]只能在“一个火力单元在对一个空袭目标的射击过程中没有其它空袭目标出现在该火力单元杀伤区内”这样一个较为苛刻的假设条件下进行讨论。然而,武器系统的作战效能是在具体作战环境下的作战效能,研究一个入侵目标在作战中的生存或伤亡概率不应当把该目标与其他目标、战争环境割裂开。文献[1]的假定“一个火力单元在对一个空袭目标的射击过程中没有其它空袭目标出现在该火力单元的杀伤区内”,显然有其局限性,如此计算出的武器系统作战效能显然也是不准确的、不实际的。由于无法确定出武器系统火力单元的占用情况,单纯的概率分析方法陷入脱离对抗态势进行作战效能分析的误区是不可避免。

利用随机服务系统理论,可以修正由纯概率分析方法得出的结论。

2 随机模型

由对抗模式分析^[2]知道, 武器系统的作战效能不仅与武器系统本身的一些特性如射程、平均射击时间、火力通道的数量有关, 还与空袭目标的一些特性如目标种类、航迹、目标进袭强度、目标编队形式等有关。对有 n 个射击强度分别为 $L_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 的火力通道的武器系统, 射击入侵目标强度为 $K = K_m$ 、逗留强度为 M 的目标群时 (m 为每个编队的目标数, K 为编队入侵强度), 利用随机服务系统理论^[3,4]可以导出 $n > m$ 时武器系统火力杀伤区上空有数量为 $i (i \leq n)$ 个目标的概率 $P_i (i > n$ 时为 n 个火力单元全部占用, 同时还有 $i - n$ 个目标处在火力杀伤区内的概率) 的数学模型^[2]

$$\left. \begin{aligned} & - KP_0 + L_1 P_1 = 0 \\ & - \left(K + \sum_{i=1}^k L_i \right) P_k + \sum_{i=1}^{k+1} L_i P_{k+1} = 0 \\ & \quad k = 1, 2, \dots, m - 1 \\ & KP_{k-m} - \left(K + \sum_{i=1}^k L_i \right) P_k + \\ & \quad \sum_{i=1}^{k+1} L_i P_{k+1} = 0 \\ & \quad k = m, m + 1, \dots, n - 1 \\ & KP_{n-m} - \left(K + \sum_{i=1}^n L_i \right) P_n + \\ & \quad \left(\sum_{i=1}^n L_i + M \right) P_{n+1} = 0 \\ & KP_{n+s-m} - \left(K + \sum_{i=1}^n L_i + sM \right) P_{n+s} + \\ & \quad \left[\sum_{i=1}^n L_i + (s+1)M \right] P_{n+s+1} = 0 \\ & \quad s = 1, 2, \dots \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

同理还可以得出 $n = m$ 和 $n < m$ 时的计算模型。由这些模型可以计算出目标到达防区即受到射击的概率 P_{sn} , 和目标在防区内未受到射击而流失的概率 P_l

$$P_{sn} = \sum_{i=0}^{n-1} P_i, P_l = \frac{M}{K_m} \sum_{i=1}^{\infty} iP_{n+i}.$$

3 模型的改进

现在重新讨论目标在作战中的生存概率。可以确定当 $i = 0$ 时, 即出现目标通过武器系统的火力杀伤区未受射击而突防的事件有两种可能:

一种是目标未被搜索雷达发现; 另外一种可能即目标到达武器系统火力区时, 已有 n 个目标处在火力区中, 武器系统因处于饱和和工作状态而无法再对该目标进行火力分配。因此, 这种情况的概率是

$$1 - A(x, z) + \frac{M}{K_m} A(x, z) \sum_{i=1}^{\infty} iP_{n+i}$$

当 $i < I_{max}$ 时, 出现使用比 I_{max} 少的弹数射击该目标且目标生存的事件, 只能是在武器系统处于饱和和工作状态条件下, 对完成前一次射击的火力单元再分配, 且对再次分配的目标最多只能进行 $i (i < I_{max})$ 次射击的情况。这种情况下的目标生存概率是

$$A(x, z) \left[\left[1 - \sum_{i=0}^{n-1} P_i - \frac{M}{K_m} \sum_{i=1}^{\infty} iP_{n+i} \right] / I_{max} \right] \delta \\ [1 - D(x, z)]^i$$

第 3 种即刚好使用了 I_{max} 枚导弹目标生存的事件, 只能出现在目标进入火力区时, 有空闲火力单元可以对该目标进行 I_{max} 次射击的情况。这种情况下的目标生存概率是

$$A(x, z) \sum_{i=1}^{n-1} P_i [1 - D(x, z)]^{I_{max}}$$

第 4 种情况即使用了多于 I_{max} 枚导弹的情况在“射-看-射”火力原则下出现这种情况的可能性显然为零。

于是得出改进后的目标通过火力单元杀伤区生存概率的计算模型为

$$S_i(x, z) = \begin{cases} 1 - A(x, z) + \frac{M}{K_m} A(x, z) \sum_{i=1}^{\infty} iP_{n+i} & i = 0 \\ A(x, z) \left[\left[1 - \sum_{i=0}^{n-1} P_i - \frac{M}{K_m} \sum_{i=1}^{\infty} iP_{n+i} \right] / I_{max} \right] \delta \\ \quad [1 - D(x, z)]^i & 0 < i < I_{max} \\ A(x, z) \left(\sum_{i=0}^{n-1} P_i \right) [1 - D(x, z)]^{I_{max}} & i = I_{max} \\ 0 & i > I_{max} \end{cases} \quad (3)$$

4 算例

假设武器系统有 2 个火力单元, 它们的射击强度都是每分钟 2 架, 导弹的单发杀伤概率为 0.7, 武器系统发现目标的概率为 0.9; 有 8 个目标分别以每分钟 2 架和每分钟 0.2 架的强度飞越防区, 目标在防区内的逗留时间为 0.625min。分别用改进前后的 2 种不同模型进行计算, 计算结

果见表1。

表1 改进前后两种不同模型计算结果

K	model	P_{sn}	P_i	S_0	S_1	S_2
K=0.2	改进前	1.0000	0.0000	0.1000	0.0000	0.0810
	改进后	0.9953	0.0014	0.1013	0.0005	0.0806
K=2	改进前	1.0000	0.0000	0.1000	0.0000	0.0810
	改进后	0.7294	0.0941	0.1847	0.0238	0.0591

比较表1中的计算结果发现,当目标强度较大时($K=2$)由修正后的模型与原模型计算出的数据结果相差很大;但在目标强度很少时($K=0.2$)两者的数据结果相近。若目标强度进一步减小,使得 $P_0 \rightarrow 1$, $P_i \rightarrow 0$, ($i=1, \dots, \infty$),两种模型将给出相同的答案。因此,可以说原模型只是改进后模型在目标强度很小条件下的一个特例。

5 结论

用纯概率分析作战效能的方法,无法顾及目标强度这一攻防对抗过程的重要特征。而分析一个武器系统或防御体系的作战效能,必须把它们置于特定的攻防对抗环境中去,武器系统的作战

效能只能是特定环境下的效能。本文利用随机服务系统理论改进后的作战效能计算模型合理地解决了这个问题。新模型弥补了原模型的缺陷,对提高计算准确性的影响是显而易见的。

参考文献

- 1 Horrigan T J. Configuration and effectiveness of air defense systems in simplified, idealized combat situations-preliminary examination. Office of Naval Technology Office of the Chief of Naval Research. 1990. 6
- 2 韩松臣. 防空导弹武器系统作战有效性分析: [学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 1997
- 3 徐光辉. 随机服务系统理论(第二版). 北京: 科学出版社, 1988. 1~274
- 4 陆凤山. 排队论及其应用. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1984. 113~274



韩松臣 男, 1964年生。1987年毕业于哈尔滨船舶工程学院导弹自动控制专业, 而后在哈尔滨工业大学获得工学硕士、博士学位。现在南京航空航天大学航空与宇航技术博士后流动站从事民航空中交通管理决策理论与武器系统效能分析研究。

第五届通讯导航技术学术交流会在深圳召开

中国航空学会第五届航空通讯导航技术学术交流会暨电子分会通讯导航专业委员会工作会议于1998年11月15~19日在深圳市召开。来自航空、航天、民航、部队等系统的院校、研究所和工厂的专家、学者共43人出席了会议。出席会议的领导有电子分会通讯导航专业委员会挂靠单位中航总第615研究所所长吴铭望研究员, 副所长兼总工程师、电子分会副主任聂万福研究员, 科技委主任张宏诚研究员, 中航总科技委副秘书长潘绪武研究员, 上海市航空学会理事长薛德馨高工, 空军上海军代表局局长林朝明同志等。

会议共收到论文55篇, 编印了论文集。其中34篇论文在大会上交流。本届论文题材广泛, 涉及通讯、导航、综合航空电子、空管、信息战等高新技术领域, 技术含量比以往有较大提高。

会上, 电子分会副主任聂万福研究员代表电子分会宣布了以张宏诚研究员为主任的新一届电子分会通讯导航专业委员会组成人员名单, 并颁发了聘书。

经优秀论文评审组评审, 评出优秀论文集6篇。会议期间, 召开了通讯导航专业委员会全体委员会议, 会议决定下届交流会于2000年在海口市召开。主题为: 1 通讯导航系统技术; 2 交通管制网络通信系统技术; 3 综合信息传输和应用技术; 4 航空电子系统综合技术; 5 通讯导航体制研究; 6 通讯导航设施可维修性研究; 7 软件无线电; 8 新航行系统。

会议期间组织全体代表参观了'98珠海国际航空航天博览会。

(李铁柏)