

基于随机兰彻斯特理论的舰载机空战效能分析

冯百胜,周晓光,林亚军

(海军航空兵学院,辽宁 葫芦岛 125001)

摘要:针对舰载战斗机空战作战过程建模复杂,作战效能评估困难的现状,论文提出了一种基于随机兰彻斯特作战理论的舰载机空战作战效能评估方法。首先对空战模拟的现状和随机兰彻斯特作战理论进行了介绍,分析了舰载战斗机空战效能分析存在的问题。其次,构建了基于随机兰彻斯特方程的舰载机空战系统模型,对舰载战斗机空战系统的状态转移进行了详细描述,构建了舰载机空战系统的演化方程,给出了舰载机空战系统演化方程求解方法。最后应用实例验证了模型的有效性。仿真结果表明,提升舰载战斗机武器系统的毁伤目标能力,对于提升舰载战斗机作战效能具有重要意义。

关键词:随机兰彻斯特作战理论;舰载战斗机;空战效能

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)02-0218-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.02.056

Study of Air Combat Efficiency of Carrier-borne Fighter Based on Stochastic Lanchester Battle Theory

FENG Bai-sheng, ZHOU Xiao-guang, LIN Ya-jun

(Navy Flight Academy, Huludao 125001, China)

Abstract: Facing the complexity of carrier-borne fighter operational processing modeling and the difficulty of operational effectiveness evaluation, it studies the air combat efficiency of carrier-borne fighter based on stochastic lanchester battle theory. Firstly the stochastic lanchester battle theory is introduced. Secondly, the air fight system model based on stochastic lanchester equation is present, and the states of engagement system are defined, and the evolution equations are put forward. Corresponding examples are given to verify the model proposed. The simulation results showed that improvement of kill capability of airborne firepower system is the key factor of the acquiring campaign superiority.

Key words: stochastic lanchester battle theory; carrier-borne fighter; air combat efficiency

0 引言

航母的试航及其作战使用,将进一步健全我海上作战体系,为我海军履行战略使命提供重要保障^[1,2]。舰载机作为航母的核心打击力量,其作战效能直接影响航母编队作战体系的效能。对航母舰载战斗机作战进行建模仿真,分析影响其作战效能的关键因素,对于舰载机作战使用和构建航母编队作战体系具有重要意义。

兰彻斯特作战理论是一种定量研究作战过程的经典方法,它用数学方法描述战场的态势,成为广泛运用于研究战争和分析战争的定量工具^[3,4]。文献[5~8]采用基于经典兰彻斯特方程对空战问题进行了研究,取得了一定的研究成果。随机兰彻斯特作战方程是对

经典兰彻斯特作战方程的拓展,可以描述作战进程的偶然性和随机性方面,更加适合对作战进程进行模拟。

文中采用随机兰彻斯特作战模型对舰载战斗机作战效能进行了分析,其研究结果可为舰载战斗机装备论证和作战运用提供理论指导。

1 随机兰彻斯特作战理论

德国著名军事理论家克劳塞维茨说过:“战争是充满偶然性的领域。”战场上毁伤的出现是随机的^[9]。假定同兵种交战时双方的毁伤率系数是确定的,而将双方在战场上尚存的战斗单位数作为离散的随机变量,并用平稳马尔可夫过程来描述战斗过程中毁伤的出现情况。再假设在无穷小的时间间隔内双方同时出现毁伤的概率和一方出现毁伤两个及两个以上战斗单位的概率均忽略不计^[10]。记:

$P(m, n, t)$: t 时刻蓝、红双方分别生存 m 、 n 个战斗单位的概率;

收稿日期:2012-05-26;修回日期:2012-08-28

基金项目:国家“863”高技术发展计划项目(2011AAXX108)

作者简介:冯百胜(1972-),男,吉林延吉人,硕士,研究方向为军事仿真技术、军事作战指挥。

$A\Delta t$: 在 $(t, t + \Delta t)$ 时间间隔内红方出现一个毁伤的概率;

$B\Delta t$: 在 $(t, t + \Delta t)$ 时间间隔内蓝方出现一个毁伤的概率;

经过简单的推导可得下列状态转移概率所适合的微分方程:

$$\begin{cases} \frac{dP(m, n, t)}{dt} = -(A + B)P(m, n, t) + \\ BP(m + 1, n, t) + AP(m, n + 1, t) \\ \frac{dP(0, 0, t)}{dt} = AP(0, 1, t) + BP(1, 0, t) \\ \frac{dP(m, 0, t)}{dt} = -BP(m, 1, t) + \\ AP(m, 1, t) + BP(m + 1, 0, t) \\ \frac{dP(0, n, t)}{dt} = -AP(0, n + 1, t) + \\ BP(1, n, t) + AP(0, n + 1, t) \end{cases} \quad (1)$$

这些方程组成了随机兰彻斯特方程,再加上初始条件^[11]:

$$\begin{cases} P(M, N, 0) = 1 \\ P(m, n, 0) = 0, m < M, n < N \end{cases} \quad (2)$$

就可以逐个求得 $P(M, N - 1, t)$, $P(M - 1, N, t)$, \dots , $P(0, 0, t)$ 。那么蓝方在 t 时刻尚存 m 个战斗单位的概率为:

$$P_1(m, t) = \sum_{n=0}^N P(m, n, t) \quad (3)$$

蓝方在 t 时刻平均生存的个数为:

$$\bar{m}(t) = \sum_{m=0}^M mP_1(m, t) \quad (4)$$

2 基于随机兰彻斯特作战理论的空战模型

2.1 舰载机空战模型的条件

基于随机兰彻斯特方程的舰载机空战对抗模型中,假定蓝方的舰载战斗机数量为 M ,红方的舰载战斗机数量为 N 。在整个空战对抗过程中,红蓝双方每架舰载战斗机杀伤对方舰载战斗机所用的时间均为相互独立的,分别满足以 k_b 和 k_r 为参数的指数分布:

$$\tau_r \sim k_r e^{-k_r \tau_r} \quad (5)$$

$$\tau_b \sim k_b e^{-k_b \tau_b} \quad (6)$$

其中, $a \sim X$ 表示 a 符合于 X 概率分布; τ_r 和 τ_b 分别描述空战双方舰载机杀伤对方舰载机所用的时间。

如果一架舰载战斗机杀伤目标的时间符合参数为 k 的指数分布,那么在时间间隔 $(t, t + \delta t)$ 内舰载战斗机对目标的杀伤概率为 $k\delta t + o(\delta t^2)$, 且与参数 t 无关,这是由指数分布的无记忆性所决定的。

如果是两架舰载战斗机,假定相互之间杀伤目标

所需的时间是相互独立的,均满足参数为 k 的指数分布,那么在时间间隔 $(t, t + \delta t)$ 内,两架舰载战斗机对目标的杀伤概率为 $k\delta t + k\delta t + o(\delta t^2) = 2k\delta t + o(\delta t^2)$ 。如果是 m 架舰载战斗机,那么在时间间隔 $(t, t + \delta t)$ 内,对目标的杀伤概率为 $mk\delta t + o(\delta t^2)$ 。

2.2 舰载机空战模型的演化方程

假定在交战过程的 t 时刻,蓝方参与作战的舰载战斗机数量为 m ,红方舰载战斗机为 n ,那么可以定义空战系统的状态为 (m, n) 。图1对在作战过程中空战系统的状态转移进行了描述。

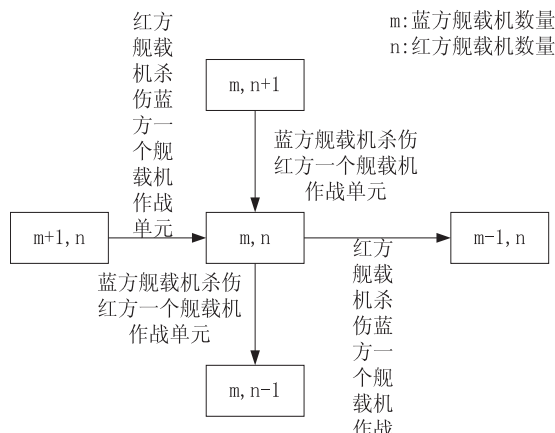


图1 舰载战斗机空战系统状态转移过程

假定 $P_{m,n}(t)$ 为在时刻 t 空战系统的状态处于状态 (m, n) 的概率。在时刻 $(t + \delta t)$ 空战系统状态转移到状态 (m, n) 主要有以下三种情况:

- 1) 空战系统在时刻 t 处于状态 (m, n) , 在时间间隔 $(t, t + \delta t)$ 内, 空战双方均没有发生毁伤事件;
- 2) 空战系统在时刻 t 处于状态 $(m, n + 1)$, 在时间间隔 $(t, t + \delta t)$ 内, 蓝方舰载战斗机毁伤了一架红方舰载战斗机;
- 3) 空战系统在时刻 t 处于状态 $(m + 1, n)$, 在时间间隔 $(t, t + \delta t)$ 内, 红方舰载战斗机毁伤了一架蓝方舰载战斗机。

假定所有的摧毁事件都是独立的,且以上三种情况也是统计独立的,那么 $P_{m,n}(t + \delta t)$ 的值为:

$$P_{m,n}(t + \delta t) = P_{m,n}(t) [1 - mk_b \delta t - nk_r \delta t] + \quad (7)$$

$$P_{m,n+1}(t) mk_b \delta t + P_{m+1,n}(t) nk_r \delta t$$

对公式(7)进行处理,首先等式两边减去项 $P_{m,n}(t)$, 然后除以项 δt , 取 δt 的极限 $\delta t \rightarrow 0$, 那么有:

$$\dot{P}_{m,n}(t) = - (mk_b + nk_r) P_{m,n} + mk_b P_{m,n+1} + nk_r P_{m+1,n} \quad (8)$$

根据公式(8),可以确定描述蓝方舰载战斗机数量为 M 和红方舰载战斗机数量为 N 空战系统的统计模型的初始值,假定蓝方舰载战斗机数量小于 b_{\min} 时,

蓝方舰载机将会撤退,红方获胜;反之,如果红方舰载战斗机数量小于 r_{\min} ,红方舰载机将会撤退,蓝方获胜。那么空战系统的演化方程组如下^[12,13]:

$$\begin{aligned} \dot{P}_{m,n}(t) &= -(mk_b + nk_r)P_{m,n} + P_{m,n+1}mk_b + \\ &P_{m+1,n}nk_r \quad \forall b_{\min} \leq m \leq M, \forall r_{\min} \leq n \leq N \\ \dot{P}_{0,n}(t) &= nk_r P_{b_{\min},n} \quad \forall r_{\min} \leq n \leq N \\ \dot{P}_{m,0}(t) &= mk_b P_{m,r_{\min}} \quad \forall b_{\min} \leq m \leq M \\ P_{M,N}(0) &= 1; P_{m,n}(0) = 0 \quad \forall m \neq M, \forall n \neq N \end{aligned} \quad (9)$$

公式(9)是一个线性微分方程,线性微分方程的等式的数量为 $(M - b_{\min} + 1)(N - r_{\min} + 1) + (M - b_{\min} + 1) + (N - r_{\min} + 1)$ 。 $P_{0,n}$ 和 $P_{m,0}$ 是空战系统的吸收状态的概率,假定其值为0,因此可以去除公式(9)中用于计算 $P_{0,n}$ 和 $P_{m,0}$ 的等式,那么可以通过求解 $(M - b_{\min} + 1)(N - r_{\min} + 1)$ 个描述状态转移的等式,获取空战系统的瞬态概率,再对瞬态进行积分获取吸收状态的概率值,从而对方程组(9)进行求解。

在大多数情况下,方程组(9)求解没有困难,但是方程组中含有两个参数 k_b 和 k_r 导致最终的结果分析复杂,因此引入无量纲系数 $\tau = k_r t$ 和杀伤概率比率 $\kappa = \frac{k_b}{k_r}$,对方程组(9)进行转化,形成方程组(10):

$$\begin{aligned} \dot{P}_{m,n}(t) &= -(mk_b + nk_r)P_{m,n} + P_{m,n+1}mk_b + \\ &P_{m+1,n}nk_r \quad \forall b_{\min} \leq m \leq M, \forall r_{\min} \leq n \leq N \\ \dot{P}_{0,n}(t) &= nP_{b_{\min},n} \quad \forall r_{\min} \leq n \leq N \\ \dot{P}_{m,0}(t) &= m\kappa P_{m,r_{\min}} \quad \forall b_{\min} \leq m \leq M \\ P_{M,N}(0) &= 1; P_{m,n}(0) = 0 \quad \forall m \neq M, \forall n \neq N \end{aligned} \quad (10)$$

公式(10)中的状态概率是变量 τ 的函数,不是 t 的函数,所以与根据 t 所获得的状态转移概率不同。方程组(9)获取的空战系统状态概率与 k_b 和 k_r 有关,引入无量纲系数 τ 的好处是使得空战系统的状态系数只是杀伤概率比率 κ 的函数,降低了函数的分析维度。

3 案例分析

3.1 作战想定

假定空战系统初始条件为: $M = N = 4; b_{\min} = r_{\min} = 3; \kappa = \frac{k_b}{k_r} = 1.46$ 。

空战系统的状态转移过程如图2所示。

空战系统中的瞬态概率值与 τ 的关系如图3所示。可以看出,随着 τ 的增大,空战系统的瞬时状态的概率都为零。

空战系统中的边界吸收态概率值与 τ 的关系如图4所示。可以看出,随着 τ 的增大,当 τ 的值大于2之

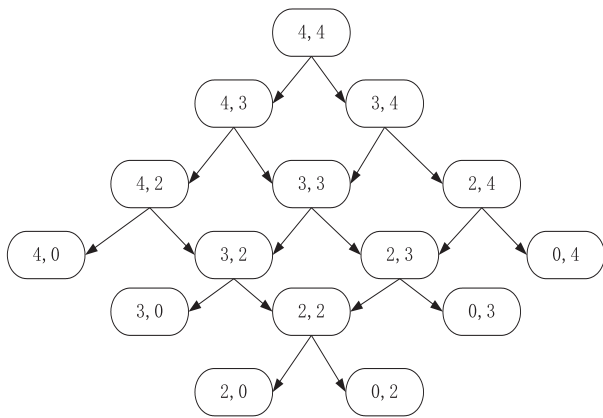


图2 空战系统的状态转移过程

后,空战系统的边界吸收态概率值最终达到稳态。对于一个空战系统而言,所关心的是系统达到稳态之后的系统状态的概率值。对达到稳态的空战系统的状态概率值取边界概率即: $P_{0,2} + P_{0,3} + P_{0,4} = 0.3328, P_{2,0} + P_{3,0} + P_{4,0} = 0.6754$ 。从中可以看出红方获胜的概率大于蓝方获胜的概率。

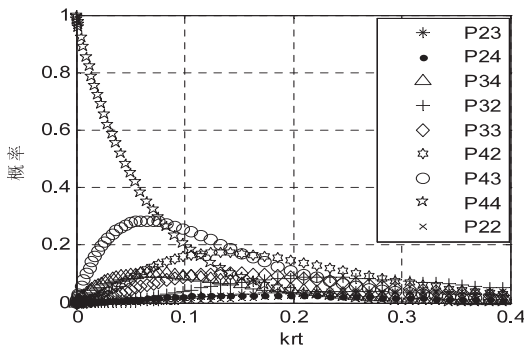


图3 空战系统瞬态概率值与 τ 的关系

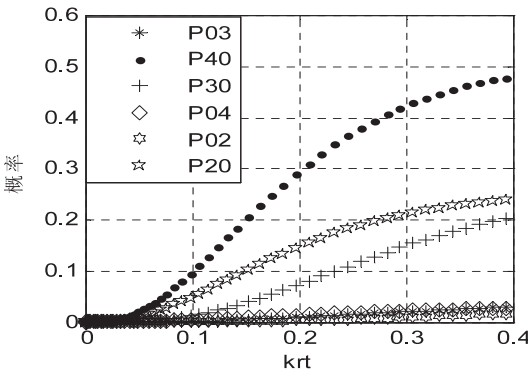


图4 空战系统边界吸收态概率值与 τ 的关系

3.2 关键参数灵敏度分析

下面对参数 $\kappa = \frac{k_b}{k_r}$ 的值对仿真结果的影响进行分析,分别取 $\kappa = 0.2, 0.4, 0.8, 1.2, 1.4$,对模型进行计算,边缘概率值 $P_{0,2} + P_{0,3} + P_{0,4}$ 的计算结果如图5所示。可以看出,蓝方获胜的概率随参数 κ 的值增大而减少。参数 κ 是 k_b 和 k_r 的函数,如果 k_r 不变,减少 k_b 的值可以提升蓝方获胜的概率。 k_b 为蓝方舰载战斗机

杀伤目标所用指数时间的参数,减小 k_b ,即意味着减小蓝方舰载战斗机杀伤目标所用的时间。还可看出,在空战对抗过程中,提升舰载战斗机毁伤目标的能力,减小舰载战斗机对抗过程中杀伤目标所用的时间,对于提升舰载战斗机作战效能具有重要意义。

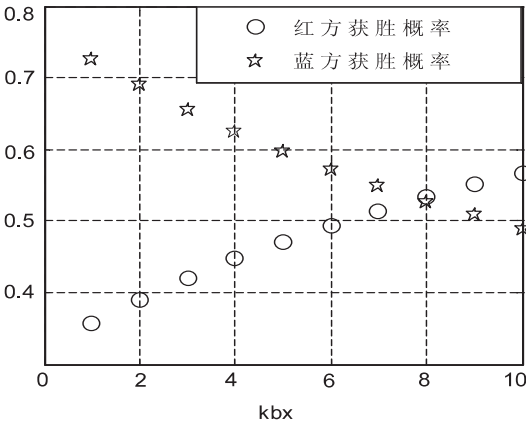


图5 空战系统蓝方获胜概率与参数 κ 的关系

4 结束语

文中对舰载战斗机空战效能进行了分析,研究表明,提升舰载战斗机武器系统毁伤目标的能力对于提升舰载战斗机作战效能具有重要意义。舰载战斗机作战效能分析是一个崭新的课题,其研究结果对于提升舰载机编队作战效能,乃至整个航母编队的作战效能都具有重要意义。文中仅从舰载战斗机毁伤目标能力方面对舰载战斗机作战效能进行了分析,下一步的工作是在此基础上,对机载雷达搜索锁定目标能力、机载自卫系统电子干扰能力等几个方面对舰载战斗机作战效能进行分析。

参考文献:

[1] 尹卓. 美航母舰载机作战使用[J]. 舰船模拟, 2009, 18(12): 23-25.

[2] 王宝坤. 中国发展航母的战略和军事作用[J]. 行业观察, 2011, 23(9): 19-23.

[3] 张最良. 军事运筹学[M]. 北京: 军事科学出版社, 1993: 167-171.

[4] 曹雷, 陈希亮. 作战智能体分队攻击目标分配模型研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(12): 150-153.

[5] 程恺, 张宏军, 黄亚, 等. 基于扩展 IDEF3 方法的作战任务描述及效能评估[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(2): 198-202.

[6] 彭文成, 周电杰, 张文. 基于协同作战的兵力损耗兰彻斯特方程[J]. 运筹与管理, 2009, 18(3): 128-132.

[7] 赵全, 黄俊. 基于兰彻斯特方程的战斗机超视距空战隐身效能分析[J]. 飞机设计, 2011, 31(2): 9-14.

[8] 王泽晖. 基于兰彻斯特方程的信息力效能分析[J]. 中国管理信息化, 2011, 14(10): 48-52.

[9] 余凤权. 基于兰彻斯特模型的舰载战斗机对空作战效能分析[D]. 南京: 海军指挥学院, 2012.

[10] 周奕, 周锦鹏, 郝维平. 基于兰彻斯特不同信息条件下的空战效能分析[J]. 航天控制, 2006, 24(2): 54-57.

[11] Yildirim U Z. Extending the state-of-the-art for the COMAN/ATCAL methodology [D]. USA: Naval Postgraduate School, 1999.

[12] Taylor J G. Lanchester Type Models of Warfare [R]. USA: Operations Research Society of America (S0167-6377), 1983: 885-890.

[13] James M. Mathematical Modeling of Information Age Conflict [J]. Journal of Applied Mathematics and Decision Sciences, 2006(3): 1-15.

(上接第 217 页)

核、提高开放实验的开设水平等方面发挥积极作用。系统对于其他具有类似需求的应用亦具有参考价值。

参考文献:

[1] 肖红霞. 开放式实验教学对创新型应用人才培养的内在机理[J]. 实验室研究与探索, 2011, 30(8): 326-335.

[2] 衡涛, 范文芹. 全开放性实验教学在高等教育中的应用[J]. 实验室研究与探索, 2011, 30(8): 336-338.

[3] 史俊斌. 科技活动提升学生就业竞争力[N]. 科技日报, 2012-01-30(7).

[4] 裴斐, 金秋. 高校计算机实验室开放实验教学管理模式探讨[J]. 教育与职业, 2011(10): 156-157.

[5] 余志华, 王永涛, 赵娟, 等. 建设开放实验教学体系建设的探索与实践[J]. 实验技术与管理, 2011, 28(11): 141-143.

[6] 温浩, 王宏. 开放实验管理系统设计[J]. 实验室研究与探索, 2009, 28(6): 296-298.

[7] 徐小明, 张湘伟, 丁政, 等. 开放型实验教学管理模式与系统实现[J]. 实验室研究与探索, 2007, 26(8): 80-82.

[8] 倪芳英, 罗万才, 单文盛, 等. 基于 MVC 模式的高校开放实验管理系统架构[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2008, 31(2): 35-39.

[9] 周栋祥, 吴进鲁. ASP.NET 案例精编[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.

[10] 孙践知. ASP.NET 程序设计实践教程[M]. VB 版. 北京: 中国铁道出版社, 2009.

[11] 江红. ASP.NET 动态网页设计案例教程[M]. Visual Basic .NET 版. 北京: 北京大学出版社, 2009.

[12] 王珊, 萨师焯. 数据库系统概论[M]. 第 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2006.

基于随机兰彻斯特理论的舰载机空战效能分析

作者: [冯百胜](#), [周晓光](#), [林亚军](#)
作者单位: [海军航空兵学院, 辽宁 葫芦岛 125001](#)
刊名: [计算机技术与发展](#)
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2013(2)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201302058.aspx