

基于随机兰彻斯特方程的舰载机空战建模分析

于凤全,周晓光,赵仁厚
(海军航空兵学院,辽宁 葫芦岛 125001)

摘要:对舰载战斗机空战进行建模分析,研究影响舰载战斗机空战进程的关键参数对于舰载战斗机作战使用和装备论证都具有十分重要的意义。论文以随机兰彻斯特方程为研究工具,对舰载战斗机空战的过程进行分析,在此基础上,构建了舰载战斗机空战两阶段模型,给出了模型的状态演化方程,并详细介绍了模型的求解方法。最后应用典型案例,对舰载战斗机锁定目标能力、打击目标能力对舰载机空战进程的影响进行了分析,给出了描述能力参数的灵敏度分析结果。论文的研究结果,可为舰载战斗机作战使用和装备论证提供理论指导和实践依据。

关键词:随机兰彻斯特方程;舰载战斗机;空战

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)05-0199-03

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.05.051

Modeling and Analysis of Air Combat of Carrier-borne Fighter Based on Stochastic Lanchester Battle Theory

YU Feng-quan, ZHOU Xiao-guang, ZHAO Ren-hou
(Navy Flight Academy, Huludao 125001, China)

Abstract: Modeling and analyzing of air combat of carrier-borne fighter, researching the key factors that affect the air combat course is very important to operation of carrier-borne fighter and equipment demonstration. Firstly the stochastic Lanchester battle theory is introduced and the process of air combat is presented. Based on that, the two-phase air combat model based on stochastic Lanchester equation is given, the states of engagement system are defined, and the evolution equations are put forward. Finally applying the typical case, analyze the impact of kill capability of firepower system and lock capability of radar system for process of air combat, give the result of describing capability parameters. The result in this paper can provide theory guidance and practice principle for air combat of carrier-borne fighter.

Key words: stochastic Lanchester equation; carrier-borne fighter; air combat

0 引言

舰载机从诞生之日起,就体现出其不可替代的重要作用^[1,2]。作为航母编队主要的作战力量,兼备防空、反舰、袭岸、两栖、反潜和登陆等作战任务,从海、陆、空三个层次,全方面展现了航母编队强大的作战能力^[3]。多样化的任务使命和严峻的使用环境,对舰载机作战性能提出了更高的要求。对舰载战斗机空战进行建模分析,研究决定舰载战斗机空战效能的关键因素,对于提升舰载战斗机作战效能,促进舰载战斗机功能系统设计水平,具有重要意义。

文献[4]对舰载机作战能力评估方法进行了总结分析,提出了舰载机作战能力评估方法选取时应注意

的问题。文献[5,6]采用兰彻斯特方程对空战效能进行了建模分析,分析了信息优势在空战进程中的重要作用。文献[7]采用随机兰彻斯特方程对舰载战斗机空战效能进行了分析,得出了一些重要的结论。文中在文献[7]的基础上,进一步拓展了舰载战斗机空战模型,提出了两阶段空战模型,通过仿真案例得出了以下重要的仿真分析结果。

1 基于随机兰彻斯特方程的基础空战模型

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) 。文献[7]给出的基于随机兰彻斯特方程的基础空战模型如下:

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

收稿日期:2012-08-07;修回日期:2012-11-11

基金项目:国家“863”高技术发展计划项目(2011AAXX108)

作者简介:于凤全(1970-),男,辽宁瓦房店人,硕士,教授,研究方向为军事仿真技术、飞行员教育训练。

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

其中,蓝方的舰载战斗机数量为 M ;红方的舰载战斗机数量为 N ; $P_{m,n}(t)$ 为在时刻 t 空战系统的状态处于状态 (m,n) 的概率;红蓝双方每架舰载战斗机杀伤对方舰载战斗机所有的时间均为时间相互独立的,分别满足以 k_b 和 k_r 为参数的指数分布;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;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。

模型(1)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(1)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(1)进行求解。

2 基于随机兰彻斯特方程的两阶段舰载机空战模型

2.1 基于随机兰彻斯特方程的两阶段空战模型

假定舰载战斗机对目标杀伤过程分两个阶段^[8,9]:首先舰载战斗机对目标进行搜索,搜索到目标后,舰载战斗机锁定目标;再开始于舰载战斗机锁定目标,结束于舰载战斗机成功发射拦截弹对目标进行打击。

为描述舰载战斗机空战系统状态,定义状态变量 $(m,i;n,j)$,其中, m 为蓝方舰载战斗机数量; i 为蓝方舰载战斗机锁定的目标数量; n 为红方舰载战斗机数量; j 为红方舰载战斗机锁定的目标数量。图1给出了两阶段空战系统的状态转移情况,从图1中可以看出,两阶段空战过程有6个可达状态。

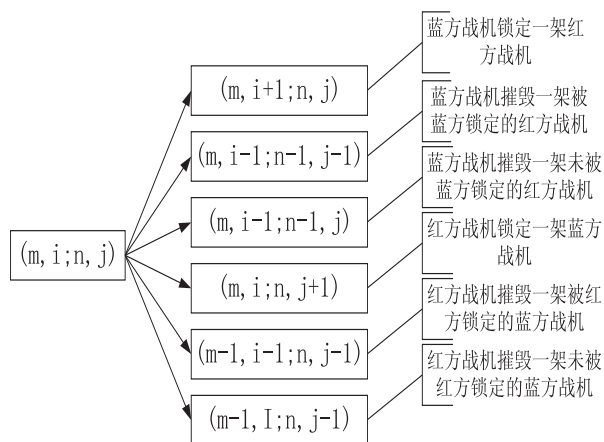


图1 两阶段空战系统状态可达状态

假定蓝方舰载战斗机锁定红方舰载战斗机所用时间满足指数分布, k_{b1} 为该指数分布系数。 k_{b2} 为蓝方舰载战斗机杀伤一个锁定目标所用时间的指数分布系数; k_{r1} 为红方舰载战斗机锁定目标所用指数分布时间的系数; k_{r2} 为红方舰载战斗机杀伤一个锁定目标所用指数分布时间的系数;假定舰载战斗机在搜索扫描时不能进行跟踪锁定任务,所以蓝红双方锁定一个新的目标的概率为 $(m-i)k_{b1}$ 和 $(n-j)k_{r1}$ 。

两阶段的空战系统对抗模型的状态概率的演化方程相对而言较为复杂,演化方程为^[10]:

$$\begin{aligned} \dot{P}_{m,i;n,j} &= -[(m-i)kb_1 + ikb_2 + (n-j)kr_1 + jkr_2]P_{m,i;n,j} + [i]^+(m-i+1)kb_1P_{m,i-1;n,j} + (i+1)kb_2P_{m,i+1;n+1,j} \frac{n+1-j}{n+1} + (i+1)kb_2P_{m,i+1;n+1,j+1} \frac{j+1}{n+1} + [j]^+(n-j+1)kr_1P_{m,i;n,j-1} + (j+1)kr_2P_{m+1,i;n,j+1} \frac{m+1-j}{m+1} + (j+1)kr_2P_{m+1,i+1;n,j+1} \frac{i+1}{m+1} \quad (2) \end{aligned}$$

其中, $[x]^+$ 表示若 $x > 0$,那么 $x = 1$,否则 $x = 0$ 。

2.2 两阶段模型求解方法

将空战系统状态可以划分为两种状态^[11]:瞬态和边界吸收状态。当系统达到稳定之后,瞬态的概率值都是零,因此关心的只是空战系统的边界吸收态的稳态值。称系统达到稳态之后的值为长期限定值。下面介绍一种基于长期限定值的空战系统求解方法。

将瞬态组成向量 x ,边界吸收状态构建成向量 y ,那么空战系统的状态演化可以描述为^[12]:

$$\dot{x} = Ax, x(0) = x_0 \quad (3)$$

$$\dot{y} = Bx \quad (4)$$

定义 x_i 如下:

$$x_i = \int_0^\infty x_i(t) dt \quad (5)$$

对微分方程组从0到 ∞ 进行积分,且由于空战系统中的瞬态的特征值 λ 的实部将严格小于0,所以当 $t \rightarrow \infty$ 时, $x_i(t) \rightarrow 0$:

$$-x_0 = Ax \quad (6)$$

$$y_{\lim} = Bx \quad (7)$$

其中 y_{\lim} 表示当 $t \rightarrow \infty$ 时 y 的值。

根据公式可以推导出:

$$y_{\lim} = -BA^{-1}x_0 \quad (8)$$

式(8)描述边界吸收状态概率的长期限定值。

3 基于典型案例的关键参数灵敏度分析

3.1 作战想定及仿真结果

假定1对1空战, $kr_1 = 1, kr_2 = 2, r_x = 1, kb_1 = 3, kb_2$

$=4, b_x=2$ 。图2给出了1对1空战调价下的空战系统状态转移关系。

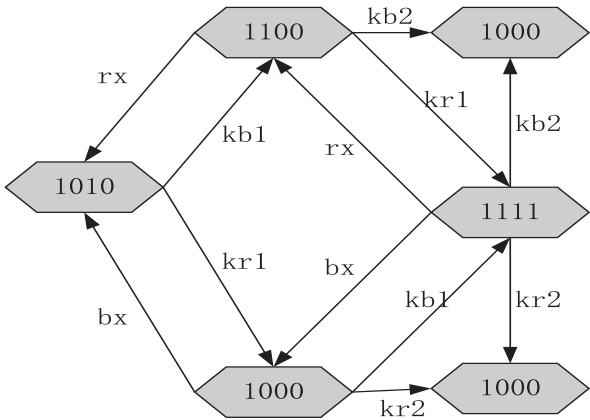


图2 两阶段1对1空战系统状态转移过程
其演化方程为:

$$\begin{aligned} \dot{P}_{1010} &= -(kb_1 + kr_1)P_{1010} + b_xP_{1011} + r_xP_{1110} \\ \dot{P}_{1110} &= -(kb_2 + kr_1 + r_x)P_{1110} + kb_1P_{1010} + b_xP_{1111} \\ \dot{P}_{1011} &= -(kr_2 + kb_1 + b_x)P_{1011} + kr_1P_{1010} + r_xP_{1111} \\ \dot{P}_{1111} &= -(kb_2 + kr_2 + r_x + b_x)P_{1111} + kr_1P_{1110} + kb_1P_{1011} \\ \dot{P}_{1000} &= kb_2(P_{1110} + r_xP_{1111}) \\ \dot{P}_{0010} &= kr_2(P_{1011} + P_{1111}) \end{aligned} \tag{9}$$

方程组(9)的前4个方程描述了空战系统的瞬态,后两个方程描述了空战系统的边界吸收状态。定义 x_1 为 P_{1010} , x_2 为 P_{1110} , x_3 为 P_{1011} , x_4 为 P_{1111} ;定义 y_1 为 P_{1000} , y_2 为 P_{0010} 。根据演化方程,确定长期限定值的矩阵 A 和 B 为:

$$A = \begin{bmatrix} -(kb_1 + kr_1) & r_x & bx_1 & 0 \\ kb_1 & -(kb_2 + kr_1 + r_x) & 0 & 0 \\ kr_1 & 0 & -(kr_2 + kb_1 + kx) & kr_1 \\ 0 & kr_1 & kb_1 & -(kr_2 + kb_2 + r_x + b_x) \end{bmatrix}$$
$$B = \begin{bmatrix} 0 & kb_2 & 0 & kb_2 \\ 0 & 0 & kr_2 & kr_2 \end{bmatrix}$$

根据想定参数设定,那么矩阵 A 和 B 的值如下:

$$A = \begin{bmatrix} -4 & 1 & 2 & 0 \\ 3 & -6 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & -7 & 1 \\ 0 & 1 & 3 & -9 \end{bmatrix}$$

矩阵 A 的特征值分别为 $-2.44, -6.44, -6.56, -10.65$ 。假定 x_i 存在,那么有:

$$y_{lim} = -BA^{-1}x_0 = \begin{bmatrix} 0.827 \\ 0.173 \end{bmatrix}$$

从计算结果可知,蓝方舰载战斗机战胜红方舰载战斗机的概率大概是83%。

3.2 关键参数对空战效能的影响分析

下面分析蓝方锁定目标参数 kb_1 对双方获胜的概率值影响,针对不同的 kb_1 值分别计算 y_{lim} 的值,如图3所示。

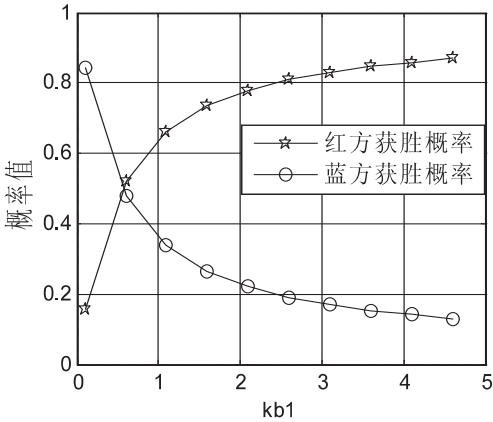


图3 双方获胜概率与 kb_1 值的关系

从图3中可以看出,随着 kb_1 值的增大,蓝方获胜的概率变小,这意味着如果蓝方锁定目标所用的时间长,或者说蓝方锁定目标的能力变弱,那么将大大减小蓝方获胜的概率。图中红方获胜概率曲线呈现上凸形式,且初始阶段曲线斜率较大,因此可以推测,在舰载战斗机锁定目标能力较弱的情况下,提升舰载战斗机锁定目标能力,对于提升舰载战斗机作战效能作用更大,而如果舰载战斗机已经具备一定的锁定目标能力,提升舰载战斗机锁定目标能力,对于提升舰载战斗机作战效能的作用较小,应该着重提升舰载战斗机其它方面的能力,注重综合能力的提升。

下面分析蓝方锁定目标参数 kb_2 对双方获胜的概率值影响,针对不同的 kb_2 值分别计算 y_{lim} 的值,如图4所示。

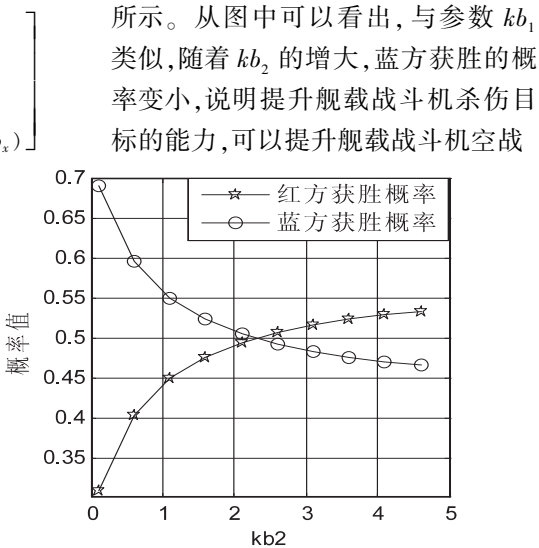


图4 双方获胜概率与 kb_2 值的关系

的影响。根据表2,买家得到的信息反馈是:除卖家A外,其他三个卖家都是完全可信任的好卖家,这跟事实相违背;而由表3得到的卖家信用则更符合现实情况,四个卖家的信用值从高到低依次为D→C→B→A。

比较表2和表3,可以得出结论,因为用户评价权重、交易金额、交易时间等因素的加入,得到了更准确的信用评价结果,因此说明该DCE模型是有效的。

5 结束语

文中针对现有的网络购物平台中卖家信用评价体系的缺陷,提出了一种新的卖家动态信用评价模型(DCE),并在此基础上建立模型的数学表达公式,然后利用仿真实验,证明我们的推论。

网购平台信用评价体系中的不确定因素还很多,涉及多方面的问题,在此不能全部一一列举出来。今后的工作是如何科学地利用各种参数进行分析,建立更全面合理的信用评价系统,用于实际购物平台。

参考文献:

[1] 2012年中国网上购物消费者调查报告[EB/OL]. 2012-04. http://www.aliresearch.com/attachment/cms_article/Mon_1205/113_3bc22fe25dda224.pdf.
[2] Zhang J, Cohen R. Trusting advice from other buyers in e-

market places; the problem of unfair ratings[C]//Proceedings of the Eighth International Conference on Electronic Commerce. [s. l.]: ACM, 2006: 225-234.
[3] 郭亦涵, 郑植. C2C电子商务网站信用评价模型研究[J]. 北京邮电大学学报(社会科学版), 2011(4): 21-25.
[4] 朴春慧, 安静, 方美琪. C2C电子商务网站信用评价模型及算法研究[J]. 情报杂志, 2007(8): 105-107.
[5] 张海燕, 杨鹏起. 卖方网上交易信用等级评价研究[J]. 河北科技大学学报(社会科学版), 2008, 8(1): 32-35.
[6] 苏仕颖, 杨德华. C2C中卖方信用评价体系的构建与应用[J]. 情报杂志, 2009, 28(11): 68-72.
[7] 赵焕臣, 许树柏. 层次分析法——一种简易的新决策方法[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
[8] Bouillet E, Feblowitz M, Feng H, et al. A folksonomy-based model of web services for discovery and automatic composition[C]//IEEE International Conference on Services Computing. Hawaii, USA: [s. n.], 2008: 389-396.
[9] 彭丽芳, 陈中, 李琪. 网络交易中信用评价方法研究[J]. 南开管理评论, 2007(10): 24-26.
[10] 数据的标准化[EB/OL]. 2010-02. <http://webdataanalysis.net/data-analysis-method/data-normalization/>.
[11] 俞立平, 潘云海, 武夷山. 学术期刊综合评价数据标准化方法研究[J]. 图书情报工作, 2009(12): 146-149.
[12] 任南, 汪鑫. C2C电子商务信用评价体系改进研究[J]. 价值工程, 2011(17): 143-144.

(上接第201页)

中获胜的概率,提升舰载战斗机的作战效能。

4 结束语

文中对舰载战斗机空战进行了建模分析,构建了基于随机兰彻斯特方程的舰载战斗机两阶段空战模型。仿真结果表明,提升舰载战斗机锁定目标和摧毁目标的能力,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锁定目标和摧毁目标能力两个方面,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,从机载自卫系统电子干扰能力、通信能力等几个方面对舰载战斗机作战进行建模分析。

参考文献:

[1] 李明, 边涛, 吕杰. 国外舰载机技术发展[M]. 北京: 航空工业出版社, 2008.
[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] 尹卓. 美航母舰载机作战使用[J]. 舰船模拟, 2009, 18(12): 23-25.
[4] 王揽月. 舰载机作战能力评估的几种方法[J]. 军事信息化建设与军事运筹研究, 2008, 20(4): 654-658.
[5] 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.
[6] 周奕, 周锦鹏. 基于兰彻斯特方程不同信息条件下的空战效能分析[J]. 航天控制, 2006, 24(2): 54-58.
[7] 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.
[8] Yildirim U Z. Extending the state-of-the-art for the CO-MAN/ATCAL methodology [D]. USA: Naval Postgraduate School, 1999.
[9] Taylor J G. Lanchester Type Models of Warfare [R]. USA: Operations Research Society of America (S0167-6377), 1983: 885-890.
[10] James M. Mathematical Modeling of Information Age Conflict [J]. Journal of Applied Mathematics and Decision Sciences, 2006(3): 1-15.
[11] 郭辉, 徐浩军, 谷向东. 基于改进兰彻斯特平方律的空战进程预测研究[J]. 火力与指挥控制, 2010, 35(9): 50-52.
[12] 张最良. 军事运筹学[M]. 北京: 军事科学出版社, 1993.

基于随机兰彻斯特方程的舰载机空战建模分析

作者: [于凤全](#), [周晓光](#), [赵仁厚](#)
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(5)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201305053.aspx