

舰艇编队潜在空中威胁估计的解析几何方法

缪旭东, 王永春

(海军大连舰艇学院作战软件与仿真研究所, 辽宁 大连 116018)

摘要: 为了提高舰艇编队对空预警的有效性,在分析敌我攻防对抗态势要素的基础上,引入椭圆形成原理,构建空中突击航线椭圆面;采用平面解析几何方法,建立了舰艇编队潜在空中威胁方向和威胁时机的估计方法,能够根据敌方空袭兵力部署的有关情报,在空中威胁尚未形成之前对其可能来袭方向扇面和时间区间进行估计。实例应用与仿真分析证明该方法的可行性、准确性和有效性。

关键词: 作战指挥; 舰艇编队; 防空; 威胁估计; 突击航线椭圆面

中图分类号: V271.4; TP182 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2014)01-0007-04

An Analytic Geometry Approach to Assess Potential Air Threats for Warship Formation Use

MIAO Xu-dong, WANG Yong-chun

(Operational Software and Simulation Research Institute, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China)

Abstract: In order to improve the warship formation's effectiveness on air defense early warning, the ellipse forming principle was introduced and the ellipse plane of the air attack course was determined based on analysis to the counter-situation factors between friend and foe. Then a method for assessing the potential air threat to the warship formation was proposed by use of the analytic geometry approach. According to the information about the disposition of air assault forces, the potential air assault direction sector and the interval of time can be assessed by the proposed method before air threats are formed. The application example and the simulation show the feasibility, accuracy and validity of the methods.

Key words: command and control; warship formation; air defense; threat assessment; attack course ellipse plane

0 引言

信息化海战条件下,舰艇编队协同防空作战过程是伴随着空中威胁形成而组织的编队内部情报、兵力、火力协同的一个敌我对抗过程^[1]。信息情报技术的飞速发展明显增强了这一过程的复杂性和不确定性,如何在这样的态势条件下,透过敌方空袭兵力部署及其调整变化情报,尽早推断出敌方空袭兵力可能对舰艇编队构成潜在空中威胁的方向和时机,对于舰艇编队的早期预警和有效防空至关重要。

关于确定舰艇及其编队空中威胁方向的研究由来已久,传统的方法是以选定高威胁目标为基准并加之

固定的扇面角来确定。文献[2]分析了舰艇编队对空预警的影响因素,包括空袭兵力可能对舰艇形成的威胁扇面角、目标速度、从接到预警和目标指示到导弹与目标遭遇所需时间等;文献[3]在空中威胁方向最多不超过4个的假设前提下,提出了空中目标威胁方向的数量、方向间夹角、方向间高度差的确定方法;文献[4]依据目标攻击速度、防御武器速度和防御探测范围等因素提出了海上编队防空最大有效威胁扇面的确定方法;文献[5]则认为舰艇编队空中威胁方向或者威胁扇面主要应根据指挥员的经验来确定;文献[6]基于优化模糊聚类方法,根据空中编队特征将空中分散的目标进行聚合,以分清空中编队的分布情况和活动规律。

随着装备技术和信息技术的发展,舰艇编队能够得到的情报信息数量越来越多,范围越来越广。因此,有必要对上述方法和模型进行继承和发展,巩固威胁估计的理论基础,减少不必要的前提和假设,扩大威胁

收稿日期:2013-03-11

修回日期:2013-03-24

基金项目:中国博士后科学基金(2012M512137)

作者简介:缪旭东(1964—),男,福建泉州人,博士,教授,研究方向为作战过程优化管理与资源优化组织。

估计方法和模型的适用范围。本文从分析舰艇编队防空作战态势中的敌我对抗要素入手,根据平面解析几何中的椭圆形成原理,提出空中突击航线椭圆面的构想,在此基础上建立了潜在空中威胁方向和威胁时机几何估计方法,最后进行了实例应用分析。

1 空中突击航线椭圆

现代海战条件下,水面舰艇及其编队可能遭受的空中威胁主要是飞机和来自不同平台的反舰导弹。其突出特点是飞行速度快、攻击隐蔽突然、毁伤能力强。不失一般性,将空中目标对水面舰艇的典型攻击方式概括为3种^[7-8]:1)空袭平台在舰艇编队有效防空作用范围之外对其实施反舰导弹攻击(Standoff-missile-to-surface, SMS)方式;2)飞机平台从基地起飞准备突破编队外层防空体系实施反舰导弹攻击(Airborne-missile-to-surface, AMS)方式;3)飞机平台从基地起飞准备突破编队防空体系实施近距离轰炸(Bomb-in-air-to-surface, BAS)方式。这3种方式下的攻击路径,或是由1)单独以火力机动航线构成,或是由2)、3)以兵力机动航线与火力机动航线组合构成。因此,可以将其抽象为从威胁源到舰艇编队的首尾相连的若干条线段,即由多个航路点构成的一条曲线。设局部海空战场内有水面舰艇编队 F 和距离为 D 的某一威胁源 T (如基地、舰艇、飞机等),当 D 远大于编队舰间距离时,不妨认为 F 和 T 为两个相对运动的质点。当且仅当威胁源 T 的作用范围 L 大于等于敌我距离 D ,即 $L \geq D$ 时,空中突击才能达成。

首先,以水面舰艇编队 F 作为原点,建立平面直角坐标系,如图1所示。令威胁源 T 的坐标为 $(D,0)$ 。根据椭圆形成原理,在采用最大有效作用距离 L 实施空中突击的情况下,如果除目标点外仅设置一个航路点 $C(x,y)$,则所有可能选用的航路点将形成一个椭圆 E_1 。

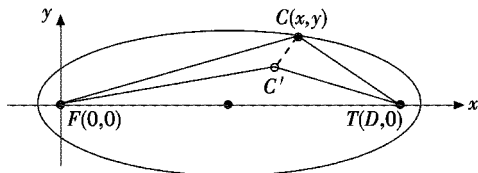


图1 空中突击航线椭圆

Fig. 1 Air attack course ellipse

图1中:中心点为 $(\frac{D}{2}, 0)$;焦点为 $F(0,0)$ 和 $T(D,0)$;长轴半径为 $a = L/2$;短轴半径为 $b = \sqrt{L^2 - D^2}/2$;离心率为 $e = D/L$;椭圆方程 E_1 为

$$\frac{\left(x - \frac{D}{2}\right)^2}{\left(\frac{L}{2}\right)^2} + \frac{y^2}{\left(\frac{\sqrt{L^2 - D^2}}{2}\right)^2} = 1 \quad (1)$$

根据三角形两边之和大于第三边定理,航路点 C' 只能在三角形 $\triangle FTC$ 中选取。

根据上述分析,如果除目标点外空中突击航线包含2个航路点 $C_1(x_1, y_1)$ 和 $C_2(x_2, y_2)$,那么航路点 C_1 和 C_2 必然位于椭圆 E_1 范围之内,如图2所示。

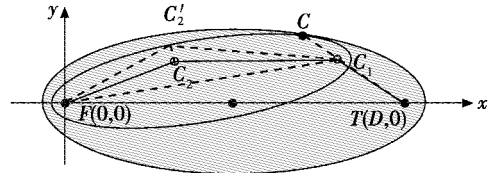


图2 包含两个航路点的空中突击航线椭圆

Fig. 2 Air attack course ellipse with two airpoints

设 TC_1 的延长线交 E_1 于点 C 。根据椭圆形成原理,航路点 C_2 一定位于以 F 和 C_1 为焦点,定长为 $|C_1C| + |CF|$ 的椭圆 E_2 内。同样地,根据三角形两边之和大于第三边定理,航路点 C_2 只能在三角形 $\triangle FC_1C_2$ 中选取。

类似地可以推断,对于空中突击航线除目标点外包含两个以上航路点的情况,所有航路点必然位于椭圆 E_1 范围之内。因此,认为式(1)所约束的椭圆面包含了威胁源 T 对舰艇编队 F 的所有可能突击航线。

2 潜在空中威胁的几何估计

敌我对抗过程始终都是有主次之分、先后顺序的。水面舰艇编队防空作战必须要突出重点、兼顾一般。既然确定了潜在空中威胁的突击航线椭圆面,就可以进一步对潜在空中威胁方向和时机进行估计。由于这种威胁估计是在已经获得空中威胁兵力部署先期情报基础之上进行的,此时的空中威胁大多尚未形成或者只能称之为潜在的空中威胁,同时,为了与现行作战指挥系统中对空中目标威胁方向与时机的判定方法相区分,亦称之为舰艇编队潜在空中威胁的几何估计。

2.1 潜在空中威胁方向的几何估计

编队 F 通常具有一定的对空预警范围,不失一般性,这里用一个半径为 R_f 的圆表示。如果当前态势能够构成空中突击航线椭圆,那么编队预警圆就会与这个椭圆形成一定的几何关系。

1) 预警圆包含航线椭圆。这种态势下编队较为接近敌方部署的空袭兵力($2R_f \geq D + L$),如图3a所示,空中威胁的形成和发展通常是在舰艇编队全程监控之下。同时,空中突击也可以从编队的各个方位进行。如果编队 F 此次的主要作战目标不是这个威胁源 T ,就要尽量避免在航渡过程中与敌方接近到这种态势。

2) 预警圆与航线椭圆相交。即 $D + L > 2R_f \geq \sqrt{L^2 - D^2}/2L$,如图3b所示。由交点 P 和 Q (当存在3

个或4个交点时,取介于 F 和 T 之间的2个交点)以及编队坐标点 F 构成扇面 PFQ ,就是威胁源 T 对于舰艇编队 F 的空中威胁方向估计。

3) 航线椭圆包含预警圆。编队 F 预警圆相对较小,即 $\sqrt{L^2 - D^2}/2L > 2R_F > 0$,如图 3c 所示。此时,做威胁源 T 点与编队预警圆的切线 TM 和 TN ,分别交空中目标航线椭圆于点 P 和 Q ,由交点 P 和 Q 以及编队坐标点 F 构成扇面 PFQ ,就是威胁源 T 对于舰艇编队 F 的空中威胁方向估计。

显然,根据空中目标威胁航线椭圆估计的空中目标威胁方向范围,会随着舰艇编队与威胁源之间距离的增大而减小,也会随着舰艇编队预警范围的增大而减小。比较而言,在图 3c 所描述的作战态势下,空中目标威胁方向范围的不确定程度最大。特殊地,若 $L = D$,从威胁源出发或发射的空中威胁体只能沿着直线 TF 这条唯一航线对舰艇编队实施攻击;若 $L < D$,威胁源即使具有空中打击能力,也不可能对舰艇编队构成空中威胁。这两种情况可以认为是图 3b 所示态势的特例。

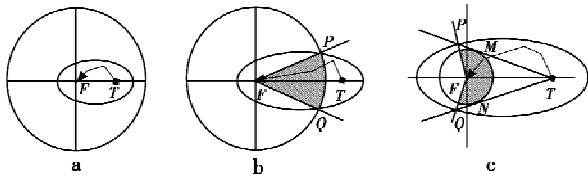


图3 舰艇编队防空威胁态势

Fig.3 Threat situation of air defense for warship formation

2.2 潜在空中威胁时机的几何估计

空中目标无论是飞机还是反舰导弹,其速度均远远大于水面舰艇,在空中威胁尚未形成阶段,其与舰艇编队的距离通常远远大于编队舰间距离。因此,不妨假设舰艇编队为一个静止的质点,空中目标以某一相对航速飞行,飞机随时可能转向并接近和攻击舰艇编队。设编队预警范围是半径为 R_F 的圆,飞机航速为 $V_P = [V_P^x, V_P^y]$,机载导弹航速为 $V_M = [V_M^x, V_M^y]$,机载导弹最大有效作用距离为 $d_M = [d_M^x, d_M^y]$ 。

SMS 方式下,空中突击通常在图 3b 或图 3c 所示态势下发生,且假设飞机通常不会选择在图 3c 所示态势下通过最近点 M 再返航实施防区外导弹攻击,则舰艇编队遭受机载防区外反舰导弹攻击的时间区间估计为

$$t^{SMS} = \begin{cases} \left[\frac{D}{V_M^x}, \frac{L}{V_M^y} \right], & D + L > 2R_F \geq \frac{\sqrt{L^2 - D^2}}{2L} \\ \left[\frac{D}{V_M^x}, \frac{\sqrt{D^2 - R_F^2} + R_F}{V_M^y} \right], & \frac{\sqrt{L^2 - D^2}}{2L} > 2R_F > 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中, V_M^x 和 V_M^y 分别表示来袭反舰导弹的最大和最小速度。同理,当空袭兵力采用 AMS 与 BAS 突击方式,舰艇编队遭受飞机反舰导弹攻击的时间区间估计分别为

$$t^{AMS} = \left[\frac{D - d_M}{V_P^x} + \frac{d_M}{V_M^x}, \frac{L - d_M}{V_P^y} + \frac{d_M}{V_M^y} \right] \quad (3)$$

$$t^{BAS} = \begin{cases} \left[\frac{D}{V_P^x}, \frac{L}{V_P^y} \right], & 2R_F > 2R_T \geq \frac{\sqrt{L^2 - D^2}}{2L} \\ \left[\frac{D}{V_P^x}, \frac{\sqrt{D^2 - R_F^2} + R_F}{V_P^y} \right], & \frac{\sqrt{L^2 - D^2}}{2L} > 2R_F > 0 \end{cases} \quad (4)$$

式中, V_P^x 和 V_P^y 分别表示来袭飞机的最大和最小速度。

3 实例应用与仿真分析

设局部海域内有驱护舰编队 F ,对空最大有效预警距离为 100 km;据情报分析,该海域内对方兵力部署及性能如表 1 所示。

表1 舰艇编队防空威胁态势要素

Table 1 Threat situation of air defense for warship formation

代号	威胁源	方位/ (°)	距离/ km	威胁体	最大作用 距离/km	Ma 数	攻击 方式
T_1	攻击机	31.5	105	导弹I	[100,110]	[0.85,1.00]	SMS
T_2	导弹基地	76.5	90	导弹II	[36,41]	[0.70,0.90]	SMS
T_3	航空母舰	338.0	1030	攻击机	[1000,1070]	[0.85,1.00]	AMS
T_4	导弹基地	105.0	117	导弹IV	[128,135]	[0.86,1.00]	SMS
T_5	导弹舰艇	348.0	175	导弹I	[105,120]	[0.85,1.00]	SMS

利用本文提出的威胁估计方法得到舰艇编队潜在空中威胁方向、时机估计结果,分别如图 4、图 5 所示。

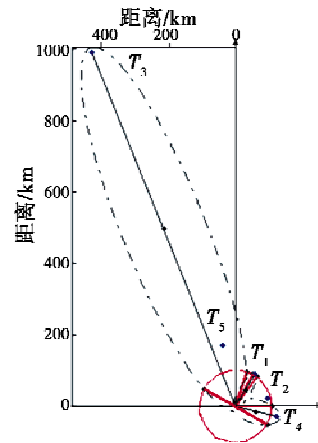


图4 潜在空中威胁方向估计

Fig.4 Potential threat direction assessment

进一步地,均采用表 1 所示数据进行仿真比较分析,如表 2 所示。通过与文献[3]和文献[4]的方法进行比较(其中,文献[3]假设防空导弹飞行 Ma 数为 2,最大有效作用距离为 25 km),可以看出:本文所提方法的估计结果,在方位上与文献[3-4]是一致的;但是,文献[3]和文献[4]对远距离空中威胁扇面估计不足,比本文所提方法的估计结果分别少 34% 和 28%,对近距离空中威胁扇面估计过大,比本文所提方法的估计结果分别大

376%和340%,如图6和图7所示。对潜在威胁时机的估计,起始时刻与文献[3]的结果相一致,并进一步估计出了威胁终止时刻,如图5所示,能够以区间形式表示,比文献[3]的结果更为准确、具体。

表 2 潜在空中威胁估计结果与比较

Table 2 Result of potential threat assessment

代号	威胁方向/(°)			威胁时机/min	
	文献[3]	文献[4]	本文	文献[3]	本文
T_1	[11.5,51.5]	[13,50]	[27.3, 35.7]	≥ 294	[294,515]
T_2	[56.5,96.5]	[32.1,120.9]	-	不攻击	不攻击
T_3	[-42.0,-2.0]	[-33.5,10.5]	[-52.5,8.5]	≥ 3204	[3204,3558]
T_4	[85.0,125.0]	[89.9,120.1]	[89.2,120.8]	≥ 376	[376,462]
T_5	[-38.0,8.0]	[-30.5, 6.5]	-	不攻击	不攻击

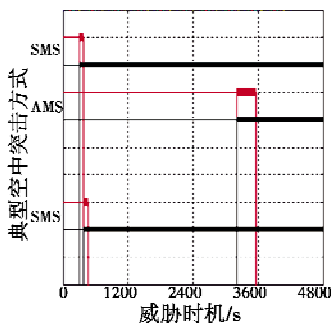


图 5 潜在空中威胁时机估计结果

Fig. 5 Potential threat opportunity assessment

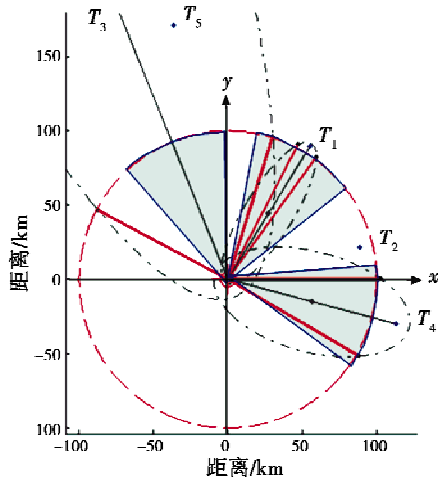


图 6 潜在空中威胁方向估计结果比较

Fig. 6 Potential threat direction assessment and comparison

进一步分析,还可以得出如下结论:1) 编队的主要空中威胁将来自于威胁源 T_3 ,而且威胁源 T_1 极有可能也来自于 T_3 ;2) 扩大预警范围对于缓解当前空中威胁压力的意义不大;3) 拉大编队与 T_4 的距离并尽快脱离其反舰导弹最大有效作用范围,可以集中主要防御兵力应对由威胁源 T_3 出发或发射的威胁体。同时,如果将编队防空武器最大作用范围、飞行速度、系统反应时间等因素考虑进来,就可以进一步估计出飞机或导弹到达编队防空武器最大作用范围的时间估计,以

及防空武器系统准备完毕,可用剩余时间的估计。

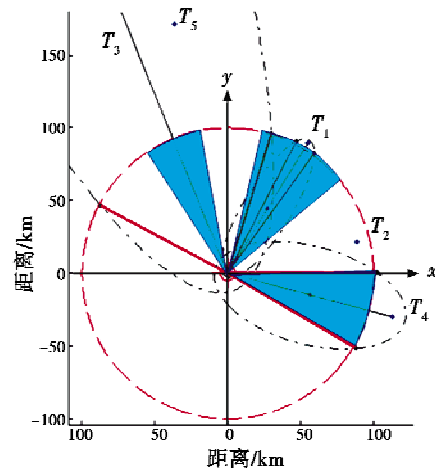


图 7 潜在空中威胁方向估计结果比较

Fig. 7 Potential threat direction assessment and comparison

4 结束语

基于解析几何中的椭圆形成原理、三角形两边之和大于第三边定理,以及平面内椭圆与圆的关系,依据舰艇编队防空作战中的敌我态势关系,本文构建空中突击航线椭圆面,并论述了其合理性,在此基础上建立了潜在空中威胁方向和时机的几何估计方法,具有良好的动态实时性和适用性,解决了根据敌方兵力部署及其调整变化的情报信息对潜在空中威胁进行估计的问题,实例应用分析表明该方法的可行性和有效性。另外,在空中威胁方向的归并上,可以采用文献[3]中的模糊聚类或模式识别等智能方法,也可以根据文献[5]加入指挥员的经验判断。下一步还需要对潜在空中威胁方向的聚类分析和指挥员主观感知信息的融合开展深入研究。

参考文献

- [1] 缪旭东. 舰艇编队协同作战的自组织决策模式及决策支持系统[J]. 军事运筹与系统工程, 2010, 24(1): 48-52.
MIAO X D. Self-organization decision mode and decision support system for cooperative engagement of naval vessel formation[J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 2010, 24(1): 48-52.
- [2] 刘志强, 董受全. 舰艇编队对空预警问题的研究[J]. 飞航导弹, 2001(1): 21-23.
LIU Z Q, DONG S Q. Research on the air warning problem for naval vessel formation[J]. Aerodynamic Missile Journal, 2001(1): 21-23.
- [3] 李进军, 丛蓉, 熊吉光. 舰艇编队对空中目标的威胁程度判断模型[J]. 火力与指挥控制, 2005, 30(7): 29-33.
LI J J, CONG R, XIONG J G. Analysis of the threat asses-

但有效解决了巡逻搜索线与编队之间的同步问题,而且通过建立模型进行仿真,表明该方法可以取得比较理想的搜潜效果,特别是应对从编队侧翼高速突防的敌潜艇效果较好。同时,通过对仿真结果的分析,对倾斜三角形搜索法的具体作战使用方法进行了优化,能为部队训练和作战提供参考。

参考文献

- [1] 吴金平,杨必奉,刘国光. 编队护航 HVU 反潜威胁轴[J]. 火力与指挥控制,2010,35(12):83-85.
WU J P, YANG B F, LIU G G. Research on anti-submarine threat axes of formation escorting HVU[J]. Fire Control & Command Control, 2010,35(12):83-85.
- [2] 丛红日. 航空反潜战术[D]. 烟台:海军航空工程学院,2008.
CONG H R. Aviation anti-submarine tactics[D]. Yantai: NAEU, 2008.
- [3] 丛红日,沈培志,王伟. 直升机侧翼法伴随护航反潜作战使用方法及其仿真[J]. 舰船科学技术,2011,33(3):115-119.
CONG H R, SHEN P Z, WANG W. On helicopter flanking accompanying escort antisubmarine operating application method and its simulation study [J]. Ship Science and Technology, 2011,33(3):115-119.
- [4] 丛红日,肖明强,陈邓安. 直升机反潜巡逻线与编队之间同步问题研究[J]. 舰船电子工程,2011,31(8):8-10.
CONG H R, XIAO M Q, CHEN D A. Research on synchronization between helicopter antisubmarine patrol line and surface ship formation [J]. Ship Electronic Engineering, 2011,31(8):8-10.
- [5] 朴成日. 航渡中反潜直升机的配置[J]. 舰船科学技术,2012,34(3):118-121.
PIAO C R. Method on the disposition of anti-submarine helicopters in navigation [J]. Ship Science and Technology, 2012,34(3):118-121.
- [6] 王晓辉,陈建勇,赵红军. 直升机吊放声纳搜索方法效能研究[J]. 火力与指挥控制,2009,34(9):18-20.
WANG X H, CHEN J Y, ZHAO H J. Research on effectiveness of dipping sonar search algorithm for submarine [J]. Fire Control & Command Control, 2009,34(9):18-20.
- [7] 郭辉,钱学东,刘启军. 直升机吊放声纳搜潜机动建模仿真[J]. 指挥控制与仿真,2009,31(1):87-89.
GUO H, QIAN X D, LIU Q J. Modeling and simulation of helicopter maneuver in antisubmarine search operation by dipping sonar [J]. Command Control & Simulation, 2009,31(1):87-89.
- [8] 丛红日,靳天宇,刘卫东. 吊放声纳搜索效能通用仿真模型研究[J]. 系统仿真技术,2011,7(1):72-75.
CONG H R, JIN T Y, LIU W D. Study on general simulation model of searching effectiveness of dipping sonar [J]. System Simulation Technology, 2011,7(1):72-75.
- [9] 盛文平,王磊,汪浩,等. 反潜直升机吊放声纳应召搜潜仿真研究[J]. 指挥控制与仿真,2009,31(6):84-88.
SHENG W P, WANG L, WANG H, et al. Simulative research on responding-antisubmarine of ASW helicopter which using dipping-sonar [J]. Command Control & Simulation, 2009,31(6):84-88.
- [10] 吴芳,杨日杰,徐俊艳. 对潜的吊放声纳应召搜索技术仿真研究[J]. 系统仿真学报,2009,21(13):3989-3992.
WU F, YANG R J, XU J Y. Simulation research on methods of definite second time search of dipped sonar against submarine [J]. Journal of System Simulation, 2009,21(13):3989-3992.
- (上接第10页)
- sment models of aerial targets of warship fleets [J]. Fire Control and Command Control, 2005,30(7):29-33.
- [4] KIM H S. Defense of the sea base-an analytical model [D]. Naval Postgraduate School, 2003:11-16.
- [5] 钟玮珺,孙向阳,魏继才. 舰载直升机有限预警搜索模型[J]. 军事运筹与系统工程,2002(3):21-25.
ZHONG W J, SUN X Y, WEI J C. Ship-based helicopter limited warning search model [J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 2002(3):21-25.
- [6] 曾辉,王颖龙,郭浩波. 一种优化模糊聚类方法在空情分析中的应用[J]. 电光与控制,2007,14(3):66-68.
ZENG H, WANG Y L, GUO H B. Application of an optimized fuzzy clustering method in air situation analysis [J]. Electronics Optics & Control, 2007,14(3):66-68.
- [7] NG G W, NG K H, YANG R. Intent inference for attack aircraft through fusion [C]//Processings. of Multisensor, Multisource Information Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications, 2006,6242(6):1-10.
- [8] 叶文,朱爱红,刘博,等. 飞机低空突防技术研究[J]. 电光与控制,2007,14(4):87-91.
YE W, ZHU A H, LIU B, et al. Research on low-altitude penetration technologies of aircrafts [J]. Electronics Optics & Control, 2007,14(4):87-91.