

直升机侧翼护航倾斜三角形搜索方法及其仿真

丛红日^a, 赵元立^a, 李 韬^b

(海军航空工程学院, a. 指挥系; b. 研究生管理大队, 山东 烟台 264001)

摘要: 使用舰载直升机进行伴随护航反潜是保证水面舰艇编队对潜防御安全的重要方法。针对侧翼反潜护航的实际需要和反潜直升机使用吊放声纳搜索的特点,提出了倾斜三角形搜索法这一新的作战使用方法。建立了同步模型,有效解决了巡逻搜索线与编队之间的同步问题。通过建立仿真模型对倾斜三角形搜索方法的搜索效能进行了仿真,并根据仿真结果对倾斜三角形搜索法的具体作战使用方法进行了优化,为直升机采用侧翼法进行伴随护航反潜的作战使用提供了理论依据。

关键词: 反潜直升机; 倾斜搜索法; 侧翼法; 吊放声纳; 伴随护航反潜; 仿真模型

中图分类号: V271.4; TP391.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2014)01-0023-05

A Triangle Search Method of Helicopter Flanking Escort Antisubmarine and Its Simulation

CONG Hong-ri^a, ZHAO Yuan-li^a, LI Tao^b

(Naval Aeronautical and Astronautical University, a. Department of Command; b. Graduate Students' Brigade, Yantai 264001, China)

Abstract: Accompanying escort antisubmarine with shipborne antisubmarine helicopter is an important method to ensure the security of surface ship formation. A new method of triangle search method was proposed according to the actual needs of flanking escort antisubmarine and the characteristics of antisubmarine helicopter when searching submarines with dipping sonar. The synchronization model was established and the synchronization between patrol searching line and the formation was realized effectively. The searching effectiveness of the triangle search method was simulated by using the simulation models established. The specific operational application of the model was optimized with the simulation result. This method can offer a theoretic foundation for the helicopter flanking escort antisubmarine operating application.

Key words: antisubmarine helicopter; triangle search method; flanking method; dipping sonar; accompanying escort antisubmarine; simulation model

0 引言

随着我水面舰艇编队的活动范围逐渐走向深蓝,护航反潜的地位显得日益重要。其中,使用舰载反潜直升机进行伴随护航反潜是保证我编队对潜防御安全的主要方法,其主要任务是使我编队免受敌潜艇的威胁,保障我编队的安全。

护航反潜时,通常在受敌潜艇威胁较大的方向上建立反潜巡逻线^[1]。如果判断敌潜艇威胁可能来自编队侧翼方向,就需要在编队侧翼建立反潜巡逻线进行

护航反潜,称为侧翼法^[2]。舰载反潜直升机进行侧翼法护航反潜时,通常使用吊放声纳进行搜索建立反潜巡逻线。

针对舰载反潜直升机侧翼法护航反潜的特点和要求,文献[3]提出了“进三退一”等作战使用方法,并通过仿真对其作战效能进行了研究。虽然仿真结果表明该方法能取得比较好的作战效果,但战术动作比较复杂,在一定程度上制约了其作战使用。

本文结合吊放声纳作战使用的特点和侧翼护航反潜的要求,提出一种新的作战使用方法并对其作战效能进行仿真,为部队训练和作战提供参考。

1 倾斜三角形搜索法

1.1 基本方法

反潜直升机使用吊放声纳搜索时,曲折运动搜索

方法是一种常用的搜索方法。但采用常规的曲折运动搜索方法进行侧翼护航搜索时,为了保持与水面舰艇编队之间的同步,从动态的观点看,悬停探测点将始终在与编队航向垂直的一条直线上左右移动,其防护宽度仅为吊放声纳实际有效探测距离的两倍,难以满足侧翼防护对防护宽度的需要,因此,有必要对常规的曲折运动搜索方法进行改进。

根据水面舰艇编队侧翼对潜防护的特点和需要,借鉴反潜直升机使用吊放声纳搜索时曲折运动搜索方法的原理,研究提出倾斜三角形搜索法。倾斜三角形搜索法就是在航母编队侧翼一定距离上,组织反潜直升机进行类似倾斜三角形的搜索运动,如图 1 所示。通常单机组织实施,也可双机组织实施。

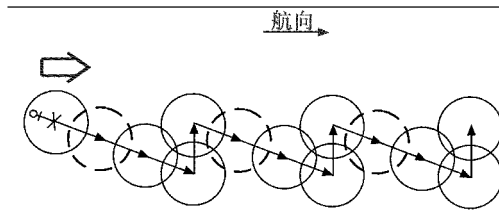


图 1 倾斜三角形搜索法(单机)示意图

Fig. 1 The sketch map of triangle search method (mono-device)

倾斜三角形搜索法的关键是保证反潜直升机搜索推进的航向和速度与航母编队保持同步^[4]。在确保同步的基础上,根据兵力数量、装备性能、敌潜艇速度等综合因素确定搜索线的长度、探测点间距和同步周期。

使用倾斜三角形搜索法进行搜索,不仅能使反潜直升机与水面舰艇编队保持同步,而且可以加大某段侧翼搜索的纵深,加大搜潜面积,提高探测概率。

1.2 主要参数关系分析

作战使用中的主要参数决定了作战使用效果。由于倾斜三角形搜索法呈现明显的周期性,所以以其中的一个周期为例进行主要参数关系的分析,如图 2 所示。

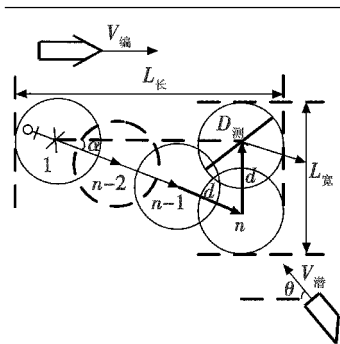


图 2 倾斜三角形搜索周期分析图

Fig. 2 The analysis of triangle search periods

图中: $V_{编}$ 为水面舰艇编队的航速; $V_{潜}$ 为敌潜艇的航速; θ 为航向与我舰艇编队之间的夹角; α 为反潜直升机

的初始搜索方向与舰艇编队航向之间的夹角; $D_{测}$ 为吊放声纳的实际有效探测距离(由吊放声纳性能、战场水文条件、敌潜艇噪声等共同决定); d 为相邻两个悬停探测点之间的间距; n 为在倾斜三角形斜边上悬停探测点的数量; $L_{长}$ 为反潜巡逻线在舰艇编队航向上的投影长度; $L_{宽}$ 为在舰艇编队航向垂直方向上的投影长度。

由图 2 可知

$$L_{长} = [(n-1)d + 2D_{测}] \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

$$L_{宽} = d + 2D_{测} \quad (2)$$

其中,

$$\alpha = \arcsin \frac{d}{(n-1)d} \quad (3)$$

1.3 效能指标及其主要影响因素分析

反潜直升机在伴随护航反潜时核心任务是搜潜,为编队提供预警信息^[5],因此,探测概率 P 是最重要的效能指标。此外, $L_{长}$ 和 $L_{宽}$ 也是重要指标, $L_{长}$ 越大,侧翼反潜防护范围就越大, $L_{宽}$ 越大,侧翼反潜防护的纵深就越大。

影响 P 的因素有很多^[6],主要包括 d 、 $D_{测}$ 、 n 、 $V_{直}$ 、 $V_{潜}$,以及反潜直升机使用吊放声纳搜索时的搜索周期 $t_{直周期}$ 。

$t_{直周期}$ 由转移悬停探测点的时间 $t_{巡}$ 、下放吊放声纳水下探头入水的时间 $t_{放}$ 、收起吊放声纳的时间 $t_{收}$ 以及 s 在每个悬停探测点探测的时间 $t_{测}$ 组成,即

$$t_{直周期} = t_{放} + t_{测} + t_{收} + t_{巡} \quad (4)$$

式中, $t_{巡}$ 取决于 d 、 $V_{直}$ 以及由风力风向所决定的转移探测点时的飞行路径。在理想情况下,

$$t_{巡} = d/V_{直} \quad (5)$$

此外,海区气象条件、水文环境、装备可靠性、机组训练水平等因素也会对 P 产生影响。影响 $L_{长}$ 、 $L_{宽}$ 的主要因素有 $V_{编}$ 、 $V_{直}$ 、 d 、 n 等。

1.4 保持同步的方法

为了保持反潜直升机与水面舰艇编队之间的同步运动,从而使反潜直升机能够长时间地在相对于运动中编队的反潜阵位上为编队提供反潜防护。倾斜三角形搜索法提供了解决同步问题的基本方法,为了真正做到同步,还必须对作战使用参数进行控制。

如图 1 所示,倾斜三角形搜索法的一个同步周期就是反潜直升机完成一个倾斜三角形路径搜索所需要花费的时间。每个同步周期的情况类似,只需对其中一个同步周期进行分析即可。

当一个同步周期结束时,水面舰艇编队的航行时间 $t_{编}$ 为

$$t_{编} = L_{长}/V_{编} = [(n-1)d + 2D_{测}]/V_{编} \cdot \cos \alpha \quad (6)$$

当一个同步周期结束时,反潜直升机进行搜索的时间 $t_{直}$ 为

$$t_{直} = (n + 1) \left[d/V_{直} + (t_{放} + t_{测} + t_{收}) \right] \quad (7)$$

为了保持同步,必须使

$$t_{编} = t_{直} \quad (8)$$

因此

$$\left[(n - 1)d + 2D_{测} \right] / V_{编} \cdot \cos \alpha = (n + 1) \left[d/V_{直} + (t_{放} + t_{测} + t_{收}) \right] \quad (9)$$

从式(9)可以看出, $V_{编}$ 、 $V_{直}$ 、 $t_{放}$ 、 $t_{收}$ 和 $D_{测}$ 在具体的作战使用过程中通常是一定的,因此,影响同步的主要因素为 d 、 $t_{测}$ 、 α 和 n ,其中, n 的取值范围必须满足一定的战术原则。通常情况下,应使

$$D_{测} \leq d \leq 2D_{测} \quad (10)$$

2 仿真模型建立

2.1 倾斜三角形搜索法直升机运动模型

反潜直升机使用吊放声纳搜索时,依次在各个悬停探测点进行探测。因此,每个探测点的位置以及吊放声纳搜索周期确定后,其运动规律就可确定^[7]。

1) 探测点位置表示。

使用倾斜三角形搜索法进行搜索时,由于在各个同步周期的情况相同,因此,只需要对其中任意一个同步周期进行分析即可。建立平面直角坐标系如图 3 所示。

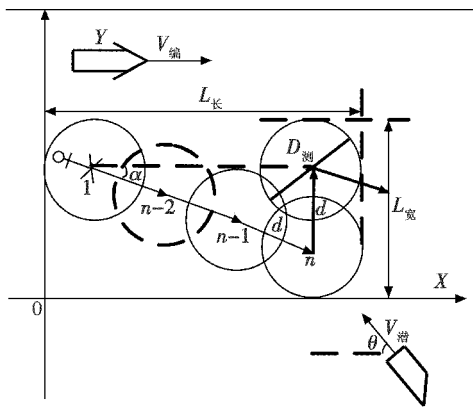


图 3 倾斜三角形搜索周期坐标系

Fig.3 The coordinate system hunting period of triangle search

显然,第一个悬停探测点的位置 (x_0, y_0) 为

$$\begin{cases} x_0 = D_{测} \\ y_0 = d + D_{测} \end{cases} \quad (11)$$

则在从当前同步周期开始的任意同步周期内,第 k ($k \in [k_1 n + 1, (k_1 + 1)n]$, $k_1 = 0, 1, 2, \dots$, (k_1 表示第 k 个同步周期) 个探测点的位置 (x_k, y_k) 为

$$\begin{cases} x_k = [k - (k_1 n + 1)] \cdot d \cdot \cos \alpha + D_{测} + k_1 \cdot (n - 1) \cdot d \cdot \cos \alpha \\ y_k = d + D_{测} - [k - (k_1 n + 1)] \cdot d \cdot \sin \alpha \end{cases} \quad (12)$$

在当前同步周期内,第 k 个探测点的位置 (x_k, y_k) 为

$$\begin{cases} x_k = (k - 1) \cdot d \cdot \cos \alpha + D_{测} \\ y_k = d + D_{测} - k \cdot d \cdot \sin \alpha \end{cases} \quad (13)$$

2) 时间表示。

设,以在首个悬停探测点开始探测的时刻(0 时刻)为基准时间,由于完成每个探测点所花费的时间均为 $t_{直周期}$,则第 k 个探测点结束探测的时刻 t_k 为

$$t_k = 0 + k \cdot t_{直周期} = k \cdot t_{直周期} \quad (14)$$

2.2 侧翼防护时敌潜艇运动模型

1) 敌潜艇的初始位置分布。

在侧翼反潜防护搜索方法中,反潜直升机在舰艇编队侧翼一定距离上与其保持同步运动,只有当敌潜艇进入到反潜直升机建立的反潜巡逻线搜索范围内,反潜直升机才有可能搜索到敌潜艇,否则,对搜索效果不产生影响^[8]。因此,如果不考虑敌潜艇的航行深度,则如图 3 所示,敌潜艇的初始位置 $(x_{潜0}, y_{潜0})$ 可以表示为

$$\begin{cases} x_{潜0} = 4D \\ y_{潜0} = y_e \end{cases} \quad (15)$$

式中,可假设 y_e 为在 $L_{长}$ 范围内服从均匀分布。设 ε_1 为服从均匀分布的随机数,且 $0 \leq \varepsilon_1 \leq 1$,则

$$y_e = \varepsilon_1 \cdot L_{长} \quad (16)$$

2) 敌潜艇的航向分布。

假设敌潜艇为常规动力潜艇,由于常规潜艇的航速通常小于水面舰艇编队的航速,因此,只能从我编队的侧前方接近我编队并对我编队构成威胁。设敌潜艇航向与编队航向之间的夹角为 θ ,则

$$\pi \leq \theta \leq \frac{3}{2} \pi \quad (17)$$

假设 θ 在此范围内服从均匀分布,设 ε_2 为服从均匀分布的随机数,且 $0 \leq \varepsilon_2 \leq 1$,则

$$\theta = \pi + \frac{\varepsilon_2}{2} \pi \quad (18)$$

3) 对敌潜艇航速的判断。

敌潜艇在接近我编队时,通常会采取较高航速进行突防。在进行突防的较短时间内,可假定敌潜艇航速 $V_{潜}$ 是不变的。

4) 敌潜艇位置表示。

设敌潜艇在任意时刻 t 的位置为 $(x_{潜t}, y_{潜t})$,则^[9]

$$\begin{cases} x_{潜t} = x_{潜0} + V_{潜} \cdot t \cdot \cos \theta = 4D_{测} + V_{潜} \cdot t \cdot \cos \left(\pi + \frac{\varepsilon_2}{2} \pi \right) \\ y_{潜t} = y_{潜0} + V_{潜} \cdot t \cdot \sin \theta = y_e + V_{潜} \cdot t \cdot \sin \left(\pi + \frac{\varepsilon_2}{2} \pi \right) \end{cases} \quad (19)$$

2.3 仿真探测效果的研判

根据吊放声纳的工作原理,如果不考虑装备可靠性、机组的训练水平等因素的影响,则当敌潜艇进入到吊放声纳当前悬停探测点的实际有效探测范围,且处于

吊放声纳有效工作时间内时,则认为搜索到敌潜艇^[10]。

由于在每一个同步周期的情况相同,因此,只需要对一个同步周期的情况进行仿真计算即可。仿真时,每一次仿真均采用时间推进的方式,即在当前时刻,首先计算敌潜艇的位置和反潜直升机的位置,然后计算两者之间的距离,如果两者的距离小于 $D_{测}$,且当前时刻在 $t_{测}$ 内(这是因为在 $t_{测}$ 内,只有 $t_{测}$ 才是吊放声纳的有效工作时间),则判定搜索到了敌潜艇,该次仿真结束,进入下一次仿真过程,否则,按设定的仿真步长增加一个步长,再按照上述方法进行判别,直至当前同步周期的时间全部用完,表明该次搜索没有探测到敌潜艇,转入下一次搜索过程继续进行仿真。

2.4 仿真程序

使用 Matlab 编写仿真程序,流程如图 4 所示。

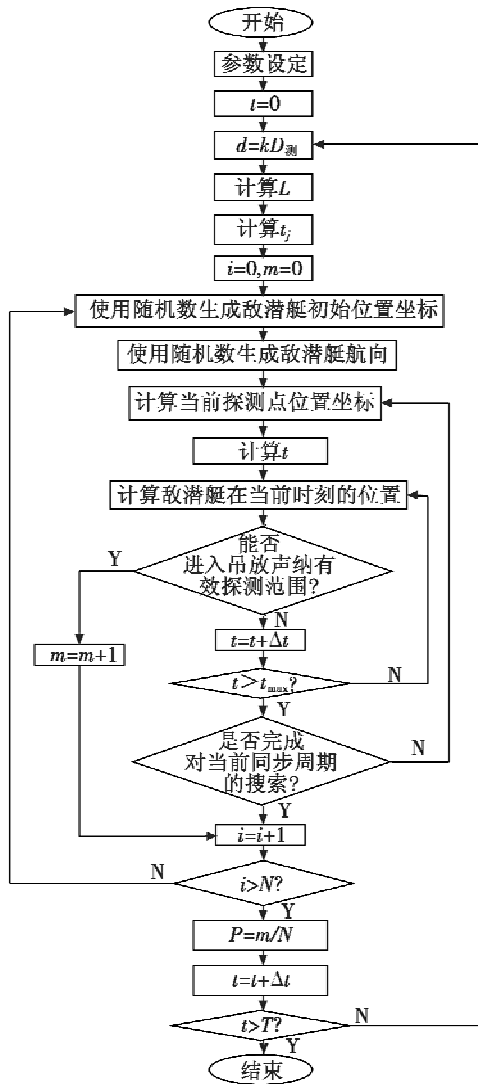


图 4 仿真程序框图

Fig. 4 Logic block diagram of the simulation program

图 4 中, k 为吊放声纳相邻探测点之间的重叠系数, Δt 为仿真步长, T 为最大搜索时间, N 为仿真次数,

m 为探测到敌潜艇的次数。

3 仿真分析

3.1 仿真想定

水面舰艇编队航速为 18 kn (1 kn = 1.852 km/h), 吊放声纳实际有效探测距离为 8 km, 在每个悬停探测点收、放吊放声纳的时间分别为 1 min, 在每个悬停探测点进行听测的时间为 5 min, 转移悬停探测点时直升机的飞行速度为 150 km/h, 倾斜三角形斜边上悬停探测点数量 n 为 4, 最大搜索时间 T 为 2 h。

吊放声纳相邻探测点间距 d 的取值分别为: 8 km、10 km、12 km、14 km、16 km; 敌潜艇的航速介于 5 kn 至 20 kn 之间, 级差为 1 kn。仿真次数 N 为 1000 次, 仿真步长 Δt 为 1 min。

3.2 仿真结果

仿真结果如图 5 所示。

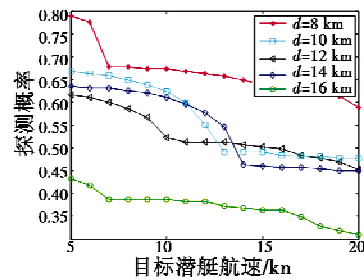


图 5 倾斜三角形搜索法仿真效果图

Fig. 5 The simulation effect of triangle search law

3.3 仿真结果分析

1) 探测点间距对搜索概率的影响。

从图 5 可以看出, 探测点间距对以探测概率表示的搜索效能有重要影响。当探测点间距为 8 km (即重叠系数为 1) 时, 探测概率较高, 最高时为 0.79, 最低时为 0.59。由此可见, 使用倾斜三角形搜索法时, 当悬停探测点间距大约为吊放声纳实际有效探测距离的 1 倍时, 搜索效果最好。

2) 敌潜艇航速对搜索概率的影响。

无论吊放声纳相邻探测点间距为多少, 总的趋势是, 敌潜艇航速越高, 探测概率越低。但即使在敌潜艇航速较高时, 仍能取得比较好的搜索效果。因此, 对于有可能以较高航速从编队侧翼突防的敌潜艇, 倾斜三角形搜索法是一种比较好的侧翼护航搜索方法。

4 结束语

使用舰载直升机进行伴随护航反潜是保证水面舰艇编队对潜防御安全的重要方法, 针对侧翼反潜护航的实际需要和反潜直升机使用吊放声纳搜索的特点, 提出了倾斜三角形搜索法这一新的作战使用方法, 不

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.