

预警探测中的多传感器多目标分配

罗文涛, 许蕴山, 肖冰松, 杨涛

(空军工程大学航空航天工程学院, 西安 710038)

摘要: 针对多传感器多目标分配中传感器对目标的配对函数难以确定的问题, 结合预警探测作战场景, 提出传感器对目标的配对能力由传感器间的协同系数、“信息价值”函数和“信息代价”函数3部分共同决定, 通过对传感器探测能力及现有目标信息的分析比较, 计算出了传感器对目标的配对能力值, 并以传感器对目标分配的综合效能最大为目标函数, 构建了适用于预警探测的分配模型。仿真结果表明, 所提方法合理、有效, 分配方案简单、可行。

关键词: 传感器目标分配; 目标优先级; 配对函数; 综合效能

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2014)11-0028-05

Multi-Sensor Multi-Target Association in Early Warning Detection

LUO Wen-tao, XU Yun-shan, XIAO Bing-song, YANG Tao

(Aeronautics and Astronautics Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract: Aiming at the problem that the matching function of sensor to target is difficult to determine in multi-sensor, multi-target association, a sensor assignment method was given. It was proposed that in the scenario of the actual early warning detection combat, the matching ability of sensor to target was decided jointly by collaborative coefficient between the sensors, information value function and information cost function. Through the analysis and comparison of the sensor detection ability and existing target information, the matching value of sensor to target was calculated out. Then, taking the maximum comprehensive efficiency of the sensor-target association as the objective function, the assignment model applicable to early warning detection was established. Finally, the simulation result verified the rationality and effectiveness of the proposed method, and showed that the association scheme is simple and feasible.

Key words: sensor target association; target priority ordering; matching function; comprehensive efficiency

0 引言

为使预警机多传感器系统的功能最大化, 就必须对多传感器系统进行高效管理, 实现多种传感器协同探测、统一调度, 而多传感器多目标分配问题是多传感器管理的重要研究内容之一, 国内外对于这一问题的研究相对较少。另一方面, 近年来隐身、巡航导弹等技术的飞速发展, 使得探测、跟踪、识别难度不断加大, 多传感器多目标分配问题亟待解决。

国内对于目标分配问题的研究主要集中于以航空火力控制系统为研究背景, 多为多个战斗机平台上的

分配, 而以预警探测系统为背景的单平台分配方法并不多见。文献[1-2]提出了一种基于效能函数的传感器管理方法, 通过传感器与目标的配对函数和目标优先级函数建立效能函数, 以传感器最大跟踪能力及对目标的覆盖为约束, 实现对传感器资源的合理分配, 这种方法的特点是简单可行, 但对某些因素的合理量化问题, 如对配对函数的确定需进一步研究; 文献[3]在建立目标-传感器分配模型时, 将目标对传感器的分配效能函数定义为价值函数和损耗函数, 但未考虑目标特性多样化对效能的影响; 文献[4]考虑目标优先级函数与传感器对目标的效能函数, 建立了多传感器资源预分配数学模型, 将目标检测、目标跟踪与目标识别3种任务下的预分配统一到一个框架下, 然后利用改进匈牙利算法求解目标函数, 缺点是在实际仿真中未对基于任务的配对效能加以确定。

收稿日期: 2013-09-05

修回日期: 2013-09-26

基金项目: 空军工程大学工程学院科研创新基金(XS1101011)

作者简介: 罗文涛(1989—), 男, 湖北荆门人, 硕士生, 研究方向为雷达信号与信息处理。

近年来,对于多传感器多目标分配数学模型的研究主要包括两方面:一是目标优先级函数;二是传感器(或组合)对目标的配对函数。其中,关于传感器(或组合)对目标的配对函数难以用某一具体的数学表达式来表示,大多采用对照已有参数表直接赋值的方法^[2,5-8],这种方法不能科学合理地量化配对函数,使得分配结果不够准确。本文在上述研究的基础上,以预警探测系统为研究背景,建立了分配的具体数学模型,确定了多目标的优先等级函数值,并将配对函数理解为其具体值由协同系数、“信息价值”函数和“信息代价”函数共同决定,以此获得传感器对目标的配对值,最后通过仿真解算出使分配效能最大的分配方案。

1 背景描述

多传感器多目标分配,是指根据目标任务(检测、跟踪或识别)的需求对多传感器资源进行分配,其主要目的是针对多传感器多目标环境,确定传感器与目标的配对,为后续传感器(尤其是多模式传感器或传感器单元)对目标执行更加精确的任务做准备。

1.1 作战场景想定

战场态势初步想定为:假设我方为一空中预警机编队单元,在某一时刻通过警戒雷达探测到我空域中有 n 个目标,敌我双方的战场态势如图 1 所示。图中:圆点表示各类型目标(包括我机);圆点上带箭头的直线表示目标的速度方向。

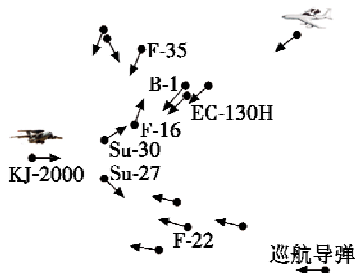


图 1 敌我态势

Fig. 1 Situation of two sides

设空战中预警机(编队)与第 j 个目标的战术几何关系如图 2 所示。图中: r_j 为目标距离; v_z 为载机速度; v_j 为目标 j 的速度; φ_j 为目标前置角(载机速度与目标线的夹角); q_j 为目标速度与目标线的夹角,规定角度相对目标线右偏为正。

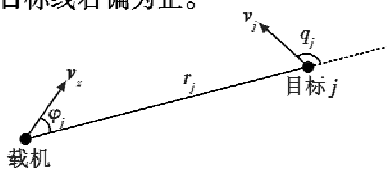


图 2 战术几何关系

Fig. 2 Tactical relation

1.2 传感器特性研究

预警机平台上的主要传感器有 4 类:机载预警雷达(AEW)、红外搜索与跟踪系统(IRST)、电子支援措施(ESM)和敌我识别/二次雷达(IFF/SSR)。4 类传感器各具特点:AEW、IFF/SSR 为主动传感器,ESM 和 IRST 为被动传感器。

AEW 可测定目标的距离、速度、角度等高精度的运动特征;相对雷达来说,IRST 系统采用被动工作方式,能对隐身飞机进行识别,探测距离远,测高能力强,其角分辨率比雷达高得多;ESM 是预警机上除主雷达外第二号重要的目标信号来源,兼有通常的机载雷达告警系统的功能;IFF/SSR 的功能为对目标的敌我属性进行识别,还可配合通信侦察和船舶自动识别系统等确定除我方目标外的其他目标属性,对于我方目标可同时确定其运动参数。

假定预警探测空域内需探测的目标用集合表示为 $T = \{t_j, j = 1, 2, \dots, n\}$,单传感器个数为 4。对于多个基本传感器同时探测同一个目标的情形,可以看成是由这些基本传感器组合而成的一个传感器组合在探测此目标,本文把基本传感器和组合传感器统称为“探测单元”。做出这样的假设后,相当于每个目标必须且只能分配给一个探测单元。4 个基本传感器可形成 $2^4 - 1$ 个探测单元,由于雷达与 ESM 频段有重合,一般不组合使用(雷达发射脉冲会影响 ESM 对频谱的接收),故传感器组合有 7 个。传感器(或组合)用集合表示为 $S = \{s_i, i = 1, 2, \dots, m\}$,如表 1 所示。

表 1 探测单元

Table 1 Detection unit

编号	传感器组成	编号	传感器组成
1	AEW	7	IRST ESM
2	IRST	8	IRST IFF/SSR
3	ESM	9	ESM IFF/SSR
4	IFF/SSR	10	AEW IRST IFF/SSR
5	AEW IRST	11	IRST ESM IFF/SSR
6	AEW IFF/SSR		

由此可见,本文研究的是单平台异类传感器对多目标的分配,不同传感器对目标的监测能力、范围和参数等不同以及目标的属性、身份和已获取信息不同,影响传感器分配的因素主要有:目标优先级和传感器-目标配对的效能。

2 目标优先级函数

目标优先级函数是反映目标优先级高低的数学量。令目标 j 的优先级用 p_j 表示。影响目标优先级的因素很多^[4],既有定量又有定性描述的因素,且相互间关系复杂,需要综合目标特征属性进行全面合理的考

虑。针对预警机探测系统的特点,影响预警机所观测目标优先级的主要因素可归纳为:目标属性 I_D 、威胁指数 T_R 、目标类型 T_Y 、双方态势 E_G 。

各个因素对目标优先级的影响程度各不相同,因此需要评估各个因素,通常使用权系数来反映因素的影响程度,由此构造关于目标优先级的目标函数 $p_j^{[9]}$ 为

$$p_j = \lambda_1 \cdot I_D + \lambda_2 \cdot T_R + \lambda_3 \cdot T_Y + \lambda_4 \cdot E_G \quad (1)$$

式中, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ 为目标优先级函数权系数。

根据专家系统中的经验知识,得到各影响因素的量化值,采用层次分析法可求得影响因素的权重,最后根据目标函数 p_j 求出关于目标的优先级函数值。

3 配对函数

多传感器资源分配时,需要考虑分配效能最大,这就需要传感器-目标配对能力进行深入分析。定义探测单元 i 对目标 j 的配对能力函数为 m_{ij} , 并满足 $\max\{m_{ij}(s_1, s_2, \dots, t_1, t_2, \dots)\} = 1$ 和 $\min\{m_{ij}(s_1, s_2, \dots, t_1, t_2, \dots)\} = 0$ 。

m_{ij} 由 3 部分组成,即:探测单元 i 对目标 j 执行任务时带来的“信息价值”函数 V_{ij} ;探测单元 i 分配给目标 j 后带来的“信息代价”函数 C_i ;传感器协同系数 k_i 。其数学表达式为

$$q_{ij} = k_i \cdot V_{ij} / C_i \quad (2)$$

可以看出,“信息价值” V_{ij} 、协同系数 k_i 越大,配对能力越强;“信息代价” C_i 越大,配对能力越弱。

3.1 “信息价值”函数

V_{ij} 表示探测单元分配给目标后,传感器探测目标所带来的信息价值。主要根据两方面来确定:1) 不同传感器对目标的检测能力侧重点不同,例如雷达对目标动力学特征的检测能力强,而敌我识别对目标属性的检测能力强;2) 要考虑关于目标当前已有的参数信息,如若目标属性已知则不必对其分配敌我识别/二次雷达传感器。

根据目标对传感器的探测需求,将探测单元 i 所能探测到的关于目标 j 的未知信息相加所得,即为探测单元 i 对于目标 j 的信息价值。表 2 列出了关于目标的每一单位信息的价值。

表 2 未知信息价值

Table 2 Value of unknown information

I_D	T_Y	T_R^v, T_R^r	T_R^e
0.3	0.2	0.4	0.1

例如,目标 1 为敌方目标,目标类型未知,速度为 1440 m/s,距离本机 414 km,前置角 φ_j 为 -18° ,目标速度与目标线夹角 q_j 为 174° 。由于目标类型未知到已知的价值量为 0.2,探测单元 1 为雷达,那么,探测单

元 1 对于目标 1 的信息价值即为 $v_{11} = 0$ 。

3.2 “信息代价”函数

C_i 主要是指进行配对后,造成整个多传感器系统的探测损失 C_i^A 和其对我编队的暴露损失 C_i^B 。

1) C_i^A :探测单元 i 分配给目标 j 后,使得 i 无法再对其他目标执行任务。例如雷达一旦跟踪某一目标,就无法对其他目标进行跟踪,直至目标被击毁或飞离我编队范围。

2) C_i^B :探测单元 i 分配给目标 j 后,容易造成整个防区生存概率的下降。例如主动传感器在执行任务时发射的电磁波易被截获,从而暴露自身,受到反辐射导弹等的袭击。

根据以上分析, C^A 和 C^B 如表 3 所示,则: $C_{11} = C_{11}^A + C_{11}^B = 0.4 + 0.7 = 1.1$ 。

表 3 单传感器损失值

Table 3 Value loss of single sensor

	AEW	IRST	ESM	IFF/SSR
C^A	0.4	0.2	0.3	0.1
C^B	0.7	0	0	0.3

3.3 协同系数

传感器协同系数定义为 $k_i = c_{s_i} / d_{e_i}$, 本文解释为由传感器系统中的基本传感器之间协同工作的能力(单传感器不存在协同,故其协同系数为 1), c_{s_i} 为传感器组合中单传感器感知信息的互补系数,是指异类传感器所感知的目标距离、角度、图像、声音等不同特征信息之间的互为补充的能力,它表征了对客观物体所感知信息的多样性, c_{s_i} 越大,获得信息越丰富,探测性能越好,即协同系数 k_i 越大; d_{e_i} 为传感器组合中单传感器工作波段的差异度,它表征同类传感器之间利用不同波段对客观物体感知信息的多样性,差异度 d_{e_i} 越小,协同系数 k_i 越大。

由于机载预警雷达的测距功能分别与红外的测角功能及敌我识别的属性识别形成互补,具有较高协同系数。据此,针对本文 7 类传感器组合, k_i 的取值见表 4。

表 4 协同系数

Table 4 Collaborative coefficient

	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	s_{10}	s_{11}
k_i	1.8	1.7	1.5	1.3	1.4	2.2	2

4 建立分配模型

在确定目标优先级和配对函数后,定义传感器(或组合) i 对目标 j 的分配效能函数 e_{ij} 为

$$e_{ij}(p, q) = \xi \times p_j + (1 - \xi) m_{ij} \quad (3)$$

式中, ξ 为反映配对和优先级对分配效能影响的权系

数,一般取 $\xi = 2/3^{[7]}$ 。

定义传感器 - 目标分配矩阵为 X ,其元素为 x_{ij} 。与传感器 i 分配给目标 j 时, $x_{ij} = 1$, 否则, $x_{ij} = 0$ 。那么 X 是一个 $m \times n$ 阶的、元素为 0 或 1 的矩阵。

多传感器多目标分配模型为:目标函数综合分配

效能最大,即 $E_{\max} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (e_{ij} \times x_{ij})$ 。

约束条件如下所述。

1) 传感器最大跟踪能力约束

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{1j} + \sum_{j=1}^n x_{2j} + \sum_{j=1}^n x_{3j} + \sum_{j=1}^n x_{10j} = n_1, \\ \sum_{j=1}^n x_{2j} + \sum_{j=1}^n x_{5j} + \sum_{j=1}^n x_{7j} + \sum_{j=1}^n x_{8j} + \sum_{j=1}^n x_{10j} + \sum_{j=1}^n x_{11j} = n_2, \\ \sum_{j=1}^n x_{3j} + \sum_{j=1}^n x_{7j} + \sum_{j=1}^n x_{9j} + \sum_{j=1}^n x_{11j} = n_3, \\ \sum_{j=1}^n x_{4j} + \sum_{j=1}^n x_{6j} + \sum_{j=1}^n x_{8j} + \sum_{j=1}^n x_{9j} + \sum_{j=1}^n x_{10j} + \sum_{j=1}^n x_{11j} = n_4, \\ n_1 = 12, n_2 = 9, n_3 = 5, n_4 = 8. \end{cases} \quad (4)$$

2) 目标覆盖约束(每个目标有且仅有一个探测单元)

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

5 仿真分析

为了验证预警机多传感器多目标资源分配算法模型的正确性以及提出的协调机制,本文选取机载预警雷达、红外、ESM、敌我识别 4 个空基平台传感器 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 及其组合作为对象,对 15 个空中目标探测过程的资源分配进行了仿真。

5.1 仿真参数

关于目标的部分参数信息已由信息支援作战单元测得,如表 5 所示。

表 5 目标参数信息

Table 5 Target parameter

目标编号	属性	T_Y	r_j/km	$v_j/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$\varphi_j/(\circ)$	$q_j/(\circ)$	E_C
1	敌	-	414	1440	-18	174	被我方锁定
2	敌	巡航导弹	-	-	-	-	锁定我方
3	敌	F-35	349	537	-	-	锁定我方
4	敌	-	-	-	45	157	锁定我方
5	-	F-22	-	-	-24	171	锁定我方
6	敌	-	293	650	-	-	锁定我方
7	-	-	283	245	-17	177	锁定我方
8	敌	EC-130H	-	-	61	173	双方未锁定
9	-	B-1	315	238	24	155	被我方锁定
10	-	-	312	272	-	-	锁定我方
11	-	-	-	-	25	168	双方未锁定
12	敌	-	-	-	-	-	双方未锁定
13	-	F-16	201	579	-	-	双方未锁定
14	友	Su-27	140	550	-16	27	双方未锁定
15	友	Su-30	139	550	14	-18	双方未锁定

其中,目标属性包括敌、我、不明,目标类型包括导

弹、战斗机、电子战飞机、轰炸机、预警机、不明等,目标运动学特征参数包括距离、速度、角度,目标与我方态势包括目标锁定我方、我方锁定目标、双方均未锁定三种情况。我机编队飞行速度为 $v_x = 230 \text{ m/s}$,我机最大作用距离为 $r_{\max} = 470 \text{ km}$ 。

5.1.1 计算目标优先级函数值

根据表 5 数据,利用式(1),计算目标优先级函数值 p_j 如表 6 所示。

表 6 目标优先级函数值

Table 6 Target priority

目标编号	优先级函数值	目标编号	优先级函数值	目标编号	优先级函数值
1	0.270	6	0.376	11	0.158
2	0.355	7	0.217	12	0.268
3	0.341	8	0.273	13	0.214
4	0.350	9	0.136	14	0.192
5	0.240	10	0.208	15	0.191

5.1.2 计算配对函数值

1) 信息价值。由表 5 中已获取的目标的部分参数信息,若 $x_{ij} = 1$,则

$$V_i = \begin{bmatrix} 0 & 0.5 & 0.1 & 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0 & 0.4 & 0 & 0.1 & 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0.2 & 0 & 0.3 & 0.2 & 0 & 0 & 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.5 & 0 & 0.3 & 0.6 & 0.5 & 0.3 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0.3 & 0 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.5 & 0.1 & 0.6 & 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.4 & 0 & 0.3 & 0.6 & 0.7 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.1 & 0.4 & 0.7 & 0.1 & 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0.4 & 0.7 & 0.5 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.5 & 0 & 0.3 & 0.6 & 0.5 & 0.3 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.5 & 0 & 0.3 & 0.6 & 0.5 & 0.3 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.5 & 0 & 0.3 & 0.6 & 0.5 & 0.3 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.5 & 0.1 & 0.6 & 0.7 & 0.3 & 0.5 & 0.4 & 0.3 & 0.6 & 0.9 & 0.7 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.5 & 0 & 0.3 & 0.6 & 0.5 & 0.3 & 0.4 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

2) 信息代价。根据信息代价的定义以及单传感器损失的信息值,计算探测单元的信息代价得

$$C_i = [1.1 \ 0.2 \ 0.3 \ 0.4 \ 1.3 \ 1.5 \ 0.5 \ 0.6 \ 0.7 \ 1.7 \ 0.9]^T \quad (7)$$

3) 配对函数。根据式(2)计算各传感器(或组合)对目标的配对值并将其归一化后,得到配对函数为

$$m_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 0.23 & 0.05 & 0.18 & 0.18 & 0.05 & 0 & 0.18 & 0 & 0.05 & 0.18 & 0.23 & 0.05 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.25 & 0.25 & 0.5 & 0 & 0.75 & 0.5 & 0 & 0 & 0.75 & 0.5 & 0.75 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0.33 & 0.17 & 0.17 & 0.33 & 0.5 & 0.5 & 0.83 & 0 & 0.5 & 1 & 0.83 & 0.5 & 0.67 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.38 & 0 & 0.38 & 0 & 0.38 & 0.38 & 0.38 & 0 & 0.38 & 0 & 0 \\ 0.14 & 0.35 & 0.07 & 0.42 & 0.28 & 0.21 & 0.14 & 0.28 & 0 & 0.21 & 0.42 & 0.48 & 0.07 & 0 & 0 \\ 0 & 0.28 & 0.06 & 0.23 & 0.40 & 0.06 & 0.17 & 0.23 & 0.17 & 0.23 & 0.40 & 0.28 & 0.23 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.15 & 0.15 & 0.3 & 0.45 & 0.45 & 0.75 & 0 & 0.45 & 0.9 & 0.75 & 0.45 & 0.6 & 0 & 0 \\ 0.22 & 0.11 & 0.11 & 0.22 & 0.33 & 0.33 & 0.54 & 0 & 0.33 & 0.65 & 0.54 & 0.33 & 0.43 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.5 & 0 & 0.3 & 0.6 & 0.5 & 0.3 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.12 & 0.32 & 0.06 & 0.39 & 0.45 & 0.19 & 0.32 & 0.26 & 0.19 & 0.39 & 0.58 & 0.45 & 0.26 & 0 & 0 \\ 0.22 & 0.11 & 0.11 & 0.22 & 0.33 & 0.33 & 0.56 & 0 & 0.33 & 0.67 & 0.56 & 0.33 & 0.44 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

5.2 分配仿真

依据多传感器多目标分配的模型,求得满足约束条件的目标函数最大值 $E_{\max} = 5.079$,相应的传感器 - 目标分配矩阵为

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}。$$

具体分配情况如表 7 所示。

表 7 效能 $E_{max} = 5.079$ 最大时的分配结果

Table 7 Allocation results when $E_{max} = 5.079$

传感器	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
s_1														✓	✓
s_2	✓		✓	✓		✓							✓		
s_3							✓		✓	✓	✓			✓	
s_4															
s_5		✓						✓							
s_6															
s_7															
s_8															
s_9															
s_{10}					✓										
s_{11}															

由表 7 可以看出, AEW 分配给了目标 14、15;IRST 分配给了目标 1、3、4、6、12;ESM 分配给了目标 7、9、10、11、13;传感器组合 AEW 和 IRST 分配给了目标 2、8;传感器组合 AEW、IRST 和 IFF/SSR 分配给了目标 5。那么,所有目标都被分配了最少的传感器资源,用于探测关于目标的所有未知信息,使得资源利用最大化。

观察表 7 发现,在本次分配效能最大的分配方案中主要集中在单传感器对目标的分配,传感器组合分配较少,这使得在满足对目标探测要求的条件下尽量约束传感器对目标的分配,避免资源浪费使得效能最大。

从主、被动传感器的分配结果来看,IRST 和 ESM 被多次分配,而 AEW 和 IFF/SSR 则较少被分配。相比主动传感器,被动传感器由于其较好的隐蔽性,在多数情况下如果被动传感器能达到探测要求,则被优先选择。

比较各目标所分配的传感器,对于友方目标 14、15,由于其信息已知,只需分配雷达传感器对其进行指挥引导,而威胁等级高的目标被分配更多的传感器,比如目标 2、8、5,以确保探测空域内威胁度高的目标得到优先探测、识别和跟踪。

6 结论

多传感器多目标分配中,目标的优先级排序是关

键,传感器对目标的配对能力是难点。本文在配对函数中引入协同系数、“信息价值”函数和“信息代价”函数,解决了配对函数难以确定的问题,根据基于效能函数的分配模型确定了多传感器对多目标的分配方案。需要进一步研究的问题是:

1) 建立一种适用于以预警机为核心的控制系统,引入任务的分配级别、活动队列、非活动队列、时间向量等概念,实现传感器对目标的实时动态分配;

2) 搜集空战中的实际参数,用于分析确定文中反映配对和优先级对分配效能影响的权系数 ξ ,更好地贴近作战实际。

参 考 文 献

[1] LIU X X, PAN Q, ZHANG H C, et al. Study on algorithm of sensor management based on functions of efficiency and waste[J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2000, 13(1): 39-44.

[2] 刘先省, 乔东杰, 潘泉, 等. 基于线性规划的传感器管理算法的研究[J]. 河南大学学报: 自然科学版, 1999, 29(4): 7-12.

LIU X X, QIAO D J, PAN Q, et al. Study on algorithm of sensor management based on linear programming [J]. Journal of Henan University: Natural Science, 1999, 29(4): 7-12.

[3] 童俊, 单甘霖. 基于修正 Riccati 方程与 Kuhn-Munkres 算法的多传感器跟踪资源分配[J]. 控制与决策, 2012, 27(5): 747-751.

TONG J, SHAN G L. Study of multi-sensor allocation based on modified Riccati equation and Kuhn-Munkres algorithm [J]. Control and Decision, 2012, 27(5): 747-751.

[4] 童俊, 单甘霖. 面向任务的多传感器资源预分配建模与求解[J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34(10): 2036-2044.

TONG J, SHAN G L. Modeling and solution of task oriented multi-sensor resources preallocation[J]. Systems Engineering and Electronics, 2012, 34(10): 2036-2044.

[5] 郝永飞, 林都, 曾建平. 结合浪费函数的多传感器管理算法[J]. 中北大学学报: 自然科学版, 2005, 26(5): 345-347.

HAO Y F, LIN D, ZENG J P. Algorithm of multisensor management with the waste function[J]. Journal of North University of China: Natural Science Edition, 2005, 26(5): 345-347.

[6] 刘蕃, 王新民, 李爱军, 等. 一种改进的基于线性规划的机载多传感器管理算法[J]. 计算机测量与控制, 2005, 13(10): 1158-1160.

(下转第 82 页)

能够快速分割感兴趣区域并判别云层与舰船目标,可以有效地排除多种云层干扰。

参 考 文 献

- [1] OTSU N. A threshold selection method form gray-level histograms[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1979, 9(1):62-66.
- [2] LCUNG H, DUBASH N, XIE N. Detection of small objects in clutter using a GA-RBF neural network [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems(AES), 2002, 38(1):98-118.
- [3] ARII M, VAN ZYL J J, KIM Y. Adaptive model-based decomposition of polarimetric SAR covariance matrices[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2011, 49(3):1104-1113.
- [4] 李晓玮,种劲松.基于小波分解的K-分布SAR图像舰船检测[J].测试技术学报,2007,21(4):350-354.
LI X W, CHONG J S. A ship detection method of SAR images based on wavelets and K-distribution [J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2007, 21(4):350-354.
- [5] 丁正虎.基于选择性视觉注意机制的遥感图像舰船目标检测与识别[D].上海:复旦大学,2011.
DING Z H. Visual attention-based ship detection and recognition in remote sensing images [D]. Shanghai: Fudan University, 2011.
- [6] 周伟,何东亮,关键,等.基于视觉显著性的雷达视频舰船检测[J].雷达科学与技术,2012,10(1):54-58.
ZHOU W, HE D L, GUAN J, et al. Ship detection in radar video based on visual saliency [J]. Radar Science and Technology, 2012, 10(1):54-58.
- [7] 唐沐恩,林挺强,文贡坚.遥感图像中舰船检测方法综述[J].计算机应用研究,2011,28(1):29-35.
TANG M E, LIN T Q, WEN G J. Overview of ship detection methods in remote sensing image [J]. Application Research of Computers, 2011, 28(1):29-35.
- [8] 王彦情,马雷,田原.光学遥感图像舰船目标检测与识别综述[J].自动化学报,2011,37(9):1029-1039.
WANG Y Q, MA L, TIAN Y. State of the art of ship detection and recognition in optical remotely sensed imagery [J]. Acta Automatica Sinica, 2011, 37(9):1029-1039.
- [9] 储昭亮,王庆华,陈海林,等.基于极小误差阈值分割的舰船自动检测方法[J].计算机工程,2007,33(11):239-241.
CHU Z L, WANG Q H, CHEN H L, et al. Ship auto detection method based on minimum error threshold segmentation [J]. Computer Engineering, 2007, 33(11):239-241.
- [10] 蔡姝,吴宏明.基于海陆分割的舰船目标变化检测研究[J].电视技术,2010,34(5):109-112.
CAI S, WU H M. Study on change detection of ship target based on sea-land segmentation [J]. Video Application and Project, 2010, 34(5):109-112.
- [11] 高立宁,毕福昆,龙腾,等.一种光学遥感图像海面舰船检测算法[J].清华大学学报:自然科学版,2011,51(1):105-110.
GAO L N, BI F K, LONG T, et al. Ship detection algorithm for optical remote sensing images [J]. Tsinghua Univ:Sci & Tech, 2011, 51(1):105-110.
- [12] KIEIN L A. 多传感器数据融合理论及应用[M].戴亚平,译.北京:北京理工大学出版社,2004.
KLEIN L A. Sensor and data fusion concepts and applications [M]. Translated by DAI Y P. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2004.
- [13] 王保云,张荣,袁圆,等.可见光遥感图像中舰船目标检测的多阶阈值分割方法[J].中国科学技术大学学报,2011,41(4):293-298.
WNAG B Y, ZHANG R, YUAN Y, et al. A new multi-level threshold segmentation method for ship targets detection in optical remote sensing images [J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2011, 41(4):293-298.
- (上接第32页)
- LIU F, WANG X M, LI A J, et al. Improved multi-sensor management based on linear Programming [J]. Computer Measurement & Control, 2005, 13(10):1158-1160.
- [7] 杨秀珍,鞠传文,何友.基于效能函数的传感器管理系统仿真[J].系统仿真学报,2003,15(2):251-253.
YANG X Z, JU C W, HE Y. Simulation management of multi-sensor system based on the effectiveness funcion [J]. Journal of System Simulation, 2003, 15(2):251-253.
- [8] 申章,王俊峰.基于蚁群算法的多传感器目标分配模型[J].计算机应用,2009,29(s1):131-133.
SHEN Z, WANG J F. Model of multi-sensor targets based on antcolony algorithm [J]. Journal of Computer Applications, 2009, 29(s1):131-133.
- [9] 陈升来.机载传感器管理中的目标优先级评估方法研究[J].计算机测量与控制,2012,20(12):3292-3294, 3298.
CHEN S L. Study on target priority evaluation method in airborne sensor management [J]. Computer Measurement & Control, 2012, 20(12):3292-3294, 3298.