

## 基于任务合成技术的目标分配问题研究

庞海龙, 王文豪, 胡盛华, 翟保磊  
(中国航空无线电电子研究所, 上海 200233)

**摘要:** 通过将多机空战中目标分配作为任务合成技术的一个典型应用场景, 提出了一种基于任务合成技术解决目标分配问题的方案。首先, 通过传统方法构建己方优势函数、目标威胁指数和 WSEIAC 效能评估模型, 实现了目标态势感知和作战效能评估; 然后, 将依据“以优攻劣”原则设计的目标分配算法与任务计划评估决策技术和任务执行管理技术结合, 设计了目标分配方案; 最后, 利用贝叶斯网络和任务合成软件进行了目标分配算法和方案的仿真验证。仿真结果验证了基于任务合成技术的目标分配方案的有效性。

**关键词:** 空战; 任务合成; 多目标分配; WSEIAC 模型; 贝叶斯网络

**中图分类号:** V271.4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-637X(2015)08-0048-06

## Multi-target Assignment Based on Task Synthesis Technology

PANG Hai-long, WANG Wen-hao, HU Sheng-hua, ZHAI Bao-lei  
(Aeronautical Radio Electronics Research Institute, AVIC, Shanghai 200233, China)

**Abstract:** By taking multi-target assignment in air combat of multiple fighters as a representative application of task synthesis technology, a scheme for solving the multi-target assignment problem was proposed based on task synthesis technology. Firstly, traditional method was used for constructing superiority function of our side, threat function of target, and WSEIAC effectiveness assessment model. Assessment to the combat situation and threat was achieved. Then, the target assignment algorithm with the principle of “attacking the inferior one by the one with superiority” was used together with the task planning assessment and task executing management, and a target assignment scheme was obtained. Finally, the target assignment algorithm and the scheme were simulated by using Bayesian network and task synthesis software. The simulation results verify that the scheme of multi-target assignment is effective.

**Key words:** air combat; task synthesis; multi-target assignment; WSEIAC model; Bayesian network

### 0 引言

多目标分配问题(Multi-target Assignment Problem)是现代多机协同空战环境下飞行员关注的重点问题<sup>[1]</sup>, 多目标分配是指机群编队多机协同空战面临多个敌方目标时, 需要根据我方资源为各个友机分配打击目标。文献[2-4]利用威胁指数法实现了目标分配的算法设计, 但对目标分配任务的管理和执行效能关注很少。本文拟从任务执行管理的角度, 以如何提高任务执行效率、效能进而提高目标分配任务成功率为目标, 展开目标分配问题的研究。

自美军建立一体化的指挥、控制、通信、计算机和情报系统(C<sup>4</sup>I)以来, 现代作战飞机向更深层次综合化、智能化方向发展<sup>[5-7]</sup>, 并面临以网络为中心的使用环境, 极大地增加了信息处理和作战方式的复杂度, 也对飞行员提出了更高的要求。为了解决这个问题, 国内提出了任务合成技术的概念<sup>[8]</sup>。任务合成技术是面向下一代战机任务系统的设计方法, 其主要内容为: 针对系统任务执行组织, 建立态势感知和识别模式, 提升系统感知识别能力(系统态势感知合成、系统能力组织); 建立任务计划评估和决策机制, 提升任务组织能力和性能(系统任务评估决策合成、系统能力组织); 建立任务执行和状态管理合成机制, 提升任务执行有效性(系统执行任务合成、系统任务计划组织); 建立任务能力组织机制, 提升任务支撑能力和性能(系统任

收稿日期: 2014-09-03      修回日期: 2014-11-17

作者简介: 庞海龙(1988—), 男, 河北衡水人, 硕士, 助工, 研究方向为综合任务管理系统技术和任务合成技术。

务能力合成,形成任务组织合成构架)。

任务合成的基本思路为:以典型作战想定为输入,分析系统的任务需求,由任务需求分析系统功能需求和系统能力需求,并由此构建任务系统的功能、能力体系架构;经过态势、计划、决策的组织合成,实现快速有效的任务态势感知、任务计划评估决策和任务执行管理。任务合成过程如图 1 所示。

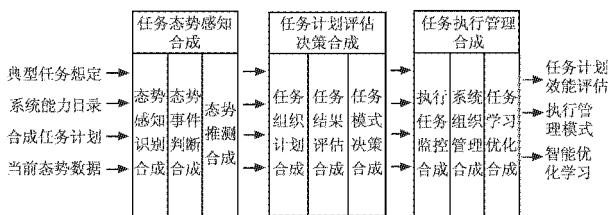


图 1 任务合成运行示意图

Fig.1 The operation diagram of task synthesis

基于任务合成技术的运行架构及组织形式,在态势感知的基础上,提出了基于任务合成技术的目标分配任务系统方案。

### 1 目标分配问题描述

空战态势评估和威胁估计是多目标分配问题的基础,两者的推理处理过程是交互和并行的<sup>[9]</sup>,态势评估和威胁估计的方法包括参量法和非参量法。参量法根据目标特征概率分布,以平均概率最小为准则进行估算,计算相对复杂,其典型方法是贝叶斯(Bayes)法。非参量法根据交战双方的位置、进入角、速度、武器性能等信息作为评估内容,可以方便地进行仿真建模,因此本文采用非参量法。同时,为了提高评估精确度,采用 WSEIAC 模型(也称 ADC 模型)评估飞机空战能力<sup>[10]</sup>。

#### 1.1 构建己方优势指数

多机空战中,我机根据己方资源(空中优势、友机资源、本机资源等)和敌机威胁信息综合判断相对某架敌机的攻击、规避策略。己方优势函数可以用来评估己方资源,定义己方优势函数为<sup>[2-4]</sup>

$$P_{ij} = k_1 p_{ij}^{sit} + k_2 p_{ij}^{abi} \quad (1)$$

$$P_{ij}^{sit} = s_1 P_{ijAgl} + s_2 P_{ijAtk} + s_3 P_{ijv} \quad (2)$$

式中: $p_{ij}$ 为我机*i*相对敌机*j*总的优势函数值; $p_{ij}^{sit}$ 为我机*i*相对敌机*j*的空中优势函数值; $p_{ijAgl}$ 为角度优势值; $p_{ijAtk}$ 为攻击优势函数; $p_{ijv}$ 为速度优势函数值; $p_{ij}^{abi}$ 为我机*i*相对敌机*j*的空战效能函数值。 $p_{ij}, p_{ijAtk}, p_{ijv}$ 取值范围为 $[0, 1]$ ,  $p_{ijAgl}$ 取值范围为 $[-1, 1]$ , 参数取值满足  $k_1 + k_2 = 1, s_1 + s_2 + s_3 = 1$ , 其值可经层次分析法由专家给定<sup>[10]</sup>。本文取  $s_1 = 0.2, s_2 = 0.4, s_3 = 0.4, k_1 = 0.6, k_2 = 0.4$ 。

我机相对敌机的空中态势如图 2 所示。

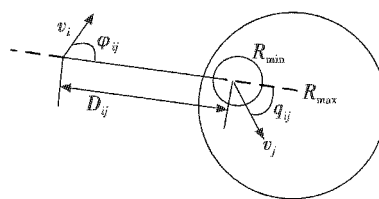


图 2 空战态势示意图

Fig.2 The diagram of air combat situation

图 2 中: $D_{ij}$ 为目标线,即我机*i*到敌机*j*的距离; $\varphi_{ij}$ 为位置角,即友机偏离目标线 $D_{ij}$ 的角度,规定右偏为正, $0 \leq |\varphi_{ij}| \leq \pi$ ;  $q_{ij}$ 为进入角,即敌机偏离目标线 $D_{ij}$ 的角度,规定右偏为正, $0 \leq |q_{ij}| \leq \pi$ 。角度优势指数  $p_{ijAgl}$  可以表示为

$$p_{ijAgl} = 1 - \frac{(|\varphi_{ij}| + |q_{ij}|)}{\pi} \quad (3)$$

攻击优势指数  $p_{ijAtk}$  可以表示为<sup>[2-4]</sup>

$$p_{ijAtk} = e^{-[(D_{ij} - R_0)/\delta_D + (\varphi_{ij}^2/16\varphi_D^2)]} \quad (4)$$

式中: $R_0 = (R_{max} + R_{min})/2$ ;  $\delta_D = 2(R_{max} - R_{min})$ ;  $R_{max}, R_{min}$ 为导弹攻击区的近边界和远边界; $\varphi_D$ 为雷达截获角,  $|\varphi_{ij}| \leq \varphi_D$ 。

速度优势指数  $p_{ijv}$  可以表示为

$$p_{ijv} = \begin{cases} 1 & v_i > 1.5v_j \\ -0.5 + v_i/v_j & 0.6v_j \leq v_i \leq 1.5v_j \\ 0.1 & v_i < 0.6v_j \end{cases} \quad (5)$$

以下将构建空战效能函数值。战斗机的作战效能是任务合成技术用来衡量飞机作战任务执行能力的一个重要指标。因此,与文献[3-5]中考虑飞机的作战能力不同,本文以飞机作战效能来构建敌机的威胁指数。飞机的空战效能指数  $p_{ij}^{abi}$  主要包含可用性、可信性以及探测能力、跟踪截获能力、机动能力、武器性能、电子对抗能力和毁伤目标能力。飞机的空战效能可以用 WSEIAC 模型建立<sup>[10]</sup>, 其模型为

$$E = A \cdot D \cdot C \quad (6)$$

式中: $A = [a_1, a_2, \dots, a_n]$ 为系统的可用性向量,表示系统在开始执行任务瞬间处于不同状态的概率, $a_n$ 为任务开始执行时处于*n*状态的概率; $D = (d_{i,j})_{n \times n}$ 为系统的可信性矩阵, $d_{i,j}$ 表示开始瞬间系统处于*i*状态而在使用中转移到*j*状态的概率; $C = (c_{j,k})_{n \times n}$ 为系统的力量向量, $c_{j,k}$ 表示在最后的可能状态*j*中达到第*k*项效能指标。

设飞机只有正常和故障两种状态,则可用性向量  $A$  可以表示为

$$A = (a_1, a_2) \quad (7)$$

式中: $a_1 = \frac{T_{MTBF}}{T_{MTBF} + T_{MTTR}}$ ,  $T_{MTBF}$ 为飞机平均故障间隔时间,  $T_{MTTR}$ 为飞机故障的平均修复时间; $a_2 = 1 - a_1$ 。

可靠性矩阵  $D$  为

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} \\ d_{21} & d_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e^{-\lambda T} & 1 - e^{-\lambda T} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

式中:  $T$  为任务持续时间;  $\lambda = \frac{1}{T_{MTBF}}$ 。

飞机固有能力向量  $C$  表示飞机任务结束时所处状态完成任务的程度

$$C = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (9)$$

式中,  $C_1$  为对飞机正常工作时完成任务能力的度量, 显然故障状态系统无法完成任务, 因此  $C_2 = 0$ 。在此使用对数法求飞机对空作战能力指数,  $C_1$  的计算模型为

$$C_1 = [\ln B + \ln(\sum K_{Aik} + 1) + \ln(\sum D_{det} \cdot I_{lnc})] P_{EW} P_k \quad (10)$$

式中:  $B$  为机动性参数;  $K_{Aik}$  为武器攻击能力参数;  $D_{det}$  为探测能力参数;  $I_{lnc}$  为跟踪截获能力参数;  $P_{EW}$  为电子对抗能力参数;  $P_k$  为对已实施攻击目标的毁伤概率。

为了便于数据分析, 利用相对空战效能衡量飞机的空战效能指数, 并利用分段连续函数实现。定义我机  $i$  相对敌机  $j$  的空战效能函数值为

$$P_{ij}^{abi} = \begin{cases} 1 & E_i/E_j > 1.2 \\ -2 + 2.5 \cdot E_i/E_j & 1.2 \geq E_i/E_j > 1 \\ 0.5 & E_i/E_j = 1 \\ E_i/E_j - 0.5 & 1 > E_i/E_j \geq 0.5 \\ 0 & E_i/E_j < 0.5 \end{cases} \quad (11)$$

式中:  $E_i$  为我机的空战效能指数;  $E_j$  为敌机空战效能指数。

### 1.2 目标威胁指数的建立

目标威胁指数表示敌机对我机的威胁程度, 可以参考优势指数的方法建立目标威胁指数。目标威胁可分为几何态势威胁和目标特性威胁。几何态势威胁是指目标的距离、接近速度、目标方位角、高低角、进入角等对我机的威胁程度。目标特性威胁是指目标类型、携带的武器、机动性能和作战意图等对我机的威胁。本文采用文献[2]的方法计算目标威胁指数

$$T_i = b_1 \cdot T_r \cdot T_\alpha + b_2 T_v + b_3 T_c \quad (12)$$

式中:  $T_i$  为敌机  $i$  对我机  $j$  的威胁指数;  $b_1 + b_2 + b_3 = 1$ , 可由专家根据经验给出;  $T_\alpha, T_r, T_v, T_c$  分别表示敌机对我机的角度威胁、距离威胁、速度威胁和空战能力威胁。

结合优势函数(1)和威胁指数(12), 基于任务合成技术的目标分配问题可以描述为: 利用任务态势感知模式合成技术, 生成态势评估矩阵  $P(P = (p_{ij})_{m \times n})$  和目标威胁矩阵  $T$ , 基于“以优攻劣”的目标分配原则完成目标分配; 利用生成的目标分配事件进行计划搜索和计划效能评估, 完成任务计划评估决策模式合成; 最后, 利用任务执行管理合成技术和任务计划监控评估技术实现任务计划的执行管理、效能监控, 保证任务计划的有效执行。

### 2 基于任务合成的目标分配方案设计

本节分两步解决目标分配问题: 1) 基于态势评估矩阵  $P$  和目标威胁矩阵  $T$  设计目标分配算法; 2) 基于任务合成技术设计目标分配评估决策、任务管理和计划评估监控方案, 以提高目标分配任务的执行效率。

基于任务合成的目标分配原理如图 3 所示。

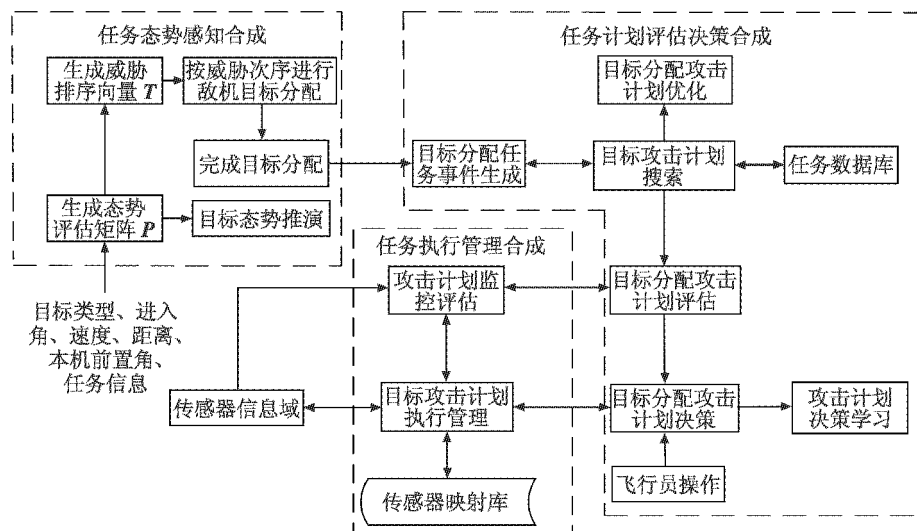


图 3 基于任务合成的目标分配运行原理图

Fig. 3 The operation diagram of target distribution based on task synthesis



## 2.1 目标分配算法设计

在多机协同空战中,可以选择的目标分配原则包括:1)以优攻劣,即我方空战态势占优的飞机攻击处于劣势的目标;2)优先打击高威胁目标;3)避免重复攻击;4)任务效能优先,即选择综合效能最高的目标分配计划。

设我方  $m$  架飞机攻击敌方  $n$  架飞机。根据“以优攻劣”原则,目标分配算法的具体步骤如下所述。

1)空战态势评估,根据式(1)计算我机相对敌机的空战优势指数,生成空战态势矩阵  $P = (p_{ij})_{m \times n} =$

$$\begin{pmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ p_{m1} & \cdots & p_{mn} \end{pmatrix}, \text{其中, } p_{ij} \text{ 在式(1)中给出。}$$

2)目标威胁指数建立,构建各架敌机对我机的威胁指数,将全部威胁指数从小到大排序,构成全体敌机对全体我机的威胁排序向量:  $T = (T_i)_{m \times n} = [t_1, \dots, t_{m \times n}]$ 。

3)确定向量  $T$  中第一个元素(威胁指数最小)对应的敌机(设为敌机  $j$ ),并设威胁指数为  $t_j$ 。

4)在矩阵  $P$  的第  $j$  列查找最大元素,如果  $p_{ij} \geq t_j$ ,则将敌机  $j$  分配给我机  $i$  攻击;如果  $p_{ij} < t_j$ ,则所有飞机对敌机  $j$  采取规避策略。

5)删除  $P$  中第  $j$  列和向量  $T$  中敌机  $j$  对应的元素。

6)如果分配给我机  $i$  攻击的敌机数量等于或超过我机  $i$  的多目标攻击能力或者挂载的导弹数目限制,则我机  $i$  退出目标分配,且删除矩阵  $P$  的第  $i$  行,否则我机  $i$  继续参加目标分配。

7)重复步骤3)~6),直至删除矩阵  $P$  的全部元素,即完成目标分配过程。

## 2.2 目标分配任务决策管理

作战飞机通过感知战场环境生成态势矩阵  $P$  和  $T$ ,完成了任务态势感知合成的过程。文献[2-4]根据矩阵  $P$  和  $T$  生成目标分配方案,并由飞行员完成对敌机的攻击或规避动作,更加注重于目标分配算法的设计,没有考虑飞机任务系统对目标分配方案的执行情况。通过任务计划评估决策合成技术和任务执行管理合成技术可以实现对目标分配计划的评估决策和监控管理,使得战斗机可以更好地完成作战任务。任务决策管理包括任务计划评估决策合成和任务执行管理合成两部分。

任务计划评估决策合成:目标分配完成后会自动生成目标分配任务事件。任务系统根据此任务事件在任务数据库中搜索满足当前态势要求的目标分配攻击计划。任务数据库根据战场想定在地面仿真模拟生成,并根据战场想定的增加而不断丰富和完善。任务计划

事先生成减少了战场上任务计划的制定时间,保证了任务计划的实时性和可靠性,但需要通过仿真验证和试飞验证不断地改进和完善。从任务数据库中将搜索到多条攻击任务计划,这些计划根据与当前战场态势的匹配程度而检索得到,并可以根据当前态势信息由飞行员进行适当的优化,例如对某条计划增加电子对抗策略。显控系统将显示每条任务计划的任务完成率和任务执行效能等信息,并推荐飞行员选择综合效能最高的攻击方案,飞行员也可以根据自身经验和态势信息进行决策。在此,任务系统担任了任务计划制定者的角色,而飞行员从“操纵员”转变为“决策者”。任务系统也可以通过记录并学习飞行员在执行任务过程中的操作信息、决策信息,提升任务系统计划制定和决策的能力。

任务执行管理合成:目标分配攻击计划确定后,任务执行管理模块根据传感器映射库查找当前攻击计划对应的传感器、挂载等信息,并依照任务计划中对传感器和武器的功能能力需求对机载设备进行组织和管理。为了确定任务计划的执行效果,需要对任务计划进行监控评估。通过收集各载荷设备的状态和数据信息,利用相关的作战效能信息和指标体系<sup>[10]</sup>,任务系统可以实现对任务计划执行效率、效能的监控和评估,保证了任务系统工作流程的闭环。当作战计划执行效果不能满足空战要求时,通过采集载荷设备信息,任务系统可以重新生成空战态势矩阵  $P$  和目标威胁指数矩阵  $T$ ,并重新进行目标分配。为防止频繁改变攻击计划而贻误战机,必须在上一次结果执行一段时间之后才可进行下一次目标分配。

## 3 仿真及结果分析

考虑到飞机性能的差异,本文以4:2空战算例进行仿真验证。想定我方4架同型歼击机空中截击敌方2架歼击机。与文献[3]中利用神经网络实现空战决策不同,本文采用贝叶斯网络实现协同空战决策。贝叶斯网络节点中保存的知识可以由专家指定,节点之间的连接有明确的实际意义,更符合人们对军事领域知识的理解。贝叶斯网络已在态势估计和知识推理领域得到了广泛的应用<sup>[11-12]</sup>。贝叶斯网络仿真时,网络节点意义及判断规则如表1所示。

表1 贝叶斯网络节点

Table 1 The nodes of Bayesian networks

节点名称	状态	判断规则
父节点	我机 $i$ 攻击敌机 $j$	攻击或规避
子节点 $p$	我机 $i$ 对敌机 $j$ 具有优势	$p(\text{攻击}) > 0.5$
子节点 $t$	敌机 $j$ 对我机 $i$ 具有威胁	$p(\text{有优势}) = \text{优势指数值}$
		$p(\text{有威胁}) = \text{威胁指数值}$



表 1 中,  $p(\cdot)$  表示节点处于某状态的概率。最后将态势矩阵  $P$  和威胁指数矩阵  $T$  作为贝叶斯网络有向边的教师值, 得到目标分配贝叶斯网络模型。贝叶斯网络结构如图 4 所示。

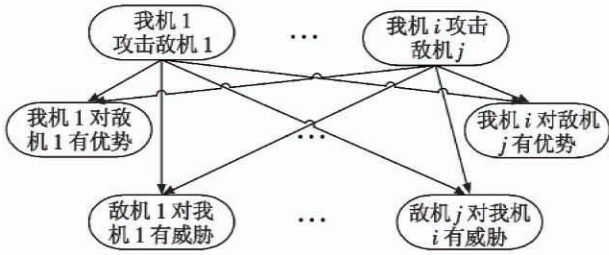


图 4 贝叶斯网络结构图

Fig. 4 The configuration of Bayesian networks  
给定双方雷达、导弹的参数假定为表 2 数据。

表 2 敌我双方飞机作战能力

Table 2 The airplane combat capability of the enemy and ourselves

机 型	导弹最大射程/km	雷达探测距离/km	导弹余数	速度/ $(m \cdot s^{-1})$	MTBF/h	MTTR/h	$T/h$
我机 $i$ ( $i=1,2,3,4$ )	60	120	4	320	250	2	25
敌机 $j(j=1,2)$	80	150	6		300	1.5	25

敌机为 F-22 双机编队, 由式(9)可得其空战能力指数 F-22 为  $C = 24.62$ 。采用文献[3]的空战态势数据, 根据式(1)~(12), 计算得到空战优势指数和总威胁指数如表 3 和表 4 所示。

表 3 我机对敌机的优势指数

Table 3 The superiority exponent of our plane over enemy's plane

$P_{ij}$	我机 1	我机 2	我机 3	我机 4
敌机 1	0.76	0.72	0.89	0.77
敌机 2	0.86	0.67	0.85	0.80

表 4 敌机对我机的威胁指数

Table 4 The target threat exponent of enemy's plane over our plane

$T_i$	我机 1	我机 2	我机 3	我机 4
敌机 1	0.76	0.80	0.69	0.85
敌机 2	0.73	0.82	0.83	0.67

将优势指数矩阵  $P$  和敌机威胁指数矩阵  $T$  作为教师值输入贝叶斯网络, 得到目标分配结果如表 5 所示。

表 5 贝叶斯网络分配结果

Table 5 Allocation result of Bayesian network

	我机 1	我机 2	我机 3	我机 4
敌机 1	规避	规避	攻击	攻击
敌机 2	攻击	规避	规避	攻击

利用开发的任务合成软件对目标分配方案进行了

仿真验证, 仿真结果如图 5 所示。

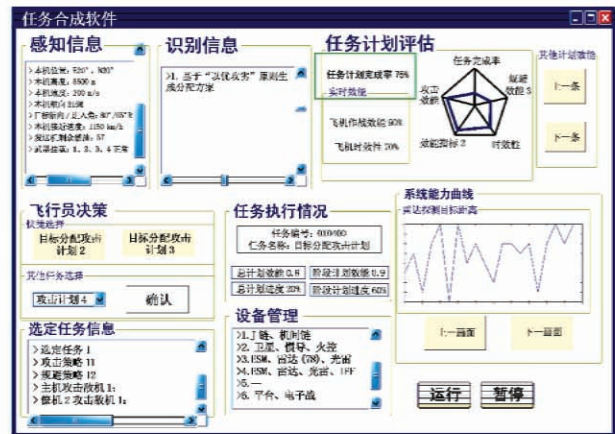


图 5 任务合成软件仿真结果图

Fig. 5 The simulation results of task synthesis software

由仿真结果可知, 目标分配任务计划的完成率达到到了 75%, 大幅提高了目标分配任务的完成率。

表 5 和图 5 的结果表明: 1) 所设计的目标分配算法具有有效性; 2) 基于任务合成的目标分配方案可以有效提高任务完成率, 提升任务计划的组织和管理能力, 提高任务系统的总体效能, 并最终减轻飞行员负担。

#### 4 总结

任务合成技术是为了提升飞机任务执行效能而提出的一项新技术。本文通过构建己方优势函数和目标威胁指数, 完成了空战态势感知合成; 利用任务计划评估决策合成技术和任务执行管理合成技术, 设计了针对目标分配的任务系统评估决策和执行管理方案, 所设计的任务系统方案具有一定的适用性, 最终利用贝叶斯网络进行了仿真验证。仿真结果表明了基于任务合成技术的目标分配方案的有效性, 并可以有效提升飞机的任务完成率、提高任务系统组织能力。下一步工作是基于任务合成技术研究战斗机其他空战问题。

#### 参考文献

[1] 李林森, 于海勋, 韩志刚, 等. 论协同空战及其关键技术[J]. 电光与控制, 2000, 7(1): 29-34. (LI L S, YU H X, HAN Z G, et al. The discussion of cooperative air combat and its key technology[J]. Electronics Optics & Control, 2000, 7(1): 29-34.)

[2] 董彦非, 冯惊雷, 张恒喜. 多机空战仿真协同战术决策方法[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(6): 723-725. (DONG Y F, FENG J L, ZHANG H X. Cooperative tactical decision methods for multi-aircraft air combat simulation[J]. Journal of System Simulation, 2002, 14(6): 723-725.)

[3] 浦鹏, 张金春, 孙玺菁. 多机协同多目标分配战术决

- 策研究[J]. 战术导弹技术, 2007(2):57-61. (PU P, ZHANG J C, SUN X J. The study of tactical decision of multi-target distribution in cooperative air combat[J]. Tactical Missile Technology, 2007(2):57-61.)
- [4] 宋骁健, 杨根源, 浦鹏. 多机型协同空战多目标分配战术决策仿真算法[J]. 海军航空工程学院学报, 2008, 23(2):189-193. (SONG X J, YANG G Y, PU P. Cooperative tactical target-distribution decision methods for multi-type-aircraft air combat simulation[J]. Journal of Naval Aeronautical Engineering Institute, 2008, 23(2):189-193.)
- [5] CEBRO W K, GARSTKA J H. Network-centric warfare: its origin and future [J]. US Naval Institute Proceedings, 1998, 124(1):8-35.
- [6] 王浩. 美军“网络中心战”理论及其要素分析[J]. 国防科技, 2005(3):62-66. (WANG H. Theory and factors analysis of America's "network-centric warfare" [J]. National Defense Science & Technology, 2005(3):62-66.)
- [7] SCHULTE A. Cognitive automation for tactical mission management[J]. Cognitive Technology and Work, 2002, 4(1):146-159.
- [8] 王文豪, 胡盛华. 飞机任务系统任务合成技术研究[J]. 火力与指挥控制, 2014, 39(10):2-7. (WANG W H, HU S H. Research on task synthesis technology of aircraft mission system[J]. Fire Control & Command Control, 2014, 39(10):2-7.)
- [9] 孙兆林. 基于贝叶斯网络的态势估计方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学, 2005. (SUN Z L. Research of situation assessment based on Bayesian networks [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2005.)
- [10] 朱宝璠, 朱荣昌, 熊笑非. 作战飞机效能评估[M]. 北京:航空工业出版社, 1993. (ZHU B L, ZHU R C, XIONG X F. Combat aircraft effectiveness evaluation [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 1993.)
- [11] 周锐, 余舟毅, 池沛, 等. 战术辅助决策系统中的态势评估问题研究[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(9):2130-2133. (ZHOU R, YU Z Y, CHI P, et al. Situation assessment in tactical decision aiding system [J]. Journal of System Simulation, 2005, 17(9):2130-2133.)
- [12] IVANSSON J. Situation assessment in a stochastic environment using Bayesian networks [D]. Sweden: Linköping University, 2002.
- (上接第36页)
- [14] 王彦飞. 反演问题的计算方法及其应用[M]. 北京:高等教育出版社, 2007:37-38. (WANG Y F. Computational methods for inverse problems and their applications [M]. Beijing: Higher Education Press, 2007:37-38.)
- [15] 顾勇为, 归庆明, 张璇, 等. 大地测量与地球物理中病态问题的正则化迭代解法[J]. 测绘学报, 2014, 43(4):331-336. (GU Y W, GUI Q M, ZHANG X, et al. Iterative solution of regularization to ill-conditioned problems in geodesy and geophysics [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2014, 43(4):331-336.)
- [16] 王军华, 黄知涛, 周一宇. 含噪稀疏信号重构的 L0 范数期望值最小化方法[J]. 国防科技大学学报, 2012, 34(5):45-48. (WANG J H, HUANG Z T, ZHOU Y Y. Sparse signal reconstruction with noise measurements based on expectation minimization of norm [J]. Journal of National University of Defense Technology, 2012, 34(5):45-48.)
- [17] FIGUEIREDO M A T, NOWAK R D, WRIGHT S J. Gradient projection for sparse reconstruction: application to compressed sensing and other inverse problems [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2007, 1(4):586-597.)

## 下 期 要 目

基于改进证据理论的空中目标识别方法  
民用飞机导光板自适应调光控制技术研究  
主动雷达导引头波形选择抗角反射器干扰方法研究  
神经网络在光电干扰效能预测中的应用  
基于 X 射线脉冲星的月球卫星自主导航  
灰色线性幂函数曲线模型在故障预报中的应用

联合模糊图像建模与复原算法  
具有时间约束的多无人机协同航迹控制研究  
基于 H2 预见控制的舰载机自动着舰控制方法  
传统相机的空间变化离焦去模糊  
基于 RELAX 算法的飞机油耗性能估计方法  
HRG 四位置谐振子振幅检测方法及其误差分析