

关于有人机/无人机编队协同作战决策

王 勋 姚佩阳 税冬东

(空军工程大学信息与导航学院, 陕西 西安 710077)

摘要: 在有人/无人机编队决策控制过程中, 为充分发挥有人机指挥优势与无人机自主决策的优势, 需合理分配两者之间的决策功能。难点在于复杂因素影响下各因素在决策分配中影响权重的确定。划分有人/无人机协同作战的决策等级, 分析影响决策等级的属性因素并构建决策矩阵, 利用正态区间交叉熵理论计算相似度, 并构建动态权重模型确定各因素权重。用算例对算法进行仿真, 结果表明, 算法得出的结果与预先分析结果相一致, 验证算法解决决策分配问题的合理性。

关键词: 有人/无人机协同; 决策分配; 交叉熵; 动态熵权; 区间数

中图分类号: V271.4 文献标识码: B

Manned /Unmanned Aerial Vehicle Formation Cooperative Attacking Decision

WANG Xun ,YAO Pei - yang ,SHUI Dong - dong

(Information and Navigation College , Air Force Engineering University. Xi'an Shanxi 710077 , China)

ABSTRACT: In order to make full use of the advantages of manned aerial vehicles (MAV) commander and autonomous decision - making function of unmanned aerial vehicles (UAV) , we need to allocate the decision - making rights between them in the MAV/UAV formation command and control system. The approach of determining various factors' weight on the decision - making level in complex environment is the difficulty in solving this problem. In the paper , the level of decision - making in MAV/UAV cooperative attacking was divided. The factors that influenced decision - making level were analysed and the decision matrix was built. A dynamic entropy weight algorithm based on normal approximation interval cross - entropy theory was proposed. At last , simulation results show the consistency with pre - analysis and effectiveness of this algorithm in solving MAV/UAV cooperative decision allocation problem.

KEYWORDS: MAV/UAV cooperation; Decision allocation; Cross - entropy; Dynamic entropy weight; Interval - number

1 引言

现代空战中,随着战场环境和作战任务的日趋复杂,仅凭单架无人机或者有人机将无法满作战需要,有人机与无人机的协同作战将是未来空战的一种重要形式。有人/无人机的协同作战就是研究有人机和无人机在不同情况下的决策控制等级的问题。将人的经验、直觉、灵活等优势与计算机数据处理能力强、速度快的优势相结合,使两者优势互补,达到更优的决策效果。针对此问题,目前国内外开展了较为广泛的研究。文献[4]对有人/无人机编队指挥控制系统决策分配进行了研究,给出了决策控制系统决策分配步骤,确定控制系统最优的自动化等级,但是该方法没有给出各个属性权重的求解方法,模型的合理性没有得到有效验证;文献[7]采用效益费用比方法对有人/无人机之间辅助系统辅助级别的判定方法进行了研究,给出了基于概率统计的效益费

用评估模型,但是没有充分考虑人机系统中机器的属性状态。上述文献研究了人机系统的决策等级问题,但是其方法没有考虑客观属性对决策等级的影响,仅将各属性因素权重简单相加。本文创新之处在于在正态区间交叉熵理论的基础上提出了动态熵权模型,根据具体属性值,确定其对决策的影响比重,达到更优的决策分配,最终确定有人/无人机协同决策等级的有效方法。

2 有人/无人机协同决策分配模型

2.1 有人/无人机协同决策问题

有人/无人机协同作战作战系统中,首先明确编队中有人机与无人机自主决策控制间的功能划分,即确定人机之间的功能分配^[9]。既要最大限度发挥无人机的自主作战能力,又要充分发挥编队系统中有人机指挥的作用,系统达到最佳平衡和统一协调状态,即如何确定有人/无人机协同作战系统的决策结构,是有人/无人机协同作战中必须深入研究的问题。

收稿日期: 2014-12-09 修回日期: 2015-01-09

有人/无人机协同空战中,无人机编队是任务的执行者,有人机是主要的决策者。但是战场环境是瞬息万变的,有人机无法实时对无人机进行有效掌控,因此无人机也需发挥自身决策能力。根据决策者的不同可分为集中式决策、分布式决策和混合式决策,集中式的决策是指有人机作为唯一的决策者,对无人机的行为进行完全掌控,这种决策方式效率较高,无人机能高效执行指挥员意图,但是对各项指标的要求比较高;分布式的决策是指无人机之间协同决策,不需要有人机的参与,这种决策方式资源需求度较小,鲁棒性强;混合式的决策是指有人机与无人机各具有部分决策权限共同完成决策,编队根据具体作战态势,动态调整协同决策关系,是有人/无人机协同中主要采取的决策结构。

2.2 有人/无人机协同决策等级划分

为了能够直观地体现有人/无人机之间的决策关系,使系统能够准确判断机器的决策权限,本文采用等级划分的方法,不同的决策等级反应了有人/无人机各自决策权限的变化。通过在人机之间进行指挥控制系统决策分配,可以构建一种有人机指挥员和无人机之间协同关系,这种协同关系表现在指挥控制系统不同的决策等级上^[4]。

文献[2]中,Parasuraman提出的人机交互系统的自动化等级划分方法被广泛引用,本文采用相同的等级划分方法,对有人/无人机协同的决策等级进行划分,如表1所示。

表1 有人/无人机协同的决策等级

等级	描述
1	有人机完成所有决策和操作,无人机不提供任何帮助
2	无人机提供决策或行动方案
3	无人机缩小方案选择范围
4	无人机提供一个建议方案
5	如果有人机同意则执行这个方案
6	在律诗行方案前允许有人机在限定时间内否决
7	自动执行,仅在必要时通知有机
8	如果有人机需要则告知
9	是否通知有人机由无人机决定
10	无人机协同决策所有工作,拒绝有人机的干预

2.3 决策等级的评估属性

决策等级的评估属性是评估决策等级的依据,为了确定有人机与无人机之间协同的决策等级,专家会对有人/无人机协同决策问题的影响因素进行深入分析,并结合有人机、无人机的性能指标,给出各等级对应的各评估属性的适应值,形成决策矩阵。决策等级的确定就是各评估属性的实际值与决策矩阵中的各等级的专家建议值相比较,找出在此情景下的最佳等级。为了验证文中方法的合理性,本文仅从以下五个方面为例展开分析,将影响决策的几个因素作为确定决策等级的评估标准分别表示为 $\{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\}$,并对其进行简单地量化评估。

1) 敌方信息的完备性 u_1

指我方有人机对敌方目标的认知程度,认知程度越高, u_1 趋近于1,我方有人机对于全局的掌握情况越好,采用更加集中的决策方式;反之, u_1 趋近于0,采用分布式决策。

2) 人的脑力负荷 u_2

对有人机作战员的疲劳程度的度量,在此对其进行简单化处理

$$u_2 = \begin{cases} 1 - \frac{t}{T}, & t \leq T \\ 0, & t > T \end{cases}$$

其中 t 为执行任务过程中的已用时间, T 为该飞行员执行任务的最长时间。

3) 有人机雷达感知能力 u_3

空战中,有人机可能受到敌方电子干扰,使得我机雷达探测半径减小,将其量化为

$$u_3 = \frac{d}{D}$$

其中 d 为当前雷达探测半径, D 为有人机最大探测半径。

4) 通信链路质量状况 u_4

通信链路质量是指有人机与无人机编队之间的通信能力,量化为

$$u_4 = \frac{SNR_1}{SNR_0}$$

SNR_0 为能满足集中式分配通信需求的最低信噪比, SNR_1 为执行当前任务中的信噪比。

5) 无人机任务紧迫程度 u_5

无人机编队在执行任务的过程中,要具备对突发事件处理的能力,任务紧迫程度越高,则分布式决策的比重就越大;

反之,集中式决策要越大。将其量化为 $u_5 = \frac{t}{T+t}$,其中 t 为突发任务的开始执行时间, T 为有人机处理任务的时间。

2.4 决策矩阵

决策矩阵反映的是各个决策等级对各评估属性的需求程度,该矩阵由专家给出。为了不失一般性,设决策等级为 $\{1, \dots, i, \dots, n\}$,评估属性为 $\{u_1, \dots, u_j, \dots, u_m\}$,对于第 i 等级,专家给出的第 j 个属性的建议值 \tilde{u}_{ij} ,因此构建决策矩阵 J 为

$$\tilde{J} = (\tilde{u}_{ij})_{n \times m}$$

有人/无人机协同的决策分配就是根据实际情境下的各属性值与专家建议的决策矩阵进行相似度比较,确定相似度最高的等级作为协同决策等级。其难点在于如何采用合理的方法进行相似度比较,以及如何确定当前属性值决定的决策权重的大小。

3 有人/无人机协同决策分配方法

利用交叉熵可以计算两个区间值得相似度的性质,计算实际属性值与决策矩阵的相似度矩阵,然后根据当前属性值分析其占有权重,计算各等级的交叉熵权重和,根据熵和大小对等级进行优劣排序,选出最佳等级。

3.1 正态分布区间数的交叉熵

针对客观事物普遍存在的不确定性,许多问题无法获得精确数值,因此本文采用归一化的区间数理论,将区间数的范围规范在 $[0, 1]$ 上,对其不确定性进行有效度量。

属性值在区间内分布是不均匀的,但是其分布往往满足“中间多两头少”的正态分布的规律,因此本文引入正态分布的区间数理论,属性值的区间数表示为 $\tilde{a} = [a^L, a^U]$,其中 $0 \leq a^L < a^U \leq 1$ 。其概率密度分布为 $\xi_a \sim N(\mu_a, \sigma_a^2)$ 。本文采用概率论正态分布 3σ 的原则,将其最大限度限制在区间 $[0, 1]$ 内,即 $P\{|\xi - \mu_a| \leq 3\sigma_a\} \geq 0.9973$,令

$$a^L = \mu_a - 3\sigma_a, a^U = \mu_a + 3\sigma_a$$

正态分布区间数表示为 $\tilde{a} = [\mu_a, \sigma_a]$,其中:
均值

$$\mu_a = \frac{a^L + a^U}{2} \in [0, 1] \quad (1)$$

方差

$$\sigma_a = \frac{a^U - a^L}{6} \in [0, \frac{1}{6}] \quad (2)$$

定义(区间数的交叉熵) 设 $\tilde{a} = [\mu_a, \sigma_a]$ 和 $\tilde{b} = [\mu_b, \sigma_b]$ 是两个正态分布的区间数,区间数的交叉熵为

$$S(\tilde{a}, \tilde{b}) = \frac{1}{\ln 2} \left\{ \mu_a \ln \frac{2\mu_a}{\mu_a + \mu_b} + \sigma_a \ln \frac{2\sigma_a}{\sigma_a + \sigma_b} + \mu_b \ln \frac{2\mu_b}{\mu_a + \mu_b} + \sigma_b \ln \frac{2\sigma_b}{\sigma_a + \sigma_b} \right\} \quad (3)$$

交叉熵反映的是两个区间数的相似程度,均值和方差越相近,则交叉熵越小,即两个区间的相似程度越大,当 $\mu_a = \mu_b, \sigma_a = \sigma_b$ 时,两个区间的交叉熵 $S(\tilde{a}, \tilde{b}) = 0$ 。

3.2 交叉熵矩阵的计算

专家给出决策矩阵时无法准确地确定各个等级的建议值,在此利用区间数理论,对决策矩阵进行区间化处理,由专家给出区间数决策矩阵,对于第 i 等级的第 j 个属性专家给出的建议区间为 $\tilde{u}_{ij} = [u_{ij}^L, u_{ij}^U]$ 构建决策矩阵 J 为:

$$J = (\tilde{u}_{ij})_{n \times m}$$

编队实际执行作战任务时具体情景下区间属性表示为

$$U = \{\tilde{u}_j = [u_j^L, u_j^U] | 0 \leq u_j^L < u_j^U \leq 1, j = 1, \dots, m\}$$

根据当前属性区间 \tilde{u}_j 与专家给出的决策矩阵 J 中的 \tilde{u}_{ij} 正态标准化后,利用式(3)计算交叉熵矩阵

$$S = (s_{ij}(\tilde{u}_j, \tilde{J}_{ij}))_{n \times m}$$

其中,

$$s_{ij}(\tilde{u}_j, \tilde{J}_{ij}) = \frac{1}{\ln 2} \left\{ \mu_j \ln \frac{2\mu_j}{\mu_j + \mu_{ij}} + \sigma_j \ln \frac{2\sigma_j}{\sigma_j + \sigma_{ij}} + \mu_{ij} \ln \frac{2\mu_{ij}}{\mu_j + \mu_{ij}} + \sigma_{ij} \ln \frac{2\sigma_{ij}}{\sigma_j + \sigma_{ij}} \right\}$$

3.3 交叉熵动态权重的确定

最优等级的确定就是从专家决策矩阵中选择与当前作战情景下各属性区间整体最相似的等级,这就需要比较各等级中的各属性交叉熵的和的大小,选熵和最小的等级为最优等级。

第 i 等级的交叉熵和

$$v_i = \sum_m w_j^* s_{ij} \text{ 其中 } \sum_m w_j = 1 \quad (4)$$

选择熵和最小的值 $v_i = \min\{v_1, \dots, v_i, \dots, v_n\}$,等级 i 即为所要确定的等级。

在有人/无人机协同的决策中,各属性对于决策等级的影响并不是独立的,计算交叉熵和时,各属性的熵并不是简单相加,决策等级的确定主要受到较差因素的限制,因此,要着重增加均值较小的属性的影响权重。对于与小属性不匹配的等级,其熵值较大,权重增大会使得在等级熵和运算中的比重增大,使得不匹配等级的熵和较大,选出熵和较小的等级即为最匹配等级。因此,利用交叉熵的动态权值需要构建属性均值 μ 与相对权重 λ 的函数关系,将相对权重归一化得到各属性权重。

λ 大小由 μ 决定,为了充分体现属性值小时相对权重较大,属性值大时相对权重较小的特点,其函数变化趋势为:

- 1) 当 μ 较小时, λ 随着 μ 的增大而降低,降低速率逐步增大,当 $\mu \rightarrow 0, \lambda \rightarrow 1$;
- 2) 当 μ 较大时, λ 随着 μ 的提升而降低,降低速率逐步减小,当 $\mu \rightarrow 1, \lambda \rightarrow 1$;
- 3) 当 μ 处于中间值附近时, λ 将随着 μ 的提升而快速降低。

根据文献[8]中给出的资源与任务质量的函数关系启示,并综合以上函数变化趋势,本文采用式(5)构建交叉熵的动态相对权重函数

$$\lambda_j = 1 - (1 + \exp(6 * (1 - 2 * \mu_j)))^{-1} \quad (5)$$

式(5)的变化趋势如图1所示。

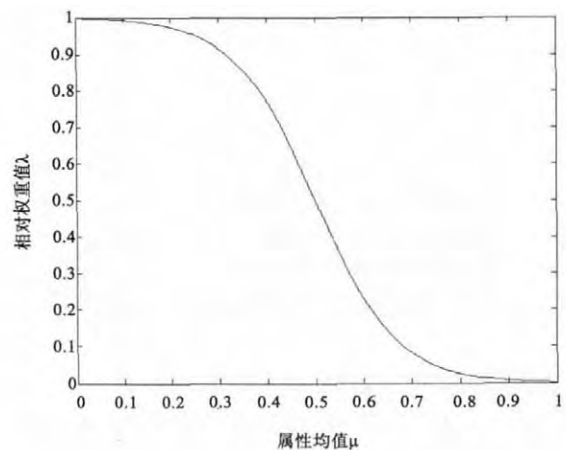


图1 当前属性均值与交叉熵相对权重关系

将相对权值归一化,即

$$w_j = \frac{\lambda_j}{\sum_m \lambda_k} \quad (6)$$

3.4 协同决策等级确定步骤

基于以上理论,下面给出基于动态熵权的有人/无人机协同决策等级的确定步骤:

步骤 1: 输入当前作战情景下各评估属性的状态区间值 $U = \{\tilde{u}_1, \dots, \tilde{u}_j, \dots, \tilde{u}_m\}$, 专家评估决策矩阵 $\tilde{J} = (\tilde{u}_{ij})_{n \times m}$, 并根据式 (1)、(2) 将其进行正态标准化处理; 得到正态分布区间数 $\tilde{u}' = ([\mu_j', \sigma_j'])_{1 \times m}$, $\tilde{J}' = ([\mu_{ij}', \sigma_{ij}'])_{n \times m}$ 。

步骤 2: 根据交叉熵计算式 (3) 计算交叉熵矩阵

$$S = (s_{ij})_{n \times m}$$

其中,

$$s_{ij}(\tilde{u}_j, \tilde{J}_{ij}) = \frac{1}{\ln 2} \left\{ \mu_j' \ln \frac{2\mu_j'}{\mu_j' + \mu_{ij}'} + \sigma_j' \ln \frac{2\sigma_j'}{\sigma_j' + \sigma_{ij}'} + \mu_{ij}' \ln \frac{2\mu_{ij}'}{\mu_j' + \mu_{ij}'} + \sigma_{ij}' \ln \frac{2\sigma_{ij}'}{\sigma_j' + \sigma_{ij}'} \right\}$$

步骤 3: 计算动态熵权 $\{w_1, \dots, w_j, \dots, w_m\}$

其中,

$$w_j = \frac{\lambda_j}{\sum_m \lambda_k} \lambda_j = 1 - (1 + \exp(6 * (1 - 2 * \mu_j')))^{-1}$$

步骤 4: 根据式 (4) 计算各等级熵和, 得到交叉熵和序列 $\{v_1, \dots, v_i, \dots, v_n\}$ 。

步骤 5: 取熵和最小值 $v_i = \min\{v_1, \dots, v_i, \dots, v_n\}$, 对应的等级 i 即为所要确定的等级。

4 算例分析

有人/无人机协同作战中, 有人机与多架无人机协同执行任务, 为保证指挥人员的安全, 有人机作为编队主要指挥者在安全空域飞行, 无人机是任务执行者, 承担主要作战任务。由于受到敌情报完备性、有人机飞行员工作负荷、有人机雷达感知能力、通信链路质量状况、无人机任务紧迫程度等属性因素影响, 为充分发挥编队效能, 保证任务有效完成, 需对有人机与无人机之间的决策权限进行有效分配。

为验证上述方法的合理性, 分别以各项属性指标均较高、较低、适中、单个属性指标较低等四种情景 $\{U_1, U_2, U_3, U_4\}$ 进行验证分析。

假设专家给出的决策矩阵为:

$J =$

$$\begin{bmatrix} [0.80, 0.90] & [0.90, 0.98] & [0.87, 0.98] & [0.90, 0.95] & [0.86, 0.92] \\ [0.60, 0.85] & [0.80, 0.89] & [0.82, 0.90] & [0.80, 0.88] & [0.83, 0.90] \\ [0.69, 0.75] & [0.78, 0.83] & [0.78, 0.84] & [0.72, 0.81] & [0.75, 0.80] \\ [0.60, 0.70] & [0.70, 0.81] & [0.69, 0.76] & [0.68, 0.78] & [0.69, 0.73] \\ [0.56, 0.67] & [0.60, 0.75] & [0.58, 0.71] & [0.60, 0.70] & [0.61, 0.72] \\ [0.49, 0.58] & [0.52, 0.69] & [0.49, 0.63] & [0.54, 0.62] & [0.53, 0.68] \\ [0.31, 0.47] & [0.35, 0.57] & [0.38, 0.56] & [0.42, 0.55] & [0.40, 0.52] \\ [0.21, 0.35] & [0.27, 0.41] & [0.25, 0.42] & [0.31, 0.44] & [0.28, 0.39] \\ [0.15, 0.28] & [0.19, 0.30] & [0.12, 0.36] & [0.20, 0.28] & [0.17, 0.22] \\ [0.07, 0.19] & [0.05, 0.20] & [0.03, 0.18] & [0.01, 0.19] & [0.06, 0.17] \end{bmatrix}$$

各项指标较优:

$$U_1 = \{ [0.90, 0.99] \quad [0.80, 0.91] \quad [0.85, 0.93] \quad$$

$$[0.91, 0.98] \quad [0.89, 0.95] \};$$

各项指标较差:

$$U_2 = \{ [0.05, 0.12] \quad [0.08, 0.14] \quad [0.01, 0.13] \quad [0.07, 0.17] \quad [0.06, 0.15] \};$$

各项指标适中:

$$U_3 = \{ [0.45, 0.51] \quad [0.50, 0.62] \quad [0.48, 0.54] \quad [0.41, 0.53] \quad [0.44, 0.59] \};$$

某一项指标较差:

$$U_4 = \{ [0.20, 0.31] \quad [0.78, 0.85] \quad [0.67, 0.73] \quad [0.76, 0.88] \quad [0.68, 0.79] \}。$$

以 U_1 为例, 运用上文方法进行计算, 如下:

将 J 与 U_1 正态标准化, 得:

$\tilde{J} =$

$$\begin{bmatrix} [0.850, 0.016] & [0.940, 0.013] & [0.925, 0.018] & [0.925, 0.008] & [0.890, 0.010] \\ [0.725, 0.041] & [0.845, 0.015] & [0.860, 0.013] & [0.840, 0.013] & [0.865, 0.012] \\ [0.720, 0.010] & [0.805, 0.008] & [0.810, 0.010] & [0.765, 0.015] & [0.775, 0.008] \\ [0.650, 0.016] & [0.755, 0.018] & [0.725, 0.012] & [0.730, 0.017] & [0.710, 0.007] \\ [0.615, 0.018] & [0.675, 0.025] & [0.645, 0.022] & [0.650, 0.017] & [0.665, 0.018] \\ [0.535, 0.015] & [0.605, 0.028] & [0.560, 0.023] & [0.580, 0.013] & [0.605, 0.025] \\ [0.390, 0.026] & [0.460, 0.036] & [0.470, 0.030] & [0.485, 0.022] & [0.460, 0.020] \\ [0.280, 0.023] & [0.340, 0.023] & [0.335, 0.028] & [0.375, 0.022] & [0.335, 0.018] \\ [0.215, 0.021] & [0.245, 0.018] & [0.240, 0.040] & [0.240, 0.013] & [0.195, 0.008] \\ [0.130, 0.020] & [0.125, 0.025] & [0.105, 0.025] & [0.100, 0.030] & [0.115, 0.018] \end{bmatrix}$$

$$\tilde{U}_1 = \{ [0.940, 0.015] \quad [0.855, 0.018] \quad [0.890, 0.013] \quad [0.945, 0.012] \quad [0.920, 0.010] \}。$$

根据式 (3) 计算第一种情景下各评估属性的实际区间值与专家给出的等级评定的建议区间的相似程度, 求得交叉熵矩阵为:

$S =$

$$\begin{bmatrix} 0.0037, & 0.0035, & 0.0011, & 0.0006, & 0.0004 \\ 0.0304, & 0.0003, & 0.0004, & 0.0045, & 0.0013 \\ 0.0227, & 0.0039, & 0.0031, & 0.0140, & 0.0091 \\ 0.0397, & 0.0045, & 0.0123, & 0.0206, & 0.0201 \\ 0.0510, & 0.0161, & 0.0298, & 0.0402, & 0.0315 \\ 0.0830, & 0.0326, & 0.0566, & 0.0637, & 0.0521 \\ 0.1740, & 0.0914, & 0.0999, & 0.1109, & 0.1152 \\ 0.2763, & 0.1659, & 0.1922, & 0.1857, & 0.2063 \\ 0.3586, & 0.2584, & 0.2971, & 0.3236, & 0.3694 \end{bmatrix}$$

利用 \tilde{U}_1 均值, 根据式 (4)、(5) 求得交叉熵权重:

$$[w_1, w_2, w_3, w_4, w_5] = [0.1221, 0.3562, 0.2352, 0.1221, 0.1645]$$

各等级的熵和:

$$[v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8, v_9, v_{10}] = [0.0021, 0.0047, 0.0081, 0.0151, 0.0290, 0.0514, 0.1098, 0.1946, 0.3059, 0.4945]$$

按熵和越小等级越优原则对各等级优劣排序:

$$S_1 > S_2 > S_3 > S_4 > S_5 > S_6 > S_7 > S_8 > S_9 > S_{10}$$

表2 不同情景下各等级熵和

等级	1	2	3	4	5
各项指标较优	0.00206	0.00457	0.00807	0.01513	0.02904
各项指标较差	0.54367	0.47919	0.43391	0.38374	0.33207
各项指标适中	0.08745	0.06250	0.04380	0.02870	0.01514
某项指标较低	0.20720	0.14913	0.14192	0.10831	0.09388
等级	6	7	8	9	10
各项指标较优	0.05141	0.10977	0.19462	0.30594	0.49450
各项指标较差	0.27501	0.18434	0.10069	0.04220	0.00482
各项指标适中	0.00536	0.00661	0.02899	0.08269	0.19204
某项指标较低	0.06428	0.02620	0.01921	0.03694	0.08633

表3 不同情景下的等级排序

情景	等级排序
各项指标较优	$S_1 > S_2 > S_3 > S_4 > S_5 > S_6 > S_7 > S_8 > S_9 > S_{10}$
各项指标较差	$S_{10} > S_9 > S_8 > S_7 > S_6 > S_5 > S_4 > S_3 > S_2 > S_1$
各项指标适中	$S_6 > S_7 > S_5 > S_4 > S_8 > S_3 > S_2 > S_9 > S_1 > S_{10}$
某项指标较低	$S_8 > S_7 > S_9 > S_6 > S_{10} > S_5 > S_4 > S_3 > S_2 > S_1$

为了充分发挥有人/无人机编队协同空战中有人机的决策能力和无人机的任务执行能力,在各项属性指标较优时,有人机能对无人机进行有效掌控,此时采用集中式决策方式,无人机能充分执行指挥员的作战意图,高效完成任务。当各项指标不理想或者受到某一项指标较差的限制时,有人机无法实时掌控无人机,此时应当调整决策权限,适当提高无人机自主决策水平,采用混合式甚至分布式的决策方式,以便无人机对战场突发情况快速作出反应,可提高任务完成率。

表2给出了四种不同情景下的各等级的熵和,熵和越小,相应等级的匹配程度越高;表3对表2中的各情景熵和由小到大进行了排序,即对其匹配程度由优到劣进行了排序。从表3得出以下结果,在各项指标较优的情况下,等级1的熵和最小,反应了实际属性值与等级1的专家建议值最匹配,应当采用完全集中式决策,即“有人机完成所有决策和操作,无人机不提供任何帮助”;各项指标较差时等级10熵和最小,最为匹配,应采用完全分布式决策,即“无人机协同完成各项工作,拒绝有人机干预”;当各项指标适中时,应采用等级6的混合式决策,即“在执行方案前,允许有人机在限定时间内否决”;当某一项指标较低时,采用等级8的偏分布式混合决策,即“如果有人机需要则告知”。以上实验结果与上文中对于有人/无人机协同决策方式的分析一致,进而验证了该方法在确定有人/无人机协同决策等级上的合理性。

5 总结

本文对有人/无人机编队协同作战中决策等级问题进行了研究。首先描述了有人/无人机协同决策问题,给出了决策等级的划分方法,对等级评估属性进行了简要分析,并构建了等级评估的专家决策矩阵等;其次引用了正态区间交叉

熵理论,将具体情景下的属性值与专家矩阵进行了匹配计算,求得交叉熵矩阵,构建动态熵权模型解决了确定权重的难点,利用属性值的动态熵权求得各等级交叉熵和,熵和最小等级匹配程度最大,进而求得最佳决策等级;最后本文以有人/无人机协同作战中四种不同情景为例,利用改进算法进行了决策等级的优劣排序,得出的结果与本文对于决策等级分配的分析一致,选出了最优等级,验证了该方法的合理性。

参考文献:

- [1] A Zhang, Z Tang, C Zhang. Man-machine Function Allocation Based on Uncertain Linguistic Multiple Attribute Decision Making [J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2011, 24(6): 816-822.
- [2] R Parasuraman, T B Sheridan, C D Wickens. A model for types and levels of human interaction with automation [J]. Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on, 2000, 30(3): 286-297.
- [3] H F R Arciszewski, T E De Greef, J H Van Delft. Adaptive automation in a naval combat management system [J]. Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on, 2009, 39(6): 1188-1199.
- [4] 陈晓栋,刘跃峰,陈峭东. 有人/无人机编队指挥控制系统决策分配[J]. 电光与控制, 2013, 20(5): 31-36.
- [5] 毛军军,等. 基于交叉熵的正态分布区间数多属性决策方法[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(33): 44-48.
- [6] 傅裕松,等. 飞机空战能力评估综合指数模型[J]. 电光与控制, 2009, 16(9): 24-28.
- [7] 宋晗,陈宗基,孔繁峨. 驾驶员辅助系统的辅助级别判定[J]. 系统仿真学报, 2009, 1(1): 208-212.
- [8] 牟亮. 不确定使命环境下C2组织结构动态适应性优化方法研究[D]. 国防科学技术大学, 2011.
- [9] 蔡俊伟,龙海英,张昕. 有人机/无人机协同作战系统关键技术[J]. 指挥信息系统与技术, 2013, 4(2): 10-14.
- [10] 温攀,王社伟,徐明仁. 基于Memetic算法的多无人机任务分配研究[J]. 计算机仿真, 2013, 30(5): 82-85.
- [11] 万路军,姚佩阳,孙鹏,等. 有人-无人作战智能体任务联盟形成策略方法[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2013, 14(3): 10-14.
- [12] 姚佩阳,万路军,周翔翔,等. 基于CNDLS的空中多编组时限约束任务分配方法[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2013, 14(5): 21-26.

【作者简介】



王 勋(1990-),男(汉族),山东省临朐县人,硕士研究生,主要研究领域为有人/无人机协同作战中关键问题研究;

姚佩阳(1960-),男(汉族),陕西省西安市人,教授,博士研究生导师,主要研究领域为指挥控制组织设计及运用;

税冬东(1978-),男(汉族),湖北省巴东市人,博士研究生,主要研究方向为多无人机编队协同任务规划等。