

基于不确定语言偏好信息的UCAV最优航线方法研究

李振¹, 时静¹, 李波²

(1. 中航飞机研发中心, 陕西 汉中 723000; 2. 西北工业大学, 西安 710129)

摘要: 在UCAV编队任务规划中, 确定UCAV最优航线是一个重要研究课题。针对不确定语言偏好信息的UCAV最优航线问题给出了一种分析方法。首先, 描述了确定UCAV航线的评价指标和不确定语言决策矩阵的定义; 然后, 在此基础上, 通过分析航线对应于各项指标的期望可能度和数学期望值, 给出了基于不确定语言偏好信息的群决策UCAV最优航线分析方法; 最后, 实例说明了UCAV最优航线确定的具体过程。

关键词: UCAV; 最优航线; 群决策; 不确定语言; 决策矩阵

中图分类号: TJ760 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2017)05-0044-04

Optimum Flight Route of UCAV Based on Uncertain Linguistic Preference Information

LI Zhen¹, SHI Jing¹, LI Bo²

(1. AVIC Aircraft Co. Ltd. R & D Center, Hanzhong 723000, China; 2. Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

Abstract: In mission planning of UCAV formation, the flight route optimization is an important research topic. The optimum flight route of UCAV based on uncertain linguistic preference information is studied. First, the indicators for evaluating the UCAV route are presented, and the definition of uncertain linguistic decision matrix is described. Then, analysis is made to the expected possibility and mathematical expectation of each index corresponding to the flight route, and the group decision-making optimum flight route analysis method based on uncertain linguistic preference information is given. Finally, a numerical example is given to illustrate the usage of the proposed approach.

Key words: UCAV; optimum flight route; group decision-making; uncertain language; decision matrix

0 引言

无人战斗机(UCAV)是指具有作战用途的无人飞机, 能够通过携带和发射武器实现对敌方目标的致命打击, 兼具情报探测、目标监视及电子干扰等能力。UCAV在执行特定任务之前, 常常有多条可供选择的备选航线, 需要决策人员根据相关实时战况和限制条件进行评估, 最终选出最佳航线, 尽可能地降低无人战斗机受到的威胁, 发挥其作战效能, 同时还要符合各种战场战术需要。近年来, 关于UCAV航迹规划的研究, 已经取得了丰硕的成果^[1-8], 但研究重点大都只考虑了UCAV飞行油耗、飞行威胁和通信约束等定量因素。而在实际的决策中, 除了上述定量因素以外, 影响无人

机航线的许多相关限制条件往往难以被定量精确描述, 而以模糊语言或模糊语言区间等形式进行定性描述。目前, 基于模糊语言的UCAV最优航线方法研究引起了相关学者的重视^[9-10], 而基于不确定语言偏好信息的UCAV最优航线方法研究尚不多见。因此, 本文提出一种基于不确定语言偏好信息的UCAV最优航线的研究方法, 从而为战场指挥员做出正确决策提供了合理的决策支持。

1 问题描述

根据UCAV的作战特点和作战任务, UCAV决策指挥人员在选择UCAV攻击航线时, 需要注意如下几项基本要求^[11]。

1) UCAV必须配合整体和所增援部队的作战意图。符合整体和后援部队的作战意图是确定UCAV作战航线的基本依据, 只有符合整体和后援部队的作战计划, 方能有助于作战全局, 才能从根本上确保及时、

收稿日期: 2016-08-26

修回日期: 2017-02-07

基金项目: 航天技术支撑基金(2013-HT-XGD)

作者简介: 李振(1985—), 男, 山东禹城人, 硕士, 工程师, 研究方向为无人机任务规划。

充分和准确地获取情报信息,保证所有增援部队顺利完成作战任务。因此,UCAV决策指挥人员需要准确获取和理解所增援部队的作战意图、作战方案、UCAV的作战任务和所要实现的作战目标等。

2) 空战条件必须对我方UCAV有利。空战条件是UCAV作战行动的关键,是选择攻击航线的重要依据。由于UCAV自我保护能力较弱,因此,决策指挥人员在选择攻击航线时,需要从UCAV的作战特点出发,详细分析攻击航路上的空战情况,最终把攻击航线选择在不易被敌发现、可以快速接近攻击目标区域的空域。

3) 必须符合UCAV的特定战斗能力。UCAV自身所具备的战斗能力对攻击航线的选取有非常大的影响。根据UCAV的任务要求,在作战(攻击、侦察或监视)空域范围较小时,攻击航线的选择应考虑UCAV的生存可能,可选择飞行距离相对较远,但敌方防御能力较弱的攻击航线。在作战空域的范围较大或任务紧迫时,在充分考虑UCAV生存可能的同时,尽可能选择飞行距离较短的攻击航线,以增加UCAV在敌方空域的滞空时间,为任务的顺利完成提供充分时间保证。

根据以上3点作战要求,通过逐步细化,可以得到评估UCAV备选攻击航线的6个评价指标,分别用 $c_1 \sim c_6$ 表示: c_1 为符合整体以及所要增援部队的作战意图; c_2 为预期作战范围面积较小; c_3 为预期航线的飞行距离较短; c_4 为预期空战条件对UCAV有利; c_5 为预期敌方警戒、防御能力较弱; c_6 为有助于UCAV与己方部队合作,可以得到有效增援。

根据以上评价指标,首先设定如下下标集合: $I = \{1, \dots, n\} (n \geq 2), J = \{1, \dots, m\} (m \geq 2), G = \{1, \dots, l\} (l \geq 2)$ 和 $U = \{1, \dots, q\} (q \geq 2)$ 。在UCAV最优航线决策问题中,设一个有限航线集为 $X = \{x_i | i \in I\}$,其中, x_i 表示第 i 条航线;航线评价的指标集为 $C = \{c_j | j \in J\}$, c_j 表示第 j 个指标;专家集为 $E = \{e_g | g \in G\}$, e_g 代表第 g 个专家;语言短语评价集为 $S = \{s_i | i \in U\}$ 。例如,由9个元素组成的有序语言短语集可描述为: $S = \{s_0 = I (\text{Impossible}), s_1 = EU (\text{Extremely Unlikely}), s_2 = VLC (\text{Very Low Chance}), s_3 = SC (\text{Small Chance}), s_4 = IM (\text{It May}), s_5 = MC (\text{Meaningful Chance}), s_6 = ML (\text{Most Likely}), s_7 = EL (\text{Extremely Likely}), s_8 = C (\text{Certain})\}$ 。可见,集合 S 包含 $T+1$ 个子元素,根据惯例,需要满足 $\frac{T}{2} \leq 8$,而且 S 要求满足如下属性。

- 1) 有序性:当 $i < j$ 时,有 $s_i > s_j$ 或 $s_j < s_i$,即表示 s_i 优于 s_j 或 s_j 劣于 s_i 。
- 2) 存在一个逆运算 $\text{Neg}, \text{Neg}(s_i) = s_j, j = T - 1$ 。
- 3) 极大化运算:当 $s_i \geq s_j$ 时,有 $\max\{s_i, s_j\} = s_i$ 。

4) 极小化运算:当 $s_i \leq s_j$ 时,有 $\min\{s_i, s_j\} = s_i$ 。在本文中,考虑决策者针对方案集 X 给出的偏好信息是一种由不确定语言表示的情形,根据文献[12-15],不确定语言的形式为

$$\tilde{r} = [r^L, r^U] = \{r^L, r^L + 1, r^L + 2, \dots, r^U\} \quad (1)$$

式中, $r^L \leq r^U$,且 $r^L, r^U \in \mathbf{Z}^+, \mathbf{Z}^+$ 表示正整数集。

2 基于不确定语言偏好信息的UCAV攻击航线决策方法

根据上文描述的具体问题,专家 e_g 给出的不确定语言决策矩阵可以表示为

$$A_g = (a_{ij}^g)_{n \times m} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (2)$$

式中, $a_{ij}^g = \{s_i^g | i \in [a, a+1, \dots, b]\}$ 为专家 e_g 针对航线 x_i 对应于指标 c_j 给出的不确定语言评价区间, $s_a^g, s_{a+1}^g, \dots, s_b^g \in S$,由于在实际评价过程中存在 $a_{ij}^g \cap a_{ij}^{g_2} \neq \emptyset, i \in I, j \in J, g_1, g_2 \in G$ 的情况,即两个不确定语言评价区间存在相互交叉部分,所以直接进行所有航线的排序是非常困难的。下面通过介绍专家群体关于航线对应于指标的不确定语言评价区间、关于航线对应于指标的数学期望值和关于航线的数学期望值,给出一种基于不确定语言偏好信息的UCAV最优航线决策方法。

1) 专家群体关于航线对应于指标的不确定语言评价区间。

设 a_{ij}^g 为专家 e_g 关于航线 x_i 对应于指标 c_j 给出的不确定语言评价区间, $\forall g \in G$,则令 a_{ij} 为专家群体关于航线 x_i 对应于指标 c_j 的不确定语言评价区间,并且 $a_{ij} = \sum_{g=1}^l a_{ij}^g = [a_{ij}^L, a_{ij}^U]$ 。由 a_{ij} 可构成专家群体对所有航线的不确定语言评价矩阵

$$A = (a_{ij})_{n \times m} \quad (3)$$

2) 专家群体关于航线对应于指标的数值的期望可能度。

设 a_{ij} 为专家群体关于航线 x_i 对应于指标 c_j 的不确定语言评价区间, λ_g 为专家 e_g 的权重或重要程度, $\forall k \in a_{ij}, \forall i \in I, \forall j \in J, g \in G$,则令 $O(x_{ij}^k)$ 为专家群体关于航线 x_i 对应于指标 c_j 的评价值为 k 的期望可能度,即

$$O(x_{ij}^k) = \frac{1}{a_{ij}^U - a_{ij}^L + 1} \lambda_1 + \frac{1}{a_{ij}^U - a_{ij}^L + 1} \lambda_2 + \dots + \frac{1}{a_{ij}^U - a_{ij}^L + 1} \lambda_g + \dots + \frac{1}{a_{ij}^U - a_{ij}^L + 1} \lambda_l = \sum_{g=1}^l \frac{1}{a_{ij}^U - a_{ij}^L + 1} \lambda_g \quad (4)$$

由 $O(x_{ij}^k)$ 可构成可能度向量 $O(x_{ij})$,则

$$O(x_{ij}) = (O(x_{ij}^L), O(x_{ij}^{L+1}), \dots, O(x_{ij}^k), \dots, O(x_{ij}^U))$$

$$\forall k \in a_{ij} \quad (5)$$

3) 专家群体关于航线对应于指标的数学期望值。

令 $E(x_{ij})$ 为专家群体关于航线 x_i 对应于指标 c_j 的数学期望值,且

$$E(x_{ij}) = \sum_{k \in a_{ij}} O(x_{ij}^k) \times k \quad (6)$$

4) 专家群体关于航线的数学期望值。

设 λ_j^* 为指标 c_j 的权重或重要程度,则令 $E(x_i)$ 为专家群体关于航线 x_i 的数学期望值,且

$$E(x_i) = \sum_{j=1}^m E(x_{ij}) \times \lambda_j^* \quad (7)$$

据上述分析,基于不确定语言偏好信息的UCAV最优攻击航线决策方法的航线排序方法可按照如下步骤进行。

1) 求出专家群体关于航线 x_i 对应于指标 c_j 的不确定语言评价区间 a_{ij} , $\forall i \in I, \forall j \in J$,并由 a_{ij} 构成不确定语言评价矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times m}$ 。

2) 求出专家群体关于航线 x_i 对应于指标 c_j 评价值为 k 的期望可能度 $O(x_{ij}^k)$, $\forall k \in a_{ij}$,并由 $O(x_{ij}^k)$ 构成可能度向量 $O(x_{ij})$, $\forall i \in I, \forall j \in J$ 。

3) 求出专家群体关于航线 x_i 对应于指标 c_j 的数学期望值 $E(x_{ij})$, $\forall i \in I, \forall j \in J$ 。

4) 求出专家群体关于航线 x_i 的数学期望值 $E(x_i)$, $\forall i \in I$ 。

5) 根据计算得到的航线 x_i 的数学期望值 $E(x_i)$,按从小到大的排序,即 $E(x_{i_1}) \leq E(x_{i_2}) \leq \dots \leq E(x_{i_n})$ 。则专家群体判断关于航线集 X 的排序为 $x_{i_1} > x_{i_2} > \dots > x_{i_n}$ 。

6) 结束。

3 UCAV 最优航线决策实例分析

考虑某UCAV执行任务最优航线确定问题:设有4条备选航线(方案) (x_1, x_2, x_3, x_4) 将被评估,即 $I = \{1, 2, 3, 4\}$ 。把问题描述中的 $c_1 \sim c_6$ 这6个指标作为评估指标,即指标集向量为 $C = \{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6\}$,每个指标的权重分别为 $C_w = (0.20, 0.15, 0.10, 0.20, 0.15, 0.20)$ 。4位专家参与评估,且他们的重要程度 λ_k 均为

$\frac{1}{4}$,满足 $\sum_{g=1}^4 \lambda_g = 1$ 。语言评价集 $S = \{\text{很差, 差, 较差, 稍差, 一般, 稍好, 较好, 好, 很好}\} = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7, s_8\}$ 。为了便于计算机计算,将 $S = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7, s_8\}$ 数字化为 $S = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$ 。

假设4位专家(即 e_1, e_2, e_3, e_4) 针对4条航线 (x_1, x_2, x_3, x_4) 和6个指标 $(c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6)$,给出如下不确定语言区间决策矩阵形式的偏好信息,即

$$A_1 = \begin{bmatrix} [s_4, s_5] & [s_6, s_7] & [s_4, s_5] & [s_3, s_4] & [s_5, s_7] & [s_5, s_6] \\ [s_4, s_5] & [s_5, s_7] & [s_4, s_7] & [s_5, s_6] & [s_5, s_6] & [s_6, s_7] \\ [s_6, s_7] & [s_6, s_8] & [s_6, s_8] & [s_5, s_7] & [s_6, s_7] & [s_4, s_5] \\ [s_2, s_3] & [s_3, s_4] & [s_2, s_3] & [s_2, s_3] & [s_2, s_4] & [s_4, s_6] \end{bmatrix} \rightarrow$$

$$\bar{A}_1 = \begin{bmatrix} [4, 5] & [6, 7] & [4, 5] & [3, 4] & [5, 7] & [5, 6] \\ [4, 7] & [5, 7] & [4, 7] & [5, 6] & [5, 6] & [6, 7] \\ [6, 7] & [6, 8] & [6, 8] & [5, 7] & [6, 7] & [4, 5] \\ [2, 3] & [3, 4] & [2, 3] & [2, 3] & [2, 4] & [4, 6] \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} [s_3, s_5] & [s_4, s_5] & [s_5, s_6] & [s_4, s_5] & [s_4, s_6] & [s_6, s_7] \\ [s_4, s_5] & [s_5, s_6] & [s_5, s_6] & [s_5, s_6] & [s_4, s_5] & [s_5, s_6] \\ [s_5, s_7] & [s_6, s_8] & [s_6, s_7] & [s_5, s_8] & [s_5, s_6] & [s_5, s_6] \\ [s_2, s_3] & [s_3, s_4] & [s_2, s_3] & [s_1, s_2] & [s_2, s_4] & [s_4, s_5] \end{bmatrix} \rightarrow$$

$$\bar{A}_2 = \begin{bmatrix} [3, 5] & [4, 5] & [5, 6] & [4, 5] & [4, 6] & [6, 7] \\ [4, 5] & [5, 6] & [5, 6] & [5, 6] & [4, 5] & [5, 6] \\ [5, 7] & [6, 8] & [6, 7] & [5, 8] & [5, 6] & [5, 6] \\ [2, 3] & [3, 4] & [2, 3] & [1, 2] & [2, 4] & [4, 5] \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} [s_5, s_6] & [s_6, s_7] & [s_5, s_7] & [s_6, s_8] & [s_6, s_7] & [s_4, s_5] \\ [s_3, s_4] & [s_5, s_7] & [s_5, s_7] & [s_5, s_7] & [s_4, s_6] & [s_5, s_6] \\ [s_6, s_7] & [s_4, s_6] & [s_5, s_7] & [s_5, s_7] & [s_6, s_8] & [s_5, s_6] \\ [s_2, s_4] & [s_3, s_4] & [s_4, s_5] & [s_3, s_4] & [s_2, s_4] & [s_5, s_7] \end{bmatrix} \rightarrow$$

$$\bar{A}_3 = \begin{bmatrix} [5, 6] & [6, 7] & [5, 7] & [6, 8] & [6, 7] & [4, 5] \\ [3, 4] & [5, 7] & [5, 7] & [5, 7] & [4, 6] & [5, 6] \\ [6, 7] & [4, 6] & [5, 7] & [5, 7] & [6, 8] & [5, 6] \\ [2, 4] & [3, 4] & [4, 5] & [3, 4] & [2, 3] & [5, 7] \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$A_4 = \begin{bmatrix} [s_4, s_5] & [s_4, s_5] & [s_5, s_6] & [s_4, s_5] & [s_4, s_6] & [s_5, s_6] \\ [s_4, s_5] & [s_5, s_7] & [s_4, s_6] & [s_5, s_6] & [s_4, s_5] & [s_4, s_6] \\ [s_5, s_7] & [s_5, s_6] & [s_5, s_7] & [s_6, s_8] & [s_6, s_8] & [s_5, s_7] \\ [s_3, s_4] & [s_3, s_4] & [s_3, s_4] & [s_2, s_4] & [s_3, s_4] & [s_5, s_6] \end{bmatrix} \rightarrow$$

$$\bar{A}_4 = \begin{bmatrix} [4, 5] & [4, 5] & [5, 6] & [4, 5] & [4, 6] & [5, 6] \\ [4, 5] & [5, 7] & [4, 6] & [5, 6] & [4, 5] & [4, 6] \\ [5, 7] & [5, 6] & [5, 7] & [6, 8] & [6, 8] & [5, 7] \\ [3, 4] & [3, 4] & [3, 4] & [2, 4] & [3, 4] & [5, 6] \end{bmatrix} \quad (11)$$

利用前面介绍的方法求解过程如下所述。

1) 求出专家群体关于航线 x_i 对应于指标 c_j 的不确定语言评价区间 a_{ij} ,从而得出所有航线对应于指标的不确定语言评价矩阵为

$$A = \begin{bmatrix} [3, 6] & [4, 7] & [4, 7] & [3, 8] & [4, 7] & [4, 7] \\ [3, 7] & [5, 7] & [4, 7] & [5, 7] & [4, 6] & [4, 7] \\ [5, 7] & [4, 8] & [5, 8] & [5, 8] & [5, 8] & [4, 7] \\ [2, 4] & [3, 4] & [2, 5] & [1, 4] & [2, 4] & [4, 7] \end{bmatrix} \quad (12)$$

2) 求出专家群体关于航线 x_i 对应于指标 c_j 序值为 k 的期望可能度 $O(x_{ij}^k)$,从而得出航线 x_i 对应于指标 c_j 的可能度向量 $O(x_{ij})$,不同航线对应不同指标的可能度

$$\begin{aligned} & \text{向量计算结果分别为 } O(x_{11}) = \left(\frac{1}{12}, \frac{1}{3}, \frac{11}{24}, \frac{1}{8}\right), O(x_{12}) = \\ & \left(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}\right), O(x_{13}) = \left(\frac{1}{8}, \frac{11}{24}, \frac{1}{3}, \frac{1}{12}\right), O(x_{14}) = \\ & \left(\frac{1}{8}, \frac{3}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{12}, \frac{1}{12}, \frac{1}{12}\right), O(x_{15}) = \left(\frac{1}{6}, \frac{1}{4}, \frac{3}{8}, \frac{5}{24}\right), O(x_{16}) = \\ & \left(\frac{1}{8}, \frac{3}{8}, \frac{3}{8}, \frac{1}{8}\right), O(x_{21}) = \left(\frac{1}{8}, \frac{7}{16}, \frac{5}{16}, \frac{1}{16}, \frac{1}{16}\right), O(x_{22}) = \\ & \left(\frac{3}{8}, \frac{3}{8}, \frac{1}{4}\right), O(x_{23}) = \left(\frac{7}{48}, \frac{17}{48}, \frac{17}{48}, \frac{7}{48}\right), O(x_{24}) = \left(\frac{11}{24}, \frac{11}{24}, \frac{1}{12}\right), \\ & O(x_{25}) = \left(\frac{1}{3}, \frac{11}{24}, \frac{5}{24}\right), O(x_{26}) = \left(\frac{1}{12}, \frac{1}{3}, \frac{11}{24}, \frac{1}{8}\right), O(x_{31}) = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \left(\frac{1}{6}, \frac{5}{12}, \frac{5}{12}\right), \mathbf{O}(x_{32}) = \left(\frac{1}{12}, \frac{5}{24}, \frac{3}{8}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}\right), \mathbf{O}(x_{33}) = \\ & \left(\frac{1}{6}, \frac{3}{8}, \frac{3}{8}, \frac{1}{12}\right), \mathbf{O}(x_{34}) = \left(\frac{11}{48}, \frac{5}{16}, \frac{5}{16}, \frac{7}{48}\right), \mathbf{O}(x_{35}) = \\ & \left(\frac{1}{8}, \frac{5}{12}, \frac{7}{24}, \frac{1}{6}\right), \mathbf{O}(x_{36}) = \left(\frac{1}{8}, \frac{11}{24}, \frac{1}{3}, \frac{1}{12}\right), \mathbf{O}(x_{41}) = \\ & \left(\frac{1}{3}, \frac{11}{24}, \frac{5}{24}\right), \mathbf{O}(x_{42}) = \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right), \mathbf{O}(x_{43}) = \left(\frac{1}{4}, \frac{3}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}\right), \\ & \mathbf{O}(x_{44}) = \left(\frac{1}{8}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{5}{24}\right), \mathbf{O}(x_{45}) = \left(\frac{7}{24}, \frac{5}{12}, \frac{7}{24}\right), \mathbf{O}(x_{46}) = \\ & \left(\frac{5}{24}, \frac{5}{12}, \frac{7}{24}, \frac{1}{12}\right). \end{aligned}$$

3) 求出专家群体关于航线 x_i 对应于指标 c_j 的数学期望值 $E(x_{ij})$, 不同航线对应不同指标的数学期望值计算结果分别为 $E(x_{11}) = \frac{37}{8}, E(x_{12}) = \frac{11}{2}, E(x_{13}) = \frac{43}{8}, E(x_{14}) = \frac{39}{8}, E(x_{15}) = \frac{45}{8}, E(x_{16}) = \frac{11}{2}$ 。 $E(x_{21}) = \frac{9}{2}, E(x_{22}) = \frac{47}{8}, E(x_{23}) = \frac{11}{2}, E(x_{24}) = \frac{45}{8}, E(x_{25}) = \frac{51}{8}, E(x_{26}) = \frac{113}{24}$ 。 $E(x_{31}) = \frac{25}{4}, E(x_{32}) = \frac{49}{8}, E(x_{33}) = \frac{51}{8}, E(x_{34}) = \frac{51}{8}, E(x_{35}) = \frac{13}{2}, E(x_{36}) = \frac{43}{8}$ 。 $E(x_{41}) = \frac{23}{8}, E(x_{42}) = \frac{7}{2}, E(x_{43}) = \frac{13}{4}, E(x_{44}) = \frac{21}{8}, E(x_{45}) = 3, E(x_{46}) = \frac{21}{4}$ 。

4) 求专家群体关于航线 x_i 的数学期望值 $E(x_i)$, 计算结果分别为 $E(x_1) = \frac{2499}{480}, E(x_2) = \frac{2570}{480}, E(x_3) = \frac{2943}{480}, E(x_4) = \frac{1656}{480}$ 。

5) 根据计算得到的航线 x_i 的数学期望值 $E(x_i)$, 按从小到大排序, 即 $E(x_4) < E(x_1) < E(x_2) < E(x_3)$ 。由此可见, 专家群体判断关于UCAV备选航线的排序为 $x_3 > x_2 > x_1 > x_4$ 。

4 结束语

本文针对UCAV最优航线确定问题, 建立了一套适用于UCAV航线评估的指标体系, 并将不确定语言偏好信息的评估方法引入问题解决中, 得到了备选航线的优劣顺序。该方法充分考虑了战场信息所具有的不确定性和模糊性的特点, 计算简便。需要指出的是, 基于不确定语言偏好信息的UCAV最优攻击航线决策方法研究是一个重要的研究课题, 因此, 相信会有考虑更多战场因素、更加易于决策判断的方法出现。

参考文献

- [1] SZCZERBA R J, GALKOWSKI P, GLICKSTEIN I S, et al. Robust algorithm for real-time route planning [J]. IEEE Transaction Aerospace and Electronic System, 2000, 36(3): 869-878.
- [2] BEARD R W, MCLAIN T W, GOODRICH M A, et al. Coor-

dated target assignment and intercept for unmanned air vehicle [J]. IEEE Transaction on Robotics and Automation, 2002, 18(6): 911-922.

- [3] PEHLIVANOGLU Y V, BAYSAL O, HACIOGLU A. Path planning for autonomous UAV via vibrational genetic algorithm [J]. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 2007, 79(4): 352-359.
- [4] SHANMUGAVEL M, TSOURDOS A, WHITE B A, et al. Differential geometric path planning of multiple UAVs [J]. Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, 2007, 129(5): 620-632.
- [5] KIM Y, GU D W, POSTLETHWAITE I. Real-time path planning with limited information for autonomous unmanned air vehicles [J]. Automatica, 2008, 44(3): 696-712.
- [6] BHATTACHARYA P, GAVRILOVA M L. Voronoi diagram in optimal path planning [C] // IEEE International Symposium on Voronoi Diagrams in Science and Engineering, 2007: 38-47.
- [7] KAMAL W A, SAMAR R. A mission planning approach for UAV applications [C] // Proceeding of the 47th IEEE Conference on Decision and Control, 2008: 3101-3106.
- [8] 刘森琪, 段海滨, 余亚翔. 基于Voronoi图和蚁群优化算法的无人作战飞机航路规划 [J]. 系统仿真学报, 2008, 20(21): 5936-5939.
- [9] 周永生, 胡传辉. 模糊相似优先比决策法确定无人机最优航线 [J]. 战术导弹技术, 2008(2): 21-24.
- [10] 巩在武, 刘思峰. 二元语义判断矩阵的性质及其在航线优选中的应用 [J]. 南京航空航天大学学报, 2007, 39(4): 550-554.
- [11] 刘怡昕, 刘玉文. 无人机保障炮兵射击与指挥 [M]. 北京: 海潮出版社, 2000.
- [12] GONZALEZ-PACHON J, ROMERO C. Aggregation of partial ordinal rankings: an interval goal programming approach [J]. Computers & Operations Research, 2001, 28(8): 827-834.
- [13] 樊治平, 尤天慧. 求解序区间偏好信息群决策问题的理想点法 [J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2007, 28(12): 1779-1781.
- [14] 尤天慧, 樊治平, 俞竹超. 一种具有序区间偏好信息的群决策方法 [J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2007, 28(2): 286-288.
- [15] 徐泽水. 不确定多属性决策方法及应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.