

doi: 10.7690/bgzdh.2014.09.024

基于直觉模糊的无人机系统故障维修分配方法研究

张京亮¹, 陈之宁²

(1. 陆军军官学院研究生二队, 合肥 230031; 2. 陆军军官学院基础部数学教研室, 合肥 230031)

摘要: 针对现有武器系统故障维修分配方法仅以系统维修度为约束条件而过于简化这一不足, 提出基于直觉模糊约束的无人机系统故障维修分配方法。结合实际存在的约束资源模糊等情况, 建立直觉模糊规划模型, 在给定条件下, 将其转化为确定型线性规划, 并通过实例运用对模型进行了验证。结果表明: 该方法能从正反两方面提供令人满意的解, 为无人机系统故障维修分配的优化提供科学依据。

关键词: 无人机系统; 故障维修; 直觉模糊线性规划
中图分类号: TJ85 **文献标志码:** A

Method Study for Fault Repair Distribution of UAV System Based on Intuitionistic Fuzzy

Zhang Jingliang¹, Chen Zhining²

(1. No. 2 Brigade of Postgraduate, Army Offer Academy of PLA, Hefei 230031, China;

2. Staff Room of Mathematics, Department of Basic Theories, Army Offer Academy of PLA, Hefei 230031, China)

Abstract: In view of the over-simplification of weapons system failure repair allocation method only based on system repair degree as constraint condition, proposed fault free repair allocation of UAV system based on intuitionistic fuzzy constraint. The constraint of resources combined with the actual fuzzy in the situation, establish intuitionistic fuzzy programming model, and under the given conditions, transformed into the deterministic liner programming problem and the model was verified by the use of examples. The results show that this method could provide a satisfactory solution from both positive and negative aspects, and provide a scientific basis for optimizing UAV system failure repair allocation.

Keywords: UAV system; fault repair; intuitionistic liner programming

0 引言

随着无人机作战能力的增强, 在现代战争中的地位和作用越来越重要, 保障无人机系统正常运转的故障维修分配研究也显得重要。现有的武器系统故障维修分配方法大多仅以系统维修度为约束条件的确定性规划, 在当前“全费用管理”“追求高性价比”等新理念的要求下, 已经过于简化。因此, 笔者在无人机系统故障维修分配时, 结合实际中约束资源模糊的情况, 综合考虑各种要求, 运用直觉模糊规划, 实现无人机系统故障维修的优化分配。

1 无人机系统故障维修分配模型建立

无人机系统按照功能通常可以分为飞机系统、航空电子系统、地面控制系统、无线电数据系统以及任务设备系统等。无人机系统故障维修分配就是把经过论证的系统故障维修指标, 自上而下地分配到各分系统的过程。用数学语言描述^[1], 即

$$M_s(t) = f(M_1(t), M_2(t), \dots, M_n(t))$$

式中: M_s 为系统的维修度; f 为系统维修度与单系统维修度之间的关系; M_i 为第 i 个单元的维修度; n

为分系统数。

维修分配要解决的问题是已知 $M_s^*(t)$, 求出一组 $M_1^*(t), M_2^*(t), \dots, M_n^*(t)$ 使

$$f(M_1^*(t), M_2^*(t), \dots, M_n^*(t)) \geq M_s^*(t) \quad (1)$$

式中: $M_s^*(t)$ 为系统的维修度要求; $M_i^*(t)$ 为分配给第 i 个单元的故障维修水平。

通常选取平均修复时间 \tilde{M}_{ct} (MTTR)、平均预防性维修时间 \tilde{M}_{pt} 、维修工时率 \tilde{M}_1 作为故障维修指标。文献[2-3]运用规划方法研究了武器系统可靠性的分配方法。笔者结合实际, 应用直觉模糊规划的方法研究无人机系统的故障维修分配方法。

假设某无人机系统共含有 n 个单元, 各单元的故障率为 λ_i , M_i 为第 i 个单元基层级允许的最大修复时间(参见相应国军标系列或相应的专业标准); L_i 为第 i 个单元基层级可达到的最小修复时间。 $C_i(M_{cti})$ 表示为第 i 单元的费用关于 M_{cti} 的函数, C 为整个系统的价格。为适应当前新理念的要求, 以费用 C 及一个性能指标如平均修复时间 MTTR 为目标函数^[4], 给出费用上限 C_0 和平均修复时间上限 $MTTR_0$, 建立多目标规划问题模型 I 为:

收稿日期: 2014-03-18; 修回日期: 2014-04-24

作者简介: 张京亮(1989—), 男, 山东人, 在读硕士, 从事模糊数学与数据分析研究。

其费用和性能权重分别为 0.6 和 0.4, 则有规划问题 II, 该问题可简化为

$$\begin{aligned} \min W = g(x) &= 0.7245 + 0.0011M_{ct1} - 0.0015M_{ct2} + \\ & 0.0008M_{ct3} + 0.0003M_{ct4} + 0.0017M_{ct5} \\ g_1(x) &= 24.15 - (0.060M_{ct1} + 0.080M_{ct2} + 0.060M_{ct3} + \\ & 0.050M_{ct4} + 0.050M_{ct5}) \leq 20 \\ g_2(x) &= 0.25M_{ct1} + 0.083M_{ct2} + 0.225M_{ct3} + \\ & 0.158M_{ct4} + 0.283M_{ct5} \leq 35 \\ 15 \leq M_{ct1} \leq 40 \quad & 28 \leq M_{ct2} \leq 60 \\ 20 \leq M_{ct3} \leq 45 \quad & 25 \leq M_{ct4} \leq 55 \quad 12 \leq M_{ct5} \leq 36 \end{aligned}$$

求得最优解为

$$M_{ct1}^* = 15 \quad M_{ct2}^* = 60 \quad M_{ct3}^* = 20 \quad M_{ct4}^* = 55 \quad M_{ct5}^* = 12$$

最优值为

$$\min c^* = 15.4 \quad \text{MTTR} = 21 \text{ min}$$

但事实上, 费用与时间的约束都不是僵化的, 存在着一定的容差, 约束是模糊的, 最大容差分别是 4 万元和 5 min, 则直觉模糊的隶属函数和非隶属函数分别为

$$\begin{aligned} \mu_1(x) &= \begin{cases} 1 & g_1(x) < 20 \\ 1 - [g_1(x) - 20]/4 & 20 \leq g_1(x) \leq 24 \\ 0 & g_1(x) > 24 \end{cases} \\ \nu_1(x) &= \begin{cases} 0 & g_1(x) < 21 \\ [g_1(x) - 21]/4 & 21 \leq g_1(x) \leq 25 \\ 1 & g_1(x) > 25 \end{cases} \end{aligned}$$

得到如下的模糊数学规划模型:

$$\begin{aligned} \min W = g(x) \\ g_1(x) \leq 20 + 4(1 - \alpha) \\ g_2(x) \leq 35 + 5(1 - \alpha) \\ 15 \leq M_{ct1} \leq 40 \quad 28 \leq M_{ct2} \leq 60 \quad 20 \leq M_{ct3} \leq 45 \\ 25 \leq M_{ct4} \leq 55 \quad 12 \leq M_{ct5} \leq 36 \quad \alpha \in [0, 1] \end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned} \min W = g(x) \\ g_1(x) \leq 21 + 4\beta \\ g_2(x) \leq 36 + 5\beta \\ 15 \leq M_{ct1} \leq 40 \quad 28 \leq M_{ct2} \leq 60 \quad 20 \leq M_{ct3} \leq 45 \\ 25 \leq M_{ct4} \leq 55 \quad 12 \leq M_{ct5} \leq 36 \quad \beta \in [0, 1] \end{aligned} \tag{9}$$

令 $\theta = 1 - \alpha$, 则式 (8) 转化为式 (10) 所示的参数规划模型

$$\begin{aligned} \min W = 0.7245 + 0.0011M_{ct1} - 0.0015M_{ct2} + \\ 0.0008M_{ct3} + 0.0003M_{ct4} + 0.0017M_{ct5} \\ g_1(x) \leq 20 + 4\theta \\ g_2(x) \leq 35 + 5\theta \\ 15 \leq M_{ct1} \leq 40 \quad 28 \leq M_{ct2} \leq 60 \quad 20 \leq M_{ct3} \leq 45 \\ 25 \leq M_{ct4} \leq 55 \quad 12 \leq M_{ct5} \leq 36 \quad \alpha \in [0, 1] \end{aligned} \tag{10}$$

用单纯性法求得上述问题的最优解

$(M_{ct1}^*, M_{ct2}^*, M_{ct3}^*, M_{ct4}^*, M_{ct5}^*) = (15, 52 + 8\theta, 20, 25, 12)$ 根据 θ 的不同取值, 得到表 2。

表 2 参数规划模型(10)的解

| θ | M_{ct2} | min* | MTTR |
|----------|-----------|-------|-------|
| 0.1 | 52.8 | 15.80 | 20.39 |
| 0.2 | 53.6 | 15.73 | 50.46 |
| 0.3 | 54.4 | 15.67 | 20.53 |
| 0.4 | 55.2 | 15.61 | 20.59 |
| 0.5 | 56.0 | 15.54 | 20.66 |
| 0.6 | 56.8 | 15.48 | 20.72 |
| 0.7 | 57.6 | 15.42 | 20.80 |
| 0.8 | 58.4 | 15.35 | 20.86 |
| 0.9 | 59.2 | 15.28 | 20.92 |
| 1.0 | 60.0 | 15.22 | 20.98 |

式 (9) 的最优解为

$(M_{ct1}^*, M_{ct2}^*, M_{ct3}^*, M_{ct4}^*, M_{ct5}^*) = (16, 53 + 7.5\beta, 20, 26, 12)$ 根据 β 的不同取值得到表 3。

表 3 参数规划模型(9)的解

| β | M_{ct2} | min* | MTTR |
|---------|-----------|-------|-------|
| | 53.75 | 16.67 | 21.49 |
| 0.2 | 45.50 | 16.59 | 21.57 |
| 0.3 | 55.25 | 16.52 | 21.64 |
| 0.4 | 56.00 | 16.45 | 21.72 |
| 0.5 | 56.75 | 16.38 | 21.79 |
| 0.6 | 57.50 | 16.31 | 21.86 |
| 0.7 | 58.25 | 16.24 | 21.94 |
| 0.8 | 59.00 | 16.16 | 22.01 |
| 0.9 | 59.75 | 16.09 | 22.08 |
| 1.0 | 60.50 | 16.02 | 22.16 |

对照表 2 和表 3, 在满足 $\alpha + \beta \leq 1$ 的情况下, 决策者可根据自己的满意度和非满意度作出决策。

4 结论

笔者在综合分析无人机系统故障维修分配的基础上, 结合实际中约束条件为模糊约束的情况, 建立了一般直觉模糊线性规划模型。实例分析结果证明: 所建立模型在无人机系统故障维修分配中更加有效, 能从正反两方面提供令人满意的解。但目标函数为非线性及维修性与可靠性、费用的权衡等非线性规划问题还有待进一步讨论。

参考文献:

- [1] 甘茂治, 康建设, 高崎. 军用装备维修工程学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999: 118-121.
- [2] 周青龙, 贾希胜, 朱小东. 可靠性与维修工程[M]. 石家庄: 河北教育出版社, 1992: 200-203.
- [3] 陈卓, 王爱斌, 汪元蛟, 等. 装备可靠性监督及控制[J]. 兵工自动化, 2012, 31(8): 17-18.
- [4] 王权伟, 蒋里强, 王维兴. 武器系统维修性分配的线性规划方法研究[J]. 装备指挥技术学院学报, 2006, 6(3): 33-36.
- [5] 刘自新. 一种基于直觉模糊集的模糊线性规划模型及其应用[J]. 大连大学学报, 2013, 6(3): 1-5.