

doi: 10.7690/bgzdh.2020.10.006

粗糙集融合灰色关联的火控系统 ADA 模块状态评估方法

郑敏¹, 佟维妍¹, 李英顺², 林昊¹, 武昭乾¹

(1. 沈阳工业大学辽阳分校, 辽宁 辽阳 111003; 2. 大连理工大学, 辽宁 大连 116200)

摘要: 为降低火控装备维修成本、增强火控系统完备性及提高管理效率, 提出一种粗糙集融合灰色关联分析法的状态评估方法。以某型坦克火控系统中 ADA 模块为研究对象, 针对火控计算机信号冗余复杂的特点, 采用粗糙集理论对其进行属性约简, 将约简后的信号作为评估指标, 采用灰色关联分析方法对系统进行状态评估, 并通过实例进行对比分析。结果表明: 该算法计算过程简单、空间复杂度较小, 能有效评估火控计算机与传感器分系统的当前状态。

关键词: 粗糙集; 属性约简; 灰色关联分析法; 状态评估

中图分类号: TJ810; TP274+.5 **文献标志码:** A

State Evaluation Method of ADA Module in Fire Control System Based on Rough Set and Grey Relation

Zheng Min¹, Tong Weiyen¹, Li Yingshun², Lin Hao¹, Wu Zhaoqian¹

(1. Liaoyang Branch, Shenyang University of Technology, Liaoyang 111003, China;

2. Dalian University of Technology, Dalian 116200, China)

Abstract: In order to reduce the maintenance cost of fire control equipment, enhance the completeness of fire control system and improve the management efficiency, a state evaluation method based on rough set fusion and grey correlation analysis is proposed. Taking the ADA module in certain type tank fire control system as the research object, according to the redundancy and complexity characteristics of the signal of the fire control computer, the attribute reduction is carried out by using the rough set theory. Then the reduced signals are taken as the evaluation index, the state evaluation of the system is carried out by using the grey correlation analysis method, and the comparative analysis is carried out through the example at last. The results show that the algorithm has the advantages of simple calculation process and less space complexity, and can effectively evaluate the current state of fire control computer and sensor subsystem.

Keywords: rough set; attribute reduction; grey relation analysis method; state evaluation

0 引言

某型坦克火控计算机与传感器系统由火控计算机、倾斜传感器、横风传感器和炮塔角速度传感器等 4 个部件组成。系统以火控计算机为核心, 具有数据采集、解算以及输出控制、信号的传递与控制等多重功能^[1], ADA 模块包含了火控计算机的大部分有效信息, 是其中的重要部分。对火控计算机 ADA 模块的当前状态进行精准评估能够有效提高故障诊断效率, 适应战时、战备需要。文献[2]采用 D-S 证据理论对发射机进行健康状态评估, 由专家经验知识得到各评估指标的基本可信度分配, 具有较强的主观性; 文献[3]采用 ADC 方法对坦克火控系统效能评估, 根据故障时间间隔和平均维修时间将各性能指标量化, 具有不确定性; 文献[4]引入模糊层次分析法来评估变压器状态, 克服了主观

定权的缺点, 但是其模糊标度定义得过于复杂, 导致其模糊判断矩阵阶数很高, 增加了计算的复杂程度。综上所述, 已有的状态评估方法存在缺陷, 仍需进一步改进。

针对已有方法的不足, 根据火控计算机分系统的特点, 笔者提出一种粗糙集与灰色关联分析相结合的状态评估方法, 克服了文献[2-3]的主观性与不确定性的缺陷, 解决了文献[4]计算复杂的问题, 同时具有计算较为简单的优点。

1 基本理论

1.1 粗糙集理论

粗糙集是建立在分类机制的基础上, 将分类理解为对一个特定空间的基于等价关系的划分, 将知识理解为对数据的划分, 重点是研究属性约简和分类。粗糙集理论能在保留关键信息的前提下, 对数

收稿日期: 2020-06-16; 修回日期: 2020-07-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(71801196; 51677121)

作者简介: 郑敏(1993—), 女, 山东人, 硕士, 从事武器装备与健康研究。E-mail: zhengmin_2013@163.com。

据进行化简并求得知识的最小表达^[5]。差别矩阵是对信息系统进行约简的有力算法之一，能容易地计算约简。

定义 1^[6] 设决策表为 $S=(U,A,V,f)$ 。其中： U 为对象有限集合，称为论域或有限空间； A 为一个有限非空属性集，由条件属性 C 和决策属性 D 组成，且 $A=C \cup U$ ， $C \cap U = \phi$ ， $V = \bigcup_{a \in A} V_a$ ， V_a 表示属性 a 的值域； f 为信息函数， $f:U \times A \rightarrow V$ ，对 $\forall a \in A$ ， $x \in U$ ，有 $f(x,a) \in V_a$ 。

在决策表 S 中，对于 $\forall x,y \in U(x \neq y)$ 。若存在信息函数 $f(x,C) = f(y,C) \wedge f(x,D) \neq f(y,D)$ ，则称 S 为不一致决策表，其中 x,y 为不一致对象。

定义 2^[6] 假设存在一个决策表 $S=(U,A,V,f)$ 和一个条件属性子集 $P \subseteq C$ ，则关于 U 的不可区分关系定义为：

$$IND(P) = \{(x,y) \in U^2 | f(x,a) = f(y,a), \forall a \in P\}。 (1)$$

可以明显看出：不可分辨关系的实质是一种等价关系，含 x 的等价类记为 $[x]_P = \{y | y \in U, (x,y) \in IND(P)\}$ ； P 在 U 上导出的划分表示为 U/P 。

定义 3^[6] 若存在一个决策表 $S=(U,C \cup D, V, f)$ ，对于任意条件属性子集 $B \subseteq C$ ，论域上的子集 $X \subseteq U$ ，定义 X 在条件属性子集 B 上的下近似、上近似和边界域分别为：

$$\underline{B}(X) = \{x \in U | [x]_B \subseteq X\}； (2)$$

$$\overline{B}(X) = \{x \in U | [x]_B \cap X \neq \phi\}； (3)$$

$$BND(X) = \overline{B}(X) - \underline{B}(X)。 (4)$$

其中 $[x]_B$ 是 x 在条件属性集 B 上的等价类。

定义 4^[6] 给定一个决策表 $S=(U,C \cup D, V, f)$ 和条件属性子集 $B \subseteq C$ 。其中， $U/B = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$ 表示 U 在 B 下的条件类划分， $U/D = \{D_1, D_2, \dots, D_n\}$ 表示 U 在 D 下的决策类划分。则 B 相对于 D 的正区域定义为：

$$POS_B(X) = \underline{B}(D_i)。 (5)$$

定义 5^[7] 给定一个决策表 $S=(U,C \cup D, V, f)$ 和条件属性子集 $B \subseteq C$ 。记 $U_2 = U - U_1$ 。定义差别矩阵为 $M = \{m_{ij} | 1 \leq i, j \leq |U|\}$ ，其中 m_{ij} 表示矩阵中第 i 行第 j 列的元素。

$$m_{ij} = \begin{cases} a_k \in C, a_k(x_i) \neq a_k(x_j) \wedge D(x_i) \neq D(x_j) \\ \phi, D(x_i) = D(x_j) \end{cases}。 (6)$$

差别矩阵是一个上三角形或者下三角形。它与决策表包含了同样的知识(信息)和相同的分辨能力。相对于决策表，差别矩阵的表达形式更直观。

定义 6^[7] 假设存在一个决策表 $S=(U,C \cup D, V, f)$ 和条件属性子集 $B \subseteq C$ ，对应的差别矩阵为 M ，则关于 M 的分辨函数 f_B 定义为：

$$f_B = \wedge \{m_{ij} | m_{ij} \in M \wedge m_{ij} \neq \phi\}。 (7)$$

由定义 5 可知，极小析取范式 f_B 可以识别差别矩阵中的所有非空元素项。

性质 1^[7]：给定一个决策表 $S=(U,C \cup D, V, f)$ 和条件属性子集 $B \subseteq C$ 。对应的差别矩阵为 M 。条件属性 $a \in Core(U)$ 当且仅当 a 为差别矩阵 M 中的一个非空元素项。

1.2 灰色关联分析方法

灰色关联分析是研究事物、属性之间关联程度的一种方法，基本思想是根据序列曲线几何形状的相似程度来判断其联系是否紧密，曲线越接近，相应序列之间关联度就越大，反之就越小，在故障预测^[8-9]、寿命预测^[10-11]、定位^[12-13]、多目标决策分析^[14-15]等领域已有广泛应用。笔者通过计算灰色关联度来衡量属性之间的关联程度。与传统的统计分析方法相比，灰关联分析法具有对样本要求低的特点，具体表现为对于样本数据的多少和样本有无规律没有严格的要求，而且计算量小^[16]，关联度的计算步骤如下：

1) 确定分析序列。

分析序列主要包括比较因素序列和参考序列，文中称为待诊断状态序列 $X_0 = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(k))$ 和标准状态序列 $Z_0 = (z_0(1), z_0(2), \dots, z_0(k))$ 。

2) 求差序列、两极最大差和两极最小差。

计算待诊断状态序列与标准状态序列对应的绝对差值，包括差序列 $\Delta_i(k) = |x_0(k) - z_i(k)|$ ，两极最大差 $\Delta(\max) = \max_i \max_k \Delta_i(k)$ ，以及两极最小差 $\Delta(\min) = \min_i \min_k \Delta_i(k)$ 。

3) 计算关联系数。

$$\gamma_{0i}(k) = \frac{\Delta(\min) + \xi \Delta(\max)}{\Delta_i(k) + \xi \Delta(\max)}。 (8)$$

其中： $i = 1, 2, 3, \dots, m; k = 1, 2, 3, \dots, n$ ； ξ 为取值于区间(0, 1)的分辨系数，通常 $\xi = 0.5$ 。

4) 求关联度。

每一组待诊断状态序列与标准状态序列的关联度，由若干个条件属性的关联度系数综合反映，求其平均值即可得到该组状态序列与标准状态列的关联度。

$$\gamma_{oi} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma_{oi}(k) \quad (9)$$

2 基于粗糙集和灰色关联分析方法的状态评估模型

结合文中研究对象及研究思路，设计状态评估模型如图 1 所示。

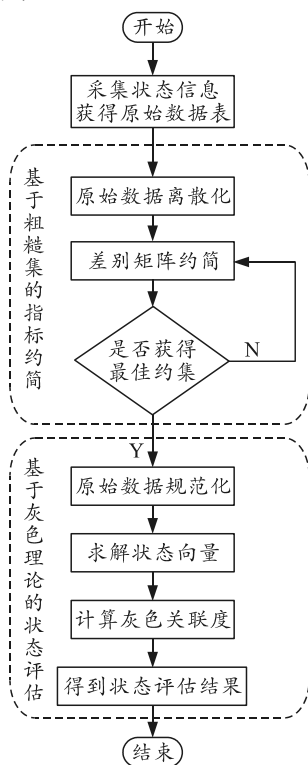


图 1 状态评估流程

1) 指标约简。

在火控系统中，火控计算机主要实现瞄准线与火炮轴线的电气同步、装表、瞄准线稳定和精确调炮的功能，通过电缆与炮长瞄准镜、瞄准镜控制盒、炮控分系统、激光电源计数器、耳轴倾斜传感器、横风传感器、炮塔角速度传感器、自动跟踪器以及热像仪等相连并进行信号的传递与控制。火控计算机主要由主机模块和控制版面构成，其中主机模块是火控计算机的核心，由 ADA 模块、CPU 模块、I/O 模块、控制模块 (KZB)、电源模块 (DC/DC)、ELC 模块和 KEY 模块等构成^[7]。由此可见：火控计算机的信号多且复杂，需要对其进行约简优化。笔者采用粗糙集对指标体系进行约简，得出最小约简集。

2) 测试数据规范化。

为提高算法的诊断精度，需对约简后条件属性的各个测试数据进行规范化处理，消除量纲，根据信号性质以及数据特点，采用的数据规范化公式为：

$$y_i = \begin{cases} \frac{x_i - \min_{1 \leq i \leq n} x}{\max_{1 \leq i \leq n} x - \min_{1 \leq i \leq n} x}, & x_i > \max x \\ \frac{\max_{1 \leq i \leq n} x - x_i}{\max_{1 \leq i \leq n} x - \min_{1 \leq i \leq n} x}, & x_i \leq \max x \end{cases} \quad (10)$$

3) 求状态向量。

根据状态分类，将各个状态下的规范化数据取平均值，求出状态向量，状态向量由约简后的条件属性组成。例如，假设系统指标体系经过优化后的约简集为 C ，经过数据规范化后为 C' ，则状态向量为 $Z = C'$ 。

4) 求关联度。

分别计算待诊断状态向量与各个状态的标准状态向量之间的关联度，比较关联度的大小从而确定当前状态。

3 火控系统状态评估实例

1) 状态评估指标体系。

以火控计算机的 ADA 模块为实例。ADA 主要完成模拟量信号与数字量信号的互相转换功能。模拟量输入部分由多路转换开关、A/D 转换器、地址译码逻辑电路及相关的门控电路等组件构成。这些电路将外部传感器和瞄准镜输入到火控计算机的模拟量转换为 12 位的数字量信号，供计算机运算处理使用。ADA 模块信号主要表现为由倾斜传感器、横风传感器、炮塔角速度传感器测量的模拟量转换而来的数字量、各电缆的信号检测值和控制信号等。如表 1 所示，主要指标有 6 个，记为 (c_1, c_2, \dots, c_6) 。

表 1 ADA 模块主要信号

指标	信号性质	信号值区间/V	端口号
c_1	稳像水平角速度信号 MS1	-15~+15	XS1-38
c_2	稳像垂直角度信号 MC1	-15~+15	XS1-39
c_3	侧倾斜信号 Uq	-15~+15	XS2-17
c_4	炮塔角速度 Uzh	-15~+15	XS2-22
c_5	炮长垂直角速度 PWC	-15~+15	XS4-24
c_6	炮长水平角速度 PWS	-15~+15	XS4-25

2) 粗糙集指标约简。

将决策状态分为 3 个等级，用 1、2、3 分别代表优、中、差。现有 15 组测试数据，生成决策如表 2，其中 d 代表决策状态。

表 2 实测数据决策

U	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	d
x_1	-17.55	14.62	14.78	16.34	-16.20	13.80	2
x_2	12.65	-15.58	-15.27	5.44	9.28	12.66	2
x_3	-16.33	13.52	17.90	12.66	14.52	11.45	1
x_4	14.45	-15.42	12.73	14.88	13.90	-16.33	1
x_5	12.34	14.72	14.12	-15.64	10.37	2.88	1
x_6	10.27	11.54	13.19	-17.90	9.65	15.94	1
x_7	-17.00	16.74	-15.34	-12.42	-16.20	15.76	3
x_8	16.43	11.62	-18.21	16.44	-10.09	-17.27	3
x_9	-13.45	-15.88	-15.69	-14.33	-14.50	16.78	3
x_{10}	17.27	13.44	-10.59	-16.41	16.28	15.00	3
x_{11}	-12.55	-17.29	16.25	-5.64	-18.34	16.57	3
x_{12}	14.46	13.52	12.88	-16.29	7.63	11.88	2
x_{13}	13.00	10.46	9.89	-17.36	12.99	-17.78	2
x_{14}	10.45	9.97	-16.98	13.37	16.48	14.95	2
x_{15}	12.28	13.98	13.86	-16.22	11.39	13.39	1

由表 1 可知, 信号值的区间相同。为便于计算, 将数据按取值区间进行离散化。若正常区间外的数据离散化为 0, 正常区间内的数据离散化为 1(即: 当 $c_i < -15 \text{ V}$ 或 $c_i > 15 \text{ V}$ 时, 令 $c_i=0$; 当 $-15 \text{ V} \leq c_i \leq 15 \text{ V}$ 时, 令 $c_i=1$), 则决策表中会出现多个重复

表 4 差别矩阵

U	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}
x_1	0														
x_2	0	0													
x_3	k_1	k_2	0												
x_4	k_3	k_4	0	0											
x_5	k_5	k_6	0	0	0										
x_6	k_7	k_8	0	0	0	0									
x_7	k_9	k_{10}	k_{11}	k_{12}	k_{13}	k_{14}	0								
x_8	k_{15}	k_{16}	k_{17}	k_{18}	k_{19}	k_{20}	0	0							
x_9	k_{21}	k_{22}	k_{23}	k_{24}	k_{25}	k_{26}	0	0	0						
x_{10}	k_{27}	k_{28}	k_{29}	k_{30}	k_{31}	k_{32}	0	0	0	0					
x_{11}	k_{33}	k_{34}	k_{35}	k_{36}	k_{37}	k_{38}	0	0	0	0	0				
x_{12}	0	0	k_{39}	k_{40}	k_{41}	k_{42}	k_{43}	k_{44}	k_{45}	k_{46}	k_{47}	0			
x_{13}	0	0	k_{48}	k_{49}	k_{50}	k_{51}	k_{52}	k_{53}	k_{54}	k_{55}	k_{56}	0	0		
x_{14}	0	0	k_{57}	k_{58}	k_{59}	k_{60}	k_{61}	k_{62}	k_{63}	k_{64}	k_{65}	0	0	0	
x_{15}	k_{66}	k_{67}	0	0	0	0	k_{68}	k_{69}	k_{70}	k_{71}	k_{72}	k_{73}	k_{74}	k_{75}	0

根据式(6)可知:

$$\begin{aligned}
 &k_1 = c_3, c_4, c_5; \quad k_3 = c_1, c_2, c_4, c_5, c_6; \\
 &k_2 = k_4 = k_{24} = k_{34} = c_3, c_6; \quad k_5 = k_{27} = c_1, c_4, c_5; \\
 &k_6 = k_{26} = k_{67} = c_2, c_3, c_4; \quad k_7 = k_{62} = c_1, c_4, c_5, c_6; \\
 &k_8 = k_9 = k_{25} = k_{54} = k_{70} = c_2, c_3, c_4, c_6; \\
 &k_{10} = k_{35} = k_{61} = c_1, c_2, c_5, c_6; \quad k_{23} = c_1, c_2, c_6; \\
 &k_{11} = k_{49} = k_{58} = k_{63} = k_{65} = c_2, c_3, c_5, c_6; \\
 &k_{12} = c_1, c_2, c_3, c_5, c_6; \quad k_{14} = k_{28} = c_1, c_2, c_3, c_4, c_5; \\
 &k_{13} = k_{21} = k_{43} = k_{52} = k_{68} = c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6; \\
 &k_{15} = k_{57} = c_1, c_3, c_5; \quad k_{16} = c_1, c_2, c_4, c_6; \\
 &k_{18} = k_{33} = c_1, c_2, c_3, c_4, c_6; \quad k_{22} = c_3, c_5; \\
 &k_{17} = k_{19} = k_{20} = k_{44} = k_{48} = k_{69} = c_1, c_3, c_4, c_6; \\
 &k_{29} = k_{66} = c_1, c_3, c_4, c_5; \quad k_{30} = c_1, c_2, c_4, c_5, c_6;
 \end{aligned}$$

规则, 影响约简结果, 所以离散化规则为: 当 $c_i < -15 \text{ V}$, 令 $c_i=0$; 当 $-15 \text{ V} < c_i < 15 \text{ V}$, 令 $c_i=1$; 当 $c_i < 15 \text{ V}$, 令 $c_i=2$ 。离散化后的决策见表 3。

表 3 离散化后的决策

U	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	d
x_1	0	1	1	2	0	1	2
x_2	1	0	0	1	1	1	2
x_3	0	1	2	1	1	1	1
x_4	1	0	1	1	1	0	1
x_5	1	1	1	0	1	1	1
x_6	1	1	1	0	1	2	1
x_7	0	2	0	1	0	2	3
x_8	2	1	0	2	1	0	3
x_9	1	0	2	1	1	2	3
x_{10}	2	1	1	0	2	1	3
x_{11}	1	0	2	1	0	2	3
x_{12}	1	1	1	0	1	1	2
x_{13}	1	1	1	0	1	0	2
x_{14}	1	1	0	1	2	1	2
x_{15}	1	1	1	0	1	1	1

根据决策表信息和差别矩阵的定义, 建立差别矩阵如表 4 所示。其中由于差别矩阵元素过多, 由差别矩阵图体现时不方便, 故将差别矩阵中的差别元素用字母 k_i 来代替。

$$\begin{aligned}
 &k_{31} = k_{46} = k_{71} = c_1, c_5; \quad k_{74} = c_4; \\
 &k_{32} = k_{55} = c_1, c_5, c_6; \quad k_{36} = c_3, c_5, c_6; \\
 &k_{37} = c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6; \quad k_{38} = c_2, c_3, c_4, c_5; \\
 &k_{39} = c_1, c_2, c_4; \quad k_{40} = c_2, c_4, c_6; \quad k_{41} = k_{73} = \phi; \\
 &k_{42} = k_{50} = k_{51} = c_6; \quad k_{45} = c_2, c_3, c_4, c_6; \\
 &k_{47} = k_{56} = k_{72} = c_2, c_3, c_4, c_5, c_6; \\
 &k_{53} = k_{64} = c_1, c_3, c_4; \quad k_{60} = c_3, c_4, c_5, c_6.
 \end{aligned}$$

根据式(7)可得:

$$\begin{aligned}
 f_{M(S)} &= c_4 \vee c_6 \vee (c_1 \wedge c_5) \vee (c_3 \wedge c_5) = \\
 &c_4 \vee c_6 \vee c_5(c_1 \wedge c_3) = \\
 &(c_1 \vee c_4 \vee c_6 \vee c_5) \wedge (c_3 \vee c_4 \vee c_6 \vee c_5).
 \end{aligned}$$

上述差别函数化简的最小析取范式表明: $(c_1 \vee c_4 \vee c_6 \vee c_5)$ 和 $(c_3 \vee c_4 \vee c_6 \vee c_5)$ 是决策表的 2 个约简, 反映了 ADA 模块评估指标体系的核心, 取

约简集(c_1, c_3, c_4, c_5)进行状态向量的计算。

3) 建立状态向量表。

将测试数据规范化, 再取平均值, 从而得出状态向量。采用式(10)对数据进行规范化后, 在正常状态下的数据将在(0,1)区间内, 在异常状态下的数据将大于 1。

数据规范化的过程如表 5—8 所示。

表 5 决策状态为 1 时的规范化数据

U	c'_1	c'_3	c'_4	c'_5	d
x_3	1.044 3	1.096 7	0.078 0	0.016 0	1
x_4	0.018 3	0.075 7	0.004 0	0.036 7	1
x_5	0.088 7	0.029 3	1.021 3	0.154 3	1
x_6	0.157 7	0.060 3	1.096 7	0.178 3	1
x_{15}	0.090 7	0.038 0	1.040 7	0.120 3	1
\bar{x}	0.279 94	0.380 22	0.668 14	0.101 12	1

表 6 决策状态为 2 时的规范化数据

U	c'_1	c'_3	c'_4	c'_5	d
x_1	1.085 0	0.007 3	1.044 5	1.040 0	2
x_2	0.078 3	1.009 0	0.318 7	0.190 7	2
x_{12}	0.018 0	0.070 7	1.043 0	0.104 0	2
x_{13}	0.066 7	0.170 3	1.078 7	0.067 0	2
x_{14}	0.151 7	1.066 0	0.054 3	1.049 3	2
\bar{x}	0.407 85	0.464 66	0.707 84	0.409 20	2

表 7 决策状态为 3 时的规范化数据

U	c'_1	c'_3	c'_4	c'_5	d
x_7	1.066 7	1.011 3	0.914 0	1.040 0	3
x_8	1.047 7	1.107 0	1.048 0	0.836 3	3
x_9	0.948 3	1.023 0	0.977 7	0.983 3	3
x_{10}	1.075 7	0.853 0	1.047 0	1.042 7	3
x_{11}	0.918 3	1.041 7	0.688 0	1.111 3	3
\bar{x}	1.011 34	0.987 94	0.934 94	1.002 72	3

求平均值, 得出各个状态的状态向量如表 8。

表 8 状态向量

Z	c'_1	c'_3	c'_4	c'_5
z_1	0.279 94	0.380 22	0.668 14	0.299 40
z_2	0.407 85	0.464 66	0.707 84	0.518 54
z_3	1.011 34	0.987 94	0.934 94	1.002 72

4) 基于灰色关联分析的状态评估。

现有一组测试 $X_0=(14.46, 12.88, -16.29, 7.63)$, 采用式(10)规范化处理后, 利用灰色关联式(8)、式(9)进行关联度计算, 计算结果如表 9 所示。

表 9 灰色关联度

γ'	c_1	c_3	c_4	c_5	γ
γ'_{01}	0.536 66	0.487 20	0.428 89	1.000 00	0.613 19
γ'_{02}	0.614 35	0.610 03	0.677 48	1.000 00	0.725 47
γ'_{03}	0.405 86	0.427 69	1.000 00	0.482 35	0.578 98

从表可得: 该组状态序列与状态 1 的关联度 $\gamma_{01}=0.613 19$, 与状态 2 的关联度 $\gamma_{02}=0.725 47$, 与状态 3 的关联度 $\gamma_{03}=0.578 98$, 通过比较大小, 可判断当前决策状态为 2, 即 ADA 模块状态为中等。通

过对比火控计算机 ADA 模块实际情况, 可判断该评估结果与实际情况相符。

5) 对比分析。

获取若干组数据, 分别采用不同方法进行状态评估, 将评估结果与实际状态进行对比, 得到各方法的准确度, 同时获取各算法运行时间, 对比各方法的复杂度。几种算法结果比较如表 10。

表 10 几种算法结果比较

方法	准确度/%	运行时间/s
文献[1]	78.40	0.814
文献[2]	84.58	1.056
文献[3]	92.75	1.437
文中方法	92.33	0.824

通过对比几种方法的准确度和运行结果可以看出: 相较于文献[1]和文献[2], 笔者提出的粗糙集融合 D-S 证据理论的状态评估方法准确度更高; 相较于文献[3], 该方法运行时间较短, 计算较简单。该实例证实了融合粗糙集与灰色关联的状态评估算法能够简便、有效、准确地对火控计算机 ADA 模块状态进行评估。由于火控计算机中各个模块的信号均为数字量, 采用同样的方法可对其他模块进行状态评估, 最终对整个火控计算机分系统状态进行评估。同时, 该方法也证明了通过真实的数据统计, 建立灰色关联标准状态向量表, 能够准确评估火控计算机的当前状态。

4 结束语

文中状态评估算法是将粗糙集与灰色关联度分析方法相结合, 基于实测数据来完成。首先建立 ADA 模块状态决策表, 利用粗糙集理论对火控计算机 ADA 模块状态评估指标进行属性约简, 然后将约简后的指标作为状态向量的元素, 以实测数据为基础计算出各个状态的状态向量, 最后采用灰色关联度分析法进行诊断决策, 完成整个状态评估系统的构造。分析诊断结果可知: 该方法能在小样本数据下对系统进行可靠评估, 计算过程较简单, 空间复杂度较小, 存储空间有较大改善, 为复杂设备的状态评估提出了一种新思路。

参考文献:

[1] 朴慧京. ZTZ96A 式装甲装备火控系统构造原理与修理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2013: 216-219.
 [2] 张永顺, 许炎义, 尹明. 基于 D-S 证据融合的发射机健康状态评估 [J]. 计算机与数字工程, 2016, 44(4): 621-624, 657.

[3] 郝玉生, 李斯宇. 基于 ADC 方法的坦克火控系统效能评估[J]. 火力与指挥控制, 2018, 43(12): 109-115.

[4] 张晶晶, 许修乐, 丁明, 等. 基于模糊层次分析法的变压器状态评估[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(3): 75-81.

[5] PAWLAK Z. Rough sets[J]. Int J of Computer and Information Sciences, 1982, 11(5): 341-356.

[6] 唐坤剑, 容强. 基于加权浓缩树的粗糙集属性约简算法[J]. 计算机工程与应用, 2018, 54(2): 76-81.

[7] WEI W, JIYE L, WANG J H, et al. Decision-relative discernibility matrices in the sense of entropies[J]. International Journal of General Systems, 2013, 42(7): 721-738.

[8] 贾爱芹, 陈建军, 蒋志强, 等. 基于灰色支持向量机的汽车制动系统故障诊断与预测[J]. 机械设计与研究, 2015, 31(1): 149-152.

[9] 刘业鹏, 许彬彬, 陈菲, 等. 基于灰色理论的数控机床故障预测的研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2019(9): 93-96, 101.

[10] 郑如炎, 彭飞, 牟金磊, 等. 基于灰色理论的船用钢腐蚀剩余寿命预测方法[J]. 江苏船舶, 2017, 34(4): 7-9.

[11] 唐鸿远, 张臻, 邓运来, 等. 基于灰色系统理论的 Al-Zn-Mg 合金板材疲劳寿命预测[J]. 上海交通大学学报, 2018, 52(2): 228-232.

[12] 魏建胜, 田光兆, 刘宇峰. 基于插补-灰色理论智能化农业车辆定位预测系统设计[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(3): 203-207.

[13] 王家林, 吴正国, 杨宣访. 基于灰色关联理论的线性直流电源故障分类定位[J]. 电子器件, 2008, 31(6): 1891-1894.

[14] 夏冀, 范科峰, 李琳. 基于层次分析与灰色模糊理论的工控系统信息安全防护能力评估方法[J]. 网络安全技术与应用, 2019(10): 67-72.

[15] 张金波, 施明华, 李晓然. 灰色多属性风险决策方法及其应用研究[J]. 巢湖学院学报, 2019, 21(3): 28-33.

[16] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990: 77-78.

(上接第 22 页)

导航系统水平陀螺仪标度若保障精度必须定期进行标定, 建议在启动时间允许情况下尽量进行正常方式启动。

3 结束语

当舰艇编队协同作战时, 如果某艘舰艇卫星导航组合设备输出时间错误, 会影响到编队统一态势形成和编队的跨平台打击^[10]。此外导航系统的定位误差和姿态精度也会影响到作战系统传感器的跟踪性能, 传感器探测目标时都是以本平台位置和姿态等为基础计算目标方位、距离、仰角等位置信息。分析结果表明: 导航系统的最初对准精度及长期工作积累误差, 也是导致传感器超差的原因之一。导航系统虽不直接参与系统作战任务, 但会影响到系统作战能力, 甚至造成无法估量的损失。

参考文献:

[1] 李艳丽. 作战模拟方法的水面舰艇反导作战效能评估[J]. 计算机仿真, 2007, 24(6): 38-41.

[2] 马恒, 许江宁, 朱涛, 等. 高精度舰艇航向姿态信息标校方法和测量模型研究[J]. 中国惯性技术学报, 2004, 12(4): 77-80.

[3] 杨榜林, 岳全发, 金振中, 等. 军事装备试验学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002: 112-123.

[4] 郑锦, 余亮. 编队协同防空武器调度建模研究[J]. 大连舰艇学院学报, 2008(5): 27-31.

[5] SULTANIK E A, MODI P J, REGLI W C. On Modeling Multiagent Task Scheduling as a Distributed Constraint Optimization Problem[C]. 20th International Joint Conference on Artificial Intelligence, AAAI Press, Hyderabad, 2007: 1531-1536.

[6] 马恒, 许江宁, 朱涛. 高精度舰艇航向姿态信息标校方法和测量模型研究[J]. 中国惯性技术学报, 2004, 12(4): 31-34.

[7] 刘飞, 马林. 舰艇惯性导航技术现状及发展趋势[J]. 中国造船, 2011, 12(4): 29-32.

[8] 郭齐胜, 邱志刚, 杨瑞平, 等. 装备效能评估概率[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005: 62-70.

[9] 陈永光, 柯宏发. 电子信息装备试验灰色系统理论运用技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008: 3-12.

[10] 武小悦, 刘琦. 装备试验与评价[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008: 424-435.