

文章编号: 1001-0920(2002) 02-0175-03

辐射源威胁大小综合排序的模糊相对比值法

姜宁^{1,2}, 胡维礼¹, 李登峰², 傅建国²

(1. 南京理工大学 自动化系, 江苏 南京 210094; 2. 海军大连舰艇学院 指控信息系, 辽宁 大连 116018)

摘要: 利用模糊集理论确定辐射源威胁因子的隶属度函数, 进而提出并建立了对多批目标威胁大小综合排序的模糊相对比值法。实例证明该方法是可行而有效的, 它不仅适用于辐射源威胁的综合排序问题, 而且适用于军事、经济以及日常生活中的多属性决策问题。

关键词: 威胁评判; 隶属度函数; 排序; 数学模型

中图分类号: TN 953 文献标识码: A

Fuzzy ratio method for ranking of multi-radiant imperilment

JIAN G Ning^{1,2}, HU Wei-li¹, LI Deng-feng², FU Jian-guo²

(1. Department of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;
2. Department of Command Control and Information, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China)

Abstract: Membership functions of imperil factors for radiant are determined by fuzzy sets, and a fuzzy ratio method is presented. This method is showed to be feasible and effective with a real example. The method is applied to not only radiant imperilment comprehensive ranking problems, but also other similar multiattribute decision making problems in military, economy and real life.

Key words: imperilment judgment; membership function; ranking; mathematical model

1 引言

辐射源威胁评判是指利用侦察机侦察到的各个辐射源参数来综合评判辐射源的威胁大小程度^[1]。本文研究如何确定多批目标(辐射源)威胁大小的排序问题。目前, 比较常用的方法是通过专家打分进行评价。这种方法简便、易实现, 但对专家的要求比较高, 而评价结果的可靠性却较低。为此, 本文提出一种辐射源威胁大小综合排序的模糊相对比值法。

2 辐射源威胁因子威胁隶属度函数的确定^[2]

在辐射源威胁大小的评判中, 主要考虑的辐射源参数有 5 个: 脉冲重复频率(kHz), 简称重频; 方位; 脉冲宽度(μ s), 简称脉宽; 载频(cm) 和距离(km)。依次分别记为 B_1, B_2, \dots, B_5 。通常把辐射源参数称为威胁因子威胁“大”与“小”是两个相互对立的模糊概念, 不便于利用精确数学方法进行处理, 而模糊集理论则是解决此类问题的有效工具。

2.1 威胁因子重频威胁隶属度函数^[3-7]

辐射源的重频在 0.1 kHz 以内时, 威胁程度很小, 几乎可以认为等于 0。但当辐射源的重频超过 0.1 时, 则重频越高, 威胁越大。因此, 可选取重频威胁隶属度函数为

收稿日期: 2000-11-09; 修回日期: 2001-02-06

基金项目: 军队武器装备科研项目(H943008)

作者简介: 姜宁(1964—), 男, 辽宁大连人, 副教授, 博士后研究人员, 从事电子对抗、多目标决策和系统仿真研究; 胡维礼

(1941—), 男, 江苏东台人, 教授, 博士生导师, 从事智能控制、非线性控制和高精度伺服系统研究。http://www.cnki.net

$$\mu(B_1) = \begin{cases} 0, & 0 < B_1 \leq 0.1 \\ 1 - e^{-(B_1 - 0.1)^2}, & B_1 > 0.1 \end{cases} \quad (1)$$

2.2 威判因子方位威胁隶属度函数

辐射源方位的变化方式通常有3种:方位不变、方位瞬变和方位慢变。辐射源方位不变,表示已跟踪到我舰目标,因而威胁最大,隶属度取1;方位瞬变指机载目标对我进行搜索,威胁较大,隶属度取为0.8;方位慢变指舰载目标对我进行搜索,威胁较小,隶属度取0.5。因此,方位威胁隶属度函数可表示为

$$\mu(B_2) = \begin{cases} 1, & \text{方位不变} \\ 0.8, & \text{方位瞬变} \\ 0.5, & \text{方位慢变} \end{cases} \quad (2)$$

2.3 威判因子脉宽威胁隶属度函数

显然,辐射源的脉宽 B_3 越小,威胁越大。当脉宽接近于0时,威胁最大,从而隶属度为最大值1;当脉宽趋于无穷大时,威胁最小,从而隶属度为最小值0。因此,脉宽威胁隶属度函数可取为

$$\mu(B_3) = \frac{1}{1 + B_3^2} \quad (3)$$

2.4 威判因子载频威胁隶属度函数

通常,辐射源的载频有5个范围:2 cm, 3 cm, 5 cm, 10 cm 和 22 cm。载频为2 cm 或3 cm 时,威胁程度最大,可取隶属度为1;载频为5 cm 或10 cm 时,威胁程度较大,可取隶属度为0.6;载频为22 cm 时,威胁程度不是很大,可取隶属度为0.3。于是,可选取载频威胁隶属度函数为

$$\mu(B_4) = \begin{cases} 1, & B_4 = 2, 3 \\ 0.6, & B_4 = 5, 10 \\ 0.3, & B_4 = 22 \end{cases} \quad (4)$$

2.5 威胁因子距离威胁隶属度函数

显然,辐射源的距离越近,威胁程度越大。于是,距离威胁隶属度函数可取为

$$\mu(B_5) = \frac{B_{5\max} - B_5}{B_{5\max} - B_{5\min}} \quad (5)$$

其中最大距离 $B_{5\max}$ 和最小距离 $B_{5\min}$ 可根据实际问题的具体情况确定。在本文讨论的多批目标威胁大小排序问题中,由于多个辐射源威胁程度大小比较仅在其之间进行,与其它任何辐射源无关,这是多辐射源威胁大小排序的相对性,因此,可把多批目标中距离最大者和距离最小者分别作为 $B_{5\max}$ 和 $B_{5\min}$ 。

3 辐射源威胁评判排序模型

第 i 个威胁因子的实测参数为 x_{ij} , $i = 1, 2, \dots, 5$; $j = 1, 2, \dots, n$ 。利用上述各威胁因子隶属度函数公式(1)~(5),可将其变换为隶属度 μ_{ij} , $i = 1, 2, \dots, 5$; $j = 1, 2, \dots, n$ 。通常将矩阵 μ_{ij} 记为矩阵 $\mu = (\mu_{ij})_{m \times n}$ 。

根据相对性^[8],可定义最大(或理想)威胁辐射源 M^+ ,其相对隶属度向量为

$$g = (g_1, g_2, \dots, g_5)^T \quad (6)$$

其中 $g_i = \max_j \{\mu_{ij}\}$, $i = 1, 2, \dots, 5$

式(6)的物理意义很清楚, g_i 是所有 n 批目标中第 i ($i = 1, 2, \dots, 5$)个威判因子隶属度的最大值。若 M^+ 存在,则 M^+ 就是指挥员认为威胁最大的辐射源。但在一般情况下,最大威胁辐射源 M^+ 并不存在,仅为一种“理想”的辐射源。于是,希望所选择的辐射源越接近最大威胁辐射源越好。辐射源 M_j ($j = 1, 2, \dots, n$)与 M^+ 的接近程度可用加权闵可夫斯基距离表示,即

$$d_q(M_j, M^+) = \sqrt[q]{\sum_{i=1}^5 [\omega(g_i - \mu_{ij})]^q} \quad (7)$$

其中, q 为距离参数; ω 为第 i 个威判因子的权重,满足 $\omega \geq 0$ 且 $\sum_{i=1}^5 \omega = 1$ 。威判因子权重的确定可利用AHP法进行^[21]。若辐射源 M_j 使得

$$d_q(M_j^*, M^+) = \min_j d_q(M_j, M^+) \quad (8)$$

则 M_j 是指挥员认为威胁最大的辐射源,并可根据 $d_q(M_j, M^+)$ ($j = 1, 2, \dots, n$)从小到大的顺序给出 n 批目标威胁大小的排列。

相似地,可定义最小(或负理想)威胁辐射源 M^- ,其相对隶属度向量为

$$b = (b_1, b_2, \dots, b_5)^T \quad (9)$$

式中 $b_i = \min_j \{\mu_{ij}\}$, $i = 1, 2, \dots, 5$

b_i 的物理意义很清楚,就是所有 n 批目标中第 i ($i = 1, 2, \dots, 5$)个威判因子相对隶属度的最小值。与 M^+ 类似,一般情况下最小威胁辐射源 M^- 也不存在。显然,与 M^- 距离越远的辐射源威胁越大,即使得加权闵可夫斯基距离

$$d_q(M_j, M^-) = \sqrt[q]{\sum_{i=1}^m [\omega(\mu_{ij} - b_i)]^q} \quad (10)$$

越大越好。

然而,在一些多辐射源威胁大小排序问题中,某批目标接近 M^+ 但不一定同时远离 M^- 。因此,仅考虑辐射源接近 M^+ 或远离 M^- 的程度是不够的,应同时考虑这两方面因素。为此,记

$$\begin{cases} d_q(M^-) = \max_j \{d_q(M_j, M^-)\} \\ d_q(M^+) = \min_j \{d_q(M_j, M^+)\} \end{cases} \quad (11)$$

显然, $d_q(M^-) > 0$ (否则 $d_q(M^-) = 0$, 从而由式(11)知, 所有目标都是 M^- , 这种情况没有必要讨论)。一般假定 $d_q(M^+) > 0$, 并定义

$$\xi(M_j) = \frac{d_q(M_j, M^-)}{d_q(M^-)} - \frac{d_q(M_j, M^+)}{d_q(M^+)} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

数值指标 $\xi(M_j)$ 反映了辐射源 M_j 接近 M^+ 且远离 M^- 的程度, $\xi(M_j)$ 越大, 目标 M_j 威胁越大。由式(11)和(12)可证明 $\xi(M_j) \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$ 。

若辐射源 M_{j^*} 使得 $d_q(M^-) = d_q(M_{j^*}, M^-)$ 和 $d_q(M^+) = d_q(M_{j^*}, M^+)$ 同时成立, 则 $\xi(M_{j^*}) = 0$, 此时 M_{j^*} 最接近 M^+ 且最远离 M^- , 从而指挥员认为是威胁最大的辐射源。当 $\xi(M_j) < 0$ 时, 辐射源 M_j 偏离了 M^+ , $\xi(M_j)$ 越小, 则 M_j 偏离 M^+ 越远, 从而指挥员认为目标的威胁就越小。因此, $\xi(M_j)$ 的大小反映了指挥员对辐射源 $M_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 威胁大小的认可程度。于是, 相应于 $\xi(M_j)$ 最大的辐射源即为指挥员认为威胁最大的目标, 并可按 $\xi(M_j)$ 从大到小的顺序给出 n 批目标威胁大小的优序排列。

4 应用

现在有 3 批目标: M_1 (导弹末制导雷达), M_2 (舰载搜索雷达) 和 M_3 (机载搜索雷达)。侦察机测得各辐射源参数值用距阵 X 表示为

	M_1	M_2	M_3
B_1	5 200	408	780
B_2	不变	慢变	瞬变
B_3	0.1	4	1.2
B_4	2	5	22
B_5	15	25	13

利用式(1) ~ (5) 可得隶属度距阵为

	M_1	M_2	M_3
B_1	1	0.09	0.18
B_2	1	0.5	0.8
$\mu = B_3$	0.99	0.06	0.21
B_4	1	0.6	0.3
B_5	0.9	0	0.98

采用 AHP 法计算得到的威胁因子权重向量为 $\omega = (0.25, 0.2, 0.15, 0.1, 0.3)^T$ 。根据式(6) ~ (12)及

距阵 μ , 不难算出各个辐射源的相对比值(见表 1)。

表 1 距离参数 q 取不同值时各辐射源的相对比值 $\xi(M_j)$

q	M_1	M_2	M_3
1	0	- 6.81	- 3.52
2	0	- 3.79	- 2.05
	0	- 2.67	- 1.78

从表 1 可以看出, 距离参数 q 取 3 种不同值时, 3 批目标威胁程度大小排序都相同, 依次为: M_1, M_3, M_2 。指挥员认为导弹末制导雷达即 M_1 威胁最大, 这与人工判断相吻合。可见, 本文方法是可行而有效的。

若采用不同的威胁因子权重向量, 则可进行类似分析, 但可能会得到不同的威胁排序结果。此外, 距离参数 q 取不同值时, 也可能得到不同的威胁排序结果。在实际问题中, 为简便起见, 通常仅考虑 $q = 1$ 或 2 的情况。

5 结 语

本文利用模糊数学理论建立起来的相对比值法, 能较好地解决多辐射源威胁大小排序问题, 对提高指挥员的决策能力、减少决策失误具有参考价值。该方法同样适用于一般类型的多属性决策问题^{9~12]}。

参考文献(References):

- [1] 林象平. 雷达对抗原理[M]. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1985.
- [2] 姜宁. 辐射源威胁等级判断的新方法[J]. 海军大连舰艇学院学报(J of Dalian Naval Academy), 2000, 23(1): 49-51.
- [3] 贺仲雄. 模糊数学及其应用[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1983.
- [4] Chen S J, Hwang C L. Fuzzy multiple attribute decision making: Methods and applications [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1992.
- [5] 汪培庄. 模糊集合论及其应用[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983.
- [6] 何新贵. 模糊知识处理的理论与技术[M]. 第 2 版. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [7] 汪培庄, 李洪兴. 模糊系统理论与模糊计算机[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [8] 陈守煜. 系统模糊决策理论与应用[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1994.

将 τ 取为 0, 初始状态为 $x_1(t) = 65^\circ$; $x_2(t) = -3$, 可以得到很好的控制效果。仿真结果如图 2 所示, 这也说明含有时间滞后的系统, 控制要求更高。

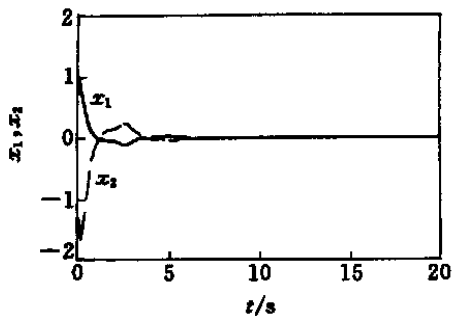


图 1 滞后状态初始值不为零时的状态变化曲线

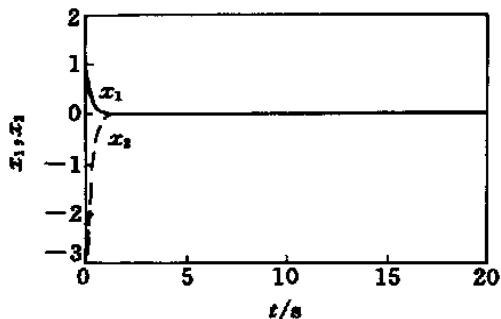


图 2 时间滞后为零时的状态变化曲线

5 结 论

本文针对一类采用 T-S 模糊模型表示的不确定时滞系统, 给出了模糊时滞不确定系统保成本控制的定义和保成本模糊控制器存在的充分条件, 并利用线性矩阵不等式的形式给出了控制器参数设计方法。所采用的控制器构成模糊规则的一部分, 仿真结果验证了该方法的有效性。然而, 如何对模型作适当的处理, 以更简便的方法找到适合于每个子系统的矩阵 P 和 Q , 还有许多应考虑的方法。如何进一步减少系统控制的保守性将是我们今后所要做的工作。

参考文献(References):

- [1] Petersen I R, McFarlane D C. Optimal guaranteed cost filtering for uncertain discrete-time linear systems[J]. IEEE Trans on Autom Contr, 1994, 39(9): 1971-1976.
- [2] Moheimani S O R, Petersen I R. Guaranteed cost control of uncertain systems with a time-multiplied quadratic cost of function: An approach based on linear matrix inequalities [J]. Automatic, 1998, 34(3): 651-654.
- [3] Guan X P, Lin Z Y, Duan G R. Robust guaranteed cost control of a class of uncertain time-delay systems[J]. IEE Proc Control Theory Appl, 1999, 146(6): 598-602.
- [4] Choi H H, Chung M J. Memoryless stabilization of uncertain dynamic systems with time-varying delayed state and controls[J]. Automatica, 1995, 31(11): 1349-1351.
- [5] Yu Li. An LMI approach to guaranteed cost control of linear uncertain time-delay systems [J]. Automatica, 1999, 35(6): 1155-1159.
- [6] Takagi T, Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control[J]. IEEE Trans on Syst, Man & Cybern, 1985, 15(2): 116-132.
- [7] Tanaka K, Ikeda T, Wang H O. Robust stabilization of a class of uncertain nonlinear systems via fuzzy control: Quadratic stabilizability, H^∞ control theory and linear matrix inequalities[J]. IEEE Trans on Fuzzy Systems, 1996, 4(1): 1-13.
- [8] Kang H J, Kwon C, Lee H, et al. Robust stability analysis and design method for the fuzzy feedback linearization regulator[J]. IEEE Trans on Fuzzy Systems, 1998, 6(4): 464-472.
- [9] Joh J, Chen Y H, Langari R. On the stability issues of linear Takagi-Sugeno fuzzy models[J]. IEEE Trans on Fuzzy Systems, 1998, 6(3): 402-410.
- [10] Chen B S, Tseng C S, Uang H J. Robustness design of nonlinear dynamic systems via fuzzy linear control [J]. IEEE Trans on Fuzzy Systems, 1999, 7(5): 571-584.

(上接第 177 页)

[9] Hwang C L, Yoon K. Multiple attribute decision making: Methods and applications [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1981.

[10] Zeleny L. Multiple criteria decision making [M]. New York: McGraw-Hill, 1982.

[11] Steuer R E. Multiple criteria optimization: Theory,

computation and application [M]. New York: John Wiley & Sons, 1986.

[12] Yu P L. Multiple criteria decision making: Concepts, techniques and extensions [M]. New York: Plenum Press, 1985.