

基于变异 S-粗集的序贯性决策方法在状态转移中的应用 *

路艳丽 雷英杰 李兆渊

(空军工程大学导弹学院 陕西三原 713800)

摘要 针对战场态势评估中的状态转移模型,提出了基于变异 S-粗集的策略选择方法。通过构建变异 S-粗集的结构差高度、粒度贴近度的概念,并结合序贯决策方法,给出了根据当前战场状态和给定的一系列的被选方案、选取策略使得战场态势向希望状态转移的方法。最后通过实例给出了方法的具体应用。

关键词 变异 S-粗集, 状态转移, 态势评估, 序贯决策

Sequential Decision Method in State Transition Based on Variant S-rough Sets

LU Yan-li LEI Ying-jie LI Zhao-yuan

(Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, China)

Abstract To the model of state transition in battlefield situation assessment, a method of decision choosing based on Variant S-rough set theory is put forward. The concepts of structure divergence and the granularity nasty degree of the variant S-Rough Sets are built. On the foundation of present battlefield situation and given candidate schemes, a sequential decision Method Based on the two concepts is applied to choose the best decision to make the battlefield situation shift to the expected state. At last the application of this method is proved by an instance.

Keywords Variant S-rough sets, State transition, Situation assessment, Sequential decision

1 问题描述

状态转移模型^[1]是表达军事问题求解过程的一种方法,如图 1 所示。其基本问题条件包含状态 A 和状态 B,图 1 表示从状态 A 转移到状态 B。由于这些状态和转移并不总是已知的,因此构造复杂军事问题的状态转移模型比较困难。

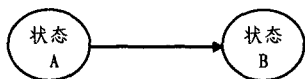


图 1 状态转移模型

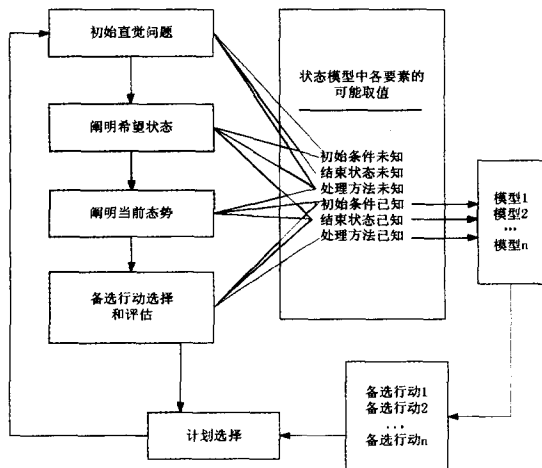


图 2 基于状态转移模型的军事问题求解过程

按照这一基本思想,我们可以从状态转移模型出发建立如图 2 所示的问题求解过程。图 2 所示的军事问题求解模型

是目标驱动的,即由达到一个希望的最终的兵力部署意图来驱动。在过程开始时,指挥员对其初始状态、期望状态或者转移尚无把握,但经过一定的问题求解步骤后,指挥员就开始走向最终是正确的方向和所期望的最终状态^[2]。

2 S-粗集描述状态转移

根据图 2,我们可利用 S-粗集理论来描绘状态转移模型。

若 X 是一个双向奇异集合, R_1, R_2, \dots, R_m 为论域 U 上的等价关系,则有

初始状态:若在时刻 t_0 , X 初始状态为

$$S_m = ((R_1^-(X), R_1^+(X)), (R_2^-(X), R_2^+(X)), \dots, (R_m^-(X), R_m^+(X))) \quad (1)$$

备选行动:若在时刻 $t_i, i=1, 2, \dots, n_i$, 具有 n_i 种备选行动,这 n_i 种备选行动对应 n_i 个迁移族 $F_j^{(i)}, j=1, 2, \dots, n_i$ 。

那么在时刻 $t_i, (R_k^-(X), R_k^+(X)), k=1, 2, \dots, m$, 具有 n_i 种可能的选择:

$$((R_k, R_k^{(i)})_0(X), (R_k, F_1^{(i)})_0(X)), ((R_k, F_2^{(i)})_0(X), (R_k, F_2^{(i)})_0(X)), \dots, ((R_k, F_{n_i}^{(i)})_0(X), (R_k, F_{n_i}^{(i)})_0(X)), \text{ 每种选择对应于一个状态转移矩阵: } P_j^{(i)}, j=1, 2, \dots, n_i.$$

备选行动的选择和评估:设系统经过 l 个时刻,每个时刻的行动选择构成了一个策略,策略 $D = \{F_1, F_2, \dots, F_l\}, F_j \in F^{(i)}$ 。一种策略是一组决策行为组成的向量, D 定义了系统所采取的一系列决策行为。当每一个时刻上的决策行为确定以后,系统的概率转移矩阵也就确定了 $P_D = P^{(1)} * P^{(2)} * \dots * P^{(l)}$ 。若选择策略 D ,将得到结果状态 $D_D = S_m * P_D$,不同的策略选择将达到不同的结果状态。当希望状态 S_{hope} 已知,策略的选择标准就是使得结果状态越接近希望状态越好。

文献[4]中定义的 S-粗集的结构差高度与粒度贴近度是根据属性集的变化来衡量 t 时刻粗集与 $t+1$ 时刻粗集的不同,并没有反映出粗集内部粒度大小的不同。粗集理论认为

* 国家自然科学基金资助项目(60773209);陕西省自然科学基金(2006F18)资助课题。路艳丽 博士,研究方向为智能信息处理。

知识的粒度性是造成使用已有知识不能精确地表示某些概念的原因。为了更进一步刻画它们的不同,下面将从变异 S 粗集的角度出发,讨论属性等价类的粒度变化,引入粒度贴近度的概念。

定义 1(粒度贴近度) 若 $[\alpha]_F$ 是 $[\alpha]$ 在 $F=F \cup \bar{F}$ 作用下形成的 α 属性类,如果

$$GRD([\alpha]_F) = \frac{Card([\alpha]_F)}{Card([\alpha])} \quad (2)$$

则称 $GRD([\alpha]_F)$ 为属性类 $[\alpha]_F$ 对于属性类 $[\alpha]$ 的粒度贴近度。

显然 $GRD([\alpha]_F) \geq 0$ 。

当 $0 \leq GRD([\alpha]_F) < 1$, $[\alpha]$ 在 $F=F \cup \bar{F}$ 作用下呈收缩趋势;

当 $GRD([\alpha]_F) \geq 1$, $[\alpha]$ 在 $F=F \cup \bar{F}$ 作用下呈扩大趋势。

3 基于变异 S-粗集的序贯性决策方法

序贯决策的过程是,从初始状态开始,每个时刻作出最优决策后,接着观察下一步实际出现的状态,即收集新的信息,然后再作出新的最优决策,反复进行直至最后。系统在每次作出决策后下一步可能出现的状态是不能确切预知的,存在两种情况:(1)系统下一步可能出现的状态的概率分布是已知的,可用客观概率的条件分布来描述。对于这类系统的序贯决策研究得较完善的是状态转移律具有无后效性的系统,相应的序贯决策称为马尔可夫决策过程,它是将马尔可夫过程理论与决定性动态规划相结合的产物。(2)系统下一步可能出现的状态的概率分布不知道,只能用主观概率的条件分布来描述。用于这类系统的序贯决策属于决策分析的内容。

本文研究是面向可能出现的状态的概率分布未知的情況,用数学语言描述基于变异 S-粗集的序贯性决策方法。一个决策过程包含以下 4 个元素^[3]: $\{S, F^{(i)}, P^{(i)}, R\}$, 其中:

(1) S 是可列非空状态集 $\{s_1, s_2, \dots, s_m\}$, 是系统所有可能状态的集合;

(2) $F^{(i)}$ 是系统处于时刻 t_i 时所有可能的决策行为的集合;

(3) $R = \{r(t_i, F), F \in F^{(i)}, f(t_i, F)\}$ 称为报酬函数,表示系统处于时刻 t_i 采取决策行为 F 时所获得的期望报酬;

(4) P 是决策行为对系统状态影响的描述, $P^{(i)} = \{p(s_q | s_r, F), F \in F^{(i)}, s_q \in S, s_r \in S\}$, $q, r = 1, 2, \dots, m$ 。 $p(s_q | s_r, F)$ 表示在时刻 t_i 系统处于状态 s_r , 采取决策行为 $F \in F^{(i)}$ 的条件下系统转移到状态 s_q 的概率。

这里令报酬函数 $r(t_i, F) = \sum |GRD([\alpha]_F) - GRD([\alpha]_{hope})|$, $[\alpha]_{hope}$ 表示在希望状态下的属性等价类。报酬函数数值越小,证明系统处于时刻 t_i 采取决策行为 F 产生的状态越贴近希望状态。

4 实例研究

战场作为一种动态复杂系统,建立评估战场状态的指标体系是一个很困难的问题。一般说来,确定的指标应该能够涵盖所评估系统的主要因素,以使最终评估结果能够反映真实的状况;另一方面,评估指标的范围越宽,数量越多,确定评估指标的重要顺序就越难,处理和建模的过程就越复杂,扭曲系统本质特性的可能性就越大。因此,建立评估指标体系必须遵循一定的原则,按照一定的程序,反复统计分析处理、综合归纳和权衡,最后得到科学的评估指标体系。文献[5]给出的是目前评估战场状态比较完备的指标体系,见表 1。

这里,根据变异 S-粗集理论,所有指标构成有限属性论

域 V 。

$$V = \{U_{11}, U_{12}, U_{13}, U_{14}, U_{21}, U_{22}, U_{23}, U_{24}, U_{31}, U_{32}, U_{33}, U_{34}, U_{35}, U_{41}, U_{42}, U_{43}, U_{44}, U_{51}, U_{52}, U_{53}, U_{54}, U_{61}, U_{62}, U_{63}, U_{64}\}$$

不同的作战方式以及战争进行时刻,得到的观测属性集合 α 为 V 的子集。

设 $S = \{s_1, s_2, s_3\} = \{\text{优势, 均势, 劣势}\}$, 则战场当前状态可描述为属性集合 α 关于 S 的等价类划分。

表 1 评估战场状态的指标体系

准则层 $U_i(a_i)$	指标层 U_{ij}	权重 w_{ij}
U1 兵力数量质量(0.22)	U11 参战兵力数量	0.46
	U12 战勤训练水平	0.16
	U13 临战士气状况	0.10
	U14 参战兵源种类	0.28
U2 兵器性能效能(0.25)	U21 作战杀伤效能	0.46
	U22 防护生存能力	0.28
	U23 装备完好性	0.10
	U24 电子对抗能力	0.16
U3 指控通信效能(0.15)	U31 情报保障能力	0.16
	U32 辅助决策能力	0.10
	U33 命令准确率	0.28
	U34 通信效能	0.25
U4 指挥决策对策(0.18)	U35 目标分配质量	0.21
	U41 预测敌方意图	0.28
	U42 兵力部署	0.46
	U43 指挥决心	0.16
U5 战场环境(0.08)	U44 战术运用	0.10
	U51 气象条件	0.16
	U52 地形位置条件	0.10
	U53 伪装欺骗	0.28
U6 后勤装备保障(0.12)	U54 电磁环境	0.46
	U61 耗弹补充能力	0.46
	U62 战勤生活保障	0.16
	U63 战勤救护能力	0.10
	U64 战勤修复能力	0.28

4.1 初始状态

红、蓝双方进行空防对抗。蓝方对红方某区实施信息化高技术有限规模精确打击;在该区的红方指挥中心统一组织联合防空作战。

初始状态:红方遭蓝方强电子干扰,60%的雷达等电子设备不能发挥正常效能。这一事件属于典型的电子战过程,它对战场态势之评估指标 $U_{21}, U_{22}, U_{23}, U_{24}, U_{31}, U_{32}, U_{33}, U_{41}, U_{42}, U_{44}, U_{54}$ 等会产生不利的影响,进而对评估准则 U_2, U_3, U_4, U_5 等会产生不利的影响。这时观测到的属性集合为

$$\alpha_0 = \{U_{11}, U_{14}, U_{21}, U_{22}, U_{23}, U_{24}, U_{31}, U_{32}, U_{33}, U_{34}, U_{35}, U_{41}, U_{42}, U_{44}, U_{51}, U_{52}, U_{53}, U_{54}\}$$

而属性集合 α_0 关于状态 S 的等价类化分为

$$[\alpha] / s_1 = \{U_{34}, U_{35}, U_{51}, U_{52}, U_{53}\}$$

$$[\alpha] / s_2 = \{U_{11}, U_{14}, U_{31}, U_{32}, U_{41}, U_{42}\}$$

$$[\alpha] / s_3 = \{U_{21}, U_{22}, U_{23}, U_{24}, U_{33}, U_{44}, U_{54}\}。$$

4.2 策略选择

在 t_1 时刻,红方可采取反干扰方案 F_{11} 或者 F_{12} , 这时观测到的属性集合为

$$\alpha_1 = \{U_{11}, U_{14}, U_{21}, U_{22}, U_{23}, U_{24}, U_{31}, U_{32}, U_{33}, U_{34}, U_{35}, U_{41}, U_{42}, U_{43}, U_{44}, U_{51}, U_{52}, U_{53}, U_{54}\}$$

计算结构差离度:

$$J(\alpha_0, \alpha_1) = \frac{1}{18+19} = 0.027$$

这说明 t_1 时刻的粗集在结构特性与 t_0 时刻完全相似, 可以采用同一评价体系进行分析。

经反干扰后有可能达到的希望状态:

$$[\alpha]/s_1 = \{U_{31}, U_{32}, U_{33}, U_{34}, U_{35}, U_{41}, U_{42}, U_{43}, U_{51}, U_{52}, U_{53}\}$$

$$[\alpha]/s_2 = \{U_{11}, U_{14}, U_{21}, U_{22}, U_{23}, U_{32}, U_{33}, U_{41}, U_{51}\}$$

$$[\alpha]/s_3 = \{U_{23}, U_{44}\}$$

希望状态下属性类 $[\alpha]_{hope}$ 对于属性类 $[\alpha]$ 的粒度贴近度为 $\langle 2, 1.5, 2/7 \rangle$ 。

若采取方案 F_{11} , 经反干扰后仍有部分雷达设备不能发挥正常效能。而属性集合 α_1 关于状态 S 的等价类化分为

$$[\alpha]_{F_{11}}/s_1 = \{U_{31}, U_{34}, U_{35}, U_{42}, U_{43}, U_{51}, U_{52}, U_{53}\}$$

$$[\alpha]_{F_{11}}/s_2 = \{U_{11}, U_{14}, U_{21}, U_{32}, U_{41}, U_{54}\}$$

$$[\alpha]_{F_{11}}/s_3 = \{U_{22}, U_{23}, U_{24}, U_{33}, U_{44}\}$$

此时对应的状态转移矩阵为

$$P_{11} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 2/6 & 4/6 & 0 \\ 0 & 2/7 & 5/7 \end{bmatrix}$$

属性类 $[\alpha]_{F_{11}}$ 对于属性类 $[\alpha]$ 的粒度贴近度为 $\langle 8/5, 1, 5/7 \rangle$ 。

若采取方案 F_{12} , 经反干扰后仍有部分雷达设备不能发挥正常效能。而属性集合 α_1 关于状态 S 的等价类化分为

$$[\alpha]/s_1 = \{U_{31}, U_{32}, U_{34}, U_{35}, U_{41}, U_{42}, U_{43}, U_{51}, U_{52}, U_{53}\}$$

$$[\alpha]/s_2 = \{U_{11}, U_{14}, U_{21}, U_{22}, U_{54}\}$$

$$[\alpha]/s_3 = \{U_{23}, U_{24}, U_{33}, U_{44}\}$$

此时对应的状态转移矩阵为

$$P_{12} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 4/6 & 2/6 & 0 \\ 0 & 3/7 & 4/7 \end{bmatrix}$$

属性类 $[\alpha]_{F_{12}}$ 对于属性类 $[\alpha]$ 的粒度贴近度为 $\langle 2, 5/6, 4/7 \rangle$ 。

当无法获悉属性集中属性权重时, 令报酬函数

$$r(r_i, F) = \sum_s |GRD([\alpha]_F) - GRD([\alpha]_{hope})|$$

对于本例可得:

$$r(t_1, F_{11}) = |2-8/5| + |1.5-1| + |2/7-5/7| = 1.3286$$

$$r(t_1, F_{12}) = |2-2| + |5/6-1/5| + |4/7-2/7| = 0.9524$$

因为 $r(t_1, F_{12}) < r(t_1, F_{11})$, 所以在 t_1 时刻, 红方采取反干扰方案 F_{12} 后出现的状态更贴近希望状态, 此时 $[\alpha]/s_1$ 膨胀趋势最大, $[\alpha]/s_3$ 收缩趋势最大。

4.3 评估过程

报酬函数 $r(t_i, F)$ 是从属性类粒度贴近度的角度定义的, 没有考虑属性的权重信息。有时候虽然 $[\alpha]/s_1$ 呈现膨胀趋势, 可是由于属性权重的不同可能会引起 $[\alpha]/s_1$ 整体权值的下降, 所以报酬函数还应该考虑属性的权值影响。在本例中, 采取方案 F_{11} 时 $[\alpha]/s_1$ 整体权值为 0.2478, 采取方案 F_{12} 时 $[\alpha]/s_1$ 整体权值为 0.3132, 所以并不会对方案的选择带来影响。

结束语 本文针对战场态势评估中的状态转移模型, 提出了基于变异 S -粗集的策略选择方法。首先, 提出用 S -粗集理论来描绘战场态势评估中的状态转移模型。其次, 建立了 S -粗集、变异 S -粗集的结构差离度的概念。只有在结构差离度小于某个阈值的时候, S -粗集在 t 时刻与 $t+1$ 时刻才具有可比性。给出了变异 S -粗集的属性类的粒度贴近度概念, 用粒度贴近度来构建报酬函数。最后, 采用序贯决策方法, 根据当前战场态势和给定的一系列的被选方案, 选取策略, 使得战场态势向希望状态转移。

参考文献

- [1] 刘同明, 夏祖勋, 解洪成. 数据融合技术及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998
- [2] 康耀红. 数据融合理论与应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1997
- [3] Haussman W. Sequential decision problems: a model to exploit existing forecasters[J]. Management Science, 1969, 16(2): 93-111
- [4] 崔玉泉, 史开泉. 粗集的动态特性分析及应用[J]. 中国管理科学, 2003, 11(6): 66-70
- [5] 雷英杰. 基于直觉模糊推理的态势与威胁评估研究[D]. 学位论文. 西安电子科技大学, 2005

(上接第 189 页)

- [7] Han Y, Tan P C. Direct computation for elliptic curve cryptosystem[A]. CHES'99[C], Springer-Verlag, 1999, 328-340
- [8] Ciet M, Joye M, Lauter K, et al. Trading inversions for multiplications in elliptic curve cryptography [EB/OL]. Cryptology ePrint Archive, Report, 2003; 257-277
- [9] Eisenträger K, Lauter K, Montgomery P L. Fast elliptic curve arithmetic and improved weil pairing evaluation[J]// Joye M, ed. Topics in cryptography-CT-RSA 2003, 2003, 2612: 343-354
- [10] Sakai Y, Sakurai K. Efficient scalar multiplications on elliptic curves without repeated doublings and their practical performance[A]. ACISP 2000 [C], LNCS, Springer-verlag, 2000, 1841: 59-73
- [11] Sakai Y, Sakurai K. Efficient scalar multiplications on elliptic curves with direct computations of several doublings [J]. IEICE Trans. Fundamentals, 2001, E84-A(1): 120-129
- [12] Adachi D, Hirata T. Combination of mixed coordinates strategy and direct computations for efficient scalar multiplications[J]. Communications, Computers and signal Processing, 2005: 117-120
- [13] Fong K, Hankerson D, López J, et al. Field inversion and point halving revisited[J]. IEEE Transactions on Computers, 2004, 53(8): 1047-1059
- [14] Hankerson D, López J, Menezes A. Software implementation of elliptic curve cryptography over binary fields[C]. Cryptographic Hardware and Embedded Systems-CHES 2000, LNCS, Springer-Verlag, 2000, 1965: 1-24

附录

假设已知 $3P(x_3, y_3)$, 那么计算 $9P(x_9, y_9)$ 就可以继续

3.1 的方法, 则有:

$$3x_3^2 + a = \frac{3E_1^2 + aD_1^4}{D_1^4}, \text{ 令 } A_2 = 3E_1^2 + aD_1^4;$$

$$2y_3 = \frac{F_1}{D_1^3}, \text{ 令 } B_2 = F_1;$$

$$d = (2y_3)^2 (3x_3) - (3x_3^2 + a)^2 = \frac{F_1^2}{D_1^6} \frac{3E_1}{D_1^3} - \frac{A_2^2}{D_1^8} = \frac{3E_1 B_2^2 - A_2^2}{D_1^8}, \text{ 令 } d_2 = 3E_1 B_2^2 - A_2^2; D = (2y_3) d_2 = \frac{F_1 d_2}{D_1^7} = \frac{B_2 d_2}{D_1^{11}}, \text{ 令 } D_2 = B_2 d_2;$$

$$\text{则 } \lambda_1 = \frac{3x_3^2 + a}{2y_3} = \frac{A_2}{D_1 F_1} = \frac{A_2 d_2}{D_1 D_2}; \lambda_2 = \frac{(2y_3)^4}{D} - \lambda_1 = \frac{F_1^4 D_1^{11}}{D_1^{12} D_2}$$

$$- \frac{A_2 d_2}{D_1 D_2} = \frac{B_2^4 - A_2 d_2}{D_1 D_2}, \text{ 令 } C_2 = B_2^4 - A_2 d_2;$$

$$\text{则 } x_9 = \frac{B_2^4}{D_1 D_2} - \frac{2A_2 d_2}{D_1 D_2} + \frac{E_1}{D_1^4} =$$

$$\frac{(C_2 + A_2 d_2)(C_2 - A_2 d_2) + E_1 D_2^2}{(D_1 D_2)^2}, \text{ 令 } E_2 = (C_2 + A_2 d_2)(C_2 - A_2 d_2) + E_1 D_2^2;$$

$$y_9 = \frac{C_2}{D_1 D_2} \left(\frac{E_1}{D_1^4} - \frac{E_2}{(D_1 D_2)^2} \right) - \frac{F_1}{2D_1^3} =$$

$$\frac{2C_2 (E_1 D_2^2 - E_2) - B_2 D_2^3}{2(D_1 D_2)^3}, \text{ 令 } F_2 = 2C_2 (E_1 D_2^2 - E_2) - B_2 D_2^3.$$