

文章编号: 1001-0920(2007)03-0299-05

基于协同的舰载软硬武器反导决策优化

王红军^{1,2}, 迟忠先¹

(1. 大连理工大学 电信学院, 辽宁 大连 116024; 2. 大连舰艇学院 作战指挥系, 辽宁 大连 116018)

摘要: 舰载软硬武器综合反导是一个多阶段多目标系统, 依据模糊权距离和隶属度概念, 考虑系统中各阶段的协同关系, 将模糊优选理论与动态规划原理有机地结合起来, 寻求基于协同的多阶段多目标优化最优均衡策略的模糊动态规划技术, 并将该技术应用于解决舰载软硬武器综合反导协同决策的优化, 得出了具有指导意义的结论。

关键词: 协同; 决策; 优化; 综合反导

中图分类号: E919 **文献标识码:** A

Shipboard hard and soft weapon anti-missile decision-making optimization based on collaboration

WANG Hong-jun^{1,2}, CHI Zhong-xian¹

(1. School of Electronics and Information Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China; 2. C² Department, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China. Correspondent: WANG Hong-jun, E-mail: whjwhjjj@yahoo.com.cn)

Abstract: As a multi-stage multi-objective system, shipboard hard and soft weapon colligation anti-missile is discussed. Based on the concepts of fuzzy weighted distance and membership degree, considering the collaborative relationship in different phase, the fuzzy optimum selection theory is combined with dynamic programming methodology. A method for solving the multi-stage multi-objective optimization is presented based on collaboration to obtain the optimum balanced tactic. This method is applied to solve the collaborative decision-making optimization problem of colligation anti-missile by shipboard hard and soft weapon system, and some instructive results are obtained.

Key words: Collaboration; Decision-making; Optimization; Colligation anti-missile

1 引言

舰艇编队软硬武器综合防空反导是一个基于协同的多阶段多目标系统。防空反导时的作战效果与作战资源消耗是一对矛盾。作战效能体现在以最少的资源消耗产生最大的作战效果上。作战效能侧重面不一样, 资源分配也不尽相同, 这是一个困难的问题。尽管在这方面已有许多人作了不少努力, 但探求的问题都各有局限性。文献[1]和[2]等都是探求单一作战资源的优化分配问题, 且一般都假定了来袭空中威胁的数量, 这在实际作战中可能无法成立。另外也没有考虑不同抗导手段之间的协同问题。所以上述分析只是一种简单的静态分析。综合分析软硬武器防空反导过程, 可以看出它是一个多阶段多目标系统, 而且由于各阶段之间的相互关联性, 存在着

协同, 所以需要探求基于协同的多阶段多目标动态优化^[3]方法。

多阶段系统是输出输入互为的系统, 其优化目的是要寻求使整个过程的目标或指标达到最优化时各阶段决策组成的策略。本文在模糊权距离和隶属度概念的基础上, 依据协同学原理, 将模糊优选理论^[4]与动态规划原理^[5]有机地结合起来, 提出基于协同的多目标多级串联系统模糊优选动态规划模型。

2 多目标多阶段系统决策优选

设多阶段系统共包含 k 个阶段和 m 项目标, 采用前向动态规划方法求解。从第 1 阶段开始, 向后顺序递推, 对于多目标优化问题, 递推公式可表示为^[6]

$$F_k(S_k^t) = \text{opt}\{F_{k-1}(S_{k-1}^t) \oplus H_k(S_k, d_k)\}, \quad (1)$$

收稿日期: 2005-11-11; 修回日期: 2006-04-12.

基金项目: 国家自然科学基金项目(70571086).

作者简介: 王红军(1962—), 男, 山西高平人, 教授, 博士生, 从事电子对抗作战使用与仿真研究; 迟忠先(1939—), 男, 山东荣城人, 教授, 博士生导师, 从事计算机应用和 GIS 等研究。

状态转移方程

$$S_k = {}_k(S_{k-1}, d_k), k = 1, 2, \dots, K. \quad (2)$$

其中

$$F_k(S_k^t) = [f_k^{(1)}(S_k^t), \dots, f_k^{(m)}(S_k^t)]^T,$$

$$F_{k-1}(S_{k-1}^t) = [f_{k-1}^{(1)}(S_{k-1}^t), \dots, f_{k-1}^{(m)}(S_{k-1}^t)]^T,$$

分别表示阶段 $k, k-1$ 局部暂定最优状态为 S_k^t, S_{k-1}^t 时 m 项目标合成值组成的向量; $H_k(S_k, d_k) = [h_k^{(1)}(S_k, d_k), \dots, h_k^{(m)}(S_k, d_k)]^T$ 表示阶段 k 状态为 S_k 时决策 d_k 的 m 项目标值组成的向量; 上标 t 代表暂定最优, \oplus 为目标合成算子.

前向递推时, k 阶段对应 n_k 个策略、 m 项目标, 在状态为 S_k 时目标合成值矩阵为

$$V_k(S_k) = \begin{bmatrix} v_{11}(S_k) & \dots & v_{1n_k}(S_k) \\ v_{21}(S_k) & \dots & v_{2n_k}(S_k) \\ \dots & \dots & \dots \\ v_{m1}(S_k) & \dots & v_{mn_k}(S_k) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

其中 $v_{ij}(S_k) = f_{k-1}^{(i)}(S_{k-1}^t) \oplus h_k^{(i)}(S_k, d_j)$.

将目标合成值矩阵 $V_k(S_k)$ 规格化为相应的优属度矩阵, 可采用公式^[7]

$$r_{ij}(S_k) = \begin{cases} \frac{v_{ij}(S_k)}{\max_j v_{ij}(S_k)}, & \text{越大越优型;} \\ 1 - \frac{v_{ij}(S_k)}{\max_j v_{ij}(S_k)}, & \text{越小越优型} \end{cases} \quad (4)$$

分别将目标合成值规格化. $r_{ij}(S_k)$ 表达了策略 $v_{ij}(S_k)$ 的第 i 项目标值对于优的隶属度, 简称目标隶属度. $\max_j v_{ij}(S_k)$ 为取 n_k 个策略中第 i 项目标的最大合成值. 则有目标隶属度矩阵

$$R_k(S_k) = \begin{bmatrix} r_{11}(S_k) & \dots & r_{1n_k}(S_k) \\ r_{21}(S_k) & \dots & r_{2n_k}(S_k) \\ \dots & \dots & \dots \\ r_{m1}(S_k) & \dots & r_{mn_k}(S_k) \end{bmatrix}. \quad (5)$$

令相对优等策略 $g(S_k)$ 为

$$g(S_k) = (g_1(S_k), \dots, g_m(S_k)) = \left(\underset{j}{r_{1j}}(S_k), \dots, \underset{j}{r_{mj}}(S_k) \right), \quad (6)$$

相对劣等策略 $b(S_k)$ 为

$$b(S_k) = (b_1(S_k), \dots, b_m(S_k)) = \left(\underset{j}{r_{1j}}(S_k), \dots, \underset{j}{r_{mj}}(S_k) \right), \quad (7)$$

其中

$$\underset{j}{r_{ij}}(S_k) = r_{i1}(S_k) \quad r_{i2}(S_k) \quad \dots \quad r_{in_k}(S_k),$$

$$\underset{j}{r_{ij}}(S_k) = r_{i1}(S_k) \quad r_{i2}(S_k) \quad \dots \quad r_{in_k}(S_k).$$

设 m 项优化目标的重要性权向量为

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_m), \quad \sum_{i=1}^m w_i = 1, \quad (8)$$

策略 $v_j(S_k)$ 的目标隶属度向量为

$$r_j(S_k) = (r_{1j}(S_k), \dots, r_{mj}(S_k)), \quad (9)$$

则策略 $v_j(S_k)$ 与相对优等策略 $g(S_k)$ 和相对劣等策略 $b(S_k)$ 之间的差异可由广义权距离分别表示为^[8]

$$w [g(S_k) - r_j(S_k)] = \sum_{i=1}^m \{ w_i [g_i(S_k) - r_{ij}(S_k)] \}, \quad (10)$$

$$w [r_j(S_k) - b(S_k)] = \sum_{i=1}^m \{ w_i [r_{ij}(S_k) - b_i(S_k)] \}. \quad (11)$$

设策略 $v_j(S_k)$ 以优属度 $u_j(S_k)$ 隶属于模糊子集“优”, 以劣属度 $u_j^c(S_k)$ 隶属于模糊子集“劣”, 根据模糊集的余集定义有^[9]

$$u_j^c(S_k) = 1 - u_j(S_k). \quad (12)$$

定义 1 权距优距离 $u_j(S_k) (w | g(S_k) - r_j(S_k) |)$ 和权距劣距离 $u_j^c(S_k) (w | r_j(S_k) - b(S_k) |)$ 表示策略 $v_j(S_k)$ 与相对优等策略 $g(S_k)$ 和相对劣等策略 $b(S_k)$ 之间的差异.

定理 1 使阶段 k 状态 S_k 的所有 n_k 个可行策略与相对优等策略和相对劣等策略的权距离之平方和最小的充要条件是

$$u_j(S_k) = \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m (w_i | g_i(S_k) - r_{ij}(S_k) |)^2}{\sum_{i=1}^m (w_i | r_{ij}(S_k) - b_i(S_k) |)^2} \right]^{-1}, \quad j = 1, \dots, n_k. \quad (13)$$

证明 阶段 k 状态 S_k 的所有 n_k 个可行策略与相对优等策略和相对劣等策略的权距离之平方和函数可以写成下式:

$$[u_j(S_k)] = \sum_{i=1}^m \{ u_j(S_k) \cdot (w_i | g_i(S_k) - r_{ij}(S_k) |)^2 + \sum_{i=1}^m \{ u_j^c(S_k) \cdot (w_i | r_{ij}(S_k) - b_i(S_k) |)^2 \}. \quad (14)$$

使式(14)取最小值的充要条件是使此目标函数对 $u_j(S_k)$ 的导数 $\frac{d [u_j(S_k)]}{d u_j(S_k)} = 0$ 成立. 即式(14)对

$u_j(S_k)$ 求导可得

$$\sum_{i=1}^m 2u_j(S_k) (w_i | g_i(S_k) - r_{ij}(S_k) |)^2 + \sum_{i=1}^m -2(1 - u_j(S_k)) (w_i | r_{ij}(S_k) - b_i(S_k) |)^2 = 0.$$

推导中利用了公式(12).

经整理即可得出阶段 k 状态为 S_k 时各可行策

略对于优的隶属度的计算公式即为式(13).

根据最优原理,由 $\max\{u_j(S_k)\}$ 所对应的策略可得阶段 k 状态 S_k 的暂定最优决策 d_k^t ,与之相对应的状态为暂定最优状态 S_k^t ,同时得到暂定最优目标合成向量为

$$F_k(S_k^t) = [f_k^{(1)}(S_k^t), \dots, f_k^{(m)}(S_k^t)]^T. \quad (15)$$

因为阶段 1 共有 L 个暂定最优状态,因此最终阶段 K 的目标合成值矩阵为

$$F_K(S_K) = \begin{bmatrix} f_k^{(1)}(S_k^1) & \dots & f_k^{(1)}(S_k^L) \\ f_k^{(2)}(S_k^1) & \dots & f_k^{(2)}(S_k^L) \\ \dots & \dots & \dots \\ f_k^{(m)}(S_k^1) & \dots & f_k^{(m)}(S_k^L) \end{bmatrix}. \quad (16)$$

令 $f_k^{(i)}(S_k^t) = v_{it}(S_k)$,运用上述方法和模型(13) 求出阶段 K 的各暂定最优状态所对应的隶属度,则 $\max\{u_i(S_k^*)\}$ 所对应的状态就是全局真实最优状态 S_k^* .同时得到相应全局真实最优目标合成向量为

$$F_K(S_K^*) = [f_k^{(1)}(S_K^*), \dots, f_k^{(m)}(S_K^*)]^T, \quad (17)$$

以及整个系统的最优策略即各阶段的最优决策集合 $d_1^*, d_2^*, \dots, d_K^*$.

3 基于协同的多阶段多目标模糊优选

从协同学的角度看,协同是系统组成要素在发展中彼此之间的和谐一致.这种和谐一致的程度称为协同度^[10].将此概念应用于作战中,则协同作用和协同度就表示各种作战方案之间能够达成协同使用的一种程度.根据这种含义,为简化起见,仅考虑相邻阶段的协同情况.

定义 2 $\text{xtd}_{k-1,k}^l(i, j), k = 1 \sim k, l = 1 \sim M, i = 1 \sim N_{k-1}, j = 1 \sim N_k$ 为当在 $k - 1$ 阶段取第 i 项策略,而在 k 阶段取第 j 项策略时,对第 l 项目标形成的协同度(影响程度).即

$$\text{xtd}_{k-1,k}^l(i, j) = \frac{f_k^{(l)}(S_k^j) / s_{k-1}^l}{f_k^{(l)}(S_k^i)}, \quad (18)$$

式中: $f_k^{(l)}(S_k^j)$ 表示第 k 阶段决策 j 的第 l 项基本指标值, $f_k^{(l)}(S_k^i) / s_{k-1}^l$ 表示在 $k - 1$ 阶段取决策 i 时第 k 阶段决策 j 的第 l 项被影响后的指标值. $\text{xtd}_{k-1,k}^l(i, j)$ 的取值在 $[0, 1]$ 之间.取值 1 表示在 $k - 1$ 阶段的策略选取不影响 k 阶段指标值;取值 0 表示在 $k - 1$ 阶段选取策略 i 时,若 k 阶段选取策略 j ,则其指标 l 的指标值下降为 0.由 $\text{xtd}_{k-1,k}^l(i, j)$ 为元素构成的多元矩阵 $\text{XTD}_{k-1,k}$ 称为协同度矩阵,该矩阵是一个 $(M \times N_{k-1} \times N_k)$ 维矩阵.

当考虑协同时,式(1) 可改写为

$$F_k\{S_k\} = \text{opt}\{E_{k-1}(S_{k-1}^i) \oplus H_k(S_k, d_k) \otimes \text{XTD}_{k-1,k}\}. \quad (19)$$

式(2) ~ (17) 依旧可用.

当目标权向量 w 确定时,运用上述基于协同的多目标多级过程优化的模糊优选动态规划技术便可得到一最优解,即多目标优化问题的一个非劣解.

4 应用实例

某型舰具有完善的对空反导防御系统,在远、中、近距离上,舰艇可以采用舰空导弹、无源干扰和无源质心干扰系统来抗击.划分为 4 个阶段,如图 1 所示.可以看出,这是一个多阶段多目标系统.在抗导过程中,希望综合抗导成果概率高,同时使用资源尽可能少,以利于持续作战.



图 1 驱逐舰综合反导系统

根据统计数据,在综合抗导的各个阶段,对一枚导弹的击毁或干扰成功概率及其所消耗的作战资源如表 1 所示.

表 1 不同阶段抗导效能及资源损耗指标

舰空导弹	指标函数	分配火力单元个数			
		1	2	3	4
抗导概率	抗导概率	0.42	0.66	0.80	0.89
	资源损耗	0.2	0.4	0.6	0.8
无源冲淡干扰	指标函数	使用冲淡干扰弹数			
		2	4	6	8
诱捕概率	诱捕概率	0.35	0.4	0.43	0.45
	资源损耗	0.02	0.04	0.06	0.08
无源质心干扰	指标函数	使用质心干扰弹数			
		3	4	5	6
诱偏概率	诱偏概率	0.44	0.61	0.75	0.81
	资源损耗	0.03	0.04	0.05	0.06
近程系统	指标函数	使用齐射数			
		1	2		
抗导概率	抗导概率	0.70	0.91		
	资源损耗	0.25	0.50		

需要考虑第 3 阶段的无源质心干扰对第 4 阶段的近程系统抗导时的协同问题,因为前一阶段的质心箔条云会对后一阶段近程系统的雷达目标跟踪产生较大的影响,从而影响了近程系统的抗导成功率.其影响程度用协同度矩阵表示为

$$\text{XTD}_{3,4}^1 = \begin{matrix} & \text{齐射 1} & \text{齐射 2} \\ \text{质心 3 发} & \begin{bmatrix} 0.97 & 0.94 \end{bmatrix} \\ \text{质心 4 发} & \begin{bmatrix} 0.96 & 0.92 \end{bmatrix} \\ \text{质心 5 发} & \begin{bmatrix} 0.95 & 0.90 \end{bmatrix} \\ \text{质心 6 发} & \begin{bmatrix} 0.94 & 0.88 \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

其余的协同矩阵 $XTD_{k-1,k}^i = I$, I 为元素全为 1 的矩阵. 这是一个 4 阶段协同决策系统, 现按顺序即前向递推来求解. 优化流程如图 2 所示.

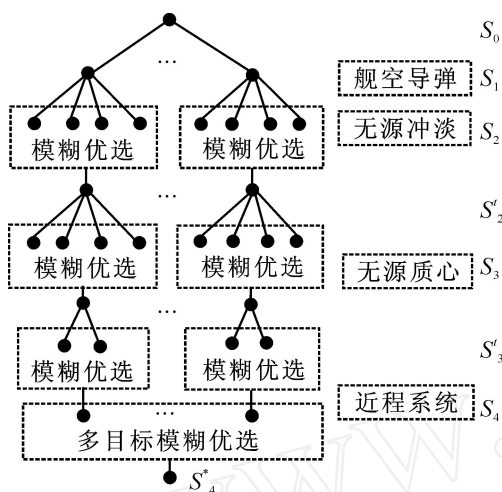


图 2 软硬件综合抗导系统优化流程

取各阶段作战终了时导弹的突防概率及作战资源的损耗作为各个阶段的输出. 开始时, 导弹的突防概率为 1, 作战资源损耗为 0, 因为此时还没有采取对导弹的对抗措施, 因而也没有开始消耗作战资源. 各操作决策变量为 d_k . 系统的导弹突防概率为优化目标 1, 按其性质, 递推公式 (19) 中目标合成算子 $\oplus = (1 - H_k(S_k, d_k)) \times F_{k-1}(S_{k-1}^i)$; 作战资源总消耗为优化目标 2, 按其性质目标 2 合成算子 \oplus 取相加; 合成算子 \otimes 在本例中取相乘, 即降低下一阶段的抗导成功率. 根据性质, 两种目标均为越小越优型. 设两种目标同等重要, 即目标权向量 $w = (0.5, 0.5)^T$.

1) 阶段 $k = 1$, 舰空导弹抗击. 经过该阶段后, 导弹突防概率和作战资源损耗为

$$\begin{aligned} F_1(1) &= (1, 0) \oplus (0.42, 0.2) = (0.58, 0.2), \\ F_1(2) &= (1, 0) \oplus (0.66, 0.4) = (0.34, 0.4) \\ F_1(3) &= (1, 0) \oplus (0.8, 0.6) = (0.2, 0.6), \\ F_1(4) &= (1, 0) \oplus (0.89, 0.8) = (0.11, 0.8). \end{aligned}$$

2) 阶段 $k = 2$, 现以阶段 1 暂定为最优, 对无源冲淡, 有

$$F_2(S_2) = \begin{bmatrix} 0.58 & 0.58 & 0.58 & 0.58 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} 0.35 & 0.40 & 0.43 & 0.45 \\ 0.02 & 0.04 & 0.06 & 0.08 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.38 & 0.35 & 0.33 & 0.32 \\ 0.22 & 0.24 & 0.26 & 0.28 \end{bmatrix}.$$

运用规格化公式 (5) (越小越优型) 将目标合成值矩阵 $F_2(S_2)$ 转换成目标优属度矩阵, 即

$$R_2(S_2) = \begin{bmatrix} 0 & 0.08 & 0.12 & 0.15 \\ 0.21 & 0.14 & 0.07 & 0 \end{bmatrix}.$$

由模糊优选模型 (13) 解得 4 个决策和状态的隶属度为 $u(S_2) = (0.66, 0.69, 0.56, 0.34)$.

由 $\max\{u_j(S_2)\} = 0.69$ 得阶段 2 暂定最优状态 $S_2^1 = 1 - 2$, 则暂定最优决策为第 2 阶段的无源冲淡干扰应采用第 2 种方式, 即冲 4 干扰方式. 此时相应的暂定最优目标合成值向量为

$$F_2(S_2^1) = (0.348, 0.24)^T.$$

3) 阶段 $k = 3$, 其求解过程同 2). 该阶段输入值为在第 2 阶段得到的最优状态值 S_2^1 . 解得阶段 3 暂定最优状态和决策为 $S_3^1 = 1 - 2 - 4$. 此时相应的暂定最优合成值向量为

$$F_3(S_3^1) = (0.06612, 0.3)^T.$$

4) 阶段 $k = 4$, 其求解过程同上. 该阶段的输入值是第 3 阶段得到的暂定最优状态值 S_3^1 . 在计算目标合成值向量时, 要考虑协同度. 可解得阶段 4 暂定最优状态和决策为 $S_4^1 = 1 - 2 - 4 - 2$, 此时相应的暂定合成值向量为

$$F_4(S_4^1) = (0.018225, 0.8)^T.$$

5) 同样, 在阶段 $k = 1$ 时从暂定最优状态 $S_1^1 = 2, S_1^3 = 3$ 和 $S_1^4 = 4$ 开始进行递推, 在最后阶段可分别解得相应的暂定最优状态和决策. 则 4 个全局合成值向量 $F_4(S_4^i)$ 可组成最后阶段的暂定最优目标合成值矩阵

$$F_4(S_4) = \begin{bmatrix} 0.018225, & 0.004163, & 0.007335, & 0.00229 \\ 0.8, & 1.02, & 1.24, & 1.44 \end{bmatrix}.$$

6) 依据矩阵 $F_4(S_4)$ 最终优选全局真实最优状态 S_4^* , 应用上述方法与模糊优选模型 (13) 得最终阶段 4 种暂定最优状态和目标合成值的隶属度

$$u(S_4^i) = (0.21, 0.81, 0.83, 0.79).$$

则与优属度最大值 0.83 对应的状态 $S_4^* = 3 - 4 - 4 - 2$ 为全局最优真实状态, 相应的全局真实最优合成值向量为 $F_4(S_4^*) = (0.006293, 1.02)^T$, 此即为在某驱逐舰采用软硬件综合抗导, 且平衡重视抗

表 2 软硬件综合对抗系统优化结果

目标权重		最优策略	导弹突防概率	作战资源消耗
w_1	w_2	$P_1^* - P_2^* - P_3^* - P_4^*$	$P_{\text{突防}}$	C
0.1	0.9	1-1-1-1	0.069367	0.50
0.2	0.8	1-1-3-1	0.03631	0.52
0.3	0.7	2-1-3-1	0.02779	0.98
0.4	0.6	2-2-4-2	0.01671	1.00
0.5	0.5	3-4-4-2	0.006293	1.02
0.6	0.4	4-4-4-2	0.003461	1.44
0.7	0.3	4-4-4-2	0.003461	1.44
0.8	0.2	4-4-4-2	0.003461	1.44
0.9	0.1	4-4-4-2	0.003461	1.44

导效果与作战资源消耗时,系统的最佳反应方式.此时,导弹的突防概率仅为 0.63%,而作战资源消耗也仅为 1.02. 如果对目标的重视程度不同,其优化结果也不相同,见表 2.

5 结 语

基于协同的多目标多阶段优化决策问题对舰艇综合抗导是非常有意义的. 在目前舰艇抗导资源有限、抗导成功率一定的情况下,如何发挥全舰武器系统的综合作战能力,是目前研究的热点问题,而其关键点就在于武器系统协同问题的研究. 本文在模糊动态规划求解多阶段多目标优化决策的基础上,引入协同矩阵的概念,描述了武器系统之间的协同关系,并有效地应用于优化求解过程,为求解基于协调的多阶段多目标优化决策问题提供了新途径. 但本文研究还仅是初步的,只是探讨了最简单的协同情况,给出了一种思路. 后续工作将会进一步研究武器系统的协同抗导问题.

参考文献(References)

- [1] 戴耀,汪德虎. 舰艇火力分配的多指标模糊优选动态规划[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2001, 20(10): 673-676.
(Dai Y, Wang D H. Multi-index fuzzy optimal-selection dynamic programming model of warship fire distribution [J]. J of Liaoning Technical University, 2001, 20(10): 673-676.)
- [2] 姜宁,胡维礼,王基组,等. 雷达干扰资源分配的模糊多属性动态规划模型[J]. 南京理工大学学报, 2003, 27(3): 314-317.
(Jiang N, Hu W L, Wang J Z, et al. A fuzzy multiattribute dynamic programming model for radar jamming resources [J]. J of Nanjing University of Science and Technology, 2003, 27(3): 314-317.)
- [3] 熊得琪,殷配海. 多阶段系统多目标优化的模糊优先动态规划方法及应用[J]. 中国工程科学, 2000, 2(9): 65-69.
(Xiong D Q, Yin P H. Application of multi-stage system and multi-objective fuzzy optimum selection dynamic programming model [J]. Engineering Science, 2000, 2(9): 65-69.)
- [4] 陈守煜. 水文水资源系统模糊识别理论[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1990: 65-70.
(Chen S Y. Hydrology, water resources and water environment fuzzy recognition theory [M]. Dalian: Dalian University of Technology Press, 1990: 65-70.)
- [5] David G Wilson, Rush D Robinett, Richard Eisler G, et al. Applied dynamic programming for optimization of dynamical systems [M]. New York: Society for Industrial and Applied Press, 2005: 204-213.
- [6] 陈永煜. 多阶段多目标决策系统模糊优选理论及其应用[J]. 水利学报, 1990, 1(1): 1-10.
(Chen S Y. The theory and application of multi-stage and multi-objective decision-making systems fuzzy optimum selection [J]. J of Hydraulic Engineering, 1990, 1(1): 1-10.)
- [7] El-sharkh M Y, El-Keib A A. Maintenance scheduling of generation and transmission systems using fuzzy evolutionary programming [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2003, 18(2): 862-866.
- [8] Yan H, Luh P B. A fuzzy optimization based method for integrated power system scheduling and inter utility power transaction with uncertainties[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1997, 12(2): 756-763.
- [9] Zadeh L A. Towards a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1997, 19(1): 111-127.
- [10] H 哈肯. 协同学——自然成功的奥秘[M]. 上海: 上海科学普及出版社, 1988: 116-136.
(Haken H. Synergetics — The arcanum of natural structure [M]. Shanghai: Shanghai Science Popularization Publish, 1988: 116-136.)
- [9] 李丽,王明好. 基金经理过度自信对基金收益与风险的影响研究[J]. 运筹与管理, 2005, 14(1): 95-97.
(Li L, Wang M H. A study of the effect of overconfidence of investment fund manager on the returns and risk of investment fund [J]. Operations Research and Management Science, 2005, 14(1): 95-97.)
- [10] 陈其安,杨秀苔. 过度自信条件下的金融市场委托-代理合同[J]. 系统工程, 2005, 23(4): 19-27.
(Chen Q A, Yang X T. Principal-agent contracts in financial market under the condition of overconfidence [J]. Systems Engineering, 2005, 23(4): 19-27.)
- [11] 张维迎. 博弈论与信息经济学[M]. 上海: 上海人民出版社, 1996.
(Zhang W Y. Game theory and information economics [M]. Shanghai: Shanghai People Publishing House, 1996.)
- [12] Palomino F, Sadrieh A. Overconfidence and delegated portfolio management [R]. Holland: Tilburg University, 2003.

(上接第 298 页)