

## 两人分布动态决策系统建模研究\*

刘馨宝

(国防科技大学电子技术系 长沙 410073)

**摘要** 本文提出的建模方法之原理为: 两人决策时每人的内部功能是主体基础, 人员队中协作为外表行为, 人对目标(任务)的比较选择过程为直观的快速估算(简称: 内主、外协、快速估算)。这是两人队决策建模方法的新创造。新建成数学模型的有效性与水平都作了检验与评价, 结果令人满意。

**关键词** 两人, 分布式动态决策, 建模, 队决策, 数学模型, 快速估算

**分类号** C934

---

## A Modeling Approach to the System for Two-person Distributed Dynamic Decision-making

Liu Xinbao

(Department of Electronics Technology, NUDT, Changsha, 410073)

**Abstract** This paper gives a method of modeling which is based on the following principles: The built-in function of human is underlying, the coordination in human team is external behavior, and the process of task comparison and selection is intuitional quick estimate. This is a new invention of the method of modeling for two-person team decision-making. Efficaciousness and level of this mathematical model are tested and estimated. Results of the testing and estimating are satisfactory.

**Key words** two-person, distributed dynamic decision-making, modeling, team decision-making, mathematical model, quick estimate

---

通过人的感知进行动态的选择决策是现代管理调度、动态检测以及指挥控制等许多需人直接主导的领域的一类关键技术。由于明显的随机性质, 为提高决策的效率与可靠性, 渐由单人决策发展为两(多)人的队决策, 队内各成员有分工协作约定且近距分布。因这类问题固有的数学难处理性, 除非该系统各参数的主要概率密度函数是高斯的, 否则就无法导出其解析解。虽然近几年发展的神经网络可把

---

\* 1996年5月13日收稿。

一些队决策映射成一定的神经网络再求解,但最终解答还要取决网络对最优解的收敛程度。因而模拟的实验研究法仍为世人关注的重要方法。本作者采用数理模拟与计算机数字求解相结合对两人分布动态决策的建模进行探索研究。本文提出的该队决策系统模拟结构如图1。

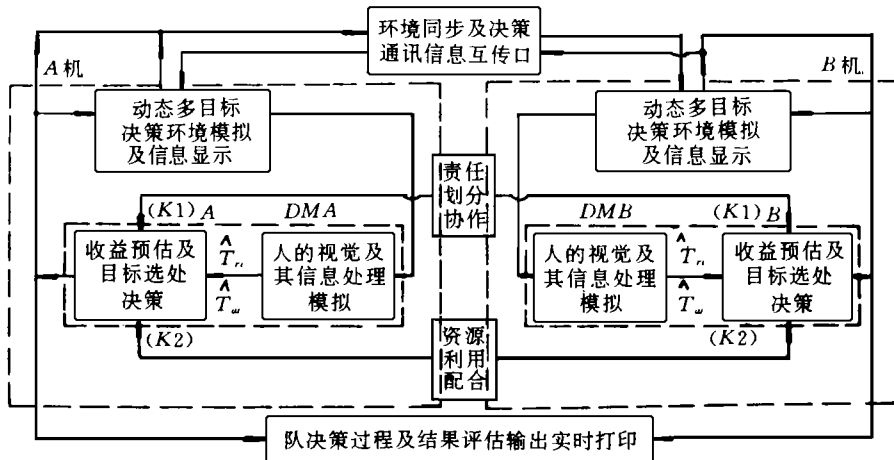


图 1

## 1 动态多目标环境的模拟显示

在两台微机上建立的同步动目标模拟如图2（两微机之一的A屏）左半部及右上半部所示。目标图符有5类： $A$ 、 $B$ 、 $C$ 是对我方指挥站（圆心）有不同威胁的目标类型， $N$ 是无威胁目标， $*$ 是暂不明类目标（属 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 中之一）。目标沿径向直线通道移动，到达圆心则自行消失。目标的出现时间、位置、类型、移速及五个通道方位都随机。每通道每次最多显出一个（或无）目标。决策的目的是力求使综合威胁大的目标到达圆心前先便及时选处掉。当有威胁目标已入 $1/2$ 半径范围，则可动用备用资源紧急处理。

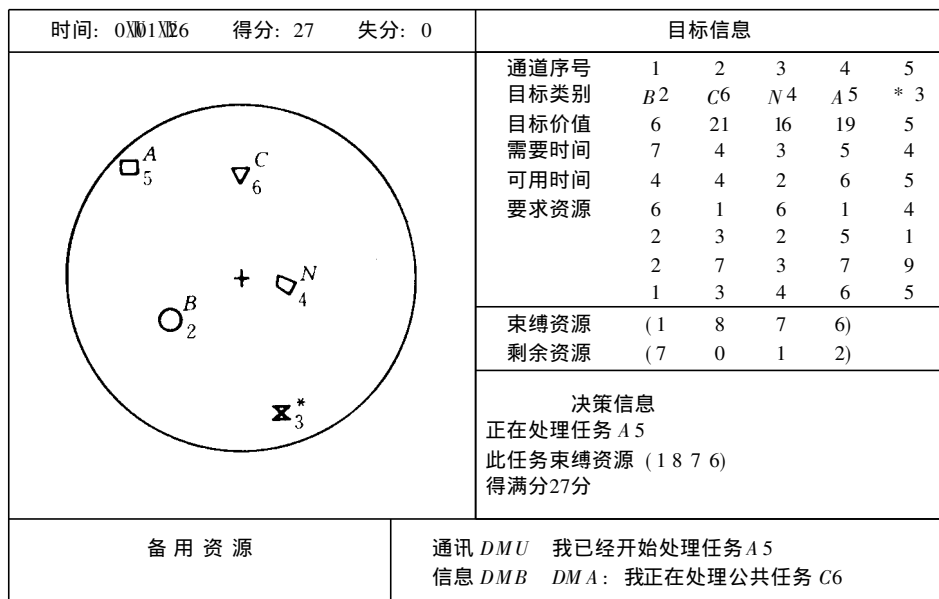


图2 微机控制显示的动态多任务模拟环境 (PCA 屏) 示意图

## 2 两人分布动态决策过程的描述与建模

显然, 两人队决策模型不能靠两个单人决策模型直接叠加, 也不能把两个人的感知与决策功能拧成一体进行描述。本作者首次提出用“内主外协机制、快速估算原理”进行描述建模。其依据是两人互协决策时, 每人大脑内的理智起主体的决定作用, 友方提供的信息须经本人脑子起作用; 两人的分工与协作是两人外表特性的关系; 人脑正常功能有限, 在动态瞬间人对反映决策效果的目标函数往往只能估算出当前一步的可能结果, 且通过较直观的快速估算比较完成。实际上, 若要求人在动态瞬间预测未来的第二步或更远的决策效果, 这常是做不到的。当不同动目标同时呈现的瞬间, 即使要求人及时估算它们当前一步的决策效果, 也难免会顾此失彼、未免漏误。这是模拟对象的普遍现实。

### 2.1 目标动态及人的视感与信息处理功能模拟

根据本文提出的“内主外协”原理, 目标动态及人的视感与信息处理功能可先按单人决策情形那样进行描述。于是可得出这些数理模拟方程式为:

$$[\dot{X}_{Ti}(t) = E X_{Ti}(t) + F w_i(t) - G d_i(t)]_H \quad (1)$$

其中:

$$E = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; F = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}; G = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$X_{Ti}(t) = \begin{bmatrix} x_{Ti1}(t) \\ x_{Ti2}(t) \\ x_{Ti3}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{Ri}(t) \\ l_i(t) \\ V_i(t) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$V_i(t)$ ——目标  $i$  的径向移速;  $T_{Ri}(t)$ ——需要时间 (处理目标  $i$  的需要时间);  $w_i(t)$ ——为目标  $i$  移速波动, 是零均值高斯白噪声随机量;  $d_i(t)$ ——是目标状态的控制信号

量;  $T_{Ai}(t)$ ——目标  $i$  的可用时间  $\left[ = \frac{L - l_i(t)}{V_i(t)} \right]$ 。

$$[Y_i(t) = X_{Ti}(t) + G v_q(t)]_H \quad (3)$$

$$[Y_{\beta i}(t) = Y_i(t - \tau) + V_{yi}(t - \tau)]_H \quad (4)$$

其中  $w_q$  是线性量化误差,  $\tau$  是人的视觉固有滞延,  $Y_i(t)$  是微机屏实际输出目标状态量,  $V_{yi}$  是模拟人观感不确定性的零均值高斯白噪声,  $Y_{\beta i}(t)$  为决策人经视觉感知的屏显目标状态量。

$$[\dot{\hat{X}}_{Ti}(t - \tau) = E \hat{X}_{Ti}(t - \tau) + F w_i(t - \tau) - G d_i(t - \tau)]_H \quad (5)$$

$$[Y_{\beta i}(t) = X_{Ti}(t - \tau) + V_{yi}(t - \tau) + G v_q(t - \tau)]_H \quad (6)$$

采用卡尔曼滤波法可由  $Y_{\beta i}$  求出滤除噪声的最佳估计量  $\hat{X}_{Ti}(t - \tau)$ , 即可由如下方程组求解:

$$[\hat{X}_{Ti}(t - \tau) = E \hat{X}_{Ti}(t - \tau) - G d_i(t - \tau) + K_i(t) \{ Y_{\beta i}(t) - \hat{X}_{Ti}(t - \tau) \}]_H \quad (7)$$

$$[K_i(t) = \beta_i(t) [V_{yi}(t - \tau) + G v_q G^T]^{-1}]_H \quad (8)$$

$$[\hat{\beta}_i(t) = E \beta_i(t) + \beta_i(t) E^T + F W_i(t - \tau) F^T - \beta_i(t) [V_{yi}(t - \tau) + G v_q G^T]^{-1} \beta_i^T(t)]_H \quad (9)$$

接着可用线性预测法测算无滞延的目标状态量感知值  $\hat{X}_{Ti}(t)$ :

$$[\hat{X}_{Ti}(t) = e^{E t} \hat{X}_{Ti}(t - \tau) + \int_{t-\tau}^t e^{E(t-\sigma)} (-G d_i(\sigma)) d\sigma]_H \quad (10)$$

$$\hat{X}_{di}(t) = [\hat{T}_{Ri}(t) \quad \hat{T}_{Ai}(t)]_H \quad (11)$$

$$[\hat{T}_{Ri}(t) = x_{Ti1}(t)]_H \quad (12)$$

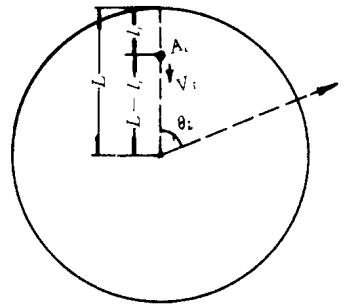


图 3

$$[\hat{T}_{Ai}(t) = \frac{L - \hat{li}(t)}{\hat{V}_i(t)}]_H \quad (13)$$

其中  $\hat{X}_{di}(t)$  是目标的决策状态量统计值, 统计均值  $\hat{T}_{Ri}(t)$  是  $\hat{X}_{Ri}(t)$  的第一个分量, 高斯随机变量统计均值  $\hat{l}_i(t)$  及  $\hat{V}_i(t)$  分别是  $\hat{X}_{Ri}(t)$  的第二及第三个分量。

## 2.2 决策人的目标选处决策模拟

### (1) 目标选处决策可能收益预估

设计描述决策效果往往以能否使目标函数(常取决策收益)为最佳作依据, 因而希望决策收益大。两人决策时须计入两人间的责任划分、资源利用协作等因素。因两人对各类目标选处有责任划分约定, 每决策员选处某目标时就无法计及此时可失其它目标的代价, 但对丧失责任范围内其它目标的代价, 可用增加失分累计考虑。采用一步策略并计入两人间的各主要协作因素, 则对目标  $i$  选处的可能决策收益  $G_i$  预估式可定义为:

$$[G_i = K_i K_T K_r \alpha]_H \quad (14)$$

其中  $K_i$  是决策状态量分量的均值比系数,  $K_T$  是不同类型目标责任划分权系数,  $K_r$  是资源配置权系数,  $\alpha_i$  是目标价值; 且分别定义:

$$[K_i = \frac{\hat{T}_{2Ai}}{\hat{T}_{Ri}}]_H \quad (15)$$

$$[K_T = \frac{G_T}{M}]_H \quad (16)$$

$$[K_r = \min \frac{(\hat{r}_i)_j}{(\hat{r}_j)_j}]_H \quad (17)$$

$K_i$  作为相当于人的无滞延感知值  $\hat{T}_{Ri}$  小于  $\hat{T}_{Ai}$  可能度的模拟量把  $\hat{T}_{Ri}(t)$  及  $\hat{T}_{Ai}(t)$  引入决策收益预估式中; 并定义当  $\hat{T}_{Ri} = \hat{T}_{Ai}$  时取  $K_i = 1$ , 当  $\hat{T}_{Ai} = 0$  时取  $K_i = 0$ ; 因而  $0 < K_i < 1$ 。责任划分协作规则为: DMA 主要负责  $A$  类目标的选处, DMB 主要负责  $B$  类目标的选处, 但双方都有选处  $C$  类目标的责任。每瞬间每人最多只能选处一个目标, 任一需处目标只能被一人选处。若两人都空闲时有  $C$  类目标出现, 则 DMA 优先选处。空闲的 DMA 可帮 DMB 选处顾不及的  $B$  类目标, 空闲的 DMB 亦可帮 DMA 选处顾不及的  $A$  类目标。两人都不选处  $N$  类目标, 且都有探测\* 类目标的责任。本文对两人制定的目标类型权值  $G_T$  如表1, 式中目标类型数  $M=5$ , 则  $0 < K_T < 1$ , 且规定当

表1  $G_T$  值

决策人 目标类	DMA		DMB	
	DMA	DMB	DMA	DMB
A	5	1		
B	1	5		
C	3	3		
*	2	2		
N	0	0		

DMA 及 DMB 都空闲瞬间的优先级为:

$$\text{Pr io} \left[ \frac{G_T^c}{M} \right]_{\text{DMA}} > \text{Pr io} \left[ \frac{G_T^c}{M} \right]_{\text{DMB}} \quad (18)$$

$$\text{Pr io} \left[ \frac{G_T^*}{M} \right]_{\text{DMA}} > \text{Pr io} \left[ \frac{G_T^*}{M} \right]_{\text{DMB}} \quad (19)$$

系统资源共有4类, 总量有限, 决策开始前先在两人间等量初配; 决策中若需调配, 可通讯协商。对各不同属性  $a = (a_1, a_2, \dots, a_m)$  目标选处的要求资源  $r$  可按下述线性相关式确定:

$$r = aK = [a_1 a_2 \dots a_m] \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} \\ k_{m1} & k_{m2} & k_{m3} & k_{m4} \end{bmatrix} = (r_1, r_2, r_3, r_4)_H \quad (20)$$

不同类型目标的线索矩阵  $K$  不同, 这被看成决策者的专门经验; 因而  $K$  可作为心理模型被训练建立, 也可事先赋给新决策者。决策时用于选处目标  $i$  的资源  $\hat{r}_i$  (束缚资源) 应与要求资源  $r_i$  一样; 若  $r_i < \hat{r}_i$ , 虽可勉强选处, 但决策的完成概率便会小于1。每次决策结束时  $\hat{r}_i$  即释放回决策者。 $K_r$  式中资源类型号  $j = 1, 2, 3, 4$ ; 且定义当  $(\hat{r}_i)_j < (r_i)_j$  或  $(\hat{r}_i)_j < (r_i)_j$  但通讯协商能得友方有效资源支援时取  $K_r = 1$ , 则  $0 < K_r < 1$ 。

## (2) 目标选处决策模拟

实际的  $T_A$  随目标移近圆心而减小, 因而还应注意注意到各目标的安全裕量  $\hat{T} = \hat{T}_A - \hat{T}_R$ , 一般当两目标可能决策收益相近时, 则  $\hat{T}$  较小的目标应先被选处; 否则, 可能决策收益大的目标先被选处。于是两人的屏显动目标选处决策过程可模拟成如下步骤:

① 快速估算  $K_i$ , 按定义有:

$$K_i = \begin{cases} \frac{\hat{T}_{Ai}}{\hat{T}_{Ri}}; & \text{当 } \hat{T}_{Ai} < \hat{T}_{Ri} \\ 1 & ; \text{当 } \hat{T}_{Ai} \geq \hat{T}_{Ri} \end{cases} \quad (21)$$

④ 快速估算  $K_T$ , 按定义有:

$$K_T = \begin{cases} 1 & \text{当选处责任内主要类型目标} \\ 0.6 & \text{当选处 } C \text{ 类目标} \\ 0.4 & \text{当选处经询问或探测仍不明的目标} \\ 0.2 & \text{当选处帮选友方责任内主要类型目标} \\ 0 & \text{对于不应选处的 } N \text{ 类目标} \end{cases} \quad (22)$$

④ 快速估算  $K_r$ , 按定义有:

$$K_r = \begin{cases} 1 & \text{当 } ((\hat{r}_i)_j < (r_i)_j) \\ \min_{j=1,2,3,4} \frac{(\hat{r}_i)_j}{(r_i)_j} & \text{当 } (\hat{r}_i)_j < (r_i)_j \text{ 且无友方资源支援} \\ 1 & \text{虽 } (\hat{r}_i)_j < (r_i)_j \text{ 但得友方有效支援} \end{cases} \quad (23)$$

④ 快速预估可能决策收益  $G_i(\alpha)$  及  $\hat{T}$ , 按定义有:

$$[G_i = K_i \cdot K_T \cdot K_r \cdot \alpha]_H \quad (24)$$

$$[\hat{T} = (\hat{T}_A - \hat{T}_R)]_H \quad (25)$$

④ 目标选处决策指令发布:

模型不断循环地对五个通道出现目标的预估决策收益进行比较, 暂无目标的通道预估收益为零。

设  $d_p(t)$  为  $p$  通道的选处决策指令, 则:

$$d_p(t) = \begin{cases} 1 & \text{当 } G_q < G_p, q = 1, 2, 3, 4, 5 \\ & (q \neq p) \quad p = 1, 2, 3, 4, 5 \\ & \text{或虽 } G_q < G_p \text{ 但 } \hat{T}_p < \hat{T}_q \\ 0 & \text{当不选处 } p \text{ 通道目标} \end{cases} \quad (26)$$

若  $d_p(t) = 1$ , 则  $t$  时刻进行一次目标选处决策。

### 2.3 双向实时通讯作用模拟

两人分布互协决策过程中, 实时的双向通讯显示是必不可少的互协关系。因需两人直接参与, 故用通过双机串行口 COM<sub>x</sub> 的半双工传输方式。接收方可用查询或中断方式, 因为前者占用计算机资源较多而用后者。采用 DMA( 隐约主方) 为优先的优先权排队解决可能的传输冲突。其双向通讯作用可按如下传输模式模拟:

$$\text{PCA data} \xrightarrow{(\text{COM}_x)} \text{PCB memory} \quad (27)$$

$$\text{PCA memory} \xrightarrow{(\text{COM}_x)} \text{PCB data} \quad (28)$$

这种双向通讯应在决策过程的各个环节中实施, 以确保双方有关信息的同步、各种分工互协信息的准确互传以及队决策的顺利进程。信息的准确传送与接收主要靠信道, 信道频带宽度是决定传输速率与距离的主要因素。若队决策分布距离需达到一定程度的延伸, 则可增接调制解调器, 还可采用压缩及纠错传输, 以进一步提高通讯效率及可靠性。

## 2.4 决策的[得益(D)/损失(S)]机制模拟

决策的实际得益(D)或损失(S)与完成概率 $p_k$ 有关:

$$D = p_k \alpha; \quad S = (1 - p_k) \alpha$$

忽略 $p_k < 1$ 的 $S$ , 而认为 $D = \alpha$ ; 若决策未完成都被看成 $S = \alpha$ . 这样, 可按下两式模拟每次决策的 $D$ 或 $S$ 值:

$$D = \begin{cases} \alpha & \left\{ \begin{array}{l} \text{当完成责内主目标选处, 或完成 } C \text{ 目标选处, 或完成帮选友方责内主目标,} \\ \text{或完成经过探询仍不明* 类目标选处,} \end{array} \right. \\ 0 & \text{当误选 } N \text{ 类目标完成} \end{cases} \quad (29)$$

$$S = \begin{cases} \alpha; & \left\{ \begin{array}{l} \text{当未完成责内主目标选处, 或漏选责内主目标, 或未完成 } C \text{ 目标选处, 或} \\ \text{未完成帮选友方责内主目标, 或未完成经过探询仍不明* 类目标选处.} \end{array} \right. \\ \frac{\alpha}{2} & \text{当漏选 } C \text{ 目标, 或漏选* 类目标} \\ 0 & \text{当漏选责外目标, 或误选 } N \text{ 类目标未完成, 或 } N \text{ 类目标丢失.} \end{cases} \quad (30)$$

本文描述的式(1)至(13)以及(18)至(30)共26个表达式就建成本两人队决策的数学模型。式中下标 $H$ 可指微计算机PCA或PCB任一方,也可指决策人DMA或DMB任一方。对这组表达式进行计算机数字模拟求解就得出本决策模型的决策试验结果。

## 3 决策模型评估

### 3.1 决策模型评估参量建立

输入随机及不确定性使每次决策结果无法复现。设连续显出 $n$ 个目标为一轮,则每轮决策试验结果的统计评估可用下述参量描述:

$$P_G = \frac{G_g}{n}; \quad P_L = \frac{G_l}{n}; \quad P_d = \frac{d}{n-m}; \quad P_e = \frac{e}{n-m}; \quad P_l = \frac{l}{n-m}$$

$\alpha \qquad \qquad \qquad \alpha$

$i=1 \qquad \qquad \qquad i=1$

其中 $P_G$ 是队得分率, $P_L$ 是队失分率, $P_d$ 是队完成率, $P_e$ 是队未成率, $P_l$ 是队丢失率; $G_g$ 是每轮队总分(两人得分和), $G_l$ 是每轮队总失分(两人失分和), $\alpha$ 是每轮目标应值总分(= $G_g + G_l$ ), $d$ 是每轮队选处完成目标数, $e$ 是每轮队选处未完成目标数, $l$ 是每轮队漏选丢失目标数, $m$ 是每轮 $N$ 类目标数,( $n-m$ )是每轮队选处目标总数(= $d + e + l$ )。

### 3.2 决策模型评价

#### (1) 模型决策试验结果的统计评估数据

取 $n=30$ 的十五轮模型决策试验的自动测录数据为:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$P_G$	0.79	0.95	0.94	0.81	0.87	0.81	0.87	0.86	0.79	0.93	0.98	0.87	1.0	0.95	0.96
$P_d$	0.79	0.96	0.87	0.83	0.85	0.85	0.90	0.88	0.77	0.92	0.96	0.88	0.96	0.96	0.96

舍去最低值轮号9的数据,舍去最高值轮号13的数据,取剩十三轮数据之平均统估结果:

$$\text{平均每轮队得分率 } (P_{Gm})_{Mod} = \frac{11.59}{13} = 0.892$$

$$\text{平均每轮队完成率 } (P_{dm})_{Mod} = \frac{11.63}{13} = 0.895$$

#### (2) 同样环境中两人实际队决策的统计评估数据

由熟悉规则的6人组成三个两人队,每队做五轮队决策,可得 $n=30$ 共十五轮人做决策的测录数据为:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$P_G$	0.73	0.86	0.73	0.91	0.74	0.87	0.97	0.92	0.75	0.78	0.79	0.78	0.83	0.87	0.86
$P_d$	0.69	0.88	0.75	0.92	0.76	0.85	0.96	0.89	0.71	0.71	0.81	0.69	0.70	0.85	0.76

舍去最低及最高值轮号1及7, 取剩十三轮数据之平均统估结果:

$$\text{平均每轮队得分率} (P_{Gm})_{pers} = \frac{10.69}{13} = 0.822$$

$$\text{平均每轮队完成率} (P_{dm})_{pers} = \frac{10.28}{13} = 0.791$$

## 4 结 语

本作者开发的建模方法与数学模型的试验结果与人做决定结果是极为接近的。

$\left[ (P_{Gm})_{pers} \text{略小于} (P_{Gm})_{Mod} \right]$  是合理的。随着人的演练功能逐渐提高, 这两数据会更接近。这表明, 本文的方法正确、实用, 且方便有效, 是队决策建模方法上的新成果。评审认为, 达到九十年代初国际水平。

## 参 考 文 献

- 1 Klinm an D·L, Serfaty D. A Research Paradigm for Multi-Human Decision Making, Proceedings of the 1984 American Control Conference, 1984.
- 2 Thordsen M. L, Klein G. A. Cognitive Features of Team Decision Making, Proceedings of the IEEE 1990 National Aerospace and Electronics Conference, p. 891- 3, Vol. 2, 1990. 2
- 3 Rao G. Oldham W J B. Using the Hopfield Network with Annealing to Solve the Team Decision Theory Problem International Neural Network Society Annual Meeting, San Diego, C A·USA, P. I/336- 41, 1994, 1

(责任编辑 潘 生)