策略不确定条件下基于高阶超博弈的军事对抗决策方法*

杜正军，陈　超，王长春
（国防科技大学 信息系统工程重点实验室，湖南 长沙 410073）

摘　要：军事对抗决策中面临的一个主要问题是难以确定敌方的策略集。基于超博弈分析策略不确定条件下的军事对抗决策问题。在分析超博弈中信念迭代原理的基础上，提出了基于高阶超博弈的对抗决策方法。将高阶信念中的结果反思到低阶信念，并最终反思到一阶信念中，将己方的决策建立在对敌方可能决策的分析的基础上。使得己方的决策具有针对性且更加合理。以二战中西线战役为例验证了方法的可行性和有效性。

关键词：策略；不确定；对抗决策；高阶超博弈
中图分类号：E917　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1001－2486(2012)06－0136－05

Military antagonism decision approach based high-level hypergame under the uncertainty of strategy

DU Zhengjun, *CHEN Chao*, *WANG Changchun*
(Science and Technology on Information Systems Engineering Laboratory, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: The main problem of military antagonism decision is its difficulty to confirm the strategy set of adversary. This research analyzes the military decision under the uncertainty of strategy set based on hypergame. The decision approach of high-level hypergame was proposed after analysis the belief relationship of each level. The result of high-level was put back to low-level to refine the decision based on the analysis of the possible decision of adversary. Consequently, this makes decision of friendly forces more pertinent and reasonable against to adversary. Finally an example is used to illustrate the approach.

Key words: strategy; uncertainty; decision under antagonism; high-level hypergame

军事对抗决策中，参战双方只能获取有限的信息，局中人无法确切获取其他局中人的策略集与支付函数。在共同知识假设的基础上，经典博弈论用不完全信息博弈[1]分析这种情况。但在实际的对抗中，红蓝双方对冲突局势可能有不同的认识，一方对另一方的理解和其实际的情况可能是有区别的。且在不完全信息博弈中认为对策略的不确定性可以转换为支付函数的不确定，那些未考虑到的策略都是赢得值很小以至于理性的局中人不会选择的策略。但在军事对抗过程中，指挥员往往会寻找那些敌方意想不到却又能制胜的策略，如二战中德军的“曼斯坦因”计划。在这种情况下，共同知识假设不成立，因此难以用不完全信息博弈去分析。超博弈理论[2]为经典博弈论共同知识假设失效时分析对抗决策问题提供了研究框架。超博弈假设局中人对自己所处冲突的博弈仅具有有限知识，对于其他局中人的策略集和支付函数仅能通过已有信息进行推断，而非完全确定。由于超博弈不再严格要求共同知识假设成立，所以局中人对于博弈的理解并不一致，各个局中人信念下其所处的博弈也不再是同一个。自其诞生伊始，超博弈就被应用于军事对抗决策[2－4]以及冲突分析[5－6]。姜鑫等基于超博弈思想提出了博弈网[7]模型以分析不确定条件下的军事决策，并给出了求解算法。Vane 等应用超博弈分析军事计划问题[8－9]，以提高计划的收入并降低其风险[9]。Wang[10]等分析了各局中人对支付函数的偏好排序的不确定情况下的超博弈中各种解的概念。

军事对抗决策面临的主要困难是难以确定敌方的策略集，Vane[9]在超博弈的基础上结合决策理论研究了己方对于敌方的策略不确定情况下如何决策。但其未考虑敌方对己方策略不确定以及双方对策略不确定性的迭代问题，即高阶超博弈。目前的研究大多都集中于低阶超博弈[11－12]，并且未将各个阶次的信念分开考虑。本文主要分析策

* **收稿日期：**2012－05－29
基金项目：国家自然科学基金资助项目(91024006，71101149，71001105，71031007)
作者简介：杜正军(1982—)，男，四川人，博士研究生，E-mail：outstandingdzj@163.com；
陈超(通信作者)，男，副研究员，博士，E-mail：chenc1977@gmail.com

略不确定条件下基于高阶超博弈的军事计划决策问题,为决策者提供决策支持。

1　策略不确定条件下的超博弈模型

1.1　高阶超博弈模型

超博弈中局中人无法确切知道博弈参数,只能通过有限的信息推断对方对博弈问题的理解,以及敌方对己方信念的理解。军事对抗决策问题定义为:$G=\{\{R,B\},\{S_R,S_B\},U\}$。$R,B$ 分别是局中人红蓝双方;S_R,S_B 分别是红蓝双方的实际策略集;U 为支付函数。在实际的军事对抗决策中,红方只能通过所掌握的情况去分析蓝方的策略集,即红方决策时所认为的蓝方的策略集只是蓝方实际的策略集在红方信念中的映射。红方实际进行的对抗决策为 $G_R=\{\{R,B\},\{S_R,{}_RS_B\},U\}$,$G_R$ 表示红方对实际对抗决策问题的理解,${}_RS_B$是红方认为的蓝方的策略集。同理,蓝方也是将实际对抗决策映射到己方信念中,$G_B=\{\{R,B\},\{{}_BS_R,S_B\},U\}$,${}_BS_R$为蓝方认为的红方的策略集。我们称之为红蓝双方的一阶信念。红方在进行决策时不但需要考虑 G_R,还要考虑蓝方是如何进行决策的,因为蓝方的策略选择会影响到红方选择的策略的效果。也就是说红方不但需要考虑 G_R,还需将 G_B 映射到己方的信念中,即${}_RG_B=\{\{R,B\},\{{}_{BR}S_R,{}_RS_B\},U\}$,同理蓝方也会考虑:${}_BG_R=\{\{R,B\},\{{}_BS_R,{}_{RB}S_B\},U\}$,称之为红蓝双方的二阶信念。红蓝双方的二阶信念也会影响双方的策略的效果,所以需要考虑三阶信念:${}_{BR}G_R=\{\{R,B\},\{{}_{BR}S_R,{}_{RBR}S_B\},U\}$,以及${}_{RB}G_B=\{\{R,B\},\{{}_{BRB}S_R,{}_{RB}S_B\},U\}$。以此类推,直到无穷阶信念,如图 1 所示。红蓝双方分别通过己方对真实博弈情况推断以及敌方对博弈的理解进行决策。

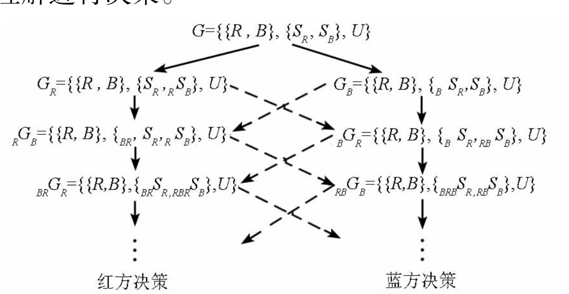

图 1　超博弈红蓝双方信念迭代示意图

Fig. 1　Belief iterative in high-level hypergame

1.2　法国沦陷一阶超博弈分析

目前对超博弈的研究中基本都回避了信念的无穷迭代的问题,主要分析的是低阶超博弈问题。如 Bennett[2] 对二战法国沦陷的超博弈分析中,认为英法联军判断德国的策略集为${}_F\Phi_D=\{\beta_1,\beta_2\}$,己方的策略集 $\Psi=\{\alpha_1,\alpha_2\}$。$\beta_1$ 表示德国从法德边界的马其诺防线进攻,β_2 表示德国经比利时从法国北部进攻。而 α_1,α_2 分别表示法国把防御重点放在法德边界和北部。注意${}_F\Phi_D$是法国认为的德国的策略集。而实际上德方所理解的博弈为 $\Phi=\{\beta_1,\beta_2,\beta_3\}$,即德国除了可以从马其诺防线和比利时进攻法国以外,还可以从阿登山区进攻法国,用 β_3 表示,与之相对应法国将防御重点放在阿登山区的策略记为 α_3。在德方看来,$G_D=\{\{F,D\},\{{}_D\Psi_F,\Phi\},U\}$。德国不能确定法国的策略集${}_D\Psi_F$,可能有两种情况,$\psi_1=\{\alpha_1,\alpha_2\}$,$\psi_2=\{\alpha_1,\alpha_2,\alpha_3\}$。$P\{{}_D\Psi_F=\psi_1\}=p_1$,$P\{{}_D\Psi_F=\psi_2\}=p_2$。见表 1、表 2。

表 1　情景 G_1

Tab. 1　Scene G_1

		法　国	
		α_1	α_2
德国	β_1	(1,4)	(2,3)
	β_2	(4,1)	(3,2)

表 2　情景 G_2

Tab. 2　Scene G_2

		法　国		
		α_1	α_2	α_3
德国	β_1	(1,9)	(3,7)	(2,8)
	β_2	(8,2)	(5,5)	(7,3)
	β_3	(6,4)	(9,1)	(4,6)

用单方博弈网表示如图 2 所示。

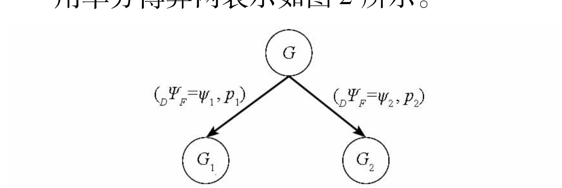

图 2　德国的一阶超博弈分析

Fig. 2　One-level hypergame analysis of German

这是一阶超博弈模型,只考虑了德方对法方的策略不确定性的分析,未考虑法国对德国的策略的不确定性。

1.3　法国沦陷的高阶超博弈分析

实际上德方在决策过程中必须考虑到法国对德方的策略集的判断${}_{FD}\Phi_D$,还需要考虑法国对德国对法国策略集的判断${}_{DFD}\Psi_F$,以此类推。用博弈网可以表示为图 3。

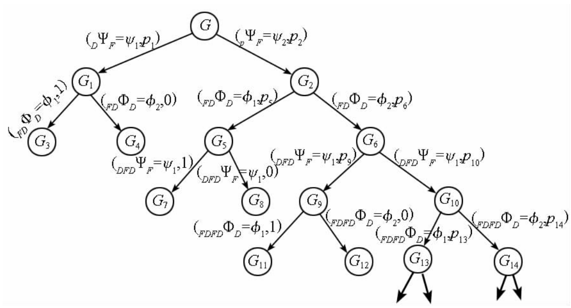

图 3 德国的高阶超博弈分析

Fig. 3 High-level hypergame analysis of German

2 基于高阶超博弈的对抗决策方法

2.1 基于超博弈的决策机制分析

红方决策者只能通过 $G_R=\{\{R,B\},\{S_R,{}_RS_B\},U\}$ 分析实际的博弈情景,得到己方的均衡策略。同时需要分析蓝方如何通过 $G_B=\{\{R,B\},\{{}_BS_R,S_B\},U\}$ 分析均衡策略,因为蓝方策略会影响到红方策略的效果。红方将蓝方的信念映射到己方的信念中,通过 ${}_RG_B=\{\{R,B\},\{{}_{BR}S_R,{}_RS_B\},U\}$ 去分析蓝方的均衡策略。同理,蓝方也会分析红方的均衡策略,因此红方还需要分析蓝方如何分析红方的均衡策略,即将蓝方的二阶信念映射到己方的三阶信念 ${}_{BR}G_R$ 中。以此类推,直到无穷阶信念。

2.2 策略不确定条件下的决策方法

(1)策略不确定的信念分析

本文站在红方的角度去分析超博弈中如何决策。令超博弈中的红方的策略集为 S_R,其不能确定蓝方的策略集。红方认为蓝方的策略集有 K 种可能,记为 ${}_RS_B=\{\Psi_1,\Psi_2,\cdots,\Psi_K\}$,概率分别为 $\{{}_RP_1,{}_RP_2,\cdots,{}_RP_K\}$,这是一阶信念,也可以表示为 $\{P_1^1,P_2^1,\cdots,P_K^1\}$。红方的策略集 S_R 有 K 个子集与之相对应,记为 $\{\Phi_1,\Phi_2,\cdots\Phi_K\}$,且 $\Phi_K=S_R$。$\{\Psi_1,\Psi_2,\cdots\Psi_K\}$ 和 $\{\Phi_1,\Phi_2,\cdots\Phi_K\}$ 都是按照所包含的策略个数从小到大排列。即对于任意的 $i\leqslant j$,有 $\|\Psi_i\|\leqslant\|\Psi_j\|$,$\|\Phi_i\|\leqslant\|\Phi_j\|$。对于任意策略集的蓝方 Ψ_k,其对红方策略集的估计有 $k(1\leqslant k\leqslant K)$ 种可能,即 ${}_{BR}S_R=\{\Psi_1,\Psi_2,\cdots\Psi_k\}$,概率分别为 $\{{}_{BR}P_1,{}_{BR}P_2,\cdots,{}_{BR}P_k\}$,同理可以表示为二阶信念 $\{P_1^2,P_2^2,\cdots,P_K^2\}$。对于红方任意 n 阶信念 ${}_nS_R$ 的第 k 种策略集 ${}_nS_B=\Psi_k$,$n+1$ 阶信念中会有 k 种可能,即 ${}_{n+1}S_R=\{\Psi_1,\Psi_2,\cdots,\Psi_k\}$,其概率为 $\{P_1^{n+1},P_2^{n+1},\cdots,P_k^{n+1}\}$。

(2)决策方法

首先分析各阶的综合均衡策略,再将本阶的均衡策略反思到上一阶中,修改己方上一阶的均衡策略,并计算修改后的赢得值以及风险。然后判断是否稳定,稳定判别的标准是支付值的增加的幅度是否大于风险增加的幅度。若稳定,则不需修改上一阶的策略,否则修改上一阶的策略。当赢得值不再增加,或者赢得值增加的幅度小于风险增加时便趋于稳定了,不再分析下一阶次。具体步骤如下:

①对于 1 阶信念的 K_1 种情景,分别计算 $G_R^k=\{\{R,B\},\{S_R,{}_RS_B\},U\}$ $(1\leqslant k\leqslant K_1)$ 的均衡 $(\overline{S_R^k},\overline{{}_RS_B^k})$,将 $\overline{S_R^k}$ 按照 K_1 种情景的概率得到红方的一阶综合均衡策略:

$$\overline{S_R}=\sum_{k=1}^{K_1}p_k^1\cdot\overline{S_R^k}$$

并计算风险:

$$\mu_1=\frac{p(s_G)*\sqrt{(HEU-EU(RMS,s_G))^2}}{HEU}$$

其中 HEU 为超博弈的均值效用,$EU(RMS,s_G)$ 为蓝方采用对红方最不利策略时红方的支付值。

②对于 2 阶信念的 K_2 种情景,分别计算 ${}_RG_B^k=\{\{R,B\},\{{}_{BR}S_R,{}_RS_B\},U\}(1\leqslant k\leqslant K_2)$ 的均衡策略 $(\overline{{}_{BR}S_R^k},\overline{{}_RS_B^k})$,将 $\overline{{}_RS_B^k}$ 按照 K_2 种情景的概率得到红方二阶信念中蓝方的均衡策略 $\overline{{}_RS_B}$:

$$\overline{{}_RS_B}=\sum_{k=1}^{K_2}p_k^2\cdot\overline{{}_RS_R^k}$$

红方根据 2 阶信念中的蓝方均衡策略反思己方 1 阶均衡,并修改策略,计算出赢得 q_2、μ_2,以及 $\frac{\mu_2-\mu_1}{\mu_1}$、$\frac{q_2-q_1}{q_1}$,并判断是否稳定。

③对于 m 阶信念的 K_m 种情景,分别计算 $G_m^k=\{\{R,B\},\{{}_mS_R,{}_mS_B\},U\}(1\leqslant k\leqslant K_2)$ 的均衡策略 $(\overline{{}_mS_R^k},\overline{{}_{m-1}S_B^k})$。

当 $m=2n(n=1,2,\cdots)$:

将 $\overline{{}_{m-1}S_B^k}$ 按照 K_m 种情景的概率综合集成得到红方 m 阶信念中蓝方 $m-1$ 阶均衡策略,并反思修改红方的策略。

当 $m=2n+1(n=1,2,\cdots)$:

将 $\overline{{}_mS_R^k}$ 按照 K_m 种情景的概率综合集成得到红方 m 阶信念中蓝方 $m-1$ 阶信念中对红方的 $m-2$ 阶信念中红方的均衡策略,并反思修改红方的策略。

得到红方 m 阶综合均衡策略 $\overline{{}_mS_R}$,赢得值 q_m 以及风险 μ_m,并计算 $\frac{\mu_m-\mu_{m-1}}{\mu_{m-1}}$、$\frac{q_m-q_{m-1}}{q_{m-1}}$。如果 $\frac{\mu_m-\mu_{m-1}}{\mu_{m-1}}>\frac{q_m-q_{m-1}}{q_{m-1}}$,停止迭代分析。则红方根

据 $m-1$ 阶综合均衡策略$\overline{_{m-1}S_R}$确定己方的行动策略。

3　法国沦陷问题的高阶超博弈决策

考虑二战西线战役中德国计划的超博弈问题,按照高阶超博弈决策的步骤进行分析。

(1)一阶信念

一阶信念中,德国认为法国的策略集为 $\psi_1=\{\alpha_1,\alpha_2\}$, $\psi_2=\{\alpha_1,\alpha_2,\alpha_3\}$ 的概率分别为 0.8, 0.2。

$G_1=\{\{D,F\},\{\{\alpha_1,\alpha_2\},\{\beta_1,\beta_2,\beta_3\}\},U\}$, $G_2=\{\{D,F\},\{\{\alpha_1,\alpha_2,\alpha_3\},\{\beta_1,\beta_2,\beta_3\}\},U\}$。见表 3、表 4。

表 3　情景 G_1

Tab. 3　Scene G_1

		法国	
		α_1	α_2
德国	β_1	1	3
	β_2	8	5
	β_3	6	9

表 4　情景 G_2

Tab. 4　Scene G_2

		法国		
		α_1	α_2	α_3
德国	β_1	1	3	2
	β_2	8	5	7
	β_3	6	9	4

情景 G_1 中法国的均衡策略为 α_2,德国的针对性策略为 β_3。情景 G_2 中法国的均衡策略为(0,0.43,0.57)。因此法国的综合均衡策略为(0,0.886,0.114),而德国的综合策略为(0,0.142,0.858)。德方的赢得值为 $q_1=8.4286$。风险为 $\mu_1=0.056$。

(2)二阶信念

二阶信念中,在 $\psi_1=\{\alpha_1,\alpha_2\}$ 情况下法国认为德国的策略集只可能为 $\phi=\{\beta_1,\beta_2\}$。在 $\psi_2=\{\alpha_1,\alpha_2,\alpha_3\}$ 的情况下,法国认为 $\phi=\{\beta_1,\beta_2\}$ 的概率为 0.3,认为 $\phi=\{\beta_1,\beta_2,\beta_3\}$ 的概率为 0.7。见表 5 ~ 表 7。

表 5　情景 G_3

Tab. 5　Scene G_3

		法国	
		α_1	α_2
德国	β_1	1	3
	β_2	8	5

表 6　情景 G_5

Tab. 6　Scene G_5

		法国		
		α_1	α_2	α_3
德国	β_1	1	3	2
	β_2	8	5	7

表 7　情景 G_6

Tab. 7　Scene G_6

		法国		
		α_1	α_2	α_3
德国	β_1	1	3	2
	β_2	8	5	7
	β_3	6	9	4

情景 G_3 对情景 G_1 中德国的策略无影响;情景 G_5 中法国会选择策略 α_2,德国的针对性策略为 β_3;情景 G_6 中法国的均衡策略为(0,0.43,0.57)。法国的综合均衡策略为(0,0.92,0.08),德国的综合策略为(0,0.1,0.9)。德方的赢得值为 $q_2=8.6$,风险 $\mu_2=0.0399$。$\mu_2<\mu_1$,因此继续分析三阶信念。

(3)三阶信念

三阶信念中法国认为 $\phi=\{\beta_1,\beta_2,\beta_3\}$ 的情况下,认为 $\psi=\{\alpha_1,\alpha_2,\alpha_3\}$ 概率为 0.9,认为 $\psi=\{\alpha_1,\alpha_2\}$ 的概率为 0.1。见表 8 ~ 表 11。

表 8　情景 G_7

Tab. 8　Scene G_7

		法国	
		α_1	α_2
德国	β_1	1	3
	β_2	8	5

表 9　情景 G_8

Tab. 9　Scene G_8

		法国	
		α_1	α_2
德国	β_1	1	3
	β_2	8	5

表 10　情景 G_9

Tab. 10　Scene G_9

		法国	
		α_1	α_2
德国	β_1	1	3
	β_2	8	5
	β_3	6	9

表 11　情景 G_{10}

Tab. 11　Scene G_{10}

		法国		
		α_1	α_2	α_3
德国	β_1	1	3	2
	β_2	8	5	7
	β_3	6	9	4

情景 G_9 会改变法国的策略，法国认为德国在这种情景下的均衡为(0,0.5,0.5)，其针对性的措施就是选择策略 α_3。而相对应的德国的策略为 β_2。法国的综合均衡策略为(0,0.9142,0.0858)。德国的均衡策略为(0,0.1035,0.8965)，赢得值 $q_3=8.612$。风险 $\mu_3=0.043$。

$\frac{\mu_3-\mu_2}{\mu_2}=0.0777$，$\frac{q_3-q_2}{q_2}=0.0014$。因此停止迭代分析。

因此德方的综合均衡策略为(0,0.1,0.9)，风险为 $\mu=0.0399$。

4　小结

军事对抗决策中面临的主要问题是难以确定敌方的策略集。考虑了超博弈过程中的信念迭代，基于高阶超博弈，本文分析了在策略不确定情况下的军事对抗决策方法。己方的均衡无意义，因为策略的效果由双方策略共同决定。所以重点是分析敌方如何分析均衡的，然后采取针对性措施。在信念迭代过程中同时考虑收益与风险，并以风险增加度大于收益增加度作为信念迭代终止的条件。最后用西线会战的例子说明了方法的可行性和有效性。

参考文献(References)

[1] John C H. Games with incomplete information played by "Bayesian" players, parts I-III [J]. Management Science, 1967, 14: 159 - 182, 320 - 334, 486 - 502.

[2] Bennett P G, Dando M R. Complex strategic analysis: A hypergame study of the fall France [J]. Journal of the Operational Research Society, 1979, 30(1): 23 - 32.

[3] Said A K, Hartley D A. A hypergame approach to crisis decision-making: the 1973 Middle East War [J]. Journal of the Operational Research Society, 1982, 33(10): 937 - 948.

[4] Hipel K W, Muhong W, Fraser N M. Hypergame analysis of the Falkland Islands crisis [J]. International Studies Quarterly, 1988, 32(3): 335 - 358.

[5] Takehiro I, Hipel K W, Sean W. Conflict analysis approaches for investigating attitudes and misperceptions in the War of 1812 [J]. Journal of Systems Science and Systems Engineering, 2007, 16(2): 181 - 201.

[6] Muhong W, Hipel K W. Modeling misperception in the persian gulf crisis [C]//IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Charlottesville, VA, USA, 1991, 1989 - 1995.

[7] 姜鑫，王长春，杜正军，等. 基于博弈网的军事决策方法[J]. 系统工程理论与实践，2011，31(7)：1387 - 1393.
JIANG Xin, WANG Changchun, DU Zhengjun, et al. Military decisionmaking method based on network of games [J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2011, 31(7): 1387 - 1393. (in Chinese)

[8] Russell R V, Paul E L. Hypergames and AI in Planning [C]//Innovative Approaches to Planning, Scheduling and Control: Proceedings of a Workshop, San Diego, CaliforniaMorgan Kaufmann, 1990.

[9] Russell R V, Paul E L. Using hypergames to increase planned payoff and reduce risk [J]. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 2002, 5(3): 365 - 380.

[10] Muhong W, Hipel K W, Fraser N M. Solution concepts in hypergames [J]. Applied Mathematics and Computation, 1989, 34: 147 - 171.

[11] 崔焰，宋业新. 具有模糊偏好认知矩阵的超对策稳定性分析[J]. 海军工程大学学报，2007，19(6)：103 - 107.
CUI Yan, SONG Yexin. Hypergame stability analysis with fuzzy preference perception matrix [J]. Journal of Naval University of Engineering, 2007, 19(6): 103 - 107. (in Chinese)

[12] 宋业新，王发坤，瞿勇. 多冲突环境下的两人一阶超对策交互集结模型[J]. 系统工程与电子技术，2010，32(8)：1672 - 1676.
SONG Yexin, WANG Fakun, QU Yong. Interactive integration model of two-person first-level hypergames in multi-conflict situations [J]. Systems Engineering and Electronics, 2010, 32(8): 1672 - 1676. (in Chinese)

[13] 栾兵，宋业新，瞿勇. 具有模糊策略和结局偏好认知的超对策集结模型[J]. 计算机与数字工程，2011，39(2)：1 - 5.
LUAN Bing, SONG Yexin, QU Yong. Interactive inergration model of hypergames with fuzzy strategy and preference perceptions [J]. Computer & Digital Engineering, 2011, 39(2): 1 - 5. (in Chinese)