УДК 004.056; 004.832

П.О. Кравець

Національний університет «Львівська політехніка», Львів

БЕЗПЕКА ІГРОВИХ СТРАТЕГІЙ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В МУЛЬТИАГЕНТНИХ СИСТЕМАХ

Розв'язано задачу прийняття стійких, внутрішньо безпечних колективних рішень в мультиагентних системах на основі моделі регуляризованої стохастичної гри. Запропоновано рекурентний метод пошуку вирівнювальних стратегій та виконано комп'ютерне моделювання стохастичної гри агентів.

Ключові слова: *мультиагентна система, прийняття рішень, стохастична гра, безпечні стратегії.*

Вступ

У зв'язку з інтенсивним розвитком мережних інформаційних технологій актуальним є розроблення методів та засобів розподіленого прийняття рішень на основі моделі колективу інтелектуальних агентів [1]. На сьогодні не існує методів гарантування якості та безпеки колективних рішень в умовах невизначеності. Внаслідок нескоординованих рішень мультиагентна система (МАС) може перейти у нестійкий, некерований або хаотичний стан, що може бути небезпечним як для оточуючого середовища так і для самої МАС.

Безпека колективного прийняття рішень полягає у визначенні стратегії переведення системи у стан, захищений від потенційних та реально існуючих загроз. Мультиагентна система знаходиться у стані безпеки, якщо дія зовнішніх та внутрішніх факторів не призводить до погіршення або неможливості її функціонування.

Можна розглядати зовнішні та внутрішні аспекти колективного прийняття рішень. Зовнішні аспекти визначають наслідки прийняття рішень для оточуючого середовища, а внутрішні – для учасників прийняття рішень. У цій роботі розглядаються внутрішні аспекти безпеки колективних рішень.

Будемо вважати, що колективне рішення є внутрішньо безпечним, якщо воно у певній мірі задовольняє усіх учасників прийняття рішень. Безпечне рішення характеризується рисами вигідності, стійкості та справедливості. Колективне рішення є ефективним, оптимальним, стійким або рівноважним в залежності від домінування тої або іншої риси. На практиці найчастіше використовуються критерії рівноваги за Нешем та оптимальності за Парето.

Рівноважне за Нешем рішення відображає приватні інтереси агентів, які можна висловити твердженням: "не існує індивідуальної стратегії, яка дозволить покращити індивідуальне рішення, якщо решта агентів будуть дотримуватися стану рівноваги". Оптимальне за Парето рішення відображає колективні інтереси агентів: "не існує спільної стратегії (у тому числі індивідуальної), яка дозволить покращити рішення одночасно для всіх агентів".

Враховуючи притаманні колективу агентів фактори конкуренції, взаємодії, кооперації, навчання, самоорганізації, для дослідження безпеки МАС в умовах невизначеності використаємо модель стохастичної гри.

Метою роботи є розроблення методів та засобів для отримання стійких (внутрішньо безпечних) розв'язків стохастичної гри мультиагентної системи.

Формулювання задачі

Розглянемо стохастичну гру агентів $\Gamma = (D, \{U^i\}_{i \in D}, \{\xi^i\}_{i \in D})$. Кожен агент $i \in D$ ($D \neq \varnothing$) здійснює у дискретні моменти часу $n = 1, 2, ...$ незалежний випадковий вибір однієї з $N_i \ge 2$ власних чистих стратегій $u_n^i = u^i \in U^i$ на основі відповідних векторів змішаних стратегій p_n^i.

Нехай структура МАС визначає локально-обумовлений механізм формування випадкових виграшів $\xi_n^i = \xi_n^i(u_n^{D_i})$ агентів, що є функціями спільних стратегій $u^{D_i} \in U^{D_i} = \underset{j \in D_i}{\times} U^j$ з локальних підмножин $D_i \subseteq D$, $D_i \neq \varnothing$ $\forall i \in D$. На момент часу n середній виграш агента приймає значення:

$$\Xi_n^i(\{u_n^{D_i}\}) = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} \xi_t^i \quad \forall i \in D .$$

Метою агентів є максимізація власних функцій середніх виграшів

$$\underline{\lim}_{n \to \infty} \Xi_n^i \to \max_{p_n^i} \ \forall i \in D .$$

Враховуючи багатокритерійний характер ігрової задачі, її розв'язок будемо шукати у множині точок асимптотичної рівноваги за Нешем [2]:

$$\forall i \in D \quad \underline{\lim}_{n \to \infty} \left[\Xi_n^i(\{u_n^{D_i}\}) - \Xi_n^i(\{\hat{u}_n^{D_i}\}) \right] \ge 0 ,$$

де $\hat{u}_n^{D_i} = u_n^{D_i} \setminus u_n^i + \tilde{u}_n^i \in U^{D_i}$ – поточне значення спільної стратегії підмножини гравців D_i, отримане при заміні чистої стратегії і-го гравця з u_n^i на $\tilde{u}_n^i \in U^i$.

Метод розв'язування задачі

Побудову методу виконаємо на основі стохастичної апроксимації умови доповняльної нежорсткості, справедливої для рівноваги за Нешем у повністю змішаних стратегіях:

$$V^i(j) = V^i,\ \ j = 1..N_i,\ \forall i \in D,$$

де V^i – функція середніх виграшів гравців; $\sum_{j=1}^{N_i} p^i(j)V^i(j) = V^i$; $\sum_{j=1}^{N_i} p^i(j) = 1$.

Розв'язки, які відповідають умові довняльної нежорсткості, називаються вирівнювальними. В загальному вирівнювальні стратегії є нестійкими у зв'язку із специфічним полілінійним виглядом функцій середніх виграшів:

$$V^i(p^{D_i}) = \sum_{u^{D_i} \in U^{D_i}} v^i(u^{D_i}) \prod_{j \in D_i; u^j \in u^{D_i}} p^j(u^j),$$

де $p^{D_i} \in S^{D_i} = \prod_{j \in D_i} S^{N_j}$; $u^{D_i} \in U^{D_i}$.

Для забезпечення стійкості вирівнювальних стратегій виконаємо регуляризацію функцій середніх виграшів, наприклад, так:

$$V_n^i(\delta_n) = V_n^i - \delta_n \left\| p_n^i \right\|^2,$$

де $\delta_n > 0$ – параметр регуляризації. При великих значеннях δ_n регуляризація забезпечує сильну увігнутість по $p_n^i \in S^{N_i}$ функцій виграшів $V_n^i(\delta_n)$ $\forall i \in D$ на початковому відрізку часу. При $\delta_n \underset{n \to \infty}{\to} 0$ регуляризована функція $V_n^i(\delta_n)$ наближається до свого первісного нерегуляризованого варіанту.

В результаті отримаємо регуляризований рекурентний метод:

$$p_{n+1}^i = \pi_{\varepsilon_{n+1}}^{N_i} \left\{ p_n^i - \gamma_n \left(\xi_n^i - \delta_n e^T(u_n^i) p_n^i \right) \left[p_n^i - e(u_n^i) \right] \right\},$$

де $\pi_{\varepsilon_{n+1}}^{N_i}$ – проектор на одиничний ε-симплекс $S_{\varepsilon_{n+1}}^{N_i}$ [2]; $p_n^i \in S_{\varepsilon_n}^{N_i}$ – змішані стратегії i-го агента; $\gamma_n > 0$ – параметр, що регулює величину кроку методу; $\delta_n > 0$ – параметр регуляризації; $\xi_n^i \in R^1$ – поточний виграш агента; $e(u_n^i)$ – одиничний вектор-індикатор вибору варіанту u_n^i.

Контрольний приклад

Розглянемо гру 2×2, у якій два гравці мають по дві чистих стратегії. Для аналізу гри в умовах невизначеності попередньо знайдемо розв'язки гри, коли матриці виграшів є відомими і приймають такі значення:

$$\begin{array}{cccc} & p^1[1] & p^1[2] & \\ [v^{1/2}] = & \left[\begin{array}{c} 0{,}1/0{,}1 \\ 0{,}5/0{,}9 \end{array}\right. & \left.\begin{array}{c} 0{,}2/0{,}9 \\ 0{,}3/0{,}1 \end{array}\right] & \begin{array}{c} p^2[1] \\ p^2[2] \end{array} \end{array}$$

Функції середніх виграшів гравців мають вигляд:

$$V^i = \sum_{j=1}^{2} \sum_{k=1}^{2} p^1[j] p^2[k] v^i[j,k],\ \ i = 1..2.$$

На основі умови доповняльної нежорсткості знайдемо оптимальні за Нешем розв'язки нерегуляризованої гри у змішаних стратегіях:

$$p^{1*}[1] = \frac{v^2[2,2] - v^2[1,2]}{v^2[1,1] - v^2[1,2] - v^2[2,1] + v^2[2,2]};$$

$$p^{1*}[2] = 1 - p^{1*}[1];$$

$$p^{2*}[1] = \frac{v^1[2,2] - v^1[2,1]}{v^1[1,1] - v^1[1,2] - v^1[2,1] + v^1[2,2]}.$$

$$p^{2*}[2] = 1 - p^{2*}[1].$$

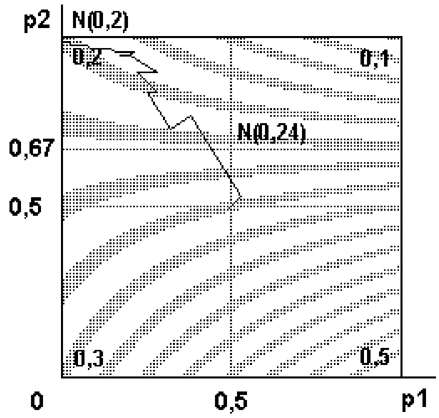
Для заданих матриць виграшів розв'язки за Нешем досягаються для змішаних стратегій $p^{1*} = (0{,}5;\ 0{,}5)$; $p^{2*} = (0{,}67;\ 0{,}33)$.

В умовах невизначеності елементи матриць виграшів $[v^1]$ та $[v^2]$ та оптимальні змішані стратегії p^{1*} та p^{2*} апріорі не відомі. Агенти спостерігають випадкові реалізації ξ_n^i елементів власних матриць виграшів. Для моделювання оберемо нормальний закон розподілу виграшів з математичними сподіваннями $v^i[j,k]$, які є елементами матриць виграшів, та дисперсіями $d^i[j,k] \ge 0$, де $i, j, k = 1..2$.

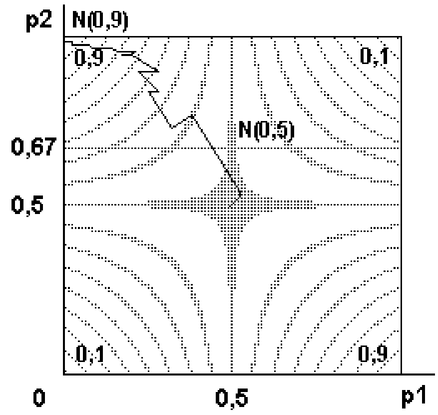
Для знаходження розв'язків гри використаємо запропонований адаптивний рекурентний метод з параметрами: $\gamma_n = \gamma_0 n^{-\alpha}$; $\varepsilon_n = \varepsilon_0 n^{-\beta}$; $\delta_n = \delta_0 n^{-\kappa}$; $\alpha, \beta, \kappa > 0$. Робота методу визначається такими початковими значеннями параметрів: $p_0^i = (0{,}5; 0{,}5)$; $d^i[j,k] = 0{,}01$ $\forall i, j, k = 1..2$; $\gamma_0 = 1$; $\varepsilon_0 < 1/2$; $\delta_0 = 1$; $\alpha = 0{,}5$; $\beta = 1$; $\kappa = 0{,}01$.

Вивчалася поведінка нерегуляризованого та регуляризованого варіанту ігрового методу. Нерегуляризований варіант отримується при $\delta_n = 0$ для всіх $n = 1, 2, \ldots$.

На рис. 1 та 2 зображено одну із траєкторій пошуку розв'язку гри у базисі одиничних симплексів гравців. Вигляд зрізів нерегуляризованих функцій середніх виграшів, отриманих з кроком $h = 1/16$ при нульовому значенні дисперсії, зображено на рис. 1, а регуляризованих функцій – на рис. 2.



а



б

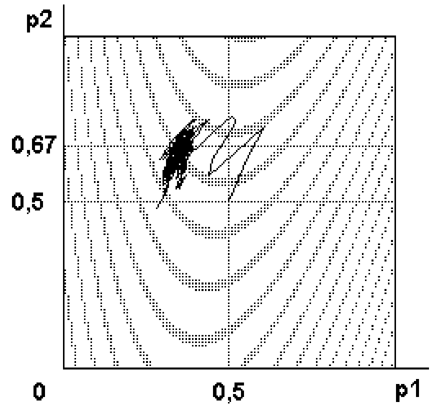
Рис. 1. Траєкторія пошуку точки Неша нерегуляризованим методом:
а – функція середніх виграшів 1-го гравця;
б – функція середніх виграшів 2-го гравця

На рис. 1 видно, що дана гра має дві точки рівноваги за Нешем. Перша точка з координатами ($p1 = 0$; $p2 = 1$) визначає оптимальний розв'язок у чистих стратегіях, а друга ($p1 = 0{,}5$; $p2 = 0{,}67$) – у повністю змішаних стратегіях.

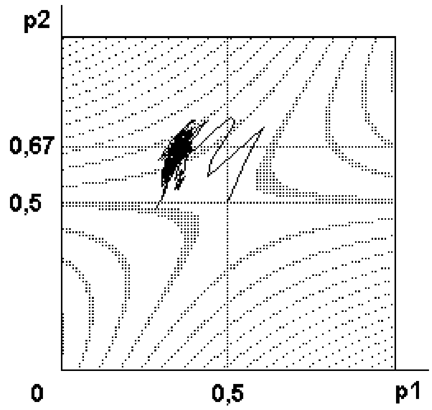
Нерегуляризований метод забезпечує знаходження асимптотичного розв'язку гри у чистих стратегіях – траєкторія пошуку прямує до вершини одиничного симплексу. Однак, цей метод є нестійким для розв'язків гри у змішаних стратегіях.

Регуляризований метод забезпечує стійкий ε-оптимальний розв'язок гри у змішаних стратегіях. Траєкторія пошуку точки, у якій виконується умова доповняльної нежорсткості, зображена на рис. 2. Розв'язок гри локалізується на лінії $p2 = 0{,}67$, що відповідає оптимальній змішаній стратегії (0,67; 0,33) другого гравця. При цьому перший гравець не має можливості збільшити значення своєї функції середніх виграшів $V^1 = 0{,}24$ при довільній зміні його змішаної стратегії у межах одиничного симплексу.

Можливість досягнення розв'язків базової нерегуляризованої задачі визначається усіма параметрами регуляризованого методу, початкові значення яких отримуються з теоретичних оцінок та уточнюються експериментально.



а



б

Рис. 2. Траєкторія пошуку точки доповняльної нежорсткості регуляризованим методом:
а – функція середніх виграшів 1-го гравця;
б – функція середніх виграшів 2-го гравця

Висновки

Розглянутий нерегуляризований метод розв'язування стохастичної гри з полілінійними функціями середніх виграшів не забезпечує стійких розв'язків у змішаних стратегіях. Пошукова траєкторія нерегуляризованого методу прямує до однієї з вершин одиничного симплексу, що відповідає розв'язку гри у чистих стратегіях. Реалізація таких стратегій у повторювальній грі може призвести до перерегулювання системи, оскільки з одиничною імовірністю реалізується тільки одне рішення.

Регуляризація методу забезпечує пошук вирівнювальних змішаних стратегій стохастичної гри, зберігаючи ненульову імовірність реалізації інших, можливо, альтернативних рішень. В результаті досягається стійкий, внутрішньо безпечний стан системи з рисами збалансованої вигідності та справедливості для всього колективу учасників прийняття рішень.

Список літератури

1. Wooldridge M. An Introduction to Multiagent Systems / M. Wooldridge. – John Wiley & Sons, 2002. – 366 p.

2. Назин А.В. Адаптивный выбор вариантов / А.В. Назин, А.С .Позняк. – М.: Наука, 1986. – 288 с.

Надійшла до редколегії 15.03.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Пасічник, Національний університет «Львівська політехніка», Львів.

БЕЗОПАСНОСТЬ ИГРОВЫХ СТРАТЕГИЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМАХ

П.А. Кравец

Решена задача принятия стойких, внутренне безопасных коллективных решений в мультиагентных системах на основе модели регуляризованной стохастической игры. Предложен рекуррентный метод поиска выравнивающих стратегий и выполнено компьютерное моделирование стохастической игры агентов.

Ключевые слова: *мультиагентная система, принятие решений, стохастическая игра, безопасные стратегии.*

SAFETY OF DECISION-MAKING GAME STRATEGIES IN MULTIAGENT SYSTEMS

P.A. Kravets

The task of making proof, inwardly safe collective decisions is decided in the multiagent systems on the basis of model of regularizable of stochastic game. The recurrent method of search of even strategies is offered and the computer design of stochastic game of agents is executed.

Keywords: *multiagent system, decision-making, stochastic game, safe strategies.*