

АЛГЕБРАЇЧНИЙ ПІДХІД ДО РІШЕННЯ КОНФЛІКТУ ЗА МЕТОДОМ ІНТЕГРАЛЬНОГО УСІКАННЯ ВАРІАНТІВ

Визначено характеристики методу інтегрального усікання варіантів при рішенні конфлікту взаємодії об'єктів в просторі спостереження та пошуку, за якими має бути отриманий P -алгоритм, що дозволяє синтезувати та обирати рішення за поліноміальний час обчислень. Отримані результати є новими і дозволяють вирішити проблеми, які виникають при застосуванні методів дослідження операцій. За результатами проведеного дослідження запропоновано алгоритм рішення конфлікту за методом інтегрального усікання варіантів.

Ключові слова: простір спостереження та пошуку, простір рішень, об'єкт спостереження, об'єкт управління, модель, рішення конфлікту, варіативна множина, поліноміальний час рішення.

Вступ і постановка задачі

Конфлікт в технічній системі - це явище взаємодії по-різному цілеспрямованих сторін - об'єктів технічних систем і технічних систем [1]. Трагування конфлікту вказує на факт тісного взаємозв'язку з проблемою целеспрямованості та ціледосяжності.

Поняття конфлікту є засадничим поняттям теорії технічних систем. Без вирішення конфлікту саме існування технічних було б неможливим.

При вирішенні задач конфлікту в технічних системах застосовуються оптимізаційні, ймовірно-статистичні, полеві та методи стандартних схем маневрів, які відносяться до методів дослідження операцій. Застосування зазначених методів породжує ряд проблем [2, 3], а саме: ефект "доміно", ефект "прокляття розмірності", "гіпотеза про випадкову природу неконтрольованих збурень", "топология силових полів".

Сутність зазначених проблем полягає в тому, що:

1) Ефект "доміно" виникає при послідовному вирішенні конфліктів при збільшенні кількості учасників конфлікту (спостережуваних об'єктів, об'єктів пошуку) може привести до виникнення нових конфліктів з учасниками конфлікту. Вирішення цих конфліктів у свою чергу може викликати виникнення нових конфліктів і так далі. Наслідком є різке збільшення небезпеки циклічного виникнення конфліктів, що може привести до неконтрольованих катастрофічних ситуацій.

2) Ефект "прокляття розмірності" виникає при спробі застосування методів оптимізації при вирішенні задачі конфлікту, що призводить до зростання складності математичної моделі і поліноміального зростання складності регулятора. В такому разі вирішення конфліктів у свою чергу породжує необхідність вирішення нових конфліктів, що суттєво збільшується час обчислення результату і не дозволяє вирішувати задачу конфлікту в реальному часі або в визначені термінальні часові інтервали.

3) Ефект "гіпотези про випадкову природу неконтрольованих збурень" виникає при застосуванні ймовірно-статистичного підходу і обумовлений тим, що об'єм даних по визначенню властивостей невизначених процесів при вирішенні конфліктів є недостатнім для отримання їх стійких статистичних характеристик і, як наслідок, маємо невизначеність конфлікту в обраній моделі або системі опису. Тобто задача конфлікту стає недетермінованою, а рішення не може бути знайдено.

4) Ефект "топологии силових полів" характеризується наявністю особливих точок в математичній моделі конфлікту і виникає при використанні польових методів. До особливих точок силових полів відносяться локальні мінімуми "русла", "плато", тощо. Наслідком цього є зниження швидкості руху динамічних об'єктів при підході та обминанні перешкоди (ефект "гальмування" і "топання"), а також синтез рішень (траєкторій), які є нездійсненними, що унеможливує рішення конфлікту.

Застосування методів штучного інтелекту дозволяють уникнути зазначені проблеми шляхом забезпечення гарантованого результату рішення конфлікту за рахунок застосування методу інтегрального усікання варіантів з поліноміальним часом рішення.

Основна частина

Для опису конфлікту взаємодії об'єкта управління (ОУ) з відкритою множиною об'єктів спостереження (ОС) в просторі спостереження застосуємо модель [4-7]

$$M = \bigcup_{i=0}^N M^i, \quad (1)$$

де часткова модель M^i i -го ОС може бути представлена у вигляді

$$M^i = \langle B^i, F^i, \Gamma_{np}^i \rangle. \quad (2)$$

Модель ОУ має вигляд

$$M^0 = \langle B^0, F^0, \Gamma_{np}^0 \rangle. \quad (3)$$

В співвідношеннях (2), (3) базис B^i визначає потенційні можливості i -го ОС та ОУ

$$B^i = \langle X^i, Y^i, A^i \rangle, \quad (4)$$

де X^i - множини потенційно можливого знаходження i -го ОС, які визначаються як множини (області) керуючих та напівкеруючих станів у відповідності з припущенням невизначеності та прогнозу переміщення i -го ОС; множина Y^i визначається характеристиками переміщення i -го ОС в просторі керуючих і напівкеруючих станів (ресурси управління щодо зміни динамічних та кінематичних характеристик) у відповідності з припущенням A^i , яке враховує прогноз, невизначеність, динаміку та небезпечність переміщення i -го ОС щодо ОУ для співвідношення F^i в базисі B^i згідно співвідношення (4).

Значення F^i в співвідношеннях (2) визначає властивості i -го ОС

$$F^i = (f_x^i, f_c^i, d^i), \quad (5)$$

де f_x^i - згладжені значення координат для i -го ОС в кожен момент спостереження в просторі Q ; f_c^i - згладжені значення першої похідної (вектору швидкості зміни координат); d^i - припустиме зближення ОУ з i -м ОС.

Для ОУ в співвідношенні (3)

$$B^0 = \langle X^0, Y^0, A^0 \rangle, \quad (6)$$

де X^0 - множина потенційно можливого знаходження ОУ, множина Y^0 визначається характеристиками переміщення ОУ в просторі керуємих і напівкеруємих станів (ресурси управління щодо зміни динамічних та кінематичних характеристик) у відповідності з припущенням A^0 , яке враховує прогноз, динаміку та небезпечність переміщення ОУ.

$$F^0 = (f_x^0, f_c^0, d^0), \quad (7)$$

де f_x^0 - в загальному випадку є згладженими значеннями координат ОУ в просторі спостереження та пошуку (ПСП) в кожен момент спостереження; f_c^0 - згладжені значення першої похідної (вектору швидкості зміни координат); d^0 - припустиме найменше зближення ОУ з ОС.

Співвідношення (3) - (7) визначають властивості моделі взаємодії ОУ з відкритою множиною ОС за умов невизначеності їх поведінки та обмежень простору рішень (ПР).

В моделі (1) за умов невизначеності до границі $\Gamma_{zp}(Q)$ ПР ставиться вимога замкненості.

Підпростір Q ПСП формується з урахуванням усіх характеристик поведінки об'єктів в цьому просторі, а саме невизначеності їх координат в кожен момент спостереження, значення вектору швидкості зміни координат, припустимого зближення та замкненості ПР.

Границя $\Gamma_{zp}(Q)$ в загальному випадку є безперервною, кусково-гладкою неопуклою і замкненою, що не дозволяє використовувати традиційні підходи щодо опису простору обмежень $G_{обм}$, і не дозволяє використовувати традиційні методи рішення задач опуклого програмування в топологічному просторі. Слід зауважити, що підпростір $G_{обм}$ має задовільняти вимогам зв'язності та безперервності хоча б впродовж траєкторії керуючого переміщення ОУ в ПСП.

Для співвідношення (1) додаткові обмеження підпростору $G_{обм}$ з границею $\Gamma_{zp}(Q)$ визначаються співвідношенням

$$A = \bigcup_{i=0}^N A^i, \quad (8)$$

яке враховує невизначеність та прогноз переміщення об'єктів в ПСП з врахуванням системи обмежень.

Тобто для ОУ маємо

$$F = \bigcup_{i=0}^N F^i, \forall f_x^i \subset f_x, \forall f_c^i \subset f_c, \forall d^i \subset d. \quad (9)$$

Таким чином, співвідношення (9) узагальнює всі характеристики кіберорганізмів в просторі спостережень з врахуванням співвідношень (4) - (8).

Відображення співвідношення (5) для F^i щодо i -го ОС з врахуванням (A^i, A^0) , базису (B, Γ_{np}) при визначенні множини $G_{обм}$ породжує підпростори $G_{обм}^i$, які є неприпустимими для позицій ОУ (X^0, Y^0) та параметрів його переміщення, що дозволяє використати принцип невизначеності при визначенні динамічних характеристик поведінки об'єктів в ПСП.

Слід зауважити, що ПСП є топологічним і, при необхідності, може бути декомпозований на класи еквівалентності [12].

Тоді

$$G_{обм}^i = E(X^0, Y^0, f_c^0, f_c^i, X^i, Y^i, A^0). \quad (10)$$

В такому випадку інтегральна множина ПР з врахуванням (10) матиме вигляд

$$G_{pish} = G_{обм} \bigcap_{i=0}^n G_{обм}^i. \quad (11)$$

Співвідношення (11) дозволяє визначити геометричне місце точок ПСП, як лінійного евклідового простору, в якому значення параметру взаємного розміщення об'єктів (відстань, напрямок на об'єкт, тощо) не менший за значення співвідношення порівняння d^i (відстані, напрямку на об'єкт, тощо) для ОУ.

Виходячи з співвідношень, які є формальним описом стану i -го ОС, визначимо інформаційну множину ПРКУ

$$S = \bigcup_{N, \psi_{дон}} S^i(X^0, Y^0, f_c^0, f_c^i, X^i, Y^i, d^i, A^i, \Delta t), \quad (12)$$

Де S^i - множина припустимих значень параметрів, які визначають характеристики переміщення та позицію i -го ОС в ПСП при його переміщенні за напрямком ψ_j , який належить множині припустимих напрямків переміщення ОУ за умови дотримання значення d^i , Δt - інтервал часу вимірювань та розрахунків.

В загальному випадку підпростори $G_{обм}$ та Q не є опуклими та безперервними але є топологічними лінійними.

Визначимо множину ОС $\Omega = \{\omega_0, \dots, \omega_N\}$.

Для визначення підходу до рішення конфлікту за методом інтегрального усікання варіантів (МІУВ) визначимо основні аксіоми.

1. Кожен об'єкт $\omega_i, i = \overline{0, N}$ в ПСП характеризується певним набором ознак та властивостей, які визначені множинами B^i, F^i та Γ_{np}^i .

2. Кожен об'єкт може бути ідентифікованим за набором параметрів та ознак моделі M^i .

3. На множині ознак моделей M визначені правила і відношення Γ_{np} .

4. На множині G_{piu} задана інформаційна множина небезпечних станів ПР (ІМНСПР)

$\aleph = \bigcup_{N, \Psi_{npin}} V_{\psi_j}^i, \forall \psi_j \in \Psi_{npin}, i = \overline{1, N}, \forall V_{\psi_j}^i \subset V_e$, де Ψ_{npin} - множина припустимих напрямків

переміщення; $V_{\psi_j}^i$ - множина припустимих швидкостей переміщення для i -го ОС за напрямком

$\psi_j \in \Psi_{npin}$, яка визначається як лінійка швидкостей (ЛШ); N - кількість ОС на час спостереження;

V_e - множина припустимих швидкостей переміщення ОУ в просторі Q .

ІМНСПР, Ψ_{npin} та V_e визначають комплекси ознак, які не є об'єктами, що мають цільові ознаки.

5. За умови $\aleph \subset \emptyset$ та $\Psi_{npin} = 2\pi$ в МІУВ аналізуються можливості гарантованого управління ОУ.

6. Для можини об'єктів Ω , кожен з яких має властивість $B^* = \langle X^*, Y^*, A^* \rangle$ кожен елемент $\omega_i \in \Omega$ характеризується структурним описом (множиною літер алфавіту мови $L(\Gamma_{np})$ з граматиною Γ_{np} , ланцюжком елементів траєкторії переміщення, ланцюжком управління U).

Для будь-якого ОС з варіативної множини в ПСП необхідно визначити наявність властивості B^* .

7. На множинах, які визначають простір рішення та гарантоване управління ОУ визначається алгебраїчна операція збіжності $*$, яка задовольняє умовам:

- $a * a = a$;
- $a * b = b * a$;
- $(a * b) * c = a * (b * c)$.

Операція $*$ визначається як перетин та виділення множин або спільних ланцюжків траєкторій переміщення та управління ОУ.

8. За допомогою операції збіжності $*$ визначаються класи збіжності для кожного об'єкта моделі M .

9. При формуванні ознаки щодо наявності чи відсутності для елемента ω_i ознаки B^* слід врахувати:

- якщо усі об'єкти $\omega_i \in \Omega$ мають властивість B^* , можна уявити, що в їх структурних описах є деяка загальна частина, яка присутня в усі ситуації взаємодії ОУ з варіативною множиною Ω (множина A^i);

- при взаємодії ОУ з варіативною множиною Ω мають місце підмножини $\overline{\Omega}$, для яких $\omega_i \in \overline{\Omega}$ є носіями властивості B^* .

10. Синтез рішення починається з уточнення властивості приналежності кожного з об'єктів множини Ω властивості B^* . Тобто необхідно на множині об'єктів Ω та їх складових частин визначити операцію збіжності \otimes з властивостями: а) $\omega \otimes \omega = \omega$; б) $\omega_i \otimes \omega_j = \omega_j \otimes \omega_i$; в) $(\omega_i \otimes \omega_j) \otimes \omega_k = \omega_i \otimes (\omega_j \otimes \omega_k) = \omega_i \otimes \omega_j \otimes \omega_k$.

Таким чином пара $\langle \Omega, \otimes \rangle$ визначає простір подібності для кожної пари об'єктів $\langle \omega_i, \omega_j \rangle$ можна співвіднести точно таку ж пару об'єктів, які належать відповідній операції \otimes , а саме бінарному співвідношенню \otimes' , яке за властивостями а) - в) є відношенням збіжності.

11. Для кожного j , об'єкта $\omega_i \in \Omega$ з класом збіжності $\Xi_{\Omega}(\omega_i)$ будемо вважати множину усіх пар з простору подібності $\langle \Omega, \otimes \rangle$, які збіжні з об'єктом ω_i в сенсі виділеного співвідношення \otimes' . Якщо зафіксувати значення B_0^* в якості результату застосування операції \otimes до відповідних класів збіжності $\Xi_{\Omega}(\omega_i)$ і розглянути лише ті, що мають лише найбільшу спільну частину з B_0^* , то породжуване таким чином співвідношення \otimes'' виявляється співвідношенням еквівалентності.

Виходячи з 11), має місце твердження.

Твердження.

Нехай задані: множина Ω , яка задовольняє властивостям а) - в), операція \otimes , об'єкт $\omega_i \in \Omega$, підоб'єкт B^* , який визначає збіжність об'єкта ω_i хоча б з одним з елементів класу збіжності $\Xi_{\Omega}(\omega_i)$. Множиною таких елементів $\omega_j \in \Xi_{\Omega}(\omega_i)$, що $\omega_i \otimes \omega_j = B^*$ представляє клас елементів $\mathfrak{R}_{\Omega, B^*}(\omega_i)$

Доведення.

Рефлексивність і симетричність породженої фіксацією збіжності B^* співвідношення \otimes'' визначається властивостями співвідношення \otimes' .

Транзитивність слідує з того, що підоб'єкт B^* , який є одночасно частиною пар $\langle \omega_i, \omega_j \rangle$ і $\langle \omega_j, \omega_k \rangle$ є частиною ω_j і ω_k .

В такому разі для породженої з Ω за операцією \otimes збіжності B_j^* існує можливість визначення найбільшої кількості об'єктів з Ω , таких, що створюють клас еквівалентності за відношенням $\otimes''(B_j^*)$.

Слідство.

Для множини Ω і співвідношень \otimes' простір подібності $\langle \Omega, \otimes' \rangle$ може бути представлений у вигляді об'єднання класів еквівалентності, що формуються за всіма можливими породжуємими на $\langle \Omega, \otimes' \rangle$ відношенням еквівалентності \otimes'' .

Визначимо, що новий об'єкт варіативної множини Ω може бути віднесеним до одного з існуючих класів еквівалентності $\mathfrak{R}_{\Omega, B^*}(\omega_i)$, який було сформовано на похідній множині Ω усіма можливими класами еквівалентності $\otimes''(B_j^*)$.

Зазначений процес процедурно включає етапи:

- перераховуються усі класи еквівалентності, що включають класи збіжності простору подібності $\langle \Omega, \otimes \rangle$;

- для l -го класу еквівалентності виділяється загальна частина B_l^* об'єктів з Ω та їх базисом B ;

- проводиться аналіз для l -го класу еквівалентності B_l^* за класами еквівалентності B^* .

Зазначена процедура визначена як така, що забезпечує створення алгоритму з поліноміальним часом обчислень за методом, який включає етапи аналізу похідних даних [8-11] моделі (1) – (12).

В такому разі процедуру синтезу стратегій μ управління ОУ на підставі принципу оптимальності χ , який реалізовує вимоги критерію оптимальності для конфлікту згідно співвідношення (16), можна представити у вигляді

$$\begin{cases} K = \langle M, A, S, \Gamma_{np}, G_{piu}, \mu \rangle, \\ \lambda K = \mu \end{cases}, \quad (13)$$

де λ визначає "витрати на управління" U .

Вибір оптимальної стратегії μ^* з урахуванням правила зупинки $\Gamma_{зуп}$ для співвідношення (13) формулюється в вигляді

$$\mu^* = \inf_{\chi, \Gamma_{зуп}} K. \quad (14)$$

Таким чином, для рішення конфлікту взаємодії об'єктів в ПСП визначимо алгоритм з поліноміальним часом обчислення результатів, який вміщує 14 кроків:

- 1) Визначається ознака приналежності цільової точки ПР.
- 2) Визначається напрямок переміщення ОУ в кінцеву точку траєкторії.
- 3) Початкова точка траєкторії визначається як перетворення простору, яке обумовлене переміщенням ОУ за час τ з початкової точки в точку можливої зміни напрямку переміщення.
- 4) Визначається напрямок переміщення ОУ з точки зміни напрямку в кінцеву точку та визначається кут зміни напрямку переміщення ОУ в кінцеву точку.
- 5) Визначається ознака можливості переміщення ОУ в кінцеву точку для перерахованих характеристик простору рішень з врахуванням ІМНСПР.
- 6) Визначається ознака можливості вільного переміщення ОУ в кінцеву точку траєкторії.
- 7) При неможливості вільного переміщення в кінцеву точку траєкторії застосовується рекурсія вибору рішень з врахуванням розрахованих значень секторів небезпечних напрямків переміщення (СННП) і ІМНСПР по кожному ОС в просторі рішень. Напрямок переміщення визначається за мінімально-переборною процедурою в просторі з границі ІМНСПР, яка зміщується в напрямку забезпечення можливості безконфліктного переміщення ОУ в кінцеву точку траєкторії.
- 8) Визначається ознака перетину оцінюємого елемента траєкторії переміщення ОУ в кінцеву точку межею простору рішень.
- 9) При перетині оцінюємого елемента траєкторії переміщення ОУ в кінцеву точку з межею простору рішень для зменшення числа переборів і скорочення часу синтезу стратегії рішення визначають елемент лінії границі простору рішень, який є найближчим до точки переходу на наступний елемент траєкторії. За визначеним елементом лінії границі простору рішень будується образ СННП з характеристичним вектором.
- 10) Визначається стратегія рішення у вигляді обходу СННП.
- 11) Відповідно інформаційного образу СННП, аналізується можливість переміщення ОУ в кінцеву точку траєкторії.
- 12) Для обраного елемента траєкторії обчислюється інформаційний образ ПКУО для синтезу ланцюжка гарантованого управління ОУ.

13) Визначається ознака розривності простору рішень. За ознакою розривності простору рішень визначається інший напрямок переміщення з врахуванням інформаційного образу СНПП.

14) Здійснюється рекурсія розрахунку елемента траєкторії переміщення до закінчення діапазону напрямків чи досягнення рішення з урахуванням правила зупинки.

Висновки і рекомендації

Метод інтегрального усікання варіантів дозволяє вирішувати конфлікти для динамічних, кінематичних та віртуальних об'єктів спостереження в довільних середовищах функціонування.

Застосування методу інтегрального усікання варіантів при рішенні задач конфлікту в багатомірних просторах спостереження та пошуку в неопуклому та небезперевному просторі рішень за умов невизначеності при відкритій множині об'єктів спостереження є ефективним.

Використання методу інтегрального усікання варіантів дозволяє запропонувати шлях вирішення задачі управління конфліктом за рахунок множини правил, які описують поведінку об'єкту управління в умовах неопуклої системи обмежень, відкритої множини об'єктів спостереження та невизначеності.

Метод інтегрального усікання варіантів дозволяє синтезувати управління об'єктом тільки на множині гарантованих управлінь.

Література

1. Павлов В.В. Конфликты в технических системах / В.В.Павлов. - К: Вища школа, 1982. - 184с.
2. Чепиженко В.И. Энергетико-потенциальный метод гарантированного разрешения поликонфликтов столкновения динамических объектов / В.И.Чепиженко // Кибернетика и вычислительная техника. – 2012. - №168. – С.54-61.
3. Чепиженко В.И. Виртуальные Эйнштейновские силовые поля в синергии навигационного пространства сложных эргатических систем / С.В.Павлова, В.В.Павлов, В.И.Чепиженко // Вісник НАУ. – 2012. - №3. – С.15-27.
4. Семко В.В. Модель конфлікту взаємодії об'єктів кібернетичного простору / В.В.Семко //Проблеми інформатизації та управління. - 2012. - Вип. 2(38). - С.88-92.
5. Семко В.В. Модель взаємодії кібернетичних організмів та синтез стратегій оптимального керування в кібернетичному просторі / В.В.Семко //Проблеми інформатизації та управління. - 2013. - Вип. 3(43). - С.75-82.
6. Семко В.В., Формальний опис простору пошуку при синтезі рішень / В.В.Семко //Проблеми інформатизації та управління. - 2013. - Вип. 2(42). - С.104-111.
7. Семко В.В., Дослідження властивостей рішення задачі конфлікту за методом інтегрального усікання варіантів / В.В.Семко, О.В.Семко //Проблеми інформатизації та управління. - 2013. - Вип. 2(46). - С.60-71.
8. Забейло М.И. К вопросу достаточности оснований для принятия результатов интеллектуального анализа данных средствами ДСМ-метода / М.И.Забейло //Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы. – 2015. - №1. – С.1-9.
9. Журавлев Ю.И. Корректные алгебры над множествами некорректных (эвристических) алгоритмов. Часть I / Ю.И.Журавлев //Кибернетика. – 1977. - №4. – С.5-17.
10. Журавлев Ю.И. Корректные алгебры над множествами некорректных (эвристических) алгоритмов. Часть II / Ю.И.Журавлев //Кибернетика. – 1977. - №6. – С.21-27.
11. Журавлев Ю.И. Корректные алгебры над множествами некорректных (эвристических) алгоритмов. Часть III / Ю.И.Журавлев //Кибернетика. – 1978. - №2. – С.35-43.

Надійшла 06.07.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Вишнівський В.В.