

УДК 004.722

С.М. НЕДІЛЬКО, В.М. НЕДІЛЬКО

*Державна льотна академія України, Кіровоград***ФОРМУВАННЯ ПРОЦЕДУРИ ВИЯВЛЕННЯ ІСНУЮЧОЇ ОБЛАСТІ НАДМІРНОСТІ ТА ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ**

Запропоновано підхід до формування процедури виявлення існуючої області надмірності та її використання для забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом. Оптимальне використання надмірності для забезпечення функціональної стійкості АСУПР базується на запропонованому методі поетапного зменшення потужності бази (базису) перестановочного багатогранника, а також принципі формування максимальної бази при зануренні множини допустимих рішень в частково упорядковану множину, для якої цільова функція і градієнт монотонні.

Ключові слова: функціональна стійкість, надмірність, АСУ повітряним рухом.

Вступ

Аналіз автоматизованих систем управління повітряним рухом (АСУПР) показав, що автоматизація в авіації стала застосовуватись, в першу чергу, для рішення задач навігації та управління різними системами. Широке впровадження засобів автоматизації з використанням обчислювальної техніки в наземних системах управління повітряним рухом дозволило звільнити авіаційних диспетчерів і керівників польотів від трудомістких обчислювальних операцій і дати можливість автоматизувати рішення ряду складних задач і, тим самим, значно підвищити рівень безпеки польотів. Подальший розвиток авіаційної техніки, інформаційних технологій, засобів радіонавігації та спостереження вимагав швидкого рішення складних задач із високою точністю, що викликало необхідність удосконалення наявних і створення принципово нових технічних засобів, які відповідають вимогам сучасної авіаційної техніки і міжнародних норм організації повітряного руху. В результаті, на теперішній час в авіації використовуються не окремі пристрої, а складні автоматизовані системи управління повітряним рухом (ПР) [1, 2].

Загальна постановка задачі дослідження. При модернізації АСУПР важливо забезпечити її властивість функціональної стійкості. Концепція функціональної стійкості передбачає в тому числі етапи виявлення області надмірності та оптимального використання існуючих ресурсів. Тому формування процедури виявлення існуючої області надмірності та її використання для забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом є новим актуальним напрямком наукових досліджень.

Аналіз публікацій. Аналіз теорії функціональної стійкості, щодо формування процедури виявлення існуючої області надмірності та її використання для забезпечення функціональної стійкості складних технічних систем показав, що існують відповідні наукові праці для динамічних систем, розподілених інформаційних та псевдосупутникових радіонавігаційних систем [3]. Особливості принципу роботи АСУПР [1, 2] дозволяють зробити висновок про те, що, незважаючи на серйозні наукові результати теорії функціональної стійкості, досліджувані математичні моделі складних систем не здатні адекватно описати процес функціонування АСУПР. Таким чином, для забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом необхідно розробити методики виявлення існуючої області надмірності та її використання.

Метою статті є доведення результатів досліджень щодо формування процедури виявлення існуючої області надмірності та її використання для забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом з урахуванням впливу дестабілізуючих факторів.

Основна частина

Основу сучасної АСУПР районного центра управління повітряного руху становлять: розподілена інформаційна підсистема, тобто, засоби обробки та зберігання первинної радіолокаційної інформації (екстрактори), комунікаційні сервери, сервери вторинної і третинної радіолокаційної інформації, процесори обробки інформації, засоби документування повітряної ситуації, обчислювальні комплекси планової системи, пристрої передачі даних; організаційна підсистема; радіолокаційні засоби та засоби навігації та зв'язку (рис. 1).



Рис. 1. Автоматизована система управління повітряним рухом

До числа найбільш типових задач, розв'язуваних АСУПР, відносяться: навігація, контроль повітряної ситуації, управління польотами і т.д. Кожна задача оцінюється об'ємом обчислювальних операцій, потрібною швидкістю і вимогами до каналів передачі інформації [2].

В сучасних умовах розвитку та модернізації АСУПР існує науково-обґрунтована ідея забезпечення системі властивості функціональної стійкості. Суть її полягає в тому, що б АСУПР перебувала в стані працездатності, тобто могла би виконувати необхідні функції протягом заданого інтервалу часу або наробітку в умовах відмов складових частин внаслідок впливу зовнішніх і внутрішніх факторів. Реалізація функціональної стійкості досягається застосуванням у складній технічній системі різних, існуючих на час функціонування видів надмірності (структурної, часової, інформаційної та ін.) шляхом перерозподілу ресурсів з метою парировання наслідків позаштатних ситуацій.

Важливо підкреслити, що не всяка система може мати властивість функціональної стійкості. Виникає логічне запитання про наявність зазначених видів надмірності в АСУПР, а також її кількісній оцінці. Проблема точності показників оцінки надмірності порівняння з визначенням адекватності математичних моделей. Дослідження, виконані авторами, дозволяють зробити висновок про наявність надмірності в АСУПР та оцінити її порядок (табл. 1).

Таблиця 1

Аналіз надмірності автоматизованої системи управління повітряним рухом

Підсистеми АСУПР	НАДМІРНІСТЬ				
	апаратна	часова	програмна	інформац.	енергет.
Навігації та спостереження	0,15-0,25	до 0,4	до 0,25	до 0,5	до 0,4
Розподілена інформаційна	0,2-0,25	0,2-0,4	0,2-0,5	0,1-0,5	0,2-0,25
Зв'язку	0,2	0,1-0,2	до 0,2	до 0,5	до 0,2
Метеорологічного забезпечення	0,05-0,1	до 0,2	до 0,2	0,1-0,3	до 0,1

Відповідно до стратегії забезпечення функціональної стійкості АСУПР необхідно послідовно виконати наступні етапи: виявлення позаштатної ситуації, розпізнавання позаштатної ситуації, виявлення існуючих ресурсів (області надмірності), формування

оптимального використання надмірності, а потім оцінити стан АСУПР. Теорія забезпечення перших двох етапів досить повно викладена в роботах професора О.А. Машкова [3], а науково-обґрунтовані підходи оцінки стану складних систем в роботах С.В. Козелкова, Г.Л. Баранова, В.Л. Баранова, Л.М. Артюшина, Ю.К. Зіатдінова та ін. Тому новими є методики виявлення існуючого ресурсу (області надмірності) та оптимального (субоптимального) використання надмірності. При формуванні процедури виявлення існуючого ресурсу (області надмірності) необхідно вирішити наступні часткові завдання: 1) дослідити ознаки надмірності та надати їх математичну формалізацію; 2) розробити метод визначення передбачуваної області надмірності; 3) створити модель процесу функціонування АСУПР; 4) розробити методику виявлення існуючого ресурсу (області надмірності).

На наш погляд, існують наступні ознаки надмірності: *апаратної* – у випадку наявності надлишкових елементів та зв'язків; *часової* – коли є запас за часом для виконання поставлених завдань; *програмної* – коли є можливість нарощування програмного забезпечення при вирішенні задач в реальному масштабі часу; *інформаційної* – коли є надлишок необхідної інформації для рішення поставлених завдань; *енергетичної* – при наявності енергетичних ресурсів.

Опираючись на підхід формалізації структури АСУПР через графову модель, тобто сукупність елементів і зв'язків між ними, логічно зробити висновок про те, що присутність кожної з ознак надмірності веде до існування надлишкових елементів (елемента) або зв'язків (зв'язку), а може і того й іншого. Тому пропонується математичну формалізацію цих ознак описати через відношення часткового порядку [4].

Наведемо приклади відношення часткового порядку, що несуть повну інформацію про клас ввігнутих симетричних цільових функцій АСУПР [5].

Для класу ввігнутих функцій виду

$$f(X) = \sum_{i=1}^n f(x_i), \quad (1)$$

що характеризуються тим, що

$$f(\lambda x + (1-\lambda)y) \leq \lambda f(x) + (1-\lambda)f(y), \quad (2)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1, x, y \in R^N$$

повна інформація є відношенням мажоризації якщо

$$\sum_{i=1}^s x_{\pi(i)} \leq \sum_{i=1}^s y_{\tau(i)}, s=1, \dots, n-1, \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i, \quad (3)$$

де перестановки $(\pi(1), \dots, \pi(n))$ і $(\tau(1), \dots, \tau(n))$ такі, що

$$x_{\pi(1)} \geq \dots \geq x_{\pi(n)}, \quad y_{\tau(1)} \geq \dots \geq y_{\tau(n)}. \quad (4)$$

Цільова функція $f(X) = \sum_{i=1}^n f(x_i)$ при будь-якій

перестановці фіксованих значень компонент вектора X своєї величини не змінює. Тому елементи допус-

тимої множини, що відрізняються тільки перестановкою компонент, можна ототожнювати, і тоді відношення мажоризації є повною інформацією. Більш того, відношення мажоризації буде повною інформацією для класу F_i всіх ввігнутих симетричних функцій. Функція $f(x), x \in R^N$ називається симетричною, якщо $f(x_\pi) = f(x)$ для всіх $\pi \in S_N$, де S_N – множина всіх перестановок елементів множини N .

Нехай елементи вектора, що відповідають варіанту АСУПР, є булевими змінними і визначають наявність або відсутність лінії зв'язку в передбачуваному місці. Розглянемо це на прикладі:

$$X_1 = \{1111000000\}, X_2 = \{1111100000\}, \\ X_3 = \{0000001111\}, X_4 = \{0000011111\}.$$

Нескладно помітити лише по значенню аргумента цільової функції, що $P(X_1) < P(X_2)$ і $P(X_3) < P(X_4)$, тому що додаткова лінія зв'язку X_2 і X_4 підвищує ефективність. А варіанти X_1 і X_2 непорівнянні за цим принципом з X_3 і X_4 , тому що немає загальних ліній зв'язків.

Таким чином, процедура побудови частково-впорядкованої множини є процедурою формування передбачуваної області надмірності АСУПР, а метод визначення передбачуваної області надмірності – метод перетворення множини допустимих варіантів в частково-впорядковану множину допустимих варіантів системи. Дослідження впливу виключення надлишкових елементів і надлишкових зв'язків на можливості АСУПР виконувати необхідні функції лежить в основі процесу уточнення передбачуваної області надмірності АСУПР. Етапи процесу виявлення області надмірності наступні:

1. Визначення за допомогою вищевикладеного підходу визначення ознак надмірності $\prec_V, \prec_D, \prec_T, \prec_A, \prec_I, \prec_P, \prec_E$: елементів та зв'язків між ними (апаратурної), часової, програмної, інформаційної, енергетичної.

2. Попереднє визначення області надмірності

$$(\Delta f \Leftarrow \Delta v^*, \Delta d^*):$$

$$\forall z(\alpha, t) \in Z, |v| < |V| \wedge |d| < |D| \wedge |f| < |F|, \\ v \subseteq V, d \subseteq D, f \subseteq F,$$

де $A \langle V, D, F \rangle$ – простір параметрів, $\alpha = \langle v, d, f \rangle$ – параметр, що описує процес функціонування системи, V – множина абстрактних елементів АСУПР, D – множина абстрактних зв'язків між елементами системи, F – множина функцій абстрактних елементів і зв'язків. Тоді параметр $\alpha \subseteq A$, підмножина $v \subseteq V, |v| \leq |V|$, підмножина $d \subseteq D, |d| \leq |D|$, а підмножина $f \subseteq F, |f| \leq |F|$.

3. Виключення надмірних елементів та зв'язків з системи

$$V \setminus \{v_i\}, v_i \subseteq \Delta v^*, i = \overline{1, b}; D \setminus \{d_j\}, d_j \subseteq \Delta d^*, j = \overline{1, c}.$$

Цей етап дозволяє виявити, чи працює АСУПР без надмірних елементів та зв'язків, які були визначені попередньо.

4. Моделювання процесу функціонування АСУПР з метою подальшої оцінки якості функціонування системи

$$F = F(V \setminus \{v_i\}, D \setminus \{d_j\}, \Omega).$$

5. Оцінка якості процесу функціонування АСУПР.

6. Уточнення області надмірності

$$(\Delta f \Leftarrow \Delta v, \Delta d): \forall z(\alpha, t) \in Z, v \subseteq V, d \subseteq D, f \subseteq F.$$

Постановка завдання оптимізації:

$$\alpha = \langle v, d, f \rangle: \begin{cases} \forall z(\alpha, t) \in Z, |v| < |V| \wedge |d| < |D| \wedge |f| < |F|, \\ \Delta v, \Delta d, \Delta f \neq \emptyset, \\ |f^+| - |f| \rightarrow \min, |f^-| - |f| \rightarrow \max. \end{cases}$$

Методика оптимального використання надмірності функціонально стійкої структури АСУПР має такі елементи.

1. Формування матриць $M, P_D, P_V, K_{\phi, \lambda}^D$, пред'явлення вимог до

$$P\{F_\tau[z(\alpha, t), t \leq \tau] \in B_{A_1}^\tau\} > 1 - \varepsilon,$$

де M – матриця суміжності; P_D, P_V – матриці ваг зв'язків (ребер) і елементів (вузлів); $K_{\phi, \lambda}^D$ – матриця параметрів (координат) елементів (вузлів).

2. Побудова множини допустимих рішень

$$A = \left\{ \begin{array}{l} A_{-1} \langle E | e, \varepsilon_{-1 \text{vid}} \rangle, A_{-2} \langle E | e, \varepsilon_{-2} \rangle \dots \\ A_{-N} \langle E | e, \varepsilon_{-N \text{vid}} \rangle \end{array} \right\}.$$

3. Визначення відношення часткового порядку.

4. Застосування градієнтного алгоритму.

5. Застосування методики визначення значення показника функціональної стійкості системи передачі даних АСУПР $P_{\phi C} = P\{F_\tau[z(\alpha, t), t \leq \tau] \in B_{A_1}^\tau\}$.

6. Перебір максимальної бази.

7. Визначення оптимального варіанту.

В основі процедури оптимального використання надмірності покладено метод поетапного зменшення потужності бази перестановочного багатогранника, який розроблено одним із авторів статті. Метод класифікується як точний метод дискретної оптимізації, побудований за принципом неявного перебору. В основі методу є науково-обґрунтоване положення про те, що область допустимих рішень асоціюється з таким комбінаторним об'єктом, як перестановочний багатогранник, та про те, що максимальна за включенням незалежна підмножина множини допустимих рішень, тобто база (базис) перестановочного багатогранника, відображає мінімально-необхідний склад системи.

Висновки

Процедура виявлення існуючої області надмірності АСУПР основана на ідеї використання апріорної інформації під час визначення ознак надмірності, попереднього формування області надмірності, послідовного виключення надмірних елементів та зв'язків із системи з метою оцінки якості функціонування системи для остаточного уточнення області надмірності. Використання процедури дозволяє виявити існуючий ресурс (область надмірності) для подальшого використання під час парювання нештатних ситуацій.

Оптимальне використання надмірності для забезпечення функціональної стійкості АСУПР базується на запропонованому методі поетапного зменшення потужності бази (базису) перестановочного багатогранника, а також принципі формування максимальної бази при зануренні множини допустимих рішень в частково упорядковану множину, для якої цільова функція і градієнт монотонні вздовж ланцюгів, які індукційовані частковим порядком. Реалізація такого підходу дозволяє із множини допустимих варіантів перерозподілу ресурсів знаходити оптима-

льне рішення при значному зменшенні числа звернень до цільової функції у порівнянні з іншими точними методами оптимізації.

Література

1. Неделько, С.Н. Количественная оценка и оптимизация надежности УВД в условиях неблагоприятных случайных возмущений [Текст] / С.Н. Неделько // Проблемы аэронавигации. – Кировоград: ДЛАУ, 1996. – Вып. 2, ч. 2. – С. 5-8.
2. Чередніченко, Ю.А. Напряжки розвитку аэронавигационной системы Украины [Текст] / Ю.А. Чередніченко // Проблемы підвищення ефективності інфраструктури. – К.: НАУ, 2002. – Вып. 8. – С. 3-5.
3. Артюшин, Л.М. Оптимизация цифровых автоматических систем, устойчивых к отказам [Текст] / Л.М. Артюшин, О.А. Машиков. – К.: КВВАИУ, 1991. – 89 с.
4. Новиков, Ф.А. Дискретная математика для программистов: 2-е изд. [Текст] / Ф.А. Новиков. – СПб.: Питер, 2005. – 364 с.
5. Ковалев, М.М. Матроиды в дискретной оптимизации [Текст] / М.М. Ковалев. – Минск: Университетское, 1987. – 222 с.

Надійшла до редакції 4.06.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.В. Кравченко, Національний університет оборони України, Київ.

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ВЫЯВЛЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ОБЛАСТИ ИЗБЫТОЧНОСТИ И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

С.Н. Неделько, В.Н. Неделько

Предложен подход к формированию процедуры выявления существующей области избыточности и ее использования для обеспечения функциональной устойчивости автоматизированной системы управления воздушным движением. Оптимальное использование избыточности для обеспечения функциональной устойчивости АСУПР базируется на предложенном методе поэтапного уменьшения мощности базы (базису) перестановочного многогранника, а также принципе формирования максимальной базы, при погружении множественного числа допустимых решений в частично упорядоченное множественное число, для которого целевая функция и градиент монотонны.

Ключевые слова: функциональная устойчивость, избыточность, АСУ воздушным движением.

FORMING OF PROCEDURE OF EXPOSURE OF EXISTENT AREA OF SURPLUS AND ITS USE FOR PROVIDING OF FUNCTIONAL STABILITY OF CAS OF AIR TRAFFIC CONTROL

S.M. Nedilko, V.M. Nedilko

The article highlights forming of procedure of exposure of existent area of surplus and its use for providing of functional stability of air traffic control. The optimum use of surplus for providing of functional firmness of ASUPR is based on the offered method of the stage-by-stage diminishing of power of base (to the base) of permutable polyhedron, and also principle of forming of maximal base, at immersion of plural of feasible solutions in a partly well-organized plural for which an objective function and gradient is monotonous.

Key words: functional stability, surplus, air traffic control system.

Неділько Сергій Миколайович – канд. техн. наук, проф., ректор, Державна льотна академія України, Кіровоград, Україна.

Неділько Віталій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, директор інституту аэронавигации, Державна льотна академія України, Кіровоград, Україна.