

УДК 681.321

В.А. Краснобаєв

СТВОРЕННЯ ВІДМОВОСТІЙКИХ СИСТЕМ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ КОДІВ МОДУЛЯРНОЇ АРИФМЕТИКИ

Розглядається варіант створення високовідмовостійких систем обробки інформації безпілотних літальних апаратів на основі застосування непозиційних кодових структур модулярної арифметики (непозиційної системи числення в залишкових класах).

Постановка проблеми та аналіз літератури

У даний час у багатьох країнах світу знаходиться широке застосування безпілотна авіація. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) використовуються як у народному господарстві, так і у військовій справі. Так, вони успішно знаходять застосування як діючі засоби моніторингу навколишнього середовища, при вирішенні завдань картографії і точного землеробства, геологічної, метеорологічної, радіаційної, хімічної, бактеріологічної і біологічної розвідок без ризику для людського життя, а також вони ефективно використовуються при рятувальних роботах. У військовій справі БПЛА можуть бути більш ефективні в бойовій обстановці, ніж пілотовані літальні апарати (ЛА) розвідки, які у першу чергу вирішують завдання тактичної повітряної розвідки, радіоелектронної боротьби, цілевказівки і коректування бойових дій, а також завдання бойового управління і зв'язку в інтересах різних видів та родів Збройних Сил країни [1].

Безсумнівні достоїнства (відсутні недоліки ЛА, пов'язані з наявністю на них людей, малогабаритність об'єму і малопотужність джерел живлення ЛА та ін.) БПЛА забезпечують їх подальший розвиток в усьому світі. Так, у США, наприклад, для підвищення ефективності використання парку авіаційної техніки в 1988 році було організовано управління об'єднаних програм зі створення БПЛА (UAV IPO). У 1993 році з метою подальшого удосконалювання системи оперативного управління ЛА країни було створено управління повітряної розвідки міністерства оборони (DARO). На даний час у розробці і проектуванні БПЛА беруть участь більше 20 країн. Так, наприклад, у США розроблені БПЛА RQ-1 „Predator”, RQ-4 „Global Hawk”, STM-5B „Sentry”; у Великобританії – „Phoenix”; у Франції – 532 UL Cougar Mk; у ФРН – „Brevel”, „Luna”; у Росії – Ту-143 „Рейс-М”, „Пчела-1Т”, „Стрекоза” тощо. Водночас кількість країн, що уже використовують БПЛА, складає понад 25 [1, 2].

Основними особливостями БПЛА є відсутність на них людини і необхідність обробки в реальному часі великого об'єму інформації за малий термін часу. Перспектива удосконалювання БПЛА пов'язана насамперед з ускладненням алгоритмів обробки інформації в реальному часі, зі збільшенням об'єму корисного навантаження, а також зі збільшенням тривалості часу перебування в польоті ЛА (так, наприклад, тривалість часу польоту БПЛА Predator (США) складає близько 24 годин; у Франції розроблено багатоцільовий БПЛА Nogus із тривалістю польоту 35...40 годин). Це призводить до зниження надійності функціонування і до збільшення тривалості часу вирішення поставлених завдань, що істотно знижує ефективність використання БПЛА. Отже обумовлює необхідність формулювання та розв'язання суперечливої науково-технічної задачі одночасного підвищення відмовостійкості функціонування БПЛА і продуктивності обробки інформації в реальному часі. Це, у свою чергу, призводить до необхідності вирішення завдання забезпечення необхідного рівня надійності (відмовостійкості) системи обробки інформації (СОІ) як основної ланки в системі прийому, обробки і передавання інформації БПЛА. Відзначимо, що при вирішенні завдання підвищення відмовостійкості СОІ БПЛА необхідно забезпечити заданий рівень продуктивності розв'язання алгоритмів обробки інформації.

Основний практичний метод підвищення надійності СОІ ЛА, що функціонують у звичайних двійкових позиційних системах числення (ПСЧ), є метод створення на основі структурного резервування відмовостійких трійованих мажоритарних структур обробки інформації. Недолік цього методу – велика кількість устаткування, що додатково вводиться, для забезпечення необхідного рівня надійності функціонування СОІ. Даний недолік істотно негативно впливає на основні характеристики БПЛА.

Пошуки шляхів підвищення відмовостійкості СОІ реального часу без зниження продуктивності обробки інформації показали, що в межах ПСЧ цю-

го домогтися практично неможливо без істотного погіршення вагогабаритних характеристик БПЛА. Це з одного боку. З іншого боку, останні дослідження в цьому напрямку показали, що використання як системи числення COI непозиційної системи числення модулярної арифметики (МА) (зокрема, системи числення в залишкових класах (СЗК)), може істотно позитивно вирішити науково-технічне завдання забезпечення відмовостійкості без зниження продуктивності обробки інформації і з істотно меншою, ніж у ПСЧ, уведеною додатково кількістю устаткування. Дана обставина дає можливість істотно поліпшити тактико-технічні та бойові характеристики БПЛА.

У даний час ведуться інтенсивні дослідження шляхів підвищення відмовостійкості систем обробки інформації, що функціонують у реальному часі. Це обумовлено вимогами підвищення надійності функціонування COI без зниження продуктивності обробки інформації.

У літературі [3] показана висока ефективність використання кодів модулярної арифметик. Так, використання непозиційних кодових структур у системі залишкових класів дозволяє значно підвищити користувальницьку продуктивність обробки інформації, поданої в цілочисловому вигляді [4, 5].

Останні дослідження можливостей використання кодів МА показали, що застосування СЗК може істотно підвищити відмовостійкість, надійність і живучість систем обробки інформації реального часу [6, 7]. Однак дотепер у загальному вигляді не сформульована і не розв'язана задача оптимального резервування в МА, результати розв'язання якої можуть відповісти на запитання про ефективність використання СЗК для забезпечення заданого рівня надійності (відмовостійкості) COI, які функціонують у реальному часі.

Мета статті – обґрунтування можливого варіанта створення COI реального часу з підвищеними характеристиками за відмовостійкістю на основі використання кодів МА.

Постановка завдання

У МА оброблювані операнди представляються залишками $\{a_i\}$, $i = \overline{1, n}$ від розподілу числа A на набір взаємно попарно простих чисел $\{m_i\}$. У цьому випадку структура COI в СЗК представляється у вигляді набору з n каналів обробки інформації (KOI), що обробляють інформацію, представлену залишками $\{a_i \equiv A \pmod{m_i}\}$, незалежно один від одного і паралельно в часі (рис. 1).

Задача оптимізації надійності в МА може бути сформульована в двох варіантах. При першому варіанті задача оптимального резервування в МА фор-

мулюється в такий спосіб: необхідно забезпечити заданий рівень надійності COI $H_{СЗК}^{(l)}(t)$ при мінімальній кількості устаткування $V_{СЗК}^{(l)}$, необхідного для реалізації методу підвищення надійності.

При другому варіанті (зворотна задача оптимального резервування в СЗК) необхідно забезпечити максимальне значення надійності COI $H_{СЗК}^{(l)}(t)$ в СЗК при заданій кількості устаткування $V_{зад}^{(l)}$.

У формалізованому вигляді перший і другий варіанти оптимального резервування в МА представляються відповідно виразами (1) і (2):

$$\begin{cases} V_{СЗК}^{(l)} \rightarrow \min, \\ H_{СЗК}^{(l)}(t) \geq H_{зад}(t) [t = \text{const}]; \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} H_{СЗК}^{(l)}(t) [t = \text{const}] \rightarrow \max, \\ V_{СЗК}^{(l)} \leq V_{зад}^{(l)}. \end{cases} \quad (2)$$

Для розв'язання задачі оптимального резервування в МА можна використовувати відомі методи оптимізації: лінійне програмування, динамічне програмування, метод Лагранжа, метод найшвидшого спуску і т.інш. Також зручно використовувати метод покоординатного найшвидшого спуску [8, 9].

Основна частина

Припустимо, що СЗК задана набором взаємно попарних простих чисел, так званими підстановками або модулями $\{m_i\}$, $i = \overline{1, n}$. Для обраного випадку випадку вихідна структура COI в СЗК наведена на рис. 1. При цьому задані значення імовірності безвідмовної роботи $P_i(t)$ KOI за модулем m_i COI, а

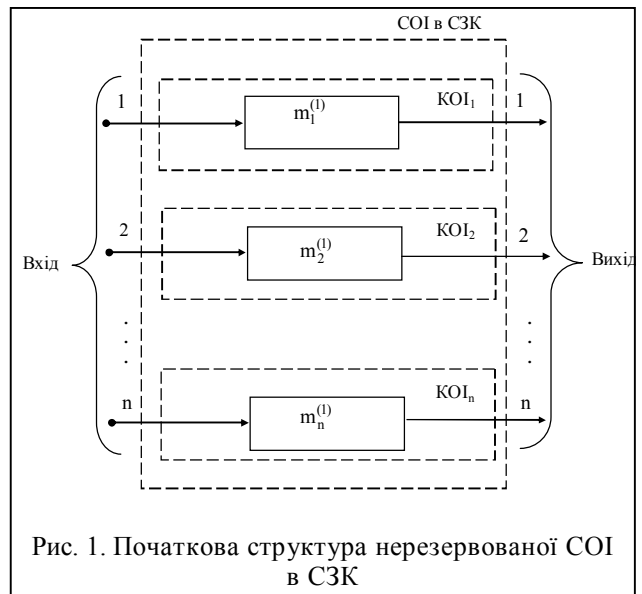


Рис. 1. Початкова структура нерезерованої COI в СЗК

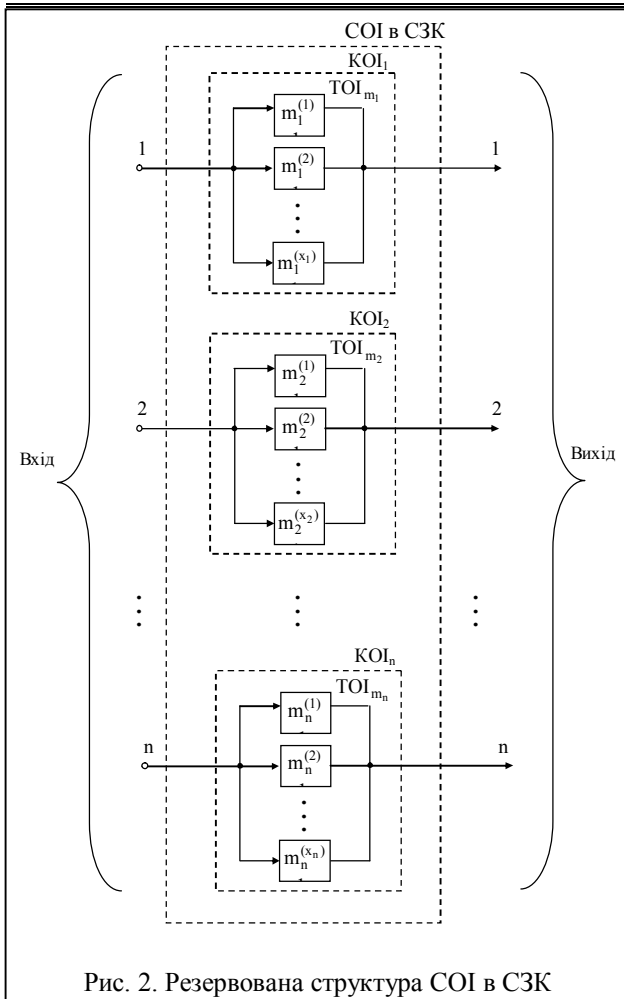


Рис. 2. Резервована структура COI в СЗК

також кількість устаткування $V_{СЗК}^{(l)}$ COI в СЗК. Під значенням $V_{СЗК}^{(l)}$ мається на увазі відносна кількість устаткування l -байтової COI в СЗК, приведена до одиниці розрядної сітки оброблюваних у МА операндів. Тоді відносна кількість устаткування резервованої COI в СЗК (рис. 2) дорівнює

$$V_{СЗК}^{(l)} = \sum_{i=1}^n x_i \{ \lceil \log_2(m_i - 1) \rceil + 1 \},$$

де x_i – кількість однотипних трактів обробки інформації (ТОІ) за модулем m_i СЗК.

Надалі будемо думати, що в кожному з КОІ можливе тільки постійне резервування ТОІ з навантаженим резервом (рис. 2).

У даній статті нас буде цікавити тільки розв'язання другого варіанта задачі оптимального резервування в МА, тобто розв'язання зворотної задачі оптимального резервування в СЗК (рівняння (2)). У цьому випадку як задану кількість $V_{зад}^{(l)}$ устаткування будемо вважати відносну кількість $V_{зад}^{(l)} = 3 \cdot 8 \cdot l = 24 \cdot l$ устаткування позиційної трійованої мажоритарної структури l -байтової COI, приведеної до одиниці розрядної сітки. Тоді зворотна задача оптимального резервування в МА буде представлена у вигляді

$$\begin{cases} P_{СЗК}^{(l)}(t)[t = \cos t] \rightarrow \max; \\ V_{СЗК}^{(l)} \leq 24l, \end{cases} \quad (3)$$

де $P_{СЗК}^{(l)}(t)$ – імовірність безвідмовної роботи COI в СЗК (l – діапазон обробки інформації).

Виходячи з принципу функціонування COI в СЗК, її надійнішою моделлю буде схема, наведена на рис. 3. У цьому випадку ділянка резервування (ДР) надійності схеми (рис. 3) відповідає каналу обробки інформації (рис. 2), а основний і резервний елементи еквівалентні трактам обробки інформації COI в СЗК.

Надійність COI в СЗК визначається за допомогою використання значень координат вектора $X_{СЗК}^{(l)} = \{x_1 \| x_2 \| \dots \| x_n\}$ стану, де x_i – загальна кількість елементів на UR_i ; $\|$ – операція конкатенації (склеювання); n – кількість основ СЗК. Наприклад, для нерезерованої COI в СЗК (рис. 1) вектор стану

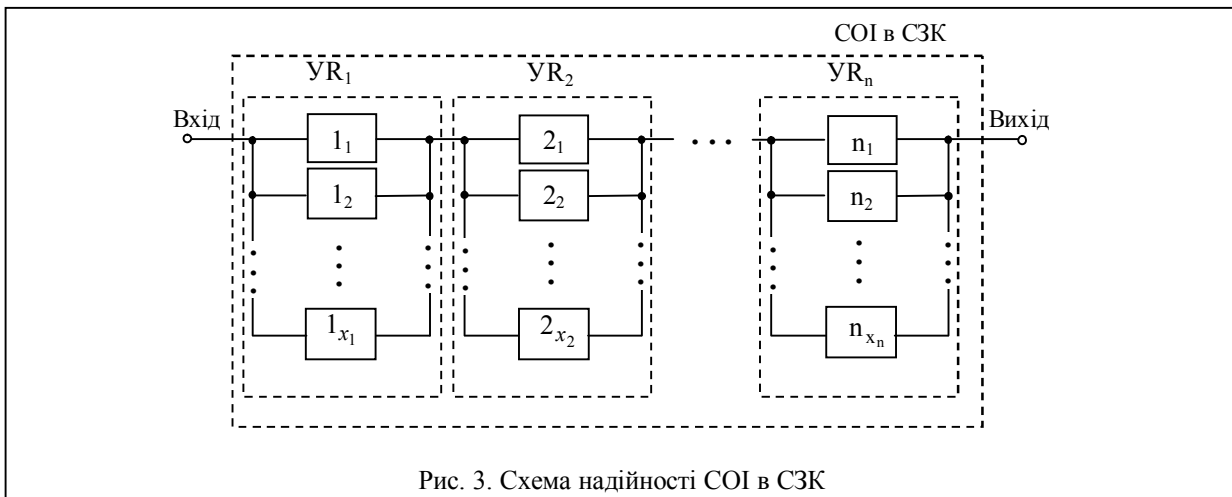


Рис. 3. Схема надійності COI в СЗК

буде мати такий вигляд: $X_{СЗК}^{(l)} = \{1 \ 1 \dots 1\}$.

Розглянемо основні етапи розв'язання задачі оптимального резервування в СЗК методом найшвидшого спуску.

Перший етап. На першому етапі визначається ДР, де додавання одного елемента дає найбільший вигравш у збільшенні імовірності безвідмовної роботи $P_{СЗК}^{(l)}(t)$ СОІ в СЗК у перерахунку на одиницю вартості резервних елементів. За одиницю вартості устаткування приймаємо умовну кількість устаткування СОІ, віднесено до одиниці l -розрядної сітки.

Другий етап. На другому етапі розв'язання задачі визначається наступний УР, який характеризується найбільшим збільшенням імовірності безвідмовної роботи $P_{СЗК}^{(l)}(t)$ СОІ в СЗК.

Далі продовжуємо процес розв'язання задачі. Припустимо, що у процесі оптимального резервування проведено k етапів. У цьому випадку імовірність безвідмовної роботи UR_i буде дорівнювати $P_{x_i}^{(k)}(t)$, а імовірність безвідмовної роботи СОІ в СЗК – $P_{СЗК}^{(k)}(t) = \prod_{i=1}^n P_{x_i}^{(k)}(t)$. Після проведення $k + 1$ етапу одержимо значення $P_{СЗК}^{(k+1)}(t)$. За умовою задачі ефективність збільшення імовірності безвідмовної роботи на UR_i оцінюється наступним співвідношенням:

$$z_i = \frac{P_{СЗК}^{(k+1)}(t) - P_{СЗК}^{(k)}(t)}{w_i}, \quad (4)$$

де $w_i = [\log_2(m_i - 1)] + 1$ – вартість одного елемента TOI_i .

Вираз (4) легко перетворити до вигляду

$$z_i = P_{СЗК}^{(k)}(t) \frac{P_{x_i}^{(k+1)}(t) - P_{x_i}^{(k)}(t)}{w_i P_{x_i}^{(k)}(t)}. \quad (5)$$

У виразі (5) величина $P_{СЗК}^{(k)}(t) = P_{СЗК}^{(l)}(t)$ буде постійною для будь-якої кратності резервування на UR_i . У цьому випадку на кожному етапі вибору резервного елемента вибираємо той UR_i , де величина $z_i = \max$ (рівняння (4)).

Таким чином, провівши розрахунки значень z_i , можна визначити послідовність додатка резервних елементів на кожній з ділянок резервування UR_i ($i = 1, n$) (рис. 3).

Висновки

З метою підвищення відмовостійкості систем обробки інформації реального часу в даній статті роз-

глянуто варіант створення СОІ БПЛА на основі використання непозиційних кодових структур МА. Це можна здійснити, використовуючи результати рішення задачі оптимального резервування СОІ в МА. Для цього в статті сформульоване й у загальному вигляді надане розв'язання задачі оптимального резервування СОІ в СЗК методом покоординатного найшвидшого спуску [8, 9].

Використовуючи значення модулів конкретної СЗК, числові значення імовірностей безвідмовної роботи $P_i(t)[t = \text{const}]$ TOI_i ($i = 1, n$), а також величину l розрядної сітки, можна розрахувати шукане значення імовірності $P_{СЗК}^{(l)}(t)$ безвідмовної роботи СОІ БПЛА в СЗК.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аерокосмічна розвідка в локальних війнах сучасності / Л.М. Артюшин, С.П. Мосов, Д.В. П'яковський, В.Б. Толубко. – К.: НАОУ, 2002. – 208 с.
2. Артюшин Л.М. Методичний підхід до вирішення завдань відмовостійкого автоматичного керування груповим польотом безпілотних літальних апаратів // Системи озброєння і військова техніка: Науковий журнал. – Х.: ХУ ПС. – № 1 (1). – С. 3 – 10.
3. Акушский И.Я., Юдицкий Д.И. Машинная арифметика в остаточных классах. – М.: Сов. радио, 1968. – 440 с.
4. Жихарев В.Я., Юнес Эль Хандасси, Краснобаев В.А. Пути повышения производительности и отказоустойчивости ЭВМ // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ». – 2003. – Вып. 19. – С. 269 – 282.
5. Жихарев В.Я., Юнес Эль Хандасси, Краснобаев В.А. Методы и алгоритмы реализации арифметических операций в классе вычетов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ». – 2003. – Вып. 20. – С. 84 – 101.
6. Илюшко В.М., Мохаммед Джасим Мохаммед, Краснобаев В.А. Концепция проектирования отказоустойчивых систем обработки информации реального времени // Системи обробки інформації: Зб. наук. пр. – Х.: ХУ ПС. – 2005. – Вып. 4 (44). – С. 52 – 56.
7. Илюшко В.М., Мохаммед Джасим Мохаммед, Краснобаев В.А. Исследование влияния свойств модулярной арифметики на структуру и принципы функционирования систем обработки информации реального времени // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2005. – № 2 (10). – С. 132 – 139.
8. Илюшко В.М., Мохаммед Джасим Мохаммед. Постановка и решение задачи оптимального резервирования в системе остаточных классов // Моделирование та інформаційні технології. – К.: ІПМЕ НАНУ, 2005. – Вып. 32. – С. 93 – 97.
9. Основы надёжности цифровых систем: Підручник / В.С. Харченко, В.Я. Жихарев, В.М. Ілюшко та інш. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т «ХАІ», 2004. – 542 с.

Надійшла 30.09.2005

Рецензент: д-р техн. наук професор Ю.В. Стасєв, Харківський університет Повітряних Сил.