

УДК 681.03

В.І. Барсов¹, Є.О. Сотник¹, В.О. Жадан², В.А. Краснобаєв²¹ Українська інженерно-педагогічна академія, Харків² Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ МОДУЛЯРНОЇ СИСТЕМИ ЧИСЛЕННЯ

Розглянуто доцільність створення системи обробки інформації та управління безпілотних літальних апаратів на основі використання непозиційних кодових структур модулярної системи числення. Запропонований підхід дозволяє істотно підвищити, надійність і живучість функціонування системи обробки інформації та управління безпілотних літальних апаратів без зниження продуктивності обробки інформації в реальному часі.

Ключові слова: системи обробки інформації та управління, безпілотний літальний апарат, модулярна система числення, надійність, продуктивність.

Вступ

У теперішній час в багатьох країнах світу знаходить широке застосування безпілотна авіація. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) застосовуються як у народному господарстві, так і у військовій справі. Так, вони успішно знаходять застосування у

якості діючих засобів моніторингу навколишнього середовища, при рішенні завдань картографії, геологічної, метеорологічної, радіаційної, хімічної, бактеріологічної й біологічної розвідки без ризику для людських життів, а також вони ефективно використовуються при проведенні рятувальних робіт.

Варіант застосування БПЛА надано на рис. 1.

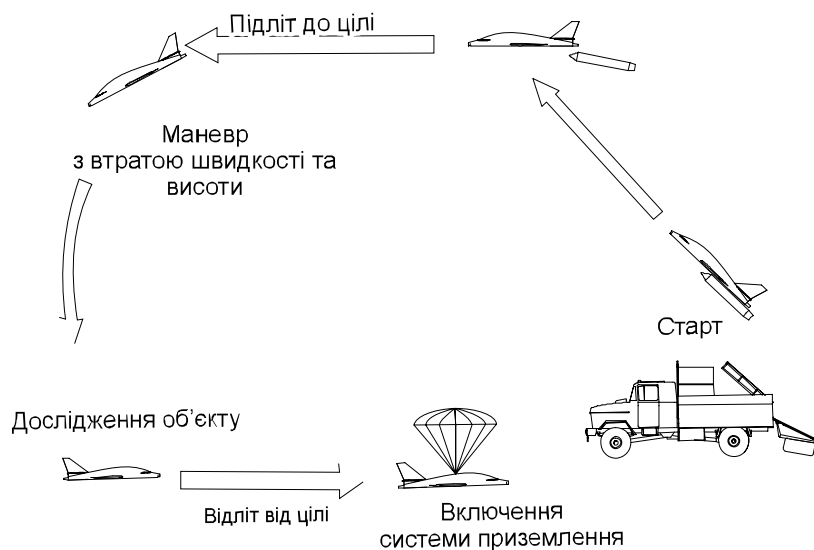


Рис. 1. Варіант застосування БПЛА

Досвід проведення різноманітних пошуково-рятувальних та технічно-розвідувальних операцій а також заходів спостереження (наприклад на замовлення МНС, митної або прикордонної служби) показав, що підвищення ефективності використання відповідних спеціалізованих підрозділів можна домогтися за рахунок застосування безпілотних літальних апаратів. При цьому комплекс безпілотної повітряної розвідки і спостереження здатен ефективно виконувати такі функції:

➤ проведення видової, оптоелектронної, у тому числі інфрачервоної (ІЧ) розвідки вдень та вночі;

- проведення цифрового картографічного фотографування місцевості;
- оперативної інформаційної підтримки й організації зв'язку з спеціалізованими підрозділами, що виконують завдання на місцевості;
- проведення фото-відео реєстрації подій та об'єктів на місцевості;
- уточнення характеру місцевості;
- виявлення наявності й характеру інженерного обладнання місцевості, райони руйнувань;
- виявлення шляхів та напрямків переміщення угруповань;

➤ визначення стану, організації охорони об'єктів різного призначення та інш.

Безсумнівні переваги БПЛА (відсутність пілотів, малогабаритність устаткування й малопотужність джерел енергоживлення ЛА та ін.) обумовили їх широке застосування й необхідність проведення наукових досліджень спрямованих на підвищення ефективності їх застосування у багатьох розвинених країнах світу. У розробці й проектуванні БПЛА беруть участь більше 20 країн. Так, наприклад, у США розроблені: БПЛА RO-1 Predator, RO-4 Global Hawk, STM-5B Sentry; у Великобританії - Phoenix; у Франції - 532 UL Cougar Mki; у ФРН - Brevet, Luna; у Росії - Ту 143 Рейс, Бджола-1Т, й т.д. Більше 25 країн широко використовують БПЛА для рішення різноманітних завдань.

Основна особливість функціонування БПЛА пов'язана з необхідністю одержання й обробки великого обсягу інформації в реальному часі, в умовах жорсткої часовий регламентації. Тому перспективні напрямки підвищення ефективності застосування комплексу повітряної розвідки і спостереження пов'язуються, у першу чергу із удосконаленням системи обробки інформації та управління (СОІУ), як наземної станції так й бортового обчислювального комплексу БПЛА.

Науково-дослідні роботи у цьому напрямі орієнтовані у першу чергу на розробку відповідного програмно-алгоритмічного забезпечення, що дозволяє забезпечити оперативну обробку даних у реальному часі, вимоги до зменшення габаритів та ваги бортового обчислювального комплексу, що дозволяє збільшити об'єм корисного навантаження та тривалість часу перебування у польоті БПЛА. Однак, виконання зазначених вимог потребує значного збільшення обчислювальної складності реалізованих алгоритмів обробки інформації, що може призвести до зниження надійності функціонування СОІУ БПЛА й до збільшення часу необхідного для рішення поставлених завдань, що істотно знижує загальну ефективність використання комплексу повітряної розвідки і спостереження.

Дані обставини спричиняють необхідність формулювання й вирішення суперечливої науково-технічної проблеми одночасного підвищення відмовостійкості функціонування БПЛА й продуктивності обробки інформації в реальному часі. Це у свою чергу призводить до необхідності рішення проблеми забезпечення потрібного рівня надійності системи обробки інформації та управління, яка по суті є основною ланкою комплексу повітряної розвідки і спостереження.

Мета роботи – розглянути та обґрунтувати доцільність створення системи обробки інформації та управління безпілотних літальних апаратів на основі використання непозиційних кодових структур модулярної системи числення.

Основна частина

Аналіз робіт, що пов'язані з дослідженням завдань автоматизації процесів одержання, обробки й зберігання інформації СОІУ розвідувальних комплексів на базі БПЛА, свідчить про істотне зростання обсягів інформації, що оброблюється у реальному часі (використання як процедури стиску дискретного двовимірного перетворення в базисі Хаара, зонально-граничної селекції й арифметичного кодування коефіцієнтів перетворення, при забезпеченні цілочисельності даних арифметичних операцій, реалізація методів арифметичного кодування та ін.).

У той же час необхідність переробки великих масивів інформації призводить до її можливого старіння або навіть втрати частини важливої інформації. Крім цього, великий обсяг інформації підлягає обробці переважно канал зв'язку "борт-земля", що знижує загальну ефективність використання БПЛА. У загальному плані для БПЛА характерно те, що надійність функціонування СОІУ тісно пов'язана з продуктивністю обробки інформації в реальному часі. Значимо, що обробка СОІУ візуальної інформації на борту БПЛА також пов'язана з низкою додаткових вимог до системи обробки інформації. Необхідність дотримання габаритно-вагових вимог до СОІУ БПЛА вступає в протиріччя з необхідністю обробляти й передавати в реальному часі великі обсяги інформації.

У цьому випадку пропускну здатність існуючих каналів зв'язку не завжди може забезпечити якісну передачу з борту БПЛА візуальної інформації в реальному часі, без зниження продуктивності обробки візуальної інформації.

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

Аналіз методів підвищення відмовостійкості СОІУ БПЛА без зниження користувальницької продуктивності обробки інформації, заснованих на введенні різних видів надмірності (структурної, інформаційної, часовою і пр.) в ПСЧ, показав, що в межах позиційних систем числення цього домогтися практично неможливо без погіршення тактико-технічних характеристик БПЛА.

Результати проведених досліджень відомих і перспективних методів підвищення відмовостійкості функціонування систем обробки інформації БПЛА, що засновані на використанні позиційних систем числення, показали, що вони не завжди задовольняють

зростаючим вимогам по підвищенню надійності засобів обробки інформації реального часу.

Також необхідно відзначити, що сучасні СОІУ, які створені на основі використання ПСЧ, удосконалюються в основному за рахунок мініатюризації своєї елементної бази і створення багатопроцесорних обчислювальних систем (SMP – системи). Перехід до надвеликих інтегральних схем (НВІС) дозволив поліпшити основні характеристики СОІУ і в першу чергу продуктивність, надійність, габарити, споживану потужність. Проте мініатюризація елементної бази на основі застосування НВІС практично досягла межі. Тому логічно припустити, що подальший розвиток підсистем обробки інформації безпосередньо пов'язаний з переходом до паралельних обчислень, що відкривають нові можливості в області вдосконалення і розвитку СОІУ.

Концепція паралелізму давно привертала увагу фахівців своїми потенційними можливостями підвищення продуктивності і надійності СОІУ. Теоретичні дослідження, що проводяться в цьому напрямі, і експериментальні розробки дозволили обґрунтувати і сформулювати основні принципи побудови пристроїв паралельної обробки інформації лежачих в основі промислових зразків СОІУ, що випускалися. Можна виділити наступні основні принципи побудови паралельних підсистем обробки інформації СОІУ:

- модульність побудови;
- здатність системи до адаптації, до самостійної настройки і самоорганізації;
- забезпечення необхідного рівня відмовостійкості, що виявляється в здатності СОІУ зберігати працездатний стан при виникненні відмов за рахунок реконфігурації і виконання обмінних операцій.

Розпаралелювання процесу обробки інформації з погляду технічної реалізації може здійснюватися по-різному. В принципі розпаралелювання може бути здійснене на декількох рівнях.

На рівні побудови фізичних і математичних моделей об'єктів або процесів, що дозволяють організувати паралельну обробку інформації:

- на рівні методу рішення;
- на рівні алгоритмів відомих методів;
- на рівні програм;
- на рівні арифметичних операцій;
- на рівні обмінів інформацією або введення і виведення даних в СОІУ.

Одним з найбільш перспективних напрямів в розробці високошвидкісних систем обробки інформації є перехід до розпаралелювання на рівні мікрооперацій.

Аналіз стану і перспектив розвитку СОІУ реального часу, специфічності вирішуваних ними задач, дозволяє визначити одну з основних тенденцій розвитку СОІУ – можливість збільшення продуктивності сучасних систем обробки інформації і управління, що базу-

ються на класичній архітектурі послідовного виконання операцій, без погіршення надійнісних характеристик, практично досягла свого граничного значення.

У той же час, результати досліджень в напрямку підвищення надійності систем обробки інформації та управління комплексів БПЛА проведених вітчизняними і зарубіжними вченими показали, що використання в якості системи числення в СОІУ непозиційної модулярної системи числення (МСЧ), може позитивно вирішити науково-технічну задачу, що розглядається, з суттєво меншою, ніж в ПСЧ, додатково введеною кількістю устаткування. Дана обставина дає можливість істотно підвищити не тільки надійність СОІУ, але і поліпшити деякі важливі льотно-технічні характеристики БПЛА.

Основними резервами підвищення продуктивності і відмовостійкості СОІУ є застосування принципів розпаралелювання на всіх рівнях, а зокрема на основі застосування МСЧ. При цьому розробка перспективних СОІУ БПЛА реального часу припускає в першу чергу облік особливостей цієї наочної області, в якій використовуватимуться ці системи.

В зв'язку з цим доцільно відзначити взаємозв'язок і вплив на процес функціонування систем обробки інформації наступних основних властивостей МСЧ.

1. Властивість малоразрядності лишків МСЧ дозволяє істотно підвищити надійність і швидкодію виконання модульних операцій, як за рахунок малоразрядності трактів обробки інформації (ТОІ), так і за рахунок можливості ефективного застосування, на відміну від ПСЧ, табличної арифметики. Коли операції складання, віднімання і множення виконуються практично за один такт, що значно підвищує швидкодію виконання модульних операцій. Дана властивість дозволяє використовувати безліч різних принципів реалізації модульних операцій, що значно розширює перелік варіантів системотехнічних рішень, що використовуються при створенні СОІУ.

2. Властивість незалежності залишків МСЧ дозволяє створювати СОІУ у вигляді набору незалежних, паралельно працюючих ТОІ (окремих "малих" ТОІ, що функціонують по своєму певному модулю m_i в МСЧ, незалежно один від одного). Таким чином, СОІУ, що функціонує в МСЧ володіє модульністю конструкції, яка дозволяє здійснювати технічне обслуговування і усунення несправностей, не припиняючи процесу обробки інформації, при цьому для проведення ремонту і профілактичного обслуговування не потрібний висококваліфікований персонал. Час реалізації модульних операцій в СОІУ визначається часом реалізації операції в ТОІ по найбільшому лишку m_i МСЧ.

Помилки, що виникають за рахунок відмов (збоїв) схем двійкових розрядів в довільному ТОІ, не «розмножуються» в сусідні тракти (залишаються в межах одного лишку), що дає можливість підвищити достовірність обробки інформації в МСЧ. При

цьому, не важливо чи мала місце одноразова або багатократна помилка або пачка помилок довжиною не більш $[\log_2(m_i-1)]+1$ двійкових розрядів. Помилка, що виникла в ТОІ по основі m_i , або зберігається в цьому тракті до кінця обчислень, або самоусувається в процесі подальших обчислень (наприклад, якщо після виникнення збоїв в залишку a_i проміжний результат помножить на число, що має нульову цифру по основі m_i).

Таким чином, дана властивість МСЧ дозволяє реалізувати унікальну систему контролю і виправлення помилок в динаміці процесу обробки інформації при введенні мінімальної кодової надмірності без зупинки обчислень, що істотно для систем, що функціонують в реальному часі, наприклад, введенням альтернативної сукупності чисел. Детальне дослідження даної властивості дозволило зробити висновок про те, що пристрої які функціонують в МСЧ можна віднести до легко контрольованих об'єктів, що легко діагностуються, а це припускає можливість розробки ефективних методів контролю, діагностики і виправлення помилок інформації в СОІУ.

3. Властивість рівноправності лишків полягає в наступному. Будь-який лишок a_i числа $A=(a_1, a_2, \dots, a_n)$ несе інформацію про все початкове число, що дає можливість програмними методами замінити ТОІ, що відмовив, по модулю m_i , на працездатний тракт по модулю m_j ($m_i < m_j$) не перериваючи рішення задачі. Таким чином, СОІУ що функціонує в МСЧ, яка має, наприклад, дві контрольні основи зберігає свою працездатність при відмові будь-яких двох ТОІ. При виникненні відмов в третьому або четвертому трактах СОІУ продовжує виконувати програму обробки інформації, при деякому зниженні точності обчислень, тобто СОІУ володіє властивістю поступової деградації із збереженням основних технічних характеристик. Дана властивість визначає характерну особливість функціонування СОІУ у МСЧ – один і той же пристрій обробки інформації (ПОІ), залежно від вимог, що пред'являються, може мати різну надійність, точність обчислення і продуктивність в динаміці процесу обробки інформації, тобто в процесі рішення задачі можна варіювати надійністю, точністю обчислень і швидкодією.

Час, необхідний для виконання немодульних операцій в МСЧ, пропорційний числу інформаційних основ, тобто числу основ, що визначають точність обчислень. Перехід до обчислень з меншою точністю дозволяє підвищити швидкість СОІУ. Якщо впорядкована МСЧ розширюється шляхом додавання l основ, кожне з яких більше попередньої основи початкової МСЧ, то мінімальна кодова відстань d_{\min} автоматично збільшується на величину l . Цього ж можна добитися, зменшуючи число інформаційних основ, тобто переходячи до обчислень з меншою точністю. Отже, між можливостями кодів, що коре-

ктують, в МСЧ і точністю обчислень існує зворот-но-пропорційна залежність.

На рис. 2 показана модель інформаційної технології, що функціонує в МСЧ, яка реалізується підсистемою обробки інформації СОІУ.

Відповідно до початкового завдання $A = \{a_1, a_2, \dots, a_X\}$, що представляє набір процедур що реалізуються підсистемою обробки інформації ІУС, використовуючи сукупність принципів, моделей, методів і алгоритмів $F = [f_1, f_2, \dots, f_M]$ реалізації позиційних і не позиційних операцій, операцій контролю, діагностики і виправлення помилок в МСЧ, відбувається переробка первинної інформації $x(t)$ з метою отримання інформаційного продукту $X(k)$.

При цьому відповідно до програми функціонування ІУС, по керуючих сигналах $u(t)$ здійснюється організація обмінних операцій між точністю й достовірністю виконання процесів обробки інформації, з використанням сукупності моделей, методів і алгоритмів $\hat{U} = (\hat{u}_1, \dots, \hat{u}_n)$ або можливих методів реконфігурації $o_a \in O$ структури СОІУ.

При виникненні помилок інформації, по сигналах корекції помилок $z(t)$, здійснюється корекція інформації $X(k)$. В результаті даної процедури отримуємо відкоректований інформаційний продукт $X'(k)$. Якщо виявлені апаратні відмови ПОІ, відповідно до заданої програми, з використанням безлічі методів і алгоритмів $O = (o_1, \dots, o_r)$ здійснюється реконфігурація структури СОІУ в динаміці процесу обробки інформації.

Отримані результати рішення задачі оптимального резервування в МСЧ для часу польоту БПЛА рівного $t < 40$ годин показали, що використання кодів в модулярній арифметиці дозволяє істотно (у порівнянні з позиційною двійковою троїрованою мажоритарною системою обробки інформації) підвищити відмовостійкість (за ймовірністю безвідмовної роботи $P(t)$) та при значно меншій додатково введеній кількості обладнання, що забезпечує системи обробки інформації властивістю відмовостійкості.

Так, наприклад, для забезпечення деякого заданого рівня $P_{\text{зад}}(t) = 0,9999$ (для $t = 1$ год) надійності однобайтової ($l = 1$) системи обробки інформації БПЛА в модулярній арифметиці необхідно 20 умовних одиниць кількості обладнання СОІУ, а для позиційної двійкової троїрованої мажоритарної системи обробки інформації - 24 одиниці. У цьому випадку на 15% скорочується кількість необхідного для підвищення надійності додатково введеного в систему обробки інформації обладнання. Ця обставина дає можливість покращити льотно-технічні характеристики БПЛА. При цьому $P_{\text{МСЧ}}(t) = 0,9999997 > P_{\text{ПСЧ}}(t) = 0,9999998 > P_{\text{зад}}(t) = 0,9999$. В даному розділі показано, що з ростом значення $l = 2, 3$ і 4 ефективність використання модулярної арифметики зростає.

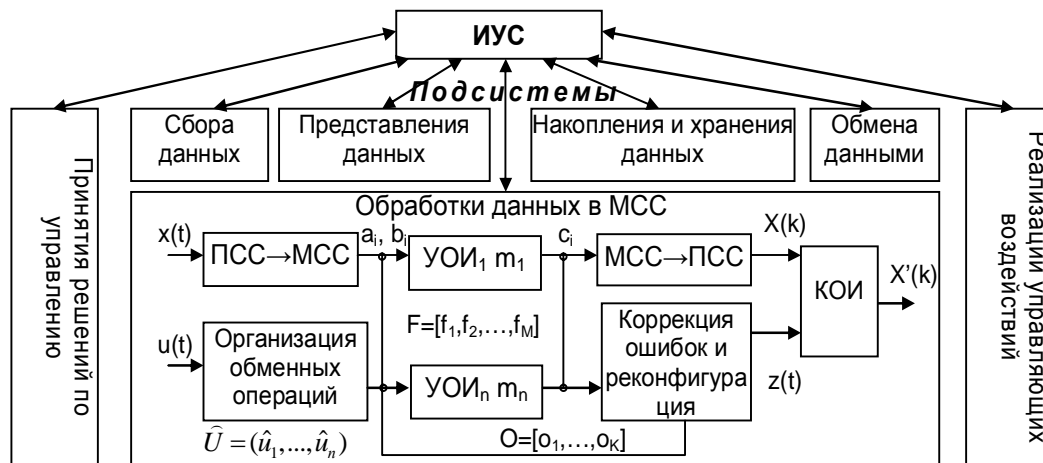


Рис. 2. Модель інформаційної технології, яка реалізується підсистемою обробки інформації СОУ, що функціонує в МСЧ

Висновки

1. Результати проведених досліджень методів підвищення відмовостійкості систем обробки інформації реального часу з урахуванням вимог по користувальницької продуктивності і по кількості додатково введеного обладнання показали, що існуючі і можливі перспективні шляхи вирішення даної науково-технічної проблеми, що базуються в основному на використанні двійкових позиційних систем числення, не можуть вирішити це завдання без істотного погіршення техніко-економічних та інших характеристик БПЛА.

2. Проведений в роботі аналіз впливу використовуваної системи числення на основні техніко-економічні та інші важливі характеристики СОУ БПЛА показав, що з точки зору забезпечення необхідних значень показників надійності (без зниження продуктивності обробки інформації) найбільш ефективним шляхом підвищення відмовостійкості є застосування непоозиційних кодових структур в модулярній арифметиці.

3. Результати проведених в [1 – 7] теоретичних досліджень, а також наведені в роботі результати виконання завдання оптимального резервування в МА показали, що використання модулярної арифметики істотно впливає на архітектуру і принципи функціонування системи обробки інформації БПЛА. У роботі показано, що застосування непоозиційних кодових структур дає можливість значно підвищити надійність при значно меншій кількості, ніж в позиційних системах числення, додатково введеного надлишкового обладнання, тобто вторинної надмірності. Це має особливе значення для бортових систем обробки інформації літальних апаратів.

Список літератури

1. Методы многоверсионной обработки информации в модулярной арифметике: моногр. / [В.И. Барсов, В.А. Краснобаев, А.А. Сиора, И.В. Авдеев]. – Х.: МОН, УИПА, 2008. – 460 с.
2. Модели и методы повышения отказоустойчивости и производительности управляющих вычислительных комплексов специализированных систем управления реального времени на основе применения непоозиционных кодовых структур модулярной арифметики: моногр. / [В.И. Барсов, Л.С. Сорока, В.А. Краснобаев, Хери Али Абдуллах]. – Х.: МОН, УИПА, 2008. – 147 с.
3. Барсов В.И. Методология параллельной обработки информации в модулярной системе счисления: моногр. / В.И. Барсов, Л.С. Сорока, В.А. Краснобаев – Х.: МОН, УИПА, 2009.- 288 -с.
4. Барсов В.И. Концепция створення систем обробки інформації безпілотних літальних апаратів на основі використання модулярної арифметики / В.И. Барсов // *Електроінформ.* – Львів, 2008. – № 4. – С. 9-11.
5. Система обработки информации и управления АСУ ТП на основе применения кодов в модулярной арифметике: моногр. / [В.И. Барсов, В.А. Краснобаев, И.А. Фурман, и др.]. – Х.: МОН, УИПА, 2009. – 159 с.
6. Модели и методы параллельной реализации логических операций в АСУ ТП: моногр. / [В.И. Барсов, В.А. Краснобаев, И.А. Фурман, и др.]. – Х.: МОН, УИПА, 2009. - 138 с.
7. Барсов В.И. Концепция создания нейрокомпьютеров систем управления на основе использования модулярной арифметики / В.И. Барсов, В.А. Краснобаев, Khery Ali Abdullah, O.V. Zefirova // *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. Науково – технічний журнал.* – Х.: НАКУ „ХАІ”, 2007. – Вип. 6(25). – С. 40-54.

Надійшла до редколегії 12.11. 2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Ілюшко, Національний технічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МОДУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ

В.И. Барсов, Е.А. Согник, В.О. Жадан, В.А. Краснобаев

Рассмотрена целесообразность создания системы обработки информации и управления беспилотными летательными аппаратами на основе использования непоозиционных кодовых структур модулярной системы счисления. Предложенный подход позволяет существенно повысить, надежность и живучесть функционирования системы обра-

ботки информации и управления беспилотных летательных аппаратов без снижения производительности обработки информации в реальном времени.

Ключевые слова: системы обработки информации и управления, беспилотный летательный аппарат, модулярная система счисления, надежность, производительность.

**GREATER EFFICIENCY IN THE INFORMATION HANDLING SYSTEM MANAGEMENT OF DRONES
ON THE BASIS OF THE MODULAR SYSTEM CALCULATION**

V.I. Barsov, E.A. Sotnik, V.O. Zhadan, V.A. Krasnobaev

Considered the feasibility of establishing a system of information processing and management of unmanned aerial aparadents through the use of modular structures non-pozition code number system. The proposed approach can significantly improve, reliability and survivability of the system of information processing and management of unmanned aerial vehicles without compromising performance data processing in real time.

Keywords: information processing and management, drone, modular number system, reliability and performance.