

УДК 518.83

*Л. В. ГОЛОВКІНА, О. Б. ЗАЙЧЕНКО***РОЗПОДІЛ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ РЕСУРСІВ В МОДУЛЬНІЙ АВІОНІЦІ**

Розглянуто розподіл обчислювальних ресурсів між модулями крейти в авіоніці. В інтегрованій модульній авіоніці об'єднуються кілька федеративних систем за обчислювальними ресурсами, а інші частини цих систем (датчики, індикатори, пульти, інтегрований комплект датчиків повітряних сигналів і положення в просторі, радіозасоби зв'язку, впізнання, навігації і посадки, виконавчі пристрої) залишаються за межами обчислювального ядра. Для виконання своїх функцій крейти комплектуються модулями різних типів. Складовими інтегральної модульної авіоніки є обчислювальний модуль, модуль файл-сервера, модуль мережевого контролера, модуль графічної обробки, модуль концентрації сигналів, модуль живлення, модуль підтримки нормальних умов. Невід'ємна властивість інтегрованої модульної авіоніки – модульний склад на основі обмеженого набору апаратних модулів. Складання модулів в крейт зазвичай має за мету підтримання як найбільш програмних додатків, а самі принципи складання модулів у крейт повторюють принципи складання класичних обчислювальних машин. Кожний процесор модульної авіоніки може виконати функції декількох традиційних федеративних систем, а загальна пам'ять та ввід-вивід для усіх функцій повинен забезпечити оптимальне використання апаратних ресурсів. Методи дослідження – методи, що застосовуються в теорії нестратегічних коаліційних ігор. Для рішення задачі розподілу обчислювальних ресурсів в модульній авіоніці використовуються відомі методи рішень в кооперативній моделі гравців, що діють спільно, прагнучи максимізувати сумарний вигравш. Для розв'язання конфлікту, який виник на етапі поділу отриманого сумарного вигравшу визначено С-ядро та застосовано вектор Шеплі.

Ключові слова: модульна авіоніка, крейт, розподіл обчислювальних ресурсів, С-ядро, вектор Шеплі, кооперативна модель гравців

*Л.В. ГОЛОВКІНА, О.Б. ЗАЙЧЕНКО***РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В МОДУЛЬНОЙ АВИОНИКЕ**

Рассмотрены распределение вычислительных ресурсов между модулями крейти в авионике. В интегрированной модульной авионике объединяются несколько федеративных систем по вычислительным ресурсам, а другие части этих систем (датчики, индикаторы, пульти, интегрированный комплект датчиков воздушных сигналов и положения в пространстве, радиосредства связи, опознавания, навигации и посадки, исполнительные устройства) остаются за пределами вычислительного ядра. Для выполнения своих функций крейти комплектуются модулями различных типов. Составляющими интегральной модульной авионики является вычислительный модуль, модуль файл-сервера, модуль сетевого контроллера, модуль графической обработки, модуль концентрации сигналов, модуль питания, модуль поддержания нормальных условий. Неотъемлемое свойство интегрированной модульной авионики – модульный состав на основе ограниченного набора апаратных модулей. Составление модулей в крейт обычно имеет целью поддержания как наиболее приложений, а сами принципы составления модулей в крейт повторяют принципы составления классических вычислительных машин. Каждый процессор модульной авионики может выполнить функции нескольких традиционных федеративных систем, а общая память и ввід-вывод для всех функций должен обеспечить оптимальное использование апаратных ресурсов. Методы исследования – методы, использующиеся в теории стратегических коалиционных игр. Для решения задачи распределения вычислительных ресурсов в модульной авионике используются известные методы решений в кооперативной модели игроков, действующих совместно, стремясь максимизировать суммарный выигрыш. Для разрешения конфликта, который возник на этапе разделения полученного суммарного выигрыша определено С-ядро и применен вектор Шепли.

Ключевые слова: модульная авионика, крейт, распределение вычислительных ресурсов, С-ядро, вектор Шепли, кооперативная модель игроков

*L. V. GOLOVKINA, O. B. ZAICHENKO***MODULAR AVIONICS COMPUTING RESOURCES DISTRIBUTION**

The distribution of computational resources among crate modules in avionics is considered. In an integrated modular avionics, several federated systems for computational resources are combined, and other parts of these systems (sensors, indicators, consoles, an integrated set of sensors for air signals and position in space, radio communications, identification, navigation and landing, executive devices) remain outside the computational core. To perform its functions, the crates are equipped with modules of various types. The components of the integrated modular avionics are the computing module, the file server module, the network controller module, the graphics processing module, the signal concentration module, the power module, and the module for maintaining normal conditions. An integral feature of integrated modular avionics is a modular composition based on a limited set of hardware modules. The compilation of modules into a crate is usually aimed at maintaining as the applications, while the principles of compiling modules into a crate repeat the principles of compiling classical computers. Each modular avionics processor can perform the functions of several traditional federated systems, and the shared memory and I/O for all functions should ensure optimal use of hardware resources. Research methods – methods used in the theory of strategic coalition games. To solve the problem of allocating of computing resources in modular aviation, known solutions methods are used in the cooperative model of players acting together to maximize the total gain. To resolve the conflict that arose at the stage of the division of the obtained total winnings, the C-core was determined and the Shapley vector was applied.

Key words: modular avionics, crate, distribution of computing resources, C-core, Shapley vector, cooperative player model

Вступ. Модульна авіоніка з'явилась з 1990-х років і відрізняється високим ступенем інтергації систем і використанням загальних ресурсів. Комплекс функціональних систем з власними обчислювачами та бортовою центральною обчислювальною машиною зараз будується на основі єдиної загальної апаратної платформи. Програмні додатки стали виконувати функції систем і поділяти загальні обчислювальні ресурси. Така інтегрована модульна авіоніка

складається з окремих модулів, які взаємодіють один з одним по високошвидкісній мережі передачі даних. Для стиківки з нецифровими датчиками та виконуваними пристроями використовуються концентратори даних, які взаємодіють зі старими системи, що не переробляється під інтегровану модульну авіоніку, а встановлюється на борт літака в традиційному вигляді. Модульний склад на основі обмеженого набору апаратних модулів повинен

© Л. В. Головкина, О. Б. Зайченко, 2019

визначати ті обчислювальні ресурси, які кожен модуль надає для виконання своїх функцій.

Аналіз основних досягнень і літератури. В інтегрованій модульній авіоніці склад модулів уніфікований. По своїм розмірами модулі менше звичних електронних блоків і розміщуються в загальному корпусі – крейті. Крейт є платформою для установки модулів з інтерфейсами для їхньої взаємодії і забезпечує нормальні умови роботи: електроживлення, температуру, захист від електромагнітних завад тощо. Поєднання різних модулів в одному крейті, використання і справедливий розподіл їх обчислювальних ресурсів є дуже цікавою задачею, що потребує додаткових досліджень в цьому напрямі.

Для виконання своїх функцій крейти комплектуються модулями різних типів. Як типові, але з різним функціональним призначенням можуть застосовуватись: обчислювальний модуль, модуль файл-сервера, модуль графічної обробки, модуль концентрації сигналів, модуль мережевого контролера, модуль живлення, модуль підтримки нормальних умов. В складі інтегрованої модульної авіоніки може бути один або де-кілька крейтів, що вміщують відразу усі модулі, або крейти, що містять не всі типові модулі, але, як правило, повинно бути мінімум два, що дозволяє поліпшити використання обчислювальних ресурсів обох крейтів і розподіляти між ними завдання, і також забезпечити надійність роботи на випадок відмов.

В інтегрованій модульній авіоніці поєднуються кілька федеративних систем за обчислювальними ресурсами, а інші частини цих систем (датчики, індикатори, пульти, інтегрований комплект датчиків повітряних сигналів і положення в просторі, радіозасоби зв'язку, впізнання, навігації і посадки, виконавчі пристрої) залишаються за межами обчислювального ядра. Загальна апаратна платформа для обчислювальних ресурсів у вигляді крейту забезпечує основні функції авіоніки. Інша невід'ємна якість інтегрованої модульної авіоніки – модульний склад на основі обмеженого набору апаратних модулів. Та складання модулів в крейт зазвичай має за мету підтримання як найбільш програмних додатків, а самі принципи складання модулів у крейт повторюють принципи складання класичних обчислювальних машин. Кожний процесор модульної авіоніки може виконати функції декількох традиційних федеративних систем, а загальна пам'ять та ввід-вивід для усіх функцій повинен забезпечити оптимальне використання апаратних ресурсів.

Крейт конструктивно може бути виконаним відкритим з переднього боку, що забезпечує вільний доступ до модулів для заміни їх в умовах експлуатації. Інтегруються зазвичай модулі, що забезпечують ресурсоємні обчислювальні функції. Їх склад визначається вимогами конкретного застосування.

Існуючі складові інтегрованої модульної авіоніки. Обчислювальний модуль містить процесор, пам'ять і здійснює обробку інформації. Цей модуль

можна вважати повноцінною бортовою обчислювальною машиною, але без власного електроживлення. Таких модулів встановлюють в крейті декілька. Кожен з них здатний виконувати в режимі поділу часу кілька програмних додатків.

Модуль файл-сервера виконує функцію електронної бібліотеки, до якої можуть звертатися інші модулі.

Модуль мережевого контролера служить для зв'язку крейта з локальною мережею комплексу. Важливо, яка буде реалізація топології для даного модуля, його обчислювальні ресурси слід вважати пристосованими до цієї задачі, забезпечуючи подвійний зв'язок компонентів мережі. Одночасно через модуль можуть обмінюватися даними кілька пар модулів.

Модуль графічної обробки замінює традиційний генератор символів. Він отримує інформацію для відображення, готує і передає в індикатори підготовлене зображення. Отримане від сенсора зображення масштабується, на нього накладається символна інформація і підготовлене для індикації зображення передається в індикатор.

Модуль концентрації сигналів служить для прийому тієї інформації від літакових систем і датчиків, яка надходить в комплекс з бортових інтерфейсів різних видів. Модуль перетворює цю інформацію, упакує її і передає в мережу комплексу для використання іншими модулями. Але модуль служить не тільки концентратором сигналів, він є шлюзом між сучасною модульною авіонікою та нецифровою частиною її. Модуль може розташовуватися і поза основного крейта – ближче до датчиків сигналів, і виконуватися у вигляді окремого блоку.

Модуль живлення перетворює первинну напругу бортмережі в номінали напруг, що необхідні для живлення інших модулів крейта.

Модуль підтримки нормальних умов забезпечує охолодження або підігрів крейта.

Мета роботи. Крім типових модулів, в крейт можуть вставлятися модулі, що виконують специфічні функції, які недоцільно або неможливо доручити типовим модулям. Тенденція до змін в авіоніці, що поєднує «крейтовий» підхід та «розподілену» інтегровану модульну авіоніку, для якої контейнерами для модулів можуть бути будь-які електронні блоки, їхнє розміщення в різних місцях літака не критичне, а всі модулі функціонують точно також, як би вони знаходилися в єдиному крейті за рахунок високошвидкісної мережі вимагає вивчення можливостей розподілу обчислювальних ресурсів не тільки самих модулів, а з прив'язкою до інтерфейсів. Для спрощення, будемо вважати поєднання різних модулів в одному крейті. Розподіл їх обчислювальних ресурсів є метою даної роботи.

Постановка задачі. Для спрощення підходів до розрахунків рішення задачі розподілу обчислювальних ресурсів в модульній авіоніці визначимо, наприклад, що крейт складатимуть три типові модуля: модуль графічної обробки (1), модуль

мережевого контролера (2), обчислювальний модуль (3). Живленням і нормальними умовами функціонування вони забезпечені за замовчуванням, окремо кожен модуль не експлуатується. Кожен з модулів має свої обчислювальні ресурси, але вони можуть працювати або в парі, або всі разом, тобто: є набір з працездатних поєднань 1-2 (600 Мбіт/с), 1-3 (800 Мбіт/с), 2-3 (1000 Мбіт/с), та 1-2-3 (1350 Мбіт/с). Для рішень такої задачі доцільно скористатися відомими методами рішень в кооперативній моделі гравців, що діють спільно, прагнучи максимізувати сумарний виграш. Конфлікт може виникнути тільки на етапі поділу отриманого сумарного виграшу. Саме для справедливого розподілу можна застосувати вектор Шеплі.

Методи дослідження. При розгляді стратегічних ігор передбачається, що кожен гравець діє ізольовано від інших, але в загальному випадку така поведінка не завжди вигідна. На практиці в типово ігрових ситуаціях учасники заключають між собою угоди, утворюють союзи, коаліції. Якщо учасники по умові гри в змозі домовитися один з одним, то рішення – тобто виграші гравців, не залежатиме від обраних ними стратегій, а тільки від способу ділення загального виграшу. При цьому для них важливо ще і те, наскільки вигідно їм вступати в таку коаліцію. Коли гравці об'єднані в коаліцію, природно розглядати їх загальний виграш, який може бути одержаний в грі. Зрозуміло, гравців цікавить максимально гарантований виграш, який і є мірою корисності їхнього об'єднання. Саме цей підхід можна реалізувати, якщо розглядати задачу поєднання модулів у крейті з точки зору теорії нестратегічних коаліційних ігор, і підтвердити необхідність їхнього поєднання для забезпечення максимально можливого виграшу тобто розподілу їх обчислювальних ресурсів.

Характеристичною функцією $v(k)$ називається найбільший виграш, що упевнено одержується коаліцією k гравців I . Ллойда Шеплі прийнято вважати основоположником теорії кооперативних ігор за його дослідження способів справедливого розподілу.

Характеристична функція $v(k)$ кожної коаліції ставить у відповідність спільні обчислювальні ресурси її членів. Характеристична функція в принципі може бути негативною (розподіл витрат), але в нашому випадку вона позитивна; порожня коаліція нічого не отримує і нічого не повинна, тобто $v(\emptyset) = 0$.

Перш за все, кожен гравець вступає в коаліцію тільки в тому випадку, якщо це, принаймні, не зменшує його виграш, якщо:

$$x_i \geq v(i) \quad \text{егалітарний підхід;}$$

$$\sum x_i = v(i) \quad \text{утилітарний підхід.}$$

Приведені умови носять назви індивідуальної і колективної раціональності, оскільки дозволяють одержати максимальну вигоду і використовувати можливості поєднання повністю.

Діленням в умовах характеристичної функції v називається вектор $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, що задовольняє умовам індивідуальної і колективної раціональності.

Безліч ділень дає набір можливих рішень, оскільки ділення відповідають умовам індивідуальної і колективної раціональності. Але ділень багато і вони різні. Перевагу якому з них віддати? Це завдання векторної оптимізації, а принцип оптимізації може бути найрізноманітніший.

У достатньо загальній моделі ухвалення рішення головним є прогноз дій партнерів (модулів), оскільки якщо він є, то інше – порівняно просте завдання максимізації вигоди учасника (модуля) в умовах ризику.

Тому оптимальність в теорії ігор і розуміється як очікуване, можливе. Оптимальними результатами називаються результати, можливі в умовах допустимих дій гравців і коаліцій, що здійснюються згідно їх інтересів.

Безліч ділень в кооперативній грі, кожне з яких не домінується ніякими іншими діленнями, називається С-ядром цієї гри.

Для того, щоб ділення x належало С-ядру кооперативної гри з характеристичною функцією v , необхідне і досить, щоб для будь-якої коаліції k виконувалася нерівність:

$$\sum_{i \in k} x_i \geq v(k).$$

Неважко бачити, що 0-1 редуцирована форма істотної кооперативної гри дозволяє по характеристичній функції відразу ж судити про ефективність об'єднання в коаліцію:

$$v^*(k) = (v(k) - \sum_{i \in k} v(i)) / (v(I) - \sum_{i \in I} v(i)), \quad (1)$$

Визначимо вектор Шеплі для цієї гри. В нередуциованій формі n (кількість поєднаних модулів $n=3$), коаліції можуть бути із одного, двох та трьох гравців.

$$\Phi_i = \sum_{i \in k \subset I} \frac{(n - |k|)! (|k| - 1)!}{n!} (v(k) - v(k \setminus i)). \quad (2)$$

Результати чисельного моделювання. Розглянемо можливі поєднання («гру») трьох модулів:

$$\begin{aligned} v(\emptyset) &= v(1) = v(2) = v(3) = 0. \\ v(1,2,3) &= 1350. \\ v(1,2) &= 600. \\ v(1,3) &= 800. \\ v(2,3) &= 1000. \end{aligned}$$

Ділення $x = (x_1, x_2, x_3)$ належить до С-ядра тільки тоді, коли виконується наступна система:

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 + x_3 &= 1350. \\ x_1 + x_2 &\geq 600. \\ x_1 + x_3 &\geq 800. \\ x_2 + x_3 &\geq 1000. \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 &\geq 0. \end{aligned}$$

Отримаємо еквівалентну систему умов.

$$x_1 + x_2 + x_3 = 1350.$$

$$0 \leq x_3 \leq 750.$$

$$0 \leq x_2 \leq 550.$$

$$0 \leq x_1 \leq 350.$$

На рис. 1 С-ядро в даній грі геометрично зображено як перетин площини $x_1 + x_2 + x_3 = 1350$ та опуклого паралелепіпеду $0 \leq x_1 \leq 350$, $0 \leq x_2 \leq 550$, $0 \leq x_3 \leq 750$.

С-ядро представляє трикутник ABC з координатами вершин:

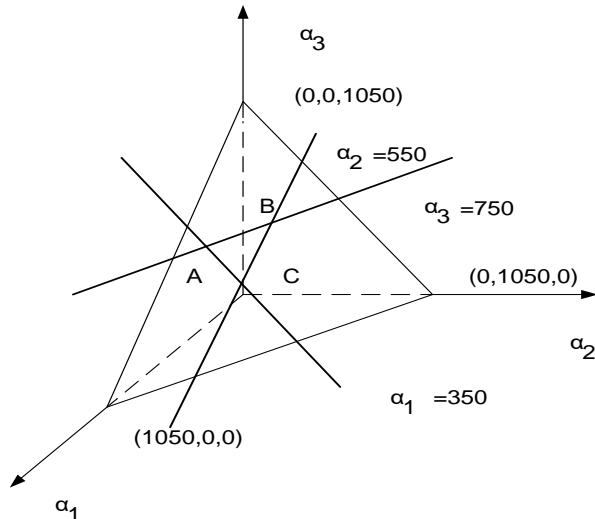


Рис. 1 – С-ядро

A(350,250,750); B(50,550,750); C(350, 550, 450). Ділення (250,450,650) як середнє арифметичне межових точок є справедливим компромісом всередині С-ядра, тому, що кожна двухмодульна «коаліція» отримує однаковий додатковий виграш в 100 (Мбіт/с).

Ефективність об'єднання в коаліцію згідно з виразом (1):

$$v'(1,2) = 0,51.$$

$$v'(1,3) = 0,66.$$

$$v'(2,3) = 0,81.$$

$$v'(1,2,3) = 1$$

Визначимо вектор Шеплі за формулою (2):

$$\Phi_1 = (3-3)! (1350 - 1000) / 3! + 1! 1! [(600 - 0) + (800 - 0)] / 3! = 350;$$

$$\Phi_2 = 450;$$

$$\Phi_3 = 550.$$

Можна бачити, що, $\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = 1350$, тобто умова колективної раціональності виконується. З іншого боку: $\Phi_1 = 350 > v(1) = 0$; $\Phi_2 = 450 > v(2) = 0$; $\Phi_3 = 550 > v(3) = 0$, умова індивідуальної раціональності виконується.

Висновки. Поєднання різних модулів в одному крейті, розподіл їх обчислювальних ресурсів можна реалізувати, якщо розглядати цю задачу як рішення задачі з точки зору теорії нестратегічних коаліційних ігор. Для забезпечення максимально можливого виграшу тобто розподілу їх обчислювальних ресурсів підтверджена необхідність їхнього поєднання як показано в наведеному прикладі.

Список літератури

1. Родин В. А. Теория принятия решений Воронеж: Воронежский институт МВД России. 2012. – 413 с.
2. Данилов В. И. Лекции по теории игр. М.: Российская экономическая школа, 2002. – 140 с.
3. Печерский С. Л., Беляева А. А. Теория игр для экономистов. Вводный курс: учебное пособие. СПб.: Изд-во Европ. Ун-та в С.-Петербурге, 2001. – 342 с.
4. Доценко С. И. Вектор Шепли как способ справедливого распределения *Журнал обчислювальної та прикладної математики*. 2014. №. 3. С. 111–122.

References (transliterated)

1. Rodin V. A. Teoriya prinyatiya resheniy [The decision theory]. Voronezh: Voronezhskiy institut MVD Rossii. 2012. – 413 p.
2. Danilov V. I. Lektsii po teorii igr [The game theory lecture]. Moscow: Rossiyskaya ekonomicheskaya shkola, 2002. – 140 p.
3. Pecherskiy S. L., Belyayeva A. A. Teoriya igr dlya ekonomistov Vvodnyy kurs: uchebnoye posobiye [The game theory for economists. Introduction course]. SPb.: Izd-vo Yevrop. Un-ta v S.-Peterburge, 2001. – 342 p.
4. Dotsenko S. I. Vektor Shepli kak sposob spravedlivogo raspredeleniya [Shaple vector as method of fair resources distribution] *Zhurnal obchislyuval'noi ta prikladnoi matematiki [The computing and applied mathematics magazine]*. – 2014. – No 3. – P. 111–122.

Надійшла (received) 06.06.19

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Головкіна Людмила Вячеславівна (Golovkina Lyudmila Vyacheslavovna) – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри ПЕЕА, м.Харків, Україна, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5929-3256>, e-mail: liudmyla.holovkina@nure.ua

Зайченко Ольга Борисівна (Zaichenko Olga Borisovna) – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри ПЕЕА, м.Харків, Україна, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4936-2785>, e-mail: olha.zaichenko@nure.