

РОЗПОДІЛ РЕСУРСІВ У СИСТЕМІ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ

DISTRIBUTION OF RESOURCES IN THE SYSTEM OF DECENTRALIZED MANAGEMENT

Метою даної роботи є оптимізація процесів в децентралізованій системі при розподілу ресурсу між споживачами в умовах його дефіциту і неповної апріорної інформації.

Методика досліджень. Для досягнення поставленої мети використовувалися аналітичні методи у поєднанні з методами імітаційного моделювання процесів адаптивного налаштування оптимального режиму роботи децентралізованої системи.

Результати досліджень. Задача розподілу обмеженого ресурсу є типовою задачею дослідження операцій і при відомих її параметрах вирішується як задача умовної оптимізації. Однак, у децентралізованій системі у кожного із складових її елементів повна апріорна інформація про параметри задачі (усієї системи) відсутня. У такій ситуації нестача, а в крайньому випадку і повну відсутність апріорної інформації для кожного з елементів децентралізованої системи необхідно заповнити апостеріорною. Це вимагає узгодженої стратегії поведінки всіх елементів системи. У роботі запропоновано алгоритми поведінки елементів децентралізованої системи, які забезпечують оптимальне розв'язання задачі через певну кількість кроків управління, яка залежить від кількості вихідної інформації.

Наукова новизна. Запропоновано та досліджено алгоритми адаптивного налаштування децентралізованої системи, що забезпечує вихід на оптимальний режим її роботи при розподілі обмеженої кількості ресурсу між споживачами.

Практична значимість. Децентралізовані системи мають ряд переваг у порівнянні з традиційними системами управління різної структури: підвищену живучість, суттєве скорочення комунікаційної апаратури. Крім того, у певних випадках застосування децентралізованих систем є єдино можливим. З іншого боку, поява та розвиток сучасних малогабаритних засобів переробки інформації дозволяє технічно реалізувати для кожного елемента системи досить складні обчислювальні алгоритми. Тому вивчення та вирішення завдань підвищення ефективності роботи децентралізованих систем має очевидне практичне значення.

Ключові слова: децентралізована система, розподіл ресурсу, імітаційне моделювання, адаптивний алгоритм, апріорна інформація, живучість, математичні методи.

Формулювання проблеми. Найбільш поширене визначення системи таке: система – це сукупність елементів, що взаємодіють між собою для досягнення спільної мети. У цьому визначенні є три характерні ознаки [1]:

- наявність більше одного елемента;
- загальна мета;
- взаємодія елементів.

Слід, проте, відмітити, що наявність ознаки «взаємодія елементів» у певних класах систем зовсім необов'язкова. На увазі маютьися децентралізовані системи управління, дослідженню та аналізу яких останнім часом приділяється особлива увага [2–3].

Актуальність завдань вивчення децентралізованих систем управління зумовлена такими об'єктивними факторами [4]:

- поява та розвиток досконалих малогабаритних засобів переробки інформації, що дозволяють реалізувати досить складні алгоритми;
- підвищена живучість децентралізованих систем, що за певних умов може мати вирішальне значення;
- суттєве скорочення у децентралізованих системах кількості комунікаційних елементів, насамперед ліній зв'язку.

Однією з найпоширеніших і найактуальніших задач під час реалізації децентралізованого управління [5–6] є завдання оптимальному розподілу обмеженого ресурсу між елементами системи (споживачами).

Невирішеною проблемою є розгляд такої децентралізованої системи, у якій єдиний центр управління відсутній, а кожен із споживачів має обмежену інформацію.

Постановка задачі дослідження. На кожному j -му кроці управління постійна на періоді квазістаціонарності кількість ресурсу Q розподіляється між n споживачами. У кожного є потреба в ресурсі у кількості $C_i, i = \overline{1, n}$. У загальному випадку:

$$\sum_{i=1}^n C_i \neq Q.$$

Для визначеності розглядатимемо завдання з дефіцитом ресурсу, коли:

$$\sum_{i=1}^n C_i > Q.$$

Задача про розподіл надлишкового ресурсу вирішується за аналогічною методикою. На кожному кроці управління наявний ресурс Q розподіляється між споживачами пропорційно поданим заявкам $g_i, i = \overline{1, n}$, і, таким чином, кожен споживач отримує таку кількість ресурсу:

$$Q_i = Q \cdot g_i / \sum_{i=1}^n g_i \quad i = \overline{1, n}.$$

Завдання полягає у визначенні таких заявок $g_i, i = \overline{1, n}$ (точніше, алгоритму їх формування), при яких критерій оптимальності виду:

$$I = \sum_{i=1}^n (C_i - Q_i)^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

набуде мінімального значення. Якби вся інформація про потреби $C_i, i = \overline{1, n}$ була б відома деякому центральному розподільчому органу, то завдання вирішувалося б, як задача умовної оптимізації функції та змінних при одному очевидному обмеженні:

$$\sum_{i=1}^n Q_i = Q. \quad (2)$$

Для (1–2) функція Лагранжа має вигляд:

$$F = \sum_{i=1}^n (C_i - Q_i)^2 + \lambda \left(\sum_{i=1}^n Q_i - Q \right),$$

і оптимальні значення Q_i^* , $i = \overline{1, n}$ повинні задовольняти системі:

$$\begin{cases} (C_i - Q_i) = \lambda/2 & i = \overline{1, n} \\ \sum_{i=1}^n Q_i - Q = 0 \end{cases}.$$

Однак, у цій роботі розглядається децентралізована система, у якій єдиний центр управління відсутній, а кожен із споживачів має обмежену інформацію про параметри задачі (1), (2).

Основна частина. Параметрами задачі (1), (2) є: n – кількість споживачів; Q – наявна кількість ресурсу та C_i , $i = \overline{1, n}$ – потреба у ресурсі. Спосіб рішення буде залежати від того, що відомо кожному із споживачів.

Припустимо, кожному зі споживачів відома загальна кількість ресурсу Q і кількість споживачів n . У цьому випадку для визначення узгодженої послідовності дій слід врахувати, що розв'язання завдання (1), (2) насправді зводиться до пошуку мінімуму, тобто: $\min (\max |C_i - Q_i|)$ та оптимальне рішення задовольняє умові:

$$(C_1 - Q_1^*) = (C_2 - Q_2^*) = \dots = (C_n - Q_n^*). \quad (3)$$

Для визначення оптимальних значень Q_i^* що задовольняють (3) на першому кроці всі споживачі повинні замовити необхідну кількість ресурсу, тобто $g_i = C_i$, $i = \overline{1, n}$. У результаті кожен із них отримає таку його кількість:

$$Q_i' = Q \cdot C_i / \sum_{i=1}^n C_i,$$

яке менше C_i , тому що $Q < \sum_{i=1}^n C_i$. Після цього кожен із споживачів з урахуванням відомих Q і n може визначити оптимальну кількість ресурсу, що замовляється (і одержується) $g_i^* = Q_i^*$, виходячи з наступних міркувань:

$K = Q_i' / C_i$ – коефіцієнт зменшення замовленого на першому кроці (загальний для всіх);

$(Q - Q_i')$ – отримали ресурсу інші споживачі;

$(Q - Q_i') / K = (Q - Q_i') \cdot C_i / Q_i'$ – замовляли інші споживачі;

$\sum_{i=1}^n C_i = (Q - Q_i') \cdot C_i / Q_i' + C_i$ – загальна кількість замовленого ресурсу;

$Q_i^* = C_i - (\sum_{i=1}^n C_i - Q) / n$ – оптимальна кількість замовленого ресурсу для i -го споживача.

Якщо апріорної інформації у кожного споживача менше [8], то для визначення оптимального замовлення Q_i^* $i = \overline{1, n}$ знадобиться більше ніж одне узгоджене замовлення. Нехай, наприклад, кожному із споживачів відома загальна кількість ресурсу Q , але невідомо n . У цьому випадку оптимальне замовлення Q_i^* кожен i -й споживач може визначити, зробивши на двох послідовних кроках узгоджені замовлення та отримавши на них відгук, наприклад:

$$\begin{aligned} g_i' &= C_i; Q_i' - \text{замовлення та відгук на першому кроці}; \\ g_i'' &= (C_i - 1); Q_i'' - \text{замовлення та відгук на другому кроці}. \end{aligned}$$

Тут на другому кроці кожен споживач робить замовлення на одиницю менше за потребу $g_i'' = (C_i - 1)$. У відповідності до викладеної вище методики для другого кроку послідовно знайдемо:

$$\begin{aligned} - K &= Q_i'' / (C_i - 1), \\ - (Q - Q_i''), \\ - (Q - Q_i'') / K &= (Q - Q_i'') \cdot (C_i - 1) / Q_i'', \\ - \sum_{i=1}^n (C_i - 1) &= (Q - Q_i'') \cdot (C_i - 1) / Q_i'' + (C_i - 1), \end{aligned}$$

але $\sum_{i=1}^n (C_i - 1) = \sum_{i=1}^n C_i - n$ і оскільки суми відомі, знаходимо n .

Аналогічно за два кроки вирішується задача визначення оптимуму і в тому випадку коли відомо n , але невідомо Q .

На закінчення розглянемо випадки, у яких або неможливі узгоджені пробні замовлення, або критерій оптимальності має складніший вигляд, наприклад, є сумою квадратів відхилень з вагомими коефіцієнтами:

$$I = \sum_{i=1}^n d_i (C_i - Q_i)^2 \rightarrow \min. \quad (4)$$

У таких ситуаціях доцільним є застосування адаптивних алгоритмів формування замовлень [7]. У цій роботі для вирішення задачі (4) пропонується кожному i -му споживачеві на $(j + 1)$ -му кроці формувати заявки по наступному рекурентному співвідношенню:

$$g_i(j+1) = g_i(j) + S \cdot \left(d_i^2 \cdot (C_i - Q_i(j))^2 \cdot (g_i(j) - Q_i(j)) \right), \quad (5)$$

де S – коефіцієнт, що визначає швидкість налаштування.

Адаптивний алгоритм налаштування (5) працездатний за повною автономністю споживачів в умовах відсутності апріорної інформації про параметри задачі: $n, Q, d_i, C_i, i = \overline{1, n}$.

На рисунку представлені значення отримані в результаті розрахунку згідно (5) процесів виходу системи на оптимальний режим роботи для чотирьох споживачів:

$(Q_1^* = 16,5; Q_2^* = 17,3; Q_3^* = 21,8; Q_4^* = 34,4)$ при параметрах задачі:
 $n = 4; Q = 90; C_i = (25; 30; 40; 45); d_i = (1,5; 1,0; 0,7; 1,2).$

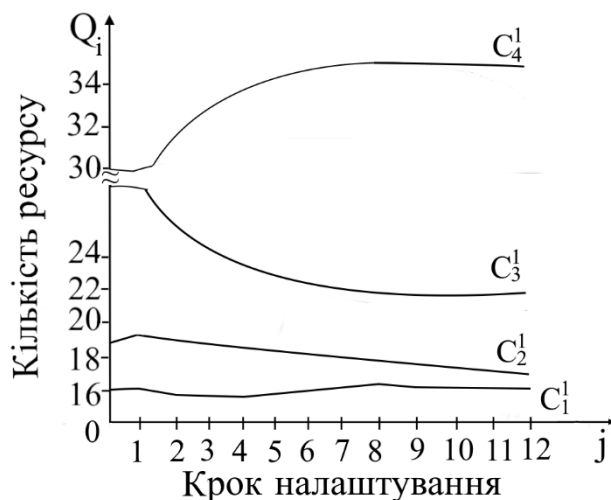


Рис. Процеси виходу системи на оптимальний режим роботи для чотирьох споживачів $C_i, i = \overline{1,4}$.

Як видно на рисунку, процес налаштування практично закінчується через 10÷12 кроків.

В результаті проведених досліджень у загальному випадку за алгоритмом (5) були виявлені наступні закономірності:

1. Швидкість налаштування визначається параметром S , однак, при надто великому його значенні, система втрачає стійкість.
2. Необхідна для виходу на оптимум кількість кроків слабо залежить від розмірності задачі (кількості споживачів C_i).
3. Час налаштування прямопропорційний дефіциту ресурсу.

Висновки. У роботі запропоновано методи вирішення задачі оптимального розподілу дефіцитного ресурсу між споживачами децентралізованої системи в умовах обмеженого обміну інформацією між елементами системи.

Метод та швидкість розв'язання задачі визначається кількістю апріорної інформації про параметри задачі відомої споживачам.

За повної відсутності обміну інформацією між елементами децентралізованої системи розв'язання задачі оптимального розподілу ресурсу забезпечує запропонований у роботі алгоритм адаптивного налаштування системи.

Застосування запропонованого алгоритму адаптивного налаштування забезпечує швидкий за кількістю ітерацій вихід системи на оптимальний режим, яка практично не залежить від кількості споживачів.

Перелік посилань

1. Новицький, І. В., & Ус, С. А. (2017). *Сучасна теорія керування: навч. посіб.* Національний гірничий університет. <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/150797>
2. Півняк, Г.Г., Проценко, С. М., Стаднік, М. І., & Ткачов, В. В. (2007). *Децентралізоване керування.* Національний гірничий університет.

3. Литвин, В.В. (2009). Мультиагентні системи підтримки прийняття рішень, що базуються на прецедентах та використовують адаптивні онтології. *Радіоелектроніка. Інформатика. Управління*, 2(21), 120–126.
4. Коноваленко, О. Е., & Брусенцев, В. О. (2019). Мультиагентні системи управління та підтримки прийняття рішень. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. Серія: *Машинознавство та САПР*, 1, 18–27.
5. Naumov, L., & Shalyto, A. (2003). *Automata Theory for Multi-Agent Systems Implementation. Proceedings of Integration of Knowledge Intensive Multi-Agent Systems*. MA, Boston.
6. Kravari, K., & Bassiliades, N. (2015). A Survey of Agent Platforms. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 18(1), 1–18.
7. Novitskyi, I., & Nachovnyi, A. (2011). Decentralized management in tasks of operational resource distribution. *Mining electromechanics and automational*, 87, 66–69. <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/599>
8. Skobelev, P., Leitão, P., & Karnouskos, S. (Ed.). (2015). Multi-Agent Systems for Real Time Adaptive Resource Management. *Industrial Agents: Emerging Applications of Software Agents in Industry*, 207–229. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-800341-1.00012-7>

ABSTRACT

Purpose of work is optimization of processes in a decentralized system during resource distribution among consumers in conditions of its scarcity and incomplete a priori information.

Methodology. To achieve the goal, analytical methods were used in combination with methods of simulation modeling of processes that determine the optimal mode of operation of the decentralized system.

Research results. The problem of allocation of a limited resource is a typical problem of operations research and, if its parameters are known, it is solved as a conditional optimization problem. However, in a decentralized system, each of its constituent elements does not have complete a priori information about the parameters of the problem (of the entire system). In such a situation, lack of information, and in the extreme case, a complete lack of a priori information for each of the elements of the decentralized system must be filled with a posteriori information. This requires a coordinated strategy for the behavior of all elements of the system. Algorithms for the behavior of the decentralized system elements are proposed in this work, which provide an optimal solution of the problem through a certain number of management steps, which depends on the amount of initial information.

Scientific novelty. A new algorithm for adaptive tuning of a decentralized system are proposed and investigated, which provides access to the optimal mode of its operation when distributing a limited amount of resources between consumers.

Practical significance. Decentralized systems have a number of advantages compared to traditional management systems of different structures: increased survivability, significant reduction of communication equipment. Besides, in some cases, the use of decentralized systems is the only option. On the other hand, the emergence and development of modern small-sized means of processing information allows technically implementing rather complex computational algorithms for each element of the system. Studying and solving the problems of improving the efficiency of decentralized systems has an obvious practical significance.

Keywords: *decentralized system, resource allocation, simulation modeling, adaptive algorithm, a priori information, survivability, mathematical methods.*