

Т. В. Філімончук, Ю. М. Колтун, І. М. Климова, Д. Ю. Корнієнко

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

МОДЕЛЬ РОЗПОДІЛУ ПУЛУ ЗАВДАНЬ ЗА ОБЧИСЛЮВАЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ

Анотація. Актуальність. На даний час існує проблема, яка пов'язана з відсутністю алгоритмів оптимального управління розподілом пулу завдань, який надходить на обчислювальні ресурси кластеру. Планувальники, які здійснюють розподіл завдань, не враховують вартість використання обчислювальних ресурсів, які можуть зменшити час виконання пулу завдань. Завдання, які надходять на вхід планувальника, є різнорідними, що також створює додаткові складнощі під час їх розподілу. **Метою даної роботи** є модифікація моделі розподілу пулу завдань з урахуванням критеріїв розподілу, розробка методу пошуку оптимального плану розподілу та впровадження його в імітаційне середовище GRASS. **Об'єктом дослідження** є процес розподілу пулу завдань на обчислювальні ресурси кластеру. **Предметом дослідження** є методи та алгоритми моделювання розподілу пулу завдань. **Результати.** Запропонована модифікація моделі розподілу завдань на обчислювальні ресурси кластеру, за рахунок використання критеріїв розподілу. Критерії реалізовано в якості модуля, який додано до середовища імітаційного моделювання GRASS. На основі математичної моделі запропонован метод пошуку оптимального плану розподілу завдань по обчислювальним ресурсам кластеру. **Висновок.** Критерії розподілу, які додано до моделі розподілу пулу завдань, є складовою методу пошуку оптимального розподілу. Завдяки використанню їх комбінацій здійснюється пошук розподілу, який задовольняє вимогам постачальників завдань та ресурсів.

Ключові слова: модель розподілу завдань, імітаційне середовище, критерії розподілу, метод пошуку оптимального плану.

Вступ

На даний час існує низка методів та алгоритмів, які орієнтовано на розподіл завдань по обчислювальним ресурсам, що виділяються для запуску ресурсомістких завдань [1-5].

Розподіл завдань – це важлива та суттєва проблема при роботі з різнорідними завданнями та обчислювальними ресурсами. Багато дослідників намагаються передбачити оптимальне рішення для планування запуску завдань на ресурсах кластеру. Але розподіл завдань – це, як правило, NP-повна задача, що додає додаткові труднощі при розподілі, тому що існує багато критеріїв, які впливають на розподіл в цілому. Як правило для вирішення NP-повної задачі використовують евристичні алгоритми оптимізації [6, 7], крім того застосовують еволюційні алгоритми [8, 9] для передбачення оптимального рішення задачі за відповідний час.

Величезна ніша у питанні планування розподілу відводиться програмам, які саме і здійснюють розподіл завдань між існуючим пулом обчислювальних ресурсів. Ці програми отримали назву – планувальники завдань, і їх основна ціль – побудувати план розподілу, що відповідає вимогам, які заявлені постачальниками завдань та обчислювальних ресурсів.

При побудові плану розподілу здійснюється оптимізація значень параметрів цільової функції [10, 11], за рахунок яких відбувається скорочення часу виконання завдань, що в свою чергу призводить до ефективного використання обчислювальних ресурсів кластеру. Відомі планувальники мають ряд недоліків, головним з яких є орієнтація на конкретний клас задач. Сучасні планувальники, як правило, при розподілі використовують один найпростіший метод розподілу та не приймають до уваги ціну використання обчислювального ресурсу, що в свою чергу призводить до неефективного використання ресурсів кластеру.

Метою роботи є модифікація існуючої моделі розподілу завдань на обчислювальні ресурси кластеру, розробка та впровадження в імітаційне середовище методу пошуку оптимального розподілу для пулу завдань, що надходять на обчислювальні ресурси кластеру з урахуванням критеріїв розподілу.

Основна частина

Виділення обчислювальних ресурсів для запуску завдань – це один із основних типів управління у кластері, тому що розподіл окремих ресурсів, впливає на вартість та продуктивність використання усього кластеру [12-15]. Основна мета розподілу полягає в найкращому використанні ресурсів інфраструктури, інтегруванні їх для досягнення більшої пропускної спроможності при вирішенні великомасштабних обчислень.

На даний час існує дерілька представлень моделей [16, 17] розподілу завдань на обчислювальні ресурси. Більш детально зупинемося на моделі [18], яка будується на трьох множинах: множині обчислювальних ресурсів R , множині завдань Z та множині методів Q , тобто

$$G = \{R, Z, Q\}. \quad (1)$$

Всі ресурси кластеру згруповано у єдиний пул ресурсів $\{R_j, j = 1, 2, \dots, N\}$, $\forall j = 1..N$, де j – номер обчислювального ресурсу, а N – число ресурсів в кластері. Кожний ресурс кластеру описується за допомогою кортежу за відповідними правилами

$$R_j = \{ar_j^r, os_j^r, pc_j^r, ps_j^r, ms_j^r, dc_j^r, bw_j^r, d_j^r\}, \quad (2)$$

де ar_j – архітектура процесора; os_j – операційна система; pc_j – кількість процесорів; ps_j – швидкодія процесорів; ms_j – об'єм оперативної пам'яті; dc_j – доступний обсяг вінчестера; bw_j – сумарна пропускна здатність каналу (від брокера до ресурсу) з урахуванням стану мережі на поточний час; d_j – су-

Завдання, що надходять на вхід середовища моделювання, утворюють потік $\{Z_i\}$. Кожне завдання має дві складові: характеристики завдання (вимоги до обчислювальних ресурсів) та тіло завдання (у вигляді .exe-файлу, файли вхідних даних, БД тощо). На початковому етапі розподілу головне значення мають вимоги до ресурсів.

Паралельно із завданнями до середовища моделювання GRASS надходить інформація про доступні обчислювальні ресурси $\{R_j\}$.

Модуль вибору методів розподілу завдань містить ряд методів $\{Q_k\}$, кожен з яких використовує свій набір параметрів для розподілу (перед запуском експерименту можливий вибір різного числа методів розподілу). Всі завдання, що надійшли до системи, поміщаються в чергу завдань і паралельно відбувається передача інформації по кожному завданню в модуль формування додаткових параметрів, де в подальшому буде здійснена згортка кортежу та аналіз задач у завданні на зв'язність.

При згортанні кортежу здійснюється обчислення узагальненого критерію оцінки по кожному завданню. Таке обчислення дозволяє більш ефективно керувати процесом розподілу завдань на обчислювальні ресурси та показує, яку частину обчислювального ресурсу займає завдання в процесі його виконання [10]. На виході цього підмодуля є множина обчислювальних ресурсів, на які завдання може бути розподілено.

Наступним шагом є аналіз зв'язності задач в завданні. Якщо задачі в завданні мають високу зв'язність або для даного завдання необхідне пересилання великого обсягу даних, відбудеться підбір обчислювальних ресурсів таким чином, щоб зменшити час передачі даних між задачами в завданні (тобто їх слід розташувати поруч).

Якщо в системі присутні обчислювальні ресурси для запуску такого завдання, але вони на даний момент зайняті, то завдання залишиться в черзі та набуде стану Waiting. Коли необхідні ресурси будуть звільнено, завдання буде направлено для виконання на обрані обчислювальні ресурси кластеру. Якщо таких ресурсів на кластері не виявиться, то завдання набуде стану Cancelled, після чого його буде видалено з черги, з інформуванням постачальника про неможливість його виконати ресурсами даного кластеру [20]. У даному випадку у постачальника завдань є можливість змінити вимоги для запуску завдання ще раз. Використання інформації, що передається з підмодулю аналізу зв'язності, дозволяє здійснювати підбір обчислювальних ресурсів на кластері з урахуванням зменшення часу на передачу вхідних та вихідних даних для завдання. Планувальнику для розподілу завдань на обчислювальні ресурси кластеру необхідно отримати такі дані:

- інформацію про обчислювальні ресурси, які присутні в системі;
- інформацію про обчислювальні ресурси, що є задіяними та час їх вивільнення;
- метод розподілу;
- інформацію про зв'язність задач в завданні.

На основі отриманих даних планувальник розподіляє завдання на обчислювальні ресурси кластеру. Результатом роботи планувальника є множина планів розподілу за обраними заздалегідь методами розподілу.

Далі отримані плани розподілу запускаються в середовище моделювання з метою отримання результатів моделювання, які в подальшому будуть проаналізовані та буде обраний оптимальний план розподілу. В результаті роботи імітаційного середовища з'являється множина часів виконання пулу завдань t_r за кожним методом розподілу, а також значення критеріїв, які також вираховуються для кожного методу (t_{av} та p_d).

Наступний крок, це робота методу пошуку оптимального рішення. Робота цього методу полягає в аналізі отриманих планів розподілу з урахуванням критеріїв розподілу, які було задано постачальниками. Ці дані (вагові коефіцієнти) постачальники завдань вносять до імітаційного середовища. Те ж саме стосується і постачальників ресурсів в момент надання ресурсів для використання. Вагові коефіцієнти необхідні для розрахунку критерію оцінки розподілу та подальшого аналізу плану розподілу.

Етап 1: завантаження вихідних даних:

- множини часів виконання планів $Tr = \{tr_1, tr_2, \dots, tr_p\}$, $\forall p = 1..P$ по кожному методу розподілу ($mn \in Q$) $f : Plan_k \rightarrow Tr_k$;

- відсотку простою ресурсів кластеру p_d по кожному із обраних методів розподілу;

- середнього часу очікування завдання в черзі t_{av} по кожному із обраних методів розподілу.

Етап 2: отримання результатів аналізу планів на підставі параметрів часткових критеріїв: t_r , t_{av} та p_d . Якщо отримані критерії використовувати в комбінації, то їх спочатку слід об'єднати в узагальнений (адитивний) критерій [10]. Після цього можливо здійснювати подальший аналіз.

На виході модулю пошуку оптимального плану розподілу формується рекомендаційна інформація щодо кожного плану розподілу, яка пересилається постачальникам завдань та ресурсів з відповідними розрахунками та рекомендаціями.

Будь-яке завдання, яке надійшло до середовища моделювання, буде розподілено. Винятком може бути випадок, коли в системі не виявиться необхідних обчислювальних ресурсів. У цьому разі завданням буде відмовлено у виконанні, і воно будуть відправлено постачальнику для зміни вимог. Процес моделювання по кожному методу розподілу триває до тих пір, поки в черзі присутні завдання.

Метод рішення багатокритеріальних задач оптимізації з використанням узагальненого (інтегрального) критерію заснований на об'єднанні приватних критеріїв $F_i(X)$, $i = \overline{1, n}$ в один інтегрований $F(X) = \Phi(F_1(X), F_2(X), \dots, F_n(X))$ з подальшим знаходженням максимуму або мінімуму даного критерію [10].

При використанні адитивного критерію цільова функція у загальному вигляді має такий вигляд:

$$F(X) = \sum_{i=1}^n C_i \frac{F_i(X)}{F_i^0(X)} = \sum_{i=1}^n C_i f_i(X) \rightarrow \max(\min), \quad (6)$$

де n – кількість приватних критеріїв, що об'єднуються; C_i – ваговий коефіцієнт i -го приватного критерію; $F_i(X)$ – числове значення i -го приватного критерію; $F_i^0(X)$ – i -й дільник, що нормує; $f_i(X)$ – нормоване значення i -го приватного критерію.

В якості дільників, що нормують, приймаються директивні значення параметрів або критеріїв, які

Таблиця 1 – Результати експериментів

Критерій F_i	Ваговий коефіцієнт C_i	Значення критеріїв по методам розподілу						
		FCFS	LIFO	HPF	Backfill	Backfill_mod	Simplex	Smart
t_r	0,4	10:48:55	10:52:48	10:48:37	9:36:43	8:36:56	9:12:11	9:05:54
t_{av}	0,3	3:22:32	4:58:24	2:52:48	2:35:59	2:07:44	1:55:54	2:01:37
p_d	0,3	85	79	75	63	51	53	50
Результати для пошуку найкращого плану розподілу								
t_r, p_d		1,01213	0,97913	0,9519	0,8243	0,706	0,7453	0,7224
p_d, t_{av}		1,03425	1,24639	0,89728	0,7818	0,63662	0,618	0,6148
t_r, t_{av}		1,02637	1,27752	0,94918	0,85	0,73062	0,7273	0,7372
t_r, p_d, t_{av}		1,53637	1,75152	1,39918	1,228	1,03663	1,0453	1,0372

З табл. 1 видно, що в залежності від того, який критерій розподілу обрано – змінюється результат вибору плану розподілу:

- якщо головним критерієм оптимізації обрати $t_r \rightarrow \min$, слід обирати метод розподілу Backfill_mod, тому що за допомогою цього методу пул завдань виконається за 8:36:56;

- якщо в якості головного критерію оптимізації обрати $t_{av} \rightarrow \min$ – слід обрати метод розподілу Simplex, який говорить, що середній час очікування завдання в черзі складає 1:55:54;

- якщо головним критерієм оптимізації обрати $p_d \rightarrow \min$, то слід розподіляти завдання за допомогою методу розподілу Smart. Він дає найкращий результат простою обчислювальних ресурсів – 50%.

Інша картина випливає в тому випадку, коли використовувати комбінації критеріїв розподілу (t_r, t_{av}, p_d).

Якщо в якості критеріїв розподілу використовувати $\{t_r, p_d\} \rightarrow \min$, то розподіляти завдання краще за допомогою методу розподілу Backfill_mod, а якщо використовувати комбінації критеріїв $\{t_r, t_{av}\} \rightarrow \min$, то в якості методу розподілу слід обирати метод розподілу Smart.

В тому випадку, коли в якості критеріїв обрано $\{t_r, t_{av}\} \rightarrow \min$, то слід обирати метод Simplex. А ось коли обираємо $\{t_r, p_d, t_{av}\} \rightarrow \min$, то слід обирати метод Backfill_mod.

Всі результати отримано завдяки розрахункам, які стосуються конкретних пулів завдань та обчислювальних ресурсів. Але якщо обрати інші пули завдань та ресурсів для моделювання, а також інші

було задано постачальниками або максимальні (мінімальні) значення критеріїв, що досягаються в області допустимих рішень. Узагальнений адитивний критерій, який отримується в результаті розрахунків є безрозмірною величиною.

Перед початком моделювання було задано наступні вагові коефіцієнти для приватних параметрів $t_r = 0.4$, $p_d = 0.3$, $t_{av} = 0.3$, а також завантажено пули завдань та обчислювальних ресурсів кластеру.

Використовуючи набір методів розподілу, які були присутні в імітаційному середовищі GRASS (FCFS, LIFO, HPF, Backfill, Backfill_mod, Simplex та Smart), проведено імітаційне моделювання та отримані відповідні результати (табл. 1).

вагові коефіцієнти, то результати пошуку найкращого методу розподілу будуть інші.

Висновки

В результаті проведених авторами досліджень було модифіковано математичну модель розподілу завдань за рахунок введення до неї критеріїв розподілу, які допомагають обрати оптимальний план розподілу для відповідних пулів завдань та обчислювальних ресурсів кластеру. Запропоновані критерії реалізовано в якості модуля і додано до середовища імітаційного моделювання GRASS. Критерії розподілу є складовою методу пошуку оптимального рішення і відповідно до обрання їх комбінацій здійснюється пошук розподілу, який задовольняє вимогам постачальників завдань та ресурсів.

В ході дослідження було здійснено ряд експериментів. Під час їх проведення отримана залежність результатів розподілу від класу завдань, які надходять на кластер. Результати доводять те що, застосування одного методу розподілу завдань в планувальнику є менш ефективним ніж множини. Більш ефективним варіантом є вибір оптимального плану розподілу за допомогою запропонованого методу пошуку оптимального розподілу завдань з множини методів розподілу, тому що завдання, які надходять на кластер є різномірними. В даний час не існує методу розподілу, який для будь-якого пулу завдань допомагав би отримувати оптимальний варіант розподілу за обраними критеріями розподілу. Однак, якщо користувачеві відомі характеристики обчислювальних ресурсів кластеру, технічні характеристики вхідного пулу завдань, то можна провести імітаційне моделювання за допомогою середовища GRASS та обрати оптимальний метод розподілу для конкретного пулу

вхідних завдань та обчислювальних ресурсів. Обранний план розподілу можливо запропонувати планувальнику в якості найбільш ефективного рішення, розширив його можливості.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Павлов Д.А., Кирий В.А. (2020), “Распределение производственных ресурсов в условиях многокритериальности и с учетом недетерминированности данных”, *Современная экономика: проблемы и решения*, № 11 (131), С. 66-74.
2. Аунг Чжо Мью, Анисимов А.А., Гагарина Л.Г., Портнов Е.М. (2020), “Методика повышения эффективности управления ресурсоемкими задачами в распределенных вычислительных системах”, *Инженерный вестник Дона*, №2.
3. Смирнов М.В., Климченко К.П., Потапов С.О. (2022), “Анализ метода стратегии оптимизации распределения информационно-вычислительных ресурсов в кластерах”, *Молодой ученый*, №22 (417), С.28-31.
4. Спицын А.А., Мутин Д.И. (2020), “Распределение ресурсов и планирование заданий в облачной среде на основе алгоритма оптимизации роя частиц и R-фактора”, *Моделирование, оптимизация информационные технологии*, №8(4).
5. Мельничук А.В., Сивакова Т.В., Судаков В.А. (2019), “Решение задач оптимизации с использованием мультиагентных моделей”, *Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша*, №100, 16 с., doi: <https://doi.org/10.20948/prepr-2019-100>
6. Kolumbet V., Svynchuk O. (2021), “Simulation of resource distribution in large information systems based on multiagent approach”, *Телекомунікаційні та інформаційні технології*, №3 (72), С. 4-11.
7. Кулешова, Е.А., Марухленко, А.Л., Добрица, В.П., Таныгин, М.О., Плугатарев, А.В. (2021), “Метод обработки данных с учетом взаимного расположения информационных блоков в масштабе вычислительного кластера”, *Вестник ВГУ. Системный анализ и информационные технологии*, №1, С. 87-97, doi: <https://doi.org/10.17308/sait.2021.1/3373>
8. Белявский Г.И., Данилова Н.В., Угольников Г.А. (2018), “Эволюционные методы решения динамических задач распределения ресурсов”, *Математическая теория игр и ее приложения*, том 10, выпуск 1, С. 5-22.
9. Гвоздинский А.Н., Эзе Ф.М. (2014), “Исследование методов эволюционной оптимизации в задачах принятия решений в организационном управлении производством”, *Радиоэлектроника и информатика*, №4, С. 29-34.
10. Волк М.А., Филимончук Т.В. (2013), “Обобщенный критерий оценки задания для технологии планирования заданий в GRID”, *Информатика, математическое моделирование, экономика*. Том 2, С. 172-176.
11. Орлов С.П., Учайкин Р.А. (2019), “Задача распределения средств вычислительной техники на машиностроительном предприятии”, *Вестник Самарского государственного технического университета*, №4 (64), С. 84-98.
12. Yesil S., Ozturk O. (2022), “Scheduling for heterogeneous systems in accelerator-rich environments”, *The Journal of Supercomputing*, №78, pp. 200-221, doi: <https://doi.org/10.1007/s11227-021-03883-5>
13. Петренко А.Л., Свистунов С.Я., Свірін П.В. (2013), “Брокер ресурсов для Nordugrid ARC із використанням прогнозування часу початку виконання”, *Моделирование та інформаційні технології*, Вип. 68, С. 170-176.
14. Волк М.А., Филимончук Т.В. (2017), “Разработка модифицированного метода обратного заполнения Backfill для консервативного резервирования”, *Системы обработки информации*, №1 (147), С. 33-37.
15. Toporkov V., Toporkova A., Tselishchev A., Yemelyanov D. (2014), “Slot Selection Algorithms in Distributed Computing”, *The Journal of Supercomputing*, Vol. 69 (1), P. 53-60. doi: <https://doi.org/10.1007/s11227-014-1210-1>
16. Мочалов В.П., Линец Г.И., Братченко Н.Ю., Палканов И.С. (2021), “Математическая модель распределения ресурсов вычислительного кластера облачных центров обработки данных”, *Современная наука и инновации*. Вип. 4, С. 10-22, doi: <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2021.4.1>
17. Феоктистов А.Г., Костромин Р.О. (2020), “Мультиагентная модель распределения ресурсов высокопроизводительной вычислительной среды в процессе обработки потоков заданий”, *ИТНТ-2020*, Том 4, С.378-385.
18. Filimonchuk T., Volk M., Ruban I., Tkachov V. (2016), “Development of information technology of tasks distribution for grid-systems using the GRASS simulation environment”, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling system*. Vol.3/9 (81), P. 45-53, doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.71892>
19. Филимончук Т.В., Волк М.А., Казмина Д.Р., Ольшанская Т.И., Рисухин М.В. (2019), “Модифицированная информационная технология распределения заданий на ресурсы для систем облачных вычислений”. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*, №1 (7), С. 121-128, doi: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.7.121>
20. Волк М.А., Филимончук М.А., Филимончук Т.В. (2012), “Модуль распределения заданий в GRID-системах”, *Системы обработки информации*, №2 (100). С. 177-182.

Received (Надійшла) 11.01.2023

Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.03.2023

Model of distribution of the tasks pool according to computing resources

Tetiana Filimonchuk, Yuriy Koltun, Iryna Klymova, Denis Kornienko

Abstract. Topicality. Nowadays, there is a problem associated with the lack of algorithms for optimal management of the distribution of the pool of tasks that comes to the computing resources of the cluster. Schedulers that distribute tasks do not take into account the cost of using computing resources, which can reduce the execution time of the task pool. The tasks that come to the scheduler's input are heterogeneous, which also creates additional difficulties while their distribution. **The goal of this work** is to modify the task pool distribution model taking into account the distribution criteria, to develop a method for finding the optimal distribution plan, and to implement it in the GRASS simulation environment. **The object of this study** is the process of allocating the pool of tasks into the computing resources of the cluster. **The object of research** are methods and algorithms for modeling the distribution of the pool of tasks. **Results.** The proposed modification of the model of allocation of tasks to computing resources of the cluster, due to the use of allocation criteria. The criteria are implemented as a module added to the GRASS simulation environment. On the basis of a mathematical model, a method of finding the optimal plan for the distribution of tasks on the computing resources of the cluster is proposed. **Conclusions.** Allocation criteria, which are added to the task pool allocation model, are a component of the method for finding the optimal plan. Due to the use of their combinations, the search for distribution is carried out, which satisfies the requirements of task and resource providers.

Keywords: task distribution model, imitative environment, distribution criteria, best solution search method.