



MULTIAGENT METHODS OF MANAGED DISTRIBUTED COMPUTING МУЛЬТИАГЕНТНІ МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ РОЗПОДІЛЕНИМИ ОБЧИСЛЕННЯМИ

Barabash O.V. / Барабаш О.В.

d.t.s., prof. / д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0003-1715-0761

Kolumbet V.P. / Колумбет В.П.

senior lecturer / старший викладач

ORCID: 0000-0002-0871-9402

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Politechnichna, 6, 03056

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

Київ, Політехнічна, 6, 03056

Анотація. У статті розглядається мультиагентна система, що забезпечує інтеграцію підходу до управління обчисленнями для кластерної Grid-системи обчислювального типу, вузли якої мають складну гібридну структуру. Гібридний кластер включає обчислювальні модулі, що підтримують різні технології паралельного програмування і розрізняються своїми обчислювальними характеристиками. Новизна і практична значущість представлених в статті методів і засобів полягають в істотному розширенні функціональних можливостей системи управління обчисленнями кластерної Grid за розподілом і поділу ресурсів Grid на різних рівнях виконання завдань, в наявності можливості вбудовування інтелектуальних засобів управління обчисленнями в проблемно-орієнтовані додатки.

Ключові слова: Мультиагентне управління, розподілені обчислення, GRID, мультиагентне моделювання, інтелектуальний агент, мультиагентна система.

Вступ

Поширені мета-планувальники недостатньо повно враховують особливі вимоги користувачів до ресурсів при розподілі цих ресурсів. Тому адміністраторам та користувачам ресурсів розподіленого обчислювального середовища доводиться "вручну" вирішувати завдання вибору і надання ресурсів, які бувають досить різнобічні. Це викликає ускладнення при вирішенні перерахованих завдань та виникає проблема автоматизації та інтелектуалізації процесів їх вирішення. Найбільш популярним підходом до вирішення цієї проблеми є застосування мультиагентних систем (МАС) для управління обчисленнями[1]. В цій парадигмі можна виділити два основних підходи до мультиагентного управління обчисленнями[2]: взаємодія МАС з локальними менеджерами ресурсів вузлів середовища з метою оптимізації використання ресурсів та інтеграція призначеного для користувача додатку з мультиагентною системою вибору ресурсів метою якої є - підвищення ефективності вирішення завдань додатком.

В наш час існує широкий спектр інструментів для побудови розподілених обчислювальних середовищ. До їх числа відносяться, наприклад, засоби загального призначення Google AppEngine, Amazon EC2, Microsoft Azure, спеціалізовані системи Unicore, Globus Toolkit, MathCloud, мова програмування Ora і системи, реалізовані на основі концепції Intelligent Problem Solving Environment. Основний напрям в системах для побудови розподілених



обчислювальних середовищ, за звичай, робиться для спрощення процесу створення сервісів. У подібних системах управління обчисленнями реалізується або за допомогою поширених мета-планувальників таких як Workload Management System або GridWay, чи за допомогою спеціалізованих системних засобів. Таким чином, на сьогодні актуальним є застосування мультиагентного підходу для управління розподіленими обчисленнями на рівні Grid-системи та обчисленнями на рівні додатку.

Метою статті є виявлення особливостей застосування методів мультиагентного підходу для управління розподіленими обчисленнями на рівні Grid-системи та управління обчисленнями на рівні додатку.

1. Управління обчисленнями на рівні Grid-системи

Управління обчисленнями на рівні Grid-системи реалізується МАС із заданою організаційною структурою. Координація дій агентів здійснюється за допомогою загальних правил групової поведінки. Агенти функціонують відповідно до заданих ролей і для кожної ролі визначені свої правила поведінки у віртуальному співтоваристві агентів. МАС включає до себе агентів розподілу ресурсів і управляючого агенту. Агенти розподілу ресурсів можуть об'єднуватися в віртуальні спільноти (ВС). У різних ВС, що виникають в МАС, агенти можуть координувати свої дії шляхом кооперації або суперництва. Завданням МАС на рівні Grid-системи є отримання такого розподілу, що надходять в систему потоків завдань та зберігає показники якості функціонування цієї системи в заданих адміністратором Grid-системи межах. Завдання являє собою специфікацію процесу вирішення завдань, що містить інформацію про необхідні обчислювальні ресурси, виконуваних прикладних програмах, вхідних- вихідних даних, а також інші необхідні відомості. Всі завдання розбиваються по класах відповідно до своїх обчислювальних характеристик[2]. У число показників якості функціонування Grid-системи входять: середні показники часу перебування в чергах, коефіцієнти корисного використання вузлів Grid-системи та самої системи в цілому, коефіцієнти успішного завершення та середня вартість виконання завдань різних класів в вузлах Grid-системи і в самій системі в цілому. Структурна схема системи управління обчисленнями на рівні Grid-системи представлена на рис. 1.

На цій схемі в якості об'єкта управління виступає Grid-система, вузли якої представлені різнорідними обчислювальними кластерами (ОК), в тому числі і гібридними. Зовнішніми збуреннями для об'єкта управління є потік w_1 завдань користувачів Grid-системи і потік w_2 локальних користувачів обчислювальних кластерів. Результати розподілу d_1 і d_2 потоків w_1 і w_2 по ОК є відповідно керуючими впливами МАС і локальних користувачів обчислювального кластеру на об'єкт управління. Заданою дією для об'єкта управління є вектор параметрів адміністративних політик обчислювального кластеру r_1 . Агенти розподілу ресурсів здійснюють перехоплення завдань потоку w_1 з метою більш детальної настройки вимог до обчислювальної системи, що містяться в задачах.

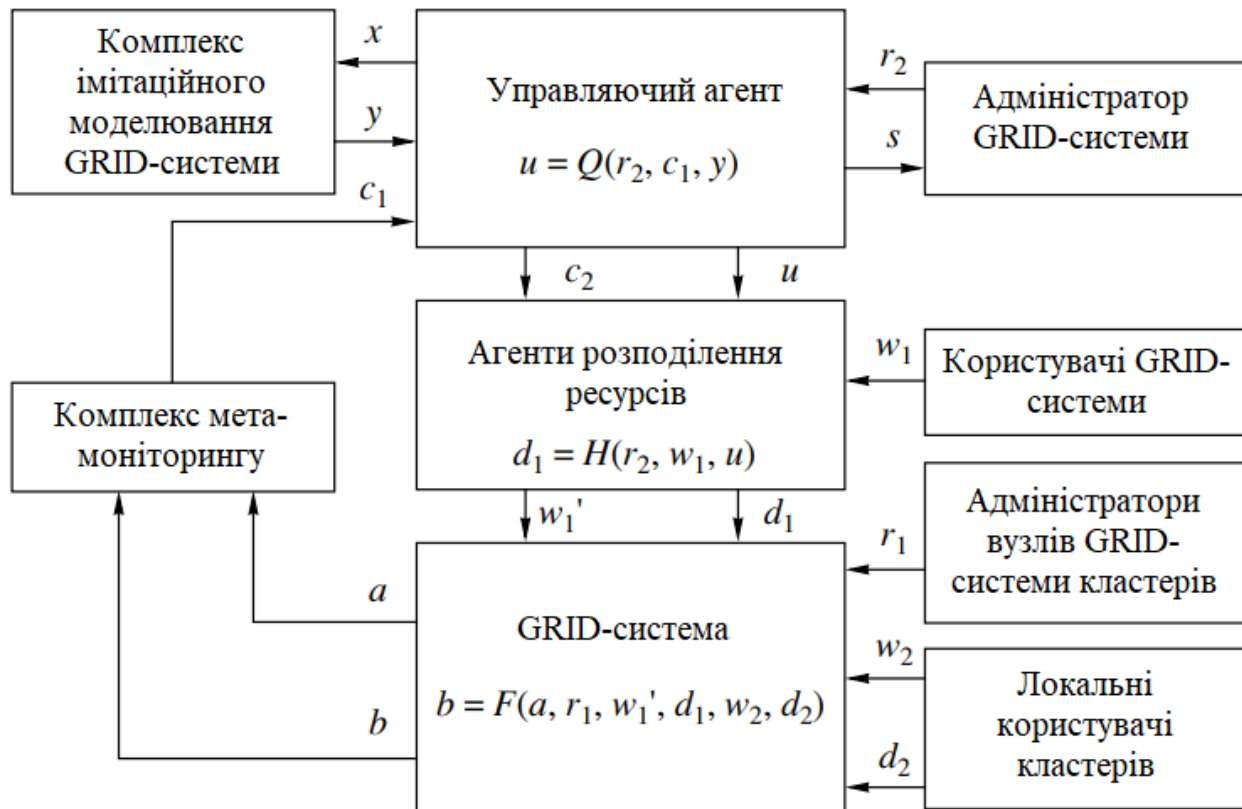


Рис. 1. Структурна схема системи управління обчисленнями.

Таким чином, потік w_1 модифікується в потік w_1' . Розподіл d_1 потоку w_1' проводиться агентами розподілу ресурсів на основі економічних механізмів регулювання попиту і пропозиції цих ресурсів[3]. Розподіл d_2 потоку w_2 задається локальними користувачами ОК. Потоки завдань w_1 і w_2 характеризуються такими властивостями: динамічністю; схоластичністю; неоднорідністю; відсутністю зворотного зв'язку; неординарністю; стаціонарністю.

Відомості про обчислювальних характеристиках вузлів Grid-системи збираються комплексом мета-моніторингу[4] за допомогою контрольно-вимірювальних приладів у вигляді файлової структури даних a . Відомості про поточні показники обсягів обчислювальних робіт в вузлах Grid-системи також збираються комплексом мета-моніторингу у вигляді файлової структури даних b . Передбачається, що між компонентами структури b з одного боку і обчислювальними характеристиками вузлів a , заданою дією r_1 для об'єкта управління, потоками завдань w_1' і w_2 , розподілами d_1 і d_2 з іншого боку існує деякий абстрактний зв'язок $b = F(a, r_1, w_1', d_1, w_2, d_2)$.

Параметрична настройка алгоритмів роботи агентів розподілу ресурсів конкретної віртуальної спільноти здійснюється шляхом застосування отриманих керуючих впливів з урахуванням вагових коефіцієнтів, що



відображають обчислювальні особливості вузлів віртуальної спільноти.

Отже, нехай x і y - вектори вхідних і спостережуваних змінних імітаційної моделі[7] Grid-системи. Спостережувані змінні відображають показники якості функціонування Grid-системи. Елементи векторів $x_i, i = \overline{1, n_x}$ і $y_j, j = \overline{1, n_y}$ мають відповідно області X_i і Y_j допустимих значень. Передбачається, що ефекти впливу вхідних змінних за спостережуваними змінними досліджені за допомогою факторного аналізу[5] заздалегідь - при побудові і випробуванні імітаційної моделі Grid-системи. Також передбачається, що для кожного j -го елемента вектору у адміністратором Grid-системи заданий критерій обчислення оцінки y_j якості значення та його граничні значення y_j^{\min} та $y_j^{\max} \in Y_j$.

Ряд елементів вектору x грають роль варійованих змінних, утворюють підмножина X^* та ототожнюються з елементами вектору $u: u_q \equiv x_i, q = \overline{1, n_u}, i \in \overline{1, n_x}, 1 \leq n_u < n_x$. Як правило, при вирішенні практичних завдань управління обчисленнями в Grid-системі в процесі імітаційного моделювання доцільно використовувати $q \leq 8$. Число значень варійованих змінних визначається, виходячи зі співвідношення:

$$\left(t_m \times \prod_{q=1}^{n_u} z_q \right) / n_c \leq T_2, \quad (1)$$

де t_m - середній час прогону імітаційної моделі, що визначається комплексом мета-моніторингу на основі обчислювальної історії прогонів моделі, $z_q < 0$ - число варійованих значень q -й змінної, n_c - число ядер вузла, в якому розміщений керуючий агент, $n_u < n_c$. В якості вихідних значень варійованих змінних використовуються базові значення, що відповідають прийнятним за замовчуванням значень конфігураційних параметрів діючої системи управління обчисленнями Grid-системи. Решта значень змінних вибираються з відповідних областей допустимих значень з урахуванням ефектів впливу варійованих змінних на спостережувані змінні. Значення не варійованих вхідних змінних, які є елементами вектору x , задаються на основі відповідної числової інформації, представленої векторами r_2 і c_1 .

В процесі моделювання виконується імітація процесу функціонування Grid-системи шляхом проведення паралельних різноманітних розрахунків і формується безліч V варіантів значень спостережуваних змінних: значення $y_{jk} \in Y_j$ є елементом k -го варіанту $v_k \in V$ для змінної $y_{jj} = \overline{1, n_y}, k = \overline{1, n_v}$.



Вибір з безлічі V підмножини $V^* \subseteq V$ варіантів значень спостережуваних змінних з метою подальшого визначення значень елементів вектору u є багатокритеріальним. Вибір варіантів для підмножини V^* здійснюється керуючим агентом або на основі лексикографічного методу, якщо адміністратор Grid-системи може впорядкувати спостерігаються змінні за значимістю, або в іншому випадку на основі мажоритарного методу. Лексикографічний метод відбору варіантів значень спостережуваних змінних використовує наступне правило багатокритеріального вибору[6]:

$$V^* = \{v_k \in V: (\forall v_l \in V \exists p \in \overline{1, n_y - 1} : (\hat{y}_{1k} = \hat{y}_{1l}) \wedge \dots \wedge (\hat{y}_{pk} = \hat{y}_{pl}) \wedge (\hat{y}_{(p+1)k} > \hat{y}_{(p+1)l}))\} \quad (2)$$

де

$$y_j^{\min} \leq y_{jk} \leq y_j^{\max}, \quad j = \overline{1, n_y}, \quad k \in \overline{1, n_v}, \quad l \in \overline{1, n_v}, \quad k \neq l$$

Мажоритарний метод відбору варіантів значень спостережуваних змінних використовує наступне правило багатокритеріального вибору[6]:

$$V^* = \{v_k \in V (\neg \exists v_l \in V: \sum_{j=1}^{n_y} \text{sign}(\hat{y}_{jl} - \hat{y}_{jk}) > 0)\} \quad (3)$$

де $\text{sign}(0) = 0$, $y_j^{\min} \leq y_{jk} \leq y_j^{\max}$, $j = \overline{1, n_y}$, $k \in \overline{1, n_v}$, $l \in \overline{1, n_v}$, $k \neq l$

Застосування розглянутих вище методів багатокритеріального вибору обумовлено тим, що вони мають найменшу складність з обчислювальної точки зору в порівнянні з іншими відомими методами вирішення такого завдання, прості в реалізації і керуючому агенту потрібна мінімальна додаткова інформація від адміністратора Grid-системи.

Таким чином, агенти розподілу ресурсів здійснюють управлінський вплив $d_1 = H(c_2, w_1, u)$ на Grid-систему, де керуючий вплив $u = Q(r_2, c_1, y)$

призначене для підвищення якості рішень, що приймаються агентами розподілу ресурсів, шляхом впливу на ступінь намірів агентів виконувати завдання різних класів. Зв'язки H і Q мають ту ж природу, що і розглянута зв'язок F . Слід зазначити, що при виході з ладу будь-якого агента МАС, включаючи керуючого агента, функціонування об'єкта управління продовжиться[11]. При цьому можливо знизяться лише показники якості його роботи.

2. Управління обчисленнями на рівні додатку

Додаткові засоби керування обчисленнями на рівні додатків є віртуальне співтовариство додатки, що створюється для організації паралельного виконання програми локального користувача в Grid-системі. Основне призначення віртуальне співтовариство додатки - забезпечення вибору найменш завантажених ОК запуск паралельного додатка, моніторинг та передача користувачеві результатів обчислень. Віртуальна спільнота додатки включає призначеного для користувача агента, агентів класифікації та



планування, агенту менеджера та динамічно змінюється набір локальних агентів[10]. Необхідну для розподілу інформацію про обчислювальних характеристиках вузлів і поточних показниках обсягів обчислювальних робіт ОК, представлену у вигляді вектору c_2 , агент-менеджер отримує від керуючого агенту. Агент-менеджер відповідає також за автоматичний перезапуск завдань з новими параметрами та за моніторинг процесу виконання завдання користувача. Для розподілу завдань по локальним агентам застосовується модель тендера, де в якості лотів виступають обчислювальні роботи, а в якості - представники обчислювальних ресурсів, які претендують на виконання робіт.

В цілому сервіс забезпечує користувачеві наступні можливості: формулювання постановок задач, конфігураційну настройку і введення вихідних даних для програми, отримання результатів розрахунків, перегляд поточної завантаженості ОК і отримання інформаційних повідомлень як поштових, так і засобами веб-інтерфейсу. Поряд з перерахованими функціями системного характеру в створюваному віртуальне співтовариство додатки можна врахувати можливості, зумовлені специфікою предметної області додатку користувача. Локальні агенти відповідають за відправку завдань локальній системі управління ОК, аналіз поточного стану ОК і за передачу результатів виконання завдань агенту-менеджеру.

Висновки:

У статті розглянуті методи і засоби управління проблемно-орієнтованими[8] розподіленими обчисленнями в кластерній Grid-системі[9], інтегровані з традиційними мета-планувальниками і локальними менеджерами ресурсів вузлів Grid-системи, в тому числі оригінальні методи і засоби конвертування призначених для користувача запитів в обчислювальні завдання, класифікації завдань і декомпозиції ресурсів середовища відповідно до класів завдань. Перераховані методи і засоби мають ряд відмінних рис. По-перше, вони забезпечують можливість розробки і виконання сервісів додатків в різних режимах: управління обчисленнями як на рівні окремих додатків, так і на рівні потоків завдань; розподіл ресурсів, необхідних для виконання операцій сервісів, спеціальними агентами або традиційними локальними менеджерами ресурсів, застосування статичного або динамічного планування обчислень.

Література:

1. Foster I. Globus Toolkit Version 4: Software for Service-Oriented Systems // IFIP Int. Conf. on Network and Parallel Computing. Springer, 2006. P. 2–13.
2. Rajkumar Buyya R., Vecchiola C., Selvi S.T. Mastering Cloud Computing. Burlington, Massachusetts, USA: Morgan Kaufmann, 2013.
3. Binsztok H., Koprowski A., Swarczewskaja I. Opa: Up and Running. O'Reilly Media, Inc., 2013.
4. Streit A., Bala P., Beck-Ratzka A. et al. UNICORE 6 – Recent and Future Advancements. Forschungszentrum Jülich Zentralbibliothek, 2010. <http://hdl.handle.net/2128/3695>.
5. Бухановский А.В., Ковальчук С.В., Марьин С.В. Интеллектуальные



высокопроизводительные программные комплексы моделирования сложных систем: концепция, архитектура и примеры реализации // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52. № 10. С. 5–24.

6. Астафьев А.С., Афанасьев А.П., Лазарев И.В. и др. Научная сервис-ориентированная среда на основе технологий Web и распределенных вычислений // Научн. сервис в сети Интернет: масштабируемость, параллельность, эффективность. Тр. Всерос. суперкомпьют. конф. М.: Изд-во МГУ, 2009. С. 463–467.

7. Топорков В.В., Емельянов Д.М., Топоркова А.С. Метапланирование и управление ресурсами в ГРИД // ИТНОУ. 2017. № 3. С. 72–80.

8. Feoktistov A.G., Kostromin R.O. Development and application of subject-oriented multi-agent systems for distributed computing management. // Izvestiya SFedU. Engineering Sciences. УДК 004.4'2+004.89 DOI 10.18522/2311-3103-2016-11-6575

9. Костромин Р.О., Феоктистов А.Г. Мультиагентная система управления распределенными вычислениями. // ИТНОУ. 2017 № 4. ст- 18-22

10. Amato A., Venticinque S. A Distributed Agent-Based Decision Support for Cloud Brokering // Scalable Comput.: Pract. Exp. 2014. Vol. 15, N 1. P. 65–78.

11. Мультиагентное управление вычислительной системой на основе метамониторинга и имитационного моделирования / И.В. Бычков и др. // Автометрия. 2016. Т. 52. № 2. С. 3–9

12. BATOOL K., NIAZI M.A. Modeling the internet of things: a hybrid modeling approach using complex networks and agent-based models // Complex Adaptive Systems Modeling. – 2017. – Vol. 5, No. 1. – P. 4. – URL: <http://dx.doi.org/10.1186/s40294-017-0043-1>.

13. BUDAEV D., AMELIN K., VOSCHUK G. et al. Realtime task scheduling for multi-agent control system of UAV's group based on network-centric technology // Int. Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT2016). – 2016. – P. 378–381.

14. Виттих В. А., Скобелев П. О. Метод сопряженных взаимодействий для управления распределением ресурсов в реальном масштабе времени // Автометрия. – 2009. – Т. 45. – №. 2. – С. 84-86.

15. Граничин О.Н., Скобелев П.О. Суперкомпьютеры и мультиагентные технологии для решения сложных задач управления ресурсами в реальном времени // Суперкомпьютеры. – № 4(16). – 2013. – С.54-59

Abstract. *The article considers a multi-agent system that provides an integration approach to computational management for a cluster Grid system of computational type, the nodes of which have a complex hybrid structure. The hybrid cluster includes computing modules that support different parallel programming technologies and differ in their computational characteristics. The novelty and practical significance of the methods and tools presented in the article are a significant expansion of the functionality of the cluster Grid computing management system for the distribution and division of Grid resources at different levels of tasks, the possibility of embedding intelligent computing tools in problem-oriented applications.*

Key words: *Multiagent management, distributed computing, GRID, multiagent simulation, intellectual agent, multi-agent system.*