

17. Kalkowski E., Sick B., Fisch D. Knowledge Fusion for Probabilistic Generative Classifiers with Data Mining Applications, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2014, Vol. 26, pp. 652-666.
18. Karabach A.E. Sistemy integratsii informatsii na osnove semanticheskikh tekhnologiy [Information integration systems based on semantic technologies], *Nauka, tekhnika i obrazovanie* [Science, technology and education], 2014, No. 2 (2), pp. 58-62.
19. Hernich A., Lutz C., Papacchini F., Wolter F. Dichotomies in Ontology-Mediated Querying with the Guarded Fragment, *36th Symposium on Principles of Database Systems*, 2017, pp. 185-199.
20. Semenova A.V., Kureychik V.M. Multi-objective particle swarm optimization for ontology alignment, *10th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*, 2016.

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н., доцент Ю.П. Волощенко.

Данильченко Владислав Иванович – Южный федеральный университет; e-mail: vdanielchenko@sfedu.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: +79526088561; кафедра САПР.

Курейчик Виктор Михайлович – e-mail: vmkureychik@sfedu.ru; тел.: 88634311487; кафедра САПР; д.т.н.; профессор.

Danilchenko Vladislav Ivanovich – Southern Federal University; e-mail: vdanielchenko@sfedu.ru; Taganrog, Russia; phone: +79526088561; the department of computer-aided design; postgraduate.

Kureichik Viktor Mikhailovich – e-mail: vmkureychik@sfedu.ru; phone: +78634311487; the department of computer-aided design; dr. of eng. sc. professor.

УДК 004.272

DOI 10.18522/2311-3103-2022-3-147-158

Д.Ю. Кравченко, Ю.А. Кравченко, Э.В. Кулиев, А.Э. Саак

ЦЕНТРАЛЬНО-КОЛЬЦЕВОЙ ПОЛИНОМИАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО-ВРЕМЕННЫХ РЕСУРСОВ В ГРИД-СИСТЕМАХ*

Статья посвящена решению задачи распределения вычислительно-временных ресурсов в грид-системах на основе адаптации используемых полиномиальных алгоритмов к квадратичным типам заявок пользователей. Актуальность задачи обоснована значительным ростом востребованности парадигмы распределенных вычислений в условиях информационного переполнения и неопределенности. В статье рассмотрены проблемы диспетчирования гетерогенных вычислительных ресурсов при решении сложных профессиональных и научных задач, поступающих в различные моменты времени, на основе классификации по значимым признакам соответствия и готовности ресурса. Проведен сравнительный обзор существующих аналогов. Сформулирована постановка решаемой задачи в контексте выбранной тематики исследования. Обоснована проблема диспетчирования грид-систем с централизованной архитектурой, которая использует технологию мульти-сайтного выполнения задач. Применение данной архитектуры требует разработки эвристических алгоритмов распределения вычислительных ресурсов с функцией учета свойств массивов заявок пользователей и оценки соответствия распорядка. Исключение возникновения ошибок диспетчирования требует разработки формального аппарата, который будет выявлять закономерности множества заявок, введет их типизацию и построит эвристические алгоритмы с оценкой качества, адаптированные под соответствующие типы. Разработка такого формального аппарата несомненно является актуальной задачей. Не менее важной задачей в рамках создания данного аппарата является построение модели паритетности ресурсов и моделей взаимодействия пользователей и вычислительной

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-01-00148.

системы. Авторами предложено решать задачу диспетчирования вычислительных ресурсов на основе разработки и исследования полиномиальных алгоритмов диспетчирования массивами заявок гиперболического типа. Основной теоретической значимостью данного исследования является создание формального аппарата среды диспетчирования, включающего определение ресурсного прямоугольника, как модели заявки пользователя, на основе выполнения операций в среде диспетчирования над этими ресурсными прямоугольниками. Научная новизна исследования заключается в разработке центрально-кольцевого полиномиального алгоритма распределения вычислительно-временных ресурсов в грид-системах, который отличается от существующих алгоритмов диспетчирования вычислительных систем адаптацией к квадратичным типам заявок пользователей и позволяет повысить эффективность распределения вычислительно-временных ресурсов. Для оценки эффективности предложенного алгоритма разработано программное приложение и проведен вычислительный эксперимент с разным количеством сформированных классов вычислительных ресурсов. Полученные сравнительные результаты проведенных экспериментальных исследований подтверждают эффективность предложенного алгоритма распределения вычислительно-временных ресурсов. Описанные исследования имеют высокий уровень теоретической и практической значимости и напрямую связаны с решением классических задач искусственного интеллекта.

Диспетчирование; параллельные вычисления; grid-системы; распределенные вычислительные ресурсы; центрально-кольцевой полиномиальный алгоритм; централизованная архитектура.

D.Yu. Kravchenko, Yu.A. Kravchenko, E.V. Kuliev, A.E. Saak

CENTRAL-RING POLYNOMIAL ALGORITHM FOR DISTRIBUTION OF COMPUTATION-TIME RESOURCES IN GRID SYSTEMS

The article is devoted to solving the problem of computational and time resources distribution in grid systems based on the adaptation of polynomial algorithms to quadratic types of user applications. The relevance of demand distribution validity problem for the distributed computing paradigm in the context of information redistribution and uncertainty. The article deals with the problems of scheduling heterogeneous computing resources in solving complex professional and scientific problems achieved at different points in time, based on identifying resources by significant manifestations of commitment and probability. A comparative review of consumption has been carried out. The statement of the problem to be solved in the chosen research area is formulated. The problem of scheduling a grid system with a centralized multiarchitecture, which uses the task solution of a group-site, is substantiated. The use of this architecture requires the development of heuristic algorithms for the distribution of computing resources, taking into account the properties of application arrays and assessing the schedule compliance. Eliminating the occurrence of scheduling errors requires the development of a formal apparatus that will identify the prospects of the application, introduce their typing and build heuristic algorithms with quality assessment, selected for certain types. The development of such a formal apparatus is an urgent task. An equally important task within the framework of this mechanism is the construction of resource parity models and interaction between users and the computing system models. The authors proposed to solve the problem of scheduling computing resources based on the development and study of polynomial scheduling algorithms for arrays of hyperbolic applications. The main theoretical accuracy of this study is the creation of a formal scheduling apparatus, including the definition of resource sugar, as a model of user applications, based on the performance of an operation in the scheduling environment on a set of resource muscles. The scientific novelty of the research lies in the development of a central-ring polynomial algorithm for the distribution of computational time resources in grid systems, which involves an automatic scheduling algorithm for computing systems, adaptation to quadratic types of user applications and improves the efficiency of computational time resources distribution. To evaluate the developed efficiency of the software application algorithm and the conducted computational experiment with rapidly generated classes of computational resources. Obtained comparative results of the proposed algorithm practical efficiency experimental studies for the distribution of computational and time resources. The described studies have a high level of theoretical and practical significance and are directly related to the solution of artificial intelligence classical problems.

Dispatching; parallel computing; grid-computing; distributed computing resources; central-ring polynomial algorithm; centralized architecture.

Введение. В настоящее время проблема эффективного диспетчирования с оптимизацией распределения используемых вычислительных ресурсов до конца не решена. Не предложен формальный аппарат среды диспетчирования, который позволит выявить закономерности распределения ресурсов, провести их классификацию и предложить эффективные методы решения данных задач, обеспечивающие параллелизм выполнения и оптимальное использование вычислительных ресурсов. Особенно это актуально для решения проблем диспетчирования грид-систем с централизованной архитектурой, которая использует технологию мульти-сайтного выполнения задач. В этом случае распределение ресурсов происходит одновременно для нескольких сайтов, что выходит за рамки параллельных систем. Применение данной архитектуры требует разработки эвристических алгоритмов распределения вычислительных ресурсов с функцией учета свойств массивов заявок пользователей и оценки соответствия расписания.

От эффективности метода распределения вычислительных ресурсов зависит надежность и быстродействие всей грид-системы в целом. Например, неоптимальное распределение вычислительных ресурсов всегда влечет за собой риск выхода информационного процесса из активной фазы вычислений и перевода в состояние ожидания на неопределенное время. Такое событие, называемое «отстранением», является следствием возникновения ошибок в оперативном диспетчировании распределенных вычислительных ресурсов [1–7]. Исключение возникновения подобных ошибок требует разработки формального аппарата среды диспетчирования, который будет выявлять закономерности множества заявок, введет их типизацию и построит эвристические алгоритмы с оценкой качества, адаптированные под соответствующие типы. Разработка такого формального аппарата несомненно является актуальной задачей. Не менее важной задачей в рамках создания данного аппарата является построение модели паритетности ресурсов и моделей взаимодействия пользователей и вычислительной системы.

Авторами предложено решать задачу диспетчирования вычислительных ресурсов на основе разработки и исследования полиномиальных алгоритмов диспетчирования массивами заявок гиперболического типа. Основной теоретической значимостью данного исследования является создание формального аппарата среды диспетчирования, включающего определение ресурсного прямоугольника, как модели заявки пользователя, на основе выполнения операций в среде диспетчирования над этими ресурсными прямоугольниками.

Научная новизна исследования заключается в разработке центрально-кольцевого полиномиального алгоритма распределения вычислительно-временных ресурсов в грид-системах, который отличаются от существующих алгоритмов диспетчирования вычислительных систем адаптацией к квадратичным типам заявок пользователей и позволяет повысить эффективность распределения вычислительно-временных ресурсов.

Сложность задачи сбалансированного управления ресурсами в Grid- системах растет пропорционально росту числа процессоров и увеличению быстродействия информационных сетей. Равноправность используемых вычислительных ресурсов требует применения принципа паритетности. В данной работе для Grid- систем с централизованной структурой системы диспетчирования и ко-аллокацией ресурсов (мульти-сайтное диспетчирование) использована паритетная модель ресурсного квадранта [8–15].

Основу формального аппарата проведенного исследования составляет центрально-кольцевой полиномиальный алгоритм распределения вычислительно-временных ресурсов. Для оценки эффективности предложенного алгоритма разработано программное приложение и проведен вычислительный эксперимент с раз-

ным количеством сформированных классов вычислительных ресурсов. Полученные сравнительные результаты проведенных экспериментальных исследований подтверждает эффективность предложенного алгоритма распределения вычислительно-временных ресурсов.

1. Постановка задачи. Для формализованного представления заявки авторы применили понятие «ресурсного прямоугольника». *Ресурсным прямоугольником* является фигура (рис. 1), у которой горизонтальное и вертикальное измерения считаются равными числу единиц ресурса времени и процессоров соответственно, требуемому для обработки заявки. Символом $a(j_1) \times b(j_1)$ или $[(a(j_1), b(j_1))]$ обозначим j_1 -ю заявку, требующую $a(j_1)$ единиц времени и $b(j_1)$ единиц процессоров.

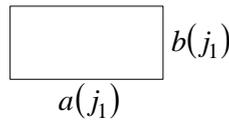


Рис. 1. Ресурсный прямоугольник

Несмотря на визуальное сходство ресурсного прямоугольника с геометрическим, на самом деле они принципиально отличаются. Звенья-измерения геометрического прямоугольника имеют размерность единиц длины, одного рода – однородны. В тоже время звенья-измерения ресурсного прямоугольника имеют размерность единиц ресурса одного рода (процессоры) и другого рода (время) – разнородны.

Зададим отличие ресурсных звеньев-измерений от геометрических величин, введем символику унодных импульсов 1-го, 2-го рода

$$a(j_1) \rightarrow a(j_1) \delta_h^{(1)}(j_1), \quad b(j_1) \rightarrow b(j_1) \delta_h^{(2)}(j_1),$$

с коэффициентами гомотетии $a(j_1)$, $b(j_1)$ в качестве упомянутых звеньев. Здесь

$$\delta_h^{(1)}(j_1) = \begin{cases} 1, & j_1 = j_1, \\ 0, & j_1 \neq j_1, \end{cases} \quad \delta_h^{(2)}(j_2) = \begin{cases} 1, & j_2 = j_2, \\ 0, & j_2 \neq j_2. \end{cases}$$

Представим базовую модель Z^1 – среды диспетчирования на основе применения полосы граней (рис. 2) единичной высоты и оснований-звеньев-измерений 1-го рода $a(j_1) \delta_h^{(1)}(j_1) \times 1$.

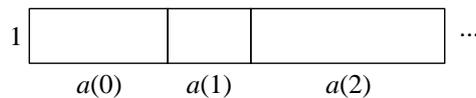


Рис. 2. Линейная полиэдраль граней единичной высоты

При убывании звеньев-измерений оснований $a(j_1) \downarrow, j_1 \uparrow$ применяется алгебраизация Z^1 – кругового квадратичного типа с Z -разностью $\Delta_1 = S_1 - 1$, где S_1 – единичный сдвиг $S_1 Y(j_1) = Y(j_1 + 1)$ и круговые унодные импульсы $\delta_h^{(1)}(j_1)$ с гармоническим изображением $W_1^{j_1}, W_1 = \exp(i \frac{2\pi}{k})$.

При возрастании звеньев-измерений оснований $a(j_1) \uparrow, j_1 \uparrow$ применяется алгебраизация Z_{co}^1 – гиперболического квадратичного типа с Z_{co} – разностью $\Delta_{co} = S_1 + 1$ и гиперболические унодные импульсы $(-1)^{j_1} \delta_h^{(1)}(j_1)$ с гармоническим изображением $(-W_1)^{j_1}$.

В итоге, Z^1 – среда элементов диспетчирования образована гранями единичной высоты $a(j_i) \times 1$ и гранями единичных оснований $1 \times b(j_i)$ с указанными выше действиями над ними и метрированием Z -интегралами Z^1 , Z_{co}^1 , Z_{pa}^1 – алгебраизаций. На этой основе возникает линейная полиэдраль граней $a(j_i) \times b(j_i)$ в качестве основной модели Z^2 – среды диспетчирования (рис. 3).

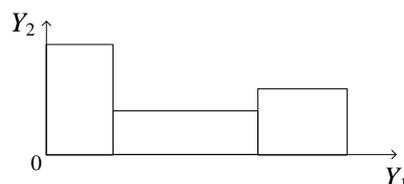


Рис. 3. Линейная полиэдраль ресурсов прямоугольников

Мера ресурсного прямоугольника $a(j_i) \times b(j_i)$ определена величиной $\frac{1}{2} \left[\frac{a(j_i)b(j_i) + (b(j_i) - a(j_i))^2}{a(j_i)b(j_i)} \right] = \frac{1}{2} + \frac{(b(j_i) - a(j_i))^2}{2a(j_i)b(j_i)}$, называемой эвристической мерой, состоящей из площади $a(j_i) \cdot b(j_i)$ и показателя асимметрии прямоугольника $(b(j_i) - a(j_i))^2$, учитывающего его форму [16].

Также были определены базовые операции сложения, умножения, дифференцирования и динамического интегрирования ресурсных прямоугольников, ориентированные на диспетчирование множественного компьютерного обслуживания [16].

Для задания гиперболического типа линейных полиэдралей был введен признак попарной последовательной несравнимости ресурсных прямоугольников $\Delta_1 \cdot \Delta_2 < 0$ и реализована возможность упорядочивания граней по убыванию высот и росту оснований с возрастанием индексации, $j_i \uparrow$, определяющим свойством гиперболической типизации линейной полиэдрали.

В число важных факторов гиперболической квадратичной типизации, наряду с центральным признаком несравнимости ресурсных прямоугольников массива гиперболического типа, входит антисогласованность изменения измерений граней с изменением индексации граней.

Приведём базовые примеры массивов заявок гиперболического типа: ресурсных прямоугольников $(k + j_i) \times (3k - j_i)$, $j_i = \frac{k}{2} + 1, \frac{k}{2} + 2, \dots, \frac{k}{2} + k$ (рис. 4), ресурсных прямоугольников горизонтальной формы $(k + j_i) \times (3k - j_i)$, $j_i = k, k + 1, \dots, k + (k - 1)$ (преимущественные требования временного ресурса $a(j_i) > b(j_i)$) (рис. 5), ресурсных прямоугольников вертикальной формы $(k + j_i) \times (3k - j_i)$, $j_i = 1, 2, \dots, k$ (преимущественные требования процессорного ресурса $a(j_i) < b(j_i)$) (рис. 6).

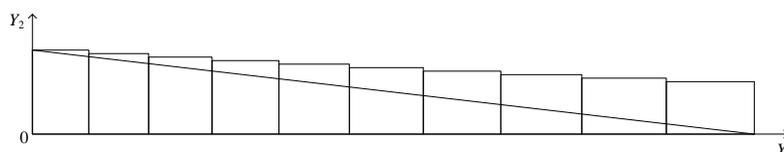


Рис. 4. Гиперболическая полиэдраль ресурсов прямоугольников

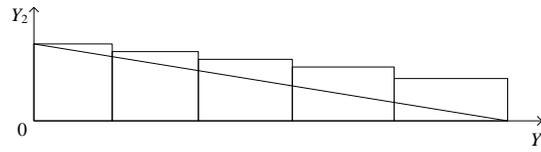


Рис. 5. Гиперболическая полиэдраль прямоугольников горизонтальной формы

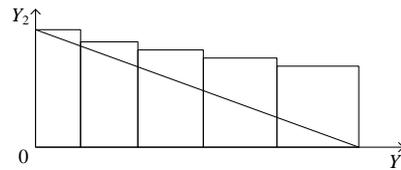


Рис. 6. Гиперболическая полиэдраль прямоугольников вертикальной формы

Пара ресурсных прямоугольников, упорядоченных по убыванию высот, относится к параболическому типу в случае превалирования хорды над левым отсчётом второй грани. Иначе, при превалировании левого отсчёта второй грани над хордой, пара ресурсных прямоугольников относится к круговому или гиперболическому типу в случае сравнимости или несравнимости соответственно. Таким образом, формируется основа для общего алгоритма факторизации линейной полиэдры на модули определённой квадратичной типизации.

2. Разработка и исследование центрально-кольцевого алгоритма распределения вычислительно-временных ресурсов в грид-системах. Опишем разработку центрально-кольцевого алгоритма диспетчирования линейными гиперболическими полиэдрами ресурсных прямоугольников $\bigcup_{j_1=0}^{k-1} [a(j_1), b(j_1)]$, $b(j_1) \downarrow$, $a(j_1) \uparrow$, $j_1 \uparrow$ [17–24].

В данном представлении модели диспетчирования начально-кольцевая локализация трансформируется в центрально-кольцевую. При этом, роль максимального начального ресурсного элемента линейной круговой полиэдры переходит к центральному элементу $[(a(j_1^*), b(j_1^*))]$ минимальной асимметрии измерений $|b(j_1^*) - a(j_1^*)| = \min_{j_1} |b(j_1) - a(j_1)|$. Данный ресурсный элемент делит массив на предшествующие элементы с номерами $j_1 < j_1^*$ больших высот и меньших оснований и последующие элементы с $j_1 > j_1^*$ противоположного свойства. Представим последовательность шагов алгоритма:

1⁰. Центральный ресурсный элемент зададим в качестве начальной оболочки (рис. 7).

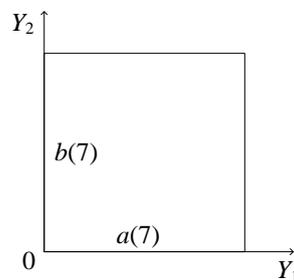


Рис. 7. Начальная ресурсная оболочка

2⁰. На втором шаге вдоль правой стороны оболочки $Y_1 = a(j_1^*)$ вертикально позиционируем последующие по отношению к центральному ресурсные прямоугольники $\bigcup_{j_1=j_1^*+1}^{j_1^*+q_1} [(a(j_1), b(j_1))]$ до наибольшего приближения уровня оболочки с недостатком $\sum_{j_1=j_1^*+1}^{j_1^*+q_1} b(j_1) = b(j_1^*) - 0$ (операция динамического интегрирования ресурсных прямоугольников по вертикали). Здесь q_1 – число ресурсных прямоугольников, после операции суперпозиции в вертикальном слое. Далее построим новую ресурсную оболочку полученной совокупности ресурсных прямоугольников (рис. 8).

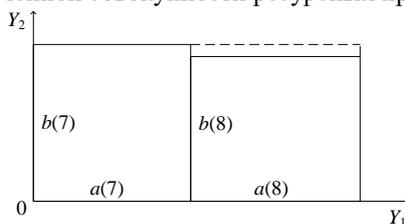


Рис. 8. Первая ресурсная оболочка

3⁰. Над верхней стороной достигнутой оболочки вдоль горизонтального отрезка на упомянутом уровне $Y_2 = b(j_1^*)$ проведем последовательную суперпозицию элементов, предшествующих центральному $\bigcup_{j_1=j_1^*-1}^{j_1^*-q_2} [(a(j_1), b(j_1))]$, до получения наибольшего приближения с недостатком величины протяжённости оболочки $\sum_{j_1=j_1^*-1}^{j_1^*-q_2} a(j_1) = a(j_1^*) + a(j_1^* + q_1) - 0$ (операция динамического интегрирования ресурсных прямоугольников по горизонтали). Здесь q_2 – число ресурсных прямоугольников, над которыми проведена операция суперпозиции в горизонтальном слое. Далее построим новую ресурсную оболочку полученной совокупности ресурсных прямоугольников (рис. 9).

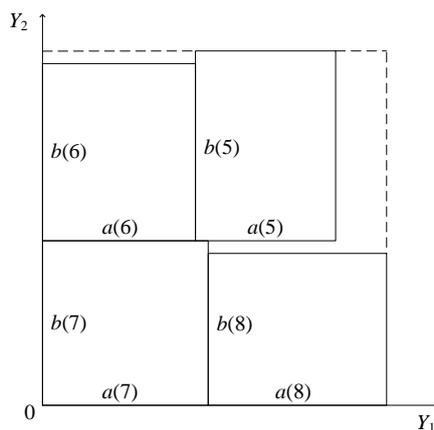


Рис. 9. Вторая ресурсная оболочка

4⁰. На данном шаге алгоритма повторно вдоль правой стороны достигнутой оболочки $Y_1 = a(j_1^*) + a(j_1^* + q_1)$ вертикально проводится операция суперпозиции последующих ресурсных прямоугольников $\bigcup_{j_1=j_1^*+q_1+1}^{j_1^*+q_1+q_3} [(a(j_1), b(j_1))]$ до достижения наибольшего приближения уровня оболочки с недостатком $\sum_{j_1=j_1^*+q_1+1}^{j_1^*+q_1+q_3} b(j_1) = b(j_1^*) + b(j_1^* - q_2) - 0$ (операция динамического интегрирования ресурсных прямоугольников по вертикали). В данном случае q_3 – число ресурсных прямоугольников, над которыми проведена операция суперпозиции в вертикальном слое. Далее построим новую ресурсную оболочку (рис. 10).

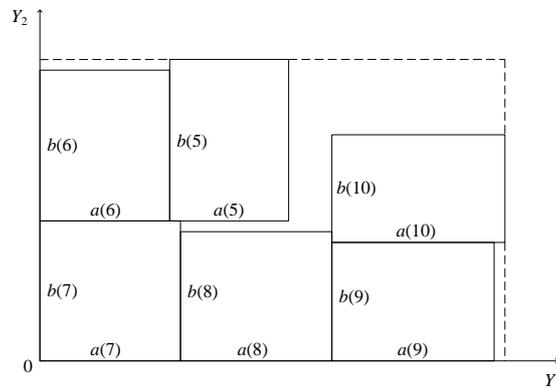


Рис. 10. Третья ресурсная оболочка

5⁰. На следующем шаге алгоритма над верхней стороной достигнутой оболочки вдоль горизонтали $Y_2 = b(j_1^*) + b(j_1^* - q_2)$ проводим последовательную суперпозицию элементов, предшествующих по отношению к центральному $\bigcup_{j_1=j_1^*-q_2-1}^{j_1^*-q_2-q_4} [(a(j_1), b(j_1))]$, до достижения наибольшего приближения с недостатком вели-

чины протяжённости оболочки $\sum_{j_1=j_1^*-q_2-1}^{j_1^*-q_2-q_4} a(j_1) = a(j_1^*) + a(j_1^* + q_1) + a(j_1^* + q_1 + q_3) - 0$

(операция динамического интегрирования ресурсных прямоугольников по горизонтали). В этом случае q_4 – число ресурсных прямоугольников, над которыми проведена операция суперпозиции в горизонтальном слое.

6⁰. В следующих итерациях повторяем разработанный алгоритм центрально-кольцевой локализации до достижения полного исчерпания ресурсных прямоугольников массива (рис. 11).

Количество итераций работы центрально-кольцевого алгоритма составляет k операций сложения и k операций сравнения. Таким образом, алгоритм является полиномиальным.

Отметим, что для линейной полиэдральной гиперболических ресурсных прямоугольников с центральным элементом минимальной асимметрии $(k + j_1) \times (3k - j_1)$, $j_1 = \frac{k}{2} + 1, \frac{k}{2} + 2, \dots, \frac{k}{2} + k$ при $k = 20$ соответствующие построения показаны на рис. 12.

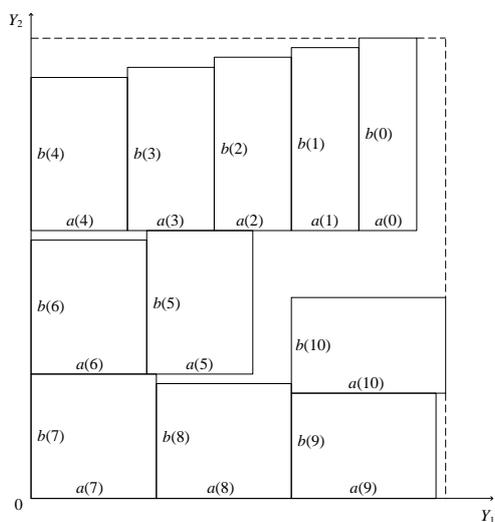


Рис. 11. Конечная ресурсная оболочка

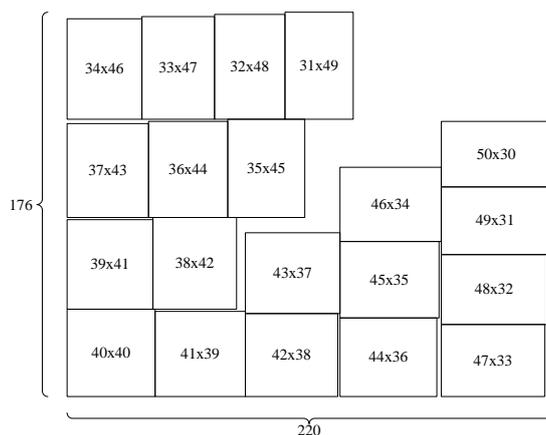


Рис. 11. Укладка гиперболической линейной полиэдральной ресурсной оболочки центральным кольцевым алгоритмом

Эвристические меры ресурсных оболочек центрально-кольцевого алгоритма для этой последовательности гиперболических ресурсных прямоугольников с центральным элементом минимальной асимметрии приведены в табл. 1.

Таблица 1

Эвристические меры ресурсных оболочек центрально-кольцевого алгоритма

k	Ресурсная оболочка	Эвристическая мера	k	Ресурсная оболочка	Эвристическая мера
10	89×66	0,82	16	178×142	0,83
11	97×73	0,73	17	188×151	0,77
12	106×79	0,67	18	199×159	0,73
13	114×117	0,78	19	209×168	0,68
14	123×125	0,72	20	220×176	0,65
15	167×134	0,89			

Проведенные экспериментальные исследования показали, что эвристические меры ресурсных оболочек центрально-кольцевого алгоритма не превосходят значения $\frac{1}{2} + 0,39$.

Таким образом, в представленной работе описаны разработка и исследование эвристического центрально-кольцевого алгоритма диспетчирования массивами заявок гиперболического типа. Подтверждена полиномиальная трудоёмкость предложенного центрально-кольцевого алгоритма. Для базового примера массива заявок гиперболического типа ресурсных прямоугольников $(k + j_1) \times (3k - j_1)$, $j_1 = \frac{k}{2} + 1, \frac{k}{2} + 2, \dots, \frac{k}{2} + k$ строятся объемлющие прямоугольники с вычислением эвристических мер. Сделан вывод о высоком качестве получаемых решений на основе применения данного эвристического полиномиального центрально-кольцевого алгоритма.

Заключение. В данной статье представлена разработка центрально-кольцевого полиномиального алгоритма распределения вычислительно-временных ресурсов в грид-системах, который отличается от существующих алгоритмов диспетчирования вычислительных систем адаптацией к квадратичным типам заявок пользователей, что позволяет повысить эффективность распределения вычислительно-временных ресурсов.

Актуальность задачи обоснована значительным ростом востребованности парадигмы распределенных вычислений в условиях информационного переполнения и неопределенности. В статье рассмотрены проблемы диспетчирования гетерогенных вычислительных ресурсов при решении сложных профессиональных и научных задач, поступающих в различные моменты времени, на основе классификации по значимым признакам соответствия и готовности ресурса. Проведен сравнительный обзор существующих аналогов. Сформулирована постановка решаемой задачи в контексте выбранной тематики исследования. Обоснована проблема диспетчирования грид-систем с централизованной архитектурой, которая использует технологию мульти-сайтного выполнения задач.

Для оценки эффективности предложенного алгоритма разработано программное приложение и проведен вычислительный эксперимент с разным количеством сформированных классов вычислительных ресурсов. Полученные сравнительные результаты проведенных экспериментальных исследований подтверждает эффективность предложенного алгоритма распределения вычислительно-временных ресурсов. Временная сложность представленного алгоритма является полиномиальной.

Полученные количественные оценки демонстрируют экономию времени при решении задач диспетчирования распределенных вычислительных ресурсов. Статистика сравнения выявила преимущества разработанного полиномиального алгоритма при учёте качества заполнения ресурсной оболочки. Описанные исследования имеют высокий уровень теоретической и практической значимости и напрямую связаны с решением классических задач искусственного интеллекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Magoulès F., Nguyen T., Yu L.* Grid resource management: toward virtual and services compliant grid computing, Numerical analysis and scientific computing. CRC Press, UK, 2009.
2. *Magoulès F.* ed. Fundamentals of grid computing: theory, algorithms and technologies, Numerical analysis and scientific computing. CRC Press, UK, 2010.
3. *Patel S.* Survey Report of Job Scheduler on Grids, *International Journal of Emerging Research in Management & Technology*, 2013, 2 (4), pp. 115-125.

4. Li M., Baker M. The grid: core technologies. John Wiley & Sons Ltd, England. 2005.
5. Saak A.E., Kureichik V.V., Kravchenko Y.A. Scheduling quality of precise form sets which consist of tasks of circular type in GRID systems, *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, 1015 (4).
6. Saak A.E., Kureichik V.V., Lezhebokov A.A. Scheduling of parabolic-type tasks arrays in GRID systems, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2017, pp. 292-298.
7. Saak A., Kureichik, V., Kravchenko Y. To scheduling quality of sets of precise form which consist of tasks of circular and hyperbolic type in grid systems, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2016, pp. 157-166.
8. Saak A.E., Kureichik V.V., Kuliev E.V. Ring algorithms for scheduling in grid systems, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2015, pp. 201-209.
9. Wäscher G., Haußner H., Schumann H.. An improved typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*, 2007, Vol. 183, pp. 1109-1130.
10. Huang E., Korf R. Optimal rectangle packing: an absolute placement approach. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 2012, Vol. 46, pp. 47-87.
11. Simonis H., O'Sullivan B. Search strategies for rectangle packing. In Stuckey, P. (ed.), *14th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming (CP 2008)*, Vol. 5202 of Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2008, pp. 52-66.
12. Clautiaux F., Carlie, J., Moukrim A. A new exact method for the two-dimensional orthogonal packing problem, *European Journal of Operational Research*, 2007, Vol. 183 (3), pp. 1196-1211.
13. Bastos-Filho C.J.A., Lima-Neto F.B., Lins Sousa M.F.C., Pontes M.R. On the influence of the swimming operators in the fish school search algorithm, *IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics*, 2009 pp. 5012-5017.
14. Kenmochi M., Imanichi T., Nonobe K., Yagiura M., Nagamochi H. Exact algorithms for the two-dimensional strip packing problem. *European Journal of Operational Research*, 2009, Vol. 198, pp. 73-83.
15. Moffitt M., Pollack M. Optimal rectangle packing: a meta-csp approach. In Long, D., Smith, S., Borrajo, D., McCluskey, L. (ed.), *ICAPS*, 2006, pp. 93-102. AAAI.
16. Hifi M., Ouafi R. A best-first branch-and-bound algorithm for orthogonal rectangular packing problems. *Int. Trans. in Operational Research*, 1998, No. 5 (5), pp. 345-356.
17. Foster I., Kesselman C. The Grid in a nutshell. In: Nabrzycki, J., Schopf, J., Weglarz, J. (ed.) *Grid Resource Management: state of the art and future trends*. Kluwer, 2003.
18. Kureychik V.M. Overview and problem state of ontology models development, *9th International Conference on Application of Information and Communication Technologies, AICT 2015 - Proceedings 9*, 2015, pp. 558-564.
19. Semenova A.V. and Kureychik V.M. Application of swarm intelligence for domain ontology alignment, *Proceedings of the First International Scientific Conference "Intelligent Information Technologies for Industry" (ITI'16)*, 2016, Vol. 1, pp.261-270.
20. Bova V., Kureichik V. and Zaruba D. Heuristic approach to model of corporate knowledge construction in information and analytical systems, *2016 IEEE 10th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT), Baku, 2016*, pp. 1-5.
21. Kureichik V., Zaporozhets D., and Zaruba D. Generation of bioinspired search procedures for optimization problems, *Application of Information and Communication Technologies, AICT 2016 - Conference Proceedings*, 2016, Vol. 10.
22. Pulyavina N., Taratukhin V. The Future of Project-Based Learning for Engineering and Management Students: Towards an Advanced Design Thinking Approach, *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceeding*, 2018, No. 125.
23. Becker J. Next-Gen Design Thinking. Using Project-Based and Game-Oriented Approaches to Support Creativity and Innovation, *J. Becker, N. Pulyavina, V. Taratukhin // Proceedings of the 1st International Conference of Information Systems and Design*, 2020.
24. Bova V.V., Nuzhnov E.V., Kureichik V.V. The combined method of semantic similarity estimation of problem oriented knowledge on the basis of evolutionary procedures, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2017, Vol. 573, pp. 74-83.

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н., доцент С.Г. Буланов.

Кравченко Даниил Юрьевич – Южный федеральный университет; e-mail: kravchenkodanil122@gmail.com; г. Таганрог, Россия; тел.: 88634371651; кафедра систем автоматизированного проектирования; студент.

Кравченко Юрий Алексеевич – e-mail: yakravchenko@sfedu.ru; кафедра систем автоматизированного проектирования; доцент.

Кулиев Эльмар Валерьевич – e-mail: ekuliev@sfedu.ru; кафедра систем автоматизированного проектирования; доцент.

Саак Андрей Эрнестович – e-mail: aesaak@sfedu.ru; тел.: 88634393373; кафедра государственного и муниципального управления; зав. кафедрой.

Kravchenko Daniil Yurievich – Southern Federal University; e-mail: kravchenkodanil122@gmail.com; Taganrog, Russia; phone: +78634371651; the department of computer aided design; student.

Kravchenko Yury Alekseevich – e-mail: yakravchenko@sfedu.ru; the department of computer aided design; associate professor.

Kuliev Elmar Valerievich – e-mail: ekuliev@sfedu.ru; the department of computer aided design; associate professor.

Saak Andrey Ernestovich – e-mail: aesaak@sfedu.ru; phone: +78634393-373; the department of state and municipal management, head of department.

УДК 621.397.13:629.584

DOI 10.18522/2311-3103-2022-3-158-170

Н.А. Будко, А.Ю. Будко, М.Ю. Медведев

ВЫЧИТАНИЕ ПОМЕХИ ОБРАТНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ В СИСТЕМАХ ПОДВОДНОГО ВИДЕНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ В МУТНОЙ ВОДЕ

Исследование морских глубин в целях обеспечения безопасности, эффективного использования подводных ресурсов является актуальной задачей. В первой части статьи кратко рассмотрены физические феномены и ограничения, возникающие при распространении электромагнитных волн видимого диапазона в подводной среде. Показано, что системы подводного видения (как класс специализированных систем технического зрения, - СТЗ) на основе обычных ПЗС матриц сталкиваются с рядом фундаментальных ограничений в вопросе повышения эффективности функционирования в природной воде низкой прозрачности. В частности, использование искусственных источников освещения в составе систем подводного видения в мутной воде приводит к возникновению помехи обратного распространения (ПОР), приводящей к паразитной засветке матрицы оптического прибора. В качестве перспективного направления развития систем подводного видения предлагается использовать методы вычитания ПОР на основе информации о поляризации света. В обзорной части статьи рассмотрены последние достижения в данной области. В основной части статьи представлена методология исследования предлагаемого метода вычитания ПОР на основе сравнения с результатами, получаемыми при обработке изображений известными методами оценки параметров вектора Стокса DoLP и AoLP, позволяющими получать информацию о степени поляризации и преобладающих углах поляризации света соответственно. Представлены экспериментально полученные результаты обработки данных съемок подводной сцены в воде различной степени мутности посредством алгоритмов DoLP, AoLP и предлагаемым методом вычитания ПОР. Отличительными особенностями является использование при расчетах четырех, а не двух направлений поляризации, а также оригинальный математический аппарат обработки сигналов матрицы камеры машинного зрения.

Системы технического зрения; поляризация света; степень линейной поляризации; угол линейной поляризации; помеха обратного распространения.