

УДК 004.272.43

А.Э. Саак

ПРОГНОЗ РЕСУРСНОЙ ОБОЛОЧКИ ПРИ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ В GRID-СИСТЕМАХ С ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ АРХИТЕКТУРОЙ*

В предыдущих работах автора решалась задача локализации протяжённой линейной полиэдральной ресурсных прямоугольников (графическая иллюстрация заявок пользователей) в ресурсном квадрате (графическая иллюстрация Grid-системы) с минимизацией эвристической меры ресурсной оболочки. Были разработаны и исследованы эвристические алгоритмы диспетчеризации, адаптированные под соответствующий вид требований: кругового, гиперболического или параболического квадратичного типа. Для этих алгоритмов определялись параметры конкретной ресурсной оболочки. Интерес представляет прогноз поведения ресурсной оболочки с ростом мощности массива заявок. В настоящей статье для Grid-систем централизованной архитектуры, поддерживающих мульти-сайтное выполнение задач, рассматривается вопрос определения прогнозных значений параметров квадратной ресурсной рамки, в которую может быть локализован массив заявок кругового типа. Прогноз значений параметров квадратной ресурсной рамки, в которую может быть локализован массив заявок кругового типа выдерживает статистическую проверку, что позволяет использовать эвристическое диспетчерование в Grid-системах.

Grid-система; диспетчерование; круговой квадратичный тип массива требований пользователей; начальнo-кольцевой алгоритм; прогноз ресурсной оболочки.

A.E. Saak

PROGNOSIS OF A RESOURCE ENCLOSURE IN THE PROCESS OF SCHEDULING IN GRID-SYSTEMS WITH CENTRALIZED ARCHITECTURE

Previous author's works were dedicated to the problem of localization of continuous linear polyhedron of resource rectangles (a graphic illustration of user tasks) in a resource square (a graphic illustration of Grid-system) with minimization of the heuristic measure of the resource enclosure. The heuristic algorithms of scheduling were proposed and explored. They were adapted to the appropriate kind of requirements: the circular, hyperbolic or parabolic quadratic type. The parameters of the concrete resource enclosure were defined for the algorithms. Prognosis of resource enclosure behaviour in the situation of task queue power growth is the point of interest. In the paper for Grid-systems with centralized architecture which support multisite task performance, it is considered the problem of prognostic values definition of quadratic resource frame parameters in which the circular-type task queue could be localized. Prognosis of the values of square resource frame parameters in which the circular-type task queue could be localized stands the statistic test. That allows to apply practically heuristic scheduling in Grid-systems.

Grid-system; scheduling; circular-type quadratic task queue; initial ring algorithm; resource enclosure prognosis.

Введение. Развитие распределённых вычислений, вызванное всё возрастающей потребностью пользователей в вычислительных ресурсах, привело к появлению в конце прошлого и начале нынешнего века таких парадигм распределённых вычислений [1] как Grid-компьютинг (грид вычисления) [2], cloud-компьютинг (облачные вычисления) [3], jungle-компьютинг (вычислительные джунгли) [4]. Среди развивающихся в настоящее время Grid-систем [5–14] выделяют вычислительные, состоящие из сайтов, содержащих параллельные системы [2, 5–7, 15]. Для систем диспетчерования задач и управления ресурсами Grid в [16] были предло-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-11-00242) в Южном федеральном университете.

жены три базовые архитектуры: централизованная, иерархическая и распределённая [5–7, 15, 17–20], различающиеся способом принятия решения об управлении ресурсами и задачами (рис. 1).

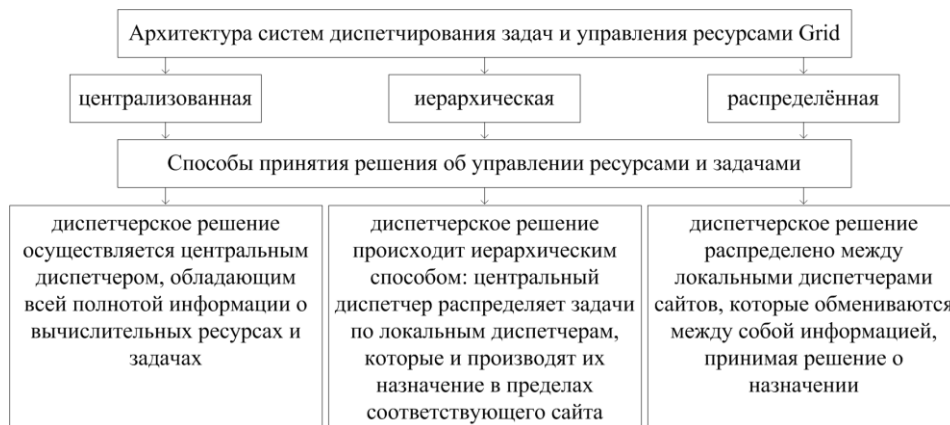


Рис. 1. Системы диспетчирования задач и управления ресурсами Grid

В [16] по способу объединения вычислительных ресурсов для решения задачи различались одно-сайтное диспетчирование и мульти-сайтное диспетчирование (рис. 2).

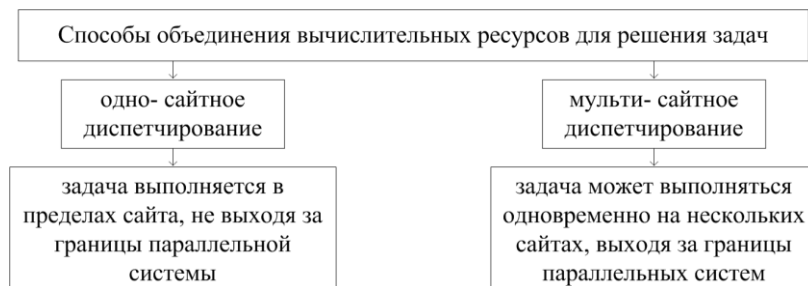


Рис. 2. Объединение вычислительных ресурсов для решения задачи

В качестве графической иллюстрации заявки пользователя служит ресурсный прямоугольник, с измерениями соответствующими количеству вычислительных ресурсов, требуемых для обработки. Для Grid-систем централизованной архитектуры, поддерживающих мульти-сайтное выполнение задач, в качестве графической иллюстрации автором предложена модель ресурсного квадранта [21]. В [21–34] решалась задача локализации протяжённой линейной полиэдральной ресурсных прямоугольников в ресурсном квадранте с минимизацией эвристической меры ресурсной оболочки. Были разработаны и исследованы эвристические алгоритмы диспетчеризации, адаптированные под соответствующий вид требований: кругового, гиперболического или параболического квадратичного типа. Интерес представляют, как параметры конкретной ресурсной оболочки, так и прогноз поведения ресурсной оболочки с ростом мощности массива заявок. В настоящей статье для Grid-систем централизованной архитектуры, поддерживающих мульти-сайтное выполнение задач, рассматривается вопрос определения прогнозных значений параметров квадратной ресурсной рамки, в которую может быть локализован массив заявок кругового типа.

Прогноз ресурсной оболочки. В случае, когда $\max_{0 \leq j_1 \leq k-1} b(j_1) < \sqrt{\sum_{j_1=0}^{k-1} a(j_1)b(j_1)}$

максимальная высота ресурсного прямоугольника меньше среднересурсной вели-

чины граней и $\max_{0 \leq j_1 \leq k-1} a(j_1) < \sqrt{A(k)} = \sqrt{\sum_{j_1=0}^{k-1} a(j_1)}$ максимальная длина основания

меньше среднересурсной величины оснований линейной полиэдры, параметры

квадратной ресурсной рамки вычисляются с недостатком по формуле

$\sqrt{\sum_{j_1=0}^{k-1} a(j_1)b(j_1)} + \varepsilon$. В случае, когда $\max_{0 \leq j_1 \leq k-1} b(j_1) < \sqrt{\sum_{j_1=0}^{k-1} a(j_1)b(j_1)}$ максимальная

высота ресурсного прямоугольника меньше среднересурсной величины граней и

$\max_{0 \leq j_1 \leq k-1} a(j_1) > \sqrt{A(k)}$, параметры квадратной ресурсной рамки вычисляются с из-

бытком по формуле $\sqrt{\sum_{j_1=0}^{k-1} a(j_1)b(j_1)} + \sqrt{\sum_{j_1=0}^{k-1} a(j_1)} - \varepsilon$. Значение ε определяется в

результате статистического моделирования. В качестве базового примера линейной круговой полиэдры с ограничением на максимальную высоту и максимальную длину основания ресурсных прямо-

угольников, исследуем массив $\sqrt{j_1} \times \sqrt{j_1}$, $j_1 = 1, 2, \dots, k$.

Действительно, $\sum_{j_1=1}^k \sqrt{j_1} \cdot \sqrt{j_1} = \sum_{j_1=1}^k j_1 = \frac{k(k+1)}{2}$. Соответственно,

$\sqrt{\frac{k(k+1)}{2}} = \frac{k}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + \frac{1}{k}} \approx \frac{k}{\sqrt{2}}$. Видим, что $\max_{1 \leq j_1 \leq k} \sqrt{j_1} = \sqrt{k}$. Следовательно,

$\sqrt{k} < \frac{k}{\sqrt{2}}$ при $k > 3$ и ограничение на максимальную высоту выполняется. Пока-

жем, что также выполняется ограничение на максимальную длину основания. Сумма длин оснований ресурсных прямоугольников $A(k)$ определяется выраже-

нием $A(k) = \sum_{j_1=1}^k \sqrt{j_1} = k\sqrt{k} \sum_{j_1=1}^k \sqrt{\frac{j_1}{k}} \Delta_1 \frac{j_1}{k} \approx k\sqrt{k} \int_0^1 \sqrt{x} dx = \frac{2}{3} k^{\frac{3}{2}}$. Соответственно,

$\sqrt{A(k)} \approx \sqrt{\frac{2}{3}} k^{\frac{3}{4}}$, и $\sqrt{k} < \sqrt{A(k)}$ при $k > 3$.

Для квадратной ресурсной рамки с величиной стороны $\frac{k}{\sqrt{2}} + \varepsilon$, значение ε

и % погрешности относительно $\frac{k}{\sqrt{2}}$ для массива $\sqrt{j_1} \times \sqrt{j_1}$, $j_1 = 1, 2, \dots, k$, в слу-

чае локализации начально-кольцевым алгоритмом [21], приведены в табл. 1, из которой видно, что погрешность не превосходит 25 %.

Таблица 1

Значение ε и % погрешности для массива $\sqrt{j_1} \times \sqrt{j_1}$, $j_1 = 1, 2, \dots, k$

k	ε	%	k	ε	%
11	1	11,1	22	3	15,8
12	2	20,0	23	3	15,0
13	3	25,0	24	3	15,0
14	3	23,1	25	4	18,2
15	2	15,4	26	3	13,6
16	2	14,3	27	3	13,6
17	3	20,0	28	2	9,1
18	2	13,3	29	2	8,7
19	1	6,7	30	3	12,5
20	1	6,7	31	3	12,0
21	1	6,3	32	3	11,5

В качестве базового примера линейной круговой полиэдры с ограничением на максимальную высоту и максимальной длиной основания больше среднересурсной величины оснований линейной полиэдры рассмотрим массив натуральных ресурсных квадратов $(k - j_1) \times (k - j_1)$, $j_1 = 0, 1, \dots, k - 1$.

Действительно, сумма длин оснований натуральных ресурсных квадратов $A(k)$ определяется выражением $A(k) = \sum_{j_1=0}^{k-1} (k - j_1) = \sum_{j_1=1}^k j_1 = \frac{k(k+1)}{2}$. Соответственно, как показано выше, $\sqrt{\frac{k(k+1)}{2}} \approx \frac{k}{\sqrt{2}}$. Видим, что $\max_{0 \leq j_1 \leq k-1} (k - j_1) = k$ и $k > \sqrt{A(k)}$ при $k > 2$.

Покажем, что ограничение на максимальную высоту выполняется. А именно,

$\sum_{j_1=0}^{k-1} (k - j_1)^2 = \sum_{j_1=1}^k j_1^2 = \frac{k(k+1/2)(k+1)}{3}$. Следовательно, $\sqrt{\frac{k(k+1/2)(k+1)}{3}} \approx \frac{k^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{3}}$, и $k < \frac{k^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{3}}$ при $k > 2$.

Для квадратной ресурсной рамки с величиной стороны $\frac{k^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{3}} + \frac{k}{\sqrt{2}} - \varepsilon$, значение

ε и % погрешности превышения величины стороны ресурсной рамки для массива $(k - j_1) \times (k - j_1)$, $j_1 = 0, 1, \dots, k - 1$, в случае локализации начально-кольцевым алгоритмом [21], приведены в табл. 2, из которой видно, что погрешность не превосходит 15 %.

Таблица 2

Значение ε и % погрешности для массива $(k - j_1) \times (k - j_1)$, $j_1 = 0, 1, \dots, k - 1$

k	ε	%	k	ε	%
9	2	9,1	21	4	5,8
10	2	8,0	22	5	6,8
11	2	7,1	23	6	7,8
12	3	9,7	24	6	7,4
13	5	14,7	25	7	8,2
14	5	13,5	26	7	7,7
15	3	7,0	27	3	3,0
16	3	6,3	28	3	2,9
17	2	3,8	29	3	2,7
18	2	3,5	30	3	2,6
19	3	4,9	31	3	2,5
20	3	4,6	32	4	3,2

Рассмотрим линейную круговую полиэдраль натуральных ресурсных прямоугольников горизонтальной формы $[(k - j_1), (k - j_1 - 1)]$, $j_1 = 0, 1, \dots, k - 2$ с ограничением на максимальную высоту и максимальной длиной основания больше среднересурсной величины оснований линейной полиэдры.

Действительно, сумма длин оснований натуральных ресурсных прямоугольников горизонтальной формы $A(k)$ определяется выражением

$$A(k) = \sum_{j_1=0}^{k-2} (k - j_1) = \sum_{j_1=2}^k j_1 = \frac{k(k+1)}{2} - 1. \text{ Соответственно, как показано выше,}$$

$$\sqrt{\frac{k(k+1)}{2} - 1} \approx \frac{k}{\sqrt{2}}. \text{ Видим, что } \max_{0 \leq j_1 \leq k-2} (k - j_1) = k \text{ и } k > \sqrt{A(k)} \text{ при } k > 2. \text{ Пока-}$$

жем, что ограничение на максимальную высоту выполняется. А именно,

$$\begin{aligned} \sum_{j_1=0}^{k-2} (k - j_1)(k - j_1 - 1) &= \sum_{j_1=0}^{k-2} (k - j_1)^2 - (k - j_1) = \sum_{j_1=2}^k j_1^2 - \sum_{j_1=2}^k j_1 = \\ &= \frac{k(k+1/2)(k+1)}{3} - 1 - \frac{k(k+1)}{2} - 1. \end{aligned}$$

$$\text{Следовательно, } \sqrt{\frac{k(k+1/2)(k+1)}{3}} \approx \frac{k^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{3}}, \text{ и } k < \frac{k^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{3}} \text{ при } k > 2.$$

Для квадратной ресурсной рамки с величиной стороны $\frac{k^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{3}} + \frac{k}{\sqrt{2}} - \varepsilon$, значение ε и % погрешности превышения величины стороны ресурсной рамки для массива $[(k - j_1), (k - j_1 - 1)]$, $j_1 = 0, 1, \dots, k - 2$, в случае локализации начально-кольцевым алгоритмом [21], приведены в табл. 3, из которой видно, что погрешность не превосходит 6 %.

Для линейной круговой полиэдрали натуральных ресурсов прямоугольни-ков вертикальной формы $(((k - j_1 - 1), (k - j_1)))$, $j_1 = 0, 1, \dots, k - 2$ значение ε и % погрешности превышения величины стороны ресурсной рамки в случае локализации начально-кольцевым алгоритмом [21], приведены в табл. 4, из которой видно, что погрешность не превосходит 11 %.

Таблица 3

Значение ε и % погрешности для массива $(((k - j_1), (k - j_1 - 1)))$, $j_1 = 0, 1, \dots, k - 2$

k	ε	%
18	0	0,0
19	1	1,6
20	1	1,5
21	1	1,4
22	3	4,1
23	4	5,2
24	4	4,9
25	5	5,9
26	5	5,6
27	1	1,0
28	0	0,0
29	1	0,9
30	1	0,9
31	1	0,8
32	1	0,8

Таблица 4

Значение ε и % погрешности для массива $(((k - j_1 - 1), (k - j_1)))$, $j_1 = 0, 1, \dots, k - 2$

k	ε	%
18	4	7,7
19	4	7,0
20	5	8,2
21	4	6,2
22	6	8,7
23	7	9,6
24	8	10,4
25	8	9,9
26	9	10,6
27	9	9,9
28	5	5,1
29	5	4,8
30	6	5,5
31	6	5,2
32	5	4,1

Заключение. Прогноз значений параметров квадратной ресурсной рамки, в которую может быть локализован массив заявок кругового типа выдерживает статистическую проверку, что позволяет использовать эвристическое диспетчирование в Grid-системах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Kahanwal B., Singh T.* The distributed computing paradigms: p2p, grid, cluster, cloud, and jungle // International Journal of Latest Research in Science and Technology. – 2012. – Vol. 1, Issue 2. – P. 183-187.
2. *Foster I., Kesselman C.* The grid: blueprint for a new computing infrastructure. Morgan Kaufmann Publishers Inc., USA. 1998.
3. *Weiss A.* Computing in the clouds // Networker. – 2007. – Vol. 11, No. 4. – P. 16-25.
4. *Seinstra F., Maassen J., Nieuwpoort R., Drost N., Kessel T., Werkhoven B., Urbani J., Jacobs C., Kielmann T., Bal H.* Jungle computing: Distributed supercomputing beyond clusters, grids, and clouds. In M. Cafaro, G. Aloisio (eds.), *Grids, Clouds and Virtualization*, Computer Communications and Networks. – Springer London, 2011. – P. 167-197.
5. *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.
6. *Magoulès F.* (ed.). Fundamentals of grid computing: theory, algorithms and technologies, Numerical analysis and scientific computing. CRC Press, UK. 2010.

7. Antonopoulos N., Exarchakos G., Li M., Liotta A. (eds.). Handbook of research on p2p and grid systems for service-oriented computing: models, methodologies and applications. IGI Global publisher, USA. 2010.
8. Cafaro M., Aloisio G. (eds.). *Grids, clouds and virtualization*, Computer Communications and Networks. Springer London. 2011.
9. Schwiegelshohn U., Badia R., Bubak M., Danelutto M., Dustdar S., Gagliardi F., Geiger A., Hluchy L., Kranzlmüller D., Laure E., Priol T., Reinefeld A., Resch M., Reuter A., Rienhoff O., Rüter T., Sloot P., Talia D., Ullmann K., Yahyapour R., Voigt G. Perspectives on grid computing // *Future Generation Computer Systems*. – 2010. – No 26. – P. 1104–1115.
10. Коваленко В.Н., Корягин Д.А. Грид: истоки, принципы и перспективы развития // *Информационные технологии и вычислительные системы*. – 2008. – № 4. – С. 38-50.
11. Коваленко В.Н., Корягин Д.А. Базовые принципы и способы применения грида // *Программирование*. – 2009. – № 1. – С. 26-49.
12. Васенин В.А., Шундеев А.С. Эволюция технологии Grid // *Информационные технологии*. – 2012. – № 1. – С. 2-9.
13. Барский А.Б. Grid-вычисления: организация, методы, планирование. LAP Lambert Academic Publishing, Germany. 2012.
14. Pugliese A., Talia D., Yahyapour R. Modeling and Supporting Grid Scheduling // *J. Grid Computing*. – 2008. – No 6. – P. 195-213.
15. Li M., Baker M. (2005). *The grid: core technologies*. John Wiley & Sons Ltd, England.
16. Hamscher V., Schwiegelshohn U., Streit A., Yahyapour R. Evaluation of job-scheduling strategies for grid computing. In *Proceedings of the 7th International Conference on High Performance Computing, HiPC-2000*, volume 1971 of *Lecture Notes in Computer Science*. India, 2000. Springer. – P. 191-202.
17. Rahman M., Ranjan R., Buyya R., Benattallah B. A taxonomy and survey on autonomic management of applications in grid computing environments // *Concurrency Computat.: Pract. Exper.* – 2011. – No 23. – P. 1990-2019.
18. Krauter K., Buyya R., Maheswaran M. A taxonomy and survey of Grid resource management systems for distributed computing // *Softw. Pract. Exper.* – 2002. – Vol. 32, No 2. – P. 135-164.
19. Iosup A., Epema D. H. J., Tannenbaum T., Farrellee M., Livny M. (2007). Inter-operating Grids through delegated matchmaking. In *2007 ACM // IEEE Conference on Supercomputing (SC 2007)* (pp. 1–12). New York: ACM Press.
20. Patel S. Survey Report of Job Scheduler on Grids // *International Journal of Emerging Research in Management & Technology*. – 2013. – Vol. 2, No 4. – P. 115-125.
21. Саак А.Э. Полиномиальные алгоритмы распределения ресурсов в Grid-системах на основе квадратичной типизации массивов заявок // *Информационные технологии*. – 2013. – № 7. Приложение. – 32 с.
22. Саак А.Э. Локально-оптимальный синтез расписаний для Grid-технологий // *Информационные технологии*. – 2010. – № 12. – С. 28-34.
23. Саак А.Э. Локально-оптимальные ресурсные распределения // *Информационные технологии*. – 2011. – № 2. – С. 28-34.
24. Саак А.Э. Алгоритмы диспетчеризации в Grid-системах на основе квадратичной типизации массивов заявок // *Информационные технологии*. – 2011. – № 11. – С. 9-13.
25. Саак А.Э. Центральное-кольцевой алгоритм диспетчеризации массивами заявок гиперболического типа // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2012. – № 8 (133). – С. 214-222.
26. Саак А.Э. Диспетчеризация в GRID-системах на основе однородной квадратичной типизации массивов заявок пользователей // *Информационные технологии*. – 2012. – № 4. – С. 32-36.
27. Саак А.Э. Полиномиальная диспетчеризация круговым типом массива заявок пользователей // *Суперкомпьютерные технологии (СКТ-2012): Материалы 2-й Всеросс. науч.-техн. конф.* – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2012. – С. 169-173.
28. Саак А.Э. Сравнительный анализ полиномиальных алгоритмов диспетчеризации в GRID-системах // *Информационные технологии*. – 2012. – № 9. – С. 28-32.
29. Саак А.Э. Полиномиальные алгоритмы диспетчеризации на основе квадратичной типизации массивов заявок пользователей // *Труды VI Международной конференции «Параллельные вычисления и задачи управления» PACO'2012*. Москва, 24 октября - 26 октября 2012 г. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2012. – С. 341-347.
30. Саак А.Э. Ступенчатый алгоритм диспетчеризации массивами заявок параболического типа // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2013. – № 6 (143). – С. 139-145.

31. Саак А.Э. Полиномиальные алгоритмы диспетчеризации массивов заявок гиперболического типа // Информационные технологии. – 2013. – № 3. – С. 33-36.
32. Саак А.Э. Полиномиальные алгоритмы диспетчеризации массивов заявок параболического типа // Информационные технологии. – 2013. – № 5. – С. 25-29.
33. Саак А.Э. Угловой алгоритм диспетчеризации массивами заявок кругового типа // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 7 (144). – С. 147-152.
34. Саак А.Э. Алгоритм последовательных приближений диспетчеризации массивами заявок кругового типа // Материалы 6-й Всероссийской мультikonференции по проблемам управления МКПУ-2013. Геленджик, 30 сентября - 5 октября 2013 г. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2013. – Т. 4. – С. 71-75.

REFERENCES

1. Kahanwal B., Singh T. The distributed computing paradigms: p2p, grid, cluster, cloud, and jungle, *International Journal of Latest Research in Science and Technology*. 2012, Vol. 1, Issue 2, pp. 183-187.
2. Foster I., Kesselman C. The grid: blueprint for a new computing infrastructure. Morgan Kaufmann Publishers Inc., USA. 1998.
3. Weiss A. Computing in the clouds, *Networker*, 2007, Vol. 11, No. 4, pp. 16-25.
4. Seinstra F., Maassen J., Nieuwpoort R., Drost N., Kessel T., Werkhoven B., Urbani J., Jacobs C., Kielmann T., Bal H. Jungle computing: Distributed supercomputing beyond clusters, grids, and clouds. In M. Cafaro, G. Aloisio (eds.), *Grids, Clouds and Virtualization*, Computer Communications and Networks. Springer London, 2011, pp. 167-197.
5. 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.
6. Magoulès F. (ed.). Fundamentals of grid computing: theory, algorithms and technologies, Numerical analysis and scientific computing. CRC Press, UK. 2010.
7. Antonopoulos N., Exarchakos G., Li M., Liotta A. (eds.). Handbook of research on p2p and grid systems for service-oriented computing: models, methodologies and applications. IGI Global publisher, USA. 2010.
8. Cafaro M., Aloisio G. (eds.). *Grids, clouds and virtualization*, Computer Communications and Networks. Springer London. 2011.
9. Schwiegelshohn U., Badia R., Bubak M., Danelutto M., Dustdar S., Gagliardi F., Geiger A., Hluchy L., Kranzlmüller D., Laure E., Priol T., Reinefeld A., Resch M., Reuter A., Rienhoff O., Rüter T., Sloot P., Talia D., Ullmann K., Yahyapour R., Voigt G. Perspectives on grid computing, *Future Generation Computer Systems*, 2010, No. 26, pp. 1104-1115.
10. Kovalenko V.N., Koryagin D.A. Grid: istoki, printsipy i perspektivy razvitiya [Grid: origins, principles and prospects of development], *Informatsionnye tekhnologii i vychislitelnye sistemy* [Information technologies and computing systems], 2008, No. 4, pp. 38-50.
11. Kovalenko V.N., Koryagin D.A. Bazovye printsipy i sposoby primeneniya grida [The basic principles and applications of grid], *Programmirovaniye* [Programming], 2009, No. 1, pp. 26-49.
12. Vasenin V.A., Shundeev A.S. Evolyutsiya tekhnologii Grid [The evolution of Grid technologies] *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2012, No. 1, pp. 2-9.
13. Barskiy A.B. Grid-vychisleniya: organizatsiya, metody, planirovaniye [Grid computing: the organization, methods, planning]. LAP Lambert Academic Publishing, Germany. 2012.
14. Pugliese A., Talia D., Yahyapour R. Modeling and Supporting Grid, *Scheduling J. Grid Computing*, 2008, No. 6, pp. 195-213.
15. Li M., Baker M. (2005). The grid: core technologies. John Wiley & Sons Ltd, England.
16. Hamscher V., Schwiegelshohn U., Streit A., Yahyapour R. Evaluation of job-scheduling strategies for grid computing. In Proceedings of the 7th International Conference on High Performance Computing, HiPC-2000, volume 1971 of Lecture Notes in Computer Science. India, 2000. Springer, pp. 191-202.
17. Rahman M., Ranjan R., Buyya R., Benatallah B. A taxonomy and survey on autonomic management of applications in grid computing environments, *Concurrency Computat: Pract. Exper.* 2011, No. 23, pp. 1990-2019.
18. Krauter K., Buyya R., Maheswaran M. A taxonomy and survey of Grid resource management systems for distributed computing, *Softw. Pract. Exper.* 2002, Vol. 32, No. 2, pp. 135-164.

19. Iosup A., Epema D. H. J., Tannenbaum T., Farrellee M., Livny M. (2007). Inter-operating Grids through delegated matchmaking. In 2007 ACM, *IEEE Conference on Supercomputing (SC 2007)* New York: ACM Press, pp. 1-12.
20. Patel S. Survey Report of Job Scheduler on Grids, *International Journal of Emerging Research in Management & Technology*, 2013, Vol. 2, No. 4, pp. 115-125.
21. Saak A.Eh. Polinomialnye algoritmy raspredeleniya resursov v Grid-sistemakh na osnove kvadrachnoy tipizatsii massivov zayavok [Polynomial algorithms for resource allocation in Grid-based systems for quadratic typing, arrays applications], *Informacionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2013, No. 7. Prilozhenie, 32 p.
22. Saak A.Eh. Lokalno-optimalnyy sintez raspisaniy dlya Grid-tekhnologiy [Locally optimal synthesis schedules for Grid-technologies], *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2010, No. 12, pp. 28-34.
23. Saak A.Eh. Lokalno-optimalnye resursnye raspredeleniya [Locally optimal resource allocation], *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2011, No. 2, pp. 28-34.
24. Saak A.Eh. Algoritmy dispetcherizatsii v Grid-sistemakh na osnove kvadrachnoy tipizatsii massivov zayavok [Algorithms scheduling in Grid-based systems for quadratic typing, arrays applications], *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2011, No. 11, pp. 9-13.
25. Saak A.Eh. Tsentralno-koltsevoy algoritm dispetcherizatsii massivami zayavok giperbolicheskogo tipa [Central ring algorithm dispatching arrays applications of hyperbolic type], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 8 (133), pp. 214-222.
26. Saak A.Eh. Dispetcherizatsiya v GRID-sistemakh na osnove odnorodnoy kvadrachnoy tipizatsii massivov zayavok polzovateley [Scheduling in GRID-systems on the basis of homogeneous quadratic typing, arrays of user requests], *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2012, No. 4, pp. 32-36.
27. Saak A.Eh. Polinomialnaya dispetcherizatsiya krugovym tipom massiva zayavok polzovateley [Polynomial dispatching a circular array of user requests], *Superkompyuternye tekhnologii (SKT-2012): Materialy 2-y Vseross. nauch.-tekh. konf.* [Supercomputer technologies (SKT-2012): proceedings of the 2nd all-Russian scientific technical conference]. Rostov-na-Donu: Izd-vo YuFU, 2012, pp. 169-173.
28. Saak A.Eh. Sravnitelniy analiz polinomialnykh algoritmov dispetcherizatsii v GRID-sistemakh [Comparative analysis of polynomial algorithms for scheduling in GRID-systems], *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2012, No. 9, pp. 28-32.
29. Saak A.Eh. Polinomialnye algoritmy dispetcherizatsii na osnove kvadrachnoy tipizatsii massivov zayavok polzovateley [Polynomial algorithms based dispatching quadratic typing, arrays of user requests], *Trudy VI Mezhdunarodnoy konferentsii «Parallelnye vychisleniya i zadachi upravleniya» RASO'2012. Moskva, 24 oktyabrya - 26 oktyabrya 2012 g* [Proceedings of VI International conference "Parallel computations and control problems" RASO'2012. Moscow, 24 October - 26 October 2012]. Moscow: Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2012, pp. 341-347.
30. Saak A.Eh. Stupenchatyy algoritm dispetcherizatsii massivami zayavok parabolicheskogo tipa [The stepped algorithm dispatching arrays applications of parabolic type], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 6 (143), pp. 139-145.
31. Saak A.Eh. Polinomialnye algoritmy dispetcherizatsii massivov zayavok giperbolicheskogo tipa [Polynomial algorithms dispatching array of applications hyperbolic type], *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2013, No. 3, pp. 33-36.
32. Saak A.Eh. Polinomialnye algoritmy dispetcherizatsii massivov zayavok parabolicheskogo tipa [Polynomial algorithms dispatching array of applications of parabolic type], *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2013, No. 5, pp. 25-29.
33. Saak A.Eh. Uglovoy algoritm dispetcherizatsii massivami zayavok krugovogo tipa [Angular algorithm dispatching arrays applications circular], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 7 (144), pp. 147-152.
34. Saak A.Eh. Algoritm posledovatelnykh priblizheniy dispetcherizatsii massivami zayavok krugovogo tipa [The algorithm of successive approximations dispatching arrays applications circular], *Materialy 6-y Vserossiyskoy multikonferentsii po problemam upravleniya MKPU-2013. Gelendzhik, 30 sentyabrya - 5 oktyabrya 2013 g* [Materials of the 6th all-Russian multiconference on the management of mcpu-2013. Gelendzhik, 30 September - 5 October 2013]. Rostov-on-Don: Izd-vo YuFU, 2013. Vol. 4, pp. 71-75.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.П. Карелин.

Саак Андрей Эрнестович – Южный федеральный университет; e-mail: saak@tgn.sfedu.ru; 347928, ГСП-17А, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел., факс: 88634393373; кафедра государственного и муниципального управления; зав. кафедрой.

Saak Andrey Ernestovich – Southern Federal University; e-mail: saak@tgn.sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, GSP-17A, 347928, Russia; phone, fax: +78634393373; the department of state and municipal administration; head of department.

УДК 004.272.2

В.М. Амербаев, Р.А. Соловьев, Д.В. Тельпухов, А.Н. Щелоков

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДУЛЯРНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АППАРАТНЫХ ОДНОТАКТНЫХ УМНОЖИТЕЛЕЙ

Были рассмотрены методы построения модулярных вычислительных структур на базе специальных систем оснований. Сравнение эффективности рассматриваемых подходов производилось при проектировании многоразрядного одноктактного умножителя, как типичной задачи для области цифровой обработки сигналов, которая является приоритетной областью приложения модулярных вычислительных структур. Были рассмотрены особенности построения модульных и немодульных узлов, а также принципов обнаружения ошибок для модулярных вычислительных структур. Базисом для рассматриваемых модулярных систем служат специальные наборы оснований на базе традиционного трехмодульного набора $\{2^n - 1, 2^n, 2^n + 1\}$, а также перспективного четырехмодульного набора оснований $\{2^k - 1, 2^k + 1, 2^{k+1} - 1, 2^{k+1} + 1\}$. Был разработан IP генератор функциональных Verilog описаний умножителей для рассматриваемых подходов, включая традиционную двоичную реализацию. С помощью современного САПР Synopsys Design Compiler в базе библиотеки стандартных ячеек 45нм. были получены оценки аппаратных и временных затрат в диапазоне разрядностей входных данных от 3 до 64 бит.

Модулярные вычислительные структуры; модулярные умножители; специальные системы оснований; модульные операции; немодульные операции; система остаточных классов.

V.M. Amerbaev, R.A. Solovyev, D.V. Telpukhov, A.N. Schelokov

A SURVEY ON EFFICIENCY OF MODULAR COMPUTING STRUCTURES FOR SINGLE-CYCLE HARDWARE MULTIPLIER DESIGN

Methods for constructing modular computing structures based on special moduli sets are presented in this paper. Efficiency comparison of the proposed computational structures was carried out on single-cycle multipliers design, as a typical task for digital signal processing, that is a prior field for residue number systems application. Implementation features of modular and non-modular units, as well as error detection principles for modular structures were considered. Traditional three moduli set $\{2^n - 1, 2^n, 2^n + 1\}$ and perspective four moduli set $\{2^k - 1, 2^k + 1, 2^{k+1} - 1, 2^{k+1} + 1\}$ serve as a basis for considered residue number system structures. IP core generator for functional Verilog descriptions for the multipliers based on these approaches, including traditional binary implementation was designed. With the help of modern CAD Synopsys Design Compiler in the standard cell library basis of 45nm. hardware and time costs estimates were obtained in the range of 3 to 64 input data bits.

Modular computing structures; modular multipliers; special moduli sets; modular operations; non-modular operations; residue number system.