

УДК 681.3

Э.И. Ватутин, Д.В. Колясников, В.С. Титов**АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА СЛУЧАЙНОГО
ПЕРЕБОРА В ЗАДАЧЕ ПОИСКА РАЗБИЕНИЙ ГРАФ-СХЕМ
ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ***

Приведено описание метода случайного перебора в задаче построения субоптимальных разбиений параллельных алгоритмов логического управления, возникающей при проектировании однородных многомодульных мультисистем (систем логического управления в базе логических мультиконтроллеров). С использованием разработанной программной реализации, работающей в составе программной среды PAE, выполнен ряд вычислительных экспериментов, на базе которых произведена оценка скорости сходимости предложенного метода, приведены результаты сопоставления качества оптимизации частных показателей качества с известными эвристическими последовательными методами, показывающие, что при достаточном количестве итераций (1000–10 000) качество решений является приемлемым, однако затраты необходимого вычислительного времени на один-два порядка выше. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что при ряде сочетаний размерности задачи и силы технологических ограничений предложенный метод имеет преимущество по ряду частных показателей качества, проигрывая по интегральному показателю. Отмечено, что метод случайного перебора является легко распараллеливаемым, что позволяет его исполнение на широком спектре современных параллельных вычислительных средств.

Дискретная комбинаторная оптимизация; эвристические методы; проектирование мультиконтроллеров; граф-схемы параллельных алгоритмов; разбиения.

E.I. Vatutin, D.V. Kolyasnikov, V.S. Titov**ANALYSIS OF THE RESULTS OF APPLYING THE RANDOM SEARCH
METHOD IN THE PROBLEM OF BUILDING SEPARATIONS OF PARALLEL
LOGIC CONTROL ALGORITHMS**

The article describes the random search method in the problem of constructing suboptimal separations of parallel logic control algorithms within homogeneous multi-module multisystems design (logic control systems based on logical multicontrollers). Using developed program system PAE a number of computational experiments are organized. The analysis of the convergence rate and results of a comparison with the known quality optimization heuristic methods are given. Showed that a sufficient number of iterations (1000–10 000) provide acceptable quality of solutions but computing time costs increased by 10–100 times. The obtained results allow us to conclude that in a number of combinations of the problem dimension and power of technological limitations proposed method has the advantage in a number of private quality indicators, losing by a integral indicator. The random search method is well parallelized that allows using a wide range of modern parallel computing resources.

Discrete combinatorial optimization; heuristic methods; multicontrollers design; graph-schemes of algorithms; separations.

Построение параллельных однородных многомодульных систем логического управления (СЛУ), именуемых также логическими мультиконтроллерами, является важной задачей, так как указанные мультисистемы могут быть оперативно настроены на выполнение любого параллельного алгоритма логического управления путем отыскания его разбиения на последовательные блоки ограниченной сложности.

* Работа проведена в рамках выполнения государственного задания для Юго-Западного государственного университета на 2014–2017 гг., номер НИР 2246, а также в рамках научной школы НШ-2357.2014.8.

сти с их размещением в соответствующих модулях [1–4]. Асимптотическая временная сложность задачи поиска оптимального разбиения определяется числом Белла [5], что не позволяет отыскать оптимальные решения для большинства практически важных случаев (граф-схемы алгоритмов с $N > 10$ вершинами) и вынуждает довольствоваться субоптимальными решениями, полученными с использованием различных эвристических методов [6–11]. Поставленная задача относится к классу задач дискретной комбинаторной многокритериальной оптимизации, а полученные решения оцениваются по ряду частных показателей качества, к которым относятся среднее число блоков в составе разбиения γH , средние степени дублирования сигналов логических условий и микроопераций γX и γY , средние значения сложности сети межблочных связей $\gamma \alpha$ и интенсивности межблочных взаимодействий $\gamma \delta$. В ряде случаев удобно рассмотрение интегрального показателя качества γJ , представляющего собой взвешенную сумму нормированных значений частных показателей [12]. Различные эвристические методы характеризуются существенно различным качеством минимизации частных показателей качества [13–17] в зависимости от значений технологических ограничений (области пространства параметров), к которым относятся ограничения на число принимаемых контроллером сигналов логических условий X_{\max} и емкость памяти контроллера W_{\max} . Минимизация указанных показателей качества необходима для снижения аппаратной сложности проектируемых СЛУ в совокупности с повышением их быстродействия.

В работе [18] приведены результаты применения метода случайного перебора в известной задаче поиска кратчайших путей в графе, а в работе [19] приведено детальное описание алгоритма случайного перебора применительно к рассматриваемой задаче построения разбиений граф-схем параллельных алгоритмов логического управления. Алгоритм основан на том, что для очередной нерассмотренной вершины, выбираемой случайно, определяется множество блоков, в которые она может быть включена без нарушения ограничений, вероятность попадания вершины в один из них вычисляется пропорционально значению $0 \leq \alpha \leq 1$ (настроечный параметр алгоритма). Также выбранная вершина может образовать собой новый блок разбиения с вероятностью $1 - \alpha$. Из множества возможных включений случайным образом пропорционально указанным вероятностям выбирается одно из включений, вершина добавляется в выбранный блок и исключается из дальнейшего рассмотрения. По завершении рассмотрения всех вершин сформировано искомое случайное разбиение. Повторяя описанный процесс S раз, возможно получение S различных разбиений, из которых по интегральному показателю J выбирается лучшее и возвращается в качестве результата.

Следует ожидать, что полученное качество результирующего разбиения будет сильно зависеть как от значения вероятности попадания вершины в существующий блок α , так и от выполненного числа итераций перебора S . Малое значение вероятности α способствует образованию избыточных блоков разбиения и, как следствие, ухудшает остальные частные показатели качества, что подтверждают результаты (рис. 1) соответствующего вычислительного эксперимента, выполненного в разработанной программной системе РАЕ [20, 21].

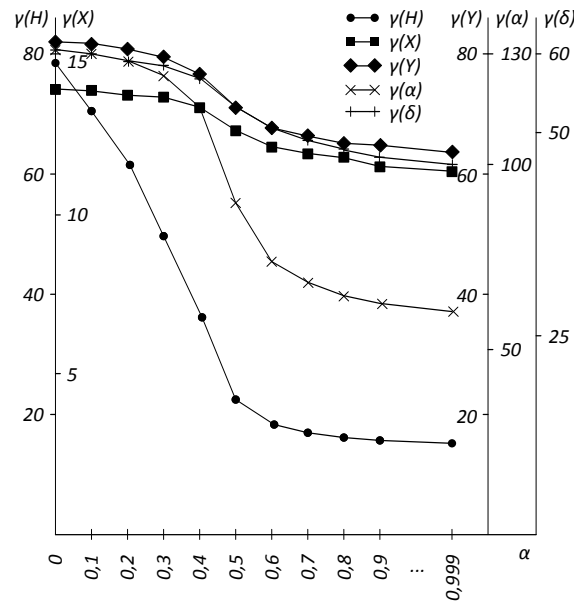


Рис. 1. Зависимости частных показателей качества от вероятности попадания вершины в существующий блок α , число вершин в граф-схемах алгоритмов $N = 100$, объем выборки граф-схем $K = 1000$, без ограничений, $C = 1$

В соответствии с приведенными на рис. 1 результатами вычислительного эксперимента можно сделать вывод о том, что наилучшие показатели достигаются при $\alpha \rightarrow 1$. Однако при этом необходимо выполнение условия $\alpha < 1$, так как при $\alpha = 1$ невозможно образование новых блоков разбиения (соответствующая вероятность равна нулю). В области значения α вблизи 1 был проведен дополнительный эксперимент, который не выявил каких-либо существенных отклонений в тенденциях изменения частных показателей качества, поэтому эмпирически было выбрано оптимальное значение $\alpha^* = 0,999$, используемое в дальнейших экспериментах.

Известно [18], что с ростом числа итераций C значения частных показателей качества монотонно уменьшаются, асимптотически стремясь к некоторому минимуму, а затраты вычислительного времени линейно растут. При этом выбор оптимального значения C необходимо проводить исходя либо из соображений дальнейшего незначительного уменьшения значений частных показателей качества, либо из ограничения на затраты вычислительного времени. Итерационный процесс допускает тривиальное распараллеливание с использованием широкого спектра современного аппаратного обеспечения (многоядерные процессоры, многопроцессорные машины, кластеры, суперкомпьютеры, грид-системы) в связи с отсутствием зависимостей по управлению и информации между отдельными подзадачами.

Результаты соответствующего вычислительного эксперимента, анализирующего тенденции изменения частных показателей качества с ростом C , приведены на рис. 2.

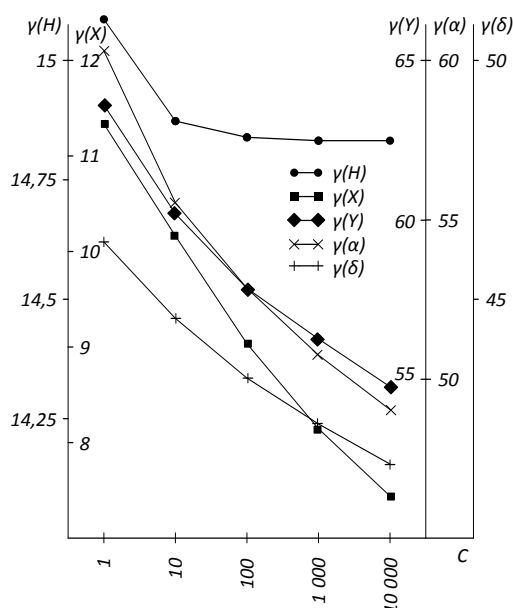


Рис. 2. Зависимости частных показателей качества от числа итераций C , $N = 100$, $K = 1000$, без ограничений

При $C = 10\,000$ затраты на выполнение вычислительного эксперимента составляют порядка 6 часов вычислительного времени одного ядра процессора Intel Core i7 4770 @ 3,4 ГГц (Haswell). Зависимости, приведенные на рис. 2, показывают, что по ряду частных показателей качества γX , γY , $\gamma \alpha$, $\gamma \delta$ кривые не достигают насыщения и целесообразно дальнейшее увеличение числа итераций, однако для этого потребуются большие затраты вычислительного времени (как минимум в 10–100 раз). В то же время число блоков разбиения γH практически не уменьшается начиная с $C = 1000$. Таким образом, разумным минимумом числа итераций случайного перебора в рассматриваемой задаче следует считать значение $C = 1000$, однако по возможности оно может быть увеличено на 2–3 порядка с соответствующим дополнительным уменьшением частных показателей качества разбиений как минимум в пределах нескольких десятков процентов.

Приведенные выше графики были получены при отсутствующих технологических ограничениях $X_{\max} = W_{\max} = \infty$. Ниже в табл. 1 и 2 приведены количественные результаты, полученные для случаев наличия различных ограничений. Кроме того, в таблицах приведены данные, позволяющие сопоставить полученные количественные значения частных показателей качества для метода случайного перебора (сокращенно RS) при различном числе итераций C с соответствующими значениями для решений, полученных с использованием известных подходов (метода С.И. Баранова [6, 7], сокращенно B ; жадной стратегии с ограничением на смежность [8, 9], сокращенно AB ; метода параллельно-последовательной декомпозиции [10, 11], сокращенно P).

Таблица 1

Зависимости частных показателей качества и времени на поиск решения от числа итераций C , $N = 100$, $K = 1000$, $W_{\max} = 15$

Метод	γH	γX	γY	$\gamma \alpha$	$\gamma \delta$	γJ	t
<i>AB</i>	15,417	9,456	57,361	46,082	38,267	2,690	5,9 мс
<i>B</i>	15,518	8,710	53,481	45,301	51,898	2,672	3,4 мс
<i>P</i>	14,989	8,178	49,490	47,597	36,279	2,492	11,8 мс
<i>RS</i> , $C = 1$	15,197	11,483	64,137	61,378	46,506	2,993	2,2 мс
<i>RS</i> , $C = 10$	14,913	10,563	60,893	56,455	44,934	2,851	21,0 мс
	+1,9%	+8,0%	+5,1%	+8,0%	+3,4%	+4,7%	
<i>RS</i> , $C = 10^2$	14,859	9,643	58,728	53,994	43,872	2,763	207 мс
	+0,4%	+8,7%	+2,7%	+4,4%	+2,4%	+3,1%	
<i>RS</i> , $C = 10^3$	14,847	9,020	57,161	52,270	43,194	2,704	2,1 с
	+0,1%	+6,4%	+2,7%	+3,2%	+1,5%	+2,1%	
<i>RS</i> , $C = 10^4$	14,841	8,513	55,651	50,963	42,590	2,654	20,9 с
	+0,04%	+5,6%	+2,7%	+2,5%	+1,4%	+1,8%	

*Жирным выделены лучшие решения, в процентах указано улучшение значения частного показателя для метода *RS* при увеличении числа итераций в 10 раз

Анализ тенденций изменения частных показателей приводит к подтверждению сформулированного выше утверждения о том, что дальнейшее увеличение числа итераций C должно дополнительно позитивно сказаться на качестве минимизации частных показателей.

Таблица 2

Зависимости частных показателей качества и времени на поиск решения от числа итераций C , $N = 100$, $K = 1000$, $X_{\max} = 10$

Метод	γH	γX	γY	$\gamma \alpha$	$\gamma \delta$	γJ	t
<i>AB</i>	15,025	8,099	50,733	41,459	35,699	2,464	6,3 мс
<i>B</i>	14,930	7,264	51,586	41,125	35,731	2,451	3,9 мс
<i>P</i>	14,876	7,626	47,578	45,792	36,045	2,422	11,8 мс
<i>RS</i> , $C = 1$	15,157	11,431	63,864	61,021	46,424	2,978	2,2 мс
<i>RS</i> , $C = 10$	14,888	10,295	60,349	55,878	44,676	2,825	25 мс
<i>RS</i> , $C = 10^2$	14,854	9,399	57,831	53,269	43,602	2,733	220 мс
<i>RS</i> , $C = 10^3$	14,839	8,606	56,131	51,314	42,572	2,664	2,2 с
<i>RS</i> , $C = 10^4$	14,841	8,014	54,770	49,455	41,764	2,608	20,8 с

*Жирным выделены лучшие решения.

Приведенные результаты показывают, что метод случайного перебора в ряде случаев обеспечивает меньшее число блоков в разбиениях (в среднем на 1,0 % и 0,2% для проведенных экспериментов соответственно) при больших значениях

средней степени дублирования логических условий на 4,1 % и 10,3 % соответственно, степени дублирования микроопераций на 12,5 % и 15,1 % соответственно, сложности сети межблочных связей на 12,5 % и 20,2 % соответственно и интенсивности межблочных взаимодействий на 17,4 % и 17,0 % соответственно.

В табл. 3 приведены результаты вычислительного эксперимента для случая с большим числом вершин в составе граф-схем алгоритмов управления и отсутствующих ограничений (затраты вычислительного времени – 4 часа).

Таблица 3

Зависимости частных показателей качества и времени на поиск решения от числа итераций C , $N = 500$, $K = 10$, без ограничений

Метод	γH	γX	γY	$\gamma \alpha$	$\gamma \delta$	γJ	t
<i>AB</i>	57,5	80,9	279,5	226,6	107,950	7,177	0,6 мс
<i>B</i>	57,6	81,8	282,6	225,1	108,415	7,247	0,3 мс
<i>P</i>	57,6	83,3	257,8	282,2	114,004	6,954	0,9 мс
<i>RS</i> , $C = 1$	59,9	116,7	377,8	395,4	144,166	9,644	0,14 мс
<i>RS</i> , $C = 10$	59,1	113,0	364,2	384,2	141,881	9,336	1,3 с
<i>RS</i> , $C = 10^2$	58,9	112,6	354,0	382,4	142,347	9,171	13,2 с
<i>RS</i> , $C = 10^3$	58,5	110,6	350,8	378,3	142,107	9,072	2,2 мин
<i>RS</i> , $C = 10^4$	58,6 (-1,9%)	108,6 (-34,2%)	347,5 (-34,8%)	377,8 (-67,8)	141,716 (-31,2%)	8,986 (-29,3%)	23,3 мин

*Жирным выделены лучшие решения, в скобках указано отставание в процентах от лучшего решения.

Анализ приведенных данных позволяет сделать вывод о том, что с ростом размерности задачи эффективность метода случайного перебора падает по сравнению с другими подходами, что, по-видимому, вызвано существенным увеличением числа возможных решений (ветвей комбинаторного дерева) по сравнению с числом перебираемых в ходе случайного перебора.

Следует ожидать, что метод случайного перебора будет обеспечивать решения неплохого качества при построении разбиений сравнительно небольших граф-схем алгоритмов. Для подтверждения данного тезиса необходима организация более масштабного вычислительного эксперимента, аналогичного рассмотренному в [15–17].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Зотов И.В. и др.* Организация и синтез микропрограммных мультимикроконтроллеров. – Курск: Изд-во «Курск», 1999. – 368 с.
2. *Емельянов С.Г., Зотов И.В., Титов В.С.* Архитектура параллельных логических мультимикроконтроллеров. – М.: Высшая школа, 2009. – 233 с.
3. *Ватутин Э.И., Зотов И.В., Титов В.С. и др.* Комбинаторно-логические задачи синтеза разбиений параллельных алгоритмов логического управления при проектировании логических мультимикроконтроллеров. – Курск: Изд-во "Курск", 2010. – 200 с.
4. *Ватутин Э.И.* Проектирование логических мультимикроконтроллеров. Синтез разбиений параллельных граф-схем алгоритмов. – Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2011. – 292 с.
5. https://ru.wikipedia.org/wiki/Числа_Белла.

6. Баранов С.И., Журавина Л.Н., Песчанский В.А. Обобщенный метод декомпозиции граф-схем алгоритмов // А и ВТ. – 1982. – № 5. – С. 43-51.
7. Ватутин Э.И. Библиотека функций построения разбиений методом С.И. Баранова с жадным последовательным формированием блоков // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010612902 от 28.04.10.
8. Ватутин Э.И., Леонов М.Е. Использование смежной окрестности при жадном последовательном формировании блоков разбиения граф-схем параллельных алгоритмов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2013. – Т. 56, № 6. – С. 30-35.
9. Ватутин Э.И., Титов В.С. Библиотека функций для построения разбиений с использованием смежной жадной стратегии и последовательным формированием блоков // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013619395 от 03.10.13.
10. Ватутин Э.И., Зотов И.В. Метод формирования субоптимальных разбиений параллельных управляющих алгоритмов // Параллельные вычисления и задачи управления (РАСО'04). – М.: ИПУ РАН, 2004. – С. 884-917.
11. Ватутин Э.И., Зотов И.В. Параллельно-последовательный метод формирования субоптимальных разбиений параллельных управляющих алгоритмов // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005613091 от 28.11.05.
12. Ватутин Э.И. Оценка качества разбиений параллельных управляющих алгоритмов на последовательные подалгоритмы с использованием весовой функции // Интеллектуальные и информационные системы (Интеллект-2005). – Тула, 2005. – С. 29-30.
13. Ватутин Э.И., Волобуев С.В., Зотов И.В. Комплексная сравнительная оценка методов выбора разбиений при проектировании логических мультиконтроллеров // Идентификация систем и задачи управления (SICPRO'08). – М.: ИПУ РАН, 2008. – С. 1917-1940.
14. Ватутин Э.И., Волобуев С.В., Зотов И.В. Комплексный сравнительный анализ качества разбиений при синтезе логических мультиконтроллеров в условиях присутствия технологических ограничений // Параллельные вычисления и задачи управления (РАСО'08). – М.: ИПУ РАН, 2008. – С. 643-685.
15. Ватутин Э.И., Титов В.С. Сравнение методов синтеза разбиений параллельных алгоритмов логического управления с использованием двухпараметрических диаграмм // Распознавание. – 2012. – С. 138-140.
16. Ватутин Э.И., Титов В.С. Сравнение методов синтеза разбиений граф-схем параллельных алгоритмов с использованием двумерных диаграмм // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – № 3 (42). – С. 66-74.
17. Ватутин Э.И., Титов В.С. Использование добровольных распределенных вычислений на платформе VOINC для анализа качества разбиений граф-схем параллельных алгоритмов // Параллельные вычисления и задачи управления (РАСО'12). – М.: ИПУ РАН, 2012. – Т. 2. – С. 37-54.
18. Ватутин Э.И., Дремов Е.Н., Мартынов И.А., Титов В.С. Метод взвешенного случайного перебора для решения задач дискретной комбинаторной оптимизации // Известия ВолГТУ. Серия: Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь. – 2014. – № 10 (137). – Вып. 9. – С. 59-64.
19. Ватутин Э.И., Колясников Д.В., Мартынов И.А., Титов В.С. Метод случайного перебора в задаче построения разбиений граф-схем параллельных алгоритмов // Многоядерные процессоры, параллельное программирование, ПЛИС, системы обработки сигналов. – Барнаул: Барнаул, 2014. – С. 115-125.
20. Ватутин Э.И., Зотов И.В. Программная система для построения разбиений параллельных управляющих алгоритмов // Труды V Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления (SICPRO'06)». – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2006. – С. 2239-2250.
21. Ватутин Э.И., Зотов И.В. Визуальная среда синтеза разбиений параллельных алгоритмов логического управления // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007613222 от 30.07.07.

REFERENCES

1. Zotov I.V. i dr. Organizatsiya i sintez mikroprogrammnykh mul'timikrokontrollerov [Organization and synthesis firmware multimilliondollar]. Kursk: Izd-vo «Kursk», 1999, 368 p.

2. *Emel'yanov S.G., Zotov I.V., Titov V.S.* Arkhitektura paralel'nykh logicheskikh mul'tikontrollerov [Architecture of parallel logical Multicontroller]. Moscow: Vysshaya shkola, 2009, 233 p.
3. *Vatutin E.I., Zotov I.V., Titov V.S. i dr.* Kombinatorno-logicheskie zadachi sinteza razbieniye paralel'nykh algoritmov logicheskogo upravleniya pri proektirovanii logicheskikh mul'tikontrollerov [Combinatorial logic synthesis problem splits parallel logic control algorithms when designing logical Multicontroller]. Kursk: Izd-vo "Kursk", 2010, 200 p.
4. *Vatutin E.I.* Proektirovanie logicheskikh mul'tikontrollerov. Sintez razbieniye paralel'nykh graf-skhem algoritmov [Designing logical Multicontroller. Synthesis of separations of parallel graph-schemes of algorithms]. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2011, 292 p.
5. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Числа_Белла.
6. *Baranov S.I., Zhuravina L.N., Peschanskiy V.A.* Obobshchennyy metod dekompozitsii graf-skhem algoritmov [Generalized method of decomposition graph-schemes of algorithms], *A i VT* [Automation and Computer Engineering], 1982, No. 5, pp. 43-51.
7. *Vatutin E.I.* Biblioteka funktsiy postroeniya razbieniye metodom S.I. Baranova s zhadnym posledovatel'nyy formirovaniem blokov [Library functions separations of method C. I. Baranova with greedy sequential formation of blocks], *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2010612902 ot 28.04.10*.
8. *Vatutin E.I., Leonov M.E.* Ispol'zovanie smezhnoy okrestnosti pri zhadnom posledovatel'nom formirovanii blokov razbieniya graf-skhem paralel'nykh algoritmov [Using an adjacent neighborhood with greedy sequential formation of blocks of the partition graph-schemes of parallel algorithms], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie* [News of higher educational institutions. Instrumentation], 2013, Vol. 56, No. 6, pp. 30-35.
9. *Vatutin E.I., Titov V.S.* Biblioteka funktsiy dlya postroeniya razbieniye s ispol'zovaniem smezhnoy zhadnoy strategii i posledovatel'nyy formirovaniem blokov [Library of functions for building partitions using adjacent greedy strategy and sequential formation of blocks], *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2013619395 ot 03.10.13*.
10. *Vatutin E.I., Zotov I.V.* Metod formirovaniya suboptimal'nykh razbieniye paralel'nykh upravlyayushchikh algoritmov [A method of forming a suboptimal splits parallel logic control algorithms], *Parallel'nye vychisleniya i zadachi upravleniya (PACO'04)* [Parallel computing and control problems (PACO'04)]. Moscow: IPU RAN, 2004, pp. 884-917.
11. *Vatutin E.I., Zotov I.V.* Parallel'no-posledovatel'nyy metod formirovaniya suboptimal'nykh razbieniye paralel'nykh upravlyayushchikh algoritmov [Parallel-sequential method of forming a suboptimal splits parallel logic control algorithms], *Svidetel'stvo ob ofitsial'noy registratsii programmy dlya EVM № 2005613091 ot 28.11.05*.
12. *Vatutin E.I.* Otsenka kachestva razbieniye paralel'nykh upravlyayushchikh algoritmov na posledovatel'nye podalgoritmy s ispol'zovaniem vesovoy funktsii [Assessment of the quality of the separations of parallel logic control algorithms on serial Podgorica using the weighting function], *Intellektual'nye i informatsionnye sistemy (Intellekt-2005)* [Intellectual and information system (Mind 2005)]. Tula, 2005, pp. 29-30.
13. *Vatutin E.I., Volobuev S.V., Zotov I.V.* Kompleksnaya sravnitel'naya otsenka metodov vybora razbieniye pri proektirovanii logicheskikh mul'tikontrollerov [Comprehensive comparative evaluation of selection methods breaks when designing logical Multicontroller], *Identifikatsiya sistem i zadachi upravleniya (SICPRO'08)* [Systems identification and control problems (SICPRO'08)]. Moscow: IPU RAN, 2008, pp. 1917-1940.
14. *Vatutin E.I., Volobuev S.V., Zotov I.V.* Kompleksnyy sravnitel'nyy analiz kachestva razbieniye pri sinteze logicheskikh mul'tikontrollerov v usloviyakh prisutsviya tekhnologicheskikh ogranicheniy [A comprehensive comparative analysis of quality criteria in the synthesis of logical Multicontroller in the presence of technological constraints], *Parallel'nye vychisleniya i zadachi upravleniya (PACO'08)* [Parallelnye computing and control problems (PACO'08)]. Moscow: IPU RAN, 2008, pp. 643-685.
15. *Vatutin E.I., Titov V.S.* Sravnenie metodov sinteza razbieniye paralel'nykh algoritmov logicheskogo upravleniya s ispol'zovaniem dvukhparametricheskikh diagramm [Comparison of methods for the synthesis of separations of parallel logic control algorithms using two-parameter diagrams], *Raspoznavanie* [Detection], 2012, pp. 138-140.

16. *Vatutin E.I., Titov V.S.* Sravnenie metodov sinteza razbieniyy graf-skhem parallel'-nykh algoritmov s ispol'zovaniem dvumernykh diagramm [Comparison of methods for the synthesis of partitions of a graph-schemes of parallel algorithms using a two-dimensional charts], *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta* [News of the South-Western state University], 2012, No. 3 (42), pp. 66-74.
17. *Vatutin E.I., Titov V.S.* Ispol'zovanie dobrovol'nykh raspredelennykh vychisleniy na platforme BOINC dlya analiza kachestva razbieniyy graf-skhem parallel'-nykh algoritmov [The use of voluntary distributed computing on the BOINC platform to analyze the quality of the splits graph-schemes of parallel algorithms], *Parallel'nye vychisleniya i zadachi upravleniya (PACO'12)* [Parallel computing and control problems (PACO'12)]. Moscow: IPU RAN, 2012, Vol. 2, pp. 37-54.
18. *Vatutin E.I., Dremov E.N., Martynov I.A., Titov V.S.* Metod vzheshennogo sluchaynogo perebora dlya resheniya zadach diskretnoy kombinatornoy optimizatsii [The method of weighted random search for solving problems of discrete combinatorial optimization], *Izvestiya VolGTU. Seriya: Elektronika, izmeritel'naya tekhnika, radiotekhnika i svyaz'* [News of Volgograd state technical University. Series: electronics and instrumentation engineering, radio engineering and communication], 2014, No. 10 (137), Issue 9, pp. 59-64.
19. *Vatutin E.I., Kolyasnikov D.V., Martynov I.A., Titov V.S.* Metod sluchaynogo perebora v zadache postroeniya razbieniyy graf-skhem parallel'-nykh algoritmov [The method of random search in the task of building a splits graph-schemes of parallel algorithms], *Mnogoyadernye protsessory, parallel'noe programmirovaniye, PLIS, sistemy obrabotki signalov* [Multi-core processors, parallel programming, FPGA, signal-processing system]. Barnaul: Barnaul, 2014, pp. 115-125.
20. *Vatutin E.I., Zotov I.V.* Programmnyaya sistema dlya postroeniya razbieniyy parallel'-nykh upravlyayushchikh algoritmov [A software system for separations of parallel logic control algorithms], *Trudy V mezhdunarodnoy konferentsii «Identifikatsiya sistem i zadachi upravleniya (SICPRO'06)»* [Proceedings of the V International conference "system Identification and control problems (SICPRO'06)"]. Moscow: Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2006, pp. 2239-2250.
21. *Vatutin E.I., Zotov I.V.* Vizual'naya sreda sinteza razbieniyy parallel'-nykh algoritmov logicheskogo upravleniya [The visual environment of synthesis of separations of parallel logic control algorithms], *Svidetel'stvo ob ofitsial'noy registratsii programmy dlya EVM № 2007613222 ot 30.07.07.*

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.С. Сизов.

Ватутин Эдуард Игоревич – Юго-Западный государственный университет; e-mail: evatutin@rambler.ru; 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94; тел.: 84712587105; кафедра вычислительной техники; к.т.н.; доцент.

Колясников Дмитрий Викторович – кафедра вычислительной техники; магистрант.

Титов Виталий Семенович – e-mail: titov-kstu@rambler.ru; тел.: 84712587112; кафедра вычислительной техники; зав. кафедрой д.т.н.; профессор.

Vatutin Eduard Igorevich – Southwest State University; e-mail: evatutin@rambler.ru; 94, 50 let Oktyabrya street, Kursk, 305040, Russia; phone: +74712587105; the department of computer engineering; cand. of eng. sci.; associate professor.

Kolyasnikov Dmitry Viktorovich – the department of computer engineering; master.

Titov Vitaly Semenovich – e-mail: titov-kstu@rambler.ru; phone: +74712587112; the department of computer engineering; head of department; dr. of eng. sc.; professor.