

10. Karpov V.E. Modeli sotsial'nogo povedeniya v gruppovoy robototekhnike [Models of social behavior in group robotics], *Upravlenie bol'shimi sistemami: sbornik trudov* [Management of large systems: proceedings], 2016, No. 59.
11. Kalyaev A. et al. An effective algorithm for multiagent dispatching of resources in heterogeneous cloud environments, *2016 5th International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV)*. IEEE, 2016, pp. 1140-1142.
12. Kalyaev I.A., Kalyaev A.I., Korovin I.S. Multiagent Resource Dispatching in a Heterogeneous Cloud Environment, *2019 International Conference on Electronical, Mechanical and Materials Engineering*. Atlantis Press, 2019, pp. 79-85.
13. Kalyaev I.A., Kalyaev A.I., Korovin I.S. A Modified Method of Multiagent Resource Dispatching in a Heterogeneous Cloud Environment, *2019 International Conference on Electronical, Mechanical and Materials Engineering (ICE2ME 2019)*. Atlantis Press, 2019, pp. 72-78. DOI: 10.2991/ice2me-19.2019.17.
14. Gerasimov B.N., Morozov V.V., yakovleva N.G. Sistemy upravleniya: ponyatie, struktura, issledovanie [Management systems: concept, structure, research]. Samara SGAU, 2002.
15. Gorodetskiy V.I. Samoorganizatsiya i mnogoagentnye sistemy. I. Modeli mnogoagentnoy samoorganizatsii [Self-organization and multi-agent systems. I. Models of multi-agent self-organization], *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Theory and control systems], 2012, No. 2, pp. 92.
16. Legovich Yu.S., Maksimov D.Yu. Vybor ispolnitelya v gruppe intellektual'nykh agentov [Choosing a performer in a group of intelligent agents], *Upravlenie bol'shimi sistemami: Sb. trudov* [Managing large systems: a collection of works], 2015, No. 56.
17. Istomin V.V. Prognozirovaniye povedeniya grupp avtonomnykh intellektual'nykh agentov na osnove teorii mnogoagentnykh sistem [Predicting the behavior of groups of autonomous intelligent agents based on the theory of multi-agent systems], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2011, Vol. 18, No. 4.
18. Campbell A., Wu A.S. Multi-agent role allocation: issues, approaches, and multiple perspectives, *Auton. Agent. Multi. Agent. Syst.* Springer, 2011, Vol. 22, No. 2, pp. 317-355.
19. Gaaze-Rapoport M.G., Pospelov D.A. Ot ameby do robota: modeli povedeniya [From amoeba to robot: behavioral models]. Ripol Klassik, 1987, 150 p.
20. Conte R. et al. Sociology and social theory in agent based social simulation: A symposium // *Comput. Math. Organ. Theory*. Springer, 2001, Vol. 7, No. 3, pp. 183-205.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. Э.В. Мельник.

Калыев Анатолий Игоревич – Южный федеральный университет; e-mail: anatoly@kalyaev.net; г. Таганрог, Россия; тел.: +79525666699; к.т.н.; зав. лабораторией.

Kalyaev Anatoly Igorevich – South Federal University; e-mail: anatoly@kalyaev.net; Taganrog, Russia; phone: +79525666699; cand. of eng. sc.; head of the laboratory.

УДК 004.056.5

DOI 10.18522/2311-3103-2021-4-21-31

В.А. Литвиненко, С.А. Ховансков, В.С. Хованскова

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛОЖНОГО РЕЗУЛЬТАТА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ВЫПОЛНЯЕМЫХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ МНОГОАГЕНТНОЙ СИСТЕМОЙ

Рассматриваются вопросы защиты распределённых вычислений организованных на основе многоагентной системе для решения задач многовариантного моделирования. При моделировании выбор одного из многих вариантов может потребовать перебора огромного множества параметров недоступного для быстродействующей ЭВМ. Для сокращения времени решения таких задач используют распределенные вычисления. Существует множество различных подходов для организации распределенных вычислений в компьютерной сети – технология grid, metacomputing (BOINC, PVM и другие). Все они предназначены для создания централизованных систем распределенных вычислений. Распределенные вычисления органи-

зуются на основе многоагентной системы на вычислительных узлах любой компьютерной сети. При использовании в качестве вычислительной среды компьютерную сеть большого масштаба могут возникнуть угрозы безопасности распределенных вычислений. Одной из таких угроз является получение в процессе вычислений ложного результата от злоумышленников. Ложный результат может привести в процессе моделирования к принятию не оптимального, либо неправильного решения. Управляющие агенты централизованной системы распределенных вычислений, кроме управления распределенной системой, вынуждены выполнять обнаружение ложных результатов процесса вычислений. Разработана методика расчета вероятности обнаружения ложного результата в зависимости от общего количества агентов многоагентной системы и количества управляющих агентов. Приведены примеры расчета количества управляющих агентов, обеспечивающих в многоагентной системе требуемую вероятность обнаружения ложных результатов.

Распределенные вычисления; многоагентная система; защита результатов вычислений; сокращение времени решения; многовариантное моделирование.

V.A. Litvinenko, S.A. Khovanskov, V.S. Khovanskova

ESTIMATION OF THE PROBABILITY OF DETECTING A FALSE RESULT OF DISTRIBUTED CALCULATIONS PERFORMED BY A CENTRALIZED MULTI-AGENT SYSTEM

We consider the issues of protection of distributed computing organized on the basis of a multi-agent system for solving problems of multivariate modeling. When modeling, choosing one of the many options may require going through a huge set of parameters that are not available for a high-speed computer. Distributed computing is used to reduce the time needed to solve such problems. There are many different approaches for organizing distributed computing in a computer network: grid technology, metacomputing (BOINC, PVM, and others). All of them are intended for creating centralized distributed computing systems. Distributed computing is organized on the basis of a multi-agent system on the computing nodes of any computer network. When using a large-scale computer network as a computing environment, there may be security threats to distributed computing. One of these threats is getting a false result from hackers during calculations. A false result may lead to making an inappropriate or incorrect decision during the simulation process. Managing agents of a centralized distributed computing system, in addition to managing a distributed system, are forced to detect false results of the calculation process. A method has been developed for calculating the probability of detecting a false result depending on the total number of agents in a multi-agent system and the number of control agents. Examples of calculating the number of control agents that provide the required probability of detecting false results in a multi-agent system are given.

Distributed computing; multi-agent system; protection of computing results; reduction of solution time; multivariate modeling.

Введение. В настоящее время множество задач требуют выполнения большого объема вычислений за минимальное время. К ним относятся задачи моделирования. На практике задачи моделирования требуют выбора наилучших решений не по одному, а сразу по нескольким критериям (многокритериальные задачи оптимизации), которые приносят дополнительные и не всегда разрешимые трудности. Если объект и его параметры являются переменными, зависящими от времени, то в этом случае используются более сложные стратегии решения задач моделирования [1, 2, 9, 11–17].

Выбор одного из многих вариантов может потребовать перебора огромного числа параметров, недоступного даже для самой быстродействующей ЭВМ. Подсчитано, например, что при решении задачи распределения 20 критериев по 10 объектам число возможных вариантов составит 10^8 . Даже, если расчёт каждого варианта потребует всего 10 арифметических операций, то и тогда общее число расчётных операций достигнет миллиарда, что не может быть выполнено ЭВМ в приемлемые сроки.

Самым популярным решением этой проблемы в настоящее время является использование распределённых вычислений. В качестве вычислительной среды для организации распределенных вычислений используется глобальная компьютерная сеть, обладающая значительными вычислительными ресурсами. Главным недостатком использования глобальной сети являются существующие в ней угрозы информационной безопасности распределенных вычислений.

Постановка задачи. Основными задачами, решаемыми авторами было:

- ◆ создать методику, позволяющую оценить; уровень безопасности создаваемой вычислительной системы
- ◆ использовать в качестве вычислительных центров для решения конкретных вычислительных процессов узлы обычной масштабируемой компьютерной сети;
- ◆ распределенные вычисления организуются на основе централизованной многоагентной системы.

В то же время, создаваемая система должна быть работоспособной при любом наборе компьютеров, как по количеству, так и по производительности, обладать высокой живучестью – не терять работоспособность и выполнять решение за отведённые под задачу временные ресурсы при динамическом изменении используемой вычислительной среды [3, 5].

В качестве наиболее перспективного пути организации распределённых вычислений в компьютерной сети было выбрано использование централизованной многоагентной системы [4, 6, 18–23].

Под многоагентной системой понимается множество агентов, каждый из которых представляет программный модуль, размещенный на отдельном компьютере. Все агенты функционально делятся на 2 группы, в которых агенты каждой группы работают по одному и тому же алгоритму. Агенты первой группы выполняют управление своими компьютерами, и работа каждого не зависит от других компьютеров группы. Агент организует выполнение вычислительной нагрузки на своём компьютере, инициирует обмен данными с агентами второй группы управления, выполняет обработку полученной от них информации и на её основе принимает решения.

Для реализации и защиты распределенных вычислений в компьютерной сети агенты управления выполняют алгоритм, который позволяет организовать распределенную вычислительную систему на основе узлов любой компьютерной сети, взаимодействовать с агентами своей группы, собрать и обработать результаты работы агентов первой группы.

При организации распределенных вычислений в компьютерной сети большого масштаба велика вероятность нарушения безопасности вычислений со стороны злоумышленников [7, 8, 10]. Наиболее актуальным нарушением является включение в многоагентную систему одного или нескольких компьютеров с целью нарушения безопасности распределенных вычислений путем подмены результатов вычислений, полученных ими на ложные.

Методика расчёта вероятности обнаружения ложного результата в централизованной многоагентной системе. Отличительными чертами централизованной многоагентной системы является то, что помимо агентов, выполняющих заданную вычислительную нагрузку, есть управляющие агенты, которые распределяют нагрузку между агентами, расширяют многоагентную систему и следят за правильностью вычислений. Слежение за правильностью вычислений выполняется путем повторения вычисления какого-либо задания, которое было выполнено одним из управляемых агентов. Количество управляющих агентов в централизованной многоагентной системе может быть от одного до нескольких. Они получают результаты от агентов, выполняющих вычисления, и выборочно проверяют правильность их решения. Недостатком многоагентной системы явля-

ется то, что все результаты решений управляющие агенты проверить не могут, поскольку количество управляющих агентов намного меньше агентов, выполняющих вычисления [9].

Рассчитаем на конкретном примере вероятность обнаружения ложного результата для централизованной многоагентной системы. Расчёт выполним для многоагентной системы, состоящей из тысячи агентов, выполняющих вычисления, и одного управляющего агента. Допустим, что среди множества агентов, составляющих многоагентную систему, есть злоумышленники, каждый из которых передаёт ложные результаты вычислений. Управляющий агент из результатов, полученных от агентов, выбирает некоторые и проверяет их правильность путем повторения вычислений. Проверяемые результаты выбираются случайным образом, поскольку управляющий агент, обладая ограниченными вычислительными ресурсами, точно не знает, какой из агентов является злоумышленником.

Вероятность P_{olr} обнаружения одного ложного результата в централизованной многоагентной системе, который постоянно формирует злоумышленник, определяется по формуле Бернулли. Формула Бернулли позволяет определять вероятность появления определенного события при независимых условиях. Это говорит о том, что появление события в эксперименте не зависит от появления или не появления того же события в ранее проведенных или последующих испытаниях.

$$P_n(m) = \frac{n!}{m!(n-m)!} \times p^m \times (1-p)^{n-m}, \quad (1)$$

где m – количество раз наступление события; p – вероятность, что событие произойдет; n – количество повторений эксперимента.

Для нашего случая количество повторений эксперимента n – это средняя вычислительная нагрузка kr на каждого агента. Она зависит от общего объёма вычислительной нагрузки W и количества агентов N в многоагентной системе M . Нагрузка kr рассчитывается по формуле:

$$n = kr = \frac{W}{N}, \quad (2)$$

где N – количество агентов в многоагентной системе M ; W – общий объём вычислительной нагрузки.

Вероятность наступления события в одном эксперименте определяется количеством агентов многоагентной системы:

$$p = \frac{1}{N}. \quad (3)$$

Для расчёта вероятности обнаружения ложного результата подставив в формулу (1) данные из формул (2) и (3) получим выражение (4).

$$P_{olr} = \frac{\left(\frac{W}{N}\right)!}{m! \times \left(\frac{W}{N} - m\right)!} \times \left(\frac{1}{N}\right)^m \times \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{\frac{W}{N} - m}, \quad (4)$$

где m – количество обнаруженных ложных результатов.

Поскольку злоумышленник может формировать ложные результаты для всей своей вычислительной нагрузки, то вероятность формирования им ложного результата $ko = 1$. Если вероятность формирования ложного результата $ko = 0,5$, это означает, что он формирует ложные результаты только для половины своей вычислительной нагрузки.

В соответствии со структурой многоагентной системы, для расчёта вероятности обнаружения ложного результата используется формула (5), отражающая зависимость вероятности от количества управляющих агентов и вероятности формирования ложных результатов злоумышленником:

$$p = \frac{b}{N} \times ko; \quad (5)$$

ko – вероятность формирования ложных результатов злоумышленником;
 b – количество управляющих агентов.

Подставим в формулу (4) вместо вероятности p , рассчитываемой по формуле (3), значение p , рассчитываемое по формуле (5):

$$P_{otr} = \frac{\left(\frac{W}{N}\right)!}{m! \times \left(\frac{W}{N} - m\right)} \times \left(\frac{b}{N} \times ko\right)^m \times \left(1 - \frac{b}{N} \times ko\right)^{\frac{W}{N} - m}. \quad (6)$$

Построим графики вероятности обнаружения управляющим агентом ($b = 1$) хотя бы одного ложного результата ($m=1$) из передаваемых злоумышленником. Вероятности формирования ложных результатов злоумышленником $ko = 1$, $ko = 0.8$ и $ko = 0.6$ (рис. 1).

Расчёт выполнен для централизованной многоагентной системы с одним управляющим агентом. Количество заданий большеобъемной задачи $W=10000$ при различном количестве агентов N многоагентной системы от 100 до 1000. При анализе полученных графиков видно, что вероятность обнаружения хотя бы одного ложного результата управляющим агентом снижается с увеличением количества агентов системы. При количестве агентов $N=1000$ вероятность обнаружения хотя бы одного ложного результата составляет $P_{otr} = 0,005$. А при $N \rightarrow \infty$ вероятность $P_{otr} \rightarrow 0$. Это связано с тем, что при масштабировании многоагентной системы объем получаемых управляющим агентом результатов возрастает, и он оказывается не в состоянии за время выполнения распределенных вычислений проверить все результаты, передаваемые ему агентами многоагентной системы M .

На снижение вероятности обнаружения ложных результатов также влияет снижение вероятности формирования ложных результатов злоумышленником, поскольку в этом случае общее количество ложных результатов в многоагентной системе уменьшается, что приводит к снижению вероятности обнаружения ложных результатов управляющим агентом.

Аналогично рассчитывается вероятность обнаружения управляющим агентом хотя бы двух ложных результатов при одном злоумышленнике, аналогично трех и четырех (P_{otr2} , P_{otr3} , P_{otr4}). В формулу (4) подставляем $m=2,3,4$.

Вероятности P_{otr2} , P_{otr3} , P_{otr4} обнаружения управляющим агентом ложных результатов при одном злоумышленнике и $ko = 1$ показаны на рис. 2.

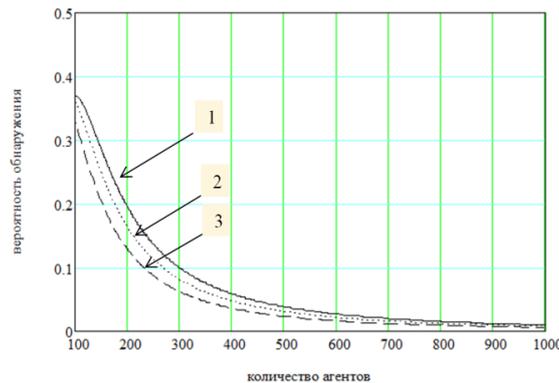


Рис. 1. Вероятности обнаружения хотя бы одного ложного результата в централизованной многоагентной системе, которые формируются злоумышленником с вероятностями: 1) $ko=1$; 2) $ko=0.8$; 3) $ko=0.6$

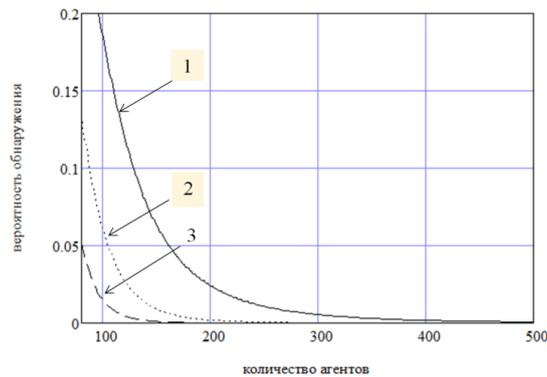


Рис. 2. Вероятности обнаружения: 1) для 2; 2) для 3 и 3) для 4 ложных результатов в централизованной многоагентной системе из тех которые формируются злоумышленником с вероятностями $k_0 = 1$.

Сравнив графики на рисунках (см. рис. 1, 2), можно сделать вывод, что в централизованной многоагентной системе вероятность обнаружения нескольких ложных результатов снижается с увеличением количества ложных результатов, которые должен обнаружить управляющий агент.

Используя формулу (4), рассчитаем вероятность найти хотя бы один ложный результат управляющим агентом в централизованной многоагентной системе при разном количестве злоумышленников – одним; двумя; тремя.

$$P_{otr} = \frac{\left(\frac{W}{N}\right)!}{m! \times \left(\frac{W}{N} - m\right)!} \times \left(\frac{z}{N}\right)^m \times \left(1 - \frac{z}{N}\right)^{\frac{W}{N} - m}, \quad (7)$$

где z – количество злоумышленников.

Результаты расчётов вероятности обнаружения ложных результатов по формуле (7) приведены на рис. 3.

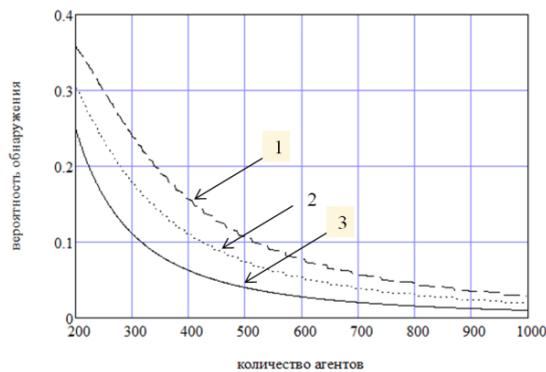


Рис. 3. Вероятности обнаружения хотя бы одного ложного результата в централизованной многоагентной системе, который формируется злоумышленниками: 1) тремя; 2) двумя; 3) одним

Увеличение количества злоумышленников в многоагентной системе приводит к увеличению вероятности обнаружения, хотя бы одного ложного результата, в многоагентной системе управляющим агентом. Это связано с тем, что доля лож-

ных результатов в общем объеме вычислений увеличивается, однако при увеличении количества агентов вероятность обнаружения, хотя бы одного ложного результата, стремится к 0 аналогично случаю, показанному на рисунке (см. рис. 1).

Теперь рассмотрим вероятность обнаружения ложных результатов в централизованной многоагентной системе, имеющей несколько управляющих агентов. Рассчитаем вероятность при 1, 2, 3 и 4 управляющих агентах.

Формула расчёта вероятности обнаружения хотя бы одного ложного результата при нескольких управляющих агентах, исходя из (4), будет иметь вид:

$$P_{otr} = \frac{\left(\frac{W \times U}{N}\right)}{m! \times \left(\frac{W \times U}{N} - m\right)} \times \left(\frac{1}{N}\right)^m \times \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{\frac{W \times U}{N} - m}, \quad (8)$$

где U – количество управляющих агентов в многоагентной системе M .

Значение вероятностей обнаружения ложного результата нескольких управляющих агентов, рассчитанных по формуле (8), приведены на рис. 4.

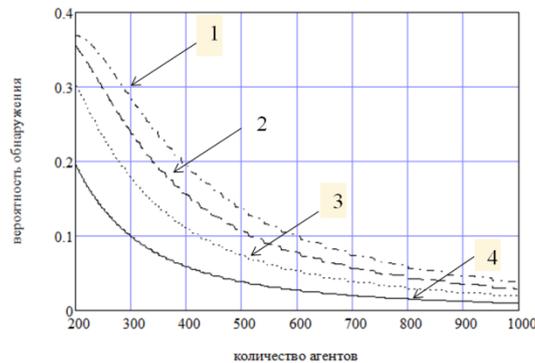


Рис. 4. Вероятности обнаружения, хотя бы одного ложного результата, в централизованной многоагентной системе с управляющими агентами: 1) четырьмя; 2) тремя; 3) двумя; 4) одним

Из этого графика (см. рис. 4) видно, что вероятность обнаружения, хотя бы одного ложного результата, повышается с увеличением количества управляющих агентов. Это значит, что при достаточном количестве управляющих агентов вероятность обнаружения ложных результатов можно повысить до приемлемого значения.

Заключение. Такой метод оценки позволяет оценить вероятность обнаружения ложных результатов, передаваемых злоумышленниками агентам второй группы многоагентной системы. Задавая уровень защиты от ложного результата в виде вероятности обнаружения этой угрозы и количество используемых агентов первой группы обнаружения ложного результата и зная количество агентов первой группы можно, используя предлагаемую методику, рассчитать оптимальное количество агентов второй группы, способное обеспечивать требуемый уровень защиты.

Необходимо отметить, что увеличение количества агентов второй группы приводит к снижению уровня безопасности организуемой централизованной системы распределенных вычислений. При атаке на одного из управляющих агентов произойдет нарушение работы организованных им распределенных вычислений. А это значит, что с точки зрения обеспечения «живучести» распределенных вычислений, увеличение количества управляющих агентов приведет к повышению уязвимости системы от атаки типа «отказ в обслуживании». Это является основным недостатком централизованной многоагентной системы.

Помимо этого, увеличение количества управляющих агентов может привести к снижению эффективности применения многоагентной системы для организации распределенных вычислений, поскольку потребуется усложнение алгоритма взаимодействия управляющих агентов между собой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобашев Д.Г., Ховансков С.А. Организация распределенных вычислений в иерархической вычислительной структуре // Теория и практика современной науки. – 2016. – № 6-1 (12). – С. 748-750.
2. Литвиненко В.А., Ховансков С.А., Хованскова В.С., Литвиненко Е.В. Применение параметрической адаптации в алгоритмах построения ортогонального дерева Штейнера // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2016. – № 4 (28). – С. 9-16.
3. Ховансков С.А., Румянцев К.Е., Хованскова В.С. Алгоритм программного модуля децентрализованной системы управления для создания безопасных распределенных вычислений в неустойчивой вычислительной среде // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 12 (149). – С. 247-253.
4. Madkour A.M., Eassa F.E., Ali A.M., Qayyum N.U. Mobile-Agent-Based Systems Against Malicious Hosts // World Applied Sciences Journal. – 2014. – Vol. 29 (2). – P. 287-297.
5. Muñoz A., Pablo A., Maña. A Multiagent Systems Protection // Advances in Software Engineering. – 2011. – Article ID 281517. – 9 p. – DOI: 10.1155/2011/281517.
6. Xudong G., Yiling Ya., Yinyuan Y. POM-a mobile model against malicious hosts // Proceedings of High Performance Computing in the Asia-Pacific Region. – 2000. – Vol. 2. – P. 1165-1166.
7. Литвиненко В.А., Ховансков С.А., Хованскова В.С. Алгоритм организации безопасных распределенных вычислений на основе многоагентной системы // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2016. – № 10 (183). – С. 146-158.
8. Щеглов К.А., Щеглов А.Ю. Защита от атак на повышение привилегий // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2015. – № 1. – С. 36-42.
9. Литвиненко В.А., Ховансков С.А., Хованскова В.С. Оценка сокращения времени построения связывающих деревьев цепей с помощью распределённой вычислительной системы // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2016. – № 4 (28). – С. 34-42.
10. Капустян С.Г., Мельник Э.В. Технология организации отказоустойчивого функционирования распределенных информационно-управляющих систем сложных технических объектов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2010. – № 4 (70). – С. 33-41.
11. Чернышев Ю.О., Литвиненко В.А., Ховансков С.А., Литвиненко Е.В. Методы управления точностью решения экстремальных задач на графах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 7 (108). – С. 84-91.
12. Чернышев Ю.О., Венцов Н.Н. К вопросу о построении деревьев Штейнера с различной шириной ветвей для связывания элементов трехмерных СБИС // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4 (93). – С. 72-76.
13. Варенцов П.Е., Матвеева Е.В., Глозитейн А.М., Малашкевич И.А. Имитационное моделирование неравномерного входящего трафика для исследования эффективности коммутационных структур // Россия в пространстве глобальных трансформаций: в фокусе наук о человеке, обществе, природе и технике: Матер. международной междисциплинарной научной конференции. Составитель, ответственный и научный редактор сборника В.П. Шалаев. – 2016. – С. 357-358.
14. Котенко В.В. Эффективность виртуального помехоустойчивого кодирования // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2016. – № 9 (182). – С. 15-26.
15. Klochko A., Zhila V. Solving problems of distribution network tracing: example of gas distribution using the search optimization methodology // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2017. – Vol. 692. – P. 615-624.
16. Курейчик В.В., Тимашков Д.И. Имитационная модель оценки уровня компетентности на основе сетей Петри // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 7 (144). – С. 226-231.

17. Лебедев Б.К., Воронин Е.И. Генетический алгоритм распределения соединений по слоям при многослойной глобальной трассировке СБИС // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 7 (132). – С. 14-21.
18. Норкин О.Р., Федоров И.Д. Мультиагентность в распределённых вычислениях // Информационные технологии, системный анализ и управление (ИТСАУ-2016): Сб. трудов XIV Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Южный федеральный университет; Редакционная коллегия: Финаев В.И., Косенко Е.Ю., Шестова Е.А., – 2016. – С. 261-265.
19. Библев Д.В., Федоров И.Д. Мультиагентные интеллектуальные системы и обработка web-информации // XIX Всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартского государственного университета: Сб. статей. – 2017. – С. 184-186.
20. Kotenko V.V., Polyakov A.I. Virtual immediate coding // International Journal of Engineering and Technology(UAE). – 2018. – Vol. 7, No. 3.13 Special Issue 13. – P. 14-16.
21. Заруба Д.В., Запорожец Д.Ю., Запорожец Ю.Ю. Подсистема распределенного решения оптимизационных задач // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2019. – № 2 (204). – С. 57-68.
22. Распов С.В., Василенко Р.И. Подход к управлению ресурсами распределенной вычислительной системы // Информационные системы и технологии: фундаментальные и прикладные исследования: Сб. статей I Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, магистрантов и студентов. – 2016. – С. 26-29.
23. Конолев С.Г., Левчегов О.Н. Использование распределенных вычислений для моделирования процессов регионального развития в динамически-изменяемой среде // Устойчивое и инновационное развитие регионов России в условиях глобальных трансформаций: Матер. международной научно-практической конференции. Липецкий филиал Финансового университета при Правительстве РФ. – 2015. – С. 170-175.

REFERENCES

1. Lobashev D.G., Khovanskov S.A. Organizatsiya raspredelennykh vychisleniy v ierarkhicheskoy vychislitel'noy strukture [Organization of distributed computing in a hierarchical computing structure], *Teoriya i praktika sovremennoy nauki* [Theory and practice of modern science], 2016, No. 6-1 (12), pp. 748-750.
2. Litvinenko V.A., Khovanskov S.A., Khovanskova V.S., Litvinenko E.V. Primenenie parametricheskoy adaptatsii v algoritmakh postroeniya ortogonal'nogo dereva Shteynera [Application of parametric adaptation in algorithms for constructing an orthogonal Steiner tree], *Informatika, vychislitel'naya tekhnika i inzhenernoe obrazovanie* [Computer science, computer engineering and engineering education], 2016, No. 4 (28), pp. 9-16.
3. Khovanskov S.A., Rumyantsev K.E., Khovanskova V.S. Algoritm programmnoy modulya detsentralizovannoy sistemy upravleniya dlya sozdaniya bezopasnykh raspredelennykh vychisleniy v neustoychivoy vychislitel'noy srede [Algorithm of the software module of a decentralized control system for creating secure distributed computing in an unstable computing environment], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 12 (149), pp. 247-253.
4. Madkour A.M., Eassa F.E., Ali A.M., Qayyum N.U. Mobile-Agent-Based Systems Against Malicious Hosts, *World Applied Sciences Journal*, 2014, Vol. 29 (2), pp. 287-297.
5. Muñoz A., Pablo A., Maña. A Multiagent Systems Protection, *Advances in Software Engineering*, 2011, Article ID 281517, 9 p. DOI: 10.1155/2011/281517.
6. Xudong G., Yiling Ya., Yinyuan Y. POM-a mobile model against malicious hosts, *Proceedings of High Performance Computing in the Asia-Pacific Region*, 2000, Vol. 2, pp. 1165-1166.
7. Litvinenko V.A., Khovanskov S.A., Khovanskova V.S. Algoritm organizatsii bezopasnykh raspredelennykh vychisleniy na osnove mnogoagentnoy sistemy [Algorithm for organizing secure distributed computing based on a multi-agent system], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2016, No. 10 (183), pp. 146-158.
8. Shcheglov K.A., Shcheglov A.Yu. Zashchita ot atak na povyshenie privilegii [Protection from privilege escalation attacks], *Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologiy* [Bulletin of Computer and Information Technologies], 2015, No. 1, pp. 36-42.
9. Litvinenko V.A., Khovanskov S.A., Khovanskova V.S. Otsenka sokrashcheniya vremeni postroeniya svyazyvayushchikh derev'ev tsepey s pomoshch'yu raspredelennoy vychislitel'noy sistemy [Estimation of time reduction in the construction of linking chain trees using a distributed computing system], *Informatika, vychislitel'naya tekhnika i inzhenernoe obrazovanie* [Informatics, computer engineering and engineering education], 2016, No. 4 (28), pp. 34-42.

10. Kapustyan S.G., Mel'nik E.V. Tekhnologiya organizatsii otkazoustoychivogo funktsionirovaniya raspredelennykh informatsionno-upravlyayushchikh sistem slozhnykh tekhnicheskikh ob'ektov [Technology of organization of fault-tolerant functioning of distributed information and control systems of complex technical objects], *Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologiy* [Bulletin of Computer and Information technologies], 2010, No. 4 (70), pp. 33-41.
11. Chernyshev Yu.O., Litvinenko V.A., Khovanskov S.A. Litvinenko E.V. Metody upravleniya tochnost'yu resheniya ekstremal'nykh zadach na grafakh [Methods for controlling the accuracy of solving extreme problems on graphs], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2010, No. 7 (108), pp. 84-91.
12. Chernyshev YU.O., Ventsov N.N. K voprosu o postroenii derev'ev SHteynera s razlichnoy shirinoy vetvey dlya svyazyvaniya elementov trekhmernykh SBIS [On the construction of Steiner trees with different branch widths for linking elements of three-dimensional VLSI], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2009, No. 4 (93), pp. 72-76.
13. Varentsov P.E., Matveeva E.V., Glozhteyn A.M., Malashkevich I.A. Imitatsionnoe modelirovanie neravnomernogo vkhodyashchego trafika dlya issledovaniya effektivnosti kommutatsionnykh struktur [Simulation modeling of uneven incoming traffic for the study of the effectiveness of com-mutational structures], *Rossiya v prostranstve global'nykh transformatsiy: v fokuse nauk o cheloveke, obshchestve, prirode i tekhnike: Mater. mezhdunarodnoy mezhdistsiplinarnoy nauchnoy konferentsii. Sostavitel', otvetstvennyy i nauchnyy redaktor sbornika V.P. Shalaev* [Russia in the space of global transformations: in the focus of the sciences of man, society, nature and technology: Proceedings of the International interdisciplinary scientific conference. The compiler, responsible and scientific editor of the collection V.P. Shalaev], 2016, pp. 357-358.
14. Kotenko V.V. Effektivnost' virtual'nogo pomexoustoychivogo kodirovaniya [The effectiveness of virtual noise-resistant coding], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2016, No. 9 (182), pp. 15-26.
15. Klochko A., Zhila V. Solving problems of distribution network tracing: example of gas distribution using the search optimization methodology, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2017, Vol. 692, pp. 615-624.
16. Kureychik V.V., Timashkov D.I. Imitatsionnaya model' otsenki urovnya kompetentnosti na osnove setey Petri [Simulation model for assessing the level of competence based on Petri nets], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 7 (144), pp. 226-231.
17. Lebedev B.K., Voronin E.I. Geneticheskii algoritm raspredeleniya soedineniy po sloyam pri mnogoslonoynoy global'noy trassirovke SBIS *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 7 (132), pp. 14-21.
18. Norkin O.R., Fedorov I.D. Mul'tiagentnost' v raspredelennykh vychisleniyakh [Multiagency in distributed computing], *Informatsionnye tekhnologii, sistemnyy analiz i upravlenie (ITSAU-2016): Cb. trudov KhIV Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov. Yuzhnyy federal'nyy universitet; Redaktsionnaya kollegiya: Finaev V.I., Kosenko E.Yu., Shestova E.A.* [Information Technologies, System Analysis and Management (ITSAU-2016): Proceedings of the XIV All-Russian Scientific Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students. Southern Federal University; Editorial Board: Finaev V.I., Kosenko E.Yu., Shestova E.A.], 2016, pp. 261-265.
19. Biblev D.V., Fedorov I.D. Mul'tiagentnye intellektual'nye sistemy i obrabotka web-informatsii [Multi-agent intelligent systems and web-information processing], *XIX Vserossiyskaya studencheskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta. sbornik statey* [XIX All-Russian Student scientific and practical conference of Nizhnevartovsk State University. collection of articles], 2017, pp. 184-186.
24. Kotenko V.V., Polyakov A.I. Virtual immediate coding, *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, 2018, Vol. 7, No. 3.13 Special Issue 13, pp. 14-16.
20. Kotenko V.V., Polyakov A.I. Virtual immediate coding, *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, 2018, Vol. 7, No. 3.13 Special Issue 13, pp. 14-16.
21. Zaruba D.V., Zaporozhets D.Yu., Zaporozhets Yu.Yu. Podsystema raspredelennogo resheniya optimizatsionnykh zadach [Subsystem of distributed solution of optimization problems], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2019, No. 2 (204), pp. 57-68.

22. *Raspopov S.V., Vasilenko R.I. Podkhod k upravleniyu resursami raspredelennoy vychislitel'noy sistemy [An approach to resource management of a distributed computing system], Informatsionnye sistemy i tekhnologii: fundamental'nye i prikladnye issledovaniya: Sb. statey I Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov, magistrantov i studentov [Information systems and technologies: fundamental and applied research: Collection of articles of the I All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Postgraduates, Undergraduates and Students], 2016, pp. 26-29.*
23. *Konoplev S.G., Levchegov O.N. Ispol'zovanie raspredelennykh vychisleniy dlya modelirovaniya protsessov regional'nogo razvitiya v dinamicheski-izmenyaemoy srede [The use of distributed computing for modeling regional development processes in a dynamically changing environment], Ustoychivoe i innovatsionnoe razvitiye regionov Rossii v usloviyakh global'nykh transformatsiy: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Lipetskiy filial Finansovogo universiteta pri Pravitel'stve RF [Sustainable and innovative development of Russian regions in the context of global transformations: Materials of the international scientific and practical conference. Lipetsk branch of the Financial University under the Government of the Russian Federation], 2015, pp. 170-175.*

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Ю.О. Чернышев.

Литвиненко Василий Афанасьевич – Южный федеральный университет; e-mail: litv_va@mail.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: 88634371651; кафедра систем автоматизированного проектирования; доцент.

Ховансков Сергей Андреевич – e-mail: sah59@mail.ru; тел.: 88634676616; кафедра информационной безопасности телекоммуникационных систем; доцент.

Хованскова Вера Сергеевна – e-mail: bepok2010@gmail.com; тел.: 88634676616; кафедра информационной безопасности телекоммуникационных систем; аспирантка.

Litvinenko Vasily Avanasjevich – Southern Federal University;; e-mail: litv_va@mail.ru; Taganrog, Russia; phone: +78634371651; the department of computer aided design; associate professor.

Khovanskov Sergey Andreevich –e-mail: sah59@mail.ru; phone: +78634676616; the department of information security of telecommunication systems, associate professor.

Khovanskova Vera Sergeevna – e-mail: bepok2010@gmail.com; phone: +78634676616; the department of information security of telecommunication systems; postgraduate student.

УДК 004.272

DOI 10.18522/2311-3103-2021-4-31-41

Д.Ю. Кравченко, Ю.А. Кравченко, В.В. Марков, А.Э. Саак
БИОИНСПИРИРОВАННЫЙ МЕТОД КЛАССИФИКАЦИИ
РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ
ДЛЯ ДИСПЕТЧИРОВАНИЯ В ГРИД-СИСТЕМАХ*

Статья посвящена решению задачи диспетчирования распределенных вычислительных ресурсов на основе их классификации методом биоинспирированного поиска для повышения эффективности функционирования грид-систем. 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

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов №№ 20-01-00148 и 19-07-00099.