

УДК 004.89:004.4:681.5

Г.А. САМИГУЛИНА, А.М. АБДЕНОВА, Д.Б. АҚПАН

*Институт проблем информатики и управления, г. Алматы, Казахстан;
e-mail: galinasamigulina@mail.ru, aziza.mustafa@mail.ru, akpan_dauren@mail.ru*

Интеллектуальные системы прогнозирования и управления на основе искусственных иммунных систем и распределенные вычисления

В современном научном мире актуальны исследования в области искусственного интеллекта и компьютерных технологий. Бурное развитие интеллектуальных технологий в различных прикладных областях и их реальное применение во многих сферах человеческой деятельности предъявляет высокие требования к качеству разрабатываемых интеллектуальных систем, которые должны надежно работать в условиях неопределенности параметров, обладать адаптационными возможностями и функционировать в режиме реального времени. Существует множество методов, моделей и алгоритмов построения интеллектуальных систем, которые применяются в разных отраслях науки и техники. Одним из них является подход искусственных иммунных систем. В исследованиях используется направление искусственных иммунных систем, основанное на математической реализации механизмов молекулярного узнавания. При решении данных задач актуально распараллеливание специальных сервисных процедур. Статья посвящена разработке алгоритма распределенных вычислений для расчета параметров квазирасщепленных подсистем управления, которые в дальнейшем используются при построении формальных пептидов и реализации интеллектуальных систем прогнозирования и управления сложными объектами на основе технологии искусственных иммунных систем. Параллельная обработка данных осуществляется в МАТЛАВ. Для передачи сообщений между процессами используется МРІ технология. Применение параллельного алгоритма позволяет уменьшить время нахождения коэффициентов в десятки раз. Разработанный алгоритм может быть реализован на персональных компьютерах или суперкомпьютере для различных технических и социально-экономических задач. Предложенный алгоритм существенно повышает эффективность функционирования интеллектуальной системы прогнозирования и управления на основе подхода искусственных иммунных систем.

Ключевые слова: распределенные вычисления, параллельный алгоритм, интеллектуальные системы, искусственная иммунная система, квазирасщепление.

Samigulina G., Abdenova A., Akpan D.

Intellectual systems of prediction and control based on the artificial immune systems approach and distributed computing

In the modern world of science, the researches in the field of artificial intelligence and computer technologies are actual. The rapid development of intellectual technologies in various application areas and their real life application in many spheres of human activity

create high requirements for the quality of developed intellectual systems. They should work reliably in conditions of parameter indeterminacy, to have adaptation opportunities and to function in real time. There are many methods, models and algorithms of intellectual systems construction which are applied in various fields of science and technology. One of them the artificial immune systems approach. Generally applied in research is the direction of artificial immune systems based on the mathematical implementation of molecular recognition mechanisms. Parallelization of special service procedures is actual in solving such problems. The paper is dedicated to development of distributed computing algorithm for computation of parameters of quasi-split control subsystems that are used in the construction of formal peptides and implementation of intellectual systems of prediction and control of complex objects based on the artificial immune systems approach. Parallel processing of data is carried out in MATLAB and to transmit messages between processes the MPI technology is used. The application of parallel algorithm allows us to decrease coefficient computation time by a factor of dozens. The developed algorithm can be implemented on personal computers or supercomputer in order to solve different technical and socio-economical problems. The proposed algorithm will significantly improve the functional efficiency of intellectual systems of prediction and control based on the artificial immune systems approach.

Key words: distributed computing, parallel algorithm, intellectual systems, artificial immune system, quasi-split.

Самигулина Г., Абденова А., Ақпан Д.

**Жасанды иммунды жүйе мен үлестірілген есептеулер негізінде
интеллектуалды жүйені болжау және басқару**

Заманауи ғылыми өмірде жасанды интеллект пен компьютерлік технология саласындағы зерттеулер өзекті болып отыр. Жасанды интеллектінің әр түрлі қолданбалы салаларда қарқынмен өркендеуі мен адам өмірінің көптеген салаларында нақты қолданыс тапқан, жасалынып жатқан интеллектуалды жүйелердің сапасына жоғары талап қойылады. Олар анық емес параметр жағдайында сенімді жұмыс істеуі және нақты уақыт режимінде бейімділік қасиетке ие болуы керек. Ғылым мен техниканың әр түрлі саласында қолданыс тапқан интеллектуалды жүйені құруға арналған көптеген әдістер, алгоритмдер мен моделдер бар. Соның бір әдісі ретінде жасанды иммунды жүйелерді айтуға болады. Зерттеулерде жасанды иммунды жүйенің молекулярлы тану механизмінің математикалық іске асуына негізделген бағыт пайдаланылады. Бұл есептерді шешуде арнайы қызметтік процедураларды параллелдеудің өзектілігі қарастырылды. Мақала басқарудың жүйе ішілік жалған бөлшектену параметрлерін есептеуде үлестірілген есептеулер алгоритмін ары қарай формалды пептидтерді құру мен жасанды иммунды жүйелер технологиясы негізінде күрделі объектілерді басқару және болжаудың интеллектуалды жүйесін жүзеге асыруда қолданылатындығына арналған. Мәліметтерді параллелді өңдеу MATLAB-та жүзеге асырылады. Үдеріс арасындағы хабарламаларды жіберуде MPI технологиясы қолданылады. Параллелді алгоритмді қолдану арқылы коэффициенттерді табу уақытын 10 есе азайтады. Құрылған алгоритм техникалық және әлеуметтік-экономикалық есептерді шешуде дербес немесе суперкомпьютерлерде жүзеге асыруға болады. Ұсынылған алгоритм жасанды иммунды жүйелерінің тәсілдері негізінде басқару мен болжаудың интеллектуалды жүйесінің тиімділігін біршама жоғарлатады.

Түйін сөздер: үлестірілген есептеулер, параллелді алгоритм, интеллектуалды жүйелер, жасанды иммундық жүйе, жалған бөлшектену.

Введение

В современном научном мире актуальны исследования в области искусственного интеллекта и разработка высокопроизводительных систем для параллельных вычислений. Бурный рост интеллектуальных технологий в различных прикладных областях, и их реальное применение во многих сферах человеческой деятельности предъявляет высокие требования к качеству разрабатываемых интеллектуальных систем, которые должны надежно работать в условиях неопределенности параметров, обладать адаптационными возможностями и функционировать в режиме реального времени. Интенсивные работы проводятся во всем мире по разработке нетрадиционных биологических подходов искусственного интеллекта [1]–[3], в том числе на основе подхода Искусственных Иммунных Систем (ИИС).

Данные разработки требуют больших вычислительных ресурсов [4]. Для того, чтобы решать сложные задачи, требующие огромных вычислений является актуально распараллеливание вычислений [5]. Существуют программные инструменты параллелизма, такие как: OpenMP (Open Multi Processing), распределяющие задачи по процессорам; CUDA (Compute Unified Device Architecture)/ OpenCL (Open Computing Language), распределяющие задачи по графическим ускорителям и MPI (Message Passing Interface), распределяющие задачи по узлам. В настоящее время активно проводятся исследования в области интеллектуальных систем и параллельных вычислений. Широко известными являются нейронные сети, эволюционные алгоритмы и т.д. В работе [6] разработан генетический алгоритм, который определяет правильный генотип с помощью MATLAB MPI Toolbox. Рассмотрены два новых параллельных подхода нейронных сетей с обратным распространением ошибки для распознавания лиц с использованием OpenMP и CUDA в [7]. Статья [8] посвящена генетическому алгоритму маршрутизации на кластере MPI и сравнению с другими аналогами.

Описание технологии искусственных иммунных систем

В настоящее время актуальны исследования в области ИИС для прогнозирования поведения и управления сложными динамическими объектами с различными неопределенностями параметров в реальном времени. Существует несколько направлений в подходе искусственных иммунных систем: на основе теории отрицательного отбора, теории клональной селекции, теории иммунной сети и др. Актуальным направлением ИИС является подход, основанный на математической реализации механизмов молекулярного узнавания. Биологическим прототипом ИИС является иммунная система человека и обработка информации молекулами белков на основе результатов самосборки. Данный подход [2] оперирует понятием формального пептида, который представляет собой математическую абстракцию принципа зависимости свободной энергии белковой молекулы от пространственной формы полипептидного остова и формируется в виде временного ряда. Сеть связывания в подходе ИИС называют любую последовательность связываний двух формальных пептидов. Для того, чтобы произошло молекулярное узнавание (например, антитела и антигена) необходимо связывание формальных пептидов, которое соответствует минимальной энергии связи между ними. Данный подход применяет-

ся при разработке интеллектуальных систем прогнозирования и управления сложными объектами [9]. Основной целью интеллектуальной технологии на основе ИИС является повышение достоверности прогноза в условиях различных неопределенностей параметров сложной нелинейной системы. Основными этапами данной технологии являются: сбор данных и формирование баз данных; оптимизация предварительной обработки данных; выделение информативных признаков и построение оптимальной иммунносетевой модели; классификация решений (опасный и безопасный режимы функционирования); решение задачи распознавания образов; оценка энергетических погрешностей; прогноз и принятие решений.

При решении данных задач актуально распараллеливание специальных сервисных процедур. Данное исследование является продолжением работы [9]. Рассматривается подход квазирасщепления [10], который позволяет декомпозировать исходную сложную систему управления с использованием алгебраических проекторов на взаимосвязанные квазирасщепленные подсистемы меньшей размерности, но эквивалентные по динамическим свойствам исходной сложной системе:

$$S_1 : \dot{X}'(t) = A_X X'(t) + h_X \sigma(t) + D_X(X) Z(t), \quad (1)$$

$$S_2 : \dot{\sigma}(t) = a_\sigma \sigma(t) + h_\sigma X'(t) + b_\sigma U(t) + D_\sigma^T(X) Z(t), \quad t \in I(t_0) \quad (2)$$

где $A_X \in R^{(n-1) \times (n-1)}$, $h_X, h_\sigma \in R^{n-1}$, $a_\sigma, b_\sigma \in R^1$, $D_X(X) \in R^{(n-1) \times n}$, $D_\sigma^T(X) \in R^{1 \times n}$ – матрицы-функции, определяющие параметры квазирасщепленных S_i – подсистем, ($i = 1, 2$).

Для вычисления параметров квазирасщепленных подсистем используется разработанный в MATLAB алгоритм [11]. В данном алгоритме исходные данные вводятся в виде матрицы A размерности $(n \times m)$, вектора B размерности $(n \times 1)$, строки C размерности $(1 \times m)$. Параметры квазирасщепленных подсистем вычисляются по следующим формулам: $A_x = (P_1 A)' - a'_n C^T$, $h_x = (\frac{P_1 AB}{C^T B})'$, $a_\sigma = \frac{C^T AB}{C^T B}$, $h_\sigma = (C^T A)' - C^T (a_n C^T)'$, $b_\sigma = C^T B$, где $P_1 = E - B (C^T B) C^T$, E – единичная матрица размерности $(n \times m)$, «'» обозначает снижение размерности матрицы или вектора на один, a_n – последний столбец матрицы A .

Параметры приведенной математической модели используются при разработке интеллектуальной системы управления на основе искусственных иммунных систем [11].

Постановка задачи и метод решения

Постановка задачи формулируется следующим образом: необходимо разработать алгоритм параллельных вычислений для расчета параметров квазирасщепленных подсистем управления S_1 и S_2 , которые в дальнейшем используются при построении формальных пептидов и реализации интеллектуальной технологии ИИС (рисунок 1).

Для решения поставленной задачи выбран мощный вычислительный инструмент MATLAB. Достоинствами данного продукта являются: простота и гибкость использования матричных операций, наличие пакетов прикладных программ для решения различных задач.

Параллельная обработка данных осуществляется в приложениях MATLAB Distributed Computing Server и Parallel Computing Toolbox. Данные два продукта позволяют разрабатывать распределенные приложения, передавать их на сервер и управлять их исполнением в сетях с распределенными вычислительными ресурсами (рисунок 2). В системе

MATLAB имеет встроенный набор функций для передачи сообщений между процессами, основанный на интерфейсе передачи сообщений MPI [12].



Рисунок 1 – Общая структура интеллектуальной системы на основе ИИС

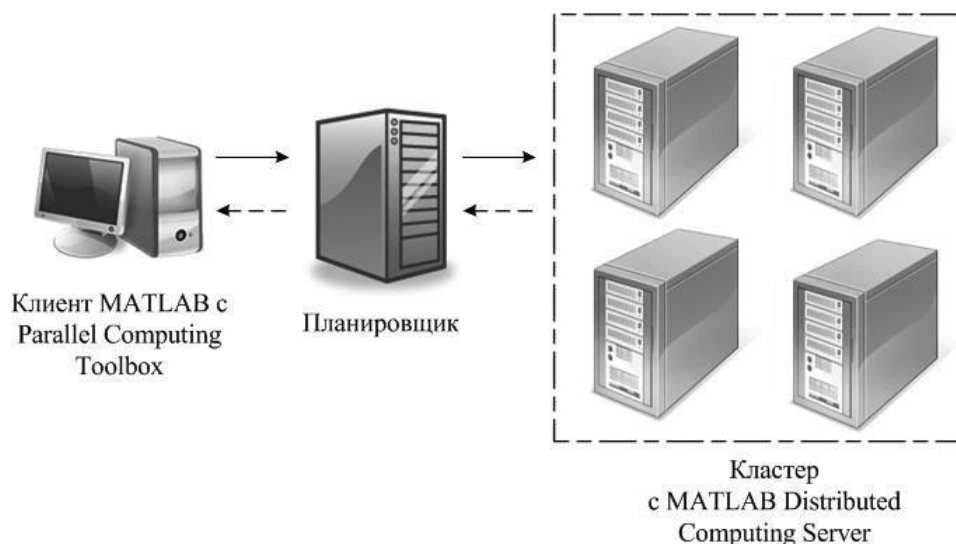


Рисунок 2 – Стандартная конфигурация параллельного вычисления

При реализации параллельного алгоритма вычисления квазирасщепленных подсистем управления области введенных массивов данных разделены на подобласти (сегменты), где каждая подобласть находится в рабочей зоне различных потоков. У каждого потока есть свой собственный сегмент массива для работы с ним. Декомпозиция массива, где каждый поток должен сохранить и обработать свою часть исходного массива,

обеспечивает более эффективное использование памяти и быструю обработку больших наборов данных.

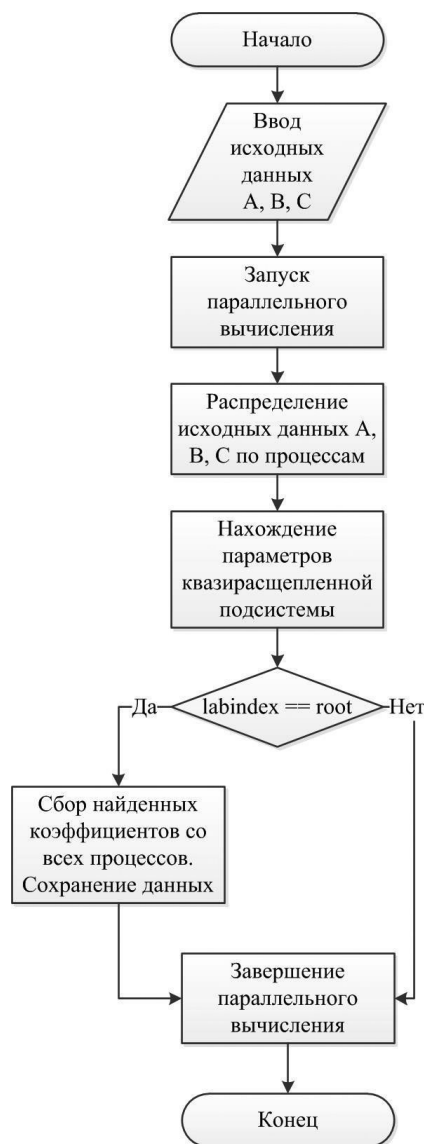


Рисунок 3 – Блок-схема параллельного алгоритма вычисления параметров квазирасцепленных подсистем

На рисунке 3 отображена блок-схема алгоритма параллельного вычисления параметров квазирасцепленных подсистем.

Результаты моделирования

Разработанный параллельный алгоритм был протестирован на созданном вычислительном кластере с помощью пакета прикладных программ MATLAB, состоящего из нескольких персональных компьютеров с многоядерными процессорами. В процессе те-

стирования на различных исходных данных выявлено, что время вычислений параллельного алгоритма на кластере большое. Это обосновывается тем, что объем данных равномерно распределялся на все узлы кластера и при расчетах матричных операций, таких как умножение, нахождение обратной матрицы, затрачивалось огромное количество времени на получение доступа к данным, находящимся в другом узле кластера.

При анализе алгоритма нахождения коэффициентов квазирасщепленных подсистем обнаружено, что алгоритм делится на две отдельные части. В одной вычисляются параметры A_x и B_x , в другой a_σ , b_σ и h_σ . Вследствие чего было предпринято распределение алгоритма по вычислительным узлам кластера. В результате время вычислений уменьшилось в десятки раз.

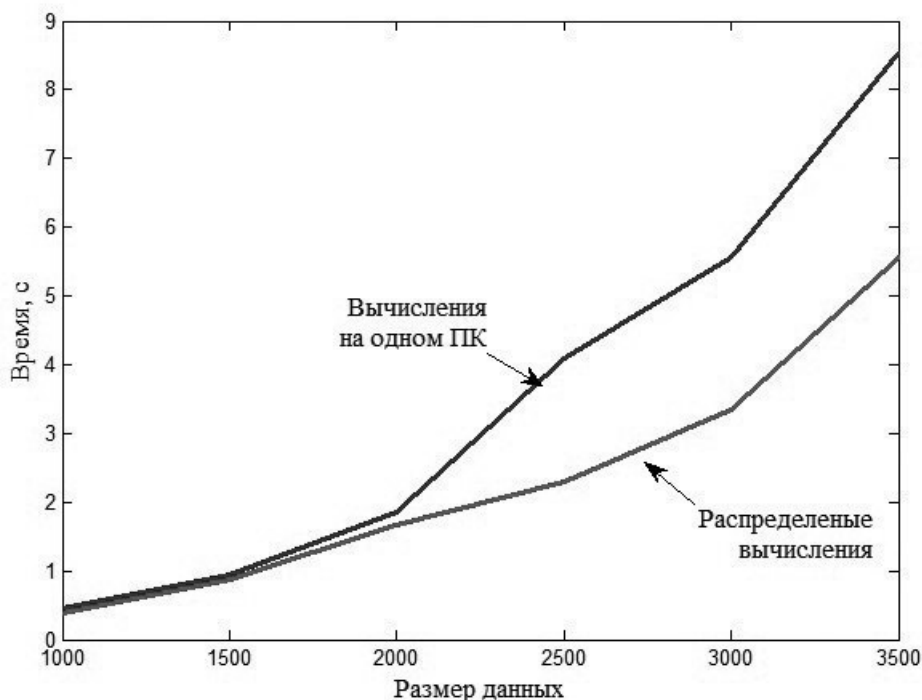


Рисунок 4 – График численных экспериментов

На рисунке 4 показано, что при малых размерах данных распределенные вычисления менее эффективны, поскольку центральный процессор быстро рассчитывает коэффициенты и работа параллельного алгоритма мало заметна. Благодаря декомпозиции задачи на мелкие подзадачи параллельные вычисления позволяют добиться быстрой обработки больших массивов данных. Нахождение параметров квазирасщепленных подсистем управления по данной схеме эффективно использует ресурсы вычислительного кластера.

Заключение

В связи с ростом производительности многоядерных процессоров широко используются технологии параллельных вычислений для обработки и анализа больших мас-

сивов данных. Результаты моделирования показали, что использование параллельных технологий уменьшает время расчета коэффициентов квазирасщепленных подсистем управления. За счет этого существенно повышается эффективность функционирования интеллектуальной системы прогнозирования и управления на основе ИИС в реальном масштабе времени. Разработанный алгоритм может быть использован для решения различных прикладных задач и реализован как на персональных компьютерах, так и на суперкомпьютере. Технология ИИС имеет модульную структуру. Данный параллельный алгоритм является одним из модулей ИИС. В дальнейшем этот модуль используется в сочетании с другими модулями, при построении распределенных интеллектуальных систем управления сложными объектами.

Список литературы

- [1] Искусственные иммунные системы и их применение / под ред. Д. Дасгупты. Пер. с англ. / под ред. А.А. Романюхи. - М.: Физматлит, 2006.-344 с.
- [2] Tarakanov A.O. Formal peptide as a basic of agent of immune networks: from natural prototype to mathematical theory and applications / A.O. Tarakanov // Proc. of the I Int. workshop of central and Eastern Europe on Multi-Agent Systems (CEEMAS'99). -St. Petersburg, Russia, June 1-4, 1999.-P. 281-292.
- [3] G. Samigulina Development of the decision support systems on the basis of the intellectual technology of the artificial immune systems //Automatic and remote control. -Springer, 2012.-Vol.74. -№ 2.-P.397-403.
- [4] Galina A. Samigulina, Zarina I. Samigulina. Intellectual systems of forecasting and control of complex objects based on artificial immune systems. Monograph. -Yelm, WA.: Science Book Publishing House, USA, 2014, -172 p.
- [5] Г.А. Самигулина, А.М. Абденова, Д.Б. Акпан Параллельные вычисления в интеллектуальных системах прогнозирования и управления на основе подхода иммунносетевого моделирования //Труды «Применение информационно-коммуникационных технологий в образовании и науке». -Алматы, 2013. -С. 77.
- [6] Sebastian Grzegorz Iurek. Genetic algorithm with peaks adaptive objective function used to fit the EPR powder spectrum //Applied Soft Computing. January 2011. -Vol. 11. -Issue 1.-P. 1000-1007.
- [7] Altaf Ahmad Huqqani, Erich Schikuda, Sicen Ye, Peng Chen. Multicore and GPU Parallelization of Neural Networks for Face Recognition //Proc. of the International Conference on Computational Science. -2013.-Vol. 18. -P. 349-358.
- [8] Yussof S., Razali R.A., Ong Hang See, Ghapar A.A. A Coarse-Grained Parallel Genetic Algorithm with Migration for Shortest Path Routing Problem //High Performance Computing and Communications. - 2009. -P. 615-621.

- [9] Самигулина Г.А. Интеллектуальная система прогнозирования асимптотической устойчивости в среднем квадратическом стохастической системы управления //Труды IX Международной конференции Интеллектуальные системы и компьютерные науки. -М.: МГУ им. Ломоносова, 2006. -Т.1., Ч.2.-С. 265-269.
- [10] Емельянов С.В., Коровин С.К. Дискретные бинарные системы автоматического управления //Итоги науки и техники. Сер. Техническая кибернетика. -М.: ВИНТИ, 1984. -Т.17. -С.73-167.
- [11] Самигулина Г.А., Самигулина З.И. Разработка интеллектуальной стохастической системы управления на основе иммунносетевого моделирования (программа для ЭВМ). Свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права в Комитете по правам интеллектуальной собственности МЮ РК. -Астана, 4 июня 2012. -№ 675. -23с.
- [12] Оленёв Н.Н., Печёнкин Р.В., Чернецов А.М. Параллельное программирование в MATLAB и его приложения. -М.: Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН, 2007. -120 с.

References

- [1] Iskusstvennyye immunnnye sistemy i ih primeneniye /pod red. D. Dasgupty Per. S angl. /pod.red. A.A. Romanjuhi. - M: Fizmatlit, 2006. - 344 s.
- [2] Tarakanov A.O. Formal peptide as a basic of agent of immune networks: from natural prototype to mathematical theory and applications / A.O. Tarakanov //Proc. of the I Int. workshop of central and Eastern Europe on Multi-Agent Systems (CEEMAS'99). -St. Petersburg, Russia, June 1- 4, 1999. -P. 281-292.
- [3] G. Samigulina Development of the decision support systems on the basis of the intellectual technology of the artificial immune systems //Automatic and remote control. - Springer, 2012.-Vol. 74. -№ 2. -P.397-403.
- [4] Galina A. Samigulina, Zarina I. Samigulina. Intellectual systems of forecasting and control of complex objects based on artificial immune systems. Monograph. -Yelm, WA.: Science Book Publishing House, USA, 2014, -172 p.
- [5] G.A. Samigulina, A.M. Abdenova, D.B. Akpan Parallel'nye vychislenija v intellektualnyh sistemah prognozirovaniya i upravleniya na osnove podhoda immunosetevogo modelirovaniya //Trudy "Primenenie informacionno-kommunikacionnyh tehnologij v obrazovanii i nauke". - Almaty, 2013. -S.77.
- [6] Sebastian Grzegorz Iurek. Genetic algorithm with peaks adaptive objective function used to fit the EPR powder spectrum //Applied Soft Computing. January 2011. -Vol. 11. -Issue 1.-P. 1000-1007.

-
- [7] Altaf Ahmad Huqqani, Erich Schikuda, Sicen Ye, Peng Chen. Multicore and GPU Parallelization of Neural Networks for Face Recognition //Proc. of the International Conference on Computational Science.-2013.-Vol. 18.-P. 349-358.
- [8] Yussof S., Razali R.A., Ong Hang See, Ghapar A.A. A Coarse-Grained Parallel Genetic Algorithm with Migration for Shortest Path Routing Problem //High Performance Computing and Communications. - 2009. - P.615-621.
- [9] Samigulina G.A. Intellectual'naja sistema prognozirovanija asimptoticheskoj ustojchivosti v srednem kvadraticeskome stohasticheskoj sistemy upravlenija //Trudy IX Mezhdunarodnoj konferencii Intellectual'nye sistemy i komp'yuternye nauki.- M.: MGU im. Lomonosova, 2006. - T. I.,Ch. 2. - S. 265-269.
- [10] Yemel'janov S.V., Korovin S.K. Diskretnye binarnye sistemy avtomaticheskogo upravlenija //Itogi nauki i tehniki. Ser. Tehniceskaja kibernetika. - M.: VINITI, 1984. -T.17. -S. 73-167.
- [11] Samigulina G.A., Samigulina Z.I. Razrabotka intellektual'noj stohasticheskoj sistemy upravlenija na osnove immunnosetevogo modelirovanija (programma dlya EVM). Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii prav na ob"yekt avtorskogo prava v Komitete po pravam intellektual'noj sobstvennosti MJU RK. - Astana, 4 ijunja 2012. - № 675. - 23 s.
- [12] Olenov N.N., Pechonkin R.V., Chernecov A.M. Parallel'noe programmirovanie v MATLAB i ego prilozhenija. - M.: Vychislitel'nyj centr im. A.A. Dorodnicyna RAN, 2007. -120 s.