

УДК 681.324

Мирталибов Т.А., д.т.н.; Титенко Е.А., к.т.н.

(Юго-Западный государственный университет, г. Курск)

МОДИФИЦИРОВАННАЯ ПРОДУКЦИОННАЯ СИСТЕМА И СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ ПРОДУКЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЙ ПРОБЛЕМНО-ПОИСКОВЫХ ЗАДАЧ

Мирталибов Т.А., Титенко Е.А. Модифікована продукційна система і спеціалізований продукційний пристрій для підтримки рішень проблемно-пошукових задач. У роботі розглянуті основні принципи паралельної генерації розгалужених процесів на базі модифікованої продукційної системи. Паралельна робота модифікованої продукційної системи основана на пошуку і аналізі конфліктних слів. Ці слова дозволяють визначити поріг розгалуження для оброблюваних слів і обґрунтувати необхідну кількість паралельно виконуваних процесів. Модифікована продукційна система підтримана синтезом однорідного продукційного пристрою, що настроюється. Даний обчислювальний пристрій має вхідні і вихідні комутатори для налаштування з'єднань у складі мультипроцесора.

Ключові слова: продукційна система, конфліктні слова, поріг галуження, однорідний пристрій, ПЛІС, асоціативна пам'ять

Мирталибов Т.А., Титенко Е.А. Модифицированная производственная система и специализированное производственное устройство для поддержки решений проблемно-поисковых задач. В работе рассмотрены основные принципы параллельной генерации ветвящихся процессов на базе модифицированной производственной системы. Параллельная работа модифицированной производственной системы основана на поиске и анализе конфликтных слов. Эти слова позволяют определить порог ветвления для обрабатываемых слов и обосновать необходимое количество параллельно выполняемых процессов. Модифицированная производственная система поддерживается синтезом настраиваемого однородного производственного устройства. Данное вычислительное устройство имеет входные и выходные коммутаторы для настройки соединений в составе мультипроцессора.

Ключевые слова: производственная система, конфликтные слова, порог ветвления, однородное устройство, ПЛІС, ассоциативная память

Mirtalibov T.A., Titenko E.A. The modified production systems and specialized production device for support of the solutions of the problem search task. The article presents the basics positions of the high-speed generations of branching processes by the modified production system. The parallel work of the modified production system based on the search and analysis of the conflict words. These words allow us to determine the factor of the branching and justify the required amount of parallel executing processes. The modified production system supported by the custom production multi unit. This computing device has input and output switches for configuring in the multiprocessor.

Keywords: production system, conflict words, factor branching, multi device, FPGA, context memory.

Актуальность работы. Модели, методы и информационные технологии параллельной обработки на основе схем и принципов, основанные на схеме вычислений «условие→действие», являются стратегическим направлением развития компьютерной систем и устройств вычислительной техники в XXI веке. Они обеспечивают потенциально неограниченный резерв повышения производительности современных вычислительных устройств и систем (ВУ и ВС) за счет создания нетрадиционных архитектур и принципов обработки информации более высокого уровня абстракции, чем числовые данные. Необходимость создания устройств с нетрадиционной архитектурой – РІМ-устройств – определяется невозможностью сбалансировать время доступа к памяти и время обработки на современных устройствах [1].

Актуальность РІМ-идеологии построения однородных вычислительных устройств и систем определяется тем, что массовую значимость приобретают алгоритмические, программные и технические средства обработки информации, ориентированные на процессы принятия решений и модели обработки знаний в разных прикладных задачах [2]. Самостоятельным видом данных в таких задачах служит символьная информация, наряду с другим видом данных – числовой информацией. Выделение компьютерных систем обработки символьной информации (далее ОСИ) в самостоятельное научное направление определяется тем, что создание экстремальных схем параллельных вычислений и аппаратно-

программных средств для их поддержки и реализации связывается научной значимостью двух достаточно самостоятельных классов задач:

- 1) вычислительно трудоемкие задачи с детерминированной схемой решения;
- 2) слабо формализованные и проблемно-поисковые задачи, имеющие в общем случае недетерминированную схему решения.

Структурное распознавание образов, логико-управленческие задачи с комбинаторным числом состояний, автоматическое распараллеливание программ с устранением конфликтов по данным, поддержка параллельного вывода в динамических экспертных системах, машинный перевод и понимание текста, генераторы текстовых конструкций в естественно-языковых системах, управление базами знаний, интеллектуальный анализ данных и их кластеризация, сжатие данных, криптографический анализ, интеллектуальные информационно-поисковые системы, on-line системы перехвата ключевых слов в условиях их неточного или множественного представления, и др. являются яркими примерами проблемно-поисковых задач, в которых доминирующую или существенную роль играет ОСИ. Данные задачи описываются ветвящимися вычислительными процессами и действиями не арифметического характера типа «альтернатива», «выбор», «множественный выбор» [3, 4] Они характеризуются множественным результатом и неопределенностью последовательности шагов, что свойственно моделям обработки знаний.

Под обработкой символьной информации (ОСИ) будут пониматься преобразования, которые проводятся на уровне текстов или более высоком уровне абстракции (гипертексты, отношения) и которые противопоставляются процессам обработки числовой информации. Символьные вычисления – структурные преобразования последовательностей элементов (списки, строки, деревья, скелетоны и др.) на основе аппарата конструктивной логики и компьютерной алгебры.

Системы символьной обработки всегда требовали мощной поддержки выполнения программ, поскольку плохо соответствовали архитектуре обычных компьютеров. В первую очередь выделяется структурное несоответствие операционной части микропроцессоров и графа решаемой задачи. Необходимость быстрых символьных вычислений инициировало в свое время работы по специальным символьным процессорам и динамическим схемам распараллеливания. Сейчас такие схемы распараллеливания интересны сами по себе для создания экстремальных по производительности суперкомпьютеров и ЭВМ. Стратегическую важность к проблемам ОСИ подтверждается рядом национальных, межгосударственных научно-технических программ и проектов, в том числе военного назначения, по созданию вычислительных машин и систем нового поколения, имеющих не фон-неймановскую организацию и принципы вычислений.

Тем не менее, компьютерные системы ОСИ и базовые вычислительные операции в них получили преимущественно ограниченную аппаратную поддержку в современной вычислительной технике (ВТ) как на уровне функциональных узлов, так и на уровне устройств. Они, как правило, реализуются программно в виде языков программирования, языков представления знаний, оболочек экспертных систем (языки Рефал, Снобол-4, OPS-5, объектно-ориентированная среда CLIPS, экспертная система G2 реального времени и др.).

Экстенсивный подход к решению задач ОСИ, состоящий в применении известных типов архитектур вычислительных устройств и систем, составляет *основное противоречие исследования*, не позволяющее достигнуть необходимой производительности в классе проблемно-поисковых задач.

Применение схемы вычислений «условие - действие» и ее аппаратная поддержка в виде однородного параллельного устройства (PIM-процессора) является актуальным направлением поддержки параллельных вычислений. Данное направление определяет синтез формальной модели по схеме «условие→действие» и разработку соответствующих технических решений (узлы, блоки операционной части) и алгоритмов работы для однородных вычислительных устройств ОСИ с реконфигурируемой операционной частью.

Аппарат производственных систем. Для проблемно-поисковых задач ведущее положение занимает проблема эффективной генерации графа решения задачи [3], свободной от тотального перебора всего пространства состояний. В этом контексте решение задачи структурного распознавания основывается на модели коллектива дискретных вычислителей, скоординированно ведущих направленный параллельный поиск, и имеющих внутренние средства выбора наилучшего текущим данным стратегии вывода.

Аппарат производственных систем (ПС) является исторически апробированным и доказавшим свою востребованность при исследовании теоретических вопросов и разработке приложений ОСИ. Целесообразность выбора ПС опирается на следующие свойства:

- наличие представительных дескриптивных исчислительных производственных систем (алгоритмы Маркова, системы Э. Поста, грамматики Н. Хомского, исчисления Туэ), способных задать любой вычислительный процесс;
- однородность производственной системы, позволяющая выявлять, исследовать законы генерации ветвящихся конструктивных процессов на основе конструктивной логики и компьютерной алгебры;
- комбинация управления потоком команд и данных, позволяющая гибко изменять стратегию и тактику параллельного вывода, прежде всего в части разрешения конфликтов параллельного срабатывания продукций и параллельного поиска вхождений;
- модульность и структурная наращиваемость системы продукций, определяющая простоту модификации и независимость использования подсистем в параллельном выводе;
- автономность срабатывания продукций и естественный параллелизм исполнения продукций.

Сравнение известных ПС (алгоритмическая система Маркова, производственная система Э. Поста, грамматики Хомского, ассоциативные системы Туэи др.) определило выбор базовой ПС для проблемно-поисковых задач ассоциативную систему Туэ.

Ассоциативная система Туэ описывается как тройка вида

$$T = \langle A, \mathfrak{Z}, C \rangle$$

$$\mathfrak{Z} : \begin{cases} O_1 \rightarrow P_1 \\ O_2 \rightarrow P_2 \\ \dots \\ O_n \rightarrow P_n \end{cases}, \quad (1)$$

где A – алфавит; \mathfrak{Z} – определяющее множество продукций над словами из A^* ; $O_1 \div O_n \in A^*$ – слова-образцы; $P_1 \div P_n \in A^*$ – слова-модификаторы; $\rightarrow \notin A$; $n \in \mathbb{N}$ – мощность множества \mathfrak{Z} ; C – схема передачи управления.

Ассоциативная система Туэ имеет необходимые условия для параллельного исполнения продукций в виде условия детерминированной активации продукции и ее недетерминированное выполнение в составе ПС. Вместе с тем система Туэ не имеет встроенных средств для оценки порога ветвления, поэтому в практической части ее работа основана на пробных переборах продукций из определяющего множества. Полный перебор как основа стратегии вывода является источником избыточных временных затрат.

Проблема безотступной генерации ветвящихся процессов в исчислительных ПС ограничена отсутствием информации о рациональном (оптимальном) количестве дискретных символьных преобразователей. Отсутствие информации не позволяет полностью использовать естественный параллелизм данных.

Для эффективного решения задачи структурного распознавания образов выполнена модификация системы Туэ. Модифицированная производственная система – конструктивный объект

$$(A, \mathfrak{Z}, C, I, Gn), \quad (2)$$

где I – счетное множество конфликтных слов; Gn – виды стратегий вывода.

Новизна (2) определяется введением новых элементов I – списка конфликтных слов и G – стратегии вывода, которые используются в параллельном выводе. Список конфликтных

слов представляет общезначимую дополнительную информацию для ПС о потенциальном параллельном выполнении набора продукций и о фрагментах слов, на котором проявляется параллелизм.

Работа модифицированной ПС заключается в F рекурсивных вызовах активизированного подмножества продукций из \mathfrak{Z} . Результатом выполнения ветвящихся продукционных процессов будет последовательность активаций подмножеств продукций $AK = \{AK_1, AK_2 \dots AK_F\}$ по уровням графа вывода. В свою очередь текущая активация AK_j представляется как набор продукций, одновременно применимых к текущему обрабатываемому слову, т.е. справедливо

$$\forall j (AK_j = \{p_{i_1}, p_{i_2}, \dots, p_{i_{m_j}}\} | (p_{i_t} \in P), t=1 \dots m_j),$$

где p_{i_t} – продукция из \mathfrak{Z} , входящая в j -ю активацию; m_j – количество продукций, входящих в j -ю активацию.

Для реализации параллельных вычислений требуется знать пороги ветвлений в графе вывода до начала вычислений $m_k = h$, где h – порог ветвления, m_k – k -ый порог ветвления; $h = \phi_k = (O_1, O_2, \dots, O_n) = \max(l_1, l_2, \dots, l_q)$; $l_j = \phi(K_1, K_2, \dots, K_w)$ – количество продукций, составляющих конфликтный набор для конфликтного слова K_i , $i=1-w$; q – количество конфликтных слов в ПС.

Порог ветвления определяется как максимум количества продукций, входящих в активационные наборы. Значение порога ветвления позволяет определить максимальный коэффициент ветвления в графе для текущего обрабатываемого слова, что позволяет осуществлять обход графа по стратегии в ширину с параллельной генерацией вариантов для текущего слова.

На реализационном уровне активация с наибольшим количеством продукций определяет минимально обоснованное количество дискретных символьных преобразователей, работающих параллельно.

Аппаратная поддержка работы продукционной системы. Для эффективной реализации параллельных вычислительных процессов предлагается показанная на Рис. 1 структура специализированного продукционного устройства (СПУ), содержащая операционный автомат (ОА), управляющую автомат (УА), коммутационный автомат (КА).

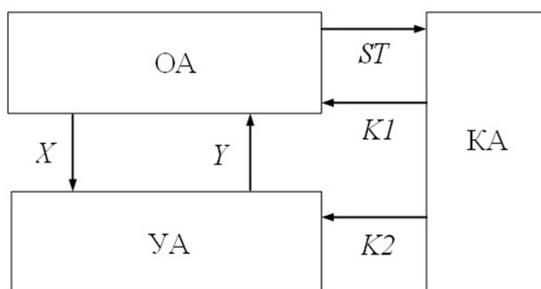


Рис. 1. Общая структура настраиваемого СПУ

На Рис. 1: X – осведомительные сигналы; Y – управляющие сигналы; ST – структурные сигналы; $K1$ – коммутационная настройка ОА; $K2$ – коммутационная настройка УА.

Отличительная особенность организации СПУ заключается в структурной реализации базовых продукционных операций и настройке управляющего автомата под размер строковых операндов и под текущий

выбор шага преобразования данных, что обеспечивает исключение избыточных затрат времени на реконфигурацию СПУ. Коммутационная настройка УА позволяет изменять последовательность шагов базовых продукционных операций в зависимости от структуры ОА.

Воплощение общей структуры настраиваемого СПУ представлено на Рис.2, где выделены два функциональных блока – блока параллельного поиска и блока подстановки, реализованные на ассоциативной памяти. СПУ как функциональное завершённое устройство, аппаратно реализующее основные операции, также содержит входной

мультиплексор на $p1$ входов, выходной демультиплексор на $p2$ выходов, управляемые настроечными значениями $G1$ и $G2$, а также управляемый по входу $G3$ буфер для транзитной передачи данных.

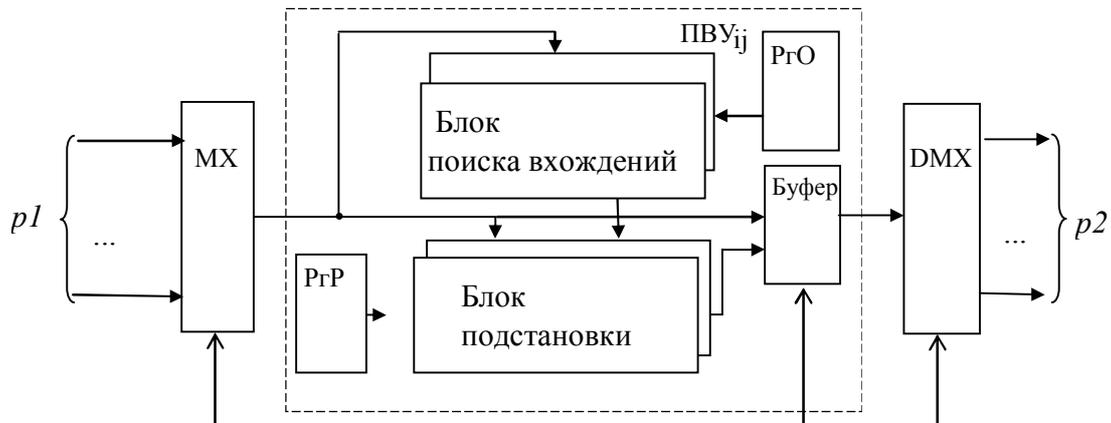


Рис. 2. Структурно-функциональная схема СПУ

Каждое СПУ состоит из собственно производственного вычислительного устройства (ПВУ), дополненного по входу и выходу коммутационными узлами. Через настроечные (адресные) входы коммутационных узлов динамически выбираются источник и приемник данных. Данная гибкая настройка позволяет набору СПУ динамически подстроиться под граф задачи, т.е. структурно отобразить его по уровням в составе мультипроцессорной системы.

Управляемая передача данных через СПУ между внешними источниками и приемниками данных определяет введение двухпортовой буферизации с управляющим битом $G3_{ij}$, а именно: при $G3_{ij}=0$ осуществляется транзитная передача данных со входа мультиплексора без преобразования над ними, при $G3_{ij}=1$ демультиплексор распределяет на один их выходов обработанные данные. Настроечный вход $G1_{ij}$ предназначен для выбора одного входа из $p1$ возможных входов ВС, что позволяет аппаратно поддерживать виды параллелизма в производственных системах и непосредственно соединить устройство с внешним блоком памяти. Соответственно настроечный вход $G2_{ij}$ предназначен для выбора одного выхода из $p2$ возможных выходов и задать необходимый маршрут последующего перемещения данных в мультипроцессоре.

На рис.3 приведена детализированная структура СПУ. Основа устройства – ассоциативная память, на которой непосредственно реализуются базовые производственные операции поиска по образцу и модификации данных.

Данная структурно-функциональная схема СПУ аппаратно поддерживает обработку множественных потоки данных за счет совмещения на одной матрице параллельной обработки маскируемых столбцов или строк матрицы.

Матрица ассоциативного поиска и модификации разделяет реализацию базовых производственных операций. Сначала реализуется маскированный поиск по образцу и формируется адрес вхождения образца. Адрес вхождения используется для формирования маски строк, необходимой для выделения рабочей части матрицы и выполнения в ней аппаратных шагов операции модификации данных. Управляющие сигналы Старт1 и Старт2 обеспечивают формирование соответствующей маски строк.

Для проверки работоспособности специализированного ассоциативного производственного устройства была выбрана элементная база ПЛИС и проведено моделирование работы в среде *Quartus II* на ПЛИС Stratix III EP3SE110F1152C2. Схема имитационной модели показана на Рис. 4.

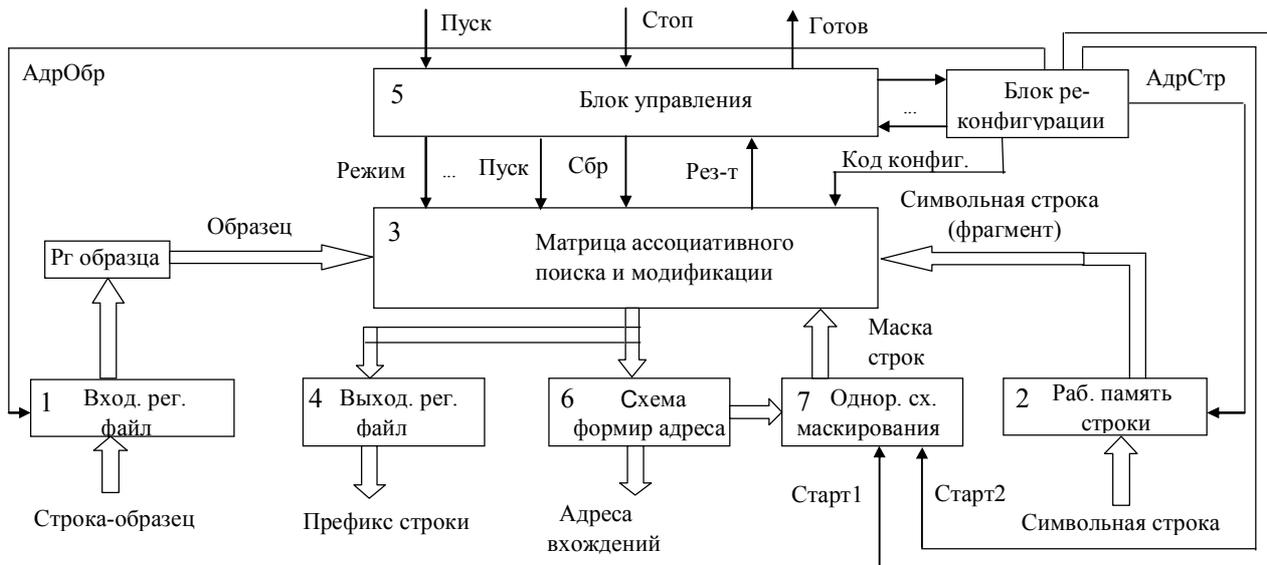


Рис. 3. Детализированная схема СПУ ассоциативного типа

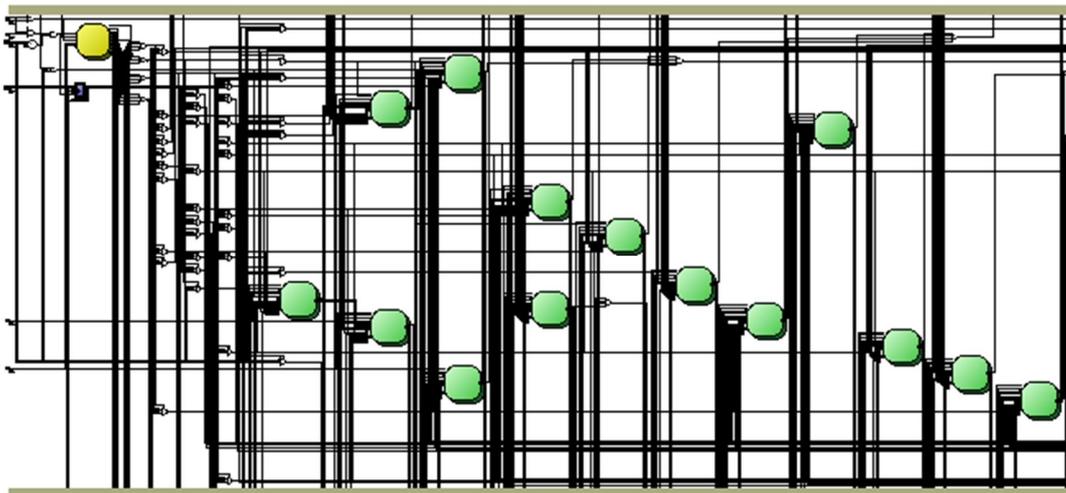


Рис. 4. Схема имитационной модели

Результаты моделирования, аппаратной сложности СПУ и известного циклического сдвигателя приведены в Табл. 1. Они демонстрируют возможность работы разработанного устройства на частоте 200 МГц, но количество тактов в условном циклическом сдвигателе является переменной величиной в зависимости от позиции вхождения.

Табл. 1

Устройство	Аппаратная сложность (LUT)	Частота (МГц)	Время обработки тестового примера
Известный циклический условный сдвигатель	28	240	~180 нс
Разработанное устройство замены с однородной операционной частью	188	210	20 нс

Практическая ценность разработанного специализированного устройства определяется незначительной для современных ПЛИС аппаратной сложностью устройства, позволяющей создавать мультипроцессорные системы с практически значимым числом СПУ 16...32. Другая особенность заключается в автономности работы устройства под управлением

линейного управляющего автомата с 10 состояниями и возможностью встраивания СПУ в реконфигурируемую область передовых современных микропроцессоров.

Данные свойства позволяют рассматривать аппарата ПС как программный инструмент организации параллельных вычислений и основу аппаратной организации специализированных устройств с настраиваемой однородной операционной частью.

Заключение. Создана модифицированная производственная система на базе ассоциативного исчисления Туэ, имеющая встроенные средства для естественной параллельной генерации ветвящихся вычислительных процессов. Синтез модифицированной производственной системы поддержан проектированием настраиваемого однородного специализированного производственного устройства. Его структура имеет распределенные коммутационные средства, позволяющие динамически настраиваться под текущий вид графа решений (по уровням графа). Эффективная генерация параллельных процессов в модифицированной производственной системе основывается на предварительном получении количественных оценок ветвлений и определении минимально необходимого количества параллельно работающих устройств в составе мультипроцессора.

Синтезирована структурно-функциональная организация специализированного производственного устройства, содержащего в качестве операционной части ассоциативную матрицу. Устройство реализуется набор базовых операций, что позволяет использовать данное устройство самостоятельно в различных предметных областях при обработке символьной информации: применение в GRID-системах, ассоциативных параллельных процессорах, машинах баз данных, базах знаний интеллектуальных систем, в процессорах логического вывода и технических средствах обработки знаний, информационно-поисковых и экспертных системах. Построена вычислительная модель устройства в среде *Quartus II* на ПЛИС Stratix III и получены аппаратные и временные оценки его работы.

Главное достоинство разработанных производственной модели параллельных вычислений и ассоциативного устройства - обеспечение ветвящихся конструктивных процессов обработки символьной информации параллельной генерацией промежуточных решений на равноправных началах за счет обоснованной аппаратной избыточности операционной части устройства.

Литература

1. Яковлев Ю.С. Разработка и моделирование процессорного элемента операционной среды PIM-процессора / Ю.С. Яковлев, Б.М. Тихонов // Электронное моделирование. – 2009. – Т.31, №2. – С.65-79.
2. Горбунов В. Экзафлопный барьер: проблемы и решения / В. Горбунов, Л. Эйсымонт // Открытые системы. – 2010. – №5. – С.10-13.
3. Люгер Дж. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Дж. Ф. Люгер. – М.: 2003. – 196 с.
4. Артамонов Д.С. Метод оптимизации вычислительного процесса на реконфигурируемых вычислительных средах / Д.С. Артамонов, М.Г. Путря // Информационные технологии вычислительные системы. – 2010. – №3. – С.19-26.
5. Сергиенко А.М. Отображение периодических алгоритмов в программируемые логические интегральные схемы / А.М. Сергиенко, В.П. Константинов // Электронное моделирование. – 2007. – Т.29, №2. – С.65-61.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации №8.8482.2013.