

Федеральная целевая программа
«Исследования и разработки по приоритетным
направлениям развития научно-технологического
комплекса России на 2014—2020 годы»

Соглашение
№14.578.21.0006 от 05.06.2014

на период 2014 - 2016 гг.

Тема: *Разработка и исследование технологии создания ресурснезависимого прикладного программного обеспечения высокопроизводительных вычислительных систем гибридного типа*

Руководитель проекта: *Директор НИИ МВС ЮФУ,
член-корр. РАН Каляев Игорь Анатольевич*

Участники проекта

Получатель субсидии: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону (НИИ МВС ЮФУ, г. Таганрог)

Область деятельности: разработка и исследование высокопроизводительных реконфигурируемых вычислительных систем на основе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС)

Объем средств субсидии: всего 43,5 млн. руб.,
2014 – 15 млн. руб., 2015 – 13,5 млн. руб., 2016 – 15 млн. руб.

Объем внебюджетных средств получателя: всего 10 млн. руб.,
2014 – 0 млн. руб., 2015 – 5 млн. руб., 2016 – 5 млн. руб.

Индустриальный (или международный) партнёр: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский центр суперЭВМ и нейрокомпьютеров», г. Таганрог

Область деятельности: производство и поставка высокопроизводительных реконфигурируемых вычислительных систем на основе ПЛИС

Объем внебюджетных средств индустриального партнера : всего 35 млн. руб.,
2014 – 15 млн. руб., 2015 – 10 млн. руб., 2016 – 10 млн. руб.

Соисполнители: нет

Цели и задачи проекта

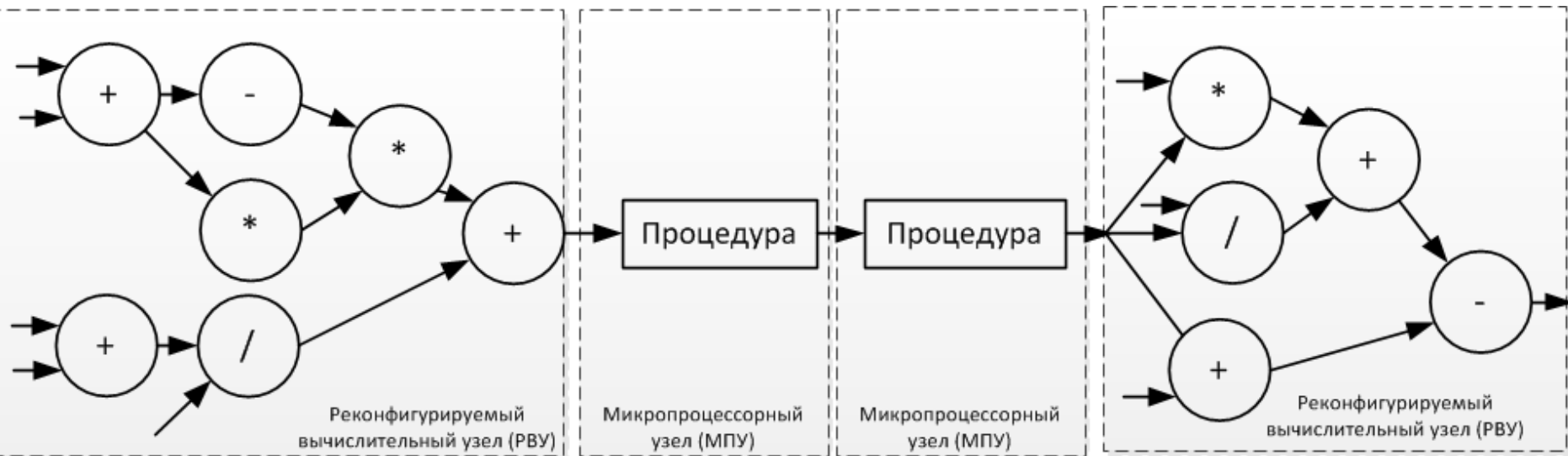
Цель: Разработка и исследование новых методов, технологических приемов и средств ресурснезависимого программирования многопроцессорных вычислительных систем гибридного типа на основе унифицированных процессорных и реконфигурируемых вычислительных узлов, обеспечивающих выполнение прикладных программ на различных конфигурациях вычислительной системы с высокой эффективностью.

Задачи проекта:

- разработать метод и алгоритм описания задач в единой параллельно-конвейерной форме, обеспечивающей ресурснезависимое представление задач;
- разработать метод и алгоритм преобразования фрагментов прикладной задачи к параллельной или конвейерной форме для программирования унифицированных процессорных и реконфигурируемых вычислительных узлов в едином контуре;
- разработать методику и алгоритм определения эффективного варианта реализации прикладной задачи на множестве узлов вычислительной системы гибридного типа;
- разработать метод и алгоритм трансляции ресурснезависимых языковых конструкций для выполнения прикладных задач на различных конфигурациях вычислительной системы гибридного типа;
- разработать метод и алгоритм синтеза прикладных задач, содержащих параллельные и конвейерные вычислительные фрагменты для создания технологии и средств ресурснезависимого программирования многопроцессорных вычислительных систем гибридного типа.

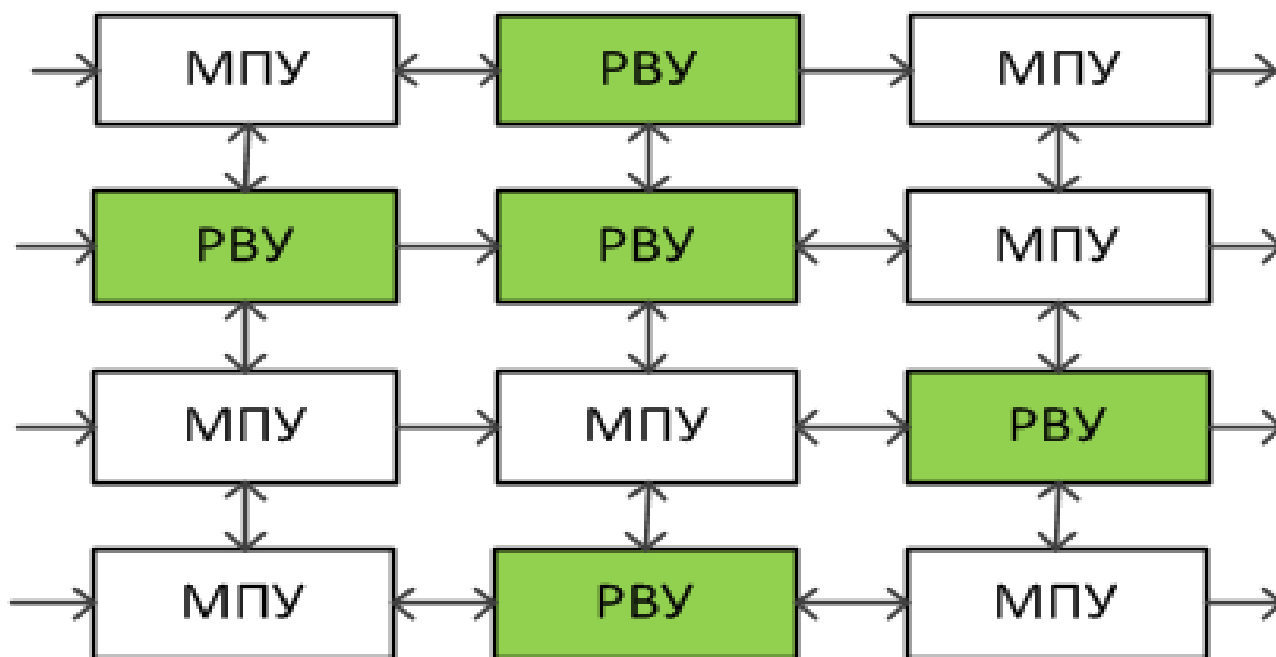
Актуальность проекта

Целый ряд актуальных прикладных задач, таких как мониторинг компьютерных сетей, обработка радиолокационной и гидроакустической информации, моделирование распространения и прогнозирования последствий лесных пожаров, моделирование радионуклидного переноса в атмосфере в районе функционирования АЭС и т.п., требуют совмещения в едином вычислительном контуре как последовательных, так и параллельных вычислительных фрагментов.



Архитектура вычислительной системы гибридного типа

Для решения подобных прикладных задач с высокой реальной производительностью вычислительная система должна содержать в едином вычислительном контуре как традиционные микропроцессорные узлы с последовательной обработкой информации, так и реконфигурируемые вычислительные узлы с многопроцессорной архитектурой, обеспечивающие возможность распараллеливания вычислительно трудоемких фрагментов задачи.

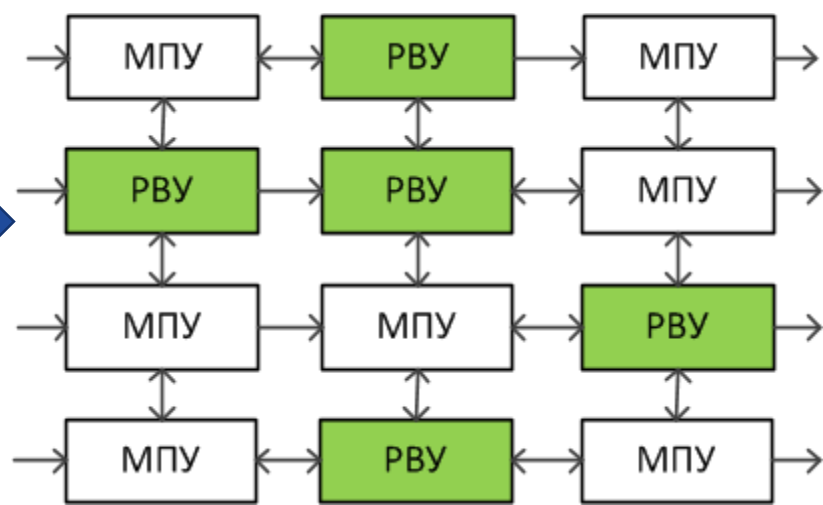
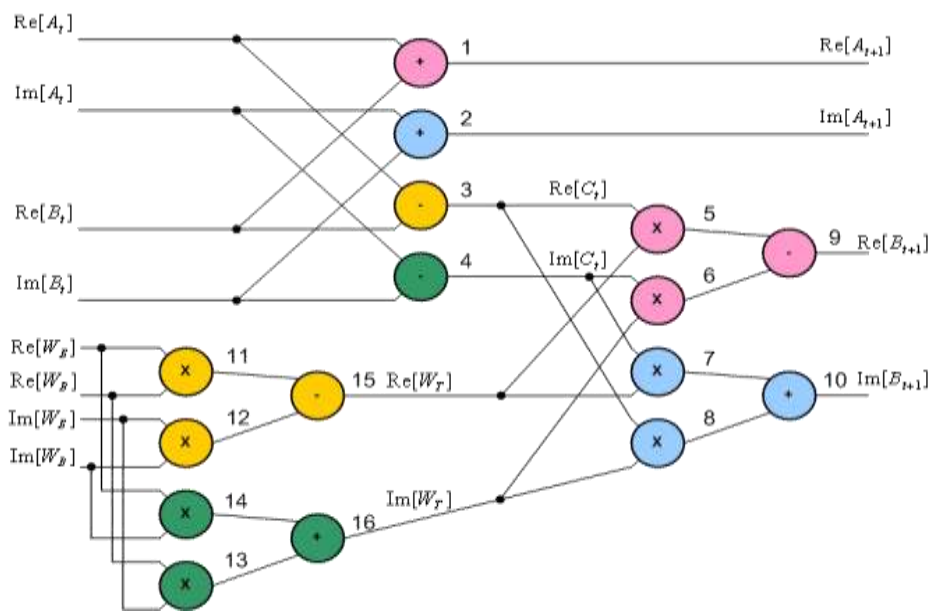


Проблема ресурснезависимого программирования ВСГТ

Создание специализированной ВСГТ под каждую прикладную задачу является экономически нецелесообразным. Поэтому возникает проблема ресурснезависимого программирования ВСГТ, т.е. создания прикладных программ, объединяющих в едином вычислительном контуре как последовательные, так и параллельные вычислительные фрагменты, и не привязанных к конкретной архитектуре системы.

Информационный граф задачи

Архитектура ВСГТ



Недостатки существующих систем программирования ВСГТ

1. Все технологии ориентированы на программирование только одного устройства с фиксированной внутренней структурой и заранее определенным набором команд, что усложняет масштабирование прикладной программы вычислительной системы гибридного типа, особенно в случае сокращения доступного аппаратного ресурса;
2. Каждая часть вычислительной системы гибридного типа программируется в рамках своей технологии (CUDA, OpenACC, OpenCL) отдельно на своем языке программирования.
3. Прикладная программа пишется под текущую конфигурацию вычислительной системы гибридного типа, любое изменение структуры системы приводит к изменениям программы.
4. Синхронизация информационных потоков в структуре задачи возлагается на программиста.
5. Портирование прикладной программы на другую систему с похожей конфигурацией приводит к полной переработке программы.
6. Время программирования и отладки прикладной задачи для вычислительной системы гибридного типа составляет от **6 до 12 месяцев**.

Требования к технологии ресурсонезависимого программирования вычислительной системы гибридного типа

1. Необходимы средства описания структурной (полностью параллельной) и процедурной (полностью последовательной) реализации вычислений и их различных сочетаний в едином вычислительном контуре;
2. Прикладная задача для вычислительной системы гибридного типа должна описываться на одном языке программирования высокого уровня;
3. Необходимы средства быстрого масштабирования и изменения прикладной программы под новую конфигурацию и архитектуру вычислительной системы гибридного типа.

Принципы ресурснезависимого программирования ВСГТ

В основу технологии ресурснезависимого программирования ВСГТ положен язык программирования высокого уровня COLAMO, с помощью которого можно описывать различные формы организации параллельных вычислений: структурную форму, характерную для реконфигурируемых вычислительных узлов; процедурную форму, используемую для микропроцессорных узлов, а также промежуточные формы - структурно-процедурную и мультипроцедурную.

Преобразования между различными формами организации вычислений можно выполнить с помощью методов редукции производительности.

Основные методы:

- **редукция производительности по подграфам;**
- **редукция производительности по функциональным устройствам;**
- **редукция производительности по каналам данных;**
- **редукция производительности по разрядности;**
- **редукция производительности по частоте/скважности.**

Преимущества разрабатываемой технологии создания ресурсонезависимого прикладного программного обеспечения ВСГТ

1. **Единое языковое пространство** для программирования всех частей вычислительной системы гибридного типа.
2. **Автоматическая синхронизация** информационных потоков вычислительной структуры.
3. **Ресурсонезависимое программирование** – при изменении конфигурации вычислительной системы гибридного типа прикладные программы только перетранслируются.
4. **Прикладные программы могут портироваться** на различные архитектуры и конфигурации вычислительной системы.
5. **Сокращение времени** программирования и отладки до 1-3 месяцев.

Ожидаемые результаты проекта

1. Методы ресурснезависимого прикладного программирования высокопроизводительных вычислительных систем гибридного типа, содержащих унифицированные микропроцессорные и реконфигурируемые вычислительные узлы, обеспечивающие эффективное решение задач различных предметных областей.
2. Экспериментальный образец программного комплекса средств разработки прикладных программ.
3. Проект технического задания на проведение ОКР по созданию программного комплекса.

Планируемые к получению научно-технические результаты являются новыми и оригинальными, не имеют аналогов в области построения и использования вычислительных систем гибридного типа и могут служить основой для создания многопроцессорных вычислительных систем гибридного типа сверхвысокой производительности, обеспечивающих близкий к линейному рост производительности при увеличении вычислительных ресурсов системы.

Перспективы практического использования

Потенциальные потребители – организации, службы и ведомства, решающие вычислительно-трудоемкие задачи на вычислительных системах гибридного типа (ЗАО «Эврика», ФГУП РНИИРС, ФГУП «НИИ «Квант», ОАО «Концерн «РТИ Системы», ФГУП РНИИРС, МЧС РФ, МО РФ и др.).

Разрабатываемая технология ресурснезависимого прикладного программирования вычислительных систем гибридного типа позволит придать вычислительным системам, используемым в указанных организациях, новые качества, среди которых следует особо выделить возможность программирования разнородных вычислительных узлов на едином языке программирования, высокую реальную производительность, близкую к пиковой, на широком классе задач и линейный рост производительности при наращивании аппаратного ресурса.



Результаты исследовательской работы, полученные в 2015 г.

Разработаны метод и алгоритм описания алгоритмов прикладных задач для многопроцессорной вычислительной системы гибридного типа в единой параллельно-конвейерной форме, обеспечивающей ресурснезависимое представление задач для быстрого перехода от параллельного к конвейерному способу организации вычислений и их различных сочетаний.

Разработаны метод и алгоритмы преобразования фрагментов прикладной задачи к параллельной или конвейерной форме, учитывающей особенности организации вычислительных процессов и архитектуры узлов вычислительной системы гибридного типа для обеспечения возможности программирования унифицированных процессорных и реконфигурируемых вычислительных узлов в едином контуре.

Разработаны методика и алгоритм определения эффективного варианта реализации прикладной задачи на множестве узлов вычислительной системы гибридного типа, позволяющей адаптировать программу под текущую конфигурацию вычислительной системы для обеспечения высокой эффективности прикладной программы (не ниже 0,5).

Разработаны метод и алгоритмы трансляции ресурснезависимых языковых конструкций в структурную и управляющую компоненты прикладной программы для выполнения прикладных задач на различных конфигурациях вычислительной системы гибридного типа.

Результаты исследовательской работы, полученные в 2015 г.

Разработаны метод и алгоритм синтеза прикладных задач, содержащих параллельные и конвейерные вычислительные фрагменты для создания технологии и средств ресурсонезависимого программирования многопроцессорных вычислительных систем гибридного типа.

Разработана программная модель средств трансляции единого языка программирования высокого уровня для различных типов вычислительных узлов многопроцессорной вычислительной системы гибридного типа, обеспечивающая поддержку микропроцессорных и реконфигурируемых вычислительных узлов.

Разработана программная модель средств синтеза масштабируемых параллельно-конвейерных решений прикладных задач для многопроцессорной вычислительной системы гибридного типа, обеспечивающая синтез конфигурационных файлов для реконфигурируемых вычислительных узлов и программ на языке C# для микропроцессорных вычислительных узлов.

Разработана программная модель средств синхронизации и управления вычислениями на разнородных узлах многопроцессорной вычислительной системы гибридного типа, обеспечивающая одновременные вычисления на реконфигурируемых и микропроцессорных вычислительных узлах многопроцессорной вычислительной системы гибридного типа.

Результаты исследовательской работы, полученные в 2015 г.

Разработана программная модель средств мониторинга эксплуатационных параметров (напряжение, ток и температура) вычислительных узлов вычислительной системы гибридного типа, обеспечивающая контроль состояния реконфигурируемых и микропроцессорных вычислительных узлов многопроцессорной вычислительной системы гибридного типа.

Разработан комплект программной документации на экспериментальный образец программного комплекса средств разработки прикладных программ для вычислительных систем гибридного типа.

Проведены отладка элементов и разработка тестовой задачи цифровой обработки сигналов на макетах вычислительной системы гибридного типа, содержащих процессорные и реконфигурируемые вычислительные узлы на основе ПЛИС Virtex-7 и Kintex-7.

Разработанные методы и методики описания, преобразования и трансляции прикладных задач на основе редукции производительности для многопроцессорной вычислительной системы гибридного типа, а также полученные научно-технические результаты являются новыми и оригинальными.

Состояние выполнения запланированных индикаторов

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Значения по проекту ВСЕГО		Значения на текущий год		
			План	Факт	План	Достигнуто за отчетный период	Достигнуто итого за текущий год
Индикаторы							
1	Число публикаций Scopus	ед	6	2	3	2	2
2	Число патентных заявок	ед	3	1	1	1	1
3	Доля исследователей в возрасте до 39 лет	%	34,2	66	34,4	66	66
4	Объем привлеченных внебюджетных средств	млн. руб.	45	30	15	15	15

Состояние выполнения запланированных индикаторов

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Значения по проекту ВСЕГО		Значения на текущий год		
			План	Факт	План	Достигнуто за отчетный период	Достигнуто итого за текущий год
Показатели							
1	Средний возраст исследователей	лет	40	39	39	39	39
2	Количество мероприятий по демонстрации и популяризации результатов и достижений науки	ед.	3	2	1	2	2
3	Число диссертаций	ед.	1	1	1	1	1
4	Использование научных установок	ед.	0	0	0	0	0

Спасибо за внимание!

Докладчик:

Директор НИИ МВС ЮФУ, член-корр. РАН Каляев Игорь Анатольевич