

Т. В. Филимончук, М. А. Волк, Д. Р. Казмина, Т. И. Ольшанская, М. В. Рисухин

МОДИФИЦИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАНИЙ НА РЕСУРСЫ ДЛЯ СИСТЕМ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Объектом исследования выступает процесс распределения пула входных заданий на вычислительные ресурсы в гибридных кластерных системах. **Предмет** исследования – информационная технология распределения заданий на вычислительные ресурсы гибридных кластерных систем. **Цель** – разработка и внедрение этапа имитационного моделирования в модифицированную информационную технологию распределения входящего пула заданий на вычислительные мощности гибридных кластерных систем. **Задачи:** на основе математических моделей заданий, вычислительных ресурсов и методов распределения модифицировать существующую информационную технологию распределения заданий; разработать информационную систему, которая будет выполнять автоматизированный процесс сбора и обработки полученных данных; сформировать ряд экспериментов по распределению входного пула заданий, на основе реализованных в среде имитационного моделирования методов распределения. **Методы** исследования базируются на использовании теории множеств, общей теории систем и теории имитационного моделирования. Получены следующие **результаты**. Предложена модифицированная информационная технология распределения программных заданий большой размерности на вычислительные ресурсы для систем облачных вычислений с использованием имитационной среды моделирования с последующим выбором наилучшего плана распределения по каждому пулу входных заданий. Предложенная информационная технология внедрена в имитационную среду моделирования, которая позволяет воспроизводить процесс функционирования элементарных событий, происходящих в реальных гибридных кластерных системах с сохранением логики их взаимодействия в реальном времени. **Выводы:** предложенная информационная технология объединяет процессы сбора, хранения, обработки и передачи данных с использованием предложенных в работе методов распределения, средства для дальнейшего анализа результатов моделирования и принятия решения о выполнении определенного действия (выбора наилучшего плана распределения). Использование в среде моделирования множества методов распределения позволяет провести серию экспериментов и на основании полученных результатов, осуществить выбор наилучшего плана распределения для конкретного входного пула заданий (на основании выбранной стратегии распределения).

Ключевые слова: информационная технология; методы распределения заданий на вычислительные ресурсы; связанность задач в заданиях; имитационная среда моделирования, план распределения.

Введение

В настоящее время появление новых информационных технологий, таких как облачные вычисления, GRID, гибридные кластерные системы, обусловило качественное развитие технологий решения задач большой вычислительной размерности. К наиболее перспективным направлениям можно отнести технологии параллельных и распределенных вычислений, которые являются основой облачных и GRID вычислений.

Распределенные вычисления – это способ решения трудоемких вычислительных задач с использованием двух или более компьютеров, которые объединены в единую сеть. Т.к. распределенные вычисления – это более общий случай параллельных вычислений (одновременное решение различных частей вычислительного задания несколькими процессорами одного или нескольких компьютеров), то необходимо, чтобы задания были сегментированы, т.е. разделены на подзадачи, которые могут решаться параллельно. При этом для распределенных вычислений приходится также учитывать возможное отличие в вычислительных ресурсах, которые будут доступны для расчета различных подзадач. Однако, следует помнить, что не каждое задание можно "распараллелить" и ускорить его решение с помощью распределенных вычислений.

Гибридные кластерные системы представляют собой географически распределенную инфраструктуру, построенную на множестве

разнородных сетевых ресурсов и используемую для решения научных задач, которые требуют большие вычислительные мощности. Распределение заданий на вычислительные ресурсы в кластерных системах происходит в несколько шагов. Вначале пользователь (поставщик задания) отправляет задание планировщику в виде запроса, который составлен с помощью специализированного языка описания. На данном шаге планировщику необходимы только технические требования задания для подбора вычислительных ресурсов для запуска. Планировщик использует сетевые сервисы для обнаружения доступных ресурсов системы, получения информации о состоянии ресурсов и их оценки. На основании полученной информации, планировщик производит анализ и отбирает те вычислительные ресурсы, которые пригодны для выполнения задания. На следующем шаге планировщик передает файловому менеджеру специализированных служб указания, на какие вычислительные ресурсы необходимо направить задание. Параллельно, на файловый менеджер, поступает задание в виде .exe файла, которое он и направляет на вычислительные ресурсы. До тех пор, пока задание не покинуло систему, файловый менеджер отслеживает ход его выполнения. Задача распределения входных заданий на вычислительные ресурсы в настоящее время актуальна, поскольку подбор ресурсов определяет эффективность использования всей системы, т.к. влияет на время простоя ресурсов, сокращает время и объемы передаваемой между ними информации.

Анализ последних исследований и публикаций

Планировщик заданий, занимающий основное место в кластерных системах, отвечает за построение расписания использования вычислительных ресурсов системы (плана назначения). Большая часть планировщиков, которые используются в настоящее время, в процессе распределения заданий не используют оптимизацию [1], а выбирают вычислительный ресурс, который первым подходит для его запуска. Также планировщики не рассматривают предварительное резервирование вычислительных ресурсов, а учитывают только очередность поступления заданий на вход системы [2, 3]. Однако использование резервирования при распределении заданий [4, 5] позволяет получить выигрыш по времени для входного пула заданий, что, в свою очередь, повышает эффективность использования вычислительных ресурсов всей системы. В работах [6–8] используются методы распределения, делающие упор на заданном ряде предпочтений, которые устанавливаются администратором, поставщиками заданий или вычислительных ресурсов. Использование таких предпочтений позволяет устранять простои отдельно взятых вычислительных ресурсов системы. Также существуют подходы, которые при распределении используют целочисленное линейное или смешанное программирование [9, 10]. В данном случае поставщики заданий задают временные рамки при использовании вычислительных ресурсов, что также повышает эффективность использования кластерной системы. Встречаются планировщики, которые позволяют воспользоваться сочетанием методов линейного программирования и генетических алгоритмов [11], что позволяет при составлении плана использования ресурсов учитывать стоимость их использования.

В работе [12] подбор вычислительных ресурсов осуществляется на основе логико-вероятностного алгоритма, который ориентирован на многоуровневое планирование заданий по заданным ранее критериям качества (стоимость, время выполнения, показатели надежности). В работе [13] авторами предложена классификация поступающих заданий по ряду параметров, которая выступает основой для создания надстройки для планировщика. Использование предложенной надстройки повышает эффективность использования ресурсов системы за счет ее оптимизации.

Использование методов комплексирования прогнозных оценок путем синтеза интервальных расширений [14], позволяет синтезировать модель комплексирования, что обеспечивает более высокую точность консолидированного краткосрочного прогноза.

В работе [15] обосновано применение проблемно-ориентированных методов планирования вычислительных задач, которые используют информацию о предметной области. Данные оценки

ресурсов вычислительных сред используются для более эффективного планирования.

Проведенный анализ существующих методов распределения позволяет сделать вывод, что существующие планировщики обладают рядом недостатков: отсутствует открытый программный код, большинство версий является платными, нет возможности воспользоваться при распределении несколькими методами распределения, отсутствует миграция заданий и восстановление их после программного сбоя. Однако основным недостатком любого планировщика выступает ориентированность их на решение конкретного класса задач. Следовательно, в настоящее время не существует универсального планировщика, который позволит распределить поступающие задания различных классов на вычислительные ресурсы с минимальными их простоями. Поэтому необходима разработка новых подходов при распределении заданий, которые должны учитывать и устранять недостатки в существующих решениях.

Цель работы – разработка и внедрение этапа имитационного моделирования в модифицированную информационную технологию распределения входящего пула заданий на вычислительные мощности гибридных кластерных систем.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- на основе математических моделей заданий, вычислительных ресурсов и методов распределения модифицировать существующую информационную технологию распределения заданий;
- разработать информационную систему, которая будет выполнять автоматизированный процесс сбора и обработки полученных данных;
- сформировать ряд экспериментов по распределению входного пула заданий, на основе реализованных в среде имитационного моделирования методов распределения.

Реализация информационной технологии распределения заданий на вычислительные ресурсы

Создание кластерной системы требует существенных капиталовложений, которые не всегда доступны поставщику заданий. Поэтому рациональным решением подбора оптимальных (для данного задания) вычислительных ресурсов является использование специализированных сред моделирования (MicroGrid, ChicSim, OptorSim, SimGrid, GridSim). Однако, проведенный анализ существующих сред моделирования показал, что они также обладают недостатками, основные из которых – это узкая специализация, ограниченность архитектур, отсутствие доступных и открытых версий, необходимость знания специализированных языков программирования. Поэтому необходима разработка среды моделирования, которая устраним недостатки в существующих решениях и позволит получить план распределения входного пула заданий в кластерной

системе, минимизируя время простоя ее вычислительных ресурсов.

Решением данной проблемы является использование имитационного моделирования, основанного на построении математической модели. Имитационная модель определяет множество правил, решающих в какое состояние система перейдет в будущем из заданного (текущего). Как правило, имитационная модель обладает гибкостью варьирования структуры, алгоритмов и параметров системы, а применение вычислительных средств существенно сокращает продолжительность испытаний по сравнению с натурным экспериментом (если он возможен), а также их стоимость.

Предложенная для моделирования имитационная среда [16] является компьютерной моделью кластерной системы, которая воспроизводит процесс функционирования во времени элементарных событий, протекающих в системе с сохранением логики их взаимодействия. Она позволяет произвести ряд вычислительных экспериментов, в ходе которых осуществляется сбор, анализ результатов моделирования, а также сопоставление полученных данных с реальным поведением исследуемого объекта.

В существующих кластерных системах задания распределяются на вычислительные ресурсы не по мере их поступления в систему, а в заданное время суток. Достоинством предложенной среды является возможность промоделировать процесс распределения заданий с помощью ряда методов распределения, используя реальные данные о заданиях и ресурсах системы. На основе результатов процесса моделирования происходит отбор "наилучшего" плана распределения, который в дальнейшем можно предложить реальной системе в качестве готового решения. Полученный план, как правило, минимизирует не только конечное время выполнения конкретного пула заданий, но и позволяет повысить эффективность использования вычислительных ресурсов кластерной системы.

Информационная технология – это совокупность методов, технических и программных средств, которые объединяются для сбора, хранения, обработки, передачи и отображения информации. Основная цель информационной технологии – это получение информации для дальнейшего анализа ее экспертом (или экспертной системой), который принимает решение по выполнению определенных действий. Информационная технология принятия решений (рис. 1) содержит три основных составляющих: базу моделей (БМ), базу данных (БД) и программную подсистему управления. Последняя включает в себе систему управления базой данных (СУБД), систему управления базой моделей (СУБМ) и систему управления интерфейсом между лицом, принимающим решение (ЛПР) и компьютером.

С помощью модели имеется возможность описания и оптимизации некоторого объекта. Как правило, модели в информационных технологиях реализуются командами алгоритмических языков, что

позволяет находить решения при гибком изменении ряда переменных. Одна информационная технология может оперировать рядом моделей, каждая из которых может дополнять или уточнять другую. Система управления базой моделей, в свою очередь, обеспечивает наполнение и функционирование базы моделей в соответствии с поставленными задачами.

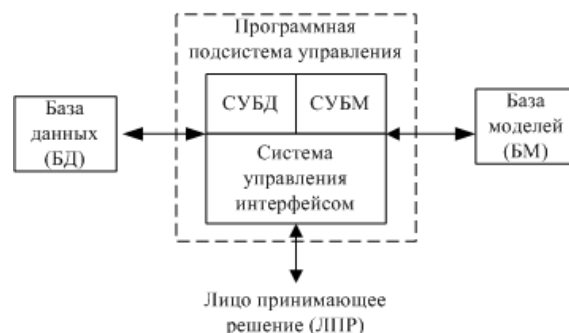


Рис. 1. Компоненты информационной технологии поддержки принятия решений

Для успешного функционирования информационной технологии необходима развитая информационная система, которая будет выполнять автоматизированный процесс сбора и обработки данных. Одним из таких средств являются базы данных. Вся информация заносится в нее с помощью источников данных, которые позволяют поддерживать целостность системы.

При организации базы данных необходимо сделать упор на возможности обеспечения информационных запросов пользователей и сохранении ряда данных, которые могут быть в дальнейшем проанализированы. В предложенном проекте будет использована реляционная модель базы данных, которая строится на основании обычных таблиц, разбитых на столбцы и строки, а на их пересечении, в ячейках, расположены данные.

Современные гибридные кластерные системы работают под управлением ОС Scientific Linux, т.к. данный дистрибутив содержит в себе набор программных компонентов, необходимых для организации серверной инфраструктуры. Также в состав дистрибутива входит ряд компонентов, которые необходимы для создания кластерной инфраструктуры. Как правило, сервер базы данных в Scientific Linux реализуется с помощью MySQL-системы управления базами данных, программное обеспечение является открытым, что позволяет применять и модернизировать его под свои задачи.

Вся информация, которой оперирует имитационная среда моделирования, хранится в базе данных таким образом, чтобы иметь возможность обеспечивать информационные запросы пользователей и рассредоточенно хранить данные (рис. 2).

Имитационная среда моделирования оперирует модулем Logger, который отвечает за ведение log-файлов. Данный модуль используется для получения статистической информации о распределении заданий на вычислительные ресурсы и, по мере

необходимости, анализа ее в дальнейшем. Предложенный модуль предоставляет возможность гибкого и централизованного ведения логов для всех плагинов среды моделирования. Среда оперирует несколькими типами log-файлов, фиксирующими ряд действий (поступление заданий и вычислительных ресурсов в систему, распределение заданий, отслеживание состояния заданий и ресурсов), что

позволяет при необходимости быстро получить требуемую информацию из БД. На основании полученной информации, можно осуществить выборку по необходимой информации с учетом различных критериев оценки, а также построить ряд графиков, которые отображают работу имитационной среды как в реальном времени (в ходе процесса моделирования), так и по результатам выборки.

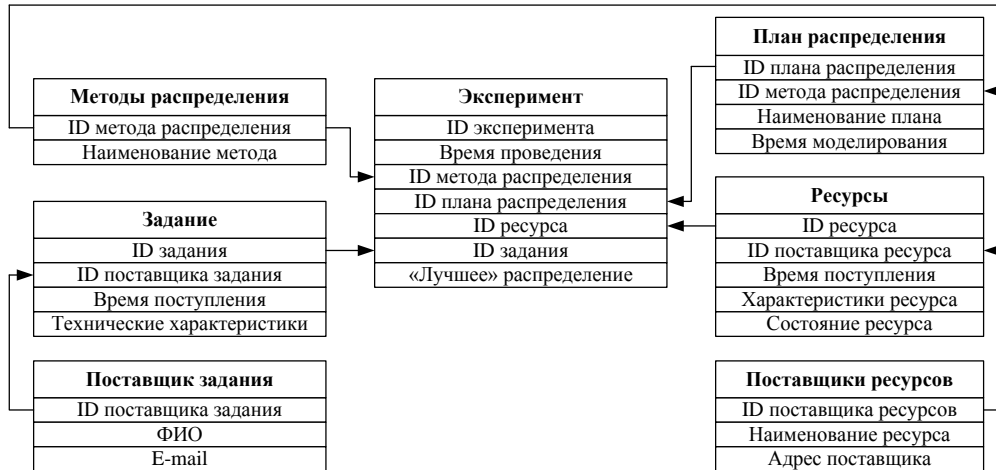


Рис. 2. Структура базы данных, используемая в имитационной среде моделирования

Задания, поступающие на вход кластерной системы разнородны, и, как было сказано выше, на данный момент не существует универсального планировщика для распределения конкретного пула заданий. Как правило, планировщик позволяет воспользоваться одним простым методом распределения, что приводит к высокому проценту простаивающих вычислительных ресурсов системы. Однако, если при распределении учитывать ряд дополнительных параметров, то повысится эффективность использования вычислительных

ресурсов системы. Например, анализ задач в задании с точки зрения их связности позволит сократить время выполнения пула заданий в системе за счет устранения потерь по времени, которые вызваны обменом данными между отдельными задачами и программами поддержки распределенных вычислений. В данной статье предлагается модифицированная информационная технология распределения пула заданий на вычислительные ресурсы (рис. 3) с использованием имитационной среды моделирования.

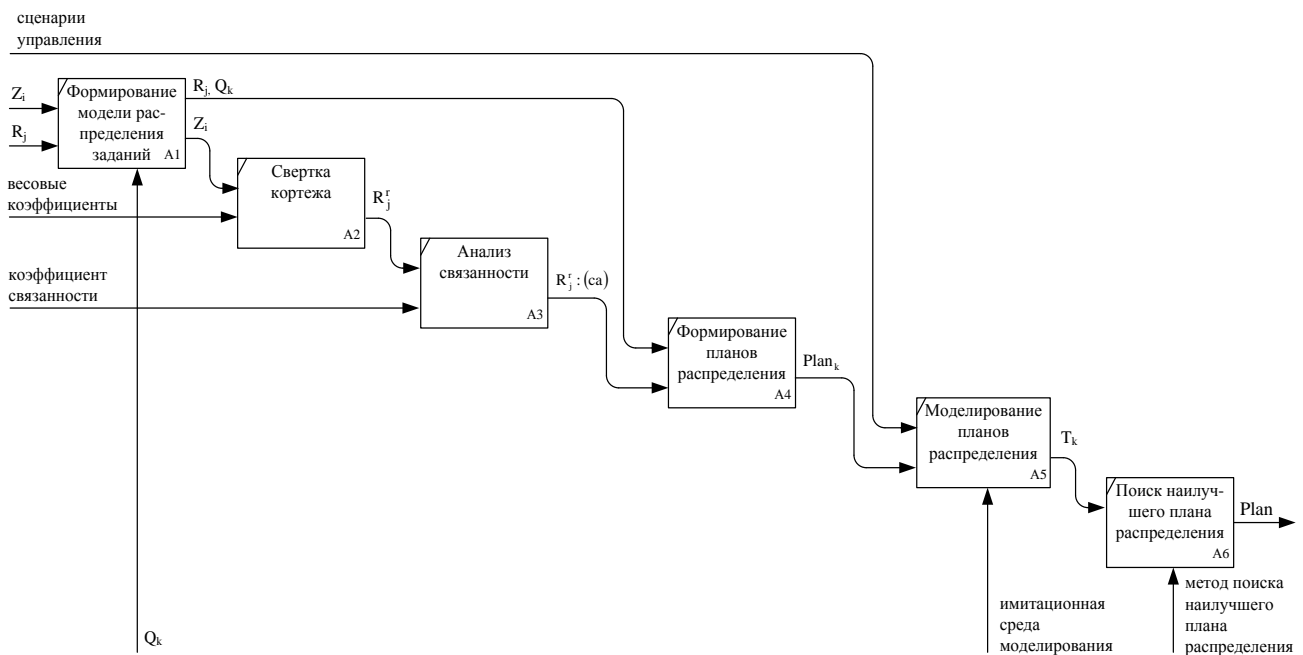


Рис. 3. Информационная технология распределения пула заданий на вычислительные ресурсы систем облачных вычислений

Исходными данными для предложенной технологии выступают три множества: множество входных заданий Z , множество вычислительных ресурсов R и множество методов распределения Q , т.е. $G = \{R, Z, Q\}$.

Формирование множества входных заданий происходит в ходе поступления в систему потока $\{Z_i, i = 1, 2, \dots, M\}$, $\forall i = 1..M$. Каждое задание характеризуется параметрами, которые необходимы для подбора вычислительных ресурсов

$$Z_i = \{ar_i^z, os_i^z, pc_i^z, ps_i^z, ms_i^z, dc_i^z, pr_i^z, ca_i^z, rt_i^z\}, \quad (1)$$

где ar_i – архитектура процессора; os_i – операционная система; pc_i – количество процессоров; ps_i – быстродействие процессоров; ms_i – объем оперативной памяти; dc_i – доступный объем винчестера; pr_i – приоритет задания; ca_i – коэффициент связности задач в задании; rt_i – время выполнения задания (время использования ресурса).

Таким же образом происходит формирование множества вычислительных ресурсов, которые образуют поток $\{R_j, j = 1, 2, \dots, N\}$, $\forall j = 1..N$. Каждый элемент данного множества описывается кортежем

$$R_j = \{ar_j^r, os_j^r, pc_j^r, ps_j^r, ms_j^r, dc_j^r, bw_j^r, d_j^r\}, \quad (2)$$

где bw_j – суммарная пропускная способность канала (от брокера до ресурса) с учетом состояния сети на текущий момент времени; d_j – суммарная задержка времени передачи пакета с учетом состояния сети на текущий момент времени.

Множество методов распределения описывается кортежем:

$$Q_k = \{mn_k, lp_k\}, \quad \forall k = 1..K, \quad (3)$$

где mn – метод распределения заданий на вычислительные ресурсы; lp – перечень входных параметров, учитываемых при распределении

Использование в системе множества методов распределения позволяет проведение серии экспериментов, состоящих из последовательных запусков исследуемой модели с изменением ряда параметров при каждом последующем запуске.

Среда моделирования оперирует модулем Algorithm Loader [17], который используется для параллельного запуска методов распределения с последующим выбором наиболее эффективного решения на основе сбора, анализа и интерпретации результатов моделирования. Модуль позволяет осуществить моделирование с использованием ряда методов распределения: FCFS, LIFO, HPF, Simplex, Smart, Backfill и Backfill mod [5]. Модуль Algorithm Loader также содержит два дополнительных блока: блок свертки кортежа и блок анализа связности задач в задании. Блок свертки кортежа производит расчет

обобщенного коэффициента оценки для каждого входного задания, что позволяет более продуктивно управлять процессом распределения на вычислительные ресурсы. Результатом работы данного блока является множество вычислительных ресурсов $\{R_j^r, j = 1, \dots, K\}$, которые были отобраны по каждому заданию на основании обобщенного коэффициента оценки задания.

Блок анализа связности учитывает степень связности задач задания [16], результатом работы данного блока является множество вычислительных ресурсов с учетом коэффициента связности задач в задании $\{R_j^r : (ca), j = 1, \dots, K\}$.

Множества заданий, вычислительных ресурсов и методов распределения могут быть расширены по мере необходимости, что делает предложенную модель распределения заданий гибкой по отношению к существующим.

После того как было сформировано множество вычислительных ресурсов, на которых может быть запущено задание, происходит формирование планов распределения $(Plan_k) f : Q_k \rightarrow Plan_k, \forall k = 1..K$, которые в дальнейшем будут направлены в блок, отвечающий за моделирование. В ходе процесса моделирования формируется время выполнения пула задания (T_k) для каждого метода распределения $(mn \in Q), f : Plan_k \rightarrow T_k, \forall k = 1..K$.

Параллельно происходит выбор критериев сравнения по каждому методу распределения: процент простоя вычислительных ресурсов, среднее время ожидания заданий в очереди по каждому из методов распределения и др. После чего с учетом заданных критериев происходит анализ планов распределения $(mn \in Q) f : Q_k \rightarrow T_k, \forall k = 1..K$. Результатом данного этапа является нахождение плана распределения с минимальным временем выполнения входного пула заданий и минимальным временем простоя вычислительных ресурсов $plan = \min t_k, \forall k = 1..K$.

Результаты исследований

Для исследования модифицированной информационной технологии распределения входного пула заданий на вычислительные ресурсы системы облачных вычислений был проведен ряд экспериментов. В соответствии с предложенными математическими моделями [16], сформированы пулы входных заданий с учетом класса задач в задании, вычислительные ресурсы и отобраны методы распределения. Далее в ходе работы среды моделирования были получены планы распределения (для каждого пула заданий) по каждому предложенному методу распределения. Полученные планы были промоделированы в среде имитационного моделирования и в результате получено время выполнения каждого пула заданий, которое отображено на рис. 4.

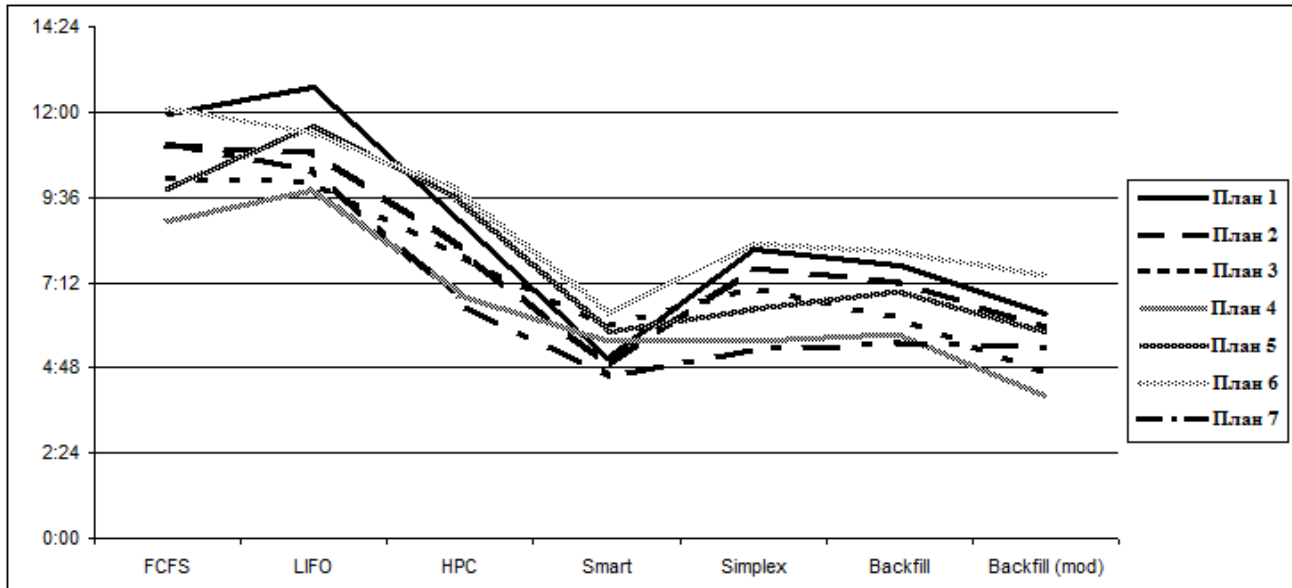


Рис. 4. Эксперименты распределения 7 пулов заданий на вычислительные ресурсы

Интерпретируя результаты моделирования можно подвести итог. Задания, поступающие в систему на распределение, разнородны и существующие планировщики не позволяют получить наилучшее распределение ресурсов с учетом класса задания. Класс задания влияет на метод распределения, и в ходе моделирования могут возникнуть различные выигрышные комбинации, т.е. использование единого брокера в имитационной среде моделирования не дает эффективного результата.

Однако благодаря наличию ряда методов распределения имеется возможность осуществить моделирование поступивших заданий на ресурсах, которые на данный момент присутствуют в системе и на основании полученных данных о времени выполнения данного пула и загруженности вычислительных ресурсов принять решение о целесообразности использования того или иного метода распределения. Предложенное решение в дальнейшем можно предложить реальной системе, что позволит сократить время нахождения заданий в системе и найти оптимальный вариант для функционирования вычислительных ресурсов, исключая простои системы, что повысит эффективность ее использования различными поставщиками заданий.

Выводы

Предложенная модифицированная информационная технология с использованием имитационной среды моделирования дает возможность промоделировать работу гибридной

кластерной системы в условиях обработки потоков разнородных заданий. Использование в среде ряда методов распределения позволяет осуществить моделирование работы каждого из них, и на основании результатов, осуществить выбор "наилучшего" плана распределения для входного пула заданий с учетом критерия оптимизации (процент простаивающих вычислительных ресурсов, среднее время ожидания заданий в очереди по каждому из методов распределения, время выполнения пула заданий и др.).

В ходе выполнения работы были промоделированы ситуации по распределению семи входных пулов заданий на вычислительные ресурсы в имитационной среде моделирования для различных методов распределения. Полученные результаты свидетельствуют о сокращении времени выполнения входного пула заданий до 20 % и повышении эффективности использования вычислительных ресурсов системы до 28 % для ряда методов распределения, которые присутствуют в среде моделирования. В настоящее время не существует метода распределения, который позволяет распределить задания таким образом, чтобы максимизировать эффективность использования вычислительных мощностей гибридных компьютерных систем. Предложенная технология предлагает решение, которое поможет администратору (или системе управления), по результатам моделирования, отобрать "наилучший" план распределения, который может быть предложен реальной системе, что повысит эффективность использования ее ресурсов.

Список литературы

1. Cafaro, M., Mirro, M., Aloisio, G. (2013), "Preference-Based Matchmaking of Grid Resources with CP-Nets", *Grid Computing*, Vol. 11 (2), P. 211–237. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10723-012-9235-2>
2. Rodero, I., Villegas, D., Bobroff, N., Liu, Y., Fong, L., Sadjadi, S. M. (2013), "Enabling Interoperability among Grid Meta-Schedulers", *Grid Computing*, Vol. 11 (2), P. 311–336. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10723-013-9252-9>

3. Мазалов В. В., Никитина Н. Н. Оценка характеристик алгоритма Backfill при управлении потоком задач на вычислительном кластере. *Вычислительные технологии*. 2012. Том 17, № 5. С. 71–79.
4. Волк М. А., Филимончук Т. В. Разработка модифицированного метода обратного заполнения Backfill для консервативного резервирования. *Системы обработки информации*. 2017. № 1 (147). С. 33–37.
5. Toporkov, V., Toporkova, A., Tselishchev, A., Yemelyanov, D. (2014), "Slot Selection Algorithms in Distributed Computing", *The Journal of Supercomputing*, Vol. 69 (1), P. 53–60. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11227-014-1210-1>
6. Toporkov, V., Toporkova, A., Tselishchev, A., Yemelyanov, D. (2013), "Slot Selection Algorithms in Distributed Computing with Non-dedicated and Heterogeneous Resources", *PaCT 2013: Parallel Computing Technologies*, Vol. 7979, P. 120–134.
7. Топорков В. В., Бобченков А. В., Емельянов Д. М., Целищев А. С. Методы и эвристики планирования в распределенных вычислениях с неотчуждаемыми ресурсами. Вестник ЮУрГУ, серия "Вычислительная математика и информатика". 2014. Т. 3, № 2. С. 43–62.
8. Takefusa, A., Nakada, H., Kudoh, T., Tanaka, Y. (2010), "An Advance Reservation-Based Co-allocation Algorithm for Distributed Computers and Network Bandwidth on QoS-Guaranteed Grids", *JSSPP 2010: Job Scheduling Strategies for Parallel Processing*, Vol. 6253, P. 16–34.
9. Blanco, H., Guidaro, F., Lérída, J. L., Alboronz, V. M. (2012), "MIP Model Scheduling for Multi-Clusters", *Euro-Par 2012: Parallel Processing Workshop*, Vol. 7640, P. 196–206.
10. Garg, S., Konugurthi, P., Buyya, R. (2011), "A Linear Programming-driven Genetic Algorithm for Meta-scheduling on Utility Grids", *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*, Vol. 26, P. 493–517.
11. Костромин Р. О. Модели, методы и средства управления вычислениями в интегрированной кластерной системе. *Фундаментальные исследования*. 2015. № 6. С. 35–38.
12. Феоктистов А. Г. Методология концептуализации и классификации потоков заданий масштабируемых приложений в разнородной распределенной вычислительной среде. *Системы управления, связи и безопасности*. 2015. № 4. С. 1–25.
13. Romanenkov, Yu., Danova, M., Kashcheyeva, V., Bugaienko, M., Volk, M., Karminska-Bielobrova, M., Lobach, O. (2018), "Complexification methods of interval forecast estimates in the problems on short-term prediction", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3, No. 3 (93), P. 50–58. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.131939>
14. Радченко Г. И. Модель проблемно-ориентированной облачной вычислительной среды. *Труды Института системного программирования РАН*. 2015. Том 27, Вып. 6. С. 275–284. DOI: [https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2015-27\(6\)-17](https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2015-27(6)-17)
15. Filimonchuk, T., Volk, M., Ruban, I., Tkachov, V. (2016), "Development of information technology of tasks distribution for grid-systems using the GRASS simulation environment", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling system*, Vol. 3, No. 9 (81), P. 45–53. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.71892>
16. Волк М. А., Филимончук М. А., Филимончук Т. В. Модуль распределения заданий в GRID-системах. *Системы обработки информации*. Харьков. ХУПС, 2012. № 2 (100). С. 177–182.

References

1. Cafaro, M., Mirto, M., Aloisio, G. (2013), "Preference-Based Matchmaking of Grid Resources with CP-Nets", *Grid Computing*, Vol. 11 (2), P. 211–237. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10723-012-9235-2>.
2. Rodero, I., Villegas, D., Bobroff, N., Liu, Y., Fong, L., Sadjadi, S. M. (2013), "Enabling Interoperability among Grid Meta-Schedulers", *Grid Computing*, Vol. 11 (2), P. 311–336. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10723-013-9252-9>.
3. Mazalov, V. V., Nikitina, N. N. (2017), "Evaluation of the characteristics of the Backfill algorithm when managing the flow of tasks on a computing cluster" ["Otsenka kharakteristik algoritma Backfill pri upravlenii potokom zadach na vychislitel'nom klaster'e"], *Computational Technologies*, Vol. 17, No. 5, P. 71–79.
4. Volk, M. A., Filimonchuk, T. V. (2017), "Development of a modified Backfill backfill method for conservative redundancy" ["Razrabotka modifitsirovannogo metoda obratnogo zapolneniya Backfill dlya konservativnogo rezervirovaniya"], *Information Processing Systems*, No. 1 (147), P. 33–37.
5. Toporkov, V., Toporkova, A., Tselishchev, A., Yemelyanov, D. (2014), "Slot Selection Algorithms in Distributed Computing", *The Journal of Supercomputing*, Vol. 69 (1), P. 53–60. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11227-014-1210-1>
6. Toporkov, V., Toporkova, A., Tselishchev, A., Yemelyanov, D. (2013), "Slot Selection Algorithms in Distributed Computing with Non-dedicated and Heterogeneous Resources", *PaCT 2013: Parallel Computing Technologies*, Vol. 7979, P. 120–134.
7. Toporkov, V. V., Bobchenkov, A. V., Emelyanov, D. M., Tselishchev, A. S. (2014) "Planning methods and heuristics in distributed computing with inalienable resources" ["Metody i evristiki planirovaniya v raspredelennykh vychisleniyakh s neotchuzhdaemymi resursami"], *Bulletin of the South Ural State University*, Vol. 3, No. 2, P. 43–62.
8. Takefusa, A., Nakada, H., Kudoh, T., Tanaka, Y. (2010), "An Advance Reservation-Based Co-allocation Algorithm for Distributed Computers and Network Bandwidth on QoS-Guaranteed Grids", *JSSPP 2010: Job Scheduling Strategies for Parallel Processing*, Vol. 6253, P. 16–34.
9. Blanco, H., Guidaro, F., Lérída, J. L., Alboronz, V. M. (2012), "MIP Model Scheduling for Multi-Clusters", *Euro-Par 2012: Parallel Processing Workshop*, Vol. 7640, P. 196–206.
10. Garg, S., Konugurthi, P., Buyya, R. (2011), "A Linear Programming-driven Genetic Algorithm for Meta-scheduling on Utility Grids", *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*, Vol. 26, P. 493–517.
11. Kostromin, R. O. (2015), "Models, methods and controls for computing in an integrated cluster system" ["Modeli, metody i sredstva upravleniya vychisleniyami v integrirovannoy klaster'noy sisteme"], *Fundamental research*, No. 6, P. 35–38.
12. Feoktistov, A. G. (2015), "Methodology of conceptualization and classification of task flows of scalable applications in a heterogeneous distributed computing environment" ["Metodologiya kontseptualizatsii i klassifikatsii potokov zadaniy masshtabiruemykh prilozheniy v raznorodnoy raspredel'noy vychislitel'noy srede"], *Systems of Control, Communication and Security*, No. 4, P. 1–25.
13. Romanenkov, Yu., Danova, M., Kashcheyeva, V., Bugaienko, M., Volk, M., Karminska-Bielobrova, M., Lobach, O. (2018), "Complexification methods of interval forecast estimates in the problems on short-term prediction", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3, No. 3 (93), P. 50–58. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.131939>.

14. Radchenko, G. I. (2015), "Model of Problem-Oriented Cloud Computing Environment" ["Model problemno-orientirovannoi oblachnoi vichislitelnoi sredi"], *Proceedings of the Institute for System Programming*, Vol. 27, Issue 6, P. 275–284. DOI: [https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2015-27\(6\)-17](https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2015-27(6)-17).

15. Filimonchuk, T., Volk, M., Ruban, I., Tkachov, V. (2016), "Development of information technology of tasks distribution for grid-systems using the GRASS simulation environment", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling system*, Vol.3, No. 9 (81), P. 45–53. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.71892>.

16. Volk, M. A., Filimonchuk, M. A., Filimonchuk, T. V. (2012), "Job distribution module in GRID systems" ["Modul raspredeleniya zadaniy v GRID-sistemah"], *Information Processing Systems*, No. 2 (100), P.177–182.

Поступила (Received) 04.12.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Філімончук Тетяна Володимирівна – кандидат технічних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри електронних обчислювальних машин, Харків, Україна; e-mail: tetiana.filimonchuk@nure.ua; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9440-9883>.

Филимончук Татьяна Владимировна – кандидат технических наук, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры электронных вычислительных машин, Харьков, Украина.

Filimonchuk Tetiana – PhD (Engineering Sciences), Kharkov National University of Radio Electronics, Associate Professor at the Department of Electronic Computer, Kharkiv, Ukraine.

Волк Максим Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри електронних обчислювальних машин, Харків, Україна; e-mail: maksym.volk@nure.ua; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4229-9904>.

Волк Максим Александрович – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры электронных вычислительных машин, Харьков, Украина.

Volk Maksym – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Kharkov National University of Radio Electronics, Associate Professor at the Department of Electronic Computer, Kharkiv, Ukraine.

Рісухін Максим Володимирович – Харківський національний університет радіоелектроніки, аспірант кафедри електронних обчислювальних машин, Харків, Україна; e-mail: risuhin.max@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0085-3559>.

Рисухин Максим Владимирович – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, аспирант кафедры электронных вычислительных машин, Харьков, Украина.

Risukhin Maksym – Kharkiv National University of Radio Electronics, Postgraduate Student at the Department of Electronic Computers, Kharkov, Ukraine.

Ольшанська Тетяна Ігорівна – Державне підприємство "Український науково-технічний центр металургійної промисловості "Енергосталь" (ДП "УкрНТЦ "Енергосталь"), провідний інженер, Харків, Україна; e-mail: olsh_t@gmail.ru; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1138-9969>.

Ольшанская Татьяна Игоревна – ГП "УкрНТЦ "Енергосталь", ведущий инженер, Харьков, Украина.

Olshanska Tetiana – State Enterprise "Ukrainian Research & Technology Center of Metallurgy Industry "Energestal", Senior Engineer, Kharkiv, Ukraine.

Казьміна Дарина Радіонівна – Харківський національний університет радіоелектроніки, студент кафедри електронних обчислювальних машин, Харків, Україна; e-mail: daryna.kazmina@nure.ua; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8338-8562>.

Казьмина Дарина Радионовна – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, студент кафедры электронных вычислительных машин, Харьков, Украина.

Kazmina Darina – Kharkiv National University of Radio Electronics, Student at the Department of Electronic Computers, Kharkov, Ukraine.

МОДИФІКОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ РОЗПОДІЛЕННЯ ЗАВДАНЬ НА РЕСУРСИ ДЛЯ СИСТЕМ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

Об'єктом дослідження виступає процес розподілу пулу вхідних завдань на обчислювальні ресурси в гібридних кластерних системах. **Предмет** дослідження – інформаційна технологія розподілу завдань на обчислювальні ресурси гібридних кластерних систем. **Мета** – розробка та впровадження етапу імітаційного моделювання в модифіковану інформаційну технологію розподілу вхідного пулу завдань на обчислювальні ресурси гібридних кластерних систем. **Задачі**: на основі математичних моделей завдань, обчислювальних ресурсів та методів розподілу модифікувати існуючу інформаційну технологію розподілу завдань; розробити інформаційну систему, яка буде виконувати автоматизований процес збору та обробки отриманих даних; сформувати ряд експериментів з розподілу вхідного пулу завдань, на основі реалізованих в середовищі імітаційного моделювання методів розподілу. **Методи** дослідження базуються на використанні теорії множин, загальної теорії систем та теорії імітаційного моделювання. Отримано наступні **результати**. Запропоновано модифіковану інформаційну технологію розподілу програмних завдань великої розмірності на обчислювальні ресурси для систем хмарних обчислень з використанням імітаційного середовища моделювання з подальшим вибором найкращого плану розподілу по кожному пулу вхідних завдань. Запропонована інформаційна технологія впроваджена в імітаційне середовище моделювання,

яке дозволяє відтворювати процес функціонування елементарних подій, які відбуваються в реальних гібридних кластерних системах зі збереженням логіки їх взаємодії в реальному часі. **Висновки:** запропонована інформаційна технологія об'єднує процеси збору, зберігання, обробки та передачі даних з використанням запропонованих в роботі методів розподілу, засоби для подальшого аналізу результатів моделювання та прийняття рішення про виконання певної дії (вибору найкращого плану розподілу). Використання в середовищі моделювання множини методів розподілу дозволяє провести серію експериментів і на підставі отриманих результатів, здійснити вибір найкращого плану розподілу для конкретного вхідного пулу завдань (на підставі обраної стратегії розподілу).

Ключові слова: інформаційна технологія; методи розподілення завдань на обчислювальні ресурси; пов'язаність задач у завданні; імітаційне середовище моделювання; план розподілення.

THE MODIFIED INFORMATION TECHNOLOGY FOR THE DISTRIBUTION OF RESOURCE TASKS FOR CLOUD COMPUTING SYSTEMS

The **object** of the research is the process of distribution a pool of input tasks for computing resources in hybrid cluster systems. The **subject** of the research is information technology of distribution tasks for computing resources of hybrid cluster systems. The **goal** is to develop and to implement a simulation stage in a modified information technology for distributing the incoming task pool to the computing power of hybrid cluster systems. **Tasks:** to modify the existing information technology of task distribution on the basis of mathematical models of tasks, computing resources and distribution methods; to develop an information system that will perform an automated process of collecting and processing the data; to form a series of experiments on the distribution of the input task pool, based on the distribution methods implemented in the simulation environment. **Research methods** are based on the use of the theory of sets, the general theory of systems and the theory of simulation modeling. The **results** received. The modified information technology of distribution of program tasks of big dimension for computing resources for the systems of cloud computing with the use of the simulation environment of modeling with the subsequent choice of the best dispersion plan on each pool of input tasks is offered. The proposed information technology has been introduced into a simulation environment that allows reproducing the process of functioning of elementary events occurring in the real hybrid cluster systems while preserving the logic of their interaction in a real time. **Conclusions:** The proposed information technology combines the processes of collecting, storing, processing and transmitting data using the offered distribution methods, means for further analyzing the results of modeling and deciding whether to perform a specific action (choosing the best distribution plan). The use of a set of distribution methods in the simulation environment allows to conduct a series of experiments and, based on the results obtained, select the best distribution plan for a particular input task pool (on the basis of the selected strategy of distribution).

Keywords: information technology; methods of distribution of tasks for computing resources; coherence of tasks in a job; simulation environment, distribution plan.
