

УДК 621.396

ЛИСТРОВОЙ С.В., д.т.н., професор,

КУРЦЕВ М.С., аспірант кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем (Український державний університет залізничного транспорту)

Математическая и имитационная модель планирования выполнения заданий в кластере Grid-системы

В статье рассматривается описание имитационной модели работы Grid-системы, которая позволяет сравнить существующие методы планирования выполнения заданий в распределенных вычислительных системах. Также показано математическое описание параметров, которые в ней исследуются. Приведено описание методов планирования выполнения заданий.

Ключевые слова: Grid, распределенные вычисления, планирование, кластер, методы планирования выполнения заданий.

Введение

Потребность в использовании распределенных вычислительных сред в последнее время существенно увеличилась во многих прикладных областях, требующих ресурсоемких вычислений в приложениях пользователей и больших массивов данных, характеризующихся высокой интенсивностью поступления на обработку. К таким областям относятся физика высоких энергий, метеорология, системы наблюдения за Землей, экология, молекулярная биология, медицина. Также к ним можно отнести электронную коммерцию, финансовые расчеты, социальные сети и т.п. Эти приложения требуют использования высокопроизводительных систем и систем с высокой пропускной способностью, позволяющие эффективно управлять возрастающей нагрузкой на ресурсы и коммуникационные каналы распределенных вычислительных систем.

В связи с этим широкое распространение получили системы распределенной и параллельной обработки данных – Grid-системы. Данная тенденция связана с организацией совместной работы и повышением общей производительности отдельных автономно работающих вычислительных устройств, что приводит к увеличению масштабов вычислительных систем, состоящих из вычислительных узлов, которые находятся на большом расстоянии, и требует анализа и обобщения применяемых в настоящее время оценок различных факторов, влияющих на эффективность распределенных вычислений [1, 2].

Основная часть

1 Процесс моделирования работы типового кластера Grid-системы

Перед моделированием работы кластера (рис. 1), формируется множество задач, которые будут поданы на систему за весь процесс моделирования работы. Устанавливаются параметры системы (длина пула входных задач, частота планирования, время задержки и др.) И задается метод планирования.

Процесс моделирования работы кластера состоит из пошагового выполнения трех операций.

- Операция №1 - имитация поступления задач на вход системы. Из общего количества задач в пул загружаются первые mp задач.
- Операция №2 - распределение задач из очереди пула между ресурсами и возвращения не поместившихся обратно в пул.
- Операции №3 - имитация решения задач ресурсами. Имитацией решения задачи является вычитание от сложности решения задачи значение производительности ресурса, на котором задача решается. Данная операция принята за условную единицу времени - такт. Все временные процессы в моделировании работы кластера измеряются в этой единице. Алгоритм моделирования процесса работы типового кластера Grid-системы показан на рис. 2.

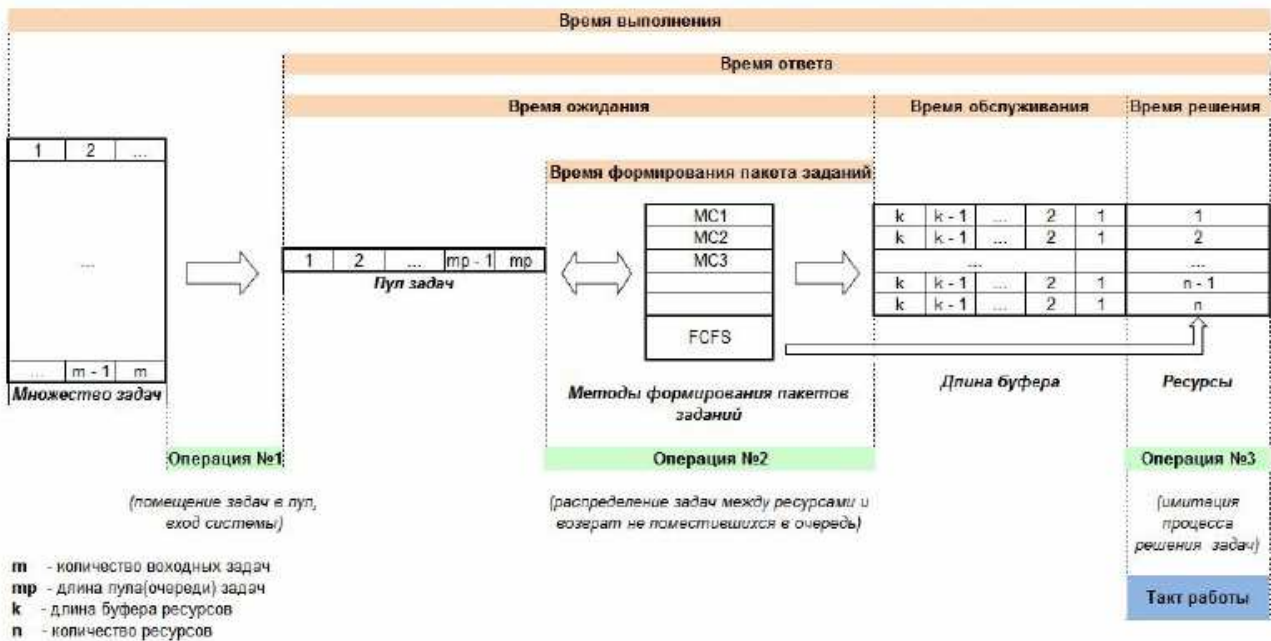


Рис. 1. Структурная схема модели Grid системы

Моделирование работы кластера осуществляется пошагово.

- Шаг 1. Выполняется операция №1. На вход системы подается установленное количество задач.
- Шаг 2. Выполняется операция №2. Формируется пакет заданий установленным методом.
- Шаг 3. Выполняется операция №3. Имитируется процесс решения для всех задач, которые на текущий момент времени уже находятся в ресурсе. Выполняется такое количество тактов, которое было потрачено на формирование пакета заданий.
- Шаг 4. Выполняется операция №3. Имитируется процесс решения задач, пока не наступает следующий период планирования или не будут решены все задачи.
- Шаг 5. Переход к выполнению шага №1.

2. Элементы модели

Представленная модель включает в себя следующие элементы:

- 1) множество задач - это набор задач, которые подаются на Grid-систему для моделирования процесса ее работы;
- 2) множество ресурсов - набор ресурсов, которые выполняют решения множества задач поданных на Grid-систему;
- 3) параметры моделирования - набор параметров, определяющих режим работы и характеристики модели Grid-системы;
- 4) методы планирования - набор методов, которыми Grid-система распределяет входящие вызовы между ресурсами.

2.1 Множество задач

Под термином задача подразумевается структура с набором следующих характеристик [2]:

- универсальность;
- типы ресурсов, на которых задача может быть решена;
- сложность решения;
- приоритет.

Характеристики задач определяются параметрами множества.

2.1.1 Параметры множества задач

В модели, для процесса работы Grid-системы, необходимо установить определенные параметры множества задач.

- Количество задач - общее количество задач во множестве.
- Количество типов ресурсов - максимальное число типов ресурсов, на которых могут быть решены задачи. Для совместимости, количество типов ресурсов в множестве задач должно совпадать с одноименным параметром в множестве ресурсов, на которых планируется решать данное множество задач.
- Универсальность - максимальное значение универсальности задач во всем множестве. Универсальность определяет количество типов ресурсов, которыми может быть решена задача.
- Закон распределения универсальности - случайный закон, по которому задачам будет назначена универсальность. Максимально возможное значение определяется параметром «Универсальность», минимальное значение равно 1.

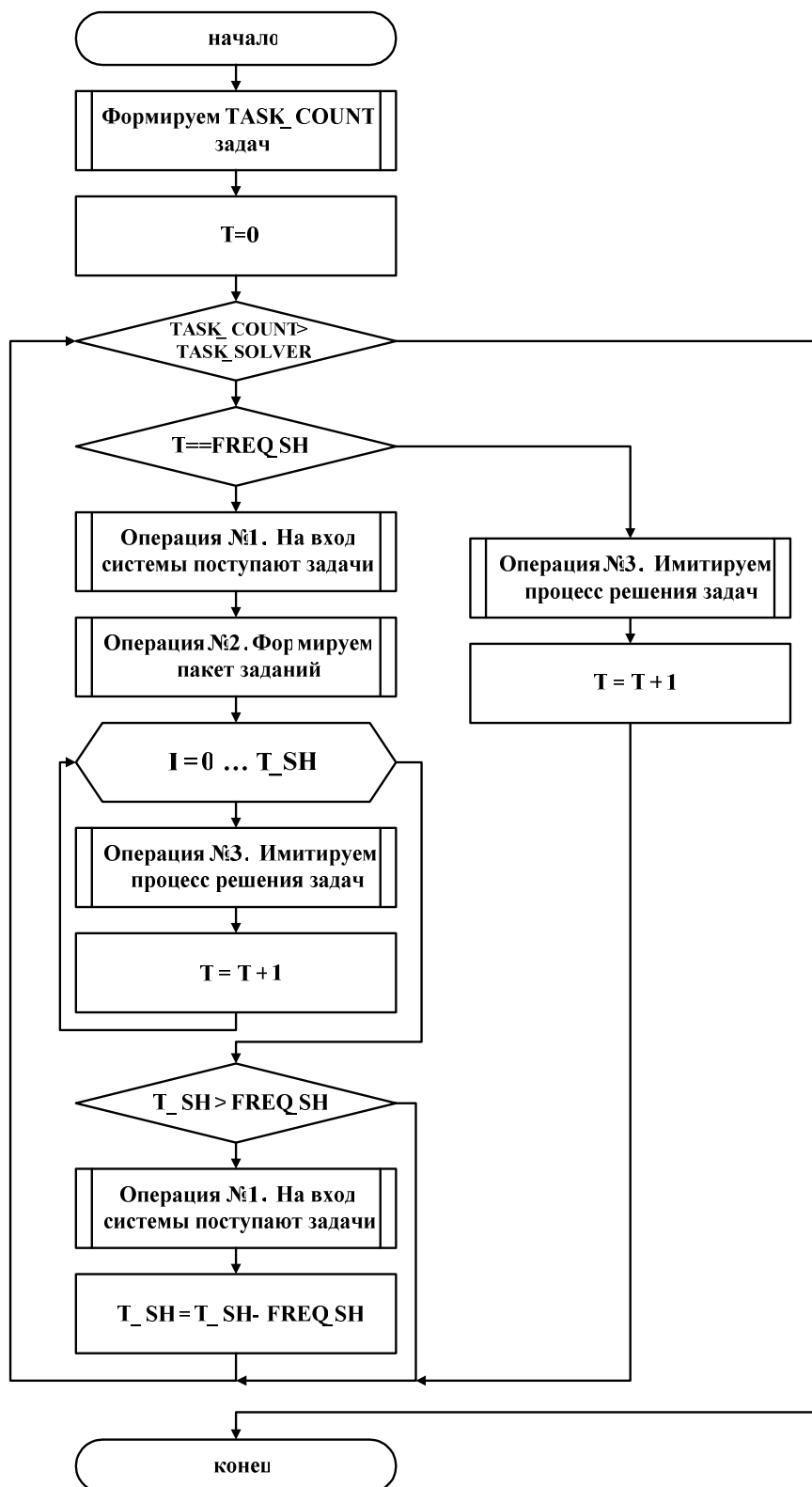


Рис. 2. Алгоритм моделирования процесса работы типowego кластера Grid-системы: TASK_COUNT - количество задач которые будут поданы на вход системы за все время моделирования процесса работы кластера; TASK_SOLVER - количество решенных задач; T - такт работы системы; T_SH – время, потраченное при формировании пакета заданий; FREQ_SH - период формирования пакета заданий (период планирования).

- Количество уникальных задач - процент задач, которые могут решаться только одним ресурсом, относительно общего количества задач. Принимает значения от 0 % до 100 %.
- Сложность решения - максимальное значение сложности решения задач во всем множестве. Сложности решения задачи определяет количество тактов, которое будет потрачено на решение задачи ресурсом с производительностью 1 такт.
- Закон распределения сложности решения - случайный закон, по которому задачам будет назначена сложность решения. Максимально возможное значение определяется параметром «Сложность решения» минимальное значение равно 1.
- Суммарная сложность решения - сумма сложностей решения всех задач множества. Параметр не задается пользователем. Подсчитывается при создании множества задач.
- Приоритет - максимальное значение приоритета задач во всем множестве. Приоритет задачи определяет важность решения задачи в условных единицах.

- Закон распределения приоритета - случайный закон, по которому задачам будет назначен приоритет. Максимально возможное значение определяется параметром «Приоритет», минимальное значение равно 1.

2.1.2 Создание множества задач

Для создания множества задач, которое будет дано на Grid-систему, необходимо выполнить нижеперечисленные действия:

1. Задать параметры множества в таблице «Входящие задачи».
2. Выбираем команду в пункте меню «Операции»> «Создать задачи» или используется сочетание клавиш «Ctrl + M» или нажимаем кнопку создания (с иконкой плюс) на панели управления внизу списка множеств задач.

В списке множеств появилось название только что созданного множества задач T5000_20_2497543 (рис. 3).

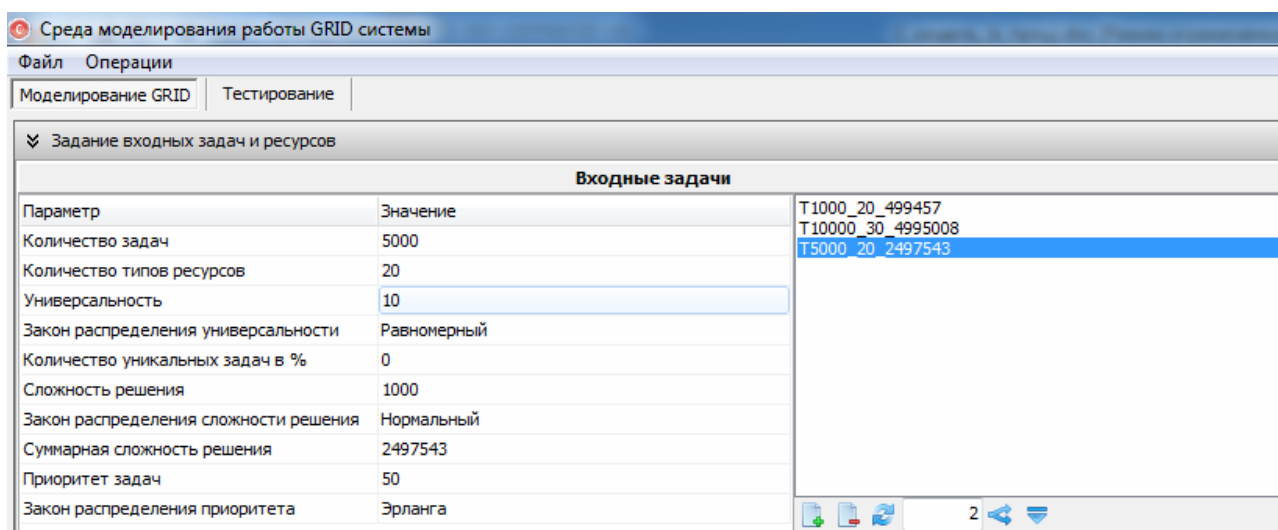


Рис. 3. Создание множества задач: T – Tasks (задачи), 5000 - количество задач во множестве, 20 - количество типов ресурсов, 2497543 - суммарная сложность решения задач

Щелкнув мышкой на множестве, в списке открывается окно с развернутыми характеристиками множества (рис. 4).

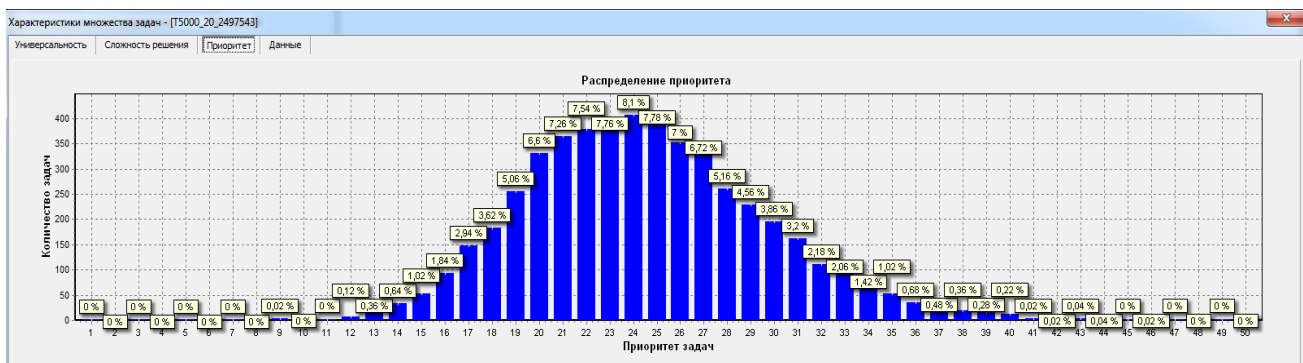
Множество задач можно разбить на подзадачи, при этом суммарная сложность решения задач остается прежней, увеличивается только количество задач. Таким образом, моделируются сложные задачи, которые при решении можно разбить на подзадачи и решать параллельно на разных ресурсах. Для разбиения ранее созданного множества задач на подзадачи необходимо:

1. В панели управления под списком множества задач установить коэффициент.
 2. Выбрать команду в пункте меню «Операции»> «Размножить задачи» или использовать сочетание клавиш «Ctrl + O», или нажать кнопку разбиение множества на подзадачи (с иконкой разветвления стрелок) на панели управления внизу списка множеств задач.
- В списке появится новое множество с большим количеством задач, но точно такой же сложностью решения.

Характеристики множества задач - [T5000_20_2497543]

№	Сложность	Приоритет	Универсальность	Типы ресурсов
0	500	33	6	1, 7, 9, 15, 16, 18,
1	500	24	9	3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 16, 17,
2	501	29	2	6, 19,
3	498	15	2	2, 19,
4	499	23	5	1, 11, 12, 13, 15,
5	500	25	10	0, 2, 7, 9, 12, 14, 15, 17, 18, 19,
6	498	26	8	3, 5, 7, 9, 13, 16, 18, 19,
7	501	34	8	2, 3, 4, 8, 10, 13, 14, 19,
8	500	25	9	3, 4, 5, 6, 7, 9, 12, 13, 15,
9	499	24	7	2, 6, 8, 11, 13, 14, 17,
10	499	30	3	5, 8, 19,
11	499	24	3	1, 11, 18,
12	501	31	6	1, 2, 3, 7, 9, 11,
13	501	24	10	3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 16, 19,
14	499	19	6	10, 11, 13, 14, 15, 18,
15	499	34	2	8, 12,

а)



б)

Рис. 4. Развернутые характеристики множества задач: а) список всех характеристик; б) приоритет задач

Среда моделирования работы GRID системы

Файл Операции

Моделирование GRID Тестирование

Задание входных задач и ресурсов

Входные задачи		Ресурсы	
Параметр	Значение	Параметр	Значение
Количество задач	5000	Количество ресурсов	10
Количество типов ресурсов	20	Количество типов ресурсов	5
Универсальность	10	Закон распределения типов	Равномерный
Закон распределения универсальности	Равномерный	Производительность	10
Количество уникальных задач в %	0	Закон распределения производительности	Равномерный
Сложность решения	1000	Суммарная производительность	
Закон распределения сложности решения	Нормальный	Длина буфера	10
Суммарная сложность решения	2497543	Тип буфера	Последовательный
Приоритет задач	50		
Закон распределения приоритета	Эрланга		

Разделить множество задач оставляю суммарную сложность такой же

Рис. 5. Деление множества задач на подзадачи

Для сохранения на жестком диске, или переносом накопителе, или в облаке созданное множество задач нужно выбрать команду в меню «Файл»> «Сохранить задачи» или нажать «Ctrl + T».

2.2 Множество ресурсов

Набор ресурсов, которые выполняют решение множества задач, поданных на Grid-систему. Ресурс является структурой с набором следующих характеристик:

- тип;
- производительность.

Характеристики задач определяются параметрами множества.

2.2.1 Параметры множества ресурсов.

В модели есть возможность задавать параметры для множества ресурсов.

- Количество ресурсов - общее количество ресурсов во множестве.
- Количество типов ресурсов - максимальное число типов ресурсов. Обозначается номером по порядку.
- Закон распределения типов - случайный закон, по которому ресурсам будет назначен тип. Максимально возможное значение определяется параметром «Количество типов ресурсов», минимальное значение - 0.
- Производительность - максимальное значение производительности ресурса во всем множестве. Производительность ресурса определяют количество тактов сложности решения задачи, которое будет выполнено ресурсом за один 1 такт.
- Закон распределения производительности -

случайный закон, по которому ресурсам будет назначена производительность. Максимально возможное значение определяется параметром «Производительность», минимальное значение равно 1.

- Суммарная производительность - сумма производительностей всех ресурсов множества. Параметр не задается пользователем. Подсчитывается при создании множества ресурсов.
- Длина буфера - размер буферов всех ресурсов множества. Определяет количество задач, которые могут быть поставлены в очередь на решение к ресурсу.
- Тип буфера - характер поведения буфера в процессе имитации решения задач. Последовательный - задачи последовательно по одной решаются ресурсом. Параллельный - все задачи в буфере решаются ресурсом одновременно.

2.2.2 Создание множества ресурсов

Для создания множества ресурсов, которыми будет решаться множество поданных на Grid-систему задач, необходимо выполнить следующие действия:

- 1) задать параметры множества в таблице «Ресурсы»;
 - 2) нажать кнопку создания (с иконкой плюс) на панели управления внизу списка множеств ресурсов.
- В списке множеств появится название только что созданного множества ресурсов R30_121 (рис. 6).

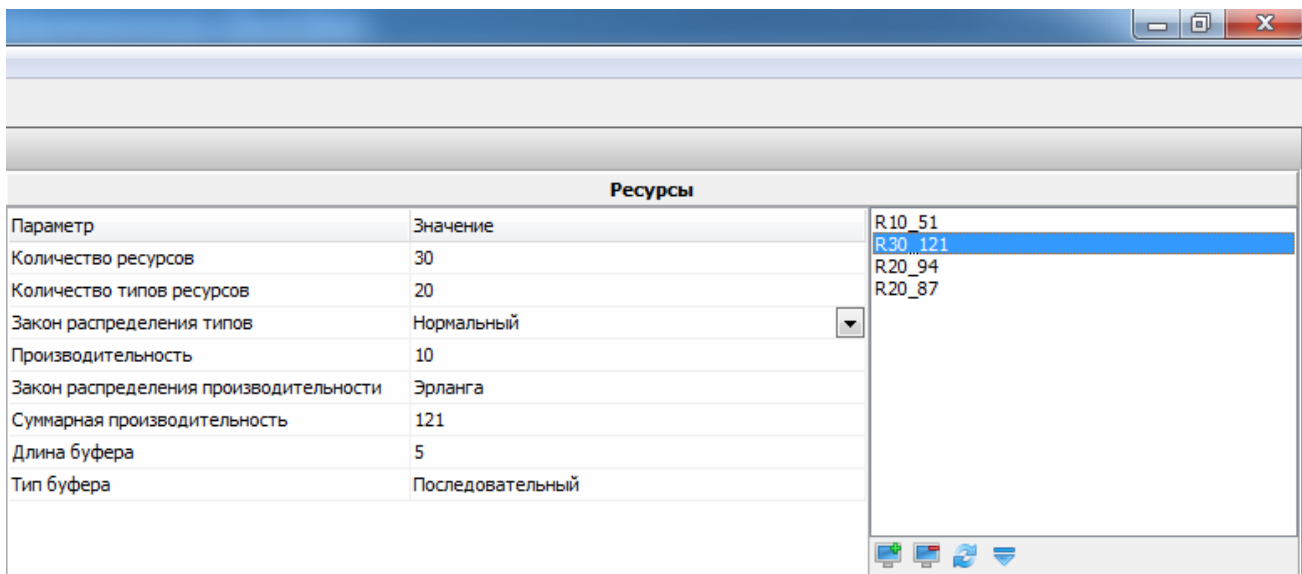


Рис. 6. Создание множества ресурсов: R – Resours (ресурсы), 30 - количество ресурсов в множестве, 121 - суммарная производительность ресурсов

Щелкнув мышкой на множестве, в списке откроется окно с развернутыми характеристиками множества (рис. 7).

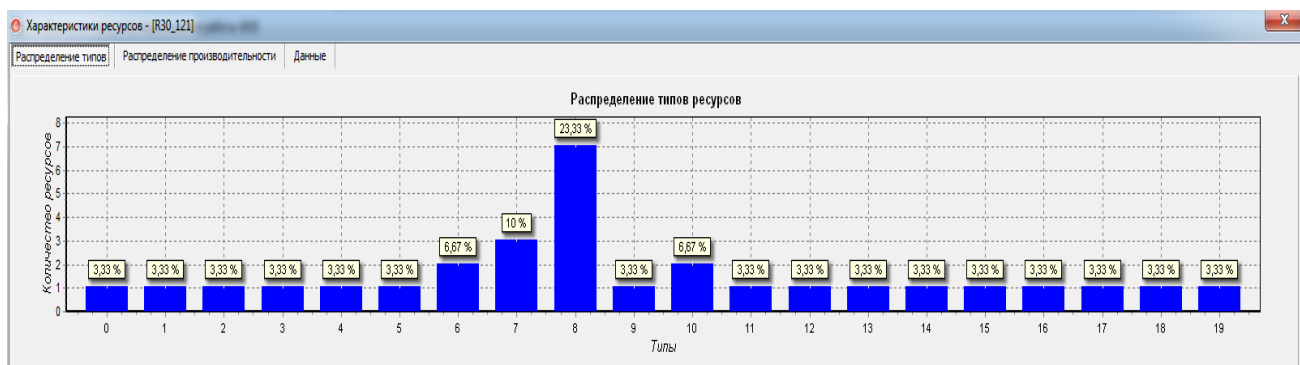
Для сохранения на жестком диске, либо переносном накопителе, либо в облаке созданного множества задач, нужно выбрать команду в меню «Файл» > «Сохранить ресурсы» или «Ctrl + R».

Характеристики ресурсов - [R30_121]

Распределение типов Распределение производительности Данные

№	Тип	Производительность
0	8	3
1	7	1
2	1	4
3	7	1
4	10	3
5	2	5
6	17	4
7	19	4
8	4	10
9	12	5
10	13	3

а)



б)

Рис. 7. Развернутые характеристики множества ресурсов:
а) список всех характеристик; б) распределение типов ресурсов

2.3 Параметры моделирования

Задаются следующие параметры, определяющие режим работы и характеристики модели GRID системы:

- задачи - множество задач, которое будет подано на систему в процессе моделирования;
- ресурсы - множество ресурсов системы, на которых будут решаться задачи при моделировании;
- интенсивность - максимальное количество задач, которое поступит на вход системы, при очередном такте планирования;
- закон распределения интенсивность - случайный закон, по которому задачи будут распределены для последовательного поступления на вход системы. Максимально возможное значение определяется параметром «Интенсивность», минимальное значение - 0;
- отчужденность - максимальное количество вышедших из строя ресурсов на очередном такте планирования. Задается в процентах от 0 % до 100 % относительно количества ресурсов;

- закон распределения отчужденности - случайный закон, по которому распределяется отчужденность для каждого такта планирования. Максимальное значение определяется параметром «Отчужденность», минимальное - 0;
- длина пула - максимальное количество задач, которые может поместить система для дальнейшей обработки;
- задержка - количество тактов, которое затрачивает система на передачу задачи из буфера в ресурс на решение;
- частота планирования - количество тактов, которое проходит между планированиями. Так же является количеством тактов между поступлениями новых задач на вход системы;
- коэффициент планирования - коэффициент, на который уменьшается количество операций, выполненное планировщиком для перевода операций, использованных на планирование в затраченное время, которое в системе выражается в условных единицах – тактах.

2.4 Установка параметров работы Grid-системы

Для ввода задач и ресурсов необходимо в списке множеств соответственно выбрать ресурсы и задачи и нажать кнопку с иконкой в виде стрелки, направленной вниз на панели управления списков

ресурсов и задач. Тут же имена множеств будут отображены в полях соответствующих параметров во вкладке «Параметры моделирования работы Grid-системы».

Параметры моделирования работы GRID системы		
Задачи	T5000_20_2497543	<input checked="" type="checkbox"/> Метод планирования на основе поиска минимального покрытия MC
Интенсивность	20	<input checked="" type="checkbox"/> Оптимизированный метод планирования на основе поиска минимального покрытия MCO
Закон распределения интенсивности	Постоянный	<input checked="" type="checkbox"/> Метод планирования на основе точного метода поиска минимального покрытия MCA
Ресурсы	R30_121	<input checked="" type="checkbox"/> Метод планирования на основе поиска минимального покрытия жадным методом GREEDE
Отчужденность	10	<input checked="" type="checkbox"/> Метод планирования FCFS
Закон распределения отчужденности	Постоянный	<input checked="" type="checkbox"/> Метод планирования на основе решения задачи нелинейного программирования NLP
Длина пула	50	
Задержка	100	
Частота планирования	100	
Коэффициент планирования	1000	

Рис. 8. Установка параметров работы Grid-системы

3 Методы планирования

Набор методов, которыми Grid-система распределяет входящие задачи между ресурсами. В данной модели есть возможность проводить исследования, основываясь на приведенных ниже методах планирования выполнения заданий.

- Метод планирования MC. Метод основан на поиске наименьшего числа ресурсов, которыми можно решить все задачи. Для поиска наименьшего числа ресурсов, используется приближенный «Частотный метод».

Алгоритм работы MC:

1. Определяются соответствия между задачами и ресурсами, на которых они могут решаться.
2. Решается задача поиска минимального покрытия частотным методом.
3. Задачи помещаются в буферы ресурсов, вошедших в минимальное покрытие.
4. Если поместились все задачи, заканчивается процедура планирования. Иначе задачи возвращаются в пул и происходит переход к «Операции №2».

В процессе планирования задачи, у которых не осталось свободных ресурсов, которые могут их решить, помещаются обратно в пул.

- Метод планирования MCO. Метод основан на поиске наименьшего числа ресурсов, которыми можно решить все задачи с добавлением операции оптимизации, которая заключается в том, что в первую очередь загружаются более свободные ресурсы [3, 4]. Для поиска наименьшего числа ресурсов, используется приближенный «Частотный метод».

Алгоритм работы MCO:

1. Определяются соответствия между задачами и ресурсами, на которых они могут решаться.
2. Решается задача поиска минимального покрытия частотным методом.

3. Задачи помещаются в буферы ресурсов, вошедших в минимальное покрытие, в первую очередь помещаем в более свободные ресурсы.

4. Если поместили все задачи, заканчиваем процедуру планирования. Иначе задачи возвращаются в пул, и происходит переход к «Операции №2».

В процессе планирования задачи, у которых не осталось свободных ресурсов, которые могут их решить, помещаются обратно в пул.

- Метод планирования MCA. Метод основан на поиске наименьшего числа ресурсов, которыми можно решить все задачи. Для поиска наименьшего числа ресурсов используется точный «Ранговый метод».

Алгоритм работы MCA:

1. Определяются соответствия между задачами и ресурсами, на которых они могут решаться.
2. Решается задача поиска минимального покрытия ранговым методом.
3. Задачи помещаются в буферы ресурсов, вошедших в минимальное покрытие.
4. Если поместили все задачи, заканчиваем процедуру планирования. Иначе возвращаем задачи в пул, и происходит переход к «Операции №2».

В процессе планирования задачи, у которых не осталось свободных ресурсов, которые могут их решить, помещаются обратно в пул.

- Метод планирования GREEDE. Метод основан на поиске наименьшего числа ресурсов, которыми можно решить все задачи. Для поиска наименьшего числа ресурсов, используется приближенный «Жадный метод».

Алгоритм работы GREEDE:

1. Определяются соответствия между задачами и ресурсами, на которых они могут решаться.
2. Решается задача поиска минимального покрытия.

3. Задачи помещаются в буферы ресурсов, вошедших в минимальное покрытие.

4. Если поместили все задачи, заканчиваем процедуру планирования. Иначе возвращаем задачи в пул, и происходит переход к «Операции №2».

В процессе планирования задачи, у которых не осталось свободных ресурсов, которые могут их решить, помещаются обратно в пул.

- Метод планирования FCFS. Метод основан на принципе «первым пришел, первым обслужился».

Алгоритм работы FCFS:

1. Определяются соответствия между задачами и ресурсами, на которых они могут решаться.

2. Берется первая по порядку задача из пула и помещается в первый свободный ресурс, которым она может быть решена, если таких ресурсов не оказалось задача возвращается в пул.

3. Процедура планирования прекращается после обработки последней в пуле задачи.

В данном методе не используется буфер, задачи сразу посылаются на решение ресурсу, если он свободен.

- Метод планирования NLP. Метод основан на поиске на решении задачи нелинейного программирования, который заключается в том, что алгоритм находит максимальное количество задач с суммарным максимальным приоритетом, которые могут быть помещены в буфер свободных ресурсов.

Алгоритм работы NLP:

1. Определяются соответствия между задачами и ресурсами, на которых они могут решаться.

2. Решается задача нелинейного программирования.

3. Задачи помещаются в буферы ресурсов, если остались задачи, для которых еще есть свободные ресурсы, происходит переход к «Операции №2», если таких задач нет - процедура планирования заканчивается.

В процессе планирования задачи, у которых не осталось свободных ресурсов, которые могут их решить, помещаются обратно в пул.

4 Исследуемые характеристики работы Grid-системы.

В данной модели, в процессе работы Grid-системы, исследуются приведенные ниже характеристики.

- Время выполнения – количество тактов работы системы, за которое было решено все множество задач поданных на вход Grid-системы.

$$t_s = t_{end} - t_{begin}, \tag{1}$$

где t_{begin} - такт поступления первой задачи в пул системы;

t_{end} - такт решения системой последней задачи.

- Время ответа – среднее количество тактов, за которое была решена одна задача в режиме моделирования Grid-системы.

$$t_r = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_{ri}, \tag{2}$$

где m - количество задач, которые были решены системой;

t_{ri} - количество тактов i -ой задачи с момента попадания в пул системы до момента её решения системой.

- Максимальное время ответа – максимальное количество тактов, за которое была решена одна задача.

$$t_{rmax} = \max_{0 < i \leq m} t_{ri}, \tag{3}$$

где m - количество задач, которые были решены системой;

t_{ri} - количество тактов i -ой задачи с момента попадания в пул системы до момента её решения системой.

- Время ожидания - среднее количество тактов, которое ожидали задачи на входе системы до последующей обработки.

$$t_w = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_{wi}, \tag{4}$$

где m - количество задач, которые были решены системой;

t_{wi} - количество тактов i -ой задачи с момента попадания в пул системы до момента назначения ресурса, который будет ее решать, и отправки ее в буфер назначенного ресурса(время нахождения задачи в пуле системы).

- Время обслуживания – среднее количество тактов, которое задачи находились в буфере назначенного ресурса до начала их решения данным ресурсом.

$$t_s = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_{si}, \tag{5}$$

где m - количество задач, которые были решены системой;

t_{si} - количество тактов i -ой задачи с момента попадания в буфер назначенного ресурса до начала ее решения данным ресурсом (время нахождения задачи в буфере ресурса).

- Время планирования – среднее количество тактов, которое было затрачено системой на планирование.

$$t_p = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p t_{pi}, \quad (6)$$

где p - количество планирований, произведенных системой, за время решения всех задач;

t_{pi} - количество тактов, затраченное системой на i -ое планирование.

- Коэффициент использования – среднее геометрическое значение коэффициентов использования всех ресурсов. Коэффициент использования ресурса – отношение суммы приоритетов всех решенных задач этим ресурсом к сумме приоритетов всех задач из входного множества, которые могли быть решены на данном ресурсе:

$$r_u = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n r_{ui}}, \quad (7)$$

$$r_{ui} = \frac{\sum_{j=1}^{m_{si}} \text{Pr}_j}{\sum_{j=1}^{m_i} \text{Pr}_j}, \quad (8)$$

где n - количество ресурсов в системе;

r_{ui} - коэффициент использования i -ого ресурса;

m_{si} - количество задач, которые были решены i -м ресурсом;

m_i - количество задач из общего множества входных задач, которые могли быть решены i -м ресурсом;

Pr_j - приоритет j -ой задачи.

- Коэффициент загрузки – среднее геометрическое значение коэффициентов загрузки всех ресурсов. Коэффициент производительности ресурса - отношение количества решенных задач этим ресурсом к количеству всех задач из входного множества, которые могли быть решены на данном ресурсе:

$$r_l = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n r_{li}}, \quad (9)$$

$$r_{li} = \frac{m_{si}}{m_i}, \quad (10)$$

где n - количество ресурсов в системе;

r_{li} - коэффициент использования i -ого ресурса;

m_{si} - количество задач, которые были решены i -м ресурсом;

m_i - количество задач из общего множества входных задач, которые могли быть решены i -м ресурсом.

- Коэффициент важности - среднее геометрическое отношения суммарного приоритета задач, которые были помещены в буферы в результате планирования, к суммарному приоритету задач, находившихся в пуле:

$$r_i = \sqrt[p]{\prod_{j=1}^p r_{ij}}, \quad (11)$$

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{m_{pj}} \text{Pr}_k}{\sum_{k=1}^{m_{wj}} \text{Pr}_k}, \quad (12)$$

где p - количество планирований, произведенных системой за время решения всех задач;

r_{ij} - отношение приоритета задач, помещенных в буфер ресурсов в результате планирования, к приоритету задач, находившихся в пуле системы, на j -ом планировании;

m_{pj} - количество задач, которые были распланированы между ресурсами (помещены в буфер ресурсов) при j -ом планировании;

m_{wj} - количество задач, которые находились в пуле при j -ом планировании;

Pr_k - приоритет k -ой задачи.

- Коэффициент сохранения важности - среднее геометрическое отношения суммарного приоритета задач, которые были помещены в буферы в результате планирования после отказа случайного количества ресурсов, к суммарному приоритету задач, которые были помещены в буферы в результате планирования до отказа ресурсов:

$$r_s = \sqrt[p]{\prod_{i=1}^p r_{si}}, \quad (13)$$

$$r_{si} = \frac{\sum_{k=1}^{m_{fi}} Pr_k}{\sum_{k=1}^{m_{pi}} Pr_k}, \quad (14)$$

где p - количество планирований, произведенных системой за время решения всех задач;

r_{si} - отношение приоритета задач, помещенных в буферы ресурсов после планирования при случайном отказе ресурсов, к приоритету задач помещенных в буферы ресурсов после планирования до отказа ресурсов, на i -ом планировании;

m_{pj} - количество задач, которые были распланированные между ресурсами (помещены в буфер ресурсов) до отказа случайного количества ресурсов, на j -ом планировании;

m_{fi} - количество задач, которые были распланированные между ресурсами (помещены в буфер ресурсов) после отказа случайного количества ресурсов, на j -ом планировании;

Pr_k - приоритет k -ой задачи.

• Коэффициент ускорения – отношение расчетного времени выполнения задач, решаемых

последовательно одним ресурсом с производительностью, равной средней производительности всех ресурсов Grid, к времени выполнения этих же задач Grid-системой:

$$r_a = \frac{t_{oe}}{t_g}, \quad (15)$$

$$t_{oe} = \frac{S}{P}, \quad (16)$$

где t_{oe} - расчетное время последовательного решения задач одним ресурсом с производительностью, равной средней производительности ресурсов Grid;

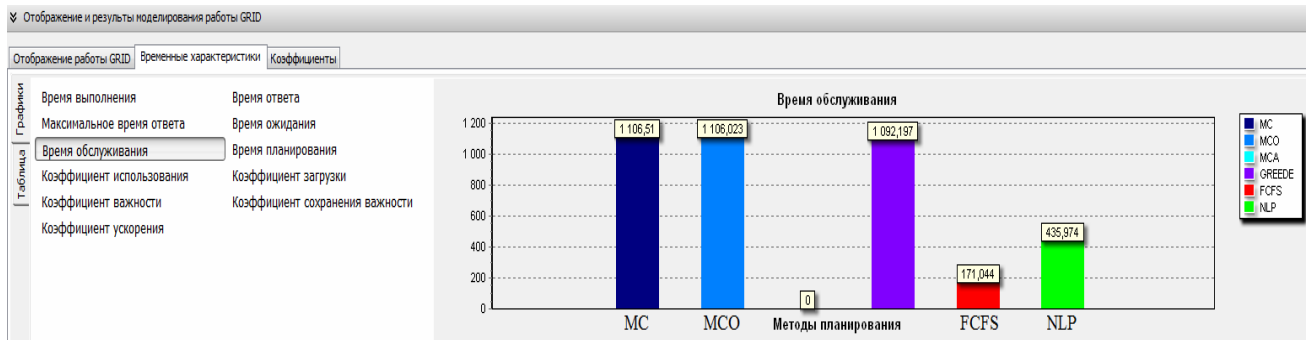
t_g - время выполнения задач Grid-системой;

S - суммарная сложность решения всех задач;

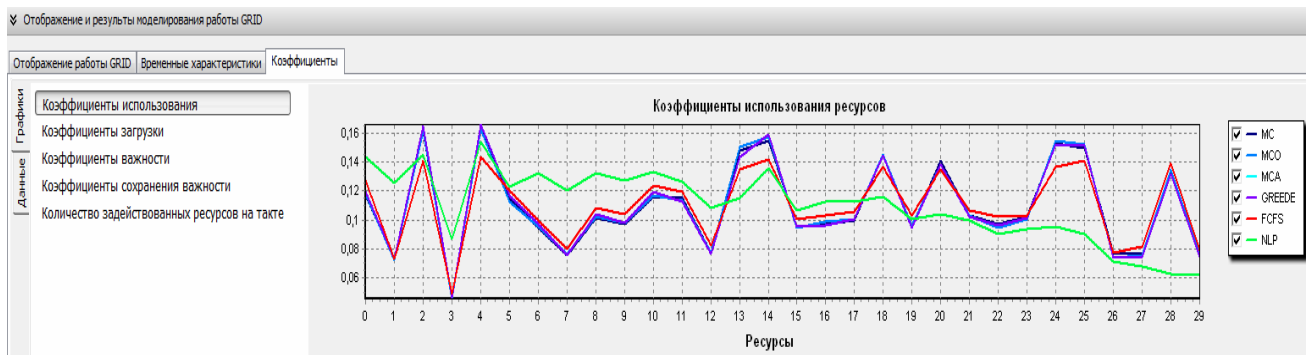
P - средняя производительность всех ресурсов Grid.

5. Отображение исследуемых характеристик

Исследуемые характеристики выводятся на графики и в таблицу, которые находятся во вкладках «Временные характеристики» и «Коэффициенты».



а)



б)

Рис. 9. Вывод исследуемых характеристик: а) временные характеристики, б) коэффициенты

Выводы

В данной статье представлена имитационная модель, которая позволяет пользователю в ручном режиме изменять параметры работы Grid-системы, включая методы планирования, которые и являются предметом исследования данной модели, и получать результат в подробной форме с графиками. Также приведено математическое описание исследуемых характеристик.

Литература

1. Минухин С.В. Модели и методы решения задач планирования в распределенных вычислительных системах [Текст]: [Монография] – Х.: Щедрая усадьба плюс, 2014. - 323 с.
2. В.С. Пономаренко Методы и модели планирования ресурсов в GRID-системах [Текст] / С.В. Листровой, С.В. Минухин, С.В. Знахур. : [Монография] – Х.: ИНЖЭК, 2008. – 407 с.
3. Листровой С.В. Общий подход к решению задач оптимизации в распределенных вычислительных системах и теории построения интеллектуальных систем [Текст] / С.В. Листровой, С.В. Минухин // Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатика» - 2010. - №2. - С.65-82.
4. S.V. Listrovoy, S.V. Minukhin «General Approach to Solving Optimization Problems in Distributed Computing Systems and Theory of Intelligence Systems Construction» // Journal of automation and information sciences Volume 42, Number 3, 2010, P. 30-46.

Лістровий С.В., Курцев М.С. Математична і імітаційна модель планування виконання завдань в кластері Grid-системи. У статті розглядається опис імітаційної моделі роботи Grid-системи, яка дозволяє порівняти існуючі методи планування виконання завдань в розподілених обчислювальних системах. Також показано математичний опис параметрів, які в ній досліджуються. Наведено описані методів планування виконання завдань.

Ключові слова: Grid, розподілені обчислення, планування, кластер, методи планування виконання завдань.

description of the main parameters as well as temporary factors of the Grid-System have also been shown. The given simulation model examines time parameters, such as execution time, response time, maximum response time, service time, planning time. In addition, the presented model investigates and gets experimental results, such as utilization factor, capacity factor, importance factor, the factor of importance preservation and the acceleration factor. A detailed description of all six methods based on which the model simulates Grid-systems, including the algorithm of each of them has been presented. These are the main results of the simulation of Grid in the form of graphs and charts.

Key words: Grid, distributed computing, scheduling, cluster, methods of scheduling task performance.

Рецензент д.т.н., професор Мойсеєнко В.І. (УкрДУЗТ)

Поступила 29.02.2016 р.

Listrovoy Sergiy, Dr. of tech. science, professor, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.

Kurtsev Maksym, graduate student, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.

Лістровий Сергій Володимирович, доктор технічних наук, професор, Український державний університет залізничного транспорту.

Курцев Максим Сергійович, аспірант, Український державний університет залізничного транспорту.

Listrovoy S.V., Kurtsev M.S. A mathematical and simulation model of planning and execution of tasks in Grid-system cluster. The article deals with the description of the simulation model of Grid-system work which allows you to compare the existing methods of scheduling task performance in distributed computing systems. An algorithm for the simulation model of Grid-cluster system work has been presented. A detailed mathematical