

6. Rakhteenko V. Ye. Kakoy raschetnyy servis nuzhen postavshchikam ZhKU [What kind of billing service do utility services providers need]. *ZhKKh: Zhurnal rukovoditelya i glavnogo bukhgaltera* [Housing and Communal Services: Magazine of Director and Chief Accountant], 2005, no. 11, part 1, pp. 21–24.

7. Selko D. *SQL dlya professionalov. Programmirovaniye* [SQL for smarties. Programming]. Moscow, Lori Publ., 2009. 442 p.

8. Fedosin A. S., Savkina A. V. Problemy kachestva dannykh v avtomatizirovannykh sistemakh kommercheskogo ucheta potrebleniya energoresursov [Data quality issues for energu management systems]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 2, pp. 158–164.

9. Solver Foundation. *DevLabs*. Available at: <http://msdn.microsoft.com/en-us/devlabs/hh145003.aspx> (accessed 20 November 2014).

УДК 004.94, 519.872

ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ КЛАСТЕРОВ И ГРИД-СИСТЕМ¹

Статья поступила в редакцию 10.12. 2014, в окончательном варианте 08.02. 2015

Гаевой Сергей Владимирович, аспирант, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, e-mail: gaevserge@mail.ru

Фоменков Сергей Алексеевич, доктор технических наук, профессор, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, e-mail: saf@vstu.ru

Лукьянов Виктор Сергеевич, доктор технических наук, профессор, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Ленина, 28

В данной статье описывается управление стратегиями (эвристиками) распределения заданий в Грид-системе. Грид-система в рамках данной работы принимается состоящей из кластеров. Каждая кластерная система представлена в виде системы массового обслуживания (СМО), которая выполняет поступающие задания. Очередь полагается неограниченной из-за требования выполнить все задания. Стратегии позволяют балансировать нагрузку между кластерами Грид-системы. Рассматриваются детерминированная и стохастическая имитационные модели кластера и Грид-системы. Обе модели основаны на реальных записях параллельных нагрузок (представленных в виде SWF-логов), которые свободно доступны в Parallel Workloads Archive. В рамках данной статьи каждая нагрузка считается состоящей из трех значений. Каждая из них содержит время прихода задания, ширину и длину задания. Ширина – это количество вычислительных машин, которые необходимы для выполнения задания. Длина – это время выполнения задания на некоторой платформе. Площадь (сложность) является произведением длины и ширины. Предложены модели стохастической аппроксимации нагрузок с использованием распределений случайной величины. Дается список из десяти эвристик. Эти эвристики учитывают длину очереди, ее ширину, загрузку системы, использование ресурсов и т.п. Пользовательские оценки времени выполнения заданий крайне не точны по отношению к реальным временам выполнения. Поэтому мы не применяем пользовательские оценки. Детерминированная и стохастическая модели как кластерной, так и Грид-системы показывают аналогичный результат, поэтому мы можем предположить, что обе модели являются правильными. Если SWF-лог содержит некоторые аномалии, то результаты могут быть различными. Это означает, что информация из лога не в полной мере описывает поведение кластера. Разработанные модели нацелены на выбор наиболее эффективной стратегии распределения заданий.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках проектной части (проект № 2.1917.2014К_2014).

Ключевые слова: грид-системы, брокер заданий, имитационное моделирование, детерминированная имитационная модель, распределение заданий, эвристики распределения заданий, системы массового обслуживания (СМО), вычислительный кластер, parallel workloads

THE SIMULATION MODELS OF CLUSTERS AND GRID-SYSTEMS

Gaevoy Sergey V., post-graduate student, Volgograd State Technical University, 28 Lenin Av., Volgograd, 400005, Russian Federation, e-mail: gaevserge@mail.ru

Fomenkov Sergey A., D.Sc. (Engineering), Professor, Volgograd State Technical University, 28 Lenin Av., Volgograd, 400005, Russian Federation, e-mail: saf@vstu.ru

Lukyanov Viktor S., D.Sc. (Engineering), Professor, Volgograd State Technical University, 28 Lenin Av., Volgograd, 400005, Russian Federation

This paper describes the management of strategies (heuristics) for job distribution in Grid-system. Grid-system is assumed to consist of clusters. Each cluster system is represented as a queueing system (QS) that executes incoming jobs. An unlimited queue is assumed because of a requirement to execute all jobs. Strategies make allowance for balancing workload between clusters of Grid-system. In this paper the deterministic and stochastic simulation model for cluster and Grid-system are described. Both models are based on real parallel workloads (represented as SWF-logs). These parallel workloads are provided by Parallel Workloads Archive for free. In this paper each workload consists of triplets. Each triplet contains an income time, a job width and a job length. The width is an amount of faculty units being required to execute the job. The length is the time the job needs to be executed on some platform. The square (the difficulty) is a product of the length and the width. Some models for stochastic approximation of workloads are proposed. These models are accompanied by some distributions. A list of ten heuristics is given. These heuristics make allowance for queue length, queue width, system loading, system using etc. User runtime estimates are very inaccurate values. They are very different from real runtimes. Because of that we shouldn't use the heuristics containing such estimates. The deterministic and stochastic models show a similar result so that we can presume both model are correct. If a SWF-log contains some anomalies then the results can be different. That means an information from the log do not fully describe the cluster behavior. The developed models are aimed at selecting the most effective strategy of job distribution.

Keywords: Grid-systems, resource broker, simulation modeling, simulation, deterministic simulation model, job distribution, heuristics of a job distribution, queueing systems (QS), computing cluster, parallel workloads

Введение. Продуктивность использования современных средств вычислительной техники определяется не только улучшением качественных и количественных характеристик таких средств, но также планированием и реализацией совместного использования их мощностей в рамках некоторых комплексов, которые могут носить и виртуальный характер. Такой подход может рассматриваться как альтернативный (и более гибкий) по отношению к использованию суперкомпьютеров.

Целью данной работы является разработка методов повышения эффективности функционирования вычислительных кластерных и Грид-систем за счет управления распределением потока заданий (эффективность оценивается средним временем ожидания результата).

Общая характеристика проблематики работы. В данной статье представлены средства моделирования распределения заданий в Грид-системах: детерминированные и стохастические. Система Грид [29] состоит из узлов, именуемых кластерами [17]. Каждый кластер, в свою очередь, построен из вычислительных машин (каналов обслуживания). Производительность эталонной машины обозначим за единицу. Все остальные производительности можно будет пересчитать (оценить) относительно нее. Характеристиками задания являются

время прихода, ширина (число требуемых для исполнения машин кластера) и длина (время выполнения задания на эталонных машинах) [9]. Площадь представляет собой произведение длины задания на его на ширину. Шириной (площадью) очереди назовем сумму ширин (площадей), входящих в нее заданий. Длиной очереди назовем число заданий в ней. В качестве инструмента исследования нами используется дискретно-событийное имитационное моделирование. В своих предыдущих работах мы уже рассматривали различные аспекты моделирования распределенных вычислительных систем и балансировки нагрузки: 1) детерминированные дискретно-событийные модели кластерных [3, 7] и Грид-систем [7, 10]; 2) способы определения параметров систем [3, 7]; 3) стратегии распределения заданий [6, 7, 10]; 4) модели аппроксимации нагрузки вычислительных систем [4, 5]; 5) законы распределения для аппроксимации [1, 2]; 6) стохастические модели кластеров [5] и Грид-систем [6]. В качестве источника реальных данных о работе вычислительных систем мы используем архив [25]. В настоящей работе проводится обобщение указанных результатов. По результатам работ авторами был составлен и внедрен в учебный процесс Волгоградского государственного технического университета курс моделирования Грид-систем [8] – в рамках преподавания дисциплины «Вычислительные системы и сетевые технологии» на кафедре «Электронные вычислительные машины и системы».

Характеристика методов моделирования.

А. Детерминированное моделирование кластеров.

Детерминированная дискретно-событийная модель представляет собой многоканальную систему массового обслуживания (СМО), в которой задание может занимать несколько каналов обслуживания (рис. 1).

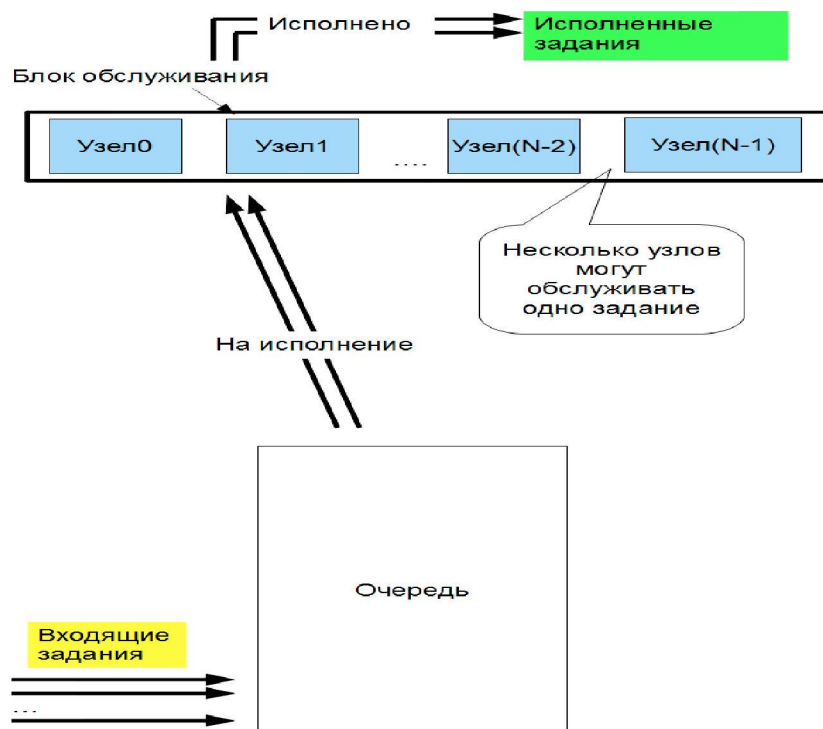


Рис. 1. Схема функционирования модели кластера

В данной работе используется дисциплина очереди «Первый подходящий». В качестве входных данных для моделирования используются логи работы реальных кластеров. Моделирование останавливается при завершении обслуживания всех заданий (рис. 2).

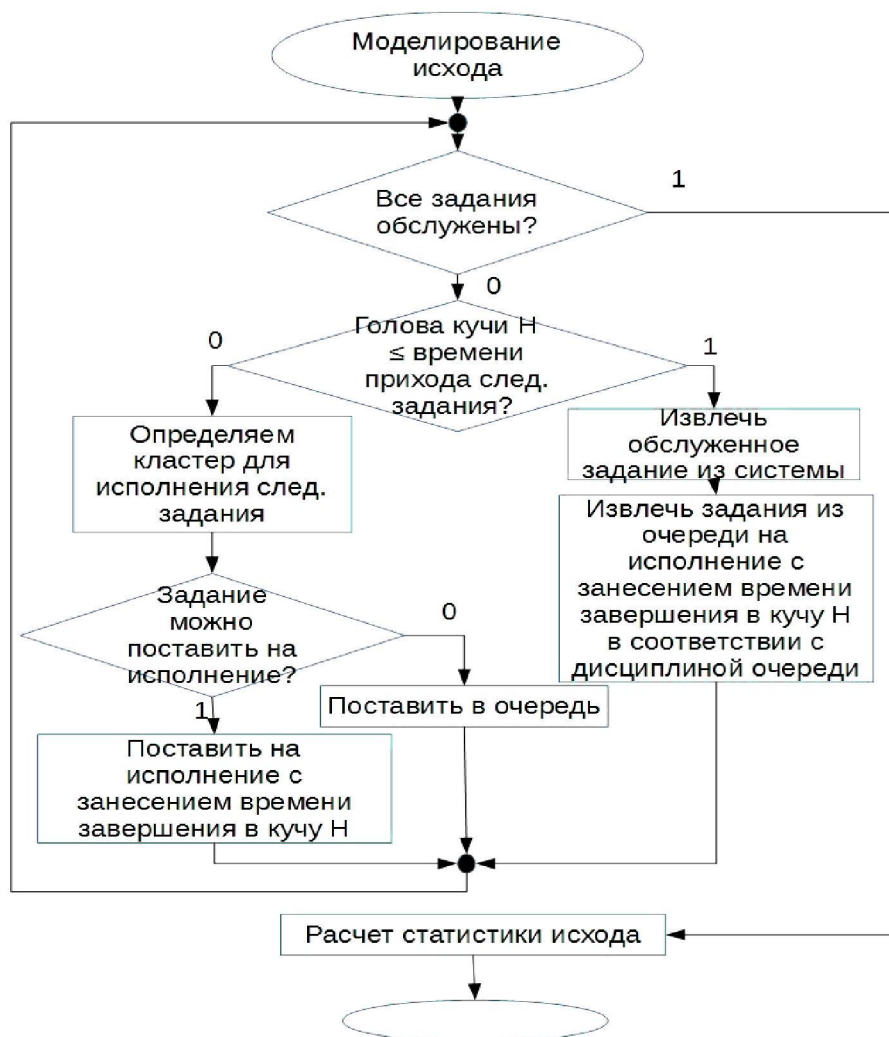


Рис. 2. Алгоритм моделирования

Более подробное описание модели дано в статьях С.В. Гасовой и других исследователей [3, 7]. Детерминированная модель позволяет ретроспективно рассмотреть обслуживание заданий в вычислительной системе. Возможно изменение параметров системы для изучения выполнения тех же заданий в иных условиях. Таким образом, мы получаем возможность ретроспективно рассматривать выполнение заданий при различных стратегиях их распределения между вычислительными центрами. Используемые логи представлены в таблице 1, а результаты моделирования – на рисунках 3–4. Самым важным является параметр «Среднее время ожидания результата»: именно он показывает, сколько времени проходит от подачи задания пользователем до получения результата.

Используемые логи кластеров

Обозначение	Лог из [25]	Число вычисл. машин
NASA iPSC	NASA-iPSC-1993-3.1-cln.swf	128
LANL CM5	LANL-CM5-1994-4.1-cln.swf	1024
SDSC Par95	SDSC-Par-1995-3.1-cln.swf	400
SDSC Par96	SDSC-Par-1996-3.1-cln.swf	400
CTC SP2 '96	CTC-SP2-1996-3.1-cln.swf	338
HPC2N	HPC2N-2002-2.1-cln.swf	240
LPC EGEE	LPC-EGEE-2004-1.2-cln.swf	140

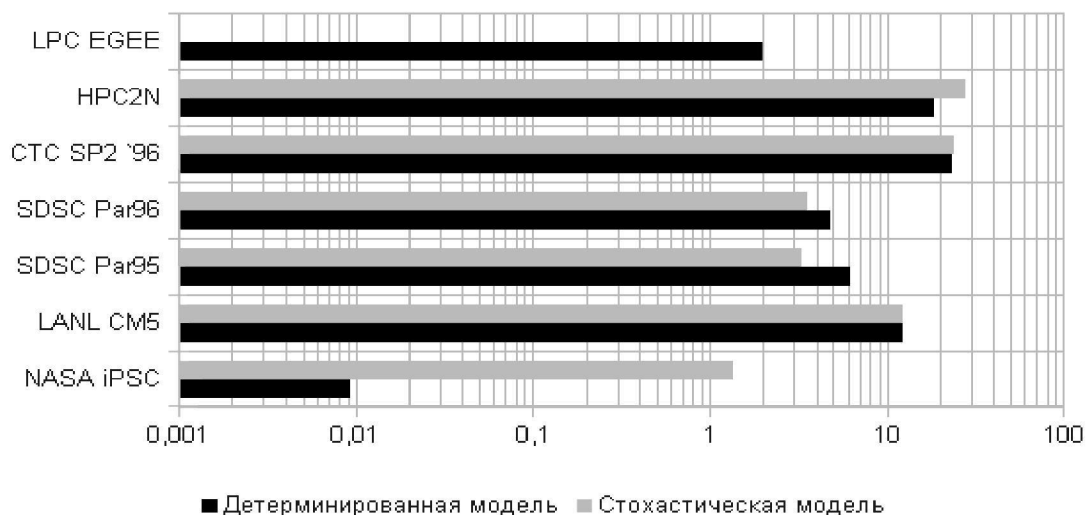


Рис. 3. Средняя длина очереди при моделировании кластеров

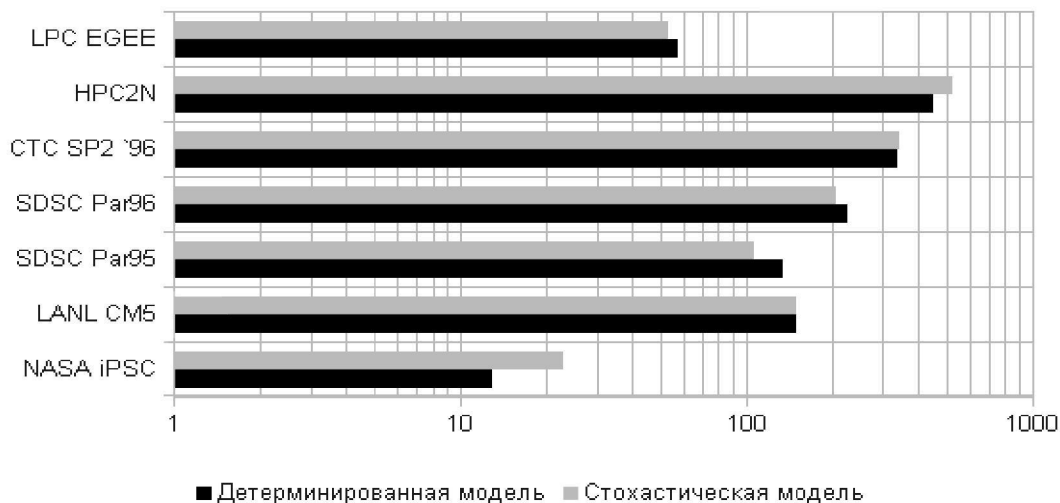


Рис. 4. Среднее время ожидания результата (мин) при моделировании работы кластеров

Отчасти предложенные схемы моделирования реализуют сторонние пакеты, например, GridSim [11, 13] и GridMe [24]. Поэтому пакет GridSim был использован при валидации

разработанной модели. Результаты валидации даны в таблице 2. К сожалению, возможности моделирования GridSim ограничены несколькими сотнями заданий. Видно, что полученные результаты практически совпадают. Это говорит о правильности разработанной модели.

Таблица 2

Валидация детерминированной модели кластера GridSim

Параметр	GridSim	Наша модель
Время прихода последнего задания, сек	254828	254828
Время завершения выполнения всех заданий, сек	7465006	7464980
Средняя длина/ширина очереди	0,339306	0,339592
Среднее число исполняемых задач/ Среднее число занятых каналов	30,5052	30,5052
Среднее число заданий в системе	30,8445	30,8448
Средняя площадь очереди	56509	56566
Среднее время ожидания, сек	2473,55	2475,63
Среднее время исполнения, сек	222384	222383
Средне время в системе, сек	224858	224859

В. Стратегии распределения заданий.

Большинство стратегий балансировки (эвристик) используют эмпирические оценки стоимости исполнения. Выбирается кластер с наименьшей стоимостью (при совпадении стоимостей – ранее стоящий в файле конфигурации). Узлы без достаточного числа машин для исполнения получают бесконечную оценку стоимостей.

Ниже приводятся рассмотренные авторами возможные стратегии.

1. Rotate [6, 7, 10]. Список кластеров просматривается циклически, начиная со следующего за тем, который получил последнее задание. Кластер, не обладающий достаточным числом машин для выполнения задания, пропускается.

2. FreeExec [6, 7, 10] – $Z = W / (N + W)$.

3. QueueWidth [9] – $Z = \left(w_{зад} + \sum_j w_{задж} \right) / W$.

4. QueueLen [9] – $Z = (1 + Q) / W$.

5. QueueDif [9] – $Z = \left(c_{зад} + \sum_j c_{задж} \right) / W$.

6. QueueProd [6, 7, 10] – $Z = \left(c_{зад} + \sum_j c_{задж} \right) / (W \cdot P)$.

7. MaxProd [6, 7, 10] – $Z = (W \cdot P)^{-1}$.

8. EqualLoading [6, 7, 10] – $Z = \sum_j c_{задж}$.

9. EqualQueueLen [6, 7, 10] – $Z = Q$.

10. EqualQueueWidth [6, 7, 10] – $Z = \sum_j w_{zadj}$.

«Self» – отсутствие стратегии: каждый кластер исполняет свои задания без обмена с другими кластерами.

Обозначения: W – количество машин кластера, N – количество свободных машин кластера, w_{zad} – ширина задания, для которого определяется кластер, w_{zadj} – ширина j -го задания в очереди кластера, Q – длина очереди кластера, c_{zad} – площадь задания, для которого выбирается исполнитель, c_{zadj} – площадь j -го задания в очереди, P – производительность узла, Z – стоимость исполнения.

С. Детерминированная модель Грид-системы.

Для детерминированного моделирования используются данные из логов [25]. Но применение логов «как есть» нерационально: поток заданий обладает определенной цикличностью в течение рабочей недели, и логи имеют разную длину. Из-за цикличности кластеры будут испытывать пики нагрузки синхронно, что необходимо учесть при моделировании. Эта процедура подробно описана в статьях С.В. Гаевой и других исследователей [7, 10].

Логи из таблицы 1 будут продлены до времени завершения самого длинного из них (в данном случае это HPC2N). Времена выполнения заданий из логов принимаются за их длины, а производительности узлов задаются таблицей 3 (смысл ее третьего столбца будет разъяснен позднее). На рисунках 5–7 представлены характеристики детерминированной модели.

Таблица 3

Характеристики вычислительных машин

Кластер	Производительность	Модель
NASA iPSC	0,7	$M/\$M^{128}$
LANL CM5	0,8	$\$HG/\HG^{1024}
SDSC Par95	0,9	$\sim M/\$M^{400}$
SDSC Par96	1,0	$\sim M/\$M^{400}$
CTC SP2 '96	1,1	$\sim \Gamma/\$G^{338}$
HPC2N	1,2	$\$G/\G^{240}
LPC EGEE	1,3	$M/M/140$

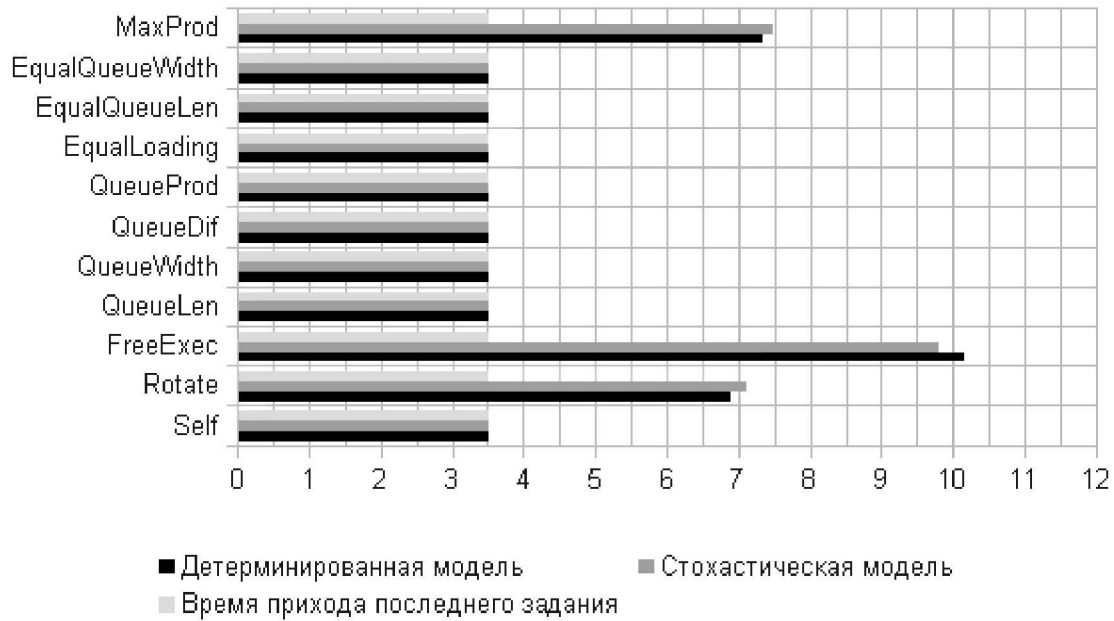


Рис. 5. Время обслуживания последнего задания (лет) при моделировании Грид-системы



Рис. 6. Среднее время ожидания результата расчета при моделировании Грид-системы



Рис. 7. Средняя длина очереди при моделировании Грид-системы

В данном случае была также проведена валидация с использованием средства GridSim. Фрагмент результат представлен в таблице 4. Очевидно, что оба пакета дают близкие данные, что позволяет нам говорить о правильности выполненных разработок.

Таблица 4

Валидация детерминированной модели Грид-системы GridSim (фрагмент)

Параметр	Rotate	Rotate (GridSim)	QueueLen	QueueLen (GridSim)	MaxProd	MaxProd (GridSim)
Длина лога, сек	254828	254828	254828	254828	254828	254828
Время завершения выполнения, сек	6802300	6802313	7582330	7574266	7898550	7898555
Средняя длина/ширина очереди	16,4545	16,455	3,60098	3,67948	20,6698	20,6694
Среднее число занятых каналов	19,0929	19,093	24,9143	25,70609	28,8307	28,8307
Среднее число заданий в системе	35,5475	35,548	28,5153	29,3856	49,5005	49,5001
Средняя площадь очереди	4064600	1577127	794077	791591	4786730	4786644
Среднее время ожидания, сек	109306	109308	26663,9	27216,2	159435	159432
Среднее время исполнения, сек	126832	126833	184481	190141	222383	222383
Средне время в системе, сек	236137	236141	211145	217358	381818	381816

D. Модели аппроксимации нагрузки вычислительной системы и используемые законы распределения случайных величин.

Аппроксимацию законов распределения можно выполнять методом моментов (ММ) и методом наибольшего правдоподобия (МНП). В процессе работы мы рассмотрели семь законов распределения [1, 2], но в данной статье потребовались только три: 1) M – экспоненциальный [19, 21] (оценки ММ и МНП совпадают); 2) Γ – гамма-распределение [21, 23] (оценка ММ); 3) $H\Gamma(2)$ – гипер-гамма-распределение [26] с двумя ветками (оценка МНП).

Всего нами было предложено пять моделей аппроксимации нагрузки вычислительной системы [4, 5], но в рамках данной работы потребовались только три из них. Для обозначения моделей воспользуемся собственной модификацией обозначений Кендалла [16].

1. Ширину и длину задания в общем случае нельзя рассматривать как независимые величины. Ширина может принимать конечное число значений: вероятности различных ширин можно определить в виде массива значений. Для каждой ширины нам потребуется использовать свои параметры закона распределения для длин. Приход заданий представляется стационарным рекуррентным потоком Пальма. Например, $M/SI/128$ означает, что задания приходят простейшим потоком, и при каждой ширине длина задания определяется гамма-законом распределения с определенными параметрами. Кластер состоит из 128 вычислительных машин. Принципы данной модели основаны на [21].

2. Для каждой ширины задания воссоздадим свой собственный пальмовский поток входных заявок и будем полагать эти потоки независимыми. Пример обозначения $SII/SI128$. Данная модель базируется на [13, 27].

3. Поток входных заявок первой модели рассматривается как нестационарный (интенсивность остается постоянной в течение получаса). В данной модели аппроксимируется не время между приходами заданий, а интеграл интенсивности прихода по этому промежутку. Пример обозначения таких моделей $\sim M/SII128$ и $\sim \Gamma/SII128$. Эта модель базируется на [15, 19].

Различные модели оказываются хороши в различных ситуациях, но конкретные рекомендации по использованию какой-то из них до проведения испытаний не было найдено. Анализ литературы, в которой обсуждались вопросы аппроксимации, не выявил также наличие каких-либо критериев. Поэтому в данной работе для каждого кластера используется наиболее подходящая модель. То есть такая стохастическая модель, которая дает наиболее близкие результаты к детерминированной.

Е. Стохастические модели кластеров.

Переход от детерминированной модели к стохастической осуществляется следующим образом: для каждого кластера подбирается подходящая модель стохастической нагрузки; генерируется определенное количество вариантов нагрузки; для каждого варианта производится детерминированное моделирование; затем результаты сводятся воедино в соответствии с Центральной предельной теоремой (ЦПТ) [15, 21].

В таблице 2 представлены модели, которые были признаны наиболее подходящими (дали самые близкие данные по отношению к результатам детерминированного моделирования) для кластеров. Результаты исследований стохастического случая представлены на рисунках 3 и 4, рассмотренных ранее, для сравнения с детерминированной моделью. Очевидны отличия от детерминированного случая: кластеры NASA iPSC и LPC EGEE ведут себя иначе. Данный факт может быть объяснен аномалиями, содержащимися в этих логах. У NASA iPSC времена появления заданий являются временами их постановки на исполнение. Поэтому незначительная очередь, появившаяся в детерминированной модели, есть результат погрешности измерения показателей. У LPC EGE в логе отсутствуют задания на протяжении довольно длительного промежутка времени, что не позволяет рассматривать аппроксимируемый режим как установившийся.

В данном случае была также произведена валидация разработанных средств на аналитических решениях и оценках очередей $G/M/1$ [22], $M/G/1$ [28], $G/G/n$ [28, 31] и $M/M/n$. Фрагменты представлены в таблице 5. λ – интенсивность входящих заявок, μ – интенсив-

ность обслуживания, $\rho = \lambda / \mu$ – нагруженность системы, COV_λ – коэффициент вариации входного потока, COV_μ – коэффициент вариации времени обслуживания.

Таблица 5

Валидация аналитическими моделями (фрагменты)

ρ	COV_λ	COV_μ	Модель	Средняя длина очереди		Среднее время пребывания задания в системе, μ^{-1} .	
				Разработка	Эталон	Разработка	Эталон
0,75	1	1	$M/M/128$	0,00314476	0,00339964	0,999761	1,00004
0,9375	1	1	$M/M/128$	5,36205	5,47428	1,04495	1,04562
0,96875	1	1	$M/M/128$	19,4308	19,4473	1,15716	1,15683
0,3	1	1	$M/M/1$	0,12880	0,12857	1,42880	1,42857
0,5	1	1	$M/M/1$	0,50130	0,50000	2,00296	2,00000
0,7	1	1	$M/M/1$	1,63036	1,63333	3,33038	3,33333
0,9	0	0	$\Gamma/\Gamma/1$	0	≈ 0	1	≈ 1
0,9	0	0,5	$\Gamma/\Gamma/1$	0,832048	$\approx 1,0125$	1,92462	$\approx 2,125$
0,9	0	1	$\Gamma/M/1$	3,76839	3,76079	5,18752	5,17866
0,9	0	2	$\Gamma/\Gamma/1$	15,8492	$\approx 16,2$	18,6107	≈ 19
0,9	0,5	1	$\Gamma/M/1$	4,83890	4,84474	6,37657	6,38305
0,9	1	0	$M/\Gamma/1$	4,06235	4,05	5,51221	5,5
0,9	1	0,5	$M/\Gamma/1$	5,05254	5,0625	6,61323	6,625
0,9	1	1	$M/M/1$	8,04713	8,10000	9,94385	10,00000
0,9	1	2	$M/\Gamma/1$	20,3454	20,25	23,6038	23,5
0,9	2	1	$\Gamma/M/1$	21,29620	21,13100	24,64590	24,47889

На основе анализа таблицы 5 можно выявить соответствие аналитического решения нашей модели, что позволяет говорить о правильности последней.

Ф. Стохастическая модель Грид-системы.

На рисунках 5–7 представлены результаты стохастического моделирования Грид-системы на базе ранее заявленных моделей кластеров. Случаи детерминированной и стохастической моделей мало отличаются друг от друга, что позволяет говорить об адекватности обеих. Очевидно, что аномалии логов кластеров NASA iPSC и LPC EGEE слабо сказываются на результате моделирования Грид-системы: результаты для детерминированного и стохастического случая различаются незначительно.

На основе результатов проведенного моделирования можно сделать следующие выводы.

1. Стратегии Rotate и MaxProd не дают удовлетворительных результатов (процессы даже не будут стационарными). Стратегия MaxProd пытается заменить всю систему ее самым производительным звеном.

2. Стратегия FreeExec создана, чтобы работать в условиях отсутствия очереди. Поэтому ее результат чрезвычайно неудовлетворителен.

3. Самые хорошие результаты дают эвристики QueueWidth, EqualQueueLen и QueueLen.

Таким образом, наилучшие результаты получаются на основе наиболее легко вычисляемого критерия, что позволяет не учитывать пользовательские оценки длин задания, являющиеся крайне неточными [30].

Заключение. В настоящей работе были представлены и изучены детерминированные и стохастические модели кластеров и Грид-систем. Преимуществом стохастических моделей является то, что они позволяют рассмотреть гораздо больше вариантов функционирования вычислительных систем и нивелировать некоторые случайные совпадения, но в них при аппроксимации нагрузок вычислительных систем возможно искажение результатов. Отдельные проблемы представляют различные аномалии лога. Решающим фактором принятия (выбора) или неприятия моделей может служить только практика их использования.

Таким образом, были предложены средства для определения рациональной стратегии распределения заданий в Грид-системе. Эти средства позволяют для конкретной системы на основе задокументированной нагрузки выбрать рациональную стратегию распределения. Данные решения базируются на предположении, что поток заданий не изменится. Признаком изменения потока является несоответствие данных, полученных моделированием, и реальных данных.

Список литературы

1. Гаевой С. В. Аппроксимация времени выполнения заданий на примере вычислительного кластера LPC EGEE 2004 / С. В. Гаевой, Ф. А. Х. Аль-Хадша, С. А. Фоменков // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах" : межвузовский сборник научных статей. – 2014. – № 12 (139), вып. 21 – С. 135–141.

2. Гаевой С. В. Аппроксимация стохастических параметров вычислительного кластера на примере LANL CM5 / С. В. Гаевой, Ф. А. Х. Аль-Хадша // Perspektywiczne opracowania sa nauka i technikami – 2013 : mater. IX miedzynarod. nauk.-prakt. konf. (7–15 listopada 2013 r.). – Przemysl, 2013. – Vol. 33. Matematyka. – С. 67–70.

3. Гаевой С. В. Детерминированная имитационная модель кластеров грид-системы, обслуживающих задания / С. В. Гаевой, Ф. А. Х. Аль-Хадша, В. С. Лукьянов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2014. – № 6. – С. 39–43.

4. Гаевой С. В. Модели аппроксимации нагрузки кластера на примере LANL CM5 для стохастического имитационного моделирования / С. В. Гаевой, С. А. Фоменков // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах" : межвузовский сборник научных статей. – 2014. – № 25 (152), вып. 22 – С. 151–159.

5. Гаевой С. В. Моделирование работы вычислительного кластера на примере LANL CM5 / С. В. Гаевой, Ф. А. Х. Аль-Хадша // SCI-ARTICLE.RU : электронный периодический научный журнал. – Ноябрь 2013. – № 3. – С. 304–313. – Режим доступа: http://sci-article.ru/stat.php?i=modelirovanie_raboty_vychislitelnogo_klastera_na_primere_LANL_CM5, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

6. Гаевой С. В. Эвристики распределения заявок в Грид-системах (Grid) / С. В. Гаевой, Ф. А. Х. Аль-Хадша, В. С. Лукьянов // Perspektywiczne opracowania sa nauka i technikami – 2013 : mater. IX miedzynarod. nauk.-prakt. konf. (7–15 listopada 2013 r.). – Przemysl, 2013. – Vol. 33. Matematyka. – С. 63–66.

7. Детерминированная имитационная модель кластеров грид-системы для сравнения эффективности использования эвристик распределения заданий / С. В. Гаевой, Ф. А. Х. Аль-Хадша, С. А. Фо-

менков, В. С. Лукьянов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 2. – С. 148–157.

8. Имитационное моделирование грид-систем : монография / В. С. Лукьянов, А. Е. Андреев, Д. Н. Жариков, А. А. Островский, С. В. Гаевой. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2012. – 215 с.

9. Проблемы моделирования GRID-систем и их реализация / О. И. Самоваров и другие // Портал «Информационно-коммуникационные технологии в образовании». – 2010. – Режим доступа: <http://www.ict.edu.ru/vconf/files/9451.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

10. Сравнение эвристик распределения заданий в Грид-системе путем детерминированного имитационного моделирования / С. В. Гаевой, Ф. А. Х. Аль-Хадша, С. А. Фоменков, В. С. Лукьянов // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах" : межвузовский сборник научных статей. – 2014. – № 25 (152), вып. 22 – С. 159–164.

11. A toolkit for modelling and simulating Data Grids: An extension to GridSim / A. Sulistio, et al. – 2014. – Available at: http://www.gridbus.org/reports/datagrid_fgcs.pdf.

12. An Evaluation of Parallel Job Scheduling for ASCI Blue-Pacific / H. Franke, et al. // Supercomputing. – 13–18 November 1999.

13. Buyya R. GridSim: a toolkit for the modeling and simulation of distributed resource management and scheduling for Grid computing / R. Buyya, M. Murshed. – 2014. – Available at: <http://www.buyya.com/papers/gridsim.pdf>.

14. Calzarossa M. A Characterization of the Variation in Time of Workload Arrival Patterns / M. Calzarossa, G. Serazzi // IEEE Transactions on Computers. – February 1985. – Vol. C–34, issue 2. – Pp. 156–162.

15. Central Limit Theorem // Wolfram MathWorld. – 2014. – Available at: <http://mathworld.wolfram.com/CentralLimitTheorem.html>.

16. Classification of Queuing Model using Kendal Notation // Kardi Teknomo. – 2014. – Available at: <http://people.revoledu.com/kardi/tutorial/Queuing/Kendall-Notation.html>.

17. Clúster de balanceo de carga y alta disponibilidad para servicios web y mail / M. M. Sinisterra, et al. // Revista Informador Técnico. – 2012. – No. 76. – Available at: http://informadortecnico.senaastin.com/index.php/inf_tec/article/download/57/33.

18. Downey A. B. A Parallel Workload Model and Its Implications for Processor Allocation / A. B. Downey // Proceedings of the 6th International Symposium on High Performance Distributed Computing. – August 1997.

19. Exponential Distribution // Wolfram MathWorld. – 2014. – Available at: <http://mathworld.wolfram.com/ExponentialDistribution.html>.

20. Feitelson D. G. Packing schemes for gang scheduling / D. G. Feitelson // Job Scheduling Strategies for Parallel Processing : Lecture Notes Computer Science / ed. by D. G. Feitelson, L. Rudolph. – Springer-Verlag, 1996. – vol. 1162. – Pp. 89–110.

21. Formulario de distribuciones de probabilidad // Jorge Galbiati Riesco. – 2014. – Available at: http://www.jorgegalbiati.cl/nuevo_06/Formulas.pdf.

22. 5 G/M/1 queue // Technische Universiteit Eindhoven. – 2014. – Available at: <http://www.win.tue.nl/~iadan/blockq/h5.pdf>.

23. Gamma Distribution // Wolfram MathWorld. – 2014. – Available at: <http://mathworld.wolfram.com/GammaDistribution.html>.

24. GridMe: Grid modeling environment // Google code. – 2014. – Available at: <https://code.google.com/p/gridme/>.

25. Logs of Real Parallel Workloads from Production Systems // The Rachel and Selim Benin School of Computer Science and Engineering. – 2014. – Available at: <http://www.cs.huji.ac.il/labs/parallel/workload/logs.html>.

26. Lublin U. The Workload on Parallel Supercomputers: Modeling the Characteristics of Rigid Jobs / U. Lublin, D. G. Feitelson // Journal of Parallel and Distributed Computing. – November 2003. – No. 63 (11). – Pp. 1105–1122.

27. Modeling of Workload in MPPs / J. Jann, et al. // Job Scheduling Strategies for Parallel Processing : Lecture Notes Computer Science / ed. by D. G. Feitelson, L. Rudolph. – Springer-Verlag, 1997. – Vol. 1291. – Pp. 95–116.

28. Non-Parametric Models of a Service System; GI/GI/1, GI/GI/n: Exact & Approximate Analysis

// The William Davidson Faculty of Industrial Engineering and Management. – 2014. – Available at: http://ie.technion.ac.il/serveng/Lectures/Lecture_GGQ's_FULL_Marked.pdf.

29. SHARCNET. – 2014. – Available at: <https://www.sharcnet.ca/my/front/>.

30. Tsafirir D. Modeling User Runtime Estimates / D. Tsafirir, Y. Etsion, D. G. Feitelson // 11th Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing (JSSPP). – June 2005. – Pp. 1–35.

31. Whitt W. Approximations for the GI/G/m queue / W. Whitt // Columbia University. – 2014. – Available at: <http://www.columbia.edu/~ww2040/ApproxGIGm1993.pdf>.

References

1. Gaevoy S. V., AL-Khadsha F. A. Kh., Fomenkov S. A. *Аппроксимация времени выполнения задания на примере вычислительного кластера LPC EGEE 2004* [Approximation of Job Execution Time Discovering Computing Cluster LPC EGEE 2004]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya «Aktualnye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh»* [Proceedings of the Volgograd State Technical University. A series of "Actual problems of management, computer science and informatics in technical systems"], 2014, no. 12, issue 21, pp. 135–141.

2. Gaevoy S. V., AL-Khadsha F. A. Kh. *Аппроксимация стохастических параметров вычислительного кластера на примере LANL CM5* [An approximation of stochastic parameters of computing cluster based on LANL CM5]. *Perspektywiczne opracowania sa nauka i technikami – 2013 : mater. IX miedzynarod. nauk.-prakt. konf. (7–15 listopada 2013)*, Przemysl, 2013, vol. 33. Mathematics, pp. 67–70.

3. Gaevoy S. V., AL-Khadsha F. A. Kh., Lukyanov V. S. *Детерминированная имитационная модель кластеров grid-системы, обслуживающих задания* [Deterministic Simulation Model of Clusters of a Grid-system Executing Jobs]. *Vestnik kompyuternykh i informatsionnykh tekhnologiy* [Bulletin of Computer and Information Technologies], 2014, no. 6, pp. 39–43.

4. Gaevoy S. V., Fomenkov S. A. *Модели аппроксимации нагрузки кластера на примере LANL CM5 для стохастического имитационного моделирования* [The Approximations for a Workload of Cluster Systems for Stochastic Simulation]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya «Aktualnye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh»* [Proceedings of the Volgograd State Technical University. A series of "Actual problems of management, computer science and informatics in technical systems"], 2014, no. 25 (152), issue 22, pp. 151–159.

5. Gaevoy S. V., AL-Khadsha F. A. Kh. *Моделирование работы вычислительного кластера на примере LANL CM5* [A Modeling of a Computing Cluster based on an Example of LANL CM5]. *SCI-ARTICLE.RU : elektronnyy periodicheskiy nauchnyy zhurnal* [SCI-ARTICLE.RU : Electronic Periodic Scientific Magazine], 2013, no. 3, pp. 304–313. Available at: http://sci-article.ru/stat.php?i=modelirovanie_raboty_vychislitel'nogo_klastera_na_primere_LANL_CM5.

6. Gaevoy S. V., AL-Khadsha F. A. Kh., Lukyanov V. S. *Эвристики распределения заявок в Grid-системах (Grid)* [The Heuristics for job distribution in Grid-systems (Grid)]. *Perspektywiczne opracowania sa nauka i technikami – 2013 : mater. IX miedzynarod. nauk.-prakt. konf. (7–15 listopada 2013)*, Przemysl, 2013, vol. 33. Mathematics, pp. 63–66.

7. Gaevoy S. V., AL-Khadsha F. A. Kh., Fomenkov S. A., Lukyanov V. S. *Детерминированная имитационная модель кластеров grid-системы для сравнения эффективности использования эвристик распределения задания* [Deterministic Simulation Model of Clusters of a Grid-system for Comparison of Heuristics for Task Distribution]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal : Management and High Technologies], 2014, no. 2, pp. 148–157.

8. Lukyanov V. S., Andreev A. Ye., Zharikov D. N., Ostrovskiy A. A., Gaevoy S. V. *Имитационное моделирование grid-систем* [Simulation of Grid-systems], Volgograd, Volgograd State Technical University Publ. House, 2012. 215 p.

9. Samovarov O. I., et al. *Проблемы моделирования GRID-систем и их реализации* [Problems of simulation of Grid-systems and their implementation]. *Portal «Informatsionno-kommunikatsionnye tekhnologii v obrazovanii»* [Portal "Information and Communication Technologies in Education"]. Available at: <http://www.ict.edu.ru/vconf/files/9451.pdf>.

10. Gaevoy S. V., Fomenkov S. A., AL-Khadsha F. A. Kh., Lukyanov V. S. *Сравнение эвристик распределения задания в Grid-системе путем детерминированного имитационного моделирования* [Comparison of Heuristics for Task Distribution in Grid-system by Deterministic Simulation]. *Izvestiya Volgo-*

gradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya «Aktualnye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh» [Proceedings of the Volgograd State Technical University. A series of "Actual problems of management, computer science and informatics in technical systems"], 2014, no. 25 (152), issue 22, pp. 159–164.

11. Sulistio A., et al. *A toolkit for modelling and simulating Data Grids: An extension to GridSim*, 2014. Available at: http://www.gridbus.org/reports/datagrid_fgcs.pdf.

12. Franke H., et al. An Evaluation of Parallel Job Scheduling for ASCI Blue-Pacific. *Supercomputing*, 13–18 November 1999.

13. Buyya R., Murshed M. *GridSim: a toolkit for the modeling and simulation of distributed resource management and scheduling for Grid computing*, 2014. Available at: <http://www.buyya.com/papers/gridsim.pdf>.

14. Calzarossa M., Serazzi G. A Characterization of the Variation in Time of Workload Arrival Patterns. *IEEE Transactions on Computers*, February 1985, vol. C–34, issue 2, pp. 156–162.

15. Central Limit Theorem. *Wolfram MathWorld*, 2014. Available at: <http://mathworld.wolfram.com/CentralLimitTheorem.html>.

16. Classification of Queuing Model using Kendal Notation. *Kardi Teknomo*, 2014. Available at: <http://people.revoledu.com/kardi/tutorial/Queuing/Kendall-Notation.html>.

17. Sinisterra M. M., et al. Clúster de balanceo de carga y alta disponibilidad para servicios web y mail. *Revista Informador Técnico*, 2012, no. 76. Available at: http://informadortecnico.senaastin.com/index.php/inf_tec/article/download/57/33.

18. Downey A. B. A Parallel Workload Model and Its Implications for Processor Allocation. *Proceedings of the 6th International Symposium on High Performance Distributed Computing*, August 1997.

19. Exponential Distribution. *Wolfram MathWorld*, 2014. Available at: <http://mathworld.wolfram.com/ExponentialDistribution.html>.

20. Feitelson D. G. Packing schemes for gang scheduling. *Job Scheduling Strategies for Parallel Processing: Lecture Notes Computer Science*, Springer–Verlag, 1996, vol. 1162, pp. 89–110.

21. Formulario de distribuciones de probabilidad. *Jorge Galbiati Riesco*, 2014. Available at: http://www.jorgegalbiati.cl/nuevo_06/Formulas.pdf.

22. 5 G/M/1 queue. *Technische Universiteit Eindhoven*, 2014. Available at: <http://www.win.tue.nl/~iadan/blockq/h5.pdf>.

23. Gamma Distribution. *Wolfram MathWorld*, 2014. Available at: <http://mathworld.wolfram.com/GammaDistribution.html>.

24. GridMe: Grid modeling environment. *Google code*, 2014. Available at: <https://code.google.com/p/gridme/>.

25. Logs of Real Parallel Workloads from Production Systems. *The Rachel and Selim Benin School of Computer Science and Engineering*, 2014. Available at: <http://www.cs.huji.ac.il/labs/parallel/workload/logs.html>.

26. Lublin U., Feitelson D. G. The Workload on Parallel Supercomputers: Modeling the Characteristics of Rigid Jobs. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, November 2003, no. 63 (11), pp. 1105–1122.

27. Jann J., et al. *Modeling of Workload in MPPs. Job Scheduling Strategies for Parallel Processing: Lecture Notes Computer Science*, Springer–Verlag, 1997, vol. 1291, pp. 95–116.

28. Non-Parametric Models of a Service System; GI/GI/1, GI/GI/n: Exact & Approximate Analysis. *The William Davidson Faculty of Industrial Engineering and Management*, 2014. Available at: http://ie.technion.ac.il/serveng/Lectures/Lecture_GGQ's_FULL_Marked.pdf.

29. *SHARCNET*, 2014. Available at: <https://www.sharcnet.ca/my/front/>.

30. Tsafir D., Etsion Y., Feitelson D. G. Modeling User Runtime Estimates. *11th Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing (JSSPP)*, June 2005, pp. 1–35.

31. Whitt W. Approximations for the GI/G/m queue. *Columbia University*, 2014. Available at: <http://www.columbia.edu/~ww2040/ApproxGIGm1993.pdf>.