

## ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ:

УДК 681.3.06

### ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ\*

Топорков В.В.<sup>1</sup>, Топоркова А.С.<sup>2</sup>, Бобченков А.В.<sup>1</sup>, Емельянов Д.М.<sup>1</sup>, Целищев А.С.<sup>1</sup><sup>1</sup>Московский энергетический институт (технический университет)<sup>2</sup>Московский государственный институт электроники и математики (технический университет)

### ECONOMIC MODELS OF MANAGEMENT IN DISTRIBUTED COMPUTING

Toporkov V.V., Toporkova A.S., Bobchenkov A.V., Yemelyanov D.M., Tselishchev A.S.

This paper describes an economic model for independent job flow management in distributed computing environments with non-dedicated resources. The model is based on the concept of fair resource distribution between users and owners of computational nodes by means of economic mechanisms in a virtual organization (VO). The set of specific rules in VO allows overall increase the quality of service for jobs and resource usage efficiency. The co-allocation problem is being solved for a batch of independent jobs with local CPU schedules represented as lists of *slots*, i.e. time spans that would be assigned to a job if all requirements of level and type of computational resource are determined. The scheduling is performed iteratively (cycle by cycle) on the sets of preselected slots. During each cycle the sets of available slots are updated based on the information from local resource managers.

Экономические модели выделения ресурсов и планирования являются весьма эффективными в распределенных вычислениях с *неотчуждаемыми ресурсами*, включая грид, мультиагентные системы и облачные вычисления [1-3]. При этом возникает серьезная проблема ценообразования в зависимости от уровня качества обслуживания [3]. В работе [4] дается хороший обзор различных подходов к ее решению, а также к формированию различных стратегий планирования при наличии ограничений на время и бюджет выполнения задания. В [5] рассматриваются эвристические алгоритмы подбора слотов на основе задаваемых пользователем функций полезности. При реализации той или иной экономической политики брокерами ресурсов [4, 5], как правило, проводится оптимизация выполнения конкретного приложения [6]. При образовании виртуальных организаций [7] осуществляется оптимизация планирования на уровне потоков заданий. Соответствующие функции реализуются иерархической структурой, состоящей из метапланировщика и подчиненных ему менеджеров ресурсов [6, 7].

*Новизна подхода*, предлагаемого в настоящей работе, состоит в том, что экономические механизмы применяются для планирования пакета заданий в рамках виртуальной организации, причем планирование заданий выполняется циклично на наборах предварительно отобранных слотов. В каждом цикле динамично обновляются наборы доступных слотов на основе информации, поступающей от локальных менеджеров ресурсов, и оптимизируется план выполнения пакета заданий по совокупности критериев в соответствии с политикой предоставления и потребления ресурсов, принятой в виртуальной организации. Каждый из слотов соответствует временному отрезку, который может быть использован для выполнения задачи, входящей в состав многопроцессорного задания, на том или ином типе ресурса. Требования задания к ресурсам оформляются в виде *ресурсного запроса*, содержащего тип, количество и характеристики узлов (тактовую частоту процессора, емкость оперативной памяти, дисковое пространство, операционную систему и т.д.), а также время  $t$  их использования. Для запуска многопроцессорного задания необходимо согласованное выделение требуемого для его выполнения количества  $l$  слотов. *План выполнения задания* представляет собой набор временных слотов. Проблема заключается в том, что слоты, ассоциированные с разными процессорными узлами, начинаются и заканчиваются в произвольные и не совпадающие моменты времени. В свою очередь, процессы параллельного задания должны стартовать синхронно. Как правило, функция синхронизации возлагается на главный процесс задания, запустившийся раньше остальных на некотором процессорном узле. Главный процесс может ожидать запуска всех остальных процессов не более заранее определенного времени. Если необходимое число  $l$  слотов с требуемыми, согласно ресурсному запросу, атрибутами не будет накоплено до этого времени, то задание не будет запущено. Таким образом, в случае однородных узлов совокупность слотов для выполнения задания представляет собой прямоугольное «окно» размером  $l \times t$ , а для процессоров с

\* Работа выполнена при содействии Совета по грантам Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (НШ-7239.2010.9) и РФФИ (проект № 09-01-00095).

разной производительностью это – «окно» с неровным правым краем, где  $t$  – время выполнения составной части задания на наименее производительном процессоре (рис. 1).

В рамках рассматриваемой модели, в основу которой заложена иерархическая схема управления потоками заданий [6, 7], фигурируют пользователи, запускающие задания, и собственники вычислительных ресурсов. Интересы пользователей и собственников зачастую противоречивы. Каждый из независимых пользователей заинтересован в наискорейшем запуске своих заданий с наименьшими издержками (например, платой за использование ресурса), а собственники, наоборот, стремятся получить наибольший доход от предоставления ресурсов.

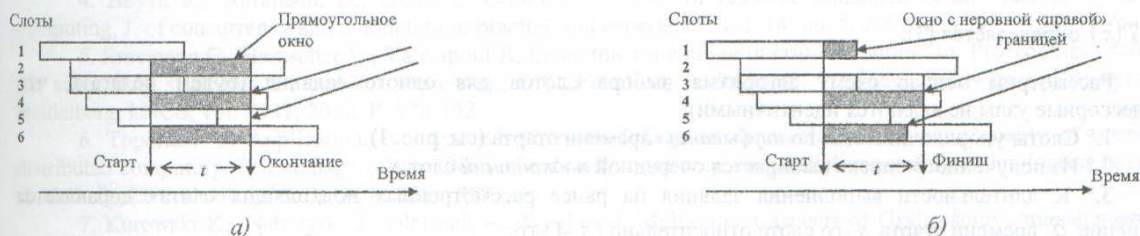


Рис. 1. Отбор слотов на идентичных узлах (а) и процессорах с разной производительностью (б)

Для распределенных сред с неотчуждаемыми ресурсами характерна конкуренция независимых пользователей за их использование, а также конкуренция глобальных и локальных потоков заданий. Эти факторы существенно усложняют решение задачи коаллокации. Планирование выполнения совокупности (пакета) независимых заданий осуществляется циклично, на основе динамично обновляемых расписаний выполнения заданий в локальных процессорных узлах. В каждом цикле планирования запуска пакета заданий требуется решение двух задач. Во-первых, отбор подходящих (по ресурсу, времени, цене) слотов для каждого задания пакета. Во-вторых, необходим выбор комбинации слотов, являющейся эффективной или оптимальной с точки зрения прохождения всего пакета заданий в текущем цикле планирования. Пользователь, запускающий  $i$ -е задание, должен иметь возможность управлять временем старта задания  $j_i$ , оперируя платой  $c_i$ , которую он вносит за его выполнение. Цена  $c_i$  устанавливается собственником соответствующего вычислительного ресурса на основе соображений балансирования глобальных и локальных потоков заданий, получения соответствующего дохода и т.п. Плата  $c_i(s_i)$  за ресурс в  $k$ -м наборе слотов ( $s_i = k$ ) определяется исходя из удельной стоимости единицы времени использования соответствующего процессорного узла и времени  $t_i(s_i)$ , отведенного для выполнения задания  $j_i$ .

Пример числовых характеристик слотов для пакета из трех заданий приведен в таблице 1.

Таблица 1. Цена и время выполнения заданий

Набор слотов	Задание 1		Задание 2		Задание 3	
	$c_1$	$t_1$	$c_2$	$t_2$	$c_3$	$t_3$
1	7	7	3	3	5	5
2	10	5	2	1	8	4
3	9	3	-	-	6	2
4	-	-	-	-	4	1

Мы рассматриваем два типа критериев в рамках нашей модели. Это *стоимостные* и *временные показатели* эффективности прохождения пакета  $J$  заданий на допустимом наборе  $\bar{s} = (s_1, \dots, s_n)$  подходящих слотов.

К первой группе критериев относится суммарная стоимость выполнения пакета заданий

$$C(\bar{s}) = \sum_{i=1}^n c_i(s_i). \quad (1)$$

Для того чтобы не допустить монополизации использования того или иного ресурса отдельными пользователями, вводится ограничение  $B^*$  на бюджет  $B(\bar{s})$  виртуальной организации – максимальное значение суммарной стоимости использования ресурсов в текущем цикле планирования.

Интересы собственников могут быть отражены в таком критерии, как потери от недоиспользования бюджета виртуальной организации:

$$D(\bar{s}) = B^* - C(\bar{s}). \quad (2)$$

Политика администрирования в виртуальной организации и, отчасти интересы пользователей, отражаются во времени выполнения пакета заданий:

$$T(\bar{s}) = \sum_{i=1}^n t_i(s_i). \quad (3)$$

Ограничение на суммарное время  $T^*$  занятия слотов выражает стремление собственников ресурсов сбалансировать доли глобальных (внешних) и локальных (внутренних) заданий. Упомянутые аспекты можно представить в таком показателе, как простой ресурсов:

$$I(\bar{s}) = T^* - T(\bar{s}), \quad (4)$$

где  $T(\bar{s})$  определяется (3).

Рассмотрим общую схему алгоритма выбора слотов для одного задания (будем полагать, что процессорные узлы не являются идентичными).

- 1.° Слоты упорядочиваются по *неубыванию* времени старта (см. рис. 1).
- 2.° Из полученного списка выбирается очередной *подходящий* слот  $s$ .
- 3.° К длительности выполнения задания на ранее рассмотренных подходящих слотах добавляется смещение  $\delta_i$  времени старта  $s$ -го слота относительно  $(s-1)$ -го.
- 4.° Из списка просмотренных подходящих слотов (от 1 до  $s-1$ ) удаляются те, время действия которых с учетом сдвига  $\delta_i$  по времени *истекло*.
- 5.° Переход к слоту  $s+1$  и повторение шагов 3°, 4° до тех пор, пока не наберется заданное число  $l$  слотов.

После просмотра слотов для всех  $n$  заданий пакета отыскиваются альтернативные наборы подходящих слотов, поскольку при отборе слотов для  $i$ -го задания не весь исходный список может быть просмотрен. Эта процедура итеративно реализуется для всех заданий, планирование которых не перенесено в следующий цикл. В таблице 1 в столбце, соответствующем каждому из заданий, представлены параметры *альтернативных наборов* подходящих слотов.

В таблице 2 представлены относительные (нормированные) значения критериев  $C(\bar{s})$ ,  $D(\bar{s})$ ,  $T(\bar{s})$ ,  $I(\bar{s})$  в соответствии с (1)-(4) и значения функции  $U(\bar{s})$  полезности при заданных весах критериев. Генерация планов для наборов  $\bar{s}_1, \dots, \bar{s}_7$  слотов выполняется методом, предложенным и обоснованным в [8].

Таблица 2. Относительные значения критериев и их веса

Вариант	Набор слотов	Критерий/вес				Функция полезности $U(\bar{s})$
		$\bar{C}(\bar{s})/2$	$\bar{D}(\bar{s})/1$	$\bar{T}(\bar{s})/2$	$\bar{I}(\bar{s})/1$	
$\bar{s}_1$	(1,2,3)	0.29	0.71	1	0	0.55
$\bar{s}_2$	(2,2,2)	1	0	1	0	0.67
$\bar{s}_3$	(3,1,2)	1	0	1	0	0.67
$\bar{s}_4$	(1,2,4)	0	1	0.80	0.20	0.47
$\bar{s}_5$	(2,2,4)	0.43	0.57	0.40	0.60	0.47
$\bar{s}_6^*$	(3,2,4)	0.29	0.71	0	1	0.38*
$\bar{s}_7$	(2,1,3)	0.86	0.14	1	0	0.64

Рассмотренный подход отличается от известных тем, что для каждого из заданий пакета отыскивается не один подходящий слот, а совокупность альтернативных наборов слотов. Планирование заданий, для которых не существует подходящих слотов, переносится в следующий цикл.

Авторы выражают благодарность за содействие выполнению данной работы Совету по грантам Президента Российской Федерации для поддержки ведущих научных школ (НШ-7239.2010.9) и РФФИ (проект № 09-01-00095).

ЛИТЕРАТУРА

1. Garg S.K., Buyya R., Siegel H.J. Scheduling parallel applications on utility Grids: time and cost trade-off management, Proceedings of the 32nd Australasian computer science conference (ACSC 2009), Wellington, New Zealand. P. 151-159.
2. Bredin J., Kotz D., Rus D. Economic markets as a means of open mobile-agent systems, Proceedings of the workshop "Mobile agents in the context of competition and cooperation (mac3)", 1999. P. 43-49.
3. Ailamaki A., Dash D., Kantere V. Economic aspects of cloud computing, Flash Informatique, Special HPC, 27 October 2009. P. 45-47.
4. Buyya R., Abramson D., Giddy J. Economic models for resource management and scheduling in grid computing, J. of concurrency and computation: practice and experience, vol. 14, no. 5, 2002. P. 1507 – 1542.
5. Ernemann C., Hamscher V., Yahyapour R. Economic scheduling in grid computing. In: Proceedings of the 8th job scheduling strategies for parallel processing, D.G. Feitelson, L. Rudolph, U. Schwiegelshohn (eds.), Springer, Heidelberg, LNCS, vol. 2537, 2002. P. 128-152.
6. Toporkov V. Application-level and job-flow scheduling: an approach for achieving quality of service in distributed computing, Proceedings of the 10th international conference on parallel computing technologies, Springer, Heidelberg, LNCS, vol. 5698, 2009. P. 350 – 359.
7. Kurowski K., Nabrzyski J., Oleksiak A., Weglarz J. Multicriteria aspects of Grid resource management. In: Grid resource management. State of the art and future trends, J. Nabrzyski, J.M. Schopf, and J. Weglarz (eds.): Kluwer academic publishers, 2003. P. 271 – 293.
8. Toporkov V.V., Tselishchev A.S. Safety scheduling strategies in distributed computing, Int. J. Critical Computer-Based Systems, vol. 1, nos. 1/2/3, 2010. P. 41-58.

## ПРОБЛЕМЫ, СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВЕРИФИКАЦИИ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ В ВИРТУАЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Филатов Н.И., Шельбах В.Е.

*Ментор Графикас ЛТД, Москва, Россия*

## PCB DESIGN VERIFICATION FOR VIRTUAL MANUFACTURING – PROBLEMS, STATE AND PERSPECTIVES

Philatov N.I., Schellbach V.E.

*Mentor Graphics Ltd., Moscow, Russia*

Design was relatively easy in the simplified world of "ideal" printed circuit boards (PCB) interconnects, "noiseless" power distribution networks and "low speed digital" signaling. Analog was a strange addition one needed only once in a while and was left to beings one would suspect of originating from another world. The real world is not "digital". Modern day examples of the high speed signals include DDR Bus, HyperTransport Bus, DDR2 Bus, USB 2.0, SATA, PCI Express, PCI, Gigabit Ethernet etc. High-speed circuits like SERDES, DDRx, and RF operate at multi-gigabit-per-second speeds that pose serious design challenges to engineers designing PCBs and packages. Errors are more difficult to find, simulation of even a circuit that would be very small in digital terms take hours, and costs tend to grow rapidly. Advanced high-speed design techniques must be applied to the high-speed PCB to ensure proper and reliable operation, making the signal & power integrity, 3D full-wave electromagnetic and thermal modeling the 'must-have' solutions for a full state-of-art PCB systems design.

**Проблемы:** анализ и верификация проектных решений современных высокоскоростных печатных плат невозможна без использования систем автоматизированного проектирования (САПР). При этом автоматический контроль пяти основных факторов представляется наиболее важным:

1. Целостность передаваемых от источников к приёмникам сигналов;
2. Временные соотношения между волнами напряжения в сигнальных цепях;
3. Взаимовлияния сигнальных трасс и перекрёстные помехи;
4. Целостность подводимой мощности в цепях питания;
5. Электромагнитная совместимость.

Геометрия сигнальных трасс, плоскостей питания и межслойных переходов не имеет существенного влияния на качество передаваемых сигналов при сравнительно низких ( $\leq 50$  МГц) частотах работы электронных устройств. На частотах более 100 МГц почти все пассивные элементы радиоэлектронных устройств имеют паразитные составляющие сопротивления. Конденсаторы имеют паразитную индуктивность, а индуктивности – межвитковую паразитную ёмкость. Выводы компонентов печатных плат также приобретают паразитные