

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДСИСТЕМЫ
НАЗНАЧЕНИЯ ЗАДАЧ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ
ОБРАБОТКИ СИГНАЛА¹**

А. И. Мартышкин

**RESEARCH THE CHARACTERISTICS OF THE SUBSYSTEM
TASK ASSIGNMENTS OF RECONFIGURABLE COMPUTING
SYSTEMS FOR DIGITAL SIGNAL PROCESSING**

A. I. Martyshkin

Аннотация. *Актуальность и цели.* Благодаря развитию современной элементной базы и доступности микроэлектронных компонентов сегодня возможно построение многопроцессорных и многоядерных систем средней мощности. Среди них можно выделить реконфигурируемые вычислительные системы на основе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), используемые сегодня широко и повсеместно, чем, собственно, обусловлена актуальность статьи. Цель работы – изучение варианта архитектуры реконфигурируемых вычислительных систем, которые могут использоваться для цифровой обработки сигналов. *Материалы и методы.* Для достижения обозначенных целей использованы методы проектирования и построения вычислительных систем и устройств. Для проведения математических расчетов и моделирования работы описываемой системы применяется теория массового обслуживания, в частности, имеющие хорошо описанный математический аппарат открытые (разомкнутые) сети массового обслуживания. *Результаты.* Приведены результаты проведенного эксперимента по моделированию планировщиков с временным разделением для реконфигурируемых вычислительных систем. Рассмотрены и представлены на графиках результаты, полученные при аналитическом и имитационном моделировании. *Выводы.* В заключении статьи представлены полученные результаты и выводы, повествующие о результатах проведенных вычислительных экспериментов, из которых выявлено, что число процессоров в составе рассматриваемой системы зависит от параметров задач и архитектурных параметров планировщика задач. Полученные в ходе исследований результаты свидетельствуют об адекватности разработанной модели реальной реконфигурируемой вычислительной системе.

Ключевые слова: аналитическая модель, планировщик задач, разделение во времени, открытая сеть массового обслуживания, вероятность.

Abstract. *Background.* Through the development of modern element base and the availability of microelectronic components today, it is possible to build multiprocessor and multicore medium power systems. Among them are reconfigurable computing systems based on programmable logic integrated circuits (FPGAs), today used widely and universally, what, in fact, due to the relevance of the article. The purpose of work is to study options architectures of reconfigurable computing systems that can be used for digital signal processing. *Materials and methods.* In order to achieve the above goals used methods of

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-07-00012).

design and construction of computer systems and devices. To perform mathematical calculations and modeling work described system applied queuing theory, in particular, having a well-defined mathematical device open queuing network. *Results.* The article presents the results of experimental modeling of schedulers with a time division for reconfigurable computing systems. Considered and presented on graphs results obtained by the analytical and simulation modeling. *Conclusions.* In conclusion of article presents the results and conclusions, telling about the results of the computational experiments, of which revealed that the number of processors in the composition of the system depends on the task settings and architectural settings Task Scheduler. The findings of the research results show the adequacy of the developed model of the real reconfigurable computing system.

Key words: analytical model, scheduler, time division, open queuing network, probability.

Введение

Увеличение количества центральных процессоров (ЦП) в высокопроизводительных системах, в частности в реконфигурируемых вычислительных системах (РВС), сказывается на ухудшении характеристик, в том числе и подсистемы планирования и назначения задач на обслуживание ЦП, так как программно реализованный планировщик функционирует последовательно, что приводит к возникновению и росту временных затрат на синхронизацию выполняемых процессов. Отсюда следует вывод, что для более эффективного планирования и назначения задач ЦП требуется вести параллельное распределение этих задач. Существует подобный метод параллельной обработки – аппаратное решение планирования процессов с единой очередью и временным разделением на каждый ЦП [1, 2]. Современная элементная база позволяет реализовать подобное решение [3–5], однако вначале необходимо провести исследование математической модели для более детального представления о характеристиках РВС, рассмотренных, например, в работах [6–11].

Постановка задачи

Для оценки параметров и моделирования рассматриваемой РВС с аппаратной реализацией функций планирования процессов адекватным методом используются аналитические математические модели, основывающиеся на положениях теории массового обслуживания [12, 13].

Рассмотрим детальнее входящий в РВС планировщик задач с общей (глобальной) очередью, описываемый в [1, 14]. Имеется множество дисциплин обслуживания, которые делятся на приоритетные и беспriorитетные. В данном исследовании выбрана дисциплина обслуживания *FIFO* ввиду ее частого применения на практике. Принцип функционирования *FIFO* заключается в следующем: выбор задач на обслуживание из очереди выполняется в порядке их появления. Достоинства *FIFO* – несложная реализация, малое количество потребляемых системных ресурсов, отсутствие необходимости во внешнем вмешательстве в процесс вычисления, здесь не происходит перераспределение процессорного времени. Кроме всего прочего, имеется один существенный недостаток: при подобном виде обслуживания короткие задачи ожидают столько же, сколько и более трудоемкие. При этом, когда возрастает загрузка системы, возрастает и среднее время ожидания обслуживания.

Исследуемая модель представляет собой разомкнутую сеть массового обслуживания (РСМО), состоящую из двух систем массового обслуживания (СМО): первая система (S_1) – это массив ЦП, вторая (S_2) – планировщик [14]. На рис. 1 представлена структура модели исследуемой РВС [15].

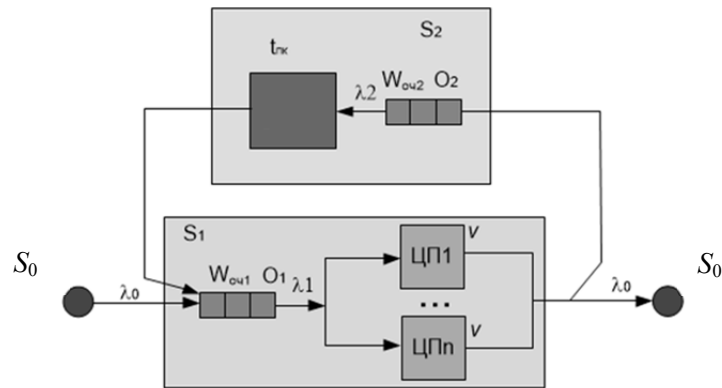


Рис. 1. Структура исследуемой модели РВС

Рассмотрим алгоритм ее работы. Задачи из источника S_0 в РВС поступают с интенсивностью λ_0 и становятся в очередь O_1 , если в ней есть свободные места. Если мест нет, задача покидает систему необработанной. В соответствии с дисциплиной *FIFO* задачи выходят из очереди с интенсивностью λ_1 и назначаются для обработки в n -й ЦП. Как только завершится время обслуживания, производится проверка на полное завершение обработки задачи. Если результат положительный, то задача покидает систему. Обработка задачи в n -м ЦП занимает квант времени (k). После завершения обработки ЦП из внутренней переменной задачи вычитается время обработки – время одного кванта (t_k). Далее выполняется проверка на завершенность методом сравнения внутренней переменной задачи, отвечающей за остаток времени, необходимого для завершения обработки, с нулем. При подтверждении того, что задача обработана окончательно, она покидает РВС. Если проверка не дает положительный ответ, то задача ждет освобождения планировщика, при этом n -й ЦП не освобождается, это явление создает очередь приостановленных ЦП. Когда планировщик освободится, задача поступит в него на обработку. После этого задача пытается вернуться в общую очередь при наличии в ней свободного места, иначе – покидает систему частично обработанной. Граф вышеописанной РВС представлен на рис. 2.

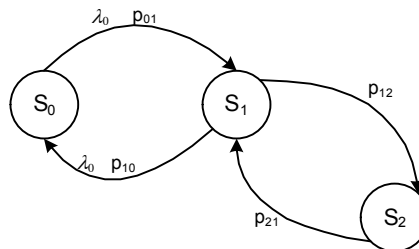


Рис. 2. Граф передач системы с общим планировщиком

На основе предложенного графа рассчитаны вероятности выхода (p_{10}) обработанной задачи и перехода (p_{12}) на обслуживание в планировщик. Вероятности p_{10} и p_{12} зависят от трудоемкости поступившей на обработку задачи: чем более трудоемкая задача, тем дольше она находится на обслуживании в ЦП, тем меньшее значение имеет вероятность выхода отработанной задачи из РВС и тем большее значение вероятности возвращения на дообслуживание задачи в ЦП [16]. При моделировании поступления в систему трудоемких задач значения p_{10} и p_{12} задавались 0,07 и 0,93 соответственно. При поступлении задач со средней трудоемкостью значения принимались равными 0,19 и 0,81. При моделировании поступления и обслуживания коротких задач p_{10} и p_{12} принимались равными 0,45 и 0,55 соответственно. Все расчеты проводились в программе аналитического моделирования и расчета сетей массового обслуживания [16].

Для получения результатов вычислительного эксперимента, проводимого на аналитических моделях, были исследованы вероятностно-временные характеристики, а именно загрузка ЦП, время пребывания задачи в системе, средняя длина очереди и т.д. При проведении эксперимента принимались параметры, вполне соответствующие реальным вычислительным системам: число ЦП варьировалось от 4 до 16; интенсивность поступления задач изменялась следующим образом: для задач с высокой реакцией от 9,3 до 93 задач/мс (среднее время обработки на ЦП составляет 0,009 мс), для задач со средней реакцией от 0,333 до 3,33 задач/мс (среднее время обработки на ЦП составляет 0,068 мс), для задач с низкой реакцией от 0,07 до 0,7 задач/мс (среднее время обработки на ЦП составляет 0,15 мс). Принятые значения интенсивностей обеспечивают среднюю загрузку ЦП на уровне 65 % ($\rho_{\text{ЦП}} = 0,65$); длина общей очереди в системе с планировщиком принята равной 128 задач; среднее время работы планировщика, учитывая время перезагрузки кэш-памяти и переключения контекста задач, составляет 0,002 мс [14].

Время ожидания обслуживания задачи в очередях РВС составит [14]

$$W = \frac{w_1 + w_2 p_{12}}{p_{10}}, \quad (1)$$

где w_1 – время ожидания в очереди перед ЦП; w_2 – время ожидания ЦП перед занятием планировщика; p_{10} – вероятность выхода обработанной задачи из РВС; p_{12} – вероятность перехода задачи на обслуживание в планировщик.

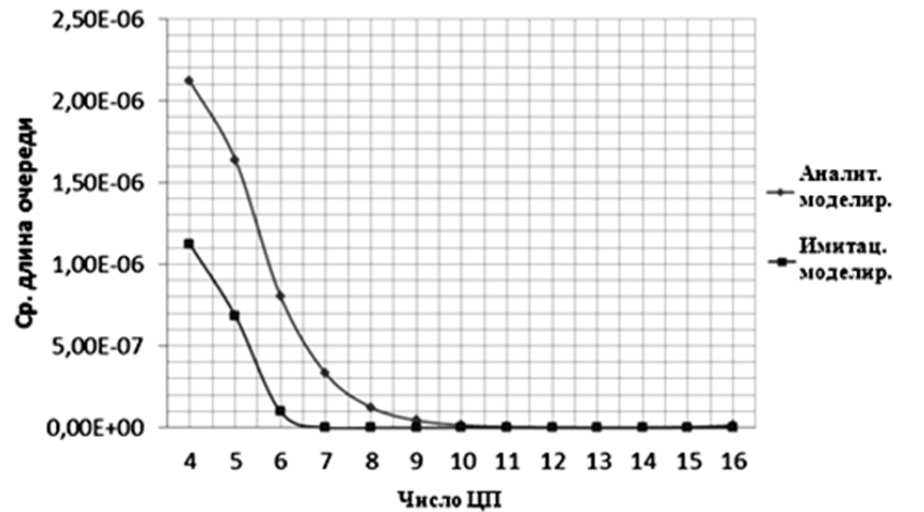
Время ответа (латентность) в системе с планировщиком и общей очередью задач в РВС составит [14]

$$U = \frac{w_1 + k(t_k + \delta) + p_{12}(w_2 + k(\tau + \zeta))}{p_{10}}, \quad (2)$$

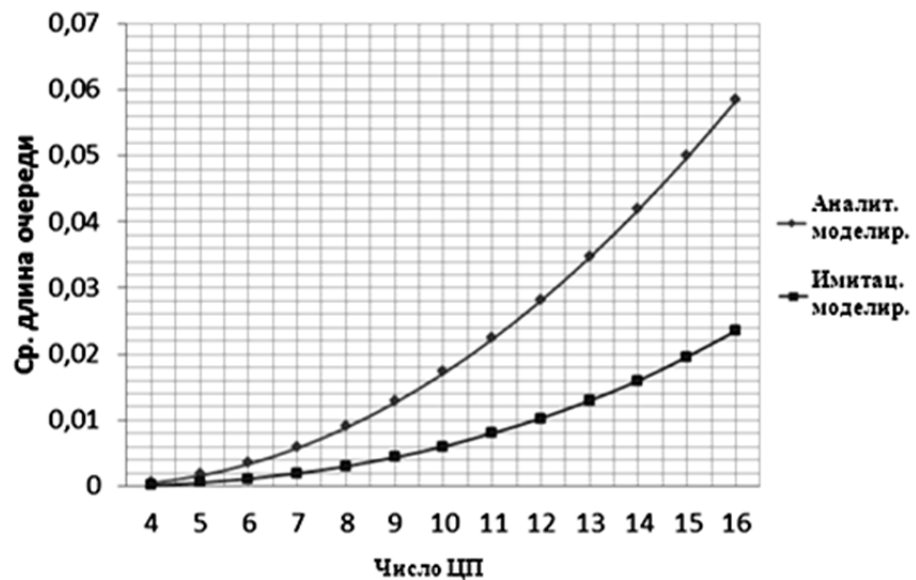
где k – число квантов на выполнение одной задачи; t_k – длительность одного кванта; δ – время, необходимое для перезагрузки кэш; ζ – время работы планировщика, τ – время, необходимое для переключения контекста задачи.

Во время проведения эксперимента по предложенной аналитической модели была разработана имитационная модель, по которой получены значения загрузки планировщика, средней длины очереди в РВС, также было исследовано, как влияет изменение трудоемкости задач на загрузку планировщика.

На рис. 3 представлены зависимости средней длины очереди перед ЦП и планировщиком от количества ЦП. Графики показывают, как при увеличении числа ЦП очередь стремится к нулю, когда как перед планировщиком она наоборот возрастает, отсюда следует вывод, что чем большее число ЦП в системе, тем больше вероятность простаивания нескольких ЦП.



а)



б)

Рис. 3. Зависимость средней длины очереди перед ЦП (а) и перед планировщиком (б) от количества ЦП в системе

На рис. 4 представлен график зависимости загрузки планировщика от трудоемкости задач в РВС.

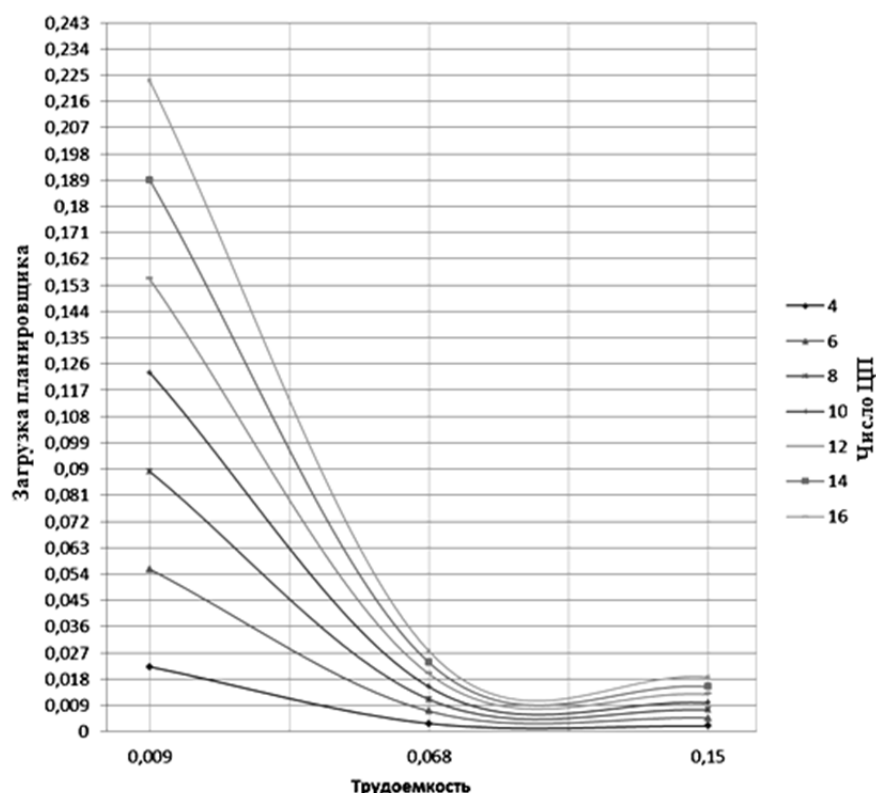


Рис. 4. Зависимость загрузки планировщика от трудоемкости задач в РВС

Из полученного рисунка можно сделать вывод: загрузка планировщика с временным разделением растет с понижением трудоемкости задач, т.е. с увеличением реактивности РВС.

Заключение

В результате проведенных экспериментов выявлено, что число процессоров в составе реконфигурируемой вычислительной системы зависит от параметров задач и архитектурных параметров планировщика задач. Полученные в ходе исследований результаты свидетельствуют об адекватности разработанной модели реальной системе.

Библиографический список

1. Таненбаум, Э. Современные операционные системы / Э. Таненбаум, Х. Бос. — СПб. : Питер, 2015. — 1120 с.
2. Вашкевич, Н. П. Аппаратная поддержка диспетчера задач с глобальной очередью в многопроцессорных системах / Н. П. Вашкевич, Р. А. Бикташев, А. И. Меркурьев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. — 2011. — № 3. — С. 3–14.

3. Левин, И. И. Реконфигурируемая вычислительная система на основе ПЛИС Virtex UltraScale с жидкостным охлаждением / И. И. Левин, А. И. Дордопуло, Ю. И. Доронченко, М. К. Раскладкин // Параллельные вычислительные технологии. – 2016. – С. 221–230.
4. Платунов, А. Е. Реконфигурируемые встраиваемые системы и системы на кристалле / А. Е. Платунов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2014. – № 4, Т. 57. – С. 49–52.
5. Ляшов, М. В. Гибридная реконфигурируемая система для высокопроизводительных вычислений / М. В. Ляшов, А. Н. Береза, Ю. В. Алексеев // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6.
6. Мартенс-Атюшев, Д. С. Реконфигурируемый вычислительный кластер для цифровой обработки сигнала / Д. С. Мартенс-Атюшев, А. И. Мартышкин // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов : сб. ст. XIII Всерос. науч.-техн. конф. / под ред. И. И. Сальникова. – Пенза, 2015. – С. 112–117.
7. Мартенс-Атюшев, Д. С. Разработка и исследование реконфигурируемого вычислительного кластера для цифровой обработки сигнала / Д. С. Мартенс-Атюшев, А. И. Мартышкин // Современные информационные технологии. – 2015. – № 21. – С. 190–195.
8. Мартенс-Атюшев, Д. С. Разработка реконфигурируемой вычислительной системы для цифровой обработки сигнала / Д. С. Мартенс-Атюшев, А. И. Мартышкин // Технические науки – от теории к практике. – 2015. – № 52. – С. 50–58.
9. Мартенс-Атюшев, Д. С. Разработка и исследование реконфигурируемой системы для цифровой обработки сигнала / Д. С. Мартенс-Атюшев, А. И. Мартышкин // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3-1. – С. 86–88.
10. Мартышкин, А. И. Разработка подсистемы планирования и назначения задач реконфигурируемой вычислительной системы для цифровой обработки сигнала / А. И. Мартышкин, Д. С. Мартенс-Атюшев // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов : сб. ст. XIV Всерос. науч.-техн. конф. / под ред. И. И. Сальникова. – Пенза, 2016. – С. 115–119.
11. Воронцов, А. А. Разработка и исследование реконфигурируемой вычислительной системы для цифровой обработки сигнала / А. А. Воронцов, Д. С. Мартенс-Атюшев // Инновации в науке. – 2016. – № 54. – С. 174–179.
12. Алиев, Т. И. Основы моделирования дискретных систем / Т. И. Алиев. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.
13. Бикташев, Р. А. Многопроцессорные системы: архитектура, топология, анализ производительности : учеб. пособие / Р. А. Бикташев, В. С. Князьков. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2004. – 107 с.
14. Мартышкин, А. И. Математическое моделирование диспетчеров задач в многопроцессорных вычислительных системах на основе стохастических сетей массового обслуживания : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.18 / Мартышкин А. И. ; Пензенская государственная технологическая академия. – Пенза, 2013.
15. Сальников, И. И. Исследование варианта реализации подсистемы планирования и назначения задач реконфигурируемой вычислительной системы для цифровой обработки сигнала / И. И. Сальников, Д. С. Мартенс-Атюшев // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2016. – № 2 (18). – С. 261–267.
16. Бикташев, Р. А. Программный комплекс для расчета вероятностно-временных характеристик стохастических сетей массового обслуживания / Р. А. Бикташев, А. И. Мартышкин // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем. – 2013. – № 1. – С. 1.

Мартышкин Алексей Иванович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра вычислительных машин
и систем,

Пензенский государственный
технологический университет

E-mail: alexey314@yandex.ru

Martyszhkin Aleksey Ivanovich

candidate of technical sciences,
associate professor,
sub-department of computers and systems,
Penza State Technological University

УДК 519.872.3, 519.872.8

Мартышкин, А. И.

Исследование характеристик подсистемы назначения задач реконфигурируемой вычислительной системы для цифровой обработки сигнала /
А. И. Мартышкин // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 1 (21). – С. 142–149.