

TECHNICAL SCIENCES

Martyshkin A.I.

THE MATHEMATICAL MODELING AND CALCULATION PROBABILITY CHARACTERISTICS OF MULTIPROCESSOR SYSTEM WITH A TASK MANAGER WITH STRATEGIES OF SEPARATION IN TIME

Martyshkin A.I., Russia, Candidate of technical Sciences, associate Professor, Penza State Technological University

Abstract

The article presents the results of computational experiments on modeling task managers with the strategy of separation in time for multiprocessor systems based on the open queuing networks. The results obtained in the classical modeling, simulations and modeling developed method. Finally, conclusions are drawn.

Keywords: mathematical model, real time system, separation in time, stochastic network, probability, correlation coefficient

Введение

При моделировании и исследовании вычислительных систем (ВС) адекватным аппаратом является теория массового обслуживания. Как правило для упрощения модели реальной системы опускают ряд факторов, которые могут существенно повлиять на результаты моделирования и сопоставление их с работой системы. В используемом методе моделирования (в нашем случае методе моделирования диспетчеров задач (ДЗ) со стратегией разделения во времени многопроцессорных систем (МПС)) имеют место следующие недостатки: 1) неограниченная

2d the International Conference «Research, Innovation and Education» 2015

длина очереди, это противоречит принципу ограниченности ресурсов ВС; 2) отсутствует модель конфликтов за общую очередь задач со стороны множества процессорных узлов (ПУ); 3) не учитываются задержки, связанные с переключением контекста задачи и перезагрузкой кэш-памяти ПУ.

Материалы и методы исследования

Назовем существующий метод моделирования СеМО базовым. Под базовым понимается метод, основанный на СМО с простейшими потоками задач, экспоненциальным временем обслуживания, неограниченной очередью заявок и бесприоритетной дисциплиной обслуживания. Вначале рассмотрим базовый метод моделирования, чтобы определить относительно него адекватность разработанного в [3] метода. Характеристики базовой и исследуемой системы (быстродействие ПУ, число ПУ, средняя загрузка ПУ и др.) одинаковы, отличием является очередь перед блоком ПУ (в базовом варианте она неограничена на длину, в исследуемом – она ограничена. Также отличительной особенностью является наличие ДЗ для устранения конфликтов за доступ к общей очереди задач перед блоком ПУ. Для проведения вычислительного эксперимента приняты следующие параметры, соответствующие реальным МПС: число ПУ варьировалось от 2 до 20; интенсивность входящего потока задач λ_0 для задач с высокой реакцией варьировалась от 6,5 до 65 задач/мс (среднее время обработки на ПУ i составляет 0,1 мс), интенсивность входящего потока задач λ_0 для задач со средней реакцией варьировалась от 0,416 до 4,16 задач/мс (среднее время обработки на ПУ i составляет 0,5 мс), интенсивность входящего потока задач λ_0 для задач со средней реакцией варьировалась от 0,13 до 1,3 задач/мс (среднее время обработки на ПУ i составляет 1,0 мс). Такие значения интенсивностей обеспечивают среднюю загрузку ПУ на уровне 65% ($\rho_{ПУ}=0,65$); длина общей очереди в базовой системе принята неограниченного размера, в системе с ДЗ длина общей очереди принята равной 128 задач; среднее время работы ДЗ, учитывая время перезагрузки кэш-памяти и переключения контекста задач, составляет 0,015 мс.

Известно, что системы реального времени (СРВ) имеют большой запас производительности ПУ, чтобы можно было решать задачи с низкой трудоемкостью (так называемые «короткие» задачи) [4]. При моделировании учитывалась трудоемкость задач: низкая или высокая, а также реакция на запрос. Низкая трудоемкость характерна для систем жесткого реального времени (СЖРВ), когда задача должна быть выполнена точно в срок и, зачастую, с высокой скоростью.

**2d the International Conference
«Research, Innovation and Education» 2015**

Низкая трудоемкость обусловлена либо небольшой длиной программы, либо высокой производительностью процессора. Трудоемкость задач варьировалась путем изменения времени обслуживания в ПУ. Считается, чем меньше время обслуживания задачи в ПУ, тем ниже её трудоемкость (выше реакция на запрос, что характерно для систем реального времени). Реакция на запрос варьировалась путем изменения величины кванта процессорного времени, предоставляемого выполняемым задачам. Считается, чем меньше квант, тем выше реакция на запрос.

Исследуем систему [1] с ограниченной общей очередью и ограничением числа источников запросов ДЗ. На рисунке 1 представлен граф такой системы.

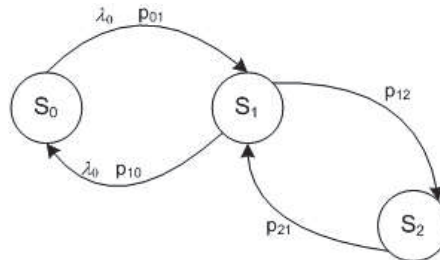


Рисунок 1 – Граф передач системы с диспетчером задач со стратегией разделения во времени

На рисунке: S₀ – предварительный планировщик (источник запросов), S₁ – процессорные узлы, S₂ – диспетчер задач.

Распишем выражение, полученное в [1] подробнее

$$W = \omega_1 p_{10} + \omega_2 p_{12} / p_{10} = (\omega_1 + \omega_2 p_{12}) / p_{10}, \quad (1)$$

где ω_1 – время ожидания в очереди перед процессорными узлами; ω_2 – время ожидания процессорных узлов перед занятием ДЗ; p_{10} – вероятность выхода обработанной задачи из системы; p_{12} – вероятность перехода задачи на обслуживание в ДЗ.

Время ответа в системе с ДЗ и единой очередью задач в МПС

$$U = (\omega_1 + k(t_k + \delta) + p_{12}(\omega_2 + k(\tau + \zeta))) / p_{10}, \quad (2)$$

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

2d the International Conference «Research, Innovation and Education» 2015

Значения вероятностей p_{10} и p_{12} зависят от трудоемкости пришедшей на выполнение задачи (чем большей трудоемкостью обладает пришедшая задача, тем дольше она находится на обработке в ПУ, тем меньшее значение имеет вероятность выхода отработанной задачи из системы (p_{10}) и тем большее значение вероятности (p_{12}) возвращения на дообслуживание задачи в ПУ). При моделировании прохождения через систему трудоемких («длинных») задач значения p_{10} и p_{12} задавались 0,1 и 0,9 соответственно. При рассмотрении задач средней трудоемкости значения принимались равными 0,16 и 0,84 соответственно. При моделировании поступления и обслуживания коротких (задач с самой маленькой трудоемкостью), значения p_{10} и p_{12} принимались равными 0,5 и 0,5 соответственно. Все расчеты проводились в разработанной программе расчета сетей массового обслуживания [2].

Были получены времена ожидания в очередях МПС с единым ДЗ со стратегией разделения во времени, времена ответа МПС с единым ДЗ, а также загрузка ДЗ от трудоемкости задач. Результаты представлены в виде графиков на рисунках 3 и 4.

Имитационное моделирование. Модель описывает процесс обработки задач в МПС. Время обработки каждой задачи выбирается при генерировании случайно по значению интенсивности входного потока λ_0 . Среднее время обработки задачи выбирается по произведению времени одного кванта (t_k) на количество квантов (k), необходимых для полного выполнения задачи ПУ.

Моделируемая система представляет собой массив ПУ с общим ДЗ и общей очередью задач на обслуживание. Схема имитационной модели представлена на рисунке 2.

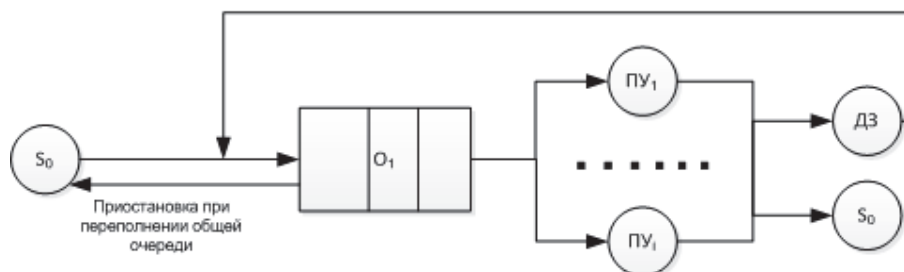


Рисунок 2 – Схема МПС с общим ДЗ. Имитационное моделирование

На рисунке 2 приняты следующие обозначения: S_0 – источник задач (предварительный планировщик); O_1 – очередь

2d the International Conference «Research, Innovation and Education» 2015

задач, ожидающих обслуживания; ДЗ – диспетчер задач; ПУ1- $ПУi$ – процессорные узлы.

Задачи из предварительного планировщика помещаются в очередь, если в ней имеются свободные места. Иначе они покидают вычислительную систему не обработанными. Из очереди задачи равновероятно назначаются по ПУ, выбираясь в порядке поступления (*FIFO*), они выходят из очереди и поступают на обработку в соответствующий i -й ПУ. Также с некоторой вероятностью перед обработкой очередной поступившей задачи i -й ПУ перезагружает кэш-память (вероятность перезагрузки кэш-памяти будет равна $(n-1)/n$, где n – число ПУ в системе).

После окончания кванта обработки проверяется, завершена ли обработка данной задачи полностью. При положительном ответе обслуженная задача покидает систему. Задача обрабатывается на i -м ПУ целый квант времени (k). По окончании обработки в ПУ из внутренней переменной задачи вычитается время обработки – время одного кванта (t_k). Затем происходит проверка на завершенность путем сравнения внутренней переменной задачи, отвечающей за остаток времени необходимого для завершения обработки, с нулем. Если задача обработана полностью, то она покидает вычислительную систему. Иначе задача ожидает освобождения ДЗ, не освобождая до тех пор i -й ПУ, создается очередь ожидающих (приостановленных) ПУ. Как только ДЗ освободится, задача переходит на обработку в него, где также происходит равновероятностная смена ПУ. Далее задача пытается вернуться в общую очередь при наличии в ней свободного места, иначе – покидает систему частично обработанной.

В ходе проведенного вычислительного эксперимента изменялась трудоемкость задач, поступающих на выполнение в МПС, включающую общий ДЗ. Загрузка ПУ находилась на уровне 65%, что соответствует средней загрузке системы. Число ПУ варьировалось от 2 до 20. Трудоемкость задач принята следующей: для задач с низкой трудоемкостью (требующих высокой реакции на запрос) – 0,1 мс, для задач со средней трудоемкостью – 0,5 мс, наконец, для самых трудоемких задач – 1,0 мс. Время кванта для проведенных опытов принято постоянным и равным 0,1 мс. Время работы ДЗ при переключении контекста задач составляет 5 мкс (получено измерением на системе-прототипе с помощью программы измерения [3]); время перезагрузки кэш-памяти принято равным 5 мкс (оценка получена с помощью программы *RightMark Memory Analyzer*).

2d the International Conference «Research, Innovation and Education» 2015

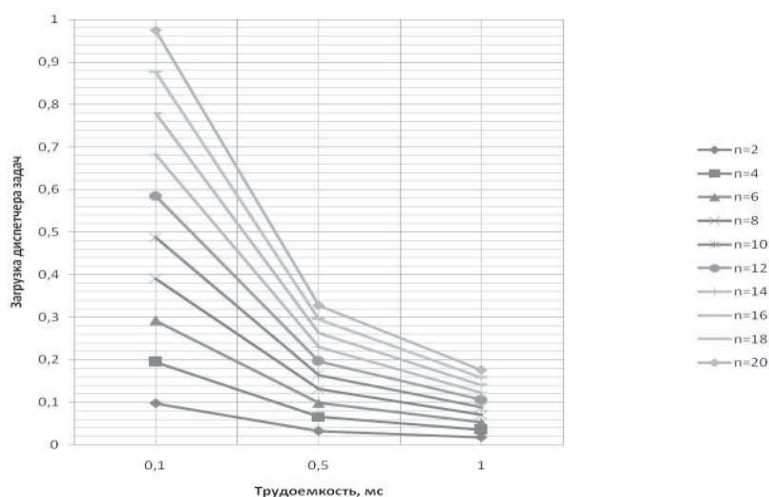


Рисунок 3 – Зависимость загрузки ДЗ от трудоёмкости задач в МПС с общим ДЗ

Из приведенного графика следует, что загрузка ДЗ со стратегией разделения во времени растет с понижением трудоёмкости задач, т.е. с увеличением реактивности МПС.

Зависимость времени ответа МПС от числа ПУ при поступающем от предварительного планировщика потоке задач, требующих высокой реакции, полученная в ходе исследования системы с единым ДЗ, представлена на рисунке 4.

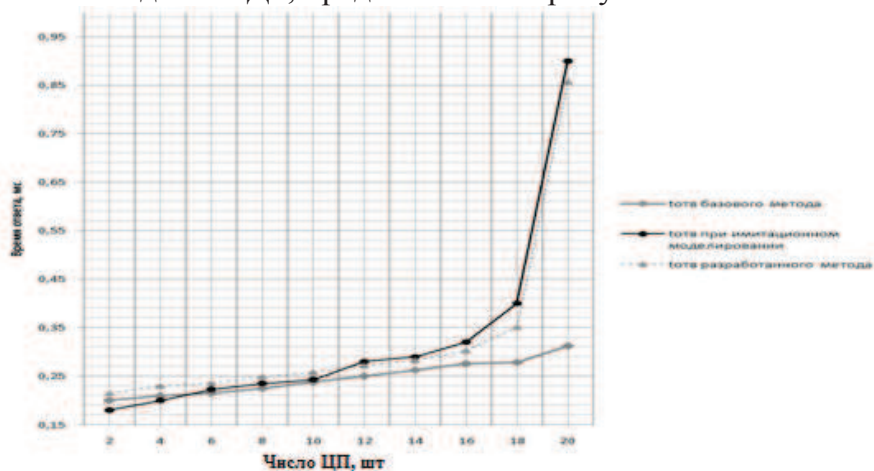


Рисунок 4 – Зависимость времени ответа многопроцессорной системы от числа процессорных узлов при потоке задач, требующих высокой реакции

Анализ полученного графика показывает, что при увеличении числа процессорных узлов резко возрастает время ответа в модели, использующей разработанный метод и метод имитационного моделирования, что говорит об адекватности разработанного метода. Резкий рост времени ответа объясняется высокой загрузкой ДЗ, обслуживающего множество ПУ.

2d the International Conference «Research, Innovation and Education» 2015

Модель, использующая базовый метод, ведет себя неадекватно относительно имитационного метода при числе процессоров более 16 для заданных параметрах задач и архитектурных параметрах многопроцессорной системы. Это свидетельствует о том, что точность моделирования базовым методом масштабных многопроцессорных систем резко снижается. Формально это снижение показано корреляционной зависимостью результатов, полученных на имитационной и аналитических моделях. Для получения корреляционной зависимости использовался регрессионный анализ. Линейный коэффициент корреляции базового метода моделирования с имитационной моделью составляет 0,83, а разработанного метода приближается к единице – 0,99.

Выводы

В результате проведенных экспериментов выявлено, что число процессорных узлов в составе многопроцессорной системы зависит от параметров задач и архитектурных параметров диспетчера задач.

Проведена верификация метода математического моделирования для оценки показателей производительности диспетчеров задач с разделением во времени в многопроцессорных системах посредством корреляционного анализа. Показано, что линейный коэффициент корреляции существующего метода моделирования с имитационной моделью составляет 0,83, а разработанного метода приближается к единице – 0,99. Это свидетельствует о большей адекватности разработанного метода моделирования процессам в реальной системе, чем при использовании традиционных методов, основанных на экспоненциальных разомкнутых сетях массового обслуживания.

References

1. A.I. Martyshkin, R.A. Biktashev, N.G. Vostokov. The Mathematical Modeling of Task Managers for Parallel Processing Systems on the Basis of Open Queueing Systems // In the World of Scientific Discovery. 2013. № 6.1 (42) (Mathematics. A mechanic. Informatics). P. 81–101.
2. Certificate of state registration of the computer number 2013611117. Program package for the calculation of probability-time characteristics of stochastic queuing networks. Registered in the Register of computer programs January 9, 2013

**2d the International Conference
«Research, Innovation and Education» 2015**

3. Certificate of state registration of the computer number 2013611118. Program complex for measuring the performance of the functions of operating systems. Registered in the Register of computer programs January 9, 2013
4. A. Tanenbaum. Modern Operating Systems. The 3rd Edition. SPb.: Piter, 2010. 1120 p