

Martyshkin A.I.

MATHEMATICAL MODELING OF TASK MANAGERS WITH THE STRATEGY OF SPACE SEPARATION WITH THE UNIFORM AND NONUNIFORM INCOMING REQUESTS FLOW AND LIMIT QUEUE LENGTH

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

Abstract

The article deals with mathematical modeling for analyzing the capacity of a multiprocessor system with Tasks Managers with the strategy of separation in space. Research methods are based on concepts of the analytical modeling theory, systems theory and queuing networks, probability theory and stochastic processes. The article presents analytical equations for the research of tasks managers with the strategy of separation in space for multiprocessor systems based on open queuing networks. The analytical part has been checked by simulation modeling. Finally, conclusions have been made.

Keywords: mathematical modeling, Task Manager, space separation, stochastic process, stochastic network, priority, probability

Введение

В реальных вычислительных системах (ВС) требования на обслуживание поступают в случайные моменты времени. Распределение времен поступления и обслуживания может подчиняться определенным законам. В данной статье для простоты понятия математическое моделирование системы производится на основе систем массового обслуживания (СМО) типа М/М/1. При создании модели реальной ВС будут получены предельные характеристики рассматриваемой системы. Такая модель дает наихудший вариант поведения ВС, при котором получают верхние граничные вероятностно-временные характеристики и гарантию работоспособности моделируемой вычислительной системы при заданных параметрах.

В существующих ВС, особенно в системах реального времени (СРВ), входящие задачи на обслуживание представляют собой неоднородный поток, который содержит требования разных типов. Например, в СРВ на выполнение могут поступать задачи разного приоритета (разной степени значимости). Высокоприоритетные требования будут обслуживаться быстрее, так как необходимо как можно скорее отреагировать на них и выдать результат. Задачи с более низким приоритетом (низкой значимостью) в случае, если у поступившей задачи абсолютный приоритет по сравнению с текущей, прерываются. Затем, после окончания обслуживания прерванного требования, дообслуживается прерванная задача. Прерванная задача переводится в режим ожидания. В случае, если поступившая задача имеет относительный приоритет по сравнению с выполняемой, она дожидается окончания работы с текущим заданием. Исходя из описанного выше, рассмотрим МПС с распределенными ДЗ как систему с неоднородным потоком задач на обслуживание.

Материалы и методы исследования

Существует два типа диспетчеров задач (ДЗ) многопроцессорных систем (МПС): со стратегией разделения времени и пространства [1, 2, 3]. ДЗ с временным разделением рассмотрены в работах [4, 5, 6, 7]. Здесь речь пойдет о ДЗ с пространственным разделением задач.

Математическая модель ДЗ со стратегией разделения пространства [1, 6] состоит из n одноканальных СМО (S_1, \dots, S_n) (рисунок 1). Каждая такая СМО моделирует обслуживание в подсистеме «диспетчер задач – процессорный узел» («ДЗ – ПУ»). Источник S_0 моделирует потоки задач λ_0 и поглощает обслуженные задачи. Перед СМО $S_1, S_2, \dots, S_{n-2}, S_{n-1}$ формируются очереди с ограничением числа мест k . Если имеется свободное место в одной из очередей, то задача занимает его и находится в локальной очереди до тех пор, пока не поступит на выполнение в ПУ. Если используется режим квантования, то незавершенная задача по окончании текущего кванта назначается ДЗ на дообслуживание и помещается в конец той же очереди, где она находилась ранее, иначе результат выдается пользователю, а в локальной очереди освобождается одно место. При завершении выполнения задачи ДЗ просматривает свою очередь. Если в ней имеются требования на обслуживание, то назначается на выполнение задача, стоящая в голове списка. Если очередь пуста, система «ДЗ – ПУ» переходит в режим ожидания. «ДЗ – ПУ» в данном случае производит балансировку загрузки по некоторому алгоритму. Поэтому при переполнении i -й очереди (с вероятностью $p_{перераспр\ i}$) задачи извлекаются из нее и передаются с некоторой вероятностью в наименее загруженную j -ю очередь.

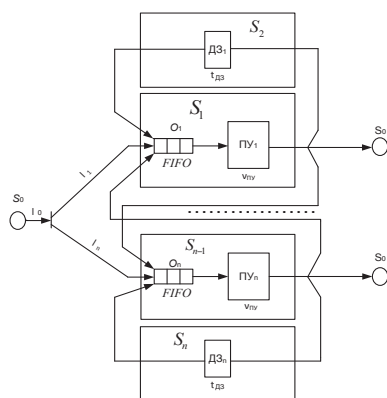


Рисунок 1 – Схема МПС с ДЗ с пространственным разделением задач

Рассматриваемая система представлена в виде сети массового обслуживания (СМО), являющейся совокупностью одноканальных СМО. На вход каждой СМО ($S_1, S_3, \dots, S_{n-3}, S_{n-1}$) поступает поток запросов в общем случае с интенсивностями $\lambda_1, \lambda_3, \dots, \lambda_{n-3}, \lambda_{n-1}, \lambda_0 = \lambda_1 + \lambda_3 + \dots + \lambda_{n-3} + \lambda_{n-1}$. Интенсивность обслуживания подсистемой «ДЗ – ПУ» потока требований равна $1/(\tau_{ДЗ} + v_{ПУ})$, где $\tau_{ДЗ}$ – время работы ДЗ, $v_{ПУ}$ – время работы ПУ. Задача, поступившая в момент, когда подсистема занята, становится перед ней в очередь и ожидает обслуживания. Допустим, независимо от того, сколько задач поступает в очередь, она не может вместить более k задач, из которых одна обслуживается, а $k-1$ ожидают. Требования, не попавшие в очередь ожидания O_i , обслуживаются в другом месте, направляются в другую очередь. Рассмотрим интенсивности потоков задач в рассматриваемой МПС. Интенсивности $\lambda_1, \lambda_3, \dots, \lambda_{n-3}, \lambda_{n-1}$ зависят от входящей интенсивности потока задач источника S_0 (λ_0) и вероятностей переходов из СМО S_i в СМО S_j . Поскольку в СМО $S_1, S_3, \dots, S_{n-3}, S_{n-1}$ могут возникать отказы в обслуживании и переназначении задачи в другую подсистему «ДЗ-ПУ», то интенсивности потоков $\lambda_1, \lambda_3, \dots, \lambda_{n-3}, \lambda_{n-1}$ будут падать. С другой стороны, это падение будет компенсироваться переназначением задач из заполненных очередей.

Задача распределяется в другую подсистему «ДЗ – ПУ» в том случае, когда текущая подсистема «ДЗ – ПУ» занята и все k мест в очереди – тоже, причем вероятность перераспределения

$$P_{\text{перераспр}} = (\rho_i^{k+1} \cdot (1 - \rho_i)) / (1 - \rho_i^{k+2}), \quad (1)$$

где $\rho_i = \lambda_i \cdot (\tau_{ДЗ} + v_{ПУ})$.

Согласно выражениям и выкладкам, приведенным в [8, 9, 10], получим формулу для нахождения средней длины очереди перед системой «ДЗ – ПУ»

$$l_i = (\rho_i^2 \cdot (1 - \rho_i^k \cdot (k + 1 - k \cdot \rho_i))) / ((1 - \rho_i^{k+2}) \cdot (1 - \rho_i)) \quad (2)$$

Теперь определим среднее время ожидания задачи в очереди перед «ДЗ– ПУ» ω_i . Требование поступает в систему в определенный момент времени. С вероятностью p_0 система «ДЗ – ПУ» свободна и время ожидания равно нулю. С вероятностью p_1 задача поступит в СМО, перед ней не будет очереди, и она будет ждать своего обслуживания в течение времени $\tau_{ДЗ} + v_{ПУ}$ (среднее время обслуживания одной задачи). С вероятностью p_2 в очереди перед рассматриваемой задачей будет стоять еще одна и время ожидания в среднем будет $2 \cdot (\tau_{ДЗ} + v_{ПУ})$, и т. д. При $q=k+1$, т.е. когда вновь приходящая задача застанет «ДЗ – ПУ» занятым и еще k задач в очереди, то время ожидания в этом случае также равно нулю, потому что задача не принимается в данную очередь. Опираясь на [8, 11, 12], среднее время задержки задачи в i -й очереди будет равно

$$\omega_i = l_i / \lambda_i. \quad (3)$$

Среднее время ожидания задачи в очередях сети рассчитывается согласно выражению [8, 13, 14] как сумма времен ожидания во всех СМО сети, умноженные на коэффициент передачи, показывающий сколько раз задача проходит через i -ю СМО. Время ответа в системе с распределенными ДЗ определяется по формуле [8], как сумма времен ответа всех подсистем «ДЗ – ПУ» сети, умноженные на коэффициент передачи.

Теперь рассмотрим базовый метод, чтобы относительно него проводить анализ разработанного в [3, 6] метода. Параметры задач и архитектурные параметры базовой и исследуемой моделей приняты одинаковыми. Отличием являются очереди перед процессорными узлами (в базовом варианте они приняты неограниченной длины, в варианте с распределенными ДЗ со стратегией разделения пространства – они ограничены, также отличительной особенностью является наличие перераспределения задач по очередям для обеспечения балансировки загрузки системы). Для проведения вычислительного эксперимента возьмем систему с 4-мя ПУ и, соответственно, с 4 ДЗ. Представим граф такой системы (рисунок 2). Здесь S_0 – источник задач; $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8$ – подсистемы «ДЗ – ПУ» (причем, S_1, S_3, S_5, S_7 – процессорные узлы системы, а S_2, S_4, S_6, S_8 – ДЗ).

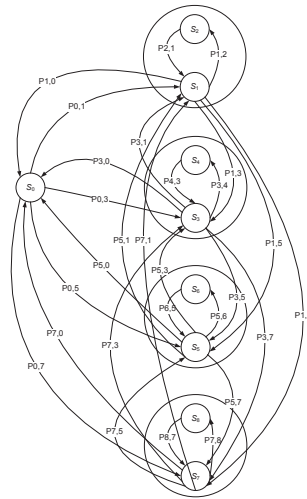


Рисунок 2 – Граф системы с 4 подсистемами «ДЗ-ПУ»

Назначение требований по очередям рассматриваемой сети выбрано равновероятное, чтобы приближенно оценить картину математического моделирования реального процесса, для избегания перегрузки системы, когда все задачи будут пытаться получить обслуживание в одном или нескольких ПУ, а некоторые ПУ будут вовсе простаивать. $\lambda_i = \lambda_0/n$ при равной вероятности распределения запросов.

Рассмотрим систему с n ПУ с неоднородным потоком задач и относительными приоритетами выбора задач из очереди. Источник S_0 моделирует неоднородный поток задач на обслуживание (λ_0), распределяющийся по $n-1$ СМО. Поток требований на обслуживание состоит из H классов (приоритетов) задач $\lambda_i = \lambda_{j1} + \lambda_{j2} + \dots + \lambda_{jH}$. Перед i -м ПУ формируется очередь задач, в которую поступают неоднородные требования. Принятая на обслуживание задача находится в очереди до тех пор, пока не поступит на выполнение в подсистему «ДЗ – ПУ». СеМО состоит из n одноканальных СМО. При обслуживании задач с относительными приоритетами, они выполняются подсистемой «ДЗ – ПУ» в порядке поступления. В случае прихода в очередь более приоритетного требования, оно будет обслужено вне очереди, после окончания работы с текущей задачей. Среднее время обслуживания системой «ДЗ – ПУ» потока требований равна $\tau_{ДЗ} + v_{ПУ}$. Задача, поступившая в момент, когда система занята, становится перед ней в очередь, ограниченную число мест k , и ожидает обслуживания. Требования, не попавшие в очередь ожидания O_i , с некоторой вероятностью направляются в другие очереди. Значения интенсивностей потока, распределяемого по n -очередям, ($\lambda_1, \lambda_3, \dots, \lambda_{n-3}, \lambda_{n-1}$) зависят от входящей интенсивности потока задач источника S_0 (λ_0), числа

типов задач и вероятностей переходов из СМО S_i в СМО S_j . Согласно [15], можно заменить систему $M/G/1$ с ограниченной очередью на аналогичную систему с неограниченной очередью. СеМО, состоящую из СМО с неограниченными очередями задач, проще проанализировать и определить основные характеристики, чем состоящую из СМО с ограничением длины очереди, в том случае, когда очередь содержит большое число мест (не менее 16 для задач СРВ) в таком случае погрешность вычислений составит менее 2,5% [15]. Среднее время ожидания задач с относительными приоритетами в очереди перед i -й подсистемой «ДЗ – ПУ» определится в соответствии с выражением [8].

Рассмотрим n -процессорную систему с неоднородным потоком задач и абсолютными приоритетами. Поток требований на обслуживание состоит, как и в случае с относительными приоритетами, из H -классов задач. $\lambda_i = \lambda_{j1} + \lambda_{j2} + \dots + \lambda_{jH}$. Перед i -й подсистемой «ДЗ – ПУ» формируется очередь задач, в которую поступают разнородные требования. Принятая на обслуживание задача находится в локальной очереди до тех пор, пока не поступит на выполнение в ПУ. СеМО состоит из n одноканальных СМО.

В случае обслуживания с абсолютными приоритетами, задачи выполняются в порядке поступления, однако, в случае поступления в очередь более приоритетного запроса на выполнение, он будет обслужен вне очереди, прервав выполнение текущей задачи [8]. На вход очереди подсистемы «ДЗ – ПУ» поступает поток из H -типов задач на выполнение с интенсивностями $\lambda_i = \lambda_{j1} + \lambda_{j2} + \dots + \lambda_{jH}$, где H – приоритет этих требований. Предположим, обслуживается требование j -го приоритета. На вход системы поступает задача i -го приоритета. Если $i < j$, то поступившая задача ставится в очередь. При $i > j$ обслуживание требования j -го приоритета прерывается и начинается обслуживание задачи i -го приоритета. После завершения выполнения требования i -го приоритета производится дообслуживание задачи j -го приоритета, если на обслуживание не поступила новая заявка с более высоким приоритетом.

Среднее время ожидания задач с абсолютными приоритетами в очереди перед i -й системой «ДЗ – ПУ» определится в соответствии с выражением [8] и с учетом допущений, полученных в [2].

Результаты экспериментов. В ходе проведенных экспериментов (моделирование проводилось с помощью программ [16, 17]) изменялась трудоемкость задач (низкая для задач, требующих высокой реактивности, средняя и высокая – для задач, требующих низкой реактивности). Загрузка ПУ находилась на уровне 65%, что соответствует средней загрузке системы. Число ПУ варьировалось от 2 до 20. Трудоемкость задач принята следующей: для задач, требующих высокой реакции – 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 [16, 17]); время перезагрузки кэш-памяти принято равным 5 мкс (оценка получена с помощью тестового пакета RightMark Memory Analyzer [18]).

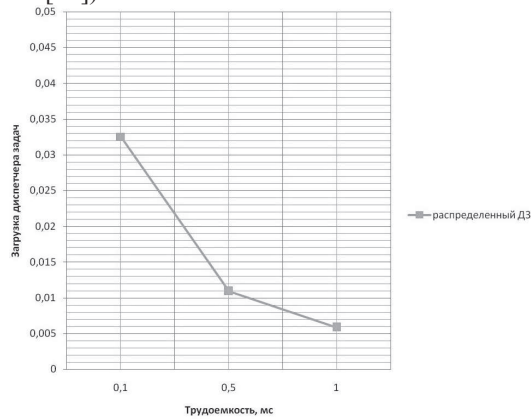


Рисунок 3 – Зависимость загрузки ДЗ от трудоемкости задач

Из графика (рисунок 3) следует, что загрузка ДЗ со стратегией разделения пространства растет при уменьшении трудоемкости задач, но значительно в меньших пределах, чем в ДЗ со стратегией разделения во времени при одинаковых параметрах задач и архитектурных параметрах. Это свидетельствует о потенциальной высокой производительности ДЗ со стратегией распределения пространства.

На рисунке 4 приведен совмещенный график, показывающий зависимость времени ответа системы, включающей ДЗ со стратегиями разделения времени и пространства.

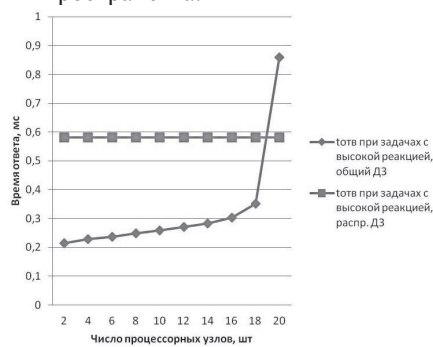


Рисунок 4 – Зависимость времени ответа МПС от числа ПУ при потоке задач, требующих высокой реакции системы.

Из рисунка 4 видно, что с увеличением числа ПУ возрастает и время ответа системы, включающей ДЗ со стратегией разделения во времени. При решении задач с низкой трудоемкостью (высокой реактивностью) оно минимально для любого числа ПУ и увеличивается с ростом их трудоемкости. Время ответа системы, включающей ДЗ со стратегией разделения пространства, остается постоянным при любом числе ПУ в системе. В результате моделирования выявлено, что ДЗ со стратегией разделения во времени с заданными архитектурными параметрами и параметрами задач показывают лучшие результаты по производительности в диапазоне от 2 до 19 ПУ, чем ДЗ со стратегией разделения пространства.

Выводы

Таким образом, для МПС жесткого реального времени с небольшим числом ПУ следует использовать ДЗ с разделением времени, при большем, соответственно, – ДЗ с разделением пространства.

Результаты моделирования показывают, что разработанный метод моделирования ДЗ с пространственным разделением задач показывает лучшие характеристики, приближенные к реальным системам, чем классический метод, основанный на СМО М/М/1. Полученные значения коэффициентов корреляции свидетельствуют о большей адекватности разработанного метода имитационной модели.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Грант № 16-07-00012 А).

References:

- [1] Tanenbaum, A., Bos H. Modern operating systems. The 4th Edition. SPb.: Piter, 2015. PP. 1120
- [2] Martyshkin A.I. Mathematical modelling of Task Managers in multiprocessor computing systems based on stochastic queueing networks: candidate thesis: 05.13.18 / Martyshkin Alexey Ivanovich Penza State Technological University. Penza, 2013. PP. 160
- [3] Martyshkin A.I., Yasarevskaya O.N. Mathematical modeling of Task Managers for Multiprocessor systems on the basis of open-loop queueing networks//ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015. V. 10. № 16. PP. 6744-6749
- [4] Martyshkin A.I. Investigating Multi-processor Task Managers on Queueing Models // 21st Century: The Resumes of the Past and the Challenges of the Present Plus: Scientific and Methodological Journal. Penza: PGTA. 2012. № 5. PP. 139-145
- [5] Martyshkin A.I., Biktashev R.A., Vostokov N.G. The mathematical modeling of Task Managers for parallel processing systems on the basis of open queueing systems // In the World of Scientific

- Discoveries 2013. № 6.1 (42) (Math. Mechanics. Computer science). PP. 81-101
- [6] Martyshkin A.I. Mathematical modelling of Task Managers in multiprocessor computing systems based on stochastic queueing networks: abstract of candidate thesis: 05.13.18 / Martyshkin Alexey Ivanovich Penza State Technological University. Penza, 2013. PP. 23
- [7] Biktashev R.A., Martyshkin A.I. Modeling of Task Managers of Multiprocessor Systems // Advances of Modern Natural Science: Scientific Theoretical Journal. 2012. №6. PP. 83-85
- [8] Aliyev T.I. The Basics of Discrete System Modeling. SPb.: SPbGU ITMO, 2009. PP. 363
- [9] Matalytskiy M.A., Tichonenko O.M., Koluzayeva Ye.V. The Queueing Systems and Networks: the Analysis and Applications: The Monograph. Grodno: GrGU, 2011. PP. 816
- [10] Lozhkovskiy A.G. The Queueing Theory in Telecommunications: Textbook. Odessa: ONAS named after A.S. Popov, 2012. PP. 112
- [11] Abramov V. M. Stochastic Analysis and Applications, Vol. 24, Issue 6 (2006): 1205-PP. 1221
- [12] Kempa Wojciech M. Stochastic Models Vol. 26, Issue 3 (2010): PP. 335-356
- [13] Masuyama Hiroyuki, Takine Tetsuya. Stochastic Models, Vol. 19, Issue 3 (2003): PP. 349-381
- [14] Nadarajah Saralees. Stochastic Analysis and Applications, Vol. 26, Issue 3 (2008): PP. 526-536
- [15] Zaharikova E.B. Computer modeling of processes in systems and queueing networks: candidate thesis: 05.13.18 / Zaharikova Elena Borisovna. Penza, 2013. PP. 171
- [16] Biktashev R.A., Martyshkin A.I. The program package for the calculation of probability-time characteristics of stochastic queueing networks // Computer Programs. Database. Integrated Circuits. 2013. №1. PP. 1
- [17] Biktashev R.A., Martyshkin A.I. Program package for measuring the performance of the functions of operating systems // Computer Programs. Database. Integrated Circuits. 2013. №1. PP. 2
- [18] Mikhalev V.. Performance Test Results QNX Neutrino. // Modern Automation Technology: Scientific and Technical Journal. 2012. №2. PP. 82-88