

УДК 004.7

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ МАГИСТРАЛИ СЕТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕЖДУ ГИБКИМИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ МОДУЛЯМИ

Прохончуков С.Р., Подлевских А.П.

*НОУ ВПО «Международный институт компьютерных технологий»,
Воронеж, e-mail: sprokhonchukov@gmail.com;*

НОУ ВПО «Московский технологический институт», Москва, e-mail: a_podlevskikh@mti.edu.ru

В статье рассмотрено решение проблем организации эффективного распределения пропускной способности магистрали сети между всеми подключенными абонентами и минимизации аппаратных затрат на организацию связи. Заявки от абонентов сети перемещаются от входа к выходу системы обслуживания требований в соответствии с установленными законами управления, задаваемыми дисциплинами ожидания и обслуживания. Дисциплина ожидания определяет очередность приема требований в систему и порядок расположения их в очереди, дисциплина обслуживания задает порядок выбора заявок из очереди для назначения на обслуживание. В зависимости от принятого порядка обработки заявок различают системы с беспriorитетными и приоритетными дисциплинами. Предложен алгоритм обработки заявок от абонентов с дисциплиной выравнивания приоритетов. В результате применения предложенной дисциплины выравнивания приоритетов для систем, в которых критичным параметром является время ответа, разработанная математическая модель показывает повышение резерва производительности системы на (15–20)%.

Ключевые слова: дисциплина FIFO, дисциплина LIFO, дисциплина выбора заявки из очереди случайным образом, относительные приоритеты, абсолютные приоритеты, система массового обслуживания с относительными приоритетами, дисциплина обслуживания с выравниванием приоритетов, среднее время обслуживания заявки прибором, среднее время ожидания заявки начала обслуживания, среднее время дообслуживания заявки, средняя интенсивность включения заявок в очередь, пуассоновский характер образования заявок, коэффициент равноправного обслуживания, стоимость пребывания заявок абонентов в единицу времени в системе, загрузка оборудования, повышение резерва производительности системы

IMPROVING THE EFFICIENCY OF CAPACITY ALLOCATION BACKBONE AUTOMATED CONTROL SYSTEM BETWEEN FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS

Prokhonchukov S.R., Podlevskikh A.P.

*International Institute of Computer Technology, Voronezh, e-mail: sprokhonchukov@gmail.com;
Moscow Technological Institute, Moscow, e-mail: a_podlevskikh@mti.edu.ru*

The paper considers the problem-solving organization efficient allocation of bandwidth backbone between all connected subscribers and minimize hardware costs for the organization of communication. Applications from subscribers move from input to output of the jobs in accordance with the laws of the management disciplines definable expectations and service. Discipline expectations determines the order reception system requirements and ordering them in a queue service discipline is the order of selection of applications from the queue for the destination service. Depending on the order of processing of applications received to distinguish systems with besprioritetnymi and priority disciplines. We propose an algorithm processing of requests from subscribers discipline alignment of priorities. As a result of the proposed prioritization alignment discipline to systems in which the critical parameter is the response time, the mathematical model shows the increase allowance for system performance (15–20)%.

Keywords: discipline FIFO, discipline LIFO, discipline select applications from the queue randomly, relative priorities, are absolute priorities, queuing system, service discipline with the relative priorities, service discipline alignment of priorities, the average time to the application device, the average waiting time application start service, the average time Priority Service application, the average intensity of the inclusion of all applications, Poisson character education applications, the coefficient equal service, the cost of the host applications subscribers per unit of time in the system, loading equipment, increasing the reserve system performance

В настоящее время актуальной является задача технического перевооружения предприятий отечественного машиностроения, направленная на повышение конкурентоспособности российской промышленности. Основой такого перевооружения является комплексная автоматизация процессов управления, а также всемерное

повышение эффективности производства за счет использования передовых технологий. Применение новых прогрессивных технологий дает мощный потенциал для повышения производительности труда, снижения энерго- и ресурсопотребления, повышения качества выпускаемой продукции.

В современных условиях к прогрессивным технологиям можно отнести такое производство, которое динамично и на высоком уровне качества реагирует на возникающие задачи. Прогнозируя развитие промышленного производства и анализируя научно-технические разработки, можно предположить, что к такому роду производства можно отнести гибкие производственные системы (ГПС), которые наилучшим образом удовлетворяют требованиям заказчика и производителя, повышают конкурентоспособность предприятий, обеспечивая высокую эффективность и рентабельность производства, снижая затраты на энергоносители и энергоемкие ресурсы. Такой тип производства должен работать эффективно по оптимальному принципу «делай вовремя», так как поставки комплектующих изделий осуществляются строго в определенное время.

Требования к ускорению обновлений продуктовой линейки предполагают переход машиностроения от автоматизации частных элементов производственного процесса к комплексной автоматизации на всех уровнях, применению ГПС в условиях единичного, серийного и массового производств. Такой подход открывает путь к решению сложившихся противоречий между высокой производительностью и отсутствием мобильности производственного оборудования массового производства, высокой мобильностью и низкой производительностью универсальных станков единичного и серийного производств.

Основой для решения сложности и противоречивости поставленных задач являются частные свойства гибких производственных систем, а именно: возможность оперативной перенастройки за счет гибкости и мобильности; высокий технический уровень оборудования; высокая степень интеграции производства; обеспечение конкурентоспособности и рентабельности выпускаемой продукции.

В том числе ГПС позволяют решать комплексные вопросы по улучшению условий труда работающих, обеспечивая постепенное стирание граней между умственным и физическим трудом, освобождают исполнителей от тяжелого физического труда, стимулируют повышение профессионального уровня работающих, создают объективные условия для повышения производительности труда.

В настоящей статье уделяется особое внимание проблемам организации эффективного распределения пропускной способности магистрали сети между всеми подключенными абонентами и минимизации аппаратных затрат на организацию связи.

Рассмотрим нижний уровень автоматизации системы на примере распределенной системы управления линии микрофотографии [1].

На нижнем уровне автоматизированной системы управления гибкими производственными модулями возникает необходимость обеспечить:

1) высокую производительность и надежность работы;

2) эффективное распределение пропускной способности магистрали сети передачи данных между ЭВМ (обслуживающим прибором) и всеми подключенными модулями (абонентами сети);

3) выполнение процесса обмена данными и сигналами управления с минимальными затратами на аппаратную организацию связи;

4) ориентацию коммуникационного протокола связи на технологическую специфику производства;

5) минимальную функциональную избыточность протокола связи.

Заявки от абонентов сети перемещаются от входа к выходу системы обслуживания требований в соответствии с установленными законами управления, задаваемыми дисциплинами ожидания и обслуживания. Дисциплина ожидания определяет очередность приема требований в систему и порядок расположения их в очереди, дисциплина обслуживания задает порядок выбора заявок из очереди для назначения на обслуживание. В зависимости от принятого порядка обработки заявок различают системы с беспriorитетными и приоритетными дисциплинами.

Системы с беспriorитетными дисциплинами определяют заявки от абонентов как равноправные. В качестве примера можно привести следующие правила выборки заявок из очереди при необходимости назначения на обслуживание:

1) дисциплина FIFO (First Input – First Output) – «Первым пришел – Первым вышел» – выбирается первая в очереди заявка;

2) дисциплина LIFO (Last Input – First Output) – «Последним пришел – Первым вышел» – выбирается последняя в очереди заявка;

3) дисциплина выбора заявки из очереди случайным образом.

В приоритетных дисциплинах обслуживания определенным заявкам одного типа предоставляется преимущественное право на обслуживание перед заявками другого типа, в соответствии с установленным приоритетом.

Различают следующие типы приоритетов:

1) относительные приоритеты – учитываются только в момент назначения заявки

на обслуживание. При освобождении канала обслуживания сравниваются приоритеты заявок, находящихся в очереди в состоянии ожидания, и обслуживание предоставляется заявке с наибольшим приоритетом, после чего выбранная заявка захватывает канал обслуживания;

2) абсолютные приоритеты предполагают прерывание обслуживания низкоприоритетной заявки в момент поступления в систему массового обслуживания (СМО) заявки с более высоким приоритетом, прерванная заявка ставится в начало либо общей очереди, либо очереди заявок соответствующего приоритета;

3) смешанные приоритеты предполагают сочетание рассмотренных видов приоритета, причем для отдельных заявок может быть использовано бесприоритетное обслуживание.

При подключении абонентов к магистрали ЭВМ используется совмещенная шина данных, через которую в каждый момент времени осуществляется передача данных от одного абонента к ЭВМ или прием сообщения со стороны ЭВМ от выбранного в соответствии с установленной дисциплиной обслуживания абонента.

Для N абонентов сети при использовании дисциплин с равноправным или с приоритетным обслуживанием используются отдельные N линий, обеспечивающих поступление в ЭВМ требований на обслуживание от каждого абонента в отдельности.

Обслуживающий прибор выполняет, как правило, поиск активных требований на обслуживание двумя способами:

1) номера требований опрашиваются, начиная с младших номеров, при нахождении i -го активного требования выполняется обслуживание i -го абонента, затем поиск продолжается с $(i + 1)$ -го номера. При достижении максимального номера $i = N$ опрос требований продолжается с младшего номера $i = 1$. Такой вариант поиска запросов реализует обслуживание требований с использованием дисциплины с равноправными приоритетами (ДРП);

2) номера требований сканируются, начиная с младших номеров, при нахождении i -го активного требования выполняется обслуживание i -го абонента, затем поиск продолжается с младшего номера $i = 1$. При достижении $i = N$ опрос требований продолжается с младшего номера $i = 1$. Такой вариант поиска запросов реализует обслуживание требований в соответствии с дисциплиной с относительными приоритетами (ДОП).

Для модели системы с ДОП требование обслуживается в приборе до конца без прерывания, после чего из очереди берется требование с наименьшим номером. Требования

одного приоритетного уровня образуют изолированную очередь соответствующего уровня приоритета. Порядок обслуживания внутри такой очереди осуществляется в порядке поступления требований. Модель такой системы предполагается без потерь с неограниченным числом мест в очереди.

Для системы с дисциплиной с относительными приоритетами среднее время ожидания сообщений с приоритетом r можно найти по следующей формуле [2]:

$$Y_r = \frac{T_o}{(1 - R_{r-1}) \cdot (1 - R_r)}, \quad (1)$$

где

$$R_r = \sum_{i=1}^r \lambda_i \cdot \frac{1}{\mu_i}, \quad (2)$$

λ_i – средняя интенсивность поступления заявок i -го приоритета; μ_i – средняя интенсивность обслуживания заявок i -го приоритета; T_o – среднее время завершения текущего обслуживания заявки в ЭВМ (приборе).

С целью сокращения количества аппаратных затрат с N линий, по которым от N абонентов поступают соответствующие требования на обслуживание к ЭВМ, до одной интегрированной линии предлагается следующее схмотехническое решение [3, 4, 5]. При данном подходе к ЭВМ поступает только одна линия, по которой формируется интегрированный запрос требования на обслуживание лишь в том случае, если в системе присутствуют один или несколько активных абонентов, требующих обмена данными (рис. 1). При этом со стороны ЭВМ не требуется проводить опрос абонентов для выбора наиболее активного источника с учетом установленной дисциплины обслуживания. Схмотехническое решение автоматически реализует обслуживание абонентов с предлагаемой дисциплиной выравнивания приоритетов (ДВП). Для оценки эффективности предлагаемого решения рассмотрим математическую модель системы с ДВП.

В систему обслуживания требований поступает N классов заявок. Класс заявки определяется порядковым номером расположения абонента относительно ЭВМ (обслуживающего прибора). Запросы r -го абонента образуют очередь требований к магистрали сети (рис. 1) для их последующей передачи в соответствующий буферный регистр ($BP.r$) и включения в очередь требований на обслуживание к ЭВМ. Каждый буферный регистр $BP.r$ и элемент очереди $Gr.i$ (где i – порядковый номер элемента Gr в очереди требований r -го абонента к магистрали сети) предназначены для

хранения одной порции информации (пакета или сообщения).

При построении математической модели СМО требований будем считать, что:

1) поток заявок со стороны абонентов образует пуассоновский процесс с параметром λ ;

2) длительность обслуживания подчиняется экспоненциальному закону со средним значением, равным $1/\mu$;

3) если в момент поступления требования очередь данного класса заявок занята, то требование теряется.

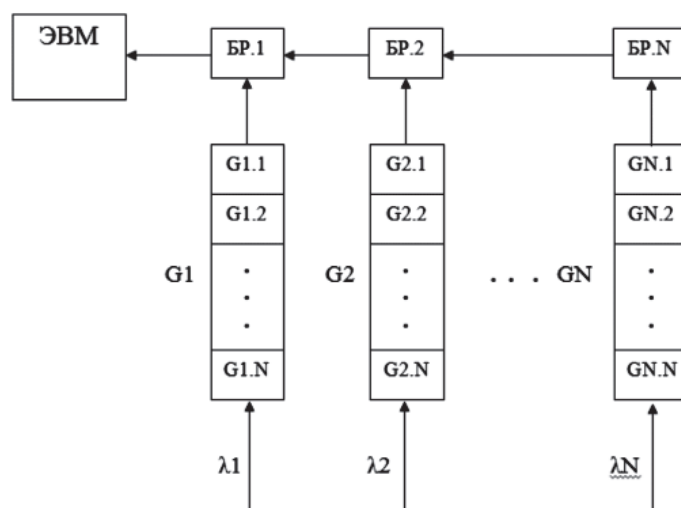


Рис. 1. Система обслуживания с N классами заявок

Сформулируем алгоритм обработки требований различного класса в СМО с предлагаемой дисциплиной выравнивания приоритетов.

Правило, регламентирующее включение элемента $Gr.l$ в очередь требований на обслуживание к ЭВМ, определяется выполнением следующих условий:

1) условие 1 – запрос $Gr.l$ из очереди требований к магистрали сети будет поставлен в соответствующий буферный регистр $БР.r$, если последний свободен от наличия в нем другого требования;

2) условие 2 – запрос Gr , поставленный в буферный регистр $БР.r$, будет включен в очередь требований на обслуживание к ЭВМ при отсутствии других запросов, включенных в очередь требований на обслуживание к ЭВМ, с более старшими порядковыми номерами по отношению к данному классу требований ($j = r + 1, \dots, N$).

3) условие 3 – одновременное появление двух и более запросов от абонентов различного класса, для которых выполняются условия 1 и 2, вызывает их безусловное включение в очередь требований на обслуживание к ЭВМ.

Сформулируем правило, регламентирующее порядок обслуживания запросов, включенных в очередь требований на обслуживание к ЭВМ:

4) условие 4 – включенный в очередь требований на обслуживание к ЭВМ запрос

будет обработан лишь после того, как будут обслужены все другие запросы от абонентов с младшими порядковыми номерами ($j = 1, \dots, r - 1$) по отношению к данному классу, включенные в очередь требований на обслуживание к ЭВМ.

В соответствии с данным алгоритмом процесс передачи сообщения r -го абонента ЭВМ можно разбить на три этапа:

1) включение запроса в очередь требований к ЭВМ;

2) ожидание начала обслуживания запроса в очереди требований к ЭВМ;

3) непосредственное обслуживание запроса ЭВМ (прибором).

Рассмотрим требование класса r . Требование поступает в систему в момент времени t_0 и через W_r единиц времени (рис. 2) поступает на обслуживание (начинается передача сообщения) в момент времени t_1 . Необходимо получить общее соотношение для W_r – среднего времени ожидания обслуживания требования класса r .

Определим слагаемые, из которых складывается W_r :

1) среднее время T_{o2} необходимое для завершения текущего обслуживания запроса в ЭВМ;

2) среднее время T_r обслуживания N_r требований класса r , ожидающих обслуживания в очереди к моменту поступлений рассматриваемого запроса;

3) среднее время $T_{\text{ожид.}r}$ ожидания заявки из r -й очереди обслуживания всех тех заявок j -го класса (где $r, j = 1, \dots, N; j \neq r$), которые в течение времени Wr бу-

дут включены в очередь требований на обслуживание к ЭВМ и обработаны в соответствии с реализуемой дисциплиной ДВП.



Рис. 2. Время ожидания в системе обслуживания

Для оценки T_r допустим, что среднее число ожидающих требований класса r составляет N_r . Если каждое из требований требует для обслуживания в среднем $t_r = 1/\mu_r$ единиц времени, то

$$T_r = \frac{N_r}{\mu_r} = N_r \cdot t_r. \quad (3)$$

Но N_r представляет собой разность двух величин – среднего числа требований, ожидающих и обслуживаемых в системе M_r , и среднего числа обслуживаемых в системе требований, число которых составляет $\rho_r = \lambda_r/\mu_r$, где λ_r – интенсивность потока требований r -го класса.

Из теоремы Литтла [6] следует:

$$M_r = \lambda_r \cdot T = \lambda_r \cdot \left(W_r + \frac{1}{\mu_r} \right) = N_r + \rho_r, \quad (4)$$

где T – среднее время задержки.

Следовательно,

$$N_r = \lambda_r \cdot W_r; \quad (5)$$

$$T_r = \rho_r \cdot W_r = \lambda_r \cdot W_r \cdot t_r. \quad (6)$$

Среднее время дообслуживания заявки из суммарного потока T_o не зависит от порядка обслуживания и для определенной системы массового обслуживания постоянно [7]:

$$T_o = \sum_{i=1}^N (\rho_i \cdot \Delta t_i), \quad (7)$$

где $\Delta t_i = \frac{t_i^{(2)}}{2 \cdot t_i}$ – среднее время дообслуживания i -й заявки, если она находится в ЭВМ

(обслуживающем приборе); $t_i = \frac{1}{\mu_i}$ – среднее время обслуживания заявки; $t_i^{(2)}$ – второй момент среднего времени обслуживания заявки.

При показательном распределении обслуживания [8] $t_i^{(2)} = 2 \cdot t_i^2$, поэтому время T_o можно выразить как

$$T_o = \sum_{i=1}^N \rho_i \cdot t_i. \quad (8)$$

Таким образом, для определения среднего времени ожидания заявкой i -го класса начала обслуживания со стороны ЭВМ необходимо решить систему уравнений из N – числа абонентов в сети:

$$\begin{cases} W_1 = T_o + W_1 \cdot \lambda_1 \cdot t_1 + T_{\text{ожид.}1}, \\ W_2 = T_o + W_2 \cdot \lambda_2 \cdot t_2 + T_{\text{ожид.}2}, \\ \dots\dots\dots \\ W_N = T_o + W_N \cdot \lambda_N \cdot t_N + T_{\text{ожид.}N}, \end{cases} \quad (9)$$

Данную систему линейных уравнений в таком виде решить невозможно, так как число неизвестных параметров ($W_i, T_{\text{ожид.}i}$) превышает количество уравнений в системе (9) в два раза.

Значения W_i , приводящие к решению системы уравнений (9), должны удовлетворять закону сохранения накопленной в очереди предстоящей работы [6]:

$$\sum_{i=1}^N \rho_i \cdot W_i = \text{const}. \quad (10)$$

Величина (10) не зависит от нумерации приоритетов в системе и равна накопленной в очереди работе в бесприоритетной СМО, поэтому для ДРП справедливо следующее выражение:

$$\sum_{i=1}^N \rho_i \cdot W_i = R_N \cdot W_o, \quad (11)$$

где

$$W_o = \frac{\sum_{i=1}^N (\lambda_i \cdot t_i^{(2)})}{2 \cdot (1 - R_N)}, \quad (12)$$

и при пуассоновских входящих потоках

$$W_o = \frac{\sum_{i=1}^N (\rho_i \cdot t_i)}{(1 - R_N)}, \quad (13)$$

$$R_N = \sum_{i=1}^N \rho_i. \quad (14)$$

Среднее время ожидания заявки из r -й очереди $T_{\text{ожид.}r}$ можно представить в следующем виде:

$$T_{\text{ожид.}r} = W_r \cdot \sum_{j=1, j \neq r}^N (\lambda_{jr} \cdot t_j), \quad (15)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} W_1 = T_o + W_1 \cdot \lambda_1 \cdot t_1 + W_1 \cdot \sum_{j=1, j \neq 1}^N (\lambda_{j1} \cdot t_j), \\ W_2 = T_o + W_2 \cdot \lambda_2 \cdot t_2 + W_2 \cdot \sum_{j=1, j \neq 2}^N (\lambda_{j2} \cdot t_j), \\ \dots \\ W_N = T_o + W_N \cdot \lambda_N \cdot t_N + W_N \cdot \sum_{j=1, j \neq N}^N (\lambda_{jN} \cdot t_j). \end{array} \right. \quad (16)$$

Для решения системы (16) введем величину $\rho_{jr} = \lambda_{jr} \cdot t_j$, которая выражает среднее число переключений обслуживающего прибора в единицу времени на обработку заявок j -го класса ($r, j = 1, \dots, N; r \neq j$) при наличии требования r -го абонента, находящегося в буферном регистре $BP.r$, но ожидающего выполнения условия 2 постановки в очередь требований к ЭВМ или включенного в очередь требований к ЭВМ, но ожидающего обслуживания в соответствии с условием 4.

Переключающий поток с интенсивностью λ_{jr} является просеянным относительно входного потока λ , с некоторой вероятностью переключения $P_{\text{пер.}jr}$ и в соответствии с известной теоремой [6] о просеянном потоке соответствует пуассоновскому характеру распределения. Заявки переключающего потока λ_{jr} обрабатываются

где λ_{jr} – средняя интенсивность включения заявок j -го класса в очередь требований на обслуживание к ЭВМ в единицу времени с вытеснением заявок r -го приоритета в фазу ожидания или средняя интенсивность поступления в систему заявок j -го класса, которые будут включены в очередь требований к ЭВМ и обработаны обслуживающим прибором прежде требования r -го абонента ($r \neq j$), находящегося в буферном регистре $BP.r$, но ожидающего выполнения условия 2 постановки в очередь требований к ЭВМ или включенного в очередь требований к ЭВМ, но ожидающего обслуживания в соответствии с условием 4; t_j – среднее время обслуживания прибором заявки j -го класса; $(\lambda_{jr} \cdot t_j)$ – средняя очередь заявок со стороны j -го абонента, которая образуется за время W_r ожидания обслуживания требования класса r и будет освобождена до ее поступления в ЭВМ;

$(W_r \cdot \lambda_{jr} \cdot t_j)$ – среднее время обслуживания этой очереди.

Тогда систему уравнений (9) можно представить в следующем виде:

прибором в порядке их поступления, а длительность обслуживания заявок подчиняется экспоненциальному закону со средним значением, равным $1/\mu_r$.

Принятые условия позволяют применить известную формулу СМО $M/M/1$ для определения средней очереди переключения обслуживающего прибора на обработку заявок j -го класса ($r, j = 1, \dots, N; r \neq j$) при наличии требования r -го абонента, находящегося в буферном регистре $BP.r$, но ожидающего выполнения условия 2 постановки в очередь требований к ЭВМ или включенного в очередь требований к ЭВМ, но ожидающего обслуживания в соответствии с условием 4:

$$F[r, j] = \frac{\lambda_{jr} \cdot t_j}{(1 - \lambda_{jr} \cdot t_j)}. \quad (17)$$

Из выражения (17) получим значение интенсивности переключающего потока λ_{jr} :

$$\lambda_{jr} = \frac{F[r, j]}{(t_j + F[r, j] \cdot t_j)}. \quad (18)$$

Для определения средней очереди переключения обслуживающего прибора $F[r, j]$ для каждого класса заявок ($r, j = 1, \dots, N; r \neq j$) необходимо построить математическую модель, описывающую стационарный режим работы системы с использованием марковского случайного процесса. Используя диаграмму или таблицу интенсивностей переходов, составим систему линейных уравнений равновесия, из решения которых определим значения стационарных вероятностей P_k . При этом значение $F[r, j]$ будет равно

$$F[r, j] = \sum_{k=0, j \neq r}^N (b[r, j, k] \cdot P_k), \quad (19)$$

где P_k – вероятность нахождения системы в k -м стационарном состоянии; $b[r, j, k]$ – среднее число переключений обслуживающего прибора на обработку заявок j -го класса ($r, j = 1, \dots, N; r \neq j$) при наличии требования r -го абонента, находящегося в буферном регистре $BP.r$, но ожидающего выполнения условия 2 постановки в очередь требований к ЭВМ или включенного в очередь требований к ЭВМ, но ожидающего обслуживания в соответствии с условием 4 для случая нахождения системы в k -м стационарном состоянии.

Подставляя полученные значения $F[r, j]$ в выражения (18), а затем в (16), получаем решение системы относительно неизвестных параметров W_1, W_2, \dots, W_N , что позволяет сравнить полученные результаты с соответствующими величинами среднего времени ожидания Y_1, Y_2, \dots, Y_N для заявок в системе с дисциплиной относительных приоритетов ДОП:

$$\left\{ \begin{array}{l} W_1 = T_o + W_1 \cdot \rho_1 + W_1 \cdot \sum_{j=1, j \neq 1}^N \frac{F[1, j]}{(1 + F[1, j])} \\ W_2 = T_o + W_2 \cdot \rho_2 + W_2 \cdot \sum_{j=1, j \neq 2}^N \frac{F[2, j]}{(1 + F[2, j])} \\ \dots \\ W_N = T_o + W_N \cdot \rho_N + W_N \cdot \sum_{j=1, j \neq N}^N \frac{F[N, j]}{(1 + F[N, j])} \\ \sum_{i=1}^N (\rho_i \cdot W_i) = R_N \cdot \sum_{i=1}^N \frac{(\rho_i \cdot t_i)}{(1 - R_N)}. \end{array} \right. \quad (20)$$

Для сравнения предлагаемой дисциплины ДВП с дисциплиной ДОП по критерию равноправного обслуживания в качестве базовой модели выбрана модель беспriorитетной СМО (13) с N типами заявок по числу абонентов, которые обрабатываются прибором в порядке их поступления.

Введем коэффициент равноправного обслуживания K_f , определяющий степень приближения времени ожидания обработки заявок разного класса приоритетов в исследуемой СМО к времени ожидания обработки заявок в беспriorитетной системе:

$$K_f = \frac{W_o + \sum_{i=1}^N |(Z_i - W_o)|}{W_o}, \quad (21)$$

где W_o – среднее время ожидания обслуживания заявок для беспriorитетной СМО с N типами заявок по количеству абонентов;

f – индекс, задающий тип дисциплины обслуживания:

- 1) если $f = w$, то величина $Z_i = W_i$ и определяется в соответствии с выражением (20);
- 2) если $f = y$, то величина $Z_i = Y_i$ и определяется в соответствии с (1);
- 3) если $f = o$, то величина $Z_i = W_o$ и определяется в соответствии с (13).

Из выражения (21) видно, что при $K_f \rightarrow 1$ время обработки заявок разного класса в системе близко по параметрам к времени обработки заявок в беспriorитетной СМО, т.е. рассматриваемая система стремится к более равноправной процедуре обслуживания по отношению ко всем подключенным абонентам вне зависимости от их месторасположения по отношению к ЭВМ (обслуживающему прибору).

Для сравнения СМО по критерию эффективности работы [2, 9] будем использовать коэффициент G_f , который выражает

стоимость пребывания всех заявок в единицу времени в системе:

$$G_f = \sum_{i=1}^N (C_i \cdot \lambda_i \cdot Z_i) + \sum_{i=1}^N (C_i \cdot \rho_i), \quad (22)$$

где C_i – стоимость пребывания заявки i -го абонента в единицу времени в системе; f – индекс, задающий тип дисциплины обслуживания.

Если установить все $C = 1$, то коэффициент G будет равным среднему числу заявок в СМО. Таким образом, чем меньше коэффициент G , тем более эффективной будет рассматриваемая система массового обслуживания.

Из теории СМО известно [10, 11], что, когда загрузка оборудования превышает 80–90%, то незначительное увеличение трафика может привести к резкому спаду производительности системы или даже перевести систему в аварийный режим. Поэтому, анализ модели СМО с ДВП для нескольких источников заявок проведем на интервале нагрузки ($0 < \rho \leq 0,9$).

Проведенное исследование с помощью разработанной математической модели СМО (в научно-исследовательском институте полупроводникового машиностроения «НИИПМ», г. Воронеж) с предлагаемой дисциплиной выравнивания приоритетов для систем, в которых критичным параметром является время ответа, показывает [12] повышение резерва производительности системы на 15–20%.

Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать следующие обоснованные и подтвержденные выводы:

1. В современных условиях при построении нижнего уровня автоматизированной системы управления гибкими производственными модулями важны в первую очередь такие показатели, как высокая производительность и надежность работы системы, минимальные затраты на аппаратную организацию связи, эффективное распределение пропускной способности магистрали сети передачи данных между ЭВМ и всеми подключенными модулями.

2. Поскольку при организации распределенных систем с дисциплинами равноправного или приоритетного обслуживания возникает необходимость использования и сканирования со стороны ЭВМ N независимых линий запросов требований на обслуживание от каждого подключенного модуля, то, в целях снижения аппаратных затрат, предложено схемотехническое решение, позволяющее сократить число линий до одной, по которой формируется

интегрированный запрос требования на обслуживание.

3. Представлен алгоритм дисциплины обслуживания выравнивания приоритетов, регламентирующий порядок включения запроса в очередь требования на обслуживание к ЭВМ и порядок обслуживания запроса в этой очереди, позволяющий выровнять приоритеты заявок, вне зависимости от их месторасположения к ЭВМ.

4. Разработанная математическая модель системы массового обслуживания с дисциплиной выравнивания приоритетов показывает для систем определенного класса, работающих в условиях высокой загрузки оборудования свыше 80–90%, в которых критичным параметром является минимальное время ответа, повышение резерва производительности на 15–20%.

Список литературы

1. Прохончуков С.Р. Разработка коммуникационного уровня распределенной системы управления технологическими объектами электронной техники: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж. 1991. – 16 с.
2. Бронштейн О.И., Духовный И.М. Модели приоритетного обслуживания в информационно-вычислительных системах. – М.: Наука, 1976. – 22 с.
3. Авторское свидетельство 1434444 СССР, МКИ G06F13/00. Устройство для сопряжения абонентов с ЭВМ / С.Л. Подвальный, А.Л. Диордиев, С.Р. Прохончуков. – 4 с.
4. Авторское свидетельство 1453441 СССР, МКИ G06F13/00. Устройство для сопряжения абонентов с ЭВМ / С.Л. Подвальный, С.Р. Прохончуков. – 4 с.
5. Авторское свидетельство 1658159 СССР, МКИ G06F13/00. Устройство для сопряжения ЭВМ с абонентами / С.Р. Прохончуков. – 8 с.
6. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. Стохастические потоки и задержки сообщений. – М.: Наука, 1970. – 173 с.
7. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. – М.: Наука, 1979. – 600 с.
8. Волковинский М.И., Кабалецкий А.Н. Анализ приоритетных очередей с учетом времени переключения. – М.: Энергоиздат, 1981. – 167 с.
9. Башарин Г.П., Бочаров П.П., Коган Я.А. Анализ очередей в вычислительных сетях. Теория и методы расчета. – М.: Наука, гл. ред. Физ.-мат. Лит., 1989. – 336 с.
10. Авен О.И., Гурин Н.И., Коган Я.А. Оценка качества и оптимизация вычислительных систем. – М.: Наука, 1982. – 464 с.
11. Байцер Б. Микроанализ производительности вычислительных систем: пер. с англ.; под ред. В.В. Мартынюка. – М.: Радио и связь, 1983. – 360 с.
12. Прохончуков С.Р. Модель канала распределенной системы управления технологическими объектами // Математическое и машинное моделирование: Тез. докл. Всесоюз. науч. конф. – Воронеж: ВТИ, 1991. – С. 93.
13. Климов Г.П. Теория массового обслуживания [Электронный ресурс]: учебное пособие. Электрон. текстовые данные. – М.: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2011. – 312 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13316>.
14. Шелухин О.И. Моделирование информационных систем [Электронный ресурс]: учебное пособие. – Электрон. текстовые данные. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 536 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/12002>.

15. Федосеев В.В. Математическое моделирование в экономике и социологии труда. Методы, модели, задачи [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Федосеев В.В. – Электрон. текстовые данные. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. – 167 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/15390>.
16. Климов Г.П. Теория массового обслуживания. – М.: Изд-во Московского университета, 2011. – 312 с.
17. Аверченков В.И., Федоров В.П., Хейфец М.Л. Основы математического моделирования технических систем [Электронный ресурс]: учебное пособие. – Электрон. текстовые данные. – Брянск: БГТУ, 2012. – 271 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/7003>.
18. Прохончук С.Р., Подлевских А.П. Методология написания курсовых работ студентами направлений «Информатика и вычислительная техника» и «Управление в технических системах» в СДО // Материалы VIII Международной научно-практической конференции: сборник научных трудов / отв. ред. Г.Г. Бубнов. – М.: МТИ «ВТУ», 2013. – С. 232–236.
19. Жигалов К.Ю. Принципы построения локальной вычислительной сети для решения задач автоматизации мониторинга и управления на строительных объектах // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9 (часть 7). – С. 1436–1440.
20. Firoiu V. et al., Theories and Models for Internet Quality of Service, Proc. IEEE, special issue on Internet Technology, Aug. 2002.
21. Aurrecochea C. Campbell, A. and Hauw L. A Survey of QoS Architectures. *Multimedia Systems Journal*, vol. 6, no. 3, pp. 138–151. May 1998.
22. Xiao X. et al., A Practical Approach for Providing QoS in the Internet Backbone, *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 12, 2002, pp. 56–62.
23. Evans J. and C. Filsfil, Deploying Diffserv at the Network Edge for Tight SLAs, Part 2, *IEEE Internet Computing*, Mar/Apr. 2004, pp. 2–10.
24. Chalmers D. and M. Sloman, A Survey of Quality of Service in Mobile Computing Environments, *IEEE Commun. Surveys and Tutorials*, 2nd Quarter 1999.
25. Abdelzaher T.F., Shin K.G., and Bhatti N. Performance guarantees for web server end-systems: A control-theoretical approach. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 13(1):80–96, January 2002.
26. Chen H. and P. Mohapatra. Session-based overload control in QoS-aware Web servers. In *IEEE INFOCOM*, 2002.
27. Cherkasova L. and Phaal P. Session-based admission control: A mechanism for peak load management of commercial Websites. *IEEE Transactions on Computers*, pages 669–685, June 2002.
28. Dalai A.C. and Jordan S. Improving user-perceived performance at a World Wide Web server. In *Proceedings of Globecom 2001*, San Antonio, Texas, September 2001.
29. Doshi B.T. and Heffes H. Overload performance of several processor queuing disciplines for the M/M/1 queue. *IEEE Transactions on Communications*, C-35:538–546, June 1986.
30. Elnikety S., Nahum E., Tracey J., and Zwaenepoel W. A method for transparent admission control and request scheduling in E-commerce Web sites. In *Proceedings of the 13th international conference on World Wide Web*, P. 276–286. ACM Press, 2004.
31. Goh R.S.M. and Thng L.J.I. 2005. Two-amalgamated priority queues. *ACM Journal of Experimental Algorithmics* 9, 1.6 (Apr.), 1–45.
32. Tang W.T., Goh R.S.M. and Thng L.J.I. 2005. Ladder queue: An O(1) priority queue structure for large-scale discrete event simulations. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation (TOMACS)* 15, 3, 175–204.
33. Abramsky S. Petri Nets, Discrete Physics, and Distributed Quantum Computation. In *Concurrency, Graphs and Models*, volume 5065 of *Lecture Notes in Computer Science*, P. 27–543. 2008.
34. Abramsky S. Petri Nets, Discrete Physics, and Distributed Quantum Computation. In *Concurrency, Graphs and Models*, volume 5065 of *Lecture Notes in Computer Science*, P. 527–543. 2008.
35. Anastasiou N., Knottenbelt W., and Marin A. Automatic Synchronisation Detection in Petri Net Performance Models Derived from Location Tracking Data. In *Proc. 8th European Conference on Computer Performance Engineering (EPEW 2011)*, pages 29–41, Borrowdale, UK, October 2011.
36. Angeles R. RFID Technologies: Supply-chain applications and implementation issues. *Information Systems Management*, (22):51–65, 2005.
37. Chen K. Quadrant of Euphoria: A Crowdsourcing Platform for QoE Assessment, *IEEE Network*, vol. 24(2), pp. 28–35, 2010.
38. Sommers J. and Barford P., Cell vs. WiFi: On the Performance of Metro Area Mobile Connections, in *IIIC'12*, Boston, MA, 2012.
39. Wireshark – network protocol analyzer. [Online]. Available: www.wireshark.org.
40. Zseby T. et al., RFC 5472, IP Flow Information Export (IPFIX) Applicability; 2009. [Online]. Available: www.ietf.org/rfc/rfc5472.txt.
41. Moreno V. et al., Batch to the Future: Analyzing Timestamp Accuracy of High – Performance Packet I/O Engines, *IEEE Commun. Lett.*, vol. 16(11), pp. 1888–1891, 2012.
42. Garcia-Dorado J.L. et al., High-Performance Network Traffic Processing Systems Using Commodity Hardware, ch. 1, pp. 3–27. Springer, 2013.
43. Pluzhnik E.V., Nikulchev E.V. Use of dynamical systems modeling to hybrid cloud database // *International Journal of Communications, Network and System Sciences*. – 2013. – Vol. 6. – № 12. – P. 505–512. (doi: 10.4236/ijcns.2013.612054).
44. Nikulchev E.V., Kozlov O.V. Identification of Structural Model for Chaotic Systems // *Journal of Modern Physics*. – 2013. – Vol. 4. – № 10. – P. 1381–1392. (doi: 10.4236/jmp.2013.410166).

References

1. Prohonchukov S.R. Razrabotka kommunikacionnogo urovnja raspredelennoj sistemy upravlenija tehnologicheskimi obektami jelektronnoj tehnikii: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. Voronezh. 1991. 16 p.
2. Bronshtejn O.I., Duhovnyj I.M. Modeli prioritetnogo obsluzhivaniya v informacionno-vychislitel'nyh sistemah. M.: Nauka, 1976. 22 p.
3. Avtorskoe svidetel'stvo 1434444 SSSR, MKI G06F13/00. Ustrojstvo dlja soprjazhenija abonentov s JeVM / S.L. Podval'nyj, A.L. Diordiev, S.R. Prohonchukov. 4 p.
4. Avtorskoe svidetel'stvo 1453441 SSSR, MKI G06F13/00. Ustrojstvo dlja soprjazhenija abonentov s JeVM / S.L. Podval'nyj, S.R. Prohonchukov. 4 p.
5. Avtorskoe svidetel'stvo 1658159 SSSR, MKI G06F13/00. Ustrojstvo dlja soprjazhenija JeVM s abonentami / S.R. Prohonchukov. 8 p.
6. Klejnrok L. Teorija massovogo obsluzhivaniya. Stohasticheskie potoki i zaderzhki soobshhenij. M.: Nauka, 1970. 173 p.
7. Klejnrok L. Vychislitel'nye sistemy s ocheredjami. M.: Nauka, 1979. 600 p.
8. Volkovinskij M.I., Kabalevskij A.N. Analiz prioritetnyh ocheredej s uchetom vremeni pereklyuchenija. M.: Jenergoizdat, 1981. 167 p.
9. Basharin G.P., Bocharov P.P., Kogan Ja.A. Analiz ocheredej v vychislitel'nyh setjah. Teorija i metody rascheta. M.: Nauka, gl. red. Fiz.-mat. Lit., 1989. 336 p.
10. Aven O.I., Gurin N.I., Kogan Ja.A. Ocenka kachestva i optimizacija vychislitel'nyh sistem. M.: Nauka, 1982. 464 p.
11. Bajcer B. Mikroanaliz proizvoditel'nosti vychislitel'nyh sistem: per. s angl.; pod red. V.V. Martynjuka. M.: Radio i svjaz', 1983. 360 p.

12. Prohonchukov S.R. Model' kanala raspredelennoj sistemy upravlenija tehnologicheskimi ob#ektami // *Matematicheskoe i mashinnoe modelirovanie: Tez. dokl. Vsesojuz. nauch. konf. Voronezh: VTI, 1991. pp. 93.*
13. Klimov G.P. Teorija massovogo obsluzhivaniija [Jelektronnyj resurs]: uchebnoe posobie. Jelektron. tekstovye dannye. M.: Moskovskij gosudarstvennyj universitet imeni M.V. Lomonosova, 2011. 312 p. Rezhim dostupa: <http://www.iprbookshop.ru/13316>.
14. Sheluhin O.I. Modelirovanie informacionnyh sistem [Jelektronnyj resurs]: uchebnoe posobie. Jelektron. tekstovye dannye. M.: Gorjachaja linija Telekom, 2012. 536 c. Rezhim dostupa: <http://www.iprbookshop.ru/12002>.
15. Fedoseev V.V. Matematicheskoe modelirovanie v jekonomicke i sociologii truda. Metody, modeli, zadachi [Jelektronnyj resurs]: uchebnoe posobie/ Fedoseev V.V. Jelektron. tekstovye dannye. M.: JuNITI-DANA, 2012. 167 p. Rezhim dostupa: <http://www.iprbookshop.ru/15390>.
16. Klimov G.P. Teorija massovogo obsluzhivaniija. M.: Izd-vo Moskovskogo universiteta, 2011. 312 p.
17. Averchenkov V.I., Fedorov V.P., Hejfec M.L. Osnovy matematicheskogo modelirovanija tehniceskikh sistem [Jelektronnyj resurs]: uchebnoe posobie. Jelektron. tekstovye dannye. Brjansk: BGTU, 2012. 271 p. Rezhim dostupa: <http://www.iprbookshop.ru/7003>.
18. Prohonchukov S.R., Podlevskih A.P. Metodologija napisaniija kursovyh rabot studentami napravlenij «Informatika i vychislitel'naja tehnika» i «Upravlenie v tehniceskikh sistemah» v SDO // *Materialy VIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskij konferencii: sbornik nauchnyh trudov / otv. red. G.G. Bubnov.– M.: MTI «VTU», 2013. pp. 232–236.*
19. Zhigalov K.Ju. Principy postroeniija lokal'noj vychislitel'noj seti dlja reshenija zadach avtomatizacii monitoringa i upravlenija na stroitel'nyh ob#ektah // *Fundamental'nye issledovaniija. 2014. no. 9 (chast' 7). pp. 1436–1440.*
20. Firoiu V. et al., Theories and Models for Internet Quality of Service, Proc. IEEE, special issue on Internet Technology, Aug. 2002.
21. Aurrecochea C. Campbell, A. and Hauw L. A Survey of QoS Architectures. *Multimedia Systems Journal*, vol. 6, no. 3, pp. 138–151. May 1998.
22. Xiao X. et al., A Practical Approach for Providing QoS in the Internet Backbone, *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 12, 2002, pp. 56–62.
23. Evans J. and C. Filsfil, Deploying Diffserv at the Network Edge for Tight SLAs, Part 2, *IEEE Internet Computing*, Mar /Arg. 2004, pp. 2–10.
24. Chalmers D. and M. Sloman, A Survey of Quality of Service in Mobile Computing Environments, *IEEE Commun. Surveys and Tutorials*, 2nd Quarter 1999.
25. Abdelzaher T.F., Shin K.G., and Bhatti N. Performance guarantees for web server end-systems: A control-theoretical approach. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 13(1):80–96, January 2002.
26. Chen H. and P. Mohapatra. Session-based overload control in QoS-aware Web servers. In *IEEE INFOCOM*, 2002.
27. Cherkasova L. and Phaal P. Session-based admission control: A mechanism for peak load management of commercial Websites. *IEEE Transactions on Computers*, pages 669–685, June 2002.
28. Dalai A.C. and Jordan S. Improving user-perceived performance at a World Wide Web server. In *Proceedings of Globecom 2001, San Antonio, Texas, September 2001.*
29. Doshi B.T. and Heffes H. Overload performance of several processor queuing disciplines for the M/M/1 queue. *IEEE Transactions on Communications*, pp.–35:538–546, June 1986.
30. Elnikety S., Nahum E., Tracey J., and Zwaenepoel W. A method for transparent admission control and request scheduling in E-commerce Web sites. In *Proceedings of the 13th international conference on World Wide Web*, pp. 276–286. ACM Press, 2004.
31. Goh R.S.M. and Thng L.J.I. 2005. Two-amalgamaled priority queues. *ACM Journal of Experimental Algorithmics* 9, 1.6 (Apr.), 1–45.
32. Tang W.T., Goh R.S.M. and Thng L.J.I. 2005. Ladder queue: An O(1) priority queue structure for large-scale discrete event simulations. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation (TOMACS)* 15, 3, 175–204.
33. Abramsky S. Petri Nets, Discrete Physics, and Distributed Quantum Computation. In *Concurrency, Graphs and Models*, volume 5065 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 27–543. 2008.
34. Abramsky S. Petri Nets, Discrete Physics, and Distributed Quantum Computation. In *Concurrency, Graphs and Models*, volume 5065 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 527–543. 2008.
35. Anastasiou N., Knottenbelt W., and Marin A. Automatic Synchronisation Detection in Petri Net Performance Models Derived from Location Tracking Data. In *Proc. 8th European Conference on Computer Performance Engineering (EPEW 2011)*, pages 29–41, Borrowdale, UK, October 2011.
36. Angeles R. RFID Technologies: Supply-chain applications and implementation issues. *Information Systems Management*, (22):51–65, 2005.
37. Chen K. Quadrant of Euphoria: A Crowdsourcing Platform for QoE Assessment, *IEEE Network*, vol. 24(2), pp. 28–35, 2010.
38. Sommers J. and Barford P., Cell vs. WiFi: On the Performance of Metro Area Mobile Connections, in *ShS'12*, Boston, MA, 2012.
39. Wireshark network protocol analyzer. [Online]. Available: www.wireshark.org.
40. Zseby T. et al., RFC 5472, IP Flow Information Export (IPFIX) Applicability; 2009. [Online]. Available: www.ietf.org/rfc/rfc5472.txt.
41. Moreno V. et al., Batch to the Future: Analyzing Timestamp Accuracy of High Performance Packet I/O Engines, *IEEE Commun. Lett.*, vol. 16(11), pp. 1888–1891, 2012.
42. Garcia-Dorado J.L. et al, High-Performance Network Traffic Processing Systems Using Commodity Hardware, ch. 1, pp. 3–27. Springer, 2013.
43. Pluzhnik E.V., Nikulchev E.V. Use of dynamical systems modeling to hybrid cloud database // *International Journal of Communications, Network and System Sciences*. 2013. Vol. 6. no. 12. pp. 505–512. (doi: 10.4236/ijcns.2013.612054).
44. Nikulchev E.V., Kozlov O.V. Identification of Structural Model for Chaotic Systems // *Journal of Modern Physics*. 2013. Vol. 4. no. 10. pp. 1381–1392. (doi: 10.4236/jmp.2013.410166)

Рецензенты:

Анненков А.Н., д.т.н., профессор, проректор по научной работе, Воронежский международный институт компьютерных технологий (МИКТ), г. Воронеж;

Климовицкий М.Д., д.т.н., профессор кафедры автоматизации и процессов управления, ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет (МАМИ)», г. Москва.

Работа поступила в редакцию 17.10.2014.