

УДК 004.942 : 519.872

Али Найф Халил Альжжуж, И.Е. Гончаров, С.Ю. Игнатов

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОСТАДИЙНЫМИ ОБСЛУЖИВАЮЩИМИ СИСТЕМАМИ

Приведено описание системы моделирования обслуживающего комплекса и её программной реализации. Для обслуживающего комплекса приведены структуры данных представления о наличии и динамической занятости приборов и маршрутах обслуживания требований. Показаны результаты моделирования алгоритма адаптивного оперативного управления обслуживающим комплексом на основе утверждения о критичной группе приборов и следствия из него и их анализ по сравнению с алгоритмом полного перебора всех последовательностей требований пакета запуска.

*моделирование процессов, оперативное управление*

### Введение

Для исследования поведения многостадийных обслуживающих систем и эффективности алгоритмов управления ими традиционно используются методы моделирования дискретных процессов. За счёт многократного ускорения моделируемых событий такое исследование требует существенно меньше времени, чем исследование событий в реальном времени. Широко известны модели на основе специализированных языков моделирования типа GPSS [1 – 3], VHDL [4, 5], Simula-67 [6]. Создание таких моделей требует большого объёма предварительных описаний. Кроме того, описания, алгоритмы и полученные результаты не могут быть использованы в реальных системах управления в том виде, в котором моделировались. Достаточно часто для моделирования обслуживающих систем используют подходы, связанные с сетями Петри [7, 8] и марковскими моделями [9].

Все перечисленные методы моделирования ориентированы скорее на исследование систем массового обслуживания, при котором потоки требований задаются некоторыми вероятностными распределениями и не вполне подходят для исследования поведения систем с детерминированными портфелями заявок на обслуживание требований.

Поэтому была разработана узкоспециализированная подсистема имитационного моделирования с практически полным соответствием описаний структур данных, алгоритмов и программ оперативного управления моделируемой и реальной многостадийной обслуживающей системы.

### 1. Описание системы моделирования

Система моделирования является системой «двойного» действия и предназначена, как для проверки эффективности различных алгоритмов оперативного управления, так и для построения реальных расписаний (объёмных план-графиков) обслужива-

ния требований, поступающих на вход любого из комплексов системы.

На основании формальных описаний множеств обслуживающей системы  $W$ , обслуживающего комплекса  $W_r$  номенклатуры и маршрутов требований  $D_r$ , оперативных плановых заданий  $PZ^m$ , текущего динамического состояния загрузки приборов  $\Omega_r$  и связей между ними (подробно см. [10]) была построена модель и средства наполнения реляционной базы данных с использованием сервисов стандартной СУБД (рис. 1).

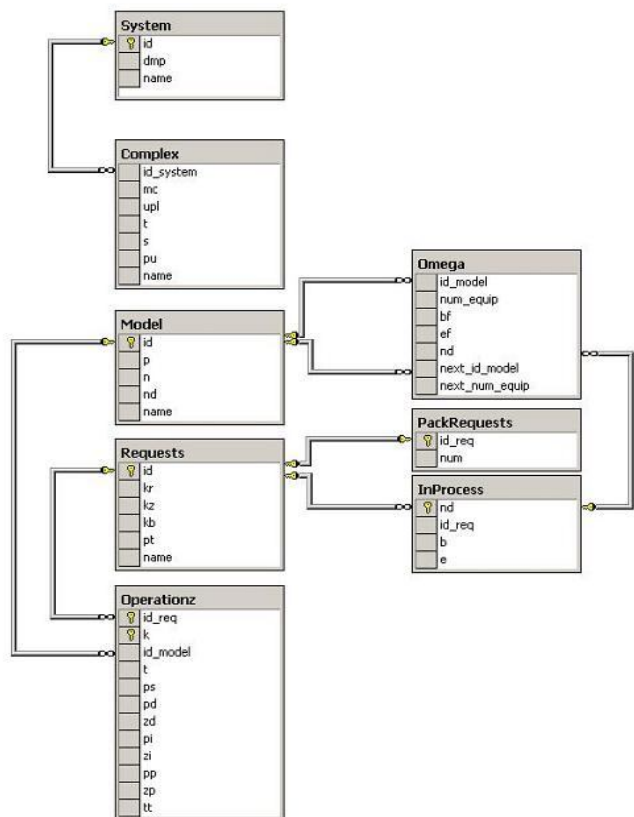


Рис. 1. Структура реляционной базы системы моделирования

В работе [10] было доказано утверждение про критичную группу приборов, которое формулируется следующим образом. Предположим, что удалось построить расписание  $S^0$  обслуживания партии требований  $PZ^m$  приборами комплекса  $W_r \in W$ , в котором  $n_\alpha$  приборов критичной группы  $\alpha \in W_r$  не имеют пауз (простоев в обслуживании) и рассмотрим расписание  $S^0$  обслуживания той же партии требований  $PZ^m$  приборами  $W_r$ , минимальное по общему времени обслуживания (с точки зрения NP-полной задачи Scheduling Theory).

Пусть в минимальном (полученном путём полного перебора последовательностей запуска требований) расписании  $S^1$  интенсивность обслуживания партии требований  $PZ^m$  приборами критичной группы  $\alpha \in W_r$  равна  $V^1$ . Тогда  $V^1 \leq V_\alpha$ .

Другими словами, в расписании минимальной длины суммарные паузы в обслуживании приборов критичной группы минимальны по сравнению с другими расписаниями, но не обязательно наоборот. Из этих соображений в работе [10] был построен алгоритм адаптивного оперативного управления, для проверки эффективности которого, как, впрочем, и любых других, и была разработана предлагаемая моделирующая система. На языке программирования C++ были реализованы:

- алгоритм составления расписания обслуживания единичного требования ([10]);
- адаптивный алгоритм оперативного управления обслуживающим комплексом  $W_r$ , разработанный на основании динамического определения критичной группы приборов [10];
- алгоритм полного перебора последовательностей запуска требований из  $PZ^m$  (модифицированный алгоритм 2-го метода Д.Э. Кнута [11]) и определения последовательности с минимальной длиной расписания;
- общий алгоритм управления режимами моделирования.

Структура системы моделирования приведена на рис. 2.

Режим 3. «Прогон с остановом по времени» используется при моделировании для обеспечения некоторого начального состояния занятости приборов обслуживающего комплекса. Это состояние впоследствии используется моделирующей системой, как фиксированная «точка отсчёта» при прогнозах исследуемых алгоритмов.

Режим 1. «Исследование алгоритмов оперативного управления» применяется для проверки эффективности, по критерию минимизации общего времени обслуживания, любых алгоритмов оперативного управления по сравнению с алгоритмом полного перебора последовательностей запуска требований.

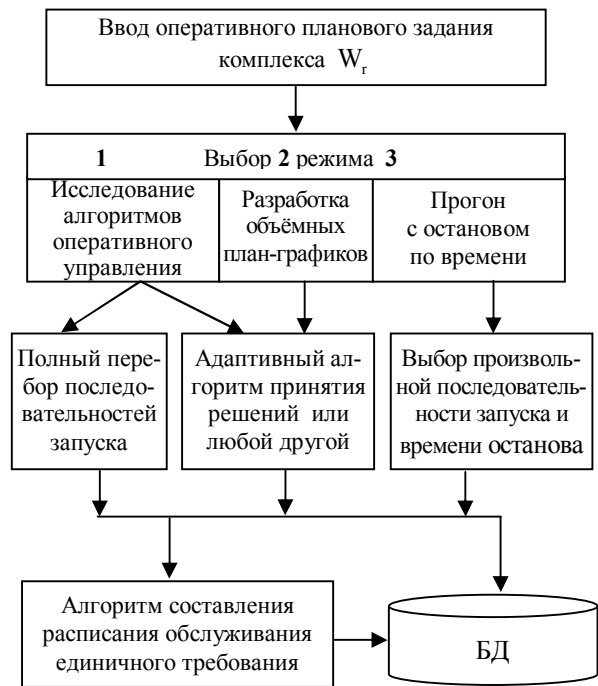


Рис. 2. Структура системы моделирования

Результатом работы является таблица результатов, содержащая итоговые последовательности запуска требований исследуемого алгоритма и алгоритма полного перебора и сравнение длины этих расписаний в процентах (рис. 3).

Комплекс k1			
Прогон № 1		Feb 16 2007 4:13PM	
Упреждение управления 50			
Пакет заявок на обслуживание:			
Требования	К-во транс.	пакетов	P-р ТП
-----	-----	-----	-----
Q1	5		1
Q2	2		1
Q3	2		1
-----			
Таблица результата:			
Требование	Старт	финиш	Критич. гр.
-----	-----	-----	-----
Q3	50	255	p1
Q3	51	256	p1
Q1	121	189	p1
Q2	121	248	p1
Q2	175	302	p1
Q1	186	254	p1
Q1	219	287	p1
Q1	248	316	p1
Q1	252	320	p1
-----			
Таблица полного перебора:			
Требование	Старт	финиш	Критич. гр.
-----	-----	-----	-----
Q3	50	255	p1
Q1	66	134	p1
Q3	81	286	p2
Q1	121	189	p1
Q2	121	248	p1
Q1	165	233	p1
Q2	175	302	p1
Q1	198	266	p1
Q1	233	301	p1
-----			
Длина расписания:			
Полный перебор:	min 302		max 501
Проверяемый алгоритм	320		
Расхождение	5.96026 %		

Рис. 3. Пример таблицы результатов исследования

Режим 2. «Разработка объёмных план-графиков» используется для составления реальных расписаний обслуживания требований по тем алгоритмам, которые исследовались в предыдущих режимах и показали достаточную эффективность.

Результатом работы режима является таблица загрузки приборов комплекса с указанием требования, операции обслуживания, абсолютного времени начала и конца операции и относительного времени транспортировки до прибора следующей операции. Таблица отсортирована по названиям (моделям) групп приборов и по номерам приборов в группе (рис. 4).

Комплекс k1				
Прогон № 1 Feb 16 2007 4:13PM				
Упреждение управления 50				
Пакет заявок на обслуживание:				
Требование	К-во транс. пак.		P-р транс. пак.	
-----				
Q1	5		1	
Q2	2		1	
Q3	2		1	
-----				
Объёмный план-график (#-требования пред. пакетов):				
Модель	№прб.	Треб.	№тр.п.	№ст. Старт Финиш
-----				
p1	1	Q3	#	0 8 : 0 8 : 51
p1	1	Q3	2	1 8 : 51 9 : 46
p1	1	Q1	1	1 10 : 1 10 : 16
p1	1	Q2	1	2 10 : 45 11 : 18
p1	1	Q2	2	2 11 : 39 12 : 12
p1	1	Q1	5	1 12 : 12 12 : 27
p1	2	Q3	#	0 8 : 0 8 : 36
p1	2	Q3	1	1 8 : 50 9 : 45
p1	2	Q1	2	1 11 : 6 11 : 21
p1	2	Q1	3	1 11 : 39 11 : 54
p1	2	Q1	4	1 12 : 8 12 : 23
p2	1	Q3	#	0 8 : 0 9 : 16
p2	1	Q3	#	0 10 : 1 11 : 21
p2	1	Q1	2	2 11 : 21 11 : 51
p2	1	Q1	3	2 11 : 54 12 : 24
p2	1	Q1	5	2 12 : 27 12 : 57
p2	2	Q3	#	0 8 : 0 8 : 21
p2	2	Q3	#	0 9 : 6 10 : 26
p2	2	Q3	1	3 10 : 55 12 : 15
p2	3	Q3	#	0 8 : 11 9 : 31
p2	3	Q3	#	0 9 : 46 11 : 6
p2	3	Q2	1	3 11 : 18 12 : 8
p2	3	Q2	2	3 12 : 12 13 : 2
p2	4	Q3	#	0 8 : 0 8 : 36
p2	4	Q3	#	0 8 : 51 10 : 11
p2	4	Q1	1	2 10 : 16 10 : 46
p2	4	Q3	2	3 10 : 56 12 : 16
p2	4	Q1	4	2 12 : 23 12 : 53
p3	1	Q3	#	0 8 : 0 9 : 6
p3	1	Q3	1	2 9 : 45 10 : 55
p3	1	Q2	2	1 10 : 55 11 : 39
p3	1	Q1	2	3 11 : 51 12 : 14
p3	1	Q1	3	3 12 : 24 12 : 47
p3	1	Q1	4	3 12 : 53 13 : 16
p3	2	Q3	#	0 8 : 0 8 : 51
p3	2	Q3	#	0 8 : 51 10 : 1
p3	2	Q2	1	1 10 : 1 10 : 45
p3	2	Q1	1	3 10 : 46 11 : 9
p3	2	Q1	5	3 12 : 57 13 : 20
p3	3	Q3	#	0 8 : 0 8 : 11
p3	3	Q3	#	0 8 : 36 9 : 46
p3	3	Q3	2	2 9 : 46 10 : 56
-----				
планируемая длина расписания: 4 час 30 мин				

Рис. 4. Пример таблицы модели план-графика

План экспериментов приведен на рис. 5.



Рис. 5. План экспериментов

## 2. Результаты моделирования

Происходило моделирование процесса обслуживания двух комплексов.

Комплекс k1 состоит из приборов моделей p1 – 2 шт., p2 – 4 шт., p3 – 3шт. (рис. 6).

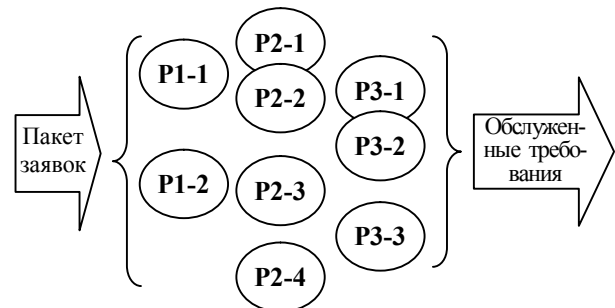


Рис. 6. Состав комплекса k1

Комплекс k2 состоит из приборов моделей p4 – 1 шт., p5 – 2 шт., p6 – 2шт., p7 – 1шт. (рис. 7).

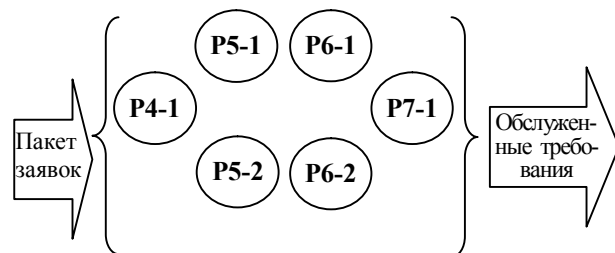


Рис. 7. Состав комплекса k2

Для комплексов k1 и k2 были заданы множества  $D_{k1}$  и  $D_{k2}$  маршрутов обслуживания требований в виде (рис. 8).

На вход каждого из комплексов подавались различные варианты пакетов заявок на обслуживание требований (рис. 9) и производился анализ длины расписания.

D <sub>k1</sub>			
Требования:			
Название	P-р трансп. пакета		
-----	-----		
Q1	1		
Q2	1		
Q3	1		
Маршруты требований:			
Название требования	№ стадии	Модель прибора	t обл.
-----	-----	-----	-----
Q1	0	p1	15
Q1	1	p2	30
Q1	2	p3	23
Q2	0	p3	44
Q2	1	p1	33
Q2	2	p2	50
Q3	0	p1	55
Q3	1	p3	70
Q3	2	p2	80

D <sub>k2</sub>			
Требования:			
Название	Транспортный пакет		
-----	-----		
Q4	1		
Q5	1		
Q6	1		
Q7	1		
Маршруты требований:			
Название требования	№ стадии	Модель прибора	t обл.
-----	-----	-----	-----
Q4	0	p4	10
Q4	1	p5	30
Q4	2	p6	28
Q4	3	p7	12
Q5	0	p4	15
Q5	1	p6	50
Q5	2	p7	55
Q6	0	p4	12
Q6	1	p5	60
Q6	2	p7	24
Q7	0	p7	17
Q7	1	p5	42
Q7	2	p6	76
Q7	3	p4	18

Рис. 8. Примеры маршрутов требований

Комплекс к1		
Пакет заявок на обслуживание:		
Требование	К-во транс. пак.	P-р транс. пак.
-----	-----	-----
Q1	5	1
Q2	2	1
Q3	2	1

Комплекс к2		
Пакет заявок на обслуживание:		
Требование	К-во транс. пак.	P-р транс. пак.
-----	-----	-----
Q4	5	1
Q5	2	1
Q6	2	1
Q7	3	1

Рис. 9. Примеры пакетов заявок

## Выводы

Моделирование показало, что длина расписания при одних и тех же начальных состояниях загрузки приборов комплексов к1 и к2 отличается от длины расписания, полученного с помощью алгоритма полного перебора не более чем на 2 – 6%.

Кроме того оказалось, что при увеличении количества требований в загрузочных пакетах результаты адаптивного и переборного алгоритмов по длительности расписания сближаются.

## Список литературы

1. Шрайбер Т.Дж. Моделирование на GPSS: Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1980. – 320 с.
2. GPSS/PC general purpose simulation. Reference Manual. – Minuteman software. P.O. Box 171. Stow, Massachusetts 01775, 1986. – 340 p.
3. Система моделирования GPSS/PC на ПЭВМ // Методические материалы и документация по пакетам прикладных программ. – М.: МЦНТИ. – 1990. – Вып. 69. – 124 с.
4. Армстронг Дж.П. Моделирование цифровых систем на языке VHDL. – М.: Мир, 1992. – 240 с.

5. *IEEE Std 1076 - 1987, IEEE Standard VHDL Language Reference Manual (VHDL version 7.2.)* N.Y:IEEE, 1988.
6. *Simula-67: Викиредия, свободная энциклопедия Simula, вариант 3063072, 2006.* – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/w/index.php>.
7. *Haas P., Stochastic Petri Net Models Modeling and Simulation, Springer Verlag, 2002.* – 224 p.
8. *Баев В.В., Паненко С.В. Пакет программ моделирования дискретных процессов расширенными сетями Петри // УСuM. – 1991. – № 8. – С. 83-87.*
9. *Clymer J., Systems Analysis Using Simulation and Markov Models, Prentice Hall, 1990.* – 194 с.
10. *Али Найф Халил Альхжуж, Жолткевич Г.Н., Игнатов С.Ю., Оперативное управление многофазными обслуживающими комплексами // Радиоелектронні та комп'ютерні системи. – 2006. – Вип. 4 (16). – С. 109-118.*
11. *Кнут Э.Д. Искусство программирования. Т. 1. Основные алгоритмы. – М. – С.-Пб. – К., 2005. – 76 с.*

*Поступила в редколлегию 2.02.2007*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.Н. Жолткевич, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков.