

УДК: 004.042

**МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**MODEL OF OPERATION OF COMPUTER SYSTEM
OF SPECIAL-PURPOSE AUTOMATED SYSTEMS**

Канд. техн. наук И.А. Лебянкин

Ph.D. I.A. Ledyankin

ВКА им. А.Ф. Можайского

В настоящее время исследования основных аспектов теории и практики организации процессов согласования структуры вычислительного процесса со складывающейся функциональной структурой задач автоматизированных систем управления специального назначения в процессе их функционирования является актуальной научной задачей. Распределенное решение задачи управления вычислительным процессом, предоставляет возможность адаптации нескольких сценариев вычислений на параллельных или распределенных вычислительных системах, что обеспечивает требуемую оперативность функционирования автоматизированных систем управления специального назначения. Данная работа посвящена разработке модели функционирования вычислительной системы автоматизированных систем управления специального назначения.

Ключевые слова: автоматизированная система специального назначения, автоматизированная система управления, вычислительная система, вычислительный процесс, мультиграф.

Currently, research on the main aspects of the theory and practice of organizing processes for harmonizing the structure of the computing process with the evolving functional structure of the tasks of automated special-purpose control systems in the process of their functioning is an urgent scientific task. Distributed solution of the problem of computational process control, provides the possibility of adapting several scenarios of calculations on parallel or distributed computing systems, which ensures the required speed of operation of automated special-purpose control systems. This work is devoted to the development of a model for the functioning of a computer system of automated special-purpose control systems.

Keywords: automated special-purpose system, automated control system, computer system, computing process, multigraph.

Введение

Для создания многоцелевых, мобильных автоматизированных систем специального назначения требуется, прежде всего, разработать перспективные автоматизированные системы

управления (АСУ), обеспечивающие решение комплекса задач управления с заданной оперативностью.

Известно, что техническая реализация АСУ предполагает построение структуры её вычислительной системы (ВС). Общая структура АСУ

понимается как взаимосвязь технической, организационной, функциональной, коммуникационной, топологической, структур информационного, математического и программного обеспечения.

Известно, что реальная оперативность АСУ определяется ее технической структурой и структурой ее программного обеспечения. Очевидно, что большее рассогласование функциональной структуры и структур математического и программного обеспечения сопровождается большими ресурсными требованиями к вычислительным средствам. Следовательно, для обеспечения требуемой оперативности перспективной АСУ должна быть согласована ее техническая структура, структура математического и программного обеспечения со структурой ее функциональных задач.

Основным средством, позволяющим определить эффективность организации вычислительного процесса АСУ, является моделирование процессов функционирования её вычислительной системы [1].

Формализация модели функционирования вычислительной системы автоматизированных систем специального назначения

На сегодняшний день в АСУ специального назначения можно выделить следующие основные подсистемы:

- подсистема управления обработкой специализированной информации;
- подсистема управления комплексом технических средств.

Цикл функционирования подсистемы управления обработкой специализированной информации составляет доли секунд и определяется оперативностью системы реконфигурации комплекса технических средств АСУ.

Принятие решения на управление комплексом технических средств осуществляется на основе применения программ обработки информации и технического управления. Данные программы запускаются в цикле функционирования по единому управляющему алгоритму (диспетчером вычислительного процесса) и определяют структуру вычислительного процесса. Распределение ресурсов вычислительной среды, таких как процессорное время, оперативная и буферная память между процессами комплексной программы управления осуществляется операционной системой [2].

Таким образом, основными взаимодействующими элементами вычислительного процесса ВС являются процессы, операционная система и диспетчер вычислительного процесса (рис. 1).

Формализованное описание организации вычислительной системы автоматизированных систем специального назначения (АССН) в целом, может быть представлено [3, 4]

$$S_{BC} = \langle H, A \rangle, \quad (1)$$

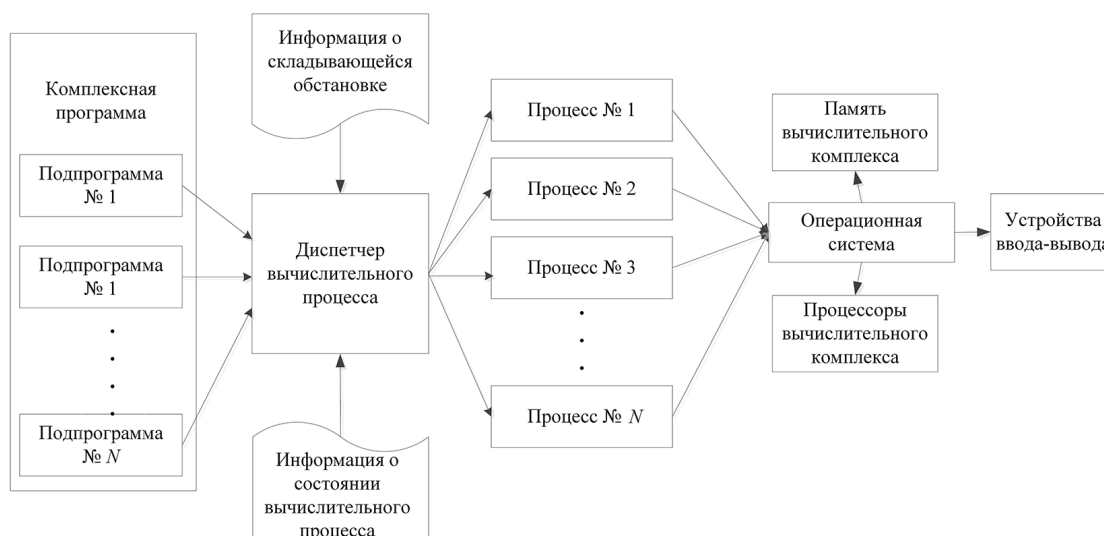


Рис. 1. Схема взаимодействия элементов вычислительного процесса вычислительной системы автоматизированных систем специального назначения

$$H = \langle C, G \rangle, \quad (2)$$

где H — конструкция набора вычислителей системы;

A — алгоритм работы вычислителей системы;

$\overline{C} = \{c_i\}$ — множество вычислителей c_i , $i = 1, N$;

N — мощность множества C ;

G — описание макроструктуры коллектива вычислителей, т.е. структуры сети связей между вычислителями $c_i \in C$ [3].

Алгоритм A работы коллектива S_{BC} обеспечивает согласованную работу всех вычислителей $c_i \in C$ и сети связей G между ними в процессе решения задач [4]

$$A(P(D)), \quad (3)$$

где D — исходный массив данных,

$$D = \bigcup_{i=1}^N D_i, \quad (4)$$

D_i — индивидуальный массив данных для вычислителя $c_i \in C$, причем в общем случае

$$\bigcap_{i=1}^N D_i \neq \emptyset, \quad (5)$$

P — параллельная программа,

$$P = \bigcup_{i=1}^N P_i, \bigcap_{i=1}^N P_i \neq \emptyset, \quad (6)$$

P_i — ветвь i -ой программы P .

Вычислительный процесс B_{BC} вычислительной системы (1) может быть представлен, как частично упорядоченное множество актов выполнения операторов [5]

$$B_{BC} = \langle P, \gamma \rangle, \quad (7)$$

где $P = \{p_a \mid a \in A\}$ — множество актов выполнения операторов;

a — обозначение некоторого оператора, принадлежащего множеству операторов A .

Акт выполнения оператора a имеет вид

$$p_a = \left(a, \overline{t_a}, \overline{t_a} \right), \quad (8)$$

где $\overline{t_a}$ — момент начала выполнения оператора a ;

$\overline{t_a}$ — момент окончания выполнения оператора a , определяемые условием готовности операторов a_i к выполнению, задаваемому логической функцией (предикатом) вида

$$\pi_i = \pi_i^c \wedge \pi_i^D \wedge \pi_i^R, \quad (9)$$

где π_i^c — наличие разрешения (управления) на выполнение оператора a_i ;

π_i^D — готовность данных для выполнения оператора a_i (4), включая входные данные и соответствующий программный модуль (6);

π_i^R — готовность ресурсов (процессора, памяти и т.д.) для выполнения оператора a_i .

В модели (7) γ — отношение частичного порядка на множестве актов выполнения. При этом p_a предшествует p_b ($p_a < p_b$) или p_b следует за p_a тогда и только тогда, когда $\overline{t_b} \geq \overline{t_a}$; p_a параллельно p_b ($p_a \parallel p_b$) тогда и только тогда, когда $\overline{t_a} \leq \overline{t_b} < \overline{t_a}$, то есть акт выполнения оператора b начинается в тот момент, когда акт выполнения оператора a не закончился.

Отношение γ упорядоченных актов выполнения называется отношением полного порядка, если для любых двух актов $p_a, p_b \in P$ выполняется логическое условие $p_a < p_b$. Если же возможно параллельное выполнение актов, то это означает только частичный порядок на множестве актов P .

Частичный порядок на множестве актов выполнения операторов должен быть согласован с графом информационных и операционных связей между операциями алгоритма в том смысле, что оператор может начать выполняться только после того, как будет готова вся входная информация [6].

Модель функционирования вычислительной системы на основе сети Петри с разноцветными маркерами

На основании изложенного формального описания модели вычислительной системы (1), вычислительного процесса (7) и механизма логического управления им (9) предлагается объединить модели (1, 7, 9), путем построения имитационной модели ВС АСЧН на основе математического аппарата сетей Петри [7, 8].

Ординарная временная сеть Петри, как дискретно-непрерывная система представляет собой девятку

$$\{C, \Theta, \bar{\theta}_z, M, M_{0^*}, \bar{m}^0, \theta_0, \delta', \delta''\},$$

где C — структура сети Петри $C = (P, T, \hat{R}_1, \hat{R}_2)$;
 Θ — непрерывное множество моментов времени;

$\bar{\theta}_z$ — вектор задержек маркеров в позициях;

$\mathbf{M} = \{\bar{m}\}$ — множество векторов маркировки;

$\mathbf{M}_{0^*} = \{\bar{m}_{0^*}\}$ — множество таймер-векторов;

\bar{m}^0 — вектор начальной маркировки;

θ_0 — начальный момент запуска сети Петри;

δ' — частично-определенная функция перехода в новые состояния $\langle \bar{m}, \bar{m}_0 \rangle$;

δ'' — функция изменения таймер-вектора \bar{m}_{0^*} на интервале времени между переходами, сопоставляющая парам $\langle \bar{m}_{0^*}^1; \theta \rangle$ некоторый новый таймер-вектор $\bar{m}_{0^*}^2$, где θ — некоторый интервал времени.

Для временной сети Петри правило разрешения перехода t_j должно быть дополнено правилом следующего вида:

$$\bar{m}_{0^*}^T \geq \bar{e}_j^T \mathbf{M}_{R_1} \mathbf{M}_z, \quad (10)$$

где \mathbf{M}_z — диагональная матрица задержек, диагональные элементы которых равны соответствующим элементам вектора $\bar{\theta}_z$.

В дискретно-непрерывной динамической системе при запуске перехода t_j реализуется функция δ' , в результате чего вектор состояния временной сети Петри $\langle \bar{m}, \bar{m}_{0^*} \rangle$ заменяется вектором состояния $\langle \bar{m}', \bar{m}_{0^*} \rangle$. При этом вектор-состояние \bar{m}' определяется через вектор \bar{m} в соответствии с соотношением (6), а вектор \bar{m}'_{0^*} определяется через вектор \bar{m}_{0^*} следующим образом:

$$\bar{m}'_{0^*} = \bar{m}_{0^*} - \bar{e}_j^T \mathbf{M}_{R_1}^T \mathbf{M}_{0^*}. \quad (11)$$

Для решения задачи управления вычислительным процессом с использованием различных операторов и системы приоритетов необходимо использование различных маркеров. Для реализации этого необходимо модернизировать сеть Петри и ввести разноцветные маркеры [8].

Сеть Петри с разноцветными маркерами называется пара (\hat{C}^P, \bar{m}^P) где

$$\hat{C}^P = (P, T, \hat{R}_{1\xi_1}, \hat{R}_{1\xi_2}, \dots, \hat{R}_{1\xi_k}, \hat{R}_{2\xi_1}, \hat{R}_{2\xi_2}, \dots, \hat{R}_{2\xi_k}, \Xi) —$$

раскрашенная структура сети Петри, определяемая заданием множества позиций P , переходов T , мультиотношений $\hat{R}_{1\xi_h} \times \hat{R}_{2\xi_h}$ ($h = 1, 2, \dots, k$), связывающих позиции и переходы по каждому цвету ξ_h множества цветов $\Xi = \{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k\}$;
 $\bar{m}^P = (\bar{m}_{\xi_1}, \bar{m}_{\xi_2}, \dots, \bar{m}_{\xi_k})$ — вектор маркировки (вектор состояния), состоящий из разноцветных подвекторов.

Структура данной сети Петри формируется на множестве позиций и переходов посредством не одного двудольного и двустороннего мультиграфа, а нескольких таких мультиграфов, заданных матрицами инцидентности

$$\mathbf{M}_{R_{1\xi_h}}, \mathbf{M}_{R_{2\xi_h}} \quad (h = 1, \dots, k),$$

а так же тем, что вектор маркировки разбит на разноцветные подвекторы. Правила разрешения перехода t_j и правила изменения маркировки при запуске этого перехода должны выполняться для каждого цвета:

$$\forall (\xi_h \in \Xi) \times \left(\bar{m}_{\xi_h}^T \geq \bar{e}_j^T \mathbf{M}_{R_{1\xi_h}}, \bar{m}_{\xi_h}^{1T} = \bar{m}_{\xi_h}^T - \bar{e}_j^T \mathbf{M}_{R_{1\xi_h}}^T + \bar{e}_j^T \mathbf{M}_{R_{2\xi_h}}^T \right). \quad (12)$$

Сформулируем правило формирования множества цветных маркеров с учетом (7, 8, 9).

Множество различных маркеров связанные с актами выполнения операторов $P = \{p_a | a \in A\}$, которые будут обрабатываться, обозначим через W , а элементы множества $w_i \in W$ (w_1, w_2, \dots, w_n), где $i = 1 \dots n$ (n — суммарное количество элементов в частично упорядоченных актах выполнения операторов). Маркировку, характеризующую изменение состояний вычислительной среды обозначим через $z_j \in Z$, где $j = 1 \dots m$ (m — количество процессоров вычислительной среды). Тогда множество маркеров примет следующий вид $\Xi = \{w_1, w_2, \dots, w_n, z_1, z_2, \dots, z_m\}$.

Вектор маркировки (вектор состояния системы) будет выглядеть следующим образом $\bar{m}^P = (\bar{m}_{w_1}, \bar{m}_{w_2}, \bar{m}_{w_3}, \dots, \bar{m}_{w_n}, \bar{m}_{z_1}, \bar{m}_{z_2}, \dots, \bar{m}_{z_m})$. Функционирование сети осуществляется следующим образом. В начальный момент времени, когда на входе системы сформирована очередь заданий, определяются задания, которые вычисляются параллельно, и, следовательно, могут вычисляться на различных вычислительных каналах системы. Следующим дей-

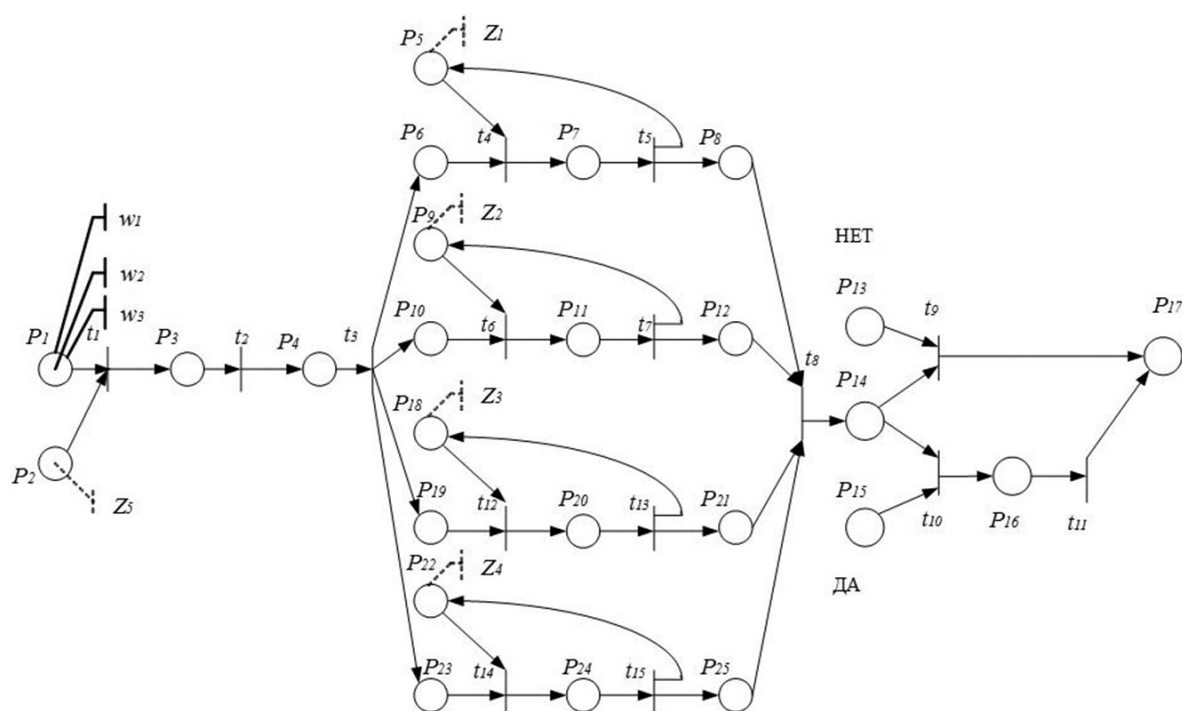


Рис. 2. Модель функционирования вычислительной системы на основе сети Петри с разноцветными маркерами

ствием является формирование матриц инцидентности для каждого типа маркера [9].

Изменение состояний системы происходит в момент выполнения условия (10). Новые состояния системы получаются с использованием расчетного соотношения (11). Расчет новых состояний системы осуществляется для каждого типа маркера отдельно.

Рассмотрим процесс обработки данных в системе состоящей из 4-х процессоров, общей оперативной памяти, системы ввода-вывода и коммуникационной среды [10]. Модель функционирования вычислительной системы на основе сети Петри с набором маркеров (\$w_1, w_2, w_3\$) представлена на рис. 2.

В этом случае модель имеет следующие состояния:

- P_1 — задание находится в очереди;
- P_2 — коммутатор находится в ожидании задания;
- P_3 — обращение к оперативной памяти;
- P_4 — обработка задания на коммутаторе;
- P_5, P_9, P_{18}, P_{22} — процессоры находятся в состоянии ожидания задания;
- $P_6, P_{10}, P_{19}, P_{23}$ — задание находится в процессе ожидания выполнения;

$P_7, P_{11}, P_{20}, P_{24}$ — процессоры обрабатывают задания;

$P_8, P_{12}, P_{21}, P_{25}$ — задания выполнены, находятся в состоянии ожидания для выхода;

P_{14} — задание выполнено, находится в ожидании дальнейшего пути;

P_{13}, P_{15} — операторы логического выполнения;

P_{16} — выполненное задание выводится на устройство «вода-вывода»;

P_{17} — окончание выполнения.

Выводы

Структура функционирования вычислительной системы на основе сети Петри с разноцветными маркерами, формируется на множестве позиций и переходов посредством мультиграфов, заданных матрицами инцидентности $M_{R_{15h}}, M_{R_{25h}}$ ($h = 1, \dots, k$), и вектором маркировки, который разбит на разноцветные подвекторы. Правила разрешения перехода t_j и правила изменения маркировки при запуске этого перехода должны выполняться для каждого цвета в соответствии с (12).

Таким образом, применение разработанной модели функционирования вычислительной системы позволяет повысить оперативность функционирования автоматизированной системы мониторинга космических и баллистических объектов, путем исследования реализаций параллельных алгоритмов в существующих архитектурах вычислительных систем реального времени.

Литература

1. Альянах И.А. Моделирование вычислительных систем. — Л.: Машиностроение. 1988. 233 с.
2. Назаров С.В. Операционные системы специализированных вычислительных комплексов. — М. Машиностроение. 1989. 399 с.
3. Топорков В.В. Модели распределенных вычислений. — М.: ФИЗМАТЛИТ. 2004. 320 с.
4. Хорошевский В.Г. Архитектура вычислительных систем. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2008. 520 с.
5. Гергель В.П., Стронгин Р.Г. Основы параллельных вычислений для многопроцессорных вычислительных систем, изд-во Нижегородского государственного университета. 2003. 184 с.
6. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. — СПб: «БХВ-Петербург». 2002. 608 с.
7. Дронов В.В. Теория вычислительных процессов, конспект лекций, изд-во Новгородского государственного университета. 2009. 86 с.
8. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. — М.: Наука. 1978. 356 с.
9. Ледянкин И.А., Александров И.Р., Легков К.Е. Методика адаптации информационных процессов вычислительных комплексов специального назначения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 3. С. 4–8.
10. Мелехин В.Ф. Вычислительные машины, системы и сети: учебник для студентов высших учебных заведений. — М.: Издательский центр «Академия». 2007. 560 с.

References

1. Allyanakh I.A. Modeling of computing systems. — L.: Engineering. 1988. 233 p.
2. Nazarov S.V. Operating systems of specialized computing complexes. — M.: Mechanical Engineering. 1989. 399 p.
3. Toporkov V.V. Models of distributed computing. — M.: FIZMATLIT. 2004. 320 p.
4. Khoroshevsky V.G. Architecture of computing systems. — M.: Moscow State Technical University named after N.E. Bauman. 2008. 520 p.
5. Gergel V.P., Strongin R.G. Basics of parallel computing for multiprocessor computing systems, from Nizhny Novgorod State University. 2003. 184 p.
6. Vojvodin V.V., Vojvodin Vl.V. Parallel calculations. — St. Petersburg: «BHV-Petersburg». 2002. 608 p.
7. Dronov V.V. Theory of computational processes, a conception of lectures, from Novgorod State University. 2009. 86 p.
8. Buslenko N.P. Modeling of complex systems. — M.: Science. 1978. 356 p.
9. Ledyankin I.A., Alexandrov I.R., Legkov K.E. Methodology for adaptation of information processes of special-purpose computing complexes // T-Comm: Telecommunication and transport. 2016. T. 10. № 3. P. 4–8.
10. Melekhin V.F. Computing machines, systems and networks: a textbook for students of higher educational institutions. — M.: Publishing Center «Academy». 2007. 560 p.