

Н. А. СОКОЛОВА, д-р техн. наук, профессор ХНТУ,
Д. В. ПРОХОРЕНКО, аспирант ХНТУ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

В статті приведено нові підходи до синтезу системи обробки інформації і управління, які базуються на використанні потенційних можливостей складних систем, а також фізичних і логічних закономірностей їх поведінки.

В статье приведены новые подходы к синтезу систем обработки информации и управления, которые базируются на использовании потенциальных возможностей сложных систем, а также физических и логических закономерностях их поведения.

New approaches are led in article to the synthesis systems of processing information and management, which are based on the use of potential possibilities of the difficult systems and also physical and logical regularity their conducts.

Введение. В условиях переходной экономики, характеризующейся качественными изменениями производительных сил и производственных отношений, актуальна проблема синтеза, эффективной системы обработки информации и управления (СОИУ), способной осуществлять цели экономического развития промышленного производства (ПП). Задача перестройки механизма управления ПП базируется на концепции такого механизма, который мог бы гибко приспосабливаться к изменяющимся условиям внешней с внутренней сред, учитывая неопределенности различного рода.

Современные распределенные системы обработки информации и управления (СОИУ) включают большое количество территориально распределенных и взаимодействующих между собой компонентов. Инфраструктура распределенных СОИУ представляет собой специализированную сеть ЭВМ с развитой системой передачи данных, так как практически все виды обработки информации и управления процессом функционирования производятся с помощью ЭВМ (специализированных и универсальных) рассредоточенных по отдельным удаленным компонентам системы. Вполне очевидно, что создание таких СОИУ в приемлемые сроки и с высокими тактико-техническими характеристиками возможно лишь на основе широкой автоматизации процессов проектирования и отладки систем с применением современных математических методов и быстродействующих ЭВМ.

Системы рассматриваемого класса являются специфическим объектом проектирования в связи с тем, что их назначением является реализация

сложных комплексов алгоритмов при условии удовлетворения множества ограничений. Эти системы в общем случае включают два типа средств цифровой обработки данных: цифровые специализированные процессоры с жесткой или перестраиваемой структурой и многопроцессорные (многомашинные) вычислительные комплексы.

При проектировании таких систем должен быть решен ряд крайне сложных задач с учетом большого числа факторов. Основными из этих задач являются: синтез алгоритмов функционирования системы; преобразование комплекса алгоритмов системы и отдельных частных алгоритмов, образующих комплекс алгоритмов, к параллельной форме, обеспечивающей реализацию всего комплекса алгоритмов системы в реальном времени; определение необходимого соотношения аппаратурных и программно-управляемых средств (спецпроцессоров и многопроцессорных или многомашинных вычислительных комплексов); выбор оптимальных типов многопроцессорных комплексов для применения в системе и определение их основных структурных характеристик (количества процессоров, количества подпроцессоров, системы команд, времени выполнения команд, количества уровней памяти и характеристик различных уровней памяти и т. п.); разработка новых классов многопроцессорных комплексов, учитывающих специфические особенности цифровой обработки данных в рассматриваемых системах; разработка методов формализации и автоматизации проектирования структур спецпроцессоров и компонентов программно-управляемых средств и т. д.

Анализ последних исследований. К настоящему времени получены существенные результаты в области автоматизации проектирования на схемотехническом уровне. Разработаны методы и средства синтеза логических узлов и устройств ЭВМ и цифровых автоматов по известным алгоритмам их функционирования [1]. Большинство исследований, посвященных вопросам синтеза СОИУ, предполагает создание формализованных процедур выбора оптимальных вариантов организации системы: функциональной, организационной, информационной, алгоритмической, технической [2-5]. В то же время задача формализации и автоматизации проектирования сложных систем на основе системного подхода в настоящее время не решена. При этом естественным является стремление организовывать систему и представлять ее в таком виде, что выбор ее целей будет достигнут. Это является сложной задачей – задачей синтеза ее функциональной структуры.

Отсутствие методов автоматизации структурного и функционально-логического проектирования сложных автоматизированных систем управления не позволяет обеспечить сквозную автоматизацию системного проектирования: от задания исходного комплекса алгоритмов и системных требований к параметрам их реализации до получения логических, принципиальных схем и соответствующей конструкторской документации, а

в перспективе – до получения изделий с помощью гибких автоматизированных программно-управляемых производств.

Постановка задачи. Сегодня становится очевидным, что создание эффективных СОИУ требует разработки новых принципов их проектирования. На смену эволюционному подходу к проектированию таких систем должен прийти более прогрессивный подход, учитывающий новое качество – сложность систем. Эти новые принципы проектирования должны обеспечить возможно более полную формализацию процессов функционирования проектирования сложных систем и на этой основе решить задачу автоматизации всех основных этапов проектирования.

Цель статьи. В данной работе ставится задача разработки элементов методологии автоматизированного проектирования СОИУ, основанной на использовании потенциальных возможностей сложных систем, а также физических и логических закономерностях их поведения.

Основной материал. Управляющие комплексы составляют основу любой информационно-управляющей системы (ИУС) и берут на себя значительную тяжесть проблемы автоматизации проектирования ИУС в целом.

При постановке задачи автоматизации проектирования таких комплексов необходимо учитывать следующие основные особенности их функционирования [5]:

- Решение задач по обработке информации и управлению осуществляется на основе комплекса алгоритмов (КА), представляющего собой совокупность взаимосвязанных частных алгоритмов (ЧА), соответствующих различным частным функциональным задачам системы.
- Множественность и случайный характер объектов, для которых реализуется комплекс алгоритмов.
- Относительная стабильность комплекса алгоритмов, представляющих в совокупности специализированное математическое обеспечение системы.
- Стабильность состава и структуры средств, используемых в процессе эксплуатации системы для реализации КА.
- Необходимость реализации всего комплекса алгоритмов в условиях жестких системных ограничений, связанных с особенностями построения и функционирования системы в реальном масштабе времени.

Основные этапы, составляющие автоматизированного проектирования СОИУ как сложной цифровой системы обработки информации и управления, представлены на рис. 1.

На первом этапе реализуется сложный и трудоемкий процесс, связанный с созданием идеологии решения задач, разработкой математических моделей

процессов функционирования, разработкой соответствующих алгоритмов управления, и в конечном итоге полного комплекса алгоритмов обработки информации и управления. Указанный этап имеет исключительно важное значение, поскольку от него зависит получение эффективных и надежных алгоритмов, обеспечивающих оптимальное (адаптивное) управление в ИУС.

На втором этапе решается задача синтеза функциональной структуры комплекса. Отмеченные выше особенности управляющих комплексов рассматриваемого класса обуславливают многообразие типов вычислительных средств, которые могут являться компонентами сложных цифровых систем обработки информации и управления (рис.2).

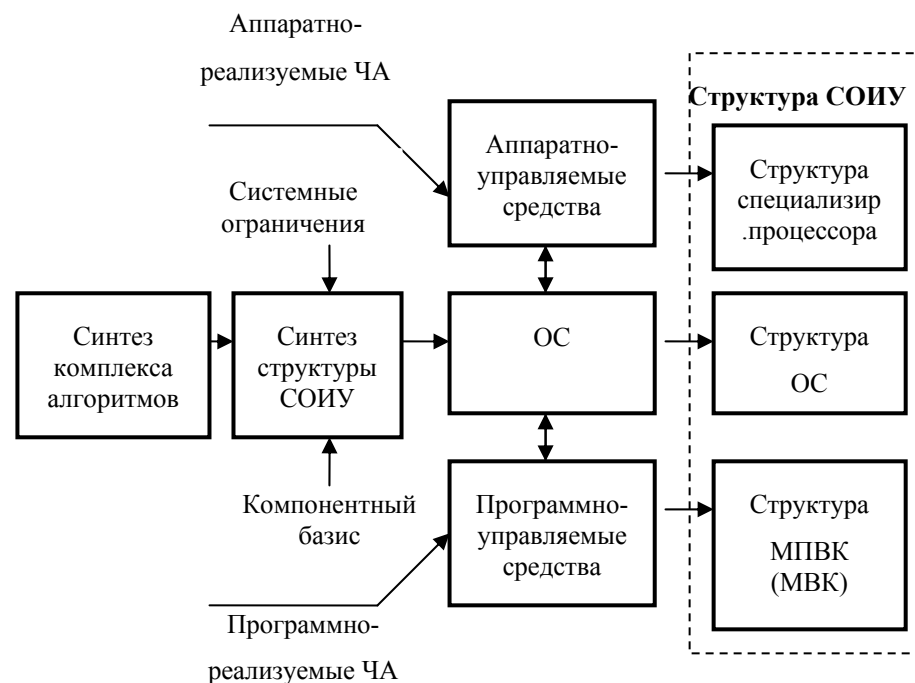


Рис. 1. Этапы и составляющие автоматизированного структурного проектирования СОИУ

В самом общем случае вычислительные средства могут подразделяться на аппаратно-управляемые, программно-управляемые и микропрограммно-управляемые средства и включать существующие и новые типы спецпроцессоров с жесткой или перестраиваемой логикой функционирования, традиционные многопроцессорные вычислительные комплексы (МПВК) классов ОКМД и МКМД, новые классы МПВК и

многомашинных вычислительных комплексов (МВК), многопроцессорные и многомашинные комплексы мини-ЭВМ, микропроцессорные комплекты и мультипрограммные комплексы.

Задача синтеза функциональной структуры СОИУ формулируется следующим образом: используя в качестве исходной информации заданный комплекс алгоритмов, системные требования к реализации данного комплекса алгоритмов (КА) в реальном масштабе времени и характеристики имеющейся в распоряжении разработчика элементной базы (средств вычислительной техники (ВТ)), определить структуру системы, включая решение следующих задач:

а) оптимального разбиения КА на два подмножества: подмножество частных алгоритмов (ЧА), подлежащих реализации с помощью соответствующих спецпроцессоров с жесткой или перестраиваемой структурой (т.е. с помощью аппаратно-управляемых средств), и подмножество ЧА, реализуемых программно-управляемыми средствами (многопроцессорные вычислительные комплексы (МПВК), многомашинные вычислительные комплексы (МВК));

б) синтеза структуры спецпроцессоров с детализацией до типовых элементов и узлов цифровой вычислительной техники или микропроцессорных комплектов интегральных схем, обеспечивающих в общем случае параллельную реализацию частных алгоритмов в требуемое время при минимальной стоимости (или в минимально возможное время при заданных ограничениях на допустимое количество оборудования);

в) выбора из существующих многопроцессорных (многомашинных) вычислительных комплексов комплекса, обеспечивающего максимальную эффективность реализации соответствующего подмножества частных алгоритмов КА, и определения количественных значений основных структурных характеристик комплекса: количество процессоров или ЭВМ, количества подпроцессоров, иерархии памяти, характеристик различных уровней памяти и т. п.;

г) определения рационального разбиения множества функций операционной системы на два подмножества, реализуемых аппаратными и программными средствами, и синтеза структуры аппаратной части операционной системы.

В задачу проектирования СОИУ может входить также разработка новых принципов построения МПВК, МВК с параллельной обработкой информации и структурный синтез основных компонентов таких комплексов. В связи с этим возникает задача определения рационального соотношения различных видов параллелизма при реализации конкретных частных алгоритмов:

- *глобального параллелизма*, заключающегося в одновременном выполнении в каждый момент времени максимально возможного (или необходимого) количества независимых операций одного или нескольких одновременно реализуемых алгоритмов;



Рис. 2. Классы вычислительных средств управляющих комплексов реального времени

- *локального параллелизма*, заключающегося в увеличении (в интересах сокращения времени выполнения операций) количества одновременно обрабатываемых разрядов кодов операндов при переходе от представления чисел обычными однорядными кодами (кодowymi матрицами);

- *конвейерной обработки*, состоящей в частичном совмещении временных интервалов различных этапов выполнения одного или нескольких алгоритмов или их частей.

Проектирование СОИУ включает решение задач анализа и синтеза. Задача анализа сводится в большинстве случаев к определению возможности

реализации комплекса алгоритмов в реальном масштабе времени с помощью априорно заданных вычислительных средств, образующих систему обработки информации и управления. Задача синтеза имеет следующие основные формулировки:

частная задача — обосновать необходимый количественный состав априорно выбранных типов вычислительных средств, при котором обеспечивается реализация комплекса алгоритмов при заданных системных ограничениях;

общая задача - обосновать оптимальный состав типов вычислительных средств, количество вычислительных средств различных типов, определить их структурные характеристики и синтезировать структуру, обеспечивающие реализацию комплекса алгоритмов при достижении максимального значения показателя эффективности ИАСУ.

Введем количественные параметры, необходимые для формализации постановки задач анализа и синтеза СОИУ:

δ^μ – тип реализации частного алгоритма P^μ , входящего в КА $P = \{P^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$ системы: $\delta^\mu = 0$ при программно-управляемой реализации алгоритма P^μ , $\delta^\mu = 1$ при аппаратной реализации с помощью спецпроцессора;

ω^μ – вариант построения программно-управляемых средств, обеспечивающих (при $\delta^\mu = 0$) реализацию P^μ : $\omega^\mu = 0$, при реализации P^μ с помощью МПВК, $\omega = 1$ при выполнении ЧА P^μ с помощью МВК;

H^μ – степень глобального параллелизма реализации ЧА P^μ , т. е. ширина глобально-параллельного представления алгоритма P^μ ;

K^μ – степень локального параллелизма алгоритма P^μ , определяющая количество одновременно обрабатываемых разрядов операндов при выполнении операций ($K^\mu = \dots 3m; 2m; m; 0,5m; \dots; 1$) где m – разрядность операндов;

ξ^μ – класс программно-управляемого средства реализующего алгоритм P^μ : $\xi^\mu = 1$ при использовании средств класса ОКОД (т. е. однопроцессорной ЭВМ), $\xi^\mu = 2$ при использовании среднего класса ОДМД, $\xi^\mu = 3$ при использовании средств класса МКМД;

π^μ – тип программного управления вычислительным средством, реализующим алгоритм P^μ : $\pi^\mu = 1$ при управлении на основе микропрограмм, $\pi^\mu = 2$ при управлении на основе традиционных последовательных программ, $\pi^\mu = 3$ при управлении на основе параллельных программ.

Назовем вектор $C^\mu = (\delta^\mu, \omega^\mu, H^\mu, K^\mu, \xi^\mu, \pi^\mu)$ структурным вектором ЧА $P^\mu \in P$, а множество $C = \{C^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$ – множество структурных векторов КА.

Определим аппаратную параметризацию множества алгоритмов как постановку во взаимно-однозначное (или однозначное) соответствие множеству $P = \{P^\mu\}$ аппаратно-параметризующего множества $R = \{r^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$, где r^μ – номер вычислительного средства, реализующего алгоритм P^μ .

Будем задавать тип вычислительного средства вектором $C_S = (\delta_S, \omega_S, \xi_S, \pi_S)$, где S – номер средства и компоненты $\delta_S, \omega_S, \xi_S, \pi_S$ имеют аналогичный смысл, что и компоненты вектора ЧА C^μ ЧА P^μ .

С формальной точки зрения выполнение комплекса алгоритмов системой обработки информации и управления можно трактовать как удовлетворение определенного числа заявок на обслуживание объектов различных типов путем реализации соответствующих групп частных алгоритмов.

Обозначим через θ_0 множество различных типов объектов, обслуживаемых системой, или различных типов заявок на обслуживание объектов соответствующих типов, через $N(\theta)$ – число заявок типа θ , имеющихся в системе на некотором интервале функционирования СОИУ, через $d(\theta)$ – приоритет заявки (объекта) типа θ . Это позволяет определить показатель качества реализации комплекса алгоритмов с помощью СОИУ следующим образом:

$$K_{КА} = \frac{\sum_{\theta \in \theta_0} d(\theta) \sum_{v=1}^{N(\theta)} \alpha_v^\theta}{\sum_{\theta \in \theta_0} d(\theta) N(\theta)},$$

где $\alpha_v^\theta = \begin{cases} 0, & \text{при неудовлетворении заявки с номером } v, \\ 1, & \text{при удовлетворении заявки с номером } v. \end{cases}$

Введенные понятия позволяют следующим образом сформулировать задачу анализа и задачи синтеза структуры СОИУ.

Задача анализа.

Заданы:

а) множество $P = \{P^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$ алгоритмов, образующих комплекс алгоритмов системы; б) аппаратно-параметрическое множество $R = \{r^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$; в) множество $C = \{C^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$ структурных векторов

алгоритмов $P^\mu \in P$; г) характеристики структуры вычислительных средств различных типов, используемых в системе; д) системные требования: количество заявок каждого типа в системе на заданном интервале времени, приоритетность заявок, требуемое время их удовлетворения и т.п.; е) требуемое значение показателя качества реализации КА $K_{\text{зад}}$.

Требуется: проверить выполнение соотношения $K_{\text{КА}} \geq K_{\text{зад}}$.

Задачи синтеза.

Первая задача.

Заданы:

а) множество $P = \{P^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$ частных алгоритмов, образующих КА системы; б) системные требования к реализации КА; в) множество $C = \{C_s\}$, $s \in S$ типов вычислительных средств, априорно выбранных для применения в системе; г) характеристики структуры выбранных типов вычислительных средств; д) значение $K_{\text{зад}}$; е) стоимость $C(s)$ вычислительного средства конкретного типа s .

Требуется: а) определить количество N_S вычислительных средств ($s \in S$) в системе; б) сформировать множество $R = \{r^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$, считая известным множество $C = \{C^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$, структурных векторов алгоритмов.

Найденные значения характеристик структуры СОИУ должны обеспечивать выполнение условия $K_{\text{КА}} \geq K_{\text{зад}}$ при минимальной суммарной стоимости вычислительных средств системы.

Вторая задача.

Заданы:

а) множество $P = \{P^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$ частных алгоритмов, образующих КА системы; б) системные требования; в) значение $K_{\text{зад}}$; г) стоимость компонентов вычислительной техники.

Требуется

а) сформировать множество структурных векторов $C = \{C^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$ алгоритмов; б) сформировать аппаратно-параметризирующее множество $R = \{r^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$; в) сформировать множество типов вычислительных средств, подлежащих использованию в ИАСУ $C = \{C_s\} = \{(\delta_s, \omega_s, \xi_s, \pi_s)\}$, ($s \in S$); г) определить значения основных структурных характеристик вычислительных средств, применяемых в системе; д) определить количество N_S вычислительных средств каждого типа, необходимых для построения СОИУ; е) синтезировать структуру аппаратно-управляемых средств (специализированных процессоров).

Решение задач пп. а-е должно быть выполнено таким образом, чтобы выполнение условия $K_{\text{КА}} \geq K_{\text{зад}}$ обеспечивалось при минимальной стоимости вычислительных средств.

Вывод. Возможность автоматизированного синтеза СОИУ достигается лишь в случае разработки адекватного математического аппарата, позволяющего описывать работу устройств обработки данных и формализовать процессы структурного (логического) проектирования отдельных устройств и системы в целом.

Список литературы: 1. Михайлов К. М., Косошко В. С. Методологические аспекты построения информационной структуры автоматизированной системы управления // Вестн. Херсон. нац. техн. ун-та. – 2002. – 1(14). – С. 216-221. 2. Месарович М., Мако Д., Такахага И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: МИР, 1973. – 344 с. 3. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем. – М.: Высшая школа. 1998. – 319 с. 4. Лавинский Г. В. Построение и функционирование сложных систем управления: Учебное пособие. – К.: Вища школа. Головне видавництво, 1989. – 336 с. 5. Гома Хассан UML. Проектирование систем реального времени, распределенных и параллельных приложений: Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2002. – 698 с.

Поступила в редколлегия 10.12.08