

1. Сольницев Р.И. Вычислительные машины в судовой гироскопии.- Л.: Судостроение, 1979, с. 312.
2. Айзенберг Я.Е., Копорев Б.М. Организация имитационного моделирования в автоматизированных системах производства программы реального времени. - Киев: УС и М., 1982, № 4, с. 83-86.
3. Гузик В.Ф., Криков Р.М., Белавцев А.М., Питерский А.И. Об одном способе построения моделирующего вычислительного комплекса для инерциальных систем. - В сб.: Многопроцессорные вычислительные структуры.-Таганрог, 1981, № 3 (XII), с. 84-87.
4. Калнев А.В. Многопроцессорные вычислительные системы с программируемой архитектурой. - В сб. Многопроцессорные вычислительные структуры.-Таганрог, 1981, № 3 (XII), с. 5-12.

УДК 681.324

В.Ф.Д е н и с о в

АЛГОРИТМЫ УПОРЯДОЧЕНИЯ ФУНКЦИЙ И ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ
СТРУКТУР СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С АКТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

(г. Куйбышев)

Эффективность организационно-технических систем с активными элементами типа АСНИ и АСУ ТП определяется полнотой задания функций на начальных этапах разработки, что требует от разработчиков и пользователей создания систем обеспечения корректной постановки задач системы, их упорядочения и определения рациональной структуры системы в целом с позиций принципа минимальной сложности [1].

В статье рассматриваются некоторые вопросы синтеза функциональной структуры сложных систем автоматизации на основе аппарата теории частично упорядоченных систем [2] и методов построения многофакторных шкал сложности объектов проектирования [1]. Предлагаемые алгоритмы являются составной частью формально-логического ядра модели системного проектирования информационно-управляющих систем на базе мини- и микроЭВМ [3].

В качестве исходной модели проектирования, ориентированной на решение задач анализа и синтеза, используется модель вида

$$S = \langle \psi_A, \psi_C, P_0(\psi_A, \psi_C) \rangle, \quad (1)$$

где ψ_A - модель поведения системы, задаваемая направленным графом $\psi_A(A, g)$, в котором A - множество функциональных задач системы, g - множество связей (отношений) между ними;

ψ_C - модель структуры средств технической реализации, задаваемая графом $\psi_C[C, r]$, в котором C - множество средств базиса системы (типовых аппаратных, алгоритмических и программных модулей), r - множество отношений между ними;

$P_0(\psi_A, \psi_C)$ - предикат функциональной целостности преобразования $\psi_A \rightarrow \psi_C$.

Задачей системного проектирования является поиск таких ψ_A , для которых преобразование $\psi_A \rightarrow \psi_C$ существует при заданном качестве функционирования системы и минимизации сложности ее реализации (затрат на исследования, проектирование, оснащение, эксплуатацию).

На начальных этапах проектирования возникают задачи синтеза графа $\psi_A(A, g)$ по результатам предпроектного анализа объектов, причем для реальных систем типична ситуация, когда активные пользователи в состоянии сформулировать только отдельные частные требования к функционированию системы. Поэтому существует проблема обеспечения совместимости отдельных функций, их упорядочения и согласования параметров в рамках общего проекта. Это требует формализации описаний элементов S системы, основанной на едином для всех пользователей понятии функциональной задачи системы. Для описания элементов системы на структурном уровне и требований к ее функционированию будем использовать алгоритмическое определение функциональной задачи управления [4], в котором используется блочный принцип моделирования структуры любой из задач системы на основе лингвистического подхода.

Анализ предметной области АСНИ и АСУ ТП показывает, что для корректного описания задачи $A_i \in A$ необходимо задание следующей шестерки имен описаний лингвистических переменных:

$$A_i = \langle X(\ell), F(\ell), Y(\ell), Z(\ell), B(\ell), E(\ell) \rangle, \quad (2)$$

где X - входные объекты (сигналы),

F - реализуемые функции,

Y - выходные объекты,

Z - возмущения и связи с другими задачами,

B - способы координации задачи вышестоящим системным элементом (задачей),

E - критерии качества решения,

(\mathcal{L}) - терминальный алфавит описания лингвистических переменных параметров системы.

Пусть в результате предпроектного анализа объектов, выполненного, например, по методике [5], получены оценки целесообразности реализации типовых функций системы в виде $[0,1]$ матрицы инцидентий "функция - объект управления". Каждому единичному элементу этой матрицы может соответствовать "локальное" описание задачи в виде (2). Для формирования "локальных" описаний используется алфавит классификатора имен описаний задач (КИОЗ) базового не процедурного языка описания заданий на проектирование информационно-управляющих систем (условное наименование ЯРУС). Этот язык предназначен для исходного описания физических моделей автоматизируемых процессов, исходных математических моделей элементарных подпроцессов в терминах "вход - выход" и основных типовых функций контроля и управления, реализация которых предполагается в системе. Он обеспечивает уточнение предметной области и настройку алгоритмов упорядочения задач и оценки сложности системы на заданные классы объектов проектирования.

Так как в формировании исходных описаний задач участвуют различные группы активных пользователей, то множество задач A и их описаний (2) является размытым. Требуется по отдельным локальным описаниям синтезировать топологическую модель поведения системы в виде графа $\Psi_n(A, g)$, при этом не исключается возможность использования недостающих описаний из библиотеки типовых задач.

Для определения и упорядочения связей между задачами на множестве их описаний вводится система несимметричных и антирефлексивных отношений $A_i O A_j$, где $O = \langle S, I, K, T \rangle$, совокупность которых определяет основные свойства проектируемой системы на структурном уровне, ее качество и сложность.

Отношение системности - S определяет связность задач и их принадлежность определенному объекту, т.е. непустое множество задач $A_i | i > 2$, в описаниях которых содержатся признаки $\{e\}$, совпадающие с признаками описаний n -го объекта (параметра состояния) системы. Для задач, между которыми установлено S -отношение, изменение параметров состояния объекта приводит к изменению параметров описания задачи. S - отношение представляется матрицей смежности $|S|_{ij}$ графа $\Psi_n(A, g)$, в которой элемент $s_{ij} = 1$, если между задачами A_i и A_j существует отношение системности и 0 в противном случае. На параметрическом уровне вместо I указываются конкретные характеристики связи между задачами, имена и параметры сигналов, частотные характеристики и др.

О т н о ш е н и е и н ф о р м а т и в н о с т и - I определяет непустое множество информативных связей параметров для каждой из задач $A_i \in S$. Информативными для задачи A_i являются те неповторяющиеся признаки $\{e\}$ описаний остальных задач S - системы, которые лежат на путях графа $\Psi_n(A, g)$, ведущих к данной задаче. I - отношение определяется матрицей путей $|D|_{i,j}$, в которой элемент $d_{i,j} = 1, 2, \dots$ - длине пути между вершинами графа $\Psi_n(A, g)$. Полученное при анализе путей подмножество информативных признаков может быть упорядочено по степени влияния на выходной показатель качества задачи с использованием экспериментально статистических или экспертных методов. Малоинформативные признаки исключаются из рассмотрения (для данной задачи), что приводит к изменению структуры системы.

О т н о ш е н и е к о о р д и н и р у е м о с т и - K определяет принцип и способ управления задачей A_j от вышестоящего системного элемента (задачи). Необходимым условием существования K - отношения является связность рассматриваемой пары задач, а также совпадение по крайней мере одной лингвистической переменной в описаниях критериев качества их решения. K - отношение выражается матрицей координации $|K|_{i,j}$, в которой элемент $k_{i,j} = 1$, если задача A_i является координатором задачи A_j . На параметрическом уровне ненулевым элементам этой матрицы соответствует один из конкретных способов координации (развязывание взаимодействий, коррекция входа, коррекция выхода, прогноз и согласование взаимодействий и др.). Задание того или иного способа координации существенно влияет на структуру системы.

О т н о ш е н и е т е х н о л о г и ч н о с т и - T определяет взаимосвязи задач с учетом фактора времени (или частотного диапазона их реализации) и выражается двудольным графом, отображающим множество задач A_i на множество заданных интервалов времени Δt . Таким образом порождается декомпозиция задач по шкале времени (частоте решения).

Введенная система отношений между задачами положена в основу комплекса алгоритмических модулей упорядочения задач и синтеза структуры S - систем (условное наименование "структура"). В комплексе используются процедуры последовательного анализа множества "локальных" описаний задач (2) и "замыкания" связей между задачами при соблюдении условий близости между лингвистическими переменными описаний входных и выходных связей пары задач. При этом алгоритм построения графа $\Psi_n(A, g)$ является общим для каждого из S, I, K, T - отношений, а упорядочивание графа, приведение к ярусно - параллельной форме, выполняется по признакам, соответствующим тому или иному отношению. Кроме того, как по-

каывает анализ ряда структур реальных систем, уменьшение времени работы алгоритмов достигается при последовательном определении отношений $S \rightarrow I \rightarrow K \rightarrow T$ для заданных пользователями начальных входных и конечных выходных задач S - системы, так как при этом не рассматриваются задачи, не удовлетворяющие требованиям системности для заданных объектов. Например, нет смысла определять K - отношение для несвязных или неинформативных задач.

Учитывая ограниченный объем статьи, рассмотрим только базовые процедуры упорядочения и оценки сложности структуры S - системы в прямой последовательности их выполнения, считая, что, в зависимости от промежуточных результатов, могут быть организованы соответствующие итерации, а также обращения к специальным блокам для уточнения отдельных описаний задач.

Модуль АНФАС обеспечивает обработку анкет обследования объектов и формирование в памяти ЭВМ списков формализованных описаний (2), а также проверку корректности описаний в соответствии с КИОЗ. Выходом модуля является матрица инцидентий "Типовые функции - объекты" и соответствующие ей списки описаний задач и некорректных заданий.

Модуль УПОР обеспечивает синтез и упорядочение графа $\Psi_n(A, g)$. Вспомогательная процедура выполняет преобразование описаний задач к виду $A_i = \langle g_i^+, F_i, g_i^- \rangle$, где $g_i^+ = \langle X, Z^+, B^+ \rangle$ - описание входных связей, $g_i^- = \langle Y, Z^-, B^-, E \rangle$ - описание выходных связей, F_i - имя задачи. Процедура синтеза топологии S - системы сводится к определению всех вершин графа $\Psi_n(A, g)$, достижимых из начальных вершин A_{0n} , задаваемых набором признаков отдельных объектов. Ядром процедуры является вычисление меры близости выходных и входных связей "локальных" описаний задач по алгоритму [6]:

$$S_{ij} = 1 - \frac{g_i^+(e) \Delta g_j^-(e)}{m + g_i^+(e) \cap g_j^-(e)}, \quad (3)$$

где Δ - операция симметричной разности,
 \cap - операция совпадения элементов признаков,
 m - число лингвистических переменных в описаниях связей.

При $|\delta|e < S_{ij} \leq 1$, где $|\delta|e$ - порог меры близости описаний признаков, связи считаются идентичными, и соответствующие задачи являются топологически связанными. Частичное упорядочение полученного графа выполняется вспомогательными процедурами приведения графа к ярусно-параллельной форме.

Модуль ТОПАЗ выполняет анализ топологии графа $\Psi_n(A, g)$ с использованием в качестве критериев анализа структурных параметров [7]: связность графа, ранги вершин и связей, множество сочленения. Ядром процедуры является вычисление оценок рангов вершин R_{n_i} и рангов дуг R_{g_i} по формулам

$$R_{n_i} = \sum_{j=1}^n \theta_{ij} / \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \theta_{ij}; \quad R_{g_i} = \sum_{j=1}^n \theta_{ij}^* / \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n \theta_{ij}^*,$$

где θ_{ij} - элемент матрицы путей графа $\Psi_n(A, g)$, вычисляемый по формуле $\theta_{ij} = |S_{ij}|_{i-j}^d$;
 d - степень матрицы смежности задач $|S|_{ij}$, определяющая число всех d -звенных путей в графе $\Psi_n(A, g)$;
 θ_{ij}^* - элемент матрицы путей для вспомогательного графа, вершинами которого являются связи основного графа задач, а ребрами - инцидентные им задачи;
 n - число задач;
 k - число связей.

Полученные оценки рангов, параметры связности и множества сочленения ядра системы сравниваются с аналогичными оценками для систем прототипов и используются для коррекции структуры системы путем удаления "висячих" вершин, малоинформативных связей, а также добавления недостающих описаний задач.

Модуль РАСКОП осуществляет разбиение графа $\Psi_n(A, g)$ на подграфы меньшей размерности по критерию максимизации числа задач в каждом из подграфов при минимуме связей между ними. Разбиение осуществляется с учетом S, I, K, T -отношений между задачами, а также ограничений по минимальному и максимальному числу задач в каждой из подсистем. Выходом модуля являются списки задач по подсистемам (отдельным ядрам) и списки связей между ними.

Модуль СИУТ вычисляет оценки сложности S -системы и ее подсистем путем подсчета числа элементов в направленном графе $\Psi_n(A, g)$ (вершин, связей, узлов, путей) и построения многофакторных шкал сложности, таких как:

сложность состава элементов описаний отдельных задач

$$N_n = [nX_n, nE_n, nY_n, nZ_n, nB_n, nE_n] \leq n(\cdot)_{\alpha_T},$$

где $n(\cdot)$ - мощность соответствующих подмножеств элементов описаний задач,

- α - порядковый номер элемента,
 α_{Σ} - максимальное число элементов в КИОЗ по соответствующей шкале признаков;
 сложность состава элементов с учетом их разнообразия в системе

$$N_p(A) = n_{\Sigma} [1 + H_p(K)], \quad H_p = - \sum_{k=1}^K \frac{n_k}{n} \log_2 \frac{n_k}{n},$$

- где n_{Σ} - общее количество элементов в описаниях задач,
 H_p - энтропийная мера разнообразия элементов с учетом их повторяемости,
 K - количество типов элементов,
 n_k - количество элементов k - типа;
 сложность структуры S - системы

$$N(\Psi_n) = n_{\Sigma} [1 + H_A + H_B + H_C + H_D + H_S],$$

- где n_{Σ} - общее количество элементов (вершин и связей) в графе,
 H_A, H_B, H_C, H_D, H_S - соответственно меры разнообразия вершин, связей, узлов, путей, отдельных ядер (подсистем).

Вводя в полученные оценки сложности "стоимость" реализации отдельных элементов, имеем возможность вычислять оценки реальной сложности S - системы при задании различных S, I, K, G -отношений между задачами, что позволяет путем их сравнения с оценками для систем-прототипов управлять процессом изменения сложности в модулях АНФАС, УПОР и РАСКОП.

Модуль БАЗИС выполняет поиск пути $d(x, y)$ в графе $\Psi_n(A, g)$ между заданными парами вход-выход S - системы и формирование списка информативных параметров для выходной задачи, который используется для упорядочения I - отношений вспомогательными процедурами пользователя, а также для классификации путей (контуров контроля и управления) и формирования запросов на поиск технических решений в библиотеке базисных средств системы Ψ_n , в качестве которых могут использоваться типовые алгоритмические модули АСУ ТП или АСНМ для заданных классов объектов и процессов.

Рассмотренные алгоритмы упорядочения структуры S - систем апробированы при разработке ряда систем; их применение позволяет сократить сроки проектирования и повысить уровень обоснованности проектных решений. Последовательное применение предлагаемых методов в режиме обучения на прототипах конкретных систем позволяет также решать задачи

оптимизации базиса АСУ ТП и АСНИ. Однако необходимо отметить, что корректная постановка задач оптимизации базиса может быть осуществлена по результатам анализа достаточно представительных выборок типовых алгоритмических и программных модулей из функционально полной библиотеки средств АСУ ТП и АСНИ отраслевого или даже межотраслевого назначения с учетом возможного использования результатов работ по созданию проблемно-ориентированных комплексов СМ ЭВМ и специализированных фондов алгоритмов и программ.

Л и т е р а т у р а

1. Солодовников В.В., Бирюков В.Ф., Тумаркин В.И. Принцип сложности в теории управления. - М.: Наука, 1977. - 341 с.
2. Горбатов В.А. Теория частично упорядоченных систем. - М.: Сов. радио, 1976. - 336 с.
3. Денисов В.Ф. Организация проектирования промышленных информационно-управляющих систем. - Стандарты и качество, 1981, № 8.
4. Болибок Д.Н. Алгоритмическое определение функциональной задачи управления. - Экономика и системы управления. Вып. 4, 1979, № 33.
5. Денисов В.Ф. Формализованная методика обследования технологических процессов для обоснования функциональной и алгоритмической структуры АСУ ТП /Информационный листок № 489-82. Куйбышевский ЦНТИ, 1982.
6. Грундспенькис Я.И. Формализация описания топологии сложной системы для автоматизации общего проектирования. - В кн.: Тезисы докладов VII Всесоюзного совещания по проблемам управления. - М.: ИИУ, 1977.
7. Нечипоренко В.И. Структурный анализ систем. Эффективность и надежность. - М.: Сов. радио, 1977. - 216 с.

УДК 681.3

М.А. Ш а м а ш о в

КОНСТРУКТИВНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
СРЕДСТВ ЦИФРОВОЙ ИМИТАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АСНИ
(г. Куйбышев)

Создание автоматизированных систем научных исследований и комплексных испытаний образцов новой техники (АСНИ) предполагает достиже-