

УДК 658.012.011.56

ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПИСАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

М.П. БАТУРА, Т.В. РУСАК

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 3 ноября 2008

Для повышения эффективности проектирования автоматизированной системы управления (АСУ) в статье предложен графоаналитический метод формального описания информационных связей в автоматизированной системе управления, который позволит моделировать поведение системы на этапе проектирования. Такое описание дает возможность выделить в структуре автоматизированной системы управления информационно-независимые блоки (подсистемы), которые могут проектироваться и разрабатываться отдельно.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, проектирование АСУ, информационная структура АСУ.

Введение

В условиях рыночной экономики решить проблему повышения эффективности управления технологическими процессами невозможно без внедрения новейших информационных технологий и современных методов управления. Наиболее перспективным направлением сегодня является разработка автоматизированной системы управления (АСУ). Каждый технологический процесс имеет свои особенности и разработка АСУ требуется для каждого класса технологических процессов отдельно.

АСУ имеет ряд взаимосвязанных функций. Каждая из этих функций характеризуется набором входных и выходных параметров (данных), необходимых для ее реализации в АСУ.

Порядок проектирования и построения АСУ включает следующие этапы [1]:

- 1) обследование объекта автоматизации и формулирование требований к АСУ;
- 2) анализ существующих методов и средств автоматизации объектов и формулирование на основании требований достижимых целей функционирования АСУ;
- 3) разработку архитектуры системы (декомпозицию функциональной структуры и определение связей между ее элементами), выделение уровней управления, подсистем, комплексов задач, задач и функций управления;
- 4) разработку инфологической модели системы, описывающей статику и динамику объекта; формализацию моделей состояния объекта, материальных, финансовых и информационных (управляющих) потоков и их взаимодействия между собой;
- 5) разработку системы классификации объектов учета и управления и идентификации их параметров;
- 6) разработку информационной модели системы (проектирование структур баз данных и их связей);
- 7) синтез структуры программного обеспечения (агрегирование системы);
- 8) выбор метода сборки и тестирования системы;
- 9) проектирование модулей; разработку внешних спецификаций, описывающих сопряжения (связи) между модулями и проектирование логики (алгоритмов) модулей;
- 10) программирование модулей на выбранных программных средствах;

11) интеграцию (сборку) системы в соответствии с выбранным методом и ее тестирование;

12) разработку методического обеспечения (руководства пользователей, инструкции по эксплуатации, технологические инструкции);

13) внедрение системы на объекте управления;

14) сопровождение системы: устранение ошибок и замечаний пользователей, разработку дополнительных режимов и функций управления, функциональное расширение системы.

Проектирование и построение АСУ — сложный, неформализованный процесс. Чаще всего качество этого процесса основывается на опыте и квалификации проектировщика и на его интуиции, в особенности это относится к разработке архитектуры системы.

Для повышения эффективности проектирования АСУ в данной статье предлагается выделить информационно-независимые функции и определить способы их интеграции в информационно-независимые блоки (подсистемы). Для этого необходимо проанализировать информационные потоки, которые существуют в системе. На базе анализа информационных потоков описывается формальная структура АСУ с помощью коммутационной схемы и графоаналитических моделей описания коммутационных схем, которые используются при проектировании электронных устройств. Такое формальное описание позволяет выполнить предпроектный анализ АСУ. Далее для разбиения полученного графа на информационно-независимые блоки (подсистемы) с минимальным количеством внешних связей и максимальным количеством внутренних, можно применить последовательные алгоритмы распределения функциональных элементов по подсистемам. Каждый блок выполняет определенный набор информационно-независимых функций, что позволяет описать структуру АСУ с точки зрения функциональной подчиненности. В результате определяется последовательность реализации функций в АСУ.

Формальное описание АСУ как коммуникационной схемы. Любая АСУ состоит из некоторого набора базовых справочников (классификаторов), которые описывают структуру объекта, внешней среды, характеристики материальных потоков и связи между ними. Связи между справочниками по различным параметрам образуют информационную сеть, на основе которой строится документ или отчетная форма АСУ. Каждый документ является основой для принятия управленческого решения, выполняет определенную функцию управления.

Представим АСУ в виде схемы соединения. Для описания схемы воспользуемся символами теории множеств [2]. АСУ можно представить как некоторое множество справочников $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, соединенных между собой информационными сетями из множества $I_j = \{i_1, i_2, \dots, i_m\}$. Назовем такое представление схемой соединения [3] (рис. 1)

Каждый элемент схемы имеет некоторое множество соединительных выводов $C_i = \{c_1, c_2, \dots, c_{ki}\}$, которые являются параметрами справочников. Кроме параметров справочников, в схеме присутствуют внешние параметры C_0 , которые представляют собой входные и выходные данные.

Два параметра считаются связанными, если объединяются одной информационной сетью, т.е. на их основе формируется документ (принимается управленческое решение).

Информационная сеть в общем случае связывает больше двух параметров в схеме и представляет собой документ или отчетную форму. Ясно, что существует взаимнооднозначное соответствие между множеством документов и множеством информационных сетей схемы, далее обозначаемых одинаковыми символами.

Определенное выше отношение связности параметров, заданное на множестве всех параметров $C = \bigcup_{i=0}^n C_i$, является отношением эквивалентности, поскольку для него справедливы свойства рефлексивности, симметричности и транзитивности. Отсюда следует, что все множе-

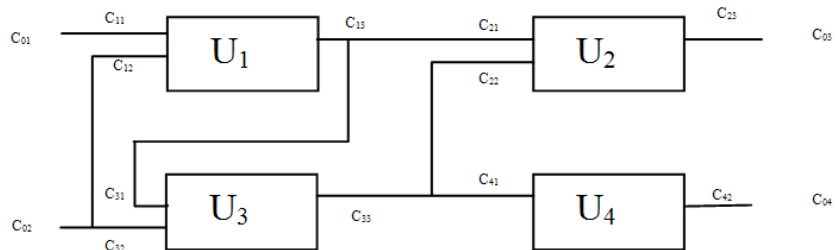


Рис. 1. Схема соединения

ство информационных параметров справочников состоит из совокупности множеств информационных сетей:

$$C = \bigcup_{j=0}^M i_j, \quad i_j = \emptyset, \quad i_i \cap i_j = \emptyset, \quad (i \neq j). \quad (1)$$

Два справочника АСУ считаются *связанными*, если имеется по крайней мере одна информационная сеть, содержащая информационные параметры из этих справочников. Некоторое множество справочников называется *несвязанным*, если любые два справочника этого множества являются несвязанными.

Наряду с ранее введенным понятием документа введем понятие набора документов. Под набором документов i'_j понимается подмножество справочников из $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, соединенных информационной сетью j ($j=1, 2, \dots, M$). Так как каждый справочник АСУ связан по крайней мере с одним другим справочником, то $U = \bigcup_{j=0}^M i'_j$.

Граф коммуникационной схемы. Схему соединения, показанную на рис. 1, можно наглядно описать в виде графа коммуникационной схемы (ГКС). В отличие от обычного линейного графа [4], определяемого заданием ребер между определенными парами вершин, в ГКС будем различать несколько типов вершин.

Введем вершины трех типов: U, C, I . Вершины U соответствуют справочникам АСУ; вершины C — параметрам справочников, включая внешние параметры; а вершины I — информационным сетям (документам) АСУ.

Среди ребер ГКС будем различать элементные ребра F и сигнальные ребра W .

Элементные ребра F определяют принадлежность параметров АСУ из множества C справочникам из множества U и задаются парами вершин (u_i, c_k) .

Сигнальные ребра F определяют вхождение параметров C в отдельные информационные сети и описываются парами вершин (c_k, i_j) .

Для схемы соединения (рис. 1) соответствующий ГКС приведен на рис. 2. Для задания структуры коммутационной схемы АСУ способ изображения графа (положение вершин и формы ребер) не существен, главным является лишь наличие ребер между определенными вершинами.

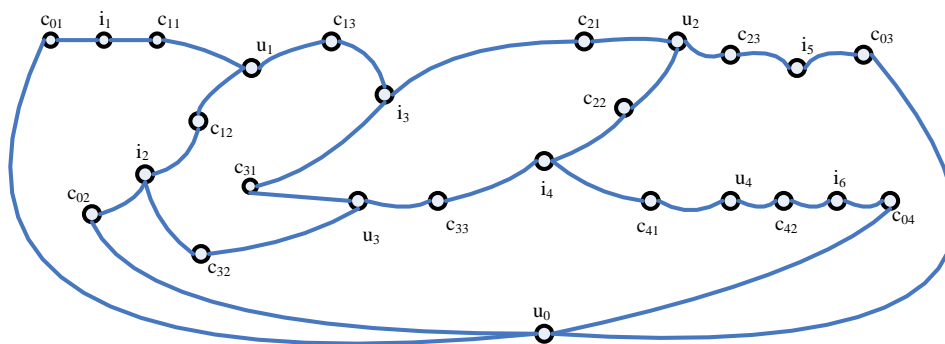


Рис. 2. Граф коммуникационной схемы информационной системы

Известно, что произвольный неориентированный граф $G=(X, U)$ с множеством вершин X и множеством ребер U может быть задан в числовой форме матрицей инцидентий $C = \|c_{ij}\|_{n \times m}$, в которой элемент $c_{ij}=1$, если вершина x_i инцидентна ребру u_j , и $c_{ij}=0$ в противном случае. Учитывая, что ГКС содержит вершины и ребра разных типов, его структуру удобнее описать с помощью пары матриц **A** и **B**.

Матрица **A** представляет информационные сети коммутационной схемы АСУ и определяется следующим образом: $A = \|a_{ij}\|_{M \times K}$, где M — число информационных сетей, K — число параметров АСУ; элемент $a_{ij}=1$, если параметр c_i принадлежит сети i_j , и $a_{ij}=0$ в противном случае.

Каждый столбец матрицы содержит одну единицу, поскольку любой параметр может входить лишь в одну информационную сеть. Число единиц в любой строке матрицы равно размеру соответствующей информационной сети.

Для графа, показанного на рис. 2, матрица \mathbf{A} имеет вид

	c_{01}	c_{02}	c_{03}	c_{04}	c_{11}	c_{12}	c_{13}	c_{21}	c_{22}	c_{23}	c_{31}	c_{32}	c_{33}	c_{41}	c_{42}
i_1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
i_2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
i_3	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0
i_4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
i_5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
i_6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Матрица $\mathbf{B} = \|b_{ij}\|_{N \times K}$ выделяет подмножества параметров, принадлежащих отдельным справочникам АСУ. Строки матрицы соответствуют справочникам, а столбцы — параметрам АСУ. Элемент $b_{ij}=1$, если параметр c_j принадлежит сети i_i , и $b_{ij}=0$ в противном случае.

Для того же графа (рис. 2), матрица \mathbf{V} имеет вид

	c_{01}	c_{02}	c_{03}	c_{04}	c_{11}	c_{12}	c_{13}	c_{21}	c_{22}	c_{23}	c_{31}	c_{32}	c_{33}	c_{41}	c_{42}
e_0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
e_1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
e_2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
e_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
e_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

В каждом столбце матрицы \mathbf{V} содержится одна единица, поскольку любой параметр АСУ может относиться лишь к одному справочнику. Число единиц в любой строке равно числу информационных параметров в соответствующем справочнике.

Граф набора документов АСУ. Модель в виде ГКС задает полную информацию об информационных связях в системе управления. Для разбиения информационной системы на информационно-независимые блоки удобнее воспользоваться упрощенной моделью коммутационной схемы АСУ. Для этого отождествим информационные параметры c_i со справочниками u_i АСУ. В результате этого преобразования информационные сети (документы) i_i переходят в наборы документов i'_j , что соответствует в ГКС "стягиванию" определенных подмножеств вершин из C в вершины из E и устранению элементарных ребер F . Таким образом, получается граф $G'=(U, I', W)$, подмножества вершин которого U и I' соответствуют справочникам и наборам документов системы управления, а множество ребер W определяет использование соответствующего справочника для формирования определенного набора документов АСУ.

Граф G' является двудольным графом, поскольку U и I' являются несвязанными множествами вершин. Полученную модель схемы будем называть графом наборов документов (ГНД). На рис. 3 изображен ГНД для схемы соединения АСУ, показанной рис. 1.

Для описания ГНД удобно воспользоваться матрицей $\mathbf{Q} = \|q_{ij}\|_{N \times M}$, строки которой соответствуют справочникам u_i , а столбцы — наборам документов i'_j .

Значение $q_{ij}=1$, если на основе справочника u_i строится набор документов i'_j (т.е. справочник u_i связан j -й информационной сетью), и $q_{ij}=0$ в противном случае. Для ГНД, показанного на рис. 3, матрица \mathbf{Q} имеет вид

	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6
e_0	1	1	0	0	1	1
e_1	1	1	1	0	0	0
e_2	0	0	1	1	1	0
e_3	0	1	1	1	0	0
e_4	0	0	0	1	0	1

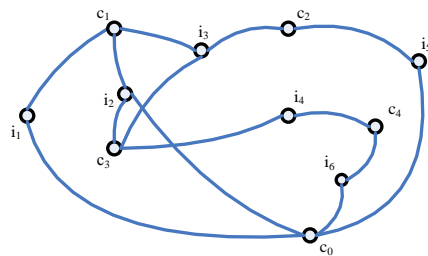


Рис. 3. Граф набора документов

Число единиц в любой строке матрицы равно числу информационных сетей, связанных с соответствующими справочниками АСУ. Число единиц в столбце равно размеру данного комплекса.

Между матрицей Q и введенными ранее для описания ГКС матрицами A и B существует связь:

$$Q = B \cdot A', \quad (2)$$

где A' — транспонированная матрица A , символ "g" — знак умножения матриц с булевыми переменными 0 и 1.

Согласно определению умножения булевых матриц

$$q_{ij} = \bigvee_{s=1}^K b_{is} \wedge a'_{sj} = \bigvee_{s=1}^K b_{is} \wedge a_{js} \quad (i=1,2,\dots,N; j=1,2,\dots,M). \quad (3)$$

Из (3) следует, что $q_{ij}=1$ тогда и только тогда, когда существует хотя бы один параметр АСУ c_{s_j} , принадлежащий справочнику u_i и входящий в набор документов i_j , в остальных случаях $q_{ij}=0$. Данное определение q_{ij} полностью согласуется с предыдущим определением, в связи с чем равенство является доказанным. Матрицу Q будем называть матрицей наборов документов.

Взвешенный граф АСУ. Построим для каждого набора документов полный граф элементарных соединений. Очевидно, что для документа, содержащего ρ информационных параметров, получим $\rho(\rho-1)/2$ соединений. Далее, для каждой пары вершин u_i и u_j введем ребро, если между ними имеется хотя бы одно элементарное соединение. Припишем ребру h_{ij} вес r_{ij} , равный числу элементарных соединений между вершинами u_i и u_j . Назовем такой граф взвешенным графом АСУ (ВГ).

Поскольку в данном случае веса r_{ij} целочисленные, построенный ВГ АСУ можно считать мультиграфом, в котором веса задают кратности ребер. Результат применения указанного преобразования к графу рис. 2 показан на рис. 4.

В общем случае ВГ АСУ может быть описан матрицей соединений $R = \|r_{ij}\|_{N \times N}$, строки и столбцы которой соответствуют справочникам АСУ, а r_{ij} равен весу, приписанному соединению справочников u_i и u_j . Матрица R — симметрическая, с нулевой главной диагональю ($r_{ii} = 0, i = 1, 2, \dots, n$); для графа рис. 3 она имеет вид

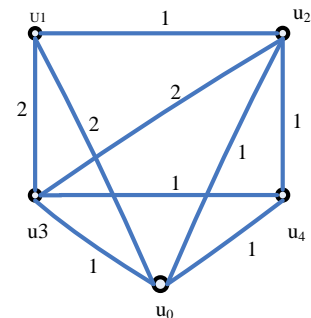


Рис. 4. Взвешенный граф АСУ

	e_0	e_1	e_2	e_3	e_4
e_0	0	2	1	1	1
e_1	2	0	1	2	0
e_2	1	1	0	2	1
e_3	1	2	2	0	1
e_4	1	0	1	1	0

Лучше считать $r_{ii} = \sum_{j=1}^n r_{ij}$ ($i = 1, 2, \dots, n$), т.е. равным суммарному числу информационных сетей, связанных со справочником u_i . При этом условии и рассмотренном способе расчета весов r_{ij} между матрицей R и матрицей наборов документов Q существует простая связь:

$$R = Q \times Q', \quad (4)$$

где Q' — транспонированная матрица Q .

Действительно,

$$r_{ij} = \sum_{s=1}^M q_{is} q'_{sj} = \sum_{s=1}^M q_{is} q_{js}. \quad (5)$$

Из (5) следует, что r_{ij} равно числу информационных цепей, связывающих справочники u_i и u_j .

При $i=j$ из (5) получим:

$$r_{ii} = \sum_{s=1}^M q_{is}^2 = \sum_{s=1}^M q_{is}, \quad (6)$$

т.е. r_{ii} равно количеству информационных цепей, связывающих справочник u_i с другими справочниками информационной системы.

Заключение

Описание АСУ как коммутационной схемы с помощью ГКС является полным и точным. К данной модели структуры АСУ можно применить алгоритмы компоновки функциональных узлов. Предложенный подход позволит выделить в структуре АСУ информационно-независимые блоки с минимальным количеством внешних и максимальным количеством внутренних связей, что позволяет формализовать процесс выделения подсистем АСУ при ее проектировании.

GRAPHIC-ANALYTICAL METHOD OF FORMAL DESCRIPTION OF INFORMATIONAL CONNECTIONS IN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM

M.P. BATURA, T.V. RUSAK

Abstract

In order to improve the effectiveness of Automatic Control System design, graphic-analytical method of formal description of informational connections in Automatic Control System was introduced. The method introduced provides system modeling at the stage of design. This description gives a possibility to single out the informational independent blocks (sub systems) in Automatic Control System, which can be designed and developed separately.

Литература

1. Хетагуров Я.А. Проектирование автоматизированных систем обработки информации и управления. М., 2006.
2. Френкель А.А., Бар-Хиллел И. Основания теории множеств. М., 2006.
3. Селютин В.А. Машинное конструирование электронных устройств. М., 1977.
4. Харари Ф. Теория графов. М., 2006.
5. Богданов Д.В., Мазаков Е.Б. Модели и алгоритмы концептуального проектирования автоматизированных систем управления. М., 2004.