УДК 681.518.5
ББК 32.817

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА ДИАГНОСТИКИ, ЗАДАННОГО СИГНАЛЬНЫМИ ГРАФАМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Дубов А. В.[1]
(*Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Рязанский государственный радиотехнический университет», Рязань*)

В работе описаны способы отыскания информационных моделей объектов диагностики с обратными связями, представленных сигнальными графами составляющих их функциональных элементов, позволяющие использовать их в качестве составных частей более сложных устройств.

Ключевые слова: сигнальный граф, функциональный элемент, регулярное выражение.

1. Введение

Для возможности диагностирования объект диагностики (ОД) должен быть разбиваем на связанные между собой функциональные элементы (ФЭ), каждый из которых может находиться в работоспособном или неработоспособном состояниях [4]. Причем, как отмечается в [2], для возможности сужения области рассмотрения выходов ФЭ и определения порядка проведения проверок выходов ФЭ из числа предположительно отказавших как при одиночных, так и при одновременных отказах, они должны быть заданы в виде сигнальных подграфов графа причинно-следственных связей ОД (рис. 1).

В данном рассмотрении сигнальным графом будем называть ориентированный граф, соответствующий линейным или

[1] *Антон Владимирович Дубов, аспирант,* (*dubovanton@mail.ru*).

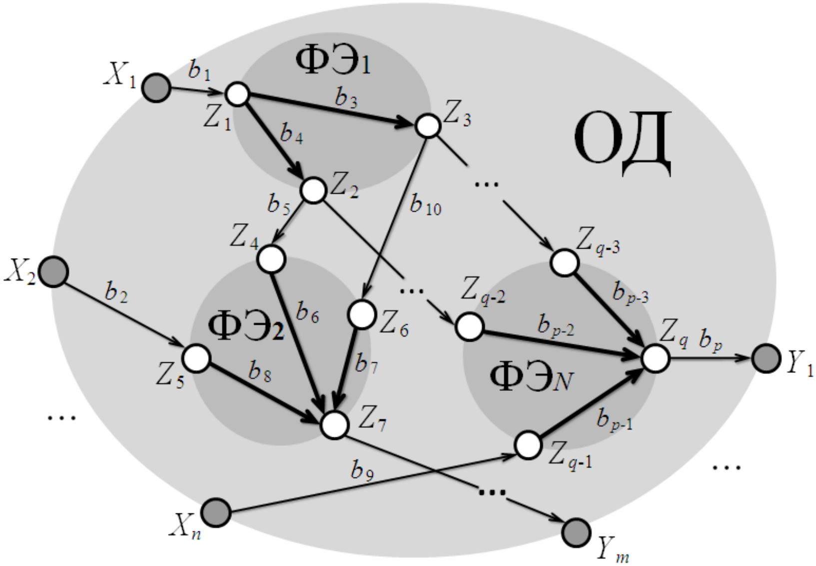

Рис. 1. Структура сигнального графа ОД

линеаризованным системам уравнений математической модели ОД. Вершины сигнального графа ОД соответствуют сигналам на входах $X_{ОД} = \{X_1, X_2, \ldots, X_n\}$ и выходах $Y_{ОД} = \{Y_1, Y_2, \ldots, Y_m\}$ ОД или на входах и выходах $Z_{ОД} = \{Z_1, Z_2, \ldots, Z_q\}$ ФЭ, а ориентированные ребра – передаточным функциям $(b_1, b_2, \ldots, b_p)$, характеризующим связь между этими сигналами и образующим квадратную матрицу соединений B объекта диагностики. Входы ОД являются вершинами-источниками сигнального графа и отображают независимые сигналы. Выходы ОД являются вершинами-стоками и отображают зависимые сигналы. Вершины ФЭ, соответствующие входящим и исходящим ребрам, называют смешанными.

Построение сигнальных графов выполняют на основании следующих правил:

1. Сигналы передаются вдоль ребер только в направлении их ориентации.
2. Сигнал, проходящий вдоль какого-либо ребра, умножается на передачу этого ребра.

3. Сигнал, изображаемый какой-либо вершиной, является суммой всех сигналов, только приходящих в эту вершину.
4. Значение сигнала, изображаемого какой-либо вершиной, передается по всем ребрам, выходящим из нее.

Таким образом, граф (подграф) причинно-следственных связей ОД (ФЭ) устанавливает влияние какого-либо сигнала на входе ОД (ФЭ) на формирование того или иного сигнала на том или ином выходе ОД (ФЭ).

Так как ОД в свою очередь может являться составной частью более крупного устройства, то актуальной задачей является выявление информационных взаимосвязей между входами и выходами ОД (представление его в виде переходного графа причинно-следственных связей), по которым в дальнейшем можно определить аналитические функциональные модели ОД. Задача определения информационных моделей ОД прежде всего тесно связана с отысканием регулярных выражений (событий), описывающих функционирование ОД. Причем решение этой задачи для реальных систем часто усложняется наличием обратных связей внутри структуры ОД. В статье приводится алгоритм выявления регулярных выражений между входами X и выходами Y ОД, основанный на теории сигнальных графов.

2. Представление событий ОД

При функционировании ОД в каждый момент времени всегда удовлетворяются требования подачи входного сигнала $x(t)$ и выдачи выходного сигнала $y(t)$. В связи с этим алфавитное отображение, индуцируемое ОД, можно отнести к автоматным отображениям, для которых удобной формой является задание с помощью событий [1].

Рассмотрим эти события. Пусть $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ – произвольный входной алфавит; $\sigma(X)$ – множество всех слов в этом алфавите. Любое подмножество множества $\sigma(X)$ называется событием в алфавите X.

Пусть DU – ОД с входным алфавитом $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ и выходным алфавитом $Y = \{y_1, y_2, \ldots, y_m\}$, который индуцирует частичное отображение f множества $\sigma(X)$ в $\sigma(Y)$. Событием R_j, представленным в объекте DU выходным сигналом y_j, называется множество всех слов $P \in \sigma(X)$ этого алфавита, для которых слово $f(P)$ определено и оканчивается буквой y_j. Если $W \subseteq Y$ – некоторое подмножество выходных сигналов, то событием, представленным в объекте *DU* множеством *W*, называется объединение событий, представленных всеми элементами этого множества. В том случае, когда *W* совпадает с алфавитом *Y*, соответствующее ему событие называется каноническим множеством событий $R_1, R_2, \ldots, R_m$ объекта *DU*.

Задание отображения *f* множества $\sigma(X)$ и $\sigma(Y)$ произвольного объекта *DU* с входным алфавитом $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ и выходным алфавитом $Y = \{y_1, y_2, \ldots, y_m\}$ эквивалентно заданию канонического множества событий $R_1, R_2, \ldots, R_m$ данного объекта. Отсюда вытекает, что произвольные отображения ОД можно задавать с помощью разбиений множества $\sigma(X)$ всех слов во входном алфавите на конечное число попарно непересекающихся событий. Эффективное описание конечных событий и некоторых классов бесконечных событий осуществляется при помощи алгебры событий.

Алгеброй событий в алфавите *X* называется множество всех событий в этом алфавите, на котором задана система трех операций: двух бинарных, называемых дизъюнкцией и конъюнкцией, и одной унарной, называемой итерацией.

Дизъюнкцией событий *R* и *S* называется событие *P*, обозначаемое $P = R + S$, которое образуется теоретико-множественным объединением событий *R* и *S*.

Произведением событий *R* и *S* называется событие *U*, обозначаемое $U = R{\cdot}S$ или $U = RS$, состоящее из всех слов вида $u = r{\cdot}s$, где $u \in U$, $r \in R$, $s \in S$. Слова события *U* образуются приписыванием справа любого слова события *S* к любому слову события *R*, и наоборот.

Итерацией события *R* называется событие, обозначаемое $\{R\}^*$, которое определяется как дизъюнкция пустого слова *e*, события *R*, события *RR*, события *RRR* и т.д. до бесконечности, т.е. $\{R\}^* = e + R + RR + RRR + \ldots$.

При анализе ОД исследователь имеет дело с конечным числом событий, поэтому рассматриваемые события можно отнести к регулярным.

Регулярное выражение – формула в алгебре событий, причем одно и то же событие может быть по-разному выражено через одноэлементные события и операции дизъюнкции, конъюнкции и итерации. Основные свойства этих операций рассматриваются в [3].

3. Определение информационных моделей ОД

Тождественные преобразования, применяемые к сигнальным графам, можно распространить на графы ОД. Примеры сигнальных графов, соответствующих элементарным выражениям дизъюнкции и умножения, а также эквивалентные преобразования этих графов приведены на рис. 2.

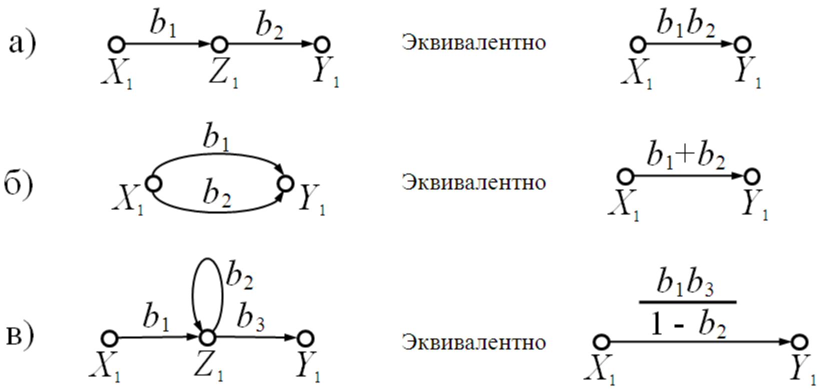

Рис. 2. Эквивалентные преобразования сигнальных графов

При устранении петель (рис. 2в) имеем $Z_1 = b_1 X_1 + b_2 Z_1$; $Y_1 = b_3 Z_1$. Из первого уравнения находим $Z_1 = \frac{b_1}{1-b_2} X_1$, откуда $Y_1 = \frac{b_1 b_3}{1-b_2} X_1$.

Задачу отыскания регулярных событий на выходах абстрактного ОД можно решить графическим и аналитическим методами.

3.1. ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД

Отыскание регулярных событий, переводящих граф ОД из входных сигналов множества X в каждый выходной сигнал множества Y, сводится к нахождению ветвевых переходов из вершин X в Y. В этом случае граф ОД приводится к переходному графу, имеющему только вершины из множеств X и Y, а веса этих переходов как раз и являются искомыми регулярными событиями.

При сведении графа ОД к переходному графу с вершинами из множеств X и Y остальные вершины, принадлежащие множеству Z, должны быть удалены. Любой граф ОД можно привести к переходному графу с помощью элементарных преобразований, показанных на рис. 2. Сформулируем алгоритм отыскания регулярных событий, основанный на теории сигнальных графов.

1. По графу ОД определяем источники (вершины множества X) и стоки (вершины множества Y). Переходим к п.2.

2. Все параллельные дуги приводим к дугам с коэффициентом передачи, равным сумме коэффициентов исходных дуг (рис. 2а); последовательные – к дугам с коэффициентом передачи, равным произведению коэффициентов исходных дуг (рис. 2б); петли – по приведенной формуле (рис. 2в). Переходим к п.3.

3. Устраняем последовательно вершины графа ОД, входящие во множество Z.

Покажем работу алгоритма на примере.

Пусть дан ОД, граф которого показан на рис. 3а. Требуется найти регулярные события по выходам Y.

Источниками графа являются вершины X_1, X_2 и X_3, стоками – Y_1 и Y_2. Исключая последовательно вершины графа Z_3, Z_4, получаем промежуточный граф (рис. 3б); Z_1 – промежуточный граф (рис. 3в), и Z_2 – получаем ветвевые переходы (рис. 3г), которые определяют искомые регулярные события Y_1 и Y_2 (информационную модель ОД):

$$Y_1 = \frac{b_1 b_2 b_4 b_6}{1 - b_2 b_3 - b_2 b_4 b_5} X_1 + \frac{b_4 b_6 b_7}{1 - b_2 b_3 - b_2 b_4 b_5} X_2,$$

$$Y_2 = \frac{b_1 b_2 b_8 b_{10}}{1 - b_2 b_3 - b_2 b_4 b_5} X_1 + \frac{b_7 b_8 b_{10}}{1 - b_2 b_3 - b_2 b_4 b_5} X_2 + b_9 b_{10} X_3.$$

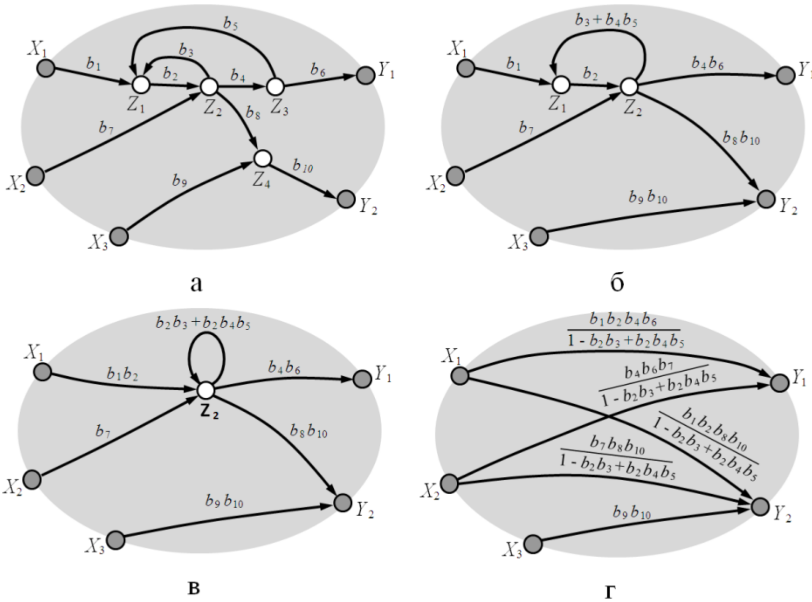

Рис. 3. Сигнальный граф ОД и его преобразования

3.2. АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД

Аналитический метод состоит в нахождении регулярных событий для множества Y на выходах ОД путем решения системы линейных уравнений в алгебре событий. Запишем систему в виде уравнения

(1) $R = R^{\mathrm{T}} B + \mathrm{C}$,

где B – матрица соединений ОД; $R = \{X, Z, Y\}$ – вектор сигналов (событий) в вершинах ОД; $C = \begin{cases} e, & \text{если } R = \{X\}; \\ 0, & \text{если } R = \{Z, Y\}; \end{cases}$, где e характеризует пустую букву.

Пример. Пусть дан ОД, граф которого показан на рис. 3а. Найти регулярные события по выходам Y_1 и Y_2. Уравнение (1) для данного случая будет иметь вид

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ Z_4 \\ Y_1 \\ Y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ Z_4 \\ Y_1 \\ Y_2 \end{pmatrix}^{\text{т}} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & b_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & b_7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & b_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b_3 & 0 & b_4 & b_8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b_5 & 0 & 0 & 0 & b_6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{10} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e \\ e \\ e \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

По этому уравнению запишем следующую систему:

$$\begin{cases} X_1 = e, \\ X_2 = e, \\ X_3 = e, \\ Z_1 = b_1 X_1 + b_3 Z_2 + b_5 Z_3, \\ Z_2 = b_7 X_2 + b_2 Z_1, \\ Z_3 = b_4 Z_2, \\ Z_4 = b_9 X_3 + b_8 Z_2, \\ Y_1 = b_6 Z_3, \\ Y_2 = b_{10} Z_4. \end{cases}$$

Систему уравнений решаем методом последовательного исключения неизвестных. Получим

$$Z_2 = b_7 X_2 + b_2 Z_1 = b_7 X_2 + b_2 (b_1 X_1 + b_3 Z_2 + b_5 Z_3) = b_7 X_2 +$$

$$+ b_2 (b_1 X_1 + b_3 Z_2 + b_5\ b_4 Z_2) => Z_2 = \frac{b_1\ b_2 X_1 + b_7 X_2}{1 - b_2 b_3 - b_2 b_4 b_5},$$

$$Y_1 = b_6 Z_3 = b_6 b_4 Z_2 = \frac{b_1 b_2 b_4 b_6}{1 - b_2 b_3 - b_2 b_4 b_5} X_1 + \frac{b_4 b_6 b_7}{1 - b_2 b_3 - b_2 b_4 b_5} X_2,$$

$$Y_2 = b_{10} Z_4 = b_{10} (b_9 X_3 + b_8 Z_2) =$$

$$= b_{10} \left(b_9 X_3 + b_8 \frac{b_1\ b_2 X_1 + b_7 X_2}{1 - b_2 b_3 - b_2 b_4 b_5} \right) =$$

$$= \frac{b_1 b_2 b_8 b_{10}}{1 - b_2 b_3 - b_2 b_4 b_5} X_1 + \frac{b_7 b_8 b_{10}}{1 - b_2 b_3 - b_2 b_4 b_5} X_2 + b_9 b_{10} X_3,$$

которые являются регулярными событиями на выходе ОД.

Нетрудно убедиться, что полученные регулярные события устанавливают алфавит и вес параметров ОД и характеризуют взаимосвязь входных и выходных характеристик ОД. С учетом этого регулярные события ОД можно представить в виде аналитических формул, которые являются функциональными моделями ОД. То есть рассматриваемое диагностируемое устройство может являться функциональным элементом (составной частью) для более крупного ОД.

4. Заключение

Рассмотренные графический и аналитический методы нахождения информационных моделей объектов диагностики дают возможность устанавливать влияние входов ОД на его выходы даже в том случае, когда исходные модели содержат обратные связи. Это позволяет использовать получаемые модели ОД в качестве функциональных элементов при построении более сложных устройств.

Литература

1. ГЛУШКОВ В.М. *Введение в кибернетику*. – Киев: Изд-во АН УССР, 1964. – 324 с.
2. ДУБОВ А.В., КАПРАНОВ А.П., СУСКИН В.В., ШЕВЧЕНКО В.Ф. *Об одном варианте решения технического диагностирования радиоэлектронных средств* / Управление большими системами. Выпуск 31. – М.: ИПУ РАН, 2010. – С. 363–377.
3. КУРОШ А.Г. *Лекции по общей алгебре*. – М.: Физматгиз, 1962. – 396 с.
4. СЕРДАКОВ А.С. *Автоматический контроль и техническая диагностика*. – «Техніка», 1971. – 244 с.

BUILDING INFORMATION MODEL OF DIAGNOSTICS OBJECT DEFINED BY SIGNAL GRAPHS OF FUNCTIONAL ELEMENTS

Anton Dubov, post-graduate student, Ryazan State Radio-engineering University, Ryazan (dubovanton@mail.ru).

Abstract: In this article we describe methods to build an information model for an object of diagnostics with feedback loops. An object of diagnostics is defined by signal graphs of its functional elements. The suggested methods can be used as components of more complicated devices.

Keywords: signal graph, functional element, regular expression.

Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии М.Ф. Караваем