

УДК 681.32

Н.Д. КОШЕВОЙ, А.В. ПАВЛИК*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ КОМБИНАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ**

Предложен метод функционального контроля комбинационных устройств, основанный на выборе рационального состава проверок. Рассмотрены способы формирования контрольных соотношений. Исследованы свойства проверок в зависимости от их состава. Приведена обобщенная структура схемы функционального контроля. Процедура построения схемы функционального контроля комбинационных устройств состоит в генерации вариантов построения схемы контроля с различным составом, оценки их характеристик, выборе вариантов, удовлетворяющим заданным критериям и формировании логических функций проверок. Рассмотрено решение поэтапных задач метода. Показано, что рациональный выбор состава проверок позволяет упростить схему контроля по сравнению с известными методами.

Ключевые слова: функциональный контроль, комбинационное устройство, контрольное соотношение, проверка, логические функции.

Постановка проблемы

Рост сложности автоматизированных систем управления промышленного и специального назначения требует повышения надежности систем и элементов, осуществляющих управление. Одним из основных направлений в решении данной проблемы является повышение достоверности информации на выходах системы. Требуемая эффективность функционирования цифровых систем может быть достигнута путем своевременного обнаружения отказавших элементов и их восстановления. Для этого необходимо иметь сведения о состоянии аппаратуры системы, о качестве переработки, хранения и передачи в ней информации. Обнаружение ошибок и исключение их влияния особенно важно для цифровых систем, работающих в реальном масштабе времени.

Анализ последних исследований и публикаций

Для оперативного обнаружения ошибок используется функциональное диагностирование, которое осуществляется в процессе непосредственного использования объекта контроля по назначению, когда на него поступают только рабочие воздействия, предусмотренные алгоритмом функционирования объекта. Функциональное диагностирование обеспечивает возможность немедленного реагирования системы контроля и управления объектом на нарушения правильности функционирования.

При построении систем функционального диагностирования используются различные подходы.

В работах Г.П. Аксеновой [1] и А.В. Дрозд [2] рассмотрены особенности функционального контроля при работе с неточными данными. Показано как при этом меняются аппаратурная сложность схем встроенного контроля.

Объектно-ориентированный подход к разработке систем диагностирования предложен В.В. Ворониным [3]. Анализируется формальное описание нескольких классов проверок для логических блоков и их последовательного и параллельного соединений.

Анализ современных методов функционального диагностирования показывает, что наиболее эффективными оказываются методы и средства, ориентированные на сравнительно узкие классы дискретных устройств [4]. Одним из таких классов являются комбинационные устройства (КУ).

Для функционального контроля КУ применяются методы дублирования, восстановления значений входных переменных [5], контролирующие коды [6] и др. Указанные методы отличаются по сложности реализации, а некоторые не всегда применимы. Например не для всех КУ можно построить обратный многополюсник. К сожалению, в настоящее время отсутствуют эффективные методы построения схем функционального контроля КУ.

Цель работы

Разработать метод функционального контроля комбинационных устройств, основанный на выборе рационального состава проверок, позволяющий уменьшить сложность системы контроля.

Основные результаты исследований

Рассмотрим комбинационное устройство (КУ) с p входами, значения которых описываются множеством $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ и k выходами, значения которых описываются множеством логических функций $Y = \{y_1(X), \dots, y_k(X)\}$. Обозначим множество различных выходных слов $Y^* = \{Y_1, \dots, Y_s\}$. Разобьем множество входных слов (наборов) X^* на подмножества X_1, \dots, X_s , называемых группами. К одной группе относятся входные слова, которым соответствуют одинаковые выходные слова. Тогда если $X \in X_i$, то $Y = Y_i$ и если $Y = Y_i$, то $X \in X_i$. Количество слов в группах обозначим $\Lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_s\}$.

Между группами входных слов X^* и множеством выходных слов Y^* установлено взаимно однозначное соответствие $X_i \leftrightarrow Y_i, i = 1, \dots, s$.

В результате неисправностей в КУ на его выходах формируются ошибочные значения и взаимно однозначное соответствие нарушается. Для контроля работы КУ необходимо выполнить проверку выполнения указанных соответствий. В общем случае количество таких соответствий равно s и процесс проверки становится трудоемким с ростом значений p .

Для решения указанной задачи разработан метод контроля функционирования КУ, основанный на перечислении вариантов структур схем контроля и выборе оптимальных по заданным критериям. В основе метода лежат следующие положения.

Под проверкой P будем понимать процесс определения соответствия между соответствующими подмножествами множеств X^* и Y^* . Поставим проверке P в соответствие множество $A = \{a_1, \dots, a_s\}$, называемое составом проверки, и указывающее какие соответствия проверяются. Значения a_i определяются следующим образом:

$$a_i \in \{0, 1\}, i = 1, \dots, a_s;$$

где $a_i = 1$, если i -ое соответствие участвует в проверке и $a_i = 0$ в противном случае.

Рангом проверки r называется количество проверяемых соответствий, которое определяется следующим образом:

$$r = \sum_{i=1}^s a_i.$$

Проверка P с составом A разбивает множества X^* и Y^* на подмножества:

$$\begin{aligned} X^* &= X^1 \cup X^0, X^1 = \{X^1_1, \dots, X^1_r\}; \\ X^0 &= \{X^0_1, \dots, X^0_{s-r}\}; \\ Y^* &= Y^1 \cup Y^0, Y^1 = \{Y^1_1, \dots, Y^1_r\}; \\ Y^0 &= \{Y^0_1, \dots, Y^0_{s-r}\} \end{aligned}$$

и определяет соответствие между элементами под-

множеств X^1 и Y^1

$$\left(\bigcup_{i=1}^r X^1_i\right) \leftrightarrow \left(\bigcup_{i=1}^r Y^1_i\right).$$

Множество X^1 можно выразить через состав проверки A : $X^1 = X^*(A)$. В этой записи будем полагать, что $X_i \in X^1$, если $a_i = 1$. Аналогично для множества Y^1 . Тогда соотношение (1) для проверки P_i с составом A_i можно записать:

$$X^*(A_i) \leftrightarrow Y^*(A_i).$$

В результате неисправностей в схеме КУ на его выходах при входном слове X^∇ формируется ошибочное слово Y^∇ . i -ая проверка с составом A_i обнаруживает ошибку, если $X^\nabla \in X^*(A_i)$ и $Y^\nabla \notin Y^*(A_i)$ или $Y^\nabla \in Y^*(A_i)$ и $X^\nabla \notin X^*(A_i)$.

Количество ошибок, обнаруживаемых i -ой проверкой с составом A_i и рангом r_i , обозначенное $V(A_i)$, определяется следующим образом:

$$V(A_i) = (2^k - r_i) \left(\sum_{j=1}^s a_j \lambda_j\right) + r_i \left(2^n - \sum_{j=1}^s a_j \lambda_j\right).$$

Множество ошибок, обнаруживаемых i -ой проверкой будем представлять в виде двудольного графа G_i , содержащем две группы вершин: первая группа вершин соответствует множеству входных слов X , а вторая – множеству выходных слов Y . Ошибочному значению выходного слова Y^∇ при входном слове X^∇ , которое обнаруживается i -ой проверкой, соответствует в графе G_i ребро, соединяющее вершины X^∇ и Y^∇ .

Логическая функция, описывающая i -ю проверку имеет вид:

$$Z_i = H_i(X) \oplus Q_i(Y),$$

где $H_i(X)$ - логическая функция от переменных x_1, \dots, x_n , принимающая значение «1» на наборах X^1_i ;

$Q_i(Y)$ - логическая функция от переменных $y_1(X), \dots, y_k(X)$, принимающая значение «1» на наборах Y^1_i .

На рис. 1 приведена обобщенная структура схемы контроля, содержащая t проверок.

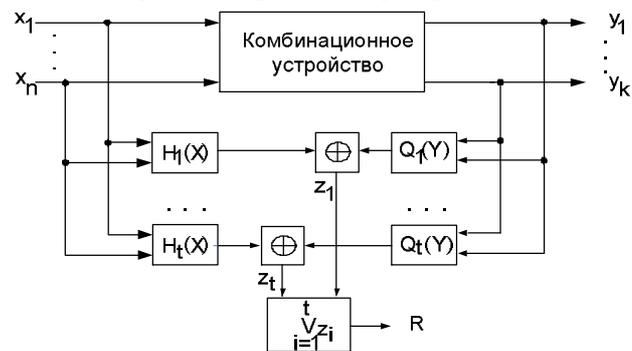


Рис. 1. Структура схемы контроля

Обозначим через G^o множество ошибок, которое необходимо обнаружить.

Процедура построения схемы контроля состоит из следующих этапов.

1. Формируются варианты состава проверок A_1, \dots, A_t .
2. Для каждого состава проверок определяется количество обнаруживаемых ошибок d_1, \dots, d_t и множество обнаруживаемых ошибок G_1, \dots, G_t .
3. Определяется множество проверок, обнаруживающих заданное множество ошибок, т.е.

$$G^o \in \bigcup_{j=1}^t G_j.$$

4. Выбирается множество проверок, удовлетворяющее заданным критериям.
5. Определяются логические функции проверок.

Например, для КУ, алгоритм функционирования которого приведен в табл. 1, необходимо построить схему контроля, обнаруживающую однократные и двукратные ошибки.

Таблица 1

Алгоритм функционирования КУ

| № | x_1 | x_2 | x_3 | y_1 | y_2 | y_3 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 6 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 7 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |

Для каждого варианта состава проверок были определены множества обнаруживаемых ошибок и их количество. В табл. 2 приведены варианты состава проверок, имеющие различные характеристики d_1, d_2, d_3 .

Таблица 2

Варианты состава проверок, имеющие различные характеристики d_1, d_2, d_3

| № | A |
|----|--|
| 1 | 010, 001, 011, 100, 101, 110, 111, 000 |
| 2 | 010, 011, 001, 100, 101, 110, 000, 111 |
| 3 | 011, 000, 010, 100, 101, 110, 111, 001 |
| 4 | 010, 011, 100, 000, 101, 110, 001, 111 |
| 5 | 001, 010, 011, 100, 101, 110, 000, 111 |
| 6 | 000, 011, 010, 100, 101, 110, 111, 001 |
| 7 | 011, 010, 100, 000, 101, 110, 111, 001 |
| 8 | 100, 101, 110, 010, 000, 001, 011, 111 |
| 9 | 001, 010, 011, 100, 101, 000, 110, 111 |
| 10 | 010, 001, 011, 000, 100, 101, 110, 111 |
| 11 | 010, 011, 000, 001, 100, 101, 110, 111 |
| 12 | 100, 011, 001, 101, 110, 111, 000, 010 |

В табл. 3 приведены значения количества обнаруживаемых ошибок (в процентах) для различных вариантов построения схемы контроля.

Таблица 3

Количество обнаруживаемых ошибок для различных вариантов построения схемы контроля

| № | d_1 | d_2 | d_3 | d_{12} | d_{13} | d_{23} |
|----|-------|-------|-------|----------|----------|----------|
| 1 | 50 | 50 | 50 | 83 | 83 | 83 |
| 2 | 50 | 50 | 58 | 83 | 83 | 83 |
| 3 | 50 | 50 | 67 | 83 | 83 | 83 |
| 4 | 50 | 58 | 58 | 83 | 83 | 87 |
| 5 | 50 | 58 | 58 | 83 | 83 | 92 |
| 6 | 50 | 58 | 58 | 83 | 83 | 83 |
| 7 | 50 | 58 | 67 | 83 | 83 | 92 |
| 8 | 50 | 67 | 67 | 83 | 83 | 100 |
| 9 | 58 | 58 | 58 | 87 | 87 | 87 |
| 10 | 58 | 58 | 58 | 87 | 83 | 87 |
| 11 | 58 | 58 | 58 | 92 | 83 | 83 |
| 12 | 58 | 58 | 67 | 83 | 92 | 92 |

Анализ приведенных результатов показывает, что наилучшие характеристики имеет вариант построения схемы контроля номер 8, который обнаруживает заданное множество ошибок в результате двух проверок. Состав проверок $\{0,0,1,1,0,0,1,1\}$ и $\{0,1,0,0,0,1,1,1\}$. Вид логических функций для этого варианта приведен в табл. 4 и 5.

Таблица 4

Логические функции $H_1(X)$ и $H_2(X)$

| № | x_1 | x_2 | x_3 | $H_1(X)$ | $H_2(X)$ |
|---|-------|-------|-------|----------|----------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 6 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Таблица 5

Логические функции $Q_1(Y)$ и $Q_2(Y)$

| № | y_1 | y_2 | y_3 | $Q_1(Y)$ | $Q_2(Y)$ |
|---|-------|-------|-------|----------|----------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 4 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 5 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 7 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |

Приведенный пример показывает, что рациональный выбор состава проверок позволяет упростить схему контроля по сравнению с известными

методами (дублирование, восстановление входных переменных).

Заклучение

Предложенный метод функционального контроля комбинационных устройств, основанный на выборе рационального состава проверок, позволяет уменьшить сложность системы контроля. Дальнейшее направление исследований – разработка алгоритмического и программного обеспечения для автоматизации решения поэтапных задач метода.

Литература

1. Аксенова, Г.П. О функциональном диагностировании дискретных устройств в условиях работы с неточными данными [Текст] / Г.П. Аксенова // Проблемы управления. – 2008. – Т. 5. – С. 62–66.
2. Дрозд, А.В. Нетрадиционный взгляд на рабо-

чее диагностирование вычислительных устройств [Текст] / А.В. Дрозд // Проблемы управления. – 2008. – № 2. – С. 48–56.

3. Воронин, В.В. Диагностические проверки и их логические формы [Текст] / В.В. Воронин // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2004. – № 9. – С. 9–14.

4. Isermann, R. Model-based fault detection and diagnosis. Status and applications [Text] / R. Isermann // Annual Reviews in Control. – 2005. – V. 29. – P. 71–85.

5. Kleer, J.D. Fundamentals of model-based diagnosis [Text] / J. Kleer, J. Kurien // Proc. Safeprocess 03, Washington, U.S.A. – 2003. – P. 25–36.

6. Павлов, А.А. Методы обнаружения и коррекции ошибок устройств хранения и передачи информации [Текст] / А.А. Павлов, А.Н. Царьков, А.В. Шандриков // Контроль и диагностика. – 2005. – № 6. – С. 22–26.

Поступила в редакцию 4.03.2013, рассмотрена на редколлегии 13.03.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедры информатики М.Л. Угрюмов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ КОНТРОЛЬ КОМБІНАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ

М.Д. Кошовий, Г.В. Павлик

Запропоновано метод функціонального контролю комбінаційних пристроїв, заснований на виборі раціонального складу перевірок. Розглянуто способи формування контрольних співвідношень. Досліджено властивості перевірок залежно від їхнього складу. Наведено узагальнену структуру схеми функціонального контролю. Процедура побудови схеми функціонального контролю комбінаційних пристроїв складається з генерації варіантів побудови схеми контролю з різним складом, оцінки їхніх характеристик, вибору варіантів, що задовольняють заданим критеріям і формування логічних функцій перевірок. Розглянуто рішення поетапних задач методу. Показано, що раціональний вибір складу перевірок дозволяє спростити схему контролю в порівнянні з відомими методами.

Ключові слова: функціональний контроль, комбінаційний пристрій, контрольне співвідношення, перевірка, логічні функції.

THE FUNCTIONAL CHECK OF COMBINATIONAL DEVICES

N.D. Koshevoj, A.V. Pavlik

The method of the combinational devices functional check, based on a choice of rational structure of checks is offered. Ways of check parities formation are considered. Properties of checks depending on their structure are investigated. The generalized structure of the functional check scheme is resulted. Procedure of combinational devices functional check scheme construction consists in generation of check scheme construction variants over various structure, estimations of their characteristics, a choice of the variants, to the satisfying set criteria and formation of checks logic functions. The decision of stage-by-stage problems of a method is considered. It is shown, that the rational choice of structure of checks allows to simplify the scheme of the check over comparison with known methods.

Keywords: the functional check, the combinational device, a check parity, check, logic functions.

Кошовий Николай Дмитриевич – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой авиационных приборов и измерений, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: kafedraap@rambler.ru.

Павлик Анна Владимировна – ассистент кафедры авиационных приборов и измерений, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: pavlan2@ukr.net