

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ С АППАРАТУРНЫМ КОНТРОЛЕМ

И. П. АБРАМОВ, Н. П. БАЙДА, Ю. М. КОМАРОВ, В. Б. ЛИПСКИЙ,
В. М. ТАНАСЕЙЧУК

(Представлена научным семинаром кафедры вычислительной техники)

При исследовании цифровых устройств (ЦУ) с аппаратурным контролем (АК) методом цифрового моделирования [1] неисправности в аппаратуре можно задавать путем направленного или вероятностного перебора. Однако в работах [1, 2] подробно рассматривается только алгоритм направленного перебора, пригодный для простых ЦУ типа: дешифратор, счетчик, сумматор и т. п.

В настоящей работе рассматривается задача разработки универсального алгоритма исследования ЦУ с АК произвольной сложности вероятностным методом на основании формализованного представления объекта в виде потенциально-импульсной асинхронной модели [3].

Основные определения

Объектом нашего исследования являются сети [4], которые можно разбить на две части: основная сеть ОС и сеть контроля (СК). Будем условно считать, что сеть S , состоящая из ОС и СК, содержит единственный выходной полюс y_1 , на котором реализуется функция, определяющая с некоторой достоверностью [5] наличие неисправности [6] в сети S .

Обозначим через \underline{X} , \underline{Y} и \underline{P} множества наборов значений входных переменных, выходных переменных сети S и выходных переменных элементов последней соответственно. Элементы из \underline{X} , \underline{Y} и \underline{P} будем называть входными векторами, выходными векторами и полными внутренними состояниями сети S .

Множество неисправностей [6] сети S обозначим через N , а сеть S с неисправностью $n_j \in N$ — через S_j .

Определение. Входной вектор $x_i \in X$ проявляет неисправность $n_j \in N$ из полного внутреннего состояния $p_k \in P$, если под воздействием x_j сети S и S_j переходят из одного и того же полного внутреннего состояния \underline{P}_k в различные полные внутренние состояния.

Обозначим через $N_{p_k}^i$ множество неисправностей сети S , проявляемых входным вектором x_i из полного внутреннего состояния p_k .

Функция контроля и ее эффективность

Ясно, что функция контроля L осуществляет отображение

$$L: \underline{X} \times N' \times \underline{P} \rightarrow \{0, 1\}, \quad N' = N \cup \{n_0\},$$

где x — операция декартова произведения множеств, а n_0 — фиктивная неисправность, наличие которой в сети C не нарушает правильной работы последней.

Идеальная функция контроля L определяется следующим образом:

$$L(\underline{x}_i, \underline{n}_j, \underline{p}_k) = 1 \leftrightarrow n_j \in N_{pk}^i.$$

Очевидно, что $\forall \underline{x}_i \in \underline{X} \forall \underline{p}_k \in \underline{P} (L(\underline{x}_i, n_0, \underline{p}_k) = 0)$.

Обозначим через \tilde{L}_1 и L_0 области единичных и нулевых значений функции L .

Теорема. Идеальная функция контроля не может быть практически реализована.

Для доказательства утверждения достаточно указать, что неисправность типа $\equiv 0$ на выходе сети контроля, реализующей любую функцию контроля, не может вызвать единичное значение на этом же выходе.

Определение. Функция контроля \tilde{L} называется правильной (реальной), если $\tilde{L} \supset L_0$, то есть, если область ее нулевых значений содержит область нулевых значений соответствующей идеальной функции.

Поскольку СК реализуют правильные функции контроля, то возникает потребность оценить эффективность последних [5, 7] с целью наиболее выгодного применения рассматриваемых СК.

Количественно эффективность $K_{\tilde{L}}$ правильной функции контроля \tilde{L} находится следующим образом:

$$K_{\tilde{L}} = \frac{\tilde{L}_1}{L_1}, \quad (1)$$

где L — область единичных значений этой функции контроля в предположении, что она идеальна.

Очевидно, что для всех правильных функций контроля $K_{\tilde{L}} < 1$.

Задачу нахождения точного значения эффективности функции контроля можно решить, используя следующий алгоритм.

1. Предполагается, что функция контроля, реализуемая заданной СК, идеальна. Строится множество L_1 .

2. Для каждого элемента $l_i \in L_1$ моделируется сеть с заданной СК и проверяется значение выхода СК. Если на выходе СК реализовалась единица, то l_i включается в \tilde{L}_1 , в противном случае l_i в \tilde{L}_1 не включается.

3. Эффективность функции контроля вычисляется по формуле (1).

Для реальных сетей перебор всех $l_i \in L_1$, к сожалению, невозможен, и поэтому эффективность функции контроля можно вычислять лишь приближенно, ограничиваясь рассмотрением $l_i \in L_1^* \subset L_1$.

В этом случае мощность множества L_1^* определяется точно, с которой величина приближенной эффективности правильной функции контроля

$$K_{\tilde{L}}^* = \frac{\tilde{L}_1^*}{L_1^*}$$

приближается к истинному значению $K_{\tilde{L}}$.

На практике часто требуются менее обширные критерии эффективности, например, эффективность обнаружения отказов кратности 1 в ОС, сбоях кратности 2 в ОС и СК и т. д.

Нетрудно убедиться, что все эти критерии являются частным случаем эффективности функции контроля и получаются из последней путем ограничений, накладываемых на множество N .

Алгоритм нахождения эффективности функции контроля представлен в виде программы на языке ЛЯПАС [4]. Программа отлажена и испытана на ряде реальных ЦУ с АК. Описание программы приведено ниже.

Представление информации в ЭВМ

Исходной информацией к программе, реализующей алгоритм определения эффективности функции контроля, является комплекс A , задающий исследуемую сеть и вектор неисправности v . Комплекс \bar{A} имеет ту же самую структуру, что и аналогичный комплекс, описанный в [3], но на порядок нумерации налагаются следующие ограничения: счетный вход, если он имеется, всегда должен иметь номер 1, затем по порядку нумеруются входные полюса, основные элементы ОС, основные элементы СК и, наконец, вспомогательные элементы ОС и СК. Элемент считается основным, если в нем задаются неисправности. В противном случае он считается вспомогательным. Кроме того, в шапках подкомплексов нулевой разряд несет информацию о состоянии выходов соответствующих элементов в предыдущий момент времени: единица в 5-м разряде указывает, что элемент отказал; единица в 6-м разряде указывает, что элемент сбился. Единичное значение 4-го разряда свидетельствует о том, что выход рассматриваемого элемента является выходом СК. Шапки подкомплексных основных элементов имеют единицы в 3-м разряде. Изменился и нулевой элемент комплекса A . В разрядах с 27-го по 37-й записывается номер первого элемента СК.

Вектор неисправностей v представляет собой булев вектор, имеющий следующую структуру: разряды с 13-го по 15-й задают кратность отказов в ОС, разряды с 16-го по 20-й задают кратность отказов в СК, разряды с 21-го по 23-й задают кратность сбоев в ОС, разряды с 24-го по 26-й задают кратность сбоев в СК, разряды с 27-го по 37-й задают объем выборки, равный мощности множества.

Библиотека подпрограмм

Исследование эффективности СК.

1. Даны: сеть C , состоящая из ОС и СК, и вектор неисправностей v . Требуется найти значение эффективности функции контроля СК, для неисправностей, заданных вектором v .

2. Внешние операнды:

$\alpha_n :: C;$

$\beta_n :: v;$

γ_n — конец рабочего поля.

Примечание: распределение памяти осуществляется автоматически, и конец рабочего поля позволяет выявлять аварийную ситуацию, возникающую при нехватке памяти.

Задаются: a_a, v_a .

Подпрограммы: подготовка, модвер.

3. Алгоритм изложен выше.

4.

* 052 001

§ 0 * подготовка $\alpha \underline{a} ||$

** модвер $\alpha \beta \gamma \underline{a} ||$.

Подготовка к моделированию — подготовка.

1. Дана сеть C , состоящая из ОС и СК. Требуется определить число основных элементов в сети, число входных полюсов сети и номер выходного элемента СК.

2. Внешние операнды:

$a_k :: C$;

β_n — булев вектор, имеющий следующую структуру: в разрядах с 5-го по 15-й записан номер выходного элемента схемы, в разрядах с 16-го по 26-й записано число входных полюсов, в разрядах с 27-го по 37-й записано число основных элементов схемы.

Задаются: a_α, θ_α .

4.

* 052 004

§ 0 $0a \ 0c \ 0\beta$

§ 1 $\Delta a x_a \Rightarrow b \oplus b_\alpha \circ \rightarrow 2x_b \wedge c_4 \mapsto 2x_b > 11 \wedge 77 \mapsto 1\Delta c \rightarrow 1$

§ 2 $a < 11 \vee c < 11 \vee \beta \Rightarrow \beta 0a$

§ 3 $\Delta a x_a \Rightarrow b \oplus b_\alpha \circ \rightarrow 4x_b \wedge c_3 \circ \rightarrow 3\Delta\beta \rightarrow 3$

§ 4 $\Delta\beta$.

Вероятностное моделирование — мод вер.

1. Даны: сеть C , состоящая из ОС и СК, и вектор неисправностей \underline{v} . Требуется осуществить моделирование сети C , подавая многократно на ее входы случайное входное воздействие и внося в нее случайным образом неисправность заданной кратности и заданного типа (отказы, сбой). Подсчитать число моделирований, для которых на выходе СК реализовалась единица.

2. Внешние операнды:

$a_k :: C$;

$\beta_n :: \theta$;

γ_n — конец рабочего поля;

δ_n — число основных элементов ОС и СК, число входных полюсов и номер элемента, являющегося выходом СК.

Задаются: a_α, θ_α .

Подпрограммы: удастан, неисправность, генвхос, моднес.

3. Алгоритм изложен выше.

4.

* 052 010

§ 0 $a_\alpha + b_\alpha - \gamma \circ \rightarrow 1 \ 0b \rightarrow 4$

§ 1 $a_\alpha \Rightarrow a 0b\beta \wedge f_7 \Rightarrow \underline{a}$

$\delta > 22 \wedge f_7 \Rightarrow c$

§ 2 $\Delta b \oplus \underline{a} \circ \rightarrow 4$

* удастан $a \not\parallel a \Rightarrow \alpha_a \gamma \Rightarrow \underline{b}x_c \Rightarrow \alpha$

* неисправность $\alpha\beta\delta \not\parallel 0\alpha_0$

* генвхос $\alpha\beta \not\parallel$

* моднес $\alpha b \not\parallel b \circ \rightarrow 3x_d \wedge c_1 \circ \rightarrow 2$

$\beta + c_{12} \Rightarrow \underline{\beta} \rightarrow 2$

§ 3 $\Delta b\gamma \Rightarrow \underline{b}\beta - c_{37} \Rightarrow \beta \wedge f_7 \mapsto 2 \ 0\beta$

§ 4 $a \Rightarrow \alpha_0$.

Удаление исследованных неисправностей — унеис.

1. Задана сеть C , в которой помечены неисправные элементы. Требуется удалить из сети неисправности.

2. Внешние операнды:

$$\alpha_k :: C.$$

Задаются: a_α, v_α .

3. В 5-е и 6-е разряды шапок всех элементов схемы заносятся нули, что свидетельствует об отсутствии неисправностей в соответствующих элементах.

4.

* 052 011

$$\S 0 \ 0a \ c_5 \vee c_6 \ \bar{\Gamma} \Rightarrow \underline{a}$$

$$\S 1 \ \Delta a \ \alpha_a \Rightarrow b \oplus b_a \circ \rightarrow 2$$

$$\alpha_b \wedge \underline{a} \Rightarrow \alpha_b \rightarrow 1$$

§ 2.

Задание неисправности — неисправность.

1. Даны: сеть C , состоящая из ОС и СК; вектор неисправностей \underline{b} и переменная \underline{a} , несущая информацию о сети. Требуется случайным образом внести в сеть C отказы и сбои заданной кратности.

2. Внешние операнды:

$$\alpha_k :: C;$$

$$\beta_n :: \underline{b};$$

$$\gamma_n :: \underline{a}.$$

Задаются: a_α, b_α .

Подпрограммы: отказы, сбои.

4.

* 052 005

$$\S 0 \ \beta > 11 \wedge 77 \vdash \rightarrow 1\beta > 17 \wedge 77 \circ \rightarrow 3 \rightarrow 2$$

$$\S 1 \ * \text{сбои } \alpha\beta\gamma // \beta > 17 \wedge 77 \circ \rightarrow 3$$

$$\S 2 \ * \text{отказы } \alpha\beta\gamma //$$

§ 3.

Задание сбоев — сбои.

1. Даны: сеть C , состоящая из ОС и СК, вектор неисправностей \underline{v} и вектор \underline{a} , несущий информацию о сети. Требуется по заданной кратности сбоев случайным образом отметить «сбившиеся» элементы ОС и СК или ОС и СК.

2. Внешние операнды:

$$\alpha_k :: C;$$

$$\beta_n :: \underline{v}$$

$$\gamma_n :: \underline{a}.$$

Задаются: a_α, v_α .

Подпрограммы: случис.

4.

* 052 002

$$\S 0 \ 0a\gamma \wedge f_7 \Rightarrow a\gamma > 11 \wedge f_7 + 2 \Rightarrow b\alpha_0 \wedge f_7$$

$$\Rightarrow c \Rightarrow d\beta > 11 \wedge 7 \Rightarrow e \circ \rightarrow 1 \neq \rightarrow 2$$

$$\S 1 \ 0ad \Rightarrow a\bar{b} \Rightarrow c\beta > 14 \wedge \bar{7} \Rightarrow e$$

$$\circ \rightarrow 3 \neq \rightarrow 2 \rightarrow 3$$

$$\S 2 \ * \text{случис } a\bar{c}b // \alpha_b \Rightarrow c\alpha_c \wedge c_b \vdash \rightarrow 2$$

$$\alpha_c \vee c_b \Rightarrow \alpha_c \Delta a \oplus e \vdash \rightarrow 2!$$

§ 3.

Задание отказов — отказы.

1. Даны: сеть C , состоящая из ОС и СК, вектор неисправностей \underline{e} и переменная \underline{a} , несущая информацию о сети C . Требуется по заданной кратности отказов отметить «отказавшие» элементы ОС, СК или ОС и СК.

2. Внешние операнды:

$$\alpha_k :: C;$$

$$\beta_n :: \underline{e};$$

$$\gamma_n :: \underline{a}.$$

Задаются: a_α, e_α .

Подпрограммы: случис.

4.

* 052 003

$$\S 0 \ 0a\gamma \wedge f_7 \Rightarrow a\gamma > 11 \wedge f_7 + 2 \Rightarrow b$$

$$\alpha_0 \wedge f_7 \Rightarrow c \Rightarrow \underline{d}\beta > 17 \wedge 7 \Rightarrow e$$

$$\circ \rightarrow 1 \neq \rightarrow 2$$

$$\S 1 \ 0ad \Rightarrow ab \Rightarrow c\beta > 22 \wedge 7 \Rightarrow e \circ \rightarrow 3 \neq \rightarrow 2 \rightarrow 3$$

$$\S 2 \ * \text{ случис } \underline{a}cb \parallel \alpha_b \Rightarrow c$$

$$\alpha_c \wedge c_5 \vdash \rightarrow 2\alpha_c \vee c_5 \Rightarrow \alpha_c \Delta a \oplus e \vdash \rightarrow 2!$$

§ 3.

Генератор случайных чисел — случис.

1. Даны два числа b и c . Требуется получить случайным образом число d из интервала $[b, c]$.

2. Внешние операнды:

$$[\alpha_n] = b;$$

$$[\beta_n] = c;$$

$$[\gamma_n] = d.$$

3. Случайные числа получаются с использованием датчика случайных чисел $\underline{я}$.

4.

* 052 007

$$\S 0 \ \alpha - \beta \underline{я} + \beta \Rightarrow \gamma.$$

Генерирование входных состояний — ген в х о с.

1. Даны: сеть C и переменная \underline{a} , несущая информацию о сети. Требуется случайным образом получить входной вектор.

2. Внешние операнды:

$$\alpha_k :: C;$$

$$\beta_n :: \underline{a}.$$

Задаются: a_α, b_α .

Подпрограммы: случис.

4.

* 052 006

$$\S 0 \ \circ a\beta > 11 \wedge f_7 \Rightarrow \underline{a} \circ \rightarrow 3\Delta a \ * \text{ случис } \underline{a} \circ \underline{b} \ //$$

$$\S 1 \ \alpha_a \Rightarrow b \ c_1 \ \neg \wedge \alpha_b \Rightarrow \alpha_b \Delta a \oplus \underline{a} \vdash \rightarrow 1 \circ a$$

$$\S 2 \ \Delta a \oplus b \circ \rightarrow 3 \ * \text{ случис } \underline{a} \ 1 \ c \ // \alpha_c \Rightarrow b$$

$$\alpha_b \vee c_1 \Rightarrow \alpha_b \rightarrow 2$$

$$\S 3 \ \alpha_1 \Rightarrow b \ \alpha_b > 11 \wedge f_7 \circ \rightarrow 4\alpha_b \vee c_1 \Rightarrow \alpha_b$$

§ 4.

Выводы

1. Введено понятие функции контроля, обобщающей возможные методы оценки эффективности контроля.
2. Предложен универсальный алгоритм моделирования цифрового устройства с аппаратурным контролем с целью оценки количественных значений критериев качества контроля.
3. Алгоритм представлен в виде программы на языке ЛЯПАС и отлажен на ЭВМ М-220.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. П. Байда, Л. А. Лядункина, В. М. Разин. Исследование цифровых устройств с аппаратурным контролем методом цифрового моделирования. Известия ЛЭТИ. Вып. 118, часть I, Л., 1972.
2. Н. П. Байда, Л. А. Лядункина, В. М. Разин. Моделирование цифровых устройств с аппаратурным контролем на языке ЛЯПАС. Известия ТПИ, т. 277 (в печати).
3. И. П. Абрамов, Н. П. Байда, Ю. М. Комаров, В. Б. Липский, В. М. Разин. Формализованное описание цифрового устройства и его модель. Настоящий сборник.
4. А. Д. Закревский. Алгоритмы синтеза дискретных автоматов. М., «Наука», 1971.
5. Н. П. Байда, В. М. Разин. О показателях качества схем аппаратурного контроля цифровых устройств. Надежность и контроль качества. (Приложение к журналу «Стандарты и качество»), 1972, № 6.
6. Г. Чжен, Е. Меннинг, Г. Метц. Диагностика отказов цифровых вычислительных систем. М., «Мир», 1972.
7. Н. П. Байда. Эффективность и достоверность аппаратурного контроля цифровых устройств. Известия ТПИ, т. 202, Томск, изд. ТГУ, 1973.