

О ФУНКЦИОНАЛЬНОМ ДИАГНОСТИРОВАНИИ ДИСКРЕТНЫХ УСТРОЙСТВ В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ С НЕТОЧНЫМИ ДАННЫМИ

Г.П. Аксёнова

Рассмотрены изменения, происходящие в функционировании дискретного устройства и его схемы встроенного контроля (СВК) при переходе к работе с неточными данными. Показано, как при этом меняется аппаратурная сложность СВК. Представлен аппаратурно-совмещенный вид синтеза СВК по модулю 2 для работы и с точными, и с приближенными данными.

Ключевые слова: дискретное устройство, схема встроенного контроля, таблица истинности, метод синтеза по модулю 2.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с возрастающим значением обработки неточных (приближенных) данных возникает необходимость осмысления некоторых вопросов функционального диагностирования в условиях работы с неточными данными. Впервые эти вопросы были затронуты А.В. Дроздом в статье [1], где обсуждаются цели и задачи рабочего (функционального) диагностирования вычислительных устройств в режиме обработки приближенных данных.

Неточность данных возникает из-за [2]:

- неточного соответствия математического описания самой задаче (в частности, неточно заданы исходные данные описания);
- применения приближенных методов обработки данных;
- округления данных при арифметических операциях, при их вводе и выводе.

Для работы с неточными данными применяются те же устройства, которые спроектированы для работы с точными данными. Точнее, одно и то же устройство в одни моменты может работать с точными данными, а в другие — с приближенными. В связи с этим схема встроенного контроля (СВК), предназначенная для функционального диагностирования устройства в режиме точных данных и построенная традиционными методами синтеза [3, 4], может браковать работу устройства даже в тех случаях, когда выходной результат, не являясь точным, все же не выходит за рамки установленного допуска.

Казалось бы, что в таком случае надо исключить из рассмотрения неточные выходы (для вычислительных устройств это обычно младшие разряды) и не принимать во внимание их значения. Однако СВК, заложенная в устройство, спроектирована так, что отслеживает все выходы устройства, и отбрасывание каких-либо из них приведет к непредсказуемой реакции СВК. Например, в вычислительном устройстве, состоящем из ряда блоков, организован сквозной контроль по модулю 3 [3]. Это означает, что заложенные в него СВК блоков вырабатывают «предсказание» значения $\text{mod } 3$ для всего выходного слова блока, а не для какой-то его части. И чтобы получить «предсказание» для части выходного слова, надо об этом позаботиться еще на стадии проектирования вычислительного устройства.

Цель излагаемого исследования — распространить методы синтеза СВК [3, 4] на режим работы с неточными данными.

1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ СИНТЕЗА СХЕМ ВСТРОЕННОГО КОНТРОЛЯ

Схема встроенного контроля для произвольного дискретного устройства (ДУ) в общем случае синтезируется методом, изложенным в работе [4], согласно рис. 1, где x_1, \dots, x_n и z_1, \dots, z_m — входы и выходы ДУ соответственно; f — выход СВК, значение которого сигнализирует о достоверности выходного значения ДУ.



Таблица 1

Таблица истинности дискретного устройства

Вход	Выход
X_1	Z_1
...	...
X_j	Z_j
...	...
X_r	Z_r

Таблица 2

Таблица истинности схемы встроенного контроля

		Вход СВК	f
ПТ _и	}	$X_1 Z_1$	1
	
		$X_j Z_j$	1
	
ПТ ₁	}	$X_j Z_r$	1
	
		$X_1 Z_1^1$	0
	
ПТ _k	}	$X_j Z_j^1$	0
	
		$X_r Z_r^1$	0
	
		$X_1 Z_1^k$	0
	
		$X_j Z_j^k$	0
	
		$X_r Z_r^k$	0

Для простоты изложения будем считать, что ДУ есть комбинационное устройство, а СВК несамостоятельная, т. е. имеет один, а не два выхода.

Дискретное устройство задается своей структурной схемой и таблицей истинности — табл. 1, где $X_j = \{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}$ — двоичный набор значений входных переменных; $Z_j = \{z_{1j}, \dots, z_{mj}\}$ — двоичный набор значений выходных переменных; $j = 1, \dots, r$; $r \leq 2^n$ — число рабочих наборов.

Схема встроенного контроля синтезируется для заданного класса неисправностей. В работе [4] дан алгоритм получения для заданного класса неисправностей сокращенного списка неисправностей. По таблице истинности ДУ и для имеющегося списка неисправностей получают таблицу истинности СВК (табл. 2) [4].

Таблица истинности СВК состоит из $k + 1$ подтаблиц, где k — число неисправностей в списке. Верхняя подтаблица (обозначим ее через ПТ_и) со-

ответствует правильному (истинному — «и») функционированию ДУ и представляет собой таблицу истинности ДУ (см. все столбцы, кроме последнего), для которой в столбце f проставлены единицы.

Каждая из k остальных подтаблиц ПТ₁, ..., ПТ_k соответствует неправильному функционированию, когда в ДУ имеется соответственно неисправность $i = 1, \dots, k$ (устойчивая или кратковременная) из имеющегося списка, в результате которой на выходе ДУ возникает неправильное значение Z_j^i . В подтаблицах ПТ₁, ..., ПТ_k в столбце f проставлены нули. Если при построении подтаблиц ПТ₁, ..., ПТ_k возникает строка $X_j Z_j = \{x_{1j}, \dots, x_{nj}, z_{1j}, \dots, z_{mj}\}$, совпадающая с какой-либо строкой подтаблицы ПТ_и, то она вычеркивается, т. е. неисправность здесь не проявляется (не искажается выходной набор ДУ z_{1j}, \dots, z_{mj}).

Всего таблица истинности СВК содержит 2^{n+m} строк. Функция f определена на $r(k + 1)$ наборах (если не было вычеркиваний). На остальных $2^{n+m} - r(k + 1)$ наборах f не определена, и в столбце f проставляются знаки \sim , т. е. в этих разрядах допустимо как значение 0, так и 1. Считается, чем больше знаков \sim , тем больше возможностей для упрощения функции f путем соответствующего ее доопределения.

Обычно ДУ и его СВК проектируются для работы с точными данными. Посмотрим, какую специфику вносят приближенные данные.

2. НЕТОЧНЫЕ ДАННЫЕ НА ВХОДЕ ДИСКРЕТНОГО УСТРОЙСТВА

Каждое ДУ проектируется на множестве входных наборов, которое является его областью определения R . На всех остальных наборах, не принадлежащих области R , выходная функция ДУ не определена.

Рассмотрим ситуацию, когда на вход ДУ поступают приближенные данные, т. е. данные, неточные по своей физической сущности. Для входного набора ДУ это означает, что в каких-то его разрядах можно поставить знак \sim . Назовем такие разряды неточными. Для вычислительных устройств это обычно младшие разряды.

На первый взгляд кажется, что неточные разряды входов ДУ со значением \sim можно не учитывать при синтезе СВК, т. е. на рис. 1 надо ликвидировать связи СВК с этими входами ДУ. Однако от значения этих разрядов во входном наборе могут существенно зависеть значения точных разрядов выходного набора ДУ. В результате отбрасывания неточных разрядов может возникнуть ситуация неопределенности, когда в ответ на значения на

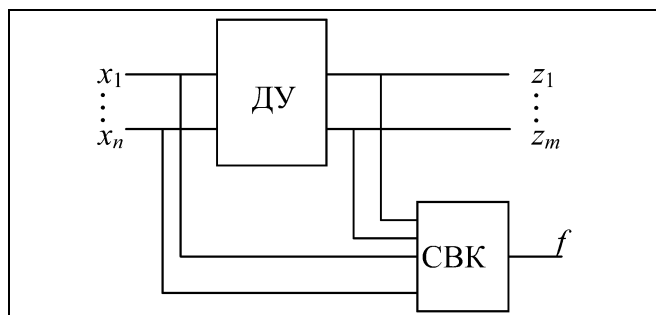


Рис. 1. Схема встроенного контроля в общем виде

оставшихся (точных) входах выходная реакция ДУ может быть неоднозначна, т. е. данное ДУ при меньшем числе входов будет неполностью определенным.

Для ДУ безразлично, каким считается поступивший на его входы набор, точным или приближенным, лишь бы он принадлежал его области определения. Оно перерабатывает поступивший набор в соответствии со своей функцией, а СВК оценивает правильность переработки. Поэтому

- при синтезе СВК не имеет смысла говорить о входных данных, поступающих на ДУ, точные они или приближенные,
- неточные разряды входов ДУ в любом случае должны охватываться СВК.

А неточность выходных данных при такой постановке вопроса определяется только техническим состоянием самого ДУ, т. е. правильно или нет оно перерабатывает входной набор. Если входной набор переработан неправильно, но ошибка касается только неточных разрядов, то выходное значение ДУ считается допустимым.

3. НЕТОЧНЫЕ ДАННЫЕ НА ВЫХОДЕ ДИСКРЕТНОГО УСТРОЙСТВА

Пусть от выходных данных ДУ требуется верность значений не всех m разрядов выходного набора, а лишь l из них, $l < m$. Вскроем механизм изменений, происходящих при переходе к неточным данным.

Пусть неточным будет один последний разряд с номером m . Рассмотрим таблицу истинности СВК. При работе с **точными данными** ПТ_и (см. табл. 2) будет содержать некоторые наборы $X_j Z_j = \{x_{1j}, \dots, x_{nj}, z_{1j}, \dots, z_{mj}\}$, $j = 1, \dots, r$, а наборы $\{x_{1j}, \dots, x_{mj}, z_{1j}, \dots, \bar{z}_{mj}\}$, где неточный разряд z_m имеет инверсное значение, будут обязательно находиться в одной (или нескольких) из подтаблиц ПТ_г ($i = 1, \dots, k$), потому что такие наборы являются неправильными.

Однако при работе с **неточными данными** такие наборы переместятся в подтаблицу ПТ_и, так как они являются допустимыми, и СВК должна оценивать их как правильные (т. е. в столбце f вместо 0 надо проставить 1). В результате дизъюнктивная нормальная форма функции f будет содержать для каждого $j, j = 1, \dots, r$, наборы, которые в сумме дают терм, не зависящий от переменной z_m , а именно:

$$\begin{aligned} x_{1j} \dots x_{nj} z_{1j} \dots z_{(m-1)j} z_{mj} \vee x_{1j} \dots x_{mj} z_{1j} \dots z_{(m-1)j} \bar{z}_{mj} &= \\ &= x_{1j} \dots x_{nj} z_{1j} \dots z_{m-1} \end{aligned}$$

Таким образом, при работе с неточными данными сокращаются:

- число входов СВК (благодаря отбрасыванию неточных выходов ДУ (но не входов ДУ!));
- список неисправностей ДУ (неисправности, приводящие к искажению значений только неточных выходов ДУ, теперь будут несущественными).

Посмотрим, как эти факты отражаются на сложности СВК.

4. АНАЛИЗ СЛОЖНОСТИ СХЕМ ВСТРОЕННОГО КОНТРОЛЯ

Уменьшение числа входов СВК и списка неисправностей ДУ не обязательно приводит к сокращению аппаратных затрат на СВК. Продемонстрируем это для метода синтеза СВК по модулю 2 (рис. 2) как наиболее наглядного по сравнению с общим методом (см. рис. 1).

Пусть ДУ представляет собой комбинационное устройство, для которого построена СВК по модулю 2 [5] согласно рис. 2, где A_d — комбинационный автомат, значение выхода которого *дополняет* до нечетного выходной набор ДУ (т. е. схема предсказания четности); $M2$ — свертка по модулю 2.

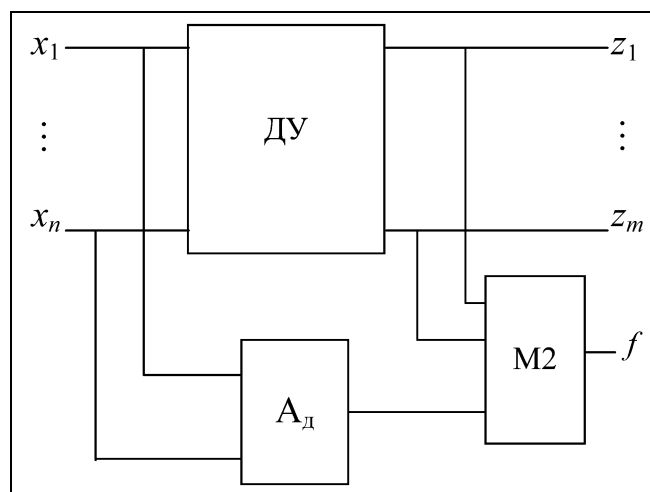


Рис. 2. Схема встроенного контроля по модулю 2

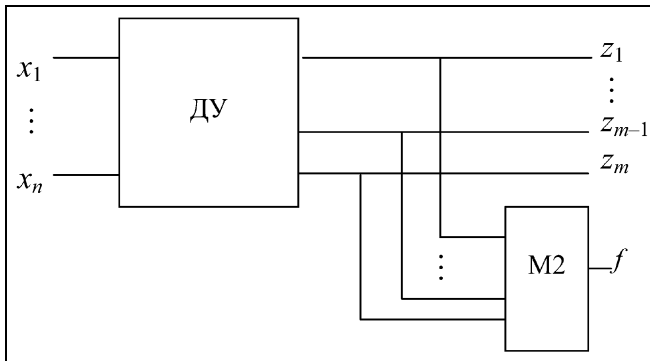


Рис. 3. Частный случай схемы встроенного контроля по модулю 2

Предположим, что z_m — неточный выход. Построим СВК только для точных выходов z_1, \dots, z_{m-1} и сравним ее с СВК для всех m выходов. Здесь может представиться четыре варианта:

- 1) $z_1 \oplus \dots \oplus z_m = \text{const}$, но $z_1 \oplus \dots \oplus z_{m-1} \neq \text{const}$;
- 2) $z_1 \oplus \dots \oplus z_m = \text{const}$ и $z_1 \oplus \dots \oplus z_{m-1} = \text{const}$;
- 3) $z_1 \oplus \dots \oplus z_m \neq \text{const}$ и $z_1 \oplus \dots \oplus z_{m-1} \neq \text{const}$;
- 4) $z_1 \oplus \dots \oplus z_m \neq \text{const}$, но $z_1 \oplus \dots \oplus z_{m-1} = \text{const}$.

Рассмотрим каждый из них.

Вариант 1. Все выходные значения для m выходов имеют постоянную четность, а для $m-1$ выходов это не выполняется. Схема встроенного контроля для m выходов выглядит максимально просто: A_d отсутствует и остается только свертка $M2$ (рис. 3). А СВК для $m-1$ выходов будет содержать автомат A_d , значение выхода которого дополняет до нечетного выходной набор ДУ, согласно рис. 2. Фактически, автомат A_d должен реализовать функцию, равную z_m . Наиболее выгодно взять в качестве автомата A_d сам выход z_m (конечно, при этом должно быть выполнено условие раздельной реализации z_m с остальными выходными функциями ДУ). В результате СВК опять примет вид, показанный на рис. 3, но при этом часть аппаратуры ДУ переместится из объекта контроля в СВК. Таким образом, аппаратные затраты на СВК для m и для $(m-1)$ выходов одинаковы.

Если же выход z_m связан общей аппаратурой с остальными выходными функциями ДУ, то надо либо разделить их аппаратурно путем дублирования общей части аппаратуры, либо построить новый автомат A_d . Тогда аппаратные затраты на СВК для $m-1$ выходов увеличатся по сравнению с СВК для m выходов. (Требование раздельности реализации основной аппаратуры и контролирующей необходимо для того, чтобы в результате неисправности не было одновременного искажения выхода автомата A_d и выходов ДУ).

Что касается числа неисправностей в рассматриваемом случае, то и здесь уменьшение числа входов у СВК не дает никакого выигрыша, а именно: неисправности, приводящие к искажению выхода z_m , стали несущественными для объекта контроля (с выходами z_1, \dots, z_{m-1}), но остались существенными для контролирующего оборудования (выход z_m). А так как СВК сигнализирует об ошибке независимо от того, где она находится, в ДУ или в СВК, то все осталось по-прежнему и никакого сокращения числа существенных неисправностей не произошло.

Вариант 2. Все выходные значения и для m выходов, и для $(m-1)$ выходов имеют постоянную четность. Схема встроенного контроля представляет собой свертку $M2$ на m входов и на $(m-1)$ входов соответственно. Следовательно, имеется выигрыш в аппаратуре, составляющий один двухвходовой элемент «сумма по модулю 2», и сокращается число существенных неисправностей благодаря отбрасыванию выхода z_m .

Вариант 3. Схемы встроенного контроля и для m выходов, и для $(m-1)$ выходов имеют вид, представленный на рис. 2, т. е. содержат автомат A_d . Аппаратурные затраты определяются сложностью автомата A_d , а для $(m-1)$ выходов он может оказаться сложнее, чем для m выходов.

Ничего определенного нельзя сказать и о числе существенных неисправностей, так как взамен одних неисправностей (приводящих к искажению выхода z_m) появляются другие (в автомате A_d).

Вариант 4. Схема встроенного контроля для m выходов содержит автомат A_d и свертку $M2$ (см. рис. 2), а для $(m-1)$ выходов — только свертку $M2$ (по типу рис. 2). Таким образом, имеются выигрыш в аппаратуре СВК из-за отбрасывания выхода z_m и, кроме того, уменьшение списка неисправностей, который отслеживает СВК.

5. ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ СХЕМ ВСТРОЕННОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ КАК С ТОЧНЫМИ, ТАК И С ПРИБЛИЖЕННЫМИ ДАННЫМИ

Рассмотренные в § 4 всевозможные ситуации дают картину деформирования СВК при переходе от работы с точными данными к работе с приближенными данными. Так как ДУ используется для работы и с теми, и с другими данными, то о контроле ДУ в режиме работы с приближенными данными надо задуматься еще на этапе проектирования ДУ.

Как видно из изложенного, никакого единого решения предложить нельзя. В одних случаях (см. вариант 1) выгоднее при работе с приближенными данными оставить СВК для точных данных и тем

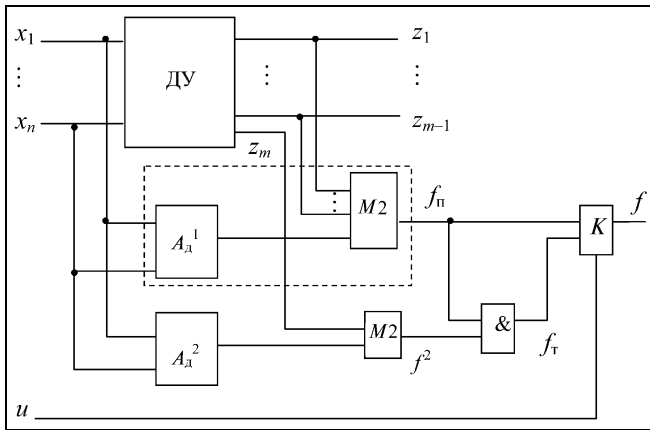


Рис. 4. Аппаратно-совмещенный вид синтеза схемы встроенного контроля по модулю 2

самым отслеживать неточные выходы, так как никакого выигрыша в сокращении числа неисправностей получить нельзя. В других случаях (варианты 2 и 4) следует отключить от СВК неточные выходы. При этом должна быть предусмотрена возможность такого отключения и введен для этого управляющий вход. В остальных случаях (вариант 3) СВК надо синтезировать и для точных, и для приближенных данных заранее, на этапе проектирования ДУ.

Можно предложить два вида синтеза СВК: аппаратно-раздельный и аппаратно-совмещенный.

В первом случае синтез СВК для точных данных (СВК_Т) и для приближенных данных (СВК_П) осуществляется независимо друг от друга. Это самый невыгодный способ построения СВК в смысле аппаратных затрат.

Во втором случае используются все возможности совмещения аппаратуры СВК_Т и СВК_П. А возможности эти немалые. На рис. 4 показано совмещение аппаратуры для метода синтеза по модулю 2, где СВК_П (с выходом $f_{\text{П}}$) очерчена штриховой линией, а СВК_Т (с выходом $f_{\text{Т}}$) содержит СВК_П плюс добавочную часть (с выходом f^2), которая отсле-

живает неохваченный выход z_m ; K — коммутатор, который по сигналу управляющего входа u переключает выходы $f_{\text{Т}}$ и $f_{\text{П}}$ в зависимости от режима работы ДУ. В целях дополнительного сокращения аппаратных затрат следует автоматы $A_{\text{д}}^1$ и $A_{\text{д}}^2$ также пытаться синтезировать совместно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализировано, что означают для работы схемы встроенного контроля (СВК) неточные данные на входе и на выходе дискретного устройства. Показано, какие изменения претерпевает СВК при переходе к режиму работы с неточными данными. Отмечено, что отбрасывание неточных выходов дискретного устройства при переходе к этому режиму не обязательно приводит к уменьшению аппаратной сложности СВК и не всегда дает выигрыш в сокращении числа существенных неисправностей. Выявлены случаи, когда синтез СВК для приближенных данных надо осуществлять вместе с синтезом СВК для точных данных, т. е. на этапе проектирования объекта контроля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дрозд А.В. Нетрадиционный взгляд на рабочее диагностирование вычислительных устройств // Проблемы управления. — 2008. — № 2. — С. 48—56.
2. Бахвалов Н.С. Численные методы. Ч. I. — М.: Наука, 1975.
3. Путинцев Н.Д. Аппаратный контроль управляющих цифровых вычислительных машин. — М.: Советское радио, 1966.
4. Пархоменко П.П., Согомонян Е.С. Основы технической диагностики. — М.: Энергоиздат, 1981.
5. Аксенова Г.П. Метод синтеза схем встроенного контроля для автоматов с памятью // Автоматика и телемеханика. — 1973. — № 2. — С. 109—116.

Статья представлена членом редколлегии П.П. Пархоменко.

Аксёнова Галина Петровна — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, ☎ (495) 334-77-39, e-mail: Vkhalth@ipu.rssi.ru

Новая книга

Бурков В.Н., Новиков Д.А., Щепкин А.В. Механизмы управления эколого-экономическими системами / Под ред. академика С.Н. Васильева. — М.: Изд-во физико-математической литературы, 2008. — 244 с.

Монография содержит результаты разработки и исследования комплекса оптимизационных, теоретико-игровых и имитационных моделей механизмов управления эколого-экономическими системами, включающего в себя механизмы: комплексного оценивания интегрального риска и ущерба, штрафов, платы за риск, финансирования снижения уровня риска, компенсации затрат на снижение уровня риска, продажи квот на уровень риска, аудита, снижения ожидаемого ущерба, экономической мотивации, оптимизации региональных программ, согласования интересов органов управления.

Для студентов вузов, аспирантов и специалистов по математическому моделированию и управлению эколого-экономическими, социально-экономическими и организационными системами.