

МЕТОДИКА СИНТЕЗА САМОПРОВЕРЯЕМЫХ КОМБИНАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ С КОНТРОЛЕМ ВЫЧИСЛЕНИЙ ПО КОДАМ ХЭММИНГА С САМОДВОЙСТВЕННЫМИ ФУНКЦИЯМИ, ОПИСЫВАЮЩИМИ ПРОВЕРОЧНЫЕ СИМВОЛЫ

Д. В. ЕФАНОВ^{1,2}, Т. С. ПОГОДИНА²

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Российская Федерация

²Российский университет транспорта, г. Москва

Совершенствование технологий в области микроэлектроники позволяет сегодня реализовывать управляющие комплексы с различной сложностью и развитым функционалом. Однако действие различных дестабилизирующих факторов без надлежащего парирования их проявлений может привести к нарушениям в процессах управления и к возникновению простоев, аварий и катастроф. Именно поэтому управляющие комплексы как в промышленности, так и в транспортных системах реализуются с высоким, наперед заданным уровнем надежности и безопасности [1]. Это достигается за счет использования разнообразных подходов, в том числе, реализации высоконадежных подсистем, отдельных блоков и узлов.

Для обеспечения требуемого уровня надежности необходимо своевременно обнаруживать возникающие в аппаратных и программных компонентах дефекты. Устройства, обеспечивающие ответственные технологические процессы, реализуются с контролепригодными и самопроверяемыми структурами, что позволяет обнаруживать возникающие отказы и ошибки в вычислениях на рабочих и тестовых воздействиях.

Одним из действенных способов реализации самопроверяемых структур является импульсный режим функционирования и контроль вычислений по принадлежности формируемых в контрольных точках функций особым классам булевых функций [2–4]. В практике распространенными являются способы контроля вычислений по принадлежности вычисляемых функций классам монотонных, линейных и самодвойственных функций, а также по кодовым методам [5].

Исследования показывают, что может быть организован комплексный контроль вычислений устройствами автоматизации как по принадлежности к определенным двоичным избыточным кодам, так и по принадлежности каждой функции, описывающей проверочные символы кода, классу самодвойственных булевых функций. Например, в [6] показано, что для организации контроля вычислений могут быть использованы классические коды Хэмминга с определенными длинами кодовых слов.

Эффективным при организации контроля вычислений является использование не только кодов Хэмминга, но и любых линейных кодов. Они обладают следующим важным свойством: на выходах кодеров линейных кодов будут реализовываться самодвойственные функции в том случае, если каждая из них будет содержать нечетное количество аргументов, от которых функция зависит существенно [6]. Такие устройства будут являться *самодвойственными* [2–4]. Среди линейных кодов существуют разнообразные коды, которые обладают таким свойством. Однако далее сфокусируем внимание именно на классических кодах Хэмминга.

В ходе исследований установлено, что кодеры классических кодов Хэмминга [7], широко используемых в практике построения надежных систем, будут самодвойственными при длинах кодовых слов $n = 3 + 4l, l \in \mathbb{N}_0$ [8]. Эту особенность кодов Хэмминга можно использовать при синтезе самопроверяемых устройств.

Методика синтеза самопроверяемых устройств, не обладающих памятью (комбинационных устройств), с контролем вычислений по кодам Хэмминга с самодвойственными функциями, описывающими проверочные символы, содержит следующие пункты:

1 Исходный объект диагностирования реализуется в виде самодвойственной схемы любым из известных методов, например, описанным в [9].

2 Множество Ψ выходов объекта диагностирования разбивается на подмножества $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_q \subseteq \Psi$ (они могут быть пересекающимися) мощностью $n = 3 + 4l, l \in \mathbb{N}_0$ таким образом, что $\Omega_1 \cup \Omega_2 \cup \dots \cup \Omega_q = \Psi$, и $q \rightarrow \min$.

3 Синтезируется схема встроенного контроля по коду Хэмминга для каждого подмножества $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_q$ по двум диагностическим признакам по примеру из [6].

4 Выходы схем встроенного контроля объединяются на входах самопроверяемой схемы сжатия парафазных сигналов, реализуемых на основе элементарных модулей сжатия парафазных сигналов [5].

Исследования показывают, что контроль вычислений по двум диагностическим признакам с применением линейных кодов позволяет существенно повысить число тестовых комбинаций среди рабочих для комбинационных устройств и реализовывать более эффективно процедуру рабочего диагностирования, чем при контроле только одного из параметров. В этом случае возрастают показатели контролепригодности самого устройства в части наблюдаемости. Это немаловажный фактор, который говорит о преимуществах построения самопроверяемых устройств для критических приложений, в особенности, связанных с обеспечением безопасности протекающих технологических процессов. В качестве «основы» для синтеза самопроверяемого устройства могут быть выбраны не только коды Хэмминга, но и различные их модификации, обладающие иными диагностическими свойствами [10, 11].

Реализация высоконадежных цифровых систем с применением описанного подхода позволяет совершенствовать технологии синтеза систем критического применения, в том числе, таких, в которых входные данные меняются крайне редко, что распространено во многих отраслях промышленности (включая атомную и военную отрасли) и транспорта [12, 13].

Список литературы

- 1 Баранов Л. А. Методология обоснования требований безопасности при использовании систем технического зрения в интеллектуальных системах управления движением поездов / Л. А. Баранов // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Интеллектуальные транспортные системы. – Москва, 26 мая 2022. – С. 54–58.
- 2 Reynolds, D. A. Fault Detection Capabilities of Alternating Logic / D. A. Reynolds, G. Meize // IEEE Transactions on Computers. – 1978. – Vol. C-27. – Is. 12. – P. 1093–1098. – DOI: 10.1109/TC.1978.1675011.
- 3 Аксенова, Г. П. Восстановление в дублированных устройствах методом инвертирования данных / Г. П. Аксенова // Автоматика и телемеханика. – 1987. – № 10. – С. 144–153.
- 4 Построение самопроверяемых комбинационных схем на основе свойств самодвойственных функций / М. Гессель [и др.] // Автоматика и телемеханика. – 2000. – № 2. – С. 151–163.
- 5 Сапожников, В. В. Теория синтеза самопроверяемых цифровых систем на основе кодов с суммированием / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов. – СПб. : Лань, 2021. – 580 с. – ISBN 978-5-8114-8076-0.
- 6 Ефанов, Д. В. Самодвойственный контроль комбинационных схем с применением кодов Хэмминга / Д. В. Ефанов, Т. С. Погодина // Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем (МЭС). – 2022. – № 3. – С. 113–122. – DOI: 10.31114/2078-7707-2022-3-113-122.
- 7 Hamming, R.W. Error Detecting and Correcting Codes / R. W. Hamming // Bell System Technical Journal. – 1950. – 29 (2). – P. 147–160. – DOI: 10.1002/j.1538-7305.1950.tb00463.x.
- 8 Ефанов, Д. В. Исследование свойств самодвойственных комбинационных устройств с контролем вычислений на основе кодов Хэмминга / Д. В. Ефанов, Т. С. Погодина // Информатика и автоматизация. – 2023. – Т. 22, № 2. – С. 349–392. – DOI: 10.15622/ia.22.2.5.
- 9 Гессель, М. Обнаружение неисправностей в самопроверяемых комбинационных схемах с использованием свойств самодвойственных функций / М. Гессель [и др.] // Автоматика и телемеханика. – 1997. – № 12. – С. 193–200.
- 10 Сагалович, Ю. Л. Введение в алгебраические коды : учеб. пособие / Ю. Л. Сагалович. – Учреждение Российской академ. наук Ин-т проблем передачи информ. им. А. А. Харкевича РАН. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : ИППИ РАН, 2014. – 310 с. – ISBN 978-5-901158-24-1.
- 11 Кудряшов, Б. Д. Основы теории кодирования / Б. Д. Кудряшов : учеб. пособие. – СПб. : БХВ-Петербург. 2016. – 400 с. – ISBN 978-5-9775-3527-4.
- 12 Hidden Faults in FPGA-Built Digital Components of Safety-Related Systems / O. Drozd [et al.] // Proceedings of the 14th International Conference “TCSET’2018, Lviv-Slavsko. – Ukraine, 2018. – P. 805–809. – DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336320.
- 13 Сапожников, Вл. В. Синтез систем управления движением поездов на железнодорожных станциях с исключением опасных отказов / Вл. В. Сапожников. – М. : Наука, 2021. – 229 с. – ISBN 978-5-02-040877-7.

УДК 656.25

ОСОБЕННОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ О СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТАХ КОНТРОЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

В. В. КАМЕНСКИЙ, С. В. СОКОЛОВ

*Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону,
Российская Федерация*

Транспортный комплекс осуществляет удовлетворение потребностей пассажиров и промышленных предприятий в перевозках. Значительную часть от общего объема всех перевозок транспортного комплекса занимает железнодорожный транспорт. По данным Росстата в прошлом году ОАО «РЖД» осуществило перевозку грузов в количестве 1234,3 миллионов тонн, а количество пе-