

Список литературы

- 1 Theeg, G. Railway Signalling & Interlocking / G. Theeg, S. Vlasenko. – 3ed ed. – Germany : Leverkusen PMC Media House GmbH, 2020. – 552 p.
- 2 Ефанов, Д. В. Радиоцентрализация с распределенными вычислительными ресурсами и развитыми функциями самодиагностирования / Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий // Транспорт Российской Федерации. – 2021. – № 1–2. – С. 40–45.
- 3 Ефанов, Д. В. Концептуальные основы синтеза безопасных систем управления движением поездов / Д. В. Ефанов, В. В. Хорошев, Г. В. Осадчий // Мир транспорта. – 2022. – Т. 20, № 3 (100). – С. 50–57. – DOI: 10.30932/1992-3252-2022-20-3-6.
- 4 Ефанов, Д. В. Управление надёжностью и безопасностью перевозочного процесса с применением систем непрерывного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры / Д. В. Ефанов, Е. М. Михайлюта // Мир транспорта. – 2023. – Т. 21, № 2 (105). – С. 84–94. – DOI: 10.30932/1992-3252-2023-21-2-10.

УДК 004.052.32+681.518.5

СЖАТИЕ САМОДВОЙСТВЕННЫХ СИГНАЛОВ В СХЕМАХ ВСТРОЕННОГО КОНТРОЛЯ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ НА ОСНОВЕ МОДУЛЬНЫХ ВЗВЕШЕННЫХ КОДОВ С СУММИРОВАНИЕМ

Д. В. ЕФАНОВ

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Российская Федерация
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва
Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

При синтезе устройств и систем управления на всех уровнях реализации используется контроль вычислений [1–3]. Контроль вычислений связан с внесением в объект автоматизации некоторой избыточности, будь то структурная, информационная или временная избыточность. Именно это дает возможность проведения контрольных процедур и, в конечном итоге, достижения требуемых показателей надежности и безопасности.

Высокого покрытия ошибок в вычислениях можно добиться путем использования импульсного режима функционирования объектов, а также применения для контроля свойств особых классов булевых функций при имеющемся ресурсе временной избыточности [4]. Эффективным является «симбиоз диагностических признаков» – контроля вычислений по признакам самодвойственности и принадлежности формируемых в схемах встроенного контроля (СВК) кодовых слов заданным блоковым кодам. Существуют некоторые блоковые коды, которые позволяют организовать такой «двойной контроль» [5–7].

Одной из задач, возникающих при синтезе СВК, является уменьшение числа наблюдаемых сигналов. Такое действие необходимо для снижения структурной избыточности СВК, а также для обеспечения самопроверяемости ее составляющих. Существует два основных способа сжатия самодвойственных сигналов. Первый из них детально описан в [8] и подразумевает сжатие самодвойственных сигналов с применением трехходовых сумматоров по модулю $M = 2$, которые являются самодвойственными устройствами. Второй способ основан на применении блоковых равномерных кодов, проверочные символы которых описываются самодвойственными булевыми функциями (обозначим их как $(m, k)^{SD}$ -коды, где m и k – число информационных и проверочных символов кодовых слов, а буквы SD («self-dual») указывают на вид функций, описывающих проверочные символы) [4, 6, 7]. Кодеры таких кодов являются самодвойственными цифровыми устройствами и могут эффективно применяться для сжатия сигналов в СВК.

В [9] в качестве схем сжатия рассматриваются кодеры известных блоковых равномерных линейных кодов при определенном числе информационных символов (коды паритета, классические и модифицированные коды Хэмминга). В [10] предложена методика синтеза СВК на основе кодов Хэмминга, подразумевающая покрытие множества выходов объекта диагностирования собственными подмножествами выходов мощностью $n = 3 + 4l$, $l \in \mathbb{N}_0$, с последующим контролем вычислений отдельными подсхемами контроля и объединением их выходов на входах самопроверяемого компаратора. Как показывают многочисленные эксперименты, такой подход позволяет существенно повысить показатели наблюдаемости неисправностей при рабочем диагностировании. Подходят для этих целей и другие линейные коды, например, известные модификации кодов Хэмминга [6, 7].

Дальнейшие исследования показали, что некоторые коды с суммированием также являются $(m, k)^{SD}$ -кодами. Некоторые взвешенные коды с суммированием в кольце вычетов по

заданному модулю обладают таким свойством. Автором настоящей работы доказано, что не существует взвешенного кода с суммированием в кольце вычетов по модулю $M \notin \left\{ 2^1, 2^2, \dots, 2^{\lceil \log_2(W_{\max}+1) \rceil} \right\}$, $W_{\max} = \sum_{i=1}^m w_i$, где $w_i \in \mathbb{N}$ – весовой коэффициент i -го информационного символа, а m – общее их количество, являющегося $(m, k)^{SD}$ -кодом. Взвешенные коды с суммированием, относящиеся к классу $(m, k)^{SD}$ -кодов, могут быть построены только при использовании модулей $M \in \left\{ 2^1, 2^2, \dots, 2^{\lceil \log_2(W_{\max}+1) \rceil} \right\}$.

Среди модульных взвешенных кодов с суммированием были детально рассмотрены коды, строящиеся при $M = 4$. Такие коды имеют $k = 2$ проверочных символа $\forall m$. Их можно отнести к модификациям известных кодов Боуза – Лина [11]. В таблице 1, представленной далее, приведены некоторые установленные для рассматриваемых блочных кодов варианты взвешивания, позволяющие получать именно $(m, k)^{SD}$ -коды. Их можно эффективно применять при построении СВК по признакам самодвойственности и принадлежности множеству кодовых слов заданного кода при сжатии сигналов от объекта диагностирования.

Таблица 1 – Некоторые $(m, k)^{SD}$ -коды

m	Число вариантов взвешивания	Число вариантов взвешивания, дающих $(m, k)^{SD}$ -коды	Массивы весовых коэффициентов для построения $(m, k)^{SD}$ -кодов
4	15	2	[1, 1, 2, 3], [1, 2, 2, 2]
5	21	6	[1, 1, 1, 1, 3], [1, 1, 1, 2, 2], [1, 1, 3, 3, 3], [1, 2, 2, 3, 3], [2, 2, 2, 2, 3], [3, 3, 3, 3, 3]
6	28	6	[1, 1, 1, 1, 1, 2], [1, 1, 1, 2, 3, 3], [1, 1, 2, 2, 2, 3], [1, 2, 2, 2, 2, 2], [1, 2, 3, 3, 3, 3], [2, 2, 2, 3, 3, 3]
7	36	10	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1], [1, 1, 1, 1, 1, 3, 3], [1, 1, 1, 1, 2, 2, 3], [1, 1, 1, 2, 2, 2, 2], [1, 1, 1, 3, 3, 3, 3], [1, 1, 2, 2, 3, 3, 3], [1, 2, 2, 2, 2, 3, 3], [1, 3, 3, 3, 3, 3, 3], [2, 2, 2, 2, 2, 2, 3], [2, 2, 3, 3, 3, 3, 3]

Примечание – В таблице указаны данные о количестве вариантов взвешивания и о массивах весовых коэффициентов, инвариантных относительно перестановок внутри массива.

Синтез СВК может быть осуществлен таким образом. Выделяются собственные подмножества $\Omega_i, i = \overline{1, q}$, множества выходов объекта диагностирования ($\Omega_i \subseteq \Psi, \bigcup_{i=1}^q \Omega_i = \Psi, q \rightarrow \min$), покрываемые $(m, k)^{SD}$ -кодами (подмножества могут пересекаться). Для каждого подмножества Ω_i синтезируется СВК со схемой сжатия на основе кодера $(m, k)^{SD}$ -кода, а затем организуется контроль вычислений по двум диагностическим признакам в соответствии, например, со структурой, приведенной на рисунке 5 в [4].

Полученные в настоящем исследовании результаты позволяют выделить модульные взвешенные коды с суммированием, относящиеся к $(m, k)^{SD}$ -кодам, и использовать их при синтезе СВК с улучшенными показателями контролепригодности по отношению к применению традиционной структуры, подразумевающей исключительно кодовый контроль вычислений [1].

Список литературы

- 1 **Согомонян, Е. С.** Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы / Е. С. Согомонян, Е. В. Слабаков. – М.: Радио и связь, 1989. – 208 с.
- 2 Рабочее диагностирование безопасных информационно-управляющих систем / А. В. Дрозд [и др.]; под ред. А. В. Дрозда и В. С. Харченко. – Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», 2012. – 614 с.
- 3 **Mikoni, S.** Top Level Diagnostic Models of Complex Objects / S. Mikoni // System Analysis in Engineering and Control / Y. S. Vasiliev (eds). – SAEC 2021. Lecture Notes in Networks and Systems. – Vol. 442. – Springer, Cham. – DOI: 10.1007/978-3-030-98832-6_21.
- 4 **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.
- 5 **Efanov, D. V.** The Hybrid Structure of a Self-Dual Built-In Control Circuit for Combinational Devices with Pre-Compression of Signals and Checking of Calculations by Two Diagnostic Parameters / D. V. Efanov, D. V. Pivovarov // Proceedings of 19th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2021), Batumi, Georgia, September 10–13, 2021. – P. 200–206. – DOI: 10.1109/EWDTS52692.2021.9581019.
- 6 **Efanov, D. V.** Self-Dual Digital Devices with Calculations Testing by Modified Hamming Code / D. V. Efanov, T. S. Pogodina // Proceedings of the 2023 Seminar on Networks, Circuits and Systems (NCS), 29–30 November 2023, St. Petersburg, Russia. – P. 60–65. – DOI: 10.1109/NCS60404.2023.10397522.

7 **Ефанов, Д. В.** Самодвойственные цифровые устройства с контролем вычислений по кодам Сяо / Д. В. Ефанов, Т. С. Погодина // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2023. – № 63. – С. 118–136. – DOI: 10.17223/19988605/63/14.

8 **Сапожников, В. В.** Самодвойственные дискретные устройства / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, М. Гесель. – СПб. : Энергоатомиздат (Санкт-Петербургское отделение), 2001. – 331 с.

9 **Ефанов, Д. В.** Анализ эффективности схем встроенного контроля на основе оценки принадлежности вычисляемых функций классу самодвойственных и предварительного сжатия сигналов с применением линейных кодов / Д. В. Ефанов, Т. С. Погодина // Программная инженерия. – 2023. – Т. 14, № 4. – С. 175–186. – DOI: 10.17587/prin.14.4.175–186.

10 **Ефанов, Д. В.** Методика синтеза самопроверяемых комбинационных устройств с контролем вычислений по кодам Хэмминга с самодвойственными функциями, описывающими проверочные символы / Д. В. Ефанов, Т.С. Погодина // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа (16–17 ноября 2023 г.): в 2 ч. Ч. 1 / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С. 212–213.

11 **Piestrak, S. J.** Design of Self-Testing Checkers for Unidirectional Error Detecting Codes / S. J. Piestrak. – Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 1995. – 111 p.

УДК 656.25+681.518.5

ОСОБЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО СОПРЯЖЕНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ С СИСТЕМАМИ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ

Д. В. ЕФАНОВ

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Российская Федерация

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Е. М. МИХАЙЛЮТА

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Российская Федерация

Современные системы управления движением поездов (СУДП) в части подсистем автоматического и автоматизированного регулирования движения поездов не имеют возможности учета технического состояния объектов железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава на все 100 % (реализованы только некоторые функции такого учета) [1]. Однако опыт эксплуатации железных дорог показывает, что для многих объектов железнодорожной инфраструктуры важно получать непрерывные данные о состоянии и учитывать их не только при организации системы технического обслуживания, но и при управлении движением поездов. Ряд объектов железнодорожной инфраструктуры оборудуется системами мониторинга инженерных конструкций и сооружений (СМИК и СМИС) [2, 3]. Данные системы позволяют собирать информацию об объекте диагностирования и выдавать ее пользователю. Они не способны на современном этапе развития с близкой к единице достоверностью ставить диагноз и решать задачи определения генеза и прогноза [4]. Но в ближайшем будущем неизбежна интеграция СМИК и СУДП, что особенно актуально для обеспечения безопасности движения поездов на грузонапряженных линиях железных дорог и высокоскоростных магистралях [5, 6].

В своих предыдущих исследованиях авторы разработали математическую модель надежности, учитывающую информационное сопряжение СМИК и СУДП [7, 8], а также предложили различные варианты организации такого сопряжения [9]. Опишем здесь более детально два способа информационного сопряжения. Они приведены на рисунках 1 и 2.

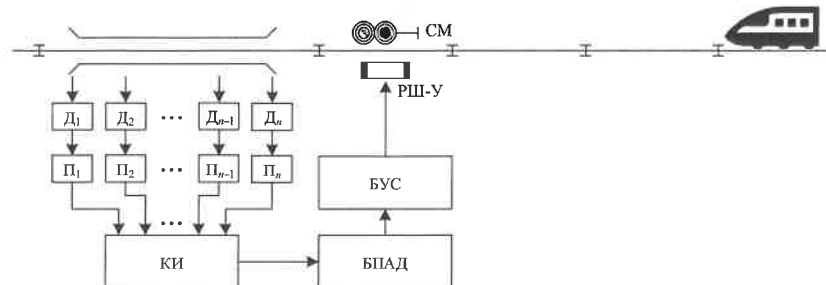


Рисунок 1 – Укрупненная архитектура информационного сопряжения СМИК и СУДП через светофор мониторинга