

объект располагается не все время. В некоторых кадрах наряду с протяженным объектом фиксируется и задний неподвижный план. Если фрагмент будет содержать и протяженный объект и задний план, то часть фрагмента будет «стараться» оценить смещение, а часть фрагмента будет «стараться» оставаться неподвижной, так как задний план неподвижен. Что также приводит к увеличению погрешности [4].

Таким образом, для оценки смещений не существует однозначных рекомендаций к размерам фрагмента.

Однако анализ выявленных причин погрешностей позволяет сформулировать требования к самим фрагментам.

Во-первых, фрагмент не должен соответствовать однородной по яркости поверхности объекта, то есть во фрагменте должны наблюдаться перепады яркости. Это требование можно выполнить, если сравнить выбранные фрагменты по дисперсии [5]. Те, что будут характеризоваться низкой дисперсией – не использовать для оценки смещений.

Во-вторых, фрагмент не должен включать задний план. Для выполнения этого требования можно формировать изображение заднего плана в то время, пока в кадре не фиксируется протяженный объект. За счет сравнения изображения заднего плана и фрагментов можно отбрасывать фрагменты, которые содержат задний план и приводят к высокой погрешности оценки смещений.

Указанные предложения были реализованы в алгоритме обработки. Апробация алгоритма в программном обеспечении показала уменьшение погрешности и повышение качества панорамного снимка. Возвращаясь к первоначальной задаче уменьшения объема данных за счет формирования панорамы, был проведен соответствующий анализ для определения эффективности сжатия данных на основе эксперимента с 10 видеозаписями. Во всех случаях сжатие с помощью панорамы обеспечило почти десятикратное уменьшение объема информации.

Таким образом, предложенный способ может быть использован для внедрения в системы хранения данных, используемых для видеоконтроля железнодорожного транспорта.

#### Список литературы

- 1 Макарецкий, Е. Телевизионные измерительные системы контроля скоростного режима дорожного движения / Е. Макарецкий, А. Овчинников, Л. Хиеунгуен // Компоненты и технологии. – 2007. – № 4 (69). – С. 34–37.
- 2 Васин, Н. Н. Метод обработки видеосигналов для измерения скорости протяженных объектов / Н. Н. Васин, В. Ю. Куринский // Инфокоммуникационные технологии. – 2010. – Т. 8, № 2. – С. 36–39.
- 3 Васин, Н. Н. Способ измерения скорости движения протяжённых объектов / Н. Н. Васин, В. Ю. Куринский // Патент на изобретение РФ № 2398240. Опубл. 27.08.2010.
- 4 Дязитдинов, Р. Р. Использование фрагментов телевизионного изображения системы технического зрения для верификации повышения помехоустойчивости измерений скорости протяженного объекта / Р. Р. Дязитдинов, Н. Н. Васин // Труды учебных заведений связи. – 2022. – Т. 8, № 1. – С. 10–17. – DOI:10.31854/1813-324X-2022-8-1-10-17
- 5 Дязитдинов, Р. Р. Способ измерения скорости движения протяжённых объектов / Р. Р. Дязитдинов, Н. Н. Васин // Патент РФ № 2747041; заявка 2020122948/28; заявл. 10.07.2020; опубл. 23.04.2021.

УДК 004.052.32+681.518.5

### **САМОДВОЙСТВЕННЫЕ СТРУКТУРЫ С КОРРЕКЦИЕЙ ОШИБОК В ВЫЧИСЛЕНИЯХ НА ОСНОВЕ ЛОГИЧЕСКОГО ДОПОЛНЕНИЯ ДЛЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

*Д. В. ЕФАНОВ*

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Российская Федерация  
Российский университет транспорта, г. Москва*

Одним из подходов к синтезу самопроверяемых цифровых устройств является использование контроля вычислений по признаку самодвойственности вычисляемых функций [1]. Его использование на практике позволяет не только обеспечивать обнаружение неисправностей в устройствах, но и, как показано в [2], значительно повышать показатели контролепригодности структуры устройства за счет увеличения числа тестовых комбинаций среди рабочих (повышения показателей наблюдаемости). Это особенно важно при реализации устройств в составе систем критического

применения (атомной промышленности, систем управления в авиации и в космосе, систем обеспечения безопасности на транспорте и др.), так как позволяет исключать накопление неисправностей и, как следствие, возможные опасные нарушения при реализации функций и алгоритмов [3, 4].

В [5] предложена самодвойственная структура отказоустойчивого устройства, основанная на использовании контроля вычислений по паритету и базирующаяся на принципах логического дополнения. Сам метод логического дополнения описан в [6]. Здесь он применен для построения блока вычисления контрольных функций в структуре блока фиксации искаженных сигналов. В [7] предложены структуры организации отказоустойчивых устройств на основе логического дополнения с контролем вычислений по паритету. Развивая идею, освещенную в этой статье, можно предложить семейство структур отказоустойчивых устройств с контролем вычислений по признаку самодвойственности вычисляемых функций. При этом рассматриваются одиночные неисправности, которые могут возникать только в отдельных функциональных блоках. Семейство включает в себя:

- 1) структуру отказоустойчивого устройства, основанную на методе дублирования с самодвойственным контролем вычислений основным блоком;
- 2) структуру отказоустойчивого устройства, основанную на методе дублирования с самодвойственным контролем вычислений блоком контрольной логики;
- 3) структуру отказоустойчивого устройства, основанную на использовании логического дополнения при реализации блока фиксации искаженных сигналов с контролем вычислений основным блоком;
- 4) структуру отказоустойчивого устройства, основанную на использовании логического дополнения при реализации блока фиксации искаженных сигналов с контролем вычислений блоком контрольной логики;
- 5) обобщенную структуру отказоустойчивого устройства с контролем вычислений по признаку самодвойственности формируемых функций.

Опишем последнюю (рисунок 1). В данной структуре укрупненно можно выделить три функциональных блока. Устройство  $F(x)$  представляет собой исходный объект, для которого решается задача синтеза отказоустойчивой структуры. Блок коррекции сигналов (БКС) предназначен для исправления значений неверно вычисленных устройством  $F(x)$  функций. Блок фиксации искаженных сигналов (БФИС) определяет, какие из функций требуется корректировать. БФИС имеет особую реализацию. В его составе есть блок логического дополнения  $G(x)$ , блок вычисления функций коррекции  $R(x)$ , два каскада устройств сравнения (элементы  $XOR a_i, i = \overline{1, m}$ ) и коррекции (элементы  $XOR b_i, i = \overline{1, m}$ ). В обобщенной структуре контролируются вычисления блоками  $G(x)$  и  $R(x)$  по методу «самодвойственного паритета» [8]. Для контроля вычислений установлен кодер кода паритета  $P(f)$ , реализующий функцию  $\psi = g_1 \oplus g_2 \oplus \dots \oplus g_{m-1} \oplus g_m \oplus r_1 \oplus r_2 \oplus \dots \oplus r_{m-1} \oplus r_m$ , которая преобразуется в самодвойственную по формуле:  $v = \psi \oplus \delta$ . Функцию  $\delta$  вычисляет специальный блок самодвойственного дополнения. Методы ее вычисления приведены, например, в [9]. Контроль самодвойственности функции  $v$  осуществляется с помощью тестера самодвойственности  $SSC$  (*self-dual self-checking checker*), принцип действия которого описан в [10]. На выходах тестера формируется парафазный сигнал  $z^0 z^1 = 01$  или  $z^0 z^1 = 10$  в том случае, если ошибок в вычислениях нет; в противном случае, при наличии ошибок, будет зафиксирован непарафазный сигнал. Выходы  $SSC$  подключены к входам элемента  $XOR$ , на выходе которого формируется сигнал ошибки  $\varepsilon$ . При этом выполняется равенство:  $\varepsilon = \left( (z^0 = 0) \oplus (z^1 = 0) \right) \vee \left( (z^0 = 1) \oplus (z^1 = 1) \right) = 0$ . Если схема встроенного контроля зафиксировала ошибку, то БКС не должен производить коррекцию функций, поскольку ошибка присутствует в БФИС, а не в  $F(x)$ . Если же схема контроля выдает сигнал логической единицы, то это означает исправность БФИС. Возникающая неисправность в блоке  $F(x)$  приведет к несоответствию значений функций с одинаковыми индексами, вычисляемыми на выходах блоков  $F(x)$  и  $G(x)$ , а также к выделению на элементах  $XOR b_i, i = \overline{1, m}$  тех функций, значения которых требуется скорректировать. Формирование сигнала логической единицы на выходе элемента  $b_i$  является сигналом к коррекции значения  $i$ -й функции, которая и осуществляется в БКС.

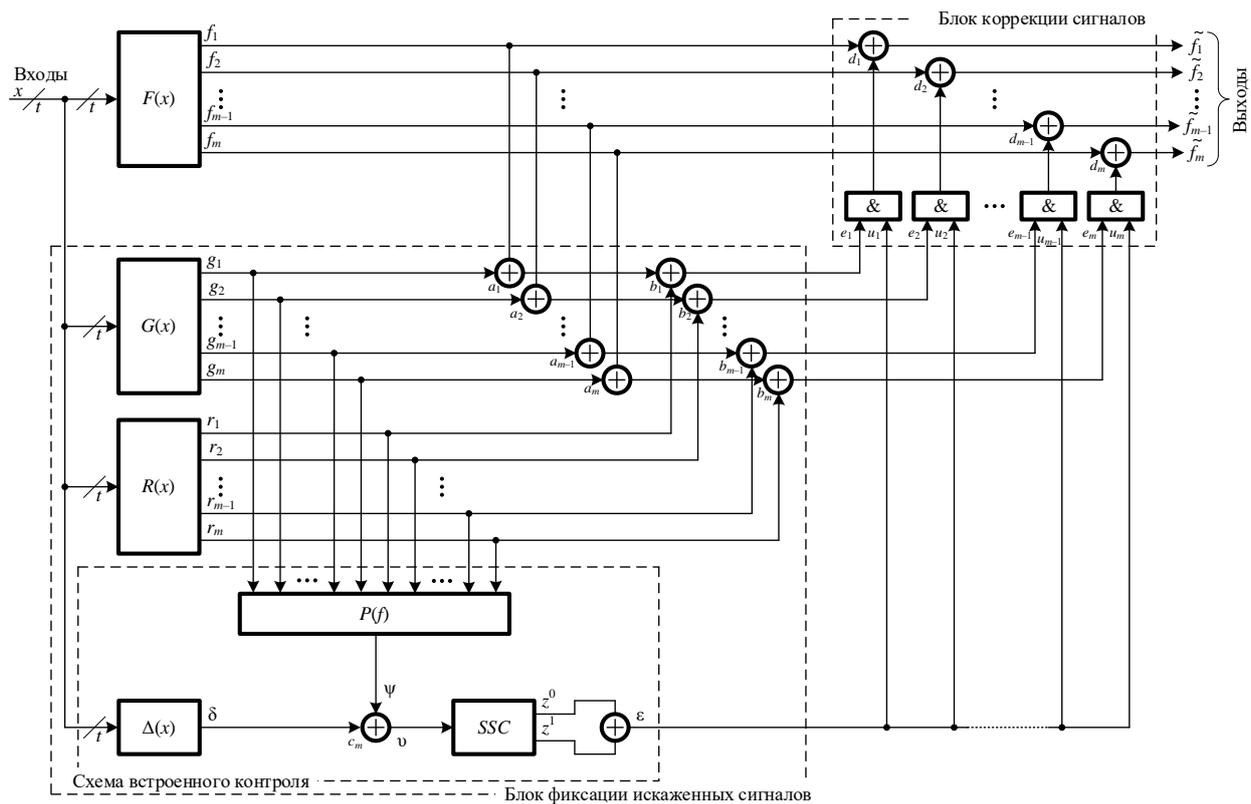


Рисунок 1 – Обобщенная структура отказоустойчивого устройства с контролем вычислений по признаку самодвойственности формируемых функций

Исследование представленной структуры и различных ее модификаций показали эффективность коррекции, однако выявили некоторые особенности:

1) в структуре осуществляется «групповая коррекция значений функций» – если ошибка вызывает искажения значений нескольких функций происходит исправление всех этих функций одновременно, а не части из них;

2) ошибки на выходах элементов в структуре БКС не корректируются, что требует реализации их по особым принципам (высоконадежными) [11];

3) контроль вычислений по паритету приводит к маскировке ошибок с четными кратностями, что требует реализации схемы контроля по паритету с выделением групп независимых выходов [12] или же применения другого кода для контроля вычислений [13].

Развитие методов синтеза самопроверяемых и отказоустойчивых цифровых устройств способствует совершенствованию технологий реализации надежных и безопасных микропроцессорных систем управления.

#### Список литературы

1 Reynolds, D. A. Fault Detection Capabilities of Alternating Logic / D. A. Reynolds, G. Meize // IEEE Transactions on Computers. – 1978. – Vol. C-27. – Issue 12. – P. 1093–1098. – DOI: 10.1109/TC.1978.1675011.

2 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.

3 Checkability of the Digital Components in Safety-Critical Systems: Problems and Solutions / A. Drozd [et al.] // Proceedings of 9th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2011). – Sevastopol, 2011. – P. 411–416. – Doi: 10.1109/EWDTS.2011.6116606.

4 Сапожников, Вл. В. Синтез систем управления движением поездов на железнодорожных станциях с исключением опасных отказов / Вл. В. Сапожников. – М. : Наука, 2021. – 229 с.

5 Ефанов, Д. В. Самодвойственная отказоустойчивая структура для комбинационных составляющих микроэлектронных систем управления / Д. В. Ефанов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. Ч. I / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 188–191. – ISBN 978-985-891-052-5 (ч. 1).

6 Логическое дополнение – новый метод контроля комбинационных схем / М. Гессель [и др.] // Автоматика и телемеханика. – 2003. – № 1. – С. 167–176.

7 **Ефанов, Д. В.** Отказоустойчивые структуры цифровых устройств на основе логического дополнения / Д. В. Ефанов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2021. – № 8. – С. 140–158. – DOI: 10.31857/S0005231021080079.

8 Self-Dual Parity Checking – a New Method for on Line Testing / Vl. V. Saposhnikov [et al.] // Proceedings of 14th IEEE VLSI Test Symposium. – USA, Princeton: 1996. – P. 162–168.

9 Самотестируемая структура для функционального обнаружения отказов в комбинационных схемах / М. Гессель [и др.] // Автоматика и телемеханика. – 1999. – № 11. – С. 162–174.

10 **Ефанов, Д. В.** Самодвойственный контроль комбинационных схем с применением кодов Хэмминга / Д. В. Ефанов, Т. С. Погодина // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). – 2022. – № 3. – С. 113–122. – DOI: 10.31114/2078-7707-2022-3-113-122.

11 **Гавзов, Д. В.** Методы обеспечения безопасности дискретных систем / Д. В. Гавзов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 1994. – № 8. – С. 3–50.

12 **Согомонян, Е. С.** Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы / Е. С. Согомонян, Е. В. Слабаков. – М.: Радио и связь, 1989. – 208 с.

13 **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.

УДК 621.3.019.3+656.25

## **ТЕХНОЛОГИИ УВЯЗКИ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ С СИСТЕМАМИ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ**

*Д. В. ЕФАНОВ<sup>1,2</sup>, Е. М. МИХАЙЛЮТА<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Российская Федерация*

*<sup>2</sup>Российский университет транспорта, г. Москва*

Системы управления движением поездов и, в частности, технические средства железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), реализуются в соответствии с конкретными условиями и требованиями по обеспечению безопасности перевозочного процесса [1–3]. Устройства и системы ЖАТ, как информационно-управляющие средства, обладают высокими показателями надежности и безопасности, однако они не способны автоматически учитывать многие дефекты инфраструктуры железных дорог [4]. Примеров таких дефектов множество: разворот консоли на опоре контактной сети в габарит приближения строений, расширение колеи, дефекты мостовых сооружений, попадание в габарит приближения строений горных пород в скалистой местности и т. д. Во многих случаях даже внимания машиниста или поездного диспетчера может оказаться недостаточно для предотвращения аварии или катастрофы. Следует признать, что система ЖАТ имеет недостаточное количество информации об объектах инфраструктуры для обеспечения безопасности движения поездов.

Наверное, поворотным моментом в смысле организации «общения» между стационарными средствами мониторинга и средствами управления движением поездов стал случай разрушения мостового сооружения, произошедший 1 июня 2020 года на Октябрьской железной дороге в Российской Федерации [5]. Напомним, что на мосту через реку Кола в Мурманской области (1436 км 1 пк Октябрьской железной дороги) в результате внешних дестабилизирующих факторов произошел подмыв опоры, вызывавший разрушение мостового сооружения. Сигнал на светофоре остался разрешающим. Катастрофы удалось избежать благодаря действиям машиниста. Спустя полгода был построен новый мост, который был оборудован системой мониторинга инженерных конструкций и сооружений (СМИК) [6]. Пожеланием эксплуатирующих подразделений ОАО «РЖД» была организация увязки заградительной сигнализации мостового сооружения с установленной СМИК. Как оказалось, безопасно это сделать не так просто – требуется на уровне нормативной документации определить технологии безопасной реализации СМИК, безопасной увязки со средствами ЖАТ, обеспечения безопасного поведения участников и организаторов движения при наличии дефектов инфраструктурного комплекса [7].

В ходе исследования были установлены методы и способы организации увязки СМИК и средств обеспечения безопасности движения поездов:

- 1) с системой речевого оповещения монтеров пути;
- 2) системой диспетчерского контроля устройств и систем ЖАТ с выводом данных на пульт-табло (табло) системы электрической централизации, дежурному по станции, поездному диспетчеру;