

Қазақстан Республикасы Тәуелсіздігінің 30 жылдығына арналған «Сейфуллин оқулары – 17: «Қазіргі аграрлық ғылым: цифрлық трансформация» атты халықаралық ғылыми – тәжірибелік конференцияға материалдар = Материалы международной научно – теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 17: «Современная аграрная наука: цифровая трансформация», посвященной 30 – летию Независимости Республики Казахстан.- 2021.- Т.1, Ч.3 - С. 49 – 52

## ОБНАРУЖЕНИЕ И ИСПРАВЛЕНИЕ ОШИБОК В ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ

*Самарканов Д.Ж.,  
Хамзина Б.Е.,  
Наурыз К.Ж.*

В данной статье представлена разработанная схема по обнаружению и исправлению ошибок для защиты информации, передаваемой между устройствами, актуальная для задач технической диагностики систем автоматики и вычислительной техники. Смоделированная схема реализуется на отладочной плате ZYBO. Схема-используется в запоминающих системах повышенной надежности, выполненных на функциональных узлах с большой и средней степенью интеграции и целью разработанной схемы является исправление однократной и обнаружение двукратной ошибки с помощью кода Хэмминга.

*Ключевые слова:* блочный код, канальное кодирование, контроль ошибок, код Хэмминга, VHDL

Информация становится главным богатством 21 века, а ее утечка серьезной проблемой и реальной угрозой для большинства устройств связи. Данные могут быть утеряны по причине злого умысла третьих лиц, при больших расстояниях между посылающей и принимающей стороной и от магнитных полей других устройств. Цифровые системы очень чувствительны к ошибкам, в случае не обнаружения неисправности, система будут давать сбой из-за малейших ошибок в передаваемых кодах. Поэтому, чтобы защитить устройства связи от ошибок используют кодирование информации, которое гарантирует защищенность, а также восстановление данных.

Существуют различные методы обнаружения и исправления ошибок, которые подразделяются на блочные и сверточные коды. Применение схем блочных кодов является решением при утечке и потере информации во время передачи. Блочные коды используют добавление дополнительных битов, которые не содержат никакой информации и служат только для надежности и защиты данных. Мы выбрали блочные коды, чтобы минимизировать утечку и потерю информации во время передачи данных между устройствами связи.

Не во всех устройствах связи оперативное запоминающее устройство позволяет обнаруживать и исправлять ошибки при передаче данных, поэтому

нами была разработана программа обнаружения и исправления ошибок непосредственно в ядре процессора отладочной платы.

Код Хэмминга, относящиеся к классу блочных кодов, позволяет обнаруживать двойные ошибки и исправлять одноразовые ошибки в каналах передачи данных, и использует не один, а несколько битов аутентификации, обладающие некоторыми функциями по модулю двух информационных битов. Код Хэмминга состоит из двух частей: где первая кодирует исходное сообщение, изменяя информацию в двоичный код, а вторая - получает входящее сообщение и превращает двоичный код обратно в исходное состояние. Если полученная информация совпадает с исходной, то сообщение получено без ошибок, в противном случае, выводится сообщение об ошибке и при наличии ошибки она исправляется. Код Хэмминга обнаруживает все ошибки, которые допускаются во время передачи данных, восстанавливает однократные ошибки и обнаруживает двукратные ошибки, но не исправляет их. Главным недостатком данного кода неспособность исправить двукратные ошибки [1, 2].

Для обнаружения двукратных ошибок и исправления однократных ошибок нами была разработана схема, созданная на основе модифицированного кода Хэмминга, и алгоритма для обнаружения и исправления ошибок. Схема обнаружения и исправления ошибок работает без применения оперативного запоминающего устройства (рисунок 1):

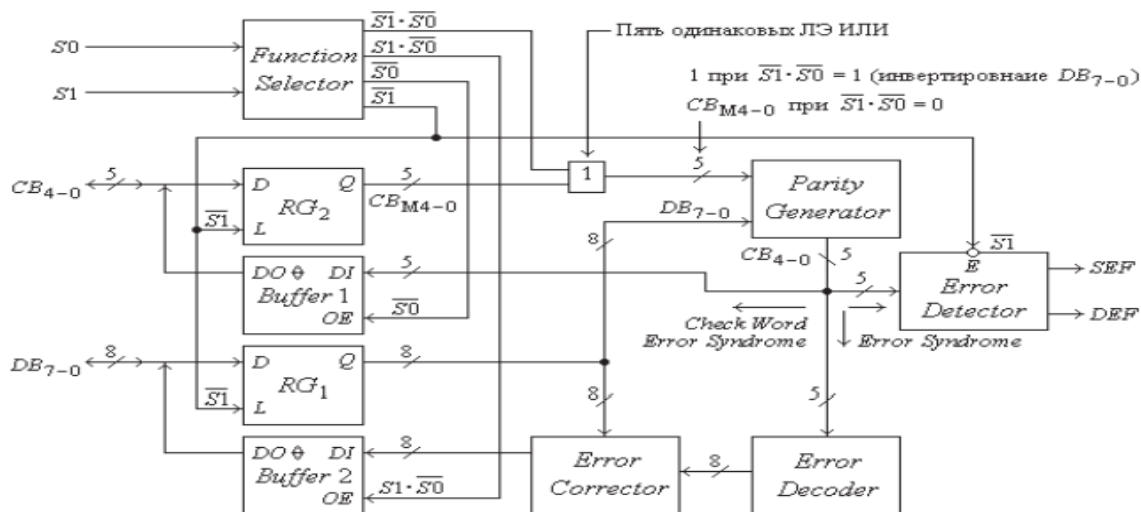


Рис.1 Структурная схема обнаружения и исправления ошибок

Данная схема позволяет добавить дополнительные биты при передаче данных, чтобы восстановить утерянные данные или исправить ошибки. Она состоит из кодера, в виде параллельного соединения регистров и буферов, который добавляет дополнительные биты и кодирует информацию, и декодера, который декодирует информацию, и при нахождении ошибки, исправляет ее.

Разработанная схема была реализована на платформе САПР Vivado, так как она позволяет строить сложные цифровые системы на алгоритмическом

уровне и преобразовывать схему в RTL-описание в виде простейших логических элементов цифровой техники

Согласно разработанной схеме была смоделирована VHDL-модель обнаружения и исправления ошибок по коду Хэмминга на платформе САПР (рисунок 2). С помощью которой было построено RTL-описание обнаружения двукратных и исправления однократных ошибок платформой Vivado, для того чтобы она могла создать RTL-описание и после загрузить эту схему в отладочную плату (рисунок 3).

Для тестирования загруженной в отладочную плату схемы, были искусственно запущены однократные и двукратные ошибки с помощью написанной нами тестирующей VHDL-модели и в результате отладочная плата исправила их и вернула информацию в исходное состояние. Была получена диаграмма с результатами проведенного тестирования (рисунок 4) (( ) – создание однократной ошибки и двукратной ошибки, ( ) – исправление однократной ошибки и обнаружение двукратной, ( ) – возвращение исходного состояния).[3]

Для тестирования смоделированной схемы была использована отладочная плата DL-ZyBoZynq-7000 тип кристалла (SoC) ZYNQ XC7Z2010-1CLG400C фирмы Xilinx, имеющая двухъядерный ARM Cortex-A9 процессор и ПЛИС Xilinx 7-ой серии. ZYBO совместим с САПР Vivado. Данная плата была выбрана из-за своей высокой производительности. [4]

Нами были рассмотрены преимущества и недостатки кода Хэмминга, разработана схема исправления однократных и обнаружения двукратных ошибок. На основе данной схемы смоделирована VHDL-модель на платформе САПР Vivado, позволяющая строить сложные цифровые системы на алгоритмическом уровне и преобразовывать схему в RTL-описание в виде простейших логических элементов цифровой техники. С помощью USB кабеля загружено полученное RTL -описание на отладочную плату ZYBO. В ходе тестирования отладочная плата показала исправление искусственно запущенных нами ошибок.

```
19
20 library IEEE;
21 use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
22
23 -- Uncomment the following library declaration if using
24 -- arithmetic functions with Signed or Unsigned values
25 --use IEEE.NUMERIC_STD.ALL;
26
27 -- Uncomment the following library declaration if instantiating
28 -- any Xilinx primitives in this code.
29 --library UNISIM;
30 --use UNISIM.VComponents.all;
31
32 entity xor_z is
33 port(x1,x2,oe:in bit;
34      yz:out bit);
35 end xor_z;
36
37 architecture Behavioral of xor_z is
38 component xor_2
39 Port ( a,b: in BIT;
40        y : out BIT);
41 end component;
42 component tri_buff
43 port(
44     Signal_in :in bit;
45     Signal_out:out bit;
46     Enable:in bit);
47 end component;
48 signal d1:bit;
49 begin
50 met_1: xor_2 port map (a=> x1, b => x2, y=>d1);
51 met_2: tri_buff port map (Signal_in=>d1,Signal_out=>Yz,Enable=>OE);
52 end Behavioral;
```

Рис. 2 Структурное описание обнаружения и исправления ошибок

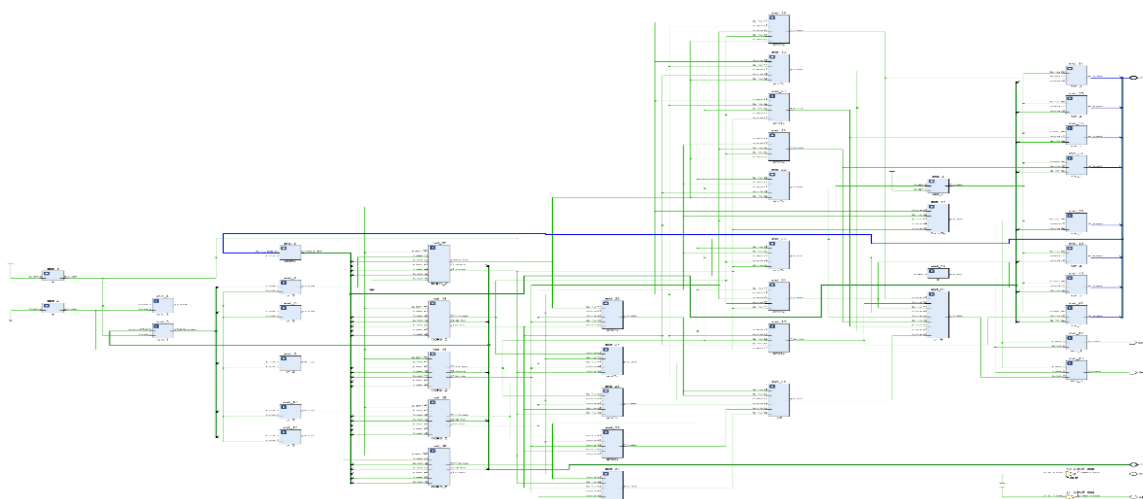


Рис.3 RTL-описание обнаружения и исправления ошибок.

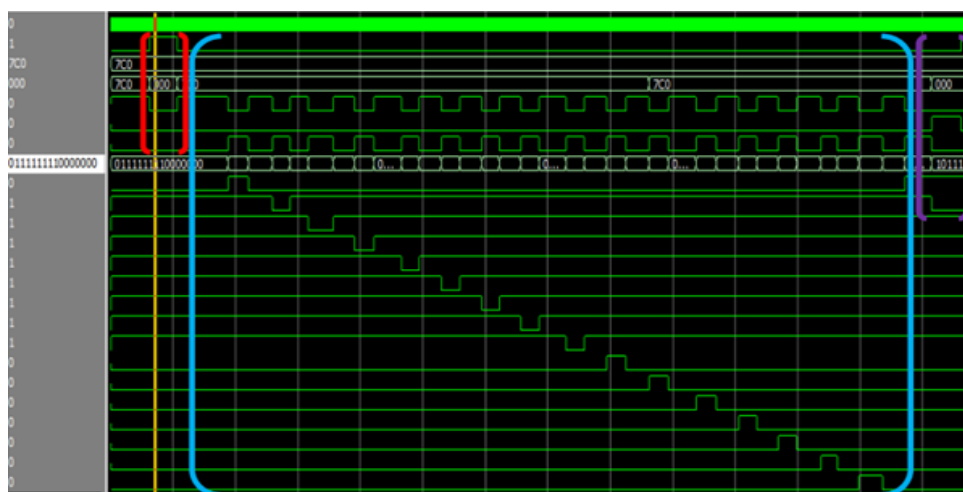


Рис. 4 Результат тестирования по обнаружению и исправлению ошибок.

### Список литературы

1. Скляр Бернад Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 4-е, исп.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2017. – 1104 с.
2. Бибило П.Н. Основы языка VHDL / П. Н. Бибило. – 6-е изд. – Москва: URSS: ЛИБРОКОМ, 2014. – 328 с.
3. Caleb Hillier and Vipin Balyan. Error Detection and Correction On-Board Nanosatellites Using Hamming Codes. Режим доступа: <https://www.hindawi.com/journals/jecce/2019/3905094/> Дата обращения: 20.09.2020.
- 4.Руководство отладочной платы ZYBO. 2016. Режим доступа: [https://reference.digilentinc.com/\\_media/zybo:zybo\\_rm.pdf](https://reference.digilentinc.com/_media/zybo:zybo_rm.pdf). Дата обращения: 10.09.2020