

Повышение стойкости цифрового телевидения к помехам

Фильф М. С., ORCID [0000-0001-9602-5517](https://orcid.org/0000-0001-9602-5517)

Лебедев Д. Ю., к.т.н. доц., ORCID [0000-0001-8672-8366](https://orcid.org/0000-0001-8672-8366)

Павлов^s Л. Н., к.т.н. доц., ORCID [0000-0001-8273-9607](https://orcid.org/0000-0001-8273-9607)

Кафедра конструирования электронно-вычислительной аппаратуры

Факультет электроники

Национальный технический университет Украины

"Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"

Киев, Украина

Аннотация—Предложено развитие принципа избыточной информации в потоке данных системы цифрового телевидения. Предложение ориентировано на будущие системы телевидения и его суть состоит в обработке битового потока методами, которые изначально существовали в аналоговом, дискретно-аналоговом виде, а затем и в виде цифровой фильтрации. Для этого вводится избыточность в поток данных, что позволяет перейти от битового потока к его векторному представлению. Предложен критерий обнаружения логического вектора сигнала— это уровень, который разделяет поле обнаружения на две области: область обнаружения логического нуля и область обнаружения логической единицы. Ширина каждой области учитывает вероятность появления логической единицы и нуля соответственно. В работе также предложены модели блоков кодирования и декодирования, которые опробованы моделированием по критерию с одинаковыми вероятностями появления единицы и нуля. Выполнено моделирование для двух вариантов развития принципа избыточности. В первом варианте избыточность вводилась пятикратной передачей одного и того же информационного бита. На приёмной стороне осуществлялось обнаружение битовой информации и преобразование в аналоговый вектор. В зависимости от длины вектора принималось решение об обнаружении и декодировании принятого информационного бита.

Во втором случае на передающей стороне осуществлялось кодирование каждого информационного бита пятиразрядным кодом Баркера. При этом значение логической 1 преобразовывалось в логический вектор, содержащий прямой код Баркера, а значение логического 0 формировалось в виде инверсного кода Баркера.

На стороне приёмника выполнялось, как и в первом случае, обнаружение битовой информации, преобразование логических данных в аналоговый вектор и выполнялась операция свёртки этого вектора с опорной последовательностью в виде компонентов +1 и -1, которая соответствует развёрнутому коду Баркера. Полученное значение корреляционного импульса в соответствии с критерием обнаружения преобразовывалось в информационный логический 0 или 1 принимаемого потока данных.

Преимущество предложенного принципа избыточности информации состоит в том, что реализация осуществляется без вмешательства в радиотехнические блоки. Соответственно расширения спектра сигнала не наблюдается. Отмечено, что реализация возможна без потери скорости передачи при наличии 5 выделенных несущих (поднесущих). При передаче в рамках одной несущей объём изображения должен быть соответственно уменьшен, либо скорость передачи придётся уменьшить в 5 раз. Моделирование выполнено для случая работы эфирного телевидения с помощью системы MATLAB.

Ключевые слова — избыточная информация; логический вектор; обнаружение логического сигнала; логическая свёртка; код Баркера.

I. ВСТУПЛЕНИЕ

Сообщение о международной выставке «Информационные и коммуникационные технологии» подтверждает, что несмотря на расширенные возможности современной телеаппаратуры, качество сигнала до сих пор очень часто оставляет желать лучшего [1]. Этот факт побуждает искать новую возможность для повышения стойкости цифрового телевидения к помехам, что и составляет цель данной работы.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И АНАЛИЗ ДОСТИЖЕНИЙ

Для достижения этой цели необходимо:

- 1) Определить параметр, который будет взят за основу при рассмотрении пути достижения цели работы.
- 2) Исследовать особенности формирования цифрового телевизионного сигнала цифрового телевидения.
- 3) Прояснить закономерность возникновения неустойчивости.
- 4) Предложить альтернативный подход.

В соответствии со стандартами цифрового телевидения качество телевизионного сигнала характеризуют:



- Отношение уровня несущей (поднесущей) к уровню шумов CNR (Carrier to Noise Ratio).
- Отношение уровня сигнала к уровню шумов SNR (Signal to Noise Ratio).
- Коэффициент ошибок модуляции MER (Modulation Error Ratio).
- Коэффициент битовых ошибок BER (Bit Error Ratio).
- Уровень сигнала на входе приёмника RISL (Receiver Input Signal Level).
- Вид модуляции MT (Modulation Techniques).

В работе не предполагается вмешательство в радиоканал, поэтому в качестве критерия для сравнения решений выбирается параметр BER,

Формирование цифрового телевизионного сигнала осуществляется кодированием аналогового сигнала изображения и звука. При этом наработаны самые различные алгоритмы кодирования в рамках стандартов MPEG1...MPEG4. Семейство алгоритмов кодирования изображения продолжает пополняться [2-12], но суть кодирования остаётся неизменной: усилия разработчиков направлены на сжатие изображения путём использования кадровых и междустрочных связей при котором тщательно вычищается любая информация, удаление которой не окажет существенного влияния на качество изображения при одном-единственном условии: ни один бит оставшейся информации не должен быть утерян.

Особое место занимает помехозащищённое кодирование системы с кодовым разделением сигналов — CDMA. Перед направлением в канал связи один информационный бит кодируется бинарной последовательностью. Для разделения сигналов на приёмной стороне используется операция свёртки принятого сигнала с зеркальным кодом. Подобный подход позволяет существенно повысить помехозащищённость приёма сигналов. Предельные возможности этого метода отражены в работе [13]. Авторские наработки в этой области отражены в частности в работах [14-16]. Особенность такой системы состоит в необходимости существенного расширения спектра сигнала для сохранения темпа передачи данных. С другой стороны, расплывчатый спектр позволяет осуществлять связь с использованием общей антенны мультимедийного канала связи.

Аналогичные подходы направлены на сжатие звука [7]. Истоки этих алгоритмов можно найти в широко известных трудах по цифровой телефонии.

С одной стороны, общепризнанными причинами нарушения связи выступают помехи и шум. Источником помех в эфирном телевидении могут быть станции мобильной связи, компьютеры и мобильные телефоны, промышленное и авиационное оборудование, электротранспорт, гроза, отражения, перекрытие спектров, грозы и т.п. На соотношение сигнал шум оказывает влияние естественная кривизна поверхности Земли, рельеф, высота установки приёмной

антенны, длина и качество антенного кабеля. Преодоление этих причин неустойчивости сигнала цифрового эфирного телевидения состоит в организационно-технических мероприятиях и дополнительной фильтрации [17].

С другой стороны, как показали исследования источников [2-12], усилия по кодированию изображения автоматически подразумевают сжатие информации максимально возможным образом.

Предварительные выводы:

- На этапе формирования кода изображения закладывается высокая чувствительность оригинала изображения к поражению даже одного бита кодовой комбинации в любой системе кодирования цветного телевидения.
- Дефектность воспроизведения изображения при кодовой ошибке зависит от алгоритма сжатия при кодировании. Чем выше степень сжатия, тем выше степень дефектности при воспроизведении.
- Природа возникновения ошибок кода различна в зависимости от канала связи между передатчиком и приёмником изображения, но общим признаком является искажение спектра в канале связи.

Следовательно, необходимо рассматривать альтернативные подходы к уменьшению количества кодовых ошибок.

С точки зрения теории информации надёжность связи можно повысить за счёт повышения объёма информации и за счёт этого снизить количество ошибок. Именно этот эффект используется в системах DVB CDMA. Например, информационный бит замещается пакетом в виде кода Баркера, либо псевдослучайной, но при этом для сохранения скорости передачи приходится существенно расширять спектр сигнала. В то же время принцип избыточности уже реализован в системах цифрового телевидения в представлении потока данных в виде кодов Рида-Соломона.

Основная задача данной работы решается исследованием возможности расширения принципа избыточности на уровне битового потока данных в системе цифрового телевидения. При анализе существующих публикаций подобный аспект не был выявлен. Существующие системы, в том числе с CDMA, оперируют с физическими, а не с логическими структурами. В этом – коренное отличие. Именно поэтому осуществление операции свёртки в известных системах требовало расширения спектра телевизионного сигнала, а предлагаемый метод предполагает использование существующего оборудования без расширения спектра.

Поводом для этих изысканий послужил многолетний опыт создания аналоговых программируемых асинхронных корреляторов [15].

Полнота исследований требовала проверки: существует ли логическая свёртка? Работа по терминологии «логическая свёртка» выявлена [17]. Она определена в поле логических операций на основе авторских



определений P и Z рядов, касается решения задач прикладного проектирования регуляторов, составляет отдельную область и не имеет отношения к направлению данной работы.

Решение поставленной задачи можно считать доказанным, если будут представлены результаты экспериментов или хотя бы расчётов. Ввиду того, что рассматривается только начальная стадия работ, представляется целесообразным ограничиться на этом этапе только расчётами.

III. МОДЕЛИ ДЛЯ СИМУЛЯЦИИ РАСШИРЕНИЯ ИЗБЫТОЧНОСТИ В DVB

Проясним суть развития принципа избыточной информации. Предлагается перенести метод обработки аналогового сигнала на логический вектор. В соответствии с этим необходимо:

- Осуществить расширение каждого логического бита на стороне передатчика до логического вектора.
- Передать в канал связи сигнал, модулированный этим вектором через существующее оборудование передатчика. При наличии свободных несущих (поднесущих) возможна параллельная передача компонентов логического вектора. В этом случае возможна передачи данных без уменьшения скорости передачи и расширения спектра сигнала. При выделении на канал только одной несущей, потребуется существенная редукция данных с заведомой потерей уровня качества изображения ради сохранения общей работоспособности канала.
- Сформировать критерий обнаружения логического вектора на стороне приёмника.
- Верифицировать обнаруженный сигнал логического вектора.

На данном этапе работы критерий обнаружения – это уровень, который разделяет поле обнаружения на две области: область обнаружения логического нуля и область обнаружения логической единицы. Ширина каждой области учитывает вероятность появления логической единицы (нуля).

Верификация результата приёма возможна по двум алгоритмам: первый основан на логической свёртке принятого вектора, а второй подразумевает последовательное накопление модуля вектора.

Выполнение перечисленных шагов возможно, если предложены модели блоков кодирования и декодирования, что выполняется в рамках данной работы. Для полной верификации исследований существуют готовые модели цветного телевидения в системе MATLAB [19-20].

Сформируем требования к проверке принципа расширения избыточной информации. Для моделирования процесса обработки необходима верификация результата по отношению к исходной структуре, которая напрямую моделирует систему цифрового

телевидения DVB. Следовательно, необходима имитация и сопоставление двух процессов в одних и тех же условиях распространения сигнала. Таким образом, приходим к построению имитатора, который должен отвечать требованиям:

- Имитатор должен содержать базовую структуру в качестве опорной модели для сравнения с избыточной структурой.
- Имитатор должен содержать также блоки избыточной структуры.
- Имитатор должен обеспечивать возможность шумового воздействия на битовый поток данных одинаково как для базовой модели, так и для вариантов расширения.
- Структура имитатора должны содержать блоки контроля прохождения информации для оценки подверженности шумам канала и отображения результатов обнаружения ошибок.
- Реализации моделей избыточной структуры в имитаторе должны оставаться тождественными базовой структуре, иначе выводы по итогам моделирования нельзя считать корректными.
- Должна быть предусмотрена функция мониторинга на блоках обработки информации.
- В качестве критерия выигрыша от расширения объёма информации использовать параметр BER.
- Имитатор должен быть реализован в автономной и полной модели канала. Автономная модель реализует только битовую часть обработки потока данных. Полная модель подразумевает имплементацию имитатора в систему цифрового телевидения DVB в целом.

Среда моделирования – система MATLAB. Правомочность подхода доказывается тем, что в этой системе уже выполнены модели цветного телевидения, которые прошли многократное тестирование пользователями системы, а самый критический узел – генератор случайных чисел прошёл сравнительный анализ [19-20]. Численно выигрыш сигнал-шум при расширении объёма информации пропорционален корню квадратному от базы сигнала. С другой стороны, скорость передачи при единственной выделенной несущей падает с расширением базы. Поэтому в данном эксперименте принято решение ограничиться коэффициентом расширения $K=5$. Это означает, что один информационный бит будет представлен логическим вектором с пятью компонентами. Тогда выигрыш сигнал-шум можно ожидать в корень квадратный из 5 больше по сравнению с исходной моделью.

В соответствии с представленными требованиями имитатор был реализован в среде MATLAB в виде единого проекта для всех вариантов испытаний: как базовой модели, так и вариантов расширения избы-

точности информации. Подобная реализация позволила избежать системных ошибок моделирования. Отрицательной стороной этого процесса есть то, что структурные схемы вариантов испытаний отражены по сути одной и той же схемой проекта системы MATLAB. Сами же варианты идентифицируются только тем, какие из блоков активированы. Это, возможно, затруднит восприятие структурных схем, но окупится достоверностью результатов анализа. Кроме того, при импорте чертежа структуры из системы MATLAB не всегда можно получить высокое качество рисунков.

Имитатор в режиме базовой усечённой модели, как это указано выше, не предусматривает расширение избыточности информации и в виде структурной схемы отражен на рис. 1а положением ключей. Активные блоки отмечены цифрами, а остальные блоки без разметки зарезервированы для других вариантов реализации моделей. Таким образом, структура базовой модели не выделена отдельно и ориентирована на сопоставимость с расширенными моделями в процессе испытаний. В данном режиме имитатора активны только блоки базовой модели: 1 – генератор данных, имитирующий поток в канале телевидения; 2 – индикатор генерируемых данных; 3, 4 – блок буферизации данных в вектор из пяти бит, позволяющий адекватно сопоставлять базовую и расширенную модели обработки: 3 – собственно буфер, 4 – блок выборки данных; 5 – блок наложения шума на данные; 6 – блок индикации исходных данных; 7 – блок индикации данных с шумом; 8 – блок преобразования пакета из пяти бит в последовательность по одному биту; 9 – блок индикации принятого бита; 10 – блок вычисления ошибок; 11 – блок отражения результата. Не отмеченные цифрами блоки в базовой модели не используются.

Работа базовой модели по рис. 1а состоит в том, что генератор случайных битовых сигналов 1, вырабатывает последовательность, которая призвана имитировать поток данных, отождествляемых с полезной информацией потока данных телевизионного канала. Они поступают по одному биту в каждый фиксированный момент времени. Визуализация информации осуществляется блоком 2. Для проведения базового

эксперимента данные группируются в 5-разрядный буфер 3. Это необходимо для того, чтобы после загрузки блоком выборки 4 в блок наложения шума 5 искажения накладывались одинаково как в базовой, так и в расширенной модели. Степень поражения шумом можно контролировать сопоставлением показаний блоков визуализации 6 и 7. В блоке 8 накапливается результат обработки. После демультимплексирования этот результат отображается в блоке 9. Статистика ошибок и итоговый параметр BER рассчитывается в блоке 10, на вход которого поступают данные после мультимплексирования. Визуализация конечного результата выполняется блоком 11.

Модель кодирования повторением, рис. 1б, предусматривает последовательную пятикратную передачу одного и того же информационного бита и накопление результата. Состав модели повторения кода аналогичен предыдущей, но есть и отличия: 1 – генератор данных; 2 – индикатор данных; 3 – блок кодирования повторением; 4 – блок наложения шума на данные; 5 – блок отображения исходного пакета данных; 6 – блок отображения пакета данных с шумом; 7 – блок декодирования пакета с последовательной пятикратной передачей по одному биту; 8 – блок индикации информационного бита; 9 – блок вычисления ошибок; 10 – блок отражения результата.

Работа этой модели по входу аналогична предыдущей. Отличия начинаются с блока кодирования 3, который имитирует поступления пяти одинаковых бит. Этот вектор из пяти бит подвергается воздействию шума в блоке 4, и в блоке декодирования по заданному алгоритму проводится верификация сигнала: что получено, единица или ноль. Блок подсчёта ошибок, сопоставляя исходный и декодированный сигнал, накапливает значение параметра BER. Блоки визуализации 2, 5, 8 и 10, как и в базовой модели, позволяют контролировать процесс моделирования практически на каждом шаге.

Модель расширения избыточности информации на основе кода Баркера представлена на рис. 1в.

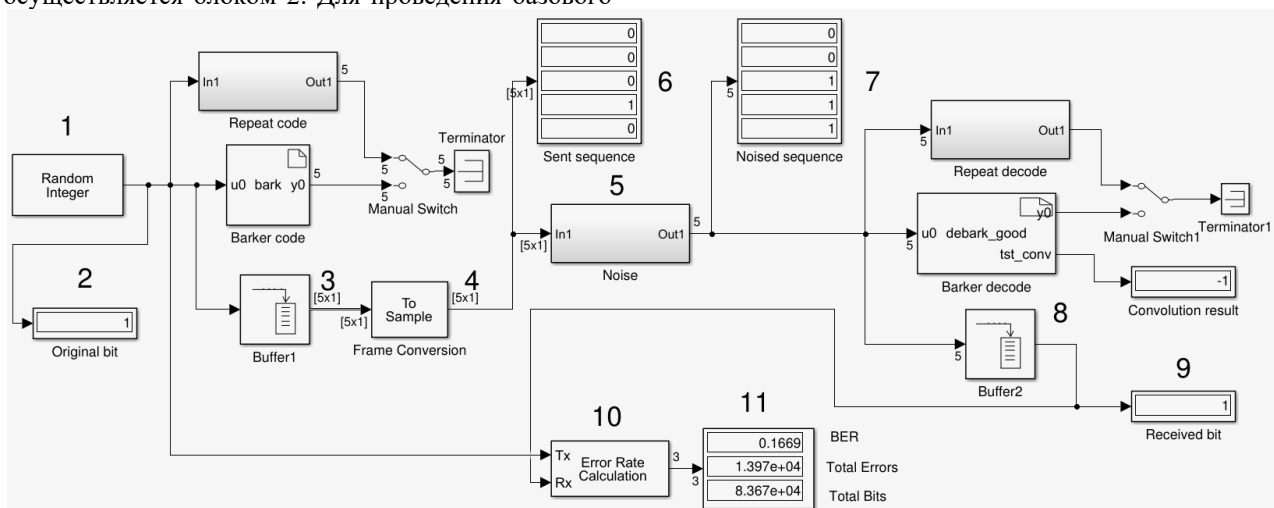


Рис. 1а. Структурная схема имитатора. Базовая модель на битовом уровне



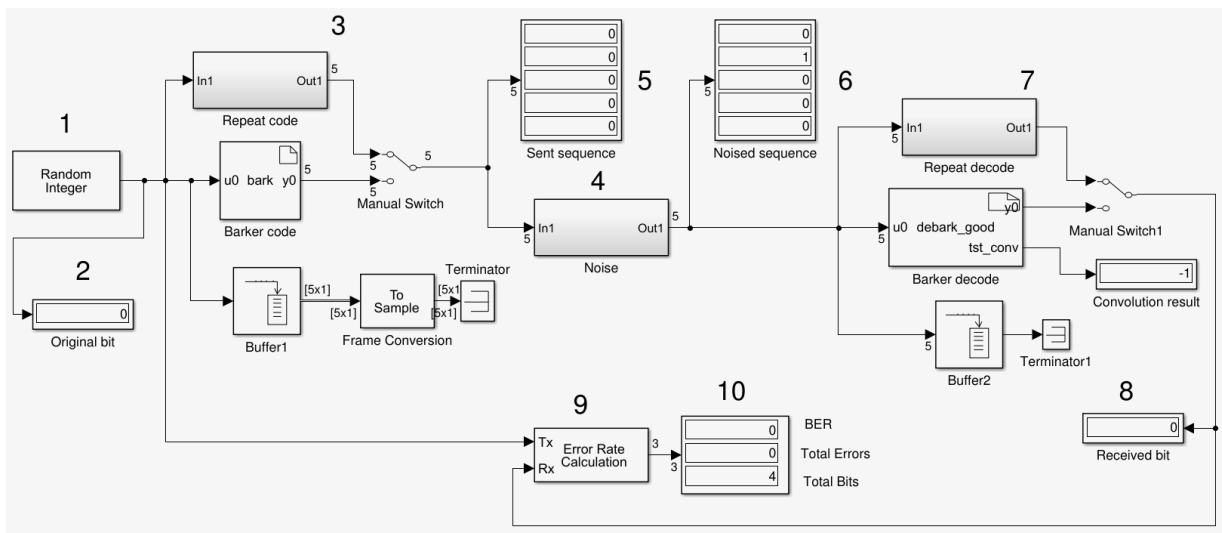


Рис.16. Структурная схема имитатора. Модель повторения кода

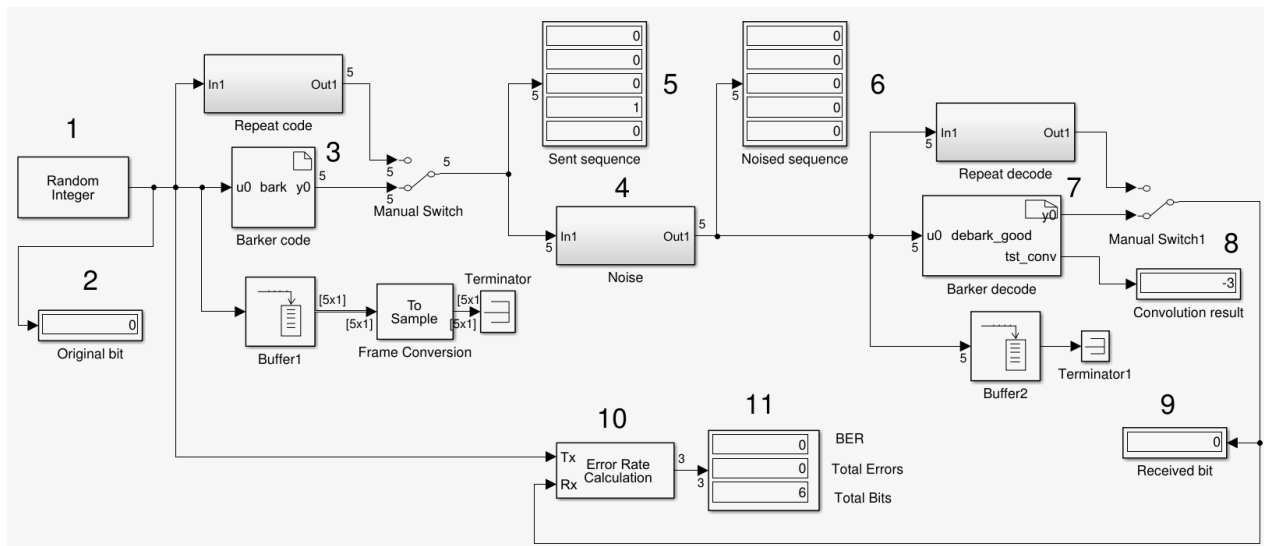


Рис.1в. Структурная схема имитатора. Модель расширения кодом Баркера

Здесь активны те же блоки, что и в предыдущей модели, кроме: 3 – блок расширения кодом Баркера; 7 – декодер кода Баркера. В данной реализации модели каждый бит кодируется 5-разрядным логическим вектором в виде кода Баркера в блоке 3. Полученный пакет поступает в блок наложения шума на данные 4. Контроль процесса наложения шума проводится в блоках 5 и 6. В блоке декодирования 7 осуществляется свёртка искажённого шумом пакета с развёрнутым зеркально кодом Баркера, представленным в виде +1 и -1. Промежуточный результат свёртки отображается в блоке 8, а результат декодирования в битовом формате – в блоке 9. Для накопления и отображения параметра BER используются те же блоки, что и в предыдущих моделях – 10 и 11.

Рассмотрим блоки моделей. Блок наложения шума в имитаторе выполнен по структурной схеме рис. 2. Здесь обозначены: 1 – инвертор, 2 – переключатель и 3 – блок генерации случайных чисел с равномерным распределением. Конкретно для проведения моделирования использована функция `unifrnd`

системы MATLAB. Наложение шума в модели осуществляется следующим образом: каждый пакет из пяти бит демультиплицируется и каждый бит подвергается шумовому воздействию отдельно. А именно, создаётся набор из исходного и инвертированного бита и подаётся на вход мультиплексора. Мультиплексор управляется генератором случайных чисел в диапазоне от -0,2 до 1.

В зависимости от полученного значения шума мультиплексор загрузит либо истинный бит, либо ложный. После мультиплексора формируется новый пакет из пяти бит, который визуализируется на выходе мультиплексора.

Блок декодирования информации модели с повторением битов представлен на рис.3.

Блок содержит сумматор пяти бит и ключа, который осуществляет выборку нуля или единицы в зависимости от суммы на выходе сумматора.

Блоки кодирования и декодирования кодом Баркера имеют двойственный смысл. С одной стороны

код Баркера представляется значениями +1 и -1. Но в битовом поле значение -1 не существует, поэтому при передаче -1 обозначается нулём. Соответственно при расширении избыточности информации логическая единица представляется вектором 11101, а ноль – логическим вектором 00010. В таком виде данные подвергаются воздействию шумов. При декодировании с помощью операции свёртки логический вектор единицы без искажений будет представлен вектором +1, +1, +1, -1, +1, а не искажённый логический вектор нуля компонентами -1, -1, -1, +1, -1. Соответственно получение информационного бита в виде логической единицы будет представлено положительным корреляционным выбросом, а логического нуля – отрицательным. При искажении какого-либо элемента вектора корреляционный пик не будет достигать порога.

В качестве основы для испытания представленных моделей в полной системе DVB из перечня примеров в системе MATLAB выбран commdvbt – Simulink-модель передающей и приёмной части системы цифрового телевидения DVB, рис.4. Эта модель была принята за базовую при проведении тестирования. Модель была дополнена имитатором с моделями расширения избыточности информации. Соответствующие изменения были внесены в блоки «DVB-T 64-QAM Mapper», «OFDM Modulator», «AVGN», «OFDM Demodulator», «DVB-T 64-QAM Demapper», «Delayed Scatter Plot» и «Spectrum Scope». В частности, модель была дополнена блоками буферизации, дополнительного кодирования и декодирования и отображения процесса преобразования расширенной информации. Функционирование предложенных моделей проведено успешно. Но испытание полной модели показало, что уровень ошибок моделирования в системе MATLAB в ряде случаев превышает выигрыш от эффективности предложенных моделей. Поэтому, окончательный результат

в реальных условиях будет зависеть и от программного обеспечения, в которое будут внесены эти модели.

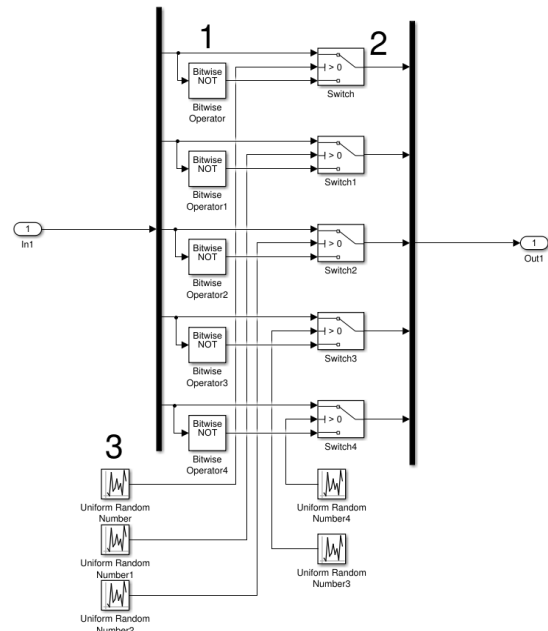


Рис.2. Блок наложения шума

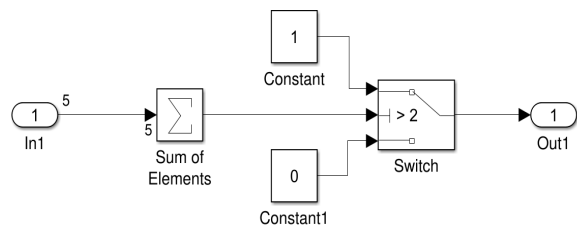


Рис.3. Блок декодирования информации с повторением битов

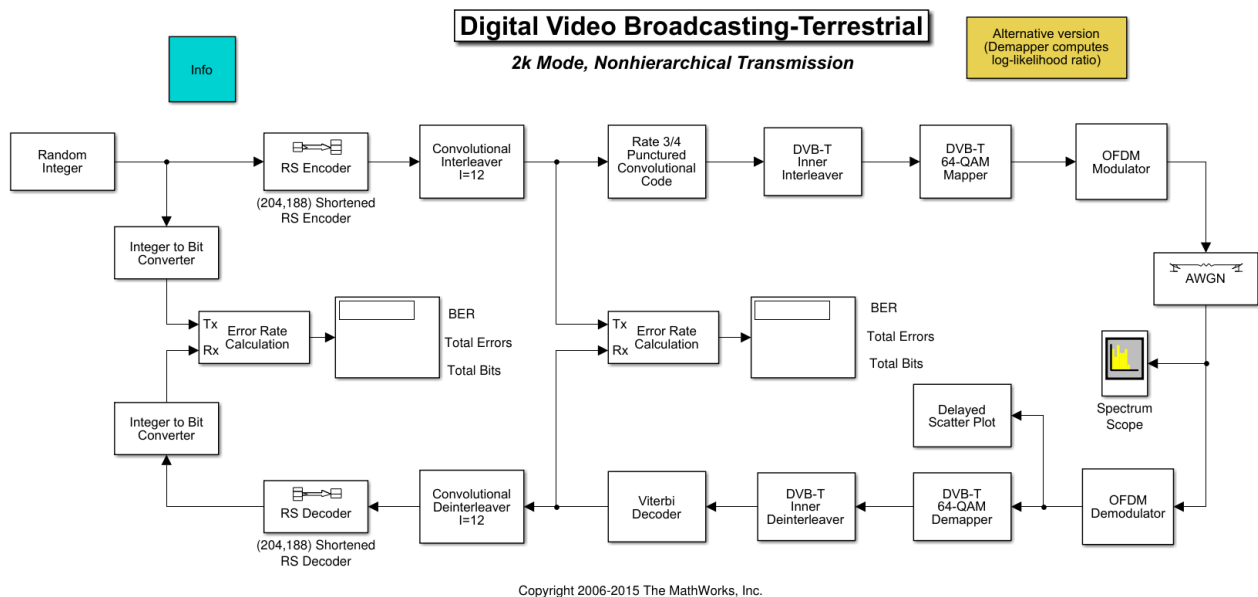


Рис.4. Модель системы DVB-T



IV. ТЕСТИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ

Тестирования имитатора в режиме автономной модели с 5-кратным повторением кода и с кодами Баркера показали одинаковые результаты по сравнению с базовым вариантом. Числовые значения сведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1 РЕЗУЛЬТАТЫ АВТОНОМНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ

Вариант модели	Количество бит	Количество ошибок	BER
Базовая модель	$1 \cdot 10^5$	$1.675 \cdot 10^4$	0.1675
Модели с расширением	$2 \cdot 10^4$	1371	0.06855

Количество ошибок передачи данных в моделях с расширением по сравнению с базовой моделью уменьшено в 2,44 раза. Полученные данные соответствуют ожидаемому прогнозу.

V. ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Дальнейшие исследования могут проявить особенности моделирования предложенных моделей в составе телевизионной системы с целью выявления факторов, которые не позволяют проявить те возможности, которые показало автономное моделирование.

Предварительные исследования по имплементации моделей в полную систему DVB выявили проблему точности моделирования в системе MATLAB, что может составить отдельный предмет исследования.

Благодаря тому, что имплементация моделей не требует изменения в оборудовании, то представляет также интерес тестирование в реальных условиях, например, на телевизионных каналах эфирного телевидения, находящихся в тестовых режимах работы. Но для этого потребуются разработка прикладного программного обеспечения и, возможно, программно-аппаратной реализации [14-16,21].

Выводы

Предложен принцип расширения избыточной информации в цифровом телевидении.

Предложены модели для реализации принципа расширения избыточной информации.

Проведено численное моделирование процесса передачи с применением предложенных моделей в условиях равной вероятности появления логического нуля и единицы в информационном сигнале.

Предложенные модели ориентированы на будущие системы телевидения, т.к. существующий поток данных не предусматривает подобное вмешательство. Но технически проведение исследовательской работы и экспериментов возможно даже на данном оборудовании.

При имплементации моделей следует контролировать точность работы системы, чтобы выигрыш от эффективности моделей не был нивелирован погрешностями работы полной системы.

СПИСОК ССЫЛОК

- [1] Signaly tsifrovogo televideniya «Svyaz' 2020», 32-ya mezhdunarodnaya vystavka «Informatsionnyye i kommunikatsionnyye tekhnologii», 2020, 21-24 aprelya URL: <https://sviaz-expo.ru>
- [2] Shaban M., Hammadi F. «The JPEG Image Compression Algorithm.» *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, ISSN: 22311963, 2013, May, Vol. 6, Issue 3, pp. 1055-1062.
- [3] Suarjaya I M. «A New Algorithm for Data Compression Optimization.» *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2012, Vol. 3, No.8, pp. 14-17, DOI: [10.14569/IJACSA.2012.030803](https://doi.org/10.14569/IJACSA.2012.030803)
- [4] Petrov Ye.P., Kharina N.L., Sukhikh P.N. «Metod bystrogo szhatiya izobrazheniy bez poter' [The method of fast lossless image compression].» *Mashinnoye obucheniyе i analiz dannykh*, 2015. vol. 1, no. 12. p. 1762-1770 DOI: [10.21469/22233792.1.12.10](https://doi.org/10.21469/22233792.1.12.10)
- [5] Suwansukho N., Promwong S. «Evaluation of Rotated Constellation in DVB-T2 Based on Measurement Data.» *5th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST)*, 2019, July, pp/ 1-5 DOI: [10.1109/iceast.2019.8802572](https://doi.org/10.1109/iceast.2019.8802572)
- [6] Polak L., Kratochvil T., «Performance of the Rotated Constellation in DVB-T2.» *The Seventh International Conference on Digital Telecommunications, ICdT 2012*, pp. 84-87 URL: https://www.thinkmind.org/download.php?articleid=icdt_2012_5_10_20085
- [7] Korzhikhin Ye. O. «Razrabotka metodov i ustroystv formirovaniya i korreksii videoinformatsionnykh signalov v sistemakh tsifrovogo televideniya [Development of methods and devices for the formation and correction of video information signals in digital television systems.],» The thesis for the degree of candidate of technical sciences - M, 16.05.2013. - 26 c. URL: <http://www.dslib.net/tele-sistemy/razrabotka-metodov-i-ustroystv-formirovaniya-i-korreksii-videoinformatsionnyh.html>
- [8] PUNCHIHEWA A., PEREIRA A. «Advanced Digital Signal Processing for Communications - Mobile TV.» *Massey University, Multi-Media Research - Technical Report*, 2011, March, 2011, pp 1-25. DOI: [10.13140/RG.2.1.4032.2402](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4032.2402)
- [9] Wu Y., Hirakava S., Reimers U., Whitaker J. Overview of Digital Television Development Worldwide PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 94, NO. 1, JANUARY 2006. - p. 8-21. DOI: [10.1109/JPROC.2005.861000](https://doi.org/10.1109/JPROC.2005.861000)
- [10] Sam A., «Review on Performance Evaluation of DVB-T2 Network and its Optimization Recommendations. A Case of Dar es Salaam, Tanzania.» *Computer Engineering and Intelligent Systems*, - 2014, Vol.5, No.7, 60-71. URL: <https://www.iiste.org/Journals/index.php/CEIS/article/view/14103>
- [11] Setiyanto B., Hidayat R., Mustika W., Sunarno., «CNR and BER Ranges for the DVB-T2 Reception-Success.» *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, Vol. 7, No. 6, December 2017, pp. 3727-3734. DOI: [10.11591/ijece.v7i6.pp3727-3734](https://doi.org/10.11591/ijece.v7i6.pp3727-3734)
- [12] Simpson O., Abdulkadir Y., Sun Y., Cheikh M., «Spectrum Sensing of DVB-T2 Signals using a Low Computational Noise Power Estimation.» *International Wireless Communications and Mobile Computing Conference*, 1005-1010, DOI: [10.1109/IWCMC.2018.8450516](https://doi.org/10.1109/IWCMC.2018.8450516)
- [13] D'Addario L. R., Wang D., «An Integrated Circuit for Radio Astronomy Correlators Supporting Large Arrays of Antennas.» *Journal of Astronomical Instrumentation*, 2016, Vol. 5, No. 2, pp. 1-7. DOI: [10.1142/S2251171716500021](https://doi.org/10.1142/S2251171716500021).
- [14] L. N. Pavlov, «IC Discrete-Analog Correlators Accuracy Improvements.» *Visnyk NTUU KPI Seriya - Radiotekhnika Radioaparotobuduvannya*, Iss. 70, pp. 37-42, 2017 DOI: [10.20535/RADAP.2017.70.37-42](https://doi.org/10.20535/RADAP.2017.70.37-42)
- [15] Pavlov L.N. Integrated discrete-analog asynchronous correlators «Radioelectronics and Communications Systems» - 2008, Vol.51, №6, pp. 345-347. DOI: [10.3103/S0735272708060101](https://doi.org/10.3103/S0735272708060101)

- [16] L. M. Pavlov, D. Yu. Lebedev, « Temperature stability of ultra low voltage signals multiplier,» *Visnyk NTUU KPI Seriya – Radioelekhnika Radioaparaturbuduvannia*, Iss. 69, pp. 49–55, 2017 DOI: [10.20535/RADAP.2017.69.49-55](https://doi.org/10.20535/RADAP.2017.69.49-55)
- [17] Komissiya RSS po regulirovaniyu ispol'zovaniya radiochastotnogo spektra i sputnikovykh orbit. «Razrabotka obshchikh printsiptov zashchity stantsiy radioveshchatel'noy sluzhby ot pomekh podvizhnoy sluzhby v osnovnoy i smezhnykh polosakh chastot s uchedom resheniy VKR-15 [Development of general principles for the protection of broadcasting service stations from interference from the mobile service in the main and adjacent frequency bands taking into account the decisions of VKR-15].» Predvaritel'nyy rabo-chiy dokument k projektu Otcheta RSS. Dok. RGRV/10/385. Prilozheniye 6 k dok. RGRV/10/390.
- [18] S.I. Sivkov, L.G. Njvikov, D.M. Mikhaylov, «Method of identification and diagnostics of pulsed systems using discrete signal convolution,» *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, Vol. 66, No.3, pp. 844-850, 31.08.2014 URL: <http://www.jatit.org/volumes/Vol66No3/24Vol66No3.pdf>
- [19] Martynyuk H. V., Onykiyenko YU. YU., Shcherbak L. M., «Analysis of the pseudorandom number generators by the metrological characteristics,» *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. - 1/9 (79) 2016, 25-30. DOI: [10.15587/1729-4061.2016.60608](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.60608)
- [20] John W. Leis J. W. «Digital Signal Processing Using MATLAB for Students and Researchers,» ISBN 13:9780470880913, 2011 386 p.
- [21] Stasyuk M. V., Antonyuk O. I., Lebedev D. YU., «Core hardware parallelizing execution of programs,» *Science-Based Technologies*, vol. 20, no. 4, p. 398 – 402, 2013. DOI: [10.18372/2310-5461.20.5683](https://doi.org/10.18372/2310-5461.20.5683)

Надійшла до редакції 12 вересня 2019 р.

УДК 654.16

Підвищення стійкості цифрового телебачення до перешкод

Фильф М. С., ORCID [0000-0001-9602-5517](https://orcid.org/0000-0001-9602-5517)
 Лебедев Д. Ю., к.т.н. доц., ORCID [0000-0001-8672-8366](https://orcid.org/0000-0001-8672-8366)
 Павлов Л. Н., к.т.н. доц., ORCID [0000-0001-8273-9607](https://orcid.org/0000-0001-8273-9607)

Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури
 Факультет електроніки
 Національний технічний університет України
 "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
 Київ, Україна

Анотація—Запропоновано розвиток принципу надлишкової інформації в потоці даних системи цифрового телебачення. Пропозиція орієнтована на майбутні системи телебачення і її суть полягає в обробці бітового потоку методами, які спочатку існували в аналоговому, дискретно-аналоговому вигляді, а потім і у вигляді цифрової фільтрації. Для цього вводиться надмірність в потік даних, що дозволяє перейти від бітового потоку до його векторної форми.

Запропоновано критерій виявлення логічного вектору сигналу – це рівень, який розділяє поле виявлення на дві області: область виявлення логічного нуля та область виявлення логічної одиниці. Ширина кожної області враховує вірогідність з'явлення логічної одиниці та нуля відповідно. В роботі також запропоновано моделі блока кодування і декодування, які апробовані моделюванням за критерієм з однаковою вірогідністю надходження логічної одиниці та нуля. Виконано моделювання для реалізації цього принципу. для двох варіантів розвитку принципу надлишковості. У першому випадку на передавальній стороні надлишковість вводилась п'ятикратною передачею кожного інформаційного біта. На приймальній стороні здійснювалось виявлення бітової інформації і перетворення її в аналоговий вектор. В залежності від довжини вектору приймалось рішення про виявлення і декодування значення прийнятого інформаційного біта.

У другому випадку на передавальній стороні здійснюється кодування кожного інформаційного біта п'ятирозрядним кодом Баркера. При цьому значення логічної 1 перетворювалось в логічний вектор, що містив прямий код Баркера, а значення логічного нуля формувалось у вигляді інверсного коду Баркера.

На приймальній стороні виконувалась, як і в попередньому випадку, виявлення бітової інформації, перетворення логічних даних в аналоговий вектор і здійснювалась операція згортки цього вектору з опорною послідовністю у вигляді компонентів +1 і -1, що відповідає розвернутому коду Баркера. Отримане значення кореляційного імпульсу відповідно до критерія виявлення перетворювалось в інформаційну 1 або 0 потоку даних, що приймався.

Перевага запропонованого принципу надлишковості інформації полягає в тому, що він може бути реалізований без втручання в радіотехнічні блоки. Відповідно розширення спектру не спостерігається. Відзначено, що реалізація можлива без втрати швидкості передачі при наявності 5 виділених несучих (піднесучих). За умови передачі в межах однієї несучої об'єм зображення потрібно відповідно зменшити або швидкість передачі знизити в 5 разів.

Моделювання виконано для випадку роботи ефірного телебачення за допомогою системи MATLAB.



Ключові слова — надлишкова інформація; логічний вектор; виявлення логічного сигналу; логічна згортка; код Баркера.

UDC 654.16

Increase the Resistance of Digital Television to Interference

M. S. Fil^f, ORCID [0000-0001-9602-5517](https://orcid.org/0000-0001-9602-5517)

L. Yu. Lebedev, PhD Assoc.Prof., ORCID [0000-0001-8672-8366](https://orcid.org/0000-0001-8672-8366)

L. M. Pavlov^s, PhD Assoc.Prof., ORCID [0000-0001-8273-9607](https://orcid.org/0000-0001-8273-9607)

Department of design of electronic digital equipment

Faculty of Electronics

National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute"

Kyiv, Ukraine

Abstract—The development of the principle of redundant information in the data stream of a digital television system is proposed.

The proposal is focused on future television systems and its essence consists in processing the bitstream using methods that originally existed in analog, discrete-analog form, and then in the form of digital filtering. To do this, redundancy is introduced into the data stream, which allows us to switch from the bitstream to its vector representation. A criterion for detecting a logical vector of a signal is proposed — it is a level that divides the detection field into two areas: the detection area of logical zero and the detection area of logical units. The width of each region takes into account the probability of a logical unit and zero, respectively. The work also proposed models of coding and decoding blocks, which were tested by modeling by the criterion with the same probabilities of occurrence of unity and zero. Simulation for two variants of the development of the principle of redundancy is performed. In the first embodiment, redundancy was introduced by fivefold transmission of the same information bit. On the receiving side, bit information was detected and converted to an analog vector. Depending on the length of the vector, a decision was made to detect and decode the received information bit.

In the second case, on the transmitting side, each information bit was encoded with a five-digit Barker code. In this case, the value of logical 1 was converted into a logical vector containing a direct Barker code, and the value of logical 0 was formed as an inverse Barker code.

On the receiver side, as in the first case, bit information was detected, logical data was converted into an analog vector, and the vector was convoluted with the reference sequence in the form of components +1 and -1, which corresponds to the deployed Barker code. The obtained value of the correlation impulse in accordance with the detection criterion was converted into informational logical 0 or 1 of the received data stream.

The advantage of the proposed principle of redundancy of information is that the implementation is feasible without interference with the radio blocks. Accordingly, the expansion of the signal spectrum is not observed. It is noted that implementation is possible without loss of transmission speed in the presence of 5 dedicated carriers (subcarriers). When transmitting within a single carrier, the image volume must be correspondingly reduced, or the transmission speed will have to be reduced by 5 times.

The simulation was performed for the case of broadcasting using the MATLAB system.

The method is not involved in radio signal but operating only before transmitting and after receiving and detecting logic part. One permits a simple realization both programmable and programmable-apparatus version.

Keywords — *redundant information; logical vector; detection of a logical signal; logical convolution; Barker code.*

