

## ОТЗЫВ

официального оппонента  
на диссертационную работу Саида Басема Абдулсалама Салеха  
на тему «Совершенствование функциональных характеристик кодеков систем  
управления реального времени на базе когнитивного процессора»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники  
и систем управления»

**Актуальность темы диссертационной работы.** Интенсивное развитие разнообразных автоматических и автоматизированных систем управления (СУ) показало настоятельную необходимость повышения функциональных характеристик таких систем, одной из важнейших составных частей которых является информационная надежность передачи команд управления от управляющей системы к исполнительным устройствам или управляемым системам. По объективным причинам, учитывающих уровень надежности современной микропроцессорной техники, информационная надежность может оказаться на несколько порядков ниже из-за влияния мешающих факторов в среде передачи управляющих сигналов. Поэтому из специфики функционирования систем обмена данными информационно-управляющих комплексов (ИУК) вытекают повышенные требования к достоверности обрабатываемого в них контента управляющих команд, способствующих достижению в СУ заданной управляющей функции. В таких системах, как правило, передаются незначительные по объему данные, требующие при своей передаче высокой достоверности. Одним из радикальных способов достижения необходимого уровня указанного параметра в этом случае остается применение арсенала средств алгоритмических или кодовых методов повышения достоверности данных. Известно, что для защиты цифровой информации от ошибок целесообразно использовать длинные кодовые последовательности. Но большинство современных ИУК оказываются критичными ко времени обмена данными. Поэтому в них для организации процедуры управления однозначно требуется использовать короткие коды, максимально используя итеративные преобразования данных, например, в формате логарифма отношений правдоподобий. При этом снижение длины кодовых векторов требует применения вспомогательных средств повышения достоверности в виде мягких решений символов (MPC), их последующего итеративного преобразования и методов эффективной обработки данных с возможностью полного использования введенной в код избыточности в заданные критичные интервалы времени. В этой связи тема диссертационной работы Саида Басема А.С., направленная на исследование новых методов обработки цифровых сигналов, модемов и кодеков СУ, обеспечивающих высокую надежность обмена информацией в условиях воздействия внешних и внутренних помех является, безусловно, актуальной.

**Структура диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и двух приложений.

Во введении определена предметная область исследования, обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи работы, показана научная но-

визна и практическая значимость полученных результатов, представлены положения, выносимые на защиту. Приводятся сведения об апробации результатов исследований.

В первой главе соискатель рассматривает общие теоретические положения, связанные с разработкой и построением СУ. В последующем на этой основе и с использованием принципов системного описания сложных технических структур дается трактовка программно-аппаратной надежности рассматриваемых элементов СУ и их информационной надежности. Методически верно рассматривается вопрос зависимости информационной надежности СУ от состояния среды распространения сигнала, показывается, что именно последняя в процессе передачи управляющих команд из-за влияния помех естественного характера вносит наибольшую неопределенность в достижение целевой функции управления. К множеству закономерностей реализации эффективных СУ соискатель справедливо относит: наличие целевой функции (наличие цели управления); наличие наблюдаемости объекта; наличие управляемости управляемого объекта; наличие критерия эффективности управления; наличие ресурсов управления. Указывается возможность подключения к этому перечню лица, принимающего решение.

Показываются возможности кодовых и алгоритмических методов повышения достоверности приема управляемым устройством команд управления, при этом СУ с каналом (каналами) обратной связи однозначно используют в своем составе элементы кодовых методов оценки правильности принятого сигнала для формирования запросов на повторение некачественно принятых данных.

В главе представляется аналитическая модель метода итеративных преобразований МРС, автор заимствует ее из технологии обработки данных при использовании систем турбокодирования и предлагает использовать подобную методику для реализации итеративных преобразований в системе коротких блоковых кодов при реализации метода перестановочного декодирования (МПД).

Важным элементом главы является обоснование оптимального, в смысле введенной в код избыточности, соотношения проверочных и информационных разрядов, которое в последующем используется в системе перестановочного декодирования (ПД). На этой основе показывается возможность получения энергетического выигрыша кода (ЭВК) для различных алгоритмов обработки принятых кодовых векторов.

Во второй главе подробному анализу подвергаются метод ПД, показывается необходимость формирования для реализации его МРС. В отличие от логарифма отношения правдоподобия предлагается использовать целочисленные МРС (ЦМРС), которые в общем случае не требуют знания статистических характеристик канала связи и по этой причине проще реализуются в процессоре приемника СУ. По сути ЦМРС формируется на основе линейной функции, угловой коэффициент которой формируется за счет рационального назначения максимальной оценки. Именно на этой основе соискатель подвергает анализу различные типы каналов связи, разделяя их на две группы по значениям максимума дисперсии. В первую группу включаются каналы с гауссовским шумом, максимум ПРВ в которых при минимальной дисперсии едва превосходит значение 1,3. С другой стороны, на основе аналитического моделирования показано, что в оптических каналах связи при минимальной дисперсии максимальное значение ПРВ достигает значе-

ния 9. Установленная связь возможных диапазонов изменения максимума ПРВ для различных типов каналов связи СУ показывает целесообразность использования корректных максимальных оценок ЦМРС для различных типов направляющих сред. В конечном счете это выражается в изменении разрядной сетки значений ЦМРС, что не только упрощает реализацию процессоров приемника СУ, но способствует более быстрой сортировке символов принятого кодового вектора по их ЦМРС. Предложена аналитическая модель формирования МРС для оптических систем с амплитудно-импульсной модуляцией типа РАМ-4. Для верификации модели корректно используются экспериментальные данные, заимствованные из других работ в данной предметной области. Хорошее совпадение экспериментальных данных и результатов аналитического моделирования говорит о целесообразности использования полученных результатов для оценочных расчетов битовой ошибки в оптических каналах связи.

Важно отметить, что в ряду подобных работ проводится анализ влияния на результат ПД ошибок первого рода, когда максимальна оценка ЦМРС фиксируется для жесткого решения символа ошибочно.

Новым в предмете исследования следует считать использование метода «распространения доверия», уместно примененного к коротким кодам для повышения индексов ЦМРС и неалгебраического исправления ошибок за счет анализа проверок на четность корректируемых оценок, заданных проверочной матрицей, используемого в системе кода. Соискатель представляет семантическую и формальные модели в виде алгоритма и варианта программы его реализации на базе программного продукта Python, который с успехом может быть использован в системах глубокого машинного обучения, на которые указывает автор в перспективах развития подобной темы в последующих исследованиях с использованием нечетких ситуационных сетей.

Третья глава диссертации имеет важное значение в исследуемом методе ПД. Рассматривая только двоичные коды, в таком методе приходится решать задачу поиска непроизводительных перестановок, которые не обеспечивают получение эквивалентных кодов. Это связано с тем, что при перестановках столбцов порождающей матрицы кода и последующего выделения столбцов на позициях нумераторов информационных разрядов систематического кода может оказаться вырожденная матрица. В таком случае необходимо формировать новую перестановку, которая должна быть производительной в отношении эквивалентного кода. Процесс поиска производительной перестановки становится в таком случае случайным. В классическом алгоритме ПД на это тратится вычислительный ресурс декодера, что не рационально. Другими словами, декодер тратит непроизводительно время для поиска ответа о возможности создать для данной конкретной перестановки эквивалентный код. Автор предлагает априори создать список непроизводительных перестановок и на основании этого сделать случайный процесс поиска вполне детерминированным. Естественно, для коротких кодов априорное вычисление таких перестановок и создание списка непроизводительных перестановок не вызывает затруднений. Декодер, найдя перестановку в таком списке, не тратит свой ресурс на оценку определителя переставленной матрицы, а выполняет коррекцию перестановки, что является рациональным.

Соискатель предлагает оригинальную методику предварительного поиска и создания списка непроизводительных перестановок на основе использования весовых характеристик двоичных кодов. Практически выполняется обучение декодера эффективно выявлять непроизводительные перестановки и вносить их в когнитивную карту декодера.

Для реализации первого подхода и произвольного взятого двоичного кода предлагается оценивать сочетания нулевых символов в векторе определенного веса и на этой основе формировать перестановки непроизводительного типа. Для сокращения процедуры поиска предлагается использовать свойство орбит перестановок. Следовательно, если определена образующая комбинация орбиты непроизводительной перестановки, то циклический сдвиг нумераторов символов такой орбиты порождает другие непроизводительные перестановки. Таким образом, для сокращения объема когнитивной карты декодера необходимо знать, по крайней мере, орбиты непроизводительных перестановок. Оригинальность предложенного подхода не вызывает сомнений.

Автор развивает метод на «хорошие» перестановки нумераторов, когда другая часть когнитивной карты содержит образующие орбит перестановок, позволяющие получить эквивалентные коды. В этом случае, как показано в работе, образующая комбинация орбиты однозначно связывается с порождающей матрицей эквивалентного кода, которая линейно видоизменяется по мере движения по циклам путем перестановки строк и столбцов проверочной части исходной порождающей матрицы, образующей комбинации орбиты. Все это позволяет: во-первых, экономить объем памяти когнитивной карты и, во-вторых, по произвольной перестановке после приведения ее к лексикографическому формату найти орбиту перестановки, найти ее порождающую матрицу и после линейных преобразований, описанных в работе, найти порождающую матрицу эквивалентного кода. Естественно, что, формируя экономную когнитивную карту декодера путем поиска образующих комбинаций орбит, необходимо потратить время на поиск такой образующей комбинации при случайной перестановке. Только такой подход позволяет в последующем найти соответствующую матрицу проверок.

В четвертой главе диссертации дается описание и оценка алгоритма перестановочного декодирования, на который автором получен патент РФ на изобретения. Особенностью изобретения является то, что декодер сразу проверяет полученную перестановку нумераторов на ее наличие в когнитивной карте декодера в разделе отрицательных перестановок и это позволяет оперативно произвести коррекцию неудачного сочетания нумераторов.

В заключении работы приводятся общие выводы по результатам проведенного исследования. В приложениях приводятся копии документов, подтверждающих новизну технических решений, предложенных автором, и акт реализации результатов исследований в учебном процессе.

Автореферат написан ясным языком и соответствует содержанию диссертации, которая является законченной научно-квалификационной работой. Предложенные автором новые технические решения теоретически обоснованы и подтверждены результатами испытаний разработанных математических моделей. Тематическая ориентация работы, ее содержание и основные результаты соответ-

ствуют требованиям паспорта специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

**Обоснованность, новизна и достоверность основных положений диссертации.** В качестве основных новых результатов, полученных автором, можно отметить следующие:

- для аналитического выражения углового коэффициента, учитывающего свойства среды распространения сигналов управления различной физической природы, найдены оптимальные в смысле оценки верхних граничных значений ЦМРС;

- предложен метод мягкого декодирования комбинаций избыточных кодов, отличающийся снижением вычислительных затрат при использовании принципа «распространения доверия» с локализацией ограниченного числа перестановок в системе перестановочного декодирования;

- разработан регулярный метод поиска комбинаций непроизводительных подстановок для создания когнитивной карты декодера, исключая переборный метод поиска таких подстановок за счет учета весового спектра кода;

- предложен алгоритм ускоренного поиска образующей комбинации циклической орбиты перестановок, использующий двунаправленный цикл поиска такой лексикографически упорядоченной комбинации для произвольной последовательности нумераторов;

- разработано устройство перестановочного декодера, отличающегося упреждающим выявлением непроизводительных перестановок.

**Практическая значимость полученных результатов.** Практическая значимость работы заключается в строгом, теоретически обоснованном выборе параметров двоичных избыточных кодов, предлагаемых для использования в кодах СУ и во внутриобъектовых сетях для решения вопросов опережающей защиты от ошибок на базе ПД, существенном повышении ЭВК и сокращении времени обработки данных при использовании относительно коротких избыточных кодов. Особое значение в минимизации объема памяти когнитивной карты декодера приобретает предложенная схема регулярного вычисления вырожденных матриц эквивалентного кода на базе кластеризации пространства кодовых векторов и использования циклических свойств подстановок.

**Замечания по диссертационной работе.** По работе имеются следующие замечания:

- в тексте диссертации недостаточно корректно сформулированы выводы по первой главе, где в соответствии с наименованием параграфа должна за выводами следовать постановка задачи на исследование, в этом параграфе названный фрагмент текста отсутствует и только по ходу изложения последующего материала автор предваряет изложение второй и четвертой глав соответствующими параграфами с постановкой научной задачи в этих главах;

- говоря о системах управления реального времени, не дается оценка потери временного ресурса при поиске по произвольно принятой перестановке соответствующей проверочной матрицы кода путем поиска образующей комбинации орбиты;

- аналогичную задачу целесообразно было бы решать при введении итеративных преобразований мягких решений символов с целью увеличения оценок их надежности;

- в совокупности временные интервалы для итеративных преобразований и поиска образующей комбинации орбиты будут меняться от одного кодового вектора к другому и в этой связи целесообразно было бы оценить проблемы синхронизации данных сигналов управления;

- в допустимых пределах по количеству в работе замечен ряд стилистических и грамматических ошибок, которые несколько затрудняют ее чтение.

Приведенные замечания не уменьшают научную значимость и практическую ценность проведенного диссертационного исследования. Содержащиеся в автореферате материалы и опубликованные работы автора в рецензируемых научных изданиях и научных конференциях позволяют сделать вывод о том, что по научному содержанию и полноте выполненных исследований диссертационная работа соответствует критериям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», которым должна отвечать кандидатская диссертация.

Автор работы Саид Басем Абдулсалам Салех заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

Официальный оппонент  
доктор технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой  
информационного и электронного сервиса  
Поволжского государственного  
университета сервиса

 Воловач Владимир Иванович

Подпись В.И. Воловача заверяю:



Официальный оппонент Воловач Владимир Иванович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой информационного и электронного сервиса ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет сервиса», Российская Федерация, 445017, Самарская область, г. Тольятти, ул. Гагарина, д. 4, тел. +7 (8482) 26-35-38, e-mail: office@tolgas.ru