

**АКАДЕМИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ПРИ ПРЕЗИДЕНТЕ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ЗАЙНИДИНОВ Х.Н.**

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЦИФРОВОЙ  
ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ  
В КУСОЧНО-ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ  
БАЗИСАХ**

**ТАШКЕНТ – 2014**

**УДК: 338.27 (575.1)**

**ББК 32.811**

**3-22**

**3-22**

**Зайнидинов Х.Н. Методы и средства цифровой обработки сигналов в кусочно-полиномиальных базисах // Академия Государственного управления при Президенте РУз. – Т.: «Fan va texnologiya», 2014, 192 стр.**

**ISBN 978–9943–4478–8–2**

Книга посвящена цифровым методам и средствам цифровой обработки сигналов (ЦОС) в различных базисах. В работе исследованы системы базисных функций Хаара и Хармута, проведен краткий обзор аппаратных средств, применяемых в задачах цифровой обработки сигналов, предложены новые базисы кусочно-квадратических функций и метод вычисления спектральных коэффициентов в этих базисах. Исследованы алгоритмы быстрых спектральных преобразований (БСП) с точки зрения применения принципов распараллеливания и конвейеризации вычислений. Предложена инженерная методика проектирования параллельных и параллельно-конвейерных структур спецпроцессоров для реализации алгоритмов БСП в кусочно-полиномиальных базисах. Приведены примеры создания программ обработки сигналов в среде MATLAB и моделей спецпроцессоров в среде simulink, а также примеры применения их в конкретных областях.

Некоторые разделы книги могут быть использованы магистрантами и бакалаврами ВУЗов соответствующих специальностей для изучения цифровых методов, алгоритмов и аппаратных средств ЦОС.

Книга предназначена для студентов, магистрантов, докторантов и соискателей, а также для инженеров, занимающихся исследованием, разработкой и проектированием аппаратных и программных средств цифровой обработки и восстановления сигналов.

Утверждена Решением Ученого Совета Академии государственного управления при Президенте Республики Узбекистан, протокол № 10 от 10.06.2014 г.

**Рецензенты:**

**М.М. Камиллов** - д.т.н., профессор, Академик АН РУз, зав. лаб. «Распознавание образов» Центра разработки программных продуктов и аппаратно-программных комплексов при Ташкентском университете информационных технологий;

**Ш.М. Гулямов** - д.т.н., профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов» Ташкентского государственного технического университета им. А.Р. Беруни;

**М.А. Артикова** - к.т.н., доцент кафедры «Информационно-коммуникационные технологии в управлении» Академии Государственного управления при Президенте РУз.

**ISBN 978–9943–4478–8–2**

**© Изд-во «Fan va texnologiya», 2014.**

---

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Состояние и перспективы развития информационных технологий в XXI веке характеризуются широким практическим использованием техники цифровой обработки сигналов – одной из самых динамичных и быстро развивающихся технологий в мире телекоммуникаций и информатизации общества. Цифровая обработка сигналов – это, по сути, информатика реального времени, призванная решать задачи приема, обработки, сокращения избыточности и передачи информации с установленной скоростью.

Методы и техника цифровой обработки сигналов вызывают повышенный интерес ученых и специалистов, работающих в различных областях, таких как связь и системы управления, радиотехника и электроника, акустика и сейсмология, радиовещания и телевидение, измерительная техника и приборостроение. Сюда же можно отнести такие относительно новые направления создания аппаратных и программных средств, как обработка аудио и видеосигналов, распознавание речи, биометрические системы, обработка динамических изображений, системы мультимедийного обучения.

Базовые положения теории цифровой обработки сигналов закладывались и апробировались фактически на теории дискретных систем и унитарных преобразований. Были разработаны алгоритмы быстрых Фурье-преобразований, создана теория двоично-ортogonalных преобразований с локальными и интегральными базисами. Задачей разработчиков алгоритмов и устройств цифровой обработки сигналов была минимизация вычислительных и аппаратных затрат при ограниченных ресурсах памяти и допустимых погрешностях вычислений.

С этой точки зрения представление сложных сигналов в виде полиномов является во многих случаях наиболее эффективным и просто реализуемым. Переход от спектра сигнала к его полиномиальному представлению позволяет перейти от хранения многочисленных спектральных составляющих всего к нескольким коэффициентам аппроксимирующих выражений. Дополнительный эффект ускорения вычислений дает интегрирование самого базиса и введение нелинейностей второго порядка в саму форму локальных ба-

зисных элементов. Все это дает возможность упростить аппаратную реализацию алгоритма обработки в виде процессоров и уменьшить время обработки за счет минимизации операций к памяти и сокращения объемов самой памяти.

Автор книги является известным специалистом в области цифровой обработки сигналов. Большой опыт исследовательской и преподавательской работы в вузах Узбекистана, России и Южной Кореи позволил ему обобщить многие свои разработки и создать на их базе полноценный материал для изучения и использования в практической деятельности.

Большое внимание в книге уделено вычислительным структурам для выполнения быстрых преобразований в кусочно-полиномиальных базисах и методике реализации таких структур на базе однокристалльных процессоров.

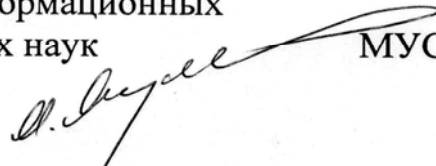
Представленные результаты по моделированию и программной реализации алгоритмов обработки и восстановлению зависимостей представляют интерес с точки зрения их применения в задачах обработки сигналов, где высокая скорость обработки является основным системным требованием. Несмотря на то, что модели обработки реализованы на ПК, они могут успешно применяться в реальных системах контроля и управления. Наиболее перспективным вариантом реализации разработок автора может быть использование их в системах с цифровыми сигнальными процессорами в качестве основного звена обработки. Для успешной реализации такого подхода имеется множество эмулирующих и компилирующих программных средств.

Нынешний этап развития ИКТ в нашей республике требует скорейшего создания собственных, оригинальных методов, алгоритмов и аппаратных средств цифровой обработки сигналов. Сейчас нужны не только теоретические разработки математических методов аппроксимации сигналов, но и практически значимые инженерные решения по аппаратно-программным средствам сжатия, фильтрации, выделения полезных компонентов и скоростной передаче информации в системах обработки измерительных сигналов, в анализе речи, в системах обработки аудио и видеоданных, работающих в реальном масштабе времени.

Настоящая книга посвящена решению именно этих задач. В книге есть вопросы, требующие более полного изложения (двумерные преобразования, параллельная обработка, другие базисные

системы Фурье), но это не умаляет достоинств самой книге. Это очень полезная и нужная книга для инженеров-разработчиков систем цифровой обработки сигналов, а также для студентов, магистров и преподавателей соответствующих специальностей вузов.

Профессор кафедры «Компьютерные системы»  
Ташкентского университета информационных  
технологий, доктор технических наук



МУСАЕВ М.М.

---

---

**Посвящается светлой  
памяти моих родителей ...**

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время возрастающие требования к точности и производительности решения современных задач обработки и восстановления сигналов определяют переход к вычислительным супертехнологиям. Доступность дешевых высокоскоростных СБИС-приборов предвещают значительный прорыв в области создания и применения параллельных процессоров.

В последнее десятилетие во всем мире наблюдается колоссальный рост научно-технических работ, посвященных решению различных задач обработки сигналов и аппаратной реализации их алгоритмов на основе СБИС-архитектуры [21,33,36,37,42, 45,54, 56, 58,80,86,87].

Современные методы обработки сигналов и изображений в большой степени зависят от развития алгоритмических и структурных средств, а также элементного и архитектурного облика вычислительных средств.

Более того, к специализированным процессорам и системам предъявляются все более высокие требования в плане возможности функционирования в реальном масштабе времени (РМВ), использования принципов распараллеливания и конвейеризации вычислений, расширения полосы частот обрабатываемых и восстанавливаемых сигналов.

Проблемам разработки проблемно-ориентированных и специализированных систем посвящены многие работы учёных А.В.Каляева, В.Б.Смолова, И.В.Прангишвили, Г.И. Новикова, Ю.М.Смирнова, М.М. Мусаева, С.Ф. Свиньина, В.А. Торгашева и др.

Сигналы, поступающие от датчиков различных устройств в виде данных о состоянии и измерении температурных, радиационных, электромагнитных, гравитационных, тепловых и других физических полей часто являются многомерными и сложными.

Требования высокой производительности вычислительных систем, применяемых в этих областях, могут быть удовлетворены как за счет разработки новых методов и алгоритмов цифровой обработки сигналов (ЦОС), так и с помощью многопроцессорных средств параллельно –конвейерных вычислений.

Теория спектральных методов получила значительное развитие в работах Б.Т.Поляка, А.М.Трахтмана, И.М.Соболя, Ч.Рейдера, Л.Рабинера, В.С.Ракошица, Б.Гоулда, Х.Хармута, П.М.Чеголина, Р.Х.Садыхова, М.М.Мусаева, С.Ф.Свиньина, В.В.Солодовникова, И.Ахмеда, К.В.Рао и др.

Проблемы разработки методов аппаратной реализации алгоритмов ЦОС заняли значительное место в работах В.Б. Смолова, Д.В.Пузанкова, В.Д.Байкова, Т.Ф. Бекмуратова, М.М.Мусаева, С.Ф. Свиньина, Е.П.Угрюмова и др.

Сочетание возможностей методов аппаратной реализации алгоритмов с основами теории быстрых спектральных преобразований позволяет создавать высокопроизводительные вычислительные структуры обработки и восстановления сигналов, характеризующиеся также высокой точностью.

Соединение теории спектральных методов и структурных методов реализации специализированных процессоров создают основу для разработки новых аппаратно-ориентированных алгоритмов и для повышения точности обработки сигналов, а также для разработки высокопроизводительных вычислительных структур для кусочно-полиномиальной обработки сигналов и функций.

Использование полученных теоретических результатов, внедрение созданных программных и аппаратных средств, решение с их помощью задач анализа, обработки и восстановления сигналов, аппроксимации функций позволяет совершенствовать существующие и разрабатывать более перспективные вычислительные структуры, повышать их технические характеристики, качественно улучшить результаты обработки и восстановления сигналов.

Материалы книги являются результатом многолетнего труда автора в Санкт-Петербургском электротехническом университете, Ташкентском техническом университете, Ташкентском университете информационных технологий, Южно-Корейском университете Донгseo.

В основе разработанных методов, программных и аппаратных средств и их практического применения лежат ряд научно-исследо-

вательских работ, выполненных в 2000-2014 гг. под руководством или при непосредственном участии автора в соответствии с Государственными научно-техническими программами Республики Узбекистан.

Автор считает приятным долгом выразить свою искреннюю признательность д.т.н., профессору Мусаеву М.М. за то, что он согласился написать предисловие к этой книге, а также рецензентам д.т.н., профессору, Академику АН РУз Камиллову М.М., д.т.н., профессору Гулямову Ш.М. и к.т.н., доценту Артиковой М.А. за ценные замечания, устранения которых служили только на улучшение качества книги.



---

---

# **1. МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ СИСТЕМАМИ КУСОЧНО-ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ БАЗИСНЫХ ФУНКЦИЙ И АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ**

## **1.1. Системы кусочно - линейных и кусочно-квадратических базисных функций, полученных на основе прямоугольных ортогональных базисов**

Для построения моделей сигналов, получаемых от реальных объектов, широко применяются традиционные гармонические функции. Это объясняется тем, что многие сигналы, получаемые от реальных объектов могут быть легко представлены совокупностью синусоидальных и косинусоидальных колебаний, для чего используется аппарат анализа Фурье. Результатом этого является переход от временных к частотным функциям. Однако, представление временной функции синусоидальными и косинусоидальными функциями является только одним из многих представлений [1, 2, 10,15,16, 24,25,43, 44,48, 57, 59,63, 70, 81, 82]. Любая полная система ортогональных функций может быть применена для разложения в ряды, которые соответствуют рядам Фурье.

Элементарные функции, которые являются решениями простых дифференциальных уравнений, находят очень широкое применение в практических инженерных задачах. Обычно в инженерной литературе под термином элементарные понимаются, вообще, простые функции одной или двух переменных, имеющие ограниченное количество экстремумов, без точек разрыва, с ограниченной крутизной в заданных пределах изменения аргумента [41, 42, 85]. Они служат для построения математических моделей сигналов, полученных от реальных объектов.

В качестве реальных экспериментальных данных использовались сигналы, полученные в результате магнитной и гравиразведки (для решения задач прогноза месторождений полезных ископаемых), а также сигналы, полученные в результате сейсморазведки [32, 47,55].

В первом случае, частоты определяются периодами выборок сигнала, который, в частности, в магниторазведке, находится в пределах от долей секунды до нескольких секунд [32, 53].

Во втором [52, 55] случае, длительность сигнала –10-400 мкс, частота –10-1700 КГц. Обычно частотный диапазон сигнала-предвестника делится на низкочастотную - от 10 до 50 КГц и высокочастотную - от 50 до 1700 КГц.

Широкие распространения в технических приложениях получили ортогональные системы континуальных разрывных базисных функций, заданных на действительной оси, для которых также существуют алгоритмы быстрых преобразований. Их можно разбить на два класса:

1) глобальные базисные функции - такие, значение которых не равны нулю ни на одном подинтервале. К этому классу относятся функции Уолша [15, 25, 38, 41, 48], числовые [2, 39, 48, 60], пилообразные [41, 87];

2) локализуемые базисные функции, ненулевые значения которых задаются на вложенных отрезках. Примерами являются функции Хаара [2, 6, 7, 24] и Хармута [25, 26, 62,63].

Разбиение действительной оси - обычно двоично-рациональное. Будем в дальнейшем преимущественно рассматривать интервал  $[0, 1]$  или  $[0, 1)$  и используем понятие двоичного отрезка, который получается делением заданного интервала на  $2^p$  равных частей ( $P = 1, 2, \dots$ ):

$$h_k = h_{pj} = \left[ \frac{j}{2^{p-1}} \quad \frac{j+1}{2^{p-1}} \right], \quad (1.1.1)$$

где  $j = 0, 1, \dots, 2^{p-1}$ ,  $k = j + 2^{p-1}$

Примерами двоичных отрезков могут служить интервалы  $[0; 1)$ ;  $[1/2; 3/4]$ ,  $[3/8; 4/8]$  и т.д.

Длина двоичного отрезка  $h_{pj}$  равна:

$$|h_{pj}| = \left| h_{pj}^+ \right| + \left| h_{pj}^- \right| = 2^{1-p},$$

где  $h_{pj}^-$ ,  $h_{pj}^+$  являются соответственно его левой и правой половинами и также представляют собой двоичные отрезки:

$$h_{pj}^+ = \left[ \frac{j-1}{2^{p-1}}; \frac{2j-1}{2^p} \right], \quad h_{pj}^- = \left[ \frac{2j-1}{2^p}; \frac{j}{2^{p-1}} \right]. \quad (1.1.2.)$$

Система ненормированных функций Хаара в континуальной форме определяется [2, 41,60]:



Bu tanishuv parchasidir. Asarning to'liq versiyasi <https://kitobxon.com/uz/asar/107> saytida.

Бу танишув парчасидир. Асарнинг тўлиқ версияси <https://kitobxon.com/uz/asar/107> сайтида.

Это был ознакомительный отрывок. Полную версию можно найти на сайте <https://kitobxon.com/ru/asar/107>