

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ**

**КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Б.Н. ЕЛЬЦИНА**

Диссертационный совет Д.05.16.532

На правах рукописи  
**УДК 519.6: 625.7**

**КУДУЕВ АЛТЫНБЕК ЖАЛИЛБЕКОВИЧ**

**ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ  
ОБРАБОТКИ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИВЕЙВЛЕТОВ**

Специальности: 05.13.01 – Системный анализ, управление  
и обработка информации  
05.13.18 – Математическое моделирование,  
численные методы и комплексы программ

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Бишкек - 2016**

Работа выполнялась на кафедрах информационных технологий и автоматизированных систем Омского государственного университета, исследования операций ГОУ ВПО Томского государственного университета и прикладной математики ГОУ ВПО Томского государственного архитектурно-строительного университета

**Научные руководители:** доктор физико-математических наук,  
профессор ГОУ ВПО ТГАСУ г. Томск  
Российской Федерации  
**Шумилов Борис Михайлович**

доктор технических наук,  
Академик международной академии  
информатизации  
**Укуев Бейшенбек Такырбашевич**

**Официальные оппоненты:** доктор физ.-мат. наук, профессор  
**Сатыбаев А.Дж.,**

кандидат технических наук,  
**Павленко П.Ф.**

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт математики  
им. С.Л. Соболева СО РАН  
г. Новосибирск

Защита состоится « 23 » декабря 2016 г. в 14.00 час. на заседании диссертационного совета Д.05.16.532 при Институте автоматики и информационных технологий НАН КР, г. Бишкек, проспект Чуй, 265.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национальной Академии Наук Кыргызской Республики по адресу: 720071, г. Бишкек, пр. Чуй, 265 «а».

Автореферат разослан 21.11.2016 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета к.ф.-м.н.



Керимкулова Г.К.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** Повышение эффективности обработки цифровой информации является актуальной задачей современной прикладной математики. Особенно это заметно в областях, связанных с компьютерной графикой. Требования к реалистичности генерируемых изображений постоянно растут, что, в конечном итоге, приводит к росту вычислительных затрат. В то же время, для многих приложений (например, визуализации данных лазерного сканирования автомобильных дорог) необходима очень высокая скорость обработки информации. Один из путей повышения эффективности обработки цифровой информации – применение методов, основанных на многомасштабном представлении графических объектов. Мномасштабное представление – это многослойная структура, первый слой которой содержит информацию, достаточную для грубого (с низким разрешением) приближения объекта; при добавлении информации из каждого последующего слоя степень детализации постепенно увеличивается, пока объект не будет восстановлен полностью (то есть с максимальным разрешением). Например, одним из популярных форматов для Интернет является GIF (Graphic Interchange Format), предложенный фирмой CompuServe (1987 г.). К числу самых заметных отличий формата GIF относится возможность использования режима постепенного проявления изображения (т.н. прогрессивная передача). В этом режиме строки изображения выводятся на экран не подряд, а в определенном порядке: сначала каждая 8-я, затем – 4-я и т. д. Таким образом, полностью изображение показывается в четыре прохода, что позволяет еще до полной загрузки изображения понять его суть, и, в случае необходимости, прервать его передачу.

Математической основой многомасштабных представлений во многих случаях служит вейвлет-анализ (или анализ всплесков). С помощью методов, основанных на вейвлетах, может быть решен широкий круг задач обработки числовой информации, в том числе устранения шумов, визуализации графических объектов и пр. Кроме того, эти методы обеспечивают сокращение объемов данных за счет удаления избыточной и несущественной информации, снижая, тем самым, вычислительные затраты на последующую обработку. Алгоритмы обработки числовой информации, основанные на вейвлетах, достаточно просты и эффективны в реализации.

Ранее использовались только скалярные вейвлеты. Мультивейвлеты имеют некоторые преимущества по сравнению со скалярными вейвлетами. Например, такие свойства как компактность носителя, ортогональность, симметрия, количество нулевых моментов, как известно, являются важными в обработке сигналов. Скалярный вейвлет не может обладать всеми этими свойствами в одно и то же время. С другой стороны, система, основанная на мультивейвлетах, может иметь все из них одновременно. Это означает, что

мультивейвлеты могут обеспечивать совершенную реконструкцию (за счет ортогональности), хорошую эффективность на границах сигнала (за счет симметрии) и высокий порядок приближения (за счет большого числа нулевых моментов), так что они могут действовать при обработке сигналов и полей лучше, чем скалярные.

**Связь темы диссертации с научными проектами.** Диссертационная работа выполнена в рамках научно-исследовательских проектов в Томском государственном архитектурно-строительном университете (г. Томск, 2010, 2011, 2013) и в Томском государственном университете (г. Томск, 2012) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

**Цель работы** – решение научных и практических задач, связанных с построением и оптимизацией алгоритмов мультивейвлет-обработки цифровой информации, получаемой, например, при лазерном сканировании автомобильных дорог, и использование этих алгоритмов для моделирования поверхностей дорог.

**Задачи диссертационного исследования:**

- Построение алгоритмов мультивейвлет-обработки цифровой информации;
- Проведение оптимизации алгоритмов мультивейвлет-обработки цифровой информации;
- Разработка теоретического обоснования использования мультивейвлет-обработки цифровой информации в решении проблемы трассирования автомобильных дорог;
- Исследование возможности применения мультивейвлет-обработки цифровой информации для моделирования поверхностей автомобильных дорог.

**Полученные результаты и их новизна:**

- На основе теории среднеквадратической аппроксимации сплайнами в схему оптимизации алгоритмов мультивейвлет-обработки цифровой информации заложено свойство ортогональности многочленам соответствующей степени.
- Выполнено распараллеливание алгоритмов мультивейвлет-обработки цифровой информации путем сведения вычислительного процесса к независимому решению трехдиагональных систем линейных уравнений со строгим диагональным преобладанием.
- Дано теоретическое обоснование использования мультивейвлет-обработки цифровой информации в решении проблемы трассирования автомобильных дорог.
- Разработан пакет прикладных программ для моделирования поверхностей автомобильных дорог с применением мультивейвлет-обработки материалов лазерного сканирования.

- Показана возможность оптимизации моделей поверхностей путём сжатия данных с помощью бикубических мультивейвлетов.

**Практическое значение работы** состоит в том, что алгоритмы мультивейвлет-обработки цифровой информации впервые применены в решении проблемы трассирования автомобильных дорог и для моделирования поверхностей автомобильных дорог при разработке систем автоматизации диагностики, проектирования реконструкции и ремонта автомобильных дорог.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

- Алгоритмы мультивейвлет-обработки цифровой информации;
- Оптимизация алгоритмов мультивейвлет-обработки цифровой информации;
- Теоретическое обоснование использования мультивейвлет-обработки цифровой информации в решении проблемы трассирования автомобильных дорог;
- Результаты применения мультивейвлет-обработки цифровой информации для моделирования поверхностей автомобильных дорог.

**Личным вкладом** диссертанта является вывод теоретических результатов, разработка вычислительных алгоритмов обработки цифровой информации на основе мультивейвлетов, а также численное моделирование, разработка пакета прикладных программ и анализ полученных результатов.

**Апробации результатов диссертации.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры вычислительной математики и компьютерного моделирования механико-математического факультета ТГУ (рук. проф. Старченко А.В.), факультета прикладной математики и кибернетики ТГУ (рук. проф. Горцев А.М.), кафедры прикладной математики ТГАСУ (рук. проф. Колупаева С.Н.) и лаборатории численных методов математического анализа Института математики СО РАН (рук. доц. Мирошниченко В.Л.), а также на ряде всероссийских и международных научных конференций: V, VI, VII сибирской конференциях по параллельным и высокопроизводительным вычислениям, Томск, 2009, 2011, 2013 г.; XIII, XIV, XV всероссийском семинарах «Моделирование неравновесных систем», Красноярск, 2010, 2011, 2012 г.; Седьмой межрегиональной школе–семинаре. Распределенные и кластерные вычисления. Красноярск, 2010; IX Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». Томск, 2011; Международной научной конференции, посвященной 60–летию ОшГУ, г. Ош, 2012; X Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». Томск, 2012.

**Достоверность и обоснованность** научных положений и выводов, полученных в диссертационной работе, основана на утверждениях, доказанных с использованием аппарата символьных вычислений, и подтверждается согласием численных результатов с результатами теоретических расчетов, а также разработкой пакета прикладных программ с применением разработанной теории.

**Публикации.** По результатам выполненной работы опубликовано 26 печатных работ, из них 8 в журналах, рекомендованных ВАК Кыргызской Республики и Российской Федерации. Список работ приведен в конце автореферата.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводы, списка литературы и приложений. Материал изложен на 181 страницах, содержит 2 таблицы, 48 рисунков и 2 приложения. Список цитируемой литературы содержит 75 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, показана необходимость оптимизации алгоритмов обработки цифровой информации на основе мультивейвлетов, определены цели, задачи и методы исследования, приведены научная новизна и практическая значимость работы, апробации, содержание и объем работы.

**В первой главе** приведены основные понятия и определения преобразования вейвлетов, предпосылки к обоснованию перспективности использования вейвлетов на примере вейвлетов Хаара и даны примеры их построения и преобразования. Далее приведены построение и преобразование вейвлетов Добеши и некоторые из свойств, которые важны при конструировании базиса вейвлетов в тех или иных ситуациях. Приведено также обоснование сплайн-вейвлетов – рассмотрены  $B$ -сплайновые масштабирующие функции,  $B$ -сплайновые вейвлеты,  $B$ -сплайновый блок фильтров, конструирование полуортогональных вейвлетов, а также продемонстрирован вывод  $B$ -сплайновых вейвлетов на конкретных примерах.

В заключение первой главы рассмотрены неизвестные ранее варианты построения сплайн-вейвлетов первой степени, перспективные для дальнейшей оптимизации алгоритмов обработки цифровой информации на основе мультивейвлетов, а также рассмотрены численные примеры. Распространение этих схем на сплайны более высокой степени (например, третьей и пятой) может предоставить новые возможности для создания вычислительно-эффективных алгоритмов построения и использования сплайн-мультивейвлетов.

**Вторая глава** посвящена построению и оптимизации алгоритмов обработки цифровой информации на основе мультивейвлетов с использованием эрмитовых сплайнов 3-й и 5-й степени. Подробно

рассмотрено вейвлет-преобразование (ВП) эрмитовых кубических сплайнов (ЭКС) и построены системы базисных сплайн-вейвлетов третьей степени. Предложена *оптимизация алгоритмов* мультивейвлет-обработки цифровой информации путем учета конкретных особенностей структуры матрицы вейвлет-анализа и блочного ее представления, что позволяет многократно ускорить эту обработку и проводить ее на гораздо большем объеме исходной информации.

### Построение системы базисных сплайн-вейвлетов 3-й степени

Для создания вейвлет-преобразование вначале нам понадобится система пространств  $\dots V^{L-1} \subset V^L \subset V^{L+1} \dots$ . Пусть у нас имеются ЭКС. Для них  $V^L$  – пространство сплайнов Эрмита степени три гладкости  $C^1$ , т.е. непрерывно дифференцируемые на всем конечном отрезке  $[a, b]$ . Пусть задана равномерная сетка узлов  $\Delta^L: u_i = a + (b-a)i/2^L, i = 0, 1, \dots, 2^L, L \geq 0$ . Базисные функции порождаются сдвигами и сжатиями масштабирующих функций, т.е. «отцовских» вейвлетов (рис. 1. а):

$$\varphi_0(t) = \begin{cases} t^2(3-2t), & 0 \leq t \leq 1, \\ (2-t)^2(2t-1), & 1 \leq t \leq 2, \\ 0, & t \notin [0, 2]; \end{cases} \quad \varphi_1(t) = \begin{cases} t^2(t-1), & 0 \leq t \leq 1, \\ (2-t)^2(t-1), & 1 \leq t \leq 2, \\ 0, & t \notin [0, 2]. \end{cases} \quad (1)$$

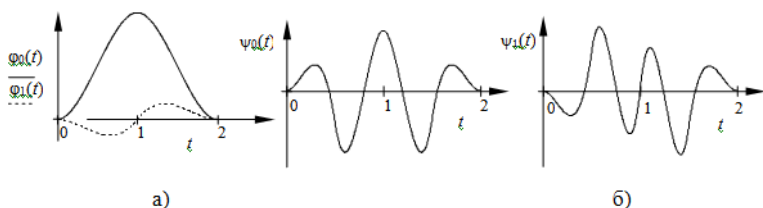


Рис. 1. а) Графики масштабирующих функций  $\varphi_0(t)$ ,  $\varphi_1(t)$ ;

б) вид симметричного и несимметричного «материнских» вейвлетов  $\psi_0(t)$ ,  $\psi_1(t)$

Тогда базисные функции задаются выражениями вида  $N_{i,k}^L(v) = \varphi_k(v-i)$ ,  $k = 0, 1 \forall i$ , где  $v = 2^L(u-a)/(b-a) + 1$ , у которых центры в целых числах. С использованием вейвлет-преобразования функция в пространстве  $V^L$  проецируется на два подпространства,  $V^{L-1}$  и  $W^{L-1}$ , где  $W^{L-1}$  является ортогональным дополнением пространства  $V^{L-1}$  до пространства  $V^L$ . Причем «более грубое» представление функции в пространстве  $V^{L-1}$  получается из «более подробного» представления функции в пространстве  $V^L$  посредством двоичной децимации (удаления каждого нечетного, или каждого четного, отсчета). Для создания

соответствующего формализма необходимо, чтобы каждая базисная функция в пространстве  $V^{L-1}$  выражалась аналитически как линейная комбинация базисных функций в пространстве  $V^L$ . На языке теории вейвлетов это свойство называется калибровочным соотношением. Для эрмитовых сплайнов третьей степени и коэффициента децимации 2 калибровочное соотношение известно в виде следующих систем формул:

$$\varphi_0(t) = \varphi_0(2t-1) + \frac{1}{2}(\varphi_0(2t) + \varphi_0(2t-2)) + \frac{3}{4}(\varphi_1(2t) - \varphi_1(2t-2)), \quad (2)$$

$$\varphi_1(t) = \frac{1}{2}\varphi_1(2t-1) - \frac{1}{8}(\varphi_1(2t) + \varphi_1(2t-2) + \varphi_0(2t) - \varphi_0(2t-2)), 0 \leq t \leq 2.$$

В нашем случае базисные функции для пространства  $V^{L-1}$  получаются как функции  $N^{L-1}_{i,k}$ , у которых носители в два раза больше по ширине и центры в четных целых числах. Что касается определения пространства вейвлетов, то в классической теории вейвлетов на бесконечной продолженной в обе стороны равномерной сетке, на всей числовой оси для этого сжимается и сдвигается единственный «материнский» вейвлет, и  $W^{L-1}$  есть ортогональное дополнение сплайн-пространства на редкой сетке пространства  $V^{L-1}$  до пространства сплайнов на более частой сетке пространства  $V^L$  относительно обычного скалярного произведения. Математически это записывается, как  $V^L = V^{L-1} \oplus W^{L-1}$ . В работе<sup>1</sup> были получены «материнские» вейвлеты вида (рис. 1. б):

$$\psi_0(t) = -2\varphi_0(2t) + 4\varphi_0(2t-1) - 2\varphi_0(2t-2) - 21\varphi_1(2t) + 21\varphi_1(2t-2), \quad (3)$$

$$\psi_1(t) = \varphi_0(2t) - \varphi_0(2t-2) + 9\varphi_1(2t) + 12\varphi_1(2t-1) + 9\varphi_1(2t-2),$$

для которых имеют места равенства:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi'_k(x-i)\psi'_l(x-j)dx = 0, \quad \forall i, j \text{ и } k, l = 0, 1.$$

Для эрмитовых кубических сплайн-вейвлетов в диссертации получены неявные конечные соотношения разложения с расщеплением по четным и нечетным узлам равномерной сетки. Приводится численный пример для эрмитовых кубических сплайн-вейвлетов и предложен алгоритм устойчивого вычисления производных по выборке, а также приведены результаты экспериментов для эрмитовых кубических сплайн-вейвлетов с помощью созданного пакета прикладных программ.

Доказана

**Лемма 1.** Пусть  $L$  – уровень разрешения ЭКСВ и для  $L > 1$

---

<sup>1</sup> Jia, R. Q. Wavelet bases of Hermite cubic splines on the interval [Text] / R. Q. Jia, S. T. Liu // Advances Computational Mathematics. – 2006. – Vol. 25. – P. 23-39.



$$R^L = \begin{bmatrix} 8 & -96 & 48 & 0 & & & & & & & & & & & & \\ & -4 & -4 & 28 & 0 & -4 & 4 & 0 & & & & & & & & \\ & & 48 & 24 & 0 & 8 & -48 & 24 & 0 & & & & & & & \\ & & & & 0 & -4 & -4 & 28 & \ddots & 0 & -4 & 4 & & & & \\ & & & & 0 & 48 & 24 & 0 & \ddots & 8 & -48 & 24 & & & & \\ & & & & & & & & \ddots & 0 & 96 & 48 & 8 & & & \\ 1 & 4 & -2 & 0 & & & & & & & & & & & & \\ & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & -1 & 0 & & & & & & & & \\ & -2 & -1 & 0 & 1 & 2 & -1 & 0 & & & & & & & & \\ & & & & 0 & 1 & 1 & 1 & \ddots & 0 & 1 & -1 & & & & \\ & & & & 0 & -2 & -1 & 0 & \ddots & 1 & 2 & -1 & & & & \\ & & & & & & & & \ddots & 0 & -4 & -2 & 1 & & & \end{bmatrix}$$

где использовано обозначение, что точки, расставленные по диагонали матрицы, означают, что столбцы матрицы повторяются так, что они сдвигаются при этом вниз на четыре ряда для первой матрицы и на два ряда – для второй матрицы.

Тогда для базисных сплайн-функций пространства ЭКС на густой сетке, базисных сплайн-функций на прореженной сетке и вейвлетов справедливо следующее матричное равенство

$$\varphi^L G^L = \begin{bmatrix} \varphi^{L-1} & | & \psi^{L-1} \end{bmatrix} R^L.$$

**Следствие 1.** При любом уровне разрешения  $L$  для матрицы вейвлет-разложения ЭКС имеет место следующее матричное равенство

$$\begin{bmatrix} A^L \\ B^L \end{bmatrix} G^L = R^L, \quad \text{где} \quad \begin{bmatrix} A^L \\ B^L \end{bmatrix} = [P^L \mid Q^L]^{-1}.$$

Доказана

**Теорема 1.**

Введем

матричное

обозначение

$\Xi^L = [\xi_0^{L,1}, \xi_0^{L,0}, \xi_1^{L,1}, \dots, \xi_{2^L}^{L,1}]^T, L \geq 1$ , где элементы матрицы вычислены из уравнений вида

$$\begin{bmatrix} -28 & 4 & & & & \\ 4 & -24 & 4 & & & \\ & \ddots & \ddots & \ddots & & \\ & & & 4 & -28 & \\ & & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1^{L,0} \\ \xi_3^{L,0} \\ \vdots \\ \xi_{2^{L-1}}^{L,0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1^{L,0} - 12\xi_2^{L,0} \\ C_3^{L,0} - 12(\xi_2^{L,0} + \xi_4^{L,0}) \\ \vdots \\ C_{2^{L-1}}^{L,0} - 12\xi_{2^{L-2}}^{L,0} \end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} -60 & 12 & & & & \\ 12 & -72 & 12 & & & \\ & \ddots & \ddots & \ddots & & \\ & & & 12 & -60 & \\ & & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1^{L,1} \\ \xi_3^{L,1} \\ \vdots \\ \xi_{2^{L-1}}^{L,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1^{L,1} - 8(\xi_0^{L,1} + \xi_2^{L,1}) \\ C_3^{L,1} - 8(\xi_2^{L,1} + \xi_4^{L,1}) \\ \vdots \\ C_{2^{L-1}}^{L,1} - 8(\xi_{2^{L-2}}^{L,1} + \xi_{2^{L-1}}^{L,1}) \end{bmatrix};$$

$$\vdots$$

$$\text{и } \xi_i^{L,0} = \frac{1}{32} C_i^{L,0}, i = 2, 4, \dots, 2^L - 2; \quad \xi_i^{L,1} = \frac{1}{16} C_i^{L,1}, i = 0, 2, \dots, 2^L;$$

$$\xi_1^{1,0} = -\frac{1}{32} C_1^{1,0}, \quad \xi_1^{1,1} = -\frac{1}{48} (C_1^{1,1} - 8(\xi_0^{1,1} + \xi_2^{1,1}))$$

Здесь использовано обозначение, что точки на диагонали матрицы означают, что строка матрицы повторяется, сдвигаясь при этом соответствующее число раз вправо.

Тогда, коэффициенты вейвлет-разложения вычисляются из матричной формулы

$$\begin{bmatrix} C^{L-1} \\ D^{L-1} \end{bmatrix} = R^L \Xi^L.$$

Теорема 1 полностью определяет алгоритм вейвлет-разложения эрмитового сплайна третьей степени с фиксированными нулевыми значениями в концах отрезка аппроксимации.

Выше соотношения вейвлет-разложения были получены формально. Следующим утверждением доказаны их существование, единственность и обратимость.

**Утверждение 1.** Для соотношений Теоремы 1 для ЭКС имеют место свойства существования, единственности и обратимости.

Представленные алгоритмы построения эрмитовых СВ третьей степени, полуортогональных относительно скалярного произведения с первой производной, и уменьшенным носителем и получение для них неявных соотношений разложения с расщеплением на две трехдиагональные матрицы могут быть созданы аналогичным образом и для сплайнов более высокой степени, что обеспечивает создание новых возможностей для распараллеливания алгоритмов построения и использования эрмитовых СВ.

Далее рассматривается описание оптимизации схемы построения кубических эрмитовых сплайн мультивейвлетов. Доказана

**Теорема 2.** Пусть

$$M_{i,k}^L(x) = \psi_k(v-i), i = 1, 2, \dots, 2^L - 1 (k = 0, 1), \quad M_{0,1}^L(x) = w_1(v), \quad M_{2^L,1}^L(x) = -w_1(2^L - v),$$

где  $v = 2^L(x-a)/(b-a) + 1$ ,

$$\psi_0(t) = -2\varphi_0(2t+2) + 4\varphi_0(2t+1) - 2\varphi_0(2t) - 15\varphi_1(2t+2) + 15\varphi_1(2t),$$

$$\psi_1(t) = 7\varphi_0(2t+2) - 7\varphi_0(2t) + 39\varphi_1(2t+2) + 132\varphi_1(2t+1) + 39\varphi_1(2t),$$

$$w_1(t) = \varphi_0(2t+1) - 4\varphi_0(2t) + 36\varphi_1(2t+2) + 63\varphi_1(2t+1) + 24\varphi_1(2t).$$

Тогда система функций

$\{M_{0,1}^L(x), M_{i,k}^L(x), i = 1, 2, \dots, 2^L - 1 (k = 0, 1), M_{2^L,1}^L(x)\}$ , удовлетворяет условиям

$$\int_a^b M_{i,k}^L(x) x^m dx = 0, \quad k = 0, 1 \quad \forall i (m = 0, 1, 2, 3)$$

и образует базис с суперкомпактными носителями в пространстве  $W^{L,0}, L \geq 0$ .

Тестирование алгоритмов для обработки временных рядов. После составления программы с построенным по вышеуказанному правилу разложением на две трехдиагональные системы линейных уравнений становится возможным выполнять вейвлет-разложение исходных рядов и, как показывают проверочные эксперименты, с высокой скоростью. Разработанный в данной главе алгоритм применялся для решения 2-х задач, а именно, для модельной задачи аппроксимации функции Хартена (первая задача) и вариационного моделирования трасс автомобильных дорог (вторая задача).

Основываясь на вышеизложенном, разработан алгоритм вейвлет-преобразования и приведен пример вейвлет-преобразования, иллюстрированный кривыми, построенными на основе вейвлетов. Результаты приведены на следующих рисунках.

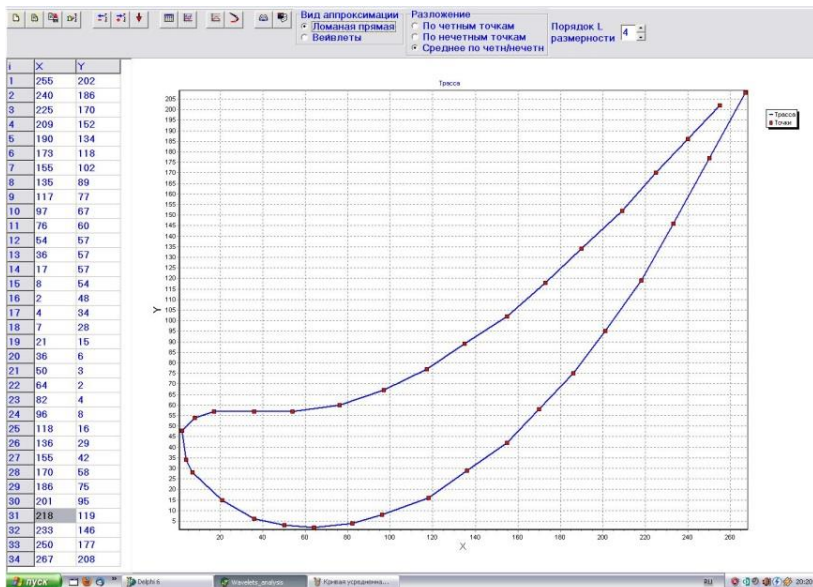


Рис. 2. График исходной кривой

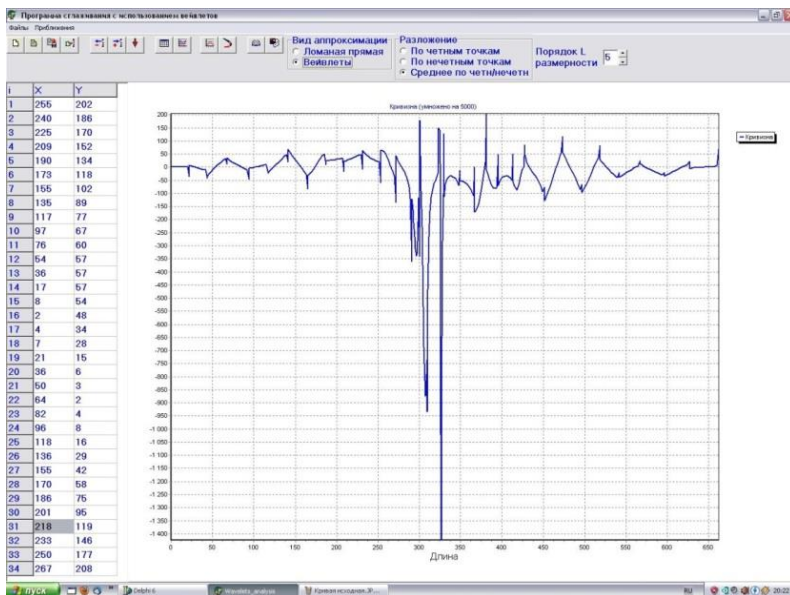
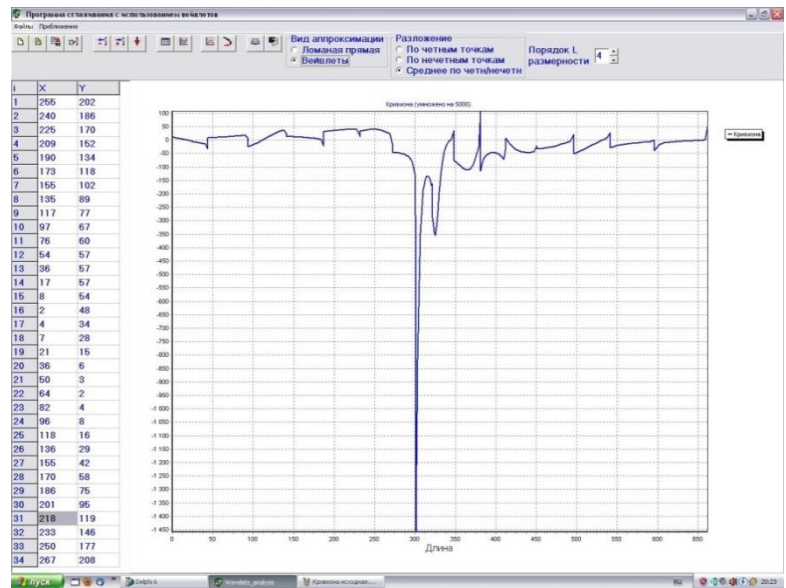
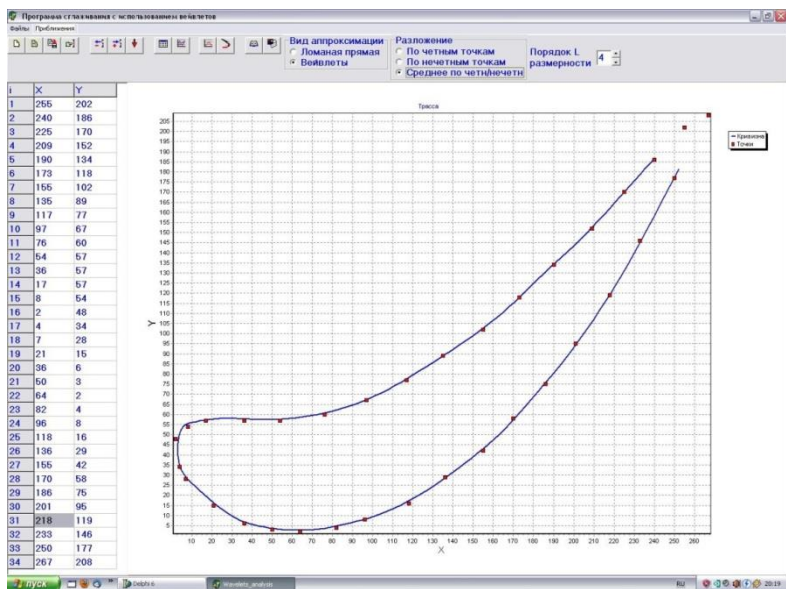


Рис. 3. Кривизна исходной кривой



На рис. 2-5 представлены последовательные этапы улучшения плоской незамкнутой кривой – участка плана трассы автомобильной дороги с помощью программы в среде программирования Delphi.

После оптимизации по сравнению с исходной кривой график кривизны кривой содержит гораздо меньше монотонных участков. Другими словами, оптимизированная кривая становится лучше.

В заключении второй главы рассмотрена оптимизация вейвлет-преобразования эрмитовых сплайнов 5-й степени и построены системы базисных сплайн-вейвлетов 5-й степени.

Доказана

ТЕОРЕМА 3. Пусть

$$M_{1,0}^0(x) = M_0(v), M_{1,1}^0(x) = M_1(v), M_{1,2}^0(x) = M_2(v),$$

$$M_{1,0}^L(x) = w_0(v), M_{1,1}^L(x) = w_1(v), M_{1,2}^L(x) = w_2(v),$$

$$M_{2,0}^L(x) = w_0(2^L - v), M_{2,1}^L(x) = -w_1(2^L - v), M_{2,2}^L(x) = w_2(2^L - v), L \geq 1,$$

$$M_{i,0}^L(x) = \psi_0(v + 3/2 - i), M_{i,1}^L(x) = \psi_1(v + 3/2 - i), M_{i,2}^L(x) = \psi_2(v + 3/2 - i),$$

$$i = 2, 3, \dots, 2^L - 1, L \geq 2,$$

где  $v = 2^L(x - a)/(b - a) + 1$ , и

$$M_0(t) = \varphi_0(2t) - 4\varphi_0(2t + 1) - 4\varphi_0(2t - 1) + 84(\varphi_1(2t + 1) - \varphi_1(2t - 1)) - \\ - 828(\varphi_2(2t + 1) + \varphi_2(2t - 1)),$$

$$M_1(t) = 35\varphi_1(2t) - 200(\varphi_1(2t + 1) + \varphi_1(2t - 1)) + 8\varphi_0(2t + 1) - \\ - 8\varphi_0(2t - 1) + 2280(\varphi_2(2t + 1) - \varphi_2(2t - 1)),$$

$$M_2(t) = 35\varphi_2(2t) - 251(\varphi_2(2t + 1) + \varphi_2(2t - 1)) - \varphi_0(2t + 1) - \\ - \varphi_0(2t - 1) + 23(\varphi_1(2t + 1) - \varphi_1(2t - 1)),$$

$$w_0(t) = 1296\varphi_0(2t + 1) + (7990\varphi_0(2t) - 538\varphi_0(2t - 1) - 41545\varphi_1(2t) - \\ - 41140\varphi_1(2t - 1) - 924040\varphi_2(2t) + 438040\varphi_2(2t - 1)),$$

$$w_1(t) = 432\varphi_1(2t + 1) + (283\varphi_0(2t) - 12\varphi_0(2t - 1) - 1161\varphi_1(2t) - \\ - 1288\varphi_1(2t - 1) - 32372\varphi_2(2t) + 13520\varphi_2(2t - 1)),$$

$$w_2(t) = 2160\varphi_2(2t + 1) + (77\varphi_0(2t) - 2\varphi_0(2t - 1) - 245\varphi_1(2t) - \\ - 320\varphi_1(2t - 1) - 8900\varphi_2(2t) + 3320\varphi_2(2t - 1)),$$

$$\psi_0(t) = 164\varphi_0(2t) + (28\varphi_0(2t + 1) + 28\varphi_0(2t - 1) + 115\varphi_1(2t + 1) - \\ - 115\varphi_1(2t - 1) - 13200\varphi_2(2t)),$$

$$\psi_1(t) = 80\varphi_1(2t) + (-\varphi_0(2t + 1) + \varphi_0(2t - 1) + 37\varphi_1(2t + 1) + \\ + 37\varphi_1(2t - 1) + 412\varphi_2(2t + 1) - 412\varphi_2(2t - 1)),$$

$$\psi_2(t) = 464\varphi_2(2t) + (-4\varphi_0(2t) - 11\varphi_1(2t + 1) + 11\varphi_1(2t - 1) - \\ - 112\varphi_2(2t + 1) - 112\varphi_2(2t - 1)).$$

Тогда система функций  $\{M_{i,k}^L(x), i = 1, 2, \dots, 2^L (k = 0, 1, 2)\}$ , удовлетворяет условиям

$$\int_a^b M_{i,k}^L(x) x^m dx = 0, \quad k = 0, 1, 2 \quad \forall i (m = 0, 1, \dots, 5)$$

и образует базис в пространстве  $W_L, L \geq 0$ .

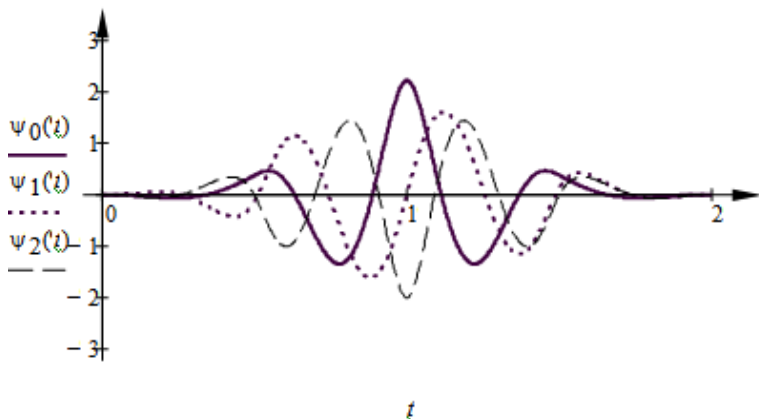


Рис. 6. Вид двух симметричных и одного антисимметричного «материнских» вейвлетов  $\psi_0(t), \psi_1(t), \psi_2(t)$

На основе этого получены соотношения разложения для эрмитовых-сплайн вейвлетов пятой степени и приведены численные примеры с результатами экспериментов.

**Третья глава** посвящена алгоритмам мультивейвлет-обработки в применении к моделированию поверхностей автомобильных дорог. Рассмотрено ВП для двумерного случая. А именно: рассмотрено двумерное ВП на основе кубических мультивейвлетов. Основная часть главы посвящена моделированию поверхностей с помощью кубических мультивейвлетов с уменьшенным носителем – приведены результаты численных экспериментов. Алгоритмы двумерного вейвлет-сжатия программно реализованы и апробированы.

Применение предложенных алгоритмов для моделирования автомобильных дорог требует предварительной обработки данных лазерного сканирования дорог и получения прямоугольной выборки данных. С этой целью рассмотрены вопросы: выделение из данных лазерного сканирования отдельных сканов, удаление лишних точек на обочинах трассы, применение метода корреляции между двумя сканами, локализация гребня скана, обнаружение и заполнение пропусков в данных лазерного сканирования автомобильной дороги. Для получения таблицы – выборки данных, пригодной для вейвлет-анализа, предложено применить

алгоритм Брезенхэма. Предложенные алгоритмы программно реализованы, тестированы и апробированы.

В **четвертой главе** дано описание пакета программ, реализующих мультивейвлет обработку при моделировании автомобильных дорог, на основе платформы Delphi. В пакете применены также аппаратные средства графического ускорения (технологии Open GL). Приведены блок-схемы пакета прикладных программ, а также численные и практические результаты применения двумерного мультивейвлет-преобразования для аппроксимации поперечных сканов и моделирования поверхностей автомобильных дорог по материалам лазерного сканирования. Разработанная программа позволяет решать следующие задачи:

1. Импортировать данные лазерного сканирования, заданные в текстовых файлах.
2. Проводить разделение облака данных на сканы.
3. Убирать повторы сканов, если такие повторы имеются.
4. Выделять из облака данных поверхность дорожной полотна и производить выборку данных, пригодную для построения модели дорожной поверхности.
5. Представлять графическое изображение сканов, треков и поверхности дороги в выбранных профилях и планах с любой степенью детализации.
6. Давать визуальное трехмерное представление поверхности дороги с использованием технологии OpenGL.
7. Проводить вейвлет-анализ любого выбранного скана и любого трека дороги.
8. Проводить вейвлет-анализ поверхности с использованием как билинейных так и бикубических мультивейвлетов с получением статистических оценок погрешности возникающей при сжатии информации.

На примерах показана возможность оптимизации моделей поверхностей путём сжатия данных с помощью билинейных либо бикубических мультивейвлетов. Так при сжатии данных помощью билинейных мультивейвлетов с коэффициентом сжатия 3,97 возникающая среднеквадратическая погрешность аппроксимации поверхности не превосходит 7,4 мм. При сжатии данных помощью бикубических мультивейвлетов с таким же коэффициентом сжатия возникающая среднеквадратическая погрешность аппроксимации поверхности не превосходит 5,7 мм. Математическое ожидание отклонения в обоих случаях является немного смещенным на  $8,5 \cdot 10^{-4}$  м для первого и  $9,4 \cdot 10^{-4}$  м для второго случаев.



Результаты численных экспериментов показывают практическую пригодность вейвлет-преобразования для применения в моделях поверхностей автомобильных дорог. Разработанная модель пригодна для практического вычисления объемов работ по срезке выступов и заполнения выбоин при проектировании ремонтов автомобильных дорог.

Разработанный пакет прикладных программ внедрен в практическую работу проектной организации «Индор-Мост» г. Томск, РФ.

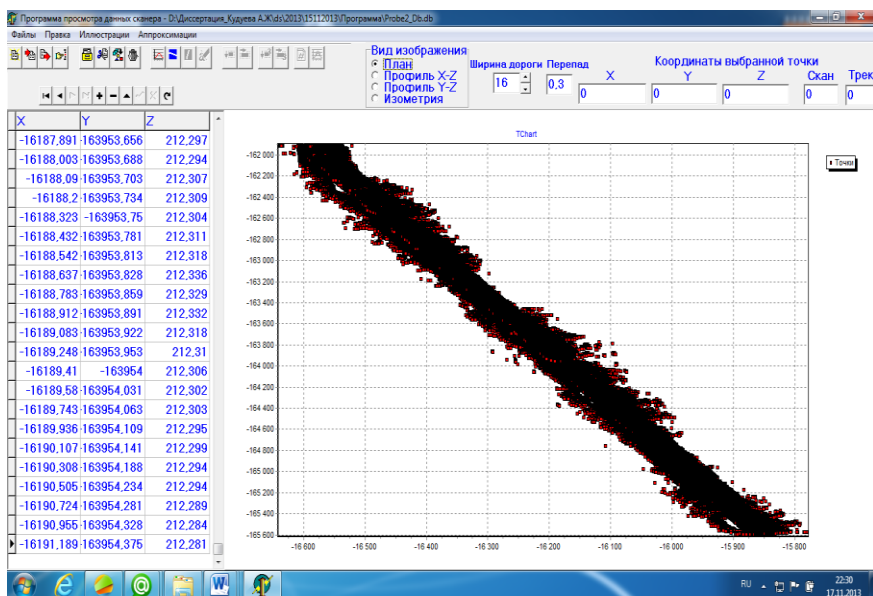


Рис. 7. Внешний вид главного окна программы

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

- Предложены вычислительные алгоритмы мультивейвлет-обработки цифровой информации;
- Получены научные результаты, позволяющие провести оптимизацию алгоритмов мультивейвлет-обработки цифровой информации;
- Исследовано теоретическое обоснование использования мультивейвлет-обработки цифровой информации в решении проблемы трассирования автомобильных дорог;
- Разработан пакет прикладных программ с применением мультивейвлет-обработки цифровой информации для моделирования поверхностей автомобильных дорог.

• Показана возможность оптимизации моделей поверхностей путём сжатия данных с помощью билинейных либо бикубических мультивейвлетов.

Результаты диссертации апробированы в международных научных конференциях и семинарах в городах Томск, Красноярск, Новосибирск, Бишкек, Ош и опубликованы в работах [1]-[26]. Выполнено внедрение пакета прикладных программ в практическую работу проектной организации «Индор-Мост», Россия, г. Томск (акт внедрения прилагается).

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. **Кудуев, А.Ж.** Развитие теории сплайн-вейвлетов и оптимизация алгоритмов обработки числовой информации [Текст] / А.Ж. Кудуев, Б.М. Шумилов, З.М. Сулайманов // Труды междунар. конф., Актуальные проблемы вычисл. и прикл. математики - 2015. Академгородок, Новосибирск, 2015. – С. 402-408.

2. **Кудуев, А.Ж.** Обработка данных лазерных измерений на основе рекуррентных кубических сплайнов [Текст] / А.Ж. Кудуев // Вестн. Ош. гос. ун-та. – 2015. – № 1. – С. 198-205.

3. **Кудуев, А.Ж.** Исследование метода моделирования дорожной поверхности, основанного на данных лазерного сканирования и новом типе приближения мультивейвлетами эрмита [Текст] / А.Ж. Кудуев // Изв. Кырг. гос. техн. ун-та им. Раззакова. – 2015. -№ 1 (34), – С. 68-77.

4. **Кудуев, А.Ж.** Вейвлет-преобразование и вариационное трассирование автомобильных дорог [Текст] / А.Ж. Кудуев, Б.М. Шумилов, Абдыкалык кызы Ж. // Первая всерос. науч. конф. молодых учен. с межд. участием 21-25 окт. Том. гос. архитектур.-строит. ун-та. – 2013. – С. 163-165.

5. **Кудуев, А.Ж.** Optimization of the wavelet transformations of hermite quintic splines: «lazy» wavelets [Текст] / А.Ж. Кудуев, Б.М. Шумилов, У.С. Ыманов // Моделирование неравновесных систем: материалы XVI Всерос. семинара / под ред. В.В. Слабко; отв. за вып. М.Ю. Сенашова. – Красноярск, 2013. – С. 197-202.

6. **Кудуев, А.Ж.** Optimization of the wavelet transformations of hermite quintic splines: algorithm with splitting [Текст] / Абдыкалык кызы Ж., Кудуев, Б.М. Шумилов, А.Ж. Кудуев // Моделирование неравновесных систем: материалы XVI Всерос. семинара / под ред. В.В. Слабко; отв. за вып. М.Ю. Сенашова. – Красноярск, 2013. – С. 202-208.

7. **Кудуев, А.Ж.** Бешинчи даражадагы көп мүчөлүү, ортогоналдуу жаңы типтеги мультивейвлеттер [Текст] / А.Ж. Кудуев // Вестн. Ош. гос. ун-та. – 2012. – № 3 (5). – С. 45-51.

8. **Кудуев, А.Ж.** Визуализация данных лазерного сканирования автомобильных дорог с использованием ортогонального GNM-мультивейвлет-преобразования [Текст] / А.Ж. Кудуев, Э.А. Эшаров,

Н.К. Аркабаев // Вестн. Том. гос. архитектур.-строит. ун-та. – 2014. – № 3 (43). – С. 156-166.

9. **Кудуев, А.Ж.** Мультивейвлет пятой степени [Текст] / Б.М. Шумилов, Э.А. Эшаров, А.Ж. Кудуев, У.С. Ыманов // Изв. Том. политехн. ун-та. Математика и механика. Физика. – 2013. – Т. 323, № 2. – С. 11-15.

10. **Кудуев, А.Ж.** Кубические мультивейвлеты, ортогональные многочленам, и трассирование автомобильных дорог [Текст] / А.Ж. Кудуев, Ж. Абдыкалык кызы, Б.М. Шумилов // Вестн. Ош. гос. ун-та. – 2012. – Спец. вып.: Международная науч. конф., посвящ. 60-летию Ош. гос. ун-та. – С. 105-110.

11. **Кудуев, А.Ж.** Новый тип мультивейвлетов пятой степени, ортогональных многочленам пятой степени [Текст] / Б.М. Шумилов, А.Ж. Кудуев // Вестн. Том. гос. ун-та. Управление, вычисл. техника и информатика. – 2012. – № 4 (21). – С. 108-116.

12. **Кудуев, А.Ж.** Мультивейвлеты седьмой степени, ортогональные с производными второго порядка [Текст] / Д.А. Турсунов, Б.М. Шумилов, А.Ж. Кудуев, Э.А. Турсунов // Вестн. Ош. гос. ун-та. – 2012. – Спец. вып.: Международная науч. конф., посвящ. 60-летию Ош. гос. ун-та. – С. 147-152.

13. **Кудуев, А.Ж.** Вейвлет-моделирование поверхностей автомобильных дорог [Текст] / У.С. Ыманов, Г.А. Онопенко, А.Ж. Кудуев // Моделирование неравновесных систем: материалы XIII Всерос. семинара / под ред. В.В. Слабко; отв. за вып. М.Ю. Сенашова. – Красноярск, 2012. – С. 235-240.

14. **Кудуев, А.Ж.** Вейвлет-преобразование и вариационное трассирование автомобильных дорог [Текст] / Ж. Абдыкалык кызы, Н.В. Лаходынова, А.Ж. Кудуев // Нейроинформатика, её приложения и анализ данных: материалы двадцатого Всерос. семинара / под ред. А. Н. Горбаня, Е. М. Миркеса; отв. за вып. Г. М. Садовская. – Красноярск, 2012. – С. 179-185.

15. **Кудуев, А.Ж.** Алгоритм и программа улучшения кривых с помощью кубических мультивейвлетов [Текст] / А.Ж. Кудуев, Н.В. Лаходынова, Ж. Абдыкалык кызы // Молодежь и современные информационные технологии: сб. тр. X Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». Томск, 15-16 нояб. 2012 г. – Томск, 2012. – С. 138-140.

16. **Кудуев, А.Ж.** Новый тип кубических мультивейвлетов, ортогональных кубическим многочленам [Текст] / А.Ж. Кудуев, Б.М. Шумилов // Моделирование неравновесных систем: материалы XIII Всерос. семинара / под ред. В.В. Слабко; отв. за вып. М.Ю. Сенашова. – Красноярск, 2012. – С. 93-99.

17. **Кудуев, А.Ж.** Метод эрмитовых кубических сплайн-вейвлетов для решения дифференциальных уравнений третьего порядка [Текст] / Д.А. Турсунов, Э.А. Эшаров, А.Ж. Кудуев, Ш.М. Матанов // Вестн. Кырг. нац. ун-та им. Жусупа Баласагына. – 2011. – Спец. вып. – С. 249.

18. **Кудуев, А.Ж.** Использование пакета PETSс для решения задачи сжатия эрмитовых кубических сплайн-кривых [Текст] / Э.А. Эшаров, Б. М. Шумилов, А.Ж. Кудуев // Молодежь и современные информационные технологии: сб. тр. IX Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». Томск, 11-13 мая 2011 г. – Томск, 2011. – Ч. 1. – С. 202-203.

19. **Кудуев, А.Ж.** Вейвлет-преобразование и сжатие данных лазерного сканирования автомобильных дорог [Текст] / А.Т. Бекмуратов, Г.А. Онопенко, А. Ж. Кудуев, Б.М. Шумилов, Э.А. Эшаров // Вестн. Том. гос. архитектур.-строит. ун-та. – 2011. – № 4. – С. 228-238.

20. **Кудуев, А.Ж.** Вейвлет-метод сжатия двумерных данных [Текст] / А.Ж. Кудуев, В.Н. Бойков, Э.А. Эшаров, У.З. Эркебаев // Моделирование неравновесных систем: материалы XIV Всерос. семинара / под ред. В.В. Слабко; отв. за вып. Г.М. Садовская. – Красноярск, 2011. – С. 141-146.

21. **Кудуев, А.Ж.** Вариационное трассирование автомобильных дорог с помощью нового типа эрмитовых кубических сплайн-вейвлетов [Текст] / А.Ж. Кудуев, Н.В. Лаходынова, Б.М. Шумилов, Э.А. Эшаров // Вестн. Том. гос. архитектур.-строит. ун-та. – 2011. – № 3 (32). – С. 176-183.

22. **Кудуев, А.Ж.** Применение билинейных сплайн-вейвлетов для аппроксимации поверхностей [Текст] / А.Ж. Кудуев, Б.М. Шумилов // Шестая Сиб. конф. по параллел. и высокопроизвод. вычислениям: программа и тез. докл. (15-17 нояб. 2011 г.). – Томск, 2011. – С. 60-61.

23. **Кудуев, А.Ж.** Метод эрмитовых кубических сплайн-вейвлетов для решения дифференциальных уравнений третьего порядка [Текст] / [А.Ж. Кудуев, Д.А. Турсунов, Э.А. Эшаров и др.] // Россий. гос. соц. ун-та, филиал в г. Ош. Вестн. Россий. гос. соц. ун-та. – 2011. – С. 141-144.

24. **Кудуев, А.Ж.** Вариационное моделирование пространственных кривых с помощью нового типа эрмитовых кубических сплайн-вейвлетов [Текст] / Н.К. Аркабаев, Б.М. Шумилов, Э.А. Эшаров, А.Ж. Кудуев // Пятая Сиб. конф. по параллел. и высокопроизвод. вычислениям / под ред. проф. А.В. Старченко. – Томск, 2010. – С. 92-96.

25. **Кудуев, А.Ж.** Использование пакета PETS с для решения задачи сжатия сплайн-кривых [Текст] / А.Ж. Кудуев, Б.М. Шумилов, Э.А. Эшаров, Ш.М. Матанов // Распределенные и кластерные вычисления: тез. докл. седьмой Межрегион. школы-семинара / Краснояр. учреждение РАН, Ин-т вычисл. моделирования Сиб. отд-ния РАН. – Красноярск, 2010. – С. 34-35.

26. **Кудуев, А.Ж.** Вариационное моделирование эрмитовых пространственных сплайн-кривых [Текст] / А.Ж. Кудуев, Б.М. Шумилов, Ш.М. Матанов, Э.А. Эшаров // Моделирование неравновесных систем – 2010: материалы тринадцатого Всерос. семинара 15-18 окт. 2010 г. – Красноярск, 2010. – С. 91-96.

## РЕЗЮМЕ

диссертации Кудуева Алтынбека Жалилбековича на тему: **«Оптимизация алгоритмов обработки цифровой информации с использованием мультивейвлетов»** на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации и 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

**Ключевые слова:** сплайны, вейвлеты, Эрмитовы сплайны, мультивейвлеты, вейвлет-преобразование.

**Объект исследования:** алгоритмы мультивейвлет-обработки цифровой информации в решении проблемы трассирования автомобильных дорог и для моделирования поверхностей автомобильных дорог при разработке систем автоматизации диагностики, проектирования реконструкции и ремонта автомобильных дорог.

**Цель работы** – решение научных и практических задач, связанных с построением и оптимизацией алгоритмов мультивейвлет-обработки цифровой информации, получаемой, например, при лазерном сканировании автомобильных дорог, и использование этих алгоритмов для моделирования поверхностей дорог.

**Методы исследования:** при решении поставленных задач применялись методы теории вейвлетов, теории  $B$ -сплайнов и эрмитовых сплайнов, теории разностных уравнений, а также численное моделирование на ЭВМ.

### **Полученные результаты и их новизна:**

- На основе теории среднеквадратической аппроксимации сплайнами в схему оптимизации алгоритмов мультивейвлет-обработки цифровой информации заложено свойство ортогональности многочленам соответствующей степени.

- Выполнено распараллеливание алгоритмов мультивейвлет-обработки цифровой информации путем сведения вычислительного процесса к независимому решению трехдиагональных систем линейных уравнений со строгим диагональным преобладанием.

- Дано теоретическое обоснование использования мультивейвлет-обработки цифровой информации в решении проблемы трассирования автомобильных дорог.

- Разработан пакет прикладных программ для моделирования поверхностей автомобильных дорог с применением мультивейвлет-обработки материалов лазерного сканирования.

- Показана возможность оптимизации моделей поверхностей путём сжатия данных с помощью бикубических мультивейвлетов.

**Рекомендации по использованию:** Результаты диссертационной работы позволяют программно реализовать и апробировать алгоритмы предварительной обработки облака данных лазерного сканирования и выделения проезжей части. Алгоритмы двумерного вейвлет-сжатия программно реализованы и апробированы. Результаты численных экспериментов показывают практическую пригодность вейвлет-преобразования для использования как билинейных, так и бикубических эрмитовых сплайн-вейвлетов при автоматизации проектирования ремонта поверхностей автомобильных дорог.

**Область применения:** Оптимизация алгоритмов мультивейвлет-обработки цифровой информации, трассирование автомобильных дорог, моделирование поверхностей автомобильных дорог.

Кудуев Алтынбек Жалилбековичтин 05.13.01 – Тутумдук анализ, маалыматтарды башкаруу жана иштеп чыгуу жана 05.13.18 – Математикалык моделдөө, сандык усулдар жана программалардын жыйыны адистиктери боюнча техника илимдеринин кандидаты окумуштуулук даражасын изденип алуу үчүн “Мультивейвлеттерди колдонуу менен санариптик маалыматтарды иштеп чыгуу алгоритминдерин оптималдаштыруу” деген темадагы диссертациясына

## РЕЗЮМЕ

**Урунттуу сөздөр:** сплайндар, вейвлеттер, Эрмиттик сплайндар, мультивейвлеттер, вейвлет-өзгөртүп түзүү.

**Изилдөө объекти:** автомобилдик жолдорду трассирлөө жана диагноздоонун автоматташтыруу системасын иштеп чыгуунун жана автомобилдик жолдордун үстүнкү бетин моделдөөнүн, автомобилдик жолдорду ондоо жана түзөтүү проектирлөөсүндөгү көйгөйлөрдү чечүүдө сандык маалыматтарды мультивейвлет-иштеп чыгуу алгоритмдери.

**Жумуштун максаты** – сандык маалыматтарды мультивейвлет-иштеп чыгуу алгоритмдерин тургузуу жана оптималдаштыруу менен байланышкан илимий жана практикалык маселелерди чечүү, мисалы, автомобилдик жолдорду лазердик сканерлөө жана бул алгоритмдерди автомобилдик жолдорун үстүнкү бетин моделдөөдө колдонуу.

**Изилдөө усулдары:** коюлган маселелерди чечүүдө вейвлеттер теориясы,  $B$  - сплайндар жана эрмиттик сплайндар теориясы, айырмалык тендемелердин теориясы, ошондой эле ЭЭМде сандык моделдөө методдору колдонулду.

### **Алынган жыйынтыктар жана алардын жаңылыгы:**

- Сплайндар менен орточо квадраттык аппроксимациялоо теориясынын негизинде маалыматтарды мультивейвлет–иштеп чыгуу алгоритмдерин тургузуу схемасына тиешелүү даражадагы көп мүчөлөргө болгон ортогоналдуулук касиети киргизилген;

- Сандык маалыматтарды мультивейвлет–иштеп чыгуу алгоритмдерин катуу диаганалдык артыкчылыктарга ээ болгон сызыктуу тендемелердин үч диаганалдуу системасынын көз каранды эмес чечилишине оптималдаштыруу жана параллелдештирүү аткарылды;

- Автомобилдик жолдорду трассирлөө көйгөйлөрүн чечүүдө санариптик маалыматтарды мультивейвлет–иштеп чыгууну колдонуунун теориялык негиздемеси берилген;

- Лазердик сканерлөөнүн материалдарын мультивейвлет–иштеп чыгууну колдонуу менен автомобилдик жолдордун үстүнкү бетин моделдөө үчүн колдонмо программалардын пакети иштелип чыгылган;

- Берилиштерди бикубдук вейвлеттердин жардамында кысуу жолу менен беттердин моделдерин оптималдаштыруу мүмкүнчүлүгү көрсөтүлгөн.

**Пайдаланууга карата сунуштар:** Диссертациялык жумуштун жыйынтыктары лазердик сканерлөөнүн берилгендер аймагын жана бөлүнгөн басып өткөн бөлүктүн берилгендер аймагын алдын ала иштеп чыгуу алгоритмдерин жана өтмө бөлүктү бөлүп алууну программалык реализациялоого жана апробациялоого мүмкүнчүлүк берет. Эки ченемдүү вейвлет–кысуунун алгоритми иштелип чыгылган жана апробацияланган. Сандык эксперименттердин жыйынтыктары автомобилдик жолдордун үстүнкү бетин оңдоп түзөө долбоорлорун автоматташтырууда бисызыктуу да, ошондой эле бикубдук да эрмиттик сплайн-вейвлеттерди пайдалануу үчүн вейвлет-өзгөртүп түзүүлөрдүн практикалык жактан пайдалуулугун көрсөтөт.

**Колдонуу аймагы:** Санариптик маалыматтарды мультивейвлет-иштеп чыгуу алгоритмдерин оптималдаштыруу, автомобилдик жолдорду трассирлөө, автомобилдик жолдордун үстүнкү беттерин моделдөө.

## SUMMARY

of dissertation research of Kuduev Altynbek Zhalilbekovich on the subject: **"Optimization of algorithms of processing of digital information with use of multiwavelets"** for the academic degree of Candidate of Technical Sciences on competition in the specialties 05.13.01 - the System analysis, management and information processing and 05.13.18 – Mathematical modeling, numerical methods and complexes of programs.

**Keywords:** splines, wavelets, Hermite splines, multiwavelets, wevelet-transformation.

**Object of research:** algorithms of multiwavelet-processing of digital information in the solution of the problem of tracing of highways and for modeling of surfaces of highways for development of systems of automation of diagnostics, design of reconstruction and repair of highways.

**The work purpose** – the solution of the scientific and practical tasks connected with construction and optimization of algorithms of multiwavelet-processing of the digital information obtained, for example, at laser scanning of highways and use of these algorithms for modeling of surfaces of roads.

**Research methods:** at the solution of objectives the methods of theory of wavelets, theories of *B*-splines and Hermite splines, theories of the differential equations, and also numerical modeling on the computer were applied.

**The received results and their novelty:**

- On the basis of the theory of mean square approximation by splines in the scheme of creation of algorithms of multiwavelet-processing of digital information the property of orthogonality to polynomials of the corresponding degree has put.
- Optimization and parallelization of algorithms of multiwevelet-processing of digital information on the independent solution of three-diagonal systems of the linear equations with strict diagonal prevalence are executed
- Theoretical justification of use of multiwavelet-processing of digital information in a solution of the problem of tracing of highways is investigated.
- The package of application programs for modeling of surfaces of highways for application of multiwavelet-processing of materials of laser scanning is developed.
- The possibility of optimization of models of surfaces by compression of given data by means of bicubic multiwavelet is shown.

**Recommendations about use:** Results of dissertation work allow to realize and approve programmatically algorithms of preliminary processing of a cloud of data of laser scanning and allocation of the carriageway. Algorithms of two-dimensional wavelet-compression are programmatically realized and approved. Results of numerical experiments show practical suitability of wavelet-transformation for use both bilinear, and bicubic Hermite spline-wavelets for optimization of surfaces of highways.

**Employment:** Optimization of algorithms of multiwavelet-processing of digital information, tracing of highways, modeling of surfaces of highways.



Кудуев Алтынбек Жалилбекович

**ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ  
ОБРАБОТКИ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИВЕЙВЛЕТОВ**

Подписано в печать: 16.11.2016  
Формат 60x84/16. Печать офсетная.  
Объем 1,75 п.л. Тираж 105 экз.

---

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
**MAXPRINT**  
Б А С М А С Ы

Типография «Maxprint»  
Адрес: 720045, г. Бишкек, ул. Ялтинская 114  
Тел.: (+996 312) 36-92-50  
e-mail: maxprint@mail.ru