

УДК: 004.932, 517.5

1.6. РЕАЛИЗАЦИЯ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ПАКЕТЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ

Земцов А.Н.¹, Чан Зунг Хань²¹Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград²Национальный экономический университет, г. Ханой, Вьетнам

В последние годы в Российской Федерации проводятся активные мероприятия по импортозамещению иностранной продукции, продиктованные введенными международными санкциями, что обуславливает высокую потребность в разработке эффективных инженерных решений, в частности, в области создания отечественного программного обеспечения. Сегодня вейвлет-анализ играет важную роль во многих отраслях народного хозяйства при решении задач обработки широкого спектра различных сигналов и изображений, а также является важной компонентой в подсистемах предварительной обработки. В статье описаны особенности реализации вейвлет-преобразования в пакете анализа данных, который позволяет решать основные задачи, связанные с обработкой сигналов и изображений, например, при создании отечественных систем медицинской визуализации. Полученные результаты позволяют считать, что характеристики реализованных вейвлет-преобразований в пакете анализа данных сопоставимы по эффективности с иностранными пакетами.

Введение

В связи с изменением политической и экономической ситуации с 2014 г. страны Европейского союза и Соединенные Штаты Америки, объединяя и планируя свои усилия, последовательно вводят санкции в отношении Российской Федерации. В ответ на это решение российское правительство наложило ответные санкции, что привело к ограничению использования зарубежного программного обеспечения. В 2016 г. Правительство РФ подготовило Распоряжение №1588-р, в котором был утвержден план реформирования федеральных органов исполнительной власти и государственных внебюджетных фондов, направленный на переход к использованию отечественного офисного программного обеспечения, Постановление Правительства РФ № 925 от 16.09.2016, в котором закреплялся приоритет отечественных товаров, работ и услуг по отношению к товарам, работам и услугам с иностранным происхождением, а также Постановление Правительства РФ №968 от 26.09.2016, устанавливающее ограничения на допуск перечня радиоэлектронного оборудования и комплектующих для обеспечения потребностей государственного и муниципального назначения. Как следствие, российские промышленные предприятия и государственные структуры были вынуждены уделить особое внимание вопросу об импортозамещении полного спектра иностранного программного обеспечения [Полонский, 2022].

При реализации мер, направленных на импортозамещение иностранного программного обеспечения, одним из наиболее значимых факторов является существенная зависимость юридических лиц, осуществляющих разработку программного обеспечения, от иностранных программных решений, которые выступают в качестве компонент в процессе разработки отечественных информационных комплексов и систем [Авдеева, 2022].

В результате динамичного сокращения представителей иностранных компаний на российском рынке комплексов и систем различного назначения, а также ответных санкций со стороны Российской Федерации была значительно ограничена возможность использования программных комплексов и систем иностранного производства. Из-за сложившейся политической ситуации разработка отечественных программных комплексов и систем, а также соответствующих инструментальных средств и компонентов для их разработки становится одной из наиболее актуальных задач [Коршунов, 2022].

Можно с уверенностью утверждать, что такая масштабная задача, как полное импортозамещение в области разработки отечественных информационных комплексов и систем, одновременно не может быть решена.

Вейвлет-анализ

В последние годы научно-инженерное сообщество полагалось на теорию вейвлет-анализа как на альтернативу временно-частотного представления сигналов, особенно после выявления и исследования научным сообществом недостатков преобразования Фурье, которое основано на представлении исходной функции в виде совокупности базисных функций, представляющих собой гармонические колебания с различными частотами. Следует отметить, что преобразование Фурье концентрируется на частотной области сигнала, в которой большинство физических величин нестабильны [Кошеляевский, 2017]. Для исследования вопросов, связанных с нестабильностью частоты в составе Технического комитета по времени и частоте, являющегося частью Объединения по приборам и измерениям, организованного при Институте инженеров электротехники и электроники, был создан Подкомитет по нестабильности частоты. Для решения практических задач цифровой обработки сигналов чаще используется дискретное косинусное преобразование, которое является разновидностью преобразования Фурье и наследует ряд его недостатков [Земцов, 2011а]. Вейвлеты обеспечивают локализацию как в пространственной, так и в частотной области, поэтому являются популярным инструментом для обработки различных сигналов. Кроме того, важной особенностью является возможность проведения анализа сигналов на различных разрешениях. В отличие от многих спектральных преобразований, вейвлет-

преобразование сигналов естественной природы, в том числе, изображений, как правило, концентрирует большую часть своей энергии в небольшой доле коэффициентов [Земцов, 2011b]. Это свойство так называемого разреженного представления сигнала является причиной популярности вейвлет-анализа во многих областях, таких как: удаление шума [Жолмагамбетова, 2020], управление беспилотными транспортными средствами [Чичерин, 2020], прогнозирование отказов [Винограденко, 2020], аутентификация [Сулавко, 2020], неразрушающий контроль [Лозовский, 2022], защита авторских прав [Земцов, 2022], радиолокация [Щукин, 2022], обработка медицинских изображений [Коневский, 2022] и сигналов [Жданов, 2023] и т.д.; также вейвлет-преобразование является ключевым компонентом различных стандартов, например, сжатия изображений JPEG 2000.

Результаты вейвлет-анализа зависят от важных свойств обработки сигнала, в связи с чем значение окна вейвлет-функции пропорционально частоте обрабатываемого сигнала. Существует два основных подхода к вычислению вейвлет-преобразования: непрерывный и дискретный. Оба этих подхода непрерывны во времени, и с их помощью можно представлять непрерывные сигналы.

Одномерное вейвлет-преобразования

Одномерное вейвлет-преобразование определяется следующим образом. Пусть дана дискретная функция $f(i)$, где $i = 0, \dots, N - 1$. Рассмотрим функции $\varphi(x)$ и $\psi(x)$, показанные на рис. 1 и 2, которые называются масштабирующей функцией и вейвлет-функцией, соответственно. Они порождают следующее семейство функций, зависящих от параметра $j = 0, \dots, \frac{N}{2} - 1$:

$$\varphi_j(x) = \frac{1}{\sqrt{2}} \varphi\left(\frac{x - 2j}{2}\right)$$

$$\psi_j(x) = \frac{1}{\sqrt{2}} \psi\left(\frac{x - 2j}{2}\right).$$

Предполагается, что $\varphi(x) = 0$ и $\psi(x) = 0$ для $\forall x < 0$.

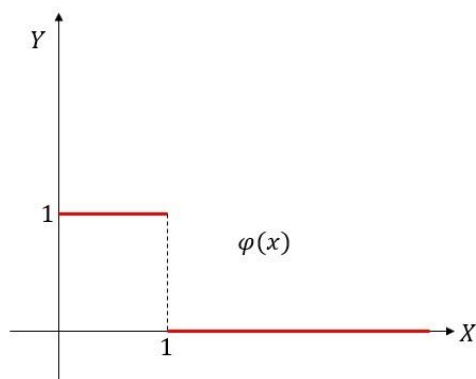


Рис. 1. Масштабирующая функция $\varphi(x)$ Хаара.

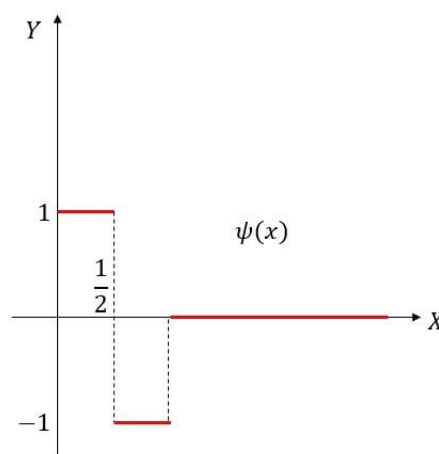


Рис. 2. Вейвлет-функция $\psi(x)$ Хаара.

Как известно, любую функцию $f(x)$, которая при $i = 0, \dots, N - 1$ постоянна на каждом полуинтервале $[i; i + 1)$ или на каждом полуинтервале $(i; i + 1]$, можно разложить по функциям $\varphi_j(x)$ и $\psi_j(x)$, так что для каждого $x \in [0; N]$ имеет место равенство

$$f(x) = \sum_{j=0}^{\frac{N}{2}-1} a_j \cdot \varphi_j(x) + \sum_{j=0}^{\frac{N}{2}-1} d_j \cdot \psi_j(x).$$

Это представление называется вейвлет-разложением функции $f(x)$, а набор коэффициентов $(a_0, \dots, a_{\frac{N}{2}-1}, d_0, \dots, d_{\frac{N}{2}-1})$ называется дискретным вейвлет-преобразованием функции $f(x)$.

Слагаемое $\sum_{j=0}^{\frac{N}{2}-1} a_j \cdot \varphi_j(x)$ называется аппроксимирующей частью вейвлет-разложения, а слагаемое $\sum_{j=0}^{\frac{N}{2}-1} d_j \cdot \psi_j(x)$ называется детализирующей частью вейвлет-разложения. Аппроксимирующая часть вейвлет-разложения содержит в себе основную информацию о функции $f(x)$ и может использоваться как приближение к ней. Детализирующая часть вейвлет-разложения компенсирует возникающую при этом ошибку.

Коэффициенты a_j и d_j при $j = 0, \dots, \frac{N}{2} - 1$ выражаются следующим образом:

$$a_j = \frac{f(2j) + f(2j + 1)}{\sqrt{2}}$$

$$d_j = \frac{f(2j) - f(2j + 1)}{\sqrt{2}}$$

Тогда обратное вейвлет-преобразование запишется в виде:

$$f(2j) = \frac{a_j + d_j}{\sqrt{2}}$$

$$f(2j + 1) = \frac{a_j - d_j}{\sqrt{2}}$$

Особенности вычисления многоуровневого вейвлет-преобразования

Обозначим дискретное вейвлет-преобразование матрицы изображения как I . Матрица изображения I определяется значениями яркости $f(i, j)$, где i, j – координаты пикселя, $i = 0, \dots, M - 1$ и $j = 0, \dots, N - 1$. Значения M и N определяют разрешение изображения ($M \times N$). В результате вычисления вейвлет-преобразования матрица изображения I делится на 2^m областей, где m – глубина вейвлет-преобразования.

Вейвлет-преобразование при $m = 1$ изначально вычисляется для каждой строки матрицы изображения I . Далее вейвлет-преобразование вычисляется для каждого столбца полученной на предыдущем этапе матрицы. В результате получаем вейвлет-преобразование W_I матрицы изображения I . Эта матрица делится на 4 подматрицы размерности $\frac{M}{2} \times \frac{N}{2}$, которые обозначим как LL_1, LH_1, HL_1 и HH_1 , тогда

$$W_I^1 = \begin{bmatrix} LL_1 & HL_1 \\ LH_1 & HH_1 \end{bmatrix}.$$

Вейвлет-преобразование при $m = 2$ изначально вычисляется для каждой строки подматрицы LL_1 , далее вейвлет-преобразование вычисляется для каждого столбца подматрицы LL_1 , а матрицы LH_1, HL_1 и HH_1 остаются неизменными. В результате получается матрица

$$W_I^2 = \begin{bmatrix} W_{LL_1} & HL_1 \\ LH_1 & HH_1 \end{bmatrix},$$

где

$$W_{LL_1} = \begin{bmatrix} LL_2 & HL_2 \\ LL_2 & HH_2 \end{bmatrix}$$

и подматрицы LL_2, LH_2, HL_2 и HH_2 имеют размерность $\frac{M}{4} \times \frac{N}{4}$. Вейвлет-преобразование при $m > 2$ вычисляется аналогично.

В массивах LLR, LLG, LLB хранятся яркости, соответственно, красной, зеленой и синей компонент цвета пикселя с координатами i, j в исходной матрице изображения I . Матрицы $LAUXR, LAUXG, LAUXB$ используются для временного хранения результатов вычисления вейвлет-преобразования. Массивы $LLR1, LLG1, LLB1$ содержат вычисления вейвлет-преобразования при $m = 1$, массивы $LLR2, LLG2, LLB2$ содержат результаты вычисления вейвлет-преобразования при $m = 2$, аналогично $LHR1, LHG1, LHB1$, и другие. Для обработки массивов преимущественно используются матричные операции, которые обладают естественным параллелизмом, что позволяет осуществить векторизацию, организовать вычисления на графическом процессоре, и т.д.

Результаты вычислительных экспериментов

В разрабатываемом пакете реализуется ряд n -мерных дискретных вейвлет-преобразований, а также одномерное непрерывное вейвлет-преобразование, для вычисления которых уже реализован широкий спектр вейвлетов. Все дискретные вейвлет-преобразования реализуются путем свертки повышающей и понижающей дискретизации с фильтрами с конечной импульсной характеристикой [Тарасов, 2018]. n -мерные вейвлет-преобразования реализованы посредством отдельного применения одномерных вейвлет-преобразований. Схожие алгоритмы были реализованы в другом родственном пакете Luca, который, помимо других алгоритмов, например алгоритмов скремблирования [Земцов, 2020], включает вейвлет-преобразование для использования в задачах обработки медицинских изображений и медицинской визуализации.

Выделяют ортогональные, полуортогональные, биортогональные, а также симметричные, асимметричные и несимметричные базисы. Ряд базисных функций задается аналитически, например, вейвлеты Морле [Лозовский, 2022], Гаусса [Жданов, 2023] и их комплексные разновидности, но некоторые базисные функции, напротив, могут не иметь аналитического выражения. Для ряда базисов, например, для преобразования Ле Галла, были разработаны быстрые алгоритмы вычисления вейвлет-преобразования на их основе [Земцов, 2018]. Кроме того, базисные функции отличаются и другими свойствами, например степенью гладкости. При решении многих практических задач желательно использовать вейвлеты, обладающие свойствами ортогональности и симметрии, но подобными свойствами обладают только вейвлеты Хаара [Цукин, 2022], которые хорошо локализованы в пространстве, но не являются гладкими, в связи с чем плохо подходят для представления сигналов и изображений.

На рис. 4–6 показаны результаты вычисления вейвлет-преобразования с использованием базиса Хаара для исходного изображения на рис. 3.



Рис. 3. Исходное изображение.

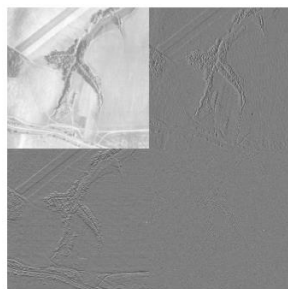


Рис. 4. Вейвлет-преобразование Хаара при $m = 1$.

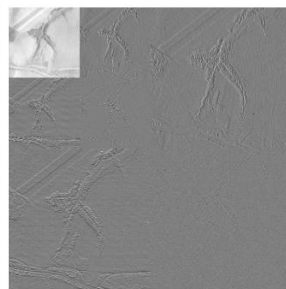


Рис. 5. Вейвлет-преобразование Хаара при $m = 2$.

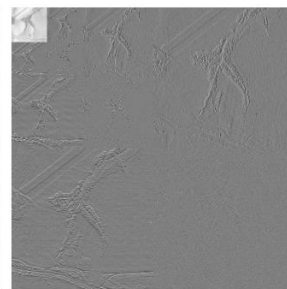


Рис. 6. Вейвлет-преобразование Хаара при $m = 3$.

Семейство ортогональных вейвлетов Добеши [Mozgaleva, 2019] не имеет аналитического выражения, не дифференцируемо на конечном отрезке, и определяется только фильтрами. Семейство Ортогональные вейвлеты семейства Добеши вычисляется итерационным путем. На рис. 7-9 показаны результаты вычисления вейвлет-преобразования с использованием базиса Добеши D_4 .

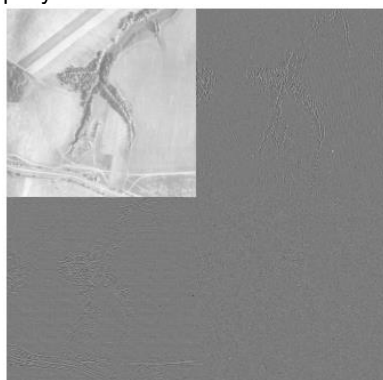


Рис. 7. Вейвлет-преобразование Добеши D_4 при $m = 1$.

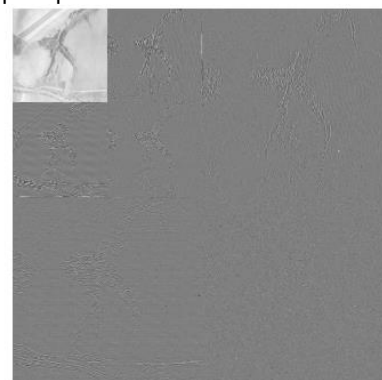


Рис. 8. Вейвлет-преобразование Добеши D_4 при $m = 2$.

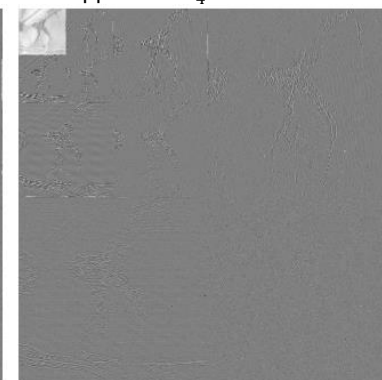


Рис. 9. Вейвлет-преобразование Добеши D_4 при $m = 3$.

Успешному применению вейвлет-анализа могут помешать длительное время вычислений или высокие требования к системной памяти. В частности, временная и пространственная алгоритмическая сложность является основным фактором, определяющим эффективность применения и производительность программного продукта.

На рис. 10 показана зависимость времени вычисления вейвлет-преобразования от размера исходного сигнала.

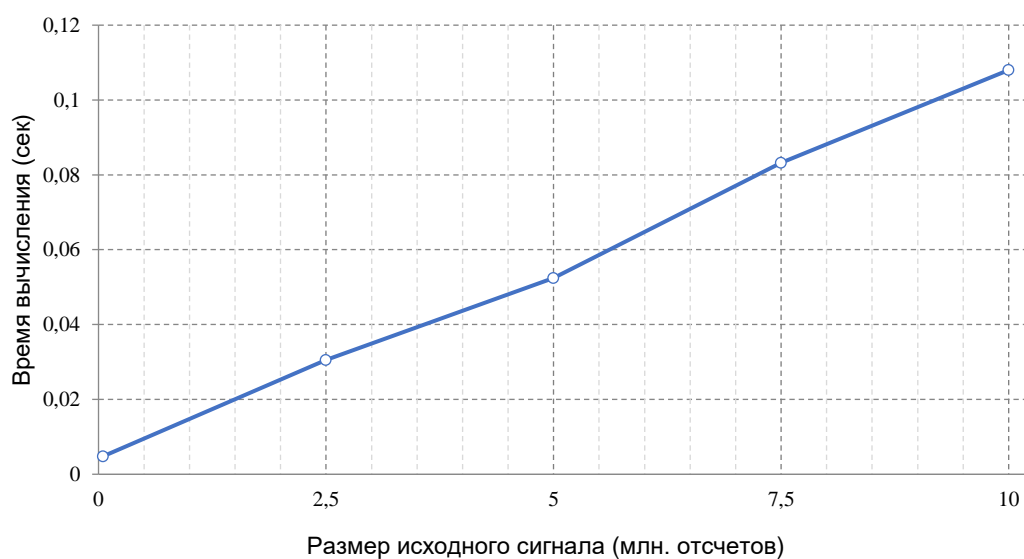


Рис. 10. Зависимость времени вычисления вейвлет-преобразования от размера сигнала.

В данном исследовании целесообразно сосредоточиться на временных показателях эффективности алгоритма вычисления вейвлет-преобразования. Как следует из рис. 10, полученные результаты являются вполне конкурентоспособными, а реализация вейвлет-преобразований в пакете анализа данных обеспечивает обработку сигналов в реальном масштабе времени.

Выводы

Сегодня вейвлет-анализ играет важную роль во многих информационных и технических системах, таких как обработка вибросигналов, улучшение качества спутниковых изображений, цифровая обработка медицинских изображений, классификация звуковых сигналов, распознавание дефектов, сжатие данных систем видеонаблюдения и многих других. Необходимо также отметить, что вейвлет-преобразование является важной компонентой многих систем распознавания, обеспечивая необходимый уровень эффективности при кодировании данных в подсистемах предварительной обработки. Однако работы по созданию отечественных реализаций вейвлет-преобразования ведутся очень вяло, экстенсивно, и на данный момент времени отказаться от иностранного программного обеспечения даже на объектах критической инфраструктуры затруднительно.

Большинству отечественных разработок информационных и технических систем свойственна невысокая вычислительная эффективность, что ограничивает их применение в широком классе областей, например, маломощных автономных и мобильных систем. В связи с этим разработки отечественного программного обеспечения остро нуждаются в высоком быстродействии, которое может быть достигнуто благодаря распараллеливанию алгоритмов и оптимизации их под отечественную элементную базу.

В целом полученные результаты и временные оценки эффективности алгоритма вычисления вейвлет-преобразования позволяют считать, что реализация вейвлет-преобразований в пакете анализа данных обеспечивает обработку сигналов в реальном масштабе времени и вполне сопоставима по эффективности с другими иностранными пакетами анализа данных. Реализация вейвлет-преобразований в разработанном пакете анализа данных обеспечивает возможность внедрения, например, в клиническую практику с целью выявления начальных стадий патологии по медицинским изображениям, а также позволяет оценить пределы вариаций параметров объектов интереса.

Литература

1. Современные управленческие технологии в деятельности бизнес-структур и органов государственной власти / И. Л. Авдеева, П. И. Ананченкова, Ю. Ф. Аношина [и др.]. – Орел : Среднерусский институт управления – филиал РАНХиГС, 2022. – 360 с.
2. Винограденко, А. М. Прогнозирование отказов контролируемых комплексов связи специального назначения / А. М. Винограденко // Системы управления, связи и безопасности. – 2020. – № 3. – С. 222-237.
3. Оценка эффективности алгоритма поддержки принятия решения врачом при дистрофии сетчатки с использованием методов машинного обучения / А. Е. Жданов, А. Ю. Долганов, Д. Занка [и др.] // Компьютерная оптика. – 2023. – Т. 47, № 2. – С. 272-277.
4. Обнаружение и шумоподавление R-пиков электрокардиограммы с гибридной линеаризацией и анализом основных компонентов / Б. Р. Жолмагамбетова, Т. Ж. Мазакон, М. М. Букенов, Э. Ж. Изат // Труды университета. – 2020. – № 3(80). – С. 157-162.
5. Повышение эффективности анализа изображений МРТ головного мозга с использованием отбора признаков / В. В. Коневский, А. В. Благов, А. В. Гайдель [и др.] // Компьютерная оптика. – 2022. – Т. 46, № 4. – С. 621-627.
6. Коршунов, Е. А. Автоматизация процессов обслуживания энергетического оборудования с помощью специализированных программных решений / Е. А. Коршунов, А. А. Капанский, К. Е. Коршунов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 1(53). – С. 65-75.
7. Кошеляевский, Н. Б. Измерения времени и частоты. Фундаментальные понятия. Осцилляторы и часы. Оценка точностных характеристик / Н. Б. Кошеляевский // Альманах современной метрологии. – 2017. – № 10. – С. 12–150.
8. Земцов, А. Н. Сравнительный анализ эффективности методов сжатия изображений на основе дискретного косинусного преобразования и фрактального кодирования / А. Н. Земцов // Прикладная информатика. – 2011. – № 4(34). – С. 90-104.
9. Земцов, А. Н. Спектральные методы компрессии триангуляционных моделей : монография / А. Н. Земцов ; А.Н. Земцов. – Saarbrücken : LAP LAMBERT, 2011. – 142 с.
10. Земцов, А. Н. Представление изображений с помощью преобразования Ле Галла / А. Н. Земцов // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2018. – № 43. – С. 42–48. – DOI 10.17223/19988605/43/5.
11. Земцов, А. Н. Скремблирование цифровых изображений / А. Н. Земцов, В. Ю. Цыбанов // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 6(66). – С. 8.
12. Земцов, А. Н. Защита графической информации от неправомерного использования маркированием в пространственной области / А. Н. Земцов, З. Чан // Современные наукоемкие технологии. – 2022. – № 12-2. – С. 211-216.

13. Лозовский, И. Н. Фильтрация данных сейсмоакустического контроля сплошности свай с использованием непрерывного вейвлет-преобразования / И. Н. Лозовский, В. А. Сясько, Е. С. Лосева // Контроль. Диагностика. – 2022. – Т. 25, № 9(291). – С. 36–45.
14. Полонский, А. М. Импортзамещение программного обеспечения и организация обучения студентов с использованием отечественного или свободного программного обеспечения / А. М. Полонский // Актуальные проблемы экономики и управления. – 2022. – № 2(34). – С. 65–82.
15. Сулавко, А. Е. Высоконадёжная двухфакторная биометрическая аутентификация по рукописным и голосовым паролям на основе гибких нейронных сетей / А. Е. Сулавко // Компьютерная оптика. – 2020. – Т. 44, № 1. – С. 82–91.
16. Тарасов, И. Е. Синтез сверточных функций в реальном времени в системах программно-зависимого радио и фазо-частотных измерительных устройствах / И. Е. Тарасов, Д. С. Потехин // Российский технологический журнал. – 2018. – Т. 6, № 6(26). – С. 41–54.
17. Концепция управления беспилотными транспортными средствами в условиях открытых горных работ / И. В. Чичерин, Б. А. Федосенков, И. С. Сыркин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2020. – № 8. – С. 109–120.
18. Щукин, А. А. Проведение численных экспериментов для оценки характеристик обнаружения на математической модели радиолокационной станции / А. А. Щукин, А. Е. Павлов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2022. – Т. 10, № 1(36).
19. Mozgaleva, M. L. About Wavelet-Based Computational Beam Analysis with the Use of Daubechies Scaling Functions / M. L. Mozgaleva, A. Akimov Pavel, T. B. Kaytukov // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2019. – Vol. 15, No. 2. – P. 95-110.

References in Cyrillics

1. Modern management technologies in the activities of business structures and public authorities / I. L. Avdeeva, P. I. Ananchenkova, Yu. F. Anoshina [and others]. – Orel: Central Russian Institute of Management – branch of the RANEPА, 2022. – 360 p.
2. Vinogradenko, A. M. Failure prediction of controlled communication systems for special purposes / A. M. Vinogradenko // Control systems, communications and security. – 2020. – No. 3. – pp. 222-237.
3. Zhdanov A. E., Dolganov A. Yu., Zanka D. [et al.] Evaluation of the effectiveness of the decision support algorithm for physicians with retinal dystrophy using machine learning methods // Computer Optics. – 2023. – Т. 47, No. 2. – pp. 272-277.
4. Zholmagambetova B. R., Mazakov T. Zh., Bukenov M. M., Izat E. Zh. Detection and noise suppression of R-peaks of an electrocardiogram with hybrid linearization and analysis of principal components // Proceedings of the University. – 2020. – No. 3 (80). – pp. 157-162.
5. Improving the efficiency of brain MRI image analysis using feature selection / V. V. Konevsky, A. V. Blagov, A. V. Gaidel [et al.] // Computer Optics. – 2022. – Т. 46, No. 4. – pp. 621-627.
6. Korshunov, E. A. Automation of power equipment maintenance processes using specialized software solutions / E. A. Korshunov, A. A. Kapansky, K. E. Korshunov // Bulletin of the Kazan State Power Engineering University. – 2022. – Т. 14, No. 1 (53). – pp. 65-75.
7. Koshelyaevsky N.B. Time and Frequency Measurements. Fundamental concepts. Oscillators and clocks. Estimation of accuracy characteristics / N. B. Koshelyaevsky // Almanac of modern metrology. – 2017. – No. 10. – pp. 12-150.
8. Zemtsov, A. N. Comparative analysis of the efficiency of image compression methods based on discrete cosine transform and fractal coding / A. N. Zemtsov // Applied Informatics. – 2011. – No. 4 (34). – pp. 90-104.
9. Zemtsov, A. N. Spectral methods of compression of triangulation models: monograph / A. N. Zemtsov; A.N. Zemtsov. – Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2011. – 142 p.
10. Zemtsov, A. N. Representation of images using the Le Gall transformation / A. N. Zemtsov // Bulletin of the Tomsk State University. Management, computer technology and informatics. – 2018. – No. 43. – pp. 42-48.
11. Zemtsov, A. N. Scrambling of digital images / A. N. Zemtsov, V. Yu. Tsybanov // Engineering Bulletin of the Don. – 2020. – No. 6(66).
12. Zemtsov, A. N. Protection of graphic information from misuse by marking in the spatial area / A. N. Zemtsov, Z. Chan // Modern science-intensive technologies. – 2022. – No. 12-2. – pp. 211-216.
13. Lozovsky, I. N., Syasko, V. A., and Loseva, E. S., Filtering data of seismoacoustic testing of pile continuity using continuous wavelet transform, Control. Diagnostics. – 2022. – Т. 25, No. 9 (291). – pp. 36-45.
14. Polonsky, A. M. Import substitution of software and organization of student education using domestic or free software / A. M. Polonsky // Actual problems of economics and management. – 2022. – No. 2(34). – pp. 65-82.
15. Sulavko, A. E. Highly reliable two-factor biometric authentication for handwritten and voice passwords based on flexible neural networks / A. E. Sulavko // Computer Optics. – 2020. – Т. 44, No. 1. – pp. 82-91.

16. Tarasov, I. E., Potekhin D. S. Synthesis of convolutional functions in real time in systems of program-dependent radio and phase-frequency measuring devices / I. E. Tarasov, D. S. Potekhin // Russian Technological Journal. – 2018. – V. 6, No. 6 (26). – pp. 41-54.
17. Chicherin I. V., Fedosenkov B. A., Syrkin I. S. [et al.] The concept of control of unmanned vehicles in conditions of open-pit mining // Izvestiya vysshikh uchebnykh obrazov. Mining magazine. – 2020. – No. 8. – pp. 109-120.
18. Shchukin, A.A., Pavlov, A.E., Numerical experiments to evaluate detection characteristics on a mathematical model of a radar station, Modeling, Optimization, and Information Technologies. – 2022. – T. 10, No. 1 (36).

*Земцов Андрей Николаевич, к.т.н,
доцент Волгоградского государственного технического университета, Волгоград
E-mail: azemtsov@mail.ru*

*Чан Зунг Хань, профессор Национального экономического университета, Ханой, Вьетнам,
E-mail: ecmsys@yandex.ru*

Ключевые слова

Вейвлет-анализ, вейвлет-преобразование, цифровая обработка изображений, импортозамещение, разработка программного обеспечения.

Andrey Zemtsov, Tran Dung Khanh. Implementation of wavelet transforms in a data analysis package

Keywords

Wavelet analysis, wavelet transform, digital image processing, import substitution, software development.

DOI: 10.34706/DE-2023-02-06

JEL classification: C02 – Математические методы; C18 – Методологические проблемы: общие вопросы; M15 – Управление информационными технологиями; F52 – Национальная безопасность, экономический национализм; H56 – Национальная безопасность и обороноспособность.

Abstract

In recent years, active measures have been taken in the Russian Federation to replace imports of foreign products, dictated by the imposed international sanctions, which causes a high need for the development of effective engineering solutions, in particular, in the field of creating domestic software. Today, wavelet analysis plays an important role in many sectors of the national economy in solving problems of processing a wide range of various signals and images, and is also an important component in preprocessing subsystems. The article describes the features of the implementation of the wavelet transform in the data analysis package, which allows solving the main tasks associated with signal and image processing, for example, when creating domestic medical imaging systems. The results obtained allow us to consider that the characteristics of the implemented wavelet transforms in the data analysis package are comparable in efficiency with foreign packages.