

ОБРАБОТКА ТОМОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА

М.А. ЛЮБИМОВА*, Т.Н. КНЯЗЕВА**

* Воронежский институт высоких технологий – АНОО ВПО, ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, Россия, 394043

** ГБОУ ВПО ВГМА им. Н.Н. Бурденко Минздрава России, ул. Студенческая, 10, г. Воронеж, Россия, 394036

Аннотация. Статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме обработки томографических изображений при помощи вейвлет-анализа. Проанализированы особенности методов обработки изображений, показывая, что вейвлеты – это волновая форма сигнала ограниченной длительности, которая имеет среднее значение ноль. Вейвлет сопоставим с синусоидальной волной; они являются основой анализа Фурье. Метод вейвлет-анализа позволяет производить обработку томографических изображений с использованием большого временного интервала, где требуется более четкая информация о низкой частоте, и более короткие области, когда необходима информация о высокой частоте. Выделяются и описываются характерные особенности по настройкам параметров вейвлет-преобразований, неудачный выбор которых снижает надежность выявления изменений структуры сигналов при изменении состояния системы. Рассматриваются ключевые этапы реконструкции томографических изображений в формате DICOM при помощи метода вейвлет-анализа; исследован алгоритм шумоподавления. Практическая область применения вейвлет-анализа не ограничивается цифровой обработкой сигналов; она также охватывает физические эксперименты, численные методы и другие области физики и математики. Благодаря способности анализировать нестационарные сигналы, вейвлет-анализ стал мощной альтернативой преобразованию Фурье в ряде медицинских приложений [4,5].

Ключевые слова: вейвлет-анализ, преобразование Фурье, томография, шумоподавление.

PROCESSING OF TOMOGRAPHIC IMAGES BY MEANS OF WAVELET ANALYSIS

M.A. LYUBIMOVA*, T.N. KNYAZEVA**

* Voronezh Institute of High Technologies, str. Lenin, 73a, Voronezh, Russia, 394043

** Voronezh State N. N. Burdenko Medical Academy, Street Student, 10, Voronezh, Russia, 394036

Abstract. The paper is devoted to the problem of processing of tomographic images using wavelet analysis. The features of image processing techniques, indications were analyzed. Wavelets are a signal waveform of limited duration that has an average value of zero. Wavelets are comparable to a sine wave, and they are the basis of Fourier analysis. Wavelet analysis method allows to processing of tomographic images using a large time interval, where more accurate information about the low frequency region and shorter when information is needed on high frequency. The characteristic features of the settings wavelet transforms are described. Their bad choice reduces the reliability of detection of changes in the structure of signals when changing system state. The key stages of the reconstruction tomography images in DICOM format using the method of wavelet analysis were examined; algorithm of noise reduction was investigated. Practical area of application of wavelet analysis doesn't limited to digital signal processing; it also covers physical experiments, numerical methods and other areas of physics and mathematics. By being able to analyze the non-stationary signals, wavelet analysis has become a powerful alternative Fourier transform in medical applications

Key words: wavelet analysis, Fourier transform, imaging, noise reduction.

На качество томографических изображений оказывают влияние факторы процесса их реконструкции. Одним из важных факторов является качество технических характеристик системы: погрешность, пиковое отношение сигнал/шум; по ним проводится реконструкция изображения; которое должно быть устойчивым к погрешностям и шумам проекционных данных.

Материалы и методы исследования. Для увеличения константности реконструкции алгоритмов служит использование кратно-масштабного анализа теории вейвлетов, как инструмента фильтрации проекционных данных. Важнейшим достоинством, которое предоставляет вейвлет, служит возможность локального анализа, т.е. анализ конкретной области в большом сигнале.

Вейвлет («короткая волна», «всплеск») – это волновая форма сигнала эффективно ограниченной длительности, которая имеет среднее значение ноль.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) \times d \times t = 0 \quad (1)$$

Вейвлет сопоставим с синусоидальной волной; они являются основой анализа Фурье. Синусоиды не имеют ограниченной длительности – они продолжаются от минус до плюс бесконечности. На рис. 1 представлены синусоиды гладкие и предсказуемые, в свою очередь, на рис. 2 вейвлеты неровны и асимметричны.

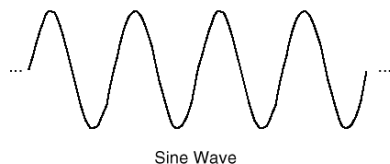


Рис.1. Вейвлеты равны



Рис.2. Вейвлеты асимметричны

Анализ Фурье – это разложение сигнала на синусоидальные волны различных частот. Аналогично, вейвлет-анализ – это разложение сигнала на сдвинутые и масштабируемые версии первоначального (или материнского) вейвлета [1, 4, 5].

Математически процесс анализа Фурье представлен преобразованием Фурье:

$$F(a) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \times e^{-iat} \times dt, \quad (2)$$

которое является суммой по времени сигнала $f(t)$, умноженного на комплексную экспоненту.

Результатами этого преобразования являются коэффициенты Фурье $F(w)$, умножение которых на синусоиду соответствующей частоты даст синусную компоненту исходного сигнала. Графически данный процесс выглядит так (рис. 3,4):

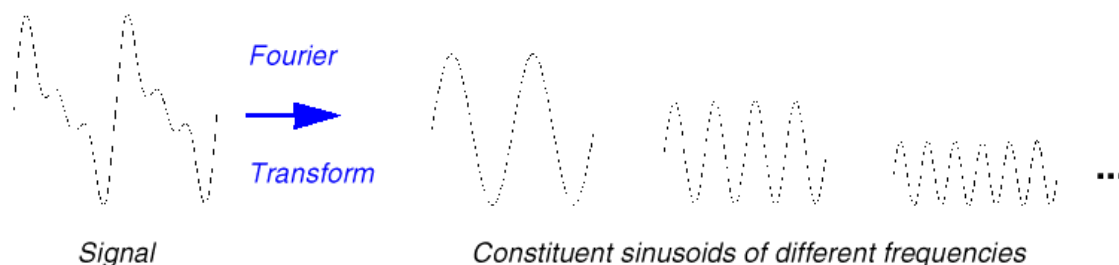


Рис.3. Преобразование Фурье

Рис.4. Синусные компоненты исходного сигнала

Аналогично, непрерывное прямое вейвлет-преобразование определяется как сумма по времени сигнала, умноженного на масштабируемые, сдвинутые версии вейвлет-функции: $N(\tau, a) = \frac{1}{\sqrt{a}} \times \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \times \psi \times \frac{t-\tau}{a} \times dt, \quad (3)$ где $y(t)$ – вейвлет-функция, $f(t)$ – сигнал.

Результатом будут вейвлет-коэффициенты $C(t, a)$, которые являются функцией позиции t и масштаба a .

Умножением каждого коэффициента C на соответственно масштабируемый и сдвинутый вейвлет получают непосредственные вейвлеты исходного сигнала (рис.5):

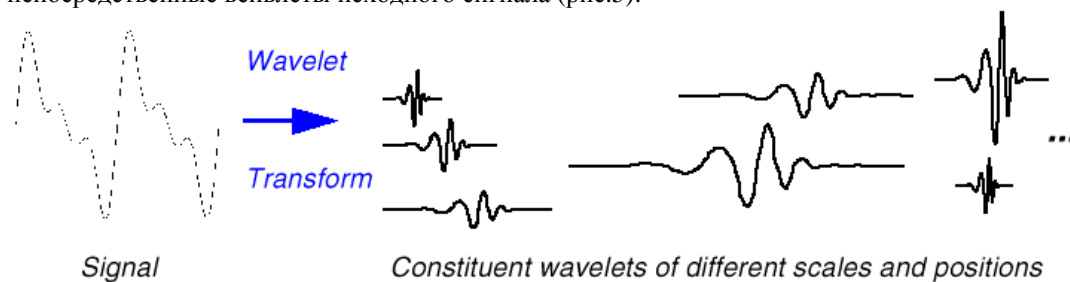


Рис.5. Вейвлеты исходного сигнала

Метод вейвлет-анализа позволяет производить обработку томографических изображений с использованием большого временного интервала, где требуется более четкая информация о низкой частоте, и более короткие области, когда необходима информация о высокой частоте.

Результаты метода зависят от настройки параметров вейвлет-преобразований, неудачный выбор которых снижает надежность выявления изменений структуры сигналов при изменении состояния системы. Для реконструкции томографических изображений в формате DICOM при помощи метода вейвлет-анализа исследован алгоритм шумоподавления (рис. 6).

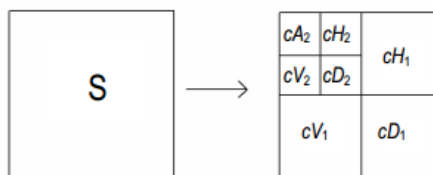


Рис. 6. Алгоритм разложения двумерного сигнала при его обработке

Результаты и их обсуждение. Двумерное дискретное вейвлет-преобразование получается при помощи применения одномерной модификации последовательно к столбцам и строкам изображения. Рассмотрим алгоритм, который обрабатывает строки изображения (для столбцов аналогичная модификация). В результате объединения итогов работы обеих ветвей алгоритма получается монохромное контурное изображение, на котором линии соответствуют характерным особенностям исходного образа. Исходная матрица представляется в виде набора строк, каждый элемент этого набора имеет длину, совпадающую с шириной изображения, а элементы векторов принимают целочисленные значения в диапазоне от 0 до 255. Такая последовательность шагов приводит к набору векторов, содержащих вейвлет-образы строк матрицы исходного изображения. Вейвлет-коэффициенты могут принимать значения в широких пределах; из позиции выбираем только позиции локальных максимумов. В конечном счете получаем одну низкочастотную полосу и три высокочастотных, высокочастотные коэффициенты каждой полосы отвечают за определенное расположение — диагональное, вертикальное, горизонтальное. Изображение, построенное по максимумам вейвлет-образов строк и столбцов, содержит информацию одновременно как о полезном сигнале, так и о присутствующих в исходных данных помехах и шумах. Поэтому перед построением изображения целесообразно провести отсечение слабых вейвлет-коэффициентов, что аналогично этапу подавления шума при вейвлет-фильтрации. Схема шумоподавления с помощью вейвлет-преобразования представлена на рис. 7.

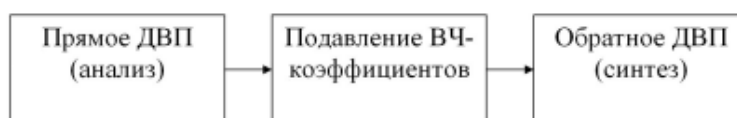


Рис. 7. Общая схема подавления шума на основе вейвлет-преобразования

В практической реализации при решении шумоподавляющих задач разработана компьютерная программа с использованием пакета системы Matlab [2, 3]. Данный программный пакет содержит в себе объемный набор инструментов по обработке, очистке, сжатию, визуализации сигналов и изображений. Программа считывает из файла обрабатываемое изображение в формате DICOM. После этого производится очистка изображения с задачей устранения шума, который изначально присутствовал на изображении. Очищенное изображение используется как эталонное, и в последствии по нему определяется степень очистки от шума. Стоит заметить, что дополнительная обработка изображения позволяет уничтожить отдельные шумовые точки, имеющие амплитуду, достаточную для того, чтобы преодолеть пороговый барьер во время шумоподавления. В отдельных случаях повышение порога нецелесообразно, поскольку могут исчезнуть вместе с шумами исходные элементы изображения. На очищенное изображение накладывается белый гауссовский шум и решается задача шумоподавления с использованием различных вейвлет-функций.

Из вышесказанного следует, что алгоритм вейвлет-фильтрации сводится к следующим шагам:

1. Проведение вейвлет-преобразования проекционных данных с применением стационарного дискретного вейвлет-преобразования;
2. Задание порога для коэффициентов вейвлет-преобразования в соответствии с их уровнем;
3. Выбор параметров преобразования;
4. Восстановление проекционных данных по измененным коэффициентам.

Выводы. Область применения вейвлет-анализа не ограничивается цифровой обработкой сигналов, она также охватывает физические эксперименты, численные методы и другие области физики и математики. Благодаря способности анализировать нестационарные сигналы, вейвлет-анализ стал мощной альтернативой преобразованию Фурье в ряде медицинских приложений. Поскольку большинство медицинских сигналов нестационарны, вейвлет-анализ используют для обнаружения ключевых диагностических признаков, а также для сжатия изображений с минимальными потерями диагностической информации. В случае изменчивости частоты сердечных сокращений оцифрованный сигнал раскладывается по вейвлет-функциям на нескольких уровнях разрешения. На каждом уровне коэффициенты представляют собой детали, возникающие при переходе из одного масштаба в другой. Анализ вариации вейвлетных коэффициентов в зависимости от масштаба указывает на то, что наклон графиков этих сигналов различен у здоровых людей и у людей с множественными коронарными окклюзиями.

Недавно для выявления эктопических сердечных сокращений и очистки сигнала ЭКГ от шумов были использованы вейвлеты. Эта методика основана на разложении ЭКГ в ряд по вейвлетам на разных масштабах. Аномальные сокращения обычно располагаются на крупных (низкочастотных) масштабах, а нормальные структуры – на более мелких (высокочастотных) масштабах. Еще одно успешное применение вейвлетной техники относится к вариациям частоты сердечных сокращений. Вейвлет-преобразование так же используется для характеристики изменений в ЭЭГ плода, связанных со степенью развития, возрастом и приемом лекарств. Применение вейвлет-анализа к повышению качества изображения на маммограммах, в сочетании с прогрессом в области радиографических экранов и пленок, повышает эффективность ранней диагностики рака груди.

Литература

1. Петров А. Вейвлеты и их приложения. Рыбинск: РГАТА, 2007.
2. Гонсалес Р., Вудс Р., Элдинс С. Цифровая обработка изображений в среде Matlab. Москва: Техносфера, 2006. 616 с.
3. Любимова М.А., Князева Т.Н. Методы обработки компьютерных томограмм. Научный вестник, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2013. 60 с.
4. Адырхаева Д.А., Красников Г.В., Смирнова И.Е. Некоторые аспекты оценки состояния микроциркуляции по данным ЛДФ с использованием вейвлет-преобразования // В сб.: Всероссийская научно-практическая конференция студентов, молодых ученых и специалистов «Биомедсистемы – 2003». Рязань, 2003. С.112-113.
5. Адырхаева Д.А., Смирнова И.Е. Показатели состояния микроциркуляции у студентов по данным лазерной доплеровской флоуметрии, установленные методом вейвлет-преобразования // В сб.: Труды научно-практической конференции «Молодые ученые центра России. Вклад в науку XXI века» (Тула, 26 ноября 2003). Тула, 2003. С.288–292.

References

1. Petrov A. Veyvlety i ikh prilozheniya. Rybinsk: RGATA; 2007. Russian.
2. Gonsales R, Vuds R, Eldins S. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy v srede Matlab. Moskva: Tekhnosfera; 2006. Russian.
3. Lyubimova MA, Knyazeva TN. Metody obrabotki komp'yuternykh tomogramm. Nauchnyy vestnik, Voronezhskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet; 2013. Russian.
4. Adyrkhaeva DA, Krasnikov GV, Smirnova IE. Nekotorye aspekty otsenki sostoyaniya mikrotsirkulyatsii po dannym LDF s ispol'zovaniem veyvlet-preobrazovaniya. V sb.: Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya studentov, molodykh uchenykh i spetsialistov «Biomedсистемы – 2003». Ryazan'; 2003. Russian.
5. Adyrkhaeva DA, Smirnova IE. Pokazateli sostoyaniya mikrotsirkulyatsii u studentov po dannym lazernoy dopplerovskoy floumetrii, ustanovlennyye metodom veyvlet-preobrazovaniya. V sb.: Trudy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Molodye uchenye tsentra Rossii. Vklad v nauku KhKhI veka» (Tula, 26 noyabrya 2003). Tula; 2003. Russian.