

между величинами из одного речевого сигнала, разложенного в ряд, но взятых со сдвигом) (8) и взаимнокорреляционная (определяет степень корреляции двух последовательностей значений речевых сигналов, разложенных в ряды, взятых со сдвигом) (9) функции.

$$A = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t)s(t - \tau)dt, \quad (8)$$

$$B = \int_{-\infty}^{+\infty} s_1(t)s_2(t - \tau)dt, \quad (9)$$

где  $s(t)$  – речевой сигнал;  $\tau$  – сдвиг во времени.

Одним из самых эффективных методов распознавания речевых сигналов является применение нейронных сетей, состоящих из нейронов и организованных между ними связей. Нейроны имеют различные связи между собой, например: аксоны – входные связи нейрона, синапсы – однонаправленные входные связи. По входным связям сигналы возбуждения или торможения передаются последующим нейронам. Каждая однонаправленная связь эквивалентна электрической проводимости. Положительные и отрицательные значения эквивалентны возбужденному или заторможенному состоянию нейрона. Сумма значений всех входов определяет текущее состояние нейрона (10):

$$s = \sum_{i=1}^n e_i w_i. \quad (10)$$

Выходы нейрона является функцией его состояния. При использовании в задачах распознавания нейронных сетей необходимо построить

определенную сеть для задачи, обучить ее множеству речевых сигналов для того, чтобы минимизировать количество ошибок [4].

Рассмотренные методы анализа речевого сигнала показывают, что для более качественного решения задач существуют различные методы, позволяющие исследовать определенные характеристики сигналов. В тоже время стоит отметить, что есть универсальные методы, которые могут давать хорошие результаты для нескольких областей сразу. Стоит отметить, что применение и обучение нейронных сетей позволяет решать задачу анализа речевых сигналов наиболее продуктивно, так как большая часть работы и проверочных действий выполняется на основе полученных знаний для нейронных сетей.

#### Литература

1. Алимуратов, А. К. Обзор и классификация методов обработки речевых сигналов в системах распознавания речи / А. К. Алимуратов, П. П. Чураков // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2015. – № 2 (12). – С. 27–35.
2. Огнев, И. В. Распознавание речи методами скрытых марковских моделей в ассоциативной осцилляторной среде / И. В. Огнев, П. А. Парамонов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 3 (27). – С. 115–126.
3. Фролов, А. В. Синтез и распознавание речи. Современные решения / Г. В. Фролов. – М.: Связь, 2003. – 216 с.
4. Козлов, А. С. Кепстральный анализ в задачах слепой оценки скорости передачи цифровых данных / А. С. Козлов, В. Н. Малышев // Радиотехника. – 2012. – № 7. – С. 67–71.

УДК 004.934.2

### ОБРАБОТКА ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ИСПОЛЬЗУЯ ВЕЙВЛЕТ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ Ковынёв Н. В.

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана  
Москва, Российская Федерация*

**Аннотация.** Рассматриваются основные теоретические положения вейвлет-преобразования и его свойства, проблема обработки цифровых данных на основе вейвлет-преобразований.

**Ключевые слова:** вейвлет преобразование, дискретное вейвлет преобразование, непрерывное вейвлет преобразование, базисная вейвлет функция.

### DIGITAL INFORMATION PROCESSING USING WAVELET TRANSFORMATION Kovynov N.

*Bauman Moscow state technical university  
Moscow, Russian Federation*

**Abstract.** The main theoretical principles of wavelet transforms and its properties are considered, the problem of digital data processing based on wavelet transforms is considered.

**Key words:** wavelet transform, discrete wavelet transform, continuous wavelet transform, basic wavelet function.

*Адрес для переписки: Ковынёв Н. В., ул. Вторая Бауманская, 5, г. Москва 107005, Российская Федерация  
e-mail: nvkovynov@bmstu.ru*

Информационные технологии широко распространены в нашей жизни, объемы обрабатываемой информации растут высокими темпами. Повышаются требования к обработке информации, ее качеству и скорости. Для уменьшения объема информа-

ции применяются способы сжатия, но необходимо, чтобы в сжатой информации хранились только важные и уникальные части, которые способствовали быстрому восстановлению информации. Существует множество способов и методов для сжатия

информации, наиболее распространенные способы связаны с вейвлет преобразованиями.

Вейвлетом называется семейство математических функций, которые имеют форму маленькой волны с ненулевым значением в центральной области и убывает до нуля по мере удаления от центра. Вейвлеты задаются из материнской функции путем сдвига по времени и изменения временного масштаба. Вейвлет преобразование переводит сигнал из временного представления в частотно-временное и представляет собой свертку вейвлет-функции с сигналом. В результате вейвлет-преобразование содержит в себе комбинируемую информацию об анализируемом сигнале и самом вейвлете, позволяя выделить составляющие сигнала, высокочастотные и низкочастотные.

Преобразование данных для анализа сигналов должно позволять анализировать их на любом промежутке времени и на различных масштабах, пространственную локализацию рекомендуется применять, когда необходимо показать точное расположение деталей объекта (1).

$$\Psi_{a,b} = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad (1)$$

где  $a$  – параметр временного масштаба;  $b$  – временное смещение вейвлета.

Для обработки и преобразования сигналов используются дискретные и непрерывные (2) вейвлет-преобразования.

$$C(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt. \quad (2)$$

Непрерывное вейвлет-преобразование плохо приспособлено для численных вычислений. Данное преобразование дает вейвлет-спектры с избыточным количеством информации, потому что использует весь диапазон параметров временного масштаба и временного смещения вейвлета.

Из-за указанных недостатков непрерывного вейвлет-преобразования, на практике чаще всего используют дискретное вейвлет-преобразование. Оно наиболее эффективно так как использует дискретные значения параметров временного масштаба и временного смещения. Данные параметры обычно задаются в виде степенных функций. Дискретные вейвлеты при обработке используются вместе с дискретными масштабирующими функциями. Данная комбинация позволяет восстановить исходные сигналы (3).

$$S(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} C_{a_k} \varphi_k(t) + \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_{d_{mk}} a_0^{\frac{m}{2}} \psi(a_0^m t - k). \quad (3)$$

Принято считать, что вейвлеты являются аналогами высокочастотных фильтров, а масштабирующие функции – аналоги низкочастотных фильтров.

Низкочастотные и высокочастотные фильтры являются взаимосвязанными векторами коэффициентов в матричном представлении. Высокочастотный фильтр можно получить из низкочастотного, если записать его коэффициенты в обратном порядке и изменять знак у четных коэффициентов.

Наиболее простыми и широко известными вейвлетами являются вейвлеты Хаара. Они ортогональны и хорошо локализованы в пространстве, но не являются гладкими, симметричными по форме и не обладают хорошей локализацией в частотной форме. Базисная вейвлет функция Хаара имеет вид прямоугольных импульсов и задается как в обычном (4) так и в дискретном представлении (5).

$$\Psi(t) = \begin{cases} 1, 0 \leq t < \frac{1}{2} \\ -1, \frac{1}{2} \leq t < 1, \\ 0, t \notin [0,1) \end{cases} \quad (4)$$

$$\Psi_{m,k} = 2^{\frac{m}{2}} \Psi(2^m t - k), \quad (5)$$

где  $m$  – параметр масштаба,  $k$  – параметр сдвига.

Преобразование Хаара является парой фильтров, которые разделяют сигнал на низкочастотную и высокочастотную составляющие. Получается, что каждой паре соседних элементов одномерного сигнала ставятся в соответствие два новых сигнала, а именно: аппроксимирующий сигнал, который вычисляется как полусумма элементов, детализирующий сигнал, который вычисляется как полуразность соседних элементов.

Матрица преобразования Хаара задается следующим образом (6):

$$H = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Данная матрица обладает свойством ортогональности, что позволяет задать обратную ей матрицу путем транспонирования (7):

$$H^{-1} = H^T = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Двумерное преобразование Хаара сводится к композиции одномерных преобразований. В таком виде получается, что к каждой строке, а затем столбцу двумерной матрицы применяется одномерное вейвлет-преобразование, в результате получаются четыре матрицы: аппроксимирующая матрица исходного сигнала, вертикальная матрица, горизонтальная матрица, диагональная матрица, которая детализирует исходный сигнал. У вейвлета Хаара есть один недостаток – он не обладает гладкостью.

Вейвлет-преобразования обеспечивают наиболее эффективное решение проблем по части сжатия и обработки цифровой информации. Однако, в дополнение к этому каждая полная каскадная последо-

вательность сжатия двумерных сигналов, или сжатие, включают в себя фазы квантования, кодирования или декодирования информации.

Для выполнения одноуровневых или многоуровневых преобразований вейвлет-декомпозиций по отношению к конкретному вейвлету существуют различные программные продукты, которые позволяют провести анализ исследуемых цифровых данных, построить графики данных анализа, сравнить исходные и полученные результаты, найти различия.

Также вейвлет-преобразования можно использовать при пороговой фильтрации с целью удаления шумовой составляющей сигнала. Данный способ показывает влияние на качество восстановления исходного сигнала многих факторов: уровень вейвлет разложения исходного сигнала, отсутствие монотонной зависимости между уровнем разложения и ошибкой; оказывает влияние и метод пороговой обработки, если использовать не только мягкую пороговую обработку, то можно получить сильные отклонения от исходных данных; также на качество восстановления исходного сигнала влияет способ определения порогового значения; выбор базисного вейвлета, чем более гладкая вейвлет-функция, тем более сглаженным будет восстановленный сигнал.

К сожалению, несмотря на активное развитие исследований, которые направлены на обработку цифровых сигналов, многие проблемы остаются нерешенными. Использование мягкой и жесткой пороговой обработки сигналов приводят к скачкам в восстановленных сигналах, в результате оценки получаются смещенными, что приводит к большему разрыву с исходным сигналом.

#### Литература

1. Андреев, Д. А. Обработка цифровой информации на основе вейвлет-преобразований / Д. А. Андреев, В. А. Лондинов, О. Ю. Тимошевская // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции, Сочи, 01–10 октября 2021 года. – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА имени профессора Н. Е. Жуковского содействия сохранению исторического и научного наследия ВВИА имени профессора Н. Е. Жуковского, 2021. – С. 66–70.
2. Вейвлет-анализ в примерах: Учебное пособие / О. В. Нагорнов [и др.]. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 120 с.
3. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М: Техносфера, 2012. – 1104 с.
4. Кренкель, Т. Э. Квантовое вейвлет-преобразование Добеши / Т. Э. Кренкель, М. А. Бажанова // Т-СОММ – Телекоммуникации и транспорт. – 2014. – Т.8, №12. – С. 35–40.

УДК 53.082.54

### ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАТРИЧНЫХ ТЕРМООПТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ИНФРАКРАСНЫХ СИСТЕМ

Конойко А. И., Кравченко В. М., Кузьмицкая А. С., Малютина-Бронская В. В., Солодуха В. А.

*ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** В данной работе отражены результаты работ по разработке функциональной и оптической схем лабораторного стенда для исследования параметров матричного термооптического преобразователя на базе микрорезонаторов Фабри-Перо, функционирующего на основе термооптического эффекта.

**Ключевые слова:** термооптический преобразователь, измерительный стенд, интерферометр Фабри-Перо, оптическая схема, термооптический эффект.

### TEST BENCH OF THE MATRIX THERMO-OPTICAL CONVERTERS BASIC PARAMETERS FOR INFRARED SYSTEMS

Konoiko A., Kravchenko V., Kuzmitskaya H., Malyutina-Bronskaya V., Saladukha V.

*SSPA «Optics, Optoelectronics and Laser Technology»  
Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** This paper presents the results of the work on the development of functional and optical schemes of a laboratory stand for studying the parameters of a matrix thermo-optical converter based on Fabry-Perot microresonators, operating on the basis of the thermo-optical effect.

**Key words:** thermo-optical converter, measuring stand, Fabry-Perot interferometer, optical scheme, thermo-optical effect.

*Адрес для переписки: Малютина-Бронская В. В., тр-м Логойский, 22/1-207, г. Минск 220090, Республика Беларусь, e-mail: malyutina@oelt.basnet.by*

**Введение.** В настоящее время активное развитие получило направление тепловизионной техники и инфракрасных систем (ИК-систем) в связи с их широким применением в различных областях науки и техники. Одной из основных задач, стоя-

щих в настоящее время перед разработчиками ИК-систем, является совершенствование элементной базы: создание новых фотоприемных устройств высокого пространственного разрешения; оптических систем, работающих в широком