местами случайным образом, что исключает механическое запоминание номера правильного ответа;

2) Задания для вычисления/анализа. Для правильного выполнения данного вида заданий студент должен знать формулы и/или правила, необходимые для выполнения конкретного шага алгоритма. При этом на экране отображаются все необходимые исходные данные. Если выполнение шага подразумевает большой объем однотипных вычислений, то студенту предлагается для выполнения только часть данного задания.

Программа имеет гибкий алгоритм ускорения процесса контроля и уточнения знаний. Каждый вопрос и задание имеет свою вероятность постановки (в начале 100%). В ходе решения контрольного примера при постановке вопроса студенту вероятность его дальнейшего появления уменьшается. Если студент не смог ответить правильно на поставленный вопрос с первой попытки, вероятность его появления увеличивается, т.о. программы устанавливают, носит ли ошибка случайный характер. Интерфейс программ в режиме контроля практически идентичен интерфейсу в режиме обучения за исключением того, что вместо теоретических сведений по текущему шагу алгоритма отображается задание для выполнения.

После решения задачи в любом из трех режимов можно распечатать ее условие, ход решения и его результаты. Кроме того, при выходе из контролирующего режима есть возможность распечатать протокол контроля для предъявления преподавателю.

Разработанный в ходе научной работы комплекс программного обеспечения в данное время успешно применяется в БГТУ при выполнении лабораторных работ по дисциплине "системный анализ и исследование операций".

БЫСТРЫЙ АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ С БАЗИСНЫМ СОБОЛЕВСКИМ ВЕЙВЛЕТОМ

Дейцева А.Г., ГрГУ, г. Гродно

Вейвлет-анализ представляет собой гибкий и весьма мощный инструмент временного и спектрального анализа и широко используется для выявления особенностей сигналов. Фундаментальную роль при этом играет непрерывное вейвлет-преобразование, которое переводит исследуемую функцию $f(x) \in L_2(R)$ в набор вейвлет-коэффициентов $W_\psi(a,b)$ по правилу:

$$\left(W_\psi f\right)(a,b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)\psi\left(\frac{x-b}{a}\right)dx, \qquad (1)$$

где a и b — параметры, определяющие соответственно масштаб и смещение функции $\psi(x) \in L_2(R)$, называемой базисным вейвлетом. Практически единственным ограничением, накладываемым на $\psi(x)$ является условие допустимости $C_\psi = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\hat{\psi}(\xi)|^2}{|\xi|} d\xi < \infty$.

В качестве базисного вейвлета $\psi(x)$ предлагается рассмотреть вторую производную функции Соболева $\omega(x) = \begin{cases} e^{\frac{1}{x^2-1}}, |x| < 1 \\ 0, \quad |x| \geq 1 \end{cases}$. Назовем его соболевским вейвлетом. Можно показать, что $\psi(x) = \begin{cases} \frac{6x^4-2}{(x^2-1)^4} e^{\frac{1}{x^2-1}}, |x| < 1 \\ 0, \qquad |x| \geq 1 \end{cases}$ удовлетворяет условию допустимости.

Соболевский вейвлет является четной бесконечно-дифференцируемой финитной функцией, имеющей неограниченное число нулевых моментов. Вышеуказанные свойства делают его более предпочтительным при анализе некоторых сигналов, поскольку компактный носитель обеспечивает конечность интеграла (1), а наличие неограниченного числа нулевых моментов позволяет вейвлет-преобразованию лучше дифференцировать особенности сигнала [1]. Кроме того, соболевский вейвлет обеспечивает частотно-временное окно конечной площади, т. к. обе функции ψ и $\hat{\psi}$ являются функциями-окнами, следовательно, непрерывное вейвлет-преобразование дает локальную информацию об анализируемом сигнале [2].

Непосредственное вычисление прямого вейвлет-преобразования требует больших затрат памяти и процессорного времени. Свойства соболевского вейвлета позволяют оптимизировать процесс нахождения вейвлет-коэффициентов и построить алгоритм быстрого вычисления вейвлет-преобразования.

Рассматриваются дискретные значения масштаба $a_i > 0$ и смещения b_j. Сигнал также подвергается дискретизации. Полагаем $h(x) = h_k = f(x_{k-1})$ на интервалах $[x_{k-1}, x_k]$, $k = \overline{1, N}$. Таким образом, вейвлет-коэффициенты вычисляются на сетке, определяемой начальным значением масштаба a_0 и смещения b_0:

$$(W_\psi h)(a_i, b_j) = \sqrt{a_i}\left[h_1 \nu\left(\frac{x_0 - b_j}{a_i}\right) + \sum_{k=1}^{N-1}(h_{k+1} - h_k)\nu\left(\frac{x_k - b_j}{a_i}\right) - h_N \nu\left(\frac{x_N - b_j}{a_i}\right)\right], \quad (2)$$

где $\nu(x) = \frac{d}{dx}\omega(x)$. Ясно, что если мы имеем дело с дискретным сигналом, то формула (2) дает нам точное значение вейвлет-коэффициентов.

Для ускорения процесса вычисления коэффициентов полагаем

$$x_k = x_0 + k\Delta x,\ \Delta b = m\Delta x, \quad m \in N,\ a_i = (a_0)^i,\ b_j = b_0 + j\Delta b, \quad (3)$$

Δx - некоторое фиксированное число. Итак, для вычисления строки вейвлет спектра (значений вейвлет-преобразования на масштабе a_i) необходимо получить величины

$$\nu\left(\frac{x_k - b_j}{a_i}\right) \quad (4)$$

при всевозможных сочетаниях индексов i, j и k. Представление (3) обеспечивает конечное количество значений аргумента функции $\nu(x)$, а компактный носитель вейвлета дает нам лишь конечное количество ненулевых величин (4).

Предложенный алгоритм может быть запрограммирован и использован для построения вейвлет-спектрограммы, визуализирующей значения вейвлет-коэффициентов.

Литература. 1. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения. // Успехи физических наук, 1996. Т.166. №11 – с. 1145–1170. **2.** Чуи Ч. Введение в вэйвлеты: Пер. С англ.-М.: Мир, 2001.-412с.