

УДК 681.7.069.211

М.Ю. Кондукторов

Московский энергетический институт (технический университет), Россия

СЕЛЕКЦИЯ ПО РАЗМЕРАМ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Приводятся результаты разработки и тестирования программы селекции элементов изображений по размерам для картин визуализации двухфазных потоков с помощью дискретного вейвлет-преобразования. Тестирование проводилось как на модельных, так и на экспериментальных изображениях.

СЕЛЕКЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО РАЗМЕРАМ. МЕТОД ВЕЙВЛЕТ-ФИЛЬТРАЦИИ

ВВЕДЕНИЕ

В ряде практических приложений возникает задача быстрой оценки размеров различных элементов изображений, которые могут принимать случайную форму, что является, по сути, частным случаем задачи фильтрации. Одним из таких применений является обработка картин визуализации двухфазных аэро- и гидродинамических потоков, где требуется решить задачу селекции по размерам совокупности разномасштабных объектов. Для решения данной задачи был использован аппарат дискретного вейвлет-анализа [1, 2]. Быстрый алгоритм селекции предусматривает разложение исходного изображения по двумерному вейвлет-базису, обнуление коэффициентов вейвлет-спектра, связанных с наличием в исходном изображении элементов, которые требуется удалить, и обратное вейвлет-преобразование, восстанавливающее отфильтрованное изображение. Для решения этой задачи возможно использование метода максимума отношения правдоподобия, который предусматривает описание элементов изображения параметрической моделью, а селекция элементов изображений проводится путем решения задачи совместного различения-оценивания. Также возможно использование непрерывного вейвлет-преобразования, с последующей фильтрацией коэффициентов и восстановлением селектированных элементов изображения [3]. Но данные методы имеют основной недостаток в виде значительных вычислительных затрат, вследствие чего понижается скорость обработки. Принципиальным достижением и отличием от ранее используемых алгоритмов, является скорость обработки, достигнутая применением дискретного вейвлет-преобразования. Введение нового метода позволит сократить временные и материальные затраты при селекции элементов изображений.

АЛГОРИТМ ВЕЙВЛЕТ-ФИЛЬТРАЦИИ КАРТИНЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПОТОКА

Используется быстрый алгоритм, который вычисляет ортогональные вейвлет-коэффициенты сигнала, измеренного с конечным разрешением. Быстрое вейвлет-преобразование раскладывает последовательно каждое приближение функции f в

пространстве V , обозначаемое здесь как $P_{V_j}f$, на более грубое приближение $P_{V_{j+1}}f$ плюс вейвлет-коэффициенты, приносимые $P_{W_{j+1}}f$.

С другой стороны, воссоздание по вейвлет-коэффициентам восстанавливает каждое $P_{V_j}f$ по $P_{V_{j+1}}f$ и $P_{W_{j+1}}f$.

Так как $\{\varphi_{j,n}\}_{n \in \mathbb{Z}}$ и $\{\psi_{j,n}\}_{n \in \mathbb{Z}}$ являются ортонормированными базисами пространств V_j и W_j , проекции на эти пространства характеризуются коэффициентами $a_j[n] = \langle f, \varphi_{j,n} \rangle$ и $d_j[n] = \langle f, \psi_{j,n} \rangle$, где $\langle \dots, \dots \rangle$ – символ скалярного произведения. Эти коэффициенты вычисляются с помощью каскада дискретных сверток и неполных выборок

$$\bar{x}[n] = \begin{cases} x[p], & \text{если } n = 2p \\ 0, & \text{если } n = 2p + 1 \end{cases}, \text{ где } \bar{x}[n] = x[-n]. \quad (2)$$

При разложении используются формулы получения коэффициентов

$$\begin{aligned} a_{j+1}[p] &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} h[n-2p] \cdot a_j[n] = a_j * \bar{h}[2p] \\ d_{j+1}[p] &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} l[n-2p] \cdot a_j[n] = a_j * \bar{l}[2p], \end{aligned} \quad (3)$$

где $*$ – операция дискретной свертки, а при восстановлении

$$a_j[p] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h[p-2n] a_{j+1}[n] + \sum_{n=-\infty}^{\infty} l[p-2n] d_{j+1}[n] = \bar{a}_{j+1} * h[p] + \bar{d}_{j+1} * l[p], \quad (4)$$

где a_j – коэффициенты аппроксимации на j -м уровне, d_j – коэффициенты детализации на j -м уровне.

Для наглядного представления получения коэффициентов на рис.1 представлена схема, поясняющая алгоритмы (3) и (4).

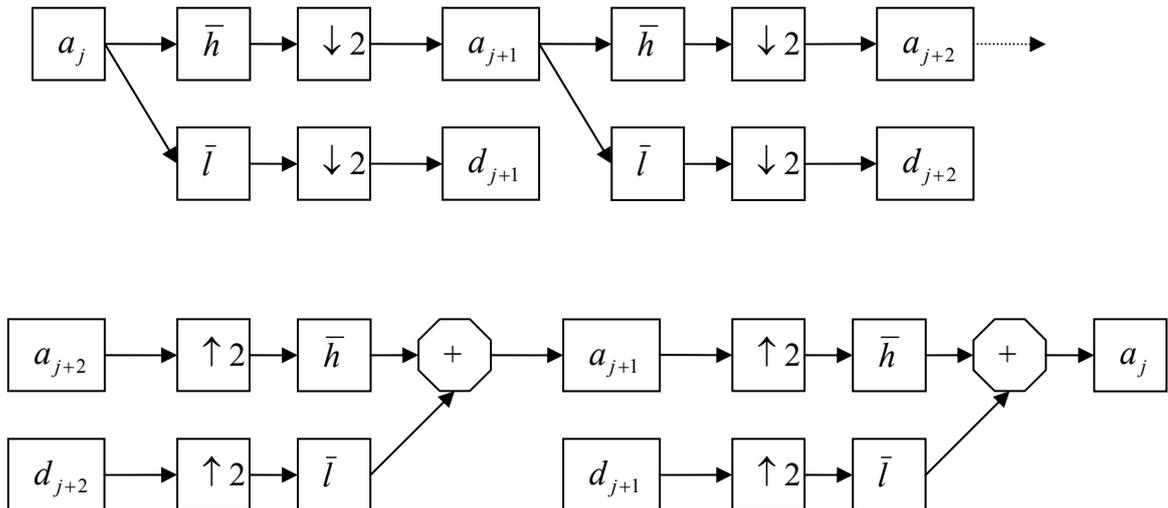


Рис. 1 Блок-схемы алгоритмов разложения и восстановления

Селекция необходимых элементов изображений проводится путем обнуления части коэффициентов вейвлет-спектра и последующим восстановлением селектированного изображения.

Разработанный в соответствии с (2), (3) и (4) алгоритм был протестирован на модельных и экспериментальных картинах визуализации потоков.

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ АЛГОРИТМА ВЕЙВЛЕТ-ФИЛЬТРАЦИИ

Результаты селекции элементов изображений можно наблюдать на рис. 2-4. На рис. 2 приведены результаты селекции «основного» изображения от «цифрового» шума, на модельном изображении. В качестве «основного» изображения выбраны ячейки шахматной доски, а в качестве «цифрового» шума неоднородности различного характера (горизонтальные, вертикальные линии и точки). Обработка ведется с применением вейвлет-функции Хаара. Разложение ведется до 7-го уровня. Для селекции «основного» изображения при восстановлении используются только коэффициенты 5-го уровня, лежащие в области диагональных составляющих, поскольку именно их значения максимальны относительно всех коэффициентов разложения и составляют от 3888 до 4080. Некоторые коэффициенты имеют отклонение 192, из-за неполного определения элемента изображения (полосы и точки внесли паразитную составляющую, которую при восстановлении алгоритм сгладил). На рис. 2б представлено восстановленное отфильтрованное изображение. При необходимости селекции «мешающих» составляющих (рис. 2в), необходимо проведение восстановления с использованием коэффициентов первого уровня. В зависимости от выбираемого элемента изображения используем разные области нахождения коэффициентов. Например, для восстановления горизонтальных полос используем коэффициенты, лежащие в области горизонтальных составляющих. Из анализа рисунка видно, что селекция выполнена полностью. На рис. 3б,г приведены результаты предварительной обработки реальной картины визуализации потока, которая заключается в бинаризации изображения для последующего выделения контуров его селективируемых элементов.

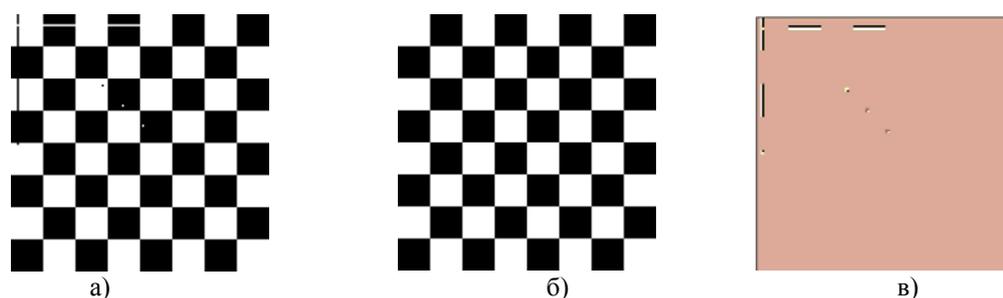


Рис. 2. а) Исходное модельное изображение; б) результаты селекции элементов по размерам: «крупные составляющие»; в) результаты селекции элементов по размерам: «мелкие составляющие»

На рис. 3а,в приведены картины визуализации потоков. Обработка ведется с применением вейвлет-функции Добеши 8-го порядка. В таблицах 1 и 2 показаны уровни и значения коэффициентов, использованных при оценке параметров неоднородностей. Видно, что значащие коэффициенты элементов двух изображений лежат на близких уровнях (4-5 уровень отвечает за крупные элементы размера от 30 до 120 пикселей, а 5-6 отвечает за мелкие элементы размерами от 10 до 50 пикселей). На обеих картинах визуализации потоков присутствуют элементы близкие по размеру и невозможно точно выделить уровень разложения для каждого изображения. При рассмотрении значений коэффициентов на разных уровнях видно, что с увеличением корреляции материнского вейвлета и элемента изображения, увеличиваются значения значащих коэффициентов. Приведенные результаты показывают возможность приближенной оценки размеров элементов картин визуализации потоков.

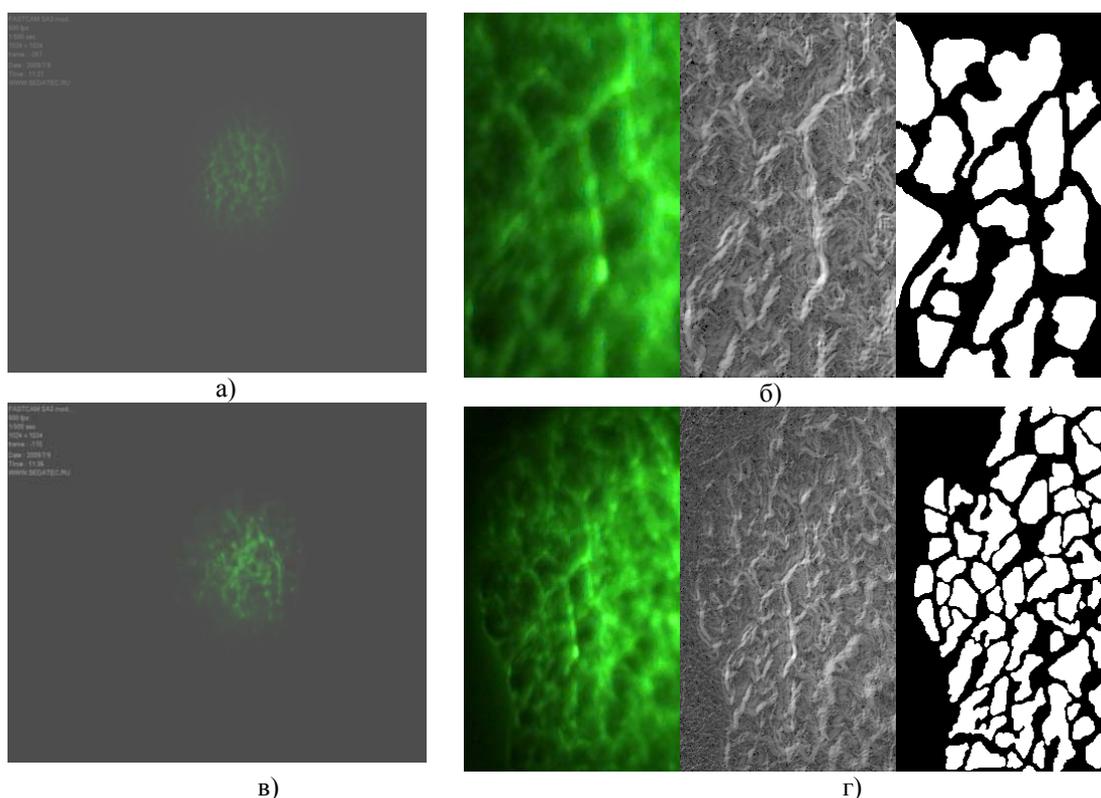


Рис. 3. Исходные экспериментальные изображения (а, в) и результаты предварительной обработки (б, г)

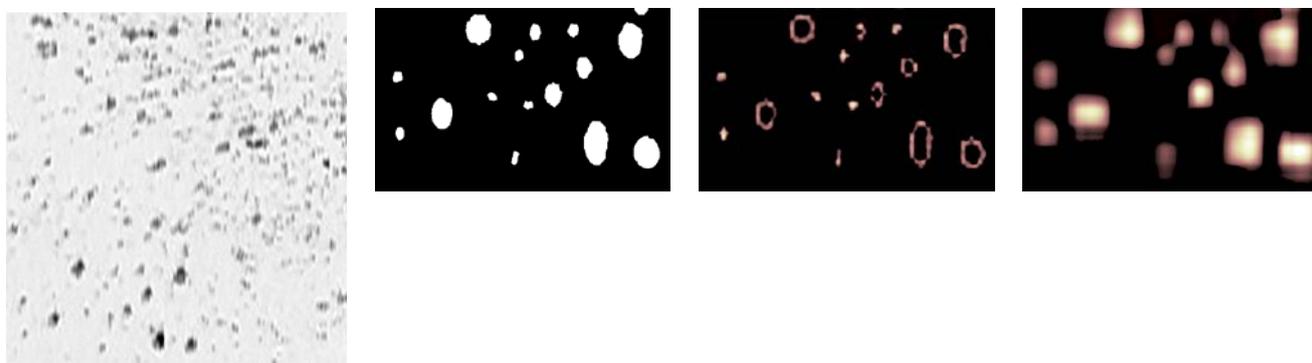
Табл. 1. Расположение значащих коэффициентов при оценке размеров мелких составляющих

Уровень разложения	Коэфф. аппроксимации	Коэфф. детализации горизонтальные	Коэфф. детализации вертикальные	Коэфф. детализации диагональные	Относительные значения значащих коэффициентов
1	0	0	0	0	0,01
2	0	0	0	0	0,01
3	0	0	0	0	0,01
4	0	0	0	x	97
5	0	0	0	x	195
6	0	0	0	0	0,01
7	0	0	0	0	0,01

На рис. 4а приведена картина визуализации многофазных потоков с частицами различного размера. На рис. 4б представлена часть картины в бинаризованном виде (левый нижний угол картины). На рис. 4в и рис. 4г представлены селектированные изображения. Видно, что на рис. 4в «убраны» крупные составляющие, а на рис. 4г мелкие. Проведенная селекция позволяет точно дать оценку масштаба элементов изображений (см. табл. 3 и 4). На картинах видны остаточные явления в виде контуров крупных частиц (рис. 5в) и размытых мелких частиц (рис. 5г). Как и в предыдущем случае возможно проведение оценки размеров элементов изображений по данным табл. 3 и 4.

Табл. 2. Расположение значащих коэффициентов при оценке размеров крупных составляющих

Уровень разложения	Коэфф. аппроксимации	Коэфф. детализации горизонтальные	Коэфф. детализации вертикальные	Коэфф. детализации диагональные	Относительные значения значащих коэффициентов
1	0	0	0	0	0,01
2	0	0	0	0	0,01
3	0	0	0	0	0,01
4	0	0	0	0	0,01
5	0	0	0	х	370
6	0	0	0	х	750
7	0	0	0	0	0,01



а) б) в) г)

Рис.4. Картина многофазного потока (а), бинаризованная часть изображения и селектированная часть изображения

Таблица 3. Расположение значащих коэффициентов при селекции мелких составляющих (рис. 4в).

Уровень разложения	Коэфф. аппроксимации	Коэфф. детализации горизонтальные	Коэфф. детализации вертикальные	Коэфф. детализации диагональные	Значение
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	х	162
4	0	0	0	х	677
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0

Таблица 4. Расположение значащих коэффициентов при селекции крупных составляющих (рис. 4г).

Уровень разложения	Коэфф. аппроксимации	Коэфф. детализации горизонтальные	Коэфф. детализации вертикальные	Коэфф. детализации диагональные	Значение
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	x	1185
7	0	0	0	x	7816

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам тестирования алгоритма можно сделать следующие выводы:

- с использованием ДВП нельзя осуществить селекцию элементов изображений, близких по размеру (разница должна быть более чем в 2 раза, при разнице в полтора и менее раз возможна неполная селекция или перекрестная селекция из-за совпадения уровней значащих коэффициентов);

- показана необходимость предварительной обработки реальных картин визуализации потоков (бинаризация с предварительным выделением контуров);

- показана возможность приближенной оценки размеров элементов картин визуализации потоков по значениям коэффициентов разложения;

- наблюдается неполная фильтрация элементов изображений, из-за неполной корреляции материнской функции и элемента изображения (необходим подбор базисных функций и предварительные данные о характере селектируемых изображений)

Использование метода вейвлет-фильтрации позволяет решить задачу селекции элементов изображений. Для правильного выбора параметров алгоритма селекции необходимы априорные сведения о размерах и форме элементов изображений.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает глубокую благодарность сотрудникам кафедры Физики им. В.А. Фабриканта Московского энергетического института за любезно предоставленные экспериментальные материалы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Stephen Welstead** Fractal and Wavelet Image Compression Techniques: «Триумф», 2003.
2. **Stephane Mallat** Вейвлеты в обработке сигналов. М.: «Мир», 2005.
3. **В.А. Гречихин, Ю.А. Нечаева, А.В. Сегень** Вейвлет-анализ PIV-изображений двухфазных потоков // Оптические методы исследования потоков: Труды 9-й Международной НТК / Под. ред. Ю.Н.Дубнищева, Б.С.Ринкевичюса. - М.: Издательский дом МЭИ, 2007.

M.Y. Konduktorov

Moscow Power Engineering Institute (Technical University), Russia

SELECTION OF PIXEL DIMENSION USING WAVELET TRANSFORM

The report presents the results of development and testing of breeding programs for image elements in size for pictures visualization of two-phase flows using discrete wavelet transform. Testing was conducted both on simulated and on experimental images

SELECTION OF PARTICLE IMAGES BY THE SIZE CRITERION, METHOD OF WAVELET-FILTRATION.