

УДК 681.3.07

О. А. Кобылин

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРУПП ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ НОРМАЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В данной работе предложен метод, позволяющий с помощью вейвлет-анализа производить предварительную обработку изображения с целью адаптивного выбора групп преобразований в задачах нормализации. Существенно сократить время на определение параметров нормализации возможно, если определить вид воздействия, под которым может находиться изображение т.е. определить к какой группе оно принадлежит.

1. Введение

На сегодняшний день в системах технического зрения (СТЗ) используются различные методы обработки информации [1, 4]. Однако далеко не все методы обработки изображения эффективны. Эффективность методов обработки зависит от способа представления информации. Именно от способа представления информации существенно зависит результативность анализа изображения. К таким способам относятся: частотная область Фурье, область Гильбертова представления и др. Далеко не все способы представления информации отвечают современным требованиям СТЗ. Поэтому на современном этапе развития СТЗ наблюдается большой интерес к разработке новых способов представления информации, в частности используются различные алгоритмы быстрого преобразования Фурье, варианты косинусного и синусного преобразования, алгоритмы быстрого преобразования Харгли и др.

В современных СТЗ необходимо в реальном масштабе времени определять вид геометрических преобразований. Одним из методов, используемым в СТЗ, является нормализация изображений.

Нормализация изображения заключается в компенсации геометрических преобразований, полученных в результате отклонения входного изображения от эталонного. В зависимости от группы преобразования вычисляются параметры, позволяющие компенсировать геометрические преобразования. В зависимости от решаемой задачи допускается, что объект подвергнут искажениям и находится в заданной группе преобразований. Определение вида преобразования позволяет существенно сократить время на определение параметров для компенсации геометрических преобразований.

Цель работы – с помощью вейвлет-анализа определить вид геометрических преобразований с целью выбора группы преобразований применительно к задачам нормализации.

Задачи исследования – провести исследования возможности применения вейвлет-анализа для предварительной обработки изображения, исследование помехозащищенности.

2. Обработка изображения с помощью вейвлет-преобразования

Рассмотрим полутоновое дискретное изображение F на квадратной решетке $n \times n$, заданное своими отсчетами $f_{ij} \in \{0, 1, \dots, N\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, n$ (рис. 1).



Рис. 1. Пример изображения

Общая схема анализа многомерных сигналов подробно рассмотрена в [2,3]. Для анализа изображения используют двумерное вейвлет-преобразование, которое строится как тензорное произведение одномерных функций. При этом, образуется одна скейлинг-функция

$$\phi\phi(x, y) = \phi(x)\phi(y)$$

и три вейвлета

$$\phi\psi(x, y) = \phi(x)\psi(y),$$

$$\psi\phi(x, y) = \psi(x)\phi(y),$$

$$\psi\psi(x, y) = \psi(x)\psi(y).$$

Тогда двумерные вейвлеты будут иметь следующий вид

$$\phi\phi_{j,k}^{(i)}(x, y) = 2^i \phi\phi(2^i x - j, 2^i y - k),$$

$$\phi\psi_{j,k}^{(i)}(x, y) = 2^i \phi\psi(2^i x - j, 2^i y - k),$$

$$\psi\phi_{j,k}^{(i)}(x, y) = 2^i \psi\phi(2^i x - j, 2^i y - k),$$

$$\psi\psi_{j,k}^{(i)}(x, y) = 2^i \psi\psi(2^i x - j, 2^i y - k), i, j \in Z.$$

Если изображение представлено в виде сигнала $f(x, y) \in L_2(R)$, то разложение вычисляется по формулам

$$vw_{j,k}^{(i)} = \langle f(x,y) | \varphi \psi_{j,k}^{(i)}(x,y) \rangle,$$

$$wv_{j,k}^{(i)} = \langle f(x,y) | \psi \varphi_{j,k}^{(i)}(x,y) \rangle,$$

$$ww_{j,k}^{(i)} = \langle f(x,y) | \psi \psi_{j,k}^{(i)}(x,y) \rangle, i, j \in Z.$$

Один шаг двумерного вейвлет-преобразования выделит одну низкочастотную $vw_{j,k}^{(i)}$ и три высокочастотных компоненты $wv_{j,k}^{(i)}, vw_{j,k}^{(i)}, ww_{j,k}^{(i)}$. Полученные матрицы будут содержать коэффициенты разложения. Схематически матрицы разложения изображения представлены на рис. 2.

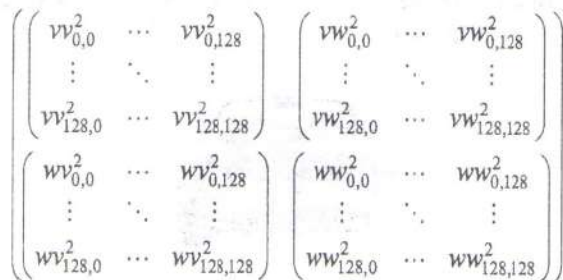


Рис. 2. Схематическое размещение полученных матриц преобразования

Восстановление изображения возможно провести, используя коэффициенты разложения $vw_{j,k}^{(i)}, wv_{j,k}^{(i)}, vw_{j,k}^{(i)}, ww_{j,k}^{(i)}$ по формуле

$$f(x,y) \approx \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (vw_{j,k}^{(i)} \varphi \psi_{j,k}^{(i)}(x,y) + wv_{j,k}^{(i)} \psi \varphi_{j,k}^{(i)}(x,y) + ww_{j,k}^{(i)} \psi \psi_{j,k}^{(i)}(x,y)).$$

3. Методика определения базовых групп преобразований

Для определения групп преобразования необходимо определить вид геометрического преобразования. Для определения вида геометрического преобразования предлагается производить анализ изображения с помощью вейвлет-преобразования. Полученные коэффициенты разложения позволяют локально анализировать те части изображения, по которым возможно определить к какому виду геометрических преобразований можно отнести изменение изображения. По характеру изменения характерных точек можно определить к какой группе преобразований принадлежит преобразование.

Для определения группы преобразований перейдем к анализу полученного спектра и вейвлет коэффициентов.

Схема определения группы преобразования выглядит следующим образом:

- 1) прослеживаем поведения коэффициентов, начиная с последнего уровня до первого;
 - 2) на последнем уровне находим максимальные коэффициенты и прослеживаем их поведение на последующих уровнях. Анализ коэффициентов схематически показан на рис. 3;
 - 3) вычисляем энергию максимумов коэффициентов, учитывая значения коэффициентов всех уровней разложения;
 - 4) проводим анализ полученных энергий.
- Если

$$W_G = \frac{\sum \max \{W_{j,k}^{(i)2}\} H}{\sum \max \{W_{j,k}^{(i)2}\} B} \approx 1,$$

то преобразования изображения проходят в одной плоскости, поэтому можно сделать вывод о том, что изображение подвергнуто группе преобразований смещений $G_{c,x,y}$ или поворотов G_u , иначе изображение может быть подвергнуто изменению масштаба и принадлежит группе преобразования масштаба G_m или подвергнуто проективным искажениям и принадлежит проективной группе преобразований G_p .

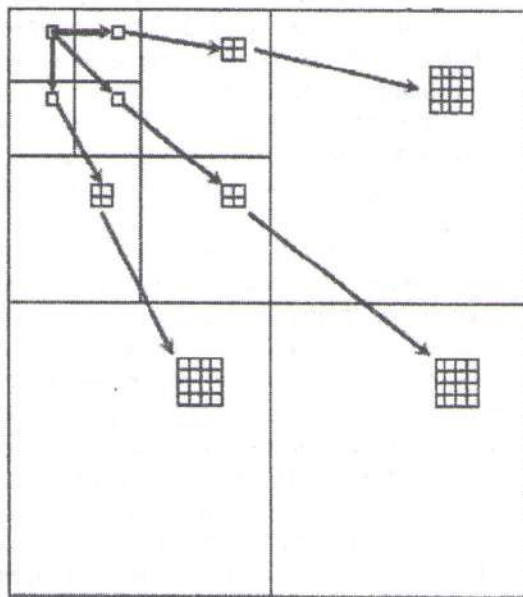


Рис. 3. Схематический анализ коэффициентов разложения

Для последующего определения групп преобразований, принадлежащих аффинной группе преобразований перейдем к рассмотрению вертикальных и горизонтальных матриц, полученных в результате разложения.

Если

$$W_G = \begin{cases} \frac{\sum \max \{wv_{j,k}^{(i)2}\} H}{\sum \max \{wv_{j,k}^{(i)2}\} B} \approx 1 \\ \frac{\sum \max \{wv_{j,k}^{(i)2}\} H}{\sum \max \{wv_{j,k}^{(i)2}\} B} \neq 1 \end{cases}, \quad (1)$$

то происходит смещение по оси Y . Тогда группа преобразования соответствует группе параллельных переносов вдоль оси $G_{c,y}$. Иначе можно говорить о том, что происходит смещение по оси X , и соответствует группе переносов вдоль оси $G_{c,x}$.

Если

$$W_G = \begin{cases} \frac{\sum \max \{wv_{j,k}^{(i)2}\} H}{\sum \max \{wv_{j,k}^{(i)2}\} B} \approx 1 \\ \frac{\sum \max \{wv_{j,k}^{(i)2}\} H}{\sum \max \{wv_{j,k}^{(i)2}\} B} \neq 1 \end{cases}, \quad (2)$$

то происходит смещение по оси X и Y . Тогда группа преобразования соответствует группе параллельных переносов вдоль осей $G_{c,x,y}$.

При повороте изображения значения

$$W_G = \begin{cases} \frac{\sum \max \{wv_{j,k}^{(i)2}\} H}{\sum \max \{wv_{j,k}^{(i)2}\} B} \neq 1 \\ \frac{\sum \max \{wv_{j,k}^{(i)2}\} H}{\sum \max \{wv_{j,k}^{(i)2}\} B} \neq 1 \end{cases}, \quad (3)$$

что определяет группу поворотов (вращений) на плоскости G_u .

Для определения различия между проективной группой G_p и масштаба G_m необходимо определить равенство количества максимумов:

$$\max W_{j,k}^{(i)2} H - \max W_{j,k}^{(i)2} B = 0.$$

Если количество максимумов коэффициентов разложения на H не соответствует количеству на B , то изображение подвергнуто резким искажениям и соответствует проективной группе преобразований G_p . Определение группы преобразования масштаба G_m вытекает как следствие, рассмотрев предыдущие группы.

4. Эксперименты

Произведем разложение изображения, имеющее размер 256×256 (рис. 1) с использованием ДВП, применив формулы вейвлет-преобразования.

В результате разложения сформируются матрицы детализирующих коэффициентов (рис. 4).

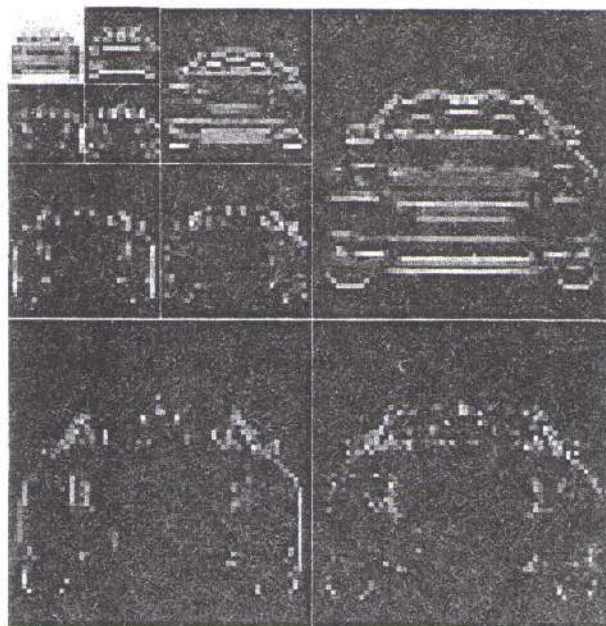


Рис. 4. Вейвлет-разложение изображения

При разложении используем вейвлет Доберши и 3 уровня декомпозиции. В результате разложения получим по три матрицы горизонтальных, вертикальных и диагональных составляющих с одинаковым разрешением, принадлежащих каждому уровню разложения (рис. 4). При этом, размер уровней декомпозиции изображения будет равен для первого уровня равным 128×128 , второго 64×64 и третьего 32×32 .

Данное разложение изображения позволяет локально анализировать структуру изображения с характерной ориентацией деталей составляющих.

Рассмотрим методику определения групп преобразований с использованием вейвлет-преобразования. Подвергнем искажению изображение, где: a_1, a_2 — смещения по координатным осям, ϕ — угол поворота, α_1, α_2 — параметры изменения масштаба.

1. Смещение изображения осуществляется по координатной оси X :

$$\begin{cases} x' = x + a_1 \\ y' = y. \end{cases}$$

В этом виде преобразования объект не меняет своих геометрических размеров и ориентации, смещается вдоль относительно оси X . После вычисления W_G и согласно правилу (1) группа преобразования для данного смещения является $G_{c,x}$.

2. Смещение изображения осуществляется по координатной оси Y :

$$\begin{cases} x' = x \\ y' = y + a_2. \end{cases}$$

В этом виде преобразования объект не меняет своих геометрических размеров и ориентации, смещается вдоль относительно оси Y . После вычисления W_G и согласно правилу (1) группа преобразования для данного смещения является $G_{c,y}$.

3. Смещение изображения осуществляется по координатной оси X и Y (рис. 5):

$$\begin{cases} x' = x + a_1 \\ y' = y + a_2. \end{cases}$$

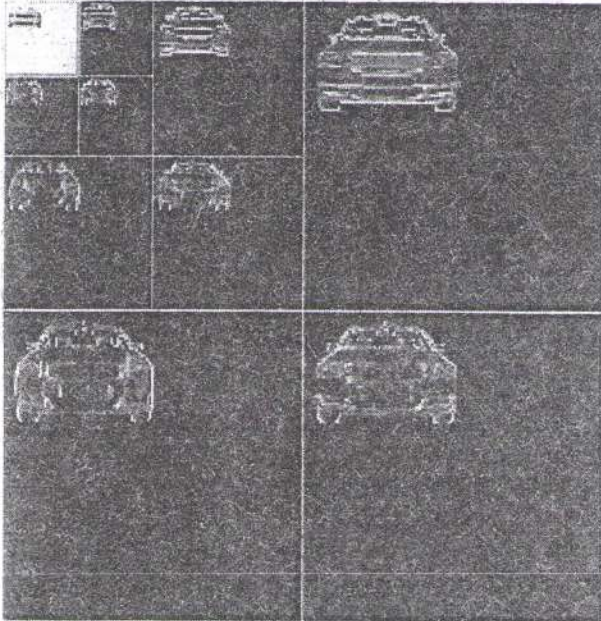


Рис. 5. Вейвлет-разложение изображения, смещенным по X и Y

В этом виде преобразования объект не меняет своих геометрических размеров и ориентации, смещается вдоль относительно оси X и Y . После вычисления W_G и согласно правилу (2) можно утверждать, что данное преобразование относится к группе преобразования параллельных переносов вдоль координатной оси X и Y -группа преобразования для данного смещения является $G_{c,x,y}$.

4. Поворот изображения на угол φ определяется соотношениями (рис. 6):

$$\begin{cases} x' = x \cos \varphi + y \sin \varphi \\ y' = -x \sin \varphi + y \cos \varphi. \end{cases}$$

В этом виде преобразования объект не меняет своих геометрических размеров и поворачивается на угол φ . После вычисления W_G и согласно правила (3) можно утверждать, что данное преобразование группы поворотов (вращений) на плоскости G_u .

Следует отметить, что если изображение имеет фрактальную структуру, то возникают ошибки при определении рассматриваемой группы.

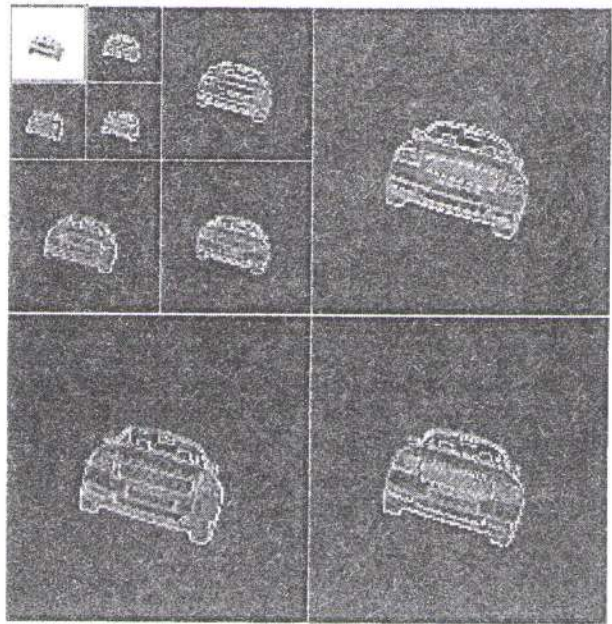


Рис. 6. Вейвлет-разложение изображения с поворотом $\varphi = 45^\circ$

5. Изменение масштаба α_1 и α_2 по осям абсцисс и ординат (рис. 7):

$$\begin{cases} x' = \alpha_1 x \\ y' = \alpha_2 y. \end{cases}$$

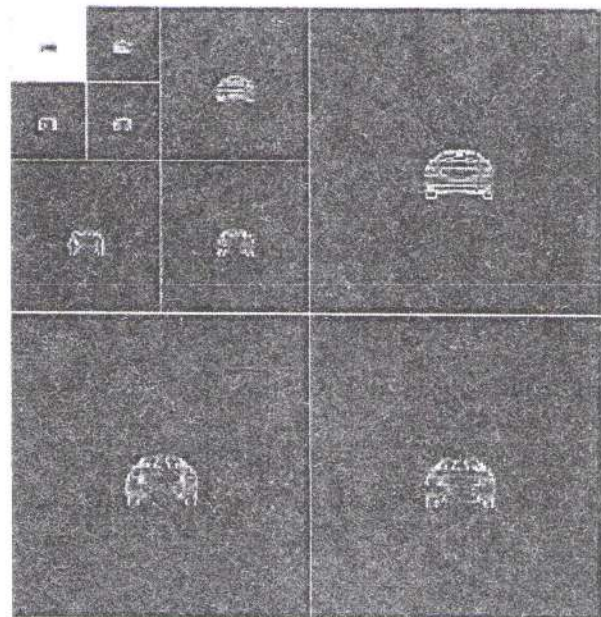


Рис. 7. Вейвлет-разложение изображения с масштабом 50%

Сложность определения группы заключается в том, что в этом виде преобразования происходит перераспределение энергии в зависимости от значений α_1 и α_2 . При неравномерном изменении значений α_1 и α_2 появляются дополнительные мак-

симумы, по которым нельзя утверждать, что изображение подвергнуто изменению масштаба. Поэтому рассматривается случай, когда значения α_1 и α_2 равны между собой.

Анализ группы масштаба возможен после рассмотрения условия (3). Если условие выполняется, то группа преобразований является G_m , иначе остается группа проективных преобразований G_p .

5. Помехозащищенность

Оценка помехозащищенности методов производилась следующим образом [1]. На вход алгоритма подавалась аддитивная смесь изображения и гауссовского шума с нулевым матожиданием и заданной дисперсией σ^2 . Отношение сигнал-шум в результате измеряется в виде $\mu = 1/\sigma$. На рис. 8 приведено зашумленное изображение для $\mu=5$ и его вейвлет-преобразование.

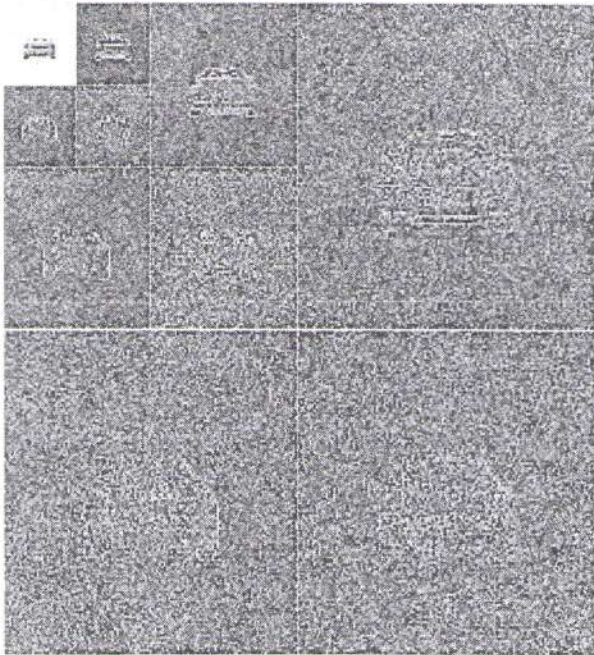


Рис. 8. Вейвлет-разложение зашумленного изображения

Определение групп смещений достаточно эффективно осуществляется при зашумленном изображении. Практически отсутствуют ошибки при определении этих групп. Группы преобразований масштаба и поворота определяются также эффективно, но при наличии шумов появляются ложные точки максимумов, принадлежащие к шуму, которые дают ложную информацию.

В табл. 1 приведены результаты определения для разных групп преобразований в зависимости от величины μ .

Таблица 1

Зависимость определения устойчивого определения групп преобразований от соотношения сигнал-шум

Группы \ μ	10	7	5	3	2	1	0,5
$G_{c,y}$	+	+	+	+	+	+	+
$G_{c,x}$	+	+	+	+	+	+	+
$G_{c,x,y}$	+	+	+	+	+	+	+
G_u	-	-	+	+	+	+	+
G_m	-	+	+	+	+	+	+
G_p	-	-	+	+	+	+	+

Как видим из табл. 1, предложенная методика позволяет эффективно определять группу преобразований.

6. Заключение

Новизна предложенного подхода позволяет решить проблему определения групп преобразований в задачах нормализации.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что в современных СТЗ необходимо определять вид геометрических преобразований. После определения вида геометрических преобразований возможно применять различные методы распознавания изображения. Одним из методов распознавания изображения является нормализация. Как правило, нормализация проводилась только в заданной группе преобразований. Предложенная методика снимает ограничения на проведение нормализации в заданной группе, с помощью определения групп преобразований. К недостаткам следует отнести отсутствие метода борьбы с «ложными» максимумами, которые влияют на определение групп преобразований.

По этим причинам вейвлет-преобразование можно рекомендовать для решения сложных практических задач распознавания и нормализации изображений объектов в условиях помех и фона.

Список литературы: 1. *Путятин Е.П., Аверин С.И.* Обработка изображений в робототехнике. — Москва: Машиностроение, 1990. — 320с. 2. *Петухов А.П.* Введение в теорию базисов всплесков. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. — 132 с. 3. *Малла С.* Вэйвлеты в обработке сигналов. — М.: Мир, 2005. — 671 с. 4. *Форсайт Д., Лонс Ж.* Компьютерное зрение. Современный подход: Пер. с англ. — Москва: Издательский дом «Вильямс», 2004. — 928 с.

Поступила в редколлегию 25.11.2005