

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ–ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ ОРИЕНТАЦИИ ОБЪЕКТА В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Радченко Ю.В.

Московский физико-технический институт

Введение.

Оценка ориентации объекта в последовательности изображений является достаточно важным вопросом в различных задачах обработки изображения. Такими задачами могут быть, как обнаружение и сопровождение объекта, построение панорамного изображения и/или получение изображения более высокого разрешения и качества по последовательности смещенных и повернутых друг относительно друга изображений.

В данной работе для объекта на изображении посредством двойного вейвлет–преобразования выделяются перепады как описано в [1]. По полученным перепадам строится контур объекта. По контуру объекта, каждая точка которого определяется двумя координатами, строится параметризованная функция, зависящая от одного параметра. Такими параметризованными функциями могут быть, к примеру, угол наклона касательной к контуру или радиус вектор, проведенный из определенной точки к контуру. В данной работе результаты будут приведены для функции полярного угла исходящего из центра масс линии контура, а параметром будет служить длина дуги контура. По полученной функции будут построены детализирующие коэффициенты вейвлет разложения, анализ которых позволит выявить характерные особенности функции.

Сравнение детализирующих коэффициентов разложения функций, полученных для разных изображений, на которых объект имеет разную ориентацию, позволяет оценить это различие в ориентации объекта.

Данный метод имеет два положительных свойства: 1) Он качественно не зависит от смещения объекта. 2) Оценка угла поворота сводится к решению задачи одномерной минимизации.

Выделение перепадов изображения, построение контура объекта.

Будем рассматривать вейвлеты с параметром сжатия 2, порождающие ортонормированный базис [1,2]. Пусть $\varphi(x)$ – одномерная масштабирующая функция и $\psi(x)$ – соответствующий ей одномерный вейвлет. Согласно [1,2] в двумерном случае можно использовать сепарабельный ортонормированный базис, причем масштабирующая функция и три вейвлета - вертикальный, горизонтальный и диагональный (с верхними индексами h, v, d соответственно) – с уровнем разрешения j , т.е. масштабом 2^{-j} , определяются следующим образом:

двумерная сепарабельная масштабирующая функция,

$$\Phi_{j,k,l}(x, y) = 2^j \varphi(2^j x - k) \varphi(2^j y - l) \tag{1}$$

двумерные сепарабельные вейвлет функции.

$$\Psi_{j,k,l}^h(x, y) = 2^j \varphi(2^j x - k) \psi(2^j y - l) \tag{2}$$

$$\Psi_{j,k,l}^v(x, y) = 2^j \psi(2^j x - k) \varphi(2^j y - l) \tag{3}$$

$$\Psi_{j,k,l}^d(x, y) = 2^j \psi(2^j x - k) \psi(2^j y - l) \tag{4}$$

где k, l – целые числа.

Используя эти обозначения двумерный сигнал можно представить в виде:

$$F(x, y) = \sum_{k,l} a_{j_n,k,l} \Phi_{j_n,k,l}(x, y) + \sum_{j \geq j_n} \left(\sum_{k,l} d_{j,k,l}^v \Psi_{j,k,l}^v + \sum_{k,l} d_{j,k,l}^h \Psi_{j,k,l}^h + \sum_{k,l} d_{j,k,l}^d \Psi_{j,k,l}^d \right) \tag{5}$$

где j_n – некоторый заданный уровень разрешения,

$$a_{j_n,k,l} = \langle F, \Phi_{j_n,k,l} \rangle \tag{6}$$

– аппроксимирующие коэффициенты,

$$d_{j,k,l}^v = \langle F, \Psi_{j,k,l}^v \rangle, \quad d_{j,k,l}^h = \langle F, \Psi_{j,k,l}^h \rangle, \quad d_{j,k,l}^d = \langle F, \Psi_{j,k,l}^d \rangle \tag{7}$$

– детализирующие коэффициенты

Первая сумма в выражении (5) представляет собой аппроксимацию сигнала. Вторая сумма содержит информацию о различии сигнала и аппроксимации.

Будем рассматривать входные дискретные изображения в качестве массивов аппроксимирующих коэффициентов вейвлет представления наблюдаемой картины на уровне разрешения $j_n = 0$ [1, 3]. Такое

допущение возможно, т.к. дискретные отсчеты входного изображения приближенно можно рассматривать как свертку сигнала с подходящей масштабирующей функцией.

Тогда, согласно (5) входного кадра можно построить аппроксимацию наблюдаемой картины на исходном уровне разрешения $j_n = 0$ в виде:

$$F(x, y) = \sum_{k,l} a_{k,l} \Phi_{k,l}(x, y) \quad (8)$$

Используя кратно-масштабный анализ [2], можно задать такой уровень j_n , при котором аппроксимация будет представлять собой гладкий и равномерный фон, а все перепады сигнала будут заключены в сумме с детализирующими коэффициентами. Таким образом, анализ детализирующих коэффициентов более высокого уровня позволит выделить объект, т.е. отделить перепады изображения, связанные с деталями интересующего объекта от деталей фона. И используя детализирующие коэффициенты более низкого уровня, построить контур объекта.

Для построения контура объекта, выполним следующие действия:

А) Подвергнем входное изображение быстрому вейвлет преобразованию;

Б) Обнулив аппроксимирующие коэффициенты, выполним обратное вейвлет преобразование.

Полученное изображение возьмем по модулю;

В) Выполним пороговую обработку и удалим не связанные объекты. Дополним полученное изображение, чтобы контур был замкнутый. На рисунке 1. приведен пример построения контура самолета (см. пояснение к рисунку).

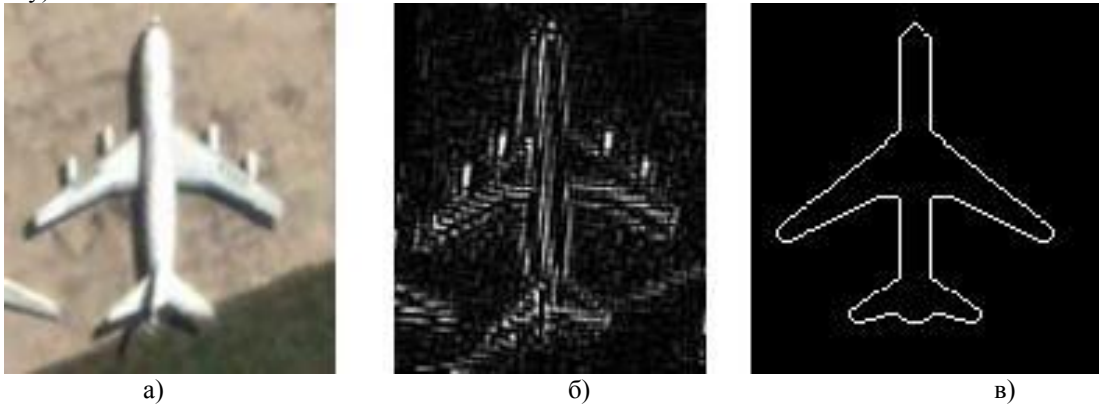


Рис. 1

- а) Снимок самолета с космоса.
 б) Изображение, полученное после прямого и обратного вейвлет преобразования без учета аппроксимирующих коэффициентов и взятое по модулю.
 в) Контур самолета

Параметризация контура и определение ориентации.

В качестве параметрической модели контура выберем зависимость полярного угла, исходящего из центра масс фигуры, от длины контура. Ориентация полярной системы координат, может быть произвольной и определяется только удобством вычисления, существенно, только то, чтобы для всех изображений была одинаковой. Конкретно, ориентация может определяться из того, чтобы для невыпуклого объекта, с центром масс во внешней области, луч, проведенный из центра масс, пересекал контур.

Полярный угол строится следующим образом:

а) Первый луч из центра масс по фиксированному направлению. В рассматриваемом ниже примере луч из ЦМ вертикально вниз.

б) Второй луч из ЦМ до пересечения с контуром. В рассматриваемом примере обход по контуру против часовой стрелки.

На графиках рис. 2 приведены соответствующие зависимости полярного угла от длины контура. Пунктирный график соответствует контуру объекта, повернутому на 34 градуса относительно объекта, для которого график изображен сплошной линией. По оси ординат отложен полярный угол в радианах, по оси абсцисс – длина контура.

Корреляция графиков очевидна. Видно, что один график смещен относительно другого по обеим координатам, причем смещение по оси ординат соответствует интересующему углу поворота объекта.

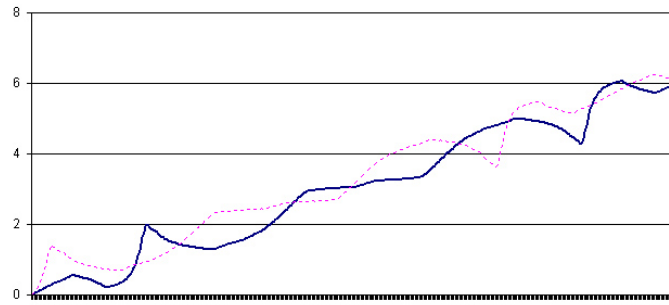


Рис. 2

Зависимость полярного угла от длины контура. Пунктирный график соответствует контуру объекта, повернутому на 34 градуса относительно объекта, для которого график изображен сплошной линией.

Для выявления характерных особенностей поведения функций подвергнем их вейвлет преобразованию. Результат представлен на рис. 3.

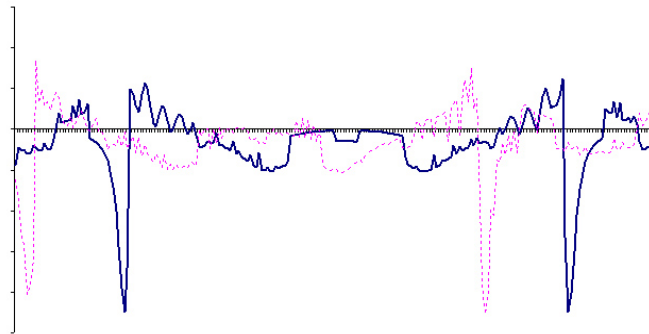


Рис. 3

Вейвлет представление зависимости полярного угла от длины.

Пунктирный график соответствует контуру объекта, повернутому на 34 градуса относительно объекта, для которого график изображен сплошной линией.

Соответственно, оценив смещение, что будет соответствовать сдвигу стартовой точки на контуре объекта, можно вычислить угол поворота объекта.

Вследствие шумов и ошибки интерполяции при построении контура оценка смещения по отдельно взятой, хотя и явно выраженной особенности может привести к значительной ошибке. Во избежание данной ошибки будем использовать МНК с выборочной невязкой. Для этого введем соответствующий критерий.

$$\tilde{\Delta} = \arg(\min_{\{\Delta\}} L(\Delta)) \quad (9)$$

$$\text{где } L(\Delta) = \sum_i (f_b(i) - f_e(i - \Delta))^2 \quad (10)$$

i – номер детализирующего коэффициента, $f_b(i)$ – значение i -го детализирующего коэффициента с опорного кадра, $f_e(i)$ – значение i -го детализирующего коэффициента с оцениваемого кадра, Δ – оцениваемое смещение.

Результаты тестирования показали, что точность оценки угла поворота не зависит от угла поворота и ошибка не превышает 30 секунд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С. Малла Вэйвлеты в обработке сигналов, Москва Мир, 2005.
2. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2001.
3. Дремин И.М., Иванов О.В., Нечитайло В.А., // УФН, 2001. Т. 177. № 5

