

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ТЕКСТУРНОГО АНАЛИЗА, ИНВАРИАНТНЫХ К ИЗМЕНЕНИЮ УГЛА ПОВОРОТА И МАСШТАБА**

Варшавская М.С., группа ИУС-05м

Руководитель доц. каф АСУ Привалов М.В.

В настоящее время в медицинских учреждениях Украины нашли широкое применение компьютеризированные диагностические системы, использующие для выявления патологий различные изображения, в том числе и ультразвуковые снимки. Однако в большинстве этих систем недостаточно используются возможности современных ЭВМ для вынесения предварительного диагноза.

Для анализа снимков УЗИ необходимо использовать такой метод текстурного анализа, на результаты классификации которого не влияло бы изменение масштаба и поворот изображения. При проведении ультразвукового обследования человека изображение одного и того же его органа не может на разных снимках представляться в абсолютно одинаковом положении. Один и тот же орган будет расположен под разными углами и с небольшой разницей в масштабе. Проблема состоит в том, что если не учитывать эти условия, то при анализе изображений одного и того же объекта, расположенного под разными углами и/или в разном масштабе, для одной и той же текстуры будут получены разные признаки, и в итоге она будет распознана в различных положениях по-разному. Таким образом, для текстурного анализа необходимо использовать метод, инвариантный к изменению угла поворота и масштаба объекта на изображении.

Вследствие анализа наиболее известных методов [1,2,3], инвариантных к изменению угла поворота и масштаба, можно сделать вывод, что в методах

текстурного анализа инвариантность к изменению угла поворота и масштаба обеспечивается одним из двух способов:

1) с помощью преобразования изображения до или после расчета признаков этого изображения. Инвариантности распознавания текстур к изменению угла поворота и/или масштаба можно добиться, используя, например, преобразование Радона [4] или лог-полярное преобразование [3];

2) с помощью использования в расчетах признаков текстур, инвариантных к изменению угла поворота и/или масштаба.

Одним из наиболее эффективных аппаратов обработки текстур является спектральный метод анализа текстуры, который базируется на использовании двумерного преобразования Фурье [5].

Изображение (или функция интенсивности), как двумерный периодический сигнал, должно удовлетворять условию [6]:

$$I_p(x, y) = I_p(x + n \cdot N, y + m \cdot M), \quad (1)$$

где  $I$  — изображение,

$x, y$  — координаты пикселей изображения,

$N, M$  — размеры изображения,

$n, m$  — произвольные целые числа,

индекс  $p$  указывает на периодичность изображения как двумерного сигнала.

Значения коэффициентов двумерного преобразования Фурье для изображения можно найти, вычислив значения двумерного  $z$ -преобразования

на одном периоде последовательности  $I_p(x, y)$  на частотах  $w_x = \frac{2\pi}{N} n_x$  и

$w_y = \frac{2\pi}{M} n_y$ ,  $n_x = 0, \dots, N-1$ ,  $n_y = 0, \dots, M-1$  для возможности полного

восстановления изображения [5, 6]. Тогда двумерное преобразование Фурье:

$$F(w_x, w_y) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} I(x, y) \cdot \exp\{-i \cdot (w_x x + w_y y)\}. \quad (2)$$

Двумерное преобразование Фурье можно вычислить с помощью последовательности одномерных дискретных преобразований Фурье (ДПФ):

$$F(w_x, w_y) = \sum_{x=0}^{N-1} \exp(-i \cdot w_x \cdot x) \left[ \sum_{y=0}^{M-1} I(x, y) \cdot \exp\{-i \cdot w_y \cdot y\} \right]. \quad (3)$$

При изменении  $x$  от 0 до  $N-1$  суммы в квадратных скобках образуют  $N$  одномерных ДПФ. Обозначив результат каждого из одномерных ДПФ через  $g(x, w_y)$ , перепишем соотношение (3) в виде:

$$F(w_x, w_y) = \sum_{x=0}^{N-1} \exp(-i \cdot w_x \cdot x) \cdot g(x, w_y). \quad (4)$$

Полученное соотношение представляет собой  $M$  одномерных ДПФ, соответствующих изменению  $y$  от 0 до  $M-1$ . Это свойство широко применяется для вычисления двумерного ДПФ цифровых изображений.

На практике при анализе комплексной функции  $F(w_x, w_y)$  целесообразно принимать во внимание модуль её значения или эквивалент выхода когерентно-оптического устройства, используемого при анализе и распознавании аналоговых изображений [7]. Это значение можно записать в виде

$$M(w_x, w_y) = |F(w_x, w_y)|^2. \quad (5)$$

Следует отметить, что функции  $F(w_x, w_y)$  и  $I(x, y)$  представляют собой пару, связанную однозначным преобразованием, тогда как функция  $M(w_x, w_y)$  неоднозначно связана с  $I(x, y)$ . Например, функция  $M(w_x, w_y)$  не изменяется, если начало координат на плоскости исходного изображения сдвигается.

При распознавании текстур на снимках УЗИ инвариантность функции  $M(w_x, w_y)$  относительно сдвига является ее достоинством. Интегрирование функции  $M(w_x, w_y)$  по углу на плоскости пространственных частот дает пространственно-частотный признак, инвариантный относительно сдвига и поворота. Представив функцию  $M(w_x, w_y)$  в полярных координатах, получим этот признак в следующем виде:

$$N(\rho) = \int_0^{2\pi} M(\rho, \theta) d\theta, \quad (6)$$

где  $\theta = \arctg(w_y/w_x)$  и  $\rho^2 = w_x^2 + w_y^2$ .

Инвариантностью к изменению масштаба обладает секторный признак:

$$P(\rho) = \int_0^{\infty} M(\rho, \theta) \rho d\rho. \quad (7)$$

Секторный признак целесообразно применять, когда на изображении расположен один объект или геометрически связанная группа объектов. Причём частичная деформация объекта на изображении приводит к значительному искажению секторного признака.

Для дискретного изображения, описываемого массивом чисел  $I(x,y)$ , в качестве источника признаков можно рассматривать непосредственно дискретный спектр Фурье.

Для решения задачи классификации спектров применен метод классификации с использованием Евклидовых расстояний.

Классификация методом сравнения Евклидовых расстояний:

$$d_e = \sum_{i=1}^{n_s} (xt_i - V_i)^2, \quad (8)$$

где  $xt$  — вектор, подлежащий классификации, или тестируемый вектор;

$n_s$  — количество элементов в векторах;

$V$  — вектор средних для эталонного класса.

Чем меньше значения расстояний, тем ближе тестируемый вектор к эталонному классу.

Для проверки эффективности использования различных масок спектральных признаков на обеспечение инвариантности работы метода к изменению угла поворота и масштабированию объекта на изображении были проведены экспериментальные исследования.

Для проведения экспериментов были выбраны наборы изображений различных текстур, взятых из альбома Бродаца [8]. Это позволило получить

общие результаты работы метода двумерного преобразования Фурье с использованием линейной, радиальной и секторной масок спектральных признаков. В дальнейшем, выбрав по результатам наиболее эффективную модификацию метода, обеспечивающую инвариантность к изменению угла поворота и масштабированию объекта на изображении, эксперименты будут произведены непосредственно на снимках УЗИ. Таким образом, будут получены результаты в соответствии с поставленной задачей.

Последовательность действий при проведении эксперимента:

- 1) выбираем эталонное изображение определенной текстуры (изображение с масштабом  $m=100\%$  и углом поворота  $r=0^\circ$ );
- 2) получаем вектор признаков для данного изображения;
- 3) вычисляем вектора признаков для набора изображений той же текстуры, но с другими масштабами или углами поворота;
- 4) для каждого изображения из этого набора вычисляем Евклидово расстояние между вектором признаков этого изображения и вектором признаков эталонного изображения;
- 5) для выборки полученных Евклидовых расстояний вычисляем статистические характеристики (математическое ожидание, дисперсию, среднеквадратичное отклонение) и строим доверительный интервал;
- 6) проверяем различные изображения текстур на попадание рассчитанных для них Евклидовых расстояний в доверительный интервал.

Получение вектора признаков для изображения производится следующим образом:

- 1) подвергаем изображение двумерному преобразованию Фурье;
- 2) для полученного изображения используем линейную, радиальную или секторную маску спектральных признаков.

Были получены результаты работы метода двумерного преобразования Фурье с использованием линейной, радиальной и секторной масок спектральных признаков. Для каждой маски были проведены две серии

экспериментов. Исследования инвариантности работы метода к повороту проводились на изображениях текстуры с различными углами поворота, но с фиксированным масштабом ( $m=100\%$ ). Исследования инвариантности работы метода к масштабированию проводились на изображениях текстуры с различными масштабами, но с фиксированным углом поворота ( $r=0^\circ$ ).

Необходимо отметить, что попадание значений Евклидовых расстояний в доверительный интервал не является достаточным условием для отнесения текстур изображений к тому или иному классу. Здесь следует учитывать разрешающую способность метода вычисления вектора признаков. То есть необходимо сравнивать Евклидово расстояние между векторами признаков двух изображений одного класса (снимки одной и той же текстуры, но с разными углами поворота) с Евклидовым расстоянием между векторами признаков двух изображений текстур разных классов (снимки разных текстур).

Вследствие анализа полученных результатов экспериментальных исследований были сделаны следующие выводы:

1) метод двумерного преобразования Фурье при использовании радиальной маски спектральных признаков является инвариантным к изменению угла поворота изображения текстуры, а также к изменению масштаба изображения текстуры;

2) метод двумерного преобразования Фурье при использовании линейной маски спектральных признаков является мало эффективным и неточным при распознавании изображений одной и той же текстуры, повернутой под разными углами, однако обеспечивает инвариантность к изменению масштаба;

3) метод двумерного преобразования Фурье при использовании секторной маски спектральных признаков не обеспечивает инвариантности к изменению угла поворота изображения текстуры, однако является наиболее эффективной модификацией метода по обеспечению инвариантности к масштабированию изображения текстуры.

Таким образом, пришли к выводу, что при решении задач распознавания текстур на изображениях для обеспечения инвариантности к изменению угла поворота изображения текстуры наиболее эффективным является метод двумерного преобразования Фурье с использованием радиальной маски спектральных признаков, а для обеспечения инвариантности к изменению масштаба — метод двумерного преобразования Фурье с использованием секторной маски спектральных признаков.

Направлением дальнейших исследований является: исследование влияния использования лог-полярного преобразования изображения на получение вектора признаков, обеспечивающего при распознавании инвариантность к повороту и масштабированию, и выбор метода с наиболее высокой точностью распознавания, который эффективнее всего будет обеспечивать при распознавании инвариантность к повороту и масштабированию.

#### Перечень ссылок

1. J. Zhang, T. Tan, New Texture Signatures and Their Use in Rotation Invariant Texture Classification // IEEE Trans. Image Processing. — 2001, Feb, vol. 8.
2. M. Pickering, M. Frater and J. Arnold, Scale and Rotation Invariant Texture Features From the Dual-Tree Complex Wavelet Transform // IEEE Trans. Image Processing. — 2004, June, vol. 2.
3. C.-M. Pun, M.-C. Lee, Log-Polar Wavelet Energy Signatures for Rotation and Scale Invariant Texture Classification // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. — 2003, May, vol. 25, no. 5.
4. Грузман И.С. // Соросовский образовательный журнал. — 2001, N° 5. — С. 117–121.
5. Richard O. Duda, Peter E. Hart, David G. Stork, Pattern Classification, Second Edition. — 2000, Nov, 680 p.
6. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов: Пер. с англ. — М.: Мир, 1978. — 848 с.
7. Стюард И. Г. Введение в Фурье-оптику: Пер. с англ. — М: Мир, 1985. — 182 с.
8. Альбом изображений текстур Бродаца / Электронный ресурс. Способ доступа: URL: <http://sipi.usc.edu/database/database.cgi>.