

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ И 2-D ФУРЬЕ-АНАЛИЗ ФОРМЫ КОФЕЙНЫХ ЗЕРЕН

Дегтяр А.Д., Лисиутин В.А., Байбаков Р.А., Солодянкина Е.С.
 ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
 ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, РФ
 e-mail: vlisiutin@mail.ru

Аннотация. Анализируются и сравниваются возможности гранулометрического анализа состава зерна и спектрального анализа плоского контура зерен кофе с целью определения размера зерен, наличия порченных зерен и примесей и классификации зерен по формы контура. Приводятся результаты гранулометрического анализа и спектрального анализа формы контура для десяти образцов кофе. Показываются возможность объективной оценки качества зерен и преимущества спектрального анализа - быстрая сходимость результата.

Ключевые слова: кофейные зерна, гранулометрический анализ, спектральный анализ, Фурье-дескрипторы.

GRANULOMETRIC AND 2-D FOURIER ANALYSIS OF THE FORM OF GRAINS OF COFFEE

Degtyar A.D., Lisyutin V.A., Baybakov R.A., Solodyankina C.S.
 Sevastopol State University
 Universitetskaya St., 33, Sevastopol, 299053, Russia
 e-mail: vlisiutin@mail.ru

Abstract. Possibilities of granulometric analysis of composition of the grain and spectral analysis of the flat contour of coffee grains to determine the presence of spoiled grains, the grain size or impurities and classification of shape of grain contours have been analyzed and compared. The results of granulometric analysis and spectral analysis of the shape of contours have been presented for ten samples of coffee. The possibility of an objective grains quality control has been demonstrated. The fast convergence of a result as an advantage of spectral analysis has been shown.

Key words: coffee grain, granulometric analysis, spectral analysis, Fourier-descriptors.

Кофе. С него начинают утро две трети жителей Земли. Вкус кофе отражает географический регион, где он был выращен, а также разновидность кофейного растения. Кофе выращивают более 50 стран мира. Страны производители можно разделить на четыре географические зоны: Южная Америка, Центральная Америка, Африка, Азия и Австралия. Существует четыре вида кофе, которые используются в промышленных масштабах. Арабика занимает примерно 70% мирового производства, робуста – 28%, на остальные, Либерика и Эксельса, приходится 2%. Все кофейные деревья древесные, но среди них есть и небольшие кустарники, листья могут быть желтоватые, темно-зеленые или с оттенком фиолетового. Кофе оценивают по нескольким группам признаков. На данный момент не существует универсальной системы классификации кофейных зёрен, хотя существуют национальные и биржевые системы, основанные на различных параметрах. Например, имеются классификации, опирающиеся на высоту произрастания при спецификации сорта – сокращения SHB и SHG обозначают Strictly Hard Bean (очень твёрдое зерно) и Strictly High Grown (очень высокорастущее), что соответствует высоте плантаций около 1000 метров над уровнем моря. Таким образом, плотное зерно ассоциируется с высокорастущим и, соответственно, высококачественным. В то же время в Бразилии аббревиатура SS обозначает Strictly Soft (совсем мягкое) и говорит о принадлежности к высокому грейду – речь идет о вкусовых качествах напитка, а вовсе не о плотности зерна как такового. Эфиопский кофе Grade 4 является лучшим кофе сухой обработки, который вы можете получить из Эфиопии, тогда как Grade 1 DP из Суматры допускает 8% дефектов и может уступать по качеству кофейным зёрнам из Эфиопии (DP означает Dry Processed – обработано по сухой технологии). Однако, потребительские свойства кофе зависят от таких факторов: вид кофейных зерен, регион произрастания, способ обработки, размер, количеству дефектных зерен, количеству посторонних примесей. Ряд этих показателей может быть объективно оценен с помощью морфометрии зерен.

Материалом для исследований являлись 10 образцов кофе разных сортов, купленные в магазине «Чайная страна»: «образец 1» (далее «1») – «Кения»; «2» - «Ирландский крем»; «3» - «Эспрессо»; «4» - «Рождественская выпечка»; «5» - «Трюфель»; «6» - «Клубника со сливками»; «7» - «Карамель»; «8» - «Ром», «9» - «Марагоджип»; «10» - «Фруктовый коктейль». Из образцов отбиралось 50 взятых наугад зерен, масса которых была измерена с помощью аналитических весов. Затем зерна фотографировались, изображение переносилось в компьютер и обрабатывалось с помощью Image Processing Toolbox математической системы MATLAB.

Рассмотрим, какие признаки формы структурных элементов можно извлечь непосредственно из «Image Processing». Изображение подвергается бинаризации, инверсии, трешолдингу площади объектов, выделению периметра, вычислению координат центра масс зерна. Затем для статистического оценивания формы или величины объектов на изображении и их классификации возможно вычислить следующие морфометрические признаки и коэффициенты формы:

- "Area" – площадь, измеренная в количестве пикселей объекта;
- "ConvexArea" - выпуклая площадь - площадь выпуклого многоугольника, в который вписан объект;
- "EquivDiameter" - эквивалентный диаметр - диаметр круга с площадью Area, $D_e = \sqrt{4 \cdot Area / \pi}$;
- длины максимальной L и минимальной l осей инерции;

Коэффициенты формы необходимы для того, чтобы математически описать форму объекта. Можно предложить достаточно много способов определения коэффициента формы, каждый из которых предназначен для решения определенного круга задач.

- "Eccentricity" - эксцентриситет эллипса с главными моментами инерции, равными главным моментам инерции объекта.

- "Extent" - Коэффициент заполнения: равен отношению площади объекта к площади ограничивающего прямоугольника, $Ex = Ar / (L \cdot l)$;

- "Solidity" - Коэффициент выпуклости: равен отношению площади к выпуклой площади объекта, $Sl = Ar / Ca$. На основе перечисленных признаков формы может быть проведен анализ гистограмм распределений зерен по размерам и форме в образцах кофе.

Другим методом, позволяющим извлечь большее количество информации и пригодным для разработки экспертной системы идентификации сортов является анализ формы контура зерновки с помощью преобразования Фурье. Суть метода в следующем. С помощью «Image Processing» выделяется периметр зерна, вычисляются координаты центра масс (ЦМ отмечен *). Координаты периметра преобразуются из декартовых координат в полярные. Последовательность преобразований фотографии частицы показана на рисунке 1.

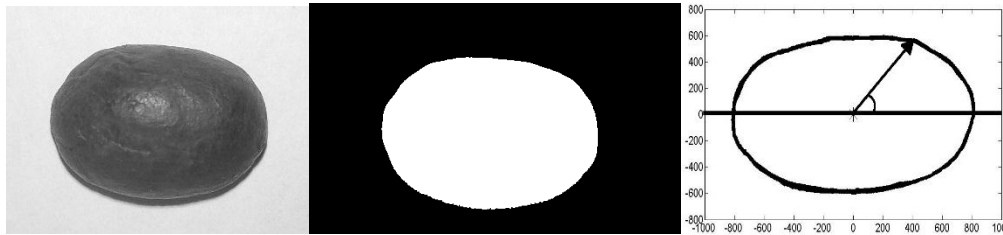


Рисунок 1 – Преобразование изображения

Функция «расстояние от ЦМ до периметра» $r(\varphi)$ – периодическая с периодом 2π и может быть представлена в виде ряда Фурье

$$r(\varphi) = r_0 + \sum_{n=1}^N [A_n \cos(n\varphi) + B_n \sin(n\varphi)] \quad \text{или} \quad r(\varphi) = r_0 + \sum_{n=1}^N C_n \cos(n\varphi - \vartheta_n), \quad (1)$$

где $r_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [r_i]$, $A_n = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [r_i \cos(i \cdot \varphi_i)]$, $B_n = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [r_i \sin(i \cdot \varphi_i)]$; $C_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}$ - амплитудный спектр;

$\vartheta_n = \arctg \frac{A_n}{B_n}$ - фазовый спектр; n - номер гармоники; N - общее число точек дискретизации периметра.

Согласно теоремам о дискретизации можно выделить гармоники с номерами $0 \leq n \leq N/2$. Нормированные амплитуды гармоник в соответствии с $D_n = \frac{1}{r_0} \sqrt{A_n^2 + B_n^2}$ называются «Фурье-дескрипторами» [3].

Вычисленные значения D_n и θ_n для зерновки, показанной на рисунке 1, представлены на рисунке 2.

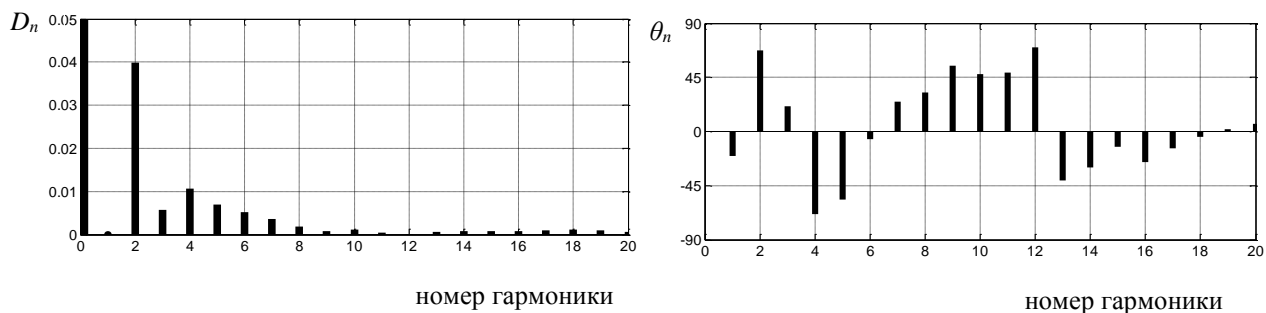


Рисунок 2 – Типичный амплитудный и фазовый спектр зерновки риса

Первый дескриптор $D_0 = r_0 = 1$. D_1 правильным выбором начальной точки (т.е. правильной установкой зерна относительно оси X) может быть установлен в 0. Дескриптор D_2, D_4, D_8 , (четные гармоники) описывает относительное удлинение частицы, кроме того, $D_3 - D_7$ (нечетные) определяют глубину основных неровностей контура частицы, $D_n, n > 8$ показывают шероховатость поверхности. Важное значение имеет фазовый спектр. Для риса очертания контура – генетически наследуемый признак, поэтому фазовый спектр не является случайным, а устанавливает место расположения «впадинок» на контуре зерна. Качество автофокусировки использованного

здесь оптического микроскопа позволяет вычислять гармоники с $n < 10$, для гармоник с большими номерами «шероховатостью поверхности» является цифровой шум.

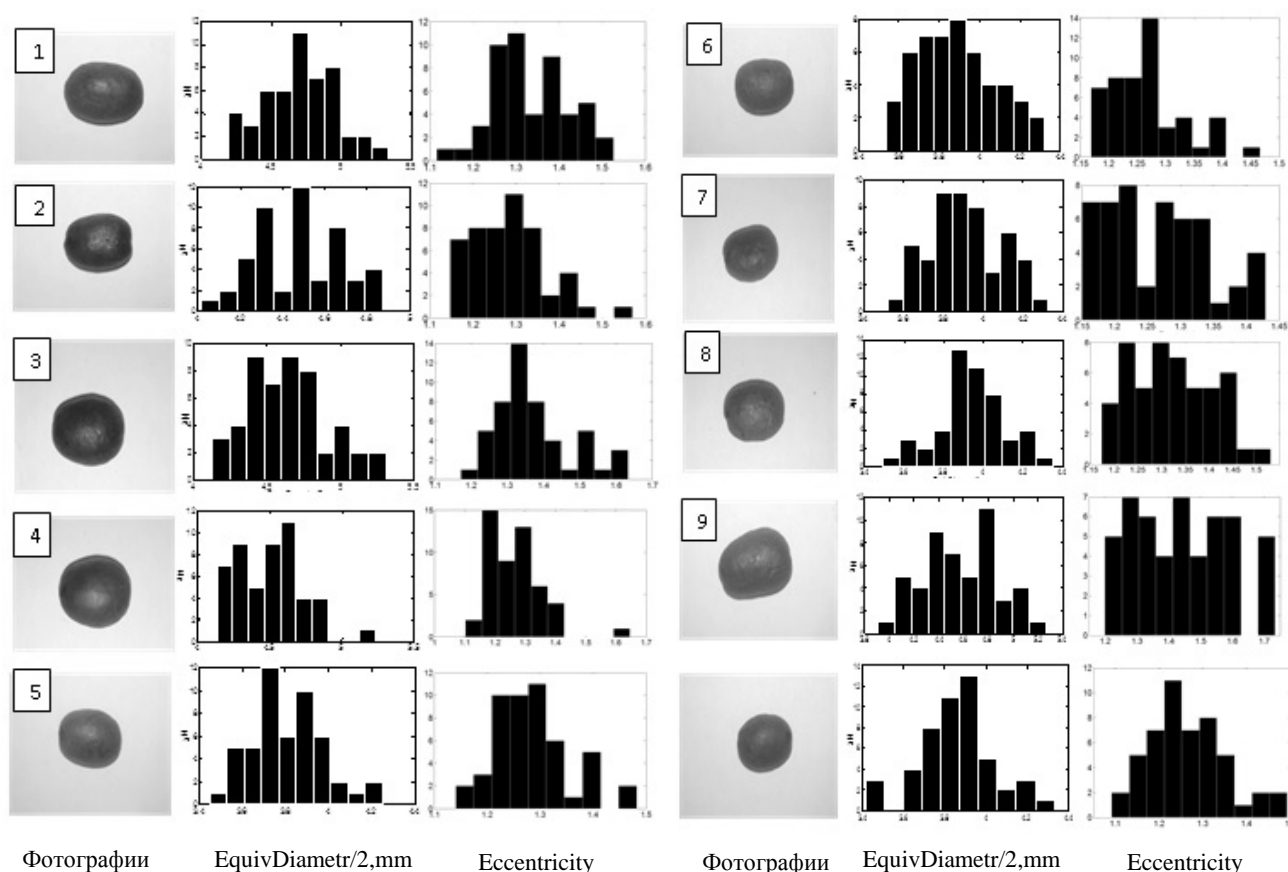


Рисунок 3 – Результаты гранулометрического анализа образцов

Рассмотрим теперь результаты анализа образцов круп. Результаты анализа гранулометрии зерен представлены на рисунке 3.

На левом фрагменте – фотографии зерен («1» - на рис.1). По размеру визуально все образцы подобны, во всех образцах присутствуют как круглые, так и овальные зерна, но имеют различия в цвете из-за степени обжарки зерен. Вторая и третья колонки характеризуют размер зерен. Естественно, что из-за некруглой формы размер, вычисленный по эквивалентному диаметру и по среднему значению функции $r(\varphi)$ совпадать не будет. Из диаграмм видно, что эффективный диаметр зерен «1», «3» и «9» образцов немного больше относительно «5», «6», «7» и «8», а образцы «2», «4», «8» и «10» имеют примерно одинаковое количество зерен как в первом случае, так и во втором. Соответственно, поверхностная площадь «1», «3» и «9» образцов так же больше. Причина этого – разные страны производители, поэтому и разные условия произрастания кофе.

Эксцентриситет наибольшего числа зерен в «3» - 1,33, в «4» - 1,17, в «6» - 1,27, что позволяет отнести эти пробы к более «округлозерным». А к «продолговатозерным» можно отнести пробы «7», «8» и «9». Это зависит от региона произрастания кофейных деревьев: высота плантаций над уровнем моря, погодные условия, высокорастущее или низкорастущее дерево, способ обработки зерна.

С гистограмм эксцентриситета так же видно, что средняя длина зерен всех проб $1,2 < L/l < 1,4$. Из это следует, что пробы зерен каждого из представленных сортов кофе относятся к одному виду и так как на Арабику приходится 70% всего производства, то можно предположить, что и данные пробы относятся к этому виду.

Рассмотрим теперь Фурье-спектры, показанные на рисунке 4.

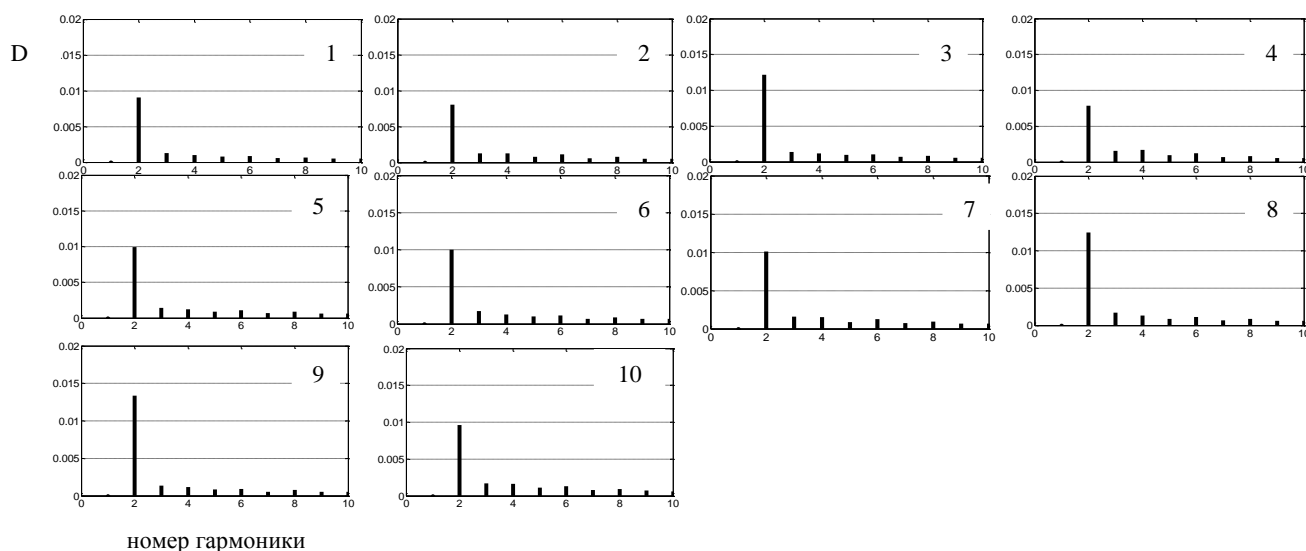


Рисунок 4 – Амплитудные спектры образцов

Первое, что хотелось бы отметить – в отличие от гранулометрического анализа, спектры показывают очень быструю «сходимость» – результат анализа 20 из 50 зерен отличается не более чем на 5%. Спектры всех образцов практически не отличаются друг от друга. В спектрах образцов «3», «8» и «9» амплитуда второй гармоники пропорциональна эксцентриситету, они совпадают и больше относительно других проб. В спектрах «2» и «4» амплитуды второй гармоники меньше, но практически не отличаются от остальных. В целом, спектры проб не имеют явных признаков различия между собой, это указывает на то, что зерна данных сортов кофе относятся к одному виду. Учитывая вышесказанное, можно предположить, что это вид Арабика.

Закключение. В ходе данного эксперимента было определено, что амплитуды гармоник всех спектров образцов подобны, так же средняя поверхностная площадь и эффективный диаметр для каждого образца практически одинаковы. Отношение L/l в гистограммах эксцентриситета имеет примерно одинаковые пределы. Это означает, что данные сорта кофе относятся к одному виду. Для подтверждения данного вывода было принято решение обратиться к торговому представителю для получения дополнительной информации. В свою очередь, торговый представитель подтвердил, что данные сорта кофе относятся к одному виду кофе – Арабика, но импортировались с разных стран производителей. По этой причине наблюдаются небольшие различия в эксперименте.

Список литературы / References:

1. Al-Marakeby A., Ayman A.Aly, Farban A. Salem. Fast Quality Inspection of Food Products using Computer Vision. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 2013, vol. 2, iss. 11, pp. 4168-4171.
2. Усатиков С.В., Горонков К.А. База данных спектров плоских изображений для высокоточного распознавания сортов зерновых культур. *Автоматизированные информационные и электроэнергетические системы: материалы I Межвузовской научно-практической конференции*, Краснодар: Изд. Дом-Юг, 2010, с. 144-146. [Usatikov S.V. Goronkov K.A. Database of flat images spectra for high-precision recognition of crops. *Automated information and electricity systems: the materials of I Interuniversity scientific and practical conference*, Krasnodar: House-South, 2010, pp. 144-146. (In Russ.)]
3. Mollon G., Zhao J. Fourier–Voronoi-based generation of realistic samples for discrete modelling of granular materials. *Granular Matter*, 2012, vol. 14, iss. 5, pp. 621-638.