

Измерение гранулометрического состава зерновой массы

Задача измерения гранулометрического состава заключается в распознавании частиц зерновок на изображениях, полученных со сканера (рисунок 1), выделения контура частиц и некоторых измерительных операций с контуром. Число операций с контуром зависит от потребностей исследователя. Чаще всего в гранулометрии определяют длину, ширину, площадь и периметр. Кроме того, необходимо вычисление факторов формы, определение центра масс и ориентации частиц исследуемого продукта в пространстве.

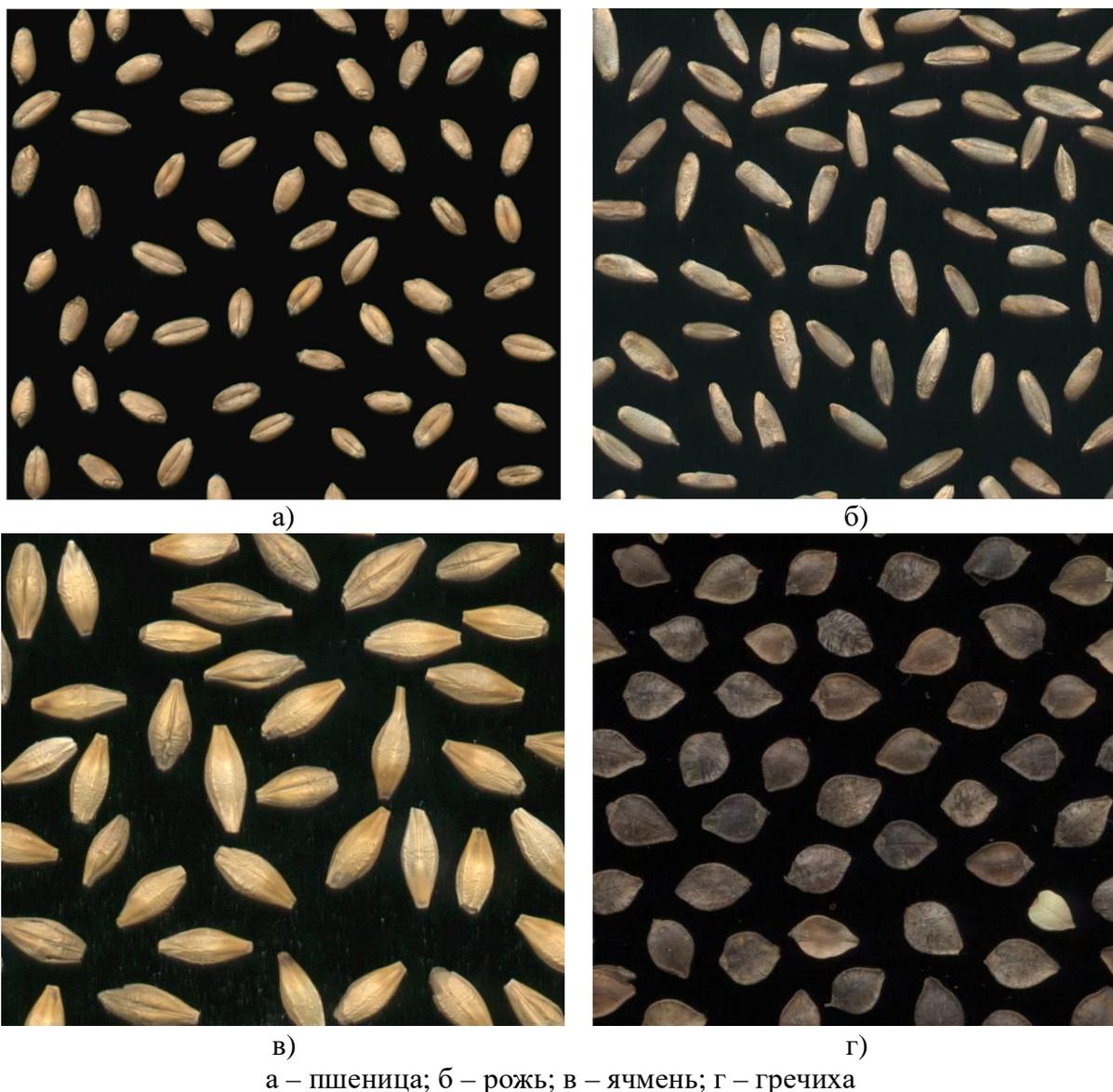


Рисунок 1 – Изображения зерновок для гранулометрического анализа

Сегментация изображений

Сегментация изображения представляет собой разделение или разбиение изображения на области по сходству свойств их точек [Прэтт У.К. Цифровая обработка изображений / У.К. Прэтт; пер. с англ. - М.: Мир, 1982. – кн. 1, 2, 790 с.]. Первичное выделение на исходном изображении возможных искомым объектов при помощи сегментации является одним из основных этапов анализа изображений. В настоящее время считаются основными два наиболее широко используемых метода сегментации: яркостное и контурное [Яншин В.В. Анализ и обработка изображений: принципы и алгоритмы / В.В. Яншин – М.: Машиностроение, 1995. – 112 с.: ил.]. Некоторые исследователи включают в состав основных методов также и текстурную сегментацию [Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений/ Т. Павлидис; пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1986. – 400 с.]. Согласно этой классификации, выделение областей в процессе сегментации осуществляется исходя из оценки соответствия некоторому критерию однородности (сходства) значений либо яркости каждой точки изображения, либо яркости в некоторой заданной окрестности каждой точки [Данильченко А.Я. Метод гармонической сегментации тоновых цифровых изображений и его применение при геологическом дешифрировании космо- и аэрофотоснимков [Электронный ресурс] / А.Я. Данильченко, Д.И. Кудрявцев // НВП Центр-ЭСТАгео. –1999. – Режим доступа: <http://www.estageo.ru/public9.htm>, свободный.].

Существует множество стандартных методов выполнения сегментации. Многие известные алгоритмы реализуют стратегию объединения точек изображения в объект по признаку однородности свойств функции яркости. К ним относятся методы пороговой обработки, основанные на анализе различных характеристик гистограммы распределения значений яркости, отличающиеся минимальными вычислительными затратами [Яковлев А.В. Система обработки изображений шлифов металлов / А.В. Яковлев – Радиотехника, телевидение и связь. Межвузовский сборник научных трудов, посвященный 110-летию В.К. Зворыкина. – Муром: Мур. институт (филиал) ВлГУ, 1999. С. 150 – 153.].

Методы сегментации

Первая стадия подготовки изображения для измерений – сегментация. Под сегментацией изображения понимается процесс его разбиения на области, имеющие содержательный смысл: объекты, их границы или другие информативные фрагменты. Предполагается, что эти области будут соответствовать реальным объектам, или их частям, а границы областей – границам объектов. Сегментацию необходимо рассматривать как основной начальный этап анализа, заключающийся в построении формального описания изображения, качество выполнения которого во многом определяет успех измерительной операции.

Изображения зернопродуктов можно охарактеризовать тем, что они содержат некоторый интересующий нас объект достаточно однородной яркости на фоне другой яркости. Для таких изображений яркость служит отличительным признаком, который можно использовать для локализации объекта.

Если интересующий нас объект имеет белый цвет и расположен на черном фоне или наоборот, то определение точек объекта представляет собой тривиальную задачу установления порога по яркости. На практике, однако, встречаются определенные трудности, например, когда наблюдаемое изображение подвержено воздействию шума, причем как на объекте, так и на фоне допускается некоторый разброс значений яркости. Другая часто встречающаяся трудность состоит в том, что фон может быть неоднородным.

В ПО анализатора «ГРАН» используются пороговые методы сегментации. Эти методы заключается в преобразовании функции яркости изображения $f(i,j)$ оператором вида:

$$f_s(i,j) = \begin{cases} \lambda_p & \text{при } T_p \leq f(i,j) < T_{p+1} \\ \lambda_0 & \text{при } f(i,j) \leq T_0 \\ \lambda_{K-1} & \text{при } f(i,j) > T_{K-1} \end{cases},$$

где $f_s(i,j)$ – сегментированное изображение;

K – число областей сегментации;

$\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_{K-1}$ – метки сегментированных областей;

T_0, T_1, T_{K-1} – упорядоченные величины порогов яркости $T_0 < T_1 < \dots < T_{K-1}$.

При сегментации изображения на две составляющие (число областей сегментации $K=2$, объекты и фон) порог яркости только один T_0 , в данном случае, фактически, получается бинарный эквивалент изображения.

Для выполнения сегментации необходимо задать численное значение порога яркости, определение которого не всегда очевидно. В ПО анализатора «ГРАН» реализован ряд методов автоматического определения порогового уровня.

Задачи автоматической сегментации делятся на два класса [Баринова О. Методы сегментации изображений: автоматическая сегментация [Электронный ресурс] / О. Баринова, А. Вежнев // Графика и Мультимедиа – Научно-образовательный сетевой журнал. – 2006. – Режим доступа: <http://cgm.graphicon.ru/content/category/5/35/60>, свободный.]:

- выделение областей изображения с известными свойствами;
- разбиение изображения на однородные области.

Между этими двумя задачами есть принципиальная разница. В первом случае задача сегментации состоит в поиске определенных областей, о которых имеется априорная информация (например, мы знаем цвет, форму областей, а интересующие нас области представляют собой изображения известного объекта – зерновки определённой культуры). Методы этой группы узко специализированы для каждой конкретной задачи. Сегментация в такой постановке используется в основном для поиска объектов на изображении [Haralick R.M. Image Segmentation Techniques [Электронный ресурс] / R.M. Haralick, L.G. Shapiro // Computer Vision, Graphics, and Image Processing. – 1985. – Vol.29, No 1. – Режим доступа: <http://www.informatik.uni-trier.de/~ley/db/journals/cvgip/index.html>, подписка.].

Во втором случае никакая априорная информация о свойствах областей не используется, зато на само разбиение изображения накладываются некоторые условия (например, все области должны быть однородны по цвету и текстуре). Методы этой группы универсальны и применимы к любым изображениям. В основном сегментация в этой постановке применяется на начальном этапе обработки изображения, для того чтобы получить представление изображения в более удобном виде для дальнейшей работы [Haralick R.M. Image Segmentation Techniques [Электронный ресурс] / R.M. Haralick, L.G. Shapiro // Computer Vision, Graphics, and Image Processing. – 1985. – Vol.29, No 1. – Режим доступа: <http://www.informatik.uni-trier.de/~ley/db/journals/cvgip/index.html>, подписка.].

Метод локального минимума

По методу локального минимума пороговое значение T_0 определяется как локальный минимум min_{1-2} гистограммы изображения между двумя локальными максимумами max_1 и max_2 (рисунок 2).

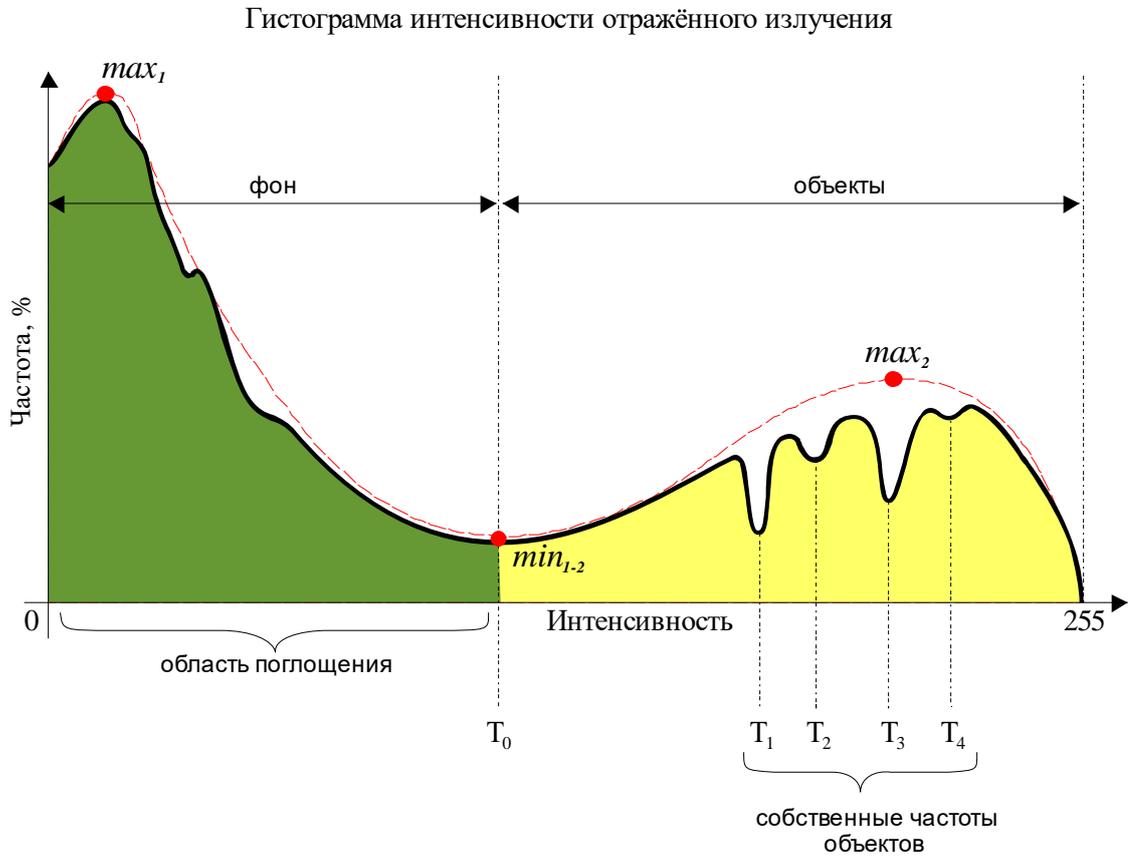


Рисунок 2 – Метод локального минимума

Метод оптимального уровня

По методу оптимального уровня гистограмма изображения представляется аппроксимацией двух нормальных распределений, соответствующих фону и объектам.

Пороговое значение T_0 определяется как минимум плотности min_{1-2} гистограммы изображения между двумя максимумами max_1 и max_2 нормальных распределений (рисунок 3).

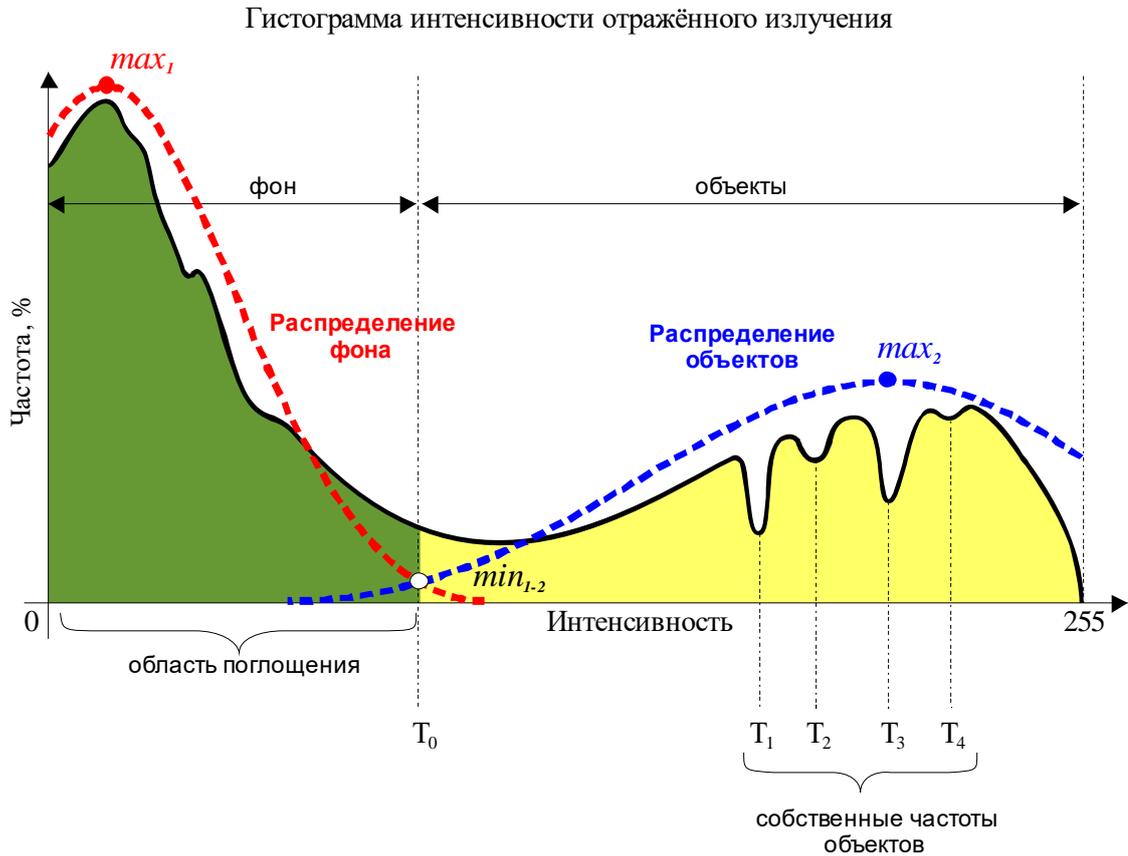


Рисунок 3 – Метод оптимального уровня

Поскольку сегментация обычно используется не самостоятельно, а как один из этапов анализа, то с практической точки зрения, качество работы метода оценивается исходя из результатов анализа в целом. Поэтому один и тот же метод сегментации может оказаться хорошим для одной задачи и плохим для другой (рисунок 4) [Fu K.S. A Survey on Image Segmentation [Электронный ресурс] / K.S. Fu, J.k.Mui // Pattern Recognition. – 1981. – Vol.13, No 1. – Режим доступа: [http://dx.doi.org/10.1016/0031-3203\(81\)900285](http://dx.doi.org/10.1016/0031-3203(81)900285), подписка.].



а – исходное изображение зерновки гороха, б – сегментация методом локального минимума;
в – сегментация методом оптимального уровня

Рисунок 4 – Автоматические методы сегментации

Разные методы сегментации ориентированы на разные свойства разбиения. Поэтому при выборе метода сегментации для решения конкретной задачи, следует определиться, какие свойства разбиения действительно важны [Pal N.R. A Review on Image Segmentation Techniques [Электронный ресурс] / N.R. Pal, S.K.Pal // Pattern Recognition. – 1993. – Vol. 26, No 9. – Режим доступа: [http://dx.doi.org/10.1016/0031-3203\(93\)90135-J](http://dx.doi.org/10.1016/0031-3203(93)90135-J), подписка.].

Определение контуров объектов

Вторая стадия подготовки изображения для измерений – определение контуров объектов. В процессе измерительной операции решается задача нахождения периметров, факторов формы, удельной поверхности объектов и т.д. Все измерительные операции, так или иначе, связаны с анализом контура объекта.

Общим для всех методов определения контуров является стремление рассматривать границы как область резкого перепада функции яркости изображения $f(i,j)$; отличает же их вводимая математическая модель понятия границы и алгоритм поиска граничных точек.

В соответствии с поставленными задачами ПО анализатора «ГРАН» определяет замкнутые контуры объектов методом прослеживания контура, представленным на рисунке 5 (метод «жука»). Суть алгоритма состоит в следующем: на объекте выбирается некоторая стартовая граничная точка и далее происходит последовательное прослеживание контура до тех пор, пока снова не будет достигнута стартовая точка.

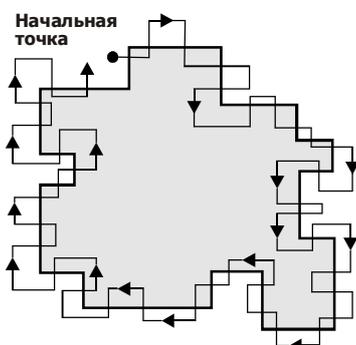
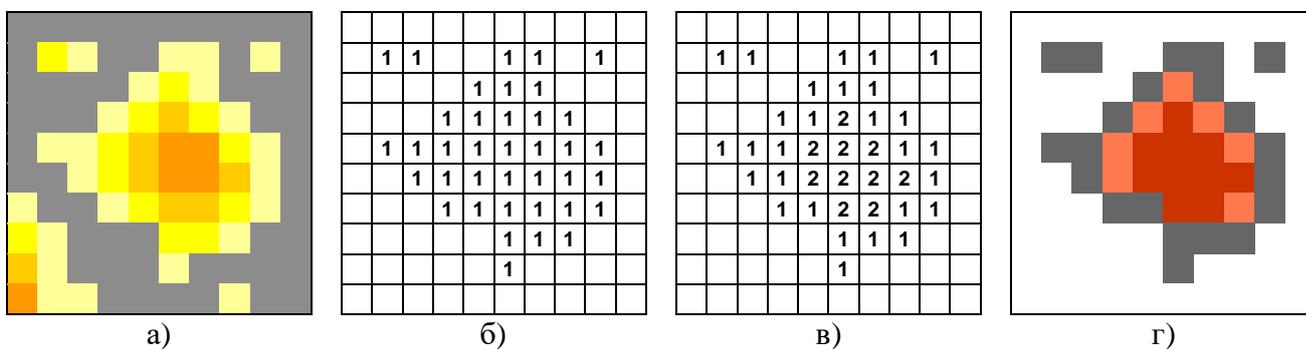


Рисунок 5 – Метод «жука»

Примыкающие к границам изображения объекты не учитываются, так как заведомо непригодны для измерительного анализа (чаще всего это не полный объект, а только его часть).

Выделенный таким образом контур представляет собой замкнутую последовательность координат граничных точек объекта (рисунок 6), что очень удобно для решения измерительных задач.



а – исходное изображение; б – сегментация с числом областей $k = 2$;
в – сегментация с числом областей $k = 3$; г – изображение контура

Рисунок 6 – Сегментация изображения и определение контура