

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА КЕРУВАННЯ

УДК 681.3

© Рузова Т.А., 2010

Т.А. Рузова

СЕГМЕНТАЦИЯ АГРЕГИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДИСПЕРСНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ПО ИХ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

Т.А. Ruzova

SEGMENTATION OF AGGREGATED ELEMENTS IN DISPERSIVE STRUCTURES BY THE IMAGES

Усовершенствован алгоритм анализа агрегатов частиц сферической формы по их изображениям на основе информации о контуре агрегата. Метод основан на введении информационной функции, выражающей степень отклонения контура агрегата от контура его выпуклой оболочки. Предложен алгоритм определения точек стыковки частиц. Введен критерий целесообразности разделения контура объекта. Результаты исследований могут быть использованы при разработке систем компьютерного анализа дисперсных сред.

Ключевые слова: *микрочастицы, агрегат, выпуклая оболочка, несферичность, дисперсная среда*

Введение. Появление новых отраслей промышленности, основанных на развитии наукоемких технологий, нанотехнологий требует дальнейшей интенсификации научных исследований, направленных на совершенствование методов работы с микрообъектами, их анализ и измерение. Измельчение объектов – диспергирование используется во многих отраслях промышленности: в металлургии, топливно-энергетической сфере, химической и пищевой промышленности, сельском хозяйстве [1, 2]. Процесс приготовления дисперсий является существенным, а часто и определяющим звеном многих технологий, в связи с чем особенно важным является разработка современных методов контроля их качества.

Появление комплексного научного подхода к проблеме изучения микрочастиц стало возможным в связи с развитием компьютерной техники, совершенствованием методологии изучения микрообъектов по их увеличенным изображениям [3–5].

Постановка задачи. Основной проблемой при анализе фотографий микрочастиц является сегментация, сложность которой обусловлена „зашумленностью“ фона, неоднородностью освещения объектов, тенями и бликами на поверхности. Решению этой проблемы посвящено большое количество публикаций [6, 7]. Существенно усложняет процесс сегментации наличие большого числа слипшихся частиц. Будучи интерпретированным как одна частица, такой агрегат приводит к значительным ошибкам в анализе, поэтому создание

метода сегментации, учитывающего указанную специфику микрофотографий дисперсных образований, является предметом многочисленных исследований. Большинство ранних работ в этой области ориентированы на разделение перекрывающихся хромосом [8]. Методы [9–12] основаны на скелетизации и других морфологических алгоритмах, анализе кривизны контуров объектов. Ввиду того, что рассматриваемые автором объекты – капли эмульсий – сферичны (имеются жесткие требования к форме объекта при возможном варьировании размера в широком диапазоне 5–20 мкм), эти методы могут быть существенно оптимизированы.

Зашумленность изображений дисперсных сред, наличие на них объектов, представленных небольшим числом пикселей, может приводить к значительному искажению измеряемых параметров. Поэтому, целью работы является разработка на основе упомянутых исследований алгоритма сегментации агрегированных элементов дисперсных образований сферической формы с учетом „зашумленности“ изображения.

Методы решения. В основу сегментации положен анализ меры выпуклости исследуемого объекта – степени его отклонения от границ его выпуклой оболочки. Выпуклые оболочки используются при решении многих практических задач обработки изображений, распознавании образов, задач раскроя материалов.

Первым шагом алгоритма является фильтрация изображения, перевод его в монохромный режим [4, 7].

Вторым этапом является определение координат точек контура [13].

Следующим шагом является построение выпуклой оболочки по списку координат контура объекта. Предлагаемый алгоритм разделения агрегатов сферических частиц основан на алгоритме Грэхема [14], суть которого состоит в просмотре упорядоченной последовательности точек границы объекта и удалении внутренних точек.

Затем осуществляется построение информационного поля исследуемого объекта. В [12] введено понятие меры выпуклости объекта

$$I| \max'' d/z, bcl \{z \subset bI \in \dots \quad (1)$$

где $d/x_1, x_2 \theta$ – Евклидово расстояние между двумя точками; bI – множество точек границы объекта; bcl – ближайшая точка границы выпуклой оболочки.

На основе введенной меры выпуклости, в [12] предложено заменять рассматриваемый объект полутоновым информационным образом, в котором интенсивность каждого пикселя, представляющего объект, равна значению меры выпуклости объекта в данной точке – разности расстояний от рассматриваемой точки B до границы выпуклой оболочки и до границы объекта $|BC| \setminus |BC|$. После чего предлагается трассировать полученный образ, принимая во внимание тот факт, что в точке P , лежащей на линии PP' излома контура (линии стыковки частиц), исследуемая величина больше, чем в любой другой точке, лежащей на перпендикуляре BB' к прямой PP' проходящем через точку P (рис. 1).

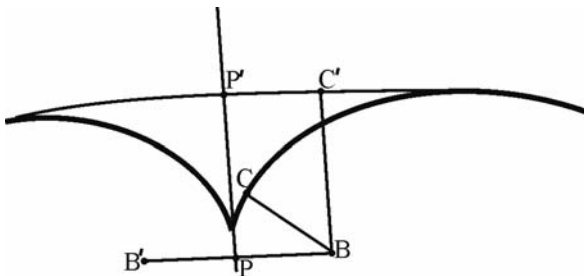


Рис. 1. Схема построения информационного образа агрегата по его площади

Информационный образ агрегата, состоящего из двух пересекающихся кругов, представлен на рис. 2.

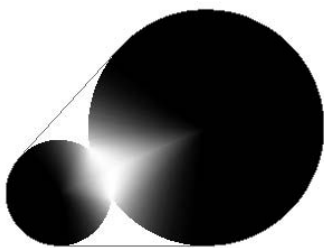


Рис. 2. Пример информационного образа агрегата

Однако такой подход является достаточно трудоемким ввиду необходимости построения

информационной структуры, описывающей каждый пиксель объекта, что существенно затрудняет обработку больших изображений, содержащих множество фигур, и, кроме того, дискретность растровой графики вносит погрешность в результаты расчетов, что приводит к ошибкам трассировки. В связи с этим представляется целесообразным построение информационного поля объекта по данным о его контуре. На основании (1) введем информационную функцию объекта

$$I|z \theta| d/z, bcl \{z \subset bI \dots \quad (2)$$

Для каждой точки контура B вычисляем величину, равную кратчайшему расстоянию от нее до контура оболочки – величину $|BB'|$ (рис. 3). Таким образом получаем одномерную информационную функцию, значение которой $|BB'|$ будет максимальным в точке B_1 излома контура, точке, где контур наиболее отклоняется от контура оболочки. И, напротив, значение будет равным нулю на участках контура, совпадающих с контуром оболочки (точка B_2). Таким образом, введенная информационная функция (2) выражает степень отклонения контура объекта в каждой точке от контура его выпуклой оболочки – степень выпуклости контура.

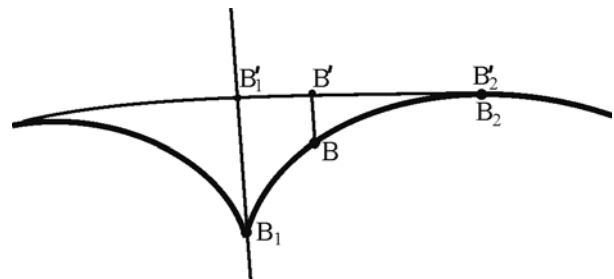


Рис. 3. Схема построения информационной функции агрегата по его контуру

В простейшем случае соединения двух сферических частиц, линия, соединяющая точки с наибольшим значением информационной функции, является линией стыковки частиц. Однако на практике слипшиеся объекты, как правило, образуют сложные структуры, часто несимметрично располагающиеся внутри выпуклой оболочки (рис. 4).

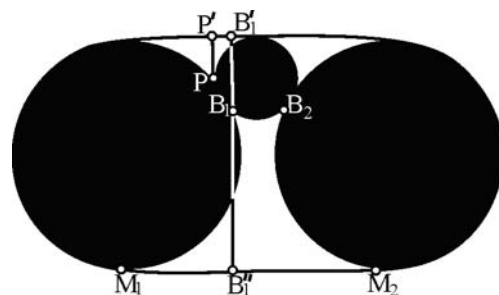


Рис. 4. Схема построения информационного образа агрегата по его контуру

В этом случае возможно неправильное вычисление информационной функции в некоторых точках контура. Так, мера выпуклости объекта,

ізображеного на рис. 4, в точці P буде рівна величині відрізка PP_1 а в точці $B_1 - B_1B_2$, що не являється коректним, так як вогнутий ділянок $M_1B_1B_2M_2$ контура об'єкта опирається на ділянок M_1M_2 контура випуклої оболонки ($M_1B_1B_2M_2$ може бути отримані з M_1M_2 шляхом його деформування). Таким чином, для коректного визначення міри випуклості контура об'єкта (2) необхідно для кожного ділянка контура, не збігаючого з контуром випуклої оболонки, визначити відповідний йому опорний ділянок контура випуклої оболонки, т.е. такої ділянок, який може бути перетворений в розглядуваний ділянок контура шляхом неперервних деформацій. Тоді значення функції (2) в кожній точці контура будемо визначати як відстань до ділянка контура випуклої оболонки, на який опирається містять цю точку ділянок контура. Таким чином $I/B_1O_1 | B_1B_2$

При обході контура поставимо в відповідність кожній точці її порядковий номер n ($n | 0, N$, де $N+1$ – загальне число точок контура об'єкта) і представимо інформаційну функцію функцією аргумента n . $I(n)$, задану таким чином, що її можна представити в вигляді графіка. В силу дискретності об'єктів растрової графіки, представляється цілесловесним провести згладжування функції.

Автором використовувався фільтр ковзаючого середнього з вікном усереднення $|n-4, n+4|$ для кожної точки n . На рис. 5 і 6 представлені тестова фігура і її отфільтрована інформаційна функція.

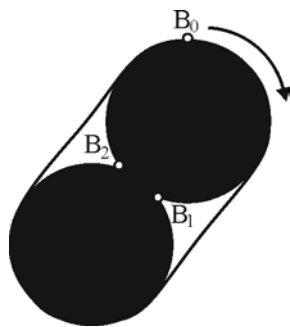


Рис. 5. Тестовий об'єкт

Для знаходження максимумів цієї функції, відповідних точкам приєднання крапель, вичисляємо похідну dI/dn (рис. 6). Максимуми знаходимо з одночасного виконання умов

$$I(n) > 0;$$

$$I(n+1) < 0;$$

$$I(n) > 0.2 \cdot \max(I(n)) \quad n | \overline{1, N}$$

Точкам стикування B_1 і B_2 частиць, зображених на рис. 5, відповідають максимуми інформаційної функції на графіку 6, позначені відповідно. B_0 – початкова точка обходу контура.

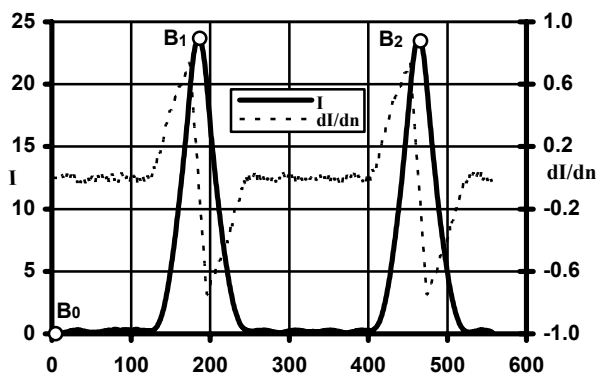


Рис. 6. Інформаційна функція об'єкта на рис. 5

Визначив точки стикування об'єктів, розподіляємо точки межі агрегату між двома об'єктами (рис. 7), включаючи відрізок B_1B_2 в контур обох об'єктів. Так, агрегат, зображений на рис. 7, буде розділений на два об'єкти наступним чином

$$\text{об'єкт 1} - B_0B_1 + B_1B_2 + B_2B_0;$$

$$\text{об'єкт 2} - B_2B_3 + B_1 + B_1B_2.$$

При цьому потрібно врахувати, що якщо орієнтація контура першого об'єкта збігається з орієнтацією контура агрегату, то контур другого об'єкта змінює її на протилежну. Так контур частини 2 на рис. 7 обходить в протилежному напрямку.

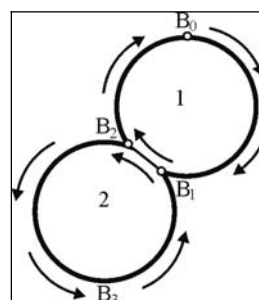


Рис. 7. Розділення контура агрегату

Для того, щоб відновити первинне напрямлення обходу, що необхідно для стабільної роботи алгоритму, призначаємо ліву верхню точку контура другого об'єкта початковою – B_0 . Перевіряємо виконання умови $x_{n+1} > x_n$, $n | \overline{0, N-1}$. Якщо це умова не виконується – інвертуємо контур.

Для того, щоб визначити, являється ли автоматично виділений об'єкт агрегатом чи окремою частинцею, необхідно критерій, визначаючий цілесловесність розділення контура. В основу такого критерію можна покласти інформацію про сферичність крапель. Введемо коефіцієнт несферичності об'єкта наступним чином

$$Asp | \frac{R_1}{R_2},$$

де $R_1 | \sqrt{S/\phi}$, $R_2 | P/2\phi$ – радіуси окружностей, відповідно, тієї ж площі і периметра, що і

анализируемая фигура. Для круга, представленного посредством растровой, графики $Asp \rightarrow 1$. В данном исследовании объект считался имеющим форму шара, если условие $Asp = 1$ выполнялось с погрешностью, не превышающей 10%.

В случае соединения не двух, а большего числа частиц в цепочку (рис. 8), точек максимума информационной функции контура будет больше двух.

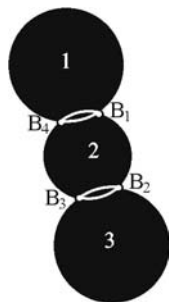


Рис. 8. Агрегат, состоящий из трех частиц

Учитывая, что число слипшихся частиц наперед неизвестно, будем определять объекты поочередно, начиная с того, который первым встречается при обходе контура. Для этого из множества точек максимума информационной функции (рис. 9) возьмем первую (B_1) и последнюю (B_4), что соответствует точкам присоединения частицы 1 к агрегату.

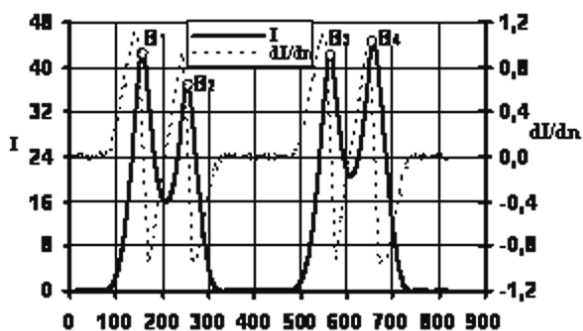


Рис. 9. Информационная функция объекта на рис. 8

После чего проводим отделение объекта 1 посредством выполнения описанной выше процедуры распределения точек контура между объектом 1 и оставшейся частью агрегата, состоящей из объектов 2 и 3. После отделения первого объекта проводим проверку оставшейся части агрегата на сферичность и, если условие сферичности выполняется, то оставшаяся часть агрегата тоже представляет собой одиночную частицу. На этом процесс разделения заканчивается. В противном случае вся описанная процедура повторяется. График информационной функции оставшейся части агрегата аналогичен графику, приведенному на рис. 6.

Таким образом, из вычисленного коэффициента несферичности, для каждого из идентифицированных объектов агрегата, известны радиус

$$R = (R_1 + R_2) / 2$$

и центр

$$x_c = \frac{\sum_{n=0}^N x_n}{N+1}; y_c = \frac{\sum_{n=0}^N y_n}{N+1}.$$

Окружности, соответствующие контурам капель, составляющих агрегат, могут быть восстановлены по известным параметрам.

Выводы. Анализ существующих методов обработки изображений дисперсных сред позволил выделить комплекс проблем, связанных с сегментацией микрочастиц. Наиболее сложной среди них является задача разделения слипшихся частиц, которая до сих пор не имеет универсального решения. Автором предложено усовершенствование алгоритма разделения агрегатов сферических частиц по данным об их общем контуре.

Алгоритм включает следующие шаги: фильтрацию изображения, определение контура объекта, построение выпуклой оболочки агрегата, вычисление информационной функции контура, определение точек стыковки слипшихся капель и разделение их контуров, определение центров и радиусов частиц, составляющих агрегат.

Предложенный алгоритм может быть использован при разработке систем компьютерного анализа эмульсий и других дисперсных сред, состоящих из сферических частиц.

Полученные результаты имеют важное значение при разработке эмульгаторов, так как предоставляют возможность оценивать их характеристики по дисперсности производимой эмульсии.

Список литературы

1. Шестаков С.Д. Кавитационный реактор как средство приготовления и стабилизации эмульсий для хлебопекарной промышленности // Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья. – 2003. – №3. – С. 40–44.
2. Глущенко В.Н. Обратные эмульсии и суспензии в нефтегазовой промышленности. – М.: Интерконтакт, 2008. – 725 с.
3. Singh V., Marinescu D.C., Baker T.S. Image segmentation for automatic particle identification in electron micrographs based on hidden Markov random field models and expectation maximization // Journal of Structural Biology. – 2004. – №145. – P. 123–141.
4. Рузова Т. А. Обработка видеоизображений микрообъектов методом иррегулярных пирамид // Обогащение полезных ископаемых: Научн.-техн. сб. – Днепропетровск, 2007. – Вып. 31 (72). – С. 86–92.
5. Adjouadi M., Fernandez N. An orientation-independent imaging technique for the classification of blood cells // Particle & Particle Systems Characterization. – 2001. – №18(2). P 91–98.
6. Loo P.K., Tan C.L. Using Irregular Pyramid for Text segmentation and Binarization of Gray Scale images // Proceedings of the 7th International Conference on Document Analysis and Recognition. – 2003. – Vol. 1. – P. 594–598.

7. Рузова Т. А. Модель порогової класифікації відеоізображень дисперсних образований // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2007. – С. 162–167.
8. Charters G., Graham J. Disentangling chromosome overlaps by combining trainable shape models with classification evidence // IEEE Transactions on Signal Processing. – 2002. – Vol 50. – P. 2080–2086.
9. Martínez E., Jové X. Unsupervised morphological segmentation of objects in contact // Seizieme colloque Grets. – Grenoble. – 1997. – P. 1379–1382.
10. Honkanen M. Analysis of the overlapping images of irregularly-shaped particles, bubbles and droplets // International Conference on Multiphase Flow. – Leipzig. – 2007. – P. 370–382.
11. Honkanen M. PTV metod for overlapping bubble images // Fachtagung “Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik”. – Karlsruhe. – 2004. – P. 533–570.
12. Kutalik Z. Razaz M. Occluding convex image segmentation for e.coli microscopy images // XII European Signal Processing Conference EUSIPCO. – 2004. – P. 937–940.
13. Рузова Т. А., Карпов О.Н., Флеер Л.А. Оперативний контроль параметрів частиць дисперсних образований // Науковий вісник НГУ. – 2004. – №2. – С. 83–88.
14. R.L. An efficient algorithm for determining the convex hull of finite planar set // Information Processing Letters. – 1:132–133. – 1972.

Удосконалено алгоритм аналізу агрегатів частинок сферичної форми по їх зображенням на основі інформації про контур агрегату. Метод заснований на введенні інформаційної функції, що виражає ступінь відхилення контуру агрегату від контуру його опуклої оболонки. Запропоновано алгоритм визначення точок стикування частинок. Введено критерій доцільності розділення контуру об'єкта. Результати досліджень можуть бути використані при розробці систем комп'ютерного аналізу дисперсних середовищ.

Ключові слова: мікрочастинки, агрегат, опукла оболонка, несферичність, дисперсне середовище

It is developed the algorithm for spherical particles analysis by their images on the base of aggregate's contour information. Method is based on designing of information function to evaluate deviation between contour aggregate and convex hull contour. It is developed algorithm for evaluation connecting points of particles. There is proposed criterium of object's contour partition suitability. The results of researches may be used to develop the software for dispersive environments analysis.

Keywords: microparticle, aggregate, convex hull, nonsphericity, dispersive environment

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Корсунюм 29.06.10

Національний гірничий університет пропонує інноваційний проект

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСНИМ РЕЖИМОМ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ПРОКАТКИ

Автори: Куваєв В.М., канд. техн. наук, доц., Іванов Д.О., ст. наук. співроб., Політов І.В., ст. наук. співроб., Карпинський Ю.П., пров. наук. співроб., Куваєв Я.Г., ст. наук. співроб.

Спрямованість проекту: підвищення точності геометричних розмірів перерізу сортового прокату, зменшення втрат металу та часу на настроювання швидкісного режиму безперервної прокатки.

Сфера застосування: дратові, дрібно-, середньо- та крупносортові стани безперервної прокатки, включаючи стани безперервної прокатки заготовок для них, що входять до складу цехів блюмінгу.

Короткий опис: основний обсяг сортового прокату (дріт (катанка), арматурний і круглий прокат, штаба, швелер, тавр, квадратна заготовка та ін.) виробляється на станах безперервної прокатки. Характерною особливістю процесу безперервної прокатки є те, що заготовка прокатується одночасно в декількох послідовно розташованих клітках. При неузгодженості частот обертів валків клітей у прокаті виникають міжклітьові зусилля, що призводить до нестабільності геометричних розмірів перерізу прокату. При настроюванні швидкісного режиму безперервної прокатки міжклітьові зусилля часто досягають такого рівня, що коливання геометричних розмірів перерізу прокату виходять за межі допусків, а інколи, призводять до аварій. Системи управління швидкісним режимом прокатки призначені для узгодження частот обертів валків клітей так, щоб мінімізувати коливання міжклітьових зусиль у процесі прокатки і таким чином підвищити точність геометричних розмірів прокату, а також мінімізувати час на таке узгодження.

Основні техніко-економічні характеристики: досягнутий рівень стабільності геометричних розмірів перерізу круглого прокату – коливання діаметра прокату знаходяться в межах 0,1–0,15 мм, що відповідає рівню, досягнутому на найсучасніших закордонних станах, термін настроювання швидкісного режиму прокатки – в межах прокатки першої заготовки нового профілерозміру.

Вплив на навколишнє середовище: вартість розробки, виготовлення та впровадження системи – від 200 до 1 500 тис. грн., залежно від типу й обладнання прокатного стану та обсягу впровадження.

Термін реалізації та окупності: термін реалізації системи від початку проектування до впровадження у виробництво – від 1,5 до 2,5 років, залежно від особливостей прокатного стану та обсягу функцій, що реалізуються. Термін окупності – від 1 до 4 років.

Контакти: тел.: (0562) 47-32-09, факс: 744-62-14, e-mail: nmu@nmu.org.ua