

§7 КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА, ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

И.А. Ребрун, Н.И. Бодрина

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НЕЧЕТКО ВЫРАЖЕННЫХ ПРИЗНАКОВ ГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Аннотация: В данной работе рассматриваются пути автоматизации развивающегося метода диагностики – тезиграфии. Давно известно, что биологические жидкости при высушивании кристаллизуются. В условиях патологии кристаллизационные свойства биологических жидкостей изменяются. В результате уже проведенных исследований выяснено, что этот метод очень чувствителен и может быть использован на этапах доклинической диагностики вирусных и инфекционных заболеваний. Для определения характера патологического процесса необходимо анализировать полученные изображения биокристаллов с целью описания их формы и выявления характера распределения по ряду признаков.

В статье рассмотрены алгоритмы и методы автоматизированной оценки признаков графических объектов на примере изображений, полученных в ходе тезиграфических исследований. Исследованы алгоритм сегментации, основанный на выделении границ с помощью фильтрации, алгоритм вычисления площадей и детектирования признаков формы и алгоритмы моделирования и фрактального анализа при рассмотрении древовидных и других сложных кристаллограмм.

Предложена программа, которая позволяет получать оценки распределения по площади, периметру и другим характеристикам кристаллов, а также статистические данные по множеству кристаллов, выращенных на общей поверхности.

Ключевые слова: Программное обеспечение, Тезиграмма, Биокристалл, Сегментация, Признак, Анализ, Изображение, Форма, Объект, Слюна

Анализ признаков графических объектов используется в различных сферах, в том числе и медицине в диагностических целях. [1] Результаты исследований тезиграфического метода показали его высокую чувствительность и перспективность при диагностике различных заболеваний. В этом методе для анализа данных как раз и могут быть применены инструменты анализа графической информации.[2]

В Тверской Государственной Медицинской Академии на кафедре биологии проведены несколько экспериментов по биокристаллизации слюны:

1. Группу обследуемых (10 человек) составили больные кариесом, у которых брали слюну до полоскания ротовой полости и через 5, 10, 15, 20 минут после полоскания ротовой полости 50% раствором сахарозы и раствором карбамида. В лаборатории

2 мл слюны каждой из проб смешивали со спиртовым раствором нингидрина, кристаллизовали в чашках Петри, рассматривали под микроскопом и фотографировали при увеличении (72 чашки). Для сопоставления результатов исследований кристаллограммы слюны здоровых лиц были приняты за норму.

2. Исследование в присутствии стрессовой ситуации (экзамена). В группу были включены студенты, у которых пробу брали до и после экзамена, затем кристаллизовали подобным образом в чашках Петри, фотографировали под микроскопом.
3. Группу составили люди с гипертензией, инфекцией и в нормальном состоянии. Выделено 4 группы:
 - I группа норма
 - II группа гипертензия
 - III группа инфекция
 - IV группа инфекция + гипертензия

Изображения, полученные в ходе этих опытов (некоторые из них приведены на рис.1.) необходимо анализировать для изучения признаков биокристаллов. На основе полученных данных можно будет проводить классификацию объектов, что позволит определить различие в норме и при патологии, т.е. можно будет определить качественные и количественные характеристики кристаллов при различных заболеваниях, что в свою очередь способствует развитию исследования этого метода в диагностических целях.

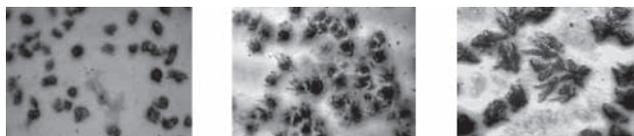
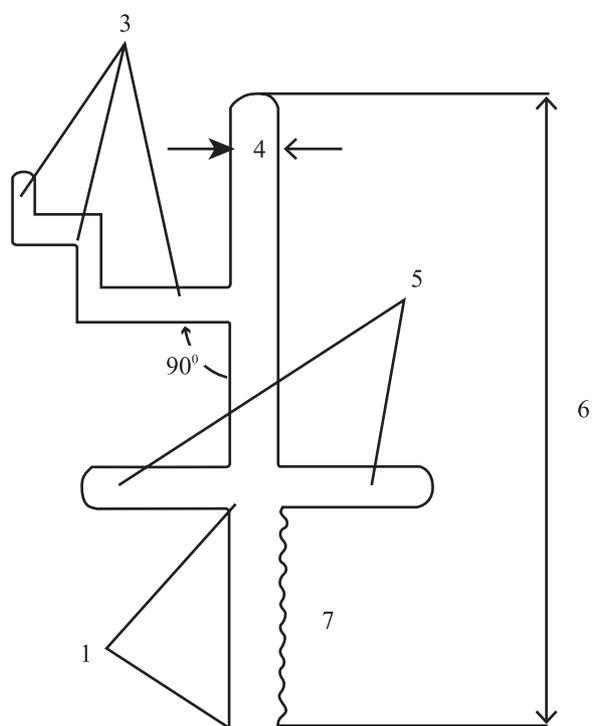


Рис.1. Изображения, полученные в ходе экспериментов

Экспертов, проводивших исследование, интересуют как статистические характеристики (количество объектов, распределение по площади, периметру), так и количественные характеристики формы кристаллов. Следует отметить, что на полученных кристаллограммах присутствует довольно значительная вариабельность форм (встречаются мелкие и крупные образования округлых, вытяженных, древовидных и некоторых других видов), усложняющая процесс классификации. Для древовидных форм предложена схема описания основных признаков (рис.2.). Также на полученных изображениях присутствуют тени, блики и некоторые другие артефакты, создающие нежелательные эффекты для автоматизированного анализа.



1. Длина кристалла до места «ветвления»;
2. Угол ветвления;
3. Число поколений ветвлений (I -го, 2-го и др. порядка),
4. Ширина кристалла,
5. Асимметрия ветвления: есть-1, нет-2;
6. Длина кристалла;
7. Число микроотростков по длине кристалла;

Рис.2. Схема описания семи основных морфологических элементов кристаллов слюны древовидной формы

Для исследования существующих методик автоматизированного анализа и обработки изображений и их адаптации к данной проблеме, а также осуществления разработанных алгоритмов использовались программные средства ImageJ и Matlab. В целом всю процедуру можно разделить на 3 этапа:

Предобработка (повышение контраста, яркости, эквализация, избавление от нежелательных дефектов).

Сегментация (выделения объектов относительно фона),

Анализ (определение необходимых характеристик объектов, статистических показателей).

С помощью ImageJ был исследован ряд методик для обработки полученных

кристаллограмм. Достаточно эффективно применение инструментов визуального анализа (настраиваемый плагин Grid), «ручного» измерения угла и длины, способов фильтрации и повышения контраста объект/фон. Также были рассмотрены методы сегментации изображений с помощью различных инструментов. Важно отметить, что изображения кристаллов довольно разнообразны и создание какого-либо единого алгоритма сложная задача. В ходе работы были выбраны функции предобработки и сегментации объектов, наиболее оптимальные для полученных картин кристаллизации и в комплексе с измерительным инструментарием была предложена методика анализа тезиграмм (рис.3.).

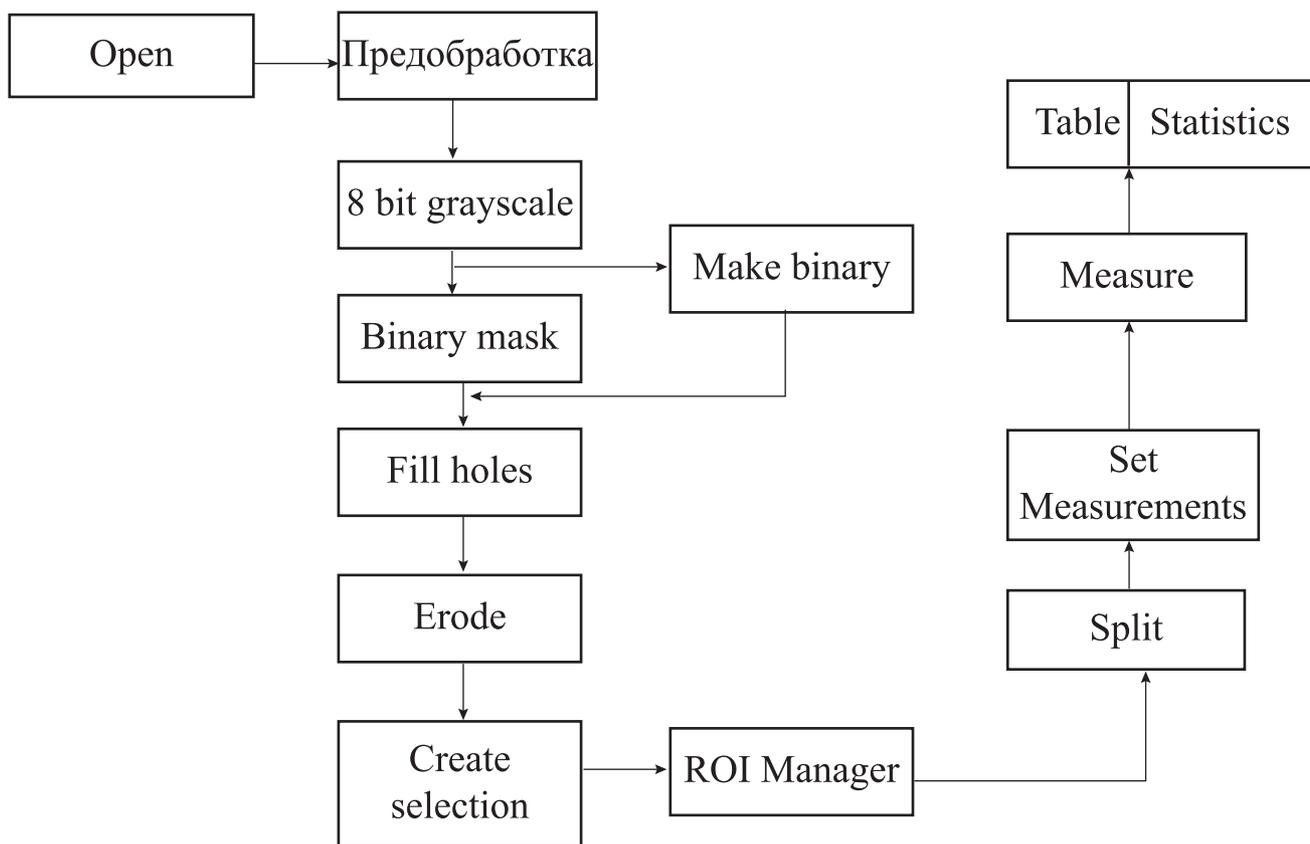


Рис.3.

Методика анализа кристаллограмм с помощью ImageJ

В результате применения данной методики выводятся данные о распределении по площади, периметру и другим характеристикам формы кристаллов, а также статистические данные. Однако, следует отметить, что на изображениях присутствуют артефакты кристаллизации, искажающие данные (например, остатки кристаллообразующего вещества), которые не должны учитываться в ходе анализа, кроме того сегментация объектов относительно фона проводилась здесь с помощью пороговой обработки, поэтому контуры объектов неточны и вблизи объектов также присутствуют нежелательные остатки. В целом методика может быть использована для определения требуемых параметров биокристаллов на некоторых из полученных изображений.

Для более точной сегментации и удаления не учитываемых при рассмотрении объектов были предложены алгоритмы и модель для анализа изображений, реализованные в системе Matlab и пакете Simulink. Алгоритм сегментации основанный на выделении границ (рис. 4а) с помощью фильтрации дает хорошие

результаты даже в условиях довольно низкого контраста, а для удаления мелких включений можно использовать алгоритм вычисления площадей (рис. 4б) и детектирования признаков формы. [5]

На основе данных алгоритмов была предложена модель, реализованная в пакете Simulink, обеспечивающая ввод данных как из файла, так и из рабочей области и выводящая результаты измерений в рабочую область для дальнейшего анализа. С помощью данной модели вычисляются основные требуемые статистические параметры, также с использованием существующих алгоритмов и встроенных инструментов определяются и другие признаки объектов исследования. [4]

За счет изменения параметров фильтров и других блоков схемы достигается необходимый результат обработки. Иллюстрация работы модели приведена на рис.5. В системе Matlab также присутствует возможность вычисления расстояний и углов – необходимых параметров для описания формы кристаллов слюны, аппроксимации контуров, основных признаков объектов на изображениях. Также при создании модели



Рис.4. Алгоритмы сегментации и удаления включений

рассматривались методы преобразования гистограмм для повышения качества предобработки.

Эйлера, оси инерций и др.). Как говорилось ранее, на полученных изображениях присутствуют разнообразные виды образований, поэтому для их

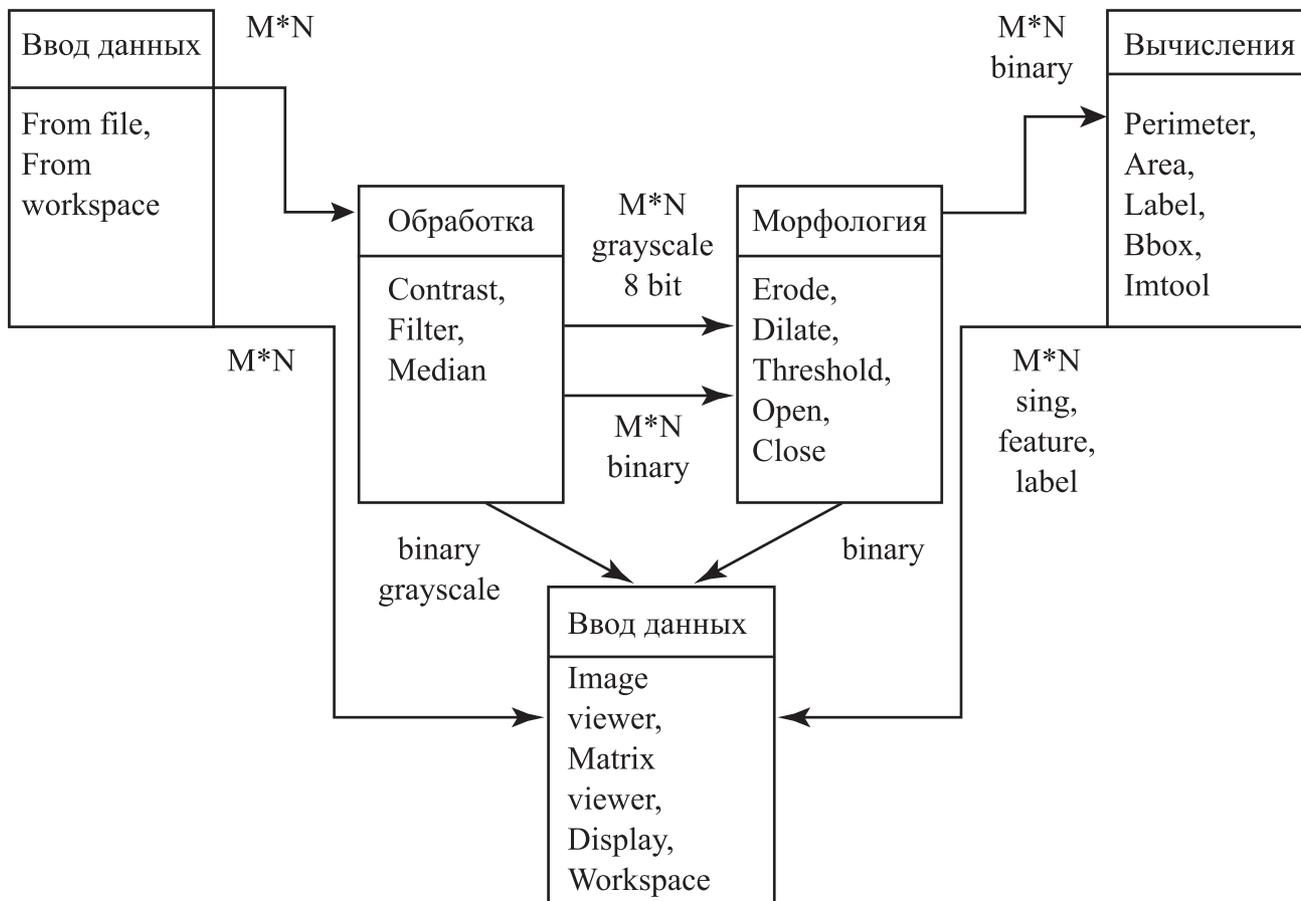


Рис.5. Иллюстрация работы предложенной модели

Кроме признаков, предложенных экспертами описанные методики и алгоритмы позволяют вычислять и другие параметры объектов, используемые для анализа специфичных форм (число

классификации и описания необходимы дополнительные характеристики. Более полный список признаков, используемых при описании различных изображений и форм приведен в таблице.

Характеристика	Признаки
Площади и периметры	Площадь, Полная площадь, Площадь выпуклой оболочки, Площадь включений, Периметр, Периметр выпуклой оболочки, Количество включений и т.п.

Размеры	Длина, Ширина, Длина эквивалентная, Ширина эквивалентная, Радиус минимальный, Радиус эквивалентный, Диаметр эквивалентный, Диаметр Ферета максимальный, Диаметр Ферета минимальный, Диаметр Ферета средний, Диаметр Ферета горизонтальный, Диаметр Ферета вертикальный, Диаметр Ферета ортогональный максимальному, Диаметр Ферета ортогональный минимальному, Длина ленты, Ширина ленты, Диаметр Мартина горизонтальный, Диаметр Мартина вертикальный и др.
Расположение и ориентация	Координаты центра масс, Углы максимального и минимального диаметра Ферета, Углы большой и малой оси эквивалентного эллипса, признак касания границы области интереса и др.
Коэффициенты формы	Округлости, эллиптичности, компактности, удлинения, выпуклости, извилистости, заполненности, плотности и т.п.
Параметры яркости	Средняя яркость, Максимальная яркость, Минимальная яркость, СКО яркости и др.

Для описания древовидных и других сложных структур в схожих областях исследований применяется моделирование и фрактальный анализ данных. Некоторые методы этих разновидностей также могут быть использованы для решения задач теоретических исследований.[3]

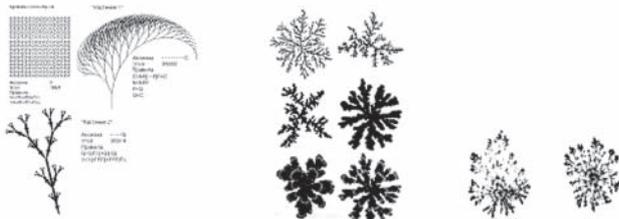


Рис. 6. Фракталы смоделированные на ЭВМ (Fractal Studio 0.17a, DLA Java Applet)

Можно также дополнить признаки, приведенные выше фрактальной размерностью D (мера заполнения пространства фрак-

тальной кривой). Исследование фракталов было связано с практической задачей измерения береговой линии. Один из способов определения фрактальной размерности (D) состоит в том, что фрактальная структура заключается в сеть квадратов все меньшего размера.

$$D = \lim_{L \rightarrow 0} \frac{\ln N(L)}{\ln L} \quad (1)$$

$N(L)$ – число квадратов со стороной L , необходимых для покрытия фрактальной структуры. График двойного логарифма от $N(L)$ как функции от L имеет угловой коэффициент, равный D .

Оказалось, что такие измерения с использованием фотоизображений и карт разного масштаба дают в итоге близкие к инвариантным значения D . Еще один способ определения фрактальной размерности: вокруг каждой точки структуры проводится окружность радиуса R : $D \sim L \sim$

a (R/a), где L – расстояние по прямой; a – размер звена ломаной, D – фрактальная размерность.

$$L \approx a \left(\frac{R}{a} \right)^D \quad (2)$$

Упрощенно можно представить фрактальную размерность как отношение длины измеряемого контура к длине мерки. Фрактальная размерность изображений некоторых сегментированных однородных объектов (биокристаллов) была определена методом box-counting (сеть квадратов) с помощью ImageJ.

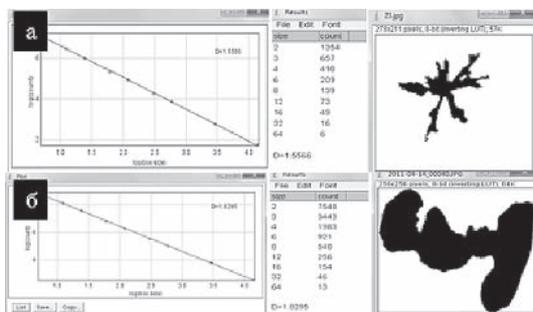


Рис. 7. Определение фрактальной размерности биокристаллов: а– график двойного логарифма от N (L), таблица результатов определения размера квадратов и размерности D , изображение самого объекта А, б – результаты и изображение объекта Б

В данной статье приведены основные результаты исследования алгоритмов и методов обработки и анализа кристаллограмм. Предложенная модель позволяет вычислять признаки объектов, интересующие экспертов, на полученных в ходе экспериментов изображениях, что способствует

упрощению их дальнейшей классификации и развитию исследования этого метода диагностики для выявления патологий.

Библиография:

1. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде Matlab. Москва, Техносфера, 2006.
2. И.А. Мальчиков, И.А. Тузанкина, Ю.В. Григорьева, Л.П. Мальчикова. Биофизические аспекты кристаллографических исследований. Екатеринбург, 2006.
3. Исаева В.В. и др. Фракталы и хаос в биологическом морфогенезе. Владивосток, 2004.
4. Дьяконов В. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. — СПб.: Питер, 2002.
5. Matlab & Toolboxes/http://matlab.exponenta.ru.

References (transliteration):

1. Gonsales R., Vuds R., Eddins S. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy v srede Matlab. Moskva, Tekhnosfera, 2006.
2. I.A. Mal'chikov, I.A. Tuzankina, Yu.V. Grigor'eva, L.P. Mal'chikova. Biofizicheskie aspekty kristallograficheskikh issledovaniy. Ekaterinburg, 2006.
3. Isaeva V.V. i dr. Fraktaly i khaos v biologicheskom morfogeneze. Vladivostok, 2004.
4. D'yakonov V. MATLAB. Obrabotka signalov i izobrazheniy. Spetsial'nyy spra-vochnik. — SPb.: Piter, 2002.
5. Matlab & Toolboxes/http://matlab.exponenta.ru.