

## АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ И АНАЛИЗА ВЕТВЯЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ

© Недзведь А.М., Белоцерковский А.М., Абламейко С.В.,  
Мазевский А., Доброговский В.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ИНФОРМАТИКИ  
СУРГАНОВА 6, МИНСК, БЕЛАРУСЬ

E-MAIL: [NedzvedA@newman.bas-net.by](mailto:NedzvedA@newman.bas-net.by)

ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ УНИВЕРСИТЕТА БЕЛОСТОКА  
ЛАБОРАТОРИЯ МАГНЕТИЗМА  
LIPOWA 41, 15-424 BIALYSTOK, POLAND

E-MAIL: [Magnet@uwb.edu.pl](mailto:Magnet@uwb.edu.pl)

**Abstract.** Algorithm of branchness structure extraction and analysis is proposed here. This algorithm allows to gain successful results and calculates a large number of characteristics of dendrite structure on magneto-optical images. The algorithm consists of three parts: background correction, structure extraction and calculation of dendrite characteristics. For correction of magnetic image we use methods for magneto-optic contrast. One of the basic features of structure extraction part is a preservation of border properties for dendrite. Therefore the basic processing of extraction is applied for binary image. Proposed characteristics allow to describe and to classify dendrites. For analysis of dendrites structures topological properties are calculated for three basic objects types: dendrites body, holes and gulf. Arithmetical combination of such properties describes and characterizes dendrite structures. It is used as well as for single dendrite both for dendrites of magneto-optical and medical images.

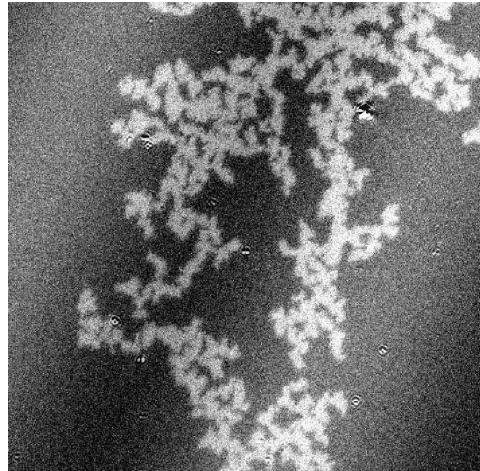
### ВВЕДЕНИЕ

Анализ ветвящихся изображений – одно из наиболее интересных направлений развития морфометрии. Ветвящиеся объекты присутствуют практически во всех динамических системах, так как именно силы влияющие на динамическое изменение являются одной из основных причин ветвления. В обычной жизни мы постоянно встречаем примеры таких объектов. Это – растения, дорожные сети, элементы коррозии (почв, металлических и других поверхностей), и т.д. Подобные структуры присутствуют везде начиная от наномира и заканчивая космическим пространством [1].

Цифровая обработка изображений таких структур позволяет выделить наиболее сложные элементы и определить характеристики, которые сложно получить без использования вычислительной техники.

Наиболее распространенным ветвящимся объектом является дендрит. Форма дендрита имеет очень сложную разветвленную структуру (рис. 3). Параметрическое описание подобной структуры является непростой задачей.

Для выделения ветвящихся дендритовидных структур был разработан алгоритм их выделения и разработаны характеристики для их описания



*Рис. 1.* Полутонное изображение ветвящейся дендритовидной структуры на тонкой магнитной пленке

## 1. АЛГОРИТМ АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ

Алгоритм выделения и вычисления характеристик ветвящихся дендритовидных структур состоит из трех частей (рис. 2): коррекции фона и полученного изображения, выделении образа ветвящейся структуры, вычислении различных характеристик структур.

Как правило, импульсный шум и физические ошибки появляются на этапе ввода вследствие физических искажений во время критических условий, например, при получении наноизображения в диапазоне высокого насыщения (рис. 3), необходимое для получения бинарного изображения. Бинаризация изображения выполняется посредством пороговой сегментации. Предварительная обработка изображения позволяет получать лучший результат, и проводится перед порождированием с коррекцией полутонных свойств, что обусловлено необходимостью улучшения качества изображения. В предварительной обработке выделяют стадию коррекции фона и стадию уменьшения импульсного шума.

Изображение состоит из двух компонентов: постоянная часть объекта, которая не меняется во времени и компонент фон, имеющая случайно меняющиеся элементы, возникающие во время процесса ввода (магнитооптический компонент). Фон можно исправить традиционной операцией коррекции фона, таким образом, улучшив контраст изображения [11]:

$$C_{x,y} = \frac{(I_{x,y} - B_{x,y}) \cdot (W_{max} - B_{x,y})}{(W_{x,y} - B_{x,y})} \quad (1.1)$$

где  $I_{x,y}$  – величина яркости пиксела изображения с компонентом фона,  $B_{x,y}$ , – величина яркости пиксела для изображения от постоянного компонента объекта,  $W_{x,y}$ , – величина яркости пиксела для изображения в полной насыщенности устройства ввода

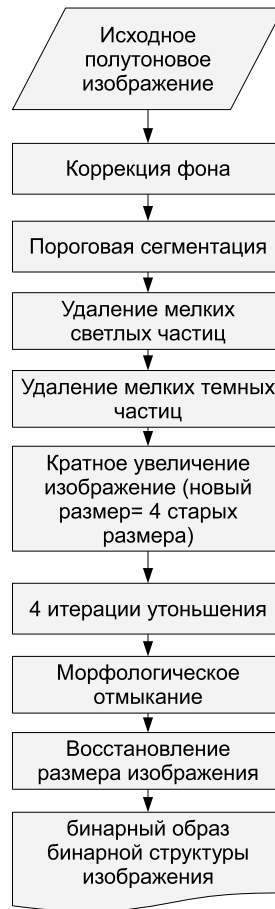
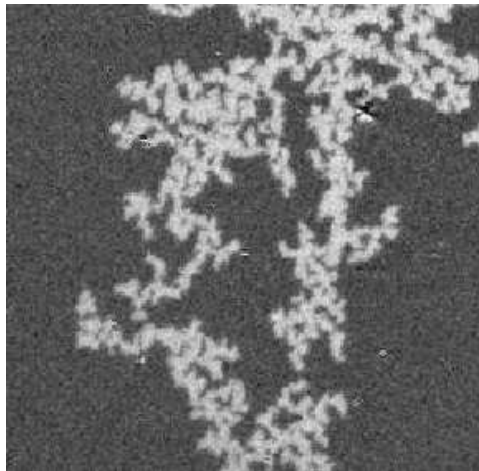


Рис. 2. Блок-схема алгоритма выделения дендритовидных ветвящихся объектов

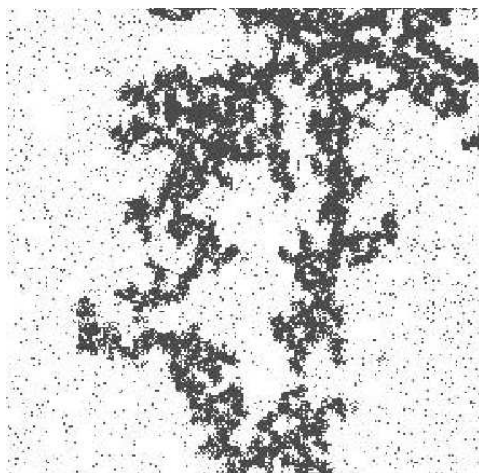
изображения (насыщение яркости),  $W_{\text{Макс}}$  – максимальная величина яркости изображения в насыщении устройства  $C_{x,y}$ , – новая величина яркости пиксела в исправленном изображении (рис. 4).

Наноскопические изображения известны сильным коротким импульсным шумом, удаление которого с помощью медианы или низкочастотной фильтрации обычно изменяет границы структур с узкими ветвями. Поэтому для полутонового изображения мы можем использовать только коррекцию фона и пороговую сегментацию.

Методы автоматической пороговой сегментации позволяют определить порог для классификации пиксела к объекту или фону. Как показала практика, наиболее рациональный способ проведения автоматической пороговой сегментации – метод Отсу. Все значения яркости, которые являются меньшими или равны порогу, принадлежат классу фона и маркируются как 0. Другие значения яркости принадлежат классу объектов и маркируются как 1 в бинарном изображении [4].



*Рис. 3.* Полутонное изображение ветвящихся объектов после коррекции фона



*Рис. 4.* Изображение с шумом "salt-and-pepper"

Результат пороговой сегментации – изображение с шумом "salt-and-pepper" (рис. 5), который представляет собой собой отдельные темные или светлые растровые элементы, принятые в решаемой задаче размером меньше 5 пикселей. После стандартной операции удаления шума (растровой скан-фильтрации) на изображении возникают ложные хвосты или мосты между бинарными объектами. Этот факт не позволяет использовать простые традиционные методы математической морфологии для коррекции формы. К тому же существуют случаи, когда существенно расстояние в полпиксела, при таком условии границы объектов сохранить невозможно. Тем не менее мощный аппарат математической морфологии определяет необходимость использования этих методов при коррекции исследуемых объектов и удаления ложные хвостов и мостов. Таким образом, было решено увеличить изображение в 4 раза

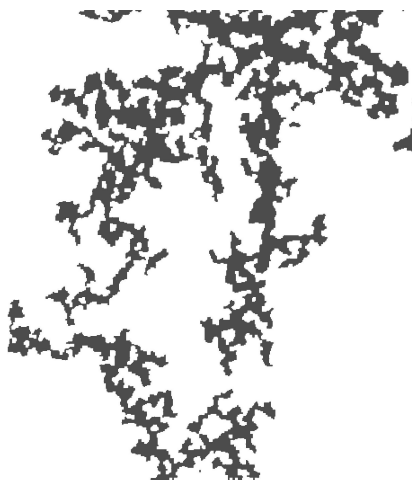


Рис. 5. Бинарное изображение ветвящихся объектов после морфологической обработки

и провести 4 итерации утоньшения. Так как большинство ветвящихся объектов имеет небольшую ширину, наилучшим методом утоньшения является утоньшение Zang-Suen [5]. Было установлено, что морфологическое «отмыкание» на следующем этапе позволяет удалять ложные мосты и хвосты, имеющие после утоньшения единичную ширину. На последнем этапе необходимо восстановить исходный размер изображения, которое будет содержать бинарный образ искомого ветвящегося объекта (рис. 6).

Геометрические характеристики объектов являются основой для любого исследования. Высокая разрешающая способность оптических устройств ввода повышает точность вычисления геометрических характеристик объектов. Наиболее часто измеряемыми характеристиками ветвящихся структур являются: площадь, периметр, линейные размеры, фактор удлинения (отношение двух главных моментов), и фактор формы [1].

## 2. ВЫЧИСЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТВЯЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ

Определение цифровых свойств объектов на изображениях определяются двумя путями вычисления геометрических характеристик: традиционным и планиметрическим [11]. У пиксела есть свои линейные размеры. Как правило, размер пикселя характеризуется его площадью, а вычисление геометрических характеристик выполняется на центральных точках пикселах объекта. Планиметрические вычисления характеристик работают с линейными размерами между точками, размещенными в углах пиксела. Таким образом, в планиметрическом способе вертикальные и горизонтальные расстояния между точками равны линейным размерам пиксела, а диагональ определяется теоремой Пифагора. В случае равенства горизонтальных и вертикальных размеров величина площади пиксела умножается с  $\sqrt{2}$ . Периметр вычисляется подобным способом как контур объекта.

Есть несколько способов описания формы ветвящегося объекта. Особый интерес представляет компактность (*compactness*). Фактор компактности – отношение площади объекта к площади наименьшего прямоугольника, который содержит все точки объекта и определяется как

$$compactness = \frac{K \cdot AREA}{perimeter^2}, \quad (2.1)$$

где AREA – площадь объекта, perimeter – периметр объекта, K – коэффициент калибровки. Фактор компактности меняется в интервале [0, 1]. Чем ближе форма объекта к прямоугольнику, тем ближе фактор компактности к 1. для определения топологических характеристик выполняется бинаризация изображения.

Топологические древовидные характеристики вычисляются с помощью операций булевой логики и математической морфологии (морфологическое сглаживание) (рис.6). Таким образом, на изображениях древовидных ветвящихся объектах образуется три топологических области : тело объекта, заливы и отверстия (рис.7).

Залив и отверстия (дыры) определяются как области между телом объектов. У залива есть связь со свободным местом. Тело объекта окружает отверстия. В процессе исследований для описания топологических свойств была предложена следующие характеристики: полная (суммарная) площадь, отношение к заливам, отношение к отверстиям и древовидное отношение. Суммарная площадь определяется как сумма всех топологических областей:

$$TotalArea = Area(gulf) + Area(holes) + Area(body), \quad (2.2)$$

где Area(gulf) – площадь области залива, Area(holes) – площадь области отверстий, Area(body) – площадь области тела объекта. Другие характеристики соответствуют заполненному пространству и определяются как:

$$gulfratio = \frac{Area(gulf)}{TotalArea}; \quad (2.3)$$

$$holeratio = \frac{Area(holes)}{TotalArea}; \quad (2.4)$$

$$dendrateratio = \frac{Area(dendrites)}{TotalArea}; \quad (2.5)$$

Эти характеристики для каждого типа области описывают соответствующие виды топологии объекта. Для описания топологических свойств ветвящихся объектов необходимо выделить среднюю линию или скелет объекта из бинарного образа. Эта операция реализуется с помощью бинарного алгоритма Zang-Suen [5]. Для определения топологии здесь играют важную роль характеристики тела объекта [9, 10], скелет, узлы скелета и его окончания (хвосты) (fig.8,9). Скелет образует связанное геометрическое место центральных точек объекта [6, 7, 8]. Узлы соответствуют точкам скелета, имеющим более двух объектов. К хвостам относятся линии-элементы скелета ограниченные только с одной стороны узлом.

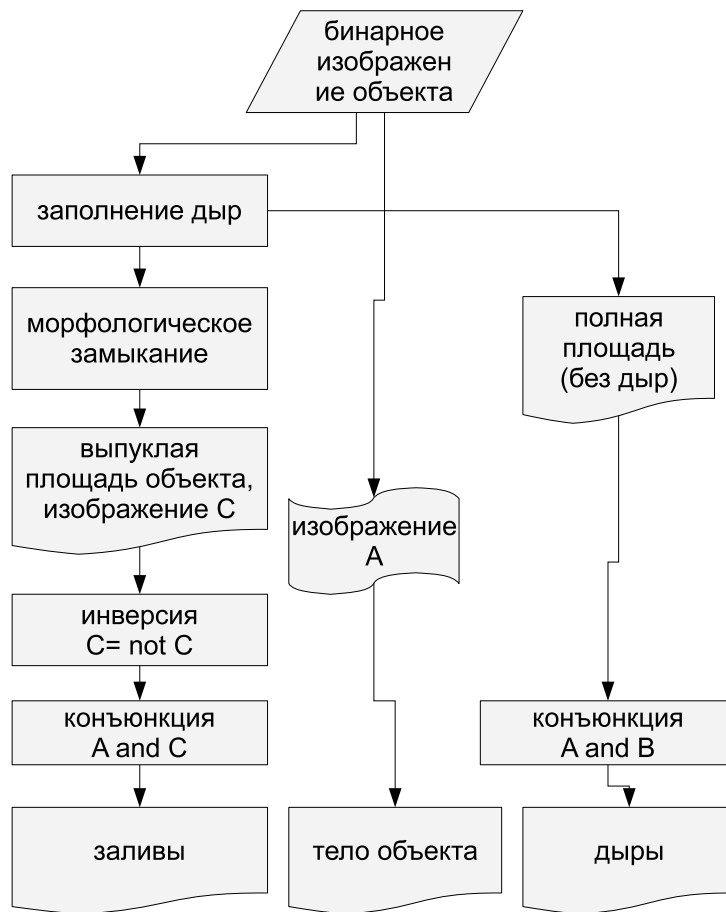
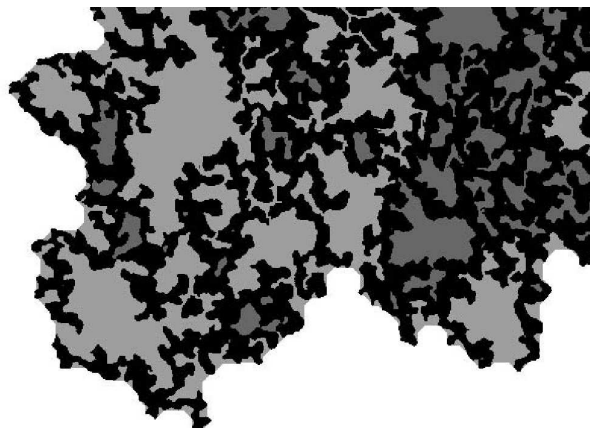


Рис. 6. Алгоритм выделения топологических областей: тела объекта, заливов и отверстий

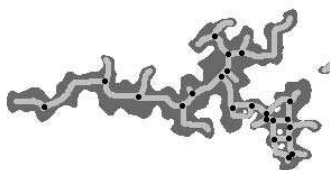
Для описания топологических свойств ветвящихся объектов необходимо определить следующие характеристики: ветвистость (branchiness), закрученность (curliness), реальная длина (real length), усредненная ширина по длине объекта (mean width), хвостатость (tailness), закрученность хвостов (tail curliness), нормированная хвостатость (tails ratio). Ветвистость и закрученность описывают сложность формы ветвящегося объекта. Они определяются как отношение числа узлов или сегментов скелета, к реальной длине скелета соответственно. Сегменты скелета определяются как фрагменты, ограниченные узлами или точками окончания скелета.

$$Branchiness = \frac{count(nodes)}{length(skeleton)}; \quad (2.6)$$

$$Curliness = \frac{count(nodes)}{count(segments)}. \quad (2.7)$$



*Рис. 7.* Иерархическое изображение после бинаризации с топологическими свойствами: черное – тело объекта, светлосерый – заливы, серый – отверстия



*Рис. 8.* топологические особенности ветвящегося объекта: серое – тело объекта, светло-серое – скелет, черное – узлы



*Рис. 9.* хвосты объекта: черное - тело объекта, серое - хвосты

Полная длина объекта соответствует длине или, в случае симметричного масштаба изображения, площади скелета.

$$Reallength = Length(skeleton). \quad (2.8)$$

Определение хвостов [9, 10] позволяет определить характеристики для описания зависимости особенностей окончания объекта к его сложности. Дело в том, что в



реальной жизни объект может иметь не только отдельные ветви, но и пересекающиеся структуры образующие замкнутую сеть. Для определения таких особенностей и вводится определение хвостатости, закрученности хвостов и нормализованной хвостатости. Они определяются как:

$$Tailness = \frac{count(tails)}{length(skeleton)}, \quad (2.9)$$

$$TailCurliness = \frac{count(tails)}{count(segments)}, \quad (2.10)$$

$$Tailsratio = \frac{length(tail)}{length(skeleton)} \quad (2.11)$$

Более сложной характеристикой является усредненная ширина ветвящегося объекта. На практике она вычисляется для каждой точки, но есть несколько способов вычисления этой величины, позволяющие ее определить с разной погрешностью. В данной работе характеристика не описывается. Следует лишь отметить, что величина определяется как усреднение перпендикуляров к скелету для каждой его точки, за исключением узловых точек и их окрестности с приблизительным радиусом в ширину объекта:

$$Meanwidth = \frac{Area(dendrites)}{length(skeleton)}. \quad (2.12)$$

Безусловно эта характеристика является только аппроксимацией реальной ширины, но она не может быть определена иначе и играет огромную роль при описании сложных объектов, так как отражает их реальные размеры.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Алгоритм выделения и анализа ветвящихся объектов первоначально был разработан и реализован в программном пакете "Zubr", для анализа наноскопических изображений магнитооптических объектов. Затем адаптирован для анализа сосудов и волокон на гистологических изображениях и изображениях компьютерной томографии.

Предложенный алгоритм позволяет получить качественный бинарный образ ветвящегося объекта и вычислить характеристики для его описания. Широкий набор предлагаемых характеристик позволяет не только описать сложность объекта, но и в случае динамических исследований определять характеристики роста и изменения объекта в зависимости от различных физических воздействий. Это особенно важно при изучении различных коммуникационных особенностей (снабжение кровью опухоли, изменение электрической активности нервной ткани, влияние магнитных полей на доменную структуру и т.д.). Кроме того, мы предлагаем использовать этот алгоритм и характеристики для описания степени коррозии материала, так как наличие дефекта не всегда является критическим, однако его форма и структура являются

причиной его дальнейших физических изменений и предлагаемые характеристики помогут решить этот вопрос.

Работы по разработке алгоритма выделения и анализа ветвящихся объектов сопровождались следующими проектами: EU project NANOMAG-LAB (No. MTKD-CT-2004-003177), ICTS B-1489 и ИТ06-5-01.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Koh I.Y.Y., Brent Lindquist W., Zito K., Nimchinsky E.A., Svoboda K.* An Image Analysis Algorithm for Dendritic Spines // *Neural Computation Massachusetts Institute of Technology*, vol. 14, 2002, pp.1283–1310
2. *Абламейко С.В., Недзведзь А.М.* Обработка оптических изображений клеточных структур в медицине // Минск: ОИПИ НАН Беларуси -- 2005, С. 157.
3. *Сапоженко А.А., Сумкина Н.В.* О тупиковых доопределениях частичных монотонных булевых функций // Сб. Математические вопросы кибернетики, Вып. 13, 2004 г., С. 289-294.
4. *Sahoo, P.K., Soltani, S., Wong, A.K.C., Chen, Y.C.* A survey of thresholding techniques. // *Communications of the ACM*, vol.27(3), 1984. pp. 236–239.
5. *Zhang TY, Suen CY.* A fast parallel algorithm for thinning digital patterns // *Communications of the ACM*, vol. 27(3), 1984. pp. 236–239.
6. *Svensson S., Nystrom I., Arcelli C., Sanniti di Baja G.* Using grey-level and distance information for medial surface representation of volume images // *Proc. of ICPR.* -- 2002.
7. *Weiss J.M.* Grayscale thinning and ridge detection // *Comput. Inf. Syst.* --2003. -- V.44. -- №1. -- P.107-110.
8. *Marchadier J., Arques D., Michelin S.* Thinning grayscale well-composed images // *Pattern Recognit. Lett.* -- 2004. -- V.25. -- №5. -- P.581-590.
9. *Недзведзь А.М., Абламейко С.В., Белоцерковский А.М., Лемман Т-М.* Быстрый метод выделения сети сосудов на полутоновых ангиографических изображениях // *Искусственный интеллект* №2. -- Донецк. -- 2006. -- С. 206-211.
10. *Nedzved A., Ablameyko S., Uchida S.* Gray-scale thinning by using a pseudo-distance map // *Proc of 18th International Conference on Pattern Recognition ICPR (2) 2006*, P.239-242

*Статья поступила в редакцию 21.04.2008*