

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*

Институт экспериментальной физики университета Белостока

Лаборатория магнетизма

LiPowa 41, 15-424 Bialystok, Poland

E-MAIL: *Magnet@uwb.edu.pl*

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 - одна 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 участия вычислительной техники.

Один из самых распространенных ветвящихся объектов - дендрит. Форма дендрита имеет очень сложную разветвленную структуру (рис. 1). Параметрически описать такую структуру не просто.

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

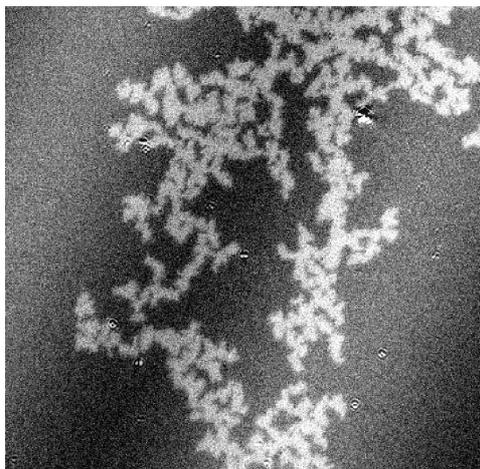


Рис. 1. Полутоновое изображение ветвящейся дендритовидной структуры на тонкой магнитной пленке

1. АЛГОРИТМ АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ

Алгоритм выделения и вычисления характеристик ветвящихся дендритовидных структур состоит из трех частей (рис. 2). Первая часть заключается в коррекции фона и полученного изображения. Вторая - выделяет образ ветвящейся структуры структуры. Третья вычисляет различные характеристики таких структур.

Обычно импульсный шум и физические ошибки на этапе ввода появляются на этапе ввода из-за физических искажений во время критических условий, например при получении наноизображения в диапазоне высокого насыщения (рис. 1). Прежде всего это необходимо для получения бинарного изображения. Бинаризация изображение выполняется посредством пороговой сегментации. Предварительная обработка изображения позволяет получать лучший результат, и проводится перед пороговой сегментацией. Она необходима для улучшения качества изображения, корректируя полутоновые свойства. Предварительная обработка делится на две стадии: коррекции фона и уменьшение импульсного шума.

Изображение состоит из двух компонентов: постоянная часть объекта, которая не меняется во времени и компонента фона, имеющая случайно меняющиеся элементы, возникающая во время процесса ввода например магнитооптический компонента. фон мы можем исправить традиционной операцией коррекции фона, чтобы улучшить контраст изображения [2]:

$$C_{x,y} = \frac{(I_{x,y} - B_{x,y}) \cdot (W_{max} - B_{x,y})}{(W_{x,y} - B_{x,y})} \quad (1)$$

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



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

устройства ввода изображения (насыщение яркости), $W_{\text{Макс}}$, - максимальная величина яркости изображения в насыщении устройства $C_{x,y}$, - новая величина яркости пиксела в исправленном изображении (рис. 3).

Наноскопические изображения известны своим сильным коротким импульсным шумом. Его удаление медианой или низкочастотной фильтрацией 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 к фону. Все значения яркости, которые являются меньшими или равны порогу, принадлежат классу фона и маркируются как 0, в то время как другие значения яркости принадлежат классу объектов и маркируются как 1 в бинарном изображении. Автоматическая пороговая сегментация выполняется по методу Отсу.

Результат пороговой сегментации - изображенНаноскопические изображения

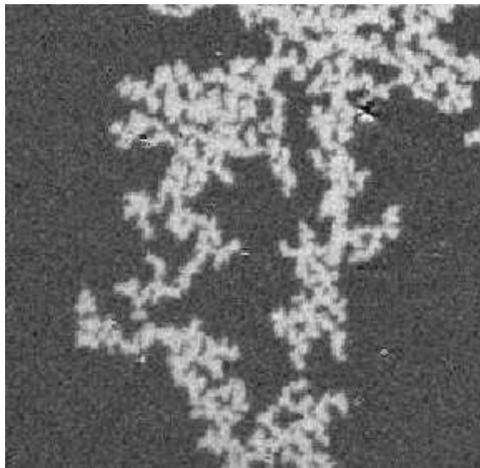


Рис. 3. Полутоновое изображение ветвящихся объектов после коррекции фона

известны своим сильным коротким импульсным шумом. Его удаление медианой или низкочастотной фильтрацией 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 к фону. Все значения яркости, которые являются меньшими или равны порогу, принадлежат классу фона и маркируются как 0, в то время как другие значения яркости принадлежат классу объектов и маркируются как 1 в бинарном изображении. Автоматическая пороговая сегментация выполняется по методу Отсу [4].

Результат пороговой сегментации - изображение с шумом "salt-and-pepper" (рис. ??). Чтобы удалить все отделенные темные или светлые элементы с размером меньше чем 5 пикселей. После этой операции возникают ложные хвосты или мосты между бинарными изображениями. Что не позволяет использовать простые традиционные методы математической морфологии для коррекции формы и границы не сохраняются в случае возможной роли расстояний в пол пикселя. Чтобы выполнять эти операции, изображение увеличивается в 4 раза, и четыре итерации утоньшения выполняется, чтобы исправить ложные хвосты и мосты. Так как большинство ветвящихся объектов имеет небольшую ширину лучшим методом утоньшения является Zang-Suen утоньшение [5]. Морфологический "отмыкание-операция удаляет ложный мосты и хвосты, которые после утоньшения имеют единичную ширину. После этого исходный размер изображения восстанавливается и результирующее изображение содержит бинарный образ ветвящегося объекта. (рис. 4).



Рис. 4. Бинарное изображение ветвящихся объектов после морфологической обработки

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

2. ВЫЧИСЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТВЯЩИХСЯ ОБЪЕКТОМ

Определение цифровых свойств объектов на изображений определяются двумя путями вычисления геометрических характеристик: традиционным и планиметрическим [2]. У пиксела есть свои линейные размеры, и вычисление геометрических характеристик выполняется на центральных точках объекта. Традиционно, этот пункт находится в центре пиксела, и его размер, равен площади пиксела. Планиметрические вычисления характеристик работают с линейными размерами между точками, которые помещены в углы 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 описать форму объекта. Самая интересная характеристика для ветвящихся объектов - компактность (compactness). Фактор компактности - отношение площади объекта к площади наименьшего прямоугольника, который содержит все точки объекта и определяется как

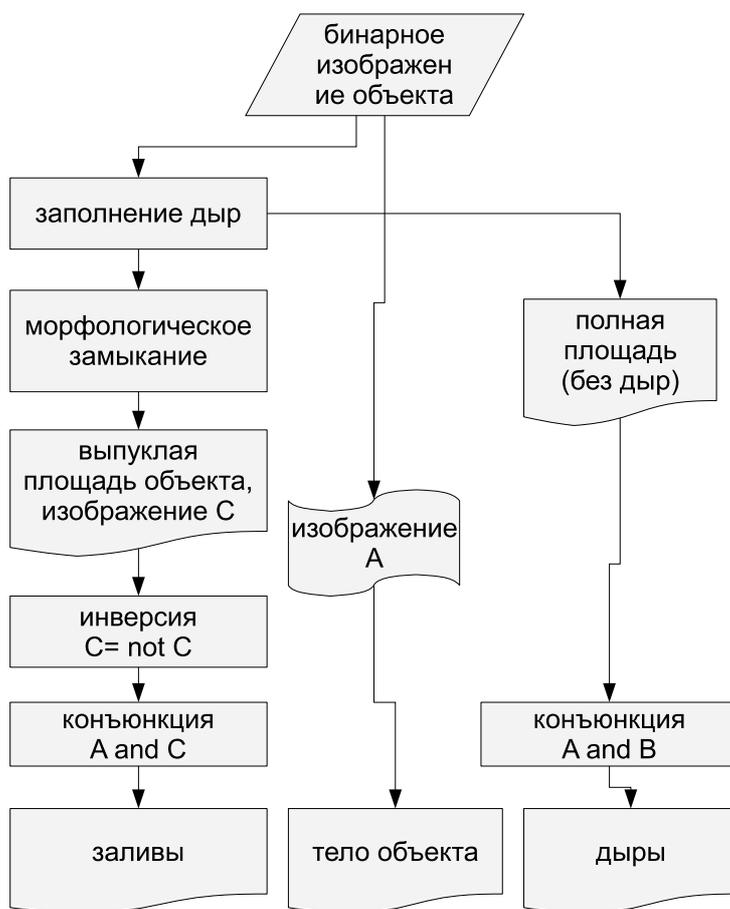


Рис. 5. Алгоритм выделения топологических областей: тела объекта, заливов и отверстий

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

была AREA - область объекта, perimeter - является периметром объекта, K - коэффициент калибровки. Фактор компактности меняется в интервале [0, 1]. Чем ближе форма частицы к прямоугольнику, тем ближе фактор компактности к 1. Чтобы определить топологические особенности изображения, бинаризация изображений выполнен (поскольку это находится в предыдущем случае).

Топологические древовидные особенности (предвещает, заливов, отверстия) обнаружены операциями булевой логики и математического сглаживания морфологии (рис.5). Мы определили три топологических области на изображениях древовидных ветвящихся объектах: тело объекта, заливов и отверстия (рис.6).

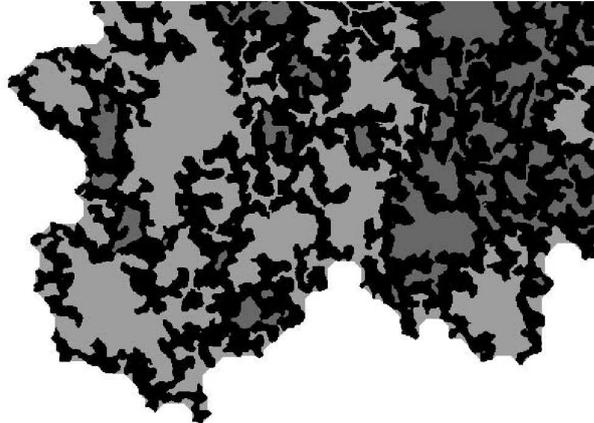


Рис. 6. Иерархическое изображение после бинаризации с топологическими свойствами: черное - тело объекта, светлосерый - заливы, серый - дыры

Залив и отверстия(дыры) определяются как области между телом объектов. У залива есть связь со свободным местом. Тело объекта окружает отверстия. Мы предлагаем следующую характеристику для описания топологических характеристик: полная площадь, отношение к заливам, отношение к отверстиям, древовидное отношение. Полная площадь определяется как сумма всех топологических областей:

$$TotalArea = Area(gulf) + Area(holes) + Area(body), \quad (3)$$

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:

$$gulfratio = \frac{Area(gulf)}{TotalArea}; \quad (4)$$

$$holeratio = \frac{Area(holes)}{TotalArea}; \quad (5)$$

$$dendrateratio = \frac{Area(dendrites)}{TotalArea}; \quad (6)$$

Эти характеристики описывают отношение 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 (Zang-Suen алгоритм [5]). Для определения топологии здесь играют важную роль

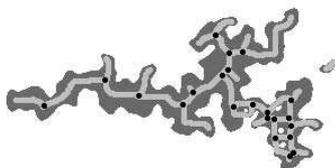


Рис. 7. топологические особенности ветвящегося объекта: серое - тело объекта, светло-серое - скелет, черное - узлы



Рис. 8. хвосты объекта: черное - тело объекта, серое - хвосты

характеристики тела объекта [9, 10], скелет, узлы скелет и его окончания (хвосты) (fig. 7,8). 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.

Для описания топологических свойств ветвящихся объектов мы поперделяем следующие характеристики: ветвистость (Branchiness), закрученность (Curliness), реальная длина (real length), усредненная ширина по длине объекта (mean width), хвостатость (tailness), закрученность хвостов (Tailness), 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.

$$Branchiness = \frac{count(nodes)}{length(skeleton)}; \quad (7)$$

$$Curliness = \frac{count(nodes)}{count(segments)}. \quad (8)$$

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

$$Reallength = Length(skeleton). \quad (9)$$

$$(10)$$

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 этих особенностей и вводится определения хвостатости, закрученности хвостов и нормализованной хвостатости. Они определяются как:

$$Tailness = \frac{count(tails)}{length(skeleton)}, \quad (11)$$

$$Curliness = \frac{count(tails)}{count(segments)}, \quad (12)$$

$$Tailsratio = \frac{length(tail)}{length(skeleton)} \quad (13)$$

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. Но это тема отдельной статьи. Сейчас мы ограничимся тем, определим эту величину как усреднение перпендикуляров к скелету для каждой его точки, за исключением узловых точек и их окрестности с приблизительным радиусом в ширину объекта:

$$Meanwidth = \frac{Area(dendrites)}{length(skeleton)}. \quad (14)$$

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 она отражает его настоящие 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

Недзведзь А.М., Белоцерковский А.М., Абламейко С.В., Мазевский А., Доброговский В.

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-ST-2004-003177), ICTS B1489 и ИТ06-5-01.

В книге [3] рассматривается [6, 7, 8]

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.б 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