

ЦИФРОВОЕ ФРАКТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Ачилов Баходир Сайдуллаевич

Магистр Ташкентского Университета Информационных технологий

Халикулова Мехринисо Амиридиновна

Магистр Ташкентского Университета Информационных технологий

Научный руководители:

Худайбердиев Мирзаакбар Хаккулмирзаевич

к.т.н., Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммадаал-Хоразмий
«Информация»

Анарова Шахзода Аманбаевна

т.ф.н., заведующая кафедрой «Информационные технологии» Ташкентский
университет информационных технологий имени Мухаммада аль-Хорезми

Аннотация: В этой статье представлена информация о фракталах, будет рассмотрено одно из важных применений фракталов — применение в медицинской сфере. Дается понятие о цифровом фрактальном моделировании геометрических объектов сложной конфигурации.

Ключевые слова: *фрактал, фрактальное моделирование, раковые клетки, хаотичное развитие объекта, топография, адгезия.*

Наш мир устроен довольно сложно. Все в нем до бесконечности делится на части, приблизительно подобные целому, ибо реальность фрактальна.

Бесконечное дробление и подобие маленьких частей это и есть принцип

устройства природы. Открытие фрактальных закономерностей не только установило существование непрогнозируемых процессов, но и научило человека ими управлять.

В этом смысле, фракталы представляют собой фигуры, которые занимают нишу между линией и поверхностью (размерность меняется от 1

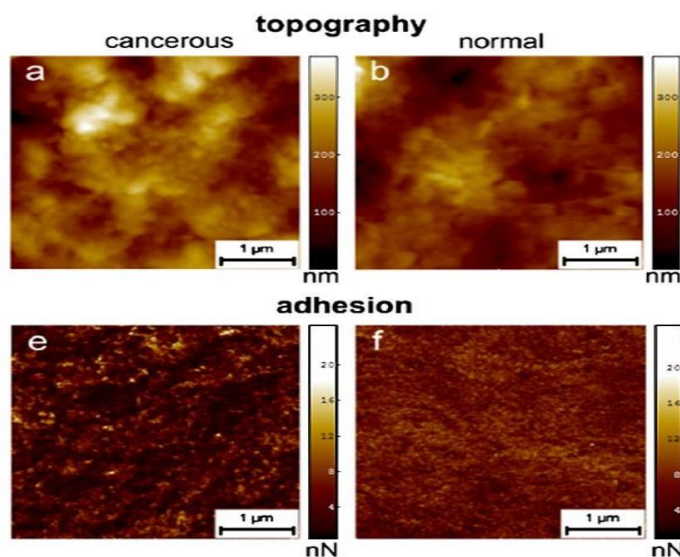


до 2) или поверхностью и трехмерной фигурой (размерность варьируется от 2 до 3). Иными словами, фракталы — это и не линия, и не поверхность, и не трехмерный объект, а нечто среднее между всеми ними (справедливости ради надо отметить, что, тем не менее, есть небольшое количество фракталов, размерность которых равна целому числу).

В 1997 году австрийские ученые высказали гипотезу, согласно которой рост раковых опухолей можно описать, если предположить, что эти образования являются фракталами. Затем было опубликовано несколько экспериментальных работ, в которых авторы наблюдали фрактальное поведение периметра раковых опухолей, что как бы говорит в пользу этого предположения. Но одновременно с этим другие исследователи в своих статьях описывали эксперименты, результаты которых опровергали это наблюдение. Схожие исследования проводились и с периметром поперечного сечения раковых клеток, однако и здесь результаты были противоречивыми.

И вот совсем недавно коллектив ученых из США в своей статье в журнале *Physical Review Letters* показал, что рак действительно порождает фрактальные структуры. Только этими структурами оказались не макроскопические опухоли и не периметр поперечного сечения клеток, а их поверхности. В распоряжении ученых находились эпителиальные клетки шейки матки (приблизительно 300), полученные от 12 человек в ходе биопсии, из которых половина имели раковое заболевание, а половина были абсолютно здоровыми. При помощи атомно-силового микроскопа были получены изображения поверхностей набора этих клеток (топография) и карты адгезии поверхности, то есть визуализированы данные по распределению вдоль

поверхности клетки силы (силы адгезии), с которой игла атомно-силового микроскопа контактным образом взаимодействует (сцепляется) с заданной точкой поверхности исследуемого объекта (рис. 2).



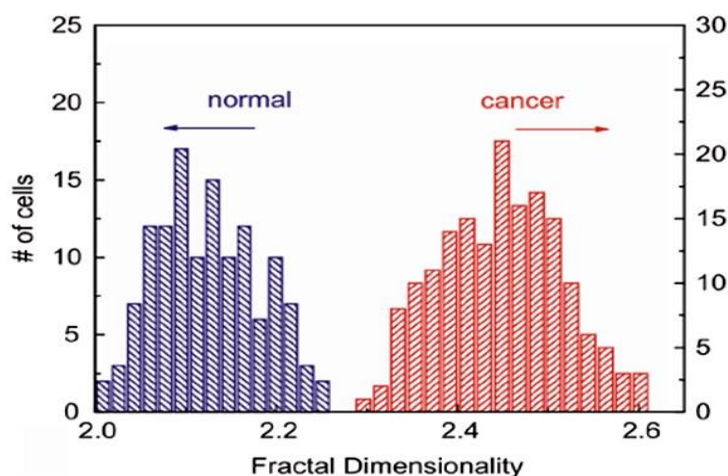
ис. 1. (a,b) Топография поверхности раковых (cancerous) и нормальных (normal) клеток, полученная при помощи атомно-силового микроскопа. Цвет участка поверхности задает высоту его расположения над нулевым уровнем, предварительно заданным иглой атомно-силового микроскопа. Высота измеряется в нанометрах (10⁻⁹ м). (e), (f) Карта адгезии (adhesion) —

сцепление) поверхности нормальных и раковых клеток (визуализация данных по распределению силы адгезии иглы атомно-силового микроскопа с каждой точкой поверхности нормальных и раковых клеток). Сила измеряется в нано ньютонах. Длина масштабной линейки 1 микрометр (10⁻⁶ м). Рисунок из обсуждаемой статьи в Phys. Rev. Lett.

Полученные четыре изображения были обработаны математическими методами для выяснения, являются ли они фракталами и если являются, то какова их размерность. Анализ фрактального поведения представленных на рисунке 1 поверхностей и карты их адгезии проводился в масштабе от 40 до 300 нм. Такое ограничение по интервалу обусловлено конечным размером данных, полученных от атомно-силового микроскопа. Дело в том, что каждое из приведенных изображений проходит процедуру оцифровки и потому имеет определенное разрешение. Соответственно, понять, является ли поверхность фракталом, можно лишь до тех пор, пока размер анализируемого участка не

стал равен одному пикселю. Например, изображение с размерами 5 на 5 микрометров атомно-силовой микроскоп записывал в формате 256 × 256 пикселей. Отсюда следует, что фрактальное поведение, если таковое имеется, может быть установлено в масштабе начиная от 5 микрометров и заканчивая $5/256 \approx 20$ нм.

Рис. 2. Распределение фрактальных размерностей адгезионных карт



нормальных (фиолетовый цвет)

и раковых (красный цвет)

клеток. Рисунок из

обсуждаемой статьи в Phys. Rev.

Lett.

После математической обработки изображений было установлено, что в указанном

диапазоне (40–300 нм) первые две фигуры, иллюстрирующие топографию нормальных и раковых клеток (рис. 1a, b), являются фракталами, при этом их размерности практически равны друг другу. Две другие картинки (рис. 1e, f), визуализирующие распределение силы адгезии поверхности нормальных и раковых клеток, также оказались фракталами и, что самое важное, продемонстрировали существенное различие во фрактальной размерности. Чтобы убедиться в справедливости полученного результата, авторы построили гистограмму фрактальных размерностей адгезионных карт нормальных и раковых клеток

. Нетрудно заметить провал между фрактальными размерностями двух категорий клеток. Именно этот параметр, по мнению ученых, позволяет отличить раковую клетку от здоровой. На всякий случай еще раз подчеркнем, что в данном случае под фракталом подразумевается не

поверхность клетки, а фигура, созданная из данных по распределению силы адгезии ее поверхности. К сожалению, ученые плохо понимают, почему только адгезия так чувствительна к злокачественности клетки. Поэтому, чтобы выяснить истинную причину обнаруженного эффекта, авторы статьи рассчитывают продолжить свои исследования.

Таким образом, в сегодняшние дни цифровое фрактальное моделирование



раковых клеток является самой актуальной темой. В XXI веке быстро развивается информационные технологии, в связи с этим развивается и виды болезней, особенно, онкологические. Фрактальное моделирование раковых клеток даёт большой шанс определить размерности и даёт возможность быстрее предотвращать возможные шансы опухолей.

Литература:

1. Л.М. Перерва, В.В. Юдин, Фрактальное моделирование, Учебное пособие, Владивосток, Издательство ВГУЭС, 2007.
2. <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-fraktalov>
3. Mandelbrot, B.B. The Fractal Geometry of Nature. San Francisco: 1982.
4. Морозов А.Д. Введение в теорию фракталов. М. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2006.