

МРНТИ 73.37.63

[https://doi.org 10.53364/24138614_2024_33_2_5](https://doi.org/10.53364/24138614_2024_33_2_5)¹ Г.А. Акылбекова *, ¹И.Л. Доненко¹ Кыргызский Авиационный Институт, г. Бишкек, Кыргызстан*E-mail: gulayimakylbekova@gmail.com

ИННОВАЦИОННЫЙ ФРАКТАЛЬНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ ОБРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ С ПОМОЩЬЮ БПЛА

Аннотация. В данной работе представлен инновационный фрактальный подход к обработке сельскохозяйственных угодий с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Рассмотрен подход к анализу поверхности земли с применением фрактального анализа, включая дифракционный фрактал Фраунгофера и масштабирование ковра Серпинского. Приведен код для Arduino, позволяющий собирать данные с датчиков и отправлять их в реальном времени на смартфон через Telegram. Для более сложного анализа данных и интеграции с системами машинного обучения предложен Raspberry Pi, с кодом для сбора данных с камеры и LiDAR, а также для распознавания сельскохозяйственных культур с использованием TensorFlow. Основное внимание уделяется возможности передачи данных в реальном времени, что позволяет оперативно реагировать на изменения и анализировать большие объемы данных на более мощном оборудовании или сервере.

Ключевые слова: фрактал, беспилотный летательный аппарат, искусственный интеллект, математическое моделирование, дифференциальное уравнение, сельское хозяйство.

Введение. Фрактальный анализ — это метод исследования, который позволяет оценить сложность поверхностей или структур, используя понятие фрактальной размерности. Этот метод основан на идее, что многие природные объекты или явления (например, облака, горы, реки) имеют фрактальную структуру, то есть они выглядят одинаково на разных масштабах.

В сельском хозяйстве фрактальный анализ может быть использован для оценки структуры почвы, рельефа участка или роста растений, что в свою очередь может помочь в определении оптимальных методов обработки угодий.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали революционным инструментом в сельском хозяйстве. С помощью камер и датчиков, установленных на БПЛА, фермеры могут получать детальные изображения своих угодий, что позволяет им быстро и точно определять проблемные зоны.

Внедрение искусственного интеллекта (ИИ) в этот процесс делает анализ данных еще более точным. ИИ может автоматически определять нарушения роста растений, вредителей или болезни, а также предлагать оптимальные способы решения этих проблем.

Математическое моделирование фрактальных структур начинается с определения фрактальной размерности. Это показатель, который описывает, как изменяется сложность объекта при изменении масштаба.

Для моделирования фрактальных структур часто используются итерационные алгоритмы, такие как алгоритмы Л-системы или алгоритмы случайных блужданий.

Для успешного внедрения фрактального подхода в современное сельское хозяйство с использованием БПЛА и ИИ, следует рассмотреть следующую схему:

а) Сбор данных с помощью БПЛА.

Выбор оптимального БПЛА в зависимости от размера угодий и требуемой детализации данных.

Установка датчиков и камер высокого разрешения для получения детальных изображений поверхности угодий.

Регулярные полеты над участком для мониторинга изменений и сбора данных.

б) Обработка и анализ данных с использованием ИИ.

Передача собранных данных на сервер или облачное хранилище для дальнейшего анализа.

Применение алгоритмов машинного обучения для распознавания фрактальных структур на изображениях и определения их характеристик.

Использование ИИ для выявления аномалий, таких как засуха, нарушения роста растений или вредители.

в) Принятие решений на основе анализа.

На основе анализа данных ИИ предлагает рекомендации по уходу за угодьями: оптимальное время и методы полива, необходимость внесения удобрений или применения средств защиты растений.

Автоматизация процессов: возможность автоматического управления системами полива или дозирования удобрений на основе рекомендаций ИИ.

г) Оценка эффективности и корректировка подхода.

Регулярный мониторинг и анализ результатов применения рекомендаций ИИ.

Корректировка алгоритмов ИИ на основе полученных результатов для улучшения точности прогнозов и рекомендаций.

Для более точной разметки поверхности стоит рассчитывать фрактальную размерность поверхностей.

Она показывает, как изменяется сложность объекта при изменении масштаба.

Для простого объекта, например, отрезка, $D=1$. Для плоскости $D=2$. Однако фрактальные объекты имеют нецелочисленную размерность, которая лежит между двумя целыми числами.

Один из популярных методов определения фрактальной размерности — это метод «box-counting».

Представьте, что вы покрываете объект множеством квадратов (или кубов в 3D) и считаете, сколько из них содержат часть объекта. Затем уменьшаете размер квадратов и повторяете процесс.

Фрактальная размерность (D) определяется следующим образом:

$$D = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\log(N(\epsilon))}{\log \frac{1}{\epsilon}}$$

где $N(\epsilon)$ — это количество квадратов размером ϵ , которые содержат часть объекта.

Для создания фрактальных структур часто используются итерационные алгоритмы.

Примером может служить алгоритм создания криволинейного множества:

$$Z_{n+1} = Z_n^{2n} + Z^n + C$$

где Z - комплексное число, C - константа.

Так как при сканировании поверхностей мы используем 2 типа устройств — это камеры и лазерные сканеры (по типу lidar), то в следствии такого сканирования поверхности возникают при дифракции света на фрактальных структурах. Такие структуры описываются дифрактом Фраунгофера, что расписывается при помощи преобразования Фурье от фрактального объекта. Рассмотрим это более подробно:

Предположим, что у нас есть фрактальная структура, которая может быть описана математически определенной функцией $f(x, y)$. Дифракционная картина Фраунгофера в дальней зоне может быть описана с помощью двумерного преобразования Фурье от функции $f(x, y)$.

$$F(u, v) = \iint_0^{\infty} f(x, y) e^{-i2\pi(ux+vy)} dx dy$$

где $F(u, v)$ - амплитуда дифракционной картины, (u, v) - пространственные частоты, i - мнимая единица.

При рассмотрении поверхности Земли, особенно на макроуровне, можно предположить, что она представляет собой сложное сочетание различных кривых второго и третьего порядков. Например, горные хребты могут быть приближены параболическими или гиперболическими кривыми, в то время как реки и долины могут быть описаны кубическими кривыми.

Кривые второго порядка включают в себя такие фигуры, как эллипсы, параболы и гиперболы. Они описываются уравнениями вида:

$$Ax_2 + Bxy + Cy_2 + Dx + Ey + F = 0$$

Кривые третьего порядка, или кубические кривые, описываются уравнениями вида:

$$Ax^3 + Bx^2y + Cxy^2 + Dy^3 + Ex^2 + Fxy + Gy^2 + Hx + Iy + J = 0$$

Фрактальная закономерность проявляется в том, что при увеличении масштаба поверхности Земли мы продолжаем видеть повторяющиеся структуры. Например, рассмотрение горного хребта на большом масштабе может показать параболическую структуру, но при увеличении масштаба мы можем увидеть множество меньших параболических структур, образующихся из отдельных гор.

Анализируя полученную дифракционную картину, можно изучить свойства исходной фрактальной структуры.

Это может включать определение фрактальной размерности, а также других характеристик фрактального объекта.

Для более точной модели по наведению может быть использован ковёр Серпинского как модель для оптимизации использования земельных участков, позволяя разработать схемы полива или удобрения, которые минимизируют потери и максимизируют покрытие.

Объединение двух фракталов, таких как дифракционный фрактал Фраунгофера и ковёр Серпинского, может привести к созданию сложной криволинейной поверхности с уникальными свойствами.

Для анализа такой поверхности можно использовать дифференциальные уравнения второго порядка.

Дифференциальные уравнения второго порядка для криволинейных поверхностей могут быть представлены в виде:

$\nabla^2 f(x, y) = g(x, y)$ где ∇ - оператор Лапласа, $f(x, y) =$ - функция, описывающая криволинейную поверхность, и $g(x, y)$ - некоторая заданная функция.

Решая это уравнение для такой структуры получаем следующую модель.



Рисунок 1. 3D модель поверхности поля с учетом фрактальной размерности

Использование такого подхода имеет также несколько обоснований:

1. Дифракционные явления, особенно на фрактальных структурах, чрезвычайно чувствительны к микроструктурам. Это означает, что даже небольшие изменения в поверхности могут вызвать заметные изменения в дифракционной картине. При использовании лазерного или ИК-излучения это позволяет детектировать и анализировать микроструктуры поверхности с высокой точностью.

2. Инфракрасное излучение имеет способность проникать в некоторые материалы, что позволяет анализировать не только поверхностные слои, но и некоторые подповерхностные структуры. Это может быть особенно полезно для анализа почвы или растительности.

3. Лазерное излучение обладает высокой степенью монохроматичности и когерентности, что делает его идеальным для дифракционного анализа. Когда лазерное излучение отражается или проходит через фрактальную структуру, оно создает уникальную дифракционную картину, которая может быть анализирована для определения свойств этой структуры.

4. Применение дифракционного фрактала Фраунгофера с воздуха, особенно с использованием БПЛА или спутников, позволяет проводить быстрый и эффективный анализ больших территорий. Это может быть особенно полезно для мониторинга сельскохозяйственных угодий, лесов или других природных объектов.

Для анализа и исследования поверхностей разработаем модель ИИ, которая на основе представленных математических моделей будет в реальном времени и рассчитывать фрактальную размерность.

Создание такой системы требует несколько этапов и интеграцию различных компонентов. Ниже представлен примерный код для Arduino, который может служить отправной точкой для вашего проекта.

Однако следует отметить, что реализация полной системы потребует дополнительной работы и интеграции.

Мы реализуем связку для работы бпла состоящую из следующих элементов: Arduino и Raspberry Pi.

Ниже представлен программный код написанный для автономной работы БПЛА в воздухе и передаче данных в автоматическом режиме в телеграммы аккаунт фермера (в данном случае нас).

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClientSecure.h>

// Ваши данные WiFi
const char* ssid = "your_SSID";
const char* password = "your_PASSWORD";

// Токен вашего бота в Telegram
const char* botToken = "your_BOT_TOKEN";
const int chat_id = "@VanTEROR";

WiFiClientSecure client;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  WiFi.begin(ssid, password);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
    Serial.println("Connecting to WiFi...");
  }

  Serial.println("Connected to WiFi");
}

void loop() {
  String surfaceData = analyzeSurface();
  String plantData = recognizePlants();

  String message = "Surface Analysis: " + surfaceData + "\nPlant Recognition: " + plantData;
  sendTelegramMessage(message);

  delay(60000); // Отправка данных каждую минуту
}

String analyzeSurface() {
  // Здесь ваш код для анализа поверхности с помощью датчика или лидара
  return "Sample surface data";
}

String recognizePlants() {
  // Здесь ваш код для распознавания растений с помощью камеры
  return "Sample plant data";
}

void sendTelegramMessage(String message) {
  String url = "https://api.telegram.org/bot" + botToken + "/sendMessage?chat_id=" + chat_id + "&text=" + message;
```

Рисунок 2. Программный код для управления БПЛА реализованного на Arduino

Как видно из данного кода, ардуино как простейший микрокомпьютер может вполне выполнять роль автономного пилота для аналитических дронов.

Далее представим модель, которая будет анализировать поверхность с использованием веб-камеры высокого разрешения и датчиков lidar реализованную на Raspberry Pi.

```
# Настройка LiDAR
lidar = RPLidar('/dev/ttyUSB0')

# Настройка камеры
camera = cv2.VideoCapture(0)

# Настройка сокета для передачи данных на компьютер
host = 'your_computer_ip'
port = 12345
client_socket = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
client_socket.connect((host, port))

def analyze_image(frame):
  # Здесь ваш код для анализа изображения на ходу
  # Например, вы можете использовать простые методы обработки изображений для выявления критических изменений
  critical_changes = False
  return critical_changes

def send_data_to_computer(data):
  client_socket.sendall(data)

while True:
  ret, frame = camera.read()
  if not ret:
    break

  critical_changes = analyze_image(frame)
  if critical_changes:
    print("Critical changes detected!")
    # Здесь вы можете добавить дополнительные действия, например, отправить предупреждение

  # Сбор данных с LiDAR
  for scan in lidar.iter_scans():
    # Здесь ваш код для анализа данных с LiDAR

    # Упакуем данные и отправим на компьютер для детального анализа
    data = {
      'image': frame,
      'lidar': scan
    }
    send_data_to_computer(data)

camera.release()
```

Рисунок 3. Система с машинным обучением для анализа поверхности реализованная на Raspberry Pi

Для расширения системы с использованием TensorFlow или PyTorch, предположим, что у нас есть предварительно обученная модель, которая может

распознавать различные сельскохозяйственные культуры на изображениях. Эта модель может быть обучена на большом наборе данных с изображениями различных культур.

Теперь на основании этих данных представим модель машинного зрения (т.е. посмотрим глазами БПЛА на поверхность).

Она представляет собой структуру, выделяющую посеы, и другие сельскохозяйственные насаждения на поверхности земли.

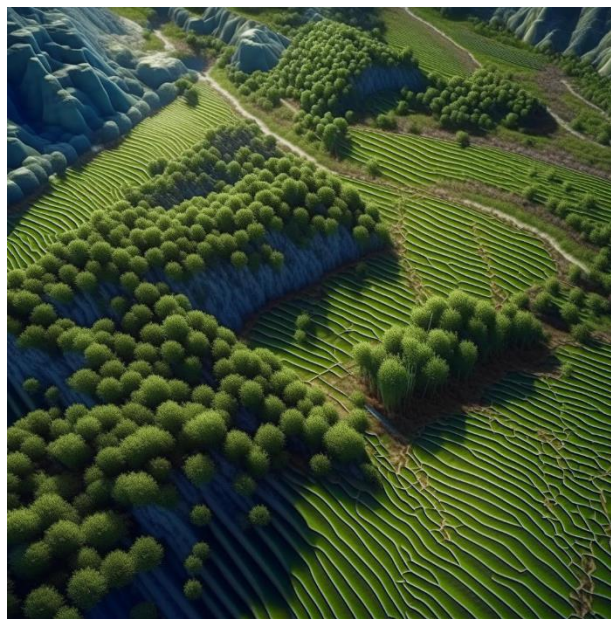


Рисунок 4. Пример анализа и выделения насаждений в условиях горных возвышенностей Кыргызской Республики.

Вывод. В решения математической модели и создания прототипа для анализа была представлена концепция создания системы для БПЛА, реализованной на базе Arduino и Raspberry Pi, с целью анализа сельскохозяйственных угодий.

Основные моменты, которые были рассмотрены:

1. Был представлен подход к анализу поверхности земли с использованием фрактального анализа, включая дифракционный фрактал Фраунгофера и масштабирование ковра Серпинского

2. Приведен код для Arduino, который может собирать данные с датчиков, анализировать их и отправлять в реальном времени на смартфон через Telegram.

3. Для более сложного анализа данных и интеграции с системами машинного обучения был предложен Raspberry Pi. Был представлен код для сбора данных с камеры и LiDAR, а также для распознавания сельскохозяйственных культур с использованием TensorFlow.

4. Обсуждалась возможность использования предварительно обученных моделей машинного обучения для распознавания различных сельскохозяйственных культур на изображениях.

5. Основное внимание уделялось возможности передачи данных в реальном времени, что позволяет оперативно реагировать на изменения и анализировать большие объемы данных на более мощном оборудовании или сервере.

В заключение, создание такой системы для БПЛА требует комплексного подхода, включая аппаратное обеспечение, программирование и машинное обучение.

Однако преимущества, такие как автоматизированный анализ сельскохозяйственных угодий и оперативное реагирование на изменения, делают этот подход перспективным для современного сельского хозяйства.

Г.А. Акылбекова, И.Л. Доненко

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ АЛҚАПТАРЫН ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТТАРЫМЕН ӨҢДЕУГЕ АРНАЛҒАН ИННОВАЦИЯЛЫҚ ФРАКТАЛДЫҚ ТӘСІЛ

Андатпа. Бұл мақалада ұшқышсыз ұшатын аппараттарды (ҰҒА) пайдалана отырып, ауылшаруашылық жерлерін өңдеудің инновациялық фракталдық тәсілі ұсынылған. Фракталды талдауды пайдалана отырып, жер бетін талдау тәсілі қарастырылады, соның ішінде Фраунгофер дифракциялық фракталы және Сьерпински кілемінің масштабтауы. Arduino үшін код сенсорлардан деректерді жинауға және оны нақты уақытта Telegram арқылы смартфонға жіберуге мүмкіндік береді. Деректерді негұрлым күрделі талдау және машиналық оқыту жүйелерімен интеграциялау үшін камера мен LiDAR-дан деректерді жинауға, сондай-ақ TensorFlow көмегімен дақылдарды тану коды бар Raspberry Pi ұсынылады. Негұрлым қуатты жабдықта немесе серверде өзгерістерге жылдам жауап беруге және деректердің үлкен көлемін талдауға мүмкіндік беретін нақты уақыт режимінде деректерді беру мүмкіндігіне назар аударылады.

Түйін сөздер: фракталдық, ұшқышсыз ұшу аппараты, жасанды интеллект, математикалық модельдеу, дифференциалдық теңдеу, ауыл шаруашылығы.

G.A. Akylbekova, I.L. Donenko

AN INNOVATIVE FRACTAL APPROACH FOR PROCESSING AGRICULTURAL LAND USING UAVS

Abstract. This paper presents an innovative fractal approach to the cultivation of agricultural land using unmanned aerial vehicles (UAVs). An approach to analyzing

the earth's surface using fractal analysis is considered, including the Fraunhofer diffraction fractal and Sierpinski carpet scaling. Code for Arduino is provided that allows you to collect data from sensors and send it in real time to a smartphone via Telegram. For more complex data analysis and integration with machine learning systems, the Raspberry Pi is proposed, with code for collecting data from a camera and LiDAR, as well as for recognizing crops using TensorFlow. The focus is on the ability to transmit data in real time, which allows you to quickly respond to changes and analyze large volumes of data on more powerful equipment or a server.

Key words: *fractal, unmanned aerial vehicle, artificial intelligence, mathematical modeling, differential equation, agriculture.*

Список использованных источников

1. Доненко, И. Л. Учет фрактальности поверхности земли для нанесения точных бомбовых ударов / И. Л. Доненко, К. Н. Алексеев // Устойчивое развитие науки и образования. – 2018. – № 10. – С. 209-211. – EDN YNRKBN.
2. Кириллов, А. А. Повесть о двух фракталах. [Электронный ресурс] // Летняя школа «Современная математика». - Электрон. журн. - 2007. - №1. - Режим доступа: <http://www.fractal.ru>.
3. Хлыстун В.В. Павел Грачёв: «Меня назначили ответственным за войну» // Труд, № 048, 15 марта 2001.
4. Доненко А.В. Математическое моделирование для решения краевой задачи эволюции фрактальных отображений световых полей / А.В. Доненко, В.А. Лукьяненко, И.Л. Доненко. Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн 2018. С. 436-442.
5. Лукьяненко В.А., Доненко А.В. Нелинейные параболические уравнения и их приложения. Симферополь: КФУ им. В.И. Вернадского, 2017.
6. Корнута А. А., Лукьяненко В. А. Функционально-дифференциальные уравнения параболического типа с оператором инволюции, Динамические системы, 37, 4, 390-409 (2019).

References

1. Donenko, I. L. Úchet fraktalnosti poverhnosti zemli dlia naneseniia tochnyh bombovyh údarov / I. L. Donenko, K. N. Alekseev // Ýstoichivoe razvitie nauky i obrazovaniia. – 2018. – № 10. – S. 209-211. – EDN YNRKBN.
2. Kirillov, A. A. Povest o dvýkh fraktalah. [Elektronnyy resýrs] // Letniiaia shkola «Sovremennaia matematika». - Elektron. jýrn. - 2007. - №1. - Rejim dostýpa: <http://www.fractal.ru>.
3. Hlystýn V.V. Pavel Grachëv: «Menia naznachili otvetstvennym za voyný» // Trýd, № 048, 15 marta 2001.
4. Donenko A.V. Matematicheskoe modelirovanie dlia resheniia kraevoi zadachi evolýtsii fraktalnyh otobrajenií svetovyh polei / A.V. Donenko, V.A. Lýkianenko, I.L. Donenko. Virtýalnoe modelirovanie, prototipirovanie i promyshlennyy dizain 2018. S. 436-442.

5. Lúkianenko V.A., Donenko A.V. Nelіneіnye parabolіcheskіe úravnennіa і іh prіloženіa. Sіmferopol: KFÝ ім. V.I. Vernadskogo, 2017.

6. Kornýta A. A., Lúkianenko V. A. Fýnksіonalno-differentsіalnye úravnennіa parabolіcheskogo tіpa s operatorom involútsіi, Dіnamіcheskіe сіstemy, 37, 4, 390-409 (2019).

Акылбекова Гулайым Акылбековна	Студент Кыргызского Авиационного Института, г. Бишкек, Кыргызстан, E-mail: gulayimakylbekova@gmail.com
Акылбекова Гулайым Акылбековна	Қырғыз авиация институтының студенті, Бішкек, Қырғызстан, E-mail: gulayimakylbekova@gmail.com
Akylbekova Gulayim Akylbekovna	Student of the Kyrgyz Aviation Institute, Bishkek, Kyrgyzstan, E- mail: gulayimakylbekova@gmail.com

Доненко Иван Леонидович	Кандидат физико-математических наук, г. Бишкек, Кыргызстан, E-mail: work@idonenko.ru
Доненко Иван Леонидович	Физика-математика ғылымдарының кандидаты, Бішкек, Қырғызстан, E-mail: work@idonenko.ru
Donenko Ivan Leonidovich	Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Bishkek, Kyrgyzstan, E-mail: work@idonenko.ru