**ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ**

**ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»**

Высшая школа бизнеса

Образовательная программа бакалавриата «Управление бизнесом»

**Изучение метаэвристического алгоритма**

**«Cuckoo Search»**

**Исполнитель:**

Бородин Алексей Владиславович

Студент группы БМБ1901

**Научный руководитель:**

Профессор департамента финансового менеджмента

Копцев Владимир Сергеевич

**Москва 2023**

# Аннотация

В последнее время оптимизационные алгоритмы стали как никогда популярны за счёт недостаточности эффективности существующих решений во многих сферах и задачах. Программные компоненты не способны просчитывать текущий объем расчётов, требуемых для решения тех или проблем. Именно поэтому особую популярность приобрели роевые алгоритмы, которые берут свое начало в природе. Их суть заключается в анализе процессов, происходящих в стаях у особей разных видов животных и последующем проецировании этих процесс в способы оптимизации более широких задач уже на математическом уровне. Данная работа посвящена изучению одного из таких алгоритмов – метаэвристического алгоритма Cuckoo Search. Он позволяет оптимизировать, в частости, облет точек в пространстве, а также способен работать эффективнее своих аналогов. Что делает его изучение ещё более актуальным.

Целью данной работы является изучение метаэвристического алгоритма Cuckoo Search, разбор его основных принципов работы, сравнение с похожими алгоритмами и выделение способов применения. Для этого будут рассмотрены видовые особенности изучаемого животного, на поведении которого базируется изучаемый алгоритм, будут ретранслированы природные явления в математическую интерпретацию, приведены формулы, выполнены эксперименты и расчёты, приведены потенциальные применения алгоритма.

**Ключевые слова:** Cuckoo search, метаэвристический алгоритм, роевые алгоритмы, Swarm Optimization, БПЛА.

Оглавление

[1. Вступление 3](#_Toc132830518)

[2. Принцип выбора изучаемого вида 3](#_Toc132830519)

[2.1. Поведение кукушки 3](#_Toc132830520)

[2.2. Вылупление птенцов 4](#_Toc132830521)

[3. Полёт Леви 4](#_Toc132830522)

[4. Правила 5](#_Toc132830523)

[5. Качество 5](#_Toc132830524)

[6. Реализация алгоритма 6](#_Toc132830525)

[6.1. Псевдокод 6](#_Toc132830526)

[6.2. Словесное описание алгоритма 7](#_Toc132830527)

[7. Формулы 7](#_Toc132830528)

[8. Реализация и численные эксперименты 8](#_Toc132830529)

[8.1. Валидация и изучение параметров 8](#_Toc132830530)

[8.2. Сравнение 10](#_Toc132830531)

[9. Применение 11](#_Toc132830532)

[10. Список литературы 12](#_Toc132830533)

# 1. Вступление

Cuckoo Search – новый метаэвристический алгоритм для решения проблем оптимизации. Он основан на выводковом паразитическом поведении некоторых видов кукушек в сочетании с летным поведением Леви некоторых птиц и плодовых мушек.

В этой работе будет представлен анализ алгоритма Cuckoo Search с подробным описанием его составляющих.

# 2. Принцип выбора изучаемого вида

## 2.1. Поведение кукушки

Кукушки известны своей агрессивной стратегией воспроизводства.

Некоторые виды кукушек откладывают яйца в общие гнезда и при этом могут выкидывать чужие яйца, чтобы увеличить вероятность вылупления собственных яиц. Довольно много видов задействуют облигатный выводковый паразитизм, откладывая яйца в гнезда других птиц-хозяев (часто других видов). Некоторые птицы-хозяева могут вступить в прямой конфликт с вторгшимися кукушками. Если хост-птица обнаруживает, что яйца ей не принадлежат, она либо выбросит эти чужие яйца или просто покинет свое гнездо и построит новое гнездо в другом месте.

Самки некоторых видов паразитических кукушек часто специально имитируют цвет и рисунки яиц некоторых избранных видов-хозяев. Это снижает вероятность их яиц быть брошенными и, таким образом, повышает их репродуктивность. Примеры:



Рисунок 1 – Имитация яиц

## 2.2. Вылупление птенцов

Кукушки-паразиты часто выбирают гнездо там, где птица-хозяин только что отложила свои яйца. В среднем, кукушкины яйца вылупляются немного раньше, чем их яйца-хозяева.

Как только первый кукушонок вылупляется, первое инстинктивное действие, которое он предпримет, — это выселить яйца. Он будет слепо выбрасывать яйца из гнезда, что увеличит долю пищи, которую получает птенец кукушки от птицы-хозяина.

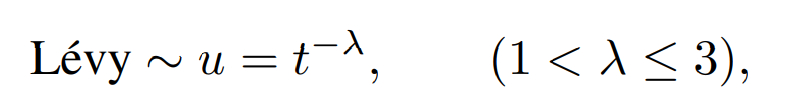
Исследования также показывают, что кукушонок может имитировать крики птенцов-хозяев, чтобы получить доступ к дополнительным возможностям кормления.

# 3. Полёт Леви

Полеты Леви — движение, состоящее из серий коротких перемещений, в промежутках между которыми совершаются длинные перемещения. Таким образом, если прочертить траекторию такого движения, то получится большая фигура, состоящая из маленьких, которые по форме напоминают большую.

Полет Леви, названный в честь французского математика Поля Леви, является случайным блужданием, в котором длины шага имеют распределение Леви. При определении как прогулка в пространстве размерностью больше единицы, шаги выполняются в изотропных случайных направлениях.

Полет Леви, по существу, обеспечивает случайное блуждание, в то время как длина случайного шага берется из распределения Леви:



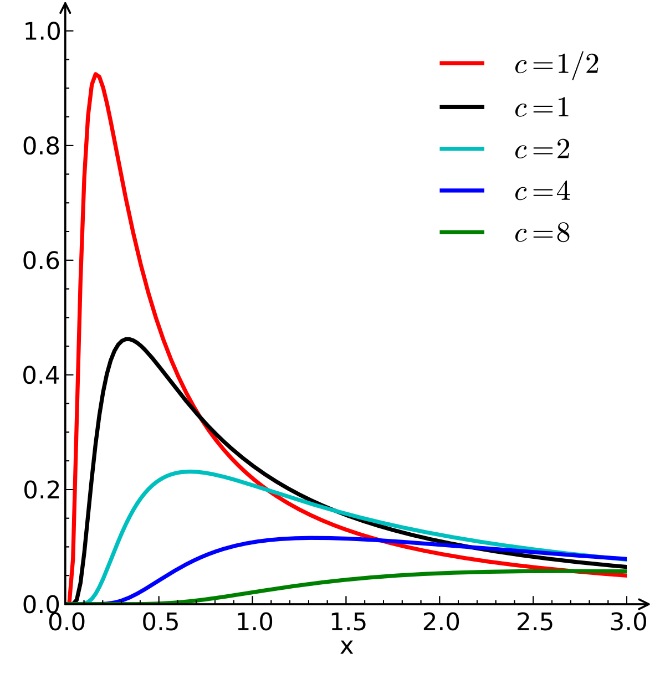


Рисунок 2 – Распределение Леви

# 4. Правила

Введем следующие три идеализированных правила:

1. Каждая кукушка откладывает по одному яйцу и сбрасывает свое яйцо в случайно выбранное гнездо;
2. Лучшие гнезда с высоким качеством яиц будут сохранены следующим поколениям;
3. Количество доступных хост-гнезд закрепляется, и снесенное кукушкой яйцо обнаруживается птицей-хозяином с вероятностью ∈ [0, 1]. В этом случае птица-хозяин может либо выбросить яйцо, либо покинуть гнездо, и построить новое. Для простоты это последнее предположение может быть аппроксимировано долей из гнезд, замененных новыми гнездами (с новыми случайными решениями).

# 5. Качество

* Для задачи максимизации качество или приспособленность решения могут быть пропорциональны значению целевой функции.
* Другие формы пригодности могут быть определены аналогично функции пригодности в генетических алгоритмах.
* Для простоты мы можем использовать представление, что каждое яйцо в гнезде представляет собой решение, а кукушкино яйцо - новое решение.
* Цель состоит в том, чтобы использовать новые и потенциально лучшие решения (кукушки) для замены не очень хорошего решения в гнездах.
* Этот алгоритм можно расширить. К более сложному случаю, когда каждое гнездо имеет несколько яиц, представляющих набор решений.
* Сейчас мы будем использовать самый простой подход, когда каждое гнездо имеет только одно яйцо.

# 6. Реализация алгоритма

## 6.1. Псевдокод

Основываясь на правилах, основные шаги Поиска Кукушки можно записать как псевдокод, показанный на рисунке.

Изображение выглядит как текст

Автоматически созданное описание

Рисунок 3 – Псевдокод

## 6.2. Словесное описание алгоритма

Изображение выглядит как стол

Автоматически созданное описание

# 7. Формулы

При генерации новых решений , скажем, для кукушки , выполняется полет Леви



где – размер шага, который должен быть связан с масштабом задачи. В большинстве случаев мы можем использовать .

Приведенное выше уравнение по существу является стохастическим уравнением случайного блуждания. В общем случае случайное блуждание – это Цепь Маркова, следующий статус/местоположение которой зависит только от текущего местоположения (первый член в приведенном выше уравнении) и вероятности перехода (второй член).

Продукт ⊕ означает поэлементные умножения. Здесь случайное блуждание по полету Леви более эффективно в исследовании пространства поиска по мере его длины.

Полет Леви, по существу, обеспечивает случайное блуждание, в то время как длина случайного шага берется из распределения Леви:

Изображение выглядит как измерительный прибор

Автоматически созданное описание

которое имеет бесконечную дисперсию с бесконечным средним значением.

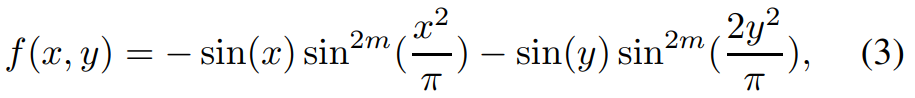
Здесь шаги образуют процесс случайного блуждания со степенным распределением длины шага.

Некоторые из новых решений должны генерироваться Леви, находиться вокруг лучших решений, полученных до этого момента – это ускорит локальный поиск.

# 8. Реализация и численные эксперименты

## 8.1. Валидация и изучение параметров

После реализации мы должны проверить алгоритм, используя тестовые функции с аналитическими или известными решениями. Например, одной из многих тестовых функций, которые можно использовать, является двумерная функция Михаэлевича:



где m = 10 и (x, y) ∈ [0, 5] × [0, 5].

Эта функция имеет глобальный минимум f∗ ≈ −1,8013 при (2,20319, 1,57049). Ландшафт этой функции выглядит как на рисунке 4.

Изображение выглядит как диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 4 – График

Этот глобальный оптимум можно легко найти с помощью Поиска Кукушки.

Результаты показаны на рисунке 5, где конечные местоположения гнезд также отмечены на рисунке знаком

Здесь было использовано гнезд, и В большинстве симуляций = от 15 до 50.

Изображение выглядит как диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 5 - Гнёзда

Из рисунка видно, что по мере приближения к оптимуму, большинство гнезд агрегируются в сторону глобального оптимума. Также заметно, что гнезда распределены по разным (локальным) оптимумам в случае мультимодальных функций. Это означает, что ПК может найти все оптимумы одновременно, если число гнезд значительно превышает число локальных оптимумов.

Это преимущество может стать более значительным при работе с многомодальными и многокритериальными задачами оптимизации.

Из моделирования было выведено, что n = 15 и = 0,25 - достаточно для большинства проблем с оптимизацией.

Результаты и анализ также подразумевают, что скорость сходимости в какой-то степени не чувствительна к используемым параметрам. Это означает, что точная настройка не нужна для решения тех или иных задач. Поэтому можно использовать фиксированные n = 15 и = 0,25 в остальных симуляциях, особенно для сравнительных исследований.

## 8.2. Сравнение

PSO – Particle Swarm Optimization, CS – Cuckoo Search.

Изображение выглядит как стол

Автоматически созданное описание

Мы видим, что CS намного эффективнее находит глобальные оптимумы с более высокими показателями успеха. Оценка каждой функции практически мгновенна на современном ПК.

Например, время вычислений для 10 000 оценок на ПК 3 ГГц - около 5 секунд. По всем тестовым функциям CS превзошел оба PSO.

Основных причин две:

1. Прекрасный баланс рандомизации и интенсификации и меньшее количество контрольных параметров. Как и для любого метаэвристического алгоритма, хороший баланс стратегии интенсивного локального поиска и эффективное исследование всего пространства поиска обычно приводит к более эффективному алгоритму.
2. С другой стороны, есть только два параметра в этом алгоритме (размер популяции n и ). Как только n зафиксировано, по существу контролирует баланс рандомизации и локального поиска. Небольшое количество параметров делают алгоритм менее сложным и, следовательно, потенциально более общим.

# 9. Применение

Использование роботов в современном мире высоко, в частности - беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В ближайшем будущем возможности и эффективность таких роботов будет развиваться.

Смоделируем возможную ситуацию. Пускай у нас существует некий летающий робот (квадрокоптер или БПЛА). Для него существует задача перелета на N различных точек для какой-либо задачи (н-р, доставка писем, либо фотографирование карты местности).

Для уменьшения затрат энергии выгодно сделать перелет на все N точек за минимально возможное время и расстояние. Для расчета введем функцию которая будет равна расстоянию, которое пролетел робот:

Изображение выглядит как диаграмма

Автоматически созданное описание

где , – это точка на карте, которую должен посетить робот, у которой есть координаты х и y.

Используя алгоритм кукушки, можно оптимизировать данную функцию, уменьшив время и дальность перелета. Алгоритм подберёт такую последовательность точек , при которой функция будет приближенна к минимуму.

# 10. Список литературы

1. Cuckoo Search [Электронный ресурс] // URL: [https://www.cs.tufts.edu/ comp/150GA/homeworks/hw3/\_reading7%20Cuckoo%20search.pdf](https://www.cs.tufts.edu/%20comp/150GA/homeworks/hw3/_reading7%20Cuckoo%20search.pdf) (режим доступа: свободный).
2. Cuckoo Search Wiki [Электронный ресурс] // URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Cuckoo_search> (режим доступа: свободный).
3. Lévy flight [Электронный ресурс] // URL: [https://wiki5.ru/wiki/ L%C3%A9vy\_flight](https://wiki5.ru/wiki/%20L%C3%A9vy_flight) (режим доступа: свободный).
4. Использование Алгоритма Кукушки [Электронный ресурс] // URL: <https://elar.rsvpu.ru/bitstream/123456789/28286/1/978-5-8295-0623-0_2019_054.pdf> (режим доступа: свободный).