

# Лекция 5 :: Алгоритмы роевой оптимизации

Ершов Н.М.

[ershovnm@gmail.com](mailto:ershovnm@gmail.com)

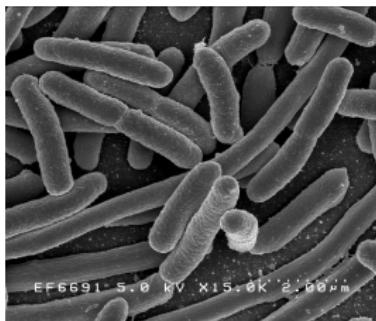
- ▶ Под *роевой оптимизацией* понимается класс алгоритмов, направленных на решение сложных оптимизационных задач (дискретная оптимизация, многомерная оптимизация и многокритериальная оптимизация), работа которых основана на моделировании коллективного поведения различных колоний живых организмов.
- ▶ Рассмотренные ранее примеры — муравьиные алгоритмы и метод роя частиц.
- ▶ В настоящей лекции нами будут рассмотрены еще два алгоритма роевой оптимизации:
  - алгоритм бактериального поиска;
  - пчелиный алгоритм.

# Алгоритм бактериального поиска

Bacterial Foraging Algorithm

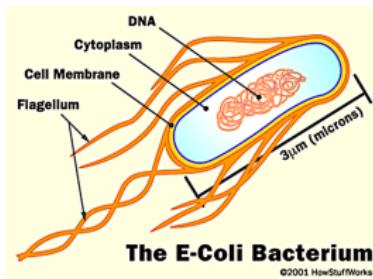
## Бактериальный поиск

- ▶ Алгоритм бактериального поиска, разработанный Кевином Пассино, основан на моделировании процесса поиска питательных веществ бактериями наиболее изученного вида *E. coli*.
- ▶ Однако, поведение бактерий этого вида свойственно и бактериям многих других видов.



## Бактерии *E. coli*

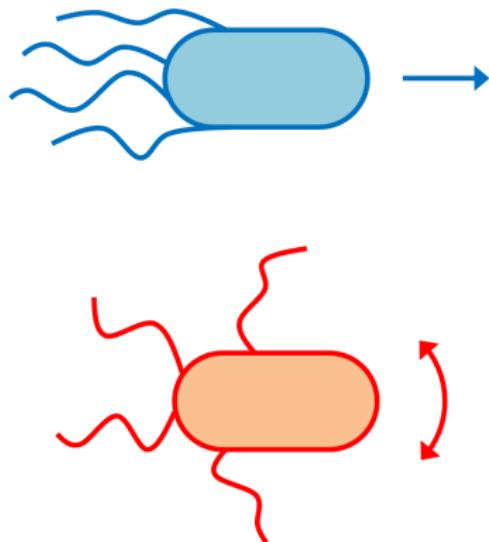
- ▶ Целью движения бактерий вида *E. coli* является поиск наиболее благоприятных условий для их существования (много пищи и отсутствие ядовитых веществ).
- ▶ Клетка каждой бактерии снабжена специальными жгутиками, которые могут вращаться в двух направлениях (по и против часовой стрелки).



## Типы движения бактерии *E. coli*

- ▶ При вращении в одну сторону, жгутики действуют согласованно, что приводит клетку в движение, которое в отсутствии помех будет равномерным и прямолинейным.
- ▶ Если же жгутики начинают вращаться в противоположную сторону, то согласованность исчезает и клетка начинает беспорядочно кувыркаться на месте, что фактически приводит к выбору нового случайного направления ее движения.
- ▶ Эффективность поиска питательных веществ бактерией определяется выбором частоты смены этих двух режимов движения.

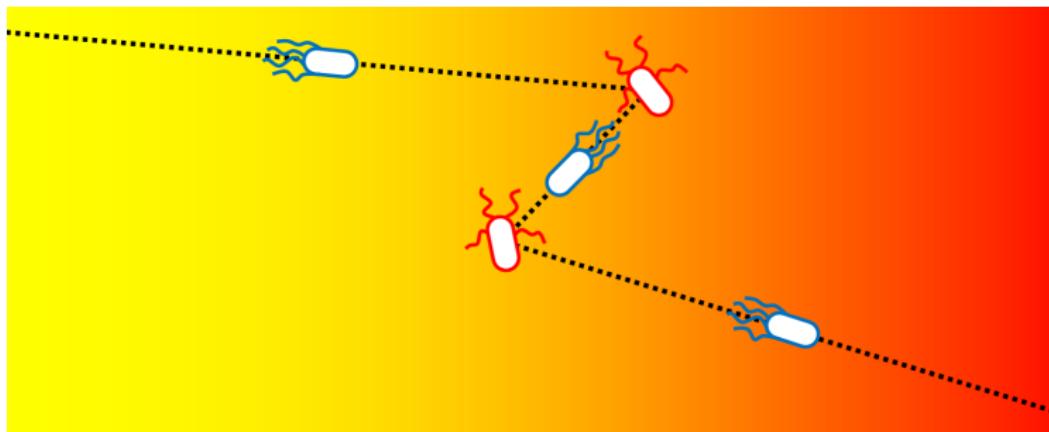
# Хемотаксис бактерий



# Хемотаксис бактерий

- ▶ Каждая клетка *E. coli* во время своего движения фактически отслеживает градиент количества питательных веществ.
- ▶ Если клетка движется в направлении градиента (количество питательных веществ постепенно возрастает), то частота кувырканий сокращается — участки прямолинейного движения становятся более длинными.
- ▶ Если же количество питательных веществ начинает снижаться (движение против градиента), то эта частота увеличивается, что приводит к частой смене направления движения, пока не будет найдено правильное направление.
- ▶ Такой способ движения в микробиологии называется *хемотаксисом*.

# Хемотаксис бактерий



# Размножение бактерий

- ▶ Особенностью колоний бактерий, которой не обладают колонии высших животных (птиц, рыб и т. п.), является то, что бактерии могут очень быстро размножаться.
- ▶ Например, бактерии *E. coli* делятся примерно раз в 12 минут, т. е. за одни сутки одна бактерия теоретически может организовать колонию, состоящую примерно из  $2^{120}$  клеток.
- ▶ Это свойство позволяет бактериям эффективно обживать области с высоким содержанием питательных веществ.

# Рассеяние бактерий

- ▶ Собственная скорость движения бактерий *E. coli* является достаточно низкой (приблизительно 0.03 миллиметра в секунду), что не позволяет бактериям самостоятельно передвигаться на большие расстояния.
- ▶ Широкое распространение бактерий в природе обеспечивается их переносом некоторыми носителями, например, водой или какими-нибудь животными.
- ▶ Явление переноса (рассеяния) бактерий также используется в алгоритме бактериального поиска.

# Алгоритм бактериального поиска

- ▶ Пусть требуется найти глобальный максимум функции  $f(x)$  (функция качества), определенной в некотором пространстве решений (например, в  $R^n$ ).
- ▶ Алгоритм, предложенный Кевином Пассино, заключается в том, что решение оптимизационной задачи ищется с помощью колонии искусственных бактерий, количество которых  $s$  поддерживается на одном и том же фиксированном уровне.
- ▶ Сам алгоритм состоит из нескольких вложенных друг в друга циклов.

## Внутренний цикл алгоритма

- ▶ Самый внутренний цикл алгоритма моделирует движение (хемотаксис) бактерий, каждая из которых выполняет несколько шагов заданной длины  $\delta$  в текущем направлении, задаваемом вектором  $e_i$  единичной длины.
- ▶ Этот цикл завершается либо, когда значение функции качества в новой точке окажется меньше текущего значения, либо после выполнения максимально допустимого числа шагов.
- ▶ После завершения цикла, каждая бактерия случайным образом выбирает новое направление движения.

## Цикл отбора и размножения

- ▶ После того, как будет выполнено заданное число циклов движения, производится отбор лучших бактерий и их деление.
- ▶ Для этого все бактерии упорядочиваются по возрастанию функции качества  $f$ , усредненной по всему времени их жизни.
- ▶ Худшая часть всех бактерий удаляется, а соответствующая часть бактерий, оставшихся в живых, делится, причем дочерние бактерии остаются в тех же точках, где располагались их родители.

## Цикл рассеяния

- ▶ После завершения нескольких итераций цикла воспроизведения выполняется перенос (рассеяние) бактерий.
- ▶ Для этого каждая бактерия с некоторой небольшой вероятностью переносится в случайную точку пространства решений.
- ▶ Этот цикл является внешним и он завершается при выполнении некоторого условия останова (достигнута максимально возможная итерация, получено решение с заданной степенью точности и т. д.).

## Роевое поведение бактерий

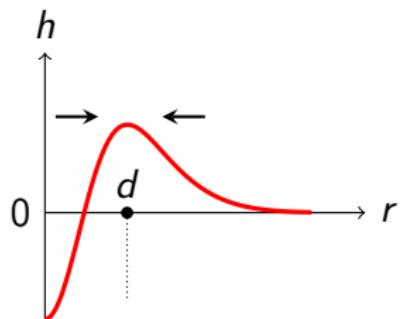
- ▶ Описанный выше базовый вариант алгоритма бактериального поиска использует только косвенную схему коммуникации между отдельными бактериями колонии, реализованную через механизм отбора лучших бактерий в текущей популяции.
- ▶ Тем не менее, имеется вариант алгоритма, в котором коммуникация осуществляется в явной форме.
- ▶ Этот вариант имеет биологическое обоснование, которое заключается в том, что каждая бактерия способна выделять специальные вещества, сигнализирующие о наличии либо питательных, либо ядовитых веществ в том месте, где она находится.
- ▶ Эта информация «читывается» другими бактериями и может повлиять на их поведение.

# Роевое поведение бактерий

- Чтобы учесть такой способ коммуникации, функция качества модифицируется добавлением специального слагаемого:

$$\tilde{f}(x) = f(x) + \mu \sum_{i=1}^s h(\|x_i - x\|),$$

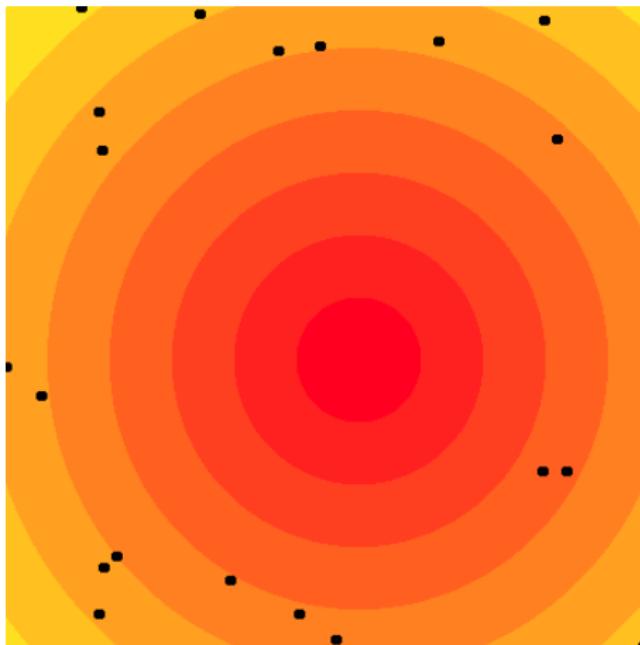
где функция  $h(r)$ , определяющая «сигнал»  $i$ -ой бактерии, дошедший от нее до точки  $x$ , имеет форму



## Роевое поведение бактерий

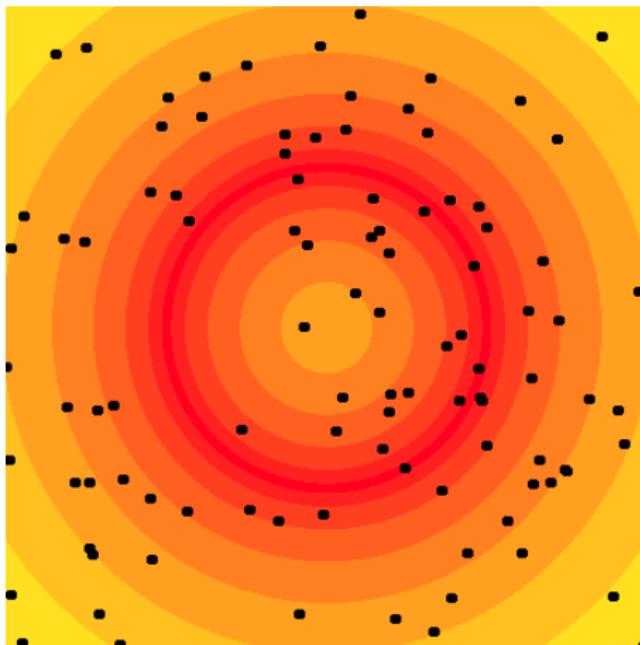
- ▶ Смысл такой динамической добавки к функции качества заключается в том, что две бактерии, оказавшиеся на расстоянии меньшем  $d$  друг от друга, испытывают взаимное отталкивание (напомним, что бактерии движутся в направлении градиента функции качества), а бактерии, расстояние между которыми больше  $d$  — небольшое притяжение.
- ▶ В результате это приводит к образованию отдельных кластеров из бактерий, каждый из которых «обжигает» свою область в пространстве решений.
- ▶ В некоторых задачах такое поведение обеспечивает более эффективный поиск глобального максимума.

# Пример 1. Сферическая функция



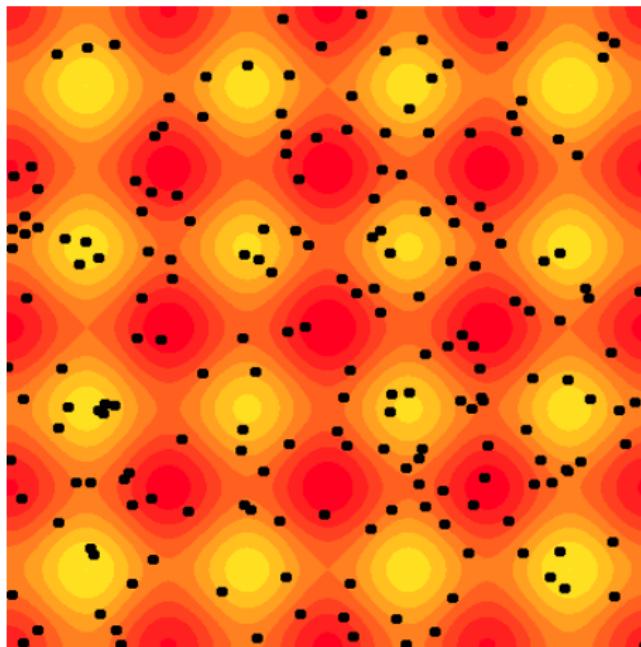
# Пример 1. Сферическая функция

## Пример 2. Распределенный экстремум



## Пример 2. Распределенный экстремум

## Пример 3. Функция Растиригина



## Пример 3. Функция Растиригина

# Алгоритм пчелиного поиска

Bees Algorithm

## Пчелиный поиск

- ▶ Алгоритм оптимизации, моделирующий процесс поиска пчелами мест с высоким содержанием нектара, разработан в 2005 году Фамом.
- ▶ Базовый вариант этого алгоритма является комбинацией алгоритмов локального и случайного поиска.



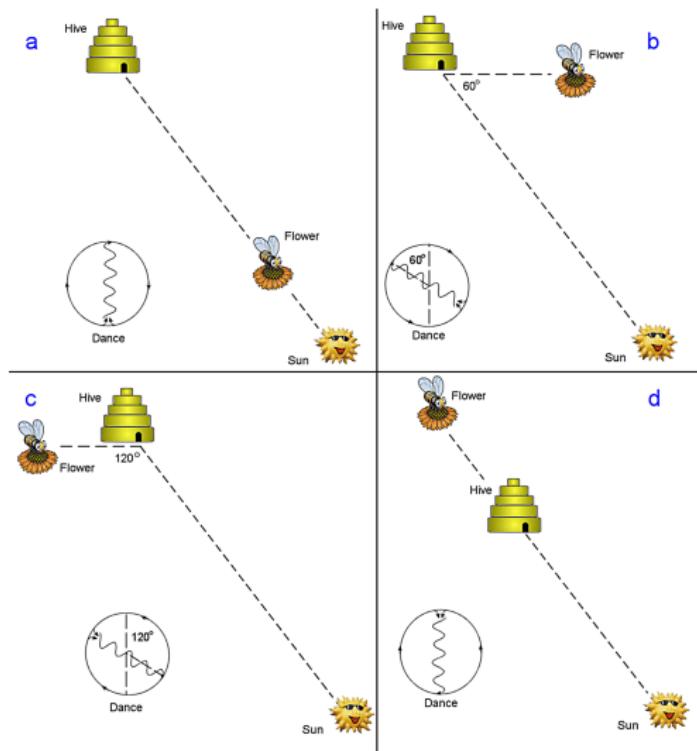
## Поведение пчел в природе

- ▶ Пчелы могут выполнять поиск пищи одновременно во многих направлениях на расстоянии более чем 10 километров от улья.
- ▶ На первом этапе небольшое количество разведчиков выполняет случайный поиск мест с высоким содержанием нектара.
- ▶ При возвращении в улей пчелы исполняют специальный «танец» (являющийся, по сути, специфической формой коммуникации между пчелами), в котором оказывается закодированной информация о расстоянии до найденного источника пищи, о направлении к этому источнику, и о качестве и количестве найденного там нектара.

# Поведение пчел в природе



# Поведение пчел в природе



## Поведение пчел в природе

- ▶ Чем ближе окажется источник и чем выше его качество, тем больше пчел последует за данным разведчиком.
- ▶ При возвращении в улей пчелы вновь исполняют свой танец, набирая новых последователей и т. д.
- ▶ Такая, в общем несложная, процедура позволяет пчелиной колонии достаточно эффективно выполнять на больших площадях поиск и сбор нектара.
- ▶ Поведение пчелиной колонии является адаптивным. В то время как другие пчелы собирают нектар, разведчики продолжают искать новые перспективные места, что позволяет вести колонии мониторинг общей ситуации — как только некоторый источник нектара начинает истощаться, пчелы перестраиваются на другие источники, которые были за это время обнаружены разведчиками.

## Параметры алгоритма

- ▶ Пусть решается стандартная задача оптимизации (максимизации) функции  $f(x)$  в пространстве решений  $R^n$ .
- ▶ Алгоритм пчелиного поиска использует для своей работы следующие числовые параметры:
  - ▶  $s$  — число пчел-разведчиков;
  - ▶  $m$  — число выбранных точек (решений) для дальнейшего исследования ( $m < s$ );
  - ▶  $e$  — число лучших (элитных) точек ( $e < m$ );
  - ▶  $s_e$  — число пчел для более полного исследования  $e$  элитных решений;
  - ▶  $s_m$  — число пчел для более полного исследования оставшихся ( $m - e$ ) выбранных решений;
  - ▶  $\delta$  — размер окрестности, в которой пчелы выполняют более тщательный поиск.

# Алгоритм пчелиного поиска

- ▶ В начале случайным образом выбирается  $s$  решений, каждое из которых представляет собой одну пчелу-разведчика.
- ▶ Лучшие  $m$  решений исследуются более тщательно (локальный поиск) — для этого в их  $\delta$ -окрестности просматривается  $r$  случайных точек ( $r = s_e$  или  $r = s_m$  в зависимости от элитности данной точки), из которых выбирается лучшая.
- ▶ Оставшиеся  $(s - m)$  решений заменяются на случайные точки из пространства решений (случайный поиск).
- ▶ Алгоритм завершается, когда оказывается выполненным некоторое условие останова (достигнута необходимая точность, исчерпано число итераций и т. п.).

# Алгоритм пчелиного поиска

BEESALGORITHM( $f, n$ )

- 1: Выбираем  $s$  случайных решений  $x_i \in R^n$
- 2: **while** Не выполнено условие останова **do**
- 3:   Упорядочиваем решения по *убыванию* функции качества
- 4:   **for**  $i \in [1 \dots m]$  **do**
- 5:      $\tilde{x} \leftarrow x_i$
- 6:     **for**  $j \in [1 \dots r]$  **do**
- 7:        $x \leftarrow$  случайное решение в  $\delta$ -окрестности точки  $x_i$
- 8:       **if**  $f(x) > f(\tilde{x})$  **then**
- 9:          $\tilde{x} \leftarrow x$
- 10:       $x_i \leftarrow \tilde{x}$
- 11:     **for**  $i \in [m + 1 \dots s]$  **do**
- 12:        $x_i \leftarrow$  случайное решение в  $R^n$
- 13: **return** Лучшее найденное решение

# Свойства алгоритма пчелиного поиска

- ▶ Отличительным свойством данного алгоритма от рассмотренных выше метода роя частиц и алгоритма бактериального поиска является то, что он одинаково применим для решения как задач с непрерывной целевой функцией, так и задач дискретной оптимизации.
- ▶ Некоторые приложения алгоритмов пчелиного поиска:
  - ▶ статистический контроль качества;
  - ▶ классификация и кластеризация объектов;
  - ▶ составление расписаний;
  - ▶ робототехника;
  - ▶ поиск оптимальных маршрутов (задача TSP);
  - ▶ интеллектуальный анализ данных и т.д.

## Библиография

1. K. M. Passino, *Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control*, IEEE Control Systems Magazine, 22, pp. 52–67, 2002.
2. D. T. Pham, A. Ghanbarzadeh, E. Koc, S. Otri, S. Rahim, M. Zaidi, *The Bees Algorithm — A Novel Tool for Complex Optimisation Problems*, Proceedings of IPROMS 2006 Conference, pp. 454–461, 2006.
3. <http://goo.gl/YN4OVI> — The Honeybee Waggle Dance – Is it a Language?
4. <http://youtu.be/-7ijl-g4jHg> — Bee Dance
5. <http://science.howstuffworks.com/zooiology/bee5.htm> — How Bees Work

# Спасибо за внимание!