



Алгоритмы и структуры данных

Лекция 11. Эвристические алгоритмы поиска.

(с) Глухих Михаил Игоревич, glukhikh@mail.ru

Эвристические алгоритмы

- ▶ Семейство «мета-алгоритмов»

Эвристические алгоритмы

- Семейство «мета-алгоритмов»
- Предназначены в первую очередь для задач оптимизации, которые точно решаются «долго» -- $O(e^n)$, $O(n!)$, ...

Эвристические алгоритмы

- Семейство «мета-алгоритмов»
- Предназначены в первую очередь для задач оптимизации, которые точно решаются «долго» -- $O(e^n)$, $O(n!)$, ...
- Обеспечивают приближённое решение за приемлемое время

Эвристические алгоритмы

- Семейство «мета-алгоритмов»
- Предназначены в первую очередь для задач оптимизации, которые точно решаются «долго» -- $O(e^n)$, $O(n!)$, ...
- Обеспечивают приближённое решение за приемлемое время
- Содержат элемент случайности

Эвристические алгоритмы

- Семейство «мета-алгоритмов»
- Предназначены в первую очередь для задач оптимизации, которые точно решаются «долго» -- $O(e^n)$, $O(n!)$, ...
- Обеспечивают приближённое решение за приемлемое время
- Содержат элемент случайности
- Часто имитируют какие-либо естественные процессы

- Близкое понятие: мягкие вычисления

Полностью случайный алгоритм

- Сгенерировать N случайных решений
- Выбрать из них лучшее
- Сказать, что это и есть «хорошее приближение»

Генетический алгоритм

- Один из видов «эвристических» алгоритмов, обеспечивающих приближённое решение задачи

Генетический алгоритм

- Один из видов «эвристических» алгоритмов, обеспечивающих приближённое решение задачи
- «Хромосома» – возможное решение (любое)

Генетический алгоритм

- Один из видов «эвристических» алгоритмов, обеспечивающих приближённое решение задачи
- «Хромосома» – возможное решение (любое)
- «Популяция» – набор хромосом = набор возможных решений

Генетический алгоритм

- Один из видов «эвристических» алгоритмов, обеспечивающих приближённое решение задачи
- «Хромосома» – возможное решение (любое)
- «Популяция» – набор хромосом = набор возможных решений
- Функция отбора: Хромосома \rightarrow Число (чем больше, тем соответствующее решение лучше)

Генетический алгоритм

- Один из видов «эвристических» алгоритмов, обеспечивающих приближённое решение задачи
- «Хромосома» – возможное решение (любое)
- «Популяция» – набор хромосом = набор возможных решений
- Функция отбора: Хромосома \rightarrow Число (чем больше, тем соответствующее решение лучше)
- Функция скрещивания: Хромосома, Хромосома \rightarrow Хромосома (формирует из двух решений одно «смешанное»)

Генетический алгоритм

- Один из видов «эвристических» алгоритмов, обеспечивающих приближённое решение задачи
- «Хромосома» – возможное решение (любое)
- «Популяция» – набор хромосом = набор возможных решений
- Функция отбора: Хромосома \rightarrow Число (чем больше, тем соответствующее решение лучше)
- Функция скрещивания: Хромосома, Хромосома \rightarrow Хромосома (формирует из двух решений одно «смешанное»)
- Функция мутации: Хромосома \rightarrow Хромосома (модифицирует решение)

Генетический алгоритм

- Один из видов «эвристических» алгоритмов, обеспечивающих приближённое решение задачи
- Алгоритм:
 - Генерируем популяцию размера N

Генетический алгоритм

- Один из видов «эвристических» алгоритмов, обеспечивающих приближённое решение задачи
- Алгоритм:
 - Генерируем популяцию размера N
 - Отбор: выкидываем из неё Nw худших (например 50%)

Генетический алгоритм

- Один из видов «эвристических» алгоритмов, обеспечивающих приближённое решение задачи
- Алгоритм:
 - Генерируем популяцию размера N
 - Отбор: выкидываем из неё Nw худших (например 50%)
 - Скрещивание: формируем из оставшихся $N-Nw$ хромосом Nw новых, применяя функцию скрещивания

Генетический алгоритм

- Один из видов «эвристических» алгоритмов, обеспечивающих приближённое решение задачи
- Алгоритм:
 - Генерируем популяцию размера N
 - Отбор: выкидываем из неё Nw худших (например 50%)
 - Скрещивание: формируем из оставшихся $N-Nw$ хромосом Nw новых, применяя функцию скрещивания
 - Мутация: Nm из полученных N хромосом (например 10%)

Генетический алгоритм

- Один из видов «эвристических» алгоритмов, обеспечивающих приближённое решение задачи
- Алгоритм:
 - Генерируем популяцию размера N
 - Отбор: выкидываем из неё Nw худших (например 50%)
 - Скрещивание: формируем из оставшихся $N-Nw$ хромосом Nw новых, применяя функцию скрещивания
 - Мутация: Nm из полученных N хромосом (например 10%)
 - Получаем популяцию следующего поколения и возвращаемся к этапу отбора

Генетический алгоритм

- Один из видов «эвристических» алгоритмов, обеспечивающих приближённое решение задачи
- Алгоритм:
 - Генерируем популяцию размера N
 - Отбор: выкидываем из неё Nw худших (например 50%)
 - Скрещивание: формируем из оставшихся $N-Nw$ хромосом Nw новых, применяя функцию скрещивания
 - Мутация: Nm из полученных N хромосом (например 10%)
 - Получаем популяцию следующего поколения и возвращаемся к этапу отбора
 - Сформировав таким образом сколько-то поколений, берём лучшее из имеющихся в популяции решений

Задача о ранце

- Есть рюкзак грузоподъёмностью L
- Есть набор из M предметов ценностью C_i и весом W_i
- Необходимо выбрать, какие из них брать:
 $\text{Sum}(W_i) \leq L, \text{Sum}(C_i) \rightarrow \text{Max}$

Задача о ранце -- варианты

- Есть рюкзак грузоподъёмностью L
- Есть набор из M предметов ценностью C_i и весом W_i
- Необходимо выбрать, какие из них брать:
 $\text{Sum}(W_i) \leq L, \text{Sum}(C_i) \rightarrow \text{Max}$
- Задача 0/1 – каждый предмет либо берётся, либо нет

0/1 задача о ранце – генетический алгоритм

- Хромосома = набор бит вида 011010001 (кладём в рюкзак 2-й, 3-й, 5-й и 9-й предметы)

0/1 задача о ранце – генетический алгоритм

➤ Хромосома = набор бит вида 011010001 (кладём в рюкзак 2-й, 3-й, 5-й и 9-й предметы)

➤ Скрещивание

011010001

101010100

RR1010R0R – все R случайны

0/1 задача о ранце – генетический алгоритм

➤ Хромосома = набор бит вида 011010001 (кладём в рюкзак 2-й, 3-й, 5-й и 9-й предметы)

➤ Скрещивание

011010001

101010100

RR1010R0R – все R случайны

➤ Мутация – случайное изменение одного или нескольких бит

0/1 задача о ранце – генетический алгоритм

- Хромосома = набор бит вида 011010001 (кладём в рюкзак 2-й, 3-й, 5-й и 9-й предметы)
- Скрещивание
011010001
101010100

RR1010R0R – все R случайны
- Мутация – случайное изменение одного или нескольких бит
- Функция отбора
 - Равна суммарной стоимости предметов, если влезли
 - Если не влезли – например, избыток веса со знаком минус

Задача коммивояжёра – генетический алгоритм

- Обойти все вершины графа по одному разу и вернуться в исходное с наименьшими затратами (путь наименьшей длины)
- Генерация популяции – случайная перестановка чисел от 0 до $N-1$

Случайная перестановка

- `Collections.shuffle(mutableList)`
- Дано: `List<T>` / `Array<T>` `inputList` размера `N` с уникальными элементами, то есть `inputList[i] != inputList[j]`
- Требуется: сформировать `outputList` того же размера, в котором элементы `inputList` переставлены так, чтобы...

Случайная перестановка

- ▶ `Collections.shuffle(mutableList)`
- ▶ Дано: `List<T> / Array<T> inputList` размера `N` с уникальными элементами, то есть `inputList[i] != inputList[j]`
- ▶ Требуется: сформировать `outputList` того же размера, в котором элементы `inputList` переставлены так, чтобы... Все $N!$ перестановок были равновероятны

Случайная перестановка – варианты решения

Случайная перестановка – варианты решения

- Много раз поменять местами случайно выбранную пару элементов

Случайная перестановка – варианты решения

- Много раз поменять местами случайно выбранную пару элементов (ПЛОХО)
- Сформировать рядом список случайных чисел $1 \dots N^3$ и отсортировать исходный в соответствии с порядком данного случайного списка

Случайная перестановка – варианты решения

- Много раз поменять местами случайно выбранную пару элементов (ПЛОХО)
- Сформировать рядом список случайных чисел $1 \dots N^3$ и отсортировать исходный в соответствии с порядком данного случайного списка (ДОРОГО)
- Перестановка на месте – для i от 0 до $N-1$ поменять местами элемент i и элемент j , где j случайное число от i до $N-1$ – [Кормен], глава 5

Задача коммивояжера – генетический алгоритм

- Обойти все вершины графа по одному разу и вернуться в исходное с наименьшими затратами (путь наименьшей длины)
- Генерация популяции – случайная перестановка чисел от 0 до $N-1$

Задача коммивояжёра – генетический алгоритм

- Обойти все вершины графа по одному разу и вернуться в исходное с наименьшими затратами (путь наименьшей длины)
- Генерация популяции – случайная перестановка чисел от 0 до $N-1$
- Мутация – перестановка местами случайной пары

Задача коммивояжера – генетический алгоритм

- Обойти все вершины графа по одному разу и вернуться в исходное с наименьшими затратами (путь наименьшей длины)
- Генерация популяции – случайная перестановка чисел от 0 до $N-1$
- Мутация – перестановка местами случайной пары
- Скрещивание -- ??? См. lesson7.genetic

Алгоритм имитации отжига

- Имитирует процесс остывания полужидкого металла с образованием кристаллической решётки
- В начале процесса (пока металл не застыл) допустимы большие отклонения
- В конце процесса допустимы только маленькие отклонения

Алгоритм имитации отжига

▶ Параметры

- ▶ $T(i)$ – зависимость температуры от номера итерации (монотонно убывает)
- ▶ $T(1) = T_{\text{start}}$
- ▶ T_{finish} (или число итераций)

Алгоритм имитации отжига

▶ Параметры

- ▶ $T(i)$ – зависимость температуры от номера итерации (монотонно убывает)
- ▶ $T(1) = T_{start}$
- ▶ T_{finish} (или число итераций)
- ▶ Функция генерации случайного решения
- ▶ Функция мутации

Алгоритм имитации отжига

- ▶ **Параметры**
 - ▶ $T(i)$ – зависимость температуры от номера итерации (монотонно убывает), $T(1) = T_{start}$, T_{finish} (или число итераций)
 - ▶ Функция генерации случайного решения
 - ▶ Функция мутации
- ▶ **Ход решения**
 - ▶ Сгенерировать случайное решение
 - ▶ В цикле: $i++$, мутация решения, сравнение с предыдущим

Алгоритм имитации отжига

► Параметры

- $T(i)$ – зависимость температуры от номера итерации (монотонно убывает), $T(1) = T_{start}$, T_{finish} (или число итераций)
- Функция генерации случайного решения
- Функция мутации

► Ход решения

- Сгенерировать случайное решение
- В цикле: $i++$, мутация решения, сравнение с предыдущим
 - Если новое решение лучше – берём его

Алгоритм имитации отжига

▶ Параметры

- ▶ $T(i)$ – зависимость температуры от номера итерации (монотонно убывает), $T(1) = T_{start}$, T_{finish} (или число итераций)
- ▶ Функция генерации случайного решения
- ▶ Функция мутации

▶ Ход решения

- ▶ Сгенерировать случайное решение
- ▶ В цикле: $i++$, мутация решения, сравнение с предыдущим
 - ▶ Если новое решение лучше – берём его
 - ▶ Если лучше старое – берём новое с вероятностью $P(dE/T)$

Алгоритм имитации отжига

▶ Параметры

- ▶ $T(i)$ – зависимость температуры от номера итерации (монотонно убывает), $T(1) = T_{start}$, T_{finish} (или число итераций)
- ▶ Функция генерации случайного решения
- ▶ Функция мутации

▶ Ход решения

- ▶ Сгенерировать случайное решение
- ▶ В цикле: $i++$, мутация решения, сравнение с предыдущим
 - ▶ Если новое решение лучше – берём его
 - ▶ Если лучше старое – берём новое с вероятностью $P(dE/T)$
 - ▶ dE = разница в оценке решений

Алгоритм имитации отжига

► Параметры

- $T(i)$ – зависимость температуры от номера итерации (монотонно убывает), $T(1) = T_{start}$, T_{finish} (или число итераций)
- Функция генерации случайного решения
- Функция мутации

► Ход решения

- Сгенерировать случайное решение
- В цикле: $i++$, мутация решения, сравнение с предыдущим
 - Если новое решение лучше – берём его
 - Если лучше старое – берём новое с вероятностью $P(dE/T)$
 - $P(0)=1$, $P(\infty)=0$, P монотонно убывает, e.g. $\exp(-x)$

Алгоритм имитации отжига

- Пример см. `lesson7.annealing` – задача коммивояжёра
- Мутация – «переворачиваем» случайно выбранную часть списка

Алгоритм колонии муравьёв

- В первую очередь ориентирован на задачи поиска сложных путей на графе
- Имитирует поведение колонии муравьёв при поиске пути к некоторой цели

Алгоритм колонии муравьёв

- В первую очередь ориентирован на задачи поиска сложных путей на графе
- Имитирует поведение колонии муравьёв при поиске пути к некоторой цели
 - Каждый муравей ищет путь по отдельности условно-случайным образом, оставляя след из «феромонов»
 - Последующие муравьи с большей вероятностью пойдут туда, где феромонов оставлено больше

Алгоритм колонии муравьёв

- Феромон
 - Размещается на рёбрах
 - Уровень – некоторое вещественное число
 - Со временем испаряется (умножается на константу <1)
 - Прошедший муравей добавляет слагаемое, обратно пропорциональное длине ребра

Алгоритм колонии муравьёв

➤ Муравей

- Вначале располагается в выбранной стартовой или в случайной вершине, в зависимости от задачи
- На каждом шаге выбирает ребро
 - Вес ребра для муравья зависит от его длины (чем она больше, тем вес меньше) и от уровня феромона на ребре (чем он больше, тем вес больше)
 - Конкретное ребро выбирается случайным образом, ребро с большим весом выбирается чаще

Задание по эвристическим алгоритмам (урок 7)

- Решить 0/1 задачу о ранце одним из трёх методов
 - Генетический алгоритм
 - Алгоритм имитации отжига
 - Алгоритм колонии муравьёв
- Или – решить задачу коммивояжёра с помощью алгоритма колонии муравьёв
- Или – решить одну из этих задач каким-либо ещё эвристическим алгоритмом (NB: полностью случайный со слайда 7 не допускается!)
- Дедлайн всех уроков: 16 декабря 23:59

Итоги

- Рассмотрели
 - Эвристические алгоритмы
 - Генетический алгоритм
 - Алгоритм имитации отжига
 - Алгоритм колонии муравьёв
- Далее
 - P versus NP