



Основи натхнених природою обчислень

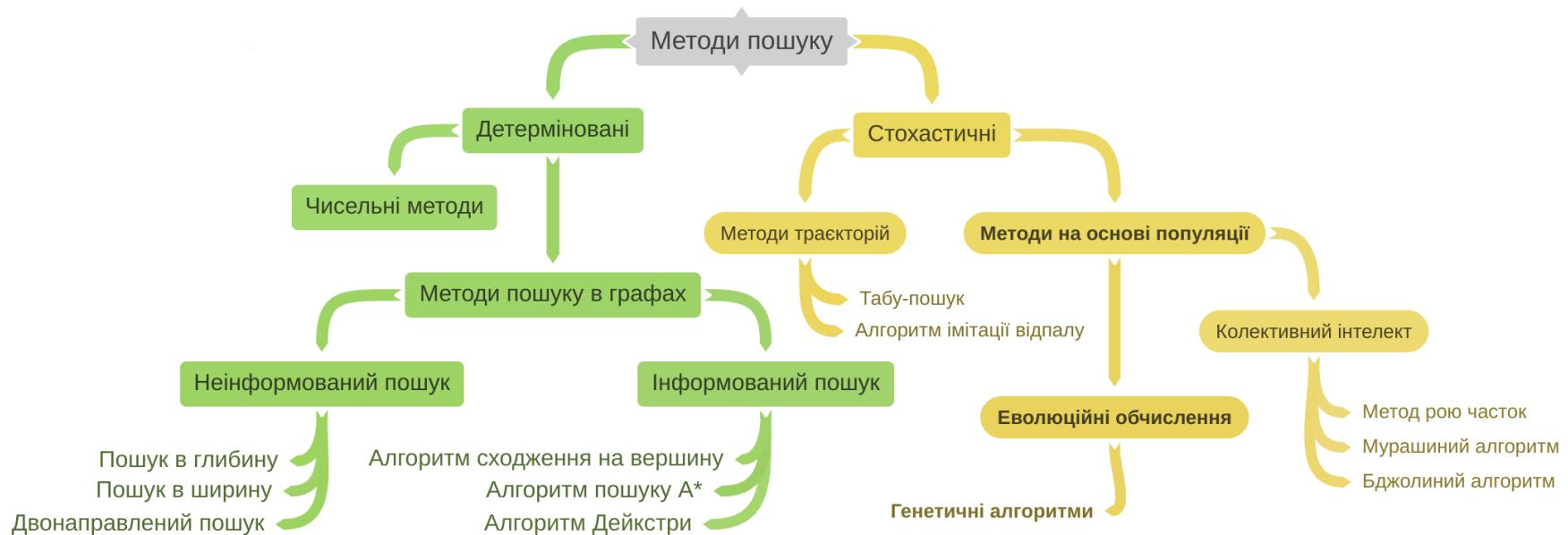
Лекція 2: Генетичні алгоритми

Кочура Юрій Петрович
iuriy.kochura@gmail.com
[@y_kochura](https://twitter.com/y_kochura)

Сьогодні

- Методи пошуку
- Генетичний алгоритм (ГА)
- Псевдокод генетичного алгоритму
- Основні поняття
- Галузі застосування ГА
- Переваги ГА

Методи пошуку



Генетичний алгоритм

Генетичний алгоритм

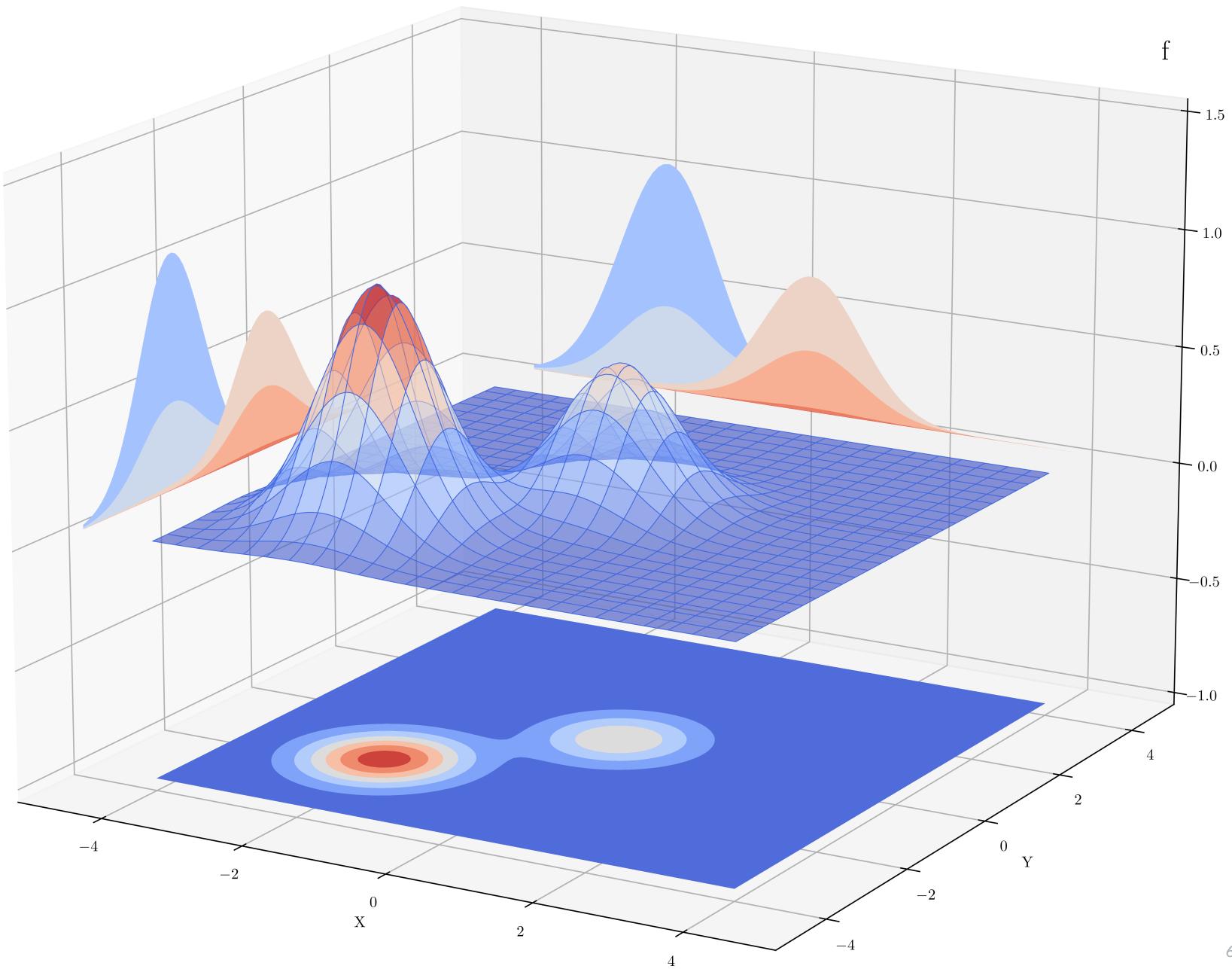
Генетичний алгоритм – це стохастичний алгоритм пошуку, який ітеративно перетворює популяцію розв'язків задачі (індивідів), що еволюціонують через механізми відбору, схрещування (відтворення) та мутації, з метою знаходження з часом нових та кращих розв'язків.

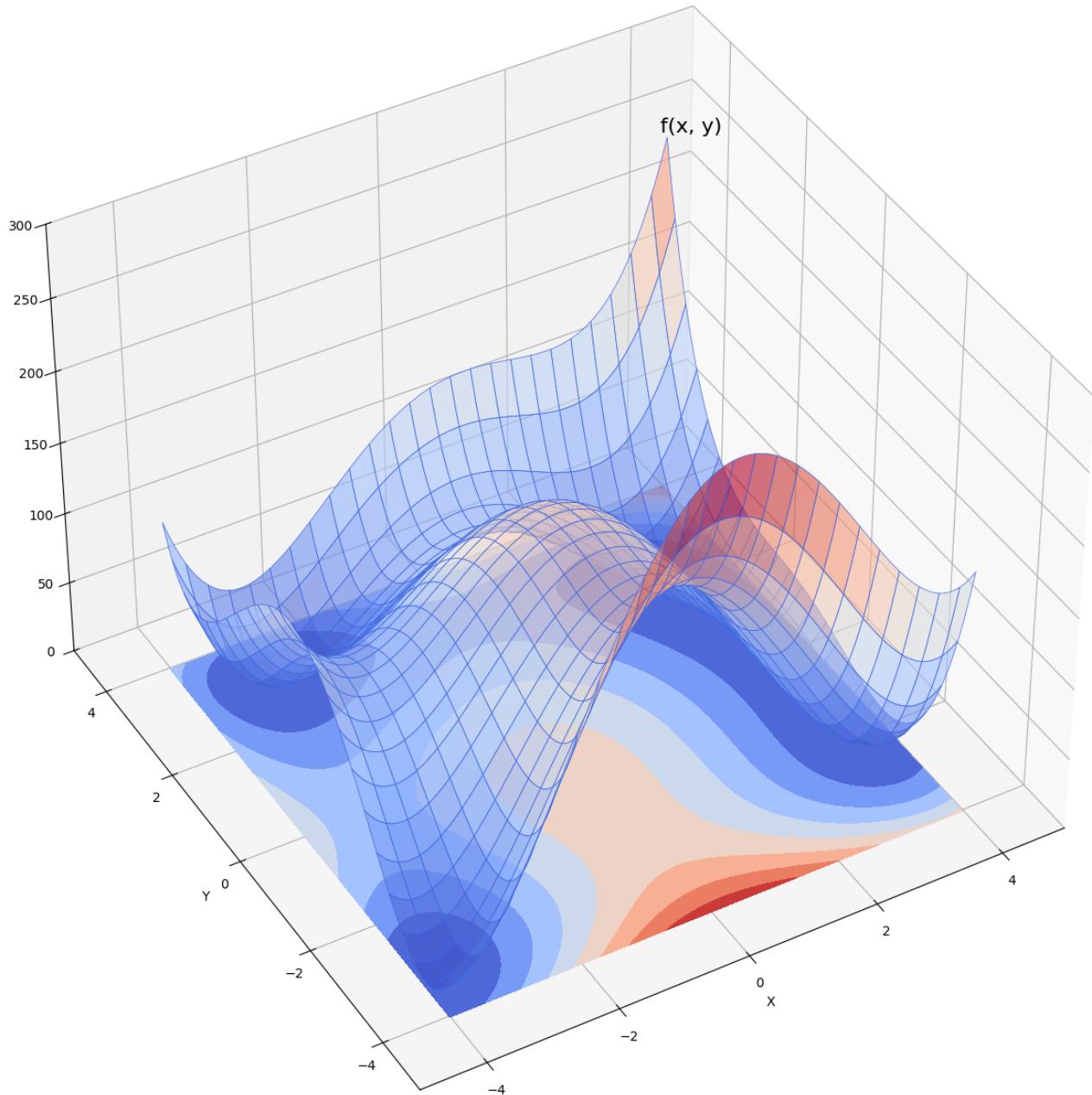
Генетичні алгоритми (ГА) зазвичай застосовуються до важко розв'язуваних задач і ефективні там, де:

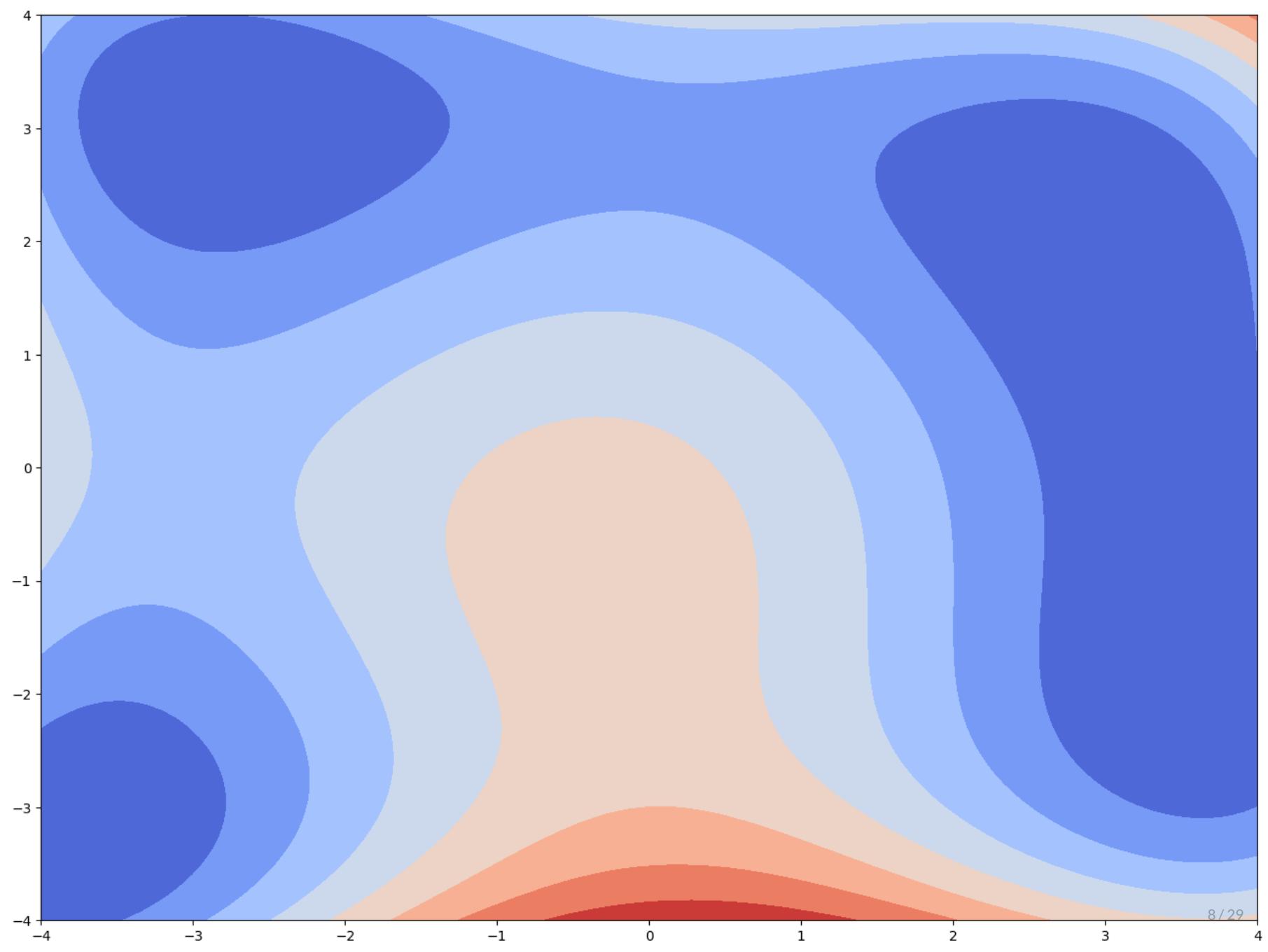
- Простір пошуку великий і складний (велика кількість змінних)
- Оптимізація складних функцій (функція має багато локальних екстремумів, відсутній явний градієнт або його обчислення є дорогим)
- Дискретні або комбінаторні задачі (немає аналітичного розв'язку)

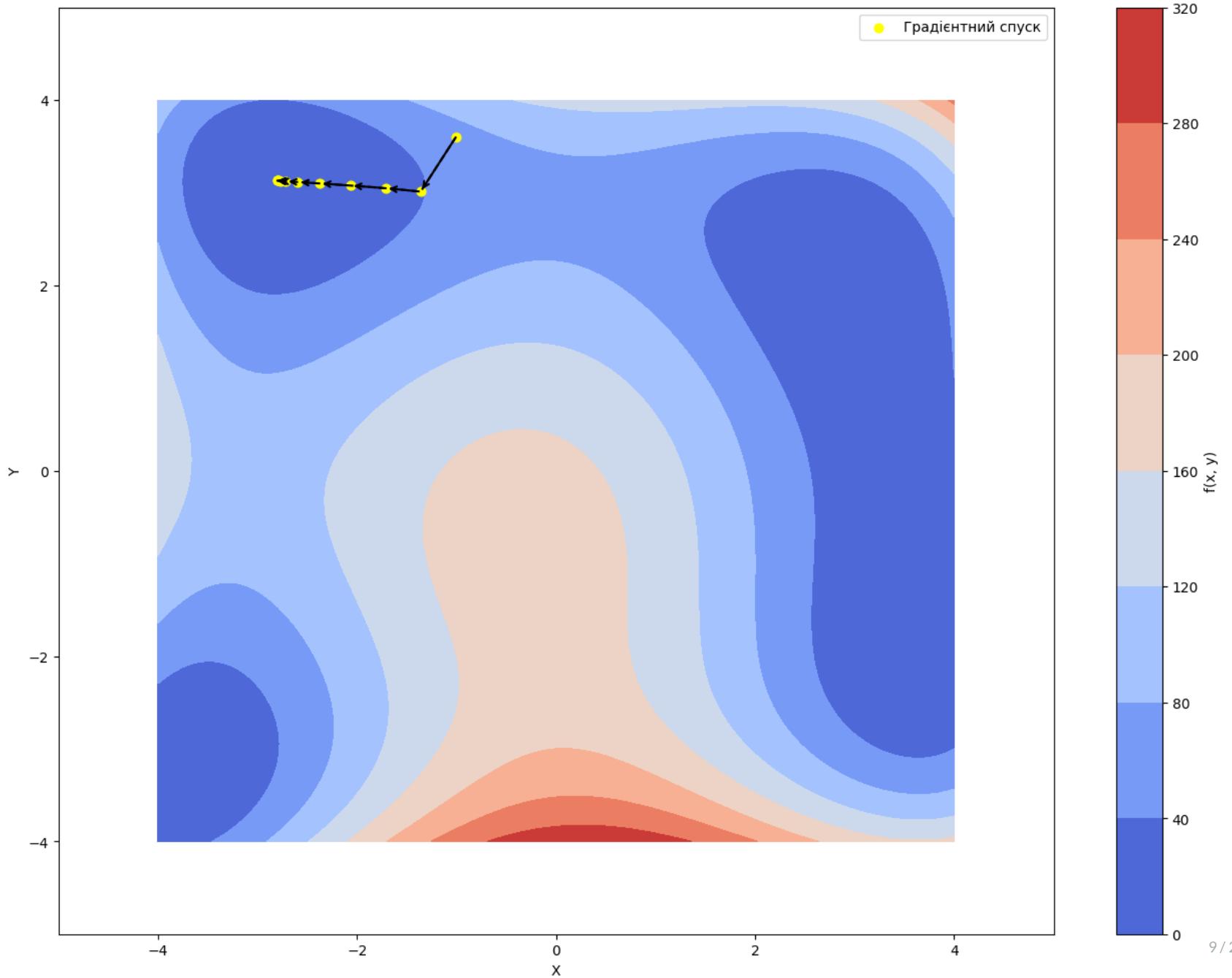
Критерій	Аналітичні методи	Генетичні алгоритми
Диференційованість	Потрібні похідні	Не потребують похідних
Нелінійні обмеження	Добре працюють із рівняннями	Гнучко працюють із рівняннями та нерівностями
Локальні екстремуми	Можуть «застрягти»	Досліджують глобальний простір
Дискретні змінні	Не підходять	Працюють добре
Високорозмірні задачі	Експоненційне зростання обчислень	Масштабуються краще

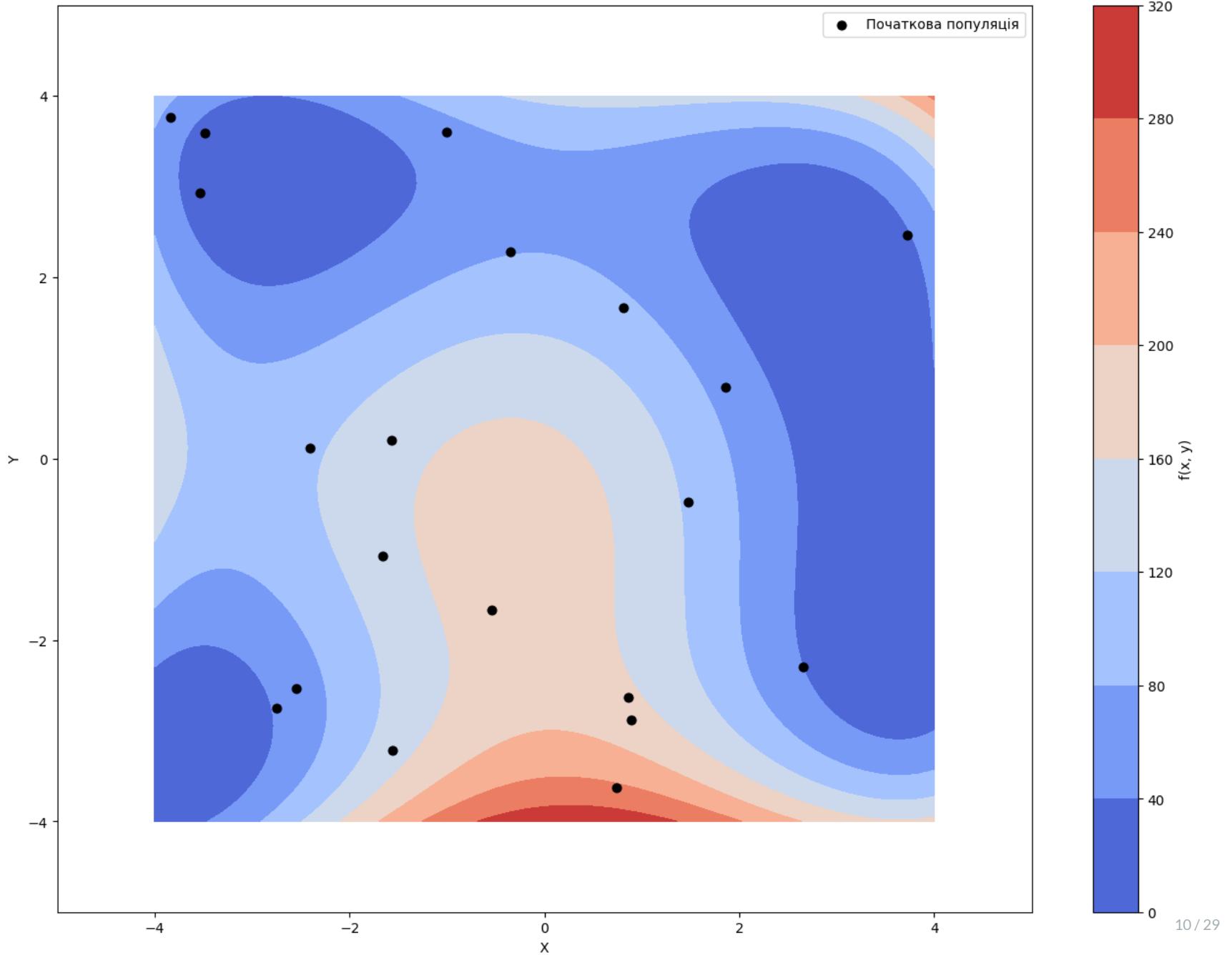
f



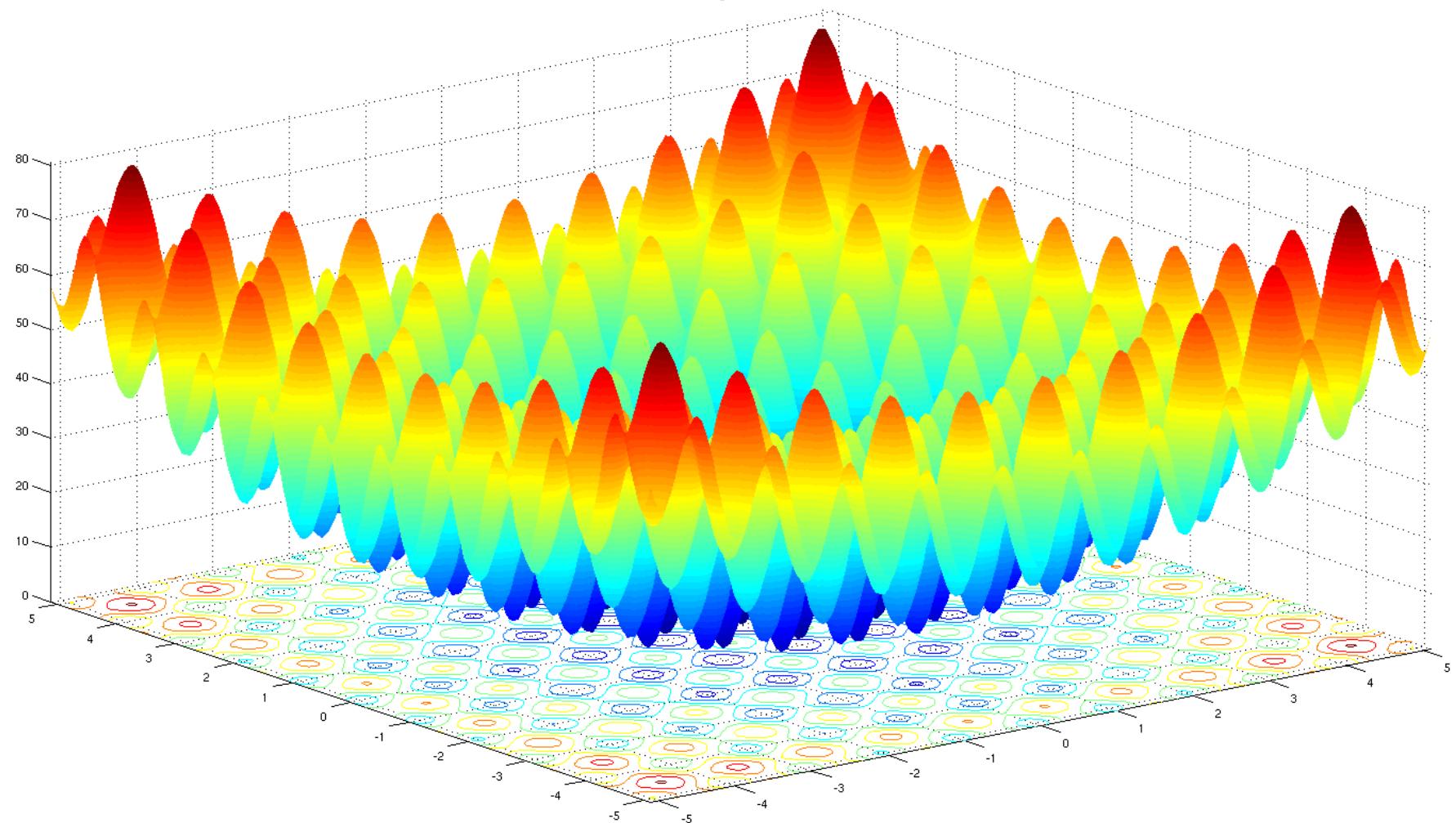








Rastrigin function



Загальна ідея

- Відбір формує генофонд для створення наступного покоління.
- Мотивація – зберегти найкращі індивіди (створюючи кілька копій) і усунути найгірші.
- Схрещування – оператор, який комбінує генетичну інформацію двох батьків для створення одного або кількох нащадків.
- Мутація – випадково змінює окремі гени з деякою ймовірністю, що забезпечує генетичну різноманітність та запобігає передчасній збіжності до локальних екстремумів.

Приклад побітової мутації: $010110 \rightarrow 010100$

Генетичний алгоритм

- Джон Голланд, професор університету Мічигану, розробив концепцію генетичних алгоритмів (ГА) у 1970-ті роки:
 - Для розуміння адаптивних процесів природних систем.
 - Для розробки програмного забезпечення штучних систем, яке зберігає стійкість природних систем.



Джон Голланд
(1929-2015)

- Оригінальна форма генетичного алгоритму, як її описав Джон Голланд у 1975 році, мала такі характерні риси: представлення у вигляді бітових рядків, пропорційний відбір та схрещування для створення нових індивідів.
- Було розроблено кілька варіацій оригінального генетичного алгоритму, що використовують різні схеми представлення, оператори відбору та відтворення.

Псевдокод генетического алгоритму

Псевдокод генетичного алгоритму

{

Ініціалізувати популяцію;
Оцінити пристосованість індивідів;

Поки не виконано критерій зупинки:

{

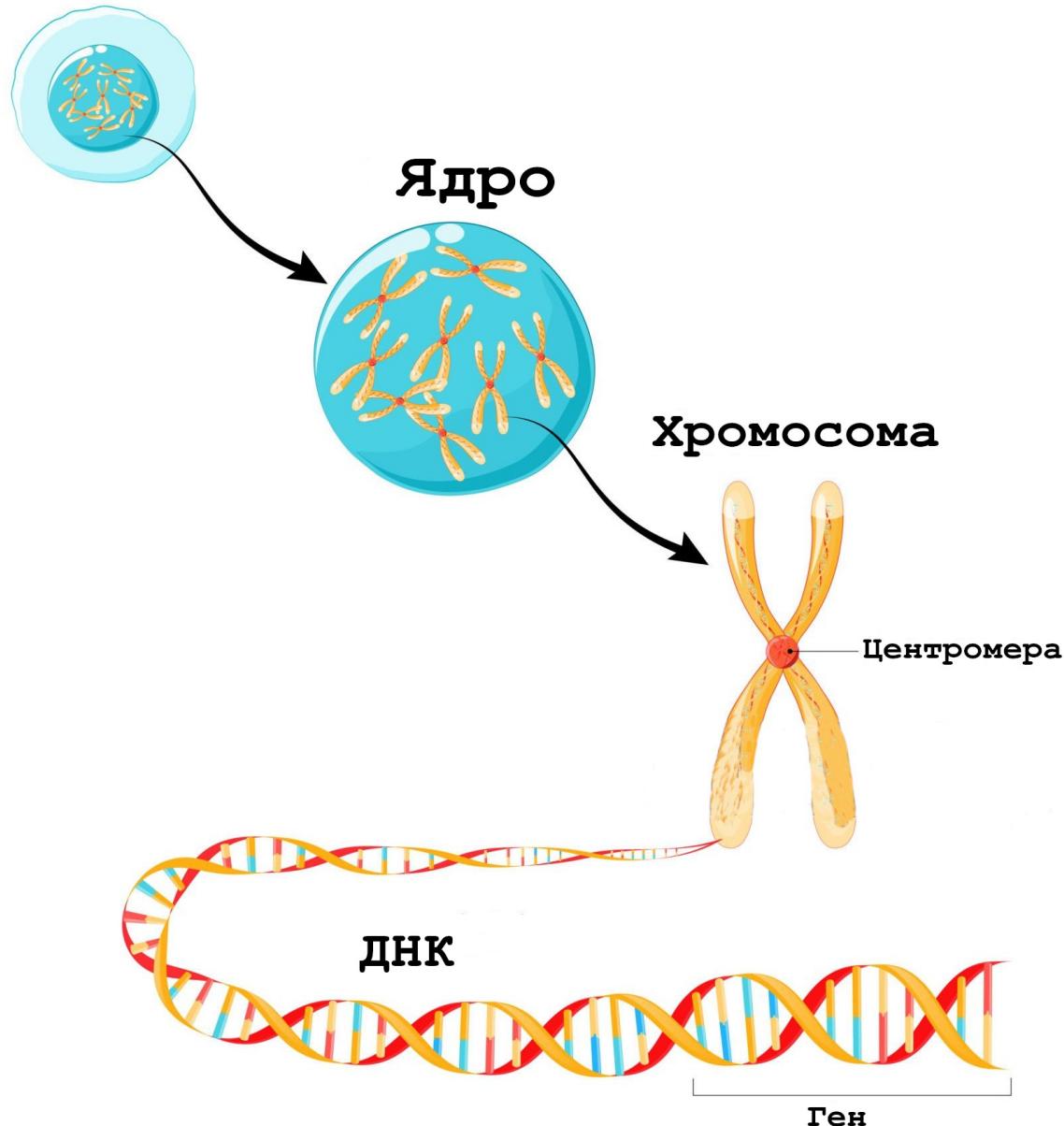
Відберіть батьків для створення нащадків;
Виконайте схрещування;
Мутація нащадків;
Оновити популяцію;
Оцініть пристосованість нових індивідів;

}

}

Основні поняття

Клітина



- Ген – це мінімальна одиниця генетичної інформації в геномі індивіда, яка відповідає за певну характеристику (trait) цього індивіда.
- Алель – це конкретне значення гена.
- Хромосома – це структура, яка містить набір генів (характеристик) і представляє генетичну інформацію одного індивіда.
- Геном – це повний набір генів (з їх алелями) для одного індивіда.

Приклад

Припустимо, що ми оптимізуємо структуру нейромережі.

- Геном (індивід): [5 шарів, 64 нейрони, ReLU]
- Ген 1 (кількість шарів): можливі алелі – {3, 5, 7}
- Ген 2 (кількість нейронів у шарі): можливі алелі – {32, 64, 128}
- Ген 3 (функція активації): можливі алелі – {ReLU, Sigmoid, Tanh}

Схрещування та мутації в ГА працюють саме на рівні алелів, змінюючи їх значення або комбінуючи між індивідами.

Кожен розв'язк кодується у вигляді хромосоми (генотипу).

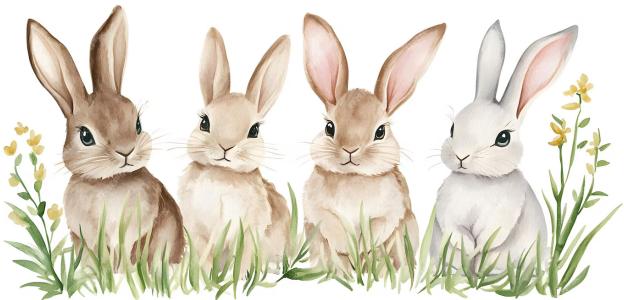
- Хромосома – це один з можливих розв'язків задачі у генетичному алгоритмі.
- Генотип – внутрішнє закодоване представлення розв'язка, яке може бути бінарним (0 або 1), числовим або символічним.
- Фенотип – реальний розв'язк задачі, отриманий після декодування генотипу.

Приклади внутрішнього закодованого представлення розв'язків:

- бітові рядки: (0101...0110)
- дійсні числа: (0.5 -3.4 ... 0.0 44.2)
- цілі числа: (-2 6 ... 0 33)
- перестановка елементів: нехай оригінальний набір елементів (A, B, C, D), тоді хромосома (2, 0, 3, 1)
- список правил: (R1, R1... R11, R12)
- елементи програми: (генетичне програмування)
- будь-яка структура даних ...

Характеристика	Генетичний алгоритм	Процеси в природі
Популяція	Набір потенційних рішень (хромосом)	Популяція організмів, що еволюціонують
Індивіди	Рішення задачі, представлені як хромосоми	Індивіди, що мають певні характеристики для виживання
Вибір	Відбір на основі фітнес-функції (якість рішення)	Природний відбір (організми, що краще адаптовані до середовища, виживають)
Схрещування	Комбінація генетичної інформації двох індивідів для створення нащадків	Репродукція, де нащадки успадковують частину генетичної інформації від батьків
Мутація	Зміни в генетичній інформації індивідів для створення різноманітності	Спонтанні зміни (мутації) в ДНК організмів
Процес еволюції	Ітеративний процес, де популяція покращується через покоління	Природна еволюція, де організми пристосовуються до змін у середовищі
Критерій зупинки	Досягнення певного рівня фітнесу або максимальна кількість поколінь	Організми адаптується до середовища, досягнення рівноваги
Стохастичність	Використовуються стохастичні оператори (відбір, схрещування, мутація)	Стохастичні процеси в природному відборі, де результат може бути випадковим
Мета	Знайти оптимальне або наближене до оптимального рішення	Покращити виживання та репродукцію організмів через еволюцію

Природна еволюція



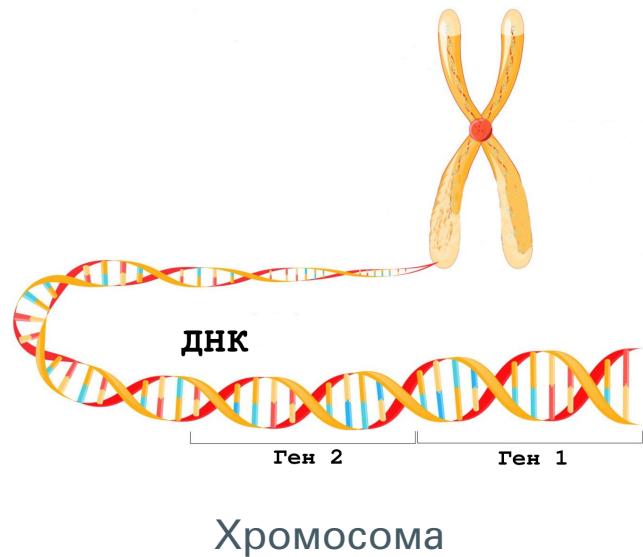
Популяція

Генетичні алгоритми

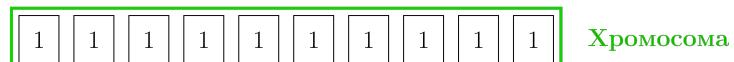
	Ген	Хромосома	Популяція
C0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0		
C1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	
C2	0 1 0 0 1 1 0 1 0 1		
C3	1 1 1 0 0 0 1 1 0 0		

Популяція

Природна еволюція

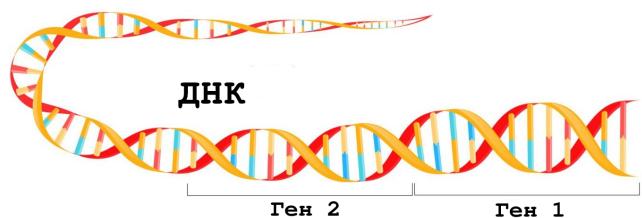


Генетичні алгоритми



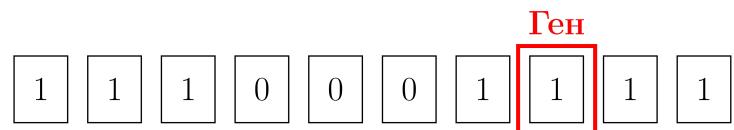
Один з можливих розв'язків

Природна еволюція



Ген

Генетичні алгоритми

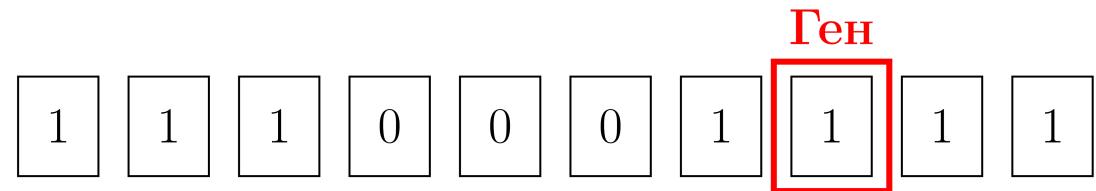


Окрема позиція у хромосомі, що
кодує певний параметр

Природна
еволюція

Генетичні алгоритми

Алель



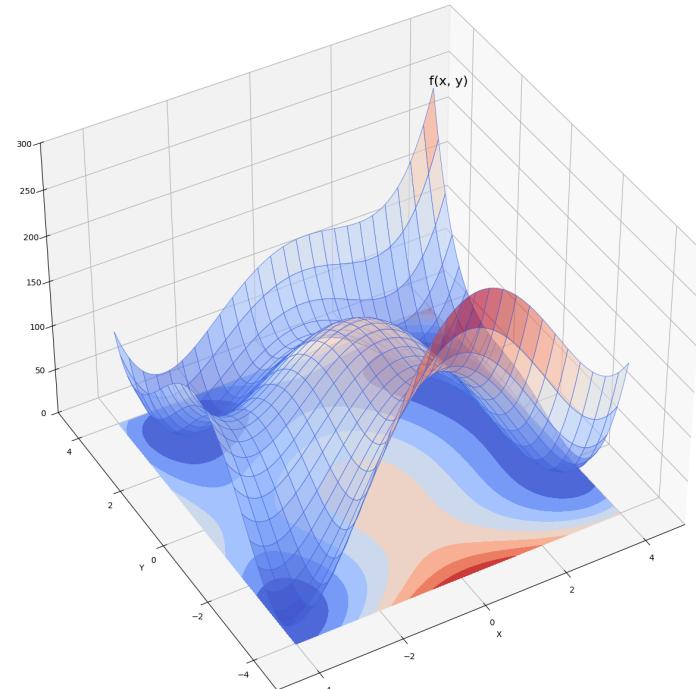
Конкретне значення, яке може приймати ген

Природна еволюція



Пристосовність

Генетичні алгоритми



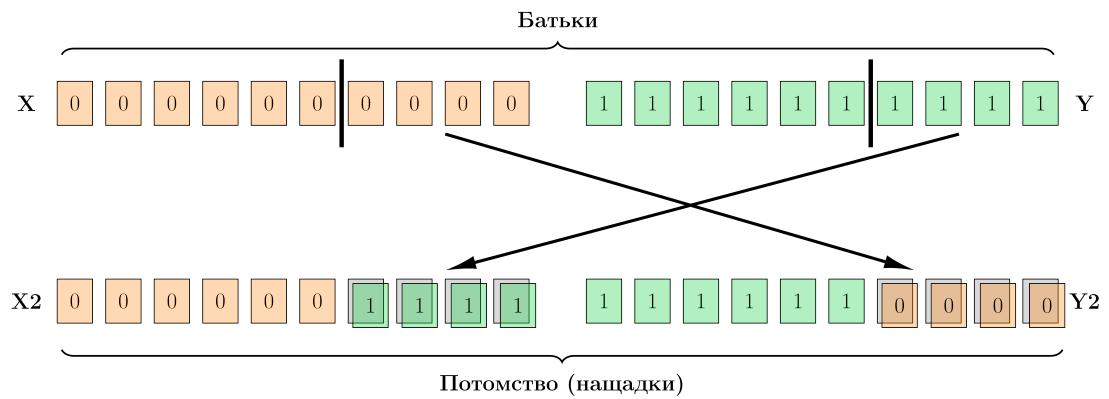
Цільова функція

Природна еволюція

Генетичні алгоритми

Схрещуванн

Я

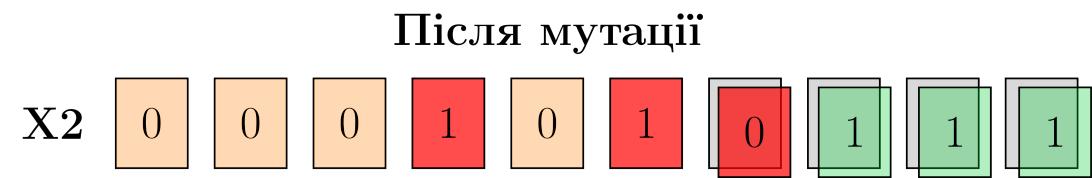
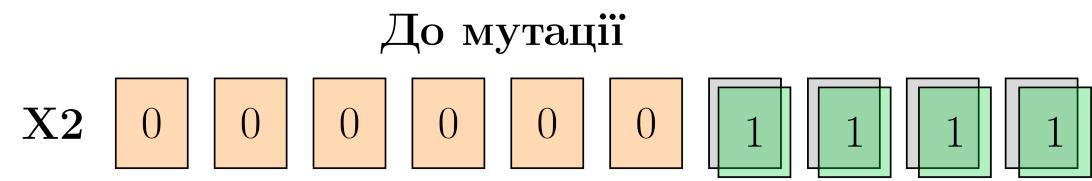


Одноточкове схрещування

Природна еволюція

Генетичні алгоритми

Мутації



Відбір

- Кращі хромосоми відбираються з популяції з метою формування батьків для наступного покоління
- Різні методи відбору можуть використовуватись для формування вибірки кращих хромосом:
 - Рулеточний відбір
 - Турнірний відбір
 - Ранжування
 - Метод Больцмана
 - Елітарний метод
 - ...

Рулеточний відбір

Кращі хромосоми мають більшу ймовірність бути обраними для формування нащадків. Ймовірність вибору хромосоми обчислюється за формулою:

$$P_i = \frac{f_i}{\sum_{j=1}^N f_j},$$

де f_i – пристосованість i -го індивіда,

N – загальна кількість індивідів у популяції.

Галузі застосування ГА

Галузі застосування ГА

Галузь	Типи застосувань
Оптимізація	Оптимізація функцій, налаштування параметрів, розклад задач
Машинне навчання	Налаштування гіперпараметрів, відбір ознак, еволюція моделей
Робототехніка	Планування траєкторій, оптимізація управління
Біоінформатика	Вирівнювання ДНК-послідовностей, передбачення згортання білків
Фінанси	Оптимізація портфеля, алгоритмічна торгівля
Розробка ігор	ШІ-супротивники, генерація рівнів, оптимізація стратегій
Інженерія	Проектування структур, схем, оптимізація технологічних процесів
Комп'ютерні мережі	Оптимізація маршрутизації, балансування навантаження, відмовостійкість
Криптографія	Генерація ключів, криptoаналіз, злам кодів
Медицина	Пошук ліків, оптимізація діагностики, планування лікування

Переваги ГА

Переваги ГА

- Концепція легка для розуміння (модульна, відокремлена від застосування)

Переваги ГА

- Концепція легка для розуміння (модульна, відокремлена від застосування)
- Підтримує багатоцільову оптимізацію

Переваги ГА

- Концепція легка для розуміння (модульна, відокремлена від застосування)
- Підтримує багатоцільову оптимізацію
- Добре працює в «зашумлених» середовищах

Переваги ГА

- Концепція легка для розуміння (модульна, відокремлена від застосування)
- Підтримує багатоцільову оптимізацію
- Добре працює в «зашумлених» середовищах
- Завжди є розв'язок, який з часом покращується

Переваги ГА

- Концепція легка для розуміння (модульна, відокремлена від застосування)
- Підтримує багатоцільову оптимізацію
- Добре працює в «зашумлених» середовищах
- Завжди є розв'язок, який з часом покращується
- Природа обчислень паралельна; легко розподілити обчислення

Переваги ГА

- Концепція легка для розуміння (модульна, відокремлена від застосування)
- Підтримує багатоцільову оптимізацію
- Добре працює в «зашумлених» середовищах
- Завжди є розв'язок, який з часом покращується
- Природа обчислень паралельна; легко розподілити обчислення
- Легко використовувати попередні або альтернативні розв'язки

Переваги ГА

- Концепція легка для розуміння (модульна, відокремлена від застосування)
- Підтримує багатоцільову оптимізацію
- Добре працює в «зашумлених» середовищах
- Завжди є розв'язок, який з часом покращується
- Природа обчислень паралельна; легко розподілити обчислення
- Легко використовувати попередні або альтернативні розв'язки
- Гнучкі будівельні блоки для гібридних застосувань

