

Algoritmi Genetici - Introducere și Context

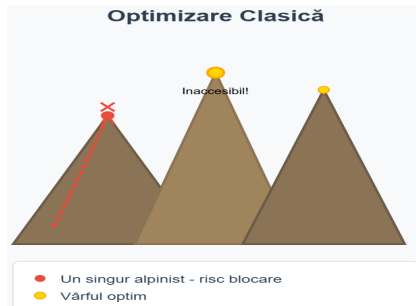
Asist. univ. dr. Mihai Tudor

Departamentul de Matematică, Universitatea din Craiova, România
Specializarea Matematică-Informatică

Analogia Alpinistului

Optimizarea Clasică:

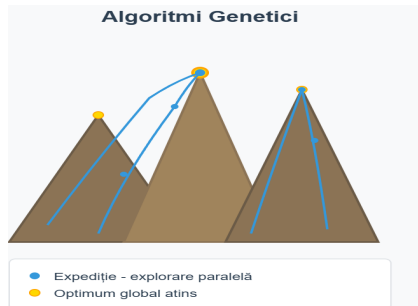
- ✓ Un singur "alpinist" urcă urmărind panta cea mai abruptă;
- ✓ Eficient pentru un singur vârf;
- ✓ Risc: rămâne blocat pe primul deal (optim local);



Analogia Alpinistului

Algoritmii Genetici:

- ✓ Un singur "alpinist" este înlocuit de o întreagă echipă;
- ✓ Explorarea se face în direcții diferite simultan;
- ✓ Împărtășesc informații și învață unul de la altul;
- ✓ Se ajunge la generații succesive din ce în ce mai "specializate" și "eficiente".



Esența algoritmilor genetici

Analogia alpinistului surprinde aspectele esențiale ale algoritmilor genetici:

- ✓ Se utilizează o "populație" de **soluții candidat** ce evoluează spre soluții din ce în ce mai bune;
- ✓ Candații la soluția problemei "explorează" simultan multiple regiuni ale **spațiului de căutare**;
- ✓ Se elimină dependența de punctul de pornire și se reduce probabilitatea de convergență prematură către un **optim local**.



Matematic...e mai concret

✓ Ce înțelegem prin **optimizare clasică**?

Considerăm funcția $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$, $f(x) = x^2 - 4x + 7$. Determinați valoarea lui x care **minimizează** această funcție.

Folosind **tehnici clasice** de analiză matematică (calculul derivatei de ordin I, tabel de variație), deducem că $x = 2$ este un **minim global**, iar valoarea minimă a funcției este $f_{min} = 3$.



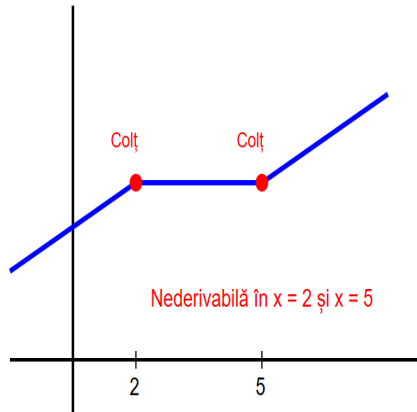
Matematic...e mai concret

Această abordare este elegantă, precisă și rapidă. Atunci de ce avem nevoie de altceva?

- ✓ **Primul obstacol:** Funcții care nu sunt derivabile.

Considerăm funcția

$f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, \quad f(x) = |x - 2| + |x - 5|$. Determinați valoarea lui x care **minimizează** această funcție.

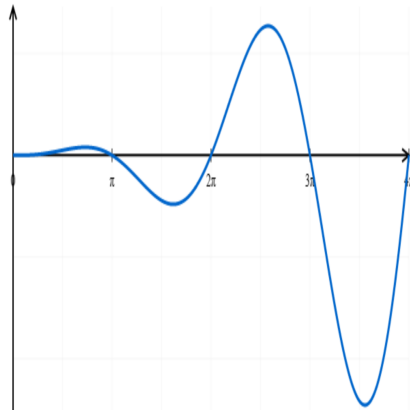


Matematic...e mai concret

- ✓ **Al doilea obstacol:** Optimizarea funcțiilor cu multiple puncte de minim local.

Considerăm funcția

$f : [0, 4\pi] \rightarrow \mathbb{R}$, $f(x) = x^2 \sin x$. Determinați valoarea lui x care **minimizează** această funcție.



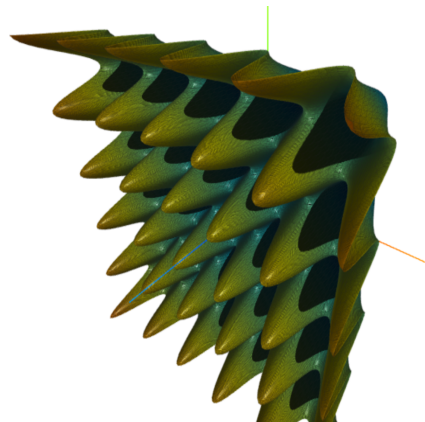
Matematic...e mai concret

- ✓ **Al treilea obstacol:** Multiple puncte de optim local

Considerăm funcția $f : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$, $f(x, y) = 20 + x^2 + y^2 - 10(\cos(2\pi x) + \cos(2\pi y))$.

Problema pentru un algoritm inspirat din optimizarea clasica

Această funcție este are aproximativ 10^n puncte minim local în dimensiuni.



Matematic...e mai concret

- ✓ **Al patrulea obstacol:** Spații de căutare discrete

Un agent de vânzări trebuie să viziteze n orașe, să treacă prin fiecare oraș exact o dată, și să se întoarcă în orașul de plecare, minimizând distanța totală parcursă. (TSP - Traveling Salesman Problem)

Pentru $n=50$ obținem aproximativ $3 \cdot 10^{62}$ rute.

Complicat matematic? -DA!

Dacă am avea un computer care poate verifica 1 miliard de rute pe secundă și am începe verificarea în momentul Big Bang-ului (acum 13.8 miliarde de ani), încă nu am termina de verificat toate rutele pentru doar 50 de orașe!



Răspunsul la aceste limitări

- ✓ **Metaheuristicile** sunt "**strategii despre strategii**" - *principii generale care ne ghidează în căutarea soluțiilor bune, fără să depindă de proprietățile matematice specifice ale problemei.*
"Meta" = deasupra, despre
"Heuristică" = o regulă practică, o strategie de rezolvare
- ✓ **Algoritmii genetici** sunt o clasă de metaheuristici inspirate din procesele evolutive naturale. Ei înlocuiesc **calculele matematice** precise cu **procese stochastice** pentru a explora spațiul soluțiilor.



Inspirația din genetică și selecția naturală

Charles Darwin (1859) - "Originea Speciilor", pune în evidență trei ingrediente esențiale pentru evoluție:

- ✓ VARIAȚIA - Diversitatea în populație
- ✓ EREDITATEA - Transmiterea trăsăturilor
- ✓ selecȚIA - Supraviețuirea celor mai adaptați

"Evoluția = Variație + Ereditate + Selecție"



Ingredientul 1 - Variația

Diversitatea ca Motor al Progresului

În natură:

- ✓ Nu există doi indivizi identici
- ✓ Diferențe în caracteristici fizice
- ✓ Baza pentru adaptarea la mediu

În algoritmi genetici:

- ✓ Populația diferă de soluții candidate
- ✓ Parametri diferiți pentru fiecare individ
- ✓ Explorarea spațiului de soluții

Fără variație → Nu există evoluție



Ingredientul 2 - Ereditatea

Transmiterea Informației

Contribuția lui Mendel (1866)::

- ✓ Trăsăturile se transmit prin unități discrete
- ✓ Trăsăturile nu se amestecă, ci se moștenesc intact
- ✓ Genele = unități de informație ereditară

În algoritmi genetici:

- ✓ Cromozomii = codificarea soluțiilor
- ✓ Recombinarea = transmiterea "genelor" bune
- ✓ Păstrarea caracteristicilor de succes



Ingredientul 3 - Selecția Naturală

Supraviețuirea Celor mai adaptați

Principiul biologic:

- ✓ Adaptarea la mediul înconjurător
- ✓ Probabilitate diferențiată de reproducere
- ✓ Creșterea proporției indivizilor "buni"

În algoritmi genetici:

- ✓ Fitness-ul = gradul de adaptare
- ✓ Soluțiile mai bune au șanse mai mari de "reproducere"
- ✓ Convergența către soluții optime



Exemplul iepurilor

Scenariul: Populație de iepuri în pădure

Exemplul iepurilor:

- ✓ Variația: Iepuri cu blana închisă/deschisă
- ✓ Presiunea selecțională: Iarna cu zăpadă
- ✓ Avantajul: Blana deschisă = camuflaj mai bun
- ✓ Rezultatul: Creșterea proporției iepurilor cu blana deschisă

Lecția: Mediul "alege" automat caracteristicile optime



Viziunea lui Holland - de la natură la computer

Biologie

- ✓ Iepuri
- ✓ Culoarea blănii
- ✓ Supraviețuirea față de prădători
- ✓ Reproducerea
- ✓ Generații

Algoritmi Genetici

- ✓ Soluții candidate
- ✓ Parametrii soluției
- ✓ Performanța funcției obiectiv
- ✓ Generarea de soluții noi
- ✓ Iterații ale algoritmului

Mesajul Cheie

În 1975, Holland publică lucrarea sa fundamentală "*Adaptation in Natural and Artificial Systems*". În această carte, el propune o întrebare provocatoare:

"Dacă natura poate să optimizeze structuri complexe prin selecția naturală, de ce nu am putea noi să imităm acest proces pentru a rezolva problemele noastre de optimizare?"

Avantajul:

- ✓ Proces robust și adaptabil
- ✓ Funcționează fără cunoașterea structurii problemei
- ✓ Model scalabil

"Evoluția nu este doar despre biologie - este despre optimizare inteligentă"



