

## Laboratorijska vježba 5

*Simulirano hlađenje*

### Opis algoritma

Simulirano hlađenje (engl. *Simulated Annealing*) je heuristički algoritam globalnog pretraživanja koji je u većini slučajeva sposoban da pronade globalni optimum ili mu se približi. Sâmo ime algoritma govori da se pokušava imitirati proces hlađenja (taljenja) metala koji je sâm po sebi proces optimizacije – stvaranje maksimalnog broja kristala i smanjenje defekata u strukturi. Oba ova parametra zavise od slobodne termodinamičke energije. Sporo hlađenje je u algoritmu implementirano kao sporo smanjenje vjerovatnoće prihvatanja lošijih rješenja tokom pretraživanja.

Pseudokod algoritma simuliranog hlađenja je dat u Algoritam 1.

---

**Algoritam 1** Pseudokod algoritma simuliranog hlađenja

---

```
1: Inicijalizacija:  $\mathbf{x} \leftarrow \mathbf{x}^0$   
                    $\mathbf{x}^* \leftarrow \mathbf{x}$   
                    $T \leftarrow T_0$   
  
2: repeat  
3:   for  $i = 1 \rightarrow K$  do  
4:      $v \leftarrow f(\mathbf{x})$   
5:      $\mathbf{x}' \leftarrow \mathbf{x} \in N(\mathbf{x})$  (random)  
6:      $v' \leftarrow f(\mathbf{x}')$   
7:     if  $v' \rho v$  then  
8:        $\mathbf{x} \leftarrow \mathbf{x}'$   
9:        $v \leftarrow v'$   
10:    else  
11:      Sa vjerovatnoćom  $p = e^{-|v-v'|/T}$  ažuriraj:  
        $\mathbf{x} \leftarrow \mathbf{x}'$   
        $v \leftarrow v'$   
12:    end if  
13:     $\mathbf{x}^* \leftarrow \text{IzborNovogRjesenja}(\mathbf{x}, \mathbf{x}^*)$   
14:  end for  
15:   $T \leftarrow \text{AzurirajTemperaturu}(T)$   
16: until  $\text{UslovZaustavljanja}()$   
17: return  $\mathbf{x}^*$ 
```

---

Uslovi zaustavljanja se najčešće uzimaju kao i kod lokalnog pretraživanja.

## Zadaci za rad na vježbi

Napomena: Izvještaj o urađenim zadacima (shodno datom templateu za pisanje izvještaja) te priloženi odgovarajući kodovi u .ipynb ili .py formatu mogu se poslati putem Coursewarea u toku sedam dana od dana održavanja vježbe. Za sve urađene zadatke tokom vježbe nije potrebno pisati izvještaj, već samo poslati odgovarajući kôd. Izrada ove vježbe donosi maksimalno 1 bod.

### Zadatak 1

Implementirati algoritam simuliranog hlađenja za traženje minimuma kriterijalne funkcije  $f$  kroz funkciju koja treba biti oblika  $SA(f, \text{opseg}, x_0, \text{delta}_x, N, \text{eps}, T_0)$ , pri čemu su:

- $\text{opseg}$  – opseg pretraživanja problemskog prostora,
- $x_0$  – početna tačka pretraživanja,
- $\text{delta}_x$  – veličina koraka diskretizacije problemskog prostora,
- $N$  – maksimalan broj iteracija,
- $\text{eps}$  – minimalna promjena po vrijednosti funkcije između dvije sukcesivne iteracije,
- $T_0$  – početna temperatura.

### Zadatak 2

Implementiranu funkciju  $SA$  testirati nad sljedećim funkcijama<sup>1</sup>:

- Paraboloid;
- Rastrigin;
- Drop-Wave;
- Holder Table.

Svaku funkciju predstaviti grafički koristeći crno-bijeli *contour plot*. Označiti globalni minimum funkcije crvenim kružićem (o), a tačku pronađenu simuliranim hlađenjem plavim križićem (x). Obavezno označiti ose, postaviti mrežu, te za naslov postaviti naziv iscertane funkcije. Podesiti opseg za svaku osu tako da prikaz bude lijepo vidljiv. Donijeti zaključke o tačnosti pronađenog rješenja.

---

<sup>1</sup>Matematička formulacija te implementacija ovih i još mnogih drugih testnih funkcija može se pronaći na <https://www.sfu.ca/~ssurjano/optimization.html>.