

# Stavový prostor a jeho prohledávání 2

## 4IZ431: Cvičení 4

Ondřej Vadinský

KIZI  
VŠE Praha

LS 2022

# Obsah

- 1 Diskuze k literatuře
- 2 Ukázka softwaru

- 3 Vzorový příklad
- 4 Další příklady

# Optimization by Simulated Annealing

## Kirkpatrick et al. (1983):

“There is a deep and useful connection between statistical mechanics (the behavior of systems with many degrees of freedom in thermal equilibrium at a finite temperature) and multivariate or combinatorial optimization (finding the minimum of a given function depending on many parameters). A detailed analogy with annealing in solids provides a framework for optimization of the properties of very large and complex systems. This connection to statistical mechanics exposes new information and provides an unfamiliar perspective on traditional optimization problems and methods.”



# Simulated Annealing: Introduction

Kirkpatrick et al. (1983):

- Combinatorial Optimization:
  - cost (objective) function,
  - heuristic strategies,
  - worst-case analysis.
- Statistical Mechanics:
  - finding ground state by annealing,
  - Metropolis algorithm,
  - specific heat.

# Simulated Annealing: Applications

Kirkpatrick et al. (1983):

- Physical Design of Computers
  - Placement
  - Wiring
- Traveling Salesmen:
  - randomly distributed cities,
  - clustered cities.

# Simulated Annealing: Conclusion

Kirkpatrick et al. (1983):

- Simulated Annealing:
  - description of a configuration of the system,
  - random generator of rearrangements,
  - quantitative objective function,
  - annealing schedule.
- The role of temperature in simulated annealing.
- Average behavior analysis.

# Otázky pro řízenou diskuzi

- ❶ V čem spočívá převratnost článku?
- ❷ Jaké teze článek předkládá a jak pro ně argumentuje?
- ❸ Které myšlenky či techniky představené v článku jsou dodnes aktuální?
- ❹ Které myšlenky či techniky představené v článku jsou dnes již překonané a čím?
- ❺ Jak se do dneška proměnila terminologie popisující myšlenky představené v článku?
- ❻ Jak byste vysvětlili pojem „specific heat“?
- ❼ Jak byste vysvětlili pojem „iterative improvement strategy“?
- ❽ Jak byste vysvětlili pojem „simulated annealing“?

# AI Space Demos: Graph Searching

Mackworth et al: [AI Space demos – Graph Searching](#)  
(Delivery Robot – cyclic):

- Porovnejte algoritmy *best first*, *heuristické prohledávání do hloubky*,  $A^*$  a *metodu větví a mezí* dle kritérií: délka a cena cesty, počet navštívených uzlů, nalezení (optimálního) řešení.
- Kromě *výchozího nastavení* vyzkoušejte také variantu, kdy doplníte drahou cestu mezi *c1* a *o123*.
- Jak si vedou heuristické algoritmy v porovnání se slepým prohledáváním?
- Jak by se proměnily hodnoty  $h(n)$ , pokud bude cílem uzel *o125*?
- Navrhněte alternativní heuristickou funkci.



# Lišák

Počáteční stav hlavolamu je nakreslen vpravo. Pro všechny uzly stavového prostoru (obr. 1.13 na str. 21 ve skriptech) spočítejte hodnoty heuristik  $H_1$  a  $H_2$ :

- $H_1$ : počet chybně umístěných číslic,
- $H_2$ : součet Manhattan vzdáleností číslic od jejich cílových pozic.

Poté simulujte průchod globálního a lokálního gradientního prohledávání podle obou heuristik.

2	8	3
1	6	4
7	x	5

# Další příklady k procvičení

- 1 **Hanojské věže:** Navrhněte vhodnou heuristiku a simulujte práci gradientního algoritmu. V čem se bude postup lišit od uspořádaného prohledávání (best first)?

# Zdroje I

- KIRKPATRICK, S. – GELATT, C. D. – VECCHI, M. P. Optimization by Simulated Annealing. *Science*. 1983, vol. 220, no. 4598, s. 671 – 680. doi: 10.1126/science.220.4598.671.
- RUSSELL, S. J. – NORVIG, P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Solving Problems by Searching, 3.5 – 3.6, s. 92 – 107. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 3. vyd., 2010a.
- RUSSELL, S. J. – NORVIG, P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Beyond Classical Search, 4.1, s. 120 – 129. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 3. vyd., 2010b.