OSNOVE UMETNE INTELIGENCE

2021/22

grafi AND/OR

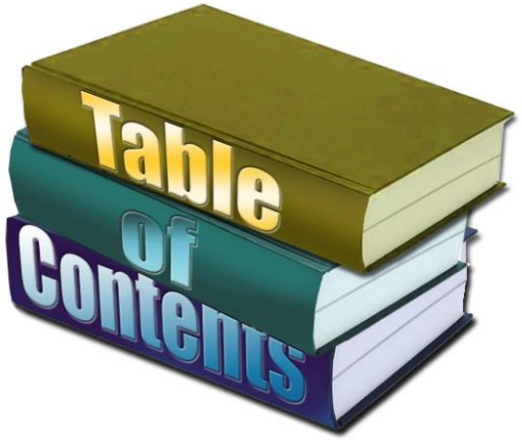
*algoritem AO**

igranje iger

Pridobljeno znanje s prejšnjih predavanj

- **lokalni preiskovalni algoritmi**
  - **iterativno** ocenjujejo in spreminjajo **aktualno množico stanj**, koristni, kadar nas ne zanima pot do cilja, majhna poraba prostora
  - **algoritmi**:
    - **plezanje na hrib**: generiranje sosedov in premikanje v smeri najboljše izboljšave
    - **simulirano ohlajanje**: verjetnost izbire slabšega stanja se niža s temperaturo, način pobega iz lokalnega optimuma
    - **lokalno iskanje v snopu**: hranimo več stanj namesto enega, izbiramo najboljše sosede iz cele množice stanj
  - **izogibanje lokalnim optimumom**: koraki vstran, stohastično plezanje, naključni ponovni zagon

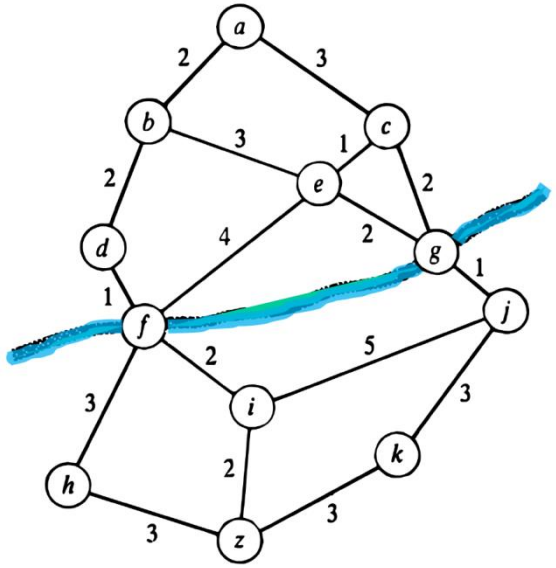
Pregled

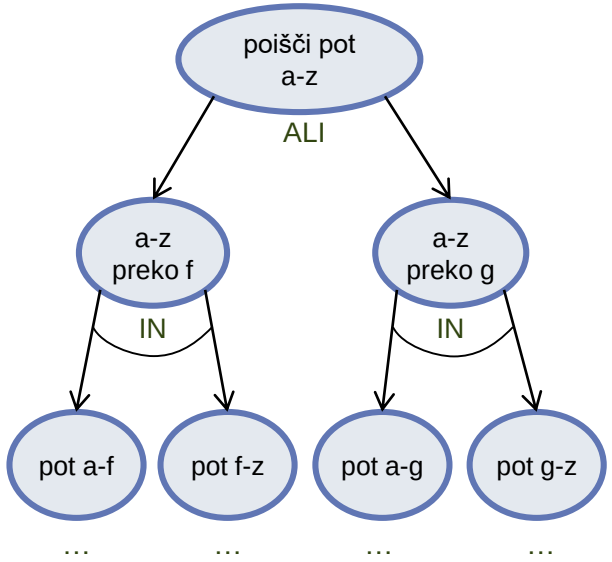


- preiskovanje
  - neinformirani preiskovalni algoritmi
  - informirani preiskovalni algoritmi
  - lokalni preiskovalni algoritmi in optimizacijski problemi
  - **preiskovanje grafov AND/OR**
    - predstavitev problemov z grafi AND/OR
    - algoritem AO*
    - preiskovanje v nedeterminističnem okolju
  - **preiskovanje brez informacije o stanju**
  - **igranje iger**
    - algoritem MINIMAX
    - rezanje alfa-beta

Grafi AND/OR

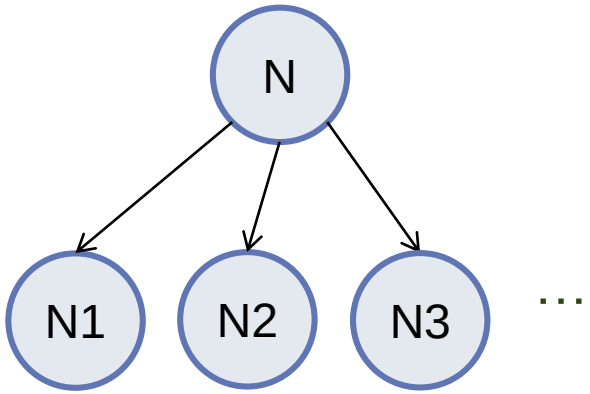
- pomagajo reševati probleme z dekompozicijo na manjše probleme
- uporabnost:
  - poenostavitev reševanja, princip *deli in vladaj*
  - iskanje rešitev v nedeterminističnih okoljih
  - igre med dvema nasprotnikoma s popolno informacijo (šah, dama)
  - ekspertno reševanje problemov
- primer:
  - zemljevid z reko, mosta v vozliščih f in g
  - dekompozicija v manjša problema: poišči pot $a - z$ preko f ALI pot $a - z$ preko g



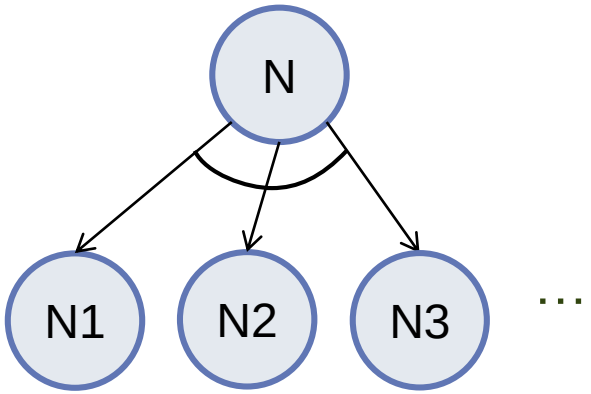


Grafi AND/OR

- vozlišča dveh tipov
  - **vozlišče OR**: za rešitev vozlišča N reši N1 **ali** N2 **ali** N3 **ali** …
  - **vozlišče AND**: za rešitev vozlišča N reši N1 **in** N2 **in** N3 **in** …



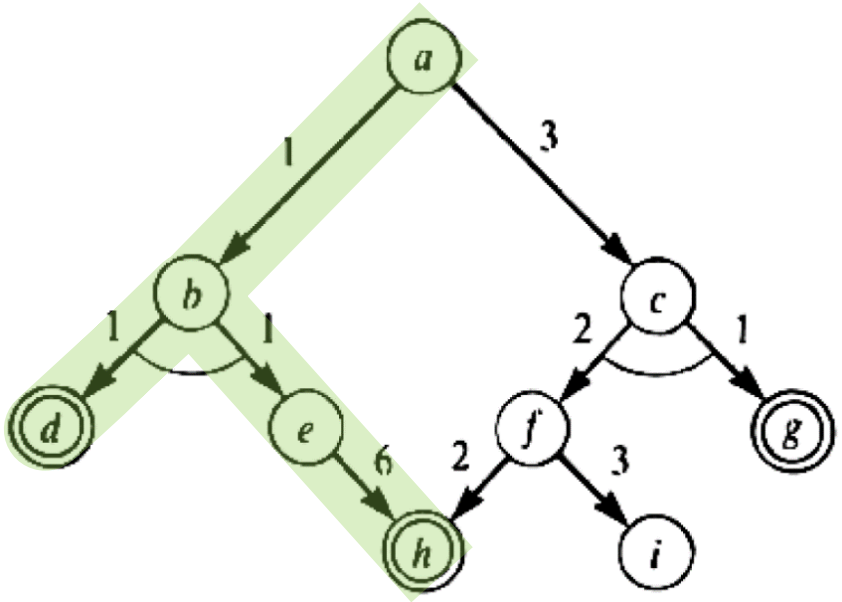
vozlišče tipa OR
(disjunkcija)



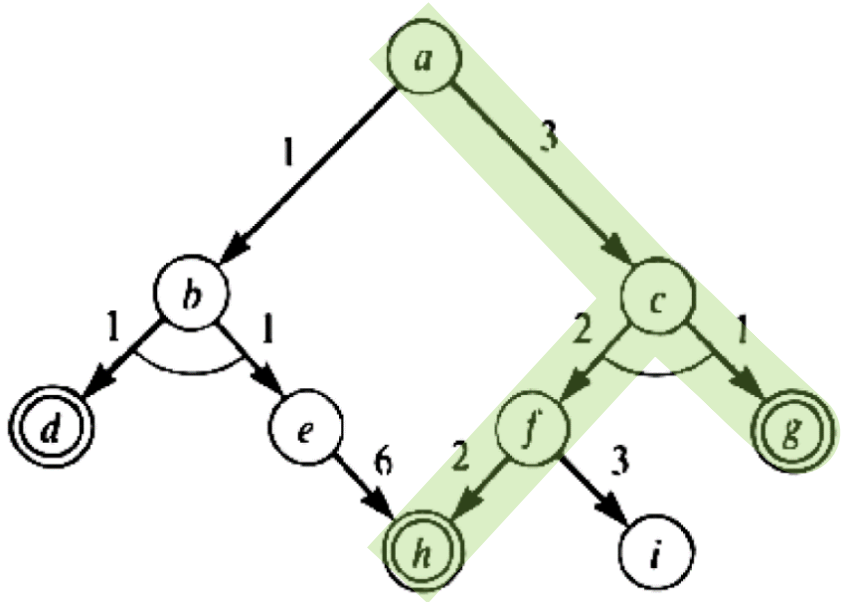
vozlišče tipa AND (konjunkcija)

Rešitev grafa AND/OR

- **problem** je predstavljen z začetnim vozliščem, grafom, cilji
- **rešitve** problema so cela drevesa
- **cena rešitve** – vsota cen povezav v **rešitvenem drevesu**
- graf ima lahko različne rešitve z različnimi **cenami**



cena = 9

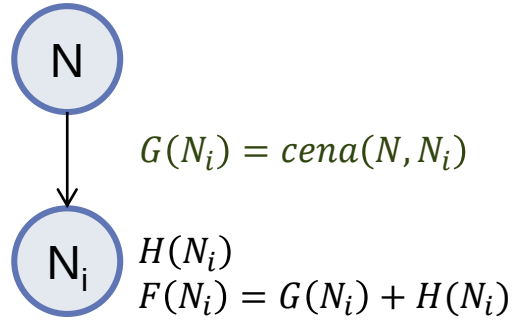


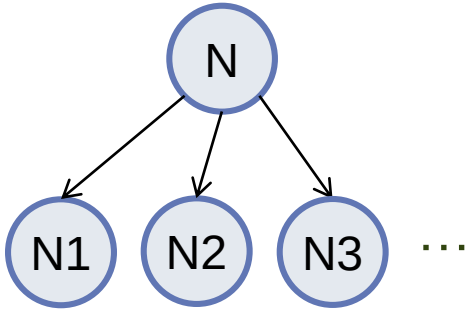
cena = 8

Preiskovanje grafa AND/OR

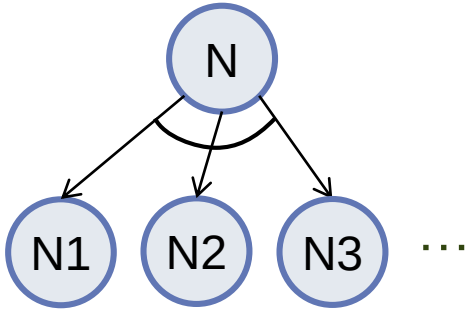
- informirana metoda – **algoritem AO***
  - posplošitev A* na grafe AND/OR
  - tudi za AO* velja, da je **popoln in optimalen**, če hevristika nikoli ne precenjuje dejanske cene do cilja

- **definirajmo**:
  - vsako vozlišče N ima:
    - lokalno (dinamično) **hevristično oceno** $H(N)$
    - lokalno (dinamično) vrednost **kriterijske funkcije** $F(N)$:
      $F(N_i) = G(N_i) + H(N_i) = cena(N, N_i) + H(N_i)$
  - dinamična hevristična ocena $H(N)$ je **odvisna od tipa vozlišča**:
    - za **liste**:
      - $H(N) = h(N)$
      - $F(N) = G(N) + H(N) = cena(starš, N) + h(N)$
    - za **notranja vozlišča**: izračun $H(N)$ glede na vrsto vozlišča



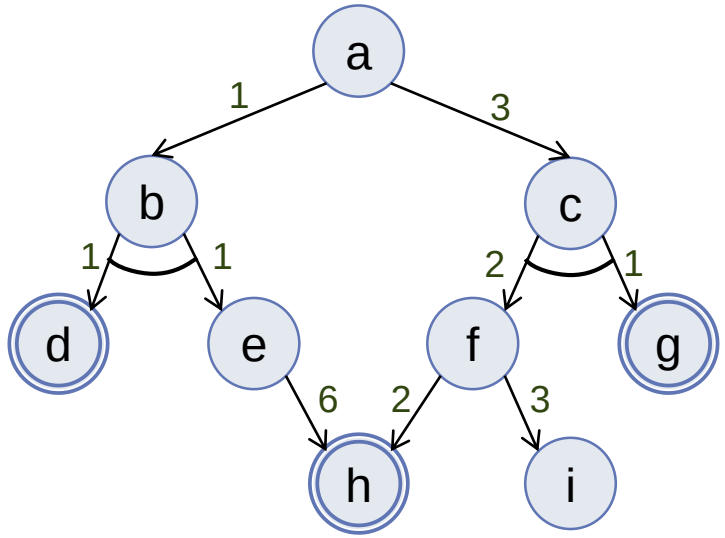


$$H(N) = \min_i(cena(N, N_i) + H(N_i))$$

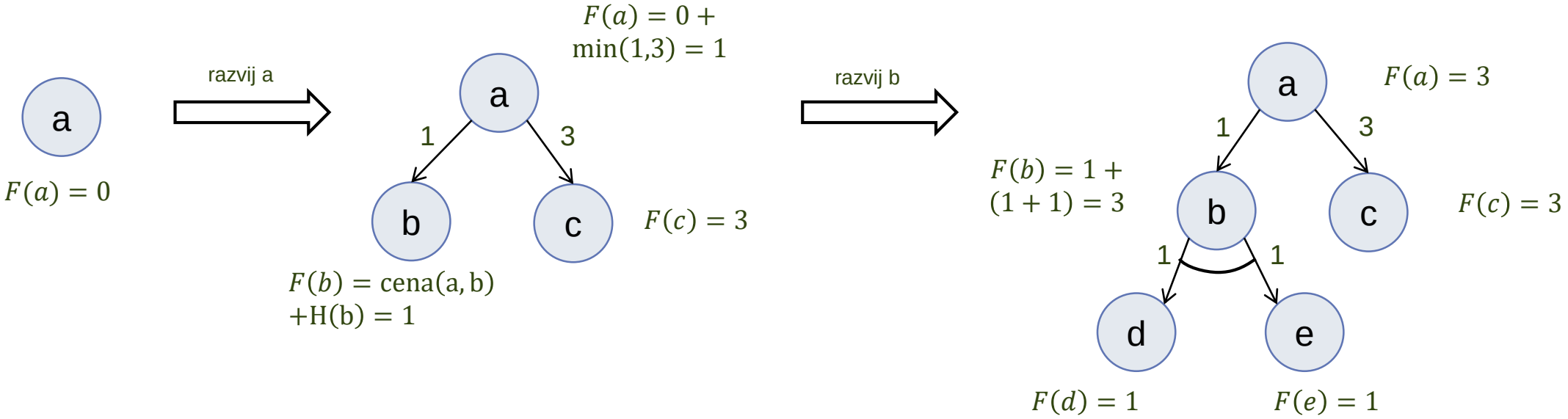


$$H(N) = \sum_i (cena(N, N_i) + H(N_i))$$

Preiskovanje grafa AND/OR

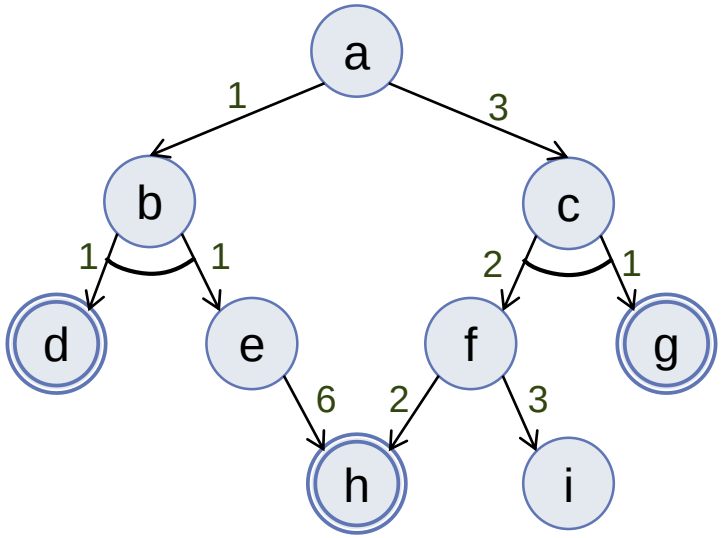


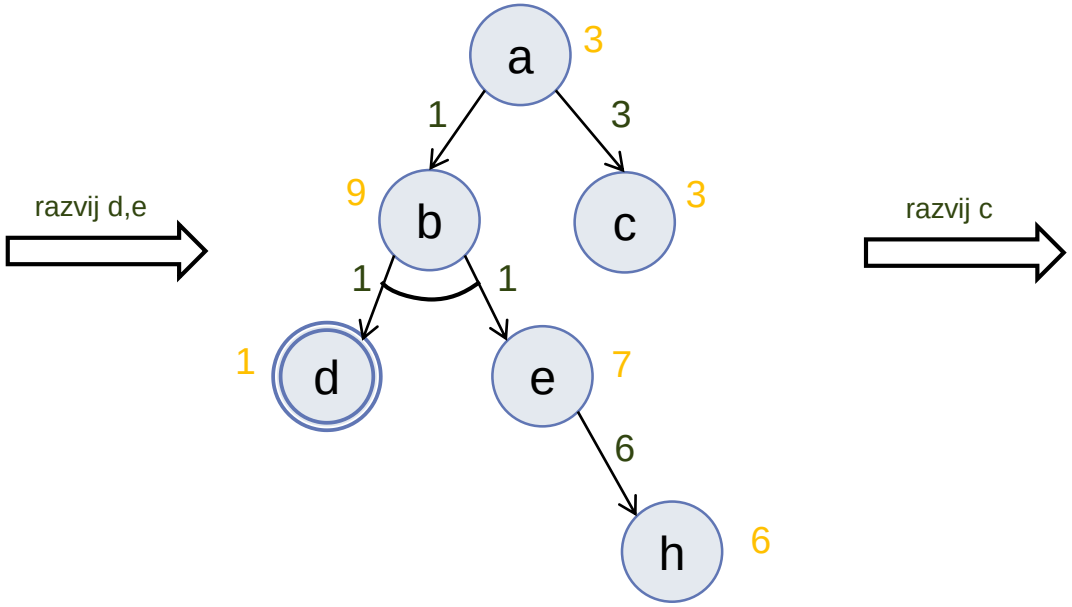
- primer (Bratko, 2001)
- $h = 0$ za vsa vozlišča
- pripisane so vrednosti $F(N_i) = cena(N, N_i) + H(N_i)$
- iztočnice:
  - **vozlišče OR**: razvijamo najbolj obetavno poddrevo, dokler njegova cena ne preseže cene alternativnega poddrevesa,
  - **vozlišče AND**: razvijemo vsa poddrevesa (od leve proti desni), razvijemo do konca preden gremo na naslednje poddrevo.

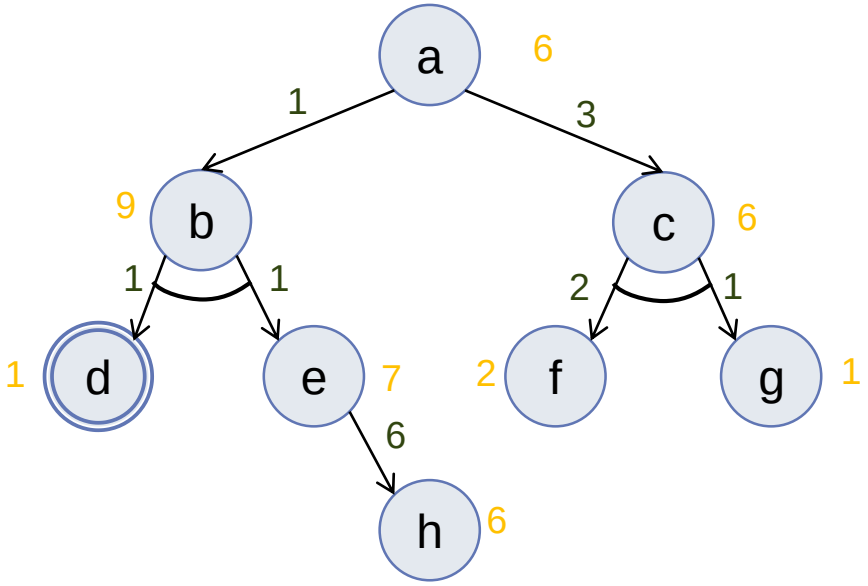


Preiskovanje grafa AND/OR

- $h = 0$ za vsa vozlišča
- pripisane so vrednosti $F(N_i) = cena(N, N_i) + H(N_i)$

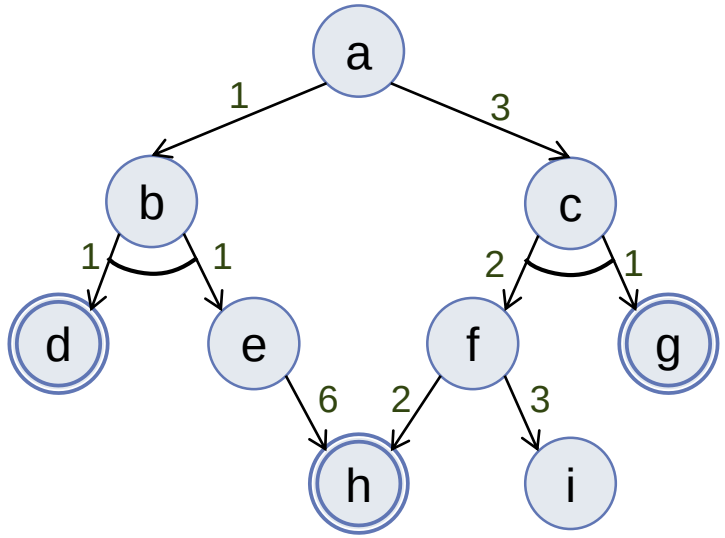


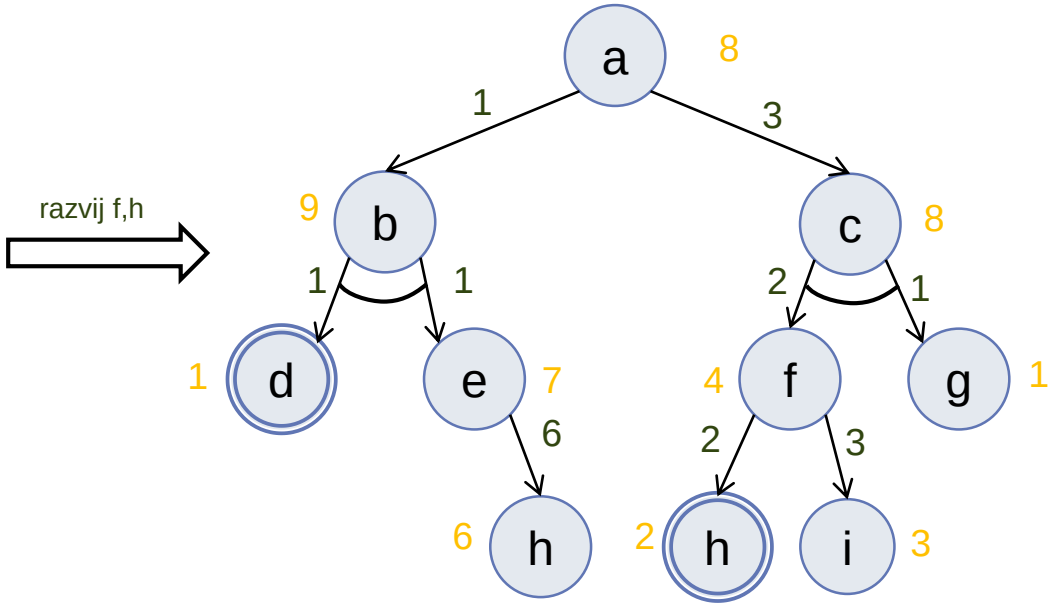


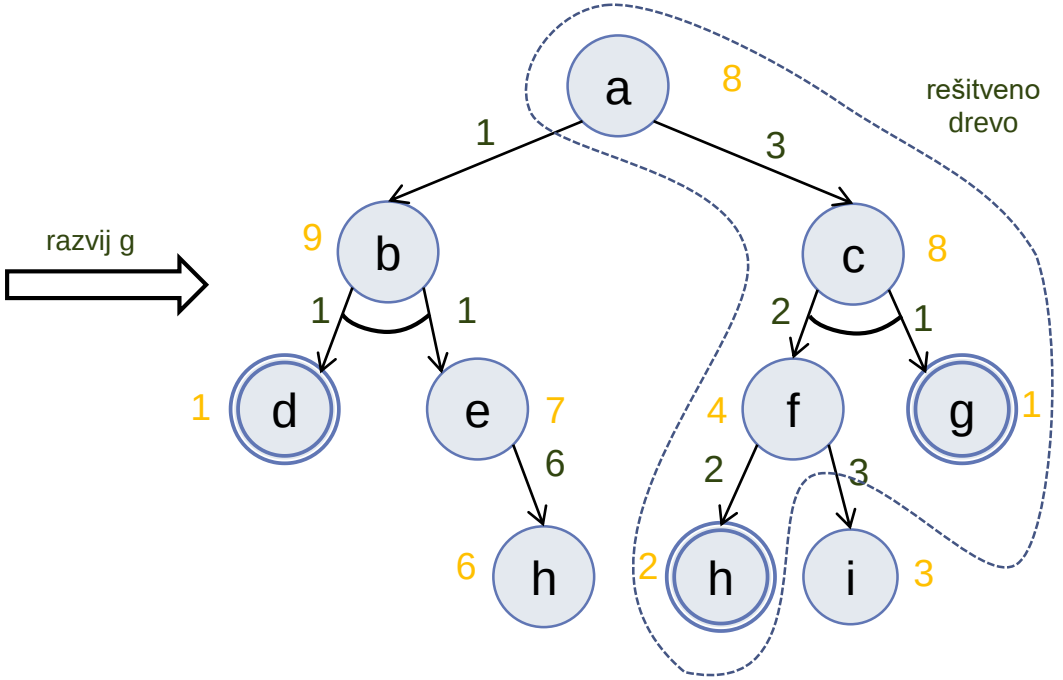


Preiskovanje grafa AND/OR

- $h = 0$ za vsa vozlišča
- pripisane so vrednosti $F(N_i) = cena(N, N_i) + H(N_i)$







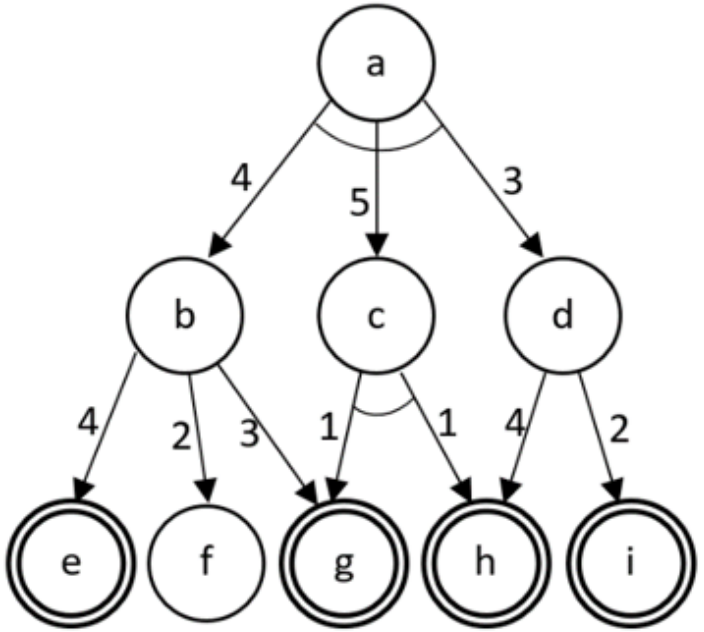
Primer izpitne naloge

- 3. izpit, 7. 9. 2018

1. NALOGA (25t):

Podan je AND/OR graf na sliki. Hevristične ocene posameznih vozlišč so podane v spodnji tabeli. Naslednike vozlišč generiramo po abecednem vrstnem redu, razvijamo pa jih glede na vrednost dinamične hevristične ocene. Pri vozliščih tipa AND vedno razvijemo vse naslednike.

N	a	b	c	d	e	f	g	h	i
h(n)	5	4	2	7	4	1	6	6	7

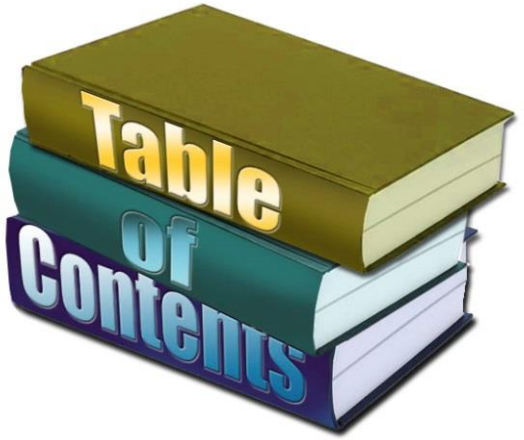


a) (15t) Simuliraj algoritem AO* in zapiši dobljeno rešitveno drevo.

b) (4t) Ali je rešitveno drevo iz prejšnje točke optimalno? Če ni, nariši optimalno rešitveno drevo.

c) (6t) Kako bi morali popraviti hevristične ocene vozlišč, da bi bila rešitev optimalna?

Pregled



- preiskovanje
  - neinformirani preiskovalni algoritmi
  - informirani preiskovalni algoritmi
  - lokalni preiskovalni algoritmi in optimizacijski problemi
  - **preiskovanje grafov AND/OR**
    - predstavitev problemov z grafi AND/OR
    - algoritem AO*
    - preiskovanje v nedeterminističnem okolju
  - **preiskovanje brez informacije o stanju**
  - **igranje iger**
    - algoritem MINIMAX
    - rezanje alfa-beta

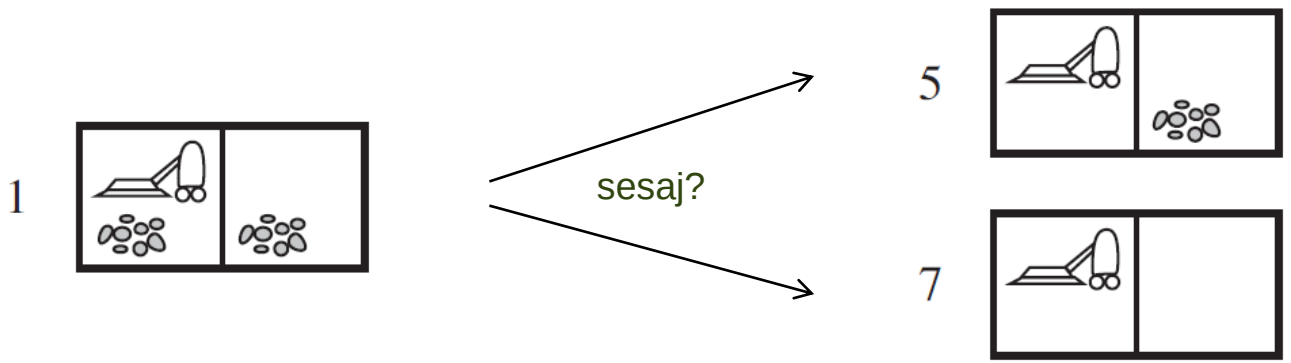
Preiskovanje v nedeterminističnem okolju

- do sedaj smo se posvetili **deterministčnim** in transparentnim okoljem
- kaj pa, če so **akcije nedeterministične** (ista akcija lahko obrodi različna ciljna stanja)?
- primer:
  - sesalec lahko ob sesanju umazanega prostora včasih posesa tudi sosednji prostor
  - sesalec lahko ob sesanju čistega prostora včasih tudi umaže trenutni prostor (okvara?)
- potrebna je **redefinicija prehodne funkcije**:
  - **deterministična** (do sedaj):

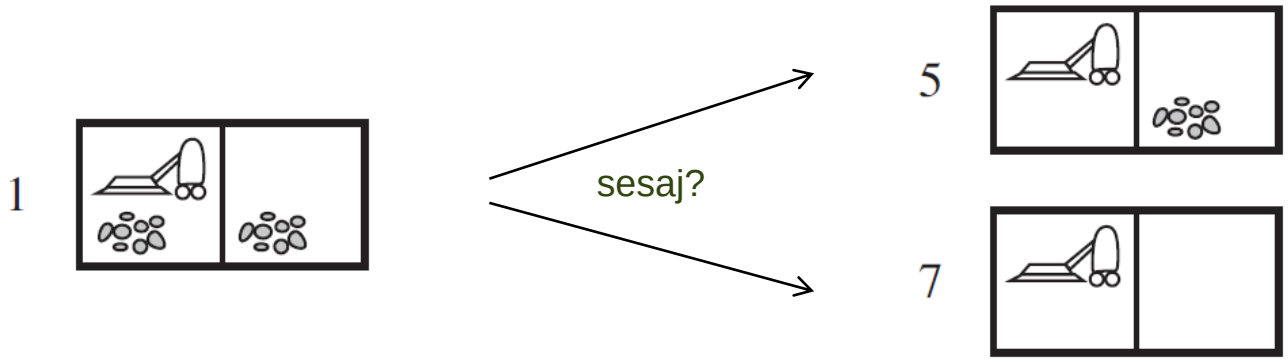
$$rezultat(trenutno\_stanje, akcija) = novo\_stanje$$

  - **nedeterministična**:

$$rezultat(trenutno\_stanje, akcija) = \{novo\_stanje1, novo\_stanje2, \dots\}$$



Preiskovanje v nedeterminističnem okolju



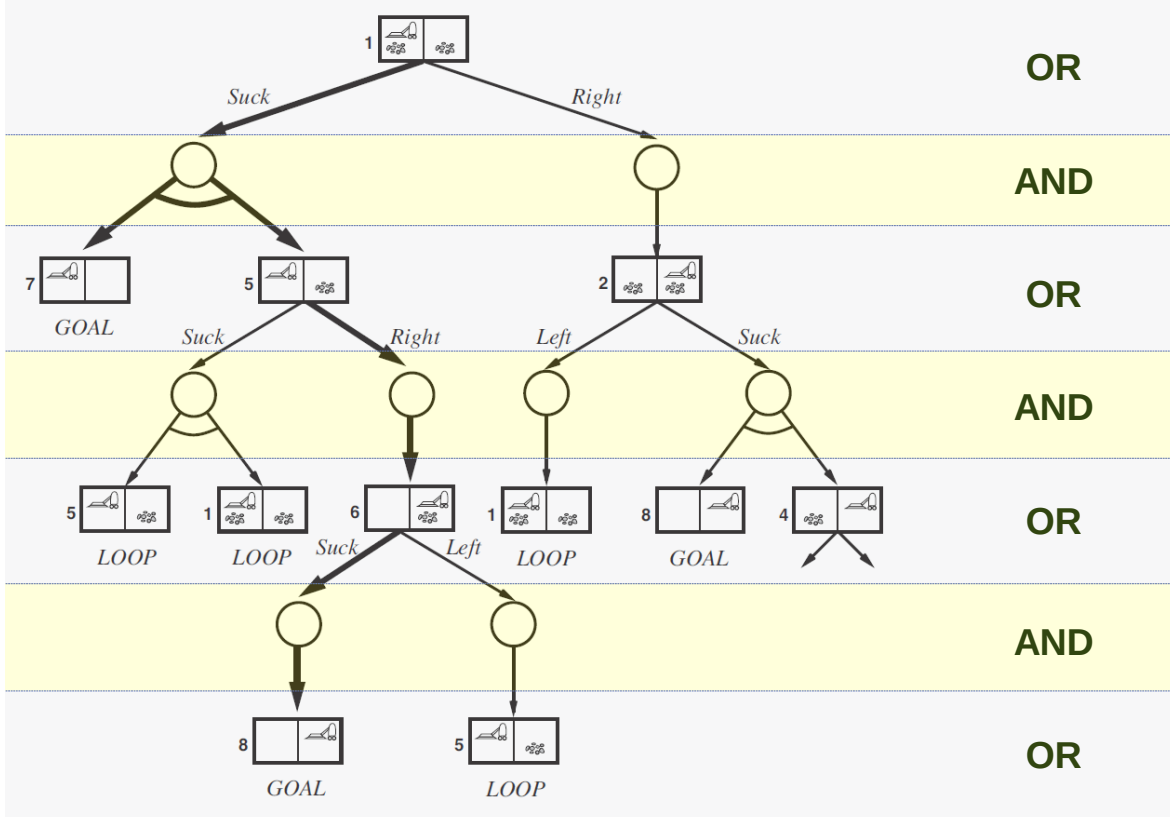
- zaporedje rešitev v prostoru z nedeterminističnimi akcijami mora upoštevati vse poti v prostoru stanj glede na možne rezultate akcij
- primer rešitve za zgornji primer:

```
sesaj
if stanje==5
        desno
        sesaj
else Ø /* CILJ */
```

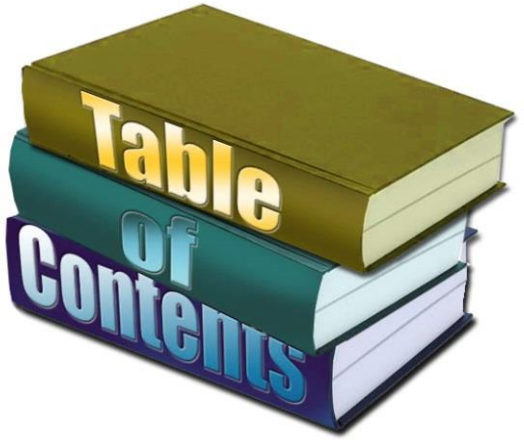
- zgornje pomeni, da rešitve problemov niso več **poti**, temveč **drevesa**

Preiskovanje v nedeterminističnem okolju

- predstavitev rešitve z drevesom AND/OR:
  - vozlišča OR: predstavljajo **možne akcije**, med katerimi **robot lahko izbira** v danem stanju
  - vozlišče AND: predstavljajo **vejanja v možna stanja**, ki so **rezultat** nedeterminističnih akcij
  - v drevesu si izmenično sledijo OR in AND nivoji
- primer (pozor, drugačna predstavitev vozlišč)



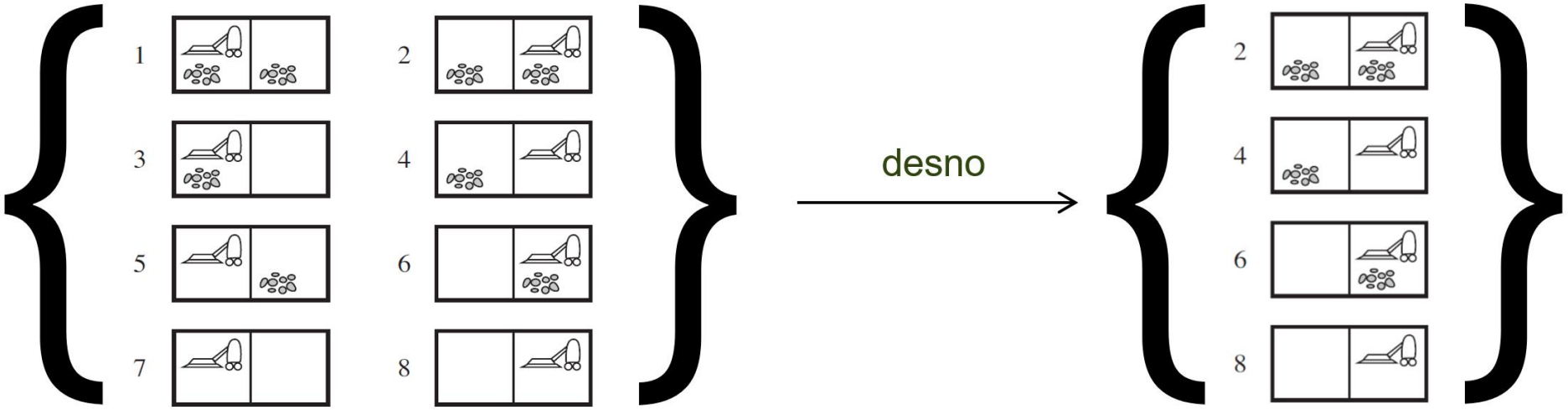
Pregled



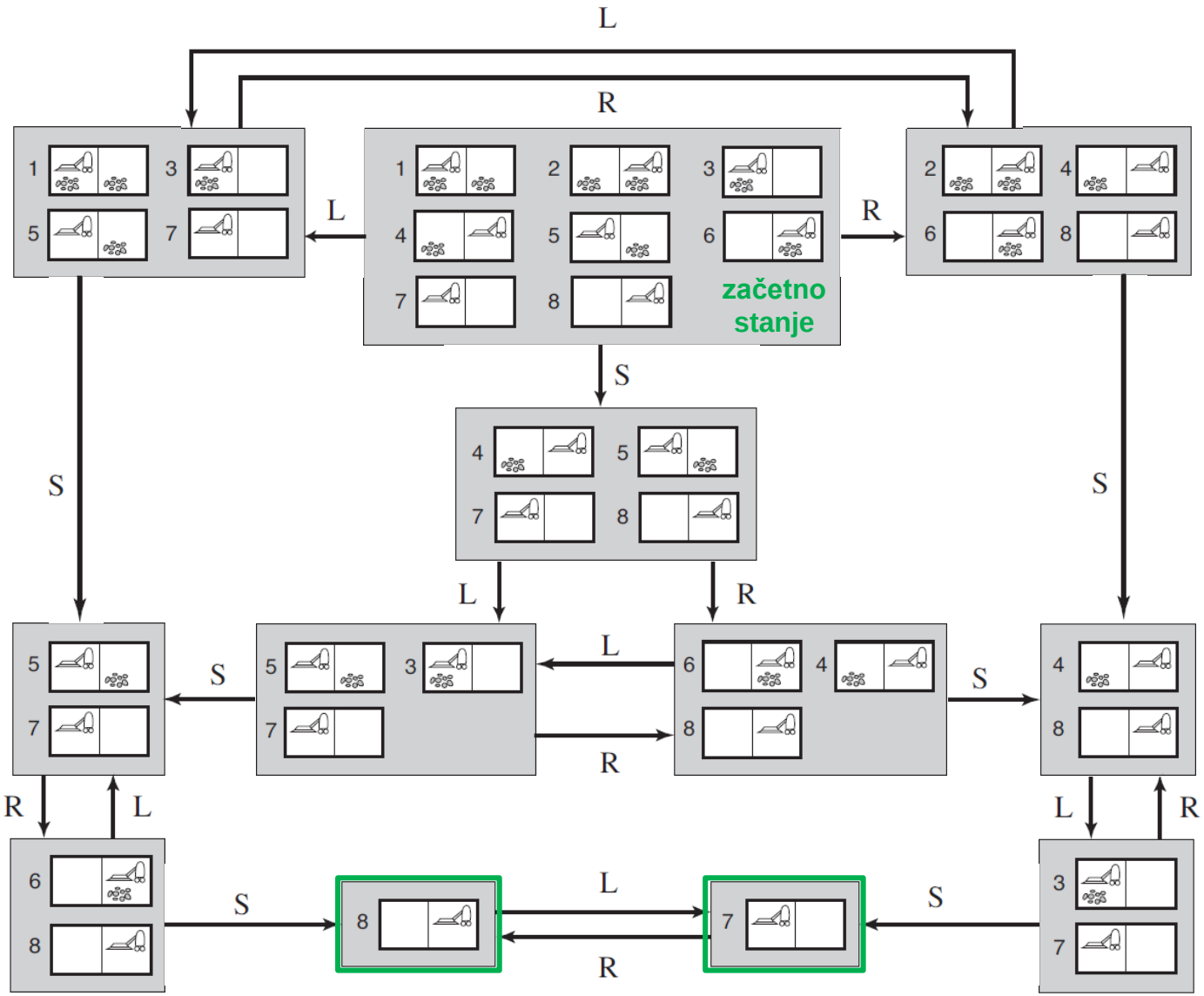
- preiskovanje
  - neinformirani preiskovalni algoritmi
  - informirani preiskovalni algoritmi
  - lokalni preiskovalni algoritmi in optimizacijski problemi
  - **preiskovanje grafov AND/OR**
    - predstavitev problemov z grafi AND/OR
    - algoritem AO*
    - preiskovanje v nedeterminističnem okolju
  - **preiskovanje brez informacije o stanju**
  - **igranje iger**
    - algoritem MINIMAX
    - rezanje alfa-beta

Preiskovanje brez informacije o stanju

- okolja smo razdelili na **transparentna** (angl. *observable*, agent lahko zazna popolno informacijo) in **netransparentna** (brez informacije o stanju)
- kaj če imamo opravka z netransparentnim okoljem, v katerem agent ne ve, v katerem stanju se nahaja (npr. agent brez senzorjev)?
  - primeri, prednosti?
- preiskovanje
  - izvajamo preiskovanje prostora **verjetnih** stanj (angl. *belief* states) in ne prostora **dejanskih** stanj
  - izvajamo s postopkom omejevanja možnosti kandidatnih stanj (angl. *coercion*) ob izvedbi določenih akcij



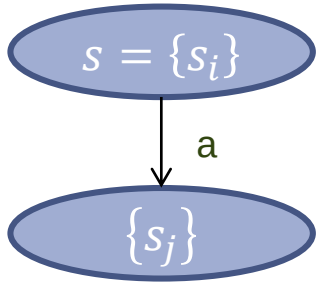
Primer



Preiskovanje brez informacije o stanju

Definicija problema preiskovanja brez informacije o stanju:

- **verjetna stanja** (angl. *belief states*): prostor verjetnih stanj je sestavljen iz **potenčne množice** vseh možnih dejanskih (fizičnih stanj)
- **začetno stanje**: običajno je to množica **vseh možnih dejanskih stanj**
- **akcije**: če za stanje $s = \{s_1, s_2\}$ velja $akcije(s_1) \neq akcije(s_2)$, se je potrebno odločiti za strategijo:
  - $akcije(s) = \bigcup_{s_i \in s} akcije(s_i)$ - preprosto, vendar akcija $s_k \in akcije(s_1) \backslash akcije(s_2)$ lahko pripelje do neveljavnega stanja
  - $akcije(s) = \bigcap_{s_i \in s} akcije(s_i)$ - bolj varno, razvito stanje vsebuje samo stanja, ki so možen rezultat vseh akcij
- **prehodna funkcija**:
  - $rezultat(s, \mathrm{a}) = \{\mathrm{s_j} : \mathrm{s_j} = \mathrm{rezultat}(\mathrm{s_i}, \mathrm{a}), \mathrm{s_i} \in s\}$
- **ciljno stanje**: verjetno stanje, v katerem vsa dejanska stanja izpolnjujejo ciljni predikat
- **cena poti?**

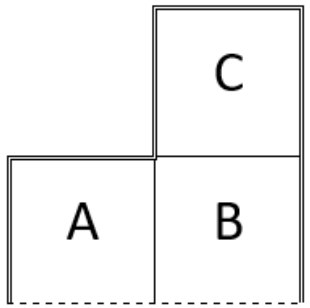


Primer izpitne naloge

- 2. izpit, 15. 2. 2018

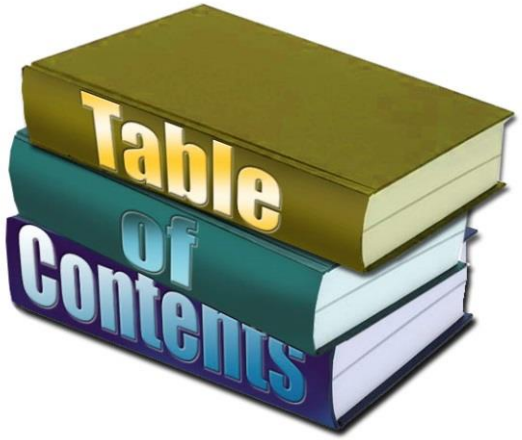
4. NALOGA:

Podan je majhen labirint, sestavljen iz treh sob (A, B in C). V labirintu se nahaja robot, ki mora priti v sobo C. Vendar pa robot nima senzorja za zaznavo, v kateri sobi se nahaja, zato mora brez informacije o stanju poiskati akcije, ki ga bodo zagotovo pripeljale na cilj. Možne akcije, ki jih lahko izvede robot, so: U (up – premik gor), D (down – premik dol), L (left - premik levo) in R (right – premik desno). V kolikor se robot želi v neki sobi premakniti v smer stene (stene so označene z dvojno obrobo; npr. v sobi A so stene v smeri gor in levo), robot ostane na mestu. V kolikor se robot želi premakniti v smeri črtkanih sten (npr. v sobah A in B navzdol), pa pade iz labirinta (preide v nedovoljeno stanje).



a) **(16t) Nariši prostor verjetnih stanj (angl. belief states) in prehodov med njimi (glede na robotove akcije) za dani problem.**
b) **(9t) Navedi šest primerov rešitvenih poti, ki ne vsebujejo ciklov in ob vsaki akciji spremenijo stanje verjetja, po naraščajoči dolžini poti.**

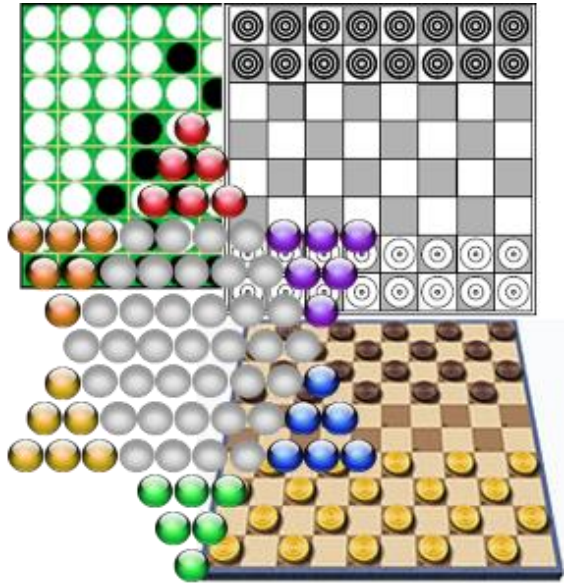
Pregled



- preiskovanje
  - neinformirani preiskovalni algoritmi
  - informirani preiskovalni algoritmi
  - lokalni preiskovalni algoritmi in optimizacijski problemi
  - preiskovanje grafov AND/OR
    - predstavitev problemov z grafi AND/OR
    - algoritem AO*
    - preiskovanje v nedeterminističnem okolju
  - preiskovanje brez informacije o stanju
  - **igranje iger**
    - algoritem MINIMAX
    - rezanje alfa-beta

Igranje iger

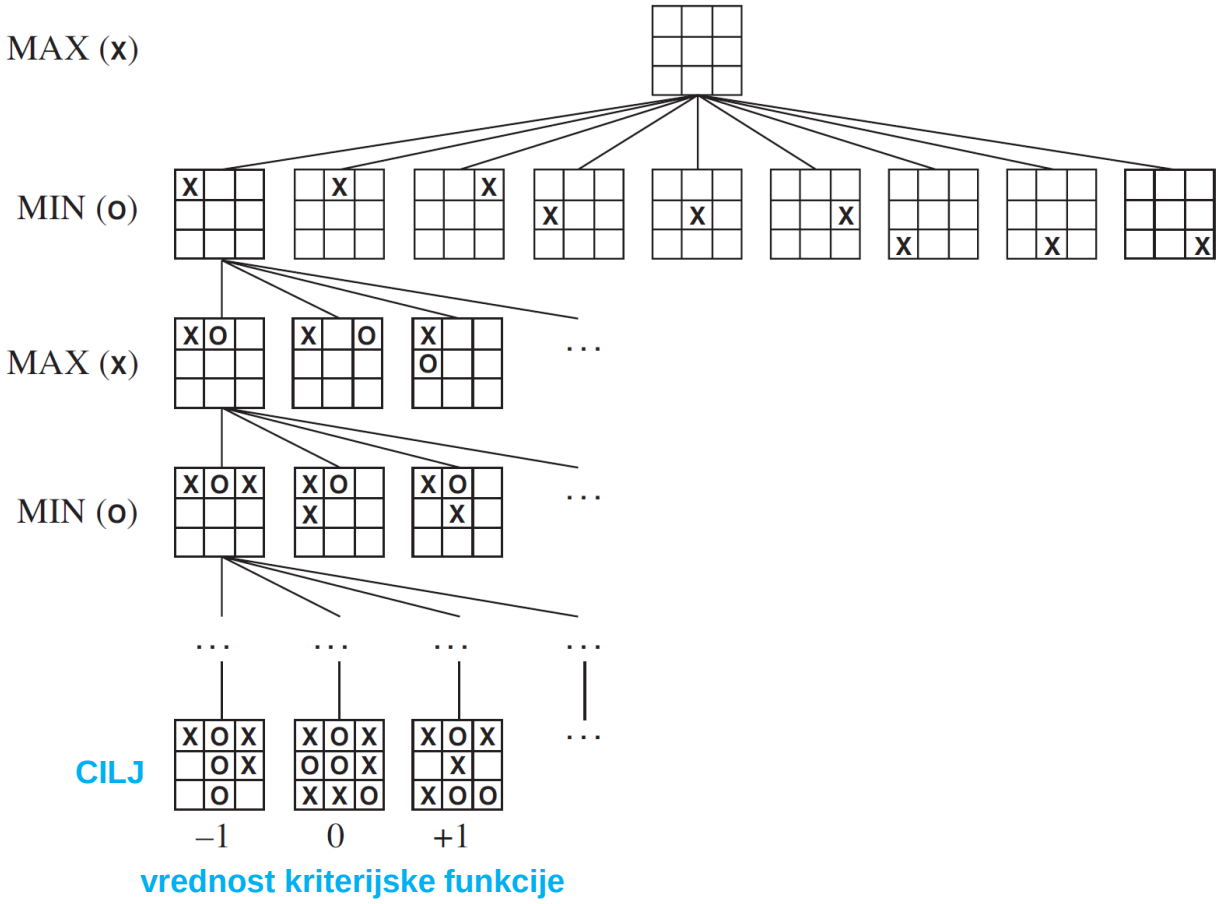
- preiskovanje prostora med **dvema nasprotnikoma** (angl. *adversarial search*)
- **več-agentno** tekmovalno okolje, kjer mora vsak agent upoštevati vpliv akcij drugega agenta na svojo uspešnost
- večina iger: deterministične, izmenične poteze, dva igralca, transparentne (s popolno informacijo)
  - primeri iger s **popolno informacijo**: šah, dama, go
  - primeri iger z **nepopolno informacijo**: potapljanje ladjic, poker, scrabble
- rešitev igre je **strategija**, ki za vsako možno potezo nasprotnika predvidi akcijo



- izziv:
  - iskanje rešitev je lahko kompleksno, velik prostor stanj
  - primer: šah ima faktor vejanja okoli 35, igra vsebuje okoli 50 potez vsakega igralca → to pomeni 35^{100} $(= 10^{54})$ stanj

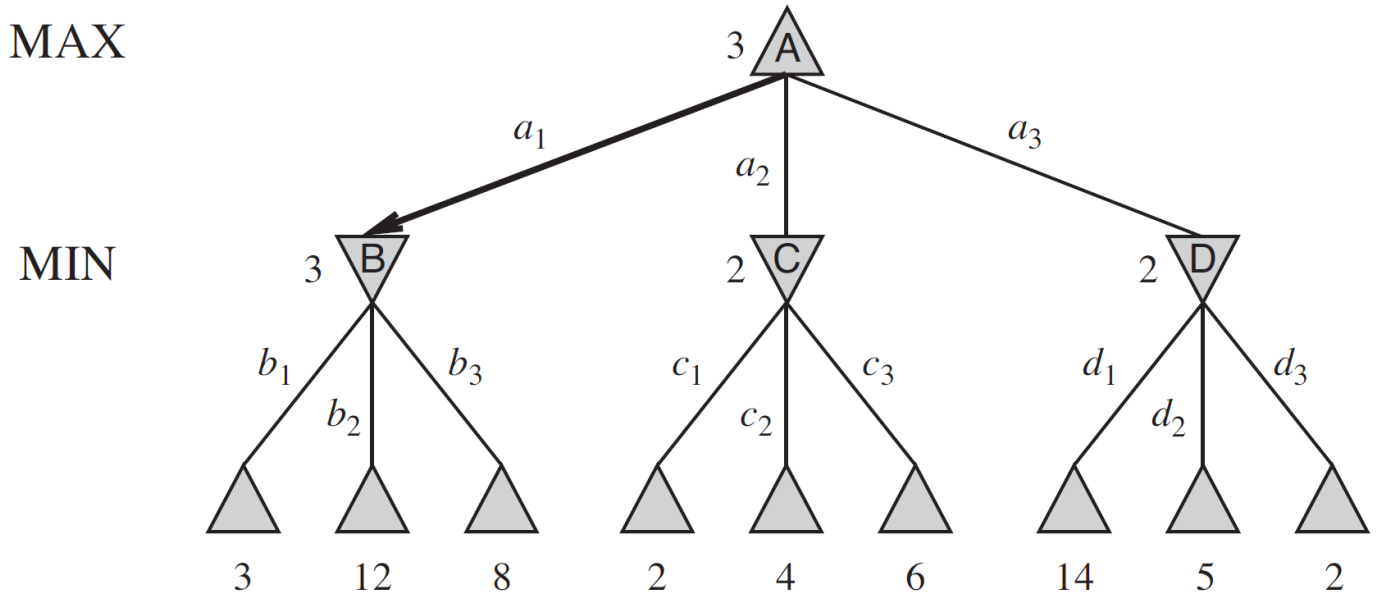
Igranje iger

- potek igre predstavimo z **igralnim drevesom**, v katerem si poteze izmenjujeta igralca **MAX** in **MIN**
- ciljna stanja vrednotimo s **kriterijsko funkcijo** (pozitivne vrednosti so ugodne za MAX, negativne za MIN)
- dve možnosti:
  - igra s **konstantno vsoto kriterijske funkcije** (angl. zero-sum game, pozor na izraz): npr. pri šahu 1+0, 0+1, ½+½ (kompetitivna igra)
  - igra s **spremenljivo vsoto kriterijske funkcije** (angl. non-zero-sum game): kompetitivna ali nekompetitivna



Igranje iger

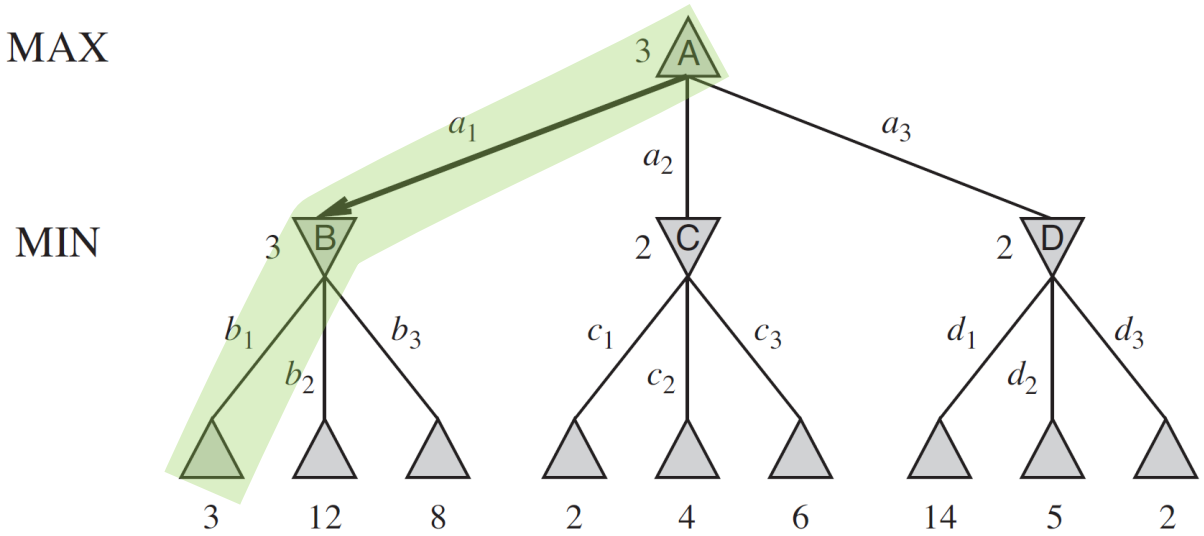
- celotna igralna drevesa so lahko velika (križci in krožci – $9! = 362.880$ ciljnih vozlišč, šah - 10^{40} ciljnih vozlišč)
- iskalno drevo vsebuje podmnožico vseh možnih stanj igralnega drevesa, ki razkriva dovolj informacije za izvedbo poteze
- ne zadošča iskanje končnega vozlišča, ker na pot vpliva nasprotni igralec (MIN)
- podobno predstavitvi z grafi AND/OR
  - OR: izbira poteze s strani igralca MAX
  - AND: predvideti je potrebno vse poteze nasprotnika MIN



Igranje iger

- optimalno strategijo določa ***MINIMAX* vrednost vozlišča**, ki je enaka vrednosti kriterijske funkcije (za MAX), če **oba igralca igrata optimalno**
  - **MAX** preferira **zvišanje** vrednosti kriterijske funkcije (najboljša lastna poteza)
  - **MIN** preferira **znižanje** vrednosti kriterijske funkcije (najboljša protipoteza)
  - predpostavimo, da MIN igra optimalno

$$MINIMAX(v) = \begin{cases} kriterijska\_funkcija(v) & \text{če je } v \text{ končno stanje} \\ \max\limits_{a \in akcija(v)} MINIMAX(rezultat(v,a)) & \text{če je igralec } MAX \\ \min\limits_{a \in akcija(v)} MINIMAX(rezultat(v,a)) & \text{če je igralec } MIN \end{cases}$$



Algoritem *MINIMAX*

- **popolnost algoritma:**
  - da, če je prostor stanj končen (ta je definiran s pravili igre)
- **optimalnost algoritma**: da, če nasprotnik igra optimalno strategijo
  - kaj, če ne?
- **časovna zahtevnost**: $O(b^m)$
- **prostorska zahtevnost**: $O(bm)$ ali $O(m)$
  - od česa je zgornje odvisno?

- ali je potrebno preiskati celoten prostor stanj?
  - rezanje drevesa (alfa-beta rezanje)


Igranje iger, planiranje,
razporejanje opravil