Hevristično preiskovanje

prof. dr. Marko Robnik Šikonja
December 2016

Reševanje problemov

- preiskovanje je osnovni mehanizem za reševanje problemov
- na mnogo algoritmov lahko gledamo kot na metode preiskovanja
- smiselno je poznati osnovne strategije preiskovanja

Predstavitev s prostorom stanj

- prostor stanj (graf, drevo)
- množica stanj (vsa dosegljiva stanja problema)

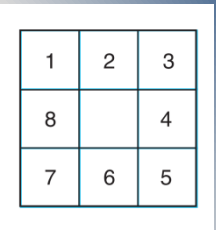
$$\mathbf{S} = \{S; S_Z \xrightarrow{*} S\}$$

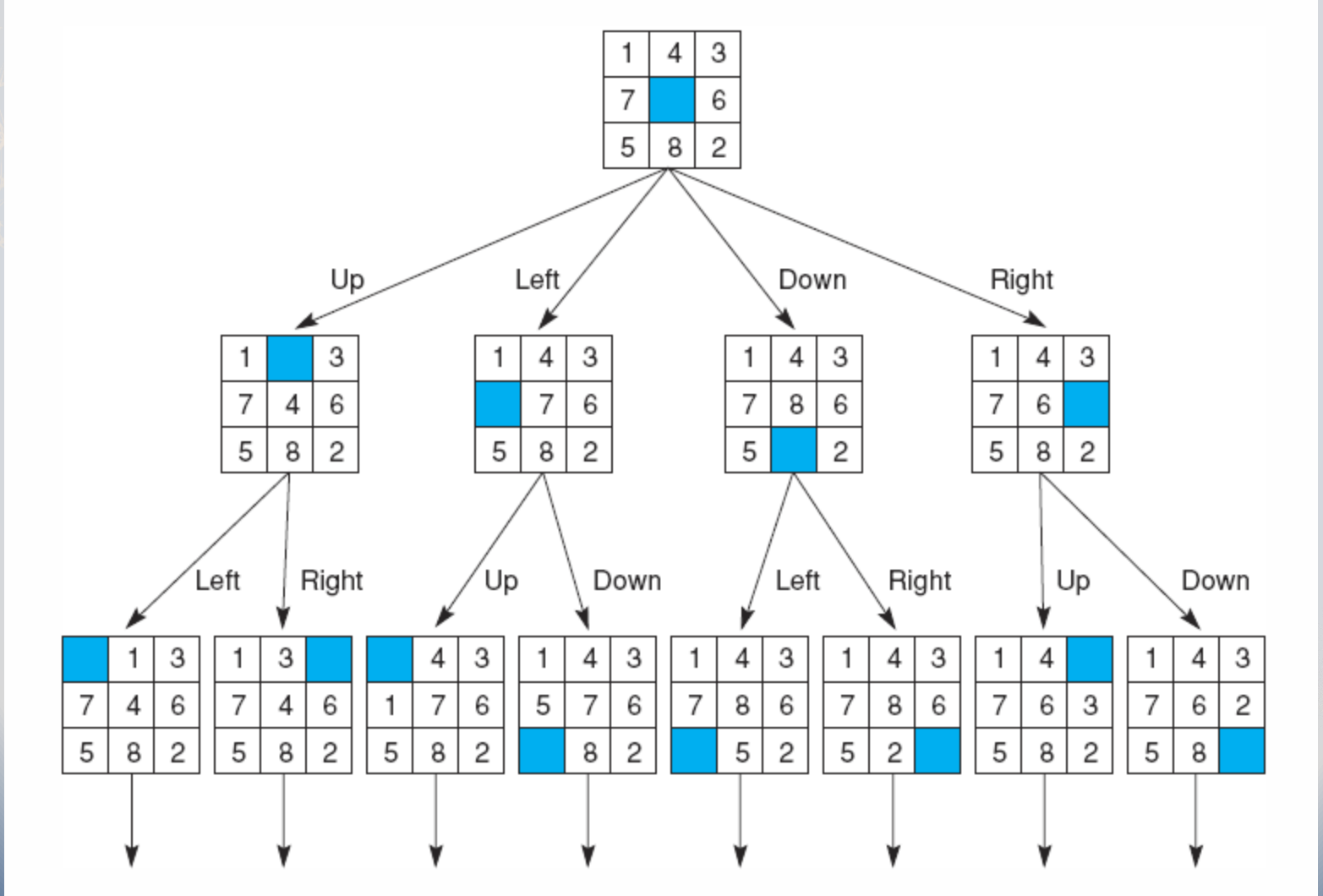
- povezave med stanji (prehodi med stanji, potrebujemo generator naslednikov)
- prostor stanj omogoča tudi enoten pogled na različne metode načrtovanja algoritmov

Prostor stanj

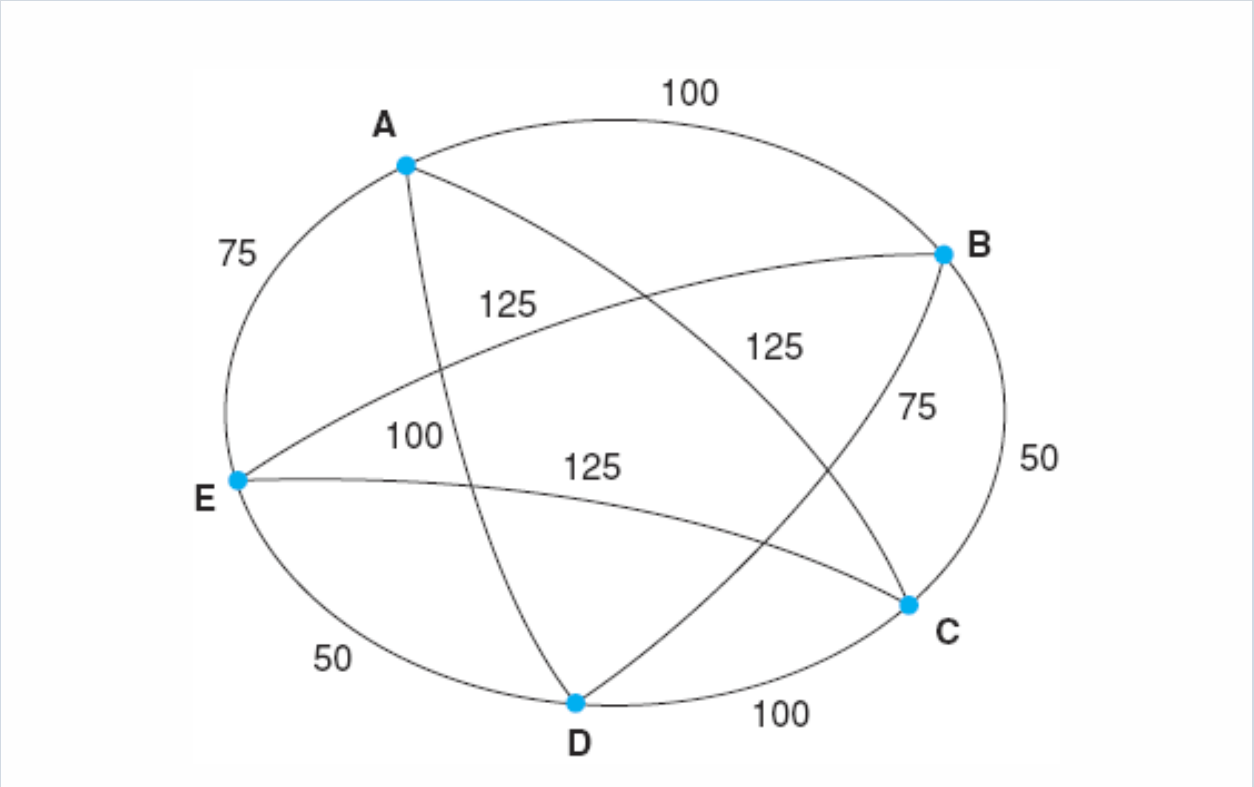
- Prostor stanj: $\mathbf{S} = \{S; S_Z \xrightarrow{*} S\}$
- kvaliteta stanja: $q(S)$
- končno stanje: $S_0 = \arg\max_{S \in \mathbf{S}} q(S)$
- različne strategije preiskovanja

Primer: drseče ploščice

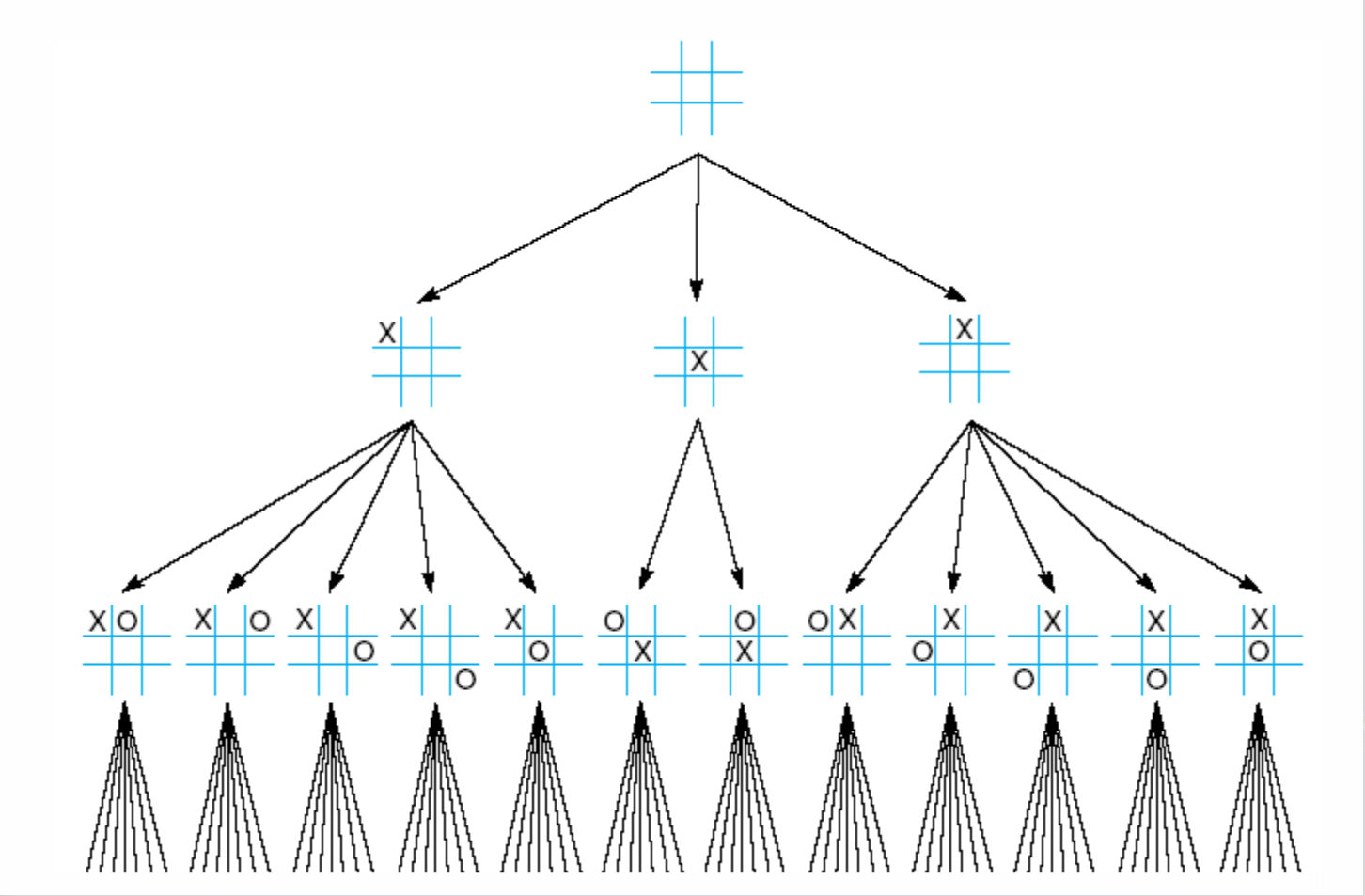




Primer: trgovski potnik



Primer: križci in krožci



Neinformirano preiskovanje

- v širino, v globino, iterativno poglabljanje

V globino iterativno

```
status depthFirst (start_state) {
    stack.makenull();     // inicializacija
    stack.push(start_state);   // začetno stanje
    while ( ! stack.isEmpty() ) {
       state = stack.pop (); // trenutno stanje je na vrhu
       if  (goal (state))
            return SUCCESS;
        else
            stack.push( successors (state) ); // vsi nasledniki na vrh
    }

    return FAILURE ;

}
```

V globino rekurzivno

```
status depth (state current ) {
    if  (goal (current))
      return SUCCESS;
    suc = successors (current);
    foreach ( s in suc )
      if ( depth(s) == SUCCESS )
        return SUCCESS ;
    return FAILURE ;

}
```

V globino do določene globine rekurzivno

```
status depthRecursive (state current, int toDepth) {
    if  (goal (current))
            return SUCCESS;
    if  (toDepth>0) {
       suc = successors (current);
       for each s in suc
           if (depthRecursive(s, toDepth-1)==SUCCESS)
              return SUCCESS
    }
    return FAILURE ;

}
```

V širino

```
status breadthFirst (start_state) {
    queue.makenull();     // inicializacija
    queue.enque(start_state);   // začetno stanje v vrsto
    while ( !queue.isEmpty() ) {
       state = queue.deque(); // trenutno stanje je prvo v vrsti
    if  (goal (state))
            return SUCCESS;
        else
            queue.enque(successors (state)); // na konec vrste
    // closed.enque(state) ;

    }
    return FAILURE ;

}
```

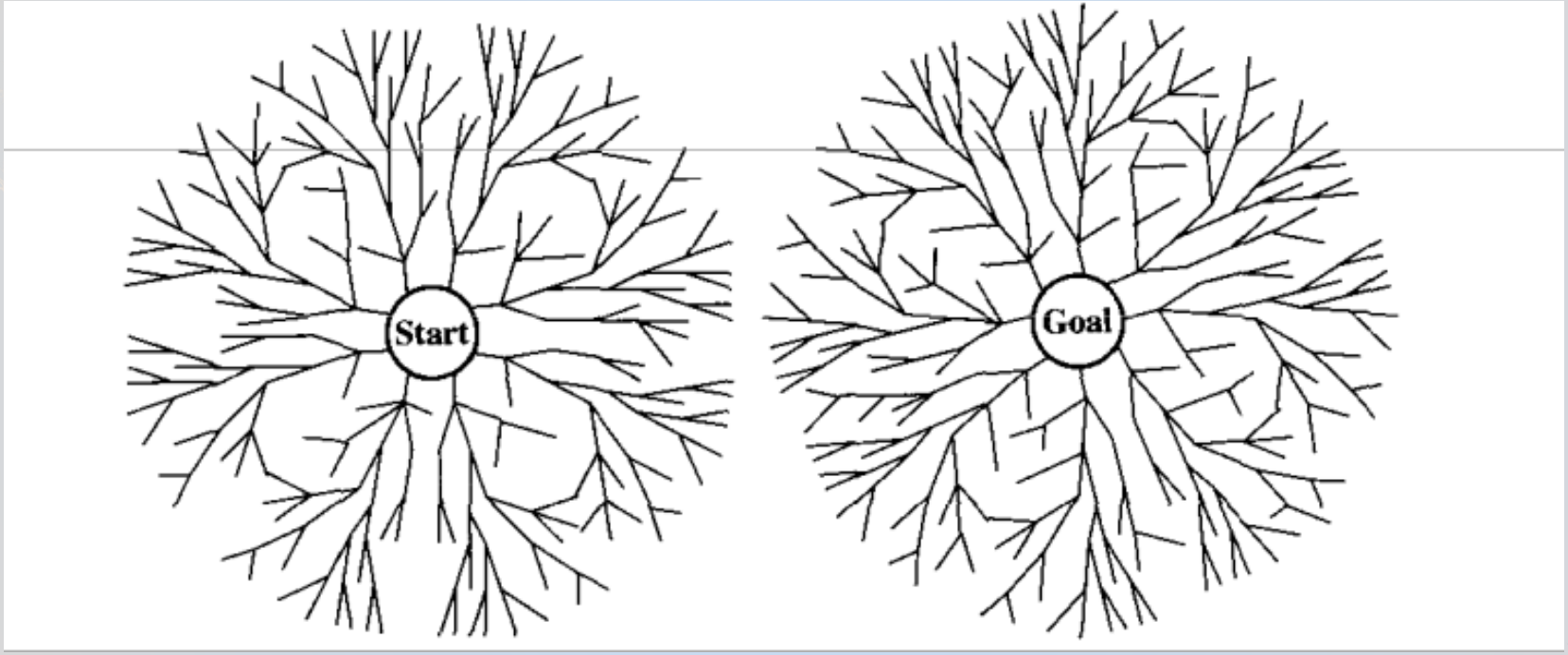
Iterativno poglabljanje

```
status ID (start_state) {
    int depth = 1 ;
    while (depth < MAX_DEPTH) {
      state = depthRecursive(start_state, depth) ;
      if (state == SUCCESS)
         return SUCCESS ;
      else depth++ ;
    }
    return FAILURE ;

}
```

Računska zahtevnost

- odvisna od faktorja vejanja b in globine iskanja d
- število vozlišč pri iskanju
- v širino: $1 + b + b^2 + b^3 + \ldots b^d = (b^{d+1}-1)/(b-1) = O(b^d)$
- iterativno poglabljanje
  $d+1 + db + (d-1)\, b^2 + (d-3)b^3 + \ldots b^d = O(b^d)$

Dvosmerno iskanje

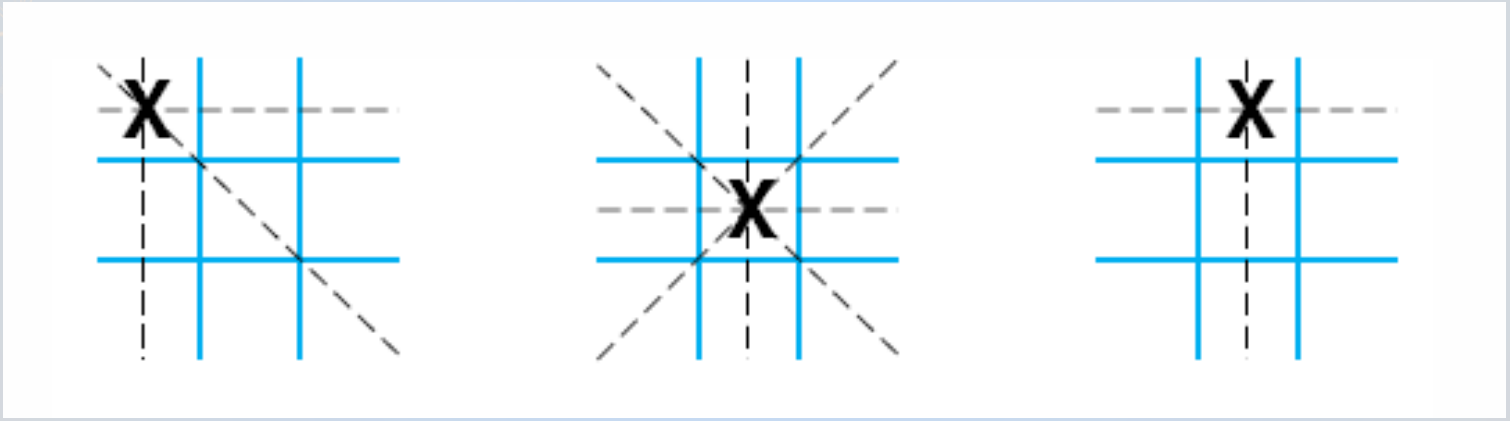


Hevristično preiskovanje

- hevristika – metode in pravila za odkrivanje novega (Eureka!)
- uporaba:
  - točna rešitev ne obstaja
  - iskanje točne rešitve je računsko prezahtevno
- hevristika: uporabna informacije, ki usmerja preiskovanje v obetavno smer

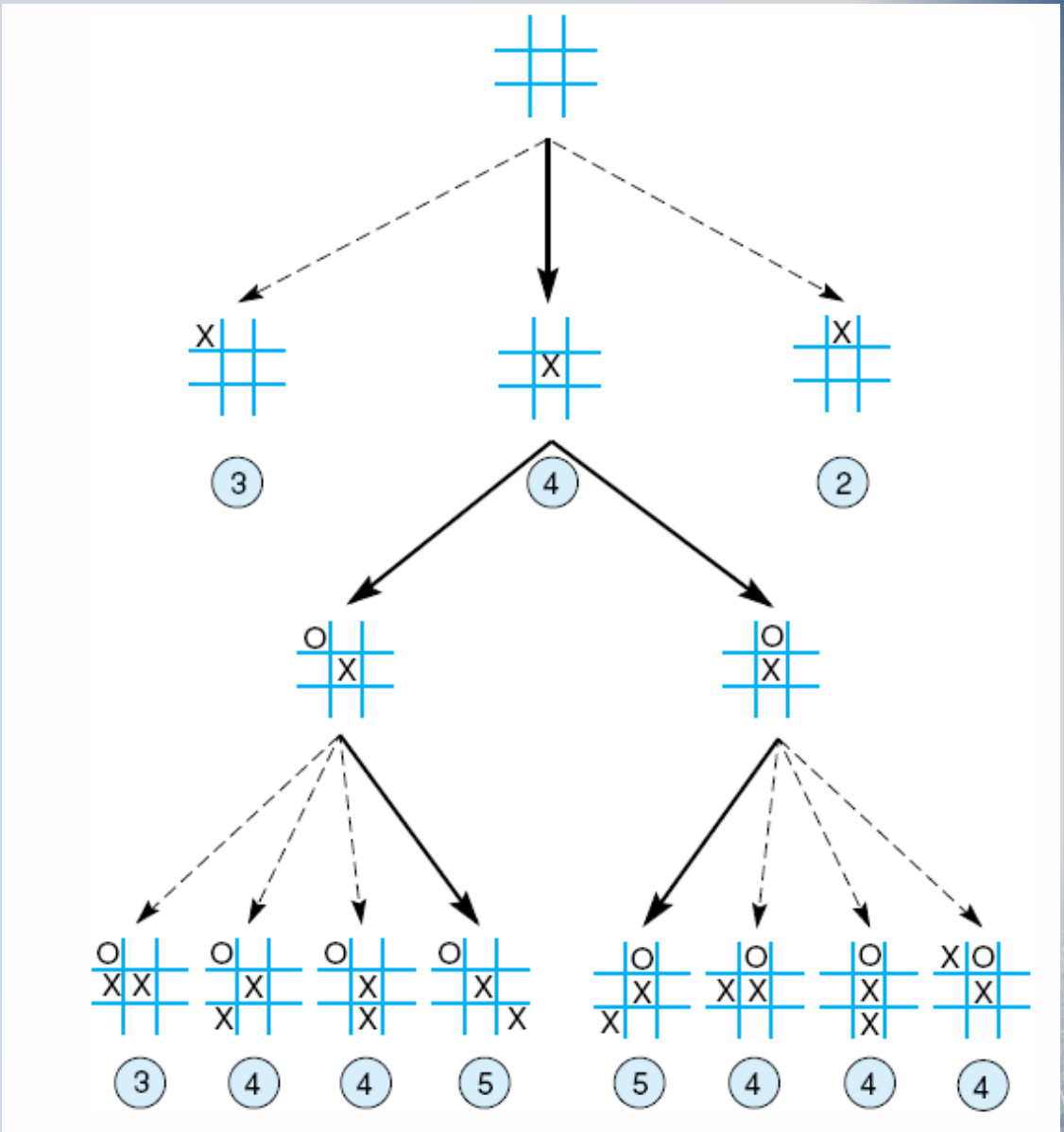
Primer: križci in krožci

- hevristika: na koliko načinov lahko zmagam



Križci in krožci

- simetrija
- hevristika



Požrešno preiskovanje

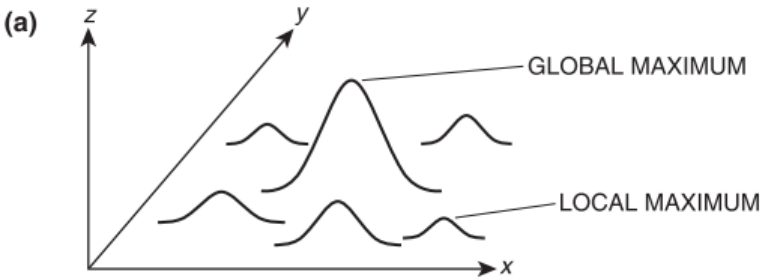
- hill-climbing
- na vsakem koraku izberemo najboljšega naslednika

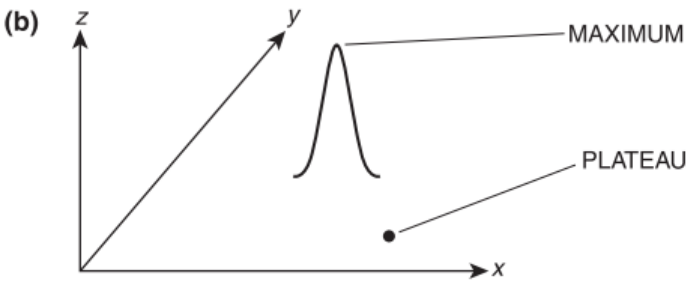
Požrešno - implementacija

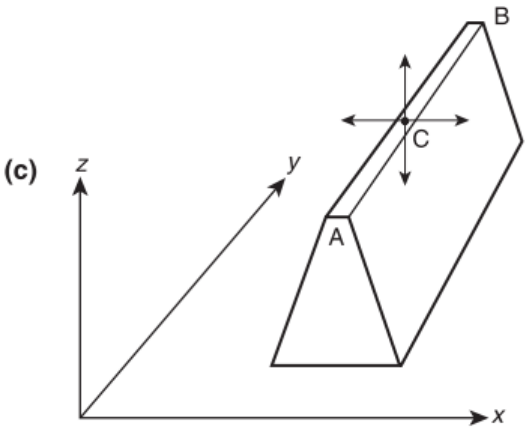
```
status hillClimbing (start_state) {
    stack.makenull();     // inicializacija
    stack.push(start_state);   // začetno na vrh
    while (!stack.isEmpty()) {
       state = stack.pop (); // state = na vrhu sklada
       if  (goal (state))
            return SUCCESS;
        else {
            suc = successors (state);
            sort(suc);  // uredi glede na hevristično oceno
            stack.push(suc) ;
    }

    return FAILURE ;

}
```

Lokalni ekstremi

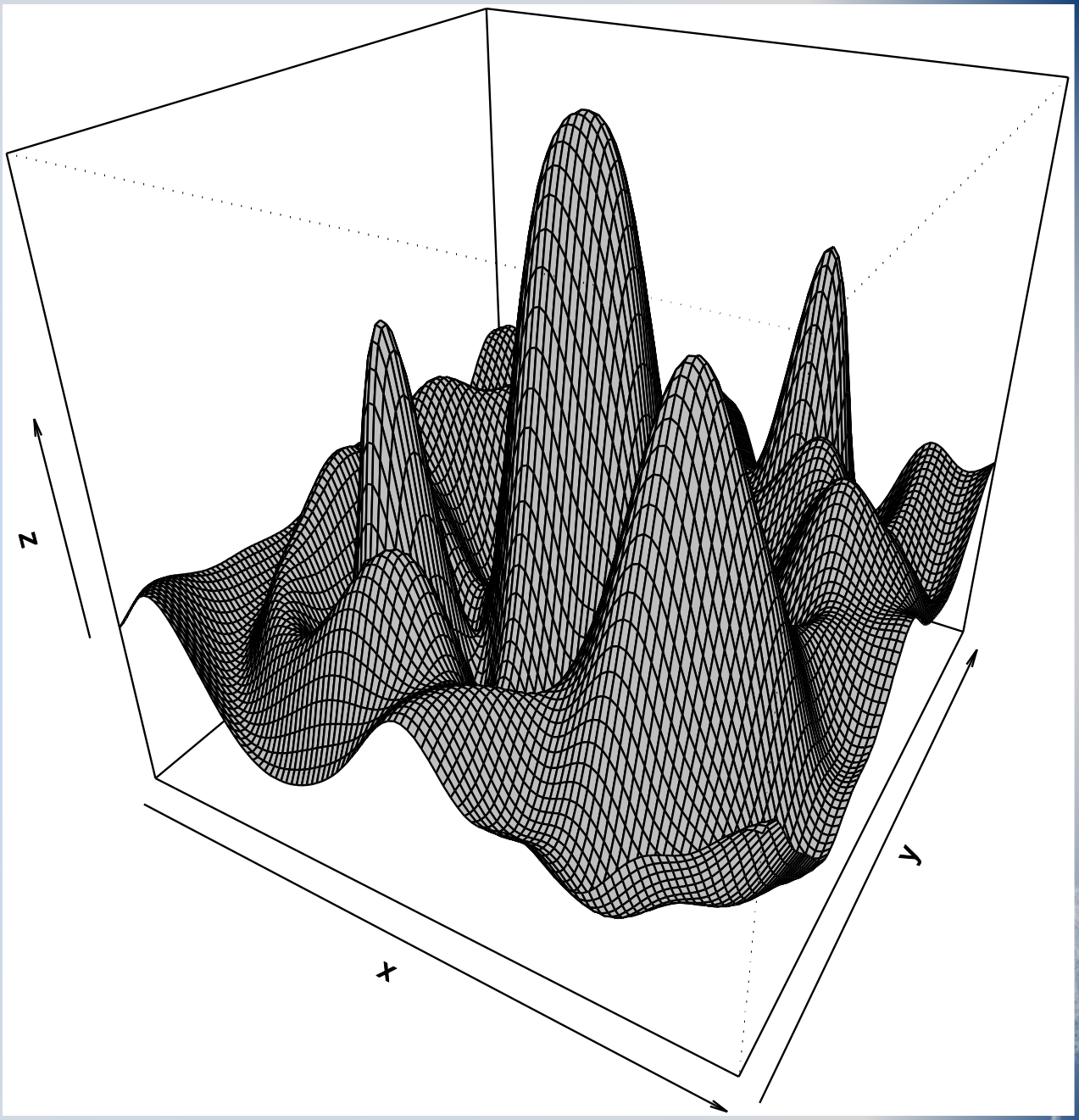
- lokalni in globalni maksimumi
- plato
- greben



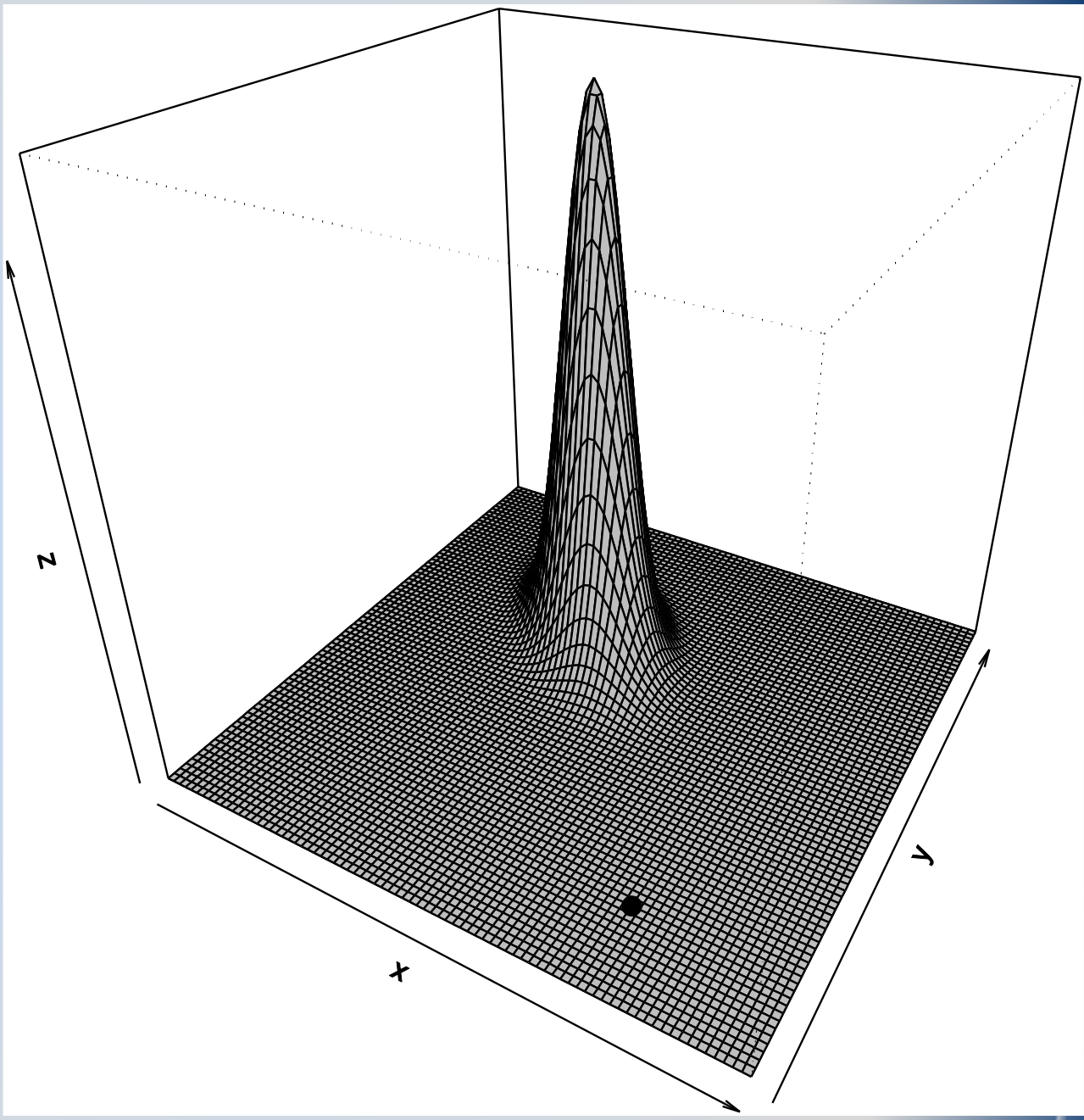




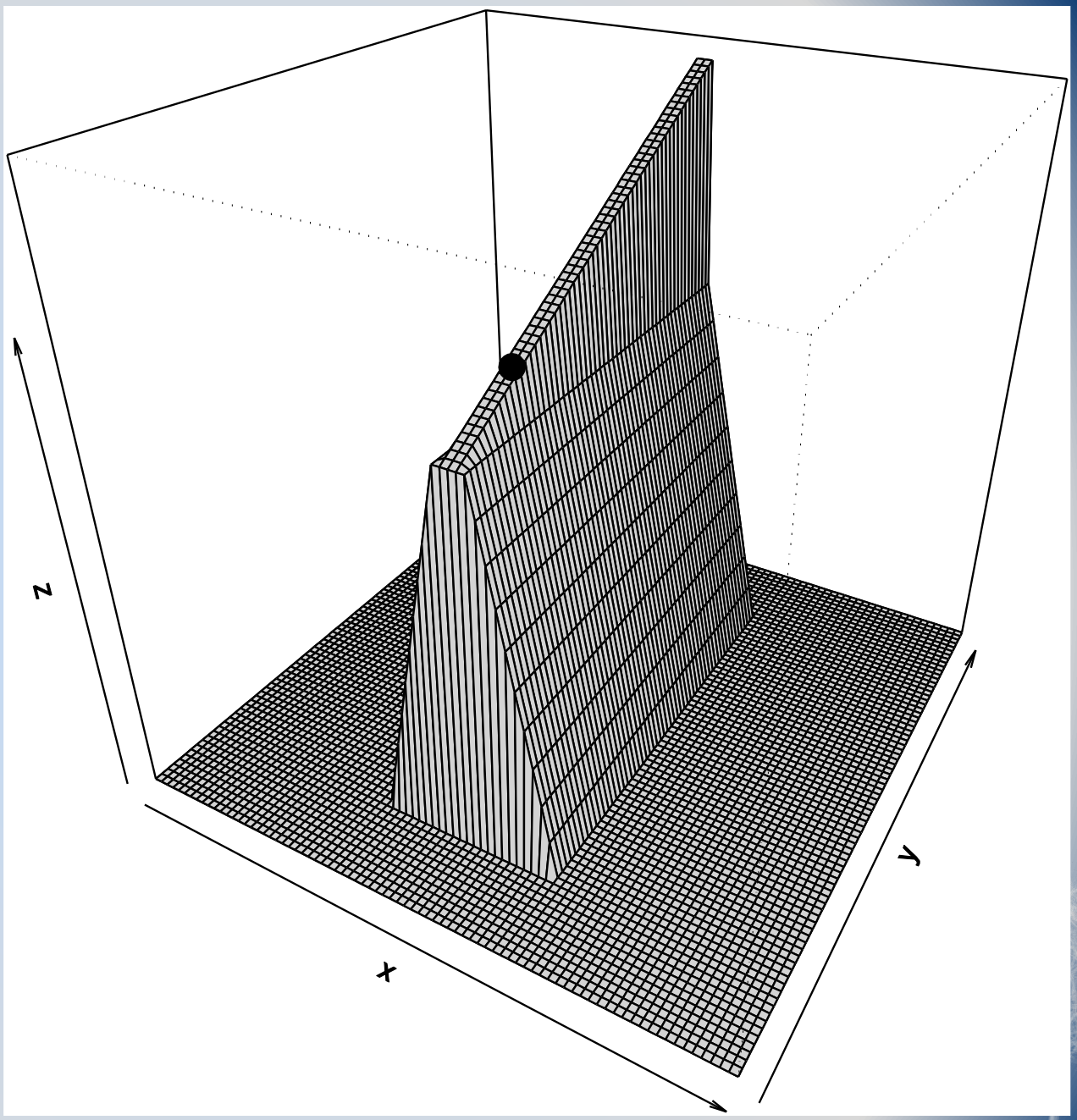
Lokalni ekstremi



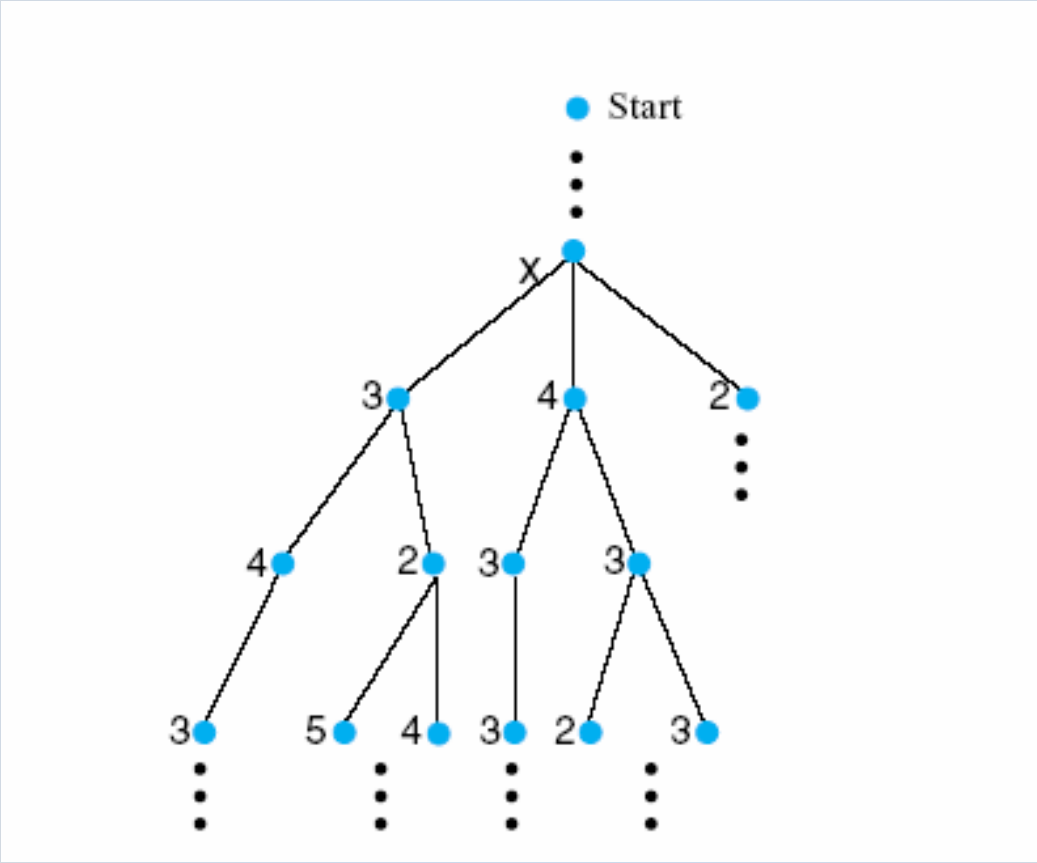
Plato



Greben



Pogled naprej (lookahead) - horizont



Najprej najboljši

- best first search
- vozlišča hranimo v prioritetni vrsti
- prioriteto določa hevristična ocena

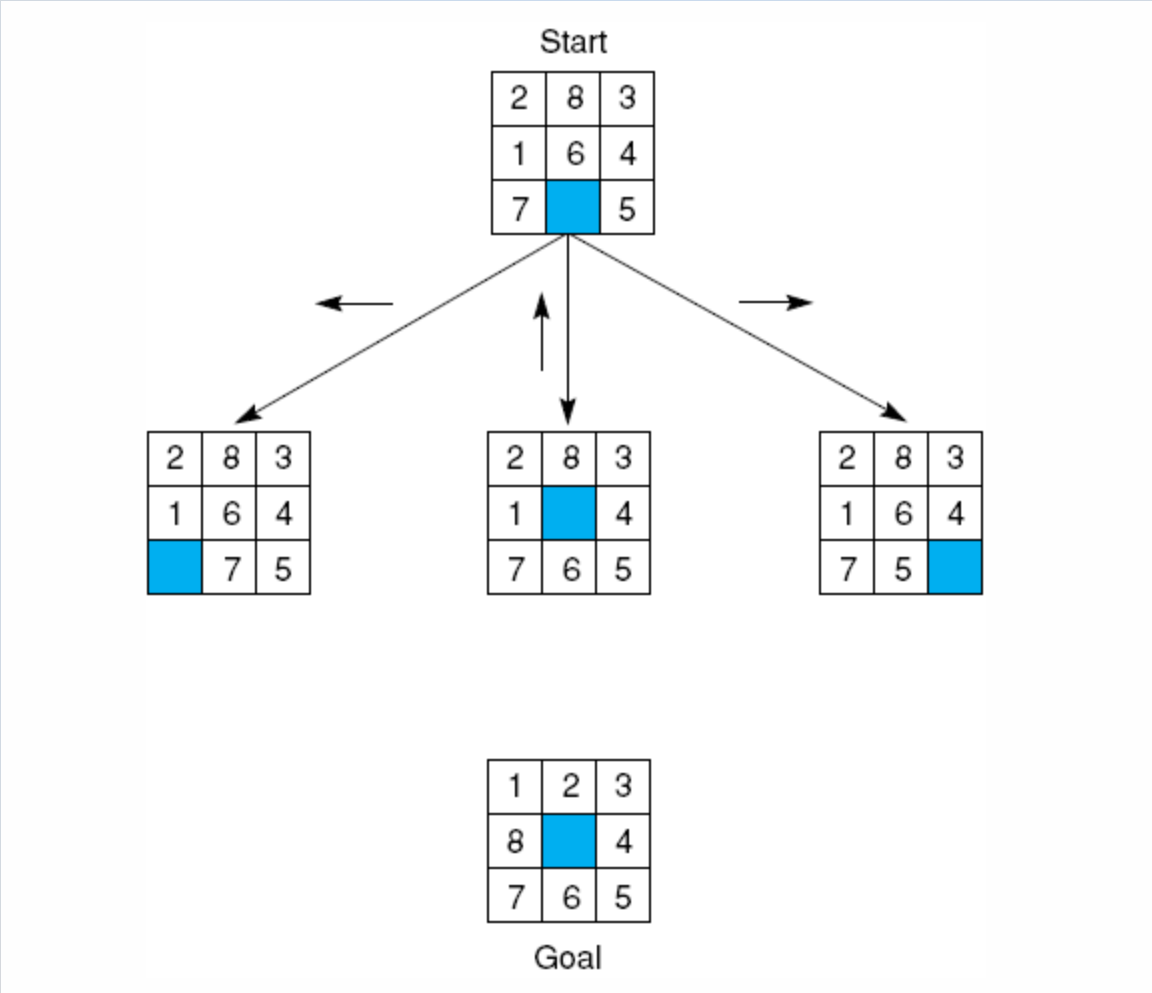
Najprej najboljši - implementacija

```
status bestFirst (start_state) {
    priorityQueue.makenull();     // inicializacija
    priorityqueue.enque(start_state);   // začetno stanje
    while ( !priorityqueue.isEmpty() ) {
        state = priorityQueue.deleteMin(); // prvi po prioriteti
        if  (goal (state))
             return SUCCESS;
         else
             priorityQueue.addSorted(successors (state)); // urejeno dodajanje
        // closed.enque(state) ;

    }
    return FAILURE ;

}
```

A in A*

- poseben primer iskanja “najprej najboljši”
- $f(n) = g(n) + h(n)$
- n=stanje
- $g(n)$ = razdalja (vrednost, število korakov) od začetka do n
- $h(n)$ = ocena za pot od n do končnega stanja
- vozlišča preiskujemo urejeno glede na $f(n)$

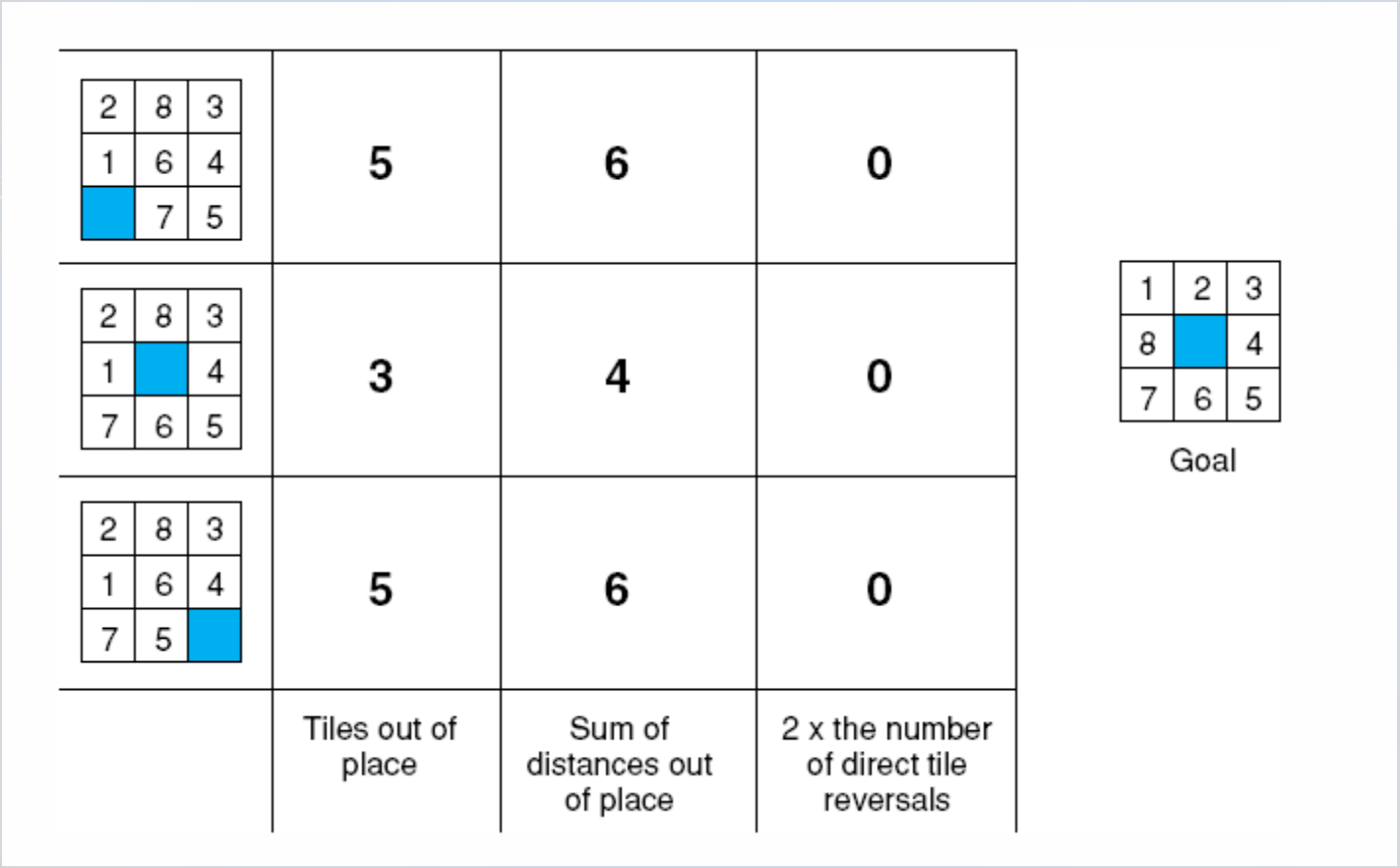
Primer: drseče ploščice



Drseče ploščice: hevristike

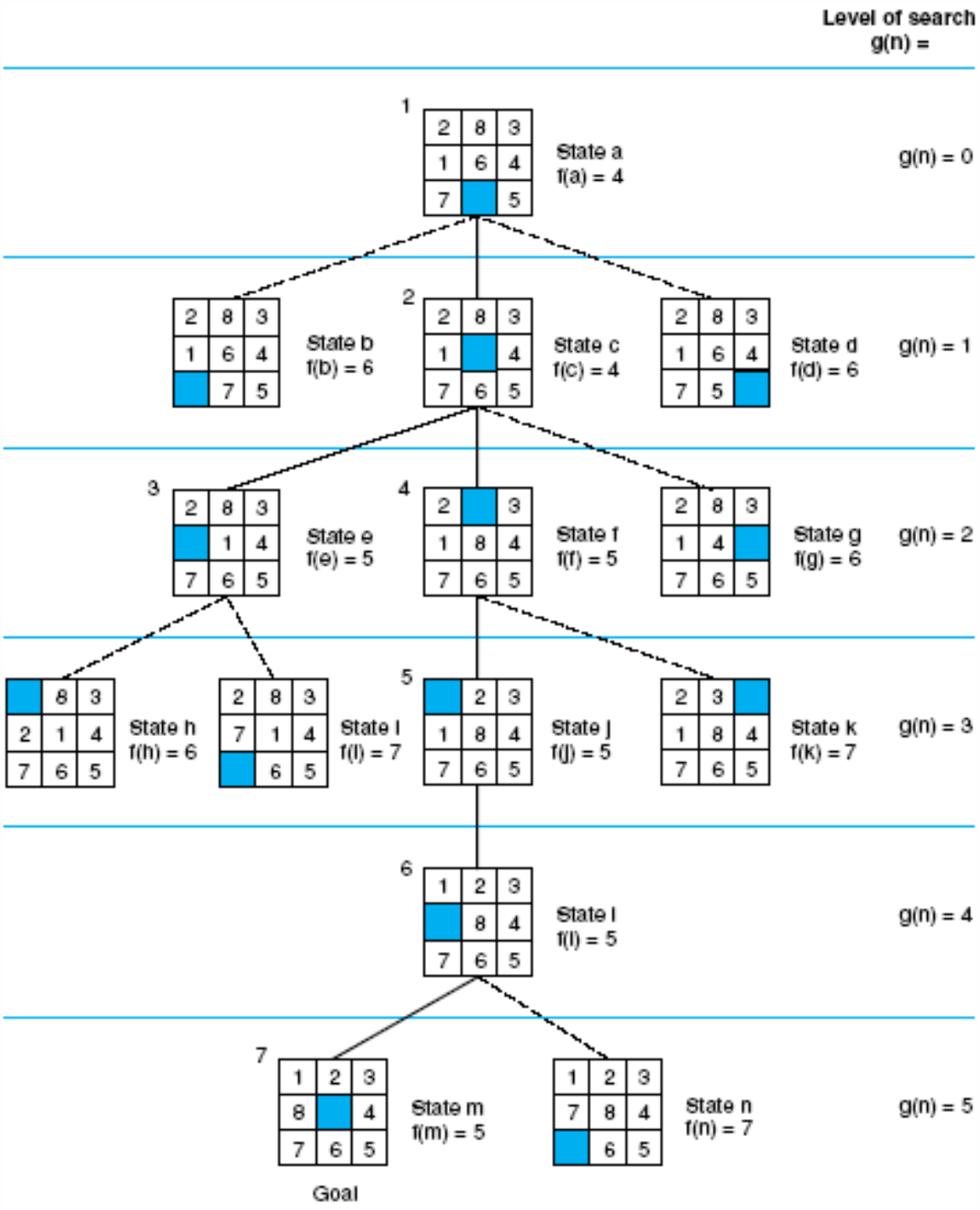
1. ploščice, ki niso na mestu
   (uporablja le del informacije)
2. vsota razdalj (premikov) do pravega mesta
   (ne upošteva težavnosti zamenjav)
3. število direktnih zamenjav * 2

Hevristike: drseče ploščice



Preiskovanje s hevristiko "ploščice, ki niso na mestu"

g(n) – težnja k iskanju v širino



Dopustnost

- marsikdaj želimo zagotovljeno najboljšo (optimalno) rešitev
- algoritem je dopusten (admissable), če zanesljivo najde najkrajšo pot, če ta obstaja
- predpostavimo: $f^*(n) = g^*(n) + h^*(n)$
  - $g^*(n)$ = najkrajša pot do n
  - $h^*(n)$ = najkrajša pot od n do cilja
  - algoritem, ki bi uporabljal hevristiko $f^*(n)$ bi bil dopusten

Algoritma A in A*

- algoritem A: najprej najboljši s *f(n)*
- *g(n)* je približek za *g*(n)*,
- če je *g(n)* monotona (kar pomeni, da se ne zmanjšuje), je dopustna je tudi *f(n)* = *g(n)*+*h*(n)*
- če je *h(n)* dopustna, kar pomeni, da podcenjuje razdaljo do cilja oz. *h(n)* <= *h*(n)*, je dopusten tudi A, ki uporablja *f(n)* = *g(n)*+*h(n)* in tak algoritem imenujemo A*
- trivialna, a neuporabna dopustna hevristika je *h(n)=o* za vsa vozlišča, ki A* spremeni v iskanje v širino

Optimalnost in dopustnost: dokaz s protislovjem

- Algoritem A* uporabimo na grafu z dvema ciljnima vozliščema G_1, G_2. Cena poti do G_1 je f_1, cena poti do G_2 je f_2, velja $f_2 > f_1$. Denimo, da je algoritem našel pot G_2 pred G_1 in torej ni našel optimalne rešitve.
- Poglejmo vozlišče *n*, ki je na optimalni poti od začetka do G_1. Takšno vozlišče mora obstajati in ker ga algoritem še ni razširil in ker je *h* dopustna hevristika velja $f_1 \geq f(n)$.
  Po predpostavki, bi algoritem preiskal G_2 pred *n*, kar lahko stori le v primeru, če $f(n) >= f(G_2)$. Izraza združimo in dobimo $f_1 \geq f(G_2)$.
  Ker je G_2 ciljno vozlišče velja $h(G_2) = o$ in torej $f(G_2) = g(G_2)$.
  Tako dobimo $f_1 \geq g(G_2)=f_2$, kar je v nasprotju z začetno domnevo, da je G_2 bolj oddaljen kot G_1.
- Dokaz potrjuje, da lahko A* najde le najcenejšo pot do cilja.

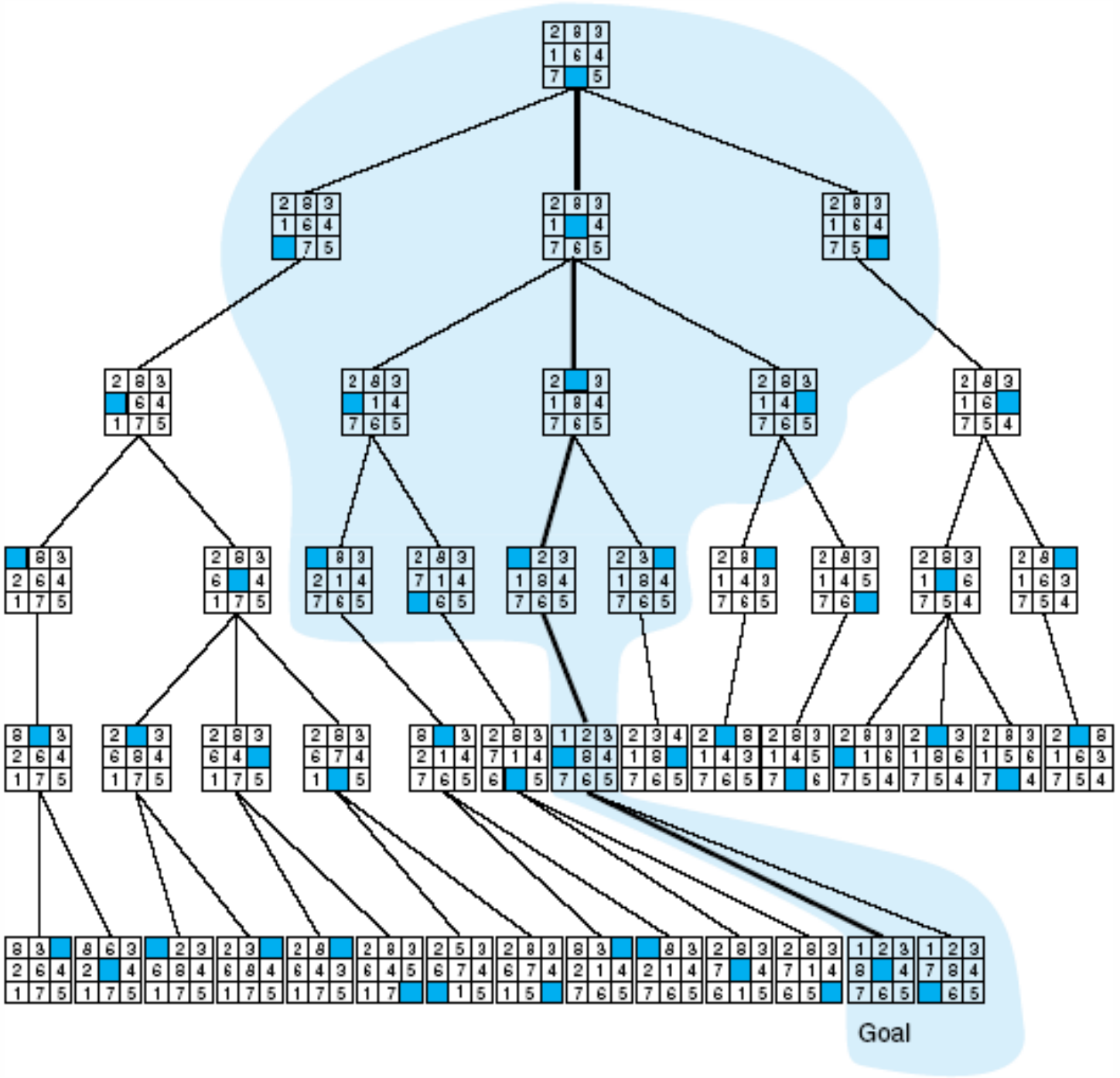
Monotonost (konsistentnost) hevristike

- ker ne zahtevamo $g(n)=g^*(n)$, lahko spočetka do nekaterih neciljnih vozlišč pridemo po daljši poti
- monotonost (lokalna dopustnost) pomeni, da do vsakega vozlišča pridemo po najkrajši poti, oziroma:
  - za vsa stanja n_i in n_j, kjer je n_j naslednik n_i
    $h(n_i) - h(n_j) <= cost(n_i, n_j)$
    kjer je $cost(n_i, n_j)$ dejanska razdalja med n_i in n_j
  - $h(goal) = 0$
- če je hevristika monotona, pri vsakem vozlišču že prvič vemo, da smo našli najkrajšo pot; ko zamenjamo oceno z dejansko vrednostjo, se f(n) ne zmanjša in je monotono nepadajoča
- vsaka monotona hevristika je tudi dopustna

Informiranost hevristik

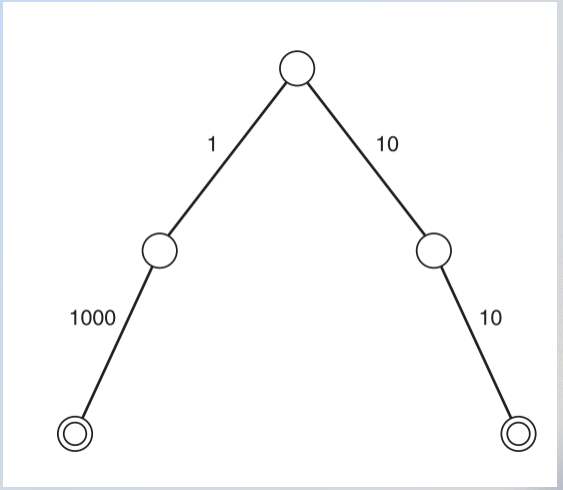
- želimo boljše hevristike
- za dve dopustni hevristiki h_1 in h_2 velja:
  če za vsa stanja n velja: $h_1(n) <= h_2(n)$ pravimo, da je $h_2(n)$ bolje informirana
- presojamo kvaliteto in časovno zahtevnost hevristike

- $h_1(n)=o$
- $h_2(n)=$ "ploščice, ki niso na mestu"



Poenostavitve algoritma "najprej najboljši"

- *f(n) = g(n)* oziroma *h(n)=o*
  - optimalno z monotono naraščajočim *g(n)*
  - razveji in omeji (branch and bound),
  - podobno deluje tudi Dijkstra
- *f(n) = h(n)*
  - požrešno iskanje, neoptimalno



Razveji in omeji (branch and bound)

```
// vrača zgornjo mejo, do koder je še smiselno preiskovati
// kličemo z: best = null ; branchAndBound(start_state, ∞)
// n – trenutno stanje
// d – zgornja meja iskanja

int branchAndBound (state n, int d) {

  if ( g(n)+h(n) ≥ d ) // omeji iskanje
    return ∞ ;
  if ( goal( n ) ) {
    best = n ; // nova najboljša rešitev
    return g(n) ; // nova meja
  }
  suc = successors (n);
  foreach ( s ∈ suc ) // razveji
    d = min(d, branchAndBound(s, d) ) ; // išči in ažuriraj mejo
  return d ;
}
```

Izboljšave algoritma A*

- težava algoritma A* je velika poraba pomnilnika, saj je potrebno hraniti vsa vozlišča z vrednostjo f(n) manjšo od ciljnega vozlišča
- izboljšave porabijo manj pomnilnika, a še vedno zagotavljajo optimalnost iskanja

Iterativno poglabljanje z A*

- Iterative-Deepening A* (IDA*)
- namesto poglabljanja globine iskanja, poglabljamo vrednost hevristične ocene f(n)
- deluje dobro pri problemih z malo različnih vrednosti *f(n)* in zelo slabo pri npr. zveznih vrednostih *f(n)*

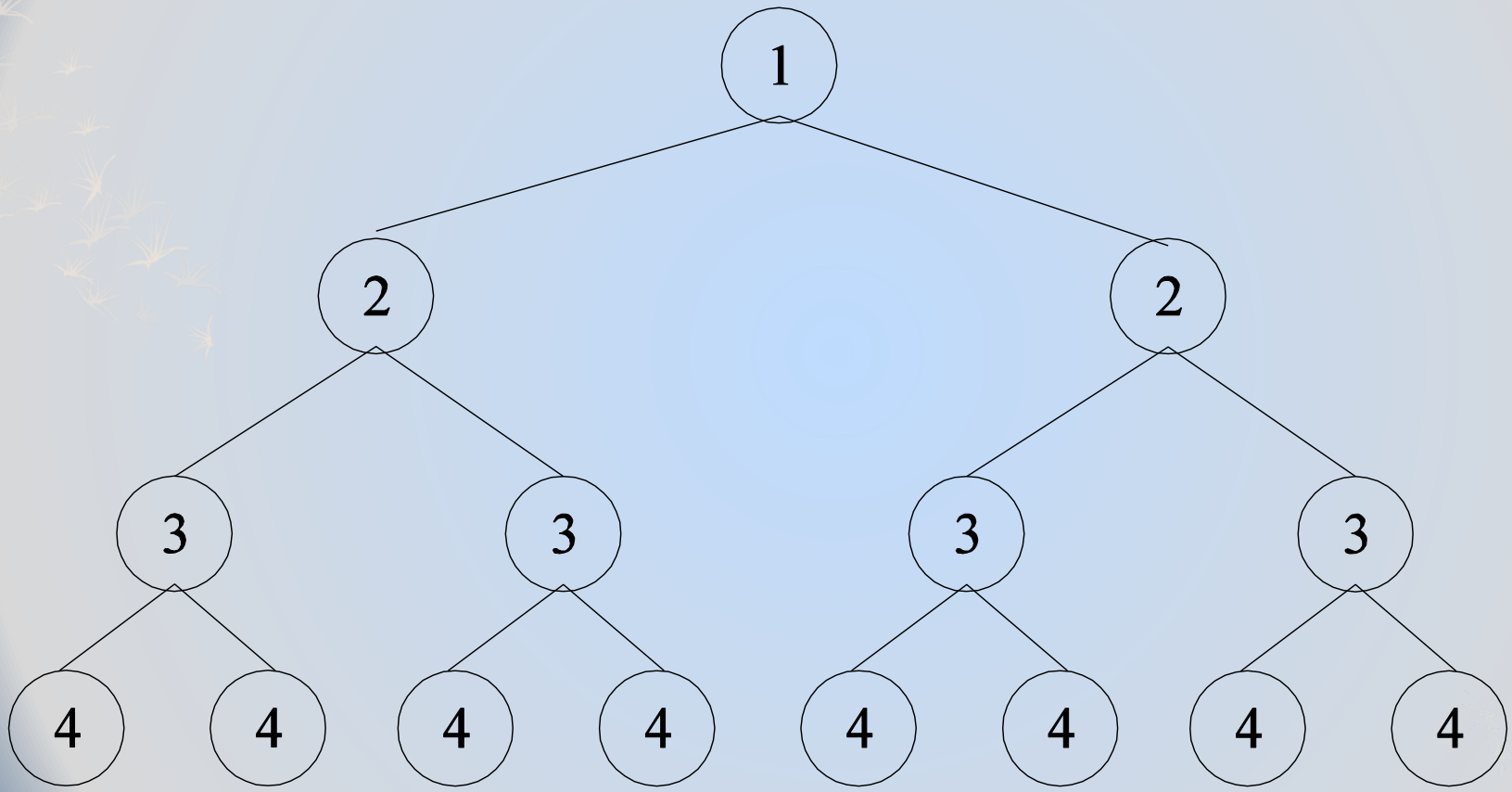
RBFS

- Recursive Best First Search, (Korf, 1993)
- shrani f vrednosti vseh otrok na trenutni poti,
- pri iskanju lahko zato preiskuje do meje sobratov
- pri vračanju si zapomni f vrednost najboljšega lista in zato ve, katere veje je vredno ponovno generirati
- prostorska zahtevnost $O(b \cdot d)$
- uspešnost odvisna od hevristične funkcije in potrebe po regeneriranju

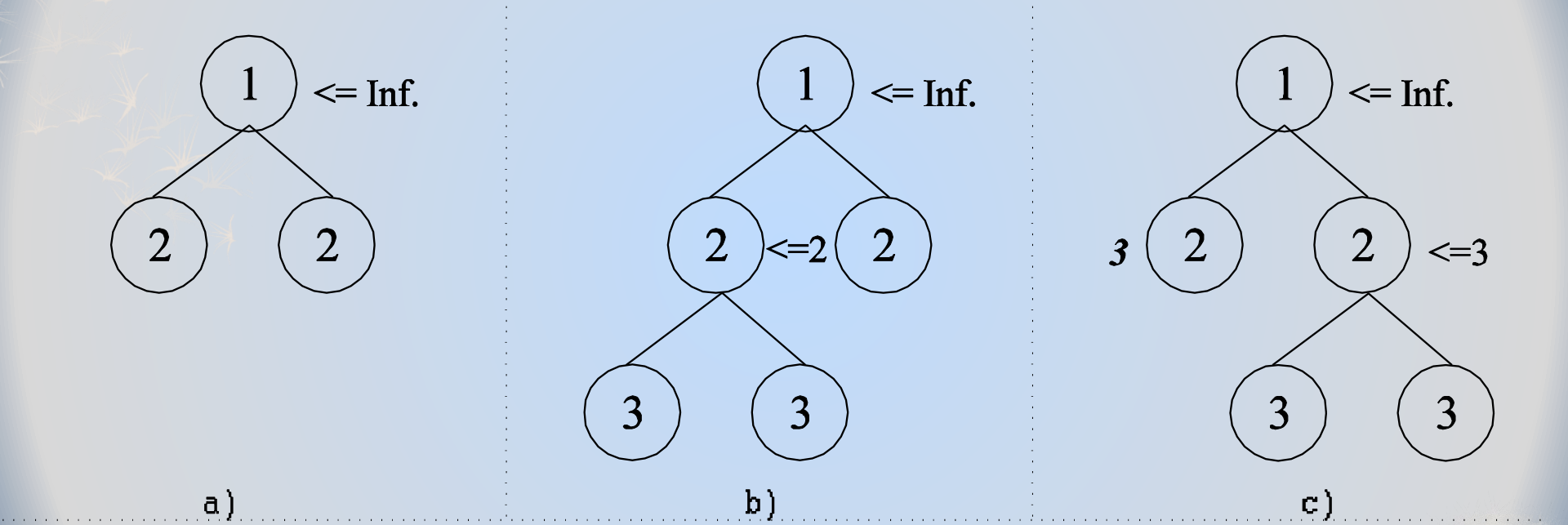
RBFS koda

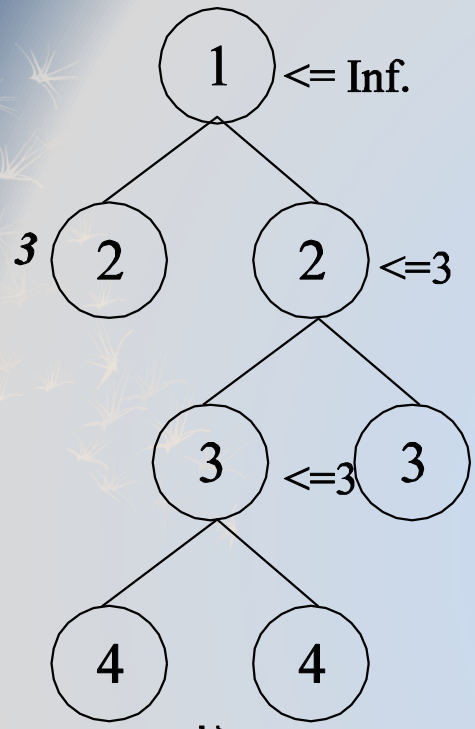
```
double rbfs(searchNode node, int bound) {

      if  (node.f > bound)
       return node.f ;

     if  ( goal(node)  )
       terminate_search(node) ;

    children =  getChildrenSorted(node) ;
    if (children.length == 0)
       return Infinite ;

    while  (children[0].f <= bound)   {
         if (children.length==1)
            fSiebling = Infinite ;
         else
            fSiebling = children[1].f ;

        children[0].f = rbfs(children[0], min(bound, fSiebling) ) ;
        children.sort() ;
    }
    return children[0].f

}
```

Prikaz delovanja RBFS: prostor stanj

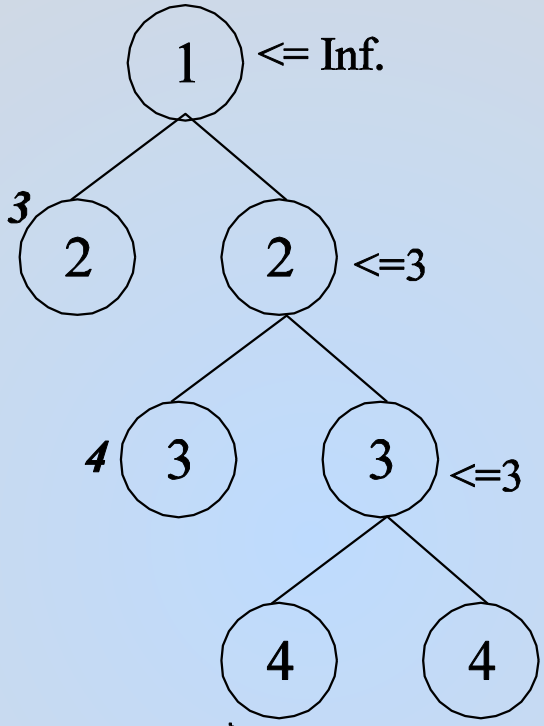


Prikaz delovanja RBFS

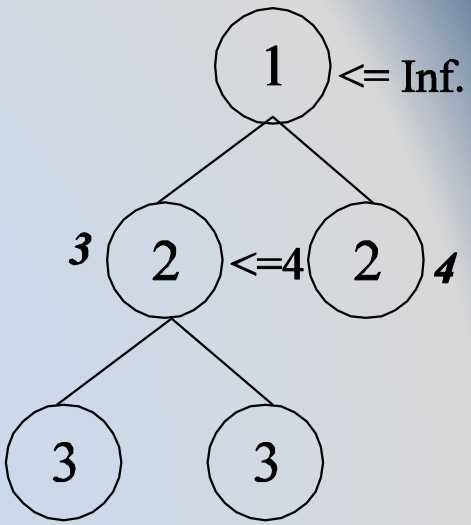




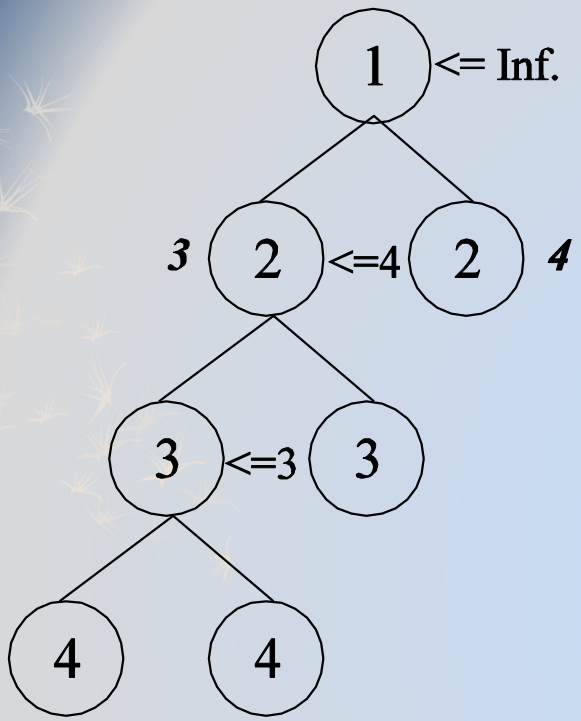
d)



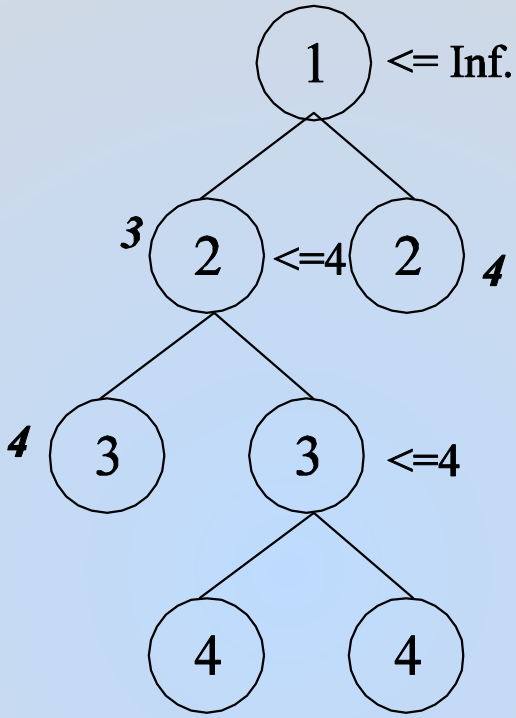
e)



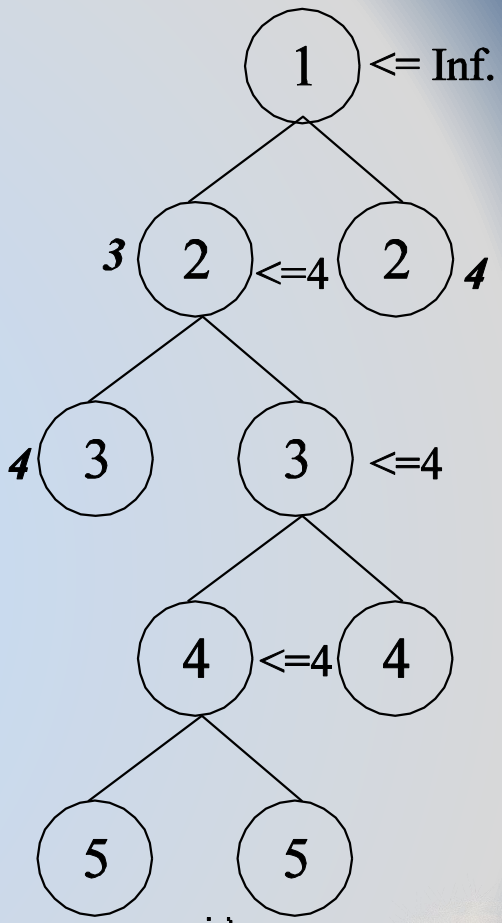
f)



g)



h)



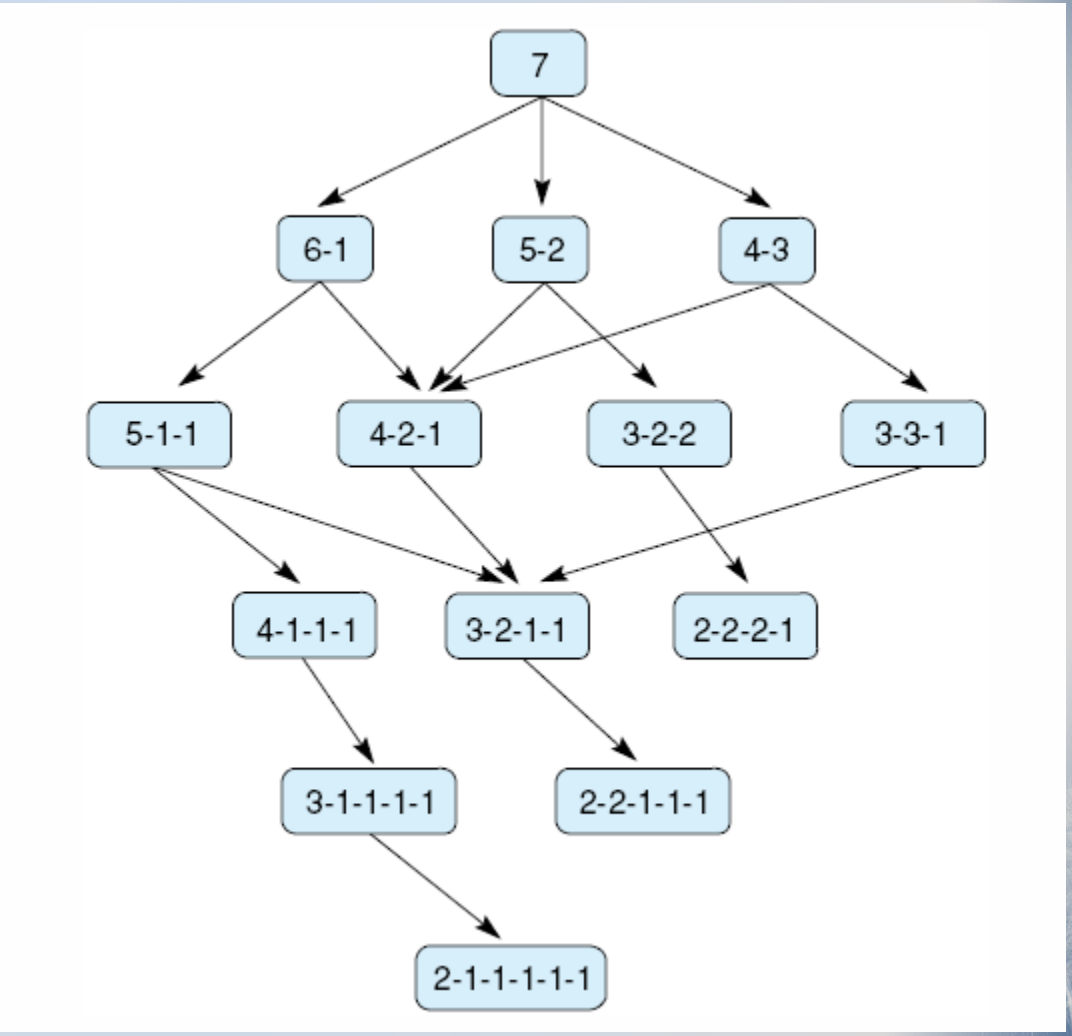
i)

MA* in SMA*

- pomnilniško omejena A* (memory bounded A*)
- deluje kot A*, dokler ne zmanjka pomnilnika, nato
  - odstrani list z najslabšo vrednostjo *f*
  - kot RBFS ažurira njegovo vrednost v predhodniku
  - če ima več listov enako vrednost *f*, odstrani najstarejšega, razširi najmlajšega
- SMA* najde optimalno rešitev kot A*

Hevristično preiskovanje in princip minimaksa

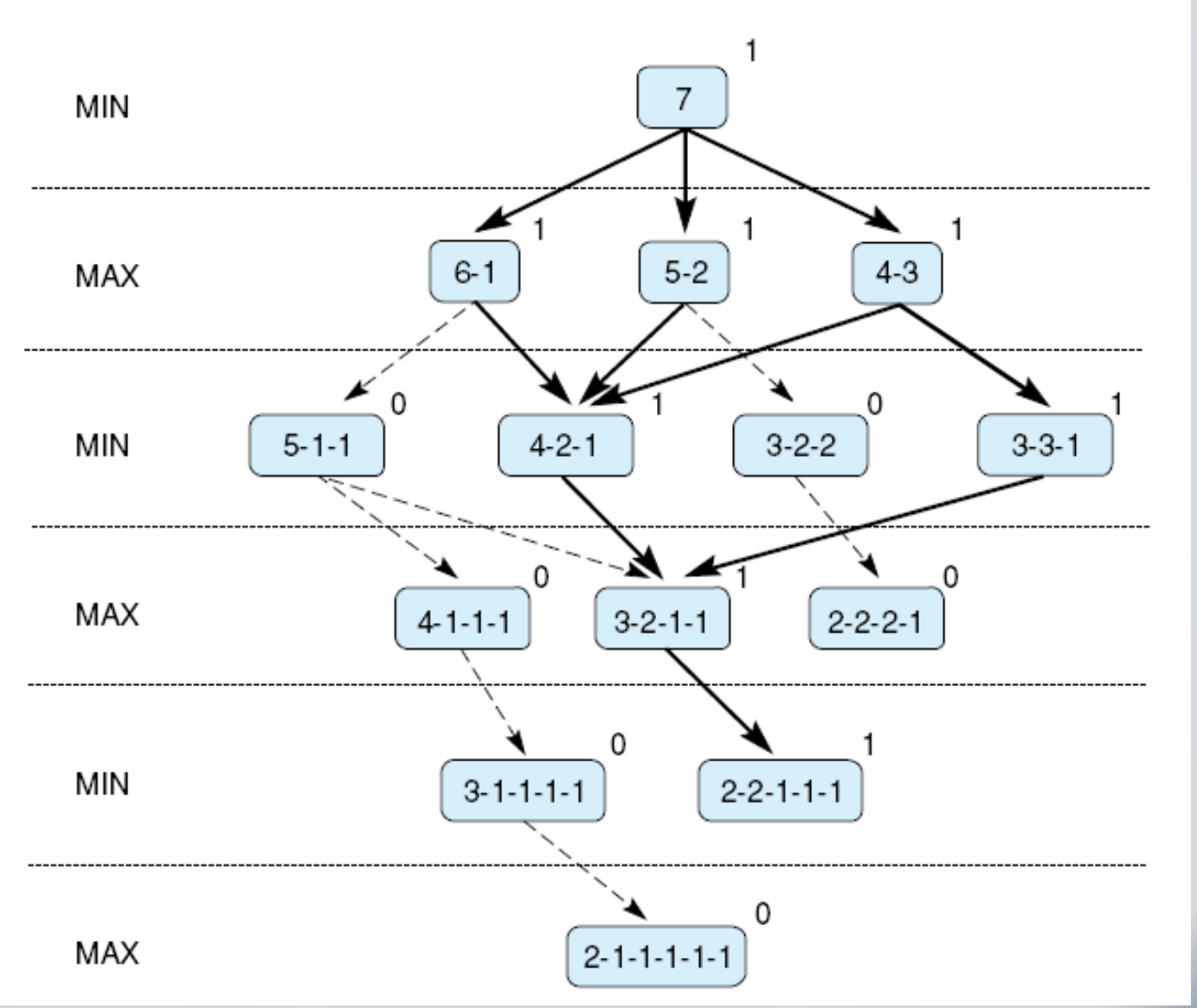
- osnova: igra dveh nasprotnikov
- primer nim: nasprotnika izmenoma delita ploščice na dva neenaka kupa; nasprotnik, ki ne more deliti izgubi
- primer: nim 7 (majhen prostor stanj, lahko pregledamo vse)



Princip MINIMAKS

- predpostavka: nasprotnika imata na voljo enake informacije, oba poskušata zmagati
- igralec MAX (poskuša maksimizirati svoj rezultat) proti igralcu MIN (poskuša minimizirati MAX-ov rezultat)
- vozlišča označimo po nivojih glede na to, kdo je na potezi
- liste označimo: 1 zmaga MAX, 0 zmaga MIN
- minimax vrednosti propagira navzgor
  - če je predhodnik MAX, dobi maksimum naslednikov
  - če je predhodnik MIN, dobi minimum naslednikov
  - vrednosti določajo, kaj največ lahko igralec pričakuje, in poteze izbiramo glede na njih

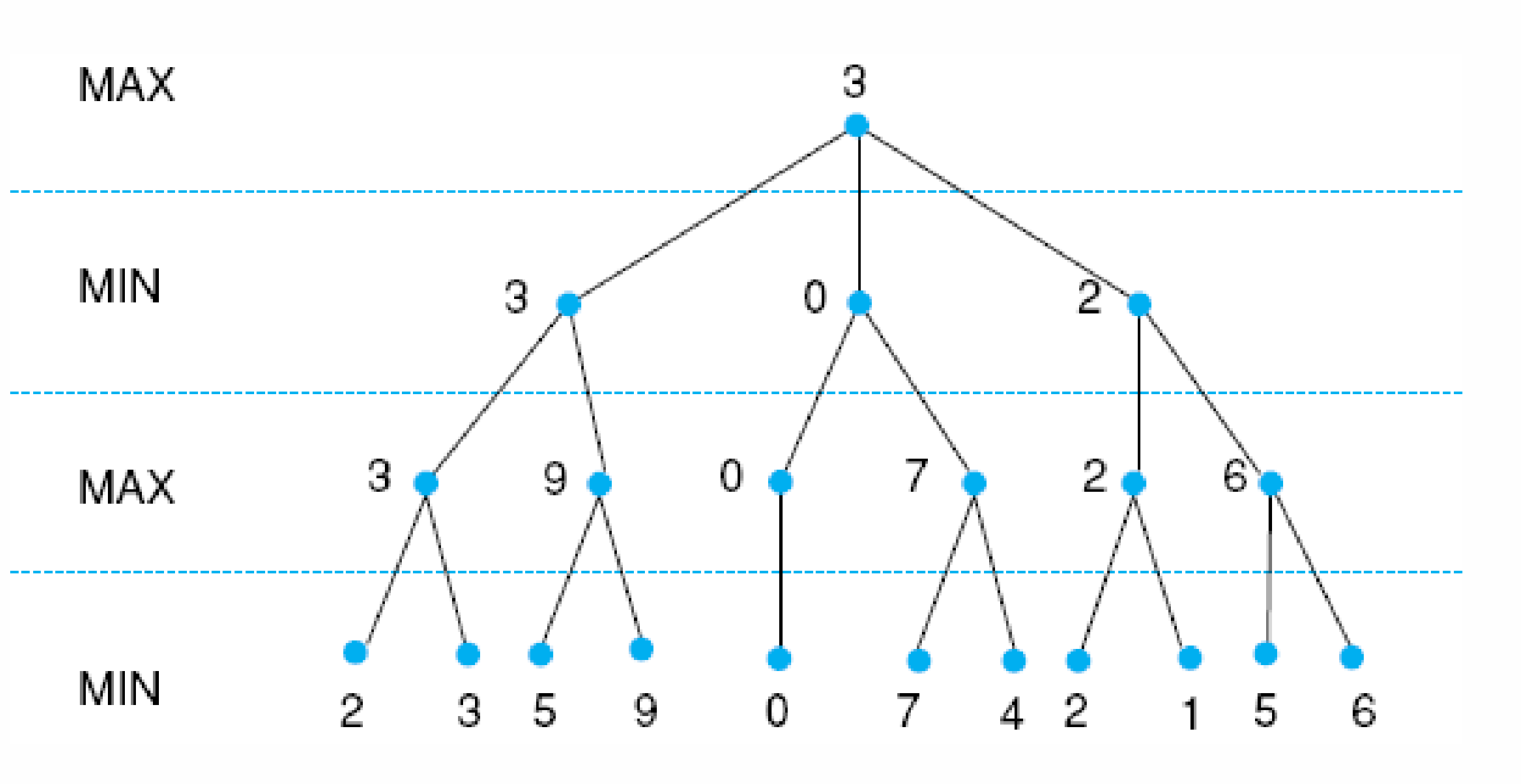
Minimaks na nim 7



Minimax fiksne globine

- v zanimivih igrah prostora stanj ne moremo pregledati do listov
- pregledamo do neke (fiksne) globine glede na čas, računske in pomnilniške zmogljivosti
- pogled naprej globine *n* (n-ply look-ahead)
- na globini n vozliščem določimo hevristično oceno kvalitete in jo propagiramo navzgor
- minimax tako izračuna oceno najboljšega stanja do globine *n*
- hevristike za šah, npr. število in moč figur, postavitev figur, ...

Primer: minimax globine 4



Minimax koda

```
double minimax (currentNode) {

    if ( isLeaf (currentNode) || depth(currentNode) == MaxDepth )
       return heuristicEvaluation (currentNode);

    if ( isMinNode (currentNode) )
      return min ( minimax (children (currentNode)) );

    if ( isMaxNode (currentNode) )
       return max (minimax (children (currentNode)) );

}
```

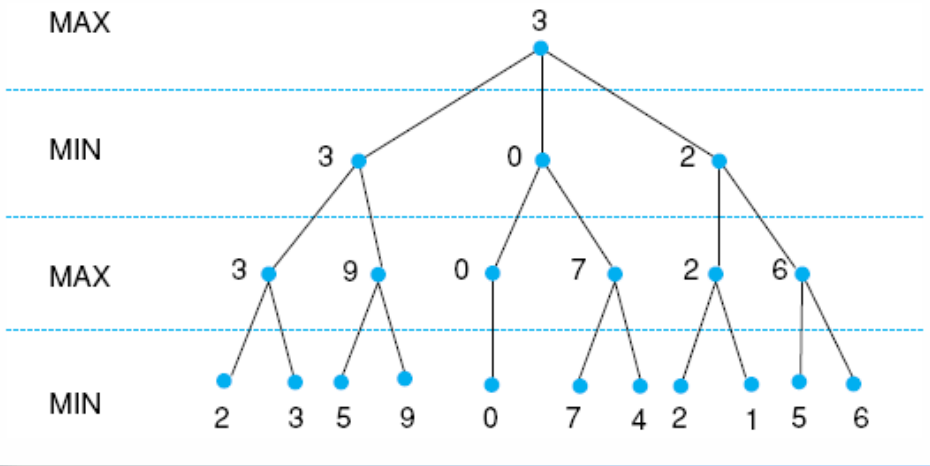
Analiza minimaksa

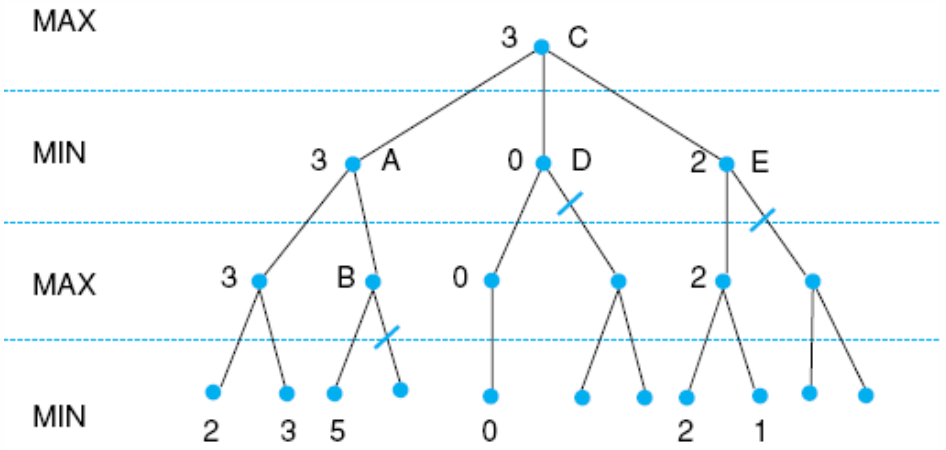
- kratkovidno, ne vidi dlje kot *n*
- (na videz) dobro stanje na neki globini lahko zapelje igralca
- popravek: selektivno preiščemo še nekaj nivojev naprej od dobrega stanja
- anomalije minimaksa: kršenje predpostavk, težavnost nekaterih pozicij

Alfa-beta rezanje

- minimaks preišče vsa vozlišča do globine *n* in ocene propagira navzgor
- številna poddrevesa so lahko neperspektivna in jih ne bi bilo treba preiskati
- ideja:
  - preiskujmo v globino,
  - za MAX vozlišča predstavlja α najboljšo doslej najdeno vrednost
  - za MIN vozlišča predstavlja β najslabšo vrednost doslej
  - zavržemo MAX vrednosti manjše od α in MIN vrednosti večje od β

Prikaz α-β rezanja





A has β = 3 (A will be no larger than 3)
B is β pruned, since 5 > 3
C has α = 3 (C will be no smaller than 3)
D is α pruned, since 0 < 3
E is α pruned, since 2 < 3
C is 3

Pravila α-β rezanja

- odrežemo naslednike MIN vozlišča z β vrednostjo manjšo ali enako α vrednosti njegovega MAX predhodnika
- odrežemo naslednike MAX vozlišča z α vrednostjo večjo ali enako β vrednosti njegovega MIN predhodnika
- primerjamo torej nivo *m-1* in *m+1*, da režemo na nivoju *m*

α-β rezanje: pedagoška implementacija

```
double alphaBeta (currentNode) {
    if ( isLeaf (current_node) )
      return heuristicEvaluation (currentNode);

    if ( isMaxNode (currentNode)  &&
          alpha (currentNode)  >=  beta (minAncestor (currentNode) )
       stopSearchBelow (currentNode);

    if ( isMinNode (currentNode)  &&
           beta (currentNode) <= alpha (maxAncestor(currentNode) )
      stopSearchBelow (currentNode);

}
```

α-β rezanje: implementacija

- v izogib doseganju vrednosti α in β nazaj pri predhodnikih, te vrednosti pošljemo kot parametre
- za MAX vozlišče shranimo minimum β vrednosti svojih MIN naslednikov kot beta
- za MIN vozlišče shranimo maksimum α vrednost svojih MAX naslednikov kot alpha
- vsako notranje vozlišče bo tako hranilo vrednosti alpha in beta
- koren drevesa inicializiramo kot $\alpha = -\infty$, $\beta = \infty$

α-β rezanje: koda

```
double alpha_beta (current_node, alpha, beta) {
    if ( is_leaf (current_node) )
      return heuristic_evaluation (current_node);
    if ( is_max_node (current_node) ) {
        alpha = max (alpha, alpha_beta (children, alpha, beta));
        if alpha >= beta
            cut_off_search_below (current_node);
    }
    if  is_min_node (current_node){
        beta = min (beta, alpha_beta (children, alpha, beta));
        if beta <= alpha
          cut_off_search_below (current_node);
    }

}
```

- klic: alpha_beta (start_node, -infinity, infinity)

Dama

- (b≈8, n ≈10^{20})
- (Samuel, 1959)
  - minimax, α-β, ocena pozicij
  - na nivoju srednje dobrih igralcev
- Chinook (Schaeffer , 1990, 1994-)
  - minimax, α-β, zelo dobra ocena pozicij, baza končnic z do 8 figur, baza otvoritev, do globine 20, rezanje vnaprej glede na izgubo
  - premaga svetovnega prvaka
- Blondie24 (Fogel, 2000)
  - uči se strategije z nevronskimi mrežami in evolucijskimi pristopi
  - na ravni dobrih igralcev

Šah

- (b≈38, n ≈10^{120})
  - minimax, α-β, ocena pozicij, baza otvoritev
  - najboljši programi preiskujejo do globine približno 12
  - linearna povezava med globino preiskovanja in kvaliteto igre
  - 1997, DeepBlue premagal svetovnega prvaka
  - DeepFritz, Rybka

Go

- Go: plošča 19 x 19, b ≈ 360
- leta 2016 AlphaGO premaga svetovnega prvaka
- pristop z globokimi nevronskimi mrežami in spodbujevanim učenjem
- Go-Moku, 15 x 15, varianta 5 v vrsto, dokončno rešena

Nekaj drugih iger

- Othello (reversi), do globine 50, premaga svetovnega prvaka
- arimaa, šahovska plošča, figure (b ≈ 17281)

Verjetnostne igre

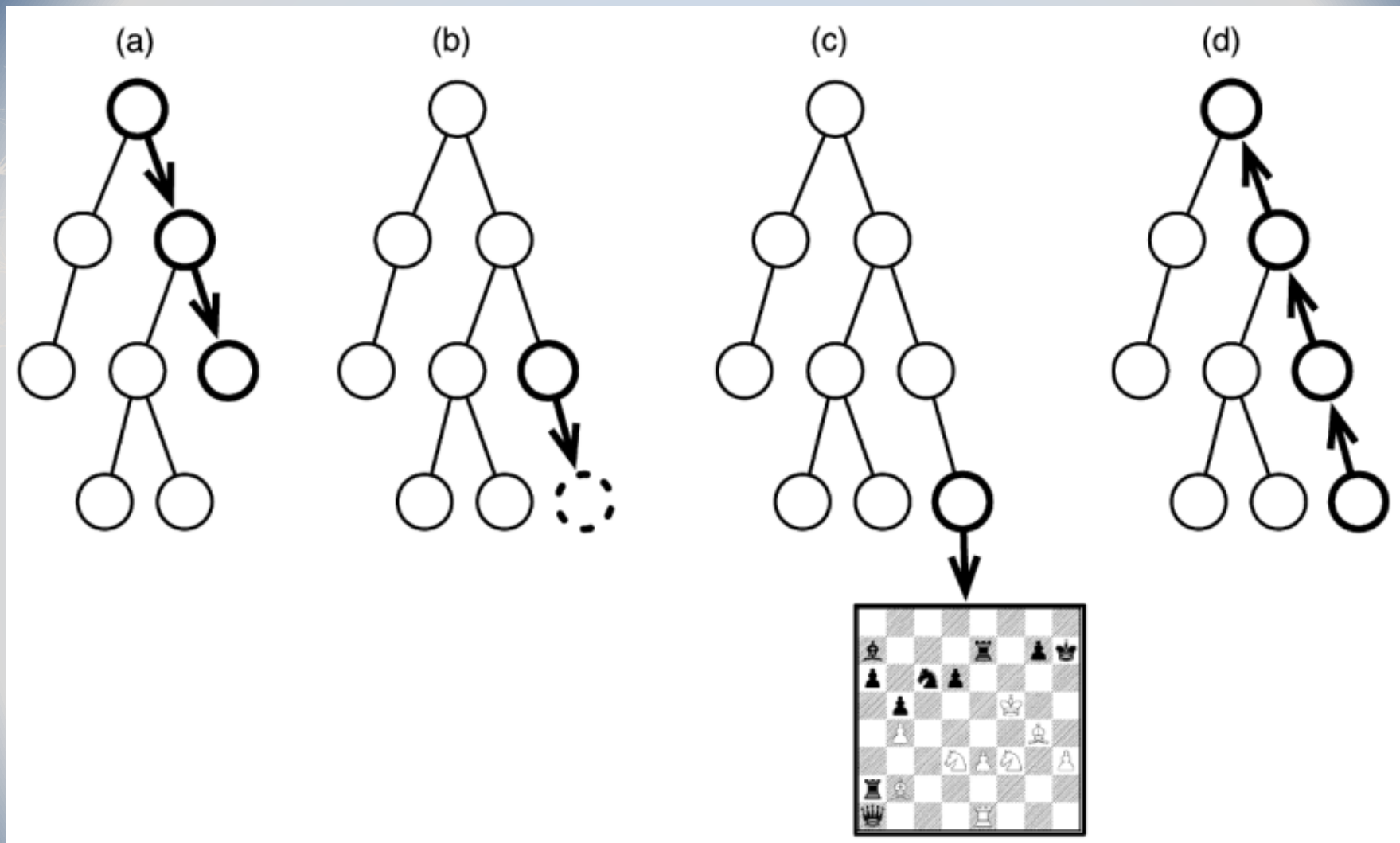
- backgammon, bridge, tarok, poker
- expectiminimax: verjetnostna inačica minimaksa
- Monte-Carlo drevesno preiskovanje: selektivno naključno preiskovanje nekaterih pozicij, statistična ocena uspešnosti, dilema med raziskovanjem novih potez in izkoriščanjem že znanih dobrih potez

Expectiminimax

- kot minimax, a v uporabi tam, kjer so izidi negotovi, npr. v igrah z verjetnostnimi elementi (karte, kocke, igre na srečo….)
- namesto determinističnega minimaxa izračunaj pričakovani minimax (matematično upanje)
- hevristične ocene ocenijo verjetnost dogodkov
- primer: oceni verjetnost, da ima igralec v roki določeno karto

Drevesno preiskovanje Monte Carlo

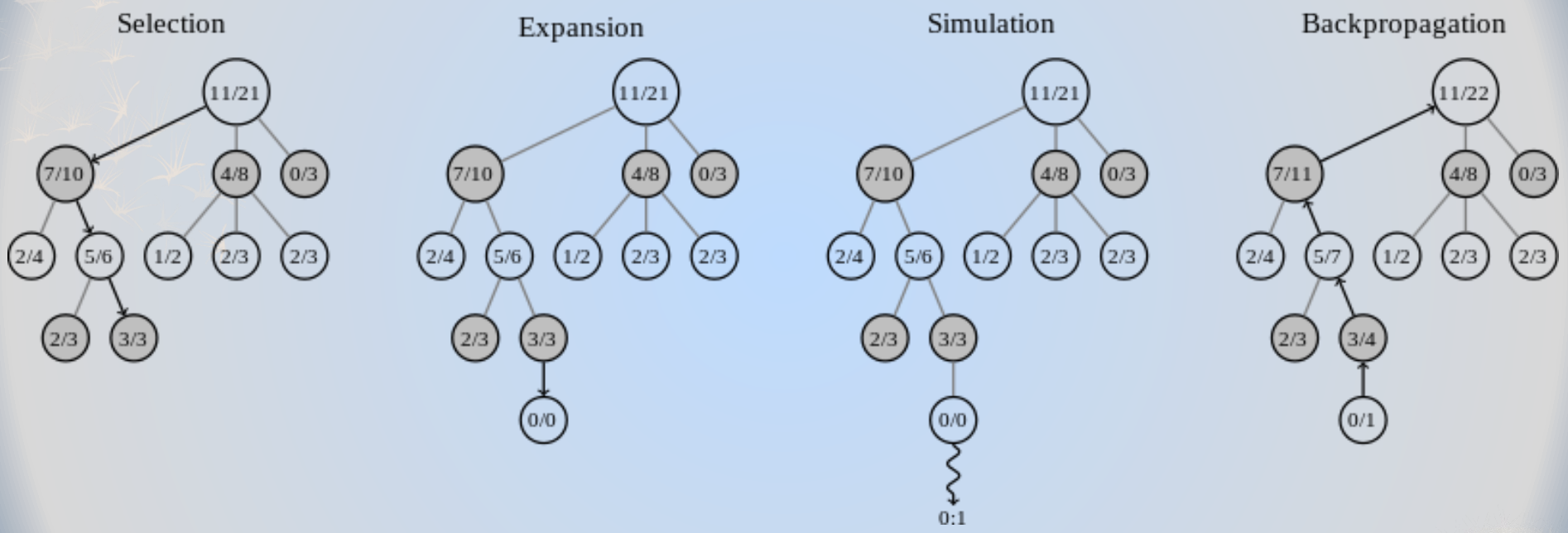
- Monte Carlo Tree Search (MCTS)za velike prostore stanj so izčrpne metode neuporabne
- ocene kakovosti stanj je včasih težko določiti, potrebno je razviti teorijo za vsako igro posebej
- alternativa.: oceni stanje na podlagi vzorčenja
- predstavi preiskovalni prostor z drevesom
- ideja:
  1. simuliraj naključne ocene, dokler se igra ne konča (torej do lista drevesa)
  2. propagiraj odločitev proti korenu
  3. ponavljaj postopek
  4. izberi vozlišče (potezo)) glede na delež uspešnih iger
- ocenjevalna hevristika ni potrebna
- MCTS dokazano konvergira v minimax, ko gre število simulacij v neskončnost


(a)
(b)
(c)
(d)

Sestavni deli MCTS

- mnogo naključnih simulacij
- štirje iterativni koraki
  - **izbira** – izberi (vrhnje) vozlišče
  - **širitev** – dodaj nova vozlišča v drevo
  - **simulacija** – simuliraj igro iz izbranega vozlišča
  - **ažuriranje** – rezultat iz lista se propagira proti korenu, obiskana vozlišča dobijo nove vrednosti

Ilustracija MCTS



“Hevristična ocena” vozlišč

- v resnici izbira vozlišča
- popolnoma naključno – mogoče, a je variance velika
- najdi ravnotežje med “išči ali izkoristi” (explore or exploit)
- način UCT (Upper Confidence bounds applied to Trees)

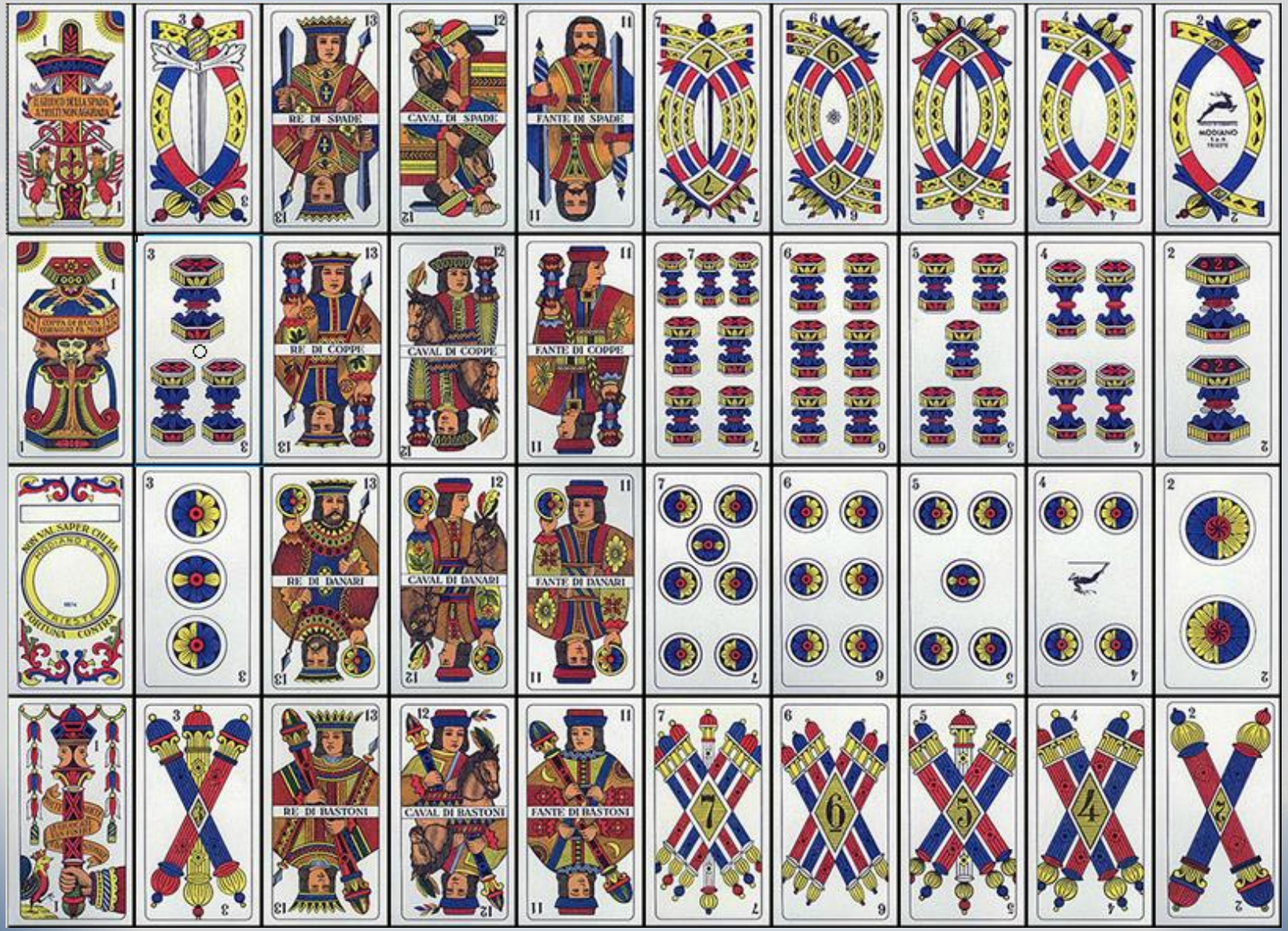
UCT

$$k = \text{argmax}_{i \in I}\left(\frac{w_i}{n_i} + \text{C}\sqrt{\frac{\ln n}{n_i}}\right)$$

- izračunaj UCT za vsa vrhnja (kandidatna) vozlišča i (poteze), kjer je
  w_i – število zmag iz vozlišča i
  n_i – število obiskov vozlišča i
  n – število obiskov vseh vrhnjih vozlišč n = n1 +n2 + …
  C – koeficient za uravnavanje izbire med išči ali izkoristi

  izberi vozlišče (potezo) z maksimalnim UCT

Praktičen primer: igra tršet



Pravila tršeta

- 2, 3 ali 4 igralci
- 4 barve po 10 kart
- moč kart (najmočnejša jemlje)
  - 3, 2, as, kralj, kaval, fant
  - 7, 6, 5, 4 (*brez točk*)
- točkovanje
  - as: 1 točka
  - 3, 2, kralj, kaval, fant: ⅓ točke
  - 7, 6, 5, 4: 0 točk
  - zadnji vzetek: 1 točka
- pravilo odgovarjanja na barvo

Tršet za dva igralca

- vsak igralec dobi 10 kart
- 20 kart ostane na kupu s hrbtom obrnjenim navzgor (element negotovosti)
- po vsakem vzetku igralca vzameta po eno karto iz kupa in jo pokažeta nasprotniku
- postopno se negotovost zmanjšuje
- po 10 rundi imamo na voljo vso informacijo

Tipične strategije tršeta

- skupaj je na voljo 11 in 2/3 točke, za zmago jih je potrebno dobiti 6
- preproste hevristike:
  - igralci skušajo osvojiti svoje in nasprotnikove ase, 2, 3 in glave (kralj, kaval, fant)
  - skušajo dobiti zadnjo rundo
  - prednost so sekvence

Avtomatski igralec za tršet v dva

- cilj: razviti avtomatskega igralca tršeta na osnovi expectiminimaksa in MCTS
- časovna omejitev: 1 sekunda računskega časa na strežniku za vsako potezo
- magistrsko delo Žana Kafola

Expectiminimax

- v vsaki rundi
- generiraj vse možne konfiguracije nasprotnikovih kart in kart v talonu
- preveč kombinacij za izčrpno preiskovanje
- ustavi se na nekem nivoju in hevristično oceni situaciji
- težko je najti hevristiko za oceno kakovosti igralne pozicije

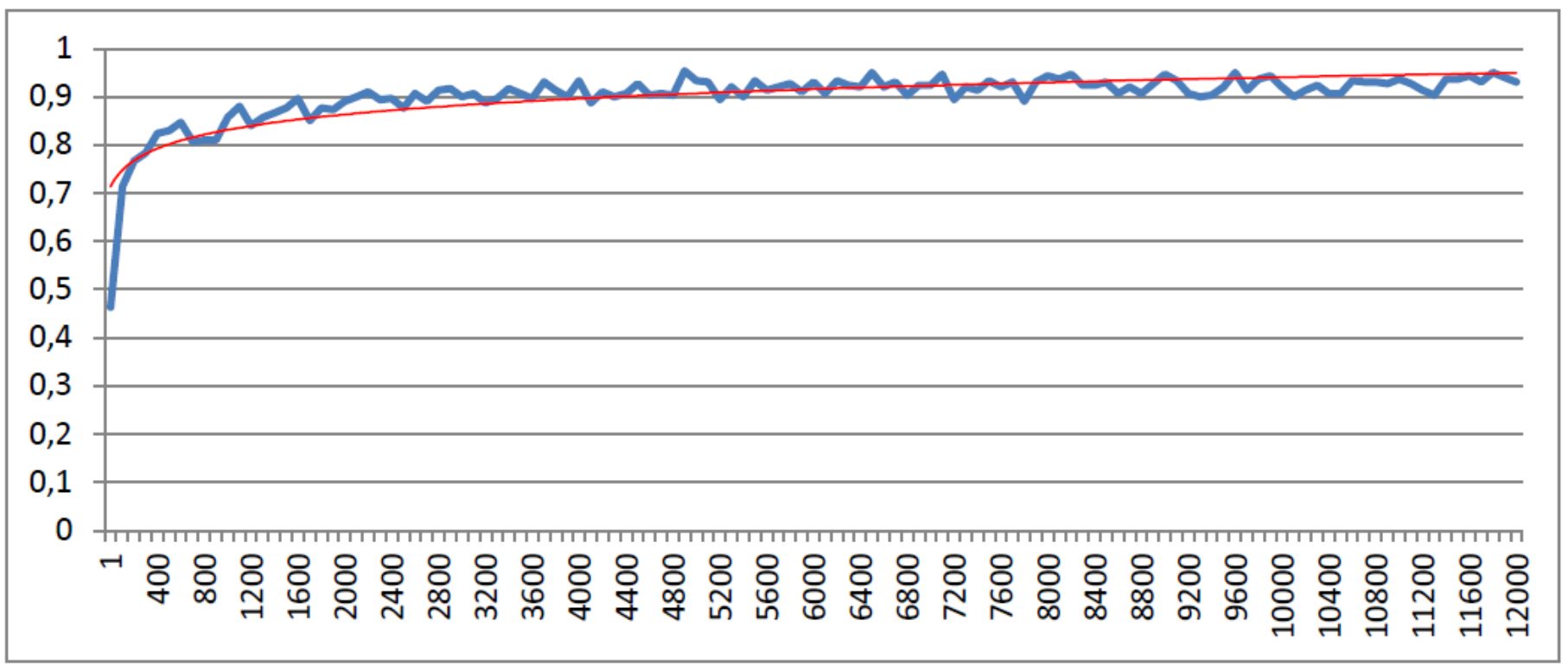
Minimax

- od 10. runde naprej imamo na voljo vse informacije
- lahko iščemo izčrpno z minimaksom
- uporabimo α-β rezanje

MCTS

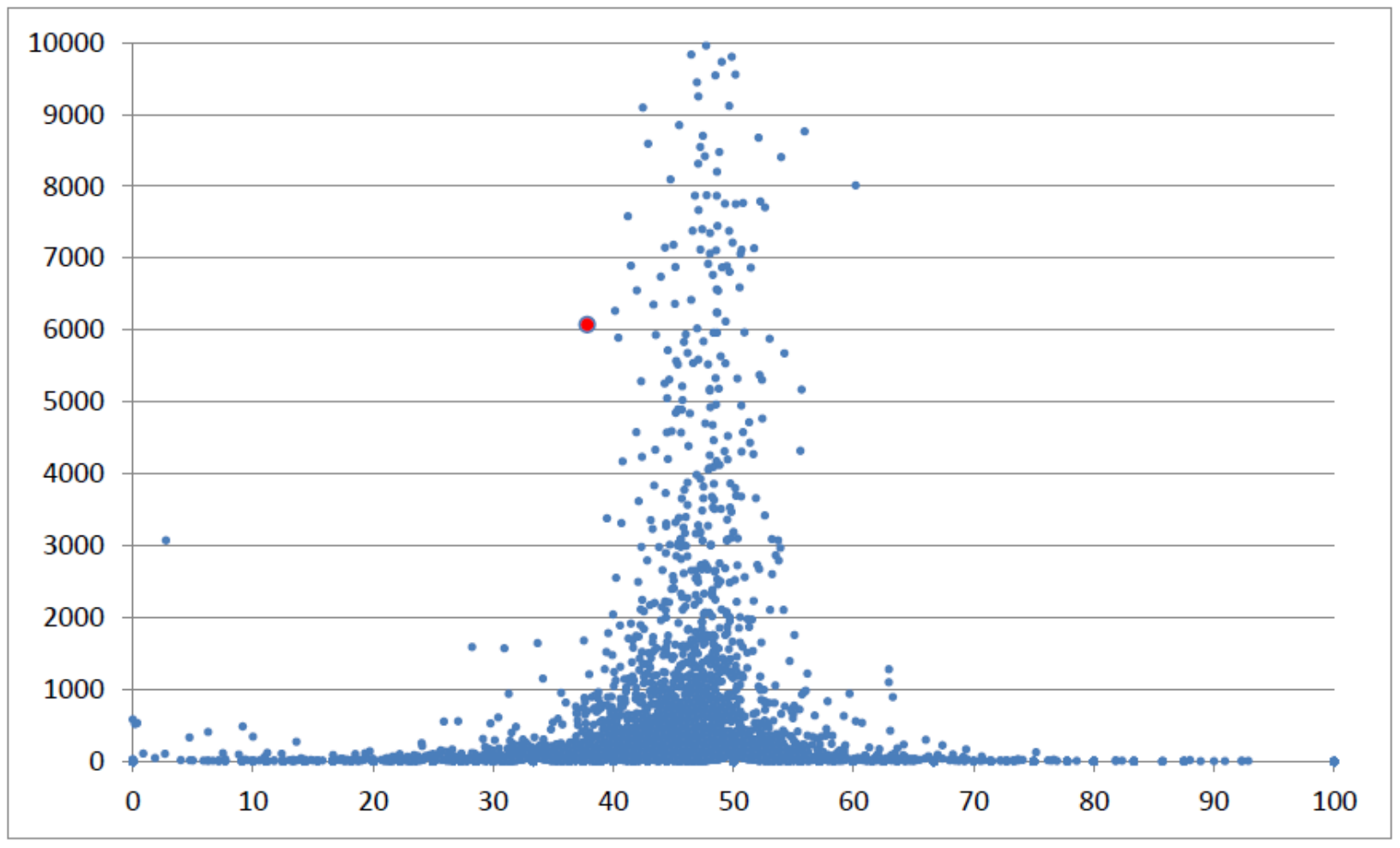
- do 10. runde, ko smo še v negotovosti in bi bilo vseh kombinacij preveč
- uporabimo MCTS z UCT izbiro
- upoštevamo časovno omejitev

MCTS proti naključnemu igralcu



MCTS proti človeškim igralcem

- 37.7% uspeh, povprečen človeški igralec 38.9%



Izboljšave MCTS

- ideja: uporabi shranjene poteze človeških igralcev
- določi začetno kakovost posameznih potez
- izboljšaj z MCTS
- majhna verjetnost, da bi našli povsem enako igro
- problem: kako določiti podobne igre?

Pristop k izrabi človeškega znanja

- 16 milijonov shranjenih potez
- uporabi le dobre (nadpovprečne) igralce
- določi atribute igre, da najdeš podobne igre
- npr. število asov, dvojk, trojk, sekvence, …
- najdi poteze človeških igralcev narejene v podobnih okoliščinah
- za iskanje uporabi npr. kd-drevesa

Uporaba človeškega znanja

- 1. način
  - uporabi kNN za izbiro najboljše poteze glede na dano strukturo podobnosti
  - izbrano potezo prilagodi na konkretno situaciji
- 2. način
  - preštej zmage glede na dano potezo in uporabi to v UCT

- le majhen napredek v primerjavi z osnovnim MCTS: na voljo ni dovolj časa, da bi naredil dovolj MCTS iteracij