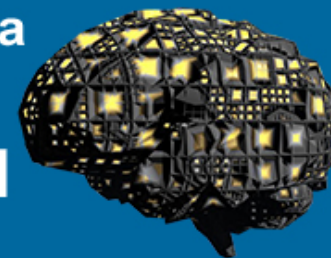


Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultāte

Sistēmu teorijas un projektēšanas katedra

MĀKSLĪGĀ INTELEKTA PAMATI



3. Modulis "Informētas pārmeklēšanas stratēģijas stāvokļu telpā"

3.4. Tēma

Heiristika divpersonu spēlēs (spēlēs ar pretinieku)

Dr.habil.sc.ing., profesors **Jānis Grundspenķis**, Dr.sc.ing., lektore **Alla Anohina**

Sistēmu teorijas un projektēšanas katedra

Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultāte

Rīgas Tehniskā universitāte

E-pasts: {janis.grundspenkis, alla.anohina}@rtu.lv

Kontaktadrese: Meža iela 1/4- {550, 545}, Rīga, Latvija, LV-1048

Tālrunis: (+371) 67089{581, 595}

Tēmas mērķi un uzdevumi

Tēmas mērķis ir sniegt zināšanas un prasmes divpersonu spēļu realizācijā.

Pēc šīs tēmas apgūšanas Jūs:

- zināsiet, kas ir divpersonu spēle un divpersonu spēle ar pilnu informāciju;
- pratīsiet noteikt, vai spēle pieder pie divpersonu spēlēm ar pilnu informāciju;
- zināsiet spēles koka pamatelementus un raksturojumus;
- pratīsiet atspoguļot divpersonu spēli ar spēles koka palīdzību;
- pratīsiet pielietot Minimaksa un α - β algoritmus divpersonu spēļu realizācijai.

Pārmeklēšana spēlēs ar pretinieku

Spēles vienmēr ir bijušas heiristisku algoritmu pielietojuma sfēra. Apskatīsim kā dators var spēlēt divpersonu spēlēs.

Divpersonu spēle:

- Divpersonu spēlē piedalās divi spēlētāji, piemēram, viens spēlētājs ir cilvēks, otrs spēlētājs ir dators
- Spēlētāji veic gājienus pēc kārtas līdz spēles beigām
- Divpersonu spēles ir konflikta spēles, jo katrs spēlētājs grib uzvarēt
- Spēlētāji lieto heiristiku, lai vadītu spēli uz uzvaru

Divpersonu spēļu daudzveidība

Divpersonu spēles ir dažādas.

Apskatīsim tādu spēli kā šahs. Šajā spēlē abi spēlētāji, novērojot uz galdiņa esošās figūras, var pateikt, kāda situācija ir izveidojusies, un kādi gājieni var tikt izpildīti nākamajā brīdī.

Savukārt, kāršu spēlē „Bridžs” spēlētājs nezina, kādas kārtis ir pretiniekam, un kādu nākošo gājienu viņš var izdarīt.

Spēles, kas ir līdzīgas šaham, sauc par divpersonu spēlēm ar pilnu informāciju.

Divpersonu spēles ar pilnu informāciju (1)

Divpersonu spēles ar pilnu informāciju raksturojas ar to, ka:

- katrā spēles brīdī katram spēlētājam ir informācija par to, kāda situācija ir izveidojusies (kādi gājieni tika izpildīti, kādi spēles stāvokļi tika apmeklēti), un kas var tikt izdarīts nākamajā brīdī;
- gadījuma faktori, piemēram, uz metamā kauliņa uzņemtais punktu skaits, netiek iesaistīti šādās spēlēs.

Divpersonu spēles ar pilnu informāciju (2)

Pie divpersonu spēlēm ar pilnu informāciju pieder:

- dambrete
- krustiņi- nullītes
- šahs



Šai kategorijai nepieder:

- bridžs
- cirks
- pokers
- riču - račs
- nardi

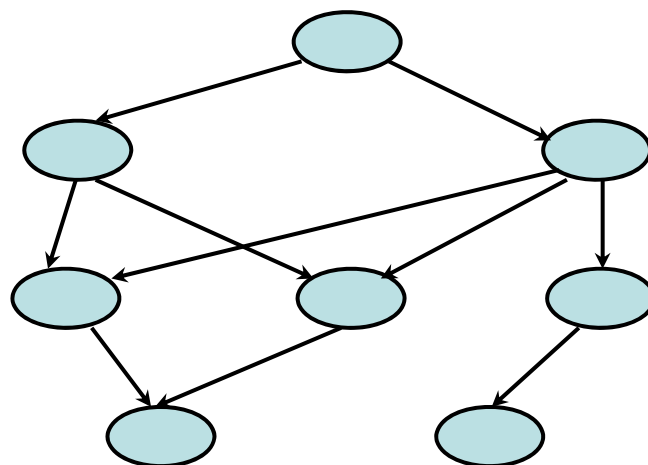


Spēles koks

Spēles koks tiek izmantots divpersonu spēļu datorrealizācijai. Tas atspoguļo visu, kas var notikt spēlē.

Spēles koks sastāv no virsotnēm un lokiem, kas savieno šīs virsotnes.

Vizuāli spēles koks var izskatīties, piemēram, šādi:



Spēles koka virsotnes

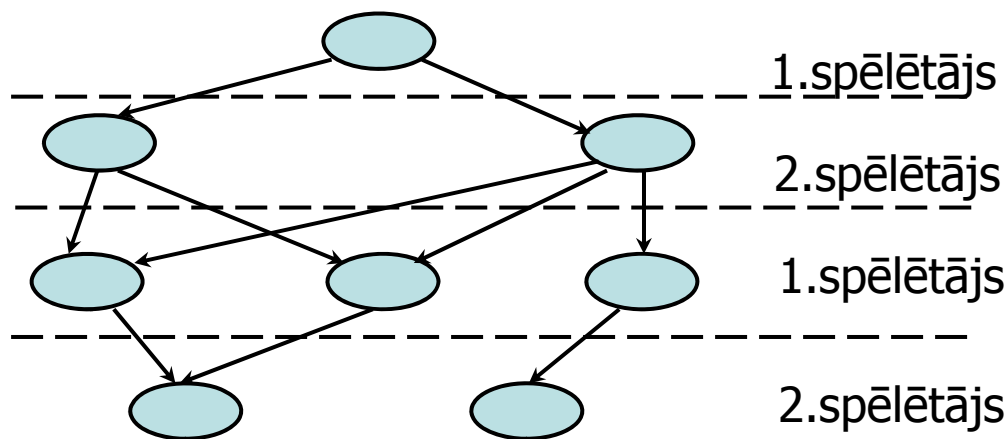
Spēles koka virsotnes atspoguļo iespējamās diskrētos spēles stāvokļus. Piemēram, spēlē “krustiņi-nullītes” spēles stāvokļus nosaka krustiņu un nullīšu skaits un izvietojums uz spēles lauciņa.

Spēles koks ietver sevī šādas virsotnes:

- Saknes virsotnes
- Strupceļa virsotnes
- Iekšējās virsotnes

Spēles koka līmeņi

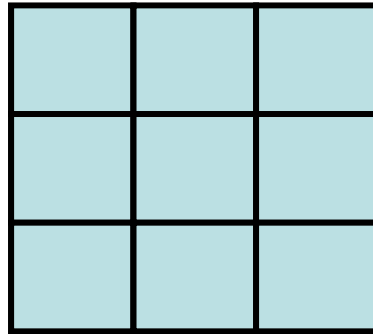
Tipiski spēles koks sastāv no vairākiem līmeņiem. Katrā līmenī ir izvietotas viena vai vairākas virsotnes, kas atspoguļo spēles stāvokļus, no kuriem veic gājienus tikai viens no diviem spēlētājiem.



Saknes virsotnes

Saknes virsotne atrodas spēles koka augstākajā līmenī un atspoguļo spēles sākumstāvokli.

Piemēram, spēlē “krustiņi-nullītes” spēles sākumstāvoklim atbilst tukšs spēles lauciņš:



Savukārt, šahā sākumstāvoklim atbilst figūru izvietojums uz spēles galda, spēli sākot.

Spēles kokā var būt arī vairākas saknes virsotnes.

Strupceļa virsotnes

Spēles koka **strupceļa virsotnēm** nav izejošo loku. Tās atbilst spēles beigu stāvokļiem.



Piemērs:

Daži no iespējamajiem beigu stāvokļiem spēlē "krustiņi-nullītes" ir šādi:

X	0	0
	0	
X	X	X

X	0	X
	0	
X	0	0

X	0	
0	X	
		X

Iekšējās virsotnes

Spēles koka ***iekšējās virsotnes*** atspoguļo spēles starpstāvokļus.



Piemērs:

Spēlē "krustiņi-nullītes" daži no starpstāvokļiem ir šādi:

X	0	
	0	

	0	X
X	0	0

X		
0		
		X

Spēles koka loki

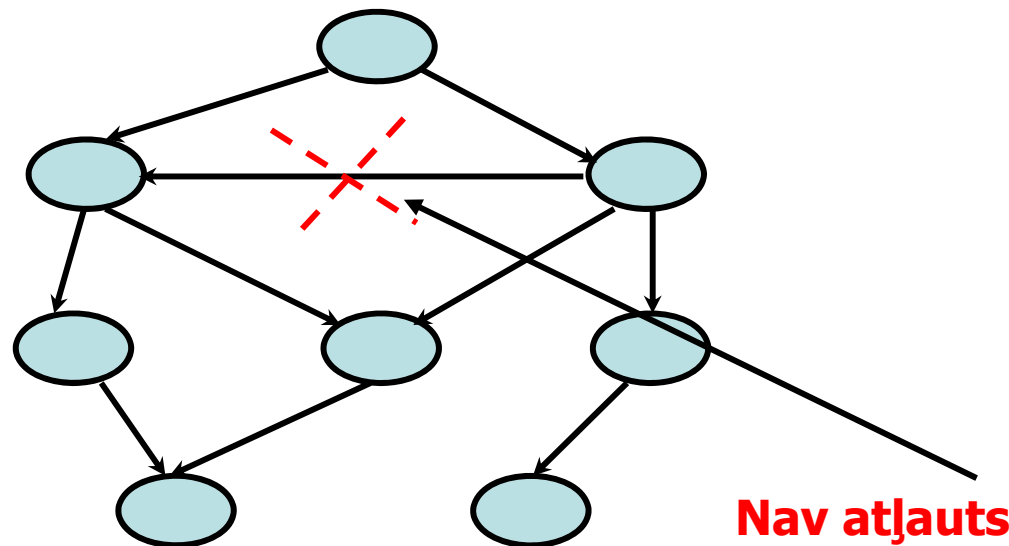
Spēles koka loki atspoguļo gājienus, ko atļauj spēles noteikumi. Gājiena izpilde nozīmē pāreju no viena spēles stāvokļa uz citu:



Kad divpersonu spēle ar pilnu informāciju tiek atspoguļota ar spēles koka palīdzību, tad lokiem ir divi ierobežojumi.

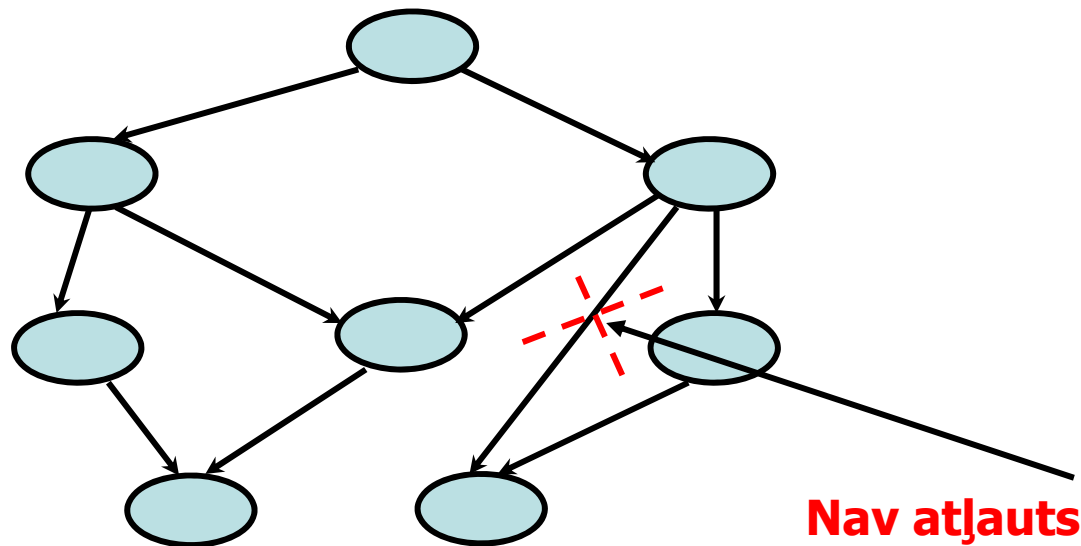
Loku pirmais ierobežojums

Pirmais spēles koka loku ierobežojums nosaka, ka nevar būt loku starp virsotnēm, kas atrodas vienā līmenī. Vienā līmenī ir izvietoti stāvokļi, no kuriem veic gājienus tikai viens no diviem spēlētājiem. Ja viena līmeņa virsotnes tiktu savienotas ar lokiem, tas norādītu, ka viens spēlētājs veic vairākus gājienu pēc kārtas un izveido vairākas situācijas vienā līmenī, kas ir pretrunā ar divpersonu spēļu principiem.



Loku otrais ierobežojums

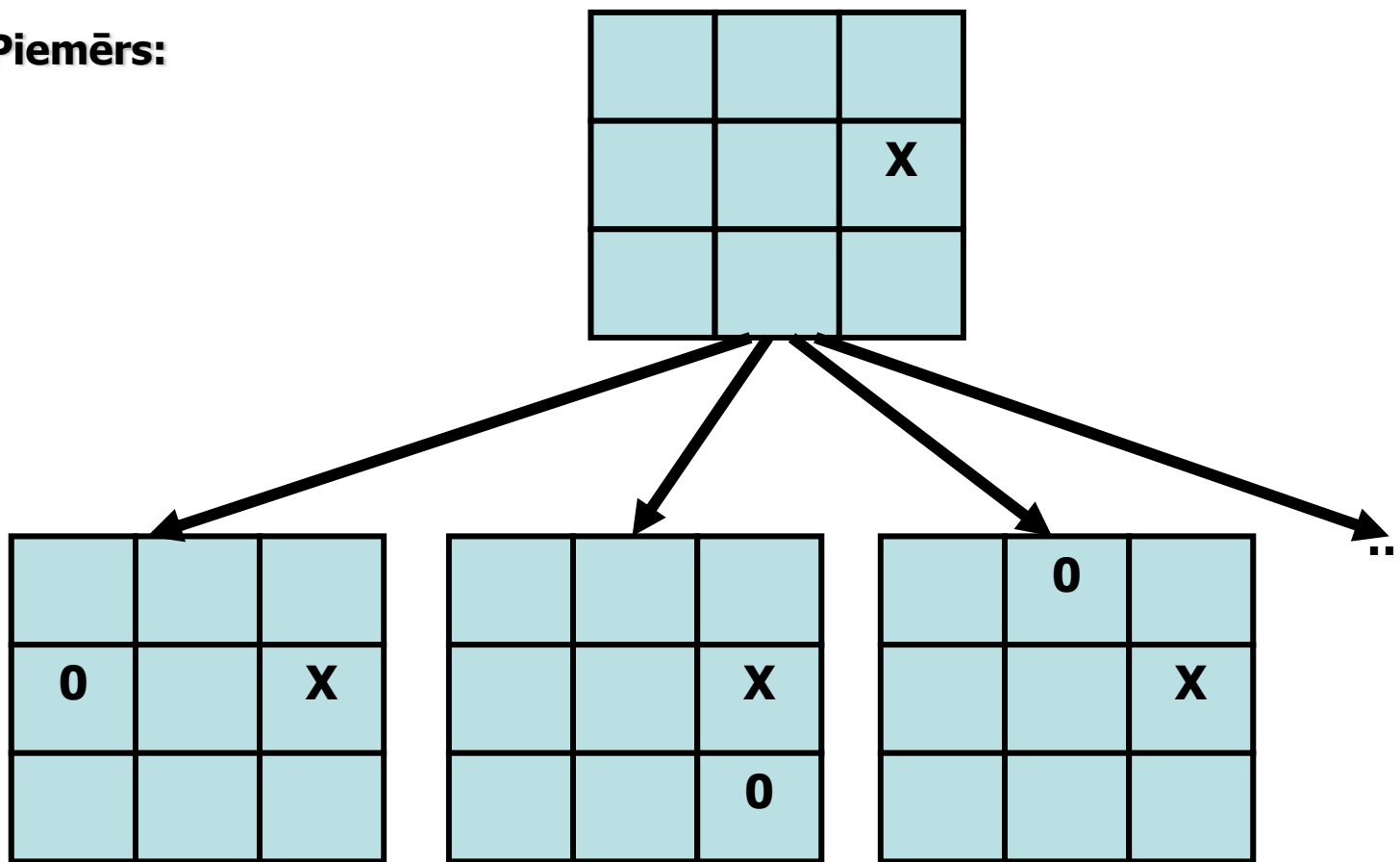
Otrais loku ierobežojums, kad divpersonu spēle ar pilnu informāciju tiek atspoguļota ar spēles koka palīdzību, nosaka, ka nevar būt citu loku, kā tikai starp diviem blakus esošiem līmeņiem. Ja tiktu izveidots loks, kas iet pāri līmeņiem, tas norādītu, ka viens spēlētājs veic vairākus gājienus pēc kārtas, neievērojot pretinieka iespējamos gājienu.



Izejošie loki

Sakarā ar to, ka no viena spēles stāvokļa ir iespējams izpildīt dažādus gājienus, no vienas spēles koka virsotnes var iziet vairāki loki. Tos sauc par izejošiem lokiem.

✓ Piemērs:



Ieejošie loki

Bieži vien uz vienu un to pašu spēles stāvokli var nokļūst no dažādiem stāvokļiem. Šī situācija spēles kokā tiek atspoguļota ar virsotni, kurā ieiet vairāki loki.



Piemērs:

		0
	X	
0		X

0		
	X	
0		X

0		0
	X	
		X

0		0
	X	
0		X

Divpersonu spēļu realizācijas algoritmi

Plašāk izplatītie divpersonu spēļu realizācijas algoritmi ir:

- Minimaksa algoritms
- α - β procedūra

Minimaksa algoritms novērtē visas spēles koka virsotnes attiecībā pret iespējamo uzvaru vai zaudējumu. Savukārt, α - β procedūra paaugstina spēles koka pārmeklēšanas efektivitāti, nogriežot neperspektīvus zarus.

Maksimizētājs un minimizētājs (1)

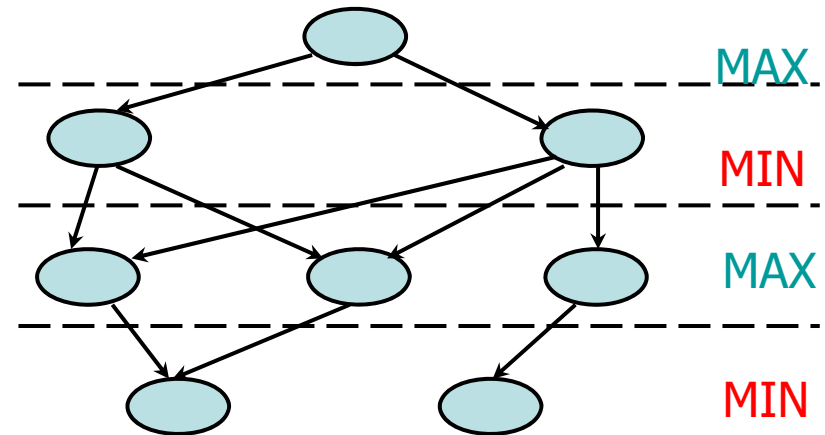
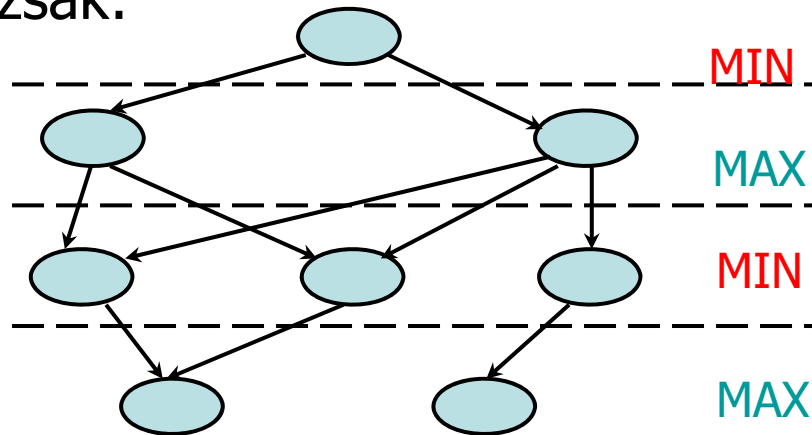
Minētos algoritmos spēlētājus nosacīti sauc par *maksimizētāju* un *minimizētāju*.

Katram spēlētājam ir sava spēles stratēģija:

- ***maksimizētājs*** cenšas uzvarēt spēli
- ***minimizētājs*** mēģina nepieļaut maksimizētājam uzvarēt, cenšoties novest spēli uz stāvokli, kas ir vissliktākais maksimizētājam

Maksimizētājs un minimizētājs (2)

Spēles koku pamīšus sadala maksimizētāja un minimizētāja līmeņos. Dalīšana ir patvaļīga, tas nozīmē, ka nav starpības, ar kuru līmeni to uzsāk:



Minimizētāja līmenis, kuru apzīmē kā MIN, norāda, ka no šajā līmenī iespējamajiem spēles stāvokļiem vienu gājienu veic minimizētājs. Savukārt, maksimizētāja līmeni apzīmē kā MAX, un tas norāda, ka no šajā līmenī iespējamajiem spēles stāvokļiem vienu gājienu veic maksimizētājs.

Minimaksa algoritms (1)

1944. gadā Nūmens un Morgenšterns grāmatā „Spēļu un ekonomiskās uzvedības teorija” aprakstīja pārmeklēšanas metodi, ko nosauca par minimaksu. Šī metode maksimizē Jūsu spēles rezultātu, minimizējot Jūsu pretinieka spēles rezultātu. Tas veidoja pamatu Minimaksa algoritmam.

Minimaksa algoritms ir algoritms divpersonu spēļu ar pilnu informāciju datorrealizācijai. Šis algoritms ļauj izvēlēties vislabāko nākamo gājienu katrā spēles stāvoklī, piesaistot stāvoklim vērtību, kura norāda, cik labs šis stāvoklis ir dotajam spēlētājam.

Minimaksa algoritms (2)

Minimaksa algoritms sastāv no divām daļām:

1. Algoritms nolaižas līdz strupceļa virsotnēm un iegūst šo virsotņu heiristiskos vērtējumus, kas raksturo, cik labs ir šis spēles stāvoklis maksimizētājam
2. Piešķirtie heiristiskie vērtējumi tiek pārnesti uz augšu līdz koka saknei, pamatojoties uz šādiem nosacījumiem:
 - Ja kārtējā spēles koka virsotne atrodas maksimizētāja līmenī, tad virsotnei piešķir maksimālo heiristisko vērtējumu no šīs virsotnes tiešo pēcteču heiristiskajiem vērtējumiem
 - Ja kārtējā spēles koka virsotne atrodas minimizētāja līmenī, tad virsotnei piešķir minimālo heiristisko vērtējumu no šīs virsotnes tiešo pēcteču heiristiskajiem vērtējumiem

Spēles stāvokļa heiristisks vērtējums

Stāvokļa heiristiskais vērtējums parasti tiek uzdots kā skaitlis. Tas atspoguļo, cik labs ir šis spēles stāvoklis dotajam spēlētājam.

Visvienkāršākajā veidā spēles beigu stāvokļu heiristiskos vērtējumus var uzdot ar divām vērtībām:

- stāvoklis iegūst vērtību 1, ja tajā uzvar maksimizētājs
- stāvoklis iegūst vērtību 0, ja tajā maksimizētājs zaudē

Taču stāvokļa heiristiskais vērtējums var būt arī cits, piemēram, dotajā stāvoklī savāktais punktu skaits.

Spēles rezultāts

Heiristisko vērtējumu pārņemšana beidzas spēles koka saknes virsotnē. Saknes virsotnei piešķirtais heiristiskais vērtējums tiek saukts par ***spēles rezultātu***, jo tas norāda, vai maksimizētājs uzvar, vai zaudē spēli.

Ņemot vērā spēles rezultātu, tiek meklēti *uzvaru nesošie ceļi*.

Uzvaru nesošie ceļi

Uzvaru nesošs ceļš ir ceļš, kas sākas ar saknes virsotni un iet līdz strupceļa virsotnei, apmierinot šādus nosacījumus:

1. visi ceļa posmi ir savstarpēji saistīti, t.i. katra posma sākuma virsotne ir iepriekšējā posma beigu virsotnes tiešais pēctecis
2. visām virsotnēm, kas veido ceļa posmus, ir vienādi heiristiskie vērtējumi, kas sakrīt ar spēles rezultātu:
 - ja spēles rezultāts ir 1, tas nozīmē, ka spēlē uzvar maksimizētājs, un līdz ar to jāmeklē ceļi, kuru visu posmu virsotnēm heiristiskais vērtējums ir 1
 - ja spēles rezultāts ir 0, tas nozīmē, ka spēlē uzvar minimizētājs, un līdz ar to jāmeklē ceļi, kuru visu posmu virsotnēm heiristiskais vērtējums ir 0

Minimaksa algoritma soļi

Tādējādi, Minimaksa algoritms ietver sevī šādus soļus:

1. Pilna spēles koka izveide. **Pilns spēles koks** ir spēles koks, kas sākas ar spēles sākumstāvokli un atspoguļo visus iespējamus gājienus no katra spēles stāvokļa līdz stāvokļiem, kuros spēle beidzas
2. Spēles koka sadalīšana līmeņos
3. Heiristisko vērtējumu piešķiršana spēles beigu stāvokļiem
4. Heiristisko vērtējumu pārnešana uz augšu līdz koka saknei
5. Uzvaru nesošu ceļu noteikšana

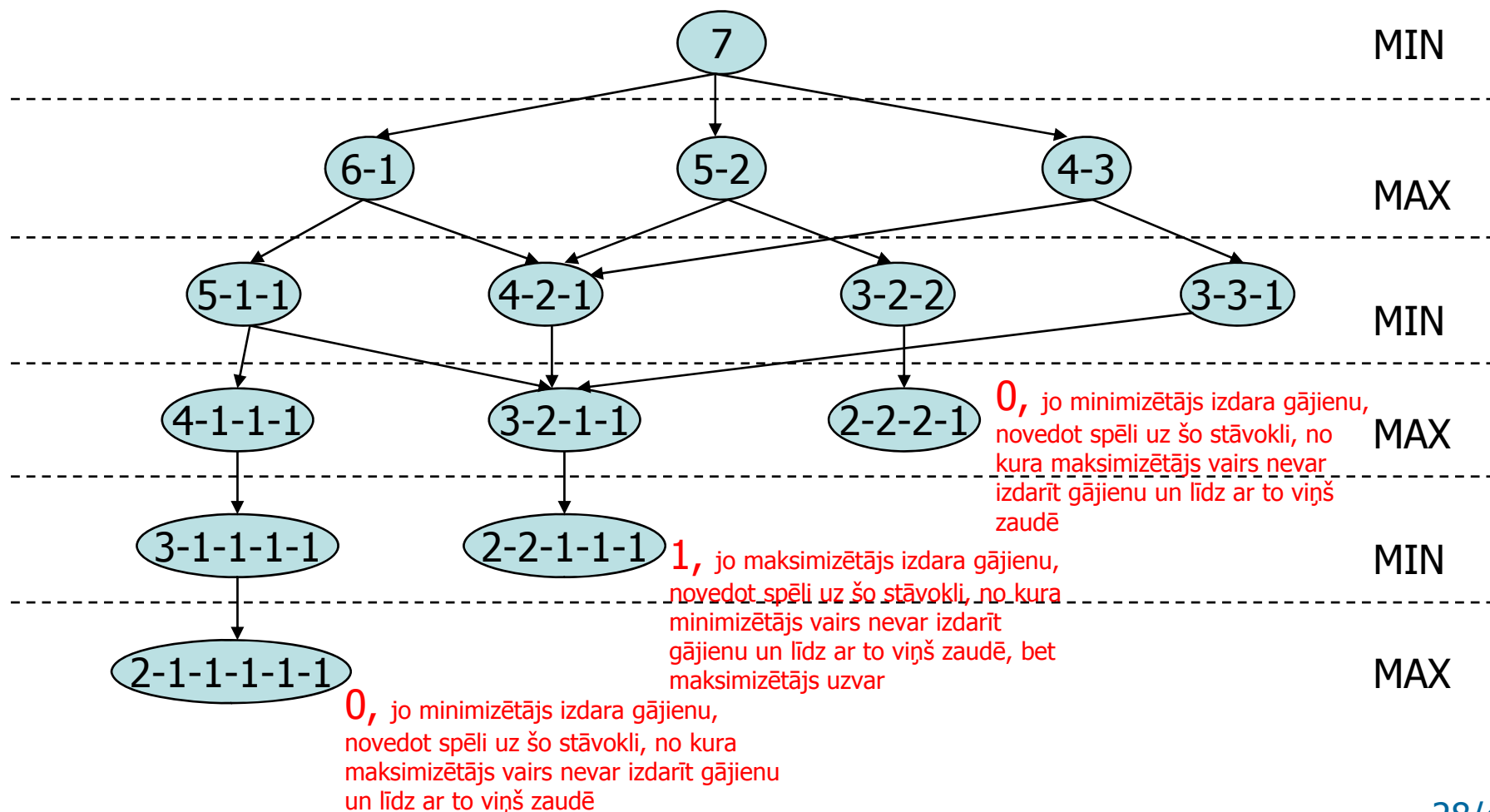
☒

Minimaksa algoritma piemērs (2)



Piemērs:

3. solis. Heiristisko vērtējumu piešķiršana beigu stāvokļiem

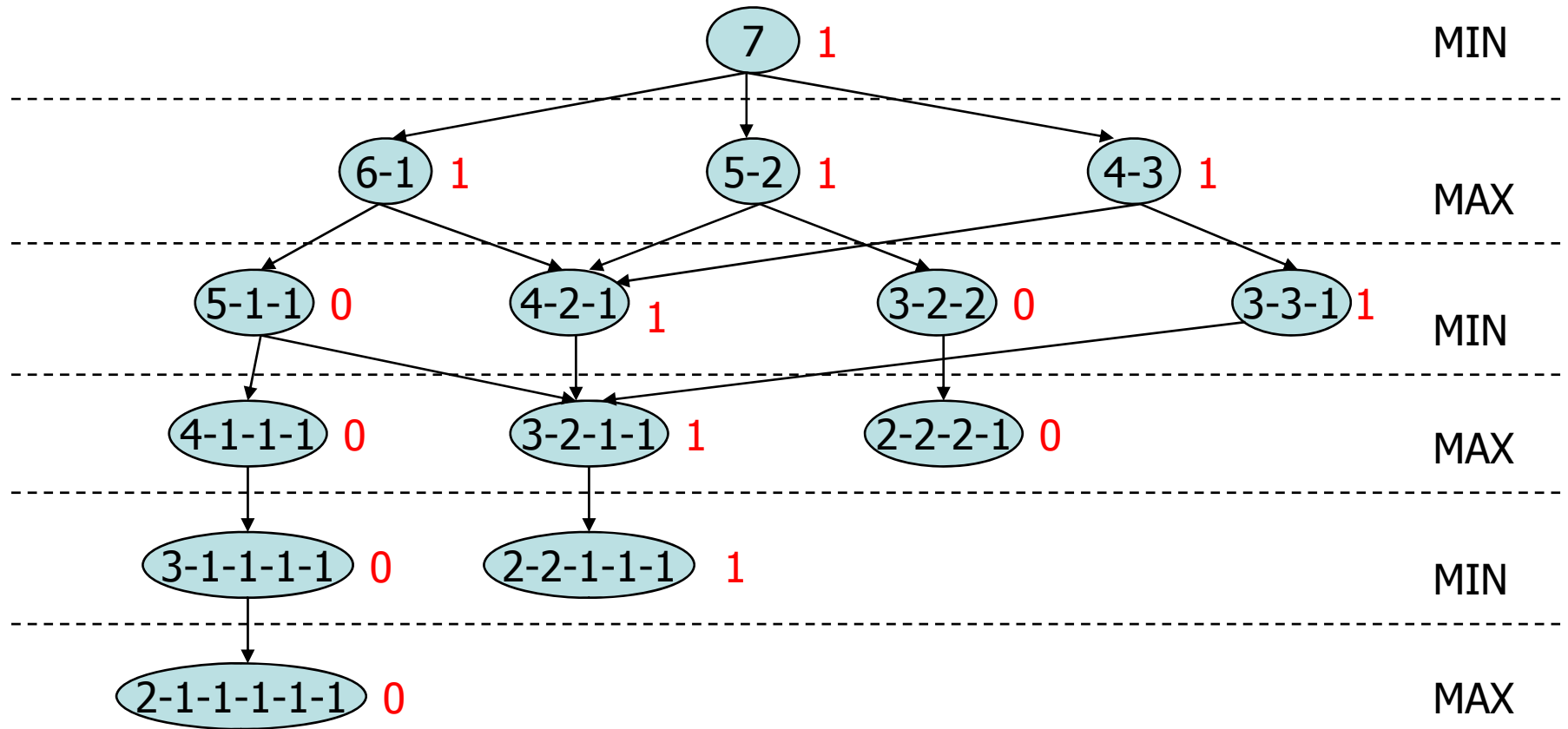


Minimaksa algoritma piemērs (3)



Piemērs:

4. solis. Heiristisko vērtējumu pārņemšana uz augstākiem līmeņiem

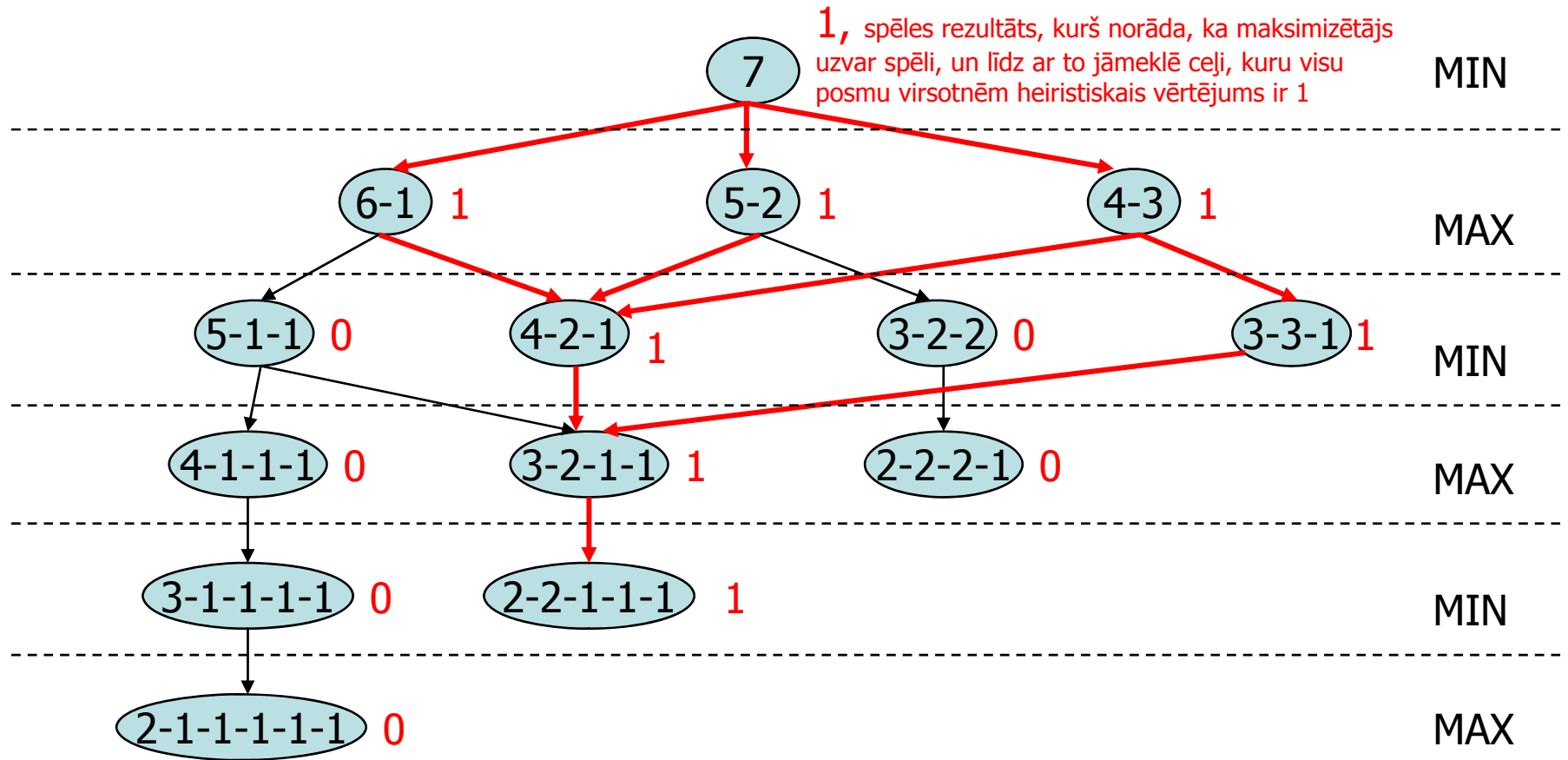


Minimaksa algoritma piemērs (4)



Piemērs:

5. solis. Uzvaru nesošo ceļu noteikšana



Spēles koka pieejamība

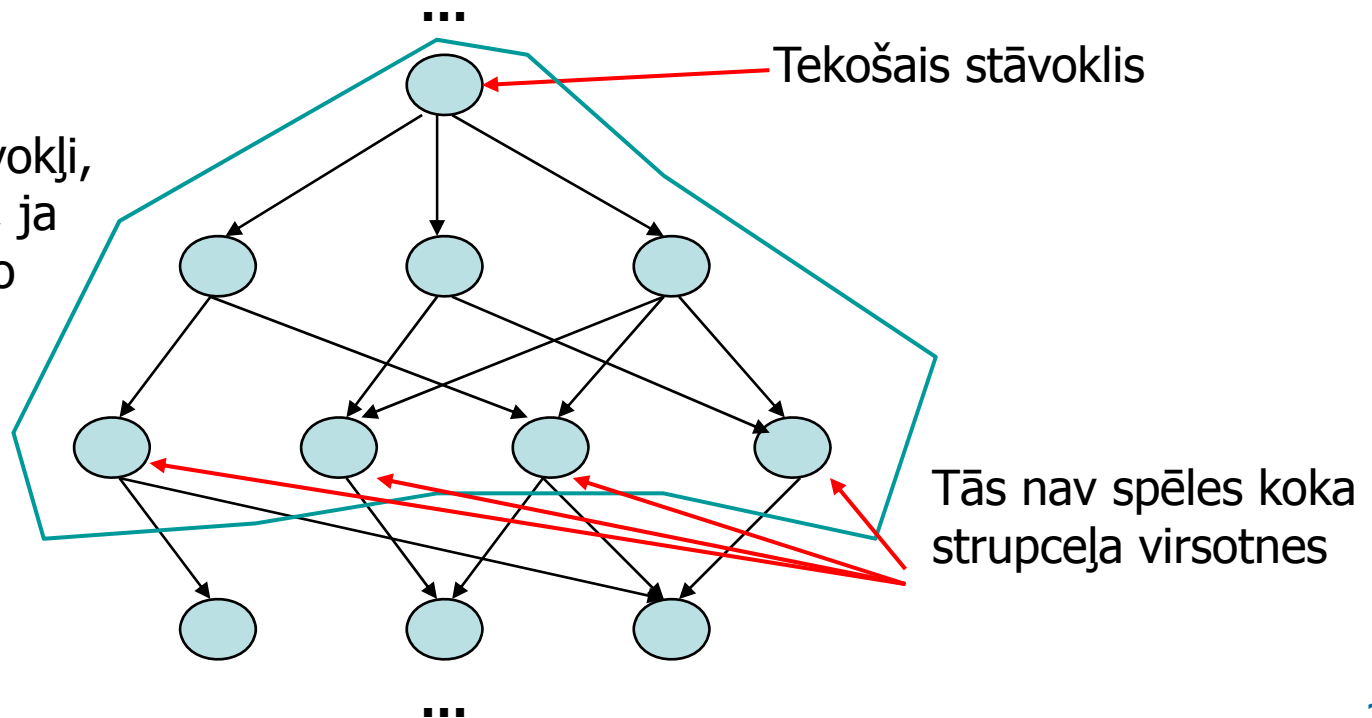
Atspoguļojot spēli, var būt 2 situācijas:

1. Spēles koks ir pilnībā pieejams. Tas nozīmē, ka ir iespējams, vai nu pilnībā ielikt spēles koku vai nu sistēmas projektēšanas stadijā, vai ģenerēt to līdz strupceļa virsotnēm sistēmas darbības laikā. Piemērs šim gadījumam ir iepriekš apskatītā spēle "Nims".
2. Spēles koks nav pilnībā pieejams. Tas tiek ģenerēts sistēmas darbības laikā. Šajā gadījumā nav iespējams pārmeklēt spēles koku līdz strupceļa virsotnēm un novērtēt tās jau spēles sākumā. Piemērs tam ir šahs. Šādā situācijā izmanto *pārlūkošanu uz priekšu par n gājieniem*.

Pārlūkošana uz priekšu par n-gājieniem (1)

Izmantojot pārlūkošanas uz priekšu par n-gājieniem tehniku, uzdod skaitli, kas norāda, cik līmeņi tiks pārmeklēti, pirms izdara kārtējo gājienu. Šo skaitli uzdod, ņemot vērā pieejamos laika un datoratmiņas resursus. Rezultātā iegūst spēles koka apakšgrafu.

Apakšgrafs jeb stāvokļi, kas tiks pārmeklēti, ja $n=2$ (pārmeklējamo līmeņu skaits)



Pārlūkošana uz priekšu par n-gājieniem (2)

Sakarā ar to, ka iegūtā apakšgrafa beigu virsotnes neatbilst spēles beigu stāvokļiem, tām nevar piešķirt heuristiskus vērtējumus, kas atspoguļotu uzvaru vai zaudējumu.

Šajā gadījumā katrai virsotnei piešķir heuristisko vērtējumu, izmantojot šim nolūkam, kādu heuristiskā novērtējuma funkciju. Iegūto vērtējumu izplata atpakaļ pa koku atbilstoši Minimaksa algoritma likumiem līdz apakšgrafa sākuma virsotnei, bet tas nenorāda, vai uzvara var tikt sasniegta. Tā ir vērtība, kas norāda labāko stāvokli, ko var sasniegt, izdarot n-gājienus no dotās virsotnes.

Pārlūkošana uz priekšu par n-gājieniem (3)

Reālās problēmās katru stāvokli vērtē ar polinomu no i faktoriem, kā summu no reizinājumiem:

$$F(s) = \sum_i a_i x_i$$

kur a_i - svara koeficients

x_i - faktora heuristiskais vērtējums

s - stāvoklis



Piemērs: Šahā stāvokļus var vērtēt šādi:

$$F(S) = aB + bR + cM + dC + eP + fA$$

kur a, b, c, d, e, f - svara koeficienti;

B - figūru vērtību algebriska summa;

R - karaļa aizsargātības pakāpe;

M - figūru kustīgums;

C - centra kontroles pakāpe;

P - bandinieku rindas struktūra;

A - uzbrukuma iespējas dotajā pozīcijā.

Pārlūkošana uz priekšu par n-gājieniem (4)

Viena no lielākajām problēmām šajā pieejā ir nosaukta par ***horizonta efektu***. Dziļums, līdz kuram tiek pētīta stāvokļu telpa, var nenoteikt, ka ceļš, kurš visu laiku ir bijis heirstiski daudzsološs, beigās var novest sliktā situācijā, kuras rezultātā tiks zaudēta visa spēle.

α - β procedūra (1)

Minimaksa algoritms apstrādā visus zarus stāvokļu telpā. Tas var aizņemt pārāk daudz laika un datoratmiņas resursu.

α - β procedūra uzlabo pārmeklēšanas efektivitāti divpersonu spēlēs, samazinot veicamo darbu un taupot datorresursus.

Procedūra pamatojas uz šādu ideju: ja ir kāds slikts stāvoklis, tad nav jēgas spēlēt, lai pārliecinātos, cik briesmīgi slikts ir šis stāvoklis.

α - β procedūra (2)

Atšķirība no Minimaksa algoritma:

1. Procedūra nogriež tos spēles koka zarus, kuri nav perspektīvi
2. Nav vajadzīgi visu strupceļa virsotņu heiristiskie vērtējumi

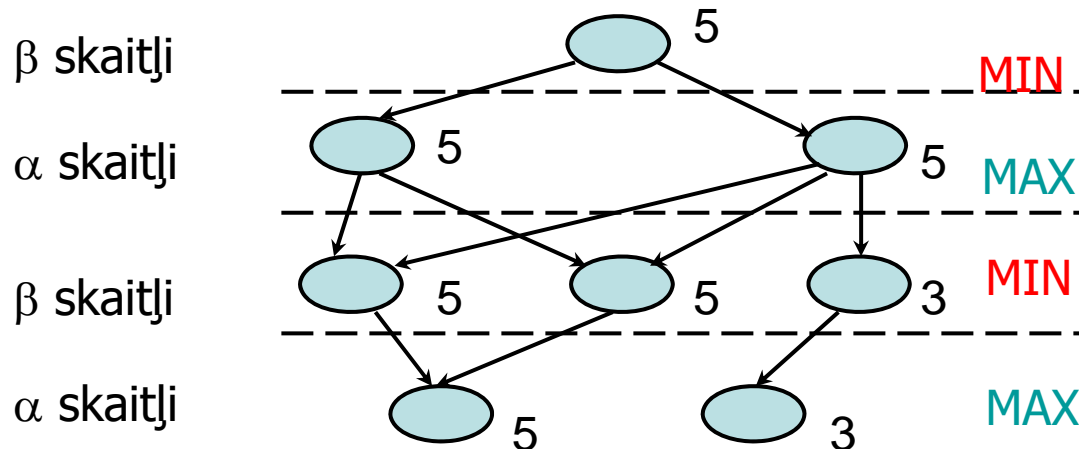
Līdzība Minimaksa algoritmam:

1. Stāvokļu telpa tiek sadalīta Min un Max līmeņos
2. Tiek piešķirti heiristiskie vērtējumi strupceļa virsotnēm
3. Heiristiskie vērtējumi tiek pārnesti uz augstākiem līmeņiem spēles kokā

α - β procedūra (3)

Procedūra piešķir divus skaitļus:

1. α skaitli piešķir virsotnei, kura atrodas Max līmenī. Šī vērtība nedrīkst samazināties. Ja tā samazinās, tad tas ir slikts gājiens.
2. β skaitli piešķir virsotnei, kura atrodas Min līmenī. Šī vērtība nedrīkst palielināties. Ja tā palielinās, tad tas ir slikts gājiens.



α - β procedūra (4)

Šajā procedūrā spēles koks tiek būvēts līdz noteiktajam dziļumam. Tikko kā parādās strupceļa virsotne, tai piešķir heuristisko vērtējumu, un šo vērtējumu pārnes uz augstākiem līmeņiem. Tādējādi, starpvirsotnes iegūst starpnovērtējumus. Tālāk šie starpnovērtējumi tiek precizēti.

Procedūra izmanto divus likumus, kas nosaka pārmeklēšanas pabeigšanu kādā zarā, pamatojoties uz α un β vērtībām:

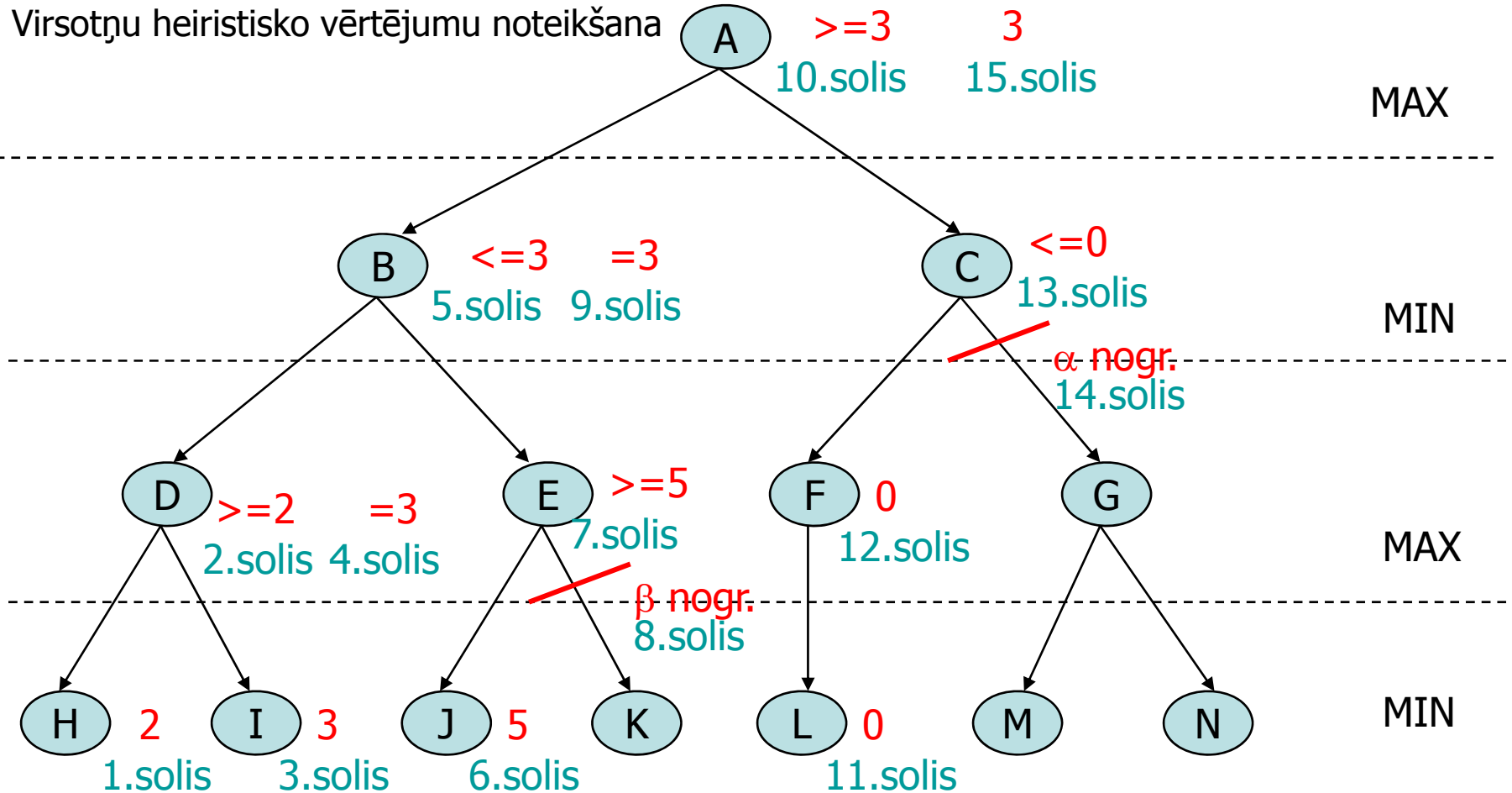
1. Pārmeklēšanu pārtrauc zem jebkuras Min līmeņa virsotnes, kurai β vērtība ir mazāka vai vienāda ar α vērtību ($\beta \leq \alpha$) jebkurai no šīs virsotnes tiešo priekšteču virsotnēm (α – ***nogriešana***)
2. Pārmeklēšanu pārtrauc zem jebkuras Max līmeņa virsotnes, kurai α vērtība ir lielāka vai vienāda ar β vērtību ($\alpha \geq \beta$) jebkurai no šīs virsotnes tiešo priekšteču virsotnēm (β – ***nogriešana***).[39/41](#)

α - β procedūras piemērs (1)



Piemērs:

Virsoņu heuristisko vērtējumu noteikšana



α - β procedūras piemērs (2)



Piemērs:

Uzvaru nesošo ceļu noteikšana atbilstoši spēles rezultātam

