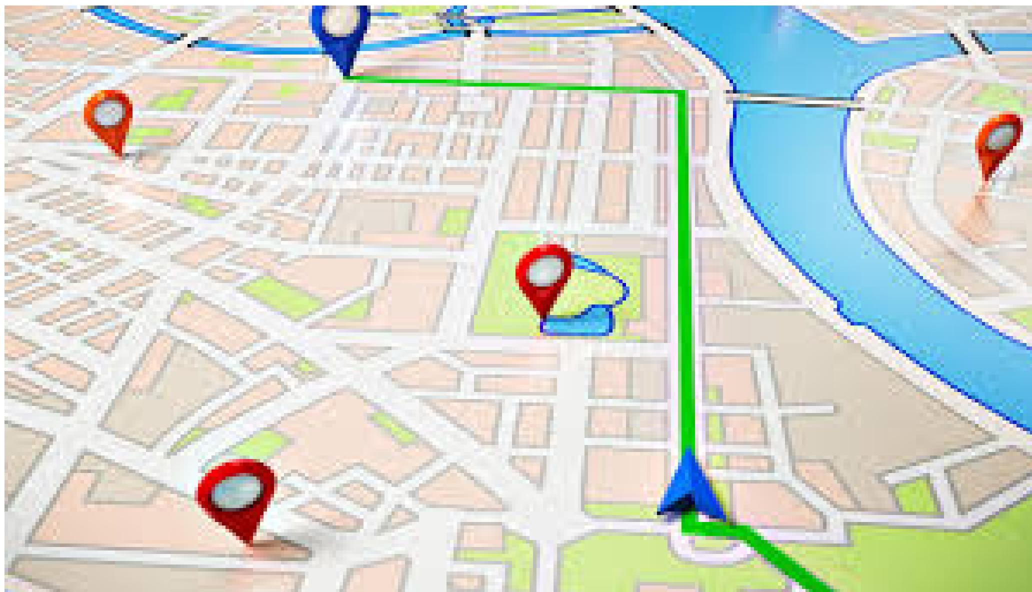
Loeng 9: Otsingustrateegiate programmeerimine

Jüri Vain

ITI0021

Otsing olekusiirde graafidel

- Näide (olekud ja siirded):
  - Nuppude asetus kabelaual on kabe mängu seisu kirjeldav *olek*
  - Nuppude liigutamine on *siire* ühest olekust teise
- Planeerimisprobleemi lahendamine on *tee* (siirete jada) leidmine, mis viib antud *algolekust* soovitud *lõppolekusse*.



Näide 2: Logistika ülesanne

```
% olekud:
state(vabaduse_väljak).
…
state(akadeemia_tee).

% siirded:
move(sõpruse,troll(sõpruse,keemia)).
…
move(estonia,buss(estonia,kaubamaja)).

final_state(akadeemia_tee).
```

Lahendustee sügavuti otsing (dfs)

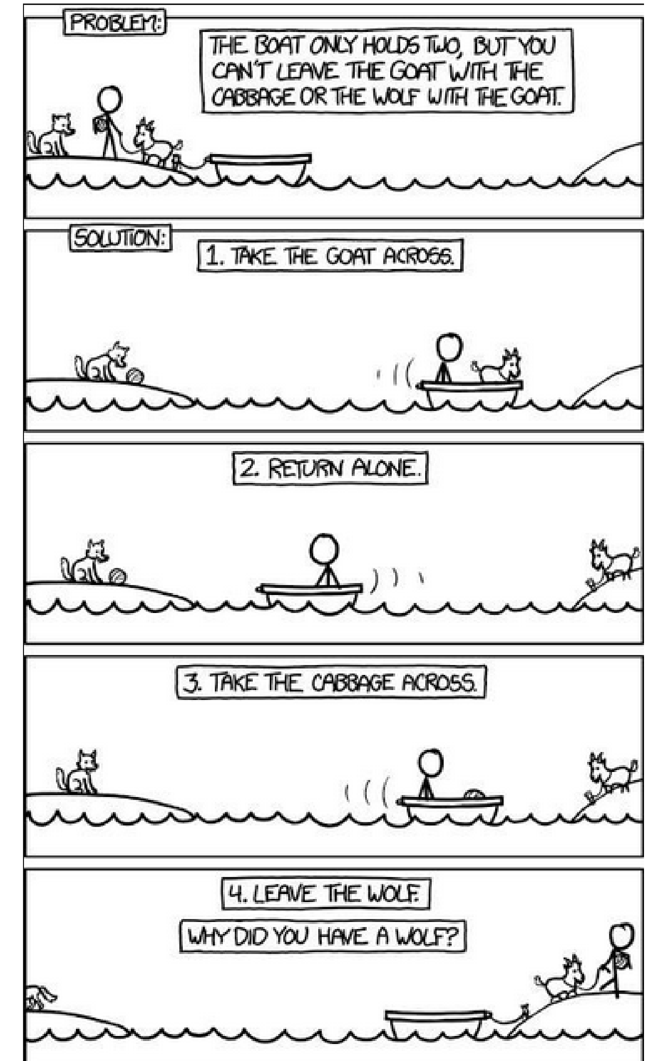
```
solve_dfs(State, History,[]):-
      final_state(State).              % kas saavutatud olek on lõppolek?
solve_dfs(State, History,[Move|Moves]):-
      move(State,Move),                % kas olekust leidub siirdeid?
      update(State, Move,State1),      % leia siirde sihtolek
      legal(State1),                   % sihtolek rahuldab kitsendusi?
      not member(State1,History),      % sihtolek ei ole enne läbitud?
      solve_dfs(State1,[State1|History], Moves). % korda otsingut!

?- solve_dfs(estonia,[estonia], Moves).  % Päring
Moves = [estonia,vabaduse_väljak,… ]
```

Kuidas defineerida predikaate state/3, move/2, legal/1?

- <u>Näide</u>: mees, hunt, kits ja kapsas

Olek:

```
state(Boat, LeftBank, RigthBank).
% Boat - paadi asukoht: vasak, parem
% LeftBank - asjad, mis on vasakul kaldal
% RightBank - asjad, mis onparemal kaldal
% Algolek - state(vasak,[kits,hunt,kapsas],[]).
% Lõppolek - state(parem,[], [kits,hunt,kapsas]).
```



Kuidas defineerida predikaate state/1, move/2,update/2, legal/1?

```
move(state(left,LB,_),Cargo):- member(Cargo,LB).      % vedada saab asju, mis on
move(state(right,_,RB),Cargo):- member(Cargo,RB).     % samal kaldal paadiga.
move(state(_,_,_),üksi).                               % mees sõidab üksi

update(state(B,LB,RB),Cargo,state(B1,LB1,RB1):-
       update_boat(B,B1), update_banks(Cargo,B,LB,RB,LB1,RB1).

update_boat(vasak,parem).
update_boat(parem,vasak).


update_banks(üksi,_,L,R,L,R).
update_banks(Cargo,vasak,L,R,L1,R1):- select(Cargo,L,L1), insert(Cargo,R,R1).
update_banks(Cargo,parem,L,R,L1,R1):- select(Cargo,R,R1), insert(Cargo,L,L1).
```

Kuidas defineerida predikaate state/1, move/2,update/2, legal/1?

```
legal(state(vasak,L,R)):- not illegal(R).
legal(state(parem,L,R)):- not illegal(L).

illegal(Bank):- member(hunt,Bank), member(kits,Bank).
illegal(Bank):- member(kits,Bank), member(kapsas,Bank).

insert(El,List,List1):- sort([El|List],List1). % Inserting to list

select(El,[El|L],L).                           % Removing from list
select(El,[El1|L],[El1|L1]):- select(El,L,L1).
```

Kuidas lahendada suuri ülesandeid?

- Suuremad planeerimisülesanded (kabe, male, bridž) eeldavad väga suure olekuruumi läbivaatamist, mis ei ole piiratud lahendusaja korral sageli teostatav.
- Üks võimalik lahendus on piirata käikude hulka kasutades nn *kasufunktsiooni*:

$$State \rightarrow Value$$

(Prologis predikaat `value(State, Value)`).

- Levinud strateegiad, mis kasutavad kasufunktsiooni:
  - Mäkkeronimine (*hill climbing*)
  - „parim-esmalt“ otsing (*best-first search*)

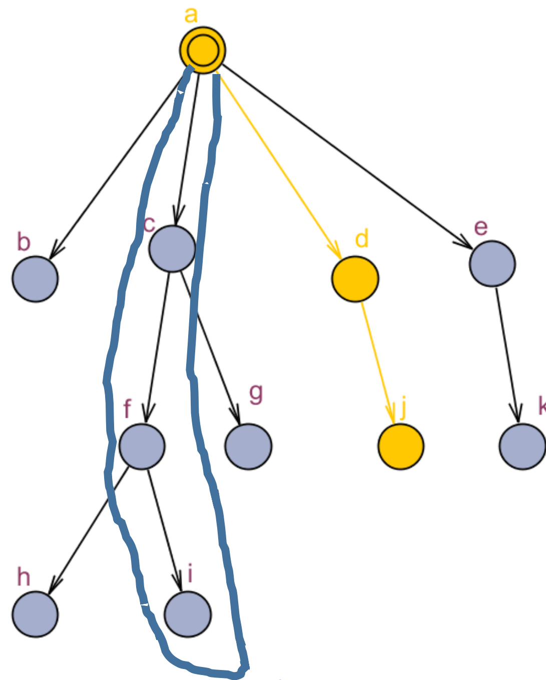
Otsingustrateegia „*hill climbing*“

- Sügavuti otsingu (*dfs*) üldistus, kus hargnemisel ei valita vasakult järgmine läbimata haru vaid haru, millel on suurim kasufunktsiooni väärtus.
- Kasutame üldist *dfs*-reeglit, kus `move`
  - genereerib kõik antud olekust ühe siirdega saavutatavad olekud,
  - järjestab need olekud kasufunktsiooni kahanevas järjekorras

Otsingustrateegia „*hill climbing*“

```
solve_hill_climb(State, History,[]):- final_state(State).
solve_hill_climb(State, History,[Move|Moves]):-
      hill_climb(State,Move),
      update(State,Move,State1),
      legal(State1),
      not member(State1, History),
      solve_hill_climb(State, [State1|History],Moves).

hill_climb(State, Move):-
      findall(M,move(State,M),Moves),
      evaluate_and_order(Moves, State,[],MVs), % Järjestus parim esimene
      member((Move,Value),MVs).
```

Näide strateegia *hill climbing* rakendamisest




```
move(a,b).          value(b,1).
move(a,c).          value(c,5).
move(a,d).          value(d,7).
move(a,e).          value(e,2).
move(c,f).          value(f,4).
move(c,g).          value(g,6).
move(f,h).          value(h,1).
move(f,i).          value(i,9).
move(d,j).          value(j,1).
move(e,k).          value(k,2).
```

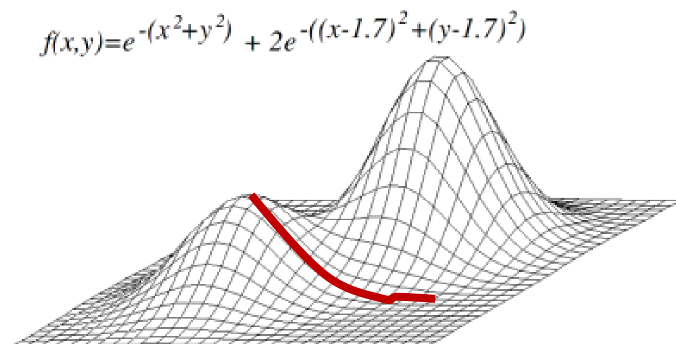
8

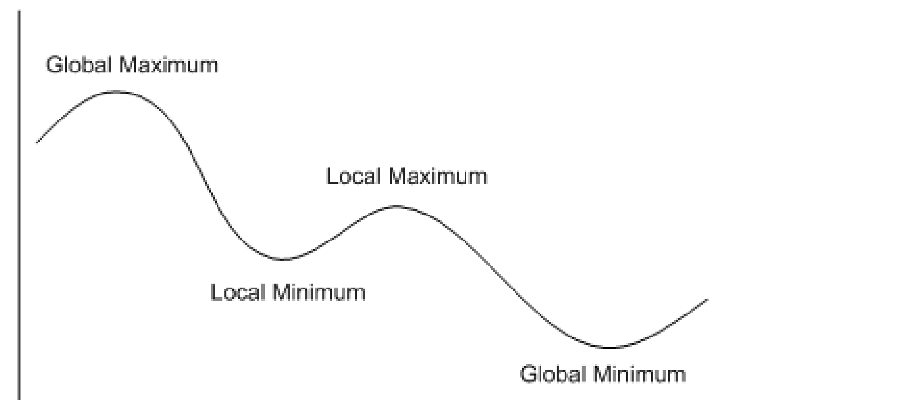
18

Global optimum

Otsingustrateegia „*hill climbing*“

- Sobib juhul, kui
  - on üks sidus olekudiagramm
  - leidub üks optimum, st. kasufunktsioon annab ühese eelistuse
- otsing on lokaalne st põhineb ainult vahetult järgmiste olekute võrdlemisel
- Ei sobi globaakse optimumi leidmiseks, kui on palju lokaalseid optimume

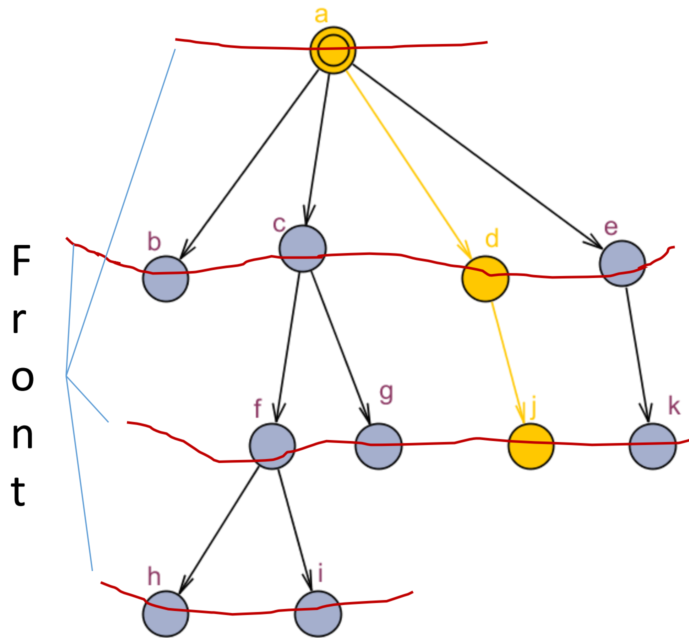




Otsingustrateegia „parim-esmalt“ (*best first*)

- Sarnane *hill climbing*’le.
- Sügavuti otsimise asemel kasutab *laiuti otsimist* ja *hinnafunktsiooni.*
- Hulk *front* sisaldab olekuid, milleni on otsingu käigus jõutud.
- Järgmise siirde valimisel vaadatakse kõiki hulgas front sisalduvaid olekuid ja nendest lähtuvaid siirdeid.
- `state(State,Path,Value)`
  - `Path` olekusse jõudmise tee
  - `Value` hinnafunktsiooni väärtus kohal `State`

Näide: parim-esmalt




```
move(a,b).        value(b,1).
move(a,c).        value(c,5).
move(a,d).        value(d,7).
move(a,e).        value(e,2).
move(c,f).        value(f,4).
move(c,g).        value(g,6).
move(f,h).        value(h,1).
move(f,i).        value(i,9).
move(d,j).        value(j,1).
move(e,k).        value(k,2).
```

„*Parim esmalt*" otsingu kodeerimine

```
solve_best([state(State,Path,Value)|Frontier], History, Moves):-
      final_state(State), reverse(Path,[],Moves).
solve_best([state(State,Path,Value)|Frontier], History,FinalPath):-
      findall(M,move(State,M),Moves),
      update_frontier(Moves,State,Path,History,Frontier,Frontier1),
      solve_best(Frontier1,[State|History], FinalPath).

update_frontier([],S,P,H,F,F).
update_frontier([M|Ms],State,Path,History,F,F1):-
       update(State,M,State1),
       legal(State1),
       value(State1,Value),
       not member(State1,History),
       insert((State1,[M|Path],Value),F,F0),
      update_frontier(Ms,State,Path,[State1|History],F0,F1).
```

Otsing mängude puul

- Vaatame 2 mängija mängusid (kabe, male, tik-tak, jne)
- mängija käik on siire mängu ühest seisust (olekust) teise
- käikusid tehakse kas korda-mööda või käiguõigus oleneb eelmise käigu tulemusest (n. kabes peale võtmist saab uuesti käia)
- kummalgi mängijal on oma kasufunktsioon, mida ta püüab käigu tulemusena maksimeerida (0-summa mängu korral f1=-f2)
- esimese käigu õigus oleneb mängust (valged alustavad, esimene käik loositakse jne)

Näide

```
play(Game):-
        initialize(Game,Position, Player),     % määrab mängu algseisu
        display_game(Position,Player),         % mänguseisu kuvamine
        play(Position,Player,Game).            % käikude jada käivitamine

play(Position,Player,Result):-                 % Mängu lõpetamistingimus
        game_over(Position,Player,Result),!, announce(Result).
play(Position,Player,Result):-
        choose_move(Position,Player,Move),     % Mängija valib käigu
        move(Move,Position,Position1),         % Käigu sooritamine
        display_game(Position1,Player),
        next_player(Player,Player1),!,         % järgmise käiguõiguse otsus
        play(Position1,Player1,Result).
```

Mängupuu

- Mängupuu läbimine on sarnane kasufunktsiooniga olekutepuu läbimisele.
- Mängupuud on reeglina liiga suured täieliku otsingu tegemiseks
- Mitte-täieliku otsingu strateegiad:
  - minmax (mängija maksimeerib enda ja minimeerib vastasmängija kasufunktsiooni)
  - mängupuu alfa-beeta kärpimine
- Strateegiat rakendatakse predikaadis `choose_move/3`

Strateegia rakendamine

```
choose_move(Position,Player,Move):-
      findall(M,move(Position,M), Moves),
      evaluate_and_choose(Moves,Position,(nil,-1000),Move).
```

- `move(Position,Move)` peab olema antud seisus teostatav käik
- `evaluate_and_choose(Moves,Position,Record,BestMove)` tagastab parima käigu
    - `Record` – 3. argument - antud seisust parima seni leitud käigu skoor

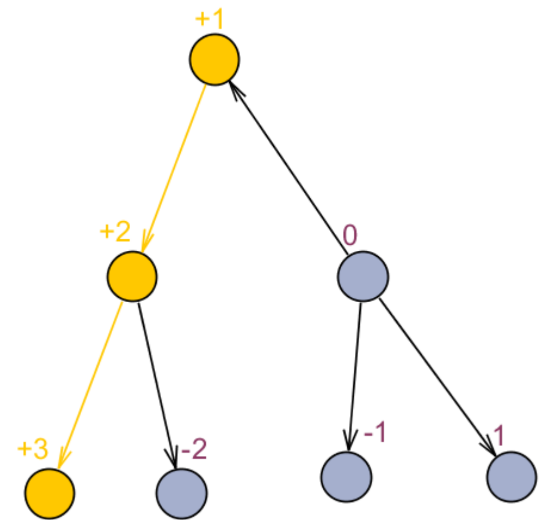
minmax algoritm

- seisu kasufunktsiooni arvutamiseks arvutame mängu võimalikku seisu mitu sammu ettepoole.
- algoritm eeldab, et vastasmängija valib oma niisuguse käigu, mis maksimeerib tema kasufunktsiooni ja minimeerib antud mängija oma.
- olenevalt planeerimise sügavusest (mitu käiku ette)

  leitakse viimase vaadeldava sammu skoori alusel

  kavandatava käigu kasufunktsioon.
- `flag` – kas antud käigul maksimeerida või minimeerida

  kasufunktsiooni



```
?- evaluate_and_choose(Moves,Position,Depth,Flag,Record,BestMove).

evaluate_and_choose([Move|Moves],Position,D,MaxMin,Record,Best):-
        move(Move,Position,Position1),
        minmax(D,Position1,MaxMin,MoveX,Value),        % D-planeerimishorisont
        update(Move,Value,Record,Record1),
        evaluate_and_choose(Moves,Position,D,MaxMin,Record,Record1,Best).
evaluate_and_choose([],Position,D,MaxMin,Record,Record).

minmax(0, Position, MaxMin, Move, Value):-
        value(Position,V),
        Value is V * MaxMin.
minmax(D, Position, MaxMin, Move, Value):-
        D > 0,
        findall(M, move(Position, M), Moves),
        D1 is D - 1,
        MinMax is - MaxMin,
        evaluate_and_choose(Moves,Position,D1,MinMax,(nil,-1000),(Move,Value)).
```

alfa-beeta kärpimine

- Idee: kui selgub, et antud mänguseisust vaadeldava haru jätkamisega ei ole võimalik jõuda seni teadaoleva parima tulemuseni, siis otsing seda haru pidi lõpetatakse.
- http://web.cs.ucla.edu/~rosen/161/notes/alphabeta.html
- parameetrid:
  - alfa – vähim garanteeritud ülatõke lahendile (maksimeerivale mängijale)
  - beeta – suurim garanteeritud alamtõke lahendile (minimeerivale mängijale)
- Minimeerival sammul peatatakse haru, kui väärtus < alfa
- Maksimeerival sammul peatatakse haru, kui leitud väärtus > beeta
- Otsingut jätkatakse harus, kui $\alpha \le$ hind $\le \beta$

Algoritm

```
evaluate_and_choose([Move|Moves],Position,D,Alpha,Beta,Move1,BestMove):-
       move(Move,Position,Position1),
       alpha_beta(D,Position1,Alpha,Beta, MoveX,Value),
       Value1 is -Value,
       cutoff(Move,Value1,D,Alpha,Beta,Moves,Position,Move1,BestMove).
evaluate_and_choose([],Position,D,Alpha,Beta,Move,(Move,Alpha)).

alpha_beta(0,Position,Alpha,Beta,Move,Value):-
       value(Position,Value).
alpha_beta(D,Position1,Alpha,Beta,Move,Value):-
       findall(M,move(Position,M),Moves),
       Alpha1 is –Beta,
       Beta1 is –Alpha,
       D1 is D-1,
       evaluate_and_choose(Moves,Position,D1,Alpha1,Beta1,nil,(Move,Value)).
```

Kärpimine

```
cutoff(Move,Value1,D,Alpha,Beta,Moves,Position,Move1,(Move,Value)):-
      Value >= Beta.
cutoff(Move,Value,D,Alpha,Beta,Moves,Position,Move1,BestMove):-
      Value =< Alpha.
cutoff(Move,Value,D,Alpha,Beta,Moves,Position,Move1,BestMove):-
      evaluate_and_choose(Moves,Position,D,Value,Beta,Move,BestMove).
```

Kodutöö

<u>Ülesande kirjeldus</u>

- Koostada Prologis kabeprogramm, mis sooritab korraga ühe käigu/võtmise(d).
- Programm peab võistlema vastase programmiga.
- Predikaat “arbiiter” annab programmidele korda-mööda käiguõiguse.
- Mäng lõpeb, kui ühel mängijatest ei ole enam võimalik teha käike. Võitja on programm, mis sooritas viimase käigu.
- Arbiiter kontrollib käikude õigsust ja diskvalifitseerib reegleid rikkunud programmi.

Kõik programmid peavad järgima järgmisi kokkuleppeid:

- 1. Kabelaua seis esitada faktidega ruut/3:

```
ruut(X,Y, Status).    % kus       X,Y ∈ [1,8]

Status = 0        % tühi
Status = 1        % valge
Status = 2        % must
Status = 10       % valge tamm
Status = 20       % must tamm
```

NB! Valged alustavad väiksemate X-koordinaadi väärtusega ruutudest, mustad – suuremate X-koordinaadi väärtusega ruutudest st. valge nupu jaoks leidub algseisus fakt

```
ruut(1,1,1).
```

Mängija programmi vormistamise reeglid

- Käiku sooritav programm peab olema vormistatud **mooduli** kujul

```
:- module(mooduli_nimi, mooduli_peapredikaat/1).
```

- Mooduli peapredikaat peab olema kujul

```
mooduli_peapredikaat(Color).
```

`Color` –nuppude värv, millega antud programm mängib.

- Moodulis ei tohi esineda staatilisi fakte `ruut/3` ja deklaratsiooni `:- dynamic ruut/3.`
- Mooduli peapredikaat ei tohi lõpetada *fail*-ga st. tagurdamine ei tohi minna teise mängija programmi.
- Selleks on soovitav defineerida peapredikaadi lõppu alternatiivi, mis tagastab alati *true*

```
mooduli_peapredikaat(Color):-
            ...., !.
mooduli_peapredikaat(_).
```

Arbiiteri kohandamine programmidele

- Faktis `players_turn(1,2,Nimi1).` tuleb 3nda argumendi väärtuseks kirjutada programmi peapredikaati nimi, mis mängib MUSTADE nuppudega.

- Fakti `players_turn(2,1,Nimi2).` tuleb 3nda argumendi väärtuseks kirjutada selle programmi peapredikaadi nimi, mis mängib VALGETE nuppudega.

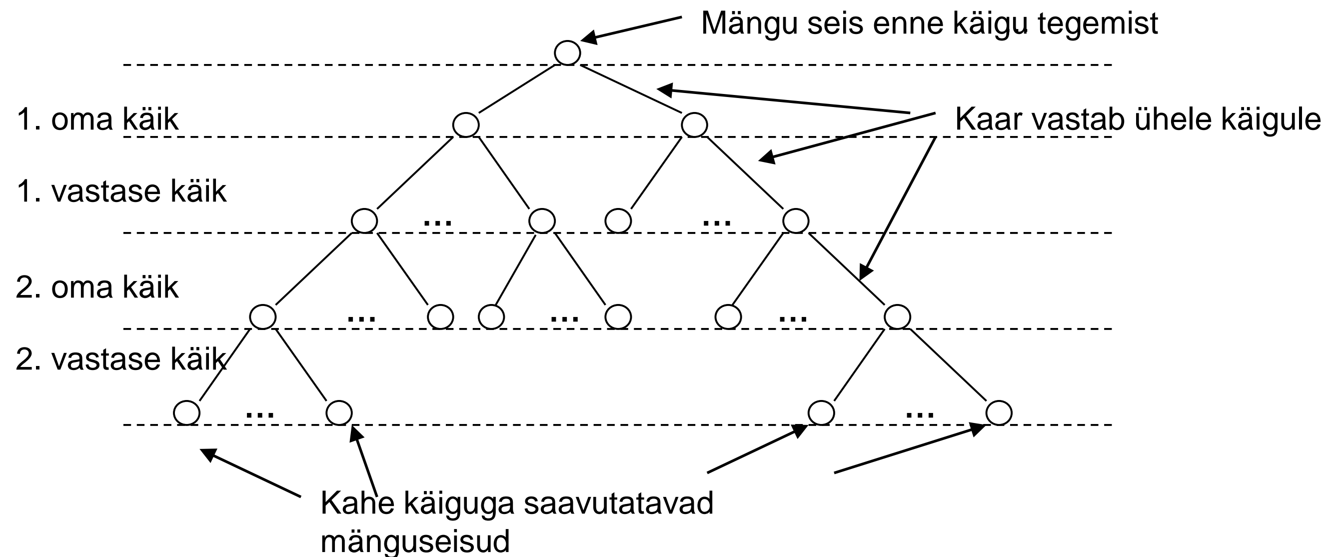
Mängu käivitamine

- Laadida mällu programm `arbiter.pl`
- Laadida mällu mängijate programmid
- Teha päring mängu käivitava predikaadiga

```
?- turniir.
```

Abistavaid näpunäiteid käikude planeerimisel

- Käikude planeerimiseks on otstarbekas genereerida saavutatavate mänguseisude puu.
- Igale mänguseisule vastab puu üks tipp ja igale käigule kaar tippude vahel.
- Puu sügavus on määratud sellega kui mitu sammu antud käiku ette planeeritakse.



Joonis 1. Käikude planeerimispuu

Käigu sooritamiseks vajalikud planeerimistegevused

- Faktide loomine, näiteks ruutusid iseloomustav abifakt `ruut/7` omab järgmist vormingut:

```
ruut(X,Y,Color,Plan_step,Prev_state, Present_state,Cost).
```

kus

- `X,Y` – ruudu koordinaadid [1,..,8]
- `Color` -- ruudul oleva nupu värv [1,2,10,20]
- `Plan_step` -- planeerimispuu tase, mida antud fakt kirjeldab (vahemikus [0,..,n])
- `Prev_state` -- eelmise seisu ID, millest jõuti antud seisu
- `Present_state` -- planeerimissammu vaadeldava seisu ID
- `Cost` -- vaadeldava seisu hind. Näiteks vastase nupu võtmisel: Cost:=Cost+1,

  oma nupu kaotamisel: Cost:=Cost-1

Planeerimispuu genereerimine ja läbimine

- Planeerimispuu koosneb `ruut/7` faktidest, mille parameeter `Prev_state` võimaldab puud läbida terminal-tipust juur-tipu suunas.

- Parima käigu valimine:
  - Kasutades fakti `ruut/7` parameetri `Cost` väärtusi, leida planeerimispuu terminaalsetele tippudele vastavate (st kus parameeter Plan_step = max planeerimissügavus, näiteks `Plan_step = 2`) faktide `ruut/7` hulgast niisugune, mille parameeter `Cost` omab suurimat väärtust.
  - Kasutades fakti `ruut/7` parameeterit `Prev_state` liikuda planeerimispuu juurtipuni ja kuulutada sellele teele jääva esimese käigu tulemus mängu uueks seisuks.
- Kopeerida valitud käiguga tekkiv uus seis laual faktide hulgaks `ruut/3` ja anda juhtimine tagasi arbiiterprogrammile.