

# PATOLOGIJA KONČNO RAZLOŽENA?

Matjaž Gams, Mitja Luštrek, Boštjan Kaluža  
Odsek za inteligentne sisteme, Institut Jožef Stefan  
Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenija  
Tel: +386 1 4773900; fax: +386 61 1251038  
e-mail: [matjaz.gams@ijs.si](mailto:matjaz.gams@ijs.si), <http://ai.ijs.si/mezi/matjaz.html>

## Povzetek

Pred 26 leti smo se ukvarjali s prvimi raziskavami patologije. V zadnjih nekaj letih smo sestavili celovit model patologije tako za igre kot za reševanje nalog enega samega akterja. Modeli kažejo podobne lastnosti, kot izmerjene na raznih realnih domenah kot npr. šah ali 8-ploščic. Nekaj ugotovitev je novih.

## 1 UVOD

Glede na večje število objav s področja preiskovalne patologije ni smotno še enkrat navajati osnovne definicije. Prav tako ne bomo debatirali o smotnosti boljšega iskanja ali boljše inteligence (Gams 2001). Namesto tega bomo pripravili samo osnovno besedilo, podobno kot ga pripravljamo za objavo v pomembni reviji.

Osnovna ideja za celoten prispevek je uvesti prikaz najprej osnovne Pearllove igre (Nau 82, 83), nato model igranj dveh nasprotnikov (algoritem minimaks) in model igranja enega samega akterja, ter pojasniti podobnosti med obema modeloma. Sledi prikaz realnih domen, predvsem šaha in 8-ploščic.

## 2 PEARLOVA IGRA

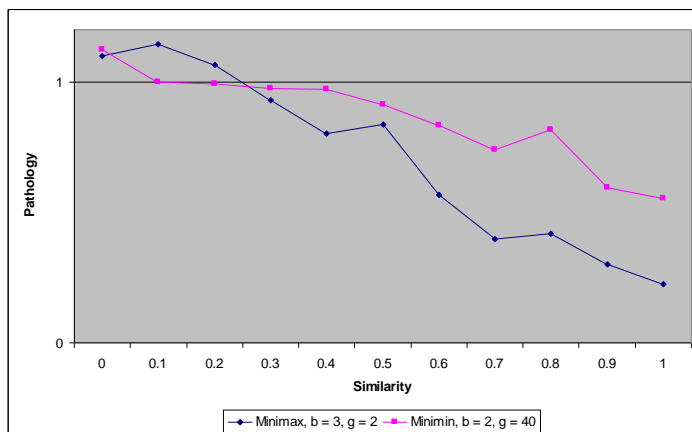
Formalna Pearllova igra temelji na razdeljevanju plošče, na kateri se originalno nahajajo ničle in enice. Prvi igralec razdeli ploščo navpično in izbere bolj perspektivno polovico, nato pa drugi igralec izbrano polovico prereže na pol vodoravno na dve novi polovici, torej četrtinki. Igralca nadaljujeta, dokler se igra ne konča s samo enim poljem. Prvi igralec zmaga, če je v tem polju enica, drugače pa nasprotnik.

Nau je odkril, da je igra v dokaj smiselnih pogojih (porazdelitev ničel in enic v razmerju 0,39:0,61,

hevristična ocenjevalna funkcija je vsota vseh enic) patološka, torej da se z večjo globino kvaliteta izbiranja optimalne poteze tik pod korenem drevesa poslabša. To pomeni, da je bolje izbrati na osnovi ocene na nivoju prve poteze iz korena.

Podobno igro si lahko zamislimo tudi takole: V dveh vrečicah imamo zlata zrnca različnih težin. Prvi igralec potehta obe vrečici in izbere težjo. Ta vrečica se pretrese na dve vrečici in drugi igralec izbere lažjo. Nadaljujeta, dokler prvemu igralcu ne ostane samo eno zrnce.

Še tretjo igro si lahko predstavljamo takole: na plošči imamo enako porazdelitev kot v osnovni Pearllovi igri. Igra samo en igralec, ki izbira polovico z več enicami.



Slika 1: Patologija v osnovni Pearllovi igri pri spreminjanju podobnosti med sosednjimi podpodročji.

V vseh treh igrah se lahko zgodi patologija v primernih pogojih. V nadaljevanju bomo predstavili splošna modela za oba tipa iger.

### 3 MODELI IGER

Naredili smo vrsto modelov z namenom preiskovanja relacij predvsem med tremi osnovnimi parametri (Kaluža idr. 2007, Luštrek idr. 2005, 2006, 2007):

- B - vejitev (branching)  
Gradimo vedno uniformna drevesa, kjer imajo očetje vedno enako število sinov.
- G - zrnatost (granularity)  
Število vrednosti pozicije oz. število vrednosti hevristične ocenjevalne funkcije. V naših modelih sta ti vrednosti enaki.
- S - odvisnost (similarity)  
Drevesa z odvisnostjo 0 imajo povsem naključno generirane liste, medtem ko imajo drevesa z odvisnostjo 1 povsem urejene liste po nekem postopku.

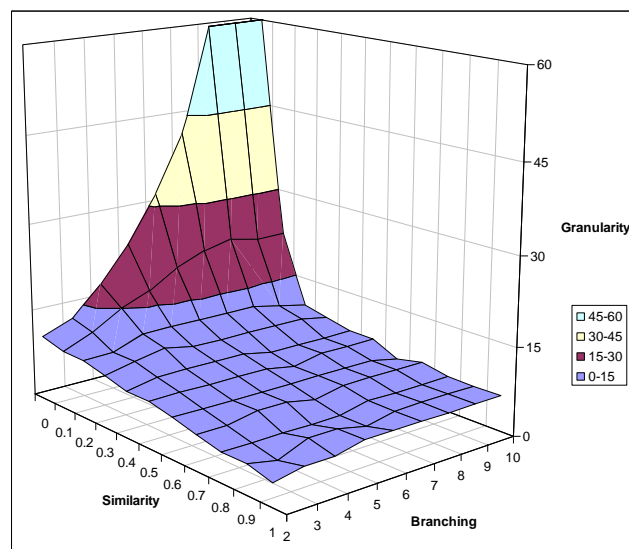
Naredili smo vrsto modelov tako, da smo generirali vrsto dreves in na njih merili uspešnost odločanja prve poteze iz korena, ko imamo enkrat na voljo hevristične poteze samo iz prvega nivoja, drugač pa iz globine 5.

Nato smo spreminjali tri parametre: s, g in b.

Spreminjanje s – podobnosti. Modele iger z dvema igralcema smo običajno gradili na dva načina: od spodaj navzgor in od zgoraj navzdol. Pri prvem načinu smo čedalje bolj sortirali vrednosti po določenem algoritmu in na koncu končali s povsem sortiranimi vozlišči. Pri drugem načinu smo »sortirali« z dodajanjem popolnoma urejenega drevesa v prvo drevo. Pri modelih iger z enim igralcem smo podobnost uvajali samo od spodaj navzgor.

Spreminjanje b – vejitve ni problematično, vprašljiva je samo zmožnost preračunati modele za velike b.

Spreminjanje g – število pravih vrednosti pozicij in število vrednosti hevristične funkcije. Pri modelu z enim igralcem smo dodatno spreminjali še število maksimalnih vrednosti in do neke mere tudi velikost hevristične napake.



Slika 2: Model iger v patoloških pogojih kaže odvisnost od b, s, g.

Število dreves se je pri izračunavanju obnašanja modela sukalo okoli 10.000.

Podobne rezultate je prikazal tudi model iger z enim igralcem, le da je bilo potrebno za iskanje patoloških obnašanj nastaviti še en parameter več.

Zaključki nekaj tovrstnih modelov so:

- Podobnost močno vpliva na zmanjšanje patološkosti
- Tudi zrnatost hevristične ocenjevalne funkcije močno vpliva na zmanjševanje patološkosti
- Večja vejitev rahlo povečuje patološkost, teoretsko pa je znano, da obstaja razred iger z neskončno pripadnicami, v katerem dovolj velika vejitev pomeni patološkost v vsakem primeru (Nau 79). Vejitev pa tudi povečuje učinek patološkosti v obe smeri – rahla patološkost se ob podobnih pogojih poslabša ob večji vejitvi in rahlo nepatološkost spremeni v večja izboljšanja.

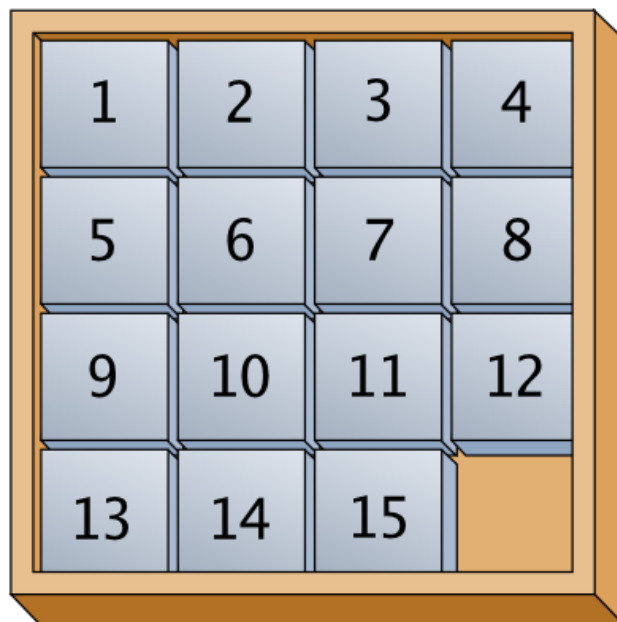
Originalni modeli imajo določene slabosti:

- Izračun  $b$  je običajno le do 10, saj je za večje  $b$  računsko postopek zelo zahteven.
- Vpeljava podobnosti ni enotna oz. v literaturi definirana na enoten način.
- Kvaliteta hevristične funkcije je v vseh modelih neodvisna od globine, kar verjetno ni običajno v mnogih realnih nalogah, kjer bližina cilja izboljša oceno.
- Modeli vsebujejo mehanizme, ki preprečujejo, da bi se v korenu preiskovalnega drevesa z veliko verjetnostjo pojavila zgolj ena vrednost. Tem mehanizmom v prid govori, da si želimo preučevati zanimive položaje, ki niso z veliko verjetnostjo dobljeni za enega od igralcev, a kako točno je s tem pojavom v igrah, ne vemo.
- Model enega igralca je manj preizkušen kot model z dvema igralcema in za primerno patološkost potrebuje en parameter več.
- Modeli dajejo vtis, da je patološkost nekaj pogostega v igrah z enim ali dvema igralcema, kar v praksi ni tako.

#### 4 PRAKTIČNI PRIMERI PATOLOGIJ

Z mukotrpnim iskanjem smo našli nekaj patologij v realnih igrah – v dveh šahovskih končnicah jih je našel Aleksander Sadikov. Ko je bila prava vrednost pozicije število potez do konca in kvaliteta hevristične ocenjevalne funkcije neodvisna od globine, sta dve končnici pokazali patološko oz. praktično patološko obnašanje pri majhnih  $g$ , nato pa z večjimi  $g$  čedalje večje izboljšanje s preiskovanjem v večjo globino.

Podobno lastnost je pokazal Rok Piltaver pri preiskovanju lastnosti problema 8-ploščic (Piltaver 07). Poleg tega je ugotovil, da so podobne odvisnosti glede  $g$  in  $s$  tudi pri funkciji Manhattanske razdalje, ki se z globino izboljšuje. Ta ocena pa je bila načeloma pri vseh  $g$  z globino bolj uspešna kot od globine neodvisna ocena.



Slika 3: Problem 8-ploščic je tudi patološki in kaže, da je tudi v igrah enega igralca prisotna patološkost ob določenih pogojih.

Rok Piltaver je pokazal tudi, da je število pozicij, kjer je iskanje v globino bolj uspešno, skoraj primerljivo s številom pozicij, kjer je bolj uspešno preiskovanje na prvem nivoju, in da je pri precejšnjem deležu vseh pozicij vseeno, ali iščemo globlje ali ne.

Matej Guid je pokazal, da je v preko 1000 šahovskih partijah za naslov svetovnega prvaka približno 6-8 odstotkov vseh pozicij patoloških.

Patologija oz. »skoraj patologija« torej ni tako izredno redka, kot bi lahko domnevali iz praktičnih izkušenj, kjer programi z večjo globino pregledovanja praktično vedno igrajo bolje.

#### 5 DISKUSIJA

Predlagani modeli patologij gotovo ne zajemajo vsem možnih iger in vseh možnih načinov patologij – daleč od tega. Podajajo pa nek splošen model iger. Izvirnost je v naslednjem:

- Celovit prikaz treh najpomembnejših parametrov na patološkost
- Prikaz odvisnosti med številom vrednosti hevristične funkcije in patološkostjo

- Nova relacija med vejitvijo in stopnjo patološkosti
- V modelu iger z enim igralcem
- V podrobnem prikazu patološkosti v nekaj igrah realnega sveta
- V prikazu, da je patološkost oz. »skoraj patološkost« pogostejša, kot se je to do sedaj domnevalo.

### **Zahvala:**

Zahvaljujemo se ARRS za financiranje raziskovalne programske skupine Umetna inteligenca in inteligentni sistemi. Zahvaljujemo se naslednjim sodelavcem za sodelovanje pri raziskavah: Rok Piltaver, Aleš Tavčar, Aleksander Sadikov, Matej Guid.

### **Literatura:**

Boštjan Kaluža, Mitja Luštrek, Matjaž Gams, Aleš Tavčar: Patologija pri iskanju z minimaksom. ERK 2007.

Gams, M. Weak intelligence: Through the principle and paradox of multiple knowledge, Advances in computation: Theory and practice, Vol. 6, Nova sc. Pub., inc., NY, 2001.

Mitja Luštrek: Patologija v hevrističnih preiskovalnih algoritmih. Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, 2007.

Mitja Luštrek, Ivan Bratko, Matjaž Gams: Why Minimax Works: An Alternative Explanation. IJCAI conference, 2005.

Mitja Luštrek, Matjaž Gams, Ivan Bratko: Is Real-Valued Minimax Pathological?. Artificial Intelligence, 2006.

Dana S. Nau: Quality of decision versus depth of search on game trees. Doktorska disertacija, Duke University, 1979.

Dana S. Nau: An Investigation of the Causes of Pathology in Games. Artificial Intelligence, 1982.

Dana S. Nau: Pathology on Game Trees Revisited, and an Alternative to Minimaxing. Artificial Intelligence, 1983.

Rok Piltaver: Patologija preiskovanja v igri osmih ploščic. Diplomaska naloga, Univerza v Ljubljani, 2007.