

# Hry a základní herní strategie

Aleš Horák

E-mail: [hales@fi.muni.cz](mailto:hales@fi.muni.cz)  
<http://nlp.fi.muni.cz/uui/>

## Obsah:

- ▶ Hry vs. Prohledávání stavového prostoru
- ▶ Algoritmus Minimax
- ▶ Algoritmus Alfa-Beta prořezávání
- ▶ Nedeterministické hry
- ▶ Hry s nepřesnými znalostmi

# Hry × Prohledávání stavového prostoru

## Multiagentní prostředí:

- ▶ agent musí brát v úvahu **akce jiných agentů** → jak ovlivní jeho vlastní prospěch
- ▶ vliv ostatních agentů – **prvek náhody**
- ▶ **kooperativní** × **soupeřící** multiagentní prostředí (MP)

## Hry:

- ▶ matematická **teorie her** (odvětví ekonomie) – kooperativní i soupeřící MP, kde vliv všech agentů je **významný**
- ▶ **hra v UI** = obv. deterministické MP, 2 střídající se agenti, výsledek hry je vzájemně opačný nebo shoda

## Algoritmy soupeřícího prohledávání (*adversarial search*):

- ▶ oponent dělá **dopředu neurčitelné** tahy → řešením je **strategie**, která počítá se všemi možnými tahy protivníka
- ▶ **časový limit** ⇒ zřejmě nenajdeme optimální řešení → hledáme **lokálně optimální** řešení

## Hry a UI – historie

- ▶ Babbage, 1846 – počítač porovnává přínos různých herních tahů
- ▶ von Neumann, 1944 – algoritmy perfektní hry
- ▶ Zuse, Wiener, Shannon, 1945–50 – přibližné vyhodnocování
- ▶ Turing, 1951 – první šachový program (jen na papíře)
- ▶ Samuel, 1952–57 – strojové učení pro zpřesnění vyhodnocování
- ▶ McCarthy, 1956 – prořezávání pro možnost hlubšího prohledávání

Řešení her je zajímavým předmětem studia ← je **obtížné**:

průměrný faktor větvení v šachách  $b = 35$

pro 50 tahů 2 hráčů ...

prohledávací strom  $\approx 35^{100} \approx 10^{154}$  uzlů ( $\approx 10^{40}$  stavů)

## Hry a UI – aktuální výsledky

- ▶ **dáma** – 1994 program *Chinook* porazil světovou šampionku Marion Tinsley. Používá úplnou databázi tahů pro  $\leq 8$  figur (443 748 401 247 pozic).
- ▶ **šachy** – 1997 porazil stroj *Deep Blue* světového šampiona Gary Kasparova  $3\frac{1}{2}$ – $2\frac{1}{2}$ . Stroj počítá 200 mil. pozic/s, sofistikované vyhodnocování a nezveřejněné metody pro prozkoumávání některých tahů až do hloubky 40 tahů. 2006 porazil program *Deep Fritz* na PC světového šampiona Vladimíra Kramníka 2–4. V současnosti vyhrávají turnaje i programy na slabším hardware mobilních telefonů s 20 tis. pozic/s.
- ▶ **Othello** – světoví šampioni odmítají hrát s počítači, protože stroje jsou příliš dobré. Othello (též Reversi) pro dva hráče na desce  $8 \times 8$  – snaží se mezi své dva kameny uzavřít soupeřovy, které se přebarví. Až se zaplní deska, spočítají se kameny.
- ▶ **Go** – do roku 2008 světoví šampioni odmítali hrát s počítači, protože stroje jsou příliš slabé. V Go je  $b > 300$ , takže počítače mohou používat téměř pouze znalostní bázi vzorových her.  
od 2009 – první programy dosahují pokročilejší amatérské úrovně (zejména na desce  $9 \times 9$ , nižší úroveň i na  $19 \times 19$ ).

# Typy her

	<i>deterministické</i>	<i>s náhodou</i>
<i>perfektní znalosti</i>	šachy, dáma, Go, Othello	backgammon, monopoly
<i>nepřesné znalosti</i>		bridge, poker, scrabble

# Hledání optimálního tahu

2 hráči – MAX ( $\triangle$ ) a MIN ( $\nabla$ )

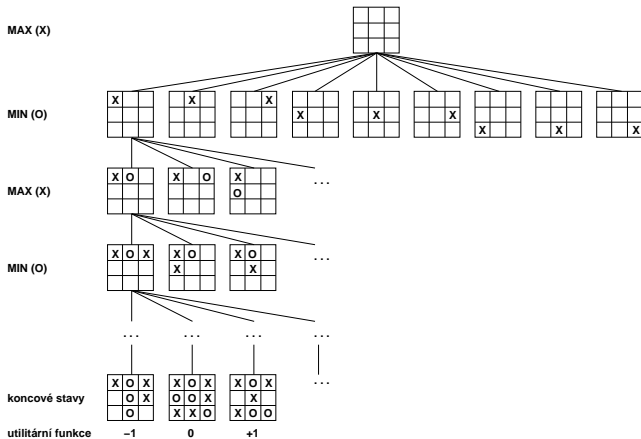
MAX je první na tahu a pak se střídají až do konce hry

**hra** = prohledávací problém:

- ▶ počáteční stav – počáteční herní situace + kdo je na tahu
- ▶ přechodová funkce – vrací dvojice (legální tah, výsledný stav)
- ▶ ukončovací podmínka – určuje, kdy hra končí, označuje **koncové stavy**
- ▶ utilitární funkce – numerické ohodnocení koncových stavů

# Hledání optimálního tahu – pokrač.

počáteční stav a přechodová funkce definují **herní strom**:



# Algoritmus Minimax

Hráč MAX ( $\triangle$ ) musí *prohledat* herní strom pro zjištění nejlepšího tahu proti hráči MIN ( $\nabla$ )

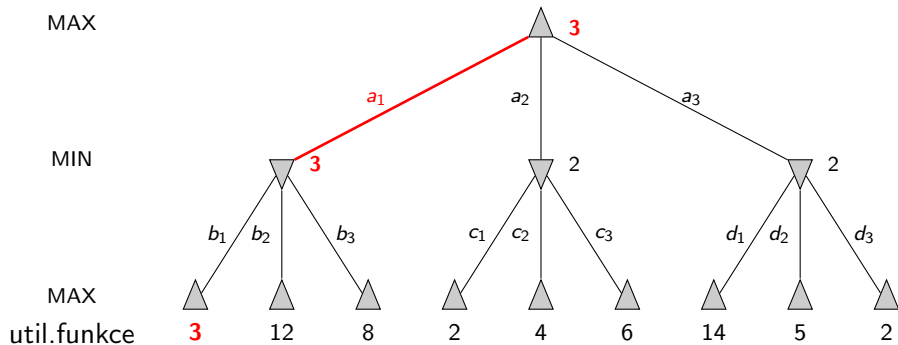
→ zjistit nejlepší **hodnotu minimax** – zajišťuje *nejlepší výsledek* proti *nejlepšímu protivníkovi*

$$\text{Hodnota minimax}(n) = \begin{cases} \text{utility}(n), & \text{pro koncový stav } n \\ \max_{s \in \text{moves}(n)} \text{Hodnota minimax}(s), & \text{pro MAX uzel } n \\ \min_{s \in \text{moves}(n)} \text{Hodnota minimax}(s), & \text{pro MIN uzel } n \end{cases}$$



# Algoritmus Minimax – pokrač.

příklad – hra jen na jedno kolo = 2 tahy (půlkola)



## Algoritmus Minimax – pokrač.

```

% minimax( +Pos, -BestSucc, -Val):
% Pos je rozložení figur, Val je minimaxová hodnota tohoto rozložení;
% nejlepší tah z Pos vede do rozložení BestSucc
minimax( Pos, BestSucc, Val) :-
    moves( Pos, PosList), !, % PosList je seznam legálních tahů z Pos
    best( PosList, BestSucc, Val)
;
staticval( Pos, Val). % Pos nemá následníky: ohodnotíme staticky

best( [Pos], Pos, Val) :- minimax( Pos, _, Val), !.
best( [Pos1 | PosList], BestPos, BestVal) :-
    minimax( Pos1, _, Val1),
    best( PosList, Pos2, Val2),
    betterof( Pos1, Val1, Pos2, Val2, BestPos, BestVal).
betterof( Pos0, Val0, Pos1, Val1, Pos0, Val0) :- % Pos0 je lepší než Pos1
    min_to_move( Pos0), % MIN na tahu v Pos0
    Val0 > Val1, ! % MAX chce nejvyšší hodnotu
;
    max_to_move( Pos0), % MAX na tahu v Pos0
    Val0 < Val1, !. % MIN chce nejmenší hodnotu
betterof( Pos0, Val0, Pos1, Val1, Pos1, Val1). % jinak je Pos1 lepší než Pos0

```

# Algoritmus Minimax – vlastnosti

<i>úplnost</i>	úplný pouze pro <b>konečné</b> stromy
<i>optimálnost</i>	<b>je</b> optimální proti optimálnímu oponentovi
<i>časová složitost</i>	$O(b^m)$
<i>prostorová složitost</i>	$O(bm)$ , prohledávání do hloubky

šachy ...  $b \approx 35, m \approx 100 \Rightarrow$  přesné řešení není možné

např.  $b^m = 10^6, b = 35 \Rightarrow m \approx 4$

4-tahy  $\approx$  člověk-nováček

8-tahů  $\approx$  člověk-mistr, typické PC

12-tahů  $\approx$  Deep Blue, Kasparov

# Časové omezení

předpokládejme, že máme 100 sekund + prozkoumáme  $10^4$  uzlů/s  
⇒  $10^6$  uzlů na 1 tah

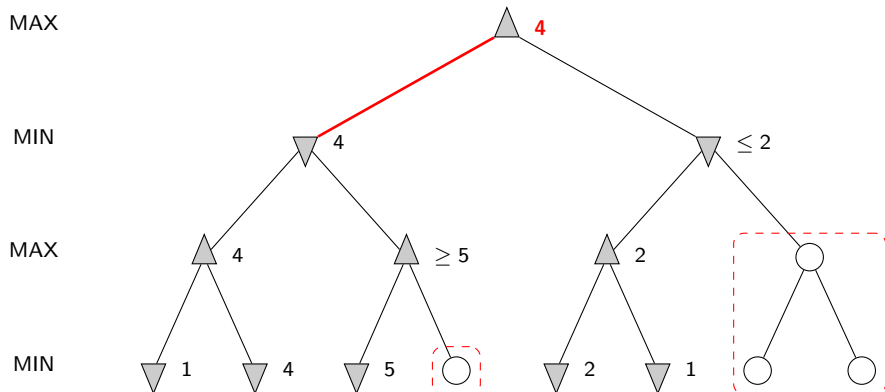
řešení **minimax\_cutoff**:

- ▶ **ohodnocovací funkce** odhad přínosu pozice  
nahradí utilitární funkci
- ▶ **ořezávací test** (*cutoff test*) – např. hloubka nebo hodnota ohodnocovací  
funkce  
nahradí koncový test

# Algoritmus Alfa-Beta prořezávání

Příklad stromu, který zpracuje predikát **minmax**

Alfa-Beta **odřízne** expanzi některých uzlů  $\Rightarrow$  Alfa-Beta procedura je **efektivnější** variantou minimaxu



## Algoritmus Alfa-Beta prořezávání – vlastnosti

- ▶ prořezávání **neovlivní** výsledek  $\Rightarrow$  je **stejný** jako u minimaxu
- ▶ dobré **uspořádání** přechodů (možných tahů) ovlivní **efektivitu** prořezávání
- ▶ v případě “nejlepšího” uspořádání **časová složitost** =  $O(b^{m/2})$   
 $\Rightarrow$  **zdvojí** hloubku prohledávání  
 $\Rightarrow$  může snadno dosáhnout hloubky 8 v šachu, což už je použitelná úroveň

označení  $\alpha - \beta$ :

- ▶  $\alpha$  ... doposud nejlepší hodnota pro MAXe
- ▶  $\beta$  ... doposud nejlepší hodnota pro MINa
- ▶  $\langle \alpha, \beta \rangle$  ... interval ohodnocovací funkce v průběhu výpočtu (na začátku  $\langle -\infty, \infty \rangle$ )

▶	minimax ...	$V(P)$	$\alpha - \beta$ ...	$V(P, \alpha, \beta)$
	když	$V(P) \leq \alpha$		$V(P, \alpha, \beta) = \alpha$
	když	$\alpha < V(P) < \beta$		$V(P, \alpha, \beta) = V(P)$
	když	$V(P) \geq \beta$		$V(P, \alpha, \beta) = \beta$

# Algoritmus Alfa-Beta prořezávání

```

alphabeta( Pos, Alpha, Beta, GoodPos, Val) :- moves( Pos, PosList), !,
    boundedbest( PosList, Alpha, Beta, GoodPos, Val)
    ; staticval( Pos, Val). % statické ohodnocení Pos

boundedbest( [Pos | PosList], Alpha, Beta, GoodPos, GoodVal) :-
    alphabeta( Pos, Alpha, Beta, -, Val),
    goodenough( PosList, Alpha, Beta, Pos, Val, GoodPos, GoodVal).

goodenough( [], -, -, Pos, Val, Pos, Val) :- !. % nejsou další kandidáti
goodenough( -, Alpha, Beta, Pos, Val, Pos, Val) :-
    min_to_move( Pos), Val > Beta, ! % MAX dosáhl horní hranici
    ; max_to_move( Pos), Val < Alpha, ! % MIN dosáhl dolní hranici
goodenough( PosList, Alpha, Beta, Pos, Val, GoodPos, GoodVal) :-
    newbounds( Alpha, Beta, Pos, Val, NewAlpha, NewBeta), % uprav hranice
    boundedbest( PosList, NewAlpha, NewBeta, Pos1, Val1),
    betterof( Pos, Val, Pos1, Val1, GoodPos, GoodVal).

newbounds( Alpha, Beta, Pos, Val, Val, Beta) :-
    min_to_move( Pos), Val > Alpha, ! % MAX zvýšil dolní hranici
newbounds( Alpha, Beta, Pos, Val, Alpha, Val) :-
    max_to_move( Pos), Val < Beta, ! % MIN snížil horní hranici
newbounds( Alpha, Beta, -, -, Alpha, Beta). % jinak hranice nezměněny

betterof( Pos, Val, Pos1, Val1, Pos, Val) :- min_to_move( Pos), Val > Val1, !
    ; max_to_move( Pos), Val < Val1, ! % Pos je lepší než Pos1
betterof( -, -, Pos1, Val1, Pos1, Val1). % jinak je lepší Pos1

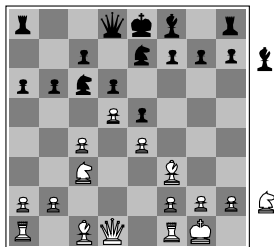
```

## Možnosti vylepšení Minimax/Alpha-Beta

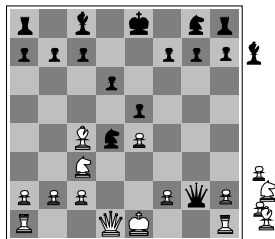
- ▶ vyhodnocovat pouze **klidné stavy** (quiescent search)
- ▶ při vyhodnocování počítat s efektem **horizontu** – zvraty mimo prohledanou oblast
- ▶ **dopředné ořezávání** – některé stavy se ihned zahazují bezpečné např. pro symetrické tahy nebo pro tahy hluboko ve stromu



# Ohodnocovací funkce



Černý na tahu  
Bílý ma o něco lepší pozici



Bílý na tahu  
Černý vítězí

Pro šachy typicky **lineární** vážený součet **rysů**

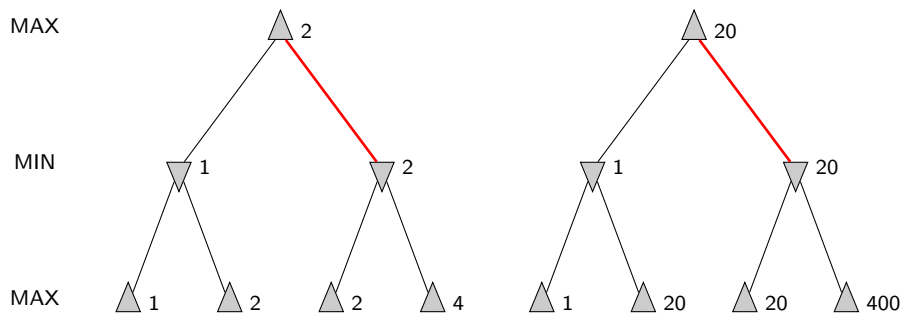
$$Eval(s) = w_1 f_1(s) + w_2 f_2(s) + \dots + w_n f_n(s) = \sum_{i=1}^n w_i f_i(s)$$

např.  $w_1 = 9$

$f_1(s) = (\text{počet bílých královen}) - (\text{počet černých královen})$

...

## Ohodnocovací funkce – odchylky

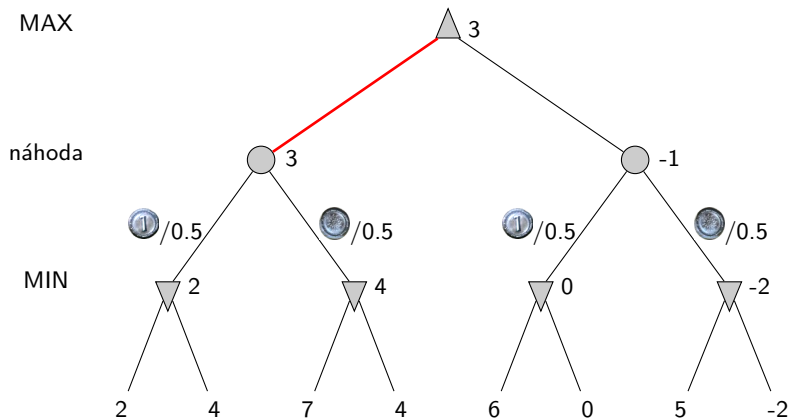


chová se **stejně** pro libovolnou **monotónní** transformaci funkce *Eval*  
záleží pouze na uspořádání → ohodnocení v deterministické hře funguje  
jako **ordinální funkce**

# Nedeterministické hry

náhoda  $\leftarrow$  hod kostkou, hod mincí, míchání karet

příklad – 1 tah s házením mincí:



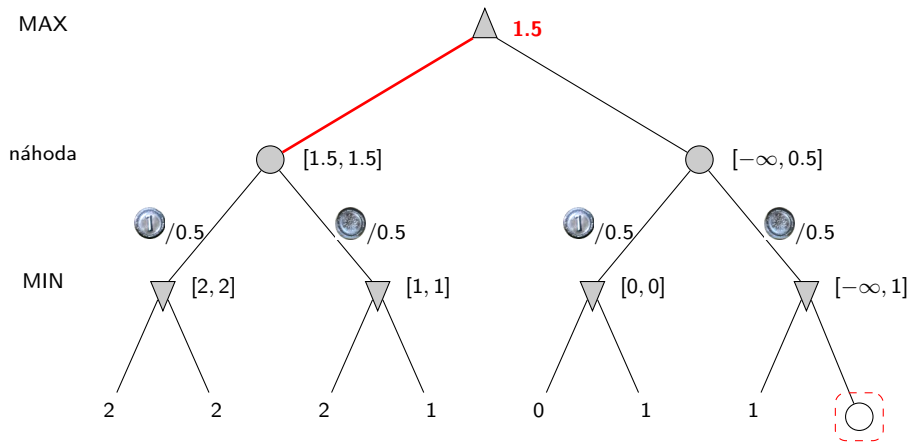
# Algoritmus Minimax pro nedeterministické hry

**expect\_minimax** ... počítá perfektní hru s přihlédnutím k náhodě  
rozdíl je pouze v započítání uzlů *náhoda*:

$$\text{expect\_minimax}(n) = \begin{cases} \text{utility}(n) & \text{pro koncový stav } n \\ \max_{s \in \text{moves}(n)} \text{expect\_minimax}(s) & \text{pro MAX uzel } n \\ \min_{s \in \text{moves}(n)} \text{expect\_minimax}(s) & \text{pro MIN uzel } n \\ \sum_{s \in \text{moves}(n)} P(s) \cdot \text{expect\_minimax}(s) & \text{pro uzel náhody } n \end{cases}$$

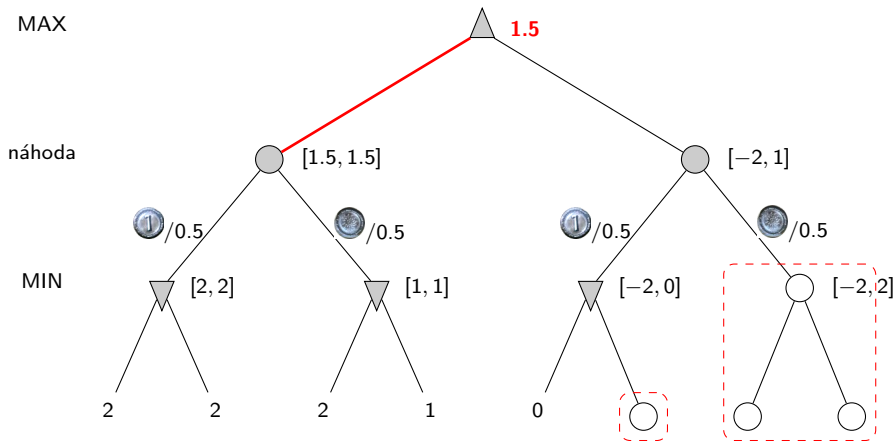
# Prořezávání v nedeterministických hrách

je možné použít upravené Alfa-Beta prořezávání



## Prořezávání v nedeterministických hrách – pokrač.

pokud je možno dopředu stanovit **limity** na ohodnocení listů →  
ořezávání je **větší**



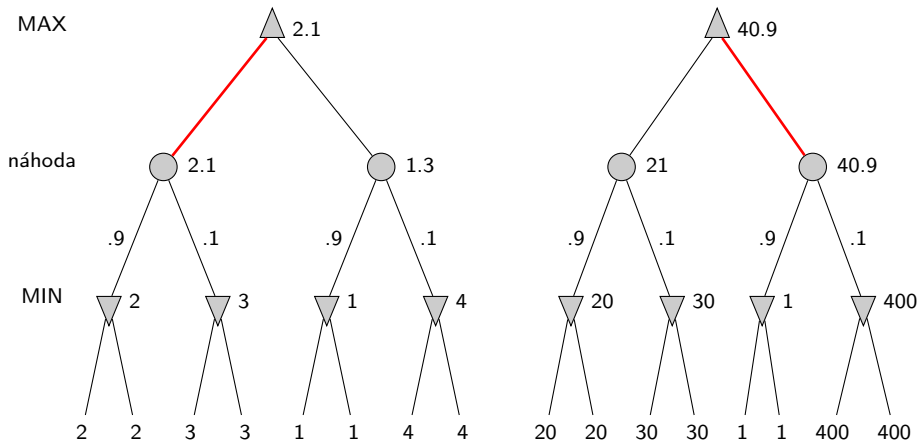
## Nedeterministické hry v praxi

- ▶ hody kostkou zvyšují  $b \rightarrow$  se dvěma kostkami 21 možných výsledků
- ▶ backgammon – 20 legálních tahů:

$$\text{hloubka 4} = 20 \times (21 \times 20)^3 \approx 1.2 \times 10^9$$

- ▶ jak se zvyšuje hloubka  $\rightarrow$   
pravděpodobnost dosažení zvoleného uzlu klesá  
 $\Rightarrow$  význam prohledávání se snižuje
- ▶ alfa-beta prořezávání je mnohem méně efektivní
- ▶ program TDGammon používá prohledávání do hloubky 2 + velice dobrou Eval funkci  
 $\approx$  dosahuje úrovně světového šampionátu

# Odchylka v ohodnocení nedeterministických her



chování je zachováno pouze pro **pozitivní lineární** transformaci funkce *Eval*  
*Eval* u nedeterministických her by tedy měla proporcionálně odpovídat  
 očekávanému výnosu



# Hry s nepřesnými znalostmi

- ▶ např. **karetní hry** → **neznáme** počáteční **namíchání karet** oponenta
- ▶ obvykle můžeme spočítat **pravděpodobnost** každého možného rozdání
- ▶ zjednodušeně – jako jeden velký hod kostkou na začátku
- ▶ prohledáváme ovšem ne **reálný stavový prostor**, ale **domnělý stavový prostor**
- ▶ program *Jack*, nejčastější vítěz počítačových šampionátů v bridgi:
  1. generuje 100 rozdání karet konzistentních s daným podáním
  2. vybírá akci, která je v průměru nejlepší

V roce 2006 porazil Jack na soutěži 3 ze 7 top holandských hráčských párů.