## Hry a základní herní strategie

**Aleš Horák**

**E-mail: hales@fi.muni.cz**

**http://nlp.fi.muni.cz/uui/**

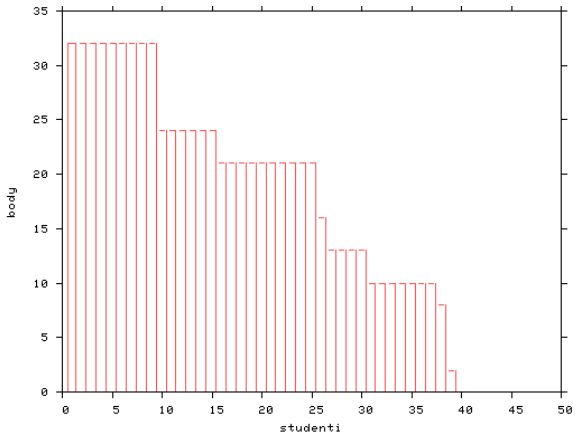
Obsah:

- ➜ Statistické výsledky průběžné písemky
- ➜ Hry vs. Prohledávání stavového prostoru
- ➜ Algoritmus Minimax
- ➜ Algoritmus Alfa-Beta prořezávání
- ➜ Nedeterministické hry
- ➜ Hry s nepřesnými znalostmi





## Statistické výsledky průběžné písemky




průběžná písemka PB016

46 studentů

| Body | Počet studentů |
|---|---|
| 32 | 9 |
| 24 | 6 |
| 21 | 10 |
| 16 | 1 |
| 13 | 4 |
| 10 | 7 |
| 8 | 1 |
| 2 | 1 |
| 0 | 7 |





## 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. Stroj počítá 200 mil pozic/s, sofistikované vyhodnocování a nezveřejněné metody pro prozkoumávání některých tahů až do hloubky 40 tahů.
- **Othello** – světoví šampioni odmítají hrát s počítači, protože stroje jsou příliš dobré
- **Go** – světoví šampioni odmítají hrát s počítači, protože stroje jsou příliš slabé. V Go je $b > 300$, takže počítače mohou používat pouze znalostní bázi vzorových her.





## Typy her

| | *deterministické* | *s náhodou* |
|---|---|---|
| *perfektní znalosti* | šachy, dáma, Go, Othello | backgammon, monopoly |
| *nepřesné znalosti* | | bridge, poker, scrabble |





## Hledání optimálního tahu

2 hráči – **MAX** a **MIN**, MAX je první na tahu a pak se střídají až do konce hry

hra = prohledávací problém:

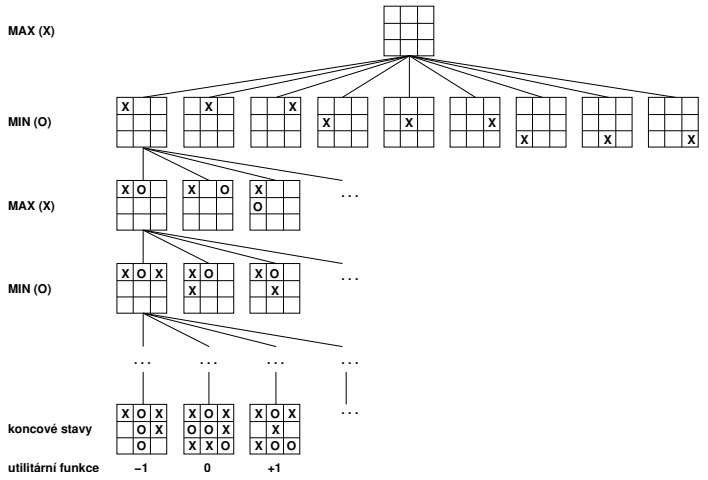
- **počáteční stav** – počáteční herní situace + kdo je na tahu
- **přechodová funkce** – vrací dvojice $(\text{legální tah, výsledný stav})$
- **ukončovací podmínka** – určuje, kdy hra končí, označuje **koncové stavy**
- **utilitární funkce** – numerické ohodnocení koncových stavů





## Hledání optimálního tahu pokrač.

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



## ALGORITMUS MINIMAX

MAX (△) musí *prohledat* herní strom pro zjištění nejlepšího tahu proti MIN (▽)

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

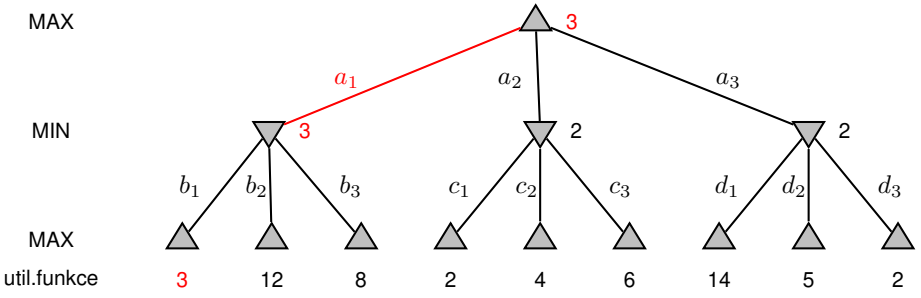
$$\text{Hodnota minimax}(n) = \begin{cases} \text{utility}(n) & \text{pro koncový stav } n \\ \max_{s \in \text{moves}(n)} \text{Hodnota minimax}(s) & \text{pro MAX uzel } n \\ \min_{s \in \text{moves}(n)} \text{Hodnota minimax}(s) & \text{pro MIN uzel } n \end{cases}$$





## ALGORITMUS MINIMAX pokrač.

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








## ALGORITMUS MINIMAX pokrač.

```
% minimax( Pos, BestSucc, Val ):
%     Pos is a position , Val is its minimax value;
%     best move from Pos leads to position BestSucc
minimax( Pos, BestSucc, Val) :-
    moves( Pos, PosList), !,                % Legal moves in Pos produce PosList
    best( PosList, BestSucc, Val)
    ;
    staticval ( Pos, Val ).                 % Pos has no successors : evaluate statically

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 better than Pos1
    min_to_move( Pos0),                               % MIN to move in Pos0
    Val0 > Val1, !                                    % MAX prefers the greater value
    ;
    max_to_move( Pos0),                               % MAX to move in Pos0
    Val0 < Val1, !.                                   % MIN prefers the lesser value
betterof( Pos0, Val0, Pos1, Val1, Pos1, Val1 ).       % Otherwise Pos1 better than Pos0
```





## ALGORITMUS MINIMAX – VLASTNOSTI

| | |
|---|---|
| *úplnost* | **úplný** pouze pro **konečné** stromy |
| *optimálnost* | **je** optimální proti optimálnímu oponentovi |
| *časová složitost* | $O(b^m)$ |
| *prostorová složitost* | $O(bm)$, prohledávání do hloubky |

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

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

4-tahy ≈ člověk-nováček

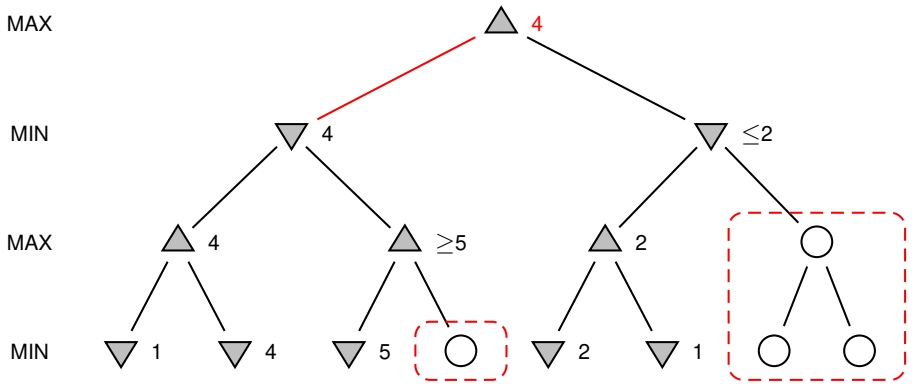
8-tahů ≈ člověk-mistr, typické PC

12-tahů ≈ Deep Blue, Kasparov

## Algoritmus Alfa-Beta prořezávání

Příklad stromu, který zpracuje predikát **minmax**

**Alfa-Beta odřízne** expanzi některý uzlů ⇒ Alfa-Beta procedura je **efektivnější** variantou minimaxu








## Algoritmus Alfa-Beta – vlastnosti

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

označení $\alpha - \beta$:

- ➜ $\alpha \ldots$ doposud nejlepší hodnota pro MAXe
- ➜ $\beta \ldots$ doposud nejlepší hodnota pro MINa
- ➜ $<\alpha, \beta> \ldots$ interval ohodnocovací funkce v průběhu výpočtu (na začátku $<-\infty, \infty>$)
- ➜

| minimax $\ldots V(P)$ | $\alpha - \beta \ldots V(P, \alpha, \beta)$ |
|---|---|
| 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 ).                    % Static value of 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) :- !.    % No other candidate
goodenough( _, Alpha, Beta, Pos, Val, Pos, Val) :-
    min_to_move( Pos), Val > Beta, !               % Maximizer attained upper bound
    ; max_to_move( Pos), Val < Alpha, !.           % Minimizer attained lower bound
goodenough( PosList, Alpha, Beta, Pos, Val, GoodPos, GoodVal) :-
    newbounds( Alpha, Beta, Pos, Val, NewAlpha, NewBeta), % Refine bounds
    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, !.             % Maximizer increased lower bound
newbounds( Alpha, Beta, Pos, Val, Alpha, Val) :-
    max_to_move( Pos), Val < Beta, !.              % Minimizer decreased upper bound
newbounds( Alpha, Beta, _, _, Alpha, Beta).        % Otherwise bounds unchanged

betterof( Pos, Val, Pos1, Val1, Pos, Val) :- min_to_move( Pos), Val > Val1, !
    ; max_to_move( Pos), Val < Val1, !.            % Pos better than Pos1
betterof( _, _, Pos1, Val1, Pos1, Val1).           % Otherwise Pos1 better
```





## Časové omezení

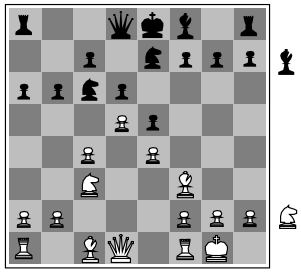
předpokládejme, že máme 100 sekund + prozkoumáme $10^4$ uzlů/s ⇒ $10^6$ uzlů na 1 tah

řešení:

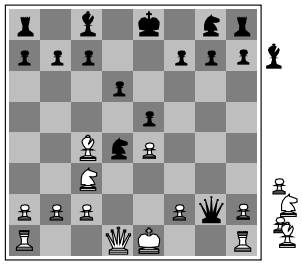
❑ **ohodnocovací funkce** odhad přínosu pozice

❑ **ořezávací test** (*cutoff test*) – např. hloubka nebo hodnota ohodnocovací funkce

## Ohodnocovací funkce



Černý na tahu
Bílý ma o něco lepší pozici



Bílý na tahu
Černý vítězí

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

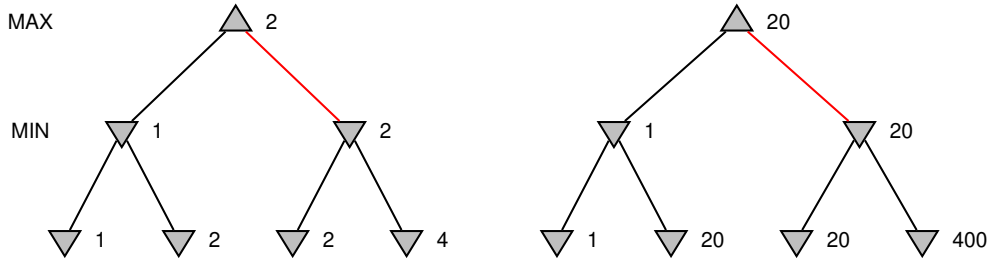
$$Eval(s) = w_1 f_1(s) + w_2 f_2(s) + \ldots + w_n f_n(s) = \sum_{i=1}^{n} w_i f_i(s)$$

např. $w_1 = 9$
$f_1(s) =$ (počet bílých královen) $-$ (počet černých královen)
$\ldots$





## Ohodnocovací funkce – odchylky




chová se **stejně** pro libovolnou **monotónní** transformaci fuknce $Eval$

záleží pouze na uspořádání → ohodnocení v deterministické hře funguje jako **ordinální funkce**





## Prohledávání s ořezávacím testem

**minimax_cutoff** je stejný jako **minimax** kromě:

1. koncový test → *ořezávací test*
2. utilitární funkce → *ohodnocovací funkce*

**další možnosti vylepšení:**

➜ 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

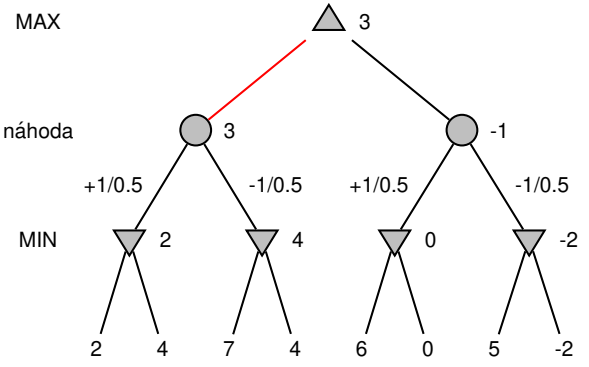




## Nedeterministické hry

náhoda ← hod kostkou, hod mincí, míchání karet

příklad – 1 tah s házení mincí:



## Algoritmus Minimax pro nedeterministické hry

**expect_minimax** . . . počítá perfektní hru s přihlédnutím k náhodě

rozdíl je pouze v započítání uzlů *náhoda*:

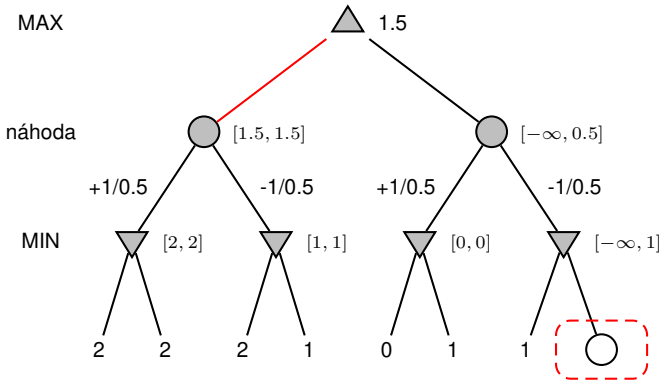
$$\text{expect_minimax}(n) = \begin{cases} \text{utility}(n) & \text{pro koncový stav } n \\ \max_{s \in \text{moves}(n)} \text{expect_minimax}(s) & \text{pro MAX uzel } n \\ \min_{s \in \text{moves}(n)} \text{expect_minimax}(s) & \text{pro MIN uzel } n \\ \sum_{s \in \text{moves}(n)} P(s) \cdot \text{expect_minimax}(s)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





## Prořezávání v nedeterministických hrách

je možné použít upravené Alfa-Beta prořezávání

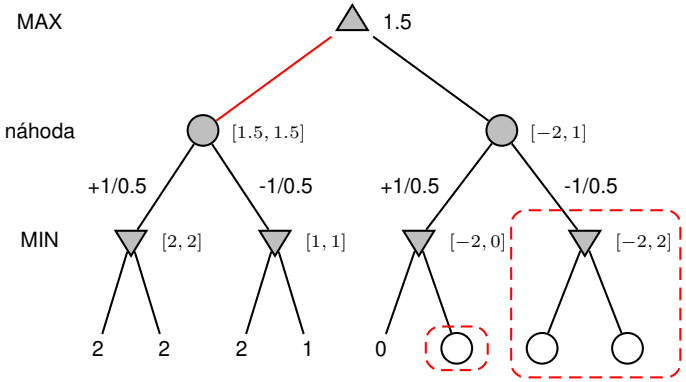







## Prořezávání v nedeterministických hrách pokrač.

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







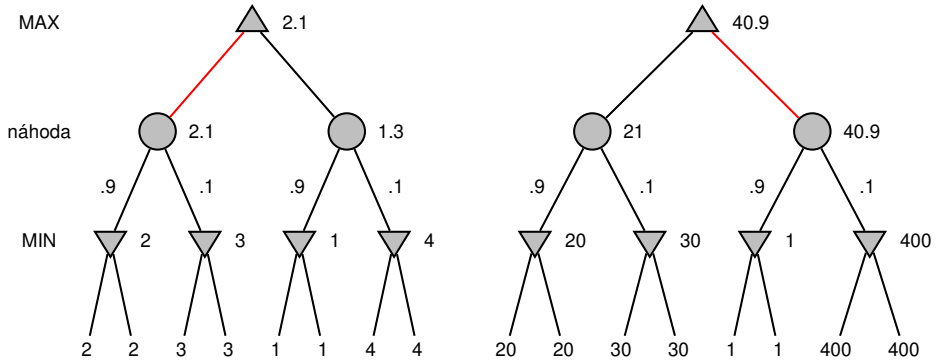

## Nedeterministické hry v praxi

- ➜ hody kostkou zvyšují $b$ → 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** → **pravděpodobnost** dosažení zvoleného uzlu **klesá**
  ⇒ význam prohledávání se **snižuje**
- ➜ **alfa-beta** prořezávání je mnohem **méně efektivní**
- ➜ program *TDGammon* používá prohledávání do hloubky 2 + velice dobrou $Eval$ funkci
  ≈ dosahuje úrovně světového šampionátu

## Odchylka v ohodnocení nedeterministických her




chování je **zachováno** pouze pro **pozitivní lineární** transformaci fuknce $Eval$

$Eval$ 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 *GIB* vyhrál šampionát v roce 2000:
  1. generuje 100 rozdání karet konzistentních s daným podáním
  2. vybírá akci, která je v průměru nejlepší