

Herní algoritmy, předn. 2,3

Jan Hric, Petr Baudiš

Minimax

NAIL103, ZS

31. října 2013

Obsah

- 1 Úvod
- 2 Standardní algoritmy: Minimax a Alfabet
- 3 Další alg. a varianty
- 4 ... a další

Minimax - z minula

- Základy: Minimax, alfa-beta, ...
- Varianty: Negamax, Principiální varianta, (Negascout), Iterativní prohlubování, MTD(f), (SSS*) ...
- Impl: Transpoziční tabulky, okno, history heuristika, killery, null-move, ...
- Související pojmy: heuristická ohodnocovací funkce, efekt horizontu, ...

Terminologie, základy

- kontext: deterministické hry dvou hráčů s úplnou informací a nulovým součtem (a střídáním tahů)
- pozice, prostor stavů, strom/graf hry, tah, historie tahů
- Stav hry: úplný popis, (kdo je na tahu, "rošáda"), (část) historie
- Výsledky: boolovské $\{0, 1\}$, $\{-1, 0, +1\}$; numerické, často $(-N, +N)$
- reprezentace: stromy, DAG, (DCG (cyklické)) - konečné
- And/Or strom, strom důkazu (resp. vyvrácení): popis vyhrávající (resp. prohrávající) strategie (dis/proof tree)
- - strategie: v každém vrcholu určí (nejlepší) tah, pouze některé vrcholy jsou relevantní

Minimax

- Boolovské hledání: vrací 0 nebo 1
- koncové vrcholy: staticky, Max vrchol: or, Min-vrchol: and (And/Or stromy se používají i v jiných apl.)
- Negamax: z pohledu hráče na tahu; impl.: vrací opačnou hodnotu
- Hodnoty z intervalu: operace min a max; používáme jemnější rozdělení pozic, pokud nedopočítáme hru do konce
- Redukce na bool. případ se používá v Negascout/PVS
- Pokud $v \geq m$ je výhra a $v > m$ je prohra, pak m je minimax. hodnota

Alfabeto

- udržuje dolní a horní odhad (alfa,beta) skutečné hodnoty
- (tj. verze/analogie: branch and bound)
- pokud je hodnota v mimo interval, usekni další syny v
- když $v < \textit{alfa}$, my do v nepůjdeme, máme lepší možnost
- když $v > \textit{beta}$, soupeř do v nepůjde, má lepší možnost

Alfabeto

- potrebuje dobré uspořádání tahů
- nejvíc ušetří, pokud je první vrchol nejlepší: dovolí jít do dvojnásobné hloubky
- alfabeto vrací přesnou hodnotu m minimaxu, proto musí prohledat aspoň proof tree a disproof tree

Strom důkazu

Jak vypadá (výsledný) strom důkazu a strom vyvrácení?

- strom důkazu v Max vrcholech (včetně kořene) obsahuje 1 syna, v Min vrcholech všechny syny. Koncové pozice jsou vyhrané (z hlediska kořene).
 - strom vyvrácení v Max vrcholech obsahuje všechny syny, v Min vrcholech 1 syna. Koncové pozice jsou prohrané.
 - průnik stromů je jedna cesta - principiální varianta: oba hráči hrají (neostře) nejlepší tahy
 - pro regulární strom se štěpením b : oba stromy se štěpí plně na každé druhé úrovni, tj. efektivní štěpení je \sqrt{b}
 - - důsl: v nejlepším případě Alfabet
- prohledá za *stejný* čas v porovnání s Minimaxem strom do dvojnásobné hloubky

Heuristická fce

- zatím prohledáváme do konce hry - pro přesný solver
- reálně: heuristicky odhadneme hodnotu, po d tazích, pomocí *statické, ohodnocovací, heuristické funkce*
- prohledávání do omezené hloubky se použije pro uspořádání tahů:
 - potřebujeme transpoziční tabulky, protože prohledáváme opakovaně
 - používáme ID: iterační prohlubování (iterative deepening), s oknem
- chceme rychlost: prohledání do hloubky o 1 větší s horší funkcí je lepší (obvykle)
- vytvoření dobré (a rychlé) heur. fce je samostatná otázka, doménově závislá
- různé přístupy k tvorbě: ručně/expert (nejlepší), (samo)hraní, učení z pozic a her expertů, (testovací sady)

Heuristická fce: impl.

- pozorování: na konkrétních hodnotách heur. fce nezáleží, pouze na uspořádání; (v kořeni vybíráme 1 nejlepší tah)
- tj. "lepší" pozice (např. s větší pravd. výhry) má mít vyšší hodnotu heur. fce
- typicky vyjadřuje (šachy:) kvalitu/převahu materiálu, (hex:) možnosti spojení a blízkost k cíli, ...
- jednoduchá impl: vážená lin. funkce rysů (features), důležitější rysy mají větší váhu, (tvar používaný při učení heur. fce, protože je jednoduchý a lze dobře učit); ale: všechny rysy musím počítat, v různých druzích pozic jsou důl. různé druhy rysů
- rys: vlastnost pozice, např. umístění kamenů, souhra (tj. patterns), ... (Q: jak zjistit druhy vzorů?)
- inkrementální počítání hodnot, (postupné počítání - "jemné" (málo významné) rysy počítáme pouze blízko správné v, ...), diskrétní hodnoty: 1/100 pěšce (= 1 centipawn)

Problém horizontu 1

- statické ohodnocení funguje (v šachu) spolehlivě v tzv. tichých pozicích
- v pozicích takticky nestabilních (braní, šach, výměna figur) je vhodné pokračovat v prohledávání (některých tahů) → tiché prohledávání (př: ohodnocení uprostřed výměny)
- Problém horizontu: v situaci, kdy soupeř má vynucující tah se zlými následky, ale my můžeme vynutit odložení tahu za aktuální hloubku (horizont).
- Pak náš vynucující tah má lepší ohodnocení, i když nic nevyřešil (a ještě hůř: případně způsobil dodatečnou nevynucenou "malou" ztrátu → strategické zhoršování pozice),
 - př: Arimaa: mělké hledání, ostré pozice

Problém horizontu 2

- není známo univerzální řešení
- i v MCTS podobné chování způsobuje nestabilitu: místo řešení těžké/nevýhodné situace engine hraje (v go) vynucovací tahy, řešení odkládá za horizont, do playoutů
- je těžké odlišit P.h. od *vhodného* vynucovacího tahu (go: forcing move, zkouška odpovědi)
- př: go: podle toho, zda schody fungují, si několik tahů dopředu vybírám/zavrhnuji odpověď (typicky v joseki - zahájení)

Alg. založené na alfabeta

- Idea: menší okno způsobí víc ořezání
- *Null window* – ekvivalentní boolovskému hledání
- S dobrým uspořádáním tahů, hodnota prvního tahu usekne ostatní tahy
- Změna strategie: riskantní ("optimistická"), ale správná, protože znovuprohledává, pokud je to nutné
- alg. Scout, Negascout: použije nulové okno pro useknutí tahů kromě prvního
 - lepší možnosti paralelizace
- PVS - Principal Variation Search (ekviv. Negascout)
- ad: mnoho metod pochází z šachu ("pilotní" projekt, šach. intuice, (přímé) komerční apl.)

Zmenšení okna

- Klasické okno: $(-\text{inf}, +\text{inf})$
- Useknutí může nastat až po dokončení prvního tahu
- Pokud máme "dobrý odhad": např. "aspiration window" v šachu: skóre z minulého tahu (nebo minulého mého), \pm hodnota pěšce
- riskantní: pomůže a ušetří nebo selže a přidá ("selže v nestabilních situacích")

Chování okna

voláme alfabeto s konečnými α a β

Možné výsledky, hodnota je v

- $v \in (\alpha, \beta)$: v je správná minimax. hodnota
- $v \leq \alpha$: tzv. fail-low - prohledej s oknem $(-\infty, \alpha)$
- $v \geq \beta$: tzv. fail-high - prohledej s oknem $(\beta, +\infty)$

Implementačně: ! transpoziční tabulky; failsoft: (bez dodatečné práce)
vracení hodnoty i mimo interval:

- vrátím hodnotu v mimo (α, β)
- pokud $v \leq \alpha$, potom je to nová horní hranice (β), protože všechny uzly jsem (částečně) prohledal
- ... a symetricky: $v \geq \beta$, mám novou hodn. α

Nulové okno

- volání alfabeto s $\beta = \alpha + 1$
- chová se jako boolovské hledání s testem $v < \beta$

Principiální varianta

- PV je sekvence, kde obě strany hrají nejlepší tah
- Vrcholy na PV mají stejné hodnoty jako kořen
- Žádný hráč nedokáže zlepšit tahy nad hodnotu PV
- (Může být víc PV variant; ...)
- Obvykle se PV nazývá první objevená varianta, ostatní jsou useknuty; s nulovým oknem máme pro další tahy pouze jednostranný odhad

PVS/Negascout

- Idea: první tah prohledáme a určíme dolní mez v
- Boolovské (tj. null window) hledání ověří, že ostatní tahy mají hodnoty $\leq v$
- Při neúspěchu (fail-high) znovuprohledáme a určíme novou *lepší* hodnotu
 - varianta: speciálně (pouze) v kořeni: znovuprohledání až po druhém fail-high
- Spoléháme na dobré uspořádání tahů (...), pak je znovuprohledávání řídké a celkově se vyplatí

Vylepšení prohledávání

- Základní alfabeto alg. je jednoduchý, ale nedokonalý
- Pro výkonný herní engine potřebujeme mnoho rozšíření
- Obecné (nezávislé na hře, na algoritmu), doménové
- I mnohé "obecné" fungují jen v některých hrách (...)
 - Hry jsou různého druhu, rozšíření využívá implicitně nějakou charakteristiku hry
 - Příklad: "spojovací hry": hex, go, piškvorky, (tzaar)
- Projdeme některé nejdůležitější rozšíření

Souvislosti, k zamyšlení ...

- je mnoho variant algoritmů a rozšíření, s mnoha parametry
- chování závisí na mnohém: velikost a struktura stromu, dostupnost doménových znalostí, tradeoff rychlost - kvalita, sekvenční vs. paralelní
- často citlivé na parametry, na implementaci, na kombinaci technik (synergie, předpoklady)
- závislé na doméně (na hře)
- kvalitní alg. je pracný, měření, (např. závislost parametrů na hracím čase, na fázi hry)
- přínos vs. režie, (nedokonalá impl., která vytěží - v průměrném případě - podstatu zlepšení: např. TT, fáze hry podle materiálu nebo č. tahu)
- (impl. komerčních programů jsou neveřejné)

Druhy rozšíření

- Přesné (vrací správnou minimax. v) vs. nepřesné (heuristické)
- Zlepšování pořadí tahů
- Zlepšování chování prohledávání
- Zlepšování paměťového chování (pruning)

Nezávislé na hře i specifické pro hru

Iterativní prohlubování, ID

- Idea: postupné prohledávání s hloubkou $d = (0), 1, 2, \dots$
- Výhody:
 - Anytime alg. - lze přerušit, na začátku je rychlý
 - pro b velké je malá režie, poslední iterace dominuje
 - s transpozičními tabulkami lze ukládat nejlepší tah pro zlepšení uspořádání tahů
 - často prakticky rychlejší
- některé programy/hry inkrementují d po dvou (fluktuace sudá/lichá při ohodnocování, malé b)

ID a řízení času

- při pevném/tvrdém časovém limitu nutný abort poslední iterace
- uschováme nejlepší tah z poslední dokončené iterace
- zkusíme predikovat, zda dokončíme další iteraci
- lze použít neúplnou poslední iteraci, pokud se stihl dopočítat aspoň jeden tah (ale první tah je zdaleka nejpomalejší)
- (přidávání času při nestabilitě výsledků mezi úrovněmi: něco se děje na horizontu)
- použití Opening book nechá víc času pro střední hru (a lepší pozici)

Transpoziční tabulka

- je hašovací tabulka, ukládá pozice, poskytuje *perzistenci*: sdílím(!) info mezi tahy, mezi úrovněmi ID
- výhody: nemusím prohledávat stejný podstrom dvakrát, např. když stejná pozice vzniká přehozením tahů; TT si pamatuje data explicitně, např. nejlepší tah z předchozího prohledávání
- podstatné v DAG, kde je víc cest k vrcholu; ale: nezaznamenává cestu k pozici (! úmyslně)
- nevýhody: GHI problém (Graph History Interaction); zvyšuje nestabilitu: např. vrací hlubší hodnoty
- (měření: i malé tabulky pomáhají, zvětšování pomáhá "trochu")
- impl: inspekce přítomných synů před dalším prohledáváním (Enhanced Transposition Cutoff, ETC); pozorování: i když položka vypadne z TT, (někteří) synové zůstanou
- Otázka designu: ukládat statické ohodnocení, (tiché dohledávání) - závisí na rychlosti, velikosti tabulek...

Transpoziční tabulka: obsahuje

- klíč pozice pomocí Zobristova hašování: rysy popisu pozice se zobrazí na čísla a Xor-ují
 - ! kóduje *úplnou* informaci o pozici: kdo je na tahu, šach: možnost rošád(y), go: zákaz ko
 - nekóduje cestu k pozici, tj. historii partie, (úmyslně)
- obvykle není 1:1 (klíč:pozice), ale 1:n; někdy druhotný klíč pro odstranění kolizí
- hodnotu pozice; (pro MTD(f), které využívá null window, doporučeno: samostatné položky pro dolní a horní odhad)
- flagy: přesná hodnota, dolní mez, horní mez
- hloubku prohledávání, případné další nastavení enginu
- nejlepší tah

TT lze použít pro Opening Book: jiné položky, jiné požadavky

Transpoziční tabulka, impl.

- lze komprimovat (flagy, hloubku, hodn) do 1 slova
- často nevhodné, ale šetří prostor a umožní větší TT
- velikost TT typicky mocnina 2, aby se 2^n vešlo do paměti
- prvních n bitů je index do TT
- lookup: kontrola celého (zbytku) hashe (a/nebo druhotný klíč);
! chyba, pokud stejný hash kód má jiná pozice (...)
- uložení: strategie řešení konfliktů - pouze se přepisuje
- různé strategie přepisování; (oblíbené/změřeno:) v položce
2 sloty: 1. poslední, 2. největší/nejhlubší, resp. nejlepší

Zobristovo hašování

Rychlá heuristická metoda pro počítání hash kódu. Idea:

- Jednoznačný náhodný hash kód pro každou dvojici (pole, hodnota), a pro další informace o pozici
- obvykle používá 0 pro jednu hodnotu (prázdné pole)
- hash kód pozice je Xor kódů polí
- změna: jeden Xor pro změněné pole (tabulka změn mezi figurami), (opět) počítá se inkrementálně, (tabulky včetně braní, změny figury, ...)
- Undo tahu: taky Xor (go, při braní skupiny: pamatuju si rozdíl)
- typicky aspoň 64 bitů pro kód
- heuristické kódy lze použít i pro solver, ale musíme *verifikovat* důkazový strom
- jiná možnost: přesné uložení pozice, (velké s historií), hex/go: n polí, 3 druhy obsazení: $\lceil n \log_2 3 \rceil \approx 1.58n$ bitů

Uspořádání tahů

- je důležité
- iterativní prohlubování je efektivní, používá paměť v TT
- možnosti: best move z TT, killery, history heuristic, statické ohodnocení, přizpůsobený generátor tahů (– vhodně promíchané, záleží hlavně na prvních tazích) - dobrý tah na začátku aspoň omezí okno (pozorování: většina tahů je špatných/nerelevantních)
- často specifické heuristiky pro konkrétní hru, př. hrozba matu; preferování určitých druhů tahů v generátoru
- obecnější: specifická ohodnocovací funkce
- př: uspořádání synů podle (statické) ohodnocovací funkce

Heuristika historie

- History heuristic: zlepšuje pořadí bez herně-specifických informací
- dává bonus tahům, které způsobily useknutí (cutoff), často podle velikosti ořezu (n^2 nebo 2^n pro výšku n)
- preferuje tyto tahy na jiných místech při prohledávání (!když jdou použít); vlastně využívá korelaci hodnot/tahů
- impl: index je ("from", "to") nebo ("figura", "to")
- (podobnost s AMAF/RAVE v MCTS: All Moves As First/Rapid Action Value Estimation), obecně: snaha získat z prohledávání/playoutů další užitečné informace (sdílení informací)

Killery

- killer move: použiju nejlepší tah (tj. způsobující cutoff) ze stejné úrovně (tj. z bratra) jako první/na začátku
- impl: pro úroveň si pamatuju (např. 2) killery; lze je zkoušet *před* generováním tahů; (impl.: killery nahrazuju např. podle hodnoty (posledního) tahu)

Úpravy hloubky

- V základní variantě: do pevné hloubky d
- Idea: slibné tahy hlouběji, málo slibné redukovane hluboko
- Přesné i heuristické metody, (silně) závisí na hře: mnoho šachových rozšíření
- Možnosti úprav:
 - rozšíření (extensions) - zvýšení hloubky: ! tiché prohledávání (quiescence search); průběžně vs. v listech ...
 - redukce - snížení hloubky (jednorázově nebo rekurzivně): zlé statické ohodnocení (př. dáma jako poziční hra: při ztrátě materiálu v aktuální větvi), razing (ve výšce 2 (nad listy) useknu vrcholy se statickým $val \leq \text{alfa}$; má varianty)
 - useknutí - ale heuristické: null move heuristic; podle statického ohodnocení - může způsobit nestabilitu nebo překvapení

Useknutí může vést k přehlédnutí taktické varianty nebo přehlédnutí (mého) dobrého nestandardního tahu. Redukce hloubky je bezpečnější.

Příklady úprav

- Nulový tah, Null move
- ProbCut
- Zlomková hloubka
- Tiché dohledávání, Quiescence search
- Late Move Reduction (LMR)

Nulový tah

- Pozorování: skoro všechny větve mají aspoň jeden špatný tah
- Idea: useknout tyto podstromy dříve
- Předpoklad: ve hře každý tah zlepšuje pozici
- Null move: pokud pasujeme a plytší prohledání stejně způsobí ořez (fail low), pak usekni podstrom
- (soupeř ani s tempem/dvěma tahy nemá dobrý výsledek)
- problém: zugzwang (obojstranná nevýhoda tempa: kdo táhne, prohraje), šach: málo častý vs. dáma: častý; go: (pouze lokálně, v go je *pas*) seki - stav zůstane v koncové pozici/"nedohraný"
- (odhaluje hrozby proti, obecně nestabilní situace), podobné s λ -prohledáváním

ProbCut

- Pozorování: v mnoha hrách jsou (s dobrou ohodn. fcí) výsledky prohledávání vysoce korelované mezi úrovněmi
- Idea: redukovat hloubku pro tahy, které jsou pravděpodobně špatné
- (má varianty a parametry; pokud hledání s reduk. hloubkou vrátí hodnotu (hodně) mimo okno, věřím ji, jinak znovuprohledám; v pevné výšce nad listy)
- ponechá víc času pro slibné varianty

Zlomková hloubka

- Idea: rozšířit hledání po vynucovacích (forcing) tazích (a jiných slibných druzích tahů)
- Impl: redukovat hloubku o méně než 1
- Příklad: šachy: hrozba šachu a únik, hrozba braní; go: hrozba braní (atari) a únik: 1/8 ceny
- Chování: větve s mnoha vynucenými tahy jsou prohledány mnohem hlouběji
- nebezpečí: velikost stromu se může (prudce) zvýšit
- Redukce prohledávání: zmenšíme hloubku o víc než 1 pro méně slibné větve

pozn: bias

Tiché dohledávání

- Pozorování: je těžké ohodnotit nestabilní pozici
- př. šachy: šach, uprostřed výměny
- Idea: ohodnocujeme pouze "stabilní" pozice
- v nestabilních pozicích nahradíme statické ohodnocení omezeným *tichým dohledáváním*
- používá *velmi omezený* generátor tahů - chceme pouze odstranění nestability

Late Move Reductions

- LMR, "redukce zbylých tahů", podobné k: prořezání podle historie (history pruning), redukce podle historie (history reduction)
- Idea: v pravděpodobných fail-low uzlech, redukuje prohlédvací hloubku níže zařazených tahů
- nepoužívá se na taktické tahy
- důsledek: tvaruje strom

Paměťové a časové nároky

- Čas: makeMove/undo a logika alfabety jsou rychlé; heuristická funkce taky
- mnoho info lze počítat inkrementálně (po odladění); (nebezpečí kumulace zaokrouhlovacích chyb: řeší diskrétní e.f. (typu Integer))
- Paměť: alfabeta (a varianty) je prohledávání do hloubky, proto má velmi malé paměťové nároky
- - pro porovnání SSS* je prohledávání do šířky
- Dodatečnou paměť lze použít pro transpoziční tabulky

Realization Probability Search

- Možnost, jak systematicky nastavit zlomkovou hloubku (pro kategorie tahů)
- Idea: zavedou se (disjunktní) kategorie tahů, každá má svou zlomkovou hloubku; závislé na hře
- Realization Probability Search, Enhanced Realization Probability Search
- Odhadne se pravděpodobnost, že další tah je v určité kategorii ze záznamu partií mistrů, podle toho zlomek hloubky (menší přírůstek hloubky pro vyšší pst; viz)
- - (na podobných principech (nedisjunktních) druhů tahů je založeno učení ohodnocovacích funkcí, tahy mají rysy a hledáme vhodnou kombinací rysů tahu pro určitou pozici, resp. typ pozice)

Enhanced Transposition Cutoffs, ETC

- Idea: některé syny lze najít v TT, možná způsobí ořez
 - hledám je *před* procházením
 - drahé je navštívení TT (v operační paměti)
- Tradeoff: mezi prací navíc a úsporou. Možná vyzkoušet jen pár synů? Možná použít jen dost vysoko (nad listy)?
- (obecně: drahé akce používáme pouze pro nejslibnější vrcholy anebo pouze vysoko, v MCTS tzn. často navštívené - počet je nad prahem)
- Nekompatibilní s kešováním
- (Plaat a kol. 1996)

Další algoritmy 1

jiný princip, jiné procházení stromu: MTD(f), (SSS*)

- Dosud PVS, Negascout: plné prohledání prvního tahu (modulo ID), null window pro ostatní tahy
- MTD(f): Memory-enhanced Test Driver with node n and value f : dělení intervalu prohledáváním s nulovým oknem
 - MTD(f): pouze null window hledání
 - Idea: upřesňuje hodnotu pomocí dělení intervalu - tj. okna
 - Možný postup: binární dělení; hodnota z minulého tahu/ID a posun nahoru nebo dolů; příp. malý bonus ve směru změny
 - Lze použít failsoft, znovuprohledání podobné Negascout, ale častější
 - závisí na jemnosti heuristické funkce, dobrém prvním odhadu
 - Doporučeno: v TT mít dvě položky pro horní a dolní odhad zvlášť

Další algoritmy 2

- (SSS*: State Space Search) - prohledávání do šířky podobné A^* , proof a disproof tree v *paměti* a rozvíjím nejslibnější uzel
 - taky obsahuje exploration-exploitation dilemma
 - podobný princip použitelný pro budování Opening book
 - je překonaný $MTD(f)$

... a další poznámky 1

- turnaj polotahů, chytrá vs. jednoduchá heur. fce, pravidlo klesající návratnosti (diminishing returns): víc práce/režie a méně užitku (vylepšení jsou částečně nahraditelná)
- refutační tabulky (dříve místo TT, dnes opět v playoutech v MCTS): pamatuju si slibné odpovědi na tahy (na dva, lépe se zapomínáním)
- opening book: experti se neshodnou, program v omezeném čase nedokáže dobře využít/vyřešit získanou pozici; (dnes) často automaticky budované a upravované, případně sestavené z her expertů
- jiné použití engine: pro učení Opening Book, analýza pozice
- (endgame tabulky)

... a další poznámky 2

- druhy vrcholů (původně Knuth): PV, Cut node (fail-high, beta cutoff), All node (fail-low)
- v soutěžích (vs. experimenty): *pondering* - počítání na čas soupeře
- hra proti počítači: hromadění strat. výhody bez ostrých pozic
- (nesymetrické prořezávání: soupeře prořezávám míň/vůbec, nechci přehlédnout taktickou variantu vs. u sebe přehlédnu nestandardní tah v konkrétní pozici)
- analýza plauzibility, tvrdé prořezávání tahů (např. šógi)
- statická analýza taktických tahů v pozici, v šógi, místo tichého dohledávání: alg. SOMA, SUPER-SOMA, (zahrnuje šach, vidličky útočné i obranné, ...)

... a další poznámky 3

- (množství technik: nepřehledné, i drobné varianty mají "jména": alg. se musí odlišit a mít přínos (aspoň na svých testovacích datech :-)); ale nové varianty odstraňují problémy nebo nevýhody starých - někdy "drobnou" změnou; programy jsou "nerobustní"; techniky jsou nezávisle implementovatelné a vzájemně kombinovatelné (někdy se synergii))
- impl: nestabilita v prohledávání, nutno ošetřit (je důsledkem prořezávání), př.: po fail-high následuje fail-low (ve správném okně, "za jinak stejných podmínek")
- ladění engine: proti různým strategiím engine hraje lépe/hůře, nutná variabilita v protihráčích (hill climbing nefunguje; nová verze není lepší, pouze využívá chyby minulé verze), self-play je více riziková než hra proti jinému druhu programu

Různé druhy her

- různé druhy her, jejich charakteristiky, jejich cíle: spojovací, přirozeně plynoucí (Othello/Reversi), s nepohyblivými figurami, poziční, materiálové, akumuláčnické (body)/zajímavé (Oware), omezovací (soupeř nemá tah), náhlá smrt a víc cílů (i obranných), shromažďovací (souhra, lokální přesila: Abalone, TZAAR), ...
 - charakteristiky a cíle nejsou nutně stejné; charakteristiky jen "do určité míry"
 - různé chování v různých fázích hry (nutno vyřešit určení fáze hry)
- příklady her: Lines of Action (spojování), Havannah (\approx Hex, víc cílů), Quoridor (poziční), Abalone (přetlačování, zajímaví, kontaktní hra), Amazons (omezování), Gobblet (přikrývání) ...
- GIPF: posouvání a braní, ZERTZ: obětování, DVONN: akumulace a věže, YINSH: obracení, PÜNCT: spojování, TZAAR: věže a zajímaví, 2 stepy, (TAMSK: čas)

Jiné druhy her a algoritmů

- s náhodou: vrhcáby, alg. Expectimax, náhoda má svoje vrcholy a propaguje vážený součet (místo max, min)
- s neurčitostí: karty, Stratego; např. se buduje pravděpodobnostní model soupeře
- víc hráčů: alg. \max^n , výsledky jsou vektory, každý hráč maximalizuje svou složku, problém: koalice
- SP (Single Player)

Co je těžké/nevhodné pro počítač 1

Jak navrhnout hru, aby byla těžká pro počítač:

- široký strom (Arimaa, Amazons), př: víc stepů; šógi: pokládání zajatých figur (branching 80-120, i 500)
- těžká ohodnocovací funkce (viz dále)
 - náhlá smrt (a forced moves): to využije lambda search a PNS, ale ty jsou pomalé pro engine
- několik lokálních "bitev" (go - taky *tenuki*: přerušeni lokální sekvence; Arimaa, Havannah), několik možností výhry
- nestabilní kameny/pozice a možnost výměn
- "strategické pojmy"; př. arimaa: sbírání materiálu (postupně; i 1 figura na víc tahů)
- (spíš pro solver:) závislost na historii (např. Arimaa: zákaz třetího opakování), GHI → nestabilita TT

Co je těžké/nevhodné pro počítač 2

- variabilní poč. pozice: Opening book šetří čas pro střední hru a zabraňuje chybám
- znemožnění tabulky koncovek (brzké ukončení: Arimaa; rostoucí hry: Go, Amazons; nerozpadavé hry (Metro))

Pozn.: Nové výzvy: (často formou soutěží: GGP)

- hra je těžká pro dnes používané technologie, např. $\alpha - \beta$;
- uvažují se taky jiné druhy her (s neurčitostí, se skrytou informací, GGP, Single Player: kombinatorické a/nebo optimalizační problémy)

Těžká ohodnocovací funkce

- 1 pozice je citlivá na malé změny, tj. podobné pozice mají velký rozptyl hodnot (a e.f. neví, kam se dívat)
 - pozice jsou (často) ostré: Arimaa, Go
 - je těžké uspořádat tahy: 1-ply nelze dobře použít, nestabilní ID
 - :-) rozvalinové go, ale to není typický průběh hry
- 2 "dlouhé" figury: vše souvisí se vším, aspoň občas; go: schody, Stratego: scout, (e.f. nemůže vyloučit důsl. vzdál. figur, viz 6)
- 3 je těžké najít správný protitah soupeře; (shallow traps: původně MCTS)
- 4 rysy e.f. jsou kombinované, v různých druzích pozic jsou důležité jiné rysy (kvůli času nechceme počítat vše, př: zveřejnění Belle)
- 5 "různé" eval. fce pro různé fáze hry (jednoduchý př: poker: počet hráčů u stolu, ...)
- 6 impl: mnoho (i doménových) vylepšení snižuje stabilitu a rychlost

Nestabilita ohodnocovací funkce

program se chová (z nadhledu) nerozumně jako důsledek nedokonalosti heur. fce v některých situacích; synergie rysů

- Bylo: Problém horizontu
- Problém: potenciál zahrání tahu je cennější než vlastní zahrání tahu, příp. kombinace (arimaa: hrozba braní, taky zajetí/hostage)
- Problém: cesta k realizaci hrozby vyžaduje "tunelový" efekt (arimaa: dvojtahové braní; a malá hloubka prohledávání) - mezilehlé pozice jsou méně vhodné; př: arimaa: poziční ohodnocení malých figur je velké u krajů a je těžké je přemístit → nutné ladění funkce (příp. automatické)
- Problém: chybějící rysy: zbytek e.f. se snaží kompenzovat, až do extrému (zvláště při učení)
- MCTS: shallow traps; go: nakade - tahy dovnitř (pro zabití skupiny)

Case study: těžkosti AI a e.f. pro go

z lit.: v kontextu MCTS

- AI: na malých deskách (9x9) jsou výsledky lepší
 - partie (a playouty) jsou dlouhé, tj. odměna je daleko
 - velké větvení (v porovnání se šachem), tj. malá hloubka
- e.f.:
 - brzo položený kámen má vliv později, i když je případně sebrán
 - život skupiny nelze určit bez znalosti zbytku desky
 - ! pozice jsou většinou dynamické, vždycky jsou nestabilní kameny (jsou možné trochu/hodně ne/výhodné výměny, víc taktických cílů záchrany/zajetí: speciálně v go jsou kameny stejné, nemám viditelné priority jako v šachu)
 - nestability (těžko se správně simulují, používají se doménové heuristiky): rušení schodů, hnízda, (nepřímé) pokrytí stříhu; nakade (vnitřní prostor/oko), semeai (boj), svobody skupiny; atari, technicky sebrané kameny, ko

Učení eval.f.

úspěšný příklad (strojového učení):

- učení e.f.: Bonanza method, Kunihito Hoki, 2008, zveřejněný kód
:-) články v japonštině
- Šógi, pgm. Bonanza, vítěz WCSC 2006, při první účasti
- koef. pro všechny dvojice figur na 9x9 (asi 10^6), 8+8 druhů figur
- cíl: zahrát tahy mistrů
- metodu dnes používají i jiné (top-level) programy, (jedno?)
meziroční zlepšení koeficientů 50-70 ELO

komentář: použití hrubé síly jiným způsobem (než minimax)

Zdroje

- S. Russel, P. Norvig, Artificial Intelligence: A Modern Approach, Prentice Hall, 2003 (kap. 5)
- Martin Müller, přednáška na University of Alberta:
<http://webdocs.cs.ualberta.ca/~mmueller/> (asi nedostupná)
- chessprogramming.wikispaces.com/
- Cameron Browne a další (9), A Survey of Monte Carlo Tree Search Methods, IEEE Trans. on Computational Intelligence and AI in Games, Vol. 4, No. 1, 3/2012

Různé 1

- (Nejen) MCTS pro jiné apl.: SP (Single Player), plánování (a NPÚ), GGP (General Game Playing); hry s náhodou, skrytou informací; paralelní tahy, nenulový součet, víc hráčů
- Doménové znalosti, odstraňování nevýhod (go: nakade, criticality; Arimaa: zajetí velblouda)
- Učení heuristických ohodnocovacích funkcí (Backgammon: Tesauro 1992, reinforcement learning), self-play, ladění parametrů (velký prostor, velký rozptyl, citlivé); pro šogi 2006
- Správa času; anytime algoritmus
- Porovnávání kvality (nejen šachy): body Elo, lepší hráč má vyšší pravděp. výhry; (kvantitativní model \rightarrow) pravidla úpravy podle Elo hráče a rozdílu soupeřů při výhře/prohře, (jiné modely: Glicko, TrueSkill)

Různé 2

- Hry těžké pro počítače: Arimaa, (Game of the) Amazons, GIPF project (Dvonn, Gipf, Zertz, Yinsh, Punct, Tzaar, (Tamsk))
 - pouze některé pozice (hraniční) jsou těžké, ala *fázový přechod* u SAT
- SAT, QBF: Quantified Boolean Formula - And/Or strom
- CGT: Combinatorial Game Theory (viz)

Možné témy referátů

Základní techniky jsme spíš probrali

- další varianty PNS, (μ -search)
- hry s neúplnou informací a náhodou (Stratego, poker)
- hry 1 hráče, Single player MCTS (SP-MCTS)
- hry více hráčů
- učení heur. fce, často self-play, reinforcement learning, př:
backgammon, (šogi)
- GGP: General Game Playing (možná popis některého systému:
CadiaPlayer, Ary, FluxPlayer, ...)

Témy spíš k diskusi (malé/speciální/nevhodné)

- budování Opening book, (tabulky koncovek)
- ELO rating a jiné (Glicko, TrueSkill), (Bradley-Terry model, ...)
- (GHI), (učení vzorů, doménových znalostí), (paralelizmus)

Enhanced Realization Probability Search

ERPS: M. Winands 2007, (RPS: Tsuruoka 2002)

- Pozorování: Různé druhy tahů se hrají s různou Pstí. (My chceme simulovat experty.)
- Tahy rozdělíme do disjunktních kategorií. Kategorie mají Pst zahrání, které určíme z tahů expertů. (pro dostatek dat: "Expert je libovolný lepší hráč")
- Pst kořene je 1, Psti po cestě se násobí. Při podtečení prahu t se větve ukončí.
- Impl: Psti transformujeme na zlomkovou hloubku $FP = \log(P_c) / \log(C)$, kde $C, 0 < C < 1$ je konst. závislá na hře, $P_c = n_{zahrany(c)} / n_{hratelny(c)}$ je poměr počtu (pozicí se) skutečných zahrání k možným zahráním (podle pravidel hry), pro tahy z kategorie c
- předcházení problému horizontu: alg. *hlouběji* znovuprohledává vrcholy, kterých hodnota je větší než aktuální best value, s použitím malé změny hloubky: *minFP*

ERPS, zlepšení

- dvě vylepšení v ERPS:
- 1. tahy s fail-low jsou vždy ignorovány
- - prořezávání se aktivuje až po m tazích (podle pořadí)
- - prvních m tahů se hloubka redukuje s $minFP$
- - analogie s LMR a RankCut
- 2. tahy s fail-high jsou znovuprohledávány s $minFP$ (i slabé tahy)
- - vřadí se znovuprohledání s hloubkou průměru mezi původním FP a $minFP$
- - jen pokud redukované prohledání opět skončí fail-high, použije se prohledání do plné hloubky
- - redukované prohledání se aktivuje, pouze pokud je změna hloubky podstatná, tj. v průměru aspoň dané δ

Budování Opening book (k diskusi)

- nejde ve všech hrách
- budování, udržování a rozšiřování, využívání v engine
- typicky: použití TT
- přístupy k budování: ručně, z partií mistrů, self-play
- problémy: ...
- řešení: ...
- ...
- správnost OB je kritická pro soutěže, 2 příklady

analýza pozice je analogií budování OB pro danou pozici; ale pro člověka jsou žádoucí slovní komentáře situace

Nezařazené

- Bradley-Terry model: kvalita tahu, tým fíčur
- ad PNS: rozdělení s "heavy tail" v SAT: použi restart
- AlfaBeta a Exploitation vs. Exploration: různé nesystematické přístupy; není Anytime algoritmus
- (k otázce:) bias, v ML induktivní bias (...), není nutně špatné; vychýlení, systematická odchylka
- (Arimaa a RPS: vícestepy mohou mít společnou hloubku, např. obsazení trapu, freezing)
- při učení (e.f., strategie): drobný malus za hloubku - aby se preferovali kratší řešení