

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Robert E. Filman

Počítače a šach

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 28 (1983), No. 2, 71--77

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138070>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1983

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

Počítače a šach*)

Robert E. Filman

Robert E. Filman je profesorem-asistentem na univerzitě státu Indiana (Computer Science Department, Bloomington, Indiana, 47405 USA). Po studiu matematiky získal R. E. Filman doktorát v oboru Computer Science na Stanfordské univerzitě. Jeho disertační práce o formální reprezentaci znalostí ve výpočetním systému měla název *Interakce vnímání a inference*. Byl žákem Johna McCarthyho. Během studia na doktorát pracoval ve stanfordské laboratoři pro umělou inteligenci, později byl zaměstnán jako člen technické rady Laboratoři Hewlett-Packard. Jeho současným výzkumným oborem jsou kromě umělé inteligence formální usuzování a distribuované výpočetní systémy.

V poslední době stoupl zájem veřejnosti o počítačový šach. Je to důsledek především dvou okolností: vzniku šachových programů, které mohou soutěžit s dobrými hráči, a prodeje malých šachových strojů. Tyto hračky mají úroveň, která vyhoví průměrnému šachistovi a jejich nízká cena jim zajišťuje velké rozšíření.

Vědecký pokrok je doprovázen populární literaturou o tomto pokroku. Nejlepší pohled na rozvoj počítačového šachu poskytuje série knih Davida Levyho. Nejnovější z těchto knih, *More Chess and Computers* (David Levy a Monroe Newborn [1]) se nedávno objevila na našem stole a uspěla tento přehled stavu počítačového šachu. (První svazek zmíněné série má název *Chess and Computers* [2]. Je to dobrá kniha, význačná svým úvodem do historie strojů na hraní šachu a šachových programů pro počítač. Další dva svazky jsou: *1975 — U. S. Computer Chess Championship* [3] a *1976 — U. S. Computer Chess Championship* [4]. Oba svazky obsahují v podstatě záznamy partií v těchto turnajích.)

Mnozí lidé si založili na programování šachu svoji životní kariéru. Levy je speciálním případem: jeho kariéra záleží ve hraní šachu proti počítačům. David Levy vzbudil pozornost programátorů šachu (a pracovníků v umělé inteligenci) svou proslulou sázkou. Sám o tom vypráví ([2]):

„V srpnu 1968 jsem se zúčastnil konference o umělé inteligenci na katedře strojové inteligence a percepce edinburské univerzity. Jednoho večera v průběhu konference jsem si na koktailu zahrál přátelskou hru v šachy s Johnem McCarthyem, profesorem umělé inteligence na Stanfordské univerzitě a jednou z nejpřednějších světových autorit v tomto oboru. Hru jsem vyhrál a on poznamenal, že sám na mne není dost silným šachistou, ale že se domnívá, že během deseti let bude existovat počítačový program, který mě porazí. Dovedete si představit moji reakci. Byl jsem toho času přeborníkem Skotska v šachu — a tento nezkušený hráč mi tady tvrdí, že za pár let podlehnu počítačovému programu! Řekl jsem něco jako: „zdalipak na to máš, aby ses takhle chvástal?“ (mírnějšími slovy ovšem) a navrhl jsem profesorovi McCarthymu sázku o 500 liber (tehdy 1250 \$), že se jeho předpověď nesplní.“

*) ROBERT E. FILMAN: *Computers and Chess*. The Mathematical Intelligencer Volume 3, Number 2. 1981, pp. 71—75.

© Springer-Verlag, Berlin—Heidelberg—New York 1981

Mezi McCarthym a ostatními (profesory Donaldem Michiem, Seymourem Papertem a Edem Kozdrowickim) sázka brzy vzrostla na 1250 liber.

Řadu let to vypadalo, že počítačová odborníci nemají žádnou naději na výhru sázky. Neexistovaly programy, které by mohly soutěžit se zkušeným šachistou, tím méně s mezinárodním mistrem jako David Levy. Avšak v roce 1976 došlo k dramatické změně a objevil se vážný kandidát: Chess 4.5. Program Chess 4.5 byl napsán dvojicí systémových programátorů z northwesternské univerzity, Davidem Slatem a Larrym Atkinem. Tým rok vyhrál turnaj Paula Massona ve třídě B. Tento titul byl následován začátkem r. 1977 vítězstvím v Minnesotském otevřeném turnaji.

Program nebyl nepřemožitelný. Po vítězství v otevřeném turnaji následovala těžká porážka v uzavřeném turnaji. Levy tvrdí, že velký díl úspěchu programu lze přičíst nikoliv jeho šachovým schopnostem, nýbrž emocionálnímu selhání jeho protihráčů, kteří jako by byli „psychicky odbouráni“ hrou s počítačem. Hans Berliner upozornil ještě na jednu výhodu, kterou stroj měl při Massonově turnaji [5]: „Turnaj se hrál pod širým nebem u vinice a mezi utkáními se nalávalo víno; takové podmínky mohou ohrozit mnohem více výkon člověka než stroje.“

Přesto všechno byla kvalita programu Chess 4.5 dramatickým zlepšením oproti kvalitě předchozích programů. I když se zdálo, že program nedosahuje Levyho úrovně, byla zorganizována série utkání, která měla sázku rozhodnout.

Rozhodující utkání bylo hráno v srpnu 1978 programem Chess 4.7, následníkem programu Chess 4.5. Soutěž se konala v Torontu na Kanadské národní výstavě. Utkání sestávalo z šesti partií, za výhru v jedné získal hráč jeden bod, za remízu půl bodu. Levy potřeboval tři body k tomu, aby vyhrál svoji sázku, že během deseti let ho žádný počítačový program neporazí.

V roce 1950 určil Claude Shannon tři možné způsoby konstrukce šachového programu [6]. Program *typu A* probírá všechny možné tahy do určité předem stanovené hloubky a vyhodnocuje výsledná postavení. Program *typu B* odřezává ze stromu všech možností takové tahy, které nestojí za zkoumání. Programy *typu C* by měly být cílově orientovány, Shannon však nevedl, jak by takový program byl realizován.

Téměř všechny současné „dobré“ šachové programy, speciálně Chess 4.7, jsou programy typu A. Na rozhodování o tom, který tah má být použit, se podílejí dvě činnosti. První je v podstatě „minimaxovou metodou“ prohledávání stromu všech možných posloupností tahů, a to do určité hloubky. Druhá činnost spočívá ve „statickém hodnocení“ šachových pozic příslušných jednotlivým okrajovým vrcholům tohoto stromu. Počítač tedy bere v úvahu všechny možné tahy. Pro každý z nich se „vžije do postoje soupeře“ a rekurzivně opakuje proceduru. Program samozřejmě nepokračuje až k samému konci stromu, kde je rozhodnuta celá hra. (V případě šachu je tento strom všech možných průběhů hry podstatně větší, než je počet elektronů ve vesmíru.) Místo toho stroj v určité hloubce dojde k závěru, že sledoval danou cestu dostatečně daleko, a provede „statické hodnocení“ výsledné pozice. Tato hloubka může být předem definovaná a zůstává stejná během celého běhu šachového programu, anebo může být program chytřejší a měnit tuto hloubku dynamicky v průběhu činnosti. Rozhodnutí o tom, kdy přerušit prohledávání a provést statické hodnocení, může být založeno na takových faktorech, jako je současná situace hry, čas, který má počítač k dispozici pro zbytek

svých tahů, a čas spotřebovaný při prohledávání. Hloubka se může měnit i v rámci jednoho tahu, dovolují-li to okolnosti. Dobrý šachový program např. nepřeruší prohledávání uprostřed sekvence, ve které dochází k sebrání kamene anebo k šachu.

Statické hodnocení spočívá v prohlédnutí dané pozice na šachovnici bez uvažování alternativ a v rozhodnutí, která strana je ve výhodě. Současná teorie statického hodnocení klade hlavní váhu na materiální rozdíl (kdo má více a hodnotnější kamenů na šachovnici). Přihlíží rovněž k faktorům, jako je pohyblivost kamenů, rozstavení pěšců a ovládání polí. Dost záleží na programátorovi systému, jaké faktory se rozhodne zahrnout do statické hodnotící funkce. Hlavním omezením je skutečnost, že statická hodnotící funkce se počítá často, takže její výpočet musí být rychlý. Výsledek statického hodnocení je číslo, odhad stroje, jak je určitá pozice příznivá. Čím je toto číslo větší, tím větší je důvěra stroje ve vlastní vítězství.

Na předposlední úrovni stromu jsou porovnány číselné hodnoty získané statickým hodnocením pro každý možný tah. Byl-li původní tah vlastní, je mu přidělena maximální hodnota ze všech získaných hodnot. Šlo-li o soupeřův tah, je užito minimum. Tyto hodnoty jsou postupně předávány výše, přičemž se na jednotlivých úrovních hodnoty střídavě maximalizují a minimalizují, dokud se nedojde k nejvyššímu vrcholu, „kořenu“ stromu, kde je zvolen tah s nejvyšší hodnotou. Tato procedura je příhodně zvaná „minimaxovou“.

Existuje důležitá varianta úplné minimaxové metody, zvaná alfa-beta heuristikou, při které nejsou prohledávány ty větve stromu, které nemohou být užitečné. Toto oklešťování je podloženo následujícím pozorováním: má-li soupeř možnost tě některým svým tahem těžce silně ohrozit nezáleží na tom, kam by mohly vést ostatní jeho tahy; nemusíš je brát v úvahu. Je-li počet různých tahů na některé hladině stromu přibližně B (faktor větvení) a je-li třeba prohledávat do hloubky D , pak minimaxová metoda navštíví řádově B^D terminálních vrcholů. Naproti tomu správně použitá alfa-beta procedura provede pouze okolo $B^{\sqrt{D}}$ statických hodnocení.

Northwesternský šachový program užívá při hře výše popsaného postupu. Chess 4.7, který hrál s Levym ve zmíněném utkání, chvílemi zkoumal při volbě tahu přes půl druhého miliónu terminálních pozic; v typickém případě střední hry analyzuje tahy do hloubky 8 (osm polotahů), v koncové hře (kde je menší faktor větvení) do hloubky 12.

Téměř všechny knihy o počítačovém šachu se podrobně věnují heuristice typu alfa-beta; dobrými zdroji pro další studium je první svazek Levyho monografie [2] a Nilssonova kniha o umělé inteligenci [7]. Vynikající článek Slateho a Atkina [8] obsahuje dostatečně úplný popis systému Chess 4.5, umožňující jeho programování. Při čtení článku zvlášť zaujme rozmanitost faktorů užitých pro statickou hodnotící funkci programu Chess 4.5.

Paradigma prohledávání stromu, na kterém je založen Chess 4.7, vede k vysoce taktické hře. Dostat stroj do pasti komplikovanými kombinacemi je obtížné, poněvadž stroj zkoumá všechna možná pokračování. Nicméně prohledávání stromu a statické hodnocení neposkytuje základ pro strategii. Stroj hraje, ví, jak se vyhnout materiálovým ztrátám, nevidí však vzdálenější cíle. To málo strategické znalosti, kterou má systém k dispozici, je ve slabé podobě obsaženo v jeho statické hodnotící funkci: něco k dobru za udržování krále v relativním bezpečí, něco za ovládání některých konkrétních polí.

Idea „útoku na královském křídle“ nebo „ovládání středu šachovnice“ nepatří k jazyku systému Chess 4.7. Takto on neplánuje. Dokonce on vůbec neplánuje.

Levy je expert na hraní šachu s programy a byl si proto těchto omezení dobře vědom, když přistupoval k rozhodujícímu zápasu. Chápal, že hrát úspěšně proti stroji znamená zvolit obrannou hru, vystříhat se vyhraněným taktickým situacím a zjednodušovat, dokud se neprojeví poziční výhoda plánování a strategie. Svou techniku popisuje ([1]) takto: „Dodržoval jsem svůj princip nedělat nic, ale zato dobře, a čekat, až si program sám vykope svůj vlastní hrob.“

Přesto se počítači podařilo v první partii remizovat. To samo bylo úspěchem: žádný stroj dosud neremizoval s mezinárodním mistrem za turnajových podmínek. Levy se vyhnul nebezpečí v příštích dvou partiích, které vyhrál bez obtíží. Nyní měl $2\frac{1}{2}$ ze tří bodů, které potřeboval, aby neprohrál utkání. Se třemi partiemi před sebou se Levy rozhodl pro experiment. Odhodil opatrnost a rozhodl se zkusit „ostrý, taktický šach ... ve snaze překonat Chess 4.7 v analýze.“

Nepodařilo se. K překvapení všech a k nadšení programátora se tentokrát stroji podařilo nejenom remizovat s mezinárodním mistrem, ale dokonce nad ním vyhrát.

Levy se záhy napravil. Vrátil se ke své předchozí obranné hře a porazil stroj v páté partii, čímž vyhrál utkání $3\frac{1}{2}$ proti $1\frac{1}{2}$. Výhra utkání přinesla výhru sázky; Levy zbohatl o několik set liber. Levy uvádí, že společně s šekem mu John McCarthy poslal vzkaz, ve kterém vyjádřil svůj pocit, že i kdyby Levy podlehl programu, založenému na hrubé síle, neměl by pocit, že by to bylo zásluhou umělé inteligence jako oboru. Názor McCarthyho je možná příliš pesimistický; lze rovněž tvrdit, že výzkum umělé inteligence před dvaceti lety se již promítl (přirozeným pokrokem) do dnešní techniky.

Levy později nabídl obnovení sázky, a to až na 10 000 \$ do roku 1984, avšak poznamenal, že očekává, že později prohraje. Rovněž nabídl odměnu 1000 \$ prvnímu programu, který jej porazí v turnajových podmínkách; příspěvek časopisu OMNI zvýšil tuto částku na 5000 \$.

Nedávno nabídla Fredkinova nadace cenu 100 000 \$ prvnímu programu, který porazí mistra světa v šachu. Aby byla stimulována práce na této úloze vznikla řada menších cen za výhru nad člověkem. První z takových utkání se konalo v srpnu 1980 na První národní konferenci o umělé inteligenci. Náhodně vybraný „expert“, Paul Benjamin, který má hodnocení 2050 ve stupnici Šachové federace Spojených států, hrál v utkání o dvou partiích s programem Chess 4.9 o výhru 1500 \$. Utkání dopadlo nerozhodně. Benjamin vyhrál první partii pomocí solidní, obranné, strategické hry a prohrál druhou, když se pokusil o útočnou, taktickou hru. Čtenáři, kteří mají zájem vyhrát některou z rozmanitých cen pro šachové programy, se o podrobnostech dovedí v článku [9].

Lze rovněž programovat šachový systém typu B, který nezkoumá každý možný tah v každé pozici. Takový program místo toho vybere v každé úrovni stromu několik „nejlepších“ tahů pro další pokračování. Je to však za cenu jednak výpočetního času potřebného k rozhodování, které tahy stojí za to expandovat, a jednak těžkých ztrát, které ve vysoce taktické hře, jakou je šach mohou, vzniknout v případě přehlédnutí některého tahu v posloupnosti. Programy vytvořené na tomto principu nejsou v šachu tak úspěšné jako programy s úplným prohledáváním.

Pokročilé šachové systémy s úplným prohledáváním, jako je Chess 4.7 v (a jeho nejnovější následník Chess 4.9), mohou prozkoumat milióny pozic při rozhodování o tom, kterým kamenem táhnout. Psychologické studie ukázaly, že i ti nejlepší šachoví velmistři promyšlejí jen okolo 100 pozic na jeden tah. Velmistr nahlédne, které pozice vyžadují expanzi a které nikoliv. Má své „důvody“ pro volbu toho či onoho tahu; teprve když dospěje ke konkrétnímu koncovému vrcholu, je „příčina“ úspěchu či neúspěchu předána pro účely ostatního prohledávání. (Článek Neila Charnesse [10] je skvělým přehledem výzkumu v oblasti šachové dovednosti člověka.) Program shannonovského typu C by se choval podobným způsobem. Jen málo šachových programů má srovnatelnou schopnost, i když byly činěny pokusy zabudovat do těchto programů reprezentaci znalostí. Nejúspěšnějším příkladem implementace uvažování a plánování do šachového programu je program PARADISE (PAttern Recognition Applied to DIrecting SEArch) Davida Wilkena [11]. Použitím produkčních pravidel řízených vzory a pomocí plánovacích posloupností byl PARADISE schopen vyřešit 97% obtížných taktických úloh střední hry z knihy *Win at Chess* [12]. Přitom zpravidla navštěvuje desítky koncových pozic místo stovek tisíců.

I když programy jako PARADISE jsou někdy schopny expertně hrát ve složitých situacích, jejich expertnost je jim na obtíž v průběhu delší soutěže, kdy většina pozic nereprezentuje obtížné úlohy. Přesto hlavním tématem výzkumu počítačového šachu zůstává strategická hra, ve které jsou strategie a příčiny různých situací sdělovány v průběhu přemýšlení.

Northwesternský šachový program byl nedávno svržen z trůnu počítačového šachu. Ve světovém mistrovství v počítačovém šachu zvítězil program Belle, napsaný Kenem Thompsonem a Joe Condonem z Bellových laboratoří. Stejně jako northwesternské programy je i program Belle systém typu A. Má však tu přednost, že je vybaven speciálními hardwarovými obvody, které umožňují bleskurychlé prohledávání stromu alternativ. Ve světovém mistrovství v počítačovém šachu jsou povoleny tři minuty na jeden tah; program Belle je v tomto čase schopen analyzovat 30 miliónů pozic. To se ukázalo jako rozhodující přednost.

A jaké jsou vyhlídky, že bude existovat počítač-velmistr? Levy zaujímá na základě svých zkušeností skeptický postoj ke strojům hrajícím šach a dochází k závěru ([1]):

„Dokud umělá inteligence neudělá obrovský krok v oblasti konceptualizace, nebude možné, aby šachové programy vykazovaly porozumění takového Fischera.“

A pokračuje:

„Při současné úrovni své inteligence a s pomocí velmi rychlého psacího stroje může opice napsat nespočet neobratných sonetů, avšak nevzroste-li její I.Q., nikdy nenapiše Hamleta.“

Při současné úrovni své důmyslnosti a s pomocí velmi rychlého počítače mohou nejlepší šachové programy hrát nespočet neobratných partií, avšak nevzroste-li jejich ‚porozumění‘ šachu, nikdy nebudou hrát s důvtipem mistra světa.“

Takovouto kritikou Levy sám prokazuje nedostatek porozumění. Je vskutku možné, že počítače nikdy nebudou schopny takové konceptualizace, aby hrály jako Fischer. Pak toho nebude schopen ani Levy. Zdá se, že Levy vyjadřuje pocit, že „dovede-li to počítač, pak to není inteligence“. Jakmile lze něčemu tak dobře rozumět, že je to možno

programovat, přestaneme se tomu obdivovat. Tento pocit je vyjádřen Teslerovou větou: „Umělá inteligence je to, co ještě nebylo uděláno“ ([13]). „Neobratná“ hrubá síla prohledávacích technik vybavuje stroj větší dokonalostí v šachu, než mají až na nepatrné procento všichni lidé. Zdá se, že Levy není schopen připustit tento úspěch; i když ho stroj neporazil, přiblížil se jeho schopnostem mnohem více, než se dalo očekávat. Zřejmě by asi nebyl udiven kdyby se opička místo jako Shakespeare prezentovala jako třeba Neil Simon.

Jiný pocit vyjádřil Hans Berliner, sám bývalý mistr světa v korespondenčním šachu a výzkumník v oboru počítačového šachu ([5]):

„Vede mě to k závěru, že se většina šachistů klame v domněnce, že šach je ‚konceptuální‘ hra. Značná část šachové hry může být zřejmě řešena vyčerpávajícím prohledáváním ...“

Při všem tom rozruchu kolem strojů hrajících šach může mít čtenář pokušení jít do obchodu a sám si takový stroj koupit. Jedna kapitola knihy *More Computers and Chess* je věnována malým mikropočítačům na hraní šachu, které jsou v běžném prodeji. Tyto přístroje už stojí méně než 100 \$; jejich ceny budou dále ještě klesat, podobně jako klesaly ceny kapesních kalkulátorů. Zmíněná kapitola, psaná Levyho spoluautorem Monroe Newbornem, stojí za zmínku pro svůj populární výklad mikroprocesorů a mikropočítačů. Rovněž zaujme srovnávací analýzou rozličných dostupných typů. Výpočetní technika však prodělává rychlý vývoj; obávám se, že konkrétní doporučení, které přístroje stojí za to koupit, mohou již být zastaralá. S novějšími přehledy trhu je možno se periodicky seznamovat v časopisech, které vznikly pro počítačové fanoušky, jako např. *Creative Computing*, *Byte* a *Personal Computing*.

Počítače překvapivě přispěly i k teorii šachu. Levy ([1]) se zmiňuje o novince při zahájení, kterou Chess 4.6 dokázal objevit. Dva zajímavé „počítačové“ příspěvky vedly k modifikaci pravidel hry. K prvnímu z nich došlo záhy poté, co lidé poprvé programovali šachovou hru. V šachu má hráč právo navrhnout remízu, opakuje-li se táž pozice třikrát. Programátoři, kteří byli schopni rozlišovat kameny na nesémantické úrovni (tj. např. věž z křídla královny od věže z křídla krále) položili otázku: Jestliže si před repetici dvě věže (nebo dva jezdcí) vzájemně vyměnily místa, jde i pak o remízu? Výbor pro pravidla rozhodl: Věž jako věž je lež.

Druhý objev se rovněž týká remíz a došli k němu programátoři, kteří zkoumali problémy koncové hry. Jde o pravidlo, že jestliže během padesáti tahů nedojde ani k tahu pěšcem, ani k sebrání některého kamene, pak hráč může žádat remízu. Počet padesáti tahů byl zvolen proto, že se věřilo, že dostačuje k realizaci výhry z každé potenciálně vyhrávající pozice. Práce s programy pro koncovou hru však ukázala, že korektní hrou lze koncovku s králem a věží proti králi a jezdcí protáhnout tak, že hráč s věží potřebuje až padesáti čtyř tahů, aby dosáhl vítězství.

Výzkum hraní her rovněž přispěl k matematice algoritmů. Dle nedávného výsledku Dany Nau existuje určitá třída her, pro které hlubší minimaxové (alfa-beta) prohledávání dává horší výsledky [14]. To je pro leckoho protiintuitivní výsledek, neboť chování šachových programů se při zvětšování hloubky prohledávání monotónně zlepšuje. Je možné, že práce Dany Nau povede k vylepšení anebo nahrazení alfa-beta procedury; bude zajímavé, jakou podobu bude tato náhrada mít.

Pokračují práce na zlepšení chování šachových programů. S klesající cenou výpočetní techniky a při trendu k víceprocesorovým strojům budeme mít stroje, které budou prohledávat dále a hlouběji. Byly též učiněny pokroky v oblasti reprezentace šachové znalosti a konceptualizace. Doba, kdy mistrem světa v šachu bude počítač, je nepřilíš daleko před námi.

Přeložil Ivan M. Havel

Literatura

- [1] LEVY D., NEWBORN M.: *More Chess and Computers*. Computer Science Press, Potomac, Maryland 1980
- [2] LEVY D.: *Chess and Computers*. Computer Science Press, Potomac, Maryland 1976.
- [3] LEVY D.: *1975 — U. S. Computer Chess Championship*. Computer Science Press, Potomac, Maryland 1976.
- [4] LEVY D.: *1976 — U. S. Computer Chess Championship*. Computer Science Press, Potomac, Maryland 1977.
- [5] BERLINER H. *A Chronology of Computer Chess and its Literature*. *Artificial Intelligence* 10 (1978), 201—214.
- [6] SHANNON C. E.: *Programming a computer to play chess*. *Philosophy Magazine*, Ser. 7, 41 (1950) 250—275.
- [7] NILSSON N. J.: *Problem Solving Methods in Artificial Intelligence*. McGraw Hill, New York 1971.
- [8] SLATE D. J., ATKIN L. R.: *Chess 4.5 — The Northwestern University chess program*. In: FREY P. (ed.): *Chess Skill in Man and Machine*. Springer-Verlag, Berlin 1977, 82—118.
- [9] ROBINSON A. L.: *Computer chess: Belle sweeps the board*. *Science* 210, 17 October 1980, 293—294.
- [10] CHARNES N.: *Human chess skill*. In: FREY P. (ed.): *Chess Skill in Man and Machine*. Springer-Verlag, Berlin 1977, 34—53.
- [11] WILKINS D.: *Using patterns and plans in chess*. *Artificial Intelligence* 14 (1980) 165—203.
- [12] REINFELD F. *Win at Chess*. Dover Books, New York 1958.
- [13] HOFSTADTER D. R.: *Gödel, Escher, Bach: an Eternal Golden Braid*. Basic Books, New York 1979, p. 601.
- [14] NAU D. S. *Pathology on Game Trees: A Summary of Results*. *Proceedings of the First Annual National Conference on Artificial Intelligence*, Stanford, California 1980, 102—104.