

АЛГОРИТЪМ И ПРОГРАМА ЗА ИГРАТА „ХО“

**Петър Бърнев, Валентин Томов, Димитър Д. Добрев
Кънчо Иванов и Георги Кулеков**

Напоследък се обръща все по-голямо внимание на използването на автоматичните сметачни машини за облекчаване на интелектуалната дейност. В това отношение се провеждат много изследвания. В [1] е приведена значителна библиография по този въпрос.

Поради сложността на проблема особено подходящи модели за първоначално изследване се оказват някои игри. Разработени са например редица алгоритми и програми за игра на шахмат, шашки и др. Като правило изследваните игри са крайни, което теоретически позволява да се приложи методът на пълното изчерпване. На практика обаче този метод е неприложим поради огромния брой възможни варианти. За да могат да се създадат практически приемливи алгоритми за игра, обикновено на базата на някои евристични съображения при всяка конкретна ситуация се избират неголям брой перспективни варианти за продължаване на играта и чрез тяхното изследване се определя най-доброто възможно продължение. По този начин броят на изследваните варианти е незначителен спрямо общия брой. При това вероятността да се получи оптимално продължение може да бъде направена близка до единица, ако се използват достатъчно силни евристични съображения при подбора на перспективните за изследване варианти.

В настоящата статия се разглежда играта „ХО“, за която не е известен печелещ алгоритъм. Огромният брой възможни варианти налага да се използват евристични съображения при подбора на подходящи ходове. От друга страна, простите правила на играта позволяват да се избягнат редица технически трудности и вниманието да се съсредоточи върху избора на евристики и създаването на алгоритъм за подбиране на добри ходове.

Трябва да се отбележи, че в [2] се разглежда игра, подобна на „ХО“, и е описан алгоритъм и съответна програма. Тази игра обаче е със значително по-малък брой варианти. Нещо повече — може да се посочи алгоритъм, при който винаги може да се постигне равна игра.

В тази работа се излага един евристичен алгоритъм за играта „ХО“ и съответната му програмна реализация. Изработена е в Математическия институт с Изчислителен център, като програмната реализация е направена за машината „Минск-2“ на същия институт.

§ 1. ОПИСАНИЕ НА ИГРАТА

Играта „ХО“ се играе от двама играчи на квадратна дъска с $n \times n$ квадратчета. Алгоритъмът е пригоден за игра на произволна дъска, но програмата е реализирана за $n=10, 11, 12, 13, 14$. Всеки от играчите има белег „Х“ или „О“. Машината винаги предоставя на противника си да избере сам кой ще играе пръв. В началото на играта всички полета са свободни. Заето се счита поле, на което е поставен белегът на единия от играчите. Играчите поставят последователно свои белези на свободните полета. Този играч, който успее пръв да образува конфигурация от пет съседни свои белега, намиращи се на една хоризонтална, вертикална или произволна диагонална линия, печели играта. Ако всички полета са заети и нито един от играчите не е образувал печелеща конфигурация, играта завършва наравно.

Извършването на ход се определя от следния алгоритъм:

1. Играчът, който е на ход, проверява дали има свободни полета. Ако има, преминава към т. 2, в противен случай играта завършва наравно.

2. Играчът поставя свой белег на свободно поле и преминава към т. 3.

3. Играчът проверява дали е спечелил играта. Ако играта не е спечелена, право на ход има другият играч.

§ 2. ОБЩА СХЕМА НА АЛГОРИТЪМА

Пълното изследване на всички възможни варианти за разиграване на играта би позволило да се определи дали играчът, играещ пръв, има някакво предимство и дали при правилна защита играта може да завърши наравно. Наред с това в резултат на такова изследване могат да се получат изчерпателни таблици, чрез които да се определя най-добрият ход във всяка ситуация.

Но както вече бе отбелязано, пълното изследване на всички варианти е практически невъзможно, тъй като при дъска с размери 14×14 квадратчета броят на тези варианти е $196! \approx 5 \cdot 10^{365}$. За сравнение може да се посочи, че броят на всички възможни варианти при игра на шах е около 10^{120} , а при игра на шашки — 10^{40} . При това, дори споменатото изследване да бъде извършено и да бъдат съставени съответни таблици, тези таблици ще имат огромен обем и няма да бъде възможно да се съхраняват и да се ползват.

Ето защо налага се да се намери алгоритъм за избор на ход в дадена позиция, който да осигурява подбора на достатъчно добър ход, без да се изследват голям брой варианти в дълбочина. Такава възможност принципно съществува, тъй като различните варианти не са равностойни.

Друга възможност е, вместо да се изследват различни варианти в дълбочина, изборът на ход да се основава на някакви оценки на възникващите при различни възможни ходове позиции, като се избира ходът с най-добра оценка. При това получаването на абсолютно точна оценка на позицията налага изследването на всички възможни варианти, а при използването на приблизителни оценки съществува опасност да се избере неоптимален ход.

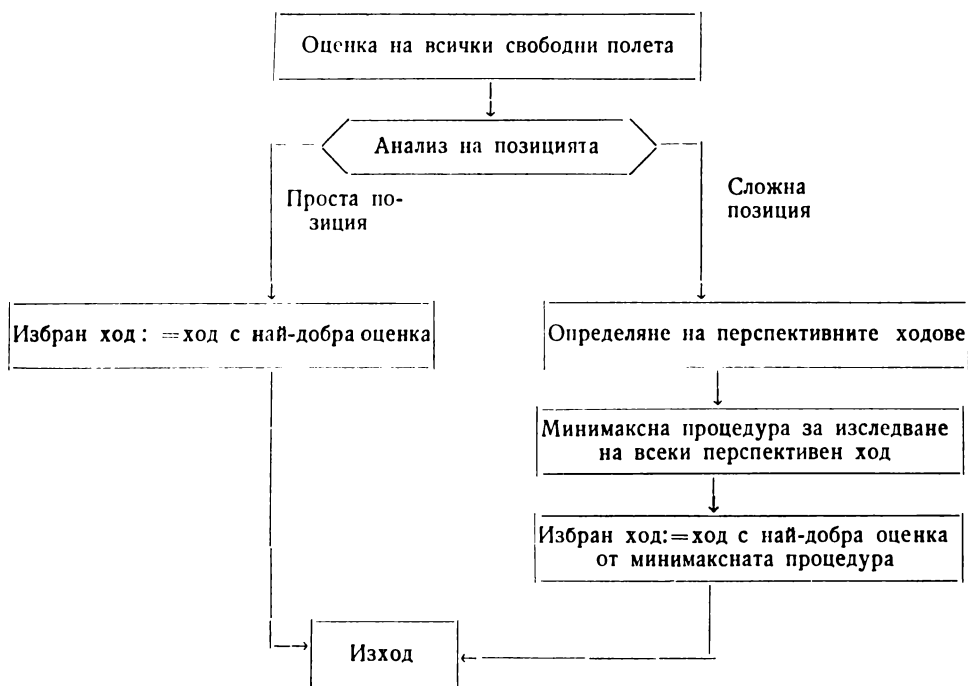
В разработения по-долу алгоритъм е възприет комбиниран метод — приблизителната оценка на позицията, възникваща при всеки ход, се съчетава с изследване в дълбочина на най-интересните варианти. Поточно методът се състои в следното. При всяко положение на дъската се оценяват приблизително позициите, които биха се получили, ако кое да е от свободните полета се заеме от белега на играча, който е на ход. Същевременно се оценяват и позициите, които биха се получили, ако съответните полета се заемат от белега на другия играч. Получените две оценки за всяко поле отразяват в известна степен както заплахата, която би се създала от заемането на полето от играча, който е на ход, така и заплахата, която би създал противникът при заемане на същото поле. Съотношението на тези две оценки дава възможност да се съди за ценността на хода на въпросното поле по отношение и на единия, и на другия играч. С други думи, двойствеността на оценката е свързана с двата елемента, възникващи във всяка игра — заплахата и защитата. Първата компонента на оценката на дадено поле е мярка за ценността на полето от гледна точка на създаване на заплахата за противника. Втората компонента на оценката на дадено поле показва каква заплахата ще създаде противникът, ако го заеме, и следователно определя степента на защита, която се осъществява, като се играе предварително на това поле. В зависимост от това, какво тегло се придава на всяка от двете компоненти на оценката, се определя стилът на игра — нападателен или защитен.

Множеството оценки за всички полета дава възможност да се анализира състоянието на позицията. Когато анализът на оценките покаже, че в момента играта не е придобила остър комбинативен характер, се избира ходът с най-благоприятна оценка, без да се извършва изследване в дълбочина. В противен случай на базата на оценките се определят неговия брой сред най-перспективните ходове и те се изследват по-старателно, за да се избере най-подходящият от тях.

Изследването на всеки перспективен ход се извършва няколко хода напред, като се вземат пред вид най-неблагоприятните (от гледна точка на играещия) отговори на противника, най-добрите възможни продължения и т. н. С други думи, при изследването се прилага минимаксна процедура по отношение на някои от възможните следващи ходове, като начините за оценка на възникващите позиции са аналогични на гореизложените. При това взимат се под внимание само тези ходове, които имат високи оценки. Изследването на всеки вариант продължава, докато се получи позиция, която не дава възможност за особено силни ходове и за двамата играчи, или след изчерпването на предварително фиксиран брой ходове за изследване в дълбочина на всеки вариант.

Както бе отбелязано, всяка оценка на поле се състои от две компоненти. Всяка от компонентите отразява заплахата, която се създава при заемане на полето от белег на съответния играч. Тази заплахата се разглежда като функция от заплахите, създавани по четирите линии (хоризонтална, вертикална и две диагонални), на които принадлежи полето. Създаваната заплахата по всяка линия (линейната оцелка) се оценява чрез броя на ходовете, които са необходими за спечелване на играта при предположение, че противникът няма да се защитава. От съответните четири линейни оценки по предварително изработена таблица се определя всяка от компонентите на оценката на полето.

Общата блок-схема на алгоритъма за избор на ход е дадена на фиг. 1.



Фиг. 1. Обща схема на алгоритъма за избор на ход

Както се вижда от изложеното, възприетият алгоритъм за избор на ход в дадена позиция се основава на редица евристични съображения. Този алгоритъм не осигурява винаги печалба, но позволява играта да се води със силни ходове. Същевременно взети са мерки алгоритъмът да не изисква огромни пресмятания. Това проличава от детайлното изложение на алгоритъма в следващата точка. Като пример за опростяване на изчисленията може да се посочи, че не е необходимо след всеки ход да се пресметат оценките на всички свободни полета — достатъчно е да се пресметнат оценките само на тези свободни полета, които се намират на линиите, минаващи през полето, където е бил извършен последният ход.

Особено важно от гледна точка на количеството на изчисленията и качеството на играта е да се регулира броят на възникващите варианти при прилагане на минимаксната процедура. Във възприетия алгоритъм това става, като на всяко ниво за перспективни се генерират само тези ходове, чиито оценки са по-големи или равни на подходящо избрано за това ниво прагово число.

§ 3. ОПИСАНИЕ НА АЛГОРИТЪМА

По-долу се дава подробно възприетият алгоритъм за игра, общите идеи на които вече бяха изложени в § 2. Последователно са описани: начинът за оценяване, изборът на начален ход, общата процедура за избор на ход и минимаксната процедура, чрез която се осъществява анализът на позицията в дълбочина.

3.1. Оценки

Цялостната оценка на всяко свободно поле се състои от две компоненти — оценка на полето при предположение, че то ще бъде заето от белег на машината (М), и оценка на полето при предположение, че то ще бъде заето от белег на противника (П). Всяка компонента се пресмята на базата на линейните оценки на полето. Тъй като всяко поле лежи на четири линии, линейните оценки за всяка от компонентите на общата оценка са на брой четири.

Определянето на линейните оценки, необходими за пресмятането на всяка от компонентите на общата оценка, става по еднообразен начин. Поради това ще се ограничим с разглеждане на случая, когато се предполага, че оценяваното поле ще бъде заето от белега на М.

Във връзка с определяне на линейните оценки е удобно да се използва понятието линейна група. Линейна група по отношение на М се нарича множество от съседни полета, принадлежащи на точно една линия, несъдържащо белега на П и ограничено от белези на П или границите на дъската. Очевидно играта може да бъде спечелена от М само в линейна група по отношение на М, съдържаща поне пет полета. Линейните оценки се пресмятат с помощта на скалата от фиг. 2. Линейната оценка за дадено поле по отношение на дадена линия се изчислява по следния алгоритъм:

1. В полето, подлежащо на оценяване, се поставя белегът на М. Проверява се дали полето принадлежи на линейна група от линията по отношение на М с дължина, по-голяма от четири. Ако да, преминава се към т. 2, в противен случай за линейната оценка l на полето по тази линия се приема 0,5 и се преминава към т. 6.

2. $k:=1$. Разполага се скалата върху линията така, че десният ѝ край да попадне върху оценяваното поле, а останалите квадратчета от скалата да съвпадат с полета от линията, докъдето има възможност. Преминава се към изпълнение на т. 3.

3. Образова се сборът

$$P_k = C_1 \cdot \frac{1}{2} + \sum_{i=2}^5 C_i \cdot 1 + C_6 \cdot \frac{1}{2},$$

0,5	1	1	1	1	1	0,5
-----	---	---	---	---	---	-----

Фиг. 2

където

$$C_i = \begin{cases} 0, & \text{когато } i\text{-тото квадратче от скалата е на свободно поле;} \\ 1, & \text{когато } i\text{-тото квадратче от скалата е на поле, заето от М;} \\ -1, & \text{когато } i\text{-тото квадратче от скалата е извън линейната група} \end{cases}$$

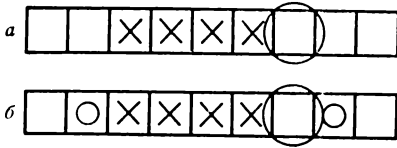
$$(i = 1, 2, 3, 4, 5, 6).$$

Проверява се дали $k \leq 6$. Ако да, преминава се към т. 5. В противен случай се преминава към т. 4.

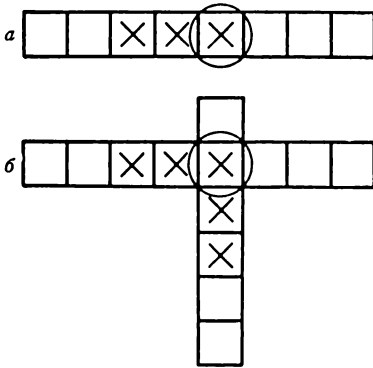
4. $k := k + 1$. Премества се цялата скала на едно поле надясно по линията и се преминава към т. 3.

5. Определя се линейната оценка

$$l = \max_k (P_k), \quad k = 1, 2, 3, 4, 5, 6,$$



Фиг. 3



Фиг. 4

и се преминава към т. 6.

6. Премахва се временно поставеният белег на M от оценяваното поле.

Аналогично се постъпва при изчисляване на линейните оценки по отношение на останалите линии.

При линейна група с дължина пет полета могат да се получат някои несъответствия между оценките и силата на заплахата. Например заплахите, създавани от заградените в кръгчета полета от фиг. 3, *a* и 3, *b* при поставяне в тях на белега „X“, са съответно 4,5 и 4, макар че играта и в двата случая се печели еднакво бързо. Естествено е в случая заплахата, създавана от ход на полето от фиг. 3, *b*, да бъде оценена също с 4,5. Изобщо в подобни случаи се предвиждат съответни корекции на компонентите на оценките.

Изложеният алгоритъм дава като резултат линейна оценка $l = n/2$, където n е някое от целите числа 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10. Линейната оценка l може да

се интерпретира по следния начин: $5,5 - l$ е броят на ходовете, които са необходими за спечелване на играта по разглежданата линия при предположение, че противникът не се защитава. При това в случая, когато разликата по нея $5,5 - l$ не е цяло число, тя се закръглява до по-голямото цяло.

Очевидно при ход в дадено поле линейните оценки отразяват заплахите по съответните линии, но не и общата заплаха, която играният ход създава на дъската. Така например на фиг. 4, след като се играе в означено с кръгче поле, се създават различни заплахи, имащи еднакви линейни оценки. Заплахата от фиг. 4, *a* може да бъде парирана, докато чрез заплахата от фиг. 4, *b* играта се печели, тъй като противникът може да парира атаката само по една от линиите. Очевидно общата заплаха на фиг. 4, *b* надминава отделните линейни заплахи и същевременно е в зависимост от тях.

Тези съображения налагат всяка от компонентите на оценката на дадено поле да бъде съобразена със съответните линейни оценки и да отразява общата заплаха, която ще се постигне, ако се играе на това поле.

5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	5
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,5	5
3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	4	4	4	4,5	5
3	3	3	3	3,5	3,5	4	4	4	4,5	5
2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,5	3,5	4	4,5	5
2	2	2	2	2,5	2,5	3,5	3,5	4	4,5	5
1,5	1,5	1,5	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
1	1	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
0,5	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5

Фиг. 5

Определянето на първата компонента, отразяваща общата заплаха която ще се създаде, ако на оценяваното поле бъде поставен белегът на М, се извършва с помощта на таблицата от фиг. 5 по следния начин: Нека a_1, a_2, a_3, a_4 са съответните линейни оценки на полето. Тогава:

1. Определя се $\beta_1(a_1, a_2)$, където β_1 е число от таблицата на фиг. 5 с координати a_1 и a_2 .

2. Аналогично се определя $\beta_2(\beta_1, a_3)$.

3. Аналогично се определя $\beta_3(\beta_2, a_4)$.

Лесно може да се покаже, че β_3 не зависи от реда, в който се вземат линейните оценки. Числото β_3 е първата компонента на оценката на полето. Втората компонента на оценката се пресмята аналогично при предположение, че на оценяваното поле бъде поставен белегът на П.

3.2. Обща процедура

Общата процедура е алгоритъм за избор на ход в дадена позиция на базата на оценките на свободните полета, без да се анализира позицията с условно разиграване на партията в дълбочина.

Общата процедура се използва, когато позицията не съдържа остри ситуации, т. е. когато не са създадени силни заплахи, които могат да

бъдат развити в близките няколко хода. Характерът на позицията се установява чрез преглед на оценките на свободните полета. Ако компонентите на всички оценки са по-малки от предварително фиксирано прагово число, счита се, че позицията има „спокоен“ характер и изборът на ход се извършва по общата процедура.

Предполага се, че компонентите на оценките на свободните полета са подредени в списък по следния начин:

$$\alpha_1, \beta_1, \gamma_1,$$

$$\alpha_2, \beta_2, \gamma_2,$$

$$\alpha_n, \beta_n, \gamma_n,$$

където α_i е компонентата на оценката, съответстваща на ход на М, β_i — съответната компонента на оценката при ход на П, а γ_i — адресът (координатите) на разглежданото свободно поле.

При избора на ход за М общата процедура действа по следния начин:

а) Ако

$$\max_i \alpha_i \geq \max_j \beta_j, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

счита се, че инициативата е на страната на М и ходът се избира сред подмножеството A от ходове, при които се достига $\max_i \alpha_i$.

б) Ако

$$\max_i \alpha_i < \max_j \beta_j,$$

счита се, че инициативата е на страната на П и ходът се избира сред подмножеството B от ходове, при които се достига $\max_j \beta_j$.

Очевидно подмножествата A и B не са празни. В случая а), ако $\max_i \alpha_i$ се достига за $i = i_k, k = 1, 2, \dots, p, p \geq 1$, за ход на М се избира ход $\gamma_{k_0} \in A$, където k_0 е индекс, при който се достига $\max_i \alpha_i$. Аналогично в случая б), ако $\max_j \beta_j$ се достига за $j = j_s, s = 1, 2, \dots, q; q \geq 1$, за ход на М се избира ход $\gamma_{s_0} \in B$, където s_0 е индекс, при който се достига $\max_j \beta_j$.

По описания начин общата процедура определя поне едно поле, където М да извърши ход. Ако се получат няколко еквивалентни полета, за ход се избира това от тях, което се явява първо при последователно разглеждане на всички полета.

С други думи, основният принцип, по който действа общата процедура, е, че при липса на надмощие на П се избира ход на М, имащ най-висока компонента на оценката от гледна точка на М, а при надмощие на П се избира ход на М с най-висока компонента на оценката от гледна точка на П. В първия случай се цели М да задържи инициативата, а във втория случай се преминава към защита, като се заема предварително полето, което е заплашено от заемане от противника. Наред с

това в случаите, когато съществуват по няколко хода, на които съответната компонента е максимална, се избира този от тях, при който другата компонента е най-голяма. По такъв начин в случая, когато М има инициативата, се цели сред възможните равносилни атакуващи ходове да се избере този от тях, който същевременно отразява по-значителна заплаха на П. А в случая, когато П има инициативата, сред равноценните защитни ходове се избира този, който подготвя по-благоприятна възможност за бъдеща заплаха срещу П.

Изложеният метод за избор на ход за М от общата процедура се прилага и в минимаксната процедура за избор на ход както на М, така и на П.

3.3. Избор на начален ход

Общата процедура за избор на ход не е подходяща за избиране на начален ход за М както в случая, когато М играе първа, така и в случая, когато П играе пръв. Това се дължи на факта, че при полета с равни оценки общата процедура избира първото от тези полета в зависимост от реда, по който те се преглеждат. Тъй като при празна дъска и при дъска, съдържаща само един белег на П, съществуват множество полета с еднакви оценки, прилагането на общата процедура води до избор на неподходящ начален ход. Ето защо изборът на начален ход за М се извършва по друг алгоритъм, който не взема пред вид оценките. В този алгоритъм е взето под внимание, че централните полета от дъската предоставят по-богати комбинативни възможности. Под централни полета се разбира група от четири полета, разположени в центъра на дъската, ако размерът ѝ е четно число, или група от четири съседни полета, от които едното е централно за дъската, ако размерът ѝ е нечетно число.

Алгоритъмът за избор на начален ход на М се състои в следното:

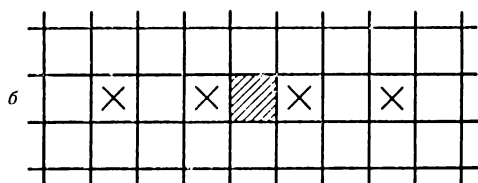
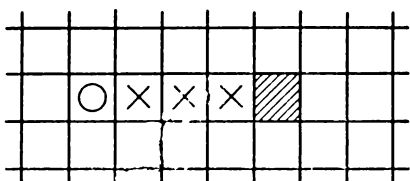
—Ако М играе първа, избира се едно от централните полета на дъската. За да се избегне еднообразното започване на партиите, алгоритъмът варира избора на централните полета.

—Ако П играе пръв и е заел централно поле, М играе в централното поле, което е разположено диагонално спрямо заетото от П; ако П играе пръв и е заел нецентрално поле, М играе в съседното диагонално поле, което е най-близко до центъра.

3.4. Анализ в дълбочина

Ходовете, избирани от описаната по-горе обща процедура, се основават на приблизителни оценки и поради това не винаги осигуряват достатъчно силно продължение на играта. Така например ходовете в защитираните полета от фиг. 6 имат еднакви оценки както по отношение на играча с белег „Х“, (оценка 3,5), така и по отношение на играча с белег „О“ (оценка 1), но ходът в полето от фиг. 6, б дава възможност за сигурна победа, ако играчът с белег „О“ няма възможност за едноходова победа, докато ходът в полето от фиг. 6, а създава само моментна заплаха, която може да бъде ликвидирана веднага.

В позициите, съдържащи силни заплахи, прилагането на общата процедура може да доведе до посредствена игра. Поради това в тези случаи се извършва анализ на позицията в дълбочина, като се изследват различни ходове на М, евентуалните отговори на П, възможните продължения на М и т. н. Това изследване се извършва чрез минимаксна процедура, базирана на статични оценки на възникващите позиции, в резултат на което се избира ход.



Фиг. 6

прагово число. Праговите числа се фиксират предварително за всяко ниво от минимаксното дърво. Техните стойности могат да бъдат изменени в различните партии и по такъв начин може да се влияе на характера на играта. Праговите числа за последователните нива от минимаксното дърво (за нулево ниво се приема коренът на дървото) образуват монотонно растяща редица, като броят им се ограничава от възможностите на оперативната памет и допустимото време за пресмятане. Последното прагово число се избира по-голямо от най-голямата възможна стойност на компонентите на оценките. В конкретната реализация такова е седмото прагово число. Поради това анализът в дълбочина се провежда най-много на шест нива — от нулево до пето ниво, тъй като при шестото ниво не могат да съществуват перспективни ходове. При изследването на варианти може да се окаже, че не съществуват перспективни ходове и преди шестото ниво. По такъв начин изследването в дълбочина на всеки разглеждан вариант от дадена позиция завършва най-много на шестия ход.

Възникващите крайни позиции за всеки вариант се наричат мъртви позиции. С други думи, мъртвите позиции ограничават клоновете на минимаксното дърво и се характеризират с това, че не съдържат перспективни ходове.

Всяка мъртва позиция се оценява по определен алгоритъм. Съответната оценка представлява вектор от три елемента и се нарича статична оценка.

Извършването на минимаксната процедура става по общоприетия начин, като се излиза от статичните оценки на мъртвите позиции. Единствената особеност се състои в това, че сравняването на две статични оценки се извършва по първите елементи и само ако те имат равни

стойности, се сравняват вторите елементи. Третите елементи се взимат под внимание само ако и вторите елементи са равни. При равенство и на трите съответни елемента при сравнението се взима коя да е от статичните оценки.

За икономия на време минимаксната процедура е организирана така, че се извършва едновременно с генерирането на разклоненията, в резултат на което се избягва анализирането на някои клонове, чиито оценки, няма да преминават в по-горни нива на минимаксното дърво. Този процес е изложен детайлно в [1, стр. 55].

Статичната оценка (p, q, r) на дадена мъртва позиция се определя по следния начин. Намира се оценката (α, β) на полето, което дава общата процедура за мъртвата позиция. При това α означава тази компонента на оценката, която съответствува на ход с белега на М, а β — компонентата, съответстваща на ход с белега на П в това поле. Ако мъртвата позиция е на такова ниво, че трябва да следва ход на М, оценката (α, β) се получава директно от общата процедура. В противен случай преди действието на общата процедура се извършва подходяща настройка, отразяваща факта, че на ход е П.

След това стойността на p се определя в зависимост от стойностите на α и β по табл. 1.

Таблица 1

На ход е	$\alpha > \beta$	$\alpha = \beta$	$\alpha < \beta$
М			$-\left(\beta - \frac{1}{4}\right)$
П	$\alpha - \frac{1}{4}$	$-\beta$	$-\beta$

Стойността на q се дава от формулата

$$q = a - b,$$

където a е броят на полетата върху дъската при мъртвата позиция, които имат компонента на оценката за М, равна на $\max(\alpha, \beta)$, а b — броят на полетата, които имат компонента на оценката за П, равна на $\max(\alpha, \beta)$.

Третият елемент на статичната оценка се определя по формулата

$$r = -k \cdot \text{sign } p,$$

където k е нивото от минимаксното дърво на мъртвата позиция.

Изборът на начина за получаване на статични оценки е базиран на следните съображения:

а) Оценките да отразяват характера на позицията винаги от гледна точка на М, т. е. да бъдат по-високи при по-благоприятни за машината позиции.

б) Знакът на първия елемент p на статичната оценка показва кой от играчите притежава инициативата (при $+$ инициативата е на М). Аб-

солютната стойност на p е мярка за силата на инициативата. Както бе описано по-горе, p се определя на базата на общата процедура, тъй като тя характеризира достатъчно добре у кого е инициативата и нейната степен.

в) Вторият елемент q на статичната оценка изразява кой от играчите и в каква степен разполага с по-широки възможности за създаване на други заплахи освен основната, т. е. заплахата, определяща инициативата.

г) Третият елемент r на статичната оценка характеризира стремежа на печелившия да достигне печалба с най-малък брой ходове и обратно—желанието на губещия да удължи играта.

д) Въмъкването на константата $1/4$ в таблицата за определяне на p е свързано с обстоятелството, че приоритет има оценката, която е за играч, който би трябвало да извърши ход.

е) В случая $\alpha = \beta$ приоритет се дава на този от играчите, който би бил на ход.

Както се вижда от метода за получаване и ползване на статичните оценки, най-голям приоритет се дава на инициативата, след това на допълнителните позиционни възможности и накрая на стремежа да се получи най-бърза печалба или да се отдалечи загубата.

При изследването на дадена позиция в дълбочина, преди да се определят перспективните ходове, се следи дали възникналата в даден възел от минимаксното дърво позиция дава възможност за едноходова победа на играча, който е на ход, а ако такава възможност няма, дали не съдържа неотразима заплаха за непосредствена победа на другия играч. С други думи, проверява се дали във всяка от възникващите позиции съществува поне един ход с компонента на оценката за играча, който е на ход, по-голяма или равна на 4,5, или пък поне два хода с компоненти на оценките за другия играч, по-големи или равни на 4,5. В такъв случай позицията, даваща възможност за непосредствена победа, се счита за мъртва, и без да се търсят перспективни ходове ѝ се присвоява статична оценка ($\pm 5, 0, r$), където знакът е $+$ или $-$ в зависимост от това, дали M печели или губи.

§ 4. ПРОГРАМНА РЕАЛИЗАЦИЯ

Описаният алгоритъм е реализиран на машината „Минск-2“ на Математическия институт с Изчислителен център. Съответната програма е съставена на символичния език в системата МИД-2 и съдържа две глави с общо около 2300 оператора. За да се избегне необходимостта от трансляция при всяко ползване, преведената на машинен език програма е преобразувана по такъв начин, че да може да се ползва и извън системата МИД-2. В този си вид програмата заедно с необходимите работни полета и таблици се помещава изцяло в оперативната памет.

Задаването на ходовете на Π се извършва от клавиатурата на пулта. Отговорите на M се индицират също на пулта. Цялата последователност от ходове на M и Π се документира чрез бързия печат. За избягване на грешки при задаване ходовете на Π след възприемането им от машината тези ходове също се индицират на пулта и едва след повторен старт машината започва да търси съответен отговор. Неправилните хо-

дове (ходове върху заети полета или извън дъската) не се възприемат от машината и се дава съответна индикация.

Чрез клавиатурата на пулта могат да се изменят размерите на дъската в диапазона от 10×10 до 14×14 и да се определи кой да извърши началния ход—М или П,—както и да се променят стойностите на праговете числа.

За използване на програмата е създадена проста инструкция.

Максималният размер на дъската 14×14 се кодира в 196 клетки, като на всяко поле съответствува една клетка, в която е маркирано дали полето е заето и белегът на заемащия го играч. Двойка работни полета, всяко с обем от 196 клетки, съдържа компонентите на оценките на полетата от дъската за М и П. За нуждите на минимаксната процедура се използват още шест такива двойки полета, както и едно работно поле за съхраняване на перспективните ходове.

Времето за извършване на един ход зависи от размера на дъската, праговете числа и конкретната позиция. Ако не се извършва изследване в дълбочина, това време е по-малко от една секунда. При изследването на позицията в дълбочина средното време за извършване на един ход при прагови числа 3,5, 3,5, 3,5, 3,5, 4, 4, 5, е около 1,5 минути при дъска 10×10 и около 3 минути при дъска 14×14 .

Фактът, че алгоритъмът е реализиран за дъски с определени размери, не е съществено ограничение, тъй като при дъска с голяма размерност не се получават принципно нови възможности за провеждане на играта.

За да се осигури при допустимите размери на дъската средното машинно време за избор на ход по разглеждания алгоритъм да не надминава няколко минути, необходимо е да се ограничат броят и дълбочината на изследваните варианти. Ако се допусне изследването на значителен брой варианти, трябва да се ограничи тяхната дълбочина и обратно. При това желателно е да се намери такова съотношение между броя и дълбочината на вариантите, което позволява за дадено време да се избира възможно най-добрият ход. С други думи, необходимо е да се определи подходяща дълбочина на минимаксната процедура и стойности на праговете числа.

От някои предварителни изследвания и проведените експерименти се установи, че допускането на 6 нива в минимаксната процедура при прагови числа 3,5, 3,5, 3,5, 3,5, 4, 4, 5 дава достатъчно добри резултати.

С помощта на създадената програма бяха проведени редица партии между машината и различни противници. Анализът на тези партии показва добрите комбинационни възможности на алгоритъма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вычислительные машины и мышление (Фейгенбаум, Э. и Дж. Фельдман—ред.). М., 1967.
2. Срапян, Ш. О. и Т. М. Тер-Микаэлян. Об одном методе оценки ситуации при игре в крестики и нолики. В сб.: Проблемы кибернетики, 9. М., 1963, с. 171—176.

Постъпила на 27. II. 1970 г.

АЛГОРИТМ И ПРОГРАММА ИГРЫ „ХО“

Петр Бырнев, Валентин Томов, Димитр Добрев,
Кынчо Иванов и Георги Кулеков

(Резюме)

Излагается алгоритм, при помощи которого успешно можно играть в игру „крестики — нолики“. Для этого алгоритма составлена программа для машины Минск-2. Приводятся некоторые результаты анализа алгоритма.

AN ALGORITHM AND A PROGRAMME FOR THE GAME “XO” (MORPION)

Petâr Bârnev, Valentin Tomov, Dimitar Dobrev,
Kânčo Ivanov and Georgi Kulekov

(Summary)

An algorithm by means of which the game “morpion” can be played successfully is given. A programme for Minsk-2 is written for this algorithm and some results from the algorithm analysis are given.