

独粒钻石棋问题解决中的知觉搜索深度¹⁾

傅小兰

中国科学院心理研究所, 北京

摘要

本实验研究在不实施具体棋子移动的条件下,被试进行知觉搜索加工的能力。被试是40名具有解决独粒钻石棋问题近期经验的工科中专生。实验过程中被试不移动棋子,只对屏幕上呈现的棋盘上的棋子移动步骤进行心理表征。实验结果表明,在呈现问题初始状态与目标状态的情况下,被试有能力完成长达12步的棋子移动的知觉搜索加工深度(平均正确反应率>60%);平均反应时间随知觉搜索深度的增加而增加。

一、引言

认知心理学家对心理表象加工机制进行了一系列的研究工作。Shepard和Metzler(1971)^[1]做的物体方位心理旋转实验的结果表明,被试能利用表象在头脑中对物体作三维旋转,在判断时间和两图片的角度差异之间存在着线性关系。Cooper和Shepard(1973)^[2]以不同倾斜角度的字母R及其镜像为刺激物做实验,其结果也表明,偏离正常位置的旋转角度越大,反应时间越长。他认为,如同人可以把书写的文字旋转一定的角度一样,人也可以把脑子里的表象旋转一定的角度。Carpenter和Just(1976)^[3]用同样的刺激进行实验,同时记录被试者的眼动。实验发现,被试者做判断时的眼动是系列进行的,眼睛注视的是最主要的部分;旋转的角度越大,注视的次数就越多,所用的时间也就越长。Carpenter用计算机得出了与Shepard相似的结果,即表象旋转不是连续不断的,而是从一点到另一点分段进行的。Reed(1974)^[4]的实验表明,表象和画面的不同点使表象能被分割成有一定意义的小块,这些小块可以和整体一样被再现出来。Kosslyn、Ball和Reiser(1978)^[5]做了一系列心理表象扫描的实验,用反应时测量的心理扫描时间随着扫描的距离而增加,二者呈线性关系,这表明心理图画的扫描是以一个恒定的比率出现的。我们可以看到,对物体表象的操作活动与对实际物体的操作一样,都可以表现出空间距离关系。Kosslyn(1980)^[6]的实验结果表明,被试有一个有限的表象空间,其表象越大所表现的细节就越多,这种表象的有限容量不仅表现在空间大小的限度,而且也表现在表象复杂性的限度上,复杂物体表象的信息可能占用更多的表象容量,从而减少了物体表象的细节数量。纪桂萍和罗春荣(1989)^[7]的实验结果表明,表象操作的容量是相当有限的,执行最优加工的容量为2—3个,上限约为4—5个;加工容量随操作复杂程度的高低可略

1) 本文于1991年8月30日收到。

有变化;在一定的实验条件下,系统对表象各成分的操作采取的是并行的同时加工策略,这种并行加工能大大提高表象加工的效率。但是,所有这些研究均未涉及表象加工的深度问题。

我们曾研究了被试在问题解决过程中的启发式策略^[8,*],我们发现无论是“前进”策略还是“倒退”策略,它们都与问题解决过程中的知觉搜索深度有关。一般来说,被试完成的知觉搜索越深,即“看”的步数越多,就更有可能选择一步较理想的移动,倒退时也更容易确定下一步问题解决的计划。在独粒钻石棋问题解决过程中,这种知觉搜索加工实际上就是对棋子移动步骤进行心理表征的过程,是对记忆表象进行加工的过程。本实验的目的是通过研究在不实施具体棋子移动的条件下,被试对独粒钻石棋问题进行知觉搜索加工的能力,来探讨表象加工深度的问题。

二、方 法

1. 被试

被试共 40 人,男女各半,均为北京塑料工业学校的学生;年龄从 16 岁到 19.2 岁,平均 17.6 岁;视力正常。被试都有独粒钻石棋问题解决的近期经验。

2. 仪器

在实验室中用电子计算机 (IBM Personal System/2, Model 80) 控制实验;显示器和键盘位于被试正前方。

3. 实验设计和程序

实验作业采用独粒钻石棋。整个实验采用人机对话方式完成。正式实验前测试被试的一位数短时记忆广度。安排有四次练习。不要求被试做口语报告。正式实验分两组进行。

实验组一:被试 20 人,男女各半。被试不实施具体的棋子移动,只对屏幕上呈现的棋盘上的棋子移动步骤进行心理表征。棋子移动步骤每次两组与相应的问题初始状态和目标状态同时呈现在屏幕上,两组的棋子移动步数相等,其中只有一组棋子移动步骤能将问题的初始状态转换成目标状态。例如,图 1 中左边的棋盘是问题的初始状态,右边的棋盘是问题的目标状态;棋盘下面是两组棋子移动步骤,各 7 步,第 2 组给出的是正确的棋子移动步骤;再下面是提示:“您认为上面的哪一组移动系列可以将 A 转化成 B?”。棋子移动步数从 2 到 10,每种长度 4 对,共 36 对,其中第 1 组对和第 2 组对各占一半。呈现次序随机安排。

实验组二:被试 20 人,男女各半。棋子移动步骤每次一组与相应的问题初始状态和目标状态同时呈现在屏幕上,有时,这组棋子移动步骤能将问题的初始状态转换成目标状态,有时则不行。例如,图 2 中左边的棋盘是问题的初始状态,右边的棋盘是问题的目标状态;棋盘下面是一组棋子移动步骤,它给出的是正确的棋子移动步骤,共 6 步;再下面是提示:“您认为上面的一组移动系列可以将 A 转化成 B?”。棋子移动步数从 4 到 12,每种步数长度 4 组,其中两组对,两组错,共 36 组。呈现次序随机安排。

* 傅小兰:弈棋问题解决启发式的元策略模型,中国科学院博士学位论文,1990年。

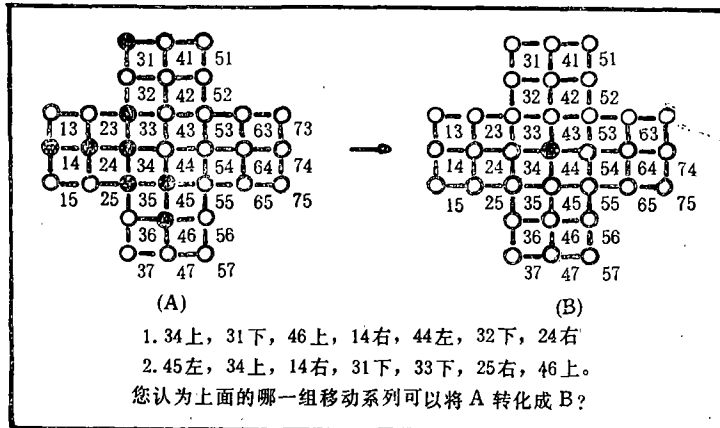


图 1 实验组一所呈现的一个刺激实例

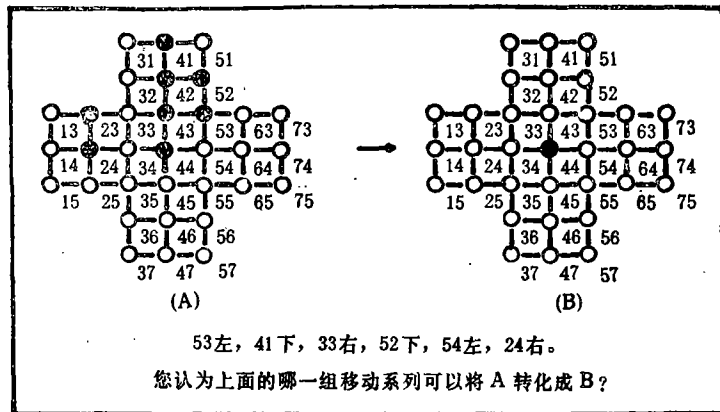


图 2 实验组二所呈现的一个刺激实例

三、结果与分析

(一) 实验组一的结果

1. 正确反应率: 表 1 中(2)栏的数据是 20 名被试对九种长度的棋子移动步骤进行知觉搜索加工(心理表征)所得到的正确反应率。九种棋子移动长度(步数)的平均正确反应率均不低于 77.5%。20 名被试中有 8 人对 10 步长的棋子移动步骤的正确反应率高达 100%。方差分析的结果表明,棋子移动步骤长度(步数)对正确反应率不存在显著性的影响: $F(35,8) = 2.953$, $p = 0.056$ 。刺激(棋子移动步骤)呈现的先后次序对正确反应率也不存在显著性影响: $F(35,3) = 0.302$, $p = 0.824$, 这说明在本实验中疲劳因素对实验结果没有明显影响。

2. 反应时间: 表 1 中(3)栏的数据是 11 名被试对九种长度的棋子移动步骤进行心理表征的反应时间(因为实验程序设计问题,对前 9 名被试只记录了正确反应率,未能记录下他们的反应时间)。对棋子移动步骤长度(步数)和反应时间进行方差分析,其结果是: $F(35,8) = 35.913$, $p = 0.000^{***}$, 这表明,棋子移动步骤长度对反应时间有着显著

表1 实验组一的正确反应率与反应时间

(1) 长度 (步)	N	(2)				(3)				
		正 确 MEAN	反 应 SD	率(%) MIN MAX		反 应 时 间 (秒) N MEAN SD			MIN	MAX
2	20	96.25	9.16	75	100	11	12.04	3.15	6	17
3	20	98.75	5.59	75	100	11	17.46	9.12	9	39
4	20	96.25	9.16	75	100	11	27.37	8.59	17	44
5	20	90.00	17.01	50	100	11	36.99	17.54	17	80
6	20	88.75	17.16	50	100	11	73.76	33.37	30	131
7	20	80.00	25.13	25	100	11	74.53	45.60	6	152
8	20	81.25	22.36	25	100	11	69.24	46.86	7	148
9	20	86.25	17.16	50	100	11	70.95	45.81	10	155
10	20	77.50	24.20	25	100	11	105.75	76.75	12	264

性的影响。

3. 相关系数: 棋子移动步骤长度与正确反应率的相关系数是 -0.9004^{**} , 棋子移动步骤长度与反应时间的相关系数是 0.9416^{**} 。这表明, 棋子移动步骤长度与正确反应率及反应时间之间高度相关: 棋子移动步骤长度越长, 则正确反应率越低, 反应时间越长。考虑到棋子移动步骤长度(步数)对正确反应率不存在显著性的影响, 而棋子移动步骤长度对反应时间存在着显著性的影响, 我们认为, 随着知觉搜索深度的增加, 主要引起的是反应时间的增加, 正确反应率虽有降低, 但这种降低并不十分显著。该结果表明, 在呈现问题初始状态与目标状态的情况下, 被试有能力完成长达10步的知觉搜索加工, 即进行这种表象加工能达到10步的深度。

4. 20名被试的一位数短时记忆广度: $MEAN=7.02$, $SD=1.40$, $MIN=4.67$, $MAX=9.67$ 。被试的一位数记忆广度值与正确反应率、反应时间的相关均不显著。

(二) 实验组二的结果

一名被试因实验时不认真(他认为“全看太浪费时间”), 其结果被取消。

1. 不同棋子移动长度(步数)的正确反应率与反应时间(19名被试的平均值)如表2所示。棋子移动步骤的九种长度的平均正确反应率均不低于64%。在19名被试中有5人对12步长的棋子移动步骤的正确反应率高达100%。该结果表明, 在呈现问题初始状态与目标状态的情况下, 被试有能力完成长达12步的知觉搜索加工, 即进行这种表象加工能达到12步的深度。

2. 相关系数: 棋子移动步骤长度与正确反应率的相关系数是 -0.8867^{**} , 棋子移动步骤长度与反应时间的相关系数是 0.9736^{**} 。该结果与实验组1的结果相吻合。

3. 19名被试的一位数短时记忆广度: $MEAN=6.47$, $SD=1.26$, $MIN=4.7$, $MAX=9.3$ 。被试的一位数记忆广度值与正确反应率、反应时间的相关均不显著。因此, 在独粒钻石棋问题解决过程中, 被试对棋子移动步骤进行心理表征的能力与他们的数字短时记忆能力之间不存在显著性关系。

4. 对于实验组一, 被试不必表征完整的棋子移动步骤便有可能作出正确判断。例如, 被试对图1中的两组棋子移动系列进行心理表征时, 如果首先加工的是第1组, 在进行了倒数第2步(“32下”)时他就可以断定这组移动是违反规则的, 从而不必再表征其

它移动步骤就能决定正确答案是“2”。而实验组 2 的被试对正确棋子移动步骤必须进行完整的心理表征才能判断对错。被试对 18 组正确棋子移动步骤的正确反应率和正确反应时间(每种长度根据 $8 \times 2 = 36$ 个原始数据进行统计)如表 3 所示。从表中的 MIN 值可以看出,有的被试有时并没有认真地对棋子移动步骤进行心理表征,因为在 2 秒钟这么短的时间里绝不可能完成对长达 12 步的棋子移动步骤进行心理表征的工作,因此,被试做出的正确反应中掺杂着猜测的成分。但是,从平均正确反应时间(随长度增加基本上呈线性增长趋势)可以断定,被试对正确棋子移动步骤所做出的正确反应总体上是他们认真工作的结果,其平均正确反应率均不低于 61%。这进一步表明,在呈现问题初始状态与目标状态的情况下,被试有能力完成长达 12 步的知觉搜索加工,即进行这种表象加工能达到 12 步的深度。

5. 相关系数: 棋子移动步骤长度与正确棋子移动步骤的正确反应率的相关系数是 -0.5729 , 与其反应时间的相关系数是 0.9467^{**} 。该结果表明,在一定程度上排除走捷径的知觉搜索(通过搜索错误的步骤,在无须表征完整的正确棋子移动步骤条件下就能作出正确判断)后,棋子移动步骤长度与正确棋子移动步骤的正确反应率的相关系数降低了,但棋子移动步骤长度与反应时间的相关系数仍然很高。这进一步说明,随着知觉搜索深度的增加,主要引起的是反应时间的增加,相对而言,知觉搜索深度与正确反应率的关系要

表 2 实验组二的正确率与时间(19名被试的平均值)

长度 (步)	正 确 反 应 率 (%)				反 应 时 间 (秒)			
	MEAN	SD	MIN	MAX	MEAN	SD	MIN	MAX
4	90.79	14.93	50	100	28.96	9.05	16	53
5	90.32	19.54	25	100	46.04	21.52	21	104
6	80.26	21.37	25	100	52.29	13.77	25	79
7	87.68	21.44	25	100	65.33	20.60	36	103
8	76.32	22.78	25	100	74.72	34.48	20	158
9	67.53	30.69	25	100	73.18	30.33	9	142
10	77.63	18.44	50	100	89.32	40.06	31	177
11	64.47	15.17	50	100	120.91	58.20	34	237
12	67.11	27.70	0	100	126.01	61.07	37	244

表 3 对正确棋子移动步骤的正确反应率和反应时间

长度 (步)	正确反应 N	正确反应率 (%)	正 确 反 应 时 间 (秒)			
			MEAN	SD	MIN	MAX
4	33	91.67	21.84	11.18	10	55
5	28	77.78	37.00	20.75	16	117
6	24	66.67	53.71	28.39	18	119
7	31	87.78	62.42	31.73	25	148
8	25	69.45	109.82	92.25	5	490
9	27	75.00	71.27	55.20	3	301
10	22	61.11	114.65	78.32	8	349
11	29	80.56	125.15	80.36	2	353
12	22	61.11	140.33	84.02	3	254

弱一些。

对正确反应率进行配对 t 检验的结果表明,两组的结果间不存在显著性差异。图 3 显示了两个实验组平均正确反应率与棋子移动步骤长度的关系。平均正确反应率均不低于 60%。如图所示,两组的平均正确反应率与棋子移动步骤长度呈线性关系,随棋子移动步骤长度的增加,平均正确反应率有所降低,但降低幅度不大。从图中可以看出, 12 步长的棋子移动步骤显然并不是知觉搜索加工深度的极限,在呈现问题初始状态和目标状态、不限制反应时间的实验条件下,被试可能完成超过 12 步深的这种表象加工。已知人类短时记忆的广度是 7 ± 2 , 现在,我们又认识到,在呈现独粒钻石棋问题初始状态与目标状态的情况下,人类被试有能力完成长达 12 步的表象操作,这从一个方面也反映了短时记忆加工的能力。

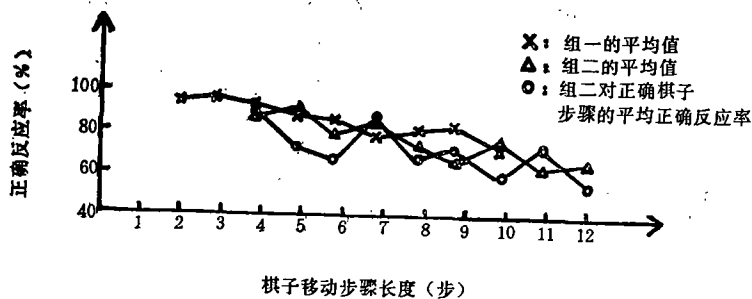


图 3 两个实验组的平均正确反应率与棋子移动步骤长度的关系

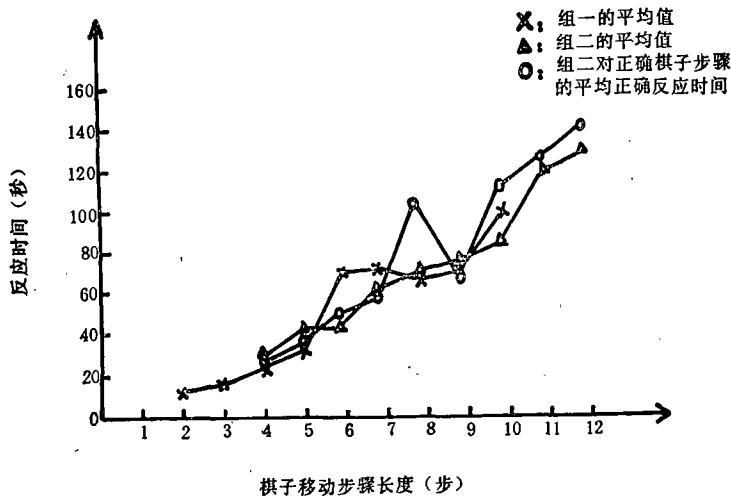


图 4 两个实验组的平均反应时间与棋子移动步骤长度的关系

对反应时间进行配对 t 检验的结果表明,两组的结果间也不存在显著性差异。图 4 显示了两个实验组平均反应时间与棋子移动步骤长度的关系。棋子移动步骤长度与平均反应时间呈线性关系,平均反应时间随棋子移动步骤长度(知觉搜索深度)的增加而增加。

本实验研究了在不实施具体棋子移动的条件下,被试对独粒钻石棋问题进行知觉搜索加工的能力,探讨了表象加工深度的问题。本实验设计尚可做进一步改进,以获得被试这种表象加工的每一个细节,如对每一步棋子移动进行表象加工所用的时间、所用的方法,这种表象加工的能力极限。我们还需要研究表象加工与短时记忆的关系,表象加工深度与表象加工容量的关系。

四、结 论

根据本实验所得到的结果,我们得出的结论是:

1. 在呈现独粒钻石棋问题初始状态与目标状态的情况下,被试有能力完成长达 12 步的棋子移动的知觉搜索加工深度(平均正确反应率 > 60%)。12 步深的知觉搜索加工并不是人类被试进行表象加工的能力极限。

2. 平均反应时间与知觉搜索深度(棋子移动步骤长度)呈线性关系,平均反应时间随知觉搜索深度的增加而增加。

3. 在本实验条件下,被试对棋子移动步骤进行心理表征的能力与他们的数字短时记忆能力之间不存在显著性关系。

参 考 文 献

- [1] Shepard, R. N., & Metzler, J. Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 1971, 171, 701-703.
- [2] Cooper, L. A., Shepard, R. N. Chronometric Studies of the rotation of mental images. In Chase, W. G. (Ed.), *Visual Information Processing*. New York: Academic Press, 1973.
- [3] Carpenter, P. A., Just, M. A. Sentence comprehension: A psycholinguistic processing model of verification. *Psychological Review*, 1975, 82, 45-73.
- [4] Reed, S. K. Structural descriptions and the limitation of visual images. *Memory and Cognition*, 1974, 2, 329-336.
- [5] Kosslyn, S. M., Ball, T. M., and Reiser, B. J. Visual images preserve metric spatial information: Evidence from studies of image scanning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1978, 4, 47-60.
- [6] Kosslyn, S. M. *Image and Mind*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1980.
- [7] 纪桂萍、罗春荣, 表象加工的容量和加工策略研究, *心理学报*, 1989, (1), 18-23.
- [8] 傅小兰, 问题解决过程中策略转换的一项研究, *心理学杂志*, 1987, (9), 22-31.

DEPTH OF PERCEPTUAL SEARCH IN SOLITAIRE CHESS PROBLEM SOLVING

Fu Xiaolan

Institute of Psychology, Academia Sinica

Abstract

The ability of perceptual search was studied by visualizing moves on a stationary chessboard presented on a video monitor. The subjects were 40 students from an Engineering professional school who had previous experiences in the game of Solitaire. Instead of actually moving a particular chesspiece, the subjects were asked to imagine the moves of the chesspieces on the chessboard. The results showed, if the initial state and goal state of the problem were presented, the subjects could accomplish 12 steps of anticipatory moves through perceptual search (average correct response rate was more than 60%); reaction time increased with the increase of steps of anticipatory moves.