

# 基于线索的视觉空间关系判断\*

周荣刚 张侃

(中国科学院心理研究所, 北京 100101)

**摘要** 融合视觉空间关系识别中的类别关系判断和数量(坐标)关系判断,通过4个实验探讨了影响视觉空间关系判断的线索性方面的因素。结果表明:视觉空间关系判断受角度影响不明显;单线索条件下刺激越靠近可视线索,判断绩效越好;多线索条件在不显著延长反应时间的情况下有助于提高视觉空间关系判断的正确率;另外不均匀条件(边界线有一定斜率)不利于视觉空间关系的判断。

**关键词** 视觉空间关系判断,线索,类别空间关系/数量空间关系。

**分类号** B842

## 1 前言

Kosslyn 等人<sup>[1]</sup>指出人们进行空间关系识别时通常有两种不同的表征方式:类别空间关系表征(categorical spatial representation)和数量(坐标)空间关系表征(metric/coordinate spatial representation),且分别由类别关系编码子系统和数量(坐标)位置加工子系统执行的。类别关系编码子系统是以等量级(equivalence class)的方式表征客体空间关系的一般特征(如连接的/非连接的、上/下、左/右、内/外),降低了测量上距离和位置上的变异,有助于客体或场景的识别;数量(坐标)位置加工子系统是以分量级(unequivalence class)的方式表征客体空间关系的差异性特征(如距离的精确比较),这种精确的编码或表征有利于定向和导航。神经心理学的发现支持了两种空间关系表征是由两类加工子系统分别编码的:大脑左半球要比右半球更善于类别空间关系的识别,而右半球要比左半球更善于数量(坐标)空间关系的判断<sup>[1~3]</sup>。

Kosslyn 等人提出两类空间关系后,研究者一方面继续从神经解剖加以探讨,另一方面从模拟神经网络模型考察两类空间关系是否存在<sup>[3~5]</sup>。同时游旭群等人<sup>[6]</sup>比较了两类空间关系的认知加工特性:研究表明负责数量(坐标)空间关系判断的加工子系统受练习效应和年龄效应明显,更多表现出了

认知加工的可塑性和易变性特点;而涉及类别空间关系判断的加工子系统则较少受到练习和老化因素的影响,表现出相对的稳定性或可塑性较低的认知特性。虽然有证据表明两种分离的加工子系统分别执行对两类空间关系的表征,但是这样的加工不是完全独立的,在某个阶段还要趋于融合;在研究方法上以往的研究多采用类别空间关系和数量空间关系分离的范式,本研究采用的实验任务整合了这两种视觉空间关系判断,使任务本身更接近人类视觉空间关系判断的特点。而且以往的视觉空间关系研究几乎没有系统地涉及线索条件对空间关系判断的影响方式。据此本研究基于整合类别空间关系和数量(坐标)空间关系的视觉空间关系任务,旨在通过实验较为系统地考察影响视觉空间关系的因素。

## 2 实验一

旨在初步考察影响视觉空间关系判断的可能因素,如线索呈现的角度、刺激于线索的位置等。

### 2.1 方法

**2.1.1 被试** 29名本科生和研究生,其中6名女生,23名男生,平均年龄为20.08岁(17~25岁)。视力或矫正视力正常,有一定的报酬。

**2.1.2 实验材料和设计** 刺激是由一中心线和一目标圆圈所构成。中心线的大小为205pix(像素) × 13pix(8cm × 0.5cm),视角为10.1° × 0.6°;圆圈的面

收稿日期:2003-05-07

\*国家自然科学基金(30270465)和中科院院长基金的资助项目。

通讯作者:张侃, E-mail: zhangk@psych.ac.cn, 电话:010-64851104

积为  $13\text{pix} \times 13\text{pix}$  ( $0.5\text{cm} \times 0.5\text{cm}$ ), 视角为  $0.6^\circ \times 0.6^\circ$ 。背景为黑色, 圆圈和中心线为白色。学习阶段, 在距离中心线上方  $39\text{pix}$  处两侧各有一细线 ( $10.1^\circ$ ) 作为边界线。通过改动边界线和中心线的距离来控制测试的难度水平, 圆圈在距离边界线两侧  $0$  到  $13\text{pix}$  内为难度测试、在距离边界线两侧  $14\text{pix}$  到  $27\text{pix}$  内为中等难度测试、 $15\text{pix}$  到  $28\text{pix}$  内为容易测试。实验过程中, 中心线的位置在  $20\text{pix}$  内随机呈现, 以免被试记住中心线在屏幕上的位置; 同时圆圈在中心线两端范围内随机出现。图 1 为刺激结构。

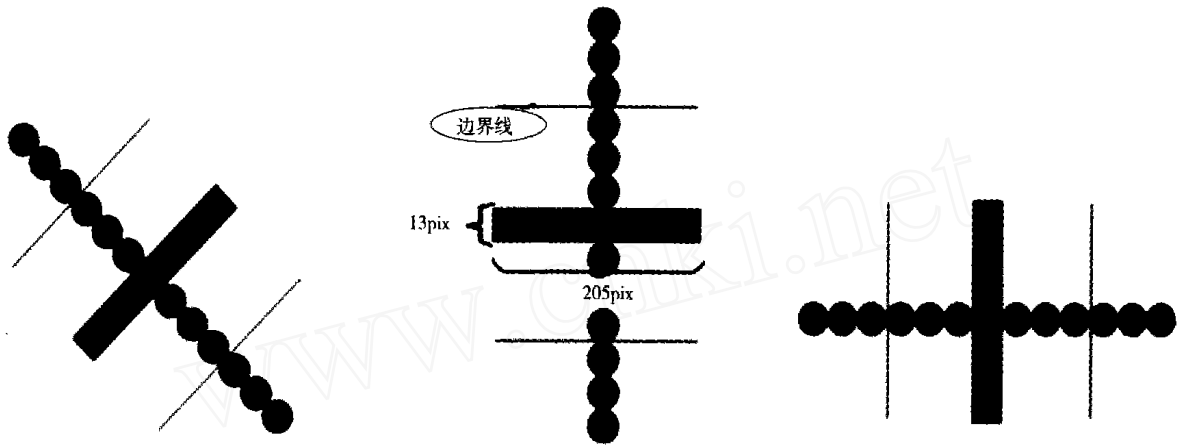


图 1 实验一所采的刺激结构(分别为 45 度、0 度和 90 度)

**2.1.3 实验任务** 基本任务是要求被试判断圆圈是否在由边界线和中心线构成的范围内, 右手食指和中指分别操作“是”键(右小键盘上的 1 键)和“否”键(右小键盘的 2 键)。实验一共设置了 8 个练习测试和 108 个实验测试, 实验测试中水平方向、倾斜方向和竖直方向各 36 次, 在同距离不同位置上圆圈出现两次。就每一方向的测试而言, 中心线两侧和边界线两侧出现圆圈的次数相等, 其中  $1/3$  为容易测试、 $1/3$  为中等难度测试、 $1/3$  为难度测试, 各种条件下的“是”“否”反应各为一半。108 个刺激的呈现顺序均随机化处理。

**2.1.4 实验程序** 实验程序用 E-prime 编制。在练习测试之前, 随机呈现三个方向的中心线及中心线两侧的边界线, 告诉被试各条件下边界线到中心线的距离都是相等的, 被试觉得掌握某条件下该距离时就按空格键观察下一条件的中心线及边界线。之后进行练习测试并提供反馈, 练习后再次随机呈现中心线和边界线, 要求被试一定要注意观察边界线到中心线的距离。正式测试中边界线消失, 被试左手按空格键之后出现一个中心线和圆圈, 根据记

忆用右手进行判断。本实验为  $3 \times 2 \times 2 \times 3$  的 4 因素被试内设计。因素 1 为线索呈现的角度, 有三个水平(见图 1); 因素 2 为刺激(圆圈)于可视线索(中心线)的位置, 有两个水平: 顺时针而言, 刺激于水平方向可视线索的上方、于倾斜方向可视线索的斜上方和于竖直方向可视线索的右方均为该因素的水平 1, 反之为水平 2(见图 1); 因素 3 为刺激于记忆线索(边界线)的位置, 即刺激是否在记忆线索和可视线索构成的范围内; 因素 4 为难度, 有容易测试、中等难度和难度三个测试水平。因变量为判断正确率和反应时。

忆用右手进行判断。

## 2.2 结果

就平均成绩而言, 水平方向呈现线索 ( $M_{\text{反应时}} = 703.21\text{ms}$ 、 $M_{\text{正确率}} = 91.57\%$ ) 的情况下, 视觉空间关系判断要略微好于倾斜方向呈现线索情况下的判断 ( $M_{\text{反应时}} = 703.54\text{ms}$ 、 $M_{\text{正确率}} = 90.04\%$ ), 而竖直方向的判断最差 ( $M_{\text{反应时}} = 706.06\text{ms}$ 、 $M_{\text{正确率}} = 89.08\%$ ), 但是方差分析发现线索呈现的角度对视觉空间关系判断并没有显著影响, 反应时和正确率的  $F$  值分别为  $0.22$  ( $p = 0.81$ ) 和  $0.44$  ( $p = 0.64$ ); 刺激于可视线索的位置对视觉空间关系判断影响也不明显, 反应时和正确率的  $F$  值分别为  $0.65$  ( $p = 0.42$ ) 和  $2.02$  ( $p = 1.56$ )。难度和刺激于记忆线索的位置对视觉空间关系判断有明显影响(正确率和反应时的平均数见表 1)。就难度而言, 随着难度水平的降低, 正确率逐渐增加,  $F(2, 56) = 122.47$ ,  $p < 0.001$ ; 反应时逐步增长,  $F(1, 28) = 95.74$ ,  $p < 0.001$ 。就刺激于记忆线索的位置而言, 当刺激出现在记忆线索和可视线索构成的范围内时, 视觉空间关系判断要比对该范围外出现的刺激判断准确,  $F(1, 28) =$

145.583,  $p < 0.001$ , 反应时要短,  $F(1, 28) = 108.864$ ,  $p < 0.001$ 。难度和刺激于记忆线索的位置之间, 交互作用显著: 反应时,  $F(2, 56) = 10.02$ ,  $p <$

$0.001$ ; 正确率,  $F(2, 56) = 28.58$ ,  $p < 0.001$ 。其他交互作用不明显。

表 1 不同范围不同难度上的视觉空间关系判断的平均反应时(ms)和正确率(%)

细线和中心线构成的范围	反应时间			正确率		
	容易测试水平	中等难度测试	难度测试水平	容易测试水平	中等难度测试	难度测试水平
范围内	585.46(115.47)	600.07(151.94)	737.30(246.55)	99.62(3.56)	98.85(6.10)	94.44(14.37)
范围外	663.90(151.53)	729.93(190.57)	970.21(401.49)	96.93(11.48)	92.53(19.34)	59.00(39.65)

## 2.3 讨论

实验结果表明基于线索的视觉空间关系判断受线索呈现角度影响不明显; 作为视觉空间关系判断的基本条件, 线索不会单独(刺激于可视线索的位置)而是与记忆中的线索结合起来(刺激于记忆线索的位置、难度)影响空间关系的识别。但是由于没有考察手指按键和“是”“否”反应之间是否存在差异, 所以有必要进一步验证刺激于记忆线索和可视线索范围内的优势是否确实存在。

## 3 实验二

改变刺激呈现和任务反应模式, 旨在进一步考察刺激与记忆线索不同位置是否是影响视觉空间关系判断的因素。

### 3.1 方法

**3.1.1 被试** 18 名本科生, 8 名女生, 10 名男生, 平均年龄为 20.05 岁(18~21 岁)。视力或矫正视力正常, 有一定的报酬。

**3.1.2 实验材料和设计** 刺激是由一水平中心线和一个圆圈所构成。中心线的大小为 205pix × 13pix, 视角为  $10.1^\circ \times 0.6^\circ$ ; 圆圈的面积为 13pix × 13pix, 视角为  $0.6^\circ \times 0.6^\circ$ 。背景为黑色, 圆圈和中心线为白色。学习阶段, 在距离中心线上方 39pix 处有一细线作为边界线 ( $10.1^\circ$ )。通过改变边界线和中心线的距离来控制测试的难度水平, 圆圈在距离边界线两侧 0 到 13pix 内为难度测试、在距离边界线两侧 14pix 到 27pix 内为中等难度测试、15pix 到 28pix 内为容易测试。实验过程中, 在 20pix 区域内随机以 13pix 移动中心线, 以免被试记住中心线在屏幕上的位置。图 2 为刺激结构。

本实验为 2 × 3 的二因素被试内设计。自变量有: (1) 圆圈相对于边界线的位置, 两个水平: 圆圈在边界线的上方和圆圈在边界线的下方; (2) 难度, 有容易测试、中等难度和难度测试三个水平。因变量为判断正确率和反应时。

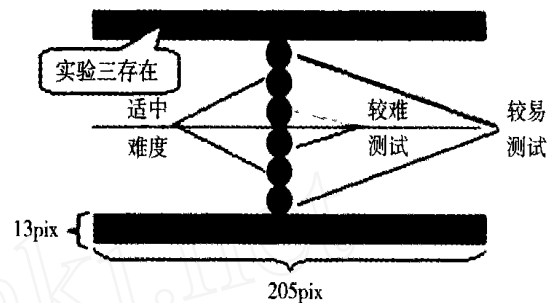


图 2 实验二和实验三所采用的刺激结构

**3.1.3 实验任务** 实验一共设置了 8 个练习刺激和 42 个实验刺激(其中每个难度水平的刺激要在位移相等的 7 个位置各出现一次), 每个实验刺激出现 2, 被试共要作 92 次判断。基本任务是要求被试用右手食指和中指按小键盘上“1”或“2”键来判断圆圈是在边界线的上方还是在边界线的下方, 有一半被试按“1”表示圆圈在细线的上方、按“2”表示圆圈在细线的下方, 另一半被试按“1”表示圆圈在细线的下方、按“2”表示圆圈在细线的上方。就每一情况测试而言, 1/3 为容易测试、1/3 为中等难度测试、1/3 为难度测试。84 个实验刺激的呈现顺序均随机化处理。

**3.1.4 实验程序** 实验程序用 E-prime 编制。在练习测试之前, 呈现中心线及边界线, 被试觉得掌握边界线到中心线的距离后进行练习测试并提供反馈, 之后再次随机呈现中心线和边界线, 要求被试一定要注意观察边界线到中心线的距离。在正式测试中边界线消失, 被试左手按空格键之后出现一个中心线和圆圈, 根据记忆用右手进行判断。

### 3.2 结果

实验结果进行方差分析。难度和刺激于记忆线索的位置对视觉空间关系判断有明显影响(正确率和反应时的平均数见表 2)。就难度而言, 随着难度水平的降低, 正确率逐渐增加,  $F(2, 34) = 29.57$ ,  $p < 0.001$ (中等难度和容易测试间的判断差异不明

显),反应时逐步增长,  $F(1,17) = 11.11, p < 0.001$  (中等难度和容易测试间的判断差异不明显)。就刺激于记忆线索的位置而言,当刺激出现在记忆线索和可视线索构成的范围内时,视觉空间关系判断要比该范围外出现的刺激判断准确,  $F(1,17) = 14.62, p < 0.001$ ,反应时要短,  $F(1,17) = 12.62, p < 0.001$ 。难度水平和刺激于记忆线索位置之间的交互作用对正确率有显著影响,  $F(2,34) = 10.49, p < 0.001$ ;对

反应时没有显著影响,  $F(2,34) = 1.69, p > 0.05$ 。

### 3.3 讨论

结果初步证实了刺激于记忆线索的位置是影响视觉空间关系的重要因素,当刺激出现在边界线下方(记忆线索和可视线索构成的范围内)时视觉空间关系识别优于刺激出现于边界线上方(记忆线索和可视线索构成的范围外)时的空间关系识别,而且刺激越接近边界线判断难度越大。

表2 一个中心线不同范围不同难度上的视觉空间关系判断的平均反应时(ms)和正确率(%)

细线和中心线构成的范围	反应时间			正确率		
	容易测试水平	中等难度测试	难度测试水平	容易测试水平	中等难度测试	难度测试水平
范围内	492.21(64.37)	525.80(99.07)	571.68(106.30)	98.41(3.05)	96.43(4.42)	90.87(10.04)
范围外	550.49(96.70)	562.77(81.79)	698.57(170.54)	96.03(8.91)	96.43(3.68)	70.63(20.19)

## 4 实验三

考察多线索条件下,刺激于记忆线索的位置效应是否依然存在。

### 4.1 方法

#### 4.1.1 被试 同实验二

4.1.2 实验材料和设计 刺激由两个水平放置的中心线和一个圆圈构成,两个中心线的距离为78pix,学习阶段呈现的边界线到两个中心线的距离相等。刺激结构见图2,其他同实验二。

#### 4.1.3 实验任务和程序 同实验二

## 4.2 结果

实验结果进行方差分析。发现难度对判断的正确率和反应时间(正确率和反应时的平均数见表3)影响显著,随着难度水平的降低而反应正确率增加,  $F(2,34) = 3.12, p = 0.048$  (中等难度和容易测试间的判断差异不明显),反应时间增长,  $F(2,34) = 5.10, p = 0.008$ ;刺激于记忆线索的位置效应消失,对视觉空间关系的判断正确率和反应时(正确率和反应时的平均数见表3)都没有显著的影响,  $F$  值分别 0.172 ( $p = 0.68$ ) 和 0.998 ( $p = 0.32$ )。二者之间也不存在交互作用。

表3 两个中心线不同范围不同难度上的视觉空间关系判断的平均反应时(ms)和正确率(%)

刺激于记忆线索的位置	反应时间			正确率		
	容易测试水平	中等难度测试	难度测试水平	容易测试水平	中等难度测试	难度测试水平
边界线下方	520.65(52.02)	564.37(28.10)	604.17(100.96)	97.22(5.55)	94.44(8.68)	93.25(7.13)
边界线上方	531.98(80.37)	535.28(73.68)	656.62(147.58)	96.03(6.11)	92.46(5.18)	92.46(7.93)

### 4.3 讨论

结果表明多线索条件下,难度水平是唯一影响视觉空间关系识别的因素,刺激于边界线上方还是下方对判断没有显著的影响。

## 5 实验四

以上实验考察的均是均匀空间中,视觉空间关系识别过程中线索利用的情况,实验四的目的在于考察影响均匀空间中物体关系识别的因素是否依然影响非均匀空间中视觉空间关系的判断。

### 5.1 方法

#### 5.1.1 被试 同实验二

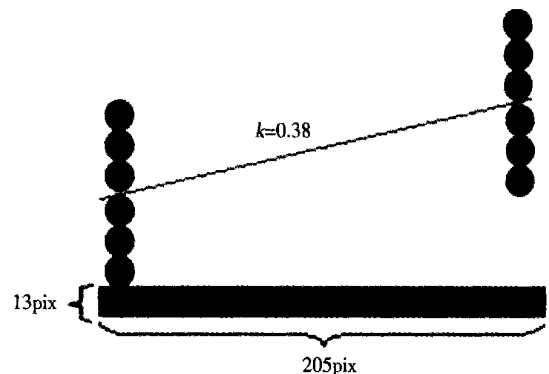


图3 实验四所采用的刺激结构(离细线越近,难度越大)

#### 5.1.2 实验材料和设计 刺激是由一水平中心线

和一个圆圈所构成。学习阶段,有一斜线(斜率为 0.38)作为边界线,该线左端到中心线的距离为 39pix、右端到中心线的距离为 78pix。通过改边界线和中心线的距离来控制测试的难度水平,圆圈在距离边界线两侧 0 到 13pix 内为难度测试、在距离边界线两侧 14 到 27pix 内为中等难度测试、15 到 28pix 内为容易测试。实验过程中,在 20pix 区域内随机以 13pix 移动中心线,以免被试记住中心线在屏幕上的位置。图 3 为刺激结构。

### 5.1.3 实验任务和程序 同实验二

## 5.2 结果

表 4 一个中心线不同范围不同难度上的视觉空间关系判断的平均反应时(ms)和正确率(%)

细线和中心线构成的范围	反应时间			正确率		
	容易测试水平	中等难度测试	难度测试水平	容易测试水平	中等难度测试	难度测试水平
范围内	700.72(155.12)	786.31(281.35)	1033.99(564.5)	94.44(8.33)	88.89(12.06)	75.66(17.10)
范围外	796.29(251.66)	827.85(323.81)	1016.86(478.86)	92.06(10.07)	89.68(10.18)	66.67(22.98)

## 6 总讨论

基于本研究的模式,实验一的结果表明视觉空间关系的判断受线索角度(中心线放置的角度)、刺激呈现区域(中心线的两侧)影响不明显;随着难度水平的逐步增加正确率降低、反应时增长,不存在速度和正确率间的权衡问题,这与以往的研究一致;同时发现被试对出现在由边界线和中心线构成区域内的刺激判断成绩明显高于对出现在该区域外的刺激判断成绩。但是在实验一中,被试反应的模式是:判断刺激落在区域内按“是”键、判断刺激落在区域外按“否”键,没有考虑手指按键和“是”“否”反应之间是否存在差异。实验二改变反应模式:按“1”或“2”键判断刺激在边界线的上方还是下方,结果证实了对出现在由边界线和中心线构成区域内的刺激判断成绩明显高于对出现在该区域外的刺激判断成绩。此类视觉空间关系判断中,被试依据的线索只能是刺激(圆圈)与中心线之间的距离和记忆中边界线与中心线之间的距离,如果能很准确地掌握中心线与边界线的距离,则对边界线上方和下方的判断应该没有显著差异,所以对边界线上方的判断成绩低于下方的判断成绩可以认为是由于边界上方的刺激距中心线远而造成的。所以当增加可视线索后(实验三),刺激于记忆线索(边界线)和可视线索(中心线)所构成范围内外的差异就消失了,这种情况下刺激于记忆线索的不同位置对视觉空间关系判断的影响差异消失,可以解释为计算刺激与中心线之间的距

实验结果进行方差分析。发现难度对非均匀视觉空间关系识别影响依然明显(正确率和反应时的平均数见表 3),随着难度水平的降低而反应正确率增加, $F(2,34) = 24.15, p < 0.001$ (中等难度和容易测试间的判断差异不明显),反应时间增长, $F(2,34) = 6.02, p = 0.003$ ;刺激于落在边界线上方还是下方对这种空间关系的识别没有显著的影响(正确率和反应时的平均数见表 3),正确率和反应时的  $F$  值分别为  $0.89 (p = 0.67)$  和  $1.63 (p = 0.21)$ 。二者间的交互作用不明显。

离难度降低、时间缩短。进一步的  $t$  检验发现被试在多线索和单线索两种情况下反应时( $t_{\text{实验三}-\text{实验二}}(17) = 0.89, p > 0.05$ )没有显著差异,而正确率( $t_{\text{实验三}-\text{实验二}}(17) = 2.50, p < 0.05$ )之间的差异明显。一定程度上实验三表明在不明显影响视觉空间判断时间的情况下增加可视线索既可以提高判断的正确率又可以消除由刺激于记忆线索上或下带来的判断差异。这暗示在相关视觉空间判断任务及其辅助界面设计中可以考虑适当增加线索,以提高判断正确率、消除判断差异。实验四的结果也表明当边界线有一定的斜率后也可以消除边界线上方或下方的刺激判断之间的差异,但是这是以降低视觉空间关系判断正确率( $t_{\text{实验四}-\text{实验二}}(17) = -4.52, p < 0.001$ )、延长反应时间为代价的( $t_{\text{实验四}-\text{实验二}}(17) = -4.29, p > 0.001$ )。

本研究所采用的任务融合了 Kosslyn 等人<sup>[1,2]</sup>提出的类别空间关系和数量(坐标)空间关系判断,视觉空间关系判断本身是一项很复杂的高级认知加工过程,所谓的类别空间关系判断和数量空间关系判断不是截然分开的,结合二者更容易客观的探讨视觉空间关系判断的影响因素,对基于线索的视觉空间关系判断的研究有利于认识人类空间场景和视觉图像的记忆表征模型的建立或验证<sup>[7]</sup>。另一方面,划分两类视觉空间关系判断的意义在于探讨视觉空间关系判断的神经生物学基础、揭示其机制,实际上在我们看来类别空间关系判断是一种定性判断而数量(坐标)空间关系判断则是定量判断,如果神经

理学的研究能够继续支持两类视觉空间关系判断是由两类加工子系统分别执行且存在脑半球效应,那么其他定量定性判断(如概念关系判断)是否也存在这样的脑功能分区?这是值得继续探讨的问题。

### 参 考 文 献

- 1 Kosslyn S M. Seeing and imagining in the cerebral hemispheres: A computational approach. *Psychological Review*, 1987, 94(2): 148 ~ 175
- 2 Hellige J B, Michimata C. Categorization versus distance: Hemispheric difference for processing spatial information. *Memory & Cognition*, 1989, 17(6): 770 ~ 776
- 3 Kosslyn S M, Chahris C F, Marsolek C M. Categorical versus coordinate spatial representation: Computational analyses and computer simulations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1992, 18(3): 562 ~ 577
- 4 Cook N D, Fruh H, Landis T. The cerebral hemispheres and neural network simulations: Design consideration. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1995, 21(2): 410 ~ 422
- 5 Baker D P, Chahris C F, Kosslyn S M. Encoding Categorical and coordinate spatial relations without input - output correlations: New simulation Models. *Cognitive Science*, 1999, 23(1): 33 ~ 51
- 6 You X Q, Yang Z L. Cognitive process in visuospatial relations encoding (In Chinese). *Acta Psychologica Sinica*, 2002, 34(4): 344 ~ 350 (游旭群, 杨治良. 视觉空间关系识别中的认知加工特性. *心理学报*, 2002, 34(4): 344 ~ 350)
- 7 Bollaert M. A connectionist model of the processes involved in generating and exploring visual mental images. In: ?Nuall á n Se á n ed. *Spatial cognition: Foundations and applications*. Amsterdam/ Philadelphia: John Benjamins, 2000. 329 ~ 346

## VISUOSPATIAL RELATIONS JUDGMENT BASED ON CLUE

Zhou Ronggang, Zhang Kan

(*Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*)

### Abstract

It has been hypothesized that there are two different kinds of spatial-relation representations in the human brain: categorical and coordinate spatial relations representations. With integrating categorical spatial relation and metric/ coordinate spatial relation, this study examined the visuospatial relations judgment based on clue. Experiment 1 was conducted to test the effect from different degrees on visuospatial relations judgment. It was found that the effect was not significant. The results of Experiment 2 with one clue showed that when target was input of scope made of central clue and borderline, the judgment was faster than target was output of the scope. The input/output effect was not confirmed by experiment 3&4, which were carried out with double clue slope clue ( $k=0.38$ ) on visuospatial relations judgment.

**Key words** visuospatial relation judgment, input/output effect, clue.