

多目标追踪任务中不同运动方式非目标的抑制机制*

张学民^{1,2} 刘冰¹ 鲁学明²

(¹北京师范大学心理学院, 北京 100875) (²认知神经科学与学习国家重点实验室, 北京 100875)

摘要 采用多目标追踪范式结合点探测技术的方法, 考察视觉系统对不同运动方式(静止和规则运动)非目标的抑制机制。实验一将部分非目标设置为静止, 考察静止非目标的抑制机制; 实验二将部分非目标设置为规则运动, 以提高任务难度, 考察规则运动非目标的抑制机制。结果发现: (1) 实验一中静止非目标受到抑制, 抑制量与运动非目标没有差异; (2) 实验二中规则运动非目标受到抑制, 抑制量显著小于随机运动非目标; (3) 综合两实验发现, 随着任务难度的提高, 只有随机运动非目标的抑制量显著增加, 而静止非目标与规则运动非目标的抑制量差异不显著。最后, 就视觉系统对不同运动方式非目标的抑制机制进行了讨论。

关键词 多目标追踪; 抑制; 视觉标记; 运动方式

分类号 B842

1 引言

1.1 多目标追踪范式

多目标追踪(Multiple object tracking, MOT)的研究起源于人工智能, Pylyshyn 和 Storm(1988)最初通过实验发现, 人的视觉注意系统可以同时追踪多个目标。在经典的 MOT 实验中, 每个试次(trial)首先呈现给被试若干(8~10 个)静止的、特征相同的对象(如圆环或“日”形符号), 其中几个对象以闪烁的形式标记为目标, 然后所有对象在一个特定区域内作随机运动或按某种算法计算的轨迹运动, 要求被试尽量追踪开始阶段闪烁的目标。所有对象运动持续时间为 7-15 秒, 运动停止后, 被试的任务是从所有对象中用鼠标将目标标记出来。结果表明, 被试普遍可以追踪 4~5 个目标, 并且追踪正确率不低于 85%(Pylyshyn & Storm, 1988)。该范式是目前研究视觉注意系统对多目标追踪规律及其机制的主要方法之一。

1.2 多目标追踪任务中的抑制机制

在 MOT 任务中, 目标与非目标在特定区域内随机运动, 即使难度提高或相互重叠, 被试仍能够追踪 4-5 个目标(Scholl & Pylyshyn, 1999; Pylyshyn,

2001)。但这只说明被试能从所有对象中辨认出目标, 是否能够对目标的身份进行准确识别呢? 即不但能够区分目标与非目标, 还能够对不同目标的身份进行区分。Pylyshyn 通过实验对上述问题进行了研究(Pylyshyn, 2004), 在追踪开始阶段, 对每个目标赋予唯一的身份标识(如数字 1、2、3、4 或目标初始位置左上、右下等), 在追踪任务完成后, 被试不仅要指出哪个对象是目标, 还要辨认目标的最初身份(数字标识或初始位置)。结果发现, 被试虽然能够正确追踪目标, 但却不能准确地回忆目标的身份。进一步研究发现, 被试更容易混淆目标与目标之间的身份, 而不是目标与非目标之间的身份。

Sears 与 Pylyshyn(2000)在另一项研究中, 要求被试对一系列“日”形符号进行追踪, 在追踪过程中一个目标或非目标发生形变(从“日”变到“E”或“H”), 被试要在追踪目标的过程中对形变进行报告。结果发现, 对目标形变的觉察速度要明显快于非目标, 即使非目标发生形变时靠近目标, 觉察速度也没有明显提高。综合上述结果, Pylyshyn 等人(2000)认为, 被试可能为了能够顺利完成追踪任务, 对非目标进行了有效的抑制, 并认为这种抑制机制可以用自上而下的视觉标记理论(Visual Marking)来解释。

收稿日期: 2009-06-30

* 北京市教委和科委 2008-2009 年度(北京市重点实验室)规划项目资助(JD100270541)。

通讯作者: 张学民, E-mail: xmzhang@bnu.edu.cn

视觉标记理论是由 Watson 和 Humphreys(1997)通过视觉搜索的研究提出的,他们采用预搜索(preview search)范式对视觉搜索能力进行研究,即改变传统视觉搜索中常用的单一特征搜索(single feature search)与联合特征搜索(conjunction search)任务,分两次呈现刺激。在实验任务中,先呈现一部分刺激,间隔 1000ms 后再呈现另一部分刺激,目标只会出现在后呈现的刺激中。结果发现,在预搜索任务中,被试的搜索速度明显快于联合特征搜索任务,与单一特征搜索任务非常接近。Watson 和 Humphreys 认为,在预搜索范式中,被试能够对先呈现的刺激进行抑制,从而减小搜索的范围,所以搜索速度接近于单一特征搜索任务,与联合特征搜索任务有显著差异。Watson 和 Humphreys(2000)在预搜索范式中加入点探测技术(probe dot),发现被试对先出现刺激位置上的点探测觉察率低于后出现刺激的位置,证明了上述抑制机制的存在。这种抑制与追踪任务中非目标的抑制机制基本一致。

视觉标记理论提出以后,许多研究者对其抑制机制进行了研究,目前的研究结果主要支持如下两种观点:基于位置(location-based)的抑制(Watson & Humphreys, 1997, 2000; Kunar, Humphreys, Smith & Watson, 2003)和基于特征(feature-based)的抑制(Olivers & Humphreys, 2003; Watson & Humphreys, 2002; Jiang, Chun, & Marks, 2002; 郝芳, 傅小兰, 2006)。对于两者之间的关系尚无定论,目前研究者倾向于认为两种抑制机制可能发生在视觉选择的不同水平上。

Pylyshyn 等人(Pylyshyn, 2006; Pylyshyn, Haladjian, King, & Reilly, 2008; Flombaum, Scholl, & Pylyshyn, 2008)利用点探测技术,就 MOT 任务中视觉系统对非目标的抑制机制进行了研究。在实验中,被试的主要任务还是对目标(圆环)进行追踪,在追踪目标的同时,要求被试注意是否有红色方块(探测刺激)出现。通过对探测刺激的觉察率来判断红色方块出现位置的抑制水平,觉察率越低,说明抑制越大。结果发现,当探测刺激出现在非目标上时,觉察率显著低于出现在目标和空白区域时的觉察率,说明非目标受到抑制;且非目标上的探测刺激觉察率显著小于非目标附近(圆环外一个半径的距离内)的探测刺激觉察率,说明非目标附近区域并没有受到抑制,抑制仅集中在非目标上。可见 MOT 任务中的主要机制是对非目标的有效抑制。这与 Watson 等人(1997; 2000)预搜索范式的研究结果一致。

关于视觉系统中的抑制问题,目前主要有两类可能的解释:(1)通过视觉标记的研究提出的基于位置的抑制和基于特征的抑制的两种假设。(2)通过返回抑制(Inhibition of return, IOR)的研究提出基于位置的抑制和基于客体的抑制的两种假设。而 MOT 任务中的抑制问题,即为什么抑制作用会局限于非目标,而没有波及到非目标运动经过的空白区域,Pylyshyn 认为可以用视觉标记中基于特征的抑制,或返回抑制中基于客体的抑制加以解释。视觉标记中基于特征的抑制,即抑制本身不会随着非目标运动,而是以一种全局的方式指向非目标。抑制作用可能包括了具有某种共同特征(如颜色,形状或运动方式)的所有未被注意的对象,而且这种选择性抑制具有很强的任务目的相关性(depend on the goals of the task),即只有影响任务的非目标会受到抑制,对任务没有影响的非目标不会受到抑制。而返回抑制中基于客体的抑制,即抑制发生在被标记的非目标上,并与非目标的运动变化绑定,无论非目标运动到什么位置,抑制都始终伴随着非目标。某些返回抑制的研究(Tipper, Weaver, Jerreat, & Burak, 1994; Jordan & Tipper, 1998)和 Ogawa 等人(Ogawa, Takeda, & Yagi, 2002)关于抑制标签(Inhibitory tagging)的研究,支持了这个假设。

根据上述研究结果以及 Pylyshyn 等提出的解释,可以提出如下假设:(1)在 MOT 任务中对非目标的抑制若是基于特征的,那么抑制机制应具有很强的任务目的相关性。因此,在外观或运动方式上与目标相同的非目标会受到有效抑制,当某些非目标在特征上(如位置和运动方式)与目标有明显区别时,被试在追踪过程中可以很容易的将这些非目标与目标区分开,这些非目标上的抑制会被降低。(2)若是基于客体的抑制,那么无论非目标是否与目标容易区分,都会受到抑制。本研究针对上述假设,通过静止非目标和规则运动非目标的 MOT 任务,考察视觉系统对与目标运动方式不同的非目标的抑制机制。在实验一的 MOT 任务中设置部分静止非目标,考察视觉系统对静止非目标抑制情况;由于静止非目标在一定程度上降低了追踪任务的难度,因此可能导致视觉系统对所有非目标抑制量的降低;所以在实验二中设置部分规则运动非目标(作垂直或水平的反复运动),提高任务难度,进一步探讨与目标运动方式不同的非目标的抑制机制。

2 实验一: MOT 任务中对静止非目标的抑制

实验一采用 MOT 任务和点探测技术, 设置部分静止非目标, 考察 MOT 任务中对静止非目标的抑制情况。

2.1 被试

被试为某大学在校本科生 51 名, 男女数量相当, 年龄 18~20 岁, 所有被试视力或矫正视力正常, 颜色知觉正常, 完成实验后获取一定报酬。

2.2 实验设计

实验采用 2(任务类型: 无追踪任务和有追踪任务)×4(探测刺激出现位置: 空白区域、目标、静止非目标和运动非目标)组内设计, 因变量为探测刺激觉察率, 追踪正确率和抑制量。其中无追踪任务是作为基线水平, 排除四个不同位置的物理属性差异对探测刺激觉察率的影响。用无追踪任务下的觉察率减去追踪任务中的觉察率, 即为抑制量 (Pylyshyn, 2006)。在无追踪任务中, 所有情况与追踪任务相同, 只是在每一试次开始时没有目标闪烁的阶段, 结束后不需要被试报告目标。追踪正确率的计算方法如下: 每试次追踪正确率为被试正确选择目标数占目标总数的比率(目标总数固定为 4 个, 若被试正确选择了 3 个目标, 则追踪正确率为 75%; 选中 4 个目标则为 100%), 总追踪正确率即为各试次追踪正确率的平均值。

2.3 实验仪器与材料

实验仪器为 P4 2.8 台式计算机, 显示设备为 17 英寸纯平 CRT 监视器。屏幕分辨率设定为 1024×768pixel(每 pixel 约为 0.032cm), 垂直刷新频率为 85Hz。采用 C#编程语言对微软 GDI+ 图形接口进行编程, 实验时间控制使用微软 .Net Framework 中的 Stopwatch 类, 精度可以达到 1ms。调高实验程序在 Windows 系统中的进程优先级为高(仅次于实时级), 最大可能避免其它应用程序对实验程序的干扰, 保证实验时间控制的精确。

实验材料如图 1 所示。显示屏距被试双眼约 50cm, 刺激呈现区域为屏幕中央 800×600pixel(水平视角 85°, 垂直视角 66°)的白线方框(宽度 2 pixel, 约 0.2°), 背景为黑色。

运动对象为直径 40pixel(约 3.75°)的圆环, 有 2 pixel 宽的白色轮廓, 内部填充色为与背景一致的黑色。探测刺激是直径为 8 pixel(约 0.8°)的红色实心圆, 呈现在运动对象的中心或空白区域。在追踪

区域的中心始终有一个黄色的十字形注视点。所有对象在追踪区域内的初始位置随机分布, 各个对象之间的距离大于圆环直径, 对象的初始位置距离追踪区域边框不小于两倍直径。各个对象的运动是完全独立的, 即不使用碰撞检测算法, 在运动过程中, 会有遮挡的情况出现, 但呈现探测刺激的对象始终处于最前端, 因此不会有探测刺激被遮挡的情况出现。

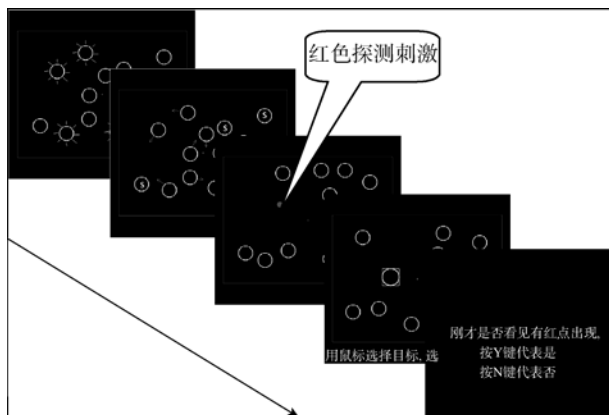


图 1 实验过程图示

对象运动的具体算法为: 每一个对象在试验开始时被赋予水平与垂直运动的初始值, 其大小为每帧 0 ± 3 pixel, 任何一个对象的水平与垂直初始速度不能同时为零。每一帧对象的位置由上一帧的位置及运动速度决定, 对象的运动速度按每帧 5% 的概率随机改变, 这样既保证了对象运动轨迹不可预测, 也保证了对象速度变化在一定范围内相对恒定, 避免突然变化影响被试的追踪。

2.4 实验过程

追踪任务过程如图 1 所示: 每个试次由被试按空格键开始, 第 1 秒内所有对象静止不动, 事先设定的目标对象闪烁提示, 从第 2 秒开始目标与运动非目标(见图中有箭头标识)开始随机运动, 静止非目标(图中以 S 标识, 正式实验中没有标识)固定不动; 探测刺激(红点)在追踪过程中的第 3 秒或第 4 秒随机呈现, 呈现时间为 141ms(6 帧), 探测刺激随机出现在四种位置上: 目标、空白区域、静止非目标和运动非目标(图 1 所示为探测刺激出现在空白区域的情形); 5 秒后运动停止, 要求被试选择目标, 选择时间为 20 秒, 选择完成后被试回答是否发现探测刺激, 若发现按 Y 键, 未发现按 N 键。回答完问题后开始下一试次。无追踪任务所有情况与追踪任务相同, 只是在每个试次开始时没有目标闪烁的

阶段, 结束后不需要被试报告目标。整个实验过程要求被试注视中央十字形注视点。

被试首先进行无追踪任务, 探测刺激可能出现的每种位置条件各 20 试次, 四种位置共 80 次, 其中一半有探测刺激出现, 所有试次顺序随机呈现。无追踪任务完成后, 被试进行追踪任务。在追踪任务中, 探测刺激可能出现的四种位置条件与无追踪任务相同, 每种条件 40 试次, 共 160 次, 其中一半有探测刺激出现, 所有试次顺序随机呈现。每 55 次要求被试休息 2 分钟, 一共休息两次。两种任务正式实验前均有练习以保证被试熟悉实验过程。

2.5 实验结果

2.5.1 追踪正确率

追踪任务中, 平均追踪正确率为 $94.8\% \pm 3.2\%$ 。对探测刺激出现在四种不同位置的追踪正确率进行重复测量方差分析, 探测刺激出现位置主效应不显著, $F(3, 150)=1.35, p>0.1$ (探测刺激出现在四种位置时追踪正确率分别为, 目标: $95.4\% \pm 3.7\%$; 运动非目标: $94.8\% \pm 5.0\%$; 空白区域: $94.5\% \pm 4.2\%$; 静止非目标: $94.3\% \pm 4.3\%$)。对探测刺激是否出现两种情况的追踪正确率进行配对样本 t 检验, 差异不显著, $t(50)=0.70, p>0.1$ (有探测刺激出现: $94.7\% \pm 3.5\%$; 无探测刺激出现: $94.9\% \pm 3.1\%$)。上述结果说明, 探测刺激出现与否以及探测刺激出现位置不会影响被试完成追踪任务。因此探测刺激觉察率的结果是可靠的。

2.5.2 探测刺激觉察率

无追踪任务中, 对探测刺激出现在三种不同位置(由于没有追踪任务, 所以不分目标、非目标, 三种位置为: 空白区域、静止对象和运动对象)的觉察率进行重复测量方差分析发现, 探测刺激出现位置主效应显著, $F(2, 100)=111.55, p<0.001$, 事后比较发现, 三种位置之间均有显著差异(空白区域与固定对象: $MD=0.03, p<0.05$; 空白区域与运动对象: $MD=0.22, p<0.001$; 固定对象与运动对象: $MD=0.18, p<0.001$)。觉察率数据见表 1(由于无追踪任务不分目标、非目标, 表中目标与运动非目标的数据均为运动对象的数值)。

同样, 对追踪任务中探测刺激出现在四种位置(目标、空白区域、静止非目标和运动非目标)的觉察率进行重复测量方差分析, 位置主效应显著, $F(3, 150)=116.97, p<0.001$, 事后比较发现, 四种位置之间两两差异显著(空白区域与目标: $MD=0.17, p<0.001$; 空白区域与静止非目标: $MD=0.09, p<0.001$;

空白区域与运动非目标: $MD=0.28, p<0.001$; 目标与静止非目标: $MD=-0.08, p<0.001$; 目标与运动非目标: $MD=0.11, p<0.001$; 静止非目标与运动非目标: $MD=0.20, p<0.001$)。觉察率数据见表 1。

如果只从追踪任务中的探测刺激觉察率看, 似乎静止非目标并没有受到抑制, 但是在无追踪任务中, 静止对象上探测刺激的觉察率显著高于运动对象的觉察率。因此, 对于追踪任务下静止非目标上的抑制水平的考察必须结合无追踪任务下的觉察率来分析。

将追踪任务与无追踪任务探测刺激觉察率结合起来比较, 进行两因素重复测量方差分析, 得出如下结果: (1) 任务主效应显著, $F(1, 50)=38.56, p<0.001$; (2) 探测刺激出现位置主效应显著, $F(3, 150)=175.34, p<0.001$; (3) 交互效应显著, $F(3, 150)=16.46, p<0.001$, 说明在两种任务下, 探测刺激觉察率在不同位置上的变化是不一致的。对无追踪与有追踪任务中四种位置探测刺激觉察率进行配对检验发现: 除目标位置差异不显著外($t(50)=-0.46, p>0.1$), 其它位置上觉察率均具有显著差异(空白区域: $t(50)=4.18, p<0.001$; 静止非目标: $t(50)=6.28, p<0.001$; 运动非目标: $t(50)=6.05, p<0.001$)。可见, 与无追踪任务相比, 追踪任务中除目标外, 其它三种位置均受到了不同程度的抑制。

表 1 实验一两种任务探测刺激出现在不同位置的觉察率

探测刺激出现位置	无追踪任务	有追踪任务
空白区域	$97.8\% \pm 5.4\%$	$94.0\% \pm 5.2\%$
目标	$76.1\% \pm 11.9\%$	$76.8\% \pm 11.5\%$
静止非目标	$94.5\% \pm 9.0\%$	$85.2\% \pm 11.8\%$
运动非目标	$76.1\% \pm 11.9\%$	$65.6\% \pm 12.2\%$

2.5.3 抑制量

基于两种任务综合分析的结果, 用无追踪任务中的觉察率减去追踪任务中的觉察率, 得到抑制量。四种位置上的抑制量见图 2。

四种不同位置上抑制量的重复测量方差分析表明: 位置主效应显著, $F(3, 150)=16.46, p<0.001$, 事后比较结果显示, 只有静止非目标与运动非目标间差异不显著, 其它各种条件间差异均达到显著水平(目标与空白区域: $MD=-0.05, p<0.05$; 目标与静止非目标: $MD=-0.10, p<0.001$; 目标与运动非目标: $MD=-0.11, p<0.001$; 空白区域与静止非目标: $MD=-0.06, p<0.01$; 空白区域与运动非目标: $MD=-0.07, p<0.01$; 静止非目标与运动非目标: $MD=-0.01, p>0.1$)。

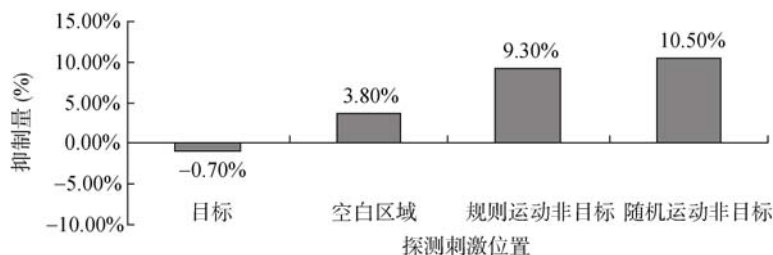


图2 实验一四种位置抑制量比较

2.6 小结

实验结果显示,探测刺激出现与否、探测刺激出现的位置,不会影响被试的追踪成绩,说明即使有点探测任务的存在,被试仍能很好的完成追踪任务,保证下面分析抑制机制时,是在正常的追踪任务情况下进行的。

结合探测刺激觉察率与抑制量的结果,可以得出,虽然在追踪任务中静止非目标的探测刺激觉察率很高($85.2\% \pm 11.8$),但是与无追踪任务相比,还是受到了很大的抑制(9.3%)。且抑制量与目标和空白区域的抑制量相比差异显著(-0.7% , $p < 0.01$; 3.8% , $p < 0.05$),而与运动非目标差异不显著(3.8% , $p > 0.1$)。这表明静止非目标虽然在运动方式上与目标区别明显,但还是会受到抑制,并且抑制量与运动非目标的抑制量相当。这个结果支持了 MOT 任务中的抑制是基于客体的抑制。

那么是否在 MOT 任务中,无论非目标与目标是否容易区分,都会受到等量的抑制呢?实验一中由于有部份非目标是静止不动的,这就在一定程度上降低了追踪任务的难度。而这种难度的降低,就会导致视觉系统不需要对运动非目标进行更多地抑制就可以顺利完成追踪任务。因此,静止非目标与运动非目标上的抑制量差异不显著,有可能是难度低的原因导致的,不能确定非目标是否与目标容易区分,都会受到等量的抑制。

在实验二中,用规则运动非目标代替静止非目标以提高任务难度,这样既保证了规则运动非目标与目标运动方式明显不同,又排除了难度过于简单造成的混淆。然后对比实验二与实验一的结果,进一步的探讨 MOT 任务中的抑制机制。

3 实验二: MOT 任务中对规则运动非目标的抑制

实验二采用 MOT 任务和点探测技术,设置部分规则运动非目标,考察 MOT 任务中对规则运动

非目标的抑制情况。

3.1 被试

被试为某大学本科生 51 名,男女数量相当,年龄 18~20 岁,所有被试视力或矫正视力正常,颜色知觉正常,完成实验后获取一定报酬。

3.2 实验设计

实验采用 2(任务类型:无追踪任务和追踪任务) \times 4(探测刺激出现位置:空白区域、目标、规则运动非目标和随机运动非目标)组内设计。因变量为追踪正确率、探测刺激觉察率和抑制量。

3.3 仪器与设备

与实验一相同。

3.4 实验材料

规则运动非目标以每帧 3pixel 的速度沿垂直或水平做振幅为 54pixel 的往复运动。规则运动非目标的初始位置也遵循与其他运动对象相同的分配规律。实验材料其它规格及运动算法与实验一相同。

3.5 实验过程

用规则运动非目标代替静止非目标,其他与实验一相同。

3.6 实验结果

3.6.1 追踪正确率

追踪任务中,平均追踪正确率为 $92.4\% \pm 3.8\%$ 。对探测刺激出现在四种不同位置的追踪正确率进行重复测量方差分析,探测刺激出现位置主效应不显著, $F(3, 138) = 2.52$, $p > 0.05$ (探测刺激出现在四种位置时追踪正确率分别为,目标: $91.3\% \pm 4.9\%$;随机运动非目标: $92.3\% \pm 4.6\%$;空白区域: $92.9\% \pm 4.6\%$;规则运动非目标: $92.4\% \pm 4.7\%$)。对探测刺激是否出现两种情况的追踪正确率进行配对样本 t 检验不显著, $t(46) = 1.19$, $p > 0.1$ (有探测刺激出现: $92.2\% \pm 4.0\%$;无探测刺激出现: $92.6\% \pm 3.9\%$)。上述结果说明,探测刺激出现与否以及探测刺激出现的位置不会影响被试完成追踪任务。因此探测刺激觉察率的结果具有可靠性。

3.6.2 探测刺激觉察率

无追踪任务中,对探测刺激出现在三种不同位置(由于没有追踪任务,所以不分目标、随机运动非目标,三种位置为:空白区域、规则运动对象和随机运动对象)的觉察率进行重复测量方差分析发现,探测刺激出现位置主效应显著, $F(2, 92)=88.29$, $p<0.001$, 事后比较发现,三种位置之间均有显著差异(空白与规则运动对象: $MD=0.03$, $p<0.05$; 空白与随机运动对象: $MD=0.19$, $p<0.001$; 规则运动对象与随机运动对象: $MD=0.15$, $p<0.001$)。觉察率数据见表 2(由于不分目标、随机运动非目标,表中目标与随机运动非目标的数据均为随机运动对象数值)。

表 2 实验二两种任务探测刺激出现在不同位置的觉察率

探测刺激出现位置	无追踪任务	有追踪任务
空白区域	97.0%±8.1%	95.5%±6.5%
目标	78.4%±9.0%	83.3%±9.9%
规则运动非目标	93.6%±7.4%	84.8%±10.2%
随机运动非目标	78.4%±9.0%	62.9%±11.3%

综合表 1、表 2 中数据可以看出,两个实验无追踪任务中随机运动对象上的探测刺激觉察率(76.1%±11.9%, 78.4%±9.0%)都分别显著小于空白区域(97.8%±5.4%, 97.0%±8.1%)和固定/规则运动对象(94.5%±9.0%, 93.6%±7.4%),这可能是由于随机运动对象的运动属性所致。由于随机运动对象在实验过程的运动轨迹是不可预期的,被试不知道其在下一帧的精确位置,所以需要不断更新和定位运动对象的位置信息;而空白区域、固定对象和规则运动对象则相对更容易追踪。因此,这种相对于空白区域、固定对象和规则运动对象,随机运动任务难度更大一些,从而干扰了对运动对象上探测刺激的觉察,导致探测刺激觉察率降低。

对追踪任务中探测刺激出现在四种位置(目标、空白区域、规则运动非目标和随机运动非目标)

的觉察率进行重复测量方差分析表明,位置主效应显著, $F(3, 138)=127.30$, $p<0.001$, 事后比较发现,除目标与规则运动非目标间差异不显著,其余位置之间两两差异显著(空白区域与目标: $MD=0.12$, $p<0.001$; 空白区域与规则运动非目标: $MD=0.11$, $p<0.001$; 空白区域与随机运动非目标: $MD=0.33$, $p<0.001$; 目标与规则运动非目标: $MD=-0.02$, $p>0.1$; 目标与随机运动非目标: $MD=0.20$, $p<0.001$; 规则运动非目标与随机运动非目标: $MD=0.22$, $p<0.001$)。觉察率数据见表 2。

将追踪任务与无追踪任务探测刺激觉察率结合起来比较,进行两因素重复测量方差分析,得出如下结果:(1)任务主效应显著, $F(1, 46)=24.49$, $p<0.001$;(2)探测刺激出现位置主效应显著, $F(3, 138)=195.84$, $p<0.001$;(3)交互效应显著, $F(3, 138)=33.96$, $p<0.001$,说明在两种任务下,探测刺激觉察率在不同位置上的变化是不一致的。对无追踪与有追踪任务中四种位置探测刺激觉察率进行配对检验发现:除空白区域($t(46)=1.05$, $p>0.1$)外,其它位置觉察率差异均显著(目标: $t(46)=-2.92$, $p<0.01$; 规则运动非目标: $t(46)=4.74$, $p<0.001$; 随机运动非目标: $t(46)=8.82$, $p<0.001$)。上述结果说明,目标得到了一定程度的激活,而规则运动非目标和随机运动非目标则受到了不同程度的抑制。

3.6.3 抑制量

采用实验一的方法计算出四种位置的抑制量,见图 3。

四种不同位置上抑制量的重复测量方差分析表明:位置主效应显著, $F(3, 138)=33.96$, $p<0.001$, 事后比较结果显示,四种位置之间两两差异均显著(目标与空白区域: $MD=-0.06$, $p<0.01$; 目标与规则运动非目标: $MD=-0.14$, $p<0.001$; 目标与随机运动非目标: $MD=-0.20$, $p<0.001$; 空白区域与规则运动非目标: $MD=-0.07$, $p<0.01$; 空白区域与随机运动非目标: $MD=-0.14$, $p<0.001$; 规则运动非目标与随

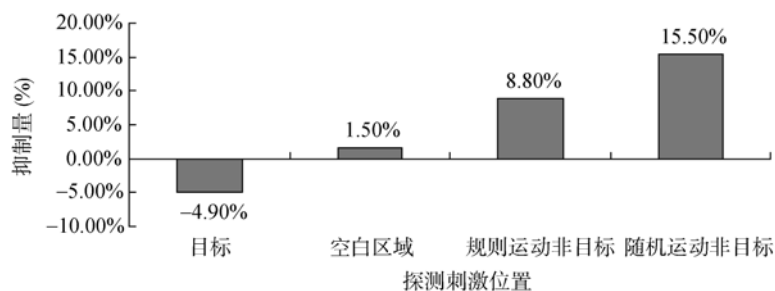


图 3 实验二四种位置抑制量比较

机运动非目标: $MD=-0.07, p<0.01$ 。

3.7 小结

规则运动非目标代替静止非目标后, 任务难度提高, 视觉系统对不同位置的抑制发生了变化。从抑制量上可以看出, 目标得到了一定的激活(-4.9%), 而规则运动非目标上的抑制量(8.8%)显著高于目标(-4.9%, $p<0.001$)与空白区域(1.5%, $p<0.01$), 说明规则运动非目标与静止非目标类似, 虽然与目标运动方式明显不同, 但仍然受到了抑制, 这一点支持抑制机制是基于客体的这一假设。但与静止非目标不同的是, 规则运动非目标的抑制量显著小于随机运动非目标(15.5%, $p<0.01$), 表明视觉系统虽然抑制了作为客体的规则运动非目标, 但是仍然能够分辨出“规则运动”这一与目标和随机运动非目标具有明显区别的特征。所以, 规则运动非目标仅受到了少量的抑制。这一结果又支持了抑制机制是基于特征的假设。

为了更清晰的比较实验一与实验二在抑制量上的不同结果, 对两个实验四个不同位置的抑制量分别进行独立样本 t 检验分析, 将静止非目标与规则运动非目标看成对应位置水平, 即与目标运动方式明显不同的非目标。

t 检验结果显示, 在空白区域和区别非目标两种位置上抑制量差异不显著($t(96)=1.40, p>0.1$; $t(96)=0.21, p>0.1$); 目标上的抑制量差异边缘显著, 实验一大于实验二($t(96)=1.88, p=0.064$); 而在随机运动非目标上的抑制量, 则是实验二显著高于实验一($t(96)=-2.04, p<0.05$)。

实验二用规则运动非目标代替实验一中静止非目标后, 任务难度增加, 被试若要顺利完成追踪任务, 必须提高对目标的激活, 同时增加对非目标的抑制。上述结果支持了这一结论。同时, 对非目标抑制的增加程度大于对目标激活的增加程度, 这也与 MOT 任务中对非目标的抑制作用大于对目标的激活作用的结论相一致。而对非目标抑制量的增加, 完全来自随机运动非目标, 即容易与目标相混淆的非目标; 与目标相区别的非目标上的抑制量则没有变化。该结果表明在 MOT 任务中也存在基于特征的抑制。上述现象将在综合讨论中进行详细解释。

综合实验一和实验二的结果, 可以得到如下结论: (1) 在 MOT 任务中, 静止非目标同样会受到抑制, 并且抑制量与运动非目标的抑制量没有差异; (2) 规则运动非目标也会受到抑制, 但是抑制量显

著小于随机运动非目标; (3) 用规则运动非目标代替静止非目标后, 任务难度提高, 与目标区别明显的非目标(静止、规则运动非目标)的抑制量差异不显著, 而与目标容易混淆的非目标(随机运动非目标)的抑制量显著增大。

4 综合讨论

4.1 基于客体的抑制与基于特征的抑制

基于客体的抑制最初是在返回抑制的研究中发现的。Tipper 等人在研究中(1994, 1998), 改变传统的 IOR 范式, 采用在线索化后旋转方框的方式来对基于位置的抑制与基于客体的抑制进行分离。结果发现, 方框旋转 90° 后, 当目标刺激出现在线索化的方框上时, 反应时还是长于目标刺激出现在未线索化的方框上的反应时, 即虽然方框的位置发生了改变, 但返回抑制现象仍然出现。据此, Tipper 将这种返回抑制称为基于客体的抑制。另外, 对搜索任务中非目标抑制机制的一些研究(Koshino, 2001; Braithwaite & Humphreys, 2003)结果也显示, 抑制存在于视觉上可分离的单个的非目标(即视觉客体, visual object)上, 而不是除目标之外的所有区域。

基于特征的抑制, 主要是在视觉标记的研究中提出的。研究者认为, 视觉标记中的抑制机制, 是对先出现项目的特征进行标记, 然后产生针对已标记特征的抑制, 使后出现的具有不同特征的项目在选择中优先等级得到提高。研究结果证明, 抑制发生在具有某一共同特征的对象上, 如颜色、形状、空间分布、呈现顺序等(Braithwaite & Humphreys, 2003; Kunar, Humphreys, & Smith, 2003; Kunar, Humphreys, Smith, & Hulleman, 2003), 这些结果支持了基于特征的抑制机制。可以看出, 基于客体的抑制与基于特征的抑制并不矛盾, 视觉标记的研究结果, 同时支持了这两种抑制机制。

本研究的结果可为上述两种抑制的关系提供可能的解释。首先, 视觉系统将所有非目标(包括与目标区别明显的非目标和容易混淆的非目标)知觉为与任务无关的客体, 从而产生相同的抑制; 所以在实验一中, 静止非目标和运动非目标在抑制量上没有显著差异, 该结果支持了基于客体的抑制机制。而后, 根据任务要求, 视觉系统再从所有非目标中, 区分出与目标明显区别的非目标和与目标容易混淆的非目标, 随着难度的增加, 对所有非目标产生相同的抑制已经无法保证很好的完成追踪任

务, 需要增加对非目标的抑制, 而与目标明显区别的非目标由于对追踪任务的干扰较小, 所以无需增加抑制即可排除对追踪任务的干扰, 因此, 只需增加与目标容易混淆的非目标上的抑制量, 就可以保证追踪任务的顺利完成; 所以在实验二中, 只有随机运动非目标上的抑制量增加了, 规则运动非目标上的抑制量与静止非目标相比没有显著差异, 该结果支持了基于特征的抑制机制。因此可以推测, 两种抑制机制发生在不同的抑制阶段, 基于客体的抑制先产生在所有非目标上; 而后若任务难度低, 则不会产生基于特征的抑制, 若任务难度高, 则基于特征的抑制会在与目标容易混淆的非目标上产生。

综上所述, 实验一中静止非目标和运动非目标上的抑制, 以及实验二中规则运动非目标上的抑制, 均为基于客体的抑制, 即只要是与任务无关的干扰客体, 均会受到抑制; 而实验二中, 由于任务难度提高导致的随机运动非目标相对于规则运动非目标的抑制增量, 则为基于特征的抑制。

4.2 MOT 任务中是否存在对客体的基本抑制量

实验一中的静止非目标(9.3%)、运动非目标(10.5%)和实验二中的规则运动非目标(8.8%)上的抑制量都在 9%~10%左右。如果按照上述假设, 对这三个位置的抑制均为基于客体的抑制, 那么是否在 MOT 任务中, 至少存在 9%~10%左右的基于客体的基本抑制量呢?

在实验二中, 任务整体难度增大, 需要对与目标容易混淆的随机运动非目标加大抑制量。在这种情况下, 若抑制是一种有容量限制的资源, 视觉系统就应该减少规则运动非目标上的抑制量, 将节省的抑制资源加到随机运动非目标上。而实验结果却是规则运动非目标仍然受到了 8.8%的抑制, 与实验一中静止非目标、运动非目标没有差异。这在一定程度上支持了存在对客体的基本抑制量这一假设。当然还有另一种可能的解释, 即在实验二中, 尽管任务难度相对于实验一有所提高, 需要增加对非目标的抑制, 但即使随机非目标上的抑制量增加以后, 也没有完全耗尽抑制资源, 所以在规则运动非目标上仍然保留着 9%~10%的抑制。

而在实验一中, 任务难度较低, 不需要对非目标产生很大抑制。与目标容易混淆的运动非目标上的抑制量为 10.5%, 那么静止非目标上的抑制量应该显著小于 10.5%。但结果却是静止非目标的抑制量(9.3%)与运动非目标没有差异, 说明 MOT 任务中基于客体的抑制量最小也有 9%~10%左右。

在 MOT 任务中, 究竟是否存在对客体的基本抑制量, 还有待于通过难度的梯度变化进行深入的探讨。

4.3 结论与展望

本研究在 MOT 任务中结合点探测技术, 就视觉系统对与目标运动方式不同的非目标的抑制机制进行了考察。结果发现: 静止非目标受到抑制, 抑制量与随机运动非目标的抑制量没有差异; 规则运动非目标受到抑制, 抑制量显著小于随机运动非目标所受的抑制; 当任务难度提高后, 只有随机运动非目标上抑制量显著增加。上述结果说明, 视觉系统对不同类型的非目标采取不同的抑制机制: 对于容易区别的非目标, 无论任务难度高低, 都仅受到基于客体的抑制; 而对于容易混淆的非目标, 任务难度较低时, 仅受到基于客体的抑制, 任务难度较高则不仅受到基于客体的抑制, 还会受到基于特征的抑制。

鉴于上述结果, 如下问题还有待进一步研究。第一, 本研究只对与目标运动方式不同这一个方面进行考察了, 结论是否能够推广到其他方面(如形状、颜色等)? 第二, 本研究通过用规则运动非目标替换静止非目标的方式来提高任务难度, 其他提高任务难度的方式(如增加运动非目标的数量、提高运动速度等)会对抑制产生什么影响? 第三, 根据以往追踪任务的眼动模式研究(Fehd & Seiffert, 2008), 被试追踪的注视点一般集中在追踪目标所构成的多边形的质心附近。而在本研究中, 由于整个实验过程要求被试注视中央注视点, 所以被试的追踪策略会得到相对恒定的控制, 如果实验过程中对被试的注视点不做特别的控制, 被试可能会采用不同的追踪策略, 因此, 关于不同追踪任务下追踪策略对非目标的抑制可能产生的影响, 也是在未来研究中有待于进一步探讨的问题? 第四, 关于客体的基本抑制量, 以及基于客体的抑制与基于特征的抑制的关系, 是从实验结果推理得到的解释, 还需要系列的研究加以验证。在未来的研究中, 需要对上述问题进行进一步的探讨。

参 考 文 献

- Braithwaite, J. J., & Humphreys, G. W. (2003). Inhibition and anticipation in visual search: Evidence from effects of color foreknowledge on preview search. *Perception & Psychophysics*, 65, 213-237.
- Fehd, H. M., & Seiffert, A. E. (2008). Eye movements during multiple object tracking: Where do participants look? *Cognition*, 108, 201-209.

- Flombaum, J. I., Scholl, B. J., & Pylyshyn, Z. W. (2008). Attentional resources in visual tracking through occlusion: The high-beams effect. *Cognition*, 107, 904–931.
- Hao, F., & Fu, X. L. (2006). Visual Marking: A Mechanism of Prioritizing Selection. *Advances in Psychological Science*, 14, 7–11.
- [郝芳, 傅小兰. (2006). 视觉标记: 一种优先选择机制. *心理科学进展*, 14, 7–11.]
- Humphreys, G. W., Stalman, B. J., & Olivers, C. (2004). An analysis of the time course of attention in preview search. *Perception & Psychophysics*, 66, 713–730.
- Jiang, Y., Chun, M. M., & Marks, L. E. (2002). Visual marking: Dissociating effects of new and old set size. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28, 293–302.
- Jordan, H., & Tipper, S. P. (1998). Object-based inhibition of return in static displays. *Psychonomic Bulletin and Review*, 5, 504–509.
- Koshino, H. (2001). Activation and inhibition of stimulus features in conjunction search. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8, 294–300.
- Kunar, M. A., Humphreys, G. W., & Smith, K. J. (2003). Visual change with moving displays: More evidence for color feature map inhibition during preview search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 29, 779–792.
- Kunar, M. A., Humphreys, G. W., Smith, K. J., & Hulleman J. (2003). What is “marked” in visual marking? Evidence for effects of configuration in preview search. *Perception & Psychophysics*, 65, 982–996.
- Kunar, M. A., Humphreys, G. W., Smith, K. J., & Watson, D. G. (2003). When a reappearance is old news: Visual marking survives occlusion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 185–198.
- Ogawa, H., Takeda, Y., & Yagi, A. (2002). Inhibitory tagging on randomly moving objects. *Psychological Science*, 13, 125–129.
- Olivers, C., & Humphreys, G. W. (2003). Visual marking inhibits singleton capture. *Cognitive Psychology*, 47, 1–42.
- Pylyshyn, Z. W. (2001). Visual indexes, preconceptual objects, and situated vision. *Cognition*, 80, 127–158.
- Pylyshyn, Z. W. (2004). Some puzzling findings in multiple object tracking: I. Tracking without keeping track of object identities. *Visual Cognition*, 11, 801–822.
- Pylyshyn, Z. W. (2006). Some puzzling findings in multiple object tracking (MOT): II. Inhibition of moving nontargets. *Visual Cognition*, 14, 175–198.
- Pylyshyn, Z. W., Haladjian, H. H., King, C. E., & Reilly, J. E. (2008). Selective nontarget inhibition in Multiple Object Tracking. *Visual cognition*, 16, 1011–1021.
- Pylyshyn, Z. W., & Storm, R. W. (1988). Tracking multiple independent targets: evidence for a parallel tracking mechanism. *Spatial Vision*, 3, 179–197.
- Scholl, B. J., & Pylyshyn, Z. W. (1999). Tracking multiple items through occlusion: Clues to visual objecthood. *Cognitive Psychology*, 38, 259–290.
- Sears, C. R., & Pylyshyn, Z. W. (2000). Multiple object tracking and attentional processing. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 54, 1–14.
- Tipper, S. P., Weaver, B., Jerreat, L. M., & Burak, A. L. (1994). Object-based and environment-based inhibition of return of visual attention. *Journal of Experimental Psychology*, 20, 478–499.
- Watson, D. G., & Humphreys, G. W. (1997). Visual marking: Prioritizing selection for new objects by top-down attentional inhibition of old objects. *Psychological Review*, 104, 90–122.
- Watson, D. G., & Humphreys, G. W. (2000). Visual marking: Evidence for inhibition using a probe-dot detection paradigm. *Perception and Psychophysics*, 62, 471–481.
- Watson, D. G., & Humphreys, G. W. (2002). Visual marking and visual change. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28, 379–395.

Mechanism of Different Moving Pattern on Nontarget Inhibition in Multiple Object Tracking

ZHANG Xue-Min^{1,2}, LIU Bing¹, LU Xue-Ming²

(¹ School of Psychology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

(² State Key Lab of Cognitive Neuroscience and Learning, Beijing 100875, China)

Abstract

Previous research on stimulus inhibition has found that there are two types of inhibition in terms of what is inhibited. One is the feature-based inhibition, which holds that it is the unattended objects which share the same property with the attended ones that are inhibited by the cognitive system (s) (see the research of visual marking by Juang, Chun, & Marks, 2002; Olivers & Humphreys, 2003; Watson & Humphreys, 2002). The other is the object-based inhibition which states that the individual tokens of nontargets are inhibited, and that the inhibition of the tokens remains even when those nontargets are moving around. The inhibition theory was used to account for the results of probe-dot detection with the Multiple Object Tracking (MOT) task. That is, the difference in performance of dot detection is caused by the inhibition of the nontargets. However, no evidence has shown whether the nontarget inhibition in the MOT task is feature-based or object-based. The present research aimed to answer this question by employing the same task (dot detection in the MOT task).

Participants in two experiments performed either the tracking or no-tracking task first, and then they detected the presence of a dot at a location occupied by the randomly-moving target, by the randomly-moving nontarget, by the static (or regularly-moving) nontarget, or by nothing. The correct percentage of tracking and probe detection were measured. As a major concern, the difference in accuracy of dot detection in each location condition between the tracking and no-tracking tasks was computed as an index of inhibition, because all the stimuli in the no-tracking task were processed in the same way, and it is assumed that there is the same amount of inhibition or no inhibition to all the stimuli. The only difference between the first and the second experiment was the feature similarity (in terms of moving pattern) of nontargets to targets. Experiment 1 included randomly-moving targets, randomly-moving and static nontargets, whereas Experiment 2 included randomly-moving targets, randomly-moving and regularly-moving nontargets.

The results of Experiment 1 showed more inhibition to the randomly-moving and static nontargets, relative to the targets and the space. There was no significant difference in inhibition between the randomly-moving and static nontargets. However, in Experiment 2, more inhibition was obtained to the randomly-moving targets than to the regularly-moving targets. Still, the inhibition to nontargets was larger than to the targets and the space. The t-tests for both experiments showed the only significant difference in inhibition to randomly-moving nontargets between the first and the second experiment. More inhibition to the randomly-moving targets was observed in the second experiment than in the first one. In general, the findings of the present study suggested that both the feature-based and the object-based inhibition can occur in the MOT task. When the target and the nontarget are easy to distinguish from each other (e.g., the moving target and the static nontarget), the token of nontargets is inhibited (as shown in Experiment 1). Whereas, when it becomes more difficult to distinguish the target from the nontarget (e.g., the moving target and nontarget share more same features), feature-based inhibition begins to play an important role (i.e., more inhibition to the nontargets that are more similar to the targets).

Key words multiple object tracking; inhibition; visual marking; moving pattern