实验心理学报告

|  |
| --- |
| C:\DOCUME~1\ADMINI~1\LOCALS~1\Temp\Rar$DR01.265\心理系系标\系标最终版(透明).png |

|  |
| --- |
| 信号检测实验报告 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **专业** | **：** | **心理学** |
| **班级** | **：** | **心理2102班** |
| **学号** | **：** | **3210104896** |
| **姓名** | **：** | **马琦** |
| **性别** | **：** | **男** |

信号检测实验报告

马 琦,3210104896

（浙江大学心理与行为科学系心理学）

**摘 要**: 信号检测论是一种用于描述人类感知和决策过程的心理学模型。该模型最初是在20世纪50年代开发的，用于解释雷达技术中的信号处理问题。它后来被应用于感知心理学和认知心理学领域。本实验报告基于信号检测论的具体实验，就其中的反应倾向、反应敏感性、判别标准等知识进行讨论。

关键词: 信号检测；心理学；认知心理学；视觉工作记忆；反应倾向；击中；虚惊

中图法分类号：B842　　 文献标识码：A

Signal Detection Experiment Report

MA Qi, 3210104896

(1.*Dept. of Department of Psychological and Behavioral Sciences, Zhejiang University, 310058, China*)

**Abstract:** Signal detection theory is a psychological model used to describe human perception and decision-making processes. The model was originally developed in the 1950s to explain signal processing problems in radar technology. It has since been applied to the fields of perceptual and cognitive psychology. This lab report is based on specific experiments of signal detection theory and discusses the knowledge of response propensity, response sensitivity, and discriminant criteria involved.

**Key words:** Signal detection; Psychology; Cognitive psychology; Visual working memory; Response tendency; Hit; False alarm

## 1实验背景

#### 1.1 信号检测理论

信号检测论是信息论的一个重要分支，最初是信息论在通讯工程中的应用成果，专门处理噪音背景下对信号的有效分离，解决信号在传输过程中的随机性问题。信号检测论是以概率论和数理统计为理论基础的，根据概率论与数理统计中的参数估计、统计分布理论、随机现象的统计判断等理论，对信号和噪音进行准确地识别与判断。20世纪50年代，由于现代数学的发展，建立起了比较系统、完善的信号检测论，并广泛应用于军事、通讯、地质、物理、电子、天文与宇宙学等领域。1954年，美国密西根大学的心理学家坦纳（W. P. Tanner）和斯韦茨（J. A. Swets）等人最早在心理学研究中把信号检测论应用于人的感知过程，使得心理物理法发展到一个新的阶段。

信号检测论假定，噪音总是存在于系统之中，无法消除──无论这个系统是一个收音机，还是人的神经系统。因此，被试接受到刺激可能有两种条件：（1）仅仅是噪音背景（以N表示）；（2）在噪音背景上叠加了信号（以SN表示）。信号伴随噪音和单独出现噪音这两种情况下，分别可以在心理感受量值上形成两个分布：信号加噪音分布（简称信号分布）和噪音分布。由于信号总是叠加在噪音背景之上，因此总体上信号分布总是比噪音分布的心理感受更强些。图1-1显示了三种不同信号强度下的噪音和信号加噪音的理论分布。由此可见，信号分布与噪音分布必然存在一定的重合，而被试要判断一个刺激是信号还是噪音时，是根据自己的主观感受进行判断的，即存在一个主观的判断标准C，当刺激强度大于C，即判断为有信号，反之判断为无信号。

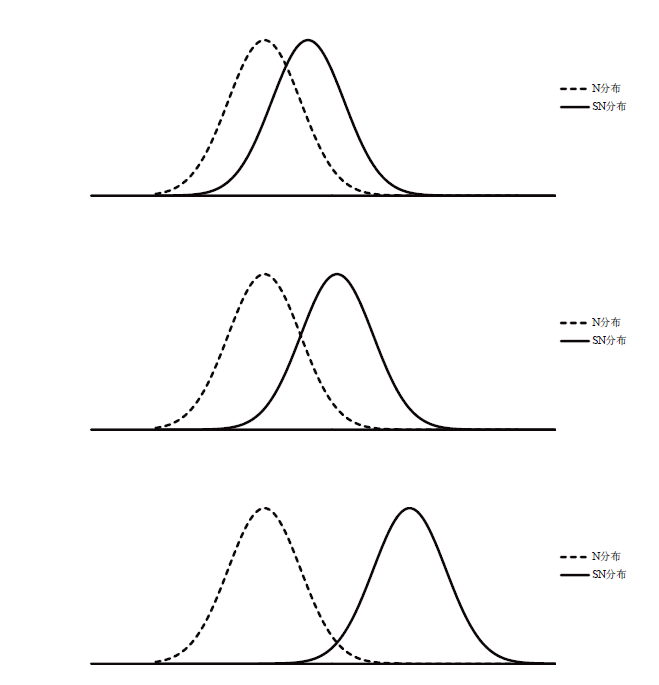


图1-1 三种不同信号强度下的噪音和信号加噪音的理论分布

在信号检测理论中，被试对有无信号的判定，可以有四种结果，这四种结果正好构成二择一的判别矩阵（参见表1-1）：

（1）击中。当信号（SN）出现，被试报告“有”，此时为击中（Hit），用P(H)代表。

（2）虚惊。当只有噪音（N）出现，被试报告“有”，此时为虚惊（False Alarm），用P(FA)代表。

（3）漏报。当信号（SN）出现，被试报告“无”，此时为漏报（Miss），用P(M)代表。

（4）正确拒斥。当只有噪音（N）出现，被试报告“无”，此时为正确拒斥（Correct Rejection），用P(CR)代表。

由上述定义可知，P(H)＋P(M)＝1，P(FA)＋P(CR)＝1。

表 1-1 信号检测两择一判别矩阵

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 刺激 | 反应 | | |
| 有信号 |  | 无信号 |
| 有信号 | 击中 |  | 漏报 |
| P(H) |  | P(M) |
| 无信号 | 虚惊 |  | 正确拒斥 |
| P(FA) |  | P(CR) |

注：表内的四种概率均为条件概率

### 1.2信号检测论的三个测量标准

（1）反应倾向

反应倾向（response bias）通常用似然比值（likelihood ratio）来反映，用*β*表示，是指信号加噪音引起的特定感觉的条件概率与噪音引起的条件概率的比值，其数学定义为给定*X*C水平上信号分布的纵坐标与噪音分布的纵坐标之比。其计算方法是将击中率P(H)和虚惊率P(FA)转换为*Z*分数*Z*SN和*Z*N，再将*Z*分数转换为正态分布曲线上的概率密度值OSN和ON（可通过查阅PZO转换表[1]来完成），*β*的计算公式为：



通过*β*值可以解释被试对刺激进行判断时所持标准的严格性，*β*值越大（*β*＞1），被试采用的标准*X*C越严格（*X*C右移，击中率和虚惊率均下降，而漏报率和正确拒斥率均上升）；*β*值越小（*β*＜1），被试的判断标准*X*C就越宽松（*X*C左移，击中率和虚惊率都会上升，而漏报率和正确拒斥率下降）。

（2）反应敏感性

信号检测论的最主要贡献是在反应偏向与反应敏感性之间做出了区分。敏感性是指内部噪音分布*fN*(*X*)与信号加噪音的分布*fSN*(*X*)之间的分离程度。两者分离程度越大，敏感性越高；反之，敏感性越低。该指标既受信号的物理性质影响，也受被试特性的影响。可以用*fN*(*X*)与*fSN*(*X*)之间的距离作为敏感性指标，称为辨别力指数*d’*，*d’*等于两个分布的均数之差除以噪音分布的标准差，由于N分布和SN分布的形态相同，因此有：



（3）判别标准

判别标准（judgment criterion）是指判断分界点上的感受经验强度，即横轴上的判定标准*θ*。在数学上用C表示，公式如下：



式中，

*d’*为被试的感受性，Z*N*为低强度刺激（*N*）的正确拒斥概率的标准分数；

为正确拒斥累积概率的反函数，为正确拒斥累积概率的反函数；

为击中累积概率的反函数，为虚惊累积概率的反函数。

为了方便具体计算，*C*可以转换为带刺激强度单位，其计算公式是：



式中，I2为高强度刺激（*SN*）的强度值，I1为低强度刺激（*N*）的强度值，判断标准的数值越大，被试的判断标准就越严格，数值越小，判断标准越宽松。

### 1.3视觉工作记忆

视觉工作记忆是工作记忆的一个子系统。工作记忆这一概念最早由Miller（1960）等人提出，其目的是将工作记忆与短时记忆区分开来，短时记忆强调的只是信息的短时存储，而工作记忆则更加强调记忆系统的功能，即用来支持复杂的认知活动、心理操作以及形成连贯的思维。

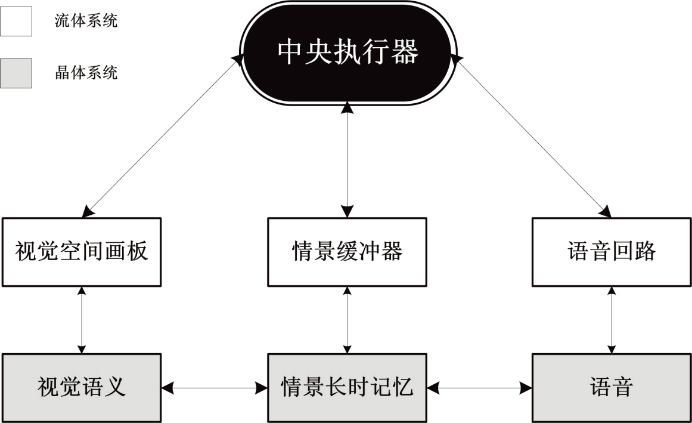
随后研究者提出了多种关于工作记忆的理论模型，其中影响力最大的当属Baddeley和Hitch等人(Allen, Hitch, & Baddeley, 2009)提出的工作记忆的多成分模型(Multiple component model of working memory)。最早的多成分模型包括语音回路（Phonological loop）、视觉空间画板（Visuospatial sketch pad）和中央执行器（Central executive）三个成分。后来，又增加了一个情景缓冲器（Episodic buffer）。具体参见图1-2。其中，语音回路专门用来保持基于声音或言语的信息，视觉空间画板用于保持以视觉或空间形式编码的信息，而情景缓冲器则是一个容量有限的子系统，可以存储多维编码的信息，因而能够将来自工作记忆各个子系统、知觉和长时记忆的信息整合为统一的表征，最后，整个系统由中央执行器控制，中央执行器是一个受注意资源限制的系统，它负责选择和操作子系统中所保持的材料。

图 1-2视觉工作记忆的多成分模型

最早的工作记忆研究大多使用回忆范式，即给被试呈现一系列的刺激，然后要求被试依次将项目报告出来，以正确报告的项目数作为工作记忆容量。然而，这种回忆范式难以排除语音编码的影响，其测得的容量可能不是纯的视觉工作记忆容量，而是包含了语音回路协同操作的结果。为了排除语音编码的干扰，Phillips（1974）发展了

一种新的范式——让被试比较前后两帧画面是否发生变化。而后，Luck和Vogel等人在此基础上进行了改进，提出了现在被普遍认可的研究视觉工作记忆的范式之一——变化觉察范式(Luck & Vogel, 1997; Vogel, Woodman, & Luck, 2001)。范式流程参见图2-3。典型的变化觉察范式一般包括三个阶段：（1）编码阶段：短暂呈现若干记忆项（memory array 或sample array）；（2）保持阶段：记忆项消失，出现空屏或掩蔽，持续至少300毫秒，以此将瞬时记忆与视觉工作记忆区分开；（3）检测阶段：出现若干检测项（probe array）。被试的任务是保持记忆项的信息，并判断检测项与记忆项相比是否发生了变化。



图 1-3 变化觉察范式示意图

Luck和Vogel等人最早使用变化觉察范式对视觉工作记忆容量进行了探讨，结果发现，当记忆1～3个由简单特征（如颜色）构成的客体时，记忆绩效均接近天花板水平，而当客体个数增加至4个或更多时，记忆绩效开始随客体个数的增加而降低。更为重要的是，即便当每个客体中的特征数增加至两个或四个时（如包含颜色、大小、朝向、缺口），记忆绩效仍然同记忆单一特征一样。由此，Luck和Vogel等人推论，视觉工作记忆的存储容量约为3～4个客体，而与每个客体包含的信息量无关(Luck&Vogel,1997)。

Pashler(Pashler,1988)提出了根据记忆集大小S、被试的击中率P(H)和虚惊率P(FA)计算被试视觉工作记忆容量的方法：

Cowan则于2000年(Cowan,2000)提出了与Pashler类似的另一个视觉工作记忆容

量的计算公式：

本实验旨在掌握信号检测论在变化觉察范式中的应用，并了解变化觉察范式的特点，同时进一步探讨视觉工作记忆的特点及其容量的影响因素。

## 2实验方法

### 2.1被试

选取40名被试（男女各半）的实验数据进行分析。

### 2.2仪器与材料

计算机一台，认知心理学教学管理系统。本实验呈现的刺激材料是各种颜色的基本形状。基本形状有圆形、三角形、正方形、菱形、扇形、椭圆形和梯形共7种；颜色则有红色、绿色、蓝色、黄色、青色、粉色和白色共7种。刺激材料的大小为1.8cm×1.8cm。

### 2.3实验设计与流程

本实验采用三因素被试内设计。因素一为识记项目数（记忆集），该因素有5个水平，分别为：2个、3个、4个、5个和6个；因素二为形状变化，该因素有2个水平，分别为：变化和不变；因素三为颜色变化，该因素也有2个水平，分别为：变化和不变。

单次试验流程见图2-1。首先，在屏幕中央一个“＋”注视点。500～1000毫秒后，注视点消失，而后呈现2～6个不同的形状（记忆项），各个形状均匀地分布在一个虚拟的圆周上，这些形状的颜色亦各不相同，500毫秒后消失，空屏1000毫秒，而后在随机其中一个位置上再次呈现一个形状（检测项）。

被试的任务是尽可能多地记住这些形状，并判断对应位置上的检测项与记忆项的形状是否相同（概率各0.5），同时忽略检测项颜色可能发生的变化，并立即做出按键反应。如果形状相同按“J”键；形状不同按“F”键。为了减少被试按键过程中的反应定势，生成的实验序列经Wald-Wolfowitz游程检验，显著性大于0.10（双侧）。

被试做出按键后，会得到相应的反馈，指示被试反应正确与否及反应时。如果被试在字符出现后3000毫秒内不予以反应，程序将提示反应超时，告诉被试尽快反应。随机空屏600～1300毫秒后，自动进入下一次试验。

实验开始前，从正式实验中随机抽取20次作为练习，练习的时候，无论反应正确、错误或超时均有反馈，但结果不予以记录。练习的正确率达到70%后进入正式实验。正式实验在被试做出正确反应后没有提示，反应错误或反应超时则会有提示。正式实验共有388次试验，分4组（每组97次），组与组之间分别有一段休息时间。正式实验结束后，进入错误补救程序，即将之前做错的试验再次呈现，直到被试全部反应正确为止。整个实验持续约50分钟。



图 2-1 信号检测实验流程图

## 3结果分析

### 3.1分别计算不同记忆集条件下的被试的辨别力指数（d’）、反应倾向（β）、判别 标准（C）和反应时，并绘制折线图。

图 3-1 不同记忆集条件下被试的辨别力指数（d’）折线图

图 3-2 不同记忆集条件下被试的反应倾向（β）折线图

图 3-3 不同记忆集条件下被试的判别标准（C）折线图

图 3-4 不同记忆集条件下被试的反应时折线图

### 3.2分别计算不同记忆集条件下颜色变化和不变条件下的辨别力指数（*d’*）、反应倾向（*β*）和判别标准（C）。

图 3-5 不同记忆集条件下颜色变化和不变条件下的辨别力指数（d’）条形图

图 3-6 不同记忆集条件下颜色变化和不变条件下的反应倾向（β）条形图

图 3-7 不同记忆集条件下颜色变化和不变条件下的判别标准（C）条形图

图 3-8 被试在不同记忆集条件下颜色变化和不变条件下的反应时条形图

图 3-9 被试在不同记忆集条件下颜色变化和不变条件下的正确率条形图

### 3.3以虚惊率P(FA)为横坐标，击中率P(H)为纵坐标，分别绘制不同记忆集条件下颜色变化和不变对应ROC（操作者特性曲线）曲线。

图 3-10不同记忆集条件下颜色变化和不变条件下ROC曲线（P值）

图 3-11不同记忆集条件下颜色变化和不变条件下ROC曲线（Z值）

### 3.4分别计算被试（男、女）在颜色变化和不变条件下形状的视觉工作记忆容量。

图 3-12 被试在颜色变化条件下的视觉工作记忆容量条形图

图 3-13 被试在颜色不变条件下的视觉工作记忆容量条形图

## 4讨论

### 4.1对比不同记忆集条件下颜色变化和不变条件下的正确率、反应时、辨别力指数（*d’*）、反应倾向（*β*）和判别标准（C），可以发现什么现象（提示：无关变化干扰效应[2]）？

正确率：如图3-9所示，不同记忆集条件下颜色变化和不变条件下，颜色改变时被试的正确率总是略高于颜色不变的条件下被试的正确率。随着记忆集大小的增大，颜色变化或不变，被试反应的正确率都随着记忆集大小的增大而逐渐减小。

反应时：如图3-8所示，除了记忆集大小为3时，颜色改变与不变反应时相近，其他情况下颜色改变后的反应时总是长于颜色不变的情况下的反应时。颜色变化或不变，被试的反应时间都随着记忆集大小的增大而逐渐增长。

辨别力指数（d’）:如图3-5所示，除了记忆集大小为2的情况下，颜色改变时辨别力指数低于颜色不变时的辨别力指数；其他记忆集条件下，两种条件下的辨别力指数相近，但颜色改变条件下总是略高于不变的条件。颜色变化或不变，辨别力指数都会随着记忆集大小的增大而逐渐减小。

反应倾向（β）：如图3-6所示，两种条件下，反应倾向均总体呈现出一个先增后减的趋势

判别标准（C）：如图3-7所示，颜色改变时被试的判别标准明显高于颜色不变的情况；颜色改变时的判别标准呈现上升趋势，而颜色不变时，判别标准先下降后上升。

参照上述分析结果，再结合无关变化干扰效应，得出以下论断：颜色改变后，虽然并不需要对颜色的改变作出判断，但是颜色改变的存在会使得被试的反应时边长；同时颜色改变后被试的判别标准也会较为显著的高于颜色不变的情况，被试的判断标准就会更为严格，击中率和虚惊率均下降，而漏报率和正确拒斥率均上升。

### 4.2信号检测论与传统心理物理法有何区别和联系？（结合补充阅读材料）

#### 4.2.1区别

传统的心理物理法即最小变化法、恒定刺激法和平均差误法都是通过间接的方式确定心理量的大小----被试需要反应的是对刺激有无的判断，或是将刺激调整到心理上等值，却并不需要直接报告自身感觉的强弱程度；同时传统心理物理法上对阈限的理解有一定偏差，阈限的测定也会被试的动机和态度等问题产生偏差。而信号检测论中，对阈限的认定与传统心理物理法不同，阈限不再是对被试感觉状态的绝对分界，而是被试主观决策反应的判断标准；信号检测论还分离了两种指标：（1）辨别力指标d’，是观察者对刺激的感受性的度量；（2）判断标准，是观察者反应偏向的度量，常用似然比标准β或报告标准C来进行衡量。

#### 4.2.2联系

传统心理物理法中存在阈限概率的不可靠性和对阈限概念的理解偏差，心理物理学家们从对阈限的理解出发开始推导，用传统心理物理法的观察结果证明了最初前提假设的错误性，也正是受此启发，坦纳和斯韦茨等人才将信号检测论引入对感觉系统的研究上来，信号检测论的出现也彻底改变了以往人们对阈限的理解，将个体客观的感受性和主观的动机、反应偏好等加以区分，从而解决了传统心理物理学所无法解决的问题。

### 4.3信号检测论在心理学研究中有哪些应用？（结合补充阅读材料）

首先以信号检测论在再认记忆上的应用为例。再认记忆中的问题可以这样表述：某事物被再认的条件究竟是什么，是其强度必须超过某一个阈限时，则在此阈限下的记忆强度便为零；还是其强度要超过记忆强度连续体上的某一个标准？

按照再认记忆的信号检测论假设，新旧项目在记忆强度的连续体上形成两个互相重叠的正态分布。通过在不同的试验中诱导被试变化判断标准，可以得到对应的不同的击中率与虚惊率，并可以根据它们描出类似于ROC曲线的图样，称为MOC（记忆操作特征）曲线。假如信号检测论假设是正确的，那么MOC在以比率为坐标时应该是曲线，而在以Z分数为坐标时呈现为直线。而在再认记忆的非连续模型中，假定存在一个记忆强度的阈限，阈上项目总有再认反应，而阈下项目只有靠猜测才出现再认。按照这个模型，MOC在以比率为坐标时应当是直线。最后实验结果显示MOC形态符合再认记忆的信号检测论假设，因此信号检测论的解释胜出。

信号检测论对再认记忆的良好解释使得此领域中的研究方法有了重大进展。运用信号检测论，可以验证各种影响再认记忆的已知因素，诸如：年龄、脑损伤、药物等，究竟影响了人们对新旧事物进行分辨的能力，还是改变了人们判断新旧的标准。例如：在具体的应用性研究中发现，大麻能够同时降低再认记忆的分辨力和再认记忆的判断标准，说明此类精神药物对于记忆有着确实的损害。

另一个例子是，在临床上抑郁症和老年痴呆患者都会表现出记忆力的衰退。当某位病患表现出记忆衰退的症状，如何诊断其究竟是抑郁症患者还是智力减退呢？运用信号检测论的研究发现，抑郁和痴呆对再认记忆产生影响的方式是不同的。抑郁能够使再认记忆的判断标准升高，这可能是因为抑郁症患者伴随有严重的自信缺乏，因此他们在做出判断时显得过度保守。而老年痴呆患者则是在新旧项目的分辨力上明显低于对照组，由此可见老年痴呆患者有着确实的记忆损伤。信号检测论区分了以上两种疾患对再认记忆产生的影响，从而有可能发展出一种基于再认记忆表现中两个信号检测论指标的诊断方法，从而使抑郁症和老年痴呆的辨别精度提高。另外，有研究运用信号检测论方法发现，头部外伤引起的脑损伤者在再认记忆中同时具有较低的辨别力和较高的判断标准。研究者对此的解释是：脑损伤会导致记忆功能的衰退，而同时由于患者本身意识到自己在记忆方面的缺陷，他们在判断时会更加谨慎。

除了上述理论或临床研究，信号检测论对高级认知过程研究的帮助还体现在社会认知方面的应用上。对于攻击性行为（aggressive behavior）的研究就是一例。从信号检测论的视角，研究者首先对攻击性行为进行了诠释。在某些场合的身体攻击是恰当的，比如正当自卫或者拳击比赛；而另一些场合下则是不恰当的，比如寻衅滋事。而一般所说的攻击性行为其实专指后者这种”不恰当的攻击”。身体攻击和场合情境就可以形成2×2的矩阵：恰当的攻击、不恰当的攻击、恰当的不攻击、不恰当的不攻击。如果把应该产生攻击的情景作为信号，而不应该攻击的情景当作噪音，并将最终事实上攻击与否的行为作为判断反应，就可以套用信号检测论求出两个独立指标了。

实际研究成果：乌勒拉和亚当斯（Ulehla和Adams，1973）对青少年被试进行了问卷调查，问卷中虚拟了许多情景下的攻击行为，其中一些是恰当的（例如：反抗敲诈勒索者），而另一些是不恰当的（例如：把一个不顺眼的小子揍一顿）。被试要依次回答在问卷中虚拟的这些攻击行为是否能得到积极的社会评价。研究者进行了信号检测论的分析，他们感兴趣的指标是d’。实验结果发现，自身攻击性越高的青少年，在问卷中显示出的d’越低；而教养良好的青少年，其d’都很高。由此直接得出的推论是，青少年的攻击性行为，很可能是由于这些青少年不能很好地分辨恰当攻击和不恰当攻击之间的区别，换言之，他们不懂得在合适的场合作合适的反应。因此，信号检测论揭示了攻击性行为可能的认知基础----对社会常态规范的理解出现了问题

### 4.4对比不同记忆集条件下颜色变化和不变条件下辨别力指数（*d’*），并绘制ROC曲线，可以发现什么现象？

操作者特性曲线，简称ROC特性曲线。得此名的原因在于曲线上各点反映着相同的感受性，它们都是对同一信号刺激的反应，只不过是在几种不同的判定标准下所得的结果而已。接受者操作特性曲线就是以虚惊概率为横轴，击中概率为纵轴所组成的坐标图，和被试在特定刺激条件下由于采用不同的判断标准得出的不同结果画出的曲线。ROC曲线越靠近左上角，试验的准确性越高。ROC曲线离对角线越远，表示被试判别力越强。d'越大，敏感性也越高。由图3-8和图3-9可知，不同记忆集条件下，颜色不变和变化的ROC曲线总体趋势基本一致颜色变化情况下的击中率和虚惊率都高于颜色不变的条件。同时，随着记忆集个数增加，击中概率和虚惊概率都显著减小，试验的准确性降低。并且随着记忆集个数增加，被试敏感性降低。而颜色变化与否对敏感性影响并不显著。

### 4.5进一步分析实验数据，你还可以发现什么现象？

比较颜色不变和改变的情况下不同性别的视觉工作记忆容量，发现不同性别视觉工作记忆容量差距不大

## 5思考题

1）如何根据被试在不同记忆集（SetSize）条件下的击中率P(H)和虚惊率P(FA)（或漏报率P(M)和正确拒斥率P(CR)），推算被试的视觉工作记忆容量，请给出推理过程及最终的计算公式。并在此基础上，请对比Cowan公式与Pashler公式的差异所在及各自公式的适用条件。

传统心理物理实验中直接得到的P(H)，其实包括了被试真正感觉到的那部分回答和被试猜测的回答。而传统心理物理学真正关心的，是感觉阈限之上的那些刺激能产生多大概率的正向反应，这个概率不妨标记为P\*(H),代表修正的击中率。传统心理物理学实验通过插入“侦查试验”(catch trials)来确定被试靠猜测报告“有”的概率，方法是考察被试对实际没有呈现刺激的试验反应“有”的概率，这实际上就是被试的虚惊率PFA)。图5-1解释了传统心理物理学中感觉阈限、刺激、侦查试验、以及形状改变（刺激呈现）/不改变（不呈现）条件下P(yes)和P(no)的各自含义。

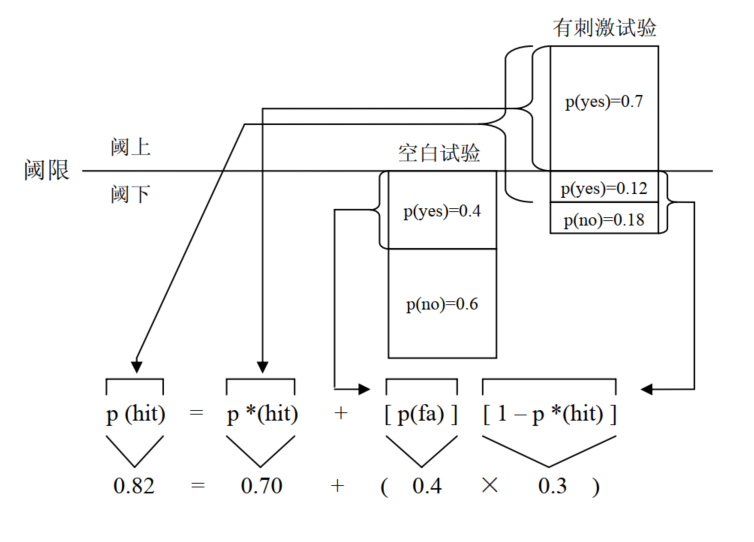


图 5-1 阈限理论的关系图解

根据图5-1的模型可以推出传统心理物理学P(y)指标：

P(Hit)=P\*(Hit)+P(FA)\*1-P\*(Hit)

并可以转换得到排除被试反应偏差后的修正公式：

联系记忆集大小S,由此可以得到视觉

Pashler的视觉工作记忆容量的公式：

而Cowan的视觉工作记忆容量公式为：

Pashler的模型和Cowan的模型的差异就在于Cowan模型少了, Pashler的公式用于全展示任务（whole-display task），而Cowan（single-probe task）的公式用于单一探测任务。

2）在信号检测论标准模型下，证明反应偏向的测量指标*β*（似然比）是判断标准*θ*的单调增函数。





3）考虑不同结果的效用以及信号和噪声出现的相对概率时，请推导最优的判别标准



其中，UCR>0，UH>0，UFA<0，UM<0分别代表正确拒斥（CR）和击中（H）带来的正效用，以及虚惊（FA）和漏报（M）带来的负效用，*P*N和*P*SN分别代表噪音单独出现以及信号和噪音同时的概率。

## 6结论

1)随着记忆集个数增加，反应时延长，反应敏感性降低，判别标准更严格。

2)由于颜色变化导致的无关变化干扰效应，相较于颜色不变的条件，颜色变化条件下的反应倾向更低，尤其是在低记忆集条件下，两种条件下的反应倾向差异显著，在高记忆集条件下虽也存在差异，但是并不显著。相较于颜色不变的条件，颜色变化的条件下被试的判别标准显著高于颜色不变时。而反应敏感性颜色改变的条件下高于颜色不变的条件。

3)不同的记忆集个数条件下，颜色不变和变化的ROC曲线总体趋势基本一致，相较于颜色不变情况，颜色变化情况下的击中概率更高，同时虚惊概率也更高。

4)不论性别男女，颜色变化时的视觉工作记忆容量均大于颜色不变时的视觉工作记忆容量。并且在总体上看，男女视觉工作记忆容量差异不大。

## 7意见与建议

本实验的被试选择范围过小，且由于同时受到心理学相关知识的培训，能力相近，数据存在一定的同质性，导致本实验的各项分析较难得出显著差异。

同时，被试的实验时间、地点、设备等无关因素均不相同，对实验的准确性可能造成了一定的影响。

**参考文献:**

[1] 董一胜．（2016）． 认知心理学实验手册[J]

[2] Pashler, H. Familiarity and visual change detection. *Perception & Psychophysics* **44**, 369–378 (1988).

[3] Luck, S., Vogel, E. The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature* **390**, 279–281 (1997).

[4] Cowan N. The magical number 4 in short-term memory: a reconsideration of mental storage capacity. Behav Brain Sci. 2001 Feb;24(1):87-114; discussion 114-85.

[5] Vogel EK, Woodman GF, Luck SJ. Storage of features, conjunctions and objects in visual working memory. J Exp Psychol Hum Percept Perform. 2001 Feb;27(1):92-114. doi: 10.1037//0096-1523.27.1.92. PMID: 11248943.

[6] Allen, R. J., Hitch, G. J., & Baddeley, A. D. (2009). Cross-modal binding and working memory. *Visual Cognition*, *17*(1-2), 83-102.

[7] Rouder JN, Morey RD, Morey CC, Cowan N. How to measure working memory capacity in the change detection paradigm. Psychon Bull Rev. 2011 Apr;18(2):324-30. doi: 10.3758/s13423-011-0055-3. PMID: 21331668; PMCID: PMC3070885.

[8] Yin J, Zhou J, Xu H, Liang J, Gao Z, Shen M. Does high memory load kick task-irrelevant information out of visual working memory? Psychon Bull Rev. 2012 Apr;19(2):218-24. doi: 10.3758/s13423-011-0201-y. PMID: 22215468.

[9] Shen, M., Tang, N., Wu, F., Shui, R., & Gao, Z. (2013). Robust object-based encoding in visual working memory. *Journal of vision*, *13*(2), 1-1.