

小区域、低对比度、低信噪比 图像感知实验指导书

一、实验目的

1. 小区域、低对比度、低信噪比的图像信号的视觉检测模型的建模
2. 学习利用强迫选择试验研究人类视觉系统的感知能力
3. 学习一种人类视觉感知模型-ROSE 模型
4. 找出正确判别率=50%的实验条件，利用该条件下的参数计算 ROSE 模型并验证阈值大小

二、实验设备及原理

1. 在图像质量评估和视觉检测领域，将视觉行为模型化是其中很重要的理论。Rose 等人提出，人眼视觉检测能力存在某个阈值，按照他的理论，对待检测的信号可分辨能力可以用类似信噪比（SNR）的形式描述为：

$$\begin{aligned} SNR_{Rose} &= \frac{mean_signal}{\sigma_{N_b}} = \frac{\langle \Delta N_s \rangle}{\sqrt{\langle N_b \rangle}} = \frac{A \langle \Delta n_s \rangle}{\sqrt{A \langle n_b \rangle}} \\ &= C \sqrt{A \langle n_b \rangle} \end{aligned} \quad \text{----- 公式 (1)}$$

在该公式中，C 代表信号相对于背景亮度的对比度，A 代表信号的面积， $\langle \Delta n_s \rangle$ 和 $\langle n_b \rangle$ 分别代表信号区域和背景区域在单位面积内的光子数目，等价于亮度。

按照 Rose 的实验结果，当 SNR_{Rose} 取值在 5 — 7 之间时，人眼可以检测到信号的存在。

2. 我们通过 CRT/LED 来做相关的验证试验以及进一步的研究试验。经过简单的推导，得出检测模型如下：

$$K_{Rose} = C_T \sqrt{A} \frac{B}{\sigma} \quad \text{----- 公式 (2)}$$

上式中， C_T 为信号的对比度，表达为信号小区域信号亮度 S 与背景区域亮度 B 的差异相对于背景亮度的比例： $C_T = (S - B)/B$ ， σ 为信号噪声的标准差。

3. 在我们的实验中，需要观察者输入信号的对比度、面积，背景亮度，整个图像显示区域内的噪声方差参数，并在以上参数变化的各种条件下检测信号是否存在并判断信号所在的位置。

所使用的测试软件参数输入界面如下图所示。其中， $\max CT$ 代表对比度 C_T 的最大值；

$\max \Delta$ 代表信号相对于最大可显示亮度的比值，HP-17 英寸监视器的最大显示亮度大约为 78.7cd/m²，在本次试验中，暂时不用考虑； nCT 代表对比度或该比值的组数，意味着从 0 开始，到 $\max CT$ 为止，共分成 nCT 组； $\max Noise$ 代表最大噪声的标准差与背景亮度的比值， $\min Noise$ 代表最小噪声的标准差与背景亮度的比值， $nNoise$ 代表噪声水平的组数，意味着从 $\min Noise$ 开始，到最大的噪声标准差 $\max Noise$ ，共分成 $nNoise$ 组； $nRepeat$ 代表每种实验条件的重复次数； B 代表背景亮度相对于最大可显示亮度的比值，取值为 0-1，为背景亮度信号的相对取值； A 代表信号的面积，单位是平方毫米； TR 若为 0 则代表信号为圆形，若大于 0 则代表信号为矩形，此时该参数是矩形的宽高比； θ 代表信号相对于水平方向旋转的角度； Λ 代表实际亮度与监视器像素灰度的校正因子，经过实验比较，相对于各种 CRT/LED 显示器而言， Λ 选为 2.1 较为合适。

系统参数设置 (总测试组数 = $nCT * nSNR * 5 * nRepeat$)

CT & SNR	Signal
<input checked="" type="radio"/> maxCT <0-10> 0.1	B <0-1> 0.5
<input type="radio"/> maxDelta <0-1> 0.1	A <1-1e+6> 100
nCT <1-32> 1	nRepeat <1-32> 10
maxNoise <0-100> 2	TR <0-5000> 0
minNoise <0-100> 0.4	θ <-180-180> 15
nNoise <1-32> 15	Lambda <1-3> 2.1

Monitor: 17
Groups: 750

Buttons: 确定, 取消, 参数说明, 演示程序

4. 实验数据存储

在本实验中，观察者每次实验结束后，软件将生成四个文件，分别是*.asc，*.bin，*.dat，*.cre 文件。

.dat 记录实验的硬件环境和观察者信息；.cre 记录的是唯一对应于每次实验的表识码信息；*.bin 存储测试结果，内容与*.asc 相同，二进制文件，便于编程读取；而*.asc 存储测试结果，每行为一条记录，文本文件，便于 matlab 类数据处理工具读取。若实验中出现暂停，则产生 Paused*.bin 文件，存储被暂停的测试的数据。

*.asc 中每行为下面的一个数据结构块：

```
typedef struct OneTest
{
    float CT;    // 当 sign 为 0 时,代表 CT=(S-B)/B; 当 sign 为 1 时,代表 CT=(S-B)/
                // 最大显示亮度
    float sigma; // 噪声标准差的绝对值
```

```

float B;    // 背景亮度
float A;    // 信号面积 ( $\text{mm}^2$ )
int  nMonitor;    // 监视器尺寸 (对角线, 英寸)
int  cx; // 分辨率 (水平, 像素数)
int  cy; // 分辨率 (垂直, 像素数)
float TR; //该值若大于 0 代表矩形信号的宽高比, 若为 0 则代表圆形信号
float theta;    // 信号展现角度
int  pos; // 信号所在位置(0~3, -1 表示没有信号)
int  sel; // 测试者观察到的信号位置(0~3, -1 表示观察不到信号,-2 表示尚未观测)
int  correct; // 测试者的观察是否正确(1 正确,0 不正确,-2 表示尚未观测)
float lambda; // 实际亮度与象素灰度转换因子
int  sign; // 当 sign 为 0 代表  $ct=S/B$ , 当 sign 为 1 代表  $ct=S/\text{最大显示亮度}$ 
} OneTest;

```

三、实验内容

1. 实验准备

根据软件中的测试图像来调整监视器的亮度和对比度, 在尽可能增加监视器对比度的前提下, 通过调整监视器亮度来保证每幅图像内的亮暗渐变条纹在屏幕上均匀分布, 此时监视器处于最佳测试水平。

实验开始前, 请选择实验的背景环境、输入测试者姓名以及测试者的实验序号。

实验建议在较暗的环境中操作。

2. 实验步骤

固定信号面积 (A) 为 30mm^2 , 背景亮度为中间灰度 (对应软件参数为 $B=0.5$), 校正因子 (λ) 为 2.1, TR 为 0 (对应圆形信号)。

STEP1:

输入最大对比度值 (maxCT) 为 0.10, 对比度组数为 1; 最大噪声方差水平 (maxNoise) 选择合适的值 (2), 最小噪声方差水平 (minNoise) 选择合适的值 (0.4), 噪声水平组数为 10; 重复次数至少为 4。开始实验, 观察并判断信号是否存在及位置。(注: 我们称这时的噪声水平为**测试变量**, 因为在该实验中, 唯一的自变量是噪声水平)。

我们称这样的实验为一组实验。

STEP2:

以后每次实验以 0.05 的步长改变最大对比度值, 分别做 $\text{maxCT} = 0.05, 0.1, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4$ 以及相对应的 ($\text{maxNoise}, \text{minNoise}$) = (1, 0.2), (2, 0.4), (2, 0.8), (5, 1), (5, 1.2), (5, 1.4), (5, 1.6) (注: 由于不同的显卡和显示器的性能不同, 所选取的 maxCT 、 maxNoise 会有所不同, 需要实验者仔细调整, 使得所选择的参数能够保证: 各次实验中, 每种噪声水平对应公式(2)计算出的信噪比, 都分布在观察者的临界阈值附近; 即噪声水平对应的识别率在 50% 识别率附近分布), 其他条件不变, 观察并判断信号是否存在及位置 (注: 我们称这时的 CT 值为**组变量**, 因为不同组的实验中, 只有 CT 值被改变)。

需要说明的是，同学们可以根据自己的兴趣和预实验结果，选择组变量和参数选择范围。由于同学们使用的计算机是不同的，因此，我们无法给出适合的统一参数选择范围，需要大家通过预实验自己获得。

3. 实验注意事项：

每次实验正式开始前，可以先输入一组测试参数做少量实验，保证参数范围合适，使得观察者的临界阈值包含其中，即正判次数和误判次数都较高；待参数调整合适时，再正式开始大量实验。

4. 进一步实验内容：

希望有兴趣的同学增加这样的实验：

A. 背景亮度和信号面积保持不变，每次固定信噪比（即 $n_{\text{Noise}}=1$ ），通过设置一定组数的对比度（如：设置 $n_{\text{CT}}=10$ ，即，选择对比度为测试变量，相应地，噪声水平 \max_{Noise} 则作为组变量），采用上述实验相类似的步骤来获得观测数据。

B. 同样地，还可以选择参数 B、A 的其它选择来实验，或者，选择小信号区域的形状为矩形。总之，充分的实验会得到更多有价值的结论。

四、实验数据分析

1. 对于每一组实验，编程分析观察者测试结果，画出选择结果与测试变量的关系图；
2. 采用实验者自己设计的算法，计算识别率为 50% 时的测试变量的临界值，得到一组 JND 数据：{CT, A, B, Sigma}_{JND}；
3. 将每一组实验得到的 JND 数据组综合起来，分析在 JND 观测水平下，组变量与其它变量的关系，观察其是否符合 ROSE 模型；
4. 对于每一组 JND 数据：{CT, A, B, Sigma}_{JND}，按照 ROSE 模型（公式（2））计算 K_{Rose} 。观察该值的取值范围；
5. 通过实验数据分析，得到符合 ROSE 模型的 JND 数据：{CT, A, B, Sigma}_{JND} 的取值范围；
6. 在获得多组 K_{Rose} 数据的基础上，计算 K_{Rose} 的均值和标准差，以此分析 ROSE 模型在所开展实验中正确性。

每次实验结束后生成的 4 个文件中，*.asc 文件包含有实验数据，可以用 Matlab 软件中的 csvread 命令来读取数据，*.asc 文件中每行表示一次判决结果的数据，具体的格式见上文中的数据保存说明。

对于得到的每组实验数据，计算每种噪声标准差对应的正确判别率，并绘制正确判别率随着噪声标准差改变的曲线。观察曲线变化趋势，如果曲线上接近 50% 正确判别率附近的数据点不够稠密，可以增加噪声水平组数。最后，将曲线上 50% 正确判别率对应的噪声标准差，作为该次实验的噪声临界值（Sigma-JND）。

五、实验报告要求

试验报告至少要完成以下内容，对于每组实验：1）记录监视器的设置参数，实验时的环境条件（较暗、适中或较亮）；2）要详细记录 CT, A, B 以及一系列 Sigma 的取值范围；3）绘制正确判别率—测试变量曲线；4）通过所设计的算法确定测试变量的临界值（JND

值); 5); 根据多组实验的结果, 归纳组变量与检测阈值的关系, 分析是否符合 ROSE 模型。

如果采用了不同的测试变量和组变量来进行实验, 需要比较不同的测试变量、组变量所得到的 JND 数据: $\{CT, A, B, \text{Sigma}\}_{JND}$, 观察不同的组变量得出的人类视觉系统检测模型是否一致, 是否存在公共区域, 并分析原因。

总之, 更多的实验以及充实的实验数据分析将得到很高的评分。

交作业时, 需要包括实验报告、以及各次实验的原始数据 (含*.asc, *.dat, *.cre 文件), 上述材料通过 ZIP 打包后发送邮件至教师信箱: xqmou@mail.xjtu.edu.cn。