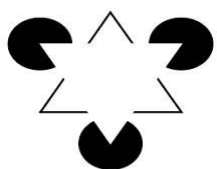




# 计算机视觉——视觉和视知觉

2025年春季

桑 农



## 第2章 视觉和视知觉

视感觉与视知觉

视知觉：

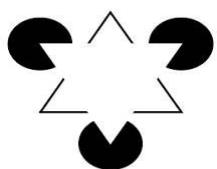
明度知觉

颜色知觉

形状知觉

空间（深度）知觉

运动知觉

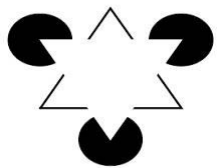


## 第2章 视觉和视知觉

2.1 形状知觉

2.2 空间知觉

2.3 运动知觉



## 2.1 形状知觉

2.1.1 形状的感知

2.1.2 轮廓

2.1.3 图形（目标）和背景



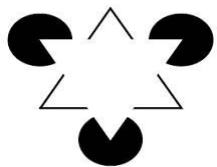
## 2.1.1

# 形状的感知

### (1) 视觉边缘和目标

外部刺激导致的视觉边缘提供形状感知所需信息





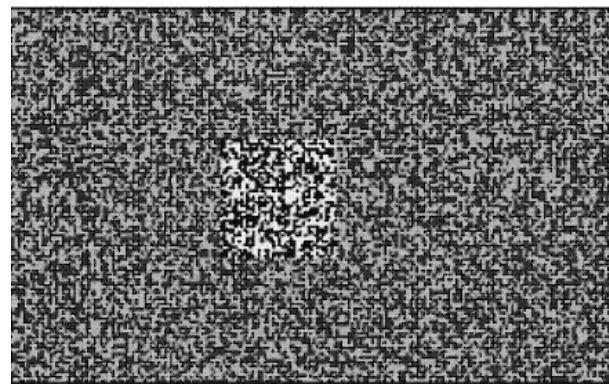
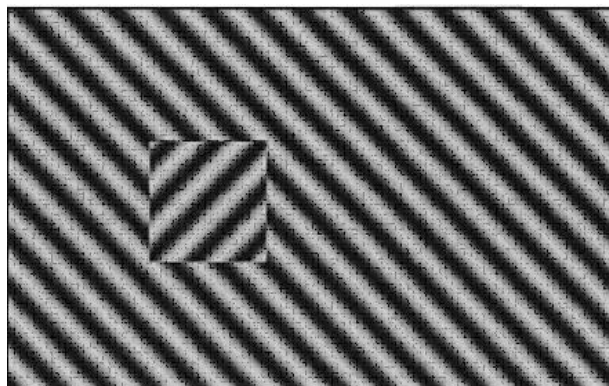
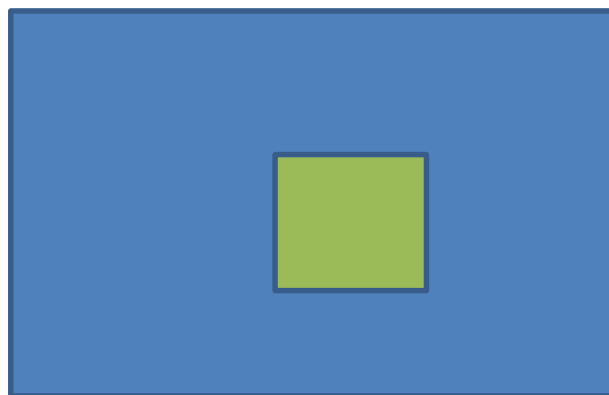
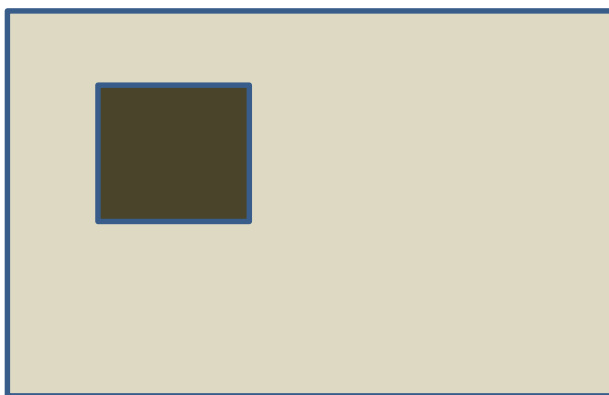
## 2.1.1

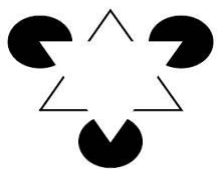
# 形状的感知

### (1) 视觉边缘和目标

外部刺激导致的视觉边缘提供形状感知所需信息

边缘可以为亮度、颜色、纹理等变化造成





## 2.1.1

# 形状的感知

### (1) 视觉边缘和目标

外部刺激导致的视觉边缘提供形状感知所需信息







## 2.1.1

# 形状的感知

### (1) 视觉边缘和目标

外部刺激导致的视觉边缘提供形状感知所需信息







## 2.1.1

# 形状的感知

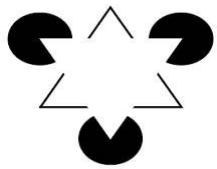
### (1) 视觉边缘和目标

目标图像中的形状感知



抽象图像的形状感知

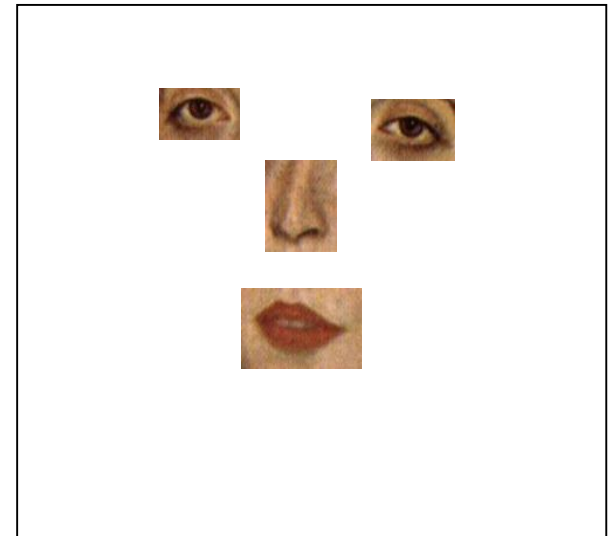
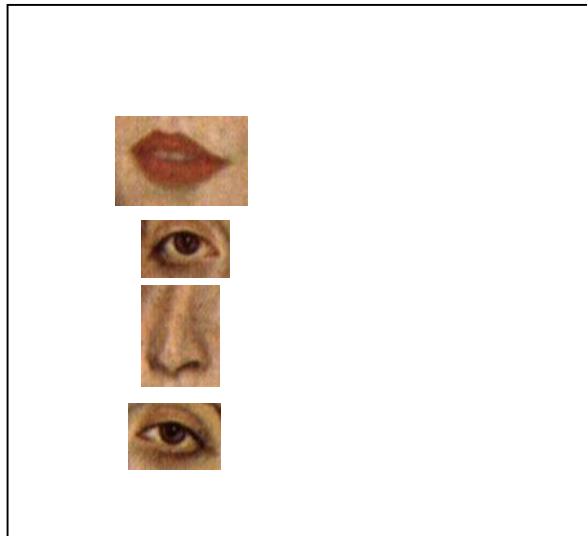
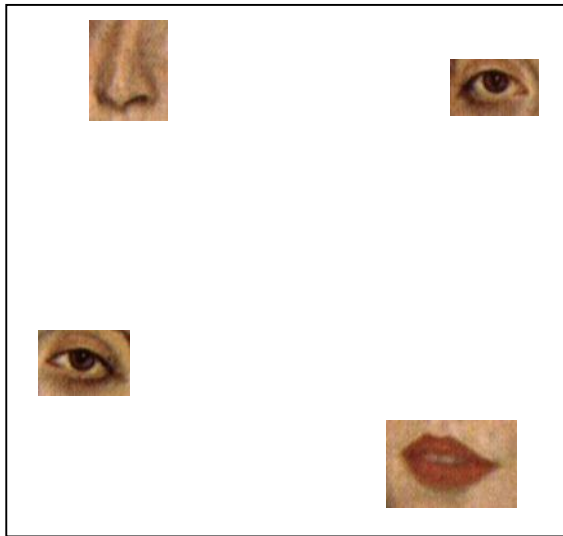


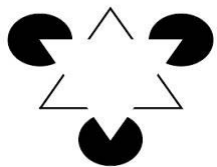


## 2.1.1

# 形状的感知

### (1) 视觉边缘和目标 与目标整体有关





## 2.1.1

# 形状的感知

### (1) 视觉边缘和目标

图形形状不变性：位置、大小、方位、组成单元





## 2.1.1

# 形状的感知

### (1) 视觉边缘和目标

图形形状不变性：位置、大小、方位、组成单元





## 2.1.1

# 形状的感知

### (1) 视觉边缘和目标

图形形状不变性：位置、大小、方位、组成单元







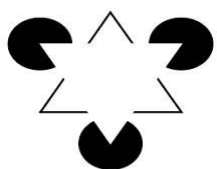
## 2.1.1

# 形状的感知

### (1) 视觉边缘和目标

图形形状不变性：位置、大小、方位、组成单元





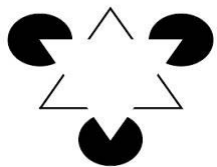
## 2.1.1

# 形状的感知

## (2) 前景（figure）和背景（background）的分离

前景位于轮廓内部，它具有某种形状

背景一般位于轮廓外部，并不具有特定的形状



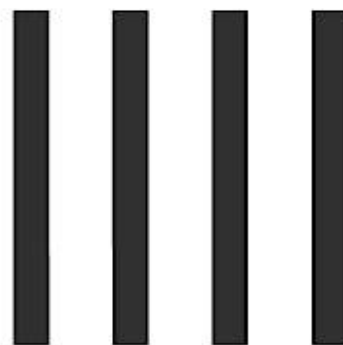
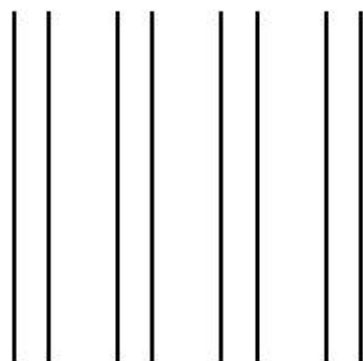
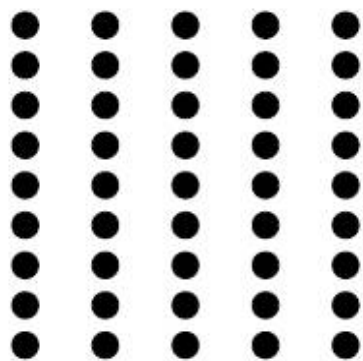
## 2.1.1

# 形状的感知

### (3) 形状构造的规律

根据格式塔理论，形状有一些构造规则

**接近规则：**空间中相接近的元素比相分离的元素更容易被感知为属于共同的形状





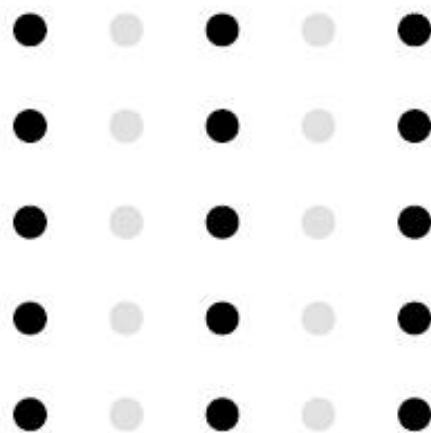
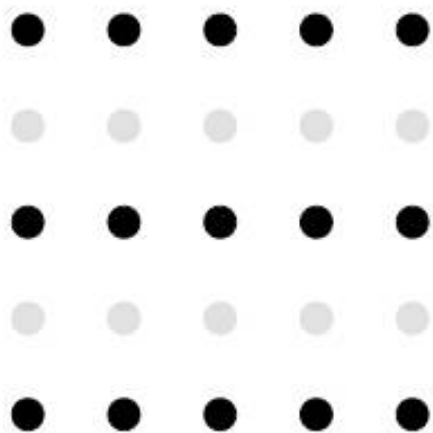
## 2.1.1

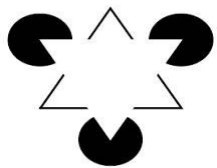
# 形状的感知

### (3) 形状构造的规律

根据格式塔理论，形状有一些构造规则

**相似规则：**类似形状或尺寸的元素更容易被感知为属于相似的集体形状





## 2.1.1

# 形状的感知

### (3) 形状构造的规律

图像处理中使用接近规则和相似规则的算法?

1	3	4	7	6
2	1	6	8	6
4	7	8	6	7
4	8	9	6	7
4	2	7	6	1

1	3	4	7	6
2	1	6	8	6
4	7	8	6	7
4	8	9	6	7
4	2	7	6	1

1	3	4	7	6
2	1	6	8	6
4	7	8	6	7
4	8	9	6	7
4	2	7	6	1

0	0	0	1	1
0	0	1	1	1
0	1	1	1	1
0	1	1	1	1
0	0	1	1	0

1	3	4	7	6
2	1	6	8	6
4	7	8	6	7
4	8	9	6	7
4	2	7	6	1





## 2.1.1

# 形状的感知

### (3) 形状构造的规律

如何综合接近规则和相似规则？

$$w_{ij} = \exp(-\|F_i - F_j\|_2^2 / \sigma_I^2) * \begin{cases} \exp(-\|X_i - X_j\|_2^2 / \sigma_X^2) & \text{if } \|X_i - X_j\|_2 < r \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$F$  : 像素灰度值

$X$  : 像素空间位置



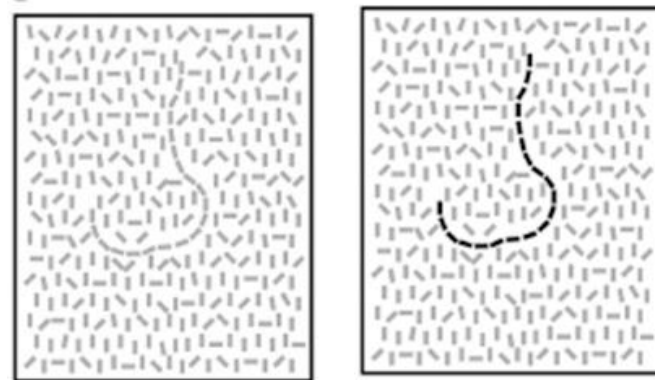
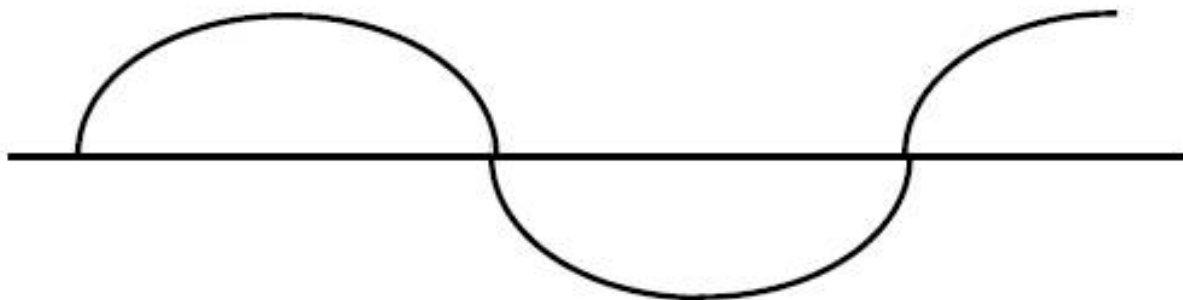
## 2.1.1

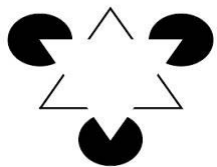
# 形状的感知

### (3) 形状构造的规律

根据格式塔理论，形状有一些构造规则

**连续规则：** 不完整的形状有被感知为完整形状的趋势（如果一个图形的某些部分可以被看作是连接在一起的，如**光滑连接**，那么这些部分就相对容易被我们知觉为一个整体。）





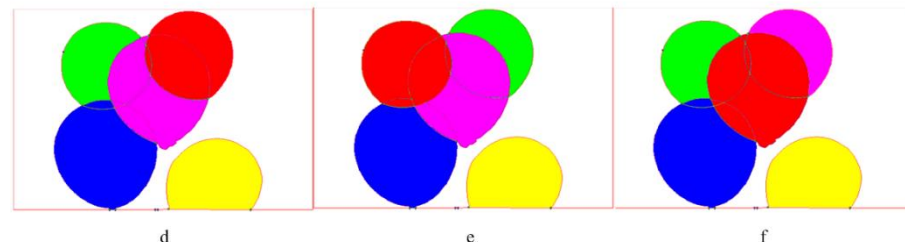
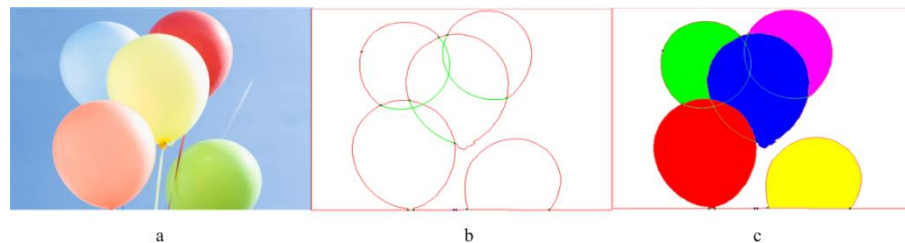
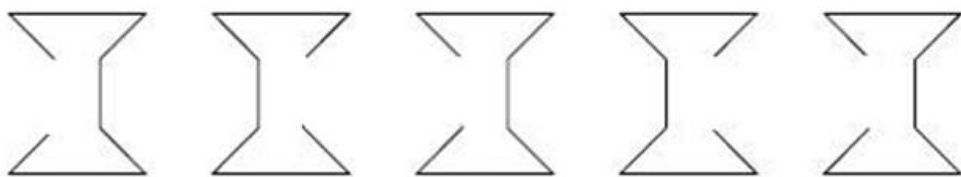
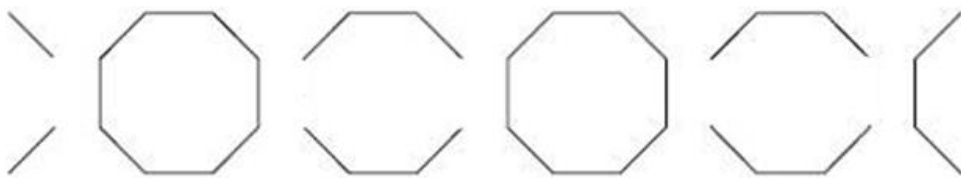
## 2.1.1

# 形状的感知

### (3) 形状构造的规律

根据格式塔理论，形状有一些构造规则

**封闭规则：** 移动一个形状时，同时移动的元素被感知为属于同一个形状整体（没有闭合的残缺形状有被感知为闭合形状的倾向）





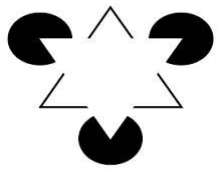
## 2.1.1

# 形状的感知

### (4) 形状和信息

前景中的信息冗余：亮度均匀/结构对称

最小原理：感知最简单形状

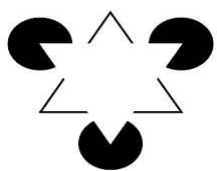


## 2.1.2 轮廓

轮廓（封闭的边界）是形状知觉中最基本的概念，人在知觉一个形状以前一定先看到轮廓

轮廓在帮助构成形状时还有“方向性”。轮廓通常倾向于对它所包围的空间发生影响，即轮廓一般是向内部而不是向外部发挥构成形状的作用

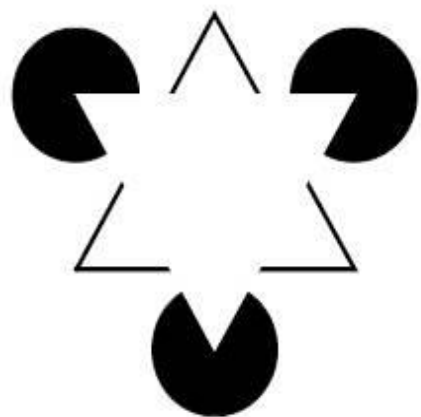




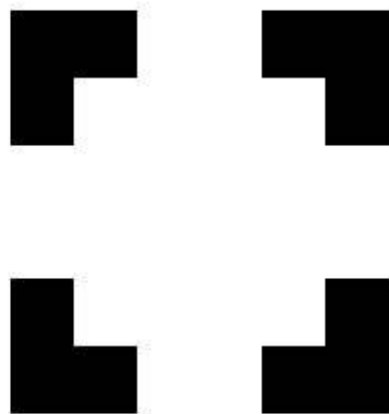
## 2.1.2

## 轮廓

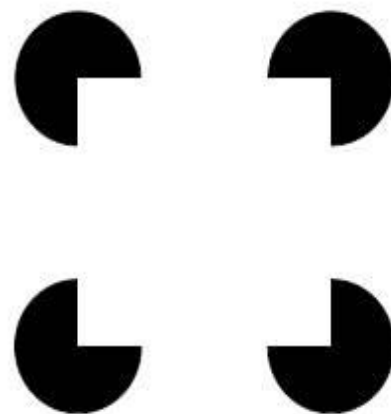
**主观轮廓：**在没有直接刺激作用下产生的轮廓知觉。主观轮廓的形成是在一定感觉信息的基础上进行知觉假设的结果



( a )

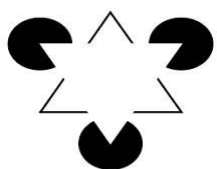


( b )



( c )

图 2.2.2 主观轮廓示例

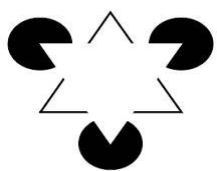


## 2.1.2 轮廓

图形（**figure**，前景）和背景：

形状感知的第一步是将目标（图形，前景）从背景中区分出来

- (1) 图形有一定的形状，背景相对来说没有形状
- (2) 尽管图形和背景在同一个物理平面上，前景常看起来更接近观察者
- (3) 图形一般占据比背景小的区域面积，但图形与背景相比常更动人，更倾向于具有一定的意义
- (4) 图形和背景不能同时看到，但可顺序看到



2.1.2

## 轮廓

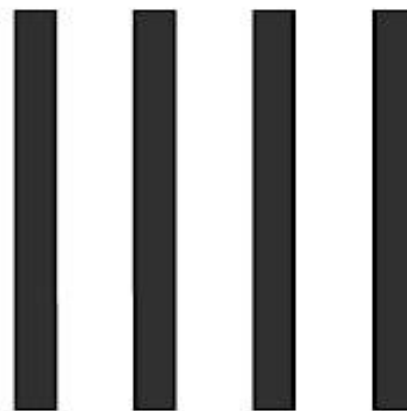
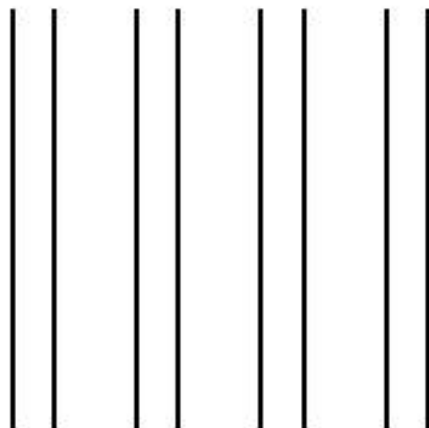
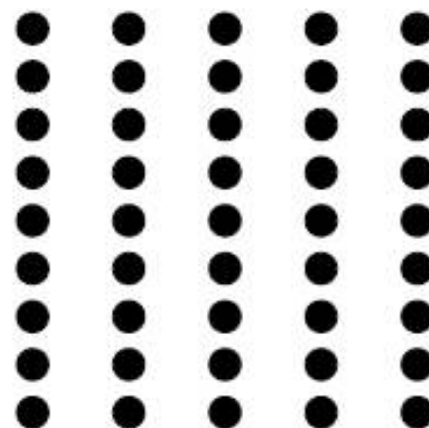




## 2.1.2

## 轮廓

- 形成图形和背景的影响因素——视野中的距离  
格式塔原理中的接近规则

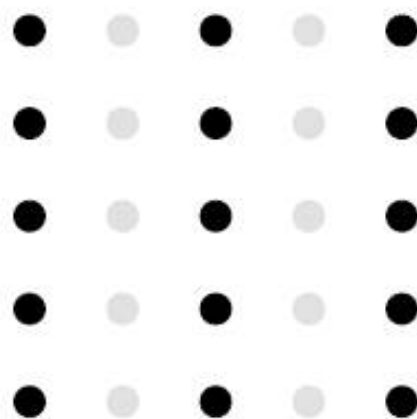
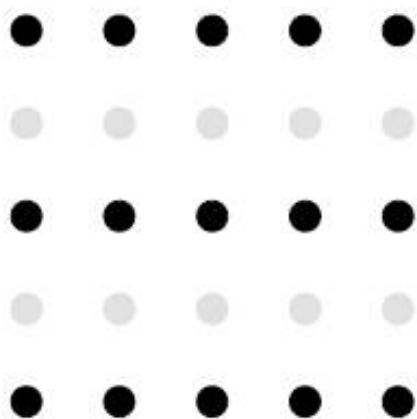




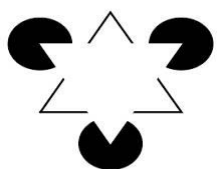
## 2.1.2

## 轮廓

- 形成图形和背景的影响因素——相同或相似  
格式塔原理中的相似规则



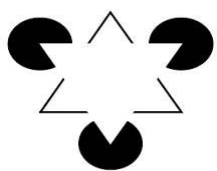




## 2.1.2

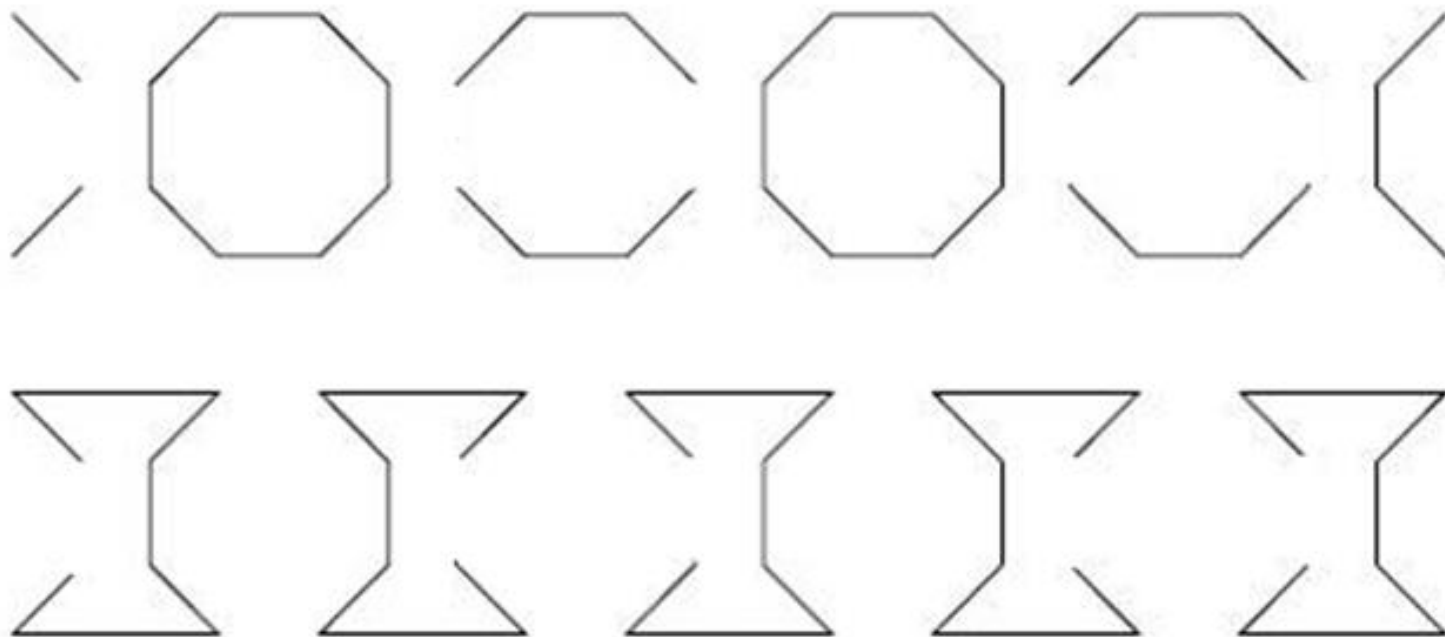
## 轮廓

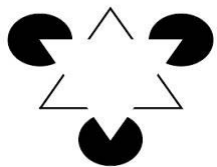
- 形成图形和背景的影响因素——良好图形
  - 有一定的意义
  - 刺激性因素
  - 非刺激性因素（主观因素）



## 2.1.2 轮廓

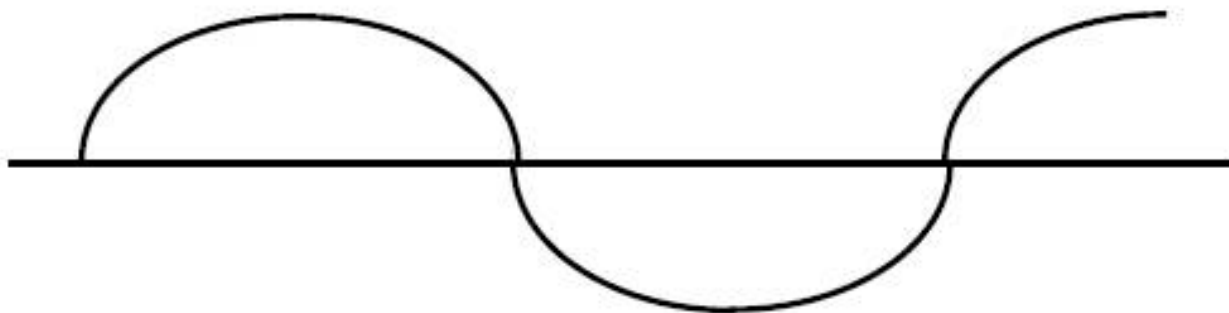
- 形成图形和背景的影响因素——良好图形  
刺激性因素：封闭（格式塔原理规则之一）

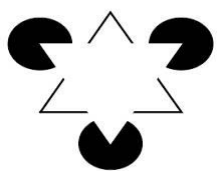




## 2.1.2 轮廓

- 形成图形和背景的影响因素——良好图形  
刺激性因素：连续（格式塔原理规则之一）

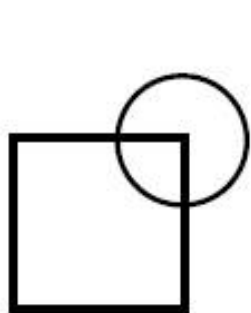




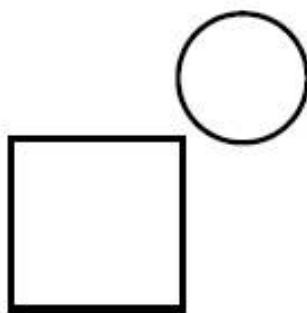
## 2.1.2

## 轮廓

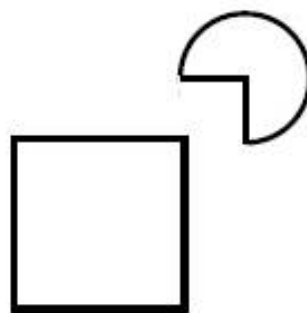
- 形成图形和背景的影响因素——良好图形  
刺激性因素：对称



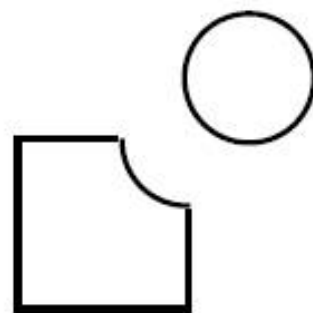
( a )



( b )



( c )



( d )

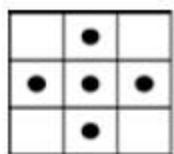


## 2.1.2 轮廓

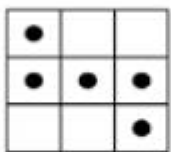
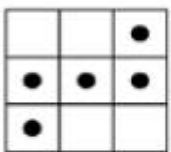
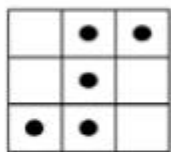
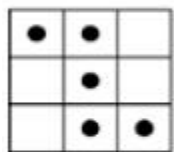
### ■形成图形和背景的影响因素——良好图形

“良好性”的度量：

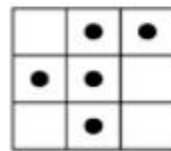
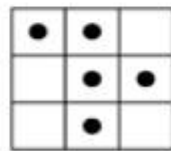
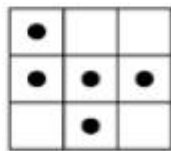
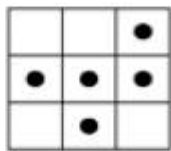
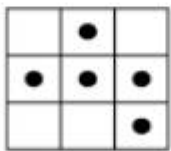
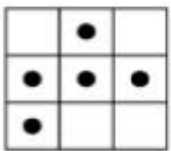
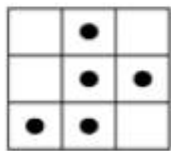
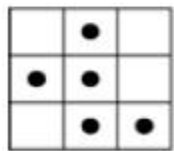
- (1) 信息论：冗余图形，可从局部预测整体
- (2) 可变图形的数量



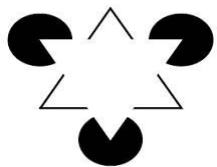
(a)



(b)



(c)

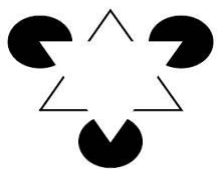


## 2.2 空间知觉

2.2.1 非视觉性深度线索

2.2.2 双目深度线索

2.2.3 单目深度线索



## 2.2.1 非视觉性深度线索

非视觉性深度线索有其生理基础：

- (1) 眼睛聚焦调节
- (2) 双眼视轴的辐合

为将两眼对准物体，两眼视轴必须完成一定的辐合运动。控制视轴辐合的眼肌运动能给大脑提供关于物体距离的信息

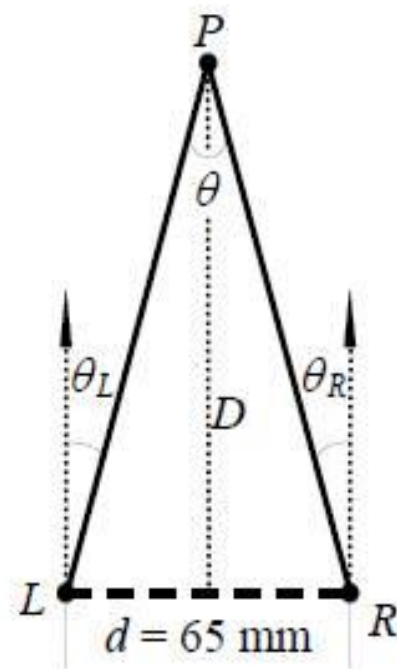
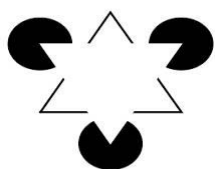
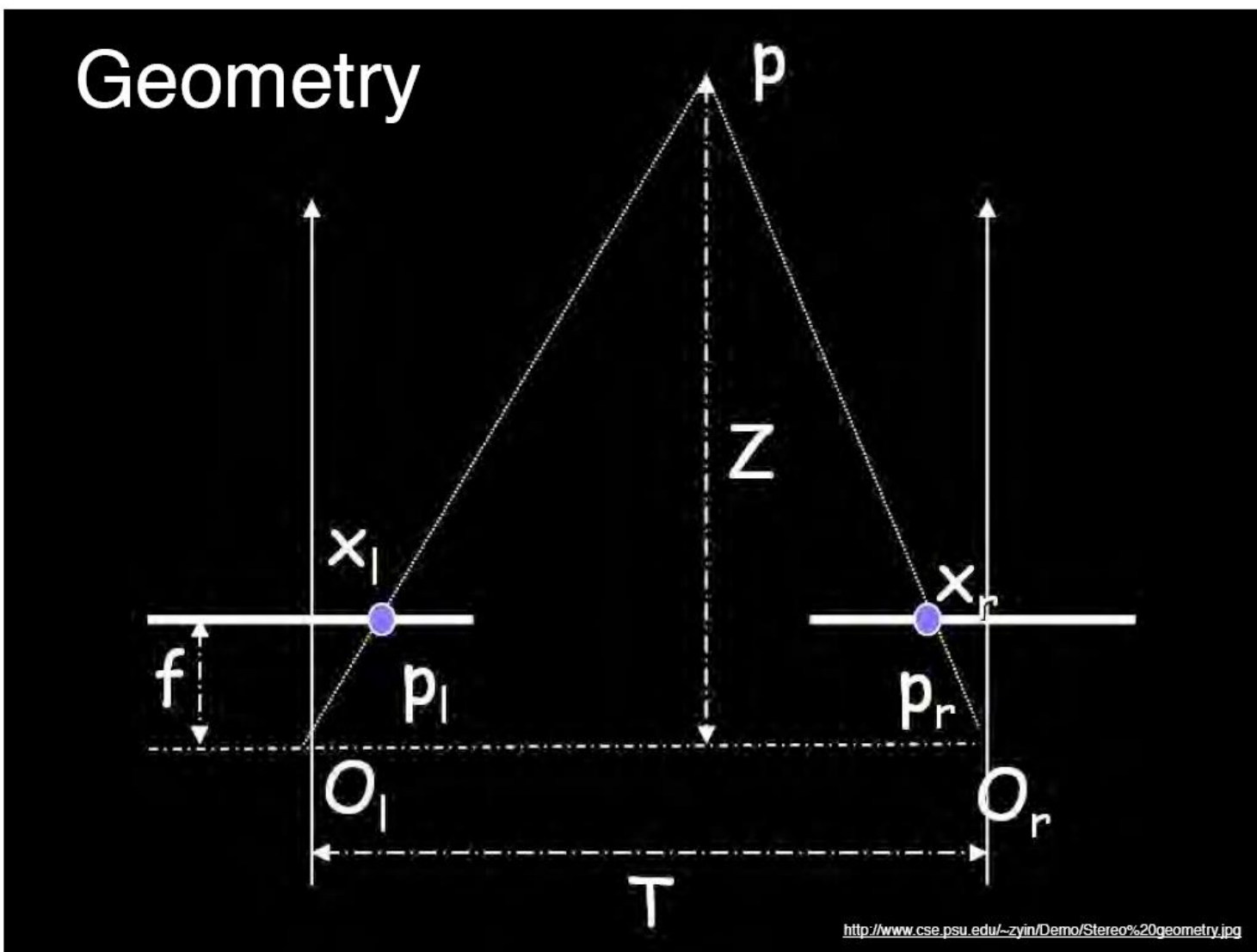


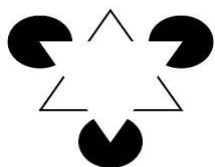
图 2.3.1 双眼视轴的辐合



## 2.2.2 双目深度线索







## 2.2.2 双目深度线索

随机点立体图

1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0
0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1
1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1
0	0	1	Y	A	A	B	B	0	1	0
0	1	0	X	A	B	A	B	0	0	1
1	0	1	Y	B	A	B	A	1	0	0
0	1	0	X	B	B	A	A	0	1	0
1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1
1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0

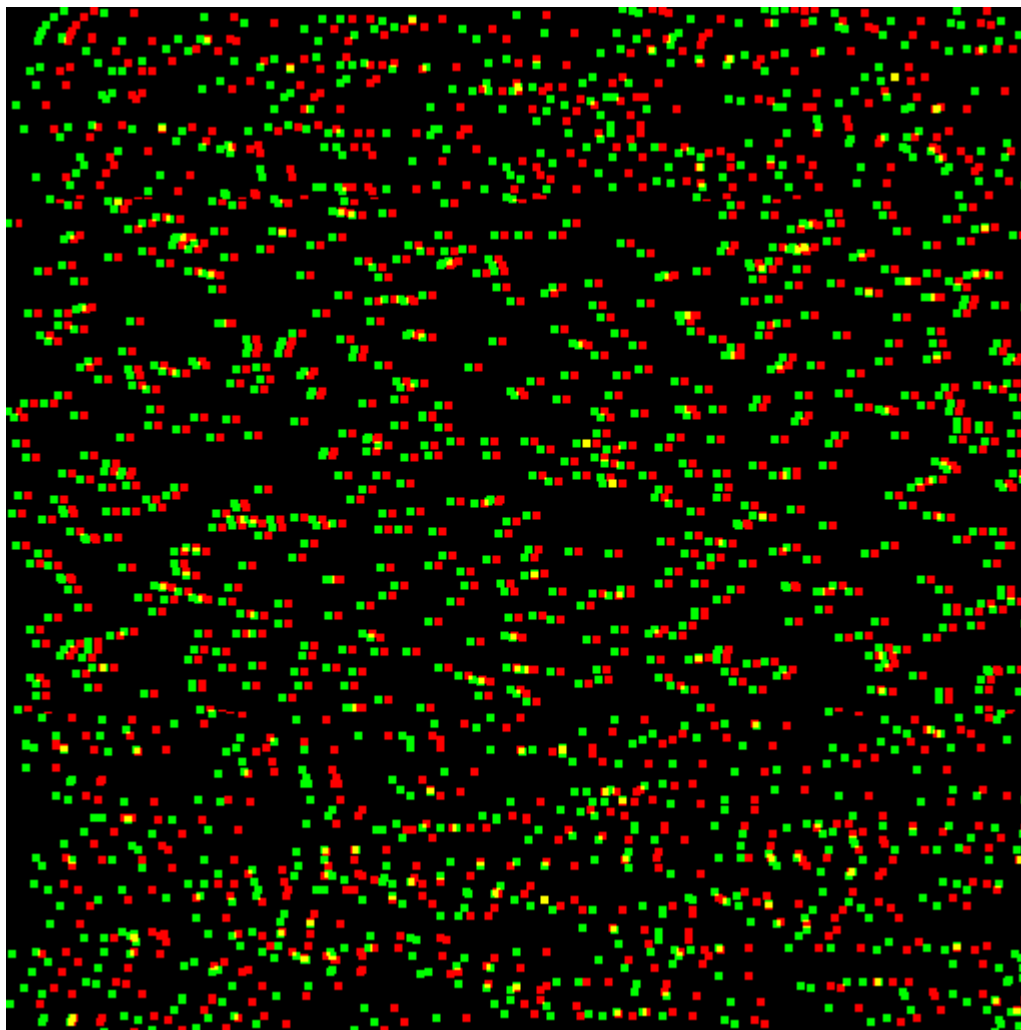
1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0
0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1
1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1
0	0	1	A	A	B	B	X	0	1	0
0	1	0	A	B	A	B	Y	0	0	1
1	0	1	B	A	B	A	X	1	0	0
0	1	0	B	B	A	A	Y	0	1	0
1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1
1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0

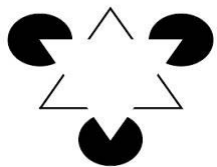
图 2.3.3 随机点立体图示例



## 2.2.2 双目深度线索

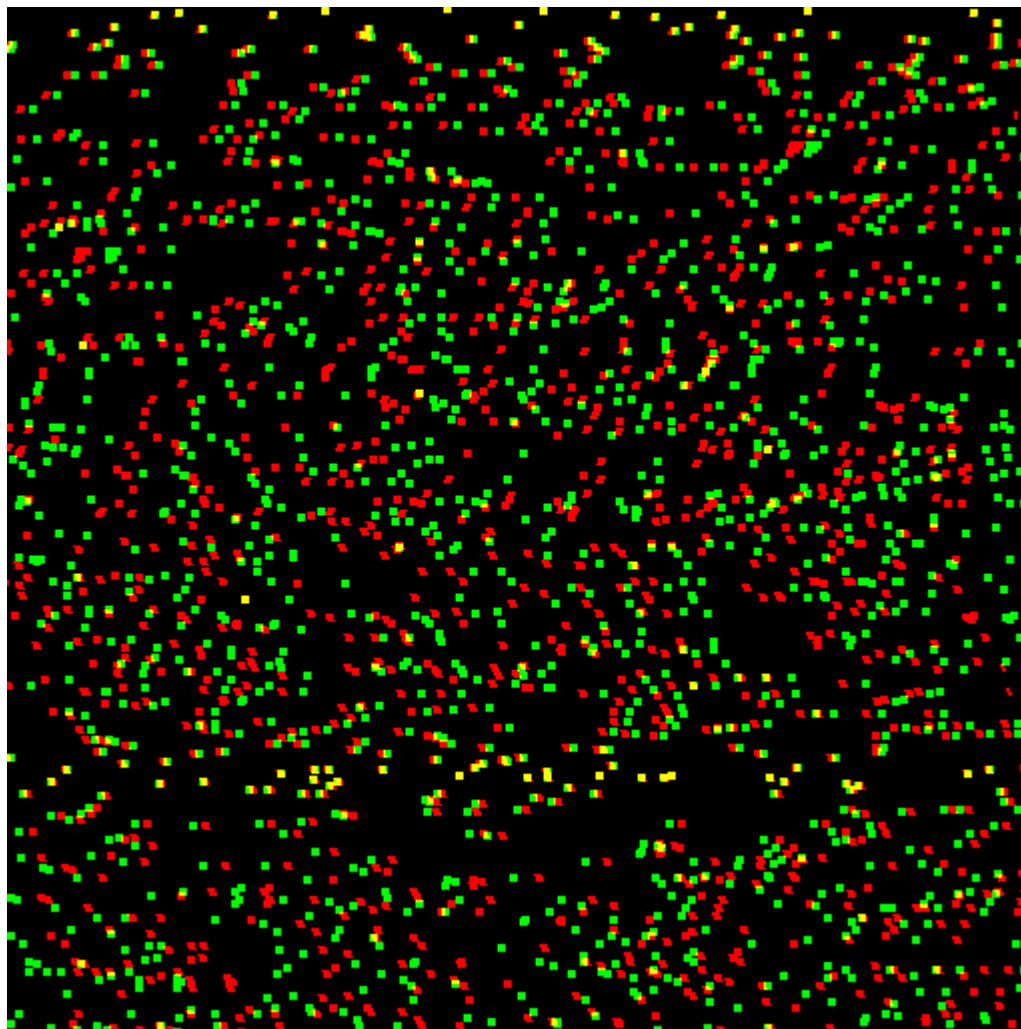
随机点立体图

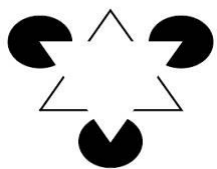




## 2.2.2 双目深度线索

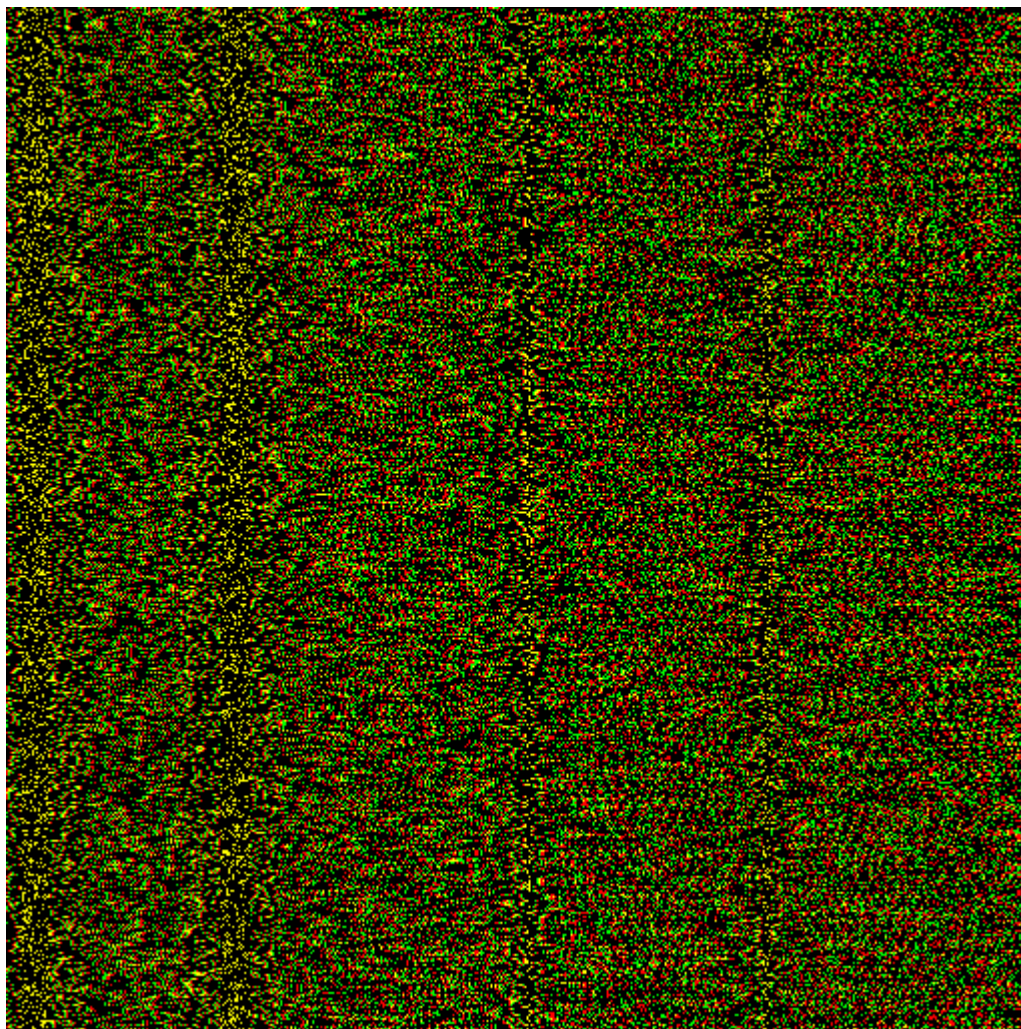
随机点立体图





## 2.2.2 双目深度线索

随机点立体图

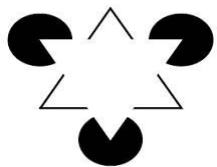




## 2.2.3 单目深度线索

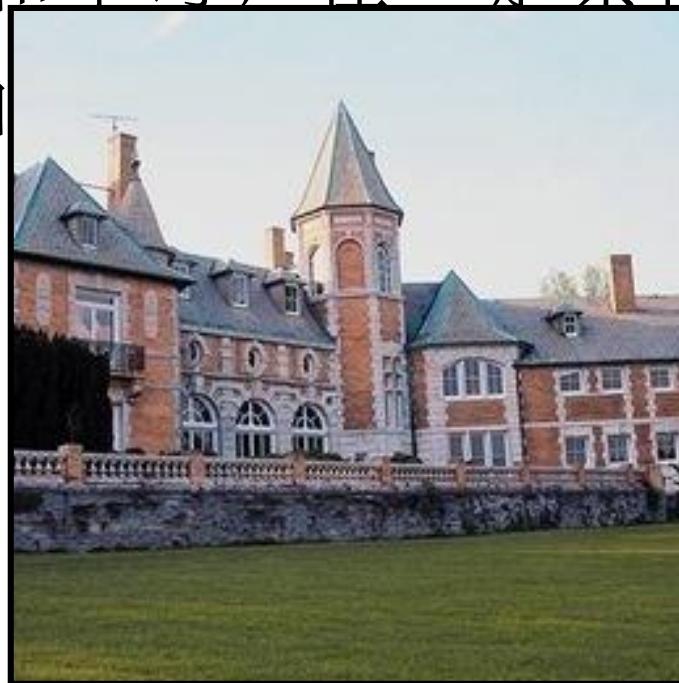
在单目视觉中刺激物本身的一些物理条件，通过观察者的经验和学习，在一定条件下也可以成为知觉深度和距离的线索

(1) 大小和距离

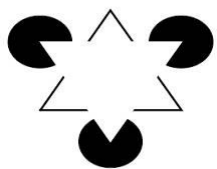


## 2.2.3 单目深度线索

在单目视觉中刺激物本身的一些物理条件，通过观察者的经验和学习，在一定条件下







## 2.2.3 单目深度线索

在单目视觉中刺激物本身的一些物理条件，通过一定条件下也可以

(1)



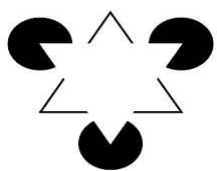


## 2.2.3 单目深度线索

在单目视觉中刺激物本身的一些物理条件，通过观察者的经验和学习，在一定条件下也可以成为知觉深度和距离的线索

- (1) 大小和距离
- (2) 照明的变化



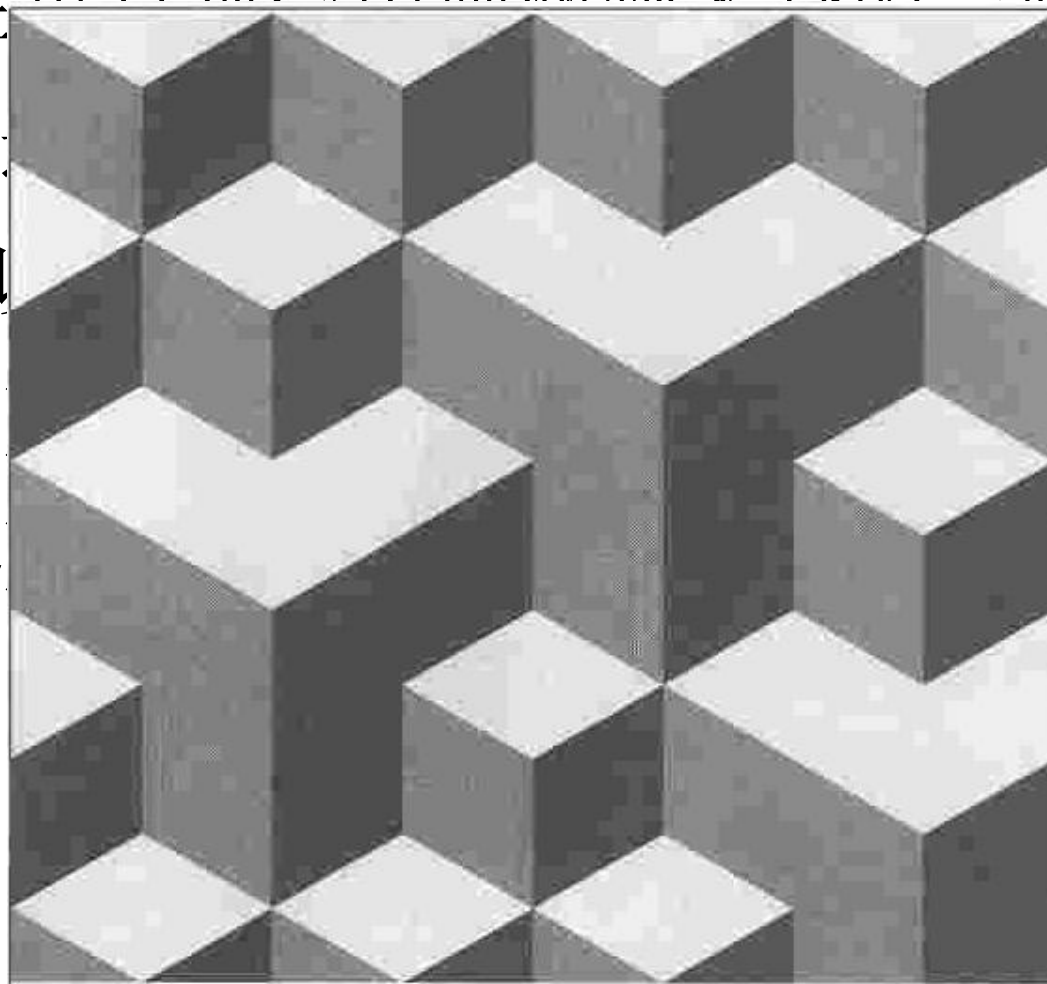


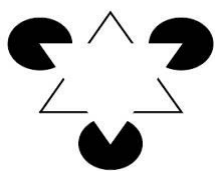
## 2.2.3 单目深度线索

在单目视觉中，物体表面的一些物理条件，通常情况下也可以

(1)

(2)





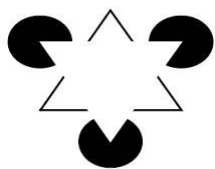
## 2.2.3 单目深度线索

在单目视觉中刺激物本身的一些物理条件，通过一些单目深度线索，在一定条件下也可以产生深度感。

(1)

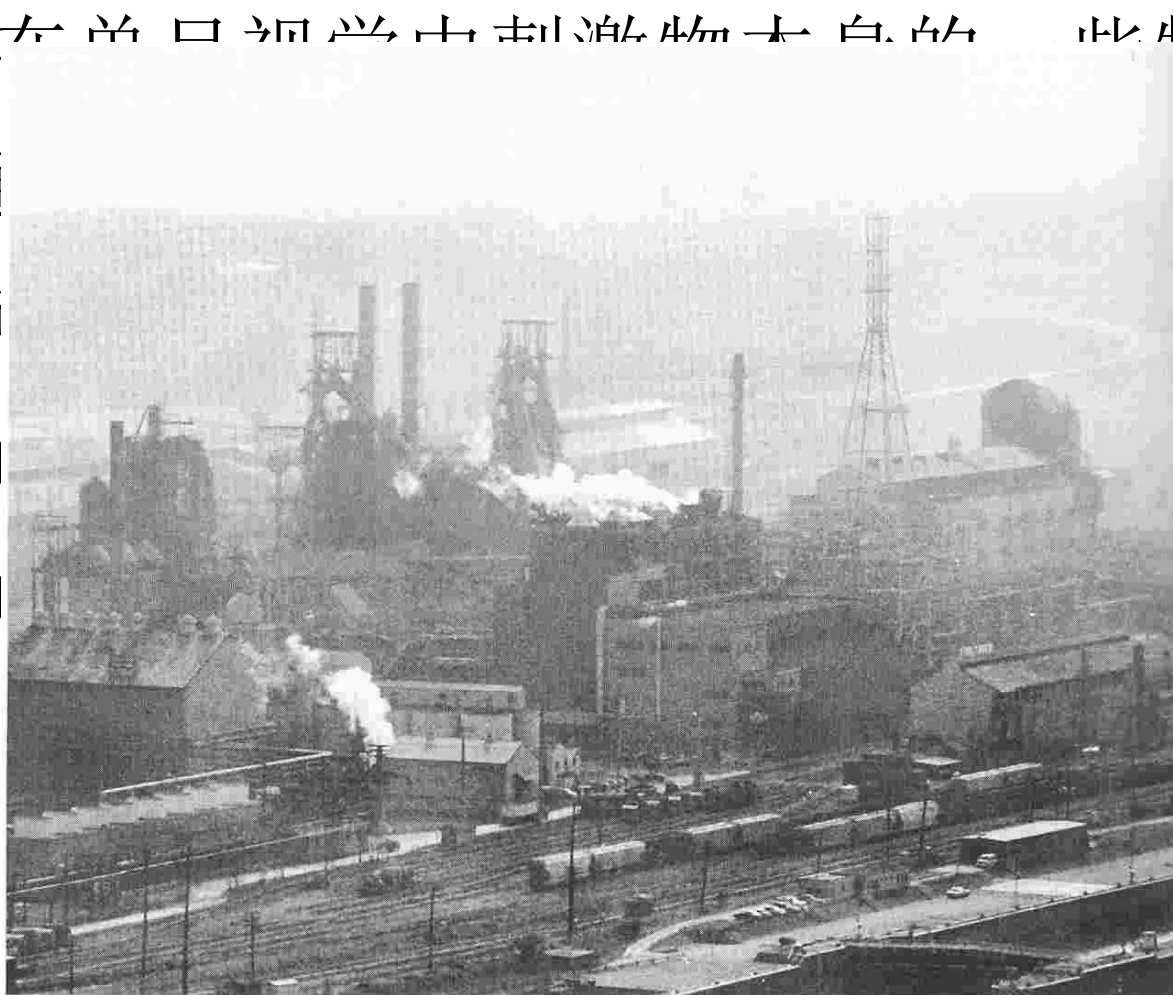
(2)

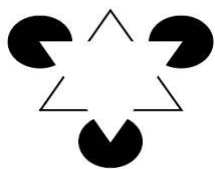




## 2.2.3 单目深度线索

左前口福兴山制浆物太自的 些物理条  
件，通 三条件  
下也可





## 2.2.3 单目深度线索

件，  
下也

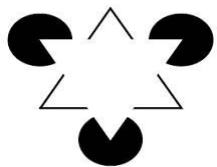




## 2.2.3 单目深度线索

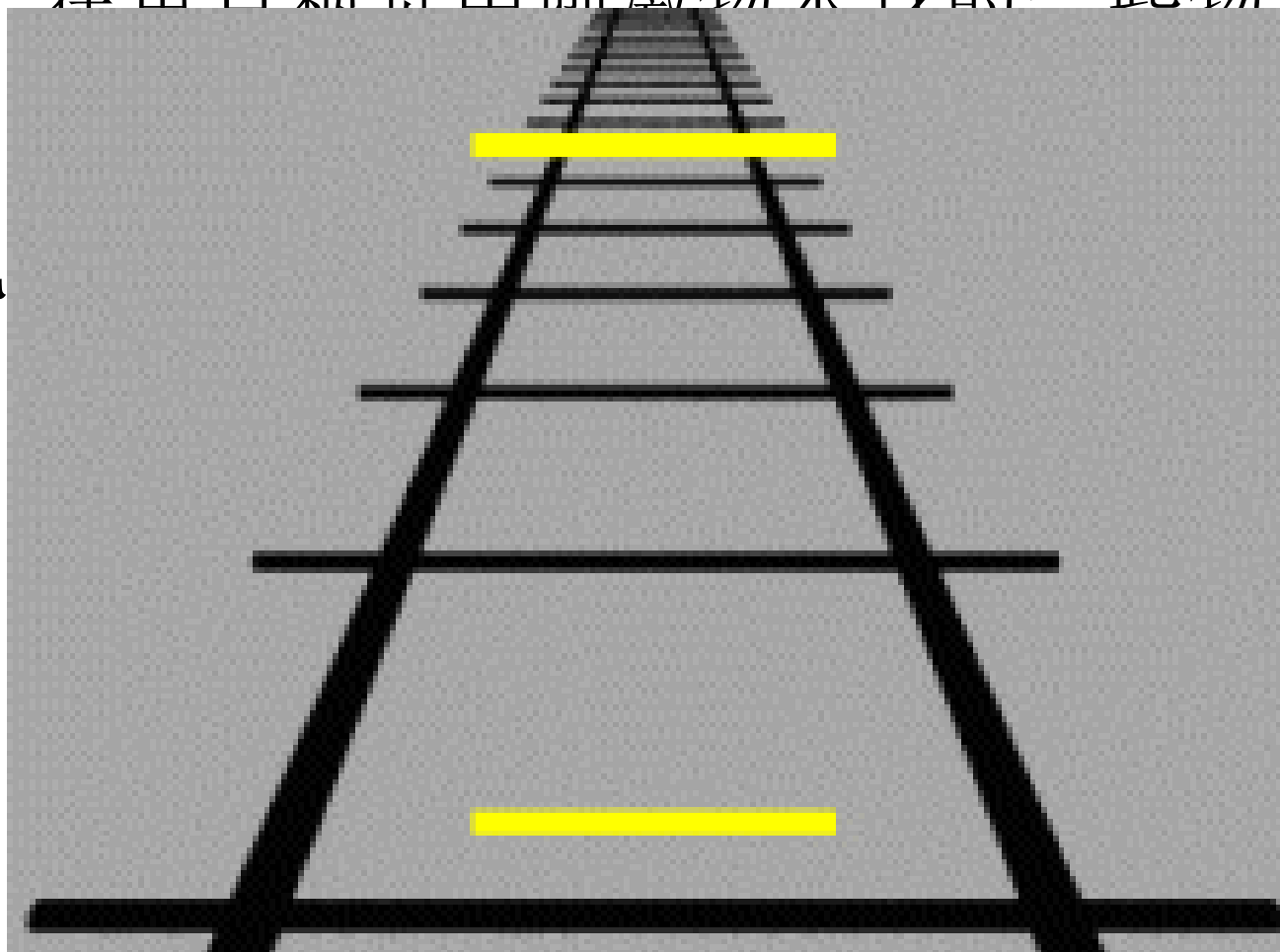
在单目视觉中刺激物本身的一些物理条件，通过观察者的经验和学习，在一定条件下也可以成为知觉深度和距离的线索

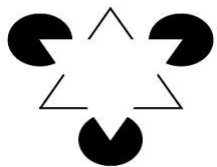
- (1) 大小和距离
- (2) 照明的变化
- (3) 线性透视



## 2.2.3 单目深度线索

在单目视觉刺激物本身的一些物理条件，  
下也



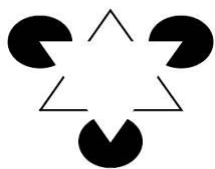


## 2.2.3 单目深度线索

在单目视觉中刺激物本身的一些物理条件，通过观察者的经验和学习，在一定条件下也可以成为知觉深度和距离的线索

- (1) 大小和距离
- (2) 照明的变化
- (3) 线性透视
- (4) 纹理梯度





## 2.2.3 单目深度线索

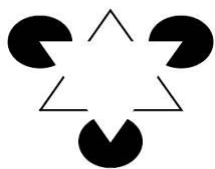
在单目条件下，通过观察物体在视网膜上的成像大小也可以成为单目深度线索。

- (1) 物体在视网膜上的成像大小
- (2) 物体在视网膜上的成像位置
- (3) 物体在视网膜上的成像对比度
- (4) 物体在视网膜上的成像清晰度



一些物理条件在一定条件下也可以成为单目深度线索。





## 2.2.3 单目深度线索



件  
下

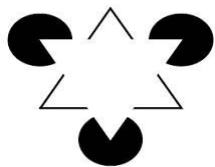
条  
件



## 2.2.3 单目深度线索

在单目视觉中刺激物本身的一些物理条件，通过观察者的经验和学习，在一定条件下也可以成为知觉深度和距离的线索

- (1) 大小和距离
- (2) 照明的变化
- (3) 线性透视
- (4) 纹理梯度
- (5) 物体的遮挡

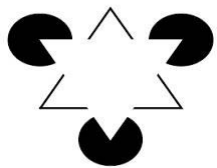


## 2.2.3 单目深度线索

在单目视觉中刺激物本身的一些物理条件，通过观察者的经验和学习，在一定条件下也可以成为深度线索

- (1) 大小
- (2) 光照
- (3) 线条
- (4) 纹理梯度
- (5) 物体的遮挡





## 2.2.3 单目深度线索

在单目视觉中刺激物本身的一些物理条件——通过观察者的经验和学习，在一定条件下



深度  
离化



(4) 纹理梯度

(5) 物体的遮挡



## 2.2.3 单目深度线索

### (6) 运动视差

当观察者在固定环境中运动时，由于物体的距离不同，导致视角变化快慢产生差异

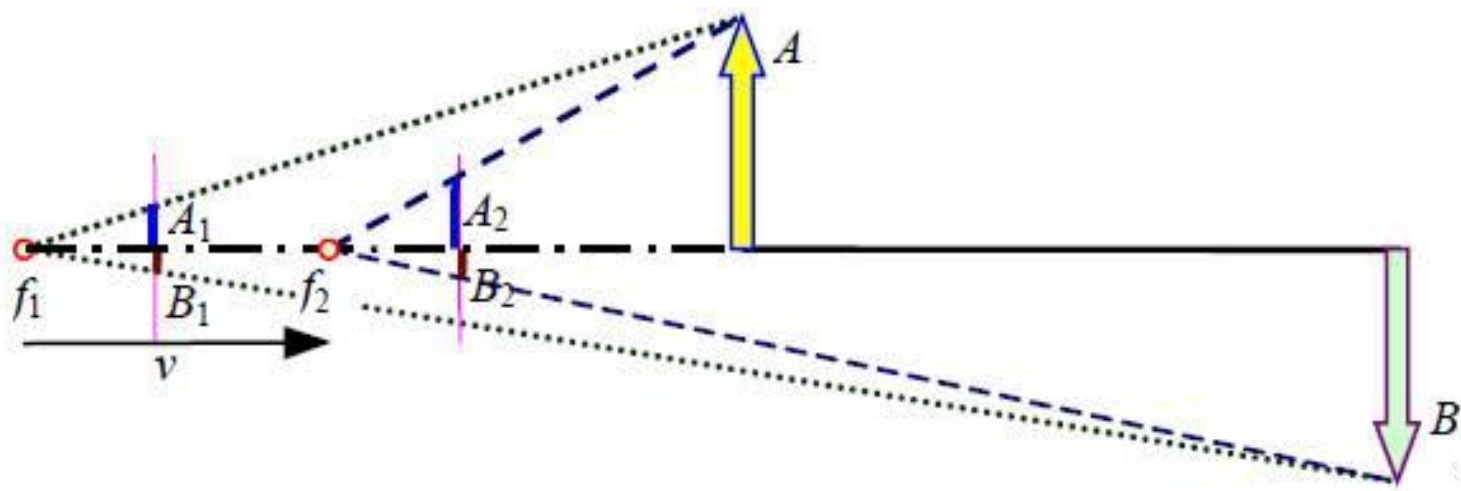
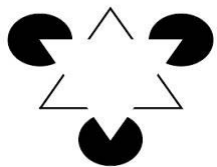


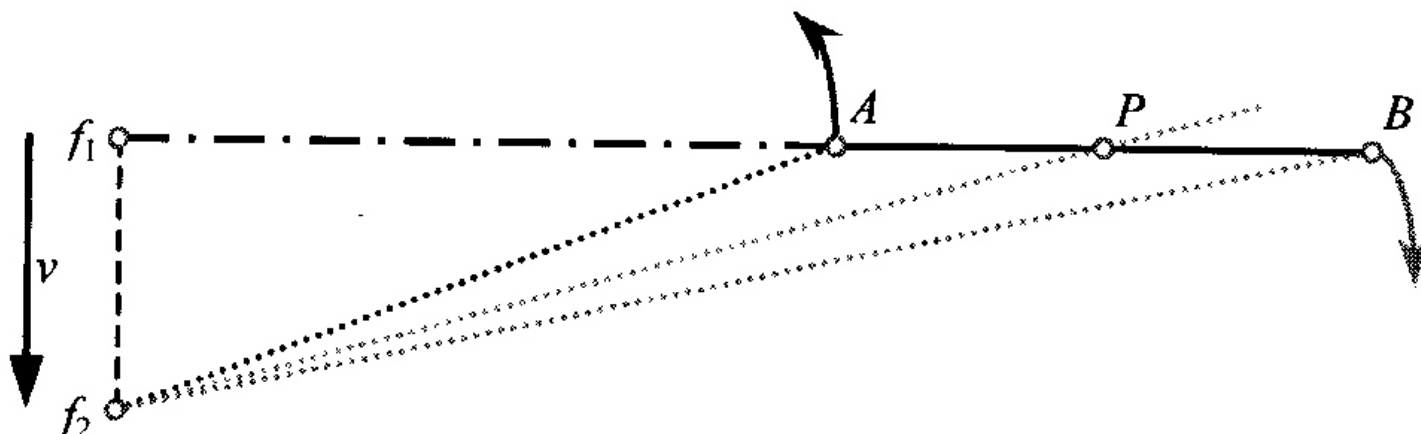
图 2.3.4 距离运动视差的几何解释



## 2.2.3 单目深度线索

### (6) 运动视差

与观察者的注视点有关





## 2.2.3 单目深度线索

知觉恒常性：

物理大小：C

视像大小：S

知觉大小：R

知觉恒常性度量  $R_B$ ：

$$R_B = \frac{R - S}{C - S}$$





## 2.3 运动知觉

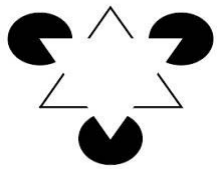
运动速度的上下限是以下变量的函数

- (1) 物体的尺寸
- (2) 亮度和反差
- (3) 环境，运动的感知有一定的相对性

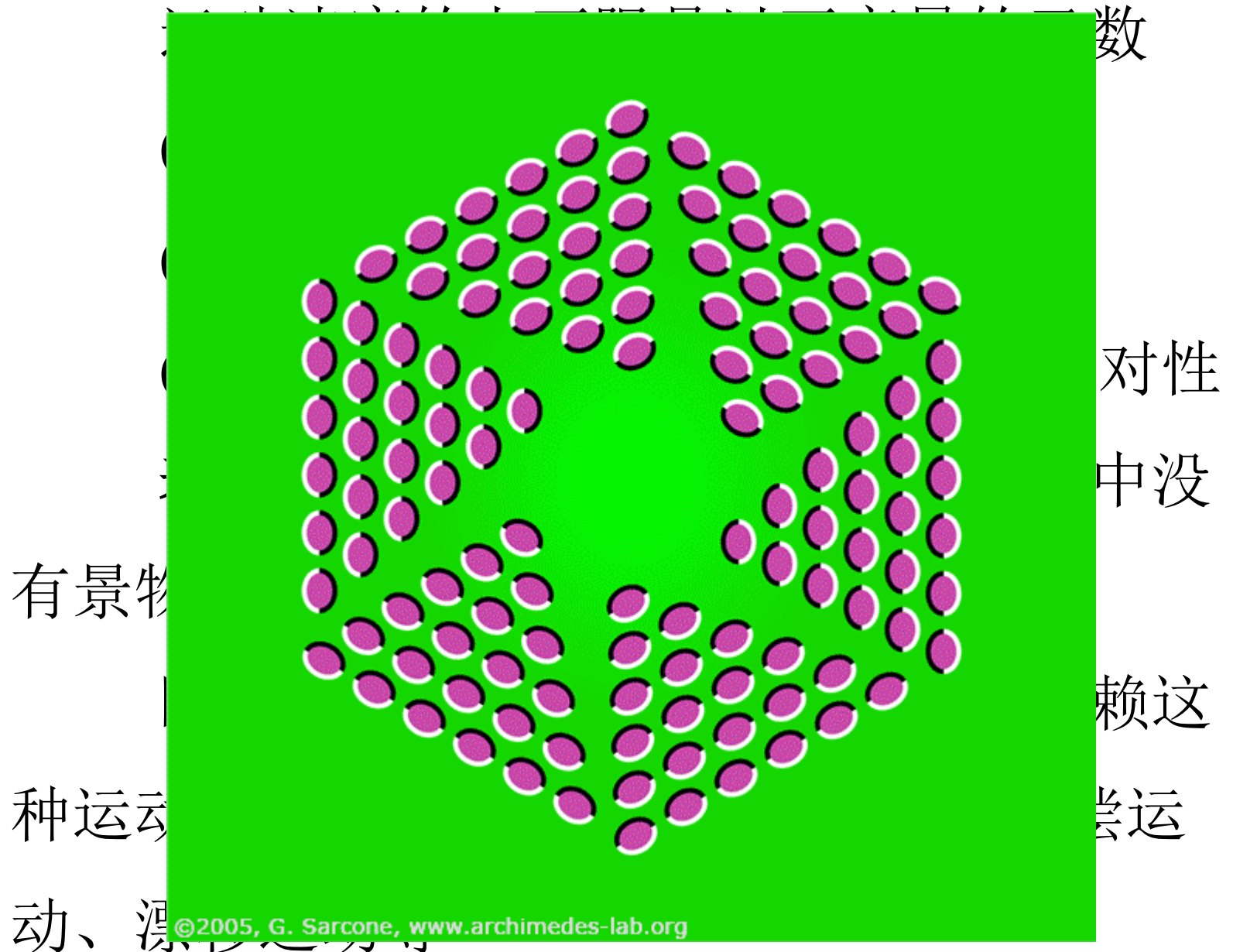
**表观运动：**在一定条件下，当实际中没有景物运动时也可能感知到运动

**眼睛的运动：**感知在一定程度上依赖这种运动，包括急速运动、跟踪运动、补偿运动、漂移运动等





## 2.3 运动知觉





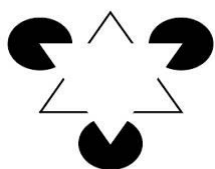
## 2.3 运动知觉

运动速度的上下限是以下变量的函数

- (1) 物体的尺寸
- (2) 亮度和反差
- (3) 环境，运动的感知有一定的相对性

**表观运动：**在一定条件下，当实际中没有景物运动时也可能感知到运动

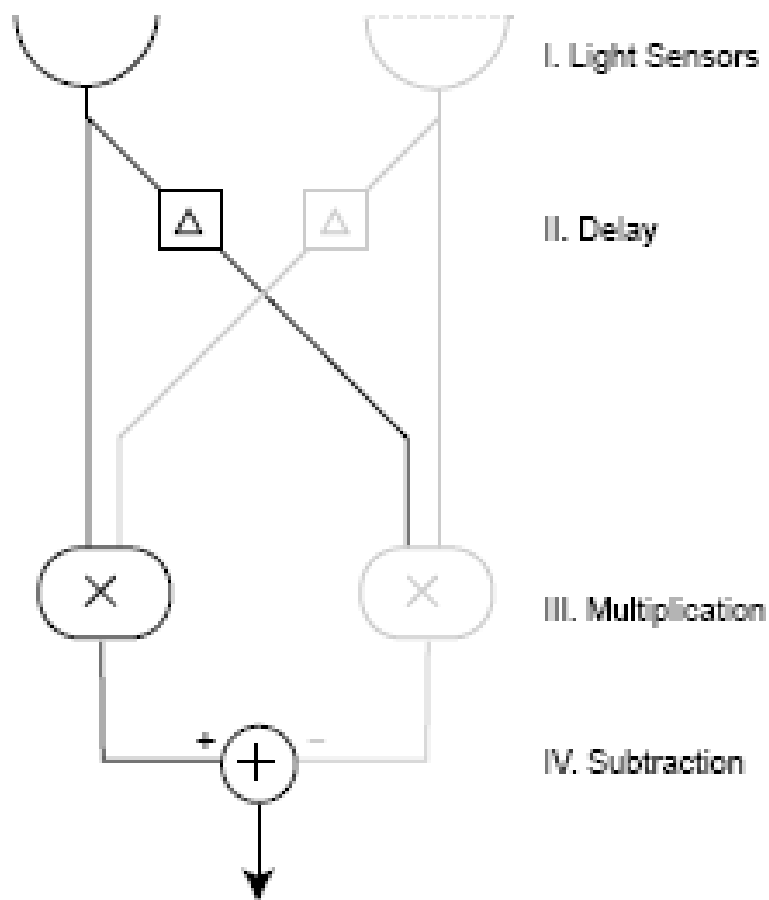
**眼睛的运动：**感知在一定程度上依赖这种运动，包括急速运动、跟踪运动、补偿运动、漂移运动等

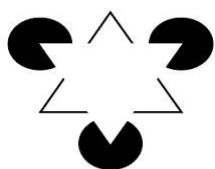


## 2.3 运动知觉



运动感知模型：

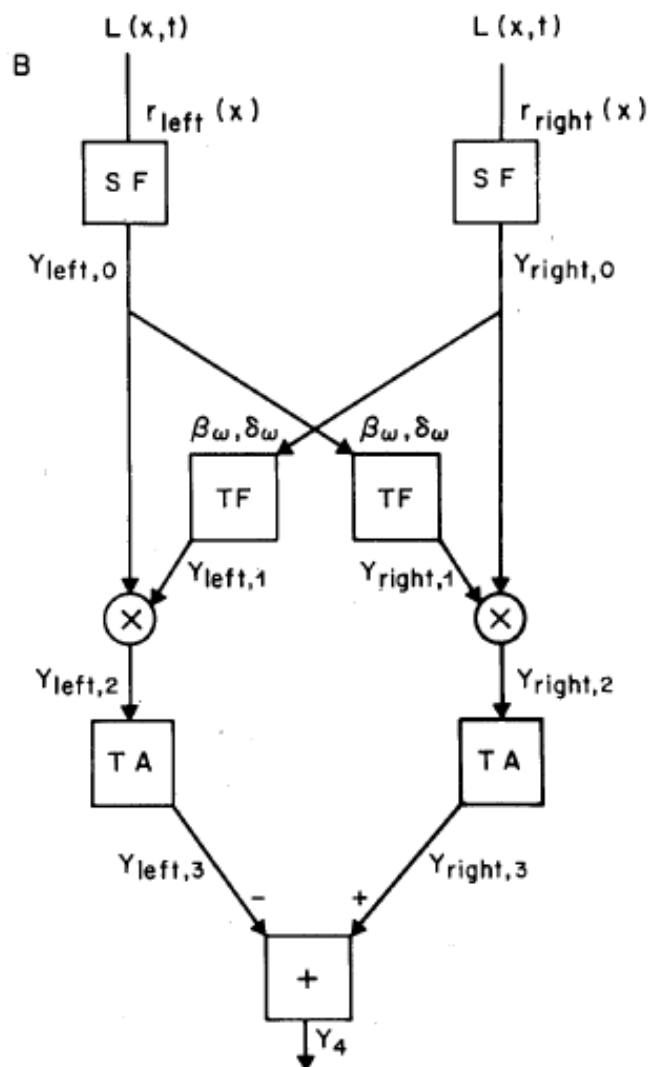




## 2.3 运动知觉



运动感知模型:



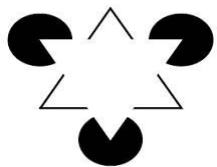


## 2.3 运动知觉



### 运动感知理论：

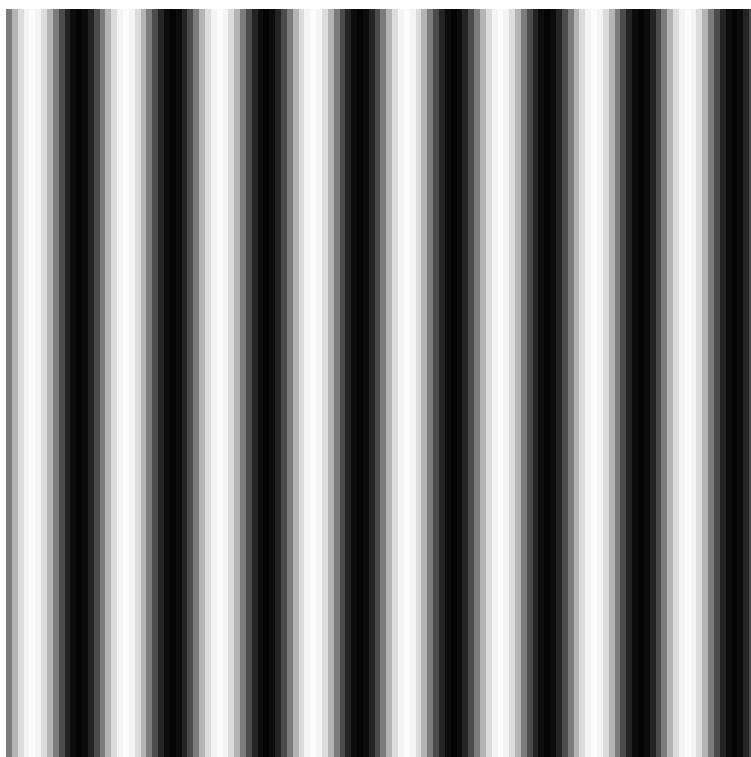
- 1、一阶运动系统主要感知亮度的运动，即所谓的一阶运动
- 2、二阶运动系统主要感知由对比度、空间频率、闪烁频率等特征定义的二阶运动
- 3、三阶运动系统主要感知由显著性特征（根据输入景象的显著性图计算）定义三阶运动



## 2.3 运动知觉



一阶运动:



$L_0$  : 平均亮度

$m$  : 对比度

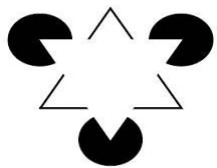
$f_1$  : 空间频率 (cycle/pixel)

$\omega$  : 时间频率 (cycle/frame)

$d$  : 运动方向 (1: 向右, -1: 向左)

$\Phi$  : 初始相位

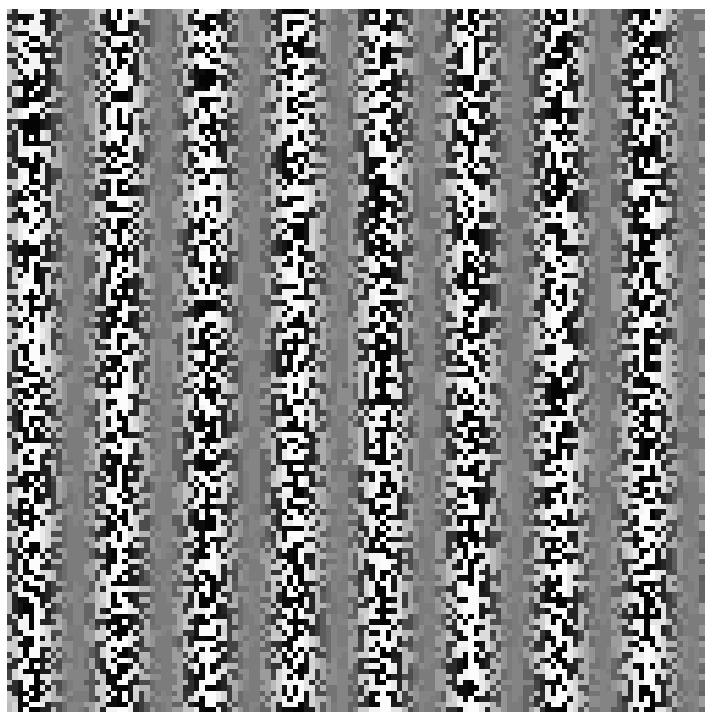
$$s(y, x) = L_0 + m \sin(2\pi f_1 x + 2\pi d \omega t + \Phi)$$



## 2.3 运动知觉

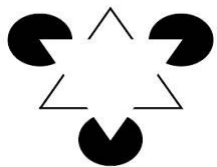


二阶运动：静态随机纹理载波对比度调制



$B(y, x)$  : 值为1或-1的随机数

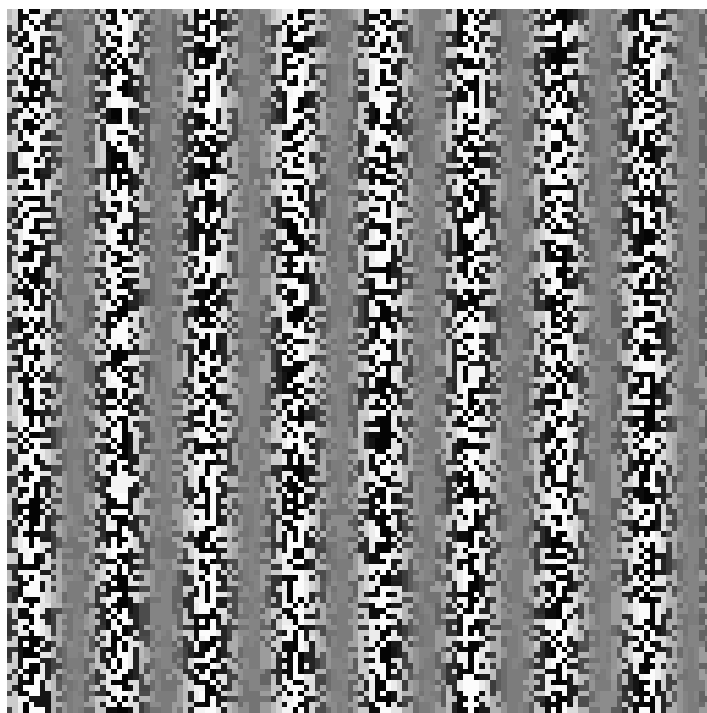
$$s(y, x) = L_0 + B(y, x)m \sin(2\pi f_1 x + 2\pi d\omega t + \Phi)$$



## 2.3 运动知觉



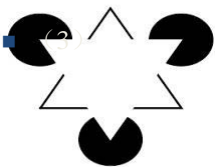
二阶运动：动态随机纹理载波对比度调制



$B(y, x, t)$ : 值为1或-1的随机数

$$s(y, x) = L_0 + B(y, x, t)m \sin(2\pi f_1 x + 2\pi d\omega t + \Phi)$$

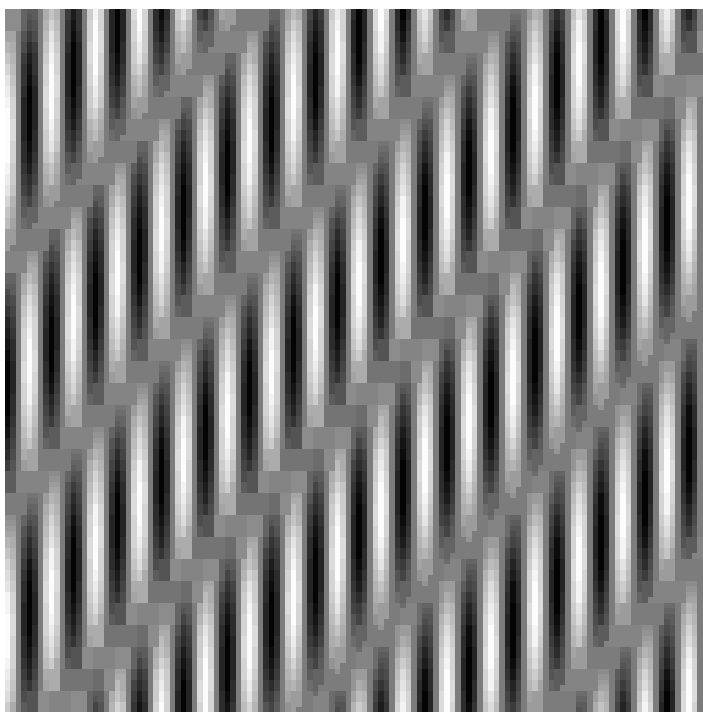




## 2.3 运动知觉



### 二阶运动：对比度调制



$f_c$ : 载波空间频率（静止）

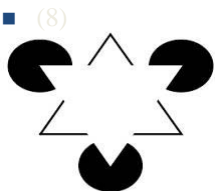
$\theta_c$ : 载波方向，这里为 $0^\circ$

$f_s$ : 包络空间频率（运动）

$\theta_s$ : 包络方向，这里为 $45^\circ$

$$f_c \geq 3f_s$$

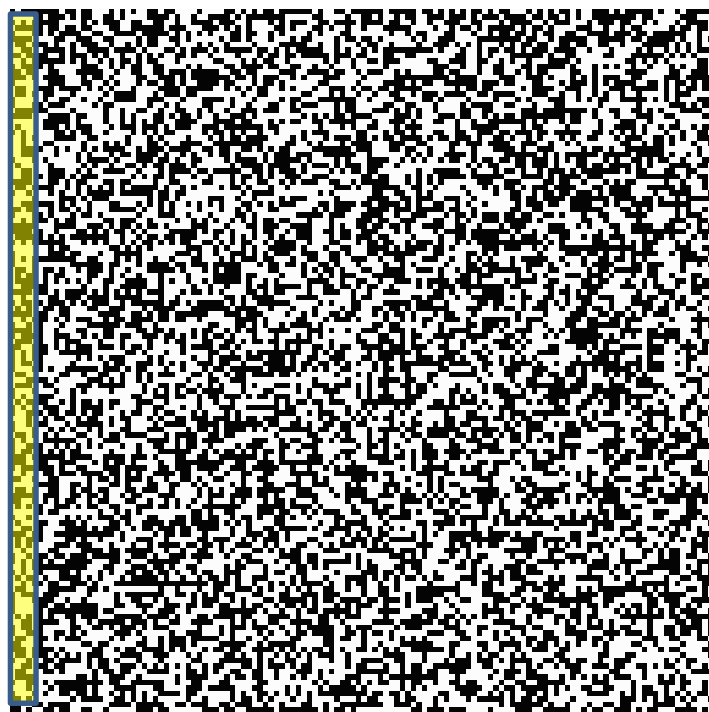
$$S(y, x, t) = L_0 + m \bullet \cos(2\pi f_c \cos \theta_c x + 2\pi f_c \sin \theta_c y) \bullet \sin(2\pi f_s \cos \theta_s x + 2\pi f_s \sin \theta_s y + 2\pi d\omega t + \Phi)$$



## 2.3 运动知觉



### 二阶运动：噪声场对比度反转传播运动



$r(y, x)$ : 值为1或-1的随机数

$N$  : 场景宽度

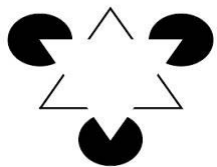
$w$  : 运动信号宽度

$v$  : 运动速度

$$s(y, x, t) = (-1)^{n(x, t)} \cdot r(y, x)$$

$$n(x, t) = \sum_{i=1}^t f(x, \text{mod}(vt, N), \text{mod}(vt + w - 1, N))$$

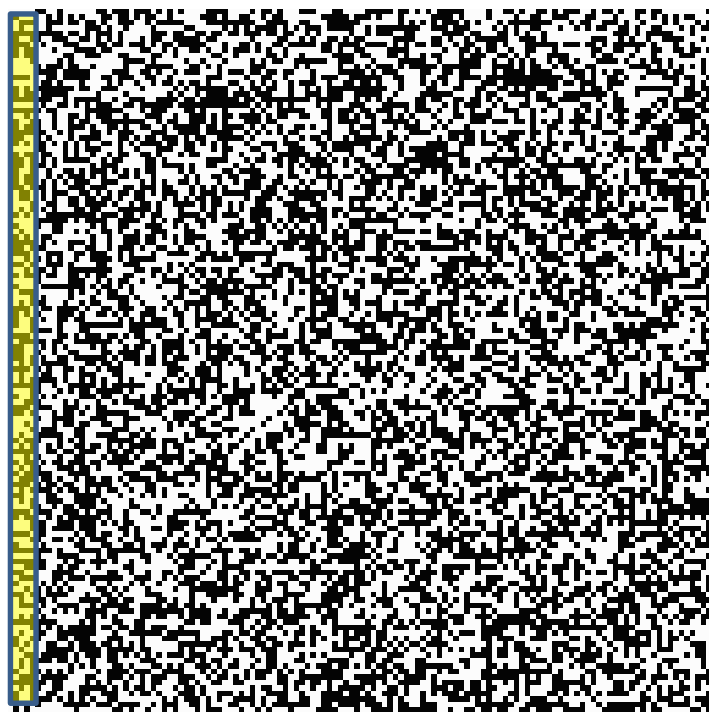
$$f(x, \alpha, \beta) = \begin{cases} 1 & \text{当 } \alpha \leq x \leq \beta \text{ 或当 } \alpha > \beta \text{ 且 } x \leq \alpha \text{ 或 } x \geq \beta \text{ 时} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$



## 2.3 运动知觉



### 二阶运动：随机对比度反转运动



$r(y, x)$  : 值为1或-1的随机数

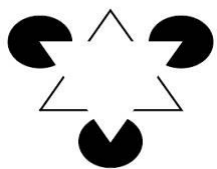
$I_b$  : 静止背景

$I_o$  : 运动目标

$v$  : 运动速度

$\chi(x - vt)$  : 目标背景指示器

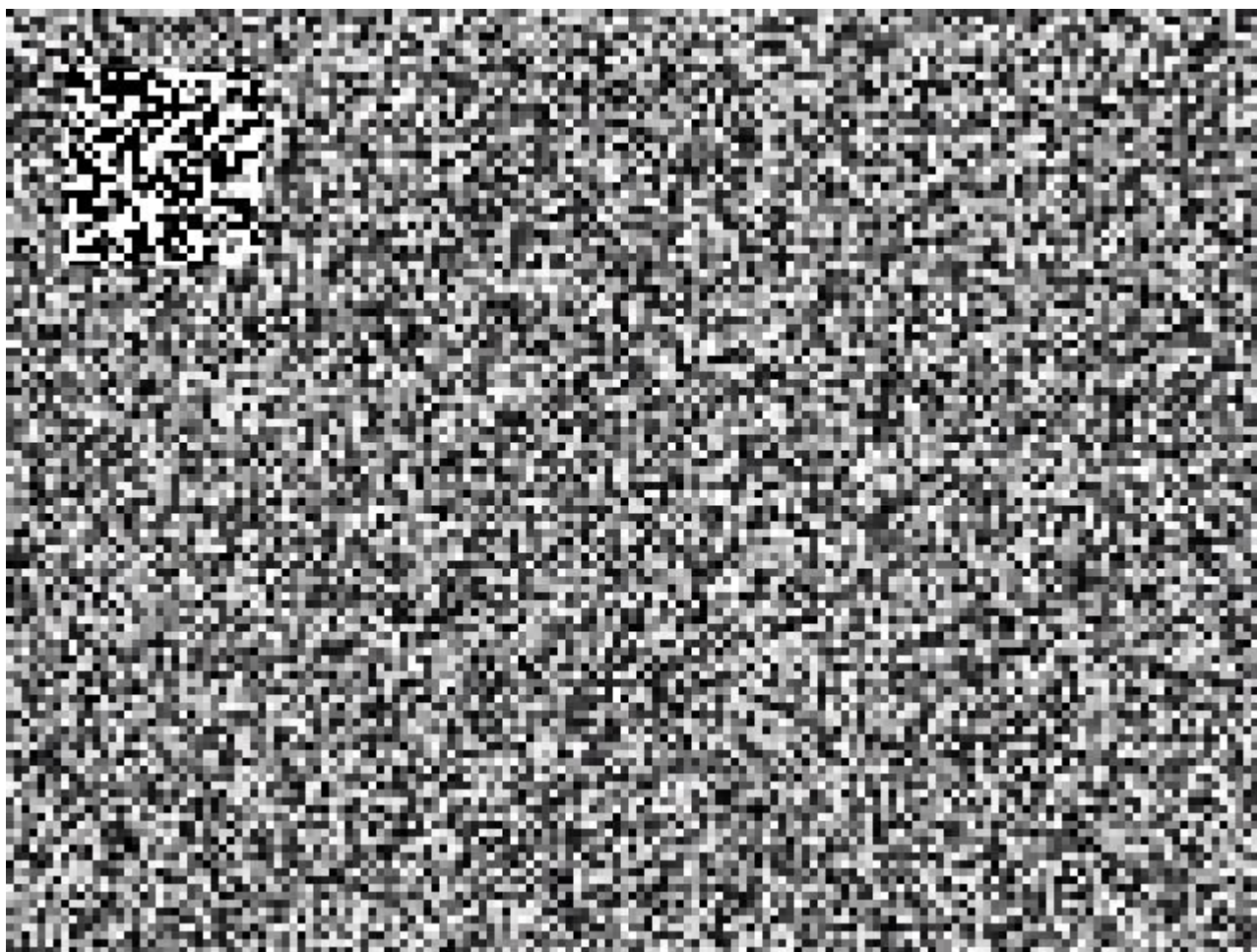
$$s(y, x, t) = (1 - \chi(x - vt)) * I_b(x) + \chi(x - vt) * r(y, x) * I_o(x - vt)$$

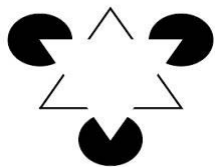


## 2.3 运动知觉



三阶运动:

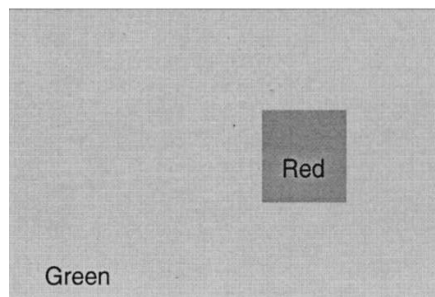
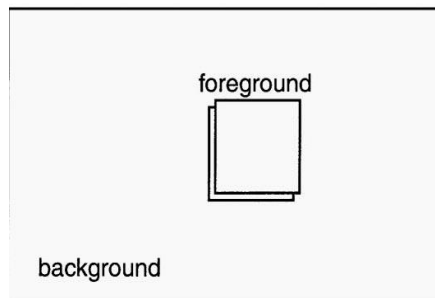
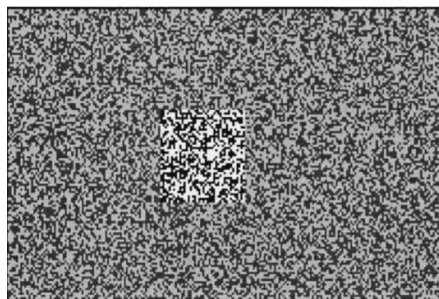
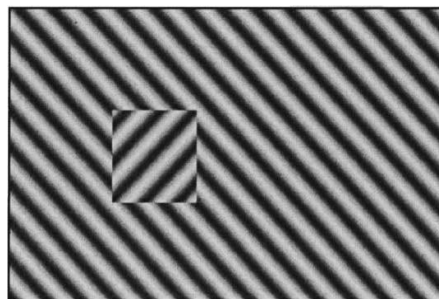


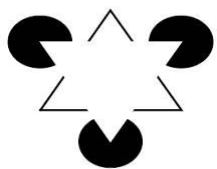


## 2.3 运动知觉



三阶运动:

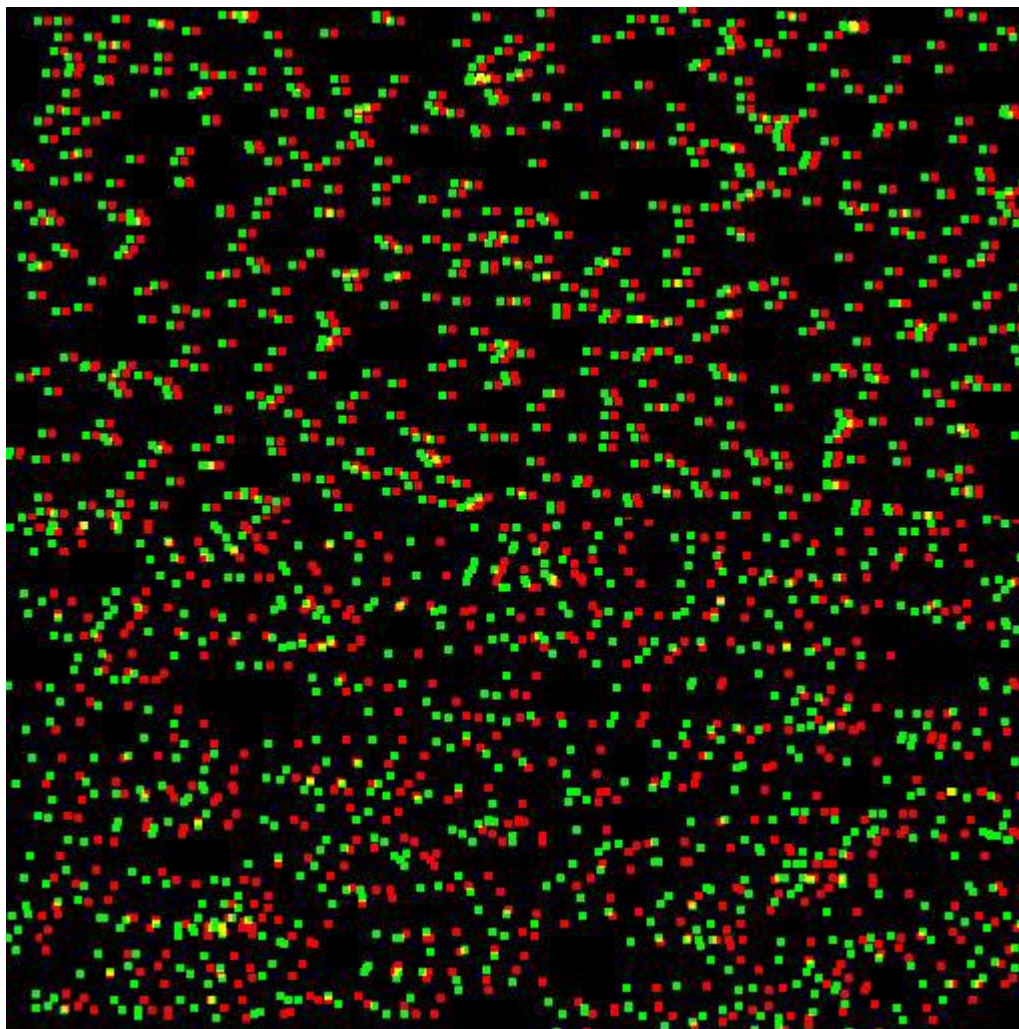




## 2.3 运动知觉



三阶运动:



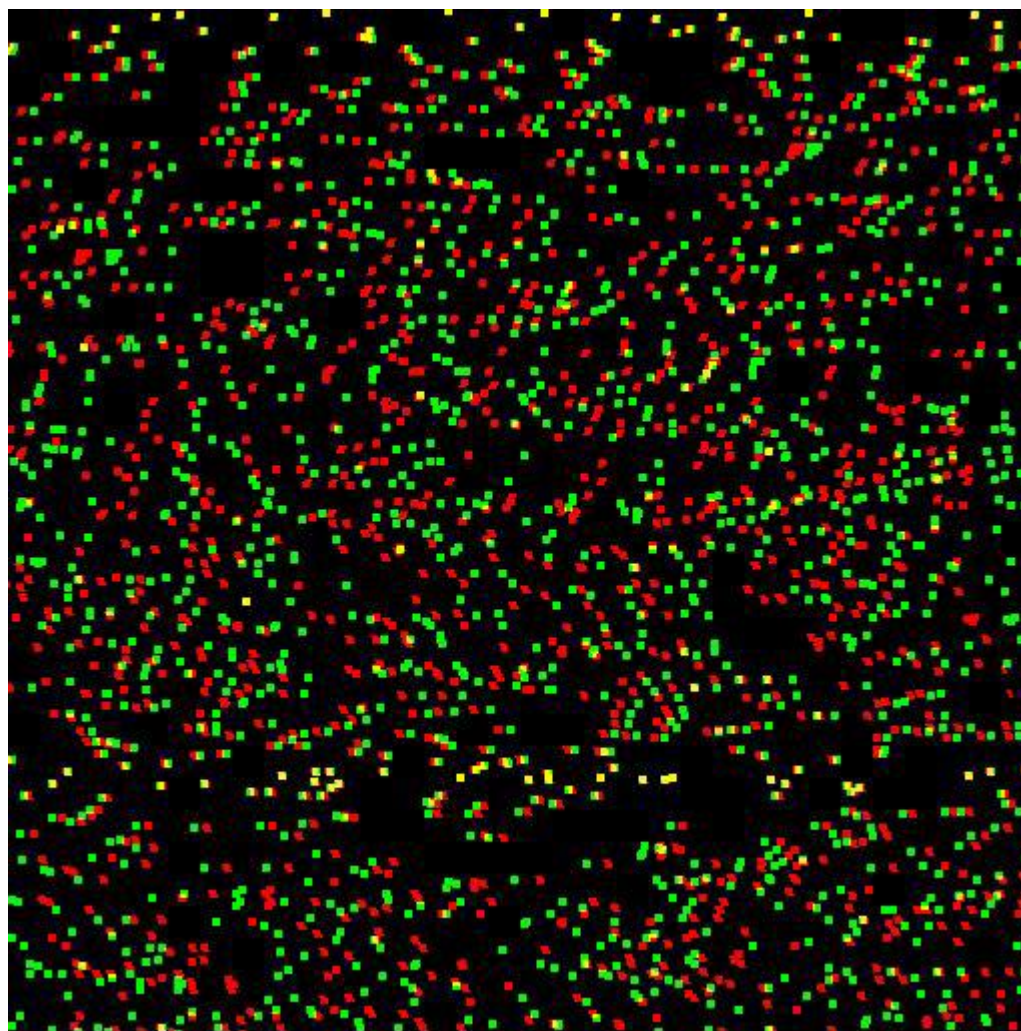




## 2.3 运动知觉



三阶运动:





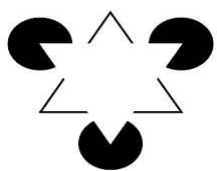
## 2.3 运动知觉



三阶运动:

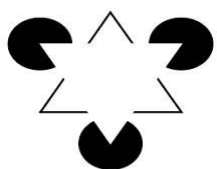






# 补充：有意思的视觉现象★



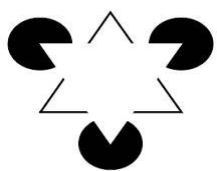


# 补充：有意思的视觉现象★

- Change blindness



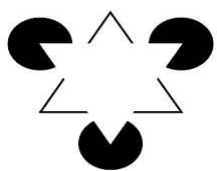
D. J. Simons, and M. S. Ambinder, “**Change Blindness Theory and Consequences**,” *Current Directions in Psychological Science*, 14(1):44-48, 2005.



# 补充：有意思的视觉现象★

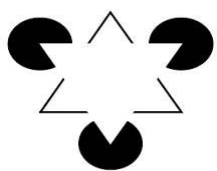
Curious  
Psychology  
#1





# 补充：有意思的视觉现象★

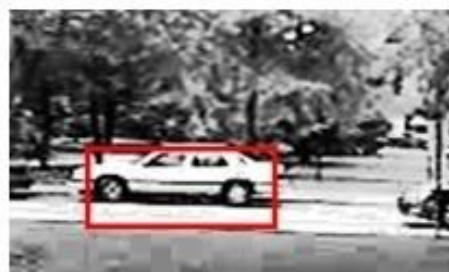
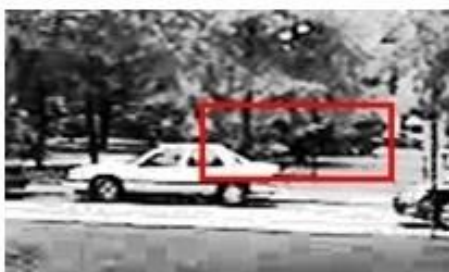




# 补充：有意思的视觉现象★



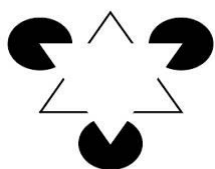
遮挡



低分辨率



背景杂乱  
遮挡



# 作业

- 练习题:

— 2.8

**2.8** 如果把图 2.3.3 所示的随机模式图片用两种不同的颜色（常用红色和绿色）重叠印在一起，就构成一张立体视觉图（3-D 图）。在通常的条件下观察这种图片并不会产生清晰和完整的形状和图案，但如果通过特制的滤色片，使每只眼睛只能看到一个模式（相当于使用立体镜），则可以产生深度感觉的效果。试分析和解释其中的原理。

— 2.10

**\*2.10** 试列举一些单目深度线索的实例。

***The end !***