

色彩空间（继续）



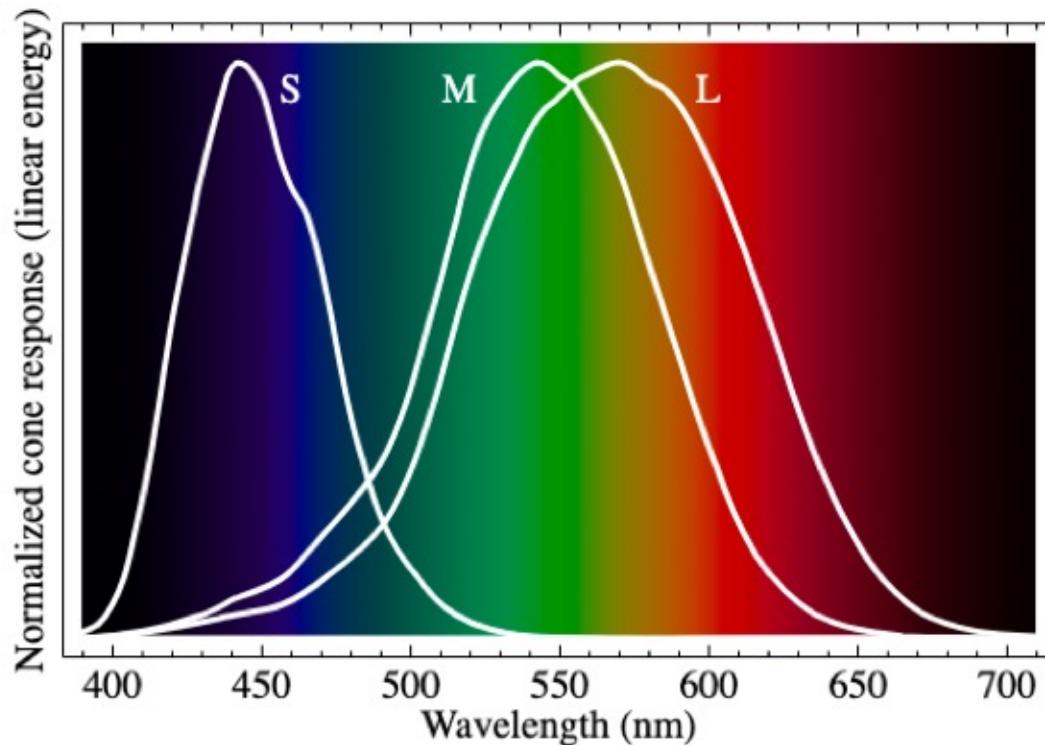
颜色和色觉

- 物体所呈现的颜色由物体的材料属性、光源中各种波长分布、人的心理认知有关
- 色觉存在个体差异，所以颜色既是一种生理和物理现象，也是一种心理现象。



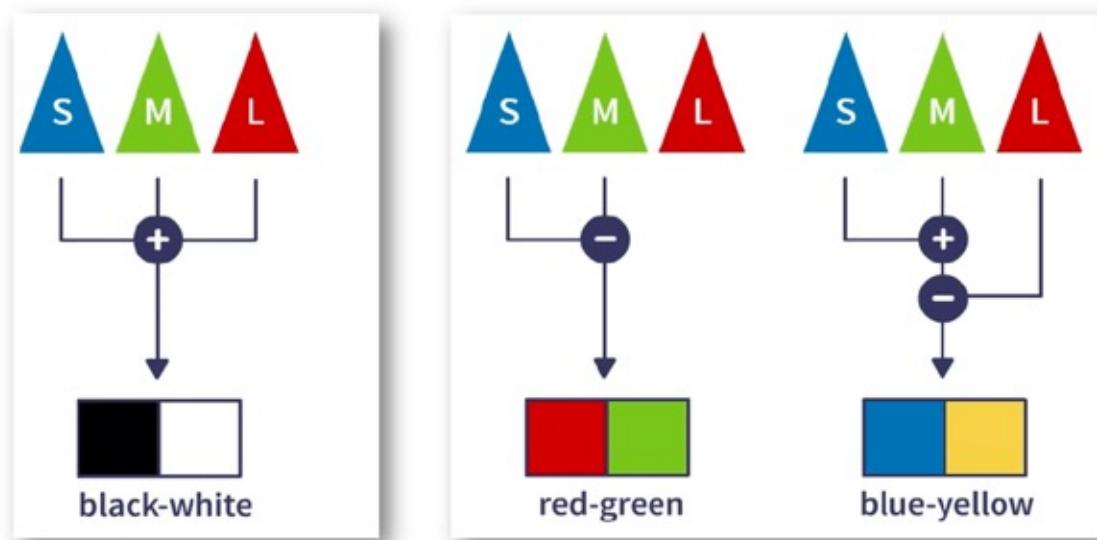
颜色和色觉

- 三色视觉理论：人眼的三种锥状细胞分别会优先获得**相应敏感**波长区域的光信号刺激并进行合成，形成对颜色的感知。



颜色和色觉

- 补色过程理论：人的视觉系统通过对立比较的方式获得对颜色的感知。
- 在受到某种颜色光的刺激时，细胞分别会释放两种信号：1) 刺激、兴奋信号；2) 抑制信号。在视觉的三个色彩通道中，两种信号之间的强弱对比让视觉系统感知到颜色。
- 三个色彩通道：黑白、红绿、黄蓝

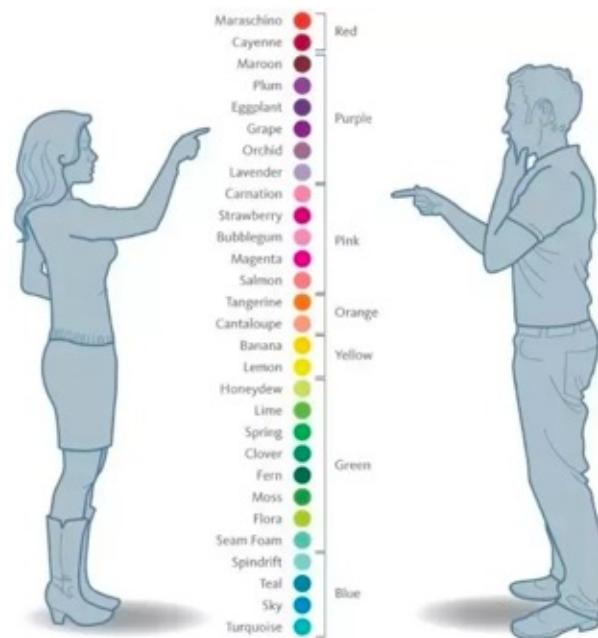


颜色和色觉



后像 (afterimage illusion)

颜色和色觉

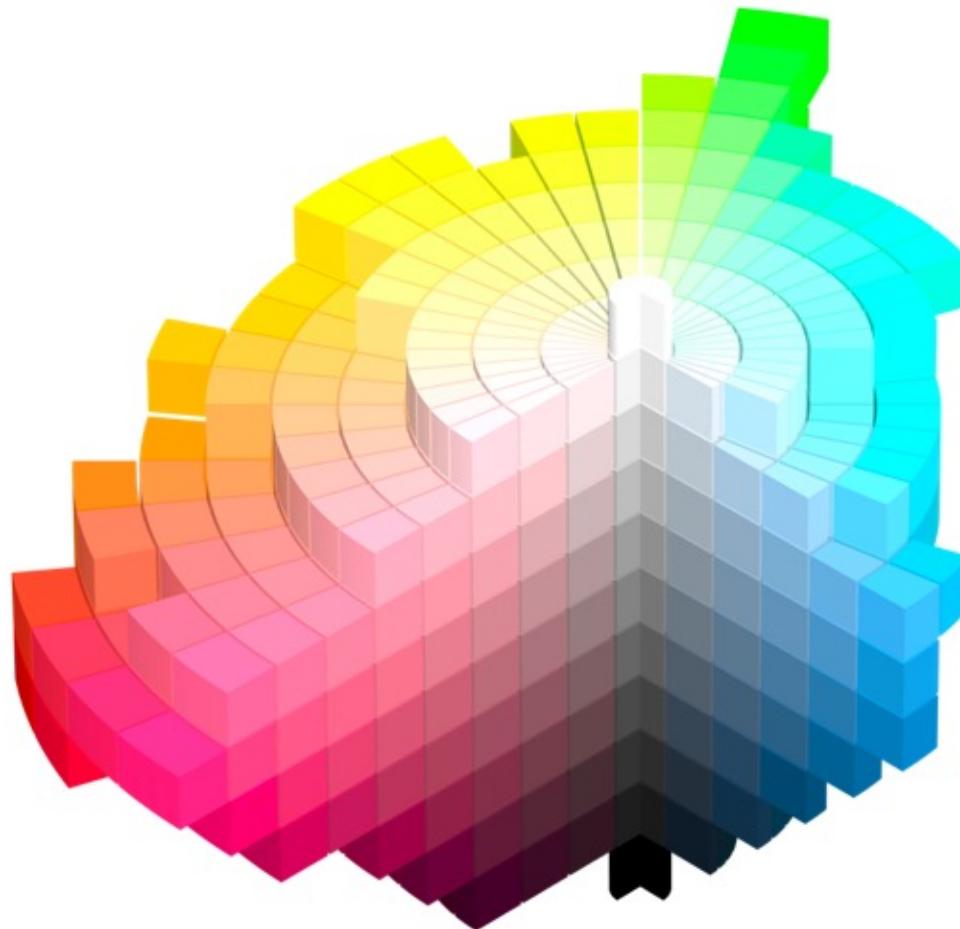


Maraschino	●	Red
Cayenne	●	
Maroon	●	
Plum	●	Purple
Eggplant	●	
Grape	●	
Orchid	●	
Lavender	●	
Carnation	●	
Strawberry	●	Pink
Bubblegum	●	
Magenta	●	
Salmon	●	
Tangerine	●	Orange
Cantaloupe	●	
Banana	●	Yellow
Lemon	●	
Honeydew	●	
Lime	●	
Spring	●	Green
Clover	●	
Fern	●	
Moss	●	
Flora	●	
Seam Foam	●	Blue
Spindrift	●	
Teal	●	
Sky	●	
Turquoise	●	

有多少种颜色?

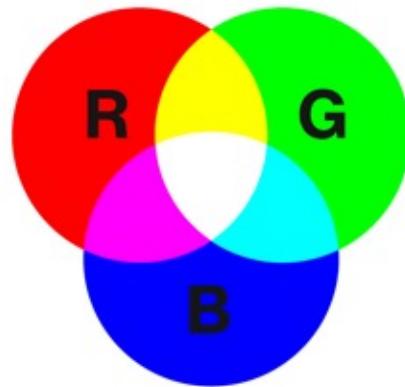
颜色和色觉

- 色彩空间

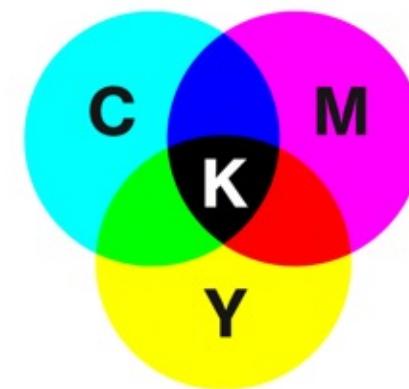


色彩空间

- 色彩空间 (color space) 是对颜色的系统组织方式。
 - RGB (用于屏幕显示)
 - CMYK (用于彩色印刷)



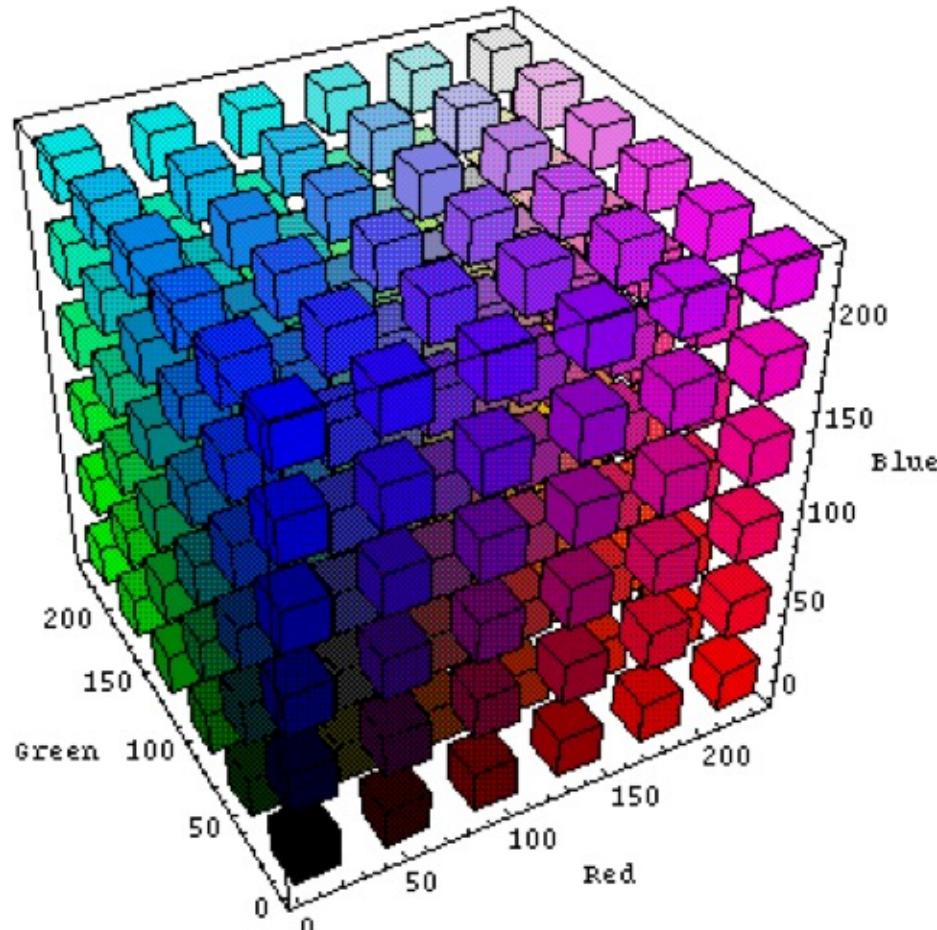
RGB



CMYK

色彩空间

RGB



24bit模式

每个基本色的强度范围 0 - 255

1680万种颜色

色彩空间

- 色彩三要素空间 (RGB的变种)
 - HSL: 色相、饱和度、亮度模式
 - HSV: 色相、饱和度、明度模式

色相 Hue
• 由光波长决定的颜色种类

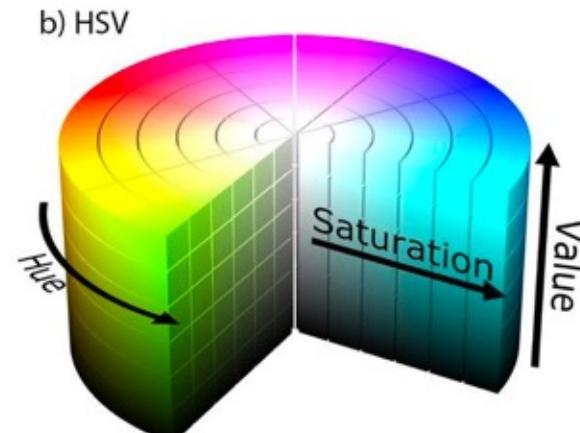
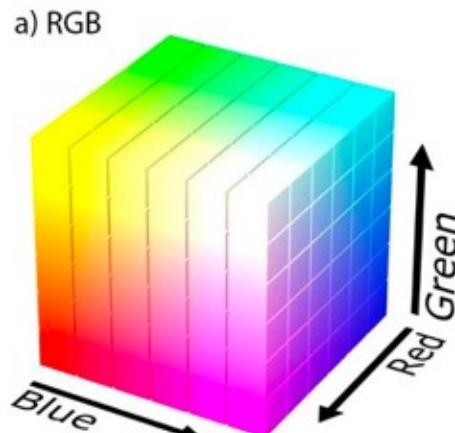
饱和度 Saturation
• 颜色的纯度 (饱和度越高, 灰色成分越少)

HSL
• 假设物体自己会发光
• L调到最大 → 物体呈白色

HSV
• 假设物体被白色光所照亮
• V调到最大 → 强烈白光照在物体底色上的效果

亮度 Lightness
• 物体本身的亮度

明度 Value
• 物体被照亮的程度

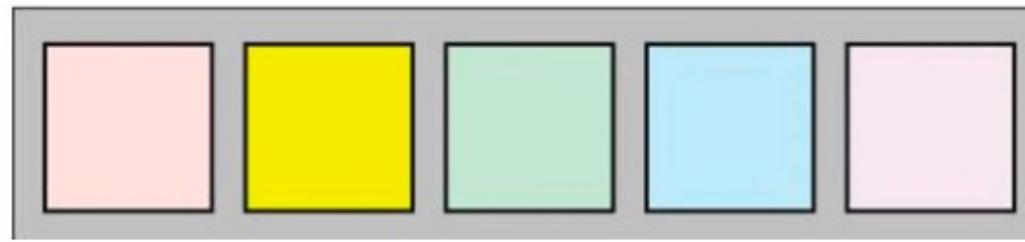
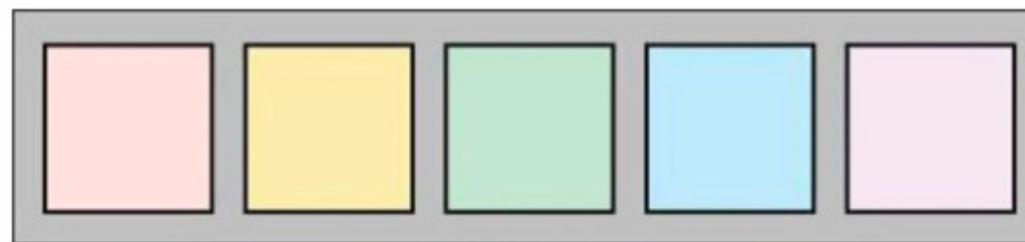


首先选定一个基本色，然后调整饱和度以及明度或亮度。

颜色种类：约1600万种

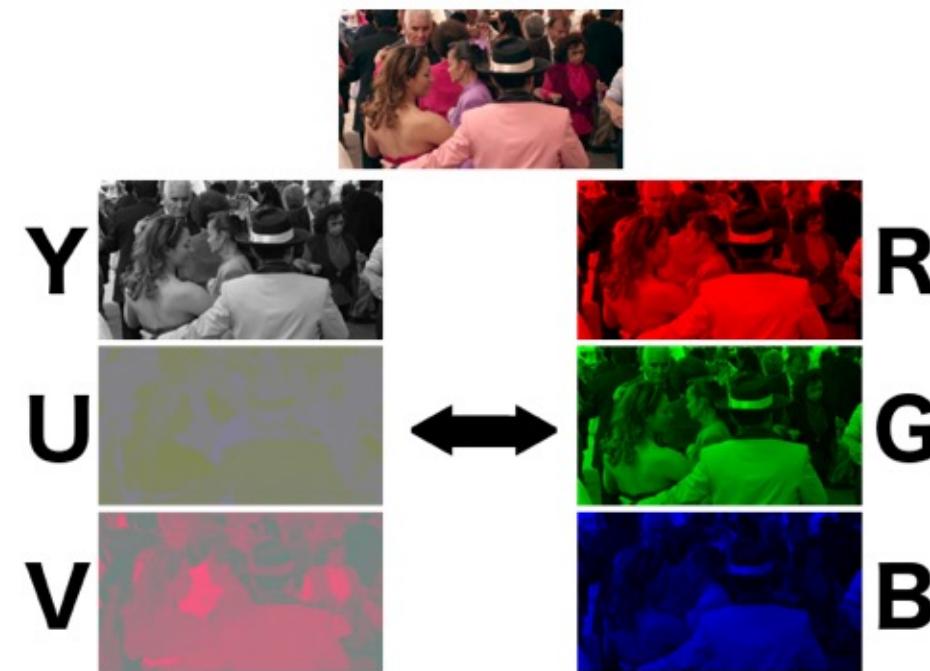
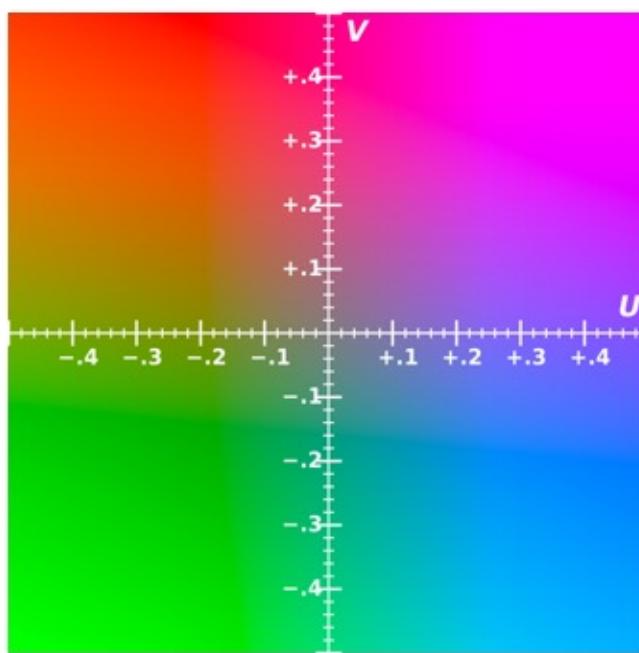
色彩空间

- 饱和度的注意点：
 - 饱和度不宜调得太高。
 - 所有颜色的饱和度通常应该基本一致，除非希望强调某些内容。



色彩空间

- YUV (YCbCr) 色彩空间 (亮度、色度、浓度)
 - 从RGB推导而来，换算公式：
 - $Y = 0.299 R' + 0.587 G' + 0.114 B'$
 - $U = -0.147 R' - 0.289 G' + 0.436 B' = 0.492(B' - Y)$
 - $V = 0.615 R' - 0.289 G' + 0.436 B' = 0.877(R' - Y)$
- YUV多用于视频系统领域



色彩空间

- CMYK色彩空间（印刷四分色模式）
- 103万种颜色



色彩空间

- 彩通标准色 (PMS) : 1000多种基础颜色



Code	Description	Image
44307	Jurassic Middle	
44308	Jurassic Lower	
44309	Triassic Upper	
44310	Triassic Middle	
44311	Triassic Lower	
44312	Permian Upper - Lopingian	
44313	Permian Middle - Guadalupian	



色彩空间

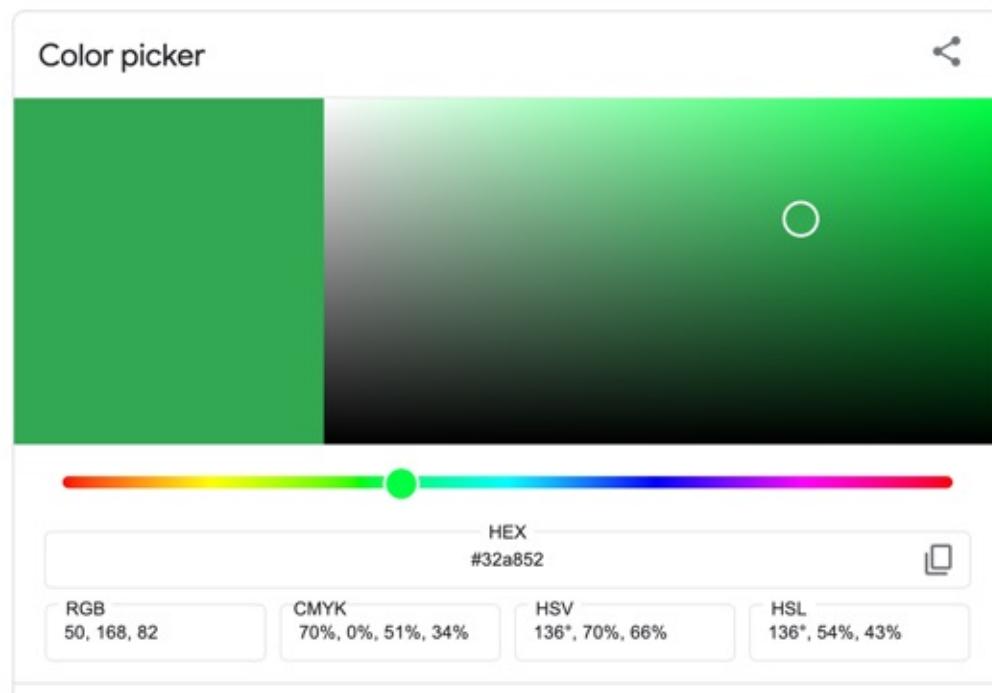
HTML Color Code

	
#DFFF00 223, 255, 0	#FFBF00 255, 191, 0

	
#9FE2BF 159, 226, 191	#40E0D0 64, 224, 208

	
#FF7F50 255, 127, 80	#DE3163 222, 49, 99

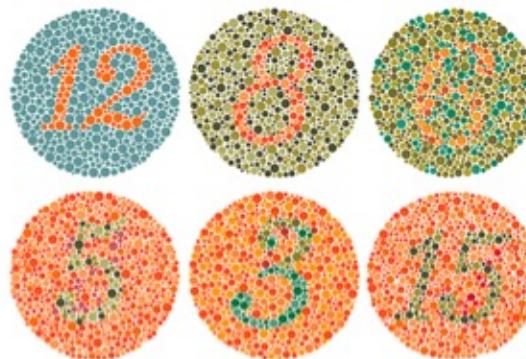
	
#6495ED 100, 149, 237	#CCCCFF 204, 204, 255



	IndianRed	#CD5C5C	rgb(205, 92, 92)
	LightCoral	#F08080	rgb(240, 128, 128)
	Salmon	#FA8072	rgb(250, 128, 114)
	DarkSalmon	#E9967A	rgb(233, 150, 122)
	LightSalmon	#FFA07A	rgb(255, 160, 122)

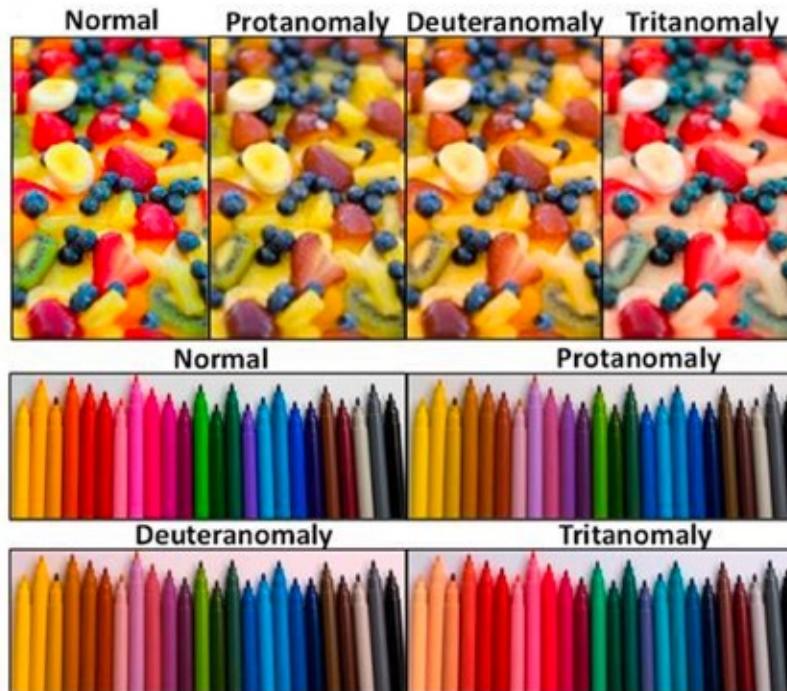
颜色视觉障碍

- 定义：在正常光照条件下，人眼无法辨认不同颜色或者对于颜色的辨认存在不同程度障碍的情况。
- 分类：
 - 非正常三色视觉（通常称之为色弱）
 - 二色视觉（即色盲）
 - 单色视觉（非常少见）
- 成因：
 - 先天隐性遗传病（多数）
 - 后天形成，比如视觉神经损伤等（少数）
- 颜色视觉障碍人数约占世界人口的8%，其中色盲人数所占比例超过2%，因此可视化作品通常需要考虑色盲保护



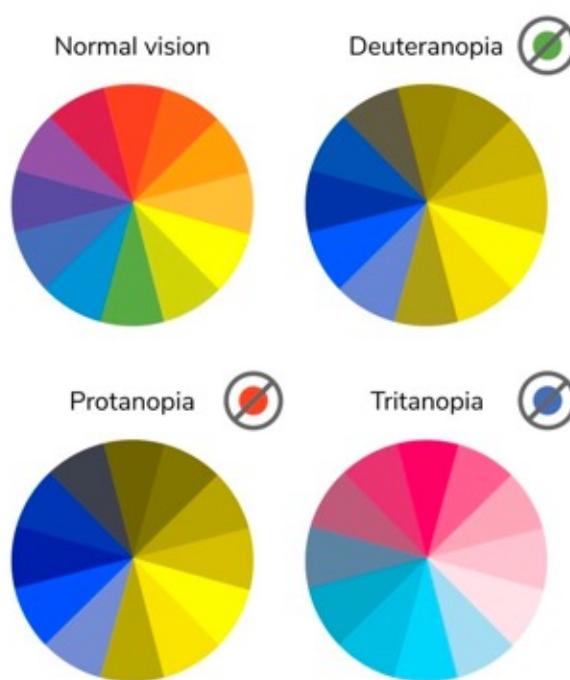
颜色视觉障碍

- 非正常三色视觉（色弱）：对颜色认知的准确性下降，对不同颜色的分辨能力下降。
 - 红色弱：L细胞对光的敏感性变化引起了红-绿色调的分辨障碍
 - 绿色弱：M细胞对光的敏感性变化引起了红-绿色调的分辨障碍
 - 蓝色弱：S细胞对光的敏感性变化引起了蓝-黄色调的分辨障碍（稀少）



颜色视觉障碍

- 二色视觉（色盲）：三种锥状细胞中的某一种类型完全无法工作或不存在，从而导致人眼的视觉空间从三维变为二维，影响人眼对颜色的感知。
 - 红色盲和绿色盲分别是由L细胞和M细胞无法工作或缺失造成的，统称为红绿色盲。
 - 蓝色盲（第三色盲）是由S细胞无法工作或缺失造成的，这种情况很少见，且受到的影响相对较小（虽然存在颜色类别分辨障碍，但能够区分大部分常见颜色）。



颜色视觉障碍

符合色盲保护

红色-紫色
红色-蓝色
橙色-蓝色
橙色-紫色
棕色-蓝色
棕色-紫色
黄色-蓝色
黄色-紫色
黄色-灰色
蓝色-灰色

多利用紫色

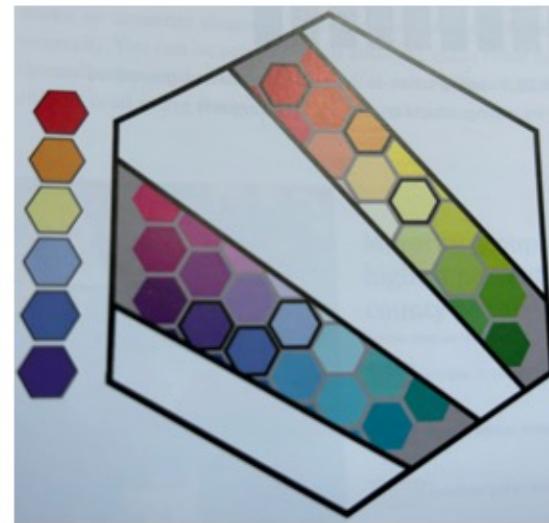
不符合色盲保护

消减型三原色（打印机墨水）
红、橙、棕、黄、绿



颜色视觉障碍

- 颜色混淆区（color confusion zones）：每一个分区内的颜色相互搭配都容易违反色盲保护的法则



Pop Quiz

回答正确得2分
回答错误得1分
缺席不得分

1. 格式塔理论里唯一涉及运动、动画的原则是哪一个？

- A. 闭合原则 | B. 共势原则 | C. 经验原则 | D. 突出原则

2. 南丁格尔在克里米亚战争期间发明了哪种经典可视化图表？

- A. 玫瑰图 | B. 饼图 | C. 折线图 | D. 流图

3. 以下哪一项属于高阶视觉？

- A. 识别出物体的形状和大小。
- B. 识别出物体的颜色。
- C. 识别出物体的表面材质。
- D. 识别出物理性质及现象背后的规律。

4. 当视觉元素在空间上距离较近的时候，人们更倾向于把它们归为一组。
这是格式塔理论中的什么原则？

- A. 闭合原则 | B. 贴近原则 | C. 连续原则 | D. 好图原则

5. 人眼中的哪种细胞负责感知物体的颜色？

- A. 杆状细胞 | B. 锥状细胞 | C. 神经节细胞 | D. 成纤维细胞





Visual Encoding and Visualization Principles

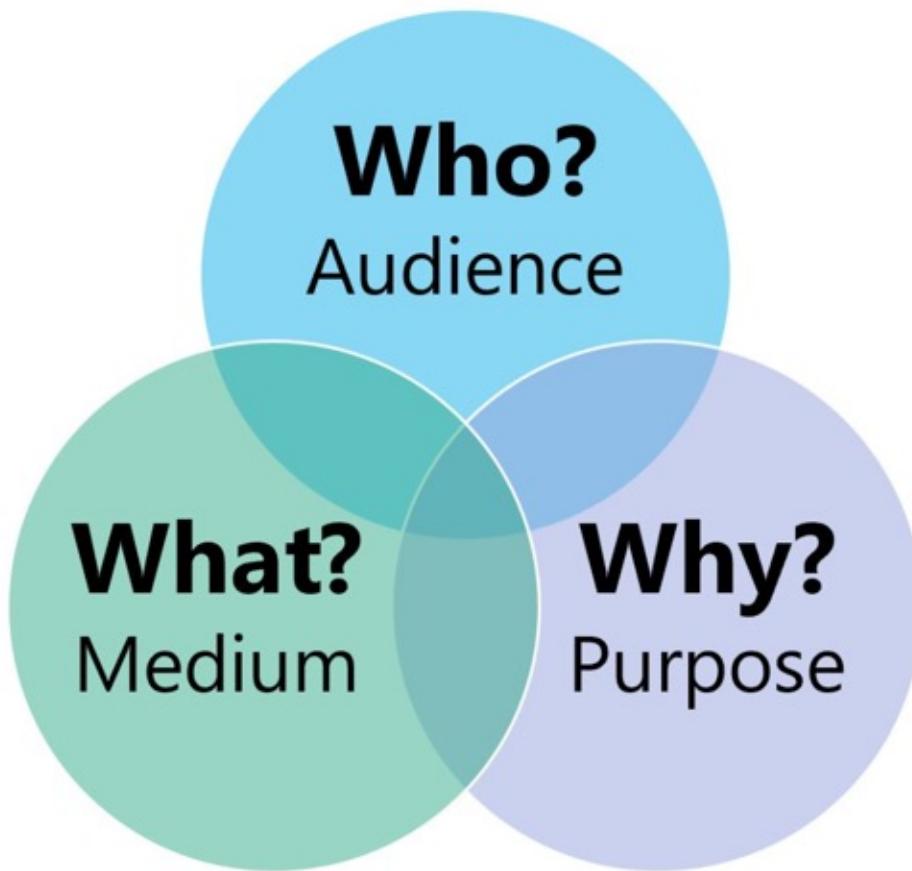
视觉编码与可视化原则

中国地质大学（北京）信息工程学院

叶山

yes@cugb.edu.cn

受众、媒介和目的（AMP）



AMP原则：设计可视化作品时需要考虑的三个方面

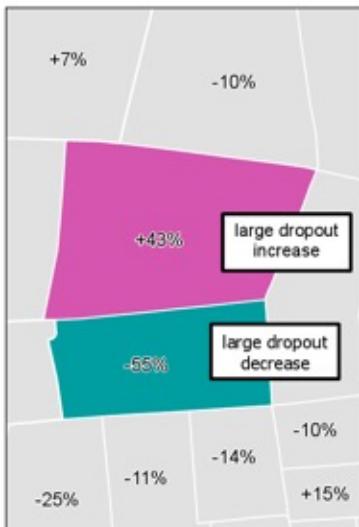
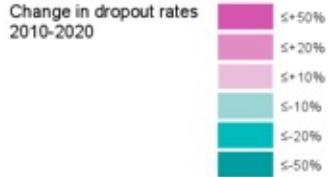
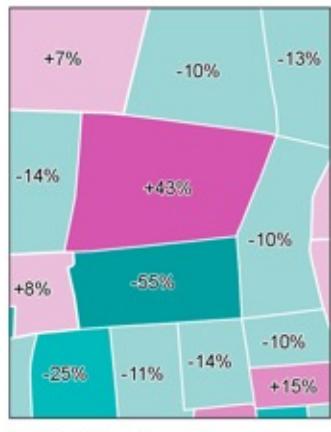
受众、媒介和目的 (AMP)

受众：你的图给谁看？他们是否有背景知识？理解能力如何？

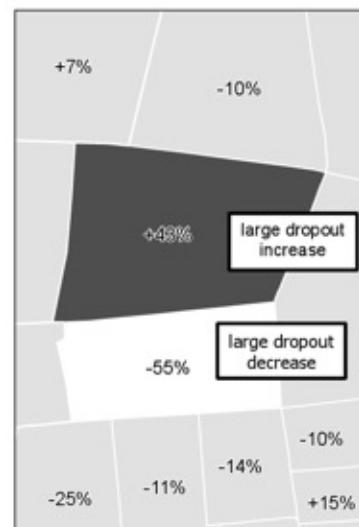


受众、媒介和目的 (AMP)

媒介：电子屏幕、投影仪还是印刷品？彩色还是黑白？



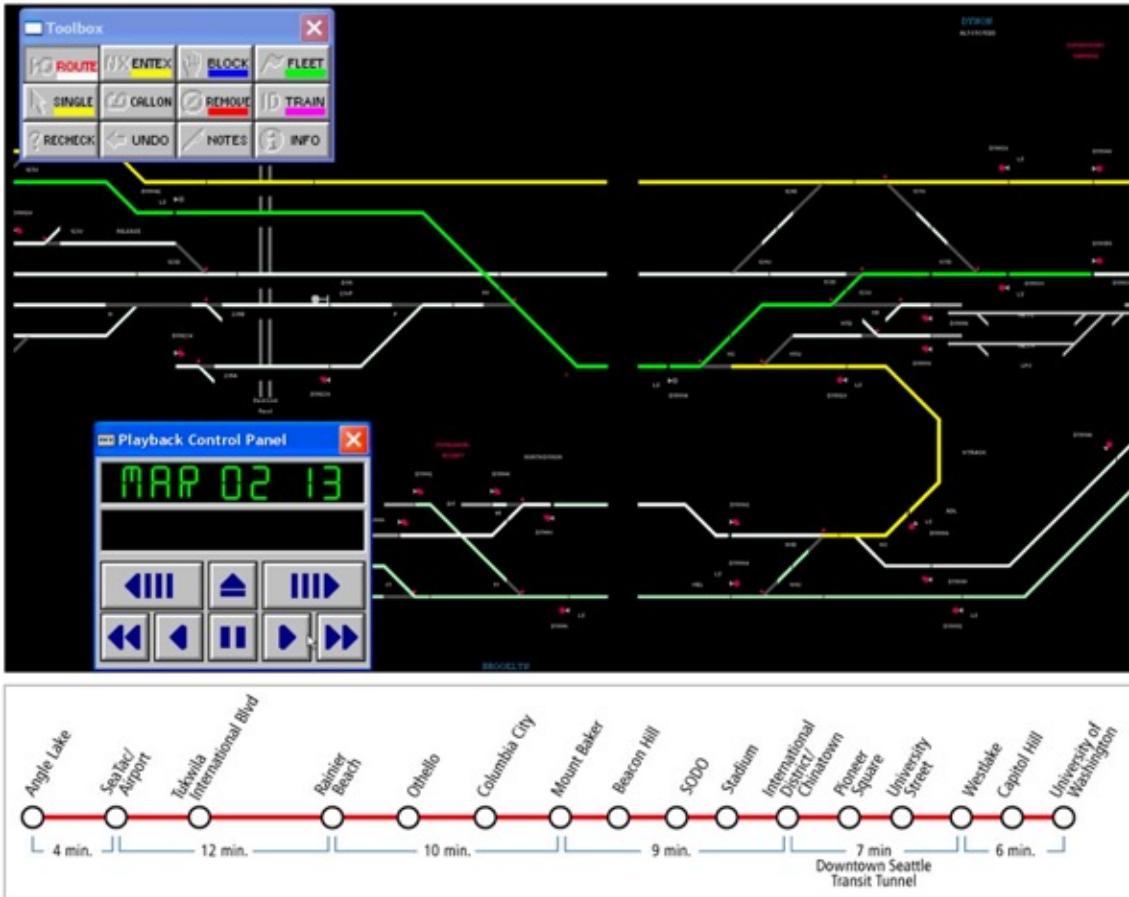
Dropout Rates: 2010 - 2020



Dropout Rates: 2010 - 2020

受众、媒介和目的 (AMP)

目的：预期功能是什么？使用场景是什么？

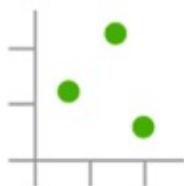


视觉编码



视觉编码

- 可视化：将数据按照视觉编码的原则映射为图像。
- 用户对可视化的感知和理解，是通过人的视觉通道完成。



Position



Length



Angle/Slope



Area



Volume



Difference



Color hue



Color Saturation



Contrast

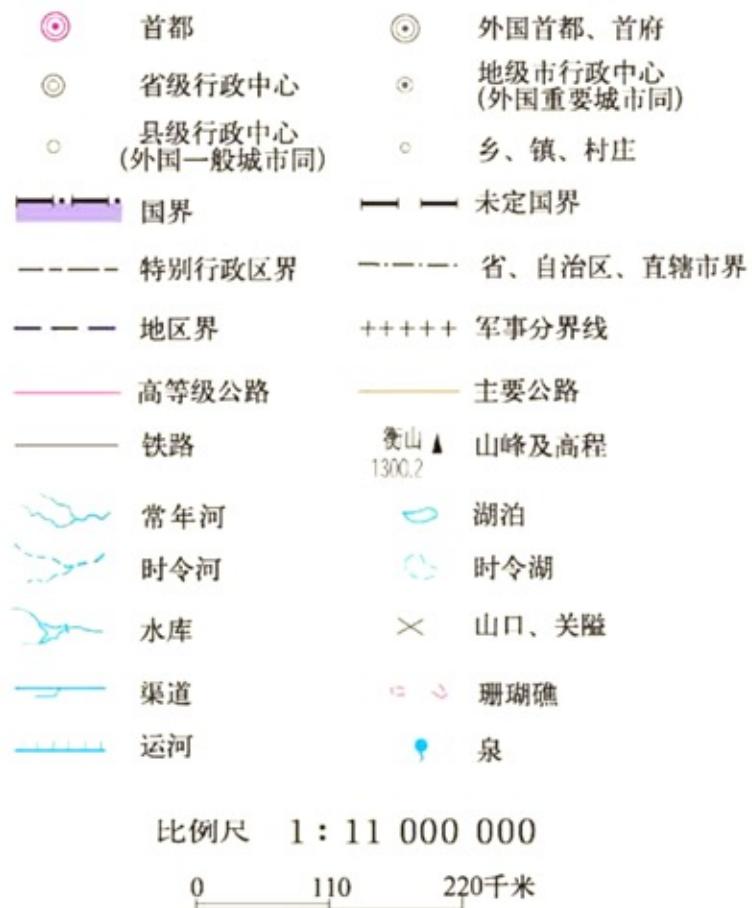
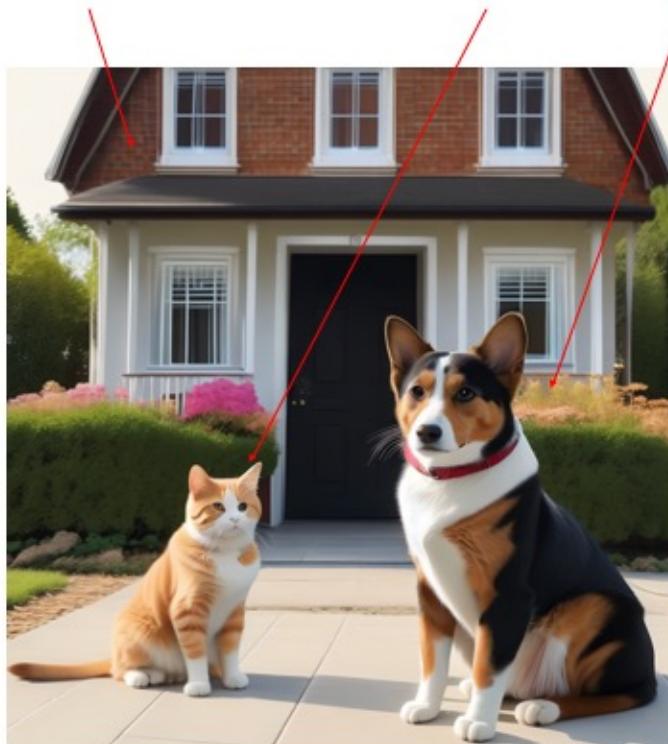


Texture

视觉编码

- Visual Encoding
- 将视觉信号转化为可在记忆系统中存储和检索的心理表征的
认知过程。

“在一间房子的前面，有一只猫和一只狗。”



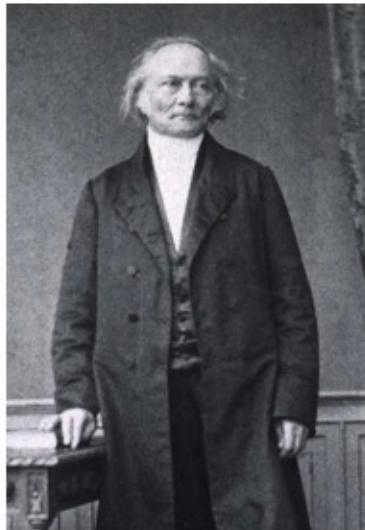
相对判断

- 人类感知系统的工作原理取决于对所观察事物的相对判断。



相对判断

- 韦伯定律：人类感知系统将可察觉的刺激强度变化（D）表达为一个参考刺激强度（W）的固定百分比（K）
 - $K=D/W$
- 能让人意识到的最小变化量：感知阈值（最小可感知差）。
- 费希纳：人的一切感知（视觉、听觉、触觉、味觉、嗅觉）都遵从韦伯定律。



Ernst Weber

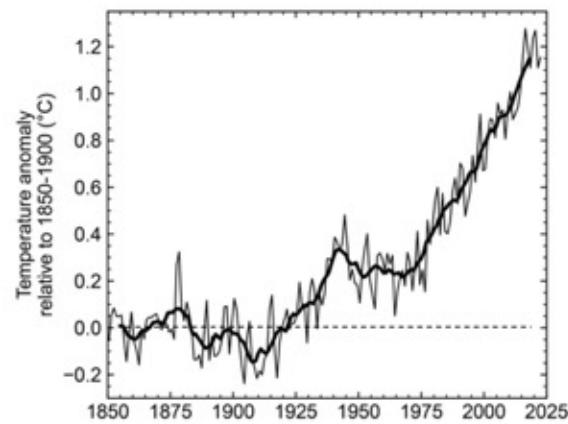
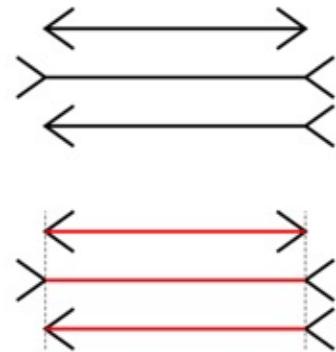
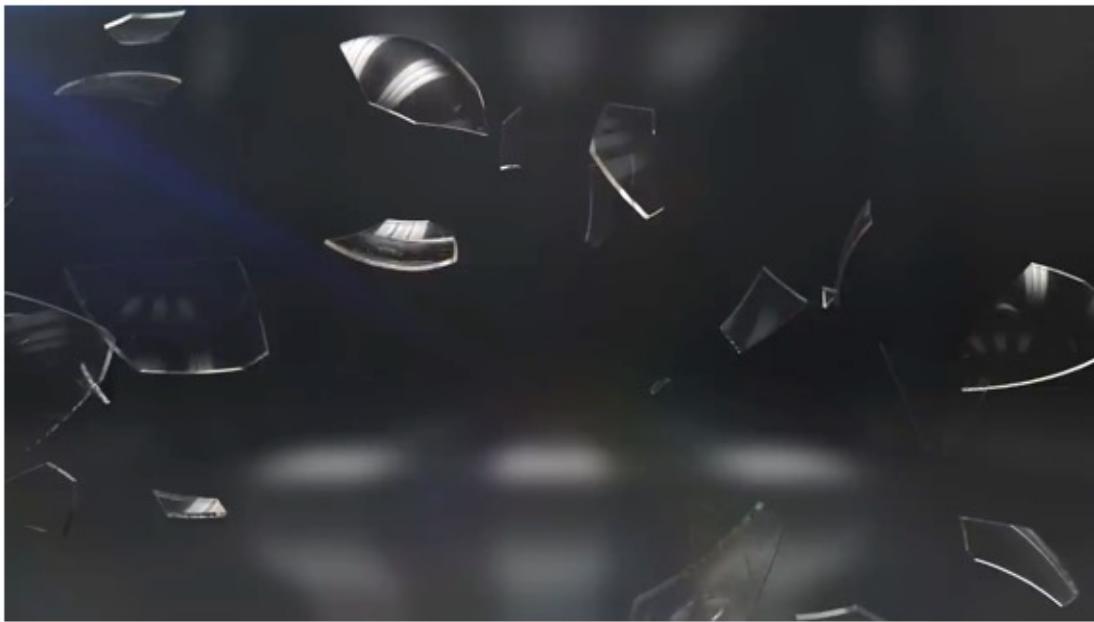


Gustav Fechner



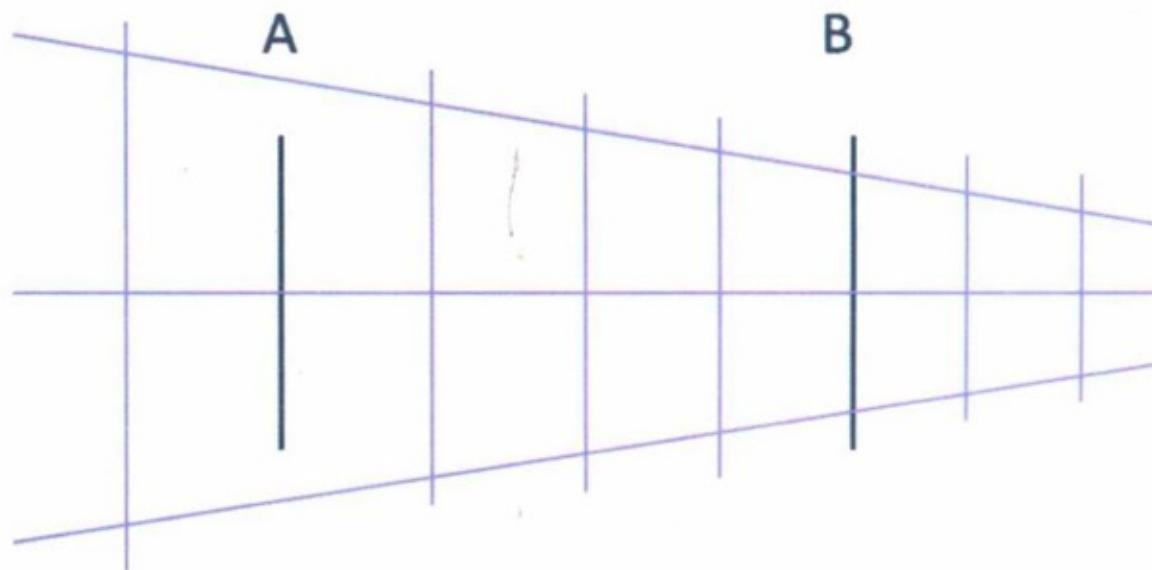
相对判断

- 将多个比较对象互相作为参照物（对齐）
- 引入读者熟知的中间参照物

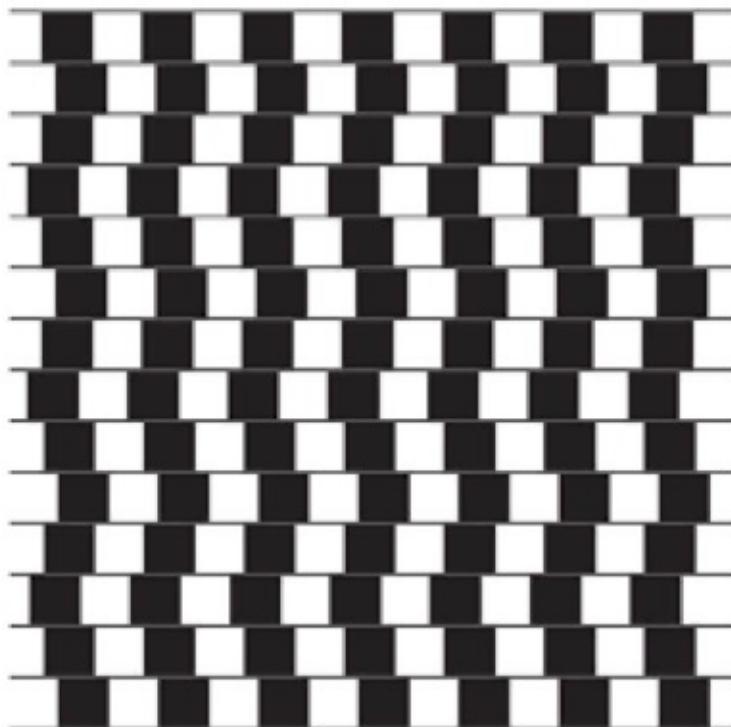


视觉假象

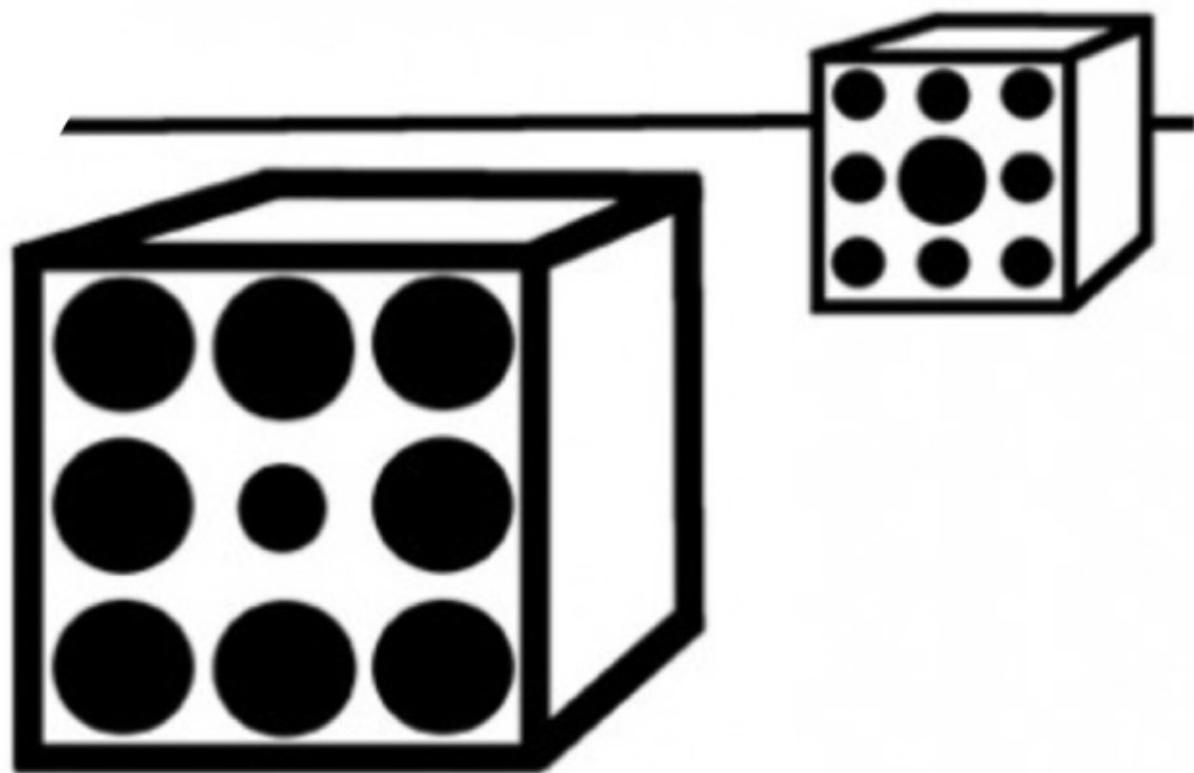
- 设定相对判断的方式不合理，可能会导致判断的真实性被减弱，导致视觉假象的出现。
- 视觉假象（Visual Illusion/错觉）：人们通过眼睛所获得的信息被大脑处理后，形成的关于事物的感知与事物在客观世界中的物理现实不一致的现象。



视觉假象

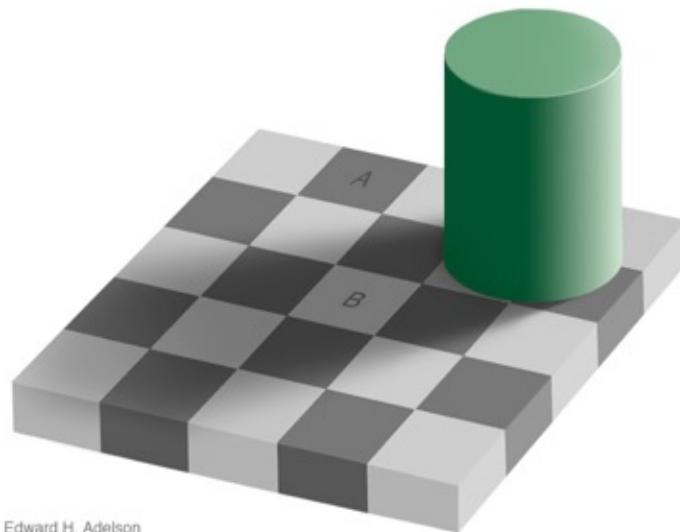


视觉假象



视觉假象

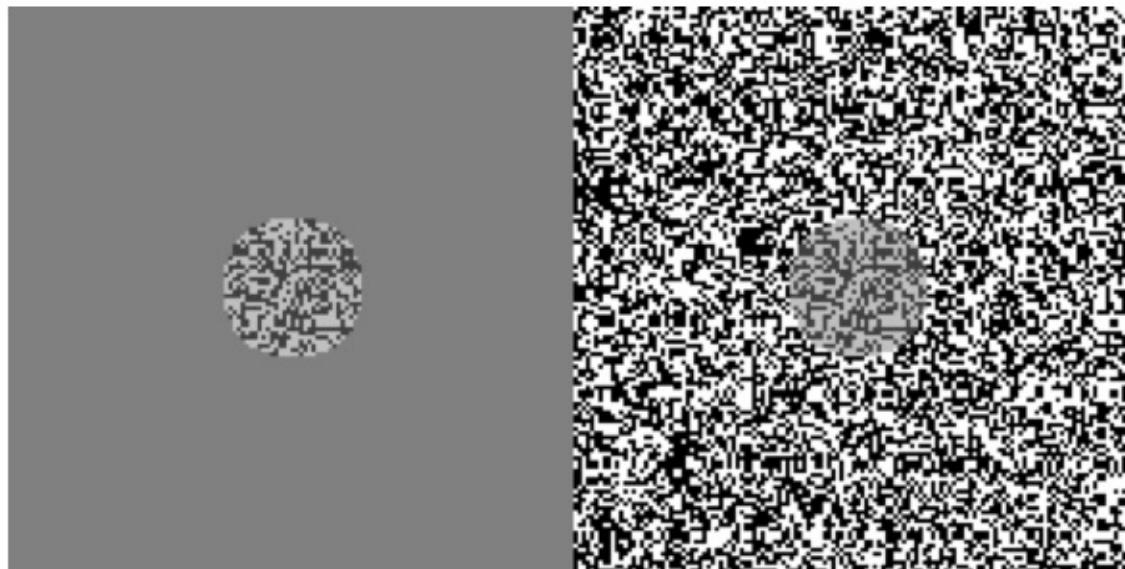
- 光学错觉 (optical illusion)
- 棋盘阴影错觉：麻省理工学院的爱德华·阿德尔森 (Edward H. Adelson) 在 1995 年提出的一种光学错觉。



Edward H. Adelson

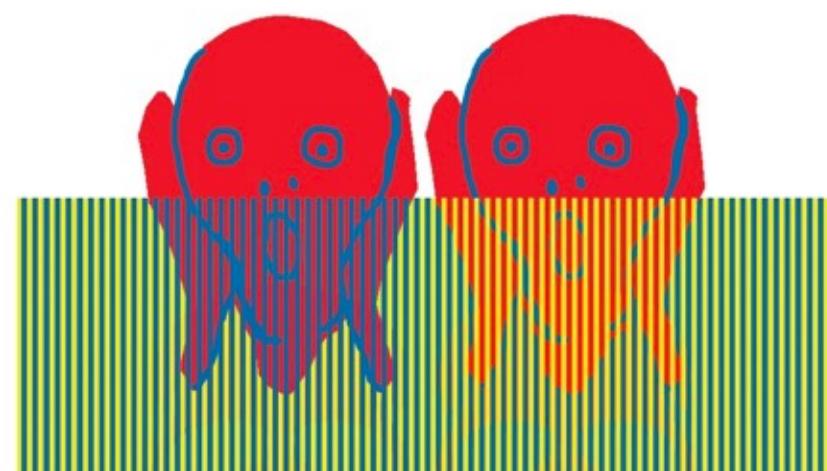
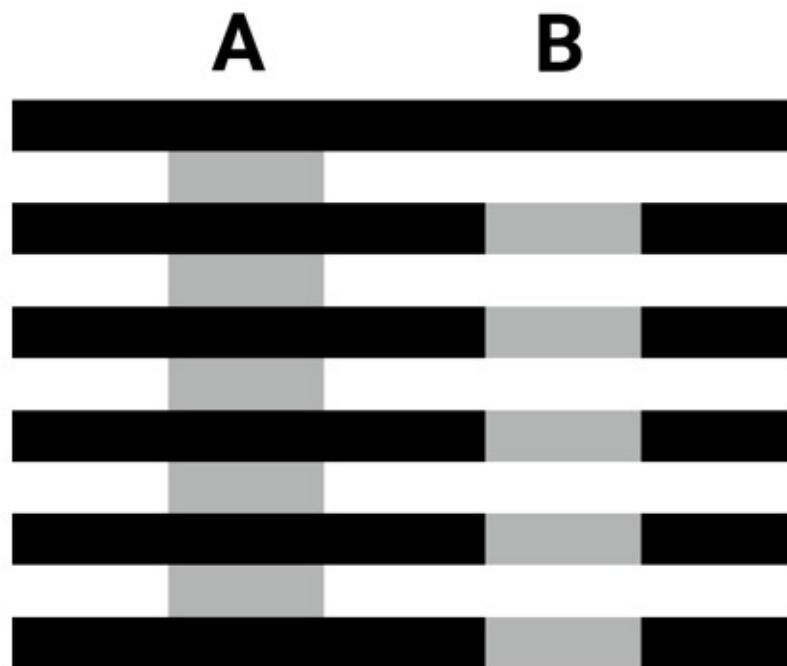
视觉假象

- 察布错觉



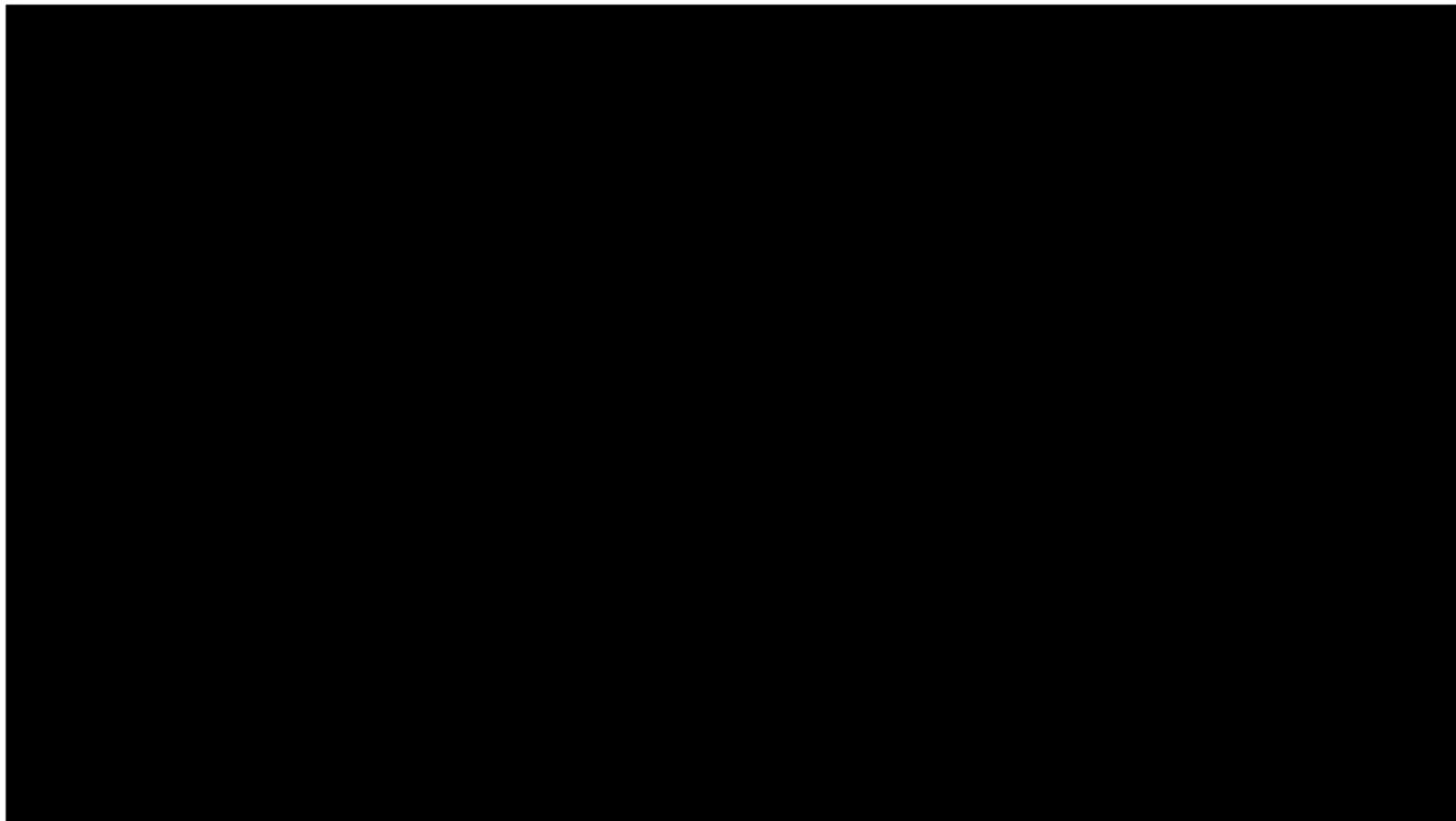
视觉假象

蒙克-怀特错觉（贝佐德效应）：因为亮度/色彩对比而产生的光学错觉



视觉假象

蒙克-怀特错觉



视觉假象

Day of Order Date	Order Date												
	January	February	March	April	May	June	July	August	Septemb..	October	November	December	
1	1,482	631	10,131	8,254	5,077	11,081	2,965	4,450	9,865	4,923	11,213	25,452	
2	4,418	10,122	2,552	4,036	2,171	1,032	2,653	2,659	19,401	25,738	13,949	16,867	
3	5,951	2,379	10,610	707	4,757	3,764	8,635	1,258	5,858	5,323	13,925	9,152	
4	1,622	365	915	3,739	2,698	4,245	3,037	3,261	10,964	7,167	21,251	9,427	
5	571	5,257	4,077	9,315	3,154	2,684	2,042	3,182	6,784	14,088	9,151	10,581	
6	4,472	3,800	3,145	3,200	3,675	7,432	2,799	2,502	2,420	2,825	5,117	11,921	
7	3,566	1,267	2,556	5,870	10,044	↓	393	5,744	4,628	10,295	3,960	10,746	4,803
8	2,752	1,513	5,597	11,267	10,781	↓	211	7,145	7,874	21,003	1,539	13,909	16,120
9	1,422	1,681	1,824	3,500	2,805	8,888	4,097	9,145	8,485	4,426	11,426	9,091	
10	1,248	304	9,966	1,876	3,261	4,417	1,298	2,675	7,890	4,987	14,270	11,185	
11	159	3,355	3,788	3,563	2,290	6,578	5,858	1,508	14,156	2,426	15,416	10,517	
12	1,703	1,496	2,099	3,565	3,684	5,358	4,112	9,477	8,148	8,085	10,009	8,497	
13	8,795	1,205	20,015	5,183	4,203	2,730	2,889	3,962	7,112	12,640	13,170	3,092	
14	↑23	2,495	3,535	2,155	8,090	3,721	6,902	1,364	13,791	7,996	7,163	15,749	
15	2,992	2,031	2,744	2,829	1,140	5,908	2,522	4,971	12,055	6,064	5,188	9,879	
16	6,632	2,643	10,257	14,481	1,647	7,079	4,256	4,517	1,340	4,635	10,220	5,886	
17	1,411	3,019	6,912	6,934	573	10,316	4,825	10,415	19,368	3,294	29,268	16,177	
18	65	431	30,196	5,542	2,932	3,759	5,944	7,575	10,187	3,821	8,836	11,633	
19	2,694	1,707	8,693	1,950	6,593	2,579	2,000	3,215	15,327	5,834	16,303	12,268	
20	3,442	1,579	3,376	4,478	7,696	4,916	7,352	2,546	15,901	4,501	9,827	8,683	
21	4,864	4,172	9,368	3,265	8,305	5,388	6,639	16,177	10,000	13,845	8,276	7,332	
22	5,130	1,082	3,172	3,124	6,179	4,573	3,273	1,020	11,643	15,586	2,071	9,757	
23	2,272	225	16,394	2,564	12,431	3,422	4,374	10,545	14,380	6,082	6,067	10,029	
24	463	1,504	2,481	2,562	1,004	6,603	3,253	7,940	14,078	2,782	18,350	17,606	
25	859	503	5,373	4,087	4,057	4,051	17,456	1,992	8,244	2,313	16,074	17,392	
26	4,335	2,848	8,704	2,869	4,554	7,736	8,022	5,432	9,408	2,843	16,568	5,291	
27	4,332	1,423	3,110	3,296	9,547	3,040	1,753	9,669	5,149	2,087	6,583	9,252	
28	5,349	716	3,697	7,905	4,634	3,947	3,397	8,257	2,218	4,923	14,487	5,469	

标记和视觉通道

- 数据通常包含了属性和值，视觉编码由两方面组成：
 - 1. 标记：数据属性的定性分类（以及对象之间的联系）
 - 2. 视觉通道：数据属性的定量信息。
- 可视化可以采用一个或多个视觉通道；视觉通道的数量和数据的维度有关。



0D 点

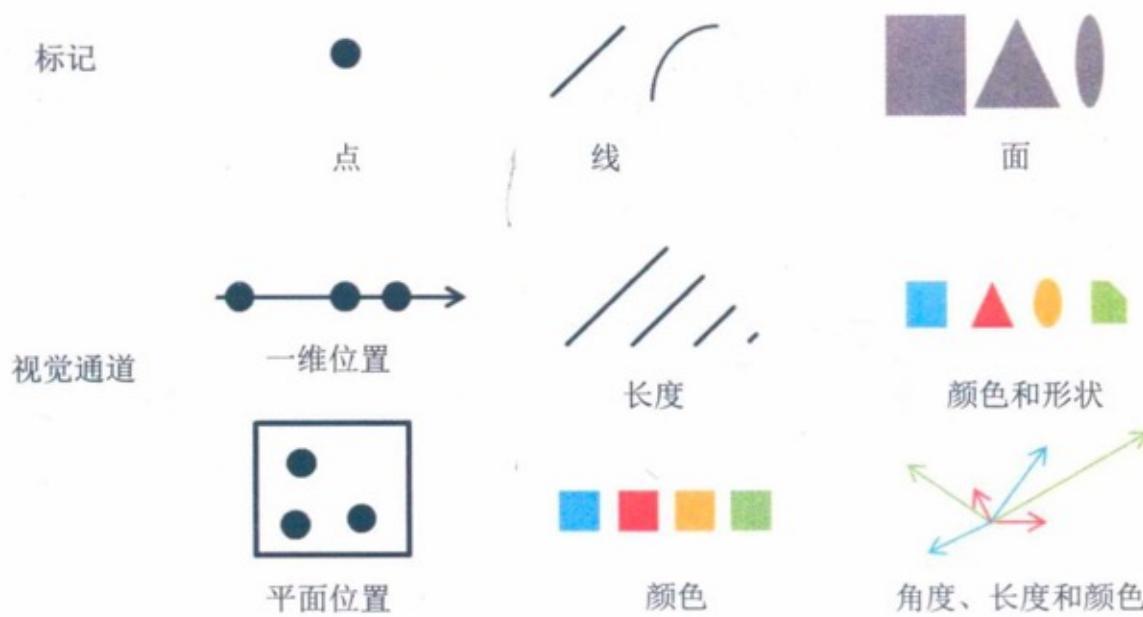


1D 线



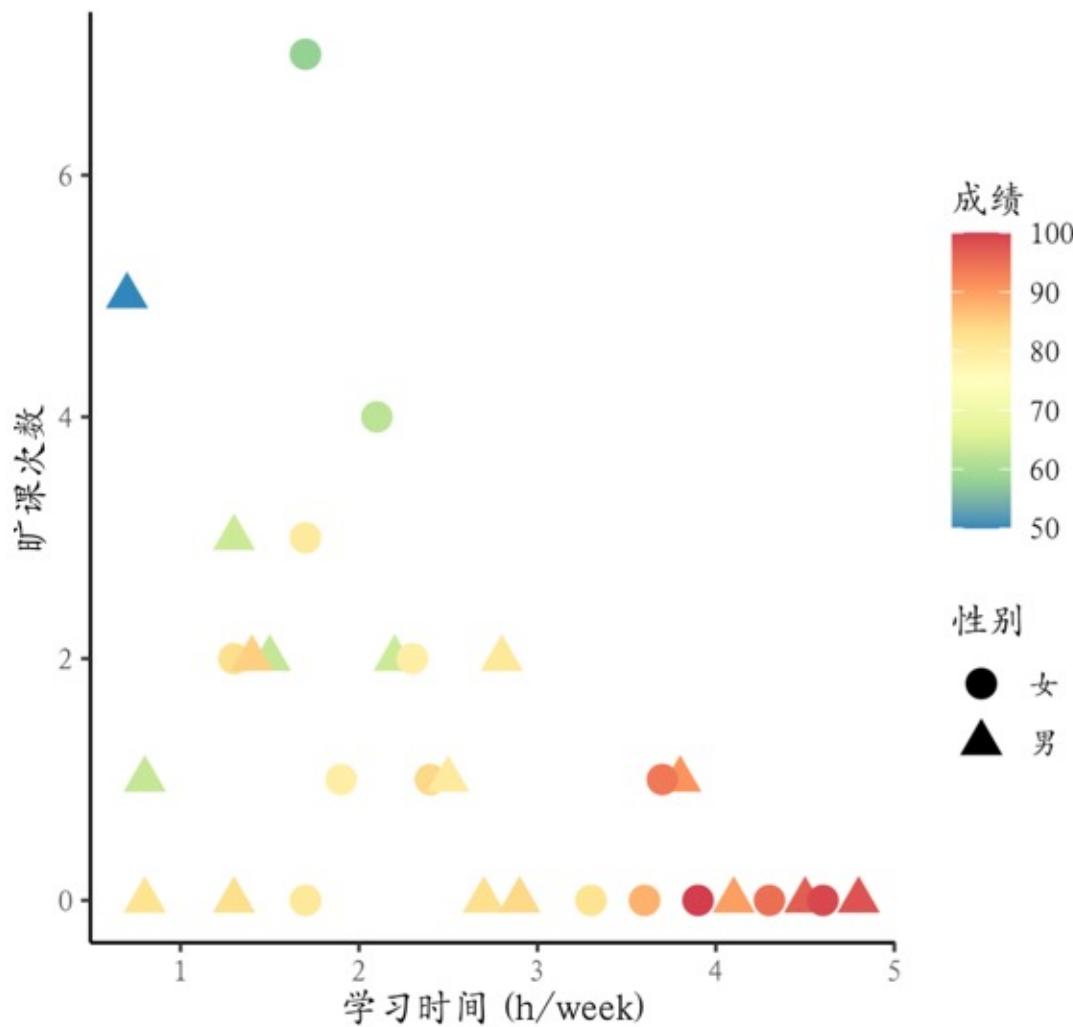
2D 面

标记和视觉通道



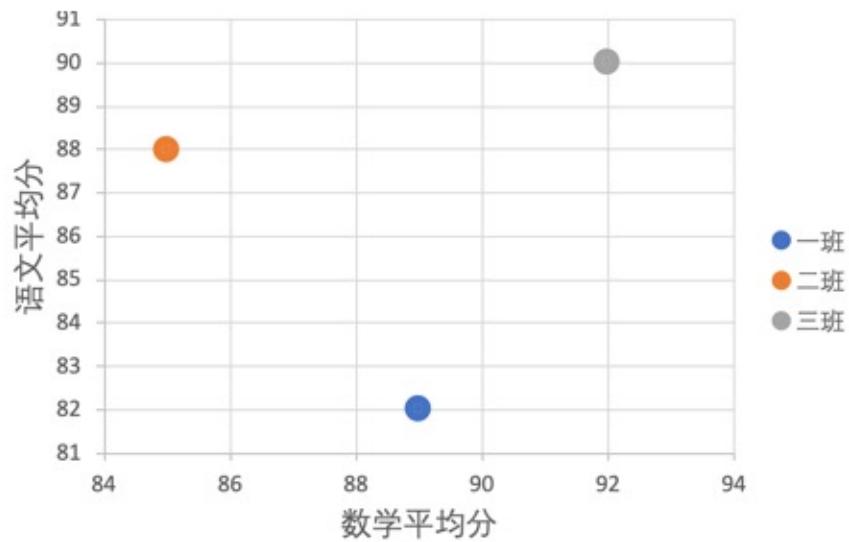
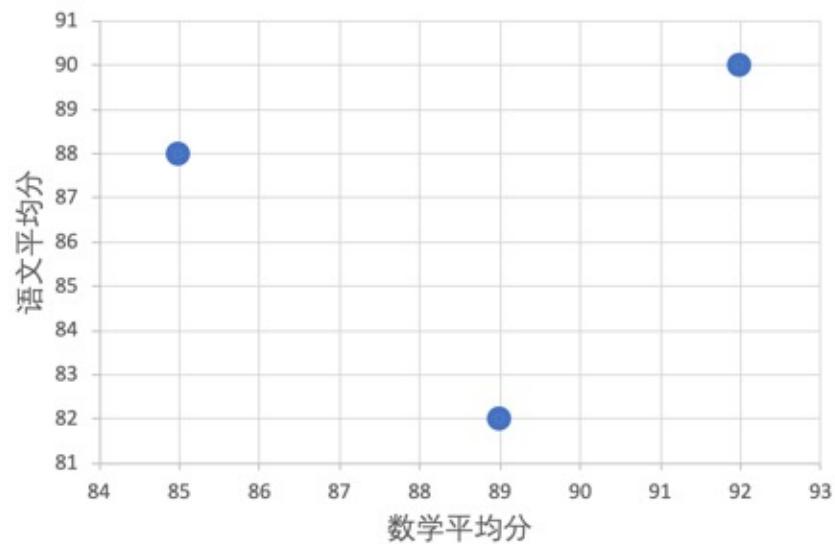
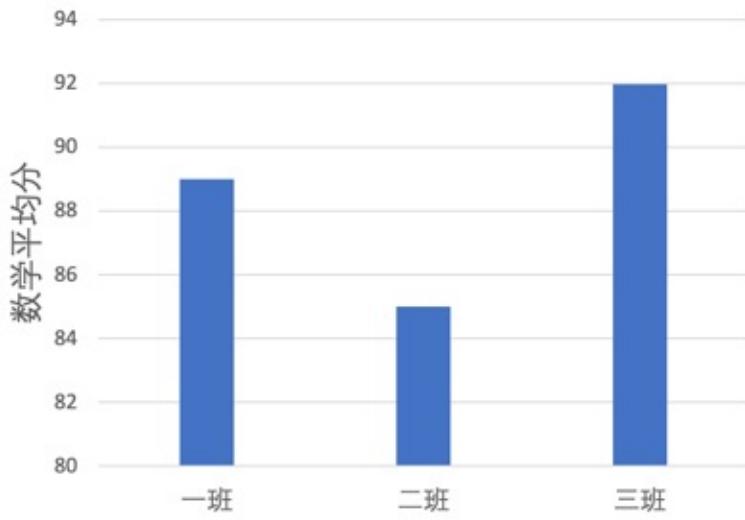
视觉通道与标记的空间维度相互独立。

标记和视觉通道



视觉通道与标记的空间维度相互独立。

标记和视觉通道



标记和视觉通道

- 不同的视觉通道在表达信息的作用和能力上具有不同的特性。

类型

表现力

有效性

标记和视觉通道



视觉通道的不同类型

适用于不同的数据类型

标记和视觉通道

视觉通道的表现力

表达出数据的完整属性

不携带额外信息



衡量方式/判断标准

精确性

可分辨性

可分离性

视觉突出性

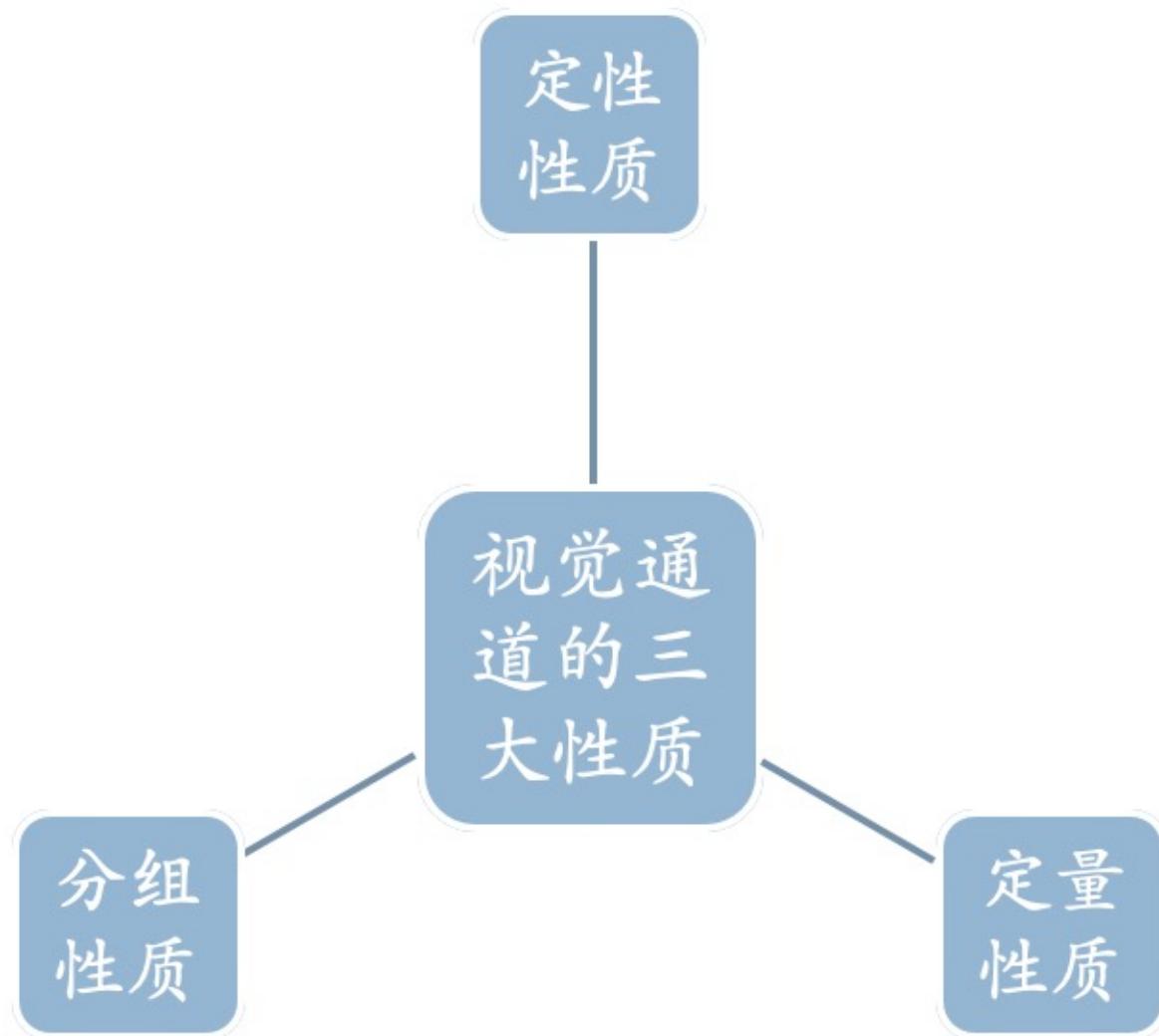
标记和视觉通道

视觉通道的有效性

- 不同的视觉通道具有不同的表现力。
- 根据每个**数据属性的重要性**使用合适的视觉通道进行编码。

VARIABLES OF THE IMAGE		POINT	LINE	AREA (ZONE)
XY 2 DIMENSIONS OF THE PLANE		x OQ	x ≠	x / \
Z		SIZE	I OQ	I ≠
VALUE		O I	I I	I I
DIFFERENTIAL VARIABLES		POINT	LINE	AREA (ZONE)
TEXTURE		 O	≠	 / \
COLOR		 I	 ≠	 I
ORIENTATION		 I	 I	 / \
SHAPE		 I	△ •	 / \

视觉通道的类型



视觉通道的类型

人类的感知系统在获取周围信息时有两种最基本的感知模式：

- 第一种：读取对象的本身特征和所在位置（对应定性性质）。
- 第二种：读取对象的某一属性的数值大小（对应定量性质）。

Shape



Size

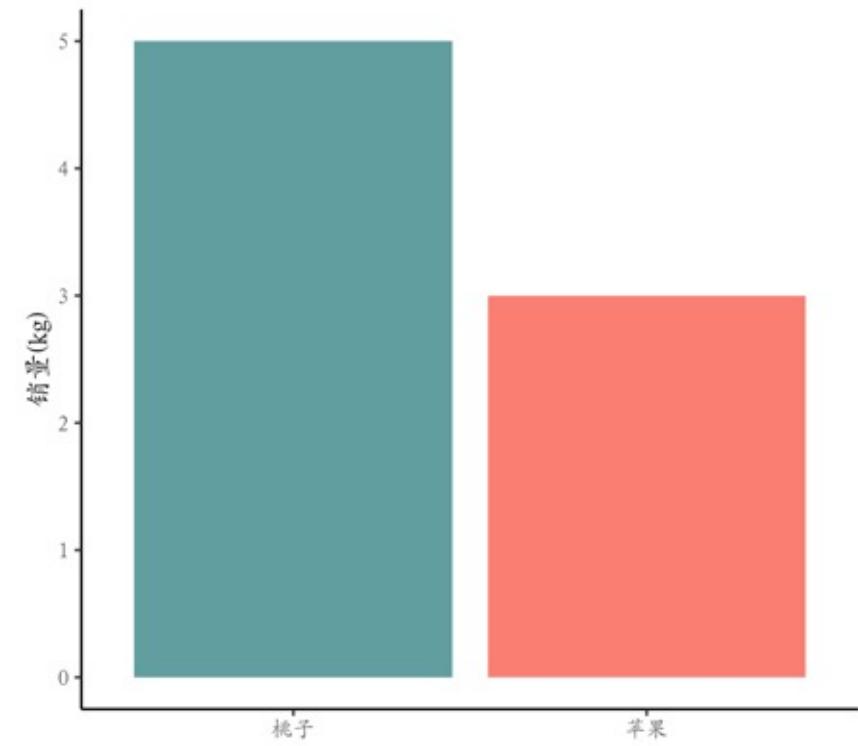
→ Length



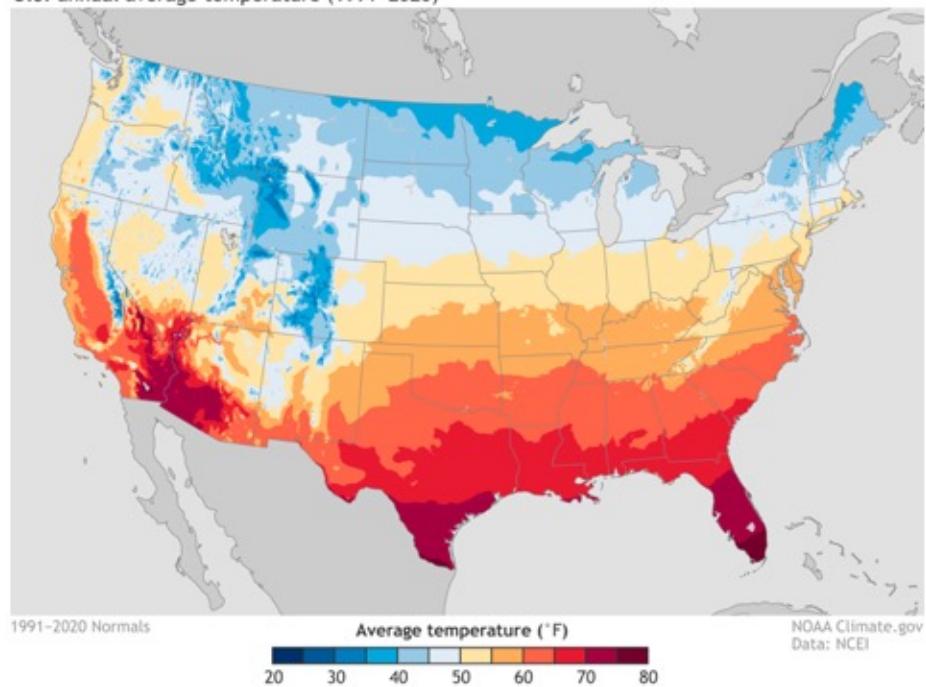
→ Area



视觉通道的类型

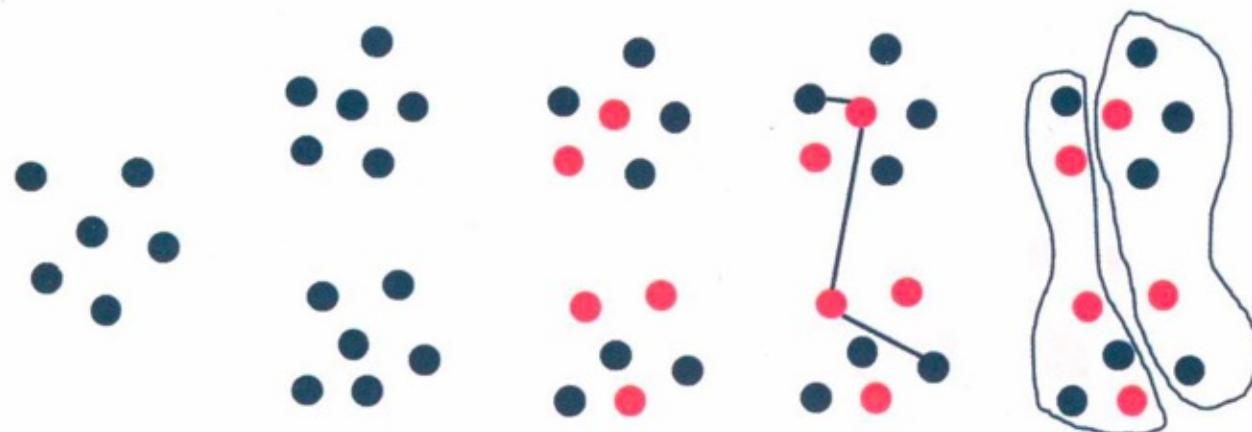


U.S. annual average temperature (1991–2020)



视觉通道的类型

- 分组性质：针对多个标记或多种标记的组合描述。最基本的分组通道是接近性（格式塔）。
- 还可以通过颜色的相似性、显式连接、显式包围等方法来实现。



(a) 空间中的 5 个点

(b) 位置的接近

(c) 颜色的相似

(c) 显式连接

(d) 显式包围

视觉通道的类型

定性通道：编码**分类**数据

定量通道：编码**有序/数值**数据

分组通道：将存在相互联系的**分类属性**进行分组，表现数据之间的**内在关联性**

表现力和有效性

- 视觉通道的表现力和有效性：指导我们选择合适的视觉通道，对数据信息进行完整的、具有目的性的展现。
- 用表现力更高的视觉通道编码数据中更重要的属性，有助于提高可视化结果的有效性和可读性。
- 视觉通道的表现力：视觉通道是否能完整地编码数据包含的所有信息，且不附带额外信息。

Example	Encoding	Ordered	Useful values	Quantitative	Ordinal	Categorical	Relational
	position, placement	yes	infinite	Good	Good	Good	Good
1, 2, 3; A, B, C	text labels	optional alpha or num	infinite	Good	Good	Good	Good
	length	yes	many	Good	Good		
	size, area	yes	many	Good	Good		
	angle	yes	medium	Good	Good		
	pattern density	yes	few	Good	Good		
	weight, boldness	yes	few		Good		
	saturation, brightness	yes	few		Good		
	color	no	few (<20)			Good	
	shape, icon	no	medium			Good	
	pattern texture	no	medium			Good	
	enclosure, connection	no	infinite			Good	Good
	line pattern	no	few				Good
	line endings	no	few				Good
	line weight	yes	few		Good		

表现力和有效性

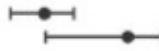
定量通道

Quantitative/ordered data

Position on common scale



Position on unaligned scale



Length (1D size)



Tilt/angle



Area (2D size)



Depth (3D position)



Color luminance



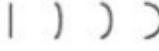
Same

Color saturation



Same

Curvature



Same

Volume (3D size)



Harmful

Color hue



更
高
效

更
低
效

有害

定性通道

Categorical data

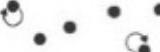
Spatial region



Color hue



Motion



Shape

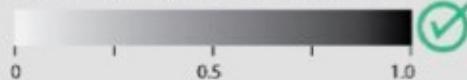


Avoid rainbow color maps

Rainbow maps add artifacts and hide details



Use luminance/saturation for monotonic data



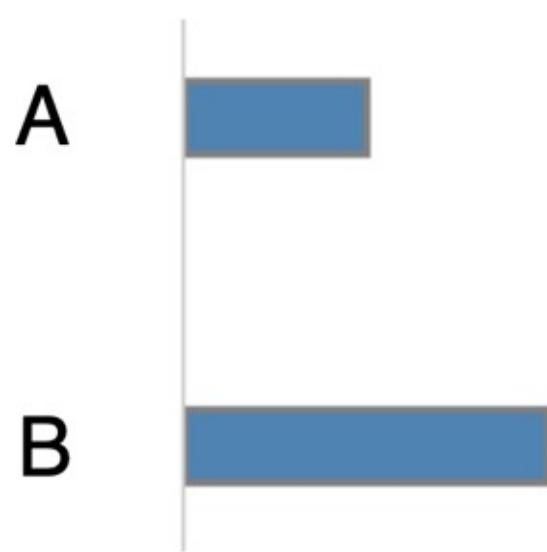
Use divergent color map for low/high data



Additional visual channels (unranked): connection, containment/enclosure, crispness/resolution, flicker, line endings, line pattern, line weight, numerosity, text, texture, transparency, weight/boldness.

视觉通道的表现力排序

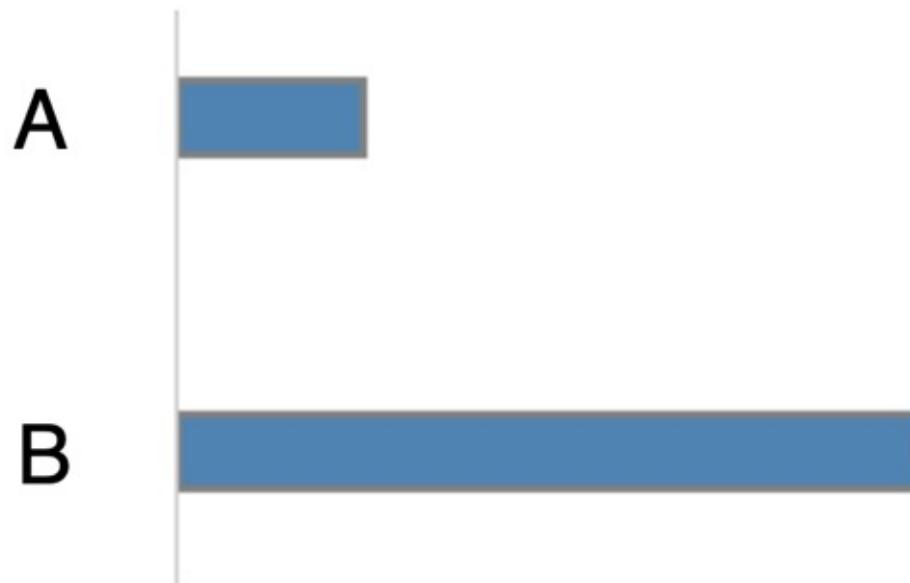
精确性



长度：B是A的多少倍？

2倍

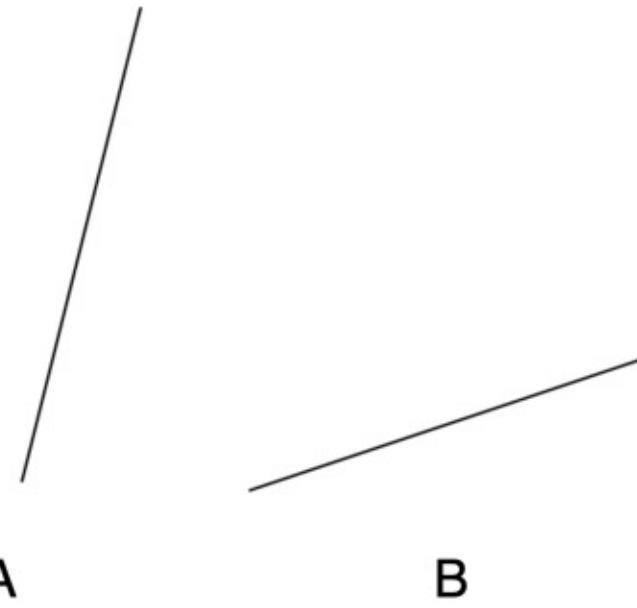
精确性



长度：B是A的多少倍？

4倍

精确性



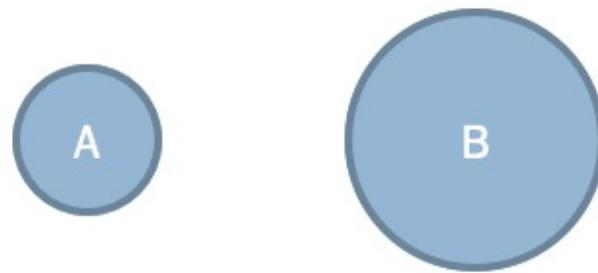
A

B

斜度：A是B的多少倍？

4倍

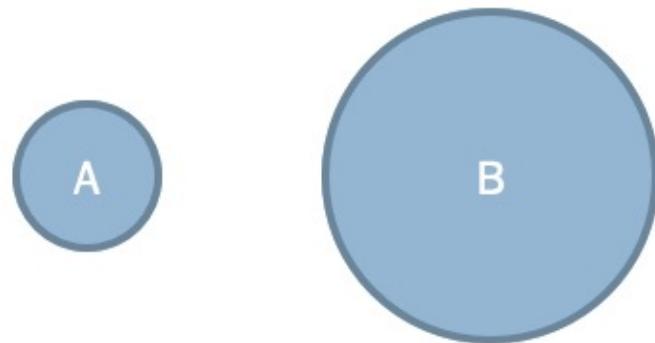
精确性



面积：B是A的多少倍？

3倍

精确性



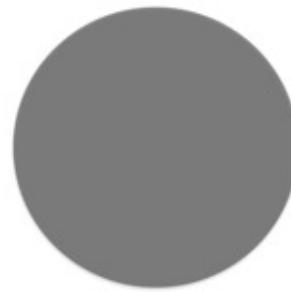
面积：B是A的多少倍？

5倍

精确性



A



B

亮度：A是B的多少倍？

2倍

精确性



A



B

亮度：A是B的多少倍？

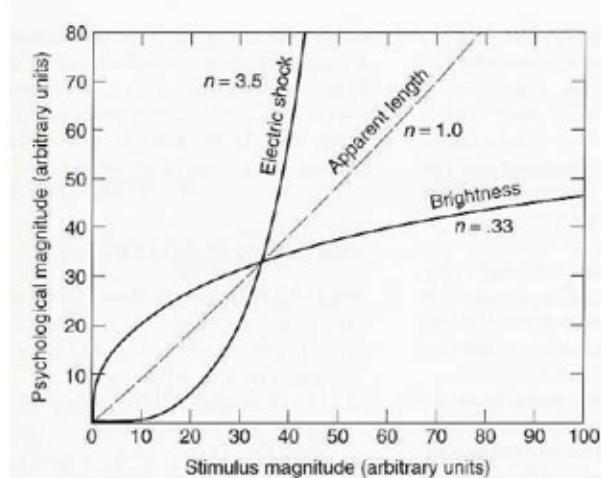
3倍

精确性

- 精确性：视觉感知对于可视化的理解与原始数据的吻合程度。
- 史蒂文斯幂次法则(Stevens' power law)：人类的感知系统对不同通道的感知精确性不同，其精确性总体上可以归纳为一个幂次法则，指数与人类感觉器官和感知模式相关。

$$S=I^n$$

- S: 大脑所得到的感知结果
- I: 感觉器官受到的刺激值
- n: 范围从亮度的0.5到电流值的3.5不等



精确性

项目	指数n
面状持续光源亮度	0.33
粘度	0.42
点状持续光源亮度	0.5
短时闪光亮度	0.5
气味	0.6
高频振动	0.6
响度	0.67
深度	0.67
炎热度	0.7
面积	0.7
全身皮肤辐射温度	0.7
触觉硬度	0.8
糖精甜度	0.8
低频震动	0.95
点状闪光亮度	1
金属冰感	1
体感温度	1

项目	指数n
长度	1
持续时间	1.1
手掌推力	1.1
人声大小	1.1
亮度	1.2
手指跨度	1.3
蔗糖甜度	1.3
局部皮肤辐射温度	1.3
角度加速度	1.4
咸度	1.4
重量	1.45
粗糙度	1.5
金属烫度	1.6
寒冷度	1.7
肌肉力量	1.7
颜色饱和度	1.7
电流	3.5

不同感知通道的史蒂文斯幂次 (n值)

当n值小于1时，刺激信号会被感知压缩，即信号本身的变化值大于感知到的信号变化值（代表该通道的灵敏性较弱）。