

第三讲：可视化的基本设计准则

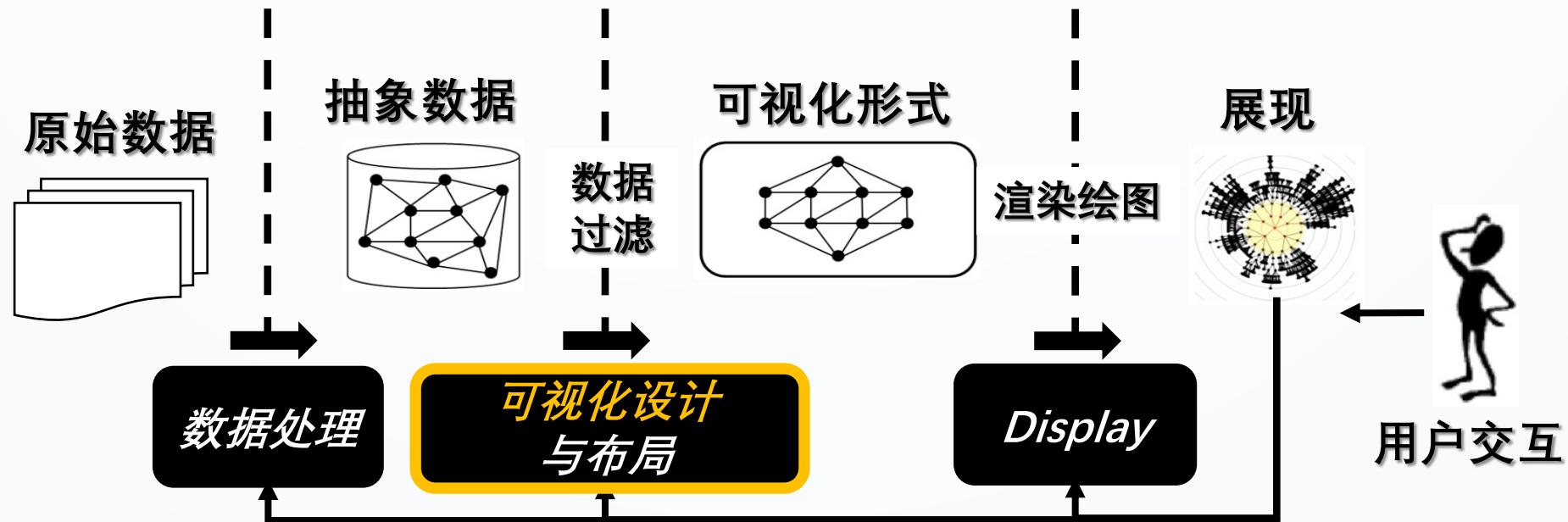
信息可视化

曹楠（教授）

<https://idvxlab.com>

同济大学

怎样对数据进行可视化?



信息可视化参考模型

课程大纲

- 可视化设计的基本准则（信、达、雅）
- 信：设计能够正确表达信息的可视化
- 达：设计能够高效传达信息的可视化
- 雅：设计能够让人赏心悦目的可视化

课程大纲

- 可视化设计的基本准则（信、达、雅）
 - 信：设计能够正确表达信息的可视化
 - 达：设计能够高效传达信息的可视化
 - 雅：设计能够让人赏心悦目的可视化

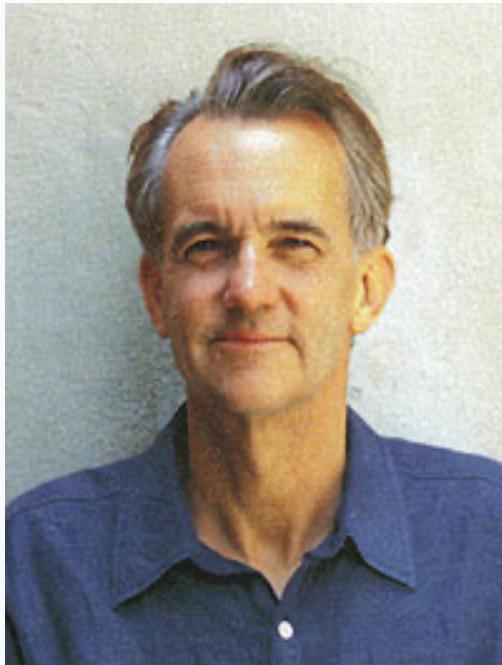
从认知的角度理解可视化



Prof. Stuart Card

- Visualization is really about external cognition, that is, how resources outside the mind can be used to boost the cognitive capabilities of the mind. 可视化是一个帮助人们对外部信息进行认知的过程，也就是说，是一个使用大脑以外的视觉资源与信号，来帮助增强大脑认知能力的过程 -- **Stuart Card**
- 感知 (Perception) 是对感觉信息 (Sensory Information) 的组织、辨识 以及解释以便帮助人们理解周围的环境
- 认知 (Cognition) 是一组心理过程，这个过程包括倾注注意力，记忆，产生和理解语言，解决问题及作出决定

什么是好的可视化



Edward R. Tufte

- An excellent visualization design gives to the viewer the greatest number of ideas in the shortest time with the least ink in the smallest space. 一个出色的可视化设计可在最短的时间内，使用最少的空间、用最少的笔墨为观众提供最多的信息内涵 -- Edward R. Tufte
- 这段话把设计本身转换成了一个优化问题，到底如何才能达到上述优化目标呢？

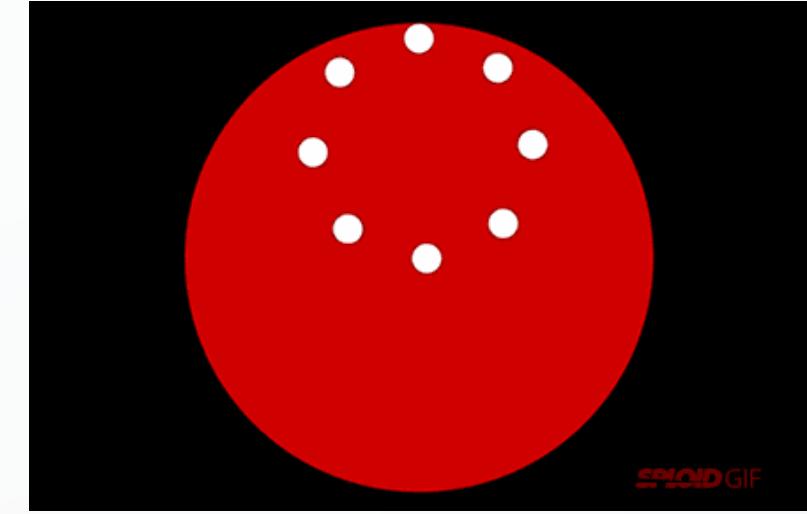
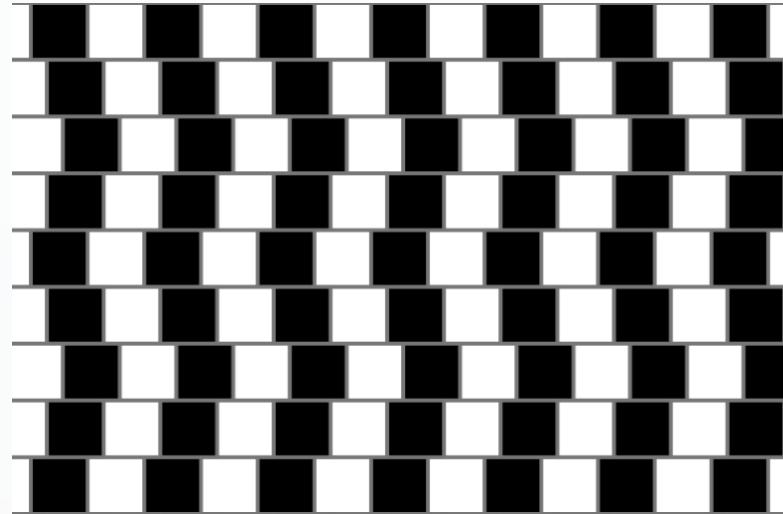
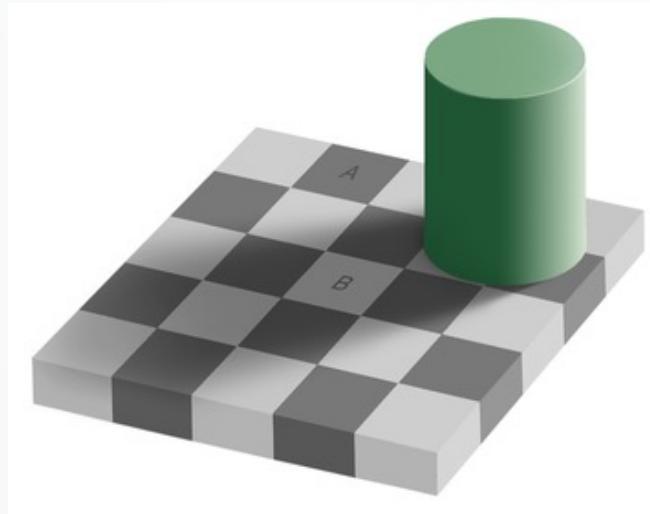
可视化的基本设计准则

- 一个好的可视化设计应该遵守以下三个基本设计准则
 - 信 (Faithfulness) : 能够正确的表达数据中的信息而不产生偏差与歧义
 - 达 (Expressiveness) : 能够高效、准确的传达数据中的信息
 - 雅 (Elegance) : 能够美观的展现数据，让人赏心悦目

课程大纲

- 可视化设计的基本准则（信、达、雅）
- 信：设计能够正确表达信息的可视化
- 达：设计能够高效传达信息的可视化
- 雅：设计能够让人赏心悦目的可视化

眼见不一定为实



错觉是人们观察物体时，由于物体受到形、光、色的干扰，加上人们的生理、心理原因而误认物象，会产生与实际不符的判断性的视觉误差。错觉是知觉的一种特殊形式，它是人在特定的条件下对客观事物的扭曲的知觉，也就是把实际存在的事物被扭曲的感知为与实际事物完全不相符的事物。

信：保证图形的诚实性（Graphic Integrity）

- **准则一：控制图形中的谎言因子（Lie Factor, LF）：**

谎言因子：衡量可视化中所表达的数据量与数据之间的夸张程度的度量方法

$$LF = \frac{\text{数据所对应的图形元素的相对变化量}}{\text{数据的真实变化量}}$$

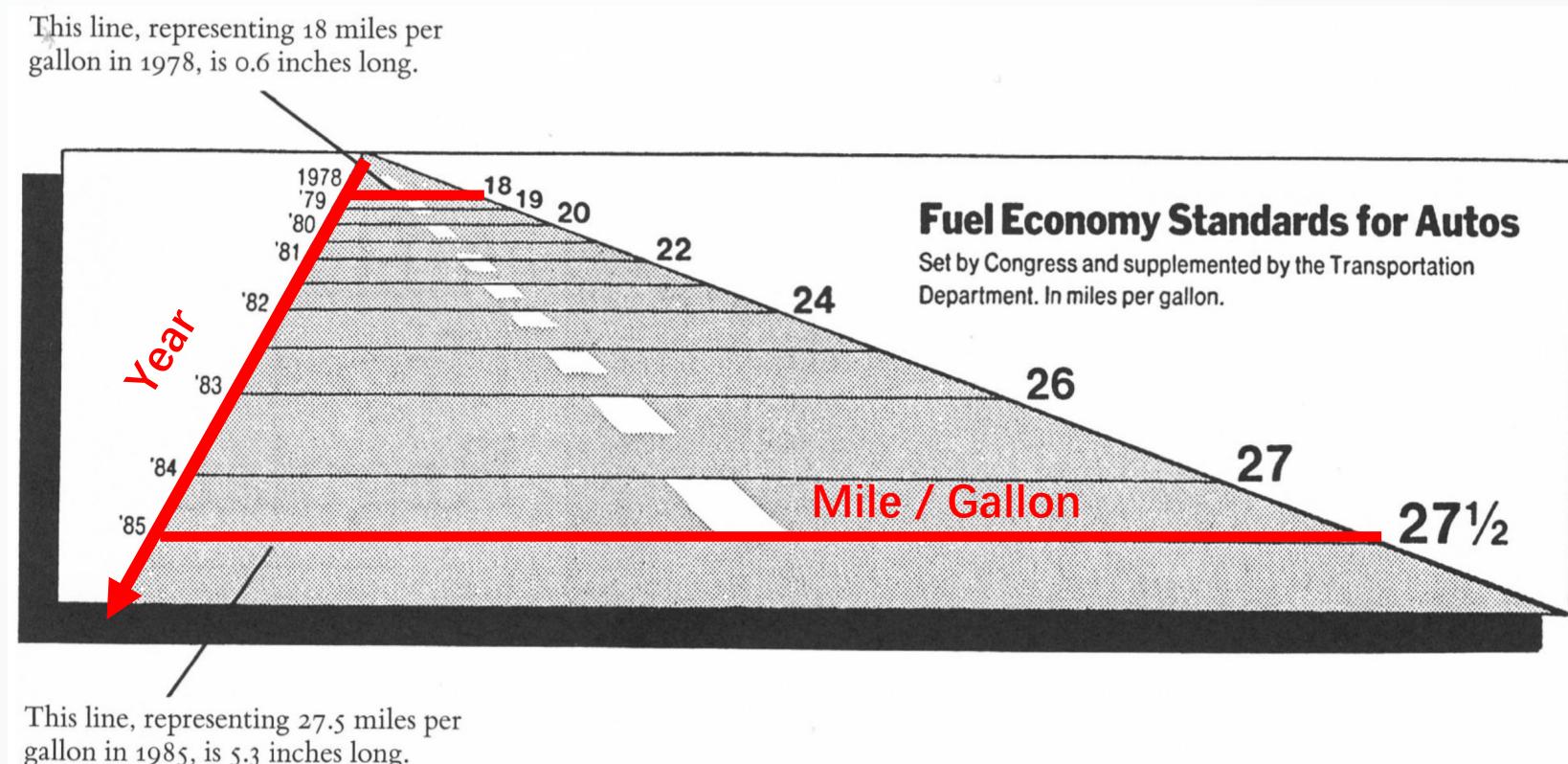
- 当 $LF = 1$ 时，我们认为图表没有对数据实时进行扭曲，是一个可信的可视化设计
- 在实际当中，应当确保各部分图形元素的 LF 在 $[0.95, 1.05]$ 范围内，否则，所产生的图表认为已经丧失了基本可信度

信：保证图形的诚实性（Graphic Integrity）

- **准则一：控制图形中的谎言因子（Lie Factor, LF）：**

谎言因子：衡量可视化中所表达的数据量与数据之间的夸张程度的度量方法

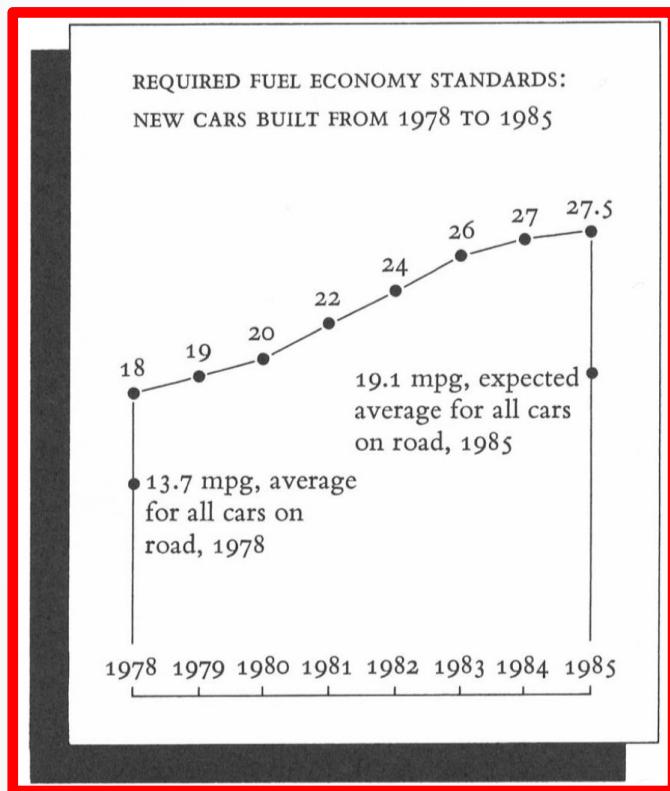
- $(27.5 - 18) / 18 = 0.53$
Increase in data
- $(5.3 - 0.6) / 0.6 = 7.83$
increase in length
- $LF = 7.83 / 0.53 = \textcolor{red}{14.8}$
- 严重夸大了数据的变化量



信：保证图形的诚实性 (Graphic Integrity)

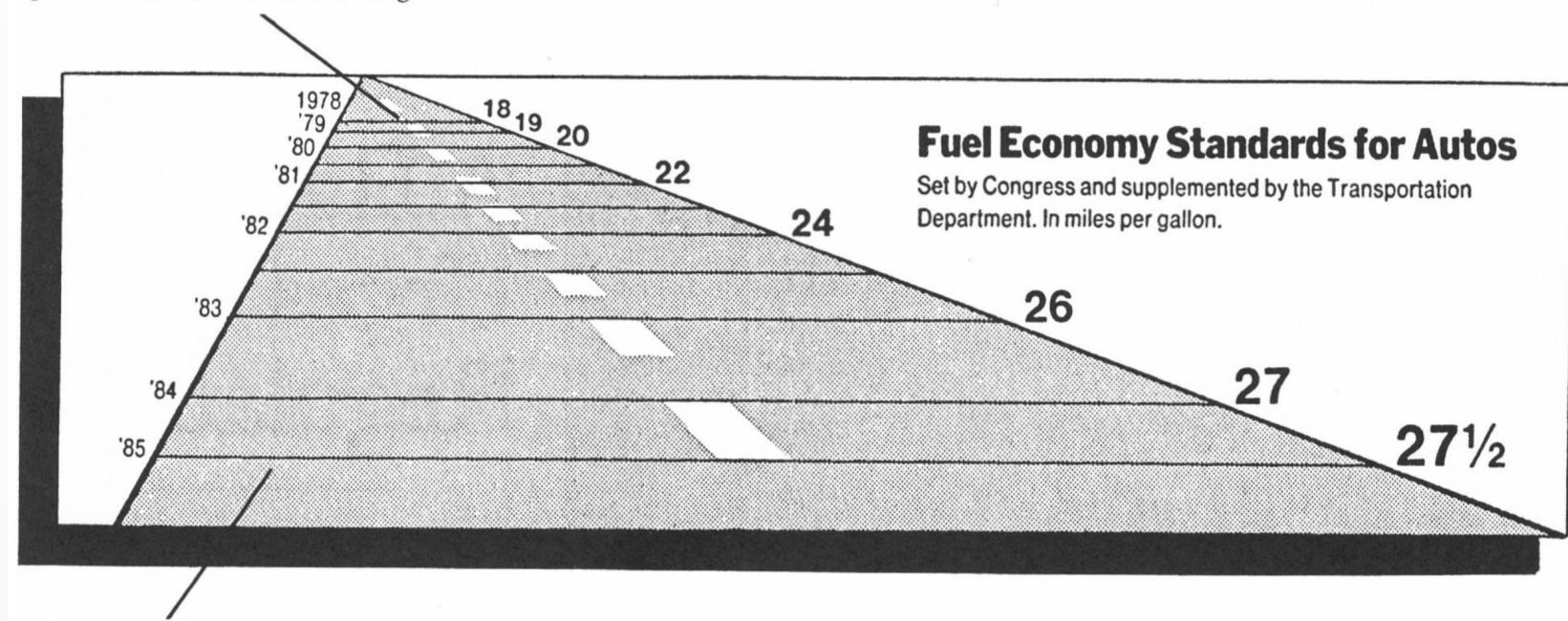
- 准则一：控制图形中的谎言因子 (Lie Factor, LF)：

谎言因子：衡量可视化中所表达的数据量与数据之间的夸张程度的度量方法



无夸大的信息图

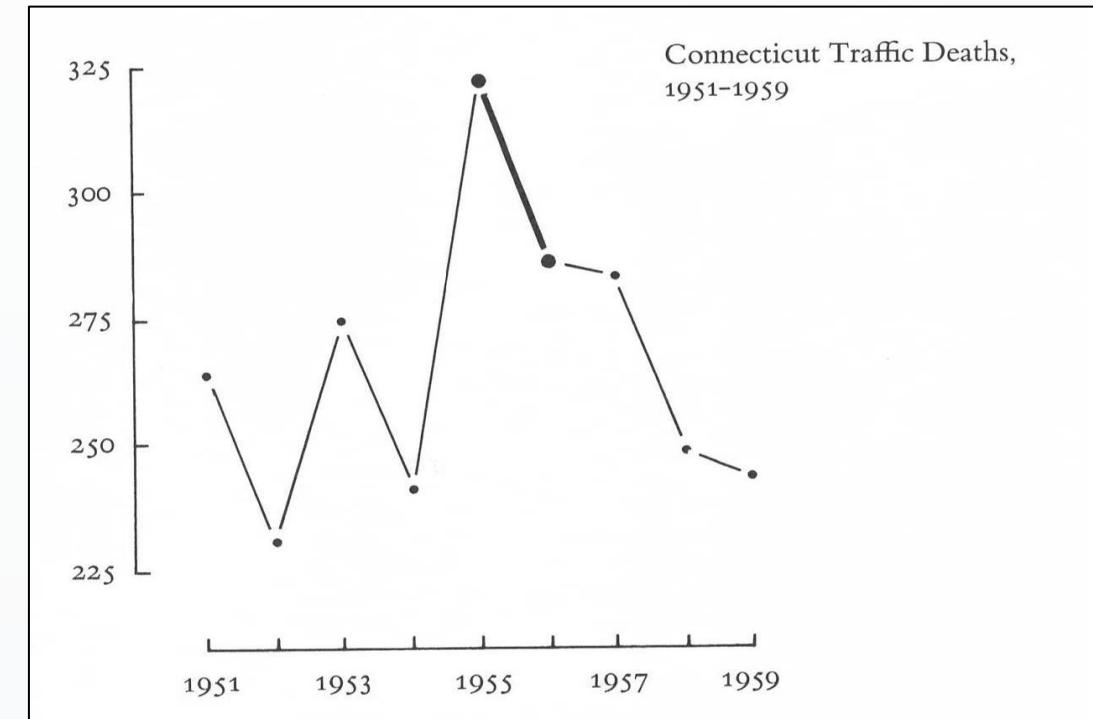
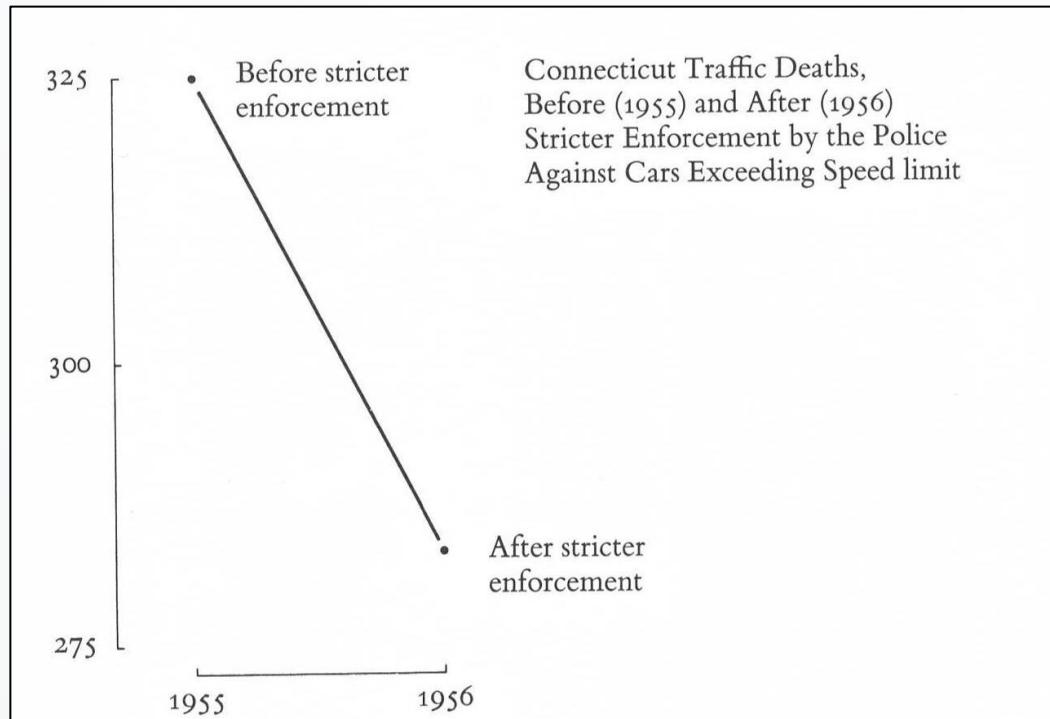
This line, representing 18 miles per gallon in 1978, is 0.6 inches long.



This line, representing 27.5 miles per gallon in 1985, is 5.3 inches long.

信：保证图形的诚实性 (Graphic Integrity)

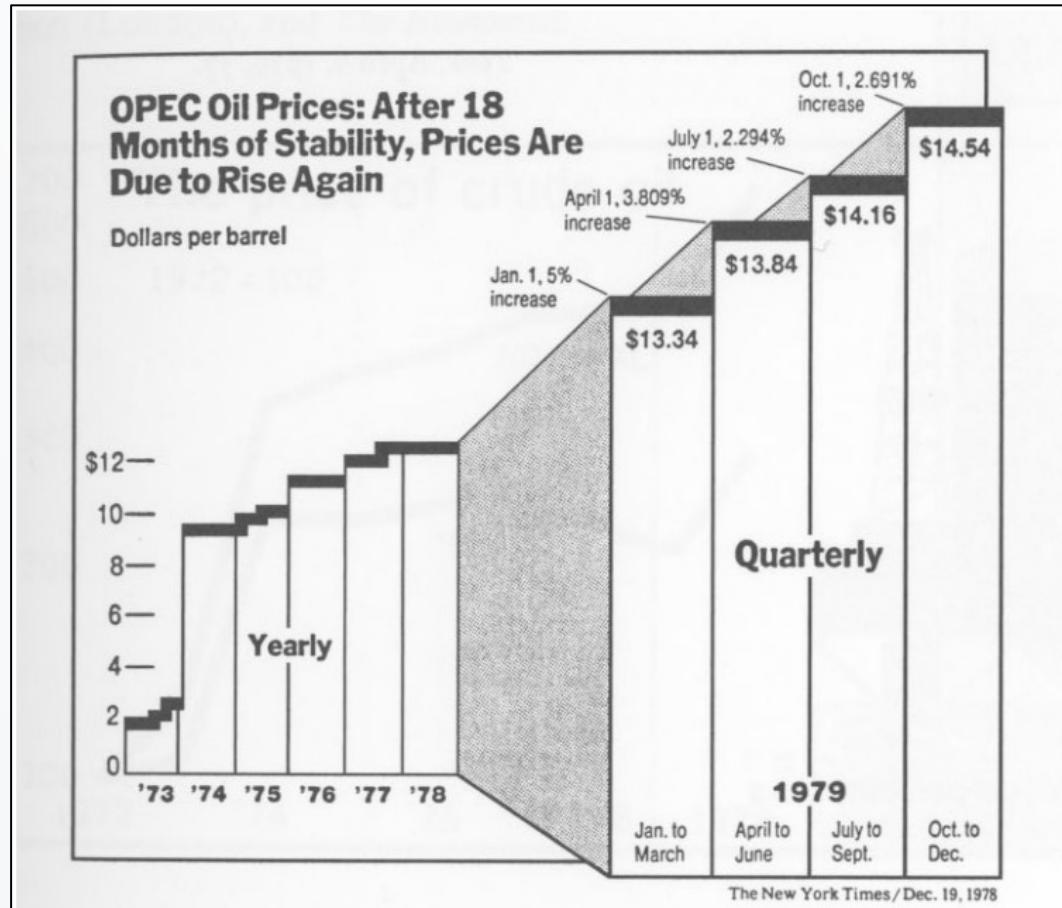
- 准则二：不要将数据的展示脱离其上下文



警察对超速严格执法前后，因交通事故死亡人数的变化。左图给人造成了死亡人人数急剧下降的错误印象，而实际上，如右图所示，虽然严格执法起到了一定作用，但是对于死亡人数的影响并非那么立竿见影。

信：保证图形的诚实性（Graphic Integrity）

- 准则三：展示数据的变化而非设计的变化



左图中右边的部分，在设计时被有意放大了（设计变化），虽然有效的突出了右边部分的数据信息，但是却破坏了图表的诚实性，使得右边的高度与左边的高度代表了不同的数量单位，也使得其无法进行有效对比

课程大纲

- 可视化设计的基本准则（信、达、雅）
- 信：设计能够正确表达信息的可视化
- 达：设计能够高效传达信息的可视化
- 雅：设计能够让人赏心悦目的可视化

达：设计能够高效传达信息的可视化

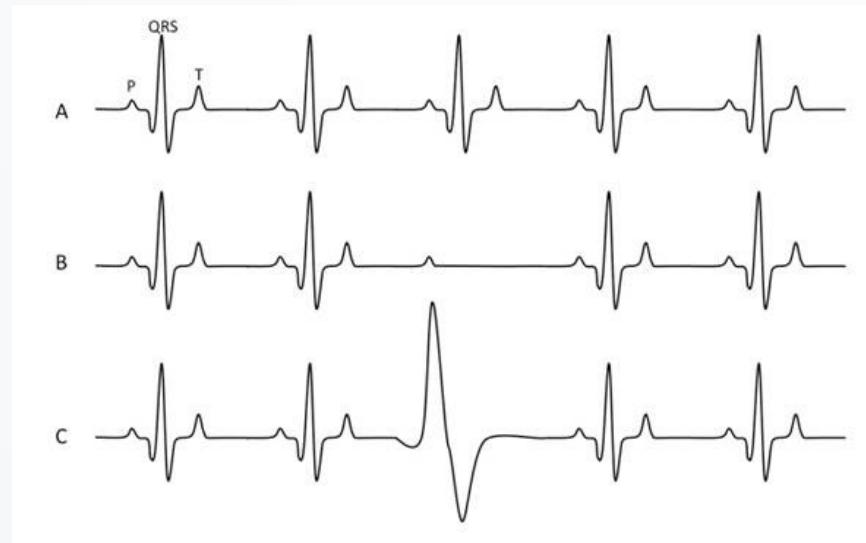
- 方法一：最大化数据墨水占比 (Data-Ink Ratio)
 - 数据墨水：可视化图形当中不可擦除的核心部分被称之为“数据墨水”
 - 数据墨水占有率为：是可视化图形中用于展示核心数据的“墨水”与整体绘制可视化所使用的全部墨水之间的比例，即

$$\text{Data-Ink Ratio} = \frac{\text{数据墨水}}{\text{绘制可视化所使用的所有墨水}}$$

达：设计能够高效传达信息的可视化

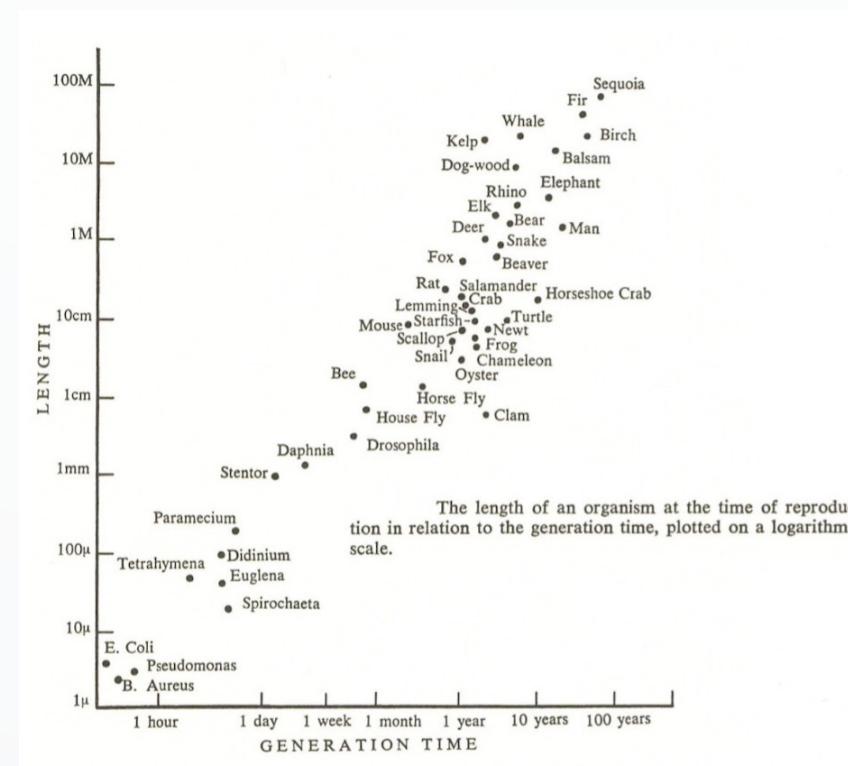
- 数据墨水占比举例

心电图



Data-Ink Ratio = 1

散点图

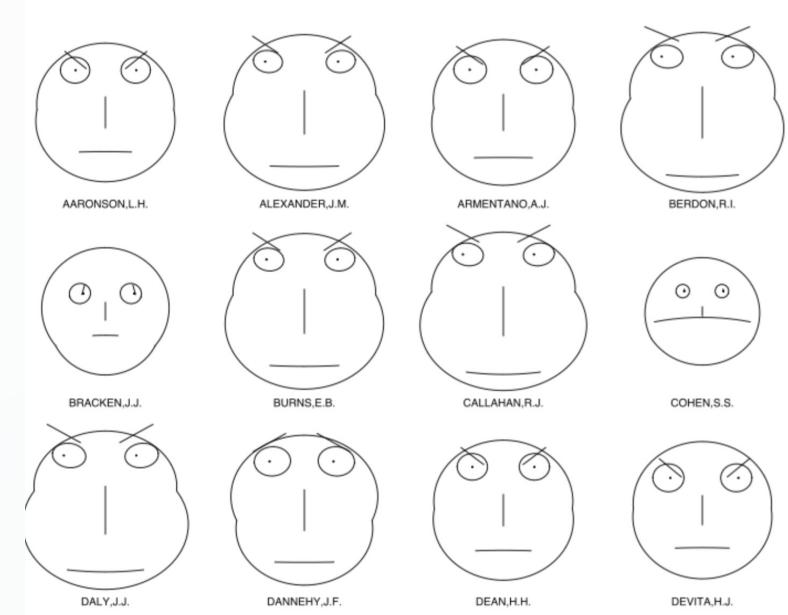


绝大部分为数据墨水，
用来绘制 点及文字标签

10%-20% 的墨水被用
来绘制坐标轴即刻度，
这部分不是数据墨水

达：设计能够高效传达信息的可视化

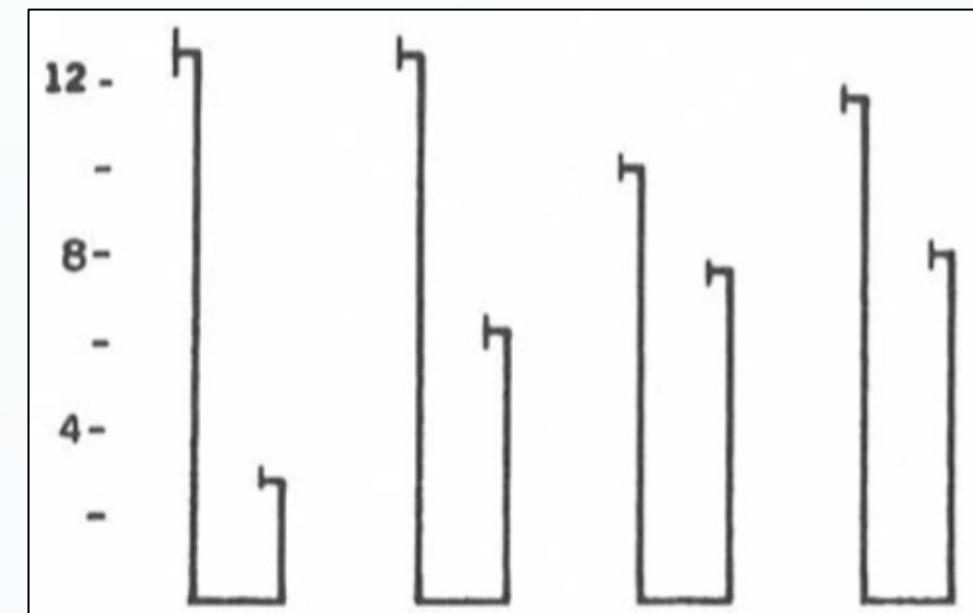
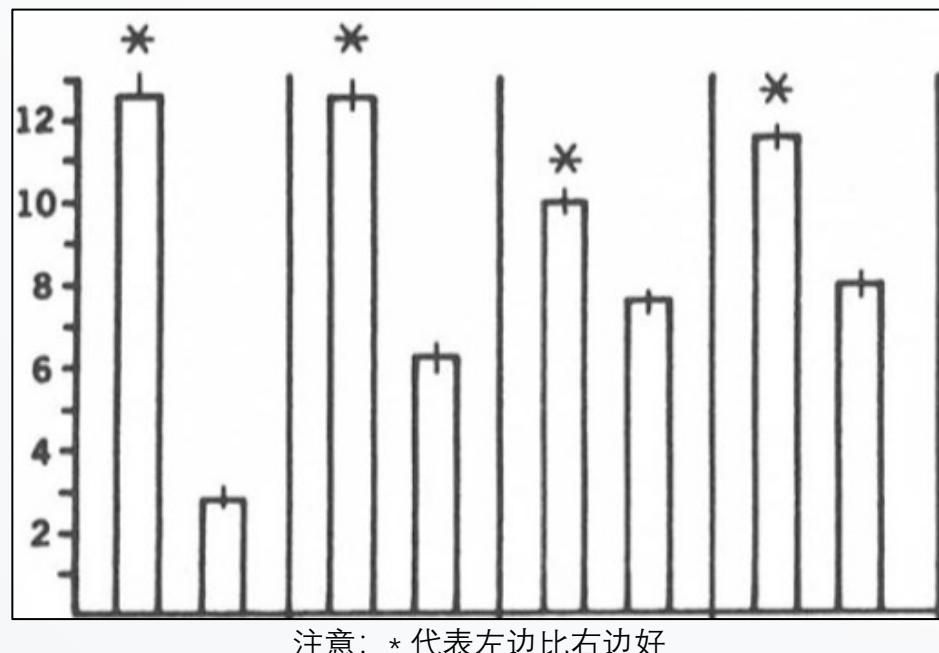
- 最大化数据墨水占比的方法
 - 擦除 非数据墨水
 - 擦除 冗余的数据墨水（即，多余的，重复的那部分墨水）
- 非数据墨水：不表达数据信息的那部分墨水
并非所有的非数据墨水都没有用。例如，散点图中的坐标轴与刻度
- 冗余的数据墨水：用来展现重复信息的那部分墨水。
并非所有的冗余数据墨水都没有用。例如，Cheroff Faces 去除冗余便意味着破坏对称



Cheroff Faces 利用人脸的五官特征来表示数据的不同维度，例如眼睛的大小，嘴巴的宽窄等，为了对称，让人脸可以辨识对比，不可避免的引入了冗余的数据墨水，但这部分墨水不可擦除

达：设计能够高效传达信息的可视化

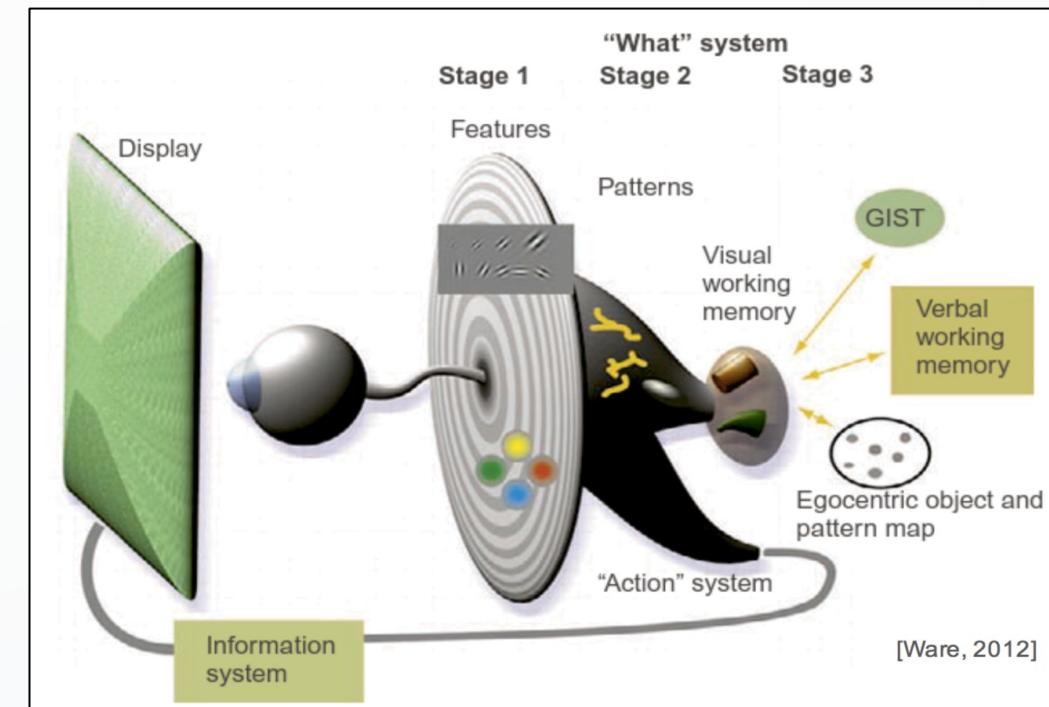
- 最大化数据墨水占比的方法
 - 擦除 非数据墨水
 - 擦除 冗余的数据墨水（即，多余的，重复的那部分墨水）



优化柱状图的设计

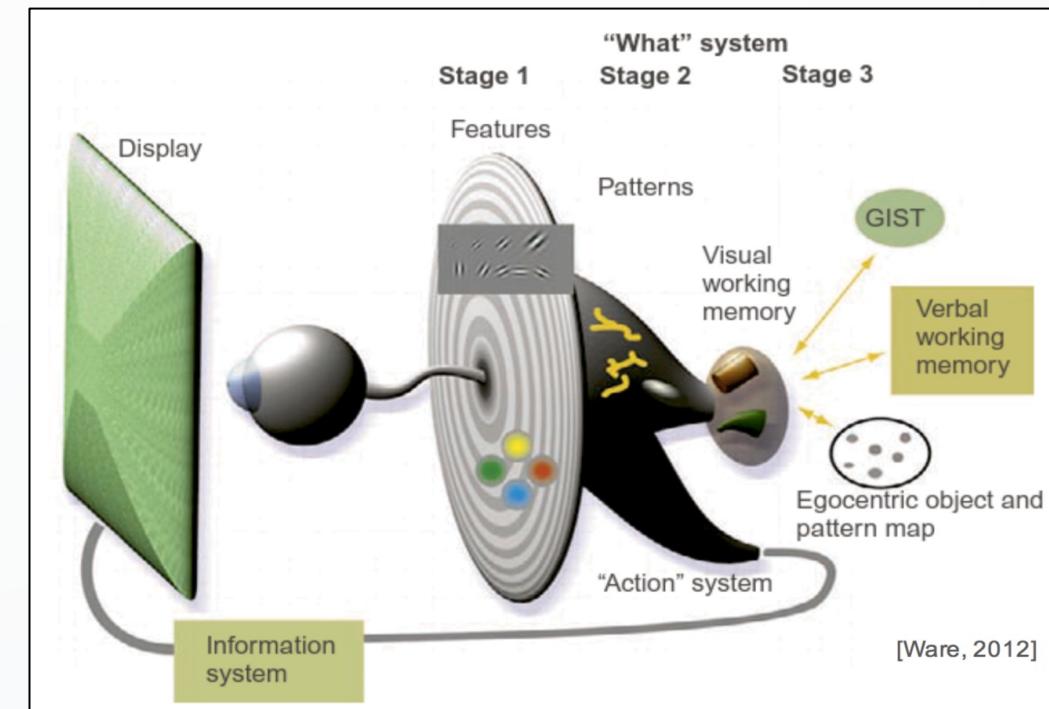
达：设计能够高效传达信息的可视化

- 方法二：利用人类感知系统的特点，帮助人们更快的感知信息
- 感知处理模型（Perceptual Processing）
 - 第一步：感知原始的可视化信号，例如，颜色、形状等
 - 第二步：模式识别
 - 第三步：以目标及任务为导向的推理及分析
- 最小化以上三步的耗时，让可视化更易被人理解**



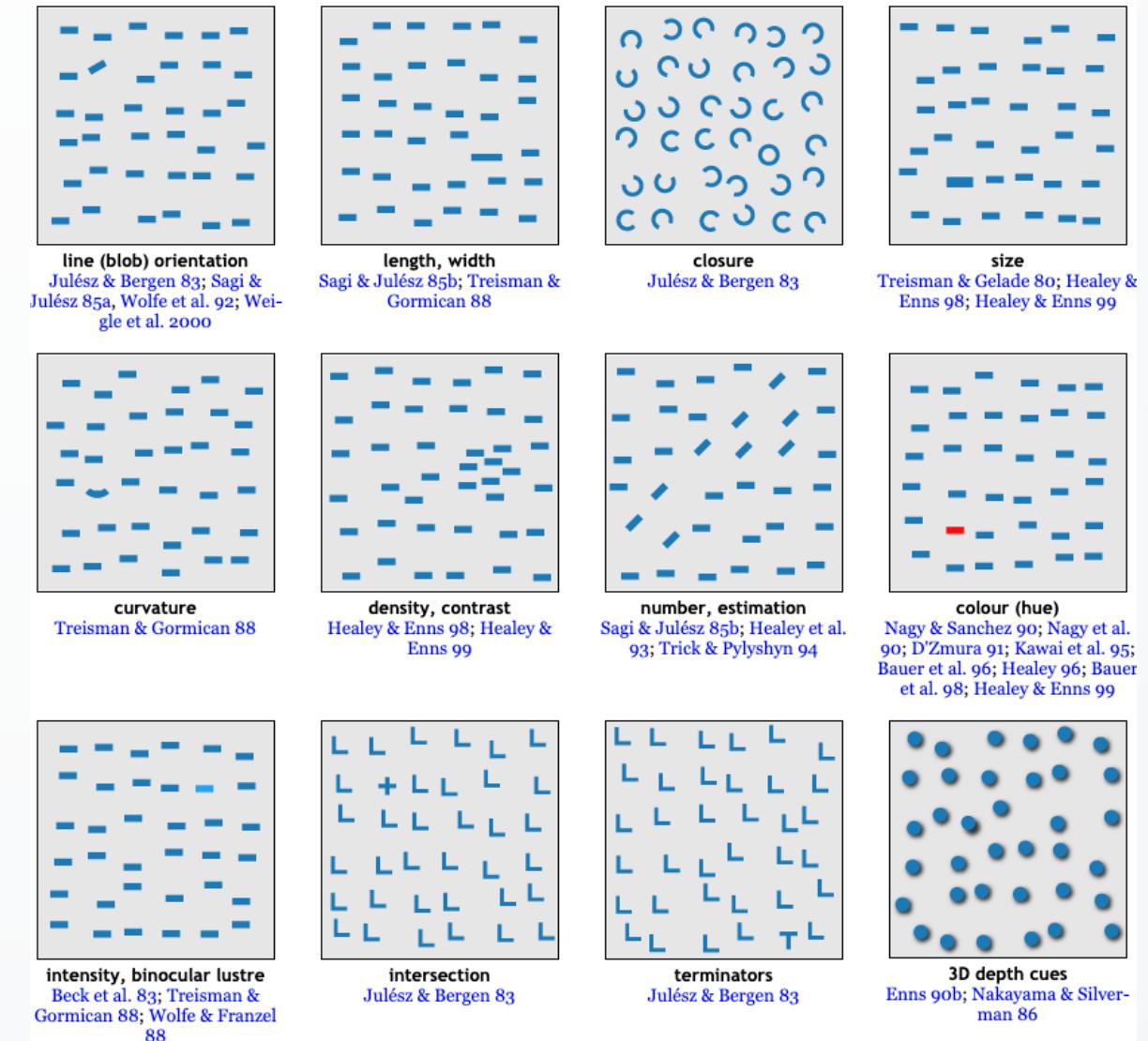
达：设计能够高效传达信息的可视化

- 方法二：利用人类感知系统的特点，帮助人们更快的感知信息
- 感知处理模型（Perceptual Processing）
 - 第一步：感知原始的可视化信号，例如，颜色、形状等
 - 第二步：模式识别
 - 第三步：以目标及任务为导向的推理及分析
- 最小化以上三步的耗时，让可视化更易被人理解



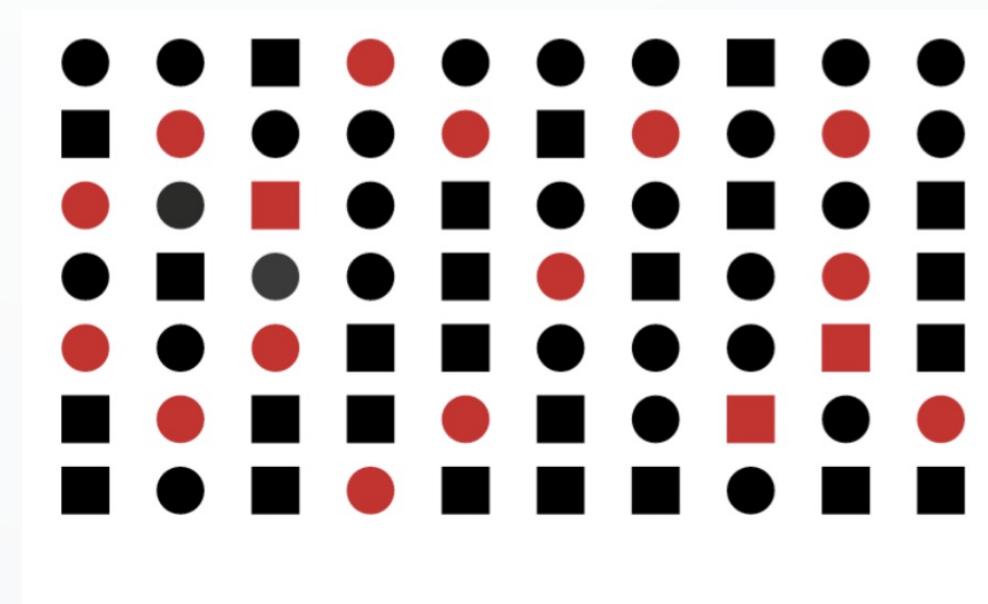
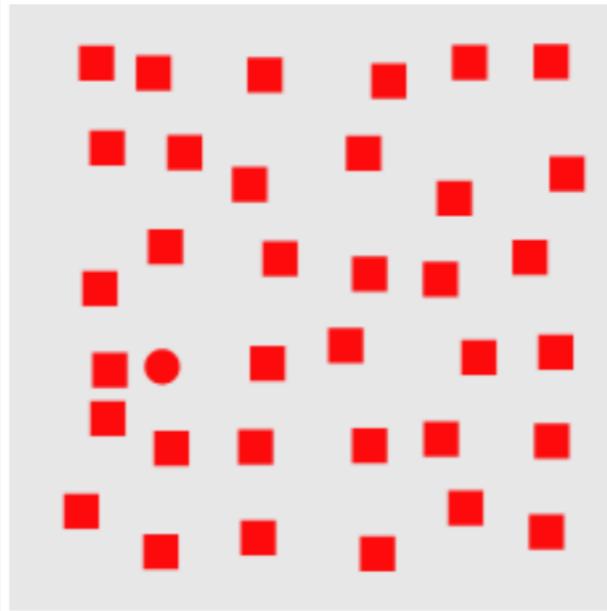
达：设计能够高效传达信息的可视化

- 1. 减少感知原始可视化信号的耗时
 - 部分图形属性能够被人类在200毫秒以内快速辨识，加以区分，这类属性被称作具有“预感知”特性
 - 这样的属性包括，色调、形状、长短、方向、大小、密度等，更详细的列表请参考
<https://www.csc2.ncsu.edu/faculty/healey/PP/>
 - 在设计中使用具有“预感知”特性的可视化符号及属性将有助于缩短感知处理过程中第一步的用时



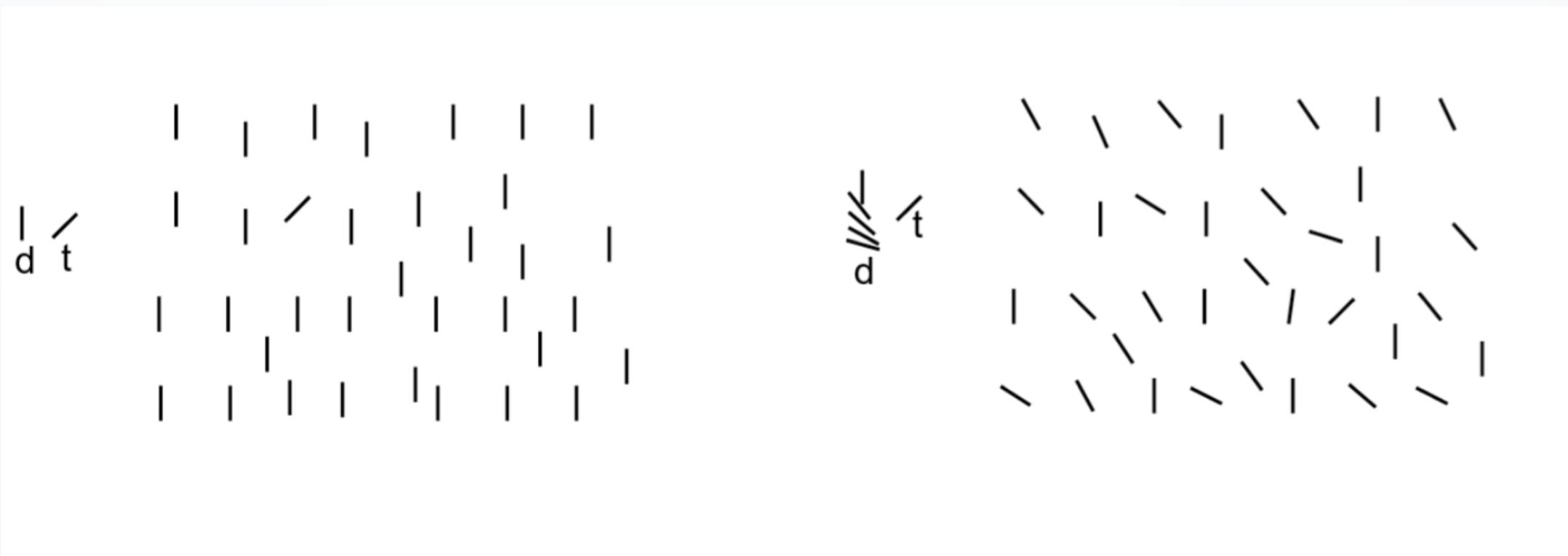
达：设计能够高效传达信息的可视化

- 1. 减少感知原始可视化信号的耗时
 - 混合使用预感知可视化属性，将会丧失与感知效力



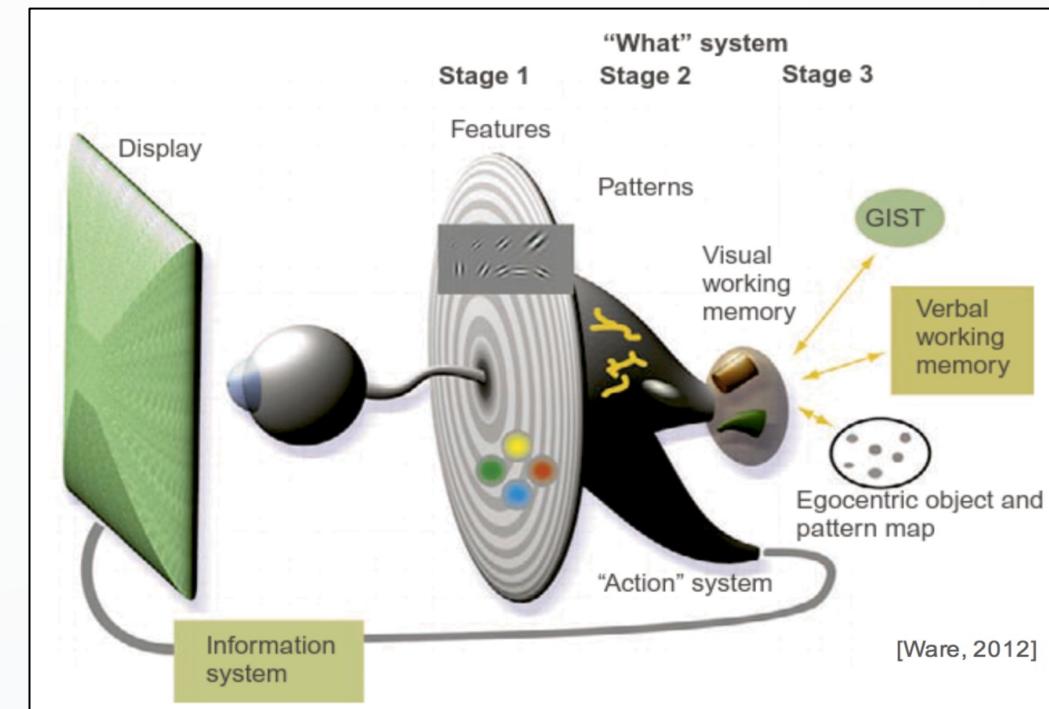
达：设计能够高效传达信息的可视化

- 1. 减少感知原始可视化信号的耗时
 - 当干扰选项增多时，与感知属性将会渐入



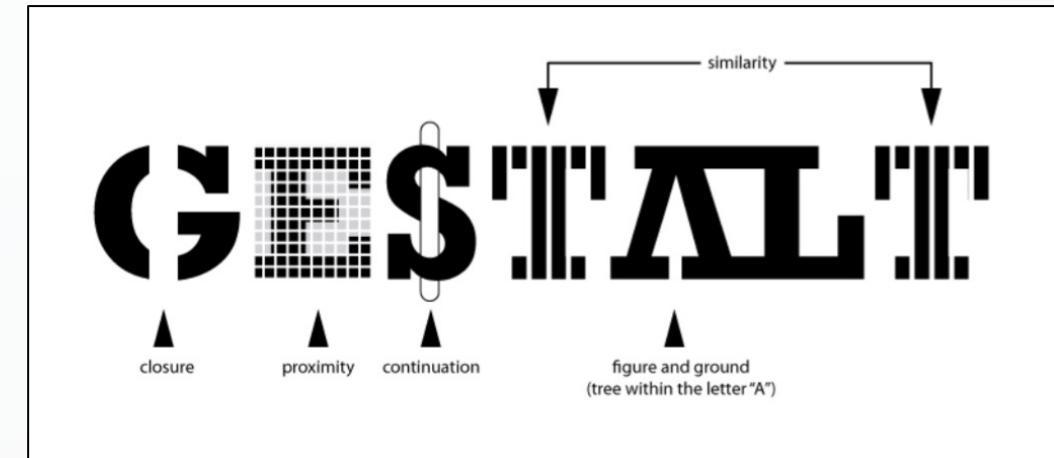
达：设计能够高效传达信息的可视化

- 方法二：利用人类感知系统的特点，帮助人们更快的感知信息
- 感知处理模型（Perceptual Processing）
 - 第一步：感知原始的可视化信号，例如，颜色、形状等
 - 第二步：模式识别
 - 第三步：以目标及任务为导向的推理及分析
- 最小化以上三步的耗时，让可视化更易被人理解



达：设计能够高效传达信息的可视化

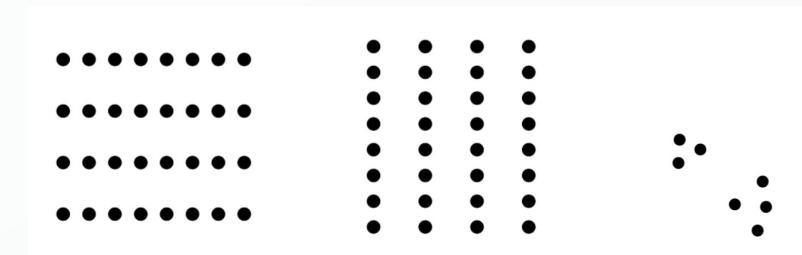
- 2. 减少模式识别过程的耗时
 - 人类如何识别各种复杂图形模式、以及怎样才能更高效的识别这些模式，在认知学中仍然是一个前沿课题，目前我们仅仅知道人类针对一小部分特定模式的识别规律
 - 格式塔理论（Gestalt Laws）较为系统的对人类如何发现图形元素之间的相关性进行了全面总结，被广泛的应用在了视觉设计当中
 - 利用格式塔理论进行设计将有助于用户快速识别图形符号所构成的“群组模式”



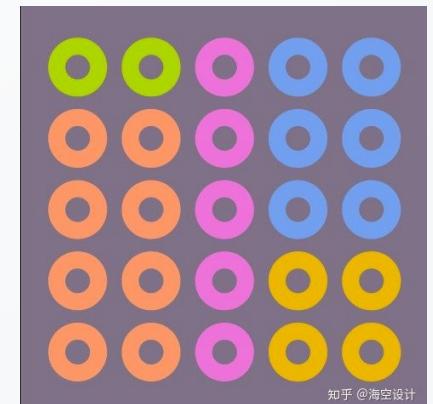
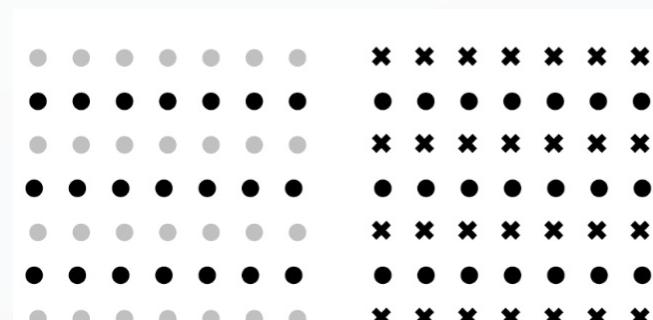
达：设计能够高效传达信息的可视化

- 格式塔理论中的基本原则：

- **邻近原则**(proximity)：即空间中距离相近的元素有被看作一体的趋势



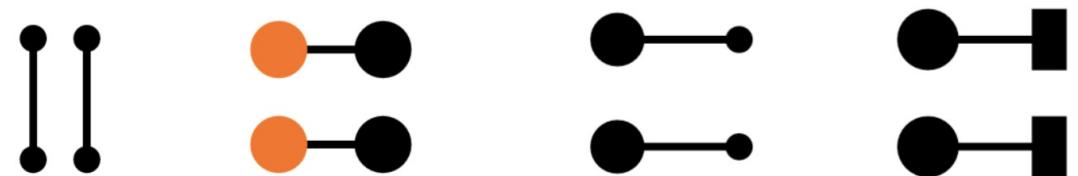
- **相似原则**(similarity)：刺激物的形状、大小、颜色、强度等物理属性方面比较相似时，这些刺激物就容易被组织起来而构成一个整体



达：设计能够高效传达信息的可视化

- 格式塔理论中的基本原则：

- **连通性原则**(Element Connectedness): 如果一些元素与其他元素相连时，我们认为这些元素是统一体



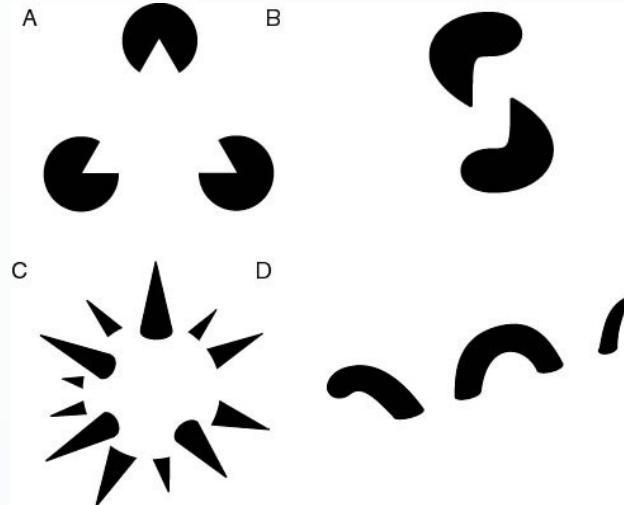
- **连续性原则** (Good continuation) : 如果一个图形的某些部分可以被看作是连接在一起的，那么这些部分就相对容易被我们视为一个整体



达：设计能够高效传达信息的可视化

- 格式塔理论中的基本原则：

- **封闭的原则**(closure)：有些图形是一个没有闭合的残缺的图形，但主体有一种使其闭合的倾向。



- **对称性原则**(Symmetry)：对称的元素被视为同一组的一部分



达：设计能够高效传达信息的可视化

- 格式塔理论中的基本原则：

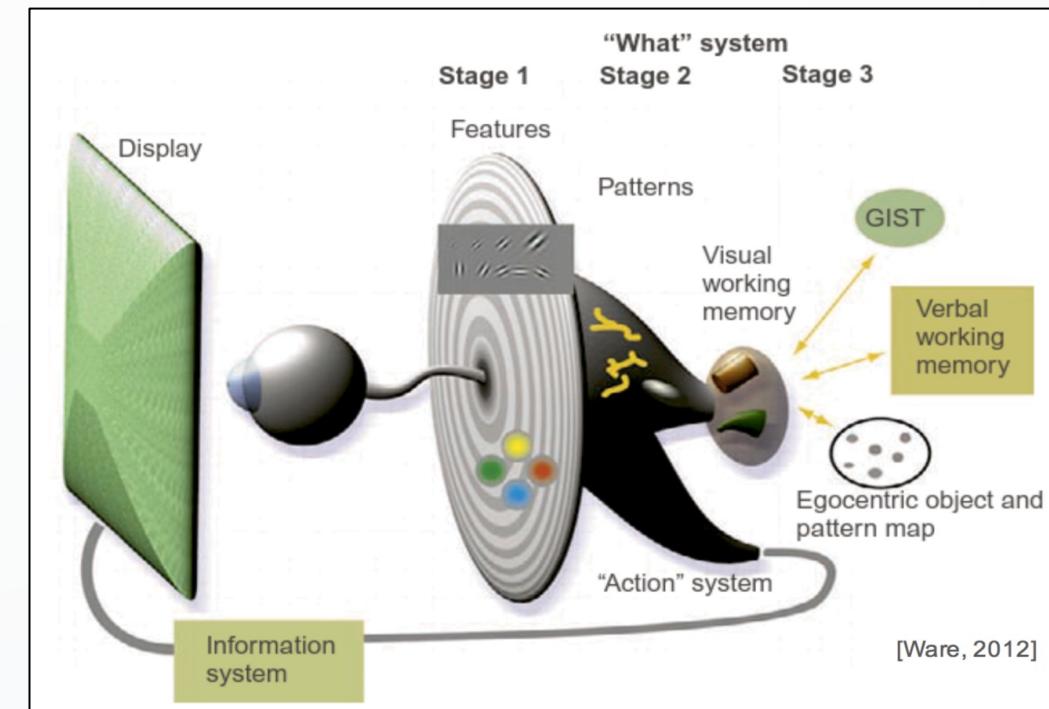
- **图形与背景关系原则**：区域：大脑通常认为构图中最小的物体是图形，而更大的物体则是背景。凸面：跟凹面元素相比，凸面元素与图形相关联更多些。

- **共同命运原则**(common fate)：如果一个对象中的一部分都向共同的方向去运动，那这些共同移动的部分就易被感知为一个整体。



达：设计能够高效传达信息的可视化

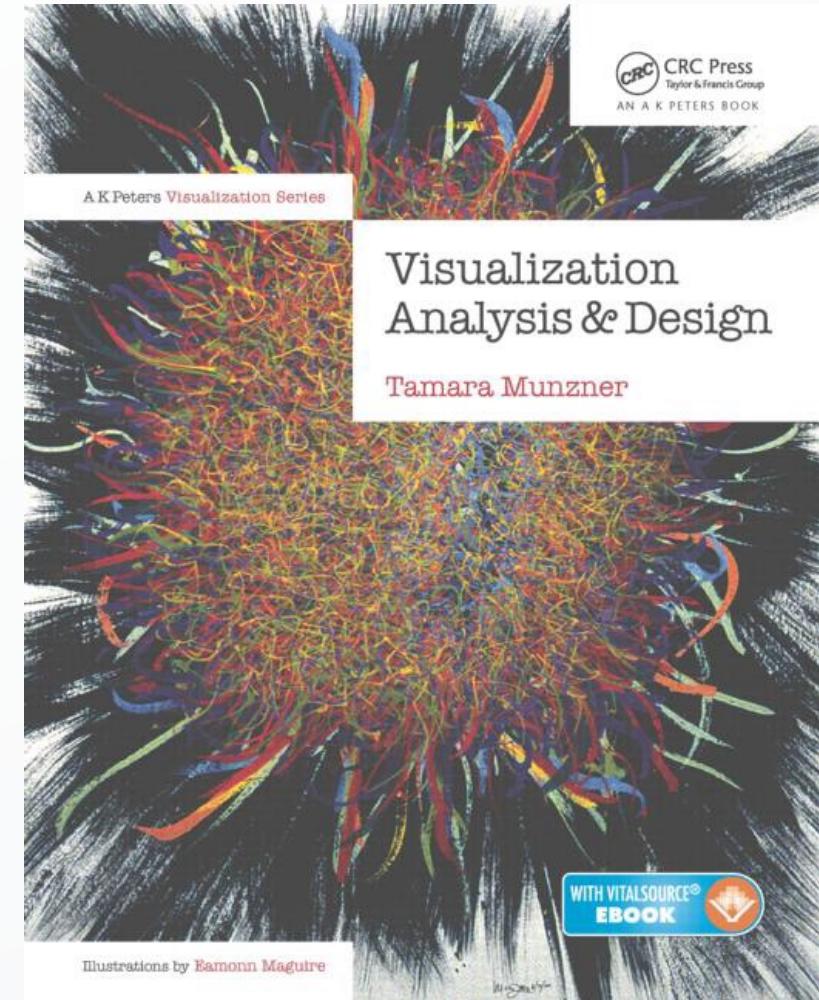
- 方法二：利用人类感知系统的特点，帮助人们更快的感知信息
- 感知处理模型（Perceptual Processing）
 - 第一步：感知原始的可视化信号，例如，颜色、形状等
 - 第二步：模式识别
 - 第三步：以目标及任务为导向的推理及分析
- 最小化以上三步的耗时，让可视化更易被人理解



达：设计能够高效传达信息的可视化

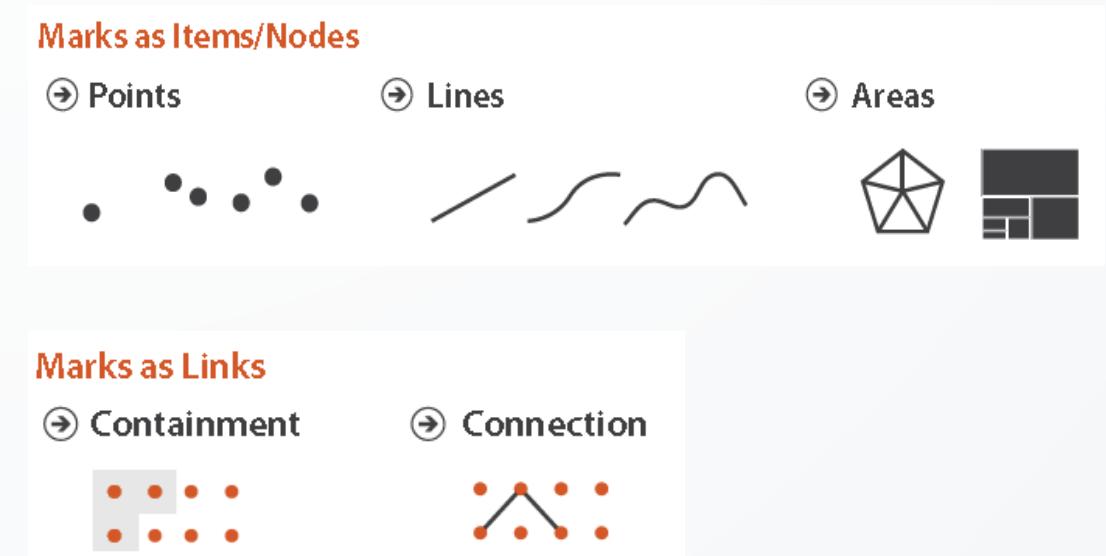
• 3. 减少推理、分析、判断过程中的耗时

- 通过合理的可视化编码与数据映射，帮助人们更快的发掘、分析数据中隐藏的信息
- **可视化编码** (Visual Encoding)：利用图形符号（例如，点、线、面）及相关属性（例如，颜色、形状、大小）来表 数据元素 及 相关 属性的过程



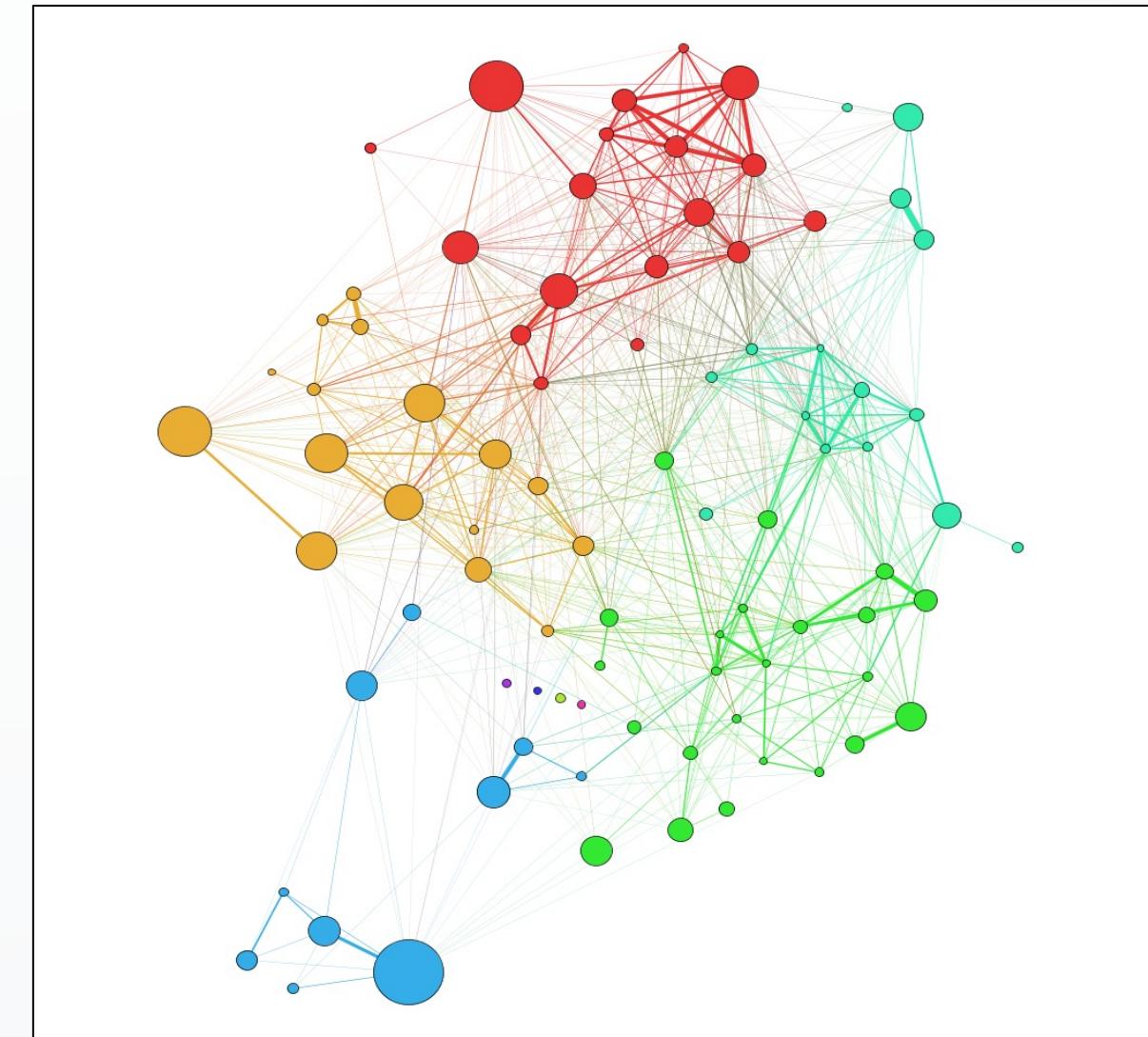
达：设计能够高效传达信息的可视化

- **可视化符号 (Mark)** : 用于在可视化当中表现数据元素或元素之间的关联
- 当表示元素时Mark包括: 点、线、面
- 当表示关系时Mark包括: 闭包、连线



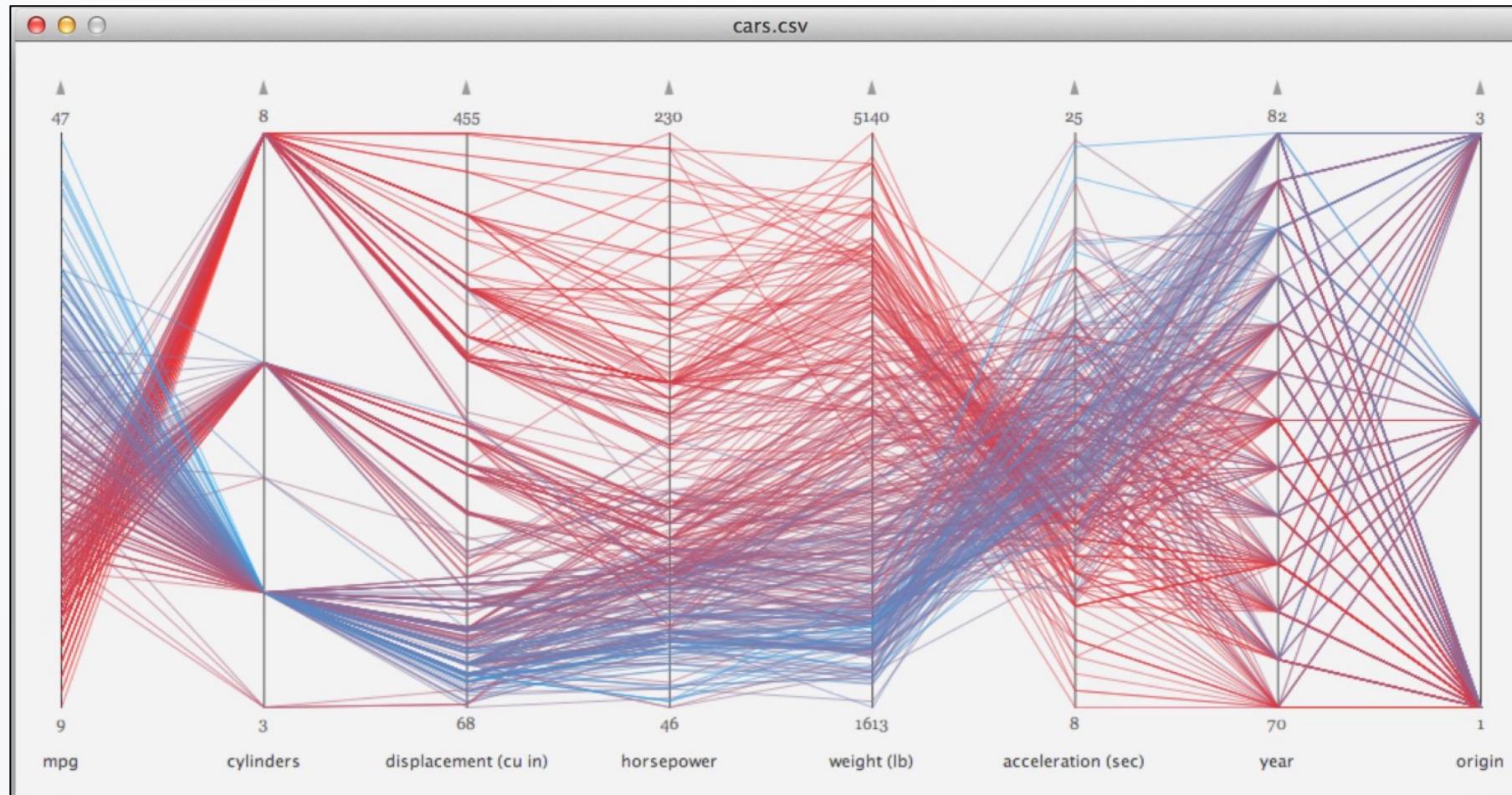
达：设计能够高效传达信息的可视化

- 用点来表示数据元素的例子



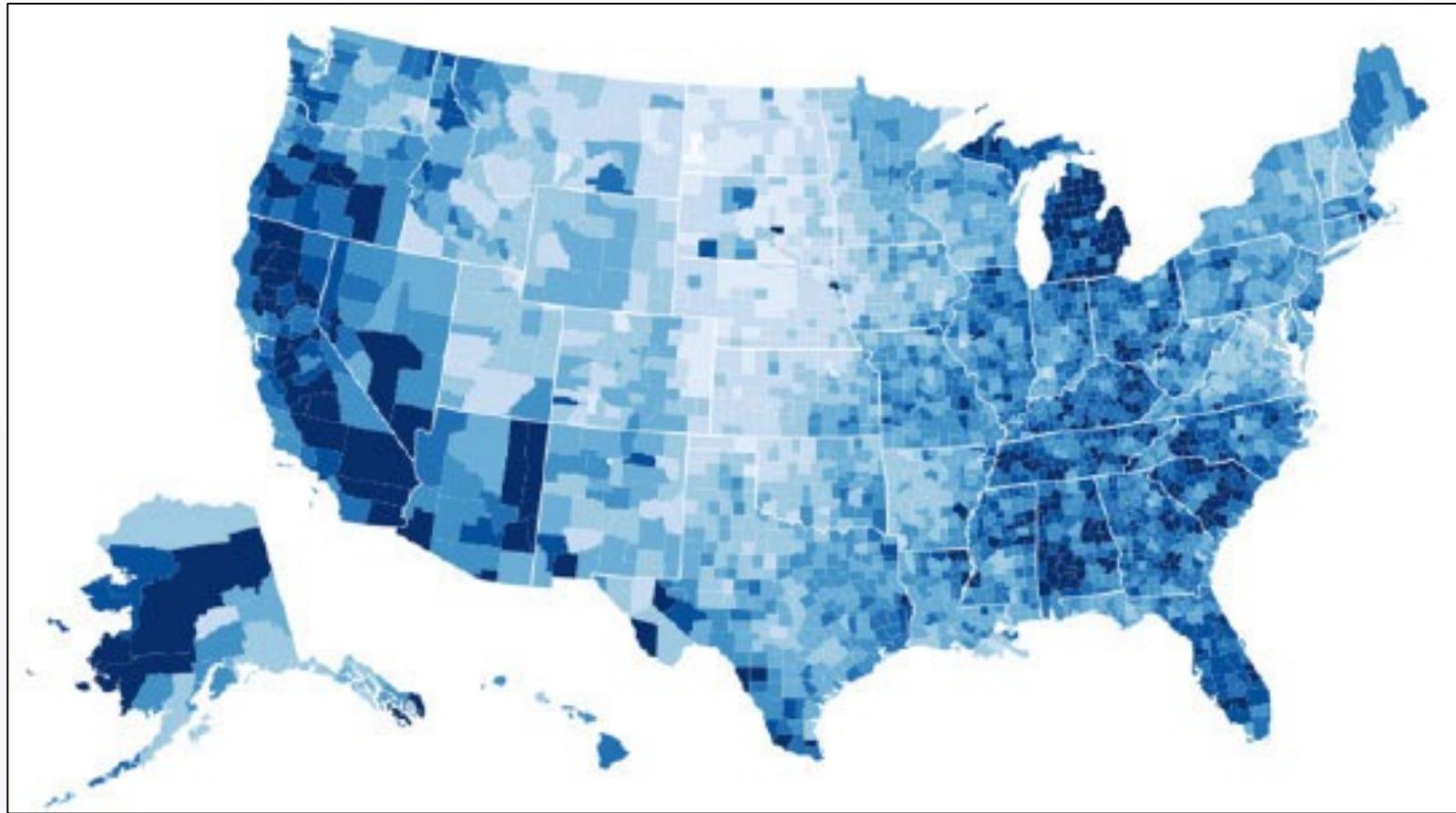
达：设计能够高效传达信息的可视化

- 用线来表示数据元素的例子



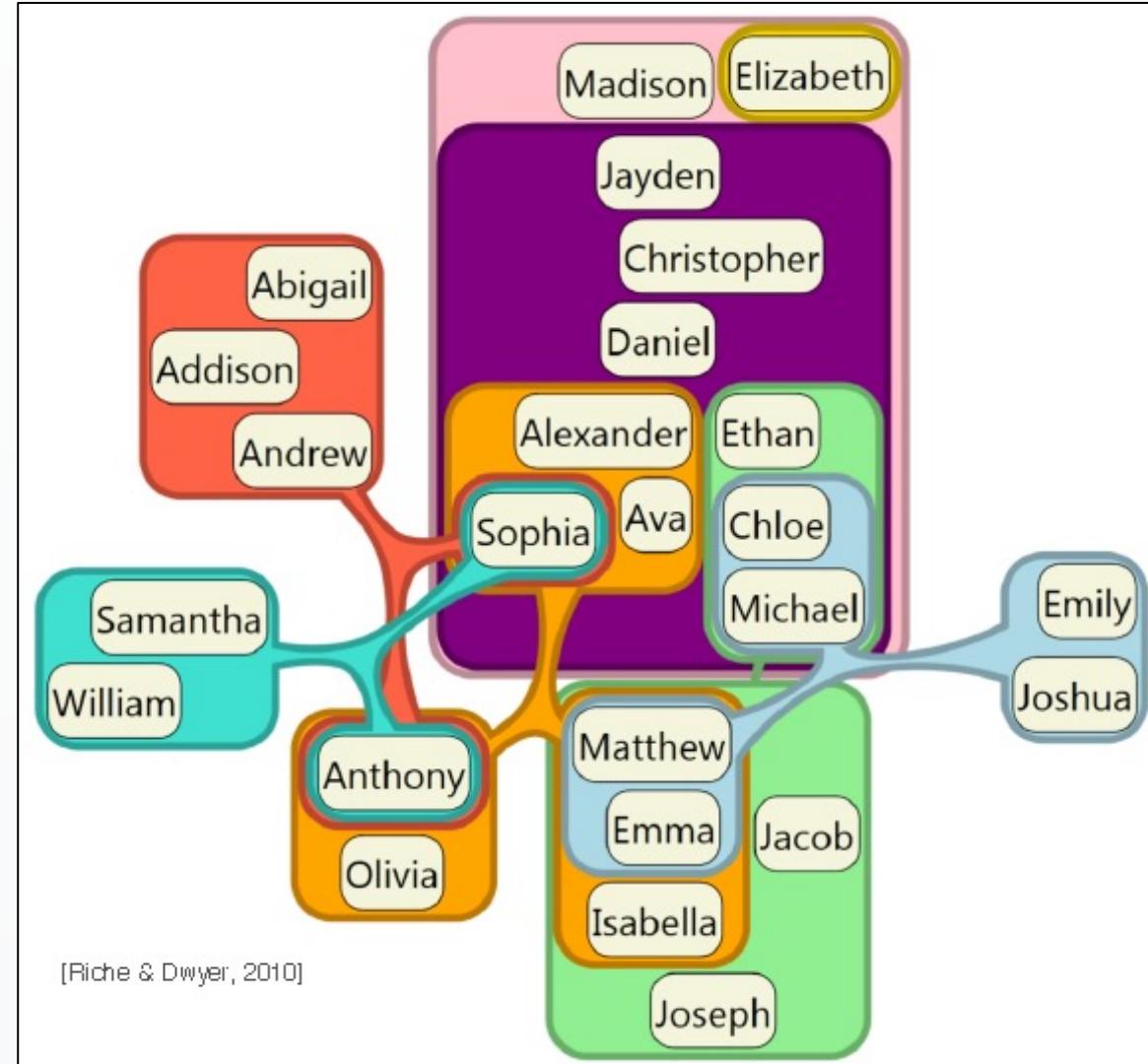
达：设计能够高效传达信息的可视化

- 用面积代表数据元素的例子



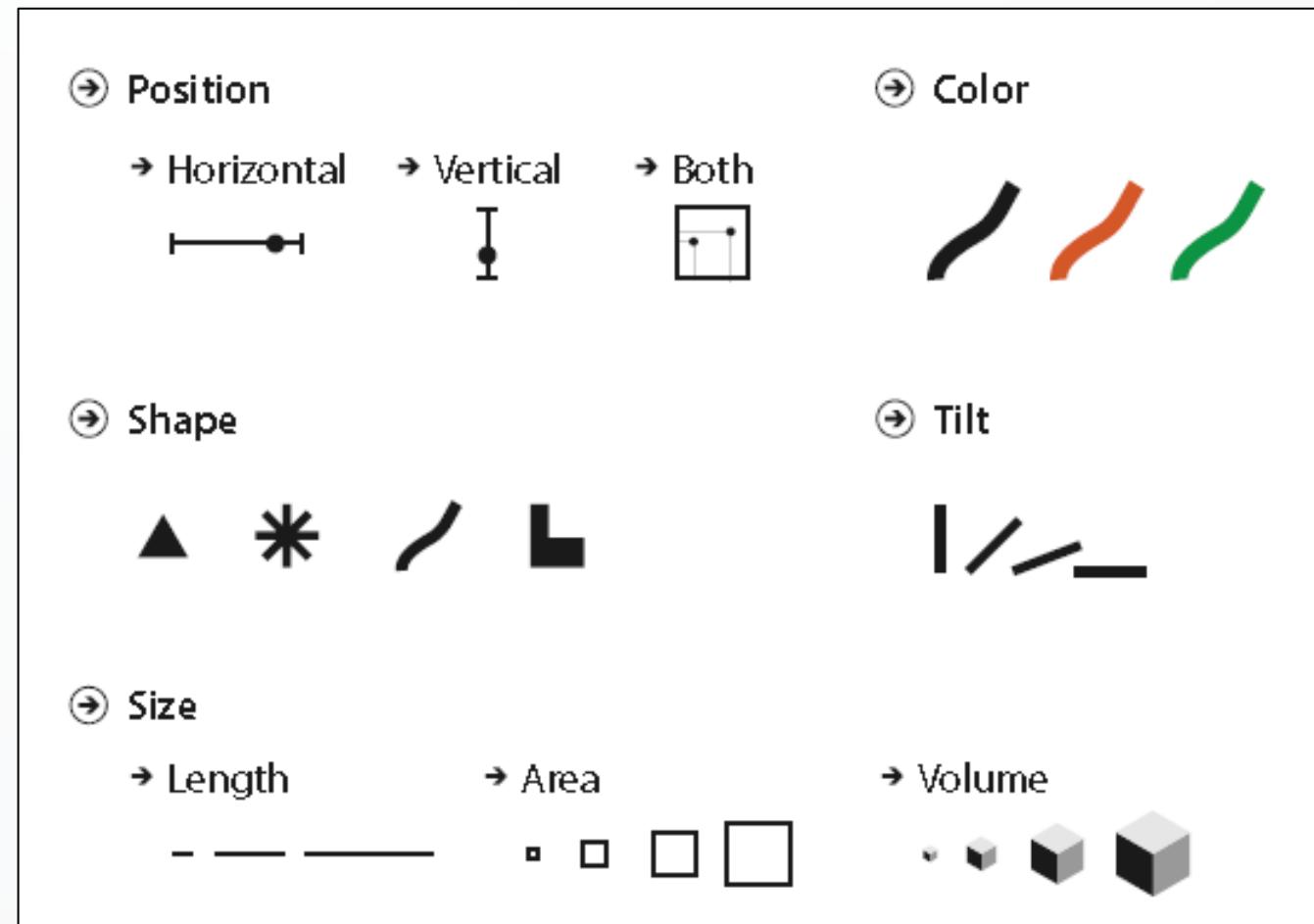
达：设计能够高效传达信息的可视化

- 用闭包表示数据关联的例子

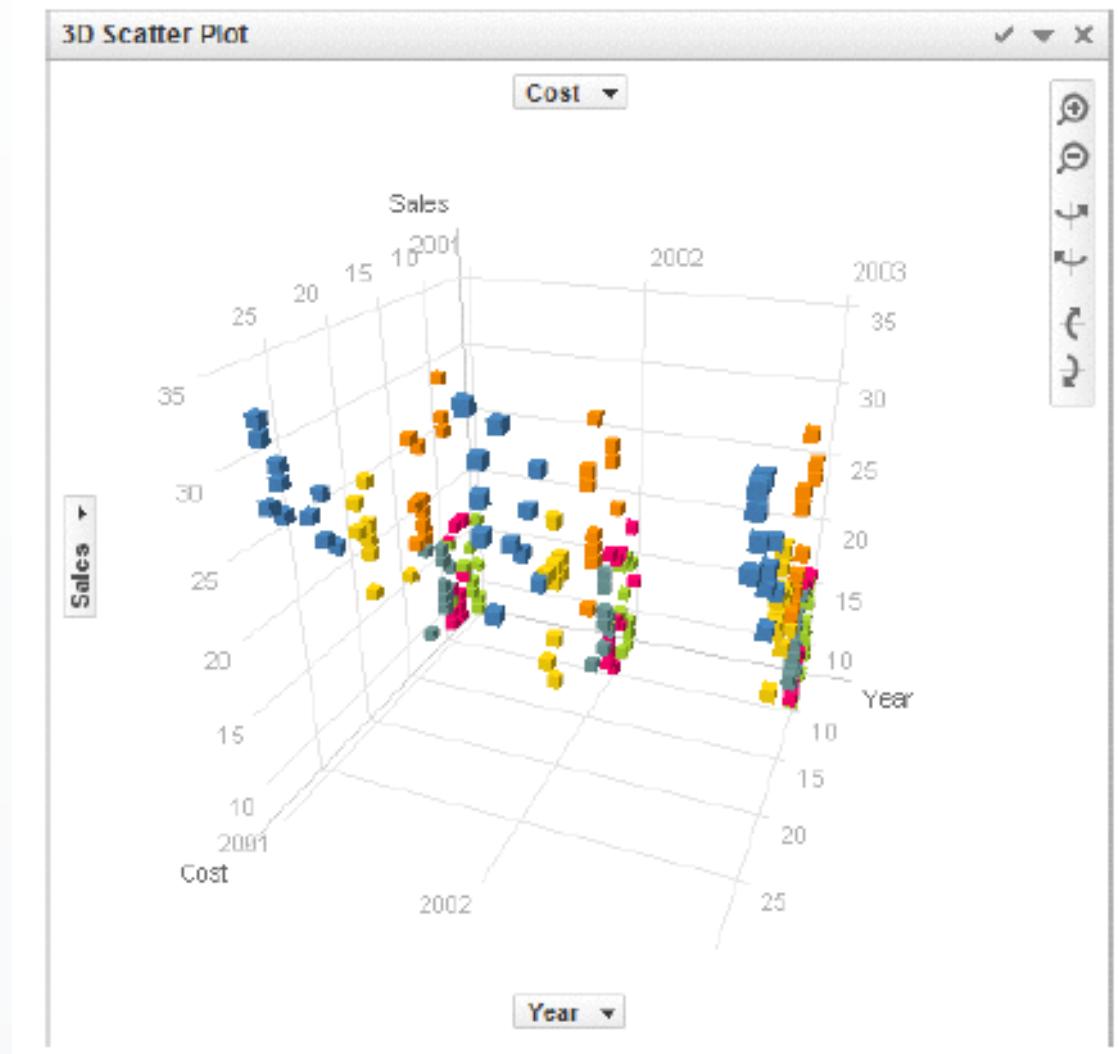
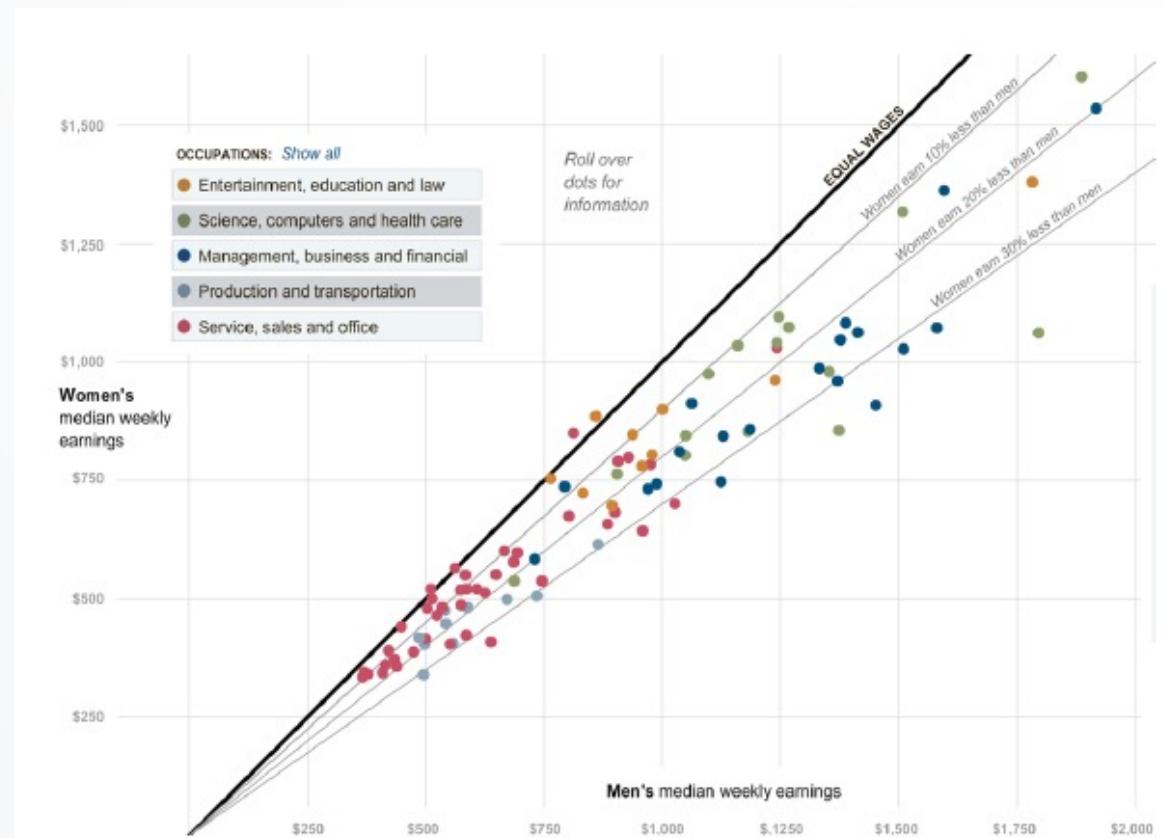


达：设计能够高效传达信息的可视化

- **可视化通道 (Channel)** : 用于控制可视化的符号展现样式，例如，点根据其所代表的数据属性的不同可有不同的形状与颜色
- **可视化通道有两种类型**
 - **数量通道** (Magnitude Channel) 用于显示数据的**数值属性**，包括：位置、长度、角度、面积、深度、色温、饱和度、曲率、体积
 - **标识通道** (Identity Channel) 用于显示数据的**分类属性**，包括：空间区域、色向、动向、形状

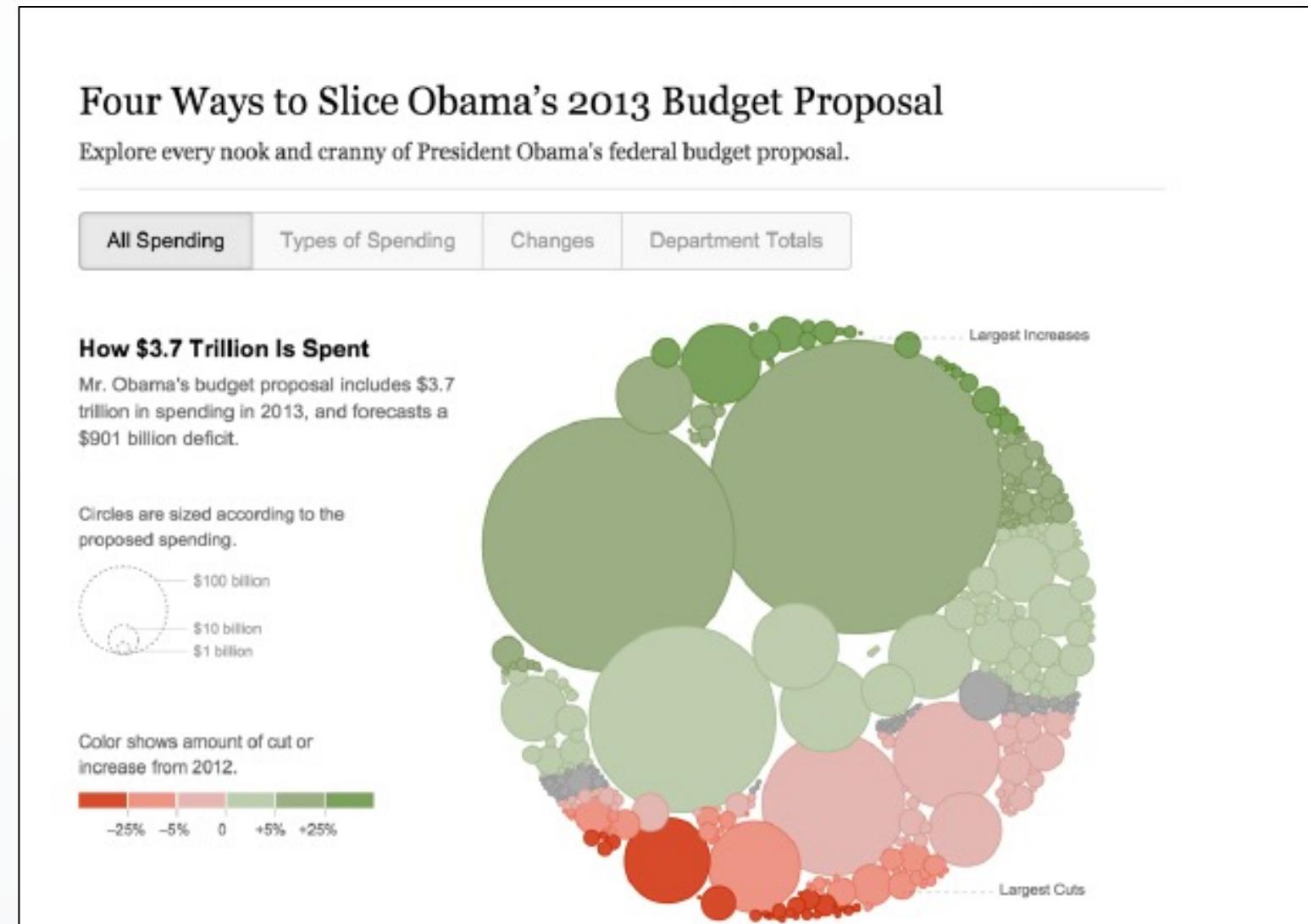
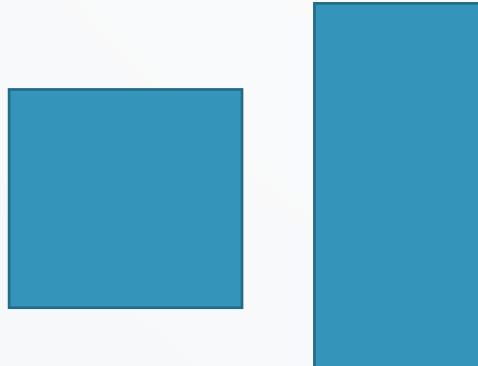


Position (位置)



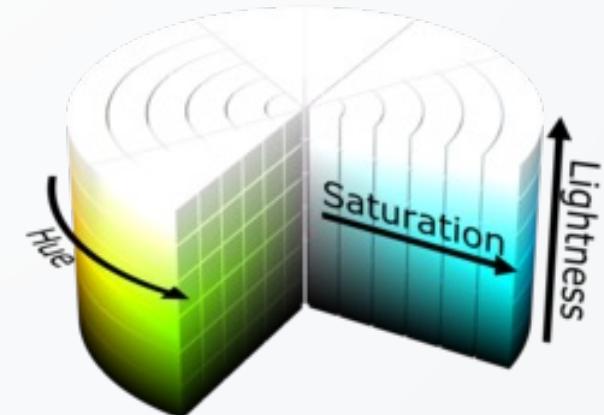
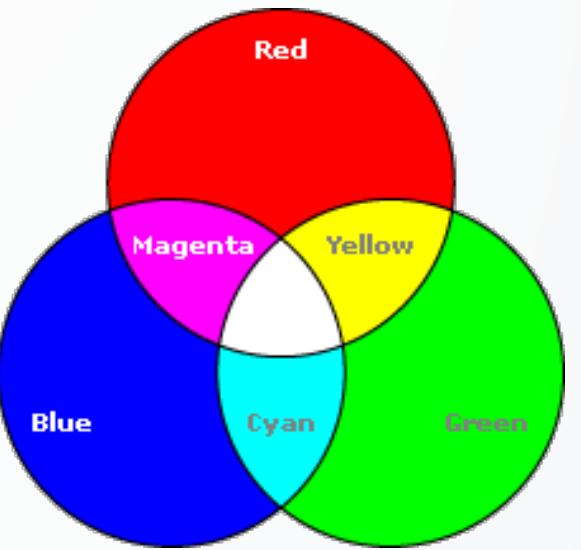
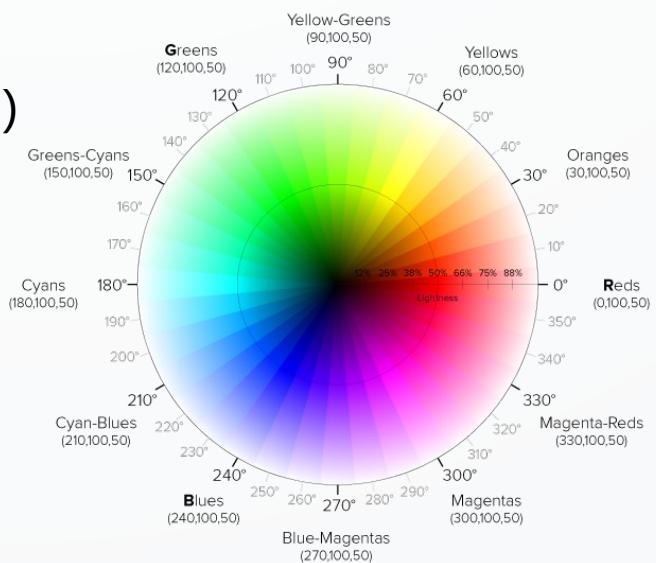
Size (大小)

- 大小 / 面积 只能准确有效的表达 1维 数值属性
- 不规则形状的大小无法有效比较!



Color (色彩)

- RGB 模型 并不直观，因此在可视化领域很少使用
- HSL 模型符合人类对色彩感知的特点
 - Hue : 色调，可以用来展现分类属性（不超过7个）
 - Saturation: 饱和度，连续数值，展现数值属性
 - Lightness: 亮度，连续数值，展现数值属性



Color (色彩)

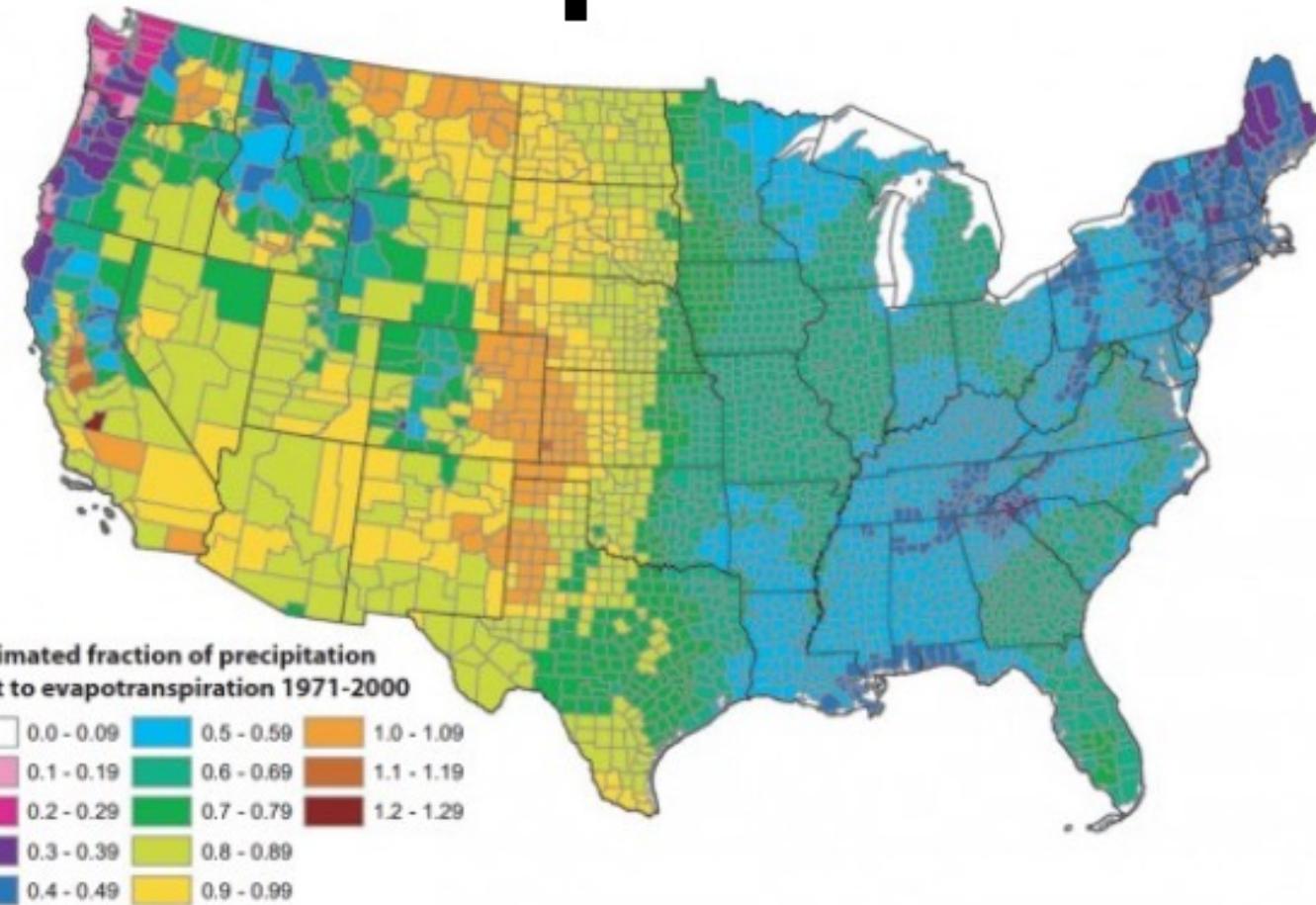
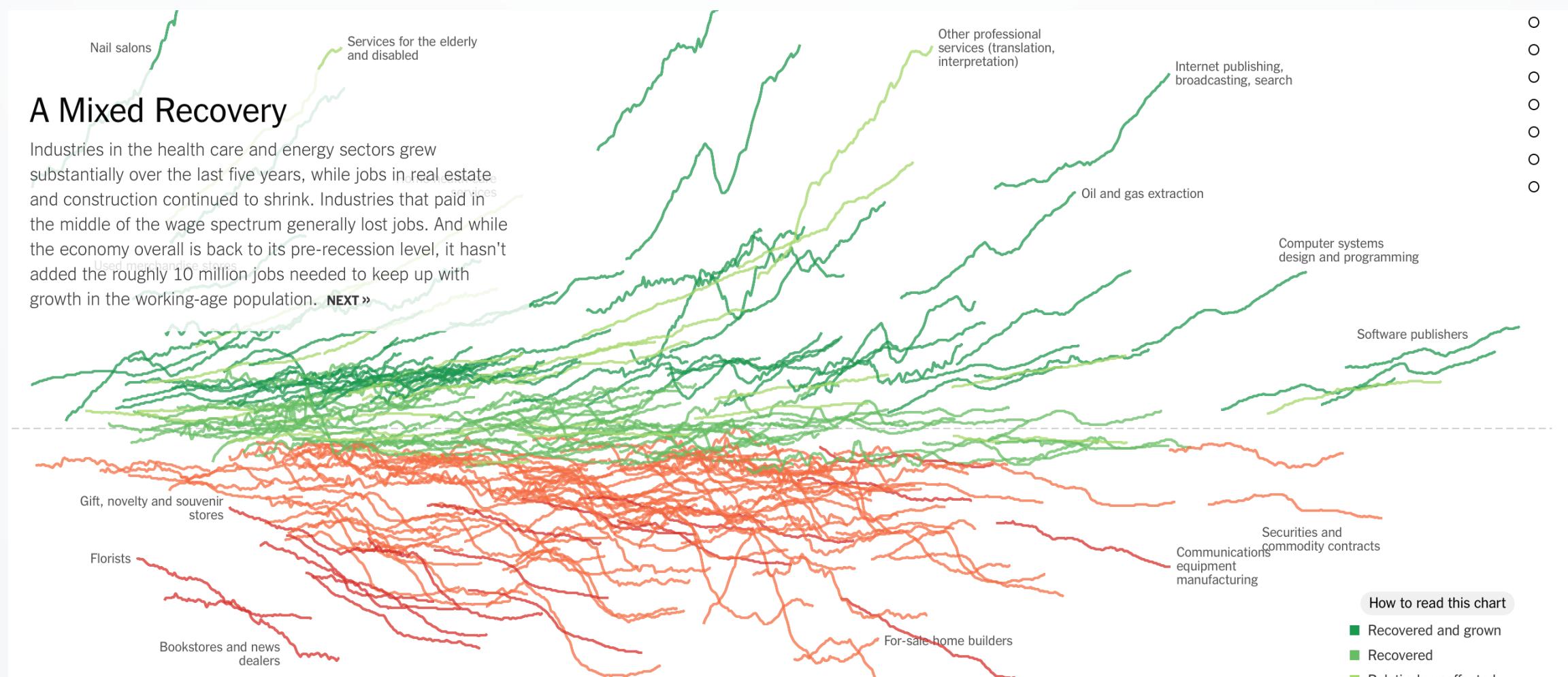


FIGURE 13. Estimated Mean Annual Ratio of Actual Evapotranspiration (ET) to Precipitation (P) for the Conterminous U.S. for the Period 1971-2000. Estimates are based on the regression equation in Table 1 that includes land cover. Calculations of ET/P were made first at the 800-m resolution of the PRISM climate data. The mean values for the counties (shown) were then calculated by averaging the 800-m values within each county. Areas with fractions >1 are agricultural counties that either import surface water or mine deep groundwater.

Color (色彩)



<http://www.nytimes.com/interactive/2014/06/05/upshot/how-the-recession-reshaped-the-economy-in-255-charts.html>

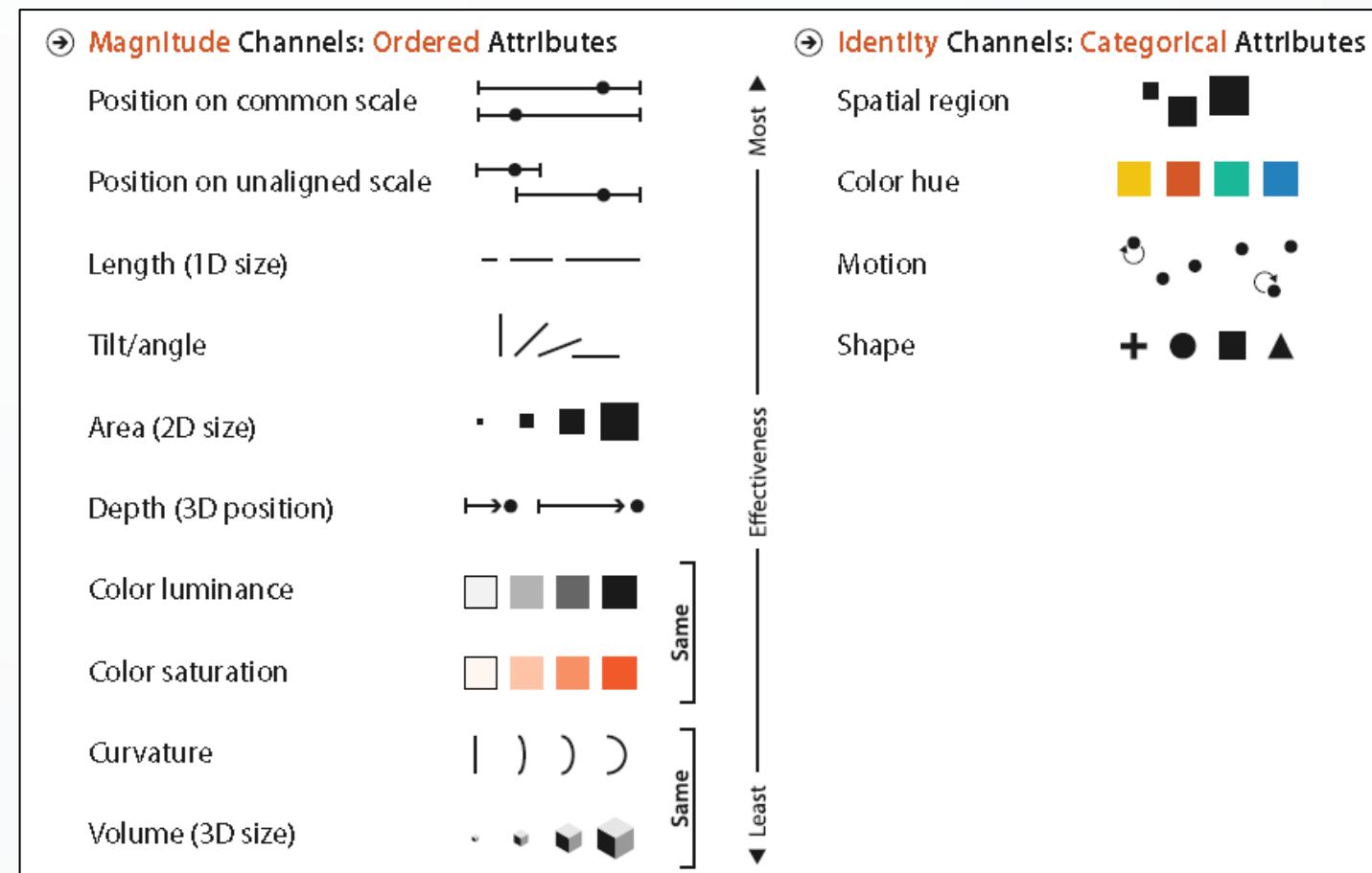
Shape (形状)

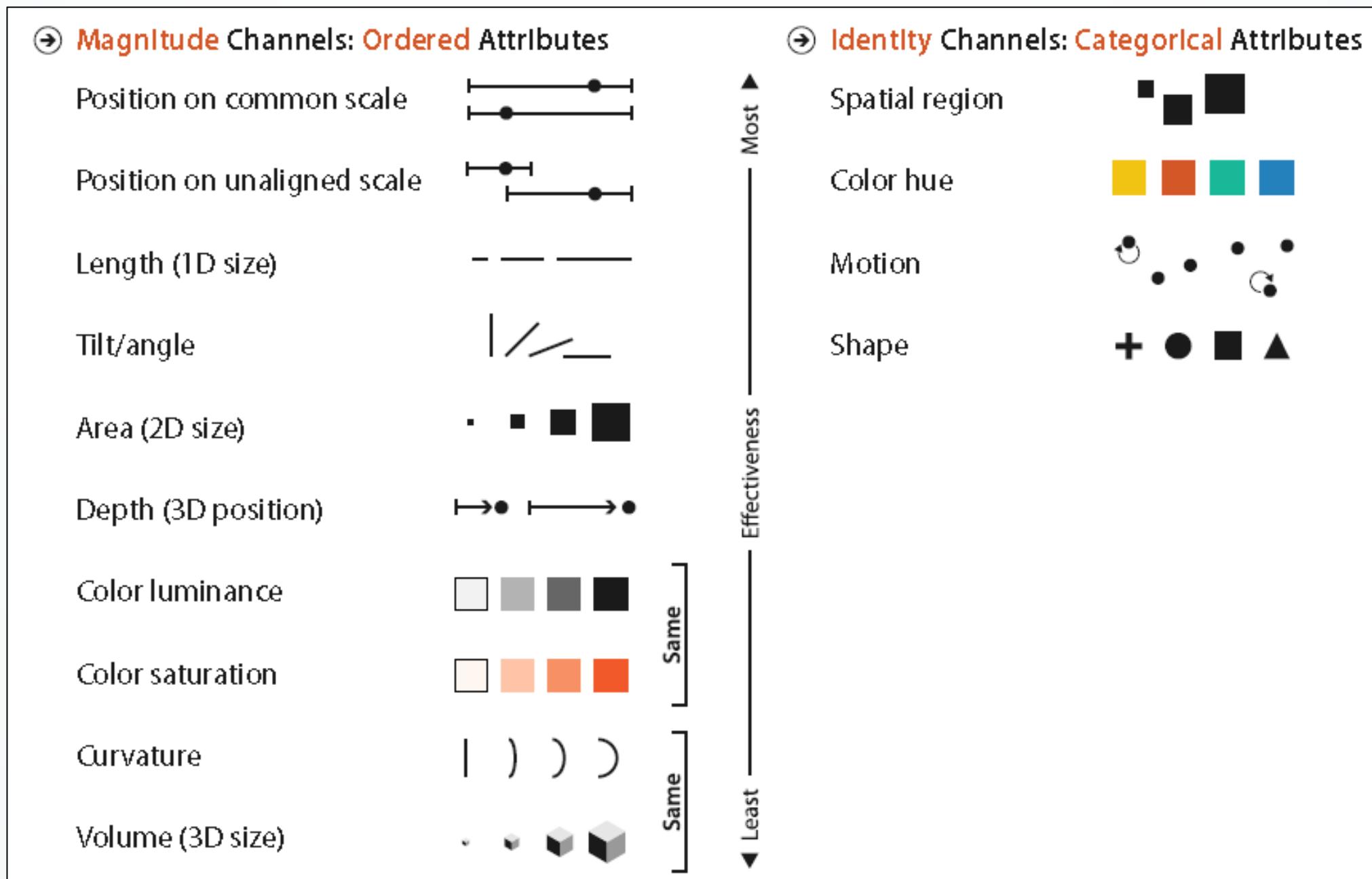


<https://eagereyes.org/criticism/chernoff-faces>

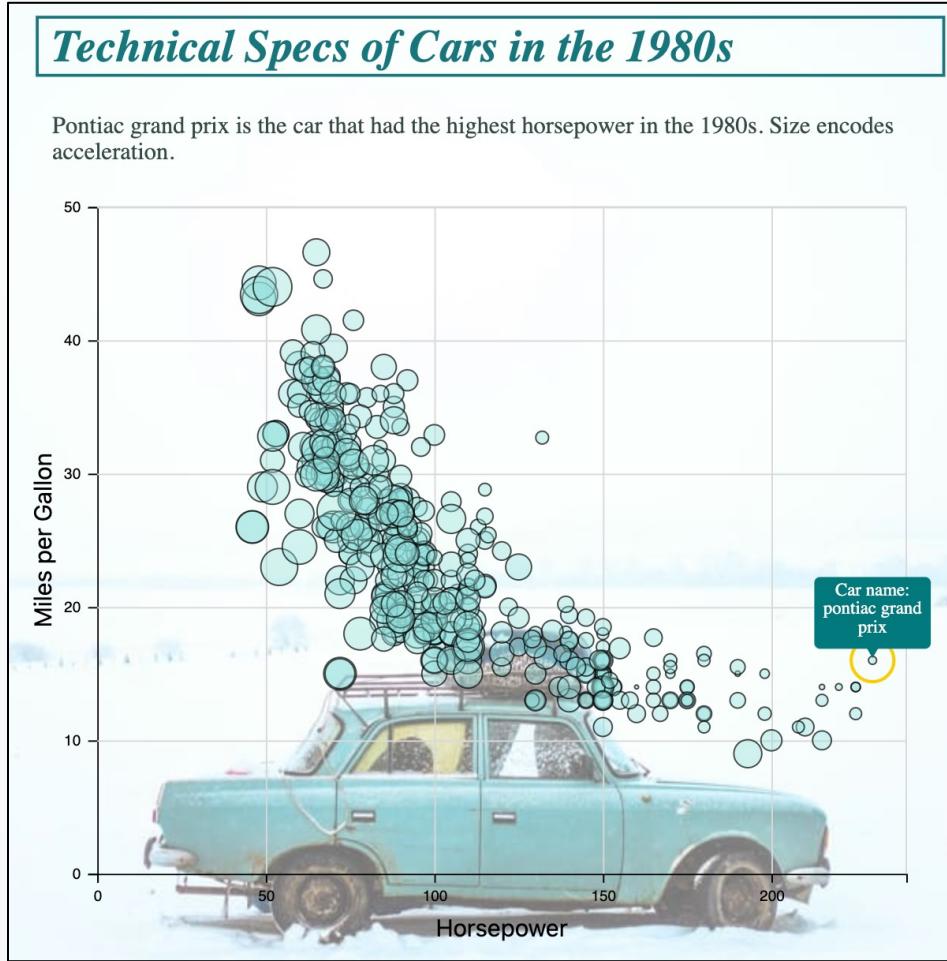
达：设计能够高效传达信息的可视化

- 可视化编码 (Visual Encoding)**：利用图形符号（例如，点、线、面）及相关可视化通道（例如，颜色、形状、大小）来表示数据元素及相关属性的过程
- 不同的通道对数据的表达能力也不尽相同，右图给出了不同通道在信息表达效率上排序，该排序决定了设计过程中在采用各种通道对数据属性进行编码时的优先级
- 当利用数量通道编码表示数值属性时，位置通道是最为精确的，其次是长度、角度、面积、深度、色温、饱和度、曲率、最后是体积
- 当利用标识通道表示分类属性时，划分空间区域最为有效，其后依次是色向、动向、形状





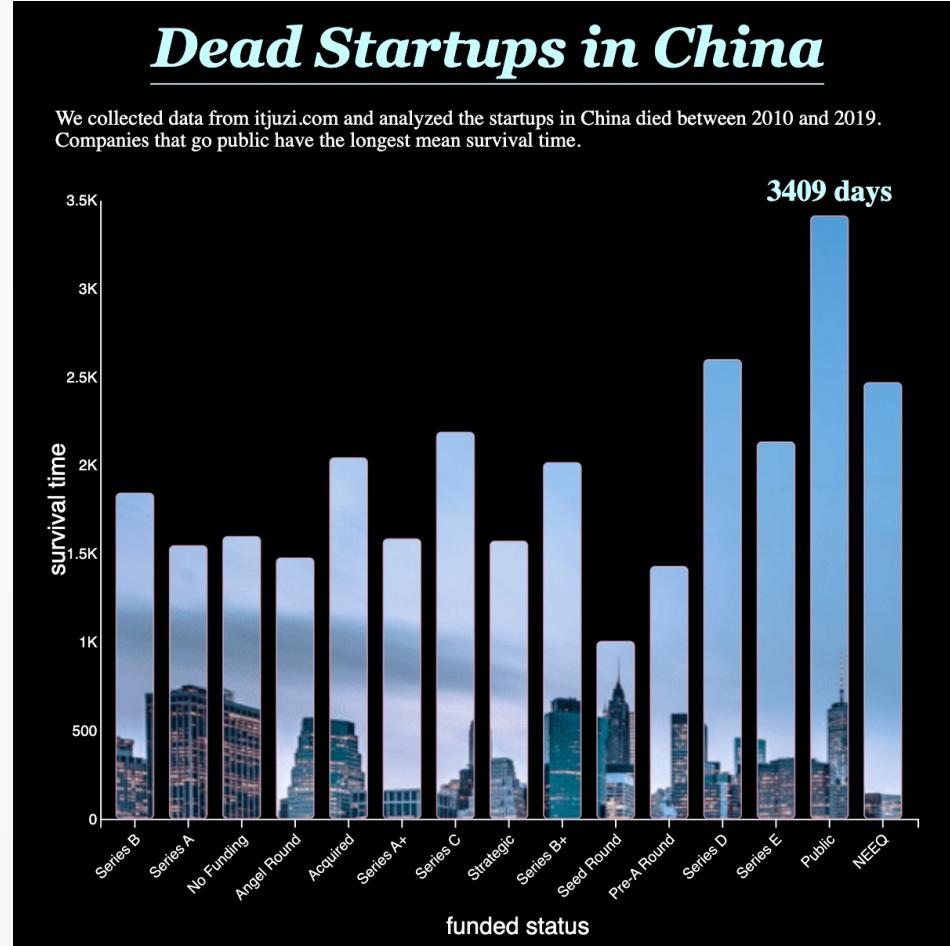
达：设计能够高效传达信息的可视化



• 练习 1

- 散点图中使用了什么 Mark?
- 散点图中有哪些数据通道?

达：设计能够高效传达信息的可视化

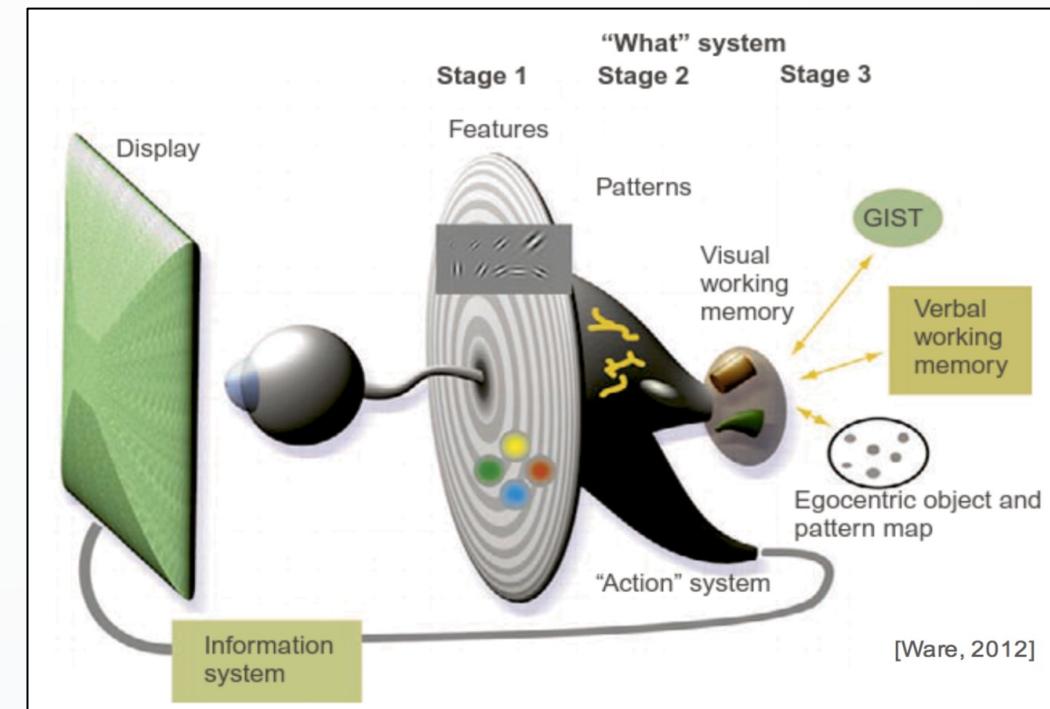


- 练习 2:

- 柱状图中使用了什么 Mark?
- 柱状图中有哪些数据通道?

达：设计能够高效传达信息的可视化

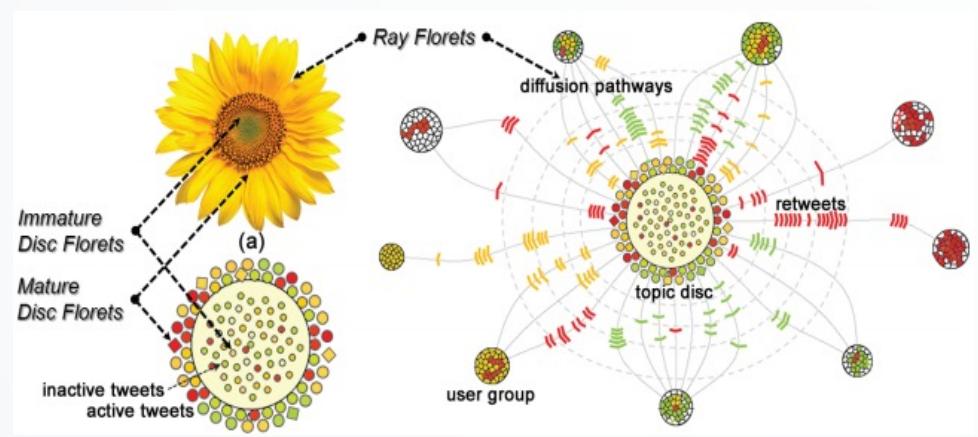
- 方法二：利用人类感知系统的特点，帮助人们更快的感知信息
- 用设计缩短感知处理过程中关键步骤的耗时
 - 第一步 感知原始的可视化信号：**利用具有“预感知”特性的可视化属性进行设计，例如，颜色、形状、大小等**
 - 第二步 模式识别：**利用格式塔法则帮助人们快速判断可视化元素之间的关联**
 - 第三步 推理及分析：**利用高效合理的可视化编码策略缩短用户理解可视化的时间**



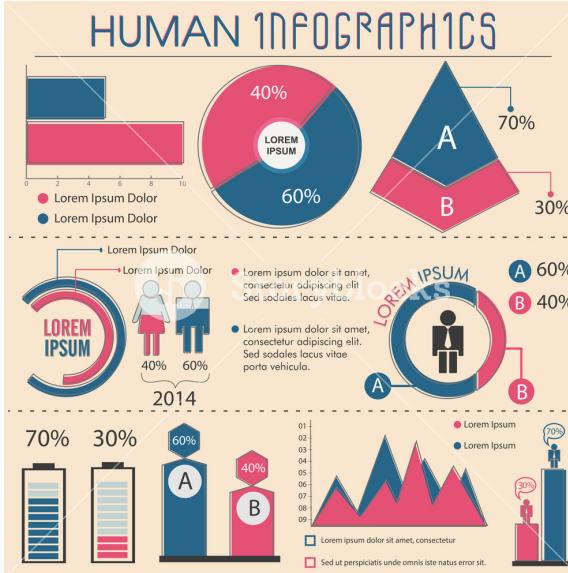
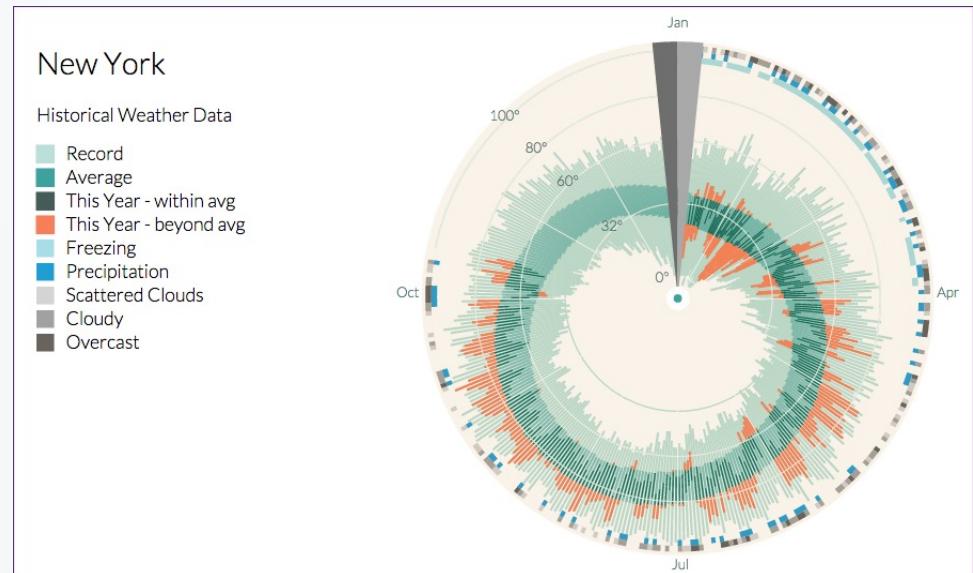
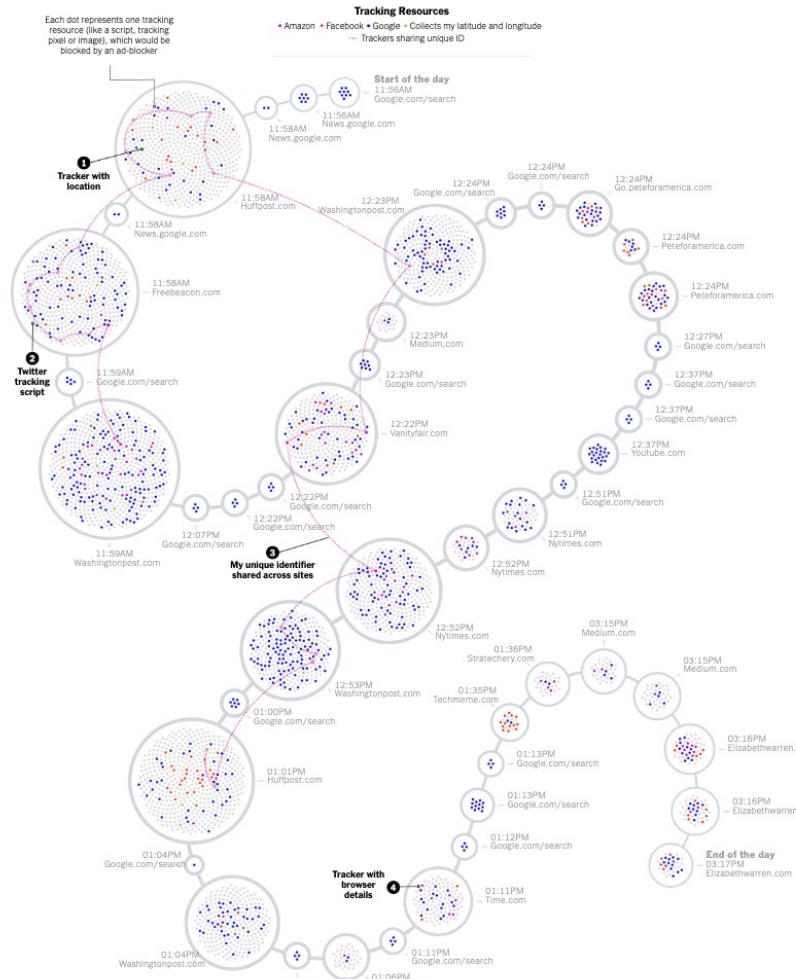
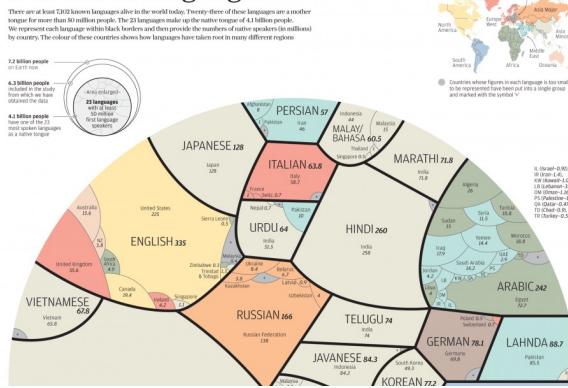
课程大纲

- 可视化设计的基本准则（信、达、雅）
- 信：设计能够正确表达信息的可视化
- 达：设计能够高效传达信息的可视化
- 雅：设计能够让人赏心悦目的可视化

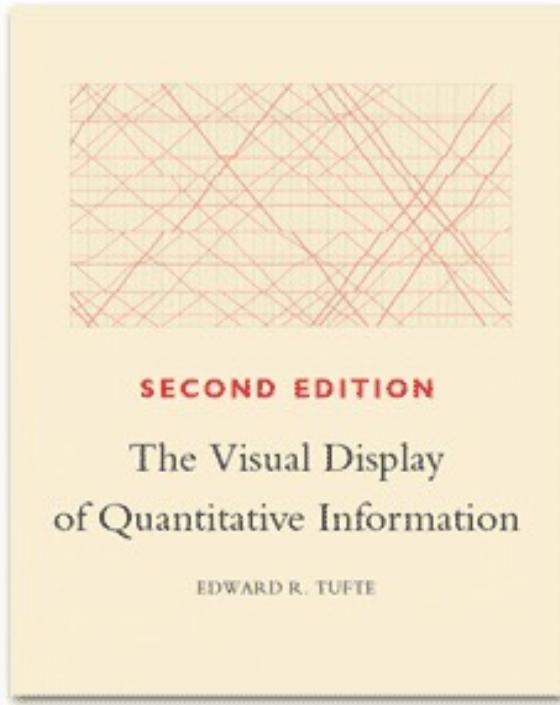
雅：设计能够让人赏心悦目的可视化



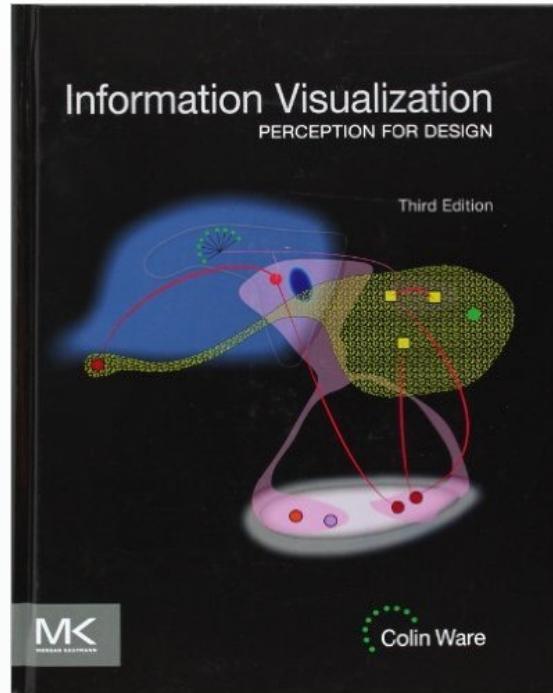
A world of languages



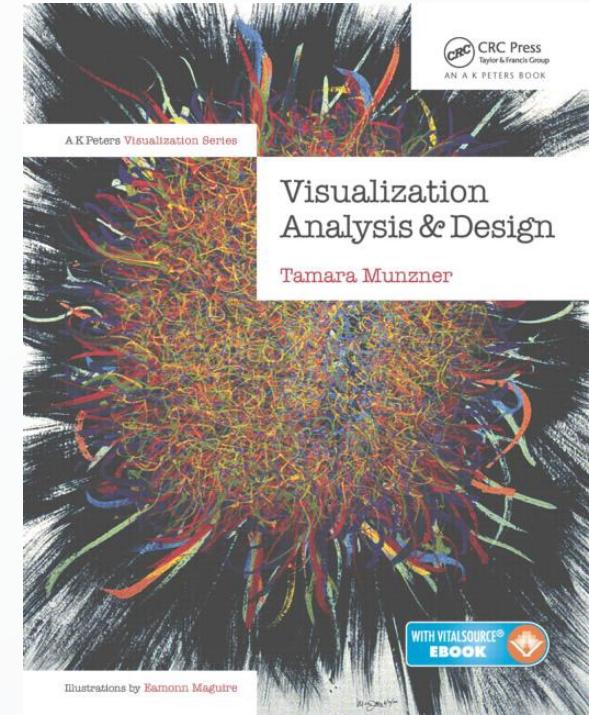
参考书



The Visual Display of Quantitative Information, by Edward Tufte



Information Visualization, Third Edition: Perception for Design, by Colin Ware



Visualization Analysis and Design, by Tamara Munzner

课程总结

- 本节课
 - 可视化设计的基本准则（信、达、雅）
 - 信：设计能够正确表达数据的可视化
 - 达：设计能够高效传达信息的可视化
 - 雅：设计能够让人赏心悦目的可视化
- 下节课
 - 交互及动画技术