


- 1. 因果关系的三层阶梯 The Ladder of Causation
- 2. 统计与因果推断 Statistics and Causal Inference
- 3. 贝叶斯方法 Bayesian Methods
- 4. 干扰因素 The Confounders
- 5. 两个悖论 Two Paradoxes
- 6. 因果与人工智能 Causation and AI
- 7. 总结与感悟 Summary

潜在变量 中间变量

数据只能用来验证, 所做的因果推断是在当前的因果框架之中的



逻辑框架

相关--因果--反事实

第三层：反事实  
动作：想像，反思  
问题：如果没有做A会发生什么？为什么？  
举例：是阿司匹林减轻了我的头痛吗？

第二层：因果  
动作：做，干预  
问题：如果我做A会发生什么？怎样？  
举例：如果我服用阿司匹林，我的头痛会减轻吗？

第一层：相关  
动作：看见  
问题：如果我看到A，会看到什么？  
举例：一项调查能告知我们有关选举结果的哪些信息？

统计与因果推断 Statistics and Causal Inference

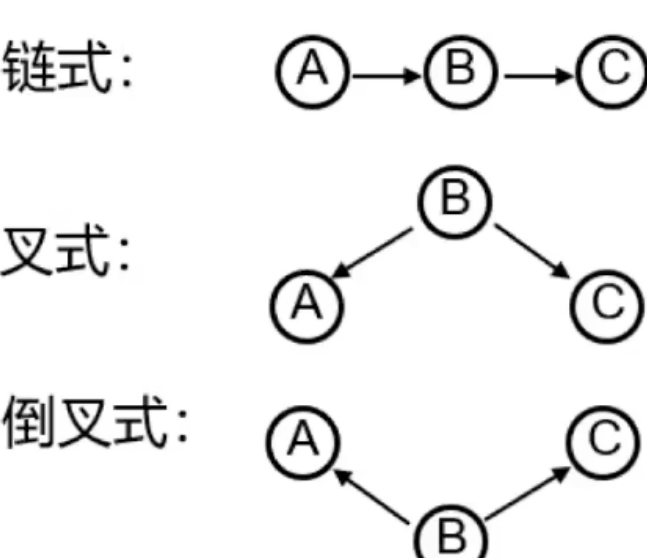
- Francis Galton (1822-1911): 提出回归分析和 “相关” (Correlation) 的概念。尝试用回归解释因果。
- Ronald Fisher (1890-1962): 完善回归分析的理论，现代统计学之父。 “统计学是一门研究减少数据方法的学科。”
- Karl Pearson (1857-1936): 数学统计之父。认为因果只是相关的一个特例。

统计与因果推断 Statistics and Causal Inference

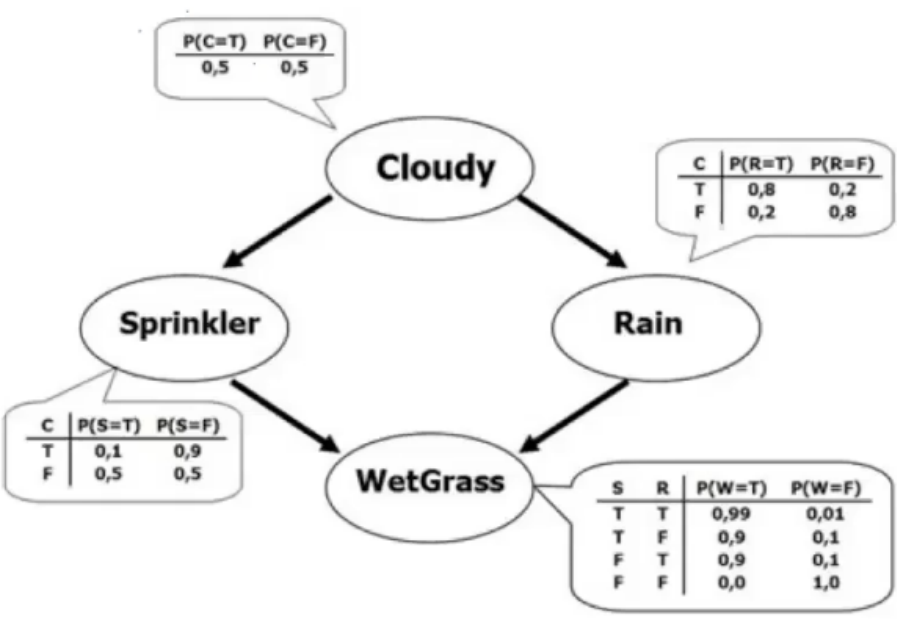
- Francis Galton (1822-1911): 提出回归分析和 “相关” (Correlation) 的概念。尝试用回归解释因果。
- Ronald Fisher (1890-1962): 完善回归分析的理论，现代统计学之父。 “统计学是一门研究减少数据方法的学科。”
- Karl Pearson (1857-1936): 数学统计之父。认为因果只是相关的一个特例。
- Sewall Wright (1889-1988): 美国基因学家。在对豚鼠的研究中提出路径分析方法。 “ 无法在没有因果假设的前提下得出因果结论。”

贝叶斯方法 Bayesian Method – 贝叶斯网络和因果图

基本结构：

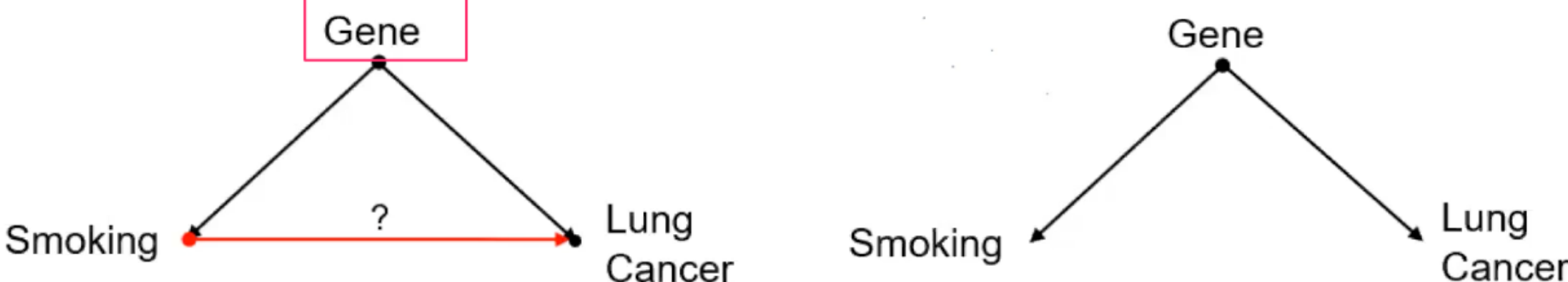


因果图：



干扰因素 The Confounders

- 二十世纪中美国社会辩论：吸烟有害健康吗？



- 结论：统计方法无法证明因果关系。提出一系列论证因果的准则，其中包括：
  - 1. 结果统一性 (A在C,D,E存在的情况下仍导致B)
  - 2. 关联程度强 (A直接导致B)
  - 3. 关联效果强 (更多A->更多B)
  - 4. 时序关系

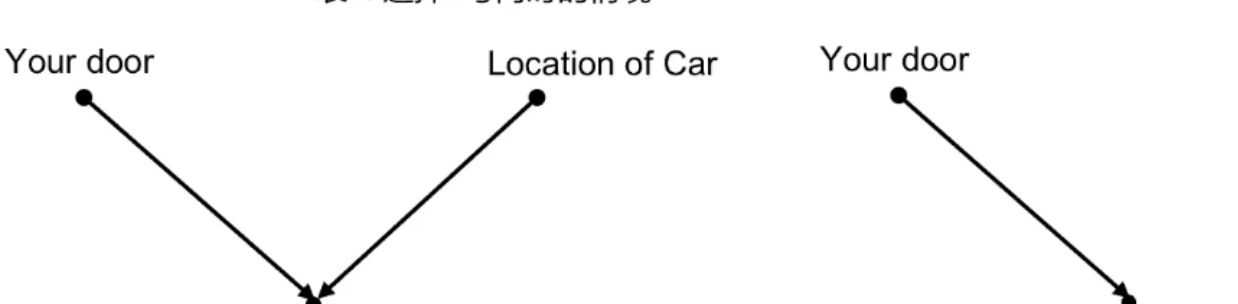
需要满足多个因素

两个悖论 Two Paradoxes

- 蒙特霍尔问题 (Monty Hall Problem)

| 1号门 | 2号门 | 3号门 | 改变选择的结果 | 不改变选择的结果 |
|-----|-----|-----|---------|----------|
| 跑车  | 山羊  | 山羊  | 输       | 赢        |
| 山羊  | 跑车  | 山羊  | 赢       | 输        |
| 山羊  | 山羊  | 跑车  | 赢       | 输        |

表1. 选择1号门时的情境



$P(car|change) = 2/3$

$P(car|not\ change) = 1/3$

两个悖论 Two Paradoxes

- 辛普森悖论 (Simpson's Paradox)

|   | Overall       | Patients with small stones | Patients with large stones |
|---|---------------|----------------------------|----------------------------|
| Treatment A: Open surgery                 | 78% (273/350) | 93% (81/87)                | 73% (192/263)              |
| Treatment B: Percutaneous nephrolithotomy | 83% (289/350) | 87% (234/270)              | 69% (55/80)                |

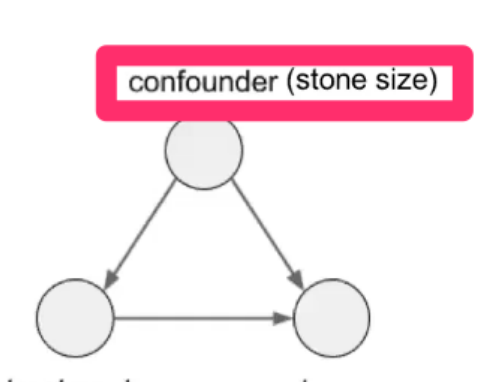
- 原因：

$$\frac{a_1}{b_1} > \frac{c_1}{d_1}, \frac{a_2}{b_2} > \frac{c_2}{d_2} \nrightarrow \frac{a_1+a_2}{b_1+b_2} > \frac{c_1+c_2}{d_1+d_2}$$
$$\frac{81}{87} > \frac{234}{270}, \frac{192}{263} > \frac{55}{80} \nrightarrow \frac{81+192}{87+263} > \frac{234+55}{270+80}$$

两个悖论 Two Paradoxes – 辛普森悖论

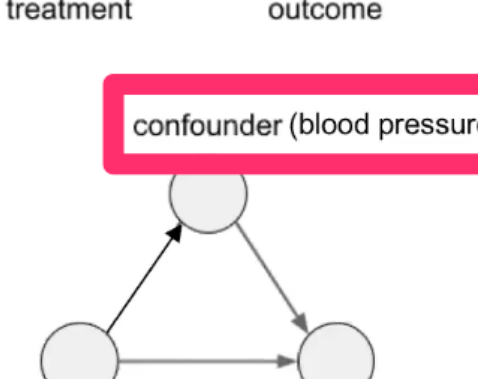
- 肾结石疗法（研究疗法treatment和疗效outcome的关系）

|   | Overall       | Patients with small stones | Patients with large stones |
|---|---------------|----------------------------|----------------------------|
| Treatment A: Open surgery                 | 78% (273/350) | 93% (81/87)                | 73% (192/263)              |
| Treatment B: Percutaneous nephrolithotomy | 83% (289/350) | 87% (234/270)              | 69% (55/80)                |



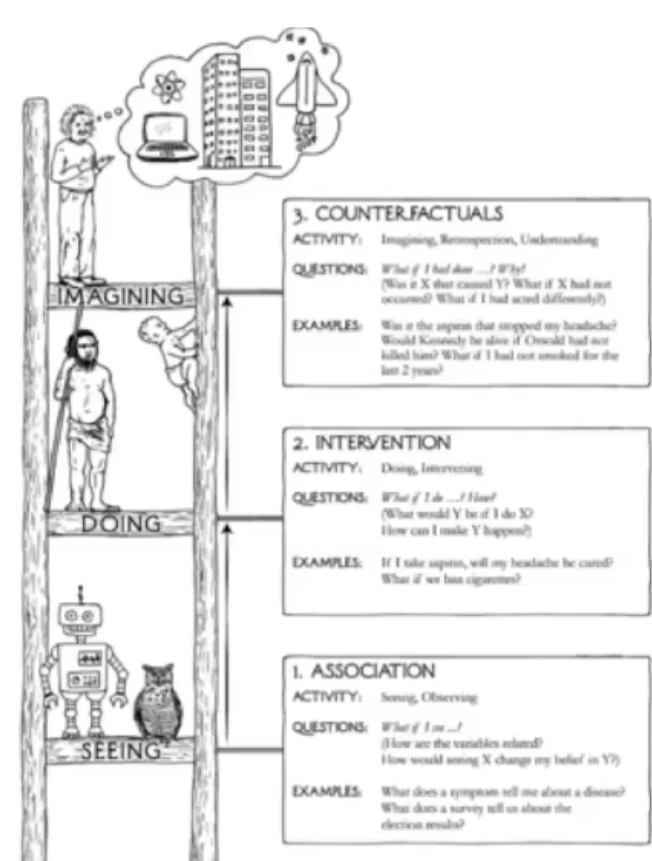
- 心脏病疗法（研究疗法treatment和疗效outcome的关系）

|                        | Overall       | High Blood Pressure | Low Blood Pressure |
|------------------------|---------------|---------------------|--------------------|
| Treatment A: Take Drug | 78% (273/350) | 93% (81/87)         | 73% (192/263)      |
| Treatment B: No Drug   | 83% (289/350) | 87% (234/270)       | 69% (55/80)        |



因果与人工智能

- 以深度学习为代表的人工智能学派仍处于因果阶梯第一层。该方法在解决问题过程中缺少透明性和对问题的透彻理解
- 强人工智能需要理解因果关系。
- 以作者为代表的贝叶斯学派致力于解决阶梯中第二三层的问题。
- 人工智能系统需具备的特点：
  - 1. 解释世界的因果模型
  - 2. 解释自身系统的因果模型
  - 3. 对行为转换为事件的记忆能力



总结感悟

- 很多看似明显的因果关系并非显然--是否存在潜在变量？--是否存在间接变量？
- 认识到统计方法的局限性：无法通过数据得到因果结论，只能通过数据辅助因果假设
- “比你的数据更聪明”