

## Интро

Заметки по ходу чтения книги Judea Pearl "Causality models, reasoning and inference".

## A Theory of Inferred Causation

Начнем с интуиции, которая стоит за причинно-следственными связями. Обычно необходимым условием является временная зависимость - причина происходит до следствия. Однако, очевидно, это далеко не всегда является достаточным условием для наличия причинной связи, поэтому остается вопрос, же ее установить?

Возможно ли в целом какое-то выявление причинно-следственных связей? На самом деле, да. Рассмотрим пример, где есть три события  $A, B, C$  и мы знаем, что  $A$  зависит от  $B$ ,  $B$  зависит от  $C$ , но  $A$  и  $C$  независимы. В таком случае, если немного подумать, выходит, что наиболее простой граф, описывающий такую конфигурацию, выглядит как на 1

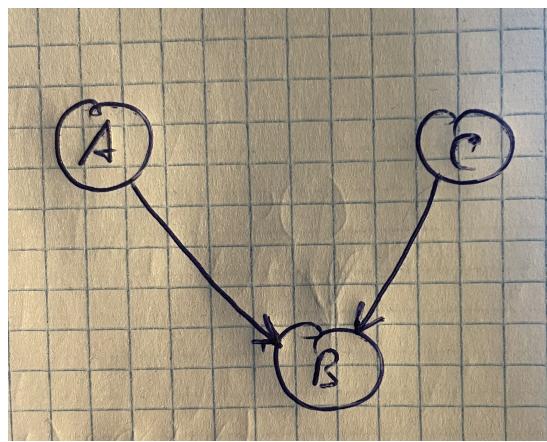


Рис. 1: А, С безусловно независимы, но зависимы при наблюдаемом следствии В

Будем рассматривать задачу определения причинно-следственных связей в виде индукционной игры (индукционность в смысле что про некоторым примерам выводится какое-то общее правило), в которую ученый играет с природой (красивая формулировка конечно XD). предполагается, что у природы есть стабильные причинно-следственные механизмы, которые можно определить функциональными зависимостями между переменными, некоторые из которых впрочем ненаблюдаются.

**def Причинная структура (causal structure)** множества переменных  $V$  - это DAG, в котором вершинам соответствуют переменные, а рёбрам - прямая функциональная зависимость между соответствующими переменными.

Причинная структура - это грубо говоря макет для **причинной модели** - точного определения того, как одни переменные влияют на другие.

**def Причинная модель (causal model)** - пара  $(D, \Theta_D)$  из причинной структуры  $D$  и множества параметров  $\Theta_D$ , ей соответствующих, то есть описывающих конкретные функциональные зависимости между переменными  $V$  в виде  $x_i = f_i(pa_i, u_i) \forall x_i \in V$ , где  $PA_i$  - родители  $x_i$  согласно  $D$ ,  $U_i$  - случайный шум, вероятностное распределение над которым также определяется  $\Theta_D$ .

Шум, влияющий на значение переменных, можно рассматривать например как следствие ненаблюдаемости некоторых переменных, и считается взаимонезависимым:  $(U_i \perp U_j)$ .

Теперь задачу, поставленную перед гипотетическим учёным, можно сформулировать в виде восстановления причинной структуры, а затем и модели, при условии что он наблюдает лишь значения некоторого подмножества переменных  $O \subset V$ .

## Выбор модели

Вообще говоря, так как  $V$  неизвестно, можно придумать сколь угодно много разных моделей, которые смогут зафитить данное (эмпирически определённое) распределение  $P(O)$ , путём различного введение скрытых переменных. Например, можно ввести одну скрытую переменную  $U$ , которая будет причиной всех наблюдаемых переменных  $O$ , при этом никаких причинно-следственных связей между наблюдаемыми переменными в такой модели не будет, причинная структура для такой модели представлена на 2.

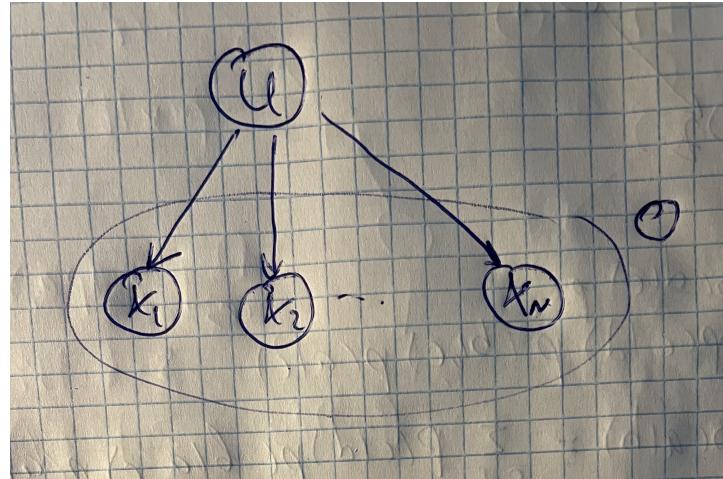


Рис. 2: Довольно бесполезная причинная структура