

Causal Inference Without Counterfactuals

2015-11-12

Alexander Philip Dawid

- ▶ Professor de Estatística na University College London
- ▶ Bayesiano
- ▶ Vários artigos sobre causalidade, sendo um tema de interesse recente (último artigo de 2015).
- ▶ “My positivist world view being antipathetic to popular explications of cause based on counterfactual variables, I have been investigating the extent to which sensible and meaningful causal inferences can be justified without recourse to counterfactuals.”

Antecipando Conclusões

- ▶ Problemas sobre efeitos de causas são superados utilizando a teoria da decisão e não dependem de contrafactuais.
 - ▶ Contrafactuais podem ser úteis como instrumento para modelagem,
 - ▶ mas não como instrumento para inferência
- ▶ Inferências sobre causas de efeitos são problemáticas e produzem ambiguidade por princípio
 - ▶ Para eliminar a ambiguidade, o único jeito é elaborar um modelo genuinamente determinístico.
 - ▶ É possível reduzir a ambiguidade medindo concomitantes e especificando claramente o contexto do estudo.

Tipos de perguntas

Predição

- ▶ Estava com dor de cabeça e tomei um remédio. Vou melhorar?

Intervenção

- ▶ Estou com dor de cabeça. Se tomar um remédio, vou melhorar?

Contrafactual

- ▶ Estava com dor de cabeça, tomei remédio e melhorei. Se eu não tivesse tomado remédio, teria melhorado?

Tipos de causalidade

Effects of Causes

- ▶ I have a headache. Will it help if I take aspirin?

Utilizar argumentos contrafactuais é desnecessário e potencialmente perigoso.

Causes of Effects

- ▶ My headache is gone. Is it **because** I took aspirin?

Utilizar argumentos contrafactuais é relevante, mas é importante entender o que essa query significa e quais suas limitações.

Effects of causes

Exemplo (experimento)

Modelo metafísico

$$\{(Y_t(u), Y_c(u)), u \in \mathcal{U}\}$$

são iid, cada par com distribuição normal bivariada com média (θ_t, θ_c) , variância comum ϕ_Y e correlação ρ .

- ▶ u “unidade” (episódio da dor de cabeça, ou indivíduo), $u \in \mathcal{U}$
- ▶ É metafísico pois não podemos observar simultaneamente $Y_t(u)$ e $Y_c(u)$.

Exemplo (experimento)

Formulação alternativa

$$Y_i(u) = \theta_i + \beta(u) + \gamma_i(u)$$

- ▶ i tratamento ($i = t$ tratamento, $i = c$ placebo).
- ▶ $Y_i(u)$ resposta ao tratamento i para o indivíduo u .
- ▶ β é um efeito aleatório que só depende do indivíduo, com média zero e variância $\phi_\beta = \rho\phi_Y$.
- ▶ γ é um efeito aleatório de interação entre indivíduo e tipo de tratamento, com média zero e variância $\phi_\gamma = (1 - \rho)\phi_Y$.

Effects of causes

- ▶ Observo um novo u_0 . Devo dar c ou t ?
- ▶ Definimos ICE (Individual Causal Effect)

$$\tau(u_0) = Y_t(u_0) - Y_c(u_0) = \tau + \lambda(u_0),$$

com

$$\lambda(u_0) = \gamma_t(u_0) - \gamma_c(u_0)$$

Effects of causes

- ▶ É possível estimar o ACE (Average Causal Effect)

$$\tau = \theta_t - \theta_c,$$

usando $\hat{\theta}_i = \bar{Y}_i$.

Exemplo (experimento)

Modelo físico

Relabel u : $u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{in_i}$

$$X_{ij} = Y_i(u_{ij}) = \theta_i + \varepsilon_{ij},$$

em que

$$\varepsilon_{ij} = \beta(u_{ij}) + \gamma_i(u_{ij})$$

- ▶ ρ , ϕ_β e ϕ_γ não são identificáveis.

Modelo físico

É possível estimar τ da mesma forma: $\hat{\tau} = \bar{X}_t - \bar{X}_c$.

Problemas

- ▶ Como calcular a variância?

$$V[\tau(u_0)] = 2(1 - \rho)\phi_Y,$$

- ▶ ρ é um parâmetro metafísico!
- ▶ Como estimar a média de $\tau^*(u_0) = Y_t(u_0)/Y_c(u_0)$?

Problema geral

- ▶ É possível acessar empiricamente P_t e P_c (marginais),
- ▶ **mas não é possível acessar P (conjunta).**
- ▶ parâmetros que dependem da conjunta ($\rho, \phi_\beta, \phi_\gamma, \tau^*$) são metafísicos.
- ▶ Mesmo a suposição de que o par (Y_t, Y_c) tem distribuição normal bivariada é metafísica.

Suposições que podem ajudar

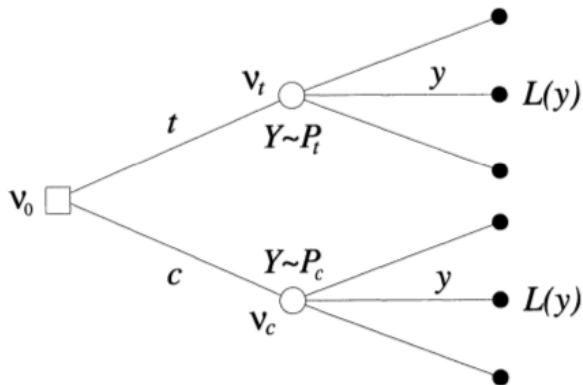
- ▶ Uniformidade ($\phi_Y = 0$). Estudo determinístico.
- ▶ TUA (Treatment-unit additivity), $\tau(u)$ é o mesmo para todo $u \in \mathcal{U}$.
 - ▶ Implica que $\phi_Y = 0$ e $\rho = 1$
- ▶ Monotonicidade (resposta binária), $P(Y_t \geq Y_c) = 1$.

Todas essas suposições são metafísicas!

- ▶ Será que queremos mesmo fazer inferência sobre τ ?

Solução para u_0 com teoria da decisão

- ▶ L função de perda, a ser aplicada a um resultado y .
- ▶ Para cada i , calcular a perda esperada $E_{P_i}[L(Y)]$.
- ▶ Escolher tratamento que resulta em menor perda esperada.



Base filosófica

Pensamento Popperiano

- ▶ “A model is not a straightforward reflection of external reality, and to propose a model is not to assert or to believe that nature behaves in a particular way.”
- ▶ Dogmatic empiricism: theories must be expressible in empirically testable vocabulary.

Base filos3fica

Lei de Jeffrey

- ▶ “mathematically distinct models that cannot be distinguished on the basis of empirical observation should lead to indistinguishable inferences.”
- ▶ “Sheeps and goats”
- ▶ **Counterfactual approach has the potential to create goats.**

Base filosófica

Fatalism

- ▶ Um modelo metafísico trata os resultados $Y_i(u)$ como atributos “pré-determinados” de u .
- ▶ Como u só ocorre uma vez, fatalismo não é testável empiricamente e, portanto, metafísico.
- ▶ Suposições TUA e monotonicidade são fatalistas por construção.
- ▶ SUTVA é fatalista, mas existe uma alternativa não-fatalista, aplicável com a teoria da decisão.

Base filosófica

Instrumental use of counterfactuals

- ▶ Contrafactuais para modelagem é OK em casos específicos (pode facilitar a construção).
- ▶ Contrafactuais para inferência em geral é desnecessário.

Causes of effects

Exemplo (experimento)

- ▶ Observei um novo u_0 , o tratamento t e o resultado $Y_t(u_0) = y_0$.
Como teria sido o resultado se tivéssemos aplicado c ?

Exemplo (experimento)

- ▶ Agora $Y_t(u_0)$ e $Y_c(u_0)$ são contrafactuais, pois já observamos um resultado.
- ▶ Nesse caso, temos

$$\lambda = E[Y_t(u_0) - Y_c(u_0)|y_0] = y_0 - \theta_c - \rho(y_0 - \theta_t)$$

Exemplo (experimento)

- ▶ Se $\rho \geq 0$, temos que λ fica entre $y_0 - \theta_c$ e $\theta_t - \theta_c$
- ▶ É possível reduzir a arbitrariedade de λ com a utilização de *concomitantes*.
- ▶ No entanto, é “muito raro” acabar com a ambiguidade de ρ

Alternativas

- ▶ Utilização de suposições metafísicas, como TUA ou monotonicidade.

Alternativas

Utilização de concomitantes

- ▶ variáveis **mensuráveis** e **não afetadas** pelo tratamento.
- ▶ Seja K um concomitante, tal que
 - ▶ $E[Y_i|K = k] = \theta_i + k$ e $V[Y_i|K = k] = \psi_K$
- ▶ Além disso,
 - ▶ $\phi_K = V[K]$ e $\psi_0 = \phi_Y = \phi_K + \psi_K$

Então

$$\rho_{ct|K} = \frac{\rho\phi_Y - \phi_K}{\phi_Y - \phi_K} = 1 - (1 - \rho)\frac{\psi_0}{\psi_K} \leq \rho$$

Alternativas

Utilização de concomitantes

Assim, por exemplo

$$V[\tau(u_0) | Y_t(u_0) = y, K(u_0) = k] = (1 - \rho_{ct|K}^2) \psi_K$$

$$V[\tau(u_0) | Y_t(u_0) = y, K(u_0) = k] \leq V[\tau(u_0) | Y_t(u_0) = y]$$

- ▶ Queremos encontrar o concomitante que leva ao menor valor de ψ_K
 - ▶ Ou seja, uma variável independente de i que melhor explique Y_i

Alternativas

Utilização de concomitantes

Assumindo que $\rho_{ct|K} \geq 0$,

$$1 - \frac{\psi_K}{\psi_0} \leq \rho \leq 1$$

Alternativas

- ▶ Modelos determinísticos $Y_i(u) = f(i, D(u))$
- ▶ Criação de modelos pseudo-determinísticos (Pearl)
 - ▶ Nesse caso, D é o resultado do conjunto de todas as variáveis latentes.
 - ▶ Como D raramente é um concomitante real (mensuráveis e não afetadas pelo tratamento), esse tipo de análise pode levar a decisões equivocadas

Contexto

- ▶ A suposição de que concomitantes são independentes do tratamento é metafísica.
- ▶ No entanto, existe uma ligação da coleção de concomitantes a serem consideradas com o contexto em que um estudo está inserido.
- ▶ Portanto, é possível realizar inferências restritas ao contexto das concomitantes.

Conclusões

- ▶ Inferências sobre efeitos de causas são possíveis utilizando a teoria da decisão e não dependem de contrafactuais.
 - ▶ Contrafactuais podem ser úteis como instrumento para modelagem,
 - ▶ mas não como instrumento para inferência.
- ▶ Inferências sobre causas de efeitos são problemáticas e produzem ambiguidade por princípio
 - ▶ Para eliminar a ambiguidade, o único jeito é elaborar um modelo genuinamente determinístico.
 - ▶ É possível reduzir a ambiguidade medindo concomitantes e especificando claramente o contexto do estudo.

Comentários

- ▶ Questionamento quanto ao conjunto de resultados necessários para auferir causalidade.
- ▶ Crítica ao “Goat and sheep”, pois poderia ter mais interações.

George Casella & Stephen Schwartz

- ▶ Structure of models: restrição rígida demais, que pode atrapalhar a ciência.
- ▶ Object of inference: Usar teoria da decisão muda o objeto da inferência. O novo objeto pode ser útil, mas pode não ser o que o pesquisador deseja.
- ▶ Philosophy of inference: Popper “não está mais na moda”
- ▶ Associa lei de Jeffrey com princípio da verossimilhança

Judea Pearl

- ▶ Modelos funcionais, com origem nos erros, criam os contrafactuais, e não o contrário

Effects of Causes

- ▶ I have a headache. Will it help if I take aspirin?

$$Q_I = P(Y_t = 1) - P(Y_c = 1)$$

Causes of Effects

- ▶ My headache is gone. Is it **because** I took aspirin?

$$Q_{II} = P(Y_c = 0 | T = 1, Y = 1)$$

- ▶ Q_{II} tem “implicações testáveis”

Judea Pearl

- ▶ O empiricista pragmático versus o empiricista dogmático
- ▶ A utilização instrumental do contrafactual

James Robins & Sander Greenland

- ▶ O trabalho não se aplica para estudos observacionais
- ▶ ACE não pode ser identificado num estudo observacional sem realizar suposições não identificáveis sobre a magnitude e direção do confundimento.
- ▶ Comentários sobre o determinismo e sua utilidade na definição de efeitos causais, mesmo na presença de estocasticidade
- ▶ “the vagueness is not in our counterfactuals but in our attempt to make causal inferences from observational data”.

Donald Rubin

- ▶ Importante considerar os “resultados potenciais” (contrafactuais depois de observados) para dois fins: ensino e pesquisa aplicada.
- ▶ Exemplo de dados censurados de acordo com um dos resultados.

Glenn Shafer

- ▶ A principal crítica é sobre a ausência de uma ligação entre causalidade e predição
- ▶ Counterfactual = past conditional
- ▶ Dawid erra ao afirmar que para “causas de efeitos” os contrafactuais “categóricos” são necessários
- ▶ Questões de “causa do efeito” são bobas.
- ▶ Bernoulli: Do not judge human action by what happens.

Larry Wasserman

- ▶ Defende o uso de contrafactuais
- ▶ Exemplo do paradoxo de Simpson
- ▶ Mesmas queries do Pearl (Q_I e Q_{II})

Tréplica

Tréplica

- ▶ Link entre estudo observacional e unidades sob intervenção (sem permutabilidade).
- ▶ Mecanismo de probabilidade estável, no lugar de modelos funcionais.
- ▶ Modelos podem ter implicações não testáveis
- ▶ Os comentários assumem implicitamente que a language contrafactual é mais rica que a linguagem baseada em teoria da decisão

Counterfactual Dimensions

- ▶ Fact - Fiction
- ▶ Real - Instrumental
- ▶ Clear - Vague
- ▶ Helpful - Dangerous

Comentário

- ▶ Para “effects of causes”, não precisamos interpretar o mundo como determinístico ou não-determinístico.
- ▶ Para “causes of effects”, aparentemente, precisamos ao menos pensar nisso.