



Judea Pearl



"The question is not, 'what is probable?', but 'what causes what?'" - Judea Pearl

Západočeská Univerzita V Plzni
Katedra Kybernetiky emestr
1. práce - HKUI

Bc. Tomáš Kopelent

1. prosince 2025

1 Životopis

1.1 Život a vzdělání

Judea Pearl se narodil 4. září 1936 v Tel Avivu v tehdejší mandátní Palestině (dnešní Izrael). Vyrůstal v prostředí, které formovalo jeho pozdější zájem o logiku a příčinné vztahy. Jeho otec byl tiskař a matka se věnovala domácnosti. Pearl projevoval od mládí mimořádné schopnosti v matematice a technických oborech.

Vysokoškolské vzdělání zahájil na Technion - Izraelském technologickém institutu v Haifě, kde v roce 1960 získal bakalářský titul v oboru elektrotechniky. Touha po dalším vzdělávání ho přivedla do Spojených států. V roce 1961 přesídlil do USA, kde pokračoval ve studiích na Newark College of Engineering (dnes New Jersey Institute of Technology), kde získal magisterský titul. Své doktorské studium dokončil v roce 1965 na Polytechnickém institutu v Brooklynu, kde získal Ph.D. v elektrotechnice se zaměřením na zpracování signálů a teorii komunikace.

1.2 Akademická kariéra

Po získání doktorátu začal Pearl pracovat v průmyslu, konkrétně pro společnost RCA Research Laboratories v New Jersey, kde se věnoval výzkumu zpracování signálů. V roce 1970 přijal akademickou pozici na University of California, Los Angeles (UCLA), kde se stal členem fakulty počítačových věd. Na UCLA zůstal po celou svou kariéru a postupně se propracoval na pozici profesora.

V 80. letech 20. století začal Pearl přesouvat svůj výzkumný zájem od tradičního zpracování signálů k umělé inteligenci. Tento přechod byl motivován frustrací z tehdejších přístupů k reprezentaci nejistoty v AI systémech, které považoval za nevyhovující. Jeho práce na Bayesovských sítích a později na kauzálním usuzování zásadně změnila směr výzkumu v oblasti umělé inteligence.

1.3 Osobní motivace a tragédie

Významnou součástí Pearlova života je tragická událost z roku 2002, kdy byl jeho syn Daniel Pearl, novinář pracující pro Wall Street Journal, unesen a zavražděn teroristy v Pákistánu. Tato událost hluboce poznamenala Pearla

a jeho rodinu. Společně s manželkou Ruth založili nadaci Daniel Pearl Foundation, která podporuje dialog mezi kulturami a svobodu tisku. Sám Pearl se intenzivně věnoval studiu příčin terorismu a radikalizace.

2 Vědecké přínosy

2.1 Bayesovské sítě

Jedním z nejdůležitějších Pearlových přínosů je vývoj Bayesovských sítí v 80. letech 20. století. Bayesovské sítě jsou grafické modely, které reprezentují pravděpodobnostní vztahy mezi proměnnými pomocí orientovaného acyklického grafu. Každý uzel v grafu reprezentuje náhodnou proměnnou a hrany mezi uzly reprezentují přímé pravděpodobnostní závislosti.

Pearl vyvinul efektivní algoritmy pro inferenci v Bayesovských sítích, což umožnilo praktické využití těchto modelů. Mezi klíčové algoritmy patří *belief propagation* (šíření přesvědčení), který umožňuje efektivní výpočet posteriorních pravděpodobností v síti. Před Pearlovým přínosem byla práce s pravděpodobnostními modely v AI často neefektivní a obtížně škálovatelná.

Bayesovské sítě našly široké uplatnění v mnoha oblastech, včetně lékařské diagnostiky, analýzy rizik, rozhodovacích systémů, zpracování přirozeného jazyka a strojového učení. Dnes jsou základním nástrojem pro reprezentaci a usuzování za nejistoty a tvoří teoretický základ pro mnoho moderních AI systémů.

2.2 Kauzální inference a do-kalkulus

V 90. letech se Pearl začal věnovat problematice, která se stala jeho největším přínosem: *kauzální inference* neboli příčinné usuzování. Zatímco tradiční statistika se zabývá korelacemi a asociacemi, Pearl vyvinul matematický rámec pro formální práci s příčinnými vztahy.

Jeho klíčovým přínosem je tzv. *do-kalkulus*, formální systém pro manipulaci s kauzálními výroky. *Do-kalkulus* zavádí operátor " $\text{do}(X=x)$ ", který reprezentuje intervenci - aktivní nastavení proměnné X na hodnotu x . Tento operátor se fundamentálně liší od pouhého pozorování hodnoty $X=x$. Pearl ukázal, že rozdíl mezi "pozorováním" a "intervencí" je klíčový pro pochopení kauzality.

Do-kalkulus poskytuje tři základní pravidla pro transformaci kauzálních výrazů, která umožňují odvozovat efekty intervencí z observačních dat za určitých podmínek. Tato pravidla mají hluboké důsledky pro experimentální design, analýzu dat a interpretaci statistických výsledků. Pearl také formalizoval koncept "zadních dveří" (backdoor criterion) a "předních dveří" (frontdoor criterion), které poskytují podmínky pro identifikaci kauzálních efektů z observačních dat.

2.3 Žebřík příčinnosti

Pearl představil koncept *žebříku příčinnosti* (ladder of causation), který popisuje tři úrovně kauzálního usuzování:

První příčka - Asociace: Na této úrovni pracujeme s pravděpodobnostními vztahy a odpovídáme na otázky typu "Co když vidím X, jak to souvisí s Y?" Tato úroveň odpovídá tradiční statistice a strojovému učení založenému na korelacích.

Druhá příčka - Intervence: Zde se ptáme "Co když udělám X, jak to ovlivní Y?" a pracujeme s efekty aktivních zásahů. Tato úroveň vyžaduje kauzální model a umožňuje predikovat výsledky experimentů či politik.

Třetí příčka - Kontrafaktuály: Na nejvyšší úrovni se zabýváme otázkami typu "Co by se stalo, kdyby X bylo jiné?" Tyto kontrafaktuální otázky vyžadují nejbohatší kauzální reprezentaci a jsou klíčové pro pochopení odpovědnosti, lítosti a morálních úsudků.

Pearl argumentuje, že současné systémy strojového učení, zaměřené na rozpoznávání vzorů bez kauzálního pochopení, operují pouze na první příčce a pro dosažení skutečné umělé inteligence je nutné posunout se výše po žebříku příčinnosti.

3 Významná ocenění

Pearlovy přínosy byly oceněny mnoha prestižními cenami:

- **Turingova cena (2011)** - Nejvyšší ocenění v informatice, často označované jako "Nobelova cena informatiky", byla Pearlovi udělena "za fundamentální přínosy k umělé inteligenci prostřednictvím vývoje počtu pravděpodobnosti a kauzálního usuzování."

- **Rumelhart Prize (2011)** - Cena za významné teoretické inovace v oblasti kognitivních věd.
- **Harvey Prize (2011)** - Prestižní izraelská cena za vědu a technologie.

Pearl je členem Národní akademie věd USA (National Academy of Sciences), Národní akademie inženýrství (National Academy of Engineering) a Americké akademie umění a věd (American Academy of Arts and Sciences). Získal také čestné doktoráty z několika předních univerzit.

4 Závěr

Judea Pearl je jednou z velice významných postav v historii umělé inteligence a statistiky. Jeho práce na Bayesovských sítích položila základy moderního pravděpodobnostního uvažování v AI. Ještě významnější je však jeho revoluční přínos v oblasti kauzální inference, kde vytvořil první rigorózní matematický rámec pro práci s příčinností.

V 88 letech zůstává Pearl aktivním výzkumníkem a myšlenkovým vůdcem, který pokračuje v rozvíjení teorie kauzality a její aplikace na aktuální problémy. Jeho odkaz je nejen v konkrétních technických přínosech, ale také v fundamentální změně způsobu, jakým vědci přemýšlí o příčinnosti, inferenci a inteligenci samotné.

5 Zdroje

- ACM. (2011). A.M. Turing Award Laureate - Judea Pearl. Association for Computing Machinery. https://amturing.acm.org/award_winners
- UCLA Samueli School of Engineering. Judea Pearl - Faculty Profile. <https://www.cs.ucla.edu>
- Daniel Pearl Foundation. <https://www.danielpearl.org>
- Pearl, J. (1988). Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference. Morgan Kaufmann.
- Pearl, J. (2000). Causality: Models, Reasoning, and Inference. Cambridge University Press.

- Pearl, J. (2009). Causal inference in statistics: An overview. *Statistics Surveys*, 3, 96-146.
- Pearl, J., & Mackenzie, D. (2018). *The Book of Why: The New Science of Cause and Effect*. Basic Books.
- Pearl, J. (2019). The Seven Tools of Causal Inference, with Reflections on Machine Learning. *Communications of the ACM*, 62(3), 54-60.