ALTERNATOR
Misliti znanost.

# Med resnico in skladnostjo: vloga koherence v znanstvenem raziskovanju

28. 5. 2026

Number: 10/2026

Author:

- Martin Justin

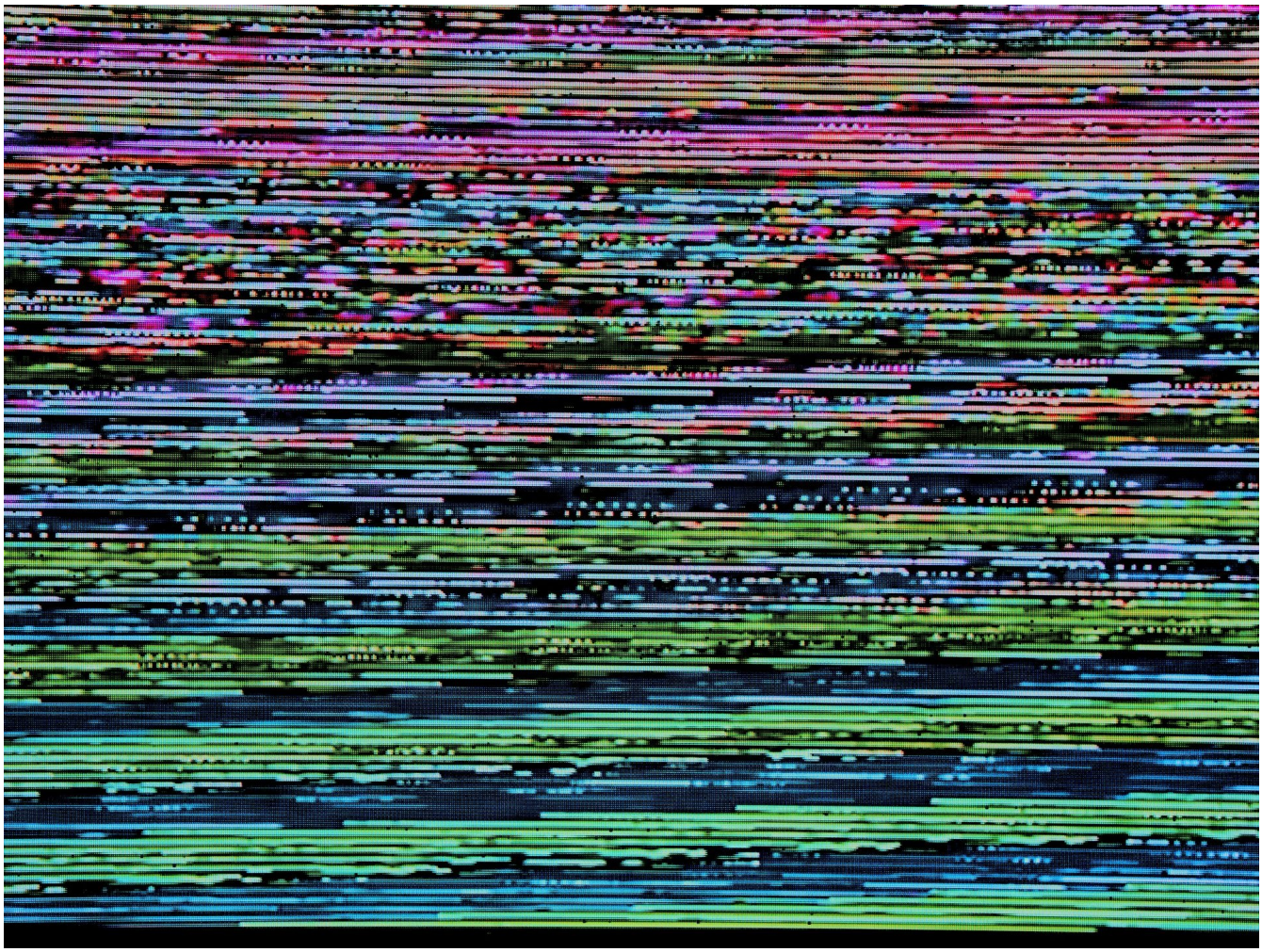


Foto: Michael Dziedzic (https://unsplash.com/photos/a-very-colorful-tv-screen-with-a-lot-of-dots-on-it-hg2UbSnwfes)

Leta 2011 so raziskovalci pri eksperimentu OPERA objavili (https://arxiv.org/abs/1109.4897) presenetljive meritve, ki so kazale, da nevtrini potujejo hitreje od svetlobe. Ti rezultati so bili zelo presenetljivi, saj so nasprotovali enemu izmed stebrov moderne fizike, dejstvu, da se informacije in delci po prostoru ne morejo premikati hitreje kot s svetlobno hitrostjo, kot izhaja iz Einsteinove teorije relativnosti. Kljub visoki zanesljivosti rezultatov se je fizikalna skupnost zato odzvala precej zadržano. Ta zadržanost se je kmalu izkazala za upravičeno, saj so kasnejše preiskave pokazale, da je bila anomalija posledica napake v optičnem kablu (https://doi.org/10.1126/science.335.6072.1027) .

Ali ima takšna konservativnost tudi drugo plat? Na to kaže na primer dolgoletno zanašanje na nenatančne meritve osnovnega naboja elektrona. Te je na začetku dvajsetega stoletja izvedel (https://doi.org/10.1103/PhysRev.2.109) Robert Millikan, ki je kasneje za svoje delo prejel Nobelovo nagrado. Njegove prvotne meritve so vsebovale napačno oceno viskoznosti zraka, zaradi česar so nekoliko podcenile velikost naboja. Kasnejši eksperimenti so pogosto prišli do natančnejših rezultatov, a jih je fizikalna skupnost sprva zavračala, posodobljena višja vrednost pa je postala splošno sprejeta šele s pregledom obstoječih meritev (https://doi.org/10.1098/rspa.1937.0118) Stena von Friesna leta 1937. V tem primeru je torej močna naklonjenost skladnosti z uveljavljenimi dognanji preprečila popravek in (začasno) zaustavila

napredek znanosti.

Zgornja primera ne ponujata le zanimivih zgodovinskih anekdot, temveč se dotikata pomembnega filozofskega problema. V obeh primerih so fiziki eksperimentalne rezultate ovrednotili na podlagi njihove koherentnosti z obstoječim védenjem. Pojem *koherenca* opisuje stopnjo medsebojnega skladanja množice informacij, kako dobro se te ujemajo (https://www.hup.harvard.edu/books/9780674843813) . Trditve »Vsi krokarji so črni«, »Ta ptica je krokar« in »Ta ptica je črna« so koherentne; »Ta stol je rjav«, »Elektroni so negativno nabiti«, »Danes je četrtek« niso. Koherenca tako ni zgolj protislovnost – tudi povsem nepovezane trditve so nekoherentne, čeprav niso protislovne. Nekateri filozofi so trdili, da so naša prepričanja o svetu racionalna, če tvorijo koherenten sistem. A ta pogled ima očitno pomanjkljivost (https://doi.org/10.1017/9781009053327) : prepričanja so lahko popolnoma koherentna, a nimajo nobene zveze z resničnostjo. Takšne so recimo pravljice. Ali pa teorije zarote.

Kot kažeta tudi zgornji zgodovinski anekdoti, je vloga koherence v praksi vse prej kot enoznačna. Zato se zastavlja vprašanje: so fiziki v zgornjih dveh primerih ravnali prav, ko so ohranjanju koherence dali prednost pred nepričakovanimi rezultati? Pogosto lahko slišimo, da znanost zgolj sledi eksperimentalnim rezultatom, kamorkoli ti že vodijo. A so, kot kaže primer eksperimenta OPERA, rezultati lahko tudi zavajajoči. Nam lahko upoštevanje koherence pomaga pri prepoznavanju takšnih rezultatov in tako podpira napredek znanosti? Je tovrstno ignoriranje določenih rezultatov racionalna strategija znanstvenega raziskovanja? V preostanku tega prispevka bom pokazal, kako si lahko filozofi pri odgovarjanju na to vprašanje pomagamo z računalniškimi simulacijami, in predstavil nekaj rezultatov, ki nakazujejo, v katerih primerih je upoštevanje koherence lahko koristna metoda.

**Računska filozofija**

Normativna vprašanja – vprašanja o tem, kakšne bi stvari *morale* biti – za filozofijo sicer niso nič neobičajnega. Je pa to vprašanje o vlogi, ki bi jo koherenca morala imeti v znanosti, zoprno zaradi drugega razloga. Tradicionalne filozofske metode, kot sta pojmovna in logična analiza, so pogosto nezadostne, ko obravnavamo kompleksno dinamiko prepričanj, ki se pri skupinah znanstvenikov odvija v daljšem časovnem obdobju. Zato si sodobni filozofi pri reševanju takšnih problemov vedno pogosteje pomagajo z orodjem, ki se morda zdi presenetljivo za to stroko – namreč z računalniškimi simulacijami.

Eden od računalniških pristopov, ki ga uporabljajo raziskovalci, so tako imenovani agentski modeli (https://plato.stanford.edu/entries/agent-modeling-philscience/) . Gre za poenostavljene, formalne predstavitve nekega pojava, ki so sestavljene iz sveta in agentov, ki v tem svetu delujejo. V primeru modeliranja znanstvenega raziskovanja lahko svet, ki ga agenti raziskujejo, opišemo na primer kot mrežo dogodkov z vnaprej določenimi vrednostmi (npr. *resničen* ali *neresničen*), ki so verjetnostno povezani, tako da vrednost enega dogodka vpliva na verjetnost, da bodo imeli tudi drugi dogodki določene vrednosti. Eksperimentiranje lahko opišemo kot naključno generiranje vrednosti dogodkov v mreži, znanstvenike pa kot agente, ki na podlagi zbranih rezultatov računajo približke verjetnostnih povezav med dogodki in si tako ustvarjajo predstavo o svetu, ki ga opazujejo.

Tak model lahko nato uresničimo v programski kodi, tako da napišemo računalniški program, ki simulira delovanje agentov v njihovem matematičnem svetu. Na ta način lahko opazujemo, kako se iz interakcij med agenti in njihovim svetom postopoma razvijejo kompleksni pojavi. Vendar pa pisanje računalniške kode ni nujen del takšnega modeliranja; ameriški ekonomist Thomas Schelling je svoj preprosti agentski model segregacije (https://doi.org/10.1080/0022250X.1971.9989794) predstavil kar s pomočjo šahovnice.

Da bi natančneje ugotovila, kdaj in pod kakšnimi pogoji je koherentno filtriranje podatkov zares smiselno, sva z doc. dr. Borutom Trpinom zgradila (https://doi.org/10.1007/s11229-025-05281-3) takšen agentski model. Model je nastal v okviru raziskovalnega projekta »Koherentistični vidiki znanstvenega odkritja in znanstvenega upravičenja« (J6-60107), v okviru katerega sva ustvarila virtualni laboratorij, v katerem sva testirala uspešnost različnih raziskovalnih strategij, ki temeljijo na upoštevanju koherence.

**Virtualni laboratorij**

V simulaciji sva raziskovala vedenje dveh specifičnih tipov digitalnih znanstvenikov oziroma agentov, ki se razlikujeta v tem, kako sprejemata nove informacije o svetu. Prvo skupino predstavljajo tako imenovani *normalni agenti*. Ti svoja prepričanja dosledno posodabljajo na podlagi vseh informacij, ki jih prejmejo. Takšen pristop predstavlja klasični ideal odprte in nezainteresirane znanosti.

Drugo skupino pa predstavljajo *koherentistični* [nanašajoč se na koherenco] agenti, ki pri svojem raziskovanju uporabljajo dodaten kriterij. Preden sprejmejo nove informacije, najprej preverijo, ali bodo te zmanjšale koherentnost njihovih obstoječih prepričanj. Če ugotovijo, da bi nova informacija povzročila preveliko neskladje, jo zavrnejo in ohranijo svoje obstoječe stališče. Tako so se na primer vedli fiziki v zgornjih dveh primerih: namesto da bi na podlagi nepričakovanih rezultatov revidirali svoje teorije ali predhodne meritve, so moteče podatke (vsaj začasno) postavili na stran.

Poleg vedenja agentov sva s soavtorjem upravljala tudi njihovo okolje. V resničnem svetu zbiranje raziskovalnih podatkov nikoli ne poteka brez težav in hotela sva, da to odseva tudi najin model. Agente sva zato izpostavila dvema vrstama zavajajočih rezultatov. Ti so lahko vključevali naključen šum (spremenjene vrednosti meritev, ki so bile naključno razpršene med podatki, kot na primer pri slabo delujočem merilnem instrumentu ali človeški napaki pri beleženju

rezultatov) ali pa so bili tudi sistematično pristranski. V tem primeru napake niso bile naključne, ampak so podatki od resničnih vrednosti odstopali na predvidljiv način in tako prikazovali drugačno sliko sveta. V resničnem svetu so takšni zavajajoči podatki lahko rezultat strukturnih problemov znanosti, kot je na primer selektivno objavljanje zgolj pozitivnih raziskovalnih rezultatov.

**Pasti in priložnosti koherence**

Da bi ugotovila, kako upoštevanje koherence vpliva na uspešnost znanstvenega raziskovanja, sva primerjala uspešnost normalnih in koherentističnih agentov pod različnimi pogoji. Agente z različno točnimi začetnimi prepričanji sva postavila v okolja z različnimi stopnjami bodisi šumnih bodisi pristranskih podatkov. Nato sva opazovala, ali jim filtriranje podatkov na podlagi koherence omogoča tvoriti točnejša prepričanja o svetu.

Rezultati najinih simulacij kažejo precej raznoliko sliko. S tem potrjujejo sum, da koherenca ni univerzalna rešitev, temveč izjemno kontekstualno občutljivo orodje. V okoljih z naključnim šumom je konservativnost pri upoštevanju podatkov pogosto koristna. Ko je stopnja naključnega šuma v podatkih visoka in so predhodna prepričanja agentov dokaj točna, koherentistični agenti dolgoročno dosegajo točnejša prepričanja kot normalni agenti. Vendar pa takšen pristop v okoljih, kjer so meritve večinoma zanesljive, agente zgolj upočasni in jim oteži pridobivanje točnejših prepričanj o svetu. Koherentistični filter v dokaj varnem epistemološkem okolju pogosto zavrača točne rezultate, s čimer zmotna prepričanja ohranja dlje, kot bi bilo treba, ali agentom celo prepreči, da bi si ustvarili točnejšo sliko sveta.

Naslednji sklop rezultatov, v katerem sva naključni šum zamenjala s pristranskimi podatki, pa je pokazal precej bolj skrb vzbujajočo plat uporabe koherence. Tukaj filter v veliki meri odpove. Agente namreč pogosto zavede, da začnejo kot bolj koherentno sliko sveta sprejemati tisto, ki jo prikazujejo zavajajoči podatki, in tako zavračajo točne podatke. Koherenca v tem primeru ne deluje več kot obramba pred nezanesljivimi podatki, ampak kot mehanizem, ki lahko utrdi napačno teorijo in aktivno preprečuje njeno revizijo.

Iz tega sledi, da praksa zavračanja nekoherentnih rezultatov ni splošno zanesljiva metoda za izogibanje zavajajočim podatkom, ampak je njena uporabnost odvisna od specifičnega okolja in položaja agentov. Strategija, ki uspešno filtrira naključni šum, ko imajo agenti že izdelana, točna prepričanja o svetu, in tako varuje njihovo znanje pred posameznimi napačnimi meritvami, v okolju z zavajajočimi rezultati postane razlog za to, da ostane znanstvena skupnost ujeta v zmoti.

**Pasti in priložnosti koherence, drugi poskus**

Zgornji rezultati niso tako presenetljivi. Mehanizem koherence namreč deluje predvsem tako, da ohranja in utrjuje tisto, kar že verjamemo. Zato je razumljivo, da nam bo v pomoč, ko so naša izhodiščna prepričanja večinoma pravilna (in nas filter varuje pred naključnimi napakami meritev), in da nam bo škodoval, ko so naša izhodiščna prepričanja napačna (saj nam bo filter preprečil, da bi jih popravili). A znanost ni le proces, v katerem posamezniki zbirajo podatke, temveč je izrazito družbena dejavnost. Kaj se torej zgodi s koherenco, če jo prestavimo na raven celotne znanstvene skupnosti?

Da bi odgovorila na to vprašanje, sva z Borutom Trpinom izvedla še eno simulacijsko raziskavo (https://osf.io/24rp9/files/edw2a) . Tokrat uporabe koherentnosti nisva raziskovala v vlogi filtra za to, ali naj agent novemu podatku verjame, temveč za to, ali naj novi podatek deli z ostalimi člani raziskovalne skupine. V tej novi simulaciji vsak agent samostojno zbira rezultate. Če je sklop novih informacij manj koherenten, kot so njegova obstoječa prepričanja, jih preprosto zavrže in ne deli z ostalimi. Če pa so tudi nove informacije medsebojno dovolj skladne, jih deli v skupni nabor rezultatov. Na koncu vsakega kroga simulacije vsi agenti posodobijo svoja prepričanja izključno na podlagi tega skupnega, prečiščenega nabora.

V teh okoliščinah je lahko zahteva po koherentnosti podatkov bistveno bolj prilagodljiva in koristna, zlasti v večjih raziskovalnih skupinah. Takšnim skupinam namreč koristi raznolikost v začetnih prepričanjih agentov. Ker agenti simulacijo začnejo z nekoliko drugačnimi, naključno ustvarjenimi prepričanji, se bodo njihovi osebni filtri za koherenco razlikovali. Ko torej narava postreže z resničnim, a presenetljivim podatkom, ga bo tisti del skupine, ki ima napačna prepričanja, skril. Vendar pa bo morda obstajal vsaj kakšen agent z dovolj drugačnimi prepričanji, za katerega ta novi podatek ne bo nekoherenten in ga bo delil z vsemi. Selektivno deljenje podatkov tako celotni skupini omogoča, da se postopoma premika proti točnejšim prepričanjem, hkrati pa ohranja svojo zaščitno vlogo in uspešno preprečuje širjenje očitno napačnih, šumnih podatkov. A tudi ta strategija povsem odpove v okoljih z zavajajočimi podatki, sploh ko so ti bolj koherentni od pravilnih.

**Umetnost dvoma**

Kdaj torej zavračanje presenetljivih rezultatov znanost ščiti pred napakami in kdaj zavira njen razvoj? Zgodba o nevtrinih in Millikanovem eksperimentu ima sedaj nekoliko jasnejši teoretski okvir, v katerem se koherenca pokaže kot izjemno kontekstualno občutljivo orodje. V situaciji, ko imajo znanstveniki že dovolj točno predstavo o svetu in so rezultati prepredeni z naključnimi napakami, lahko deluje kot koristno varovalo, medtem ko nas v okoljih s sistemskimi pristranskostmi lahko ujame v dalj časa trajajočo zmoto. Uporaba koherence kot filtra za deljenje informacij nam sicer omogoča izkoriščanje raznolikosti med agenti, a kljub temu odpove, če so ti soočeni s sistematično pristranskimi podatki.

Vendar pa moramo biti pri interpretaciji teh rezultatov izjemno previdni. Kot sem omenil zgoraj, so modeli, kot je najin,

precej idealizirani. V simulaciji sva na primer svet predstavila kot zelo preprosto mrežo zgolj štirih povezanih dogodkov, koherenco pa sva interpretirala in izračunala v verjetnostnem smislu. Znanstvena praksa je v resnici neprimerljivo bolj zapletena. Najini agenti tako živijo v zelo osiromašenem računalniškem svetu, zato najinih ugotovitev ne smemo (https://doi.org/10.1093/bjps/axx005) povsem nekritično in neposredno prenesti na vsakodnevno delo v pravih laboratorijih.

Kljub tem omejitvam pa nam računalniške simulacije ponujajo dragocen uvid, saj nam pomagajo razumeti osnovno mehaniko znanstvenega spoznavanja. Racionalnost v znanosti namreč ni le golo pasivno zbiranje in neizprosno sprejemanje vseh razpoložljivih podatkov. Je tudi nenehno strateško odločanje o tem, katerim presenetljivim rezultatom velja zaupati, katere velja deliti z drugimi in kdaj je smiselno – vsaj za kratek čas – podvomiti o lastnih instrumentih, preden zavržemo vse tisto, v kar smo doslej verjeli. Najini rezultati nakazujejo, da je koherenca uporabna predvsem takrat, ko imamo že precej natančno opredeljeno teorijo in se želimo zavarovati pred naključnimi, nepredvidljivimi instrumentalnimi napakami, kot na primer v fiziki. Če pa delujemo na področju, kjer so tudi naše najboljše teorije precej vprašljive in kjer se soočamo z vseprisotnimi konflikti interesov ali selektivnim objavljanjem rezultatov, pa iskanje skladnosti ni idealna strategija.

https://www.alternator.science/en/long/med-resnico-in-skladnostjo-vloga-koherence-v-znanstvenem-raziskovanju/