

VECTOR⁺

NR. 05 · OKTOBER 2026

■ HET LAB VAN MORGEN

AI ontdekt de wereld

*Eiwitten, materialen
en robots: de werkelijkheid
antwoordt.*

04 DOSSIER

Wat leert AI
van een blokje?

19 STRIP

Simulatie zonder wrijving

36 REKEN MEE

Vier berekeningen
voor het lab



Van hypothese naar proef

Dit nummer volgt een onderzoekscyclus. Eerst ontwerpen we een model, daarna kiezen we een meting en onderzoeken we wat die werkelijk bewijst.



AXI VRAAGT

Schrijf tijdens het lezen bij één resultaat: voorspeld, gesimuleerd, gemeten of onafhankelijk herhaald?



3-9

Onderzoek en proefkeuze

Strip en onderzoekslus op pagina 3-7; nieuwe hypothesequiz op pagina 8; wettenpuzzels op pagina 9.



10-15

Kansen en structuren

Eerste quiz en feiten op pagina 10-11; proefkeuzedossier op pagina 12-13; structuuronderzoek op pagina 14.



16-21

Nieuwe metingen

Correcties op pagina 16; nieuwe strip en cijfers op pagina 17-18; symmetrie en simulator op pagina 20-21.



22-27

Robot en formule

Robotlus op pagina 22-23; budgetquiz en symbolische formule op pagina 24-25; weer begint op pagina 27.



28-33

Hypothesen en kosten

Energie op pagina 28; likelihoodpuzzels en werkruimte op pagina 29-30; gedachten en meetkeuze op pagina 31-32.



34-39

Selectie en natuurwetten

Nieuwe labelsquiz en gedachten op pagina 34-35; berekeningen op pagina 36; hybride toets op pagina 37-39.



40-46

Populatie en werkplaats

Modeldossier op pagina 40; reproduceerbare toets en simulator op pagina 41-42; eigen dossier en bronnen op pagina 45-46.



47-50

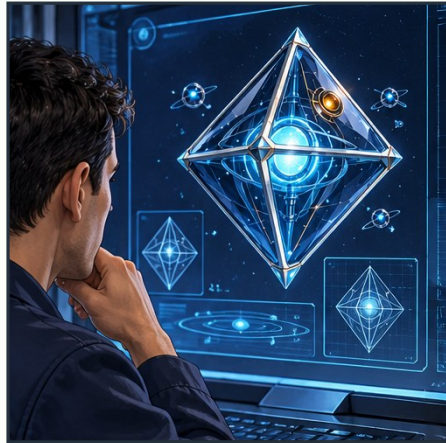
Antwoorden en bronnen

Bestaande uitwerkingen op pagina 47; nieuwe puzzels en gedachten op pagina 48; nieuwe quizen op pagina 49; bronnen en vervolg op pagina 50.

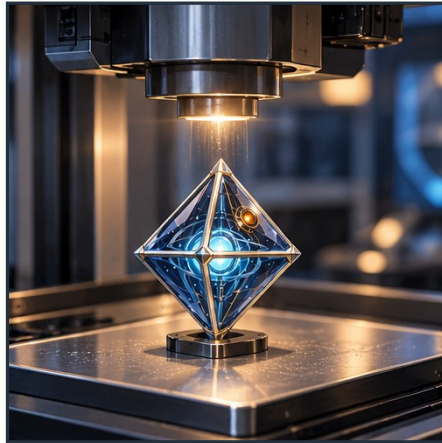
VECTOR · AI IN DE PRAKTIJK

De snelste ontdekking

AXI toont een kristalmodel. De onderzoeker vraagt iets dat een mooie voorspelling niet kan leveren: een echt monster.



1 AXI Mijn kristal is klaar. Ontdekking voltooid!



2 Onderzoeker Je hebt een model afgedrukt. Waar ligt het monster?



3 AXI Het bakje is nog leeg. Dat is een opvallend lage opbrengst.



4 Onderzoeker Onze eerste route gaf een ander materiaal. We bewaren de mislukte proef.



5 AXI Nieuwe omstandigheden, nieuwe meting. De voorspelling mag wachten.



6 Onderzoeker Nu hebben we bewijs voor deze proef, niet voor iedere mogelijke route.

Illustratie · De snelste ontdekking

Model en materiaal

Een gegenereerde structuur is een voorstel. Een proef onderzoekt of een materiaal onder beschreven omstandigheden gemaakt en geïdentificeerd kan worden. Een mislukte synthese kan de kandidaat, gekozen route of meetinterpretatie betreffen. Zij vertelt dus meer

wanneer die verschillende mogelijkheden expliciet zijn vastgelegd.

FICTIE MET EEN VAKVRAAG

Welke meting zou aantonen dat het beoogde kristal aanwezig is? Een kleur of foto alleen volstaat vaak niet.



Wat leert een model van een blokje?

Onze fictieve tafelproef begint eenvoudig: een klein blokje beweegt over een vlak oppervlak. We willen de volgende positie voorspellen, niet meteen de hele natuur beschrijven.

Beschrijf de waarneming

Een camera levert tijdstippen en geschatte posities. Een model krijgt bijvoorbeeld positie en snelheid op tijdstip t en voorspelt de verandering na een vaste tijdstap. Alleen een scherpe foto is niet genoeg: snelheid vraagt meerdere waarnemingen, tijdseenheden en een kalibratie van pixels naar meters. Als de camera verschuift, veranderen de pixelcoördinaten zonder dat het blokje dezelfde fysieke verandering ondergaat. De meetketen hoort daarom bij de modelbeschrijving.

Kies wat mag variëren

Voor het eerste experiment blijven oppervlak, blokvorm en opnamehoek gelijk. We variëren alleen de beginsnelheid. Zo kunnen we één vraag onderzoeken: voorspelt het model nieuwe beginsnelheden binnen het gemeten bereik? Een goede uitkomst bewijst nog niet dat het model een andere ondergrond aankan. Het ontwerp van de proef bepaalt welke generalisatie daadwerkelijk is getoetst. De grens is nuttig: zij voorkomt dat ieder gunstig resultaat onmiddellijk als begrip van wrijving wordt uitgelegd.

en na twintig herhaalde stappen ver afwijken. Fouten in snelheid veranderen immers latere posities. Een tweede toets kijkt daarom naar volledige voorspelde trajecten, verschillende beginsituaties en een eenvoudige referentiemethode. Een ingewikkeld netwerk verdient pas extra vertrouwen wanneer zijn verbetering zichtbaar is onder dezelfde eerlijke vergelijking.

ALLEEN EEN DENKPROEF

Onze blokdata zijn een verzonnen lesvoorbeeld. We bedienen geen echte robot of laboratoriumapparatuur.

“*Het ontwerp van de proef bepaalt welke generalisatie daadwerkelijk is getoetst.*”

Meer dan een tabel met scores

We bewaren trajecten naast gemiddelde fouten. Een model kan na één stap heel nauwkeurig zijn



■ VECTOR · AI IN DE PRAKTIJK

De representatie bepaalt de vraag

Een model kan dezelfde proef als pixels, punten of een graaf ontvangen. Iedere keuze maakt sommige relaties makkelijker te leren en andere moeilijker te zien.

Beeld of toestand

Een netwerk op camerabeelden kan zelf patronen leren, maar moet ook belichting en perspectief verwerken. Een toestandmodel krijgt vooraf geschatte posities en snelheden. Dat maakt de invoer compacter, terwijl fouten van de schatter blijven bestaan. De keuze is dus geen wedstrijd tussen echt zien en vals vereenvoudigen. Zij bepaalt welke onderdelen van de meetketen expliciet zijn en welke binnen een geleerde afbeelding verdwijnen.

Een graaf als werktal

Bij meerdere blokjes maken we knopen voor objecten en verbindingen voor relevante interacties. Een graafnetwerk verwerkt berichten tussen knopen. Daardoor kan een model dezelfde lokale regel op verschillende aantallen objecten toepassen. Dit is een inductieve voorkeur: het ontwerp biedt relaties aan voordat de data alle mogelijkheden hoeven te demonstreren. Het bewijst niet dat de aangeboden verbindingen alle krachten bevatten. Onzichtbare contacten of verkeerde objectdetectie kunnen het model nog steeds op het verkeerde spoor zetten.

Wat blijft gelijk na verplaatsen?

Als we de hele tafelcoördinaten verschuiven, behoren relatieve afstanden gelijk te blijven. Een model dat vooral absolute pixelposities gebruikt, kan toch een andere uitkomst geven. Zo'n eenvoudige transformatie levert een gerichte test op. Hetzelfde principe verschijnt in moleculaire modellen: de totale energie hoort niet te veranderen doordat we hetzelfde systeem als geheel draaien. Het modelontwerp kan die eigenschap ondersteunen; de toets blijft nodig om de volledige invoer- en uitvoerroute te controleren.

ACHTERGROND

Invariant of equivariant?

Een invariant getal blijft gelijk na een relevante transformatie. Een equivariant vectorresultaat verandert mee volgens de voorgeschreven regel. Draai de invoer: energie blijft gelijk, een krachtvector hoort mee te draaien.

Bronnen: 11, 26

ONDERZOEK

De hypothese verlaat het scherm

Een voorspelling kiest een experiment. Een echte waarneming kan vervolgens de representatie, het model of de onderzoeksvraag veranderen. Volg de route en onderscheid wat vooraf verwacht werd van wat werkelijk werd gemeten. AXI is een fictieve observator.



VECTOR · AI IN DE PRAKTIJK

Een voorspelling kiest een proef

Na de eerste trajecten zijn meerdere verklaringen mogelijk. Het volgende experiment kan informatiever zijn dan simpelweg meer van dezelfde gegevens verzamelen.

Waar verschillen modellen?

Ons fictieve team heeft twee modellen die bij lage snelheden bijna dezelfde vertraging voorspellen. Bij hogere snelheden verschillen zij. Een meting in dat gebied kan tussen hun voorspellingen onderscheiden, mits de camera daar betrouwbaar meet. We kiezen niet automatisch het punt met de grootste modelruzie: een onmeetbaar of gevaarlijk punt helpt niet. Kosten, uitvoerbaarheid en de wetenschappelijke vraag begrenzen de kandidaten.

Een aanvraag is een dossier

Voor de nieuwe proef leggen we vooraf beginsituatie, meetduur, eenheden en analyse vast. We bewaren de voorspellingen voordat de nieuwe data worden bekeken. Anders kan het team achteraf een gunstige uitleg selecteren. Een voorspelling met een interval vertelt welke afwijking als onverwacht geldt, maar alleen binnen de betekenis van dat interval. Een modelensemble meet variatie tussen modellen; het omvat niet vanzelf een onbekende fout van de camera.

De lus heeft een echte buitenwereld

De proef levert nieuwe waarnemingen en daarmee nieuwe vragen op. Het blokje kan bijvoorbeeld een onverwachte rotatie krijgen. Dat is geen reden om de data direct weg te gooien als storend. Het kan betekenen dat de toestandbeschrijving een belangrijke variabele mist. We noteren afwijkende gebeurtenissen en maken zichtbaar welke waarnemingen uiteindelijk zijn gebruikt.



VECTOR • AI IN DE PRAKTIJK

De nieuwe meting kan tegenspreken

AI ondersteunt de onderzoekscyclus wanneer een onverwachte uitkomst het model of de vraag mag veranderen. Een automatisch rapport mag die verrassing niet gladstrijken.

Welke verklaring faalde?

De gemeten vertraging ligt buiten beide voorspellingen. Controleer dan eerst de meetketen: tijdstempels, schaal en mogelijke verandering van het oppervlak. Als de meting overeind blijft, is er bewijs dat de huidige modellen op deze proef onvoldoende waren. Dat is smaller dan het bewijs dat alle graafnetwerken of alle wrijvingswetten onbruikbaar zijn. Een goede conclusie heeft dezelfde reikwijdte als de toets.

Wat moet een extra variabele oplossen?

Misschien mist het model rotatie of temperatuur. Een extra invoer is nuttig wanneer zij nieuwe

voorspellende informatie geeft, niet alleen omdat het netwerk daardoor groter wordt. Het team legt de gewijzigde hypothese vast en plant een aparte vergelijking. Een reparatie die exact de verrassende trajecten nadoet is nog geen onafhankelijke bevestiging. De volgende proef vraagt een vooraf gemaakte voorspelling.

Waarom bewaren we negatieve resultaten?

Een archief met alleen succesvolle runs schetst een te eenvoudig verhaal. Bewaar daarom mislukte fits, afgewezen kandidaten en relevante versies. Ze maken zichtbaar hoeveel keuzes nodig waren en kunnen later een alternatieve verklaring ondersteunen. De snelheid van een automatische lus maakt dit belangrijker: veel experimenten leveren ook veel kansen op selectie van toevallig gunstige uitkomsten. Een snelle ontdekking begint bij een navolgbaar spoor. ◆



AXI VRAAGT

Welke verandering zou je eerst onderzoeken: de camera, het oppervlak of de modelvariabelen? Welk extra bewijs maakt je keuze toetsbaar?

Quiz: een voorafkans blijft in de som

Vier nieuwe vragen oefenen de expliciete hypotheseminiatuur. Normaliseer pas nadat je gezamenlijke gewichten hebt berekend.

Gebruik alleen H1 en H2

De likelihoods en de voorafkansen staan op pagina 12–13. Een andere voorafkans kan hetzelfde signaal anders laten wegen. Uitwerkingen staan op pagina 49.

1 Vooraf is $H_1=H_2=1/2$. Positief heeft kans 0,8 onder H_1 en 0,2 onder H_2 . Wat is $P(H_1|+)$?

- ☐ (A) 0,5
- ☐ (B) 0,8
- ☐ (C) 1,0

Reken hier

2 Onder dezelfde voorafkansen verschijnt een negatief signaal. Wat wordt $P(H_1|-)$?

- ☐ (A) 0,2
- ☐ (B) 0,8
- ☐ (C) 0,5

Reken hier

3 Nu is vooraf $P(H_1)=1/4$ en $P(H_2)=3/4$. Positieve likelihoods blijven 0,8 en 0,2. Welke posterior volgt?

- ☐ (A) 0,8
- ☐ (B) $1/4$
- ☐ (C) $4/7 \approx 0,5714$

Reken hier

4 Een tweede record is een letterlijke kopie van hetzelfde ene signaal. Mag je het als een onafhankelijk tweede signaal vermenigvuldigen?

- ☐ (A) Ja, want er zijn twee regels.
- ☐ (B) Nee, de kopie voegt geen onafhankelijke meting toe.
- ☐ (C) Ja, een posterior moet altijd groeien.

Reken hier

Jouw antwoorden

1 2 3 4

De proef die de twee wetten uit elkaar trekt

Drie eindige modelpuzzels vragen om onderscheidende informatie. Volledige oplossingen staan op pagina 48.

1 Kandidaat A geeft $x(t)=2t$; B geeft $x(t)=t^2$. Ze passen allebei op een foutloze meting $x(2)=4$. Je mag daarna $t=0$ of $t=3$ meten. Welke tijd onderscheidt ze?

Mijn antwoord

3 Drie toegestane hypothesen voorspellen voor proef X de waarden $[1,1,2]$, en voor proef Y $[0,1,2]$. Iedere meting is foutloos. Welke ene proef identificeert altijd de juiste hypothese?

Mijn antwoord

2 Kies een model $x(t)=at+bt^2$. De foutloze punten zijn $x(1)=3$ en $x(2)=8$. Welke a, b en voorspelling $x(3)$ volgen uniek?

Mijn antwoord

De kandidaatlijst is expliciet

Een unieke oplossing in deze puzzels geldt uitsluitend binnen de gegeven kandidaten of vorm.

Andere echte wetten zijn niet stilzwijgend uitgesloten.

Quiz: AI als onderzoeksinstrument

Kies de nauwkeurigste conclusie; de indrukwekkendste formulering is niet altijd de juiste.

1 Een model voorspelt een gunstige kristalstructuur. Wat is daarmee vastgesteld?

- (A) Dat ieder laboratorium haar kan maken.
- (B) Een modelgebonden kandidaat die verdere toetsing vraagt.
- (C) Dat het materiaal al is gemeten.

Waarom?

2 Waarom kan een graafrepresentatie nuttig zijn?

- (A) Zij beschrijft objecten en relaties met gedeelde verwerkingsregels.
- (B) Zij maakt alle metingen exact.
- (C) Zij ontdekt vanzelf iedere verborgen kracht.

Waarom?

3 Een lokale AlphaFold-vertrouwensscore beschrijft vooral:

- (A) De volledige werking van het eiwit.
- (B) Een meting van alle mogelijke bewegingen.
- (C) Modelvertrouwen in een lokale structurele voorspelling.

Waarom?

4 Waarom toets je een robotsysteem buiten zijn simulator?

- (A) Omdat simulatie nooit iets leert.
- (B) Omdat echt contact, beeld en materiaal kunnen afwijken.
- (C) Omdat een echte proef nooit onzeker is.

Waarom?

5 Actief leren kiest informatie. Welke extra vraag blijft nodig?

- (A) Welke uitkomst verandert het beoogde besluit en tegen welke kosten?
- (B) Welke kandidaat heeft de mooiste afbeelding?
- (C) Welke proef bevestigt gegarandeerd het model?

Waarom?

6 De TCV-studie uit 2022 demonstreerde:

- (A) Een volledig werkende commerciële fusiecentrale.
- (B) Alle mogelijke plasmatoestanden zonder beperking.
- (C) Geleerde magnetische besturing op beschreven onderzoekstaken.

Waarom?

Jouw antwoorden

1	2	3
4	5	6

Zes feiten achter het laboratoriumplaatje

Een getal wordt interessant wanneer je weet wat het telt. Deze feiten verbinden AI met meetbare grenzen.

DATAPUNT

3

voorspellen, maken en meten zijn aparte claims

Eén nieuwe stof kan meerdere claims vragen

Een kandidaat voorspellen, een monster maken en een eigenschap meten zijn verschillende prestaties. Een fotogeniek kristalmodel bewijst geen succesvolle synthese. Het juiste vervolg hangt van de claim af.

DATAPUNT

36/40

bevestigd bij de gecorrigeerde A-Lab-heranalyse

36 is het gecorrigeerde aantal

De A-Lab-auteurscorrectie bevestigt 36 van 40 gerapporteerde successen en noemt 4 onbeslist. Zij verduidelijkt ook nieuw voor het platform tegenover nieuw voor de wetenschap. Lees aantallen altijd met versie en definitie.

DATAPUNT

1.000

millimeters per meter

Een meter bevat duizend millimeters

Een model dat millimeters als meters ontvangt krijgt een meters ontvangt krijgt een duizendmaal andere schaal. Soms blijft de afbeelding er hetzelfde uitzien terwijl de fysieke interpretatie volledig verandert. Typen en eenheden horen daarom naast de getallen.

DATAPUNT

1,2 kWh

didactisch energievoorbeld

Drie uur vertelt meer dan 400 W

Bij gemiddeld 400 W gedurende 3 uur is het verbruik 1,2 kWh. Alleen het vermogen vertelt geen totaal. Training, herhaling en gekozen hardwaregrens kunnen de vergelijking bovendien veranderen.

DATAPUNT

0

ideale som van gelijke tegenfasegolven

Twee bronnen kunnen nul optellen

In ons ideale golvenmodel heffen gelijke bijdragen bij fasen elkaar op. Een detector die alleen de som ziet kan niet zonder meer iedere bron identificeren. Extra experimentinformatie kan belangrijker zijn dan een groter netwerk.

DATAPUNT

2

verschillende afspraken: invariant en equivariant

Een symmetrie reduceert een leerprobleem

Draai hetzelfde molecuul: een passende energie verandert niet, een krachtvector draait mee. Dat maakt invariantie en equivariantie verschillende afspraken. Een symmetrisch model kan nog steeds de verkeerde fysieke energie voorspellen.



Een nieuwe meting verschuift twee hypothesen

Twee fictieve materiaalhypotheseën voorspellen verschillende kansen op een positief signaal. Hun onderscheid wordt een concrete Bayesiaanse rekensom.



FIG. 1 AI-illustratie • een informatieve materiaalproef; de curven tonen mogelijke voorspellingen, geen gemeten gegevens. AXI en de onderzoeker zijn fictief.

Twee expliciete mogelijkheden

Stel alleen hypothesen H1 en H2 voor. Vooraf krijgen ze allebei kans 1/2. In proef T is een positief signaal onder H1 waarschijnlijk met kans 0,8 en onder H2 met kans 0,2. Dit zijn aangenomen modelkansen, geen gemeten eigenschappen van een echt materiaal. Een negatief signaal krijgt respectievelijk kans 0,2 en 0,8.

Na een positief signaal

Het gezamenlijke gewicht voor H1 én positief is $0,5 \times 0,8 = 0,4$. Voor H2 én positief is het $0,5 \times 0,2 = 0,1$. De totale positieve kans is 0,5. Normaliseren geeft $P(H1|+) = 0,4/0,5 = 0,8$. Na een negatief signaal wordt H1 juist 0,2. De meting beslist dus niet foutloos tussen twee wetten; ze verschuift het gewicht van mogelijkheden.

Een vraagstrategie krijgt een doel

Active learning onderzoekt hoe een leeralgoritme informatierijke labels of vragen kiest. Bayesian optimization gebruikt een surrogaat en een acquisitiefunctie voor kostbare doelmetingen. Die begrippen raken elkaar, maar onze vraag is specifiek: hoeveel informatie over H1 versus H2 verwacht één proef te leveren? De volgende pagina vergelijkt dat met een goedkoper maar minder onderscheidend alternatief. De optimale keuze verandert wanneer je doel of kosten verandert.

AANGENOMEN MODEL

Er zijn hier uitsluitend H1 en H2. De voorafkansen en signaalkansen zijn gekozen voor een controleerbaar voorbeeld, geen werkelijk experiment.



■ VECTOR · ONDERZOEK MET AANNAMEN

Informatie per proef is nog geen informatie per euro

Een verwachte informatiewinst kan vooraf worden berekend, ook wanneer je de toekomstige uitkomst nog niet kent.

De onzekerheid vóór en na T

Gebruik binaire entropie $h(p) = -p \log_2 p - (1-p) \log_2 (1-p)$. Bij $p = 1/2$ is zij 1 bit. Proef T eindigt met posterior 0,8 of 0,2; beide hebben entropie ongeveer 0,7219 bit. De gemiddelde informatiewinst is dus $1 - 0,7219 \approx 0,2781$ bit. Dat is een verwachting onder onze twee-hypothesenwereld, geen gegarandeerde ontdekking.

Het doel kan anders luiden

Een fabriek kan de hoogste materiaalopbrengst zoeken in plaats van een hypothese het best onderscheiden. Een meetplaats met grote verwachte opbrengst kan dan interessanter zijn dan de meest onderscheidende plek. Noteer ook meettijd, haalbaarheid en wat je na de uitkomst mag beslissen. Goed gekozen data zijn data voor een gedefinieerd doel; een acquisitiescore zonder dat doel is nog geen onderzoeksplan.

DATAPUNT

1 bit

onzekerheid bij gelijke kansen

DATAPUNT

0,2781 bit

verwachte winst T

Een goedkoper alternatief

Proef S heeft aangenomen positieve kansen 0,6 onder H_1 en 0,4 onder H_2 . Met dezelfde voorafkansen zijn de posteriors 0,6 en 0,4. De verwachte winst is $1 - h(0,6) \approx 0,02905$ bit. Stel kosten $T=2$ eenheden en $S=1$. Dan geeft T ongeveer 0,1390 bit per kosteneenheid, S 0,02905. Binnen dit expliciete doel verdient T de voorkeur.

DATAPUNT

0,02905 bit

verwachte winst S

DATAPUNT

0,1390

bit per kosteneenheid bij T



Een eiwit is meer dan zijn plaatje

AlphaFold maakte structurele voorspellingen veel krachtiger. De stap van een aminozuurvolgorde naar een ruimtelijk model blijft echter een andere taak dan de volledige werking van een eiwit verklaren.

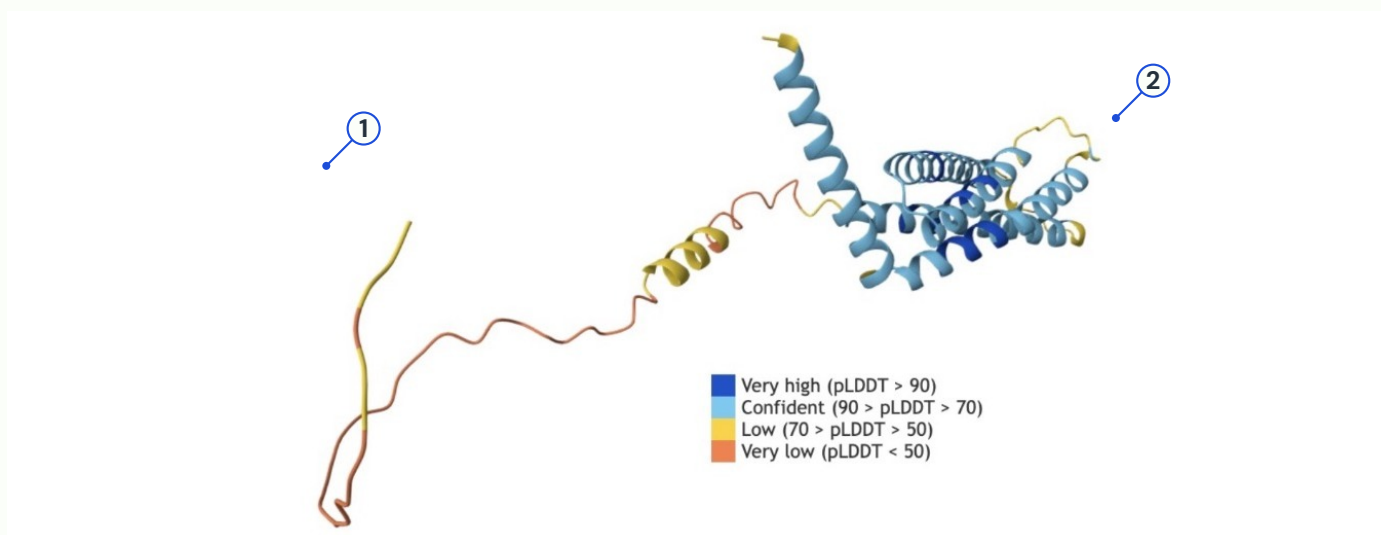


FIG. 1 TMEM253 • een structuurmodel, geen foto van één werkelijk eiwit. Zie beeldcredits voor herkomst.

1. STRUCTUUR

De geometrie is een model van atoomposities.

2. GRENZEN

Eén structuur toont niet alle bewegingen of omstandigheden.

Structuur is een voorspeltaak

Een eiwitmodel beschrijft waar atomen in een mogelijke structuur liggen. AlphaFold 2 combineert geleerde verwerking met informatie over sequenties en onderlinge relaties. De paper rapporteert sterke resultaten in structurele evaluaties. Zo'n vergelijking vraagt een passende experimentele referentie en een foutmaat. “Nauwkeurig” zonder te vertellen welke atomen, doelen en score zijn bekeken, verliest een belangrijk deel van zijn betekenis.

Vertrouwen verschilt binnen het model

Een voorspelling kan sommige regio's overtuigend modelleren en andere veel minder

goed. Een lokaal vertrouwensgetal helpt die verschillen zien. Het is geen rechtstreekse experimentele waarneming van ieder atoom en geen universele kans dat het gehele eiwit correct is. Sommige flexibele delen hebben geen enkele vaste structuur die alle omstandigheden vangt. Onzekerheid hoort dus niet alleen als voetnoot naast het mooie beeld; zij moet mee in de interpretatie van het resultaat.

Een onderzoeksinstrument

Een hypothese over structuur kan helpen een experiment te ontwerpen, een bestaande meting te interpreteren of een kandidaat voor verdere studie te selecteren. Zij vervangt niet iedere meting van binding, dynamica of functie. Veranderingen in omgeving en interactiepartners kunnen belangrijk zijn. De vruchtbare vraag is daarom concreet: welke volgende waarneming wordt door dit model gerichter, en welke conclusie vereist nog eigen experimenteel bewijs?



■ VECTOR · AI IN DE PRAKTIJK

Kandidaten zoeken in kristalruimte

Een computer kan veel mogelijke kristalstructuren rangschikken. Het resultaat wordt wetenschappelijk interessant wanneer de definitie van stabiel en de gebruikte berekening zichtbaar blijven.

Van kandidaat naar bewijs



FIG. 2 De stappen beschrijven verschillende claims; geen enkele pijl garandeert succes.

DATAPUNT

3

onderscheid voorspelling, synthese en eigenschapsmeting

DATAPUNT

1

duidelijke claim per geplande toets

Een berekende eigenschap

GNoME gebruikt geleerd voorspellen en berekeningen met dichtheidsfunctionaaltheorie om kandidaatmaterialen te onderzoeken. Een kandidaat die volgens dat model gunstig ligt ten opzichte van concurrerende fasen, is niet automatisch een gemaakt poeder in een laboratorium. De berekening beschrijft gekozen fysische aannamen. Temperatuur, reactiesnelheid, verontreiniging en bereikbare syntheseroutes stellen aanvullende vragen. Het woord ontdekking heeft dus meerdere mogelijke betekenissen: een nieuwe berekende kandidaat, een gesynthetiseerd monster of een aangetoonde eigenschap.

Het zoekproces is niet neutraal

Een zoekmodel krijgt eerdere kristallen en gekozen representaties te zien. Daardoor kan het bekende chemische families gemakkelijker behandelen dan slecht vertegenwoordigde gebieden. Een test met willekeurig verdeelde soortgelijke structuren kan minder streng zijn dan een test op geheel nieuwe materiaal families. Bewaar daarom de gegevensplits en vraag hoe vergelijkbaar een kandidaat is met de trainingsvoorbeelden. Een groot aantal voorstellen vervangt geen begrip van die dekking.

Een kandidaat wordt een onderzoeksvraag

Kies een doel dat toetsbaar is: samenstelling, structuur, stabiliteit onder een beschreven conditie of een meetbare eigenschap. Vervolgens hoort bij die claim een passende referentiemethode. Een model met een lage gemiddelde energiefout kan alsnog de rangorde van twee bijna gelijke kandidaten verkeerd bepalen. Voor een selectie dicht bij een drempel is juist die lokale fout belangrijk. We onderzoeken het besluit, niet alleen de gemiddelde score.

VECTOR · AI IN DE PRAKTIJK

Een correctie hoort bij de ontdekking

Het A-Lab verbindt materiaalvoorstellen, robots, synthese en analyse. Een latere auteurscorrectie laat zien waarom automatisering ook controleerbare heranalyse nodig heeft.

01 Wat is gecorrigeerd?

De correctie van 19 januari 2026 verduidelijkt dat “nieuw” in de oorspronkelijke claim nieuw voor het voorspellingplatform bedoelde, niet noodzakelijk nieuw voor de wetenschap. De auteurs heranalyseerden diffractiegegevens: 36 van 40 gerapporteerde successen werden bevestigd; 4 bleven onbeslist. Eén ten onrechte meegenomen verbinding werd uit de bespreking verwijderd omdat zij in de trainingsdata zat. We lezen de oorspronkelijke studie dus samen met die correctie.

02 Identificatie is een afzonderlijke taak

Bij poederröntgendiffractie wordt een patroon gebruikt om mogelijke kristalstructuren te onderscheiden. Overlappende fasen en onduidelijke signalen kunnen interpretatie lastig maken. Een automatisch matchalgoritme levert een beoordeling, niet een onfeilbaar etiket. De onderzoekers moeten bepalen wat de gegevens ondersteunen en welke alternatieve verklaringen overblijven. Een duidelijke categorie onbeslist is wetenschappelijk bruikbaar dan elk monster gedwongen een succesnaam geven.

03 Het leerzame resultaat

De relevante les is geen eenvoudige triomf of ontmaskering van AI. Het systeem automatiseerde een experimentele route, terwijl de sterkere oorspronkelijke interpretatie moest worden begrensd. Een verbeterd archief koppelt doelmateriaal, ruwe meting, analyseversie en oordeel. Daardoor kan iemand later dezelfde claim opnieuw beoordelen. Dat is precies de informatie die in een snel zoekproces makkelijk uit beeld raakt: welk bewijs droeg welk succeslabel?

IN DE TIJD

Een claim krijgt een geschiedenis

De publicatie en haar correctie blijven samen leesbaar.

2023 • oorspronkelijke studie

Autonome materiaalroute met gerapporteerde successen.

2026 • auteurscorrectie

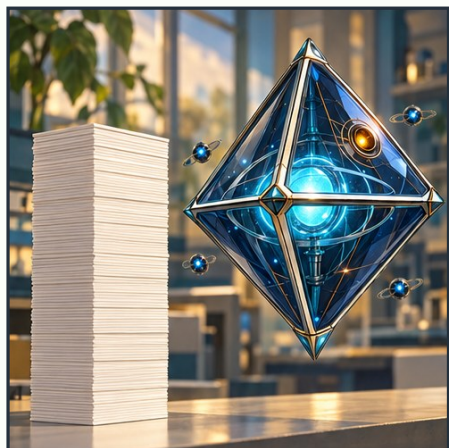
Noveltyclaim verduidelijkt en identificatie herbeoordeeld.

Bronnen: 4, 5

VECTOR · ONDERZOEK MET AANNAMEN

AXI en de stapel van hetzelfde

Veel meetkaartjes lijken veel kennis, totdat AXI ziet dat zijn robot steeds terugkeert naar dezelfde niet-onderscheidende plek.



1 AXI Honderd kaartjes. Mijn ontdekking groeit!



2 Onderzoeker Je meet honderd keer waar beide wetten hetzelfde zeggen.



3 AXI Hier gaan hun voorspellingen uit elkaar.



4 Onderzoeker Laat de robot dáár een nieuwe meting doen.



5 AXI Eén kaart verschuift mijn hypothesekansen.



6 Onderzoeker En bewaar het vraagteken voor de volgende proef.

AI-illustratie • Zes fictieve scènes met AXI en een onderzoeker. Dialoog staat onder ieder kader; de beelden leveren geen meetgegevens.

Een herhaling kan nuttig zijn, maar heeft een doel

Herhalingen kunnen ruis helpen beoordelen. In deze fictie wil AXI twee kandidaten onderscheiden die op de oude plek hetzelfde voorspellen. De

onderzoeker kiest daarom een plek waar hun voorspellingen verschillen. Ook de nieuwe uitkomst blijft een toets onder aannamen, geen automatische ontdekking.

Zes getallen die nieuwsgierigheid een doel geven

Nieuwe weetjes blijven bij de gegeven miniwerelden. Elk cijfer heeft een eigen teller, model of eenheid.

DATAPUNT

1 bit

gelijke
tweekandidatenonzekerheid

1 • Twee even waarschijnlijke opties

De entropie van $[1/2, 1/2]$ is 1 bit. Eén optie die zeker is heeft 0 bit. Dit is een onzekerheidsmaat binnen de gekozen kandidaatverdeling, geen hoeveelheid waarheid in een zin.

DATAPUNT

4 : 1

odds na één positief

2 • Vier op één odds

Na één positieve T-meting uit het dossier zijn de kansen 0,8 en 0,2; hun verhouding is 4. Dat oddsgetal is iets anders dan posterior 1. De tweede hypothese houdt gewicht.

DATAPUNT

16 / 17

posterior na twee positieven

3 • Zestien op één odds

Twee voorwaardelijk onafhankelijke positieve T-metingen vermenigvuldigen de verhouding tweemaal met 4: odds 16, posterior $16/17 \approx 94,12\%$. Een letterlijke kopie vermenigvuldigt de informatie niet opnieuw.

DATAPUNT

9 m

gekozen versnellingsterm

4 • Eén half meter per seconde kwadraat

Een term $0,5 a t^2$ geeft bij $a=2 \text{ m/s}^2$ en $t=3 \text{ s}$ een afstand 9 m. Coëfficiënten horen bij een formule en eenheden; het uiterlijk van een getal zegt niet wat het meet.

DATAPUNT

10%

totale verwachte foutfractie

5 • Tien verwachte fouten

Een fictieve populatie van 80 makkelijke cases met kans 0,05 en 20 moeilijke met kans 0,30 heeft verwachte fouten $4+6=10$. De totale verwachte foutfractie is 10%, hoewel geen groep zelf 10% heeft.

DATAPUNT

2

verschillende mogelijke doelen

6 • Twee verschillende vragen

Eén acquisitiescore kan informatiewinst kiezen, een andere verwachte verbetering van opbrengst. Zelfs met dezelfde surrogaatvoorspellingen kan de volgende proef verschillen. De doelregel is daarom onderdeel van de onderzoeksmethode.

VECTOR · AI IN DE PRAKTIJK

Simulatie zonder wrijving

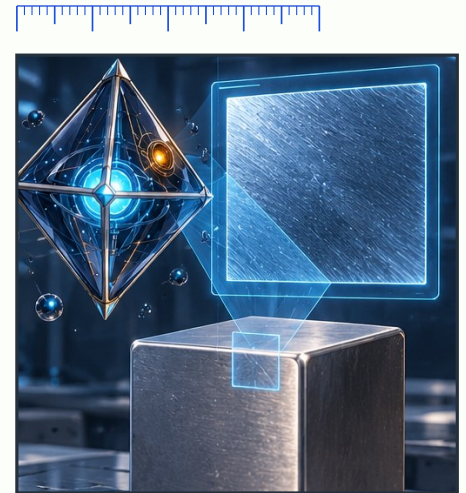
AXI ziet een perfecte digitale greep. De echte proef voegt iets toe dat de simulatie onvoldoende beschreef: het oppervlak.



1 AXI Duizend digitale grepen. Duizend keer raak!



2 Onderzoeker En nu het echte blokje. Oei, dat gleed weg.



3 AXI De glans was geen versiering. Wat namen we aan over contact?



4 Onderzoeker Eerst meten en vergelijken, daarna een gerichte aanpassing.



5 AXI Nieuwe proef, dezelfde duidelijke succesvoorwaarde.



6 Onderzoeker Laat de echte test naast de simulatie staan.

Illustratie · Simulatie zonder wrijving

De kloof is onderzoekbaar

Een simulator benadert relevante eigenschappen. Een verschil met de werkelijkheid kan komen door beeldinterpretatie, contactmodel of materiaal. Onderzoek een gerichte oorzaak voordat je de hele strategie afschrijft. Bewaar de mislukte greep en

plan een nieuwe, onafhankelijke toets van de aangepaste hypothese.

DENK VERDER

Welke digitale eigenschap kan hetzelfde lijken en toch fysiek anders zijn?

VECTOR · AI IN DE PRAKTIJK

Symmetrie maakt leren gericht

Voor een molecuul verandert de totale energie niet doordat je het als geheel draait. Een goed model hoeft diezelfde regel niet voor iedere mogelijke hoek opnieuw uit data te ontdekken.

Geometrie als afspraak

Een graaf kan atomen als knopen voorstellen en lokale omgeving via verbindingen verwerken. Wanneer het model symmetrie volgens een voorgeschreven transformatie respecteert, krijgt het een bruikbare structurele beperking. Een energie-uitvoer kan invariant zijn; een voorspelde krachtvector hoort mee te draaien. Dat verschil voorkomt dat het model een willekeurige oriëntatie als eigenschap van het materiaal behandelt.

Van energie naar kracht

Bij een geleerd potentiaalmodel kunnen krachten worden afgeleid uit hoe de energie verandert met atoomposities. Dit koppelt twee soorten voorspellingen aan elkaar. Het betekent nog niet dat de geleerde energie overal klopt. Een model dat alleen één reeks configuraties heeft gezien, kan bij andere afstanden onjuiste krachten geven. Langere simulaties brengen dan juist regio's aan het licht waar het model te weinig steun uit data heeft.

Een fysische voorkeur is geen wondermiddel

NequIP onderzoekt zulke equivariantie voor datadoeltreffende interatomaire potentialen. Zijn resultaten horen bij de besproken systemen en datasets. Wij kunnen het algemene ontwerpprincipe overnemen zonder ieder resultaat te veralgemeniseren. Vraag bij een nieuwe toepassing welke symmetrie echt geldig is, welke omgeving ontbreekt en welke onafhankelijke toets nodig is. Een expliciete structuur maakt een fout gemakkelijker te onderzoeken, maar zij verandert voorspellingen niet in rechtstreekse metingen.

KLEINE CONTROLE

Een eenvoudige draaitest

Draai een bestaande configuratie zonder afstanden te wijzigen.

Wat vergelijk je?

Controleer of de energie gelijk blijft binnen de numerieke tolerantie en of de krachtvectoren overeenkomstig meedraaien. Een geslaagde test toont deze symmetrie; hij meet nog geen nauwkeurigheid tegen nieuwe fysieke referentiedata.

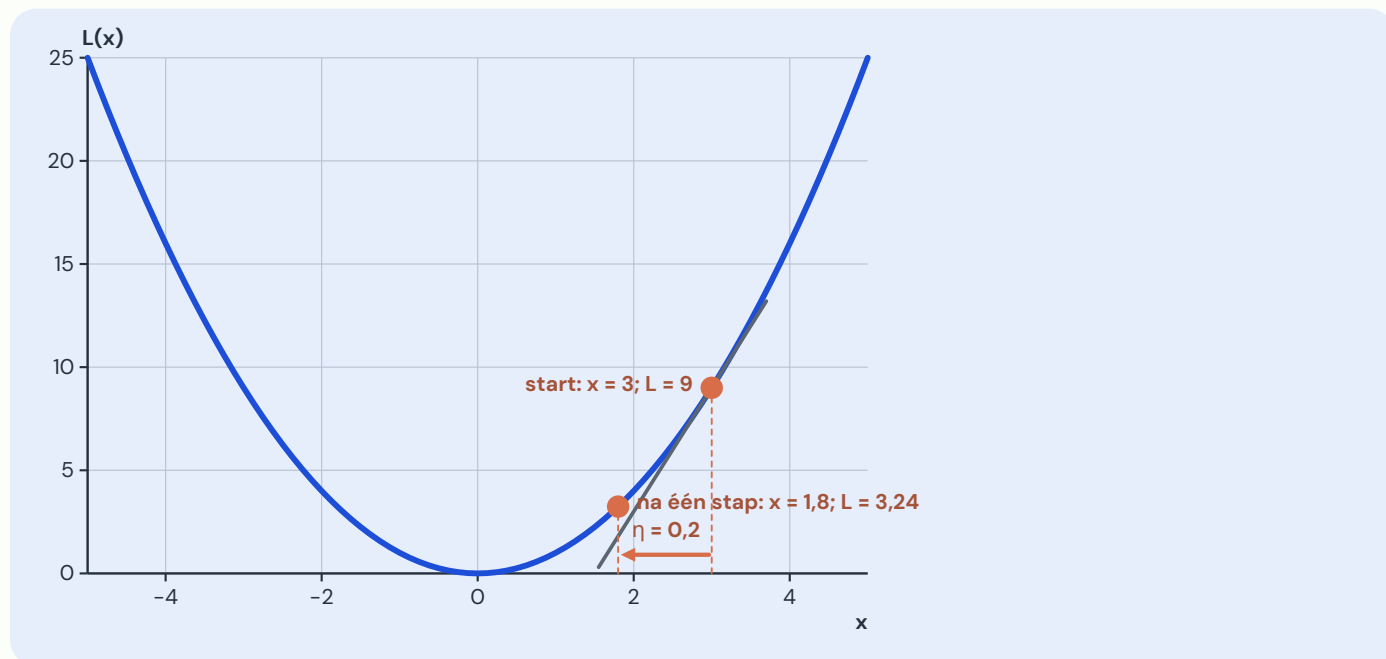
Bron: 11

■ VECTOR · AI IN DE PRAKTIJK

Pas een afwijking stap voor stap aan

Deze simulator modelleert één abstracte afwijking x . Hij toont hoe een eenvoudige update een fout kan verkleinen; hij bestuurt geen robot of laboratorium.

Abstracte afwijking verkleinen



Een doel en een update

We kiezen verlies $L(x) = x^2$. De gradiënt is $2x$. Een leerstap met grootte η geeft $x' = (1 - 2\eta)x$. Begin met $x = 3$ en $\eta = 0.2$. De waarden worden 3; 1,8; 1,08; 0,648: dezelfde richting, steeds dichterbij nul. De verlieswaarde daalt van 9 naar 3,24 en vervolgens 1,1664. De schaal van dit voorbeeld is abstract; een echte regelaar zou meeteenheden, grenzen en vertraging nodig hebben.

Abstracte afwijking verkleinen

Speelgoedmodel: $L = x^2$ en $x' = x - \eta \cdot 2x$. Geen apparaatbesturing.

Waar wordt de stap te groot?

Bij $\eta = 0.5$ komt deze exacte kwadratische update in één stap op nul. Dat is geen algemene optimale stap voor neurale netwerken. Bij $\eta = 0.8$ wisselt het teken en krimpt de grootte. Bij $\eta = 1$ keert het teken om zonder krimp. Boven 1 groeit de grootte, behalve bij de triviale start op nul. Verander de instellingen en bekijk zowel x als L : een tekenwisseling alleen betekent nog geen mislukking.

Wat vertelt dit over wetenschap?

Optimaliseren maakt een opgegeven doel kleiner. Het bewijst niet dat het doel de relevante fysieke afwijking vangt of dat het geleerde model buiten dit voorbeeld klopt. Juist daarom hebben we in de eerdere artikelen een aparte meetketen en onafhankelijke toets nodig. De simulator is een controleerbare rekenproef waarmee je één onderdeel van een grotere onderzoeksroute kunt begrijpen.

ONDERZOEK

Van camera naar contact

Een tafelrobot koppelt schattingen aan acties en nieuwe waarnemingen. De fysieke lus bevat eigenschappen die een digitale omgeving niet volledig vangt. De illustratie toont een afgebakende onderzoeksofstelling; de artikelen onderzoeken overdracht en bewijs, geen algemene robotvaardigheid.



VECTOR · AI IN DE PRAKTIJK

Een robotactie begint bij een schatting

Een robot ziet geen perfect blokje met een exact middelpunt. Camera's, sensoren en modellen schatten een toestand die vervolgens een actie ondersteunt.

Van beeld naar grijppunt

Een visiecomponent schat bijvoorbeeld waar een object ligt. Daarna kiest een beleid een positie of beweging. De invoer kan een foto, een korte geschiedenis en een taakbeschrijving bevatten. Vision-language-action onderzoek verbindt zulke soorten informatie met actie-uitvoer. De taak blijft afgebakend: onderzoeksprestaties op gekozen objecten en opdrachten bewijzen geen algemene fysieke vaardigheid in iedere kamer.

Een actie verandert de waarneming

Wanneer de gripper beweegt, verschuift het beeld en verandert het contact. Daarom kan een opvolgende meting belangrijker zijn dan een

langere vooraf geschreven actielijst. De controlelus schat de actuele toestand, berekent een toegestane actie en meet opnieuw. Vertraging, sensorruis en onzichtbare contacten beïnvloeden die lus. Een taalmodel dat een plausibel plan formuleert heeft deze regelkring niet automatisch correct uitgevoerd.

Een beperkte speelruimte

Onze illustratie toont een fictieve tafelomgeving met een klein blokje, geen instructie om apparatuur zelfstandig te bedienen. Onderzoekers begrenzen taken, bewegingen en stopvoorwaarden. Een succesvolle greep krijgt een duidelijke definitie: object verplaatst, geen ongewenst contact en resultaat gecontroleerd. Dezelfde taak kan anders uitpakken bij een glad oppervlak of slecht zicht. Daar begint de vervolgtest, niet de conclusie dat het systeem alles begrijpt.



AXI VRAAGT

Welke informatie krijg je pas nadat de gripper het object raakt? Waarom kan een voorafgemaakte foto daarvoor onvoldoende zijn?



VECTOR • AI IN DE PRAKTIJK

Simulatie leert een mogelijkheid

Een simulator maakt veel robotproeven goedkoop beschikbaar. Toch zijn echt licht, contact en materiaal niet identiek aan de variabelen van de digitale omgeving.

Welke eigenschappen varieer je?

Domain randomization varieert bijvoorbeeld belichting, texturen en camerastand in gesimuleerde voorbeelden. Het doel is een beleid minder afhankelijk te maken van één kunstmatige wereld. Voor fysieke overdracht kunnen ook massa, wrijving en sensorvertraging relevant zijn. De juiste variaties volgen uit de taak; lukraak alle waarden verbreden kan nuttige structuur verbergen of een onrealistische leeropgave creëren.

Wat toetst de echte referentieproef?

Een beleid dat alle digitale blokjes grijpt kan falen op een echt glanzend oppervlak. Bewaar daarom afzonderlijke echte testgevallen en beschrijf welke omstandigheden zijn onderzocht. Meet niet alleen het percentage opgetilde objecten, maar ook mislukkingen, noodzakelijke herstarts en eventuele beperkingen. Een verbetering op bekende objecten is iets anders dan overdracht naar nieuwe vormfamilies.

Welke aanname past niet bij de meting?

Een onverwachte mislukking kan tonen welke simulatoraanname te eenvoudig was. Misschien schat de camera een reflectie als rand, of is de veronderstelde wrijving te hoog. Onderzoek eerst een concrete oorzaak en pas daarna het model gericht aan. De volgende test mag opnieuw buiten de gerepareerde simulator liggen. Simulatie is een hulpmiddel voor hypothesen over de wereld; zij is niet de laatste rechter over haar eigen juistheid.

DE TWEEDE STRIP

Op pagina 19 ziet AXI hoe een perfecte digitale greep op een echt oppervlak kan mislukken.

Quiz: bits, budget en coëfficiënten

Vier berekeningen houden doel en eenheid zichtbaar. Alle cijfers zijn aangenomen voorbeelden.

Reken de gekozen miniwereld na

De informatiewinst staat op pagina 13; de bewegingsformule op pagina 25. Lees de oplossingen op pagina 49 na je eigen tussentreden.

1 T levert 0,2781 bit voor twee kosteneenheden. Wat is de winst per eenheid?

- ☐ (A) 0,5562 bit
- ☐ (B) 2,2781 bit
- ☐ (C) Ongeveer 0,13905 bit

Reken hier

2 S levert 0,02905 bit per eenheid. Welke heeft binnen dit exacte ratio-doel de grootste winst?

- ☐ (A) T
- ☐ (B) S
- ☐ (C) Ze zijn gelijk.

Reken hier

3 Een fictief bewegingsmodel is $x(t)=at+bt^2$. x is meter en t seconde. Welke eenheden passen bij a en b ?

- ☐ (A) Beide meter.
- ☐ (B) a : m/s, b : m/s².
- ☐ (C) a : s/m, b : m².

Reken hier

4 In dezelfde zelfgekozen formule is $a=2$ m/s en $b=1$ m/s². Wat is x bij $t=3$ s?

- ☐ (A) 9 m
- ☐ (B) 12 m
- ☐ (C) 15 m

Reken hier

Jouw antwoorden

1 2 3 4

■ VECTOR • ONDERZOEK MET AANNAMEN

Een gevonden formule krijgt een dimensiecheck

Symbolische regressie zoekt leesbare verbanden. Een eenvoudige bewegingsformule laat zien wat zo'n verband nog moet doorstaan.

ACHTERGROND

De vormkeuze is al kennis

De kandidaat $at+bt^2$ sluit constante termen, derde machten en veel andere functies uit. Twee punten bepalen binnen die beperkte vorm twee coëfficiënten. Zonder die vorm zijn er oneindig veel functies door de punten. De aannamen moeten naast de formule blijven staan.

Bron: 30

De gekozen kandidaatvorm

Voor een fictief bewegingsspoor zoeken we $x(t)=at+bt^2$. Als x in meter en t in seconde staat, moet a m/s hebben en b m/s². De foutloze punten $x(1)=3$ en $x(2)=8$ geven $a=2$ en $b=1$. De voorspelling voor $t=3$ is 15 m. Dit is een fit binnen een gekozen vorm, geen universele natuurwet.

Een formule kan de fit perfect halen

Cranmer en collega's onderzochten symbolische modellen uit geleerde representaties. Een gevonden uitdrukking blijft afhankelijk van gegevens en gebruikte structuur. Onze kandidaat moet daarom worden getoetst op ongebruikte tijden. Ook dimensies, randvoorwaarden en het bereik van t horen in het verslag. Een mooie formule kan op extrapolatie falen.

KORTE LABNOTITIE

Een derde punt kan de kandidaat breken

Een nieuwe meting hoeft niet in de bestaande fit te worden weggewerkt.

Bewaar de tegenstrijdigheid

Meet je op $t=3$ een betrouwbare waarde 12 in plaats van 15, controleer eerst meeteenheid en onzekerheid. Daarna kan de gekozen vorm ongeschikt zijn. Bewaar de oorspronkelijke voorspelling voordat je opnieuw fit; juist dat verschil vertelt waar het model tekortschiet.

Bron: 30

Quiz: wat bewijst de meting?

Denk aan invoer, schaal en de grens van de conclusie.

1 ERA 5 is:

- (A) Een verzameling overal rechtstreeks perfecte sensormetingen.
- (B) Een heranalyse met waarnemingen, model en assimilatie.
- (C) Een toekomstige weersgarantie.

Waarom?

2 Een kleine éénstapsfout garandeert:

- (A) Een exact traject voor altijd.
- (B) Alleen dat geen test nodig is.
- (C) Nog geen nauwkeurige lange rollout.

Waarom?

3 Een energievoorspelling voor hetzelfde gedraaide molecuul hoort:

- (A) Gelijk te blijven bij die relevante symmetrie.
- (B) Mee te draaien als een krachtvector.
- (C) Tienmaal groter te worden.

Waarom?

4 Een nul totaal golf bij twee gelijke tegenfasegolven betekent:

- (A) Dat beide bronnen afzonderlijk nul zijn.
- (B) Dat hun bijdragen in dit ideale model opheffen.
- (C) Dat AI geen informatie kan verwerken.

Waarom?

5 Een fysische vergelijking als verliesstraf geeft:

- (A) Altijd exacte vervulling op elk punt.
- (B) Een vrijbrief voor een verkeerde vergelijking.
- (C) Een gewogen voorkeur die apart moet worden gecontroleerd.

Waarom?

6 Energiegebruik vergelijken vraagt:

- (A) Dezelfde taak, kwaliteit en beschreven systeemgrenzen.
- (B) Alleen de modelnaam.
- (C) Alleen een piekvermogen zonder looptijd.

Waarom?

Jouw antwoorden

1	2	3
4	5	6

VECTOR • AI IN DE PRAKTIJK

Weer voorspellen met een geleerde wereld

Een weer-AI leert verbanden tussen opeenvolgende toestanden van de atmosfeer. Haar invoer is al een zorgvuldig opgebouwd model van wat er eerder gebeurde.

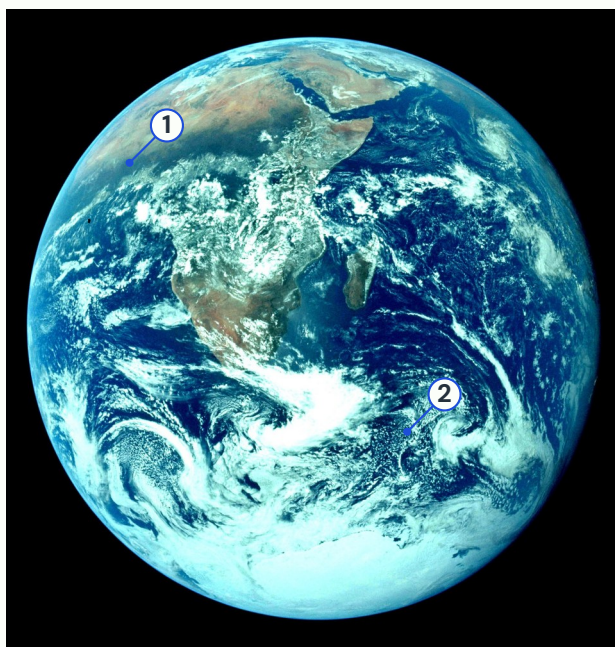


FIG. 1 Apollo 17, Blue Marble • documentaire aardeopname; dit beeld toont geen GraphCast-voorspelling.

Heranalyse is samengestelde informatie

ERA 5 combineert waarnemingen met een fysisch model en gegevensassimilatie. Het resultaat is een samenhangende schatting van de atmosfeer, ook waar directe waarnemingen schaars zijn. Wie daarop traint, leert dus niet uit een ruwe film met overal perfect gemeten temperaturen. De kwaliteit en geschiedenis van de invoer tellen mee bij de interpretatie van fouten.

Een graaf op de werldebol

GraphCast gebruikt een geleerd model om atmosferische toestanden vooruit te voorspellen. De studie uit 2023 vergelijkt voorspellingen op beschreven historische evaluaties en variabelen. Zo'n resultaat is krachtig juist omdat het toetsbaar is: welke periode, voorsprong, referentie en foutmaat zijn gebruikt? Een gemiddelde winst bewijst niet dat iedere lokale extreemgebeurtenis beter wordt voorspeld of dat alle toekomstige klimaatcondities binnen de trainingswereld vallen.

Een prognose heeft meerdere gebruikers

Een fout in temperatuur op twee meter hoogte en een fout in wind op grote hoogte beantwoorden andere vragen. Ook ruimtelijke resolutie en voorspeltijd veranderen de beoordeling. Vergelijk daarom systemen voor dezelfde taak en passende doelgroep, met uitgesplitste maten. Een ensemble kan scenario's tonen, maar zijn spreiding is niet automatisch de volledige onzekerheid van de werkelijke atmosfeer. De meetbare winst blijft gekoppeld aan de gekozen evaluatie.

1. WAARNEMING

Een foto is één opname, geen complete atmosferische toestand.

2. MODELROOSTER

AI verwerkt numerieke velden en hun ruimtelijke relaties.

VECTOR · AI IN DE PRAKTIJK

Energie is een meetvraag

Een sneller wetenschappelijk model kan per berekening goedkoper zijn. Voor een eerlijk energieverhaal moeten we ook training, hardware en het aantal werkelijk uitgevoerde berekeningen tellen.

Energie met dezelfde referentie

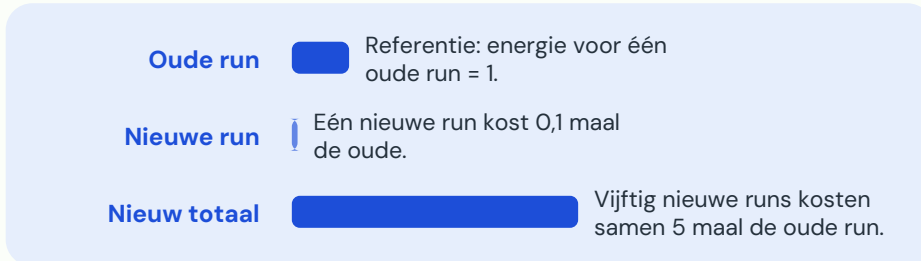


FIG. 2 Voorbeeldgetallen; geen verbruikstest van een product.

Watt is niet wattuur

Vermogen beschrijft energie per tijd. Een didactisch rekenvoorbeeld: een taak gebruikt gemiddeld 400 W gedurende 3 uur. Dat is 1.200 Wh, oftewel 1,2 kWh. Als we alleen een piekvermogen noemen, weten we de totale energie nog niet. Gemiddeld vermogen kan bovendien afhankelijk zijn van welke onderdelen zijn gemeten: alleen een accelerator of de gehele computer inclusief geheugen en koeling.

Goedkoper per run kan meer runs opleveren

Stel dat een nieuwe surrogate één voorspelling tienmaal goedkoper maakt en het team vervolgens vijftigmaal zoveel kandidaten onderzoekt. Het totale verbruik voor die voorspelfase kan dan juist groter worden. Dat kan wetenschappelijk de moeite waard zijn, maar het is een andere claim dan energie besparen. We rapporteren daarom aantallen, vaste kosten van training, hergebruik en de prestatie die ervoor terugkomt.

Energie en uitstoot verschillen

Een gemeten kilowattuur heeft eenzelfde energie-eenheid, maar niet overall dezelfde bijbehorende emissies. Locatie, tijd en de gekozen systeemgrens beïnvloeden een uitstootschatting. Henderson en collega's onderzoeken transparante rapportage voor machine learning. Hun werk ondersteunt onze methode, niet een universeel getal voor ieder model. Een vergelijkende conclusie vraagt dezelfde taak, vergelijkbare kwaliteit en een beschreven meetroute. ♦

DATAPUNT

1,2 kWh

400 W maal 3 uur in ons voorbeeld

DATAPUNT

5 ×

totaal bij 50 × zoveel runs tegen 0,1 × energie per run

De likelihoodpuzzel

Drie Bayesiaanse rekenwerelden met complete normalisatie. De bewijzen staan op pagina 48.

1 H1 en H2 zijn vooraf even waarschijnlijk. Twee voorwaardelijk onafhankelijke tests hebben elk $P(+|H1)=0,8$ en $P(+|H2)=0,2$. Beide zijn positief. Wat is $P(H1|++)$?

Mijn antwoord

3 Bij vooraf gelijke kansen geeft test U $P(+|H1)=P(+|H2)=0,7$. Er komt een positief signaal. Wat gebeurt met de kansen en waarom?

Mijn antwoord

2 In dezelfde modelwereld zijn drie signalen +, +, -. Wat is de posterior H1?

Mijn antwoord

Vermenigvuldig onder de gegeven voorwaarden

De signalen zijn onafhankelijk gegeven de hypothese. Dat is een specifieke modelaannname; een gekopieerd signaal voldoet er niet aan.

Ontwerp de volgende informatieve proef

Maak een eigen twee-hypothesenkaart. Je kunt haar oplossen met fictieve waarden en een expliciete kostenafpraak.

01 Schrijf de mogelijke uitkomsten

Kies twee kandidaten met positieve-testkansen 0,75 en 0,25, vooraf ieder 1/2. Bedenk daarnaast een tweede proef met gelijke kans onder beide kandidaten. Schrijf op wat positief en negatief aan de kansen veranderen. Welke proef kan de kandidaten onderscheiden? Geef kosten in dezelfde eenheid.

02 Maak de kandidaatlijst kwetsbaar

Noteer één waarneming die onder beide kandidaten onwaarschijnlijk is. Wat ga je doen als die verschijnt: het meetproces controleren, een nieuwe kandidaat formuleren of beide? Reserveer ruimte voor de oorspronkelijke voorspelling. Het plan moet leren mogelijk maken, ook wanneer de uitkomst geen bevestiging is.

Mijn proefbesluit

H1/H2; voorafkansen; likelihoods; mogelijke uitkomsten; kosten; keuzecriterium; waarneming die beide kandidaten kan tegenspreken.

Mijn antwoord

■ VECTOR · AI IN DE PRAKTIJK

Drie proeven in je hoofd

AXI stelt drie wetenschappelijke keuzes voor. Houd de aannamen zichtbaar: zonder die begrenzing kunnen meerdere antwoorden redelijk zijn.

De onzekerste kandidaat

Je mag één materiaal meten. Kandidaat A heeft de grootste modelonzekerheid, maar ligt buiten de families die je project nodig heeft. Kandidaat B onderscheidt twee relevante verklaringen.

Moet A toch voorrang krijgen?

Denk aan:

- Welk besluit verandert de uitkomst?
- Wat kosten de twee proeven?

Jouw keuze en redenering

De stille detector

Twee gelijke bronbijdragen kunnen exact in tegenfase staan. De detector registreert alleen hun som en meet nul.

Bewijst nul dat geen bron actief was?

Denk aan:

- Welke andere verklaring past?
- Welke tweede meting helpt?

Jouw keuze en redenering

Het perfect gerepareerde traject

Een model faalt op één nieuw traject. Na afstellen voorspelt het precies dat traject. Het team noemt de fout opgelost.

Welk bewijs ontbreekt?

Denk aan:

- Is het traject nu ontwikkeldata?
- Welke nieuwe conditie kies je?

Jouw keuze en redenering



AXI VRAAGT

Schrijf bij iedere keuze één waarneming op die jouw voorkeur kan veranderen.

■ VECTOR • AI IN DE PRAKTIJK

Welke meting is de moeite waard?

Actief leren kiest welke informatie het model graag wil ontvangen. Wetenschappelijke waarde vraagt daarnaast een verband met de vraag en de kosten van het experiment.

Is onzekerheid altijd informatief?

Een model kan onzeker zijn over een zeldzame kandidaat omdat daar weinig data bestaan. Een meting kan waardevol zijn, maar ook nauwelijks invloed hebben op het beoogde besluit. Denk aan een kristal dat moeilijk te maken is en geen onderscheid tussen onze relevante hypotheses oplevert. Alleen de hoogste onzekerheid kiezen is daarom één strategie, geen algemene definitie van goed experimentontwerp.

Hoe combineer je zoeken en benutten?

Bayesiaanse optimalisatie gebruikt een surrogaatmodel en een acquisitiefunctie om nieuwe kandidaten te kiezen. Zij kan kans op verbetering afwegen tegen onzekerheid. Zo ontstaan proeven in veelbelovende én onbekende gebieden. De vergelijking hangt af van modellering, kosten en beperkingen. Een procedure die snel een gunstige kandidaat vindt, heeft niet daarmee de gehele ruimte onderzocht of de grootste mogelijke waarde bewezen.

Welk doel bepaalt de waarde?

Voor ons blokexperiment kan de volgende meting bedoeld zijn om twee wrijvingsmodellen te onderscheiden. Voor een materiaalproject kan zij bedoeld zijn om een eigenschap te maximaliseren. Dat zijn verschillende doelen. Schrijf daarom vóór selectie op wat een uitkomst aan het besluit verandert. Bewaar ook een kleine onafhankelijke referentieset. Anders kan een actieve zoeklus vooral leren waar zij zelf graag kijkt, terwijl de prestaties daarbuiten onzichtbaar blijven.

ZO ZIT DAT

Vier vragen vóór de aanvraag

Welke hypothese onderscheid je? Welke uitkomst verandert je besluit? Hoe betrouwbaar kan die worden gemeten? Welke kosten en beperkingen tellen mee?

Bronnen: 20, 21

■ VECTOR · AI IN DE PRAKTIJK

Een experiment voor twee verklaringen

Je hoeft geen groot netwerk te bouwen om informatiegerichte selectie te begrijpen. Twee eenvoudige voorspellingen kunnen al laten zien waarom een middenmeting weinig oplevert.

Een origineel meetvoorbeeld

Model A voorspelt bij drie mogelijke condities de uitkomsten 10, 15 en 20. Model B voorspelt 10, 15 en 26. Een meting van de eerste of tweede conditie onderscheidt deze modellen niet: hun voorspellingen zijn daar gelijk. De derde conditie heeft een verschil van 6 eenheden. Als de meetonzekerheid veel kleiner is en beide modellen werkelijk deze waarden vooraf vastleggen, kan die proef informatief zijn. Is de onzekerheid groter dan het verschil, dan vraagt de selectie om meer herhalingen of een andere conditie.

Eenheden en kosten horen erbij

Een verschil van 6 heeft zonder eenheid geen betekenis. We noemen de uitkomst bijvoorbeeld een verschuiving in millimeter en noteren de resolutie van de meetroute. De goedkoopste proef kan beter zijn wanneer veel herhalingen mogelijk zijn; de duurste proef kan beter zijn wanneer zij een belangrijke alternatieve verklaring uitsluit. We willen geen punten op een grafiek verzameld hebben, maar een vraag beantwoorden. De waarde van een proef is gekoppeld aan dat doel.

Wat als beide ongelijk krijgen?

Als de derde meting 17 oplevert met kleine onzekerheid, past zij bij geen van beide vooraf gemaakte voorspellingen. Dan is kiezen tussen A en B een te kleine vraag geweest. Misschien ontbreekt een variabele, een verandering van het proces of een beter model. Het archief met voorspellingen vóór de proef maakt dat zichtbaar. Een nette selectiemethode

Wat als beide ongelijk krijgen?

garandeert geen juiste kandidaten; zij organiseert alleen hoe we tussen gegeven mogelijkheden leren.

DE ACHTERGRONDVRAAG

Waar kwam je onzekerheid vandaan?

Een foutbalk kan verschillende bronnen samenvatten.

Scheid de bronnen

Herhaalde metingen beschrijven variatie in deze proef. Instrumentkalibratie en modelaannamen kunnen andere bijdragen hebben. Een ensemble van voorspellers is niet automatisch een meting van al die bijdragen.

Bron: 22

Quiz: de gekozen labels en de hele populatie

Vragen selecteren om te leren en fouten schatten in de populatie zijn verschillende taken.

Bewaar de selectieregel

De fictieve honderdcasescasus op pagina 40 geeft twee groepen met bekende kansen. Je kunt haar volledig narekenen. Antwoorden staan op pagina 49.

- 1 De populatie heeft 80 makkelijke cases met foutkansen 0,05 en 20 moeilijke met foutkansen 0,30. Wat is de verwachte totale foutcount?**

- ☐ (A) 4
☐ (B) 10
☐ (C) 30

Waarom?

- 2 Wat is de verwachte foutfractie voor alle honderd cases?**

- ☐ (A) 10%
☐ (B) 30%
☐ (C) 5%

Waarom?

- 3 Je kiest uitsluitend vijf moeilijke cases voor extra labels. Is hun foutfractie zonder verdere correctie een willekeurige populatieschatting?**

- ☐ (A) Ja, elk label heeft dezelfde rol.
☐ (B) Ja, vijf is groot genoeg.
☐ (C) Nee, de selectie heeft een andere groepsmix.

Waarom?

- 4 Een kandidaatwet past precies op twee gebruikte punten. Welke stap toetst generalisatie het directst?**

- ☐ (A) Dezelfde punten opnieuw als ongebruikte eindtest noemen.
☐ (B) Nieuwe vooraf apart gehouden tijdpunten meten.
☐ (C) De formule met meer decimalen opschrijven.

Waarom?

Jouw antwoorden

1 2 3 4

De proef die het doel verkeerd begreep

Een goede vraagstrategie heeft een doel en een toegestane kandidaatwereld nodig. Deze twee gedachtenproeven maken die voorwaarden zichtbaar.

Informatie of opbrengst

Proef A onderscheidt twee materiaalhypothese perfect maar test een materiaal met lage opbrengst. Proef B verwacht de hoogste opbrengst maar onderscheidt de hypothesen nauwelijks. Kosten zijn gelijk.

Is er zonder onderzoeksdoel één logisch verplichte winnaar?

Denk aan:

- Moet je een wet begrijpen of een bruikbaar product vinden?
- Wat verandert als beide doelen expliciet worden gewogen?

Mijn voorspelling en waarom

Een derde wet buiten de lijst

Een algoritme normaliseert kansen uitsluitend over H_1 en H_2 . Het geeft H_1 posterior 0,99. In werkelijkheid bestaat ook H_3 , die niet in het model is opgenomen en andere metingen voorspelt.

Bewijst 0,99 dat H_1 in de echte wereld waar is?

Denk aan:

- Over welke kandidaatlijst is genormaliseerd?
- Welke nieuwe voorspelling kan de lijst zelf toetsen?

Mijn voorspelling en waarom

Vier berekeningen voor het lab

Alle getallen zijn didactische voorbeelden. Houd eenheden en het onderzochte object zichtbaar.

1 Een taak gebruikt gemiddeld 400 W gedurende 3 uur. Hoeveel energie is dat?

- (A) 0,12 kWh
- (B) 1,2 kWh
- (C) 12 kWh

Reken hier

3 Voor $L = x^2$, start 3 en $\eta = 0,2$: wat is de eerste nieuwe x ?

- (A) 1,8
- (B) 2,8
- (C) -3

Reken hier

2 Meetfouten zijn 1 mm, 2 mm en 2 mm. Wat is hun RMSE?

- (A) $5/3$ mm
- (B) 3 mm
- (C) $\sqrt{3}$ mm $\approx 1,732$ mm

Reken hier

4 Twee ideale golven met amplitude 1 hebben faseverschil $\pi/2$. Wat is de somamplitude?

- (A) 0
- (B) $\sqrt{2}$
- (C) 2

Reken hier

Jouw antwoorden

1 2 3 4

■ VECTOR • AI IN DE PRAKTIJK

Een natuurwet kan het model sturen

Gegevens en fysische structuur hoeven geen concurrenten te zijn. Een model kan waarnemingen verwerken terwijl zijn ontwerp ook een geldige vergelijking of symmetrie ondersteunt.

Een zachte straf heeft gewicht

Een physics-informed neural network kan een verliesbijdrage krijgen voor afwijking van een differentiaalvergelijking. Dat helpt zoeken naar oplossingen die zowel bij data als bij die vergelijking passen. De bijdrage heeft een gewicht naast andere termen. Een klein totaalverlies bewijst niet dat ieder punt exact voldoet of dat de gebruikte vergelijking voor deze omgeving juist is. Randvoorwaarden, numerieke afgeleiden en schaal van de termen beïnvloeden het resultaat.

Een harde afspraak vraagt een geldig model

Een architectuur kan bepaalde eigenschappen exact afdwingen, bijvoorbeeld door een vorm van invariantie in de uitvoer te bouwen. Dat is nuttig wanneer de eigenschap werkelijk geldig is. Een onjuiste hard gecodeerde afspraak maakt correctie juist moeilijker. De natuurkundige onderbouwing moet daarom samen met de modelcode leesbaar blijven. “Fysisch geïnformeerd” beschrijft een ontwerpkeuze, geen algemene kwaliteitsstempel.

Vergelijk eerlijk

Test een hybride model naast een gegevensmodel en een geschikte conventionele methode. Geef ieder dezelfde waarnemingen en vergelijk onder dezelfde taken. Kijk waar de extra structuur helpt en waar zij beperkingen geeft. Sommige experimenten hebben weinig data maar een sterke bekende vergelijking; andere hebben veel waarnemingen en onbekende processen. Het nuttige mengsel hangt van de concrete vraag af.



AXI VRAAGT

Welke aanname zou je exact afdwingen en welke liever als toetsbare voorkeur gebruiken? Noem ook de situatie waarin die keuze kan falen.

VECTOR · AI IN DE PRAKTIJK

Een simulator moet langer dan één stap leven

Bij een geleerde simulator wordt een voorspelde toestand opnieuw invoer voor de volgende stap. Daardoor kan een kleine fout zichzelf **veranderen en versterken**.

01 Van lokale fout naar traject

Een model dat iedere stap de snelheid iets te hoog schat, krijgt later andere posities te verwerken dan in zijn trainingsdata. Die verschoven invoer kan weer een nieuwe fout veroorzaken. Een gemiddelde éénstapsfout alleen beschrijft dat proces niet. Bewaar daarom rollouts: trajecten die het model meerdere stappen zelfstandig doorrekent. Vergelijk begincondities, looptijd en relevante grootheden zoals positie, contactmomenten of totale energie.

DATAPUNT

1

tijdstap is geen volledig traject

DATAPUNT

1.000 ×

schaalverschil tussen meter en millimeter

02 Infrastructuur telt mee

De simulator heeft een tijdstap, numerieke precisie en invoerformaat. Een wijziging daarvan kan het resultaat beïnvloeden zonder dat de gewichten veranderen. Ook eenheden zijn belangrijk: millimeters als meters invoeren verandert afstanden duizendmaal. Een reproduceerbaar dossier bevat daarom niet alleen de modelnaam, maar preprocessing, versie, instellingen en de complete procedure van beginconditie naar grafiek.

03 Operatoren voorspellen families

Een neural operator probeert een relatie tussen invoervelden en oplossingsvelden te leren, bijvoorbeeld binnen een familie differentiaalvergelijkingen. Dat is een andere representatie dan één los trajectmemoriseren. De geleerde relatie blijft wel gekoppeld aan het bekeken domein, resoluties en randvoorwaarden. Een gunstige studie-uitkomst motiveert vervolgonderzoek; zij rechtvaardigt niet het gebruik van ieder nieuw fysisch systeem zonder toets. Een andere route zoekt een compacte symbolische relatie in geleerde representaties. Cranmer en collega's demonstreren dat op beschreven systemen; ook een leesbare formule vraagt daarna een onafhankelijke toets.

■ VECTOR · AI IN DE PRAKTIJK

Nieuwe omstandigheden zijn een aparte test

De meest overtuigende wetenschappelijke AI-toets onderzoekt juist de situatie waarin een bekende score onvoldoende antwoord geeft.

AXI: De nieuwe ondergrond lijkt precies dezelfde kleur te hebben.

Onderzoeker: Dat maakt haar wrijving nog niet gelijk.

AXI: Dan testen we de fysieke verandering, niet alleen het plaatje.

Maak het verschil expliciet

Ons blokmodel leerde één oppervlak. We toetsen vervolgens een nieuw oppervlak met een vooraf vastgelegde reeks beginsnelheden. Dat is een overdrachtstest, geen willekeurig extra datapunt. We houden de camerakalibratie gelijk en meten ook een referentiemethode. Als beide modellen anders presteren, proberen we onderscheiden of de oorzaak de fysieke verandering of de nieuwe meetkwaliteit is. Het experiment wordt sterker door één verandering tegelijk te beschrijven.

Scheiding op de juiste eenheid

Materiaalstructuren uit dezelfde familie kunnen in training en test sterk op elkaar lijken. Bij robotica kunnen meerdere camerabeelden dezelfde fysieke scène bevatten. Groepeer zulke samenhangende voorbeelden vóór de splits, en kies de toets die past bij de gewenste generalisatie. Een model voor nieuwe materiaal families heeft ander bewijs nodig dan een model voor nieuwe metingen van bekende families. De naam testset bepaalt dat verschil niet.

Maak een beperkte claim

Een goede conclusie kan luiden: dit model voorspelde de onderzochte trajecten op het tweede oppervlak met deze foutverdeling, bij deze tijdstap en snelheid. Dat klinkt kleiner dan “AI begrijpt de natuur”, maar anderen kunnen ermee werken. Zij weten wat herhaald kan worden, waar vervolgmetingen nodig zijn en welke nieuwe context nog niet onderzocht is. Precisie in de claim maakt vooruitgang overdraagbaar. 

ACHTERGROND Een korte reproductieroute

Bewaar ruwe data → meetkalibratie → splits → gewichten → runinstellingen → uitkomsten. Geef elke stap een versie. Een grafiek zonder die route kan dezelfde vorm hebben en toch uit een andere proef komen.

Bron: 22

GLM-5.3 tegenover GLM-5.2: onderzoek met tools

Vergelijkingsdossier • peildatum 8 oktober 2026. Een gepubliceerde HLE-score vertelt iets over een concrete evaluatie; een geselecteerde labelset blijft een andere meetvraag.

De gepubliceerde resultaten

In Z.ai's GLM-5.3-modelkaart scoort HLE met tools 62,5 tegenover 54,7 voor GLM-5.2: verschil 7,8 punten. Deze leveranciersresultaten zijn niet door dit magazine gereproduceerd. Een toolsvariant mag je niet rechtstreeks gelijkstellen aan een HLE-run zonder tools.

De voetnoot is onderdeel van het getal

Z.ai vermeldt temperatuur 1,0, top-p 0,95, maximaal 163.840 generatietokens, maximaal 300.000 contexttokens met contextbeheer en GPT-5.6 Luna medium als beoordelaar. Het model en de evaluator horen dus allebei in de methode. Gebruik voor eigen wetenschap daarnaast een controleerbare referentie en aparte proeven. De onderstaande fictieve selectieberekening verklaart waarom ook een goede score een beschreven populatie nodig heeft.

Aangenomen casus • De complete populatie-afpraak

Neem honderd cases: tachtig makkelijk met foutkans 0,05 en twintig moeilijk met foutkans 0,30. De verwachte foutcount is $80 \times 0,05 + 20 \times 0,30 = 10$. De verwachte totale foutfractie is 10%. Dit zijn bekende kansen in onze miniwereld; een echt onderzoek moet ze schatten met een geschikte proef. Een active-learning-route kiest vijf moeilijke cases voor nieuwe labels, omdat die leerzaam kunnen zijn. Hun verwachte foutcount is $5 \times 0,30 = 1,5$ en hun verwachte foutfractie 30%. Dat maakt de route niet slecht: ze heeft bewust een andere selectie. Wel kun je de 30% niet zonder meer het foutpercentage van de hele populatie noemen.

Twee verzamelingen met twee rollen

Bewaar de gerichte trainingsvragen naast een vooraf gekozen, passende evaluatieset voor de bedoelde populatie. Vermeld selectiebeleid, labelkosten en welke cases opnieuw training zijn geworden. Een verbeterde score op de opgevraagde labels is geen onafhankelijke eindtoets. Nieuwe data krijgen een rol in het onderzoek; "meer labels" beschrijft die rol niet volledig.

Een reproduceerbare wetenschapstoets

Een overtuigende AI-paper moet meer bieden dan een mooie voorspelling. Onderzoek wat iemand anders met dezelfde gegevens en instellingen zou kunnen controleren.

01 Begin bij de claim

Kies één concrete uitspraak uit de samenvatting. Zoek vervolgens de tabel, figuur en methode die haar ondersteunen. Noteer welke doelen, splits en referenties zijn gebruikt. Bij een materiaaleigenschap kan de referentie zelf een theoretische berekening zijn. Dan is het resultaat bewijs voor overeenkomst met die berekening, niet direct met ieder mogelijk fysiek monster.

02 Zoek het ontbrekende experiment

Welke aannamen werden buiten de test gehouden? Denk aan nieuwe temperaturen, objectvormen, materiaal families of instrumentinstellingen. Een paper hoeft niet alles te testen, maar moet de grens zichtbaar maken. Vraag ook naar fouten en negatieve resultaten. Een geselecteerde demonstratie toont een mogelijkheid; een systematische evaluatie beschrijft onder welke omstandigheden die mogelijkheid terugkomt.

03 Een foutmaat expliciet maken

Voor RMSE kwadrateer je afwijkingen, neem je het gemiddelde en daarna de wortel. De uitkomst heeft dezelfde eenheid als de oorspronkelijke grootte. Een gemiddelde vervangt geen inspectie van individuele fouten.

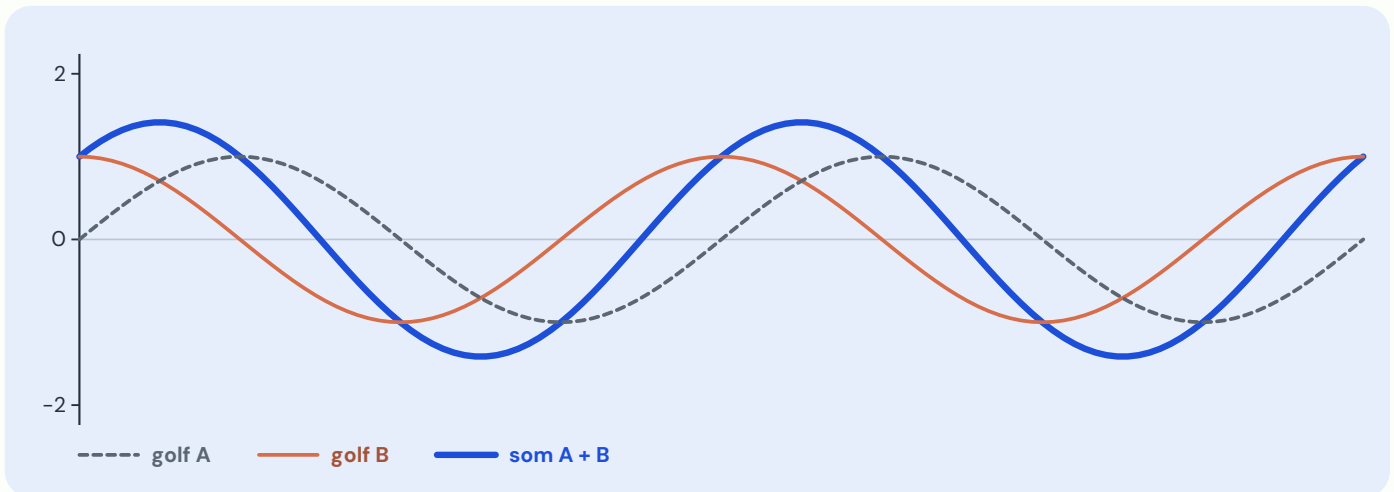
Zo doe je het

- 1 Schrijf één toetsbare hoofdclaim op.
- 2 Bepaal of de referentie een meting, simulatie of label is.
- 3 Bewaar versies van data, code en model.
- 4 Controleer splits op samenhangende objecten of families.
- 5 Noteer eenheden, tijdstappen en preprocessing.
- 6 Vergelijk een passende eenvoudige referentiemethode.
- 7 Bekijk uitgesplitste fouten en negatieve resultaten.
- 8 Ontwerp één nieuwe context die de claim kan begrenzen.

Eén meetspoor, meerdere oorzaken

Twee bijdragen kunnen samen een patroon vormen waarin hun afzonderlijke aanwezigheid niet direct zichtbaar is. Een leerder die alleen het totaalsignaal krijgt, heeft een inverse probleem.

Bronnen en totaalsignaal



Bronnen en totaalsignaal

$A \cdot \sin(fx) + A \cdot \sin(fx + \varphi)$, met ideale gelijke amplituden.

Wat de simulator optelt

De eerste golf is $A \cdot \sin(fx)$, de tweede $A \cdot \sin(fx + \varphi)$. De somcurve is geen nieuw onafhankelijk signaal; zij is de optelling van beide bijdragen. Bij faseverschil nul versterken gelijke golven elkaar. Bij $\varphi = \pi$ heffen zij elkaar in dit ideale model op. Een vlak totaalsignaal bewijst dus niet dat er afzonderlijk niets gebeurt. Bekijk de bronbijdragen naast de som om de verschillende verklaringsniveaus te zien.

Van patroon naar verklaring

Een AI-model dat oorzaken uit een meetpatroon schat, heeft aannamen nodig over mogelijke bronnen. Alleen een som meten geeft vaak meerdere verklaringen. Een extra sensor, andere proefconditie of bekende beperking kan informatie toevoegen. Dat is waarom de kwaliteit van een wetenschappelijk systeem niet alleen door netwerkarchitectuur wordt bepaald. Experimentontwerp beslist welke informatie überhaupt in de data kan zitten.

Een eenvoudige grens

Voor gelijke amplitude 1 en frequentie f heeft de som een amplitude $2|\cos(\varphi/2)|$. Bij $\pi/2$ wordt die $\sqrt{2}$, niet 1 en niet 2. Onze golven zijn ideale rekenfuncties zonder ruis, tijdvertraging of energieboekhouding. De simulator illustreert identificeerbaarheid en superpositie; hij maakt geen voorspelling van een werkelijk akoestisch of quantumexperiment.

■ VECTOR • AI IN DE PRAKTIJK

Leren om een plasma te sturen

Degrave en collega's demonstreerden in 2022 magnetische plasmabesturing met deep reinforcement learning op de TCV-tokamak. De prestatie betreft controle, geen bewezen netto energieproductie.

Welke taak werd geleerd?

Een tokamak gebruikt magnetische velden om heet plasma te beïnvloeden. De regelaar krijgt informatie over de toestand en kiest besturingssignalen. In reinforcement learning wordt een beleid geleerd op basis van een doel of beloning. De studie koppelt training in simulatie aan toepassing op de onderzoeksinstallatie en onderzoekt verschillende plasmavormen. Het relevante resultaat is dat het beleid de beschreven besturingstaken op het apparaat uitvoerde.

Wat is echt op de installatie getoetst?

Het systeem moet rekening houden met dynamica, grenzen en de meetroute. Een gunstige digitale score alleen had de experimentele demonstratie niet vervangen. Ook deze demonstratie blijft afgebakend: installatie, taken en onderzochte condities bepalen de reikwijdte. Wij geven geen bedieningsinstructies; de casus laat zien welke soorten bewijs een fysiek AI-resultaat nodig heeft.

Welke grotere claim volgt nog niet?

Besturing is een belangrijk onderdeel van fusieonderzoek, maar zij is niet hetzelfde als een complete energiecentrale. Een robot die één beweging goed leert, bouwt evenmin automatisch een fabriek. De koppeling tussen geleerde actie en echte meting is hier juist de vakinhoudelijke winst. Lees de paper met drie vragen: welke taak werd geleerd, welke controle werd experimenteel uitgevoerd en welke grotere claim volgt daar nog niet uit?

ZO ZIT DAT

Wat deze casus wél zegt

Geleerd beleid kan afgebakende fysieke besturing ondersteunen en experimenteel worden getoetst. "AI levert netto fusie-energie" is geen conclusie van deze controlestudie.

Bron: 6

VECTOR • AI IN DE PRAKTIJK

Van energieoppervlak naar autonome proef

Wetenschappelijke AI groeide niet uit één wondermoment. Nieuwe representaties, toetsroutes en experimentele koppelingen kwamen stap voor stap samen.

1 2007 • Energie wordt geleerd

Behler en Parrinello publiceerden een neurale representatie van hoogdimensionale potentiële-energieoppervlakken. Daarmee krijgt een berekende energie een geleerde benadering. De referentieberekening en dekking van configuraties blijven essentieel.

2 2017 • Moleculen praten als graaf

Neural message passing ordent moleculaire voorspelling rond atomen, verbindingen en geleerde berichten. Het levert een herbruikbare structuur, geen automatische vervanging van chemische referentiemethoden.

3 2020 • Simulatoren en operatoren

Graafsimulatoren en Fourier neural operators tonen verschillende manieren om dynamica of oplossingsfamilies te leren. De taak bepaalt of we objecttrajecten, velden of relaties willen voorspellen.

4 2021–2022 • Structuur en actie

AlphaFold 2 rapporteert sterke structurele voorspellingen. Een jaar later verschijnt geleerde plasmabesturing op TCV. De successen gebruiken heel verschillende meet- en evaluatieroutes.

5 2023–2026 • Kandidaten, proeven en correcties

GNoME en A-Lab verbinden kandidaatselectie met berekening en laboratoriumwerk. De A-Lab-correctie uit 2026 begrenst identificatie en nieuwigheidsclaims. Die heranalyse is onderdeel van het onderzoeksverhaal, niet een voetnoot die een tijdlijn mag overslaan.

■ VECTOR · AI IN DE PRAKTIJK

Jouw kleine voorspellingsdossier

Gebruik geen echte laboratoriumapparatuur: een tabel of eenvoudige rekenfunctie is genoeg om een reproduceerbare modeltoets te oefenen.

01 Een transparante referentiewereld

Maak een tabel met $x = 0,1,2,3,4$ en $y = 2x+1$. Kies vooraf drie punten voor afstellen en twee voor een afzonderlijke toets. Vergelijk een constante voorspeller met een lijnmodel. Dit is een didactische wereld waarvan de regel bekend is. Zij onderzoekt modelkeuze en gegevensscheiding, niet de juistheid van een natuurwet.

02 Verander één conditie

Maak vervolgens een tweede wereld $y = 2x+1+0,2x^2$. Pas de eerdere modellen eerst zonder nieuwe afstelling toe. Bewaar de fouten per punt. Daarna kun je een nieuwe hypothese met een krommingsterm onderzoeken. Het verschil tussen onafhankelijke toets en reparatie wordt zichtbaar als je de oorspronkelijke voorspellingen niet overschrijft. Eindig met één beperkte conclusie en de volgende vraag die je zou testen.

Zo doe je het

- 1 Bewaar de twee expliciete rekenregels.
- 2 Leg afstel- en toetsindices vooraf vast.
- 3 Noteer modelvorm en gekozen parameters.
- 4 Bewaar voorspellingen vóór de toets.
- 5 Rapporteer fout per punt en eenheden.
- 6 Voer de tweede wereld eerst zonder afstelling in.
- 7 Archiveer de reparatie als een nieuw experiment.
- 8 Schrijf op wat dit speelgoedvoorbeeld niet bewijst.

VECTOR • AI IN DE PRAKTIJK

Zes bronnen, zes meetvragen

Lees een paper vanuit haar toetsroute. Zoek hoe een resultaat is gedefinieerd voordat je zijn grootste getal overneemt.

01 AlphaFold 2 • wat is de referentie?

Zoek welke structuurdoelen worden vergeleken en hoe lokale zekerheid wordt weergegeven. Noteer één conclusie over geometrie en één vraag over dynamica die buiten die evaluatie valt. Een structuurplaat is bruikbaar wanneer zijn grenzen meegelezen worden.

02 NequIP • welke symmetrie?

Bekijk hoe de architectuur energie en krachten verwerkt. Zoek welke systemen de auteurs testen. Maak onderscheid tussen een exacte ontwerpeigenschap en een empirisch gemeten voorspellingsfout.

03 GraphCast • welke atmosfeer?

Controleer gebruikte gegevens, voorspeltijden en evaluatievariabelen. Een historische vergelijking maakt een claim navolgbaar. Zij is geen voorspelling dat elk toekomstig extreem beter wordt behandeld.

04 TCV • welke actie was echt?

Lees waar de training plaatsvond en wat op de installatie werd gedemonstreerd. Schrijf de besturingsprestatie zonder er netto energieproductie aan toe te voegen.

05 A-Lab • welke publicatieversie?

Lees de oorspronkelijke studie met de correctie uit 2026. Vergelijk de definities van succes en nieuwheid. Dat is een praktische oefening in wetenschappelijke broncontrole.

06 Actief leren • wat is het doel?

Settles beschrijft verschillende querystrategieën en omstandigheden. Zoek hoe onzekerheid, kosten en labelkwaliteit de keuze beïnvloeden. Zet vervolgens één strategie naast de concrete vraag uit jouw eigen proef.

BEGRIPPEN Drie woorden naast de paper

Een klein begrippenkader maakt claims scherper.

Surrogate Een goedkoper model van een duurdere berekening of meting.

Rollout Een traject met herhaald vooruit voorspelde toestanden.

Identificeerbaar Beschikbare waarnemingen onderscheiden de relevante verklaringen.

Bronnen: 12, 21

Antwoorden en onderzoeksgrenzen

Controleer niet alleen de uitkomst, maar ook welk object de score of eenheid beschrijft.

Quiz • pagina 10

1B. Een berekende kandidaat is geen gemaakte en geïdentificeerde stof. Zie pagina's 15–16. **2A.** Een inductieve structuur ondersteunt leren; juiste relaties en onafhankelijke data blijven nodig. Zie pagina 5. **3C.** Structuurvertrouwen is geen complete dynamische of functionele beschrijving. Zie pagina 14. **4B.** De simulatie bevat aannamen; de fysieke test onderzoekt hun betekenis voor de taak. Zie pagina's 22–23. **5A.** Onzekerheid alleen is geen complete experimentele waarde. Zie pagina's 32–33. **6C.** De experimentele claim betreft controle; netto energieproductie volgt er niet uit. Zie pagina 43.

Quiz • pagina 26

1B. Heranalyse schat een samenhangende eerdere atmosfeer; zij is geen ruwe meetfilm. Zie pagina 27. **2C.** Herhaalde voorspellingen veranderen de latere invoer en kunnen fouten vergroten. Zie pagina 38. **3A.** Energie is hier een invariant scalair; een krachtvector is equivariant. Zie pagina 20. **4B.** Hetzelfde totaalsignaal kan meerdere bronverklaringen hebben. Zie pagina 42. **5C.** Een zachte straf is geen universele exacte constraint; de aanname moet geldig zijn. Zie pagina 37. **6A.** Energie,

aantallen runs en meetgrenzen bepalen de vergelijking. Zie pagina 28.

Quiz • pagina 36

1B. $400 \text{ W} \times 3 \text{ uur} = 1.200 \text{ Wh} = 1,2 \text{ kWh}$. Vermogen maal tijd geeft energie. Zie pagina 28. **2C.** De gemiddelde gekwadrateerde fout is $(1+4+4)/3 = 3 \text{ mm}^2$. Neem daarvan de wortel. Zie pagina 41. **3A.** $x' = 3 - 0,2 \times 2 \times 3 = 1,8$. Het nieuwe verlies is 3,24 in plaats van 9. Zie pagina 21. **4B.** $2|\cos(\pi/4)| = \sqrt{2}$. Het resultaat volgt uit gelijke amplitude en gelijke frequentie. Zie pagina 42.

Gedachtenproeven • pagina 31

1. De onzekerste kandidaat: Nee, niet vanzelf. Selectie hangt van het onderzoeksdoel af. Voor onderscheid tussen die verklaringen kan B informatiever zijn. Voor verkenning van onbekende families kan A juist passen. Benoem eerst het doel en vergelijk verwachte informatiewaarde tegen kosten. Grens: Verwachte waarde is zelf modelgebonden. Geen strategie garandeert een belangrijke ontdekking. **2. De stille detector:** Nee. Nul past zowel bij afwezige bronnen als bij opheffing in het ideale model. Meet een bron afzonderlijk of verander gecontroleerd de fase. De extra proef kan de verklaringen onderscheiden omdat zij nieuwe informatie toevoegt. Grens: Exacte opheffing veronderstelt

passende amplituden en fase; echte sensoren hebben ruis en eindige resolutie. **3.** Het perfect gerepareerde traject: De reparatie toont fit op het bekende probleem. Zij bewijst geen overdracht. Bewaar het traject als regressietest en toets een vooraf gekozen, onafhankelijke beginsituatie. Controleer ook eerdere prestaties zodat lokaal herstel geen verborgen verslechtering geeft. Grens: Een kleine nieuwe proef begrenst een claim, maar schat niet automatisch alle toekomstige foutkansen.

Simulator • pagina 21

Bij $L = x^2$ is $x' = (1-2\eta)x$. Start 3 met $\eta = 0,2$ geeft 3; 1,8; 1,08; 0,648. Bij $\eta = 0,5$ volgt nul in één stap. Voor $0 < \eta < 1$ krimpt de grootte; bij 1 blijft zij gelijk; boven 1 groeit zij behalve bij startnul. Die grens hoort uitsluitend bij dit exacte speelgoedverlies.

Simulator • pagina 42

De somamplitude is $2A|\cos(\phi/2)|$. Bij $\phi = 0$ is zij $2A$, bij $\pi/2$ is zij $A\sqrt{2}$ en bij π is zij 0. Een nulsom identificeert geen afzonderlijke afwezige bron. De formule veronderstelt gelijke amplitude en frequentie.

Notitieboek • pagina 45

Voor de eerste regel zijn y -waarden 1; 3; 5; 7; 9. De tweede wereld geeft 1; 3,2; 5,8; 8,8; 12,2. Het oorspronkelijke lijnmodel heeft daar fouten 0; -0,2; -0,8; -1,8; -3,2: dit zijn modeluitvoer min referentie. Nieuwe afstelling is een nieuw experiment.

Nieuwe puzzels: het volledige bewijs

De voorbeelden zijn aangenomen miniwerelden. Iedere oplossing gebruikt precies de aangegeven voorwaarden.

Raadsels • pagina 9

1. $t = 3$. Bij nul geven beide nul. Bij drie geeft A zes en B negen. Alleen die keuze heeft verschillende voorspellingen onder de foutloze kandidaatwereld.
2. $a=2$, $b=1$; $x(3)=15$. $a+b=3$ en $2a+4b=8$. Trek tweemaal de eerste vergelijking af: $2b=2$, dus $b=1$ en $a=2$. Dan $3a+9b=6+9=15$. Twee onafhankelijke vergelijkingen leggen deze twee coëfficiënten vast.
3. Y. Y geeft voor iedere hypothese een andere uitkomst: 0,1 of 2. X kan de eerste twee niet onderscheiden wanneer 1 verschijnt. De conclusie hangt af van deze drie kandidaten en foutloze meting.

Raadsels • pagina 29

1. $16/17 \approx 0,9412$. Gewichten zijn $0,5 \times 0,8^2 = 0,32$ en $0,5 \times 0,2^2 = 0,02$.

Normaliseren geeft $0,32/0,34 = 16/17$. De volledige uitkomst is niet zekerheid 1.

2. 0,8. H1-gewicht is $0,5 \times 0,8 \times 0,8 \times 0,2 = 0,064$. H2-gewicht is $0,5 \times 0,2 \times 0,2 \times 0,8 = 0,016$. $0,064/(0,064+0,016) = 0,8$. De negatieve meting vermindert de eerdere steun.

3. Ze blijven elk 1/2. Beide gewichten krijgen dezelfde factor $0,7:0,35$ en $0,35$. Normaliseren geeft ieder 1/2. Deze test onderscheidt de twee hypothesen niet, ook al is de positieve uitkomst waarschijnlijk.

Gedachtenproeven • pagina 35

Informatie of opbrengst: Nee. Informatiewinst en verwachte opbrengst zijn verschillende doelgrootheden. Kies vooraf een criterium of expliciete afweging.

De cijfers maken een keuze beoordeelbaar nadat dat doel is gegeven. In echte onderzoeksprogramma's kunnen beide doelen samengaan. Het voorbeeld zegt alleen dat hun gewichten niet vanzelf uit de meetkaart volgen. Een derde wet buiten de lijst: Nee. De hoge posterior is voorwaardelijk aan de modelwereld en haar likelihoods. Zoek nieuwe metingen die de volledige kandidaatlijst kunnen tegenspreken, niet alleen de twee bestaande namen onderscheiden. Het voorbeeld kent H3 expliciet om de beperking zichtbaar te maken. In de praktijk moet een onderzoeker kandidaatmisspecificatie vermoeden uit domeinkennis en tegenvallende voorspellingen.

■ VECTOR • BEWIJS BIJ DE NIEUWE OPGAVEN

Nieuwe quizzes: berekening en reden

De voorbeelden zijn aangenomen miniwerelden. Iedere oplossing gebruikt precies de aangegeven voorwaarden.

Quiz • pagina 8

1. B. $(0,5 \times 0,8) / (0,5 \times 0,8 + 0,5 \times 0,2) = 0,4 / 0,5 = 0,8$. Zie pagina 12.
2. A. Negatief heeft kans 0,2 onder H1 en 0,8 onder H2; normaliseren geeft 0,2. Zie pagina 12.
3. C. Gewichten zijn $0,25 \times 0,8 = 0,20$ en $0,75 \times 0,2 = 0,15$. $0,20 / 0,35 = 4/7$. Zie pagina 12.
4. B. Voor nieuwe likelihoodfactoren is de passende onafhankelijkheidsafspraken nodig;

een kopie voldoet niet. Zie pagina 35.

Quiz • pagina 24

1. C. $0,2781/2 = 0,13905$ bit per eenheid. Zie pagina 13.
2. A. $0,13905 > 0,02905$. Dit doel zegt niet welk experiment de hoogste materiaalopbrengst geeft. Zie pagina 13.
3. B. Beide termen moeten meter zijn: $(m/s) \times s$ en $(m/s^2) \times s^2$. Zie pagina 25.
4. C. $2 \times 3 + 1 \times 3^2 = 6 + 9 = 15$ m. Zie pagina 25.

Quiz • pagina 34

1. B. $80 \times 0,05 + 20 \times 0,30 = 4 + 6 = 10$. Zie pagina 40.
2. A. $10/100 = 10\%$. De moeilijke groep apart heeft 30%, niet de hele populatie. Zie pagina 40.
3. C. De gerichte leerselectie oversampling van moeilijk kan nuttig zijn, maar schat niet rechtstreeks de totale mix. Zie pagina 40.
4. B. Nieuwe punten kunnen voorspellingen buiten de fit tegenspreken. Zie pagina 25.

Colofon en primaire bronnen

AI helpt vragen stellen en gegevens verwerken. Een zorgvuldig beschreven toets bepaalt wat een antwoord waard is.

Over deze editie

VECTOR bevat oorspronkelijke uitleg, didactische rekenwerelden en primaire bronnen. AXI en beide strips zijn fictie; AXI wordt niet als bewust

systeem opgevoerd. Documentaire foto's en wetenschappelijke modelbeelden hebben eigen credits. Illustraties zijn als zodanig gemarkeerd. De A-Lab-casus gebruikt de auteurscorrectie uit 2026.

Onderzoeksresultaten blijven gekoppeld aan taken, gegevens en omstandigheden. Bewaar bij hergebruik de bronverwijzingen, beeldcredits en licenties.

Bronnen

1 Jumper e.a. (2021) • Highly Accurate Protein Structure Prediction · [nature.com/articles/s41586-021-03819-2](https://www.nature.com/articles/s41586-021-03819-2) 2 Abramson e.a. (2024) • Accurate Structure Prediction of Biomolecular Interactions · [nature.com/articles/s41586-024-07487-w](https://www.nature.com/articles/s41586-024-07487-w) 3 Merchant e.a. (2023) • Scaling Deep Learning for Materials Discovery · [nature.com/articles/s41586-023-06735-9](https://www.nature.com/articles/s41586-023-06735-9) 4 Szymanski e.a. (2023) • An Autonomous Laboratory · [nature.com/articles/s41586-023-06734-w](https://www.nature.com/articles/s41586-023-06734-w) 5 Szymanski e.a. (2026) • Author Correction: An Autonomous Laboratory · [nature.com/articles/s41586-025-09992-y](https://www.nature.com/articles/s41586-025-09992-y) 6 Degraeve e.a. (2022) • Magnetic Control of Tokamak Plasmas · [nature.com/articles/s41586-021-04301-9](https://www.nature.com/articles/s41586-021-04301-9) 7 Lam e.a. (2023) • Learning Skillful Medium-Range Global Weather Forecasting · [science.org/doi/10.1126/science.adi2336](https://www.science.org/doi/10.1126/science.adi2336) 8 Hersbach e.a. (2020) • The ERA 5 Global Reanalysis · rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/qj.3803 9 ECMWF • Complete ERA 5 Global Atmospheric Reanalysis · [ecmwf.int/en/forecasts/datasets/complete-era5-global-atmospheric-reanalysis](https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/complete-era5-global-atmospheric-reanalysis) 10 Gilmer e.a. (2017) • Neural Message Passing for Quantum Chemistry · proceedings.mlr.press/v70/gilmer17a.html 11

Batzner e.a. (2022) • E(3)-Equivariant Graph Neural Networks · [arXiv:2101.03164](https://arxiv.org/abs/2101.03164) 12 Sanchez-Gonzalez e.a. (2020) • Learning to Simulate Complex Physics · proceedings.mlr.press/v119/sanchez-gonzalez20a.html 13 Rubanova e.a. (2022) • Learning Physics with Graph Networks and Constraints · proceedings.mlr.press/v162/rubanova22a.html 14 Raissi e.a. (2019) • Physics-Informed Neural Networks · [doi:10.1016/j.jcp.2018.10.045](https://doi.org/10.1016/j.jcp.2018.10.045) 15 Li e.a. (2020) • Fourier Neural Operator · [arXiv:2010.08895](https://arxiv.org/abs/2010.08895) 16 Cranmer e.a. (2020) • Discovering Symbolic Models · proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2020/hash/c9f2f917078bd2db12f23c3b413d9c9ba-Abstract.html 17 Brohan e.a. (2023) • RT-2 · [arXiv:2307.15818](https://arxiv.org/abs/2307.15818) 18 Tobin e.a. (2017) • Domain Randomization · [arXiv:1703.06907](https://arxiv.org/abs/1703.06907) 19 Levine e.a. (2016) • End-to-End Training of Deep Visuomotor Policies · jmlr.org/papers/v17/15-522.html 20 Settles (2009; bijgewerkt 2010) • Active Learning Literature Survey · burrsettles.com/pub/settles.activelearning.pdf 21 Snoek e.a. (2012) • Practical Bayesian Optimization · [arXiv:1206.2944](https://arxiv.org/abs/1206.2944) 22 Sandve e.a. (2013) • Reproducible Computational Research · journals.plos.org/ploscompbiol/article?id=10.1371/journal.pcbi.1003285 23 Henderson e.a. (2020) • Energy and Carbon Footprints of Machine Learning · jmlr.org/papers/v21/20-312.html 24 Dunn e.a. (2020) • Benchmarking Materials Property Prediction · [nature.com/articles/s41524-020-00406-3](https://www.nature.com/articles/s41524-020-00406-3) 25 Behler & Parrinello (2007) • Generalized Neural-Network Representation · [doi:10.1103/PhysRevLett.98.146401](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.98.146401) 26 Battaglia e.a. (2018) • Relational Inductive Biases · [arXiv:1806.01261](https://arxiv.org/abs/1806.01261) 27 Sanchez-Gonzalez e.a. (2018) • Graph Networks as Learnable Physics Engines · proceedings.mlr.press/v80/sanchez-gonzalez18a.html 28 Settles (2009) • Active Learning Literature Survey · research.cs.wisc.edu/techreports/2009/TR1648.pdf 29 Frazier (2018) • A Tutorial on Bayesian Optimization · [arXiv:1807.02811](https://arxiv.org/abs/1807.02811) 30 Cranmer e.a. (2020) • Discovering Symbolic Models from Deep Learning · [arXiv:2006.11287](https://arxiv.org/abs/2006.11287) 31 Z.ai • GLM-5.3, officiële modelkaart · huggingface.co/zai-org/GLM-5.3 32 Z.ai • GLM-5.2, officiële modelkaart · huggingface.co/zai-org/GLM-5.2

CCO • Computerweergave van een AlphaFold-voorspelling (geen foto), gekleurd naar pLDDT | p. 27 • The Blue Marble • NASA / Apollo 17-bemanning; kleurcorrectie door Deglr6328 • Publiek domein

Illustraties

p. 1 • Vector 05 cover new • Originele AI-illustratie voor VECTOR | p. 2, 17 • Vector 05 axi comic 3 • Originele AI-illustratie voor VECTOR | p. 2, 12 • Vector 05 bayes lab • Originele AI-illustratie voor VECTOR | p. 2, 3 • VECTOR 05 — zesdelige strip • Originele AI-illustratie voor VECTOR | p. 2, 22, 23 • VECTOR 05 — conceptillustratie voor dubbele pagina • Originele AI-illustratie voor VECTOR | p. 6, 7 • VECTOR 05 — conceptillustratie voor dubbele pagina • Originele AI-illustratie voor VECTOR | p. 19 • VECTOR 05 — zesdelige strip • Originele AI-illustratie voor VECTOR | p. 50 • AXI, de waarnemer • Originele AI-illustratie voor VECTOR

Foto's zijn verkleind en kunnen voor de opmaak zijn bijgesneden; ze houden hun aangegeven licentie. Teksten, diagrammen, puzzels en vormgeving: VECTOR.

Foto's

Via Wikimedia Commons, tenzij anders vermeld.

p. 14 • TMEM253 AlphaFold Predicted Structure · Liu02511 ·



IN DE VOLGENDE EDITIE • Vanaf 15 oktober 2026

AI buiten het scherm

- Lerende machines tussen mensen, plaatsen en voorwerpen.
- Welke metingen een robotplan werkelijk ondersteunen.
- Van een schermantwoord naar een gecontroleerde actie.