

Bayesovo učenje: Omogočanje verjetnostnega sklepanja v velikih jezikovnih modelih

Kako učenje umetne inteligence s pomočjo preiščanih ugibanj ustvarja izjemno prilagodljive agente za stvarni svet.

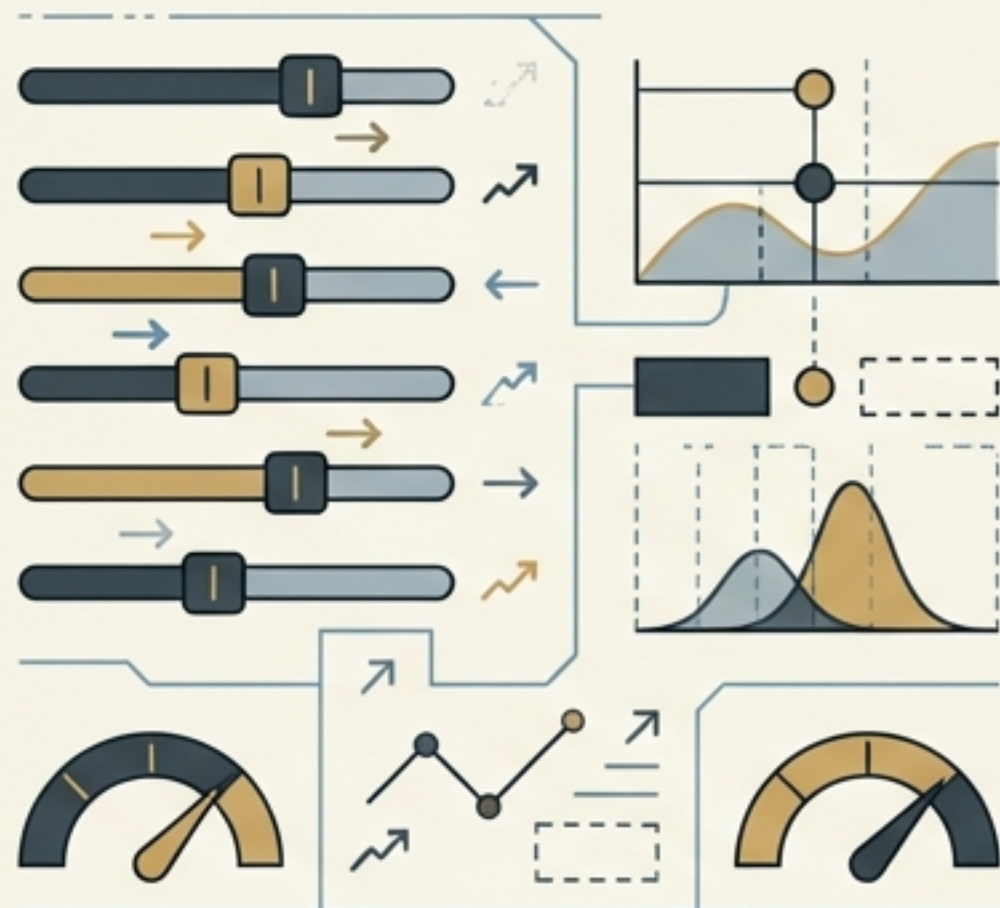


Nature Communications / Raziskovalni povzetek

Prehod od generatorjev besedila k avtonomnim agentom zahteva novo sposobnost: posodabljanje prepričanj

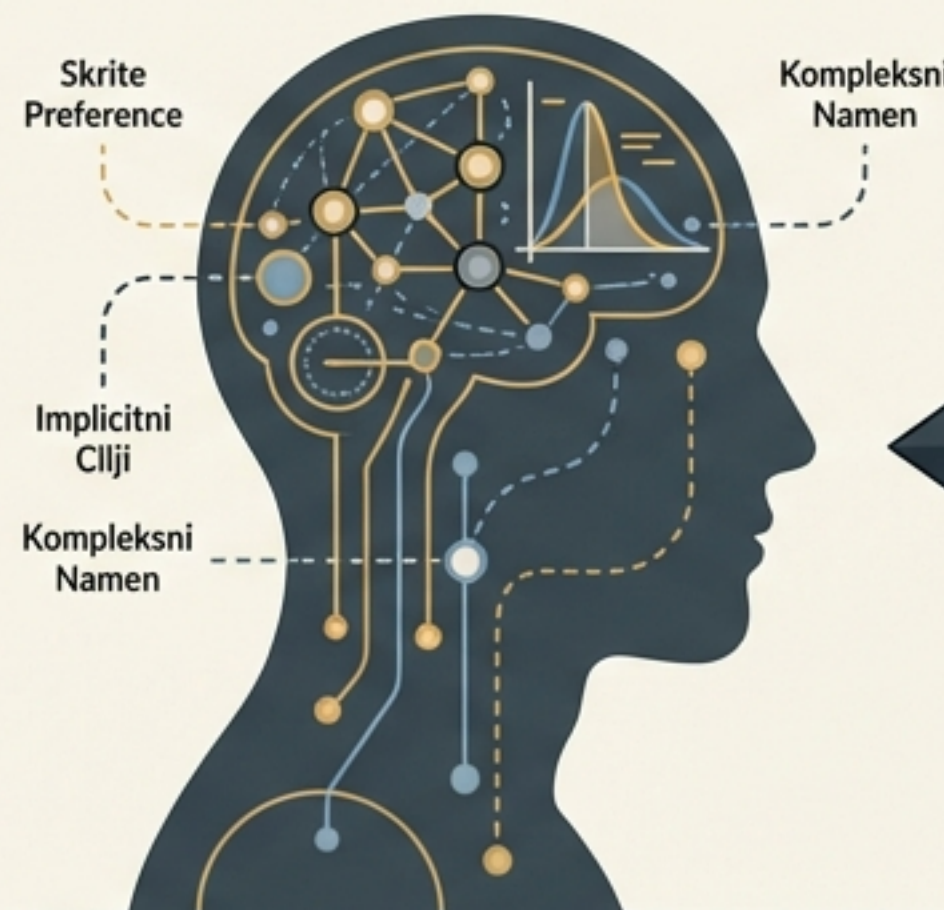


Svet



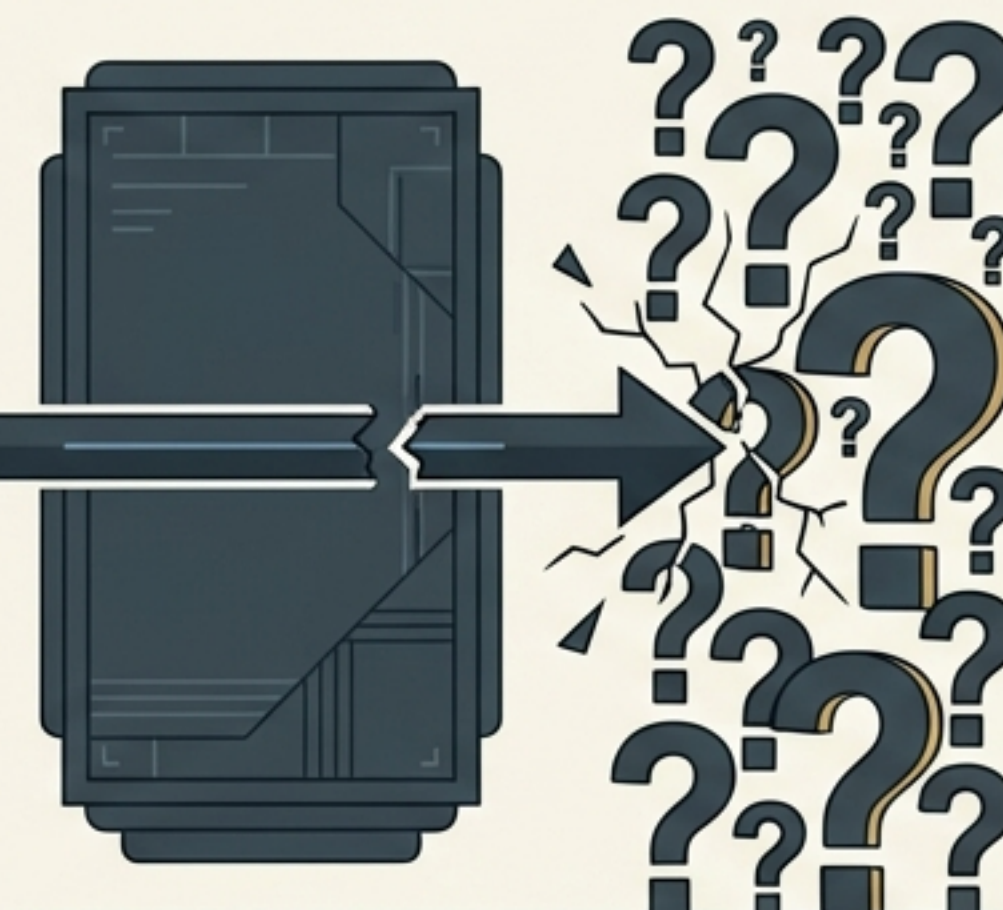
Stalno spreminjajoče se okolje z delnimi in nepopolnimi informacijami.

Uporabnik



Ima skrite preference in cilje, ki jih izraža le implicitno skozi svoja dejanja.

Umetna inteligenca

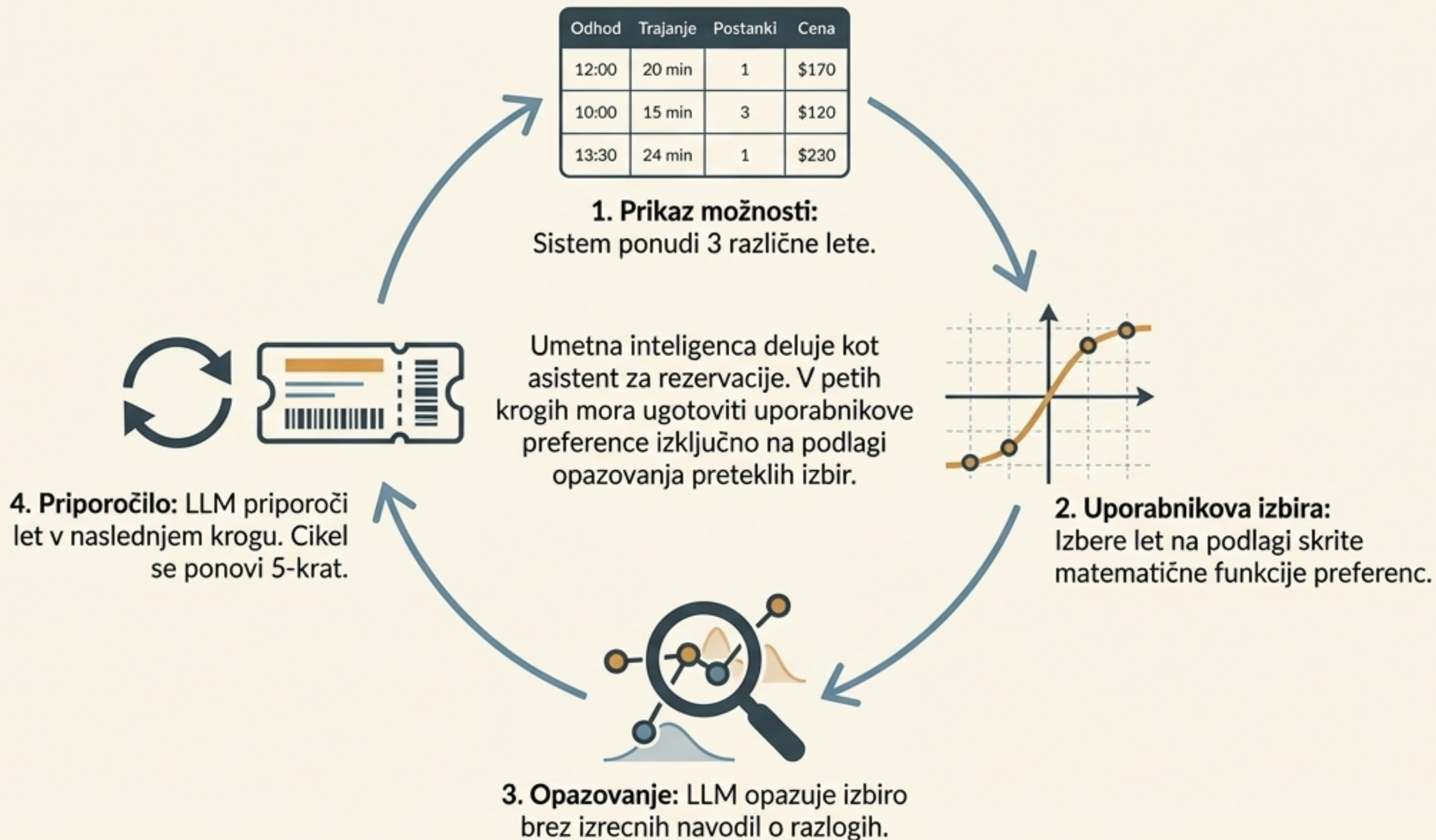


Standardni LLM-ji nimajo vgrajenega kompasa za ravnanje z negotovostjo in odpovejo pri prilagajanju.

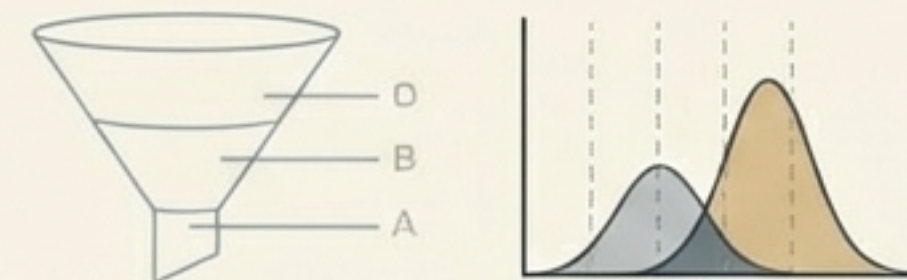
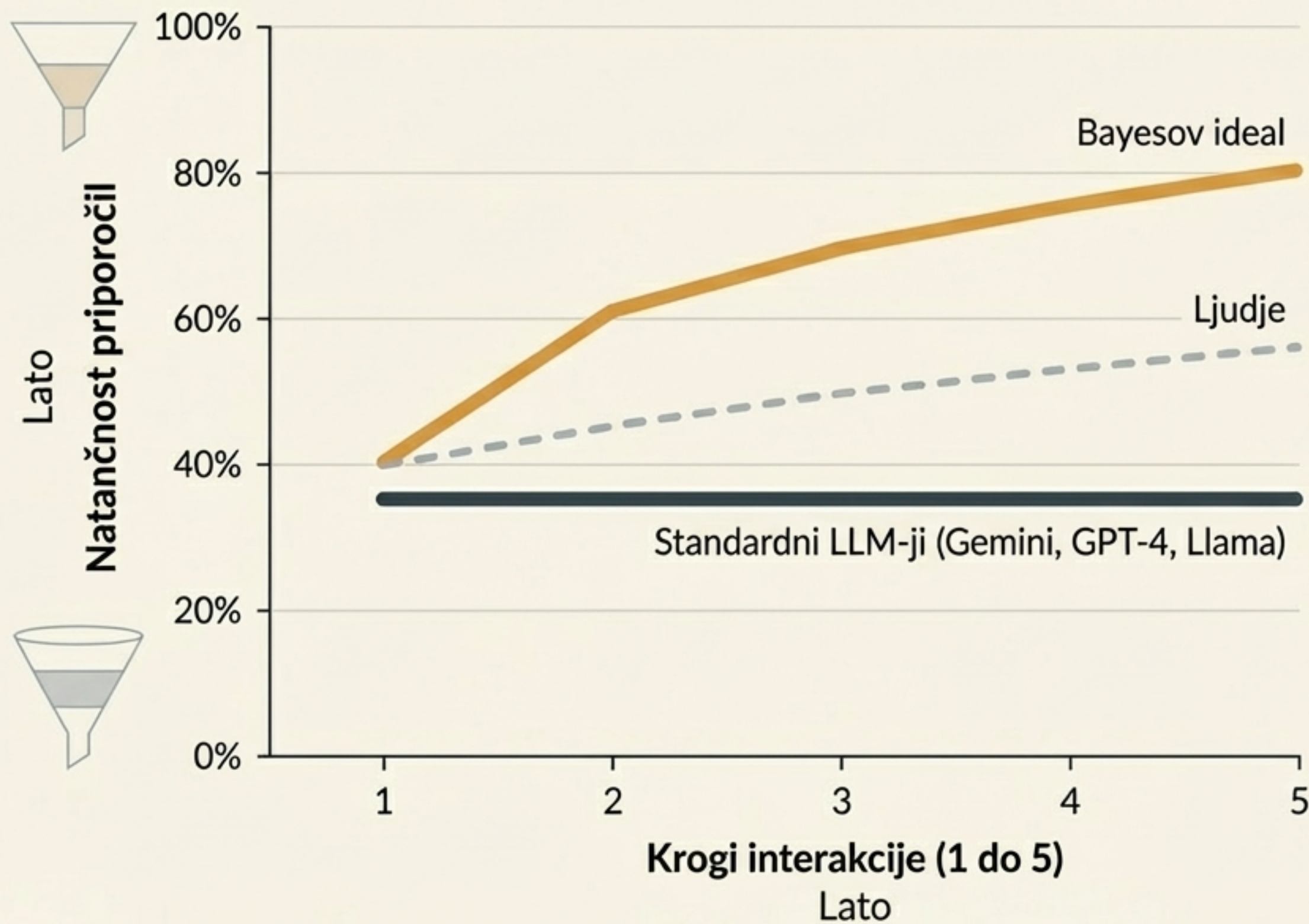
Da bi bili agenti uspešni v resničnem svetu, ne smejo le slediti navodilom. Iz implicitnega vedenja morajo znati izpeljati skrite preference in prilagajati svoja prepričanja ob vsaki novi informaciji.

Kako izmerimo sposobnost posodabljanja prepričanj?

Preizkus s priporočanjem letov.



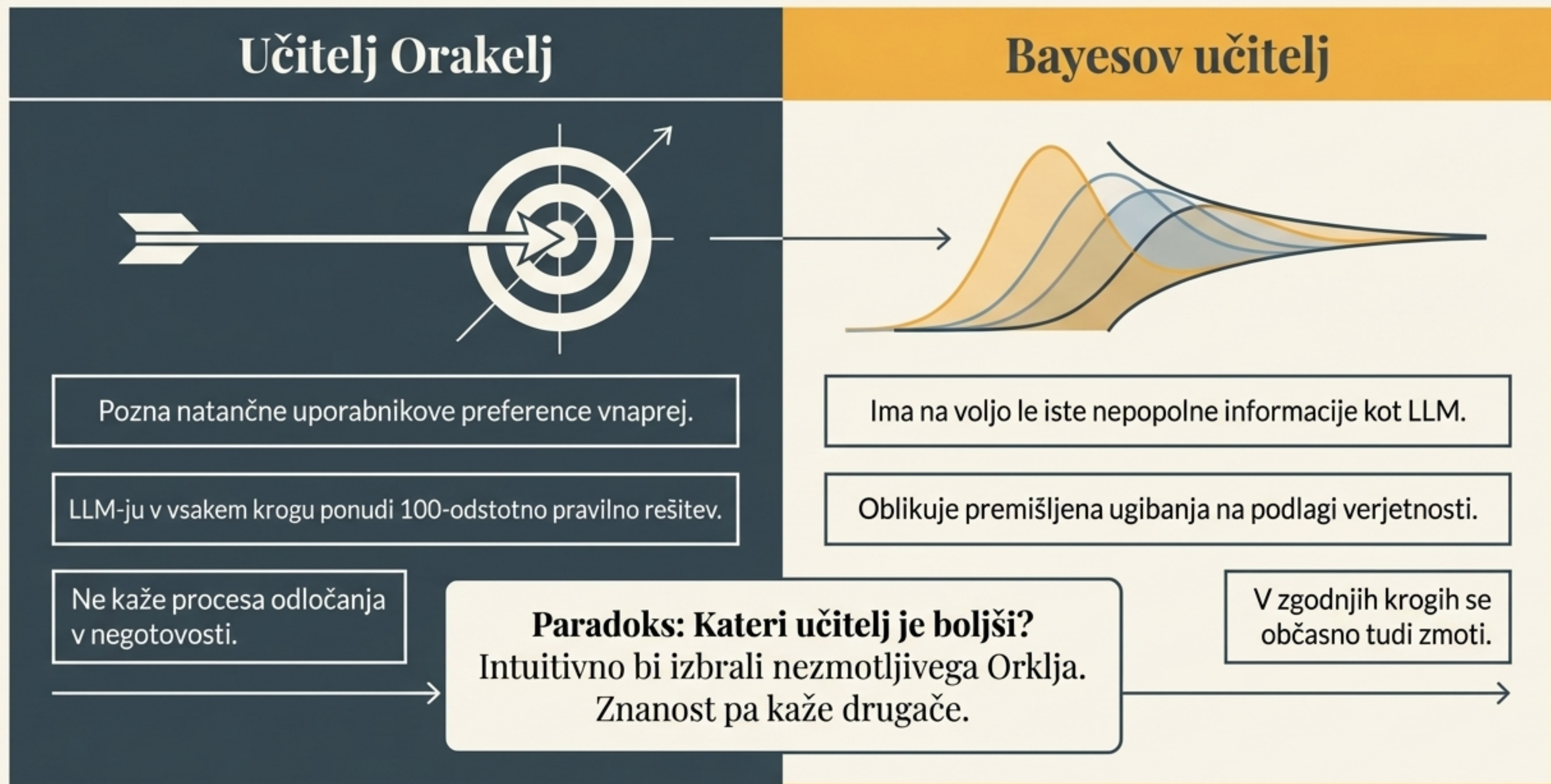
Diagnoza: Standardni modeli ne zmorejo integrirati novih informacij.



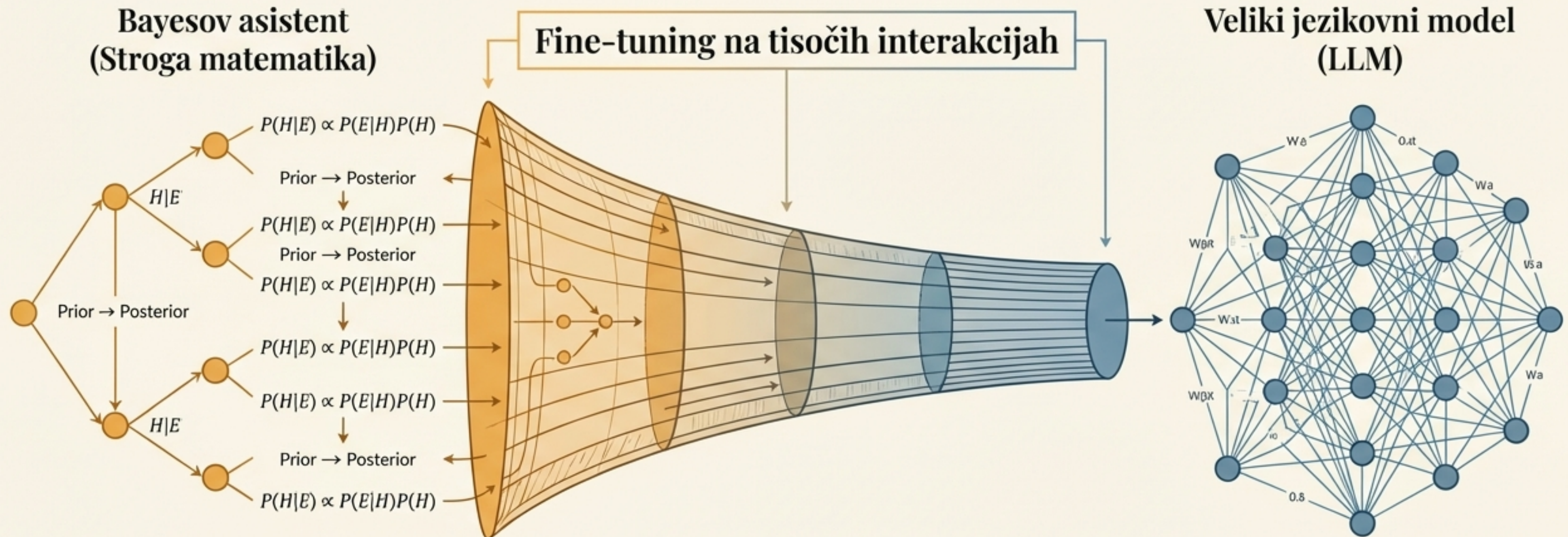
Krivulja učenja se zravna.
Kljub visoki inteligenci v običajnih nalogah standardni modeli po prvem krogu prenehajo izboljševati svoja priporočila. Manjka jim mehanizem za postopno grajenje gotovosti.



Dva pristopa k učenju: Učitelj Orakelj v primerjavi z Bayesovim učiteljem



Intervencija: Vsiljevanje verjetnostne logike v nevronske mreže.



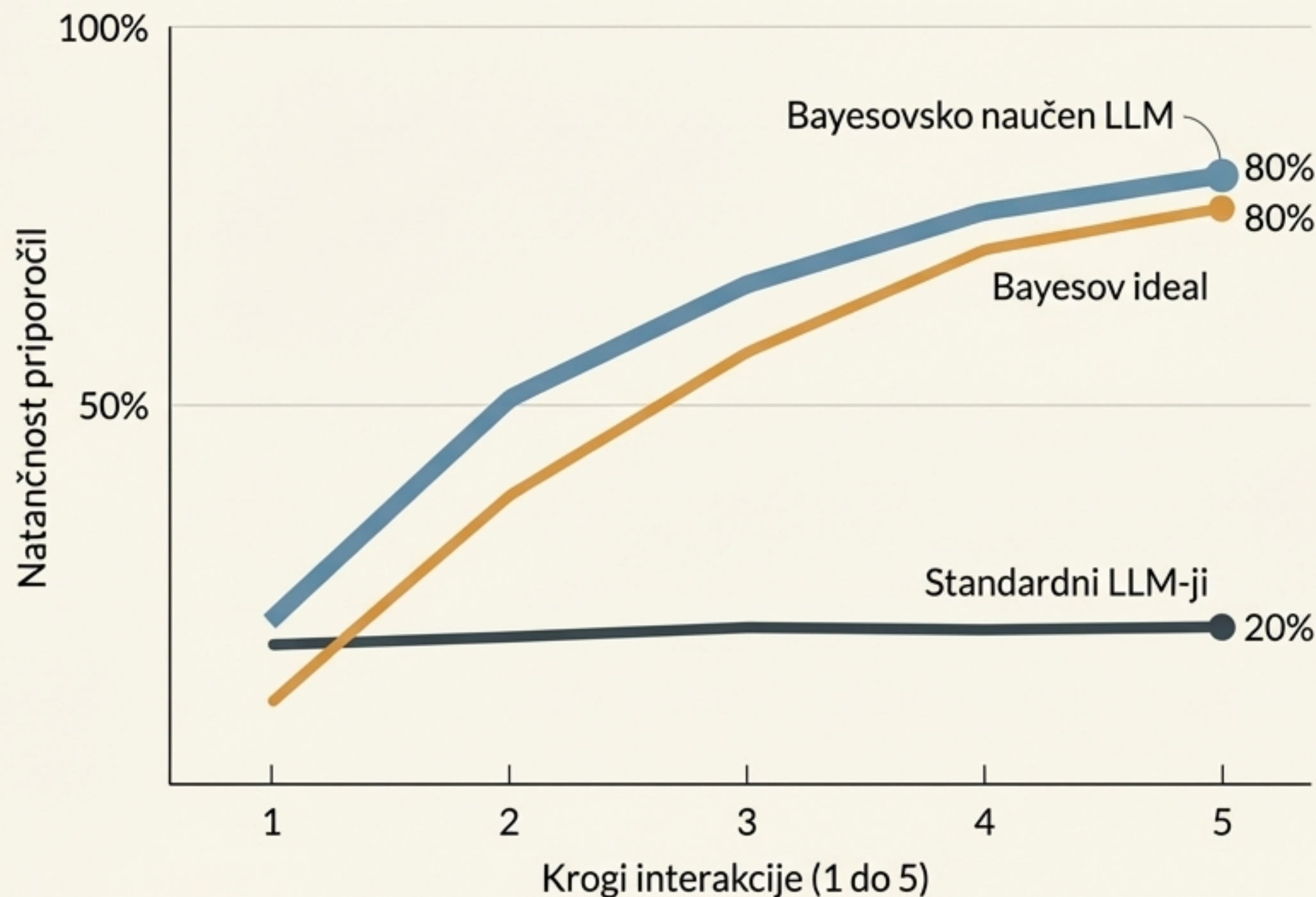
Proces

Model se uči na tisočih primerih interakcij med uporabnikom in Bayesovim asistentom.

Cilj

LLM se ne uči le pravilnega odgovora, temveč posnema proces ohranjanja negotovosti in sužavanja možnosti. To tehniko imenujemo **Bayesovo učenje**.

Rezultat: Preboj krivulje učenja in preseganje Orklja



Ključno spoznanje:

Bayesovo učenje drastično izboljša zmogljivost odprtokodnih modelov (Gemma, Llama, Qwen). Krivulja učenja se po 5 krogih strmo dvigne.



Model, ki se je učil od Bayesovega učitelja (ki se včasih moti), **konstantno in zanesljivo premaguje** model, ki se je učil od Orklja (ki je vedno nezmotljiv).

Notranja preobrazba: 80-odstotno ujemanje z matematičnim idealom.



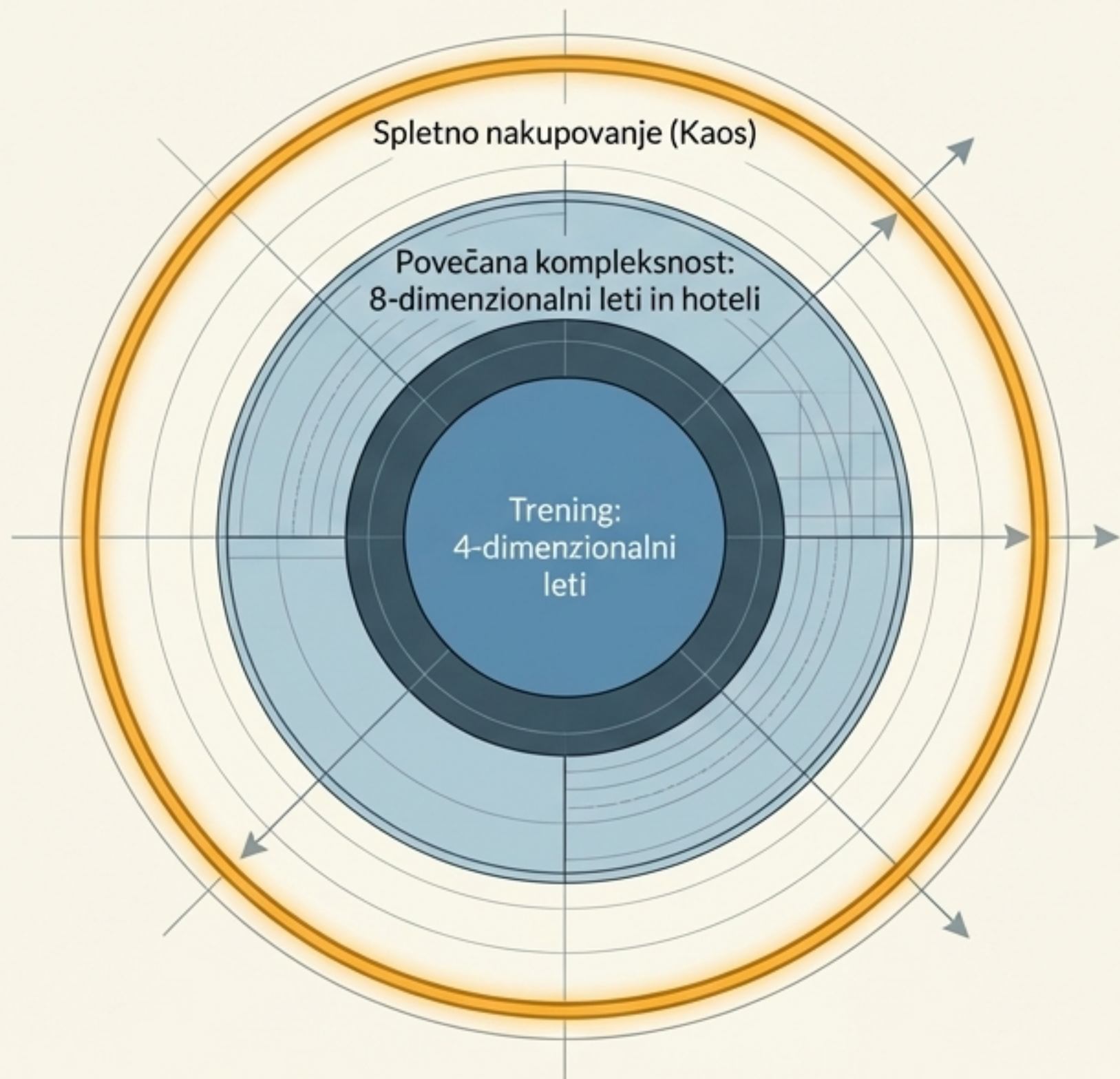
Metrika:

Ne gre zgolj za višje ocene. Naučeni LLM zdaj generira napovedi, ki se v skoraj 80 % primerov natančno ujemajo s strogimi izračuni Bayesovega asistenta.

Zaključek:

Model je implicitno osvojil mehaniko verjetnostnega sklepanja, ne da bi mu kdajkoli eksplicitno pokazali matematične enačbe.

Test posploševanja: Od sintetičnega peskovnika do resničnega sveta



Vprašanje

Ali se je LLM le na pamet naučil rezervirati lete v nadzorovanem okolju, ali pa je pridobil univerzalno kognitivno sposobnost za reševanje negotovosti?

Preizkus

Raziskovalci so naučene modele testirali v popolnoma novih, še nevidenih scenarijih – od priporočanja hotelov do kompleksnih nalog spletnega nakupovanja.

Ultimativni preizkus: Spletno nakupovanje z nestrukturiranimi podatki.

Sintetični trening

	Trajanje	Cena	Postanki
	4h 30m	€250	0
	6h 15m	€410	1
	4h 30m	€400	1
	6h 15m	€410	1
	4h 30m	€250	2
	6h 15m	€410	2

Strukturirano okolje s končnim številom spremenljivk.

Omejeno območje gotovosti

Resnični svet

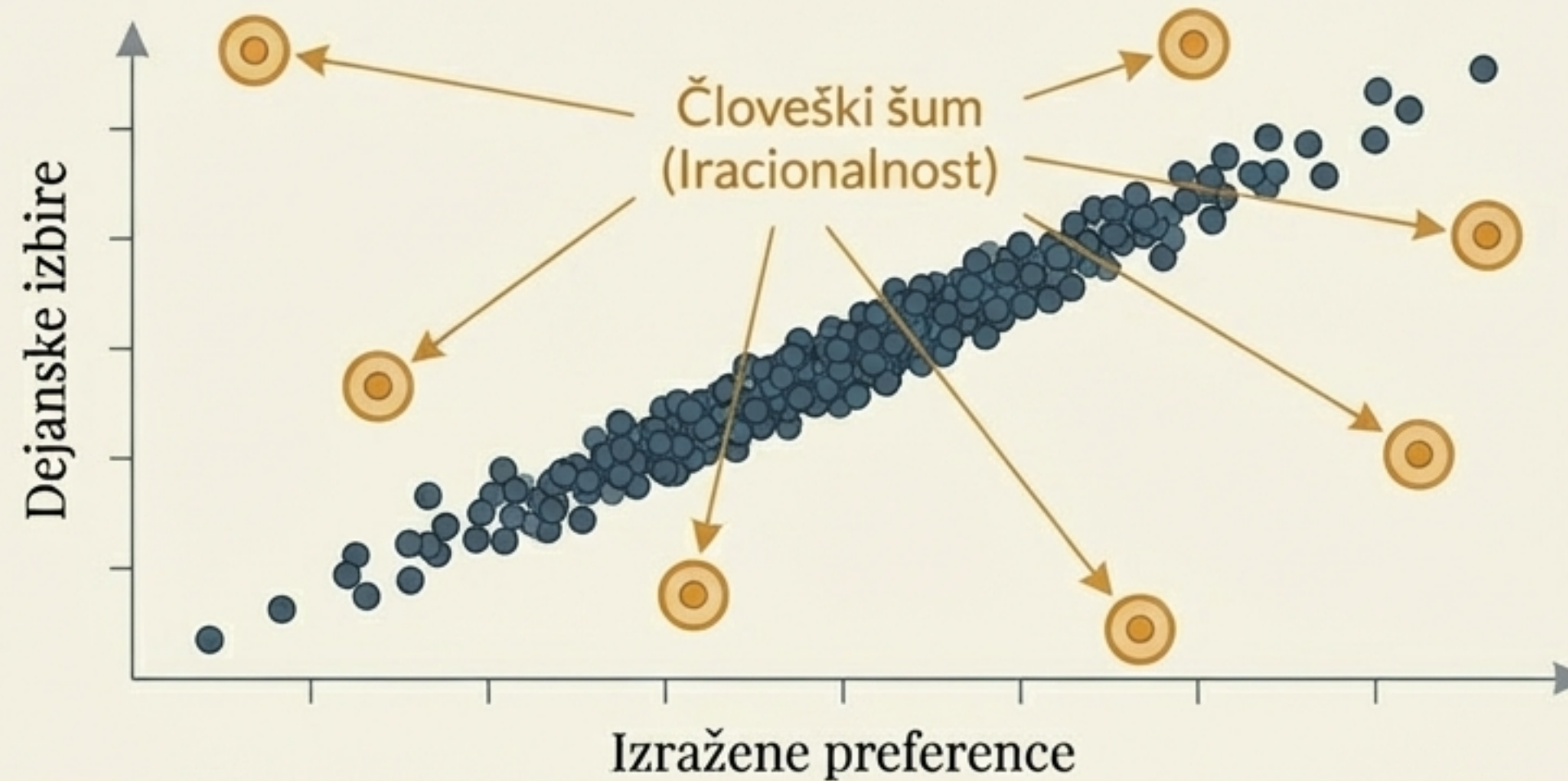


Nestrukturirano okolje, masiven prostor preferenc in kaotičen jezik

Neskončno območje negotovosti

Zmagoslavje: Za spletno nakupovanje je praktično nemogoče zgraditi tradicionalni matematični model. Kljub temu Bayesovsko naučen LLM uspešno prenese svoje verjetnostne sposobnosti v to nestrukturirano okolje in močno prekaša izhodiščne modele.

Človeški faktor: Obvladovanje nedoslednosti in šuma.



Realnost

Simulirani uporabniki so popolnoma racionalni. Pravi ljudje niso. Pogosto izberejo nekaj, kar je v neposrednem nasprotju z njihovimi lastnimi preteklimi trditvami.

Prednost AI

Presenetljivo je Bayesovski LLM ta človeški šum obvladal bolje kot togi matematični model. Nevronska narava LLM-jev prinaša dragoceno prilagodljivost pri obravnavi iracionalnosti.

Sinteza: Zakaj so napake boljši učitelj kot popolnost.

Orakelj



Poda popoln rezultat, vendar ne nudi nobenega vpogleda v to, KAKO ravnati ob negotovosti.

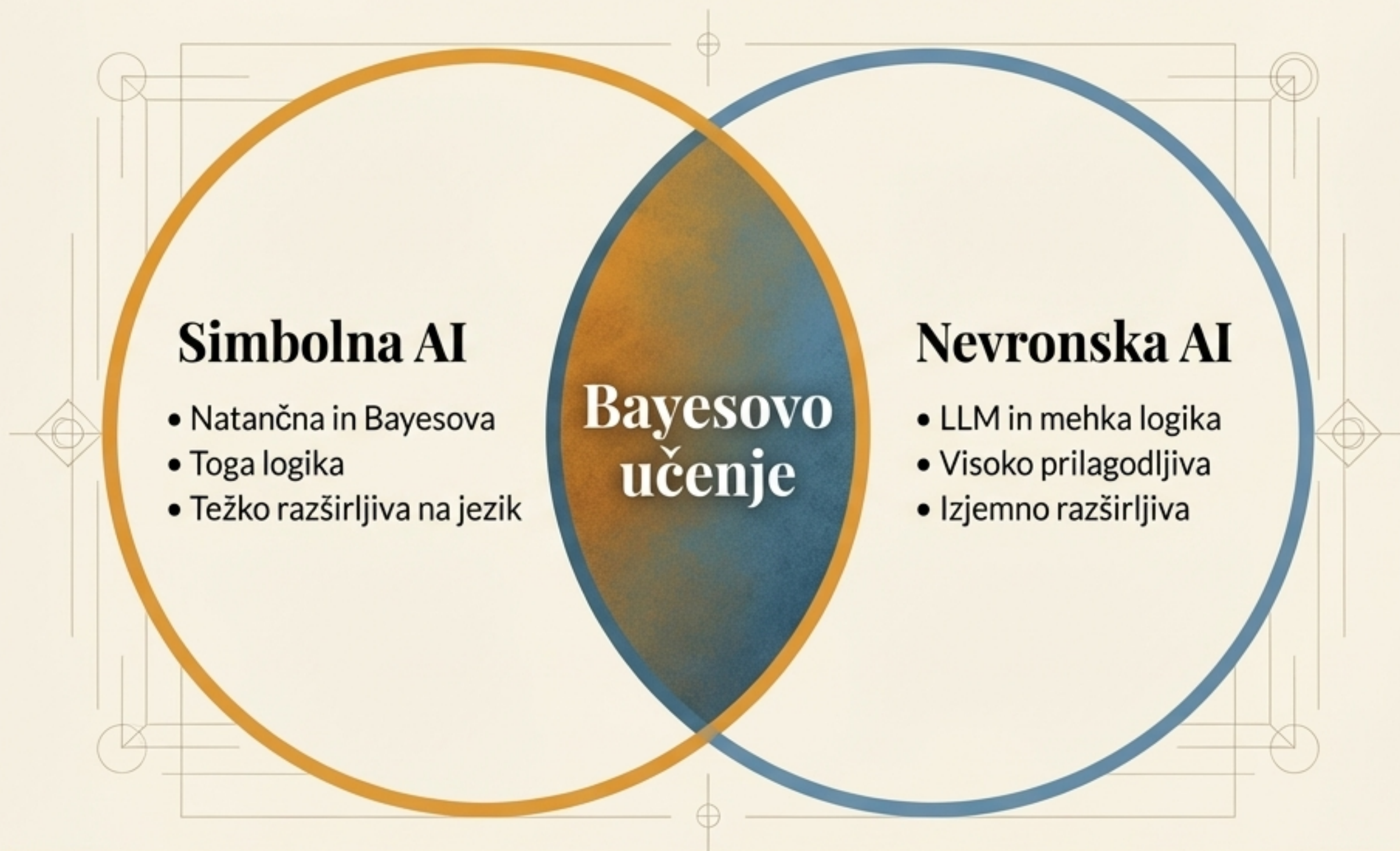
Bayesov učitelj



Premišljena ugibanja puščajo sledovi razmišljanja. Pokažejo celoten proces in mehaniko posodabljanja prepričanj.

Proces nad rezultatom: Sam proces razreševanja negotovosti ustvarja bistveno močnejši učni signal kot goli končni rezultat.

Širša slika: Most med simbolno in nevronske umetno inteligenco.



Sprememba paradigme: LLM-je lahko v nadzorovanem okolju naučimo posnemati stroge matematične modele, to pridobljeno logiko pa nato posplošijo in prenesejo v zapletena, kaotična jezikovna okolja, kjer bi bila klasična matematika prezahtevna.

Prihodnost prilagodljivih agentov: Tri ključna spoznanja.



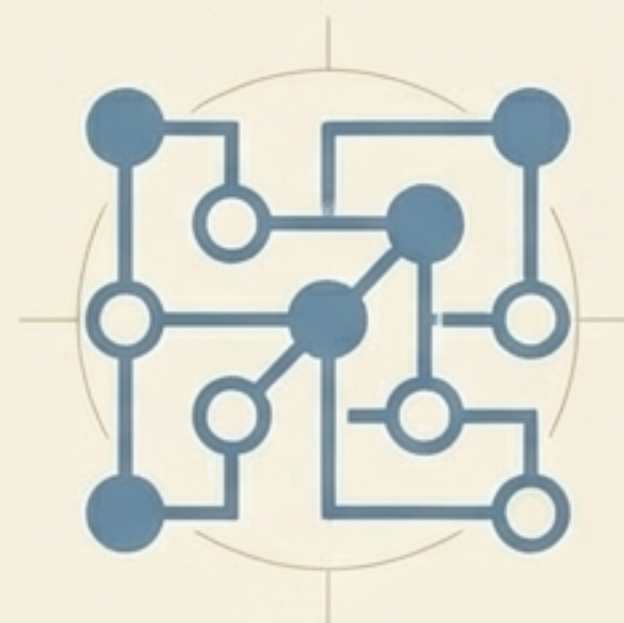
Prilagodljivost je nuja

Da bodo AI agenti resnično uporabni v praksi, morajo obvladati **večkrožno posodabljanje prepričanj in branje med vrsticami**. Standardni modeli tega še ne zmorejo in obtičijo v vzorcih.



Nova paradigma učenja

Popolni podatki (Orkliji) niso vedno optimalni za učenje. Učenje **postopkovnega reševanja negotovosti in opazovanje napak** ustvarja **bistveno pametnejše modele**.



Razširljivo sklepanje

Kompleksno verjetnostno logiko je mogoče vgraditi neposredno v **standardne arhitekture arhitekture** s cilnim **posnemanjem**, kar omogoča uporabo v najbolj kaotičnih realnih scenarijih.