Vizualizacija scenarijev prihodnosti tehnoloških civilizacij
Visualizing Future Scenarios for Technological Civilizations

Aleksander Kosanović
Institut "Jožef Stefan"
Ljubljana, Slovenija
ak57749@student.uni-lj.si

Julija Stopar
Institut "Jožef Stefan"
Ljubljana, Slovenija
julija.stopar@ijs.si

Matjaž Gams
Institut "Jožef Stefan"
Ljubljana, Slovenija
matjaz.gams@ijs.si

Povzetek

Ponovno analiziramo, kako dolgo bi lahko obstajala človeška tehnološka civilizacija, pri čemer tokrat uporabljamo doslej najcelovitejši in najkompleksnejši pristop. Drakova enačba in njene razširitve niso zgolj računska orodja za ocenjevanje številčnosti tehnoloških civilizacij, temveč tudi formalne reprezentacije sklepanja v razmerah globoke negotovosti. V prispevku Drakove, Brinove in modele redke Zemlje obravnavamo kot generatorje scenarijev. Njihove semantično različne izhode uskladimo s povezovalno diagnostično količino N^* ter jih prikažemo v prostoru aktivne življenjske dobe L_{active} in diagnostične vrednosti N^*. Gostotno karto enakomerno uteženega supermodela SM1 razdelimo na štiri režime. Največji delež utežene mase pripada prehodnemu režimu R_2, in sicer 43,7 %, sledi pa mu dolgoživi režim z visoko diagnostično vrednostjo R_4, ki obsega 35,9 %; tudi globalni maksimum glajene gostote leži v režimu R_2. Primerjava treh nastavitev uteži supermodela pokaže, da se v obravnavanem zaporedju SM4–SM1–SM5, v katerem narašča relativni prispevek naselitvenih komponent, povečuje tudi masa režima R_4. Rezultati ne predstavljajo empiričnih verjetnosti za Galaksijo, temveč opisujejo lastnosti modelno induciranega prostora scenarijev. Gostotno karto in primerjavo mas posameznih režimov obravnavamo kot komplementarni zunanji reprezentaciji, ki razkrivata strukturo scenarijskega prostora ter omogočata sistematično primerjavo različnih modelnih predpostavk.

Ključne besede

Drakova enačba, Fermijev paradoks, negotovost parametrov, kognitivne reprezentacije, scenarijska analiza, tehnološke civilizacije

Abstract

We revisit the question of how long human technological civilization might persist, this time using our most comprehensive and complex approach to date. The Drake equation and its extensions are not merely computational tools for estimating the number of technological civilizations, but also formal representations of reasoning under deep uncertainty. In this study, we treat the Drake, Brin, and Rare Earth models as scenario generators. We align their semantically distinct outputs by means of the bridging diagnostic quantity N^* and represent them in the space defined by active lifetime L_{active} and diagnostic value N^*. We divide the density map of the uniformly weighted supermodel SM1 into four regimes. The transitional regime R_2 contains the largest share of the weighted mass, at 43.7 %, followed by the long-lived, high-diagnostic-value regime R_4, at 35.9 %; the global maximum of the smoothed density also lies within regime R_2. A comparison of three supermodel weighting configurations shows that, across the sequence SM4–SM1–SM5, in which the relative contribution of settlement-related components increases, the mass assigned to regime R_4 also grows. These results should not be interpreted as empirical probabilities for the Galaxy, but rather as properties of a model-induced scenario space. We treat the density map and the comparison of regime masses as complementary external representations that reveal the structure of the scenario space and enable systematic comparison among different modeling assumptions.

Keywords

Drake equation, Fermi paradox, reasoning under uncertainty, cognitive representations, scenario analysis, technological civilizations

1 Uvod

Ponovno se lotevamo računavanja dolgoživosti oz. pričakovane življenjske dobe človeške tehnološke civilizacije. Naše izhodišče je Fermijev paradoks - zakaj kljub ogromnemu številu planetov ne dobimo stika z drugimi civilizacijami? Problem ni le ocenjevanje civilizacijske številčnosti ali dolgoživosti, temveč tudi organizacija sklepanja pri veliki negotovosti.

Najbolj znan formalni okvir za takšno organizacijo je prilagojena Drakova enačba

$$N_{\text{active}} = R_* f_p n_e f_l f_i f_a L_{\text{active}}, \tag{1}$$

ki problem razgradi na astrofizikalne, planetarne, biološke in tehnološke faktorje [1, 2]. Enačba ni empirični zakon v običajnem fizikalnem smislu. Njena ključna funkcija je reprezentacijska: določi, katere neznane količine štejemo za odločilne in kako kompleksno vprašanje razdelimo na obvladljive podprobleme.

Kasnejše modelne družine spremenijo strukturo te reprezentacije. Brinovi modeli uvedejo prostorsko širjenje in razliko med neodvisnim civilizacijskim izvorom ter naseljeno lokacijo [3]. Rare-Earth pristopi poudarjajo redkost planetarnih, geofizikalnih in bioloških pogojev pred nastankom tehnološke inteligence [4]. Stohastične in probabilistične analize dodatno pokažejo, da široki intervali vhodne negotovosti bistveno vplivajo na interpretacijo Fermijevega paradoksa [5, 6, 7]. Te modelne družine zato niso le različni postopki za ocenjevanje istega števila, temveč različni načini organizacije istega problemskega prostora.

Takšna uporaba modelov je povezana z omejeno racionalnostjo: kadar popolno znanje ni dostopno, formalne reprezentacije negotovosti ne odstranijo, temveč omogočijo njeno strukturirano obravnavo [8]. Gostotna karta prikaže porazdelitev scenarijev, zloženi stolpčni diagram pa omogoča primerjavo režimskih deležev. V kognitivni znanosti takšne prikaze obravnavamo kot zunanje reprezentacije [9, 10]. V tem prispevku zunanjo reprezentacijo razumemo kot grafično ali simbolno strukturo, ki izbrane odnose

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).
Information Society 2026, 5–9 October 2026, Ljubljana, Slovenia
© 2026 Copyright held by the owner/author(s).
https://doi.org/10.70314/is.2026.cogni.17

v modelnem prostoru prenese v obliko, dostopno neposredni vizualni primerjavi, zaznavanju vzorcev in kategorizaciji. Gostotna karta eksternalizira zvezno porazdelitev scenarijev, režimska particija pa kontinuirani prostor pretvori v omejeno množico primerljivih kategorij. Njuno kognitivno učinkovitost obravnavamo kot teoretično-metodološko hipotezo in ne kot eksperimentalno potrjen učinek. Gostotna karta omogoča pregled skupne porazdelitve scenarijev, primerjava režimskih mas pa neposrednejši prikaz njihove odvisnosti od modelnih predpostavk.

Osrednje raziskovalno vprašanje je, kako lahko semantično heterogene izhode različnih modelov tehnoloških civilizacij poravnamo v skupen diagnostični prostor ter kako lahko gostotna karta in primerjava režimskih mas eksternalizirata njegovo strukturo in odvisnost od modelnih predpostavk. Prispevek ima tri glavne korake: (1) uvede premostitveno diagnostično količino N^*, (2) skupni prostor razdeli na štiri režime in izračuna njihove utežene mase ter (3) s tremi alternativnimi nastavitvami supermodelnih uteži preveri, kako se režimska porazdelitev odzove na spremembo relativnega prispevka naselitvenih komponent.

2 Metoda: modeli kot generatorji scenarijev

Računski okvir sestavlja pet modelnih komponent: standardni Drakov model (I), reducirani Drakov model (II), prostorski naselitveni model (IIIA), multiplikativni naselitveni model z diagnostiko nezaznave (IIIB-M) in Rare-Earth model (IV). Posamezna komponenta vhodne predpostavke preslika v aktivno življenjsko dobo L_{active} in modelno specifično merilo civilizacijske številčnosti. Modelov zato ne obravnavamo kot pet ocen iste fizikalne količine, temveč kot pet generatorjev semantično različnih scenarijev.

Pri modelih I, II in IV je naravni izhod število neodvisnih aktivnih civilizacij N_{civ}. Pri naselitvenih modelih IIIA in IIIB-M razlikujemo med številom izvornih civilizacij N_{source} in številom aktivnih naseljenih lokacij N_{site}. Za primerjavo v skupnem supermodelnem prostoru uvedemo premostitveno diagnostično količino

$$N^*(m,s) = \begin{cases} N_{\text{civ}}^{(m,s)}, & m \in \{\text{I}, \text{II}, \text{IV}\}, \\ N_{\text{site}}^{(m,s)}, & m \in \{\text{IIIA}, \text{IIIB-M}\}, \end{cases} \tag{2}$$

kjer m označuje modelno komponento, s pa posamezni vzorec. Količina N^* omogoča skupni diagnostični prikaz, vendar ne pomeni fizikalne ali semantične enakovrednosti med neodvisnimi civilizacijami in naseljenimi lokacijami.

V supermodelu SM1 imajo vse modelne komponente enake uteži, $\pi_m = 0.2$. Za primerjavo treh supermodelnih utežnih scenarijev uporabimo poleg osnovnega supermodela SM1 še supermodela SM4 in SM5. Naj bo

$$\mathbf{a} = (a_{\text{I}}, a_{\text{II}}, a_{\text{IIIA}}, a_{\text{IIIB-M}}, a_{\text{IV}})$$

vektor utežnih kazni. Normalizirane mešalne koeficiente določimo kot

$$\pi_m = \frac{a_m^{-1}}{\sum_j a_j^{-1}}. \tag{3}$$

Za SM4 uporabimo $\mathbf{a} = (1, 1, 10, 10, 1)$, s čimer zmanjšamo relativni prispevek naselitvenih komponent, za SM5 pa $\mathbf{a} = (1, 1, 0.1, 0.1, 1)$, s čimer ga povečamo.

Za vsako od petih modelnih komponent smo enkrat generirali 120 000 veljavnih vzorcev negotovih parametrov iz omejenih porazdelitev, določenih z minimalno, modalno in maksimalno vrednostjo. Skupna zbirka tako vsebuje 600 000 vzorcev. Isto zbirko komponentnih vzorcev smo uporabili pri supermodelih SM1, SM4 in SM5; med njimi smo spreminjali samo mešalne koeficiente. Uteži vzorcev znotraj posamezne komponente so normalizirane tako, da je njihova vsota enaka pripadajočemu koeficientu π_m. Takšna zasnova omogoča, da razlike med supermodeli pripišemo spremembi uteži in ne neodvisni Monte Carlo variabilnosti.

Vzorce prikažemo v logaritemskem diagnostičnem prostoru

$$\left(\log_{10} L_{\text{active}},\ \log_{10} N^*\right).$$

Gostoto ocenimo z uteženim dvodimenzionalnim histogramom z 90×90 celicami in jo zgladimo z Gaussovim jedrom s standardnim odklonom treh celic. Maksimum glajene gostote v obravnavanem območju označuje lokalno najgostejše območje prikazanega ansambla; ne enačimo ga z uteženim težiščem ali z empirično najverjetnejšim stanjem Galaksije.

Diagnostični prostor razdelimo na štiri disjunktne režime:

$$\begin{aligned} R_1 &: L_{\text{active}} < 10^3, \\ R_2 &: 10^3 \le L_{\text{active}} < 10^5, \\ R_3 &: L_{\text{active}} \ge 10^5, \quad N^* < 10^2, \\ R_4 &: L_{\text{active}} \ge 10^5, \quad N^* \ge 10^2. \end{aligned} \tag{4}$$

Režimi tvorijo particijo veljavnega vzorčnega prostora, zato vsak vzorec pripada natanko enemu režimu. R_1 opisuje kratko aktivno življenjsko dobo, R_2 prehodno življenjsko dobo, R_3 dolgo življenjsko dobo z nizko diagnostično vrednostjo N^*, R_4 pa dolgo življenjsko dobo z visoko diagnostično vrednostjo N^*.

Pragovi so izbrani kot operativne meje po redih velikosti. Njihov namen je ločiti kratkožive, prehodne in dolgožive tehnološke scenarije ter pri dolgoživih scenarijih razlikovati med nizko in visoko diagnostično vrednostjo N^*. Ne predstavljajo empirično določenih prehodov ali naravnih civilizacijskih časovnih skal, temveč interpretativno particijo, namenjeno pregledni primerjavi različnih supermodelnih nastavitev. Drugačna izbira pragov bi lahko spremenila posamezne režimske mase.

Uteženo maso režima R_k definiramo kot

$$p_k = \frac{\sum_{s=1}^{n} w_s\, \mathbf{1}_{R_k}\left(L_{\text{active}}^{(s)}, N^{*(s)}\right)}{\sum_{s=1}^{n} w_s}, \tag{5}$$

kjer je w_s supermodelna utež vzorca, $\mathbf{1}_{R_k}$ pa indikatorska funkcija režima R_k. Ker so režimi disjunktni in izčrpni, velja $\sum_{k=1}^{4} p_k = 1$.

3 Rezultati

V osnovnem enakomerno uteženem supermodelu SM1 največji delež simulacijskega ansambla pripada prehodnemu režimu R_2, katerega utežena masa znaša 43.7%. Sledi dolgoživi režim z visoko diagnostično vrednostjo N^*, R_4, z maso 35.9%. Kratkoživi režim R_1 vsebuje 12.9%, dolgoživi režim z nizko diagnostično vrednostjo N^*, R_3, pa 7.5% skupne uteženo mase. Režima R_2 in R_4 skupaj vsebujeta 79.6 % uteženo mase supermodela SM1.

Globalni maksimum glajene gostote se pojavi približno pri

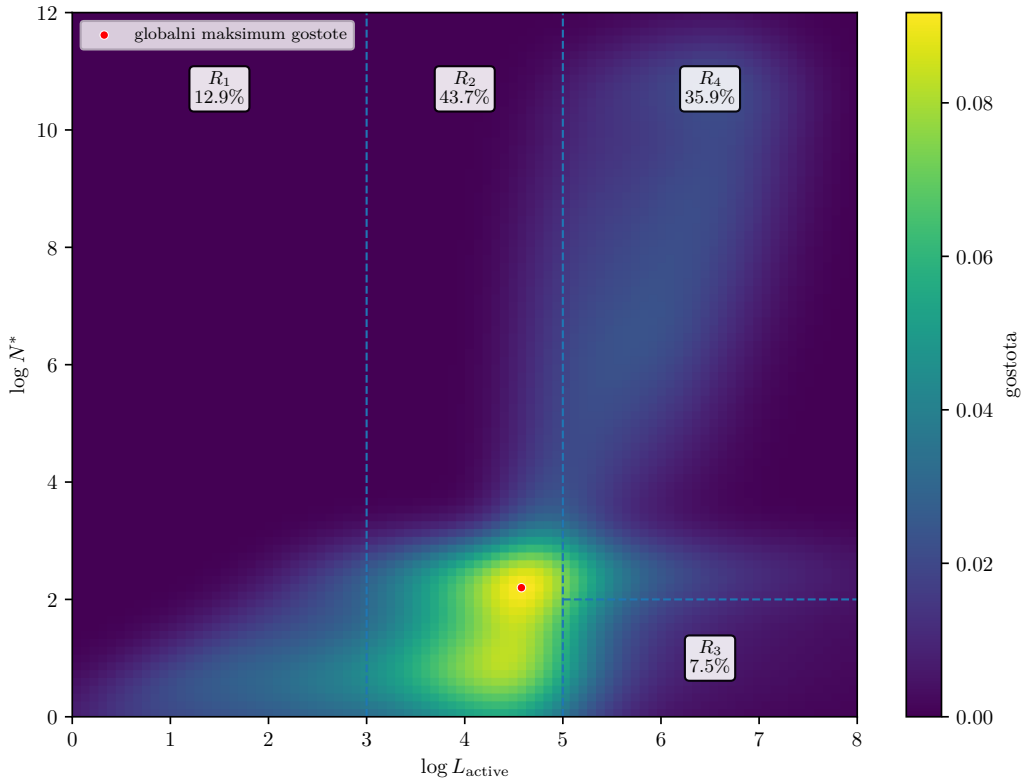
$$\left(\log_{10} L_{\text{active}}, \log_{10} N^*\right) \approx (4.58, 2.20),$$

kar ustreza

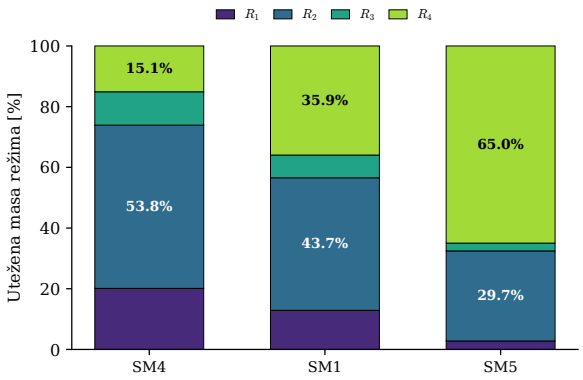
$$L_{\text{active}} \approx 3.8 \cdot 10^4 \text{ let}, \qquad N^* \approx 1.6 \cdot 10^2.$$

Maksimum leži v režimu R_2, ki je določen z intervalom aktivne življenjske dobe in ne postavlja dodatnega pogoja na diagnostično vrednost N^*.

Občutljivost režimske razdelitve smo preverili v treh nastavitvah supermodelnih uteži. V zaporedju SM4–SM1–SM5, v katerem se povečuje relativni prispevek naselitvenih komponent, masa režima R_4 naraste z 15.1 % na 35.9 % in nato na 65.0 %. Hkrati masa režima R_2 pade s 53.8 % na 43.7 % in nato na 29.7 %. V treh



Slika 1: Gostotna karta supermodela SM1 v diagnostičnem prostoru $(\log_{10} L_{\text{active}}, \log_{10} N^*)$**. Črtkane meje določajo štiri režime, oznake pa njihove uteženе Monte Carlo mase. Rdeča točka označuje globalni maksimum glajene gostote.**



Slika 2: Primerjava uteženih režimskih mas pri treh izbranih supermodelnih nastavitvah. Stolpci predstavljajo celotne režimske porazdelitve supermodelov SM4, SM1 in SM5. V zaporedju, v katerem se povečuje relativni prispevek naselitvenih komponent, se masa režima R_4 povečuje, masa režima R_2 pa zmanjšuje.

obravnavanih nastavitvah tako opazimo urejen premik režimske mase iz R_2 proti R_4. Sprememba ne zadeva le enega režima, temveč preuredi celotno režimsko porazdelitev.

4 Razprava

Osrednje vprašanje te raziskave ni zgolj, kako dolgo lahko obstaja tehnološka civilizacija, temveč tudi, ali smo takšen civilizacijsko-kognitivni pojav sploh sposobni ustrezno razumeti. Človeška kognicija je prilagojena razmišljanju v časovnih merilih posameznikovega življenja, družinskih generacij in zgodovinskih obdobij, bistveno težje pa obravnava procese, ki trajajo tisoče, milijone ali celo milijarde let. Kot razvojna analogija lahko služi otroško razumevanje smrti. Pojmi njene univerzalnosti, nepovratnosti in osebne neizogibnosti se oblikujejo postopoma ter se praviloma utrdijo šele okoli zgodnjega šolskega obdobja. Spoznanje, da je posameznikovo življenje končno, je kognitivno in čustveno zahtevno. Podobno zahtevno je lahko tudi spoznanje, da človeška civilizacija ni nujno trajna, temveč ima lahko omejen časovni horizont obstoja.

V vsakdanjem, političnem in celo znanstvenem mišljenju človeško civilizacijo pogosto implicitno obravnavamo kot nadaljujoč se proces brez določenega konca. Razpravljamo o prihodnjih stoletjih, naseljevanju drugih planetov in tehnološkem napredku, ne da bi vedno eksplicitno upoštevali možnost, da je tudi tehnološka civilizacija prehoden pojav. Predstavljamo si lahko propad posameznih držav, kultur ali političnih ureditev, bistveno težje pa si predstavljamo dokončen konec celotne tehnološke civilizacije. Modeli, obravnavani v tem prispevku, to intuitivno predpostavko postavljajo pod vprašaj. Ne kažejo enega samega vnaprej določenega "roka trajanja", temveč scenarijski prostor, v katerem je večina civilizacijskih poti časovno omejena, zelo dolga življenjska doba pa ostaja mogoča, vendar pripada manjšemu in modelno občutljivejšemu delu prostora.

Rezultati kažejo, da osnovni supermodel SM1 največ uteženе mase razporedi med prehodni režim R_2 in dolgoživi režim z visoko diagnostično vrednostjo N^*, R_4. Teh deležev ne smemo razlagati kot neposrednih verjetnosti za dejansko Galaksijo. Gre za lastnosti scenarijskega prostora, ki ga določajo izbrane modelne enačbe,

vhodne porazdelitve, diagnostični pragovi in supermodelne uteži. Modeli zato ne dokazujejo, da bo človeška civilizacija prenehala obstajati ob določenem času, temveč formalizirajo spoznanje, da neskončno nadaljevanje tehnološke civilizacije ni privzeta posledica njenega nastanka.

Dominantnost režima R_2 poudarja razliko med nastankom tehnološke civilizacije in njeno dolgoročno stabilnostjo. V tem režimu tehnološka aktivnost preseže kratko začetno fazo, vendar še ne doseže časovne meje, ki smo jo diagnostično povezali z dolgoživo civilizacijsko prisotnostjo. Obstoj napredne tehnologije zato sam po sebi še ne pomeni dolgoročne civilizacijske stabilnosti. Civilizacija lahko razvije industrijo, globalne komunikacije, vesoljske tehnologije in umetno inteligenco, ne da bi s tem avtomatično rešila probleme politične nestabilnosti, ekoloških omejitev, tehnoloških tveganj, konfliktov ali izgube institucionalne sposobnosti za dolgoročno koordinacijo.

To razlikovanje je pomembno tudi pri razpravah o naseljevanju drugih planetov. Prostorska razširitev lahko bistveno zmanjša ranljivost civilizacije za lokalne katastrofe in v nekaterih modelnih scenarijih podaljša njeno skupno prisotnost za približno dva reda velikosti oziroma stokrat. Toda tudi večplanetarna civilizacija s tem ne postane nujno neomejena. Njena življenjska doba ostaja končna, kadar so kolonije medsebojno odvisne, kadar se iste sistemske napake reproducirajo na več lokacijah ali kadar dolgoročna tveganja delujejo na ravni celotne tehnološke kulture. Naseljevanje drugih planetov zato v obravnavanem modelnem okviru predstavlja podaljšanje civilizacijskega časovnega horizonta, ne pa odprave njegove končnosti.

Semantični pomen režimov R_3 in R_4 je odvisen od modelne komponente. Pri modelih I, II in IV visoka vrednost N^* pomeni veliko število neodvisnih aktivnih civilizacij. Pri naselitvenih modelih IIIA in IIIB-M pa pomeni veliko število aktivnih naseljenih lokacij, ki lahko izvirajo iz ene ali nekaj izvornih civilizacij. R_4 je zato na ravni supermodela najprej režim dolge aktivne življenjske dobe in visoke diagnostične vrednosti. Interpretacijo v smislu prostorsko razširjene oziroma večplanetarne civilizacije ima le pogojno, znotraj naselitvenih komponent.

Primerjava supermodelov dodatno pokaže, da režimska porazdelitev ni neodvisna od modelnih predpostavk. Ko v zaporedju SM4–SM1–SM5 povečujemo relativni prispevek naselitvenih komponent, se masa R_4 povečuje, masa R_2 pa zmanjšuje. Pri naselitvenih modelih to pomeni premik poudarka od časovne trajnosti ene tehnološke faze proti prostorski razpršenosti civilizacijske prisotnosti. Civilizacija lahko kot povezan politični ali kulturni sistem izgine, njene tehnološke naslednice ali naseljene lokacije pa lahko obstajajo še dolgo po tem. Pri drugih komponentah visoka vrednost N^* še vedno pomeni številčnost neodvisnih civilizacij, zato je treba spremembe režimskih mas vedno razlagati skupaj s sestavo supermodela.

Rare-Earth interpretacija je vzročno drugačna od režimske razdelitve. Nizka vrednost N^* lahko nastane zaradi kratke tehnološke življenjske dobe, lahko pa tudi zaradi redkosti planetarnih, geofizikalnih ali bioloških pogojev, potrebnih pred nastankom tehnološke inteligence. Enako območje diagnostičnega prostora ima zato lahko različne vzročne razlage, odvisno od modelne komponente, iz katere vzorec izvira. Galaksija z majhnim številom zaznavnih civilizacij je lahko Galaksija, v kateri tehnološke civilizacije pogosto nastanejo in hitro izginejo, ali pa Galaksija, v kateri je že njihov nastanek izjemno redek. Diagnostična podobnost zato ne pomeni nujno vzročne enakosti.

Poseben pomen ima majhna, vendar neničelna masa dolgoživih scenarijev. Modeli ne izključujejo možnosti, da tehnološka civilizacija obstane izjemno dolgo. Takšni scenariji so manj zastopani, vendar kažejo, da kratka ali srednje dolga civilizacijska življenjska doba ni logična nujnost. Ključno vprašanje zato ni samo, kateri dejavniki povzročijo propad, temveč kateri mehanizmi bi civilizaciji omogočili prehod iz režima R_2 v režim R_4. Tak prehod bi verjetno zahteval sposobnost napovedovanja dolgoročnih posledic, koordiniranja prek generacij, obvladovanja kompleksnih tehnoloških sistemov in omejevanja eksistencialnih tveganj v časovnih merilih, ki močno presegajo običajne človeške institucije.

V tem okviru se pojavi vprašanje superinteligence. Če so glavne omejitve civilizacijske dolgoživosti povezane s kompleksnostjo, kratkoročnostjo človeškega odločanja in nezmožnostjo zanesljivega upravljanja globalnih tveganj, potem bi prehod v skrajno dolgožive režime lahko zahteval kognitivne sposobnosti, ki presegajo posamezno in kolektivno človeško inteligenco. Superinteligenca bi lahko omogočila boljše modeliranje dolgoročnih posledic, usklajevanje med sistemi, odkrivanje nevarnih razvojnih poti in vzdrževanje stabilnosti skozi zelo dolga obdobja. Vendar ista tehnologija predstavlja tudi potencialno eksistencialno tveganje. Superinteligence zato ne smemo obravnavati kot avtomatične rešitve, temveč kot možen prehodni mehanizem, katerega učinek je odvisen od usklajenosti ciljev, nadzora, institucionalnega okolja in sposobnosti človeštva, da varen prehod sploh izvede.

Osnovni paradoks je zato naslednji: civilizacija bi za dolgoročno preživetje morda potrebovala inteligenco, sposobno razumeti in upravljati procese, ki jih človeška kognicija sama težko zajame, ustvarjanje takšne inteligence pa je lahko eno največjih tveganj v njeni zgodovini. Majhna masa skrajno dolgoživih scenarijev se lahko zato interpretira kot ozko območje prehoda med dvema neuspehoma: med nezmožnostjo preseči omejitve človeškega odločanja in nezmožnostjo varno upravljati sisteme, ki te omejitve presegajo. Ta interpretacija ni neposreden rezultat posamezne modelne enačbe, temveč hipoteza, ki izhaja iz povezave med modelnim scenarijskim prostorom in problemom civilizacijske kognicije.

Sliki v tem kontekstu opravljata komplementarni reprezentacijski funkciji. Gostotna karta eksternalizira skupno porazdelitev življenjske dobe in diagnostične vrednosti ter omogoča zaznavanje območij zgostitve, prehodov in skrajnih scenarijev. Zloženi stolpčni prikaz isti ansambel stisne v primerjavo režimskih mas med različnimi supermodelnimi predpostavkami. Režimska razdelitev tako podpira kategorizacijo kontinuiranega prostora v omejeno število interpretativnih enot, primerjava supermodelov pa naredi občutljivost rezultatov na predpostavke neposredno zaznavno [9, 10]. Gre za reprezentacijsko hipotezo, katere dejanski kognitivni učinek bi bilo treba preveriti z uporabniško študijo.

Ta reprezentacijska funkcija je pomembna prav zato, ker je civilizacijska dolgoživost težko predstavljiv kognitivni objekt. Številka, izražena v letih, sama po sebi ne omogoča nujno razumevanja razlike med kratkoživim, prehodnim, večplanetarnim in skrajno dolgoživim scenarijem. Vizualna razdelitev prostora lahko končnost civilizacijskih poti naredi zaznavnejšo, hkrati pa preprečuje, da bi eno samo povprečje ali točkovno oceno napačno razumeli kot napoved. Namen prikazov zato ni le povzemanje rezultatov, temveč tudi podpora mišljenju o pojavu, ki presega intuitivna časovna merila človeškega odločanja.

Človeštvo je v tem okviru nepopolno opazovan primer tehnološke civilizacije. Njegova tehnološka zgodovina je prekratka, da bi ga lahko zanesljivo uvrstili v enega izmed režimov. Modeli zato ne napovedujejo njegove prihodnosti in ne določajo konkretnega

datuma njegovega konca. Omogočajo pa formalno ločevanje med več vprašanji: ali je glavno ozko grlo preživetje začetne tehnološke faze, dolgoročna politična in ekološka stabilnost, redkost predtehnoloških pogojev, sposobnost prostorskega širjenja ali prehod k oblikam inteligence, ki lahko upravljajo civilizacijo v zelo dolgih časovnih merilih.

Najpomembnejši rezultat zato morda ni ocena posamezne življenjske dobe, temveč sprememba perspektive. Civilizacije ni smiselno obravnavati kot neskončnega ozadja človeške zgodovine, temveč kot dinamičen, ranljiv in časovno omejen sistem. Večplanetarnost lahko njegovo življenje močno podaljša, vendar sama po sebi ne odpravi končnosti. Skrajno dolga civilizacijska prisotnost ostaja mogoča, vendar verjetno zahteva tehnološko, institucionalno in kognitivno preobrazbo. Temeljno vprašanje tako ni samo, koliko časa lahko živimo, ampak ali lahko dovolj zgodaj razumemo, da ima tudi civilizacija časovni horizont, ter razvijemo inteligenco in institucije, potrebne za njegovo podaljšanje.

5 Omejitve in prihodnje delo

Rezultate omejuje več metodoloških odločitev. Prvič, gostotne karte in režimske mase so odvisne od izbranih intervalov parametrov, vzorčnih porazdelitev, diagnostičnih pragov in supermodelnih uteži. Vrednosti p_k zato niso posteriorne verjetnosti za dejansko Galaksijo, temveč lastnosti konkretnega simulacijskega ansambla. Enake uteži v SM1 predstavljajo primerjalno izhodišče, ne pa trditve, da je vseh pet modelnih komponent enako verjetnih.

Drugič, premostitvena količina N^* združuje semantično različne izhode. Pri nekaterih modelih predstavlja neodvisne aktivne civilizacije, pri naselitvenih modelih pa aktivne naseljene lokacije. Skupni diagnostični prostor omogoča primerjavo, vendar ne odpravi razlike med N_{civ} in N_{site}. Režimske mase je zato treba interpretirati skupaj z modelno sestavo supermodela.

Tretjič, pragovi režimov R_1–R_4 niso določeni kot naravne ali empirično potrjene meje. Izbrani so kot disjunktna diagnostična particija, ki omogoča pregledno primerjavo kratkoživih, prehodnih in dolgoživih scenarijev z nizko ali visoko vrednostjo N^*. Drugačna izbira pragov bi lahko spremenila posamezne režimske mase, položaj meja pa lahko vpliva tudi na interpretacijo prehoda med R_2 in R_4.

Četrtič, pri modelu IIIB-M verjetnost nezaznave uporabljamo kot diagnostični izhod, ne kot pogojno utež celotnega supermodelnega ansambla. Rezultatov zato ne smemo razlagati kot posteriorne porazdelitve, pogojene z dosedanjim neuspehom iskanja zunajzemeljskih signalov.

Petič, ocena, da lahko prostorska razširitev civilizacijsko prisotnost podaljša za približno dva reda velikosti, je odvisna od strukture naselitvenih modelov. Ne vključuje nujno vseh oblik medplanetarne odvisnosti, skupnih tehnoloških ranljivosti, komunikacijskih zamikov, politične fragmentacije ali možnosti, da se iste nevarne razvojne poti ponovijo na več naseljenih lokacijah. Večplanetarnost zato v modelu ne sme biti enačena z zagotovljeno dolgoročno varnostjo.

Šestič, povezava med dolgoživimi režimi in superinteligenco je interpretativna hipoteza, ne neposredna napoved obravnavanih modelov. Modelne enačbe ne opisujejo podrobno nastanka, arhitekture, ciljev ali upravljanja naprednih sistemov umetne inteligence. Prav tako ne omogočajo sklepa, da je superinteligenca nujen ali zadosten pogoj za prehod v R_4. Omogočajo le vprašanje, ali bi reševanje problemov zelo dolgoročne koordinacije in upravljanja tveganj lahko zahtevalo kognitivne zmogljivosti, ki presegajo obstoječe človeške sposobnosti.

Kognitivna interpretacija prav tako ostaja teoretično-metodološka. Prispevek grafična prikaza obravnava kot možni zunanji reprezentaciji scenarijskega prostora, vendar ne preverja, kako ju uporabniki dejansko razumejo, ali zmanjšujeta pristranskost k implicitni civilizacijski neskončnosti in ali izboljšujeta sklepanje v razmerah globoke negotovosti. Razvojna analogija z razumevanjem osebne umrljivosti je namenjena pojasnjevanju kognitivne težavnosti problema, ne pa enačenju individualne psihologije s procesi na ravni civilizacije.

Modeli poleg tega ne vključujejo podrobnih političnih, ekonomskih, ekoloških, vojaških, kulturnih in psiholoških procesov, ki bi določali prihodnost konkretne človeške civilizacije. Ne opisujejo niti možnih povratnih zank med tehnološkim napredkom, družbeno neenakostjo, institucionalno stabilnostjo, okoljskimi omejitvami in eksistencialnimi tveganji. Rezultati zato predstavljajo diagnostično strukturo scenarijskega prostora, ne celovitega modela prihodnosti človeštva.

Prihodnje delo naj preveri robustnost režimskih mas na spremembe vhodnih porazdelitev, diagnostičnih pragov in supermodelnih uteži. Ročno določene režime bi bilo mogoče primerjati s podatkovno dobljenimi območji, določenimi z gručenjem, segmentacijo gostotnih kart ali detekcijo lokalnih maksimumov. Interpretabilne metode strojnega učenja bi lahko izluščile pravila, ki povezujejo modelne parametre s pripadnostjo posameznemu režimu.

Naselitvene modele bi bilo smiselno razširiti z različnimi stopnjami neodvisnosti kolonij, hitrostmi širjenja, verjetnostmi lokalnega propada in skupnimi sistemskimi tveganji. Tako bi bilo mogoče natančneje razlikovati med civilizacijo, ki je zgolj prostorsko razširjena, in civilizacijo, katere lokacije so organizacijsko, tehnološko in ekološko dovolj neodvisne, da dejansko povečujejo njeno dolgoročno odpornost.

Posebna smer prihodnjega dela je vključitev prehodov med različnimi oblikami inteligence. Model bi lahko eksplicitno obravnaval scenarije, v katerih biološka tehnološka civilizacija razvije napredno umetno inteligenco, se z njo institucionalno poveže, jo neuspešno nadzira ali pa se preoblikuje v postbiološko civilizacijsko obliko. S tem bi bilo mogoče preveriti, ali takšni prehodi povečujejo maso dolgoživih režimov ali predvsem uvajajo novo zgodnjo fazo eksistencialnega tveganja.

Neposredno kognitivno validacijo bi omogočil uporabniški eksperiment, ki bi primerjal razumevanje negotovosti pri gostotni karti, zloženem stolpčnem prikazu, tabeli in enotni točkovni oceni. Preveriti bi bilo mogoče tudi, ali režimski prikazi vplivajo na sposobnost uporabnikov, da civilizacijo obravnavajo kot časovno omejen sistem, razlikujejo med verjetnostjo in modelno inducirano maso ter pravilno razumejo razliko med dolgoživostjo, večplanetarnostjo in številčnostjo neodvisnih civilizacij.

Končni cilj takšnega raziskovalnega programa ne bi bil določiti enega samega datuma konca človeške civilizacije. Njegov cilj bi bil razviti modele in reprezentacije, s katerimi lahko človeštvo razmišlja o lastni časovni omejenosti, prepozna mehanizme prehoda med kratkoživimi in dolgoživimi režimi ter oceni, katere tehnološke, institucionalne in kognitivne spremembe bi bile potrebne za bistveno podaljšanje civilizacijske prihodnosti.

6 Sklep

Prispevek obravnava Drake–Brin–Rare-Earth modele kot generatorje scenarijev in kot formalna sredstva za organizacijo sklepanja

pod globoko negotovostjo. Primerjalna količina N^* omogoča skupni prikaz semantično različnih modelnih izhodov in njihovo razdelitev na štiri režime.

V osnovnem supermodelu SM1 ima največjo uteženo maso prehodni režim R_2, sledi dolgoživi režim z visoko diagnostično vrednostjo N^*, R_4. V treh analiziranih supermodelnih nastavitvah se režimska porazdelitev sistematično odzove na relativni prispevek naselitvenih komponent, kar pokaže, da struktura scenarijskega prostora ni neodvisna od modelnih predpostavk.

Rezultati niso napoved prihodnosti človeštva in ne predstavljajo empiričnih verjetnosti za Galaksijo. Njihova vrednost je metodološka in reprezentacijska: kombinacija gostotne karte in primerjave režimskih mas pokaže, kako lahko semantična poravnava, Monte Carlo analiza in komplementarni grafični prikazi pretvorijo heterogen modelni ansambel v interpretabilen prostor možnih civilizacijskih scenarijev. Za konkretne kognitivne sklepe iz teh simulacijskih rezultatov pa potrebujemo dodatne analize.

Literatura

[1] Frank D. Drake. 1961. Project ozma. *Physics Today*, 14, 4, 40–46. doi:10.1063/1.3057500.

[2] Milan M. Ćirković. 2004. The temporal aspect of the drake equation and SETI. *Astrobiology*, 4, 2, 225–231. doi:10.1089/153110704323175160.

[3] Glen David Brin. 1983. The great silence: the controversy concerning extraterrestrial intelligent life. *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, 24, 283–309.

[4] Peter D. Ward in Donald Brownlee. 2000. *Rare Earth: Why Complex Life Is Uncommon in the Universe*. Copernicus Books, New York.

[5] Nicolas Glade, Pascal Ballet in Olivier Bastien. 2012. A stochastic process approach of the drake equation parameters. *International Journal of Astrobiology*, 11, 2, 103–108. doi:10.1017/S1473550411000413.

[6] Nikos Prantzos. 2013. A joint analysis of the drake equation and the fermi paradox. *International Journal of Astrobiology*, 12, 3, 246–253. doi:10.1017/S1473550413000037.

[7] Anders Sandberg, Eric Drexler in Toby Ord. 2018. Dissolving the fermi paradox. *arXiv preprint arXiv:1806.02404*. arXiv: 1806.02404 [physics.pop-ph].

[8] Herbert A. Simon. 1955. A behavioral model of rational choice. *The Quarterly Journal of Economics*, 69, 1, 99–118. doi:10.2307/1884852.

[9] Mike Scaife in Yvonne Rogers. 1996. External cognition: how do graphical representations work? *International Journal of Human-Computer Studies*, 45, 2, 185–213. doi:10.1006/ijhc.1996.0048.

[10] Jiajie Zhang in Donald A. Norman. 1994. Representations in distributed cognitive tasks. *Cognitive Science*, 18, 1, 87–122. doi:10.1207/s15516709cog1801_3.