

Волошин В. С., д-р техн. наук, проф.;

Азархов О. Ю., д-р. мед. наук, доц.

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь - Дніпро, Україна

ПРО ОДИН ПОРІВНЯЛЬНИЙ КРИТЕРІЙ ПО ВІДНОШЕННЮ ДО КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ДЕЯКИХ ПРИРОДНИХ ТА ШТУЧНИХ ЕКОСИСТЕМ

Предметом нашого дослідження є системи, параметричний аналіз яких може дати відповіді на деякі питання релевантних відносин і які мають деякі ключові порівняльні функції. Це, для порівняння: мурашині колонії, людське суспільство і створені ним неорганічні системи штучного інтелекту

Відомо, що час є одним з основних факторів еволюційного розвитку в природі. На рисунку 1 показані основні часові інтервали, протягом яких розвивалися досліджувані системи. Людський мозок оволодів дещо іншим механізмом прискореної еволюції, ніж інші біологічні системи як самоорганізована система пізнавальної діяльності. Це дозволило людині досягти дивовижних результатів за набагато коротший еволюційний період, яких ніколи не досягали інші біологічні популяції на планеті.

Формування «колективного розуму» у мурах було пов'язане з розвитком феромонної інформації в ранньому крейдяному періоді, а спеціалізація в професіях - з початком так званої еусоціальності. Професійні спеціалізації в мурашиній колонії є способом децентралізованого життєзабезпечення. До такого результату (*децентралізованого управління*) людина прийшла лише через 2 мільйони років свого існування в XXI столітті, створивши так звані технології «blockchain» з розподіленими реєстрами і, об'єктивно, без централізованого управління.

У людини подібні етапи зародження розуму пов'язані зі збільшенням обсягу мозкової речовини і розвитком когнітивізму, а досягнення в спеціалізації прийшли мало не з появою перших міських цивілізацій, надлишком продовольства з землеробства і тваринництва. Розвиток тваринництва було пов'язано з взаємовигідними відносинами з іншими тваринами і комахами. Розвиток рослинництва пов'язаний з мінімізацією збиральництва і пошуком інших шляхів отримання їжі. Однак факт залишається

фактом: ще за 100 мільйонів років до появи людини на поверхні нашої планети з'явилися зачатки землеробства і тваринництва. Це були мурашині колонії, які знаходили способи існування не тільки в збиранні, але і в штучних біологічних технологіях.

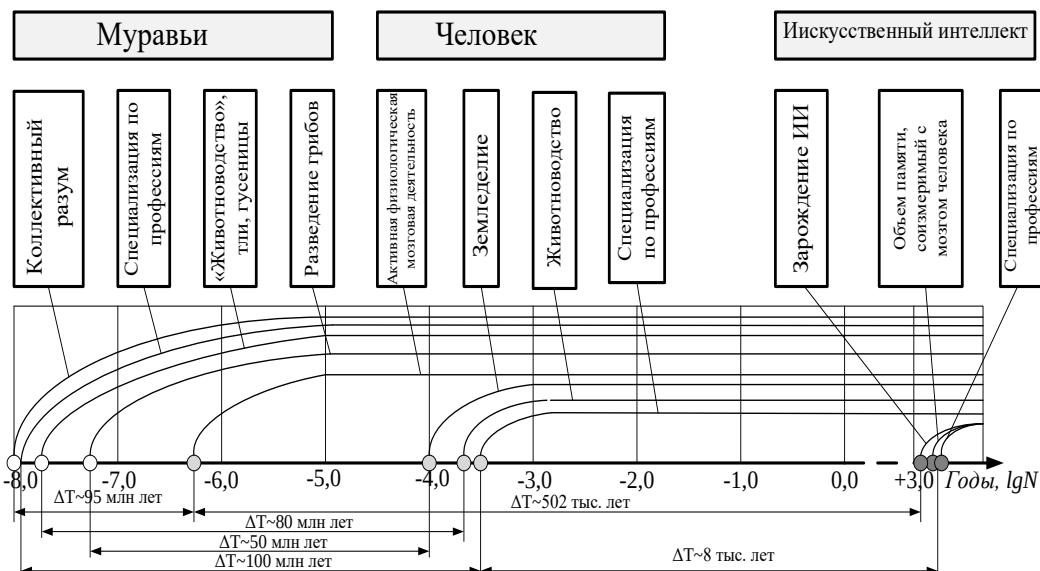


Рисунок 1 – Позначення на часовій шкалі основних порівнянних еволюційних етапів у розвитку популяцій мурах, людини та штучного інтелекту.

Дуже короткий, але інтенсивний період розвитку штучного інтелекту дозволяє виділити в їх часових інтервалах порівняння лише двох його складових: ємність генеративної пам'яті машини і людини, і виникнення замісних (для людини) спеціалізацій. Якщо потужність активних нейронів мозку дорівнює байтам $2,5 \cdot 10^{15}$, то порівнянна потужність суперкомп'ютера **Frontier** (США) - $1,1 \cdot 10^{15}$ байт. Ази виробничої спеціалізації людина отримала близько 4,5 тисяч років тому (всього 10-15 тисяч професій), а ШІ лише пару десятиліть тому (дані класифікації O*NEET, США), але вже в кількості 470 видів професій.

В якості ще одного показника, який може характеризувати дві розглянуті популяції, а також штучний інтелект, ми будемо використовувати такий узагальнюючий параметр, як зміна (збільшення) ентропії в досліджуваних системах. Це показник ступеня деградації або розвитку, це порівнянний рівень організації досліджуваних систем. Порівняння двох чисто біологічних систем, а особливо з неорганічною системою (штучним інтелектом), яка бурхливо розвивається, може бути дуже повчальним для людини.

Термодинамічна складова такої ентропії дає уявлення про можливий розподіл енергії в системі, а її інформаційна компонента оцінює невизначеність або обсяг інформації, пов'язаної зі станами мурашиних суперколоній. За точку відліку візьмемо термодинамічний стан колективної області – суперколонію мурах, яка розташована на європейському узбережжі Середземного моря (Італія, Франція, Іспанія).

Термодинамічні характеристики мурашиної колонії можна розрахувати двома способами. Якщо розглядати мурашину колонію як систему теплообміну, де джерелами тепла є нескінченна кількість самих мурах, а також сонячне світло, вентиляційні та утеплювальні системи, то зміна ентропії розраховується відповідно до другого закону термодинаміки $\Delta S = \Delta E / T$, где $\Delta E = 5 \cdot 10^{-28}$ Дж/особь [1]; $T = 291\text{K}$ – температура в колонії. Тоді зміна термодинамічної ентропії в суперколонії з 10^9 особин за часовий інтервал в одну секунду складе $\Delta S = \frac{5 \cdot 10^{-28} \cdot 10^9}{291} = 1,695 \cdot 10^{-21}$ Дж/(К · с).

Існує і другий, альтернативний, метод розрахунку, який передбачає взяття за основу хаотичні механізми руху кожного індивіда в повному обсязі. У класичному випадку для термодинамічної ентропії використовується наступний вираз: $\Delta S = k_b \ln(\Omega)$, де Ω — кількість можливих мікростанів в залежності від чисельності мурах, їх розподілу по території і їх взаємодій (наприклад, форми контактів, генерація феромонів), типу взаємодії (по «професіям»); $k_b = 1.38 \times 10^{-23}$ Дж/К – константа Больцмана.

Параметрами для розрахунку зміни термодинамічної ентропії в даному випадку є:

- опосередкована температура в мурашнику; $T = 295\text{K}$
- температура навколишнього середовища; $T = 291\text{K}$
- кількість мурах $N = 10^9$;
- площа колонії; $F = 6000 \text{ км}^2$
- енергія взаємодії мурах за допомогою феромонів, при русі, а також витрата енергії на підтримку активності, температури тіла, температури гнізда $E = 5 \cdot 10^{-28}$ Дж/особь [1];

- прийняті професії та види взаємодії: фуражири (0,45), солдати (0,15), годувальники (0,115), няні (0,11), будівельники (0,072), санітари (0,04), розвідники (0,035), пастухи (0,03), переробники відходів (0,015)

Скористаємося розрахунковою моделлю [2], яка описує число можливих мікростанів в залежності від енергії взаємодії E_i , площі i – того ареалу F_i і числа мурах в i – ому ареалі N_i

$$\Omega \approx \sum \frac{F_i N_i}{E_i} = k_{\text{cp}} \sum \frac{N_i^2}{E_i},$$

де k_{cp} – опосередкований коефіцієнт щільності особин, які обслуговують i -ю зону F_i

Розрахунок зміни ентропії зводиться до визначення параметра Ω і отриманні значення ΔS , зведеного до одиниці часу (1 с). Для популяції мурах в заданому розмірі розрахункове значення для порівняння $\Delta S = 1,202 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{с})$.

Цікаво порівняти термодинамічну ентропію людського мозку ($6,4 \cdot 10^{-2} \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{с})$), розрахованої на основі [3] і популяції з $3,44 \cdot 10^5$ мурах, сумарний нейронний мозок яких за кількістю нейронів приблизно відповідає мозку однієї людини. головного мозку людини. Припустимо, що в даній популяції зберігається така ж ступінь спеціалізації. Тоді для мурах цифра розрахункового приросту ентропії становила $\Delta S = 0,92 \cdot 10^{-21} \cdot \text{с})$, що на порядки нижче, ніж для аналогізованого таким чином людського мозку.

Мурашині поселення характеризуються дуже дбайливим ставленням до наявного тепла. Його зберігають для підтримки оптимальної температури (18°C) заради личинкам, попелиці, одомашненим гусеницям, грибкам. Зокрема, тепловтрати в суперколонії мурах чисельністю $1 \cdot 10^9$ особин за рахунок вентиляційних каналів в кількості 120 од / га і з середнім діаметром $\sim 0,06$ м складають $1,27 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}/\text{сут}$ [1], що відповідає зміні ентропії $\Delta S \approx 4,35 \cdot 10^{-22} \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{с})$. Для порівняння, втрати тепла від розподілу енергії для потреб міста з населенням 1 млн осіб і площею 700 км^2 (без урахування промислової складової) перевищують $5,18 \cdot 10^5 \text{ Дж}/\text{сут}$, що відповідає зростанню ентропії $\Delta S \approx 0,0198 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{с})$. Різниця в термодинамічній ефективності вимірюється десятками порядків.

Мозок людини – це компактна нейронна система з відносно низьким енергоспоживанням (20 Вт), на відміну від розподіленого колективного мозку мурахів, кожна умовна клітина якого потребує на порядки менше енергії внаслідок синергетичних ефектів і поступається людському мозку за функціональністю.

У свою чергу, штучна нейронна мережа, заданої розмірності і в залежності від обсягу параметрів, а також структури даних і використовуваних алгоритмів, як носій штучного інтелекту, у вигляді неорганічної системи, вимагає величезних, в порівнянні з мозком людини або мурашки, енергетичних витрат (умовно більш $1,0 \text{ кВт}$). І, як будь-

яка штучна неорганічна система, створена людиною, вона запрограмована на значні великі втрати енергії і зростання ентропії в опосередкованих розмірах $\Delta S \approx 9,2 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{с})$. Зведені дані цього та аналогічних розрахунків наведені в таблиці 1, де можна буде оцінити ефективність такого показника, як ентропія системи як критерій організації та можливості розвитку розглянутих біологічних і неорганічних систем.

Таким чином, індекс термодинамічної ентропії в ретроспективі розвитку показує значні відмінності між тим, що людина створила за останні 40 тисяч років свого існування на основі неорганічних систем (міста, машини, підприємства, комунікації, мережі) і організованим біологічним світом, який був створений і вдосконалений нашими двійниками – мурашиними колоніями – протягом 100 мільйонів років. Тією мірою, якою їх некогнітивний «колективний розум» дозволяє їм це робити.

Інформаційна ентропія - це друга частина системи оцінки взаємодій всередині мурашиної суперколонії, яка відповідає за впорядкованість і ступінь її організації. Для розрахунку інформаційної ентропії ми будемо враховувати такі параметри:

- *потік* інформації, що передається між мурахами в суперколоніях, наприклад, за допомогою феромонів, сигналів про пошук їжі, захисту і т.д.;

- *невизначеність стану*: невизначеність або випадковість, з якою кожна мураха виконує своє завдання, що збільшує ступінь ентропії;

- *обсяг переданої інформації*: це кількість інформації, необхідної для опису стану системи (наприклад, місцезнаходження мурах, їх поведінки і т.д.).

Інформаційна ентропія обчислюється за формулою Шеннона $H = - \sum p_i \log(p_i)$, де p_i — ймовірність того, що система знаходиться в стані i . Для суперколонії мурах ці ймовірності можуть означати, що мураха знаходиться в певному місці або виконує конкретне професійне завдання.

Розрахунок зводиться до обчислення зміни ентропії на мурашку за одиницю часу: $H \approx 1,999 \text{ біт/с.}$ або $\approx 0,019 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{с})$. Для заявленої популяції в 1 мільярд мурах інтегральна інформаційна ентропія може становити $H_{total} = 1,9 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{с})$.

Таблиця 1 – Порівняльні дані про зміну ентропії для деяких органічних і неорганічних систем

№№ п/п	Назва системи		Зміна ентропії, Дж/(К·с)	
			Термодинамічної	інформаційної
1	Мурашина популяція	$N = 10^9$	$1,202 \cdot 10^{-21}$	$1,9 \cdot 10^{-14}$
		$N = 3,44 \cdot 10^5$	$0,92 \cdot 10^{-21}$	$1,9 \cdot 10^{-14}$
2	Людський мозок		$6,4 \cdot 10^{-3}$	$6,91 \cdot 10^{-20}$

3	Урбосистема с $N = 1 \cdot 10^6$ мешканців	$1,98 \cdot 10^{-2}$	$1,44 \cdot 10^{-17}$
4	Система штучного інтелекту	9,2	$3,5 \cdot 10^{-18}$

Таким чином, в термодинамічному плані, і в ретроспективі 100 мільйонів років існування, колонії мурах термодинамічно набагато більш організовані, ніж більшість з того, що створила людина, включаючи його самого за 2 мільйони років існування. Зростання термодинамічної ентропії у відомих суперколоніях мурах на кілька порядків нижче, ніж зростання цієї ж ентропії в системах, створених людиною, включаючи її мозок (див. таблицю 1).

Інші результати є в області інформаційної ентропії. Тут переваги людини і всього доступного, що вони створили, на кілька порядків вище, ніж у мурашиних популяцій з їх стомільйонною історією, що очевидно. Це пов'язано з тим, що людський мозок в силу своєї когнітивності створює величезну палітру потреб і одягає їх у все зростаючі інформаційні потоки (потреби в якості життя, способи досягнення, результати, втрати, відповідність запрограмованим і т. д.), які до недавнього минулого оброблялися сумірними можливостями самого мозку і паперових носіїв, а пізніше і за допомогою комп'ютерної техніки, величезних за швидкістю обробки можливостей. А остання є штучно створеними людиною неорганічними системами. В результаті більш ефективним стає умовний «мозок» людини, який сам по собі є унікальним інформаційним інструментарієм, ефективність якого на багато порядків перевищує все, що існує в біологічному світі. Це підтверджується мінімізацією зміни інформаційної ентропії для таких систем (див. таблицю 1).

Мурашині колонії зі своїм «колективним мозком», на відміну від людей і систем штучного інтелекту, мають набагато менший набір інформаційних інструментів. Це

- тактильні органи чуття, їх у них не більше $6,5 \cdot 10^{-15}$ Дж/((К·с) інформаційних ентропійних витрат;
- феромонні залози, з їх $3,1 \cdot 10^{-14}$ Дж/((К·с) інформаційних ентропійних витрат;
- мінімальний набір потреб - харчування і біологічна підтримка, розмноження, безпека, що корелює з $1,8 \cdot 10^{-14}$ Дж/((К·с) інформаційного ентропійного навантаження. навантаження.

Подібний мінімум споживаної інформації для мурашиних колоній робить їх уразливими за багатьма показниками життєздатності, на відміну від людини.

Можна зробити висновок, що інформаційна складова на рівнях організації людського суспільства, в тому числі і тих штучних інформаційних систем, які вже

створена людиною, є можливим напрямком, в якому людина спроможна послідовно перевершити найбільш організовані біологічні системи, навіть незважаючи на те, що багатомільйонний досвід еволюції деяких з цих систем дозволяє розглядати їх ближче до оптимальних, у порівнянні з творіннями рук людських. У розвитку інформаційної складової людського буття вбачається перспектива її розвитку як симбіозу органічної та неорганічної речовини.

Повертаючись тепер до рис. 1, можна сформулювати логічне припущення, що якщо штучний інтелект завдяки своєму необмеженому кількісному інформаційному ресурсу досягне здатності оволодівати однією і тією ж унікальною властивістю – когнітивними взаємодіями, то швидкість його розвитку буде непорівнянною навіть у порівнянні з темпами розвитку людства. І наслідки такого еволюційного руху в значно коротші проміжки часу матимуть уже не характер еволюційного, а революційного розвитку, відкриваючи нові можливості для неорганічного світу, якщо продовжувати порівнювати його зі світом біологічного життя.

Відкритим залишається питання: чи зможуть системи штучного інтелекту, що володіють необмеженим інформаційним ресурсом і здатністю здійснювати найпростішу логічну екстраполяцію, оволодіти когнітивними механізмами пізнання і оцінки природної сутності, як це робить людина.

Висновки

1. Запропонований показник ефективності, а саме зміна (зростання) ентропії, який може бути використаний для порівняння багатьох біологічних популяцій та окремих неорганічних систем на планеті, дозволяє розглядати такі системи дещо по-іншому, наприклад, з точки зору їх існування, співіснування та конкуренції.

2. Термодинамічна складова цього показника дозволяє судити про ті природні ресурси, які не використовуються людиною, і прикладом для яких є біологічні системи мурах або інші органічні системи.

3. Інформаційна складова ентропії на рівнях організації людського суспільства, в тому числі і тих інформаційних систем, які вже створила людина, є можливим напрямком, в якому він зможе послідовно перевершити найбільш організовані біологічні системи, незважаючи на те, що багатомільйонний досвід еволюції цих систем дозволяє розглядати їх ближче до оптимальних в порівнянні з творіннями рук людини.

4. Людина не може не погодитися з тим, що тільки відсутність когнітивного компонента в системах штучного інтелекту обмежує його розвиток, темпи якого і зараз перевищують темпи розвитку будь-яких інших біологічних систем на планеті.

Література

1. Hölldobler B., Wilson E. O. The Superorganism: The Beauty, Elegance, and Strangeness of Insect Societies. W.W. Norton & Company New-York, 2009. P. 103–120.
2. Gordon, D. M. Ant Encounters: Interaction Networks and Colony Behavior. Front Cover. Princeton University Press, 2010. 152 p.
3. Волошин В. С., Азархов О. Ю. Чому людина починає програвати конкуренцію за термодинамічну нерівноважність, як фактор розвитку в навколишньому техногенному середовищі. Вісник Приазовського державного технічного університету Серія: Технічні науки Вип. 49. Т. 2, 2024. С. 86-93.