

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2025-61-13>

УДК 004.94

Кашченко Дмитро Олександрович, аспірант

<https://orcid.org/0000-0002-3365-7186>

Черкаський Державний Технологічний Університет, м. Черкаси, Україна

ТЕОРІЯ ЕВОЛЮЦІЇ – СУБ'ЄКТИВНІ СИСТЕМИ

Кашченко Д. О. Теорія еволюції – суб'єктивні системи. Представлено аналіз підходів до теорії еволюції та систем які її моделюють. Запропоновано біонічний підхід до побудови самоорганізованих систем, зокрема, використання індивідуального розвитку (онтогенезу) в суб'єктивних системах (моделі біологічного організму) як альтернативного методу розгортання структури складних інформаційних динамічних систем. Це дослідження започатковує спробу моделювання еволюційних процесів не з рівня філогенезу, як це типово для еволюційних алгоритмів, а з рівня онтогенезу, який служить фундаментальним шаром самоорганізації в реальних організмах і може забезпечити альтернативні шляхи розгортання системи. У статті розглядаються ключові погляди щодо концепції «еволюції» та пропонується аналіз еволюційних та генетичних алгоритмів, підкреслюючи їхні обмеження. Ці алгоритми зазвичай виконують прогнози на основі параметрів, заздалегідь визначених дослідниками, результати яких сильно залежать від точності їх даних. На противагу цьому, еволюція в біологічних організмах передбачає розгортання складних динамічних систем через численні взаємопов'язані функції, спрямовані на збереження цілісного функціонування організму та забезпечення його циклічного розвитку. Пропонується, щоб моделі не обмежувалися моделюванням природного відбору серед гіпотетичних агентів або геномів. Натомість, у статті пропонується застосовувати еволюцію на рівні онтогенезу, з використанням логічної моделі побудови суб'єктивних систем, сформованої по аналогії будови та функціонуванню органел звичайної живої клітини. Так як клітина, є початкова основа для будь-якої фізичної взаємодії з навколишнім середовищем. Це включає механізми структурної реконфігурації або повного функціонального перескладання, що дозволяє системі розгортатися з новими характеристиками.

Ключові слова: теорія еволюції, складні динамічні системи, критика еволюційних та генетичних алгоритмів, критерії функціональної структури суб'єктивної системи, моделі саморозгортання складних динамічних інформаційних систем, логічна структура суб'єктивних систем, онтогенез суб'єктивних систем.

Kashchenko D. Evolution Theory – Subjective Systems An analysis of approaches to the theory of evolution is presented, and a bionic approach is proposed for the construction of self-organizing systems—specifically, the use of individual development (ontogenesis) in subjective systems (models of a biological organism) as an alternative method for unfolding the structure of complex informational dynamic systems. This study initiates an attempt to modeling evolutionary processes not from the level of phylogenesis, as is typical in evolutionary algorithms, but from the level of ontogenesis, which serves as the foundational layer of self-organization in real organisms and can provide alternative pathways for system deployment. The article discusses the main views on the concept of “evolution” and offers an analysis of evolutionary and genetic algorithms, highlighting their limitations. These algorithms typically perform predictions based on parameters predefined by researchers, whose outcomes are strongly dependent on the precision of their data. In contrast, evolution in biological organisms involves the unfolding of complex dynamic systems through multiple interrelated functions aimed at preserving the organism's holistic functioning and enabling its cyclical development. It is suggested that models should not be limited to simulating natural selection among hypothetical agents or genomes. Instead, the article suggests applying evolutionary at the level of ontogeny, using a logical model for constructing subjective systems, developed by analogy with the structure and functioning of organelles in a typical living cell. Since the cell is the fundamental basis for any physical interaction with the surrounding environment. This involves mechanisms for structural reconfiguration or complete functional reassembly, enabling the system to redeploy itself with new characteristics.

Keywords: Theory of Evolution and Complex Dynamic Systems, Critique of Evolutionary and Genetic Algorithms, criteria of the aunctional structure of a Subjective System, Models of Development of Complex Dynamic Information Systems, Logical structure of Subjective Systems, Ontogenesis of Subjective Systems

Вивченням еволюції та еволюційних процесів займається різні галузь науки, а саме в комп'ютерному моделюванні використовують еволюційні алгоритми.

Еволюційні алгоритми становлять розділ еволюційного моделювання, що базується на принципах і механізмах біологічної еволюції [1; 2]. До основних типів таких моделей належать генетичні алгоритми, еволюційне програмування, еволюційні стратегії та генетичне програмування. Усі ці підходи відтворюють фундаментальні процеси, властиві теорії природного добору — відбір, мутацію та відтворення. Поведінка агентів визначається взаємодією з довкіллям, а множину агентів прийнято називати популяцією. Популяція еволюціонує відповідно до правил відбору та цільової функції, заданої довкіллям або дослідником. Кожному агентові (індивідуумові) приписується значення функції пристосованості, що відображає його успішність у середовищі. Розмноження зазвичай відбувається серед найпридатніших особин, а рекомбінація й мутація забезпечують різноманітність та адаптацію до середовища. Таким чином, еволюційні алгоритми належать до адаптивних пошукових механізмів, здатних ефективно вирішувати задачі оптимізації у складних, динамічних або частково невизначених просторах пошуку [1; 2].

Критика еволюційних та генетичних алгоритмів

Існуючі еволюційні алгоритми, такі як генетичні алгоритми та еволюційні стратегії, моделюють біологічну еволюцію, використовуючи принципи відбору, мутації та відтворення. Вони ефективні для завдань функціональної оптимізації, де поведінка "агентів" визначається зовнішніми, заздалегідь заданими параметрами. Однак такий підхід має серйозні обмеження. Він не дає відповіді на питання, чому саме ці властивості потрібні агентам? [3] Як відбувається фізична та функціональна адаптація на рівні окремого організму? Крім того, не вирішеними є питання - чому організм повинен витрачати енергію на формування цих властивостей у собі? Чому саме такі параметри навколишнього середовища враховуються, а інші ні? І наскільки наше сприйняття враховує фактор невизначеності навколишнього середовища у зв'язку з цим?

Ключовим недоліком є те, що ці алгоритми зосереджені на рівні філогенезу, тобто еволюції видів і популяцій. Вони ігнорують процеси, які відбуваються всередині окремого організму під час його індивідуального розвитку — **онтогенезу**. Такий підхід обмежений суб'єктивним сприйняттям дослідника, який встановлює параметри та критерії відбору, що може не відповідати реальному стану системи в довгостроковій перспективі.

Еволюція згідно синтетичної теорії еволюції є передусім наслідком трьох процесів: випадкових мутацій генетичного матеріалу, випадкового дрейфу генів і не випадкового природного добору в межах груп та видів. Але чи справді випадкові мутації генетичного матеріалу? Чи можливо є механізми під час розгортання та існування живого організму які це коригують? Еволюцію розділяють на онтогенез та філогенез.

Насправді біологічна еволюція життя є яскравим прикладом самоорганізації процесів в складних динамічних системах. Тому пропонується розглянути ті тлумачення та роз'яснення які існують зараз відносно цих понять, а саме онтогенез, філогенез, природний добір, штучний добір.

Онтогенез (від грец. *οντογένεσις*: *ον* — буття й *γένεσις* — походження, народження) — це індивідуальний, запрограмований, нерівномірний, періодичний розвиток організму. Тобто сукупність послідовних морфологічних і біохімічних перетворень які відбуваються з організмом.

Філогенез (грец. *φύλον* – рід, плем'я і *γεννάω* – породжую) — історичний розвиток як окремих видів і систематичних груп організмів, так і органічного світу в цілому. Який триває мільярди років і призводить до появи нових форм життя, а також зникнення старих [4].

Для розуміння основних процесів еволюції розгляним пояснення які дає синтетична теорія еволюції:

- 1) головним джерелом спадкової мінливості є мутації;
- 2) елементарною одиницею еволюції є популяції, в яких діють усі елементарні фактори еволюції;
- 3) еволюційний процес відбувається у формах макроеволюції, видоутворення і мікроеволюції;
- 4) рушійною силою еволюції є природний добір, який є наслідком боротьби за існування в різних її формах;
- 5) генетичного дрейфу: випадкові зміни в частоті генів у популяції [5].

Вважають, що еволюційний акт відбувся, коли добір зберіг генне поєднання, нетипове для попередньої історії виду. У підсумку для здійснення еволюції необхідна наявність трьох процесів:

1. мутаційного, що генерує нові варіанти генів з малим фенотипним виявом;
2. рекомбінаційного, що створює нові фенотипи особин;
3. селекційного, що визначає відповідність цих фенотипів до даних умов проживання чи виживання, тобто середовище.

Теорія еволюції пояснює, як види змінюються з часом через процеси природного та штучного відбору. Обидва ці процеси відіграють важливу роль у формуванні різноманітності життя, але вони мають різні механізми та призначення.

Природний добір — це процес, при якому організми з корисними для виживання та розмноження ознаками мають більше шансів передати свої гени наступному поколінню. Основні механізми природного відбору включають:

1. Наслідування: Організми передають свої гени потомству.
2. Варіації: Існують генетичні відмінності між особинами в популяції.

3. Конкуренція: Організми з кращими адаптаціями мають більше шансів вижити та розмножитися.

4. Адаптація: З часом популяція стає більш пристосованою до навколишнього середовища.

Штучний добір — це процес, при якому людина, або домінуючий вид, вибирає особин з бажаними ознаками для подальшого розмноження. Основні етапи штучного відбору включають:

1. Вибір бажаних ознак: Визначення ознак, які є корисними або бажаними для людини.

2. Відбір особин: Вибір особин, які мають ці бажані ознаки.

3. Схрещування: Спаровування вибраних особин для отримання потомства з бажаними ознаками.

4. Оцінка потомства: Аналіз потомства для визначення, чи успадкували вони бажані ознаки [6].

Зрозуміло що штучний добір ми робимо по більшій частині за допомогою прогнозування властивостей особин для своїх потреб, тобто умовно функції нашого мозку, або нашої нейронної мережі. Тобто, штучний добір - це яскравий приклад отримання домінування одного виду над іншими завдяки онтогенезу, тобто розвитку одного з органів – мозку. Який своєю діяльністю впливає на філогенез інших видів.

І саме тому для можливості більшого контролю та прогнозування природного добору з'явилися: еволюційні алгоритми, генетичні алгоритми, генетичне програмування, еволюційне програмування, еволюційні стратегії, нейроеволюція. Але, наш мозок або нейромережа, як окремий орган не може функціонально існувати без тіла. Тому і потрібне розуміння процесів не тільки рівні філогенезу, але і рівня онтогенезу, яке є ланкою в побудові цілісної картини побудови та розвитку подібних складних динамічних систем.

Також виникає питання - чому в цих (генетичні алгоритми, нейроеволюція) моделях використовуються методи філогенезу для аналізу процесів, які притаманні онтогенезу, тобто індивідуального розвитку організму? Тобто процесам які проходять між органами та всередині органів організму та органел клітин. Тому що нейромережа в біологічних реаліях це орган, ген це частина органел клітини, всередині окремого організму. І нейромережа або ген, це не повний організм і не група індивідумів, щоб використовувати до неї зовнішній фактор, такий як природний добір. А окремий орган, або органела, яка потребує ресурсне постачання енергії відносно організму.

І так філогенез взаємозв'язаний з онтогенезом, але кожний з них має свої обмеження. Онтогенез стосується тільки окремого організму і його органів та ресурсів в обмеженому середовищі. Філогенез стосується групи організмів в більш масштабних часових і просторових проміжках. Так як любий природний або штучний добір це просто припинення існування окремих групи організмів, тобто деяких форм індивідуального розвитку груп організмів, а не просто окремих органів чи органел. І не відповідає повністю на питання - як та навіщо індивідуальна відмінність з'являється та продовжує існувати в самому окремому існуючому живому організмі? Як відбувається процес адаптації для самого організму?

Так використання еволюційних алгоритмів с моделюванням механізмів філогенезу для прогнозування еволюційних процесів виправдане і працює в багатьох випадках. Але використовувати відмінності будови органів як властивості агентів без розуміння повного циклу їх формування для кожного організму як окремої системи буде приводити до значних похибок в прогнозуванні.

Якщо аналізувати еволюційні стратегії, то визначенням позитивних мутацій фактично займається алгоритм налаштований дослідником під свої потреби. А не під потреби досліджуваного організму, звісно досліднику назавжди це і потрібно, але це впливає на точність його дослідження в довгострокових перспективах. Так як філогенез пов'язаний з онтогенезом. І так виникає питання, як визначати позитивні зміни в системі самою системою, якщо це рівень онтогенезу і справа ще не дійшла до природного добору?

Концепція суб'єктивних систем як варіант моделювання онтогенеза

Для подолання цих обмежень пропонується новий підхід, заснований на концепції суб'єктивних систем, який дозволяє моделювати еволюційних процеси на рівні онтогенезу — індивідуального, циклічного розвитку організму.

Принцип суб'єктивних систем полягає в тому, що система (суб'єкт) є окремою частиною об'єктивної дійсності, але не роздільно зв'язаний з нею, здатна(ий) сприймати і оцінювати навколишню об'єктивну дійсність на основі і відносно своєї зовнішньої і внутрішньої структури і розвиватися відносно поточного стану цих структур і навколишньої дійсності, використовуючи ці внутрішні і зовнішні стани цих структур і оточуючу дійсність. Таким чином, суб'єктивні системи повинні володіти, як мінімум тими функціями і механізмами, які дозволяють це реалізувати.

Концепція суб'єктивних систем використовує методи біоніки і є одним із способів автоматизації складних динамічних систем. Також пропонується зробити акцент, не на формуванні штучного середовища для системи. А надати складній динамічній системі повний набір механізмів для взаємодії з реальним середовищем з можливістю розвитку цих механізмів в неперервному циклі [7].

Відштовхнемося від еволюції не як статистичної моделі рівня філогенезу, а як необхідного процесу розгортання організму та його органів для існування в умовах середовища, що змінюються. А саме розгортання може використовуватися біологічним організмом, або по іншому суб'єктивною системою, щодо себе самої з використанням ресурсів навколишнього середовища та своїх внутрішніх енергетичних ресурсів. Тобто онтогенез використовується як ключова і невід'ємна властивість суб'єктивних систем, як моделі біологічного організму, обумовлена функціональною взаємодією механізмів системи з навколишнім середовищем.

Еволюційні та генетичні алгоритми використовують як елемент побудови чи популяцію (агент) чи ген. Хоча це різні сутності. Якщо популяція чи агент, це власне набір окремих організмів в еволюційних алгоритмах об'єднаної популяції. Тобто, між собою взаємодія організмів чи агентів, це зовнішній фактор для окремого організму. То ген це саме карта розгортання внутрішньої структури та органів окремого організму. В даній моделі, це не просто властивість агента. Тому що для розгортання внутрішньої структури потрібні енергетичні ресурси. І не обов'язково, що розгортання буде здійснено зі стовідсотковою ефективністю по карті розгортання гена через ряд внутрішніх енергетичних причин і ворожих факторів навколишнього середовища. Що саме зміни умов розгортання забезпечить унікальну зміну властивостей організму та його морфологічних особливостей і надалі збережеться у гені, при позитивному збігу обставин. Інакше цей процес можна назвати мутацією. Але зовнішній природний добір стосується саме методів філогенезу, а внутрішній вибір організму під час розвитку має більш м'яку енергетичну дію на розвиток органів організму і стосується саме методів онтогенезу.

При філогенезі кожен організм має повний набір функціональних органів для самостійного існування у навколишньому середовищі. І відбір відбувається насправді лише рамках відмінностей кожного окремого організму у складі популяції. Тобто це відбір за допомогою факторів навколишнього середовища відносно автономного окремого організму щодо унікальних його властивостей. Які сформувалися під час індивідуального розвитку. Питання в тому, як саме повинен відбуватися індивідуальний автономний розвиток окремого організму відносно навколишнього окремого середовища за допомогою його енергетичних, структурних та функціональних можливостей та інших морфологічних особливостей?

Для розробки подібних складних динамічних систем необхідно розуміння меж можливостей кожного окремого організму та даному йому навколишнього середовищу. А також, роз'яснення навіщо потрібен той чи інший механізм чи процес усередині організму і навіщо він потрібний для самого організму в цих умовах. Крім цього розуміння, чому він повинен витрачати свій енергетичний ресурс на утримання цього органу або механізму у собі як частини себе у циклі свого існування. І щодо цих елементів будуються моделі їх зміни з урахуванням їх циклічного подальшого масштабування та розвитку.

Саме навколишнім середовищем задаються межі функціонування суб'єктивної системи. Для прикладу, в випадку органічних живих організмів, це межі можливості комбінації хімічних органічних сполук навколишнього середовища та межі можливості самого організму як частини навколишнього середовища. Боротьба з несприятливими умовами середовища і формує суб'єктивну систему. Але для кожного придатного середовища існують свої межі комбінації елементів середовища для формування суб'єктивної системи. Тоді як для непридатного середовища організм повинен мати або запас міцності для подолання дії цього середовища. Або інший фізичний принцип взаємодії з подібним середовищем, якщо це можливо.

Суб'єктивні систем дають точне розуміння, що інформація це роз'яснення яке не може існувати без системи визначної складності і інформація не дорівнює енергії. В той час енергія може існувати без складних систем, але саме різні типи енергії потрібні для живлення подібних систем і саме роз'яснення необхідне для коректного балансування і існування подібних систем.

Проведемо порівняльний аналіз функціоналу органел біологічного організму та побудуємо логічну структуру механізмів суб'єктивних систем. Зробимо це на підставі розгляду будови найпростішої клітини. Оскільки клітина є фундаментальною основою для будь-якої фізичної взаємодії з навколишнім середовищем. А також саме клітина початково використовує онтогенез для свого існування та розвитку. Для побудови логічної моделі суб'єктивних систем повинні існувати як мінімум три ключові механізми:

ЗПМ – захисно-перетворювальний механізм. Реалізує функцію зв'язку внутрішньої структури організму із зовнішнім світом. У найпростішій клітині реалізується: мембранною, набором вакуолей, а також усіма тими органелами (хлоропластами, мітохондріями, джгутиками) які безпосередньо взаємодіють із навколишнім світом. Зокрема у нейронів крім мембрани, набору вакуолей є дендрити, аксони та синаптичні зони контакту, через які вони з'єднуються один з одним.

РНМ - розподільно-накопичувальний механізм. Реалізує функцію розподільно-підтримуючої внутрішньої та зовнішньої структури організму, а також накопичувальну при отриманні певної кількості енергію. В найпростішій клітині реалізується: рибосомами, апаратом Гольджі, цистою, ендоплазматичною мережею, РНК

ВІМ – видозмінний механізм. Реалізує функцію видозміни механізмів захисно-перетворювального або розподільно-накопичувального залежно від того, як вони виконують свою функцію і як організм і вся мережа організмів виконують її в цілому. Відповідає за зміну інших механізмів, забезпечуючи адаптацію та генерацію нових функцій. У біологічній клітині цю функцію виконують ДНК та РНК.

Режим основного балансування при позитивних даних зображено на Рис. 1.

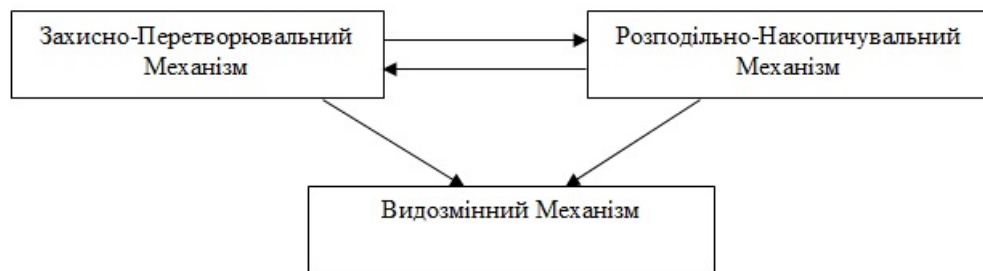


Рис. 1. Режим балансування при позитивних структурах (даних)

Кожен із цих механізмів фізично реалізується набором органів, які виконують низку процесів-функцій. При цьому, за певних умов негативних структур, кожен із механізмів може отримати пріоритет у запиті на зміну іншого механізму за допомогою механізму видозміни Рис. 2 та Рис. 3. Цей механізм видозміни, також здатен змінюватися, що й забезпечує різноманіття відповідних реакцій суб'єктивної системи — тобто організму — і здатність генерувати нові функції органів і навіть нові органи.

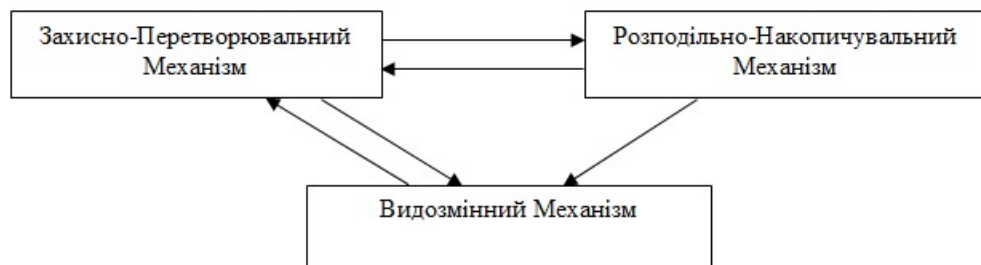


Рис. 2. Режим зміни Захисно-Перетворювального Механізму при негативних структурах

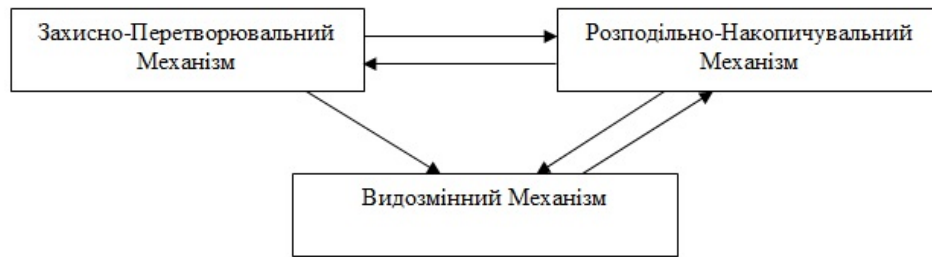


Рис. 3. Режим зміни Розподільно-Накопичувального Механізму при негативних структурах

Визначення пріоритетності змін між процесами-функціями (двома або більше) відбувається за принципом залежності однієї функції від іншої. Тобто чим більш необхідним є результат перетворення однієї функції для подальших перетворень іншої функції, тим вищим буде її пріоритет на даний момент часу. Адже результат першої функції обумовлює необхідність існування другої.

Ключовою відмінністю побудови подібних складних динамічних систем є те, що система за наявності повноти всіх необхідних механізмів має сама задавати значення, тобто роз'яснення зовнішнім та внутрішнім процесам відносно себе. І не просто приймати рішення, а й реалізовувати їх сама у навколишньому середовищі щодо себе за допомогою своїх органів. Що й відрізняє суб'єктивні системи від інших систем самоорганізації, а саме наявністю механізмів циклічного розвитку та взаємодії самої системи по відношенню до реального середовища. Оскільки у переважній більшості побудови сучасних штучних систем самоорганізації є тенденції формування штучного середовища чи штучних умов розробником. Саме тому пропонується використовувати суб'єктивну систему з механізмами безпосередньої взаємодії з реальним середовищем.

І якщо відштовхуватися від побудови функціональних структур організму, то можна використовувати як біологічний зразок геном, як аналог карти побудови суб'єктивної системи. Крім цього, використовувати функціональне значення органел для виправдання існування кожного органу чи механізму організму, щодо взаємодії з іншими органами та середовищем. Також, необхідно враховувати можливість повного перескладання організму в новій версії, якщо це вимагають нові функції, тобто якщо обмеження розвитку вимагають переходу на рівень філогенезу для використання всіх його переваг.

Перспективи та практичне застосування

Використання моделювання на рівні онтогенезу дозволить штучним системам самим визначати значення внутрішніх і зовнішніх процесів, а не просто приймати рішення, що базуються на даних, заданих розробником. Наприклад, принципи онтогенезу можуть бути застосовані в системах на кшталт **Kubernetes**, що призведе до створення самонавчальних механізмів масштабування та самовідновлення. Такі системи зможуть не лише реагувати на зовнішні зміни, а й автономно знаходити ресурси для відновлення та стабільного функціонування, розширюючи межі самоорганізації. Цей підхід забезпечить кращу адаптацію та еволюцію складних динамічних систем в умовах мінливого середовища.

Крім того технічне застосування можливе в інших сферах, починаючи від модульного програмування в ERP системах, нейронів з динамічним формуванням зв'язків і закінчуючи робототехнікою та технологіями покликані автоматизувати віддаленні міжпланетні дослідницькі та видобувні станції.

Тобто даний підхід прогнозованого онтогенезу та цільового розвитку, в перспективі дозволить збільшити та прискорити можливості складних динамічних систем для адаптації та еволюції в складних умовах навколишнього середовища. Розширити межі самоорганізації штучних систем, що моделюються, завдяки використанню біонічних принципів.

В технічних реаліях подібні механізми можуть бути реалізовані:

ЗІПМ - усіма програмами та модулями що взаємодіють с зовнішнім середовищем, для прикладу в робототехніці: датчики (сенсори) + актуатори з рівнем безпеки, мотори, сонячні панелі.

РНМ – внутрішні енергетичні накопичувачі, для прикладу в робототехніці: акумулятори, сховища енергії, внутрішні мережі, механізми перерозподілу потужності на сенсори та мотори.

ВІМ – видозмінна механізмів при виходу за межі функціонування в штатному режимі РНМ чи ЗПМ з використанням внутрішніх ресурсів. Для прикладу в робототехніці: системи самооновлення прошивки, само заміна комплектуючих, карти самобудови.

Висновок. Запропонований підхід, що фокусується на онтогенезі суб'єктивних систем, забезпечує альтернативний шлях для моделювання еволюційних процесів. Він пропонує перенести фокус з модуляції зовнішнього відбору популяцій на внутрішній, самостійний розвиток окремого "організму", що дозволить створювати більш адаптивні та автономні системи в системотехніці та комп'ютерній інженерії, здатні до самостійного розвитку і еволюції в реальних умовах. Наступним кроком буде експериментальна реалізація моделі на базі Kubernetes, або інших технічних системах і оцінка її ефективності на практичних прикладах, що забезпечить верифікацію теоретичних положень.

Список бібліографічного опису

1. Eiben, A. E., Smith, J. E. Introduction to Evolutionary Computing. 2nd ed. Berlin : Springer, 2015. 287 p.
2. Глибовець, М. М., Петльована, М. В., Кирієнко, О. В. Застосування еволюційних алгоритмів для розв'язання задачі апроксимації зображень многокутниками // Наукові записки НаУКМА. Комп'ютерні науки. 2017. Т. 200. С. 39–45.
Режим доступу:
https://ekmair.ukma.edu.ua/bitstream/handle/123456789/12538/Hlybovets_Zastosuvannia_evoliutsiinykh.pdf
3. Hlybovets, M. M., Hulaieva, N. M., Morozov, I. O. Analysis of Genetic Algorithms for Solving the Two-Dimensional Orthogonal Packing Problem of Rectangular Objects in a Semi-Infinite Strip // Applied Programming Tools and Software. 2016. № 4.
Available at: <https://nasplib.isoftware.kiev.ua/bitstreams/de84e5a0-0f1a-4940-9cd4-1404f316f8b2/download>
4. Корж, О. П. Основи еволюції. Навчальний посібник. Суми : Університетська книга, 2006. 380 с.
5. Загороднюк, В. Філогенез і онтогенез // Філософський енциклопедичний словник / В. І. Шинкарук (гол. редкол.) та ін. Київ : Абрис, 2002. С. 669. 742 с. 1000 екз. ISBN 966-531-128-X.
6. Darwin, C. On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life. London : John Murray, 1859.
Reprint: Darwin, C., Huxley, J. The Origin of Species. Signet Classics, 2003. ISBN 0-451-52906-5.
Опубліковано онлайн: On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life.
7. Kashchenko, D. Information Theory – Subjective Systems // Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production. 2024. № 56. С. 185–190.
<https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-56-23>

References

1. Eiben, A. E., Smith, J. E. Introduction to Evolutionary Computing. 2nd ed. Berlin : Springer, 2015. 287 p.
2. Hlybovets, M. M., Petlyovana, M. V., Kyryienko, O. V. Application of Evolutionary Algorithms for Solving the Problem of Image Approximation by Polygons // Scientific Notes of the National University of Kyiv-Mohyla Academy. Computer Science. 2017. Vol. 200. P. 39–45.
Available at:
https://ekmair.ukma.edu.ua/bitstream/handle/123456789/12538/Hlybovets_Zastosuvannia_evoliutsiinykh.pdf
3. Hlybovets, M. M., Hulaieva, N. M., Morozov, I. O. Analysis of Genetic Algorithms for Solving the Two-Dimensional Orthogonal Packing Problem of Rectangular Objects in a Semi-Infinite Strip // Applied Programming Tools and Software. 2016. No. 4.
Available at: <https://nasplib.isoftware.kiev.ua/bitstreams/de84e5a0-0f1a-4940-9cd4-1404f316f8b2/download>
4. Korzh, O. P. Fundamentals of Evolution. Sumy : Universytetska Knyha, 2006. 380 p.
5. Zahorodniuk, V. Phylogenesis and ontogenesis // Philosophical Encyclopedic Dictionary / V. I. Shynkaruk (Chief Ed.) et al. Kyiv : Abris, 2002. P. 669. 742 p. 1000 copies. ISBN 966-531-128-X.
6. Darwin, C. On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life. London : John Murray, 1859.
Reprint: Darwin, C., Huxley, J. The Origin of Species. Signet Classics, 2003. ISBN 0-451-52906-5.
Published online as: On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life.
7. Kashchenko, D. Information Theory – Subjective Systems // Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production. 2024. No. 56. P. 185–190.
<https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-56-23>