

ЕВОЛЮЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ – ПАРАДИГМА ОБ’ЄКТИВІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ РОЗВ’ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Моделювання еволюції складних технічних систем є інформаційним процесом, що базується на ретроспективних даних, знаннях та результатах прогнозування. В статті запропоновано нову парадигму, ідеї якої спрямовані на оптимізацію кожного із етапів життєвого циклу та життєвого циклу взагалі. Визначено необхідні умови, які супроводжують еволюційні зміни в процесі руху складних технічних систем по етапах життєвого циклу. Еволюційне моделювання представлено як процес об’єктивізації суб’єктивної інформації та знань.

Вступ. Експоненціальний ріст кількості інформації в світі створив умови для руху в напрямку суспільства, що базується на знаннях. Пріоритетний розвиток гуманітарних наук та дещо зменшена увага до природничих наук сприяли суб’єктивізації представлення даних, у зв’язку з чим актуалізувалась задача їх аналітичної обробки та одержання нових знань.

Прикладне застосування наведені аспекти мають при вирішенні проблем, пов’язаних зі створенням нових систем та технологій. Відомо, що найбільш поширеним засобом їх дослідження є моделювання. Наслідуючи певною мірою природні процеси, виникла ідея замінити парадигму моделювання систем на парадигму моделювання їх еволюції. Визначимо аргументи, що свідчать на її користь.

В [1] наведено визначення методологічної парадигми як системно узгодженої множини ідей, підходів, методів, припущень та обмежень, які вибирає дослідник для розв’язання конкретної системної задачі. Там же вказано на існування іншої парадигми – “змістовної”, під якою розуміють сукупність ідей, підходів, методів та припущень, які гарантують можливість розв’язання всіх конкретних задач даного типу. Виконаємо формальну постановку задачі моделювання еволюції складної системи та окреслимо складові парадигми моделювання еволюції складних технічних систем (СТС) з позицій її “методологічності” та “змістовності”.

Формальна постановка задачі. Кожна СТС динамічно проходить етапи життєвого циклу (ЖЦ): дослідження, проектування, виготовлення, використання, модернізацію чи ліквідацію. Лише один із етапів – використання – має продуктивний характер. Тому, в першу чергу, на початкових етапах ЖЦ розв’язують задачу максимізації часу використання СТС. Час інших етапів мінімізують. Одночасно необхідно враховувати протиріччя, що визначаються збільшенням виробництва, зростанням якості продукції, зменшенням ресурсоемності та необхідністю структурної перебудови, як результату функціонування ринку. Таким чином, еволюція СТС має дві складові: по вертикалі (внутрішня) та по горизонталі (зовнішня). Еволюція по вертикалі визначається рухом СТС по етапах ЖЦ. “Горизонтальна” еволюція – процес руху елементів СТС всередині кожного із етапів ЖЦ.

На макрорівні необхідно розв’язувати задачу багатокритеріальної оптимізації:

$$T_f \rightarrow \max, T_m \rightarrow \min, E_f^t = F(P_t, C_t, S_t) \rightarrow \max, \quad (1)$$

де T_f – час етапу функціонування СТС; T_m – час модернізації чи адаптації; E_f^t – ефективність системи; P_t – множина задач, які розв’язуються системою в момент часу t ; C_t – множина відповідних можливих структур; S_t – множина стратегій управління СТС.

Зауважимо, що ефективність системи є функцією її стану q , який визначається як сукупність внутрішніх та зовнішніх параметрів її існування [2]. На неї впливає зовнішнє середовище та його еволюція. Формально такий вплив здійснюється через функцію зовнішніх умов $\varphi(t)$. З іншого боку, необхідність динамічного розвитку СТС визначається внутрішніми факторами, їх вплив здійснюється через реалізацію функції $\phi(q, t)$. В [3] процес функціонування СТС разом із процедурами модернізації розбивався на часові проміжки, тобто

$$T_f + T_m = \{t_0 < t_1 < \dots < t_n < \dots\}. \quad (2)$$

Вважаємо, що в моменти часу t_i відбувається модернізація чи адаптація СТС, яка полягає у зміні множини задач, структур чи стратегій управління. Така зміна є результатом аналізу та виконання процедур прийняття рішень. У проміжках часу між t_i виконується функціонування СТС.

Таким чином, задача (1) переписеться так:

$$E_f^{[t_k, t_{k+1}]} = F_k(P_k, C_k, S_k) \rightarrow \max, k = 0, n - 1, \quad (3)$$

$$P_{k+1} = f_{k+1}(P_k, \varphi(t_k), \phi(q_k, t_k)), C_{k+1} = g_{k+1}(C_k, \varphi(t_k), \phi(q_k, t_k)), S_{k+1} = h_{k+1}(S_k, \varphi(t_k), \phi(q_k, t_k)). \quad (4)$$

Розв'язання (3)–(4) відбувається за виконання на кожному часовому проміжку множини обмежень R_k , наявності вихідних даних A_k , множин моделей Mo_k , методів Me_k та засобів V_k . У задачі (3)–(4) відображено необхідність зміни структури, організації виробництва як наслідку еволюції зовнішнього середовища та внутрішньої необхідності.

Обґрунтування адекватності еволюційного моделювання еволюції складних технічних систем.

Процес моделювання еволюції системи є складною слабоструктурованою проблемою, оскільки не існує строго визначеної процедури, методу, алгоритму її вирішення, а також поділу на ієрархічні рівні. Такі системи, як відомо [4], є предметом вивчення штучного інтелекту. Оскільки еволюція системи є процесом переходу зі стану в стан залежно від внутрішньої необхідності та зовнішніх умов, то організація запам'ятовування інформації, яка складається із вихідних даних, обмежень, моделей, методів, засобів, критеріїв оцінки одержаних рішень, становить основу для аналізу ефективності кожного етапу життєвого циклу системи та прогнозування майбутніх процесів і прийняття рішень. Таким чином, моделювання еволюції є більш інформативним процесом, ніж моделювання систем.

Важливо зауважити, що моделювання еволюції систем у переважній більшості випадків здійснюється на початковому етапі життєвого циклу – етапі наукових досліджень. На цей час відсутня переважна більшість вихідних даних, які можливо було б одержати на більш пізніх етапах, тому значна їх частина прогнозується, що призводить, в свою чергу, до зміщення результатів. Їх верифікацію та оптимізацію запропоновано здійснювати за допомогою еволюційного моделювання.

Наведемо деякі міркування на користь того, що еволюційна парадигма має методологічні та змістовні аспекти. В її основі лежать ідеї, які можуть бути виражені певною аксіоматикою [5]. Відповідно до неї, хід еволюції визначається спадковою змінністю, яка є передумовою еволюції; боротьбою за існування як контролюючим та направляючим фактором; природнім відбором як перетворюючим фактором. Адаптуючи вказані аксіоми до проблеми еволюції СТС, зауважимо, що еволюційне моделювання у цьому випадку повністю виправдане, оскільки:

1. Спадкова змінність визначається як можливість СТС виконувати переорієнтацію на випуск нової продукції, впровадження нових технологій та модернізації виробництва, що і визначає еволюційні передумови.
2. Контролюючим та направляючим фактором еволюції СТС є ринок, який регулюється законом рівності попиту та пропозиції й визначає необхідність розв'язання задач (1)–(4).
3. Природній відбір у цьому випадку визначається ефективністю результату розв'язання задачі (1)–(4).

Виконання наведених трьох умов свідчить про наявність моделі еволюції.

Об'єктом, що еволюціонує, є СТС. Простір, в якому виконується еволюція, є простором чотирьох вимірів: часу, задач, структур та типів організації виробництва, які визначаються алгоритмами розподілу ресурсів. Критерієм еволюції є ефективність СТС, структурним елементом (розв'язком) є її стан. Таким чином, ми отримали три складові еволюційного моделювання: модель еволюції, об'єкт еволюції та критерій еволюції.

Задачі штучного інтелекту – базові елементи еволюційного моделювання. В основі розв'язання багатьох задач, пов'язаних із прогнозуванням, лежить розв'язок задачі ідентифікації. Його точність залежить від багатьох аспектів, зокрема розв'язання задач:

- кластеризації, оскільки адекватна ідентифікація виконується лише за наявності певних закономірностей, які властиві лише однорідним системам чи процесам;
- класифікації, оскільки ефективність прогнозування залежить від того, якому класу належить система і, відповідно, за якими законами функціонує;
- відновлення відсутньої інформації, розв'язання яких є необхідною умовою ідентифікації залежностей, за якими здійснюється функціонування системи;
- дискретної оптимізації (пошуку оптимального шляху та мінімізації часу виконання робіт), як традиційних задач, що передують розв'язанню задачі прогнозування;
- логічного виведення, як вихідна інформація для яких виступають суб'єктивні судження експертів.

Кожна з цих задач розв'язується в умовах невизначеності чи неповноти апріорної інформації.

Починаючи розгляд таких задач, варто зауважити про існування дуальності еволюційного моделювання та еволюції систем. Остання відбувається за тими ж принципами та ідеями, що й еволюційне моделювання. Як приклад, як складові елементи генеральної популяції виступають стан СТС, умови зовнішнього середовища, структура та організація виробництва; спадковість визначають виробничі цикли та їх ретроспектива; природній відбір здійснюють штрафні та заохочувальні процедури. Така інтерпретація не є єдиною можливою, тому правильна постановка задачі, вибір вихідних даних та їх інтерпретація складають важливий етап моделювання.

Проблеми і приклади розв'язання задач початкових етапів ЖЦ СТС. Найчастіше з усіх класичних методів еволюційного моделювання (генетичні алгоритми, генетичне програмування, еволюційне програмування та еволюційні стратегії) для розв'язання слабоструктурованих задач обирають саме генетичні

алгоритми (ГА). Саме вони інтегрують в собі моделі та методи еволюційного моделювання, які є базовими при роботі із суб'єктивною інформацією [6].

Застосування ГА як певних універсальних конструкцій для пошуку оптимальних рішень супроводжують дві основні проблеми. Перша – це визначення виду потенціального розв'язку і формування генеральної сукупності розв'язків Ω . Друга – розробка функції пристосованості (fitness-function), оптимум якої необхідно знайти. В нашій задачі fitness-function є функції F_k із (3), а генеральна сукупність розв'язків формується, враховуючи обмеження (4).

Певна сукупність задач початкових етапів ЖЦ СТС вже розв'язана. Водночас процес їх розв'язання має ітераційний характер і виконується за певних умов для початкових даних та обмежень. Тому існує необхідність вдосконалення існуючих методів та використання їх композиції. Розглянемо деякі моделі цільових функції та базові конструктивні елементи-розв'язки вказаних вище задач.

Задача кластеризації [7]. Припустимо, що число кластерів K задано і $K \ll m$, де m – кількість об'єктів. Тоді задача кластеризації є такою:

$$\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^m \|X_j - \bar{X}_i\| \rightarrow \min, \tag{5}$$

де $\bar{X}_i, i = \overline{1, K}$ – середнє значення в кластері; $\|X_j - \bar{X}_i\|$ – відстань між об'єктами.

Розв'язком задачі (5) є центри кластерів \bar{X}_i , які можуть міститися серед даних об'єктів, що є достатньо строгою умовою, і можуть бути представлені будь-якими точками області дослідження. Таким чином, до генеральної популяції у першому випадку відносяться всі образи, які підлягають кластеризації, у другому випадку – всі точки області дослідження. Більш поширеним є другий випадок. Тоді елементами хромосоми-розв'язка будуть центри кластерів, кількість яких визначає розмірність розв'язку і встановлюється дослідником. Значення fitness-function (цільова функція) розраховується за алгоритмом [7] і допускає певну варіативність. Так якщо має місце бінарне представлення розв'язку, то при формуванні вибіркової сукупності домінує рівномірний розподіл. Якщо ж працюють з фенотипічним представленням даних (десятикове представлення), то перевага віддається нормальному розподілу. Результати еволюційного моделювання вказують на його перевагу за рахунок спрямованого пошуку та використання елементів випадковості. Крім того, на відміну від багатьох інших методів кластеризації, ми одержуємо як розподіл образів по кластерах, так і центри кластерів, що дозволяє встановлювати точність розв'язку.

Задача відновлення пропусків у даних [8]. Нехай $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ – вектор вхідних факторів, $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$ – вектор результуючих характеристик, p – кількість експериментів або періодів ретроспективи, $A = (a_{ij})_{i=1}^p \text{ }_{j=1}^{n+m}$ – матриця початкових даних із пропусками. Задача відновлення пропусків в даних полягає в знаходженні

$$\arg \min_* \|Y - F(X)\|, \tag{6}$$

де $*$ – позначення пропущених значень; $F = (F_1, F_2, \dots, F_m)$ і $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$ – вектори значень, що отримані за ідентифікованою залежністю

$$F_i = F_i(X_1, X_2, \dots, X_n), i = \overline{1, m} \tag{7}$$

і наведені в таблиці початкових даних відповідно. Припустимо, що пропуски знаходяться лише серед значень вхідних факторів. Для розв'язання задачі (6)–(7) запропоновано використати метод, який є композицією нейронних мереж та ГА. Нейронна мережа використовується для ідентифікації залежностей (7), ГА – для їх оптимізації, оскільки частина даних для ідентифікації є відсутньою. Правомірність застосування і нейронної мережі, і ГА визначається відповідними теоремами [8].

Хромосома-розв'язок є сукупністю елементів, які у початковій матриці даних пропущені. Всі образи поділені на дві послідовності: до першої – навчальної – належать комплектні рядки таблиці, до другої, контрольної – рядки з пропусками. Навчання нейромережі здійснюється на точках навчальної послідовності, де значення пропусків заповнені значеннями K -ої хромосоми. При цьому розв'язується задача пошуку:

$$M_K = \min_W \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{P_o} (\epsilon_{in+1} - a_{in+1})^2, \tag{8}$$

де W – матриця вагових коефіцієнтів нейромережі; P_o – кількість образів в навчальній послідовності; ϵ_{in+1} – ідентифіковані нейромережею значення результуючих характеристик; a_{in+1} – табличні дані.

Нейромережа є певним чорним ящиком, на входи і з виходів якого подаються і знімаються значення образів для ГА. Цільова функція ГА є такою:

$$G_K = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{P_c} (a_{i_{n+1}} - a_{i_{n+1}})^2, \quad (9)$$

де P_c – кількість образів у контрольній послідовності.

Експериментальна верифікація підтвердила високу ефективність методу у випадку наявності до 50 % пропусків у значеннях вхідних факторів. Моделювання проводилось для функціонально зв'язаних даних та для статистичної звітності.

Загальні зауваження та висновки. Запропоновані еволюційні методи розв'язання задач кластеризації та відновлення інформації є лише ілюстрацією та аргументом на користь еволюційного моделювання еволюції систем. Процедури визначення ефективних структурних елементів, які є простою композицією більш простих та одержаних в результаті композиції елементів, раціонально замінити на технологію “вирощування” більш ефективних розв'язків, які є конкурентноздатними та “пам'ятають” значення основних факторів, що спрямовували процес еволюції. Ю.С. Затуливетер звертає увагу на те, що в умовах лавиноподібного росту інформації та її глобального поширення, еволюційне моделювання матиме такі складові елементи: комп'ютерне інформаційне середовище – середовище проживання індивідів, індивіди – бази даних та комп'ютерні функції, боротьба за виживання буде спрямована на стимулювання індивідів змінюватись в бік соціально-значущих для реального людського інформаційного середовища комп'ютерних функцій [9]. Адаптуючи це висловлювання до моделювання еволюції СТС, стверджуємо, що індивідами-членами генеральної сукупності розв'язків будуть хромосоми, що як складові міститимуть елементи внутрішніх умов, внутрішніх параметрів, можливих структур та організацій виробництва; середовищем їх існування стануть обмеження на способи представлення, моделі та методи реалізації функцій; боротьба за виживання буде зведена до формування конкурентних розв'язків на кожному із етапів ЖЦ з можливістю корекції в реальному часі.

Таким чином, робимо висновок про те, що результати моделювання еволюції систем є важливим аргументом при прийнятті рішень про вибір раціональної множини задач, які будуть розв'язуватись системою; реалізації такої структурної побудови, що дозволить при зміні внутрішніх чи зовнішніх факторів здійснювати адаптацію структурних елементів; організації виробництва з оптимальним розподілом ресурсної бази.

Запропонована парадигма є ще одним кроком у напрямку розвитку теорії та практики програмованої експлуатації складних систем, системного аналізу та штучного інтелекту. Такий висновок зобов'язує до подальших досліджень у напрямку розвитку загальної теорії еволюційного моделювання. І тут можна погодитись з авторами роботи [10], які стверджують, що оскільки концепція еволюційних обчислень повинна бути заснованою на деяких формалізованих принципах природного еволюційного процесу, виникають питання про методологічні відмінності і сферу застосування основних форм еволюційного моделювання. Разом із тим, важливе значення має і розробка практичних додатків, в яких наводяться результати розв'язку окремих задач. Адже подібно до нейронних мереж, які не мають строгої теорії, еволюційне моделювання довело свої переваги при вирішенні численних проблем техніки та економіки.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Системный анализ. Проблемы, методология, приложения. – К.: Наукова думка, 2005. – 743 с.
2. Матвеевский С.Ф. Основы системного проектирования комплексов летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1987. – 239 с.
3. Снитюк В.Е. Эволюционное моделирование и программирование жизненного цикла технических систем в детерминированных условиях. – Донецк: Искусственный интеллект, 2006. – № 4. – С. 10–15.
4. Волошин О.Ф., Мащенко С.О. Теорія прийняття рішень. – К.: Київський університет, 2006. – 304 с.
5. Карпов В.Э. Эволюционное моделирование. Проблемы формы и содержания // Новости искусственного интеллекта. – 2003. – № 5. – С. 1–27.
6. Снитюк В.Е. Аспекты эволюционного моделирования в задачах оптимизации. – Донецк: Искусственный интеллект, 2005. – № 4. – С. 284–291.
7. Снитюк В. Evolutionary clustering of complex systems and processes // Information Theories and Applications. – 2006. – Vol. 13. – № 4. – Pp. 344–349.
8. Снитюк В.Е. Эволюционный метод восстановления пропусков в данных // Сб. трудов VI Межд. конф. “Интеллектуальный анализ информации”. – К., 2006. – С. 262–271.
9. Курейчик В.М., Родзин С.И. Эволюционные вычисления: генетическое и эволюционное программирование // Новости искусственного интеллекта. – 2003. – № 5. – С. 13–20.
10. Затуливетер Ю.С. Информация и эволюционное моделирование // Труды межд. конф. “Идентификация систем и задачи управления”. – М., 2000. – С. 1529–1572.

СНИТЮК Віталій Євгенович – кандидат технічних наук, доцент, докторант Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Наукові інтереси:

- еволюційне моделювання;
- системи підтримки прийняття рішень;
- теорія і методи штучного інтелекту.

Подано 14.11.2006