

Глибовець М. М., Гороховський С. С., Гулаєва Н. М., Кирієнко О. В.

ПРО НЕОБХІДНІСТЬ ІНТЕГРАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ У ГАЛУЗІ МЕДИЦИНИ, БІОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК

Останніми роками спостерігають постійне зростання інтересу вчених до використання біологічних аналогій для побудови штучних інформаційних систем. Природа вже не один мільйон років терпляче відшліфовує свої алгоритми, людство не в змозі зрівнятися з такими термінами. Протягом мільйонів років еволюції природа створила досконалі механізми вирішення складних оптимізаційних завдань. Розкриття механізмів, відповідальних за створення та роботу таких складних систем як живі організми, надихнуло багатьох дослідників на моделювання цих процесів за допомогою комп'ютерів із метою вирішення практично важливих для людини завдань. У статті коротко проаналізовано результати, отримані в цьому напрямі.

Філософи і соціологи, намагаючись виявити фундаментальні ознаки сучасності, звертають увагу на зростання ролі науки, використання знань у технологічній та виробничій практиці, розповсюдження технологічних новацій, що охоплюють усі сфери життя. Сьогодні характеризується бурхливим розвитком обчислювальної техніки і, як наслідок, автоматизацією всіх сфер життєдіяльності людини. Як відомо, основою всіх наук вважають математику: відкриття в математиці та технічні винаходи є новими можливостями проведення досліджень в інших галузях знань. Треба зазначити, що серед математичних задач, що вирішують засобами обчислювальної техніки, важливе місце посідають дискретні оптимізаційні задачі. Для багатьох із них дуже легко написати алгоритми, пов'язані з перебором всіх чи майже всіх можливих варіантів. Але прямий перебір потребує інтенсивних обчислень, і навіть можливостей сучасних комп'ютерів іноді буває недостатньо для його успішного виконання. У результаті, з одного боку, відбувається інтенсивний пошук шляхів підвищення швидкодії обчислювальної техніки, а з іншого – дослідження з розроблення загальних методів скорочення або ліквідації перебору у вирішенні задач. Схоже на те, що в цих дослідженнях можна отримати цікаві результати, якщо звернутися до живої природи [1].

Прочитуємо слова Джона фон Неймана – вченого, визнаного творця теорії автоматів. Упевнений у тому, що ідеї та задачі чистої математики значно залежать від емпіричної науки, він писав: «Справжнє натхнення сучасна математика черпає в природничих науках» [2]. Останніми роками про актуальність міждисциплінарних досліджень

ідеться дуже часто. Дослідження на межі медицини, біології та комп'ютерних наук можуть принести цікаві результати, причому не тільки запропонувати ефективні підходи до вирішення прикладних задач, що виникають у медицині, а й збагатити комп'ютерні науки новими методами вирішення широкого кола задач.

Останніми роками спостерігають постійне зростання інтересу вчених до використання біологічних аналогій для побудови штучних інформаційних систем (у англійській літературі існують усталені терміни «natural optimization algorithms», «problem solving techniques inspired by nature»). Насправді, природа вже не один мільйон років терпляче відшліфовує свої алгоритми, людство не в змозі зрівнятися з такими термінами. Протягом мільйонів років еволюції природа створила досконалі механізми вирішення складних оптимізаційних задач. Розкриття механізмів, відповідальних за створення та роботу таких складних систем, як живі організми, надихнуло багатьох дослідників на моделювання цих процесів за допомогою комп'ютерів із метою вирішення практично важливих для людини завдань. Коротко охарактеризуємо результати, отримані в цьому напрямі.

Перш за все, необхідно зазначити штучні нейронні мережі (Artificial Neural Networks – ANN) – широкий клас систем, архітектура яких має аналогію з будовою нервової тканини з нейронів [3, 4]. Штучні нейронні мережі складаються з елементів, функціональні можливості яких аналогічні більшості елементарних функцій біологічного нейрона, причому ці елементи – штучні нейрони – організовані за принципом, який може відповідати (або не відповідати) анатомії мозку.

Нині база застосування штучних нейронних мереж надзвичайно всебічна: різноманітні завдання класифікації та кластеризації, апроксимація функцій, розпізнавання образів, стиснення даних, адаптивна ідентифікація систем, оптимальне керування, діагностика станів тощо.

Ще один підхід – методи інтелекту рою (Swarm Intelligence – SI), які ґрунтуються на вивченні колективної поведінки в децентралізованих самоорганізованих системах [5, 6]. Більшість тварин у природі, як відомо, живуть групами. Прикладами можуть бути рої бджіл, косяки риб, мурашині колонії, зграї птахів. Спостерігаючи ці групи, можна констатувати складну скоординовану просторово-часову модель поведінки таких систем – від руху пташиних зграй і косяків риб до міграції стад парнокопитних і рухливих потоків у натовпі людей. Спільна риса такої поведінки – взаємодії індивідів, завдяки яким окремі індивіди можуть впливати на поведінку інших членів групи. У рамках описаного підходу можна виділити два узвичаєні напрями:

– *Оптимізація за принципом мурашиної колонії* (Ant Colony Optimization – ACO). Мурахи, як відомо, створіння сліпі. Тим не менш, колонія мурашок ефективно вирішує завдання знаходження оптимального шляху від їжі до мурашника, причому за зміни оточуючого середовища (наприклад, виникнення перешкоди на старому шляху) колонія швидко знаходить новий шлях. Причина такої поведінки полягає в тому, що кожна окрема мураха залишає на своєму шляху особливі сигнальні речовини, названі феромонами. Довгі ланцюжки мурах, що сновигають туди-сюди між гніздом та джерелом харчування, прямують по хімічному сліду, прокладеному мурахами-першовідкривачами цього корму і закріпленому їхніми наступниками. Коли їжа вичерпується, мурахи перестають виділяти відповідний феромон, цей запах над шляхом швидко вивітрюється, і на нього вже не звертатимуть уваги. Таким чином, безліч мурах вирішують одне завдання (знаходження найменшого шляху на графі) паралельно. Описану ідею – ідею оптимізації шляхом непрямого зв'язку між автономними агентами – і покладено в основу алгоритму оптимізації за принципом мурашиної колонії. Цей алгоритм успішно застосовували до вирішення завдання комівояжера (обхід точно по одному разу всіх вершин графа), задач маршрутизації в мережах, задач балансування завантаженості мереж, а також у задачі розподілення робіт, задачі про призначення тощо.

– *Оптимізація частинок роєм* (Particle Swarm Optimization – PSO). Неформально ідею цього

алгоритму можна описати так. Нехай рій бджіл шукає найбільш багате на їжу місце в полі. Бджола оцінює кожне місце свого перебування в просторі; ця оцінка тим вища, чим більше їжі зосереджено в цій точці простору. Бджола запам'ятовує найкраще знайдене нею місце, а також ділиться цією інформацією з іншими бджолами. Рухи бджоли керовані вектором швидкості, який залежить від найкращого знайденого бджолою місця, а також від глобального найкращого положення, знайденого всіма бджолами рою. Результатом зазначеного є поведінка рою: на рух кожного члена рою впливає і його власний досвід, і досвід всіх членів рою. Такі алгоритми використовували для керування автоматичними транспортними засобами, для складання космічних карт, для створення складного інтерактивного середовища у фільмах («Король Лев» – сцена втечі бізонів, «Володар кілець» – сцени битв). Є приклади використання алгоритму оптимізації частинок на основі підходу рою в керуванні нанороботами всередині тіла для видалення ракових пухлин.

Штучні імунні системи (Artificial Immune Systems – AIS) – новий напрям штучного інтелекту, який емулює біологічну імунну систему людини. Як відомо, імунологи описують проблему визначення чужорідних тіл всередині організму як порівняння деяких шаблонів (імунних клітин – лімфоцитів) із прониклими всередину організму тілами (антигенами – бактеріями, вірусами і т. п.) і виявлення розбіжностей між ними. Генні бібліотеки постійно еволюціонують; процесом адаптації є пошук нових шаблонів. Алгоритми AIS застосовують у завданнях класифікації, кластеризації, розпізнавання образів (зокрема, для знаходження вірусів та атак систем захисту інформації), а також у задачах апроксимації функцій, оптимізаційних задачах, задачах пошуку та усунення неполадок, у тому числі апаратних, у біоінформатиці тощо.

Ще один новий напрям – *програмування емоцій*. Тут можна виокремити розуміння емоцій та синтез емоцій у машинах. *Розуміння емоцій* є ключовим аспектом у створенні інтерфейсів користувача. Наприклад, якби комп'ютер відчув, що користувач засмучений, він міг би змінити засоби подання інформації. Якби автомобіль міг відчувти, що водій перебуває в стані алкогольного сп'яніння, він зміг би вжити відповідних ситуацій заходів. Для визначення емоційного стану можна використовувати різні датчики. *Синтез емоцій* у машинах може бути корисним у вивченні роботи з виправлення неполадок у системі. Наприклад, якщо космічний корабель втратив

курс на Землю, то він синтезує страх і таким чином примножує свої зусилля з пошуку правильного курсу.

Особливу увагу треба приділити *еволюційним алгоритмам*, що включають еволюційне програмування, еволюційну стратегію, генетичні алгоритми, генетичне програмування [7–12]. Тут ідеться про використання принципів біологічної еволюції для вирішення практичних завдань. У загальному вигляді, генетичний алгоритм – це оптимізаційний метод, що базується на еволюції популяції особин. Кожна особина представлена у вигляді хромосоми й характеризується пристосованістю – функцією генів. Завдання оптимізації полягає в максимізації функції пристосованості. У процесі еволюції в результаті відбору та рекомбінації геномів (з використанням генетичних операторів кросинговеру, мутації, інверсії) відбувається пошук особин із найвищими пристосовуваннями. Зміст цього підходу чудово описано в книзі Л. Фогеля, А. Оунеса, М. Уолша «Штучний інтелект та еволюційне моделювання»: «Учений діє, щоб знати, у той час як інженер знає, щоб діяти. За еволюційного підходу, дослідник у процесі умоглядного синтезу своєї моделі стає на позиції інженера» [7].

Еволюційні алгоритми використовують дуже широко. Зокрема, еволюційну стратегію використовували в проектуванні літаків (контур крила, конфігурація фюзеляжу). Генетичні алгоритми застосовували в розробках, призначених для обчислення абсолютного положення в просторі у роботі з телескопом. Генетичні алгоритми використовують у продукті Channeling, розробленому ізраїльською компанією «Schema» для оптимізації вибору оптимальної частоти, на якій вестимуть розмову. Еволюційні алгоритми використовували в бібліотеці Endorphin, що надає програмне забезпечення для синтезу динаміки руху. Цю бібліотеку можуть використовувати аніматори для створення руху фігур у режимі реального часу. У 1994 р. Ендрю Кін (Саутхемптон) використав генетичний алгоритм у дизайні космічних кораблів. За 15 поколінь (4500 варіантів дизайну) одержана модель, за параметрами тестів краща за варіант, розроблений людьми. У NASA використали генетичний алгоритм у розробленні антени серії мікросупутників, запущених у 2004 р. для вивчення магнітосфери Землі. Слід зазначити цікаву форму отриманих конструкцій: космічна опора виявилася схожою на гомілкову кістку, а антена супутника – на ріг оленя. У медицині генетичні алгоритми застосовують для діагностики та прогнозування, під час оброблення зображень, у задачах складання розкладів та планування.

Розглядаючи еволюційні алгоритми, не можна не згадати про таку цікаву галузь науки, як *штучне життя* (Artificial Life – AL) [13, 14]. Узагаліто, вже згадані Л. Фогель, А. Оунес та М. Уолш займалися питаннями штучного інтелекту. Їх основний задум – замінити процес моделювання людини моделюванням її еволюції. Сам термін «штучне життя», введений Крісом Лангтоном (кінець 1980-х), замінив множину комп'ютерних механізмів, що використовували для моделювання природних систем. Штучне життя – це галузь науки, присвячена розумінню життя через спроби відокремити фундаментальні функціональні принципи в основі біологічних явищ і відтворити ці принципи в іншому фізичному середовищі, зробивши, таким чином, відокремлені принципи доступними для нових засобів експериментального дослідження. Штучне життя вивчає більш загальні форми життя, ніж ті, що існують на Землі, тобто вивчає життя, яким воно могло би бути (life-as-it-could-be), а не життя, як ми його знаємо (life-as-we-know-it). Таким чином, мета штучного життя – розробити універсальну біологічну теорію, яка змогла б передбачити форми життя, що можуть існувати на інших планетах. У межах цього напряму отримано цілий ряд цікавих результатів. Наприклад, у Brandeis University створено програму Golem (Genetically Organized Lifelike Electro Mechanics), що конструює роботів. У програму завантажили опис деталей (трубки-кістки, моторчики-м'язи, штучні нейрони), механізм мутацій, функцію пристосованості (відкидати тих, хто не навчився рухатися). Після виведення віртуальної моделі (600 поколінь) версію переможця роздрукували за допомогою тривимірного принтера. Результат експерименту – три плазуючі роботи. Цікаво, що умови задачі не описували симетрію моделей, але вона з'явилася унаслідок еволюції як корисна риса, що надає можливість рухатися прямо.

Звичайно, у скептиків може виникнути питання – навіщо це потрібно, де можна застосувати результати досліджень, проведених у напрямі «штучне життя»? Насамперед, слід зазначити, що ці дослідження є цікавими самі по собі; можливо, вони дадуть змогу пролити світло на проблему походження життя. Крім того, нині результати цих досліджень використовують у робототехніці, а також в інтелектуальних системах керування. Варто також висвітлити такий цікавий факт. Напрямо досліджень «Штучний інтелект» (Artificial Intelligence – AI) має на меті створення машини, спроможної діяти, як людина. Результат, як відомо, не досягнуто й донині. Водночас

на шляху до досягнення цього результату винайдено цілий ряд нових технологій, які знайшли широке застосування і які тепер ми сприймаємо як належне, наприклад, системи розпізнавання голосу та письма. Саме тому, що після створення технологія штучного інтелекту перестає бути дивом і використовується повсюдно, буквосполучення AI набуло ще одного розшифрування – «Майже застосоване» (Almost Implemented – AI). Ще один приклад – клітинні автомати. Їх придумав Джон фон Нейман як модель самовідтворюваного автомата. А в результаті одержано потужний засіб моделювання і, більше того, теоретичну основу будови мультипроцесорних обчислювальних систем. Том у, навіть якщо проблему життя не буде розв'язано, є сенс працювати й надалі в цьому напрямі – праця не може не дати наукового прогресу, і ще невідомо, скільки цікавих і корисних завдань вдасться вирішити на цій стежині.

Складність завдань, які треба розв'язати для інтеграції, така, що необхідні потужні наукові й організаційні заходи та засоби. Один із таких напрямів швидко набуває популярності й втілює метафору електронної науки (e-science) [15, 16]. У середині 90-х років виникла ідея створення нової інфраструктури розподілених обчислень для розв'язання складних наукових та інженерних проблем. Її назвали Grid. Основна ідея технології Grid – об'єднання обчислювальних ресурсів, можливостей зберігання даних, мережних ресурсів, сенсорів тощо. Основною метою є створення ілюзії простого й водночас великого та потужного самокерованого віртуального комп'ютера з великого набору об'єднаних гетерогенних систем, що реалізують різні комбінації ресурсів, навіть дуже значного обсягу. Власне, Grid є програмно-апаратною інфраструктурою, що забезпечує надійний, узгоджений та недорогий доступ до надпотужних комп'ютерних мож-

ливостей за допомогою координованого доступу до обчислювально-інформаційних ресурсів, спрямованого на розв'язання проблем у динамічних, віртуальних організаціях. Ключовим підходом є здатність укладати угоду про розподіл ресурсів між різними користувачами (провайдери та споживачі) та використання результуючого пулу ресурсів для задоволення визначеної мети. Зазначимо важливість стандартних протоколів як засобу, що забезпечує інтероперабельність та спільну інфраструктуру. Наприклад, за умови існування такої інфраструктури реальним стає розв'язок задачі масштабного неперервного моніторингу сенсорів, що вживлені в тіла хворих, із бездротовою передачею результатів у мережу обробників інформації. Аналогічно можна розв'язувати завдання віддаленого аналізу крові, відхилень серцевої діяльності тощо. Техніка побудови таких комплексів, які враховують багато параметрів і здатні приймати рішення, насправді застосовна для зовсім іншого типу завдань – моніторингу стану автошляхів.

Для гідної відповіді на критичні для безпеки людей виклики ІТ-спільнота мусить віднайти адекватні моделі й методи специфікації, проектування, аналізу динамічних систем, що самоорганізуються та навчаються. Одна з подібних технологій – це технологія інтелектуальних агентів, автономних, проактивних високореактивних програмних сутностей. Зокрема, цікаво й перспективно дослідити застосування агентів у семантичних сітках (semantic grids). У принципі аналогічну архітектуру колаборативного середовища, асоційовану з інфраструктурою сітки, розглянуто в роботі [17].

Науковці сьогодення мають більш прискіпливо вивчати досвід природи в побудові алгоритмів розв'язку складних задач та адаптовувати їх для використання в складних апаратно-програмних комплексах.

1. Глибовець М. М., Олецкий О. В. Штучний інтелект. – К.: Видавничий дім «КМ Академія», 2002. – 366 с.
2. Дж. фон Нейман. Теория самовоспроизводящихся автоматов. – М.: Мир, 1971. – 382 с.
3. Нейрокомпьютеры. Кн. 3: Учеб. пособ. для вузов / Общ. ред. А. И. Галушкина. – М.: ИПРЖР, 2000. – 528 с.
4. Горбань А. Н., Россиев Д. А. Нейронные сети на персональных компьютерах. – Новосибирск: Наука. Сиб. изд. фирма РАН, 1996. – 276 с.
5. <http://iridia.ulb.ac.be/~mdorigo/ACO/publications.html>
6. <http://www.particleswarm.info/>
7. Fogel L. J., Owens A. J. & Walsh M. J. Artificial Intelligence through Simulated Evolution. – New York: J. Wiley & Sons, 1966.
8. Holland J. H. Adaptation in Natural and Artificial Systems. – Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1975. – 371 p.
9. Rechenberg I. Evolutionsstrategie: Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution. – Stuttgart: Fromman-Holzboog, 1973.
10. Goldberg D. E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine learning. New York: Addison-Wesley, 1989. – 603 p.
11. Koza J. R. Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection. – 1992. – 820 p.
12. www.genetic-programming.com.
13. <http://www.alife.org>.
14. <http://www.calresco.org>.
15. <http://www.escience-grid.org.uk/docs/gridtech/define.htm>.
16. Atkinson M., Crowcroft J., Goble C., Gurd J., Rodden T., Shadbolt N., Sloman M., Sommerville I., Storey T. Computer Challenges to Emerge from E-Science. UK E-Science Programme. – Cambridge: Manifesto, 2002.

17. Глибовець Н. Н., Медведь С. И. Генетические алгоритмы и их использование для решения задачи составления расписания / Кибернетика и системный анализ.— 2003.— № 1.— С. 95–108.

M. Glybovets, S. Gorokhovskiy, N. Gulayeva, O. Kyriienko

**ON NECESSITY OF MEDICAL, BIOLOGICAL
AND COMPUTER SCIENCE RESEARCH INTEGRATION**

Over the last years, constant increase of the scientists' interest towards use of the biology analogies in artificial informational systems' development has been noticed (English literature suggests such terms as: natural optimization algorithms, problem solving techniques inspired by nature). The nature has been patiently perfecting its algorithms for millions of years, and the human race can't compare anything to them. In the evolutionary process of millions of years, the nature has created impeccable mechanisms of difficult optimization problems' solution. The discovery of the mechanisms responsible for creation and the work of such complicated systems as living organisms has inspired many researchers for computer modeling of this processes in order to solve problems significant for humanity. The article briefly analyses the results achieved in this direction.