

УДК 681.3

**Ю.О. Ерметов**Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра “Електронні обчислювальні машини”**ДО ПИТАННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ  
У СИСТЕМАХ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ**

© Ерметов Ю.О.

**Розглянуто сучасний стан алгоритмічних засобів програмного та апаратного забезпечення, обґрунтовується необхідність створення систем штучного інтелекту, пропонується ієрархічна структура прийняття рішень у системах штучного інтелекту.**

**Contemporary state of algorithmic software and hardware is considered, development of artificial intelligence is grounded, hierarchial structure of decision making is proposed.**

**Вступ**

Розглянемо сучасний стан обчислювальної техніки, а також зазирнемо у її майбутнє, щоби наблизитись до питання “штучного інтелекту” – таємної мрії кожного комп’ютерного інженера. Вважаємо, що епоха алгоритмічних, наперед запрограмованих комп’ютерів закінчується. У галузі програмного забезпечення відбувся прорив до об’єктно-орієнтованих технологій з новим типом парадигми програмування мислення. У галузі апаратного забезпечення закінчується підсумовування досвіду проектування обчислювальних засобів з “жорсткою” структурою – як спеціалізованої, так і універсальної. На зміну періоду евристичних розробок приходить період формалізації набутого досвіду та створення спеціальної теорії взаємовідношення між алгоритмом та обладнанням, яке його реалізує. Одночасно прямує до фізичного ліміту технологія виготовлення кремнієвих кристалів – розмір атома та швидкість світла визначають межу зростання тактової частоти.

Комп’ютерна наука досягла рівня, достатнього для реальної спроби створення штучного інтелекту. Також це пов’язано з досягненнями науки у всіх сферах, зокрема у генній інженерії та мікробіології. Спробуємо сформулювати основні засади, необхідні для створення штучного інтелекту, а також підходи до його реалізації.

**1. Сьогодні досягнуто межі кремнієвої технології**

У більшості випадків обчислювальну техніку розглядають з точки зору програмного та апаратного забезпечення [1,2,3,4]. Проте необхідно зазначити, що суттєвої різниці між ними не існує – поява програмного забезпечення пояснюється “жорсткою” незмінною структурою кристала обмеженого розміру, на основі якого необхідно реалізувати будь-який алгоритм.

У сучасній комп’ютерній інженерії існують два основні полюси проектування апаратних засобів – універсальний [1] та спеціалізований [5] методи реалізації алгоритмів. Спеціалізовані обчислювальні засоби у своєму максимальному прояві зорієнтовані на безпосереднє відображення алгоритму у кристал [7]. У випадку, коли розмір алгоритму перевищує можливий розмір кристала, використовуються рекурсивні структури [5,7].

Раніше використання цього підходу обмежувалось невеликими розмірами кристала та великим часом проектування. Сьогодні обидві проблеми практично вирішені – що стосується останньої, то ведуться розробки САПР, які на основі заданого алгоритму автоматично проектуватимуть спеціалізований процесор [13]. Проте використання спеціалізованого підходу обмежено так званими інваріантними до зсуву алгоритмами – існування залежностей обчислень від вхідних даних, що вимагають динамічного розв'язання, виходять за межі даного підходу.

Ця проблема повністю усувається універсальними процесорами – пристроями, що володіють функціонально повним набором операцій, які реалізують алгоритм у часовому просторі з допомогою програмного забезпечення [2,3]. Отже, опис алгоритму перейшов з фізичного простору в інформаційний. Основний недолік універсальних процесорів – невелика швидкодія – із збільшенням розміру кристала усувається шляхом застосування цілого спектру підходів до побудови обчислювальної техніки. Так, окрім відомих методів використання паралелізму [9,10,11,12], конвеєрності [6,7,8] та вбудовування спеціалізованих блоків [5] на різних рівнях, у сучасних універсальних процесорах використовуються елементи машини потоків даних (зміна порядку виконання команд), асоціативної обробки (табличні методи, реалізація кешу), статистичного врахування особливостей алгоритму (передбачення галузень) [2,3] та інші.

Для досягнення оптимальних характеристик за швидкістю та затратами обладнання у обох напрямках здійснюється взаємне зближення – спеціалізовані процесори набувають ознак універсальності, а універсальні підвищують продуктивність за рахунок спеціалізованих блоків. У цьому напрямку оптимуму досягають сучасні SoC-технології (System-on-Chip – система на кристалі), у яких реалізується симбіоз універсальної та спеціалізованої техніки: інваріантні до зсуву фрагменти алгоритму реалізуються на основі спеціалізованих блоків, а фрагменти, які вимагають динамічного розв'язання, реалізуються на основі універсального процесора. У програмі розвитку SoC-технології інтенсивно розробляються реконфігуровані комп'ютери [10,14,21]. Найбільш перспективною виглядає архітектура, у якій універсальне ядро оточується обчислювальним полем, здатним переконфігурувати свої функції. У більшості випадків як реконфігуроване поле використовується мережа з'єднаних між собою (з різною кількістю взаємозв'язків) однорозрядних арифметико-логічних пристроїв (ПЛІС). Отже, замість компіляції програми у виконавчий код може здійснюватись трансляція програми у конфігурацію частини реконфігурованого поля для апаратної реалізації алгоритму. Обмеженість використання цього підходу пояснюється незакінченою теорією автоматичного відображення алгоритму на комбіновану структуру універсального та спеціалізованого пристроїв [7].

Можна зробити висновок, що питання автоматичної апаратної реалізації існуючих алгоритмів наближається до свого завершення. З цієї точки зору комп'ютер як механічний помічник, що реалізує задум людини, досяг своєї вершини. Людина здатна навчити механічно повторювати все, що вмє сама. Проте в багатьох випадках людина хотіла би, щоб комп'ютер виявляв творчі здібності для самостійного вирішення задач у непередбачуваних обставинах. У цій ситуації ми потрапляємо у сферу штучного інтелекту, у якій, окрім філософського питання необхідності штучного інтелекту, загалом існує цілий ряд технологічних, наукових та “моральних” питань, вирішення яких є передумовою створення штучного інтелекту.

## 2. Завтра – у напрямку до штучного інтелекту

Ми дійшли висновку, що у випадку існування алгоритму він може бути реалізований автоматично з великою швидкістю засобами обчислювальної техніки. Складнішим є випадок, коли існує задача, яку ще необхідно розв'язати. У більшості випадків розв'язання поставленої задачі залежить від врахування усіх заздалегідь не помічених факторів, властивості яких визначаються експериментальним шляхом. Але найскладнішим випадком необхідно вважати задачу, яка не сформульована, а існує лише загальний напрямок для пошуків, створений появою не пояснених (внаслідок існуючого рівня знань) фактів.

Зацікавленість створенням штучного інтелекту виникла одночасно із появою електронних обчислювальних машин. Це пояснюється тим, що створення будь-якої предметної області вимагає створення аксіоматичних базових положень, які знаходяться на межі науки та філософії. Роботи Ньюела та Саймона, пов'язані із створенням програм, здатних автоматично розв'язувати задачі та доводити теореми, в основному базувались на моделюванні методів людського мислення [17,18]. Проте спроби застосувати результати, отримані в області формальної логіки предикатів [18,19], до реального навколишнього середовища, викликали складнощі. Відсутність достовірних знань про склад та принципи розвитку величезної кількості реальних об'єктів призупинила розвиток теорії прийняття рішень і спрямувала дослідження у напрямку розробки методів подання та формалізації реальних знань із різноманітних предметних областей. Результатом цих досліджень стала розвинута теорія баз знань та логічних виведень в експертних системах [20]. Проте концептуально проблему не було вирішено і в основі більшості виведень залишився перебір варіантів великого набору розрізнених знань. Із вибухоподібним накопиченням різноманітних знань у всіх галузях науки наприкінці ХХ ст. експертні системи частково втратили свою актуальність.

У напрямку пошуку методів прийняття рішень необхідно зазначити появу та розвиток теорії нечітких множин [22]. Широке застосування статистичних та імовірнісних методів разом із методами самонавчання нейроноподібних структур дозволяє отримати найбільш вірогідне рішення у будь-якій ситуації, проте можливість грубої помилки обмежує практичне застосування цих методів. Також в області нечітких рішень зазначимо появу асоціативної логіки, здатної знаходити несподівані рішення на основі найвіддаленіших асоціацій [22].

Останні роки відзначились новим спалахом зацікавленості до пошуку методів “евристичного” мислення людини. Зазначимо в цьому напрямку наближення до комп'ютерних наук таких галузей, як психологія, генетика, біологія та мікробіологія [23]. Генетичні та еволюційні алгоритми стали розвитком давно відомих кліткових механізмів розвитку однорідних популяцій [23]. Поширеною стала теорія колективної поведінки [24], найбільш характерними ознаками якої є розподілений характер діяльності “агентів” системи з максимальним пристосуванням до навколишнього середовища, а також “епікурейський” характер прийняття самостійних рішень, спрямований на задоволення головних потреб існування. Зазначимо спорідненість цього методу із інстинктивним прагненням людини задовольнити основні “тваринні” потреби. Результат дії оцінюється за емоційним станом задоволення. Новітнім напрямком у розвитку методів прийняття рішень стала поява так званої “мотиваційної” логіки, у якій з'являються такі категорії, як “віра” (необґрунтовані знання) [25]. На відміну від визначення істинності на основі принципу задоволення інстинктивних потреб “мотиваційна” логіка як істинне твердження використовує рівень самостійності волевиявлення (твердження “Я хочу” набуває істинності незалежно від природи бажання). Із врахуванням теорії логіки предикатів, нечітких знань та теорії баз знань сучасна теорія прийняття рішень наблизилась до “вивчення” практично усіх рівнів свідомості людини, які відомі сучасній науці.

### 3. Інтелектуальне прийняття рішень

Висунемо припущення, що задача створення штучного інтелекту полягає у створенні обчислювального засобу, який працюватиме у реальних умовах навколишнього середовища і виконуватиме три основні функції: 1) пізнання себе та навколишнього світу; 2) збереження власної цілісності та цілісності навколишніх об'єктів; 3) перетворення себе та навколишнього середовища згідно із закладеними принципами розвитку. Виходячи з цього, двома основними умовами існування інтелектуальної істоти будуть самостійність існування (енергонезалежність) та постійний розвиток – як власної структури, так і навколишнього середовища.

З цієї точки зору сучасні комп'ютери абсолютно не відповідають вимогам штучного інтелекту: 1) їх робота повністю залежить від діяльності людини, 2) структура як апаратного, так і програмного забезпечення є незмінною (за винятком впливу з боку людини). Кремнієвий кристал взагалі не може бути змінений, що ж стосується програмного забезпечення, то зміна програмою власного коду вважається однією з найбільш недопустимих ситуацій. У напрямку апаратного забезпечення найближче до можливостей реалізації штучного інтелекту наблизились технології реконфігурованих комп'ютерів, хоча кількість програмованих елементів та взаємозв'язки між ними залишаються незмінними [21]. У сфері програмного забезпечення проривом стала поява об'єктно-орієнтованих технологій [4]. Можливість утворення нових класів з врахуванням властивостей та методів ("досвіду") попередніх великою мірою відповідає принципам існування та розвитку реальних об'єктів у навколишньому середовищі. І не випадково найбільш поширене об'єктно-орієнтоване програмування саме у сфері віртуального моделювання навколишнього середовища. Але для того, щоб система згідно з вимогами до штучного інтелекту могла розвиватись, необхідні дві умови: 1) фізична здатність змінюватись (у напрямку підвищення функціональності та збільшення кількості компонент) і, головне, 2) існування механізму прийняття рішення стосовно власних змін та змін навколишнього середовища.

Що стосується 1-ї умови, то сьогодні їй відповідають лише біологічні істоти. У певному наближенні для моделювання (дослідження) таких систем можна було б використати реконфігуровані комп'ютери, але для побудови реальної системи "людина" ще необхідно досягнути механізми створення та життєдіяльності біомолекулярних структур.

Що стосується 2-ї умови, то тут ситуація набагато складніша. Перш ніж розглядати можливі механізми прийняття рішення, необхідно вирішити надзвичайно важливе питання самої необхідності (доцільності) створення штучного інтелекту. Як вже зазначалось, штучний інтелект передбачає його повну незалежність – в іншому випадку порушується сам механізм розвитку і надбання нових знань. Проте в цій ситуації в людині пробуджуються глибинні страхи про залежність від машини. Оскільки сама людина здатна приймати рішення, руйнівні для самої себе та навколишнього середовища, логічно припустити таку саму можливість стосовно комп'ютера. Будь-які заборони у поведінці інтелектуальної системи порушили б розвиток, а в деяких ситуаціях могли би спричинити руйнування системи. І навіть у локальному випадку – вирішення конкретної задачі – відсутність довіри до рішення комп'ютера вимагала б присутності людини, а це зразу ж знизило б ефект від продуктивності комп'ютера.

Отже, створення штучного інтелекту матиме сенс тільки в тому випадку, коли згідно з закладеними у комп'ютер механізмами розвитку рішення, руйнівні для самого комп'ютера та навколишнього середовища, не матимуть сенсу, а отже, будуть неможливими.

Звернемось до механізмів розвитку та прийняття рішень. Аналіз принципів поведінки різноманітних об'єктів показує, що кожний об'єкт повинен мати свої пріоритети поведінки і приймати рішення тільки на основі них. У світі неживих об'єктів як такі пріоритети можна розглядати фізичні закони, які забезпечують сталість та взаємодію фізичних форм. У світі рослин

такими пріоритетами є процеси росту (тут зазначимо спорідненість генетичних та еволюційних алгоритмів з процесами розвитку рослин). Тваринне царство характеризується можливостями пересування із домінуванням інстинктивної поведінки (логіка задоволення потреб). Для людини характерним став процес самоусвідомлення (мислення) із можливістю абстрагування (формальна логіка) від реальних об'єктів з метою створення гіпотези із подальшою її перевіркою (експертні системи) шляхом впливу на навколишні об'єкти (теорія нечітких множин, оскільки для будь-яких нових рішень існує певний ступінь невизначеності). Зазначимо, що усі пріоритети менш розвинутих систем (нежива природа, рослини, тварини) присутні у людині і одночасно підпорядковані найвищому пріоритету – пріоритету мислення (людина здатна підкоряти інстинкти, забезпечувати життєдіяльність організму та керувати його фізичними діями). Також зазначимо існування в людини ряду пріоритетів, які впливають на її рішення, але не піддаються її контролю. До цих пріоритетів необхідно віднести відчуття прекрасного (процес творчості), людські почуття до інших (добро, любов, загальне благо), а також загальне прагнення жити та розвиватись (енергонезалежність). Отже, отримуємо ієрархічну систему пріоритетів, на основі яких відбувається діяльність інтелектуальної системи:

- 1) поява імпульсу до дії (мотиваційна логіка);
- 2) спрямування імпульсу до врахування потреб усіх існуючих об'єктів (принцип машини потоків даних);
- 3) створення образної моделі реалізації бажання (асоціативна логіка);
- 4) побудова абстрактної моделі (формальна логіка) та конкретного плану дій з врахуванням особливостей навколишніх об'єктів (бази знань, нейронні мережі);
- 5) врахування потреб власної системи (логіка задоволення потреб);
- 6) створення програми керування та розвитку власних компонент (генетичні та еволюційні алгоритми);
- 7) виконання фізичної дії (логіка нечітких множин).

Сам процес взаємодії з навколишнім середовищем відбувається у два етапи: сприйняття особливостей навколишнього середовища та виконання дії відносно нього. Отже, всі навколишні події впливають на об'єкт і отримують оцінку згідно з його системою пріоритетів, на основі яких об'єкт приймає рішення і виконує відповідну дію. У випадку, коли однакові дії призводять до подібних наслідків з боку навколишнього середовища, це фіксується в об'єкті як набутий досвід. Це дозволяє об'єкту змінювати власну систему оцінок та прийняття рішення на основі них.

Для ефективного прийняття рішення за складністю та набором компонент об'єкт повинен не поступатись навколишньому середовищу. Це означає, що на кожний зовнішній фактор (повітря, вода, температура, магнітне поле тощо) об'єкт має відповідно реагувати за допомогою компонента, зданого сприймати цей фактор; змінювати свою чутливість, а також, в свою чергу, впливати на навколишнє середовище. Усі компоненти повинні взаємодіяти за строгою ієрархічною структурою взаємозалежностей. Отже, для роботи в реальному середовищі у реальному масштабі часу обчислювальна система повинна бути багатокомпонентною гетерогенною системою з можливістю зміни та розвитку власної структури та принципів поведінки. З ідеологічної точки зору спочатку система повинна складатись лише з двох компонент відповідно до двох основних принципів діяльності системи: розвитку та збереження цілісності. Надалі в процесі розвитку як набір принципів діяльності, так і набір компонент повинні збільшуватись та ускладнюватись. Зауважимо, що принцип розвитку повинен передбачати такі напрямки здійснення змін, щоб в заданих умовах досягати заданої мети з найменшою шкодою для себе та навколишнього середовища.

### Висновки

Підсумуємо висунуті твердження. Розвиток алгоритмічних засобів обчислювальної техніки підходить до завершення. Кінцевим результатом буде САПР, яка на основі заданого алгоритму автоматично проектуватиме комбіновану систему на основі універсальних та спеціалізованих компонент. Ця система проектування буде базуватись на спеціальній теорії взаємовідповідності алгоритму та апаратних засобів. Наступним етапом розвитку обчислювальної техніки буде реалізація систем штучного інтелекту, передумовою до створення яких є об'єктно-орієнтоване програмування в галузі програмного забезпечення та біомолекулярні структури в галузі апаратних засобів. Системи штучного інтелекту потребують надбання людських рис великої активності до саморозвитку та самостійності з ієрархічною структурою системи прийняття рішень.

1. Майоров С.А., Новиков Г.И. *Принципы организации цифровых машин.* – Л., Машиностроение, 1974. – 432 с. 2. *Компьютеры на СБИС: В 2-х кн. Кн. 1: Пер. с япон./ Т. Мотоока, С. Томита, Х. Танака и др.* – М.: Мир, 1988. – 392 с., ил. 3. *ЭВМ пятого поколения: концепции, проблемы, перспективы / Под. ред. Т. Мотоока: Пер. с англ.* – М.: Финансы и статистика, 1984. 4. Фути К., Судзуки Н. *Языки программирования и схемотехника СБИС: Пер. с япон.* – М.: Мир, 1988. – 224 с., ил. 5. Байков В.Д., Смолов В.Б. *Специализированные процессоры: Итерационные алгоритмы и структуры.* – М.: Радио и связь, 1985. – 288 с. 6. Самофалов К.Г., Луцкий Г.М. *Основы теории многоуровневых конвейерных вычислительных систем.* – М.: Радио и связь, 1989. – 272 с. 7. Мельник А.О. *Спеціалізовані комп'ютерні системи реального часу,* – Львів, ДУ "Львівська політехніка", 1996. – 53 с. 8. Вишенчук И.М., Черкасский Н.В. *Алгоритмические устройства и суперЭВМ.* – К.: Техніка, 1991. – 197 с. 9. Прангишвили И.В., Виленкин С.Я., Медведев И.Л. *Параллельные вычислительные системы с общим управлением.* – М.: Энергоатомиздат. – 1983. – 312 с. 10. Игнатущенко В.В. *Организация структур управляющих многопроцессорных вычислительных систем.* – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 184 с. 11. Кун С. *Матричные процессоры на СБИС: Пер. с англ.* – М.: Мир, 1991. – 672 с. 12. Фрумкин М.А. *Систематические вычисления.* – М.: Наука, 1990. – 191 с. 13. Мельник А.О., Ерметов Ю.О. *Засоби проектування спеціалізованих НВІС від алгоритмічного опису задачі до рівня міжрегістрових передач // Тези доп. на міжнародній НТК "Сучасні проблеми засобів телекомунікації, комп'ютерної інженерії та підготовки спеціалістів" TCSET'98, 1998, с.108 (с.Славське, Україна).* 14. *Управление в распределённых информационных системах: Сб. науч. трудов.* – М.: Наука, 1989. – 144 с. 15. *Векторизация программ: теория, методы, реализация: Сб. статей: Пер. с англ. и нем.* – М.: Мир, 1991. – 275 с. 16. Вальковский В.А. *Распараллеливание алгоритмов и программ. Структурный подход.* – М.: Радио и связь, 1989. – 176 с. 17. Кузин Е.С., Ройтман А.И., Фоминых И.Б., Хахалин Г.К. *Интеллектуализация ЭВМ.* – М.: Высш. шк., 1989. – 159 с. 18. Бенерджи Р. *Теория решения задач: Пер. с англ.* – М.: Мир. – 1972. 19. Вагин В.Н. *Дедуктивные модели, Т.1.* – М.: ВИНТИ, 1984. 20. *Построение экспертных систем: Пер. с англ. / Под ред. Ф. Хейес-Рота, Д. Уотермана, Д. Лената.* – М.: Мир, 1987. 21. Andre DeHon: *Reconfigurable Architectures for General-Purpose Computing; Technical Report 1586, MIT Artificial Intelligence Laboratory, September, 1996.* 22. *Fuzzy, holographic, and parallel intelligence: the sixth-generation breakthrough/ by Branko Soucek and IRIS Group, A Wiley-Interscience Publication, 1992, 350 p.* 23. Justin Werfel. *Implementing Universal Computation in an Evolutionary System/ Artificial Intelligence Magazine, AIM-2002-010, July 2002.* 24. Kaelbling L.P., Littman M.L., and Moore A.W. *Reinforcement Learning: A Survey/ Journal of AI Research, 1996, Volume 4, pp.237-285.* 25. Michael P. Georgeff and Anand S. Rao. *The Semantics of Intention Maintenance for Rational Agents/ Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-95), Montreal, Canada, August, 1995*