

Моделювання Інтуїції на Засадах Парадигми Граничних Узагальнень

Юрій Прокопчук

відділ системного аналізу та проблем управління
Інститут технічної механіки НАНУ і ДКАУ
Дніпро, Україна
itk3@ukr.net

Олександр Білецький

кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Український державний хіміко-технологічний
університет
Дніпро, Україна
alexverba2@ukr.net

Modeling Intuition Based on the Paradigm of Limiting Generalizations

Yurii Prokopchuk

Department of Systems Analysis and Control Problems
Institute of Technical Mechanics of NASU
Dnipro, Ukraine
itk3@ukr.net

Oleksandr Beletsky

Department of Specialized Computer Systems
Ukrainian State University of Chemical Technology
Dnipro, Ukraine
alexverba2@ukr.net

Анотація—Існуючі технології освіти націлені на розвиток вербальної компоненти мислення з опорою на штучні логічні схеми. При цьому інтуїтивно-образне мислення, основою якого є природна логіка, практично цілеспрямовано не розвивається. Таке положення обумовлене, передусім, відсутністю адекватних математичних моделей адаптивного несвідомого, які розкривали б генезис імпліцитного (невід'ємного) знання. Цілями цієї роботи є: (1) побудова математичної моделі імпліцитного формування "тонких зрізів" (граничного сенсу) в завданнях розрізнення; (2) розробка конструктивних алгоритмів штучної інтуїції для реалізації в інтелектуальних системах; (3) розробка методології побудови когнітивних тренажерів. Моделювати роботу інтуїтивно-образної сфери суб'єкта, включаючи ухвалення рішень, автори пропонують на основі природної логіки у рамках парадигми граничних узагальнень. Модель підказує шляхи створення когнітивних тренажерів широкого спектру.

Abstract—For many people, intuition is a wonderful, mysterious, and near-magical phenomena. What do we refer to when we use this term? Existing educational technologies are aimed at developing the verbal component of thinking on the basis of artificial logical schemes. In doing so, there is little, if any, purposeful development of intuitive image thinking, which is based on natural logic. This is due, first of all, to the lack of adequate mathematical models of the adaptive unconscious, which would reveal the genesis of implicit inherent knowledge. The aim of this work is (1) the construction of a mathematical model of implicit formation of "thin sections" (limiting sense) in

discrimination problems (diagnosis, forecasting, management), (2) development of constructive algorithms for artificial intuition, and (3) the development of a methodology for cognitive simulator construction. The authors propose that the work of intuitive image component of an individual, including decision making, be simulated on the basis of natural logic in the framework of a limiting generalization paradigm (LGP). Natural logic leads to the origination of rationality as an adaptive tool, which is not identical to the rules of formal or fuzzy logic or to the rules of probability calculus. The key components of the intuition model are: basic entities of the LGP; a task-inductor space, event space, an "artificial connectom", coherence mechanisms; Thin Slices. The model also suggests ways to develop broad-spectrum cognitive simulators.

Ключові слова—інтуїтивне прийняття рішень; когнітивний підхід; формування компетенцій; інтуїтивно-образне мислення; природна логіка; парадигма граничних узагальнень

Keywords—intuitive decision making; cognitive approach; competence formation; intuitive and creative thinking; natural logic; paradigm of limiting generalizations

I. ВСТУП

Наш мозок володіє фантастичною здатністю. Ми можемо з безлічі ситуацій, подій, фактів виокремлювати суть, знаходити сутності, які лежать в основі явищ. Дивно те, що таке узагальнення відбувається не в результаті роздумів, спроб зрозуміти чи іншої розумової діяльності, а «автоматично», без усвідомлення самого факту

узагальнення. Узагальнення без усвідомлення - це одне з фундаментальних властивостей пам'яті [1 – 10]. Воно полягає в тому, що накопичення інформації супроводжується формуванням структур, що відповідають за виділення загальних ознак, властивих різним явищам. Ці ознаки можуть не збігатися з предметами або явищами, які ми знаємо, а відображати внутрішні приховані сутності або закономірності. Коли накопичується достатньо досвіду і формується узагальнююча властивість, вона починає використовуватися в роботі мозку, але це не означає, що ми можемо її назвати або дати їй трактування. Тільки коли ми задумаємося над причинами того, що об'єднує для нас певні явища, ми можемо в результаті аналізу спробувати витлумачити вже наявне у нас узагальнення і, якщо це вдасться, усвідомити його природу [1 – 10].

Особливу увагу інтуїції приділив Daniel Kahneman (лауреат Нобелівської премії з економіки, один з основоположників психологічної економічної теорії), вважаючи її ключовим фактором в дія економічних агентів [4]. Специфіка інтуїтивного процесу рішення невизначених завдань обговорюється, зокрема, в рамках напряму «naturalistic decision making» [5]. Відзначається, що класичні методи прийняття рішень є анти-інтуїтивними [6] і тому мало використовуються на практиці. Це необхідно враховувати при обговоренні «A Standard Model of the Mind» [10].

В цілому успішність і ефективність вирішення складних і нових завдань в невизначеному середовищі (ключова когнітивна компетентність) за влучним висловом відомого канадського дослідника Malcolm Gladwell [3] залежить від оволодіння мистецтвом «тонких зрізів» - вміння виділяти з величезного числа змінних малу кількість значущих чинників. Це здатність нашого несвідомого знаходити закономірності в ситуаціях і поведінці, спираючись на надзвичайно тонкі шари пережитого досвіду. Цей висновок є, по суті, формулюванням парадигми граничних узагальнень (ПГУ) [1]. Необхідно зрозуміти і побудувати математичну модель технології еволюційного формування «тонких зрізів» в задачах розрізнення [1, 2].

Цілями даної роботи є: (1) побудова математичної моделі імпліцитного формування «тонких зрізів» (граничного сенсу) в задачах розрізнення (діагностики, прогнозування, управління); (2) розробка конструктивних алгоритмів штучної інтуїції для реалізації в у інтелектуальних системах; (3) розробка методології побудови когнітивних тренажерів з використанням штучної інтуїції.

Потрібно створити точне глибинне уявлення про виникаючі імпліцитні знання. Ці підходи співзвучні ідеям «критичного мислення», де, в першу чергу, потрібно «вчити мислити», в тому числі «мислити про сенс», «мислити про своє мислення» [2].

II. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ

В рамках ПГУ до первинних сутностей ментальної сфери, що грають важливу роль в природних механізмах інтуїції і глобальної когерентності, можна віднести [1]:

орграфи значень і доменів тестів (кваліа), орграфи начерків образів, орграфи метаморфозів, системопатерни і структурну енергію. В орграфи значень, доменів, начерків вкладає система автоматичних інтуїтивних інтерпретацій явищ предметної області, тобто семантичний рівень. Можливість інтерпретувати дані та результати обробки даних в системі понять предметної області є необхідною умовою отримання корисного результату.

Крім системи інтерпретації, орграфи значень, доменів, начерків відповідають за породження понад надмірності і понад різноманітності даних, які в процесі категоризації дозволяють природним шляхом виявити гранично стислий зміст. Втілена когерентність на безлічі всіх даних (власна функція середовища знань) є найважливішим механізмом інтуїції [1, 2].

Базовими актами розумового процесу є розрізнення (термін «розрізнення» – «differance» ввів французький філософ Жак Дерріда). Будь-яку цільову множину об'єктів розрізнення позначимо Z, а відповідний акт розрізнення назовемо Z-задачею розрізнення. Приклади: задачі діагностики, розпізнавання, прогнозування, вибору управління, прийняття рішень.

«Тонкий зріз» в рамках будь-якої Z-задачі розрізнення являє собою сукупність інваріантів «внутрішні коди» (ВК) – $\{S^*\}$, на базі яких формуються базиси граничних моделей знань (базиси ГМЗ). Деякі ВК описують параметри порядку ситуацій дійсності. Базиси ГМЗ вирішують Z-задачі. Їх робота - процес вирішення Z-задачі розрізнення - це спонтанний процес, регульований тільки наявними ресурсами (енергією), тобто протікає, як правило, «несвідомо» (поза логічного контролю). ВК можуть виступати в якості мети управління, забезпечуючи єдність інтуїтивного рішення задач розрізнення і управління.

III. БАЗОВІ СУТНОСТІ МОДЕЛІ

Розглянемо докладніше дію первинних механізмів інтуїції на основі глобальної когерентності в рамках задачно-індукторного простору.

Конфігуратором тесту називається процедурна реалізація орграфу доменів тесту [1]. Загальну схему конфігуратору з використанням синтаксису лексичних дерев можна представити таким чином:

```

Тест [ ^Тест... ] [#ТестX... ] {
D_N [ ^D_N... ] [#DomX... ] { ; ; } [ {On}_N ] [ {S, R}_N ] [ {NN}_N ]
...
D_2 [ ^D_2... ] [#DomY... ] { ; ; } [ {On}_2 ] [ {S, R}_2 ] [ {NN}_2 ]
D_1 [ ^D_1... ] { ; ; } [ {On}_1 ] [ {S, R}_1 ] [ {NN}_1 ],

```

де 'Тест' - назва тесту; '^Тест...' - список умовних позначень тесту; '#ТестX...' - список посилань на більш загальні тести; 'D_K' - назва K-го домену; '^D_K...' - список умовних позначень K-го домену; '#DomX...' - посилання на домени предки; { ; ; } - список альтернативних елементів домену; {On}_j - онтологічні угоди; {S, R}_j - авто асоціативна модель знань (S - синдроми, R - провісники); {NN}_j – нейронні мережі.

Кожен елемент домену може мати власний список позначень, які також грають роль символів груп узагальнення. Елементи доменів можуть містити параметри, які забезпечують однозначність обчислювальних схем в залежності від тих чи інших факторів, наприклад, статі. Порядок розміщення доменів в конфігураторі - зверху вниз і зліва направо - означає зростання точності значень тесту за рахунок більшої деталізації (збільшення числа елементів). У впорядкованій послідовності доменів мітки елементів будь-якого домену явно задають однозначні правила перерахунку значень з поточного домену в інший, розміщений вище або зліва (транзитивні обчислення).

Завдяки структурній когерентності завжди породжується смислова траєкторія узагальнення будь-якого значення будь-якого домену. Крім того, активізація будь-якого значення автоматично запускає в рішення і дозрівання відповідної домен-задачі. Активізується не тільки «дозрівання» задач, але також запускається пошук рішення цих задач (якими б «зрілими» не були інструменти). З плином часу інструменти удосконалюються, відповідно, поліпшується оцінка, прогноз, так відбувається вдосконалення механізмів інтуїції і формування досвіду.

Моделі знань $\{S, R\}_j$ формуються автоасоціативно. Вони є основою інтуїції (адаптивного несвідомого) і моделі «континуум задач» [1], яка забезпечує «швидкі рішення» (прототип ургентних обчислень - Urgent Computing або Extreme Computing). Для кожного значення домену задані як мінімум чотири класи індукторів: транзитивні обчислення по ієрархії доменів (узагальнюють дані первинних вимірювань); обчислення на основі онтологічних угод; обчислення на основі автоасоціативних моделей знань; обчислення на основі нейронних мереж. Розрахункове значення тесту повинно бути погоджено за сигналами від різних індукторів і це накладає обмеження на сукупність можливих станів всієї системи, забезпечуючи системну цілісність.

Нехай $\Omega = \{V\}_0$ - це банк прецедентів, а V - це закономірності, які мають загальний вигляд $\{V(\underline{a}/A), \underline{z}/Z\}$. Вони дозволяють однозначно встановити результат \underline{z}/Z на основі даних $\{a/A\}$. Банк тестів формує оператор категоризації W_Z , за допомогою якого імпліцитно та еволюційно формується «тонкий зріз». Загальну схему категоризації в рамках окремої Z -задачі («стріла пізнання», конденсацію сенсу) представимо у вигляді [1]:

$$\{V\}_0 \rightarrow W_Z(\{V\}_0) \rightarrow \dots \rightarrow \{S^*\}_{Full} \rightarrow \{\{S^*\}_{Min}\}_{Full}, \quad E_Z \geq 0, \quad (1)$$

де E_Z - енергія (параметр порядку), $\{S^*\}_{Full}$ - інваріантні внутрішні коди; $\{\{S^*\}_{Min}\}_{Full}$ - базис граничних моделей знань. Для кожної Z -задачі оператор категоризації свій.

«Стріла пізнання» реалізує ключове вміння виділяти тільки істотну інформацію, незважаючи на обсяг бази прецедентів. Вважається, що саме в фільтрації істотного лежить ключ до розуміння принципів, за якими буде працювати Ambient Intelligence. Моделі «стріла пізнання» і «спіраль пізнання» розкривають імпліцитний механізм формування Z -компетентності (рішення Z -задачі

розрізнення). Всі ресурси рішення Z -задачі розрізнення об'єднуються в модуль компетентності [1].

Ключовий елемент творчості - багаторазове рішення Z -задач у внутрішньому плані, без реалізації в зовнішньому плані (суть переживання). При цьому відбувається внутрішнє всебічне оцінювання системо квантів досягнення бажаного результату \underline{z}/Z . За допомогою переживання, уяви, фантазій здійснюється оптимізація патернів поведінки і накопичення досвіду в каузально бідному середовищі.

Базис ПМЗ і масштабована, багатопланова функція оцінювання дозволяють реалізувати внутрішній механізм «гри з самим собою» (Self-Play) на основі «клонів свідомості», «роздвоєння особистості». Даний механізм дозволяє самонавчатися без зовнішніх прикладів, що успішно реалізовано в ігровій системі Google AlphaZero [7]. Відмінність Zero від попередніх версій в тому, що програма вчиться з нуля, спочатку грає випадковими ходами. І навчається (вдосконалюється функція оцінювання), використовуючи тільки партії з самою собою. Механізм Self-Play - один з ключових творчих механізмів саморозвитку інтуїції (зокрема, вдосконалення вродженої оціночної функції).

Відтворення розвитку ситуацій у внутрішньому плані з генерацією нових сценаріїв, системоквантів є різновидом «Self-Play with a General Reinforcement Learning Algorithm» [7].

Примітка. Поняття Tabula rasa («з чистого аркуша») використав англійський філософ Джон Локк у своєму творі «Досвід про людське розуміння». Розробники AlphaGo також вважають [7], що «Довгострокова мета штучного інтелекту - це алгоритм, який вчить tabula rasa, надлюдської майстерності в складних областях», «навіть в найскладніших областях: можна вчитися на надлюдському рівні, без людських прикладів або вказівок», «починаючи з tabula rasa». Ми стверджуємо, що ці претензії перебільшені з кількох причин. Зокрема, штучний інтелект потребує більшої уваги до вроджених когнітивних механізмів і ПГУ показує, як може виглядати ця вродженість (орграфи значень, доменів, начерків, «Connectome», «стріла пізнання», оператори категоризації).

Основну роль в розвитку інтуїції відіграє природний або штучний «Connectome». У нейрофізіології терміном "Connectome" позначили повний опис структури зв'язків у нервовій системі людини [9]. Це комп'ютерний аналіз будови природних нейронних мереж, свого роду картографування нейронних зв'язків. Connectome пояснює, чому мозок володіє такою приголомшливою автоасоціативністю. Багато когнітивних функцій є похідні від його мережевої топології. Концепція Connectome дозволяє виявити ключові властивості природних нервових мереж, які важливі для створення штучних когнітивних систем та тренажерів. Виникає важлива проблема інженерії коннектомів, як основи розробки штучних когнітивних систем з інтуїцією.

Нехай є кадр даних $\{\tau/T_0\}$ і банк тестів $\{G(\tau)\}$, де $\{\tau\}$ - тести. Без втрати спільності прийемо, що кожен тест

входить в кадр не більше одного разу. Потік даних являє собою поточну сукупність всіх кадрів $\cup_i \{\tau/T_0\}_i$.

Побудова мікро Connectome на основі потоку даних з кадром $\{\tau/T_0\}$ означає наступне [1]: 1) фіксується поточна безліч даних; 2) фіксується довільний тест $z \in \{\tau\}$; 3) фіксується довільний домен Z з $G(z)$; 4) всі дані z -тесту в потоці $\cup_i \{\tau/T_0\}_i$ перетворюються до домену Z , отже, виникає Z -задача з базою прецедентів $\Omega = \cup_i \{\tau/T_0\}_i$; 5) для Z -задачі формуються базиси моделей знань (1). Процедура повторюється для всіх $z \in \{\tau\}$ і всіх Z з $G(z)$. Після додавання нового кадру в потік весь процес повторюється заново. В результаті оновлюються всі авто / гетеро-асоціативні моделі знань мікро Connectome.

Збудження частини тестів через тисячі зв'язків з іншими тестами Connectome здатне майже моментально викликати багатющу мережу інтуїтивних асоціацій [1].

IV. ЕМОЦІЙНИЙ ІНТЕЛЕКТ ТА ІНТУЇЦІЯ

Апарат емоцій - найважливіша багатофункціональна підсистема, що формує різноманітні емоційні оціночні функції і задає мотивацію для керуючої системи. Кожен образ забезпечується своєю «емоційною» емпірично знайденою оцінкою. Емоційні оціночні функції – важливий елемент інтуїтивних міркувань [1].

Велику роль відіграють суб'єктивні оцінки якості, достовірності, значимості і надійності (Subjective Estimates of Quality, Credibility, Salience, and Reliability). Емоційний словник суб'єкта, агента можна описати банком тестів [1]: $\{G(\varepsilon)\}_{em} = \{G(\text{Біль}), G(\text{Страх}), G(\text{Злість}), G(\text{Радість}), G(\text{Краса}), G(\text{Загроза}), \dots\}$.

Емоційними подіями назвемо кортежі

$$E\nu = \langle \tau/T, \underline{g}/E, \underline{t}/\Lambda \rangle, \quad E\nu = \langle \{f/\mu\}, \underline{g}/E, \underline{t}/\Lambda \rangle$$

де τ/T - значення тесту τ , \underline{g}/E - емоція, \underline{t}/Λ - час, $\{f/\mu\}$ - патерн. Кожна компонента має свій масштаб. Всі події формують простір подій. Ключову роль відіграє автоматичне (імплицитне) встановлення зв'язків в просторі подій або в «Life Space» (життєвому просторі). Саме ці зв'язки відіграють важливу роль в інтуїтивному мисленні. В роботі [1] розглядаються формальні аспекти встановлення деяких різновидів таких зв'язків, зокрема: «finding structure in time».

Модифікуючи оцінку подій, суб'єкт може мислити вельми несподівано, парадоксально, асоціативно-метафорично. Емоції вносять не просто додаткову динамічну ступінь свободи, але разом з орграфами начерків образів розкривають природу когнітивної понад невизначеності і аутопоезису - перманентної мінливості, незавершеності, саморуху.

Додавання емоції «розцвічує» всі події, робить їх оцінку змінною, а часто і суперечливою, неоднозначною, що залежить від контексту. Іншими словами оцінка будь-яких минулих, нинішніх чи майбутніх подій може перманентно і стрибкоподібно змінюватися, що створює

рефлексивну динаміку і специфічну емоційну категоризацію. Процес емоційного «перефарбування» подій є різновидом суб'єктивних переживань. Емоційне перефарбування минулих подій настає щоразу, коли відбувається стрибкоподібне зміна моделей знань (катастрофа реконфігурації). Події, помічені негативними емоціями, стають об'єктами рефлексії (в деяких випадках - аналог почуття провини). Емоційні «стрибки» можуть викликати моментальні зміни в поведінці, які оточуючі часто не можуть пояснити. Поведінка змінюється завдяки різкій зміні операціональних характеристик внутрішніх кодів S , які обирають в якості цілей управління [1].

ВИСНОВКИ

На основі парадигми граничних узагальнень побудована формальна модель механізму інтуїції. Тим самим розкривається глибинний механізм генезису імпліцитних знань в рамках природної логіки і обчислювальної епістемології. Запропонована модель є методологічною основою створення гібридних систем, людино-машинного інтерфейсу, когнітивних тренажерів широкого спектру, інтуїтивних роботів.

Представлені моделі та алгоритми дозволяють наблизитися до цілісного розуміння в теорії інтелекту фундаментальних процесів об'єднання, синтезу і появи нової (суб'єктивної) інформації, яка і обумовлює дію механізмів інтуїції. Моделі інтуїтивних процесів необхідно враховувати при розробці «A Standard Model for the Mind».

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Ю.А. Прокопчук, *Набросок формальной теории творчества*. Днепро: Изд-во ПГАСА, 2017.
- [2] Ю.А. Прокопчук, "Алгоритмы искусственной интуиции для реализации сильного ИИ," *Сборник научных трудов «Строительство. Материаловедение. Машиностроение»*. Вып. 101, сс. 184 – 189. Днепро: Изд-во ПГАСА, 2017.
- [3] M. Gladwell, *Blink: The Power of Thinking Without Thinking*. Back Bay Books, 2007.
- [4] D. Kahneman, *Thinking, Fast and Slow*. Pub Farrar, Straus and Giroux, 2011.
- [5] G. Klein, "A naturalistic decision making perspective on studying intuitive decision making," *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, no. 4, pp. 164–168, 2015.
- [6] M. Maldonato, *Natural Logic: Exploring Decision and Intuition*. UK: Sussex Academic Press, 2011.
- [7] D. Silver, J. Schrittwieser, K. Simonyan et al, "Mastering the game of Go without human knowledge," *Nature*, vol. 550(7676), pp. 354-359, 2017.
- [8] O. Diaz-Hernandez, V. J. Gonzalez-Villela, "Analysis of human intuition towards artificial intuition synthesis for robotics," *Mechatronics and Applications: An International Journal (MECHATROJ)*, vol. 1, no.1, pp. 23 – 39, 2015.
- [9] S. Seung, *Connectome: How the Brain's Wiring Makes Us Who We Are*. New York: Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company, 2012.
- [10] J. E. Laird, C. Lebiere and P. S. Rosenbloom, "A Standard Model for the Mind: Toward a Common Computational Framework across Artificial Intelligence, Cognitive Science, Neuroscience, and Robotics," *AI Magazine*, vol. 38, no. 4, pp. 13-26, 2017